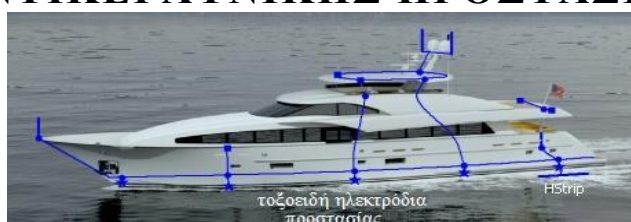




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΛΟΙΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ευθύμιος Αλέξανδρος Β. Βλαχοκώστας

Καθηγητής ΕΜΠ : Ιωάννης Α. Σταθόπουλος

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2009



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

151

ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΛΟΙΩΝ Επίδραση της ατμόσφαιρας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ευθύμιος Αλέξανδρος Β. Βλαχοκώστας

Καθηγητής ΕΜΠ : Ιωάννης Α. Σταθόπουλος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 17^η Σεπτεμβρίου 2009.

.....
Ιωάννης Α. Σταθόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Ιωάννης Μ. Προυσαλίδης
Επικ. Καθηγητής

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2009

.....

Ευθύμιος Αλέξανδρος Β. Βλαχοκόστας

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ευθύμιος Αλέξανδρος Β. Βλαχοκόστας, 2009.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών κ. Ιωάννη Α. Σταθόπουλο για την ανάθεση του θέματος της διπλωματικής εργασίας, αλλά κυρίως τον Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών κ. Ιωάννη Μ. Προυσαλίδη για τη συμπαράστασή του και τη στενή και ουσιαστική καθοδήγησή του της Διπλωματικής Εργασίας, ώστε να κατανοήσω πλήρως το πρόβλημα της αντικεραυνικής προστασίας πλοίων.

Η εργασία αυτή έγινε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας του φοιτητού Ευθύμιου Αλέξανδρου Βλαχोकώστα για την απόκτηση του διπλώματος του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Υπολογιστών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

Στην εργασία αυτή γίνεται ιστορική ανασκόπηση για τον ρόλο του κεραυνού μέσα από την μυθολογία και την δοξασία των θρησκειών, λόγω του δέους, του φόβου και των ζημιών που προκαλούσε, ενώ επισυνάπτονται αντίστοιχες εικόνες από πίνακες ή αγγεία.

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στην χημική σύνθεση της ατμόσφαιρας, δεδομένου ότι τα ιόντα, και κατ'έκτασιν τα φορτία, προέρχονται από τον ιοντισμό των χημικών ενώσεων που προκαλούν οι ιοντίζουσες κοσμικές ακτίνες. Στις ιοντίζουσες ακτινοβολίες πέραν της κοσμικής ακτινοβολίας συμπεριλαμβάνεται και η ακτινοβολία που εκπέμπουν τα ραδιενεργά στοιχεία του φλοιού της Γης. Η αντίδραση αυτή ερμηνεύει κατά πολύ τον σχηματισμό ιόντων στην επιφάνεια της Γης. Επειδή τα περισσότερα φυσικά ραδιενεργά στοιχεία έχουν χρόνο ημιζωής περισσότερο από 1500 χρόνια (π.χ. το ουράνιο έχει χρόνο ημιζωής της τάξεως 10^9 χρόνια), ο ιοντισμός είναι διαρκής.

Η αντιμετώπιση μιας ηλεκτρικής καταιγίδας (κεραυνοί και αστραπές) είναι ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα ενός μηχανικού. Η παρατήρηση τα τελευταία χρόνια ότι η αύξηση των οξειδίων του αζώτου (NO_x) συνδέεται με την αύξηση των ηλεκτρικών καταιγίδων πρέπει να στρέψει την προσοχή των ερευνητών στην ανεύρεση νέων αγωγίμων υλικών που να μην επηρεάζουν την συγκέντρωση των NO_x .

Στη συνέχεια αναφέρονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την προστασία των πλοίων. Εκείνο που διαφαίνεται από τα βιβλιογραφικά δεδομένα είναι απαραίτητη η πολλαπλή συνδεσμολογία των ηλεκτροδίων για την κάλυψη όλων των τμημάτων του σκάφους. Ο σχεδιασμός της αντικεραυνικής προστασίας των πλοίων συνδέεται σημαντικά από το είδος του πλοίου, τα υλικά κατασκευής, το περιβάλλον στο οποίο θα κινηθεί (γλυκό ή αλμυρό νερό), την μέγιστη ταχύτητα κίνησης, και άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή και διάβρωση των υλικών.

Τέλος, επειδή οι ηλεκτρικές εκκενώσεις είναι ένα πολυσύνθετο πρόβλημα προτείνεται να στραφούν οι επιστήμονες στην ανεύρεση νέων αγωγίμων υλικών περισσότερο ανθεκτικών στις δύσκολες καιρικές συνθήκες που αντιμετωπίζουν τα πλοία

στην διαδρομή τους ώστε να μειώσουν τις βλάβες από τη διάβρωση και επομένως να αυξήσουν την ασφάλεια στα πλοία.

Η εργασία αυτή αποτελεί την πρώτη προσπάθεια μελέτης αντικεραυνικής προστασίας σε πλοία σε επίπεδο διπλωματικής. Επίσης, η προσέγγιση της χημείας της ατμόσφαιρας έγινε με σκοπό να γίνει καλύτερα αντιληπτό το φαινόμενο των ηλεκτρικών εκκενώσεων στο επιβαρυμένο περιβάλλον των ημερών μας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	15
Ιστορικά στοιχεία για τον κεραυνό	18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ

1.1. Οξυγόνο, O_2	24
1.2. Μεταβλητά αέρια της ατμόσφαιρας H_2O , CO , CO_2 , CH_4 , NO_2 , SO_2 , O_3 , VOCs	25
1.3. Υδρατμοί, H_2O	26
1.4. Το διοξείδιο του άνθρακα, CO_2	27
1.5. Μεθάνιο, CH_4	28
1.6. Όζον, O_3	29
1.7. Οξείδια του αζώτου, NO_x	32
1.8. Οξείδια του θείου, SO_x	36
1.9. Πτητικές οργανικές ενώσεις και υδρογονάνθρακες, VOCs	37
1.10. Αιωρούμενα σωματίδια, Particulate Matter, PM	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΙΤΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΙΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

2.1. Κοσμική Ακτινοβολία	41
2.2. Διάλυση αιωρούμενων αλάτων	44
2.3. Διάλυση Μορίων	45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΚΕΡΑΥΝΟΙ

3.1. Χαρακτηριστικά μιας ηλεκτρικής καταιγίδας	46
3.2. Σύννεφα και βροχή	48
3.3. Χαλάζι	49
3.4. Τύποι εκκενώσεων του κεραυνού	
<i>i. Κεραυνός μεταξύ νέφους και γης</i>	49
<i>ii. Προεκκένωση (stepped leader)</i>	52
<i>iii. Εκκένωση αντίθετης φοράς (return stroke)</i>	54
<i>iv. Φθορίζουσα εκκένωση (dart leader)</i>	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΛΟΙΩΝ	57
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ

5.1. Γενικά	62
5.2. Συσσωρευση φορτίων και ροή ρεύματος (charge accumulation and current flow)	64
5.3. Διάχυση φορτίου στο νερό (charge dissipation into water)	65
5.4. Δημιουργία παράπλευρων εκκενώσεων (sideflash formation)	67
5.5. Μηχανισμός εκφόρτισης ηλεκτροδίων Siedarc (discharge mechanism for Siedarc electrode)	68
5.6. Προσδιορίζοντας το κεντρικό σύστημα των αγωγών (addressing the central-conductor problem)	71
5.7. Νέες μέθοδοι προσθέτουν αγώγιμες ακίδες συλλογής των αστραπών κατά της περιμέτρου του πλοίου	72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΛΟΙΩΝ	76
---------------------------------------	----

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΝΟΣ ΣΩΣΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΙΩΣΗΣ	81
--	----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	82
---------------------	----

ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ	86
------------------	----

Περιεχόμενα Εικόνων και Σχημάτων

Εικόνα 1. Απεικόνιση του Δία να κρατά τον κεραυνό	15
Εικόνα 2. Ο Δίας στον Όλυμπο με τους θεούς συζητά την πορεία του Τρωικού Πολέμου. Στο αριστερό χέρι κρατά τον κεραυνό.	17
Εικόνα 3. Σχηματική αναπαράσταση του Franklin να κρατά τον χαρταετό	19
Εικόνα 4. Σύνθετη φωτογραφία κεραυνού με ειδική προς τούτο φωτογραφική μηχανή	21
Σχήμα 1.1. Μοριακός τύπος της χλωροφύλλης	24
Σχήμα 1.2. Σχηματική παράσταση του κύκλου παραγωγής οξυγόνου	24
Σχήμα 1.3. Μόριο νερού σε αέρια κατάσταση	26
Σχήμα 1.4. Υγρό νερό με δεσμούς υδρογόνου	26
Σχήμα 1.5. Μοριακή δομή του διοξειδίου του άνθρακα	28
Σχήμα 1.6. Τετραεδρική δομή του μεθανίου	29
Σχήμα 1.7. Μόριο όζοντος	30
Σχήμα 1.8. Δομή της ατμόσφαιρας	30
Σχήμα 1.9. Σχηματισμός επιφανειακού όζοντος	31
Σχήμα 1.10. Επί % ολική μάζα N που παράγεται κατά τις εκκενώσεις	34
Σχήμα 1.11. Διακύμανση των NO_x (tn/d) για το διάστημα Ιούλιος-Αύγουστος 2004, 1:Διορθωμένες τιμές, 2:σημεία αναφοράς, 3:παραγωγή κατά τις ηλεκτρικές εκκενώσεις	35
Σχήμα 1.12. Διασπορά των ρύπων NO_x στο Ελ.Βενιζέλος	35
Σχήμα 1.13. Επιφανειακή διασπορά του όζοντος (O_3) στο αεροδρόμιο Ελ.Βενιζέλος	36
Σχήμα 1.14. Μικρογραφία μεγέθους των PM	38
Σχήμα 1.15. Κατάταξη των PM με βάση τη διάμετρο	39
Σχήμα 1.16. Προσομοίωση της διασποράς των ρύπων PM10 στο Ελ.Βενιζέλος	40
Σχήμα 2.1. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα προερχόμενο από τις κοσμικές ακτινοβολίες	41
Σχήμα 2.2. Επίδραση των ακτινοβολιών στην σχάση των χημικών δεσμών και παραγωγή ιόντων	42
Σχήμα 2.3. Σχηματισμοί ιόντων και μεταφορά στην ύλη	42
Σχήμα 2.4. Συνεχής παραγωγή ιόντων από δευτερογενή ηλεκτρόνια	43
Σχήμα 2.5. Ιοντικά δίπολα που σχηματίζουν τα άλατα στην ατμόσφαιρα. Τα μεταλλικά ιόντα φέρουν θετικό φορτίο, ενώ τα ανιόντα αρνητικό. Η παρουσία του νερού ανάμεσά τους αυξάνει την απόσταση του διπόλου	44

Σχήμα 2.6. Σχηματισμός μοριακού διπόλου λόγω ανυδάτωσης του μορίου της αμμωνίας. Τα άτομα υδρογόνου της αμμωνίας σχηματίζουν δίπολα με τα μόρια του νερού	45
Σχήμα 3.1. Διευθέτηση των ηλεκτρικών φορτίων με βάση την βαρύτητα	47
Σχήμα 3.2. Διατήρηση των θετικών και αρνητικών φορτίων μεταξύ νέφους και εδάφους αντίστοιχα	48
Σχήμα 3.3. Κατανομή των θετικών και αρνητικών φορτίων σε ένα σύννεφο. στο κάτω μέρος του νέφους διακρίνονται μερικά θετικά φορτία	51
Σχήμα 3.4. Απεικόνιση των φωτεινών χαρακτηριστικών κεραυνού μεταξύ νέφους και γης.	52
Σχήμα 4.1. Ανάγλυφο με παράσταση πλοίου σε σαρκοφάγο από τη Σίδωνα 2 ^{ος} μ.Χ αιώνας, Εθνικό Μουσείο, Βηρυτός-Λίβανος	58
Σχήμα 4.2. Καθοδική προστασία με θυσιαζόμενη άνοδο (άμεση επαφή)	59
Σχήμα 4.3. Εφαρμογή καθοδικής προστασίας σε πλοίο	59
Σχήμα 4.4. Καθοδική προστασία με άνοδο μαγνησίου	59
Σχήμα 4.5. Καθοδική προστασία με άνοδο μαγνησίου σε πυλώνα της ΔΕΗ	60
Σχήμα 5.1. Σχηματισμός νοητού κώνου προστασίας σε αντικεραυνικό σύστημα	63
Σχήμα 5.2. Γωνία και περιοχή προστασίας πλοίου	64
Σχήμα 5.3. Σημεία εκδήλωσης παράπλευρων εκκενώσεων με πρόκληση οπών στην γάστρα του σκάφους	67
Σχήμα 5.4. Το σκάφος πριν εκδηλωθεί αστραπή	69
Σχήμα 5.5. Προεκκένωση με μεταφορά αρνητικών φορτίων προς το έδαφος	70
Σχήμα 5.6. Επαγωγή θετικών φορτίων στο σκάφος και το νέφος	70
Σχήμα 5.7. Επαναφορά θετικών φορτίων και τελική μεταφορά των αρνητικών φορτίων στο νερό	71
Σχήμα 5.8. Σχεδιασμός αντικεραυνικού συστήματος προστασίας και σύνδεσης διαφυγής των φορτίων	73
Σχήμα 5.9. Προσομοίωση κατανομής παράπλευρων εκκενώσεων στο νερό και μεταξύ των αγωγών	74
Σχήμα 5.10. Γεωμετρικός σχεδιασμός αγωγού παράλληλης και κάθετης σύνδεσης	75

Σχήμα 6.1. Περιμετρική κάλυψη του σκάφους με ηλεκτρόδια	76
Σχήμα 6.2. Απεικόνιση του κυκλώματος των αγωγών προστασίας. Διακρίνεται ο βρόχος	77
Σχήμα 6.3. Κάτοψη του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας ενός καταμαράν	78
Σχήμα 6.4. Περιμετρική κάλυψη του καταμαράν με ηλεκτρόδια	79
Σχήμα 6.5. Πτυσσόμενα αλεξικέραυνα και περιμετρική κάλυψη ενός jetski	80

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1.1. Διάφορα αέρια της ατμόσφαιρας και οι συγκεντρώσεις τους	25
Πίνακας 1.2. Εμπειρικός σχηματισμός όζοντος	32
Πίνακας 1.3. Κατάταξη μερικών οργανικών πτητικών ενώσεων	38
Πίνακας 4.1. Χαρακτηριστικά θυσιαζόμενων ανόδων	61

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή γίνεται προσπάθεια αξιολόγησης της ατμόσφαιρας και των ρύπων για την αύξηση της συχνότητας των ηλεκτρικών καταιγίδων και της έντασης αυτών. Επειδή τα οικονομικά μεγέθη είναι αρκετά υψηλά, κυρίως στην αεροπλοΐα και ναυσιπλοΐα, απαιτείται ιδιαίτερος σχεδιασμός της προστασίας έναντι των υπερτάσεων που δημιουργούνται.

Βιβλιογραφικά αναφέρονται διάφοροι τρόποι διάταξης των ηλεκτροδίων αποφόρτισης των ηλεκτρικών ρευμάτων. Η καταλληλότητα και επιλογή της μεθόδου εξαρτάται προφανώς από το σχήμα του πλοίου, το μέγεθος και τα υπερυψωμένα τμήματα τα οποία φέρουν τα όργανα επικοινωνίας ή πλοήγησης. Ένα καλό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να περιλαμβάνει πλάκα στα ύφαλα κυρίως του πλοίου, ώστε το ρεύμα να μεταφέρεται στο νερό, χωρίς να προκαλούνται βλάβες στην ίσαλο γραμμή. Μεγαλύτερη προστασία επιτυγχάνεται με ηλεκτρόδια *siedarc*.

Τα πλοία επειδή κινούνται κυρίως σε θαλασσινό νερό υφίστανται εύκολα διάβρωση με αποτέλεσμα να σχηματίζονται ασυνέχειες και το ρεύμα του κεραυνού αντί να οδηγείται προς το νερό να μεταφέρεται στο εσωτερικό του πλοίου προκαλώντας βλάβες, όχι μόνο στα υλικά του πλοίου αλλά και σε ανθρώπινες ζωές.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται τόσο για την κατασκευή του πλοίου όσο και για τα ηλεκτρόδια πρέπει να έχουν αντοχή στο διαβρωτικό περιβάλλον της θάλασσας.

Σήμερα δεν επαρκεί μόνον ο σχεδιασμός της ηλεκτρικής προστατευτικής διάταξης, αλλά πρέπει να αναζητηθούν αγώγιμα πολυμερή, όπως π.χ. η πολυπυρρόλη, τα οποία θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα ως προστατευτικά υλικά και αγωγοί. Τα υλικά αυτά θα μπορούσαν να παίζουν τον ρόλο της βαφής, ενώ παράλληλα θα επιτρέπουν τα ηλεκτρικά φορτία του κεραυνού να διοχετεύονται στο νερό.

Λέξεις κλειδιά: κεραυνός, κεραυνικό ρεύμα, παράπλευρες εκκενώσεις, αντικεραυνική προστασία, διάβρωση

ABSTRACT

In this work we tried to estimate the role of atmospheric pollution on the increase of thunderstorms and their intensity. Since the economic and catastrophic effects are very damaging mainly in aviation and navigation, a special planning of protection is required against the hypertension that are created from lightning.

Several ways of patterns of grounding strip electrodes have been reported in literature that inject the electric currents into the water in order to eliminate the risk of direct lightning and to prevent fires and thus to protect the boats. Obviously, the appropriateness and choice of method depends on the scheme of the boat, the size and the overhead conducting fittings. One optimum protective lightning system contains a ground plate at the keel of the boat. This system will protect the waterline region of the boat. It was found that the siderc electrodes show the best protection over induced currents.

Since the boats travel mainly in sea water, they suffer easily of erosion leading to shape discontinuities and the lightning current does not flow to the water but it migrates to the interior of the boat causing damage, not only to the fittings but also to human lives.

The materials that are used for the manufacturing of boats and also the electrodes should have resistance in the corrosive environment of the sea. Nowadays, the planning of lightning protection system in itself is not sufficient, but researchers should investigate for new conducting materials, such as, polymers like polypyrrole, that might be used simultaneously as protective material and conductor. These materials could also play the role of dye, while at the same time they allow the electric charges of lightning to flow into the water.

Key words: thunderstorms, lightning current, sideflashes, lightning protection, corrosion

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο κεραυνός πάντα προκαλούσε δέος και φόβο στους ανθρώπους, τόσο επειδή ήταν άγνωστο ως φαινόμενο, όσο και από το μέγεθος των καταστροφών που προκαλούσε. Πάντα οι άνθρωποι τον συνέδεαν με υπερφυσικές δυνάμεις και την ισχύ των φυσικών δυνάμεων. Δεν είναι τυχαίο που στην Ελληνική μυθολογία, ο Δίας, κυρίαρχος θεός των πάντων, επέβαλε την δύναμή του με τον κεραυνό που κρατούσε ως σκύπτρο. Αναφέρεται με πολλά επίθετα ως υψηλοβρόντης (υψιβρεμέτης, Ιλιάδα, Ραψωδία Α, 354), νεφοσυνάχτης (νεφεληγερέτας), αστραποβρόντης (αστεροπητής) κεραυνοφόρος (τερπικέραυνος), κ.ά. [1].



Εικόνα 1. Απεικόνιση του Δία να κρατά τον κεραυνό [2]

Εξ' άλλου, την φωτιά από τον κεραυνό παρέδωσε ο Δίας στον Ήφαιστο για να αναπτύξει την τεχνολογία παρασκευής των κεραυνών και ο οποίος όμως την μετέδωσε μέσω του Προμηθέα στον άνθρωπο.

Η λέξη κεραυνός σύμφωνα με το αλφάβητο του Έλληνα ερμηνεύεται από την ερμηνεία των γραμμάτων:

K=κέντρο

E=ενέργεια

P=ροή

A=αρχική δύναμη

Y=κατερχόμενη ενέργεια προς την υδρόγειο

N=(νους) προερχόμενον εκ του κέντρου του γίνεσθαι

O=συσσώρευση στον εσωτερικό χώρο

Σ=σταθερότητα του γίνεσθαι

Σύμφωνα με τα γράμματα, πράγματι η ενέργεια απορρέει από ένα κεντρικό σύστημα και διοχετεύεται προς την Γη (Σ. Θεοφανίδης).

Στην εποχή του Αισχύλου χρησιμοποιούσαν στο θέατρο το κεραυνοσκοπείο, ένα μηχανήμα με το οποίο εκσφενδόνιζαν τον κεραυνό [4].

Όμως και σε άλλα μέρη του κόσμου δοξάζουν τον κεραυνό. Μία από τις μεγαλύτερες θεότητες του κεραυνού ήταν ο Θώρ των Σκαδιναβικών λαών.

Η κεραυνολογία απασχόλησε σε παλαιότερους χρόνους τους ανθρώπους ως οίωνασκοπία. Αργότερα οι επιστήμονες ασχολήθηκαν με την ερμηνεία του φαινομένου των κεραυνών επειδή είχαν διαπιστώσει ότι οι βλάβες ήταν τρομακτικά υψηλές κυρίως σε ανθρώπινες ζωές.



Ζεὺς δὲ θεῶν ἀγορὴν ποιήσατο τερπικέραυνος
ἀκροτάτῃ κορυφῇ πολυδειράδος Οὐλύμποιο...
(Θ2 κ.έξ.)

Εικόνα 2. Ο Δίας στον Όλυμπο με τους θεούς συζητά την πορεία του Τρωϊκού Πολέμου. Στο αριστερό χέρι κρατά τον κεραυνό (Ιλιάδα, Ραψωδία Θ2). [3]

Ως κεραυνός ορίσθηκε ο ηλεκτρικός σπινθήρας, μια τεράστια ηλεκτρική εκκένωση, η οποία σχηματίζεται μεταξύ των κατώτερων τμημάτων των σωρειτομελανίων (Thunderclouds), τα οποία φέρουν θετικά ηλεκτρικά φορτία και της επιφάνειας του εδάφους που φέρει αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο.

Ιστορικά στοιχεία για τον κεραυνό [5-7]

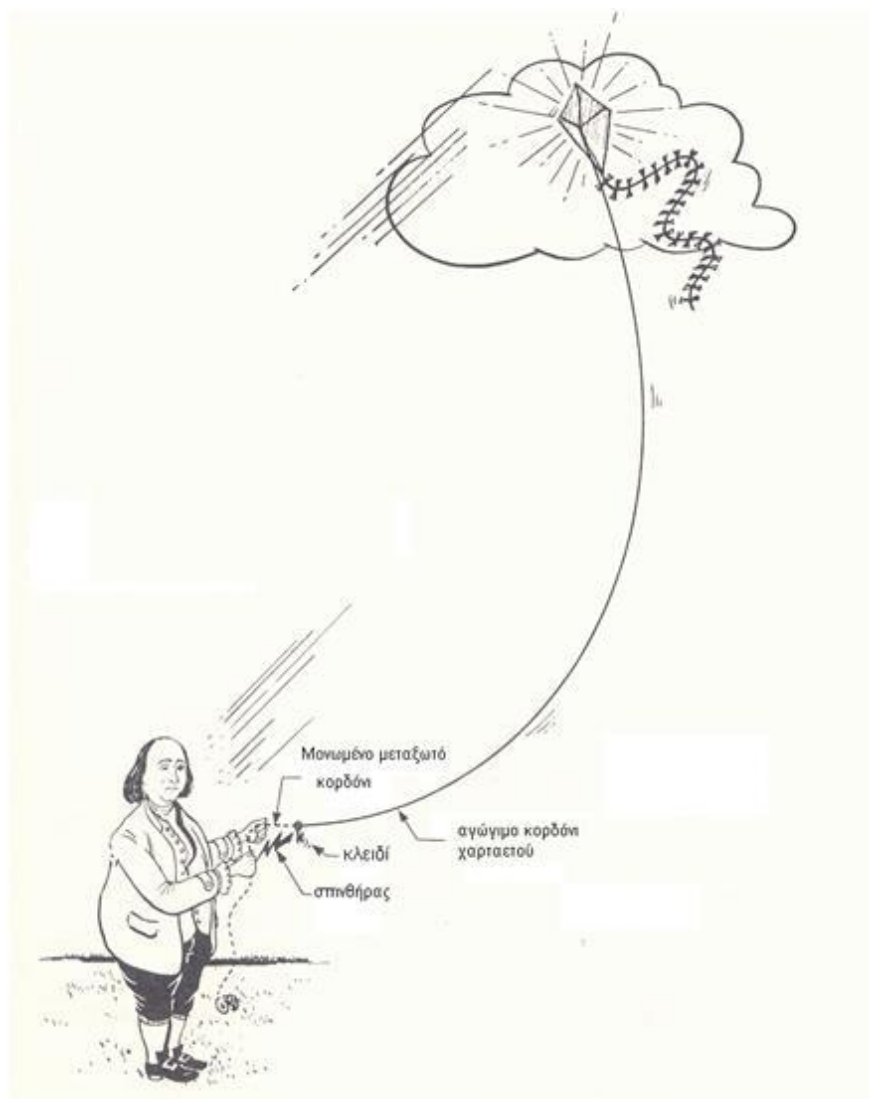
Ο Βενιαμίν Φραγκλίνος (Benjamin Franklin), τον 18^ο αιώνα (1700-1800), εφάρμοσε τεχνική ώστε να αποδείξει επιστημονικά την παρουσία ηλεκτρικού ρεύματος στον κεραυνό. Μέχρι τότε η επιστήμη της ηλεκτρολογίας είχε αναπτυχθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε να επιτυγχάνει μόνο τον διαχωρισμό των θετικών και των αρνητικών φορτίων με την χρήση ειδικών ηλεκτρικών συσκευών. Οι ηλεκτρικές αυτές μηχανές μπορούσαν να αποθηκεύσουν τα φορτία που σχηματίζοντουσαν με στατικό ηλεκτρισμό από την τριβή δύο διαφορετικών υλικών. Οι μηχανές αυτές ήταν οι πρόδρομοι των πυκνωτών και τις αποκαλούσαν γυάλες του Leyden (Leyden Jars), οι οποίες έδιναν τη δυνατότητα να παρατηρηθούν οι παραγόμενες σπίθες.

