



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΤΟΠΙΝ ΒΛΑΒΗΣ Ε/Γ ΚΑΙ Ε/Γ-Ο/Γ ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ ΧΩΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΑΦΕΡΜΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

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

ΑΘΗΝΑ 2015



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

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ
ΚΑΤΟΠΙΝ ΒΛΑΒΗΣ Ε/Γ ΚΑΙ Ε/Γ-Ο/Γ
ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ
ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ ΧΩΡΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΔΑΦΕΡΜΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΖΑΡΑΦΩΝΙΤΗΣ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΠΥΡΟΥ**





Αφιερώνεται στην Οικογένεια μου



ΠΡΟΛΟΓΟΣ- ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, διερευνώνται οι ισχύοντες κανονισμοί ευστάθειας κατόπιν βλάβης, για ένα μικρού μεγέθους επιβατηγό/οχηματαγωγό (ROPAX) πλοίο. Συγκεκριμένα, η αξιολόγηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης έγινε ως προς το θεσμικό πλαίσιο που προβλέπεται από τον ΙΜΟ, αλλά και τις κοινοτικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Εξετάστηκε επίσης η εξέλιξη της πορείας κατάκλισης εντός των χώρων του πλοίου, μετά από ρήγματα, μέσω αριθμητικών προσομοιώσεων. Όλη η μελέτη βασίστηκε στο ναυπηγικό σχεδιαστικό πρόγραμμα NAPA®.

Η μελέτη βασίστηκε σε ένα πλοίο, το οποίο αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π, στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος. Το ROPAX έχει εγκάρσια υποδιαίρεση, διαθέτει μόνο ένα χώρο οχημάτων και σχεδιάστηκε ως πλοίο τροφοδοτικών γραμμών για τις ανάγκες της Ελληνικής Ακτοπλοΐας. Αργότερα, στο ίδιο πλοίο ο χώρος οχημάτων διαιρέθηκε σε δύο καταστρώματα προκειμένου να μελετηθεί η ευστάθεια κατόπιν βλάβης και να επαναληφθούν οι προσομοιώσεις κατάκλισης για την περίπτωση ενός αμιγώς επιβατηγού πλοίου (Pure Passenger Ferry).

Μέσω της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η οποία διήρκησε από το Δεκέμβριο του 2014 μέχρι τον Νοέμβριο του 2015, μου δόθηκε η ευκαιρία της επαφής με τους κανονισμούς που αφορούν στην ευστάθεια κατόπιν βλάβης, αλλά και να εξετάσω βαθύτερα τη συμπεριφορά του πλοίου κατά την προσομοιωτική κατάκλιση, ύστερα από κάποιο ατύχημα. Η εργασία μου έδωσε έναυσμα ώστε να προσπαθήσω να αποκτήσω βαθύτερη κατανόηση γενικότερων θεμάτων υδροστατικής και ευστάθειας, τόσο σε άθικτη κατάσταση όσο και κατόπιν βλάβης, αλλά και χειρισμού των κανονισμών. Τέλος, μέσω της εργασίας, εξοικειώθηκα με τη χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος NAPA®, το οποίο αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για έναν ναυπηγό- μελετητή, τόσο για τις αρχικές φάσεις της σχεδίασης, όσο και για τις επόμενες, καθώς δίνει τη δυνατότητα ολιστικής μελέτης και βελτιστοποίησης του πλοίου.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω εκ βάθους καρδιάς τον επιβλέποντα Καθηγητή κύριο Απόστολο Παπανικολάου, για την πολύτιμη βοήθεια του κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, τη χάραξη των κατευθυντήριων γραμμών αλλά και τις χρήσιμες συμβουλές του, τόσο σε θέματα που άπτονται της εργασίας όσο και γενικότερα σε θέματα σπουδών. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή κύριο Γεώργιο Ζαραφωνίτη για το ειλικρινές ενδιαφέρον του και για το χρόνο που μου αφιέρωσε, τόσο για την εκμάθηση του προγράμματος NAPA®, όσο και σε βοήθεια για την διεκπεραίωση της παρούσας μελέτης. Θα ήθελα, επιπρόσθετα, να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Μελέτης Πλοίου και ειδικότερα την κυρία Ελευθερία Ηλιοπούλου, για τις συμβουλές της στα θέματα ευστάθειας κατόπιν βλάβης, αλλά και την κυρία Αφροδίτη Κανελλοπούλου, για τη συνεργασία και τη συμβολή της, τόσο για το πρόγραμμα NAPA®, όσο και συνολικά στο τελικό αποτέλεσμα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που στάθηκαν αρωγοί και στυλοβάτες της προσπάθειας μου για την ολοκλήρωση των σπουδών μου και την εκπλήρωση των στόχων μου.



Περιεχόμενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	20
2	ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	21
3	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΙΒΑΤΗΓΩΝ ΠΛΟΙΩΝ	23
3.1	Επιβατηγά Οχηματαγωγά (Ε/Γ-Ο/Γ) Πλοία	24
3.1.1	Ιστορική εξέλιξη πλοίων RO-RO	25
3.1.2	Περιγραφή πλοίων RO-RO	26
3.1.3	Ζητήματα ασφάλειας σε Ε/Γ-Ο/Γ πλοία	28
3.2	Επιβατηγά (Ε/Γ) Πλοία.....	33
3.2.1	Ιστορική εξέλιξη επιβατηγών (Ε/Γ) πλοίων	33
3.2.2	Περιγραφή επιβατηγών (Ε/Γ) πλοίων	35
3.2.3	Ζητήματα ασφάλειας επιβατηγών (Ε/Γ) πλοίων.....	37
4	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΤΟΠΙΝ ΒΛΑΒΗΣ Ε/Γ ΚΑΙ Ε/Γ-Ο/Γ ΠΛΟΙΩΝ	41
4.1	Ιστορική Εξέλιξη	42
4.2	Μέθοδοι Αξιολόγησης Ευστάθειας Κατόπιν Βλάβης.....	45
4.2.1	Προσδιοριστικές/ ντετερμινιστικές μέθοδοι	46
4.2.2	Πιθανοθεωρητικές μέθοδοι.....	51
4.2.3	Σύγκριση προσδιοριστικών και πιθανοθεωρητικών μεθόδων αξιολόγησης .	61
4.3	Εξεταζόμενοι Κανονισμοί στην Εργασία	62
5	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ Ε/Γ-Ο/Γ.....	67
5.1	Γενικά.....	67
5.2	Υδροστατικά Στοιχεία	69
5.3	Γενική Διάταξη- Διαμερισματοποίηση	72
5.4	Υποδιαίρεση	76
5.5	Ανοίγματα.....	81
5.5.1	Εξωτερικά ανοίγματα-εξαεριστικά.....	82
5.5.2	Υδατοστεγή ανοίγματα.....	84
5.5.3	Μηχανισμοί cross flooding.....	85
5.5.4	Εσωτερικά ανοίγματα	86
5.6	Καταστάσεις Φόρτωσης	87
5.6.1	Κατάσταση μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης (DS).....	88
5.6.2	Κατάσταση ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης (DP).....	90
5.6.3	Κατάσταση ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας (DL)	92
6	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΜΙΓΩΣ Ε/Γ	95

6.1	Γενικά.....	95
6.2	Γενική Διάταξη- Διαμερισματοποίηση.....	96
6.2.1	Πραγματική διάταξη.....	98
6.2.2	Απλοποιημένη διάταξη.....	108
6.3	Υποδιαίρεση.....	115
6.4	Καταστάσεις Φόρτωσης.....	120
6.4.1	Κατάσταση μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης (DS).....	121
6.4.2	Κατάσταση ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης (DP).....	123
6.4.3	Κατάσταση ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας (DL).....	125
7	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΤΟΠΙΝ ΒΛΑΒΗΣ.....	129
7.1	Έλεγχος Ε/Γ-Ο/Γ.....	129
7.1.1	Δεδομένα υπολογισμού.....	129
7.1.2	Αποτελέσματα.....	131
7.2	Έλεγχος Αμιγώς Ε/Γ.....	140
7.2.1	Δεδομένα υπολογισμού.....	140
7.2.2	Αποτελέσματα.....	142
7.3	Συγκριτικά Αποτελέσματα Ευστάθειας Κατόπιν Βλάβης.....	147
8	ΜΕΛΕΤΗ ΕΥΠΑΘΕΙΑΣ (VULNERABILITY) ΛΟΓΩ ΑΝΟΙΧΤΩΝ ΥΔΑΤΟΣΤΕΓΩΝ ΘΥΡΩΝ.....	153
8.1	Περιγραφή.....	153
8.2	Αποτελέσματα.....	155
9	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ.....	161
9.1	Μηχανισμοί Κατάκλυσης.....	162
9.1.1	Μεταβατική κατάκλυση.....	162
9.1.2	Προοδευτική κατάκλυση.....	163
9.2	Αριθμητικές Μέθοδοι.....	163
9.3	Δομή Προγράμματος Προσομοίωσης.....	164
9.4	Περιγραφή Διαδικασίας.....	166
9.4.1	Ανοίγματα.....	166
9.4.2	Ρήγματα.....	167
9.4.3	Καταστάσεις φόρτωσης.....	168
9.4.4	Σενάρια βλάβης.....	168
9.4.5	Επίδραση κυματισμού.....	169
9.4.6	Παραδοχές.....	170
9.5	Αποτελέσματα Προσομοίωσης Κατάκλυσης για Ε/Γ-Ο/Γ (ROPAX).....	171

9.5.1	Σενάριο βλάβης <i>Express Samina</i>	174
9.5.2	Σενάριο βλάβης προσάραξης <i>Grounding</i>	185
9.5.3	Σενάριο βλάβης πρωραίας προσάραξης <i>Bow Grounding</i>	196
9.6	Αποτελέσματα Προσομοίωσης Κατάκλυσης για Ε/Γ (Pure Passenger Ferry)	206
9.6.1	Σενάριο βλάβης <i>Express Samina</i>	219
9.6.2	Σενάριο βλάβης προσάραξης <i>Grounding</i>	235
9.6.3	Σενάριο βλάβης πρωραίας προσάραξης <i>Bow Grounding</i>	250
9.7	Σύγκριση Συμπεριφοράς Ε/Γ-Ο/Γ και Αμιγώς Ε/Γ στο Σενάριο Βλάβης <i>Express Samina</i>	265
9.7.1	Γενικά	265
9.7.2	Αποτελέσματα	266
9.7.3	Συμπεράσματα	270
9.8	Τροποποιημένες Διατάξεις	272
9.8.1	Διάταξη down-flooding	272
9.8.2	Διάταξη άθικτων χώρων (intact casings)	278
9.8.3	Συμπεράσματα	283
9.9	Γενικά Αποτελέσματα	284
10	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑ	291
11	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ NAPA®	295
12	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	301

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 3.1-1: Κατανομή ρίσκου ανά τύπο κινδύνου ως ποσοστό επί του συνόλου των ατυχημάτων (ROPAX).....	32
Διάγραμμα 3.2-1: Κατανομή ρίσκου ανά κίνδυνο ως ποσοστό επί του συνόλου των ατυχημάτων (Κρουαζιερόπλοια).....	40
Διάγραμμα 3.2-2: Κατανομή ρίσκου ανά κίνδυνο ως ποσοστό επί του συνόλου των απωλειών (fatalities) (Κρουαζιερόπλοια).....	40
Διάγραμμα 5.2-1: Καμπύλες υδροστατικών μεγεθών.....	71
Διάγραμμα 5.6-1: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το ROPAX.....	89
Διάγραμμα 5.6-2: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το ROPAX.....	91
Διάγραμμα 5.6-3: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας για το ROPAX.....	93
Διάγραμμα 6.4-1: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry.....	123
Διάγραμμα 6.4-2: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry.....	125
Διάγραμμα 6.4-3: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας για το Pure Passenger Ferry.....	127
Διάγραμμα 7.1-1: Διάγραμμα s-factor για το ελάχιστο βύθισμα υπηρεσίας για το ROPAX.....	135
Διάγραμμα 7.1-2: Διάγραμμα s-factor για το ενδιάμεσο βύθισμα υποδιαίρεσης για το ROPAX.....	135
Διάγραμμα 7.1-3: Διάγραμμα s-factor για το μέγιστο βύθισμα υποδιαίρεσης για το ROPAX.....	136
Διάγραμμα 7.1-4: Διάγραμμα P1S για το ROPAX.....	136
Διάγραμμα 7.1-5: Διάγραμμα ελάχιστου απαιτούμενου GM για το ROPAX.....	138
Διάγραμμα 7.2-1: Διάγραμμα s-factor για το ελάχιστο βύθισμα υπηρεσίας για το Pure Passenger Ferry.....	143
Διάγραμμα 7.2-2: Διάγραμμα s-factor για το ενδιάμεσο βύθισμα υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry.....	143
Διάγραμμα 7.2-3: Διάγραμμα s-factor για το μέγιστο βύθισμα υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry.....	144
Διάγραμμα 7.2-4: Διάγραμμα P1S για το Pure Passenger Ferry.....	144
Διάγραμμα 7.2-5: Διάγραμμα ελάχιστου απαιτούμενου GM για το Pure Passenger Ferry.....	146
Διάγραμμα 7.3-1: Σύγκριση επιτευχθέντων δεικτών υποδιαίρεσης A ανά σενάριο.....	148
Διάγραμμα 7.3-2: Σύγκριση συνεισφοράς στον A ανά σενάριο και αριθμό εμπλεκόμενων ζωνών στις βλάβες.....	148
Διάγραμμα 7.3-3: Μεταβολή συνεισφοράς στον A ανά σενάριο και αριθμό εμπλεκόμενων ζωνών.....	150
Διάγραμμα 7.3-4: Ανάλυση επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης για την περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ.....	151
Διάγραμμα 8.2-1: Δείκτης A ανά σενάριο σε σύγκριση με τον επιτευχθέν δείκτη για κλειστές θύρες.....	156
Διάγραμμα 8.2-2: Ευπάθεια επιτευχθέντος δείκτη λόγω ανοιχτών θυρών.....	157

