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

Συμβολή στη μελέτη της αντικεραυνικής προστασίας πλοίου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτης Χ. Μαραθοκαμπίτης

Καθηγητής: Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος
Επιβλέπουσα: Ελένη Π. Νικολοπούλου

Αθήνα, Νοέμβριος 2014

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

Συμβολή στη μελέτη αντικεραυνικής προστασίας πλοίου

191

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτης Χ. Μαραθοκαμπίτης

Καθηγητής : Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

Επιβλέπουσα: Ελένη Π. Νικολοπούλου

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 7 η Νοεμβρίου 2014.

.....	.....	.....
Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος	Φραγκίσκος Β. Τοπαλής	Ιωάννης Φ. Γκόνος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2014

.....

Παναγιώτης Χ. Μαραθοκαμπίτης

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

Copyright © Παναγιώτης Μαραθοκαμπίτης, 2014

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.

Περίληψη

Η αντικεραυνική προστασία σε πλοία είναι ένα ζήτημα του οποίου η μελέτη χρήζει βελτίωσης. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, σε πρώτη φάση παρουσιάζονται οι βασικές αρχές του κεραυνού και αντικεραυνικής προστασίας. Στη συνέχεια περιγράφονται οι απαιτήσεις που δίνονται από τα διεθνή πρότυπα καθώς και οι μέθοδοι αντικεραυνικής προστασίας. Κατόπιν περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας του προγράμματος WIN IGS με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι προσομοιώσεις και παρουσιάζονται τα μοντέλα των πλοίων που εξετάστηκαν. Ακολουθούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων με τις διάφορες μεθόδους υπολογισμού της ζώνης προστασίας (ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο, κυλιόμενη σφαίρα, κώνος προστασίας). Γίνεται επίσης συγκριτική ανάλυση η οποία αποσκοπεί στην εξαγωγή συμπερασμάτων για την καταλληλότητα της κάθε μεθόδου και προτείνονται λύσεις για πιθανά προβλήματα.

Λέξεις-κλειδιά

Αντικεραυνική προστασία σε πλοία, ISO 10134, IEC 6092-507, Bureau Veritas NR 566, ABYC, DEF STAN, μέθοδοι προστασίας, ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο, πρόγραμμα WIN IGS.

Abstract

Lightning protection in ships is a matter that needs further investigation. This diploma thesis firstly presents the fundamental principles of lightning and lightning protection. Then the demands of the international standards and the methods of lightning protection are described. The layout and function of the WINIGS program which was used for the simulations of lightning shielding analysis is analytically described. Furthermore, the examined ship models along with the simulation results (electrogeometrical model, rolling sphere method, protection cone method) are presented. Finally, a comparative analysis is held in order to conclude about the appropriateness of each method and propose solutions.

Keywords

Lightning protection in ships, ISO 10134, IEC 6092-507, Bureau Veritas NR 566, ABYC, DEF STAN, methods of protection, electrogeometrical model, WIN IGS program.

Περιεχόμενα

Περίληψη

Abstract

Περιεχόμενα

Πρόλογος

1 Γενικά περί κεραυνού 3

1.1 Ιστορικά στοιχεία 3

1.1.1 Εισαγωγή 3

1.1.2 Πείραμα Φραγκλίνου 4

1.2 Γενικά στοιχεία για τον κεραυνό και την ατμόσφαιρα 5

1.3 Χαρακτηριστικά του κεραυνού 6

1.4 Χαρακτηριστικά του φορτισμένου νέφους 7

1.5 Είδη κεραυνών 9

1.6 Χαρακτηριστικά της εκκένωσης 10

1.7 Απόσταση διάσπασης 11

2 Αντικεραυνική προστασία πλοίων 13

2.1 Εισαγωγή 13

2.2 Διεργασίες που ακολουθούν την πτώση κεραυνού σε πλοίο 13

2.2.1 Εισαγωγή 13

2.2.2 Κεραυνικές διεργασίες 14

2.2.2.1 Σύνδεση κεραυνού-αλεξικέραυνου 14

2.2.2.2 Συσσώρευση φορτίων και ροής ρεύματος 15

2.2.2.3 Διάχυση φορτίου στο νερό 15

2.2.2.4 Δημιουργία παράπλευρων εκκενώσεων ανάμεσα σε εξαρτήματα πλοίου 16

2.3 Διαχωρισμός σκαφών 17

2.3.1 Σκάφη μη μεταλλικού σκελετού 17

2.1.2 Σκάφη μεταλλικού σκελετού 18

2.4 Τερματικό αέρα (αλεξικέραυνο) 18

2.5 Μέθοδοι αντικεραυνικής προστασίας 19

2.5.1 Ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο 20

2.5.2 Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας 22

2.5.3 Μέθοδος κώνου προστασίας 25

2.5.4 Προσδιορισμός της περιοχής προστασίας 28
2.5.5 Προσδιορισμός του αριθμού πληγμάτων 29
2.6 Πρότυπα και διεθνείς κανονισμοί 32
2.6.1 ISO 10134 34
2.6.2 ABYC 36
2.6.3 Σύγκριση προτύπων ISO 10134 και ABYC 38
2.6.4 IEC 60092-507 39
2.6.5 Bureau Veritas NR 566 40
2.6.6 DEF STAN 41
3 Πρόγραμμα προσομοίωσης WIN IGS **42**
3.1 Περιγραφή προγράμματος 42
3.2 Χρησιμοποιώντας το σύστημα γείωσης 43
3.3 Αντικεραυνική ανάλυση-Ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο 45
3.4 Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας 48
3.5 Μέθοδος κώνου 49
4 Σχέδια πλοίων **51**
4.1 Δοκιμαστικό πλοίο εργαστηρίου 51
4.2 Πολεμικά πλοία 55
4.2.1 Αεροπλανοφόρο (Air craft carrier) 55
4.2.2 Κορβέτα-Δρόμωνας (Corvette) 59
4.2.3 Αντιτορπιλικό (Destroyer) 62
4.2.4 Φρεγάτα (Frigate) 66
4.3 Πλοία τύπου tanker 69
4.3.1 LNG tanker 70
4.3.2 Πετρελαιοφόρο (oil tanker) 73
4.3.3 Tanker ship 77
4.3.4 Texaco tanker 80
5. Προσομοιώσεις πλοίων **84**
5.1 Ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο 84
5.1 Συμπεράσματα Ηλεκτρογεωμετρικού μοντέλου 95
5.2 Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας 95
5.2.1 Δοκιμαστικό πλοίο εργαστηρίου 97
5.2.1.1 Συμπεράσματα- Βελτιώσεις 102
5.2.2 Αεροπλανοφόρο (Air craft carrier) 104

5.2.2.1 Συμπεράσματα-Βελτιώσεις 109
5.2.3 Κορβέτα-Δρόμωνας (Corvette) 111
5.2.3.1 Συμπεράσματα- Βελτιώσεις 116
5.2.4 Αντιτορπιλικό (Destroyer) 117
5.2.4.1 Συμπεράσματα-Βελτιώσεις 122
5.2.5 Φρεγάτα (Frigate) 123
5.2.5.1 Συμπεράσματα-Βελτιώσεις 128
5.2.6 LNG tanker 129
5.2.6.1 Συμπεράσματα-Βελτιώσεις 134
5.2.7 Πετρελαιοφόρο (oil tanker) 137
5.2.7.1 Συμπεράσματα-Βελτιώσεις 142
5.2.8 Tanker 144
5.2.8.1 Συμπεράσματα-Βελτιώσεις 149
5.2.9 Texaco tanker 151
5.2.9.1 Συμπεράσματα-Βελτιώσεις 156
5.3 Μέθοδος κώνου 157
5.4 Σύγκριση Μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας- Μέθοδος κώνου 162
6. Τελικά συμπεράσματα 163
Βιβλιογραφία 166

Πρόλογος

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται ένα ζήτημα των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εγκαταστάσεων σε πλοία, αυτό της αντικεραυνικής προστασίας. Η εργασία που πραγματοποιήθηκε, ασχολήθηκε κυρίως με το σχεδιασμό εννέα (9) μοντέλων πλοίων, εκ των οποίων τα τέσσερα (4) είναι πολεμικά πλοία και τα υπόλοιπα πέντε (5) είναι τύπου tanker, καθώς και με τις μεθόδους αντικεραυνικής προστασίας μέσω του προγράμματος προσομοίωσης WIN IGS. Επιπλέον, έγινε θεωρητική ανάλυση αυτών των μεθόδων και από τα συμπεράσματα που εξήχθησαν παρουσιάστηκαν κάποιες βελτιωτικές λύσεις στην αντικεραυνική προστασία των πλοίων.

Ειδικότερα, η διπλωματική εργασία αποτελείται από τα εξής κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι παράμετροι και το φαινόμενο του κεραυνού καθώς και κάποια ιστορικά στοιχεία.

Κεφάλαιο 2. Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας του αλεξικέραυνου και παρουσιάζονται τα βασικότερα πρότυπα και οι διεθνείς κανονισμοί. Επίσης, αναλύονται οι πιο ευρέως διαδεδομένες μέθοδοι αντικεραυνικής προστασίας.

Κεφάλαιο 3. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται συνοπτικά ο τρόπος λειτουργίας του προγράμματος προσομοίωσης WIN IGS.

Κεφάλαιο 4. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται όλα τα προοπτικά σχέδια των εννέα (9) πλοίων, όπως αυτά σχεδιάστηκαν στο πρόγραμμα.

Κεφάλαιο 5. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι προσομοιώσεις των δύο βασικότερων μεθόδων αντικεραυνικής προστασίας: αυτή της κυλιόμενης σφαίρας και αυτή του κώνου προστασίας. Επιπλέον, εξάγονται ορισμένα συμπεράσματα που αναφέρονται στην αντικεραυνική προστασία, και προτείνονται ορισμένες βελτιωτικές λύσεις.

Κεφάλαιο 6. Στο κεφάλαιο αυτό καταγράφονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα τα οποία εξήχθησαν από την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστίες

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω πάνω από όλα τους γονείς μου, οι οποίοι όλα αυτά τα χρόνια μου έδειξαν αμέριστη συμπαράσταση και αποτέλεσαν σημαντικό αρωγό στην προσπάθειά μου να περατώσω με επιτυχία την πολυετή εκπαίδευσή μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Ιωάννη Σταθόπουλο, ο οποίος με εμπιστεύθηκε και μου ανέθεσε την παρούσα διπλωματική εργασία.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Λέκτορα Ε.Μ.Π. κ Ιωάννη Γκόνο, ο οποίος μου επισήμανε ορισμένες απαραίτητες διορθώσεις.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα κα. Ελένη Νικολοπούλου για τη σημαντική βοήθεια που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια συγγραφής της διπλωματικής εργασίας καθώς και για την ιδιαίτερη υπομονή της στη μεταξύ μας συνεργασία.

Αφιερώνεται στην οικογένειά μου, που στηρίζει κάθε μου επιλογή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1

Γενικά περί κεραυνού

1.1 Ιστορικά στοιχεία [1]

Ο κεραυνός, για χιλιάδες χρόνια, ήταν για τον άνθρωπο πηγή δέους και φόβου. Οι άνθρωποι από την αρχαιότητα μέχρι πρόσφατα ερμήνευαν την εμφάνιση των κεραυνών ως σύμβολο θεϊκής οργής και σημάδι κινδύνου. Όμως, κατά τον $18^{ο}$ αιώνα, στην εποχή της βιομηχανικής επανάστασης, ο κεραυνός μετατράπηκε σε σύμμαχο του ανθρώπου καθώς τον βοήθησε να κάνει ίσως τη σημαντικότερη ανακάλυψη της νεότερης ιστορίας του, τον ηλεκτρισμό.

1.1.1 Εισαγωγή [2]

Ο κεραυνός αποτελεί ένα άστατο, τυχαίο και απρόβλεπτο φυσικό φαινόμενο. Περίπου 2.000 καταιγίδες ενεργούν ταυτόχρονα στη γη προκαλώντας πάνω από 100 πτώσεις κεραυνών ανά δευτερόλεπτο. Στα φυσικά χαρακτηριστικά του κεραυνού περιλαμβάνονται στάθμες ρεύματος που μερικές φορές ξεπερνούν τα 400 kA, θερμοκρασίες που φτάνουν τους 30.000 ^{O}C και ταχύτητες που πλησιάζουν το ένα τρίτο της ταχύτητας του φωτός.

1.1.2 Πείραμα Φραγκλίνου [1]

Ο Βενιαμίν Φραγκλίνος (1706-1790) για να αποδείξει την ηλεκτρική φύση του κεραυνού, πραγματοποίησε το διάσημο πείραμά του το 1750, κατά το οποίο ύψωσε ένα χαρταετό εν μέσω καταιγίδας για να αποσπάσει ηλεκτρικούς σπινθήρες από τα σύννεφα. Ήθελε με αυτόν τον τρόπο να δείξει την μεταφορά του ηλεκτρισμού μεταξύ δύο σημείων και το αποτέλεσμα που αυτή συνεπάγεται. Όντας γνώστης της επικινδυνότητας του πειράματος ως προς την ηλεκτροπληξία, έδεσε ένα σιδερένιο κλειδί στην άκρη του σπάγκου, το οποίο συνέδεσε με τη γυάλα του Leyden, έναν πρώιμο πυκνωτή στατικού ηλεκτρισμού της εποχής. Όταν πλησίασε η καταιγίδα, ο Βενιαμίν συγκρατούσε το χαρταετό μέσα από έναν αχυρώνα για να είναι στεγνός τόσο αυτός, όσο και το τμήμα του σπάγκου που κρατούσε και να μην κινδυνεύει να χτυπηθεί από το ρεύμα.

Πράγματι, όταν ξέσπασε η καταιγίδα και προκλήθηκε ηλεκτρική εκκένωση ο επιστήμονας αρχικά δεν επηρεάστηκε από το ρεύμα. Όταν όμως πλησίασε το χέρι του στη γυάλα του Leyden το έντονα αρνητικό φορτίο που είχε συσσωρευτεί στο κλειδί αλληλεπίδρασε με το θετικό φορτίο στο σώμα του με αποτέλεσμα να προκληθεί ηλεκτρικός σπινθήρας και να πάθει ηλεκτροπληξία. Πλέον η ηλεκτρική φύση του κεραυνού είχε αποδειχτεί πειραματικά και πρακτικά πηγαίνοντας ταυτόχρονα την έρευνα στο θέμα του ηλεκτρισμού στο επόμενο επίπεδο.

Το πείραμα θα μπορούσε να αποβεί μοιραίο χωρίς το μεταλλικό κλειδί, το οποίο απορρόφησε το ηλεκτρικό φορτίο και λειτούργησε ως γειωτής. Με αυτόν τον τρόπο βρέθηκε εναλλακτικός τρόπος διοχέτευσης του ρεύματος στη γη και συνεπώς ανακαλύφθηκε το πρώτο αλεξικέραυνο εισάγοντας την αντικεραυνική προστασία στην ανθρώπινη γνώση. Μάλιστα, την ίδια χρονιά που πραγματοποιήθηκε το πείραμα, ανακαλύφθηκε ο ηλεκτρισμός σε συνθήκες καλοκαιρίας.

Εικόνα 1.1: Το πείραμα του Βενιαμίν Φραγκλίνου

1.2 Γενικά στοιχεία για τον κεραυνό και την ατμόσφαιρα [3]

Η γη είναι μόνιμα φορτισμένη με αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο της τάξης των $5X10^5$ C. Το φορτίο αυτό προκαλεί στην επιφάνεια της γης, υπό συνθήκες καλοκαιρίας, ηλεκτρικό πεδίο με κατεύθυνση από την ατμόσφαιρα προς τη γη έντασης περίπου 0.13 kV/m. Ισοδύναμη ποσότητα θετικού φορτίου παραμένει κατανεμημένη στην ατμόσφαιρα με μεγαλύτερη πυκνότητα στα χαμηλότερα στρώματα. Η παρουσία του κατανεμημένου θετικού φορτίου έχει σαν αποτέλεσμα την προοδευτική μείωση του πεδίου της γης με το ύψος. Εξ' αιτίας αυτού του κατακόρυφου πεδίου η γη βρίσκεται συνεχώς σε τάση 300 kV σε σχέση με τα ανώτερα τμήματα της ατμόσφαιρας.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα της ατμόσφαιρας, σε ύψος κάτω των 50 χιλιομέτρων (δηλαδή στην τροπόσφαιρα και την στρατόσφαιρα), οφείλεται κυρίως

στα θετικά και αρνητικά ιόντα που κινούνται μέσα στο ηλεκτρικό της πεδίο και αυξάνεται σε σχέση με το ύψος.

Η διαφορά δυναμικού που προκαλεί τον κεραυνό οφείλεται στα (συνήθως) αρνητικά φορτισμένα ιόντα στα σύννεφα και στα θετικά φορτισμένα ιόντα της ξηράς ή της θάλασσας. Υπολογίζεται μάλιστα ότι σε συνθήκες αίθριου καιρού το ηλεκτροστατικό πεδίο με φορά προς τη Γη είναι της τάξης των 100 V/m στην περιοχή κοντά στην επιφάνεια της Γης. Το μέγεθος αυτό μεταβάλλεται τόσο χωρικά όσο και χρονικά και εξαρτάται από τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες (άνεμος, νέφη, βροχοπτώσεις, αιωρήματα κτλ).

Οι ηλεκτρικές εκκενώσεις που παρατηρούνται στην ατμόσφαιρα ονομάζονται κεραυνοί οι οποίοι δημιουργούνται κατά τη διάρκεια των καταιγίδων. Το φαινόμενο οφείλεται στη συγκέντρωση σε διαφορετικές περιοχές θετικών και αρνητικών ηλεκτρικών φορτίων. Έτσι, δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο και όταν η ένταση του φτάσει σε μεγάλη τιμή, ξεσπά ο κεραυνός με διάτρηση του αέρα και δημιουργία σπινθήρα.

1.3 Χαρακτηριστικά του κεραυνού [1]

Σε μία περιοχή με εύκρατο κλίμα τα χαρακτηριστικά του κεραυνού επηρεάζονται από την ορογραφική κατάσταση της περιοχής. Στις ορεινές περιοχές η ένταση του ρεύματος του κεραυνού όπως και το σχετικό φορτίο είναι μικρά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μικρή απόσταση της γης-νέφους προκαλεί εκκενώσεις στη γη πριν ολοκληρωθεί η διαδικασία φορτίσεως του νέφους και στο ότι το μικρό, σχετικά, μήκος του αγωγού του κεραυνού έχει σαν αποτέλεσμα τη συσσώρευση ενός μικρού μόνον φορτίου κατά μήκος αυτού. Ο αριθμός των εκκενώσεων στις ορεινές περιοχές είναι πάντοτε μεγαλύτερος από εκείνον στις πεδινές. Στις πεδινές περιοχές όπου η απόσταση νέφους-γης είναι μεγαλύτερη σημειώνονται λιγότερες εκκενώσεις αλλά με υψηλή ένταση ρεύματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σπάνια, σχετικά, το ηλεκτρικό πεδίο είναι τέτοιο ώστε να επιτρέπει κεραυνό νέφους-γης. Η μεγάλη ένταση ρεύματος οφείλεται στην παρουσία νέφων πολύ φορτισμένων και οχετών εκκενώσεως μεγάλου μήκους.

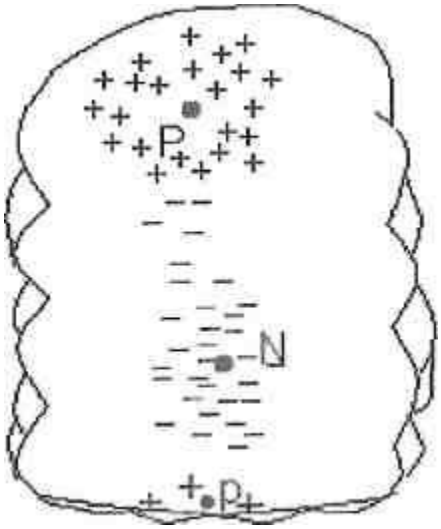
Επίσης σημαντικό ρόλο στη δημιουργία κεραυνικών εκκενώσεων έχει και η εποχή. Το καλοκαίρι λόγω του σημαντικού ύψους των νεφών από το έδαφός πολλές εκκενώσεις πραγματοποιούνται εντός ενός νέφους ή μεταξύ νεφών. Αυτό έχει σαν συνέπεια μια απότομη μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου στην επιφάνεια του εδάφους. Εάν υπάρχει κάποια αιχμηρή κατασκευή, το πεδίο πλησίον του εδάφους μπορεί να γίνει τόσο έντονο ώστε να δημιουργήσει μια ανερχόμενη εκκένωση. Ο

αριθμός των ανερχόμενων εκκενώσεων κατά την καλοκαιρινή περίοδο είναι πολύ μεγαλύτερος από εκείνον των κατερχόμενων. Στο άλλο διάστημα του χρόνου (άνοιξη, φθινόπωρο), τα νέφη κινούνται χαμηλότερα Αυτό διευκολύνει την εκκένωση προς τη γη πριν ακόμη η διαδικασία φορτίσεως του νέφους ολοκληρωθεί κάνοντας λιγότερο συχνές τις εκκενώσεις μεταξύ νέφους-γης.

Εικόνα 1.2: Ηλεκτρική εκκένωση

1.4 Χαρακτηριστικά του φορτισμένου νέφους [3]

Τα σύννεφα έχουν μέγεθος που μπορεί να υπερβεί τα 20 km σε μήκος και τα 8 έως 12 km σε ύψος. Μέσα στο σύννεφο υπάρχουν οι φορτισμένες περιοχές, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 1.3: Φορτισμένες περιοχές καταιγιδοφόρου σύννεφου

Το επάνω μέρος του σύννεφου είναι κατά κανόνα θετικά φορτισμένο, ενώ το κάτω μέρος αρνητικά. Η κατανομή αυτή του φορτίου είναι αυτή ενός ηλεκτρικού δίπολου. Εκτός από τα κύρια αυτά φορτία, στη βάση του σύννεφου υπάρχει μια μικρή συγκέντρωση θετικού φορτίου. Η πιο συνηθισμένη ηλεκτρική εικόνα λοιπόν ενός σύννεφου, είναι ένα ηλεκτρικό δίπολο με θετικό στην κορυφή του και αρνητικό στην προς την γη πλευρά του, χωρίς όμως αυτό να αποτελεί γενικό κανόνα. Για τον τρόπο συγκέντρωσης του ηλεκτρικού φορτίου στα σύννεφα έχουν διατυπωθεί διάφορες θεωρίες, χωρίς καμία να είναι γενικά παραδεκτή. Οι θεωρίες αυτές μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Σε αυτές που βασίζονται στην φόρτιση σταγονιδίων του νέφους που συμβαίνει μόλις αρχίσει η πτώση τους προς τη γη και σε αυτές που βασίζονται στη μεταφορά φορτίων σε ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, με ανοδικά ρεύματα που οφείλονται σε θερμοκρασιακές διαφορές.

Αν θεωρήσουμε τον αέρα που μεσολαβεί μεταξύ του νέφους και της επιφάνειας της γης ως διηλεκτρικό υλικό το οποίο έχει διηλεκτρική σταθερά ίση με 1, τότε όταν η τιμή της αντοχής ξεπεραστεί, το υλικό διασπάται και προκαλείται ηλεκτρική εκκένωση δηλαδή κεραυνός. Μάλιστα, όταν ο αέρας είναι υγρός η τιμή της διηλεκτρικής αντοχής μειώνεται κάνοντας την εμφάνιση του φαινομένου πιο πιθανή. Το σύννεφο μετά από αυτή τη διαδικασία ξεφορτίζεται ενώ διατηρεί τη δυνατότητα επαναφόρτισης σε χρόνο κατώτερο του μισού λεπτού της ώρας.

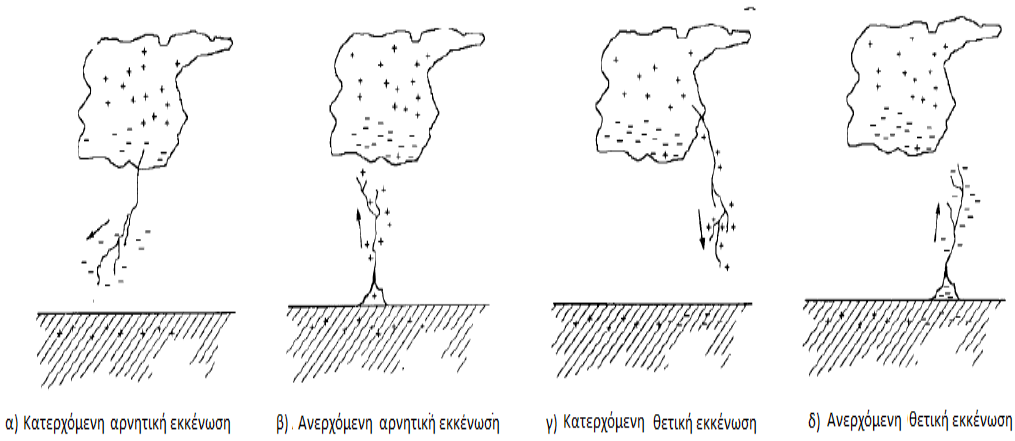
1.5 Είδη κεραυνών [4], [5]

Οι φορείς της διαφοράς δυναμικού προκαλούν κεραυνούς διαφόρων ειδών. Κεραυνοί μπορεί να ξεσπάσουν ανάμεσα σε:

- διαφορετικά νέφη,
- μέσα στο ίδιο νέφος,
- ανάμεσα σε ένα νέφος και στον αέρα
- ένα νέφος και το έδαφος.

Τα κεραυνικά πλήγματα που εκδηλώνονται μεταξύ νέφους και εδάφους χωρίζονται όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα ανάλογα με τη φορά και το είδος της φόρτισής τους στις εξής υποκατηγορίες:

- Κατερχόμενη θετική εκκένωση
- Κατερχόμενη αρνητική εκκένωση
- Ανερχόμενη θετική εκκένωση
- Ανερχόμενη αρνητική εκκένωση



Εικόνα 1.4: Διάφορα είδη κεραυνού

Η συντριπτική πλειοψηφία (75% έως 90%) των περιπτώσεων είναι κατερχόμενοι και αρνητικοί ενώ οι ανερχόμενοι κεραυνοί εκκινούν από αντικείμενα που έχουν ή βρίσκονται σε μεγάλο ύψος. Οι περισσότεροι ανερχόμενοι κεραυνοί είναι θετικά φορτισμένοι αλλά πολλές από τις παραμέτρους τους δεν έχουν ερευνηθεί λόγω της σπανιότητας του φαινομένου.

1.6 Χαρακτηριστικά της εκκένωσης [6]

Κατά τη διάρκεια της εκκένωσης, δημιουργείται έντονος ιονισμός των αερίων του αέρα, τα οποία εκπέμπουν φως γνωστό και ως φαινόμενο της αστραπής. Το μήκος ενός κεραυνού φθάνει έως αρκετά χιλιόμετρα και έχει τεθλασμένη ή κυματοειδή μορφή. Το πλάτος του σπινθήρα είναι μικρό και φτάνει το πολύ μερικές δεκάδες εκατοστά. Η διαφορά δυναμικού κατά την έκρηξη ενός κεραυνού είναι πολλά εκατομμύρια Volt και η ένταση του ρεύματος δεκάδες χιλιάδες Ampere.

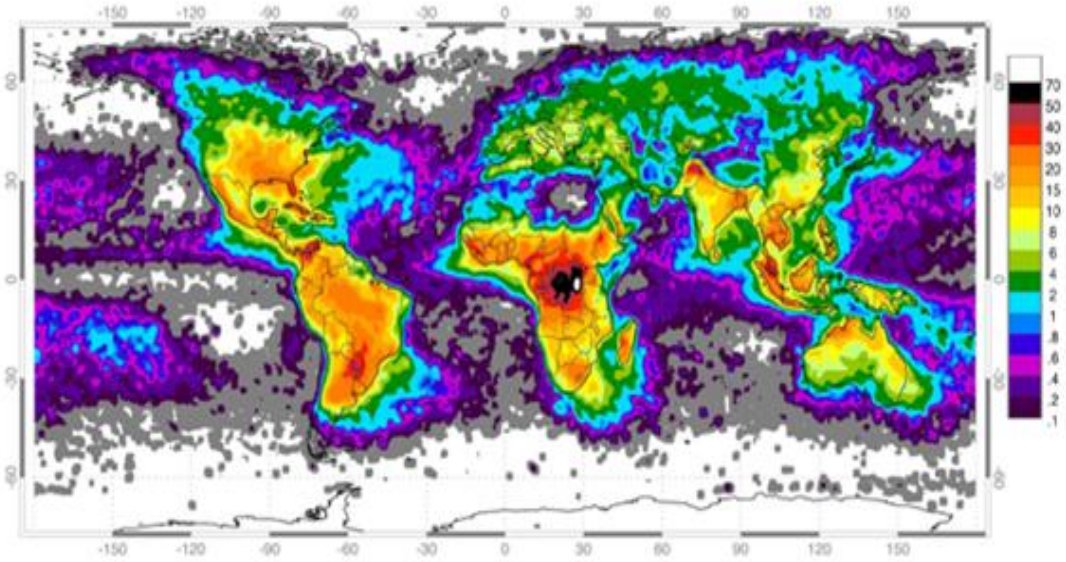
Πιο συγκεκριμένα, λίγο πριν την εκκίνηση της εκκένωσης, ένας προπομπός (οχετός προεκκένωσης) του κεραυνού κατέρχεται προς το έδαφος. Ο προπομπός αυτός κατεβαίνει κλιμακωτά προς τα κάτω και αποτελείται από ηλεκτρικά φορτία. Η διαδικασία καθόδου του διαρκεί δέκατα του msec. Κάτω από τον προπομπό, βρίσκεται μια περιοχή πολύ υψηλού φορτίου. Καθώς η απόσταση από τη γη μικραίνει, καθώς ο προπομπός κατεβαίνει, το ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο αναγκάζει αντικείμενα από το έδαφος να εκπέμψουν μέσω επαγωγής φορτία (προπομπούς) αντίθετης πολικότητας από αυτήν του κατερχόμενου προπομπού. Καθώς τα ετερώνυμα φορτία έλκονται, το κατερχόμενο σύνολο φορτίων επηρεάζεται από το αντίθετης πολικότητας ανερχόμενο. Τη στιγμή που οι δύο προπομποί συναντιούνται, ο κεραυνός γίνεται πραγματικότητα και σχηματίζεται το συνεχές μονοπάτι φορτίων που τον απαρτίζει σε μια απόσταση R_s από το αλεξικέραυνο που ονομάζεται απόσταση πλήγματος.

Η διάρκεια που κρατά ο κεραυνός είναι μικρότερη από ένα δευτερόλεπτο, αλλά η θερμοκρασία που αναπτύσσεται είναι 30.000 °C. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι η θερμοκρασία στην επιφάνεια του Ήλιου κυμαίνεται στους 6.000 °C γίνεται κατανοητό το τεράστιο ποσό ενέργειας που εκλύεται με έναν κεραυνό. Η υπερβολική και ραγδαία αυτή θέρμανση του αέρα και η εκτόνωση του δημιουργούν τον δυνατό κρότο που ονομάζουμε βροντή.

Τα ισχυρά ρεύματα του κεραυνού προκαλούν καταστροφές. Μπορούν να ανάψουν φωτιά στο δάσος, να δημιουργήσουν σοβαρή βλάβη στις ηλεκτρικές γραμμές και να καταστρέψουν απροστάτευτες εγκαταστάσεις. Ο κεραυνός που χτυπά άνθρωπο είτε άμεσα είτε έμμεσα, είναι πολύ πιθανό να προκαλέσει το θάνατο κάνοντας έτσι σημαντική την αντικεραυνική προστασία σε πάρα πολλά είδη κατασκευών.

Κάθε μέρα στον πλανήτη μετρώνται πάνω από 40.000 καταιγίδες οι οποίες δημιουργούν σχεδόν 10.000.000 κεραυνούς. Στην εικόνα 1.2.2 φαίνεται η

πυκνότητα κεραυνικών πληγμάτων όπως καταγράφηκε από τη NASA σε μία περίοδο οκτώ ετών. Σύμφωνα με τον χρωματικό κώδικα που χρησιμοποιείται βλέπουμε ότι η πυκνότητα είναι πολύ μεγαλύτερη στις ηπειρωτικές σε σχέση με τις θαλάσσιες περιοχές, ενώ πολλά τμήματα του ωκεανού δεν συνοδεύονται καθόλου από σχετικά στοιχεία.



Εικόνα 1.5:Πυκνότητα κεραυνικών πληγμάτων 1995-2003

1.7 Απόσταση διάσπασης [6]

Είναι φανερό ότι το σημείο στο οποίο τελικά θα πέσει ο κεραυνός αποφασίζεται μόνο την τελευταία στιγμή, όταν δηλαδή ο οχετός προεκκένωσης πλησιάζει σε τέτοια απόσταση το έδαφος ώστε να υπάρξουν συνθήκες σύνδεσης του κατερχόμενου οχετού με κάποιο σημείο του εδάφους. Οι συνθήκες σύνδεσης πληρούνται όταν η μέση πεδιακή ένταση ανάμεσα στην κεφαλή του κατερχόμενου οχετού και του σημείου όπου θα πέσει τελικά ο κεραυνός φτάσει τα 5 kV/cm (αν ο οχετός προεκκένωσης ξεκινά από περιοχή αρνητικού φορτίου). Η απόσταση στην οποία η πεδιακή ένταση πέφτει στην πιο πάνω τιμή ονομάζεται "απόσταση διάσπασης" (Α.Δ.) και εξαρτάται από την τάση που παρουσιάζει η κεφαλή του κατερχόμενου οχετού προεκκένωσης προς το έδαφος. Η τάση αυτή εξαρτάται από το μέγεθος του φορτίου του νέφους από το οποίο ξεκινά ο οχετός προεκκένωσης. Όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο αυτό τόσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση διάσπασης. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές εξισώσεις οι οποίες

προσδιορίζουν την απόσταση διάσπασης σε συνάρτηση με το ρεύμα. Ενδεικτικά, παρακάτω παρουσιάζεται μια από αυτές:

$$R_s = 8 * I_0{}^{0.65} \quad (1.1)$$

Όπου: R_s η απόσταση διάσπασης, και

I_0 η τιμή ρεύματος του κατερχόμενου οχετού

Ο σχεδιασμός συστημάτων προστασίας από κεραυνούς στηρίζεται στο γεγονός ότι αν ένα κτίσμα είναι εφοδιασμένο με μεταλλικές γειωμένες προεξοχές για τις οποίες η απόσταση διάσπασης προκύπτει πριν από οποιοδήποτε άλλο σημείο του κτίσματος, οι κεραυνοί θα καταλήγουν κατά προτίμηση στις προεξοχές αυτές και θα διοχετεύονται στο έδαφος χωρίς να προξενούν ζημιά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2

ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΛΟΙΩΝ

2.1 Εισαγωγή [1]

Το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας -και οι σχετικές απαιτήσεις των οδηγιών και των διεθνών κανονισμών διαφοροποιείται αναλόγως με το αν πρόκειται για σκάφος με μεταλλικό ή μη μεταλλικό σκελετό, καθώς σε κάθε περίπτωση είναι διαφορετική η φυσική διαδικασία διοχέτευσης του κεραυνικού ρεύματος στο νερό, το οποίο στην περίπτωση ενός πλοίου λειτουργεί ως «γη».

2.2 Διεργασίες που ακολουθούν την πτώση κεραυνού σε πλοίο [6]

2.2.1 Εισαγωγή

Είναι γνωστό ότι τα πλοία που είναι εξολοκλήρου κατασκευασμένα από μέταλλο σπάνια καταστρέφονται από κεραυνούς. Παρόλο που πλήττονται συχνά από κεραυνούς, η υψηλή αγωγιμότητα της μάζας του μετάλλου του σκελετού τους προκαλεί γρήγορη απαγωγή του ηλεκτρικού φορτίου στο νερό. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση συνηθισμένων τύπων φορτηγών πλοίων η παλαιών στρατιωτικών πλοίων. Πρόσφατα, ναυτικά πολεμικά πλοία κατασκευασμένα από fiberglass ή επικαλυμμένα με καουτσούκ χρησιμοποιούνται ευρέως για μείωση του βάρους και για απόκρυψη των πλοίων από τα ραντάρ. Αυτό έχει δημιουργήσει μόνωση μεταξύ αυτών των τμημάτων και του κουφαριού του πλοίου. Έτσι όταν πέσει ένας

κεραυνός σε κάποιο σημείο του ιστού ή της μη γειωμένης κεραίας, η κεραία η οποία αποτελείται από μέταλλο μεταφέρει το ηλεκτρικό φορτίο στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό με αποτέλεσμα να τον καταστρέφει.

2.2.2 Κεραυνικές διεργασίες

Όταν ένα πλοίο πλήττεται από κεραυνό, οι σημαντικότερες διεργασίες που ακολουθούν είναι οι εξής:

- Σύνδεση κεραυνού-αλεξικέραυνου
- Συσσώρευση φορτίων και ροή ρεύματος στο πλοίο
- Διάχυση φορτίου στο νερό
- Δημιουργία παράπλευρων εκκενώσεων από και ανάμεσα σε εξαρτήματα του πλοίου

2.2.2.1 Σύνδεση κεραυνού-αλεξικέραυνου

Το βασικό πρόβλημα στην αντικεραυνική προστασία ενός πλοίου είναι πώς αυτό θα μεταχειριστεί τον κεραυνό όταν αυτός το χτυπήσει. Το σημείο όπου το κεραυνικό κανάλι θα συνδεθεί με το πλοίο καθορίζεται από την γεωμετρία των αγωγών που βρίσκονται στην κορυφή του και από την θέση του καθοδικού οχετού προεκκένωσης σε σχέση με αυτό. Για παράδειγμα, εάν ο οχετός προεκκένωσης ξεκινήσει από μία θέση που βρίσκεται πίσω από το πλοίο, τότε οι αγωγοί της πρύμνης είναι πιο πιθανό να πληγούν. Η ιδιότητα ενός υψηλού αλεξικέραυνου να ελκύει τον κεραυνό, οδήγησε στην ιδέα του «κώνου προστασίας» η οποία αναφέρεται παρακάτω. Η ιδέα αυτή είναι προβληματική διότι ένας κάθετος αγωγός δεν εξαλείφει το ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή προστασίας γύρω από αυτόν. Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι αγωγοί και οι άνθρωποι που βρίσκονται σε αυτήν την περιοχή μπορεί να προκαλέσουν ανοδικούς οχετούς. Μία καλύτερη ρύθμιση είναι να υπάρχουν αγωγοί διατεταγμένοι γύρω από την περιοχή που πρέπει να προστατευθεί ή καλύτερα ακόμη, να σχηματίζουν μία ομπρέλα πάνω από αυτήν, όπου οι εξωτερικές άκρες της συνδέονται με αγωγούς που οδηγούν στο νερό (κλωβός Faraday). Ως εκ τούτου, η σημαντικότερη ανησυχία όσο αφορά την σύνδεση του κεραυνού με το πλοίο είναι να διασφαλιστεί ότι ο κεραυνός θα χτυπήσει και θα προκαλέσει ροή ρεύματος μόνο στο αλεξικέραυνο ή σε άλλους

τερματικούς αγωγούς και όχι σε πιο ευάλωτους αγωγούς όπως μέλη του πληρώματος, ηλεκτρονικές συσκευές κλπ.

2.2.2.2 Συσσώρευση φορτίων και ροής ρεύματος

Αφότου ο κεραυνός συνδεθεί με το αλεξικέραυνο, οι αγωγοί του πλοίου άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα ακόμα και αυτοί που δεν είναι συνδεδεμένοι απευθείας με το σύστημα προστασίας. Έτσι, φορτίο συσσωρεύεται στους αγωγούς και μπορεί να προκαλέσει σπινθήρες, οι οποίοι με τη σειρά τους να δημιουργήσουν νέα αγώγιμα κανάλια δεδομένου ότι το φορτίο του κεραυνού προσπαθεί να εκφορτιστεί. Οι έννοιες των απλών κυκλωμάτων, δηλαδή ότι το ρεύμα ακολουθεί πάντα τη διαδρομή με τη μικρότερη αντίσταση έχουν περιορισμένη ισχύ κατά τη διάρκεια τόσο ισχυρών ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων. Μερικές από τις συνέπειες της ροής του κεραυνικού ρεύματος μπορεί να είναι η καταστροφή των αισθητήριων συστημάτων, η ανατίναξη των μετρητών ταχύτητας και η εξάχνωση κεραιών που βρίσκονται στην κορυφή του ιστού του πλοίου. Αποτέλεσμα όλων των ανωτέρω είναι το πλοίο να μένει ακινητοποιημένο και χωρίς μέσα επικοινωνίας. Έτσι, ο ρόλος των αγωγών προστασίας με φορά προς το νερό, δηλαδή αυτών που συνδέουν τα αλεξικέραυνα με τα ηλεκτρόδια γείωσης προκειμένου να οδηγήσουν το κεραυνικό ρεύμα στο νερό, είναι να αποκλείουν τις παράπλευρες εκκενώσεις, να προστατεύουν τα αισθητήρια συστήματα και να ελαχιστοποιούν την ηλεκτρομαγνητική σύζευξη μεταξύ των ηλεκτρονικών συστημάτων.

2.2.2.3 Διάχυση φορτίου στο νερό

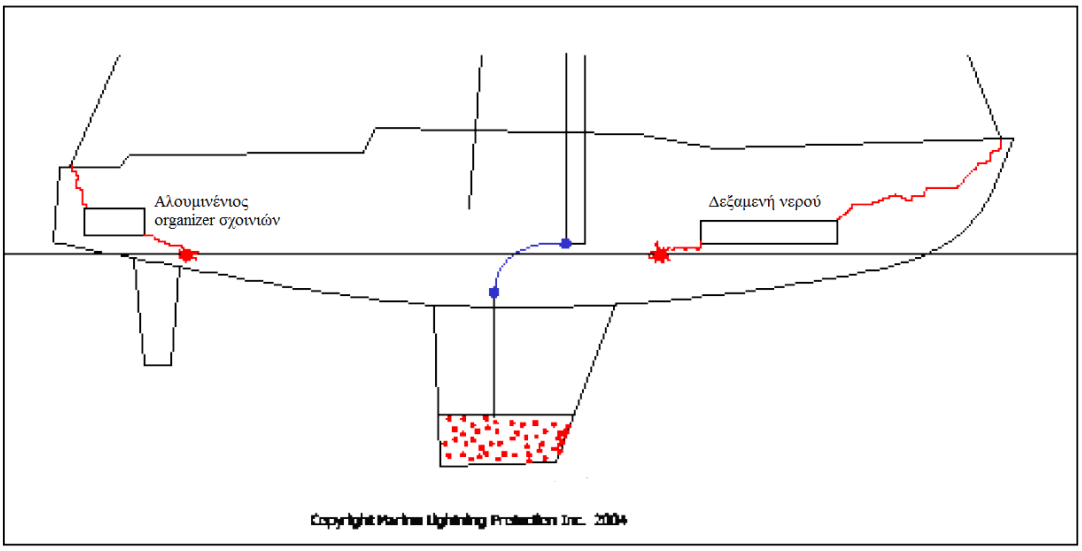
Η τάση του κεραυνού είναι δυνατό να προκαλέσει διάσπαση στη γάστρα του πλοίου που είναι κατασκευασμένη από μη μεταλλικό υλικό (π.χ. fiberglass), αν δεν δοθεί στο κεραυνικό ρεύμα μια εναλλακτική διέξοδος. Κάθε διείσδυση του ρεύματος αυτού αφήνει μια απανθρακωμένη τρύπα και πολύ περισσότερες εσωτερικές ζημιές. Σκοπός των ηλεκτροδίων γείωσης είναι να δημιουργήσουν γέφυρα μέσα στο νερό, ώστε να περιορισθούν οι βλάβες στη γάστρα του πλοίου. Στο μέρος του πλοίου που βρίσκεται μέσα στο νερό τοποθετείται μια πλάκα γείωσης. 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:

- Επιταχύνεται η διαδικασία γαλβανικής διάβρωσης
- Γίνεται ηλεκτρολυτική διάβρωση στις μαρίνες με τη διαρροή ρευμάτων
- Η τοποθέτηση πολλαπλών διασυνδεδεμένων στη γάστρα του πλοίου αυξάνει την πιθανότητα εισροής νερού στο πλοίο

Ως γείωση του κεραυνού μπορούν να λειτουργήσουν όλα τα βυθισμένα μεταλλικά αντικείμενα. Συνοπτικά, το φορτίο συσσωρεύεται σε όλους τους αγωγούς του πλοίου ακόμα και όταν το ρεύμα ρέει στο νερό. Η πυκνότητα φορτίου είναι μεγαλύτερη κοντά στο νερό και σε αιχμηρές γωνίες και άκρες αγωγών απ' όπου είναι πιο πιθανό να σχηματιστούν σπινθήρες. Επομένως, οι αιχμηρές γωνίες είναι ιδιαίτερα επιθυμητές στην εξωτερική πλευρά των ηλεκτροδίων γείωσης. Όπως όταν αρχίζει η ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, έτσι και όταν αναπτύσσονται σπινθήρες, η αντίσταση γείωσης μειώνεται, με αποτέλεσμα να μειώνεται και η τάση ολόκληρου του συστήματος προστασίας. Συνοπτικά το κύριο πρόβλημα όσο αφορά στην διάχυση φορτίου μέσα στο νερό είναι το πώς θα εφοδιάσουμε το σύστημα με τον απαραίτητο αριθμό αλλά και την απαραίτητη κατανομή ηλεκτροδίων γείωσης ώστε να μειώσουμε τις παράπλευρες εκκενώσεις, ελαχιστοποιώντας παράλληλα την διαβρωτική επίδραση των πολλαπλών βυθισμένων αγωγών που είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους.

2.2.2.4 Δημιουργία παράπλευρων εκκενώσεων από και ανάμεσα σε εξαρτήματα του πλοίου

Ενώ οι αιχμηρές γωνίες έχουν ευεργετικά αποτελέσματα στα ηλεκτρόδια γείωσης, συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο για τα αγώγιμα εξαρτήματα που βρίσκονται πάνω στο πλοίο και είναι ανεπιθύμητο να λειτουργούν ως ηλεκτρόδια γείωσης. Κάθε σπινθήρας που σχηματίζεται 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 θέση πάνω στο πλοίο ή και το σχήμα κάποιων εξαρτημάτων είναι πολύ πιθανό να μην μπορεί να αλλάξει. Για παράδειγμα, μια παράπλευρη εκκένωση ανάμεσα στην αλυσίδα της άγκυρας και το νερό, είναι πολύ συχνά παρατηρούμενο φαινόμενο.



Εικόνα 2.1 : Συνέπειες κεραυνικού πλήγματος σε ιστιοπλοϊκό κατά την πλεύση σε γλυκό νερό

Προφανώς αυτό που θα χρειαζόταν σε αυτή την περίπτωση, θα ήταν να προστεθούν τουλάχιστον δύο επιπλέον αγωγοί γείωσης, εκ των οποίων ο ένας να καλύπτει το μπροστινό μέρος του σκάφους και ο δεύτερος το πίσω. Το παραπάνω παράδειγμα δείχνει ξεκάθαρα την αποτελεσματικότητα μίας απλής πλάκας γείωσης ως προς τη συνολική προστασία του σκάφους.

2.3 Διαχωρισμός σκαφών [1]

Ανάλογα με το υλικό κατασκευής των σκαφών, είναι δυνατό να καταταχθούν σε δύο κατηγορίες: σκάφη μη μεταλλικού σκελετού και σκάφη μεταλλικού σκελετού.

2.3.1 Σκάφη μη μεταλλικού σκελετού

Σε σκάφη μη μεταλλικού σκελετού, όπου το υλικό της γάστρας είναι μη αγώγιμο, όλα τα πρότυπα συγκλίνουν στην αναγκαιότητα αντικεραυνικής προστασίας που αποτελείται από:

- Ένα τερματικό αέρα (αλεξικέραυνο) ικανό να λαμβάνει ένα απευθείας κεραυνικό πλήγμα χωρίς να παθαίνει σημαντική βλάβη.

- Έναν αγωγό καθόδου για τη σύνδεση του τερματικού αέρα με το τερματικό γείωσης
- Ένα τερματικό γείωσης (πλάκα γείωσης) που μπορεί να άγει αποτελεσματικά τα υψηλά κεραυνικά ρεύματα στη θάλασσα

2.3.2 Σκάφη μεταλλικού σκελετού

Περνώντας στην περίπτωση μεταλλικού σκάφους, το γενικό συμπέρασμα είναι ότι τη θέση του καθοδικού αγωγού και της πλάκας γείωσης, παίρνει το ίδιο το σκάφος. Αν στην περίπτωση μη μεταλλικού σκάφους επιδιώκουμε να εξασφαλίσουμε την ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ αυτών των στοιχείων, στο μεταλλικό σκάφος, η ίδια η αγωγιμότητα του υλικού συνδέει αυτόματα τον κεραυνό με το νερό. Στα πρότυπα ISO 10134, IEC 60092-507, ABYC, DEF STAN 02-516 και Bureau Veritas NR 566 γίνεται λόγος για την περίπτωση μεταλλικού σκελετού σκάφους με το πρότυπο ABYC να είναι το μοναδικό που κάνει λόγο για την περίπτωση που το σκάφος είναι κατασκευασμένο από ανθρακονήματα (carbonfibers), κατατάσσοντάς το στην κατηγορία των μη μεταλλικών σκαφών.

2.4 Τερματικό αέρα (αλεξικέραυνο) [1]

Με τον όρο τερματικό αέρα, αλεξικέραυνο ή γενικότερα αγωγός αντικεραυνικής προστασίας αποδίδεται το υψηλότερο σημείο του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας που έχει ως σκοπό να προσελκύσει τον κεραυνό και να τον διοχετεύσει στο σύστημα γείωσης.

Τα σκάφη με μη μεταλλικό σκελετό πρέπει να φέρουν αγωγό αντικεραυνικής προστασίας, το κατώτερο μέρος του οποίου πρέπει να είναι συνδεδεμένο στο τερματικό γείωσης (πλάκα γείωσης).

Το τερματικό αέρα πρέπει να αποτελείται από αγώγιμη ράβδο κατασκευασμένη από χαλκό, κράμα χαλκού ή ανοξείδωτο ατσάλι, εκτός εάν τοποθετείται σε αλουμινένιο κατάρτι, οπότε και πρέπει να χρησιμοποιηθεί το ίδιο είδος αλουμινίου.

Μεταλλικά κατάρτια και δομικά στοιχεία μπορούν να αποτελούν το σημείο στήριξης και ταυτόχρονα τον καθοδικό αγωγό. Τα μέσα σταθεροποίησης του τερματικού αέρα στο κατάρτι πρέπει να παρουσιάζουν αντίσταση όχι μεγαλύτερη από αυτήν του κύριου καθοδικού αγωγού. Αν το κατάρτι αποτελείται από μη μεταλλικό υλικό, ο σχετικός καθοδικός αγωγός πρέπει, να είναι όσο το δυνατόν ευθύς, να είναι ασφαλώς προσδεμένος στο κατάρτι, να εκτείνεται τουλάχιστον 150mm πάνω από

το κατάρτι, να καταλήγει σε τερματικό αέρα, και να οδηγείται όσο το δυνατόν πιο άμεσα στη σύνδεση γείωσης.

- Τα σκάφη που δεν φέρουν μόνιμο κατάρτι πρέπει να προστατευτούν με προσωρινό αντικεραυνικό κατάρτι που θα εγείρεται όταν υπάρχουν οι ενδείξεις ότι είναι πιθανό να συμβεί κεραυνοπληξία. Το προσωρινό κατάρτι, πρέπει να είναι όσο το δυνατότερο κοντά στο γεωμετρικό κέντρο του σκάφους αλλά μπορεί και να απέχει από αυτό υπό την προϋπόθεση ότι η ζώνη προστασίας καλύπτει ολόκληρο το σκάφος
- Τα ψηλά καλώδια που διατρέχονται παράλληλα με τον καθοδικό αγωγό πρέπει να εσωκλείονται στο κατάρτι όπου αυτό είναι δυνατόν για να αποφεύγονται επαγόμενες τάσεις. Τα κατάρτια συνθετικής κατασκευής πρέπει να διατηρούν μόνιμες μεταλλικές συνδέσεις χαμηλής αντίστασης μεταξύ όλων των μερών
- Σε σκάφη με μεταλλικό σκελετό που φέρουν μη μεταλλικά κατάρτια πρέπει να παρέχεται αγωγός αντικεραυνικής προστασίας. Το κατώτερο μέρος του αγωγού αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να συνδεθεί στο μεταλλικό σκελετό του πλοίου.
- Αγείωτα ή μη αγώγιμα αντικείμενα/υπερδομές που προεξέχουν από τα αντικεραυνικά κατάρτια μπορούν να προστατευθούν με έναν αγωγό γείωσης που θα καταλήγει σε τερματικό αέρα πάνω από το εκάστοτε αντικείμενο.

Τα τερματικά αέρα πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε η προκύπτουσα ζώνη προστασίας να καλύπτει ολόκληρο το σκάφος και πιο συγκεκριμένα όλα τα μέρη του σκάφους πάνω από το επίπεδο του καταστρώματος. Εάν δεν αρκεί η χρήση ενός μόνο τερματικού αέρα, πρέπει να προστεθούν επιπλέον αλεξικέραυνα ώστε να σχηματιστούν αλληλεπικαλυπτόμενες ζώνες προστασίας που τελικά να εμπεριέχουν ολόκληρο το σκάφος.

2.5 Μέθοδοι αντικεραυνικής προστασίας [1]

Για να προσδιορίσουμε την περιοχή που θέλουμε να καταστήσουμε θεωρητικά απρόσβλητη από κεραυνικά πλήγματα έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι. Στόχος μας είναι προφανώς η περιοχή αυτή να περιλαμβάνει ολόκληρη την επιφάνεια του σκάφους που θέλουμε να προστατέψουμε από άμεσα κεραυνικά πλήγματα.

Στις μεθόδους αντικεραυνικής προστασίας που αναλύονται στις επόμενες σελίδες χρησιμοποιούνται οι εξής συμβολισμοί:

- Η είναι η απόσταση της κορυφής του αλεξικέραυνου από τη γη μετρούμενη σε m,

- I_p είναι το μέγιστο ρεύμα του οχετού προεκκένωσης μετρούμενο σε kA,

- R_s είναι η απόσταση πλήγματος ή διάσπασης μετρούμενη σε m και

- d είναι η ακτίνα προστασίας στο οριζόντιο επίπεδο μετρούμενη σε m.

2.5.1 Ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο [7]

Στις αρχές της δεκαετίας του 1960 διεξήχθη διεξοδική έρευνα του φαινομένου της σύλληψης του κεραυνού, ώστε τα αποτελέσματα της να εφαρμοστούν στη σχεδίαση της θωράκισης και την ανάλυση της κεραυνικής συμπεριφοράς σχετικά ψηλών εναέριων γραμμών μεταφοράς υπερυψηλής τάσης (EHV) για τις οποίες η εφαρμογή γεωμετρικών μεθόδων υπολογισμού της ζώνης προστασίας, που παρείχαν οι αγωγοί προστασίας στους αγωγούς φάσης, αποδείχτηκε ανεπαρκής. Προϊόν της έρευνας αυτής ήταν η ανάπτυξη των ηλεκτρογεωμετρικών μοντέλων σύμφωνα με τα οποία η σύλληψη του κεραυνού από ένα αντικείμενο συμβαίνει, εφόσον η κεφαλή του κατερχόμενου οχετού βρεθεί σε απόσταση ίση με την απόσταση πρόσκρουσης από αυτό, οπότε λόγω ανύψωσης του ηλεκτρικού πεδίου στο αντικείμενο ξεκινά ένας ανερχόμενος οχετός, που συλλαμβάνει τον κατερχόμενο. Δεδομένου ότι η ανύψωση του πεδίου στο αντικείμενο εξαρτάται από το φορτίο στην κεφαλή του κατερχόμενου οχετού και το φορτίο αυτό με τη σειρά του σχετίζεται με το φορτίο του νέφους που καθορίζει το ρεύμα του οχετού επιστροφής, η απόσταση που απαιτείται για την έναυση του ανερχόμενου οχετού, η απόσταση πρόσκρουσης, συσχετίστηκε με το ρεύμα του κεραυνού. Πολλοί ερευνητές βασιζόμενοι σε δεδομένα πεδίου και σε πειραματικά αποτελέσματα ηλεκτρικής διάσπασης διακένων αέρα, τύπου ράβδου-ράβδου και ράβδου-πλάκας υπό κρουστικές υψηλές τάσεις, πρότειναν εξισώσεις προσδιορισμού της απόστασης πρόσκρουσης σε ένα αντικείμενο *S* (m) σε σχέση με το ρεύμα του κεραυνού *I* (kA) της μορφής

$$\mathrm{S} = \mathrm{A}\mathrm{I}^{\mathrm{B}} = \gamma\mathrm{D} \qquad (2.1)$$

όπου *D* (m) η απόσταση πρόσκρουσης στη γη και οι συντελεστές *A*, *B* και *γ* δίνονται στον Πίνακα 2.1.

Ηλεκτρογεωμετρικά μοντέλα	**A**	**B**	**γ**
Wagner and Hileman	14.2	0.42	1
Young et al.	27γ	0.32	1 για h<18 m $\frac{444}{462-h}$ για h>18 m
Armstrong and Whitehead	6.72	0.80	1.11
Brown and Whitehead	7.1	0.75	1.11
Love	10	0.65	1
Whitehead	9.4	0.67	1
Suzuki et al.	3.3	0.78	1
Anderson, IEEE WG	8	0.65	1/β*
IEEE Std	10	0.65	1/β**
*β=0.64 για UHV γραμμές, 0.8 για EHV γραμμές και 1 για άλλες γραμμές μεταφοράς			
**β=0.36+0.17ln(43-h) για h<40 m, β=0.55 για h>40 m όπου h το ύψος του αγωγού φάσης			

Πίνακας 2.1: Υπολογισμός των συντελεστών A, B και γ ανάλογα με τα διάφορα ηλεκτρογεωμετρικά μοντέλα.

Επέκταση της χρήσης των ηλεκτρογεωμετρικών μοντέλων, τα οποία αναπτύχθηκαν για την ανάλυση της θωράκισης εναέριων γραμμών μεταφοράς, για το προσδιορισμό της ζώνης προστασίας αλεξικέραυνων σε κοινές κατασκευές και υποσταθμούς αποτελεί η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας. Σύμφωνα με τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας, η οποία προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Horvath για τη σχεδίαση συστημάτων εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας, η απόσταση πρόσκρουσης στη γη και σε ένα αντικείμενο θεωρείται ίση (γ = 1). Δεδομένου ότι η ανύψωση του πεδίου σε ένα αντικείμενο λόγω του κατερχόμενου οχετού εξαρτάται από τη γεωμετρία του, και ιδιαίτερα από το ύψος του, είναι λογικό ότι η απόσταση πρόσκρουσης σε αυτό εξαρτάται από τη γεωμετρία του. Επίσης, η πολικότητα του κεραυνού, η οποία αδιαμφισβήτητα παίζει ρόλο στην εξέλιξη του φαινομένου της σύλληψης του κεραυνού, αφού σχετίζεται με το μηχανισμό διάσπασης του αέρα, θα έπρεπε να λαμβάνεται υπόψη στο προσδιορισμό της απόστασης πρόσκρουσης, όπως έχει αναλυτικά συζητηθεί και προταθεί από τον Waters. Τα παραπάνω έρχονται σε αντίθεση με τη βασική υπόθεση στην οποία στηρίζονται τα ηλεκτρογεωμετρικά μοντέλα ότι η απόσταση πρόσκρουσης εξαρτάται αποκλειστικά από το ρεύμα του κεραυνού. Αναλόγως, ο συντελεστής γ που συσχετίζει την απόσταση πρόσκρουσης σε ένα αντικείμενο με την απόσταση πρόσκρουσης στη γη θα έπρεπε να εξαρτάται από το ύψος του αντικειμένου, όπως έχει συζητηθεί από τον Mousa, και την πολικότητα του κεραυνού, πράγμα που δε λαμβάνεται υπόψη από τα ηλεκτρογεωμετρικά μοντέλα. Επιπρόσθετα, κάθε ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο για δεδομένο ρεύμα κεραυνού οδηγεί σε μία ντετερμινιστική τιμή της απόστασης πρόσκρουσης, γεγονός μη ρεαλιστικό, αν ληφθεί υπόψη η πιθανοκρατική φύση της διάσπασης διακένων αέρα, και άρα του φαινομένου της σύλληψης του κεραυνού.

Όπως για δεδομένη επιβαλλόμενη τάση μπορούν να διασπαστούν διαφορετικού μήκους διάκενα αέρα με διαφορετική πιθανότητα έτσι και ένας κεραυνός δεδομένου ρεύματος, με δεδομένο δυναμικό στην κεφαλή του κατερχόμενου οχετού, είναι δυνατό να γεφυρώσει διάκενα διαφορετικού μήκους με διαφορετική πιθανότητα. Συνεπώς, η απόσταση πρόσκρουσης είναι ένα στατιστικό μέγεθος, γεγονός που αναγνώρισε ο Whitehead και οι συνεργάτες του που θεώρησαν ότι η απόσταση πρόσκρουσης ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή που δίνεται από εξίσωση της μορφής (2) και σταθερή τυπική απόκλιση ίση με 10%. Με βάση τη στατιστική διακύμανση της απόστασης πρόσκρουσης έγινε δυνατή η εξήγηση καταγεγραμμένων κεραυνικών πληγμάτων στους αγωγούς φάσης εναέριων γραμμών μεταφοράς που σύμφωνα με τη συμβατική ανάλυση θεωρούνταν επαρκώς θωρακισμένες. Ωστόσο, η ιδέα της στατιστικής διακύμανσης της απόστασης πρόσκρουσης στη συνέχεια εγκαταλείφθηκε και δεν διερευνήθηκε η εξάρτηση της μέσης τιμής της και της τυπικής απόκλισής της από το ρεύμα και την πολικότητα του κεραυνού καθώς και από το ύψος του αντικειμένου. Παρά τις απλοποιήσεις και τις υποθέσεις σχετικά με το φαινόμενο της σύλληψης του κεραυνού που έχουν υιοθετηθεί από τα ηλεκτρογεωμετρικά μοντέλα, τα μοντέλα αυτά ιστορικά έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στην σχεδίαση της θωράκισης εναέριων γραμμών μεταφοράς και χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα με βάση το IEEE Std 1243. Επίσης, το ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο που πρότειναν οι Mousa & Srivastava, το οποίο προέκυψε βασιζόμενο σε αποτελέσματα πειραμάτων κλίμακας των Suzuki et al., έχει υιοθετηθεί από το IEEE Std 998 για τη σχεδίαση της θωράκισης υποσταθμών υψηλής τάσης έναντι άμεσων κεραυνικών πληγμάτων. Ωστόσο, είναι προφανές ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές τόσο στην τιμή, όσο και στο ρυθμό αύξησης της απόστασης πρόσκρουσης με το ρεύμα του κεραυνού ανάμεσα στα ηλεκτρογεωμετρικά μοντέλα. Τέτοιες διαφορές μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τόσο τη σχεδίαση της θωράκισης, όσο και την εκτιμώμενη συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων σε ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Συνεπώς, η εξίσωση υπολογισμού της απόστασης πρόσκρουσης χρήζει διερεύνησης και τα προτεινόμενα μέχρι σήμερα ηλεκτρογεωμετρικά μοντέλα πρέπει να αξιολογηθούν με βάση τα δεδομένα πεδίου της βιβλιογραφίας, αφού εφαρμοστεί μια γενικευμένη μεθοδολογία, τόσο για την ανάλυση της θωράκισης, όσο και για την εκτίμησης της συχνότητας των κεραυνικών πληγμάτων σε συστήματα αντικεραυνικής προστασίας.

2.5.2 Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας [1] , [6] , [8] , [9] , [10] , [13]

Η περιοχή προστασίας προσδιορίζεται με βάση την εξής αρχή: Η οδηγός εκκένωση μπορεί να πλησιάσει γειωμένα αντικείμενα από οποιανδήποτε κατεύθυνση, δηλαδή και οριζοντίως(από το πλάι). Όταν μια εκκένωση πλησιάσει γειωμένα αντικείμενα σε μια συγκεκριμένη απόσταση, τότε αυτή θα προχωρήσει, δηλαδή ο κεραυνός θα πέσει στο πλησιέστερο αντικείμενο. Αυτή η συγκεκριμένη απόσταση λέγεται ακτίνα της κεραυνικής ή κυλιόμενης σφαίρας. Η ακτίνα της σφαίρας επιλέγεται από 60m έως 20m. Θεωρούμε λοιπόν μια κυλιόμενη σφαίρα ακτίνας η οποία κυλιέται παντού, σε όλες τις δυνατές κατευθύνσεις, γύρω από το προς προστασία κτίριο. Εάν

κατά την κίνηση της έρχεται σε επαφή μόνο με στοιχεία του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας και το έδαφος, τότε το κτίριο θεωρείται προστατευμένο. Εάν η σφαίρα έρχεται σε επαφή και με τμήματα του υπό προστασία κτιρίου, τότε απαιτείται συμπλήρωση του ΣΑΠ. Σε κτίρια με ύψος μεγαλύτερο της επιλεγείσας ακτίνας της κυλιόμενης σφαίρας, εφοδιάζονται και οι πλάγιες επιφάνειες με συλλεκτήριο σύστημα. Η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιανδήποτε κατασκευή.

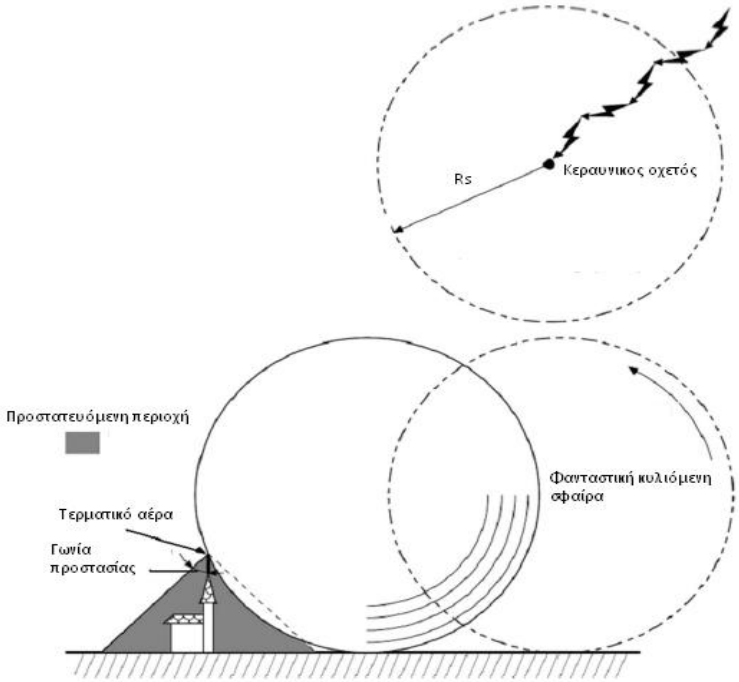
Οι μαθηματικές σχέσεις υπολογισμού των παραμέτρων αυτής της μεθόδου είναι:

$$R_s = 10 * {I_p}^{0.65} \tag{2.2}$$

$$d = \sqrt{2\mathrm{H}R_s - \mathrm{H}^2} \tag{2.3}$$

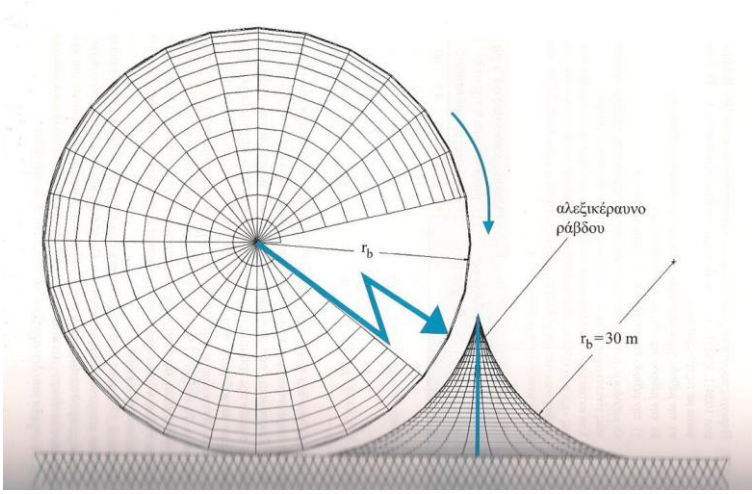
- όπου $\mathrm{I_p}$ είναι το μέγιστο ρεύμα του οχετού προεκκένωσης μετρούμενο σε kA
- όπου Η το ύψος του αλεξικέραυνου συμπεριλαμβανομένου του ύψους της κατασκευής από το έδαφος.

Στην περίπτωση που υπάρχει μόνο ένα τερματικό αέρα, τότε η ζώνη προστασίας είναι παρόμοια με αυτήν της μεθόδου του κώνου προστασίας ως προς το σχήμα με τη διαφορά ότι στη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας η περιοχή είναι μικρότερη αλλά ακριβέστερη.



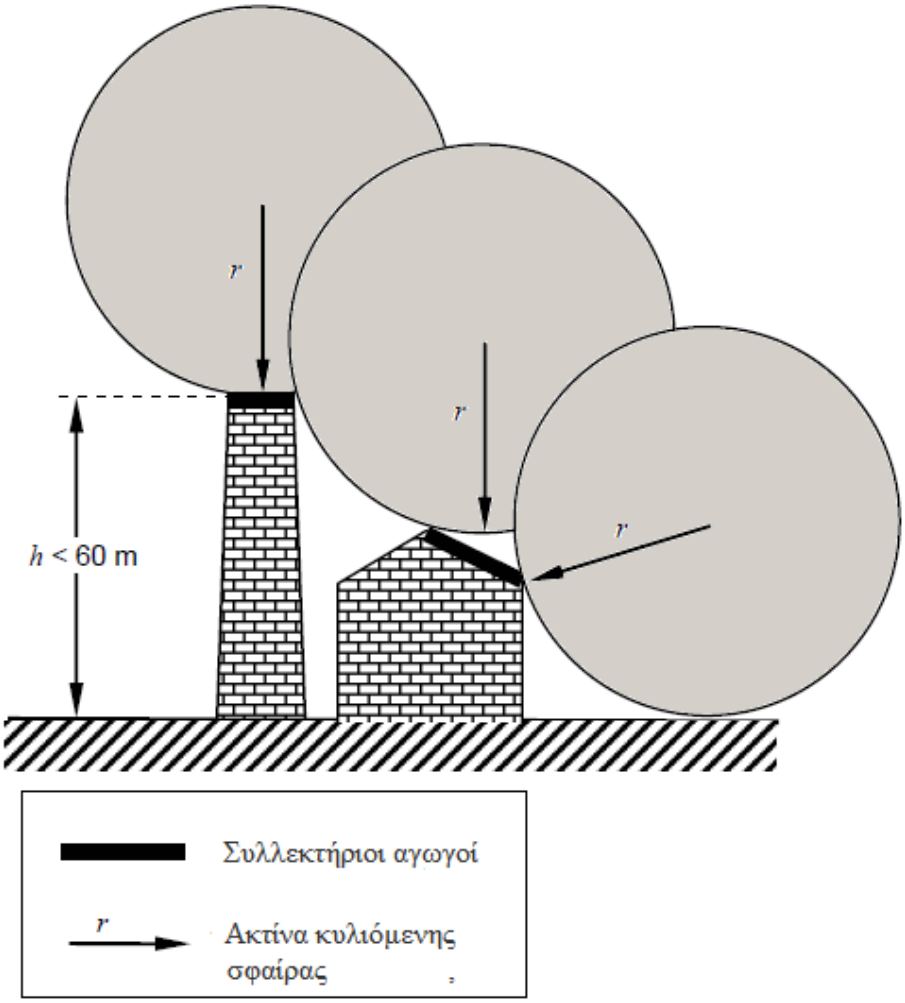
Εικόνα 2.3 : Ζώνη προστασίας συστήματος αντικεραυνικής προστασίας με τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας.

Ένα αντικείμενο θεωρείται προστατευμένο από απευθείας κεραυνικό πλήγμα όταν παραμένει κάτω από την καμπυλωτή επιφάνεια της σφαίρας όταν το κέντρο αυτής έχει ανυψωθεί από τη χρήση αλεξικέραυνων ή άλλων μέσων. Αν κάποιο αντικείμενο εξέχει ολικά ή εν μέρει από αυτήν την επιφάνεια θεωρείται μη προστατευμένο όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 2.4 : Αναπαράσταση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας.

Η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας θεωρείται θεωρητικά και πειραματικά εμπεριστατωμένη και χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές όταν χρησιμοποιούμε περισσότερα του ενός αλεξικέραυνα. Συνηθέστερα χρησιμοποιείται σε συστήματα προστασίας μεγάλων κτηρίων ή συστοιχίας οικοδομημάτων με υψομετρικές διαφορές όμως χρησιμοποιείται και στη σχεδίαση συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας σε μεγαλύτερα σκάφη.



Εικόνα 2.5: Παράδειγμα μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας ακτίνας r, ανάλογα με την Στάθμη Προστασίας.

2.5.3 Μέθοδος κώνου προστασίας [1] , [8] , [9] , [12]

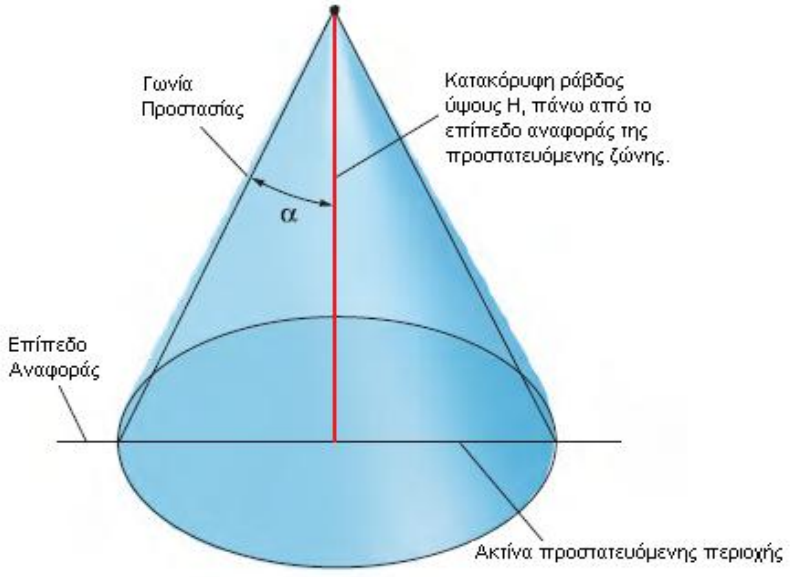
Η μέθοδος του κώνου προστασίας (Cone Protection Method – CPM) είναι η απλούστερη και παλαιότερη σε σχέση με το ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο γι' αυτό και η χρήση της συνηθίζεται σε μικρά σκάφη . Το σκεπτικό πίσω από αυτή τη μέθοδο είναι ότι ο κεραυνός προτιμάει να συνδεθεί με το υψηλότερο δυνατό σημείο (εν προκειμένω το αλεξικέραυνο) παρά με οποιοδήποτε άλλο αντικείμενο που βρίσκεται εντός του κώνου. Ουσιαστικά σχηματίζουμε έναν κλωβό Faraday μέσα στον οποίο εσωκλείουμε το σκάφος. Ο προστατευόμενος όγκος που παρέχεται από ένα αλεξικέραυνο ή μια κατακόρυφη ράβδο θεωρείται ότι έχει τη μορφή ενός φανταστικού ορθού κυκλικού κώνου με κορυφή την απόληξη της κατακόρυφης ράβδου. Σε αυτή τη μέθοδο προστασίας το ρεύμα κεραυνού δε

λαμβάνεται υπόψη, παρά μόνο το ύψος της κατακόρυφης ράβδου το οποίο πρέπει να υπολογιστεί σωστά ώστε η ακτίνα της προστατευόμενης περιοχής να είναι επαρκώς μεγάλη ώστε η κατασκευή να καλύπτεται από το κεραυνικό πλήγμα. Ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις για τον υπολογισμό της απόστασης διάσπασης (Rs) και της οριζόντιας απόστασης προστασίας (d):

$$R_s = 2H \tag{2.4}$$

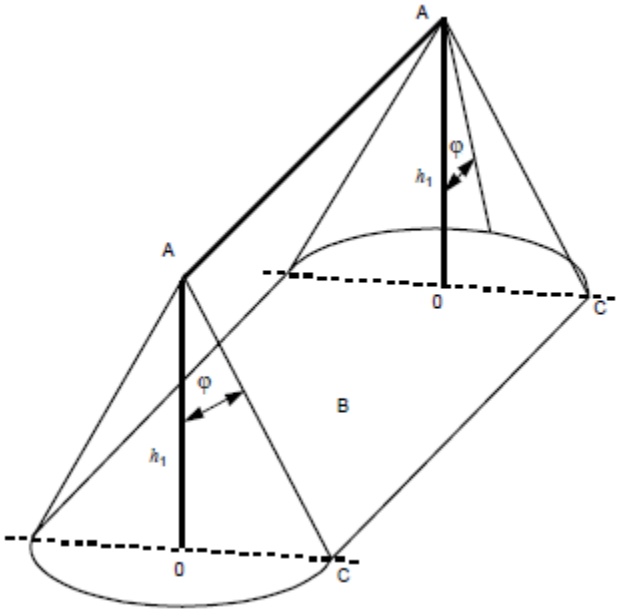
$$d = H \tag{2.5}$$

Η κορυφή του κώνου ορίζεται από το υψηλότερο σημείο του αλεξικέραυνου το οποίο σχηματίζει γωνία 45° με την πλευρική επιφάνεια του κώνου αν θέλουμε η αναλογία προστασίας να είναι 1:1 (H : d). Η γωνία που σχηματίζει το ύψος με την πλευρική επιφάνεια μπορεί να είναι και 60° αν θέλουμε η αναλογία προστασίας να είναι 2:1 αλλά πρέπει να έχουμε υπόψη ότι όσο αυξάνεται το άνοιγμα της γωνίας, τόσο αυξάνεται και η πιθανότητα να αποτύχει το σύστημα που σχεδιάζουμε. Στόχος μας είναι να καθορίσουμε κατάλληλα το ύψος του αλεξικέραυνου ώστε η ακτίνα της βάσης για τη συγκεκριμένη γωνία να είναι επαρκώς μεγάλη ώστε να καλύπτει το σκάφος.



Εικόνα 2.6 : Ζώνη προστασίας συστήματος αντικεραυνικής προστασίας με τη μέθοδο της γωνίας προστασίας με κατακόρυφη ράβδο. Η γωνία προστασίας α ορίζεται ως η γωνία ανάμεσα στην κατακόρυφη ράβδο και στην επιφάνεια του κώνου.

Στην περίπτωση που υπάρχουν δύο κάθετοι συλλεκτήριοι ράβδοι που ενώνονται μεταξύ τους με έναν τεταμένο εναέριο αγωγό, η περιοχή προστασίας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

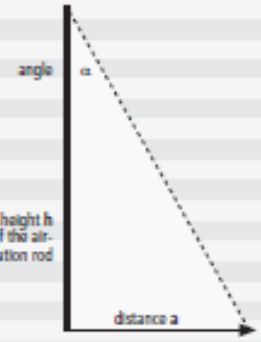


Εικόνα 2.7: Περιοχή προστασίας 2 συλλεκτήριων ράβδων με τη μέθοδο της γωνίας προστασίας.

Το μεγάλο μειονέκτημα του κώνου προστασίας είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη κανένα στοιχείο του κεραυνού στον υπολογισμό της ζώνης προστασίας και γενικά δεν θεωρείται απόλυτα επιστημονικά εξακριβωμένο. Η μέθοδος αυτή είναι αποτέλεσμα φτωχών και ανεπαρκών εφαρμοσμένων φυσικών αρχών. Χρησιμοποιώντας σε κατασκευές αυτή τη μέθοδο προστασίας, δεν είναι ασυνήθιστο ο κεραυνός να χτυπήσει μέσα στη ζώνη προστασίας. Επίσης δεν χρησιμοποιείται σε κατασκευές οι οποίες χαρακτηρίζονται ως γεωμετρικά περίπλοκες.

Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας υπολογισμού της γωνίας προστασίας ανάλογα με το αντίστοιχο ύψος της εκάστοτε ακίδας η οποία είναι lightning mast.

Height of the air-termination rod h in m	Class of LPS I		Class of LPS II		Class of LPS III		Class of LPS IV	
	Angle α	Distance a in m	Angle α	Distance a in m	Angle α	Distance a in m	Angle α	Distance a in m
1	71	2.90	74	3.49	77	4.33	79	5.14
2	71	5.81	74	6.97	77	8.66	79	10.29
3	66	6.74	71	8.71	74	10.46	76	12.03
4	62	7.52	68	9.90	72	12.31	74	13.95
5	59	8.32	65	10.72	70	13.74	72	15.39
6	56	8.90	62	11.28	68	14.85	71	17.43
7	53	9.29	60	12.12	66	15.72	69	18.24
8	50	9.53	58	12.80	64	16.40	68	19.80
9	48	10.00	56	13.34	62	16.93	66	20.21
10	45	10.00	54	13.76	61	18.04	65	21.45
11	43	10.26	52	14.08	59	18.31	64	22.55
12	40	10.07	50	14.30	58	19.20	62	22.57
13	38	10.16	49	14.95	57	20.02	61	23.45
14	36	10.17	47	15.01	55	19.99	60	24.25
15	34	10.12	45	15.00	54	20.65	59	24.96
16	32	10.00	44	15.45	53	21.23	58	25.61
17	30	9.81	42	15.31	51	20.99	57	26.18
18	27	9.17	40	15.10	50	21.45	56	26.69
19	25	8.86	39	15.39	49	21.86	55	27.13
20	23	8.49	37	15.07	48	22.21	54	27.53
21			36	15.26	47	22.52	53	27.87
22			35	15.40	46	22.78	52	28.16
23			36	16.71	47	24.66	53	30.52
24			32	15.00	44	23.18	50	28.60
25			30	14.43	43	23.31	49	28.76
26			29	14.41	41	22.60	49	29.91
27			27	13.76	40	22.66	48	29.99
28			26	13.66	39	22.67	47	30.03
29			25	13.52	38	22.66	46	30.03
30			23	12.73	37	22.61	45	30.00
31					36	22.52	44	29.94
32					35	22.41	44	30.90
33					35	23.11	43	30.77
34					34	22.93	42	30.61
35					33	22.73	41	30.43
36					32	22.50	40	30.21
37					31	22.23	40	31.05
38					30	21.94	39	30.77
39					29	21.62	38	30.47
40					28	21.27	37	30.14
41					27	20.89	37	30.90
42					26	20.48	36	30.51
43					25	20.05	35	30.11
44					24	19.59	35	30.81
45					23	19.10	34	30.35
46							33	29.87
47							32	29.37
48							32	29.99
49							31	29.44
50							30	28.87
51							30	29.44
52							29	28.82
53							28	28.18
54							27	27.51
55							27	28.02
56							26	27.31
57							25	26.58
58							25	27.05
59							24	26.27
60							23	25.47



Πίνακας 2.3 : Υπολογισμός της γωνίας προστασίας της μεθόδου του κώνου ανάλογα με το ύψος της ακίδας και της στάθμης προστασίας.

2.5.4 Προσδιορισμός της περιοχής προστασίας [2]

Ο προσδιορισμός της περιοχής προστασίας γίνεται κατά IEC 62305 εναλλακτικά με δύο τρόπους:

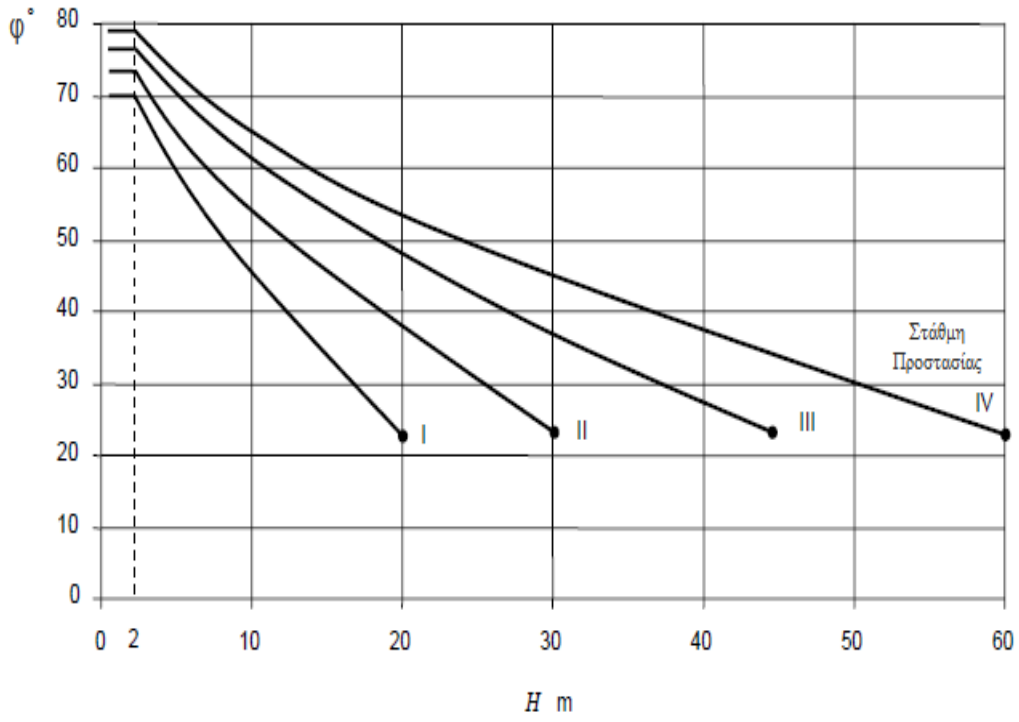
1) Με την μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας ακτίνας r_b,

2) Με την μέθοδο της γωνίας προστασίας α,

Οι πιο πάνω μέθοδοι θεωρούνται ισοδύναμοι. Πιο κάτω διακρίνονται οι τέσσερις στάθμες προστασίας από I..IV (κατά το IEC 62305) με πιο αυστηρή την I:

Στάθμη προστασίας	**r_b (m)**	**Άνοιγμα βρόχου (m)**	**Γωνία προστασίας α° για διάφορα ύψη h της συλλεκτήριας εγκατάστασης**
I	20	5x5	Εικόνα 2.2
II	30	10x10	
III	45	15x15	
IV	60	20x20	

Πίνακας 2.2 : Στάθμες κεραυνικής προστασίας



Εικόνα 2.2: Υπολογισμός γωνίας προστασίας «α» ,ανάλογα με την Στάθμη Προστασίας.