Στο πείραμά του ο Franklin θεώρησε ότι τα σύννεφα είναι φορτισμένα ηλεκτρικά και επομένως ο κεραυνός θα έπρεπε να φέρει ηλεκτρικό φορτίο. Για τον σκοπό αυτό ο Franklin στερέωσε σε μια ηλεκτρικά μονωμένη εξέδρα μια μεταλλική ράβδο. Σύμφωνα με την υπόθεσή του, περίμενε ότι όταν τα ηλεκτρικά φορτισμένα σύννεφα αγγίζουν την μεταλλική ράβδο θα πρέπει αυτή να ηλεκτριστεί από τους σπινθήρες και να προκληθεί φωτιά (φαινόμενο Κορώνα). Παράλληλα, ένας άνθρωπος ευρισκόμενος στο έδαφος θα κρατούσε ένα σύρμα, του οποίου το ένα άκρο θα συνδέονταν με το έδαφος, ενώ το άλλο άκρο θα το κρατούσε σε μικρή απόσταση από τη μεταλλική ράβδο, η οποία θα ήταν ηλεκτρικά μονωμένη με κέρινη χειρολαβή, ώστε οι σπινθήρες σε περίπτωση ηλεκτροφόρτισης της ράβδου να αναπτυχθούν μεταξύ ράβδου και σύρματος, χωρίς να επηρεάσουν τον άνθρωπο.

Πριν ο Franklin ολοκληρώσει το αρχικό του πείραμα σκέφτηκε έναν καλύτερο τρόπο για να αποδείξει την θεωρία του χρησιμοποιώντας έναν χαρταετό.

Ο χαρταετός κατέλαβε την θέση της μεταλλικής ράβδου αφού μπορούσε να φτάσει οπουδήποτε και σε πολύ μεγάλη ύψη. Το 1752 κατά τη διάρκεια μιας ηλεκτρικής καταιγίδας στην Πενσυλβάνια (Pennsylvania) πέταξε ο διασημότερος χαρταετός στην ιστορία προκαλώντας σπινθήρες μεταξύ ενός κλειδιού που κρεμόταν στο τέλος του υγρού

σχοινιού του χαρταετού και της μονωτικής μεταξωτής λωρίδας που είχε περάσει ανάμεσα από τις αρθρώσεις του χεριού του ο Franklin.



Εικόνα 3. Σχηματική αναπαράσταση του Franklin να κρατά τον χαρταετό.

Το γειωμένο σώμα του Franklin παρείχε στο ηλεκτρικό ρεύμα την αγωγή διαδρομή και με αυτόν τον τρόπο αποδείχτηκε το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται στα σύννεφα καταιγίδας.

Επιπρόσθετα, παρατηρώντας την ένδειξη των ηλεκτρικών φορτίων από τη διάταξη του χαρταετού αποδείχτηκε ότι οι ηλεκτρικές καταιγίδες περιέχουν ηλεκτρισμό και μάλιστα μπόρεσε να συμπεράνει ότι το κάτω μέρος μιας ηλεκτρικής καταιγίδας ήταν φορτισμένο αρνητικά.

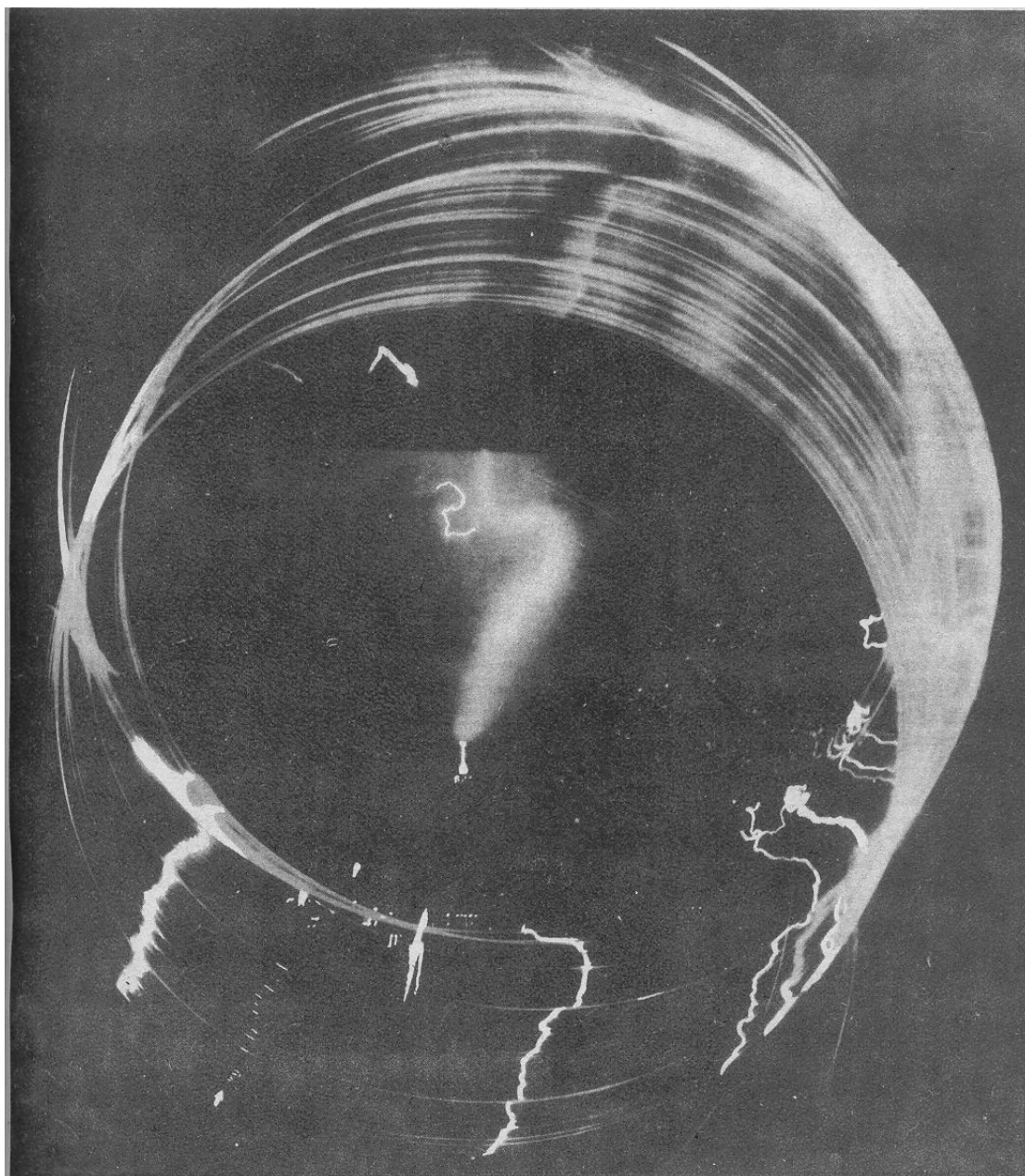
Την ίδια όμως εποχή και άλλοι επιστήμονες παρατήρησαν την ομοιότητα που εμφανίζεται μεταξύ των σπιθών που παρήγαγαν στο εργαστήριο και των κεραυνών, όμως ο

Franklin πρώτος, με τον τρόπο που σχεδίασε το πείραμα, απέδειξε επιστημονικά την ηλεκτρική φύση του κεραυνού.

Το παραπάνω πείραμα πραγματοποιήθηκε με επιτυχία από τον Γάλλο Thomas D'Alibard το Μάιο του 1752 όταν παρατήρησε σπίθες να ξεπηδούν από τη μεταλλική ράβδο κατά τη διάρκεια ηλεκτρικής καταιγίδας. Ο G.W. Richmann ένας Σουηδός φυσικός που δούλευε για λογαριασμό της Ρωσίας κατά τη διάρκεια του Ιουλίου του 1753 απέδειξε ότι οι ηλεκτρικές καταιγίδες (thunderclouds) περιέχουν ηλεκτρικό φορτίο, αλλά για ειρωνία της τύχης απεβίωσε από χτύπημα κεραυνού.

Μέχρι τα τέλη του 19^{ου} αιώνα (1800-1900) έγινε μικρή πρόοδος στην κατανόηση του κεραυνού, επειδή έως τότε δεν είχαν χρησιμοποιηθεί για την μελέτη του κεραυνού η φωτογραφία και η φασματοσκοπία. Το 1948 φωτογραφίζεται στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής ο κεραυνός (Εικόνα 4).

Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής κυρίως στις αρχές της δεκαετίας του '40 και για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα άρχισαν να γίνονται πιο συστηματικές μελέτες για την ανεύρεση του μηχανισμού σχηματισμού του κεραυνού. Οι μελέτες αυτές συμπεριελάμβαναν: α) εντός των εργαστηρίων με τεχνητούς κεραυνούς και β) στη φύση με τη λήψη φωτογραφιών των αστραπών.



***Εικόνα 4.** Σύνθετη φωτογραφία κεραυνού με ειδική προς τούτο φωτογραφική μηχανή.*

Η σύνθετη φωτογραφία που απεικονίζεται παραπάνω λήφθηκε συγχρόνως από δύο φωτογραφικές μηχανές η μία εκ των δύο ήταν ειδικής κατασκευής. Με κοινή φωτογραφική μηχανή λήφθηκε η άποψη του κτιρίου Εμπάϊρ Στέιτ Μπίλντινγκ (Empire State Building) της Νέας Υόρκης. Ο φακός σε αυτή την περίπτωση αφέθηκε ανοικτός και η αστραπή αποτυπώθηκε στην φωτογραφική πλάκα. [8]

Την ίδια εποχή αναφέρεται ότι είχαν υπολογισθεί ότι σε όλο τον κόσμο εκδηλώθηκαν $8,5 \times 10^6$ κεραυνοί. [9]

Το ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργείται από τον κεραυνό μετρήθηκε έμμεσα από τον Pockels (1897-1900, Γερμανία) [7]. Για τον σκοπό αυτό ο Pockels ανέλυσε το μαγνητικό πεδίο που επάγεται από το ρεύμα που δημιουργεί ο κεραυνός και με αυτόν τον τρόπο έλαβε κατ' εκτίμηση τις τιμές του ρεύματος.

Η μελέτη του κεραυνού, στις μέρες μας, χρονολογείται με την έναρξη των πειραμάτων του C.T.R. Wilson [7], ο οποίος πρώτος χρησιμοποίησε τις μετρήσεις από το ηλεκτρικό πεδίο, για να εκτιμήσει τη δομή των φορτίων της ηλεκτρικής καταιγίδας που εμπλέκεται στις εκκενώσεις του κεραυνού.

Η έρευνα συνεχίστηκε με σταθερά βήματα έως τα τέλη του 1960 όταν η μελέτη του κεραυνού έγινε ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα. Αυτή η αύξηση ενδιαφέροντος απορρέει από τον κίνδυνο χτυπήματος από κεραυνό που διατρέχουν τα ηλεκτρονικά κυκλώματα των ηλεκτρονικών υπολογιστών και άλλων συσκευών, καθώς επίσης τα εξελιγμένα όργανα που χρησιμοποιούνται για μετρήσεις και παρατηρήσεις στα αεροδιαστημικά οχήματα, τα αεροπλάνα, τα πλοία και τα κτίρια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η παρουσία των ηλεκτρικών φορτίων στην ατμόσφαιρα πρέπει να αναλυθεί η χημική σύσταση της ατμόσφαιρας και ο τρόπος που ιοντίζονται οι χημικές ενώσεις. Για πάρα πολλά χρόνια ήταν γνωστό ότι η ατμόσφαιρα αποτελείται κυρίως από μοριακό άζωτο, οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Τα ευγενή αέρια μικρό ρόλο έπαιζαν στην χημική σύσταση. [10]

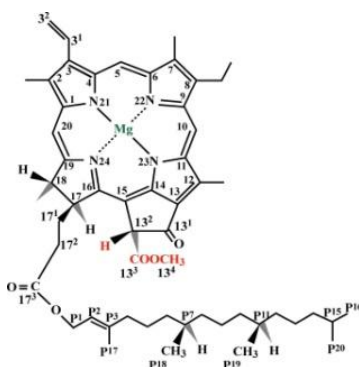
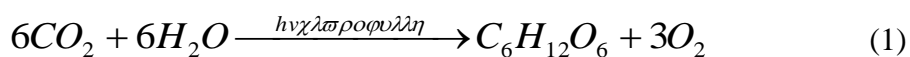
Σήμερα με την αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που άρχισε με την βιομηχανική επανάσταση τον 19^ο αιώνα, η αρχική χημική σύσταση έχει διαταραχθεί από την διάχυση ενός μεγάλου αριθμού ρυπαντικών ενώσεων, όπως είναι η αιθαλομίχλη (smog, Smoke + Fog, αιθάλη και ομίχλη) και τα αιωρούμενα σωματίδια (PM = Particulate Matter) διαστάσεων από 1μ μέχρι 10μ. Επίσης στην ρύπανση συνέβαλαν και τα τοξικά χημικά αέρια, μεταξύ των οποίων το διοξείδιο του θείου (SO₂), μίγματα παραγώγων του θειϊκού οξέος (SO₃, H₂SO₄), οξείδια του αζώτου (NO_x), όζον (O₃), μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και οργανικές πτητικές ενώσεις των VOCs (Volatile Organic Compounds) και άλλοι τοξικοί παράγοντες [11-14].

Με την επίδραση της θερμοκρασίας, κατά την μεταφορά τους, οι ρύποι μέσω χημικών αντιδράσεων μετατρέπονται σε άλλους ρύπους επιβαρύνοντας έτσι την ατμόσφαιρα σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο.

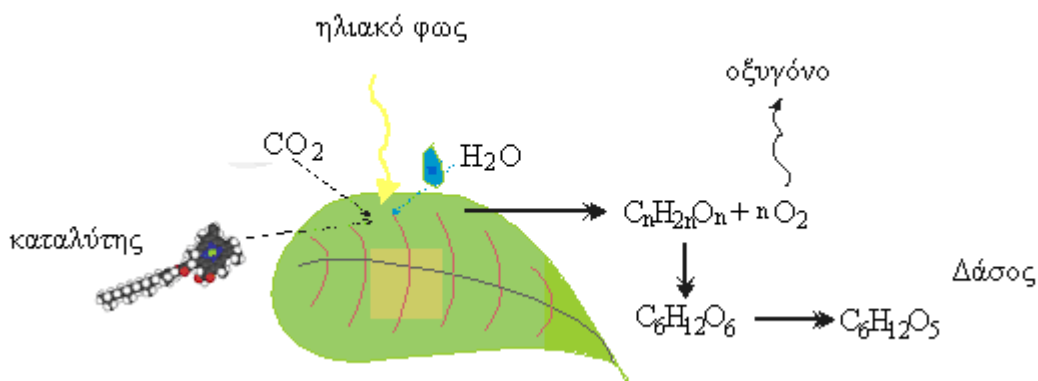
Είναι χρήσιμο επομένως να αναφερθούν οι σημαντικότερες χημικές ενώσεις και τα στοιχεία που βρίσκονται σε τέτοιες συγκεντρώσεις, που επηρεάζουν την ηλεκτρική κατάσταση της ατμόσφαιρας.

1.1. Οξυγόνο, O_2 [15]

Το μοριακό οξυγόνο (O_2) σχηματίζεται με φωτοσύνθεση του CO_2 με το H_2O παρουσία της χλωροφύλλης των φυτών. Παραπροϊόντα της φωτοκατάλυσης αποτελούν οι σχηματιζόμενοι υδρογονάνθρακες με γενικό τύπο $C_nH_{2n}O_n$. Για παράδειγμα για $n=6$ παράγεται γλυκόζη:



Σχήμα 1.1. Μοριακός τύπος της χλωροφύλλης



Σχήμα 1.2. Σχηματική παράσταση του κύκλου παραγωγής οξυγόνου

Η παραγωγή του μοριακού οξυγόνου μπορεί να προκληθεί φωτοχημικά από τη διάσπαση του νερού σύμφωνα με την αντίδραση:



1.2. Μεταβλητά αέρια της ατμόσφαιρας H_2O , CO , CO_2 , CH_4 , NO_2 , SO_2 , O_3 , $VOCs$ [16]

Τα διάφορα άλλα αέρια της ατμόσφαιρας, όπως νερό, διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και όζον, που υπάρχουν σε μίγμα στην ατμόσφαιρα, μεταβάλλουν τη συγκέντρωσή της σημαντικά με τον χρόνο, ενώ η συγκέντρωση αυτών ποικίλει από τόπο σε τόπο. Οι συγκεντρώσεις αυτών των αερίων επηρεάζονται άμεσα από τους ρύπους της ατμόσφαιρας που παράγονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Όμως οι συγκεντρώσεις αυτών των αερίων μεταβάλλονται και κατά τις φυσικές διεργασίες. Στον Πίνακα 1.1 δίνονται οι κυριότερες αέριες ενώσεις της ατμόσφαιρας και οι συγκεντρώσεις τους.

Πίνακας 1.1. Διάφορα αέρια της ατμόσφαιρας και οι συγκεντρώσεις τους

Διάφορα αέρια	%	Ppmv
Υδρατμοί (H_2O)	0.00001 – 4.0	0.1 – 40,000
Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)	0.0360	360
Μεθάνιο (CH_4)	0.00017	1.7
Όζον (O_3)	0.000003 – 0.001	0.03 – 10

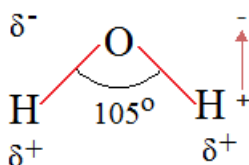
Τα ευγενή αέρια: ήλιο (He), νέον (Ne), αργό (Ar), κρυπτό (Kr) και ξένο (Xe) υπάρχουν σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, οι οποίες δεν επηρεάζουν τις χημικές ιδιότητες της ατμόσφαιρας.

1.3. Υδρατμοί, H_2O [17]

Προέρχονται από την εξάτμιση του νερού, την αναπνοή των φυτών και μπορούν να λάβουν μέρος σε διάφορες χημικές αντιδράσεις στην αέρια φάση. Η συγκέντρωση των υδρατμών μεταβάλλεται σημαντικά σε κάθε περιοχή και μπορεί να φθάσει σε αναλογία του

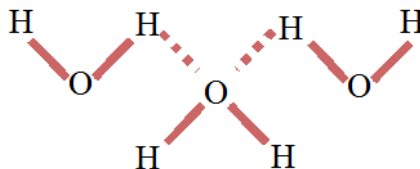
μίγματος του αέρα μέχρι και 4%, γεγονός που συνήθως επικρατεί στις θερμές εύκρατες ζώνες. Η αναλογία αυτή αντιστοιχεί σε περίπου 17.118 g/m³ σε κορεσμένο αέρα με σχετική υγρασία 20%. Αντίθετα στους δύο Πόλους η αναλογία των υδρατμών προσεγγίζει το μηδέν.

Τα χαρακτηριστικά του νερού σε μοριακό επίπεδο είναι απλά. Τα άτομα υδρογόνου δεν είναι γραμμικά ως προς το οξυγόνο (Σχήμα 1.3), αλλά σχηματίζουν γωνία H-O-H ίση με 105°. Τα άτομα υδρογόνου είναι ελαφρώς θετικά (δ⁺) και του οξυγόνου ελαφρώς αρνητικά (δ⁻).



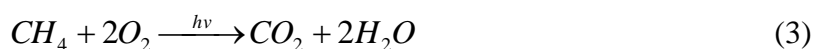
Σχήμα 1.3. Μόριο νερού σε αέρια κατάσταση

Εν τούτοις, στην υγρή φάση το νερό αποτελείται από μόρια που συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου (Σχήμα 1.) με διαφορετική δομή στον πάγο και στο χιόνι.



Σχήμα 1.4. Υγρό νερό με δεσμούς υδρογόνου

Αν και το νερό αποτελεί βασικό συστατικό της ατμόσφαιρας και συμμετέχει στην διαμόρφωση της θερμοκρασία της υφής. Ανάλυση με πρόγραμμα SPARC [18] απέδειξε ότι η συγκέντρωση του ατμού στην στρατόσφαιρα δεν αυξήθηκε περισσότερο από 2 ppmv από τα μέσα του 1950. Οι τυπικές συγκεντρώσεις που αναφέρονται για την στρατόσφαιρα ανέρχονται σε 4-6 ppmv. Κατά την φωτοχημική οξείδωση του μεθανίου στην στρατόσφαιρα παράγονται δύο μόρια νερού ανά μόριο μεθανίου:

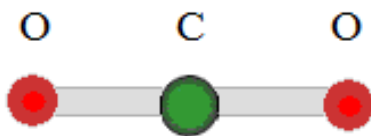


Στην αύξηση της συγκέντρωσης του μεθανίου στην τροπόσφαιρα από το 1950 (0.55 ppmv) αποδίδεται η περισσότερη από το μισό αύξηση της συγκέντρωσης των ατμών στην στρατόσφαιρα για την ίδια χρονική περίοδο [18].

Το νερό όμως παίζει σημαντικό ρόλο στον σχηματισμό των νεφών, και επειδή έχει μεγάλη διπολική ροπή είναι άριστος διαλύτης των ιόντων. Είναι γνωστό ότι κάθε μεταλλικό ιόν (κατιόν) απαιτεί τουλάχιστον έξι μόρια νερού. Η διάλυση επομένως μεταλλικών ιόντων ενισχύει την πιθανότητα σχηματισμού και διαχωρισμού θετικών φορτίων.

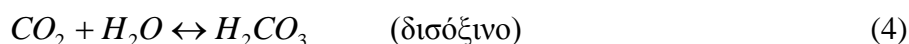
1.4. Το διοξείδιο του άνθρακα, CO_2 [19]

Είναι το δεύτερο σημαντικό αέριο και παράγεται κατά την ανάπτυξη των φυτών, τη διάσπαση της οργανικής μάζας και την καύση του πετρελαίου. Το μεγαλύτερο ποσοστό του άνθρακα βρίσκεται ως ίζημα στον πυθμένα των ωκεανών. Κατά την παραγωγή των φυτών απορροφάται το CO_2 της ατμόσφαιρας και όταν το φυτό αναπτυχθεί, κατά το τέλος της εποχής (φθινόπωρο) εκπέμπει το CO_2 στην ατμόσφαιρα. Για τον λόγο αυτό η αύξηση του CO_2 αποδίδεται μόνο στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Υπάρχουν σαφείς ενδείξεις που αναφέρουν ότι τα τελευταία 35 χρόνια η αναλογία του παραγομένου CO_2 σταθερά αυξάνει στον αέρα. Πιστεύεται δε ότι η αναλογία αυτή από 280 ppmv ανήλθε σε 360 ppmv τα τελευταία 150 χρόνια [20]. Η κύρια αιτία για την αύξηση αυτή αποδίδεται στις εκπομπές από την καύση των πετρελαιοειδών. Το CO_2 είναι αδρανές και δεν αντιδρά εύκολα με άλλες ενώσεις στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να παραμένει για 200 περίπου χρόνια σταθερό. Στο Σχήμα 1.5. δίνεται η μοριακή δομή του διοξειδίου του άνθρακα.



Σχήμα 1.5. Μοριακή δομή του διοξειδίου του άνθρακα

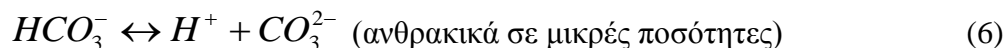
Το διοξείδιο του άνθρακα μειώνεται στην ατμόσφαιρα αν διαλυθεί στο νερό σχηματίζοντας τα ανθρακικά (CO_3^{2-}) και όξινα ανθρακικά (HCO_3^-) ιόντα, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Το ανθρακικό οξύ με την θερμότητα είναι εύκολο να διασπαστεί σε H^+ και όξινο ανθρακικό ιόν:



Το όξινο ανθρακικό ιόν μπορεί να διασπαστεί εύκολα σε H^+ και ανθρακικό ιόν:



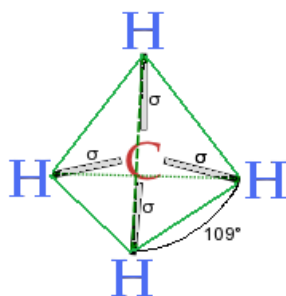
Τα μεταλλικά ιόντα, όπως Na^+ , Ca^{+2} και Mg^{+2} σχηματίζουν τα αντίστοιχα ανθρακικά άλατα:



Οι παραπάνω αντιδράσεις ερμηνεύουν ικανοποιητικά την παρουσία θετικών φορτίων στα νέφη.