Διάγραμμα 8.2-3: Μεταβολή επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης ως προς το χρόνο ταξιδιού	159
Διάγραμμα 9.1-1: Βασικές φάσεις πορείας κατάκλισης (Πηγή: (5))	162
Διάγραμμα 9.4-1: Φασματική κατανομή κυματισμών	170
Διάγραμμα 9.4-2: Τυπική καταγραφή πλάτους κυματισμού	170
Διάγραμμα 9.5-1: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το ROPAX στο σενάριο Express Samina .	177
Διάγραμμα 9.5-2: Πρόοδος κατάκλισης για το ROPAX στο σενάριο Express Samina	177
Διάγραμμα 9.5-3: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το ROPAX στο σενάριο Express Samina	178
Διάγραμμα 9.5-4: Μεταβολή γωνίας εγκάρσιας κλίσης για το ROPAX στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό.....	182
Διάγραμμα 9.5-5: Μεταβολή μετακεντρικού ύψους για το ROPAX στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό.....	182
Διάγραμμα 9.5-6: Πρόοδος κατάκλισης για το ROPAX στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό	183
Διάγραμμα 9.5-7: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για το ROPAX στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό.....	183
Διάγραμμα 9.5-8: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το ROPAX στο σενάριο Grounding	189
Διάγραμμα 9.5-9: Πρόοδος κατάκλισης για το ROPAX στο σενάριο Grounding.....	189
Διάγραμμα 9.5-10: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το ROPAX στο σενάριο Grounding	190
Διάγραμμα 9.5-11: Μεταβολή γωνίας εγκάρσιας κλίσης για το ROPAX στο σενάριο Grounding, με κυματισμό.....	193
Διάγραμμα 9.5-12: Μεταβολή μετακεντρικού ύψους για το ROPAX στο σενάριο Grounding, με κυματισμό.....	193
Διάγραμμα 9.5-13: Πρόοδος κατάκλισης για το ROPAX στο σενάριο Grounding, με κυματισμό	194
Διάγραμμα 9.5-14: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για το ROPAX στο σενάριο Grounding, με κυματισμό	194
Διάγραμμα 9.5-15: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το ROPAX στο σενάριο Bow Grounding	199
Διάγραμμα 9.5-16: Πρόοδος κατάκλισης για το ROPAX στο σενάριο Bow Grounding.....	199
Διάγραμμα 9.5-17: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το ROPAX στο σενάριο Bow Grounding.....	200
Διάγραμμα 9.5-18: Μεταβολή γωνίας εγκάρσιας κλίσης για το ROPAX στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό	202
Διάγραμμα 9.5-19: Πρόοδος κατάκλισης για το ROPAX στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό	202
Διάγραμμα 9.5-20: Μεταβολή μετακεντρικού ύψους για το ROPAX στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό	203
Διάγραμμα 9.5-21: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για το ROPAX στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό	203
Διάγραμμα 9.6-1: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX , στο σενάριο Express Samina	222
Διάγραμμα 9.6-2: Πρόοδος κατάκλισης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX , στο σενάριο Express Samina	223

Διάγραμμα 9.6-3: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry, **με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX**, στο σενάριο Express Samina 223

Διάγραμμα 9.6-4: Μεταβολή γωνίας εγκάρσιας κλίσης για το Pure Passenger Ferry, **με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX**, στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό..... 226

Διάγραμμα 9.6-5: Μεταβολή μετακεντρικού ύψους για το Pure Passenger Ferry, **με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX**, στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό..... 226

Διάγραμμα 9.6-6: Πρόοδος κατάκλισης για το Pure Passenger Ferry, **με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX**, στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό 227

Διάγραμμα 9.6-7: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για το Pure Passenger Ferry, **με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX**, στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό 227

Διάγραμμα 9.6-8: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry, **με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης**, στο σενάριο Express Samina 229

Διάγραμμα 9.6-9: Πρόοδος κατάκλισης για το Pure Passenger Ferry, **με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης**, στο σενάριο Express Samina 229

Διάγραμμα 9.6-10: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry, **με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης**, στο σενάριο Express Samina 230

Διάγραμμα 9.6-11: Μεταβολή γωνίας εγκάρσιας κλίσης για το Pure Passenger Ferry, **με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης**, στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό 232

Διάγραμμα 9.6-12: Μεταβολή μετακεντρικού ύψους για το Pure Passenger Ferry, **με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης**, στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό 232

Διάγραμμα 9.6-13: Πρόοδος κατάκλισης για το Pure Passenger Ferry, **με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης**, στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό 233

Διάγραμμα 9.6-14: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για το Pure Passenger Ferry, **με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης**, στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό..... 233

Διάγραμμα 9.6-15: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry, **με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX**, στο σενάριο Grounding 238

Διάγραμμα 9.6-16: Πρόοδος κατάκλισης για το Pure Passenger Ferry, **με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX**, στο σενάριο Grounding 239

Διάγραμμα 9.6-17: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry, **με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX**, στο σενάριο Grounding..... 239

Διάγραμμα 9.6-18: Μεταβολή γωνίας εγκάρσιας κλίσης για το Pure Passenger Ferry, **με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX**, στο σενάριο Grounding, με κυματισμό..... 242

Διάγραμμα 9.6-19: Μεταβολή μετακεντρικού ύψους για το Pure Passenger Ferry, **με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX**, στο σενάριο Grounding, με κυματισμό..... 242

Διάγραμμα 9.6-20: Πρόοδος κατάκλισης για το Pure Passenger Ferry, **με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX**, στο σενάριο Grounding, με κυματισμό 243

Διάγραμμα 9.6-21: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για το Pure Passenger Ferry, **με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX**, στο σενάριο Grounding, με κυματισμό 243

Διάγραμμα 9.6-22: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry, **με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης**, στο σενάριο Grounding 245

Διάγραμμα 9.6-23: Πρόοδος κατάκλισης για το Pure Passenger Ferry, **με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης**, στο σενάριο Grounding 245

Διάγραμμα 9.6-24: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry, **με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης**, στο σενάριο Grounding 246

Διάγραμμα 9.6-25: Μεταβολή γωνίας εγκάρσιας κλίσης για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική φόρτωσης , στο σενάριο Grounding, με κυματισμό	247
Διάγραμμα 9.6-26: Μεταβολή μετακεντρικού ύψους για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική φόρτωσης , στο σενάριο Grounding, με κυματισμό	247
Διάγραμμα 9.6-27: Πρόοδος κατάκλισης για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική φόρτωσης , στο σενάριο Grounding, με κυματισμό	248
Διάγραμμα 9.6-28: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική φόρτωσης , στο σενάριο Grounding, με κυματισμό	248
Διάγραμμα 9.6-29: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX , στο σενάριο Bow Grounding	253
Διάγραμμα 9.6-30: Πρόοδος κατάκλισης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX , στο σενάριο Bow Grounding	253
Διάγραμμα 9.6-31: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX , στο σενάριο Bow Grounding	254
Διάγραμμα 9.6-32: Μεταβολή γωνίας εγκάρσιας κλίσης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX , στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό.....	256
Διάγραμμα 9.6-33: Μεταβολή μετακεντρικού ύψους για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX , στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό.....	256
Διάγραμμα 9.6-34: Πρόοδος κατάκλισης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX , στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό	257
Διάγραμμα 9.6-35: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX , στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό	257
Διάγραμμα 9.6-36: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης , στο σενάριο Bow Grounding	259
Διάγραμμα 9.6-37: Πρόοδος κατάκλισης για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης , στο σενάριο Bow Grounding	259
Διάγραμμα 9.6-38: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης , στο σενάριο Bow Grounding	260
Διάγραμμα 9.6-39: Μεταβολή γωνίας εγκάρσιας κλίσης για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης , στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό	262
Διάγραμμα 9.6-40: Μεταβολή μετακεντρικού ύψους για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης , στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό	262
Διάγραμμα 9.6-41: Πρόοδος κατάκλισης για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης , στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό	263
Διάγραμμα 9.6-42: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης , στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό	263
Διάγραμμα 9.7-1: Μεταβολή γωνία κλίσης για τις διαφορετικές διατάξεις και φορτώσεις (Loading Conditions-LC).....	267
Διάγραμμα 9.7-2: Πρόοδος κατάκλισης για τις διαφορετικές διατάξεις και φορτώσεις (Loading Conditions-LC).....	267
Διάγραμμα 9.7-3: Μεταβολή πραγματικού μετακεντρικού ύψους για τις διαφορετικές διατάξεις και φορτώσεις (Loading Conditions-LC).....	268
Διάγραμμα 9.7-4: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για τις διαφορετικές διατάξεις και φορτώσεις (Loading Conditions-LC)	268

Διάγραμμα 9.8-1: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX , στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη που επιτρέπει το down-flooding	273
Διάγραμμα 9.8-2: Πρόοδος κατάκλυσης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX , στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη που επιτρέπει το down-flooding	274
Διάγραμμα 9.8-3: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX , στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη που επιτρέπει το down-flooding	274
Διάγραμμα 9.8-4: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης , στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη που επιτρέπει το down-flooding	276
Διάγραμμα 9.8-5: Πρόοδος κατάκλυσης για το Pure Passenger Ferry με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης , στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη που επιτρέπει το down-flooding	276
Διάγραμμα 9.8-6: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης , στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη που επιτρέπει το down-flooding	277
Διάγραμμα 9.8-7: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX , στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη με τα casings	279
Διάγραμμα 9.8-8: Πρόοδος κατάκλυσης για το Pure Passenger Ferry με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX , στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη με τα casings	279
Διάγραμμα 9.8-9: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX , στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη με τα casings	280
Διάγραμμα 9.8-10: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης , στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη με τα casings	281
Διάγραμμα 9.8-11: Πρόοδος κατάκλυσης για το Pure Passenger Ferry με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης , στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη με τα casings	281
Διάγραμμα 9.8-12: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης , στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη με τα casings	282
Διάγραμμα 9.9-1: Καμπύλες χρόνων μέχρι τα ορόσημα της προσομοίωσης, ως προς το σημαντικό ύψος κύματος για το σενάριο Express Samina	284
Διάγραμμα 9.9-2: Καμπύλες χρόνου μέχρι την ανατροπή, ως προς το σημαντικό ύψος κύματος, για το σενάριο Bow Grounding	286
Διάγραμμα 9.9-3: Καμπύλες χρόνου μέχρι τον πρώτο μηδενισμό του συντελεστή επιβιωσιμότητας s , ως προς το σημαντικό ύψος κύματος, για το σενάριο Bow Grounding	287
Διάγραμμα 9.9-4: Καμπύλες χρόνου μέχρι την ανατροπή, ως προς τον επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης A, για το σενάριο Express Samina	288

Διάγραμμα 9.9-5: Καμπύλες χρόνου μέχρι την ανατροπή, ως προς τον επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης, για το σενάριο Bow Grounding 289

Διάγραμμα 9.9-6: Καμπύλες χρόνου μέχρι τον πρώτο μηδενισμό του δείκτη επιβιωσιμότητας, ως προς τον επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης, για το σενάριο Bow Grounding 289