2.5.5 Προσδιορισμός του αριθμού πληγμάτων [2]

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της επιλογής για striking distance formula και probability υπολογίστηκε με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς ο συνολικός αριθμός πληγμάτων.

Η μέση ετησία συχνότητα **N_d** των πληγμάτων κεραυνού σε μία κατασκευή μπορεί να υπολογισθεί από την σχέση:

$$N_d = N_g * A_e * C_e * 10^{-6} \quad (5.1)$$

όπου:

N_g: είναι η μέση ετήσια συχνότητα κεραυνών, (σε πλήγματα ανά Km^2), της περιοχής στην οποία βρίσκεται η υπό εξέταση κατασκευή

A_e: είναι η ισοδύναμη συλλέκτρια επιφάνεια της κατασκευής όταν θεωρείται απομονωμένη (σε Km^2)

C_e: ο συντελεστής περιβάλλοντος, ο οποίος λαμβάνει υπόψη την επίδραση των γειτονικών κτισμάτων, για τον υπολογισμό της ισοδύναμης συλλεκτικής επιφάνειας, και δίνεται από τον πίνακα 5.2:

Θέση της κατασκευής	**C_e**
Κατασκευή ευρισκόμενη σε περιοχή με άλλες κατασκευές η δέντρα, του ιδίου ή μεγαλύτερου ύψους	0,25
Κατασκευή περιβαλλόμενη από άλλες μικρότερες κατασκευές	0,5
Απομονωμένη κατασκευή (δεν υπάρχουν άλλα κτίσματα σε απόσταση 3h από την κατασκευή)	1
Απομονωμένη κατασκευή στην κορυφή ενός λόφου	2

Πίνακας 5.2: Υπολογισμός του συντελεστή περιβάλλοντος Ce ,για την επίδραση των γειτονικών κτισμάτων στον υπολογισμό της συλλεκτικής επιφάνειας μιας κατασκευής.

Η πυκνότητα κεραυνών εκφράζεται σαν το μέσο όρο κεραυνικών πληγμάτων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο και έτος και μπορεί να καθοριστεί από:
•χάρτες που δίνουν το Ng,
•χάρτες που δίνουν το μέσο όρο ημερών καταιγίδας ανά έτος (T_d) και με τη βοήθεια της σχέσης:

$$N_g = 0{,}04 * T_d{}^{1,25} \quad \text{ανά } km^2 \text{ και έτος} \quad (5.2)$$

Η σχέση αυτή μεταβάλλεται με την αλλαγή των κλιματολογικών συνθηκών.

Ο ακόλουθος πίνακας δίνει παραδείγματα του N_g συναρτήσει του T_d:

T_d (ανά έτος)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
N_g (ανά km^2 και έτος)	0.3	0.7	1.2	1.7	2.2	2.8	3.4	4.0	4.7

Πίνακας 5.3 : Παράδειγμα υπολογισμού του N_g συναρτήσει του T_d

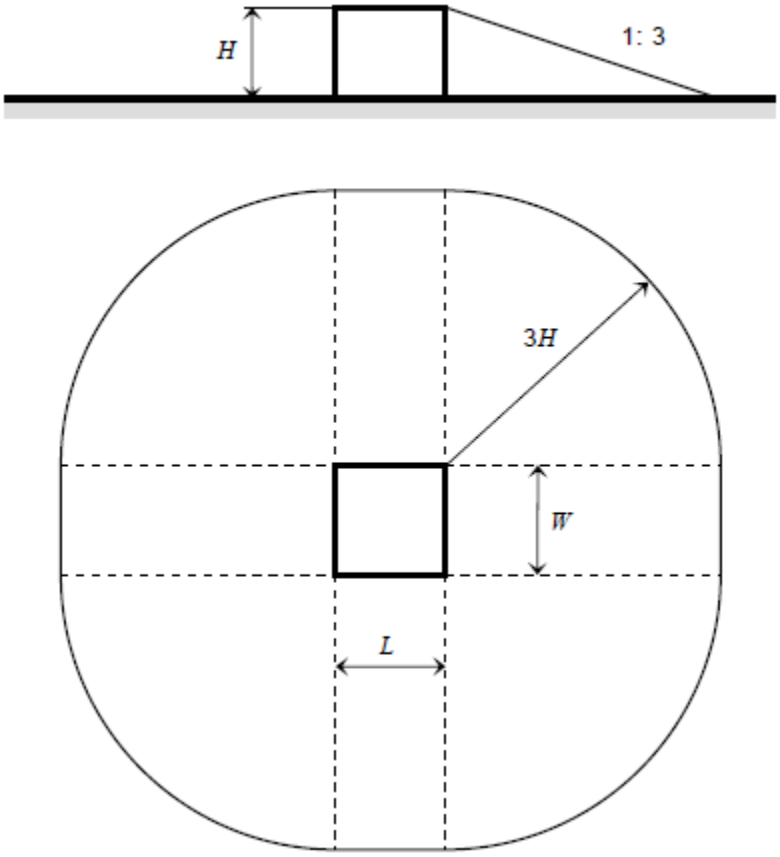
$\mathbf{N_d}$ = $1/T_d$: Αναμενόμενη ετήσια συχνότητα προσβολής της κατασκευής από κεραυνό.

Στον πίνακα 5.4 παρουσιάζονται οι τιμές του μέσου όρου ημερών καταιγίδας ανά έτος (T_d), που χρησιμοποιούνται στο πρόγραμμα, για διάφορες περιοχές της Ελλάδας.

Περιοχή	**Μέσος όρος ημερών καταιγίδων ανά έτος T_d**
Ανατολική Πελοπόννησος Ανατολική Στερεά Εύβοια Ανατολική Κρήτη	Μέχρι 25
Κεντρική Πελοπόννησος Κεντρική Μακεδονία Θράκη Βόρειοι Σποράδες Κυκλάδες	Μέχρι 35
Δυτική Μακεδονία Κρήτη Ανατολικά Νησιά Αιγαίου Νότια Πελοπόννησος	Μέχρι 45
Νησιά Ιονίου Ήπειρος Δυτική Στερεά Κεντρική Στερεά Δυτική Πελοπόννησος	Μέχρι 55

Πίνακας 5.4 : Τιμές του μέσου όρου ημερών καταιγίδας ανά έτος (T_d), που χρησιμοποιούνται στο πρόγραμμα, για διάφορες περιοχές της Ελλάδας.

Η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια μίας κατασκευής ορίζεται ως μία επίπεδη επιφάνεια εδάφους που έχει την ίδια ετήσια συχνότητα άμεσων πληγμάτων όπως η κατασκευή. Για απομονωμένες κατασκευές η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια A_e είναι η επιφάνεια που προκύπτει από την τομή της επιφάνειας του εδάφους και μίας ευθείας γραμμής με κλίση 1/3 η οποία διέρχεται από τα ψηλότερα τμήματα της κατασκευής (εφαπτομένη στην κατασκευή) και περιστρεφόμενη γύρω από αυτή.



Εικόνα 5.1 : Υπολογισμός ισοδύναμης συλλεκτήριας επιφάνειας για απομονωμένες κατασκευές.

Για μία απομονωμένη ορθογώνια κατασκευή μήκους L, πλάτους W και ύψους H,
Η συλλεκτήρια επιφάνεια είναι ίση με:

$$A_e = LW + 6H(L + W) + 9\pi H^2 \qquad (5.3)$$

2.6 Πρότυπα και διεθνείς κανονισμοί [1]

Τα διεθνή πρότυπα που ασχολούνται με το ζήτημα της αντικεραυνικής προστασίας πλοίων είναι περιορισμένα, ωστόσο υπάρχει πληθώρα εθνικών οργανισμών (εθνικοί νηογνώμονες, διευθύνσεις ηλεκτρικής ασφάλειας κα) που το συμπεριλαμβάνουν στις τεχνικές οδηγίες που εκδίδουν.

Ορισμένα από τα σημαντικότερα εξειδικευμένα έγγραφα που συμβάλλουν σε μια ολοκληρωμένη κάλυψη του θέματος της αντικεραυνικής προστασίας, όπως αυτό θα παρουσιασθεί στη συνέχεια είναι τα εξής:

- ISO 10134: 2003 Μικρά σκάφη - Ηλεκτρικές συσκευές - Συστήματα αντικεραυνικής προστασίας
  Το συγκεκριμένο διεθνές πρότυπο, παρέχει οδηγίες για το σχεδιασμό, την κατασκευή και εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας σε μικρά σκάφη με μήκος μέχρι 24 μέτρα.

- IEC 60092-507 2008-01 Electrical installations in ships – Part 507: Small vessels
  Μεταξύ των κανόνων που έχουν θεσπιστεί από την οργάνωση IEC, εκείνοι της σειράς 60092 ασχολούνται με τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις πλοίων. Ιδίως το IEC 60092-507 ασχολείται με τα ηλεκτρικά συστήματα του σκάφους και την εγκατάσταση γείωσης.

- Bureau Veritas : Hull Arrangement, Stability and Systems for Ships less than 500 GT, July 2011, Rule Note NR 566 DT R00 E
  Ο οργανισμός Bureau Veritas ιδρύθηκε το 1828 και δραστηριοποιείται σε διάφορους τομείς σχετικούς με την πιστοποίηση, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγεται και η ναυτιλία. Πρόκειται ουσιαστικά για το γαλλικό νηογνώμονα.

- ABYC TE-4 07/06: Αντικεραυνική προστασία
  Αυτό το τεχνικό έγγραφο εφαρμόζεται σε ιστιοφόρα και ταχύπλοα αν υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας.

- Ministry of Defense, Defense Standard 02-516, July 2003 (DEF STAN 02-51)
  Το πρότυπο αυτό εκδίδεται από την εκτελεστική αντιπροσωπεία του Υπουργείου Άμυνας του Ηνωμένου Βασιλείου και περιέχει αναλυτικές πληροφορίες για θέματα αντικεραυνικής προστασίας για διάφορες κατηγορίες πολεμικών σκαφών. Το γεγονός ότι το πρότυπο αυτό προέρχεται από στρατιωτικές υπηρεσίες το καθιστά πιο κατατοπιστικό στο θέμα της αντικεραυνικής προστασίας πλοίων.

Για την ανάλυση και τον προσδιορισμό του μεγέθους της εγκατάστασης γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας σε σκάφη, είναι απαραίτητη η σωστή προσέγγιση του πλαισίου κανονισμών που αναφέρονται σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις γενικά και σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις σκαφών ειδικότερα.

Τα πρότυπα που προαναφέρθηκαν χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Διεθνείς οργανισμοί
- Εθνικοί οργανισμοί

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται τα πρότυπα-κανονισμοί ανά κατηγορία:

	Αντικεραυνική προστασία
Διεθνείς Οργανισμοί	ISO 10134
	IEC 60092-507
Εθνικοί Οργανισμοί	ABYC
	Bureau Veritas NR 566
	DEF STAN 02-516

Πίνακας 2.4: Ενδεικτικοί κανονισμοί αναφερόμενοι στην αντικεραυνική προστασία πλοίων.

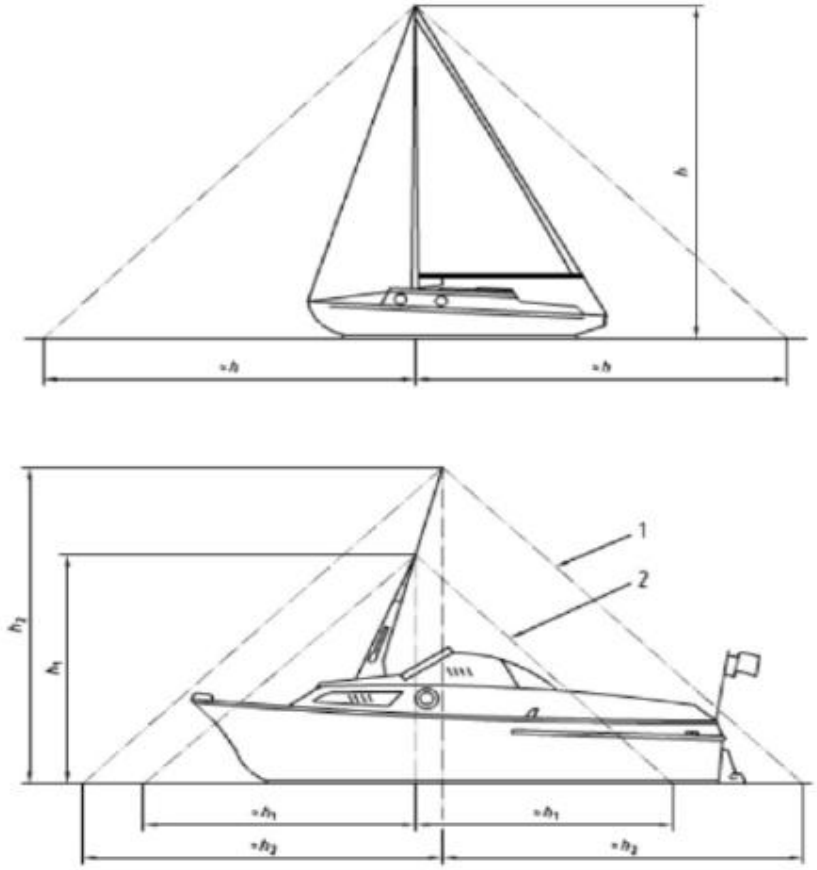
2.6.1 ISO 10134

Το συγκεκριμένο διεθνές πρότυπο, παρέχει οδηγίες για το σχεδιασμό, την κατασκευή και εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας σε μικρά σκάφη με μήκος μέχρι 24 μέτρα.

Το πρότυπο κάνει εξαρχής τη διευκρίνιση ότι η πιθανότητα κεραυνικού πλήγματος ποικίλλει ανάλογα με τη γεωγραφική τοποθεσία και την εποχή του χρόνου, αλλά όταν υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες που επιτρέπουν να συντελεστεί ηλεκτρική εκκένωση μεταξύ των νεφών και της γης, δεν μπορεί να γίνει κάτι που να αποτρέψει την ηλεκτρική εκκένωση. Το σκάφος μπορεί να πληγεί είτε όταν βρίσκεται στην ανοιχτή θάλασσα είτε όταν βρίσκεται δεμένο στην προβλήτα. Η παρουσία συστήματος αντικεραυνικής προστασίας στο σκάφος δεν μπορεί να εγγυηθεί πλήρη προστασία ως προς τις βλάβες εξοπλισμού και επιβατών και το διεθνές πρότυπο δεν υπαινίσσεται ότι παρέχει οδηγίες που μπορούν να εξασφαλίσουν τέτοιου είδους προστασία.

Ανάλογα με το ύψος του αντικεραυνικού καταρτιού καταλήγουμε στα εξής:

- Για ύψος καταρτιού που δεν ξεπερνά τα 15 μέτρα από το επίπεδο της θάλασσας, η ακτίνα βάσης είναι σχεδόν ίση με το ύψος h του καταρτιού. Αυτό σημαίνει ότι στην μέθοδο προστασίας του κώνου η σχέση του ύψους του με την ακτίνα βάσης είναι 1:1. Επομένως η γωνία προστασίας καθορίζεται στις 45^0.



Εικόνα 2.8: Σκάφος με κατάρτι που δεν ξεπερνά σε ύψος τα 15 μέτρα από το νερό

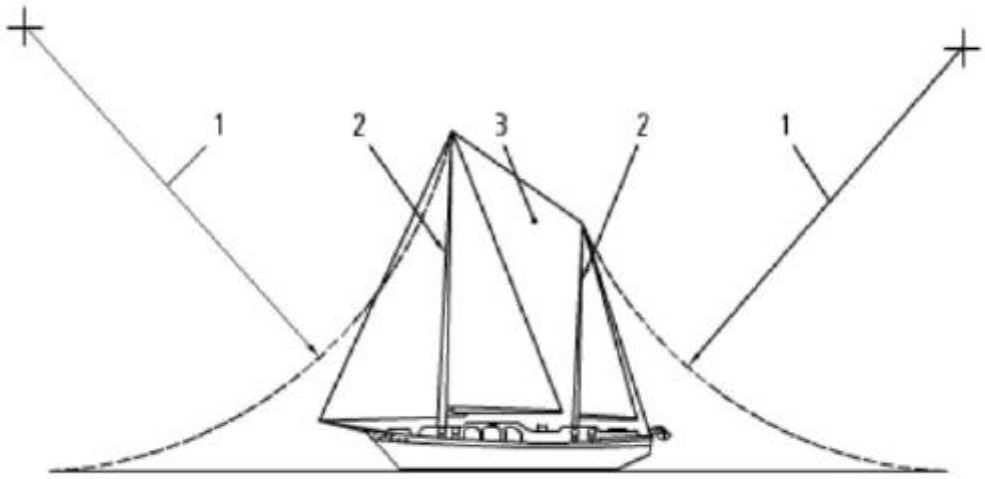
Υπόμνημα:

h: Ύψος καταρτιού

1. ζώνη προστασίας με συμπαγή κεραία που εκτείνει το ύψος του καταρτιού αντικεραυνικής προστασίας για να προστατέψει ολόκληρο το σκάφος

2. ζώνη προστασίας μόνο με το κατάρτι αντικεραυνικής προστασίας

- Για ύψη καταρτιών άνω των 15 μέτρων, η ζώνη προστασίας βασίζεται στην απόσταση πλήγματος του κεραυνικού πλήγματος. Καθώς το κεραυνικό πλήγμα μπορεί να πλήξει οποιοδήποτε γειωμένο αντικείμενο εντός της απόστασης πλήγματος του σημείου απ' όπου συντελείται η τελική κατάρρευση προς τη γη, η ζώνη προστασίας καθορίζεται από ένα κυκλικό τόξο (βλ. Εικόνα 2.2). Η ακτίνα του τόξου είναι η απόσταση πλήγματος (30 μέτρα). Το τόξο περνά μέσω της κορυφής του καταρτιού και καταλήγει στο νερό. Στις περιπτώσεις που έχουμε περισσότερα του ενός κατάρτια, η ζώνη προστασίας καθορίζεται από τόξα σε όλα τα κατάρτια. Σε αυτή την περίπτωση είναι δυνατό να εφαρμοστεί η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας.



Εικόνα 2.9: Σκάφος με κατάρτι(α) που ξεπερνά(ούν) σε ύψος τα 15 μέτρα από το νερό.

Υπόμνημα:

1. ακτίνα 30 μέτρων

2. κατάρτια που ξεπερνούν σε ύψος τα 15 μέτρα από το νερό

3. ζώνη προστασίας εντός της περιοχής που έχει διακεκομμένο περίγραμμα

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι στα ήδη υπάρχοντα κατάρτια είναι δυνατό να προστεθούν αλεξικέραυνα, υπό την προϋπόθεση ότι η ελάχιστη προεξοχή τους θα ανέρχεται στα 150mm.

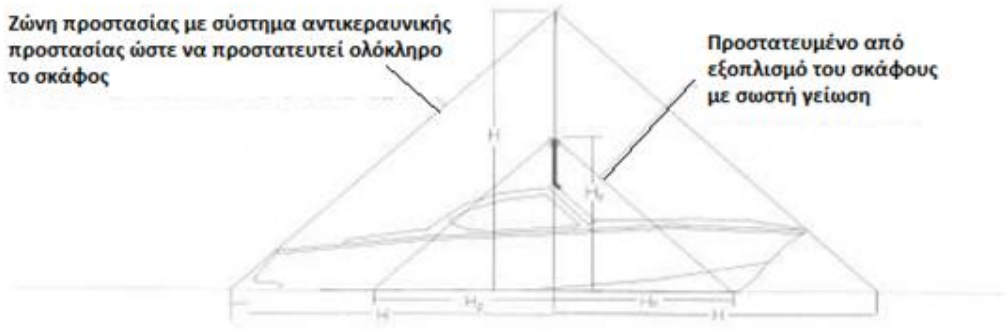
2.6.2 ABYC

Αυτό το πρότυπο εφαρμόζεται σε ιστιοφόρα και ταχύπλοα αν υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας.

Ένας γειωμένος αγωγός, ή αντικεραυνικό κατάρτι ύψους έως 30m, γενικά ελκύει το απευθείας κεραυνικό πλήγμα που διαφορετικά θα έπεφτε εντός ενός κωνικού χώρου. Η κορυφή αυτού του χώρου είναι το ανώτερο σημείο του αγωγού ή του καταρτιού αντικεραυνικής προστασίας, ενώ η βάση αυτού του χώρου είναι ένας κύκλος πάνω στην επιφάνεια του νερού με ακτίνα ίση με το ύψος του καταρτιού ή του αγωγού που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Συνεπώς, σε αυτή την περίπτωση γίνεται εφαρμογή της μεθόδου του κώνου προστασίας, και η σχέση που συνδέει την ακτίνα της βάσης του κώνου με το ύψος του είναι 1:1. Από το τελευταίο εξάγεται το συμπέρασμα ότι η γωνία προστασίας ανέρχεται στις 45°.

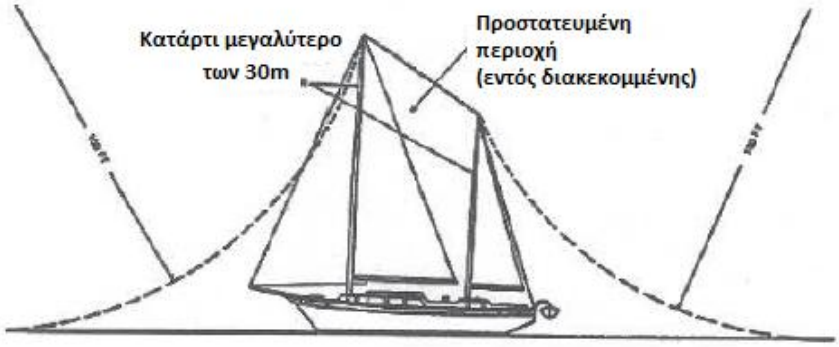
Εικόνα 2.10:Ζώνη προστασίας για κατάρτι κάτω των 30m από το νερό



Εικόνα 2.11: Μέθοδος κώνου για κατάρτι ύψους κάτω των 30m από το νερό

Η ζώνη προστασίας που προκύπτει από οποιαδήποτε επαλληλία καταρτιών ή άλλων υπερυψωμένων, αγώγιμων, γειωμένων αντικειμένων άνω των 30m μπορεί να προσδιοριστεί γραφικά χρησιμοποιώντας τη μέθοδο κυλιόμενης σφαίρας όπως αυτή απεικονίζεται στην Εικόνα 2.5. Το να αυξήσουμε το ύψος του καταρτιού πάνω

από την απόσταση κεραυνικού πλήγματος (που γενικά θεωρείται 30m), δεν αυξάνει τον όγκο της περιοχής προστασίας.



Εικόνα 2.12: Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας

2.6.3 Σύγκριση των προτύπων ISO 10134 και ABYC

Στα πρότυπα ISO 10134 και ABYC γίνεται αναφορά σε προτεινόμενη μέθοδο προσδιορισμού της ζώνης προστασίας, η οποία απουσιάζει πλήρως από το αντίστοιχο πρότυπο IEC 60092-507, το οποίο αναλύεται παρακάτω. Σύμφωνα με τον κανονισμό ABYC ένας γειωμένος αγωγός, ή αντικεραυνικό κατάρτι ύψους έως 30m, γενικά ελκύει το απευθείας κεραυνικό πλήγμα που διαφορετικά θα έπεφτε εντός ενός κωνικού χώρου. Η κορυφή αυτού του χώρου είναι το ανώτερο σημείο του αγωγού ή του καταρτιού αντικεραυνικής προστασίας, ενώ η βάση αυτού του χώρου είναι ένας κύκλος πάνω στην επιφάνεια του νερού με ακτίνα ίση με το ύψος του καταρτιού ή του αγωγού που αναφέρθηκε προηγουμένως. Η ζώνη προστασίας που προκύπτει από οποιαδήποτε επαλληλία καταρτιών ή άλλων υπερυψωμένων, αγώγιμων, γειωμένων αντικειμένων άνω των 30m μπορεί να προσδιοριστεί γραφικά χρησιμοποιώντας τη μέθοδο κυλιόμενης σφαίρας. Για το ISO 10134 το ύψος μετάβασης από τη μέθοδο του κώνου προστασίας στη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας είναι τα 15m όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα.

	ABYC	ISO 10134
Ύψος έως 15m	Κώνος προστασίας 1:1	Κώνος προστασίας 1:1
Ύψος πάνω από 15m	Κώνος προστασίας 1:1	Κυλιόμενη σφαίρα
Ύψος έως 30m	Κώνος προστασίας 1:1	Κυλιόμενη σφαίρα
Ύψος πάνω από 30m	Κυλιόμενη σφαίρα	Κυλιόμενη σφαίρα

Πίνακας 2.5: Μέθοδος προστασίας ανά ύψος καταρτιού

2.6.4 IEC 60092-507

Το παρόν κομμάτι της σειράς προτύπων IEC 60092 καθορίζει τις απαιτήσεις για το σχεδιασμό, την κατασκευή και εγκατάσταση των ηλεκτρικών συστημάτων σε σκάφη αναψυχής. Ισχύει για τα σκάφη αναψυχής που πλέουν σε εσωτερικά ύδατα και σε εκείνα που πλέουν στην ανοιχτή θάλασσα.

Το παρόν πρότυπο ισχύει σε σκάφη αναψυχής με μήκος μεταξύ 2m και 50m, ή τα οποία έχουν ολική χωρητικότητα που δεν υπερβαίνει τους 500 κόρους ολικής χωρητικότητας.

Πιο αναλυτικά οι προτάσεις του προτύπου είναι:

- Τα σκάφη μη μεταλλικής κατασκευής ή με μη μεταλλικά κατάρτια (ιστιοπλοΐας) πρέπει να είναι εξοπλισμένα με αντικεραυνική προστασία.
- Οι αγωγοί καθόδου της αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να είναι κατασκευασμένοι από χαλκό και η διατομή τους δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 70 mm². Οι αγωγοί πρέπει να τοποθετηθούν σε μια επαφή από χαλκό με διάμετρο όχι μικρότερη από 12mm² και θα πρέπει να προεξέχει από την κορυφή του καταρτιού για τουλάχιστον 300mm .
- Το κατώτερο άκρο του καλωδίου πρέπει να συνδεθεί στη γείωση.
- Οι αγωγοί καθόδου των αλεξικέραυνων πρέπει να βρίσκονται έξω από το σκάφος. Η διαδρομή τους θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ευθεία, αποφεύγοντας μικρές καμπύλες.
- Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο βιδωτές ,καρφωμένες ή συγκολλημένες συνδέσεις.
- Εάν το κύτος είναι κατασκευασμένο από μέταλλο, το κάτω άκρο των αγωγών καθόδου πρέπει να είναι γειωμένο σε αυτό.

- Αν το κύτος είναι μη-μεταλλικό, το κάτω άκρο των αγωγών καθόδου θα πρέπει να είναι συνδεδεμένο με ένα σημείο γείωσης από χαλκό ή άλλο αγώγιμο υλικό συμβατό με το νερό της θάλασσας και με επιφάνεια όχι μικρότερη από 0,25m² περίπου, τοποθετημένο στο έξω μέρος του κύτους σε μια περιοχή που προορίζεται για το σκοπό αυτό και τοποθετείται κάτω από την ίσαλο γραμμή , έτσι ώστε να παραμένει βυθισμένο σε όλες τις συνθήκες κλίσης του κύτους .
- Το σημείο γείωσης του αλεξικέραυνου πρέπει να υπάρχει και να είναι διαχωρισμένο από την πλάκα γείωσης που χρησιμοποιείται για τη γείωση του συστήματος ισχύος ή του συστήματος σύνδεσης στη γείωση.

2.6.5 Bureau Veritas NR 566

Σύμφωνα με το συγκεκριμένο πρότυπο, η αντικεραυνική προστασία πρέπει να παρέχεται ως εξής:

- Τα σκάφη με μη μεταλλικό σκελετό πρέπει να φέρουν αγωγό αντικεραυνικής προστασίας. Το κατώτερο μέρος του αγωγού αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να συνδεθεί σε πλάκα γείωσης χαλκού ή άλλου αγώγιμου υλικού συμβατού με το θαλάσσιο νερό, επιφάνειας όχι μικρότερης του 0.25m². Η πλάκα αυτή πρέπει να είναι ασφαλώς προσδεμένη στο εξωτερικό μέρος του σκελετού του πλοίου σε θέση που προορίζεται γι’ αυτό το σκοπό και που βρίσκεται κάτω από την ίσαλο γραμμή σε συνθήκες μικρής φόρτωσης του πλοίου ούτως ώστε να είναι βυθισμένη υπό οποιεσδήποτε συνθήκες πλεύσης. Η πλάκα γείωσης του αγωγού αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να είναι πρόσθετη και ξεχωριστή από την πλάκα γείωσης που αναφέρεται στον Τομέα 4 και παράγραφο 7.4.2 του εγγράφου (βλ. κεφάλαιο 3.3.5 της εργασίας).
- Σε σκάφη με μεταλλικό σκελετό που φέρουν μη μεταλλικά κατάρτια πρέπει να παρέχεται αγωγός αντικεραυνικής προστασίας. Το κατώτερο μέρος του αγωγού αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να συνδεθεί στο μεταλλικό σκελετό του πλοίου.
- Σε σκάφη με μεταλλικό σκελετό αν υπάρχει ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ του σκελετού του πλοίου και των καταρτιών αντικεραυνικής προστασίας ή άλλων μεταλλικών υπερδομών επαρκούς ύψους, δεν χρειάζεται περαιτέρω αντικεραυνική προστασία.
- Οι αγωγοί αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να είναι φτιαγμένοι από χαλκό (σε λωρίδα ή πολύκλωνο) και δεν πρέπει να είναι μικρότεροι από 70mm² σε διατομή. Πρέπει να προσδεθούν σε χάλκινο καρφί διαμέτρου όχι μικρότερης των 12mm που να προεξέχει για τουλάχιστον 300mm πάνω από την κορυφή του καταρτιού. Το κατώτερο άκρο του αγωγού πρέπει να γειωθεί.

- Οι αγωγοί αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να εγκατασταθούν εξωτερικά του σκάφους και η διαδρομή τους πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ευθεία. Οι απότομες αλλαγές πορείας πρέπει να αποφεύγονται.
- Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο βιδωμένες, θηλυκωμένες ή συγκολλημένες ενώσεις.

2.6.6 DEF STAN

Το πρότυπο αυτό εκδίδεται από την εκτελεστική αντιπροσωπεία του Υπουργείου Άμυνας του Ηνωμένου Βασιλείου και περιέχει αναλυτικές πληροφορίες για θέματα αντικεραυνικής προστασίας για διάφορες κατηγορίες πολεμικών σκαφών. Το γεγονός ότι το πρότυπο αυτό προέρχεται από στρατιωτικές υπηρεσίες το κάνει αυστηρό, συγκεκριμένο και κατατοπιστικό στο θέμα της αντικεραυνικής προστασίας που μας απασχολεί.

Τα σημαντικότερα κομμάτια αυτού του προτύπου συνοψίζονται παρακάτω:

- Τα υψηλά σημεία του σκάφους πρέπει να είναι ικανά να φέρουν τερματικά αέρα για το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας εκτός αν βρίσκονται ήδη εντός της ζώνης προστασίας ενός άλλου τερματικού αέρα.
- Το τερματικό αέρα πρέπει να αποτελείται από αγώγιμη ράβδο διαμέτρου τουλάχιστον 12mm και που θα προεξέχει τουλάχιστον 300mm από οποιοδήποτε σημείο είναι εγκατεστημένο. Πρέπει να είναι κατασκευασμένο από χαλκό, κράμα χαλκού ή ανοξείδωτο ατσάλι, εκτός αν υπάρχει αλουμινένιο κατάρτι όπου πρέπει να χρησιμοποιηθεί ίδιο είδος αλουμινίου.
- Μεταλλικά κατάρτια και δομικά στοιχεία μπορούν να αποτελούν τον καθοδικό αγωγό
- Τα μεταλλικά πλέγματα λειτουργούν επίσης ως καθοδικοί αγωγοί και συνεπώς πρέπει να είναι συνδεδεμένα μέσω ζεύξης στον κύριο καθοδικό αγωγό.
- Ο σκελετός του σκάφους λειτουργεί ως τερματικό γείωσης.
- Τα ψηλά καλώδια που διατρέχονται παράλληλα με τον καθοδικό αγωγό πρέπει να εσωκλείονται στο κατάρτι όπου αυτό είναι δυνατόν για να αποφεύγονται επαγόμενες τάσεις. Τα κατάρτια συνθετικής κατασκευής πρέπει να διατηρούν μόνιμες μεταλλικές συνδέσεις χαμηλής αντίστασης μεταξύ όλων των μερών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

3

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ WIN IGS [14]

3.1 Περιγραφή προγράμματος

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα περιλαμβάνει τόσο συμμετρικά όσο και ασύμμετρα τριφασικά στοιχεία, όπως πηγές, γραμμές μεταφοράς, μετασχηματιστές φορτία και συστήματα γείωσης.

Τα γεωμετρικά στοιχεία γείωσης επεξεργάζονται μέσω του editor, το οποίο εμφανίζει το σύστημα γείωσης ως κλίμακα σχεδίασης ,είτε σε κάτοψη, είτε στην πίσω όψη, είτε στην πλάγια όψη ή την προοπτική . Το μέγεθος , το σχήμα και η θέση του κάθε ηλεκτροδίου γείωσης μπορεί να μεταβληθεί χρησιμοποιώντας το ποντίκι ή με αριθμητική είσοδο. Επιπλέον , τα αποτελέσματα της ανάλυσης , όπως το δυναμικό γης και η διαφορά δυναμικού εμφανίζονται άμεσα στο σχέδιο του συστήματος γείωσης , με τη μορφή του περιγράμματος ή της επιφάνειας.

Το πρόγραμμα WinIGS έχει τέσσερις καταστάσεις λειτουργίας:

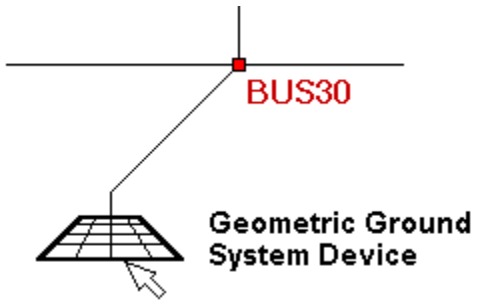
- Η λειτουργία επεξεργασίας (edit mode)
- Η λειτουργία ανάλυσης (analysis mode)
- Η λειτουργία αναφορών (reports tools)
- Η λειτουργία εργαλείων (tools mode).

3.2 Χρησιμοποιώντας το σύστημα γείωσης

Ο επεξεργαστής του συστήματος γείωσης επιτρέπει στο χρήστη να ορίσει ένα σύστημα γείωσης και να προσομοιωθεί με το WinIGS. Οι λειτουργίες συνήθως πραγματοποιούνται με σκοπό να καθορίσουν ένα σύστημα γείωσης και περιλαμβάνουν:

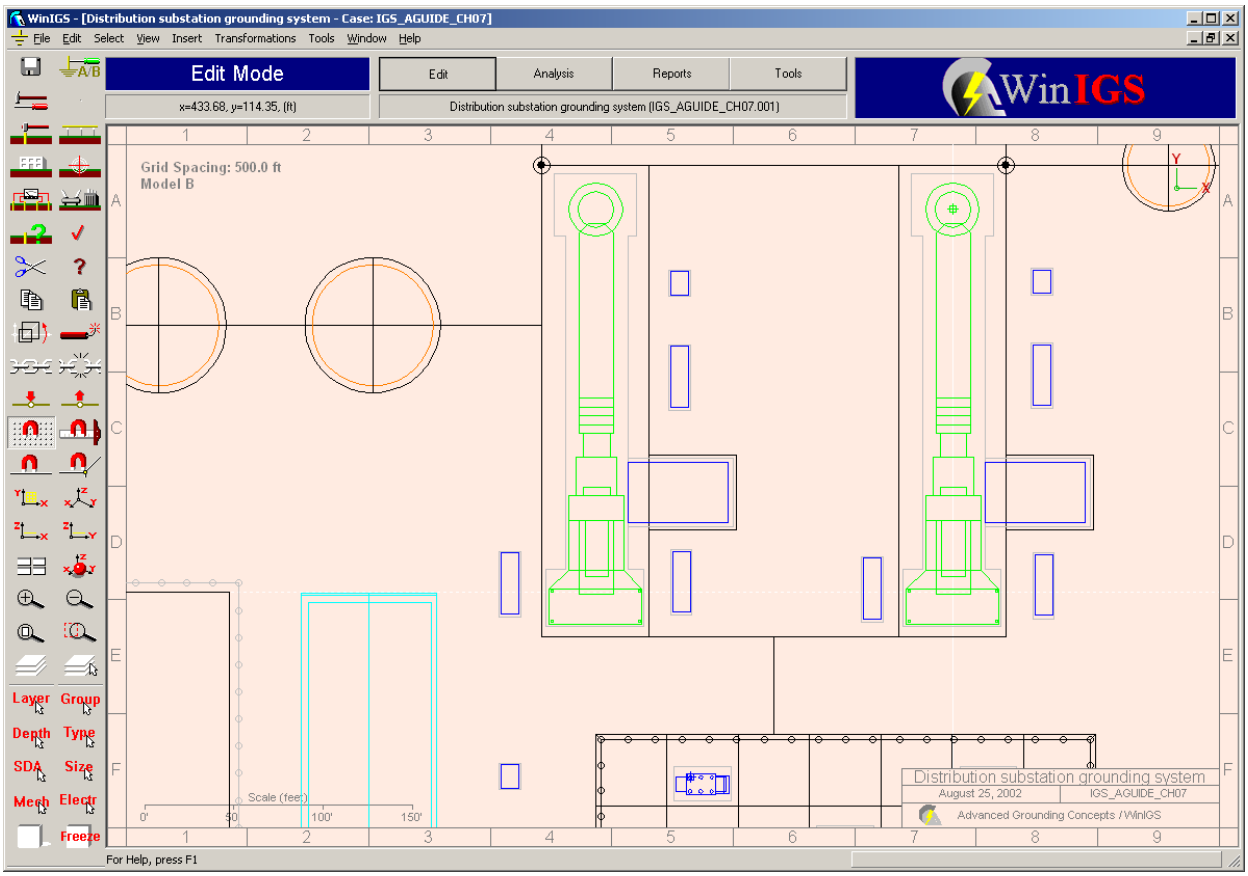
- Ηλεκτρόδια γείωσης
- Καθορισμό της ομάδας σύνδεσης ηλεκτροδίων
- Καθορισμό των παραμέτρων του ηλεκτροδίου

Η επεξεργασία ενός συστήματος γείωσης αρχίζει με διπλό κλικ στο εικονίδιο γεωμετρικό σύστημα γείωσης μέσα στο παράθυρο του επεξεργαστή δικτύου. Το εικονίδιο για μια γεωμετρική διάταξη του συστήματος γείωσης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 3.1: Εικονίδιο εισαγωγής στο σύστημα γείωσης.

Προκειμένου να εισέλθουμε μέσα στο σύστημα γείωσης κάνουμε διπλό κλικ στο εικονίδιο γείωσης. Στην συνέχεια ανοίγει ένα παράθυρο όπως παρακάτω, το οποίο είναι το μενού επεξεργασίας (edit):



Εικόνα 3.2: Μενού σχεδίασης και επεξεργασίας διαφόρων κατασκευών.

Τα σημαντικότερα εικονίδια που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

Εισαγωγή των βασικών τρισδιάστατων σχημάτων:

- Πολύγωνο το οποίο χρησιμοποιείται για κτίρια και διάφορες άλλες κατασκευές όπως ο σχεδιασμός ενός πλοίου.
- Κύλινδρος ο οποίος στην περίπτωση της σχεδίασης πλοίου χρησιμοποιείται για δεξαμενές , κεραίες, φουγάρα κτλ.
- Σφαίρα η οποία χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση σφαιρικών στοιχείων όπως ραντάρ και θόλοι.

Άνοιγμα παραθύρου τρισδιάστατης όψης του αντικειμένου

3.3 Αντικεραυνική ανάλυση – Ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο (Lightning Shielding Analysis)

Αυτό το εργαλείο επιτρέπει στο χρήστη να εκτελέσει αντικεραυνική ανάλυση ενός συστήματος που αποτελείται από τα κτίρια του εξοπλισμού υποσταθμού κ.λπ. Το μοντέλο του συστήματος κατασκευάζεται γραφικά χρησιμοποιώντας τον επεξεργαστή του συστήματος γείωσης. Πολλά στοιχεία μοντελοποίησης είναι διαθέσιμα στο WinIGS Ground Editor που διευκολύνουν την μοντελοποίηση των δομικών στοιχείων και των ηλεκτρικών συσκευών.

Μόλις το μοντέλο του συστήματος κατασκευαστεί, η αντικεραυνική ανάλυση μπορεί να πραγματοποιηθεί ως εξής:

1. Αποθηκεύουμε το μοντέλο (εντολή Save) και κλείνουμε το παράθυρο επεξεργασίας του συστήματος γείωσης.
2. Επιλέγουμε το πλήκτρο TOOLS.
3. Επιλέγουμε το πλήκτρο LIGHTNING SHIELDING. Αυτή η ενέργεια ανοίγει ξανά το παράθυρο του συστήματος γείωσης. Είναι δυνατό να επιλεγεί μια πλάγια όψη, ή μια προβολή 3-D για την καλύτερη προβολή της προόδου της ανάλυσης. Τα εικονίδια που υπάρχουν είναι τα εξής:

Μενού επιλογών αντικεραυνικής ανάλυσης, το οποίο επεξηγείται αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο

Πλήκτρο τρεξίματος αντικεραυνικής ανάλυσης

Πλήκτρο τρεξίματος μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας

Μέθοδος γωνίας προστασίας

Εμφάνιση κεραυνικών πληγμάτων

Εμφάνιση επόμενης τιμής ρεύματος

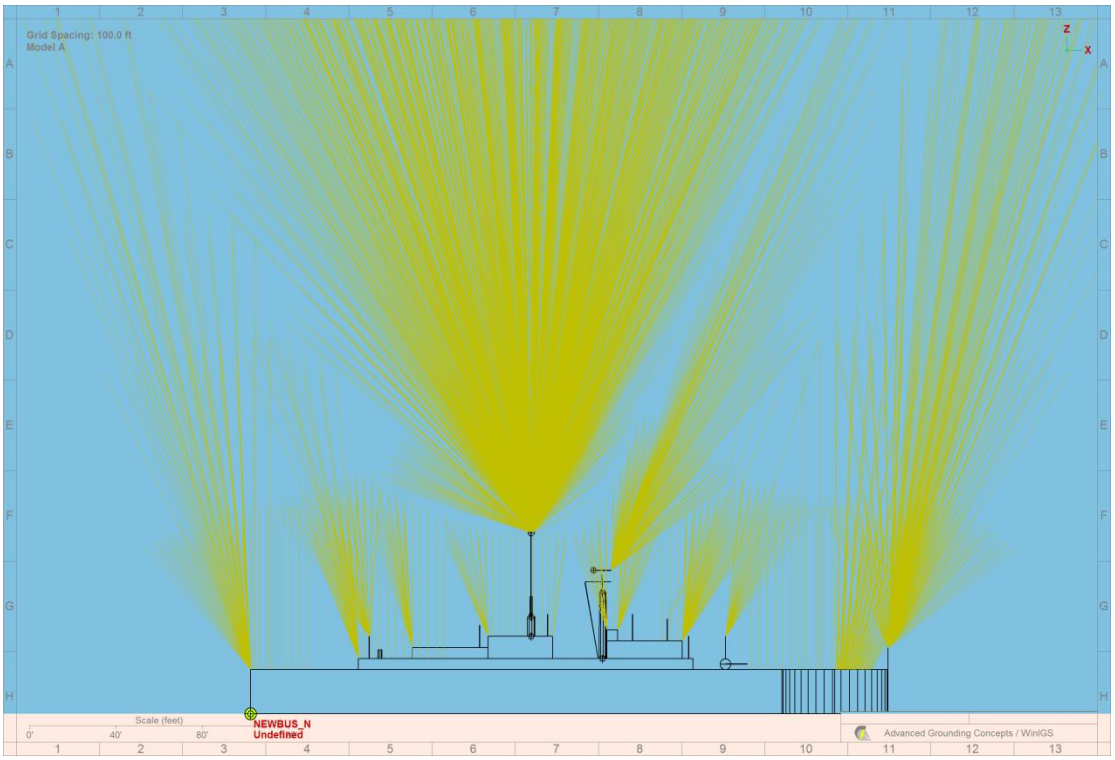
Εμφάνιση προηγούμενης τιμής ρεύματος

Πίνακας κεραυνικών πληγμάτων

Γραφική ανάλυση πληγμάτων σε συνάρτηση με την τιμή ρεύματος κεραυνού

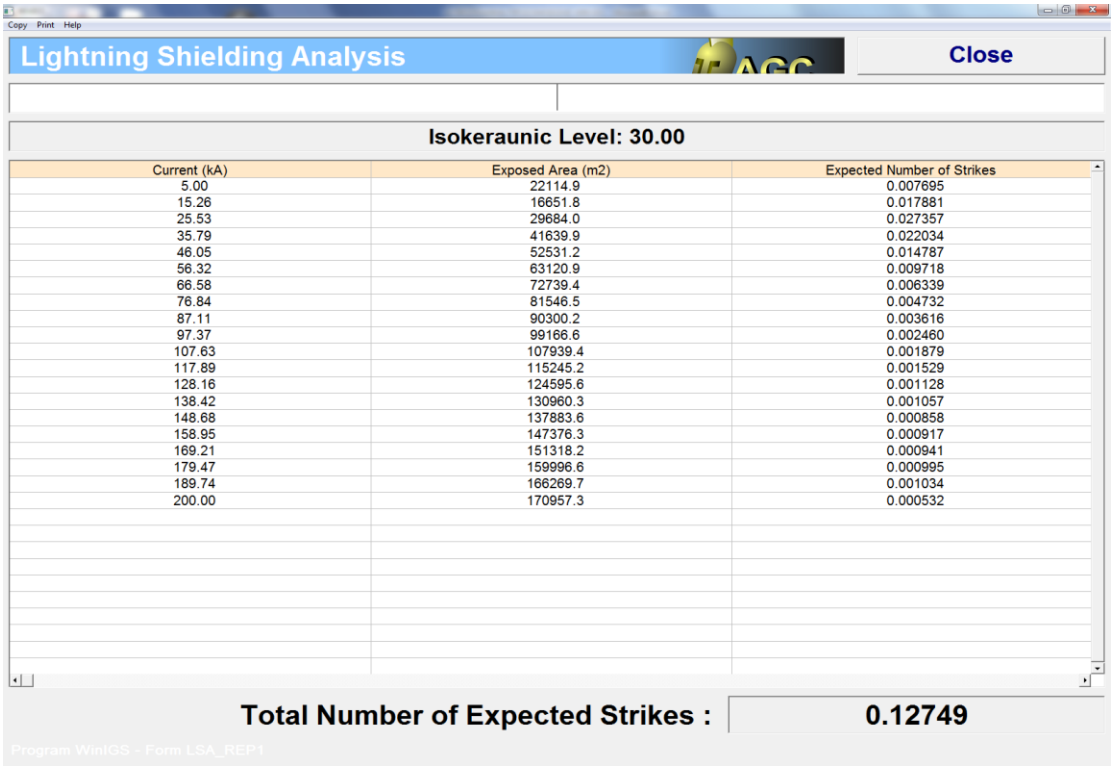
4. Επιλέγουμε το πλήκτρο προκειμένου να κάνουμε τις απαραίτητες ρυθμίσεις

5. Επιλέγουμε το πλήκτρο προκειμένου να παραστήσουμε την ανάλυση. Κατά την ανάλυση των καταγεγραμμένων τιμών του ρεύματος κεραυνού εμφανίζονται γραφικά τα κεραυνικά πλήγματα. Η γραφική παράσταση παρουσιάζεται στο κάτωθι σχήμα:

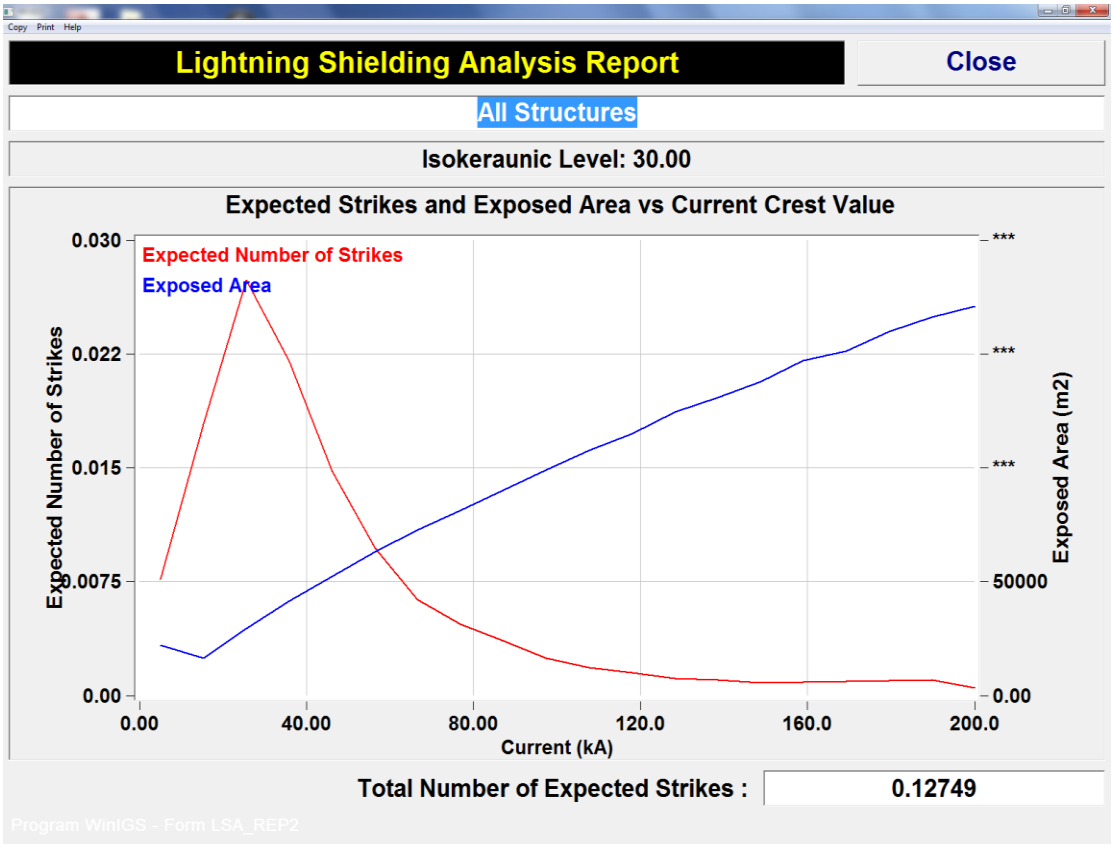


Εικόνα 3.3: Σχηματική απεικόνιση συνολικού αριθμού κεραυνών σε πλοίο.

6. Όταν ολοκληρωθεί η ανάλυση επιλέγουμε τα πλήκτρα και ώστε να εμφανιστούν ο πίνακας των πληγμάτων και η γραφική τους παράσταση σε συνάρτηση με το κατερχόμενο ρεύμα σε kA και την την εκτεθειμένη επιφάνεια σε km^2, όπως παρακάτω:



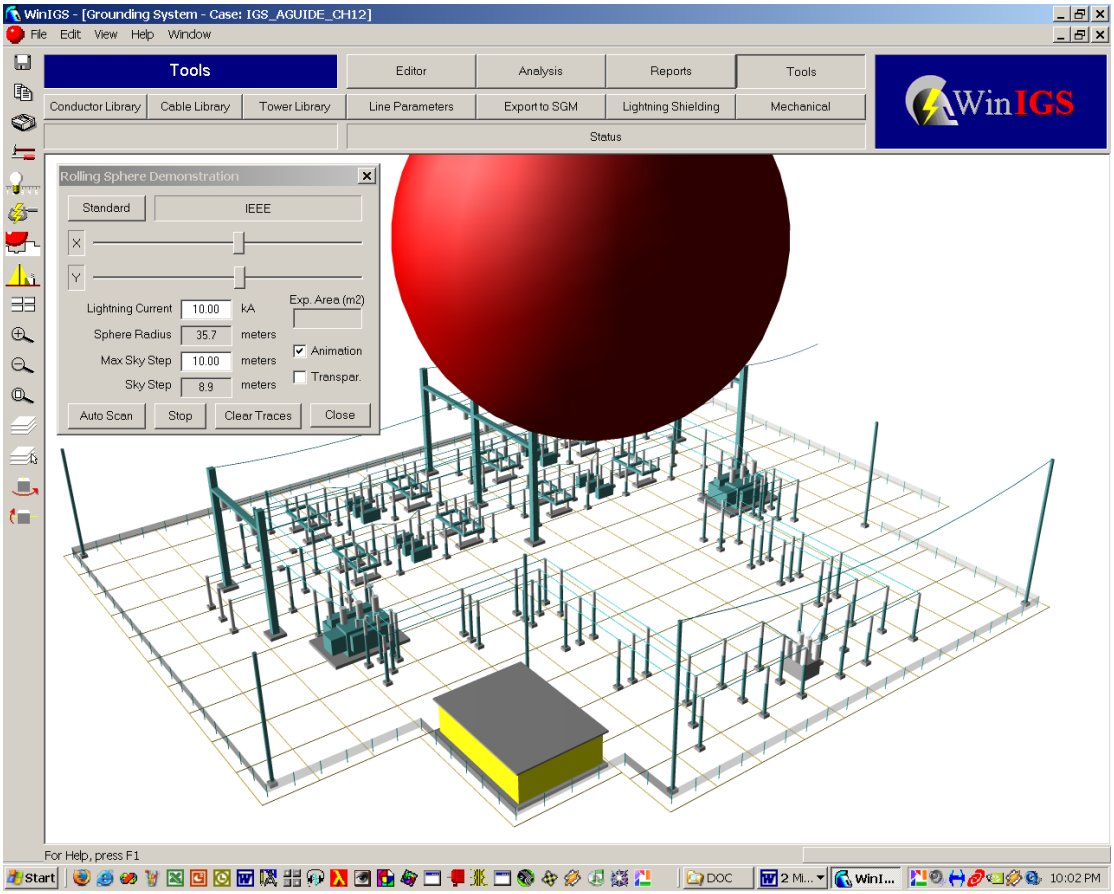
Εικόνα 3.4 : Πίνακας υπολογισμού συνολικού αριθμού πληγμάτων .



Εικόνα 3.5 : Γραφική παράσταση αναμενόμενου αριθμού πληγμάτων και εκτεθειμένης περιοχής σε συνάρτηση με το ρεύμα κατερχόμενου κεραυνού.

3.4 Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας

Επιλέγοντας το πλήκτρο μεταβαίνουμε στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 3.6 : Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας και προβολή του παραθύρου επιλογών.

Στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει υπάρχουν 2 παράμετροι:

- Η τιμή του ρεύματος κατερχόμενου οχετού σε kA.
- Η τιμή της ακτίνας της κυλιόμενης σφαίρας σε m, η οποία προκύπτει από την τιμή του ρεύματος κατερχόμενου οχετού ανάλογα με το πρότυπο επιλογής απόστασης πλήγματος. Ανάλογα λοιπόν με το πρότυπο που επιλέγεται από το πλήκτρο STANDARD κάθε φορά, οι σχέσεις που συνδέουν τον υπολογισμό της ακτίνας της σφαίρας σε σχέση με την τιμή του ρεύματος κατερχόμενου οχετού είναι οι εξής:

- **Brown and Whitehead (1969):** $S=7.1*I^{0.74}$
- **Πρότυπο IEEE (1985):** $S=8*I^{0.65}$
- **Eriksson (1987):** $R=0.67*h^{0.6}*I0^{.74}$
- **Darveniza:** $S=AI^{B}$, σ=10%
- **Love (1973):** $S=10*I^{0.65}$
- **Suzuki (1981):** $S=3.3*I^{0.78}$
- **Rizk (1990):** $R=1.57*h^{0.45}*I^{0.69}$

Όπου:

- S,R η ακτίνα της κυλιόμενης σφαίρας σε m
- h το ύψος από το οποίο ξεκινά ο κεραυνός σε m
- I η τιμή του κεραυνικού ρεύματος σε kA
- A,B συντελεστές
- σ η τυπική απόκλιση

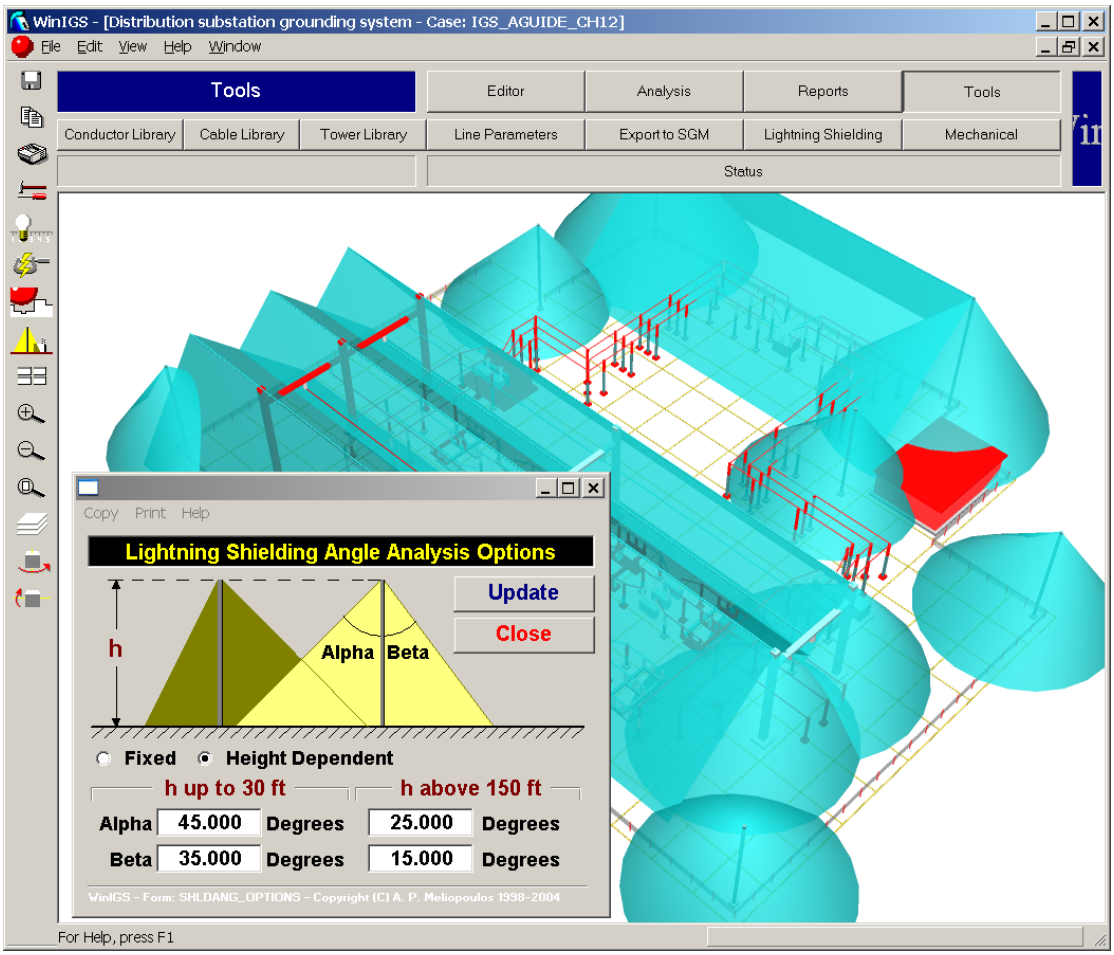
Επιπρόσθετα, μπορούμε να επιλέξουμε να φαίνεται η κινούμενη εικόνα καθώς κυλίεται η σφαίρα σε όλη την επιφάνεια του πλοίου η απλά να βγάζει κατ ευθείαν το αποτέλεσμα.

Τέλος, με την επιλογή TRANSPARENCY επιλέγουμε να γίνει η σφαίρα διαφανής κατά την κύλιση της.

3.5 Μέθοδος κώνου προστασίας

Αυτό το εργαλείο παρέχει μια εναλλακτική μέθοδο αντικεραυνικής ανάλυσης γνωστή ως μέθοδος γωνίας προστασίας.

Το εικονίδιο ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου που απεικονίζεται παρακάτω το οποίο επιτρέπει την επιλογή των παραμέτρων της ανάλυσης γωνίας προστασίας, και πιο συγκεκριμένα τις γωνίες Α και Β. Επιπλέον, πρέπει να υπογραμμιστεί ότι η επιλογή των γωνιών εξαρτάται από το συνολικό ύψος της ακίδας προστασίας, γεγονός το οποίο αναλύεται εκτεταμένα σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 3.7 : Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου του κώνου προστασίας και προβολή του παραθύρου επιλογών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

4

ΣΧΕΔΙΑ ΠΛΟΙΩΝ [11] , [14] , [15] , [16] , [17]

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρατίθενται τα προοπτικά σχέδια εννέα πλοίων, τα οποία χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: α) πολεμικά πλοία και β) πλοία τύπου tanker.

Ο λόγος που επελέγησαν τα συγκεκριμένα πλοία είναι ότι αφ' ενός τα tankers μεταφέρουν containers ή εύφλεκτα υλικά τα οποία είναι ευάλωτα σε κεραυνικά πλήγματα, και αφ' ετέρου τα πολεμικά πλοία διαθέτουν radar πλοήγησης και οπλικά συστήματα, των οποίων η αντικεραυνική προστασία είναι απαραίτητη.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα απλοποιημένα σχέδια των πλοίων βάσει των δυνατοτήτων του προγράμματος WIN IGS, καθώς έγινε χρήση μόνο τριών βασικών τρισδιάστατων σχημάτων: α) του πολυγώνου, β) του κυλίνδρου-κώνου, και γ) της σφαίρας.

4.1 Δοκιμαστικό πλοίο

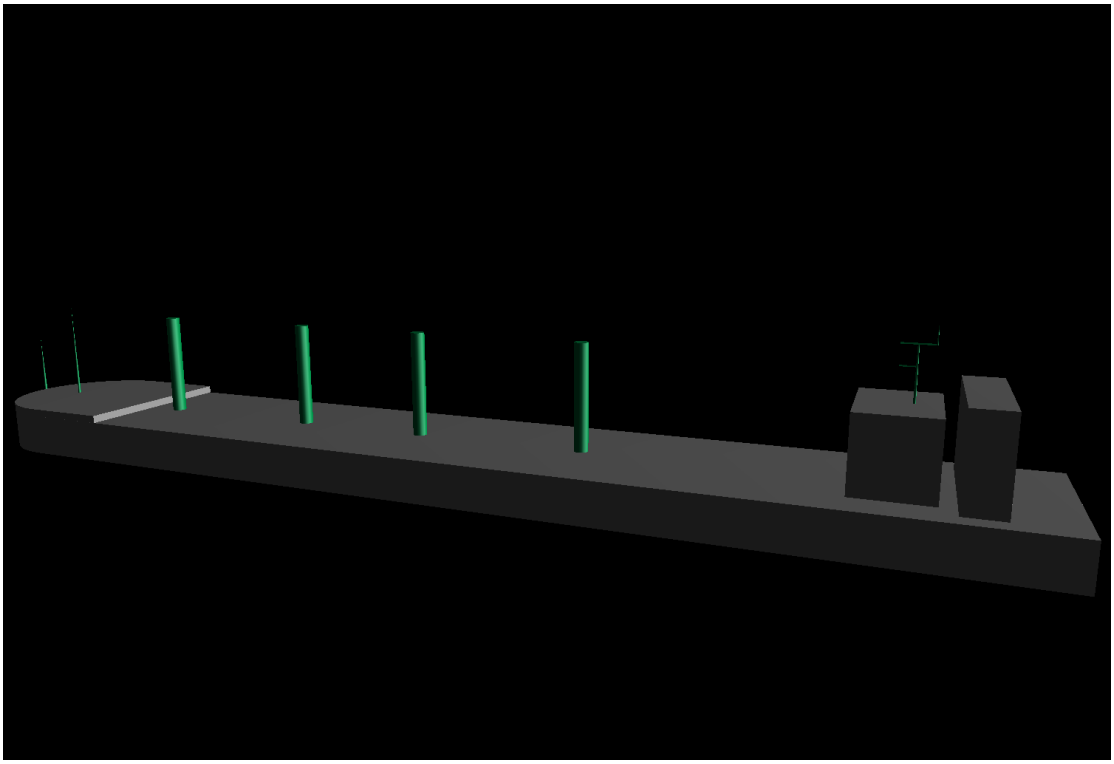
Το δοκιμαστικό υπό κλίμακα πλοίο του Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων αποτελεί μια απλοποιημένη μορφή ενός πλοίου τάνκερ, προκειμένου να γίνουν κάποια πειράματα αντικεραυνικής προστασίας. Στην επόμενη σελίδα παρουσιάζονται όλα τα σχέδια του συγκεκριμένου πλοίου, καθώς και οι βασικότερες διαστάσεις.

Βασικές διαστάσεις πλοίου: μήκος 787 ft, πλάτος 123 ft, ύψος 29.55 ft

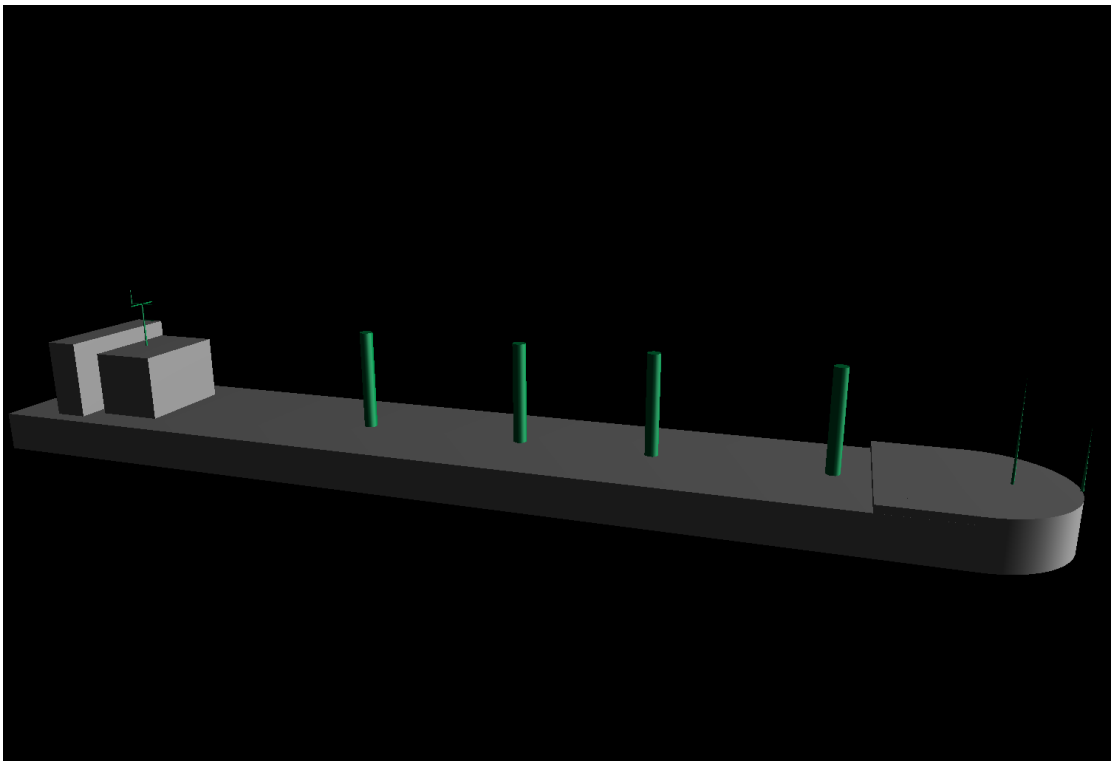
Ύψος γέφυρας: 59 ft

ύψος φουγάρων: 73.8 ft

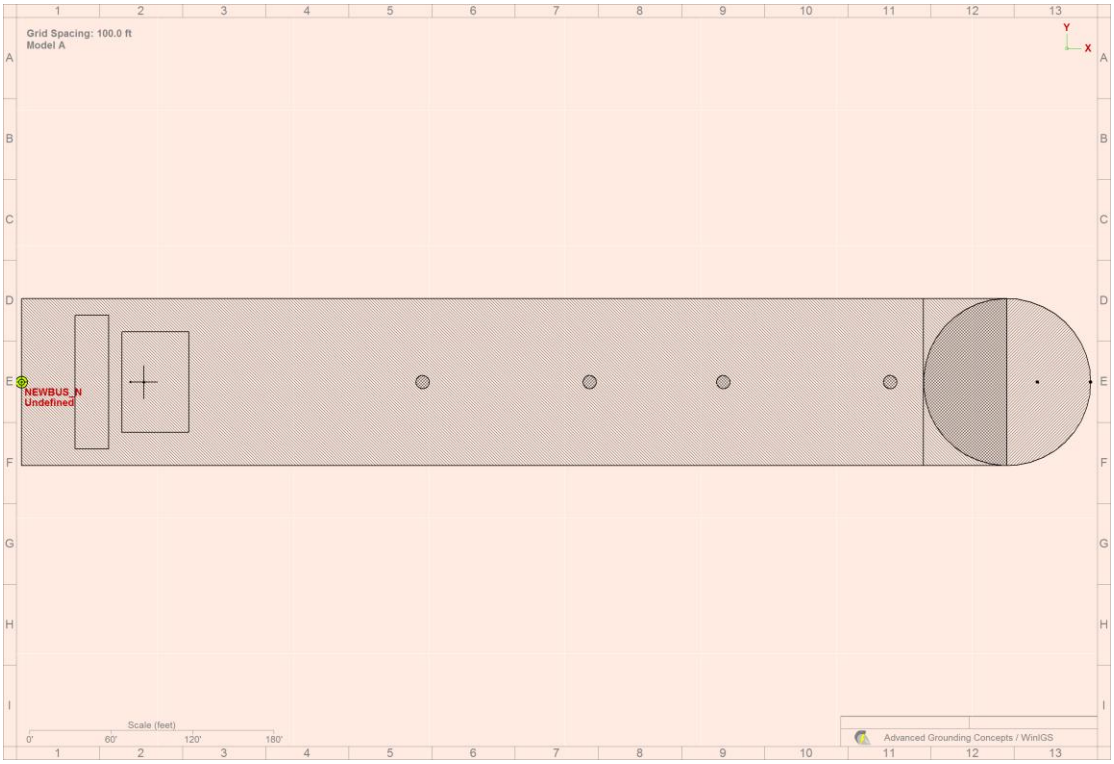
ύψος κεραιών πλώρης: 49 και 20 ft



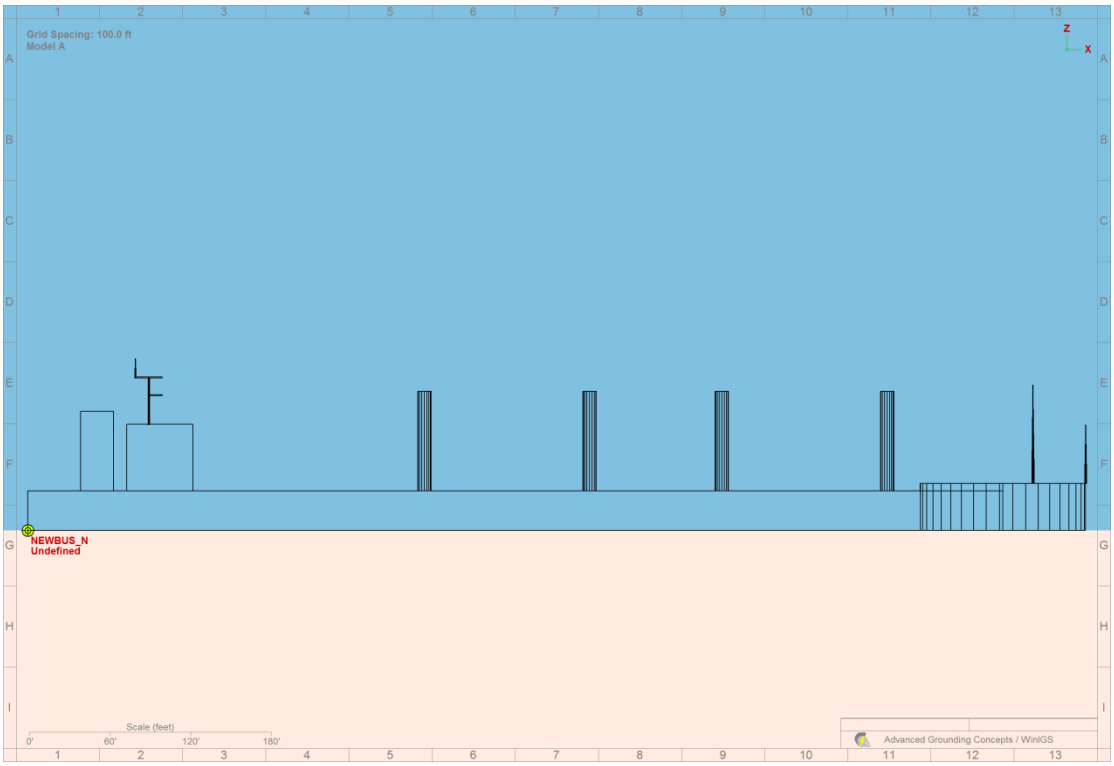
Εικόνα 4.1.1 : Αριστερή τρισδιάστατη απεικόνιση πλοίου εργαστηρίου



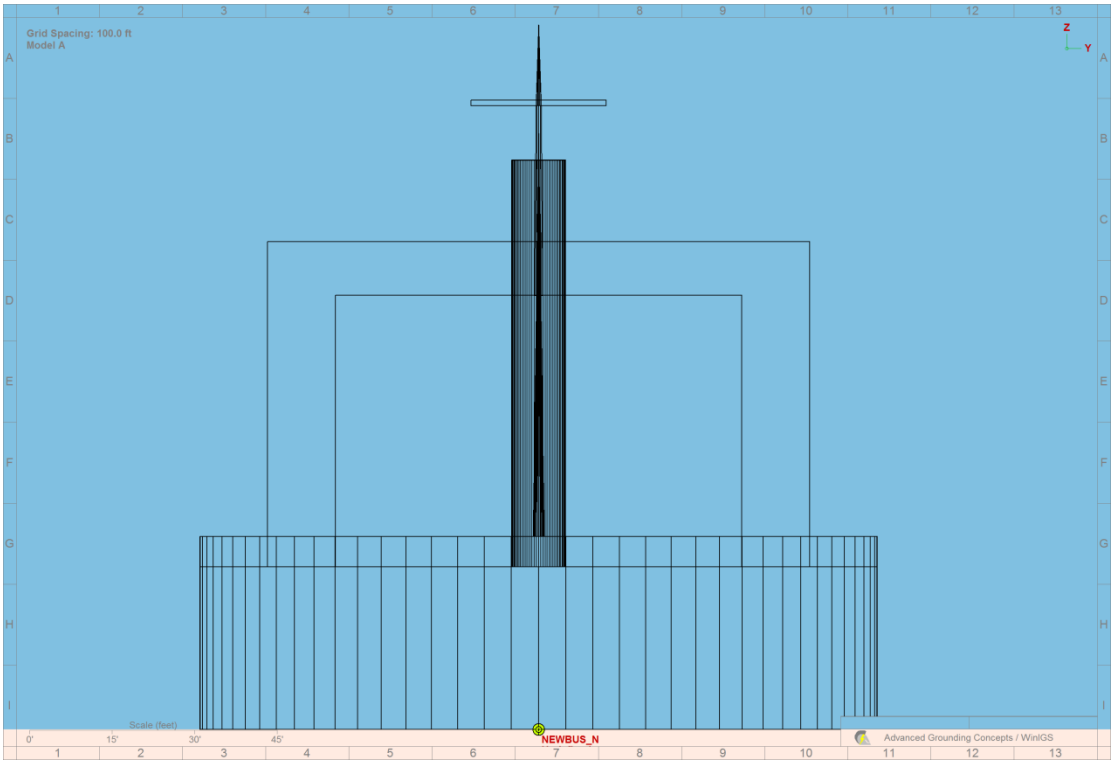
Εικόνα 4.1.2 : Δεξιά τρισδιάστατη απεικόνιση πλοίου εργαστηρίου



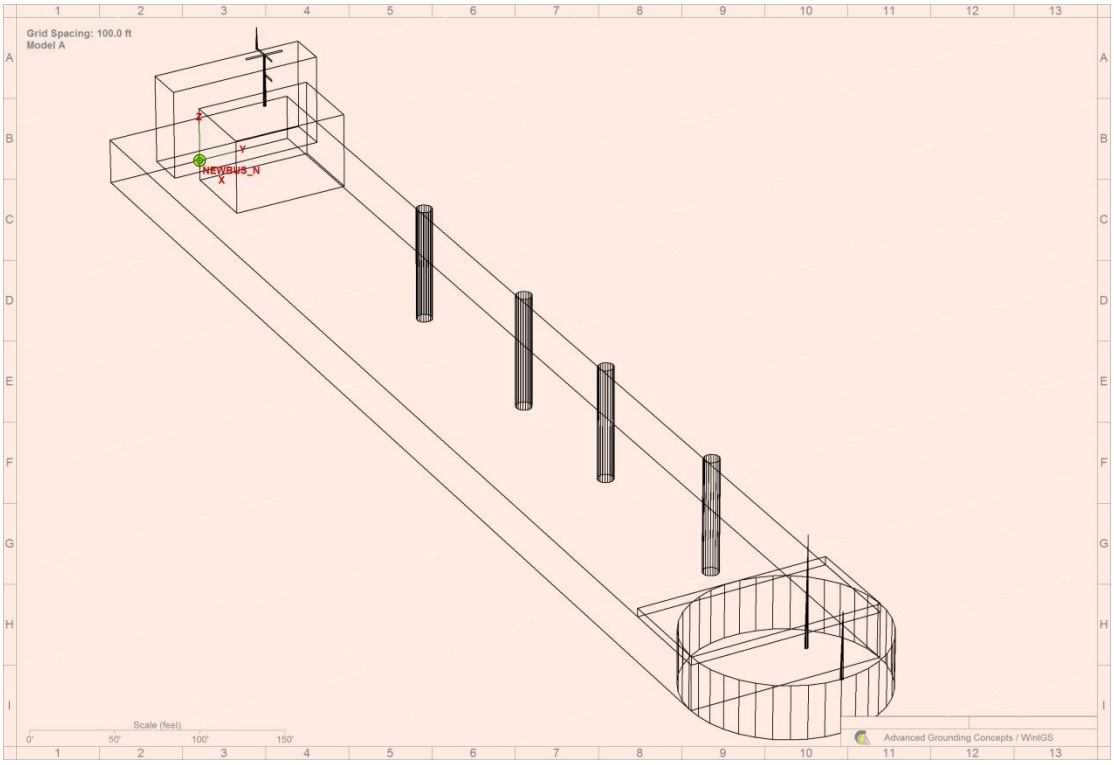
Εικόνα 4.1.3 : Κάτοψη πλοίου εργαστηρίου



Εικόνα 4.1.4 : Πλάγια όψη πλοίου εργαστηρίου



Εικόνα 4.1.5 : Πίσω όψη πλοίου εργαστηρίου



Εικόνα 4.1.6 : Προοπτική πλοίου εργαστηρίου

4.2 Πολεμικά πλοία

Σε αυτή την κατηγορία πλοίων υπάγονται τα εξής μοντέλα:

- Αεροπλανοφόρο πλοίο (Air craft carrier)
- Κορβέτα-Δρόμωνας (Corvette)
- Αντιτορπιλικό (Destroyer)
- Φρεγάτα (Frigate)

Στην συνέχεια παρουσιάζονται όλα τα σχέδια των παραπάνω πλοίων, συνοδευόμενα από τις βασικότερες διαστάσεις τους.