1.5. Μεθάνιο, CH_4 [21]

Είναι γνωστό και ως «φυσικό αέριο» παράγεται από τη διάσπαση του άνθρακα των απολιθωμάτων του υπεδάφους ή από τα μεθανογενή βακτήρια του εδάφους. Το μεθάνιο είναι το πρώτο μέλος των υδρογονανθράκων της σειράς C_nH_{2n+2} , όπου $n=1$ (Σχήμα 1.6).



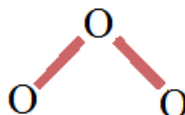
Σχήμα 1.6. Τετραεδρική δομή του μεθανίου

Το μεθάνιο παράγεται επίσης και από την καύση βιομάζας. Το μεθάνιο, όπως και το διοξείδιο του άνθρακα παρουσιάζει αύξηση της αναλογίας στο μίγμα του αέρα και, όπως αναφέρθηκε, η συγκέντρωσή του διπλασιάστηκε τα τελευταία 150 χρόνια. Η μεγάλη αύξηση αποδίδεται στην γρήγορη εκμετάλλευση της Γης και την ταφή των σκουπιδιών με μη επιλεγμένη διαδικασία απορριμμάτων (unsorted waste).

1.6. Όζον, O_3 [22]

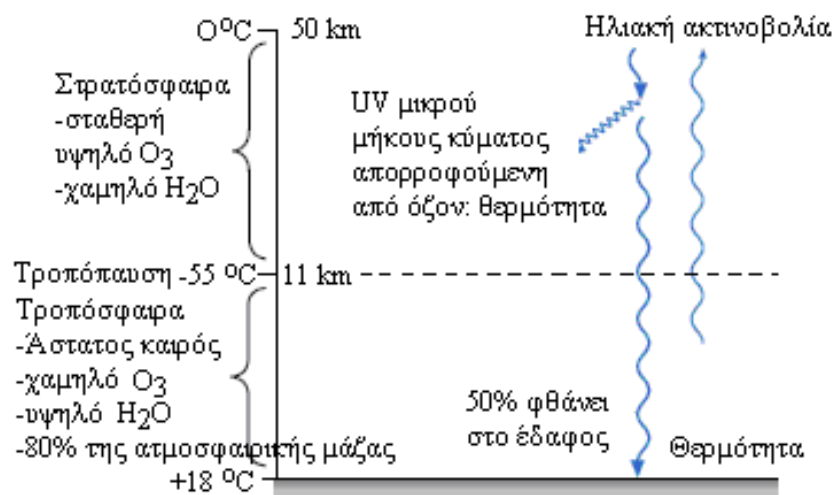
Σχηματίζεται φωτοχημικά κατά τη διαδικασία φωτόλυσης του οξυγόνου και οργανικών αερίων. Η κυριότερη πηγή είναι η φωτόλυση του οξυγόνου από το ηλιακό φως στην ανώτερη περιοχή της ατμόσφαιρας και του διοξειδίου του αζώτου κοντά στον στερεό φλοιό της Γης. Ο ρόλος του όζοντος είναι διαφορετικός στην άπω και εγγύς ατμόσφαιρα, όπου χαρακτηρίζονται ως “καλό” και “κακό” όζον.

Στην στρατόσφαιρα, 25-50 km, το όζον θεωρείται βασική ένωση για την επιβίωση των ζώντων ειδών, μεταξύ των οποίων και ο άνθρωπος. Το “καλό όζον” απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία και αποτρέπει την επίδρασή της στην υγεία του ανθρώπου. Η ζώνη αυτή πιστεύεται ότι δεν υπήρχε με την γένεση του πλανήτη, αλλά σχηματίζεται με την εμφάνιση του οξυγόνου πριν περίπου από 2 δισεκατομμύρια χρόνια. Η παρουσία του οξυγόνου και του όζοντος επέτρεψαν την έξοδο των υδρόβιων ζώων προς την ξηρά και την εμφάνιση της ζωής στην Γη. Η φυσική παραγωγή του όζοντος περιγράφεται με την αντίδραση μεταξύ του μοριακού και ατομικού οξυγόνου:



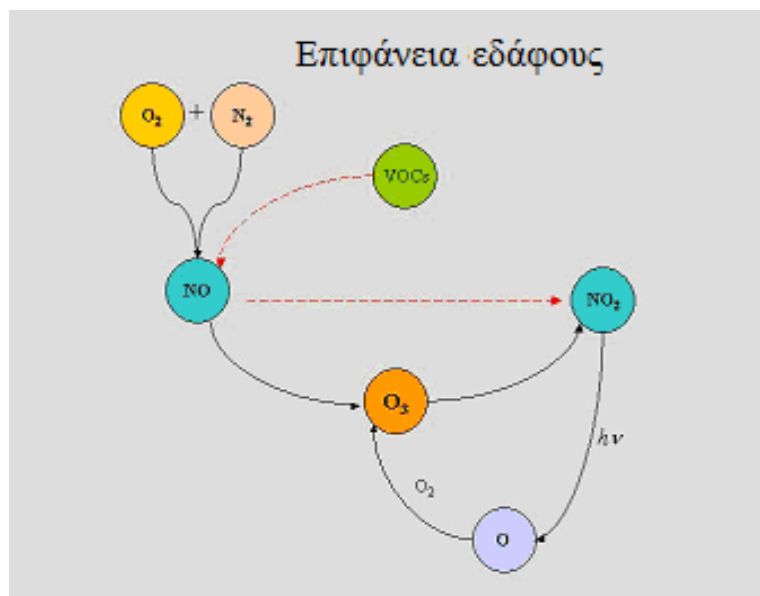
Σχήμα 1.7. Μόριο του όζοντος

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες και ιδιαίτερα οι χλωρο-φθορο-υδρογονάνθρακες (chlorofluorohydrocarbons, CFC) είναι τα βασικά αίτια μείωσης της ζώνης του όζοντος.



Σχήμα 1.8. Δομή της ατμόσφαιρας

Στην περιοχή της κατώτερης ατμόσφαιρας, 0-10 km, χαρακτηρίζεται, όπως και η τροπόσφαιρα, ως ζώνη επιφανειακού όζοντος (Ground Level Ozone, GLO). Η ζώνη αυτή, γνωστή ως “κακό όζον”, επειδή είναι κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, επιδρά τοξικά στον άνθρωπο. Το όζον είναι το σπουδαιότερο φωτοχημικό οξειδωτικό της τροπόσφαιρας. Παράγεται από την φωτοδιάσπαση των ρύπων, όπως τα οξείδια του αζώτου NO_x και οι πτητικοί υδρογονάνθρακες (Σχήμα 1.9). Υψηλές εκπομπές NO_x, οδηγούν σε ικανές συγκεντρώσεις των NO, O₃ τα οποία “ανταγωνίζονται” τα φωτοχημικά προϊόντα με αποτέλεσμα στις κατοικημένες περιοχές να μειώνεται η συγκέντρωσή τους και να επιβαρύνονται οι αγροτικές περιοχές. Από την άλλη πλευρά, το όζον μεταφέρεται σε μακρινές αποστάσεις στην ατμόσφαιρα και δημιουργεί πρόβλημα στις γειτνιάζουσες περιοχές. Αποτέλεσμα αυτής της φωτοχημικής αντίδρασης είναι η εποχιακή και τοπική αύξηση της συγκέντρωσης του όζοντος με μέγιστες συγκεντρώσεις κατά τις απογευματινές ώρες του καλοκαιριού. Τα οχήματα και οι βιομηχανικές μονάδες είναι πηγές εκπομπής διαφόρων χημικών μιγμάτων, όπως οξείδια του αζώτου και VOCs που δρουν ως καταλύτες στην παραγωγή του όζοντος [23].



Σχήμα 1.9. Σχηματισμός επιφανειακού όζοντος

Ένα απλουστευμένο σχήμα αντιδράσεων μετατροπής των NO_x , VOCs και όζοντος δόθηκε από τον Venkatram και τους συνεργάτες του το 1994 και είναι γνωστό ως Ομάδα Γενικών Αντιδράσεων (Generic Reaction Set, GRS) [23]. Είναι ένα ημιεμπειρικό φωτοχημικό πρότυπο όπου απλοποιούνται οι πολύπλοκες αντιδράσεις των ελευθέρων ριζών και συμμετέχουν τα οξειδία του αζώτου και του όζοντος (NO , NO_2 , O_3) και αρκετοί υδρογονάνθρακες, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.2.

Πίνακας 1.2. Εμπειρικός σχηματισμός όζοντος

$H_2O + h\nu$	\rightarrow	HO_x^\cdot (ελεύθερες ρίζες) + H , όπου $x=1,2$
$HO_x + NO$	\rightarrow	$NO_2 + HO^\cdot$
$NO_2 + h\nu$	\rightarrow	$NO + O_3$
$NO + O_3$	\rightarrow	$NO_2 + O$
$HO_x + NO_2$	\rightarrow	Προϊόντα (NO_x)
$HO_x + NO_2$	\rightarrow	Προϊόντα (HNO_3 , NO_2^- , NO_3^-)

Εκείνο όμως που ενδιαφέρει τους επιστήμονες και όσους χαράζουν την πολιτική για την αντιμετώπιση του όζοντος είναι το όζον που παράγεται από τα οχήματα με μέγιστες τιμές στις θερμές περιόδους του καλοκαιριού. Υπάρχουν ενδείξεις όπου τα επίπεδα του όζοντος αν και μπορεί να έχουν κατώτερες τιμές από “καλοκαιρινή αιθαλομίχλη”, όμως προκαλούν σημαντικές βλάβες στην υγεία.

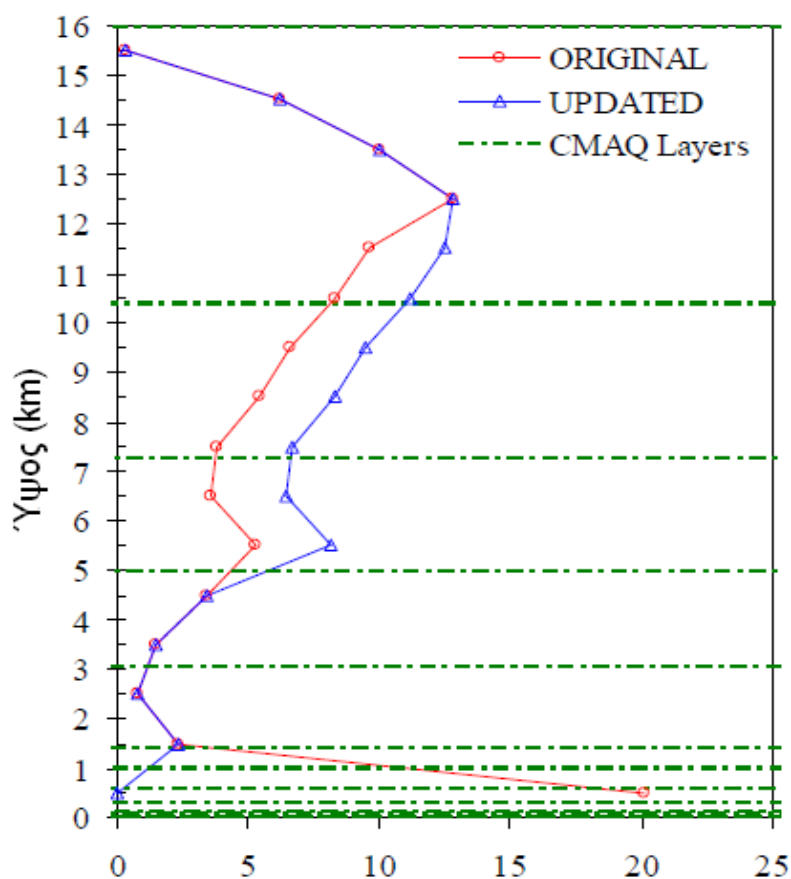
1.7. Οξείδια του αζώτου, NO_x [24]

Το άζωτο με το οξυγόνο σχηματίζει έναν μεγάλο αριθμό οξειδίων. Στην ατμόσφαιρα επικρατούν κυρίως το διοξείδιο (NO_2) και το οξείδιο (NO). Και τα δύο είναι αρκετά τοξικά. Το διοξείδιο του αζώτου είναι αρκετά δραστικό και διαβρωτικό. Παράγεται κατά την καύση της κηροζίνης, φούρνους και θερμάστρες αερίου, τσιγάρα, κ.ά. Μπορεί να γίνει αντιληπτό από το καφε-κόκκινο χρώμα του και δεν είναι εύφλεκτο. Στους 11,2 °C γίνεται άχρωμο στερεό, και μεταβαλλόμενης της θερμοκρασίας βρίσκεται σε ισορροπία με άλλα οξείδια του αζώτου. Επίσης παράγεται ως ενδιάμεσο προϊόν κατά την οξείδωση της αμμωνίας σε νιτρικό οξύ.

Μεγάλες ποσότητες οξειδίων του αζώτου προέρχονται όχι μόνο από ανθρωπογενείς επιδράσεις αλλά και από το πλαγκτόν (ελληνική λέξη που σημαίνει περιπλάνηση) των ωκεανών. Την παρουσία οξειδίων του αζώτου αλλά και την αύξηση της δημιουργία οξειδίων παρατήρησαν οι B. Kaynak et al [25]. Σύμφωνα με την μελέτη τους η μεταβολή των οξειδίων του αζώτου, λόγω των ηλεκτρικών εκκενώσεων, αυξάνει σημαντικά στην ατμόσφαιρα ενώ μειώνεται σταδιακά με αύξηση του ύψους (Σχήμα 1.10.). Σύμφωνα με τα δεδομένα τους το 30% της ετήσιας μάζας των NO_x του 2004 παράχθηκε κατά το χρονικό διάστημα Ιούλιος – Αύγουστος του 2004. Εμείς όμως γνωρίζουμε ότι τα ποσοστά αυτά είναι απολύτως αναμενόμενα καθώς τους καλοκαιρινούς μήνες η ηλιακή ακτινοβολία είναι έντονη με αποτέλεσμα να ιοντίζει τα μόρια αμμωνίας και οξυγόνου. Η εργασία των B. Kaynak et al. υποστηρίζει ότι το αποτέλεσμα των κεραυνών είναι τα NO_x . Αντίθετα εμείς ισχυριζόμαστε ότι η υψηλή συγκέντρωση των NO_x είναι και το αίτιο δημιουργίας εντονότερων ηλεκτρικών εκκενώσεων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, δεδομένου ότι παράγουν περισσότερο όζον.

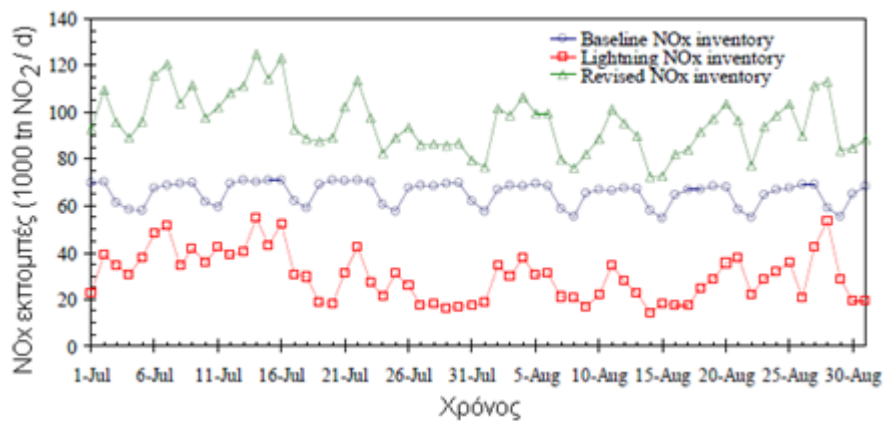
Η παρατηρούμενη όμως σταδιακή αύξηση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας και η παραγωγή οξειδίων του αζώτου συντηρεί τον κύκλο των αντιδράσεων του Πίνακα 2, με αποτέλεσμα την μεταφορά φορτίων, τα οποία επειδή βρίσκονται σε ενυδατωμένο περιβάλλον

ενισχύουν τις εκκενώσεις. Η άποψή μας ενισχύεται και από το γεγονός ότι όταν οι Kaynak et al. κατέγραψαν το μέγιστο ποσοστό παραγωγής NO_x κατά τον κεραυνό (42 ppbv) το όζον είχε την μικρότερη συγκέντρωση, γεγονός που δείχνει ότι δεν ήταν εύκολη η αντίδραση μετατροπής (Πίνακας 2) λόγω είτε μικρής ηλιοφάνειας ή περισσότερων ρύπων στην ατμόσφαιρα.



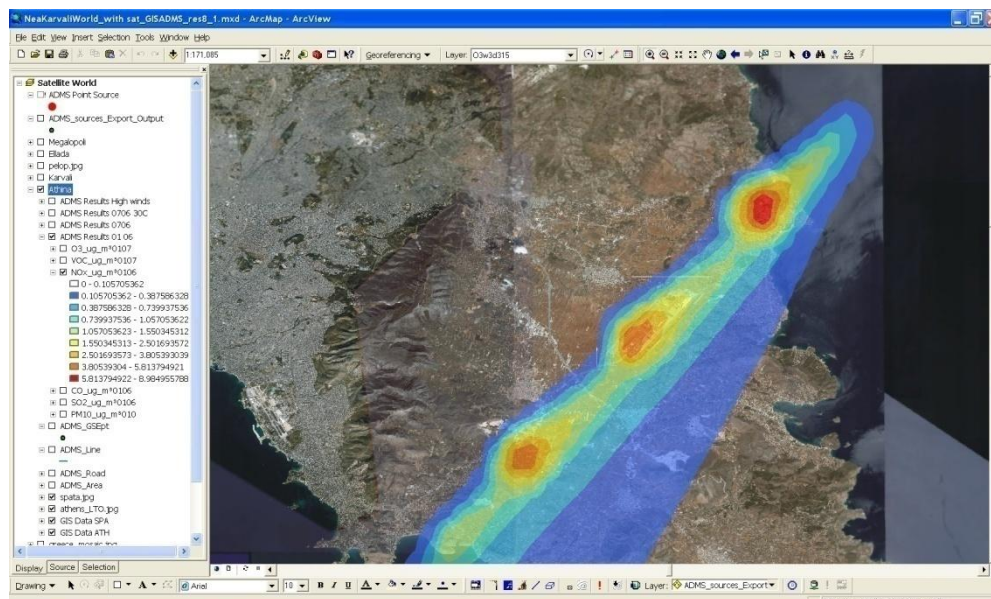
Σχήμα 1.10. Επί % ολική μάζα N που παράγεται κατά τις εκκενώσεις [25]

Το Σχήμα 1.11. δείχνει την κατανομή της παραγωγής οξειδίων του αζώτου σε tn κατά την διάρκεια της ημέρας για το διάστημα Ιούλιος-Αύγουστος 2004.



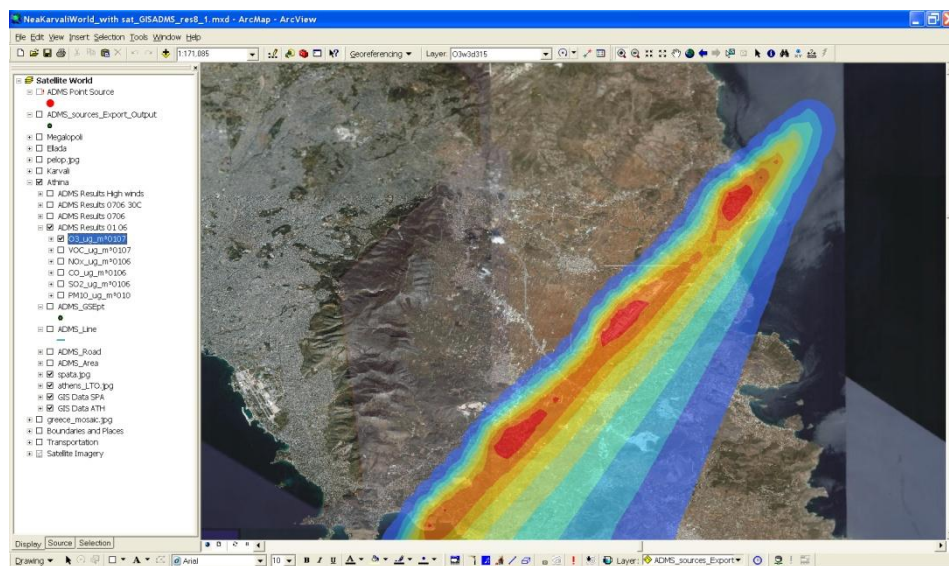
Σχήμα 1.11. Διακύμανση των NO_x (tn/d) για το διάστημα Ιούλιος-Αύγουστος 2004. 1: Διορθωμένες τιμές, 2: σημεία αναφοράς και 3: παραγωγή κατά τις ηλεκτρικές εκκενώσεις.[25]

Η κατανομή αυτή δείχνει τις ίδιες περίπου διακυμάνσεις διασποράς οξειδίων του αζώτου, όπως υπολογίσθηκαν πάνω από το Αεροδρόμιο Ελ. Βενιζέλος της Αθήνας. Στο Σχήμα 1.12. φαίνεται η διασπορά των NO_x πάνω από το Αεροδρόμιο Ελ. Βενιζέλος της Αθήνας, όπως προέκυψε από πραγματικές μετρήσεις εκπομπών με πρόγραμμα προσομοίωσης EDMS (Emission Dispersion and Modeling System) [26-28].



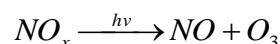
Σχήμα1.12. Διασπορά των ρύπων NO_x στο Ελ. Βενιζέλος

Η αναλογία διατηρείται και στην παραγωγή όζοντος, σε συμφωνία με τα δεδομένα του Πίνακα 2 (Σχήμα 1.13.).



Σχήμα 1.13. Επιφανειακή διασπορά του όζοντος (O_3) στο αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος

Η αύξηση του όζοντος κατά την θερινή περίοδο ευνοείται από την ηλιοφάνεια, μέσω της οποίας, τα οξειδία του αζώτου που παράγονται από την κίνηση κυρίως των τροχοφόρων, διασπώνται σύμφωνα με την αντίδραση:



Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις όζοντος παρατηρούνται κατά τις πρώτες απογευματινές ώρες, όπου η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι υψηλότερη.

1.8. Οξείδια του θείου, SO_x [29]

Τα οξείδια του θείου είναι ενώσεις του θείου με οξυγόνο. Το διοξείδιο του θείου (SO_2) είναι το συχνότερα απαντώμενο στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Είναι άχρωμο αλλά μπορεί να ανιχνευθεί από την γεύση και την οσμή σε συγκεντρώσεις μεταξύ 1000-3000 $\mu g/m^3$. Διαλύεται εύκολα στο νερό. Βρίσκεται στα περισσότερα ορυκτά, συμπεριλαμβανομένου του αργού πετρελαίου, κάρβουνο, σε μεταλλεύματα αλουμινίου, χαλκού, ψευδαργύρου, μολύβδου και σιδήρου. Τα οξείδια του θείου (SO_x) σχηματίζονται όταν τα καύσιμα περιέχουν θείο.

Επίσης το πλαγκτόν κυρίως των ωκεανών περιέχει μεγάλες ποσότητες οξειδίων του θείου, το οποίο μέσα από τα μεγάλα κύματα και τον άνεμο μεταφέρονται σε μεγάλες

αποστάσεις. Έτσι η ατμόσφαιρα εμπλουτίζεται σε αρνητικά φορτία από τα θειϊκά ιόντα (SO_4^{-2}).

Αλλά και στο έδαφος υπάρχουν ανόργανα θειϊκά ιόντα πολλά από τα οποία προέρχονται από τον γύψο (CaSO_4). Ο εμπλουτισμός επομένως της ατμόσφαιρας από θειϊκά άλατα, τα οποία διίστανται σε ιόντα (ηλεκτρικά φορτία), συμβάλλει στην αύξηση των ηλεκτρικών φορτίων.

Το διοξείδιο του θείου οξειδώνεται σε τριοξείδιο (SO_3), σύμφωνα με την αντίδραση:



Το τριοξείδιο του θείου αντιδρά με το νερό και μετατρέπεται σε θειικό οξύ:



Ως θειικό οξύ αντιδρά εύκολα με μεταλλικά ιόντα και αιωρούμενα σωματίδια στον αέρα. Το θειικό οξύ προσδίδει την όξινη βροχή.

1.9. Πτητικές οργανικές ενώσεις και υδρογονάνθρακες, VOCs [30]

Τα VOCs (Volatile Organic Compounds) είναι οργανικές πτητικές ενώσεις με υψηλή πίεση ατμών που στις συνθήκες κίνησης θερμοκρασίας και πίεσης μπορούν εύκολα να απελευθερωθούν. Ο όρος αποδίδεται ευρύτερα στις οργανικές αρωματικές ενώσεις, όπως βενζόλιο, τολουόλιο, αιθυλοβενζόλιο, m-, p- και o-ξυλένιο, οργανικοί διαλύτες, αεροζόλ, καύσιμα (βενζίνη, κηροσίμη), αποστάγματα πετρελαίου. Τα VOCs εκπέμπονται επίσης από έναν μεγάλο αριθμό φυτών και δέντρων. Αρκετά VOCs είναι εύφλεκτα. Τα VOCs μπορούν να απομακρυνθούν με ειδικά φίλτρα, όπως δραστικοποιώντας διάφορους ξυλάνθρακες που απορροφούν οργανικές ενώσεις.

Τα VOCs, συμμετέχουν στον σχηματισμό φωτοχημικής αιθάλης. Μερικά από αυτά, όπως ο μεθυλ τριβουτυλικός αιθέρας που είναι πρόσθετο της βενζίνης, είναι αρκετά ευδιάλυτα στο νερό. Επίσης, αν συμπυκνωθούν μπορούν να σχηματίσουν αιωρούμενα σωματίδια.