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1-1: Λίστα Ατυχημάτων RO-RO και RO-PAX.....	32
Πίνακας 3.2-1: Λίστα Ατυχημάτων σε αμιγώς επιβατηγά πλοία.....	39
Πίνακας 4.2-1: Διαχωρητότητες χώρων σύμφωνα με τη SOLAS 90.....	48
Πίνακας 4.2-2: Έκταση υποτιθέμενης βλάβης σύμφωνα με τη SOLAS 90.....	48
Πίνακας 4.3-1: Διαστάσεις βλάβης προσάραξης κανονισμού 9 SOLAS 2009.....	64
Πίνακας 4.3-2: Κριτήρια άθικτης ευστάθειας υπό εξέταση (IS CODE 2008)	65
Πίνακας 5.1-1: Κύριες διαστάσεις πλοίου ROPAX	67
Πίνακας 5.2-1: Πίνακας υδροστατικών μεγεθών.....	71
Πίνακας 5.3-1: Λειτουργικότητες (purposes) διαμερισμάτων για το ROPAX	72
Πίνακας 5.3-2: Πίνακας διαμερισμάτων ROPAX.....	75
Πίνακας 5.4-1: Παραμετρικές ζώνες υποδιαίρεσης για το ROPAX.....	77
Πίνακας 5.4-2: Διαστάσεις ζωνών υποδιαίρεσης για το ROPAX.....	77
Πίνακας 5.4-3: Πίνακας ορίων διαμερισμάτων ROPAX (starboard side).....	81
Πίνακας 5.5-1: Πίνακας εξωτερικών ανοιγμάτων ventilators για το ROPAX	82
Πίνακας 5.5-2: Πίνακας θέσεων εξωτερικών ανοιγμάτων για το ROPAX.....	83
Πίνακας 5.5-3: Πίνακας υδατοστεγών ανοιγμάτων για το ROPAX	84
Πίνακας 5.5-4: Πίνακας μηχανισμών cross flooding για το ROPAX	85
Πίνακας 5.5-5: Πίνακας εσωτερικών ανοιγμάτων για το ROPAX	86
Πίνακας 5.6-1: Κατάσταση φόρτωσης μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το ROPAX ..	88
Πίνακας 5.6-2: Θέση πλεύσης φόρτωσης μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το ROPAX	88
Πίνακας 5.6-3: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το ROPAX	89
Πίνακας 5.6-4: Κατάσταση φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το ROPAX	90
Πίνακας 5.6-5: Θέση πλεύσης φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το ROPAX	90
Πίνακας 5.6-6: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το ROPAX	90
Πίνακας 5.6-7: Κατάσταση φόρτωσης ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας για το ROPAX	92
Πίνακας 5.6-8: Θέση πλεύσης φόρτωσης ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας για το ROPAX ..	92
Πίνακας 5.6-9: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας για το ROPAX.....	92
Πίνακας 6.1-1: Κύριες διαστάσεις πλοίου Pure Passenger Ferry	95
Πίνακας 6.2-1: Λειτουργικότητες (purposes) διαμερισμάτων για το Pure Passenger Ferry ..	96
Πίνακας 6.2-2: Πίνακας διαμερισμάτων Pure Passenger Ferry (πραγματική διάταξη).....	102
Πίνακας 6.2-3: Πίνακας εσωτερικών ανοιγμάτων για το Pure Passenger Ferry (πραγματική διάταξη).....	106

Πίνακας 6.2-4: Πίνακας διαμερισμάτων Pure Passenger Ferry (απλοποιημένη διάταξη) ...	110
Πίνακας 6.2-5: Πίνακας εσωτερικών ανοιγμάτων για το Pure Passenger Ferry (απλοποιημένη διάταξη)	113
Πίνακας 6.3-1: Παραμετρικές ζώνες υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry	115
Πίνακας 6.3-2: Διαστάσεις ζωνών υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry.....	116
Πίνακας 6.3-3: Πίνακας ορίων διαμερισμάτων Pure Passenger Ferry (starboard side).....	120
Πίνακας 6.4-1: Ανάλυση βάρους άφορτου σκάφους για το Pure Passenger Ferry.....	121
Πίνακας 6.4-2: Κατάσταση φόρτωσης μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry	122
Πίνακας 6.4-3: Θέση πλεύσης φόρτωσης μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry	122
Πίνακας 6.4-4: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry	122
Πίνακας 6.4-5: Κατάσταση φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry	124
Πίνακας 6.4-6: Θέση πλεύσης φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry	124
Πίνακας 6.4-7: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry	124
Πίνακας 6.4-8: Κατάσταση φόρτωσης ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας για το Pure Passenger Ferry	125
Πίνακας 6.4-9: Θέση πλεύσης φόρτωσης ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας για το Pure Passenger Ferry	126
Πίνακας 6.4-10: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας για το Pure Passenger Ferry.....	126
Πίνακας 7.1-1: Πίνακας κυρίων διαστάσεων ROPAX.....	129
Πίνακας 7.1-2: Πίνακας υδροστατικών χαρακτηριστικών φορτώσεων για το ROPAX.....	130
Πίνακας 7.1-3: Ροπές εγκάρσιας κλίσης για το ROPAX.....	130
Πίνακας 7.1-4: Όρισμα υπολογισμού (calculation arguments) για το ROPAX	131
Πίνακας 7.1-5: Αποτελέσματα κανονισμού 7 SOLAS 2009 για το ROPAX	132
Πίνακας 7.1-6: Έλεγχος κριτηρίου κανονισμού 8.1 για το ROPAX.....	137
Πίνακας 7.1-7: Έλεγχος κριτηρίων κανονισμών 8.2-3 για το ROPAX.....	137
Πίνακας 7.1-8: Έλεγχος κριτηρίων κανονισμού 9 για το ROPAX	138
Πίνακας 7.1-9: Έλεγχος κριτηρίων 2003/25/EC για το ROPAX.....	139
Πίνακας 7.2-1: Πίνακας κυρίων διαστάσεων Pure Passenger Ferry.....	140
Πίνακας 7.2-2: Πίνακας υδροστατικών χαρακτηριστικών φορτώσεων για το Pure Passenger Ferry.....	140
Πίνακας 7.2-3: Ροπές εγκάρσιας κλίσης για το Pure Passenger Ferry.....	141
Πίνακας 7.2-4: Όρισμα υπολογισμού (calculation arguments) για το Pure Passenger Ferry.....	141
Πίνακας 7.2-5: Αποτελέσματα κανονισμού 7 SOLAS 2009 για το Pure Passenger Ferry	142
Πίνακας 7.2-6: Έλεγχος κριτηρίου κανονισμού 8.1 για το Pure Passenger Ferry.....	145
Πίνακας 7.2-7: Έλεγχος κριτηρίων κανονισμών 8.2-3 για το Pure Passenger Ferry	145
Πίνακας 7.2-8: Έλεγχος κριτηρίων κανονισμού 9 για το Pure Passenger Ferry.....	145
Πίνακας 7.3-1: Συγκριτικός πίνακας τιμών δείκτη υποδιαίρεσης ανά σενάριο και αριθμό εμπλεκόμενων ζωνών	147

Πίνακας 8.2-1: Συντελεστής υποδιαίρεσης Α ανά σενάριο	155
Πίνακας 9.4-1: Περιγραφή κατάστασης φόρτωσης partial draft για το ROPAX.....	168
Πίνακας 9.4-2: Περιγραφή κατάστασης φόρτωσης partial draft για το Ε/Γ	168
Πίνακας 9.5-1: Κατάλογος κοινών ανοιγμάτων για όλες τις προσομοιώσεις στο ROPAX....	172
Πίνακας 9.5-2: Κατάλογος κοινών συνδέσεων χώρων για όλες τις προσομοιώσεις στο ROPAX	174
Πίνακας 9.5-3: Κατάλογος επιπλέον ανοιγμάτων ROPAX για το σενάριο Express Samina..	175
Πίνακας 9.5-4: Πίνακας πρόσθετων συνδέσεων χώρων για το ROPAX για το σενάριο Express Samina	176
Πίνακας 9.5-5: Κατάλογος επιπλέον ανοιγμάτων ROPAX για το σενάριο Grounding.....	186
Πίνακας 9.5-6: Πίνακας πρόσθετων συνδέσεων χώρων για το ROPAX για το σενάριο Grounding.....	188
Πίνακας 9.5-7: Κατάλογος επιπλέον ανοιγμάτων ROPAX για το σενάριο Bow Grounding..	197
Πίνακας 9.5-8: Πίνακας πρόσθετων συνδέσεων χώρων για το ROPAX για το σενάριο Bow Grounding.....	198
Πίνακας 9.6-1: Κατάλογος κοινών ανοιγμάτων για όλες τις προσομοιώσεις στο Pure Passenger Ferry.....	211
Πίνακας 9.6-2: Κατάλογος κοινών συνδέσεων χώρων για όλες τις προσομοιώσεις στο Pure Passenger Ferry	219
Πίνακας 9.6-3: Κατάλογος επιπλέον ανοιγμάτων Pure Passenger Ferry για το σενάριο Express Samina	221
Πίνακας 9.6-4: Πίνακας πρόσθετων συνδέσεων χώρων για το Pure Passenger Ferry για το σενάριο Express Samina	221
Πίνακας 9.6-5: Κατάλογος επιπλέον ανοιγμάτων Pure Passenger Ferry για το σενάριο Grounding.....	236
Πίνακας 9.6-6: Πίνακας πρόσθετων συνδέσεων χώρων για το Pure Passenger Ferry για το σενάριο Grounding.....	238
Πίνακας 9.6-7: Κατάλογος επιπλέον ανοιγμάτων Pure Passenger Ferry για το σενάριο Bow Grounding.....	251
Πίνακας 9.6-8: Πίνακας πρόσθετων συνδέσεων χώρων για το Pure Passenger Ferry για το σενάριο Bow Grounding.....	252
Πίνακας 9.7-1: Ανάλυση χρόνου μέχρι την επίτευξη ορόσημων κατά την προσομοίωση, ανά διάταξη και φόρτωση.....	270
Πίνακας 9.7-2: Ανάλυση ποσοστιαίας μεταβολής χρόνου μέχρι την επίτευξη ορόσημων κατά την προσομοίωση, ανά διάταξη και φόρτωση	270
Πίνακας 9.8-1: Πίνακας επιπλέον σύνδεσης χώρων για το Pure Passenger Ferry για την εναλλακτική περίπτωση, down-flooding, στο σενάριο Express Samina.....	273
Πίνακας 9.8-2: Ανάλυση κέρδους χρόνου με τη χρήση της διάταξης που επιτρέπει το down-flooding.....	275
Πίνακας 9.8-3: Ανάλυση κέρδους χρόνου με τη χρήση της διάταξης των άθικτων χώρων (intact casings)	280

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΩΝ

Σχέδιο 5.1-1: Πλέγμα ορισμού της γάστρας (definition grid)	68
Σχέδιο 5.1-2: Επιφάνεια γάστρας (hull surface).....	68
Σχέδιο 5.1-3: Καμπυλότητα γάστρας (x-section curvature).....	68
Σχέδιο 5.3-1: Γενική διάταξη πλοίου ROPAX.....	76
Σχέδιο 5.4-1: Ζώνες υποδιαίρεσης ROPAX.....	78
Σχέδιο 5.5-1: Διάταξη εξωτερικών ανοιγμάτων ROPAX.....	83
Σχέδιο 5.5-2: Διάταξη υδατοστεγών ανοιγμάτων.....	85
Σχέδιο 5.5-3: Διάταξη μηχανισμών cross flooding για το ROPAX	86
Σχέδιο 5.5-4: Διάταξη εσωτερικών ανοιγμάτων για το ROPAX	87
Σχέδιο 6.2-1: Σχηματική απεικόνιση δεικτών αναγνώρισης (ID indices) για τις καμπίνες.....	97
Σχέδιο 6.2-2: Γενική διάταξη πλοίου Pure Passenger Ferry (πραγματική διάταξη)	103
Σχέδιο 6.2-3: Διάταξη εσωτερικών ανοιγμάτων για το Pure Passenger Ferry (πραγματική διάταξη).....	107
Σχέδιο 6.2-4: Σχέδιο γενικής διάταξης Pure Passenger Ferry (απλοποιημένη διάταξη)	111
Σχέδιο 6.2-5: Διάταξη εσωτερικών ανοιγμάτων για το Pure Passenger Ferry (απλοποιημένη διάταξη).....	114
Σχέδιο 6.3-1: Ζώνες υποδιαίρεσης Pure Passenger Ferry.....	116
Σχέδιο 8.1-1: Σενάριο 1: Υδατοστεγείς θύρες (ανοιχτές/ κλειστές).....	154
Σχέδιο 8.1-2: Σενάριο 2: Υδατοστεγείς θύρες (ανοιχτές/ κλειστές).....	154
Σχέδιο 8.1-3: Σενάριο 3: Υδατοστεγείς θύρες (ανοιχτές/ κλειστές).....	155
Σχέδιο 9.5-1: Βλάβες σεναρίου Express Samina και κατάσταση θυρών για το ROPAX.....	175
Σχέδιο 9.5-2: Τελική θέση πλοίου ROPAX στο σενάριο Express Samina	181
Σχέδιο 9.5-3: Βλάβες σεναρίου Grounding και κατάσταση θυρών για το ROPAX	186
Σχέδιο 9.5-4: Τελική θέση πλοίου ROPAX στο σενάριο Grounding	192
Σχέδιο 9.5-5: Βλάβες σεναρίου Bow Grounding και κατάσταση θυρών για το ROPAX	197
Σχέδιο 9.5-6: Τελική θέση πλοίου ROPAX στο σενάριο Bow Grounding	201
Σχέδιο 9.6-1: Βλάβες σεναρίου Express Samina και κατάσταση θυρών για το Pure Passenger Ferry.....	220
Σχέδιο 9.6-2: Τελική θέση πλοίου Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX , στο σενάριο Express Samina.....	225
Σχέδιο 9.6-3: Τελική θέση πλοίου Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης , στο σενάριο Express Samina	231
Σχέδιο 9.6-4: Βλάβες σεναρίου Grounding και κατάσταση θυρών για το Pure Passenger Ferry	236
Σχέδιο 9.6-5: Τελική θέση πλοίου Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX , στο σενάριο Grounding	241
Σχέδιο 9.6-6: Βλάβες σεναρίου Bow Grounding και κατάσταση θυρών για το Pure Passenger Ferry.....	251
Σχέδιο 9.6-7: Τελική θέση πλοίου Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX , στο σενάριο Bow Grounding	255
Σχέδιο 9.6-8: Τελική θέση πλοίου Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης , στο σενάριο Bow Grounding.....	261
Σχέδιο 9.8-1: Σχέδιο γενικής διάταξης Pure Passenger Ferry με τοποθετημένα casings	278