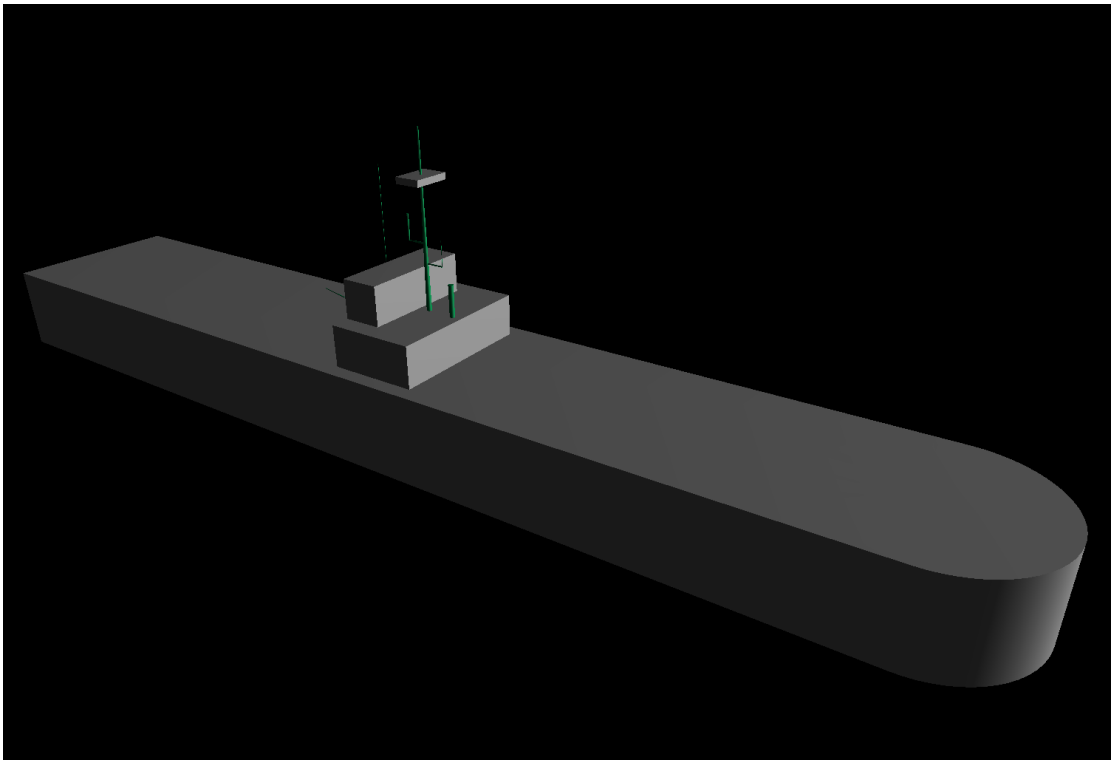
4.2.1 ΑΕΡΟΠΛΑΝΟΦΟΡΟ (AIR CRAFT CARRIER)

Βασικές διαστάσεις: μήκος 885.6 ft, πλάτος 144.3 ft, ύψος 70 ft

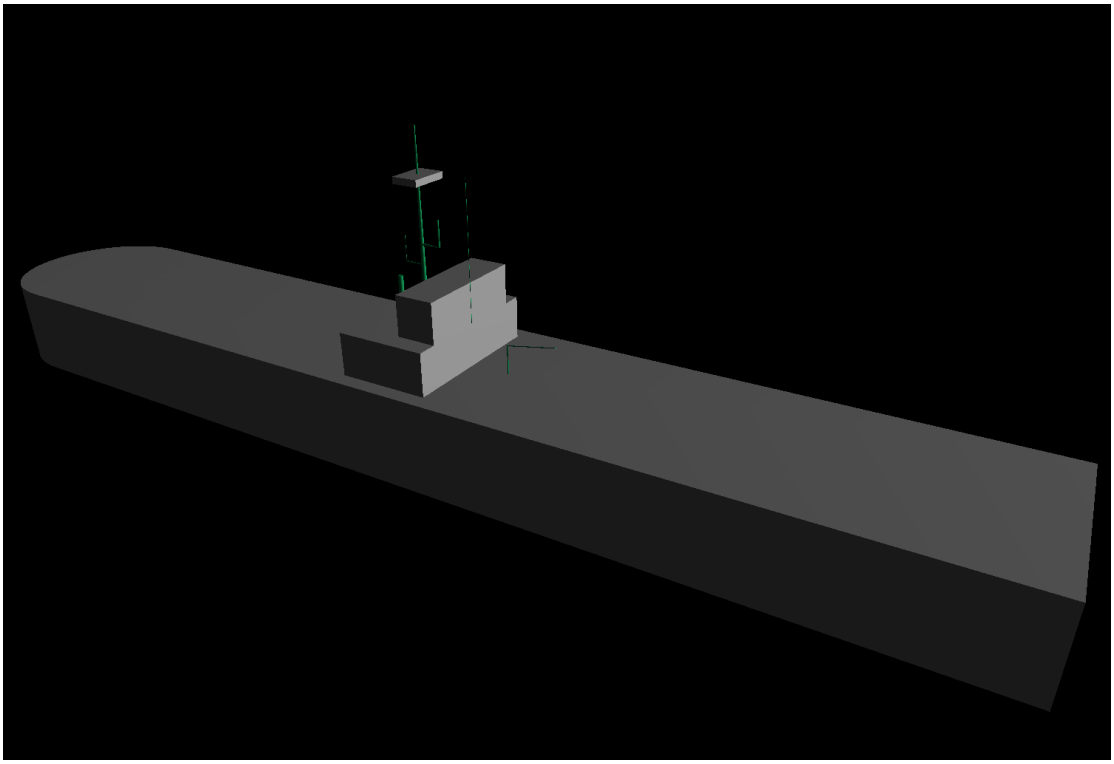
Ύψος γέφυρας 63.6 ft,

ύψος κεντρικής κεραίας 134.5 ft

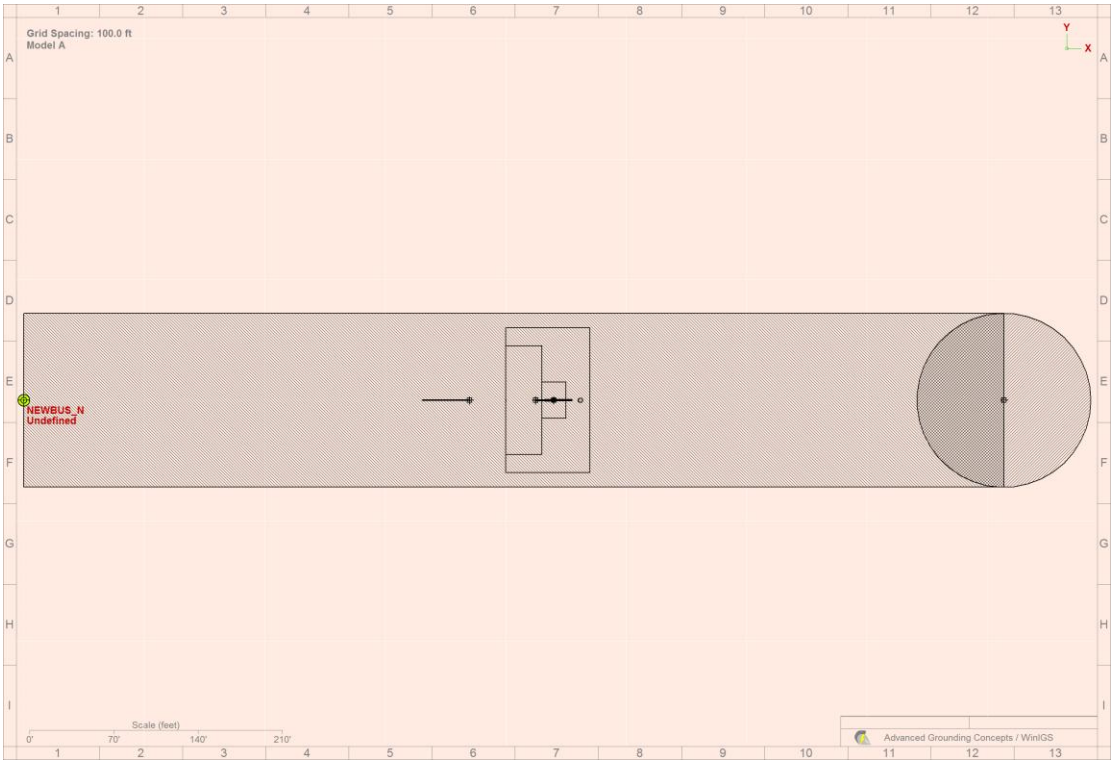
ύψος πίσω κεραίας 105 ft



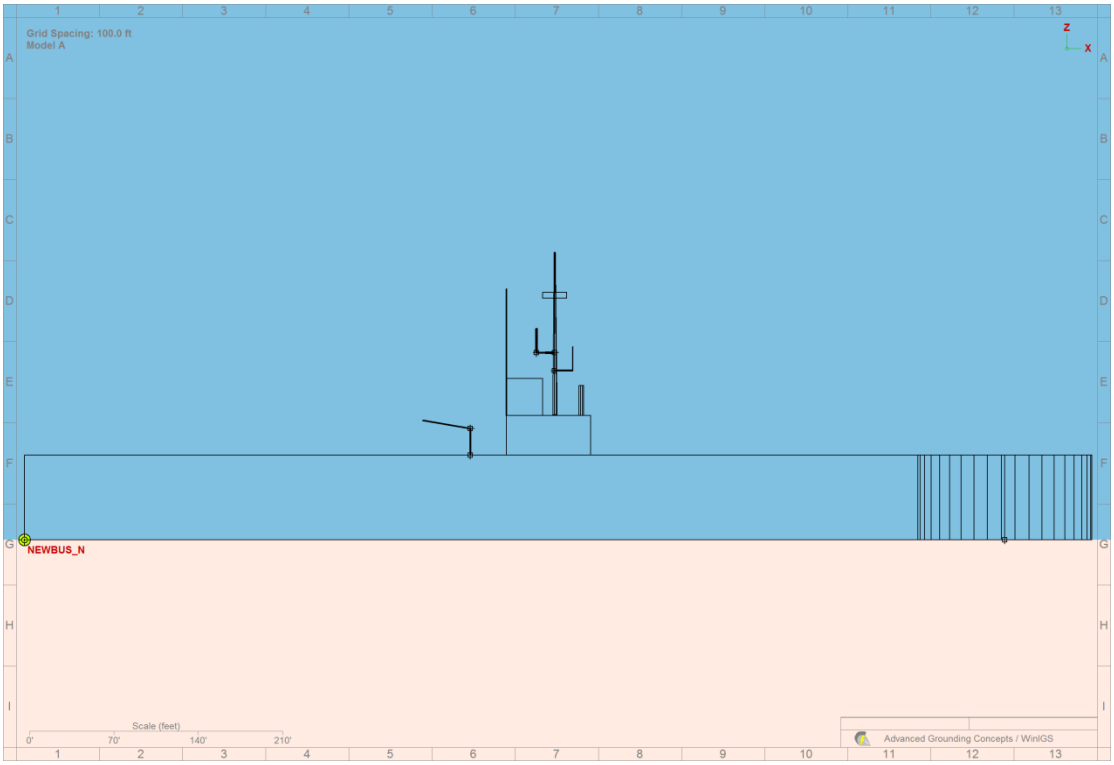
Εικόνα 4.2.1 : Δεξιά τρισδιάστατη απεικόνιση αεροπλανοφόρου



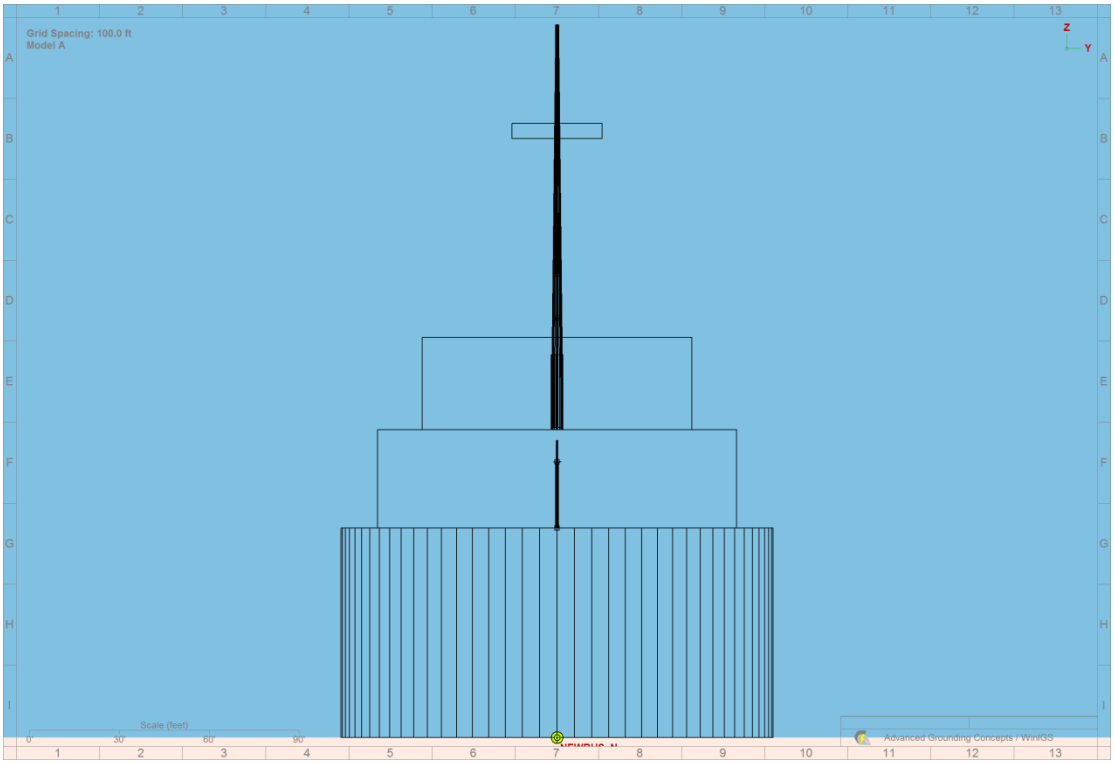
Εικόνα 4.2.2 : Αριστερή τρισδιάστατη απεικόνιση αεροπλανοφόρου



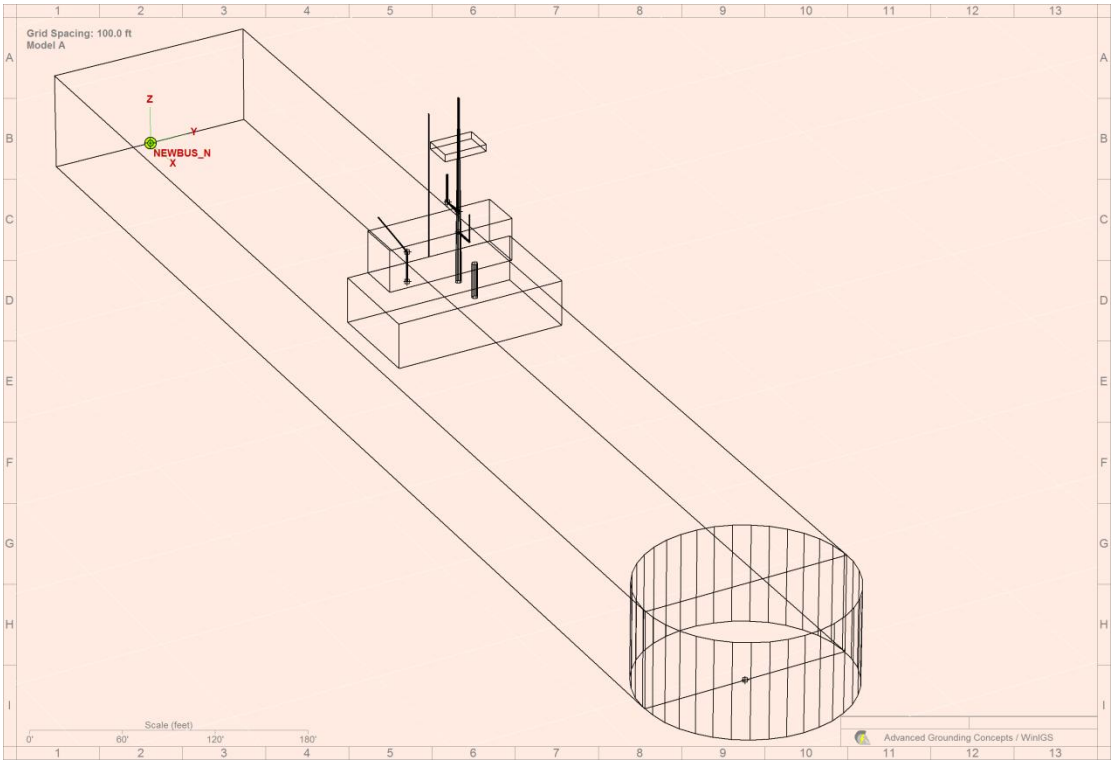
Εικόνα 4.2.3 : Κάτοψη αεροπλανοφόρου



Εικόνα 4.2.4 : Κάτοψη αεροπλανοφόρου



Εικόνα 4.2.5 : Πίσω όψη αεροπλανοφόρου



Εικόνα 4.2.6 : Προοπτική αεροπλανοφόρου

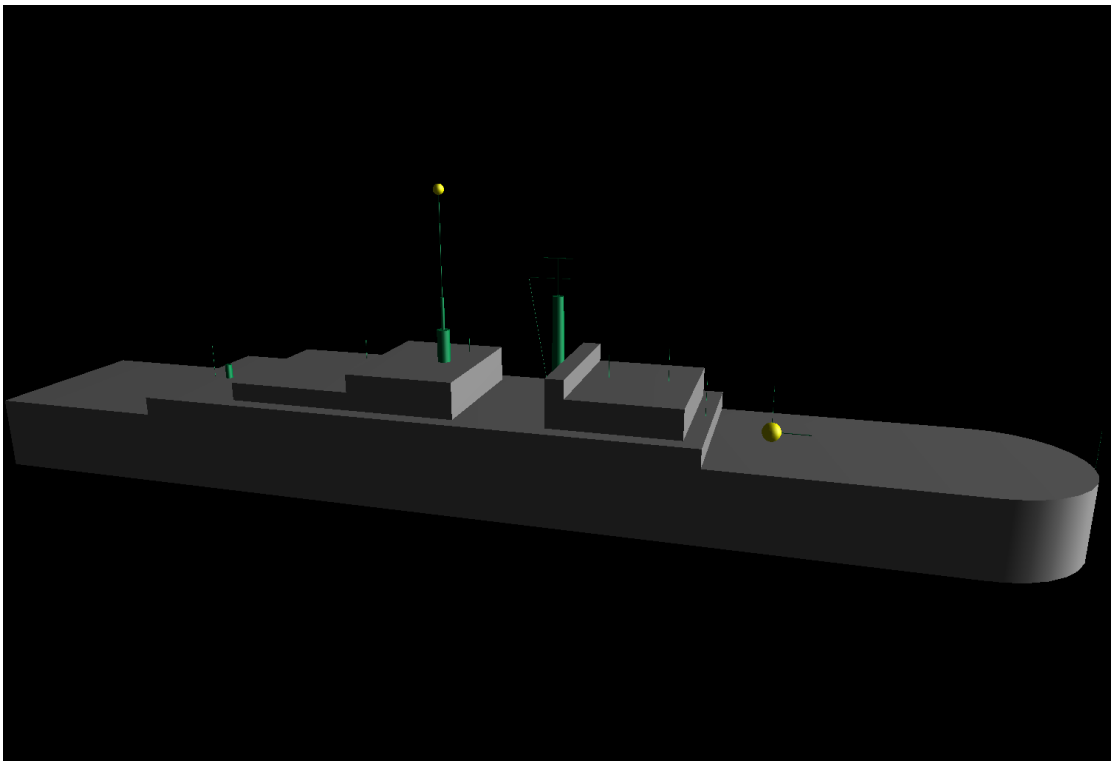
4.2.2 ΚΟΡΒΕΤΑ-ΔΡΟΜΩΝΑΣ (CORVETTE)

Βασικές διαστάσεις: μήκος 295.2 ft, πλάτος 49.2 ft, ύψος 20 ft

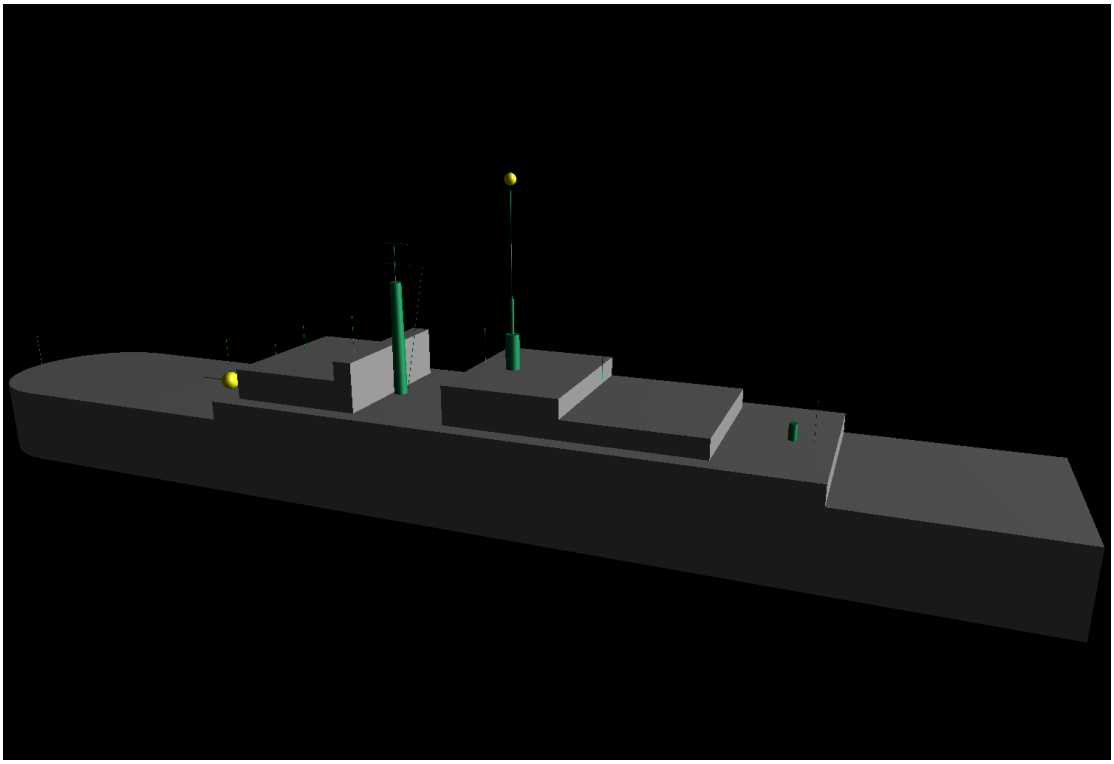
Ύψος κεντρικής κεραίας 48 ft

ύψος κεραίας ραντάρ 40 ft

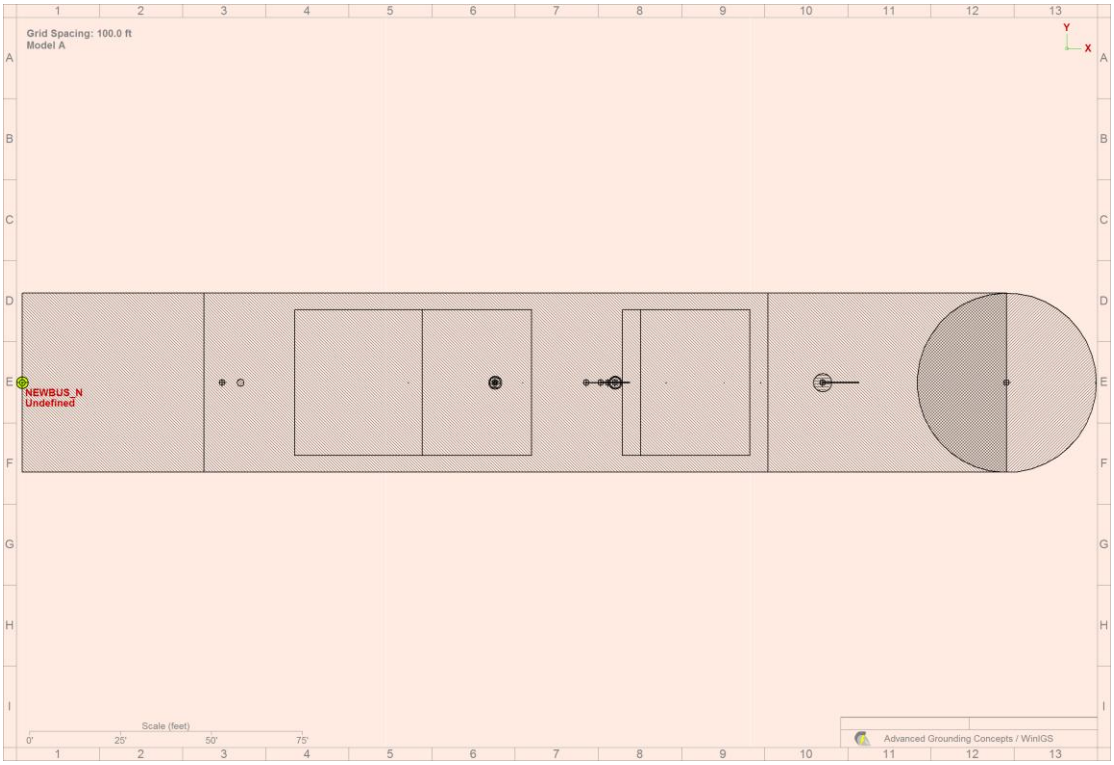
λοιπές κεραίες 10 ft



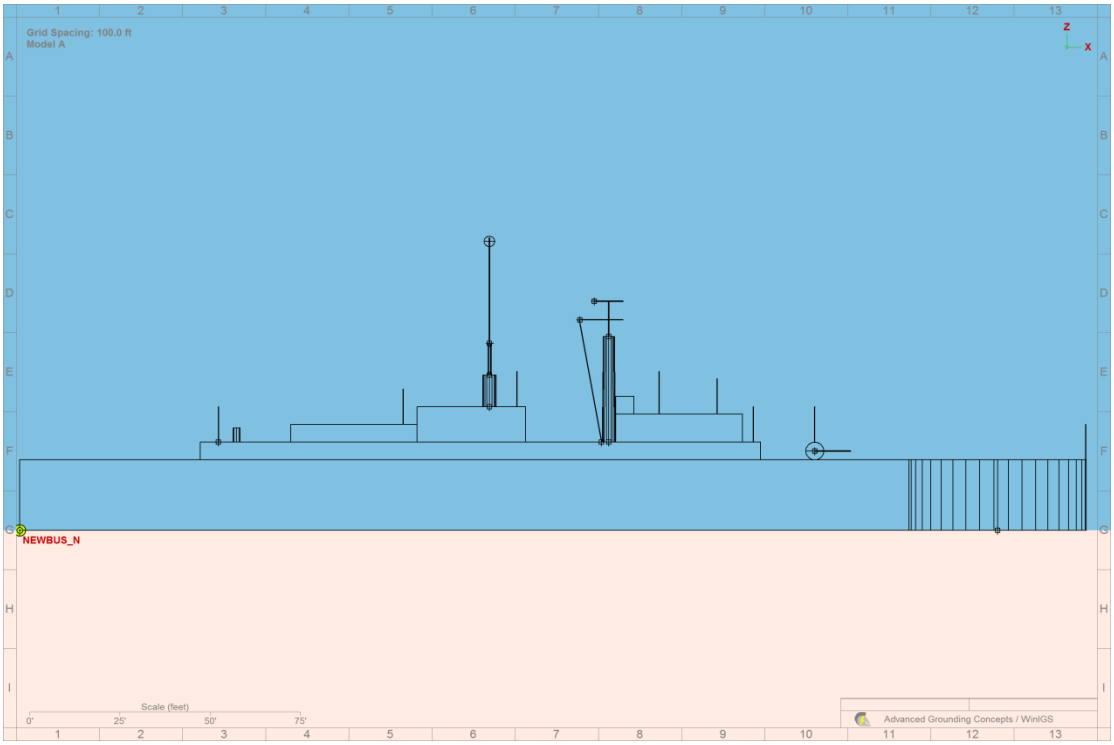
Εικόνα 4.2.7 : Δεξιά τρισδιάστατη κορβέτας



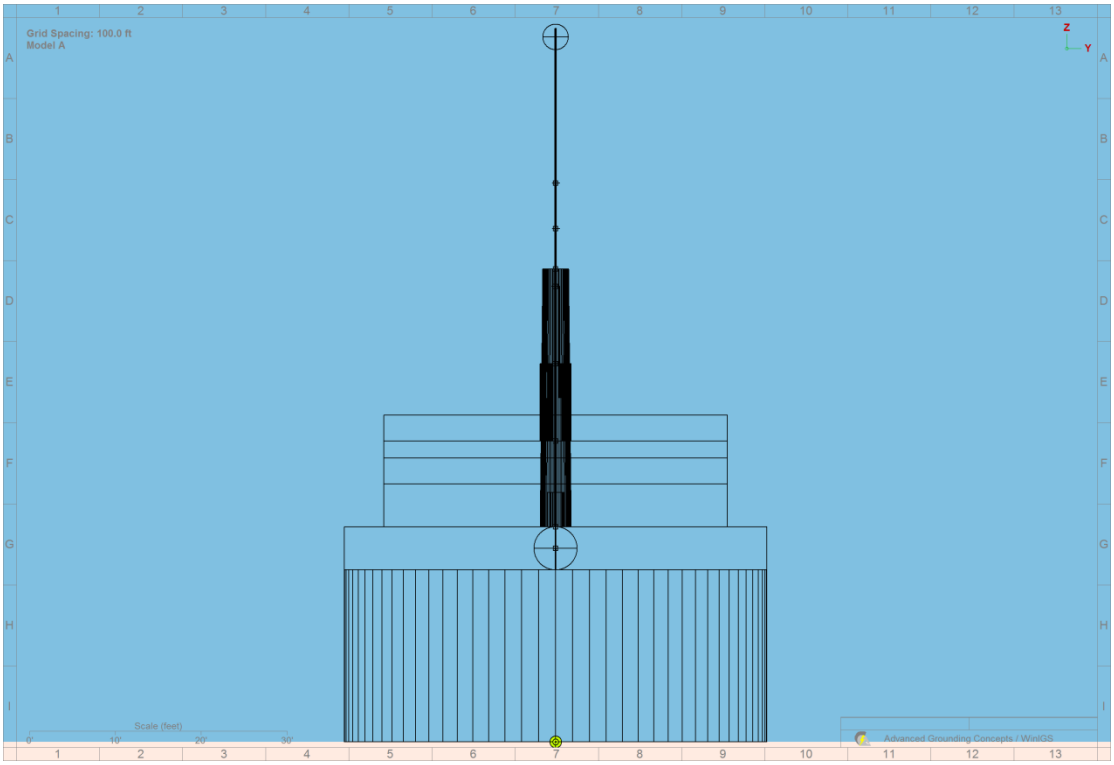
Εικόνα 4.2.8 : Αριστερή τρισδιάστατη κορβέτας



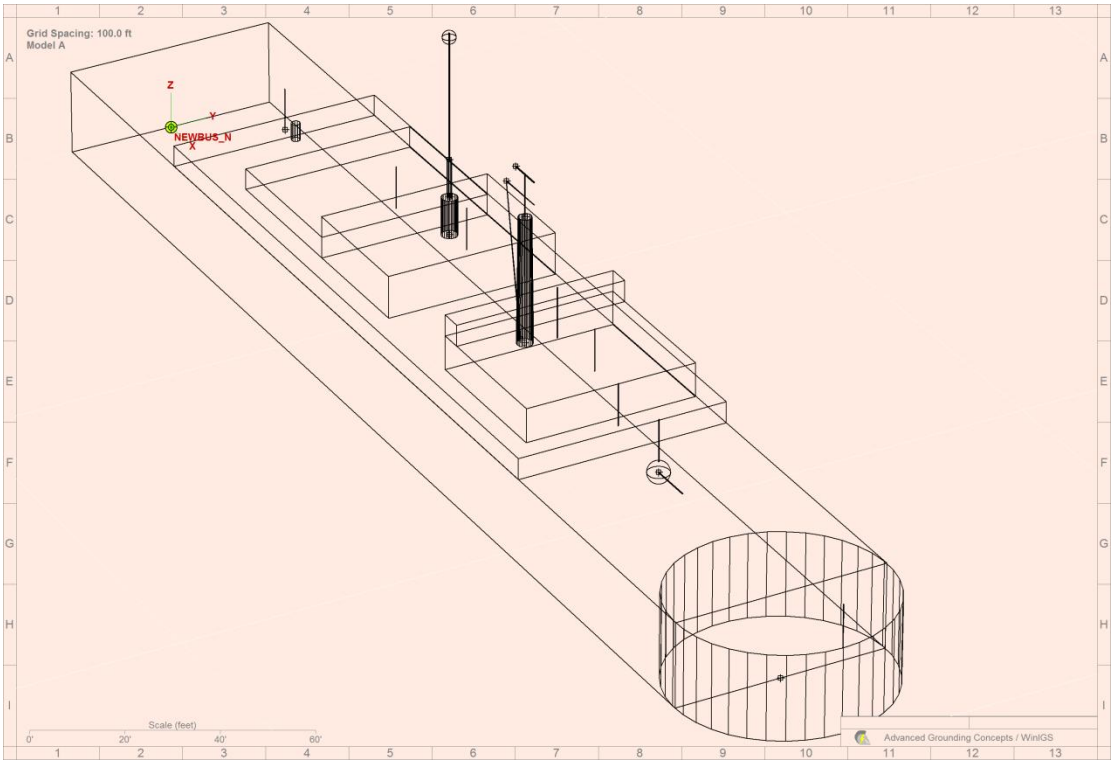
Εικόνα 4.2.9 : Κάτοψη κορβέτας



Εικόνα 4.2.10 : Πλάγια όψη κορβέτας



Εικόνα 4.2.11 : Πίσω όψη κορβέτας



Εικόνα 4.2.12 : Προοπτική κορβέτας

4.2.3 ΑΝΤΙΤΟΡΠΙΛΙΚΟ (DESTROYER)

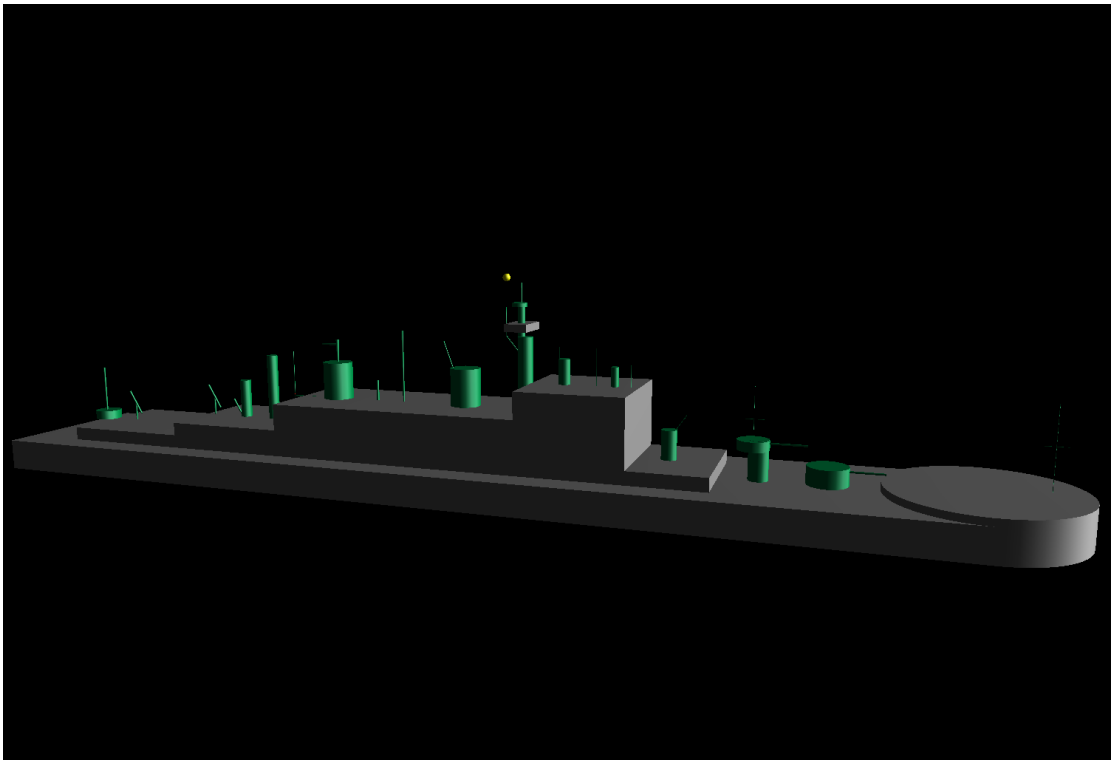
Βασικές διαστάσεις: μήκος 563.5 ft, πλάτος 88.5 ft, ύψος 16.4 ft

Ύψος κεντρικής κεραίας 114.8 ft

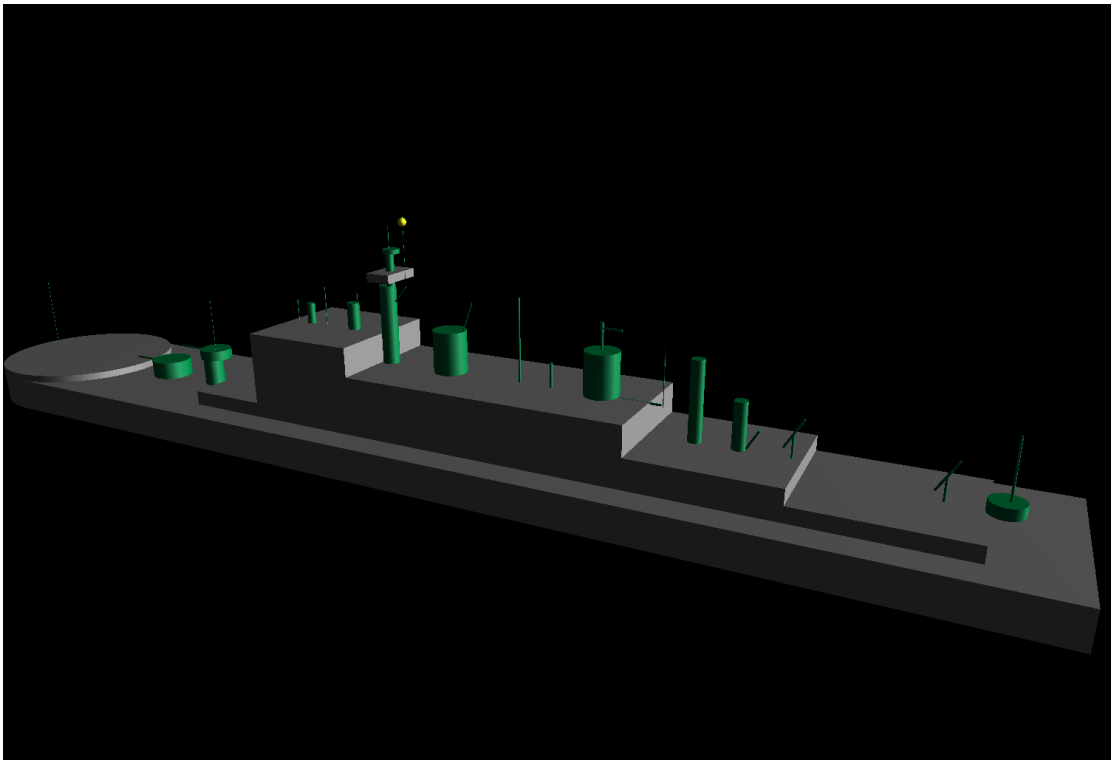
ύψος κεραίας πλώρης 40 ft

ύψος καπνοδόχων 20 ft

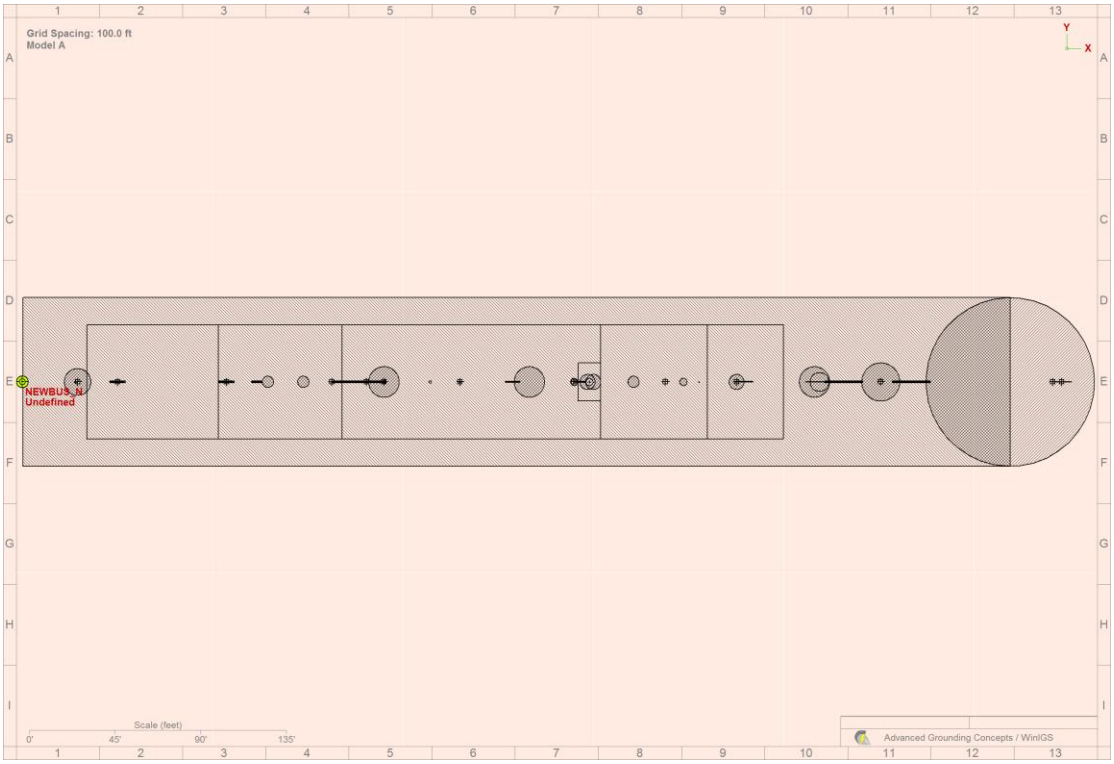
ύψος κεραίας πρύμνης 25 ft



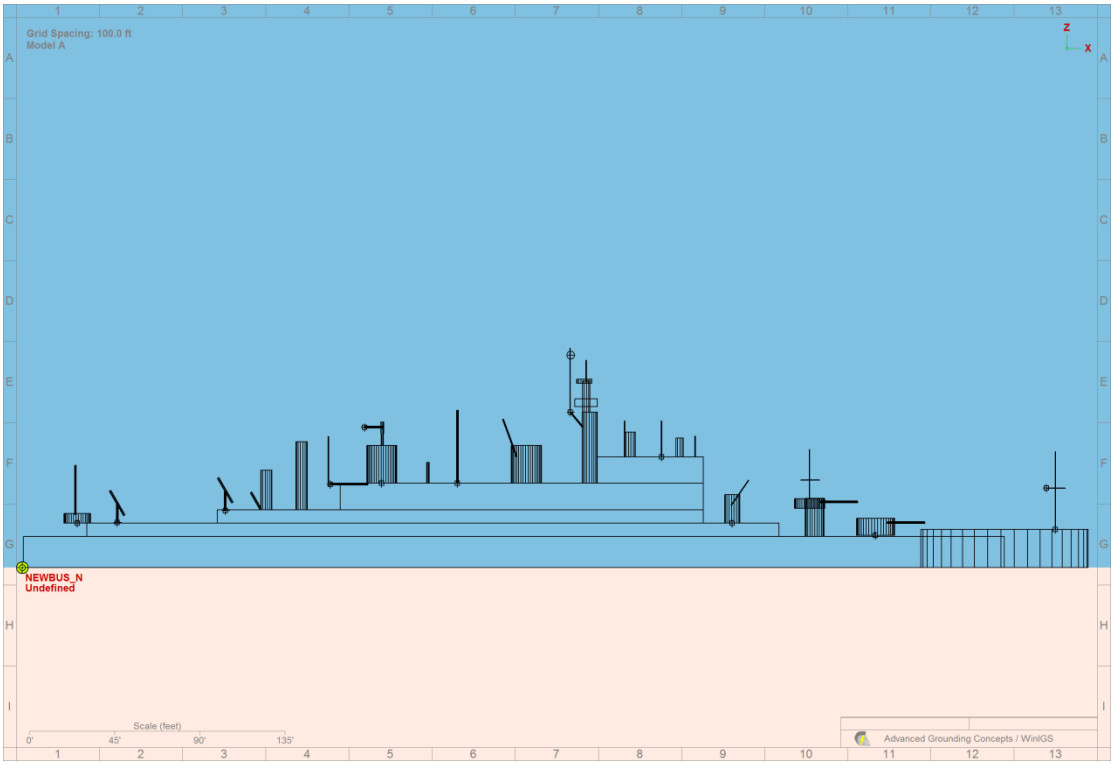
Εικόνα 4.2.13 : Δεξιά τρισδιάστατη όψη αντιτορπιλικού



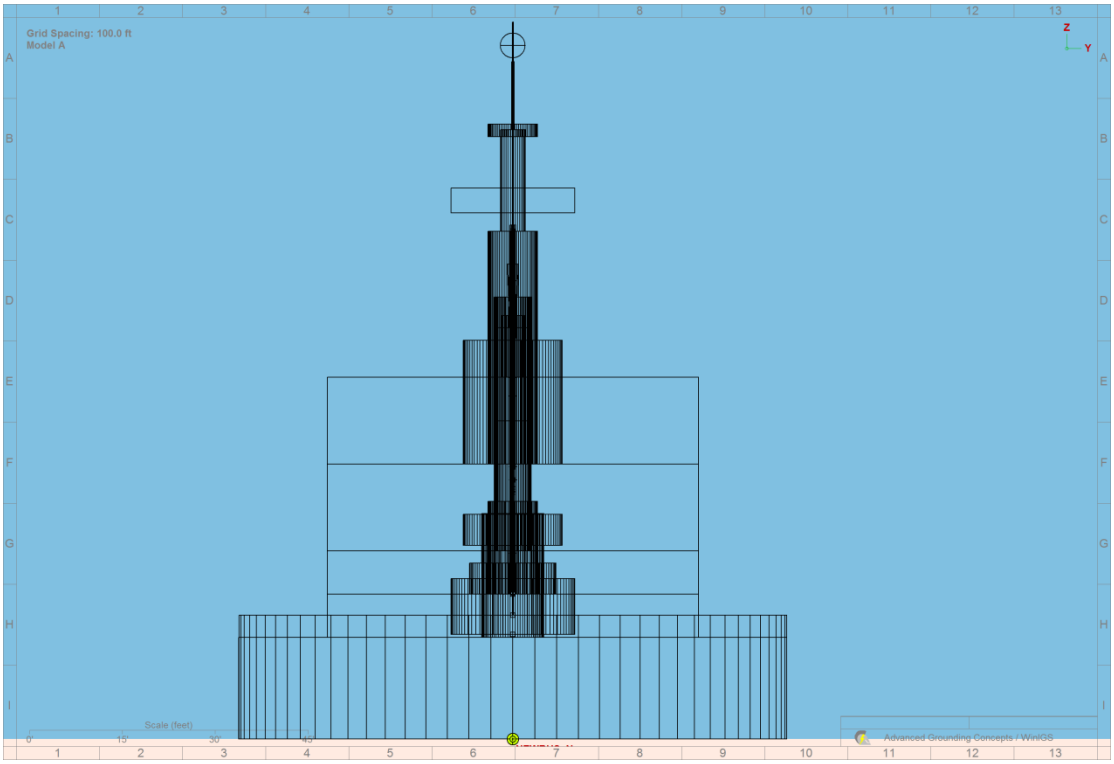
Εικόνα 4.2.14 : Αριστερή τρισδιάστατη όψη αντιτορπιλικού



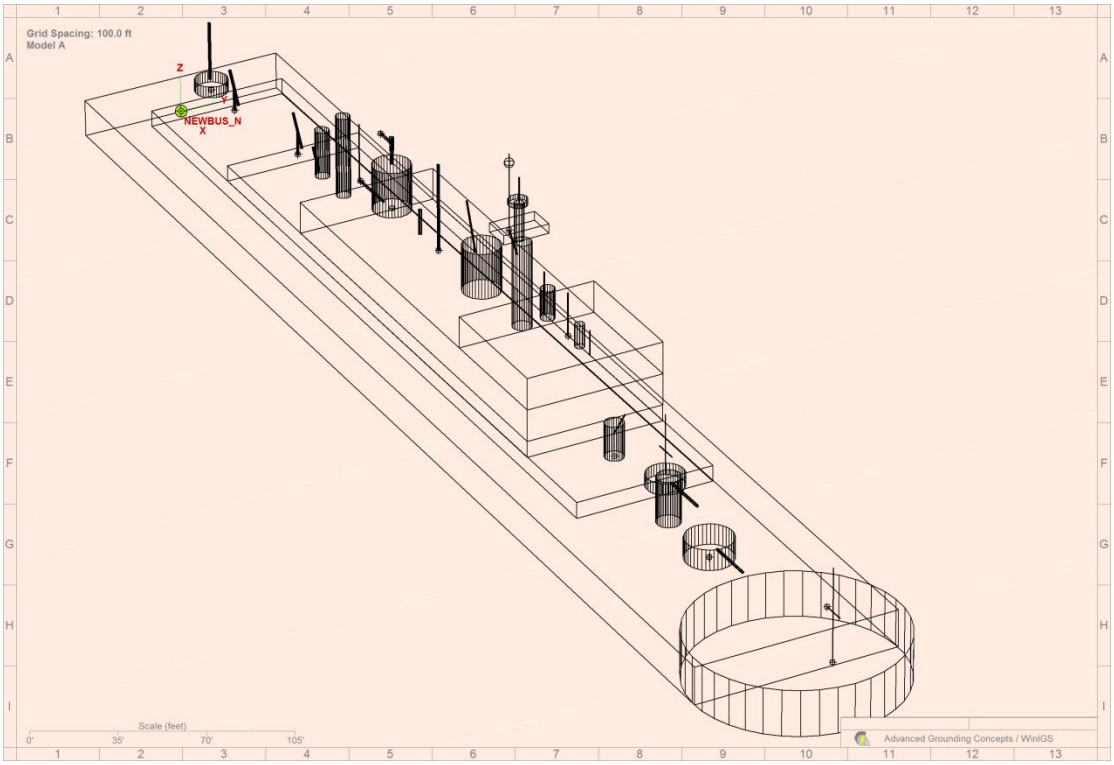
Εικόνα 4.2.15 : Κάτοψη αντιτορπιλικού



Εικόνα 4.2.16 : Πλάγια όψη αντιτορπιλικού



Εικόνα 4.2.17 : Πίσω όψη αντιτορπιλικού



Εικόνα 4.2.18 : Προοπτική αντιτορπιλικού

4.2.4 ΦΡΕΓΑΤΑ (FRIGATE)

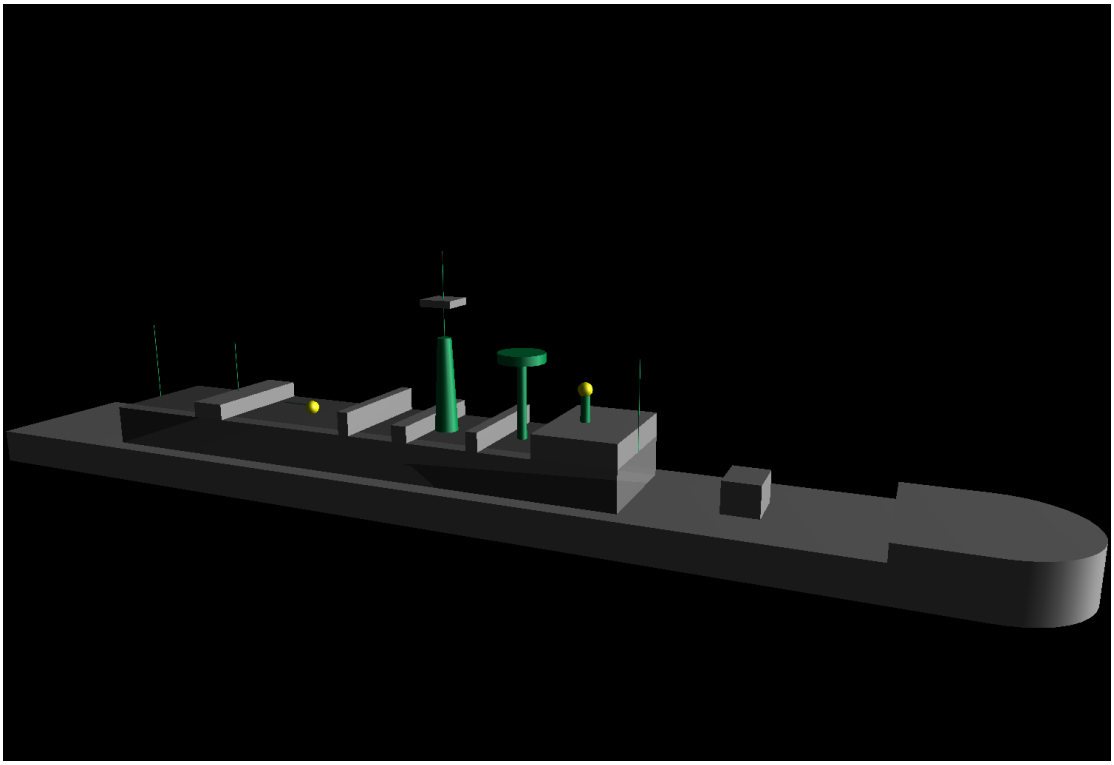
Βασικές διαστάσεις: μήκος 475.6 ft, πλάτος 65.6 ft, ύψος 15 ft

Ύψος κεντρικής κεραίας 107.3 ft

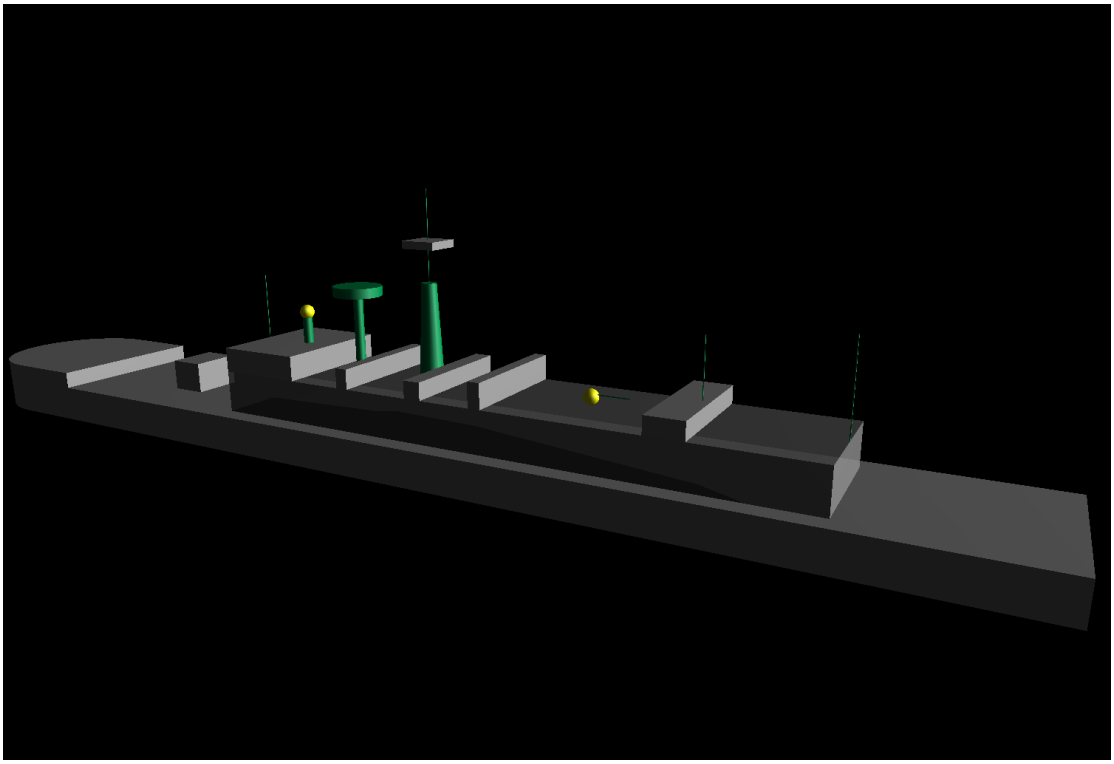
ύψος κεραίας ραντάρ 68 ft

ύψος κεραίας εμπρός γέφυρας 37 ft

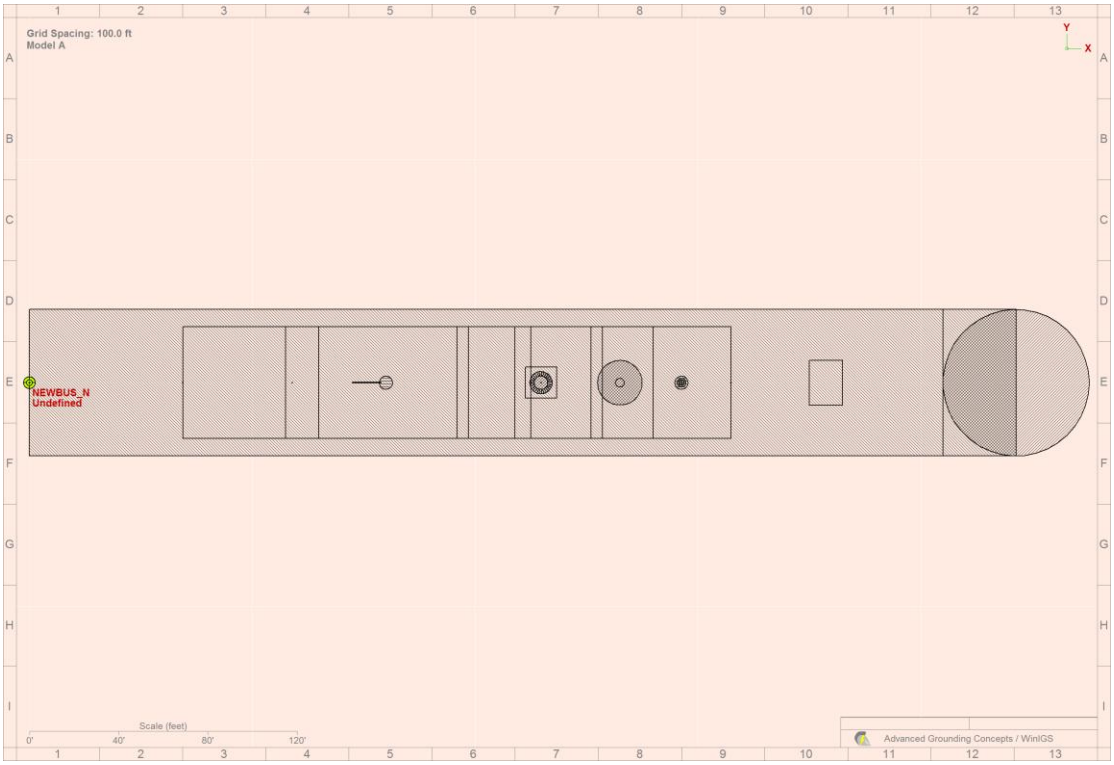
ύψος κεραίας πρύμνης 35 ft



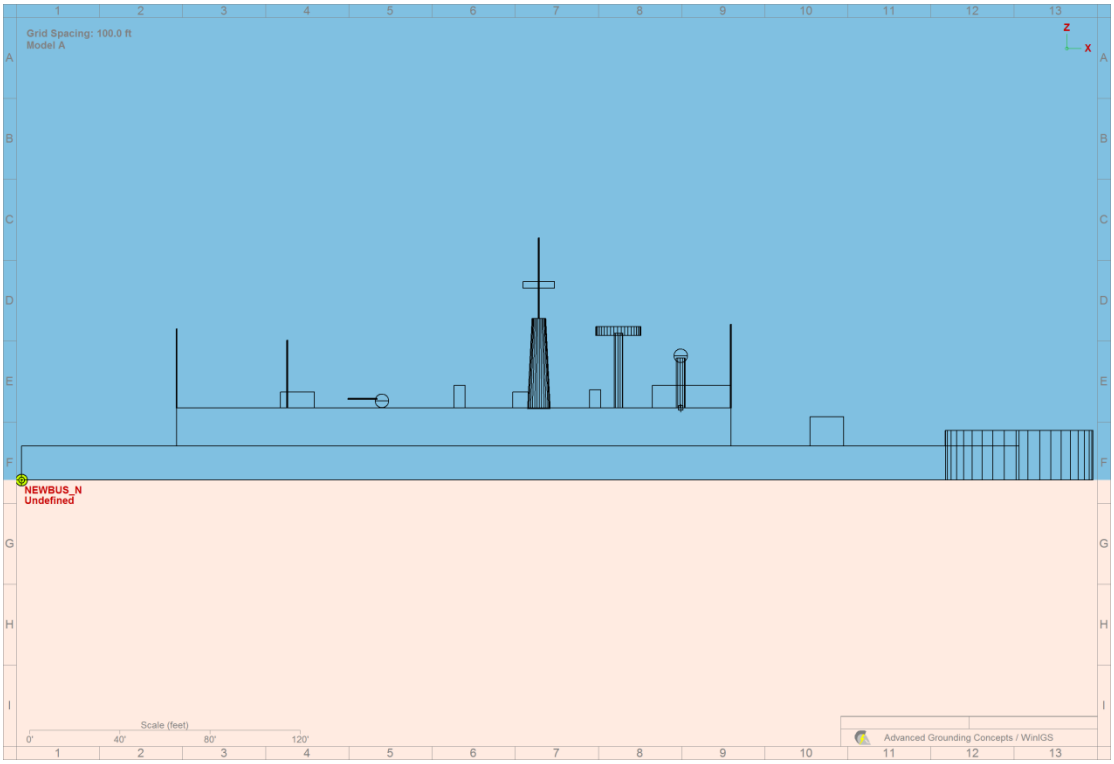
Εικόνα 4.2.19 : Δεξιά τρισδιάστατη όψη φρεγάτας



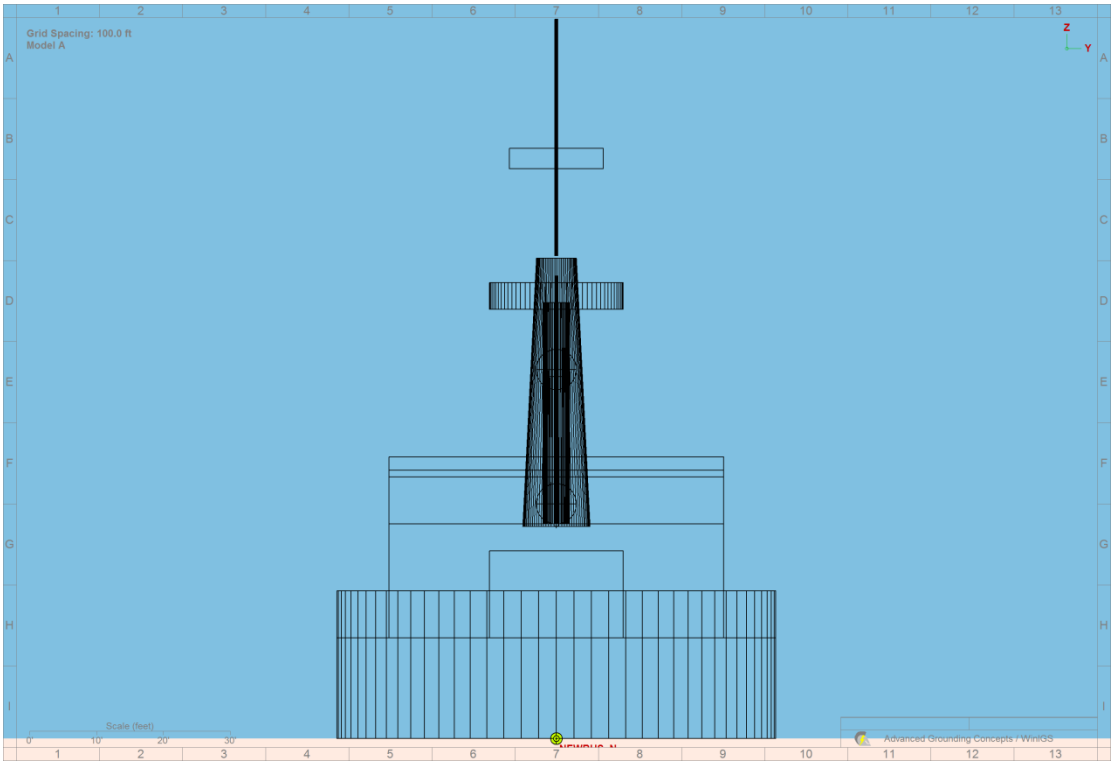
Εικόνα 4.2.20 : Αριστερή τρισδιάστατη όψη φρεγάτας



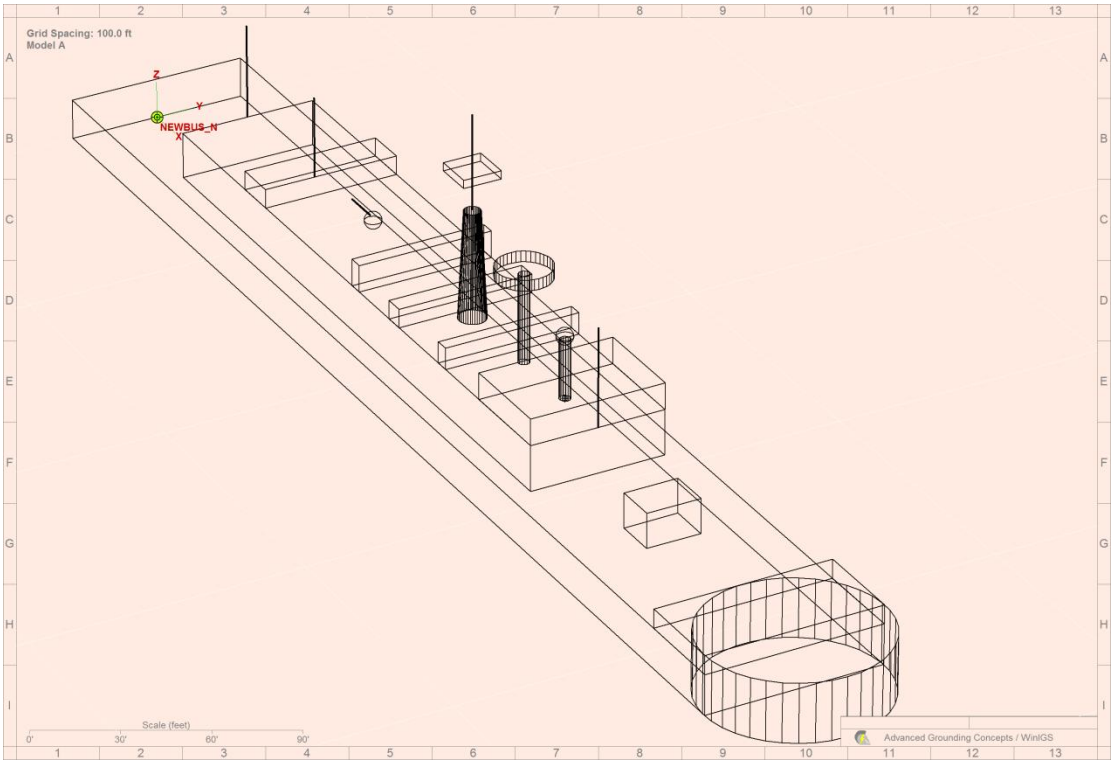
Εικόνα 4.2.21 : Κάτοψη φρεγάτας



Εικόνα 4.2.22 : Πλάγια όψη φρεγάτας



Εικόνα 4.2.23 : Πίσω όψη φρεγάτας



Εικόνα 4.2.24 : Προοπτική φρεγάτας

4.3 Πλοία τύπου tanker

Σε αυτή την κατηγορία πλοίων υπάγονται τα εξής μοντέλα:

- LNG tanker
- Πετρελαιοφόρο (oil tanker)
- Πλοίο tanker
- Texaco tanker

Στην συνέχεια παρουσιάζονται όλα τα σχέδια των παραπάνω πλοίων, συνοδευόμενα από τις βασικές τους διαστάσεις.

4.3.1 LNG tanker

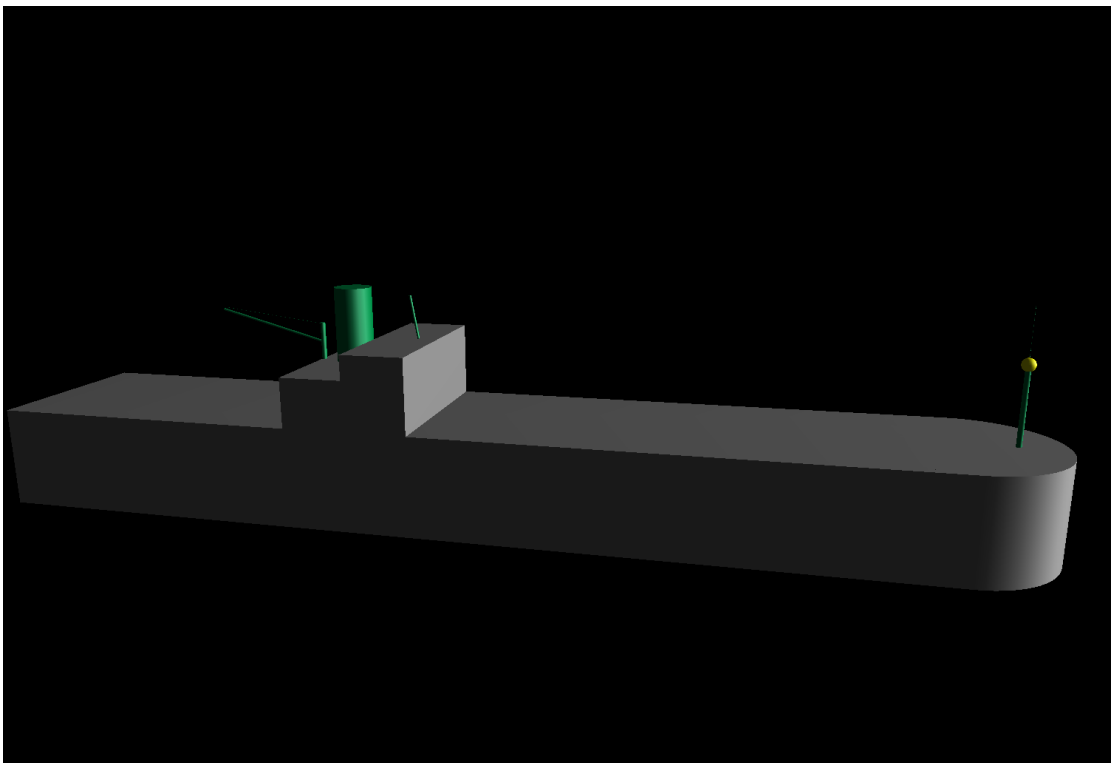
Βασικές διαστάσεις πλοίου: μήκος 820 ft, πλάτος 144.3 ft, ύψος 80 ft

Ύψος γέφυρας 60 ft

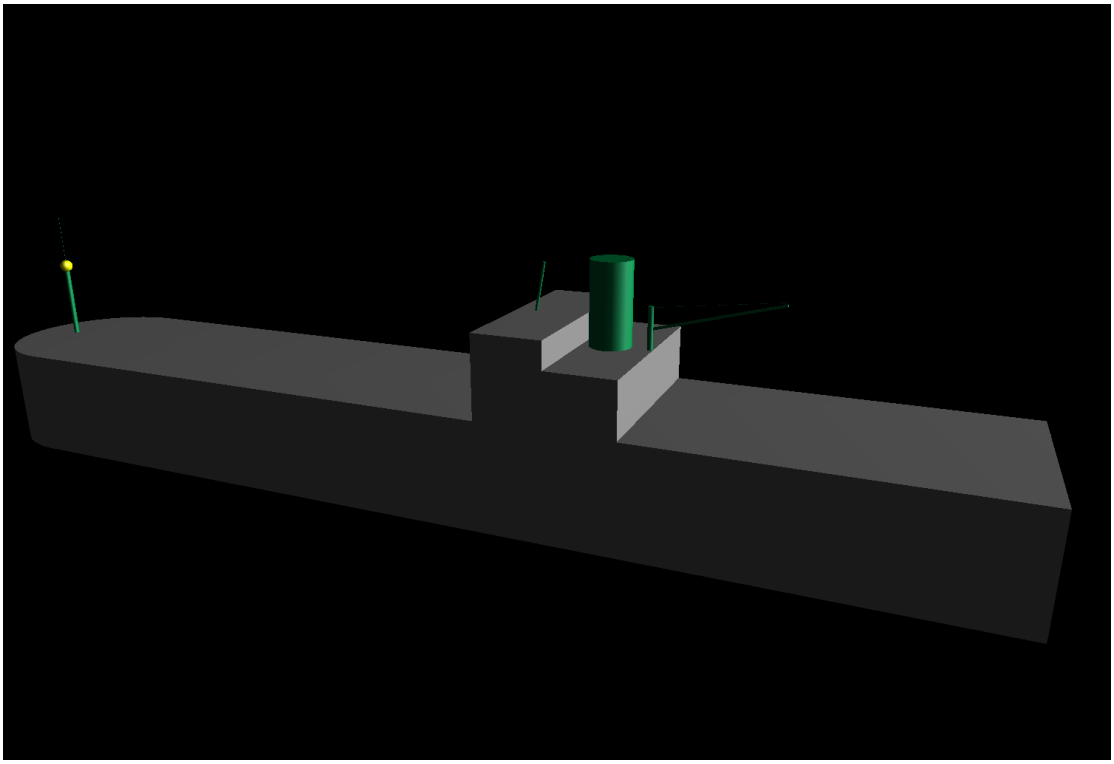
φουγάρου 60 ft

κεραίας 100 ft

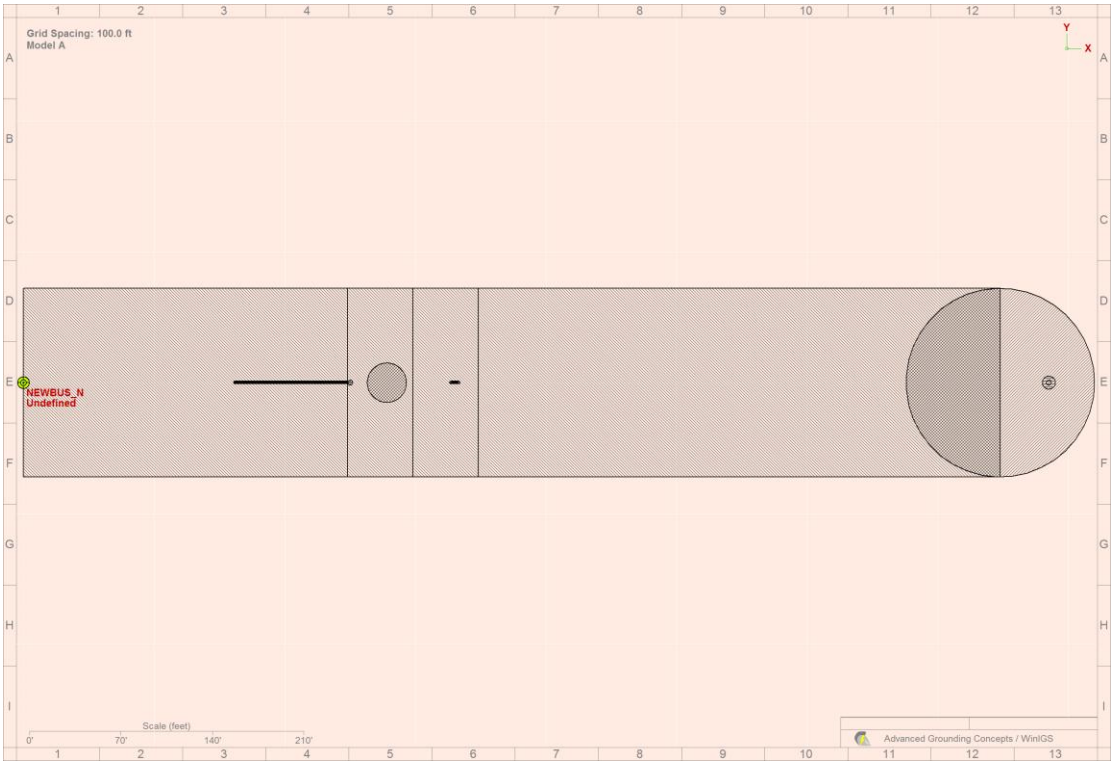
μήκος γερανού: 90 ft



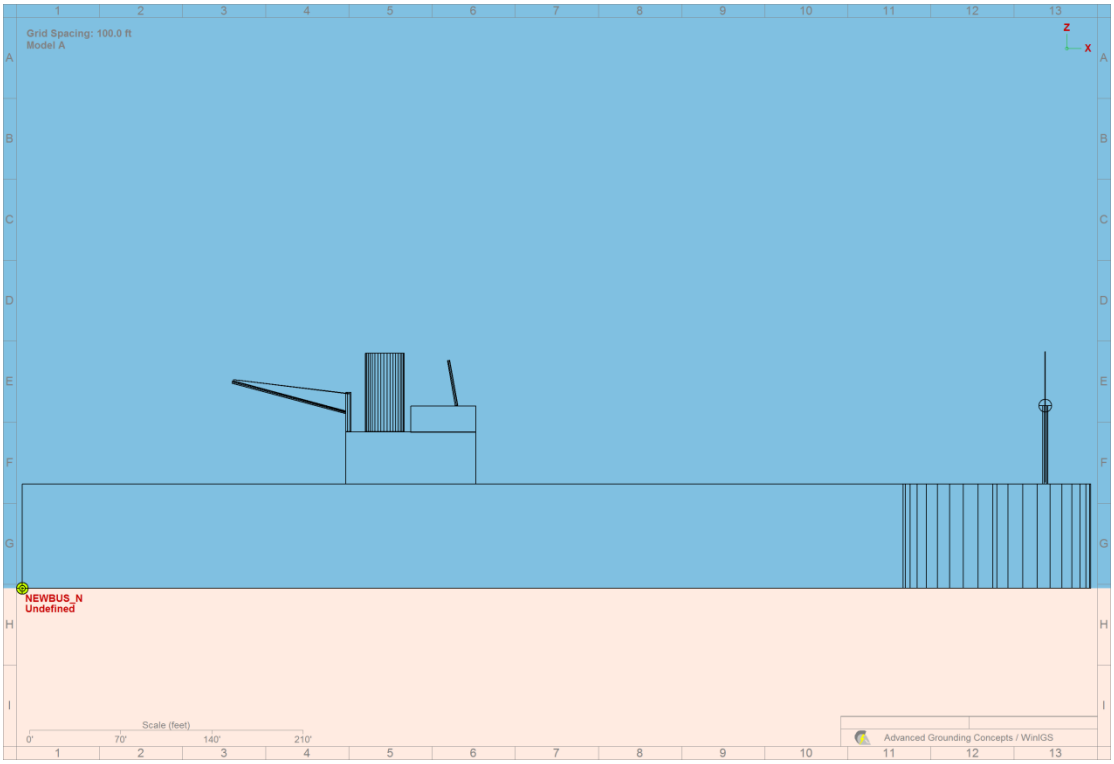
Εικόνα 4.3.1 : Δεξιά τρισδιάστατη όψη LNG Tanker



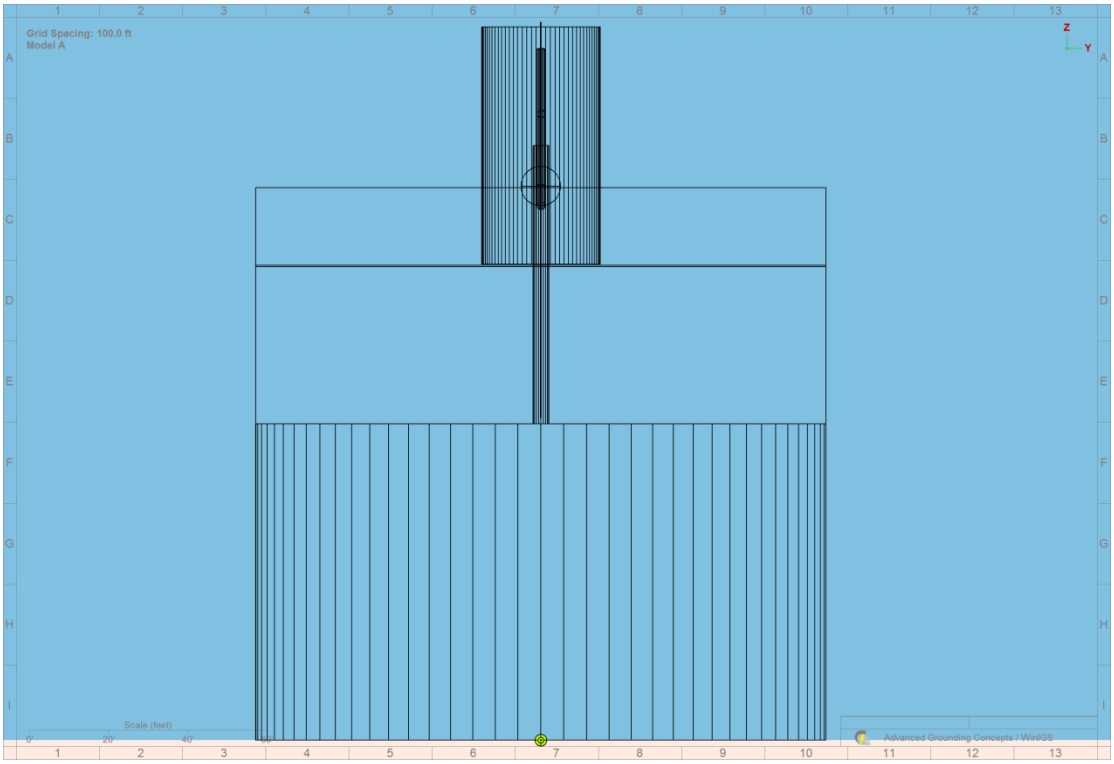
Εικόνα 4.3.2 : Αριστερή τρισδιάστατη όψη LNG Tanker



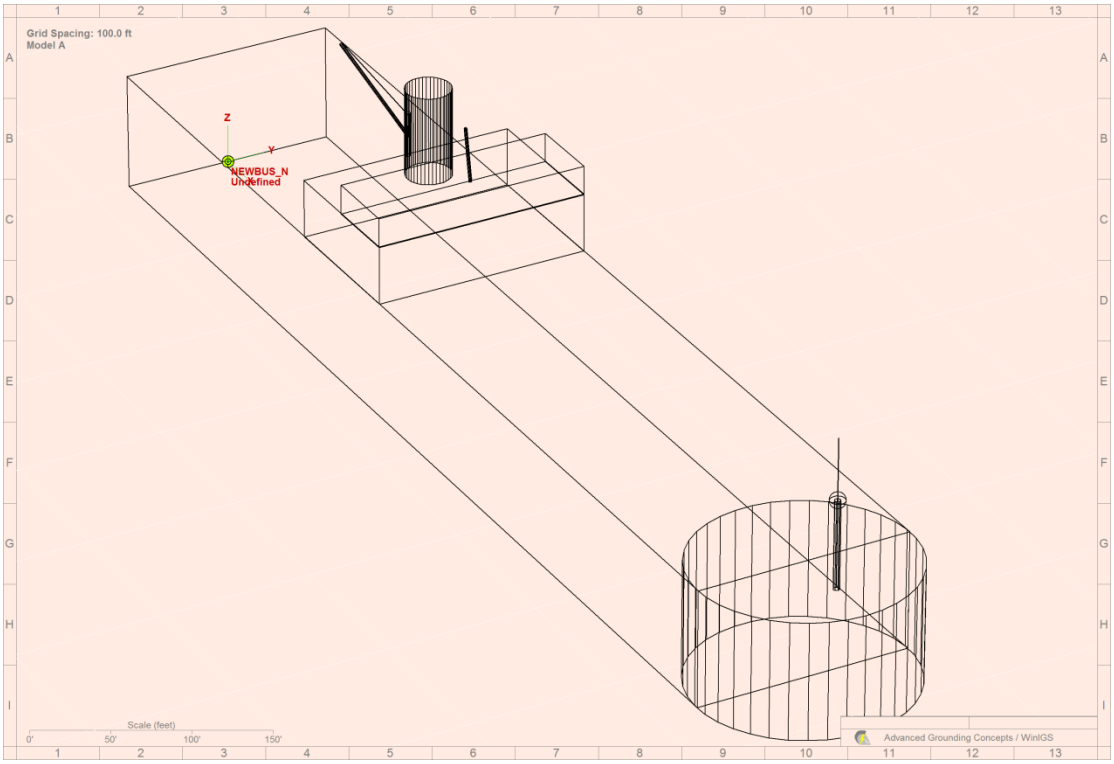
Εικόνα 4.3.3 : Κάτοψη LNG Tanker



Εικόνα 4.3.4 : Πλάγια όψη LNG Tanker



Εικόνα 4.3.5 : Πίσω όψη LNG Tanker



Εικόνα 4.3.6 : Προοπτική LNG Tanker

4.3.2 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΦΟΡΟ (OIL TANKER)