Τα VOCs και οι ενώσεις του καρβονυλίου (CO , CO_2 , CH_2O) είναι οι κύριοι οργανικοί ρυπαντές της ατμόσφαιρας. Ο

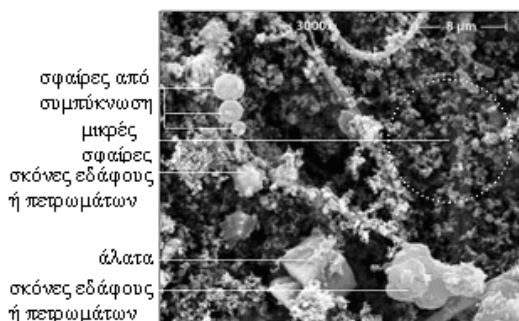
Πίνακας 1.3. περιλαμβάνει μερικά από τα συνήθη VOCs.

Πίνακας 1.3. Κατάταξη μερικών οργανικών πτητικών ενώσεων

Πτητικοί υδρογονάνθρακες			
Αρωματικοί	Αλειφατικοί	Μη-αρωματικοί	Άλλα
Ακόρεστοι Επίπεδη διαμόρφωση Κυκλικοί Οσμηροί	Κορεσμένοι Τετραεδρική διαμόρφωση Αλειφατικοί ή κυκλικοί	Ακόρεστοι Με ανοιχτή αλυσίδα Μη κυκλικοί	
Παραδείγματα: βενζόλιο	Προϊόντα υδρογόνωσης	Ωμέγα-3	Υγρές φορμαλδεΰδες

1.10. Αιωρούμενα σωματίδια, *Particulate Matter, PM* [31]

Ο όρος αιωρούμενα σωματίδια (PM) χρησιμοποιείται για να ορίσει τα στερεά σωματίδια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα, όπως, χώμα, σκόνη, καπνός ή υγρές σταγόνες. Τα σωματίδια αυτά ποικίλουν ως προς το μέγεθος, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.14.

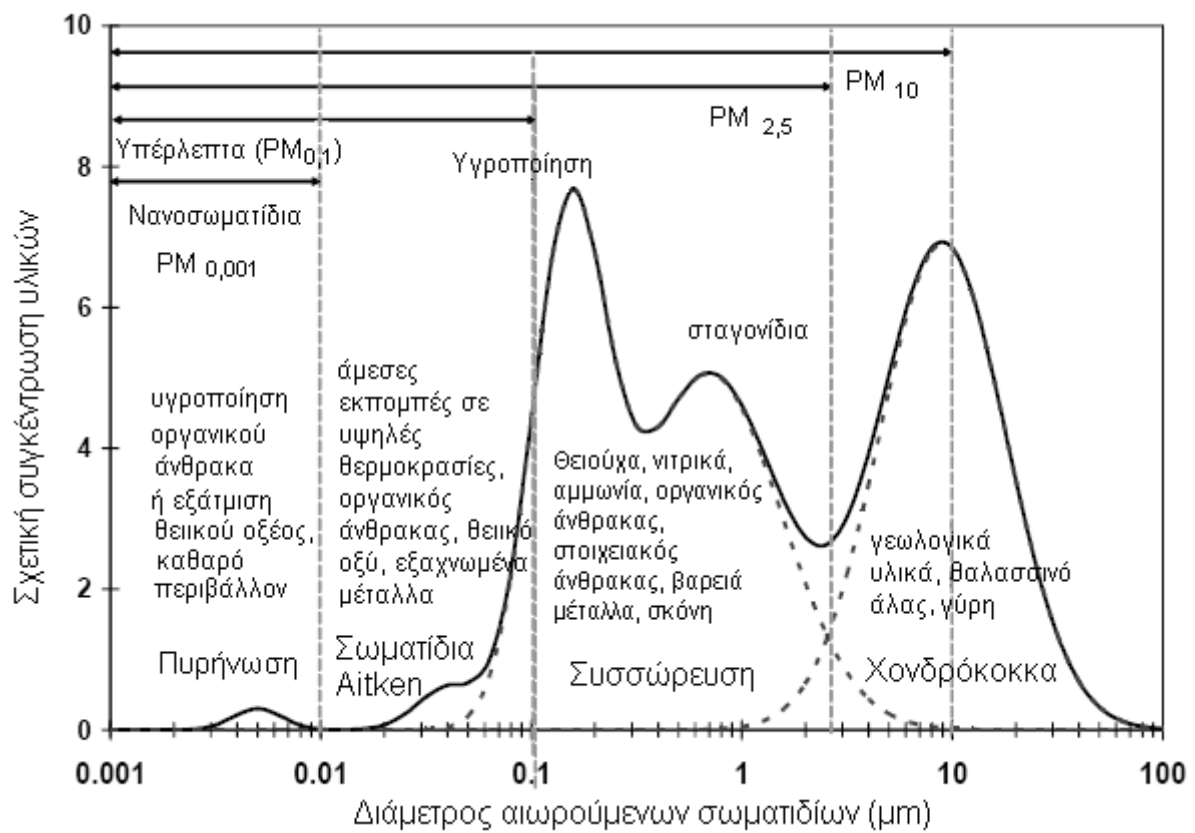


Σχήμα 1.14. Μικρογραφία μεγέθους των PM

Η κατάταξη των αιωρούμενων σωματιδίων γίνεται με βάση την αεροδυναμική διάμετρο, επειδή η διάμετρος αποτελεί έναν καλό δείκτη συσχέτισης μεγέθους και εναπόθεσης στο αναπνευστικό σύστημα [32].

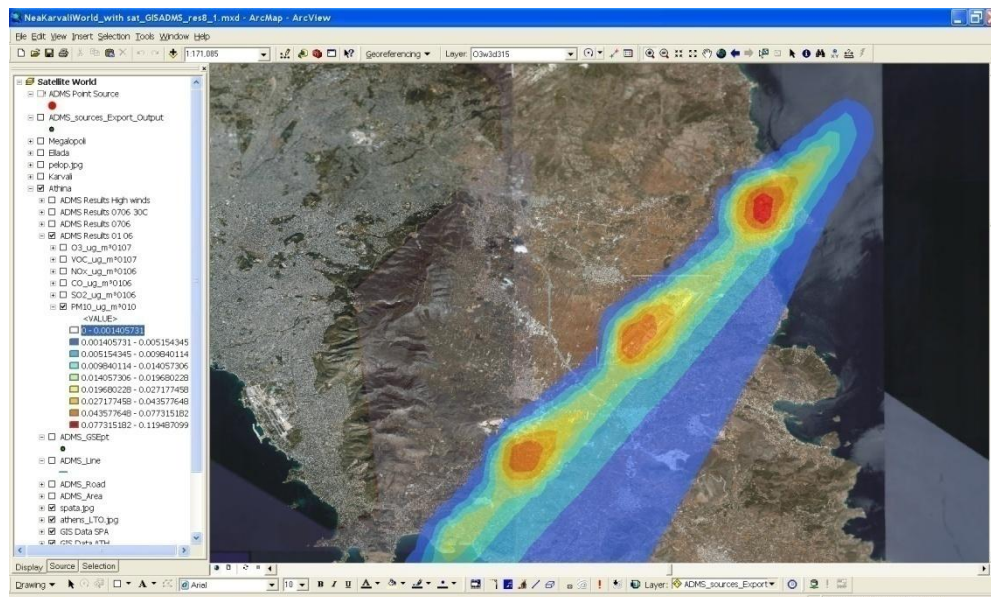
Οι αιωρούμενοι αστικοί ρύποι με βάση το μέγεθος κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες: *Χονδρόκοκα* (PM_{10} : 2.5 μm - 10 μm), *λεπτά* ($PM_{2.5}$: 1 μm - 2.5 μm) και *υπέρλεπτα* ($PM_{0.1}$: < 0.1 μm), όπως φαίνονται στο Σχήμα 1.11. Τα χονδρόκοκα, PM (PM_{10}), είναι σκόινες από χώμα ή θαλασσινό άλας, κ.ά.. Τα λεπτά PM προκύπτουν κυρίως από εκπομπές SO_2 , NO_x και συμπυκνωμένων VOCs. Τα υπέρλεπτα PM ($PM_{0.1}$) είναι

νανοσωματίδια, που προέρχονται από την συμπύκνωση οργανικού άνθρακα ή την εξάτμιση του θειϊκού οξέος.



Σχήμα 1.25. Κατάταξη των PM με βάση τη διάμετρο

Στο Σχήμα 1.16. δίνεται η προσομοίωση διασποράς ρύπων PM_{10} στο Αεροδρόμιο Ελ. Βενιζέλος των Αθηνών.



Σχήμα 1.16. Προσομοίωση της διασποράς των ρύπων *PM10* στο Ελ. Βενιζέλος

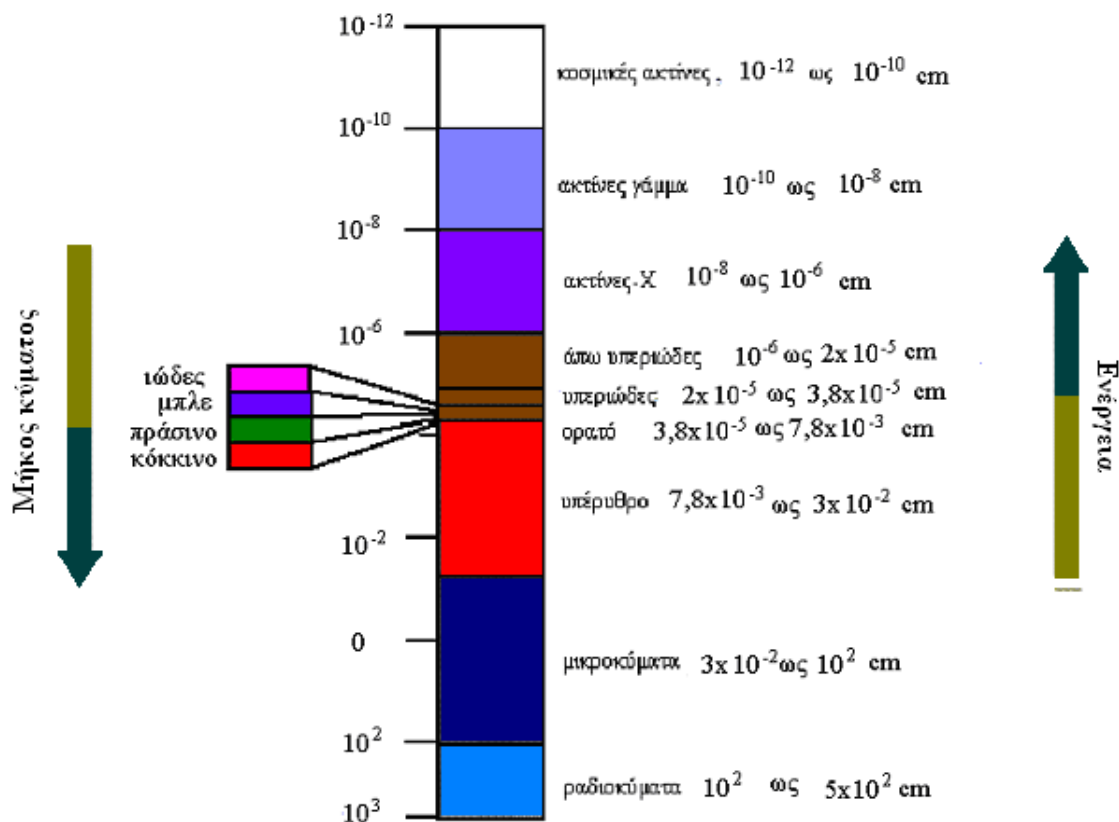
Γενικά, σε μια παραθαλάσσια περιοχή έχει διαπιστωθεί ότι οι ρύποι μεταφέρονται από την ξηρά προς την θάλασσα με βόρειους ανέμους. Η υγρασία της θάλασσας βοηθά την ενυδάτωση των ρύπων και επομένως, την βροχόπτωση ή την αύξηση των ιόντων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΙΤΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΙΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

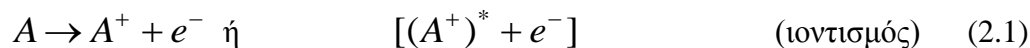
2.1.1. Κοσμική Ακτινοβολία

Η κοσμική ακτινοβολία που φθάνει από τον ήλιο στην Γη αποτελεί ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαφόρων συχνοτήτων. Οι συχνότητες που περιλαμβάνει εκτείνονται από τις ακτίνες γ μέχρι τα ραδιοκύματα (Σχήμα 2.1.)



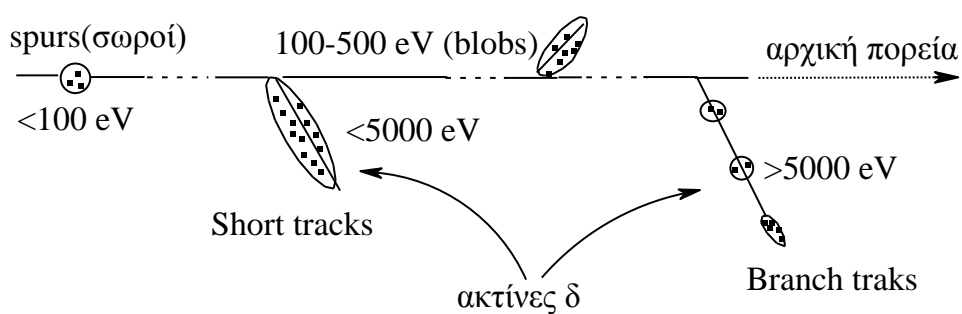
Σχήμα 2.1. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα προερχόμενο από τις κοσμικές ακτινοβολίες [33]

Οι συχνότητες των ακτίνων γ και X επειδή χαρακτηρίζονται από υψηλή ενέργεια καλούνται και ιοντίζουσες ακτινοβολίες. Αυτό σημαίνει ότι αν προσπέσουν πάνω στην ύλη θα προκαλέσουν ιοντισμούς σύμφωνα με τις γενικές αντιδράσεις:



Σχήμα 2.2. Επίδραση των ακτινοβολιών στην σχάση των χημικών δεσμών και παραγωγή ιόντων

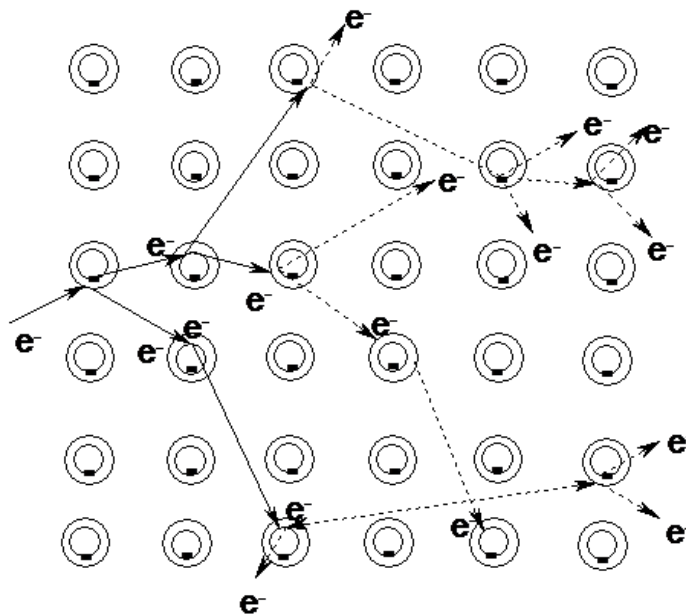
Γενικά, όταν οι ιοντίζουσες ακτινοβολίες προσπέσουν στην ύλη χάνουν την ενέργειά τους, ενώ συγχρόνως παράγονται χαμηλής ενέργειας θετικά ιοντισμένα άτομα ή μόρια και ηλεκτρόνια με αρκετά υψηλή ενέργεια. Με τον τρόπο αυτό παράγονται 2×10^4 ηλεκτρόνια χαμηλής ενέργειας και θετικά ιόντα [34].



Σχήμα 2.3. Σχηματισμοί ιόντων και μεταφορά στην ύλη

Τα παραγόμενα ηλεκτρόνια και ιόντα σχηματίζουν σωρούς που έχουν διαφορετικά μεγέθη (Σχήμα 2.3). Οι σωροί μπορούν να αποτελούνται από ένα μόνο ιοντισμένο μόριο, αλλά και από πολλά κατιόντα και ηλεκτρόνια καθώς και έναν αριθμό διηγερμένων μορίων.

Επίσης, τα παραγόμενα ηλεκτρόνια μπορούν να ιοντίζουν και άλλα μόρια της ατμόσφαιρας και επομένως ο ιοντισμός να φθάσει σε άλλες αποστάσεις (Σχήμα 2.4).



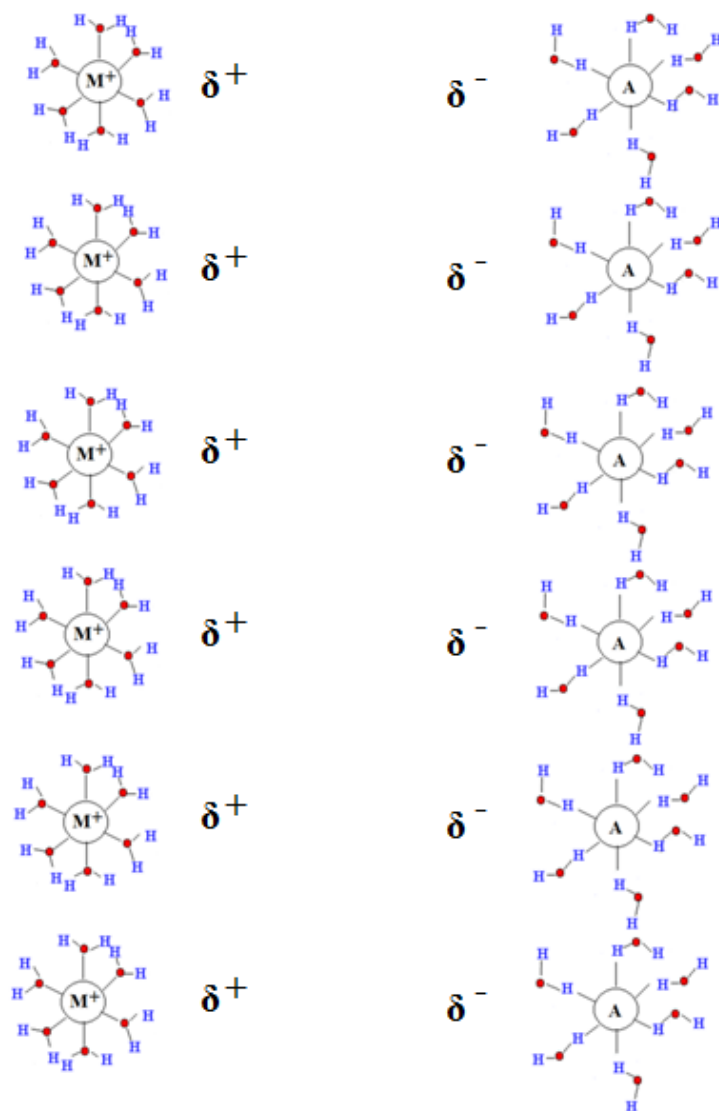
Σχήμα 2.4. Συνεχής παραγωγή ιόντων από δευτερογενή ηλεκτρόνια [34]

Η διαδικασία αυτή ερμηνεύει την δημιουργία ιόντων στην ατμόσφαιρα. Αν η ακτινοβολία προσπέσει σε ένα σύννεφο το οποίο είναι πλούσιο σε μόρια νερού και ρύπους, τότε το νερό ιοντίζεται και δίνει θετικά ιόντα νερού και ηλεκτρόνια. Επειδή κατά την διάσπαση τα ιόντα έχουν αρκετή ενέργεια ιοντίζουν με την σειρά τους ρύπους που βρίσκονται στο νέφος αυξάνοντας έτσι την πυκνότητα των ιόντων και κατά συνέπεια των ηλεκτρικών φορτίων.

Επομένως η παρατηρούμενη κατά τα τελευταία χρόνια αύξηση των ηλεκτρικών εκκενώσεων συνδέεται και με την αύξηση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας.

2.1.2. Διάλυση αιωρούμενων αλάτων

Το νερό ως υγρό, λόγω της διπολικής ροπής που εμφανίζει, είναι άριστος διαλύτης σχεδόν όλων των αιωρούμενων στην ατμόσφαιρα χημικών ενώσεων. Λόγω της διάστασης των χημικών ενώσεων κατά την διάλυσή τους γίνεται διαχωρισμός των ενυδατωμένων πλέον ιόντων με αποτέλεσμα τα αρνητικά ιόντα να τείνουν λόγω απόστασης να απομακρυνθούν από τα θετικά.



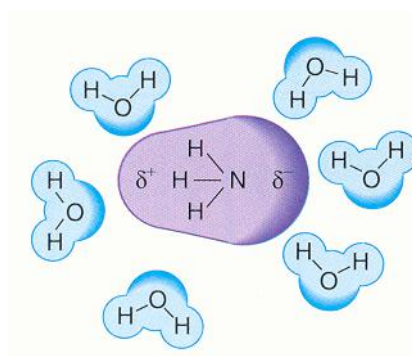
Σχήμα 2.5. Ιοντικά δίπολα που σχηματίζουν τα άλατα στην ατμόσφαιρα. Τα μεταλλικά ιόντα φέρουν θετικό φορτίο, ενώ τα ανιόντα αρνητικό. Η παρουσία του νερού ανάμεσά τους αυξάνει την απόσταση του διπόλου.

Επειδή, συνήθως, τα ανιόντα (αρνητικό φορτίο) έχουν μεγαλύτερη μάζα θα μπορούσε να δεχθεί κανείς ότι με την επίδραση των ροών του αέρα και της βαρύτητας τείνουν να διαχωρισθούν από τα κατιόντα (θετικό φορτίο), οπότε το πάνω μέρος του νέφους να αποκτήσει θετικό φορτίο και το κάτω μέρος του να φορτιστεί αρνητικά.

Τα ανόργανα συστατικά της ατμόσφαιρα, όπως είναι το χλωριούχο νάτριο ή τα αιωρούμενα σωματίδια, όταν έρθουν σε επαφή με τα μόρια του νερού στα νέφη, τότε διίστανται και σχηματίζουν ιοντικά δίπολα (Σχήμα 2.5.).

2.1.3. Διάλυση μορίων

Επίσης, δίπολα μπορούν να σχηματίσουν και τα ενυδατωμένα μόρια. Για παράδειγμα ένα μόριο αμμωνίας όταν ενυδατώνεται μετατρέπεται σε δίπολο (Σχήμα 2.6). Επειδή τα άτομα υδρογόνου της αμμωνίας κατά την ενυδάτωση ως περισσότερο θετικά συνδέονται με το άτομο του οξυγόνου που είναι αρνητικό, το άτομο του αζώτου καθίσταται περισσότερο αρνητικό. Για τον ίδιο λόγο και το άτομο του υδρογόνου του μορίου του νερού γίνεται περισσότερο θετικό. Με τον τρόπο αυτό σχηματίζεται ένα περισσότερο ισχυρό δίπολο, ενώ η απόσταση αυξάνει σημαντικά [35].



Σχήμα 2.6. Σχηματισμός μοριακού διπόλου λόγω ενυδάτωσης του μορίου της αμμωνίας. Τα άτομα υδρογόνου της αμμωνίας σχηματίζουν δίπολο με τα μόρια του νερού.

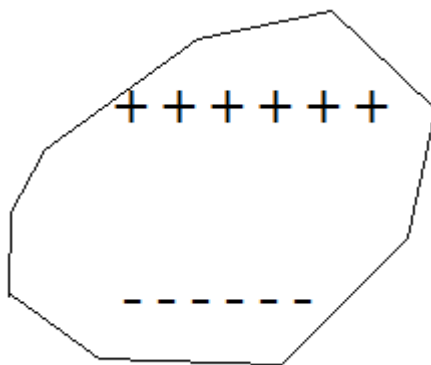
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΚΕΡΑΥΝΟΙ

3.1.1. Χαρακτηριστικά μιας καταιγίδας

Για την προέλευση των ηλεκτρικών φορτίων τα οποία σχηματίζουν τον κεραυνό δεν υπάρχουν σαφείς απόψεις [36]. Παρ' όλα αυτά όλοι δέχονται ότι η παρουσία του νερού παίζει σημαντικό ρόλο στην εκδήλωσή του. Αυτό είναι αναμενόμενο, αφού όπως προαναφέρθηκε, τα μόρια του νερού εμφανίζουν διπολική ροπή με το άτομο του οξυγόνου να είναι αρνητικά φορτισμένο, ενώ τα άτομα του υδρογόνου έχουν θετικό φορτίο.