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 4.1-1: Ιστορικό Εξέλιξης Κανονισμών Ευστάθειας.....	42
Σχήμα 4.2-1: Εξέλιξη κριτηρίων ευστάθειας κατόπιν βλάβης SOLAS48-SOLAS90 (Πηγή: (2))	47
Σχήμα 4.2-2: Ύψος νερού κατάκλυσης για τη Συνθήκη της Στοκχόλμης	50
Σχήμα 4.2-3: Βασικά μεγέθη για τη Συνθήκη της Στοκχόλμης.....	50
Σχήμα 4.2-4: Βασικοί τύποι ατυχημάτων.....	52
Σχήμα 4.2-5: Βυθίσματα υπολογισμού επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης, σύμφωνα με τον κανονισμό.....	53
Σχήμα 4.2-6: Βλάβη ως κουτί (box).....	55
Σχήμα 4.2-7: Πραγματικός χώρος κατάκλυσης.....	55
Σχήμα 4.2-8: Παράδειγμα ζωνών υποδιαίρεσης	55
Σχήμα 4.2-9: Σχηματική απεικόνιση πιθανοτήτων κατάκλυσης.....	56
Σχήμα 4.2-10: Δείκτης ρ διορθωμένος για τα διαμήκη όρια υποδιαίρεσης	57
Σχήμα 4.2-11: Παραδείγματα υποθετικών γραμμών υπολογισμού για μη επίπεδες διαμήκεις φρακτές	58
Σχήμα 4.2-12: Σχηματική απεικόνιση για την κατακόρυφη υποδιαίρεση.....	59
Σχήμα 4.3-1: Σχεδιαγραμματική απεικόνιση των υπό εξέταση κανονισμών ευστάθειας κατόπιν βλάβης	63
Σχήμα 4.3-2: Απαιτήσεις κανονισμών SOLAS 2009 για επιβατηγά πλοία	63
Σχήμα 7.1-1: Αποτύπωση σεναρίων βλάβης στο διάγραμμα s-factor.....	134
Σχήμα 9.5-1: Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς τη χρονική στιγμή 180sec, για το ROPAX στο σενάριο Grounding.	191
Σχήμα 9.7-1: Στάδια μεταβολής του χρόνου μέχρι την ανατροπή	271
Σχήμα 9.8-1: Μεταβολή χρόνου μέχρι την ανατροπή για τις τροποποιημένες διατάξεις ...	283
Σχήμα 9.8-2: Μεταβολή τιμής δείκτη επιβιωσιμότητας στην τελική θέση ισορροπίας για τις τροποποιημένες διατάξεις	283
Σχήμα 9.9-1: Απλοποιημένη παρουσίαση υποσυστημάτων NAPA®	295

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα θέματα που σχετίζονται με την ασφάλεια της ζωής στη θάλασσα και την προστασία του περιβάλλοντος, αποτελούν πρώτιστη προτεραιότητα στα αρμόδια όργανα, τα οποία θεσμοθετούν, προτείνουν νομοθετικές διατάξεις στα κοινοβούλια και γενικώς κατευθύνουν τις προσπάθειες τους προς την εξασφάλιση των παραπάνω θεμελιωδών αρχών.

Υπό αυτό το πρίσμα, οι κανονισμοί που διέπουν την ευστάθεια των πλοίων είτε σε άθικτη κατάσταση, αλλά κυρίως σε κατάσταση βλάβης ανανεώνονται κατά καιρούς και είναι πάντα ένα πρόσφορο πεδίο έρευνας, το οποίο στοχεύει στην εξασφάλιση του πλοίου έναντι ανατροπής ή βύθισης. Σε αυτά τα πλαίσια, η προσπάθεια των ηγετικών ναυτιλιακών θεσμικών αρχών στοχεύει στην ενσωμάτωση νέων επιστημονικών θεωρήσεων και τεχνολογικών εργαλείων με σκοπό την ορθολογική αξιολόγηση της επιβιωσιμότητας κατόπιν βλάβης. Έτσι από τον Ιανουάριο του 2009 τέθηκαν σε εφαρμογή οι πιθανοθεωρητικοί κανονισμοί αξιολόγησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, οι οποίοι αντικατέστησαν τους παλαιότερους κανονισμούς, οι οποίοι βασιζόνταν στα προσδιοριστικά ή αλλιώς ντετερμινιστικά πρότυπα.

Ο καθορισμός της υποδιαίρεσης με στόχο ουσιαστικά την επίτευξη μιας πιθανότητας επιβίωσης του πλοίου (*A index*), κατόπιν οποιουδήποτε ρήγματος, μεγαλύτερης από κάποια ελάχιστη απαιτούμενη πιθανότητα επιβίωσης (*R index*), η οποία εξαρτάται από το μέγεθος του πλοίου και τον αριθμό των επιβαινόντων, σχετίζεται με τη λεγόμενη σχεδίαση με βάση τη διακινδύνευση (*Risk-Based Design*). Η συγκεκριμένη τάση σχεδίασης είναι πιο ορθολογική, υπό την έννοια ότι δεν περιορίζει τις σχεδιάσεις ως προς συγκεκριμένες απαιτήσεις που μόνο έμμεσα σχετίζονται με το τελικό αποτέλεσμα, όπως για παράδειγμα ο ντετερμινιστικός καθορισμός της απόστασης μεταξύ εγκαρσίων φρακτών, αλλά επιβάλλει την ικανοποίηση συγκεκριμένου επίπεδου ασφάλειας, μέσω της απαίτησης ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης να είναι ανώτερος του απαιτούμενου. Έτσι λοιπόν, εξασφαλίζεται ο πρωταρχικός στόχος, που είναι η ικανοποιητική ασφάλεια, ενώ οι σχεδιαστικές παράμετροι που την εξασφαλίζουν καθίστανται δευτερεύουσας σημασίας, επιτρέποντας μεγαλύτερη ελευθερία εξεύρεσης βέλτιστων και αποδοτικότερων σχεδιάσεων.

Ωστόσο και πάλι το υπάρχον κανονιστικό πλαίσιο τίθεται υπό αξιολόγηση και αναθεωρείται, ώστε να διορθωθούν πιθανές ελλείψεις και να ληφθούν υπόψη οι νέες τεχνολογικές εξελίξεις και σχεδιαστικές τάσεις, καθώς και τα προβλήματα που τις συνοδεύουν. Ανησυχίες εγείρονται σχετικά με τους ισχύοντες κανονισμούς, για τα πλοία ROPAX και για το αν η διατύπωση για τον συντελεστή επιβιωσιμότητας αντικατοπτρίζει σε ικανοποιητικό βαθμό την πιθανότητα επιβίωσης τους, αφού δε γίνεται αναφορά στην επίδραση του νερού στο κατάστρωμα οχημάτων (*Water on Deck-WOD*), όπως γίνεται στη «Συνθήκη της Στοκχόλμης». Επιπρόσθετα, τα στατιστικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό του συντελεστή R, προέρχονταν από στοιχεία για πλοία μέσου και μεγάλου μεγέθους και μόνο για τις περιπτώσεις των συγκρούσεων. Κατά συνέπεια οι απαιτήσεις του κανονισμού δεν συνάδουν απόλυτα με την αύξηση του στόλου σε πλοία μικρότερου μεγέθους, αλλά και με τις νέες τεχνολογικές εξελίξεις στα κρουαζιερόπλοια και την τεράστια αύξηση του αριθμού των επιβαινόντων. Επίσης, νεότερα ατυχήματα δείχνουν ότι οι περιπτώσεις προσαράξεων είναι επίσης σημαντικές και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο σκοπός της εργασίας είναι η εξέταση των πιθανοθεωρητικών κανονισμών ευστάθειας κατόπιν βλάβης για την περίπτωση επιβατηγών/ οχηματαγωγών πλοίων αλλά και αμιγώς επιβατηγών πλοίων.

Επιπρόσθετα, διερευνήθηκε η επίδραση του ανοίγματος των στεγανών θυρών στον επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης, με σκοπό την αξιολόγηση της ασφάλειας του πλοίου, κατά τη λειτουργία του και όχι μόνο στη φάση της αρχικής σχεδίασης. Απώτερος στόχος είναι ο υπολογισμός του μεγέθους «ευπάθειας» (*vulnerability*) λόγω των ανοιχτών θυρών και η πιθανή προσθήκη απαιτήσεων για τη διατήρηση ενός συγκεκριμένου επιπέδου ασφάλειας, κατά τη λειτουργία και χρήση του πλοίου.

Τέλος, εκπονήθηκαν αριθμητικά πειράματα προσομοίωσης τόσο για το ROPAX πλοίο, όσο και για το αμιγώς επιβατηγό (*Pure Passenger*), σε διάφορα σενάρια βλάβης, προκειμένου να μελετηθεί η εξέλιξη της κατάκλυσης των χώρων του πλοίου με νερό, καθώς και η συμπεριφορά του πλοίου κατά τη διάρκεια της κατάκλυσης.

Συνολικά, ο σκοπός της εργασίας ήταν η αξιολόγηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, όχι μόνο μέσω των κανονισμών, αλλά και υπό το πρίσμα της συμπεριφοράς του πλοίου κατά την κατάκλυση των χώρων του και το χρόνο που απαιτείται μέχρι την ανατροπή ή τη βύθιση του.



3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΙΒΑΤΗΓΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο δίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά των σχεδιάσεων των επιβατηγών πλοίων με έμφαση κυρίως στα ζητήματα ασφάλειας που τις διέπουν.

Ξεκινώντας από τον ορισμό του επιβατηγού πλοίου, σύμφωνα με τους κανονισμούς ναυτιλίας, ως επιβατηγό θεωρείται όποιο πλοίο έχει πιστοποιημένη ικανότητα μεταφοράς παραπάνω από 12 επιβάτες. Υπό προϋποθέσεις, τα επιβατηγά πλοία μπορούν να μεταφέρουν επιπρόσθετα φορτίο και οχήματα.

Τα επιβατηγά πλοία διακρίνονται σε αμιγώς επιβατηγά (Ε/Γ-Pure Passenger) και σε επιβατηγά οχηματαγωγά (Ε/Γ-Ο/Γ- ROPAX). Τα αμιγώς επιβατηγά διακρίνονται περαιτέρω σε πορθμεία (ferries) το οποία εκτελούν τακτά δρομολόγια, εξυπηρετώντας συγκεκριμένες γραμμές και παρέχοντας μεταφορικό έργο και σε κρουαζιερόπλοια, τα οποία εκτελούν κυκλικά ταξίδια, με σκοπό την περιήγηση, την αναψυχή και την παροχή υπηρεσιών προς τους επιβάτες. Τα επιβατηγά οχηματαγωγά πλοία (ROPAX) επίσης εκτελούν τακτικά δρομολόγια σε συγκεκριμένες γραμμές, μεταφέροντας επιβάτες, οχήματα και φορτία. Αποτελούν βασικούς κρίκους στις συνδυασμένες μεταφορές και στην ολοκλήρωση ευρύτερων αλυσίδων μεταφοράς logistics.

Αν και η ιστορία των επιβατηγών πλοίων είναι σχετικά πρόσφατη, δηλαδή η ανάπτυξη τους ξεκινάει από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, αποτέλεσαν τεχνολογικά θαύματα και τα πιο εξελιγμένα πλοία σε κάθε εποχή. Οι μεταφορές επιβατών ήταν εξαιρετικά περιορισμένες, με τα φορτηγά πλοία να υπερκαλύπτουν τη ζήτηση για μεταφορές επιβατών. Μετά τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, όπου η μετανάστευση προς τις Η.Π.Α και την Αυστραλία έγινε μαζικότερη, οι ανάγκες για μεταφορικές υπηρεσίες επιβατών αυξήθηκαν, οδηγώντας στην ανάπτυξη εξειδικευμένων επιβατηγών πλοίων. Τα βασικά χαρακτηριστικά που απαιτούνταν ήταν χώροι ενδιαίτησης των επιβατών, υψηλή ταχύτητα για την ταχεία κάλυψη μεγάλων αποστάσεων και αυξημένη ασφάλεια, καθώς οι επιβάτες δεν είναι εκπαιδευμένοι για την περίπτωση ατυχήματος στο πλοίο.

Ωστόσο, η ανάπτυξη των αεροπορικών μεταφορών, οδήγησε σε παραγκωνισμό των επιβατηγών πλοίων για την κάλυψη μεγάλων αποστάσεων, καθώς ο χρόνος μεταφοράς ήταν ασύγκριτα μικρότερος. Έτσι τα επιβατηγά πλοία περιορίστηκαν ουσιαστικά σε δύο ναυτιλιακές βιομηχανίες, την ακτοπλοΐα μικρών αποστάσεων (Short Sea Shipping) και την κρουαζιέρα.

Η ακτοπλοΐα μικρών αποστάσεων καλύπτεται κυρίως από Ε/Γ-Ο/Γ πλοία, αλλά και αμιγώς επιβατηγά, καθώς η κάλυψη μικρών αποστάσεων μέσω αεροπλάνων είναι μη συμφέρουσα ή υπερβολικά ακριβή για τον επιβάτη. Η χρήση πλοίων επίσης επιτρέπει τη μεταφορά φορτίων και οχημάτων προς τους λιμένες και τις περιοχές που είναι απομονωμένες. Η ακτοπλοΐα είναι εξαιρετικά σημαντική βιομηχανία τόσο για την Ευρώπη όσο και για την Ιαπωνία, αλλά και χώρες, όπως η Ινδονησία, που αποτελούνται από εκτενή νησιωτικά συμπλέγματα. Από την άλλη μεριά στην κρουαζιέρα, τοποθετούνται τα τεχνολογικά πιο εξελιγμένα πλοία (*State Of the Art*), τα οποία ουσιαστικά αποτελούν πλωτά ξενοδοχεία με σκοπό την παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών και τη διασκέδαση των επιβατών.