Βασικές διαστάσεις: μήκος 899 ft, πλάτος 164 ft, ύψος 50

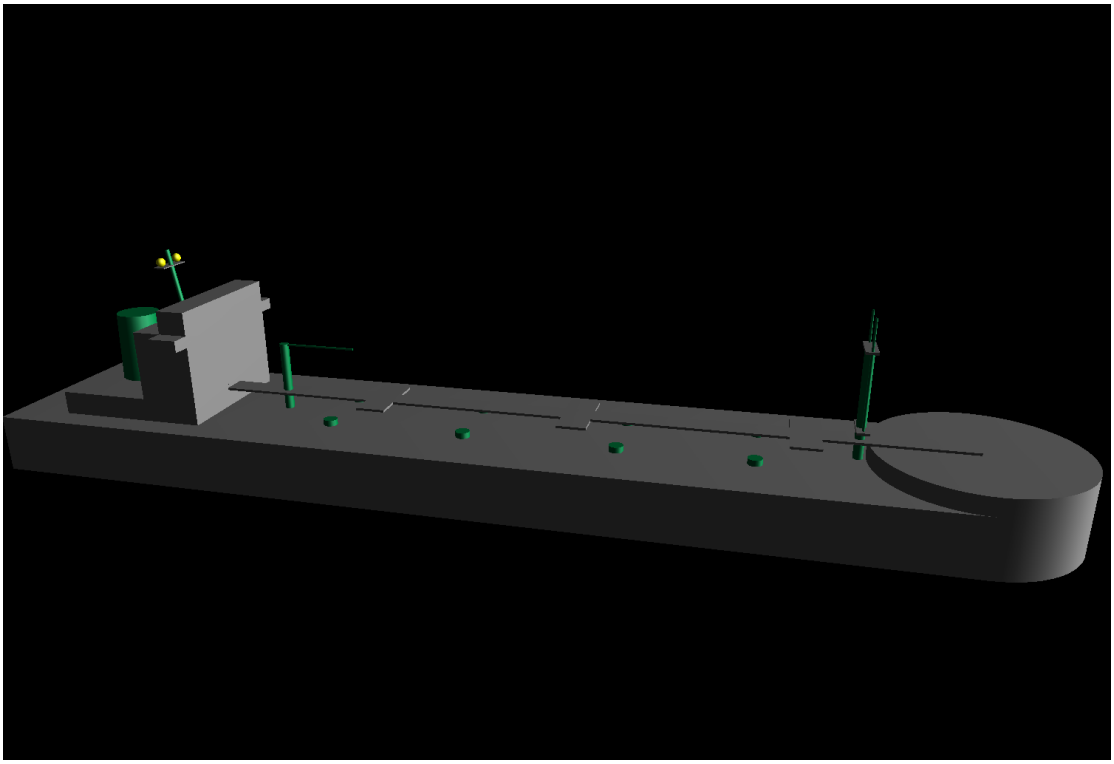
Ύψος γέφυρας 80 ft

ύψος φουγάρου 60 ft

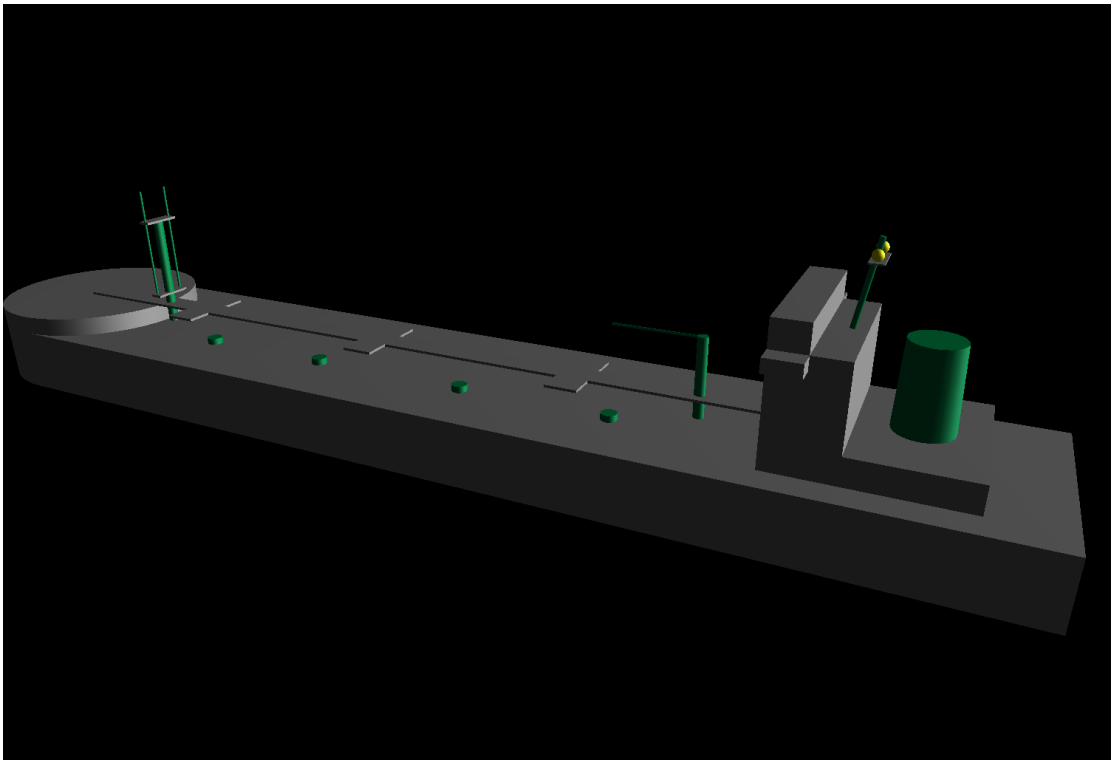
ύψος κεραίας γέφυρας 60 ft

ύψος και μήκος γερανού (αντίστοιχα) 60 και 70 ft

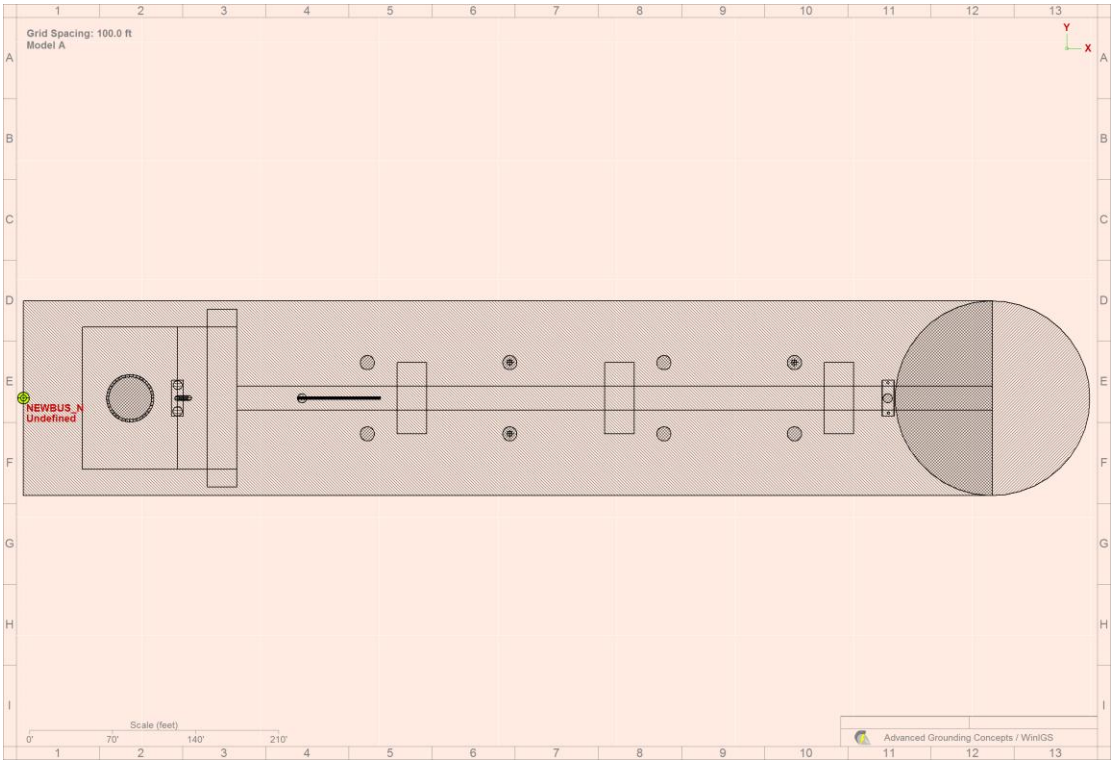
ύψος κεραιών πλώρης 118 ft



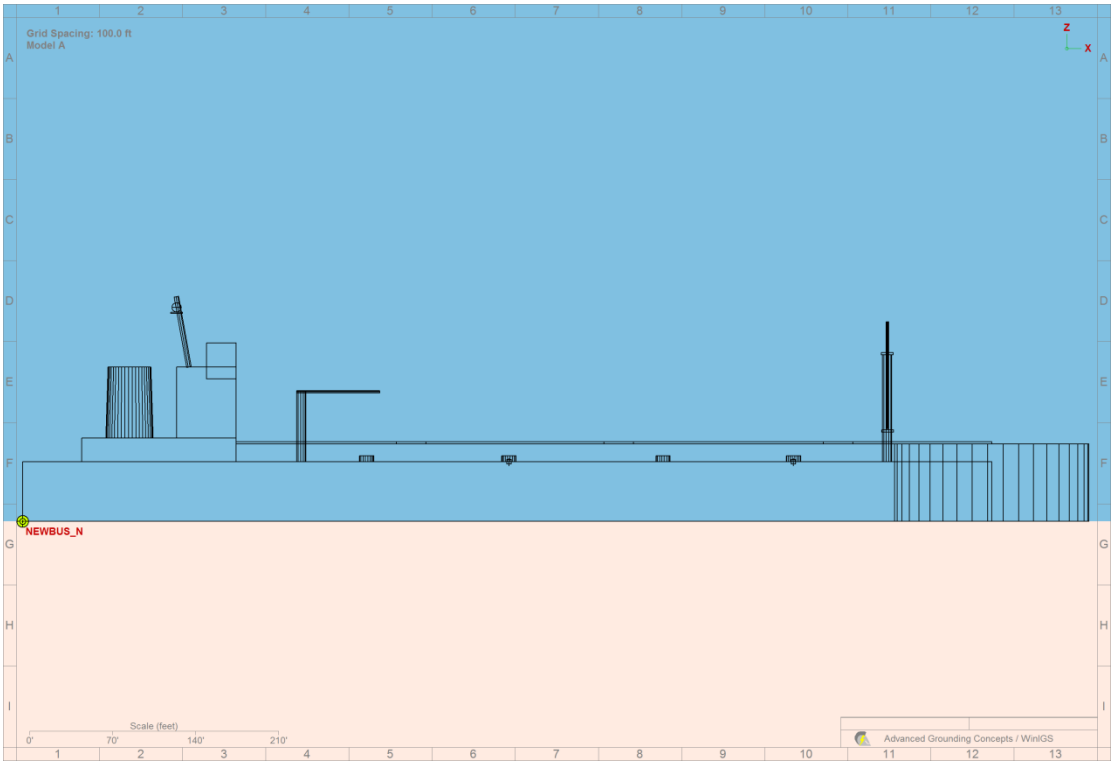
Εικόνα 4.3.7 : Δεξιά τρισδιάστατη όψη πετρελαιοφόρου



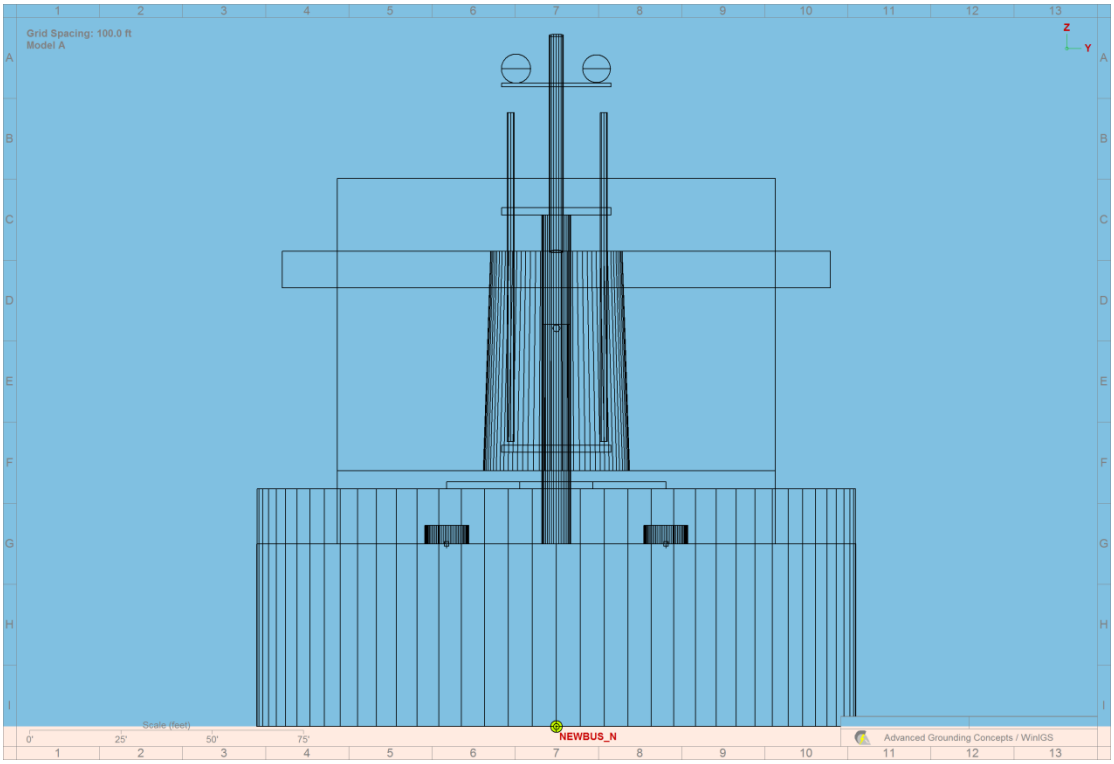
Εικόνα 4.3.8 : Αριστερή τρισδιάστατη όψη πετρελαιοφόρου



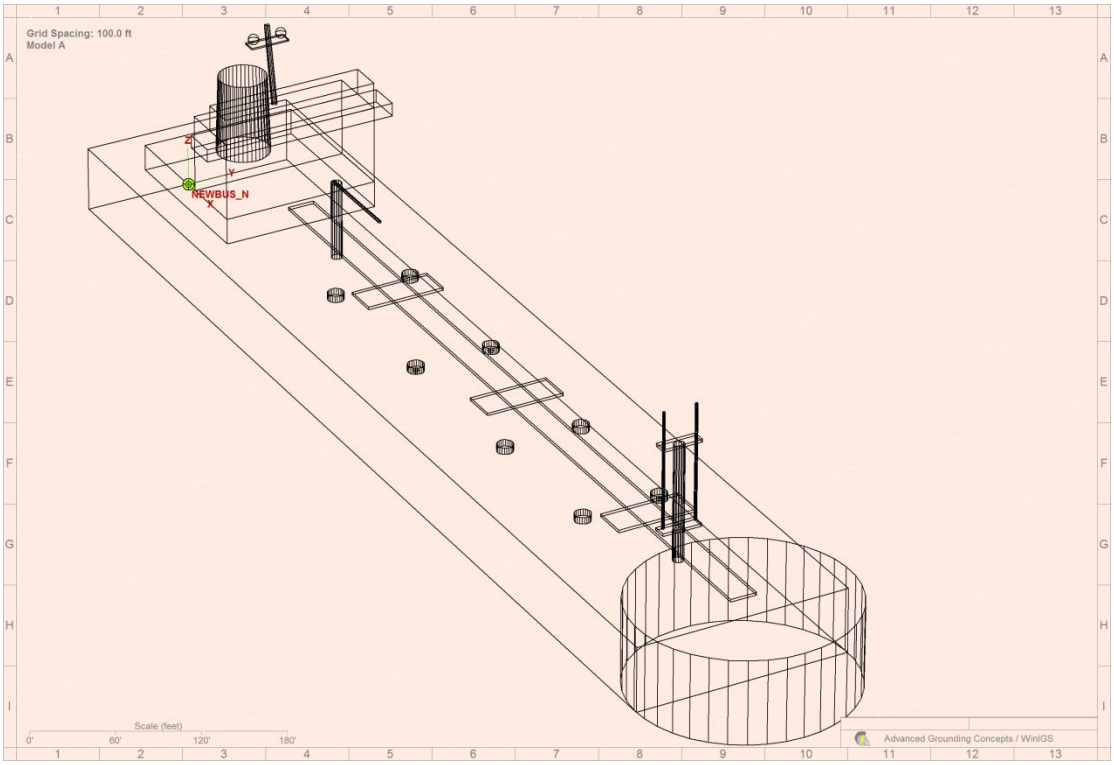
Εικόνα 4.3.9 : Κάτοψη πετρελαιοφόρου



Εικόνα 4.3.10 : Πλάγια όψη πετρελαιοφόρου



Εικόνα 4.3.11 : Πίσω όψη πετρελαιοφόρου



Εικόνα 4.3.12 : Προοπτική πετρελαιοφόρου

4.3.3 TANKER

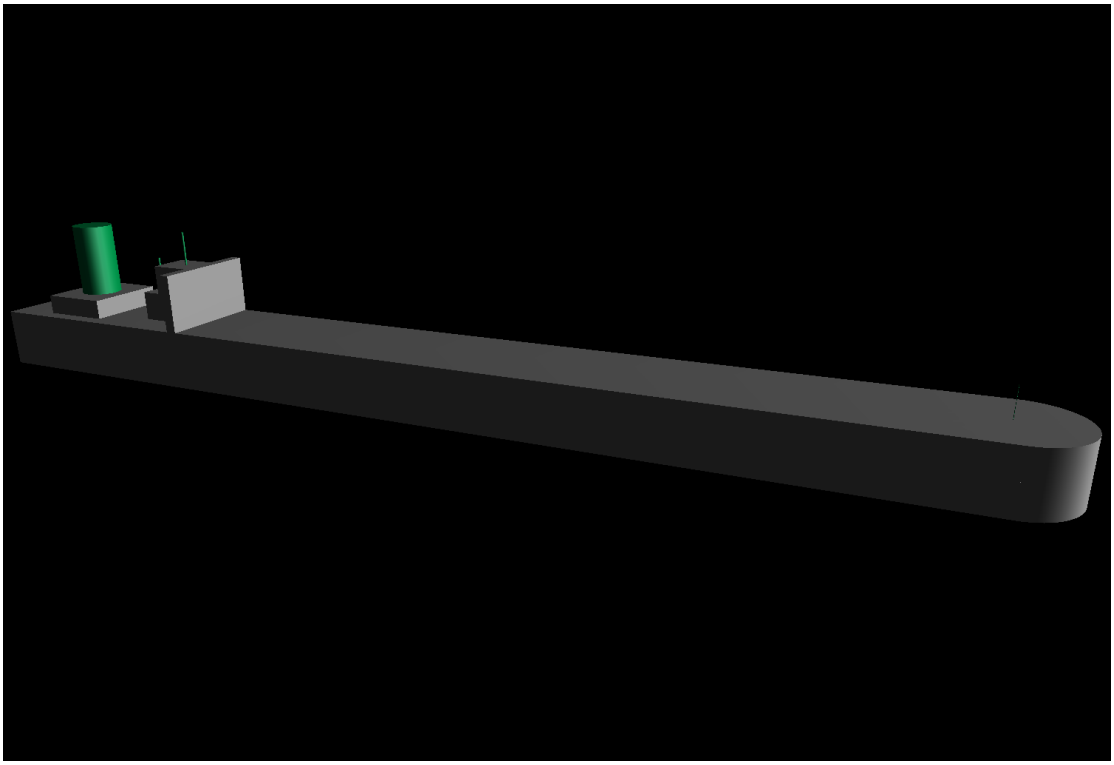
Βασικές διαστάσεις: μήκος 1092.3 ft, πλάτος 108.2 ft, ύψος 60 ft

Ύψος γέφυρας 60 ft

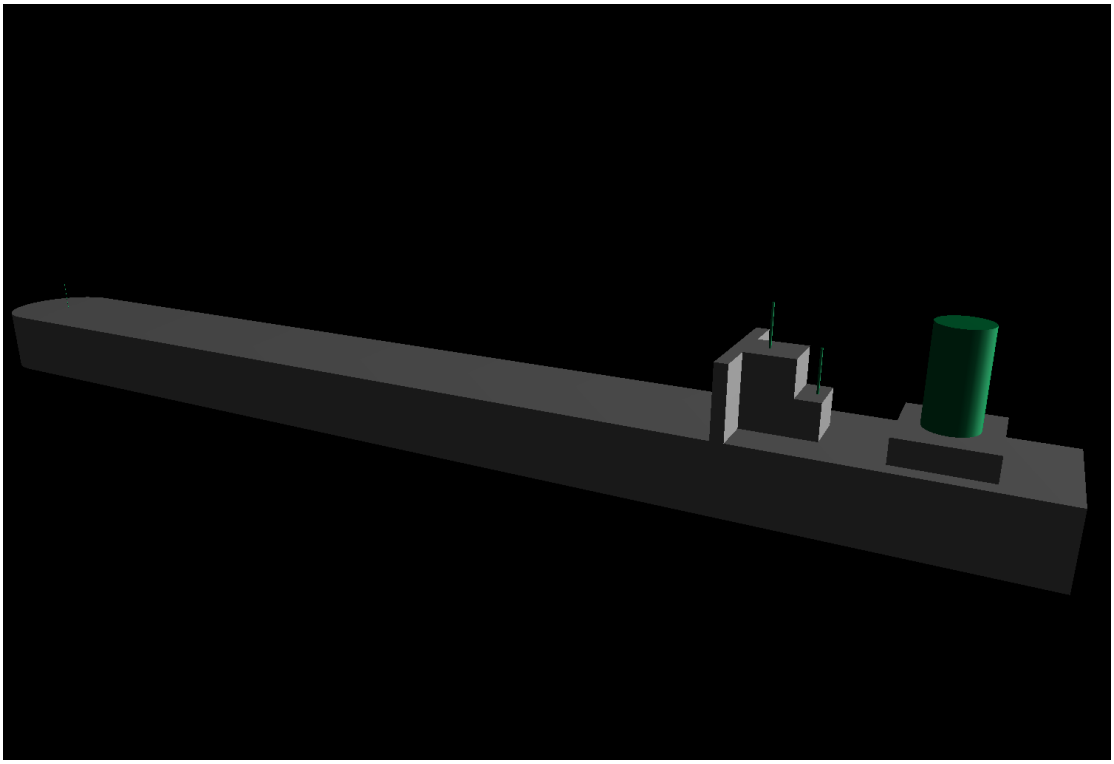
ύψος φουγάρου 75 ft

ύψος κεραιών γέφυρας 35 ft

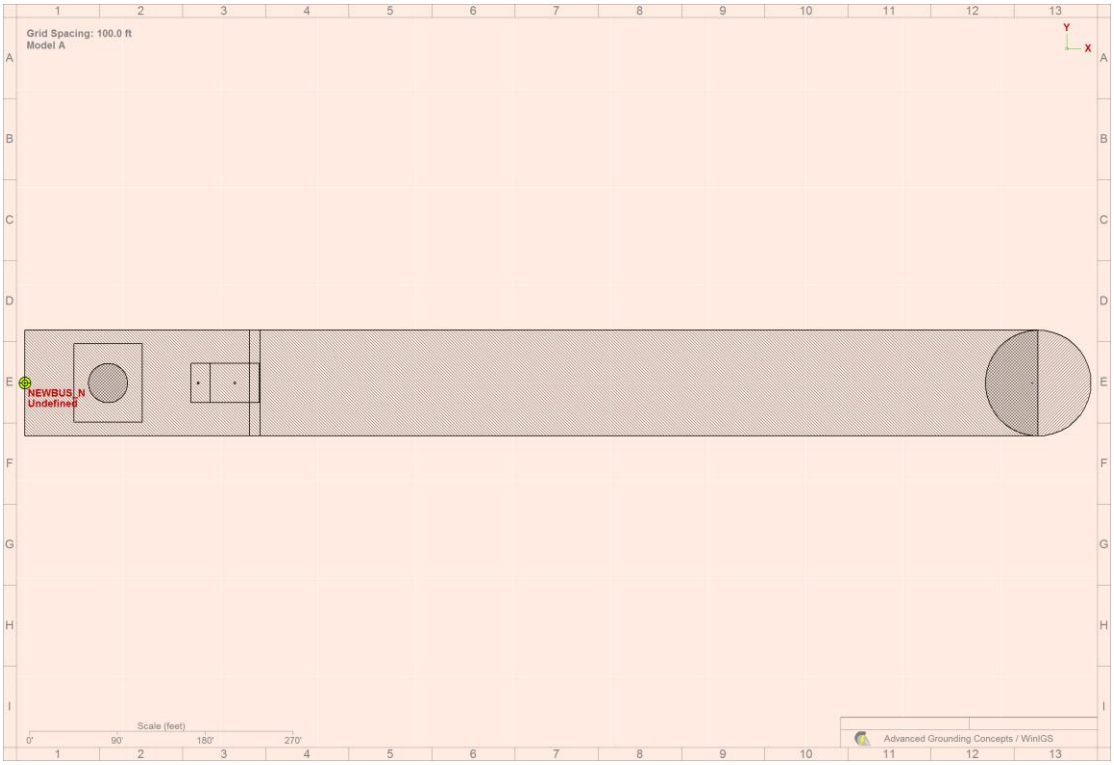
ύψος κεραίας πλώρης 30 ft



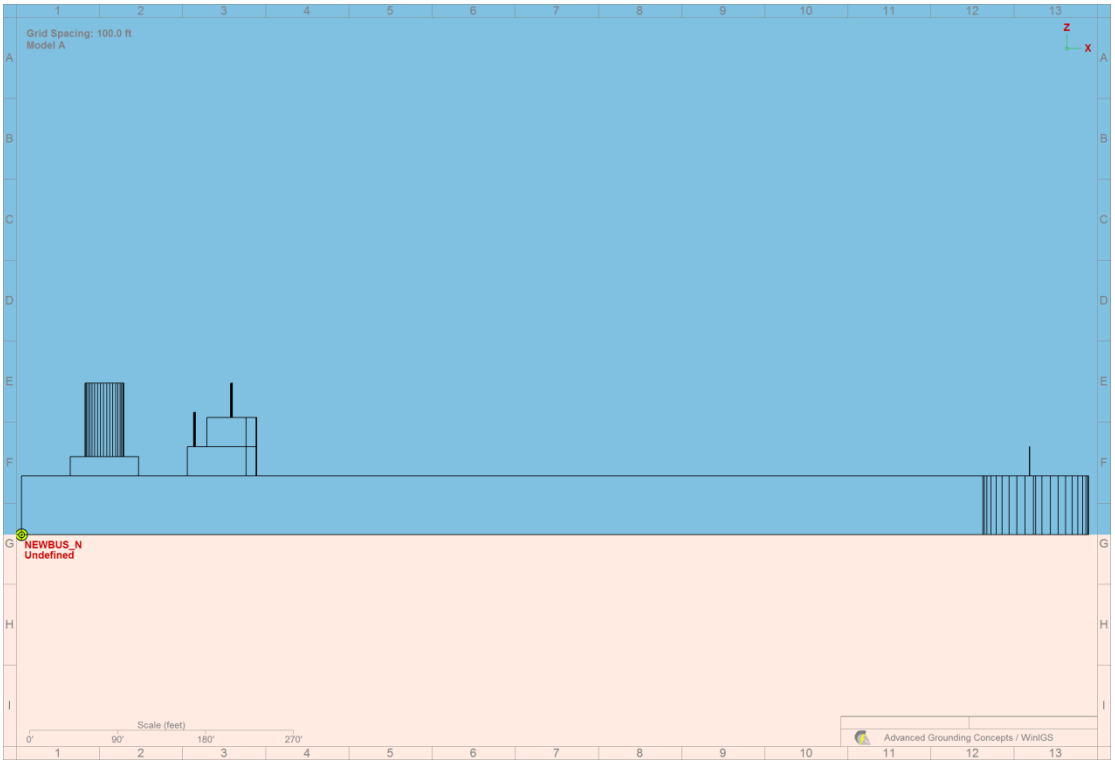
Εικόνα 4.3.13 : Δεξιά τρισδιάστατη όψη Tanker



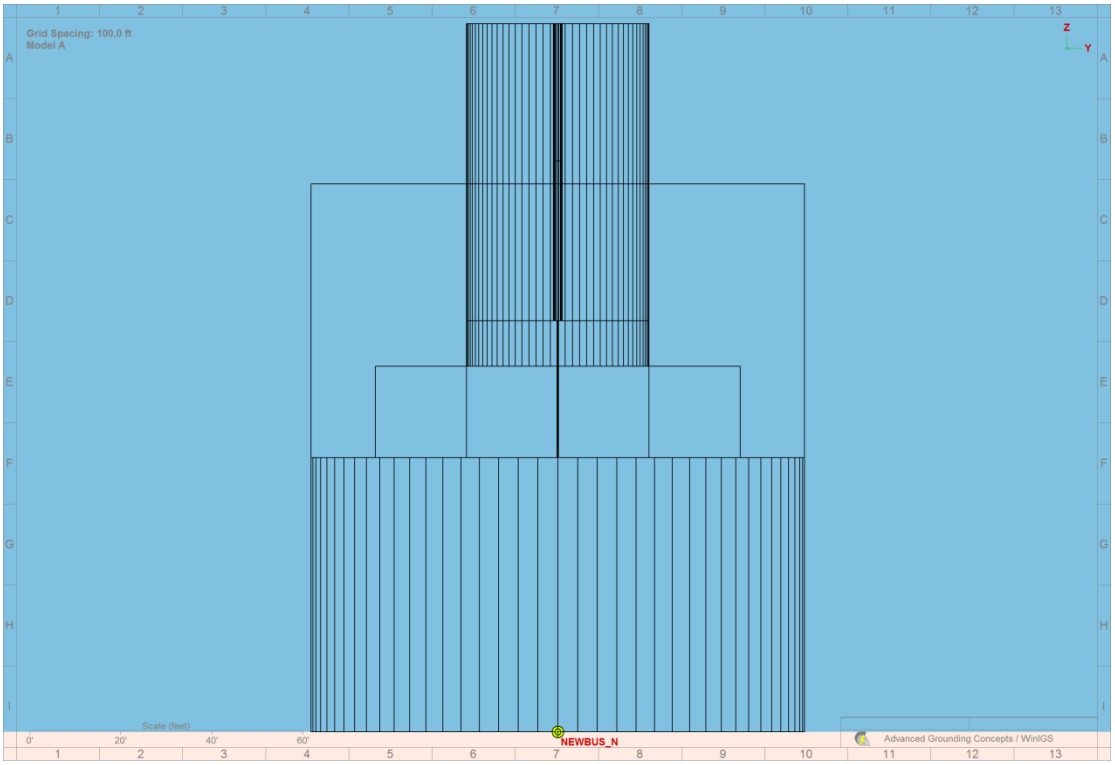
Εικόνα 4.3.14 : Αριστερή τρισδιάστατη όψη Tanker



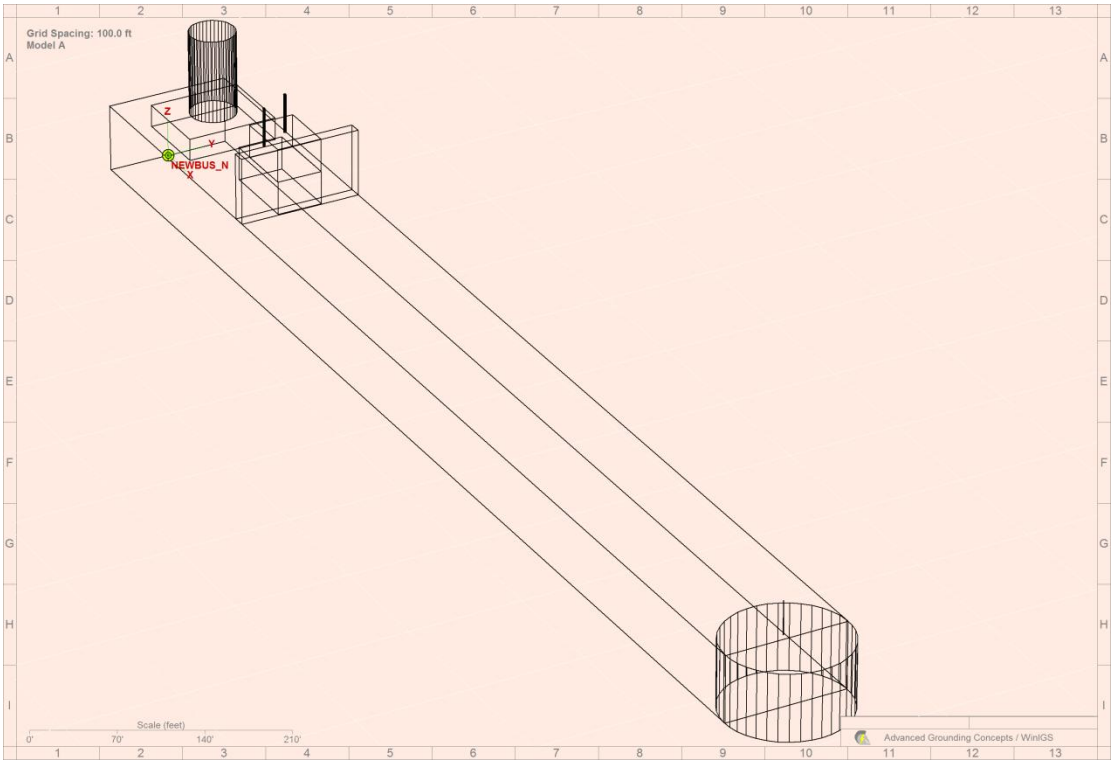
Εικόνα 4.3.15 : Κάτοψη Tanker



Εικόνα 4.3.16 : Πλάγια όψη Tanker



Εικόνα 4.3.17 : Πίσω όψη Tanker



Εικόνα 4.3.18 : Προοπτική Tanker

4.3.4 TEXACO TANKER

Βασικές διαστάσεις: μήκος 600.3 ft, πλάτος 88.6 ft, ύψος 40 ft

Ύψος πίσω γέφυρας 40 ft

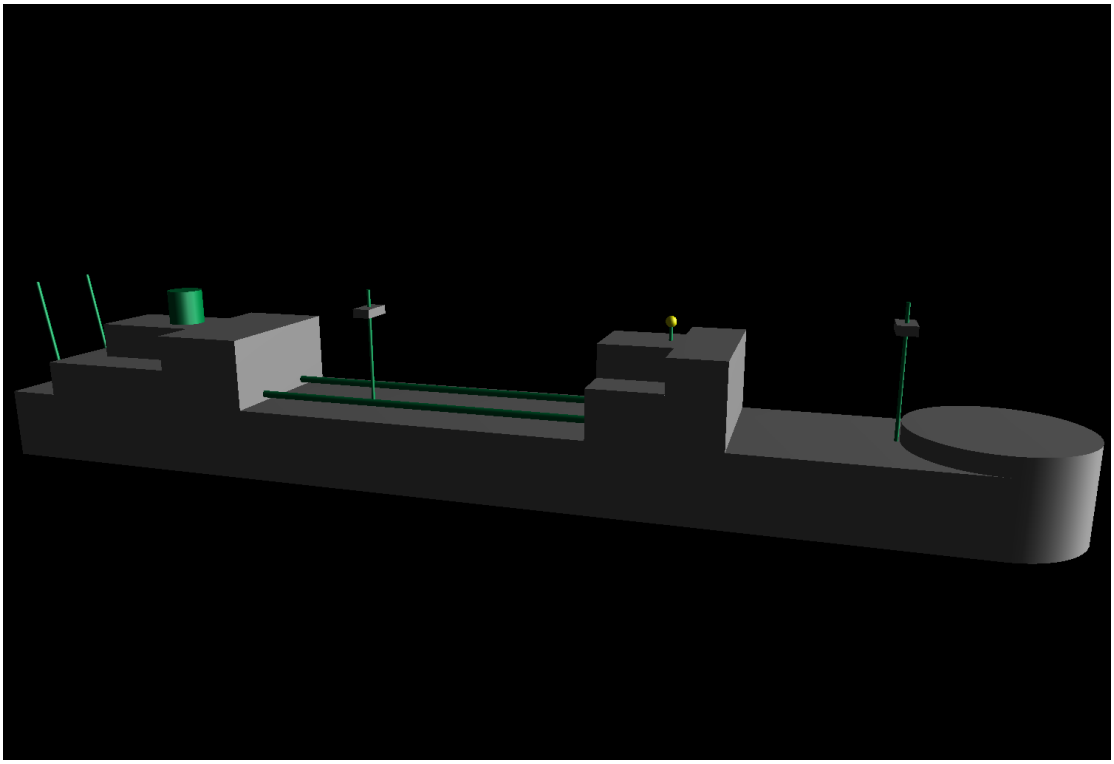
ύψος εμπρός γέφυρας 45 ft

ύψος φουγάρου 20 ft

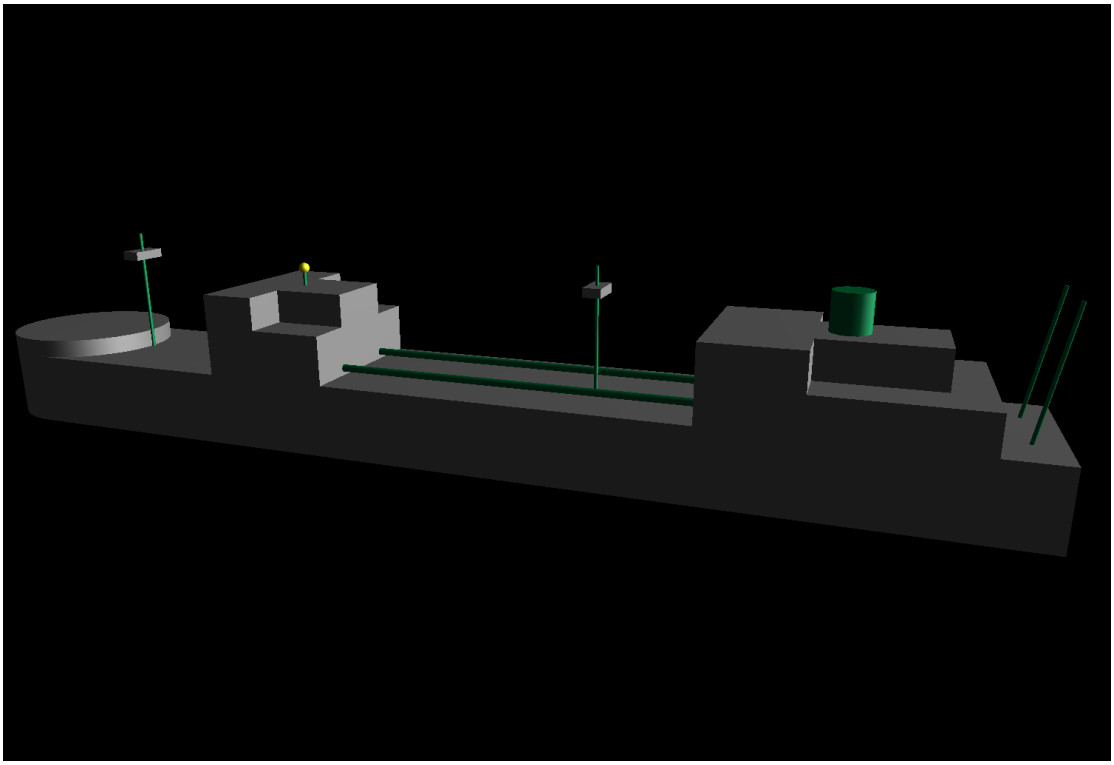
Ύψος πίσω κεραιών 65 ft

ύψος μεσαίας κεραίας 65 ft

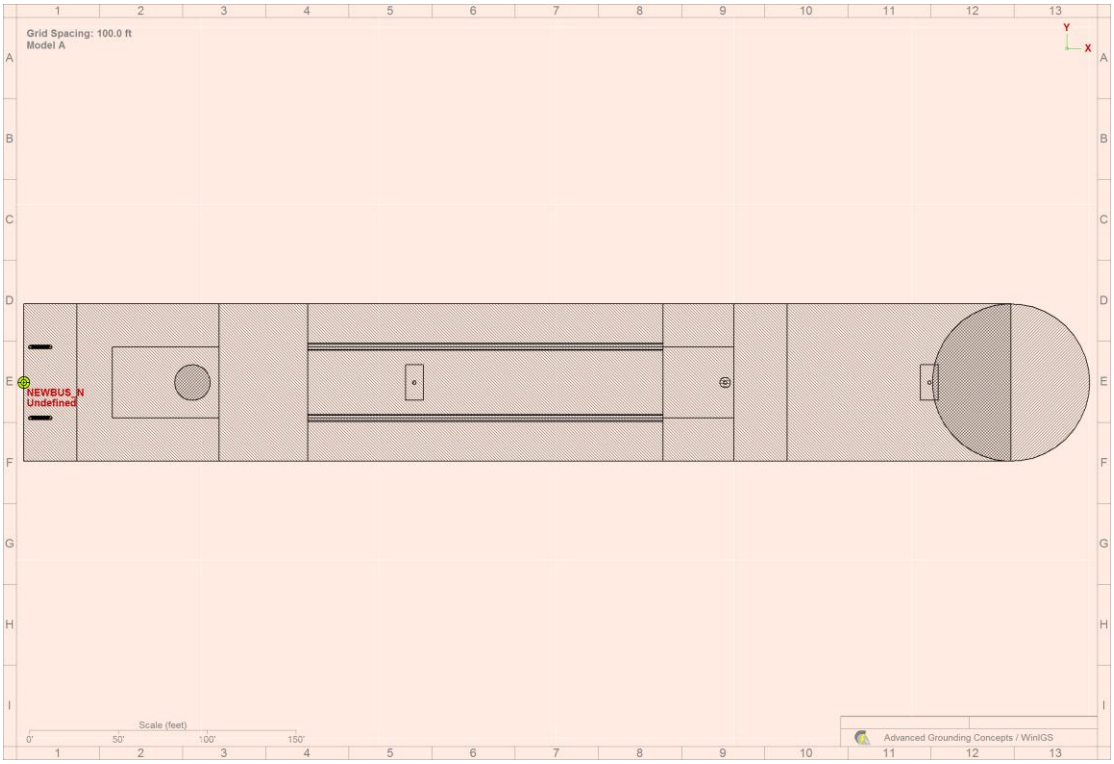
ύψος κεραίας πλώρης 70 ft



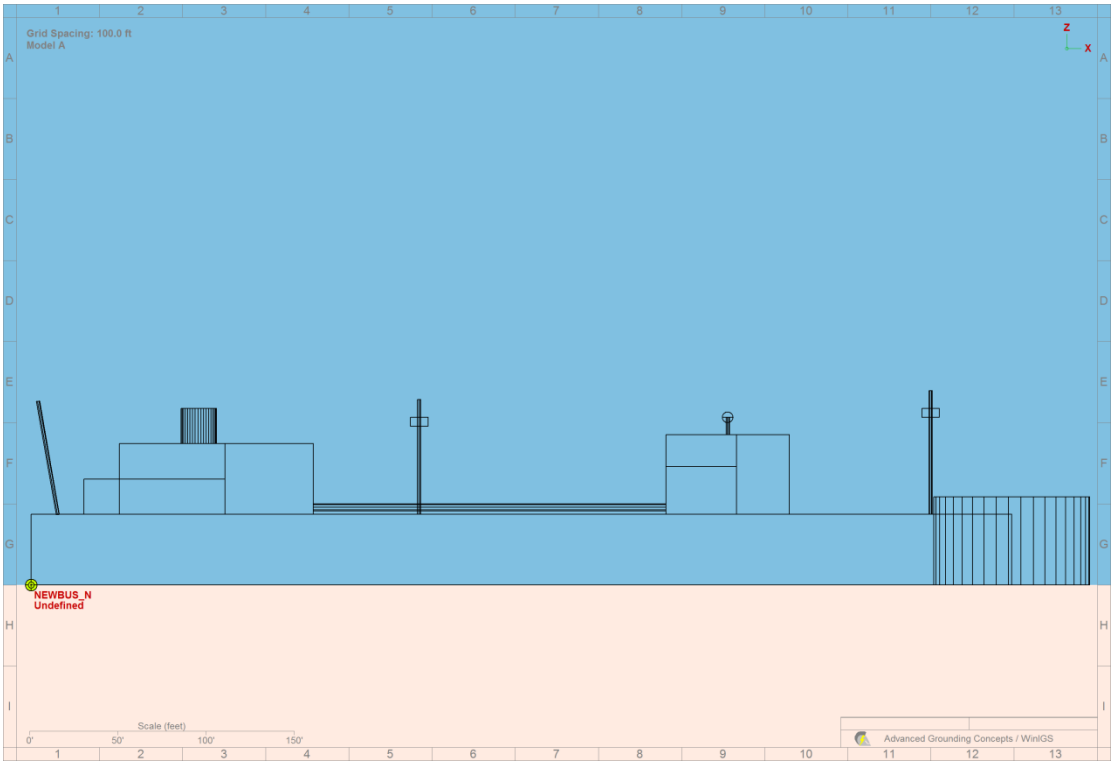
Εικόνα 4.3.19 : Δεξιά τρισδιάστατη όψη Texaco Tanker



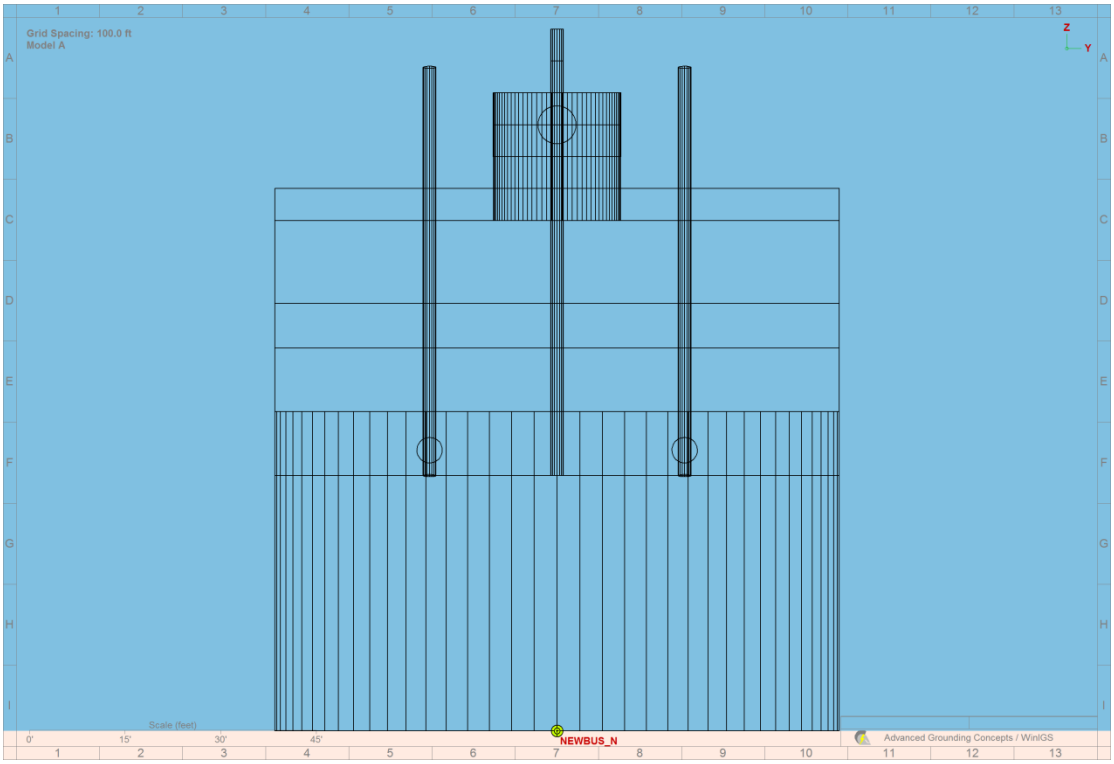
Εικόνα 4.3.20 : Αριστερή τρισδιάστατη όψη Texaco Tanker



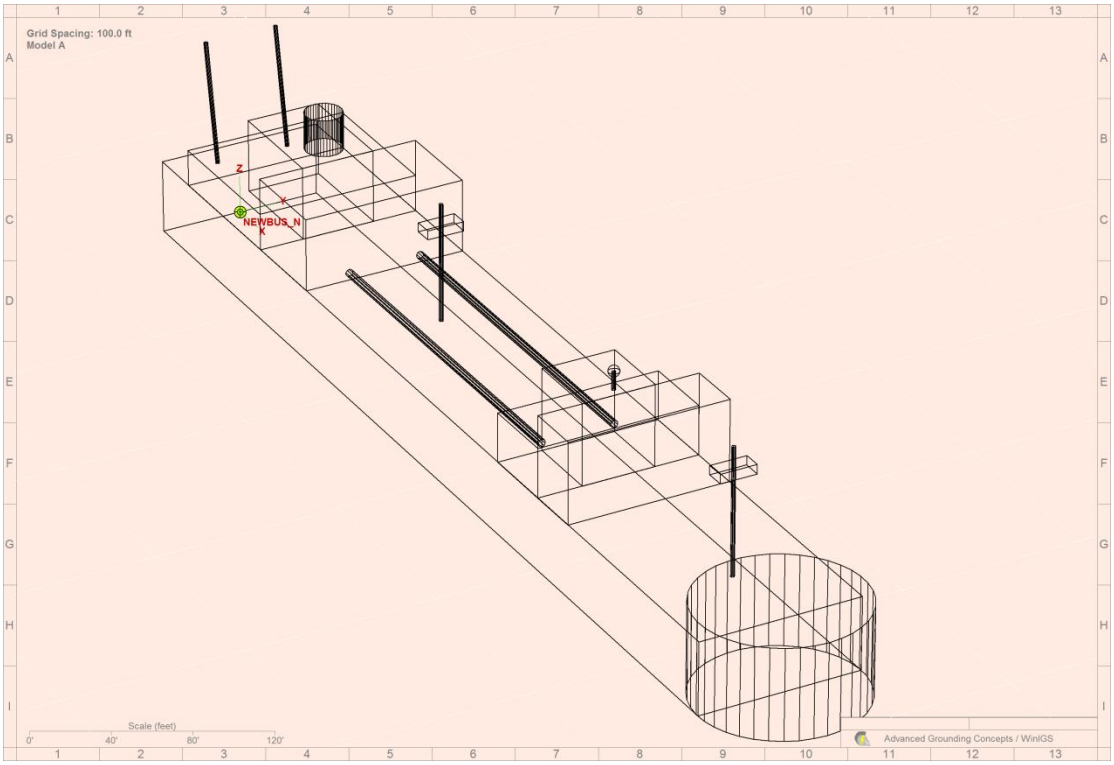
Εικόνα 4.3.21 : Κάτοψη Texaco Tanker



Εικόνα 4.3.22 : Πλάγια όψη Texaco Tanker



Εικόνα 4.3.23 : Πίσω όψη Texaco Tanker



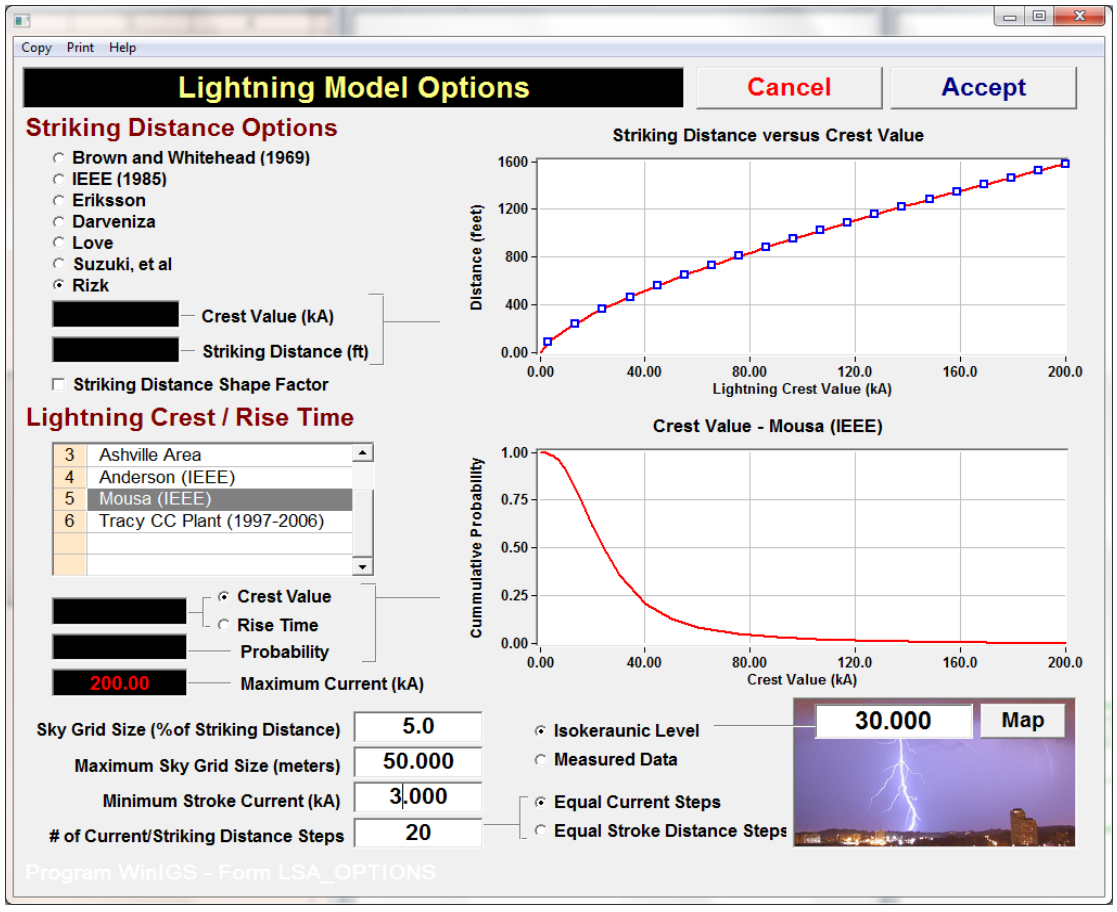
Εικόνα 4.3.24 : Πίσω όψη Texaco Tanker

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

5

5.1 Ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο [14]

Η συγκεκριμένη μέθοδος αποσκοπεί στην απεικόνιση όλων των κατερχόμενων κεραυνών τόσο για μικρές όσο και για μεγάλες τιμές ρεύματος σε όλα τα μοντέλα των πλοίων.



Πίνακας 5.1: Μενού επιλογών ηλεκτρογεωμετρικού μοντέλου.

Στην συνέχεια, παρατίθεται μια επεξήγηση του παραπάνω πίνακα:

- Καταρχάς, από το striking distance options είναι δυνατό να επιλεγεί η σχέση βάσει της οποίας μπορεί να γίνει ο υπολογισμός της απόστασης πρόσκρουσης. Επιπρόσθετα, από το lighting crest / rise time είναι δυνατό να επιλεγεί η κατανομή των κεραυνικών ρευμάτων τόσο ως προς τη μέγιστη τιμή του ρεύματος όσο και ως προς το χρόνο ανόδου. Όσο αφορά στον συντελεστή σχήματος απόστασης πρόσκρουσης (striking distance shape factor), από δοκιμές που έγιναν σε όλα τα πλοία δεν παρατηρήθηκε καμία διαφοροποίηση τόσο στις γραφικές παραστάσεις, όσο και τους υπολογισμούς.

- Σύμφωνα με τις παραπάνω επιλογές, αποτυπώνονται δύο γραφικές παραστάσεις: Η άνω καμπύλη αποτυπώνει την απόσταση πρόσκρουσης σε συνάρτηση με το ρεύμα του κατερχόμενου κεραυνού από 3 kA έως 200 kA ανάλογα με τις εξής σχέσεις που έχουν προταθεί: BROWN AND WHITEHEAD (1969), IEEE (1985), ERIKSSON, DARVENIZA, LOVE, SUZUKI, RIZK. Η κάτω καμπύλη αποτυπώνει την πιθανότητα να εμφανιστεί μία συγκεκριμένη τιμή ρεύματος κεραυνού και πάνω ανάλογα με τις εξής στατιστικές κατανομές που έχουν προταθεί στη διεθνή βιβλιογραφία: HISTORICAL (EPRI RED BOOK), ANDERSON (IEEE), MOUSA (IEEE). Για παράδειγμα, κατά Mousa, η πιθανότητα εμφάνισης κατερχόμενου οχετού με τιμή ρεύματος 40 kA και άνω, είναι περίπου 25%.

- Το ελάχιστο ρεύμα κεραυνού καθορίστηκε στα 3 kA, διότι κατά την πιο αυστηρή στάθμη προστασίας I είναι η μικρότερη πιθανή τιμή ρεύματος κατερχόμενου οχετού, ενώ το μέγιστο στα 200 kA, η οποία είναι προκαθορισμένη τιμή από το πρόγραμμα, και οι υπολογισμοί έγιναν για αυτές τις δύο ακραίες τιμές και για άλλες 18 ενδιάμεσες.

- Τέλος για μία συγκεκριμένη τιμή ρεύματος υπολογίζουμε το γινόμενο του Sky Grid Size επί το Striking Distance (σε μέτρα), το οποίο πρέπει να είναι μικρότερο από το Maximum Sky Grid Size.

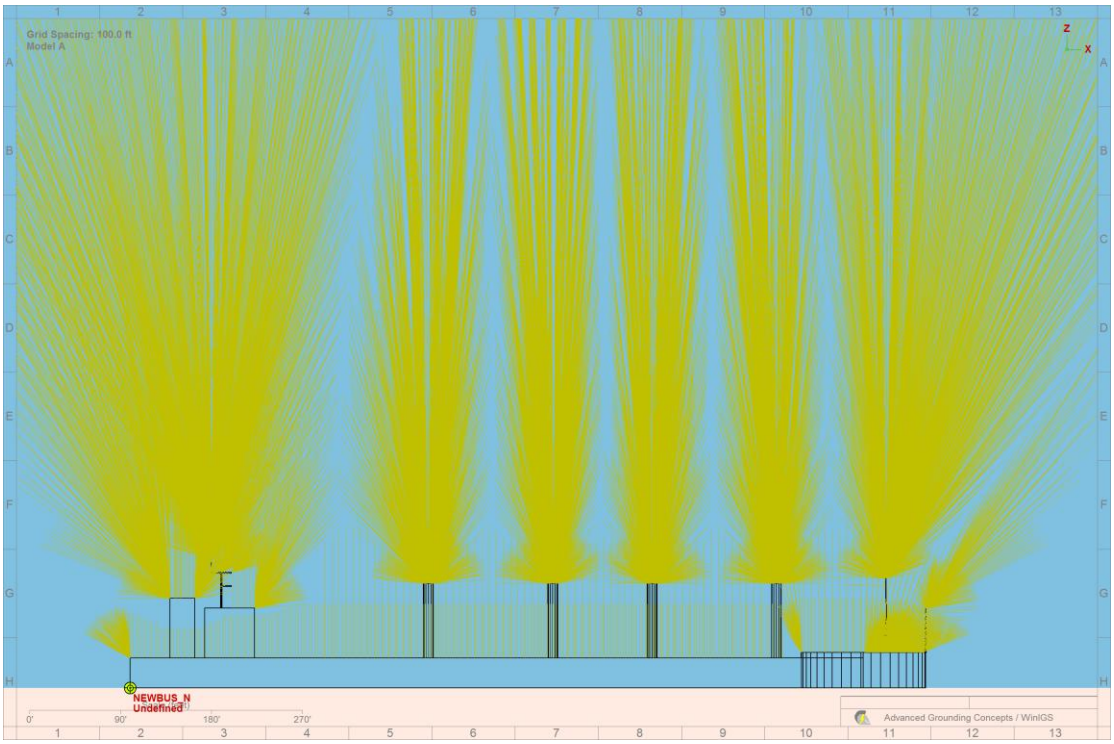
- Το ισοκεραυνικό επίπεδο καθορίζεται ανάλογα με τον αριθμό των καταιγίδων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο (km^2) και ανά έτος. Στην Ελλάδα το ισοκεραυνικό επίπεδο ισούται με 30.

Παρακάτω παρατίθενται όλες οι απεικονίσεις των κεραυνών καθώς επίσης οι συγκεντρωτικοί πίνακες υπολογισμού του αριθμού των πληγμάτων σε κάθε πλοίο.

Δοκιμαστικό πλοίο εργαστηρίου υψηλών τάσεων

	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ		
ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ	HISTORICAL (EPRI RED BOOK)	ANDERSON (IEEE)	MOUSA (IEEE)
BROWN AND WHITEHEAD (1969)	0.18897	0.18719	0.16243
IEEE (1985)	0.15599	0.15473	0.13718
ERIKSSON	0.14581	0.14515	0.12703
DARVENIZA	0.18905	0.18680	0.16233
LOVE	0.18397	0.18266	0.16136
SUZUKI	0.11773	0.11631	0.10247
RIZK	0.14429	0.14339	0.12580

Πίνακας 5.2 : Υπολογισμός συνολικού αριθμού πληγμάτων

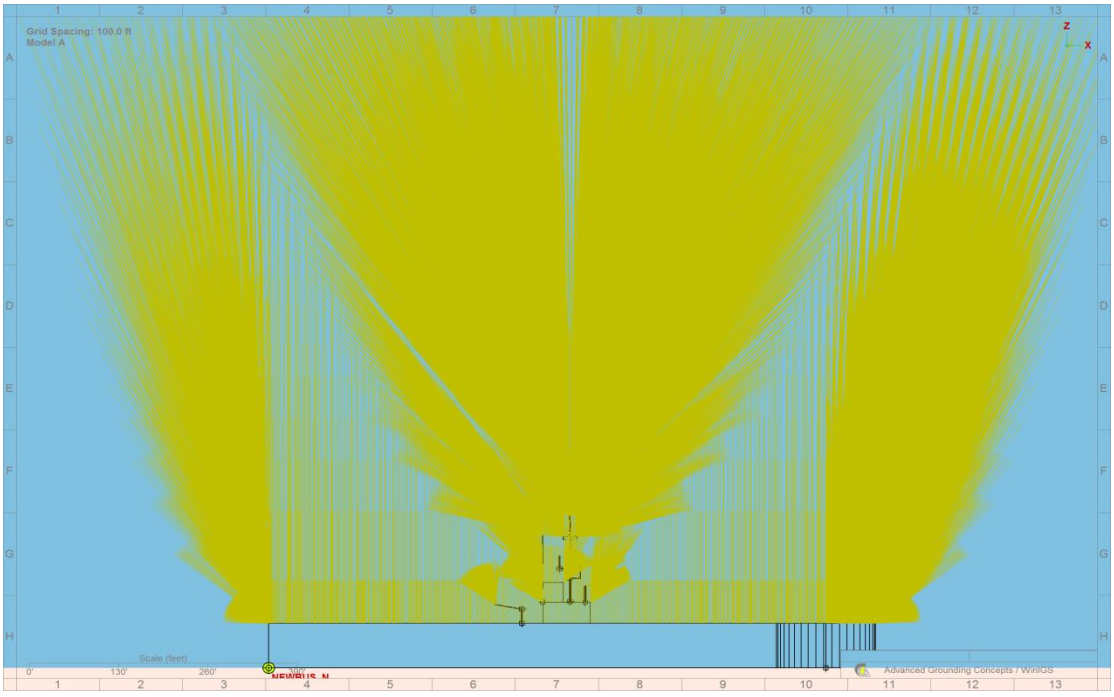


Εικόνα 5.1 : Απεικόνιση συνολικού αριθμού κεραυνών από 3 kA έως 200 kA.

Αεροπλανοφόρο (Air Craft Carrier)

	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ		
ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ	HISTORICAL (EPRI RED BOOK)	ANDERSON (IEEE)	MOUSA (IEEE)
BROWN AND WHITEHEAD (1969)	0.23895	0.23680	0.20843
IEEE (1985)	0.20079	0.19919	0.18047
ERIKSSON	0.20786	0.20395	0.16273
DARVENIZA	0.23650	0.23366	0.20696
LOVE	0.22974	0.22781	0.20429
SUZUKI	0.15675	0.15574	0.13879
RIZK	0.15922	0.15627	0.12607

Πίνακας 5.3 : Υπολογισμός συνολικού αριθμού πληγμάτων

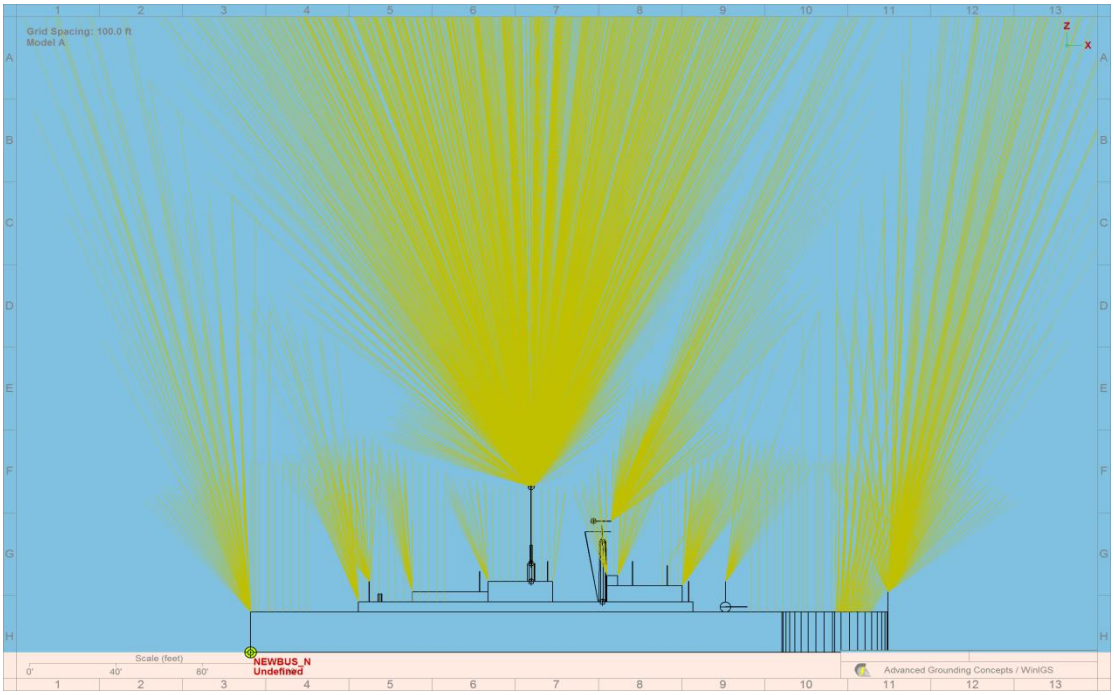


Εικόνα 5.2 : Απεικόνιση συνολικού αριθμού κεραυνών από 3 kA έως 200 kA.

Κορβέτα-Δρόμωνας (Corvette)

	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ		
ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ	HISTORICAL (EPRI RED BOOK)	ANDERSON (IEEE)	MOUSA (IEEE)
BROWN AND WHITEHEAD (1969)	0.06317	0.06227	0.05295
IEEE (1985)	0.05032	0.04982	0.04356
ERIKSSON	0.04248	0.04173	0.03365
DARVENIZA	0.06344	0.06239	0.05314
LOVE	0.06097	0.06028	0.02541
SUZUKI	0.03679	0.03632	0.03134
RIZK	0.04010	0.03946	0.03231

Πίνακας 5.4 : Υπολογισμός συνολικού αριθμού πληγμάτων

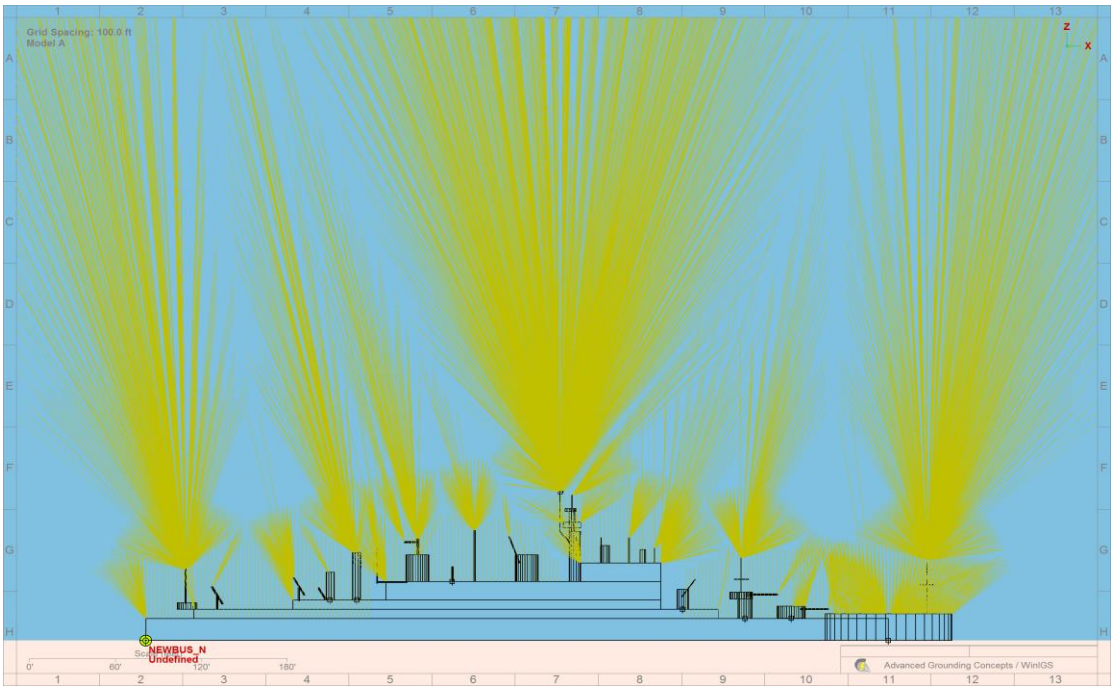


Εικόνα 5.3 : Απεικόνιση συνολικού αριθμού κεραυνών από 3 kA έως 200 kA.

Αντιτορπιλικό (Destroyer)

	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ		
ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ	HISTORICAL (EPRI RED BOOK)	ANDERSON (IEEE)	MOUSA (IEEE)
BROWN AND WHITEHEAD (1969)	0.11481	0.11372	0.09815
IEEE (1985)	0.09378	0.09310	0.08210
ERIKSSON	0.06965	0.06834	0.05559
DARVENIZA	0.11527	0.11398	0.09863
LOVE	0.11201	0.11120	0.09777
SUZUKI	0.07018	0.06938	0.06067
RIZK	0.06397	0.06274	0.05292

Πίνακας 5.5 : Υπολογισμός συνολικού αριθμού πληγμάτων

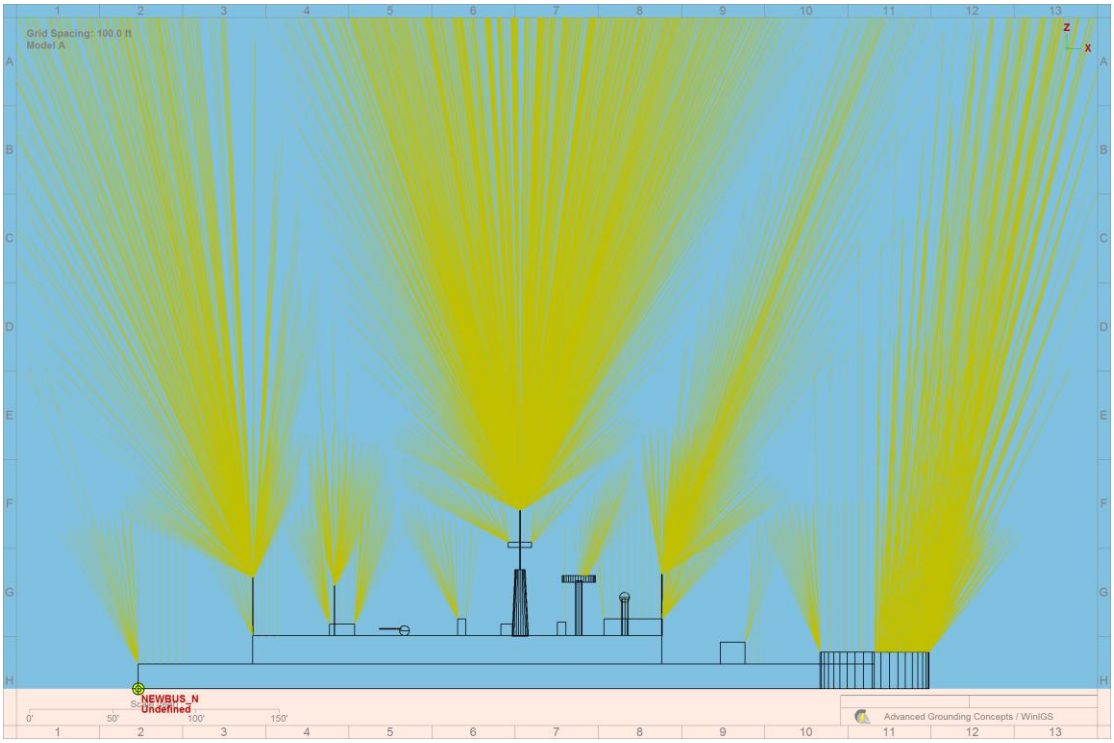


Εικόνα 5.4 : Απεικόνιση συνολικού αριθμού κεραυνών από 3 kA έως 200 kA.

Φρεγάτα (Frigate)

	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ		
ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ	HISTORICAL (EPRI RED BOOK)	ANDERSON (IEEE)	MOUSA (IEEE)
BROWN AND WHITEHEAD (1969)	0.09127	0.09029	0.07757
IEEE (1985)	0.07429	0.07370	0.06486
ERIKSSON	0.06272	0.06161	0.05012
DARVENIZA	0.09182	0.09070	0.07808
LOVE	0.08881	0.08814	0.07726
SUZUKI	0.05510	0.05448	0.04748
RIZK	0.05767	0.05669	0.04726

Πίνακας 5.6 : Υπολογισμός συνολικού αριθμού πληγμάτων

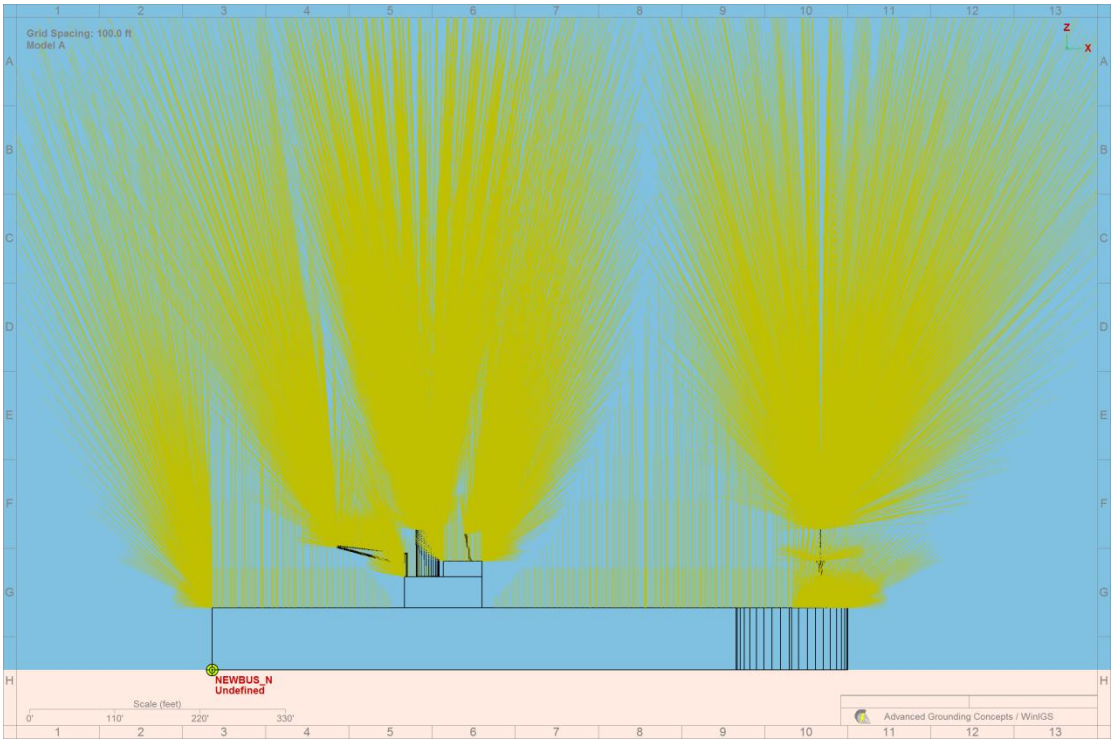


Εικόνα 5.5 : Απεικόνιση συνολικού αριθμού κεραυνών από 3 kA έως 200 kA.

LNG tanker

	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ		
ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ	HISTORICAL (EPRI RED BOOK)	ANDERSON (IEEE)	MOUSA (IEEE)
BROWN AND WHITEHEAD (1969)	0.25147	0.24876	0.21688
IEEE (1985)	0.20872	0.20701	0.18430
ERIKSSON	0.25255	0.24960	0.20915
DARVENIZA	0.25231	0.24931	0.21752
LOVE	0.24507	0.24312	0.21544
SUZUKI	0.15856	0.15704	0.13802
RIZK	0.22184	0.21920	0.18751

Πίνακας 5.7 : Υπολογισμός συνολικού αριθμού πληγμάτων

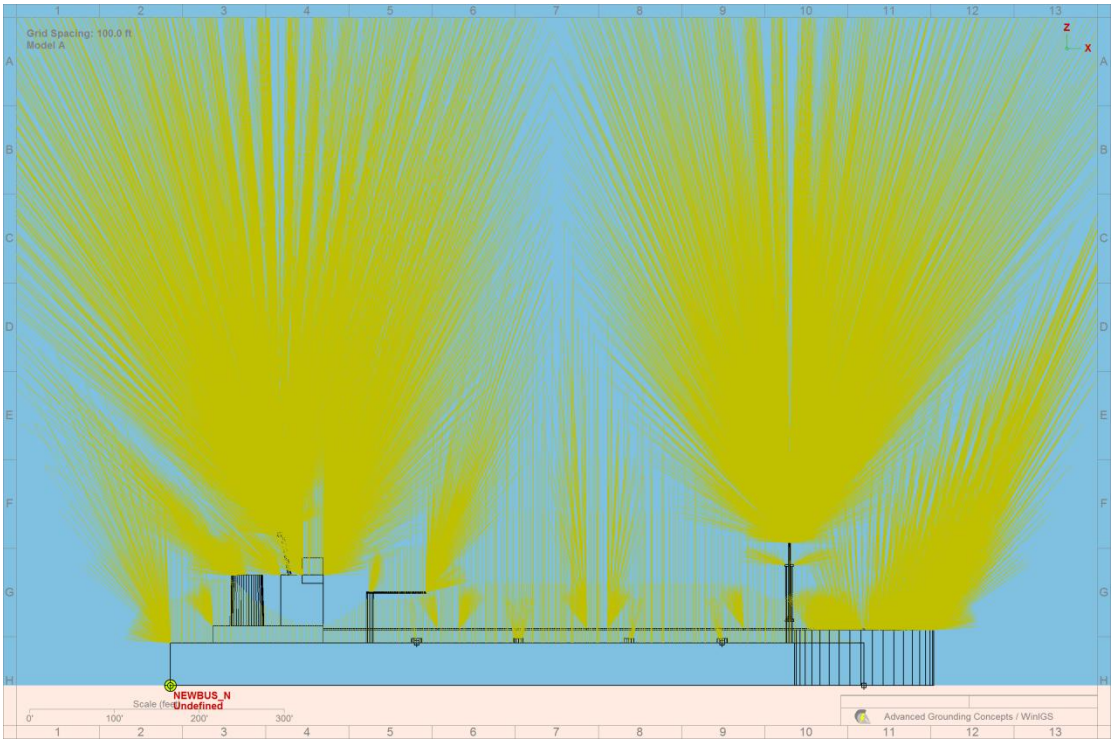


Εικόνα 5.6 : Απεικόνιση συνολικού αριθμού κεραυνών από 3 kA έως 200 kA.

Πετρελαιοφόρο (oil tanker)

	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ		
ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ	HISTORICAL (EPRI RED BOOK)	ANDERSON (IEEE)	MOUSA (IEEE)
BROWN AND WHITEHEAD (1969)	0.24249	0.23956	0.21006
IEEE (1985)	0.20260	0.20094	0.18124
ERIKSSON	0.23463	0.23232	0.19422
DARVENIZA	0.24380	0.24040	0.21126
LOVE	0.23546	0.23328	0.20836
SUZUKI	0.15865	0.15731	0.14103
RIZK	0.20598	0.20372	0.17151

Πίνακας 5.8 : Υπολογισμός συνολικού αριθμού πληγμάτων

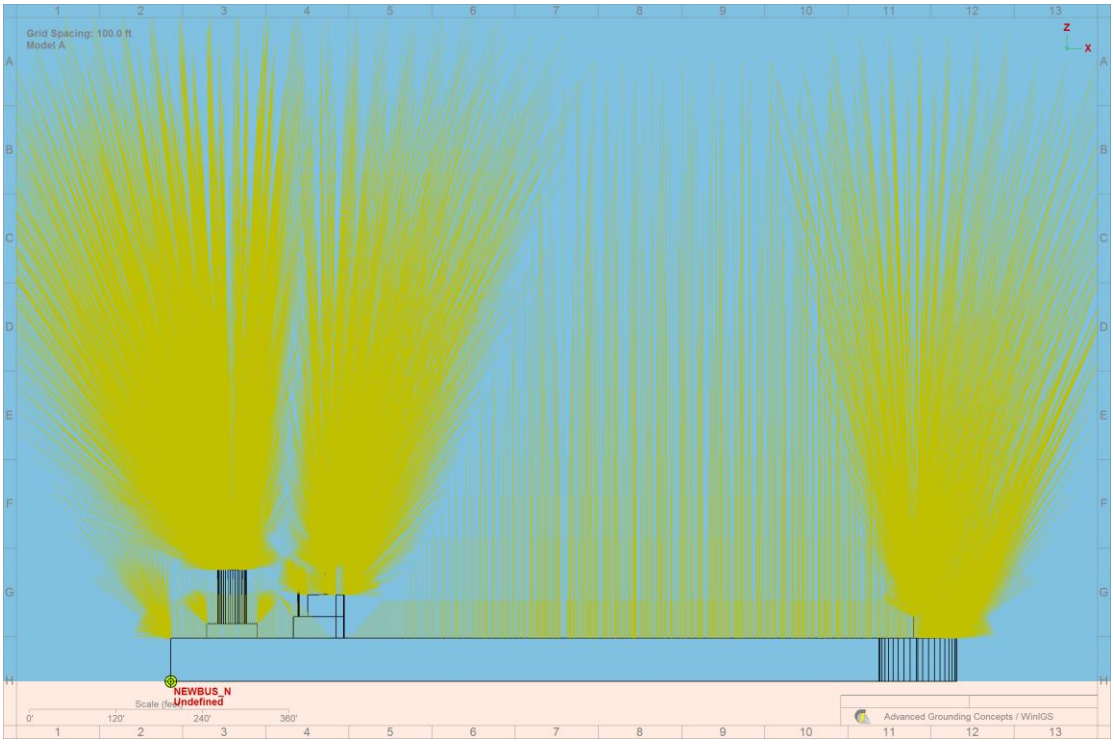


Εικόνα 5.7 : Απεικόνιση συνολικού αριθμού κεραυνών από 3 kA έως 200 kA.

Tanker

	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ		
ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ	HISTORICAL (EPRI RED BOOK)	ANDERSON (IEEE)	MOUSA (IEEE)
BROWN AND WHITEHEAD (1969)	0.25130	0.24945	0.22016
IEEE (1985)	0.21207	0.21087	0.18981
ERIKSSON	0.14758	0.14495	0.12268
DARVENIZA	0.25280	0.25042	0.22150
LOVE	0.24658	0.24507	0.22027
SUZUKI	0.16590	0.16484	0.14643
RIZK	0.13283	0.13103	0.11416

Πίνακας 5.9 : Υπολογισμός συνολικού αριθμού πληγμάτων

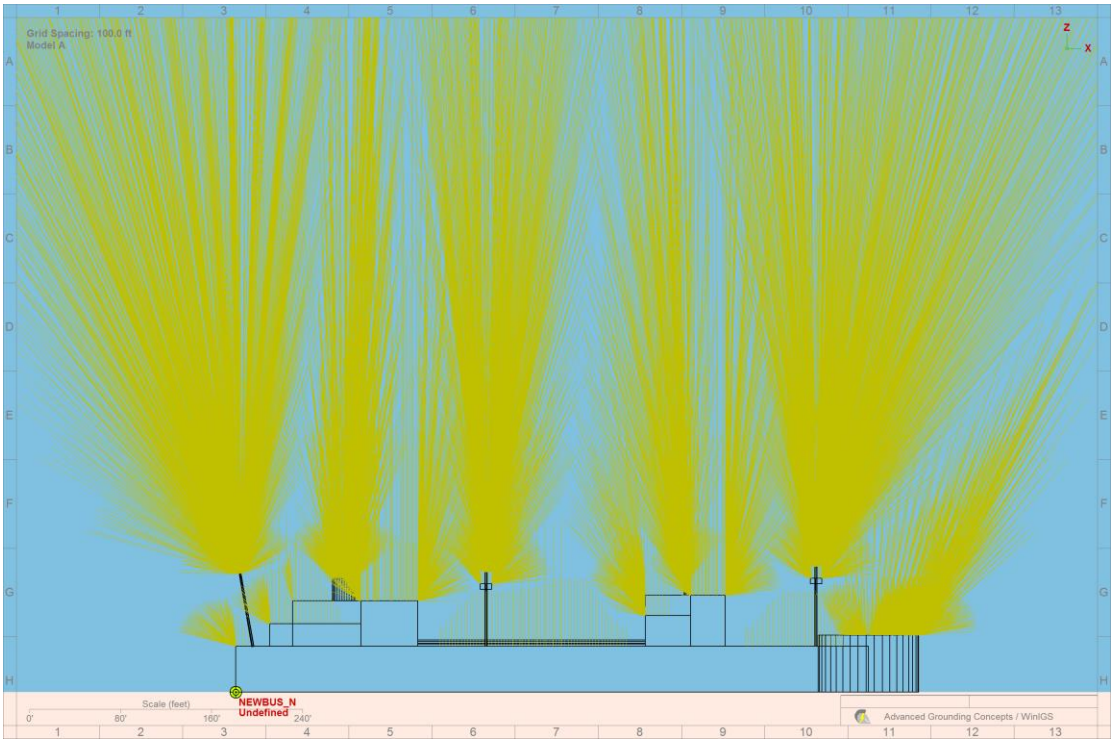


Εικόνα 5.8 : Απεικόνιση συνολικού αριθμού κεραυνών από 3 kA έως 200 kA.

Texaco tanker

	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ		
ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ	HISTORICAL (EPRI RED BOOK)	ANDERSON (IEEE)	MOUSA (IEEE)
BROWN AND WHITEHEAD (1969)	0.16012	0.15850	0.13748
IEEE (1985)	0.13233	0.13135	0.11641
ERIKSSON	0.13491	0.13360	0.11492
DARVENIZA	0.16089	0.15889	0.13817
LOVE	0.15603	0.15478	0.13686
SUZUKI	0.09873	0.09775	0.08496
RIZK	0.12794	0.12677	0.11012

Πίνακας 5.10 : Υπολογισμός συνολικού αριθμού πληγμάτων



Εικόνα 5.9 : Απεικόνιση συνολικού αριθμού κεραυνών από 3 kA έως 200 kA.

5.1.1 Συμπεράσματα Ηλεκτρογεωμετρικού μοντέλου

Από την προσομοίωση του ηλεκτρογεωμετρικού μοντέλου σε όλα τα μοντέλα των πλοίων εξήχθη το συμπέρασμα ότι ο αριθμός πληγμάτων ανά έτος διαφοροποιείται ανάλογα με την επιλεγόμενη μέθοδο απόστασης πρόσκρουσης και από τη μέθοδο επιλογής χρόνου μετώπου.

Πιο συγκεκριμένα, από τους παραπάνω πίνακες παρατηρήθηκε το γεγονός ότι οι μέθοδοι BROWN AND WHITEHEAD και DARVENIZA επιφέρουν σχεδόν τον ίδιο αριθμό πληγμάτων, ενώ κατά τον LOVE ο αριθμός πληγμάτων είναι λίγο μικρότερος. Στην συνέχεια ο αριθμός των πληγμάτων σύμφωνα με τις μεθόδους του ERIKSSON, RIZK και το πρότυπο IEEE υπολογίζεται σε παρόμοια επίπεδα. Πάντως, σε όλα τα μοντέλα των πλοίων ο μικρότερος αριθμός πληγμάτων υπολογίζεται κατά τον SUZUKI.

