

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ



Διπλωματική Εργασία
**Μελέτη του συστήματος πρόσδεσης και ασφάλισης
εμπορευματοκιβωτίων πάνω στο κατάστρωμα του πλοίου
υπό την επίδραση της κίνησης διατοιχισμού**

Γεώργιος Δ. Κεραμιώτης

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Θεμελής

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2022

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα παράγραφο θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου και να ευχαριστήσω τα άτομα που με βοήθησαν και με υποστήριξαν κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά, τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Ν.Θεμελή για την ανάθεση και καθοδήγηση της εργασίας. Η συμβολή του στην παροχή βιβλιογραφίας και οι διευκρινήσεις κατά την υλοποίηση του μαθηματικού μοντέλου και τη συγγραφή της εργασίας ήταν καθοριστική.

Επιπλέον, τους φίλους και την οικογένειά μου που με υποστήριξαν και με ενθάρρυναν σε όλη αυτή τη διαδρομή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη της στοιβασίας και της πρόσδεσης εμπορευματοκιβωτίων στο κατάστρωμα του πλοίου καθώς και ο υπολογισμός των φορτίσεων που δέχεται το φορτίο και το σύστημα πρόσδεσης κατά την κίνηση διατοιχισμού του πλοίου.

Αρχικά, γίνεται μία αναφορά στις μεθόδους και στα μέσα στοιβασίας και πρόσδεσης των εμπορευματοκιβωτίων και αναλύονται οι κύριες αιτίες οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν στο φαινόμενο της απώλειας φορτίου. Επιπλέον, πραγματοποιείται μία σύντομη αναφορά σε παρόμοιες μελέτες που έχουν ασχοληθεί με το αντίστοιχο ζήτημα στο παρελθόν.

Στη συνέχεια, προσεγγίζεται το θέμα της στοιβασίας και πρόσδεσης εμπορευματοκιβωτίων από την πλευρά των κανονισμών των νηογνωμόνων. Περιγράφεται, δηλαδή, η συμπεριφορά ενός και περισσότερων εμπορευματοκιβωτίων σε μία στοίβα καθώς και το σύστημα έγχυσης αυτών κατά την κίνηση διατοιχισμού του πλοίου. Αναλύεται, συνεπώς, το υπολογιστικό μοντέλο που υπολογίζει τις φορτίσεις που δέχονται τα φορτία και τα lashings που τα ασφαλίζουν σε διαφορετικές θέσεις πάνω στο κατάστρωμα του πλοίου.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου για κάθε στοίβα και θέση εμπορευματοκιβωτίων παρουσιάζονται μέσω διαγραμμάτων και μας παρέχουν τις μέγιστες φορτίσεις και τις αντίστοιχες επιταχύνσεις. Ακολουθώντας, γίνεται συσχέτιση των αποτελεσμάτων με τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές που ορίζει ο νηογνώμονας και υπολογίζονται οι οριακές τιμές που είναι ικανές να φέρουν το σύστημα σε αστοχία.

Μέσω της παρούσας διπλωματικής εργασίας συμπεραίνεται η επικινδυνότητα της κίνησης διατοιχισμού του πλοίου και των φορτίσεων που επιφέρει στο σύστημα καθώς και η μεταβολή των εγκάρσιων και κατακόρυφων δυνάμεων, συναρτήσει της θέσης των εμπορευματοκιβωτίων πάνω στο πλοίο. Επιπλέον, και οι δυνάμεις πρόσδεσης που δέχονται τα lashings εμφανίζουν διαφορετικές συμπεριφορές σε συνάρτηση της διέγερσης και των θέσεων στοιβασίας.

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is the study of the stowage and securing system of containers on the deck of the ship, as well as the calculation of loads received by the cargo and the lashing system during the ship's rolling motion.

Firstly, the methods and the means of the stowage and fastening of the containers are mentioned, followed by an analyzation of the main causes that can lead to the phenomenon of cargo loss. In addition, a brief reference is made to similar past studies.

Further, the issue of stowage and securing of containers is approached according to classification society's regulations. In other words, the behavior of one or more containers in a stack is described, as well as the system of stacking them during the ship's rolling motion. Therefore, the computational model that calculates the loads received by the cargoes and the lashings that secure them in different positions on the ship's deck is analyzed.

The results from the implementation of the model for each stack and position of containers are presented through diagrams providing us the maximum loads and the corresponding accelerations. Then, the results are correlated with the maximum design values set by classification society. The limit values are calculated which are capable of bringing the system to failure.

This diploma thesis concludes the dangers of the ship's rolling motion and the loads brought to the system, as well as the change of the transverse and vertical forces depending on the position of containers on the ship. In addition, the lashing forces also exhibit different behaviors as a function of excitation and stowage positions.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	1
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2) ΣΤΟΙΒΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΧΜΑΣΗ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ	6
2.1) ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ	6
2.2) ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΘΕΣΕΙΣ ΣΤΟΙΒΑΣΙΑΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ	6
2.3) Cargo Securing Manual – CSM	9
2.4) ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΙΣΗ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ	10
2.5) ΜΕΣΑ ΑΣΦΑΛΙΣΕΩΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ	12
2.6) ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΚΑΙ ΑΙΤΙΕΣ	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3) ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	17
3.1) Lashings of trailers on-board RO/RO ships under intensive rolling (N.Themelis, K.J.Spyrou)	17
3.2) Dynamics of lashed trailers on board ships under the combined effect of roll and pitch motions (N.Themelis, P.Poulios, K.J.Spyrou)	17
3.3) Μελέτη του συστήματος έχμασης εμπορευματοκιβωτίων στο κατάστρωμα πλοίου υπό την επίδραση της κίνησης διατοιχισμού (Σ.Χ.Αντωνιάδης)	18
3.4) Μελέτη του συστήματος έχμασης εμπορευματοκιβωτίων υπό την επίδραση της κίνησης διατοιχισμού (Π.Σ.Λοχαίτης)	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4) ΣΤΟΧΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5) ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ	20
5.1) ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΚΑΤΑ DNV	20
5.1.1) ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ	21
5.1.2) ΜΕΘΟΔΟΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ – ΑΝΕΠΤΥΓΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ	23
5.1.3) ΜΕΘΟΔΟΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ – ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ	26
5.2) ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ABS CODE	29
5.2.1) ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΕΜΟ	29
5.2.2) ΚΙΝΗΣΗ ΔΙΑΤΟΙΧΙΣΜΟΥ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΩΝΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΔΙΑΤΟΙΧΙΣΜΟΥ	29
5.2.3) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ.....	31
5.2.4) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΛΟΓΩ ΚΙΝΗΣΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ	34
5.2.5) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΤΩΝ LASHINGS	35
5.2.6) ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ	40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6) ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΩΝ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΧΜΑΣΗΣ	41
6.1) ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΟΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΟΥ.....	41
6.1.1) ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΟ.....	41
6.1.2) ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΛΟΓΩ ΚΙΝΗΣΗΣ ΔΙΑΤΟΙΧΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	42
6.1.3) ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΩΝ LASHINGS	43
6.2) ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΥΟ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ	45
6.2.1) ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΛΟΓΩ ΚΙΝΗΣΗΣ ΔΙΑΤΟΙΧΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	46
6.2.2) ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΩΝ LASHINGS	47
6.3) ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΡΙΩΝ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ.....	50
6.3.1) ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΛΟΓΩ ΚΙΝΗΣΗΣ ΔΙΑΤΟΙΧΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	50
6.3.2) ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΩΝ LASHINGS	52
6.4) ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ.....	55
6.4.1) ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΛΟΓΩ ΚΙΝΗΣΗΣ ΔΙΑΤΟΙΧΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	55
6.4.2) ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΩΝ LASHINGS	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7) ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	60
7.1) ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	60
7.2) ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	63
7.3) ΠΡΟΣΔΕΣΗ ΕΝΟΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΟΥ	66
7.3.1) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	66
7.3.2) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	67
7.4) ΠΡΟΣΔΕΣΗ ΔΥΟ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ	70
7.4.1) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	70
7.4.2) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	71
7.5) ΠΡΟΣΔΕΣΗ ΤΡΙΩΝ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ	74
7.5.1) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	74
7.5.2) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	75
7.6) ΠΡΟΣΔΕΣΗ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ.....	78
7.6.1) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	78
7.6.2) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	79
7.7) ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	82
7.8) ΚΡΙΣΙΜΗ ΓΩΝΙΑ ΔΙΑΤΟΙΧΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑ	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8) ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DNV	87
8.1) ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ.....	87

8.2) ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ	90
8.3) ΟΡΙΑΚΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΓΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	91
8.3.1) ΟΡΙΑΚΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΜΕΣΩ DNV CODE	91
8.3.1.1) <i>ΕΝΑ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΟ</i>	91
8.3.1.2) <i>ΔΥΟ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΣΕ ΣΤΟΙΒΑ</i>	93
8.3.1.3) <i>ΤΡΙΑ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΣΕ ΣΤΟΙΒΑ</i>	94
8.3.1.4) <i>ΤΕΣΣΕΡΑ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΣΕ ΣΤΟΙΒΑ</i>	95
8.3.1.5) <i>ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</i>	96
8.3.2) ΟΡΙΑΚΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΜΕΣΩ ABS CODE	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	99
9.1) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	99
9.2) ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	101
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	102

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1 : Εγκάρσια διάταξη εμπορευματοκιβωτίων	7
Σχήμα 2.2 : Διαμήκης διάταξη εμπορευματοκιβωτίων	7
Σχήμα 2.3 : Μικτή διάταξη εμπορευματοκιβωτίων	8
Σχήμα 2.4 : Σύστημα συντεταγμένων BAY, ROW, TIER.....	9
Σχήμα 2.5 : Μέθοδοι ασφάλισης εμπορευματοκιβωτίων	12
Σχήμα 2.6 : Απώλειες εμπορευματοκιβωτίων στο Maersk Carolina (2003)	15
Σχήμα 2.7 : Απώλειες εμπορευματοκιβωτίων στο APL China (1998)	15
Σχήμα 5.1 : Βασικές επιταχύνσεις	22
Σχήμα 5.2 : Ισορροπία εγκάρσιων δυνάμεων	24
Σχήμα 5.3 : Ισορροπία εγκάρσιων ροπών	25
Σχήμα 5.4 : Κατακόρυφες και οριζόντιες γωνίες πρόσδεσης	26
Σχήμα 5.5 : Γωνία διατοιχισμού (ϕ) συναρτήσει περιόδου λόγω διατοιχισμού (T_R).....	30
Σχήμα 5.6 : Αποστάσεις και γωνίες απαραίτητες για την εφαρμογή του μοντέλου	31
Σχήμα 5.7 : Μεταβολή της επιτάχυνσης a_0 συναρτήσει του πλάτους του πλοίου B.....	32
Σχήμα 5.8 : Μεταβολή παράγοντα δύναμης k_3 συναρτήσει του μήκους L	33
Σχήμα 5.9 : Σημεία άσκησης των δυνάμεων σε ένα εμπορευματοκιβώτιο	35
Σχήμα 5.10 : Αποστάσεις και γωνίες που καθορίζουν το μήκος των lashings	37
Σχήμα 5.11 : Μετατοπίσεις και δυνάμεις κατά την κίνηση διατοιχισμού σε στοίβα εμπορευματοκιβωτίων	39
Σχήμα 5.12 : Επιτρεπόμενες φορτίσεις των εμπορευματοκιβωτίων	40
Σχήμα 6.1 : Αναπαράσταση εμπορευματοκιβωτίου και διάταξης των lashings	41
Σχήμα 6.2 : Δυνάμεις λόγω κίνησης διατοιχισμού του πλοίου	42
Σχήμα 6.3 : Δυνάμεις στα lashings του εμπορευματοκιβωτίου	44
Σχήμα 6.4 : Αναπαράσταση εμπορευματοκιβωτίων και διάταξης των lashings	45
Σχήμα 6.5 : Δυνάμεις λόγω κίνησης διατοιχισμού του πλοίου	46
Σχήμα 6.6 : Δυνάμεις στα lashings των εμπορευματοκιβωτίων	48
Σχήμα 6.7 : Αναπαράσταση εμπορευματοκιβωτίων και διάταξης των Lashings	50
Σχήμα 6.8 : Δυνάμεις λόγω κίνησης διατοιχισμού του πλοίου	51
Σχήμα 6.9 : Δυνάμεις στα lashings των εμπορευματοκιβωτίων	53
Σχήμα 6.10 : Αναπαράσταση εμπορευματοκιβωτίων και διάταξης των Lashings	55
Σχήμα 6.11 : Δυνάμεις λόγω κίνησης διατοιχισμού του πλοίου	58
Σχήμα 6.12 : Δυνάμεις στα lashings των εμπορευματοκιβωτίων	58
Σχήμα 7.1 : Διαμήκης θέση εμπορευματοκιβωτίων.....	61
Σχήμα 7.2 : Εγκάρσια θέση εμπορευματοκιβωτίων	61
Σχήμα 7.3 : Σενάριο φόρτωσης.....	62
Σχήμα 7.4 : Εγκάρσια συνισταμένη δύναμη λόγω διατοιχισμού και ανέμου	67
Σχήμα 7.5 : Εγκάρσια επιτάχυνση A_T συναρτήσει της θέσης	67
Σχήμα 7.6 : Εγκάρσια συνισταμένη δύναμη στις πλευρές του εμπορευματοκιβωτίου	68
Σχήμα 7.7 : Κατακόρυφη συνισταμένη δύναμη F_V λόγω διατοιχισμού	68

Σχήμα 7.8 : Εγκάρσια F_{IH} και κατακόρυφη F_{IV} συνιστώσα της δύναμης των lashings συναρτήσσει της θέσης.....	69
Σχήμα 7.9 : Συνολική δύναμη που ασκείται στο δεξιό lashing T_R	69
Σχήμα 7.10 : Διαμήκης θέση εμπορευματοκιβωτίων.....	70
Σχήμα 7.11 : Εγκάρσια θέση εμπορευματοκιβωτίων.....	71
Σχήμα 7.12 : Εγκάρσια συνισταμένη δύναμη λόγω διατοιχισμού και ανέμου.....	71
Σχήμα 7.13 : Εγκάρσιες επιτάχυνσεις (A_{T1}, A_{T2}) συναρτήσσει της θέσης.....	72
Σχήμα 7.14 : Εγκάρσια συνισταμένη δύναμη στις πλευρές των εμπορευματοκιβωτίων.....	72
Σχήμα 7.15 : Εγκάρσια F_{IH} και κατακόρυφη F_{IV} συνιστώσα της δύναμης των lashings συναρτήσσει της θέσης.....	73
Σχήμα 7.16 : Συνολικές δυνάμεις που ασκούνται στα δεξιά lashings (T_{R1}, T_{R2})	73
Σχήμα 7.17 : Διαμήκης θέση εμπορευματοκιβωτίων.....	74
Σχήμα 7.18 : Εγκάρσια θέση εμπορευματοκιβωτίων.....	75
Σχήμα 7.19 : Εγκάρσια συνισταμένη δύναμη λόγω διατοιχισμού και ανέμου.....	75
Σχήμα 7.20 : Εγκάρσιες επιτάχυνσεις (A_{T1}, A_{T2}, A_{T3}) συναρτήσσει της θέσης.....	76
Σχήμα 7.21 : Εγκάρσια συνισταμένη δύναμη στις πλευρές των εμπορευματοκιβωτίων.....	76
Σχήμα 7.22 : Εγκάρσια F_{IH} και κατακόρυφη F_{IV} συνιστώσα της δύναμης των lashings συναρτήσσει της θέσης.....	77
Σχήμα 7.23 : Συνολικές δυνάμεις που ασκούνται στα δεξιά lashings (T_{R1}, T_{R2})	77
Σχήμα 7.24 : Διαμήκης θέση εμπορευματοκιβωτίων.....	78
Σχήμα 7.25 : Εγκάρσια θέση εμπορευματοκιβωτίων.....	79
Σχήμα 7.26 : Εγκάρσια συνισταμένη δύναμη λόγω διατοιχισμού και ανέμου.....	79
Σχήμα 7.27 : Εγκάρσιες επιτάχυνσεις ($A_{T1}, A_{T2}, A_{T3}, A_{T4}$) συναρτήσσει της θέσης.....	80
Σχήμα 7.28 : Εγκάρσια συνισταμένη δύναμη στις πλευρές των εμπορευματοκιβωτίων.....	80
Σχήμα 7.29 : Εγκάρσια F_{IH} και κατακόρυφη F_{IV} συνιστώσα της δύναμης των lashings συναρτήσσει της θέσης.....	81
Σχήμα 7.30 : Συνολικές δυνάμεις που ασκούνται στα δεξιά lashings (T_{R1}, T_{R2})	81
Σχήμα 7.31 : Δυνάμεις στα Lashings (T_{R1}, T_{R2}) συναρτήσσει της στοίβας εμπορευματοκιβωτίων στη θέση 1.....	82
Σχήμα 7.32 : Δυνάμεις στα Lashings (T_{R1}, T_{R2}) συναρτήσσει της στοίβας εμπορευματοκιβωτίων στη θέση 2.....	82
Σχήμα 7.33 : Δυνάμεις στα Lashings (T_{R1}, T_{R2}) συναρτήσσει της στοίβας εμπορευματοκιβωτίων στη θέση 3.....	83
Σχήμα 7.34 : Εγκάρσια συνιστώσα της δύναμης των lashings (F_{IH2}) συναρτήσσει της γωνίας διατοιχισμού.....	85
Σχήμα 7.35 : Κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης των lashings (F_{IV2}) συναρτήσσει της γωνίας διατοιχισμού.....	85
Σχήμα 7.36 : Συνολική δύναμη του lashing (T_2) συναρτήσσει της γωνίας διατοιχισμού.....	86
Σχήμα 8.1 : Βασικές επιταχύνσεις μέσω DNV CODE.....	88
Σχήμα 8.2 : Διάγραμμα των βασικών επιταχύνσεων μέσω DNV CODE	88
Σχήμα 8.3 : Εγκάρσιες επιταχύνσεις μέσω του υπολογιστικού πλαισίου που ορίζει ο ABS..	89
Σχήμα 8.4 : Διάγραμμα των εγκάρσιων επιταχύνσεων (A_T) μέσω ABS CODE	89
Σχήμα 8.5 : Οριακές εγκάρσιες επιταχύνσεις για ολίσθηση και ανατροπή μέσω DNV CODE σε τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις φόρτωσης.....	98
Σχήμα 8.6 : Οριακές εγκάρσιες επιταχύνσεις (A_T) μέσω ABS CODE	98

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 : Μόνιμος εξοπλισμός εχμάσεως	13
Πίνακας 2.2 : Φορητός εξοπλισμός εχμάσεως	14
Πίνακας 5.1 : Προσδιορισμός MSL ως προς τη φόρτιση κατάρρευσης	20
Πίνακας 5.2 : Συντελεστές διόρθωσης για μήκος και ταχύτητα πλοίου	22
Πίνακας 5.3 : Συντελεστές διόρθωσης για $B/GM < 13$	23
Πίνακας 5.4 : Τιμές f συναρτήσει των α και μ	24
Πίνακας 5.5 : $\mu = 0.4$	27
Πίνακας 5.6 : $\mu = 0.3$	27
Πίνακας 5.7 : $\mu = 0.2$	27
Πίνακας 5.8 : $\mu = 0.1$	28
Πίνακας 5.9 : $\mu = 0.0$	28
Πίνακας 5.10 : Εμβαδόν διατομής των lashings	37
Πίνακας 5.11 : Μέτρο ελαστικότητας των lashings	38
Πίνακας 5.12 : Σταθερά διάτμησης του εμπορευματοκιβωτίου.....	39
Πίνακας 7.1 : Βασικά χαρακτηριστικά πλοίου.....	63
Πίνακας 7.2 : Χαρακτηριστικά πλοίου σε συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης.....	63
Πίνακας 7.3 : Τα κέντρα της διαμήκης θέσης των εμπορευματοκιβωτίων από AP.....	64
Πίνακας 7.4 : Τα κέντρα της εγκάρσιας θέσης των εμπορευματοκιβωτίων	65
Πίνακας 7.5 : Τα κέντρα της κατακόρυφης θέσης των εμπορευματοκιβωτίων	65
Πίνακας 7.6 : Εγκάρσιες δυνάμεις συναρτήσει της στοίβας εμπορευματοκιβωτίων στη θέση 1.....	83
Πίνακας 7.7 : Εγκάρσιες δυνάμεις συναρτήσει της στοίβας εμπορευματοκιβωτίων στη θέση 2.....	83
Πίνακας 7.8 : Εγκάρσιες δυνάμεις συναρτήσει της στοίβας εμπορευματοκιβωτίων στη θέση 3.....	83

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων έχουν καταφέρει να εδραιωθούν στη παγκόσμια ναυτιλία. Από την έναρξη της μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων μέχρι σήμερα, δηλαδή για περισσότερα από 60 χρόνια, η συμβολή στην παγκόσμια οικονομία είναι τόσο μεγάλη που πλέον πάνω από το 90% των μη χύδην φορτίων παγκοσμίως μεταφέρονται με εμπορευματοκιβώτια. Κύριος λόγος αυτής της ανάπτυξης στην εισαγωγή μεταφορών φορτίου εντός τυποποιημένου εμπορευματοκιβωτίου αποτέλεσαν τα τρία βασικά οφέλη της ταχείας μεταφοράς, της ασφάλειας που παρέχουν και της άνετης παραλαβής και παράδοσης. Συγκεκριμένα, ο χρόνος παράδοσης των αγαθών σε παγκόσμια κλίμακα μειώθηκε κατά 90% και το κόστος μεταφοράς κατά 35%. [1]

Η χρήση των εμπορευματοκιβωτίων έχει καταφέρει να πρωταγωνιστήσει τόσο στις θαλάσσιες όσο και στις χερσαίες μεταφορές διότι μέσω αυτών διευκολύνεται η όλη διαδικασία. Τα πλεονεκτήματα που πηγάζουν από την μεταφορά μέσω εμπορευματοκιβωτίων είναι τα ακόλουθα [3]:

- Μειώνεται ο χρόνος, τα έξοδα και ο κίνδυνος βλάβης του εμπορεύματος κατά την φορτοεκφόρτωση και μεταφορά από το ένα μεταφορικό μέσο στο άλλο.
- Μειώνονται τα έξοδα συσκευασίας και στοιβασίας του εμπορεύματος.
- Μειώνεται ο κίνδυνος κλοπής του εμπορεύματος καθώς τα εμπορευματοκιβώτια μεταφέρονται κλειστά και σφραγισμένα.
- Μειώνεται ο χρόνος παραμονής του πλοίου στο λιμάνι.

Ωστόσο, λόγω της εκτεταμένης χρήσης τους και των απαιτήσεων που έχουν δημιουργηθεί στην παγκόσμια αγορά για ολοένα και πιο αυξημένη μεταφορά υλικών αγαθών, το μέγεθος των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων αυξήθηκε σημαντικά. Κατ' επέκταση, η αύξηση αυτή του μεγέθους επέφερε και σημαντικά ζητήματα ως προς την ασφάλεια του πλοίου και του φορτίου που μεταφέρει. Η αντοχή του πλοίου, η ευστάθειά του και η πρόσδεση των εμπορευματοκιβωτίων είναι μόνο μερικά από τα θέματα που μας προβληματίζουν. Ο κακός σχεδιασμός, η απρόσεκτη φορτοεκφόρτωση των εμπορευμάτων και η κακή πρόσδεση των εμπορευματοκιβωτίων πάνω στο πλοίο έχουν ανά καιρούς δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα, επιφέροντας απώλειες. Οι απώλειες εμπορευματοκιβωτίων στη θάλασσα μάλιστα δεν αποτελεί ένα σπάνιο φαινόμενο. Αντιθέτως, σύμφωνα με τελευταίες έρευνες περισσότερα από 2000 εμπορευματοκιβώτια κάθε χρόνο χάνονται κατά τη μεταφορά. [2]

Ένας από τους κύριους λόγους απωλειών εμπορευματοκιβωτίου αποτελεί η κίνηση διατοιχισμού του πλοίου όταν βρεθεί σε αντίξοες καιρικές συνθήκες. Η κίνηση διατοιχισμού του πλοίου αποτέλεσε έναν πολύ σημαντικό παράγοντα στη δημιουργία κανονισμών από τους νηογνώμονες σχετικά με την ορθή στοιβασία και πρόσδεση των εμπορευματοκιβωτίων πάνω στο πλοίο. Ωστόσο, ακόμα και μετά από αυτούς τους κανονισμούς, είτε λόγω μη τήρησης της ορθής στοιβασίας από τους υπεύθυνους ασφαλείας είτε λόγω ανεπάρκειας των υπάρχοντων κανονισμών, το φαινόμενο δεν κατάφερε να εξαληφθεί και συνεχίζει να ταλαιπωρεί τη ναυτιλία.

Συνεπώς, με βάση τα όσα αναλύθηκαν, η συγκεκριμένη εργασία έχει ως κύριο σκοπό τη μελέτη της επίδρασης της κίνησης διατοιχισμού στο σύστημα έχμασης καθώς και της ορθής στοιβασίας των εμπορευματοκιβωτίων στο πλοίο, με σκοπό την αποφυγή καταστροφικών αποτελεσμάτων.

Πιο συγκεκριμένα, το κάθε κεφάλαιο περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:** Παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά και τα βασικά είδη εμπορευματοκιβωτίων και οι διαφορετικοί μέθοδοι που ακολουθούνται για τη στοιβασία τους πάνω στο κατάστρωμα του πλοίου. Επιπλέον, αναλύεται το σύστημα πρόσδεσης καθώς και οι βασικές αιτίες που επιβαρύνουν με φορτίσεις το σύστημα έχμασης και οδηγούν σε προβλήματα και απώλειες εμπορευματοκιβωτίων.
- **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:** Αποτελεί μία κριτική ανασκόπηση αντίστοιχων εργασιών που πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν με τους στόχους και τα αποτελέσματα αυτών.
- **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:** Περιγράφονται και αναλύονται με σαφήνεια οι στόχοι της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.
- **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:** Περιγράφονται και αναλύονται από την πλευρά των κανονισμών, τα υπολογιστικά πλαίσια που ορίζονται για τις δυνάμεις που δέχονται τα εμπορευματοκιβώτια και το σύστημα πρόσδεσης.
- **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:** Περιγράφεται το μαθηματικό μοντέλο που αναλύει τις φορτίσεις που δέχεται μία στοίβα ενός ή περισσότερων εμπορευματοκιβωτίων κατά την κίνηση διατοιχισμού του πλοίου. Αναλύονται οι επιμέρους σχέσεις μέσω της επίλυσης των οποίων προκύπτουν οι δυνάμεις που θέλουμε να υπολογίσουμε.
- **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:** Εφαρμόζεται το μαθηματικό μοντέλο που έχουμε αναλύσει και εξάγονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα.
- **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:** Εφαρμόζεται η Ανεπτυγμένη μέθοδος DNV και γίνεται σύγκριση αποτελεσμάτων με το δικό μας μαθηματικό μοντέλο ως προς τις δυνάμεις φόρτισης και τις επιταχύνσεις.
- **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9:** Καταγράφονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν έπειτα από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2) ΣΤΟΙΒΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΧΜΑΣΗ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

2.1) ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ [3]

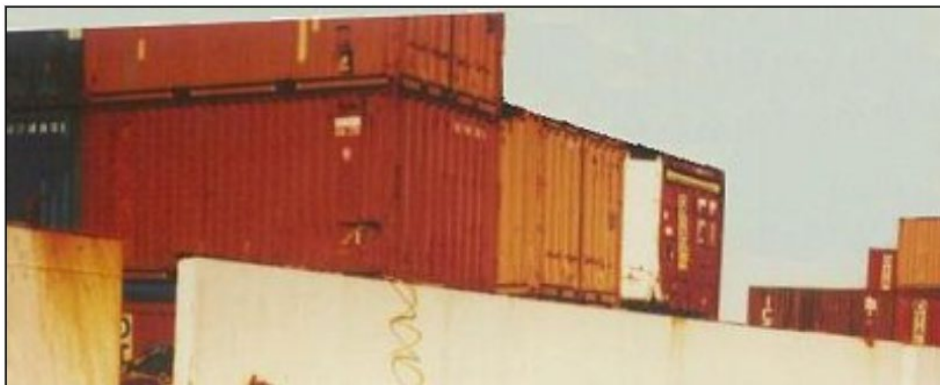
Η λεπτομερής περιγραφή των διαστάσεων των εμπορευματοκιβωτίων καθορίζεται από τον Διεθνή Οργανισμό Προτύπων (ISO). Ένα τυπικό εμπορευματοκιβώτιο θαλάσσιας μεταφοράς τύπου ISO διαθέτει μόνιμα χαρακτηριστικά, είναι αρκετά ισχυρής χαλύβδινης κατασκευής ικανής να αντέξει στις καιρικές συνθήκες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί πολλές φορές. Οι σχετικές με το μέγεθος προδιαγραφές των κλασικών και πιο συνηθισμένων ISO εμπορευματοκιβωτίων είναι:

- 20 ft εμπορευματοκιβώτια με διαστάσεις 20'(μήκος) x 8'(πλάτος) x 9'6''(ύψος)
- 40 ft εμπορευματοκιβώτια με διαστάσεις 40'(μήκος) x 8'(πλάτος) x 9'6''(ύψος)

Ο ISO συνιστά το μέγιστο ολικό βάρος των εμπορευματοκιβωτίων των 20 ft και των 40 ft να μην ξεπερνά τους 24 t και τους 30 t αντίστοιχα. Ένα εμπορευματοκιβώτιο έχει σχεδιαστεί ώστε να αντέχει 192 t βάρος στοίβας πάνω από τα δοκάρια στηρίξεως του σκελετού στις γωνίες του εμπορευματοκιβωτίου.

2.2) ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΘΕΣΕΙΣ ΣΤΟΙΒΑΣΙΑΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ [4]

Τα εμπορευματοκιβώτια τοποθετούνται ομοιόμορφα σε στοίβες μέσα στα κύττη από το δάπεδο μέχρι το κουβούσι και έξω από το κύτος, επάνω στα καλύμματα, μέχρι το πάνω μέρος της στοίβας. Ωστόσο ο τρόπος στοιβασίας των εμπορευματοκιβωτίων είναι διαφορετικός από πλοίο σε πλοίο. Σε μερικά πλοία, τα εμπορευματοκιβώτια στοιβάζονται ως προς το εγκάρσιο, με αποτέλεσμα η φορτοεκφόρτωση και η ασφάλιση του φορτίου κάθε φορά να πραγματοποιείται ως προς αυτή τη συγκεκριμένη κατεύθυνση. Η διάταξη αυτή παρουσιάζεται στο ακόλουθο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1 : Εγκάρσια διάταξη εμπορευματοκιβωτίων [4]

Ωστόσο, στα περισσότερα πλοία η στοιβασία των εμπορευματοκιβωτίων πραγματοποιείται ως προς το διάμηκες, δηλαδή κατά το μήκος του πλοίου. Κατά τη διαμήκη τοποθέτηση των εμπορευματοκιβωτίων στο κατάστρωμα του πλοίου, η αντοχή σχεδιάζεται να είναι μεγαλύτερη στις διαμήκεις πλευρές των εμπορευματοκιβωτίων διότι οι δυνάμεις που ασκούνται εξαιτίας της επίδρασης θαλάσσιων κυματισμών είναι μεγαλύτερες ως προς το εγκάρσιο.



Σχήμα 2.2 : Διαμήκης διάταξη εμπορευματοκιβωτίων [4]

Τέλος, μία λιγότερο διαδομένη μέθοδος στοιβασίας είναι αυτή κατά την οποία τα εμπορευματοκιβώτια τοποθετούνται τόσο διαμήκως όσο και εγκάρσιως επί του πλοίου. Η φορτοεκφόρτωση των εμπορευματοκιβωτίων συνεπώς θα πρέπει να πραγματοποιείται με ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να υπάρχει σωστή κατανομή του βάρους και να επιτευχθεί η ασφαλής μεταφορά του φορτίου.

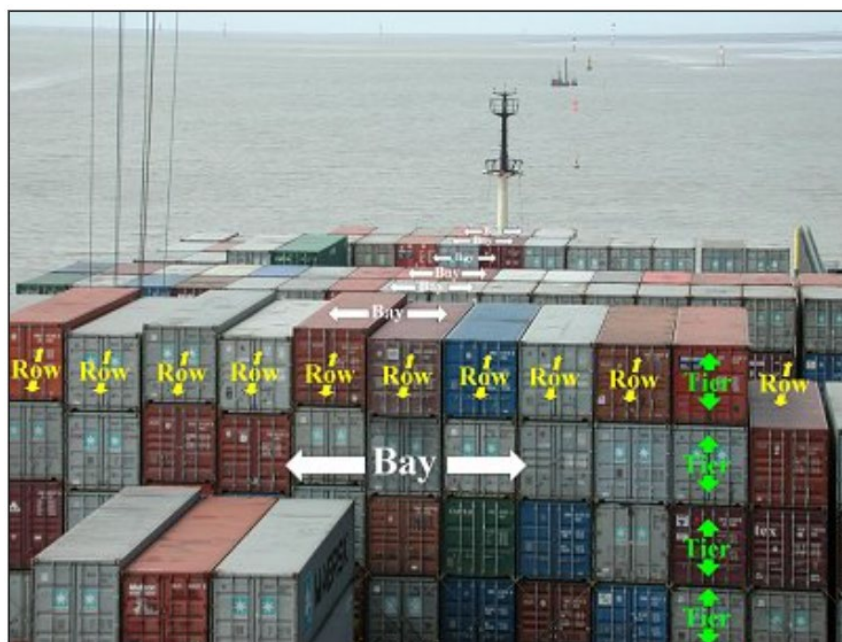


Σχήμα 2.3 : Μικτή διάταξη εμπορευματοκιβωτίων [4]

Σε όλες τις περιπτώσεις ωστόσο θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η προϋπόθεση ότι κατά τη στοιβασία των εμπορευματοκιβωτίων διατηρείται χαμηλό το κέντρο βάρους της στοίβας. Δηλαδή, τα πιο βαριά εμπορευματοκιβώτια να είναι τοποθετημένα χαμηλά και τα πιο ελαφριά ψηλότερα. Σε οποιαδήποτε αντίθετη περίπτωση, αυξάνονται κατά πολύ οι πιθανότητες το πλοίο μας να παρουσιάσει προβλήματα ευστάθειας και οι δυνάμεις που δέχεται το κατώτερο εμπορευματοκιβώτιο της στοίβας να είναι μεγαλύτερες από τις μέγιστες επιτρεπόμενες, με αποτέλεσμα τον κίνδυνο καταστροφής του εμπορευματοκιβωτίου.

Για να γίνει ακόμη πιο κατανοητή η στοιβασία των εμπορευματοκιβωτίων επί του πλοίου, θα πρέπει να αναλυθούν και οι θέσεις στις οποίες αυτά τοποθετούνται. Ο τρόπος διευθέτησης των εμπορευματοκιβωτίων είναι συγκεκριμένος, προορίζει με σαφήνεια την θέση στοιβασίας και χαρακτηρίζεται από τρεις διαφορετικές συντεταγμένες:

- I. BAY : Θέση που καταλαμβάνει το εμπορευματοκιβώτιο κατά το διάμηκες του πλοίου. Η αρίθμηση της συντεταγμένης BAY γίνεται κατά το διάμηκες του πλοίου από την πλώρη προς την πρύμνη. Οι μονοί αριθμοί προσδιορίζουν τα εμπορευματοκιβώτια 20 ft ενώ οι ζυγοί αριθμοί τα 40 ft.
- II. ROW : Θέση του κάθε εμπορευματοκιβωτίου κατά το εγκάρσιο του πλοίου. Η αρίθμηση γίνεται δεξιά και αριστερά από τον διαμήκη άξονα συμμετρίας και με τέτοιο τρόπο ώστε να προσδιορίζεται η στήλη του εμπορευματοκιβωτίου στο εκάστοτε BAY με μονό αριθμό του ROW. Δεξιά της centerline βρίσκονται οι μονοί αριθμοί και αριστερά οι ζυγοί.
- III. TIER : Κατακόρυφη θέση του εμπορευματοκιβωτίου στη συγκεκριμένη στήλη. Η αρίθμηση στις καθ' ύψος σειρές γίνεται από τον πυθμένα του κύτους προς τα πάνω και κατά τέτοιο τρόπο ώστε να προσδιορίζεται η κατακόρυφη θέση του εμπορευματοκιβωτίου στη συγκεκριμένη στοίβα, μέσα στο κύτος και πάνω στο κατάστρωμα.



Σχήμα 2.4 : Σύστημα συντεταγμένων BAY, ROW, TIER [4]

2.3) Cargo Securing Manual – CSM [3]

Το Κεφάλαιο VI της SOLAS Carriage of Cargoes αρχικά αφορούσε τις ειδικές απαιτήσεις που είχαν σχέση αποκλειστικά με τη μεταφορά των σιτηρών και τις ασφαλείς πρακτικές για τη στοιβασία και την ασφάλισή τους. Στις τροποποιήσεις του 1998 συμπεριλήφθηκαν οδηγίες καθιερώσεως και χρήσεως του Εγχειριδίου Ασφάλισεως Φορτίου (Cargo Securing Manual – CSM) και του τρόπου επικοινωνίας πλοίου-ξηράς κατά τη φόρτωση και την εκφόρτωση. Μετά από τις οδηγίες της Επιτροπής Ναυτικής Ασφάλειας (MSC), η Υποεπιτροπή ανέπτυξε για τα Εμπορευματοκιβώτια τον Κώδικα Ασφαλούς Πρακτικής για τη Στοιβασία και Ασφάλιση Φορτίου (Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Security – CSS code).

Στο Παράρτημα Appendix 2 του Κώδικα CSS, δίνονται οδηγίες σχετικά με την προετοιμασία του CSM. Το CSM του κάθε πλοίου έχει ως σκοπό να παρέχει τις κατάλληλες πληροφορίες στον Πλοίαρχο σχετικά με τον τρόπο που θα γίνει η στοιβασία και η έχμαση των εμπορευματοκιβωτίων. Το CSM περιλαμβάνει τις μεθόδους υπολογισμού και τους πίνακες με τους οποίους θα υπολογιστούν οι δυνάμεις που αναμένεται να επηρεάσουν το φορτίο κατά τη μεταφορά του και δίνει πληροφορίες για τις δυνάμεις που ενεργούν σε κάθε μονάδα φορτίου. Ο Πλοίαρχος πρέπει να βεβαιωθεί ότι το CSM περιλαμβάνει επαρκείς πληροφορίες. Στην

περίπτωση πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων μάλιστα, θα πρέπει το CSM να παρέχει και ένα Σχέδιο προσβάσεως ασφαλείας (Cargo safety access plan – CSAP).

Όπως όλα τα σχετικά εγχειρίδια, που οι διάφοροι κανονισμοί απαιτούν να έχει στη διάθεσή του ένα πλοίο, έτσι και το CSM θα πρέπει να είναι επικυρωμένο από την Αρχή ή τον αναγνωρισμένο νηογνώμονα της Αρχής και δεν πρέπει να φέρει τροποποιήσεις χωρίς την έγκριση της Αρχής που το έχει επικυρώσει. Επιπλέον, θα πρέπει να βρίσκεται πάντα στο πλοίο και να επιδεικνύεται όταν ζητηθεί από τους επιθεωρητές της σημαίας του πλοίου (Flag State Control) ή από τους επιθεωρητές των λιμένων (Port State Control).

Ο Πλοίαρχος ακολουθώντας τις οδηγίες του CSM πριν την έναρξη της φορτώσεως, θα πρέπει να βεβαιωθεί ότι τα απαραίτητα μέσα ασφαλίσεως και τα υλικά επιστρώσεως είναι σωστά συντηρημένα και επαρκή, ότι το κατάστρωμα δεν έχει γράσα, λάδια ή νερά και ότι οι μονάδες φορτίου είναι σε καλή κατάσταση για μεταφορά. Πρέπει επίσης να τηρήσει τις γενικές αρχές ασφαλούς στοιβασίας λαμβάνοντας υπόψη τις προβλεπόμενες καιρικές συνθήκες στο συγκεκριμένο ταξίδι. Βασική ευθύνη του Πλοίαρχου είναι επιπλέον να βεβαιωθεί μετά τη φόρτωση ότι η ασφάλιση έγινε κατά το σωστό τρόπο και σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό και να ελέγξει την ασφάλιση με τους σχετικούς υπολογισμούς. Θα πρέπει τέλος να ελέγξει σε όλη τη διάρκεια του ταξιδιού ότι οι μονάδες του φορτίου είναι σωστά ασφαλισμένες.

2.4) ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΙΣΗ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ [5],[6]

Στα κυψελοειδή κύτη των εμπορευματοκιβωτίων δεν χρειάζεται ιδιαίτερη έχμαση, διότι μέσα σε αυτά γλιστρούν στους οδηγούς ολισθήσεως των κελιών (cell guides). Η στοιβασία των εμπορευματοκιβωτίων στα κύτη είναι απόλυτα συμπαγής με αποτέλεσμα να μην επιτρέπεται η μετακίνησή τους κατά τη μεταφορά τους, εφόσον δεν υπάρχουν περιθώρια, κρατώντας το πλοίο μόνιμα ευσταθές κατά τη διάρκεια του ταξιδιού.