Παρακάτω δίνονται περισσότερα και πιο λεπτομερή στοιχεία για τα επιβατηγά οχηματαγωγά πλοία (Ε/Γ-Ο/Γ) και τα αμιγώς επιβατηγά πλοία (Ε/Γ).

3.1 Επιβατηγά Οχηματαγωγά (Ε/Γ-Ο/Γ) Πλοία

Τα επιβατηγά οχηματαγωγά πλοία αποτελούν έναν ιδιαίτερο τύπο πλοίου με ικανότητα μεταφοράς επιβατών αλλά και οχημάτων. Τα επιβατηγά οχηματαγωγά πλοία που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι υποκατηγορία των πλοίων RO-RO (*Roll On- Roll Off*), τα οποία διαθέτουν ράμπες και μεγάλης έκτασης καταστρώματα, χωρίς εγκάρσια υποδιαίρεση, επιτρέποντας στα οχήματα να εισέλθουν και να εξέλθουν από το πλοίο οδηγώντας, χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση πρόσθετων φορτοεκφορτωτικών μέσων.

Κατά βάση χρησιμοποιούνται σε τακτά δρομολόγια σε συγκεκριμένες γραμμές εξυπηρέτησης, κυρίως σε μικρές αποστάσεις. Είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα στην Ευρώπη, κυρίως στις περιοχές της Βόρειας και της Βαλτικής Θάλασσας, αλλά και σε χώρες τις Μεσογείου, όπως η Ελλάδα. Επίσης αποτελεί σημαντική πηγή εσόδων για χώρες της Ασίας όπως η Ινδονησία, η Ιαπωνία και οι Φιλιππίνες.

Τα RO-RO πλοία αποτελούν έναν από τους πιο επιτυχημένους τύπους πλοίων, λόγω της ευελιξίας τους, δηλαδή της ικανότητας τους να μεταφέρουν επιβάτες, οχήματα και φορτία, λόγω της ταχύτητάς τους και λόγω της ικανότητάς τους να μετέχουν σε εφοδιαστικές αλυσίδες logistics, εξυπηρετώντας τη μεταφορά containers, που φορτώνονται είτε μέσω φορτωτήρων, είτε είναι προσδεδεμένα σε πλατφόρμες (*trailers*) για μεταφορά με φορτηγά.

Οι τύποι των πλοίων τύπου RO-RO είναι:

- **Car Carriers**: Είναι πλοία με μεγάλης έκτασης καταστρώματα που χρησιμοποιούνται είτε για τη μεταφορά αυτοκινήτων (*Pure Car Carriers-PCC*), είτε για τη μεταφορά και αυτοκινήτων και φορτηγών (*Pure Car/Truck Carriers-PCTC*).
- **Rail and Combined RORO Rail Ships**: Είναι πλοία για τη μεταφορά σιδηροδρομικών βαγονιών και μηχανών, με τα καταστρώματα να είναι εξοπλισμένα με σιδηροδρομικές γραμμές για τη φορτοεκφόρτωση των βαγονιών. Επίσης μπορεί να είναι υβριδικά πλοία με κάποια καταστρώματα να εξυπηρετούν βαγόνια ενώ άλλα να διατίθενται για μεταφορά οχημάτων.
- **ROPAX (Roll On-Roll Off Passenger)**: Είναι RO-RO πλοία κατασκευασμένα τόσο για τη μεταφορά οχημάτων στο κατάστρωμα, αλλά διαθέτουν και υπερκατασκευές για την ενδιαίτηση των επιβατών. Συχνά, τα ROPAX με ικανότητα μεταφοράς άνω των 500 επιβατών αναφέρονται ως Cruise Ferries.
- **ConRO (Container RO-RO Ship)**: Είναι υβριδικός τύπος Container Ship και RORO πλοίου. Στα χαμηλότερα καταστρώματα τοποθετούνται οχήματα, ενώ στα ανώτερα τοποθετούνται τα εμπορευματοκιβώτια.
- **RoLo (Roll On- Lift Off)**: Είναι επίσης υβριδικός τύπος πλοίου, όπου τα καταστρώματα οχημάτων είναι προσπελάσιμα μέσω ραμπών, ενώ τα υπόλοιπα καταστρώματα φορτίων εξυπηρετούνται από φορτοεκφορτωτικά μέσα.

Σε κάθε περίπτωση πάντως, ο ορισμός των Roll On/ Roll Off πλοίων ορίζεται, σύμφωνα με τη Διεθνή Συνθήκη της Ασφάλειας της Ζωής στη Θάλασσα (*Safety of Life at Sea-SOLAS*), ως ένα επιβατηγό πλοίο με χώρους φορτίου RO-RO ή ειδικής κατηγορίας χώρους.

Παρακάτω, δίνεται μια ιστορική ανασκόπηση της εξέλιξης των πλοίων αυτών, η περιγραφή των σύγχρονων πλοίων αυτού του τύπου και τα ζητήματα ασφάλειας που αφορούν τέτοιες σχεδιάσεις.

3.1.1 Ιστορική εξέλιξη πλοίων RO-RO

Τα σύγχρονα RO-RO πλοία, αρχικά αναπτύχθηκαν σε μια μορφή εγγύτερα στα σύγχρονα Rail Ships. Συγκεκριμένα, ήδη από την πρώιμη εποχή χρήσης των ατμομηχανών, οι υπάρχουσες γέφυρες ήταν είτε πολύ στενές για να χωρέσει η ατμομηχανή είτε ακατάλληλες για να συγκρατήσουν το βάρος της. Συνεπώς, δημιουργήθηκε η ανάγκη για μεταφορά των ατμομηχανών από τη μία όχθη ενός ποταμού στην απέναντι. Έτσι γεννήθηκε η ιδέα ενός πλοίου το οποίο θα ήταν εξοπλισμένο με σιδηροτροχιές, τα τρένα θα επιβιβάζονταν στο πλοίο κινούμενα επί των τροχιών και στη συνέχεια θα αποβιβάζονταν στην άλλη μεριά του ποταμού. Ένα παράδειγμα είναι το *Firth of Forth* στη Σκωτία, το οποίο άρχισε να λειτουργεί το 1851.

Η επέκταση της συγκεκριμένης ιδέας δε διαδόθηκε στις οδικές μεταφορές, παρά μόνο κατά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, οπότε και κατασκευάστηκαν πλοία μεταφοράς ερπυστριοφόρων οχημάτων στρατιωτικού τύπου. Στην εμπορική ναυτιλία η ιδέα διαδόθηκε μετά, στα τέλη της δεκαετίας του '40 και τις αρχές της δεκαετίας του '50, όπου και βρήκε ιδιαίτερη απήχηση κυρίως στην ακτοπλοΐα, λόγω της αύξησης των οδικών μεταφορών και της ανάπτυξης της τεχνολογίας στον τομέα, τόσο στη στεριά όσο και στη θάλασσα.

Η διαδικασία της φορτοεκφόρτωσης των οχημάτων, που έως τότε γινόταν με γεραμούς, έγινε σαφώς ταχύτερη διαδικασία. Στο *Dover* του Ηνωμένου Βασιλείου, το 1953 άνοιξε το πρώτο λιμάνι εξυπηρέτησης RO-RO πλοίων. Έως τότε το λιμάνι μπορούσε να εξυπηρετήσει 10.000 αυτοκίνητα ετησίως, τα οποία φορτώνονταν με γεραμούς. Οι πιο αισιόδοξες εκτιμήσεις, για δεκαπλασιασμό των οχημάτων που εξυπηρετούνταν, επιβεβαιώθηκαν από τον πρώτο κίολας χρόνο και το 1985 το λιμάνι του *Dover* μπορούσε να διαχειριστεί πάνω από 2.5 εκατομμύρια οχήματα, από 9 προβλήτες. Μια δεκαετία μετά ο αριθμός αυτός σχεδόν διπλασιάστηκε φτάνοντας τα 4.5 εκατομμύρια οχήματα.

Το 1957 ο στρατός των Η.Π.Α χρηματοδότησε την κατασκευή ενός πλοίου μεταφοράς οχημάτων. Το πλοίο *Comet* ήταν εξοπλισμένο με έναν πρωραίο καταπέλτη, όπως και εσωτερικές ράμπες, οι οποίες επέτρεπαν στα αυτοκίνητα να οδηγηθούν από την προβλήτα, στο εσωτερικό του πλοίου και στην τελική τους θέση, αυξάνοντας έτσι την ταχύτητα φορτοεκφόρτωσης. Το πλοίο επίσης διέθετε ασφαλιστικά μέσα για τη συγκράτηση των οχημάτων καθώς επίσης και σύστημα εξαερισμού του χώρου οχημάτων, για την απομάκρυνση των καυσαερίων που συσσωρεύονταν κατά τη φόρτωση.

Η δραματική αύξηση του εμπορίου αυτοκινήτων, από το 1970, ώθησε στην κατασκευή εξειδικευμένων πλοίων μεταφοράς αυτοκινήτων και γενικώς οχημάτων. Το 1973, η Ιαπωνική *K-Lines* κατασκεύασε το πρώτο *Pure Car Carrier*, το *European Highway*, με μεταφορική ικανότητα 4.200 αυτοκίνητα. Τα πλοία αυτού του τύπου γενικά έχουν μεγάλες πρισματικές υπερκατασκευές, με στόχο τη μεγιστοποίηση του μήκους διαδρόμων (*lane meters*). Τυπικά, διαθέτουν πρυμναίους καταπέλτες αλλά και πλευρικούς για παράλληλη φόρτωση χιλιάδων οχημάτων, ενώ διαθέτουν και μετακινούμενα ή αποσπώμενα καταστρώματα, επιτρέποντας την φόρτωση και φορτηγών και βαρέων μηχανημάτων.

Σήμερα το μεγαλύτερο ROPAX, από άποψη μεταφορικής ικανότητας αυτοκινήτων, είναι το *Ulysses*, το οποίο ξεκίνησε να λειτουργεί το 2001, στην Ιρλανδία και έχει δυνατότητα μεταφοράς 1342 αυτοκινήτων με το μήκος διαδρόμων (*lane meters*) να είναι 4101 μέτρα. Το μεγαλύτερο ROPAX σε χωρητικότητα GT είναι το *Color Magic*, με χωρητικότητα 75.156GT και

ικανότητα μεταφοράς 2700 επιβατών και 550 αυτοκινήτων. Το *Stena Brittanica* και το αδερφό του πλοίο *Stena Hollandica* είναι τα μεγαλύτερα ROPAX σε μήκος, φτάνοντας τα 240m.

Συνοπτικά, αυτό που φαίνεται να αποδεικνύεται από τα στατιστικά στοιχεία είναι ότι υπάρχει μια τάση για αύξηση του μήκους διαδρόμων (*lane meters*), επιτυγχάνοντας αύξηση 130% από το 1998-2003 για τα ROPAX, ενώ η αντίστοιχη αύξηση στον αριθμό των επιβατών είναι περίπου 180%, για την ίδια περίοδο.

Τα πλοία ROPAX κυρίως, αλλά και γενικώς τα RO-RO, είναι παραδοσιακά υψηλής τεχνολογίας πλοία και σε κάθε εποχή είναι ίσως τα πιο εξελιγμένα. Αυτό διαφαίνεται και μέσω των νέων τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται, αλλά και μέσα από τη διαρκή προσπάθεια των ναυπηγών για την εξεύρεση εναλλακτικών σχεδιάσεων, δηλαδή την ανάπτυξη πλοίων νέας τεχνολογίας, προκειμένου να εξυπηρετήσουν κατά το δυνατόν βέλτιστα τις απαιτήσεις του επιβατικού κοινού. Νέες τεχνολογίες που σιγά σιγά ενσωματώνονται στις νέες σχεδιάσεις αφορούν εναλλακτικά καύσιμα, όπως το υγροποιημένο φυσικό αέριο (*LNG*), αλλά και οι εναλλακτικές μορφές ενέργειας, όπως η ηλιακή. Επίσης, διαφορετικές λογικές σχεδίασης και επιλογής προωστήριων εγκαταστάσεων, για τα πλοία αυτά, όπως το πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο, σε συνδυασμό με σύγχρονα μέσα πρόωσης που επιτρέπουν ενεργειακά αποδοτική λειτουργία, αλλά και εξαιρετική ικανότητα πηδαλιουχίας, αποτελούν ενδείξεις τεχνολογικής υπεροχής. Τέλος εναλλακτικοί τύποι πλοίων, όπως τα *catamaran* και τα *hydrofoils*, αποτελούν πλοία νέας τεχνολογίας με σχεδόν αποκλειστική χρήση ως επιβατηγά οχηματαγωγά πλοία, λόγω των υψηλότερων ταχυτήτων που μπορούν να επιτύχουν, αλλά και της καλύτερης συμπεριφοράς τους, στις διάφορες καταστάσεις θάλασσας.

3.1.2 Περιγραφή πλοίων RO-RO

Σε αυτή την παράγραφο δίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά της σχεδίασης των επιβατηγών οχηματαγωγών πλοίων.