Όσο αφορά στις μεθόδους επιλογής χρόνου μετώπου, κατά τον HISTORICAL (EPRI RED BOOK) υπολογίζεται ο μεγαλύτερος δυνατός αριθμός πληγμάτων. Κατά τον ANDERSON (IEEE) ο αριθμός των πληγμάτων μειώνεται, ενώ κατά τον MOUSA (IEEE) υπολογίζεται ο μικρότερος αριθμός πληγμάτων. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί ότι η διαφορά στον υπολογισμό του συνολικού αριθμού πληγμάτων μεταξύ BROWN AND WHITEHEAD-HISTORICAL και SUZUKI-MOUSA είναι της τάξης του 80%-90% ανάλογα με το μοντέλο του πλοίου. Ωστόσο, υπάρχουν και περιπτώσεις όπου ο αριθμός των πληγμάτων ανάλογα με τις επιλογές των προτύπων είναι δυνατό να υπερδιπλασιαστεί. Για παράδειγμα, στο Tanker εάν επιλεγεί BROWN AND WHITEHEAD-HISTORICAL ο αριθμός των πληγμάτων ανά έτος είναι 0.25130 ενώ αν επιλεγεί RIZK-MOUSA είναι 0.11416. Παρατηρείται δηλαδή μια διαφορά της τάξης του 120%.

5.2 Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας [14]

Η συγκεκριμένη μέθοδος δείχνει με μπλε χρώμα όλα τα πιθανά σημεία τα οποία είναι εκτεθειμένα σε ενδεχόμενο κατερχόμενο κεραυνό πάνω στο πλοίο, καθώς η σφαίρα κυλίεται σαρώνοντας όλη την περιοχή τόσο πάνω στο πλοίο όσο και γύρω από αυτό. Τα υπόλοιπα σημεία που δεν αγγίζει η σφαίρα κατά την κύλισή της θεωρούνται προστατευμένα.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε όλα τα μοντέλα των πλοίων για κατερχόμενο ρεύμα 3 kA, 20 kA, 30 kA, 50 kA και 200 kA.

Πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις με τις δύο συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες σχέσεις για τον καθορισμό της απόστασης διάσπασης συναρτήσει του κεραυνικού ρεύματος: πρότυπο IEEE και LOVE.

Θα πρέπει να τονιστεί σε αυτό το σημείο ότι η ακτίνα της σφαίρας είναι ανάλογη του κεραυνικού ρεύματος. Δηλαδή, όσο μεγαλώνει το ρεύμα του κατερχόμενου οχετού, τόσο αυξάνεται και η ακτίνα της σφαίρας.

Οι σχέσεις που συνδέουν την ακτίνα της κυλιόμενης σφαίρας με την τιμή του κεραυνικού ρεύματος είναι οι εξής:

$$S = 8 \cdot I^{0.65} \quad \text{κατά το πρότυπο IEEE} \qquad (5.1)$$

$$S = 10 \cdot I^{0.65} \quad \text{κατά LOVE} \qquad (5.2)$$

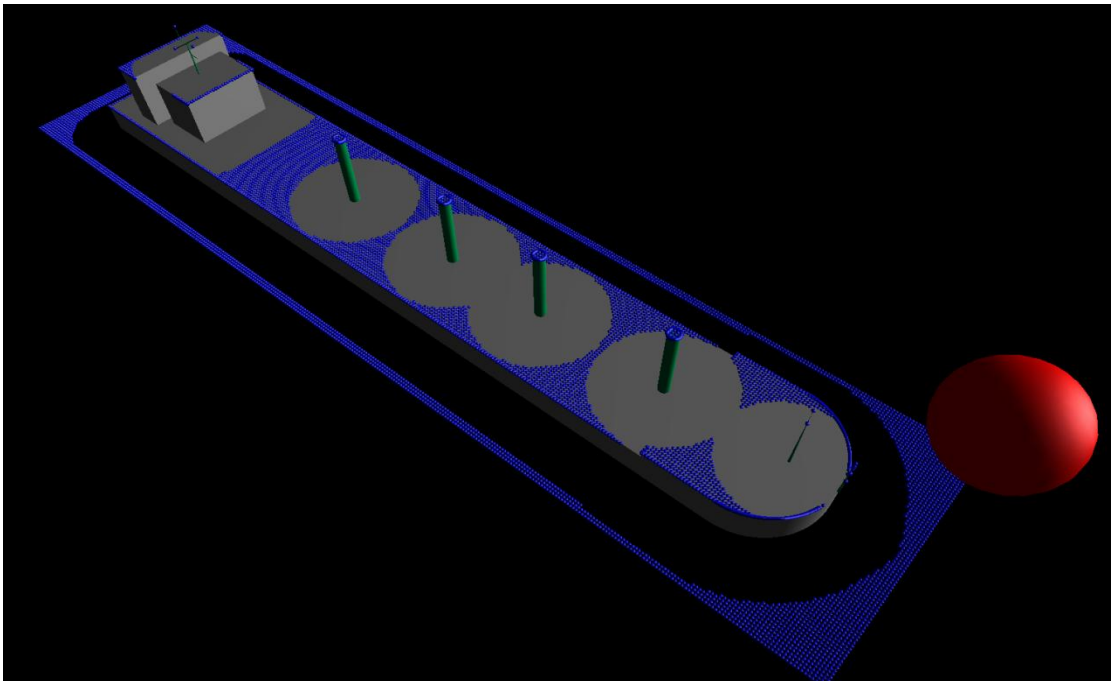
Όπου S η ακτίνα της κυλιόμενης σφαίρας σε μέτρα και I η τιμή του ρεύματος του κεραυνού σε kA. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η ακτίνα της σφαίρας ανάλογα με την τιμή του κατερχόμενου ρεύματος και με το αντίστοιχο πρότυπο που επιλέγεται.

ΚΕΡΑΥΝΙΚΟ ΡΕΥΜΑ ΣΕ kA	**ΑΚΤΙΝΑ ΚΥΛΙΟΜΕΝΗΣ ΣΦΑΙΡΑΣ ΣΕ m ΚΑΤΑ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ IEEE**	**ΑΚΤΙΝΑ ΚΥΛΙΟΜΕΝΗΣ ΣΦΑΙΡΑΣ ΣΕ m ΚΑΤΑ LOVE**
3	16.3	20.4
20	56.1	70.1
30	73	91.2
50	101.7	127.2
200	250.5	313.1

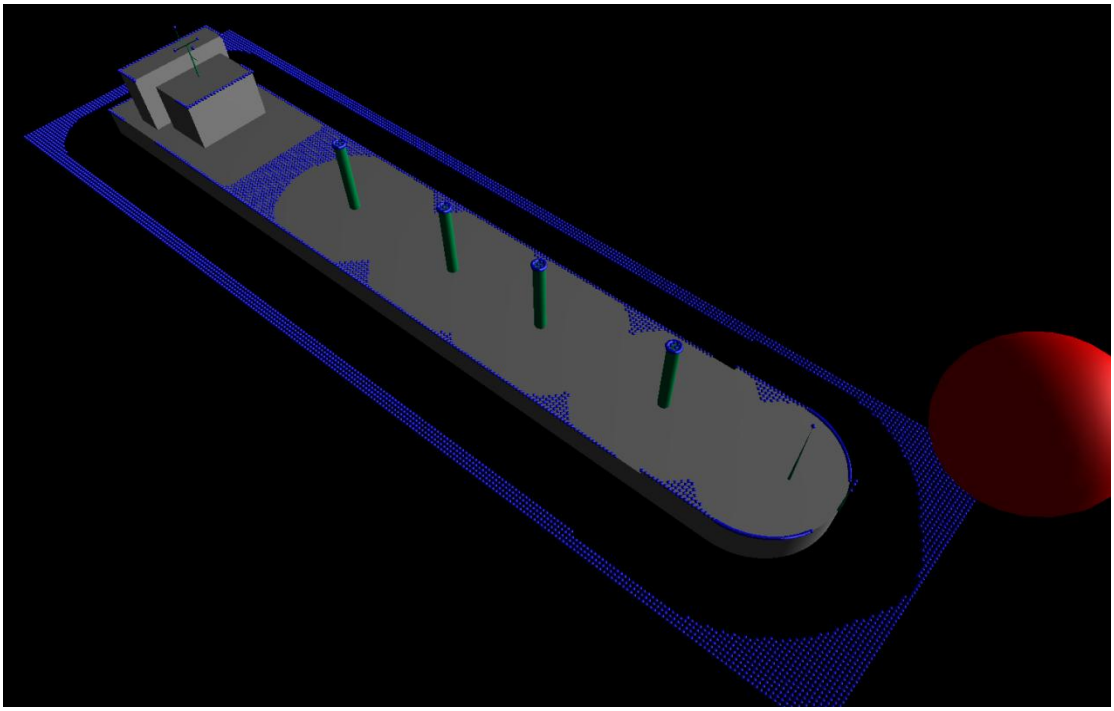
Πίνακας 5.11 : Ακτίνα κυλιόμενης σφαίρας κατά IEEE και κατά Love ανάλογα με το κεραυνικό ρεύμα

Στην συνέχεια παρουσιάζονται όλες οι προσομοιώσεις της συγκεκριμένης μεθόδου για όλα τα μοντέλα των πλοίων καθώς και κάποια βελτιωτικά μοντέλα στα πλοία που διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο κεραυνοπληξίας για ρεύμα κατερχόμενου οχετού 3 kA καθώς εκεί παρατηρούνται περισσότερα ευάλωτα σημεία. Ωστόσο παρατίθενται βελτιωτικές κινήσεις και στα 30 kA για ορισμένα μοντέλα, καθώς είναι μία από τις συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες τιμές για την προσομοίωση ενός τυπικού κεραυνικού πλήγματος, ενώ παράλληλα η συγκεκριμένη τιμή αντιστοιχεί σε πιθανότητα εμφάνισης της τάξης του 50%.

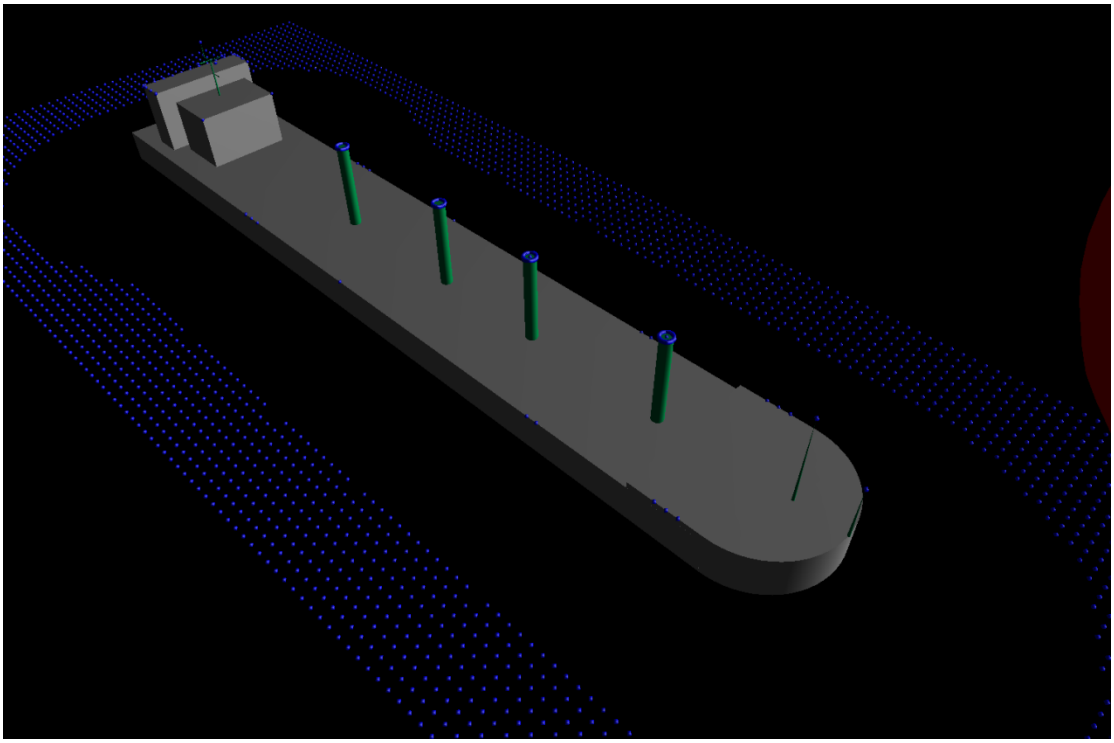
5.2.1 Δοκιμαστικό πλοίο εργαστηρίου



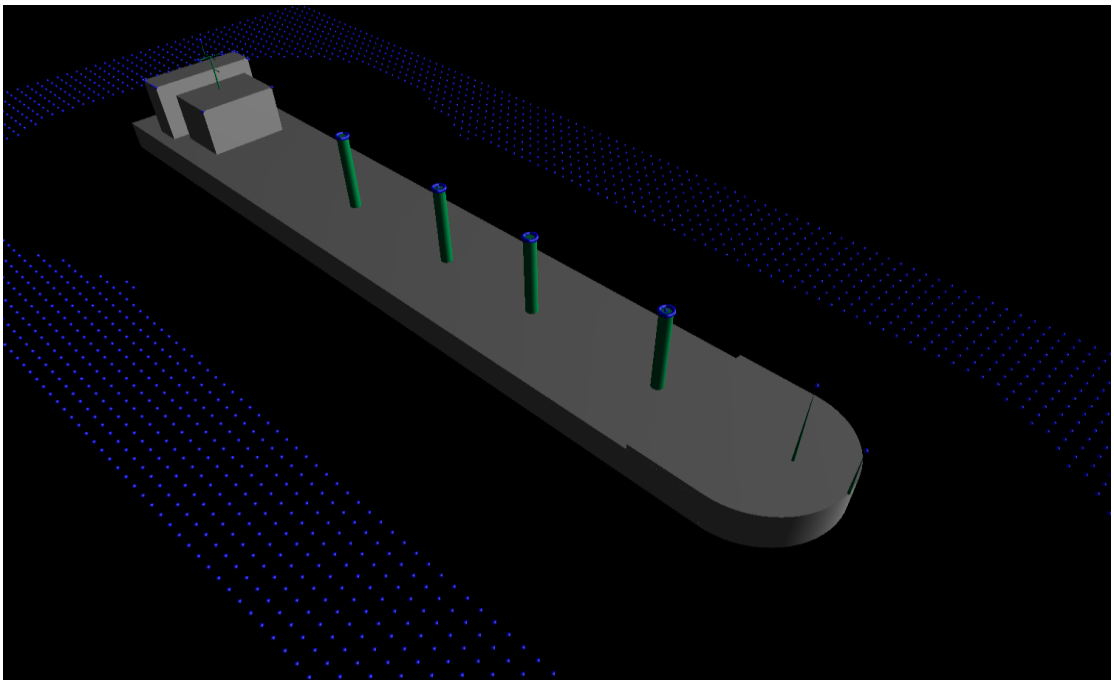
Εικόνα 5.9 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πλοίου εργαστηρίου για κεραυνικό ρεύμα 3 kA κατά IEEE



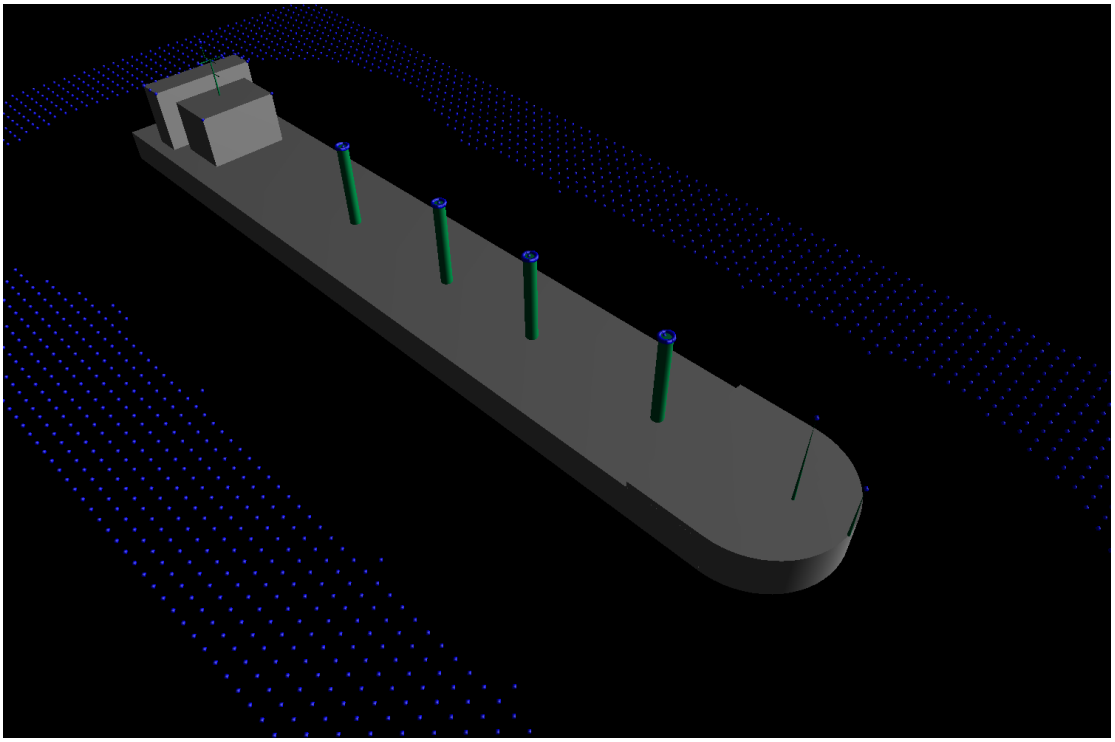
Εικόνα 5.10 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πλοίου εργαστηρίου για κεραυνικό ρεύμα 3 kA κατά LOVE



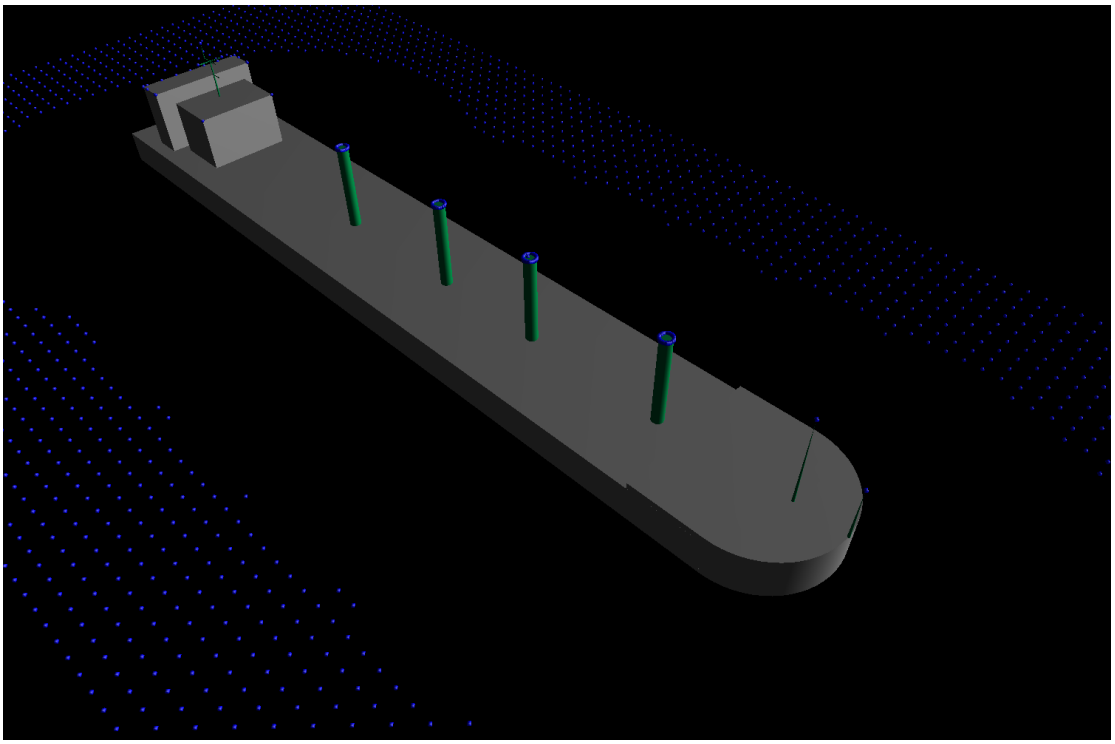
Εικόνα 5.11 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πλοίου εργαστηρίου για κεραυνικό ρεύμα 20 kA κατά IEEE



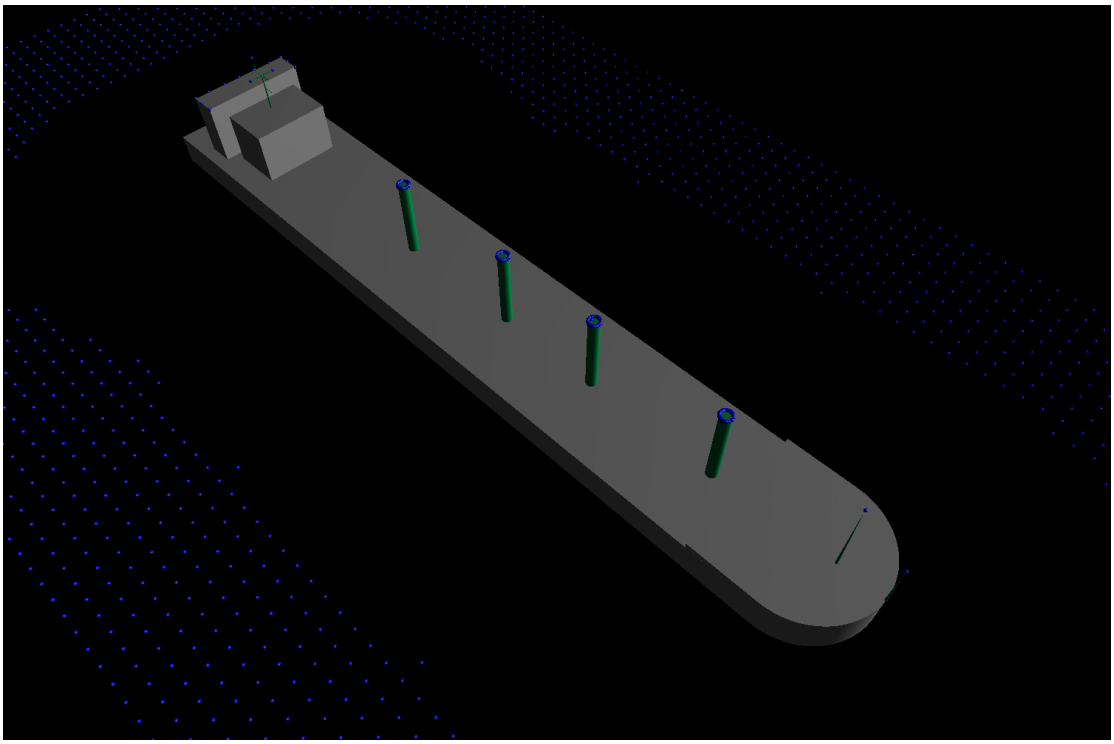
Εικόνα 5.11 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πλοίου εργαστηρίου για κεραυνικό ρεύμα 20 kA κατά LOVE



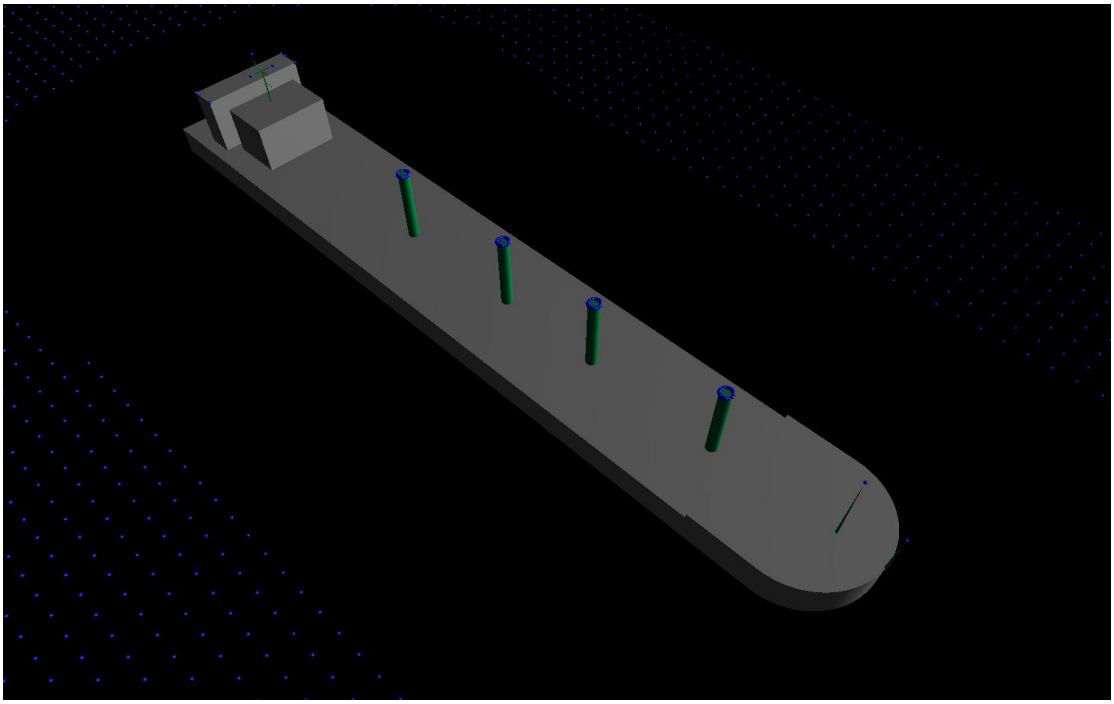
Εικόνα 5.12 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πλοίου εργαστηρίου για κεραυνικό ρεύμα 30 kA κατά IEEE



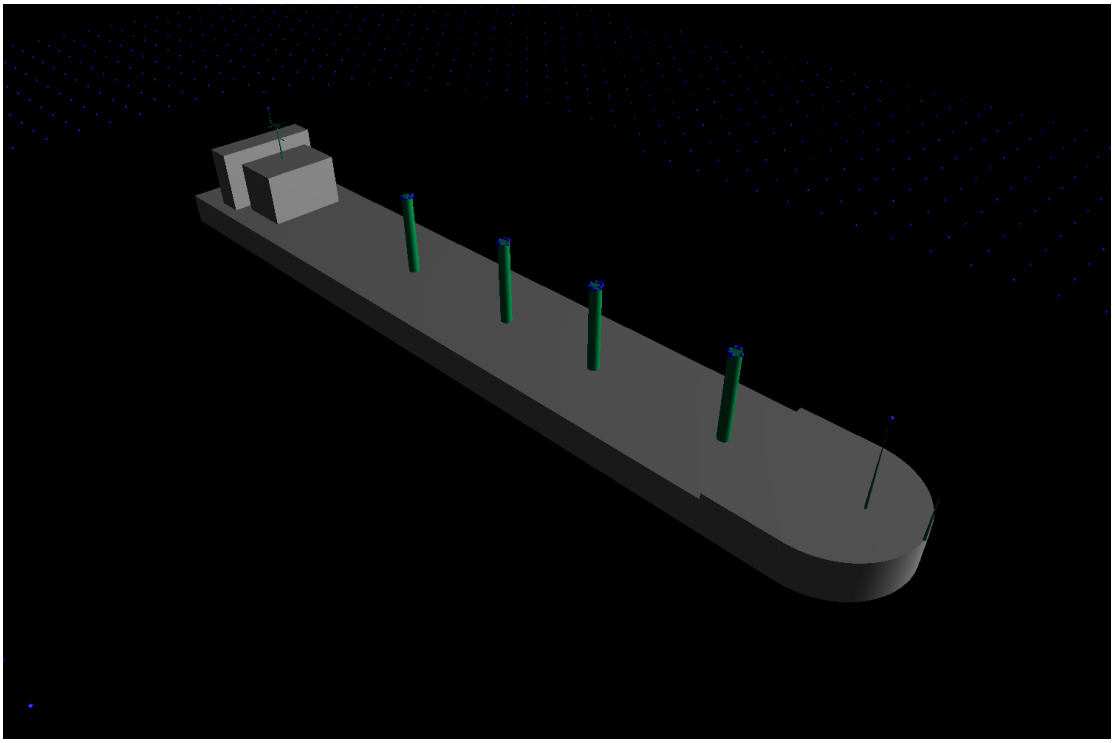
Εικόνα 5.12 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πλοίου εργαστηρίου για κεραυνικό ρεύμα 30 kA κατά LOVE



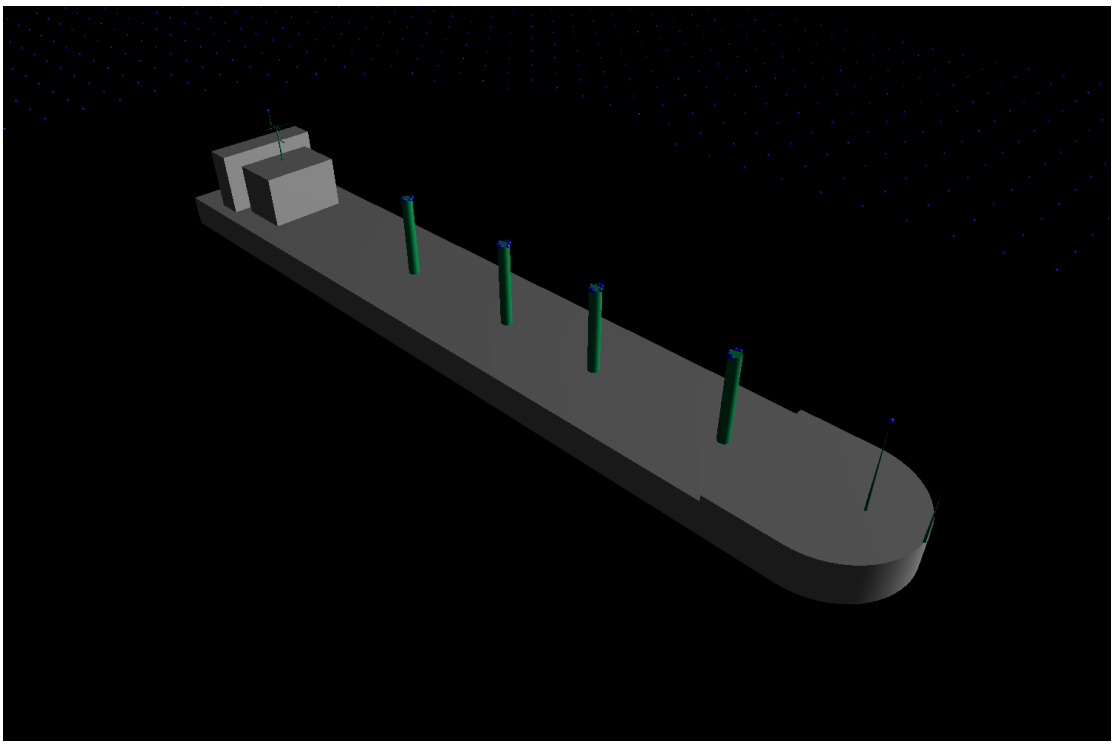
Εικόνα 5.12 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πλοίου εργαστηρίου για κεραυνικό ρεύμα 50 kA κατά IEEE



Εικόνα 5.13 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πλοίου εργαστηρίου για κεραυνικό ρεύμα 50 kA κατά LOVE



Εικόνα 5.13 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πλοίου εργαστηρίου για κεραυνικό ρεύμα 200 kA κατά IEEE



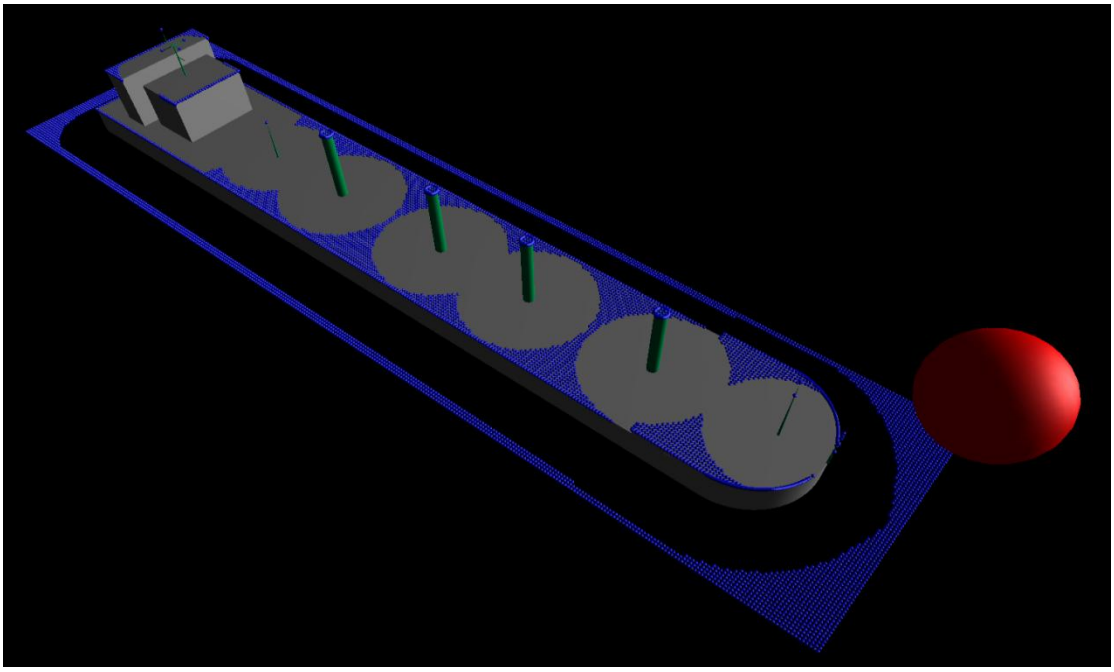
Εικόνα 5.13 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πλοίου εργαστηρίου για κεραυνικό ρεύμα 200 kA κατά LOVE

5.2.1.1 Συμπεράσματα

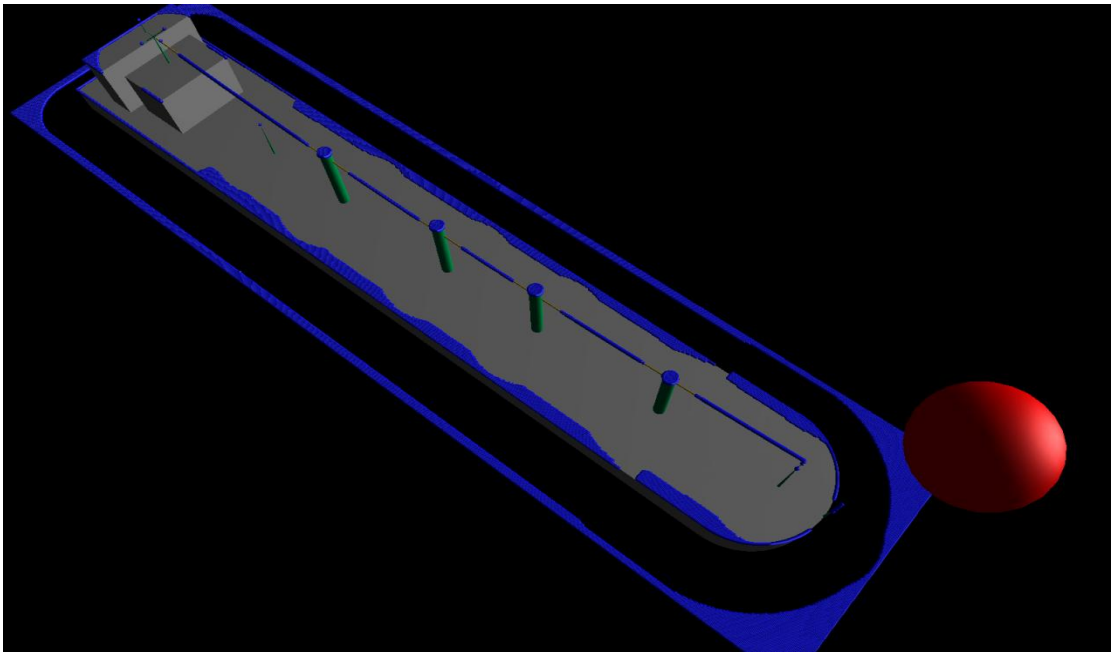
Στο συγκεκριμένο πλοίο παρατηρούμε ότι σε μικρά κατερχόμενα ρεύματα της τάξεως των 3 kA υπάρχουν αρκετά πιθανά σημεία πρόσπτωσης του κεραυνού. Επιπλέον, παρατηρείται ότι κατά τον LOVE μειώνονται χαρακτηριστικά τα πιθανά σημεία πρόσπτωσης κεραυνού διότι η ακτίνα της κυλιόμενης σφαίρας είναι μεγαλύτερη. Για κεραυνικό ρεύμα της τάξης των 20 kA παρατηρούνται ελάχιστα πιθανά σημεία, ενώ από τα 30 kA και άνω το πλοίο προστατεύεται πλήρως τόσο κατά το πρότυπο IEEE όσο και κατά τον LOVE. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχουν γερανογέφυρες στο μεγαλύτερο μέρος του πλοίου και επιπλέον υπάρχουν κεραίες οι οποίες είναι διασκορπισμένες σε όλο σχεδόν το μήκος του, και λειτουργούν σαν ακίδες προστασίας.

Βελτιώσεις

Βελτιωτικά θα ήταν δυνατόν να προστεθούν ακίδες προστασίας σε όλες τις κεραίες προκειμένου να επιτευχθεί πλήρης κάλυψη στα 3 kA. Πρέπει να αναφερθεί δε ότι οι εξοχές των συγκεκριμένων αλεξικέραυνων θα τηρούν τα γνωστά πρότυπα και έχουν προαναφερθεί. Επιπρόσθετα, θα ήταν δυνατό να προστεθεί μία κεραία μπροστά από τη γέφυρα του πλοίου, χωρίς να επηρεάζει τη λειτουργικότητά του. Τέλος, για περεταίρω προστασία είναι δυνατό να προστεθεί ένας εναέριος αγωγός ο οποίος δεν θα εμποδίζει τις διεργασίες που πρέπει να γίνονται στο πλοίο. Στη συνέχεια απεικονίζεται η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας μετά το πέρας των βελτιώσεων.



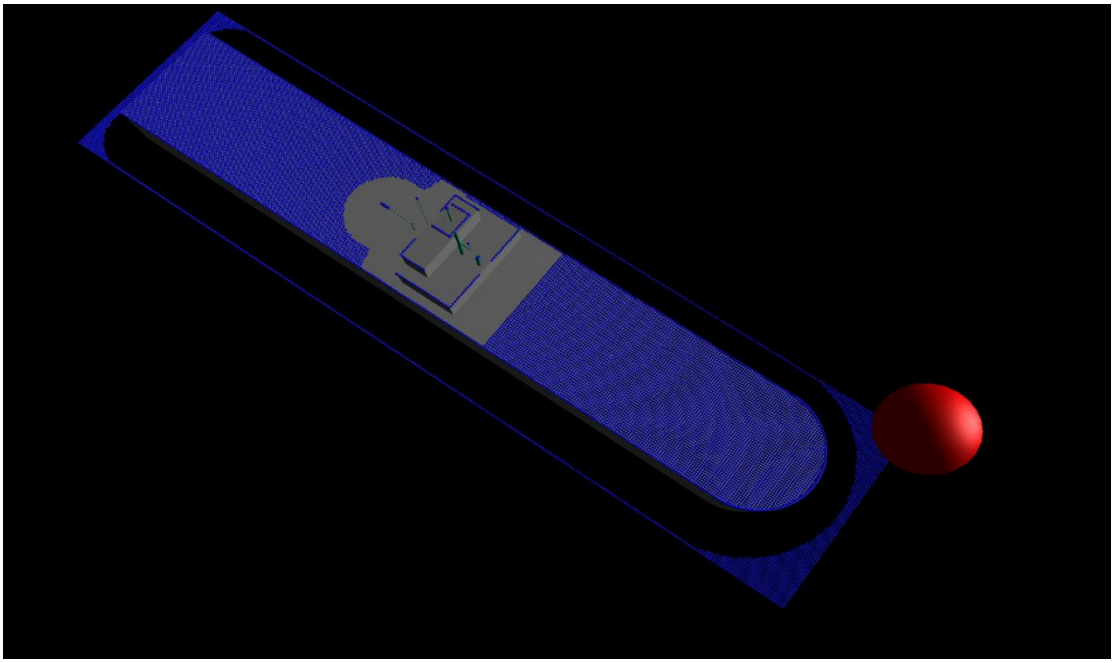
Εικόνα 5.14 : Βελτιωτική απεικόνιση του πλοίου κατά το πρότυπο IEEE με την προσθήκη μίας κεραίας μπροστά από τη γέφυρα του πλοίου ύψους 43 ft, οι οποία λειτουργεί ως ακίδα προστασίας για κατερχόμενο ρεύμα κεραυνού 3 kA.



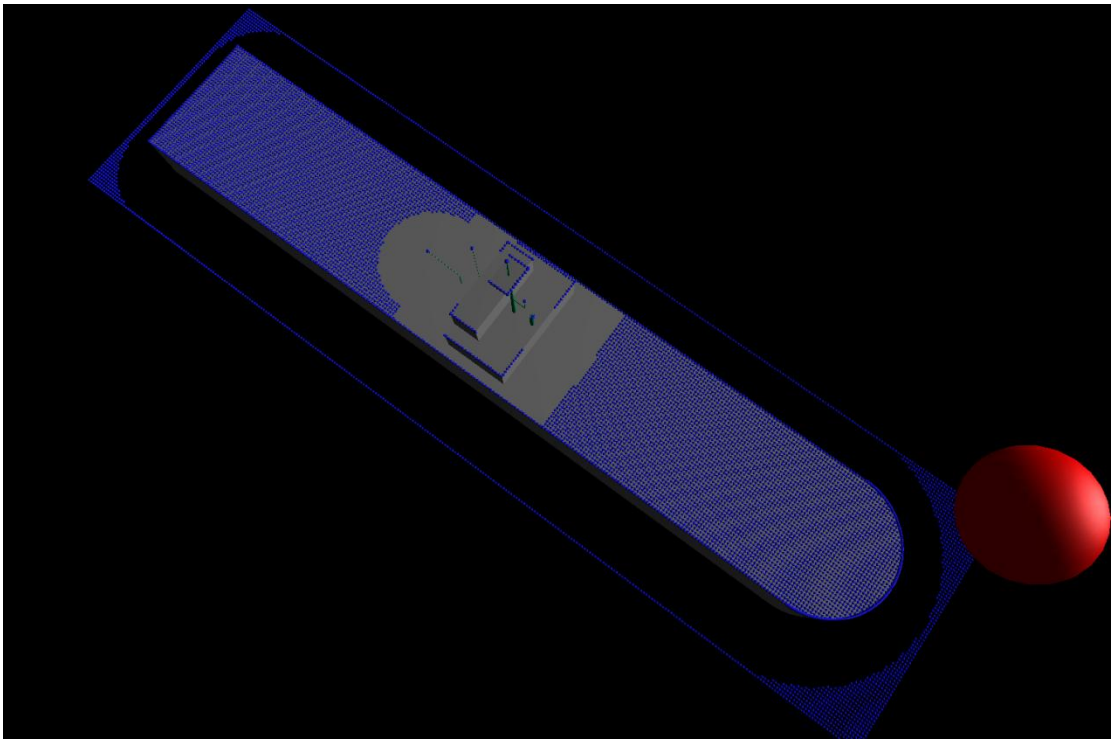
Εικόνα 5.15 : Βελτιωτική απεικόνιση του πλοίου κατά το πρότυπο IEEE με την προσθήκη ενός εναέριου αγωγού που συνδέει τις κορυφές των φουγάρων με τις κεραίες της πλώρης και της πρύμνης, το οποίο λειτουργεί ως ακίδα προστασίας για κατερχόμενο ρεύμα κεραυνού 3 kA.

Από τις παραπάνω βελτιώσεις παρατηρούμε ότι ο αριθμός των πιθανών σημείων πρόσπτωσης κεραυνού μειώθηκε αισθητά, χωρίς όμως ωστόσο να προστατεύεται πλήρως. Παρόλα αυτά δεν έγινε περεταίρω προσπάθεια βελτίωσης της προστασίας του πλοίου διότι το κεραυνικό ρεύμα των 3 kA δεν είναι σε θέση να δημιουργήσει πολλά προβλήματα στο πλοίο. Οι βελτιωτικές απεικονίσεις για μεγαλύτερα κεραυνικά ρεύματα δεν θεωρήθηκε σκόπιμο να παρουσιαστούν διότι το πλοίο προστατεύεται πλήρως.

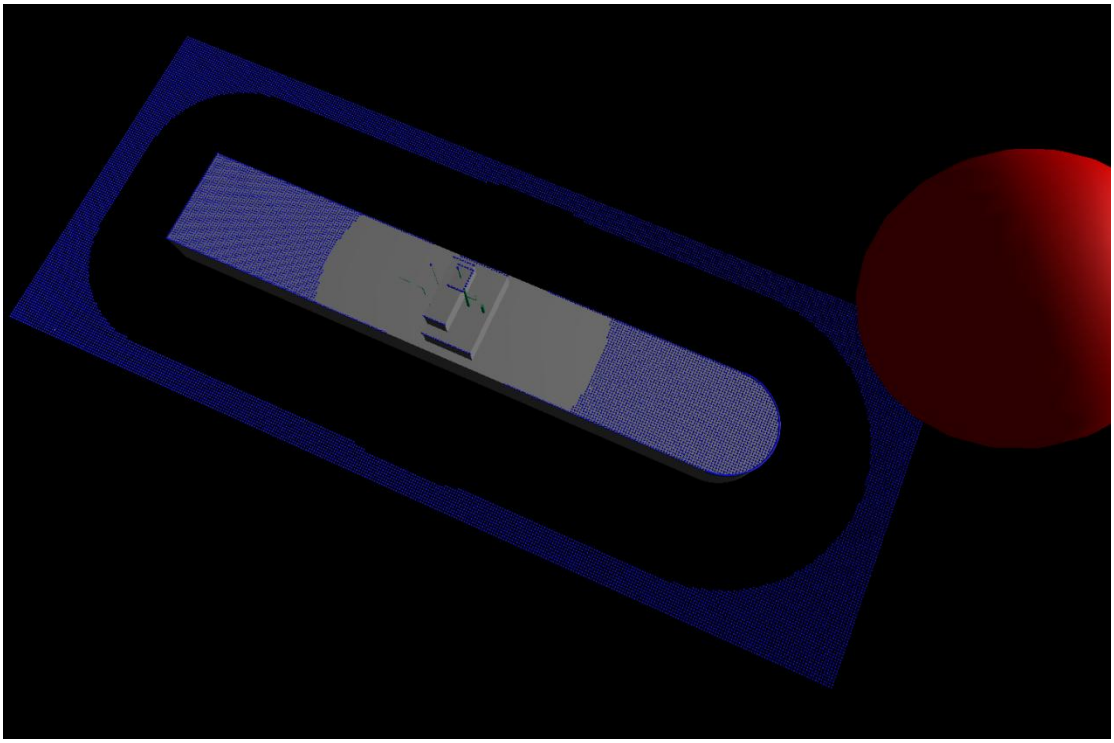
5.2.2 Αεροπλανοφόρο (Air Craft Carrier)



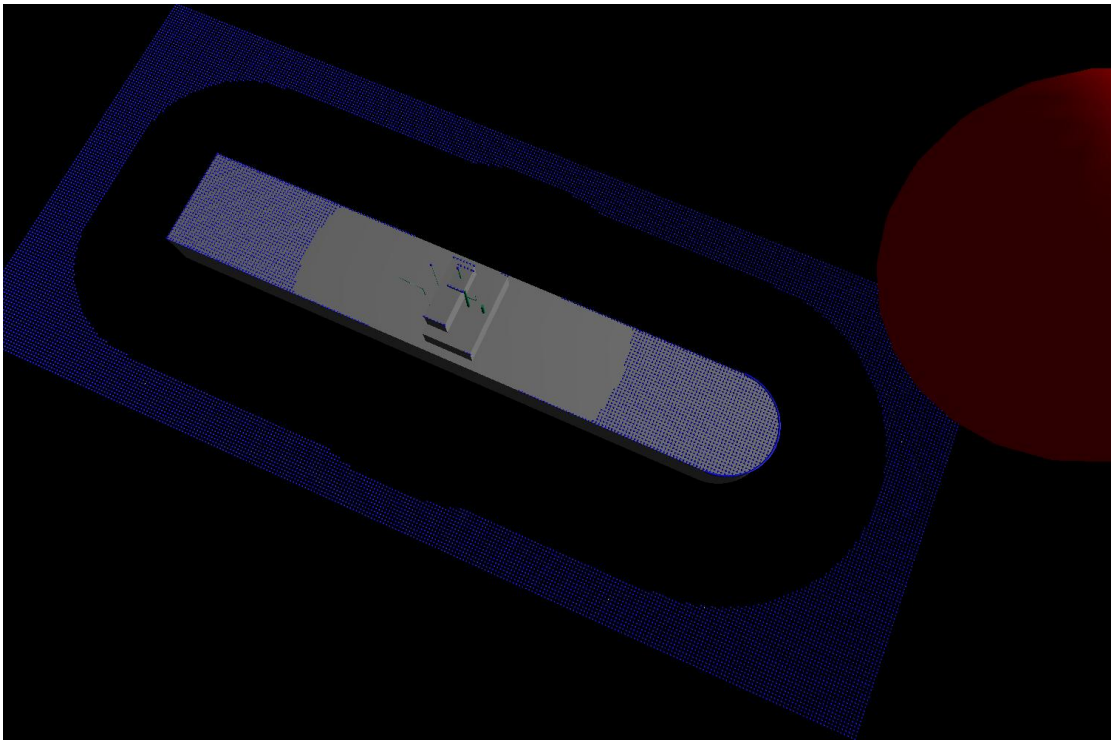
Εικόνα 5.16 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αεροπλανοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 3 kA κατά IEEE



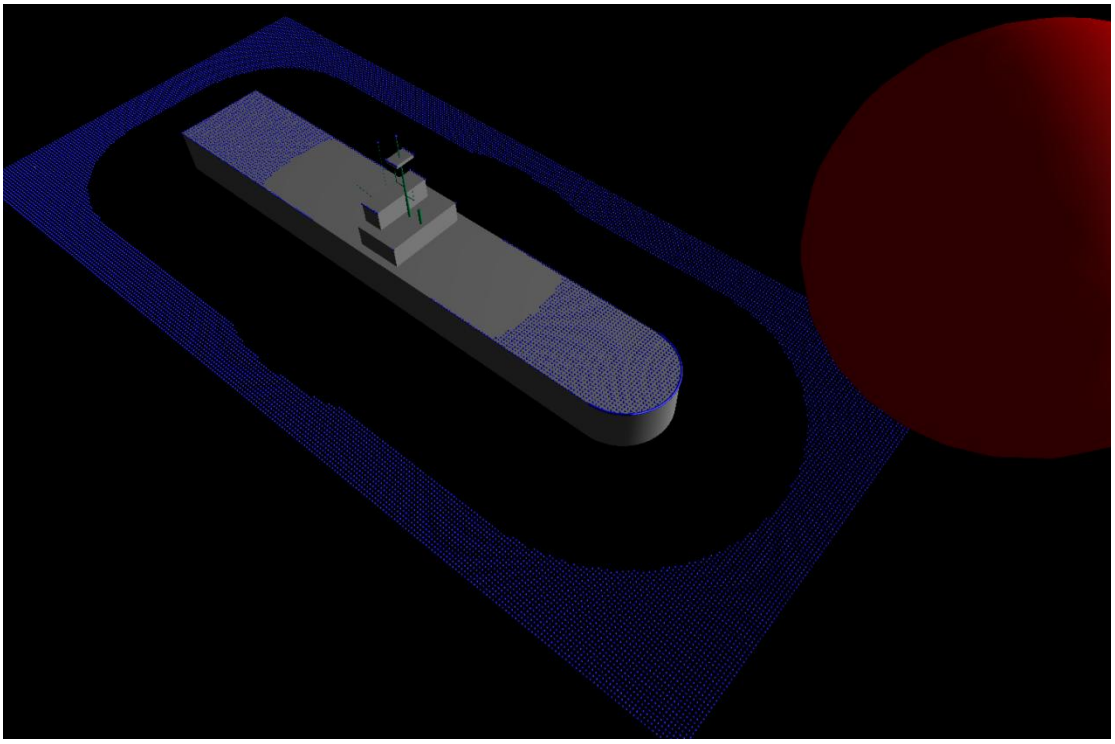
Εικόνα 5.16 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αεροπλανοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 3 kA κατά LOVE



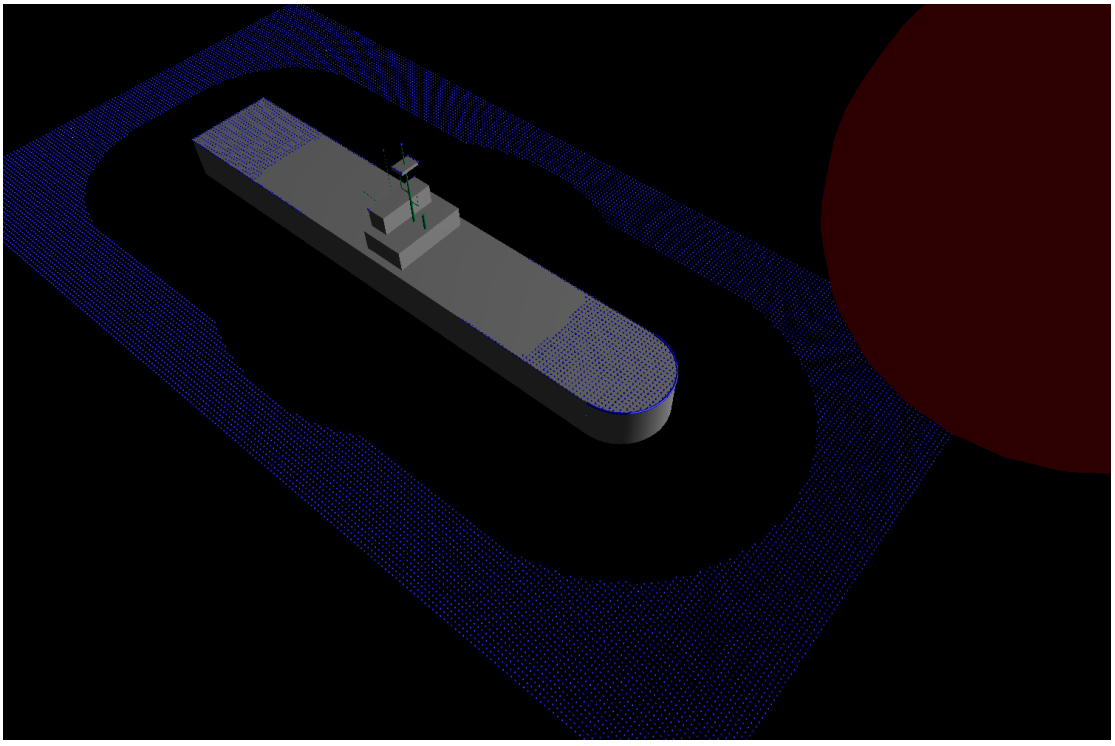
Εικόνα 5.17 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αεροπλανοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 20 kA κατά IEEE



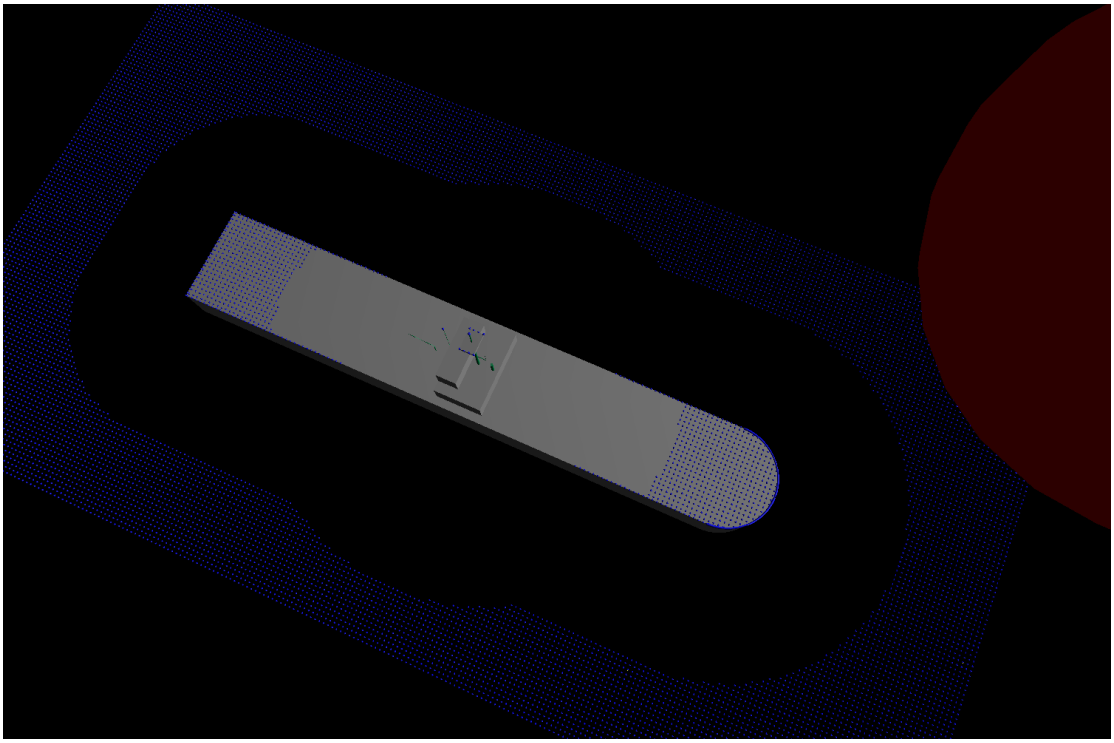
Εικόνα 5.18 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αεροπλανοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 20 kA κατά LOVE



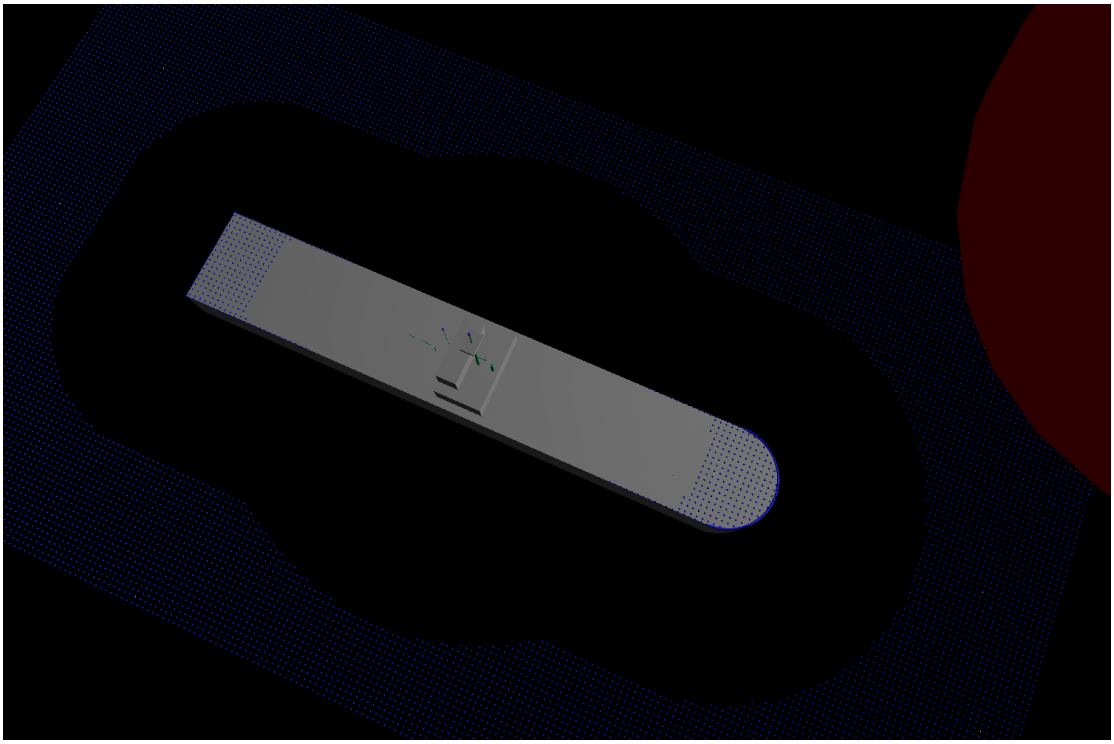
Εικόνα 5.18 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αεροπλανοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 30 kA κατά IEEE



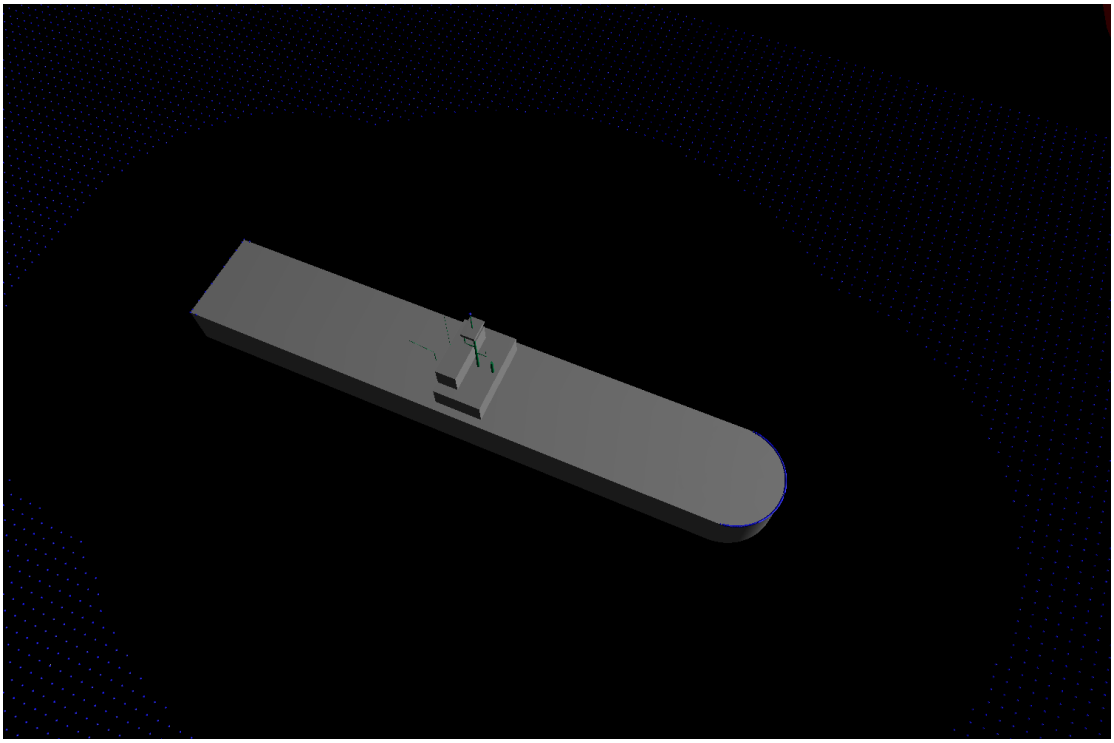
Εικόνα 5.19 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αεροπλανοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 30 kA κατά LOVE



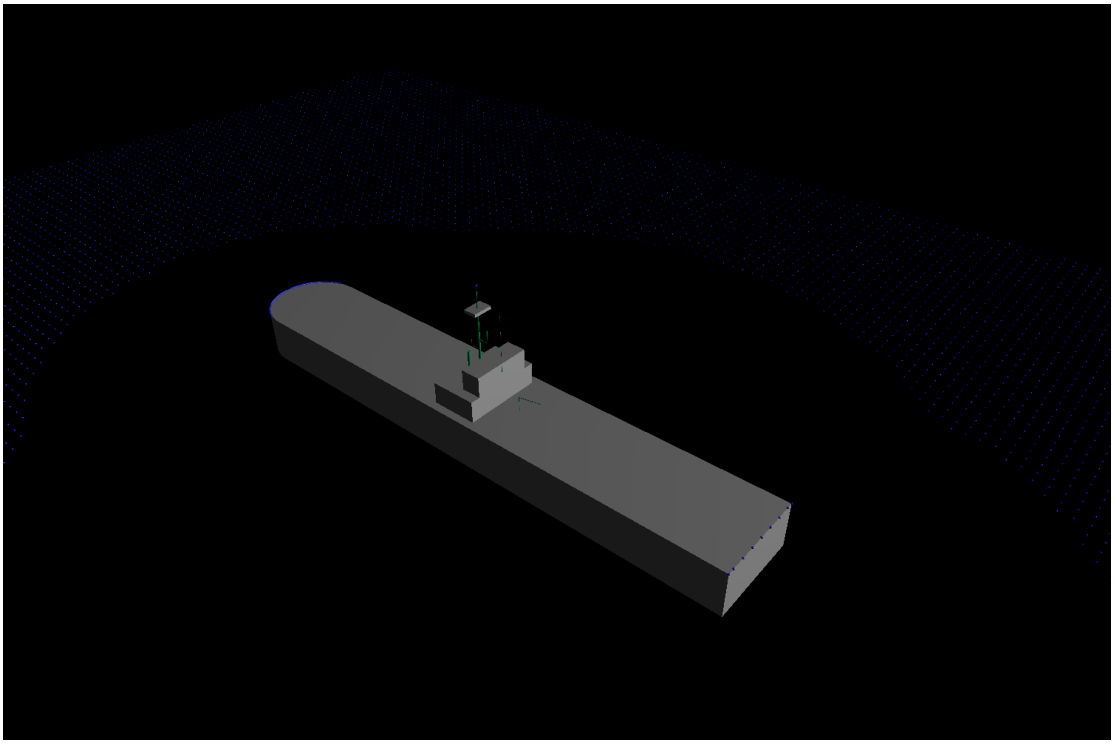
Εικόνα 5.20 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αεροπλανοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 50 kA κατά IEEE



Εικόνα 5.21 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αεροπλανοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 50 kA κατά LOVE



Εικόνα 5.22 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αεροπλανοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 200 kA κατά IEEE



Εικόνα 5.23 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αεροπλανοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 200 kA κατά LOVE

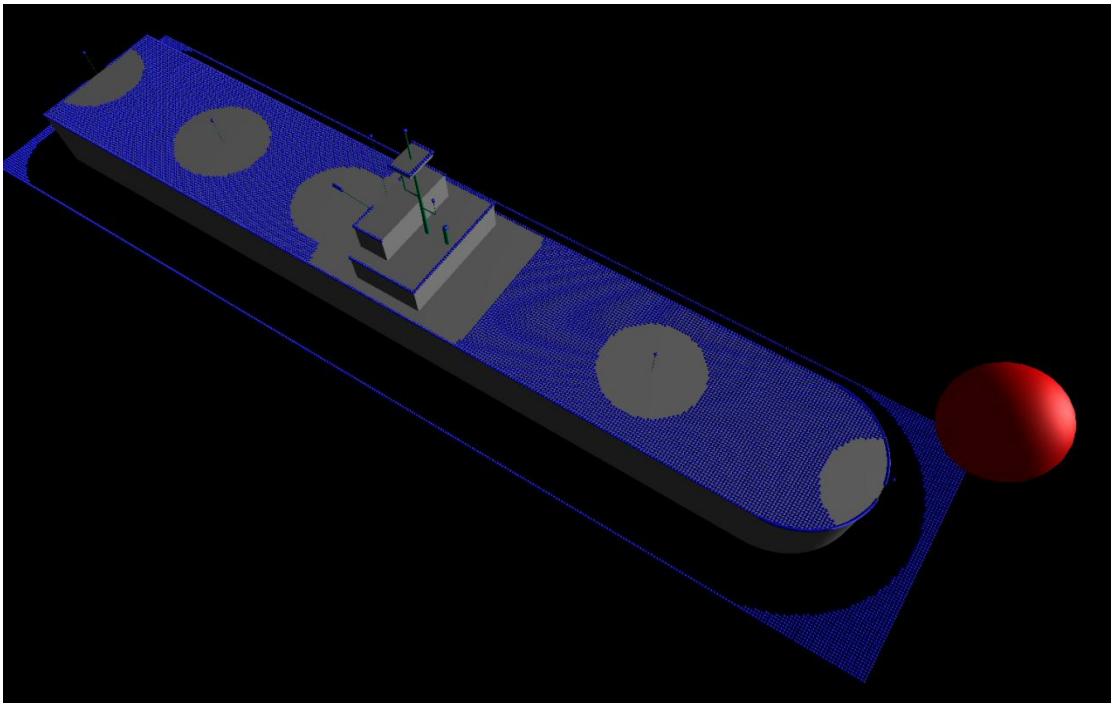
5.2.2.1 Συμπεράσματα

Στο συγκεκριμένο πλοίο παρατηρούμε ότι τόσο στα μικρά (3 kA) όσο και στα μεγάλα ρεύματα (200 kA) δεν προστατεύεται πλήρως. Αυτό οφείλεται στη δομή του καθώς τόσο η γέφυρα, όσο και οι κεραίες του και τα ραντάρ του είναι συγκεντρωμένα στο κέντρο του πλοίου, με αποτέλεσμα ο χώρος ο οποίος υπάρχει στην πλώρη και στην πρύμνη του, ο οποίος χρησιμοποιείται για την προσγείωση και την απογείωση των αεροσκαφών, να είναι απροστάτευτος.

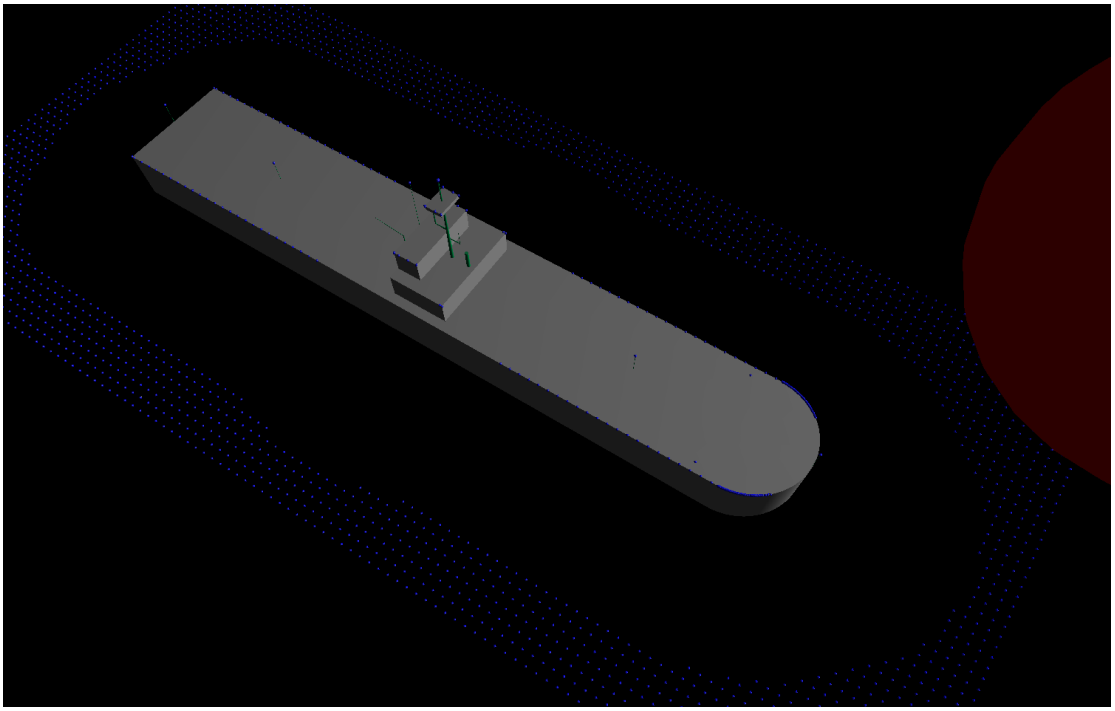
Βελτιώσεις

Βελτιωτικά θα μπορούσε να προστεθεί μια ακίδα στην πλώρη και μια στην πρύμνη με τέτοιο τρόπο ώστε να μην επηρεάζεται η προσγείωση και η απογείωση των αεροσκαφών. Τέλος, είναι δυνατόν να κατασκευαστούν ακίδες πάνω στις ήδη υπάρχουσες κεραίες της κεντρικής γέφυρας κατά τα γνωστά πρότυπα.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας μετά το πέρας των βελτιώσεων. Θα πρέπει δε να αναφερθεί ότι η παρακάτω απεικονίσεις είναι ενδεικτικές, καθώς εμποδίζεται η προσγείωση και η απογείωση των αεροσκαφών.



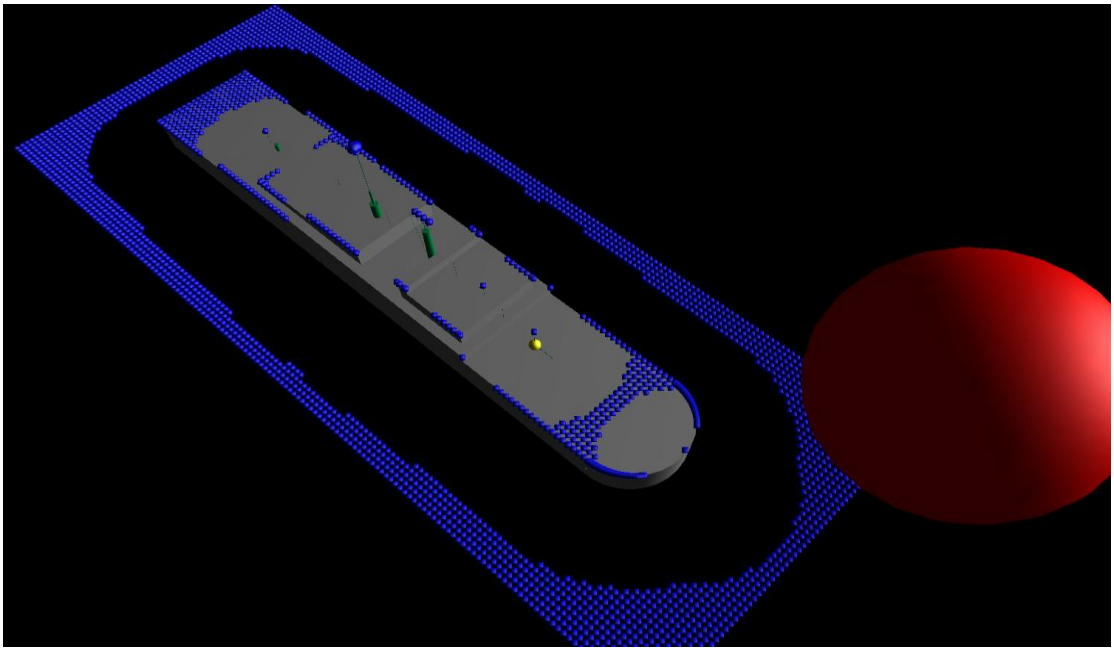
Εικόνα 5.24 : Βελτιωτική απεικόνιση του πλοίου κατά το πρότυπο IEEE με την προσθήκη 2 κεραιών ύψους 30 ft, οι οποίες λειτουργούν ως ακίδες προστασίας για κατερχόμενο ρεύμα κεραυνού 3 kA.



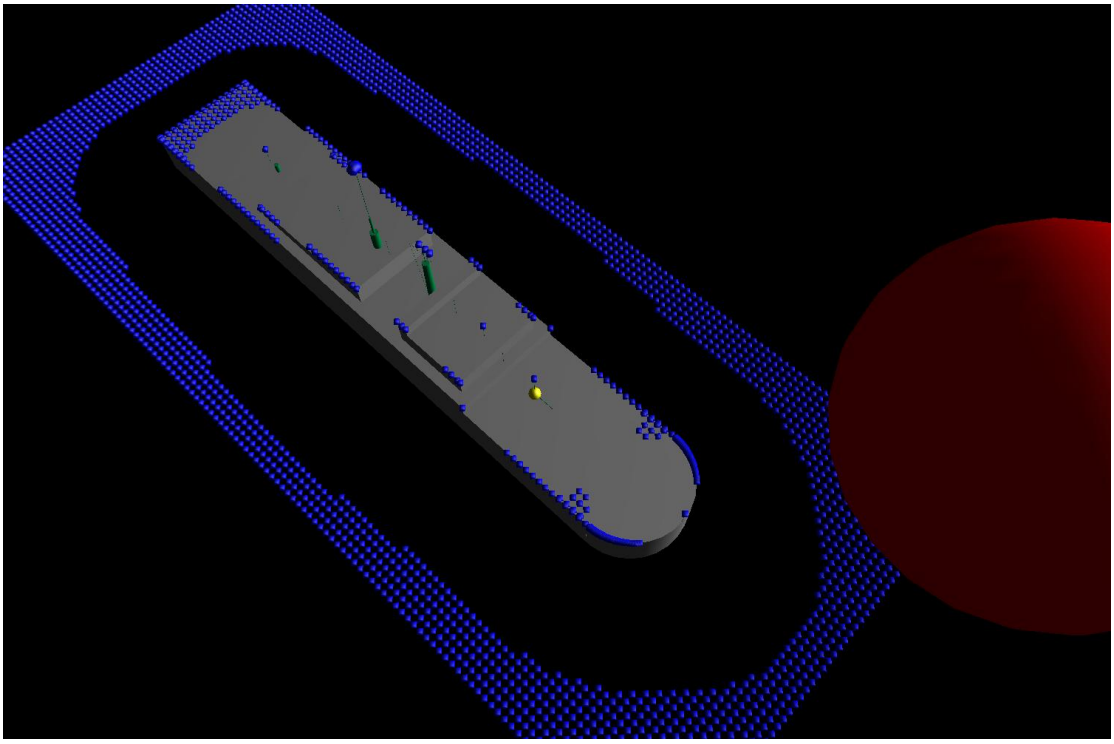
Εικόνα 5.25 : Βελτιωτική απεικόνιση του πλοίου κατά το πρότυπο IEEE με την προσθήκη 2 κεραιών ύψους 30 ft, οι οποίες λειτουργούν ως ακίδες προστασίας για κατερχόμενο ρεύμα κεραυνού 30 kA.

Από τις παραπάνω βελτιώσεις παρατηρήθηκε μια αισθητή μείωση των πιθανών πληγμάτων, χωρίς όμως το πλοίο να προστατεύεται πλήρως. Ωστόσο, δεν έγινε περεταίρω ανάλυση στη βελτίωση του πλοίου διότι όπως προαναφέρθηκε είναι ενδεικτική καθώς εμποδίζεται η προσγείωση και η απογείωση των αεροσκαφών.