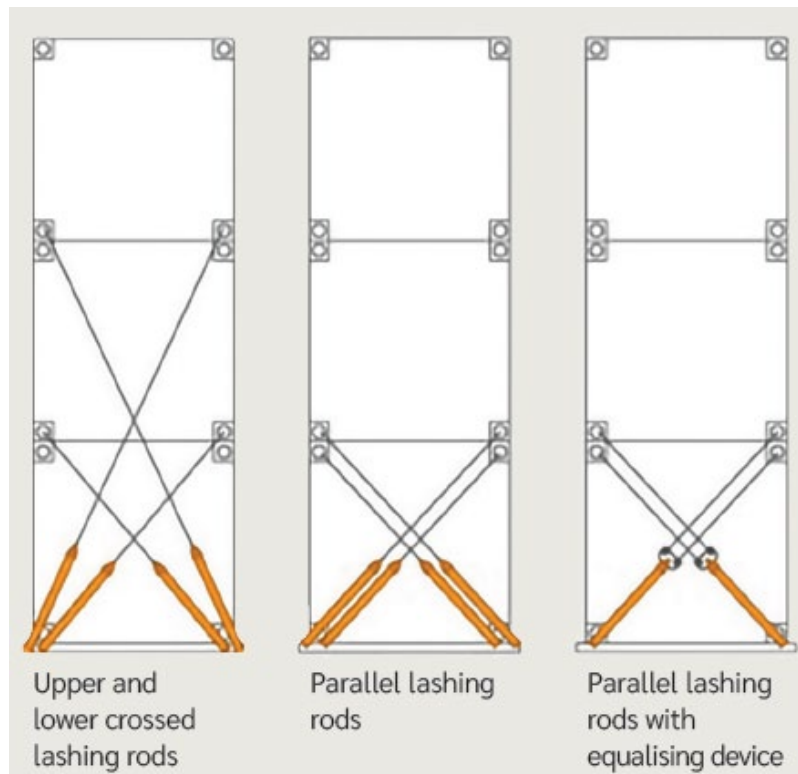
Αντιθέτως, στο κατάστρωμα, λόγω των δυνάμεων που αναπτύσσονται από τις κινήσεις του πλοίου, τη θάλασσα και τον άνεμο, κρίνεται απαραίτητη η ασφάλιση των εμπορευματοκιβωτίων ώστε να είναι ασφαλής η μεταφορά τους. Σε όλες τις μεθόδους ασφαλίσεως στο κατάστρωμα όπου δεν υπάρχουν μόνιμοι οδηγοί κελιών, οι γωνίες αναρτήσεως και στηρίξεως του πρώτου εμπορευματοκιβωτίου της στοιβας ασφαλιζονται στις μόνιμες βάσεις στηρίξεως του καταστρώματος. Τα εμπορευματοκιβώτια μεταξύ τους συνδέονται με ενδιάμεσα περιστρεφόμενα

κλειδιά (twistlocks). Κατά την έχμαση το πλοίο πρέπει να βρίσκεται σε όρθια θέση και αυτό συνήθως ρυθμίζεται μέσω του έρματος.

Επιπρόσθετα, η έχμαση πραγματοποιείται κυρίως στις πλευρικές στήλες, που επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό από τη δύναμη του ανέμου. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται να μειωθούν οι δυνάμεις που ασκούνται κατά την κίνηση διατοιχισμού, μειώνοντας τον κίνδυνο φθοράς του φορτίου μας. Επιπλέον, θα πρέπει να αποφεύγονται οι απομονωμένες στοίβες πάνω στο κατάστρωμα του πλοίου.

Ακολούθως περιγράφονται οι τέσσερις πιο βασικοί τρόποι ασφαλίσεως των εμπορευματοκιβωτίων (Σχήμα 2.5):

- I. Η ασφάλιση των εμπορευματοκιβωτίων μόνο στην κάθε στοίβα ξεχωριστά. Οι στοίβες δεν συνδέονται μεταξύ τους με έχμαση. Η έχμαση είναι κατακόρυφη και διασταυρώνονται μόνο οι εξωτερικές πλευρικές στοίβες. Με τη μέθοδο αυτή διευκολύνεται η φορτοεκφόρωση των εμπορευματοκιβωτίων, διότι κάθε στοίβα παραμένει ανεξάρτητη.
- II. Η διαγώνια ασφάλιση, όπου η έχμαση πραγματοποιείται διαγώνια από εμπορευματοκιβώτια διαφορετικής στοίβας. Η μέθοδος αυτή κατά το πλείστον χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.
- III. Η ασφάλιση – σταθεροποίηση σε ασφαλή στοιβασία, όπου οι στοίβες συνδέονται μεταξύ τους σε κάθε ΒΑΥ και σε όλο το πλάτος του πλοίου.
- IV. Η ασφάλιση με μόνιμους οδηγούς κελιών καθ' ύψος στο κατάστρωμα και σε όλο το ύψος στοιβασίας. Η μέθοδος αυτή ασφαλίζει αρκετά καλά τα εμπορευματοκιβώτια που φορτώνονται στο κατάστρωμα, περιορίζονται τα ατυχήματα προσωπικού, αλλά υπάρχει πιθανότητα να προκληθούν ζημιές τόσο κατά τη διάρκεια του ταξιδιού όσο και κατά την φορτοεκφόρτωση, όταν τα μεγέθη των εμπορευματοκιβωτίων είναι διαφορετικά.



Σχήμα 2.5 : Μέθοδοι ασφαλίσεως εμπορευματοκιβωτίων [5]



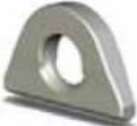



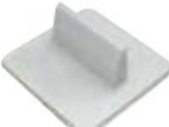
Ο σχεδιασμός και ο υπολογισμός έχμασης πραγματοποιείται σύμφωνα με το εγχειρίδιο «Cargo Securing Manual», που αναλύθηκε προηγουμένως στην ενότητα 2.3, και ορίζει τα όρια παραμέτρων, όπως οι διαστάσεις των εμπορευματοκιβωτίων, το ανώτερο όριο στις μάζες κάθε στοίβας, στοίβες που επηρεάζονται από τους ανέμους καθώς και το ύψος των στοιβών. Αν επιλεγεί διαφορετική κατανομή δυνάμεων από αυτές που έχουν δοθεί στο εγχειρίδιο θα πρέπει να ακολουθηθούν οι ακόλουθες αρχές:

- Να μην υπερβαίνει το μέγιστο βάρος και ύψος της στοίβας.
- Η μετακίνηση μάζας από κάτω προς τα πάνω θεωρείται μη αποδεκτή
- Όταν υπάρχει μείωση του βάρους χαμηλά θα πρέπει αντίστοιχα να μειώνεται το βάρος των εμπορευματοκιβωτίων και ψηλότερα σε μία στοίβα.

2.5) ΜΕΣΑ ΑΣΦΑΛΙΣΕΩΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ [5],[6],[15]

Τα συστήματα και μέσα ασφαλίσεως των εμπορευματοκιβωτίων στις στοίβες διακρίνονται στο μόνιμο εξοπλισμό, που είναι συγκολλημένος με την μεταλλική κατασκευή του πλοίου και στον φορητό εξοπλισμό εχμάσεως. Όταν ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων χρησιμοποιεί τα συγκεκριμένα εξαρτήματα,

είναι υποχρεωμένο να τηρεί τις οδηγίες του κατασκευαστή σε κάθε χρήση. Οι παρακάτω Πίνακες 2.1 και 2.2 δείχνουν την μορφή των μέσων ασφάλισης και περιγράφουν τη χρήση τους.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΚΟΠΟΣ	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ
Flush Socket (Ισόπεδη υποδοχή)	Σημείο στήριξης των περιστρεφόμενων κλειδιών της βάσης.		Συνήθως τοποθετείται σε μια μικρή εσοχή για να εξασφαλίζεται στεγανότητα.
Raised Socket (Υψωμένη υποδοχή)	Σημείο στήριξης των περιστρεφόμενων κλειδιών της βάσης.		Πρέπει να καθαριστούν και να αφαιρεθούν τα υπολείμματα πριν από τη χρήση.
Lashing plate or 'Pad-eye' (Σταθερός δακτύλιος)	Σημείο πρόσδεσης του εντατήρα.		Μπορεί να λυγίσει την πλάκα και να σπάσει τη συγκόλληση σύνδεσης.
D ring (Πτυσσόμενος δακτύλιος)	Εναλλακτικό σημείο πρόσδεσης του εντατήρα.		Η διάβρωση των άκρων των πείρων μπορεί να αποδυναμώσει έναν δακτύλιο D.
Dovetail Foundation (Βάση στηρίξεως Ε/Κ)	Βάση μέσα στην οποία γλιστρά το περιστρεφόμενο κλειδί.		Πρέπει να διατηρείται καλά λιπασμένο και να ελέγχεται συχνά για φθορές
Fixed Stacking Cone (Σταθερός κώνος στοιβασίας)	Μηχανισμός που αποτρέπει την οριζόντια κίνηση 20ft Ε/Κ σε οδηγούς των 40ft.		Συχνά βρίσκεται στη βάση ενός οδηγού κυψέλης.
Mid-bay Guide (Οδηγός μισού Bay)	Μηχανισμός που αποτρέπει την εγκάρσια κίνηση 20ft Ε/Κ σε οδηγούς των 40ft.		Δεν παρεμβαίνει στη γενική αποθήκευση εμπορευματοκιβωτίων 40ft.

Πίνακας 2.1 : Μόνιμος εξοπλισμός εχμάσεως [5],[15]

ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΚΟΠΟΣ	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ
Lashing rod (Σιδερόβεργα εχμάσεως)	Χρησιμοποιείται για να παρέχει υποστήριξη στις στοίβες Ε/Κ στο κατάστρωμα.		Αντέχουν σε εφελκυστικά φορτία. Οι μακριές ράβδοι πρόσδεσης μπορεί να είναι δύσκολοι στο χειρισμό.
Extension piece (Προέκταση σιδερόβεργας)	Για να επεκτείνεται η σιδερόβεργα εχμάσεως.		Προσαρμόζεται στη βάση μιας ράβδου πρόσδεσης.
Turnbuckle (Εντατήρας)	Για σύνδεση μεταξύ της σιδερόβεργας εχμάσεως και των σταθερών δακτυλίων.		Αντέχει σε εφελκυστικά φορτία και χρησιμοποιείται για να κρατά σφικτά τη πρόσδεση. Πρέπει να λιπαίνεται τακτικά.
Stacking cone (Κώνος στοίβας)	Τοποθετείται ανάμεσα στα εμπορευματοκιβώτια μιας στοίβας.		Αντιστέκεται σε οριζόντιες δυνάμεις.
Twistlock (Περιστρεφόμενο κλειδί)	Τοποθετείται ανάμεσα στα εμπορευματοκιβώτια μιας στοίβας και κλειδώνει στην υποδοχή της γωνίας στηρίξεως.		Αντιστέκεται σε οριζόντιες και διαχωριστικές δυνάμεις. Κάθε εξάρτημα απαιτεί κλείδωμα και τοποθέτηση.
Semi-automatic twistlock (Ημιαυτόματο περιστρεφόμενο κλειδί)	Τοποθετείται ανάμεσα στα εμπορευματοκιβώτια μιας στοίβας και κλειδώνει στην υποδοχή της γωνίας στηρίξεως.		Αντιστέκεται σε οριζόντιες και διαχωριστικές δυνάμεις. Κλειδώνει αυτόματα στο κάτω εμπορευματοκιβώτιο όταν τοποθετείται πάνω από αυτό.
Fully automatic twistlock (Πλήρως αυτόματο περιστρεφόμενο κλειδί)	Τοποθετείται ανάμεσα στα εμπορευματοκιβώτια μιας στοίβας και κλειδώνει στην υποδοχή της γωνίας στηρίξεως.		Ξεκλειδώνει αυτόματα κατά την ανύψωση. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται όταν οι γωνίες του εμπορευματοκιβωτίου είναι φθαρμένες.

Πίνακας 2.2 : Φορητός εξοπλισμός εχμάσεως [5],[15]

2.6) ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΚΑΙ ΑΙΤΙΕΣ [7]

Παρόλο που ο κλάδος της θαλάσσιας μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων έχει αναπτυχθεί τεχνολογικά, παρατηρείται τα τελευταία έτη πως το φαινόμενο της απώλειάς τους κατά τη μεταφορά έχει ενταθεί. Πιο συγκεκριμένα, μεταξύ των ετών 2008 και 2019, κατά μέσο όρο χάθηκαν στη θάλασσα 1382 εμπορευματοκιβώτια ετησίως.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα πλοία APL China και Maersk Carolina. Στην πρώτη περίπτωση (APL China), το 1998, 406 εμπορευματοκιβώτια έπεσαν στη θάλασσα και άλλα 1000 καταστράφηκαν όταν το πλοίο παρουσίασε 40° γωνία διατοιχισμού, ενώ στη δεύτερη περίπτωση (Maersk Carolina) σε μία παρόμοια κατάσταση, το 2003, με γωνία διατοιχισμού 47°, 133 εμπορευματοκιβώτια χάθηκαν στη θάλασσα και άλλα 50 παρουσίασαν βλάβες. Οι απώλειες αυτές των εμπορευματοκιβωτίων παρουσιάζονται στα ακόλουθα Σχήματα 2.6 και 2.7: [2]



Σχήμα 2.6 : Απώλειες εμπορευματοκιβωτίων στο Maersk Carolina (2003) [2]



Σχήμα 2.7 : Απώλειες εμπορευματοκιβωτίων στο APL China (1998) [2]

Η ανάπτυξη του παραπάνω φαινομένου μπορεί να αποτραπεί εφόσον το πλήρωμα δώσει μεγαλύτερη προσοχή κατά τη διάρκεια της φορτοεκφόρτωσης και της έχμασης των εμπορευματοκιβωτίων. Ωστόσο ορισμένα από τα αίτια που έχουν καθοριστικό ρόλο είναι τα εξής:

- **Τα μεγαλύτερα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων:** Με το μέγεθος των συγκεκριμένων πλοίων να αυξάνεται, το μεγαλύτερο μετακεντρικό ύψος οδηγεί σε απότομες κινήσεις διατοιχισμού (rolling) όταν το πλοίο βρίσκεται σε κακοκαιρία.
- **Η ανάγκη για υψηλές ταχύτητες:** Η πίεση των αγορών οδηγεί τα πλοία να φορτώνονται στο μέγιστο επιτρεπτό όριο και να αναπτύσσουν μεγάλες ταχύτητες ακόμα και σε κακοκαιρίες, με αποτέλεσμα η έχμαση των εμπορευματοκιβωτίων να δέχεται μεγαλύτερες δυνάμεις.
- **Οι δυνατοί άνεμοι:** Τα εμπορευματοκιβώτια στα υψηλότερα TIERS του καταστρώματος δέχονται μεγαλύτερες δυνάμεις ανέμου, καταπιέζοντας ακόμα περισσότερο το σύστημα έχμασης των εμπορευματοκιβωτίων.
- **Ο διατοιχισμός των πλοίων:** Σε πλοία με μεγάλες επιφάνειες στην πλώρη και στην πρύμνη υπάρχει η πιθανότητα η γωνία διατοιχισμού να ξεπεράσει τις 30 μοίρες, με αποτέλεσμα να υπάρξει το ενδεχόμενο η θάλασσα να φτάσει στο κατάστρωμα και να προκαλέσει ζημιές στο φορτίο.
- **Εσφαλμένη στοιβασία εμπορευματοκιβωτίων:** Η κατανομή των εμπορευματοκιβωτίων επηρεάζει την ευστάθεια του πλοίου και θα πρέπει να ακολουθεί τις οδηγίες του εγχειριδίου έχμασης φορτίου (Cargo Securing Manual) , ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι δυνάμεις στον εξοπλισμό έχμασης.
- **Ανεπαρκής έχμαση των εμπορευματοκιβωτίων:** Η αποτελεσματική έχμαση επιτυγχάνεται με τη σωστή χρήση εξοπλισμού έχμασης, που περιλαμβάνει τα twistlocks, lashing rods και turnbuckles. Η απώλεια ενός ή περισσότερων εμπορευματοκιβωτίων ενδέχεται να οφείλεται στη χρήση εξοπλισμού έχμασης με ζημιά ή σε ανεπαρκή ή μη δυνατή χρήση του εξοπλισμού, όπως στις υψηλότερες στοιβες, άνω του καταστρώματος.

Συμπερασματικά, γίνεται αντιληπτό πως τα αίτια των ατυχών συμβάντων των απωλειών των εμπορευματοκιβωτίων οφείλονται σε ένα πλήθος παραγόντων. Θα πρέπει συνεπώς να διαφυλάσσεται η ασφαλής μεταφορά του φορτίου υπό αντίξοες καιρικές συνθήκες και άλλους ναυτιλιακούς κινδύνους, ο αποτελεσματικός εντοπισμός της ελλιπούς έχμασης, η σωστή στοιβασία και ο ποιοτικός έλεγχος των εμπορευματοκιβωτίων, ώστε να μην τίθεται σε κίνδυνο το πλήρωμα, το περιβάλλον και το φορτίο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3) ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

3.1) Lashings of trailers on-board RO/RO ships under intensive rolling (N.Themelis, K.J.Spyrou) [12]

Στο συγκεκριμένο paper αναλύεται το σύστημα έχμασης ενός οχήματος (trailer) στο κατάστρωμα ενός οχηματαγωγού πλοίου RO/RO από τη πλευρά των κανονισμών, τη δυναμική κίνηση του πλοίου και του φορτίου καθώς και την αντοχή που φέρουν τα lashings έναντι των δυνάμεων που δέχονται. Παρουσιάζεται ένα μαθηματικό μοντέλο που δίνει τις φορτίσεις που δέχονται τα lashings για ένα trailer που τοποθετείται στο κατάστρωμα των οχημάτων καθώς το πλοίο εκτελεί κίνηση διατοιχισμού υπό την επίδραση εγκάρσιων κυματισμών. Επιπλέον, αναλύονται οι τάσεις που ασκούνται στα σημεία πρόσδεσης του trailer με τα lashings. Αρχικά, γίνεται η εφαρμογή της μεθόδου που ορίζει ο CSM ενώ στη συνέχεια αναπτύσσεται ένα μοντέλο κατά το οποίο το trailer αντιμετωπίζεται σαν ένα σύνολο σημειακών μαζών που συνδέονται σε ένα ενιαίο ευθύγραμμο σύστημα και τα lashings σαν γραμμικά ελατήρια. Τελικώς, γίνεται εφαρμογή του μοντέλου σε ένα πραγματικό πλοίο για να εξαχθούν τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

3.2) Dynamics of lashed trailers on board ships under the combined effect of roll and pitch motions (N.Themelis, P.Poulios, K.J.Spyrou) [13]

Το συγκεκριμένο paper αποτελεί επέκταση της εργασίας που αναλύθηκε προηγουμένως στην ενότητα 3.1. Στόχος της αποτελεί η πρόβλεψη της δυναμικής συμπεριφοράς και των φορτίσεων που δέχονται τα lashings που ασφαλίζουν το trailer, όταν αυτό τοποθετείται σε διαφορετικές θέσεις πάνω στο κατάστρωμα του πλοίου. Οι διεγέρσεις στα lashings του trailer δημιουργούνται συνδιαστικά και από την κίνηση διατοιχισμού και από την κίνηση προνευστασμού, που προκαλούνται λόγω κυματισμών που ασκούνται υπό διάφορες γωνίες. Αρχικά, παρουσιάζονται οι απαιτήσεις του CSM όπως υλοποιούνται στο συγκεκριμένο πλοίο. Στη συνέχεια αναλύεται το μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού των φορτίσεων που αναπτύσσονται στο trailer λόγω εγκάρσιων, διάμηκων και κατακόρυφων επιταχύνσεων με παρόμοια διαδικασία για το σύστημα όπως στο paper «Lashings of trailers on-board RO/RO ships under intensive rolling». Δημιουργείται συνεπώς, σε συνεργασία των δύο ερευνών, ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο σχετικά με τη διερεύνηση της ασφάλειας του φορτίου.

3.3) Μελέτη του συστήματος έχμασης εμπορευματοκιβωτίων στο κατάστρωμα πλοίου υπό την επίδραση της κίνησης διατοιχισμού (Σ.Χ.Αντωνιάδης) [14]

Στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτελεί ο υπολογισμός των φορτίσεων που δέχονται τα lashings που ασφαλίζουν τα εμπορευματοκιβώτια κατά την κίνηση διατοιχισμού του πλοίου. Πραγματοποιείται η μοντελοποίηση τόσο ενός όσο και μιας στοίβας εμπορευματοκιβωτίων σε θέσεις πάνω στο κατάστρωμα αλλά και στο εσωτερικό της γάστρας, στα cell guides του πλοίου. Τα lashings αντιμετωπίζονται ως γραμμικά ελατήρια. Η εφαρμογή του μοντέλου επιτυγχάνεται με την επίλυση των διαφορικών εξισώσεων που περιγράφουν τις δυνάμεις που δέχονται τα εμπορευματοκιβώτια μέσω του προγράμματος Mathematica. Υπολογίζονται οι επιταχύνσεις των εμπορευματοκιβωτίων, οι δυνάμεις διατοιχισμού και οι δυνάμεις που επιδρούν στα lashings ενώ παράλληλα ερευνάται ο παραμετρικός διατοιχισμός των φορτίσεων αυτών. Τέλος, τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τις αντίστοιχες τιμές που προκύπτουν μέσω της Ανεπτυγμένης Μεθόδου κατά DNV.

3.4) Μελέτη του συστήματος έχμασης εμπορευματοκιβωτίων υπό την επίδραση της κίνησης διατοιχισμού (Π.Σ.Λοχαίτης) [6]

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη της στοιβασίας και της πρόσδεσης εμπορευματοκιβωτίων στο κατάστρωμα του πλοίου υπό την επίδραση της κίνησης διατοιχισμού. Συγκεκριμένα, αναπτύσσεται ένα μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει τη στοίβα ενός ή περισσότερων εμπορευματοκιβωτίων μαζί με το σύστημα έχμασής τους κατά την κίνηση διατοιχισμού, για εμπορευματοκιβώτια που στοιβάζονται στο κατάστρωμα του πλοίου. Ύστερα από την επίλυση των διαφορικών εξισώσεων για τις δυνάμεις κίνησης, παράγονται διαγράμματα σχετικά με τις μέγιστες φορτίσεις έχμασης που δέχεται το σύστημα πρόσδεσης, σε διαφορετικές καταστάσεις φόρτωσης και υπό διαφορετικές γωνίες διατοιχισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4) ΣΤΟΧΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η φόρτιση του συστήματος έχμασης ενός φορτίου πραγματοποιείται κυρίως μέσω της κίνησης διατοιχισμού ενός πλοίου. Συνεπώς, είναι αναγκαίο να εξεταστούν οι δυνάμεις που δέχεται το εμπορευματοκιβώτιο ως προς το εγκάρσιο και ως προς το κατακόρυφο, οι δυνάμεις που δέχονται τα lashings καθώς και η αντοχή των σημείων όπου ασφαλίζουν τα lashings με το εμπορευματοκιβώτιο. Για να επιτευχθούν όλα τα παραπάνω, η παρούσα εργασία θα πρέπει να επικεντρωθεί ιδιαίτερα στους παρακάτω στόχους:

- Να γίνει επισκόπηση και ανάλυση των μεθόδων ελέγχου της επάρκειας των συστημάτων έχμασης όπως αυτές περιγράφονται στους κανονισμούς νηογνώμωνων για την προετοιμασία του Cargo Securing Manual.
- Να εφαρμοστεί ένα μαθηματικό μοντέλο, σύμφωνα με το υπολογιστικό πλαίσιο που υφίσταται σε κανονισμούς του νηογνώμονα ABS, που θα είναι ικανό να περιγράψει την κίνηση ενός ή περισσότερων εμπορευματοκιβωτίων σε στοίβα πάνω στο κατάστρωμα του πλοίου.
- Να προσδιοριστούν οι εγκάρσιες επιταχύνσεις που αναπτύσσονται πάνω στο πλοίο μέσω του μαθηματικού μοντέλου που θα ακολουθήσουμε.
- Να υπολογιστούν οι εγκάρσιες δυνάμεις που ασκούνται κατά μήκος του καταστρώματος στις θέσεις που στοιβάζονται τα αντίστοιχα εμπορευματοκιβώτια, τόσο στο κέντρο βάρους του φορτίου μας όσο και στις πλευρές του. Επίσης, θα προσδιοριστεί και η δύναμη που ασκείται λόγω ανέμου, ένας παράγοντας που λαμβάνεται υπόψιν στο συγκεκριμένο μαθηματικό μοντέλο.
- Να προσδιοριστούν οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στα lashings των εμπορευματοκιβωτίων υπό την κίνηση διατοιχισμού σε πραγματικό πλοίο.
- Να αξιολογηθούν οι συγκεκριμένες δυνάμεις που θα υπολογιστούν ως προς τις μέγιστες φορτίσεις που ορίζει ο ABS ώστε να μην έχουμε αστοχία του συστήματος καθώς και να υπολογιστεί η οριακή γωνία διατοιχισμού που οδηγεί σε υπέρβαση των επιτρεπόμενων ορίων.
- Να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων μας με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προκύπτουν μέσω της ανεπτυγμένης μεθόδου όπως παρουσιάζεται σε κανονισμό του νηογνώμονα DNV.
- Να εξαχθούν τα κατάλληλα συμπεράσματα για τους κύριους παράγοντες που επιδρούν στη φόρτιση των διατάξεων έχμασης, με βάση το μαθηματικό μας μοντέλο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5) ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

Στόχος του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι να αναλυθούν και να αναπτυχθούν οι μέθοδοι υπολογισμού των φορτίσεων του συστήματος έγχυσης ενός εμπορευματοκιβωτίου βάση DNV CODE [8] και σύμφωνα με τον νηογνώμονα ABS [10]. Οι μέθοδοι υπολογισμού φορτίσεων σύμφωνα με τον DNV περιγράφονται στο παράρτημα (Appendix 13) του Κώδικα CSS που αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, στην ενότητα 2.3. Σκοπός των υπολογιστικών αυτών πλαισίων είναι η ανάλυση των φορτίσεων που δέχονται τόσο τα ίδια τα εμπορευματοκιβώτια όσο και το σύστημα έγχυσης αυτών ώστε να εξασφαλιστεί η ασφαλής μεταφορά του φορτίου και η αποφυγή ατυχημάτων. Ακολούθως αναλύονται εκτενέστατα τα υπολογιστικά πλαίσια που ορίζονται.

5.1) ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΚΑΤΑ DNV [8]

Μέγιστη Φόρτιση Ασφαλείας (Maximum Securing Load)

Η μέγιστη φόρτιση ασφαλείας είναι ένας παράγοντας που χρησιμοποιείται για να καθορίσει τα ασφαλή επίπεδα φόρτισης των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται για την πρόσδεση του φορτίου. Για τον τυπικό υπολογισμό των μέγιστων φορτίσεων που μπορεί να δεχτεί το σύστημα πρόσδεσης του πλοίου χρησιμοποιείται ο ακόλουθος Πίνακας 5.1 .

Material	MSL
shackles, decketeyes, twistlocks, lashing rods, D-rings, stackers, bridge fittings, turnbuckles of mild steel	50% of breaking strength
fibre rope	33% of breaking strength
wire rope (single use)	80% of breaking strength
wire rope (re-useable)	30% of breaking strength
steel band (single use)	70% of breaking strength
chains	50% of breaking strength
web lashings	70% of breaking strength (IMO/DSC 2, feb. 97)

Πίνακας 5.1 : Προσδιορισμός MSL ως προς τη φόρτιση κατάρρευσης [8]

Για να προκύψουν οι υπολογιζόμενες φορτίσεις (CS) θα πρέπει οι Μέγιστες Φορτίσεις Ασφαλείας (MSL) να διαιρεθούν με έναν συντελεστή ασφαλείας (safety factor).

$$CS = \frac{MSL}{safety\ factor} \quad (5.1)$$

5.1.1) ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Η μέθοδος αυτή έχει ως σκοπό να εκτιμηθούν οι φορτίσεις του συστήματος πρόσδεσης για την ασφαλή μεταφορά του φορτίου. Η συνολική μέγιστη φόρτιση ασφαλείας των συστημάτων πρόσδεσης σε κάθε μία από τις πλευρές του εμπορευματοκιβωτίου (port και starboard) θα πρέπει να είναι ίση με το βάρος του φορτίου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλα τα πλοία οποιουδήποτε μεγέθους, ανεξάρτητα από τη θέση του φορτίου, την ευστάθεια, την κατάσταση φόρτωσης, την εποχή και την περιοχή της λειτουργίας του πλοίου. Επιπλέον, η συγκεκριμένη μέθοδος δεν λαμβάνει υπόψιν της ούτε τις εγκάρσιες επιδράσεις των υπό γωνία συστημάτων πρόσδεσης των εμπορευματοκιβωτίων και τις ομοιογενείς κατανομές αυτών αλλά ούτε και την επίδραση της τριβής στο σύστημα. Ορίζεται ότι η εγκάρσια γωνία των συρματόσκοινων δεν θα πρέπει να ξεπερνά τις 60°. Αντιθέτως, σε γωνίες άνω των 60° θεωρείται ότι αποτρέπουν μόνο την ανατροπή του εμπορευματοκιβωτίου, χωρίς ωστόσο τα συγκεκριμένα συρματόσκοινα να καταμετρούνται και να λαμβάνονται υπόψιν στους υπολογισμούς.

Οι εξωτερικές δυνάμεις σε ένα φορτίο κατά τη διαμήκη, εγκάρσια και κατακόρυφη διεύθυνσή του θα πρέπει να λαμβάνονται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$F_{(x,y,z)} = m \cdot a_{(x,y,z)} + F_{w(x,y)} + F_{s(x,y)} \quad (5.2)$$

Όπου,

$F_{(x,y,z)}$: διαμήκεις, εγκάρσιες και κατακόρυφες δυνάμεις

m : η μάζα του φορτίου

$a_{(x,y,z)}$: διαμήκεις, εγκάρσιες και κατακόρυφες επιταχύνσεις

$F_{w(x,y)}$: διαμήκεις και εγκάρσιες δυνάμεις λόγω της πίεσης του ανέμου

$F_{s(x,y)}$: διαμήκεις και εγκάρσιες δυνάμεις λόγω των κυμάτων

Οι βασικές επιταχύνσεις παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Οι εγκάρσιες επιταχύνσεις περιλαμβάνουν την βαρύτητα και τις κινήσεις προνευστασμού και διατοιχισμού, παράλληλα προς το κατάστρωμα. Οι κατακόρυφες επιταχύνσεις δεν περιλαμβάνουν το βάρος του υπό μελέτη φορτίου.

Transverse acceleration a_y in m/s^2										Longitudinal acceleration a_x in m/s^2
on deck, high	7.1	6.9	6.8	6.7	6.7	6.8	6.9	7.1	7.4	3.8
on deck, low	6.5	6.3	6.1	6.1	6.1	6.1	6.3	6.5	6.7	2.9
'tween-deck	5.9	5.6	5.5	5.4	5.4	5.5	5.6	5.9	6.2	2.0
lower hold	5.5	5.3	5.1	5.0	5.0	5.1	5.3	5.5	5.9	1.5
0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 L										
Vertical acceleration a_z in m/s^2										
7.6 6.2 5.0 4.3 4.3 5.0 6.2 7.6 9.2										

Σχήμα 5.1 : Βασικές επιταχύνσεις [8]

Οι παραπάνω επιταχύνσεις μπορούν να ληφθούν υπόψιν στους υπολογισμούς αν ισχύουν τα ακόλουθα:

- Λειτουργία πλοίου σε απεριόριστη περιοχή
- Λειτουργία πλοίου κατά τη διάρκεια ολόκληρου έτους
- Διάρκεια ταξιδιού 25 μέρες
- Το μήκος του πλοίου είναι 100 m
- Η ταχύτητα υπηρεσίας του πλοίου ισούται με $V_s = 15$ knots
- Ισχύει $B/GM \geq 13$, όπου B είναι το πλάτος του πλοίου και GM το μετακεντρικό ύψος

Για πλοία που το μήκος του πλοίου είναι διάφορο των 100 m και η ταχύτητα διάφορη των 15 knots, οι επιταχύνσεις διορθώνονται σύμφωνα με τον ακόλουθο Πίνακα 5.2.

Length (m) Speed (kn)	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200	250	300
9	1.37	1.31	1.20	1.09	1.00	0.92	0.85	0.79	0.70	0.63	0.57	0.53	0.49	0.41	0.36
12	1.56	1.47	1.34	1.22	1.12	1.03	0.96	0.90	0.79	0.72	0.65	0.60	0.56	0.48	0.42
15	1.75	1.64	1.49	1.36	1.24	1.15	1.07	1.00	0.89	0.80	0.73	0.68	0.63	0.55	0.48
18	1.94	1.80	1.64	1.49	1.37	1.27	1.18	1.10	0.98	0.89	0.82	0.76	0.71	0.61	0.54
21	2.13	1.96	1.78	1.62	1.49	1.38	1.29	1.21	1.08	0.98	0.90	0.83	0.78	0.68	0.60
24	2.32	2.13	1.93	1.76	1.62	1.50	1.40	1.17	1.17	1.07	0.98	0.91	0.85	0.74	0.66

Πίνακας 5.2 : Συντελεστές διόρθωσης για μήκος και ταχύτητα πλοίου [8]

Ομοίως, για πλοία που ισχύει $B/GM < 13$, μόνο οι εγκάρσιες επιταχύνσεις θα πρέπει να διορθωθούν σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 5.3:

B/GM	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
On deck, high	2.30	1.96	1.72	1.56	1.40	1.27	1.19	1.11	1.05	1.00
On deck, low	1.92	1.70	1.53	1.42	1.30	1.21	1.14	1.09	1.04	1.00
Tween deck	1.54	1.42	1.33	1.26	1.19	1.14	1.09	1.06	1.03	1.00
Lower hold	1.31	1.24	1.19	1.15	1.12	1.09	1.06	1.04	1.02	1.00

Πίνακας 5.3 : Συντελεστές διόρθωσης για B/GM < 13 [8]

Οι δυνάμεις του ανέμου και των κυμάτων θεωρούνται ίσες με:

Δύναμη λόγω ανέμου = 1 kN/m²

Δύναμη λόγω κυμάτων = 1 kN/m²

5.1.2) ΜΕΘΟΔΟΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ – ΑΝΕΠΤΥΓΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Οι υπολογισμοί ισορροπίας είναι προτιμότερο να γίνονται για:

- Εγκάρσια ολίσθηση προς την αριστερή και δεξιά πλευρά του πλοίου
- Εγκάρσια ανατροπή προς την αριστερή και δεξιά πλευρά του πλοίου
- Διαμήκης ολίσθηση κάτω από συνθήκες μειωμένης ολίσθησης με κατεύθυνση κατά την πρύμνη και την πλώρη του πλοίου

1) Εγκάρσια ολίσθηση

Ο υπολογισμός ισορροπίας πρέπει να ακολουθεί την παρακάτω συνθήκη:

$$F_y \leq \mu \cdot m \cdot g + CS_1 \cdot f_1 + CS_2 \cdot f_2 + \dots + CS_n \cdot f_n \quad (5.3)$$

Όπου,

n : Ο αριθμός των lashings που υπολογίζονται

F_y : Η εγκάρσια δύναμη του υποτιθέμενου φορτίου (kN)

μ : Ο συντελεστής τριβής

(μ = 0.3 για χάλυβα με ξύλο ή με λάστιχο)

(μ = 0.1 για χάλυβα με χάλυβα, στεγνός)

(μ = 0.0 για χάλυβα με χάλυβα, υγρός)

m : Η μάζα του φορτίου (t)

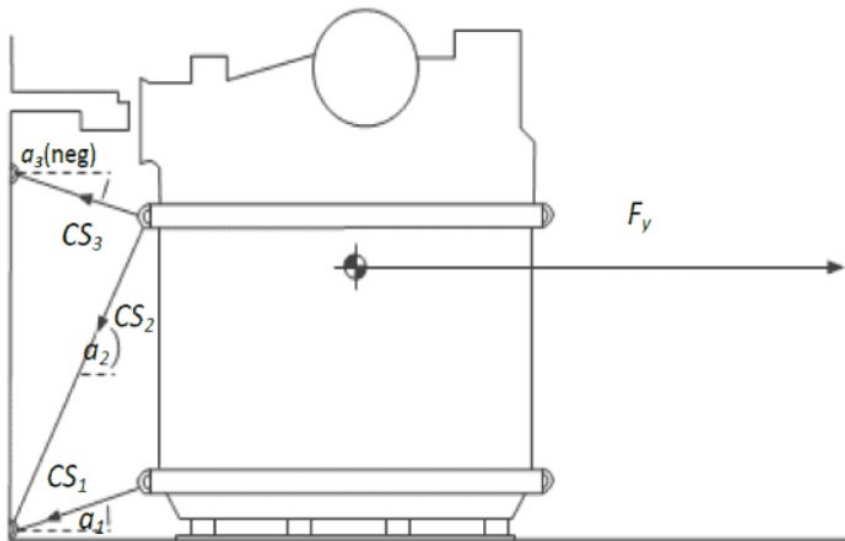
g : Η επιτάχυνση λόγω βαρύτητας, g = 9.81 m/s²

CS : Η υπολογιζόμενη φόρτιση (calculated strength) των εγκάρσιων συστημάτων πρόσδεσης (CS = MSL/1.5 [kN]

f : Συντελεστής που εξαρτάται από το μ και την κατακόρυφη γωνία α (Πίνακας 5.4)

$\mu \backslash \alpha$	-30°	-20°	-10°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0.3	0.72	0.84	0.93	1.00	1.04	1.04	1.02	0.96	0.87	0.76	0.62	0.47	0.30
0.1	0.82	0.91	0.97	1.00	1.00	0.97	0.92	0.83	0.72	0.59	0.44	0.27	0.10
0.0	0.87	0.94	0.98	1.00	0.98	0.94	0.87	0.77	0.64	0.50	0.34	0.17	0.00

Πίνακας 5.4 : Τιμές f συναρτήσει των α και μ [8]



Σχήμα 5.2 : Ισορροπία εγκάρσιων δυνάμεων [8]

Μία κατακόρυφη γωνία πρόσδεσης μεγαλύτερη των 60° μπορεί να μειώσει την επίδραση στην πρόσδεση και την αποφυγή της ολίσθησης του φορτίου. Ομοίως, οι οριζόντιες γωνίες πρόσδεσης δεν θα πρέπει να ξεπερνούν τις 30° .

2) Εγκάρσια ανατροπή

Ο υπολογισμός ισορροπίας πρέπει να ακολουθεί την παρακάτω συνθήκη :

$$F_y \cdot a \leq b \cdot m \cdot g + CS_1 \cdot c_1 + CS_2 \cdot c_2 + \dots + CS_n \cdot c_n \quad (5.4)$$

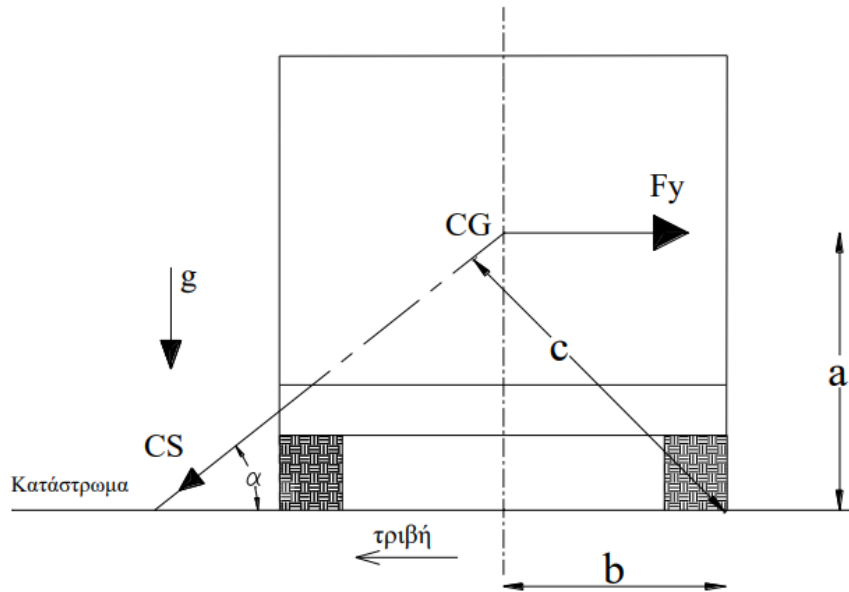
Όπου,

F_y, m, g, CS, n : Εξηγήθηκαν στην Εγκάρσια Ολίσθηση

a : ο μοχλοβραχίονας ανατροπής (m)

b : ο μοχλοβραχίονας σταθεροποίησης (m)

c : ο μοχλοβραχίονας της δύναμης πρόσδεσης (m)



Σχήμα 5.3 : Ισορροπία εγκάρσιων ροπών [2]

3) Διαμήκης Ολίσθηση

Γενικά, τα εγκάρσια συστήματα πρόσδεσης που εφαρμόζονται σε ένα φορτίο παρέχουν μία ασφάλεια στην αποφυγή, όχι μόνο της εγκάρσιας, αλλά και της διαμήκουσ ολίσθησης των μονάδων μεταφοράς φορτίου. Σε περίπτωση όμως που κρίνεται αναγκαία και η διαμήκης πρόσδεση του φορτίου, ο υπολογισμός ισορροπίας παρέχεται μέσω της παρακάτω συνθήκης:

$$F_x \leq \mu \cdot (m \cdot g - F_z) + CS_1 \cdot f_1 + CS_2 \cdot f_2 + \dots + CS_n \cdot f_n \quad (5.5)$$

Όπου,

F_x : Η διαμήκης δύναμη του υποτιθέμενου φορτίου (kN)

μ, m, g, f, n : Εξηγήθηκαν στην εγκάρσια ολίσθηση

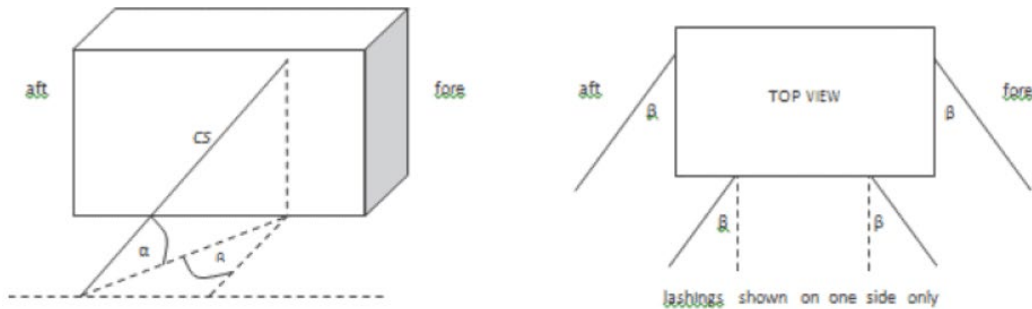
F_z : Η κατακόρυφη δύναμη του υποτιθέμενου φορτίου (kN)

CS : Η υπολογιζόμενη φόρτιση (calculated strength) των εγκάρσιων συστημάτων πρόσδεσης ($CS = MSL/1.5$ [kN]

MSL : Μέγιστη Φόρτιση Ασφαλείας

5.1.3) ΜΕΘΟΔΟΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ – ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψη με περισσότερη ακρίβεια τις γωνίες που δημιουργούν τα συστήματα πρόσδεσης. Συνήθως τα συστήματα πρόσδεσης δεν έχουν καθαρή εγκάρσια ή καθαρή διαμήκη κατεύθυνση, αλλά σχηματίζουν γωνίες α , β με τους αντίστοιχους άξονες.