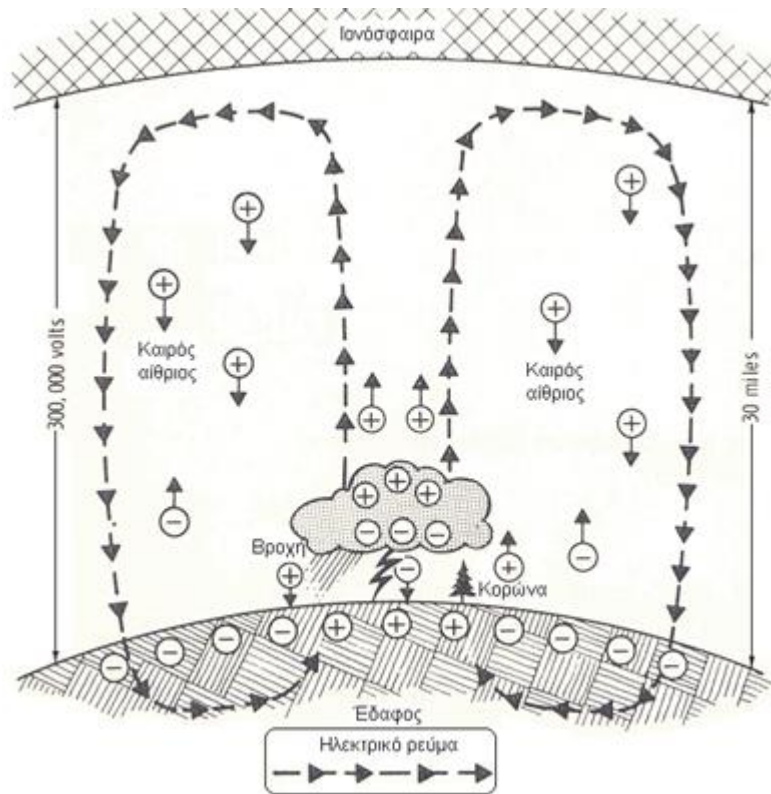
Το νερό ως πάγος μπορεί να θεωρηθεί ως αιωρούμενο σωματίδιο μέσα σε ένα σύννεφο (υδροαιωρούμενα, hydrometeors). Στην πράξη τα μόρια του νερού δεν παραμένουν στάσιμα ως πάγος, αλλά αυξανόμενης της συγκέντρωσης αυξάνει και η πιθανότητα αλληλοσύγκρουσης, με αποτέλεσμα την σχάση του δεσμού υδρογόνου ως στερεού σώματος μετατρεπόμενο τελικά σε υγρό. Τελικά, το σύννεφο πρέπει για λόγους ισορροπίας φορτίων να φέρει τον ίδιο αριθμό θετικών και αρνητικών φορτίων (Σχήμα 3.1.).



Σχήμα 3.1. Διευθέτηση των ηλεκτρικών φορτίων με βάση την βαρύτητα [36]

Λόγω όμως της διαλυτότητας των ιόντων αυτά διευθετούνται (Σχήμα 3.1.) με τα αρνητικά φορτία προς τα κάτω, δεδομένου ότι, όπως προαναφέρθηκε τα ανιόντα συνήθως έχουν μεγαλύτερη μάζα. Έτσι, μεταξύ σύννεφου και γης αναπτύσσεται ηλεκτρικό πεδίο, οπότε οι δυναμικές γραμμές καταλήγουν σε επαγόμενα φορτία αντίθετης πολικότητας [36].

Οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν κυρίως στην περιοχή της ιονόσφαιρας μεταφέρουν τα ιόντα προς το έδαφος και αντίστροφα (Σχήμα 1.8.), διατηρώντας τα φορτία σε κίνηση με αποτέλεσμα να λειτουργούν ως μπαταρίες (Σχήμα 3.2.).



Σχήμα 3.2. Διατήρηση των θετικών και αρνητικών φορτίων μεταξύ νέφους και εδάφους αντίστοιχα [37].

Αυτή η διαχώριση του φορτίου παράγει τεράστιες δυνητικά ποσότητες ηλεκτρισμού μέσα στο σύννεφο και μεταξύ νέφους και γης. Αυτό υπολογίζεται σε χιλιάδες Volts και τελικά η διηλεκτρική αντίσταση του αέρα σπάει και αρχίζει η αστραπή. Ο κεραυνός είναι η ηλεκτρική εκκένωση μεταξύ των θετικά και αρνητικά φορτισμένων περιοχών του σύννεφου.

Μια αστραπή απαρτίζεται από μια σειρά χτυπημάτων με μέσο όρο τα τέσσερα χτυπήματα. Το μήκος και η διάρκεια κάθε κτυπήματος κεραυνού ποικίλει αλλά τυπικά έχει ένα μέσο όρο των 30μsec. Ο μέσος όρος κορυφής ανά χτύπημα κεραυνού είναι 10^{12} Watts.

3.1.2. Σύννεφα και βροχή

Ο βαρύν υγρός αέρας όταν θερμανθεί από την ηλιακή ακτινοβολία αρχίζει να ανέρχεται, λόγω μείωσης της πυκνότητας. Δεδομένου ότι ο θερμός αέρας ή οι φουσαλίδες μεταφέρονται σε υψηλότερα τμήματα της ατμόσφαιρας, όπου η ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία είναι μειωμένες, οι φουσαλίδες ψύχονται με αποτέλεσμα να συμπυκνώνονται

και να δημιουργούν σύννεφα. Επειδή, τα σύννεφα έχουν μικρότερη θερμοκρασία συνεπάγεται ότι ένα επί πλέον ποσοστό των ατμών του νερού θα συμπυκνωθεί. Αποτέλεσμα αυτής της συμπύκνωσης είναι η αύξηση του μεγέθους του νέφους, οπότε, αν γίνει αρκετά μεγάλο και βαρύ, τα ρεύματα αέρα που δημιουργούνται μέσα στο σύννεφο δεν μπορούν να το συγκρατήσουν. Τελικά τα σταγονίδια νερού πέφτουν ως βροχή.

3.1.3. Χαλάζι (Hail)

Ρεύματα αέρα στο σωρομεταλίο (thundercloud) μπορεί να είναι πολύ δυνατά. Ακόμα και όταν δεν δημιουργείται κεραυνός, μικροί σβόλοι πάγου μπορούν να αυξηθούν από τη συσσώρευση υγρών σταγονιδίων. Όταν δυνατά ρεύματα αέρα έχουν φορά προς τα πάνω μπορούν να διατηρούν τους σβόλους πάγου αιωρούμενους για αρκετό χρονικό διάστημα επιτρέποντάς τους να μεγαλώσουν ακόμα περισσότερο. Μερικοί σβόλοι μπορεί να γίνουν τόσο μεγάλοι, ώστε τα αέρια ρεύματα να μην μπορούν πλέον να τα συγκρατούν στον αέρα με αποτέλεσμα αυτά να πέφτουν ως χαλάζι. Οι τυπικές διαμέτροι του χαλαζιού κυμαίνονται μεταξύ 5 και 10 mm.

3.1.4. Τύποι εκκενώσεων του κεραυνού

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι εκκένωσης κεραυνών είναι οι εξής:

ι. Κεραυνός μεταξύ νέφους και γης

Ο κεραυνός ο οποίος αναπτύσσεται μεταξύ νέφους και Γης είναι ο πιο καταστροφικός και επικίνδυνος. Αν και δεν είναι ο πιο κοινός, γίνεται όμως καλύτερα αντιληπτός. Οι περισσότερες αστραπές προέρχονται από το κατώτερο και αρνητικά φορτισμένο μέρος του νέφους και μεταφέρουν το αρνητικό φορτίο στη γη. Οι θετικά φορτισμένες αστραπές συμβαίνουν συχνά κατά τη διάρκεια εκφυλισμού του φορτίου της ηλεκτρικής καταιγίδας. Θετικά φορτισμένες αστραπές είναι ακόμα περισσότερο συχνές ως ποσοστό των συνολικά κεραυνών που χτυπούν τη γη τους χειμερινούς μήνες.

Ως αστραπή μπορεί να οριστεί η μεταφορά μιας υψηλού ρεύματος ηλεκτρικής εκκένωσης της οποίας η διαδρομή ανέρχεται σε km [37]. Η αστραπή εκδηλώνεται όταν σε

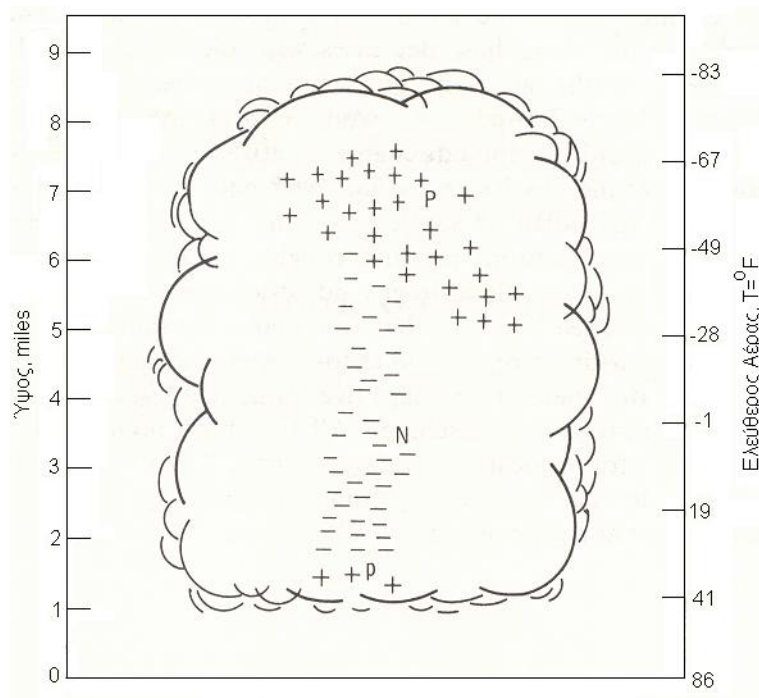
μια περιοχή της ατμόσφαιρας, που έχει αποκτήσει ένα κρίσιμο ηλεκτρικό φορτίο, οπότε αλληλεπιδρά με το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και προκαλεί ηλεκτρική εκκένωση στον αέρα.

Το σύννεφο καταιγίδας-σφωριτομελανίας (thunderclouds) είναι ο πιο κοινός χώρος παραγωγής αστραπής. Παρόλα αυτά, η αστραπή μπορεί να εκδηλωθεί σε καταιγίδες χιονιού, άμμου και σε σύννεφα πάνω από ενεργά ηφαίστεια. Παλαιά είχε θεωρηθεί ότι αστραπή συμβαίνει μόνον σε μαύρα σύννεφα. Η άποψη αυτή δεν επικρατεί πλέον επειδή στις μέρες μας οι εκκενώσεις καταγράφονται με όργανα και όχι διά γυμνού οφθαλμού. Γι' αυτό άλλωστε είναι γνωστή και η έκφραση κεραυνός εν αιθρία (bolt from the blue) . Η αστραπή μπορεί να συμβεί στο εσωτερικό ενός νέφους, μεταξύ δύο νεφών ή μεταξύ νέφους και γης.

Τα σύννεφα καταιγίδας σχηματίζονται όταν στο πάνω μέρος της ατμόσφαιρας υπάρχει ψυχρός και πυκνός αέρας ενώ στο κάτω μέρος ζεστός και υγρός αέρας. Για να σχηματιστεί ένα τέτοιο σύννεφο θα πρέπει να επικρατεί αστάθεια (ρευστότητα). Μεγάλες ποσότητες θερμού αέρα μετακινούνται προς τα πάνω, ενώ ψυχρές μάζες αέρα οδεύουν προς τα κάτω. Τέτοιες συνθήκες επικρατούν όταν για παράδειγμα κρύες πολικές αέριες μάζες βρίσκονται πάνω από περιοχές με ζεστό αέρα ή όταν η γη ζεσταίνεται υπερβολικά από τον ήλιο και η θερμότητα του ήλιου μεταφέρεται στον αέρα των χαμηλών στρωμάτων.

Τα σύννεφα καταιγίδας ποικίλουν σε μέγεθος. Από μικρά σύννεφα που υπάρχουν σε ημιτροπικά κλίματα όπου η θερμοκρασία μπορεί να είναι παντού πάνω από τους 0 °C μέχρι και σε γιγάντιες ηλεκτρικές καταιγίδες που έχουν κατακόρυφο μήκος που ξεπερνά τα 20 km. Το ύψος ενός τυπικού νέφους είναι περίπου 8 με 12 km αν και οι τυπικές τιμές ποικίλουν ανάλογα δηλαδή με την περιοχή που μελετάμε. Μέσα σε ένα σύννεφο καταιγίδας στροβιλίζεται αέρας, νερό και πάγος υπό την παρουσία του πεδίου βαρύτητας και αλλαγής θερμοκρασίας.

Στο πάνω μέρος του νέφους καταιγίδας επικρατούν τα θετικά φορτία ενώ στο κάτω μέρος του νέφους τα αρνητικά φορτία. Γι' αυτό το σύννεφο μπορεί να θεωρηθεί ηλεκτρικό δίπολο, όπου οι φορτισμένες περιοχές βρίσκονται σε απόσταση της τάξης μερικών km. Βέβαια, δεν αποκλείεται η παρουσία ενός αριθμού θετικών φορτίων στη βάση του νέφους καταιγίδας (Σχήμα 3.3.).



Σχήμα 3.3. Κατανομή των θετικών και αρνητικών φορτίων σε ένα σύννεφο. Στο κάτω μέρος του νέφους διακρίνονται μερικά θετικά φορτία [37]

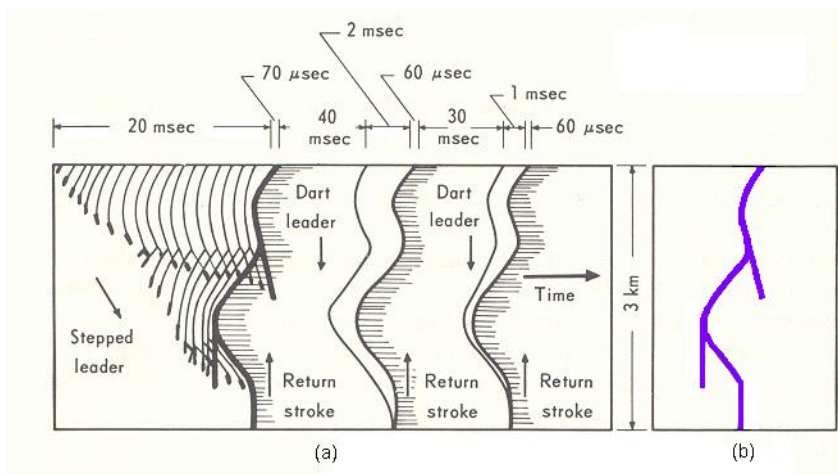
Οι πληροφορίες για τον σχεδιασμό της εικόνας του Σχήματος 2.5 λήφθηκαν από την μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου κοντά στο σύννεφο. Τα φορτία που μετρήθηκαν αντιστοιχούν στο σύνολο των φορτίων της περιοχής.

Αν και πιο συχνά συμβαίνει η εκφόρτιση φορτίων μεταξύ των νεφών, όμως μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τους επιστήμονες αποτελεί η εκκένωση στη γη. Η αστραπή μεταξύ νέφους και γης μερικές φορές αναφέρεται και ως ραβδωτή ή διχαλωτή αστραπή. Μια εκκένωση μεταξύ νέφους και γης συμβαίνει με μία ή περισσότερες διακοπόμενες εκκενώσεις. Παρακάτω η ολική εκκένωση (της οποίας η διάρκεια είναι της τάξης του 0.2sec) θα ορίζεται ως αστραπή. Επίσης, ορίζεται ως κτύπημα κεραυνού κάθε στοχείο εκκένωσης. Συνήθως υπάρχουν τρία ή τέσσερα κτυπήματα ανά αστραπή με ενδιάμεσο χρονικό κενό διάστημα 40msec. Μερικές φορές ο κεραυνός όταν παρατηρηθεί από γυμνό μάτι φαίνεται να τρεμοπαίζει. Αυτό οφείλεται στην δυνατότητα του ματιού που ξεχωρίζει τα διακριτά κτυπήματα που απαρτίζουν μία αστραπή. Ο κεραυνός μεταξύ νέφους και γης μεταφέρει δεκάδες Cb του αρνητικού φορτίου από την περιοχή N του νέφους προς τη γη (Σχήμα 3.3.). Ως ένα βαθμό η μεταφορά φορτίου είναι επιτυχής όταν η ροή των ηλεκτρονίων στην κορυφή του σύννεφου συνεπάγεται και τη ροή των ηλεκτρονίων σε άλλα μέρη του νέφους, όπως δηλαδή συμβαίνει και σε ένα αγωγίμο καλώδιο. Όπως ένα

ηλεκτρόνιο μετακινείται μερικά μέτρα μέσα στο σύννεφο αντίστοιχα και ηλεκτρικό φορτίο (coulomb) μπορεί να μεταφερθεί στη γη.

ii. **Προεκκένωση (Stepped leader)** [38]

Το 1930 οι Schonland, Malan, Collens και Hodges χρησιμοποίησαν στην Νότια Αφρική την φωτογραφική μηχανή Boys, η οποία παρέχει την δυνατότητα καταγραφής της σχετική κίνησης μεταξύ φιλμ και φακών και να αποτυπώσει με ευκρίνεια την χρονική διάρκεια των φωτεινών χαρακτηριστικών του κεραυνού. Επιπρόσθετα, κατέγραψαν και ερμήνευσαν τα αποτελέσματα των μεταβολών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου κατά τη διάρκεια κεραυνών.



Σχήμα 3.4. Απεικόνιση των φωτεινών χαρακτηριστικών κεραυνού μεταξύ νέφους και γης

Αργότερα κατέγραψαν τα βήματα εξέλιξης του κεραυνού (Σχήμα 3.4.), που φαίνονται τα φωτεινά χαρακτηριστικά ενός κεραυνού μεταξύ νέφους και γης.

Οι φωτογραφίες που δείχνουν τον κεραυνό ως ράβδωση είναι από φωτογραφικές μηχανές που αποτελούνται από στατικούς φακούς, ενώ η ταινία του φιλμ κινείται οριζόντια σε σταθερή ταχύτητα.

Παραλλαγή είναι η Streak Camera η οποία μετράει την μεταβολή της έντασης του φωτός σε ένα παλμό ανάλογα με το χρόνο. Με Streak Camera αποτυπώθηκαν οι κεραυνοί βήμα βήμα μέχρι το τελικό στάδιο σχηματισμού τους και σε πιο σύγχρονες εφαρμογές μετρήθηκε η χρονική διάρκεια πολύ γρήγορων παλμών laser ή χρησιμοποιήθηκαν φασματοσκοπικές μέθοδοι.

Κάθε χτύπημα κεραυνού αρχίζει με μια ασθενή φωτεινή ηλεκτρική προ-εκκένωση (predischARGE), την αρχική διαδικασία, που μεταδίδεται από το σύννεφο στη γη και την οποία ακολουθεί αμέσως ένα πολύ φωτεινό χτύπημα επιστροφής (return stroke). Το χτύπημα επαναρροής μεταδίδεται από τη γη στο σύννεφο. Η ηλεκτρική προ-εκκένωση μεταξύ νέφους και γης που προηγείται του πρώτου χτυπήματος επιστροφής σε μια αστραπή ονομάζεται προεκκένωση (stepped leader). Πολλοί ερευνητές πιστεύουν ότι η προεκκένωση (stepped leader) ξεκινά από μια τοπική ηλεκτρική εκκένωση μεταξύ των περιοχών N και p του νέφους καταιγίδας. Η εκκένωση αυτή εξυπηρετεί στο γεγονός ότι κάνει ευμετακίνητα ηλεκτρικά φορτία που ήταν μέχρι πριν ενωμένα με τα σωματίδια πάγου και νερού. Η μεγάλη συγκέντρωση του αρνητικού φορτίου στη βάση του νέφους θα παράγει ηλεκτρικό φορτίο το οποίο θα προκαλέσει μια ηλεκτρικά αρνητικά φορτισμένη στήλη που θα μετακινηθεί προς τη γη. Αυτή η στήλη ονομάζεται στήλη προεκκένωσης γιατί φαίνεται ότι μετακινείται προς τη γη με φωτεινά βήματα των 50 m με μικρές χρονικές διακοπές μεταξύ των βημάτων της τάξης των 50 μ sec. Κατά τη διάρκεια του χρόνου παύσης η διαδρομή της στήλης προεκκένωσης δεν είναι φωτεινή ή καλύτερα δεν είναι αρκετά φωτεινή για να καταγραφεί από τη Boys camera ή τη Streak camera. Κάθε διακριτό βήμα (leader step) γίνεται φωτεινό και παρατηρήσιμο σε χρόνο μικρότερο του 1 μ sec. Η ασθενής διαδρομή μεταξύ της κορυφής ενός διακριτού βήματος (step leader) και της βάσης ενός νέφους μπόρεσε και απεικονίστηκε από το φωτογραφικό φακό. Στο Σχήμα 1.3. τα βήματα των 50 m εμφανίζονται ως μαυρισμένες βούλες στην ασθενή φωτεινή διαδρομή που κατευθύνεται προς το σύννεφο. Μια φωτογραφία από streak-camera της προεκκένωσης (stepped leader) απεικονίζεται στο Σχήμα 1.4. Μια μέση ταχύτητα με την οποία το διακριτό βήμα (stepped leader) ταξιδεύει προς τη γη είναι 1.5×10^5 m/sec. Γι' αυτό το λόγο κάνει μόνο 20 msec για να διασχίσει μια απόσταση 3 km. Μια τυπική προεκκένωση έχει αρνητικό φορτίο της τάξης των 5 Cb κατανεμημένο κατά μήκος του οχετού όταν είναι κοντά στη γη. Το μέσο ρεύμα που πρέπει να ρέει στην προεκκένωση ώστε να εναποθέσει όλη την ποσότητα του φορτίου στη γη, ανέρχεται σε 10^2 Amperes, η δε διαδικασία γίνεται σε δέκατα του χιλιοστού του δευτερολέπτου. Οι διάμετροι των φωτεινών προεκκενώσεων (stepped leader), όπως υπολογίστηκαν με φωτογράφιση κυμένονται μεταξύ 1 έως 10 m. Πολλοί ερευνητές πιστεύουν ότι το ρεύμα της προεκκένωσης ρέει κατά μήκος ενός στενού αγωγίμου πυρήνα στο κέντρο του παρατηρούμενου οχετού και ότι η μεγάλη φωτεινή διάμετρος οφείλεται στο φαινόμενο κορώνα (Corona Effect). Αδιαμφισβήτητα, σε χρόνους και αποστάσεις μικρότερες από την στιγμή της παρατήρησης της προεκκένωσης λαμβάνουν χώρα διάφορα ηλεκτρικά και φωτεινά φαινόμενα.

iii. Εκκένωση αντίθετης φοράς (return stroke) [38]

Όταν το ύψος της ηλεκτρικής στήλης που σχηματίζει η προεκκένωση μειωθεί κατά μήκος του οχετού, ιδίως στο άκρο κοντά στο έδαφος, τότε το υψηλό ηλεκτρικό πεδίο του εδάφους είναι αρκετό ώστε να προκαλέσει εκκενώσεις κινούμενες, προς τα πάνω, αντίθετα από την κατεύθυνση του αρχικού κεραυνού. Αυτή η κατάσταση μπορεί να παρομοιαστεί με μια γραμμή μεταφοράς τροφοδοτούμενη από μια συνεχή πηγή και στο τέλος της να είναι βραχυκυκλωμένη. Το κύμα μετώπου του χτυπήματος επιστροφής διαδίδεται με το $1/3$ ή $1/10$ της ταχύτητας του φωτός διανύοντας την απόσταση από τη γη έως το σύννεφο σε 70 μsec . Η περιοχή μεταξύ του κύματος μετώπου του χτυπήματος επιστροφής και του εδάφους διαπερνάται από πολύ μεγάλα ρεύματα. Αυτός είναι ο λόγος που ένας οχετός περιβάλλεται από έναν μανδύα στεμματοειδούς εκκένωσης (Corona).

Το υπερβολικά μεγάλο αρνητικό φορτίο που έχει ο οχετός προεκκένωσης εναποτίθεται στη γη, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ένα φαινόμενο τύπου corona της εμφάνισης μιας αγωγίσιμης διαδρομής εκκένωσης αντίθετης φοράς. Το ρεύμα που μετρήθηκε στο έδαφος αυξάνει από 10 έως και 20 kA σε λίγα μsec και πέφτει στο μισό της τιμής κορυφής σε χρόνο από 20 έως και 60 μsec . Ρεύματα της τάξης των εκατοντάδων Amps μπορεί να συνεχίσουν να ρέουν για λίγα msec.

Η αρχική ένταση του αερίου στην διαδρομή του χτυπήματος επιστροφής είναι το χαρακτηριστικό του αερίου του οχετού ενώ η αρχική θερμοκρασία στη διαδρομή του χτυπήματος επιστροφής είναι πιθανόν πολύ υψηλότερη από τη θερμοκρασία του οχετού εξαιτίας της ενέργειας που μεταδίδεται σε αυτή τη διαδρομή από το χτύπημα επιστροφής. Η πίεση στην διαδρομή μετάδοσης θα ξεπεράσει την πίεση του περιβάλλοντος αέρα και τότε το κανάλι μετάδοσης εκρήγνυται. Αυτή η έκρηξη γίνεται με υπερηχητική ταχύτητα παράγοντας ένα κύμα που είναι ο ήχος που ακούμε. Το κύμα αυτό κρατάει περίπου από 5 έως 10 μsec . Η πυκνότητα του αερίου στο κανάλι που ρέει το ρεύμα μειώνεται καθώς το κύμα αναπτύσσεται. Στο τελευταίο μέρος του κύματος με μεθόδους φασματοσκοπίας βρέθηκε ότι αναπτύσσονται θερμοκρασίες 30,000 °K. Μόλις η ανάπτυξη του κύματος ολοκληρωθεί τότε το υψηλής θερμοκρασίας και χαμηλής πυκνότητας κανάλι επέρχεται σε ισορροπία πίεσης με τον τριγύρω αέρα σε μsec ή δέκατα του μsec . Όταν επέλθει η ισορροπία πίεσης του αέρα η διάμετρος του καναλιού μετάδοσης είναι της τάξης των μερικών cm.

iv. Φθορίζουσα εκκένωση (Dart leader) [38]

Όταν το ρεύμα σταματήσει να ρέει τότε η αστραπή θα τελειώσει. Σε κάθε χτύπημα αστραπής φαίνεται να άγεται φορτίο από υψηλές περιοχές του νέφους (περιοχές N, Σχήμα 3.3.). Το φορτίο αυτό είναι διαθέσιμο μεταξύ των K-streamer και J-streamer, δηλαδή, των ηλεκτρικών εκκενώσεων ανάμεσα στην κορυφή του προηγούμενου χτυπήματος επιστροφής και μιας υψηλότερης περιοχής που έχει αρνητικό φορτίο. Κατά την διαδικασία του χτυπήματος επιστροφής και σε χρόνο μικρότερο από 100 msec παρατηρείται ένα φωτεινό κύμα φθορισμού που ονομάζεται φθορίζουσα εκκένωση.