Για να μπορέσουν τα πλοία RO-RO να εξυπηρετήσουν την κίνηση των οχημάτων στο εσωτερικό τους, διαθέτουν καταστρώματα που εκτείνονται σε όλο τους το μήκος, χωρίς να περιορίζονται από εγκάρσιες φρακτές. Διαθέτουν επιπρόσθετα, καταστρώματα ρυθμιζόμενου ύψους ή/ και αποσπώμενα, προκειμένου να μπορούν να εξυπηρετήσουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα οχήματα προς μεταφορά, είτε είναι φορτηγά είτε είναι επιβατηγά ιδιωτικής χρήσης.

Η φορτοεκφόρτωση αλλά και η κίνηση των αυτοκινήτων στο εσωτερικό των πλοίων, για την μετακίνηση τους από το ένα κατάστρωμα σε κάποιο ανώτερο ή κατώτερο γίνεται μέσω κεκλιμένων ραμπών (καταπέλτες). Οι εξωτερικοί καταπέλτες τοποθετούνται συνήθως στην πρύμνη, ενώ σε κάποιες σχεδιάσεις τοποθετούνται στις πλευρές. Προκειμένου να συγκρατούνται τα οχήματα, ακόμη και σε δυσμενείς καταστάσεις καιρού, χρησιμοποιούνται συστήματα με σχοινιά και συρματοσχοίνα προκειμένου να ασφαλιστεί το φορτίο. Μια ακόμη παράμετρος για τις σχεδιάσεις των RO-RO είναι η σχεδίαση ενός αποτελεσματικού συστήματος εξαερισμού του χώρου των οχημάτων, προκειμένου να απομακρύνονται τα καυσαέρια, οι συνθήκες στο χώρο να είναι βιώσιμες για τους επιβάτες και το πλήρωμα, αλλά και να περιοριστεί ο κίνδυνος πυρκαγιάς.

Επίσης τα περισσότερα πλοία αυτής της κατηγορίας διαθέτουν συστήματα αντιδιατοιχισμού (*anti-heeling*), τα οποία συνήθως είναι δύο δεξαμενές έρματος, τοποθετημένες στις δύο πλευρές του πλοίου απέναντι η μία από την άλλη. Ο σκοπός χρήσης τους είναι να περιορίζονται οι αναπτυσσόμενες γωνίες εγκάρσιας κλίσης, ενώ αν το σύστημα είναι ελεγχόμενο από αυτόματο σύστημα ελέγχου, μπορεί να περιορίσει και τις κινήσεις σε διατοιχισμό. Με αυτό τον τρόπο τα πλοία διασφαλίζουν μεγαλύτερη ασφάλεια, αλλά και πιο καλές συνθήκες για τους επιβαίνοντες. Μία ακόμη παράμετρος που σχετίζεται με την ασφάλεια είναι η τοποθέτηση του χώρου για τις σωληνώσεις του μηχανοστασίου (*engine casing*). Ο χώρος αυτός μπορεί να τοποθετηθεί είτε κεντρικά, δηλαδή κοντά στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας (*centerline*), οπότε, αν σε περίπτωση βλάβης δε θιγεί, λειτουργεί σαν ένας αντρωτικός όγκος, είτε στις δύο πλευρές του πλοίου, οπότε το διάμηκες όριο του χώρου αυτού μπορεί να λειτουργήσει ως προστασία και να μην εισχωρήσει η βλάβη στο χώρο των οχημάτων. Και οι δύο διατάξεις έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και για το λόγο αυτό υπάρχουν υποστηρικτές και προς στις δύο σχεδιάσεις.

Μέχρι πριν κάποια χρόνια στα Ε/Γ-Ο/Γ κλειστού τύπου επιτρεπόταν να τοποθετούνται καμπίνες, είτε για επιβάτες είτε για το πλήρωμα, κάτω από το κατάστρωμα των οχημάτων και μεταξύ εγκαρσίων στεγανών φρακτών. Οι νέοι κανονισμοί ασφάλειας ωστόσο, απαγόρευαν διατάξεις με χώρους ενδιαιτήσεων κάτω από το κατάστρωμα οχημάτων, περιορίζοντας έτσι τη μεταφορική ικανότητα των πλοίων αυτών. Σε αντιστάθμισμα ωστόσο και χάρη σε μια αυθαίρετη παραδοχή των κανονισμών για μέγιστη εγκάρσια εισχώρηση βλαβών μέχρι απόσταση Β/5 από την πλευρά, επέτρεψε στους ναυπηγούς να κατασκευάζουν διαμήκεις φρακτές σε αυτό το όριο και ο κεντρικό χώρο να διατίθεται για τη μεταφορά οχημάτων, με πλήρη εκμετάλλευση, αφού δε χρειάζονται εγκάρσιες φρακτές από το ύψος του διπύθμενου και ανωτέρω, και εντός του ορίου του 20% του μέγιστου πλάτους από κάθε πλευρά. Οι σύγχρονοι κανονισμοί ευστάθειας κατόπιν βλάβης κατήγγησαν την παραδοχή της εισχώρησης με όριο το Β/5, επιτρέποντας εισχώρηση μέχρι το Β/2. Η αλλαγή αυτή ωστόσο δε θέτει περιορισμούς ως προς τις διαστάσεις ρηγμάτων, αλλά θέτει απαιτήσεις ελάχιστης πιθανότητας επιβίωσης, που πρέπει να ικανοποιούνται ανεξάρτητα από τη διάταξη των χώρων.

Μια κύρια απαίτηση για τα επιβατηγά οχηματογωγά πλοία είναι η υψηλή ταχύτητα. Οι ταχύτητες που επιτυγχάνονται σήμερα είναι 27-31 κόμβους, για συμβατικά πλοία, αν και λόγω της οικονομικής κρίσης και του *slow steaming*, οι ταχύτητες είναι μειωμένες. Για μη συμβατικές σχεδιάσεις, δηλαδή πλοία νέας τεχνολογίας, οι ταχύτητες μπορεί να φτάσουν 35-40 κόμβους. Η υψηλή ταχύτητα, σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις της SOLAS για τουλάχιστον δύο ξεχωριστές προωστήριες εγκαταστάσεις, προκειμένου να εξασφαλίζεται η *Ασφαλής Επιστροφή στο Λιμάνι (Safe Return to Port)*, οδήγησαν τα πλοία αυτά να έχουν τουλάχιστον δύο κύριες μηχανές πρόωσης. Ταυτόχρονα ο καθ' ύψος περιορισμός στο χώρο μηχανοστασίου, προκειμένου να μεγιστοποιείται ο χώρος οχημάτων αλλά και να είναι δυνατή η τοποθέτηση ενός ακόμη καταστρώματος, οδήγησε στην επιλογή τετράχρονων κινητήρων diesel, ενός ή δύο ζευγών για την πρόωση. Επίσης το μεγάλο ηλεκτρικό φορτίο που απαιτείται για την κάλυψη των ξενοδοχειακών αναγκών, ικανοποιείται με ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη, αλλά και μπαταρίες σε περίπτωση ανάγκης. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια τάση προς τον πλήρη εξηλεκτρισμό του πλοίου, δηλαδή η πρόωση να γίνεται μέσω ηλεκτροκινητήρων, ενώ ταυτόχρονα και η χρήση του LNG σε υπάρχουσες διατάξεις

είναι αρκετά αξιόπιστη λύση και ίσως πιο ευέλικτη για τη σύγχρονη μεταβατική φάση από το πετρέλαιο σε καθαρότερα καύσιμα.

Σχετικά με τα μέσα πρόωσης, χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο, έλικες μεταβλητού βήματος, ώστε να υπάρχει έλεγχος στην ταχύτητα του πλοίου. Επειδή, οι έλικες είναι συνήθως δύο, για τους λόγους αξιοπιστίας που απαιτούν οι κανονισμοί, συνήθως τοποθετείται παρατρόπιδα (*skeg*) η οποία απομονώνει τη ροή προς τις έλικες, φορτίζει παραπάνω τις έλικες και οδηγεί σε καλύτερο βαθμό απόδοσης. Γίνεται επίσης χρήση σύγχρονων συστημάτων πρόωσης, όπως τα *azi-roads*, τα οποία είναι ποντόνια που έχουν ενσωματωμένο έναν ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος περιστρέφει μια έλικα για την πρόωση, ενώ το ίδιο το κέλυφος του ποντονιού λειτουργεί ως πηδάλιο και έχει δυνατότητα περιστροφής.

Τα Ε/Γ-Ο/Γ είναι πλοία κυβισμού, δηλαδή πλοία τα οποία δεν αναμένεται να φτάσουν το μέγιστο βύθισμα που προβλέπεται από τη *Διεθνή Συνθήκη για τη Γραμμή Φόρτωσης (International Load Line Convention)*, λόγω του φορτίου, που είναι πολύ ελαφρύ και συνεπώς χαρακτηρίζονται από μικρό λόγο DWT προς το εκτόπισμα ($DWT/\Delta \approx 0.3$). Το γεγονός αυτό επιτρέπει πιο λεπτόγραμμες σχεδιάσεις με στόχο την επίτευξη υψηλών ταχυτήτων. Η απαίτηση για μεγάλο μήκος διαδρόμων (*lane meters*) και ικανοποιητικούς χώρους ενδιαίτησης, σχεδιαστικά μεταφράζεται σε εκτενείς υπερκατασκευές, οι οποίες τοποθετούνται σε μεγάλο ύψος. Προκειμένου, λοιπόν, να παρέχεται η απαιτούμενη ευστάθεια, τα πλοία αυτού του τύπου έχουν μεγάλο πλάτος.

Τα βασικά προτερήματα των RO-RO για το ναυλωτή είναι πολλά και κυρίως η μεγάλη ταχύτητα. Τα αυτοκίνητα και τα φορτηγά φορτώνονται και ξεφορτώνονται από τις ράμπες με μεγάλη ταχύτητα, μειώνοντας σημαντικά το χρόνο παραμονής του πλοίου στο λιμάνι. Τα RO-RO πλοία επιπλέον συνδυάζονται στις αλυσίδες μεταφορών, αποτελώντας κρίκους ευρύτερων αλυσίδων logistics και καθίστανται ιδιαίτερα ενδιαφέροντα μέσα για τους ναυλωτές. Τα RO-RO πλοία, έδωσαν τη δυνατότητα ανάπτυξης του τουρισμού για χώρες, νησιά και δυσπρόσιτες περιοχές, καθώς τα αυτοκίνητα δεν χρειάζονται φορτοεκφορτωτικά μέσα, ούτε του πλοίου ούτε του λιμένα για να εξυπηρετηθούν. Έτσι αποτέλεσαν λύση για ταξιδιωτικά γραφεία και κατόχους Ι.Χ. αυτοκινήτων προκειμένου να μεταφέρουν το όχημα τους στον τόπο προορισμού τους.

Η επένδυση για την κατασκευή ενός RO-RO πλοίου είναι εξαιρετικά υψηλή και ως εκ τούτου η απόσβεση της γίνεται αργότερα, συγκριτικά με την αγορά άλλου φορτηγού πλοίου. Συνήθως ένα πλοίο RO-RO σχεδιάζεται για οικονομική εκμετάλλευση 30 ετών, ενώ για τα άλλα φορτηγά το όριο είναι 25 έτη.

3.1.3 Ζητήματα ασφάλειας σε Ε/Γ-Ο/Γ πλοία

Σε αυτή την παράγραφο υποδεικνύονται τα βασικά ζητήματα που αφορούν στην ασφάλεια των πλοίων RO-RO. Αν και τα πλοία RO-RO είναι, εμπορικά, πολύ επιτυχημένα πλοία, ζητήματα ασφάλειας εγέρθηκαν από την αρχή της εμφάνισής τους. Όλη η θεώρηση της σχεδίασης διαφέρει από τα συμβατικά πλοία, λόγω ιδιαίτερων στοιχείων που καθιστούν τα RO-RO ιδιαίτερα πλοία. Τα προβλήματα που εμφανίζονται αφορούν, πρώτιστα, τόσο την άθικτη ευστάθεια όσο και την ευστάθεια κατόπιν βλάβης. Αλλά υπάρχουν και ζητήματα που αφορούν στην πυρασφάλεια των πλοίων αυτών, όπως και στα σωστικά μέσα και γενικώς τις διαδικασίες εκκένωσης του πλοίου. Οι βασικές προβληματικές περιοχές στα RO-RO παρατίθενται παρακάτω:

1) Έλλειψη Εσωτερικών Φρακτών

Στα συμβατικά φορτηγά πλοία η γάστρα είναι διαιρεμένη σε έναν αριθμό ξεχωριστών χώρων φορτίου, μέσω εγκαρσίων φρακτών, πολλές εκ των οποίων είναι και υδατοστεγείς. Σε περίπτωση διάτρησης της γάστρας, από κάποια βλάβη, οι φρακτές θα περιορίσουν ή θα καθυστερήσουν την εισροή υδάτων, οδηγώντας έτσι το πλοίο σε αργή βύθιση (*slow sinking*), δίνοντας περισσότερο χρόνο για εγκατάλειψη του πλοίου, ή αποτρέποντας και τελείως τη βύθιση.