Σχήμα 5.4 : Κατακόρυφες και οριζόντιες γωνίες πρόσδεσης [9]

Οι υπολογισμοί είναι παρόμοιοι με αυτούς που αναπτύχθηκαν στην ανεπτυγμένη μέθοδο, ακολουθώντας πλέον την ακόλουθη προϋπόθεση:

- Συστήματα πρόσδεσης με εγκάρσια γωνία α μικρότερη των 45° σε συνδυασμό με οριζόντια γωνία β μεγαλύτερη των 45° δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται στην παραπάνω εξίσωση ισορροπίας εγκάρσιας ανατροπής.

Για να μπορέσουμε να περιορίσουμε την εγκάρσια ολίσθηση, την εγκάρσια ανατροπή και τη διαμήκη ολίσθηση, οι ισορροπίες των δυνάμεων δίνονται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\text{Εγκάρσια ολίσθηση : } F_y \leq \mu \cdot m \cdot g + CS_1 \cdot f_{y1} + CS_2 \cdot f_{y2} + \dots + CS_n \cdot f_{yn} \quad (5.6)$$

$$\text{Διαμήκης ολίσθηση: } F_x \leq \mu \cdot (m \cdot g - F_z) + CS_1 \cdot f_{x1} + CS_2 \cdot f_{x2} + \dots + CS_n \cdot f_{xn} \quad (5.7)$$

$$\text{Εγκάρσια ανατροπή : } F_y \cdot a \leq b \cdot m \cdot g + 0.9 \cdot (CS_1 \cdot c_1 + CS_2 \cdot c_2 + \dots + CS_n \cdot c_n) \quad (5.8)$$

Στις συγκεκριμένες εξισώσεις, σε σχέση με τις προηγούμενες μεθόδους, έχουμε μόνο δύο νέες παραμέτρους, το f_x και το f_y . Υπολογίζονται συναρτήσει του συντελεστή τριβής (μ), των κατακόρυφων και των διαμήκων γωνιών (α και β) μέσω των ακόλουθων σχέσεων:

$$f_y = \cos\alpha \cdot \cos\beta + \mu \cdot \sin\alpha \quad (5.9)$$

$$f_x = \cos\alpha \cdot \sin\beta + \mu \cdot \sin\alpha \quad (5.10)$$

Για κάθε μία από τις τιμές των τριβών που αναφέρθηκαν στην ανεπτυγμένη μέθοδο και λαμβάνοντας υπόψιν τις γωνίες α και β , βρίσκουμε τους συντελεστες f_x και f_y μέσω των παρακάτω πινάκων.

β for f_y	α														β for f_x
	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90	
0	0.67	0.80	0.92	1.00	1.05	1.08	1.07	1.02	0.99	0.95	0.85	0.72	0.57	0.40	90
10	0.65	0.79	0.90	0.98	1.04	1.06	1.05	1.01	0.98	0.94	0.84	0.71	0.56	0.40	80
20	0.61	0.75	0.86	0.94	0.99	1.02	1.01	0.98	0.95	0.91	0.82	0.70	0.56	0.40	70
30	0.55	0.68	0.78	0.87	0.92	0.95	0.95	0.92	0.90	0.86	0.78	0.67	0.54	0.40	60
40	0.46	0.58	0.68	0.77	0.82	0.86	0.86	0.84	0.82	0.80	0.73	0.64	0.53	0.40	50
50	0.36	0.47	0.56	0.64	0.70	0.74	0.76	0.75	0.74	0.72	0.67	0.60	0.51	0.40	40
60	0.23	0.33	0.42	0.50	0.56	0.61	0.63	0.64	0.64	0.63	0.60	0.55	0.48	0.40	30
70	0.10	0.18	0.27	0.34	0.41	0.46	0.50	0.52	0.52	0.53	0.52	0.49	0.45	0.40	20
80	-0.05	0.03	0.10	0.17	0.24	0.30	0.35	0.39	0.41	0.42	0.43	0.44	0.42	0.40	10
90	-0.20	-0.14	-0.07	0.00	0.07	0.14	0.20	0.26	0.28	0.31	0.35	0.38	0.39	0.40	0

Πίνακας 5.5 : $\mu = 0.4$ [8]

β for f_y	α														β for f_x
	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90	
0	0.72	0.84	0.93	1.00	1.04	1.04	1.02	0.96	0.92	0.87	0.76	0.62	0.47	0.30	90
10	0.70	0.82	0.92	0.98	1.02	1.03	1.00	0.95	0.91	0.86	0.75	0.62	0.47	0.30	80
20	0.66	0.78	0.87	0.94	0.98	0.99	0.96	0.91	0.88	0.83	0.73	0.60	0.46	0.30	70
30	0.60	0.71	0.80	0.87	0.90	0.92	0.90	0.86	0.82	0.79	0.69	0.58	0.45	0.30	60
40	0.51	0.62	0.70	0.77	0.81	0.82	0.81	0.78	0.75	0.72	0.64	0.54	0.43	0.30	50
50	0.41	0.50	0.58	0.64	0.69	0.71	0.71	0.69	0.67	0.64	0.58	0.50	0.41	0.30	40
60	0.28	0.37	0.44	0.50	0.54	0.57	0.58	0.58	0.57	0.55	0.51	0.45	0.38	0.30	30
70	0.15	0.22	0.28	0.34	0.39	0.42	0.45	0.45	0.45	0.45	0.43	0.40	0.35	0.30	20
80	0.00	0.06	0.12	0.17	0.22	0.27	0.30	0.33	0.33	0.34	0.35	0.34	0.33	0.30	10
90	-0.15	-0.10	-0.05	0.00	0.05	0.10	0.15	0.19	0.21	0.23	0.26	0.28	0.30	0.30	0

Πίνακας 5.6 : $\mu = 0.3$ [8]

β for f_y	α														β for f_x
	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90	
0	0.77	0.87	0.95	1.00	1.02	1.01	0.97	0.89	0.85	0.80	0.67	0.53	0.37	0.20	90
10	0.75	0.86	0.94	0.98	1.00	0.99	0.95	0.88	0.84	0.79	0.67	0.52	0.37	0.20	80
20	0.71	0.81	0.89	0.94	0.96	0.95	0.91	0.85	0.81	0.76	0.64	0.51	0.36	0.20	70
30	0.65	0.75	0.82	0.87	0.89	0.88	0.85	0.79	0.75	0.71	0.61	0.48	0.35	0.20	60
40	0.56	0.65	0.72	0.77	0.79	0.79	0.76	0.72	0.68	0.65	0.56	0.45	0.33	0.20	50
50	0.46	0.54	0.60	0.64	0.67	0.67	0.66	0.62	0.60	0.57	0.49	0.41	0.31	0.20	40
60	0.33	0.40	0.46	0.50	0.53	0.54	0.53	0.51	0.49	0.47	0.42	0.36	0.28	0.20	30
70	0.20	0.25	0.30	0.34	0.37	0.39	0.40	0.39	0.38	0.37	0.34	0.30	0.26	0.20	20
80	0.05	0.09	0.14	0.17	0.21	0.23	0.25	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.23	0.20	10
90	-0.10	-0.07	-0.03	0.00	0.03	0.07	0.10	0.13	0.14	0.15	0.17	0.19	0.20	0.20	0

Πίνακας 5.7 : $\mu = 0.2$ [8]

β for fy	α														β for fx
	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90	
0	0.82	0.91	0.97	1.00	1.00	0.97	0.92	0.83	0.78	0.72	0.59	0.44	0.27	0.10	90
10	0.80	0.89	0.95	0.98	0.99	0.96	0.90	0.82	0.77	0.71	0.58	0.43	0.27	0.10	80
20	0.76	0.85	0.91	0.94	0.94	0.92	0.86	0.78	0.74	0.68	0.56	0.42	0.26	0.10	70
30	0.70	0.78	0.84	0.87	0.87	0.85	0.80	0.73	0.68	0.63	0.52	0.39	0.25	0.10	60
40	0.61	0.69	0.74	0.77	0.77	0.75	0.71	0.65	0.61	0.57	0.47	0.36	0.23	0.10	50
50	0.51	0.57	0.62	0.64	0.65	0.64	0.61	0.56	0.53	0.49	0.41	0.31	0.21	0.10	40
60	0.38	0.44	0.48	0.50	0.51	0.50	0.48	0.45	0.42	0.40	0.34	0.26	0.19	0.10	30
70	0.25	0.29	0.32	0.34	0.35	0.36	0.35	0.33	0.31	0.30	0.26	0.21	0.16	0.10	20
80	0.10	0.13	0.15	0.17	0.19	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.17	0.15	0.13	0.10	10
90	-0.05	-0.03	-0.02	0.00	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0

Πίνακας 5.8 : $\mu = 0.1$ [8]

β for fy	α														β for fx
	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90	
0	0.87	0.94	0.98	1.00	0.98	0.94	0.87	0.77	0.71	0.64	0.50	0.34	0.17	0.00	90
10	0.85	0.93	0.97	0.98	0.97	0.93	0.85	0.75	0.70	0.63	0.49	0.34	0.17	0.00	80
20	0.81	0.88	0.93	0.94	0.93	0.88	0.81	0.72	0.66	0.60	0.47	0.32	0.16	0.00	70
30	0.75	0.81	0.85	0.87	0.85	0.81	0.75	0.66	0.61	0.56	0.43	0.30	0.15	0.00	60
40	0.66	0.72	0.75	0.77	0.75	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.38	0.26	0.13	0.00	50
50	0.56	0.60	0.63	0.64	0.63	0.60	0.56	0.49	0.45	0.41	0.32	0.22	0.11	0.00	40
60	0.43	0.47	0.49	0.50	0.49	0.47	0.43	0.38	0.35	0.32	0.25	0.17	0.09	0.00	30
70	0.30	0.32	0.34	0.34	0.34	0.32	0.30	0.26	0.24	0.22	0.17	0.12	0.06	0.00	20
80	0.15	0.16	0.17	0.17	0.17	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.09	0.06	0.03	0.00	10
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0

Πίνακας 5.9 : $\mu = 0.0$ [8]

5.2) ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ABS CODE [10]

Στο συγκεκριμένο μοντέλο οι κύριες φορτίσεις που λαμβάνονται υπόψη για τους υπολογισμούς ασφαλείας περιλαμβάνουν τη δύναμη της βαρύτητας, τις δυνάμεις που προκύπτουν από τις κινήσεις του πλοίου καθώς και τις δυνάμεις που ασκούνται στα στο σύστημα πρόσδεσης του πλοίου. Οι δυνάμεις που δέχονται τα εμπορευματοκιβώτια εξαιτίας της θραύσης των κυμάτων θεωρούνται αμελητέες.

Στο υπολογιστικό πλαίσιο μέσω ABS επεξεργάζονται δύο διαφορετικές καταστάσεις:

Condition A: Roll and Heave

Condition B: Pitch and Heave

Ωστόσο στην προκειμένη περίπτωση θα γίνει εξέταση μόνο της εγκάρσιας κίνησης του πλοίου, κίνηση διατοιχισμού (roll), και της επίδρασής της στο σύστημα πρόσδεσης των εμπορευματοκιβωτίων. Η απόφαση αυτή πάρθηκε διότι η κίνηση διατοιχισμού αποτελεί κυριότερο παράγοντα εμφάνισης υψηλών φορτίσεων έναντι της κίνησης προνευστασμού, με μεγαλύτερες γωνίες και δυνάμεις στα εμπορευματοκιβώτια και στο σύστημα έγχυσης αυτών.

5.2.1) ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΕΜΟ

Η πίεση που ασκείται από τον άνεμο δίνεται από τη σχέση:

$$P_w = 1.08 \cdot \cos^2\phi \text{ kN/m}^2 \quad (5.11)$$

Όπου ϕ είναι η γωνία διατοιχισμού του πλοίου.

Οι δυνάμεις λόγω ανέμου ασκούνται ισοδύναμα στην πάνω και στην κάτω πλευρά του εμπορευματοκιβωτίου, με το κατακόρυφο κέντρο της δύναμης να βρίσκεται στο μέσο του ύψους του εμπορευματοκιβωτίου και με το διάμηκες κέντρο της δύναμης να βρίσκεται αντίστοιχα στο μέσο του μήκους.

5.2.2) ΚΙΝΗΣΗ ΔΙΑΤΟΙΧΙΣΜΟΥ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΩΝΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΔΙΑΤΟΙΧΙΣΜΟΥ

Η φυσική περίοδος λόγω διατοιχισμού (σε s) προκύπτει από την ακόλουθη συνάρτηση:

$$T_R = \frac{2 \cdot \pi \cdot kr}{\sqrt{g \cdot GM}} \text{ sec} \quad (5.12)$$

Όπου: kr : η ακτίνα διατοιχισμού της περιστροφής, σε m (ίση με $0.40 \cdot B$)

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας, σε m/s^2

GM: το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος για την κατάσταση φόρτωσης που θα επεξεργαστούμε, σε m

Η γωνία διατοιχισμού (σε μοίρες) λαμβάνεται από την ακόλουθη συνάρτηση:

$$\phi = \frac{3150 \cdot C}{ku \cdot B + 75} \quad (5.13)$$

Όπου: $ku = 9.81/g = 1$

B : το πλάτος του πλοίου μας, σε m

Για πλοία με Bilge Keels:

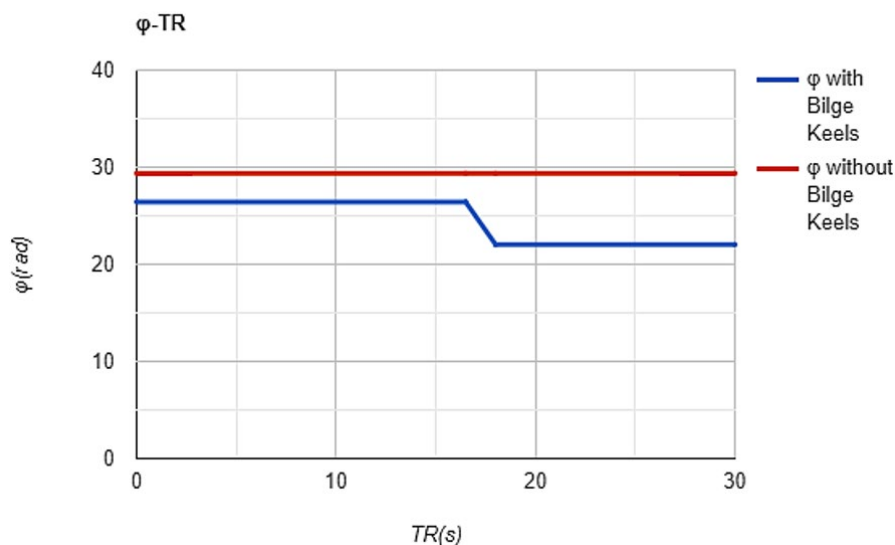
$C = 0.75$ στην περίπτωση που $T_R \geq 18$ sec

$C = 0.75 + 0.10 \cdot (18 - T_R)$ στην περίπτωση που $T_R \leq 18$ sec, χωρίς όμως να ξεπερνάει τη τιμή 0.9

Για πλοία χωρίς Bilge Keels:

$C = 1.0$

Ακολούθως παρουσιάζεται το γράφημα που περιγράφει τη σχέση της γωνίας διατοιχισμού (ϕ) συναρτήσει της φυσικής περιόδου λόγω διατοιχισμού (T_R). Οι υπολογισμοί για τη δημιουργία του διαγράμματος πραγματοποιήθηκαν θεωρώντας πλάτος πλοίου $B = 32.25$ m.



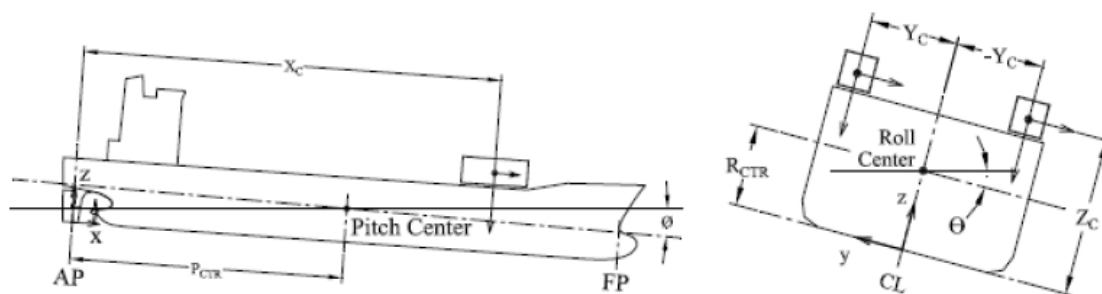
Σχήμα 5.5 : Γωνία διατοιχισμού (ϕ) συναρτήσει περιόδου λόγω διατοιχισμού (T_R)

5.2.3) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ

Αρχικά, θα πρέπει να ορίσουμε τις αποστάσεις R_{CTR} και P_{CTR} που καθορίζουν το κέντρο του διατοιχισμού και το κέντρο του προνευστασμού αντίστοιχα. Το R_{CTR} λαμβάνεται ίσο με την κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου ενώ το P_{CTR} ισούται με το διάμηκες κέντρο πλευστότητας του πλοίου που καθορίζεται από την αντίστοιχη κατάσταση φόρτωσης που έχουμε επιλέξει.

Για τον υπολογισμό των επιταχύνσεων θα πρέπει να γνωρίζουμε τις ακόλουθες αποστάσεις που ισχύουν τόσο για την Condition A, όσο και για την Condition B που αναλύθηκαν παραπάνω:

- x_c : η διαμήκης απόσταση του κέντρου βάρους του εμπορευματοκιβωτίου από την πρυμναία κάθετο, σε m
- $|x_c - P_{CTR}|$: η απόλυτη τιμή της διαφοράς του κέντρου πλευστότητας από το κέντρο βάρους του εμπορευματοκιβωτίου, σε m
- $|y_c|$: η απόλυτη εγκάρσια απόσταση του κέντρου βάρους του εμπορευματοκιβωτίου από τη centerline του πλοίου, σε m
- z_c : η κατακόρυφη απόσταση του κέντρου βάρους του εμπορευματοκιβωτίου από τον πυθμένα του πλοίου, σε m
- $|z_c - R_{CTR}|$: η απόλυτη τιμή της διαφοράς του κέντρου βάρους του εμπορευματοκιβωτίου από το κέντρο διατοιχισμού του πλοίου, σε m



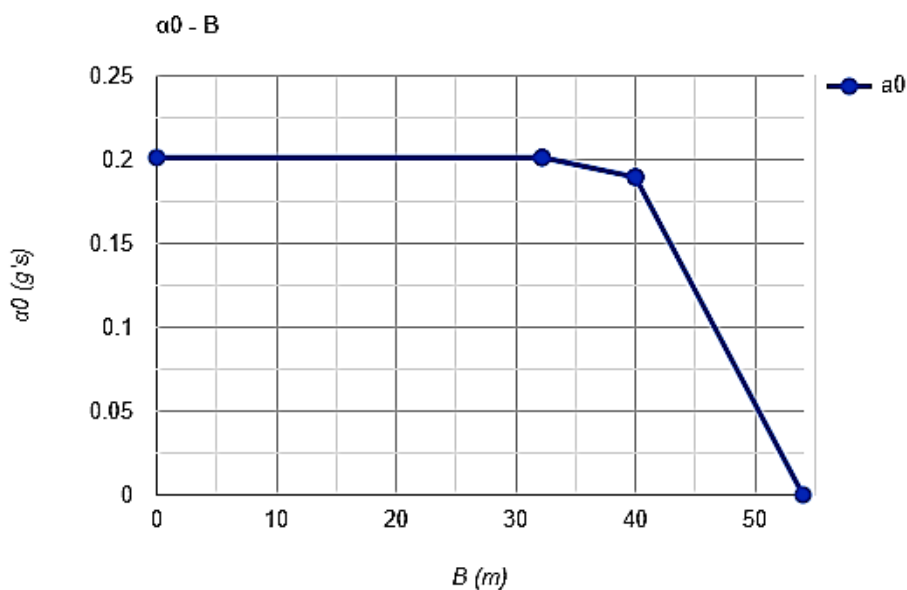
Σχήμα 5.6 : Αποστάσεις και γωνίες απαραίτητες για την εφαρμογή του μοντέλου [10]

Σημείωση: Η γωνία του διατοιχισμού στον νηογνώμονα ABS συμβολίζεται με Θ . Ωστόσο εμείς στους υπολογισμούς μας, προς συμφωνία με την επιστημονική κοινότητα, τη συμβολίζουμε με ϕ .

Για τον υπολογισμό των επιταχύνσεων στη συνέχεια χρειαζόμαστε τις ακόλουθες τιμές:

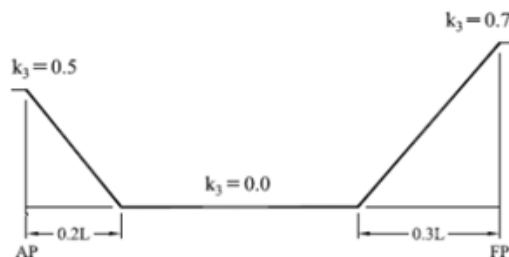
- α_0 : κοινή παράμετρος επιτάχυνσης με τιμή (σε $g's$) :
 - $\alpha_0 = 0.2012$ $g's$ για $B \leq 32.2$ m
 - $\alpha_0 = 0.2012 + (0.0618 \cdot \sqrt{k_u \cdot GM} - 0.2125) \cdot (k_u \cdot B - 32.2) / 7.8$ για τιμές $32.2m < B < 40m$
 - $\alpha_0 = 0.1407 + 0.0618 \cdot \sqrt{k_u \cdot GM} - 0.0038 \cdot k_u \cdot B$ για τιμές $B \geq 40m$

Για την κατανόηση της κοινής παραμέτρου επιτάχυνσης (α_0) δημιουργήθηκε το ακόλουθο γράφημα που παρουσιάζει την μεταβολή της συναρτήσεως του πλάτους του πλοίου (B).



Σχήμα 5.7 : Μεταβολή της επιτάχυνσης α_0 συναρτήσεως του πλάτους του πλοίου B

- $k_C = 0.0701$ m για x_C, y_C, z_C
- k_3 : παράγοντας δύναμης για τη διαμήκη θέση του εμπορευματοκιβωτίου (Σχήμα 5.8), όπου:
 - $k_3 = 0.5 \cdot \left(\frac{0.2 \cdot L - x_C}{0.2 \cdot L} \right)$ για $x_C < 0.2 \cdot L$
 - $k_3 = 0$ για $0.2 \cdot L \leq x_C \leq 0.7 \cdot L$
 - $k_3 = 0.7 \cdot \left(\frac{x_C - 0.7 \cdot L}{0.3 \cdot L} \right)$ για $x_C > 0.7 \cdot L$



Σχήμα 5.8 : Μεταβολή παράγοντα δύναμης k_3 συναρτήσει του μήκους L [10]

CONDITION A – ROLL AND HEAVE

Οι εγκάρσιες και κατακόρυφες επιτάχυνσεις, σε κάθε σημείο του πλοίου προκύπτουν από τους ακόλουθους υπολογισμούς. Οι διαμήκεις επιταχύνσεις στην προκειμένη περίπτωση λαμβάνονται ίσες με το μηδέν.

- Η εγκάρσια επιτάχυνση δίνεται από την ακόλουθη συνάρτηση:

$$A_T = a_{GT} + k_C \cdot a_{RT} + (1+k_3) \cdot a_0 \cdot \sin\phi, \text{ σε } g's \quad (5.14)$$

- Η μέγιστη κατακόρυφη επιτάχυνση προκύπτει από την ακόλουθη συνάρτηση:

$$A_{VMAX} = a_{GRV} + k_C \cdot a_{RV} + (1+k_3) \cdot a_0 \cdot \sin\phi, \text{ σε } g's \quad (5.15)$$

- Η ελάχιστη κατακόρυφη επιτάχυνση προκύπτει από την ακόλουθη συνάρτηση:

$$A_{VMIN} = a_{GRV} - k_C \cdot a_{RV} + (1-k_3) \cdot a_0 \cdot \sin\phi, \text{ σε } g's \text{ με } A_{VMIN} < 1 \quad (5.16)$$

Οι επιμέρους επιταχύνσεις που χρησιμοποιούνται στις παραπάνω σχέσεις για τον υπολογισμό των εγκάρσιων και κατακόρυφων επιταχύνσεων αναλύονται ακολούθως:

$$\triangleright a_{GT} = \sin\phi, \text{ σε } g's \quad (5.17)$$

$$\triangleright a_{RT} = \frac{\varphi}{TR^2} \cdot |z_C - R_{CTR}|, \text{ σε } g's \quad (5.18)$$

$$\triangleright a_{GRV} = \cos\phi, \text{ σε } g's \quad (5.19)$$

$$\triangleright a_{RV} = \frac{\varphi}{TR^2} \cdot |\gamma_C|, \text{ σε } g's \quad (5.20)$$

5.2.4) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΛΟΓΩ ΚΙΝΗΣΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

Στο σημείο αυτό αναφέρονται οι υπολογισμοί που πραγματοποιούνται ώστε να υπολογιστούν οι εγκάρσιες και κατακόρυφες δυνάμεις που ασκούνται λόγω της κίνησης του πλοίου και της δύναμης της βαρύτητας σε κάθε εμπορευματοκιβώτιο καθώς και η δύναμη του ανέμου, αναλόγως της θέσης του πάνω στο πλοίο. Οι δυνάμεις ασκούνται στο κέντρο βάρους του εμπορευματοκιβωτίου και αναλύονται στις δύο πλευρές του ανάλογα με την αντίστοιχη δύναμη.

- Εγκάρσια δύναμη: Η εγκάρσια δύναμη που ασκείται σε κάθε μία από τις πλευρές (fore και aft) του εμπορευματοκιβωτίου δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$F_H = 0.5 \cdot W \cdot A_T \quad (5.21)$$

Όπου: F_H : η εγκάρσια δύναμη λόγω βαρύτητας και των κινήσεων του πλοίου σε kN

W : Το βάρος του συγκεκριμένου εμπορευματοκιβωτίου σε kN

A_T : Η εγκάρσια επιτάχυνση στη συγκεκριμένη θέση σε g's

Το 45% της εγκάρσιας δύναμης ασκείται κατά μήκος της κορυφής της πλευράς του εμπορευματοκιβωτίου ενώ το υπόλοιπο 55% κατά μήκος του κάτω μέρους του.

- Κατακόρυφη Δύναμη: Η κατακόρυφη δύναμη που ασκείται σε κάθε πλευρά (fore και aft) του εμπορευματοκιβωτίου δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$F_{V1} = 0.5 \cdot W \cdot A_{VMAX} \quad (5.22)$$

$$F_{V2} = 0.5 \cdot W \cdot A_{VMIN} \quad (5.23)$$

Όπου: F_V : η κατακόρυφη δύναμη λόγω βαρύτητας και των κινήσεων του πλοίου σε kN

A_{VMAX} : Η μέγιστη κατακόρυφη επιτάχυνση σε g's

A_{VMIN} : Η ελάχιστη κατακόρυφη επιτάχυνση σε g's

Η δύναμη F_{V1} αποτελεί τη δύναμη της συμπίεσης (compression) του κατακόρυφου πλευρικού στύλου του container που επιβαρύνεται, ενώ η δύναμη F_{V2} αποτελεί την τάση εκτόνωσης (tension) του απέναντι κατακόρυφου πλευρικού στύλου.

- Δύναμη λόγω ανέμου: Η δύναμη του ανέμου που ασκείται σε κάθε πλευρά του εμπορευματοκιβωτίου δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$F_W = 0.5 \cdot P_W \cdot L_C \cdot H_C \quad (5.24)$$

Όπου: F_W : η δύναμη λόγω ανέμου σε kN

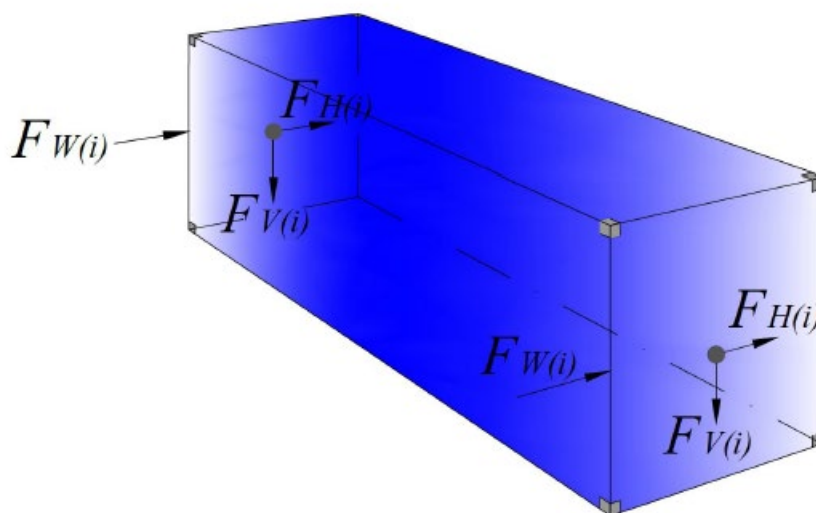
P_W : Η πίεση του ανέμου που αναλύθηκε παραπάνω

L_C : Το μήκος του συγκεκριμένου εμπορευματοκιβωτίου σε m

H_C : Το ύψος του συγκεκριμένου εμπορευματοκιβωτίου σε m

Το 50% της δύναμης λόγω ανέμου ασκείται κατά μήκος της κορυφής της πλευράς του εμπορευματοκιβωτίου, ενώ το υπόλοιπο 50% κατά μήκος του κάτω μέρους της.

Προς κατανόηση των δυνάμεων που αναφέρθηκαν παραπάνω χρησιμοποιήθηκε το ακόλουθο Σχήμα 5.9 που παρουσιάζει τα σημεία άσκησης των δυνάμεων στις πλευρές ενός εμπορευματοκιβωτίου.



Σχήμα 5.9 : Σημεία άσκησης των δυνάμεων σε ένα εμπορευματοκιβώτιο [10]

5.2.5) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΤΩΝ LASHINGS [11]

Η εγκάρσια δύναμη που ασκείται κατά μήκος της πάνω επιφάνειας κάθε εμπορευματοκιβωτίου στο tier i δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_{(i)} = 0.45 \cdot F_{H(i)} + 0.5 \cdot F_{W(i)} + \sum_{j=i+1}^n (F_{H(j)} + F_{W(j)}) \quad \text{kN} \quad (5.25)$$

Όπου: i : το εμπορευματοκιβώτιο που αναλύουμε
 n : ο αριθμός των tiers

Για στοίβες εμπορευματοκιβωτίων χωρίς lashings, η δύναμη διάτμησης στο συγκεκριμένο εμπορευματοκιβώτιο που αναλύουμε δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$R_{(i)} = Q_{(i)} \quad (5.26)$$

Για στοίβες εμπορευματοκιβωτίων που ασφαλιζονται με lashings στις γωνίες τους, η δύναμη διάτμησης στο εμπορευματοκιβώτιο του tier i που επεξεργαζόμαστε δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$R_{(i)} = Q_{(i)} - F_{IH(j)} \quad (5.27)$$

Όπου,

$F_{IH(j)}$: Η εγκάρσια συνιστώσα της τάσης του lashing j , σε kN

Γεωμετρία των Lashings

Το μήκος του lashing που επεξεργαζόμαστε δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$L_l = \sqrt{Ly^2 + Lz^2} \quad (5.28)$$

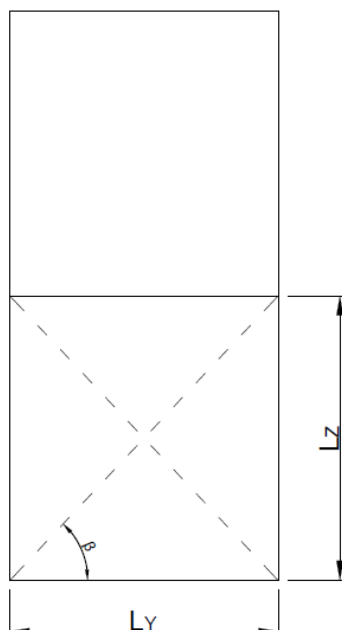
Όπου,

L_l : Το μήκος του lashing σε mm

Ly : Η εγκάρσια απόσταση του lashing σε mm, από το σημείο πρόσδεσης στο κατάστρωμα μέχρι τη γωνία πρόσδεσης στο εμπορευματοκιβώτιο

Lz : Η κατακόρυφη απόσταση του lashing, σε mm, από το σημείο πρόσδεσης στο κατάστρωμα μέχρι τη γωνία πρόσδεσης στο εμπορευματοκιβώτιο

Αναλυτικά οι αποστάσεις που καθορίζουν το συνολικό μήκος του lashing παρουσιάζονται στο ακόλουθο Σχήμα 5.10:



Σχήμα 5.10 : Αποστάσεις και γωνίες που καθορίζουν το μήκος των lashings

Για τη συνέχεια των υπολογισμών σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός και η ανάλυση της σταθεράς του ελατηρίου των lashings. Δίνεται από την ακόλουθη Σχέση 5.29:

$$K_l = \frac{A_l \cdot E_l}{L_l} \quad (5.29)$$

Όπου,

L_l : Το συνολικό μήκος του lashing που αναλύθηκε προηγουμένως

A_l : Εμβαδόν διατομής του lashing, σε mm² (Πίνακας 5.10)

<i>Lashing Element</i>	A_l
Steel Wire Rope	Nominal area
Steel Rod	Actual area
Steel Chain	One side of link

Πίνακας 5.10 : Εμβαδόν διατομής των lashings [11]

E_l : Μέτρο ελαστικότητας του lashing, σε kN/mm² σύμφωνα με τον ακόλουθο Πίνακα 5.11.

<i>Lashing Element</i>	<i>E_ℓ</i>	
	<i>kN/mm²</i>	<i>Ltf/in²</i>
Steel Wire Rope	88.3	5,715
Steel Rod in lashing assembly with $L_{\ell} \leq 5000$ mm (197 in.) (for lashings extending up ~1 tier)	140.0	9,062
Steel Rod in lashing assembly with $L_{\ell} > 5000$ mm (197 in.) (for lashings extending up ~2 tiers)	176.6	11,430
Steel Chain	98.1	6,350

Πίνακας 5.11 : Μέτρο ελαστικότητας των lashings [10]

Συνεπώς η εγκάρσια συνιστώσα της σταθεράς του ελατηρίου προκύπτει από την σχέση:

$$K_{IH} = K_I \cdot \cos^2 \beta \quad \text{kN/mm} \quad (5.30)$$

Όπου,

β : Η γωνία που σχηματίζουν τα lashings κατά την ασφάλισή τους

K_I : Η σταθερά ελατηρίου των lashings

Επίσης, σύμφωνα με το μοντέλο μας, οι εγκάρσιες και κατακόρυφες συνιστώσες της δύναμης που δέχονται τα lashings δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$F_{IH} = T_I \cdot \cos\beta \quad (5.31)$$

$$F_{IV} = T_I \cdot \sin\beta \quad (5.32)$$

Όπου,

T_I : Η συνολική δύναμη που ασκείται στο lashing, σε kN

Για τον υπολογισμό της δύναμης που ασκείται στα lashings των εμπορευματοκιβωτίων είναι απαραίτητος πρώτα ο υπολογισμός της οριζόντιας μετατόπισης στην πάνω πλευρά του κάθε εμπορευματοκιβωτίου λόγω της κίνησης του διατοιχισμού. Η οριζόντια μετατόπιση που μας απασχολεί, παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.11 και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\Delta_{(i)} = \frac{R(i)}{Kc(i)} + \Delta_{(i-1)} \quad (5.33)$$

Όπου,

$\Delta_{(i)}$: Η οριζόντια μετατόπιση στην πάνω πλευρά του εμπορευματοκιβωτίου στη θέση tier i, σε mm

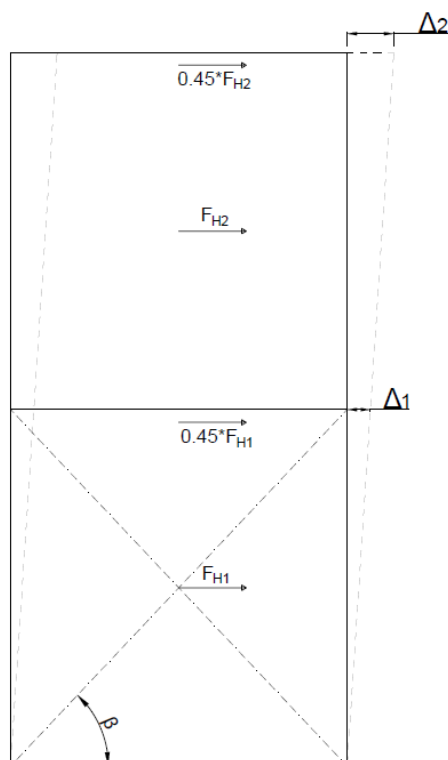
$\Delta_{(i-1)}$: Η οριζόντια μετατόπιση στην πάνω πλευρά του εμπορευματοκιβωτίου που βρίσκεται στο ακριβώς από κάτω tier, σε mm

$R_{(i)}$: Η δύναμη διάτμησης που αναλύθηκε προηγουμένως, σε kN

$K_{c(i)}$: Η σταθερά διάτμησης του εμπορευματοκιβωτίου, σε kN/mm και προκύπτει από τον ακόλουθο Πίνακα 5.12.