Ο φθορισμός προέρχεται προφανώς από διηγεργμένα μόρια, τα οποία στη συνέχεια κατά την αποδιέγερσή τους αυξάνουν τον βαθμό ιοντισμού του νέφους και κατά συνέπεια αυξάνουν τα φορτία που μεταφέρονται προς την γη. Η φθορίζουσα εκκένωση είναι ένα φωτεινό τμήμα διαδρομής μήκους 50 m που κατευθύνεται προς τη γη με ταχύτητα 2×10^6 m/sec, το οποίο αποτελεί μια τάξη μεγέθους ταχύτητας μεγαλύτερης από αυτή της προεκκένωσης. Η φθορίζουσα εκκένωση φαίνεται με Streak και Boys camera. Οι ερευνητές καλώς πιστεύουν ότι η φθορίζουσα εκκένωση μεταθέτει κατά μήκος της διαδρομής του λιγότερο φορτίο από ότι η προεκκένωση. Επίσης, η φθορίζουσα εκκένωση δεν διακλαδίζεται επειδή τα φωτόνια δεν εκτρέπονται εύκολα από την διαδρομή τους λόγω της απουσίας μάζας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΛΟΙΩΝ [39]

Για την προστασία των σκαφών στην θάλασσα πρέπει να ληφθούν υπόψιν πολλοί παράγοντες δεδομένου ότι το φαινόμενο της διάβρωσης είναι σύνθετο. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα διάβρωσης του σκάφους είναι το υλικό κατασκευής (επιλογή μεταλλικών κραμάτων), η διακύμανση της αγωγιμότητας που εξαρτάται κυρίως από την συγκέντρωση σε χλωριούχο νάτριο και άλλα άλατα, οι θερμικές διακυμάνσεις του νερού και η ταχύτητα του σκάφους (κίνηση-ακινησία). Για την προστασία των πλοίων έχει επικρατήσει η μέθοδος των θυσιαζόμενων ηλεκτροδίων.

Στην πράξη χρησιμοποιούνται σε μεγάλη έκταση άνοδοι ψευδαργύρου ή αλουμινίου, που τοποθετούνται στην γάστρα των υφάλων του πλοίου. Το σχήμα των ανόδων δεν είναι καθορισμένο, αλλά υπάρχει ποικιλία. Η τοποθέτηση γίνεται είτε με συγκόλληση είτε μέσω κοχλιών. Έτσι, κατά την χύτευση τοποθετούνται στις ανόδους ψευδαργύρου ελάσματα επιψευδαργυρωμένου χάλυβα.

Διακρίνονται τρεις κυρίως τύποι: άνοδοι υδροδυναμικής μορφής με καμπυλωτή διαμόρφωση της επιφάνειας έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον προκειμένου να περιορίζεται στο ελάχιστο η αντίσταση στην κίνηση του σκάφους, άνοδοι ορθογωνικοί με επίπεδες επιφάνειες και άνοδοι μικτού τύπου (συνδυασμός καμπύλων και επίπεδων επιφανειών).

Από ιστορικά ευρήματα φαίνεται ότι η καθοδική προστασία ήταν γνωστή στους αρχαίους Έλληνες, οι οποίοι χρησιμοποιούσαν χαλκό ως βιοκτόνο των ξυλοφάγων θαλάσσιων οργανισμών [40].

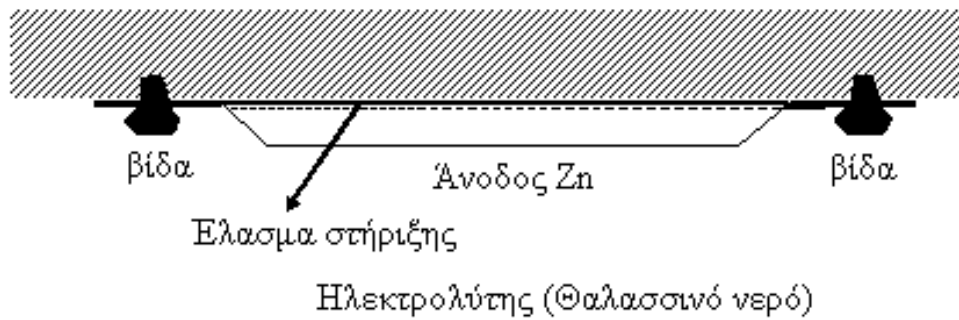


Σχήμα 4.1. Ανάγλυφο με παράσταση πλοίου σε σαρκοφάγο από τη Σιδώνα 2^{ος} μ.Χ. αι. Εθνικό Μουσείο, Βηρυτός-Λίβανος

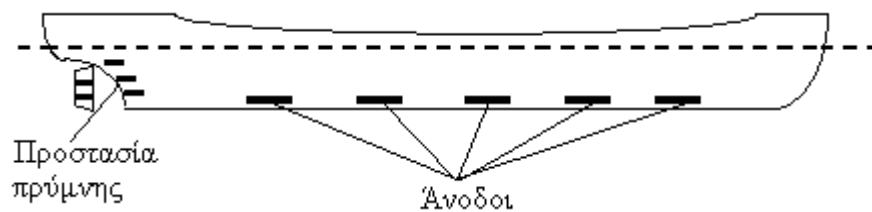
Πολύ αργότερα, ο Humphrey Davy (1778-1829) μετά την διαπίστωση ότι ο χαλκός είναι μέταλλο ασθενώς ηλεκτροθετικό εφάρμοσε την καθοδική προστασία της χάλκινης επένδυσης στο πλοίο Sammarang, το πρώτο ξύλινο πολεμικό σκάφος, στο ταξίδι του από την Αγγλία στη Νέα Σκωτία –Καναδάς (Μάρτιος 1824 έως Ιανουάριος 1825). Η μέθοδος εξακολουθεί να εφαρμόζεται και σήμερα σε μεγάλη έκταση.

Στην καθοδική προστασία μέσω θυσιαζόμενων ανόδων διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

I. Η σύνδεση της καθόδου, προστατευόμενη επιφάνεια του πλοίου και ανόδου, θυσιαζόμενο ηλεκτρόδιο, γίνεται άμεσα με επαφή των δύο μετάλλων όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2 και στο Σχήμα 4.3.

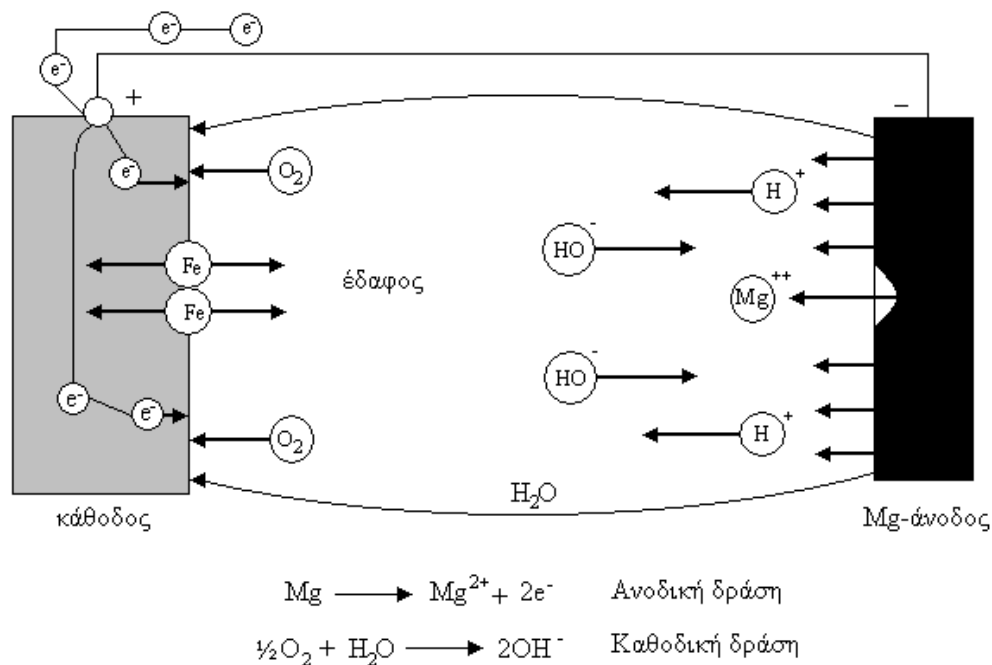


Σχήμα 4.2. Καθοδική προστασία με θυσιαζόμενη άνοδο (άμεση επαφή)



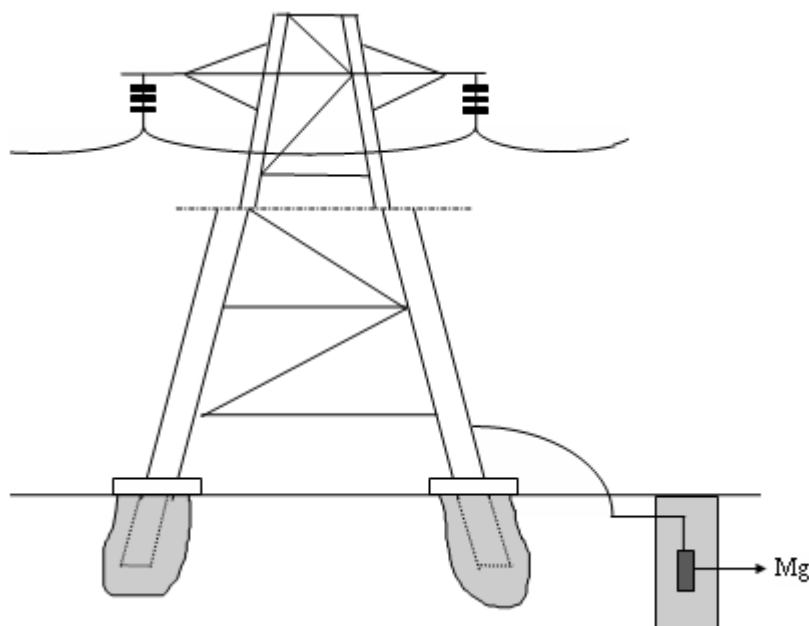
Σχήμα 4.3. Εφαρμογή καθοδικής προστασίας σε πλοίο

II. Η σύνδεση της καθόδου (προστατευόμενη επιφάνεια) και ανόδου γίνεται μέσω μονωμένου καλωδίου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4. Πρακτικά η μέθοδος εφαρμόζεται στην προστασία μεταλλικών επιφανειών στο έδαφος (π.χ. δεξαμενή, σωλήνας).



Σχήμα 4.4. Καθοδική προστασία με άνοδο μαγνησίου

Στο Σχήμα 4.5 παρουσιάζεται η προστασία πυλώνων ηλεκτροφόρων αγωγών με την ίδια μέθοδο.



Σχήμα 4.5. Καθοδική προστασία με άνοδο μαγνησίου σε πυλώνα της ΔΕΗ

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η αρχή της μεθόδου των θυσιαζόμενων ανόδων στηρίζεται στη δημιουργία γαλβανικού στοιχείου μεταξύ σιδήρου και θυσιαζόμενου ηλεκτροδίου. Το θυσιαζόμενο ηλεκτρόδιο πρέπει να κατασκευάζεται από υλικό ανοδικότερο του σιδήρου. Στην πράξη χρησιμοποιούνται τρία μέταλλα υπό μορφή κραμάτων τους, το μαγνήσιο (Mg), το αλουμίνιο (Al), και ο ψευδάργυρος (Zn). Το ανοδικότερο είναι το μαγνήσιο με αποτέλεσμα την ταχύτερη κατανάλωση του. Στον Πίνακα 4.1 φαίνονται τα χαρακτηριστικά των τριών ειδών θυσιαζόμενων ανόδων.

Πίνακας 4.1. Χαρακτηριστικά θυσιαζόμενων ανόδων

Υλικό	Δυναμικό (Volt ως προς Cu/CuSO ₄ κορ.)	Θεωρητική Κατανάλωση (Kg. A ⁻¹ .α ⁻¹)	Ηλεκτροχημική απόδοση (A.h.Kg ⁻¹)	Βαθμός απόδοσης %
Ψευδάργυρος	-1.05...-1.15	10.7	~700	90-96
Αλουμίνιο (Al, Zn, Hg, κ.α.)	-1.05...-1.35	2.9	~2400	45-55
Μαγνήσιο (Mg, Al, Zn, κ.α.)	-1.25...-1.75	3.9	~1700	65-90

όπου: α = έτος, A = Αμπέρ, h = ώρα

Η διάβρωση αυτή εμφανίζεται σε μεταλλικά υλικά, όπου το διαβρωτικό περιβάλλον είναι υγρό σε κίνηση και μάλιστα σε τυρβώδη ροή (turbulent flow, Turbulenz). Παρατηρείται συχνά σε κράματα Fe εξαιτίας της ροής με αποτέλεσμα την περαιτέρω προσβολή της επιφάνειας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ

5.1. Γενικά

Όταν η αστραπή φτάσει στο αλεξικέραυνο τότε η διαδρομή της καθορίζεται από τη γεωμετρία των αγωγών που βρίσκονται στο ανώτατο μέρος του πλοίου και από τον τρόπο καθοδήγησης της προεκκένωσης, ώστε να φτάσει στην ίσαλο γραμμή [41]. Για παράδειγμα, αν η εκκένωση οδεύει προς την πρύμνη τότε αυξάνει η πιθανότητα των αγωγών της πρύμνης (aft conductors) να έλξουν την αστραπή. Γενικότερα, διαπιστώθηκε ότι όσο ψηλότερο είναι το αλεξικέραυνο τόσο αυξάνει η πιθανότητα ώστε τα φορτία της επαναρροής να καθοδηγηθούν στον φέροντα αγωγό της εκκένωσης, έτσι ώστε να οδηγηθεί στην γείωση μαζί με την αστραπή (Σχήμα 5.1.). Τα φορτία επαναρροής συλλαμβάνονται από το αλεξικέραυνο και καθοδηγούνται μαζί με τα φορτία του κεραυνού στο νερό μέσω του αγώγιμου συστήματος προστασίας.

Το σχήμα που πρέπει να έχει ένα αλεξικέραυνο¹ δεν πρέπει να είναι απόλυτα αιχμηρό, αλλά όπως απέδειξαν ερευνητές στο New Mexico μόλις το 2007 τα αμβλυμένα αλεξικέραυνα είναι περισσότερο αποτελεσματικά [42].

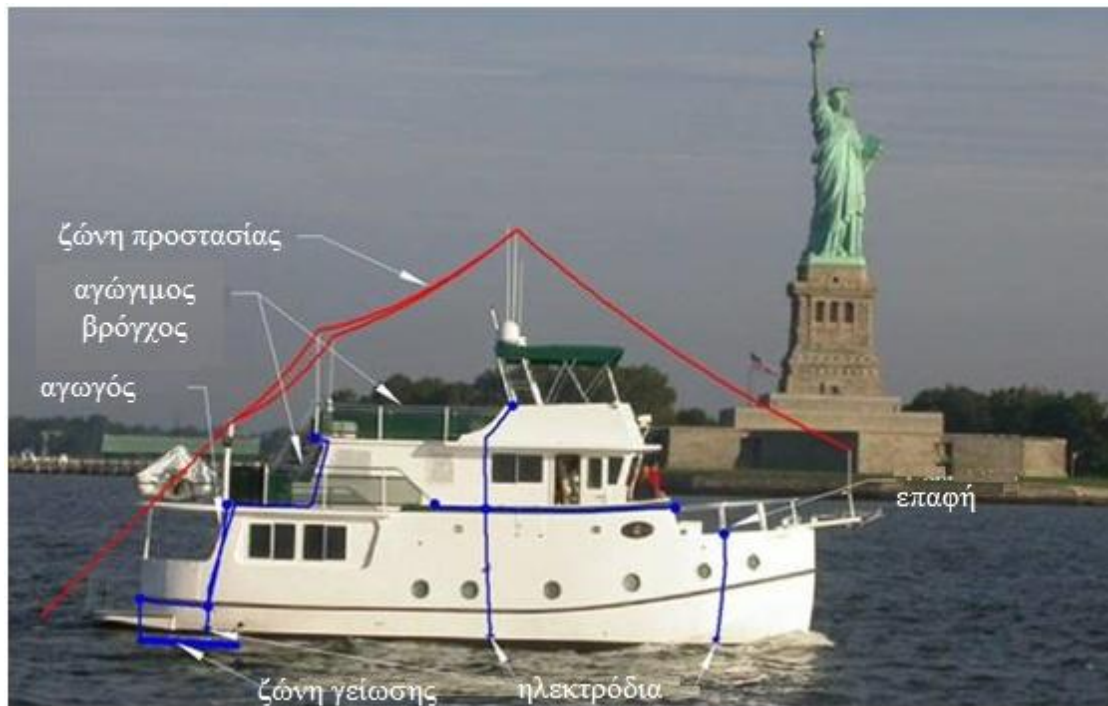
Η τάση που εμφανίζει το αλεξικέραυνο να συλλέγει τα φορτία επαναρροής οδήγησε στην ανάπτυξη αντικεραυνικής προστασίας με την μέθοδο του κώνου (cone of protection). Η μαθηματική σχέση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της περιοχής προστασίας είναι η εξής [36]:

¹ Ο αγωγός στην αντικεραυνική προστασία που έχει το ρόλο της γείωσης του καναλιού που μεταφέρει την αστραπή ονομάζεται αλεξικέραυνο.

$$\varphi = \arctan\left(1 - \frac{h}{d}\right)$$

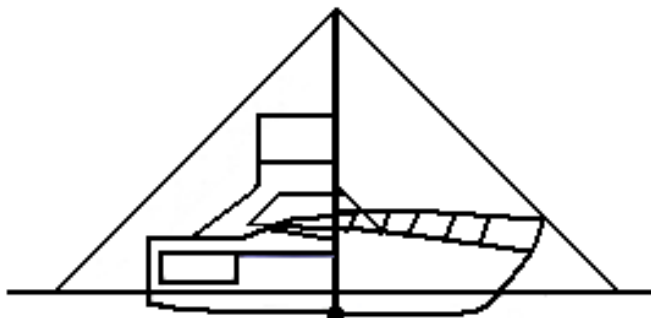
Όπου h το ύψος της ακίδας και d το ύψος της προστατευόμενης περιοχής

Στο Σχήμα 5.2. φαίνονται τα όρια προστασίας του σκάφους, όπως καθορίζονται με βάση τον νοητό κώνο που περιβάλλει το σκάφος.



Σχήμα 5.1. Σχηματισμός νοητού κώνου προστασίας σε αντικεραυνικό σύστημα

Η παραπάνω μαθηματική σχέση έδωσε θεωρητικά ως αποτέλεσμα ότι για την ιδανική προστασία θα πρέπει το κάθετο αλεξικέραυνο να αποτελεί την διχοτόμο μιας ορθογώνιας γωνίας που είναι ο κώνος προστασίας ($\varphi=45^\circ$).



Σχήμα 5.2. Γωνία και περιοχή προστασίας του πλοίου

Στην πράξη μια τέτοια διάταξη (Σχήμα 5.2) δεν επαρκεί να προστατεύσει όλα τα αγωγήματα του πλοίου συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπινου δυναμικού. Επομένως στο πλοίο πρέπει να αναπτυχθεί με μια σειρά αλεξικέραυνων ένα είδος “ομπρέλας” προστασίας, που θα οδηγούσε όλα τα ηλεκτρικά φορτία προς το νερό, παρεμποδίζοντας εσωτερικές διαρροές.

5.2. Συσσώρευση φορτίων και ροή ρεύματος (*Charge accumulation & current flow*)

Αφότου η αστραπή έρθει σε επαφή με την αγωγήμη ακίδα οι αγωγοί του πλοίου άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα ακόμα και αυτοί που δεν είναι συνδεδεμένοι απευθείας με τους αγωγούς γείωσης της αντικεραυνικής προστασίας. Αυτή η κατάσταση προκαλεί ρεύματα εξ επαγωγής στα ίδια τα κυκλώματα και μεταξύ τους.

Επιπρόσθετα, η συσσώρευση φορτίων σε αγωγούς μπορεί να προκαλέσει σπινθήρες και αυτοί με τη σειρά τους να δημιουργήσουν νέα αγωγήματα κανάλια-διαδρομές δεδομένου ότι το φορτίο της αστραπής προσπαθεί να εκφορτιστεί. Αφού η τιμή της τάσης του κεραυνού είναι αρκετά υψηλή, ώστε να μπορεί να ιοντίσει τον αέρα από απόσταση αρκετών μιλίων, φανταζόμαστε πόσο εύκολο είναι να δημιουργηθεί σπινθήρας οποιουδήποτε μήκους μέσα στο πλοίο με αποτέλεσμα να δημιουργήσει γέφυρα σύνδεσης στον αέρα ή στο υλικό του πλοίου (π.χ. στο fiberglass).

Οι έννοιες των απλών κυκλωμάτων, δηλαδή ότι το ρεύμα ακολουθεί πάντα τη διαδρομή με τη μικρότερη αντίσταση, δεν μπορούν χρησιμοποιηθούν γιατί οι υψηλές τάσεις και ρεύματα είναι μεγέθη μη γραμμικά πράγμα που κάνει τους υπολογισμούς των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων πολύ δύσκολους. Αυτή η δυσκολία κάνει το έργο των ερευνητών πολύπλοκο ώστε να εκτιμήσουν σωστά το πεδίο που θα δημιουργηθεί από τον

κεραυνό.

Έτσι όταν είναι αναγκαίο να μουν κάποια συστήματα μετατροπών στην κορυφή των ιστών των πλοίων ή άλλα να βυθιστούν στο νερό είναι πολύ εύκολο και σύνηθες λόγω των εξ επαγωγής ρευμάτων να καταστρέφονται τα συστήματα CDI ignition, οι μετρητές ταχύτητας να ανατινάζονται στον αέρα, οι κεραίες στον ιστό του πλοίου να εξαχνώνονται, με αποτέλεσμα να αφήνουν το πλοίο ακινητοποιημένο και χωρίς μέσα επικοινωνίας. Για τον λόγο αυτό οι ασφαλιστικές εταιρείες διαγράφουν όλα τα παραπάνω συστήματα του πλοίου από τους όρους των συμβολαίων ασφάλισης. Αυτό είναι το πολύπλοκο υπόβαθρο που πρέπει να έχει κανείς πριν ξεκινήσει να σχεδιάζει το σύστημα των αγωγών που επιφορτίζονται το έργο της απομάκρυνσης του κεραυνικού ρεύματος από το πλοίο.

Τελικώς, ο ρόλος των αγωγών με φορά προς το νερό (down conductors), δηλαδή αυτών που συνδέουν τις ακίδες συλλογής της αστραπής με τους αγωγούς γείωσης (grounding conductors) προκειμένου να οδηγήσουν το κεραυνικό ρεύμα προς το νερό, είναι να αποκλείσουν τις παράπλευρες αστραπές, να προστατέψουν τα συστήματα μετατροπών και να ελαχιστοποιήσουν την ηλεκτρομαγνητική σύζευξη στα ηλεκτρονικά συστήματα.

5.3. Διάχυση φορτίου στο νερό (Charge dissipation into water)

Τα fiberglass είναι τόσο καλοί μονωτές, ώστε χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μονωτήρων στις εγκαταστάσεις υψηλών τάσεων. Παρόλα αυτά, η τάση της αστραπής είναι παραπάνω από αρκετή για να προκαλέσει ηλεκτρική εκκένωση σε μια γάστρα από fiberglass, αν δεν δοθεί στο κεραυνικό ρεύμα μια εναλλακτική διέξοδος. Κάθε διείσδυση του κεραυνικού ρεύματος αφήνει μια απανθρακωμένη τρύπα και πολύ περισσότερες εσωτερικές ζημιές. Σκοπός των ηλεκτροδίων γείωσης είναι να δημιουργήσουν γέφυρα μέσα στο νερό, ώστε να περιορισθούν οι βλάβες στην γάστρα του πλοίου. Στα πλάγια μέρη του πλοίου συνήθως τοποθετείται μια πλάκα γείωσης (grounding plate). Από μόνη της αυτή η πλάκα είναι ανεπαρκής ώστε να αποτρέψει παράπλευρες εκκενώσεις, και είναι αναγκαίο να υπάρχουν πολλαπλοί διασυνδεδεμένοι αγωγοί. Αυτό όμως προκαλεί μια σειρά νέων προβλημάτων:

- 1) Επιταχύνεται η διαδικασία γαλβανικής διάβρωσης ή απώλεια ψευδαργύρου.
- 2) Γίνεται ηλεκτρολυτική διάβρωση στις μαρίνες με τη διαρροή επίγειων ρευμάτων (electrolytic erosion in marinas with ground currents leakage).
- 3) Οι πολλές αστραπές αυξάνουν τις τρύπες στην γάστρα του πλοίου και επομένως

αυξάνουν την πιθανότητα εισροής νερού στο πλοίο.