Η τοποθέτηση εγκαρσίων φρακτών στο χώρο των οχημάτων είναι μη εφαρμόσιμη λύση, καθώς καταργεί το βασικό πλεονέκτημα των RO-RO που είναι η ανεμπόδιστη κυκλοφορία των οχημάτων στο εσωτερικό του πλοίου. Συνεπώς η υποδιαίρεση του πλοίου γίνεται με εγκάρσιες στεγανές φρακτές, όπως οι φρακτές του μηχανοστασίου, οι οποίες όμως περιορίζονται καθ' ύψος από το κατάστρωμα των οχημάτων, το οποίο συνήθως είναι και το κύριο κατάστρωμα, δηλαδή το κατάστρωμα εξάλων. Παρά την υποδιαίρεση ωστόσο, προβλήματα προκύπτουν για την ευστάθεια, καθώς ο χώρος των οχημάτων είναι ένας εκτενής χώρος, που σε περίπτωση κατάκλυσης οδηγεί στην ανάπτυξη σημαντικής ροπής, λόγω των σχηματιζόμενων ελευθέρων επιφανειών. Αντίστοιχα προβλήματα προκύπτουν και για την πυρκαγιά η οποία είναι αδύνατο να περιοριστεί χωρίς πυροσβεστικά μέσα και διαδίδεται πολύ γρήγορα.

2) Θύρες Πρόσβασης

Οι ράμπες εισόδου στην πρύμνη, στην πλώρη αλλά και στις πλευρές είναι αδύνατα σημεία της κατασκευής, καθώς παραμορφώνονται και στρεβλώνονται, με αποτέλεσμα να μη διατηρούν τη στεγανότητα του χώρου των οχημάτων και η διαρροή να οδηγεί σε συσσώρευση νερού στο κατάστρωμα οχημάτων με δυσμενείς συνέπειες στην ευστάθεια.

3) Ευστάθεια

Η κίνηση του φορτίου στο κατάστρωμα οχημάτων μπορεί να επηρεάσει την άθικτη ευστάθεια του πλοίου, με συνέπεια την ανάπτυξη εγκάρσιας κλίσης. Η απότομη εισροή υδάτων, ύστερα από κάποια βλάβη στην γάστρα ή σε υδατοστεγή θύρα μπορεί να έχει πολύ σημαντικότερη επίδραση και πιο απότομα. Οι εκτεταμένες υπερκατασκευές ανεβάζουν σημαντικά το κέντρο βάρους του πλοίου, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η προβεβλημένη επιφάνεια του πλοίου καθιστώντας το πιο επιρρεπές στην επίδραση του ανέμου. Η αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών γίνεται αφενός με τη χρήση ελαφρύτερων υλικών τουλάχιστον για τις υπερκατασκευές, αλλά κυρίως με την αύξηση του πλάτους.

4) Ύψος Εξάλων

Ο κανονισμός της γραμμής φόρτωσης για πλοία τύπου Β, όπως τα ROPAX, με μεγάλης έκτασης υπερκατασκευές, επιτρέπει χαμηλό ύψος εξάλων. Για αμιγώς RO-RO πλοία, αυτό συνεπάγεται ότι οι ράμπες επιβίβασης είναι αρκετά κοντά στην ίσαλο. Αυτό σημαίνει ότι μια δυσμενής διαγωγή ή μια απότομη ανάπτυξη εγκάρσιας κλίσης, η οποία θα μπορούσε να προκληθεί, επί παραδείγματι λόγω μετατόπισης φορτίου, μπορεί να φέρει το κατώτερο σημείο της θύρας/ράμπας κάτω από την ίσαλο, οδηγώντας σε μια απότομη εισροή υδάτων, αν η θύρα είναι ανοιχτή, γεγονός που θα προκαλέσει περαιτέρω αύξηση της γωνίας κλίσης και πιθανή ανατροπή (*capsize*) του πλοίου.



5) Στοιβασία και Ασφάλιση Φορτίου

Αν το φορτίο δεν είναι σωστά στοιβαγμένο και ασφαλισμένο η εγκάρσια κλίση μπορεί να οδηγήσει σε απασφάλιση του φορτίου. Το πρόβλημα εντείνεται καθώς το πλήρωμα δεν είναι σε θέση να γνωρίζει τη στοιβασία του φορτίου εντός των *container* και των *trailer*. Αν ένα βαρύ φορτίο απελευθερωθεί, μπορεί να παρασύρει κι επόμενα με αποτέλεσμα περαιτέρω αύξηση της γωνίας εγκάρσιας κλίσης, τη διαρροή επικίνδυνων ουσιών και σε ακραίες περιπτώσεις ρήγματα στη γάστρα και τη μεταλλική κατασκευή του πλοίου.

6) Σωστικά Μέσα

Το μεγάλο ύψος στην πλευρά των σύγχρονων RO-RO και ROPAX αποτελεί πρόβλημα για την απελευθέρωση των σωστικών μέσων. Όσο πιο ψηλά βρίσκονται οι σωστικές λέμβοι τόσο πιο δύσκολα απελευθερώνονται, κυρίως όταν αναπτύσσονται μεγάλες γωνίες εγκάρσιας κλίσης.

7) Πλήρωμα

Όλα τα παραπάνω αποδεικνύουν το πόσο εξελιγμένα και περίπλοκα είναι τα πλοία RO-RO, οπότε είναι απαραίτητος ο προσεκτικός χειρισμός τους, γιατί είναι εξαιρετικά επιρρεπή στο ανθρώπινο λάθος. Συνεπώς το πλήρωμα πρέπει να είναι κατάλληλα εκπαιδευμένο, όχι μόνο για τη λειτουργία του πλοίου, αλλά και τη διαχείριση των επιβατών σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Όλα τα παραπάνω καταδεικνύουν τους λόγους για τους οποίους τα RO-RO πλοία δέχονται κριτική για το επίπεδο της ασφάλειάς τους. Τα ατυχήματα που έχουν συμβεί στο παρελθόν και τα οποία αποτέλεσαν κινητήριο μοχλό για την αλλαγή των κανονισμών προς την πλευρά της ασφάλειας, είχαν μεγάλο αντίκτυπο στην κοινωνία. Αυτό συνέβη γιατί τα ατυχήματα των ROPAX περιλαμβάνουν περισσότερα ανθρώπινα θύματα, από τα τυπικά φορτηγά πλοία και επειδή οι κοινωνίες επιδεικνύουν συμπεριφορά ενάντια στην καταστροφή (*Catastrophe Aversion*). Αυτό σημαίνει ότι ένα ατύχημα με πολλά θύματα έχει πολύ δραστικότερη επίδραση στις κοινωνίες, συγκριτικά με πολλά ατυχήματα με λιγότερα θύματα.

Η αντίδραση λοιπόν των κοινωνιών οδήγησε στην αλλαγή των κανονισμών και στην ανάληψη πρωτοβουλιών από τις κυβερνήσεις και τους άλλους αρμόδιους φορείς με στόχο την αλλαγή της ισχύουσας νομοθεσίας, ώστε να ενισχυθεί η ασφάλεια.

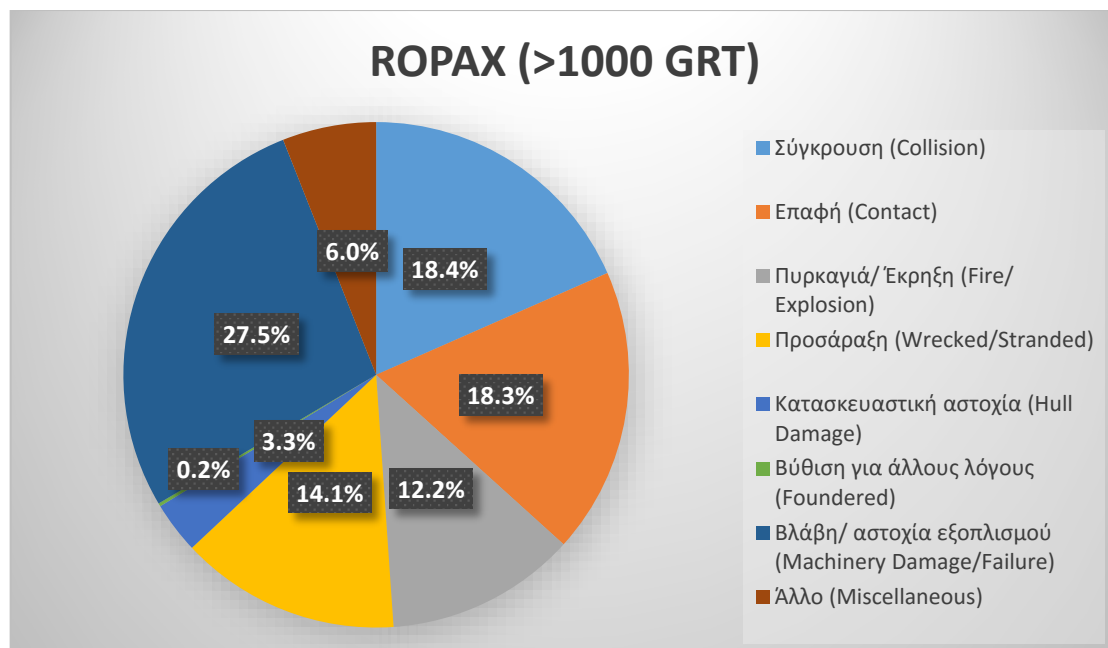
Παρακάτω δίνεται μια σχετική λίστα σημαντικών ατυχημάτων πλοίων ROPAX που επηρέασαν το κανονιστικό πλαίσιο για την ευστάθεια κατόπιν βλάβης.

Λίστα Ατυχημάτων σε Πλοία RO-RO και ROPAX						
Όνομα Πλοίου	Τοποθεσία- Έτος	Απώλειες	Τύπος Ατυχήματος	Κύριο Αίτιο Ατυχήματος	Αλλαγή Νομοθεσίας	Βασική Επίδραση
<i>Princess Victoria</i>	Η.Β.-1953	133	Βύθιση	Καταστροφή πρυμναίας θύρας σε κακοκαιρία	International Regulations for Preventing Collisions at Sea 1972	Έλεγχος Κυκλοφορίας Πλοίων σε περιορισμένα και
<i>Skagerak</i>	Δανία- 1966	1	Ανατροπή	Κακοκαιρία, καταστροφή πλάγιων θυρών		
<i>Heraklion</i>	Ελλάδα- 1966	200	Ανατροπή	Καταστροφή πλάγιας θύρας λόγω μετακίνησης φορτίου	Εθνική νομοθεσία απαγορευτικού απόπλου	
<i>Wahine</i>	Νέα Ζηλανδία- 1968	53	Ανατροπή	Σύγκρουση σε ύφαλο σε κακοκαιρία	SOLAS 1974	
<i>European Gateway</i>	Η.Β.-1982	6	Ανατροπή	Σύγκρουση, κατάκλυση και ανοιχτές υδατοστεγείς θύρες	Αλλαγές στη SOLAS 1974, πρώτες σκέψεις για WOD και για τον ISM Code	Απαιτήσεις για τη λειτουργία των υδατοστεγών θυρών
<i>Herald of Free Enterprise</i>	Βέλγιο-1987	193	Ανατροπή	Ανοιχτή πρωραία θύρα λόγω αμέλειας πληρώματος	IMO A647, 1989 αλλαγές στη SOLAS: SOLAS 90, ISM Code & Μεθοδολογία FSA	Ενισχυμένα κριτήρια ευστάθειας κατόπιν βλάβης
<i>Scandinavian Star</i>	Δανία-1988	158	Πυρκαγιά	Πιθανώς εμπρησμός	ISM Code & STCW Amend. 1995	Πρότυπα Πυρασφάλειας Πυροπροστασία Νέων Ε/Γ πλοίων
<i>Jan Heweliusz</i>	Γερμανία- 1993	55	Ανατροπή	Κακή κατάσταση πλοίου σε ισχυρό άνεμο		
<i>Estonia</i>	Βαλτική- 1994	852	Ανατροπή	Καταστροφή πρωραίας θύρας λόγω κακοκαιρίας	ISM Code- Αλλαγές στη SOLAS: SOLAS 95- Stockholm Agreement	Ενισχυμένα κριτήρια ευστάθειας κατόπιν βλάβης- Εισαγωγή έννοιας επιβιωσιμότητας
<i>Express Samina</i>	Ελλάδα- 2000	82	Ανατροπή	Σύγκρουση σε βραχονησίδα	2003/25/EC	Επέκταση Stockholm Agreement για όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ

Λίστα Ατυχημάτων σε Πλοία RO-RO και ROPAX						
Όνομα Πλοίου	Τοποθεσία- Έτος	Απώλειες	Τύπος Ατυχήματος	Κύριο Αίτιο Ατυχήματος	Αλλαγή Νομοθεσίας	Βασική Επίδραση
<i>al-Salam Boccacio 98</i>	Ερυθρά Θάλασσα-2006	1000	Πυρκαγιά & Ανατροπή	Πυρκαγιά & νερά πυρόσβεσης		
<i>Queen of the North</i>	Καναδάς-2006	2	Προσάραξη	Αμέλεια Πληρώματος		
<i>Cougar Ace</i>	Ειρηνικός-2006	1	Μετακίνηση Φορτίου	Εναλλαγή έρματος εν πλω		
<i>Baltic Ace</i>	Βόρειος Θάλασσα-2012	11	Βύθιση	Σύγκρουση		
<i>Sewol</i>	Κορέα-2014	304	Ανατροπή	Προβληματική ευστάθεια από μετασκευή & απότομη στροφή & υπερφόρτωση		
<i>Norman Atlantic</i>	Αδριατική-2014	28	Πυρκαγιά	Άγνωστο		

Πίνακας 3.1-1: Λίστα Ατυχημάτων RO-RO και RO-PAX

Σύμφωνα με την μελέτη αποτίμησης του ρίσκου (*Formal Safety Assessment-FSA*) του ιταλικού νηογνώμονα RINA και τα στοιχεία της βάσης δεδομένων Fairplay® του Lloyd's Register, για την περίοδο 1994-2004 η κατανομή των ατυχημάτων ανά τύπο κινδύνου για το στόλο των ROPAX άνω των 1000 GRT, ήταν όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Διάγραμμα 3.1-1: Κατανομή ρίσκου ανά τύπο κινδύνου ως ποσοστό επί του συνόλου των ατυχημάτων (ROPAX)

Κλείνοντας τη συνοπτική αυτή παρουσίαση για τα πλοία RO-RO και τα ROPAX, επισημαίνεται η σπουδαιότητα της ασφάλειας τους, καθώς τα πλοία αυτά είναι ιδιαίτερα επιρρεπή σε απώλεια ευστάθειας, κυρίως λόγω των ελευθέρων επιφανειών που εμφανίζονται στους συνεχείς χώρους των καταστρωμάτων τους, σε περίπτωση κατάκλυσης. Τα δε πλοία ROPAX λόγω του φορτίου που μεταφέρουν, που είναι ένας μεγάλος αριθμός επιβατών, αποτελούν πλοία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος ως προς την ασφάλεια, διότι η διακινδύνευση είναι σημαντική αν κανείς αναλογιστεί το πλήθος των θυμάτων σε περίπτωση βύθισης. Για αυτό το λόγο υπήρξαν αλλαγές στο νομοθετικό πλαίσιο, ώστε να μπορέσει να ενισχυθεί η ασφάλεια των πλοίων αυτών.