PANEL LOCATION	CONTAINER RACKING SPRING
Container Door End, K_c	3,73 kN/mm
Container Closed End, K_c	5,79 kN/mm

Πίνακας 5.12 : Σταθερά διάτμησης του εμπορευματοκιβωτίου



Σχήμα 5.11 : Μετατοπίσεις και δυνάμεις κατά την κίνηση διατοιχισμού σε στοίβα εμπορευματοκιβωτίων

Συνεπώς, όπως ορίζει το μοντέλο μας και με βάση τα παραπάνω δεδομένα που παρουσιάστηκαν, οι δυνάμεις των lashings τελικά υπολογίζονται όπως παρουσιάζονται ακολούθως:

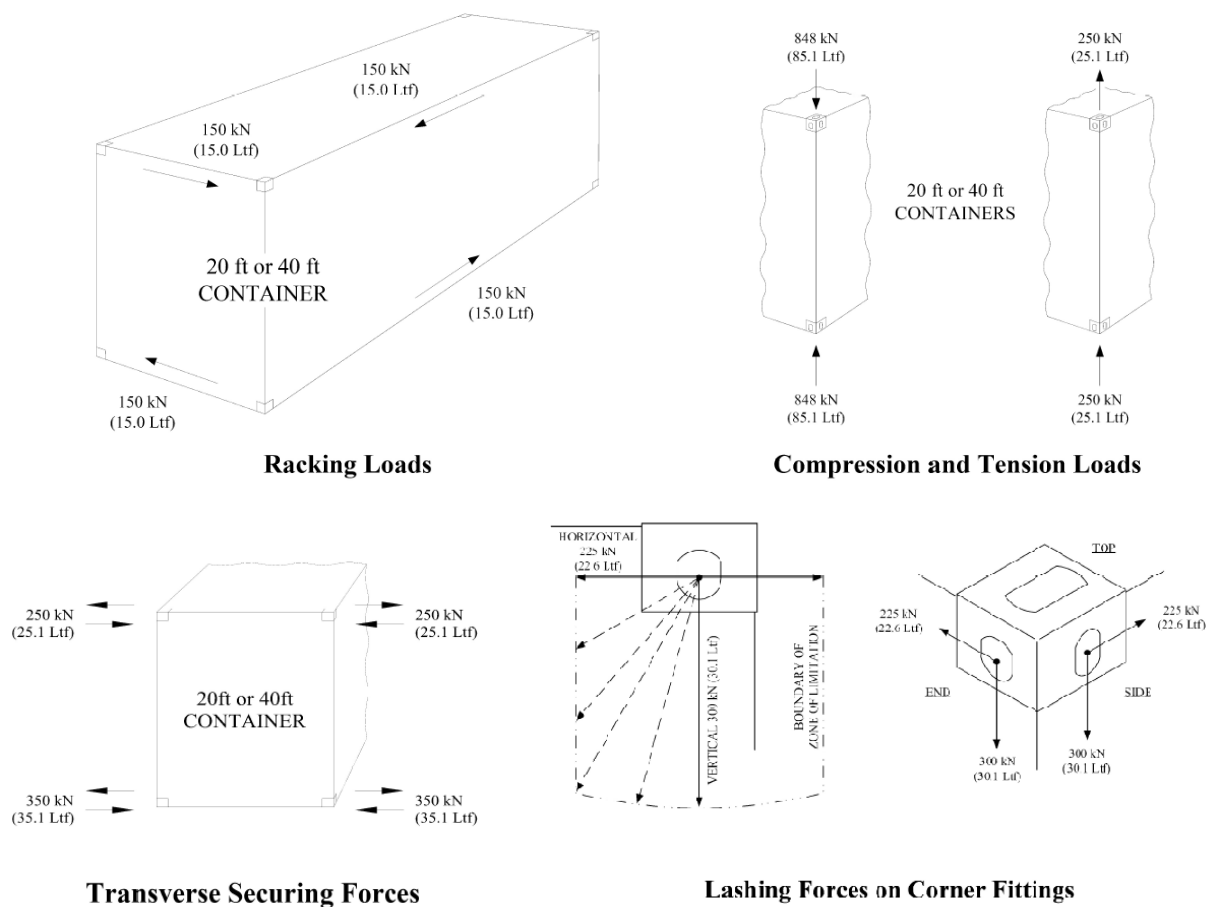
$$\text{Εγκάρσια συνιστώσα} : F_{IH(j)} = \Delta_{(i)} \cdot K_{IH(j)} \quad (5.34)$$

$$\text{Δύναμη των lashings: } T_{I(j)} = \frac{F_{IH(j)}}{\cos\beta(j)} \quad (5.35)$$

$$\text{Κατακόρυφη συνιστώσα} : F_{IV(j)} = T_{I(j)} \cdot \sin\beta(j) \quad (5.36)$$

5.2.6) ΕΠΙΤΡΕΠΏΜΕΝΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

Ωστόσο, για την ορθότητα των αποτελεσμάτων, σύμφωνα με τους κανονισμούς του ABS οι παραπάνω δυνάμεις θα πρέπει να είναι είτε ίσες είτε μικρότερες από τις μέγιστες δυνάμεις σχεδίασης που μπορούν να αντέξουν τόσο τα εμπορευματοκιβώτια όσο και το σύστημα πρόσδεσης αυτών. Οι μέγιστες αυτές δυνάμεις παρουσιάζονται στο παρακάτω Σχήμα 5.12:



Σχήμα 5.12 : Επιτρεπόμενες φορτίσεις των εμπορευματοκιβωτίων [10]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6) ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΩΝ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΧΜΑΣΗΣ

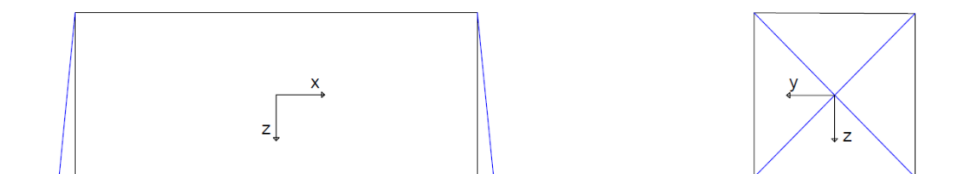
Η μοντελοποίηση που αναπτύσσεται στο συγκεκριμένο κεφάλαιο ακολουθεί αποκλειστικά το υπολογιστικό πλαίσιο που ορίζει ο νηογνώμονας ABS. Το συγκεκριμένο μοντέλο που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο Κεφάλαιο 5 έχει ως στόχο τον υπολογισμό των φορτίσεων που δέχεται τόσο το εμπορευματοκιβώτιο όσο και το σύστημα έχμασης στην κίνηση του διατοιχισμού. Θα αναλυθεί η μοντελοποίηση τόσο για ένα εμπορευματοκιβώτιο όσο και για στοίβες εμπορευματοκιβωτίων, ώστε στη συνέχεια να αντλήσουμε τα αντίστοιχα αποτελέσματα για ένα υπό μελέτη πλοίο.

6.1) ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΟΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΟΥ

Σκοπός της ακόλουθης μοντελοποίησης είναι ο υπολογισμός των δυνάμεων που ασκούνται τόσο στο εμπορευματοκιβώτιο όσο και στο σύστημα πρόσδεσης προκειμένου να καταφέρουμε να προσδιορίσουμε και να περιορίσουμε την κίνηση του εμπορευματοκιβωτίου που αναλύουμε. Οι συγκεκριμένοι υπολογισμοί θα πραγματοποιηθούν μόνο για την εγκάρσια κίνηση του πλοίου, κίνηση διατοιχισμού, και την επίδραση που ασκεί στα lashings που ασφαλίζουν τα εμπορευματοκιβώτια.

6.1.1) ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΟ

Το εμπορευματοκιβώτιο το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε και θα αναλύσουμε τις δυνάμεις που αναφέραμε είναι ο τύπος εμπορευματοκιβωτίου (20' x 8' x 8'6'') όπως φαίνεται στο ακόλουθο Σχήμα 6.1. Τα lashings δένονται χιαστί στις δύο άκρες. Επιπλέον κάνουμε την παραδοχή ότι ο διαμήκης κορμός του εμπορευματοκιβωτίου είναι πολύ ανθεκτικός σε κάμψη και δεν υπόκειται σε στρεψη.



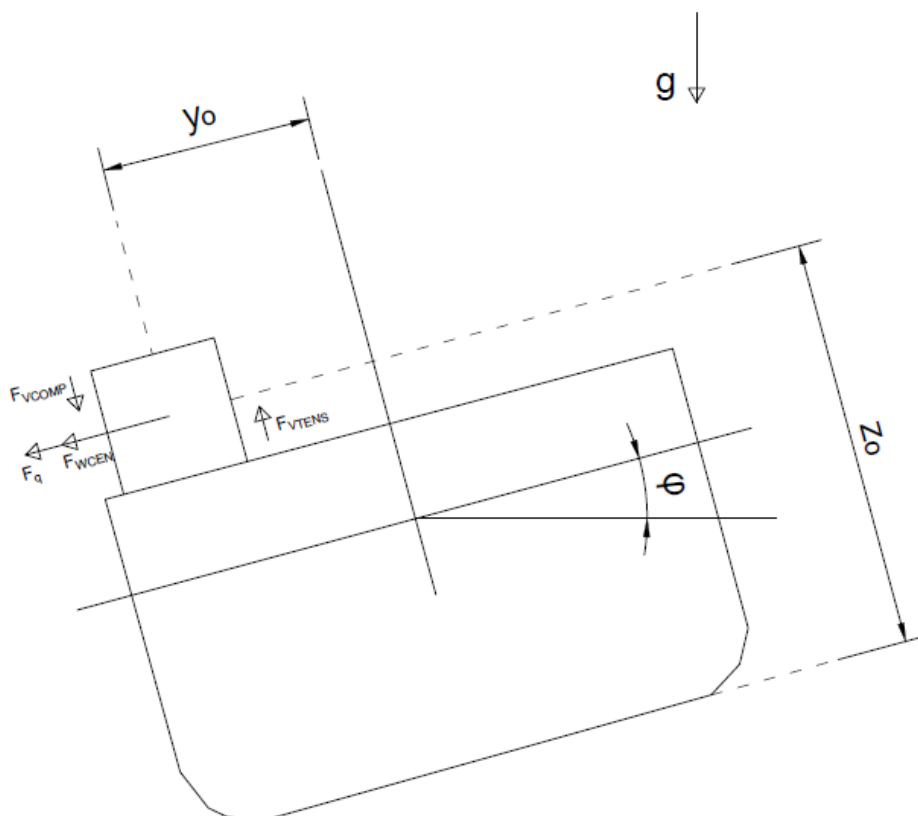
Σχήμα 6.1 : Αναπαράσταση εμπορευματοκιβωτίου και διάταξης των lashings [14]

6.1.2) ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΛΟΓΩ ΚΙΝΗΣΗΣ ΔΙΑΤΟΙΧΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Οι δυνάμεις που ασκούνται στα εμπορευματοκιβώτια σύμφωνα με το μοντέλο που αναλύσαμε είναι κατά μήκος των διευθύνσεων y και z . Συγκεκριμένα, στην περίπτωση του διατοιχισμού ασκείται η δύναμη F_W του ανέμου, η εγκάρσια δύναμη F_H λόγω βαρύτητας και κινήσεων του πλοίου ως προς το εγκάρσιο και η δύναμη F_V ως προς τον κατακόρυφο άξονα z που προκαλεί συμπίεση και εκτόνωση σε κάθε μία από τις δύο κολώνες στήριξης στις πλευρές του εμπορευματοκιβωτίου. Όπως αναλύσαμε και παραπάνω, οι συγκεκριμένες δυνάμεις αποτελούν τις καταπονήσεις εκείνες που ασκούνται σε κάθε μία από τις δύο πλευρές του εμπορευματοκιβωτίου. Αντιθέτως, στο κέντρο του εμπορευματοκιβωτίου οι συνολικές δυνάμεις που ασκούνται ως προς το εγκάρσιο είναι οι ακόλουθες:

- $F_{WCEN} = 2 \cdot F_W$ (δύναμη λόγω ανέμου)
- $F_q = 2 \cdot F_H$ (εγκάρσια δύναμη λόγω βαρύτητας και κινήσεων του πλοίου)

Οι δυνάμεις που αναφέραμε παρουσιάζονται στο ακόλουθο Σχήμα 6.2:



Σχήμα 6.2 : Δυνάμεις λόγω κίνησης διατοιχισμού του πλοίου

Οι εξισώσεις των δυνάμεων που ασκούνται στο εμπορευματοκιβώτιο λόγω διατοιχισμού έχουν ως εξής:

Η εγκάρσια δύναμη στο κέντρο του εμπορευματοκιβωτίου:

$$F_q = W \cdot A_T \quad (6.1)$$

Η εγκάρσια δύναμη στις δύο πλευρές του εμπορευματοκιβωτίου:

$$F_H = 0.5 \cdot F_q \quad (6.2)$$

Η συνολική δύναμη (F_{WCEN}) και η επιμέρους δύναμη (F_w) που δημιουργείται του λόγω ανέμου στο κέντρο του εμπορευματοκιβωτίου και στις δύο πλευρές του αντίστοιχα:

$$F_{WCEN} = P_W \cdot L_C \cdot H_C \quad (6.3)$$

$$\text{όπου: } P_W = 1.08 \cdot \cos^2 \phi \quad (6.4)$$

$$F_w = 0.5 \cdot F_{WCEN} \quad (6.5)$$

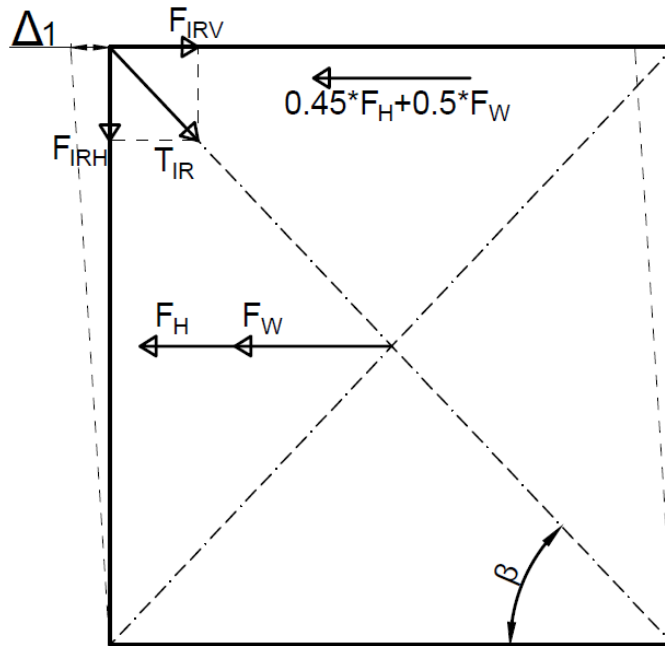
Οι κατακόρυφες δυνάμεις που ασκούνται στο εμπορευματοκιβώτιο και προκαλούν συμπίεση (compression) και εκτόνωση (tension) αντίστοιχα:

$$F_{VCOMP} = 0.5 \cdot W \cdot A_{VMAX} \quad (6.6)$$

$$F_{VTENS} = 0.5 \cdot W \cdot A_{VMIN} \quad (6.7)$$

6.1.3) ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΩΝ LASHINGS

Τα lashings μοντελοποιούνται σαν lashing rods με μήκος L_l και εγκάρσια συνιστώσα της σταθεράς ελατηρίου K_{IH} όπως αναλύθηκαν προηγουμένως στο μοντέλο μας. Οι δυνάμεις, οι αποστάσεις και τα δεδομένα που χρειαζόμαστε για τους υπολογισμούς των δυνάμεων των lashings στη μοντελοποίηση ενός εμπορευματοκιβωτίου φαίνονται στο ακόλουθο Σχήμα 6.3:



Σχήμα 6.3 : Δυνάμεις στα lashings του εμπορευματοκιβωτίου

Η εγκάρσια δύναμη που ασκείται κατά μήκος της πάνω πλευράς του εμπορευματοκιβωτίου ισούται με:

$$Q = 0.45 \cdot F_H + 0.5 \cdot F_W \quad (6.8)$$

με : $R = Q$

Το μήκος των lashings:

$$L_l = \sqrt{L_y^2 + L_z^2} \quad (6.9)$$

Η εγκάρσια συνιστώσα της σταθεράς του lashing ισούται με:

$$K_{IH} = K_l \cdot \cos^2 \beta \quad (6.10)$$

Η οριζόντια μετατόπιση (Δ) στην πάνω πλευρά του εμπορευματοκιβωτίου στην περίπτωση του ενός εμπορευματοκιβωτίου ισούται με:

$$\Delta = \frac{R}{K_c} \quad (6.11)$$

Η εγκάρσια συνιστώσα του δεξιού lashing (F_{IRH}) που φαίνεται και στο Σχήμα 6.3 ισούται με:

$$F_{IRH} = \Delta \cdot K_{IH} \quad (6.12)$$

Συνεπώς οι τελικές τιμές της δύναμης που δέχεται το δεξί lashing (T_R) και η κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης αυτής (F_{IRV}) αντίστοιχα είναι οι ακόλουθες:

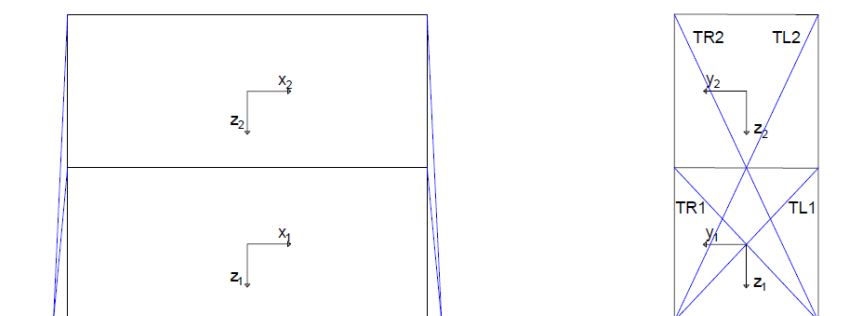
$$T_R = \frac{FIRH}{\cos\beta} \quad (6.13)$$

$$F_{IRV} = T_R \cdot \sin\beta \quad (6.14)$$

Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει η υπόθεση ότι τα lashings, δεν μπορούν να εμφανίσουν αρνητική επιμήκυνση διότι δεν μπορούν να δεχθούν θλιπτικές δυνάμεις. Επιπλέον, σύμφωνα με το μοντέλο μας, στην περίπτωση που η γωνία διατοιχισμού πραγματοποιεί καταπόνηση του αριστερού lashing πάλι η διαδικασία υπολογισμού και τα αποτελέσματα παραμένουν ίδια. Συνεπώς, $T_R = T_L$ και κατ' επέκταση οι υπολογισμοί θα πραγματοποιηθούν μόνο για τα δεξιά lashings που ασφαλίζουν το εμπορευματοκιβώτιο στην περίπτωση γωνίας διατοιχισμού, όπως παρουσιάζεται στο παραπάνω Σχήμα 6.3.

6.2) ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΥΟ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

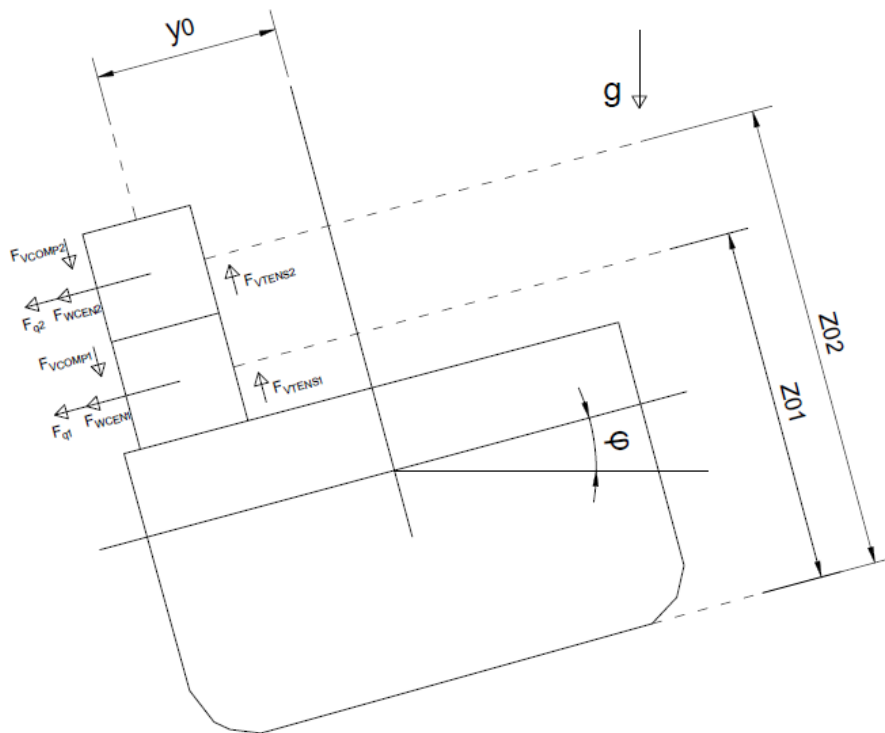
Στη συγκεκριμένη παράγραφο θα μοντελοποιήσουμε το πρόβλημα πρόσδεσης δύο εμπορευματοκιβωτίων. Θα διερευνηθεί η συμπεριφορά δύο εμπορευματοκιβωτίων και θα υπολογιστούν οι δυνάμεις που δέχεται το κάθε εμπορευματοκιβώτιο ξεχωριστά καθώς και οι δυνάμεις των lashings που τα ασφαλίζουν. Η μοντελοποίηση και σε αυτή την περίπτωση είναι αντίστοιχη με την μοντελοποίηση ενός εμπορευματοκιβωτίου, δηλαδή κάθε εμπορευματοκιβώτιο προσδέεται με τέσσερα lashings από κάθε γωνία του στο κατάστρωμα. Αναλυτικά η διάταξη παρουσιάζεται στο ακόλουθο Σχήμα 6.4.



Σχήμα 6.4 : Αναπαράσταση εμπορευματοκιβωτίων και διάταξης των lashings [14]

6.2.1) ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΛΟΓΩ ΚΙΝΗΣΗΣ ΔΙΑΤΟΙΧΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Οι δυνάμεις που ασκούνται λόγω της κίνησης του διατοιχισμού του πλοίου είναι αντίστοιχες με αυτές που αναφέρθηκαν στην πρώτη περίπτωση μοντελοποίησης του ενός εμπορευματοκιβωτίου. Πλέον έχουμε δύο βάρη W_1 και W_2 και οι δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε ένα από τα δύο εμπορευματοκιβώτια παρουσιάζονται στο ακόλουθο Σχήμα 6.5:



Σχήμα 6.5 : Δυνάμεις λόγω κίνησης διατοιχισμού του πλοίου

Οι εξισώσεις των δυνάμεων που ασκούνται σε κάθε ένα από τα δύο εμπορευματοκιβώτια λόγω κίνησης διατοιχισμού έχουν ως εξής:

Η εγκάρσια δύναμη στο κέντρο των εμπορευματοκιβωτίων:

$$F_{q1} = W_1 \cdot A_{T1} \quad (6.15)$$

$$F_{q2} = W_2 \cdot A_{T2} \quad (6.16)$$

Η εγκάρσια δύναμη στις δύο πλευρές των εμπορευματοκιβωτίων:

$$F_{H1} = 0.5 \cdot F_{q1} \quad (6.17)$$

$$F_{H2} = 0.5 \cdot F_{q2} \quad (6.18)$$

Η συνολική δύναμη (F_{WCEN}) και η επιμέρους δύναμη (F_w) που δημιουργείται λόγω ανέμου στο κέντρο των εμπορευματοκιβωτίων και στις δύο πλευρές τους αντίστοιχα:

$$F_{WCEN1} = P_w \cdot L_c \cdot H_c \quad (6.19)$$

$$F_{WCEN2} = P_w \cdot L_c \cdot H_c \quad (6.20)$$

$$\text{όπου: } P_w = 1.08 \cdot \cos^2 \phi \quad (6.21)$$

$$F_{W1} = 0.5 \cdot F_{WCEN1} \quad (6.22)$$

$$F_{W2} = 0.5 \cdot F_{WCEN2} \quad (6.23)$$

Οι κατακόρυφες δυνάμεις που ασκούνται στα εμπορευματοκιβώτια και προκαλούν συμπίεση (compression) και εκτόνωση (tension) αντίστοιχα:

$$F_{VCOMP1} = 0.5 \cdot W_1 \cdot A_{VMAX} \quad (6.24)$$

$$F_{VTENS1} = 0.5 \cdot W_1 \cdot A_{VMIN} \quad (6.25)$$

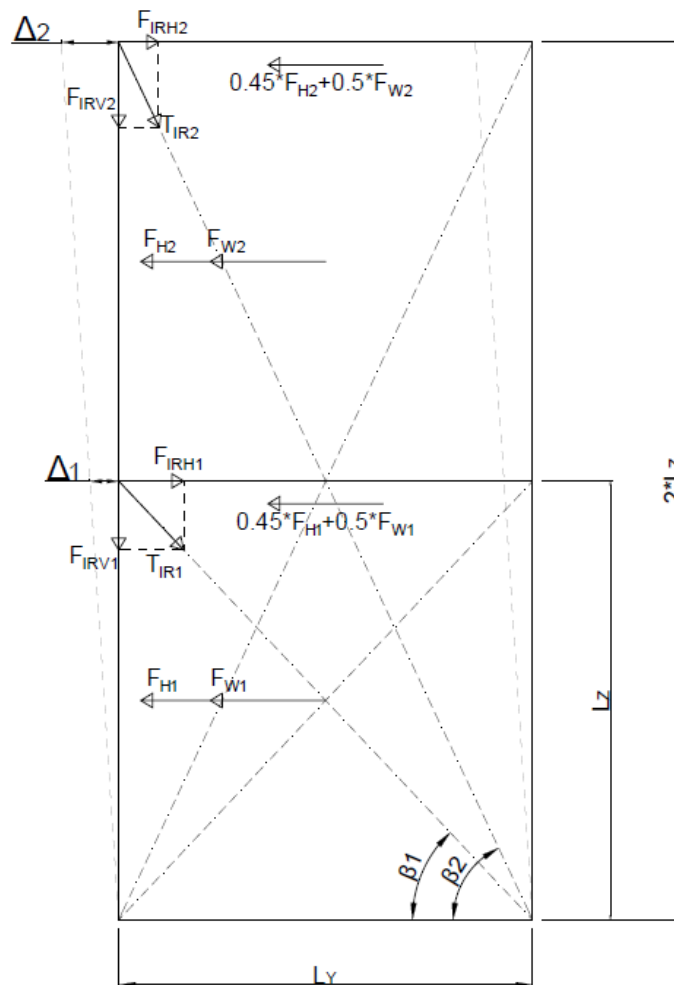
$$F_{VCOMP2} = 0.5 \cdot W_2 \cdot A_{VMAX} \quad (6.26)$$

$$F_{VTENS2} = 0.5 \cdot W_2 \cdot A_{VMIN} \quad (6.27)$$

Εφόσον οι κατακόρυφες επιταχύνσεις καθορίζονται αποκλειστικά από τη θέση του εμπορευματοκιβωτίου ως προς τα Bays και τα Rows και είναι ανεξάρτητα του Tier που στοιβάζεται το κάθε εμπορευματοκιβώτιο, οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές των κατακόρυφων επιταχύνσεων είναι ίσες σε κάθε ένα από τα Tier της στοίβας.

6.2.2) ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΩΝ LASHINGS

Ομοίως με την πρώτη περίπτωση μοντελοποίησης, τα lashings μοντελοποιούνται σαν lashing rods με μήκος L_i και εγκάρσια συνιστώσα της σταθεράς ελατηρίου K_{IH} όπως αναλύθηκαν προηγουμένως στο μοντέλο μας. Ωστόσο, στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε δύο διαφορετικά μήκη, το L_{i1} και το L_{i2} και δύο διαφορετικές εγκάρσιες συνιστώσες της σταθεράς ελατηρίου K_{IH1} και K_{IH2} . Οι δυνάμεις, οι αποστάσεις και τα δεδομένα που χρειαζόμαστε για τους υπολογισμούς των δυνάμεων των lashings στη μοντελοποίηση ενός εμπορευματοκιβωτίου φαίνονται στο ακόλουθο Σχήμα 6.6:



Σχήμα 6.6 : Δυνάμεις στα lashings των εμπορευματοκιβωτίων

Η εγκάρσια δύναμη που ασκείται κατά μήκος της πάνω πλευράς του κάθε ένα από τα δύο εμπορευματοκιβώτια ισούται με:

$$Q_1 = 0.45 \cdot F_{H1} + 0.5 \cdot F_{W1} + (F_{H2} + F_{W2}) \quad (6.28)$$

$$Q_2 = 0.45 \cdot F_{H2} + 0.5 \cdot F_{W2} \quad (6.29)$$

με : $R_2 = Q_2$

$$R_1 = Q_1 - F_{IRH1}$$

Το μήκος των lashings:

$$L_{l1} = \sqrt{Ly^2 + Lz^2} \quad (6.30)$$

$$L_{l2} = \sqrt{Ly^2 + (2 \cdot Lz)^2} \quad (6.31)$$

Η εγκάρσια συνιστώσα της σταθεράς του lashing ισούται με:

$$K_{IH1} = K_{I1} \cdot \cos^2 \beta_1 \quad (6.32)$$

$$K_{IH2} = K_{I2} \cdot \cos^2 \beta_2 \quad (6.33)$$

Η οριζόντια μετατόπιση (Δ) στην πάνω πλευρά του κάθε εμπορευματοκιβωτίου στην περίπτωση των δύο εμπορευματοκιβωτίων ισούται με:

$$\Delta_1 = \frac{R1}{Kc1} \quad (6.34)$$

$$\Delta_2 = \frac{R2}{Kc2} + \Delta_1 \quad (6.35)$$

Η εγκάρσια συνιστώσα του δεξιού lashing (F_{IRH}) που φαίνεται και στο Σχήμα 6.6 ισούται με:

$$F_{IRH1} = \Delta_1 \cdot K_{IH1} \quad (6.36)$$

$$F_{IRH2} = \Delta_2 \cdot K_{IH2} \quad (6.37)$$

Συνεπώς οι τελικές τιμές της δύναμης που δέχεται το δεξί lashing (T_R) και η κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης αυτής (F_{IRV}) αντίστοιχα είναι οι ακόλουθες:

$$T_{R1} = \frac{F_{IRH1}}{\cos\beta_1} \quad (6.38)$$

$$T_{R2} = \frac{F_{IRH2}}{\cos\beta_2} \quad (6.39)$$

$$F_{IRV1} = T_{R1} \cdot \sin\beta_1 \quad (6.40)$$

$$F_{IRV2} = T_{R2} \cdot \sin\beta_2 \quad (6.41)$$

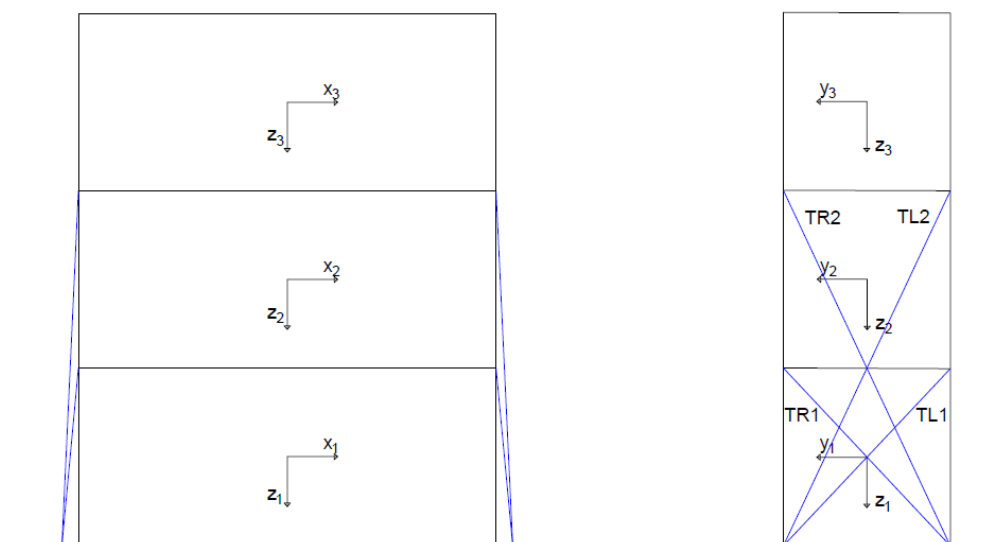
Ομοίως με την πρώτη περίπτωση και στη μοντελοποίηση των δύο εμπορευματοκιβωτίων οι δυνάμεις που δέχεται το δεξί (T_R) και το αριστερό (T_L) lashing κατά την κίνηση διατοχισμού του πλοίου είναι ίσες. Συνεπώς ισχύει:

$$T_{R1} = T_{L1} \quad (6.42)$$

$$T_{R2} = T_{L2} \quad (6.43)$$

6.3) ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΡΙΩΝ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

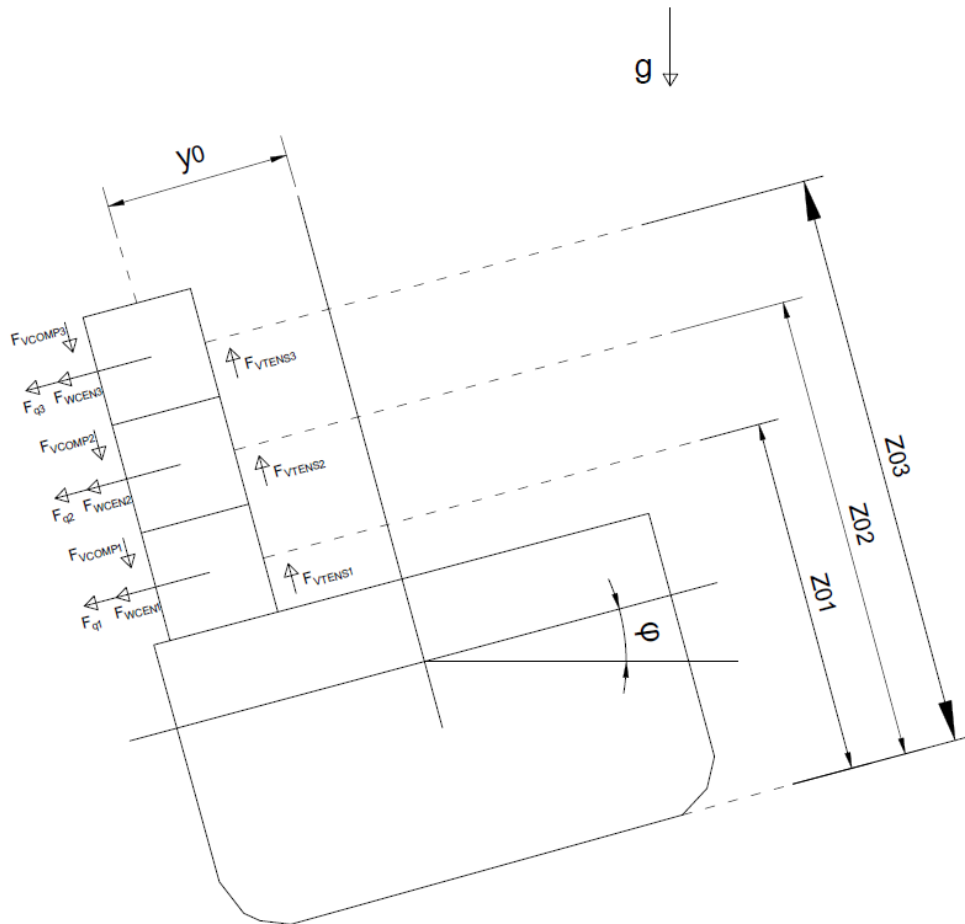
Στη συγκεκριμένη παράγραφο θα μοντελοποιήσουμε το πρόβλημα πρόσδεσης τριών εμπορευματοκιβωτίων. Θα διερευνηθεί η συμπεριφορά τριών εμπορευματοκιβωτίων και θα υπολογιστούν οι δυνάμεις που δέχεται το κάθε εμπορευματοκιβώτιο ξεχωριστά καθώς και οι δυνάμεις των lashings που τα ασφαλίζουν. Η μοντελοποίηση και σε αυτή την περίπτωση είναι αντίστοιχη με την μοντελοποίηση ενός εμπορευματοκιβωτίου, δηλαδή κάθε εμπορευματοκιβώτιο προσδένεται με τέσσερα lashings από κάθε γωνία του στο κατάστρωμα. Αναλυτικά η διάταξη παρουσιάζεται στο ακόλουθο Σχήμα 6.7.



Σχήμα 6.7 : Αναπαράσταση εμπορευματοκιβωτίων και διάταξης των lashings [14]

6.3.1) ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΛΟΓΩ ΚΙΝΗΣΗΣ ΔΙΑΤΟΙΧΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Οι δυνάμεις που ασκούνται λόγω της κίνησης του διατοιχισμού του πλοίου είναι αντίστοιχες με αυτές που αναφέρθηκαν στην πρώτη περίπτωση μοντελοποίησης του ενός εμπορευματοκιβωτίου. Πλέον έχουμε τρία βάρη W_1 , W_2 και W_3 και οι δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε ένα από τα τρία εμπορευματοκιβώτια παρουσιάζονται στο ακόλουθο Σχήμα 6.8:



Σχήμα 6.8 : Δυνάμεις λόγω κίνησης διατοιχισμού του πλοίου

Οι εξισώσεις των δυνάμεων που ασκούνται σε κάθε ένα από τα τρία εμπορευματοκιβώτια λόγω διατοιχισμού έχουν ως εξής:

Η εγκάρσια δύναμη στο κέντρο των εμπορευματοκιβωτίων:

$$F_{q1} = W_1 \cdot A_{T1} \quad (6.44)$$

$$F_{q2} = W_2 \cdot A_{T2} \quad (6.45)$$

$$F_{q3} = W_3 \cdot A_{T3} \quad (6.46)$$

Η εγκάρσια δύναμη στις δύο πλευρές των εμπορευματοκιβωτίων:

$$F_{H1} = 0.5 \cdot F_{q1} \quad (6.47)$$

$$F_{H2} = 0.5 \cdot F_{q2} \quad (6.48)$$

$$F_{H3} = 0.5 \cdot F_{q3} \quad (6.49)$$

Η συνολική δύναμη (F_{WCEN}) και η επιμέρους δύναμη (F_W) που δημιουργείται λόγω ανέμου στο κέντρο του εμπορευματοκιβωτίου και στις δύο πλευρές του αντίστοιχα:

$$F_{WCEN1} = P_W \cdot L_C \cdot H_C \quad (6.50)$$

$$F_{WCEN2} = P_W \cdot L_C \cdot H_C \quad (6.51)$$

$$F_{WCEN3} = P_W \cdot L_C \cdot H_C \quad (6.52)$$

$$\text{όπου: } P_W = 1.08 \cdot \cos^2 \phi \quad (6.53)$$

$$F_{W1} = 0.5 \cdot F_{WCEN1} \quad (6.54)$$

$$F_{W2} = 0.5 \cdot F_{WCEN2} \quad (6.55)$$

$$F_{W3} = 0.5 \cdot F_{WCEN3} \quad (6.56)$$

Οι κατακόρυφες δυνάμεις που ασκούνται στο εμπορευματοκιβώτιο και προκαλούν συμπίεση (compression) και εκτόνωση (tension) αντίστοιχα:

$$F_{VCOMP1} = 0.5 \cdot W_1 \cdot A_{VMAX} \quad (6.57)$$

$$F_{VTENS1} = 0.5 \cdot W_1 \cdot A_{VMIN} \quad (6.58)$$

$$F_{VCOMP2} = 0.5 \cdot W_2 \cdot A_{VMAX} \quad (6.59)$$

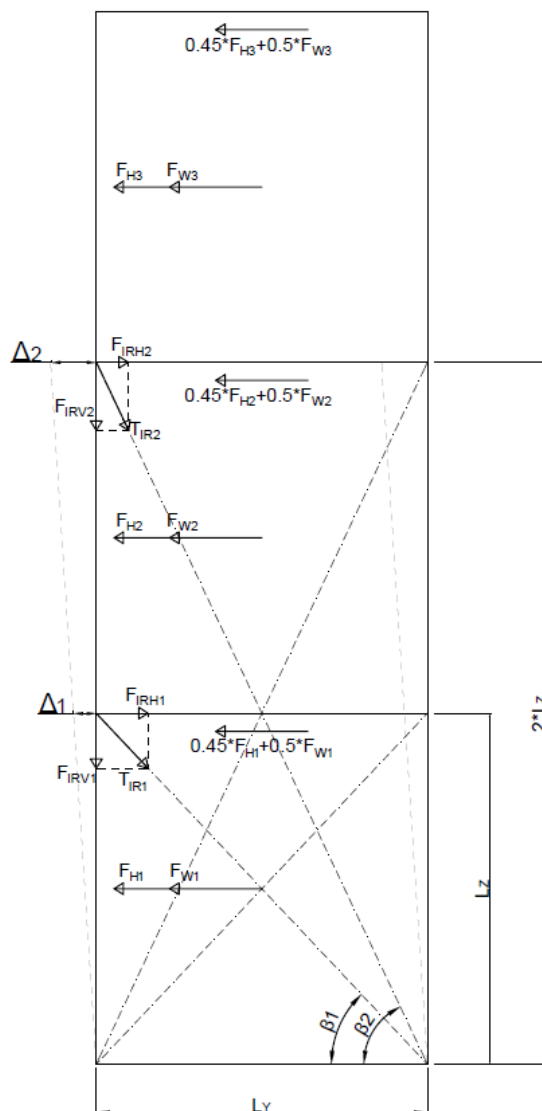
$$F_{VTENS2} = 0.5 \cdot W_2 \cdot A_{VMIN} \quad (6.60)$$

$$F_{VCOMP3} = 0.5 \cdot W_3 \cdot A_{VMAX} \quad (6.61)$$

$$F_{VTENS3} = 0.5 \cdot W_3 \cdot A_{VMIN} \quad (6.62)$$

6.3.2) ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΩΝ LASHINGS

Ομοίως με τη δεύτερη περίπτωση μοντελοποίησης τα lashings ασφαλίζονται στην κορυφή του πρώτου εμπορευματοκιβωτίου και στην κορυφή του δεύτερου. Συνεπώς και σε αυτή την περίπτωση έχουμε δύο διαφορετικά μήκη, το L_{11} και το L_{12} και δύο διαφορετικές εγκάρσιες συνιστώσες της σταθεράς ελατηρίου K_{IH1} και K_{IH2} . Οι δυνάμεις, οι αποστάσεις και τα δεδομένα που χρειαζόμαστε για τους υπολογισμούς των δυνάμεων των lashings στη μοντελοποίηση ενός εμπορευματοκιβωτίου φαίνονται στο ακόλουθο Σχήμα 6.9:



Σχήμα 6.9 : Δυνάμεις στα lashings των εμπορευματοκιβωτίων

Η εγκάρσια δύναμη που ασκείται κατά μήκος της πάνω πλευράς του κάθε ένα από τα δύο πρώτα εμπορευματοκιβώτια ισούται με:

$$Q_1 = 0.45 \cdot F_{H1} + 0.5 \cdot F_{W1} + (F_{H2} + F_{W2}) + (F_{H3} + F_{W3}) \quad (6.63)$$

$$Q_2 = 0.45 \cdot F_{H2} + 0.5 \cdot F_{W2} + (F_{H3} + F_{W3}) \quad (6.64)$$

με : $R_2 = Q_2$

$$R_1 = Q_1 - F_{IRH1} \quad (5.65)$$

Το μήκος των lashings:

$$L_{11} = \sqrt{Ly^2 + Lz^2} \quad (6.66)$$

$$L_{12} = \sqrt{Ly^2 + (2 \cdot Lz)^2} \quad (6.67)$$

Η εγκάρσια συνιστώσα της σταθεράς του lashing ισούται με:

$$K_{IH1} = K_{I1} \cdot \cos^2 \beta_1 \quad (6.68)$$

$$K_{IH2} = K_{I2} \cdot \cos^2 \beta_2 \quad (6.69)$$

Η οριζόντια μετατόπιση (Δ) στην πάνω πλευρά του κάθε εμπορευματοκιβωτίου στην περίπτωση των τριών εμπορευματοκιβωτίων ισούται με:

$$\Delta_1 = \frac{R1}{Kc1} \quad (6.70)$$

$$\Delta_2 = \frac{R2}{Kc2} + \Delta_1 \quad (6.71)$$

Η εγκάρσια συνιστώσα του δεξιού lashing (F_{IRH}) που φαίνεται και στο Σχήμα 6.9 ισούται με:

$$F_{IRH1} = \Delta_1 \cdot K_{IH1} \quad (6.72)$$

$$F_{IRH2} = \Delta_2 \cdot K_{IH2} \quad (6.73)$$

Συνεπώς οι τελικές τιμές της δύναμης που δέχεται το δεξί lashing (T_R) και η κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης αυτής (F_{IRV}) αντίστοιχα είναι οι ακόλουθες:

$$T_{R1} = \frac{F_{IRH1}}{\cos \beta_1} \quad (6.74)$$

$$T_{R2} = \frac{F_{IRH2}}{\cos \beta_2} \quad (6.75)$$

$$F_{IRV1} = T_{R1} \cdot \sin \beta_1 \quad (6.76)$$

$$F_{IRV2} = T_{R2} \cdot \sin \beta_2 \quad (6.77)$$

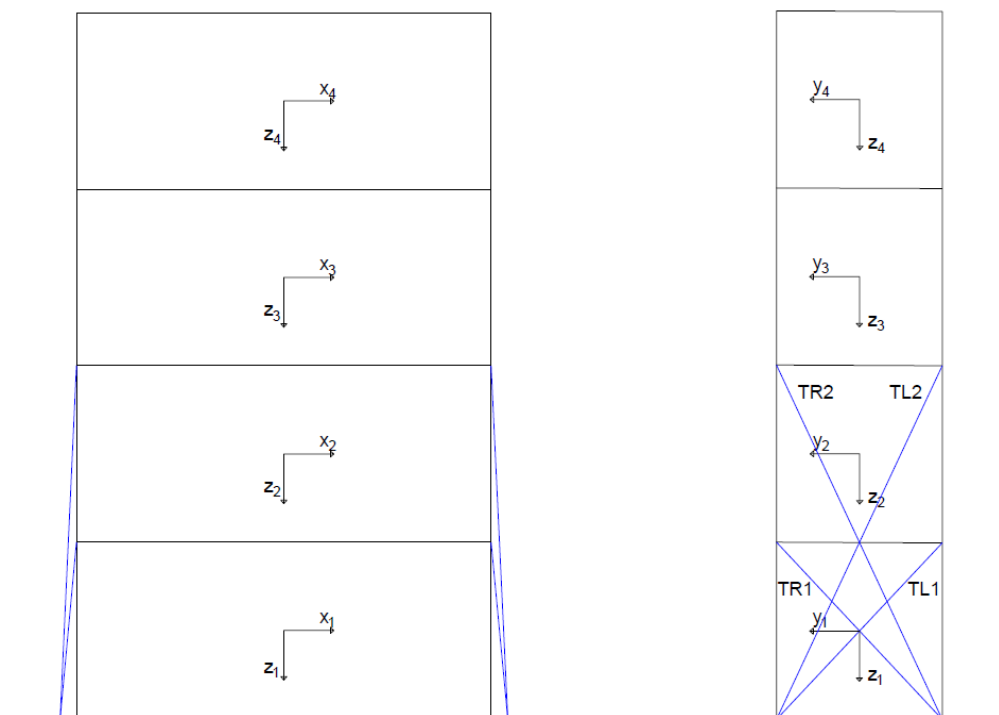
Ομοίως με την δεύτερη περίπτωση και στη μοντελοποίηση των τριών εμπορευματοκιβωτίων οι δυνάμεις που δέχεται το δεξί (T_R) και το αριστερό (T_L) lashing κατά την κίνηση διατοιχισμού του πλοίου είναι ίσες. Συνεπώς ισχύει:

$$T_{R1} = T_{L1} \quad (6.78)$$

$$T_{R2} = T_{L2} \quad (6.79)$$

6.4) ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

Στη συγκεκριμένη παράγραφο θα μοντελοποιήσουμε το πρόβλημα πρόσδεσης τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων. Θα διερευνηθεί η συμπεριφορά των εμπορευματοκιβωτίων και θα υπολογιστούν οι δυνάμεις που δέχεται το κάθε εμπορευματοκιβώτιο ξεχωριστά καθώς και οι δυνάμεις των lashings που τα ασφαλίζουν. Η μοντελοποίηση και σε αυτή την περίπτωση είναι αντίστοιχη με την μοντελοποίηση ενός εμπορευματοκιβωτίου, δηλαδή κάθε εμπορευματοκιβώτιο προσδένεται με τέσσερα lashings από κάθε γωνία του στο κατάστρωμα. Αναλυτικά η διάταξη παρουσιάζεται στο ακόλουθο Σχήμα 6.10.