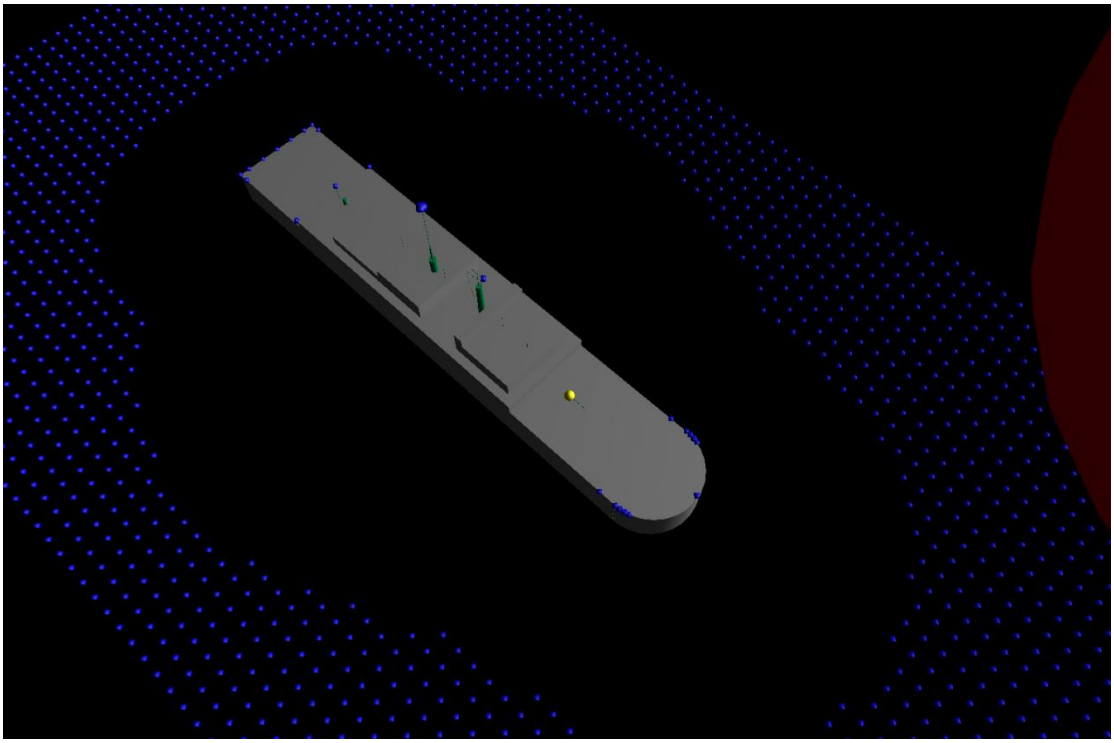
5.2.3 Κορβέτα-Δρόμωνας (Corvette)



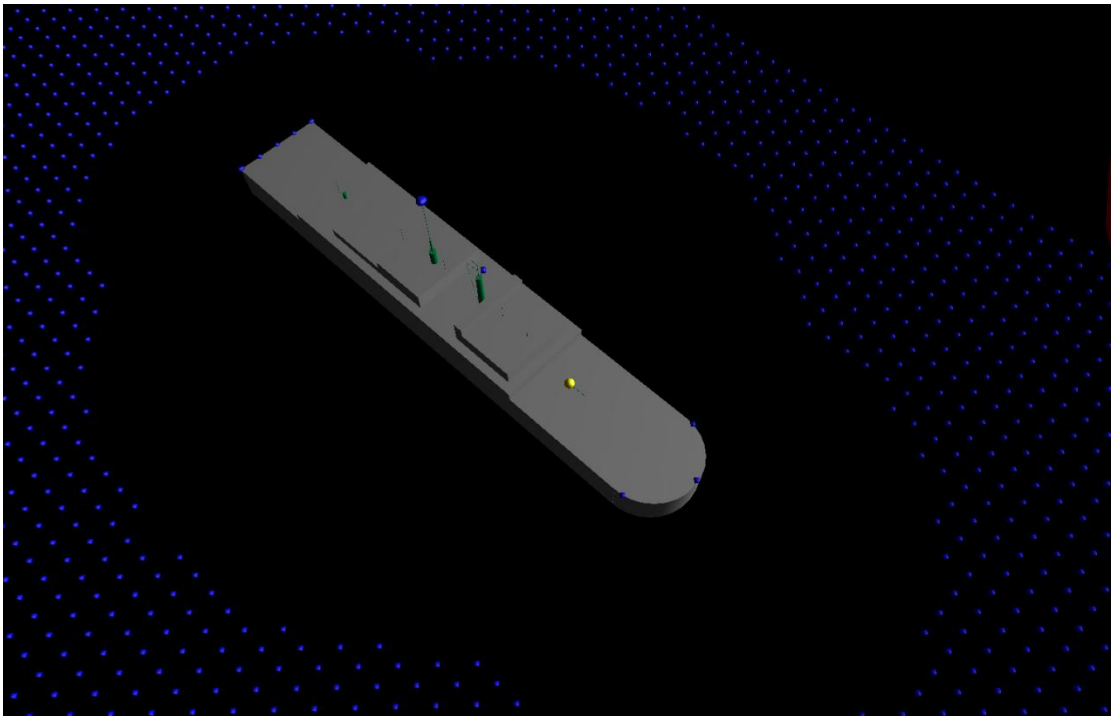
Εικόνα 5.26 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας της κορβέτας για κεραυνικό ρεύμα 3 kA κατά IEEE



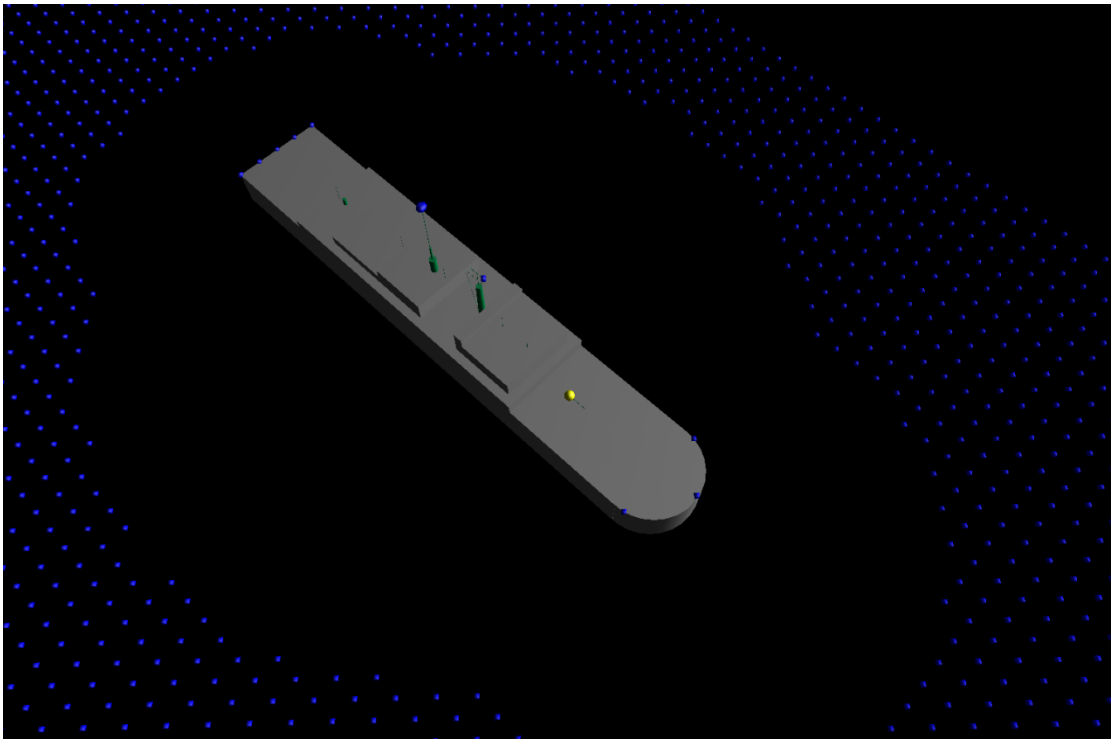
Εικόνα 5.27 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας της κορβέτας για κεραυνικό ρεύμα 3 kA κατά LOVE



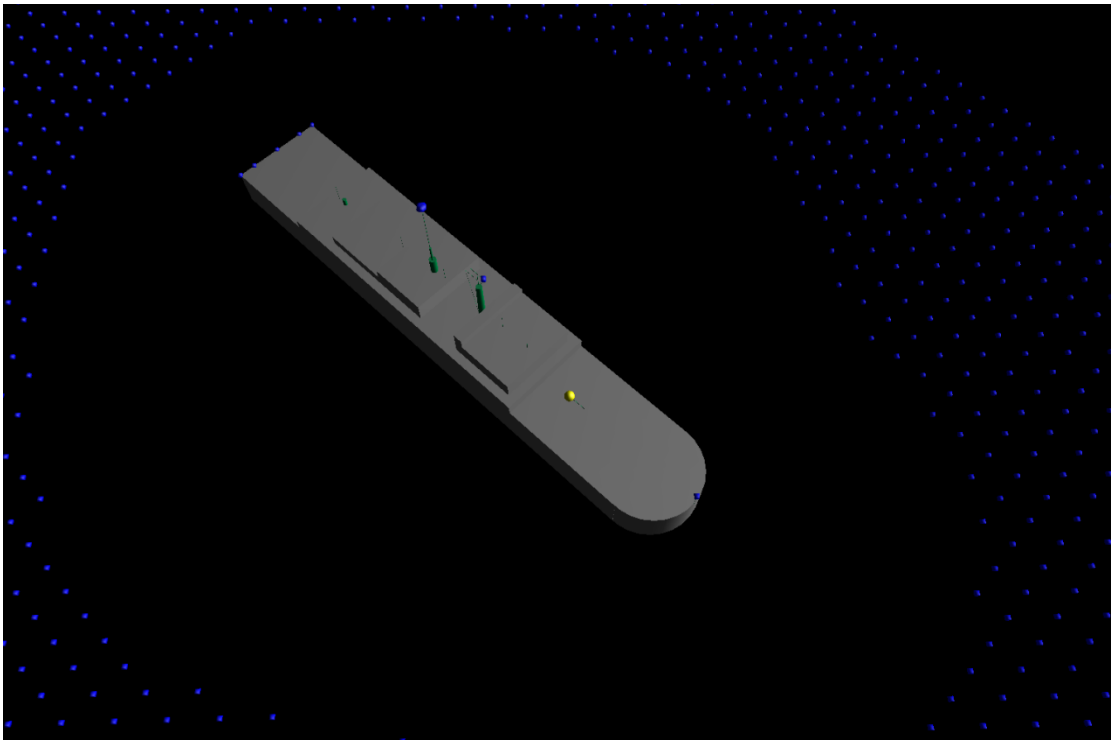
Εικόνα 5.28 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας της κορβέτας για κεραυνικό ρεύμα 20 kA κατά IEEE



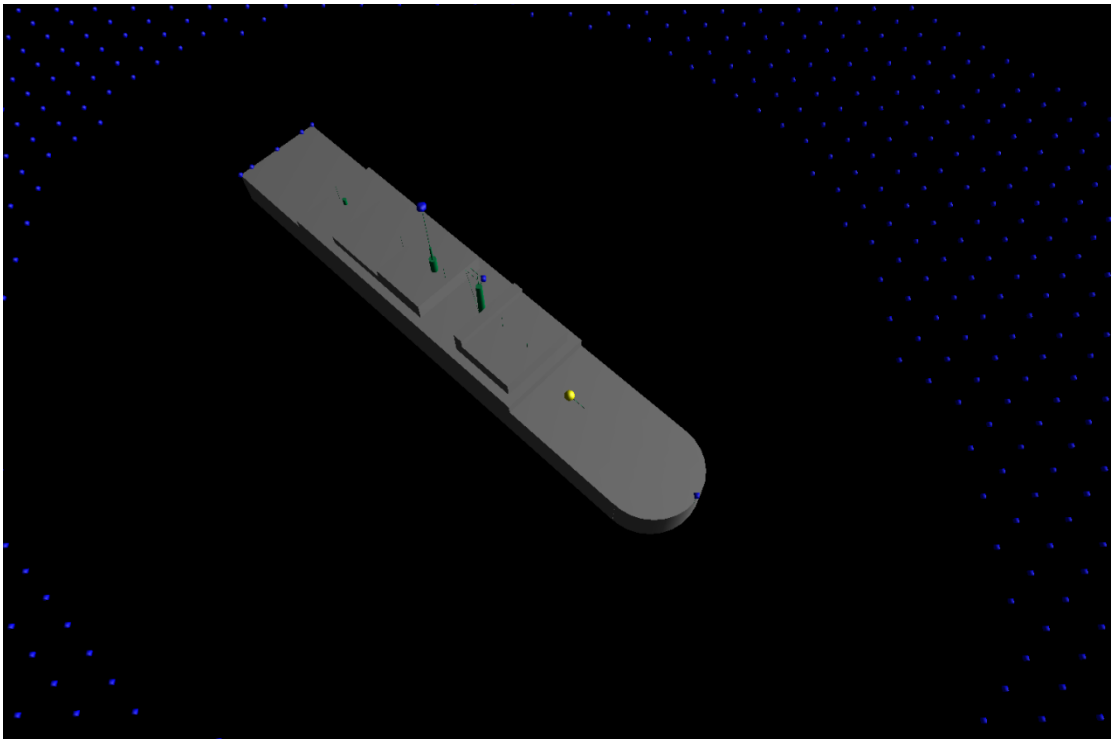
Εικόνα 5.29 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας της κορβέτας για κεραυνικό ρεύμα 20 kA κατά LOVE



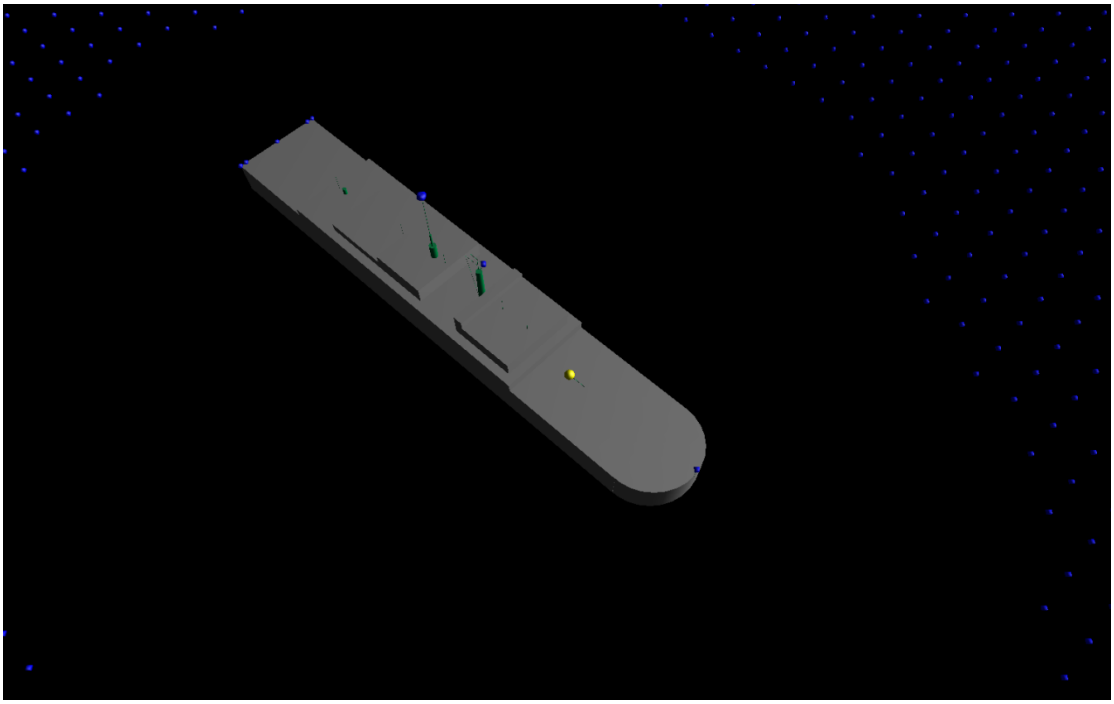
Εικόνα 5.30 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας της κορβέτας για κεραυνικό ρεύμα 30 kA κατά IEEE



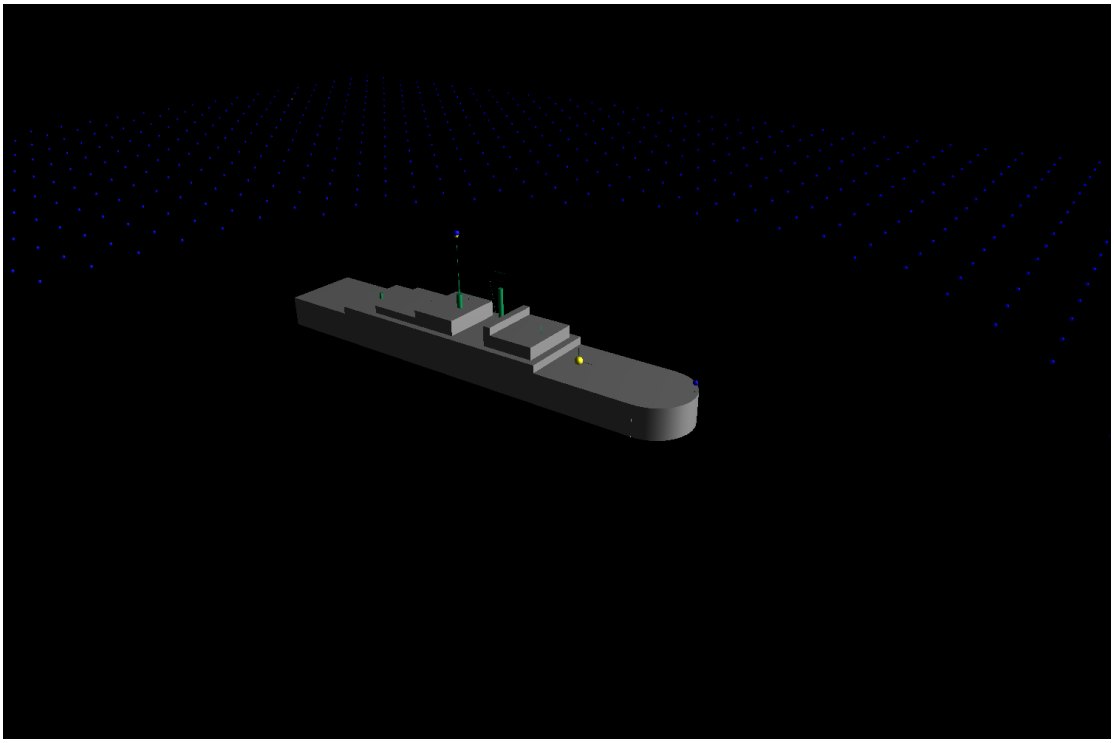
Εικόνα 5.31 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας της κορβέτας για κεραυνικό ρεύμα 30 kA κατά LOVE



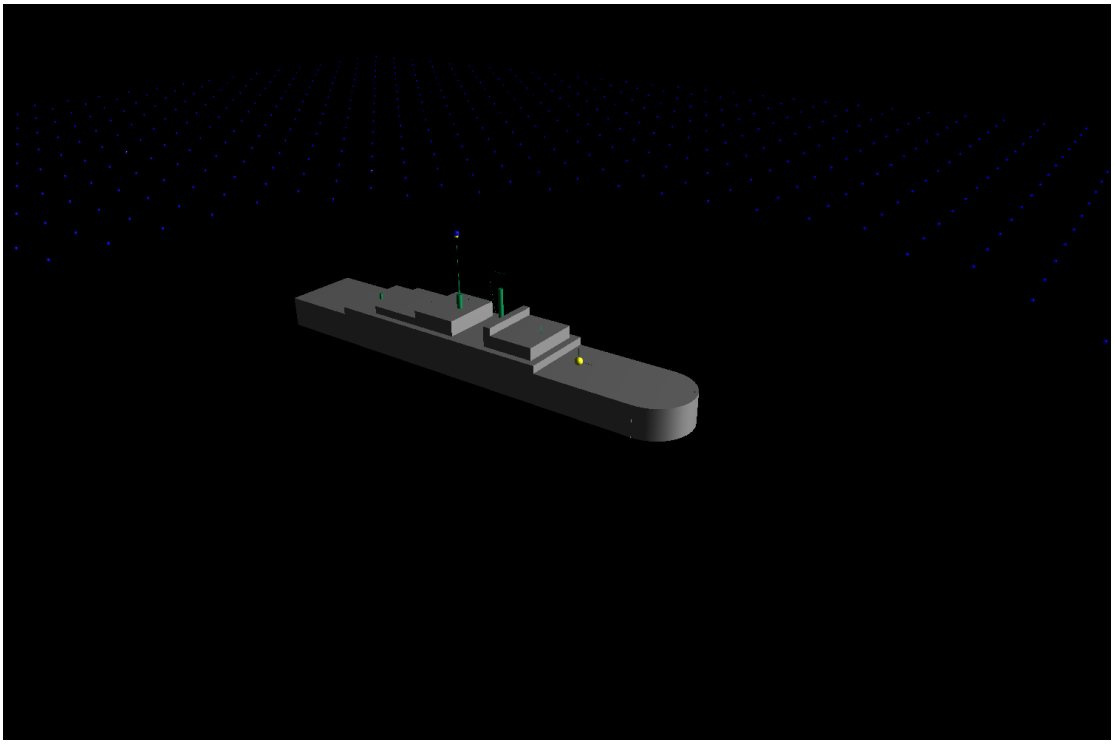
Εικόνα 5.32 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας της κορβέτας για κεραυνικό ρεύμα 50 kA κατά IEEE



Εικόνα 5.33 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας της κορβέτας για κεραυνικό ρεύμα 50 kA κατά LOVE



Εικόνα 5.34 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας της κορβέτας για κεραυνικό ρεύμα 200 kA κατά IEEE



Εικόνα 5.35 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας της κορβέτας για κεραυνικό ρεύμα 200 kA κατά LOVE

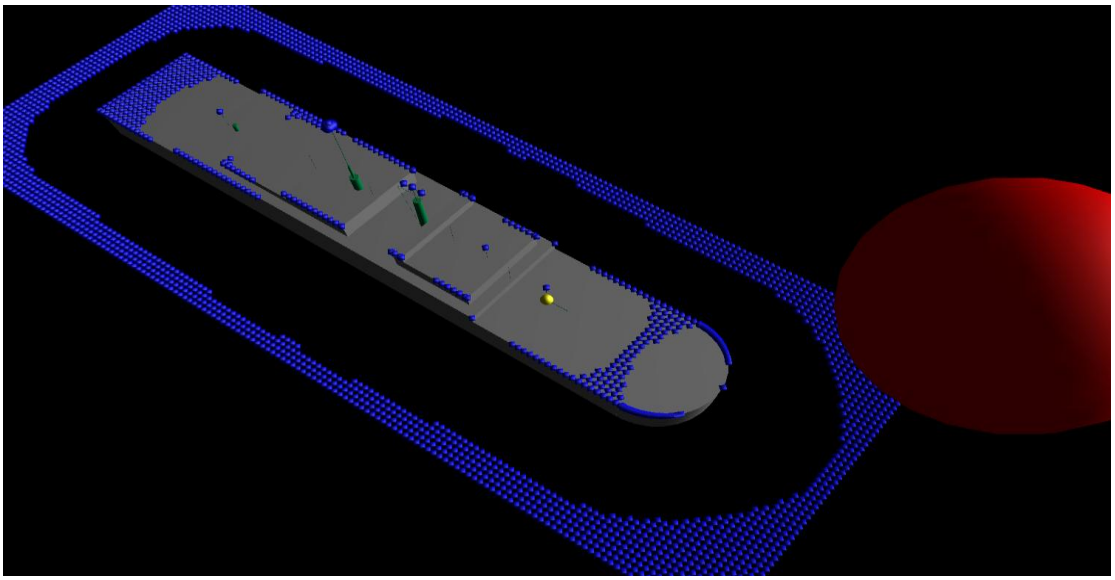
5.2.3.1 Συμπεράσματα

Στο συγκεκριμένο πλοίο παρατηρούμε ότι σε μικρά κατερχόμενα ρεύματα της τάξεως των 3 kA υπάρχουν αρκετά πιθανά σημεία πρόσπτωσης του κεραυνού. Για κεραυνικά ρεύματα της τάξης των 20 kA έως 50 kA παρατηρούνται ελάχιστα πιθανά σημεία πρόσκρουσης κεραυνού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχουν γερανογέφυρες στο μεγαλύτερο μέρος του πλοίου και επιπλέον υπάρχουν κεραίες οι οποίες είναι διασκορπισμένες σε όλο σχεδόν το μήκος του, και λειτουργούν σαν ακίδες προστασίας. Όσο αφορά στα 200 kA το πλοίο προστατεύεται πλήρως.

Βελτιώσεις

Βελτιωτικά θα ήταν δυνατόν να προστεθούν ακίδες προστασίας σε όλες τις κεραίες προκειμένου να επιτευχθεί πλήρης κάλυψη στα 3 kA. Πρέπει να αναφερθεί δε ότι οι εξοχές των συγκεκριμένων αλεξικέραυνων θα τηρούν τα γνωστά πρότυπα και έχουν προαναφερθεί.

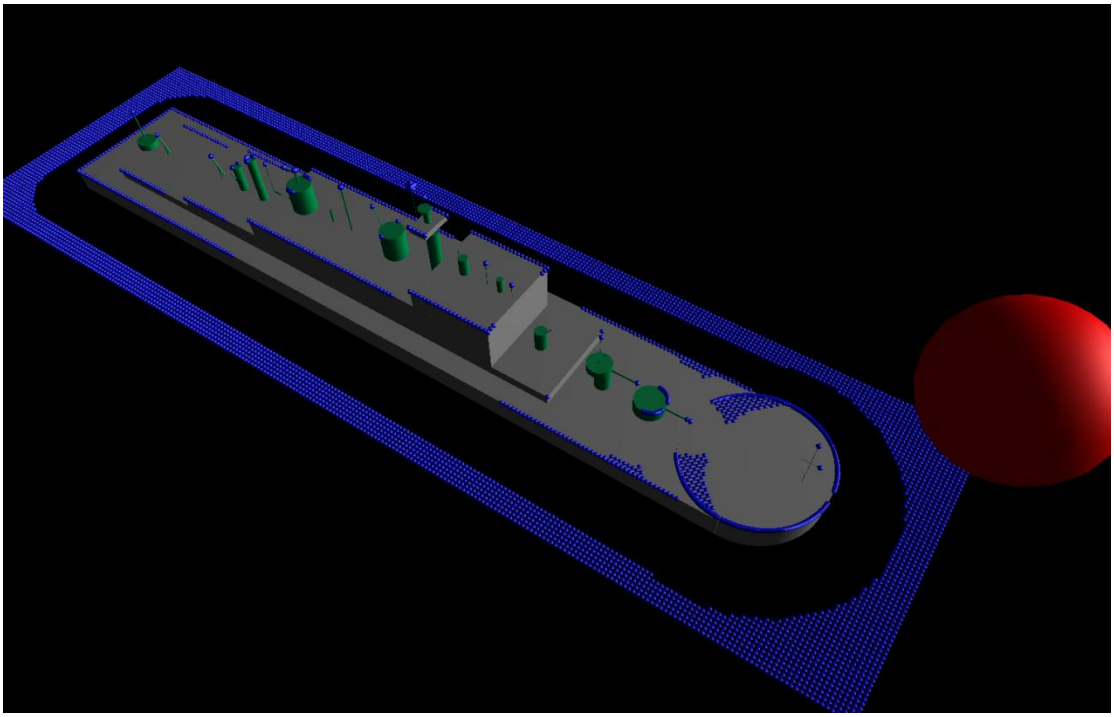
Στην συνέχεια παρουσιάζεται η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας μετά το πέρας των βελτιώσεων.



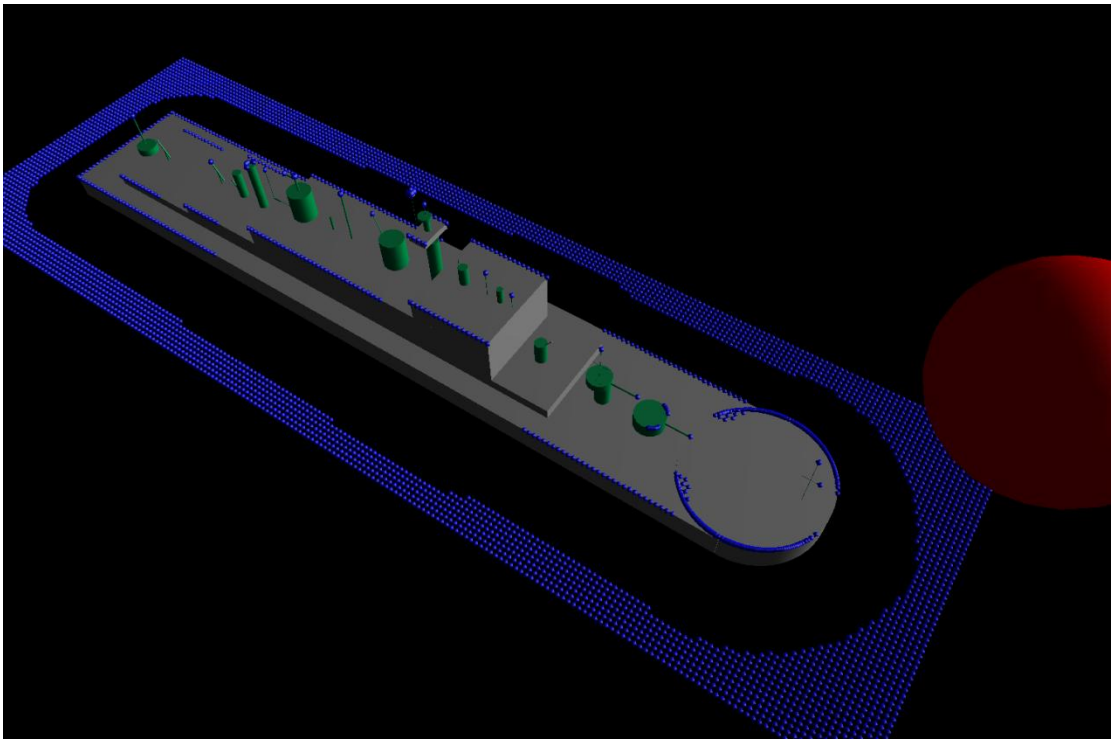
Εικόνα 5.36 : Βελτιωτική απεικόνιση του πλοίου κατά το πρότυπο IEEE με την προσαύξηση του ύψους όλων των κεραιών κατά 1 πόδι (ft), οι οποίες λειτουργούν ως ακίδες προστασίας για κατερχόμενο ρεύμα κεραυνού 3 kA.

Μετά το πέρας των βελτιώσεων παρατηρούμε ότι εξακολουθούν να υπάρχουν προβλήματα, τα οποία είναι δυνατό να εξαλειφθούν αν τοποθετηθούν υψηλότερες ακίδες στις ήδη υπάρχουσες κεραίες, γεγονός που δεν έγινε για θέμα κόστους. Τέλος θα ήταν δυνατό να τοποθετηθούν ακίδες προστασίας τόσο στην πλώρη όσο και στην πρύμνη του πλοίου, οι οποίες όμως θα παρεμπόδιζαν την λειτουργικότητα του.

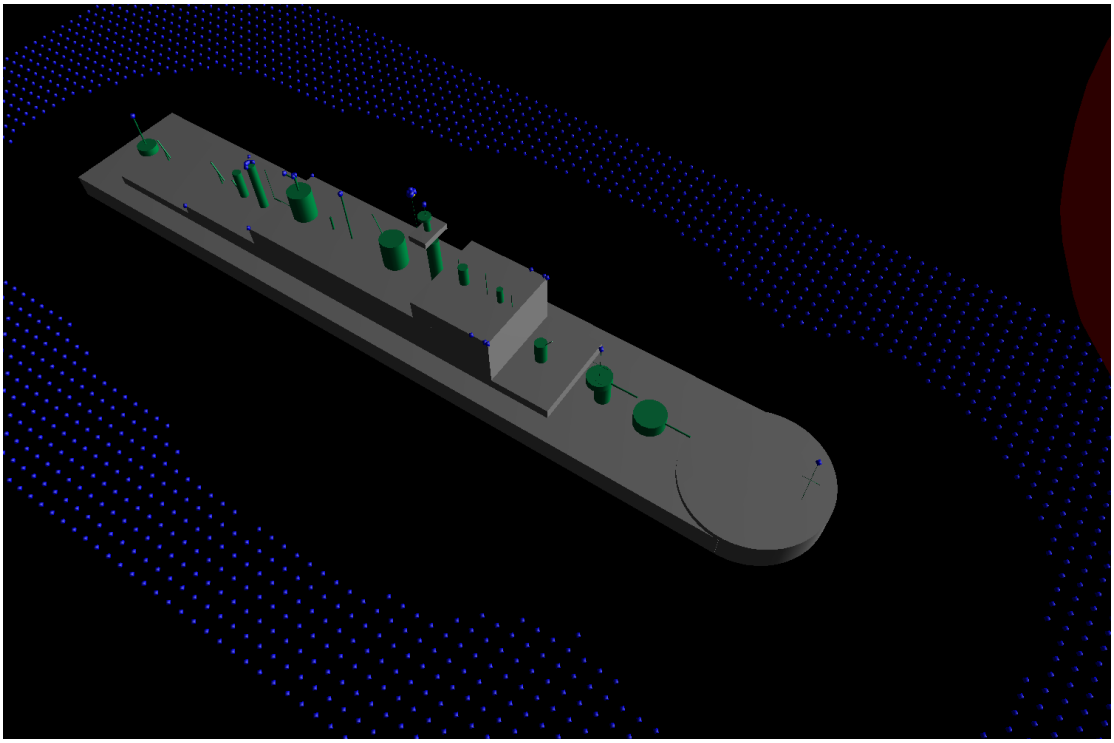
5.2.4 Αντιτορπιλικό (Air Craft Carrier)



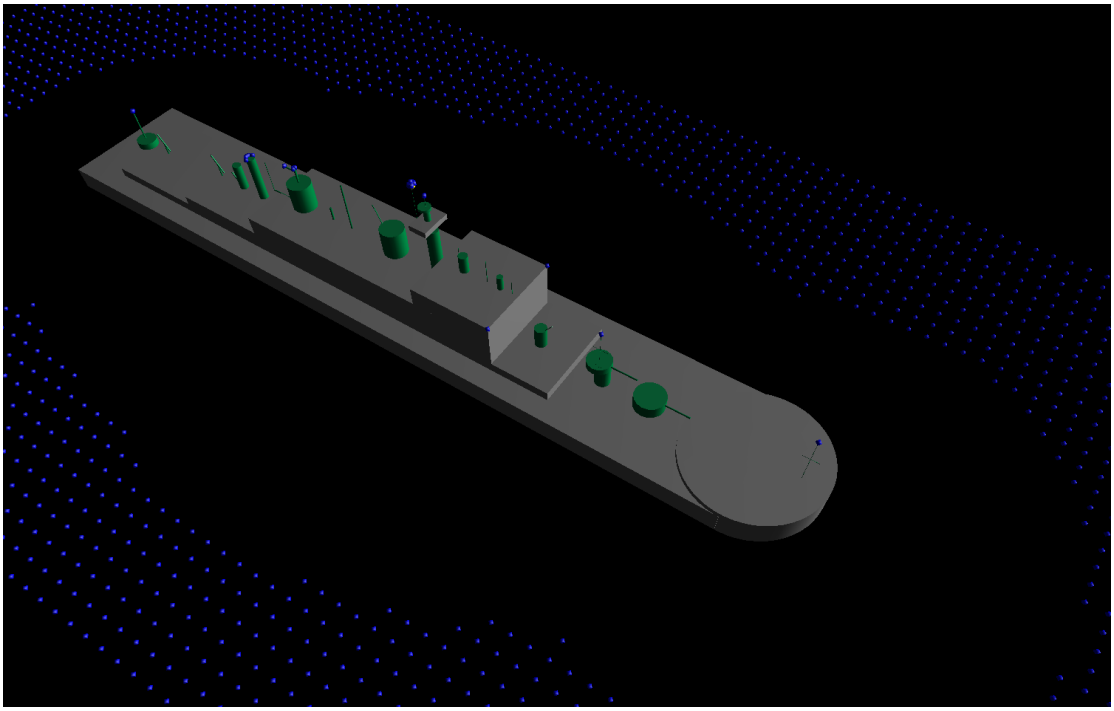
Εικόνα 5.37 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 3 kA κατά IEEE



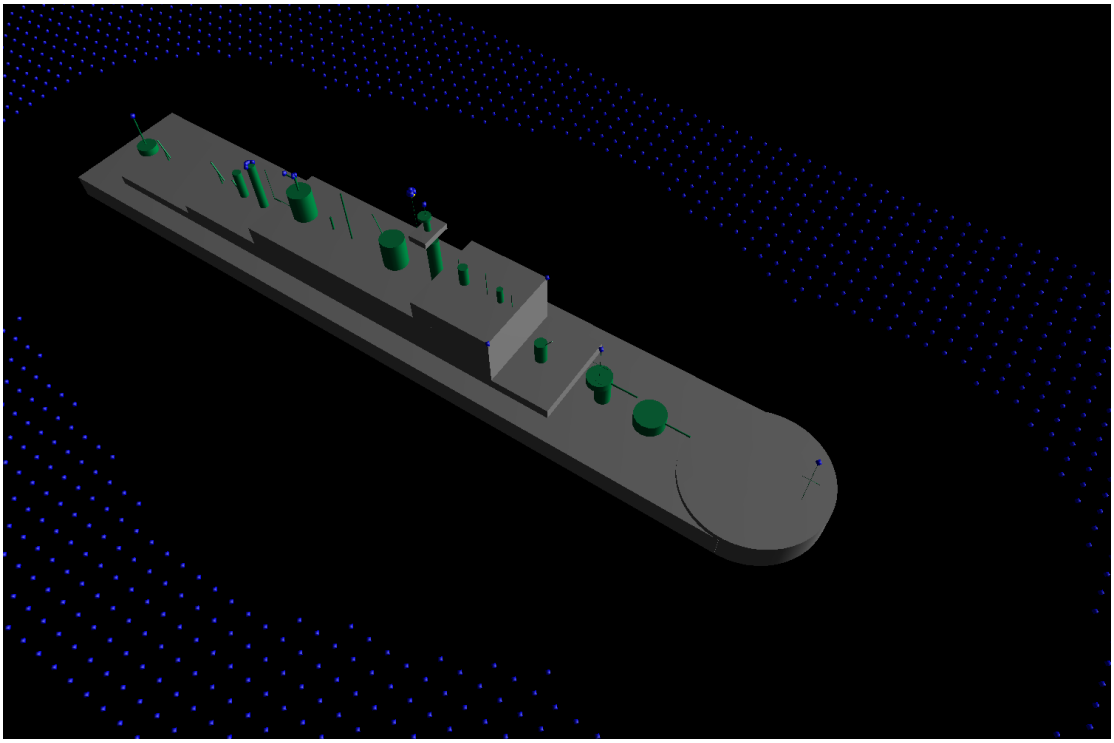
Εικόνα 5.38 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 3 kA κατά LOVE



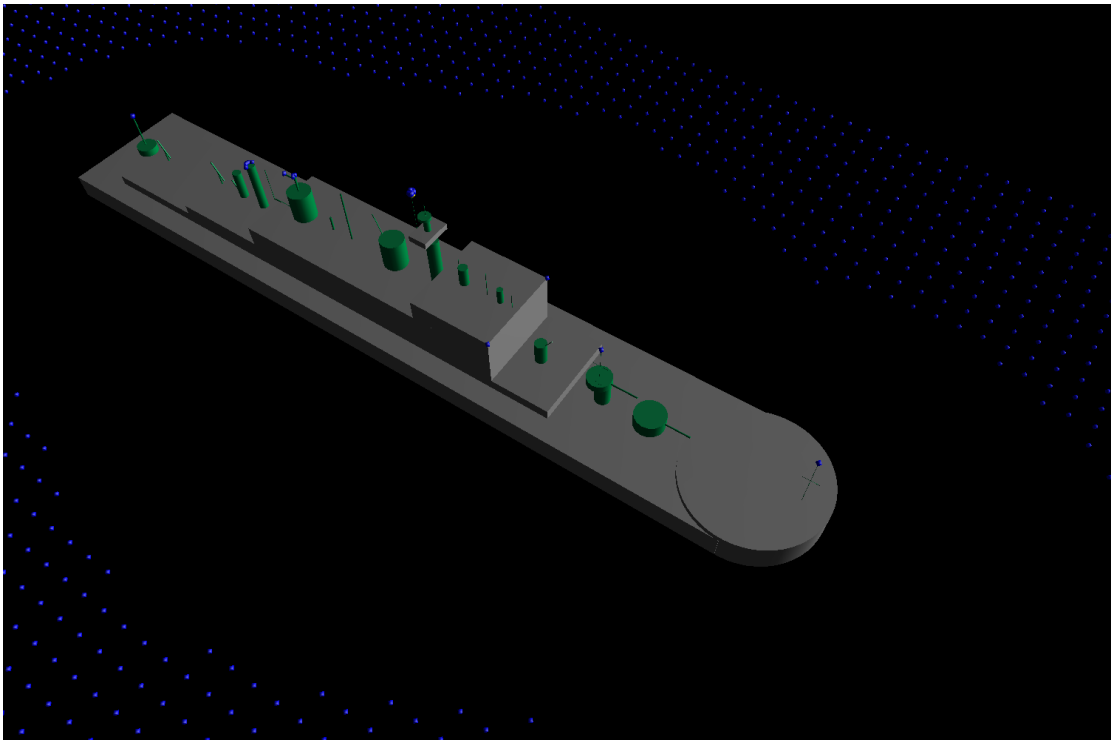
Εικόνα 5.39 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 20 kA κατά IEEE



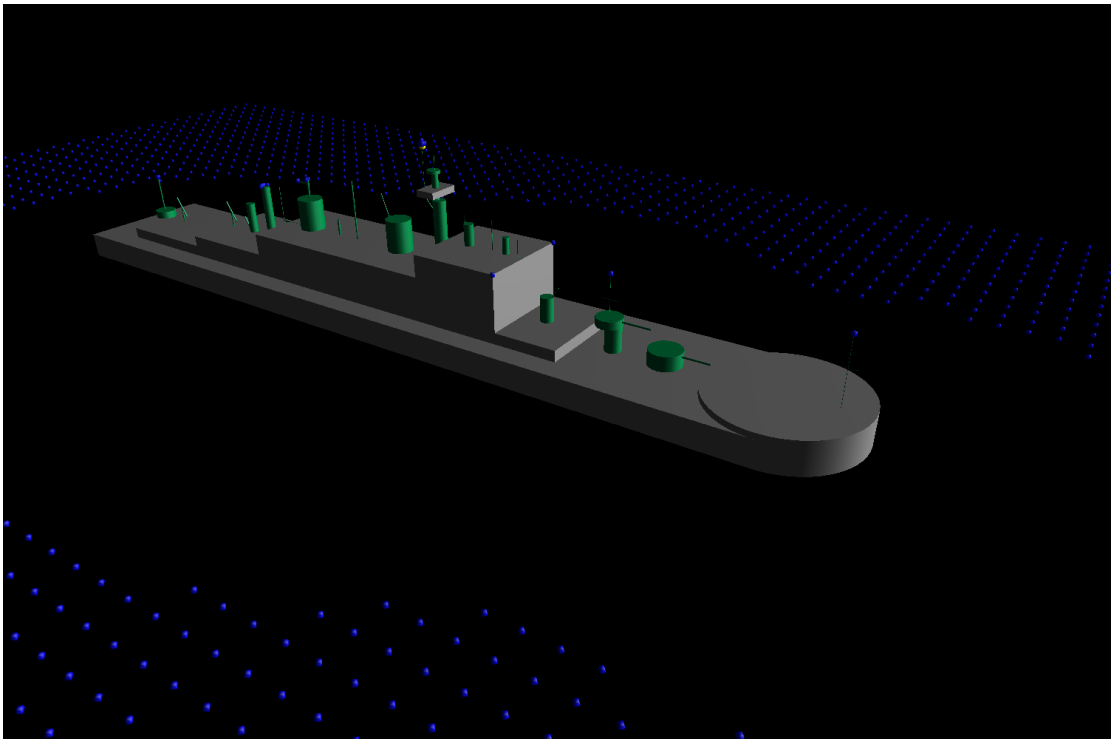
Εικόνα 5.40 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 20 kA κατά LOVE



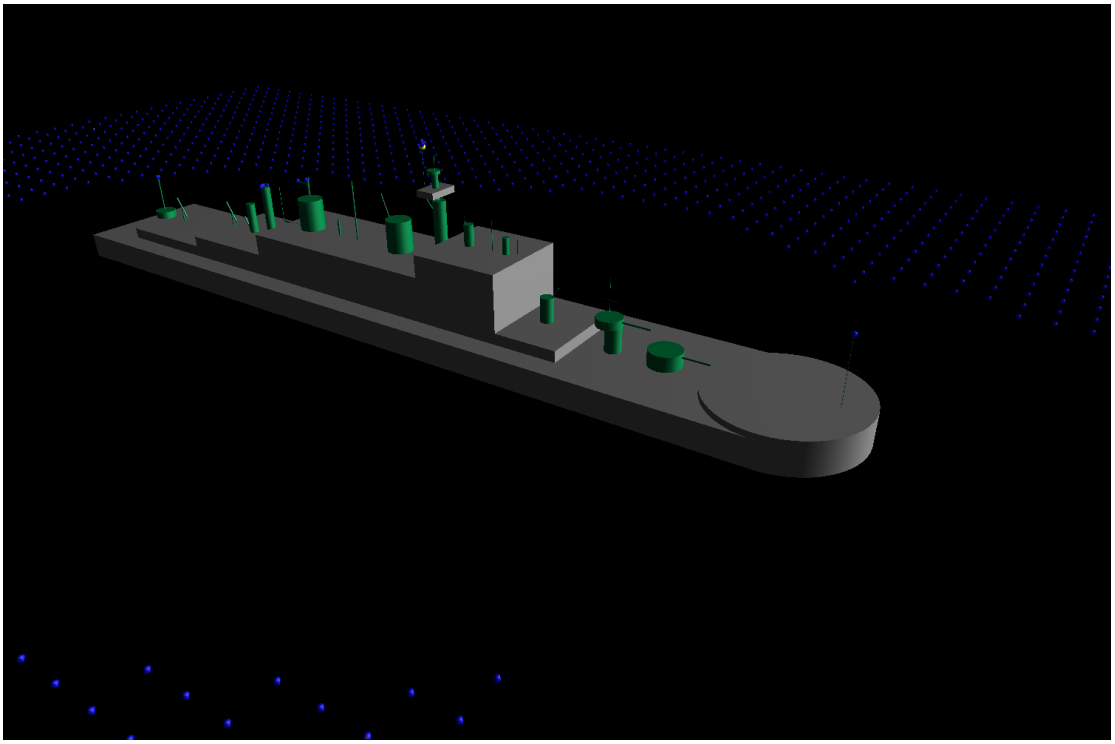
Εικόνα 5.41 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 30 kA κατά IEEE



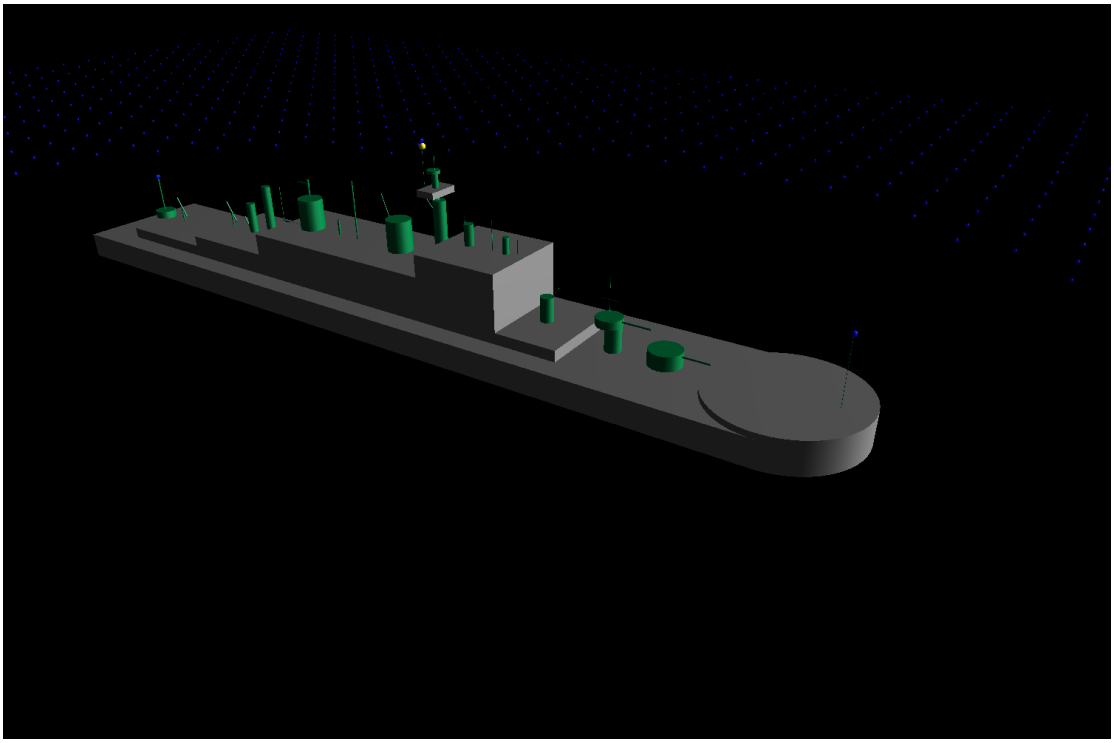
Εικόνα 5.42 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 30 kA κατά LOVE



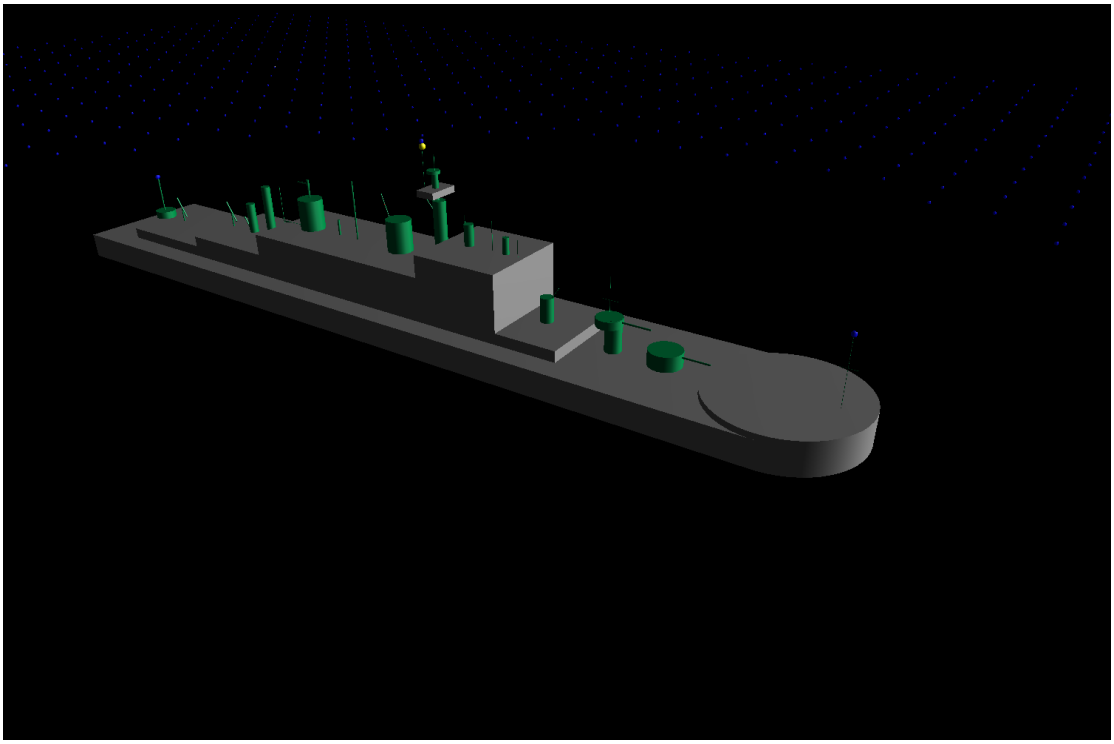
Εικόνα 5.43 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 50 kA κατά IEEE



Εικόνα 5.44 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 50 kA κατά LOVE



Εικόνα 5.45 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 200 kA κατά IEEE



Εικόνα 5.46 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 200 kA κατά LOVE

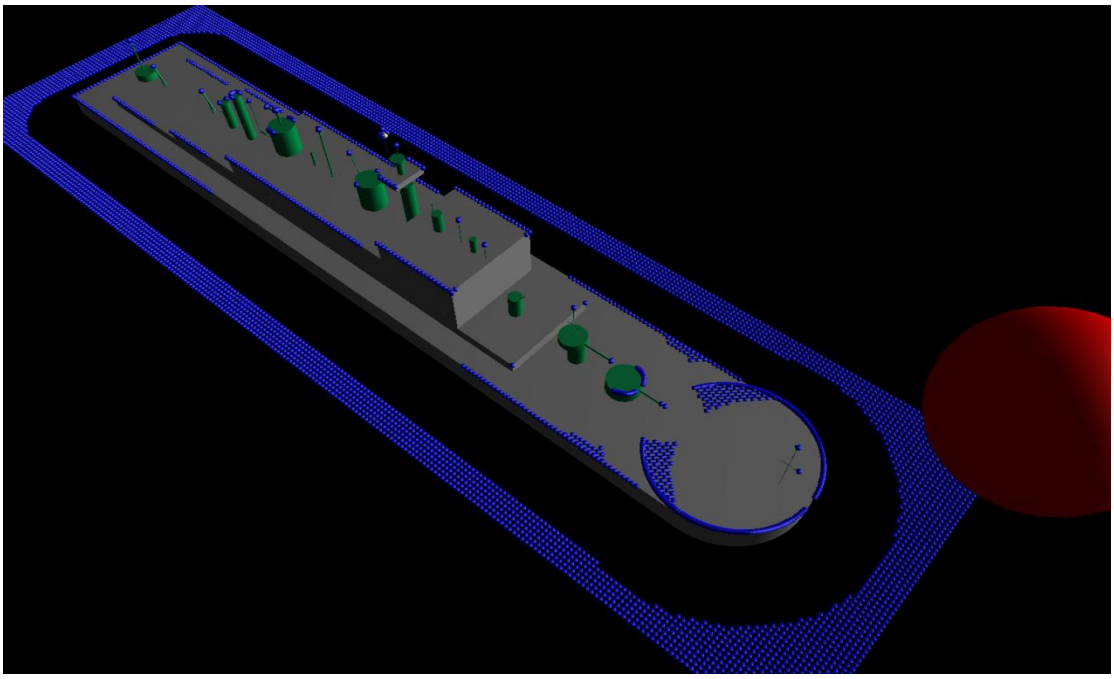
5.2.4.1 Συμπεράσματα

Στο συγκεκριμένο πλοίο παρατηρούμε ότι σε μικρά κατερχόμενα ρεύματα της τάξεως των 3 kA υπάρχουν αρκετά πιθανά σημεία πρόσπτωσης του κεραυνού. Για μεσαία κεραυνικά ρεύματα της τάξης των 20 kA και των 30 kA παρατηρούνται ελάχιστα σημεία που κινδυνεύουν, ενώ για μεγαλύτερα κεραυνικά ρεύματα της τάξης των 50 kA και άνω το πλοίο προστατεύεται πλήρως. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχουν κεραίες, ρανταρ και οπλικά συστήματα στο μεγαλύτερο μέρος του πλοίου, τα οποία λειτουργούν σαν ακίδες προστασίας.

Βελτιώσεις

Βελτιωτικά θα ήταν δυνατόν να προστεθούν ακίδες προστασίας σε όλες τις υπάρχουσες κεραίες του πλοίου. Πρέπει να αναφερθεί δε ότι οι εξοχές των συγκεκριμένων αλεξικέραυνων θα τηρούν τα γνωστά πρότυπα και έχουν προαναφερθεί.

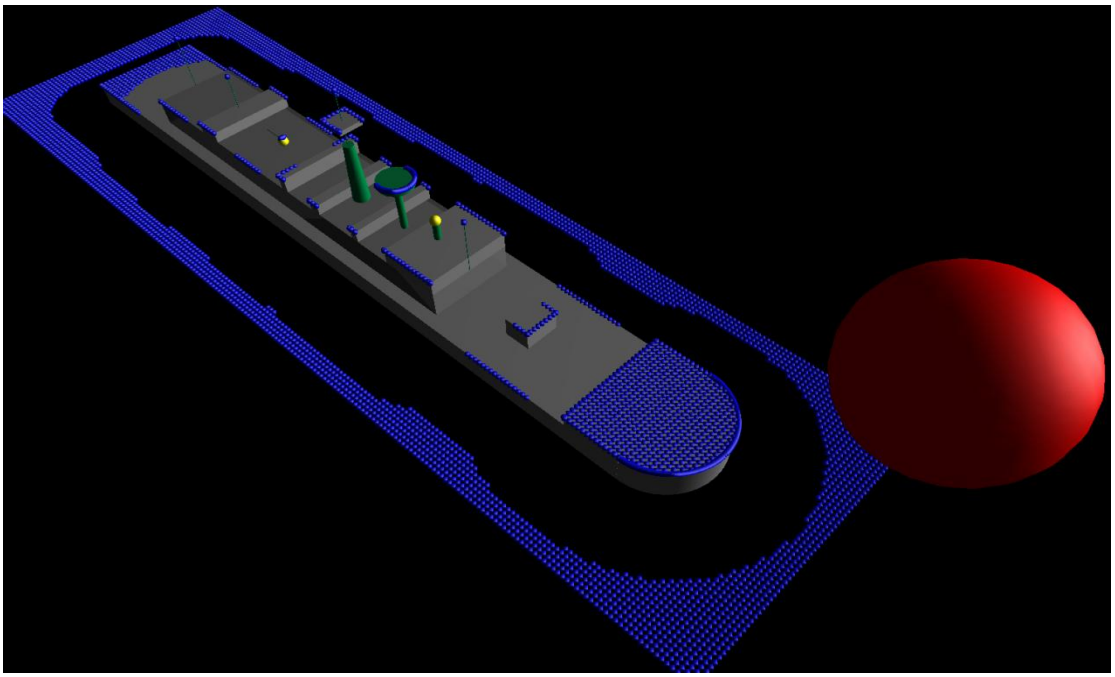
Στην συνέχεια παρουσιάζεται η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας μετά το πέρας των βελτιώσεων.



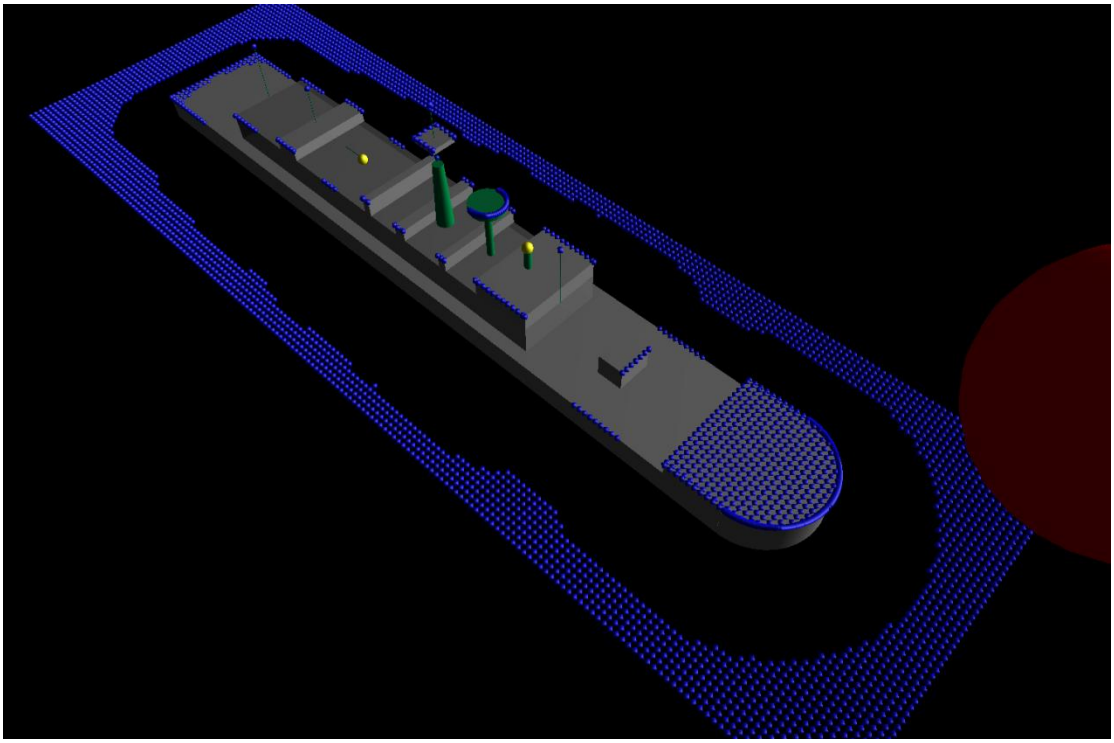
Εικόνα 5.47 : Βελτιωτική απεικόνιση του πλοίου κατά το πρότυπο IEEE με την προσαύξηση του ύψους όλων των κεραιών κατά 1 πόδι (ft), οι οποίες λειτουργούν ως ακίδες προστασίας για κατερχόμενο ρεύμα κεραυνού 3 kA.

Από την παραπάνω απεικόνιση παρατηρείται ότι υπάρχουν ακόμα προβλήματα στο πλοίο, τα οποία μπορούν να περιοριστούν με την προσθήκη επιπλέον κεραιών ή με την περεταίρω προσαύξηση του ύψους των ακίδων στις ήδη υπάρχουσες κεραίες. Ωστόσο αυτό δεν συνέβη διότι περιορίζεται η λειτουργικότητα του πλοίου και υπάρχει αρκετά μεγάλο κόστος. Τέλος, δεν κρίθηκε σκόπιμο να γίνει περαιτέρω βελτίωση διότι τα 3kA δεν είναι δυνατό να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα στο πλοίο, ενώ για τα 20 kA και άνω υπάρχει σχεδόν πλήρης κάλυψη και προστασία.

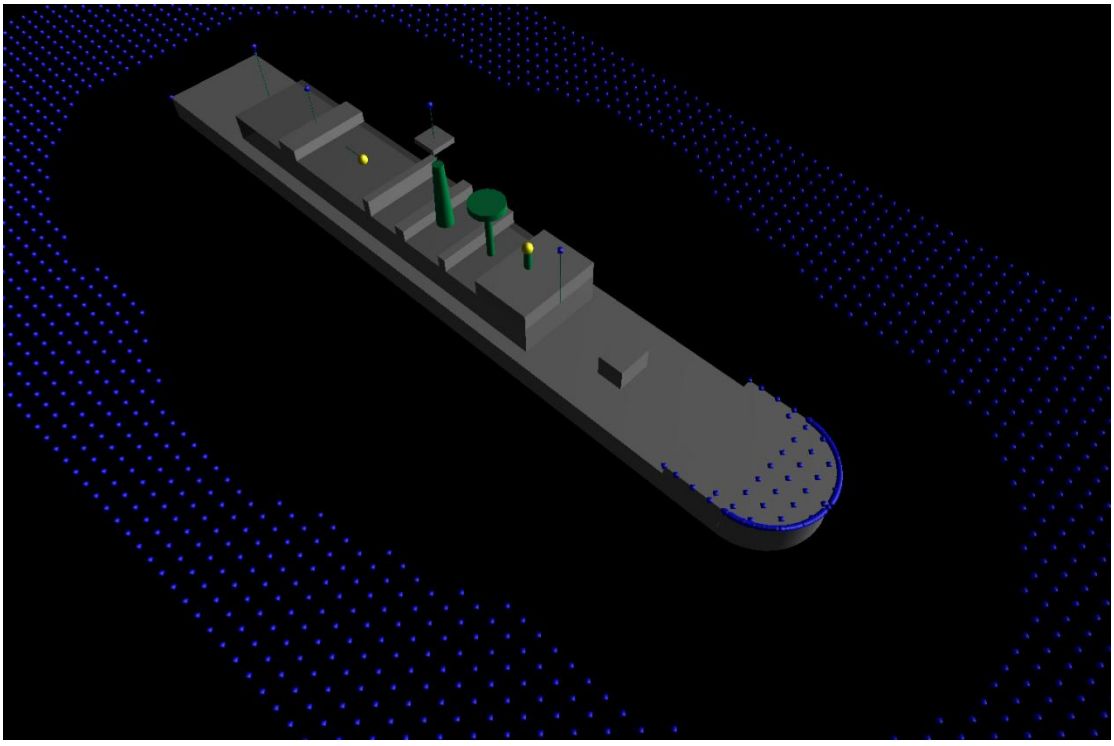
5.2.5 Φρεγάτα



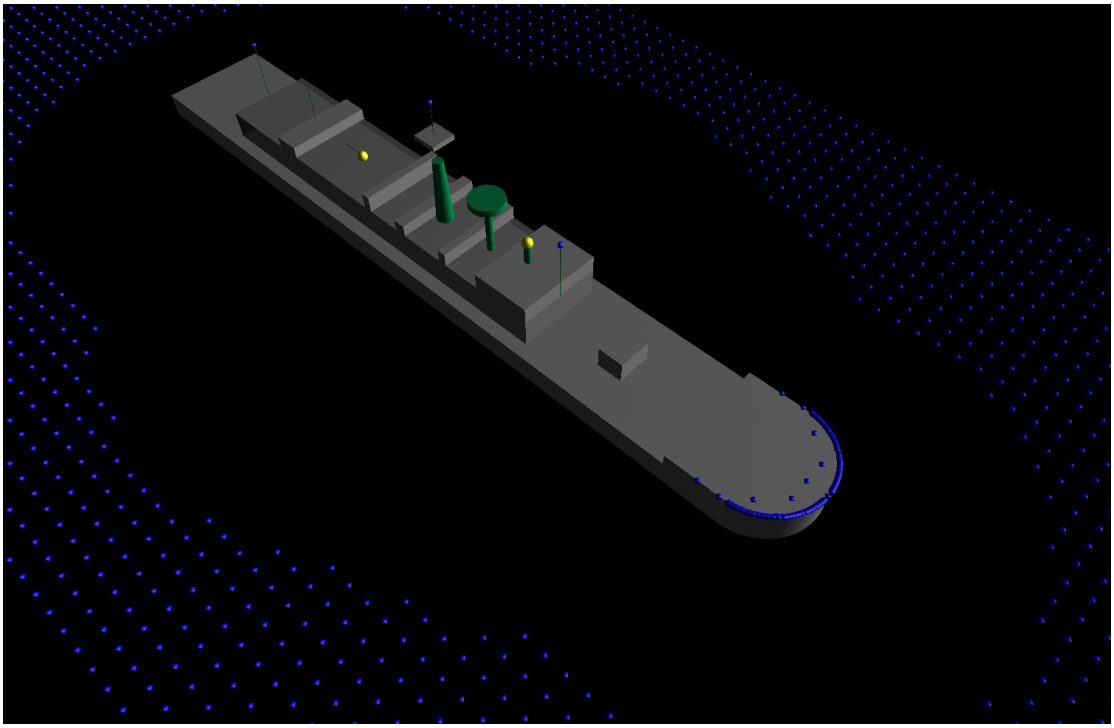
Εικόνα 5.48 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 3 kA κατά IEEE



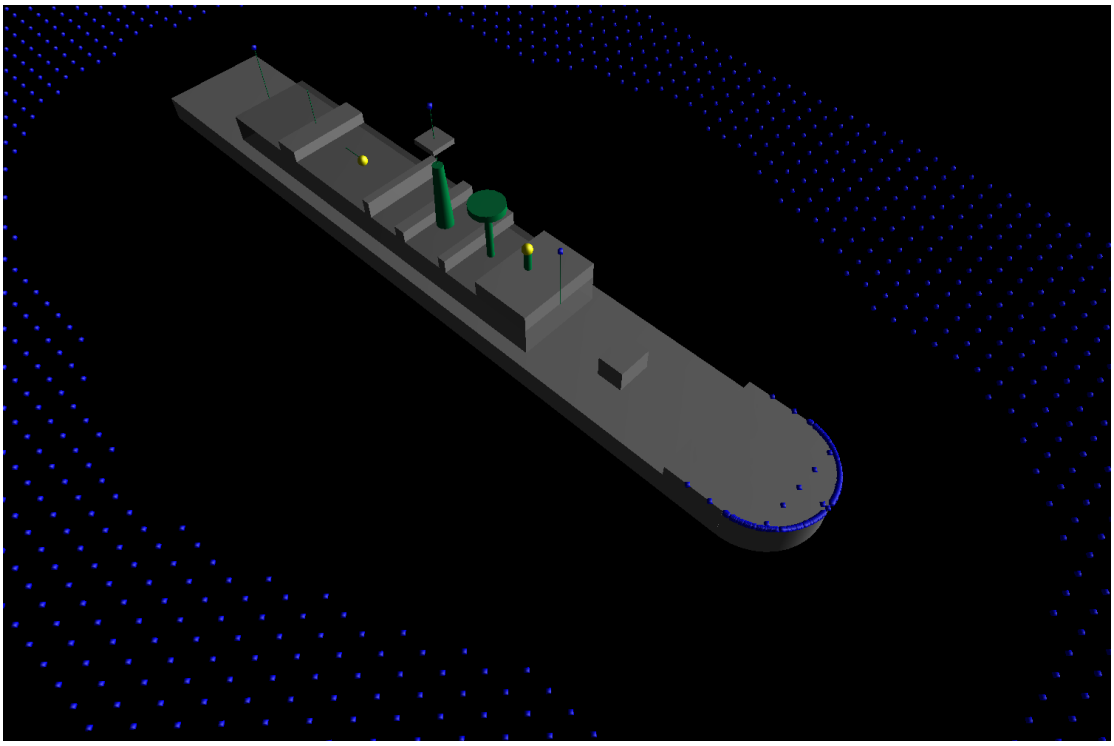
Εικόνα 5.49 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 3 kA κατά LOVE



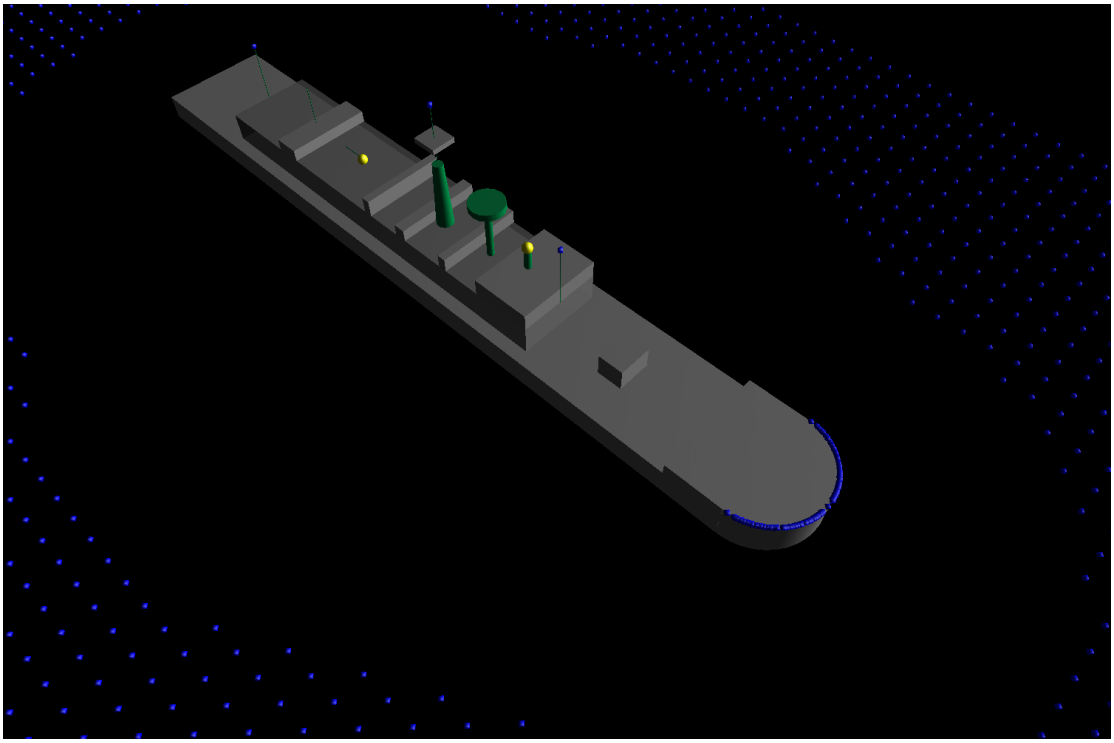
Εικόνα 5.49 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 20 kA κατά IEEE



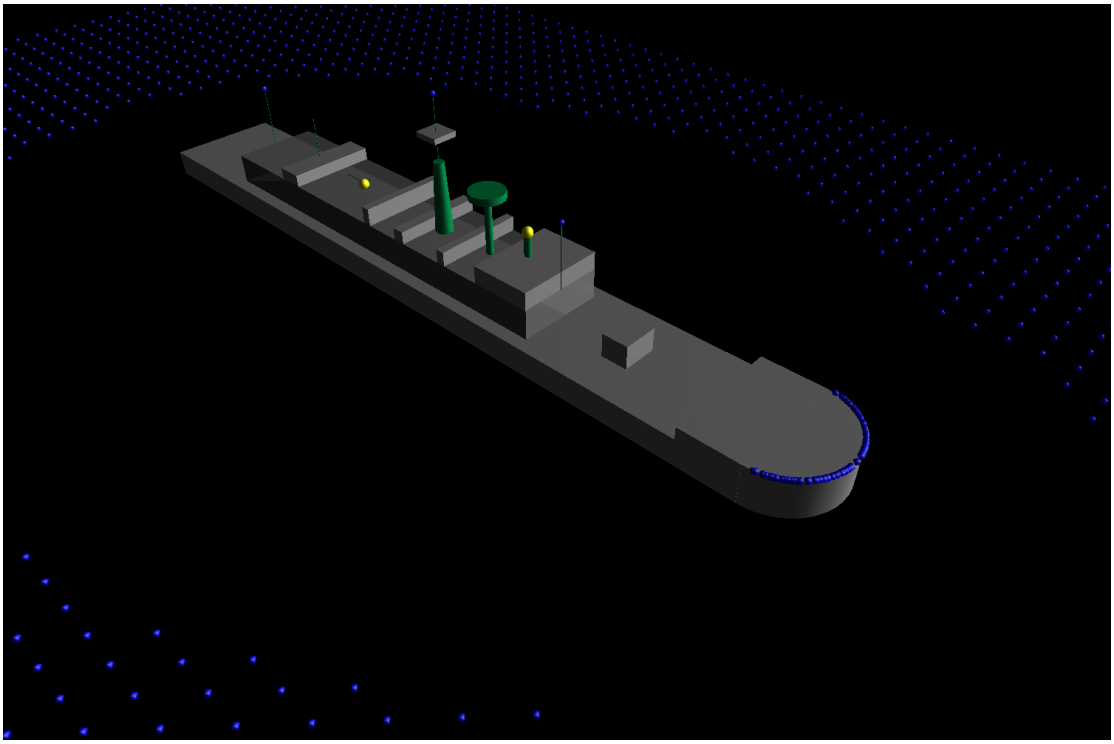
Εικόνα 5.50 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 20 kA κατά LOVE



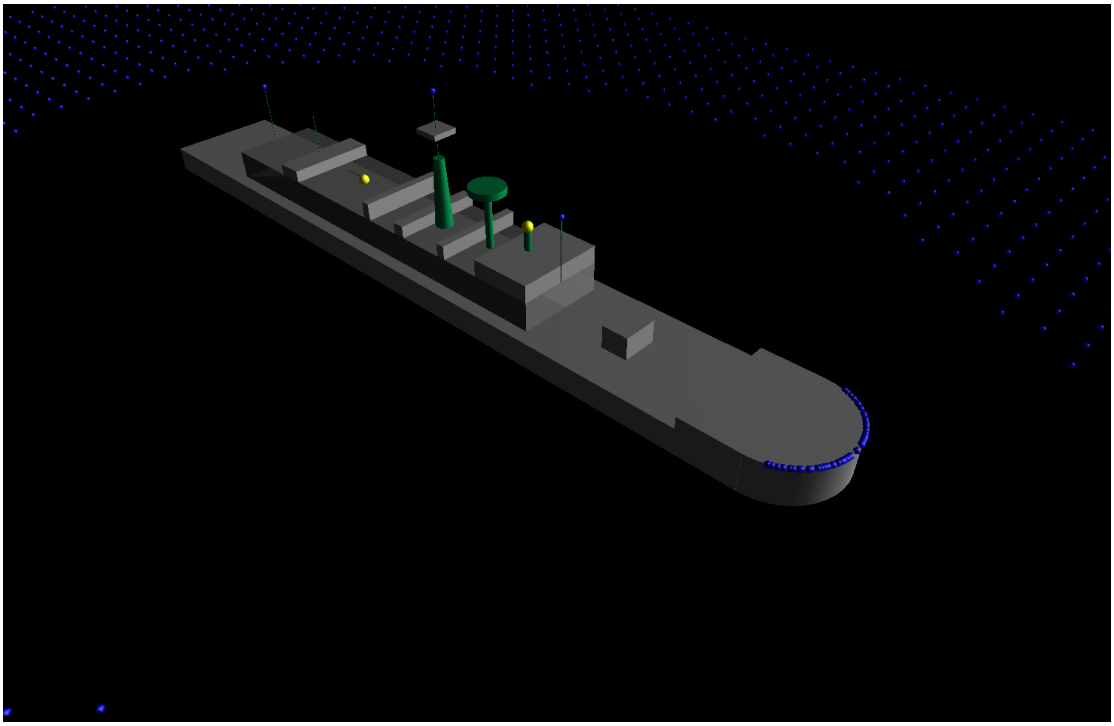
Εικόνα 5.51 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 30 kA κατά IEEE



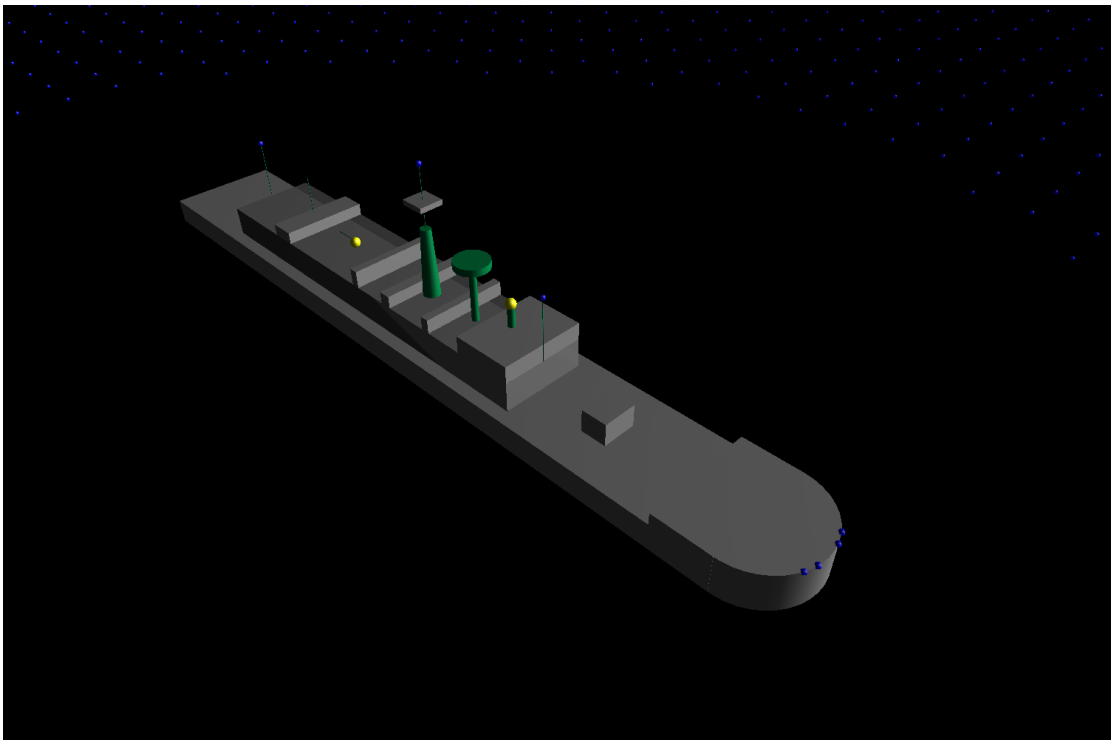
Εικόνα 5.52 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 30 kA κατά LOVE



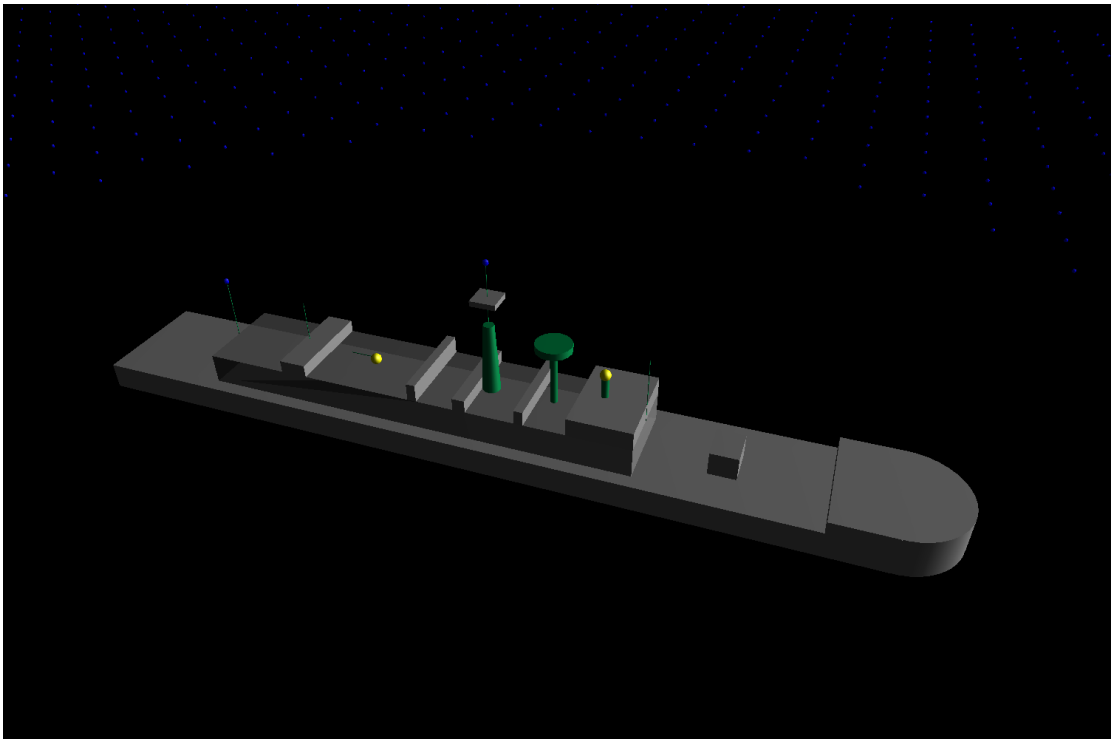
Εικόνα 5.53 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 50 kA κατά IEEE



Εικόνα 5.54 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 50 kA κατά LOVE



Εικόνα 5.55 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 200 kA κατά IEEE



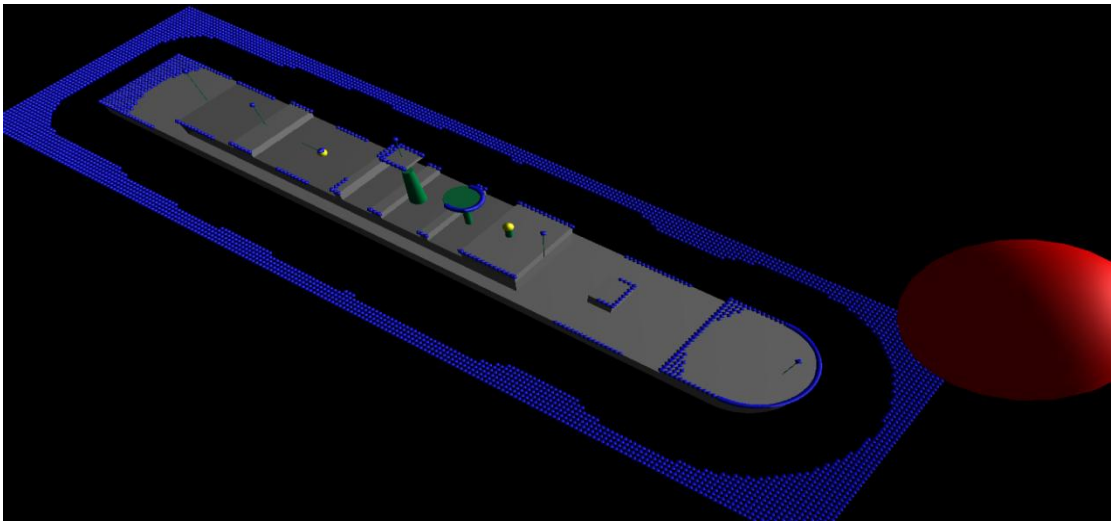
Εικόνα 5.56 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του αντιτορπιλικού για κεραυνικό ρεύμα 200 kA κατά LOVE

5.2.5.1 Συμπεράσματα

Στο συγκεκριμένο πλοίο παρατηρούμε ότι σε μικρά κατερχόμενα ρεύματα της τάξεως των 3 kA πολλά πιθανά σημεία πρόσπτωσης του κεραυνού. Για μεσαία κεραυνικά πλήγματα της τάξεως των 20 kA έως 50 kA υπάρχουν λιγότερα σημεία, ενώ στα 200 kA υπάρχει σχεδόν πλήρης προστασία. Ιδιαίτερα προβλήματα υπάρχουν στην πλώρη και στην πρύμνη του πλοίου, περιοχές όπου δεν υπάρχουν ακίδες προστασίας.

Βελτιώσεις

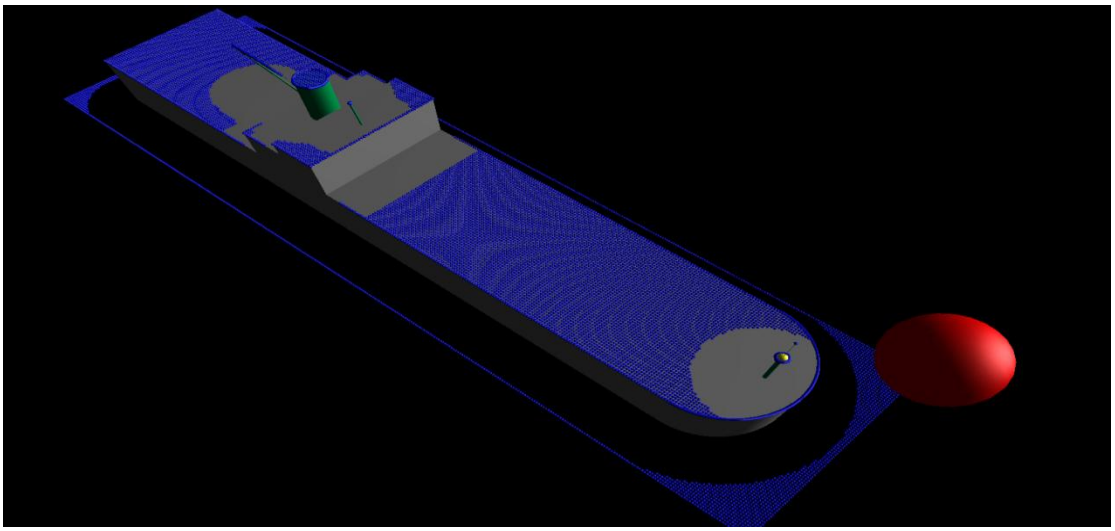
Βελτιωτικά θα ήταν δυνατόν να προστεθούν ακίδες προστασίας σε όλες τις κεραίες προκειμένου να επιτευχθεί πλήρης κάλυψη στα 3 kA. Πρέπει να αναφερθεί δε ότι οι εξοχές των συγκεκριμένων αλεξικέραυνων θα τηρούν τα γνωστά πρότυπα και έχουν προαναφερθεί. Θα μπορούσε επίσης να προστεθεί μια κεραία στην πλώρη του πλοίου. Η απεικόνιση αυτή παρουσιάζεται ενδεικτικά παρακάτω.



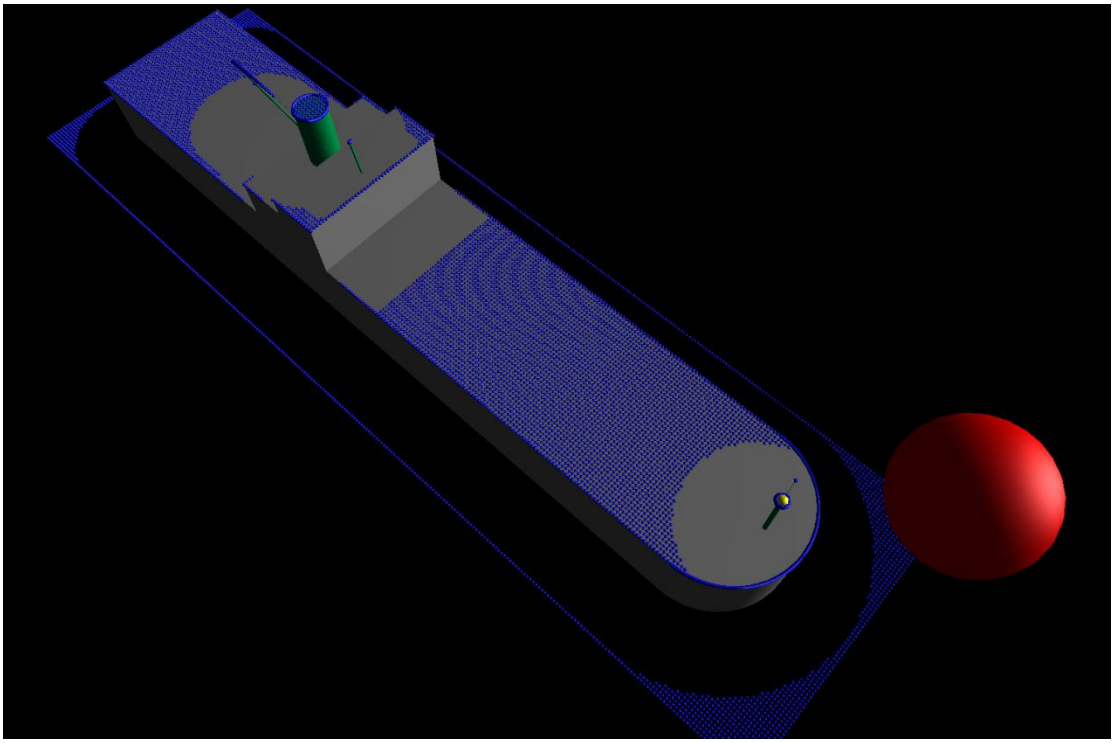
Εικόνα 5.57 : Βελτιωτική απεικόνιση του πλοίου κατά το πρότυπο IEEE με την προσαύξηση του ύψους όλων των κεραιών κατά 1 πόδι (ft), οι οποίες λειτουργούν ως ακίδες προστασίας για κατερχόμενο ρεύμα κεραυνού 3 kA. Επιπλέον, έχει προστεθεί μία κεραία στην πλώρη του πλοίου ύψους 31 ft.

Από την παραπάνω απεικόνιση παρατηρείται μια αισθητή βελτίωση στην πλώρη του πλοίου. Είναι δυνατό να υπάρξει και περεταίρω βελτίωση, με την τοποθέτηση και άλλων κεραιών η την προσαύξηση του ύψους των ήδη υπαρχουσών, γεγονός που δεν κατέστη δυνατό να γίνει για λόγους κόστους και παρεμπόδισης των οπλικών συστημάτων του πλοίου.