- 4) Αυξάνουν περαιτέρω την πιθανότητα να έλξουν τον κεραυνό αφού οι πλάκες θα έχουν εκτιθέμενες άκρες.

Έτσι, εξαρτήματα και βυθισμένα μεταλλικά τμήματα του πλοίου μπορούν ακούσια να λειτουργήσουν ως γειώσεις της αστραπής, με αποτέλεσμα το σκάφος να παραμείνει απροστάτευτο. Ιδιαίτερα σε μικρά σκάφη η βλάβη μπορεί να είναι τεράστια, αφού μπορεί η VHF κεραία να εξαχνωθεί ή να προκληθεί σπινθήρας στην κονσόλα με τις ηλεκτρονικές συσκευές. Στις βλάβες αυτές δεν συνυπολογίζονται οι ανθρώπινες ζωές που μπορούν να χαθούν.

Πειραματικές διατάξεις προσομοίωσης έδειξαν ότι μετά το χτύπημα της αστραπής το κάρβουνο που δημιουργήθηκε από την καύση των αντικειμένων προδίδει τα ίχνη που ακολούθησε το κεραυνικό ρεύμα προκειμένου να βρει διέξοδο [43]. Διαπιστώθηκε στις περιπτώσεις αυτές ότι το φορτίο συσσωρεύεται σε όλους τους αγωγούς του πλοίου ακόμα και όταν το ρεύμα ρέει στο νερό. Η πυκνότητα του φορτίου είναι μεγαλύτερη κοντά στο νερό, στις αιχμηρές γωνίες και άκρες των αγωγίμων ακίδων συλλογής. Όπως όταν αρχίζει η ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, έτσι και όταν αναπτύσσονται σπινθήρες μειώνεται η αντίσταση των γειώσεων (grounding resistance) με αποτέλεσμα να μειώνεται και η τάση του όλου συστήματος προστασίας. Υπάρχει πειραματική απόδειξη ότι η τελική περιοχή επέκτασης των σπινθήρων που σχηματίζονται από την επιφάνεια του νερού μπορεί φθάσει εκατοντάδες ή χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα.

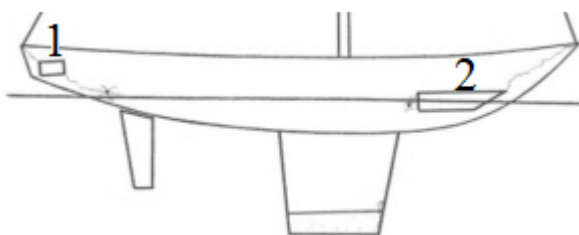
Επομένως για να αντιμετωπιστεί η συσσώρευση φορτίου μέσα νερό απαιτείται κατάλληλος αριθμός αγωγών και ορθή κατανομή των αγωγών γείωσης, μειώνοντας τις παράπλευρες εκκενώσεις. Παράλληλα πρέπει να ελαχιστοποιήσουμε την διαβρωτική επίδραση των πολλαπλών βυθισμένων αγωγών που συνδέονται μεταξύ τους.

5.4. Δημιουργία παράπλευρων εκκενώσεων (Sideflash formation)

Το κεραυνικό ρεύμα δεν συμπεριφέρεται ως συνηθισμένο ρεύμα σε ηλεκτρικό κύκλωμα. Έτσι, ενώ οι αιχμηρές γωνίες έχουν ευεργετικά αποτελέσματα στους αγωγούς γείωσης συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο για τα αγωγή εξαρτήματα των πλοίων που υποτίθεται ότι δεν πρέπει να λειτουργούν ως ηλεκτρόδια γείωσης. Κάθε σπινθήρας από αυτά δρα ως παράπλευρη εκκένωση, που μπορεί να τραυματίσει το πλήρωμα, να ανοίξει τρύπα στη γάστρα του πλοίου και να καταστρέψει τα ηλεκτρονικά συστήματα. Ανεξέλεγκτες

παράπλευρες εκκενώσεις πρέπει να αποφεύγονται. Από την άλλη μεριά, η τοποθεσία, το σχήμα ή τα εξαρτήματα πολύ πιθανό να μην μπορούν να αλλάξουν. Για παράδειγμα, μια παράπλευρη εκκένωση από την αλυσίδα της άγκυρας στο νερό είναι ένα πολύ συχνά παρατηρούμενο φαινόμενο.

Η εικόνα δείχνει τις βλάβες που μπορούν να προκαλέσουν στην γάστρα του πλοίου οι παράπλευρες εκκενώσεις.



***Σχήμα 5.3.** Σημεία εκδήλωσης παράπλευρων εκκενώσεων με πρόκληση οπών στην γάστρα του σκάφους.*

Αν και το ρεύμα σίγουρα θα πρέπει να κατευθύνθηκε προς τις γειώσεις του σκάφους, παρ' όλα αυτά, στην καρίνα δημιουργήθηκαν αρκετές τρύπες, προφανώς από παράπλευρες εκκενώσεις που αναπτύχθηκαν και στον πρότονο (στάντζο) και στον παράτονο (παρατάτσο) του ακατίου ιστού. Και τα δύο μέρη του πλοίου γέμισαν με τρύπες κοντά στην ίσαλο γραμμή αφού το κεραυνικό ρεύμα εκτράπηκε από αγωγούς πάνω στο κατάστρωμα – λόγω παράπλευρης εκκένωσης μεταξύ ενός μέρους αλουμινίου στην πλώρη του πλοίου και της δεξαμενής νερού στην πρύμνη.

Η περίπτωση αυτή δείχνει καθαρά ότι θα έπρεπε να προστεθούν τουλάχιστον δύο επιπλέον αγωγοί γείωσης, εκ των οποίων ο ένας να καλύπτει το μπροστά μέρος του σκάφους και ο δεύτερος το πίσω μέρος του σκάφους. Αναφέρονται δε περιπτώσεις όπου τα αγωγιμα εξαρτήματα που βρίσκονται πάνω στο πλοίο προκάλεσαν πολύ περισσότερες τρύπες στην ίσαλο γραμμή του σκάφους από ότι η επαγωγή ρεύματος μεταξύ των αγωγών του πλοίου.

Αναλύοντας οι επιστήμονες τις περιπτώσεις αυτές αντιλήφθηκαν ότι τα αίτια δημιουργίας και διάδοσης των παράπλευρων εκκενώσεων και διαπίστωσαν ότι σχετίζονται με τα εξαρτήματα του πλοίου. Γενικά κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι επικρατούν δύο τύποι παράπλευρων εκκενώσεων.

1. Παράπλευρες εκκενώσεις που σχηματίζονται στο εσωτερικό του πλοίου μεταξύ αγωγών του πλοίου.
2. Παράπλευρες εκκενώσεις που σχηματίζονται στο εξωτερικό του πλοίου και

τερματίζουν στο νερό.

Επομένως στο παραπάνω παράδειγμα, οι παράπλευρες εκκενώσεις που προκλήθηκαν στο εσωτερικό του πλοίου δημιουργήθηκαν μεταξύ του πρότονου (στάντζου) του ακατίου ιστού και της δεξαμενής νερού ενώ στο εξωτερικό μέρος του πλοίου ο σχηματισμός έγινε μεταξύ της δεξαμενής νερού και του νερού πάνω στο οποίο πλέει το πλοίο.

Επομένως για την επίλυση του προβλήματος ο μηχανικός θα πρέπει να δει σφαιρικά το πρόβλημα ώστε να δώσει μια πραγματοποιήσιμη λύση. Τα βασικά στοιχεία που θα λάβει υπόψιν στους υπολογισμούς είναι:

- αναγνώριση των θεμελιωδών προβλημάτων με τις κλασικές μεθόδους.
- εφαρμογή των επιτυχημένων τεχνικών που χρησιμοποιούνται στα κτίρια.
- τοποθέτηση ηλεκτροδίων Siedarc αντί των αλεξικέραυνων.

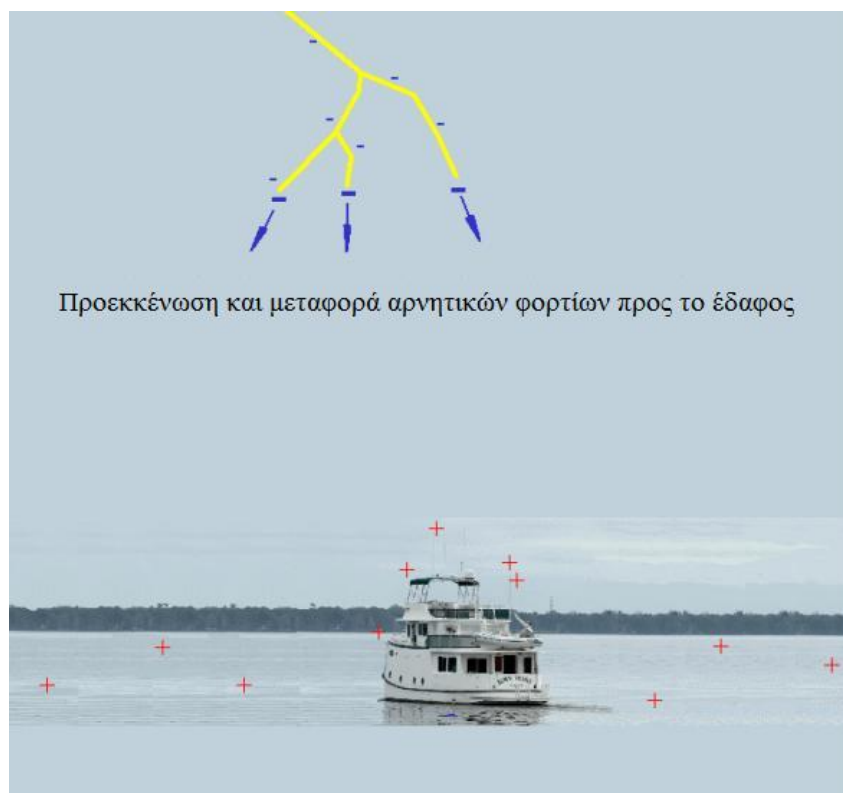
5.5. Μηχανισμός εκφόρτισης ηλεκτροδίων Siedarc

Ο νεωτερισμός που εισάγεται με το σύστημα αυτό είναι τα ηλεκτρόδια Siedarc (US patent #6,708,638, 2001). Η ανάπτυξή τους έγινε με βάση την παρατήρηση ότι οι αγωγίμες απολήξεις της αστραπής πρέπει να τοποθετηθούν εκεί όπου παρατηρούνται και τις περισσότερες φορές οι καταστροφές, δηλαδή στην ίσαλο γραμμή. Τα πειράματα, όπως είναι φυσικό, άρχισαν να επικεντρώνονται στο μηχανισμό σπινθήρων που δείχνουν ότι η ροή του ρεύματος στη μορφή των οχετών διαδίδονται στον αέρα ακριβώς πάνω από την επιφάνεια του νερού και το μήκος αυτών των οχετών είναι πολύ μεγαλύτερο από το αναμενόμενο.

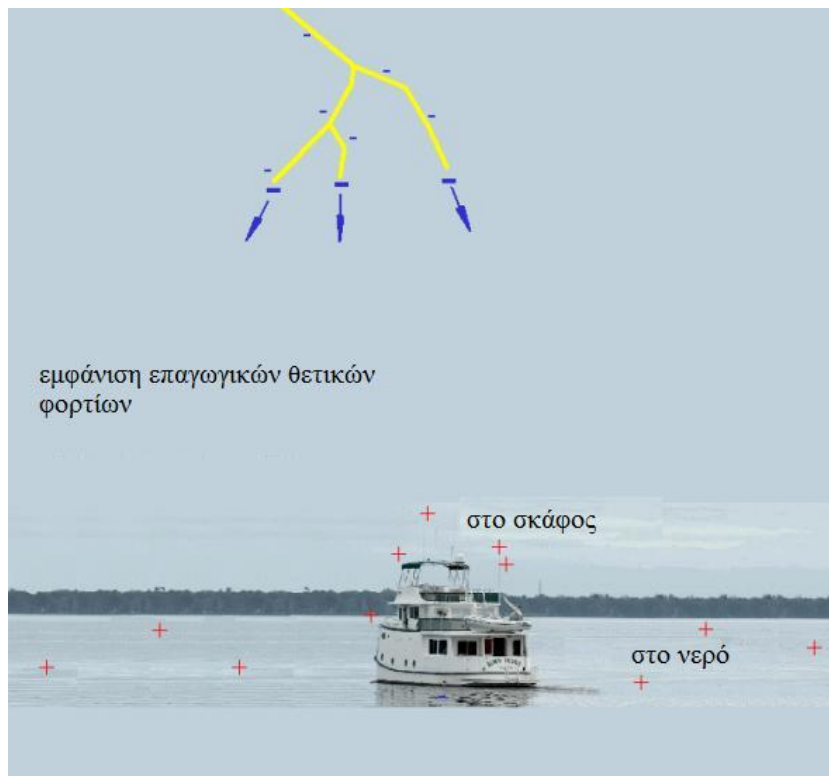
Ο Dr. Moore και η ομάδα του στο New Mexico Tech [42] εφαρμόζοντας τους νόμους της φυσικής ερμήνευσε το φαινόμενο δεχόμενος ότι το φορτίο επάγεται στην επιφάνεια του νερού, λόγω του φορτίου που δημιουργεί ο οχετός της αστραπής (δράση και αντίδραση των φαινομένων). Τοποθετώντας τα ηλεκτρόδια Siedarc ακριβώς πάνω από την ίσαλο γραμμή και ενός караβιού, ο καπετάνιος παρατήρησε ότι κατά τη διάρκεια μιας ηλεκτρικής καταιγίδας που χτύπησε το πλοίο σε πολλά σημεία σχηματίστηκε “μια πορτοκαλί ασπίδα που τρεμόπαιζε” σε σχήμα ιστού αράχνης που εκτεινόταν κατά μήκος όλου του πλοίου και για επιπλέον 100' (2.54 m) στην επιφάνεια του νερού. Αυτό συνέβει αρκετές φορές και κράτησε για 1 έως 2 sec κάθε φορά. Με βάση τις παρατηρήσεις αυτές φαίνεται ότι στο караβι αναπτύχθηκε το φαινόμενο του οχετού-κορώνας. Στα Σχήματα 5.5. μέχρι 5.8. φαίνονται τα στάδια έναρξης και μεταφοράς φορτίων κατά την αστραπή.



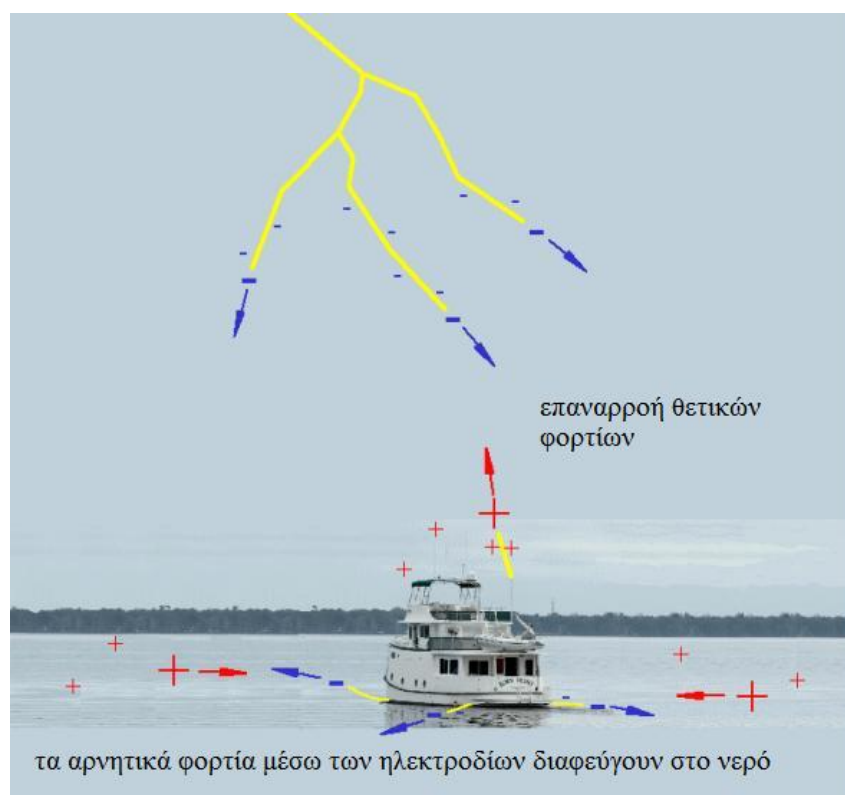
Σχήμα 5.4. Το σκάφος πριν εκδηλωθεί αστραπή



Σχήμα 5.5. Προεκκένωση με μεταφορά αρνητικών φορτίων προς το έδαφος



Σχήμα 5.6. Επαγωγή θετικών φορτίων στο σκάφος και το νερό



Σχήμα 5.7. Επαναφορά θετικών φορτίων και τελική μεταφορά των αρνητικών φορτίων στο νερό

Από τις παραπάνω φωτογραφίες φαίνεται ότι τα ηλεκτρόδια Siedarc άγουν το αρνητικό κεραυνικό φορτίο καθώς και το θετικό φορτίο που δημιουργείται εξ επαγωγής στην επιφάνεια του νερού.

5.6. Προσδιορίζοντας το κεντρικό σύστημα των αγωγών (Addressing the central-conductor problem)

Δυστυχώς, είναι γενικά αποδεκτό ότι όταν σχεδιάζεται ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας των πλοίων δεν επιτυγχάνει απόλυτα για όλους τους παραπάνω λόγους. Για την μεγαλύτερη δυνατή προστασία πριν από το 2008 τέθηκαν οι προδιαγραφές ABYC και NFPA σε συνδυασμό με το ISO. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών είναι τα εξής:

- Η ακίδα συλλογής πρέπει να είναι αρκετά ψηλή ,ώστε σύμφωνα με τη θεωρία προστασίας με κώνο (cone protection) να προστατεύεται ολόκληρο το πλοίο, δηλαδή να σχηματίζει γωνία 90° .
- Ο καθοδικός αγωγός γείωσης να είναι κατακόρυφος.
- Το αλεξικέραυνο θα πρέπει να καταλήγει μέσω των αγωγών σε μια πλάκα επιφάνειας 1m^2 ή σε μια αγωγίμη λωρίδα και στις δύο περιπτώσεις βυθισμένες στο νερό (Σχήμα 5.2.).
- Τα μεταλλικά εξαρτήματα του πλοίου πρέπει να συνδέονται με τους αγωγούς προστασίας και να καταλήγουν και αυτά στην γειωμένη μεταλλική πλάκα ή αγωγίμη λωρίδα (Σχήμα 5.2.).

5.7. Νέες μέθοδοι προσθέτουν αγωγήμες ακίδες συλλογής των αστραπών γύρω στην περίμετρο του πλοίου

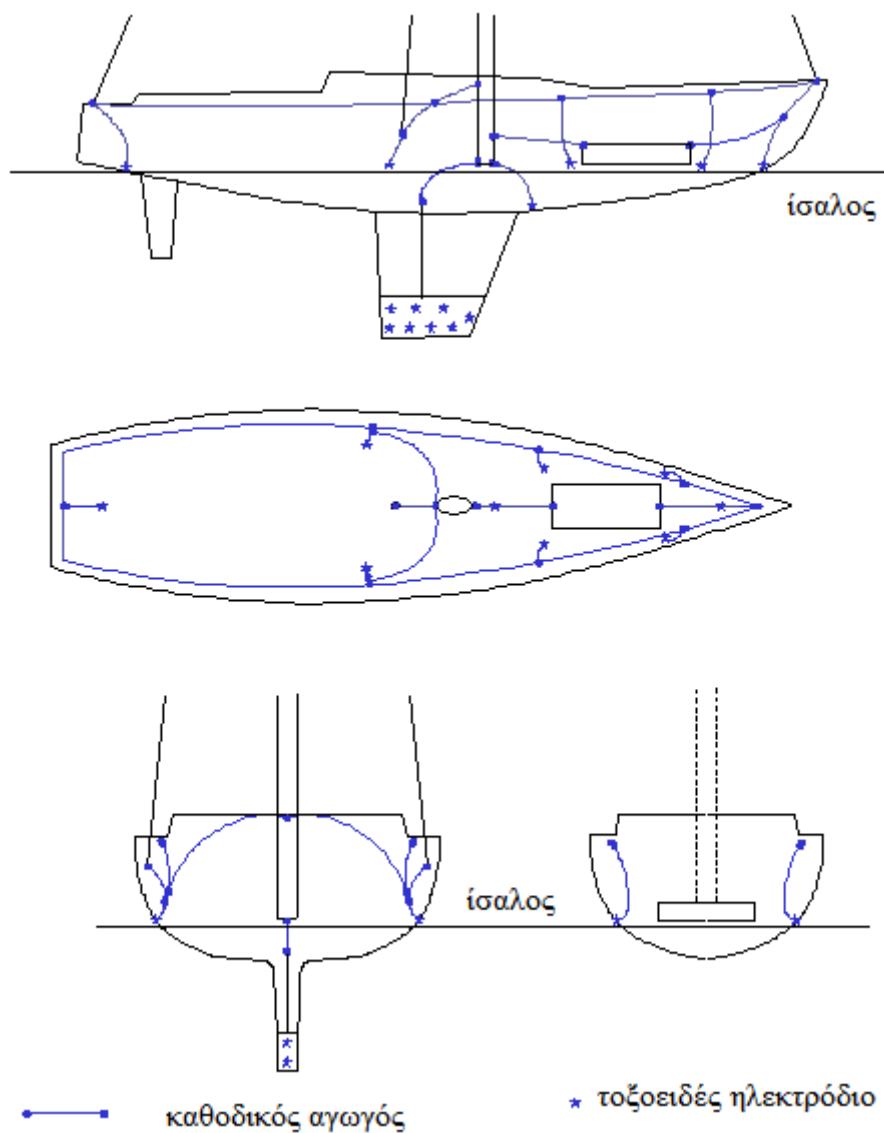
Είναι προφανές, ότι για τα οικοδομήματα δεν ακολουθείται ο ίδιος τρόπος προστασίας με αυτόν των πλοίων. Ένα σύννηθες σύστημα αντικεραυνικής προστασίας κτιρίων φέρει πολλαπλά αλεξικέραυνα στις γωνίες της σκεπής, καθοδικούς αγωγούς στο εξωτερικό του, και γειωμένα αλεξικέραυνα κατά μήκος της περιμέτρου του. Επίσης, το ύψος των αλεξικέραυνων καθορίζεται από τις απαιτήσεις των μοντέλων της κυλιόμενης σφαίρας (rolling sphere model) παρά από την μέθοδο του ανεστραμμένου κώνου (inverted cone).

Τοποθετώντας τα αλεξικέραυνα, τους καθοδικούς αγωγούς και τις γειωμένες ακίδες συλλογής στο εξωτερικό του κτιρίου, το κεραυνικό ρεύμα οδηγείται εκτός της κατασκευής και ελαχιστοποιεί τα προ-δυναμικά φορτία και την ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή (electromagnetic interference-emi).

Αν εφαρμόσουμε την λογική αντικεραυνικής προστασίας των κτιρίων στα πλοία, τότε είναι δυνατόν να καλύψουμε το πλοίο με περισσότερες ακίδες συλλογής κεραυνών ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη προστασία. Η σύνδεση δύο αγωγών γίνεται με τρόπο που η μεταξύ τους διαφορά δυναμικού ισούται με μηδέν.

Στο Σχήμα 5.9. εμφανίζεται το σύστημα προστασίας ενός πλοίου. Ένας κλωβός από αγωγούς είναι απαραίτητος να περιβάλλει το σκάφος. Τα πολλαπλά σημεία σύνδεσης των αγωγών βοηθούν όλα τα ηλεκτρικά φορτία των εκκενώσεων να οδηγηθούν στην πλάκα που είναι βυθισμένη στην θάλασσα και που αποτελεί την γείωση. Έτσι η διαφυγή των φορτίων είναι η μεγαλύτερη δυνατή.