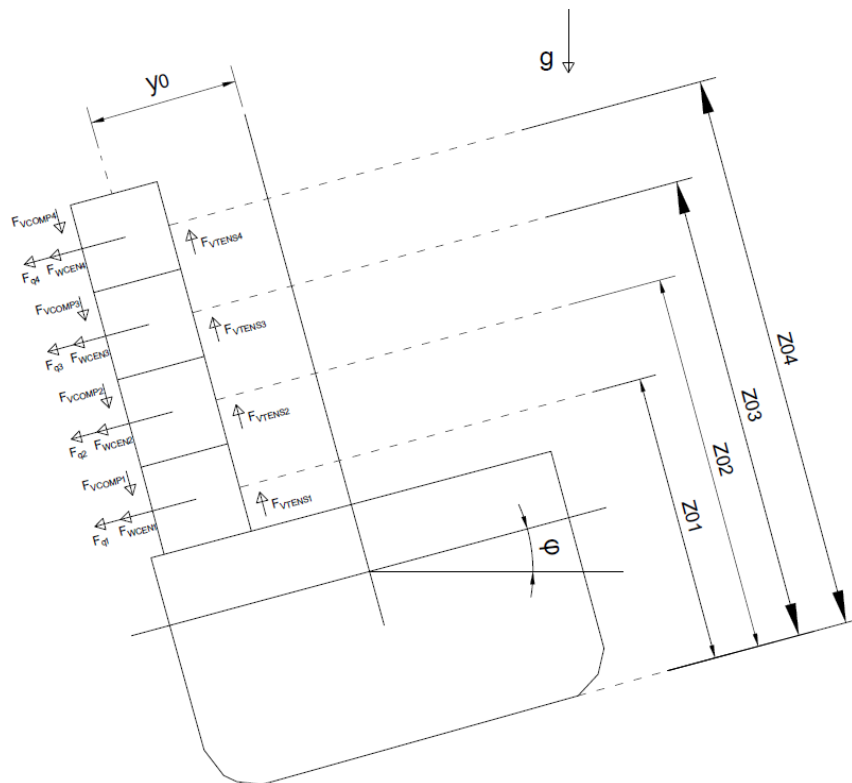


Σχήμα 6.10 : Αναπαράσταση εμπορευματοκιβωτίων και διάταξης των Lashings [14]

6.4.1) ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΛΟΓΩ ΚΙΝΗΣΗΣ ΔΙΑΤΟΙΧΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Οι δυνάμεις που ασκούνται λόγω της κίνησης του διατοιχισμού του πλοίου είναι αντίστοιχες με αυτές που αναφέρθηκαν στην πρώτη περίπτωση μοντελοποίησης του ενός εμπορευματοκιβωτίου. Πλέον έχουμε τέσσερα βάρη W_1 , W_2 , W_3 και W_4 και

οι δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε ένα από τα τέσσερα εμπορευματοκιβώτια παρουσιάζονται στο ακόλουθο Σχήμα 6.11:



Σχήμα 6.11 : Δυνάμεις λόγω κίνησης διατοιχισμού του πλοίου

Οι εξισώσεις των δυνάμεων που ασκούνται σε κάθε ένα από τα τέσσερα εμπορευματοκιβώτια λόγω διατοιχισμού έχουν ως εξής:

Η εγκάρσια δύναμη στο κέντρο των εμπορευματοκιβωτίων:

$$F_{q1} = W_1 \cdot A_{T1} \quad (6.80)$$

$$F_{q2} = W_2 \cdot A_{T2} \quad (6.81)$$

$$F_{q3} = W_3 \cdot A_{T3} \quad (6.82)$$

$$F_{q4} = W_4 \cdot A_{T4} \quad (6.83)$$

Η εγκάρσια δύναμη στις δύο πλευρές των εμπορευματοκιβωτίων:

$$F_{H1} = 0.5 \cdot F_{q1} \quad (6.84)$$

$$F_{H2} = 0.5 \cdot F_{q2} \quad (6.85)$$

$$F_{H3} = 0.5 \cdot F_{q3} \quad (6.86)$$

$$F_{H4} = 0.5 \cdot F_{q4} \quad (6.87)$$

Η συνολική δύναμη (F_{WCEN}) και η επιμέρους δύναμη (F_w) που δημιουργείται λόγω ανέμου στο κέντρο του εμπορευματοκιβωτίου και στις δύο πλευρές του αντίστοιχα:

$$F_{WCEN1} = P_w \cdot L_c \cdot H_c \quad (6.88)$$

$$F_{WCEN2} = P_w \cdot L_c \cdot H_c \quad (6.89)$$

$$F_{WCEN3} = P_w \cdot L_c \cdot H_c \quad (6.90)$$

$$F_{WCEN4} = P_w \cdot L_c \cdot H_c \quad (6.91)$$

$$\text{όπου: } P_w = 1.08 \cdot \cos^2 \phi \quad (6.92)$$

$$F_{W1} = 0.5 \cdot F_{WCEN1} \quad (6.93)$$

$$F_{W2} = 0.5 \cdot F_{WCEN2} \quad (6.94)$$

$$F_{W3} = 0.5 \cdot F_{WCEN3} \quad (6.95)$$

$$F_{W4} = 0.5 \cdot F_{WCEN4} \quad (6.96)$$

Οι κατακόρυφες δυνάμεις που ασκούνται στο εμπορευματοκιβώτιο και προκαλούν συμπίεση (compression) και εκτόνωση (tension) αντίστοιχα:

$$F_{VCOMP1} = 0.5 \cdot W_1 \cdot A_{VMAX} \quad (6.97)$$

$$F_{VTENS1} = 0.5 \cdot W_1 \cdot A_{VMIN} \quad (6.98)$$

$$F_{VCOMP2} = 0.5 \cdot W_2 \cdot A_{VMAX} \quad (6.99)$$

$$F_{VTENS2} = 0.5 \cdot W_2 \cdot A_{VMIN} \quad (6.100)$$

$$F_{VCOMP3} = 0.5 \cdot W_3 \cdot A_{VMAX} \quad (6.101)$$

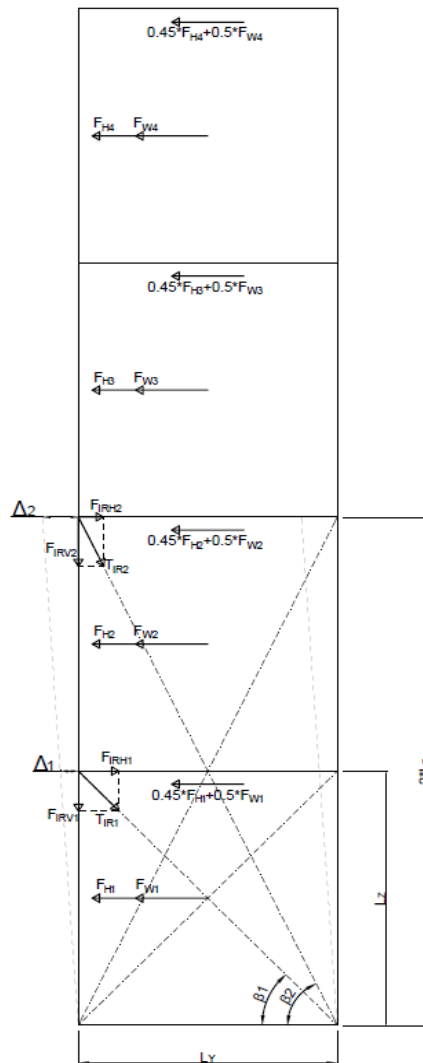
$$F_{VTENS3} = 0.5 \cdot W_3 \cdot A_{VMIN} \quad (6.102)$$

$$F_{VCOMP4} = 0.5 \cdot W_4 \cdot A_{VMAX} \quad (6.103)$$

$$F_{VTENS4} = 0.5 \cdot W_4 \cdot A_{VMIN} \quad (6.104)$$

6.4.2) ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΩΝ LASHINGS

Ομοίως με την δεύτερη περίπτωση μοντελοποίησης τα lashings ασφαρίζονται στην κορυφή του πρώτου εμπορευματοκιβωτίου και στην κορυφή του δεύτερου. Συνεπώς και σε αυτή την περίπτωση έχουμε δύο διαφορετικά μήκη, το L_{11} και το L_{12} και δύο διαφορετικές εγκάρσιες συνιστώσες της σταθεράς ελατηρίου K_{IH1} και K_{IH2} . Οι δυνάμεις, οι αποστάσεις και τα δεδομένα που χρειαζόμαστε για τους υπολογισμούς των δυνάμεων των lashings στη μοντελοποίηση ενός εμπορευματοκιβωτίου φαίνονται στο ακόλουθο Σχήμα 6.12:



Σχήμα 6.12 : Δυνάμεις στα lashings των εμπορευματοκιβωτίων

Η εγκάρσια δύναμη που ασκείται κατά μήκος της πάνω πλευράς σε κάθε ένα από τα δύο πρώτα εμπορευματοκιβώτια ισούται με:

$$Q_1 = 0.45 \cdot F_{H1} + 0.5 \cdot F_{W1} + (F_{H2} + F_{W2}) + (F_{H3} + F_{W3}) + (F_{H4} + F_{W4}) \quad (6.105)$$

$$Q_2 = 0.45 \cdot F_{H2} + 0.5 \cdot F_{W2} + (F_{H3} + F_{W3}) + (F_{H4} + F_{W4}) \quad (6.106)$$

με : $R_2 = Q_2$

$$R_1 = Q_1 - F_{IRH1}$$

Το μήκος των lashings:

$$L_{11} = \sqrt{Ly^2 + Lz^2} \quad (6.107)$$

$$L_{12} = \sqrt{Ly^2 + (2 \cdot Lz)^2} \quad (6.108)$$

Η εγκάρσια συνιστώσα της σταθεράς του lashing ισούται με:

$$K_{IH1} = K_{I1} \cdot \cos^2 \beta_1 \quad (6.109)$$

$$K_{IH2} = K_{I2} \cdot \cos^2 \beta_2 \quad (6.110)$$

Η οριζόντια μετατόπιση (Δ) στην πάνω πλευρά του κάθε εμπορευματοκιβωτίου στην περίπτωση των τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων ισούται με:

$$\Delta_1 = \frac{R1}{Kc1} \quad (6.111)$$

$$\Delta_2 = \frac{R2}{Kc2} + \Delta_1 \quad (6.112)$$

Η εγκάρσια συνιστώσα του δεξιού lashing (F_{IRH}) που φαίνεται και στο Σχήμα 6.12 ισούται με:

$$F_{IRH1} = \Delta_1 \cdot K_{IH1} \quad (6.113)$$

$$F_{IRH2} = \Delta_2 \cdot K_{IH2} \quad (6.114)$$

Συνεπώς οι τελικές τιμές της δύναμης που δέχεται το δεξί lashing (T_R) και η κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης αυτής (F_{IRV}) αντίστοιχα είναι οι ακόλουθες:

$$T_{R1} = \frac{F_{IRH1}}{\cos \beta_1} \quad (6.115)$$

$$T_{R2} = \frac{F_{IRH2}}{\cos \beta_2} \quad (6.116)$$

$$F_{IRV1} = T_{R1} \cdot \sin \beta_1 \quad (6.117)$$

$$F_{IRV2} = T_{R2} \cdot \sin \beta_2 \quad (6.118)$$

Ομοίως με την δεύτερη περίπτωση και στη μοντελοποίηση των τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων οι δυνάμεις που δέχεται το δεξί (T_R) και το αριστερό (T_L) lashing κατά την κίνηση διατοχιισμού του πλοίου είναι ίσες. Συνεπώς ισχύει:

$$T_{R1} = T_{L1} \quad (6.119)$$

$$T_{R2} = T_{L2} \quad (6.120)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7) ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί η εφαρμογή του μοντέλου που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο Κεφάλαιο 6 και θα παραχθούν οι γραφικές παραστάσεις των φορτίων που δέχονται τόσο τα εμπορευματοκιβώτια όσο και τα lashings.

7.1) ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

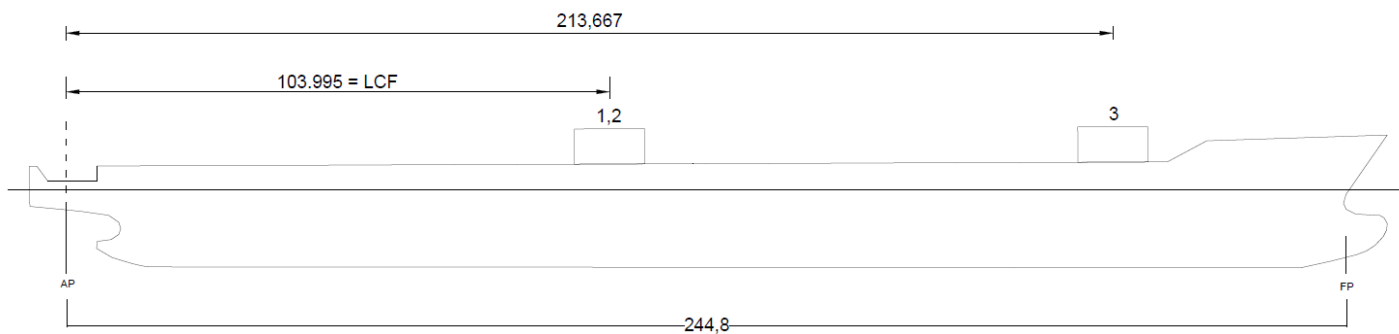
Τα εμπορευματοκιβώτια που πρόκειται να επεξεργαστούμε είναι ίδια με αυτά που παρουσιάζονται στο πλοίο που πραγματοποιούμε εφαρμογή του μοντέλου και έχουν διαστάσεις 20'x 8'x 8.6'. Τα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου θα παρουσιαστούν στην ενότητα 7.2. Τα διαγράμματα και οι αντίστοιχες τιμές των δυνάμεων θα παρουσιαστούν για 3 διαφορετικές θέσεις των εμπορευματοκιβωτίων πάνω στο κατάστρωμα του πλοίου. Μέσω αυτής της διαδικασίας θα προκύψουν σχετικά συμπεράσματα σύμφωνα με το ποια θέση είναι η χειρότερη δυνατή και η πιο επικίνδυνη για το εμπόρευσμά μας στην περίπτωση της κίνησης του διατοιχισμού.

Ωστόσο, για να προκύψουν τα αποτελέσματα σύμφωνα με το μοντέλο που έχουμε αναλύσει θα πρέπει να κάνουμε και μία υποθέση, ώστε η μόνη κίνηση του πλοίου που θα αναλυθεί και θα μελετηθεί να είναι αυτή του διατοιχισμού. Θεωρούμε συνεπώς ότι το πλοίο πλέει ισοβύθιστα.

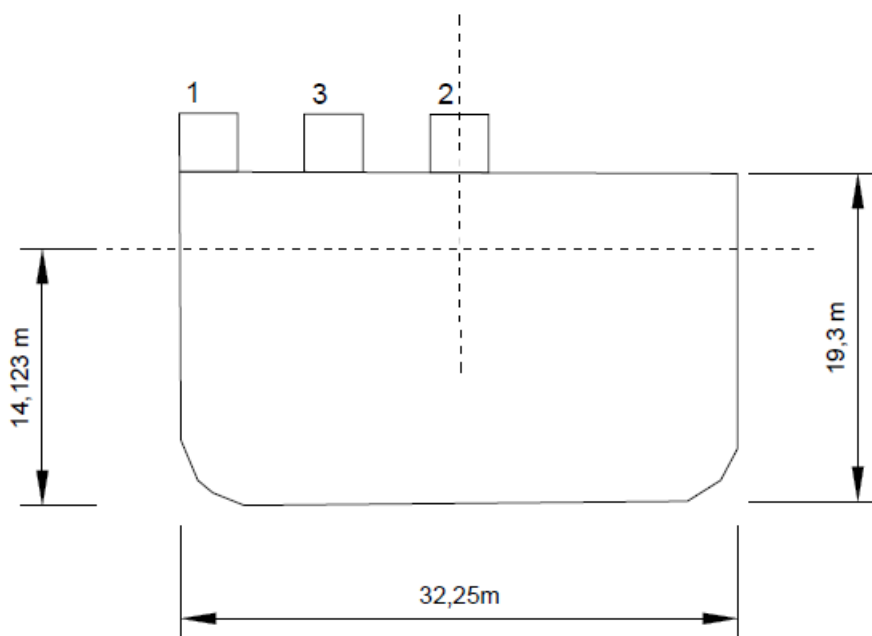
Τα αποτελέσματα θα ληφθούν για τρεις διαφορετικές θέσεις πάνω στο κατάστρωμα του πλοίου:

1. Στην άκρη του καταστρώματος στο κέντρο πλευστότητας
2. Στο κέντρο του καταστρώματος (center line) στο κέντρο πλευστότητας
3. Στο μέσον του ημιπλάτους, στο ΒΑΥ 5 του πλοίου μας σε απόσταση $x_3=213.667$ m από AP

Αναλυτικά οι θέσεις που θα αναλυθούν οι υπολογισμένες δυνάμεις παρουσιάζονται στα ακόλουθα Σχήματα 7.1 και 7.2:

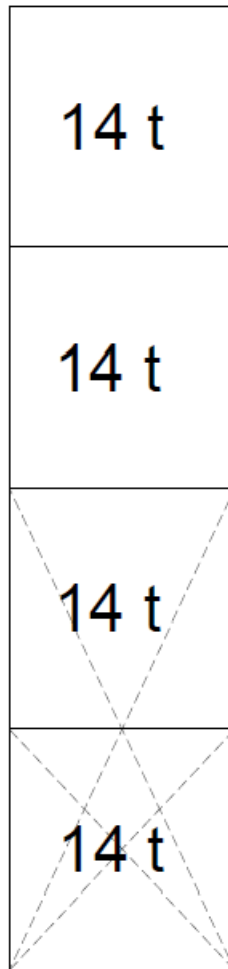


Σχήμα 7.1 : Διαμήκης θέση εμπορευματοκιβωτίων



Σχήμα 7.2 : Εγκάρσια θέση εμπορευματοκιβωτίων

Θα εξεταστεί ένα σενάριο φόρτωσης. Σύμφωνα με το Stability Booklet του πλοίου μας στην κατάσταση φόρτωσης που επεξεργαζόμαστε στοιβάζονται τέσσερα εμπορευματοκιβώτια των 20ft με βάρος 14 tons έκαστο. Αναλυτικά η κατάσταση στοιβάσις που θα αναλύσουμε στους υπολογισμούς μας παρουσιάζεται στο ακόλουθο Σχήμα 7.3.



Σχήμα 7.3 : Σενάριο φόρτωσης

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι οι θέσεις που τοποθετούνται οι στοίβες πάνω στο κατάστρωμα του πλοίου, σύμφωνα με τη SOLAS, πρέπει να είναι σύμφωνες με το Stowage and Securing Plan χωρίς να παρεμποδίζουν την ορατότητα από το ύψος της γέφυρας. Ωστόσο, στο συγκεκριμένο πλοίο που επεξεργαζόμαστε και στις διαμήκεις θέσεις που αναλύουμε τη στοιβασία των εμπορευματοκιβωτίων παρατηρούμε ότι υπάρχουν στοίβες σε μερικές καταστάσεις φόρτωσης που φτάνουν έως το τέταρτο Tier χωρίς να εμποδίζεται η ορατότητα. Συνεπώς, στην παρούσα μοντελοποίηση οι κανονισμοί ικανοποιούνται και δεν διακυνδινεύεται η ασφαλής πλεύση του πλοίου.

7.2) ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Το πλοίο που επιλέχθηκε ώστε να εφαρμοστεί το μοντέλο που ορίζει ο ABS παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 7.1:

L _{between perpendiculars}	244,8 m
L _{OA}	260,05 m
BEAM	32,25 m
DEPTH	19,3 m
DRAFT _{SUMMER}	12,6 m
DWT	50550 tons
CONTAINER CAPACITY	4253 TEU
HOMOGENEOUS 14 MT/TEU	2900 TEU

Πίνακας 7.1 : Βασικά χαρακτηριστικά πλοίου

Η κατάσταση φόρτωσης την οποία θα επεξεργαστούμε και θα εφαρμόσουμε το παραπάνω μοντέλο είναι η FULL LOAD DEPARTURE κατάσταση με 2946 TEU . Επιλέγεται η συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης, διότι αποτελεί τη δυσμενέστερη περίπτωση φόρτωσης πλοίου που δημιουργεί τις μέγιστες επιταχύνσεις και δυνάμεις στα εμπορευματοκιβώτια, στην περίπτωση του διατοιχισμού, και σε μεγάλες γωνίες μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στη στοιβάσιά τους.

Για να πραγματοποιήσουμε τους υπολογισμούς χρειαζόμαστε κάποια βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης. Αυτά είναι το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος (GM), το κέντρο πλευστότητας του πλοίου (LCF) καθώς και τη κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου μας (KG). Αυτά τα μεγέθη και τα υπόλοιπα βασικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 7.2:

DWT	50696.7 tons
Draft Midship	12.605 m
GM	1.083 m
LCF from AP	103.995 m
KG	14.123 m

Πίνακας 7.2 : Χαρακτηριστικά πλοίου σε συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης

Ωστόσο, σύμφωνα με τη μεθοδολογία για να μπορέσουμε να αντλήσουμε τα κατάλληλα αποτελέσματα θα πρέπει να γνωρίζουμε την ακριβή θέση του κέντρου βάρους κάθε εμπορευματοκιβωτίου πάνω στο πλοίο. Η θέση του εμπορευματοκιβωτίου καθορίζεται από τα Bays (διαμήκης θέση), τα Rows (εγκάρσια θέση) και τα Tiers (κατακόρυφη θέση). Για την εύρεση των

συγκεκριμένων συντεταγμένων, μελετήθηκε τόσο το Stability Booklet του πλοίου στη κατάσταση φόρτωσης που επεξεργαζόμαστε, αλλά κυρίως το General Arrangement, που παρουσιάζει την ακριβή διάταξή τους πάνω στο πλοίο. Επίσης λήφθηκε υπόψιν ότι το κέντρο βάρους του εμπορευματοκιβωτίου, για σχεδιαστικούς σκοπούς, βρίσκεται στο 45% του ύψους του, στο μέσο του μήκους του και στο μέσο του πλάτους του. Ο πίνακας των κέντρων των Tiers περιλαμβάνει τόσο τα κελιά στο εσωτερικό του πλοίου (in hold) όσο και πάνω στο κατάστρωμα (on deck).

CENTER POSITION OF BAYS FROM AP					
BAY 01	227,767	m	BAY 30	126	m
BAY 02	224,7	m	BAY 31	122,933	m
BAY 03	221,633	m	BAY 33	114,967	m
BAY 05	213,667	m	BAY 34	111,9	m
BAY 06	210,6	m	BAY 35	108,833	m
BAY 07	207,533	m	BAY 37	100,717	m
BAY 09	199,567	m	BAY 38	97,65	m
BAY 10	196,5	m	BAY 39	94,583	m
BAY 11	193,433	m	BAY 41	86,467	m
BAY 13	185,467	m	BAY 42	83,4	m
BAY 14	182,4	m	BAY 43	80,333	m
BAY 15	179,333	m	BAY 45	72,367	m
BAY 17	171,367	m	BAY 46	69,3	m
BAY 18	168,3	m	BAY 47	66,233	m
BAY 19	165,233	m	BAY 50	42,161	m
BAY 21	157,267	m	BAY 53	31,167	m
BAY 22	154,2	m	BAY 54	28,1	m
BAY 23	151,133	m	BAY 55	25,033	m
BAY 25	143,167	m	BAY 57	17,067	m
BAY 26	140,1	m	BAY 58	14	m
BAY 27	137,033	m	BAY 59	10,933	m
BAY 29	129,067	m	BAY 62	0	m

Πίνακας 7.3 : Τα κέντρα της διαμήκης θέσης των εμπορευματοκιβωτίων από AP

CENTER POSITION OF ROWS					
Starboard			Port		
ROW 00	0	m	ROW 00	0	m
ROW 01	2,48	m	ROW 02	2,48	m
ROW 03	4,96	m	ROW 04	4,96	m
ROW 05	7,44	m	ROW 06	7,44	m
ROW 07	9,92	m	ROW 08	9,92	m
ROW 09	12,4	m	ROW 10	12,4	m
ROW 11	14,88	m	ROW 12	14,88	m

Πίνακας 7.4 : Τα κέντρα της εγκάρσιας θέσης των εμπορευματοκιβωτίων

CENTER POSITION OF TIERS					
IN HOLD			ON DECK		
TIER 02	3,009	m	TIER 80	20,164	m
TIER 04	5,599	m	TIER 82	22,754	m
TIER 06	8,189	m	TIER 84	25,344	m
TIER 08	10,779	m	TIER 86	27,934	m
TIER 10	13,369	m	TIER 88	30,524	m
TIER 12	15,959	m	TIER 90	33,114	m
TIER 14	18,549	m	TIER 92	35,704	m
TIER 16	21,119	m	TIER 94	38,294	m

Πίνακας 7.5 : Τα κέντρα της κατακόρυφης θέσης των εμπορευματοκιβωτίων

Λόγω εξωτερικών δυνάμεων και κυματισμών, δρουν εγκάρσιες δυνάμεις στο πλοίο που τείνουν να προκαλέσουν μία εγκάρσια κλίση γωνίας ϕ και περιόδου T_R . Τα αποτελέσματα που αντλήθηκαν, λαμβάνοντας υπόψιν το μετακεντρικό ύψος GM στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης που επιλέχθηκε καθώς και το πλάτος B του πλοίου μας, είναι τα αντίστοιχα:

- $T_R = 24.7 \text{ s}$
- $\phi = 22.02797 \text{ deg} = 0.38446 \text{ rad}$

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί το γεγονός ότι η περίοδος διατοιχισμού που χρησιμοποιούμε στη συνέχεια δεν αντλήθηκε μέσα από τον τύπο του μοντέλου μας αλλά από το Stability Booklet του πλοίου που επεξεργαζόμαστε για την συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης και ισούται με:

- $T_R = 21.1 \text{ s}$ (Σύμφωνα με το Σχήμα 5.5 παραμένει $T_R > 18 \text{ s}$, συνεπώς δε μεραβάλλεται η γωνία διατοιχισμού)

Κρίνεται αναγκαίο επίσης να παρουσιαστούν και οι τιμές των P_{CTR} και R_{CTR} , που ισούνται με τη διαμήκη θέση του κέντρου πλευστότητας και την κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους, όπως αντήθηκαν από το Stability Booklet του πλοίου μας.

- $P_{CTR} = LCF = 103.995 \text{ m}$
- $R_{CTR} = KG = 14.123 \text{ m}$

7.3) ΠΡΟΣΔΕΣΗ ΕΝΟΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΟΥ

7.3.1) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν οι εξισώσεις, οι οποίες αποτελούν το μαθηματικό μας μοντέλο. Οι συγκεκριμένες εξισώσεις αποτελούνται από μεγέθη, είτε γεωμετρικά είτε στοιχεία που χαρακτηρίζουν το μαθηματικό μας μοντέλο. Συνεπώς, κρίνεται αναγκαίο, πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων να παρατεθούν τα συγκεκριμένα στοιχεία.

Θεωρούμε λοιπόν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Επιτάχυνση λόγω βαρύτητας: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- Το βάρος του εμπορευματοκιβωτίου: $W = 14 \text{ tons} = 14000 \text{ kg}$
- Οι διαστάσεις του εμπορευματοκιβωτίου:

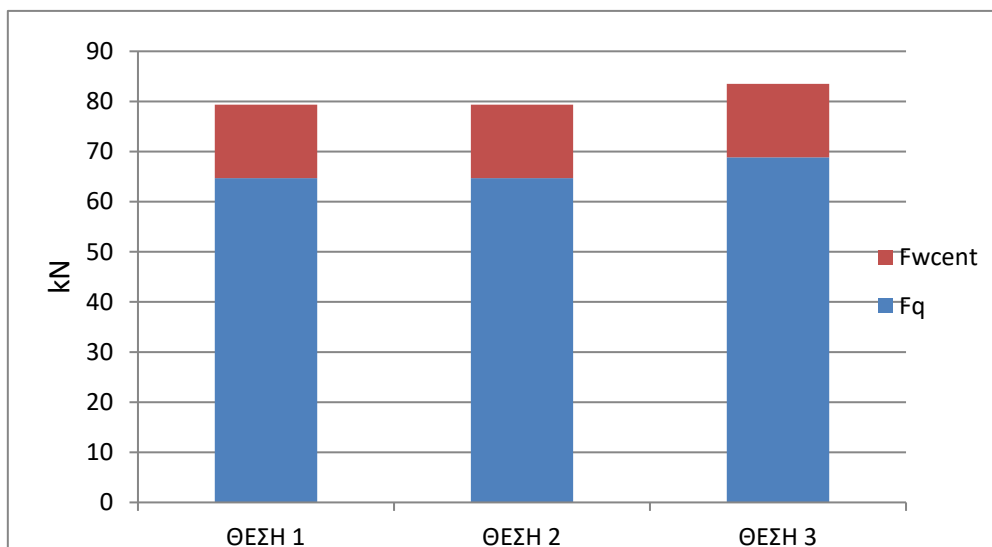
$$20' \times 8' \times 8'6'' = 6.1 \times 2.44 \times 2.59 \text{ m}$$
- Γωνία διατοιχισμού: $\phi = 22.03 \text{ deg}$
- Διάμετρος του lashing rod: $d = 24 \text{ mm}$
- Εμβαδόν διατομής : $A_i = \pi \cdot (d/2)^2$
- Το αρχικό μήκος του συρματοσκινου πρόσδεσης: $L_i = \sqrt{2.44^2 + 2.59^2} = 3.558 \text{ m}$
- Η σταθερά του ελατηρίου του lashing rod: $E_{IR} = E_{IL} = 140 \text{ kN/mm}^2$
- Γωνία πρόσδεσης του lashing: $\beta = \cos^{-1}(L_v/L_i) = 46.71 \text{ deg}$

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα επεξεργαστούμε την συμπεριφορά του πλοίου μας στις κινήσεις διατοιχισμού για τις θέσεις που αναλύσαμε (1, 2, 3). Αρχικά θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της εγκάρσιας δύναμης, σύμφωνα με την εγκάρσια επιτάχυνση που αναπτύσσεται σε κάθε εμπορευματοκιβώτιο ως προς τη θέση που βρίσκεται πάνω στο κατάστρωμα, των κατακόρυφων δυνάμεων που προκαλούν συμπίεση των δοκαριών του εμπορευματοκιβωτίου καθώς και της δύναμης του ανέμου που ασκείται σε ένα εμπορευματοκιβώτιο σαν αυτό που έχουμε επιλέξει. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα της οριζόντιας συνιστώσας, της κατακόρυφης συνιστώσας καθώς και της ίδιας της δύναμης των lashings όπως προέκυψε μέσα από τους υπολογισμούς του μοντέλου μας. Η διάταξη του ενός εμπορευματοκιβωτίου για τις τρεις θέσεις που έχουμε επιλέξει πάνω στο κατάστρωμα είναι ίδια με αυτή που παρουσιάστηκε στα παραπάνω Σχήματα 7.1 και 7.2.

7.3.2) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

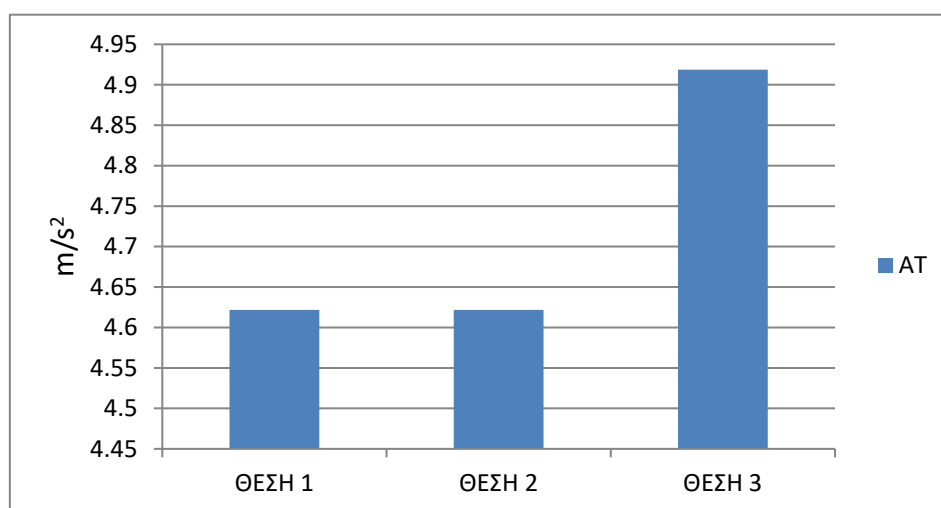
Τα διαγράμματα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς συμπεριλαμβανομένης της θέσης του εμπορευματοκιβωτίου για το πλάτος διέγερσης που αναφέραμε παρουσιάζονται ακολούθως.