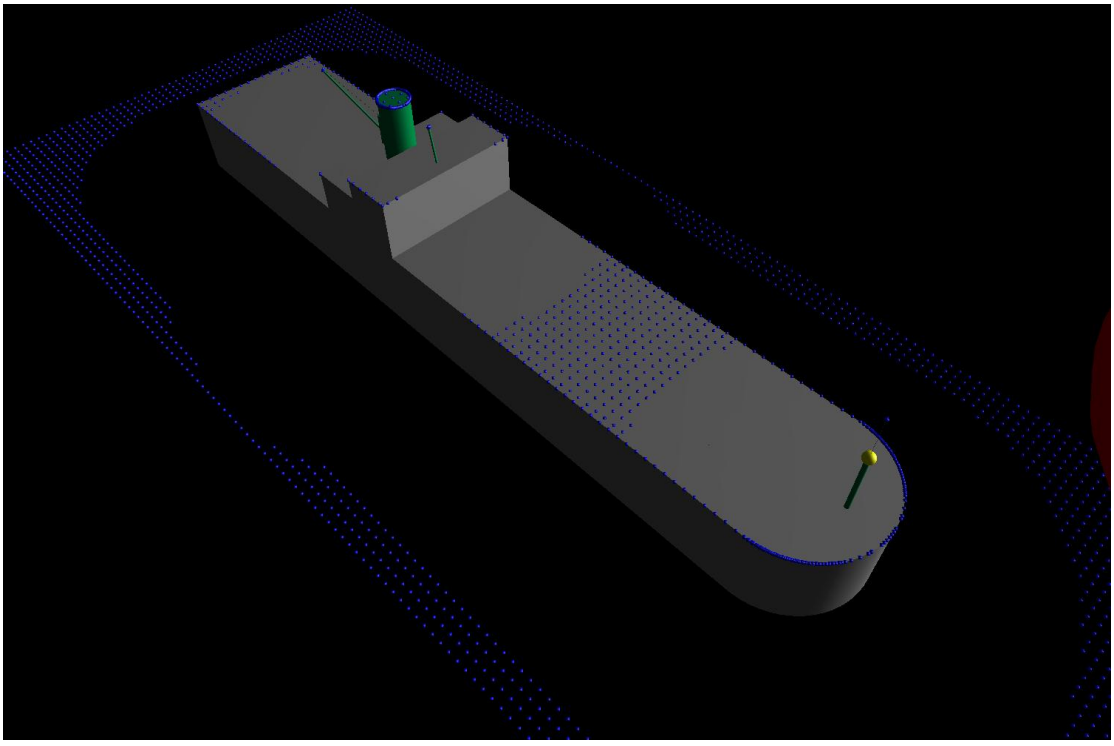
5.2.6 LNG Tanker



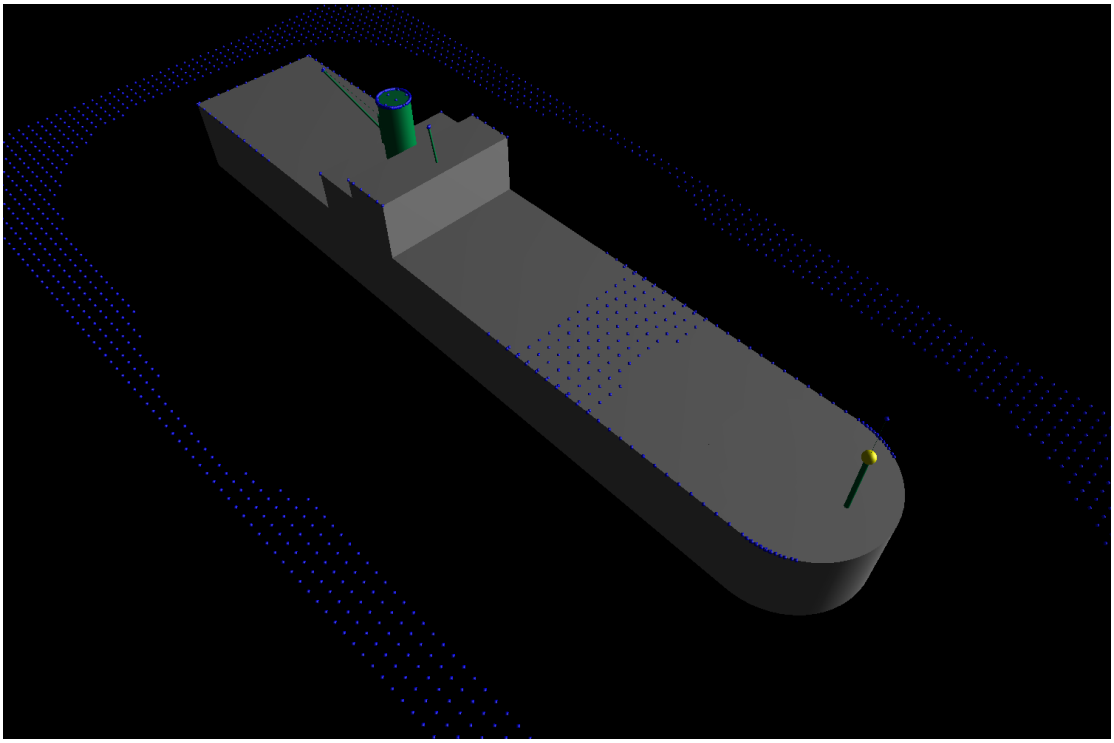
Εικόνα 5.58 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του LNG Tanker για κεραυνικό ρεύμα 3 kA κατά IEEE



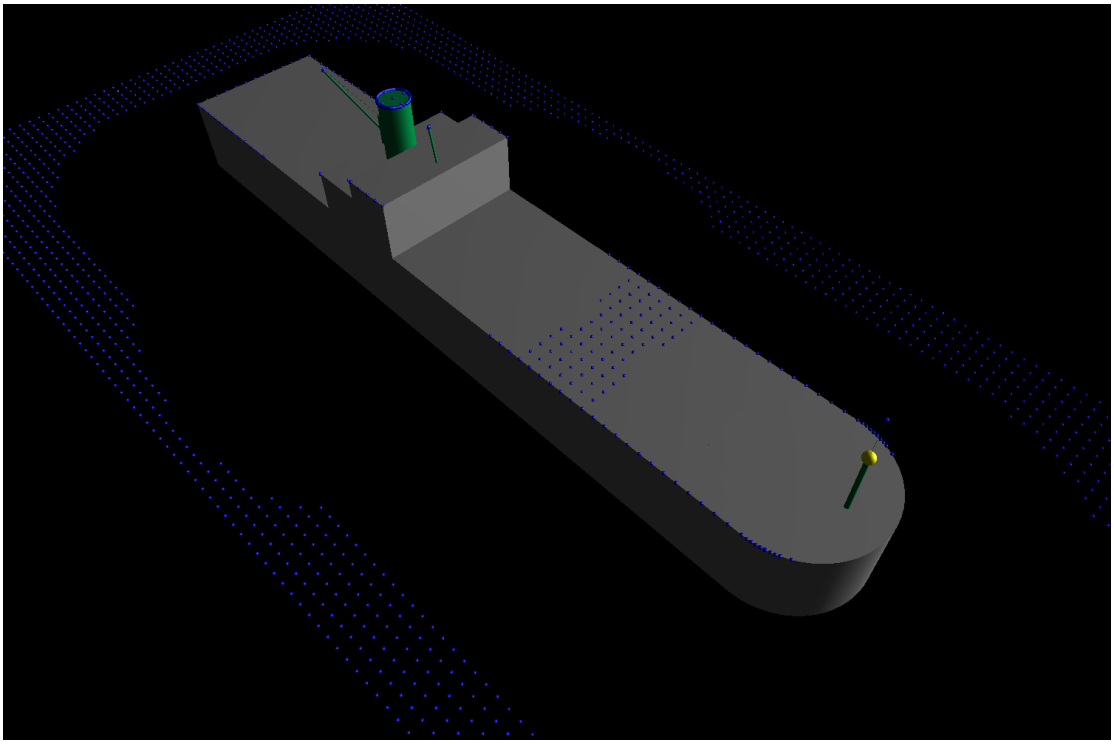
Εικόνα 5.59 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του LNG Tanker για κεραυνικό ρεύμα 3 kA κατά LOVE



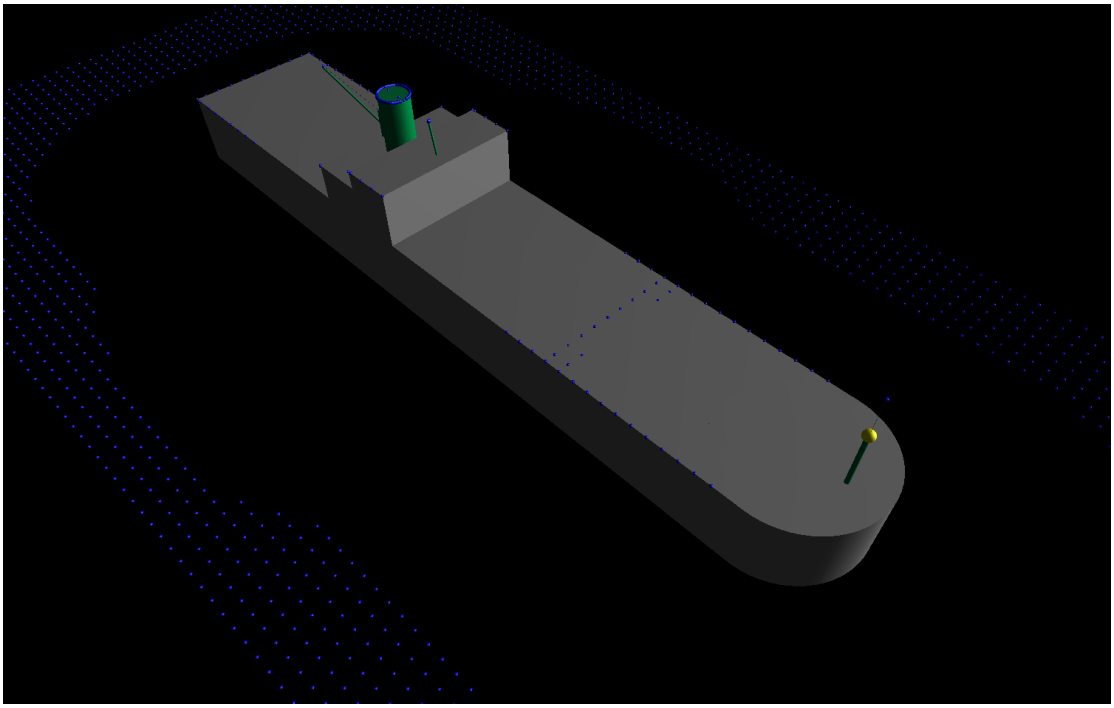
Εικόνα 5.60 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του LNG Tanker για κεραυνικό ρεύμα 20 kA κατά IEEE



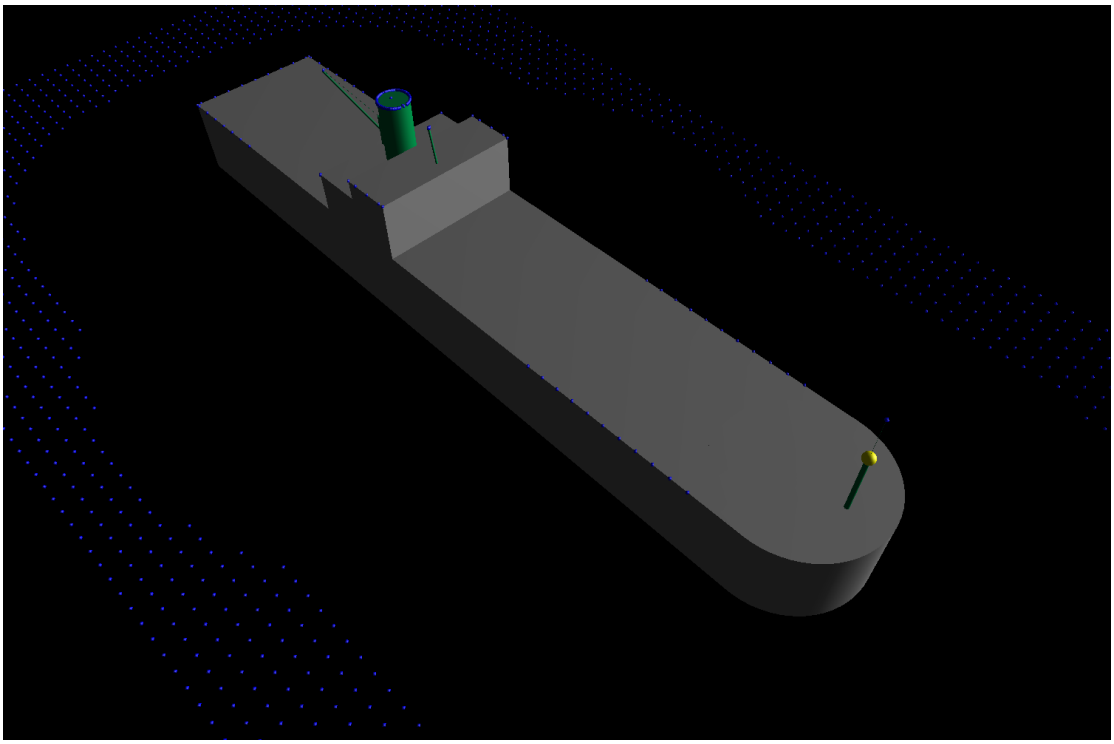
Εικόνα 5.61 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του LNG Tanker για κεραυνικό ρεύμα 20 kA κατά LOVE



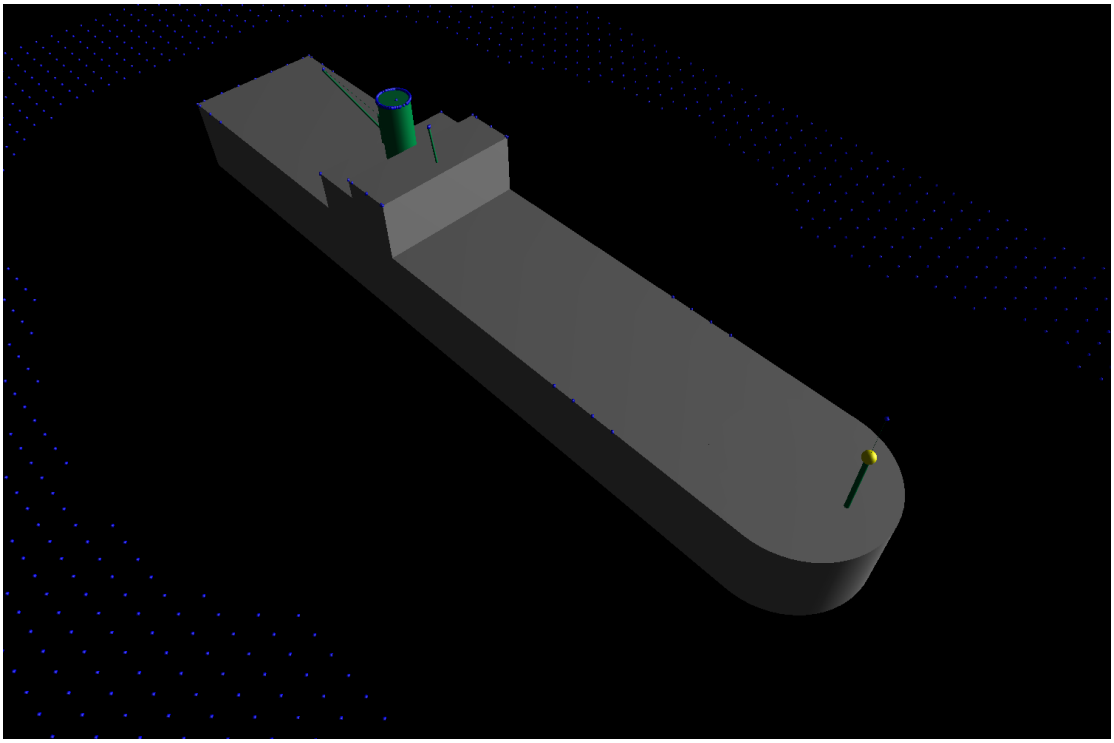
Εικόνα 5.62 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του LNG Tanker για κεραυνικό ρεύμα 30 kA κατά IEEE



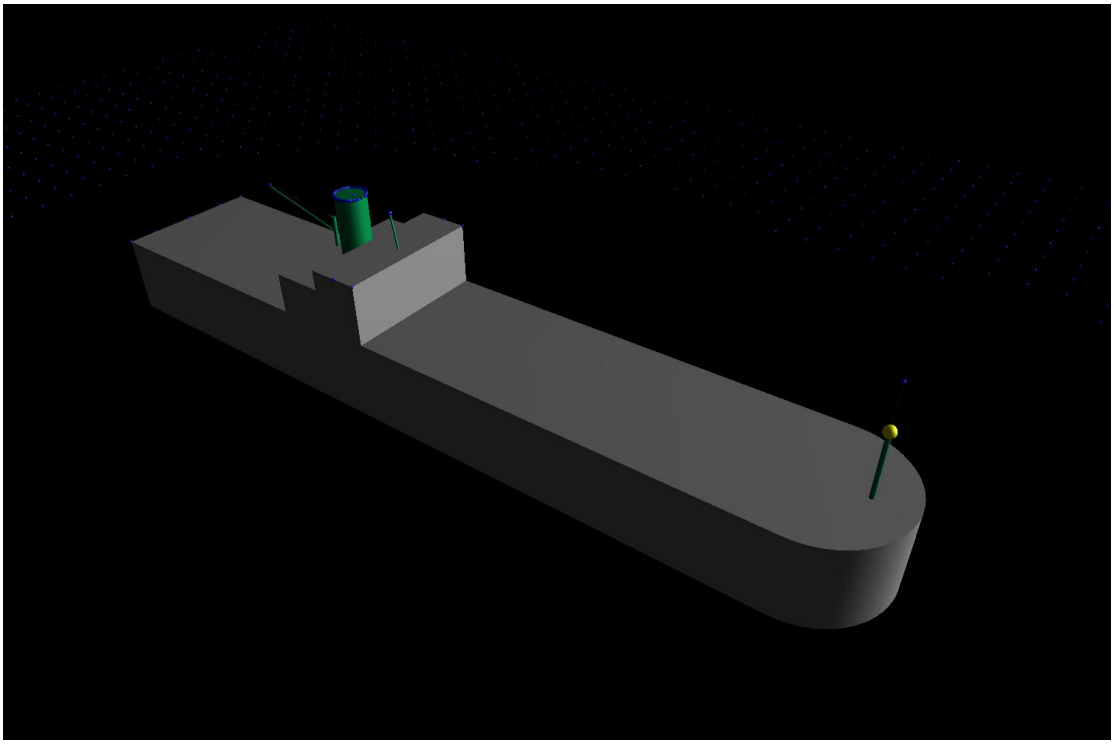
Εικόνα 5.63 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του LNG Tanker για κεραυνικό ρεύμα 30 kA κατά LOVE



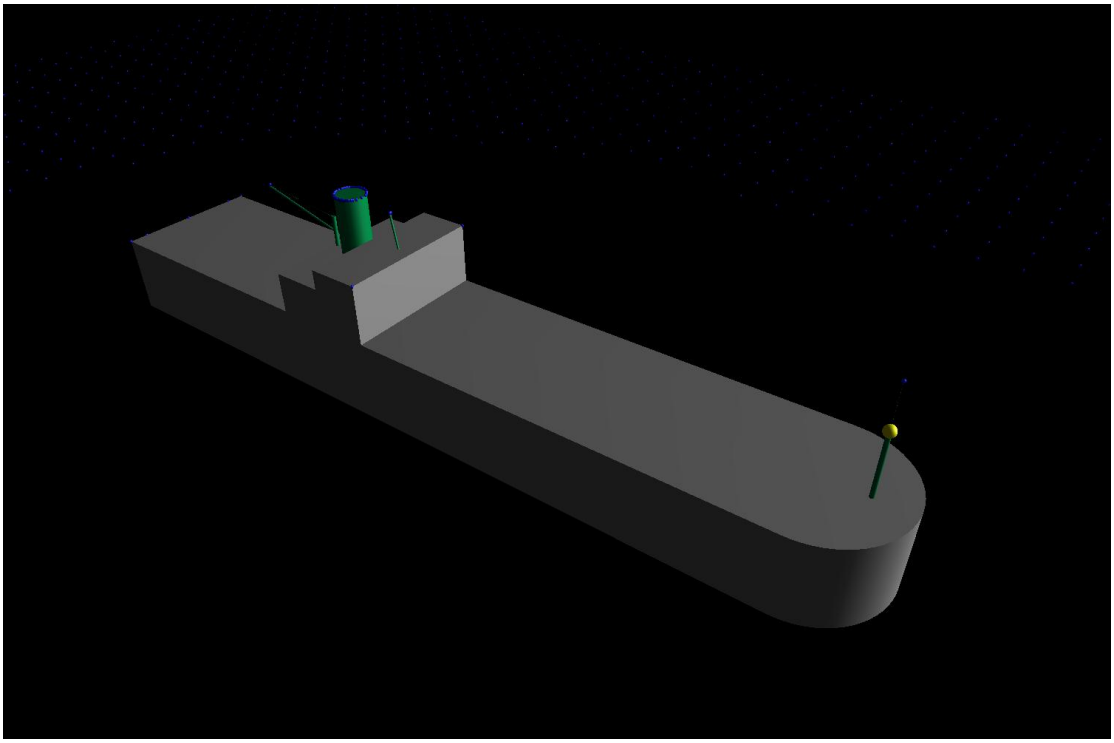
Εικόνα 5.64 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του LNG Tanker για κεραυνικό ρεύμα 50 kA κατά IEEE



Εικόνα 5.65 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του LNG Tanker για κεραυνικό ρεύμα 50 kA κατά LOVE



Εικόνα 5.66 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του LNG Tanker για κεραυνικό ρεύμα 200 kA κατά IEEE



Εικόνα 5.67 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του LNG Tanker για κεραυνικό ρεύμα 200 kA κατά LOVE

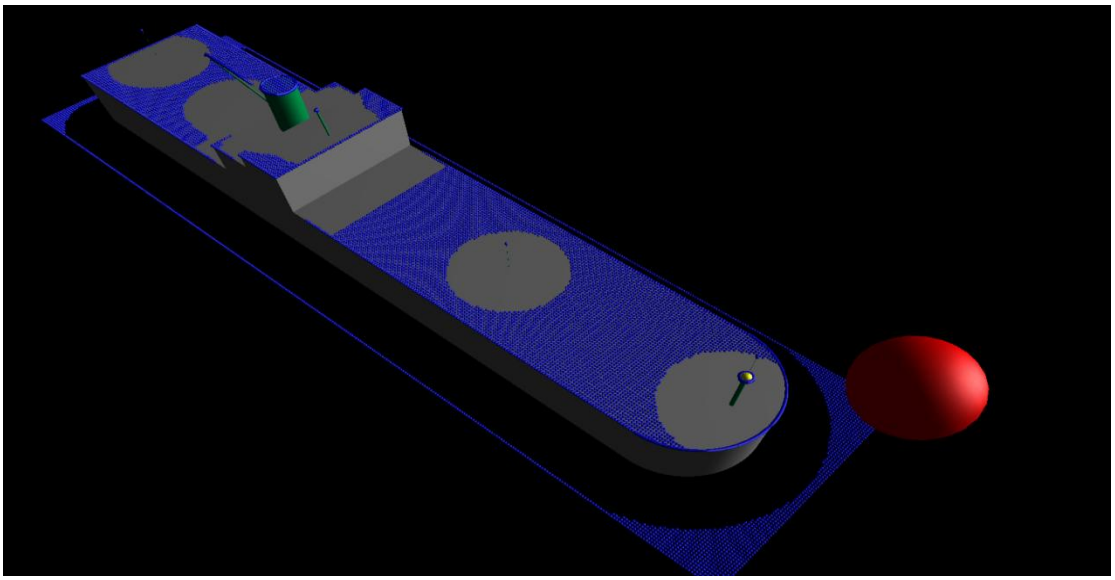
5.2.6.1 Συμπεράσματα

Από το παραπάνω πλοίο μπορούμε να συμπεράνουμε ότι υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να πληγεί από κάποιο κεραυνό ιδιαίτερα για κατερχόμενο οχετό έως 30 kA. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της μεγάλης επιφάνειας που δεν έχει κάποια γερανογέφυρα ή οποιαδήποτε κεραία η οποία θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως ακίδα προστασίας. Πλήρης κάλυψη παρατηρείται μόνο στα 200 kA.

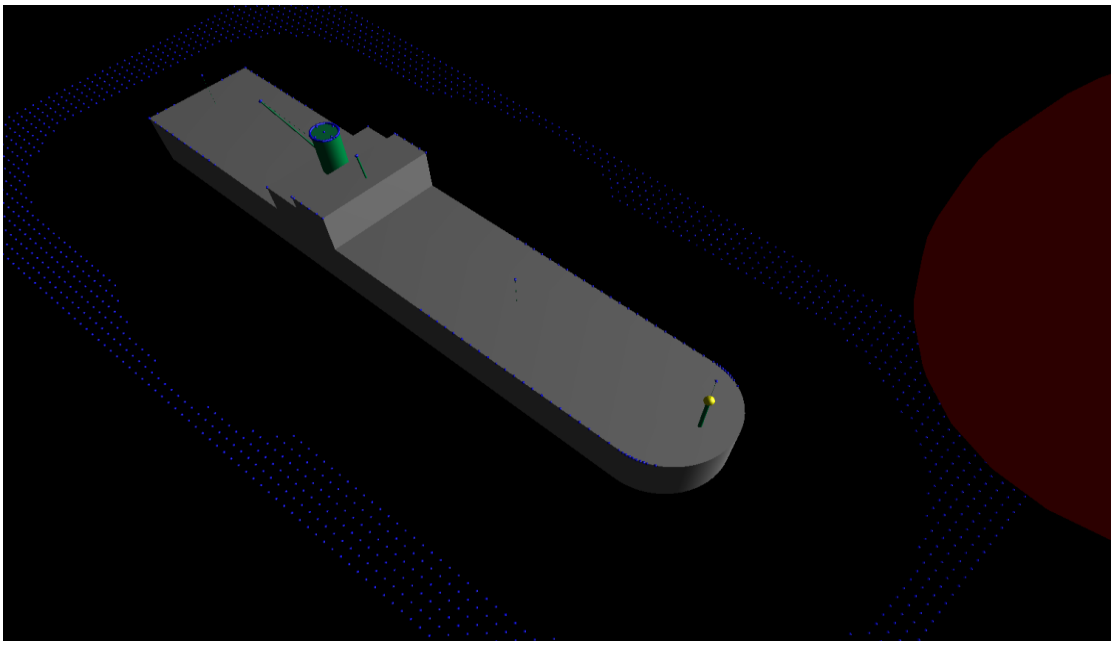
Βελτιώσεις

Βελτιωτικά θα μπορούσαμε να προτείνουμε κάποιες προσθήκες ακίδων προστασίας σε όλο το μήκος του πλοίου, χωρίς όμως αυτές να επηρεάζουν σημαντικά τη συνολική δομή του, καθώς τέτοιου είδους πλοία είναι με αυτόν τον τρόπο κατασκευασμένα έτσι ώστε να μεταφέρουν μεγάλα φορτία, όπως containers. Τέλος, είναι δυνατό να τοποθετηθεί ένας εναέριος αγωγός από την πλώρη μέχρι τη γέφυρα του πλοίου, ο οποίος δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να εμποδίζει τη λειτουργικότητα του πλοίου.

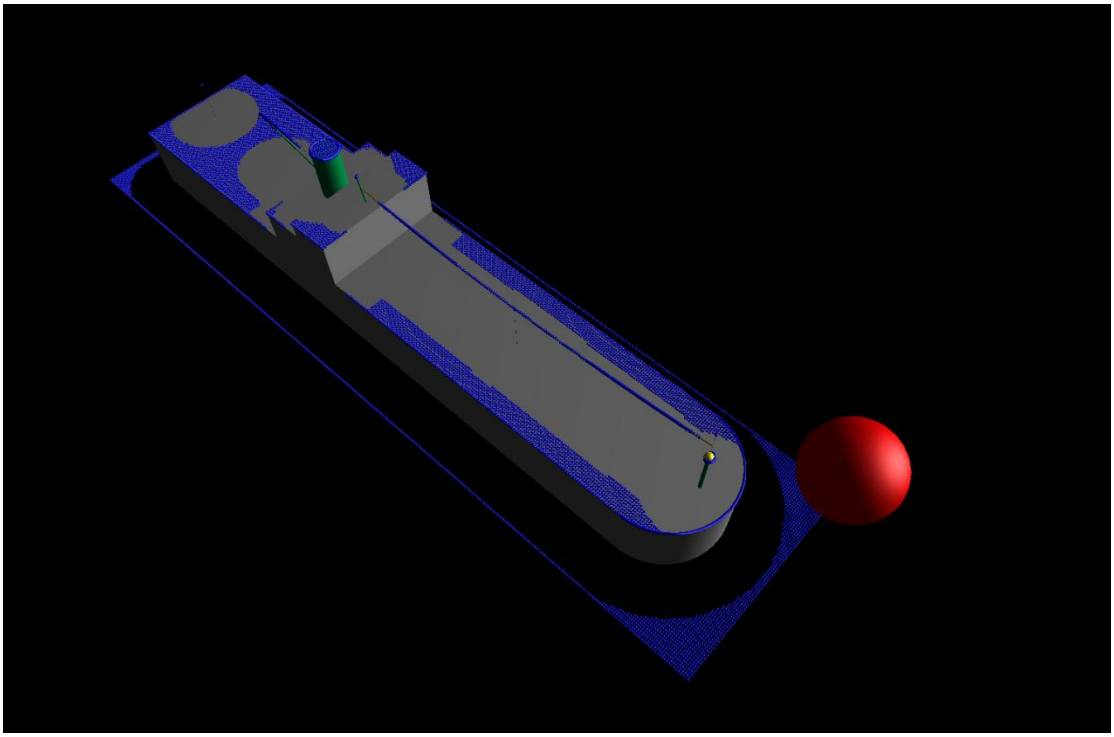
Στην συνέχεια παρουσιάζεται η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας μετά το πέρας των βελτιώσεων.



Εικόνα 5.68 : Βελτιωτική απεικόνιση του πλοίου κατά το πρότυπο IEEE με την προσθήκη δύο κεραιών (μία στην πρύμνη του πλοίου και μία στο μέσον του) ύψους 67 ft, οι οποίες λειτουργούν ως ακίδες προστασίας για κατερχόμενο ρεύμα κεραυνού 3 kA.



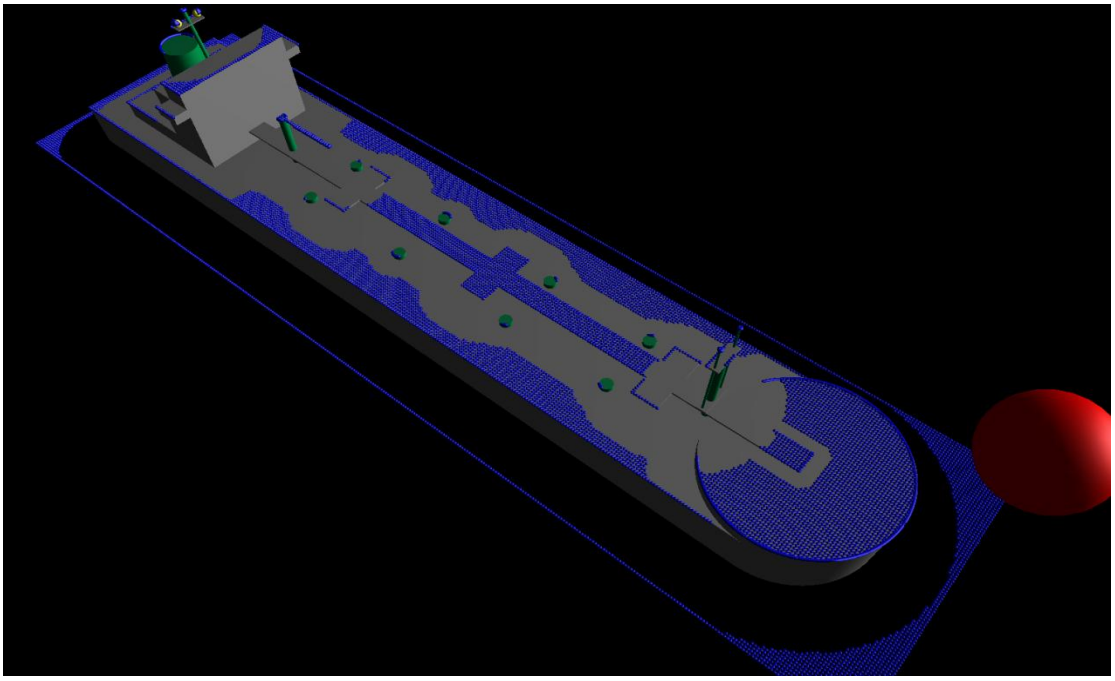
Εικόνα 5.69 : Βελτιωτική απεικόνιση του πλοίου κατά το πρότυπο IEEE με την προσθήκη δύο κεραιών (μία στην πρύμνη του πλοίου και μία στο μέσον του) ύψους 67 ft, οι οποίες λειτουργούν ως ακίδες προστασίας για κατερχόμενο ρεύμα κεραυνού 30 kA.



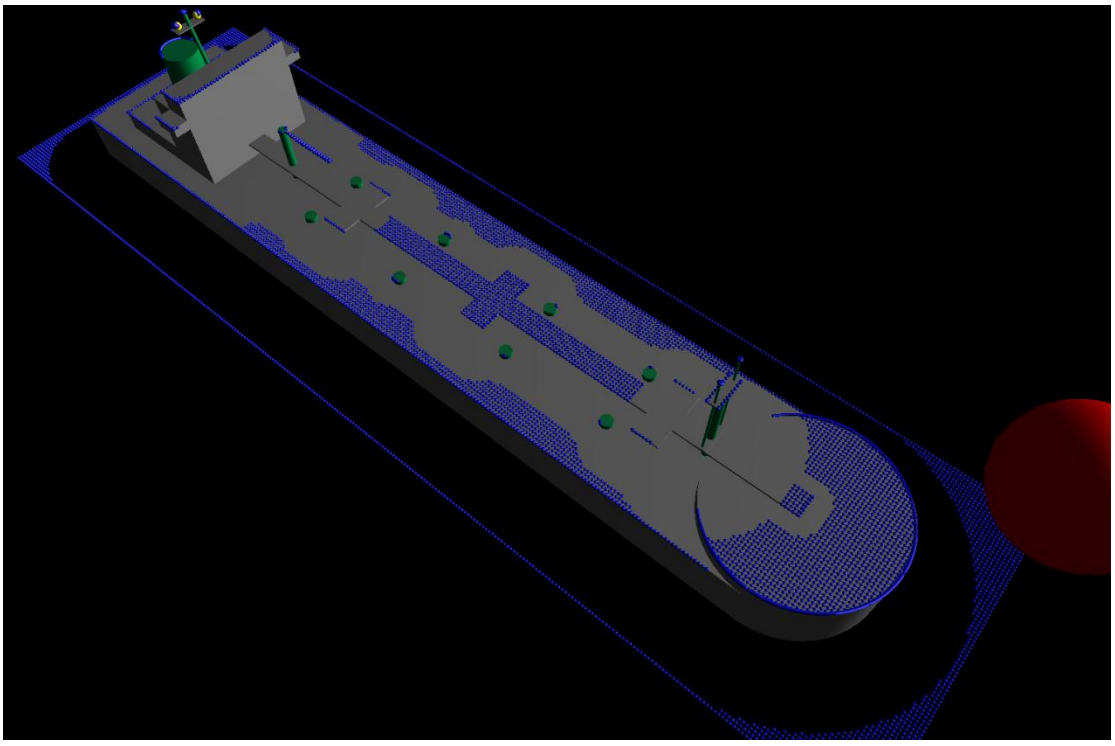
Εικόνα 5.70 : Βελτιωτική απεικόνιση του πλοίου κατά το πρότυπο IEEE με την προσθήκη ενός εναέριου αγωγού από την κορυφή της κεραίας της πλώρης μέχρι την κεραία της γέφυρας συνολικού μήκους 460 ft, η οποία λειτουργεί ως ακίδα προστασίας για κατερχόμενο ρεύμα κεραυνού 3 kA.

Από τις παραπάνω απεικονίσεις εξάγεται το συμπέρασμα ότι η τοποθέτηση των κεραιών βελτιώνει σημαντικά την προστασία του πλοίου. Συγκεκριμένα για κεραυνικό ρεύμα 30 kA παρατηρείται σχεδόν πλήρης προστασία. Επιπλέον, η τοποθέτηση του εναέριου αγωγού παρέχει πλήρη προστασία στο μέσον του πλοίου. Ωστόσο, αν και δεν υπάρχει πλήρης προστασία στο 3 kA ,δεν έγινε περεταίρω βελτίωση καθώς θεωρείται ότι δεν προκαλεί μεγάλα προβλήματα.

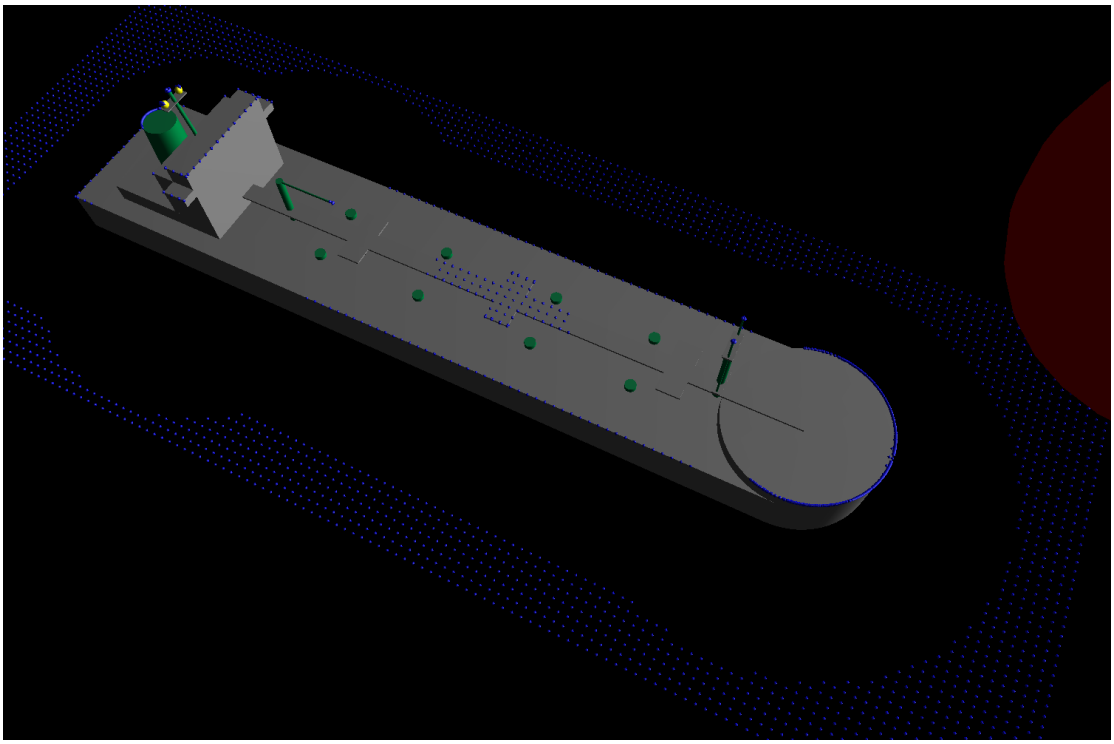
5.2.7 Πετρελαιοφόρο (oil tanker)



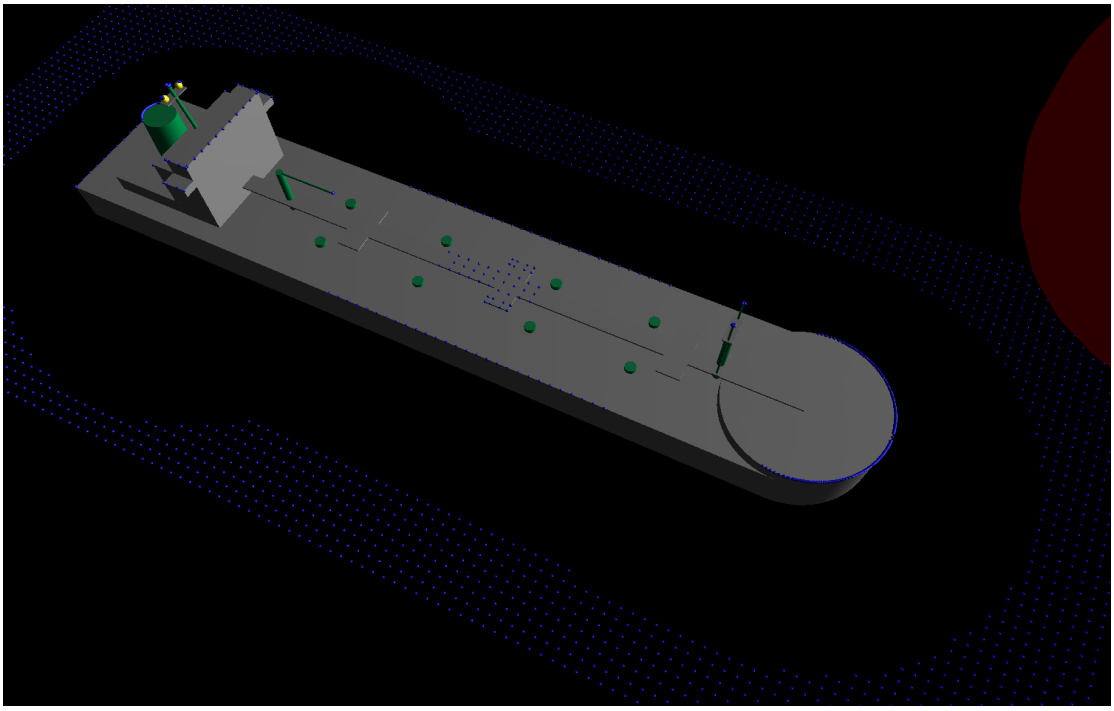
Εικόνα 5.71 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πετρελαιοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 3 kA κατά IEEE



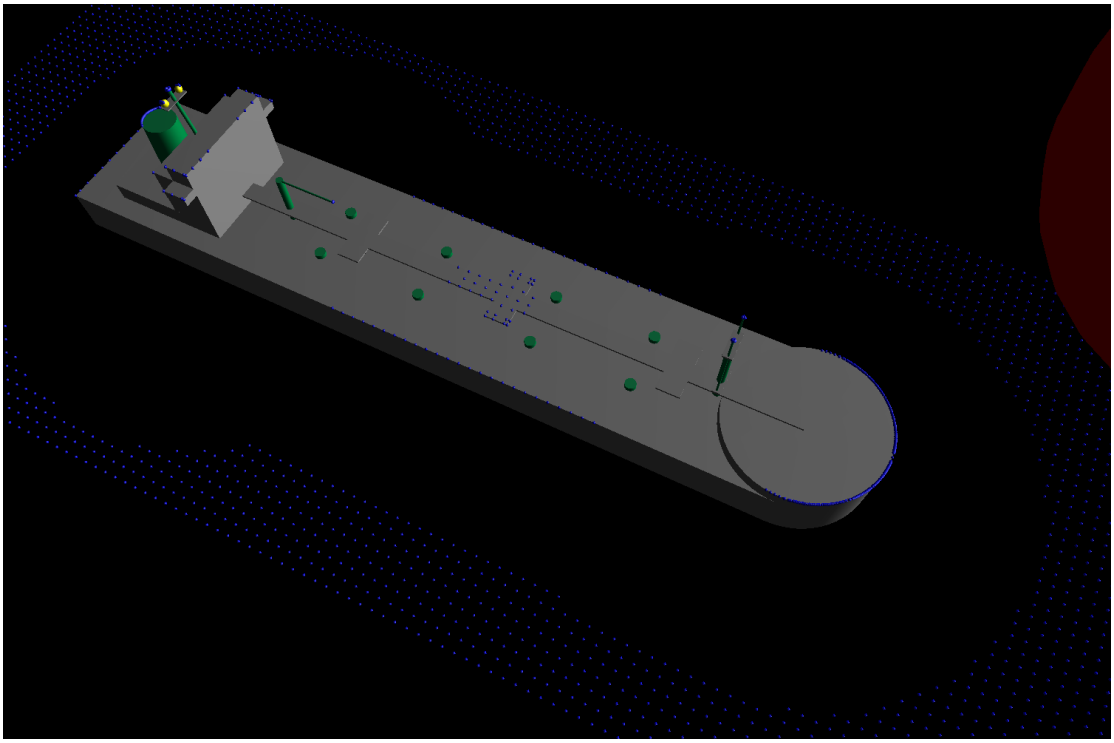
Εικόνα 5.72 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πετρελαιοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 3 kA κατά LOVE



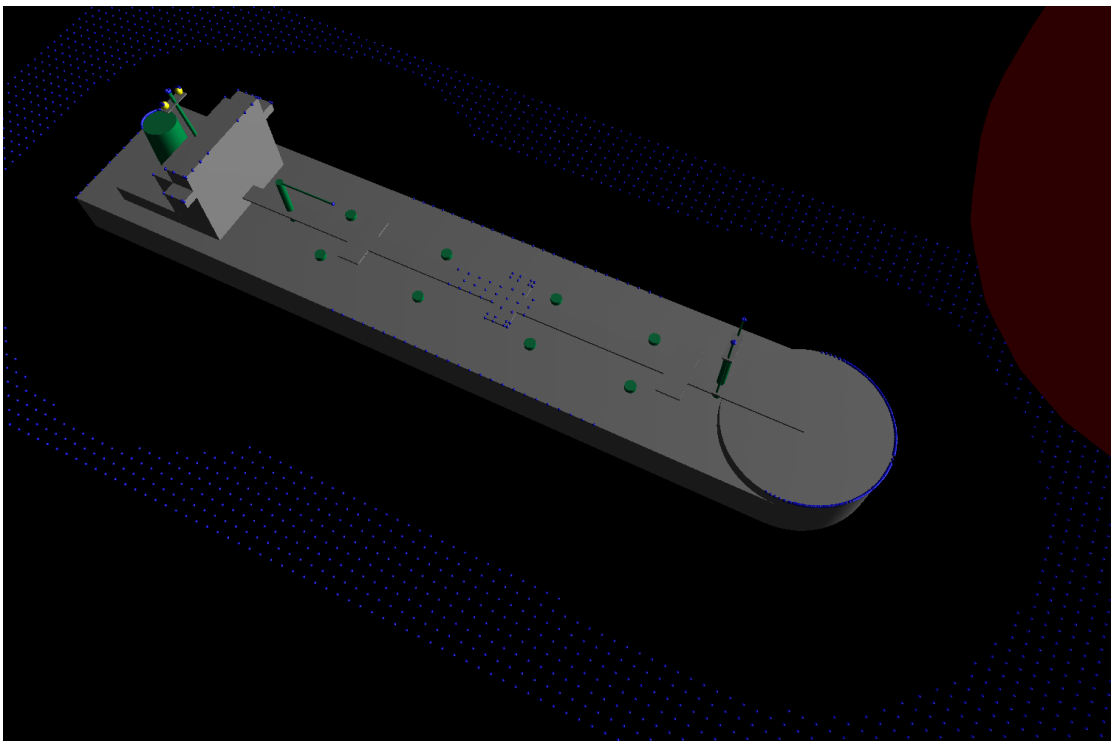
Εικόνα 5.73 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πετρελαιοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 20 kA κατά IEEE



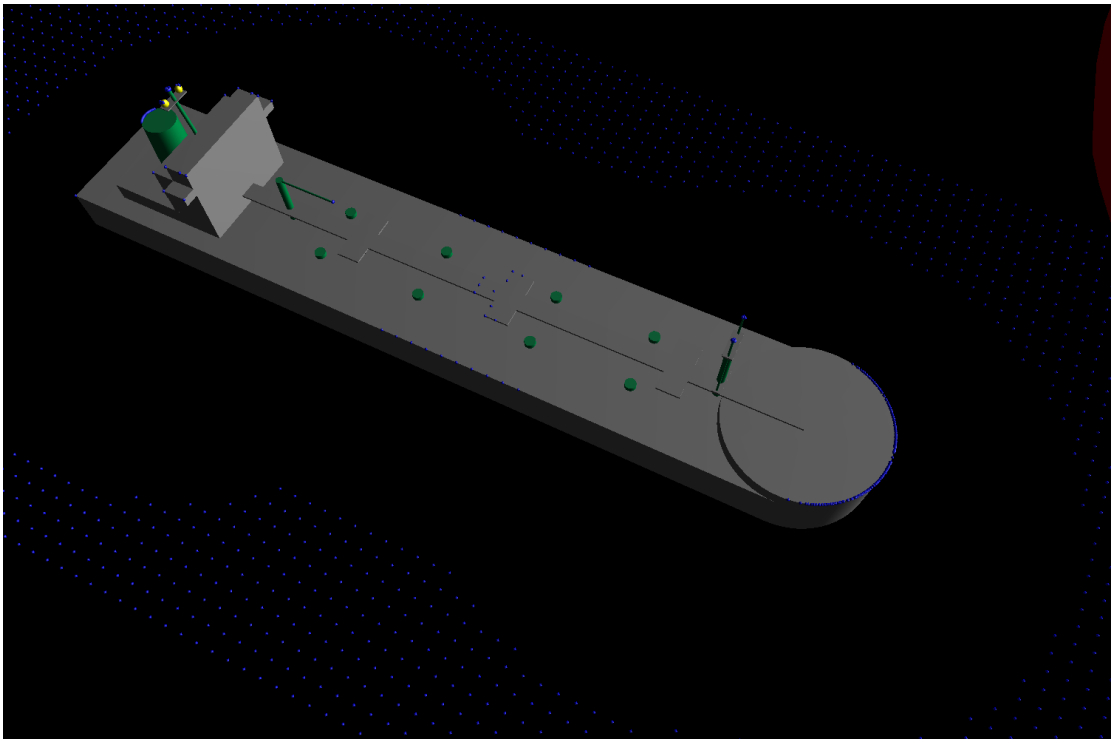
Εικόνα 5.74 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πετρελαιοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 20 kA κατά LOVE



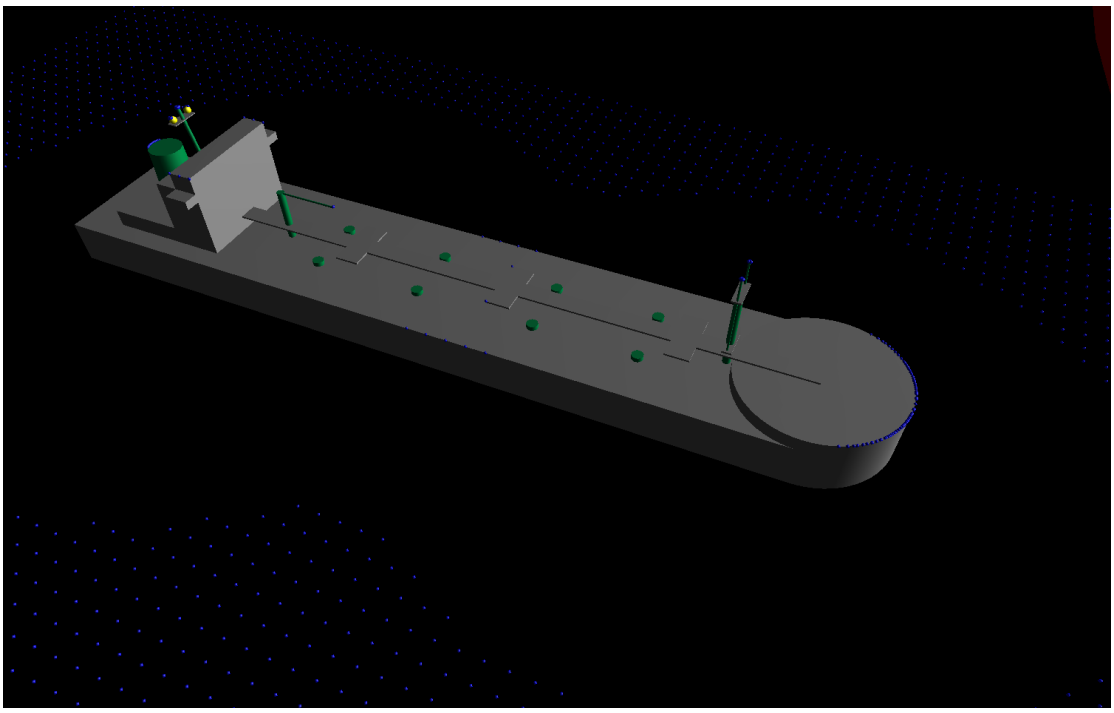
Εικόνα 5.75 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πετρελαιοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 30 kA κατά IEEE



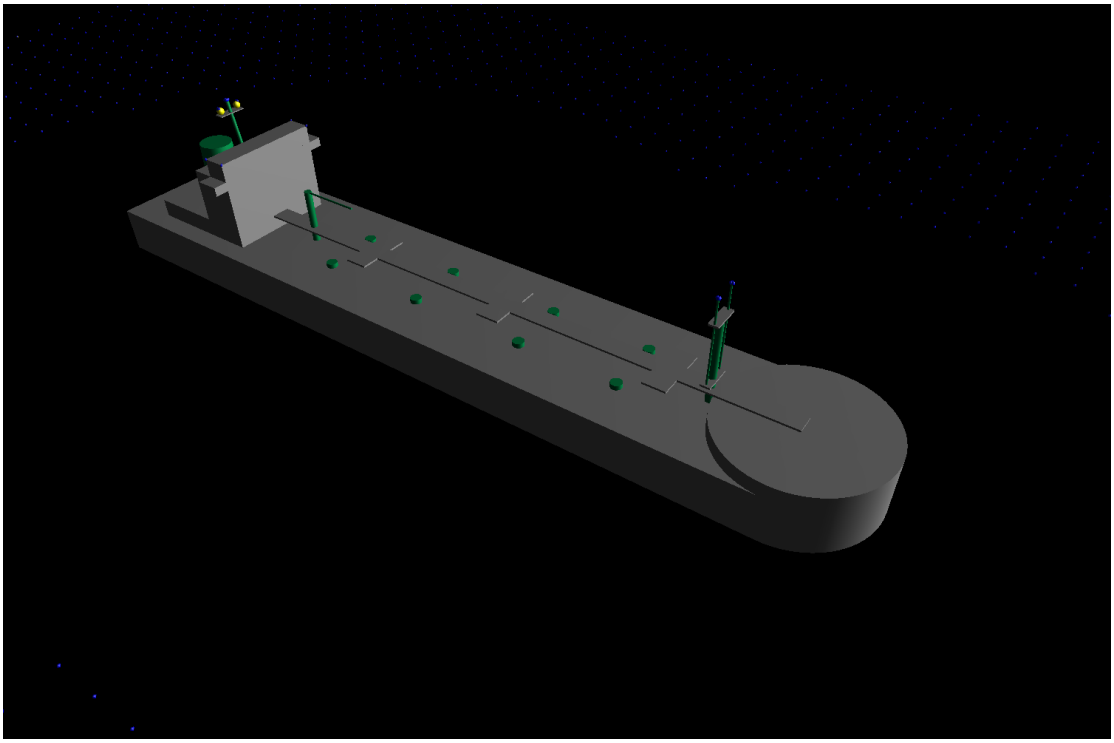
Εικόνα 5.76 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πετρελαιοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 30 kA κατά LOVE



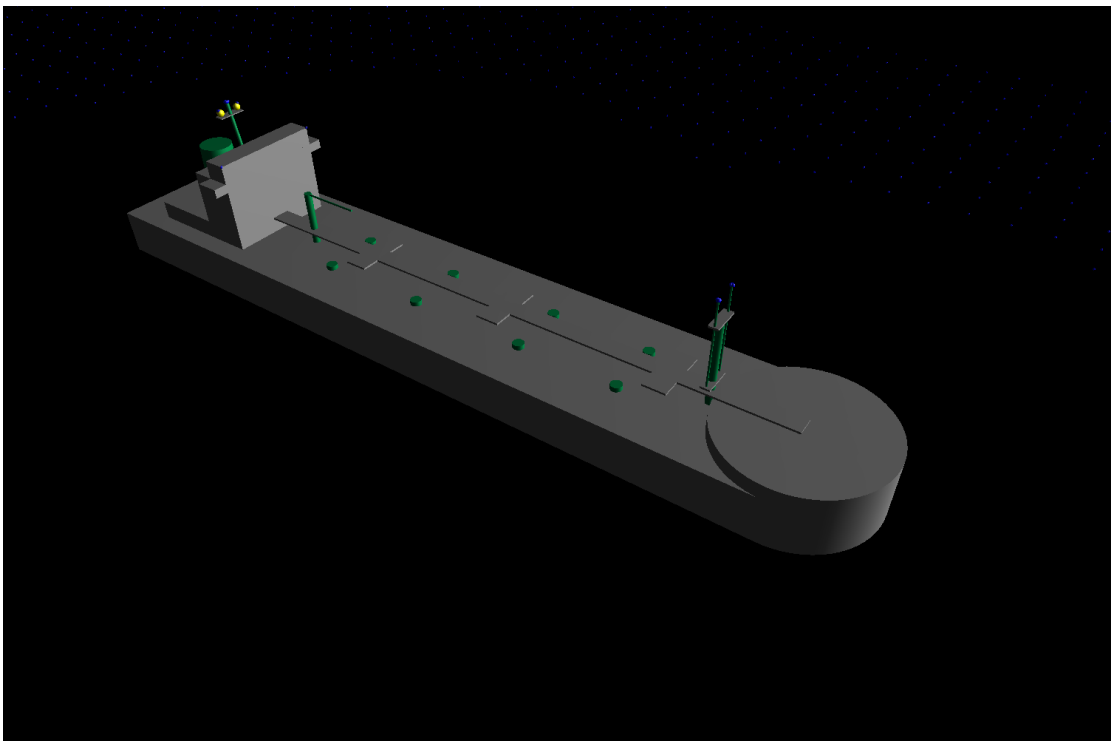
Εικόνα 5.77 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πετρελαιοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 50 kA κατά IEEE



Εικόνα 5.78 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πετρελαιοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 50 kA κατά LOVE



Εικόνα 5.79 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πετρελαιοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 200 kA κατά IEEE



Εικόνα 5.80 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του πετρελαιοφόρου για κεραυνικό ρεύμα 200 kA κατά LOVE

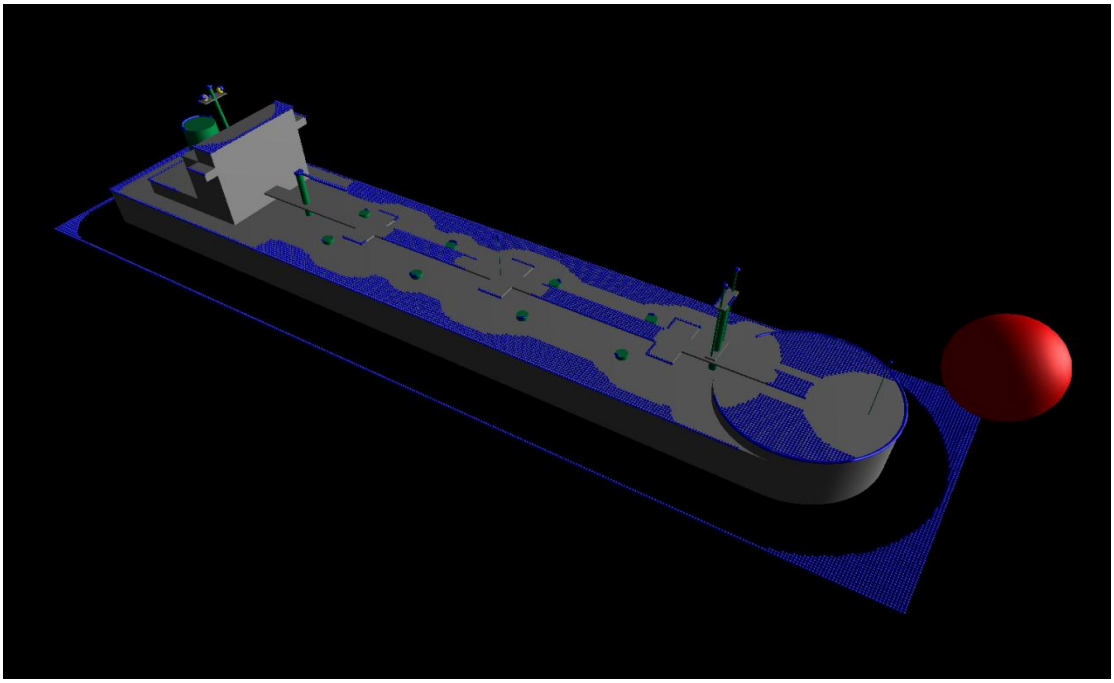
5.2.7.1 Συμπεράσματα

Από το παραπάνω πλοίο μπορούμε να συμπεράνουμε ότι υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να πληγεί από κάποιο κεραυνό ιδιαίτερα για κατερχόμενο οχετό έως 30 kA. Ο κίνδυνος αυτός περιορίζεται αρκετά για κεραυνικό ρεύμα της τάξεως των 50 kA, ενώ εξαλείφεται εντελώς στα 200 kA. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της μεγάλης επιφάνειας που δεν έχει κάποια γερανογέφυρα ή οποιαδήποτε κεραία η οποία θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως ακίδα προστασίας.

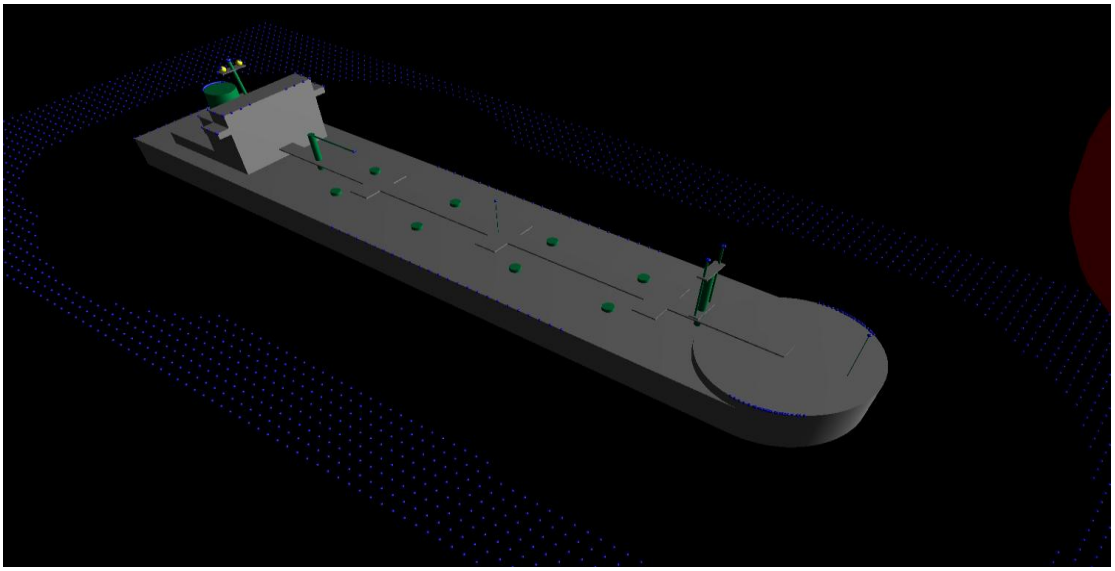
Βελτιώσεις

Βελτιωτικά θα μπορούσαμε να προτείνουμε κάποιες προσθήκες ακίδων προστασίας σε όλο το μήκος του πλοίου, χωρίς όμως αυτές να επηρεάζουν σημαντικά τη συνολική δομή του. Επιπροσθέτως, είναι δυνατό να τοποθετηθεί εναέριος αγωγός όπως σε προηγούμενα μοντέλα πλοίων.

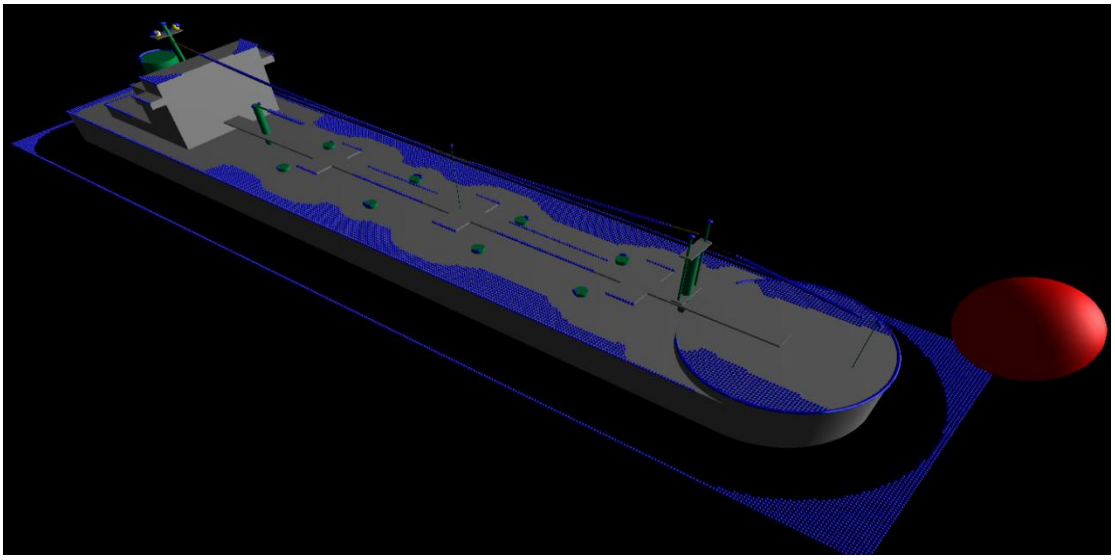
Στην συνέχεια παρουσιάζεται η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας μετά το πέρας των βελτιώσεων.



Εικόνα 5.81 : Βελτιωτική απεικόνιση του πλοίου κατά το πρότυπο IEEE με την προσθήκη δύο κεραιών (μία στην πλώρη του πλοίου και μία στο μέσον του) ύψους 70 ft, οι οποίες λειτουργούν ως ακίδες προστασίας για κατερχόμενο ρεύμα κεραυνού 3 kA.



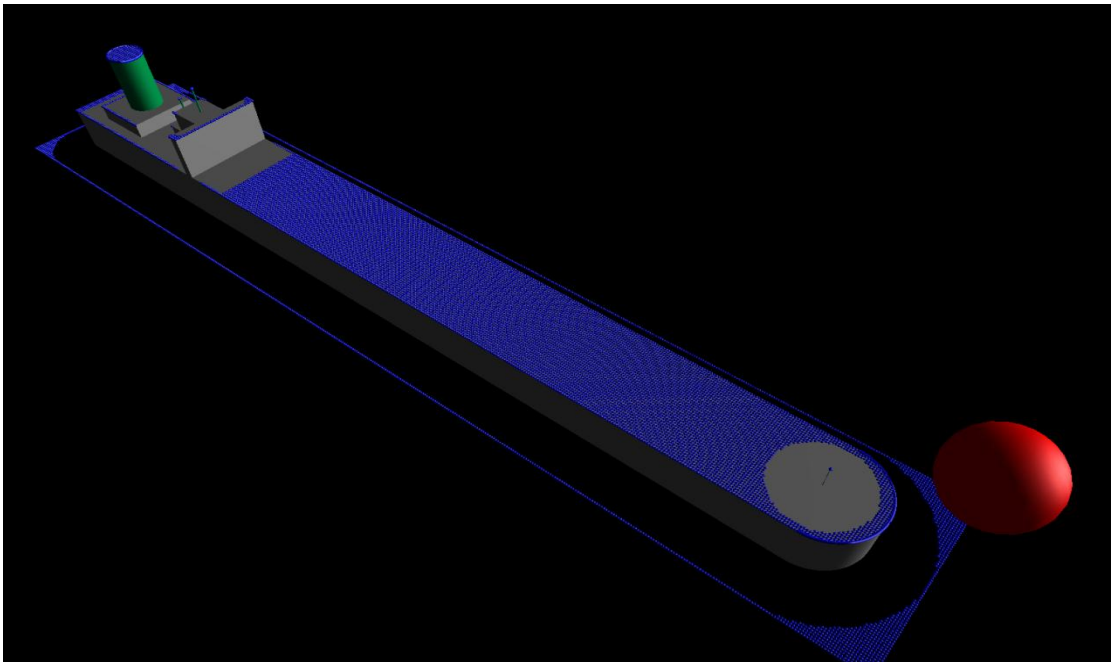
Εικόνα 5.82 : Βελτιωτική απεικόνιση του πλοίου κατά το πρότυπο IEEE με την προσθήκη δύο κεραιών (μία στην πρύμνη του πλοίου και μία στο μέσον του) ύψους 50 ft, οι οποίες λειτουργούν ως ακίδες προστασίας για κατερχόμενο ρεύμα κεραυνού 30 kA.



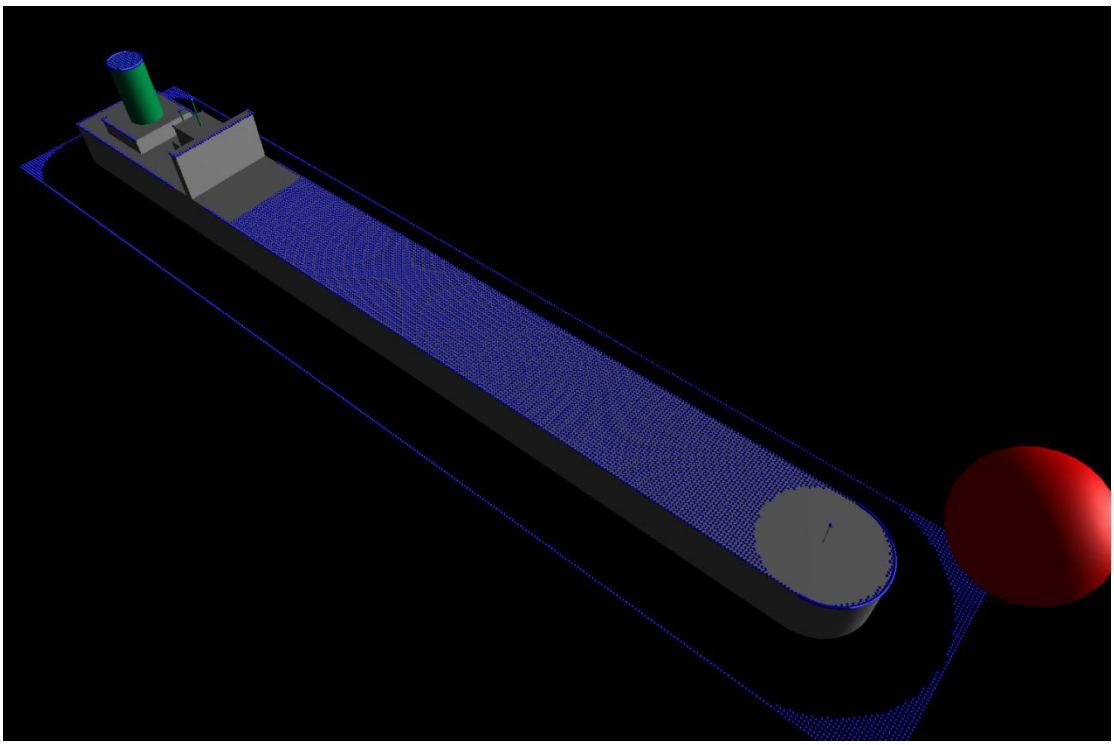
Εικόνα 5.83 : Βελτιωτική απεικόνιση του πλοίου κατά το πρότυπο IEEE με την προσθήκη ενός εναέριου αγωγού από την κεραία της πλώρης μέχρι την κεραία της γέφυρας συνολικού μήκους 600 ft, το οποίο λειτουργεί ως ακίδα προστασίας για κατερχόμενο ρεύμα κεραυνού 3 kA.

Από τις παραπάνω απεικονίσεις εξάγεται το συμπέρασμα ότι βελτιώνεται σημαντικά η προστασία του πλοίου. Ιδιαίτερα στα 30 kA παρατηρείται μια σχεδόν πλήρης προστασία. Επίσης, η τοποθέτηση του εναέριου αγωγού παρέχει πλήρη προστασία στο μέσον του πλοίου.

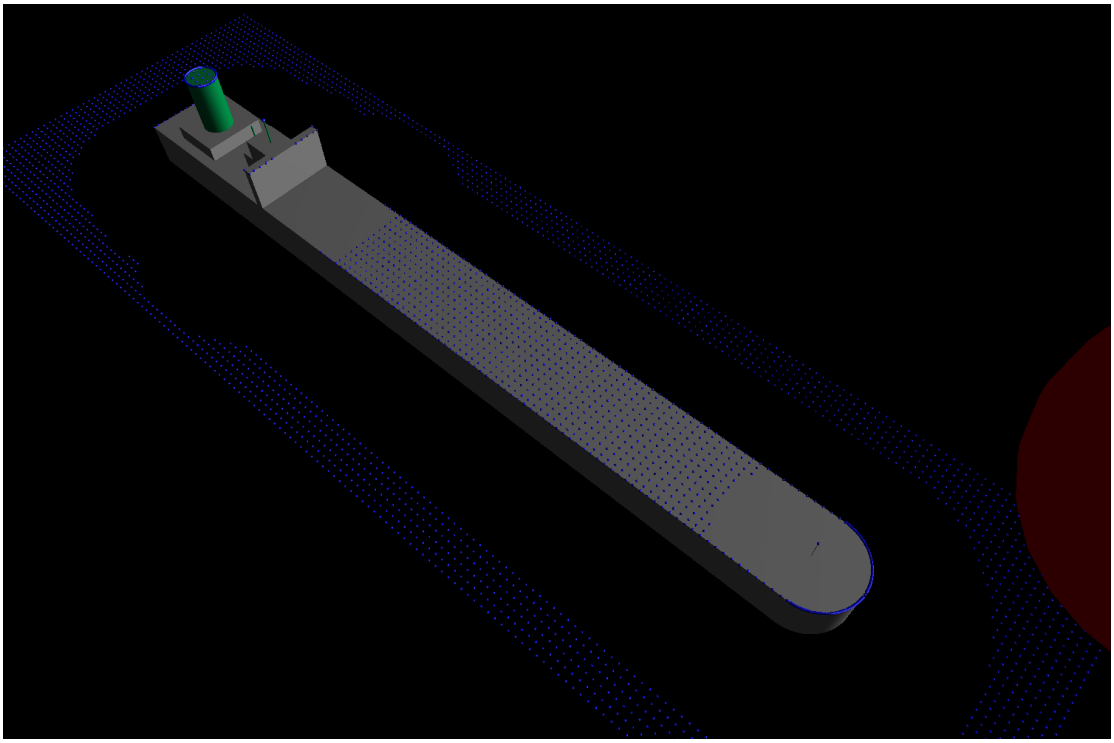
5.2.8 Tanker



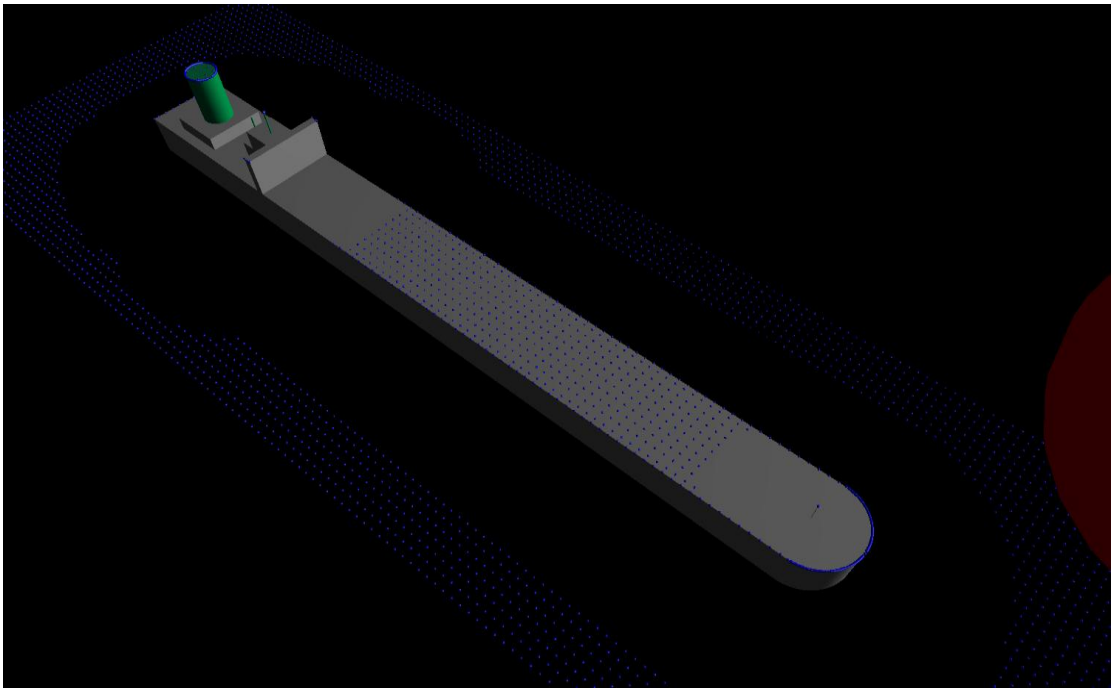
Εικόνα 5.84 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του tanker για κεραυνικό ρεύμα 3 kA κατά IEEE



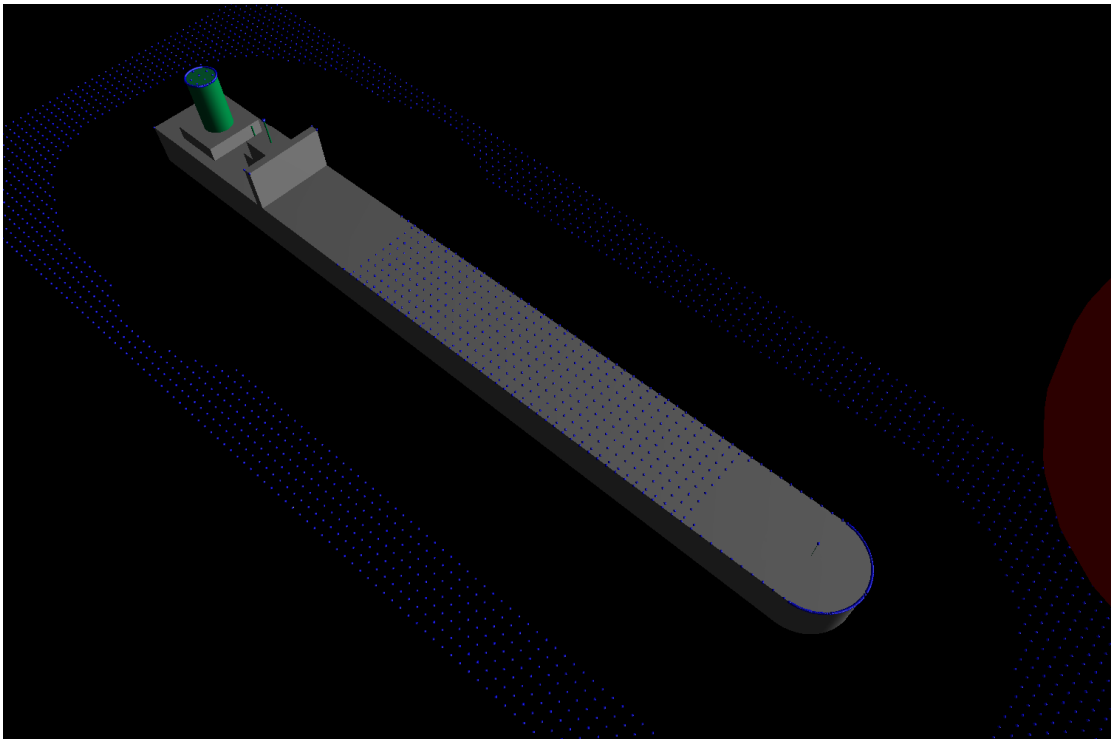
Εικόνα 5.85 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του tanker για κεραυνικό ρεύμα 3 kA κατά LOVE



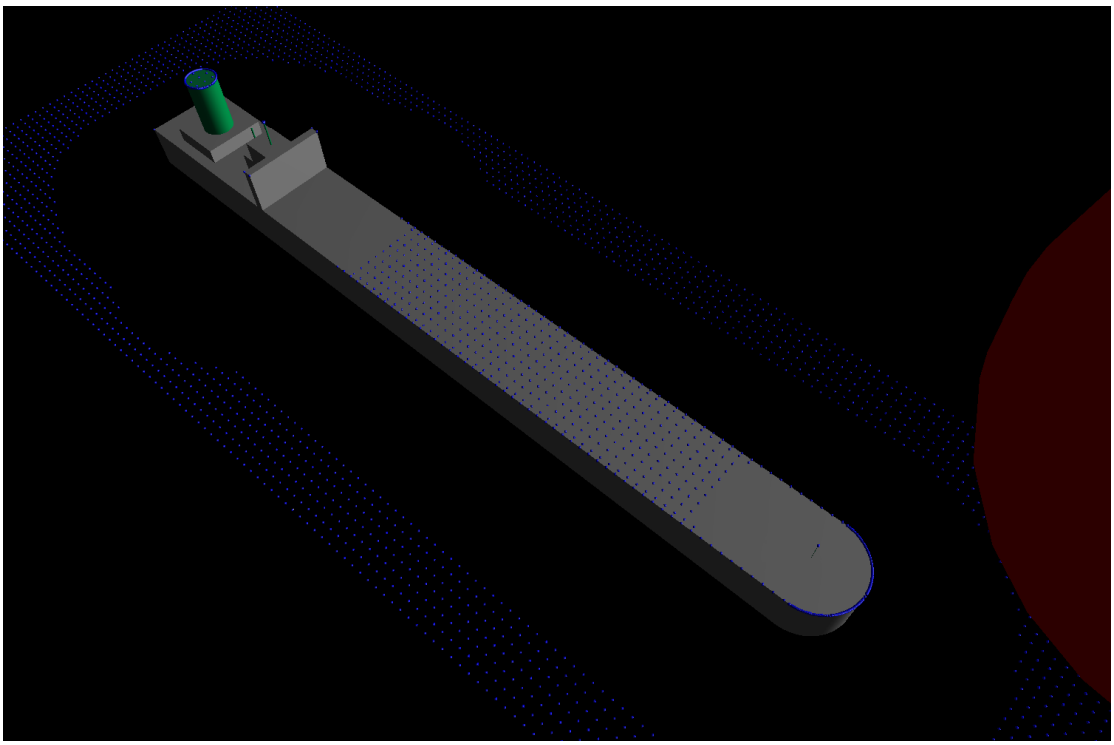
Εικόνα 5.86 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του tanker για κεραυνικό ρεύμα 20 kA κατά IEEE



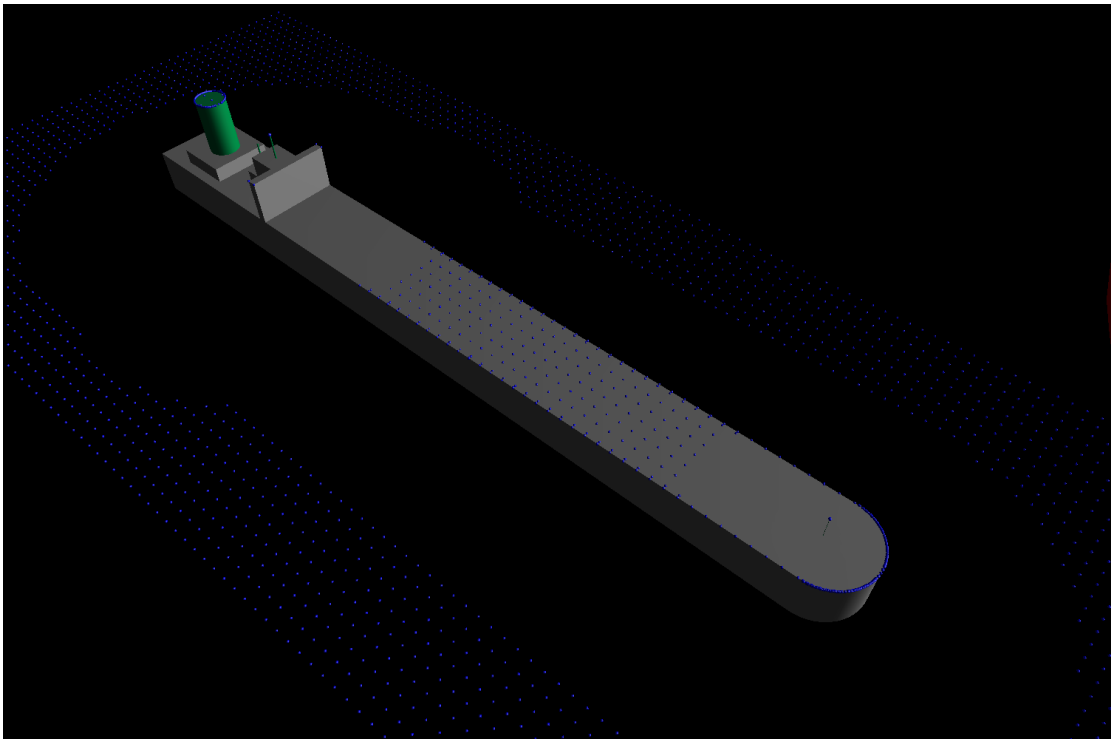
Εικόνα 5.87 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του tanker για κεραυνικό ρεύμα 20 kA κατά LOVE



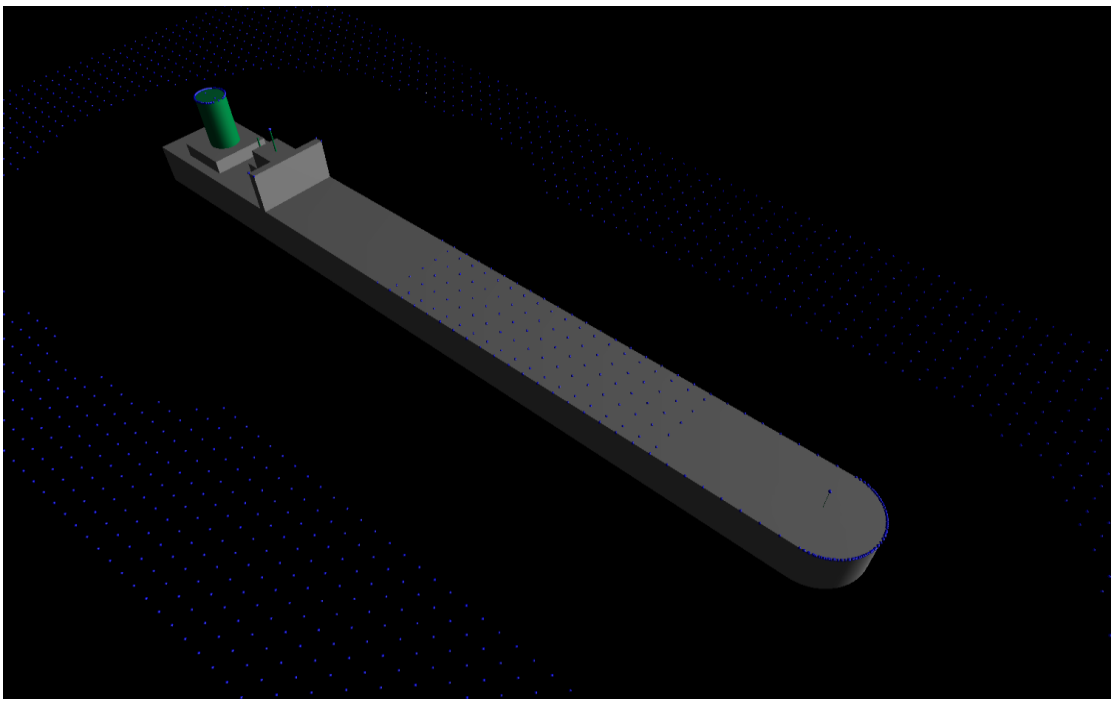
Εικόνα 5.88 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του tanker για κεραυνικό ρεύμα 30 kA κατά IEEE



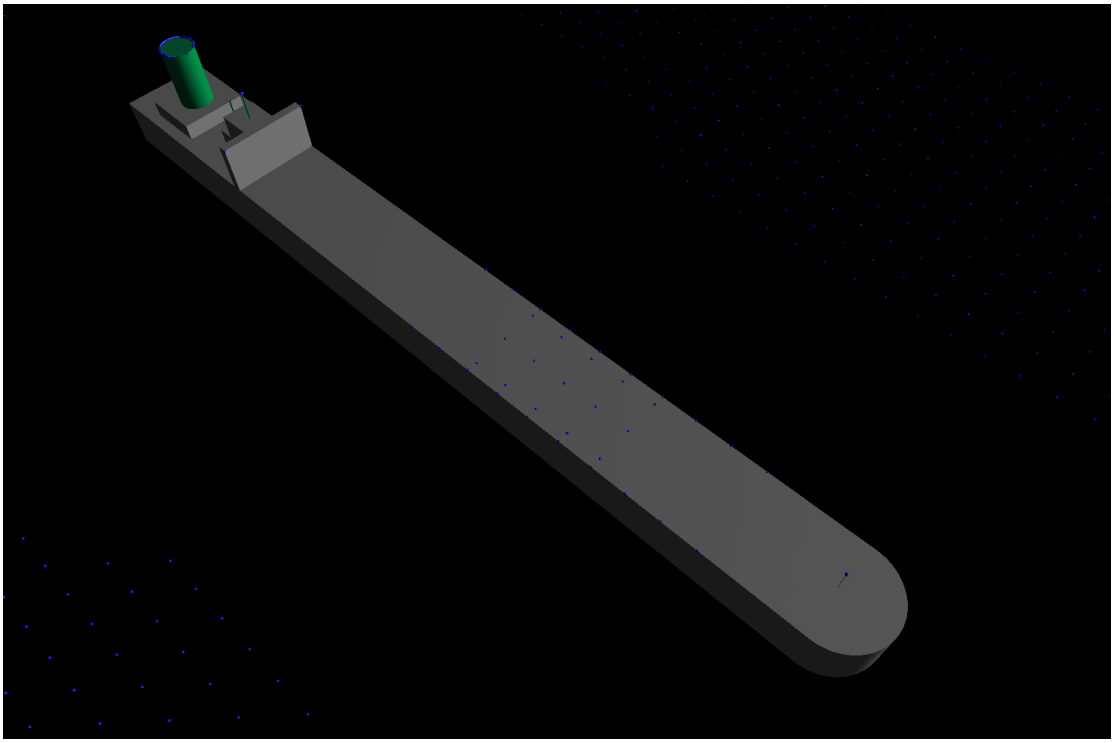
Εικόνα 5.89 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του tanker για κεραυνικό ρεύμα 30 kA κατά LOVE



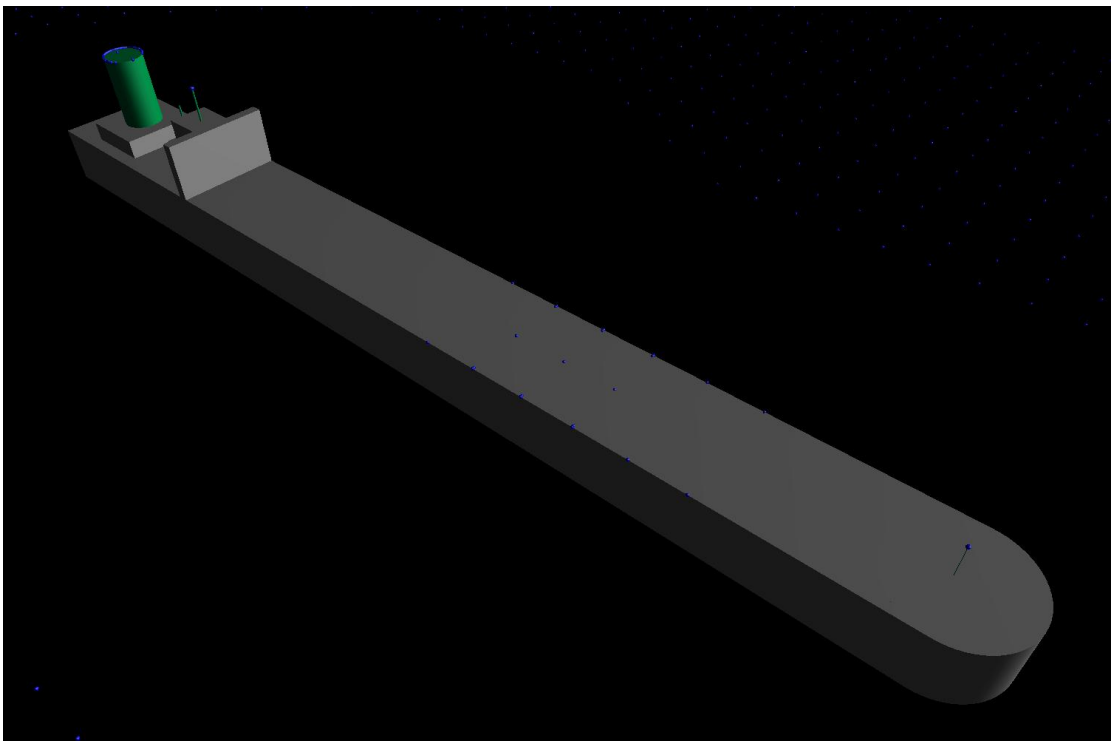
Εικόνα 5.90 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του tanker για κεραυνικό ρεύμα 50 kA κατά IEEE



Εικόνα 5.91 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του tanker για κεραυνικό ρεύμα 50 kA κατά LOVE



Εικόνα 5.92 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του tanker για κεραυνικό ρεύμα 200 kA κατά IEEE



Εικόνα 5.93 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του tanker για κεραυνικό ρεύμα 200 kA κατά LOVE

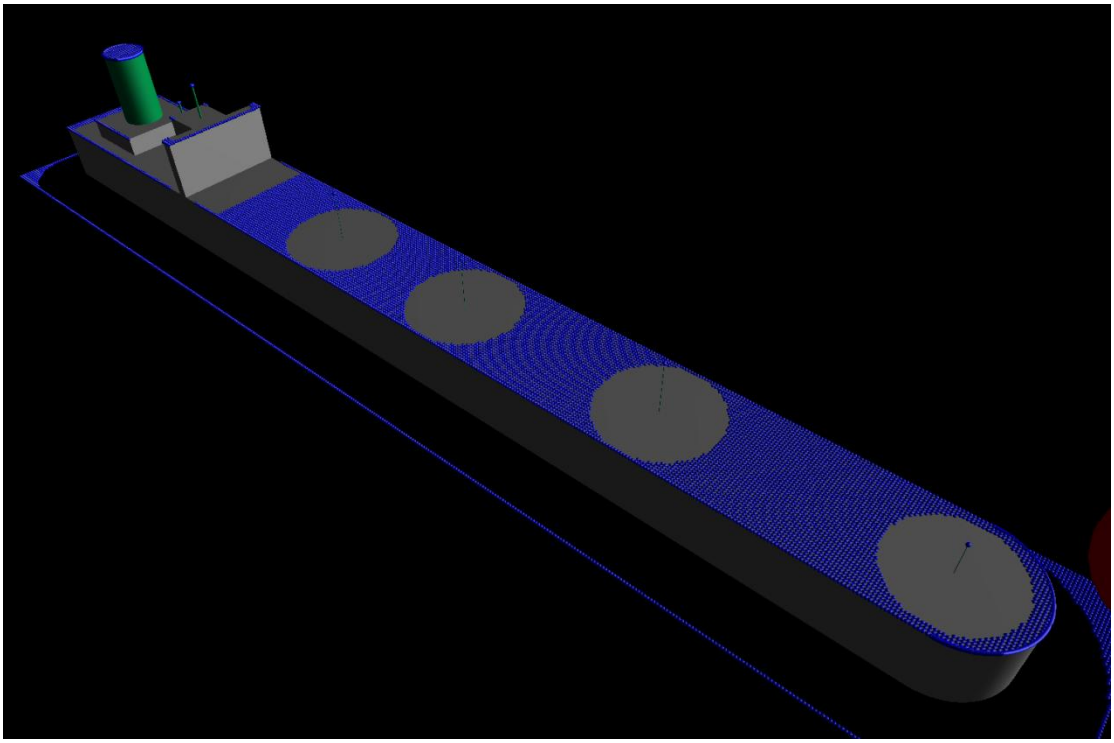
5.2.8.1 Συμπεράσματα

Από το παραπάνω πλοίο μπορούμε να συμπεράνουμε ότι υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να πληγεί από κάποιο κεραυνό τόσο μικρού όσο και μεγάλου ρεύματος. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του μεγάλου μήκους του πλοίου και της μεγάλης επιφάνειας που δεν έχει κάποια γερανογέφυρα ή οποιαδήποτε κεραία η οποία θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως ακίδα προστασίας.