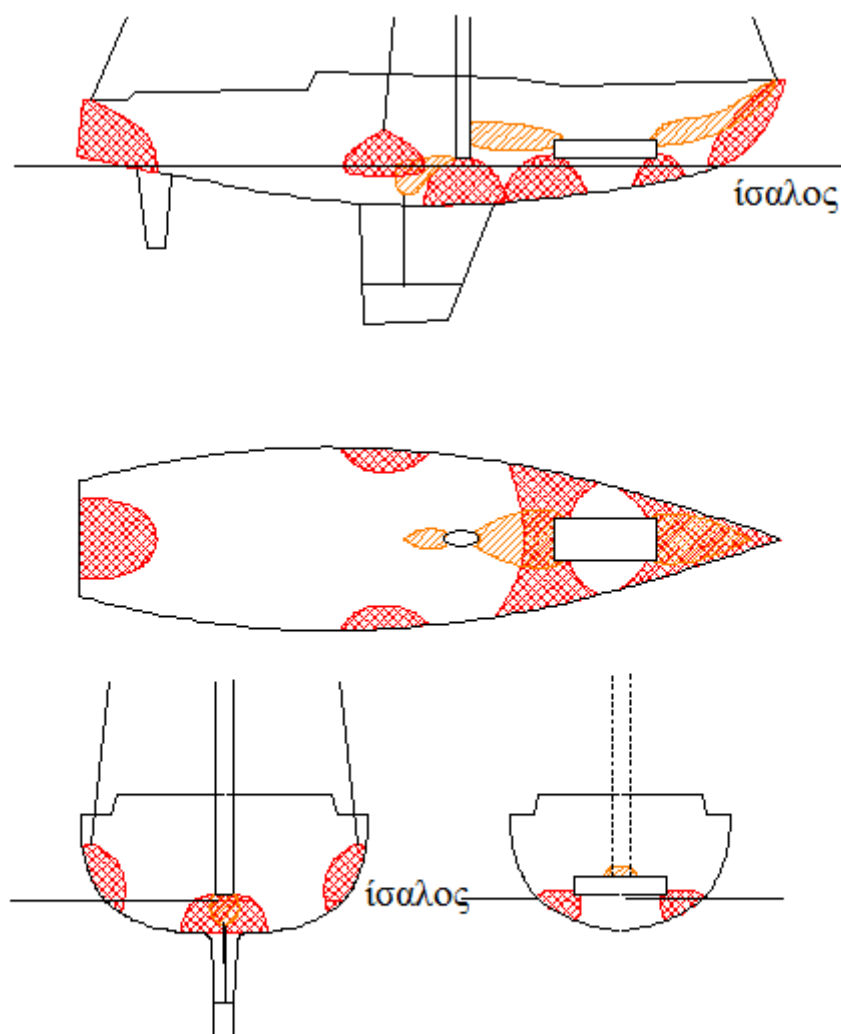
Μπορεί κανείς επίσης να παρατηρήσει ότι ο σχεδιασμός περιλαμβάνει την ίσαλο γραμμή του πλοίου. Όπως προαναφέρθηκε, στα σημεία της γραμμής αυτής ανοίγουν οι περισσότερες τρύπες στο σκάφος.



Σχήμα 5.8. Σχεδιασμός αντικεραυνικού συστήματος προστασίας και σύνδεσης διαφυγής των φορτίων

Στην πράξη, γίνεται ένας συνδυασμός των μεθόδων ανεστραμμένου κώνου (inverted cone) και της κυλιόμενης σφαίρας (rolling sphere). Η κυλιόμενη σφαίρα προστατεύει το εσωτερικό μέρος του πλοίου, αφού το κιγκλίδωμα του πλοίου λειτουργεί ως αλεξικέραυνο.

Ο σχεδιασμός αυτός σε περίπτωση εκκένωσης κεραυνού κατατάσσει τα φορτία σύμφωνα με το Σχήμα 5.10.



▨ παράπλευρη εκκένωση στο νερό

▨ παράπλευρη εκκένωση μεταξύ αγωγών

Σχήμα 5.9. Προσομοίωση κατανομής των παράπλευρων εκκενώσεων στο νερό και μεταξύ των αγωγών

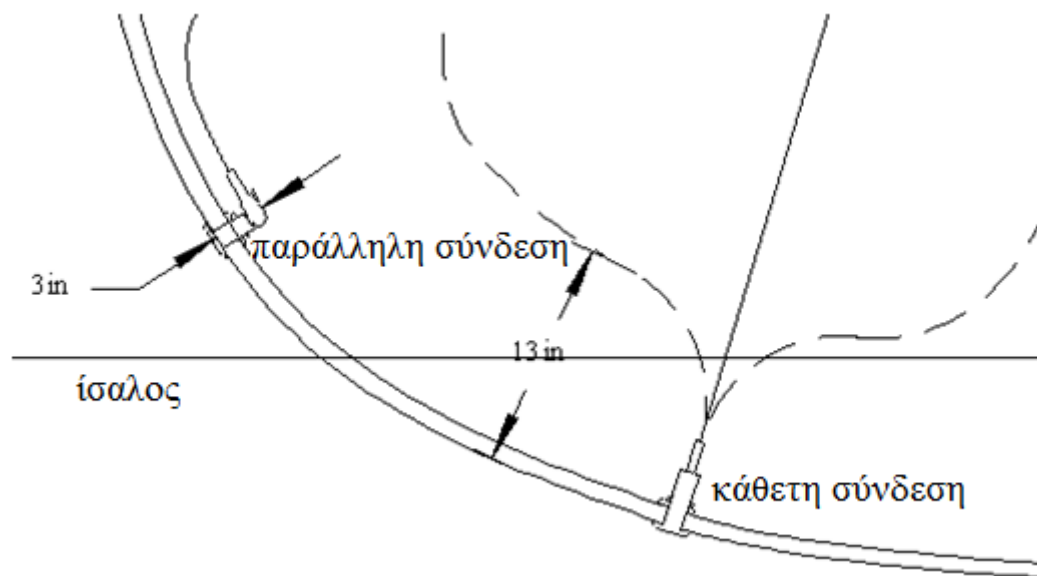
Η διευσθέτηση των αγωγών γειώσεων στο εξωτερικό του πλοίου ορίζεται ως ExoTerminal σύστημα. Τα επί πλέον στοιχεία σχεδιασμού είναι:

- Αγωγίμα εξαρτήματα όπως η κουπαστή-κιγκλίδωμα και T-tops μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αλεξικέραυνα, δημιουργώντας με αυτο τον τρόπο μια επιφάνεια προστασίας ακόμα μεγαλύτερη από ότι ο κώνος των 90 μοιρών.
- Η αντιστάθμιση του κύκλωματος κυκλώνει τη γάστρα του πλοίου κατά προτίμηση στο επίπεδο του καταστρώματος.
- Πολλαπλά ηλεκτρόδια γείωσης τοποθετούνται στην ίσαλο γραμμή.

- Τα ηλεκτρόδια γείωσης τοποθετούνται ανά μικρά βήματα κοντά σε μεγάλα μεταλλικά εξαρτήματα, όπως είναι ο ιστός της καρίνας.

Στα Σχήματα 5.9. και 5.10. φαίνεται ο σχεδιασμός και η προσομοίωση, όπως επιβάλλεται από τις προδιαγραφές της National Fire Protection Association NFPA 780 του έτους 2008.

Στο Σχήμα 5.12. δίνεται ο τρόπος σχεδιασμού αγωγού παράλληλης και κάθετης σύνδεσης των αγωγών.



Σχήμα 5.10. Γεωμετρικός σχεδιασμός αγωγού παράλληλης και κάθετης σύνδεσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΛΟΙΩΝ

Προστασία θαλαμηγού από κεραυνούς

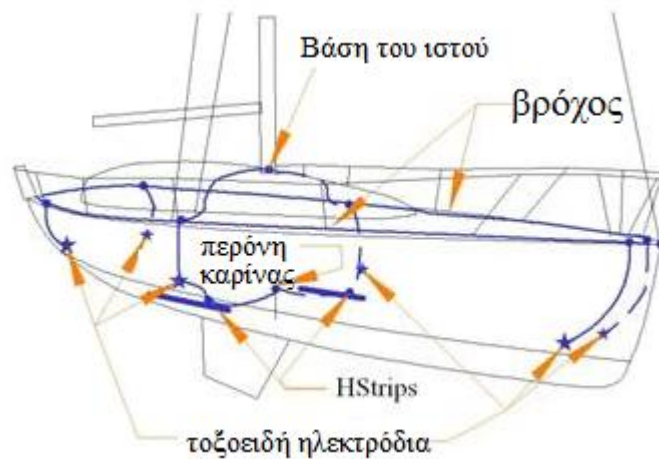
Για την προστασία των πλοίων, όπως προαναφέρθηκε, έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς διάφοροι μέθοδοι, οι οποίοι εξαρτώνται από το σχήμα και το μέγεθος του εκάστοτε πλοίου. Στο Σχήμα 6.1. δίνεται ο τρόπος προστασίας μιας θαλαμηγού. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.8. αρχικά σχεδιάζεται η γείωση των ηλεκτροδίων με τρόπο ώστε να καλύπτει όλο το σκάφος περιμετρικά, αλλά και με μορφή τόξων, ώστε να καλυφθεί όλη η προς προστασία επιφάνεια.



Σχήμα 6.1. Περιμετρική κάλυψη του σκάφους με ηλεκτρόδια

Στη συνέχεια γειώνονται οι αγωγοί με τρόπο ώστε να σχηματίζουν πλευρικό πλέγμα καλύπτοντας τα ευαίσθητα σημεία του σκάφους.

Οι αγωγοί συνδέονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αντισταθμίζονται τα δυναμικά σε όλο το σκάφος. Βασικό κλειδί στην επιτυχία αποτελεί ο αγωγίμος βρόγχος (Σχήμα 5.9.) ο οποίος τοποθετείται στο επίπεδο του καταστρώματος (deck level) και παίζει διπλό ρόλο δημιουργώντας αφενός μια ηλεκτροστατική προστασία αφετέρου χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ των συνδέσμων.

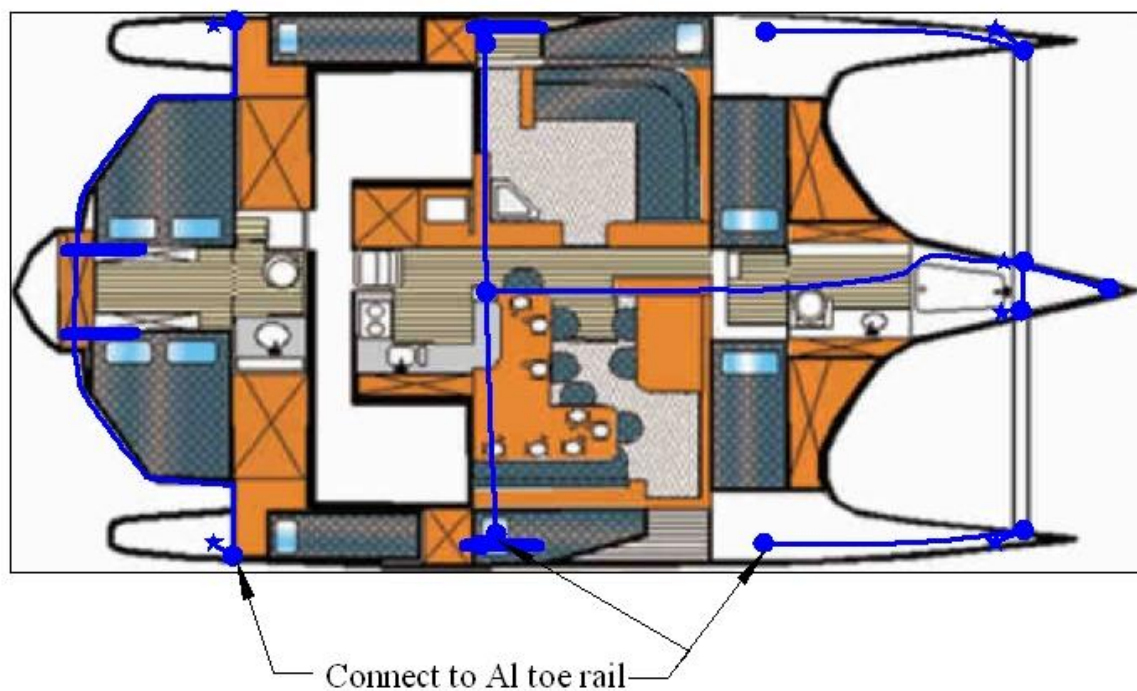


Σχήμα 6.2. Απεικόνιση του κυκλώματος των αγωγών προστασίας. Διακρίνεται ο βρόχος

Ας σημειωθεί ότι η προστασία με εξωτερικούς αγωγούς είναι ένας επιθυμητός δρόμος εξισορρόπησης των δυναμικών και είναι η μόνη μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αγωγούς όπως είναι οι δεξαμενές νερού και το πλήρωμα οι οποίοι είναι αδύνατο να συνδεθούν με καλώδια. Με αυτόν τον τρόπο εξισορροπούμε και τα δυναμικά μέσα στο πλοίο και μειώνονται οι παράπλευρες εκκενώσεις. Στην κορυφή του αντικεραυνικού συστήματος βρίσκονται τα αλεξικέραυνα, τα οποία χρησιμοποιούν τον ίδιο δρόμο απαγωγής φορτίων με τους εξωτερικούς αγωγούς, δηλαδή, μέσα από τα σημεία επαφής οδηγούν την αστραπή προς το εξωτερικό του πλοίου. Όλα τα αγωγή εξαρτήματα του πλοίου, όπως τα κιγκλιδώματα κτλ, πρέπει να αποτελούν μέρος του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Το αποτέλεσμα είναι ότι το αντικεραυνικό σύστημα του πλοίου προτείνεται πλέον και για κτίρια σύμφωνα με τις προδιαγραφές NFPA 780-2008 (National Fire Protection Association).

Από τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα ότι ένα αποτελεσματικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να χαρακτηρίζεται από κατάλληλα αλεξικέραυνα τα οποία θα παρεμποδίσουν τον κεραυνό να χτυπήσει το σκάφος. Οι βασικοί αγωγοί πρέπει να συνδέονται κατάλληλα με το κύκλωμα ώστε να μεταφέρουν το ρεύμα του κεραυνού προς νερό. Τα τερματικά της γείωσης να επιτρέπουν στο ρεύμα να εξέλθει στο νερό. Οι αγωγοί σύνδεσης να αντισταθμίζουν το δυναμικό μεταξύ του αντικεραυνικού συστήματος και των λοιπών αγωγίμων εξαρτημάτων του πλοίου.

Κάτοψη του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας ενός καταμαράν.



Σχήμα 6.3. Κάτοψη του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας ενός καταμαράν



Σχήμα 6.4. Περιμετρική κάλυψη του καταμαράν με ηλεκτρόδια

Προστασία ενός καταμαράν με σύστημα εφαρμογής siedarc ηλεκτροδίων που εφαρμόζονται στην ίσαλο γραμμή, ενώ η τελική γείωση για την αποφόρτιση όλων των φορτίων είναι τοποθετημένη στα ύφαλα του σκάφους.



Σχήμα 6.5. Πτυσσόμενα αλεξικέραυνα και περιμετρική κάλυψη με ηλεκτρόδια ενός jetski

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΝΟΣ ΣΩΣΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΙΩΣΗΣ

Από την κατά το δυνατόν λεπτομερή βιβλιογραφική μελέτη της αντικεραυνικής προστασίας των πλοίων διαπιστώνεται ότι το πρόβλημα δεν είναι απλό. Το κεραυνικό ρεύμα δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι μπορεί να διοχετευθεί σε κλασσικό ηλεκτρικό κύκλωμα.

Επομένως ένα καλό αντικεραυνικό σύστημα θα πρέπει να εμφανίζει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Το αλεξικέραυνο θα πρέπει να βρίσκεται σε τέτοιο ύψος, ώστε να προσλαμβάνει τα επιστρεφόμενα θετικά φορτία.
- Οι συνδέσεις των αγωγών πρέπει να σχεδιάζονται με τρόπο ώστε να καλύπτουν την περιοχή της ίσαλου γραμμής, όπου στατιστικά εκδηλώνονται οι περισσότερες βλάβες.
- Το πρωτοεμφανιζόμενο ρεύμα πρέπει να διοχετευθεί άμεσα στο νερό με την πλάκα γείωσης.
- Για το μέγιστο ρεύμα ενός κεραυνού το σύστημα πρέπει να έχει τη χαμηλότερη δυνατή αντίσταση.
- Να παρεμποδίζονται παράπλευροι σπινθηρισμοί στα αγωγήμα εξαρτήματα του σκάφους.
- Να μειώσει κατά το δυνατόν ατυχήματα ηλεκτροπληξίας στο πλήρωμα του πλοίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ομήρου Ιλιάδα, Μετάφραση επιμέλεια Θ. Τσοχάλη, Αθήνα 1992
2. Ζαν Ρισπέν, Μεγάλη Ελληνική Μυθολογία, Α Τόμος, Μετάφραση Κ. Πολίτη Εκδοτικός Οίκος Αυλός, Αθήναι
3. Ιλιάδα, Ραψωδία Θ2 Μετάφραση επιμέλεια Θ. Τσοχάλη, Αθήνα 1992.
4. Εγκυκλοπαίδεια Πάπυρος Λαρούς, Τόμος 8, Αθήνα, 1963
5. <http://thunder.msfc.nasa.gov/primer/index.html>
6. Δ. Κόκκινος, Κεραυνός Μαγεία και Δέος, εκδόσεις ΕΛΕΜΚΟ, 2002
7. V. A. Rakov and M. A. Uman, Lightning Physics and Effects, Cambridge 2003
8. Εβδομαδιαία Εγκυκλοπαιδική Επιθεώρηση 'Ο Ήλιος', τόμος 15, σελ.367, 1948
9. Εγκυκλοπαίδεια Πάπυρος Λαρούς, Τόμος 8, 1963
10. Μ. Θ. Θεοφανίδης, Ατμοσφαιρική Χημεία Επίδραση Ακτινοβολιών – Προσομοίωση, Κεφάλαιο 1, Διδακτορική διατριβή, Αθήνα, 2007 σελ.
11. M.Theophanides, J.Anastassopoulou and T.Theophanides, Trace elements in the human body and athletics, Envirommental science and pollution research 8th FECS Conference on chemistry and the environment, 131 (2002).
12. T. Theophanides, Ch. Vassilakos, J. Anastassopoulou, T. Maggos, J. Hatzianestis and I. Bartzis, Chemical Characterization of VOCs in Νέα Karvali area, Kavala, Greece, Envirommental science and pollution research, 8th FECS Conference on chemistry and the environment, 45-46 (2002).
13. M.Theophanides, J.Anastassopoulou and T.Theophanides, A statistical study of disease-related mortalities due to environmental pollutants in Kavala, Greece, Environmental science and pollution research, 8th FECS Conference on chemistry and the environment, 44 (2002).
14. Theophanides M., Theophanides T., Human Environmental Engineering and Sustainability, in: Environmental Engineering and Economics, Eds, Theophanides M., Theophanides T, ATINER, Athens, 2006, pp. 1-8.
15. Ατμοσφαιρική Χημεία Επίδραση Ακτινοβολιών – Προσομοίωση, Μιχάλης Θ. Θεοφανίδης, Αθήνα 2007, Κεφάλαιο 1.2.4, Οξυγόνο
16. Μ. Θ. Θεοφανίδης, Μεταβλητά Αέρια της ατμόσφαιρας, Ατμοσφαιρική Χημεία Επίδραση Ακτινοβολιών – Προσομοίωση, Κεφάλαιο 1, Διδακτορική διατριβή, Αθήνα, Κεφάλαιο 1.2.5,

17. Μ. Θ. Θεοφανίδης, Υδρατμοί, Ατμοσφαιρική Χημεία Επίδραση Ακτινοβολιών – Προσομοίωση, Κεφάλαιο 1.2.6., Διδακτορική διατριβή, Αθήνα, 2007
18. Kley D. Russell G.M., Phillips C., SPARC INITIATIVES: Water Vapour in the Upper Troposphere and Stratosphere, December 2000.
19. Μ. Θ. Θεοφανίδης, Διοξείδιο του άνθρακα, Ατμοσφαιρική Χημεία Επίδραση Ακτινοβολιών – Προσομοίωση, Κεφάλαιο 1, Διδακτορική διατριβή, Κεφάλαιο 1.2.8 Αθήνα, 2007
20. H. Reeves, F. Lenoir, Mal de Terre, Editions du Seuil, 2005
21. Μ. Θ. Θεοφανίδης, Μεθάνιο, CH₄, Ατμοσφαιρική Χημεία Επίδραση Ακτινοβολιών – Προσομοίωση, Κεφάλαιο 1, Διδακτορική διατριβή, Κεφάλαιο 1.2.9, Αθήνα 2007
22. Μ. Θ. Θεοφανίδης, Όζον, O₃, Ατμοσφαιρική Χημεία Επίδραση Ακτινοβολιών – Προσομοίωση, Κεφάλαιο 1.2.10, Διδακτορική διατριβή, Αθήνα, 2007.
23. A., Venkatram, P.K. Karamchandani, P. Pai and R. Goldstein, The Development and Application of a Simplified Ozone Modeling System (SOMS), *Atmos. Environ.*, **28** (1994) 3665-3678.
24. Μιχάλης Θ. Θεοφανίδης, Οξείδια του αζώτου, NO_x, Ατμοσφαιρική Χημεία Επίδραση Ακτινοβολιών – Προσομοίωση, Κεφάλαιο 1.2.11, Διδακτορική διατριβή, Αθήνα 2007,
25. B.Kaynak, Y. Hu, R.V. Martin, A.G. Russell, Y. Choi and Y. Wang, Atmos, The Effect of lightning NO_x production on surface ozone in the continental United States, *Chemistry and Physics* **8**, (2008) 5151-5159
26. M. Theophanides and T. Theophanides, Pollution problems and their solutions, in Environmental awareness and management, Eds M. Theophanides and T. Theophanides, ATINER, Athens, 2008, pp. 1-10.
27. M. Theophanides, J. Anastassopoulou Atmospheric Pollution and Health Effects in some Greek Cities, in Environmental Awareness and Management, eds, T. Theophanides and M. Theophanides, ATINER, Athens, Greece, pp. 29-37, 2009
28. M. Theophanides, J. Anastassopoulou Air pollution simulation and geographical information systems (GIS) applied to Athens International Airport, *J Envir. Science Health Part A* **44**, (2009) 758–766.

29. Μ. Θ. Θεοφανίδης, 2007 Ατμοσφαιρική Χημεία Επίδραση Ακτινοβολιών – Προσομοίωση Οξειδία του θείου, SO_x, Κεφάλαιο 1.2.12, Διδακτορική διατριβή, Αθήνα 2007
30. Μ. Θ. Θεοφανίδης, Ατμοσφαιρική Χημεία Επίδραση Ακτινοβολιών – Προσομοίωση, Πτητικές οργανικές ενώσεις και υδρογονάνθρακες, VOCs , Κεφάλαιο 1.2.13, Διδακτορική διατριβή, Αθήνα 2007
31. Μιχάλης Θ. Θεοφανίδης, Αιωρούμενα σωματίδια-Particulate Matter, PM, Κεφάλαιο 1.2.14, Αθήνα 2007, Ατμοσφαιρική Χημεία Επίδραση Ακτινοβολιών – Προσομοίωση,
32. A. K. Luhar, M. Keywood, Modeling PM10 concentrations and carrying capacity associated with wood heater emissions in Launceston, Tasmania, Atmospheric Env., **40** (2006) 5543-5557.
33. Θ. Θεοφανίδης και Ι. Αναστασοπούλου, *Φασματοσκοπία - Συμμετρία*, ΕΜΠ, Αθήνα 1998.
34. Ι. Αναστασοπούλου, *Ακτινοχημεία. Χημεία ελευθέρων ριζών. Εφαρμογές στην Βιομηχανία, το Περιβάλλον την Βιολογία*. ΕΜΠ, Αθήνα, Επανεκδοση 2003
35. R. Caret, K. Denniston and J. Topping, Foundation of Inorganic and Organic Chemistry, WCB, London, Sydney, Toronto, 1995.
36. Ι.Α. Σταθόπουλου, Προστασία Τεχνικών Εγκαταστάσεων Έναντι Υπερτάσεων Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 1989.
37. Martin A. Uman, All about lightning, Dover Publications Inc, New York, 1986.
38. Martin A. Uman Lightning, Dover Publications Inc, New York, 1969
39. Δ. Υφαντής, Διάβρωση και Προστασία, Αθήνα, 2008.
40. Δ. Υφαντής, Διάβρωση και Προστασία μεταλλικών υλικών στην Αρχαιότητα- μια διεπιστημονική προσέγγιση, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μεταλλικών Υλικών, Δεκέμβριος 2007
41. C.B. Moore, G.D.Aulich and W. Rison, An examination of lightning –strike-grounding physics, Langmuir Laboratory for Atmospheric Research, New Mexico Tech, Socorro, NM 87801.
42. C.B. Moore, G.D.Aulich and W. Rison, Measurements of lightning Rod responses to nearby strikes, Geophys. Res. Letters, 27/10 (2000) 1487-1490
43. <http://marinelightning.com/science.htm#Types>, Εικόνες αντικεραυνικής προστασίας πλοίων

ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ

Aft conductors	αγωγοί της πρύμνης
Backstay	παράτονος (παράτσο)
Bow rail	κιγκλίδωμα σκάφους
Cathodic corrosion protection	καθοδική προστασία από την διάβρωση
Charge dissipation into water	διάχυση φορτίου στο νερό
Cone model	μοντέλο κώνου
Deck	χαλάζι
Down conductors	αγωγοί που κατευθύνονται προς το νερό
EDMS, Emission Dispersion and Modeling System	Σύστημα προσομοίωσης διασποράς
Fore	πλώρη
Forestay	πρότονος (στάντζο)
Grounding conductors	αγωγοί γείωσης
Grounding plate	πλάκα γείωσης
Grounding resistance	αντίσταση της γείωσης
Hail	χαλάζι
Mast	κατάρτι
Passive corrosion	παθητική διάβρωση
Predischarge	προεκκένωση
Return stroke	εκκένωση αντίθετης φοράς
Rolling sphere model	μοντέλο κυλιόμενης σφαίρας
Sideflashes	παράπλευρες εκκενώσεις
Siedarc electrode	τοξοειδής σχηματισμός ηλεκτροδίων
Slang	σαβούρα για ισορρόπηση του πλοίου
Stepped leader	προεκκένωση
Stern	πρύμνη
Thundercloud	σωρειτομελάνια
VOCs , Volatile Organic Compounds	πτητικές οργανικές ενώσεις
Waterline	ίσαλος γραμμή
Watertank	δεξαμενή νερού