Η συνολική εγκάρσια δύναμη που ασκείται στο κέντρο του ενός εμπορευματοκιβωτίου ως άθροισμα της δύναμης λόγω βαρύτητας και κινήσεων του πλοίου (F_q) και της δύναμης του ανέμου (F_{wcent}) (σε kN) είναι η ακόλουθη:



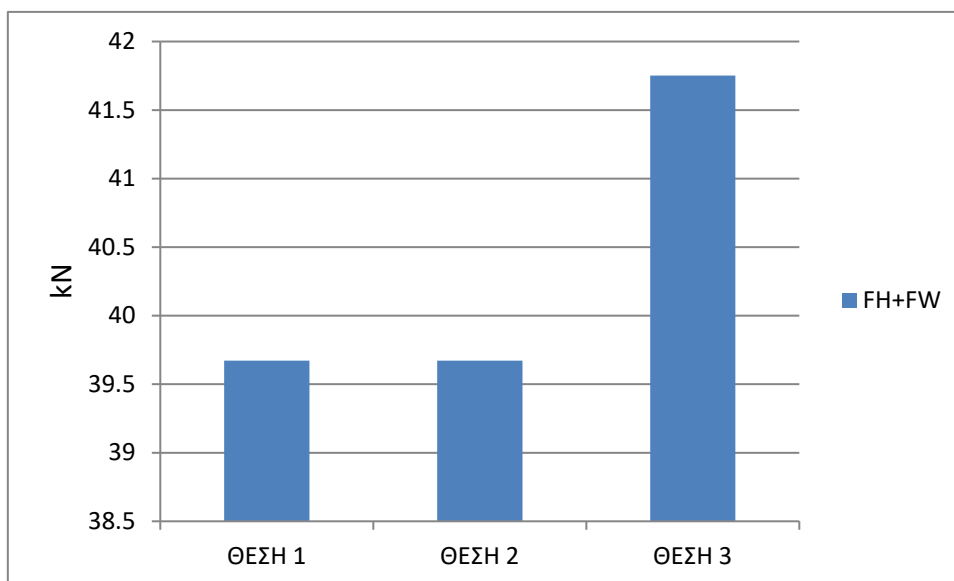
Σχήμα 7.4 : Εγκάρσια συνισταμένη δύναμη λόγω διατοιχισμού και ανέμου

Η εγκάρσια επιτάχυνση A_T συναρτήσει της θέσης (σε m/s^2) :



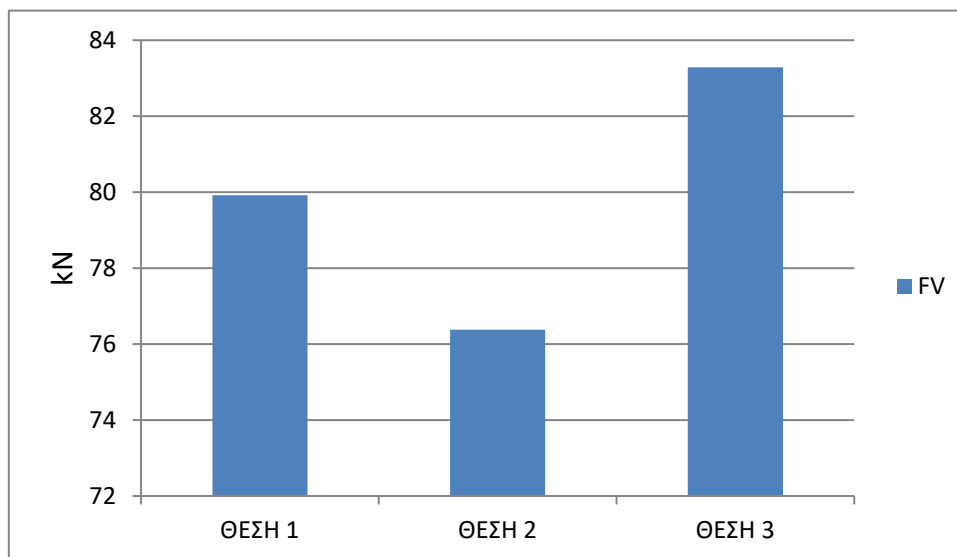
Σχήμα 7.5 : Εγκάρσια επιτάχυνση A_T συναρτήσει της θέσης

Η εγκάρσια δύναμη (δύναμη λόγω βαρύτητας F_H και δύναμη του ανέμου F_W) που ασκείται στις δύο πλευρές του εμπορευματοκιβωτίου συναρτήσει της θέσης παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα:



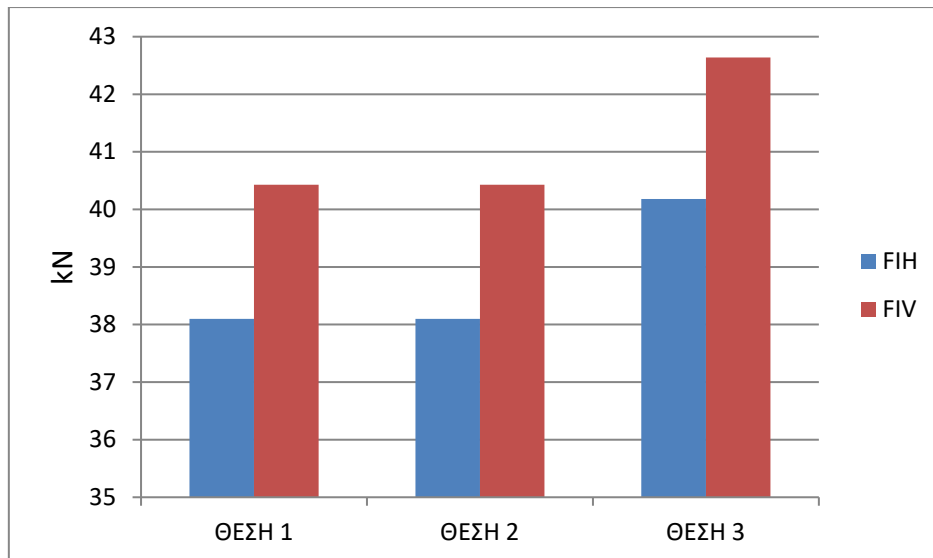
Σχήμα 7.6 : Εγκάρσια συνισταμένη δύναμη στις πλευρές του εμπορευματοκιβωτίου

Η δύναμη συμπίεσης (F_V) που ασκείται στις δοκούς στήριξης του εμπορευματοκιβωτίου:



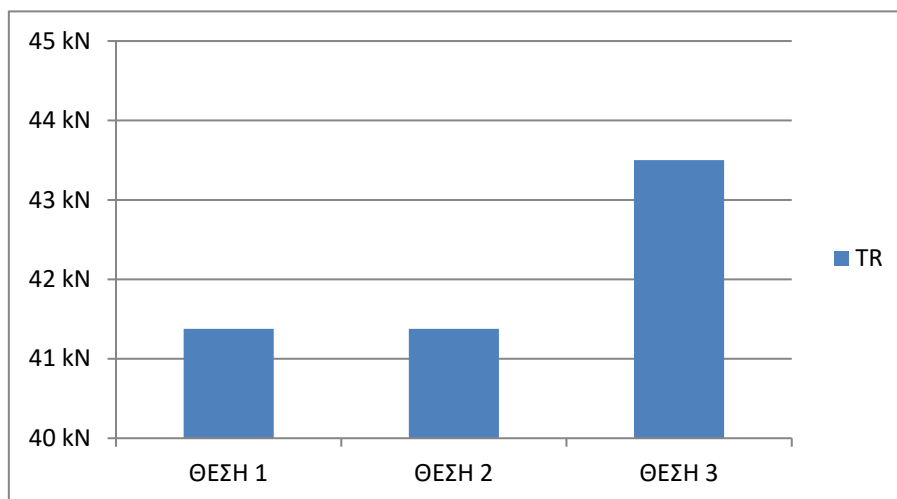
Σχήμα 7.7 : Κατακόρυφη συνισταμένη δύναμη F_V λόγω διατοιχισμού

Κατ' επέκταση, η εγκάρσια F_{IH} και η κατακόρυφη συνιστώσα F_{IV} της δύναμης που ασκείται στο δεξί lashing στην περίπτωση ενός εμπορευματοκιβωτίου στη κίνηση διατοιχισμού παρουσιάζεται στο ακόλουθο Σχήμα 7.8:



Σχήμα 7.8 : Εγκάρσια F_{IH} και κατακόρυφη F_{IV} συνιστώσα της δύναμης των Lashings συναρτήσει της θέσης

Συνεπώς η συνολική δύναμη που δέχεται το δεξί lashing (T_R) συναρτήσει της θέσης του εμπορευματοκιβωτίου ισούται με:



Σχήμα 7.9 : Συνολική δύναμη που ασκείται στο δεξιό lashing T_R

Ισχύει ότι $T_L = T_R$ και για αυτό το λόγο δεν απεικονίζονται οι δυνάμεις που ασκούνται στα αριστερά lashings.

Μέσω της μοντελοποίησης ενός εμπορευματοκιβωτίου παρατηρείται ότι η δυσμενέστερη θέση στοιβασίας του εμπορευματοκιβωτίου είναι η θέση 3, κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο διότι είναι και η πιο απομακρυσμένη θέση από το κέντρο βάρους του πλοίου μας.

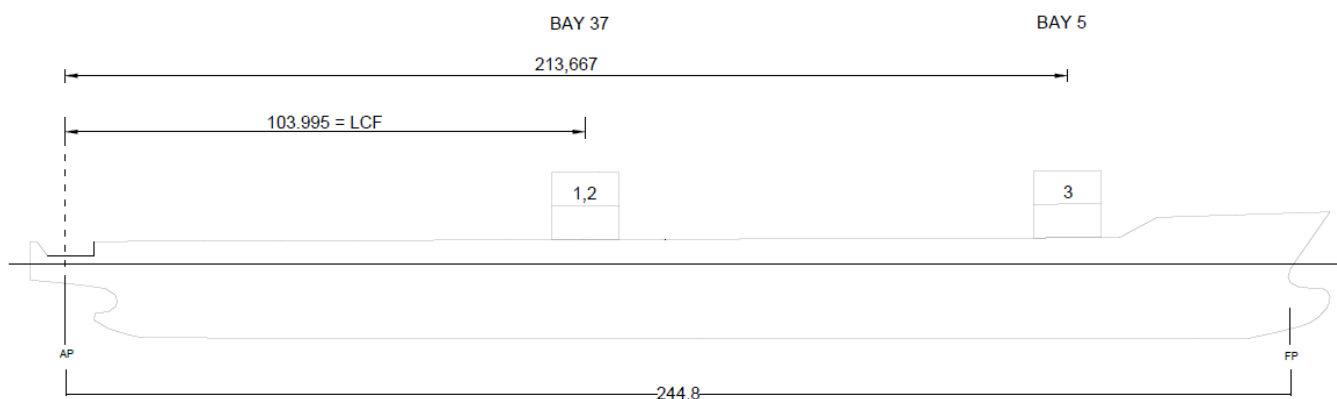
7.4) ΠΡΟΣΔΕΣΗ ΔΥΟ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

7.4.1) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

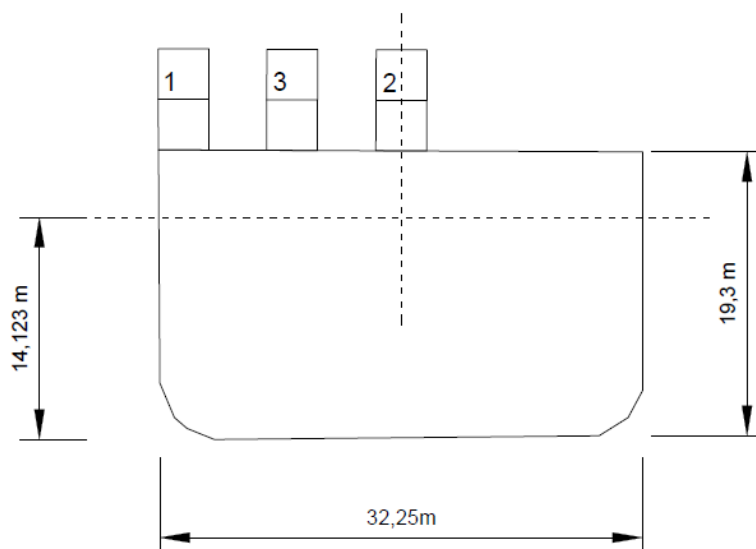
Τα δεδομένα στην περίπτωση μοντελοποίησης δύο εμπορευματοκιβωτίων είναι παρόμοια με την περίπτωση του ενός εμπορευματοκιβωτίου με τις ακόλουθες διαφορές:

- Επιτάχυνση λόγω βαρύτητας: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- Το βάρος των εμπορευματοκιβωτίων: $W_1 = W_2 = 14 \text{ tons} = 14000 \text{ kg}$
- Οι διαστάσεις των εμπορευματοκιβωτίων:
 $20' \times 8' \times 8'6'' = 6.1 \times 2.44 \times 2.59 \text{ m}$
- Γωνία διατοιχισμού: $\phi = 22.03 \text{ deg}$
- Διάμετρος των δύο lashing rods: $d_1 = d_2 = 24 \text{ mm}$
- Εμβαδόν διατομής: $A_l = \pi \cdot (d/2)^2$
- Το αρχικό μήκος των συρματόσκοινων πρόσδεσης: $L_{l1} = \sqrt{2.44^2 + 2.59^2} = 3.558 \text{ m}$ και $L_{l2} = \sqrt{2.44^2 + (2 * 2.59)^2} = 5.726 \text{ m}$
- Η σταθερά του ελατηρίου του lashing rod: $E_{lR1} = E_{lL1} = 140 \text{ kN/mm}^2$
 $E_{lR2} = E_{lL2} = 176.6 \text{ kN/mm}^2$
- Γωνίες πρόσδεσης των lashings: $\beta_1 = \cos^{-1}(L_{y1}/L_{l1}) = 46.71 \text{ deg}$
 $\beta_2 = \cos^{-1}(L_{y2}/L_{l2}) = 64.7 \text{ deg}$

Το μοντέλο θα εφαρμοστεί όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο Κεφάλαιο 6 με τα αποτελέσματα αντίστοιχα σε διαγράμματα, ομοίως με την περίπτωση ενός εμπορευματοκιβωτίου. Οι δοκιμαστικές θέσεις έχμασης παρουσιάζονται ακολούθως.



Σχήμα 7.10 : Διαμήκης θέση εμπορευματοκιβωτίων

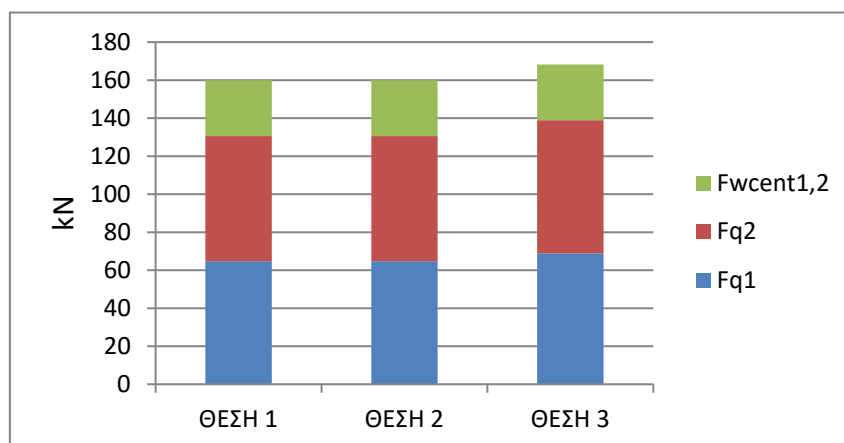


Σχήμα 7.11 : Εγκάρσια θέση εμπορευματοκιβωτίων

7.4.2) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Τα διαγράμματα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς συμπεριλαμβανομένης της θέσης του εμπορευματοκιβωτίου για το πλάτος διέγερσης που αναφέραμε παρουσιάζονται ακολούθως.

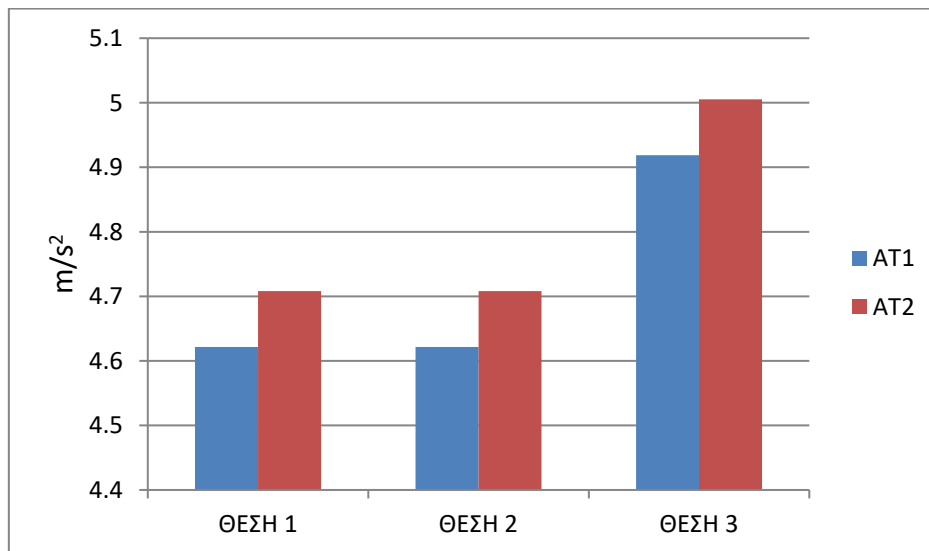
Η συνολική εγκάρσια δύναμη που ασκείται στο κέντρο των δύο εμπορευματοκιβωτίων (που ασκείται στο σημείο ένωσης των δύο εμπορευματοκιβωτίων) ως άθροισμα της δύναμης λόγω βαρύτητας και κινήσεων του πλοίου (F_{q1}, F_{q2}) και της δύναμης του ανέμου ($F_{wcent1,2}$) (σε kN) είναι η ακόλουθη:



Σχήμα 7.12 : Εγκάρσια συνισταμένη δύναμη λόγω διατοιχισμού και ανέμου

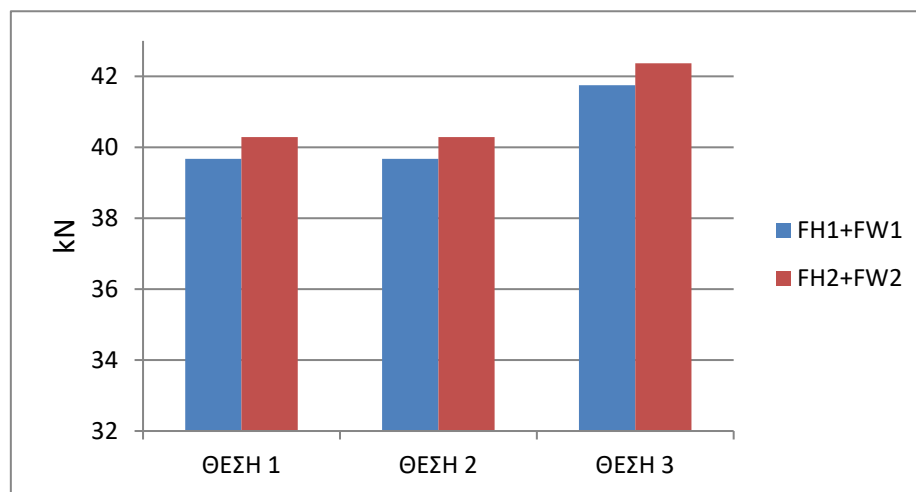
Σημείωση : Ως δύναμη του ανέμου στην μοντελοποίηση δύο εμπορευματοκιβωτίων παρουσιάζεται η πρόσθεση των δυνάμεων $F_{wcent1,2} = F_{wcent1} + F_{wcent2}$

Οι εγκάρσιες επιτάχυνσεις (A_{T1} και A_{T2}) συναρτήσει της θέσης (σε m/s^2) :



Σχήμα 7.13 : Εγκάρσιες επιτάχυνσεις (A_{T1}, A_{T2}) συναρτήσει της θέσης

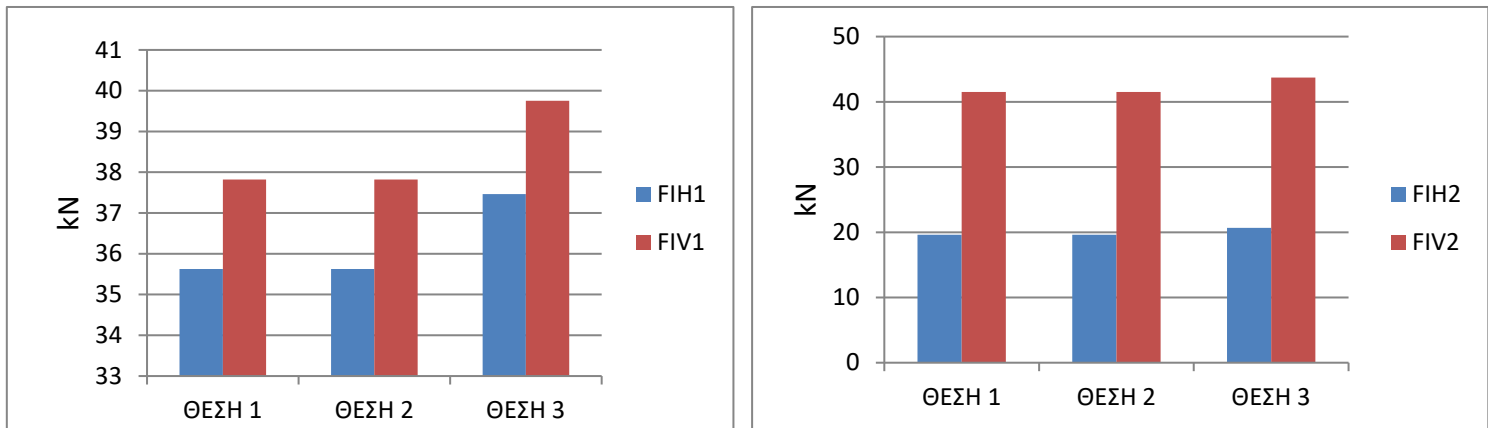
Η εγκάρσια δύναμη (δύναμη λόγω βαρύτητας F_H και δύναμη του ανέμου F_w) που ασκείται στις δύο πλευρές των εμπορευματοκιβωτίων (σε kN) συναρτήσει της θέσης παρουσιάζονται στο ακόλουθο Σχήμα 7.14:



Σχήμα 7.14 : Εγκάρσια συνισταμένη δύναμη στις πλευρές των εμπορευματοκιβωτίων

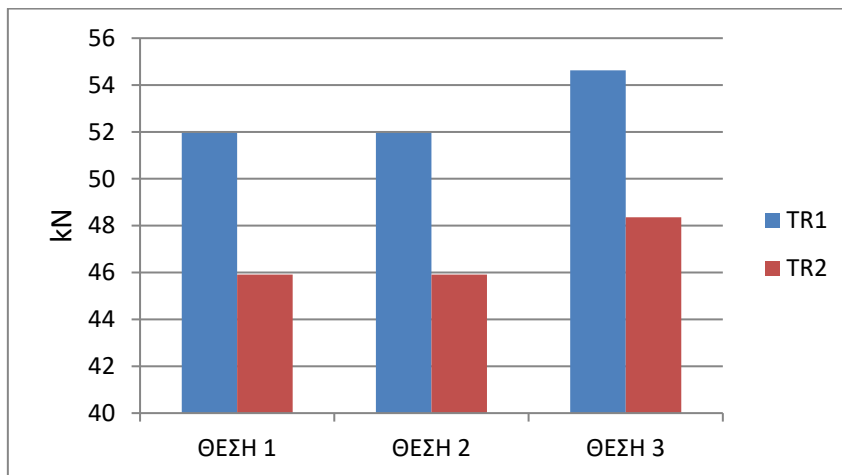
Εφόσον η κατακόρυφη επιτάχυνση δεν μεταβάλλεται για όσα εμπορευματοκιβώτια και αν περιλαμβάνει η στοίβα, σε κάθε θέση και για κάθε εμπορευματοκιβώτιο που προστίθεται σε κάθε TIER, η τιμή είναι ίδια με αυτήν που παρουσιάστηκε στην μοντελοποίηση για ένα εμπορευματοκιβώτιο.

Κατ' επέκταση, οι εγκάρσιες (F_{IH1} , F_{IH2}) και κατακόρυφες (F_{IV1} , F_{IV2}) συνιστώσες της δύναμης που ασκείται στα δεξιά lashings στην περίπτωση δύο εμπορευματοκιβωτίων στη κίνηση διατοιχισμού παρουσιάζεται στο ακόλουθο Σχήμα 7.15:



Σχήμα 7.15 : Εγκάρσια F_{IH} και κατακόρυφη F_{IV} συνιστώσα της δύναμης των Lashings συναρτήσει της θέσης

Συνεπώς η συνολική δύναμη που δέχονται τα δεξιά lashings (T_{R1} , T_{R2}) συναρτήσει της θέσης του εμπορευματοκιβωτίου στην περίπτωση μοντελοποίησης δύο εμπορευματοκιβωτίων ισούται με:



Σχήμα 7.16 : Συνολικές δυνάμεις που ασκούνται στα δεξιά lashings (T_{R1} , T_{R2})

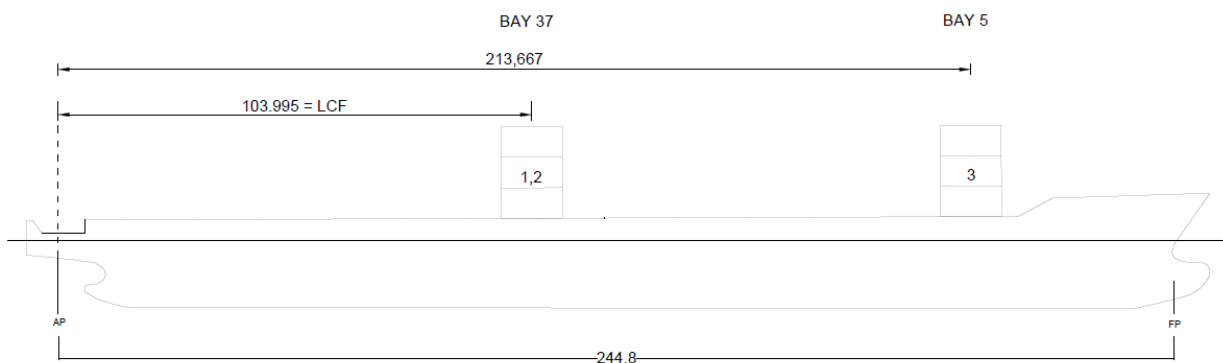
7.5) ΠΡΟΣΔΕΣΗ ΤΡΙΩΝ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

7.5.1) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

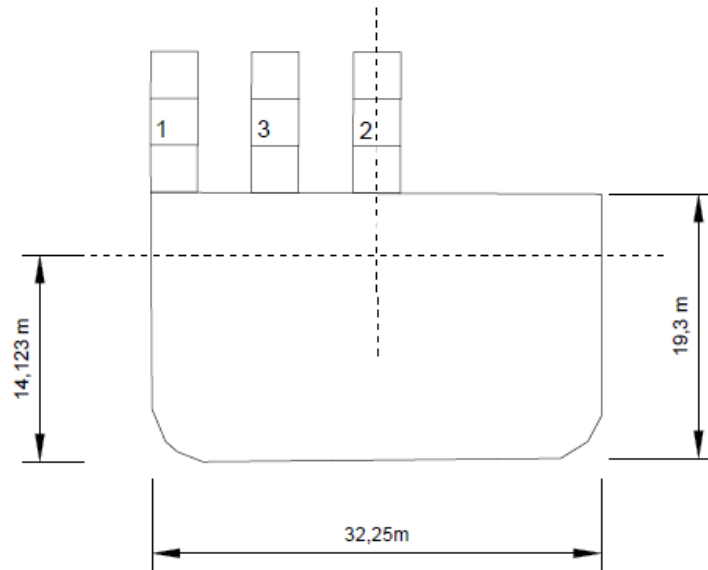
Τα δεδομένα στην περίπτωση μοντελοποίησης τριών εμπορευματοκιβωτίων είναι παρόμοια με την περίπτωση των δύο εμπορευματοκιβωτίων με τις ακόλουθες διαφορές:

- Επιτάχυνση λόγω βαρύτητας: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- Το βάρος των εμπορευματοκιβωτίων: $W_1 = W_2 = W_3 = 20 \text{ tons} = 20000 \text{ kg}$
- Οι διαστάσεις των εμπορευματοκιβωτίων:
 $20' \times 8' \times 8'6'' = 6.1 \times 2.44 \times 2.59 \text{ m}$
- Γωνία διατοιχισμού: $\phi = 22.03 \text{ deg}$
- Διάμετρος των δύο lashing rods: $d_1 = d_2 = 24 \text{ mm}$
- Εμβαδόν διατομής : $A_l = \pi \cdot (d/2)^2$
- Το αρχικό μήκος των συρματόσκοινων πρόσδεσης: $L_{l1} = \sqrt{2.44^2 + 2.59^2} = 3.558 \text{ m}$ και $L_{l2} = \sqrt{2.44^2 + (2 * 2.59)^2} = 5.726 \text{ m}$
- Η σταθερά του ελατηρίου του lashing rod: $E_{lR1} = E_{lL1} = 140 \text{ kN/mm}^2$
 $E_{lR2} = E_{lL2} = 176.6 \text{ kN/mm}^2$
- Γωνίες πρόσδεσης των lashings: $\beta_1 = \cos^{-1}(L_{y1}/L_{l1}) = 46.71 \text{ deg}$
 $\beta_2 = \cos^{-1}(L_{y2}/L_{l2}) = 64.7 \text{ deg}$

Το μοντέλο θα εφαρμοστεί όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο Κεφάλαιο 6 με τα αποτελέσματα αντίστοιχα σε διαγράμματα, ομοίως με την περίπτωση ενός εμπορευματοκιβωτίου. Οι δοκιμαστικές θέσεις έγχυσης παρουσιάζονται ακολούθως.



Σχήμα 7.17 : Διαμήκης θέση εμπορευματοκιβωτίων

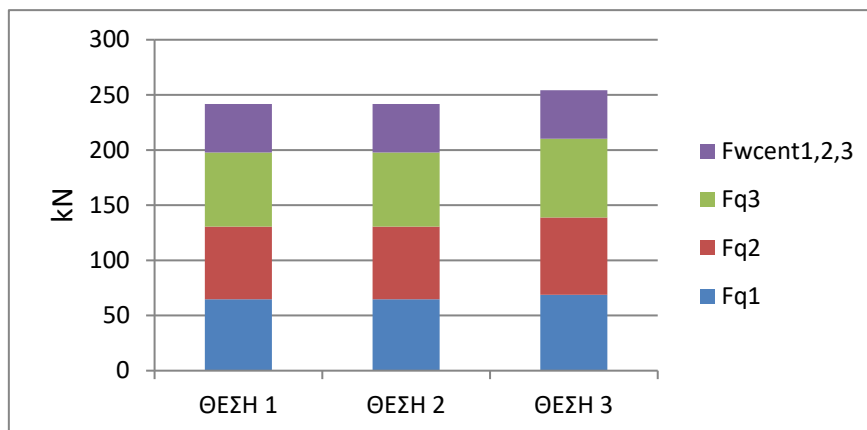


Σχήμα 7.18 : Εγκάρσια θέση εμπορευματοκιβωτίων

7.5.2) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

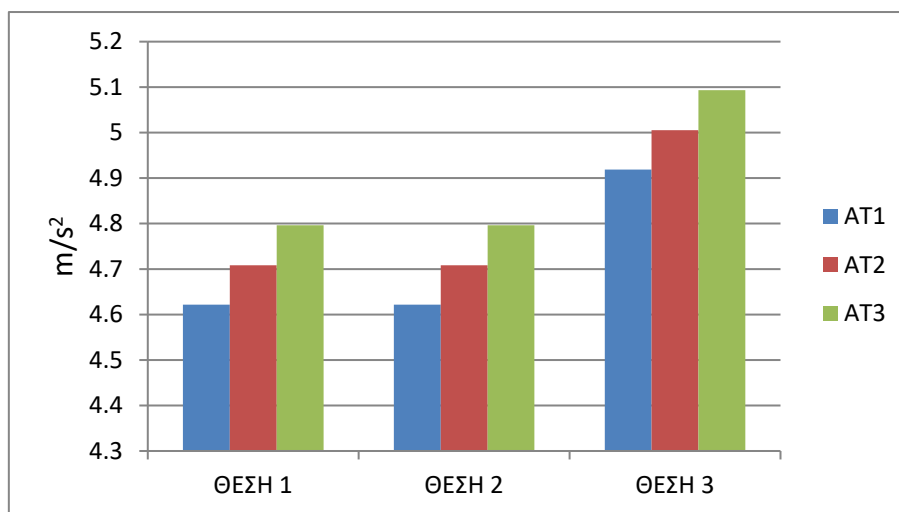
Τα διαγράμματα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς συμπεριλαμβανομένης της θέσης του εμπορευματοκιβωτίου για το πλάτος διέγερσης που αναφέραμε παρουσιάζονται παρακάτω.

Η συνολική εγκάρσια δύναμη που ασκείται στο κέντρο των τριών εμπορευματοκιβωτίων (το οποίο βρίσκεται στο κέντρο του δεύτερου εμπορευματοκιβωτίου) ως άθροισμα των δυνάμεων λόγω βαρύτητας και κινήσεων του πλοίου (F_{q1} , F_{q2} , F_{q3}) και της δύναμης του ανέμου ($F_{wcent1,2,3}$) (σε kN) είναι η ακόλουθη:



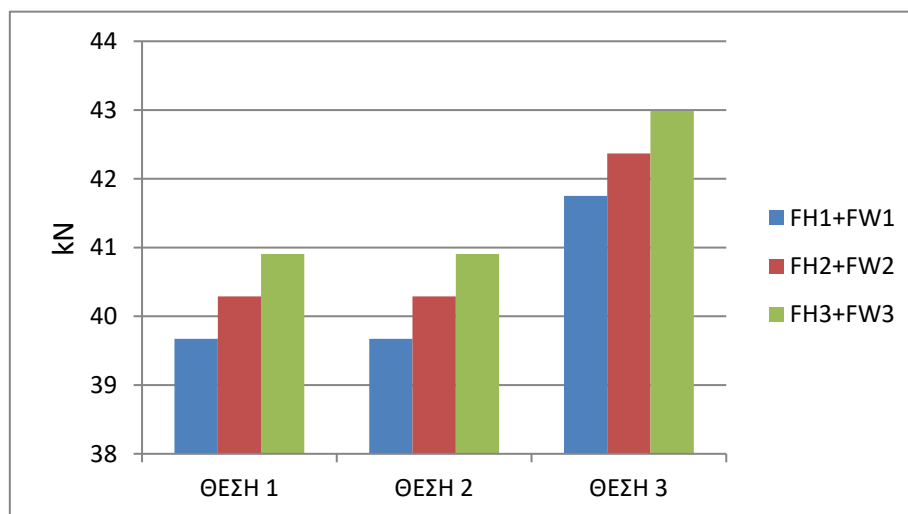
Σχήμα 7.19 : Εγκάρσια συνισταμένη δύναμη λόγω διατοχισμού και ανέμου

Οι εγκάρσιες επιτάχυνσεις (A_{T1} , A_{T2} , A_{T3}) συναρτήσει της θέσης (σε m/s^2) :



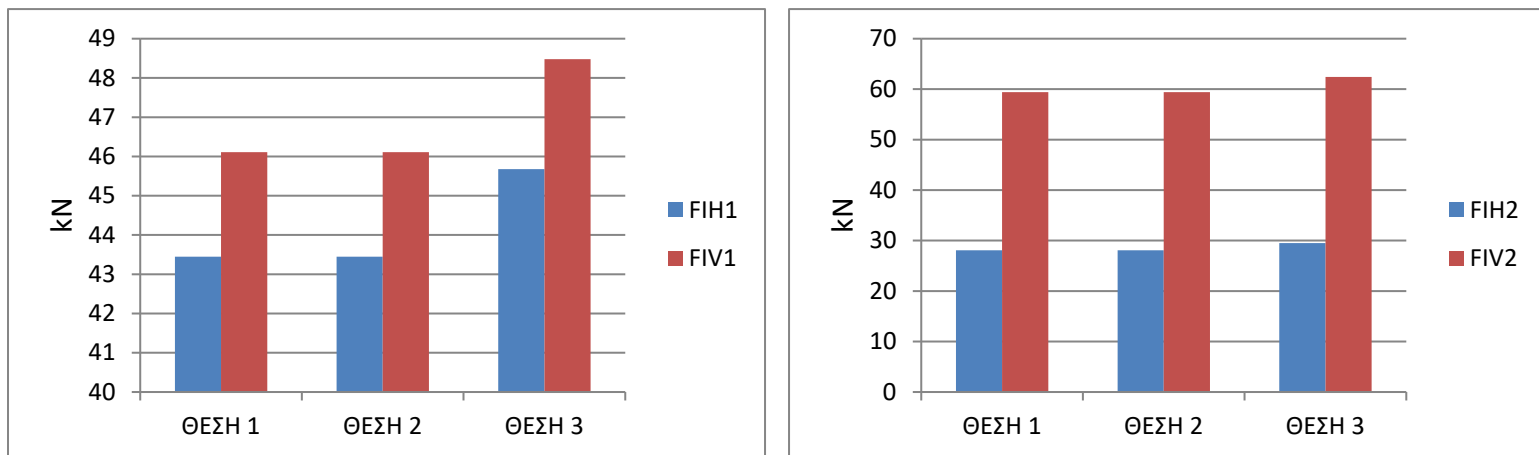
Σχήμα 7.20 : Εγκάρσιες επιτάχυνσεις (A_{T1}, A_{T2}, A_{T3}) συναρτήσει της θέσης

Η εγκάρσια δύναμη (δύναμη λόγω βαρύτητας F_H και δύναμη του ανέμου F_W) που ασκείται στις δύο πλευρές των εμπορευματοκιβωτίων (σε kN) συναρτήσει της θέσης παρουσιάζονται στο ακόλουθο Σχήμα 7.21:



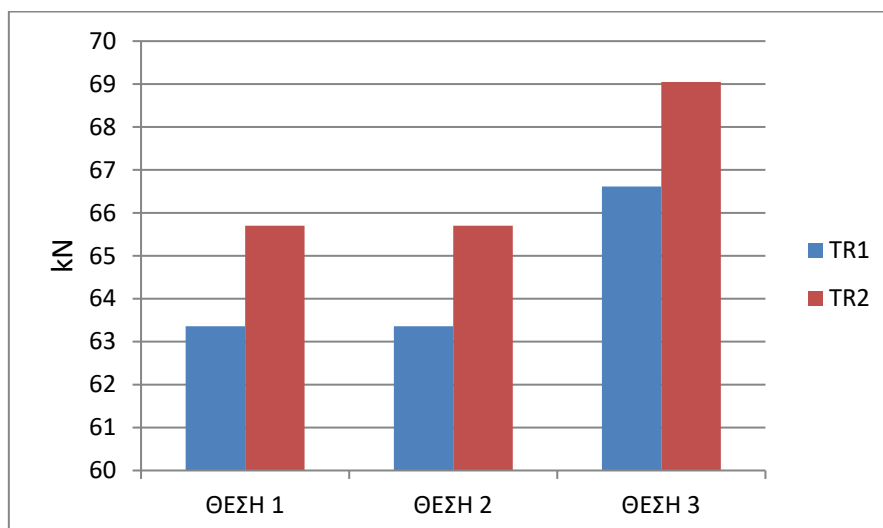
Σχήμα 7.21 : Εγκάρσια συνισταμένη δύναμη στις πλευρές των εμπορευματοκιβωτίων

Κατ' επέκταση, οι εγκάρσιες (F_{IH1} , F_{IH2}) και κατακόρυφες (F_{IV1} , F_{IV2}) συνιστώσες της δύναμης που ασκείται στα δεξιά lashings στην περίπτωση τριών εμπορευματοκιβωτίων στη κίνηση διατοιχισμού παρουσιάζεται στο ακόλουθο Σχήμα 7.22:



Σχήμα 7.22 : Εγκάρσια F_{IH} και κατακόρυφη F_{IV} συνιστώσα της δύναμης των Lashings συναρτήσει της θέσης

Συνεπώς η συνολική δύναμη που δέχονται τα δεξιά lashings (T_{R1} , T_{R2}) συναρτήσει της θέσης του εμπορευματοκιβωτίου στην περίπτωση μοντελοποίησης τριών εμπορευματοκιβωτίων ισούται με:



Σχήμα 7.23 : Συνολικές δυνάμεις που ασκούνται στα δεξιά lashings (T_{R1} , T_{R2})

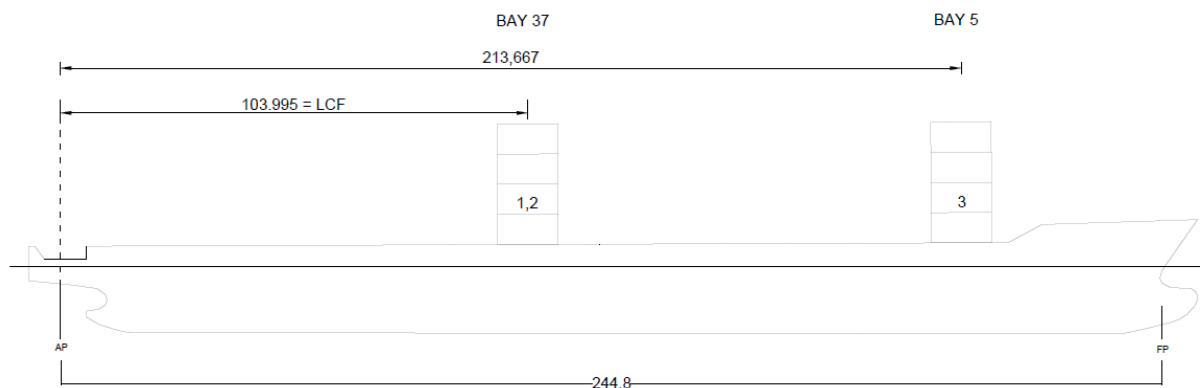
7.6) ΠΡΟΣΔΕΣΗ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

7.6.1) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

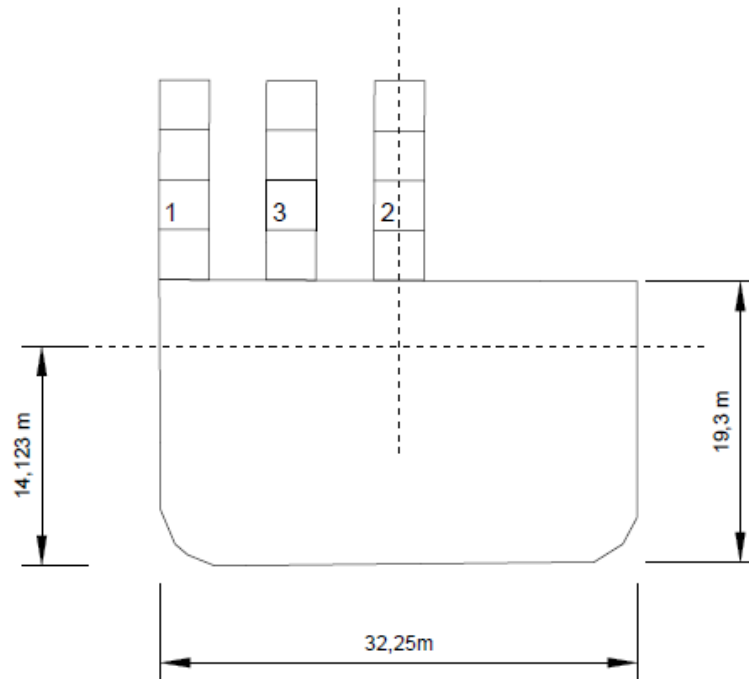
Τα δεδομένα στην περίπτωση μοντελοποίησης τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων είναι παρόμοια με την περίπτωση των δύο εμπορευματοκιβωτίων με τις ακόλουθες διαφορές:

- Επιτάχυνση λόγω βαρύτητας: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- Το βάρος των εμπορευματοκιβωτίων: $W_1 = W_2 = W_3 = W_4 = 14 \text{ tons} = 14000 \text{ kg}$
- Οι διαστάσεις των εμπορευματοκιβωτίων:
 $20' \times 8' \times 8'6'' = 6.1 \times 2.44 \times 2.59 \text{ m}$
- Γωνία διατοιχισμού: $\phi = 22.03 \text{ deg}$
- Διάμετρος των δύο lashing rods: $d_1 = d_2 = 24 \text{ mm}$
- Εμβαδόν διατομής: $A_l = \pi \cdot (d/2)^2$
- Το αρχικό μήκος των συρματόσκοινων πρόσδεσης: $L_{l1} = \sqrt{2.44^2 + 2.59^2} = 3.558 \text{ m}$ και $L_{l2} = \sqrt{2.44^2 + (2 * 2.59)^2} = 5.726 \text{ m}$
- Η σταθερά του ελατηρίου του lashing rod: $E_{lR1} = E_{lL1} = 140 \text{ kN/mm}^2$
 $E_{lR2} = E_{lL2} = 176.6 \text{ kN/mm}^2$
- Γωνίες πρόσδεσης των lashings: $\beta_1 = \cos^{-1}(L_{y1}/L_{l1}) = 46.71 \text{ deg}$
 $\beta_2 = \cos^{-1}(L_{y2}/L_{l2}) = 64.7 \text{ deg}$

Το μοντέλο θα εφαρμοστεί όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο Κεφάλαιο 6 με τα αποτελέσματα αντίστοιχα σε διαγράμματα, ομοίως με την περίπτωση ενός εμπορευματοκιβωτίου. Οι δοκιμαστικές θέσεις έγχυσης παρουσιάζονται ακολούθως.