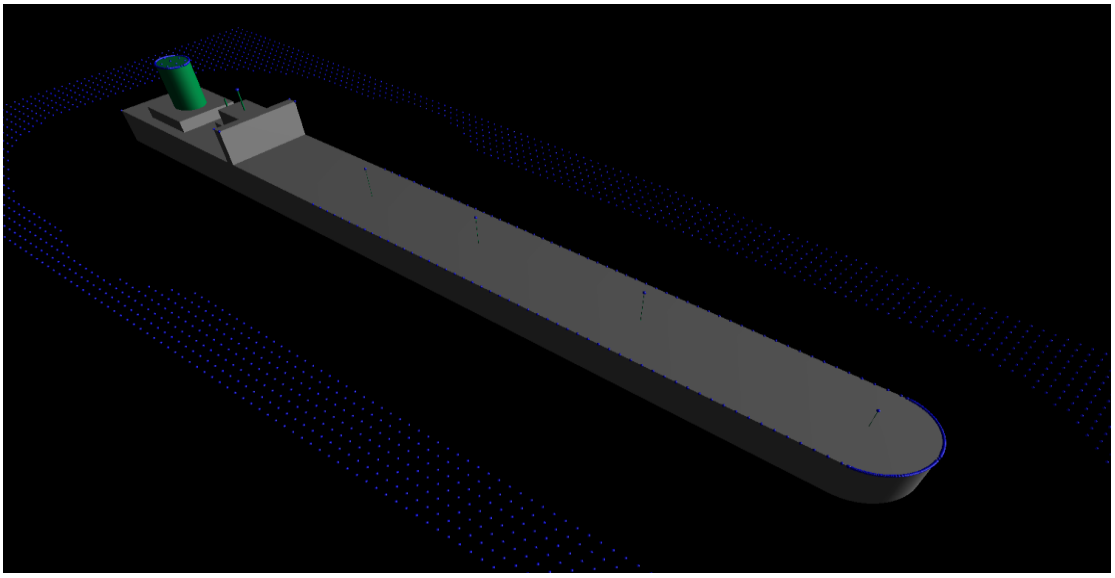
Βελτιώσεις

Βελτιωτικά θα μπορούσαμε να προτείνουμε κάποιες προσθήκες ακίδων προστασίας σε όλο το μήκος του πλοίου, χωρίς όμως αυτές να επηρεάζουν σημαντικά τη συνολική δομή του, καθώς τέτοιου είδους πλοία είναι με αυτόν τον τρόπο κατασκευασμένα έτσι ώστε να μεταφέρουν μεγάλα φορτία, όπως containers. Τέλος, θα ήταν δυνατό να τοποθετηθεί και ένας εναέριος αγωγός, ο οποίος επίσης δεν θα πρέπει να εμποδίζει τη λειτουργία του πλοίου.

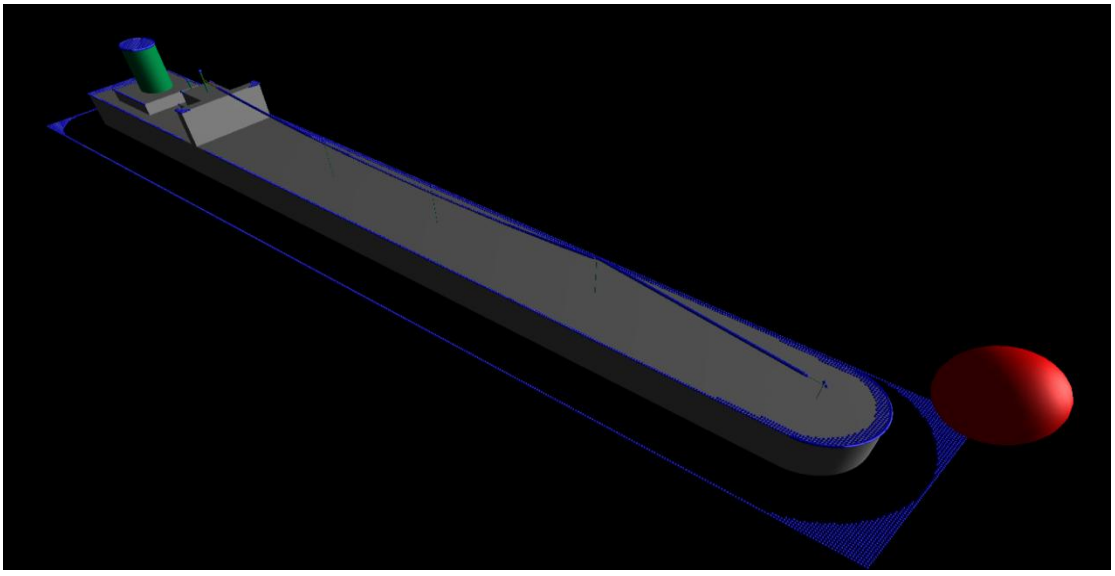
Στην συνέχεια παρουσιάζεται η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας μετά το πέρας των βελτιώσεων.



Εικόνα 5.94 : Βελτιωτική απεικόνιση του πλοίου κατά το πρότυπο IEEE με την προσθήκη τριών κεραιών (στο μέσον του) ύψους 50 ft, οι οποίες λειτουργούν ως ακίδες προστασίας για κατερχόμενο ρεύμα κεραυνού 3 kA.



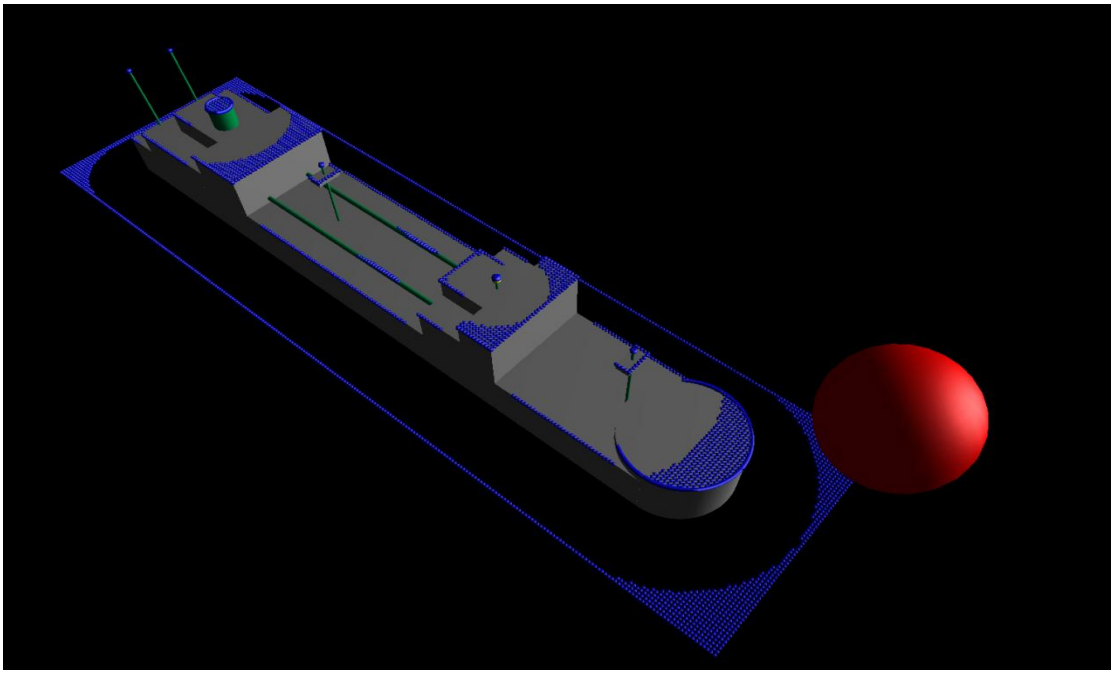
Εικόνα 5.95 : Βελτιωτική απεικόνιση του πλοίου κατά το πρότυπο IEEE με την προσθήκη δύο κεραιών (μία στην πλώρη του πλοίου και μία στο μέσον του) ύψους 70 ft, οι οποίες λειτουργούν ως ακίδες προστασίας για κατερχόμενο ρεύμα κεραυνού 30 kA.



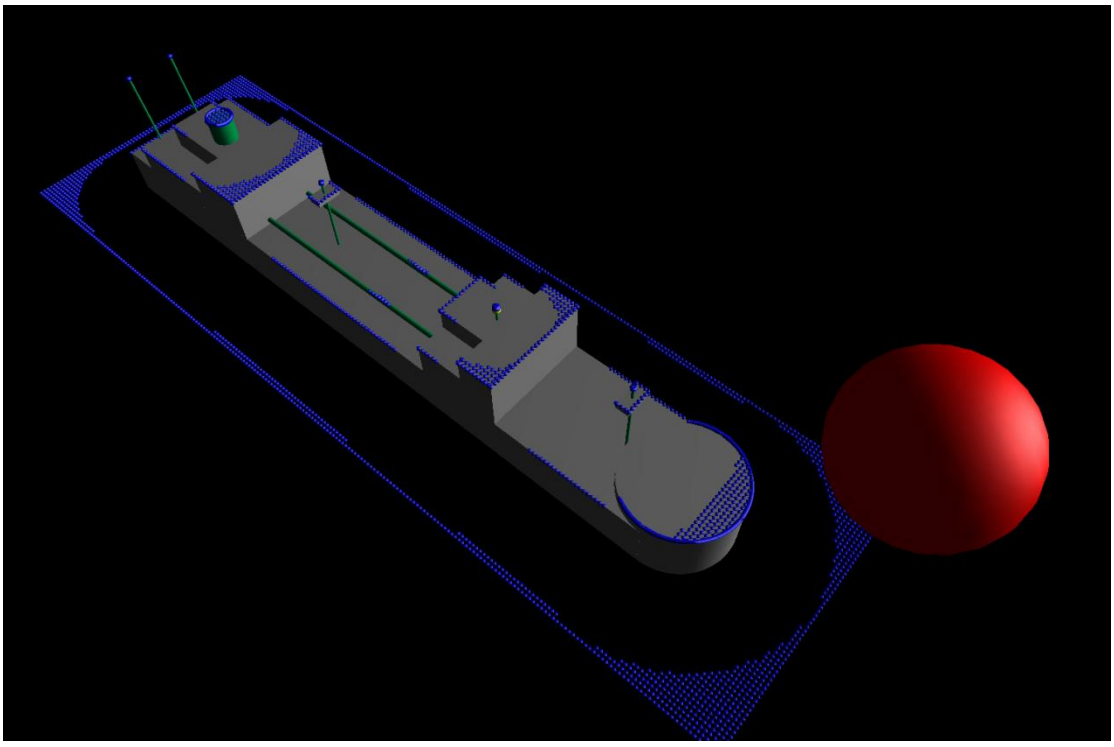
Εικόνα 5.96 : Βελτιωτική απεικόνιση του πλοίου κατά το πρότυπο IEEE με την προσθήκη ενός εναέριου αγωγού από την κεραία της πλώρης έως την κεραία της γέφυρας συνολικού μήκους 825 ft, η οποία λειτουργεί ως ακίδα προστασίας για κατερχόμενο ρεύμα κεραυνού 3 kA.

Από τις παραπάνω απεικονίσεις συμπεραίνουμε ότι η προσθήκη των κεραιών βοηθά στην προστασία του πλοίου. Ιδιαίτερα στα 30 kA παρατηρείται μια σχεδόν πλήρης προστασία του πλοίου. Η τοποθέτηση δε του εναέριου αγωγού παρέχει προστασία στο μέσον του πλοίου.

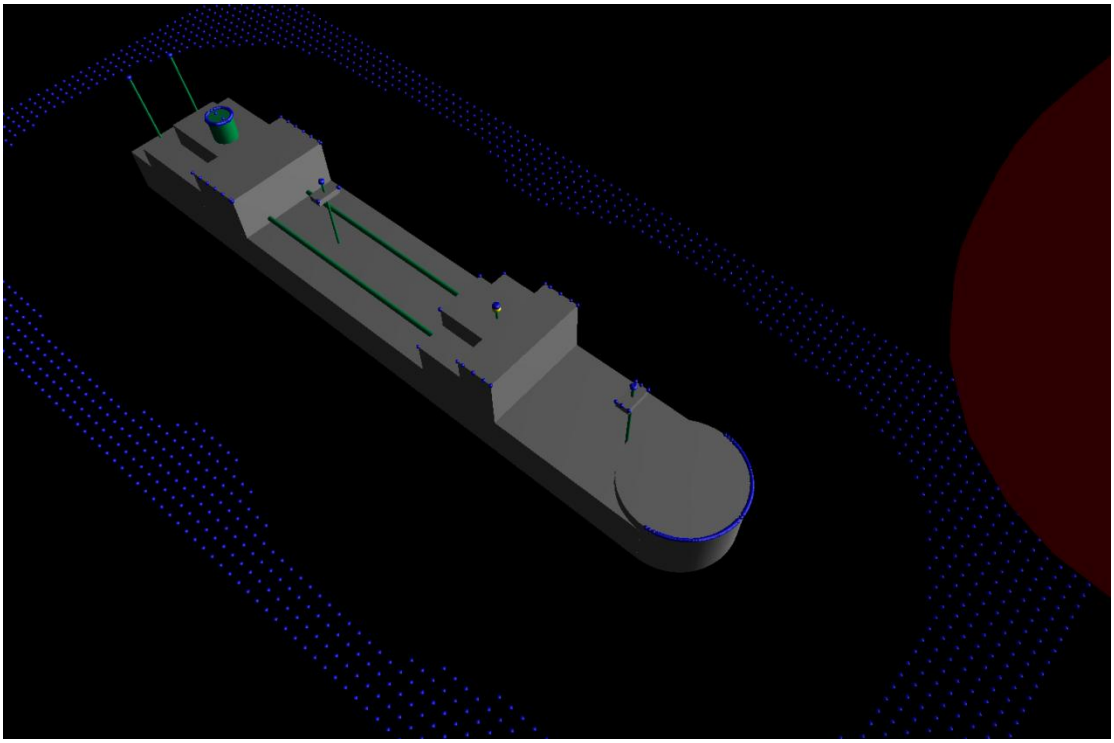
5.2.9 Texaco tanker



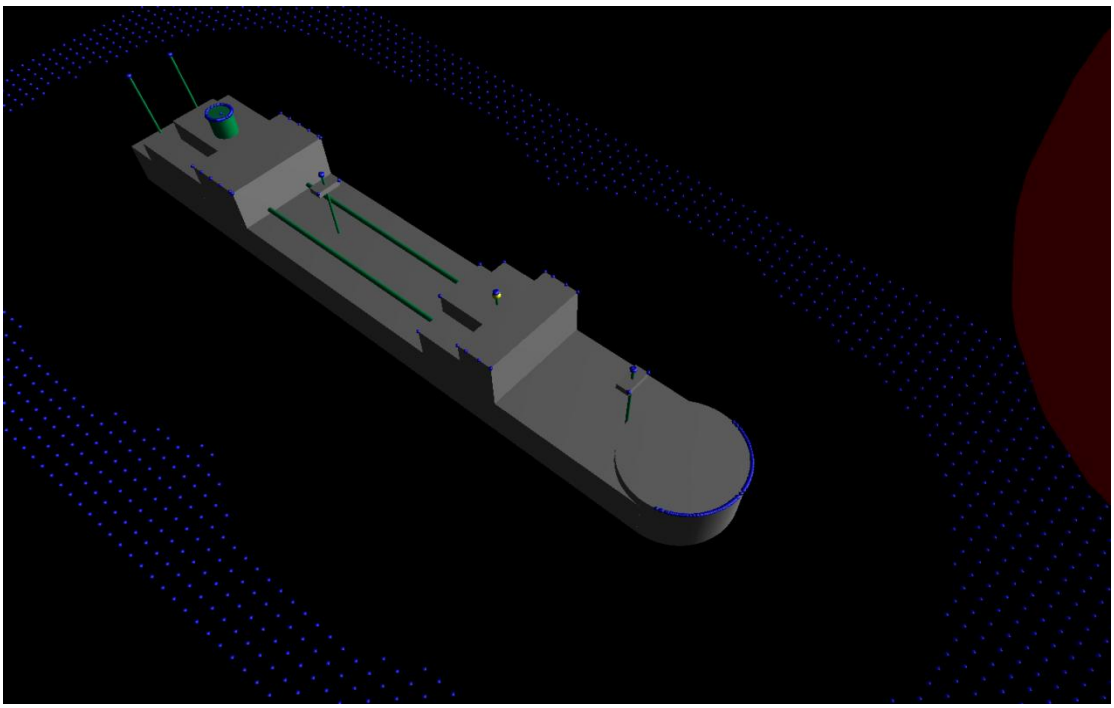
Εικόνα 5.97 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του Texaco tanker για κεραυνικό ρεύμα 3 kA κατά IEEE



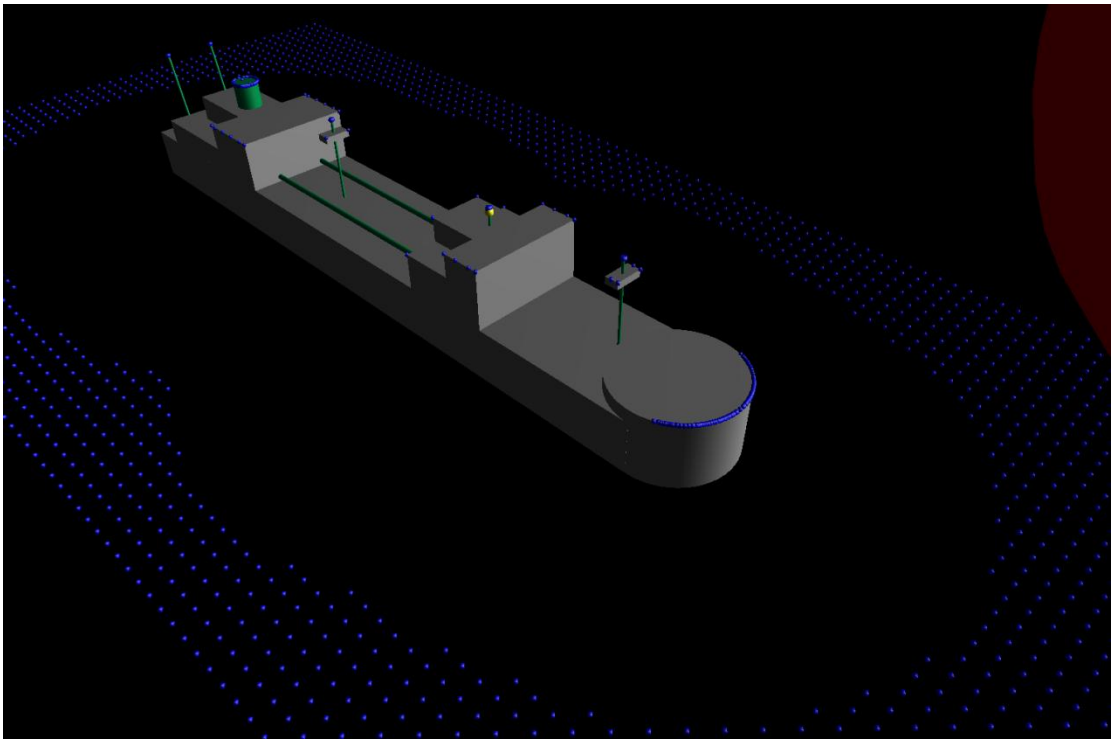
Εικόνα 5.98 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του Texaco tanker για κεραυνικό ρεύμα 3 kA κατά LOVE



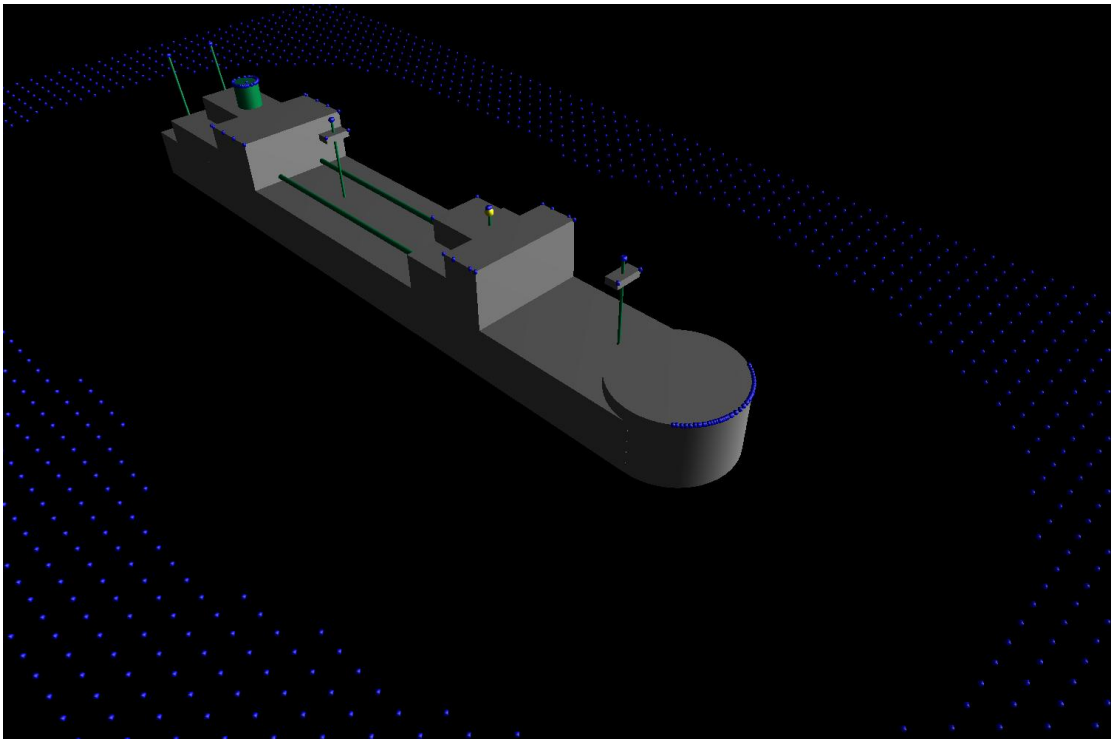
Εικόνα 5.99 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του Texaco tanker για κεραυνικό ρεύμα 20 kA κατά IEEE



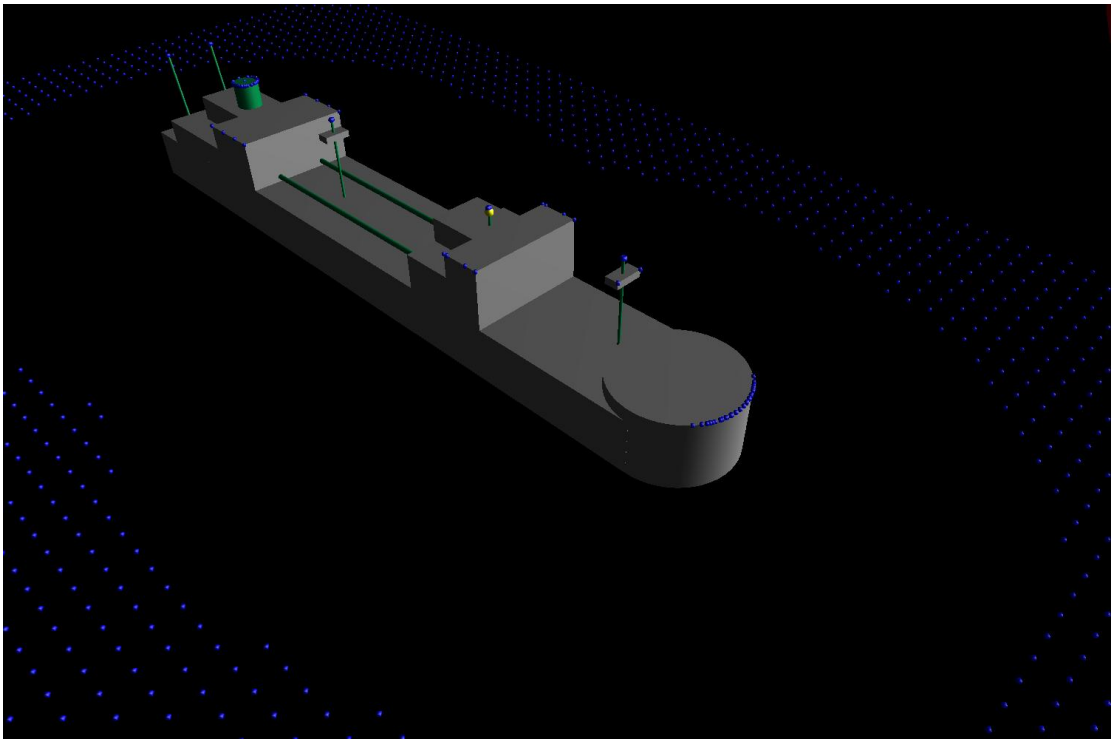
Εικόνα 5.100 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του Texaco tanker για κεραυνικό ρεύμα 20 kA κατά LOVE



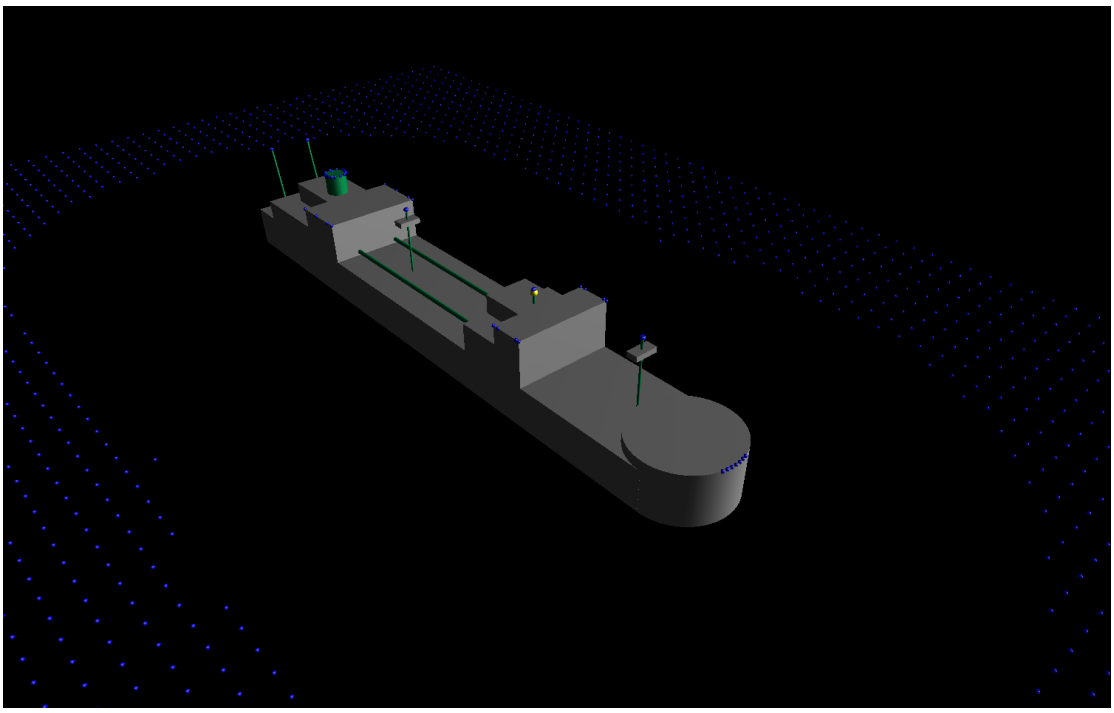
Εικόνα 5.100 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του Texaco tanker για κεραυνικό ρεύμα 30 kA κατά IEEE



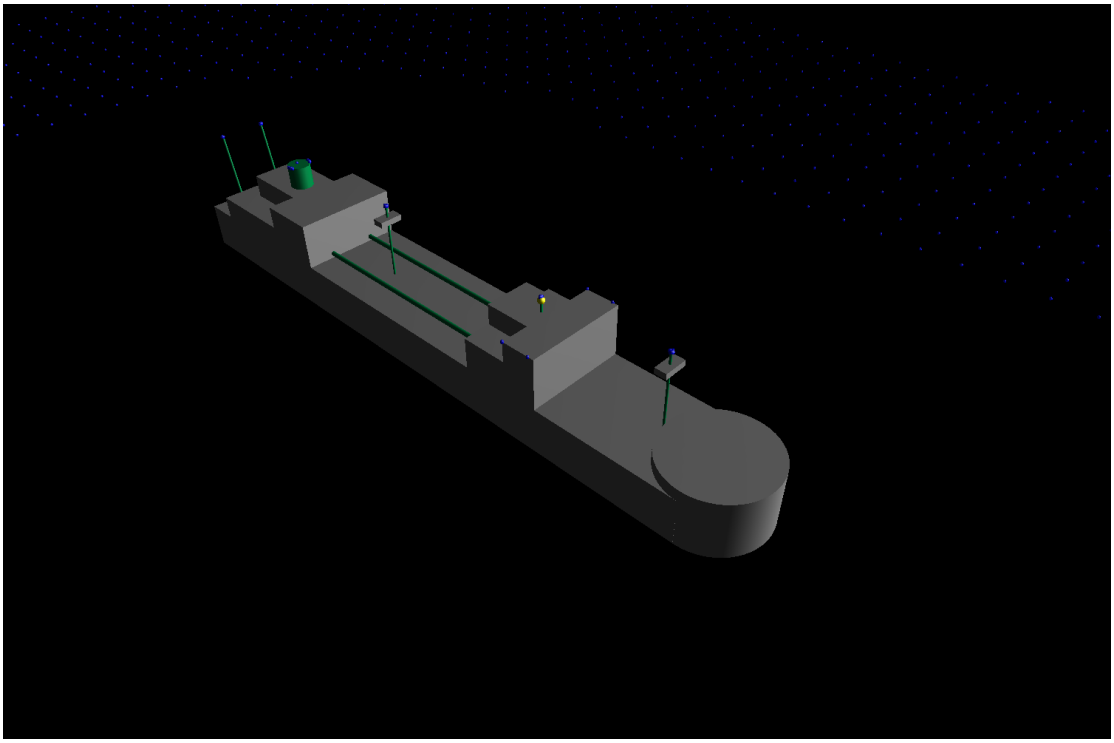
Εικόνα 5.101 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του Texaco tanker για κεραυνικό ρεύμα 30 kA κατά LOVE



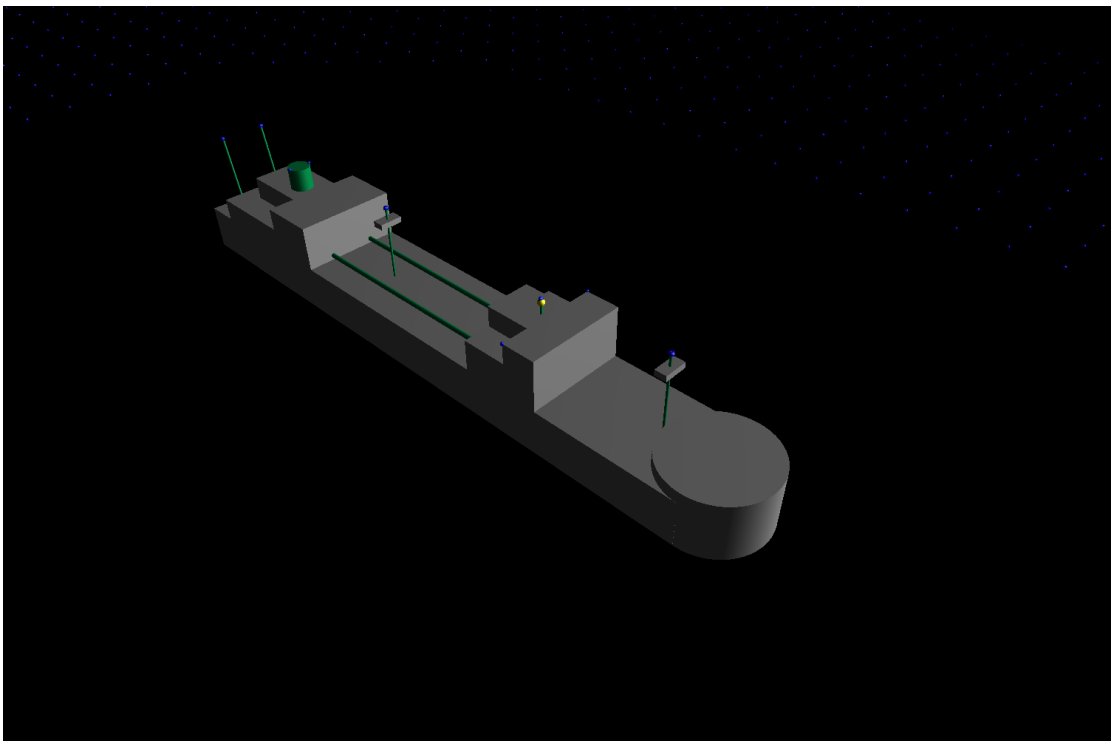
Εικόνα 5.102 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του Texaco tanker για κεραυνικό ρεύμα 50 kA κατά IEEE



Εικόνα 5.103 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του Texaco tanker για κεραυνικό ρεύμα 50 kA κατά LOVE



Εικόνα 5.104 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του Texaco tanker για κεραυνικό ρεύμα 200 kA κατά IEEE



Εικόνα 5.105 : Απεικόνιση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας του Texaco tanker για κεραυνικό ρεύμα 200 kA κατά LOVE

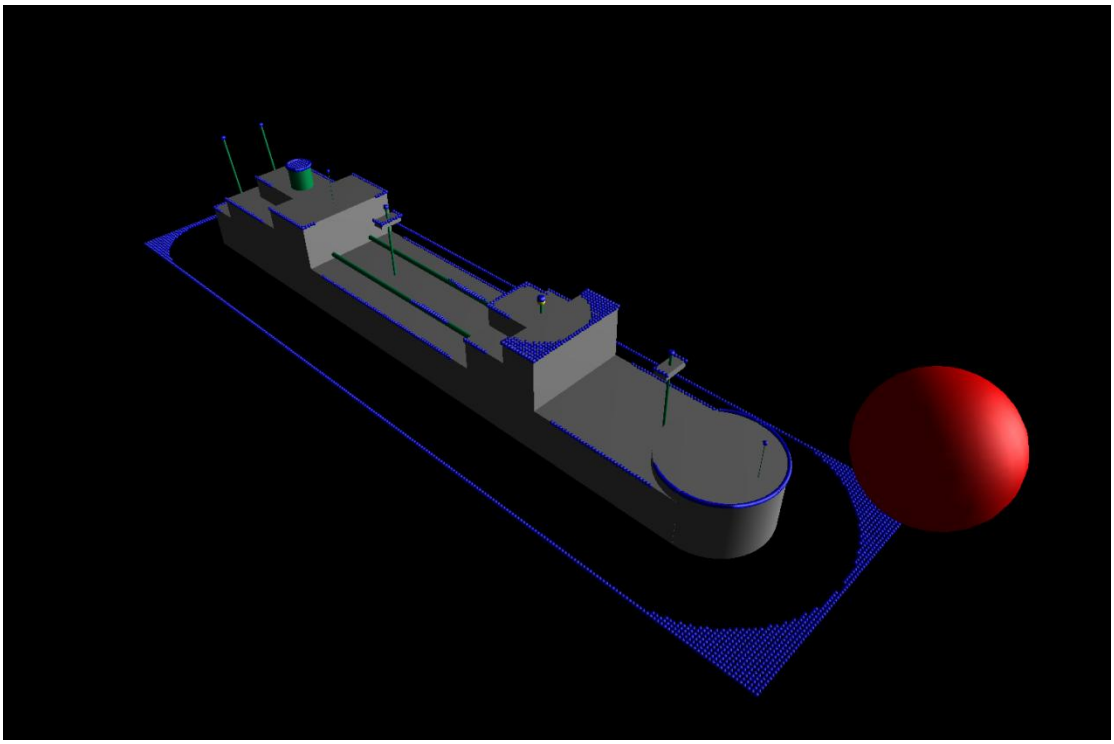
5.2.9.1 Συμπεράσματα

Στο συγκεκριμένο πλοίο παρατηρούμε ότι για κατερχόμενα ρεύματα της τάξεως έως των 50 kA υπάρχουν αρκετά πιθανά σημεία πρόσπτωσης του κεραυνού. Πλήρης προστασία παρέχεται μόνο για κατερχόμενο οχετό 200 kA. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι δεν υπάρχουν πολλές κεραίες οι οποίες θα ήταν δυνατό να λειτουργήσουν ως ακίδες προστασίας

Βελτιώσεις

Βελτιωτικά θα ήταν δυνατόν να προστεθούν ακίδες προστασίας σε όλες τις κεραίες προκειμένου να βελτιωθεί η προστασία του πλοίου. Πρέπει να αναφερθεί δε ότι οι εξοχές των συγκεκριμένων αλεξικέραυνων θα τηρούν τα γνωστά πρότυπα και έχουν προαναφερθεί. Επιπλέον, είναι δυνατό να προστεθούν νέες κεραίες, οι οποίες δεν θα επιφέρουν αλλαγές στην λειτουργικότητα του πλοίου.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας μετά το πέρας των βελτιώσεων.



Εικόνα 5.106 : Βελτιωτική απεικόνιση του πλοίου κατά το πρότυπο IEEE με την προσθήκη δύο κεραιών (μία στην πλώρη του πλοίου και μία στο μέσον του) ύψους 30 ft, οι οποίες λειτουργούν ως ακίδες προστασίας για κατερχόμενο ρεύμα κεραυνού 3 kA.

Από την παραπάνω βελτιωτική απεικόνιση παρατηρούμε ότι παρέχεται μεγαλύτερη προστασία στο πλοίο. Ωστόσο δεν ασχοληθήκαμε περεταίρω με τη προστασία του διότι το κεραυνικό ρεύμα των 3 kA δεν επιφέρει μεγάλα προβλήματα.

Γενικά, παρατηρήθηκε το γεγονός ότι κατά το πρότυπο IEEE με την εφαρμογή της μεθόδου της κυλιόμενης σφαίρας εντοπίζονται περισσότερα ευάλωτα σημεία σε σχέση με τον LOVE. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τον LOVE για ίδιες τιμές κεραυνικού ρεύματος η κυλιόμενη σφαίρα έχει μεγαλύτερη ακτίνα, όπως μπορεί να διαπιστωθεί και από τον πίνακα 5.14.

5.3 Μέθοδος κώνου [14]

Η συγκεκριμένη μέθοδος λαμβάνει υπόψη μόνο τις ακίδες και τις κεραίες οι οποίες έχουν επιλεγεί ως lightning masts. Επιπρόσθετα, όλοι οι υπολογισμοί γίνονται από την επιφάνεια της θάλασσας, τα σημεία εκείνα δηλαδή που έχουν υψόμετρο 0 ft.

Όσο αφορά στους υπολογισμούς που γίνονται, το πρόγραμμα χωρίζει το ύψος των lightning masts σε τρείς περιοχές: 0-30 ft, 30-150 ft, 150 ft και πάνω.

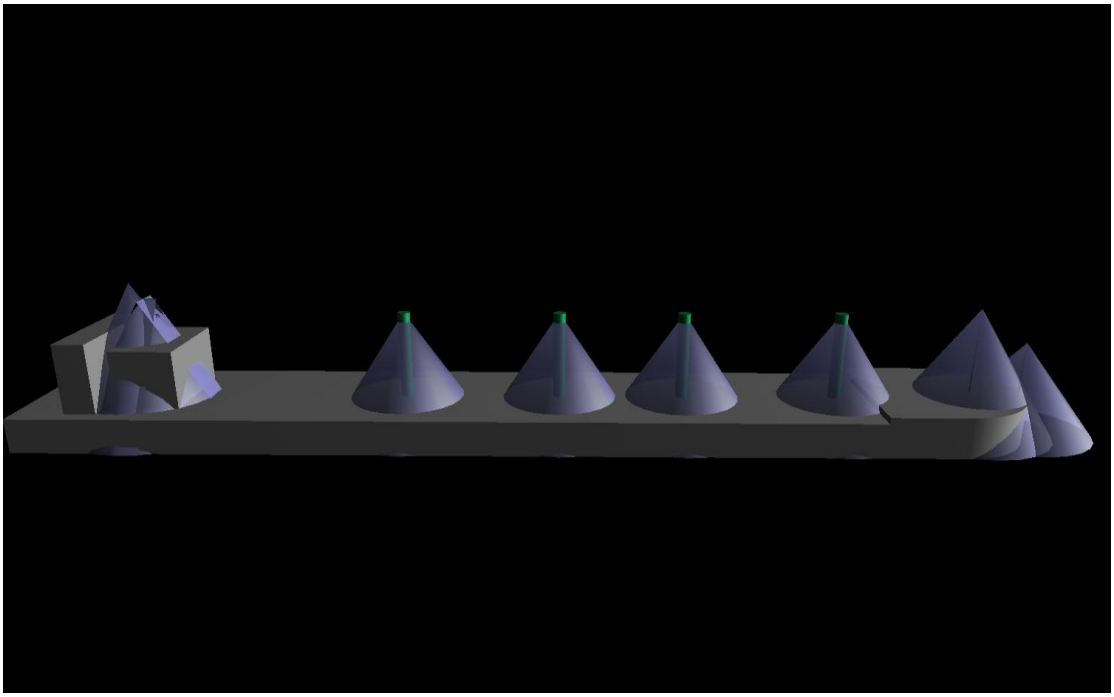
- Για ύψος έως 10 m (30 ft) η γωνία προστασίας σύμφωνα με την πρώτη κλάση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας είναι 45 μοίρες.
- Για ύψος από 45 m (150 ft) και πάνω η γωνία προστασίας σύμφωνα με την τρίτη κλάση, αφού η πρώτη κλάση δεν υπάρχει στο συγκεκριμένο πρότυπο (φτάνει έως τα 20 m), είναι 23 μοίρες.
- Για ύψος από 10 έως 45 m (30 έως 150 ft) το πρόγραμμα υπολογίζει την γωνία προστασίας με την μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής ως εξής:

$$\frac{150-h}{30-h}=\frac{b-a}{c-a} \tag{5.6}$$

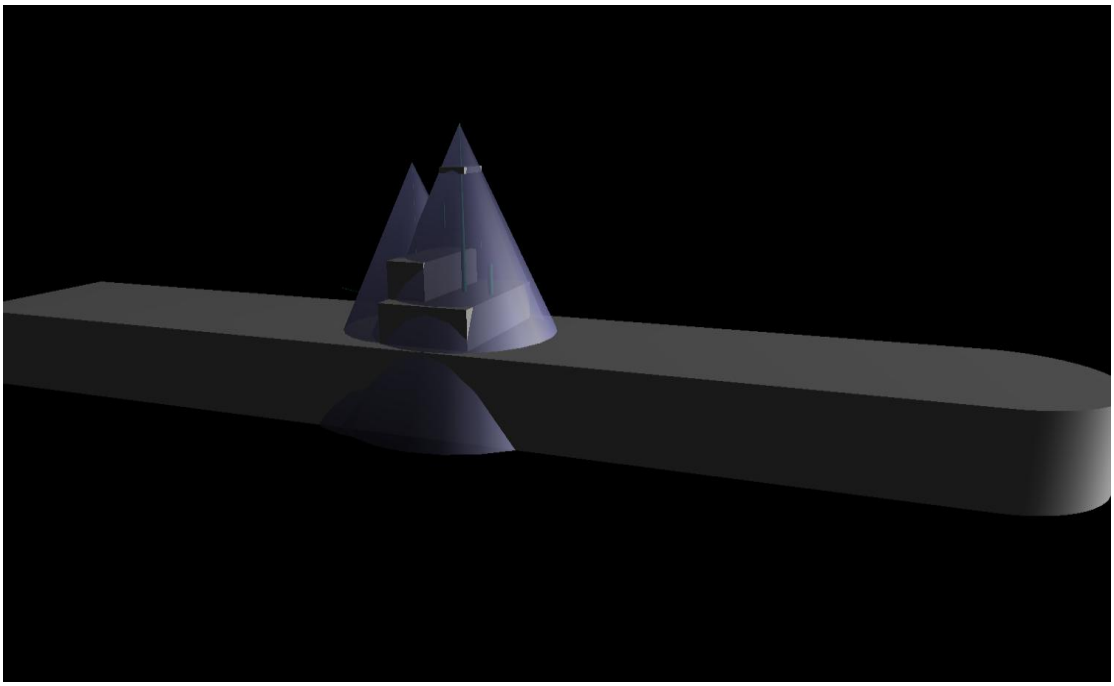
Όπου:

- h το ύψος της κεραίας μεταξύ 30 και 150 ft
- α η γωνία προστασίας που θέλουμε να υπολογίσουμε
- b η γωνία προστασίας για ύψος 30 ft, δηλαδή b=45 μοίρες
- c η γωνία προστασίας για ύψος 150 ft, δηλαδή c=23 μοίρες

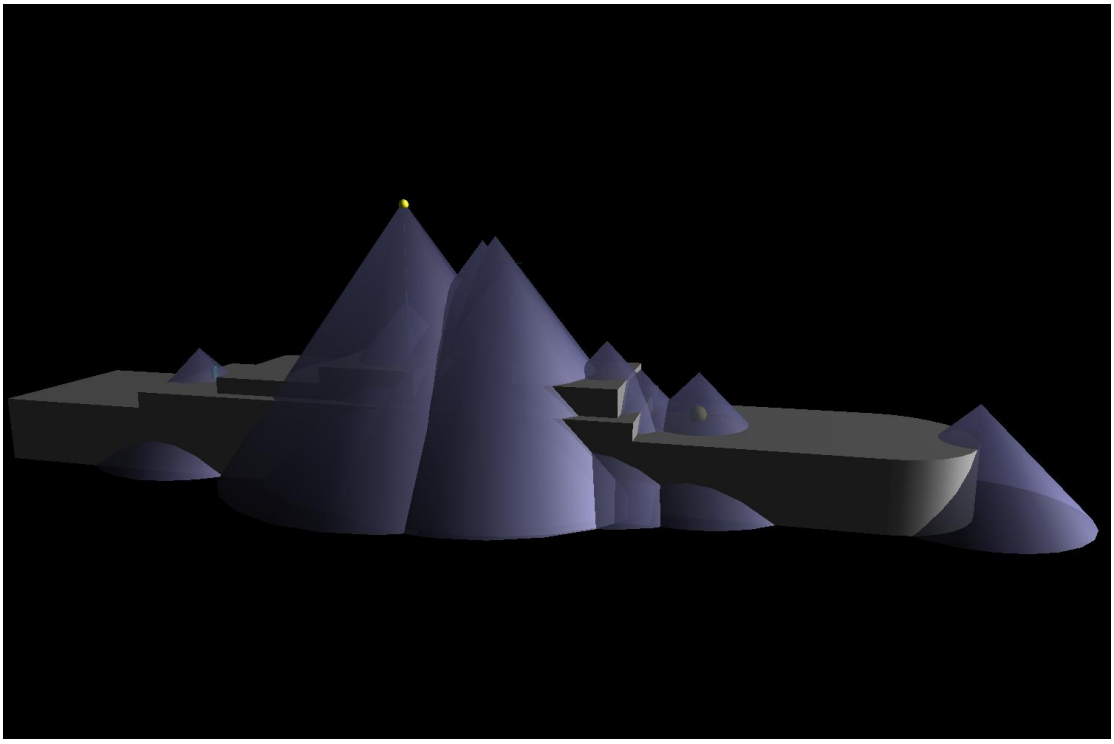
Στην συνέχεια παρατίθενται οι εικόνες των πλοίων στα οποία εφαρμόζεται η συγκεκριμένη μέθοδος του κώνου.



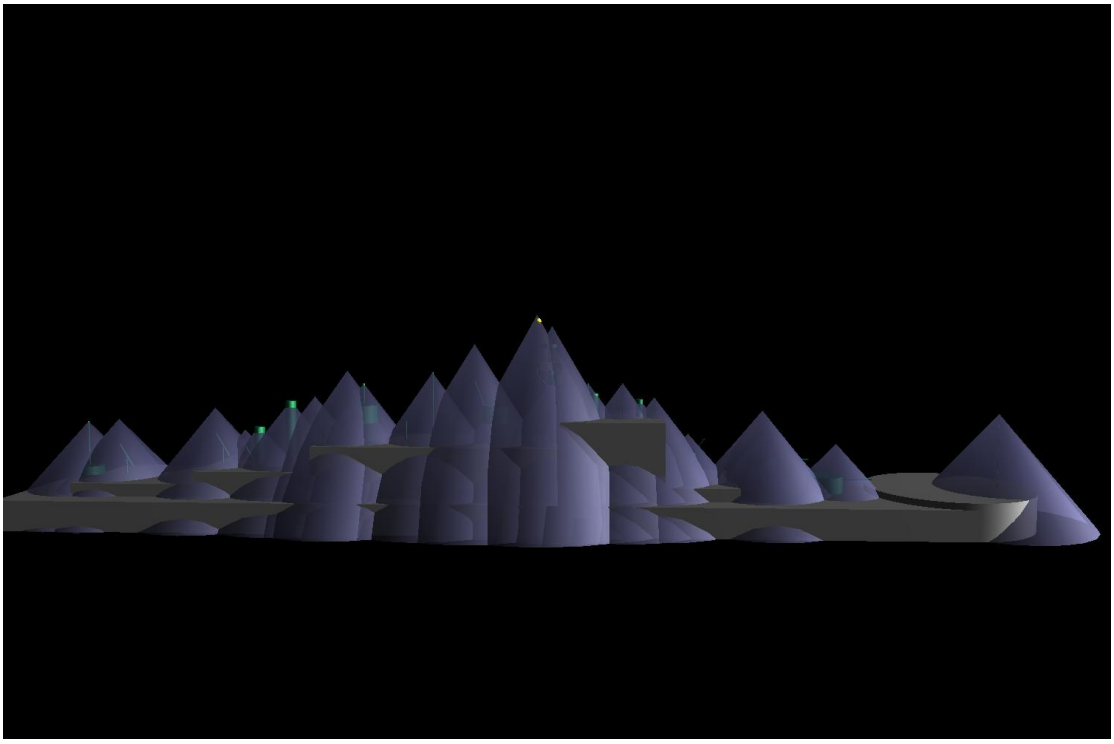
Εικόνα 5.107 : Δοκιμαστικό πλοίο εργαστηρίου, Μέθοδος κώνου προστασίας



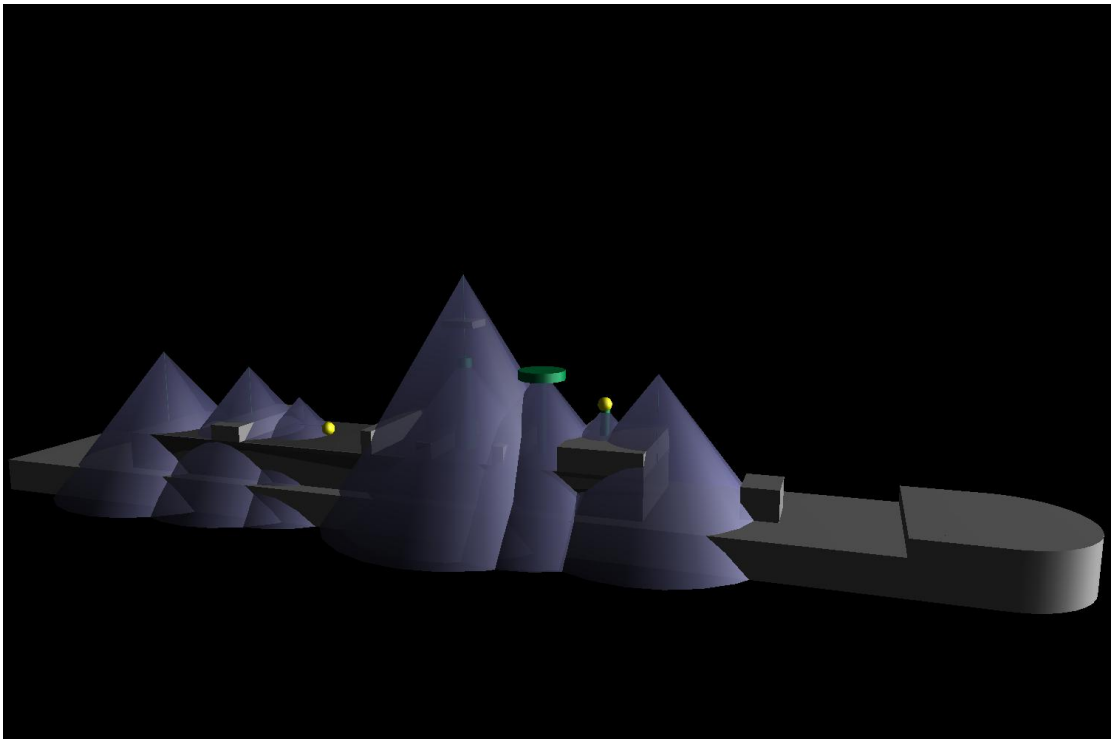
Εικόνα 5.108 : Αεροπλανοφόρο, Μέθοδος κώνου προστασίας



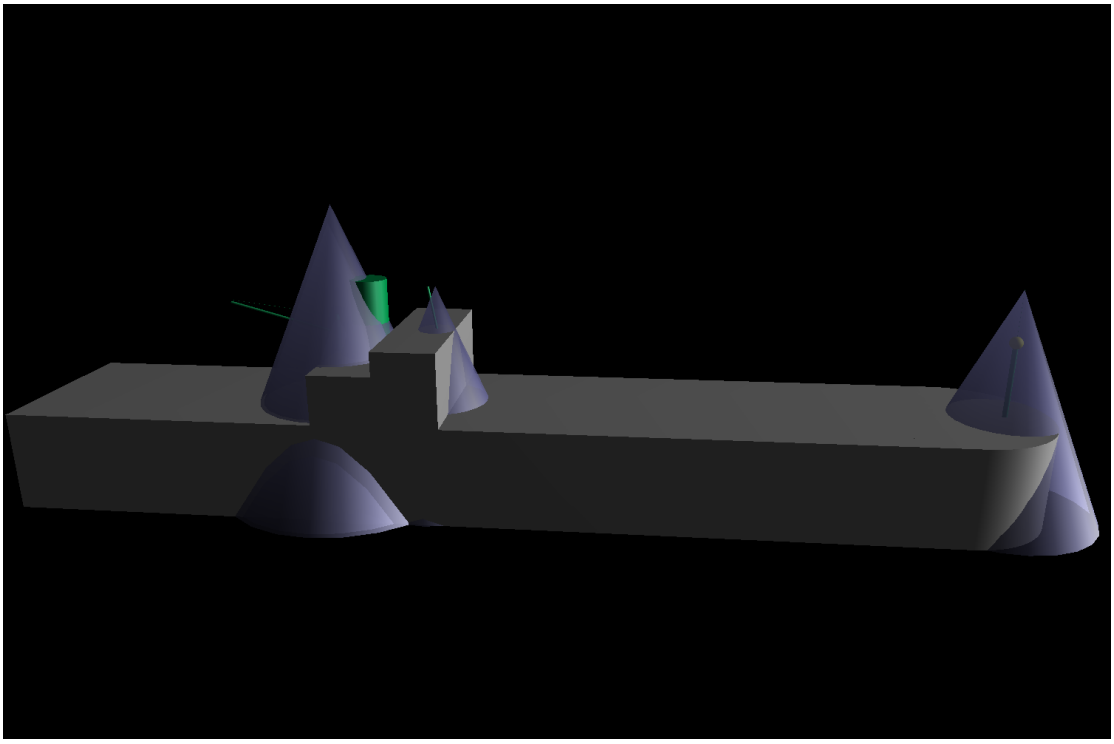
Εικόνα 5.109 : Κορβέτα-Δρόμωνας, Μέθοδος κώνου προστασίας



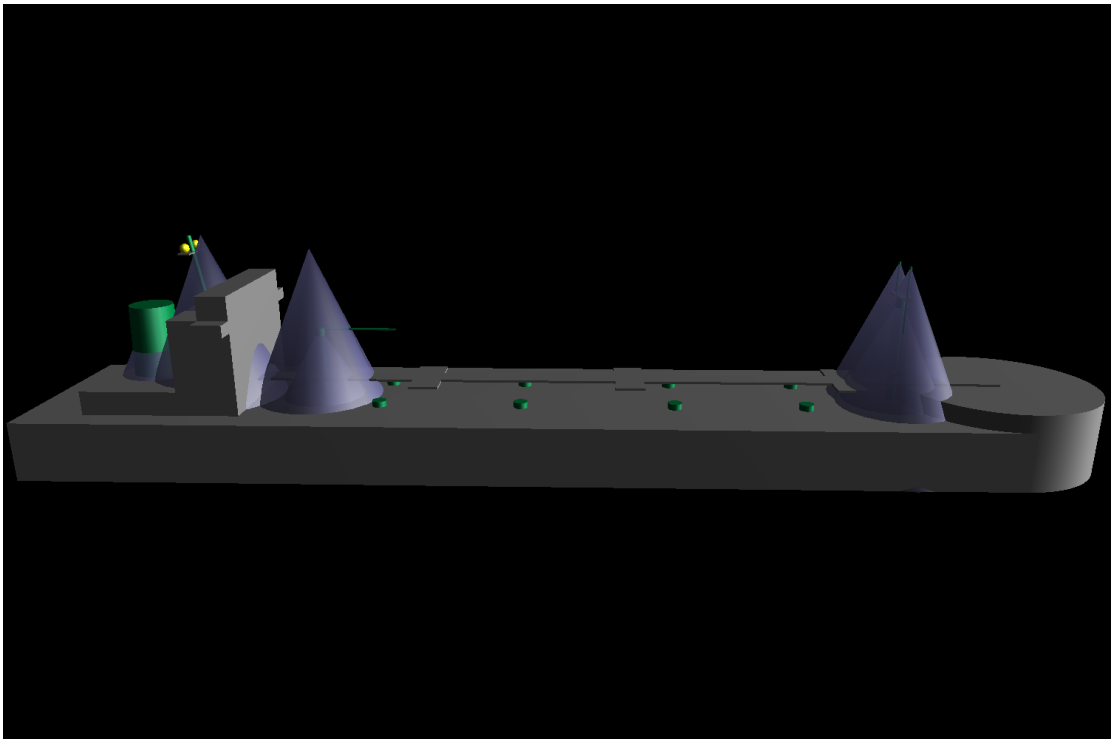
Εικόνα 5.110 : Αντιτορπιλικό, Μέθοδος κώνου προστασίας



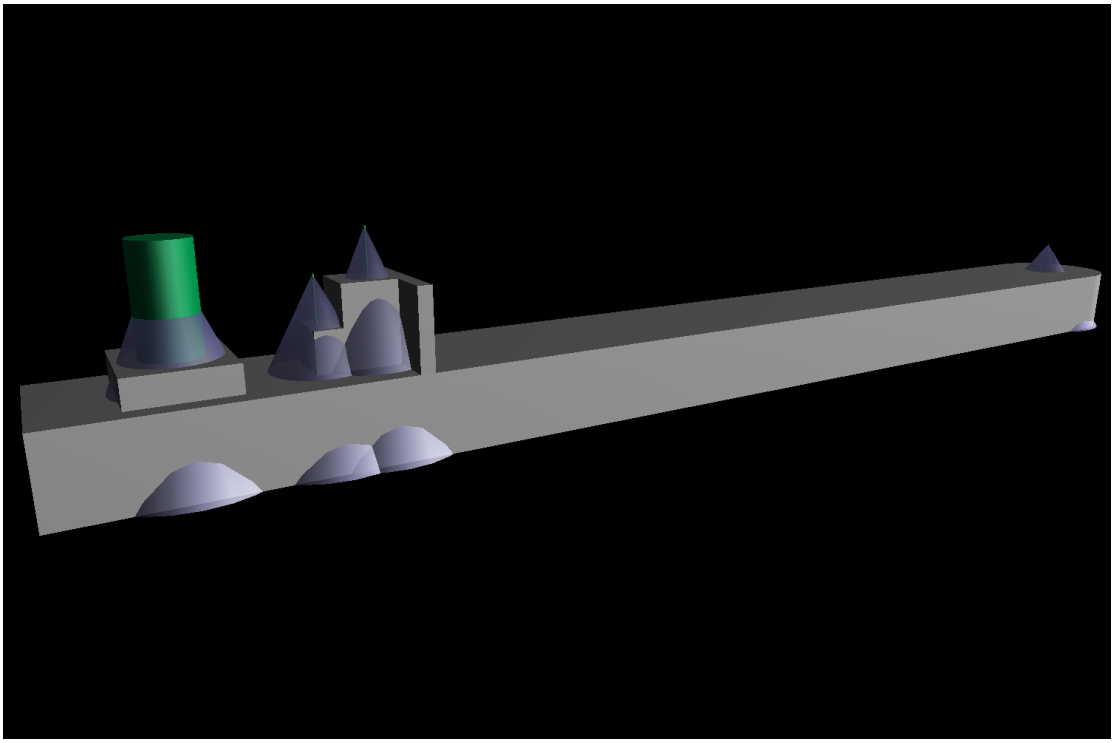
Εικόνα 5.111 : Φρεγάτα, Μέθοδος κώνου προστασίας



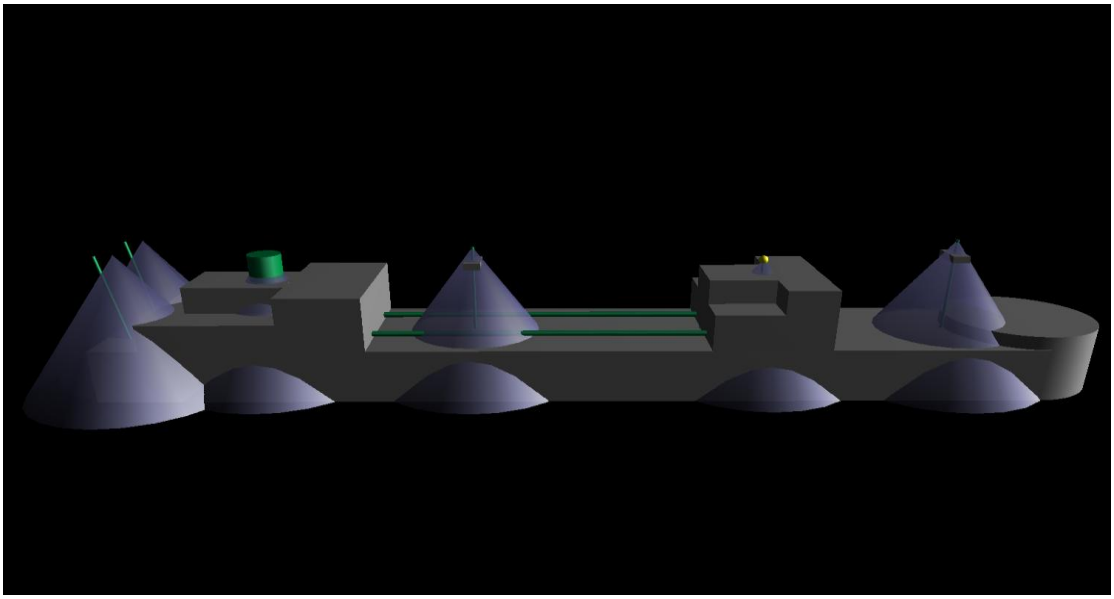
Εικόνα 5.112 : LNG tanker, Μέθοδος κώνου προστασίας



Εικόνα 5.113 : Πετρελαιοφόρο, Μέθοδος κώνου προστασίας



Εικόνα 5.114 : Tanker, Μέθοδος κώνου προστασίας



Εικόνα 5.115 : Texaco tanker, Μέθοδος κώνου προστασίας

5.4 Σύγκριση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας-κώνου

Από τις προσομοιώσεις των δύο παραπάνω μεθόδων παρατηρήθηκε το γεγονός ότι οι δύο μέθοδοι φέρουν διαφορετικά αποτελέσματα. Από τη σύγκριση που έγινε παρατηρήθηκαν τα εξής :

- Καταρχάς, η μέθοδος του κώνου προστασίας εφαρμόζεται μόνο στις κεραίες και τις ακίδες που έχουν επιλεγεί από το πρόγραμμα να είναι ‘’lightning masts’’, ενώ η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας δεν κάνει αυτό το διαχωρισμό και εφαρμόζεται σε όλες τις κεραίες.
- Στη μέθοδο του κώνου υπάρχει μεγαλύτερη ακάλυπτη περιοχή και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η βάση του κώνου βρίσκεται στην επιφάνεια της θάλασσας και όχι στην επιφάνεια του πλοίου όπως θα ήταν πιο συνετό, γεγονός για το οποίο δεν υπήρχε δυνατότητα επιλογής από το πρόγραμμα.
- Στη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας είναι δυνατό να καθοριστεί η τιμή του ρεύματος του κατερχόμενου οχετού, σε αντίθεση με τη μέθοδο του κώνου που δεν δινόταν αυτή η επιλογή, παρά μόνο η επιλογή της γωνίας προστασίας.

Γενικά, η μέθοδος του κώνου είναι πιο απλή μέθοδος και δίνει λιγότερο αξιόπιστα αποτελέσματα σε σύγκριση με τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

6

ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από όλα τα παραπάνω στοιχεία της παρούσας εργασίας εξήχθη το συμπέρασμα ότι η αντικεραυνική προστασία στα πλοία διαδραματίζει σημαίνοντα ρόλο. Η αποφυγή πληγμάτων από πιθανό κατερχόμενο κεραυνό αποδεικνύεται επιβεβλημένη. Για αυτόν το λόγο, είναι απαραίτητη η σωστή μελέτη για την εφαρμογή όλων εκείνων των απαραίτητων στοιχείων της αντικεραυνικής διάταξης.

Ιδιαίτερα στα πλοία, από τα οποία τα περισσότερα έχουν μεταλλική κατασκευή, είναι σημαντική η κατασκευή μιας σωστής αντικεραυνικής διάταξης.

Πιο αναλυτικά, τα πολεμικά πλοία, λόγω της γεωμετρίας τους, διαθέτουν πολλά στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται ως στοιχεία της αντικεραυνικής διάταξης. Τέτοιου είδους στοιχεία είναι τα διάφορα είδη κεραιών, τα ραντάρ και τα διάφορα οπλικά συστήματα. Αυτό το γεγονός έχει ως αποτέλεσμα την πλήρη προστασία του πλοίου για τιμές ρεύματος από 30 kA και άνω. Ωστόσο, και για τιμές κατερχόμενου οχετού της τάξης των 3 kA δεν παρατηρούνται πολλά πιθανά σημεία που είναι δυνατό να πληγούν. Αυτό οφείλεται κυρίως στην περίπλοκη δομή του πλοίου.

Στον αντίποδα, όσο αφορά στα πλοία τύπου tanker, παρατηρούνται μεγαλύτερα προβλήματα. Καταρχάς, τα tankers είναι αρκετά μεγαλύτερα σε μήκος από τα περισσότερα πολεμικά πλοία, με αποτέλεσμα να είναι περισσότερο ευάλωτα σε κεραυνικά πλήγματα. Επιπλέον, τα εν λόγο πλοία διαθέτουν μια μεγάλη επιφάνεια η οποία χρησιμοποιείται για φόρτωση containers ή άλλου είδους φορτίων, και δεν διαθέτει κάποιο είδος κεραίας ή κάποια άλλη προεξοχή η οποία θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθεί στην αντικεραυνική προστασία του πλοίου. Παρόλα αυτά, στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια τοποθέτησης κάποιων κεραιών , οι οποίες λειτουργούν ως ακίδες προστασίας και βελτιώνουν την αντικεραυνική προστασία του πλοίου. Επιπρόσθετα, όπου υπήρχε η δυνατότητα τοποθετήθηκε ένας αγωγός από την πλώρη έως την πρύμνη του πλοίου, διερχόμενος από τις κορυφές όλων των ενδιάμεσων κεραιών. Με την εφαρμογή της μεθόδου της κυλιόμενης σφαίρας παρατηρήθηκε μια σημαντική μείωση των πιθανών σημείων που μπορεί να πληγεί

το πλοίο. Θα πρέπει δε να αναφερθεί ότι η προσθήκη όλων των ανωτέρω στοιχείων πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να μην επηρεάζεται η συνολική λειτουργικότητα του πλοίου.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε ενδελεχής μελέτη πάνω στα σημεία τα οποία είναι δυνατό να προσκρούσει ο κεραυνός πάνω στο πλοίο. Σύμφωνα τόσο με το ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο, όσο και με τις μεθόδους της κυλιόμενης σφαίρας και του κώνου προστασίας, αναλύθηκαν και παρουσιάστηκαν όλα τα πιθανά σημεία που είναι πιο ευάλωτα σε κεραυνικό πλήγμα σε όλα τα μοντέλα των πλοίων. Βέβαια, πρέπει να επισημάνουμε ότι αυτά τα σημεία είναι δυνατό να διαφοροποιηθούν ανάλογα με τη γεωμετρία και τη δομή του πλοίου και ανάλογα με την τιμή του ρεύματος του κατερχόμενου οχετού. Μια πιθανή μελλοντική επέκταση της παρούσας εργασίας είναι η περαιτέρω διερεύνηση διορθωτικών ενεργειών για την επέκταση-διεύρυνση της προστατευμένης επιφάνειας ενός πλοίου, λαμβάνοντας υπόψη και τις μεθόδους αντικεραυνικής προστασίας που εφαρμόζονται σε χερσαία δίκτυα και εγκαταστάσεις.

Ωστόσο δεν αναφέρθηκαν καθόλου τα προβλήματα τα οποία είναι σε θέση να προκαλέσει η πρόσκρουση του κεραυνού πάνω στο πλοίο. Αυτό το θέμα μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο μιας άλλης διπλωματικής εργασίας. Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν ενδεικτικά ορισμένες από τις σημαντικές επιπτώσεις της πρόσκρουσης κεραυνού σε πλοίο :

- Πέρα από τους κινδύνους για τα μέλη του πληρώματος λόγω των αναπτυσσόμενων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής, η πλέον καταστροφική συνέπεια είναι η πλήξη ευάλωτων αγωγών, όπως, ηλεκτρονικές συσκευές, ηλεκτρονικά συστήματα πλοήγησης, ράδιο VHF, ραντάρ κ.α.

- Επιπλέον, η πτώση ενός κεραυνού συντελεί στη δημιουργία σπινθήρων, οι οποίοι με τη σειρά τους είναι δυνατό να δημιουργήσουν υπερθέρμανση, τήξη αγωγών, καταστροφή αισθητήριων συστημάτων, ανατίναξη μετρητών ταχύτητας και εξάχνωση κεραιών που βρίσκονται στην κορυφή του ιστού του πλοίου. Όλα τα προαναφερθέντα συμβάντα προκαλούν την ακινητοποίηση πλοίου χωρίς μέσα επικοινωνίας.

- Οι επιπτώσεις ενός κεραυνικού πλήγματος είναι πολύ εντονότερες σε πλοία κατασκευασμένα από μη μεταλλικό υλικό. Ειδικότερα, η κεραυνική τάση, είναι δυνατό να προκαλέσει διάσπαση στη γάστρα του πλοίου που είναι κατασκευασμένη από μη μεταλλικό υλικό (π.χ. fiberglass), αν δεν δοθεί στο κεραυνικό ρεύμα μια εναλλακτική διέξοδος. Στο μέρος του πλοίου που βρίσκεται μέσα στο νερό τοποθετείται μια πλάκα γείωσης. 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: Επιταχύνεται η διαδικασία γαλβανικής διάβρωσης, γίνεται ηλεκτρολυτική διάβρωση στις μαρίνες με τη διαρροή ρευμάτων. Επίσης, ένα κεραυνικό πλήγμα συμβάλλει στη δημιουργία παράπλευρων εκκενώσεων από και ανάμεσα σε εξαρτήματα του πλοίου μη μεταλλικής κατασκευής. Αυτό το γεγονός έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθεί η πιθανότητα εισροής νερού στο πλοίο. Για παράδειγμα, μια παράπλευρη εκκένωση ανάμεσα στην αλυσίδα της άγκυρας και το νερό, είναι πολύ συχνά παρατηρούμενο φαινόμενο.

Βιβλιογραφία

[1] Ι. Κ. Κριμιτζάς, «Μέθοδοι γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας σε πλοία», Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2013

[2] Μ. Δ. Θεοδοσίου, «Ανάπτυξη λογισμικού για αντικεραυνική προστασία κτιρίων», Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2009

[3] Α. Ι. Ποθητός, «Αντικεραυνική προστασία κατασκευών εφαρμογή στο Radar Λευκάδας», Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2006

[4] Ι. Α. Σταθόπουλος, «Υψηλές Τάσεις Ι», Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.

[5] Ι.Α. Σταθόπουλος, «Προστασία Τεχνικών Εγκαταστάσεων Έναντι Υπερτάσεων», Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.

[6] Α. Γ. Καλογιαννάκης «Μελέτη της αλληλεπίδρασης του κεραυνικού πλήγματος με τη σιδηρο-μεταλλική κατασκευή πλοίων», Διπλωματική εργασία, Πάτρα 2011

[7] Θ. Ε. Τσοβίλης, «Μοντέλο σύλληψης κεραυνού και εφαρμογές του σε συστήματα αντικεραυνικής προστασίας», Διδακτορική διατριβή, Θεσσαλονίκη 2010

[8] DEHN AND SOHNE, “LIGHTNING PROTECTION GUIDE, 2nd updated edition”, Germany 2007

[9] S. Grzybowski, Y. Song, “Experimental Study of Rod Height and Impulse Polarity Impact on the Protection Zone”, International Conference on lightning protection (ICLP 2004) Avignon, France pp. 372-377

[10] S. Grzybowski, “Experimental Evaluation of Lightning Protection Zone Used on Ship”, Electric Ship Technologies Symposium, 2007, pp. 215-220

[11] Ahmed A Hossam-Eldin, “Maritime Structures and Ships Lightning Protection” , Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing Expo, 2007, pp. 30-34

[12] S. Grzybowski, G. Gao, “Protection zone of Franklin rod” , International Symposium on High Voltage Engineering (ISH 2001), India, pp. 87-91

[13] A.Hossam-Eldin, A.M.Omran, “The collection volume method for lightning protectors placement of naval ships”, 2007 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp. 512-515

[14] A. P. Sakis Meliopoulos, “WIN IGS User Manual”, Software Version, WinIGS-5.8, December 2013

[15] http://www.thenamaris.com/fleet/thenamaris-fleet/tankers/

[16] http://www.minervamarine.com/fleet/vessels/tankers/aframax

[17] http://www.navios.com/Fleet/default.asp