Σχήμα 7.24 : Διαμήκης θέση εμπορευματοκιβωτίων

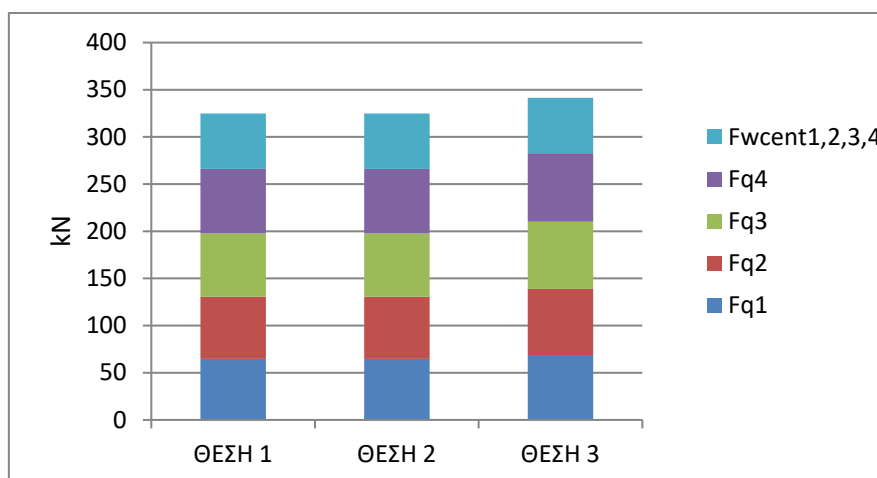


Σχήμα 7.25 : Εγκάρσια θέση εμπορευματοκιβωτίων

7.6.2) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

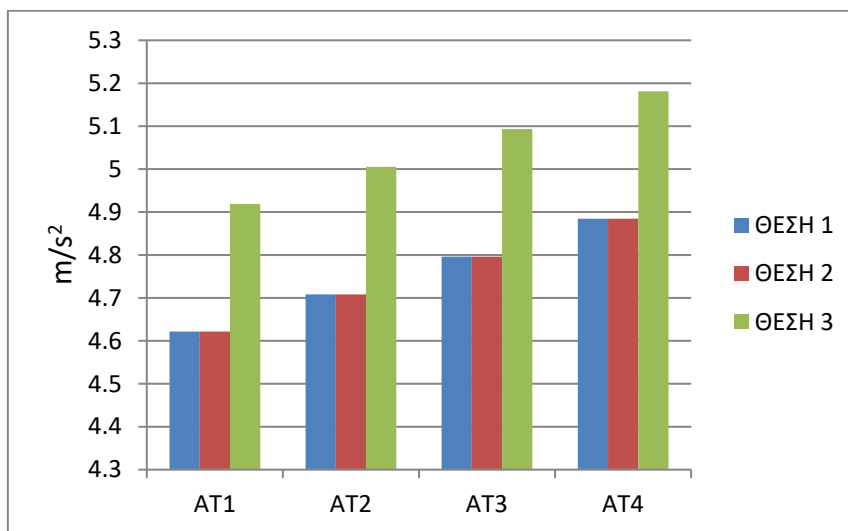
Τα διαγράμματα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς συμπεριλαμβανομένης της θέσης του εμπορευματοκιβωτίου για το πλάτος διέγερσης που αναφέραμε παρουσιάζονται ακολούθως.

Η συνολική εγκάρσια δύναμη που ασκείται στο κέντρο των τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων ως άθροισμα της δύναμης λόγω βαρύτητας και κινήσεων του πλοίου (F_{q1} , F_{q2} , F_{q3} , F_{q4}) και της δύναμης του ανέμου ($F_{wcent1,2,3,4}$) (σε kN) είναι η ακόλουθη:



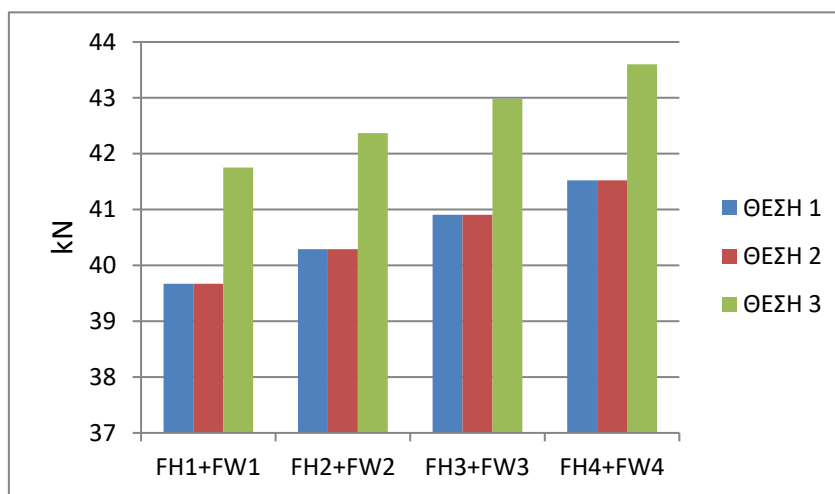
Σχήμα 7.26 : Εγκάρσια συνισταμένη δύναμη λόγω διατοιχισμού και ανέμου

Οι εγκάρσιες επιτάχυνσεις (A_{T1} , A_{T2} , A_{T3} , A_{T4}) συναρτήσει της θέσης (σε m/s^2) :



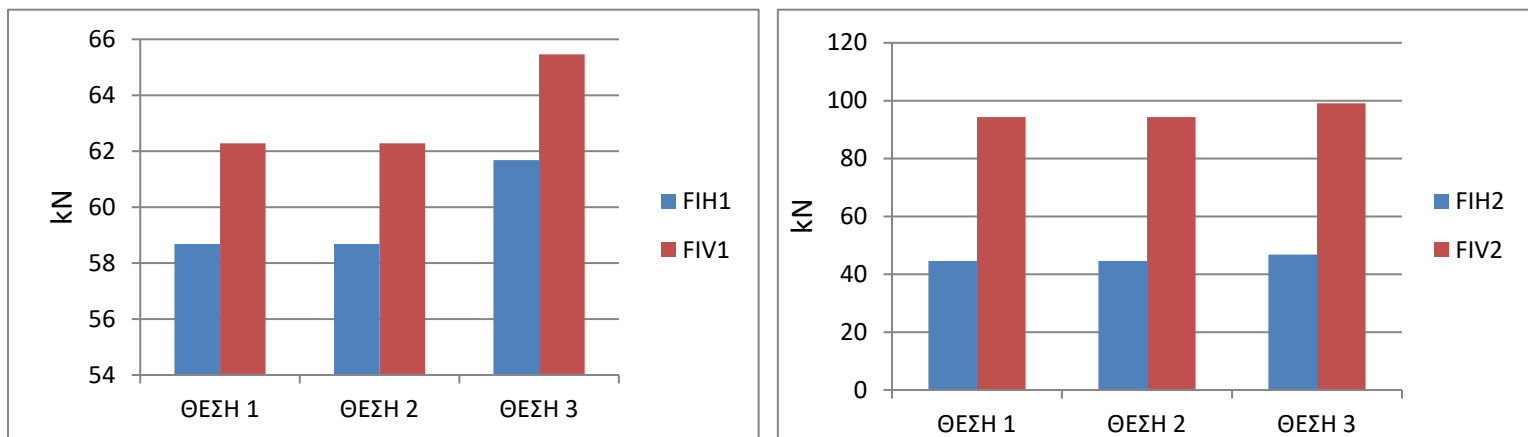
Σχήμα 7.27 : Εγκάρσιες επιτάχυνσεις ($A_{T1}, A_{T2}, A_{T3}, A_{T4}$) συναρτήσει της θέσης

Η εγκάρσια δύναμη (δύναμη λόγω βαρύτητας F_H και δύναμη του ανέμου F_W) που ασκείται στις δύο πλευρές των εμπορευματοκιβωτίων (σε kN) συναρτήσει της θέσης παρουσιάζονται στο ακόλουθο Σχήμα 7.28:



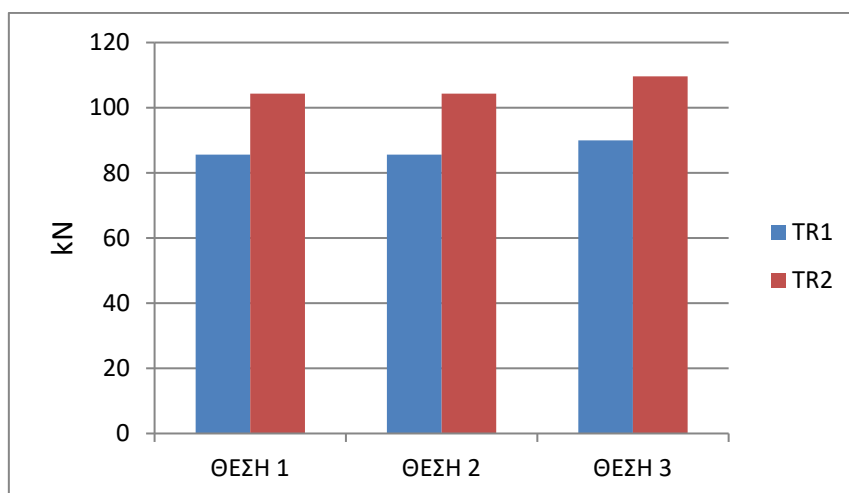
Σχήμα 7.28 : Εγκάρσια συνισταμένη δύναμη στις πλευρές των εμπορευματοκιβωτίων

Κατ' επέκταση, οι εγκάρσιες (F_{IH1} , F_{IH2}) και κατακόρυφες (F_{IV1} , F_{IV2}) συνιστώσες της δύναμης που ασκείται στα δεξιά lashings στην περίπτωση τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων στη κίνηση διατοίχισμού παρουσιάζεται στο ακόλουθο Σχήμα 7.29:



Σχήμα 7.29 : Εγκάρσια F1H και κατακόρυφη F1V συνιστώσα της δύναμης των Lashings συναρτήσει της θέσης

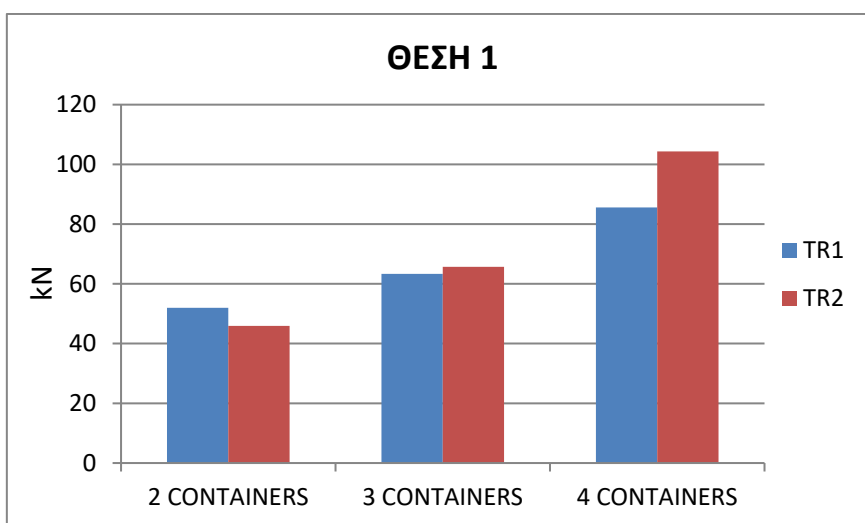
Συνεπώς, η συνολική δύναμη (T_{R1} , T_{R2}) που δέχονται τα δεξιά lashings συναρτήσει της θέσης του εμπορευματοκιβωτίου στην περίπτωση μοντελοποίησης τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων ισούται με:



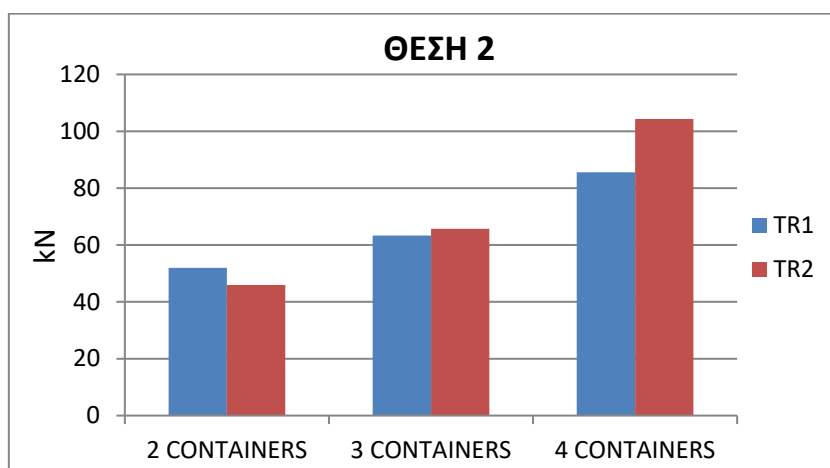
Σχήμα 7.30 : Συνολικές δυνάμεις που ασκούνται στα δεξιά lashings (T_{R1}, T_{R2})

7.7) ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

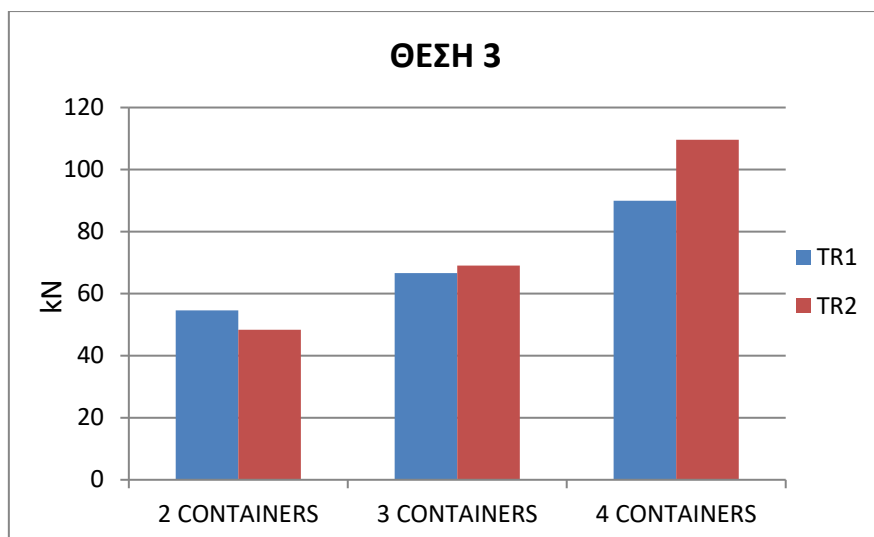
Για να μπορέσουμε να αντήσουμε τα κατάλληλα συμπεράσματα σχετικά με τις καταστάσεις φόρτωσης που επεξεργαστήκαμε και αναλύσαμε στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα πρέπει πρώτα να παρουσιάσουμε συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα που βρήκαμε έπειτα από την εφαρμογή του μοντέλου μας. Οι τιμές των δυνάμεων που ασκούνται στα lashings για δύο, τρία και τέσσερα εμπορευματοκιβώτια αντίστοιχα για τις θέσεις ένα, δύο και τρία που έχουμε ορίσει εμφανίζονται στα ακόλουθα Σχήματα 7.31, 7.32 και 7.33:



Σχήμα 7.31 : Δυνάμεις στα lashings (T_{R1}, T_{R2}) συναρτήσει της στοίβας εμπορευματοκιβωτίων στη θέση 1



Σχήμα 7.32 : Δυνάμεις στα lashings (T_{R1}, T_{R2}) συναρτήσει της στοίβας εμπορευματοκιβωτίων στη θέση 2



Σχήμα 7.33 : Δυνάμεις στα lashings (T_{R1}, T_{R2}) συναρτήσει της στοίβας εμπορευματοκιβωτίων στη θέση 3

Επιπλέον, οι δυνάμεις που ασκούνται στο κέντρο κάθε εμπορευματοκιβωτίου ή στοίβας εμπορευματοκιβωτίων ως άθροισμα της δύναμης λόγω ανέμου (F_{wcent}) και της δύναμης λόγω κινήσεων του πλοίου και της βαρύτητας των εμπορευματοκιβωτίων (F_q) συναρτήσει της θέσης παρουσιάζονται στους ακόλουθους Πίνακες 7.6, 7.7 και 7.8:

ΘΕΣΗ 1						
	F_{wcent} (kN)	F_{q1} (kN)	F_{q2} (kN)	F_{q3} (kN)	F_{q4} (kN)	SUM (kN)
1 CONTAINER	14.662	64.681	-	-	-	79.344
2 CONTAINERS	29.325	64.681	65.914	-	-	159.922
3 CONTAINERS	43.988	64.681	65.914	67.148	-	241.732
4 CONTAINERS	58.650	64.681	65.914	67.148	68.381	324.777

Πίνακας 7.6 : Εγκάρσιες δυνάμεις συναρτήσει της στοίβας εμπορευματοκιβωτίων στη θέση 1

ΘΕΣΗ 2						
	F_{wcent} (kN)	F_{q1} (kN)	F_{q2} (kN)	F_{q3} (kN)	F_{q4} (kN)	SUM (kN)
1 CONTAINER	14.662	64.681	-	-	-	79.344
2 CONTAINERS	29.325	64.681	65.914	-	-	159.922
3 CONTAINERS	43.988	64.681	65.914	67.148	-	241.732
4 CONTAINERS	58.650	64.681	65.914	67.148	68.381	324.777

Πίνακας 7.7 : Εγκάρσιες δυνάμεις συναρτήσει της στοίβας εμπορευματοκιβωτίων στη θέση 2

ΘΕΣΗ 3						
	F_{wcent} (kN)	F_{q1} (kN)	F_{q2} (kN)	F_{q3} (kN)	F_{q4} (kN)	SUM (kN)
1 CONTAINER	14.662	68.839	-	-	-	83.502
2 CONTAINERS	29.325	68.839	70.073	-	-	168.238
3 CONTAINERS	43.988	68.839	70.073	71.306	-	254.207
4 CONTAINERS	58.650	68.839	70.073	71.306	72.651	341.409

Πίνακας 7.8 : Εγκάρσιες δυνάμεις συναρτήσει της στοίβας εμπορευματοκιβωτίων στη θέση 3

7.8) ΚΡΙΣΙΜΗ ΓΩΝΙΑ ΔΙΑΤΟΙΧΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑ

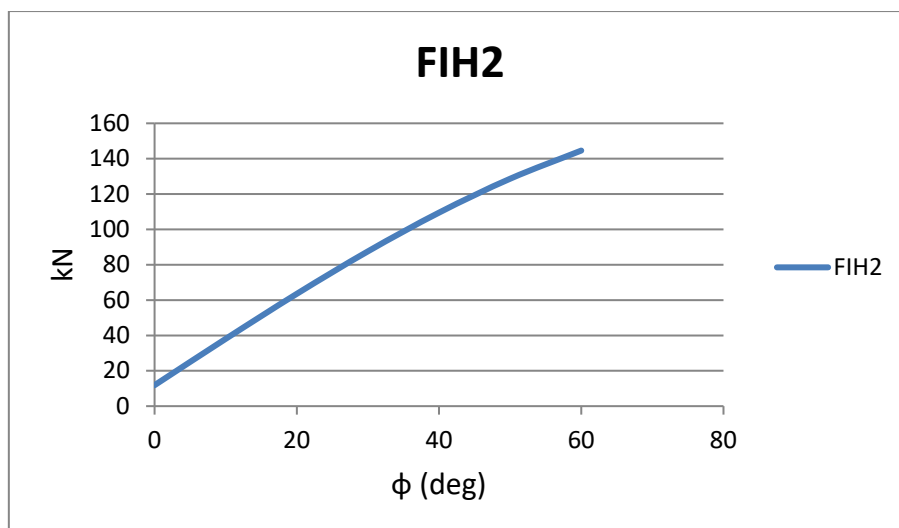
Στόχος της συγκεκριμένης ενότητας αποτελεί η εύρεση της κρίσιμης γωνίας διατοίχισμού (ϕ) για την οποία το σύστημα πρόσδεσης θα υπερβεί τις επιτρεπόμενες τιμές και θα αστοχήσει. Για να οδηγηθούμε στα αντίστοιχα αποτελέσματα επιλέχθηκε να μελετηθεί η θέση των εμπορευματοκιβωτίων που σύμφωνα με την ενότητα 7.7 αποτελεί τη δυσμενέστερη έπειτα από τους υπολογισμούς μας, δηλαδή η θέση 3.

Σύμφωνα με το Σχήμα 5.12, παρατηρούμε ότι η αστοχία θα επέλθει όταν οι δυνάμεις των lashings υπερβούν τα επιτρεπόμενα όρια των δυνάμεων που ασκούνται στα corner fittings των εμπορευματοκιβωτίων. Οι μέγιστες φορτίσεις είναι οι ακόλουθες:

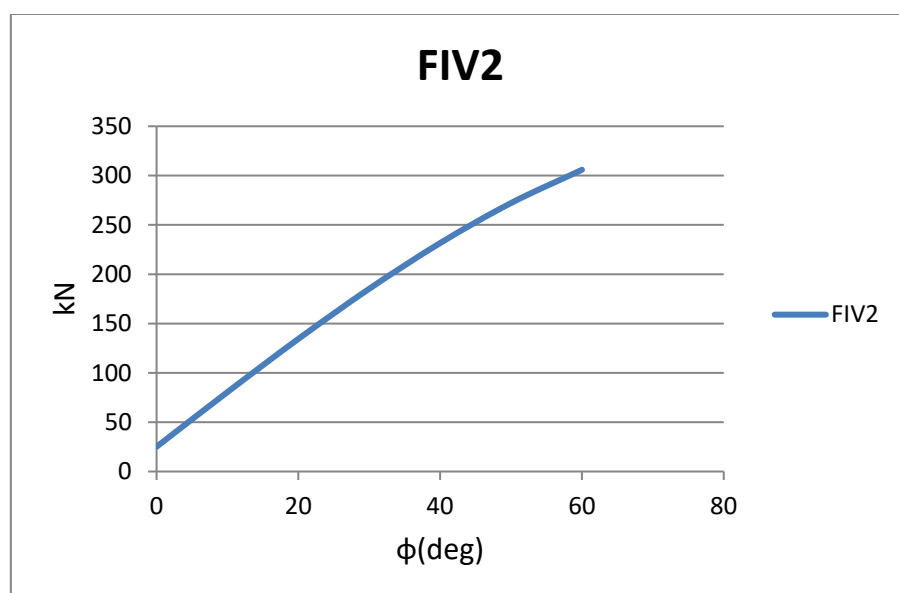
- Κατακόρυφη φόρτιση: $F_{IVMAX} = 300 \text{ kN}$
- Εγκάρσια φόρτιση: $F_{IHM} = 225 \text{ kN}$

Χρησιμοποιώντας την αντίστοιχη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε για την μοντελοποίηση τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων σε στοίβα (6.4), βρέθηκαν οι διαφορετικές δυνάμεις που ασκούνται στα lashings για εύρος γωνίας διατοίχισμού από 0° έως 60° . Επιπλέον, σύμφωνα με το Σχήμα 7.30, που παρουσιάζει τις δυνάμεις που δέχονται τα δεξιά lashings στην περίπτωση στοίβας τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων, συμπεραίνουμε ότι τα lashings που συνδέονται με το δεύτερο εμπορευματοκιβώτιο της στοίβας δέχονται μεγαλύτερες δυνάμεις από τα αντίστοιχα που συνδέονται με το πρώτο. Συνεπώς, η αστοχία θα πραγματοποιηθεί πρώτα στο δεύτερο lashing και για τον σκοπό αυτό μελετήθηκε μόνο η δική του συμπεριφορά συναρτήσει της γωνίας διατοίχισμού.

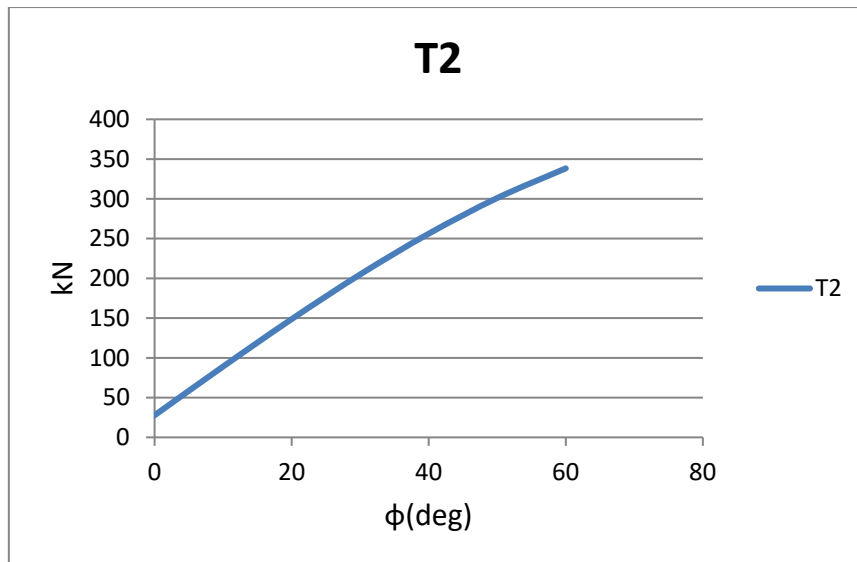
Κατ' επέκταση, για το ίδιο πρότυπο πλοίο που χρησιμοποιήσαμε προηγουμένως στους υπολογισμούς μας και για τη θέση 3 της στοίβας τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων, τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την εγκάρσια συνιστώσα (F_{IH2}), την κατακόρυφη συνιστώσα (F_{IV2}) και τη συνολική δύναμη των υψηλότερων lashings (T_2) συναρτήσει της γωνίας διατοίχισμού παρουσιάζονται ακολούθως:



Σχήμα 7.34 : Εγκάρσια συνιστώσα της δύναμης των lashings (F_{IH2}) συναρτήσει της γωνίας διατοιχισμού



Σχήμα 7.35 : Κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης των lashings (F_{IV2}) συναρτήσει της γωνίας διατοιχισμού



Σχήμα 7.36 : Συνολική δύναμη του lashing (T_2) συναρτήσει της γωνίας διατοιχισμού

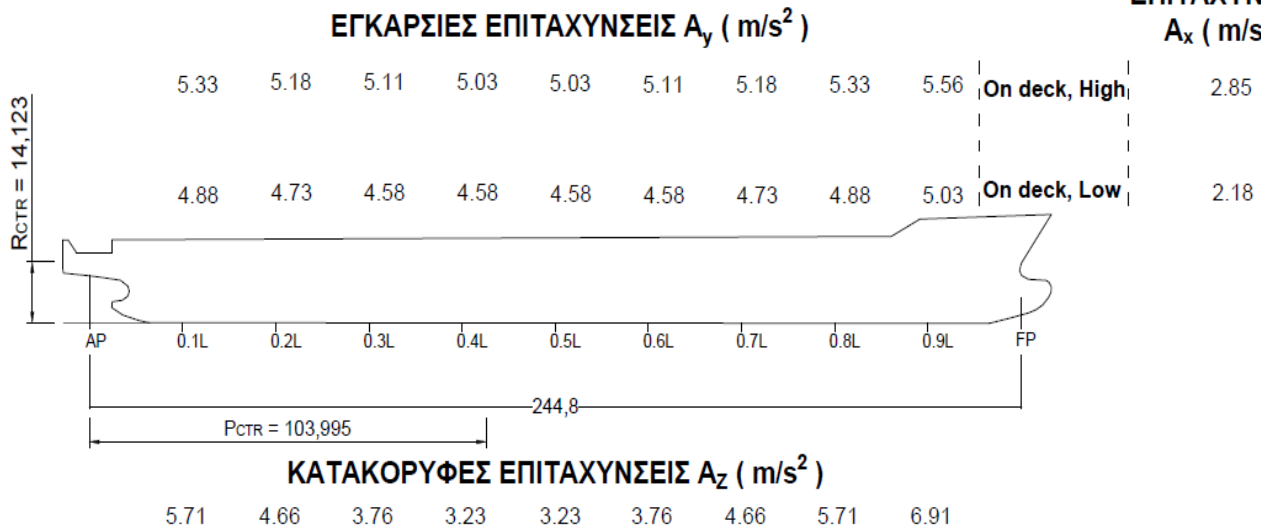
Συνεπώς, μελετώντας τα παραπάνω διαγράμματα και συγκεκριμένα σύμφωνα με το Σχήμα 7.35, παρατηρείται ότι η κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης ξεπερνάει το ανώτατο όριο των 300 kN. Πιο συγκεκριμένα, η φόρτιση που δέχονται τα corner fittings του δεύτερου εμπορευματοκιβωτίου από τα lashings, υπερβαίνουν την κρίσιμη τιμή όσο η γωνία διατοιχισμού πλησιάζει τις 60° και παρουσιάζει , σύμφωνα με το Σχήμα 7.35, οριακή κρίσιμη τιμή γωνίας διατοιχισμού $\phi = 58.1^\circ$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8) ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DNV

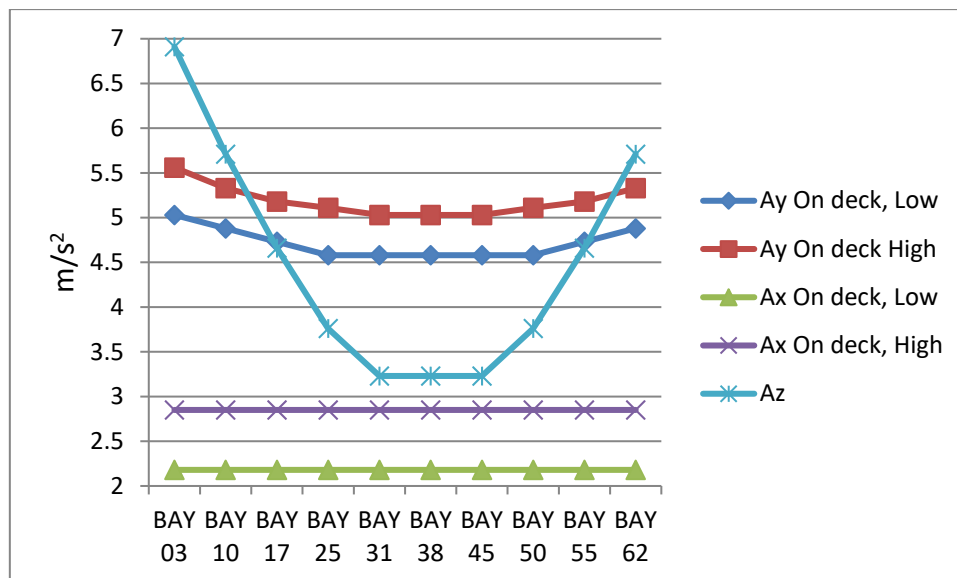
Σκοπός του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι να εφαρμοστεί η ανεπτυγμένη μέθοδος που ορίζει ο νηογνώμονας DNV και να συγκριθούν τα αποτελέσματα αυτής με τα αντίστοιχα που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 7), μέσω του υπολογιστικού πλαισίου που ορίζει ο ABS. Αρχικά, θα γίνει μία παρουσίαση και σύγκριση των εγκάρσιων επιταχύνσεων που αναπτύσσονται στο κατάστρωμα και σε όλο το μήκος του πλοίου και στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί αριθμητική εφαρμογή για ένα εμπορευματοκιβώτιο μέσω του DNV στη θέση 3 του προηγούμενου κεφαλαίου. Συνεπώς, θα εξαχθούν και θα καταγραφούν τα συμπεράσματά μας μέσω της συγκεκριμένης σύγκρισης υπολογιστικών πλαισίων.

8.1) ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ

Στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζονται οι βασικές επιταχύνσεις κατά DNV CODE για ένα πλοίο μήκους 100 m και υπηρεσιακής ταχύτητας 15 knots. Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τις εγκάρσιες επιταχύνσεις A_y (m/s^2), τις διαμήκεις επιταχύνσεις A_x (m/s^2) και τις καρακόρυφες επιταχύνσεις A_z (m/s^2) που εμφανίζονται στο κατάστρωμα θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τον διορθωτικό συντελεστή που εμφανίζεται στο Πίνακα 5.2 του Κεφαλαίου 5. Το πλοίο που μελετάμε έχει μήκος $L=244.8$ m και υπηρεσιακή ταχύτητα $V_s = 24$ kn. Συνεπώς μέσω γραμμικής παρεμβολής από τα δεδομένα του πίνακα προκύπτει συντελεστής διόρθωσης Σ.Δ. = 0.751 . Επιπλέον, σύμφωνα με τον Πίνακα 5.3, πραγματοποιείται διόρθωση και λόγω του πλάτους B και του μετακεντρικού ύψους GM. Ωστόσο στη δική μας περίπτωση ισχύει $B/GM=32.25/1.083=29.78 > 13$ και συνεπώς δεν είναι αναγκαία κάποια επιπλέον διόρθωση των εγκάρσιων επιταχύνσεων. Κατ' επέκταση, χρησιμοποιώντας τον διορθωτικό συντελεστή βρίσκουμε τις βασικές επιταχύνσεις που αντιστοιχούν στο πλοίο μας για όλο το μήκος του και με βήμα $0.1 \cdot L$. Μέσω της εφαρμογής AUTOCAD και του general arrangement του πλοίου, δημιουργήθηκε το σκαρίφημα του προφίλ του πλοίου, πάνω στο οποίο παρουσιάζονται οι επιταχύνσεις που υπολογίστηκαν. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα ακόλουθα Σχήματα 8.1 και 8.2:



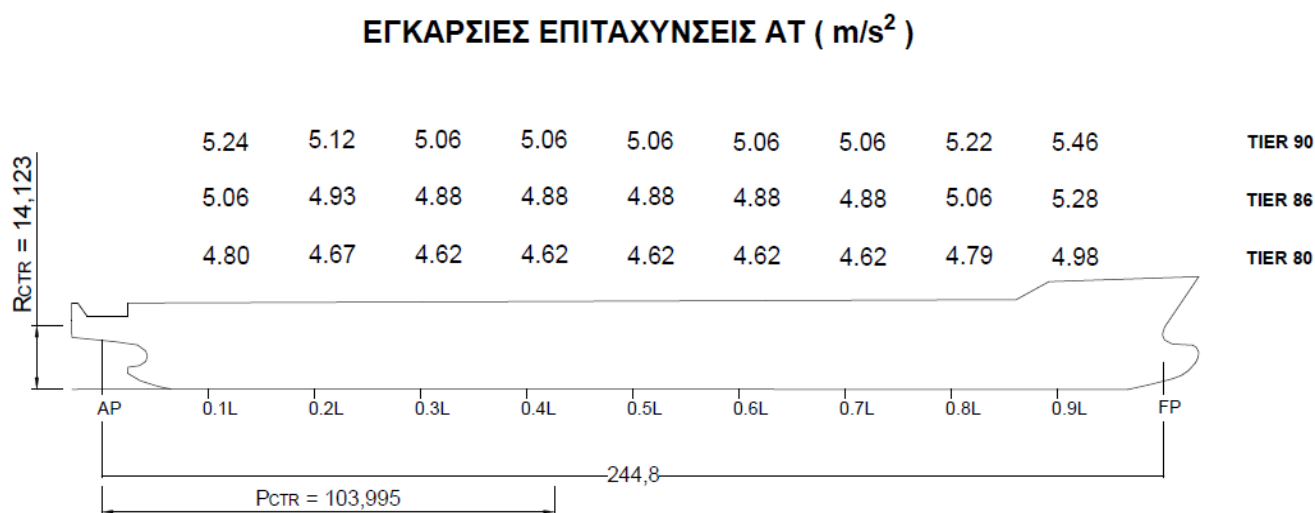
Σχήμα 8.1 : Βασικές επιταχύνσεις μέσω DNV CODE



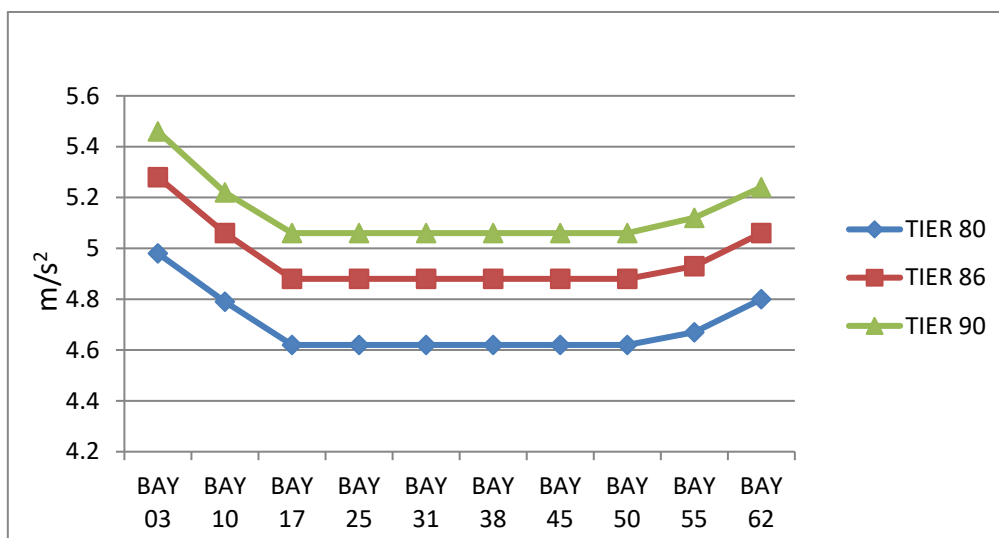
Σχήμα 8.2 : Διάγραμμα των βασικών επιταχύνσεων μέσω DNV CODE

Αντίστοιχα, πραγματοποιήθηκε η ίδια διαδικασία για υπολογισμό των εγκάρσιων επιταχύνσεων A_T (m/s^2), όπως ορίζει το υπολογιστικό πλαίσιο κατά ABS. Υπολογίστηκαν μόνο οι εγκάρσιες επιταχύνσεις διότι αυτές ήταν αναγκαίες για την κίνηση διατοίχισμού του πλοίου κατά ABS CODE στο Κεφάλαιο 7. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με βάση τις σχέσεις των επιταχύνσεων που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5 και λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του πλοίου που αναλύθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο και πιο συγκεκριμένα στους Πίνακες 7.1 και 7.2. Συνεπώς, έχοντας τα συγκεκριμένα δεδομένα και με βάση τα κέντρα των εμπορευματοκιβωτίων ως προς τα Bays και τα Tiers υπολογίστηκαν οι εγκάρσιες επιταχύνσεις των εμπορευματοκιβωτίων στο κατάστρωμα, σε όλο το μήκος του με

όμοιο βήμα 0.1·L και σε τρία διαφορετικά Tiers (TIER 80, TIER 86, TIER 90) που ανταποκρίνονται σε κάθε ύψος στοίβας και μπορούν να συσχετιστούν με τις αντίστοιχες επιταχύνσεις μέσω της εφαρμογής του κώδικα DNV (on deck low, on deck high). Συγκεκριμένα, οι επιταχύνσεις on deck low αντιστοιχίζονται με τις επιταχύνσεις του TIER 80 και οι επιταχύνσεις on deck high με τις αντίστοιχες του TIER 90. Τα αποτελέσματα του υπολογιστικού πλαισίου μέσω ABS παρουσιάζονται στα ακόλουθα Σχήματα 8.3 και 8.4:



Σχήμα 8.3 : Εγκάρσιες επιταχύνσεις μέσω του υπολογιστικού πλαισίου που ορίζει ο ABS



Σχήμα 8.4 : Διάγραμμα των εγκάρσιων επιταχύνσεων (A_T) μέσω ABS CODE

8.2) ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Η αριθμητική εφαρμογή κατά DNV CODE θα γίνει για ένα εμπορευματοκιβώτιο στη θέση 3 του προηγούμενο κεφαλαίου, που είναι η δυσμενέστερη από αυτές που αναλύσαμε. Για τη θέση 3, σύμφωνα με το Σχήμα 8.1, η εγκάρσια επιτάχυνση στη θέση 3 του πλοίου και χαμηλά στο κατάστρωμα ισούται με $A_y = 4.88 \text{ m/s}^2$. Επίσης για την εφαρμογή της μεθόδου τόσο οι επιδράσεις λόγω ανέμου όσο και οι επιδράσεις λόγω κυματισμού αμελούνται.

Τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για τους υπολογισμούς είναι τα ακόλουθα:

- $m = 14 \text{ tons}$, η μάζα του εμπορευματοκιβωτίου
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, η επιτάχυνση της βαρύτητας
- $\mu = 0.1$, συντελεστής τριβής σύμφωνα με DNV CODE
- $a = 2.59/2 \text{ m} = 1.295 \text{ m}$, ο μοχλοβραχίονας ανατροπής
- $b = 2.44/2 \text{ m} = 1.22 \text{ m}$, ο μοχλοβραχίονας σταθεροποίησης
- $c = \sqrt{2.59^2 + 2.44^2}/2 \text{ m} = 1.78 \text{ m}$, ο μοχλοβραχίονας της δύναμης πρόσδεσης
- $f = \mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha = 0.78$, συντελεστής από Πίνακα 5.5.4 για $\mu = 0.1$ και $\alpha = 45^\circ$
- $CS = MSL/1.5 = 100 \text{ kN} / 1.5 = 67 \text{ kN}$ (επιλέγεται η ελάχιστη Μέγιστη Φόρτιση Ασφαλείας)
- Δύναμη λόγω ανέμου: $F_w = 1 \text{ kN/m}^2$ για την επιφάνεια εμπορευματοκιβωτίων 20 ft που έχουμε επιλέξει : $A = 6.1 \text{ m} \times 2.59 \text{ m}$

Συνεπώς, ακολουθώντας τη μεθοδολογία του μοντέλου υπολογίζουμε την εξωτερική δύναμη (F_y), την εγκάρσια ολίσθηση και την εγκάρσια ανατροπή του εμπορευματοκιβωτίου. Οι τιμές υπολογίζονται ακολούθως:

- **Εξωτερική Δύναμη:** $F_y = m \cdot A_y + F_w \cdot A = 14 \text{ t} \cdot 4.88 \text{ m/s}^2 + 1 \cdot 6.1 \cdot 2.59 = 84.12 \text{ kN}$
- **Εγκάρσια Ολίσθηση:** $F_y \leq \mu \cdot m \cdot g + n \cdot CS \cdot f \Leftrightarrow 84.12 \text{ kN} \leq 0.1 \cdot 14 \cdot 9.81 \text{ kN} + 2 \cdot 67 \cdot 0.78 \text{ kN} \Leftrightarrow 84.12 \text{ kN} \leq 118.254 \text{ kN}$
- **Εγκάρσια Ανατροπή:** $F_y \cdot a \leq b \cdot m \cdot g + n \cdot CS \cdot c \Leftrightarrow 84.12 \text{ kN} \cdot 1.295 \text{ m} \leq 1.22 \cdot 14 \cdot 9.81 \text{ kN} \cdot \text{m} + 2 \cdot 67 \cdot 1.78 \text{ kN} \cdot \text{m} \Leftrightarrow 105.91 \text{ kN} \cdot \text{m} \leq 406.08 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Κατ' επέκταση, με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς παρατηρείται ότι στο εμπορευματοκιβώτιο δεν αναπτύσσεται ούτε εγκάρσια ανατροπή ούτε εγκάρσια ολίσθηση.

Ομοίως, κρίνεται αναγκαίο η ίδια διαδικασία να ακολουθηθεί και με βάση τα αποτελέσματα που αντλήθηκαν κατά την Μοντελοποίηση Ενός Εμπορευματοκιβωτίου στην παράγραφο 7.3.2 . Τα αποτελέσματα σε εκείνη την περίπτωση για τη δυσμενέστερη θέση 3 ήταν τα ακόλουθα :

- Εγκάρσια Συνισταμένη Δύναμη: $F_{q1} + F_{WCENT1} = 83.499 \text{ kN}$
- Δυνάμεις στα lashings : $T_R = T_L = 43.5 \text{ kN}$

Συνεπώς:

- **Εξωτερική Δύναμη:** $F_y = F_{q1} + F_{WCENT1} = 83.499 \text{ kN}$
- **Εγκάρσια Ολίσθηση:** $2 \cdot T_R = 2 \cdot 43.5 \text{ kN} = 87 \text{ kN} > F_y = 83.499 \text{ kN}$
- **Εγκάρσια Ανατροπή:** $F_y \cdot a = 83.499 \text{ kN} \cdot 1.295 \text{ m} = 108.13 < 406.08 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Κατ' επέκταση, με βάση τους υπολογισμούς που προηγήθηκαν φαίνεται ότι και τα αποτελέσματα που αντλήθηκαν από το Κεφάλαιο 7, ικανοποιούν τις εξισώσεις του υπολογιστικού πλαισίου που ορίζει ο DNV.

8.3) ΟΡΙΑΚΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΓΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στόχος της συγκεκριμένης ενότητας αποτελεί ο υπολογισμός των οριακών εγκάρσιων επιταχύνσεων που θα επιφέρουν φορτίσεις ικανές στο σύστημά μας ώστε να επέλθει αστοχία. Αρχικά θα παρουσιαστούν οι οριακές βασικές επιταχύνσεις μέσω του μοντέλου που ορίζει ο DNV και στη συνέχεια οι μέγιστες εγκάρσιες επιταχύνσεις σύμφωνα με το υπολογιστικό πλαίσιο κατά ABS.

8.3.1) ΟΡΙΑΚΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΜΕΣΩ DNV CODE

Οι επιταχύνσεις που θα υπολογιστούν αφορούν τη δυσμενέστερη θέση 3 και θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για στοίβες ενός, δύο, τριών και τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων όπως κάναμε και στη μοντελοποίηση του Κεφαλαίου 7. Η αστοχία μπορεί να επέλθει είτε λόγω της εγκάρσιας ολίσθησης είτε λόγω της εγκάρσιας ανατροπής. Για το λόγο αυτό θα μελετήσουμε και τις δύο περιπτώσεις.

8.3.1.1) ΕΝΑ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΟ

Εγκάρσια Ολίσθηση (Sliding)

Για να επέλθει εγκάρσια ολίσθηση στην περίπτωση ενός εμπορευματοκιβωτίου θα πρέπει να ισχύει οριακά:

- $F_{y1} = \mu \cdot m_1 \cdot g + n \cdot CS_1 \cdot f_1 \quad (8.1)$

Όπου: $F_{y1} = m_1 \cdot A_{ys1} + F_W \cdot A_1 \quad (8.2)$

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με αυτή που αναλύθηκε στην προηγούμενη Ενότητα 8.2 για τη θέση 3 του εμπορευματοκιβωτίου πάνω στο κατάστρωμα του πλοίου που επεξεργαζόμαστε και με βάση τα αντίστοιχα δεδομένα που παρουσιάστηκαν καταλήγουμε στην ακόλουθη σχέση της εγκάρσιας ολίσθησης:

$$\begin{aligned} \text{➤ Εγκάρσια Ολίσθηση: } F_{y1} \leq \mu \cdot m_1 \cdot g + n \cdot CS_1 \cdot f_1 &\Leftrightarrow F_y \leq 0.1 \cdot 14 \cdot 9.81 \text{ kN} + 2 \cdot 67 \cdot 0.78 \\ &\text{kN} \Leftrightarrow F_{y1} \leq 118.254 \text{ kN} \quad (8.3) \end{aligned}$$

Κατ' επέκταση, συνδυάζοντας τις σχέσεις 8.2 και 8.3 υπολογίζεται η οριακή εγκάρσια επιτάχυνση (A_{yS1}) ώστε να πραγματοποιηθεί εγκάρσια ολίσθηση του εμπορευματοκιβωτίου.

$$\begin{aligned} \text{➤ } m \cdot A_{yS1} + F_W \cdot A_1 = 118.254 \text{ kN} &\Leftrightarrow A_{yS1} = (118.254 \text{ kN} - 1 \cdot 6.1 \cdot 2.59 \text{ kN}) / 14 \text{ tons} \\ &\Leftrightarrow \mathbf{A_{yS1} = 7.32 \text{ m/s}^2} \end{aligned}$$

Εγκάρσια Ανατροπή (Tipping)

Για να επέλθει εγκάρσια ανατροπή στην περίπτωση ενός εμπορευματοκιβωτίου θα πρέπει να ισχύει οριακά:

$$\text{➤ } F_{y1} \cdot a_1 = b \cdot m_1 \cdot g + n \cdot CS_1 \cdot c_1 \quad (8.4)$$

$$\text{Όπου: } F_{y1} = m_1 \cdot A_{yT1} + F_W \cdot A_1 \quad (8.5)$$

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με αυτή που αναλύθηκε στην προηγούμενη Ενότητα 8.2 για τη θέση 3 του εμπορευματοκιβωτίου πάνω στο κατάστρωμα του πλοίου που επεξεργαζόμαστε και με βάση τα αντίστοιχα δεδομένα που παρουσιάστηκαν καταλήγουμε στην ακόλουθη σχέση της εγκάρσιας ανατροπής:

$$\begin{aligned} \text{➤ Εγκάρσια Ανατροπή: } F_{y1} \cdot a_1 \leq b \cdot m_1 \cdot g + n \cdot CS_1 \cdot c_1 &\Leftrightarrow F_{y1} \cdot a_1 \leq 1.22 \cdot 14 \cdot 9.81 \\ &\text{kN} \cdot \text{m} + 2 \cdot 67 \cdot 1.78 \text{ kN} \cdot \text{m} \Leftrightarrow F_{y1} \cdot a_1 \leq 406.08 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (8.6) \end{aligned}$$

Κατ' επέκταση, συνδυάζοντας τις σχέσεις 8.5 και 8.6 υπολογίζεται η οριακή εγκάρσια επιτάχυνση (A_{yT1}) ώστε να πραγματοποιηθεί εγκάρσια ανατροπή του εμπορευματοκιβωτίου.

$$\begin{aligned} \text{➤ } (m_1 \cdot A_{yT1} + F_W \cdot A_1) \cdot a_1 = 406.08 \text{ kN} \cdot \text{m} &\Leftrightarrow A_{yT1} = (406.08 \text{ kN} \cdot \text{m} - \\ &1 \cdot 6.1 \cdot 2.59 \cdot 1.295 \text{ kN} \cdot \text{m}) / (14 \cdot 1.295) \text{ tons} \cdot \text{m} \Leftrightarrow \mathbf{A_{yT1} = 21.27 \text{ m/s}^2} \end{aligned}$$

8.3.1.2) ΔΥΟ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΣΕ ΣΤΟΙΒΑ

Και σε αυτή την περίπτωση η διαδικασία που ακολουθείται στους υπολογισμούς είναι παρόμοια με αυτή του ενός εμπορευματοκιβωτίου. Ωστόσο, σε αυτή την περίπτωση έχουμε και δεύτερο lashing που ασφαλίζει στο πάνω μέρος του δεύτερου εμπορευματοκιβωτίου με γωνία πρόσδεσης $\alpha_2 = 65^\circ$. Συνεπώς τα δεδομένα που χρειαζόμαστε είναι τα ακόλουθα:

- $m_1 = m_2 = 14$ tons, οι μάζες των εμπορευματοκιβωτίων
- $g = 9.81$ m/s², η επιτάχυνση της βαρύτητας
- $\mu = 0.1$, συντελεστής τριβής σύμφωνα με DNV CODE
- $a_2 = (2 \cdot 2.59)/2$ m = 2.59 m, ο μοχλοβραχίονας ανατροπής
- $b = 2.44/2$ m = 1.22 m, ο μοχλοβραχίονας σταθεροποίησης
- $c_1 = \sqrt{2.59^2 + 2.44^2}/2$ m = 1.78m
 $c_2 = \cos 65^\circ \cdot 2.44$ m = 1.03 m, οι μοχλοβραχίονες των δυνάμεων πρόσδεσης
- $f_1 = \mu \cdot \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1 = 0.78$, για $\mu = 0.1$ και $\alpha_1 = 45^\circ$
- $f_2 = \mu \cdot \sin \alpha_2 + \cos \alpha_2 = 0.51$, για $\mu = 0.1$ και $\alpha_2 = 65^\circ$
- $CS_1 = CS_2 = MSL/1.5 = 100$ kN / 1.5 = 67 kN (επιλέγεται η ελάχιστη Μέγιστη Φόρτιση Ασφαλείας)
- Δύναμη λόγω ανέμου: $F_W = 1$ kN/m² για επιφάνεια εμπορευματοκιβωτίων
 $A_2 = 2 \times 6.1\text{m} \times 2.59\text{m} = 31.59$ m²

Εγκάρσια Ολίσθηση (Sliding)

Για να επέλθει εγκάρσια ολίσθηση στην περίπτωση δύο εμπορευματοκιβωτίων θα πρέπει να ισχύει οριακά:

$$\text{➤ } F_{y2} = \mu \cdot (m_1 + m_2) \cdot g + n \cdot CS_1 \cdot f_1 + n \cdot CS_2 \cdot f_2 \quad (8.7)$$

$$\text{Όπου: } F_{y2} = (m_1 + m_2) \cdot A_{yS2} + F_W \cdot A_2 \quad (8.8)$$

Η σχέση της εγκάρσιας ολίσθησης δύο εμπορευματοκιβωτίων είναι η ακόλουθη:

$$\text{➤ Εγκάρσια Ολίσθηση: } F_{y2} \leq \mu \cdot (m_1 + m_2) \cdot g + n \cdot CS_1 \cdot f_1 + n \cdot CS_2 \cdot f_2 \Leftrightarrow F_{y2} \leq 0.1 \cdot 28 \cdot 9.81 \text{ kN} + 2 \cdot 67 \cdot 0.78 \text{ kN} + 2 \cdot 67 \cdot 0.51 \Leftrightarrow F_{y2} \leq 200.33 \text{ kN} \quad (8.9)$$

Κατ' επέκταση, συνδυάζοντας τις σχέσεις 8.8 και 8.9 υπολογίζεται η οριακή εγκάρσια επιτάχυνση (A_{yS2}) ώστε να πραγματοποιηθεί εγκάρσια ολίσθηση των εμπορευματοκιβωτίων.

$$\text{➤ } (m_1 + m_2) \cdot A_{yS2} + F_W \cdot A_2 = 200.33 \text{ kN} \Leftrightarrow A_{yS2} = (200.33 \text{ kN} - 31.59 \text{ kN})/28 \Leftrightarrow A_{yS2} = 6.03 \text{ m/s}^2$$

Εγκάρσια Ανατροπή (Tipping)

Για να επέλθει εγκάρσια ανατροπή στην περίπτωση δύο εμπορευματοκιβωτίων θα πρέπει να ισχύει οριακά:

$$\text{➤ } F_{y2} \cdot a_2 = b \cdot (m_1 + m_2) \cdot g + n \cdot CS_1 \cdot c_1 + n \cdot CS_2 \cdot c_2 \quad (8.10)$$

$$\text{Όπου: } F_{y2} = (m_1 + m_2) \cdot A_{yT2} + F_W \cdot A_2 \quad (8.11)$$

Η σχέση της εγκάρσιας ολίσθησης δύο εμπορευματοκιβωτίων είναι η ακόλουθη:

$$\text{➤ Εγκάρσια Ανατροπή: } F_{y2} \cdot a_2 \leq b \cdot (m_1 + m_2) \cdot g + n \cdot CS_1 \cdot c_1 + n \cdot CS_2 \cdot c_2 \Leftrightarrow \\ F_{y2} \cdot a_2 \leq 1.22 \cdot 28 \cdot 9.81 \text{ kN} \cdot \text{m} + 2 \cdot 67 \cdot 1.78 \text{ kN} \cdot \text{m} + 2 \cdot 67 \cdot 1.03 \Leftrightarrow F_{y2} \cdot a_2 \leq 711.65 \\ \text{kN} \cdot \text{m} \Leftrightarrow F_{y2} \leq 274.77 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (8.12)$$

Κατ' επέκταση, συνδυάζοντας τις σχέσεις 8.11 και 8.12 υπολογίζεται η οριακή εγκάρσια επιτάχυνση (A_{yT2}) ώστε να πραγματοποιηθεί εγκάρσια ανατροπή των εμπορευματοκιβωτίων.

$$\text{➤ } (m_1 + m_2) \cdot A_{yT2} + F_W \cdot A_2 = 274.77 \text{ kN} \cdot \text{m} \Leftrightarrow A_{yT2} = (274.77 \text{ kN} \cdot \text{m} - 31.59) / 28 \Leftrightarrow \\ A_{yT2} = 8.68 \text{ m/s}^2$$

8.3.1.3) ΤΡΙΑ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΣΕ ΣΤΟΙΒΑ

Ακολουθείται η ίδια ακριβώς διαδικασία με την αντίστοιχη περίπτωση των δύο εμπορευματοκιβωτίων σε στοίβα. Τα διαφορετικά δεδομένα σε αυτή την περίπτωση είναι τα ακόλουθα:

- $m_1 = m_2 = m_3 = 14 \text{ tons}$, οι μάζες των εμπορευματοκιβωτίων
- $a_3 = (3 \cdot 2.59) / 2 \text{ m} = 3.89 \text{ m}$, ο μοχλοβραχίονας ανατροπής
- $A_3 = 3 \times 6.1 \text{ m} \times 2.59 \text{ m} = 47.39 \text{ m}^2$, η επιφάνεια των εμπορευματοκιβωτίων

Εγκάρσια Ολίσθηση (Sliding)

Για να επέλθει εγκάρσια ολίσθηση στην περίπτωση τριών εμπορευματοκιβωτίων θα πρέπει να ισχύει οριακά:

$$\text{➤ } F_{y3} = \mu \cdot (m_1 + m_2 + m_3) \cdot g + n \cdot CS_1 \cdot f_1 + n \cdot CS_2 \cdot f_2 \quad (8.13)$$

$$\text{Όπου: } F_{y3} = (m_1 + m_2 + m_3) \cdot A_{yS3} + F_W \cdot A_3 \quad (8.14)$$

Η σχέση της εγκάρσιας ολίσθησης τριών εμπορευματοκιβωτίων είναι η ακόλουθη:

$$\text{➤ Εγκάρσια Ολίσθηση: } F_{y3} \leq \mu \cdot (m_1 + m_2 + m_3) \cdot g + n \cdot CS_1 \cdot f_1 + n \cdot CS_2 \cdot f_2 \Leftrightarrow \\ F_{y3} \leq 0.1 \cdot 42 \cdot 9.81 \text{ kN} + 2 \cdot 67 \cdot 0.78 \text{ kN} + 2 \cdot 67 \cdot 0.51 \Leftrightarrow F_{y3} \leq 214.06 \text{ kN} \quad (8.15)$$

Κατ' επέκταση, συνδυάζοντας τις σχέσεις 8.14 και 8.15 υπολογίζεται η οριακή εγκάρσια επιτάχυνση (A_{yS3}) ώστε να πραγματοποιηθεί εγκάρσια ολίσθηση των εμπορευματοκιβωτίων.

$$\begin{aligned} \text{➤ } (m_1 + m_2 + m_3) \cdot A_{yS3} + F_W \cdot A_3 &= 214.06 \text{ kN} \Leftrightarrow A_{yS3} = (214.06 \text{ kN} - 47.39 \text{ kN})/42 \\ \Leftrightarrow \mathbf{A_{yS3} = 3.97 \text{ m/s}^2} \end{aligned}$$

Εγκάρσια Ανατροπή (Tipping)

Για να επέλθει εγκάρσια ανατροπή στην περίπτωση τριών εμπορευματοκιβωτίων θα πρέπει να ισχύει οριακά:

$$\begin{aligned} \text{➤ } F_{y3} \cdot a_3 &= b \cdot (m_1 + m_2 + m_3) \cdot g + n \cdot CS_1 \cdot c_1 + n \cdot CS_2 \cdot c_2 \quad (8.16) \\ \text{Όπου: } F_{y3} &= (m_1 + m_2 + m_3) \cdot A_{yT3} + F_W \cdot A_3 \quad (8.17) \end{aligned}$$

Η σχέση της εγκάρσιας ολίσθησης δύο εμπορευματοκιβωτίων είναι η ακόλουθη:

$$\begin{aligned} \text{➤ } \text{Εγκάρσια Ανατροπή: } F_{y3} \cdot a_3 &\leq b \cdot (m_1 + m_2 + m_3) \cdot g + n \cdot CS_1 \cdot c_1 + n \cdot CS_2 \cdot c_2 \Leftrightarrow \\ F_{y3} \cdot a_3 &\leq 1.22 \cdot 42 \cdot 9.81 \text{ kN} \cdot \text{m} + 2 \cdot 67 \cdot 1.78 \text{ kN} \cdot \text{m} + 2 \cdot 67 \cdot 1.03 \Leftrightarrow F_{y3} \cdot a_3 \leq 879.21 \\ \text{kN} \cdot \text{m} &\Leftrightarrow F_{y3} \leq 226.02 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (8.18) \end{aligned}$$

Κατ' επέκταση, συνδυάζοντας τις σχέσεις 8.17 και 8.18 υπολογίζεται η οριακή εγκάρσια επιτάχυνση (A_{yT3}) ώστε να πραγματοποιηθεί εγκάρσια ανατροπή των εμπορευματοκιβωτίων.

$$\begin{aligned} \text{➤ } (m_1 + m_2 + m_3) \cdot A_{yT3} + F_W \cdot A_3 &= 226.02 \text{ kN} \cdot \text{m} \Leftrightarrow A_{yT3} = (226.02 \text{ kN} \cdot \text{m} - \\ 47.39) / 42 &\Leftrightarrow \mathbf{A_{yT3} = 4.25 \text{ m/s}^2} \end{aligned}$$

8.3.1.4) ΤΕΣΣΕΡΑ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΣΕ ΣΤΟΙΒΑ

Ακολουθείται η ίδια ακριβώς διαδικασία με την αντίστοιχη περίπτωση των δύο εμπορευματοκιβωτίων σε στοίβα. Τα διαφορετικά δεδομένα σε αυτή την περίπτωση είναι τα ακόλουθα:

- $m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = 14 \text{ tons}$, οι μάζες των εμπορευματοκιβωτίων
- $a_4 = (4 \cdot 2.59) / 2 \text{ m} = 5.18 \text{ m}$, ο μοχλοβραχίονας ανατροπής
- $A_4 = 4 \times 6.1 \text{ m} \times 2.59 \text{ m} = 63.19 \text{ m}^2$, η επιφάνεια των εμπορευματοκιβωτίων

Εγκάρσια Ολίσθηση (Sliding)

Για να επέλθει εγκάρσια ολίσθηση στην περίπτωση των τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων θα πρέπει να ισχύει οριακά:

$$\text{➤ } F_{y4} = \mu \cdot (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot g + n \cdot CS_1 \cdot f_1 + n \cdot CS_2 \cdot f_2 \quad (8.19)$$

$$\text{Όπου: } F_{y4} = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot A_{yS4} + F_W \cdot A_4 \quad (8.20)$$

Η σχέση της εγκάρσιας ολίσθησης τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων είναι η ακόλουθη:

$$\text{➤ Εγκάρσια Ολίσθηση: } F_{y4} \leq \mu \cdot (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot g + n \cdot CS_1 \cdot f_1 + n \cdot CS_2 \cdot f_2 \Leftrightarrow$$

$$F_{y4} \leq 0.1 \cdot 56 \cdot 9.81 \text{ kN} + 2 \cdot 67 \cdot 0.78 \text{ kN} + 2 \cdot 67 \cdot 0.51 \Leftrightarrow F_{y4} \leq 227.79 \text{ kN} \quad (8.21)$$

Κατ' επέκταση, συνδυάζοντας τις σχέσεις 8.20 και 8.21 υπολογίζεται η οριακή εγκάρσια επιτάχυνση (A_{yS4}) ώστε να πραγματοποιηθεί εγκάρσια ολίσθηση των εμπορευματοκιβωτίων.

$$\text{➤ } (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot A_{yS4} + F_W \cdot A_4 = 227.79 \text{ kN} \Leftrightarrow A_{yS4} = (227.79 \text{ kN} - 63.19 \text{ kN})/56 \Leftrightarrow A_{yS4} = 2.94 \text{ m/s}^2$$

Εγκάρσια Ανατροπή (Tipping)

Για να επέλθει εγκάρσια ανατροπή στην περίπτωση των τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων θα πρέπει να ισχύει οριακά:

$$\text{➤ } F_{y4} \cdot a_4 = b \cdot (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot g + n \cdot CS_1 \cdot c_1 + n \cdot CS_2 \cdot c_2 \quad (8.22)$$

$$\text{Όπου: } F_{y4} = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot A_{yT4} + F_W \cdot A_4 \quad (8.23)$$

Η σχέση της εγκάρσιας ολίσθησης τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων είναι η ακόλουθη:

$$\text{➤ Εγκάρσια Ανατροπή: } F_{y4} \cdot a_4 \leq b \cdot (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot g + n \cdot CS_1 \cdot c_1 + n \cdot CS_2 \cdot c_2 \Leftrightarrow$$

$$F_{y4} \cdot a_4 \leq 1.22 \cdot 56 \cdot 9.81 \text{ kN} \cdot \text{m} + 2 \cdot 67 \cdot 1.78 \text{ kN} \cdot \text{m} + 2 \cdot 67 \cdot 1.03 \Leftrightarrow F_{y4} \cdot a_4 \leq$$

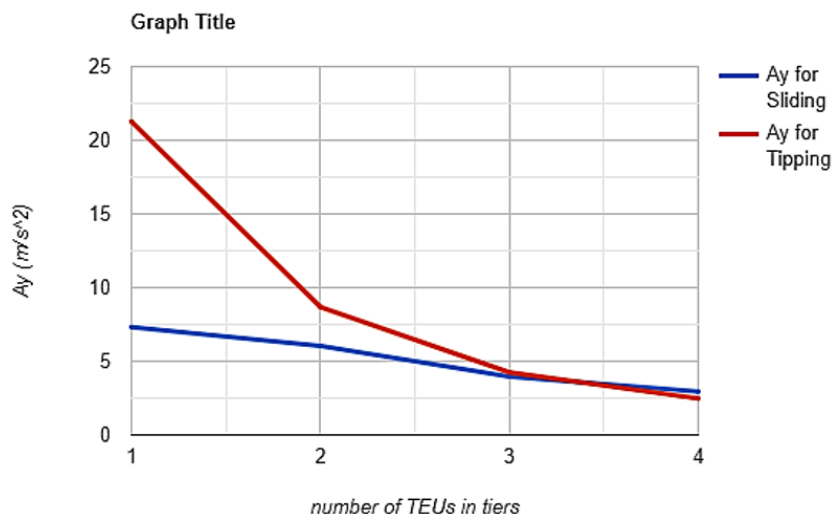
$$1046.7 \text{ kN} \cdot \text{m} \Leftrightarrow F_{y4} \leq 202.08 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (8.24)$$

Κατ' επέκταση, συνδυάζοντας τις σχέσεις 8.23 και 8.24 υπολογίζεται η οριακή εγκάρσια επιτάχυνση (A_{yT4}) ώστε να πραγματοποιηθεί εγκάρσια ανατροπή των εμπορευματοκιβωτίων.

$$\text{➤ } (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot A_{yT4} + F_W \cdot A_4 = 202.08 \text{ kN} \cdot \text{m} \Leftrightarrow A_{yT4} = (202.08 \text{ kN} \cdot \text{m} - 63.19)/56 \Leftrightarrow A_{yT4} = 2.48 \text{ m/s}^2$$

8.3.1.5) ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Συνεπώς, οι οριακές τιμές των εγκάρσιων επιταχύνσεων για ολίσθηση (A_{yS}) και για εγκάρσια ανατροπή (A_{yT}) της στοίβας εμπορευματοκιβωτίων στη θέση 3 του πλοίου που επεξεργαστήκαμε παρουσιάζονται στο ακόλουθο Σχήμα 8.5:

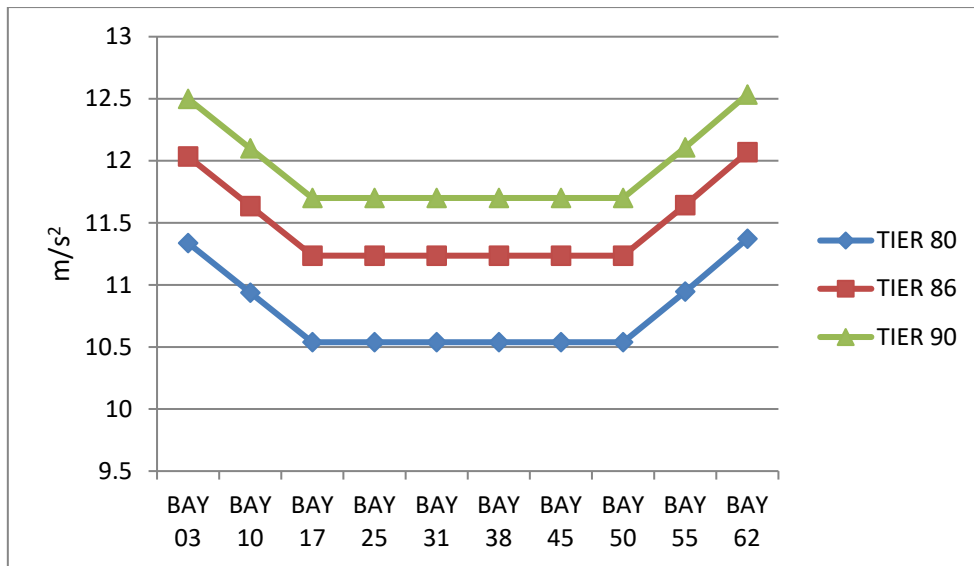


Σχήμα 8.5 : Οριακές εγκάρσιες επιταχύνσεις για ολίσθηση και ανατροπή μέσω DNV CODE σε τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις φόρτωσης

Από το Σχήμα 8.5 συμπεραίνεται ότι η πιο οριακή κατάσταση είναι η εγκάρσια ανατροπή για μία στοίβα τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων με κρίσιμη εγκάρσια επιτάχυνση : $A_{yT4} = 2.48 \text{ m/s}^2$

8.3.2) ΟΡΙΑΚΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΜΕΣΩ ABS CODE

Σύμφωνα με το υπολογιστικό πλαίσιο που ορίζει ο ABS οι εγκάρσιες επιταχύνσεις (A_T) εξαρτώνται άμεσα από τη γωνία διατοιχισμού (ϕ) του πλοίου. Κατ' επέκταση, για να υπάρξει αστοχία του συστήματος θα πρέπει να εμφανιστεί η οριακή γωνία διατοιχισμού που υπολογίστηκε στην προηγούμενη Ενότητα 7.8 και βρέθηκε ίση με $\phi = 58.1^\circ$. Και σε αυτή την περίπτωση, οι υπολογισμοί είχαν πραγματοποιηθεί για τη δυσμενέστερη θέση 3 στην περίπτωση στοίβας τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων στο κατάστρωμα του πλοίου. Συνεπώς, οι οριακές εγκάρσιες επιταχύνσεις που αντιστοιχούν στη συγκεκριμένη γωνία διατοιχισμού σε θέσεις κατά 0.1L από AP και για τα Tiers 80,86 και 90 παρουσιάζονται στο ακόλουθο Σχήμα 8.6.



Σχήμα 8.6 : Οριακές εγκάρσιες επιταχύνσεις (A_T) μέσω ABS CODE

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

9.1) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε ο υπολογισμός των φορτίσεων που δέχονται οι στοίβες εμπορευματοκιβωτίων και το σύστημα πρόσδεσης όταν αυτές τοποθετούνται σε διαφορετικές θέσεις πάνω στο κατάστρωμα του πλοίου κατά την κίνηση διατοχιισμού. Τα αποτελέσματα του μαθηματικού μοντέλου παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 7 και τα συμπεράσματα που παράχθηκαν είναι τα ακόλουθα:

- Σύμφωνα με τα συγκεντρωτικά σχήματα και τους πίνακες που παρουσιάζονται στην ενότητα 7.7.1 παρατηρούμε ότι η δυσμενέστερη θέση για τα εμπορευματοκιβώτια πάνω στο πλοίο μας είναι η πιο απομακρυσμένη από το κέντρο πλευστότητας, δηλαδή η θέση 3. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι τόσο η συνολική συνισταμένη εγκάρσια δύναμη που ασκείται στα εμπορευματοκιβώτια όσο και οι δυνάμεις που ασκούνται στα lashings εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές από τις αντίστοιχες στις θέσεις 1 και 2.
- Οι στοίβες εμπορευματοκιβωτίων εμφανίζουν στις θέσεις 1 και 2 παρόμοια συμπεριφορά ως προς τις εγκάρσιες δυνάμεις λόγω κίνησης διατοχιισμού.
- Οι κατακόρυφες συνισταμένες δυνάμεις στη θέση 1 παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές και μεγαλύτερη επικινδυνότητα από τις αντίστοιχες της θέσης 2 (βλέπε Σχήμα 7.7).
- Οι εγκάρσιες δυνάμεις (F_q) που ασκούνται στα υψηλότερα εμπορευματοκιβώτια μιας στοίβας είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες στις χαμηλότερες θέσεις λόγω των υψηλότερων εγκάρσιων επιταχύνσεων.
- Η αύξηση του αριθμού των εμπορευματοκιβωτίων σε μία στοίβα έχει ως επακόλουθο και την αύξηση των δυνάμεων που ασκούνται στα lashings. Συγκεκριμένα για τα lashings που ασφαλίζουν στο δεύτερο εμπορευματοκιβώτιο οι φορτίσεις που δέχονται είναι υψηλότερες από τις αντίστοιχες των lashings που ασφαλίζουν στο πρώτο ($F_{R2} > F_{R1}$).
- Οι εγκάρσιες επιταχύνσεις εξαρτώνται αποκλειστικά από τη γωνία διεγερσης (ϕ) και είναι υψηλότερες όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο πλευστότητας του πλοίου (Θέση 3). Επιπλέον, υψηλότερες τιμές εγκάρσιων επιταχύνσεων εμφανίζουν σε μια στοίβα τα υψηλότερα εμπορευματοκιβώτια έναντι των χαμηλότερων.
- Όλες οι δυνάμεις και οι φορτίσεις που ασκούνται τόσο στο εμπορευματοκιβώτιο όσο και στο σύστημα πρόσδεσης (lashings και corner fittings) δεν υπερβαίνουν τις μέγιστες φορτίσεις όπως παρουσιάστηκαν στο

Κεφάλαιο 5 και βρίσκονται εντός των επιτρεπόμενων ορίων (βλέπε Σχήμα 5.12).

- Σύμφωνα με το συγκεντρωτικό σχήμα 7.33 οι φορτίσεις που δέχονται τα lashings είναι υψηλότερες στη θέση 3 της στοίβας τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων. Συνεπώς, ο υπολογισμός της κρίσιμης γωνίας έγινε για αυτή την περίπτωση φόρτωσης, διότι το σύστημα θα αστοχήσει πρώτο έναντι των αντίστοιχων στοιβών στο κέντρο πλευστότητας.
- Η κατάσταση φόρτωσης που μελετήθηκε παρέχει μία μεγάλη ασφάλεια στη μεταφορά του φορτίου έναντι της κίνησης διατοιχισμού διότι η οριακή γωνία διατοιχισμού που υπολογίστηκε στην ενότητα 7.8 για αστοχία του συστήματος ($\phi=58.1^\circ$) απαιτεί ακραίους κυματισμούς και ακραία καιρικά φαινόμενα με αρκετά μικρές πιθανότητες εμφάνισης.

Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 8, εφαρμόστηκε η ανεπτυγμένη μέθοδος που ορίζει ο νηογνώμονας DNV ώστε τελικώς να επιτευχθεί σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα που παρουσιάστηκαν μέσω του υπολογιστικού πλαισίου που ορίζει ο ABS. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε σχετικά με τις επιταχύνσεις και τις φορτίσεις που αναπτύσσονται τόσο στα εμπορευματοκιβώτια όσο και στο σύστημα πρόσδεσης κατά την κίνηση διατοιχισμού. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που πραγματοποιήσαμε και με τις δύο μεθόδους σχετικά με τις επιταχύνσεις που παρουσιάζονται στο κατάστρωμα του πλοίου για κάθε θέση εμπορευματοκιβωτίου παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα συγκλίνουν. Ωστόσο, κατά το υπολογιστικό πλαίσιο του ABS οι επιταχύνσεις προκύπτουν όταν σαν δεδομένα έχουμε το μήκος του πλοίου (L), το πλάτος (B), τη γωνία διατοιχισμού (ϕ) καθώς και τις αποστάσεις των εμπορευματοκιβωτίων από το κέντρο πλευστότητας του πλοίου. Αντιθέτως, μέσω του DNV CODE, τα αποτελέσματα προκύπτουν μέσω ενός διορθωτικού συντελεστή που λαμβάνει υπόψιν του το μήκος L, την ταχύτητα του πλοίου V_s , το πλάτος του πλοίου B και το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος GM (βλέπε Πίνακα 5.3). Συνεπώς, στο μοντέλο που αναλύσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια τα αποτελέσματα και οι τιμές για το πλοίο που επεξεργαζόμαστε φαίνονται πιο αντιπροσωπευτικά και πιο ακριβή στην τελική τους ανάλυση.

Επιπλέον, αναλύθηκαν και υπολογίστηκαν οι κρίσιμες εγκάρσιες επιταχύνσεις για τη δυσμενέστερη θέση 3 που είναι ικανές οριακά να επιφέρουν αστοχία του συστήματος. Από τις ενότητες 8.3.1 και 8.3.2 συμπεραίνεται ότι οι οριακές εγκάρσιες επιταχύνσεις, τόσο με το υπολογιστικό πλαίσιο που ορίζει ο DNV όσο και για το μοντέλο κατά ABS, εμφανίζονται στην περίπτωση στοίβας τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων στο κατάστρωμα του πλοίου. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το Σχήμα 8.5, η πιο οριακή κατάσταση μέσω DNV CODE είναι η εγκάρσια ανατροπή για μία στοίβα τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων.

Επιπρόσθετα, η εφαρμογή του DNV CODE χρειάζεται προσοχή και κατά την εφαρμογή για τον υπολογισμό των δυνάμεων στα εμπορευματοκιβώτια και στο σύστημα έχμασής τους. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, οι δυνάμεις στα lashings θεωρούνται σταθερές και ίσες με κάποιο ποσοστό του ορίου θραύσης του υλικού από το οποίο έχουν κατασκευαστεί. Συνεπώς, θεωρώντας δεδομένες αυτές τις τιμές ελέγχει την ισορροπία. Αντιθέτως, στη μέθοδο που ορίζει ο ABS, μέσω των δυνάμεων που ασκούνται στα εμπορευματοκιβώτια, υπολογίζονται οι αντίστοιχες δυνάμεις που ασκούνται στα lashings ώστε να επέλθει ισορροπία.

9.2) ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεράσματα καταλήγουμε στο γεγονός ότι το μαθηματικό μοντέλο που αναπτύξαμε αποτελεί μία ικανοποιητική προσέγγιση των φορτίσεων που υπολογίσαμε κατά την κίνηση διατοιχισμού του πλοίου. Ωστόσο, οι παραδοχές που κάναμε τόσο για τη γεωμετρία των lashings όσο και για την κατάσταση φόρτωσης φέρουν βελτίωσης.

Οι υπολογισμοί θα μπορούσαν να εμπλουτιστούν και για μεγαλύτερες τιμές βάρους των εμπορευματοκιβωτίων που θα επέφεραν και υψηλότερες φορτίσεις. Ως αποτέλεσμα αυτού, οι τιμές θα προσέγγιζαν τις μέγιστες επιτρεπόμενες σε μικρότερες γωνίες διατοιχισμού και το σύστημά μας θα ήταν πιο ασταθές.

Επιπλέον, σε επόμενη μελέτη θα μπορούσε να προστεθεί στο μαθηματικό μοντέλο και η κίνηση του προνευστασμού, όπου εκτός των εγκάρσιων δυνάμεων θα αναπτύσσονταν στα φορτία και στο σύστημα πρόσδεσης και διαμήκεις φορτίσεις. Αυτό θα έχει ως επακόλουθο το υπολογιστικό πλαίσιο να περιγράφει με ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια τα φορτία που δέχονται τα εμπορευματοκιβώτια και τα lashings κατά την κίνηση του πλοίου όταν οι κυματισμοί σε ακραίες καιρικές συνθήκες δρουν υπό γωνία, όχι κάθετοι, ως προς την τροχιά του πλοίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Α.Χρυσικόπουλος (2016) « Συγκέντρωση και Στατιστική Ανάλυση Τεχνικών Στοιχείων Πλοίων Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων » Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ
- [2] Κ.Σπύρου (2017) « Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου ΙΙ – Σημειώσεις Διδάσκοντος και Πρόσθετο Βοηθητικό Υλικό » ΕΜΠ
- [3] Νικολάου Α. Ζυγομάλα (2018) « Μεταφορά Φορτίων – Β' Έκδοση » Ίδρυμα Ευγενίδου
- [4] GDV (2005) « Container Handbook – Positioning and Securing of containers on board »
- [5] Standard Club « A Master's Guide to: Container Securing »
- [6] Π.Σ.Λοχαίτης (2019) «Μελέτη του συστήματος έγχυσης εμπορευματοκιβωτίων υπό την κίνηση διατοιχισμού του πλοίου » Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ
- [7] S.Malhotra (2021) « Container stack collapses – causes and solutions » Article of Standard Club
- [8] DNV (2022) « Cargo Securing Manual »
- [9] DNV (2001) « Model Manual for General Cargo/Container Vessel»
- [10] ABS (2019) « Certification of Container Securing Systems September 2019 »
- [11] CR CLASSIFICATION SOCIETY (2016) « Guidelines for Certification of Container Securing System»
- [12] N.Themelis, K.J.Spyrou (2003) « Lashings of trailers on-board RO/RO ships under intensive rolling » 8th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles, STAB 2003, Madrid, September 2003
- [13] P.Poulios, N.Themelis, K.J.Spyrou (2008) « Dynamics of lashed trailers under the combined effect of roll and pitch motions of ship » Journal of Engineering for the Maritime Environment
- [14] Σ.Χ.Αντωνιάδης(2006)«Μελέτη του συστήματος έγχυσης εμπορευματοκιβωτίων στο κατάστρωμα πλοίου υπό την επίδραση της κίνησης διατοιχισμού » Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ
- [15] MACGREGOR (2016) « Container Securing Systems