3.2 Επιβατηγά (Ε/Γ) Πλοία

Ως επιβατηγά πλοία ορίζονται, σύμφωνα με τους κανονισμούς, τα πλοία με πιστοποιημένη ικανότητα μεταφοράς για παραπάνω από δώδεκα επιβάτες. Στην παραπάνω παράγραφο, αναλύθηκαν τα επιβατηγά οχηματαγωγά (Ε/Γ-Ο/Γ) πλοία, ενώ σε αυτήν δίνονται κάποιες πληροφορίες για τα αμιγώς επιβατηγά πλοία (*Pure Passenger Ferries*) αλλά και τα κρουαζιερόπλοια.

Αν και τα *pure passenger ferries*, δηλαδή τα αμιγώς επιβατηγά πλοία, έχουν αντικατασταθεί πλέον κατά το μεγαλύτερο ποσοστό από τα ROPAX, τα κρουαζιερόπλοια εξακολουθούν να αποτελούν την αιχμή του δόρατος σε ό,τι αφορά τις τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα της ναυτιλίας. Ωστόσο, για μικρά ακτοπλοϊκά ταξίδια εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται όταν δεν υπάρχουν ανάγκες για μεταφορές οχημάτων. Οι ανάγκες για μετακίνηση επιβατών είναι το ανταγωνιστικό πεδίο των συμβατικών αμιγώς επιβατηγών πλοίων (*pure passenger ferries*), των επιβατηγών οχηματαγωγών συμβατικών πλοίων (ROPAX) αλλά και των αντίστοιχων, μη συμβατικών πλοίων. Ωστόσο, πλοία αμιγώς επιβατηγά *ferries* υπάρχουν ακόμη σε χώρες, που αποτελούνται από μεγάλα νησιωτικά συμπλέγματα, όπως οι Φιλιππίνες και η Ινδονησία. Τα κρουαζιερόπλοια δε χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των επιβατών, συνεπώς είναι εκτός ανταγωνισμού, καθώς το αντικείμενο εργασίας τους είναι η περιήγηση, η ψυχαγωγία, η διασκέδαση και η παροχή υπηρεσιών στους επιβάτες κάνοντας κάποιο κυκλικό ταξίδι.

Η βιομηχανία της κρουαζιέρας είναι ακόμη και σήμερα ιδιαίτερα προσοδοφόρα, ενώ ταυτόχρονα τα πλοία που κατασκευάζονται για την κάλυψη των αναγκών της, πέραν της τεχνολογικής αιχμής την οποία πρέπει να διαθέτουν, για να ικανοποιούν το επιβατικό κοινό, ταυτόχρονα πρέπει να έχουν αισθητικά ελκυστική όψη, ώστε να τραβούν το ενδιαφέρον των επιβατών.

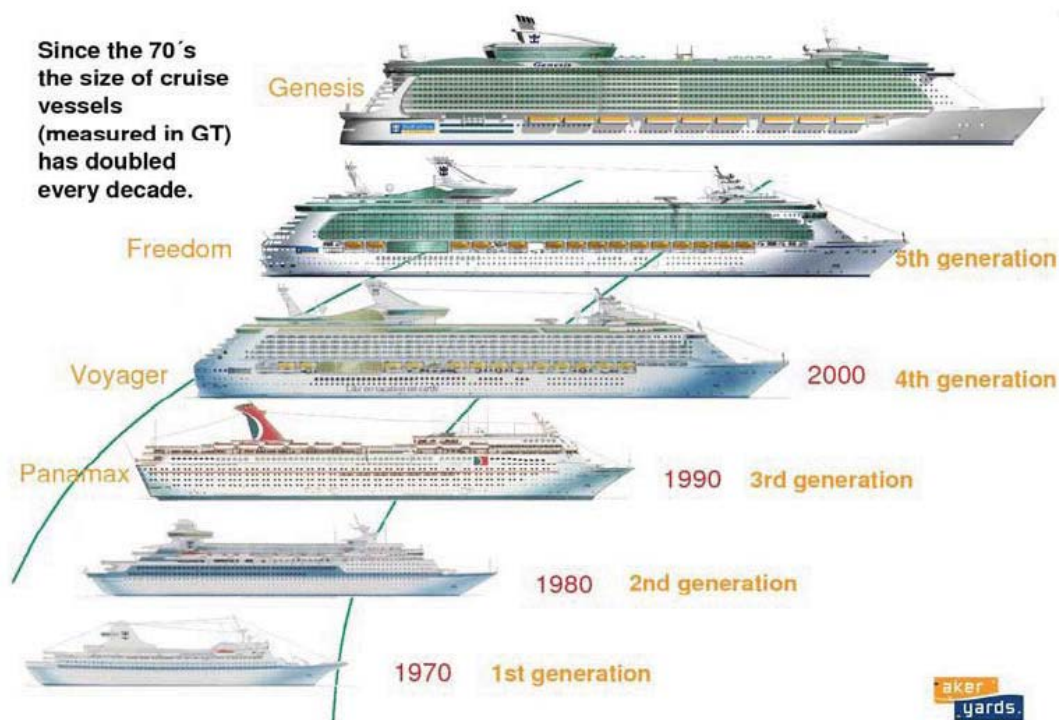
3.2.1 Ιστορική εξέλιξη επιβατηγών (Ε/Γ) πλοίων

Τα πρώτα επιβατηγά πλοία κατασκευάστηκαν στα μέσα του 19^{ου} αιώνα. Το βασικό αντικείμενο εργασιών τους ήταν η μεταφορά των επιβατών και δευτερευόντως φορτίου το οποίο μπορούσε να τοποθετηθεί σε χώρους αποθηκών και σε κάποια κύπη. Τα πρώτα μεγάλα υπερωκεάνεια έμοιαζαν περισσότερο με τα σύγχρονα κρουαζιερόπλοια, με τη διαφορά ωστόσο ότι πέραν της απαιτούμενης πολυτέλειας, απαιτούνταν και υψηλή ταχύτητα για την εκτέλεση του δρομολογίου. Μετά τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, ξεκίνησε ο διαχωρισμός των δύο τύπων πλοίων, σε αμιγώς επιβατηγά *ferry* (PAX) και σε κρουαζιερόπλοια, όπου ο πρώτος τύπος χρησιμοποιούνταν ως μεταφορικό μέσο, άρα έπρεπε να έχει υψηλή ταχύτητα, ενώ στο δεύτερο τύπο ενισχύθηκε σημαντικά η ποιότητα της ενδιαίτησης και γενικώς η πολυτέλεια.

Τα πρώτα υπερωκεάνεια αποτελούσαν, πέρα από κάθε αμφιβολία, μνημειώδη τεχνολογικά επιτεύγματα και σίγουρα ενσωμάτωναν την τεχνολογική αιχμή της εποχής. Το πρώτο ατμόπλοιο που κατασκευάστηκε ως επιβατηγό ήταν το *Royal Williams*, με μήκος μόλις 50m, που κατασκευάστηκε το 1831 στον Καναδά. Το 1843 κατασκευάστηκε το *Μεγάλη Βρετανία*, το πρώτο χαλύβδινο υπερωκεάνιο, αποτελούσε ένα από τα πρώτα πλοία που χρησιμοποιούσε έλικα για την πρόωση του και μάλιστα τη μεγαλύτερη που είχε κατασκευαστεί ποτέ ως τότε, με διάμετρο 4.5 μέτρα. Μετά τα μέσα του 19^{ου} αιώνα τα πλοία αυτά άρχισαν να μεγαλώνουν σε μέγεθος, με το *Μεγάλο Ανατολικό* να έχει μήκος 211m, το 1858. Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα το αδελφά πλοία *Μαυριτανία* και *Λουζιτανία*, που καθελκύστηκαν το 1906, αποτελούν εντυπωσιακά τεχνολογικά επιτεύγματα, σχεδόν αντίστοιχα με τα σημερινά, καθώς είχαν μήκος περί τα 240m, ταχύτητα 25 κόμβων και μεταφορική ικανότητα 2.335 επιβατών και 812 μελών πληρώματος. Η εγκατεστημένη ισχύς έφτανε τα 57MW ή 76.000 HP, παρεχόταν από 4 ατμοστρόβιλους σε 4 τρίπτερες έλικες. Τα πλοία αυτά ήταν σε θέση να διασχίζουν τον Ατλαντικό σε λιγότερο από πέντε ημέρες. Το 1911 καθελκύστηκε ο *Τιτανικός*, το δεύτερο στη σειρά από τρία πλοία, το πρώτο ήταν το *Olympic* και το τρίτο το *Britannic*. Ο *Τιτανικός* ήταν το μεγαλύτερο πλοίο της εποχής του, με μήκος 269m και μεταφορική ικανότητα 2.435 επιβατών και 892 μελών πληρώματος, ωστόσο συνδέθηκε με τη μεγαλύτερη ναυτική τραγωδία, καθώς βυθίστηκε στο παρθενικό του ταξίδι παρασύροντας στο θάνατο περισσότερους από 1.500 επιβαίνοντες.

Η τάση για κατασκευή όλο και μεγαλύτερων υπερωκεάνιων πλοίων συνεχίστηκε για αρκετές δεκαετίες. Το 1935 τέθηκε σε υπηρεσία το *Normandie* το πρώτο υπερωκεάνειο που έσπασε το όριο των 300m σε μήκος, με μεταφορική ικανότητα 1.972 επιβάτες και 1.345 μέλη πληρώματος. Το 1940 τέθηκε σε υπηρεσία το *Queen Elizabeth*, το μεγαλύτερο από άποψη χωρητικότητας επιβατηγό πλοίο και μάλιστα διατηρώντας την πρωτιά ως το 1996. Το 1962 κατασκευάστηκε το *Γαλλία* με μήκος 310.5m και μεταφορική ικανότητα 2.044 επιβάτες και 1.112 μέλη πληρώματος. Η συνολική του εγκατεστημένη ισχύς 175.000HP παρεχόταν από τέσσερις ατμοστρόβιλους, επιτρέποντας στο πλοίο να αναπτύξει ταχύτητα 33 κόμβων και να διανύσει τον Ατλαντικό σε λιγότερο από 5 ημέρες. Μετά το 1970 τα αμιγώς επιβατηγά ferries, για τη μεταφορά επιβατών, αντικαταστάθηκαν ουσιαστικά από τις αερομεταφορές.

Στα τέλη της δεκαετίας του '90 ξεπεράστηκε το όριο των 100.000 ακαθάριστων τόνων (*Gross Tonnage-GT*), για τα επιβατηγά πλοία, με την εισαγωγή του *Carnival Destiny*, το 1996. Ραγδαία ήταν η ανάπτυξη και κυρίως η αύξηση του μεγέθους των πλοίων, όπου η χωρητικότητα τους διπλασιάστηκε μέσα σε μία εικοσαετία. Σήμερα το *Oasis of the Seas* και το αδελφό του πλοίο *Allure of the Seas* είναι τα μεγαλύτερα πλοία σε χωρητικότητα (225.282 GT). Στα μεγαλύτερα κρουαζιερόπλοια εντάσσονται επίσης τα αδελφά πλοία *Quantum of the Seas* και *Anthem of the Seas*, το *Norwegian Epic*, το *Freedom of the Seas* με τα δύο αδελφά του *Liberty* και *Independence*, το *Queen Mary 2* και το *Norwegian Breakaway*. Αυτό πάντως που διαφαίνεται, είναι ότι από το 1970 τα κρουαζιερόπλοια διπλασιάζουν τη χωρητικότητα τους σχεδόν κάθε δεκαετία, γεγονός που δείχνει την ιδιαίτερη ανάπτυξη που παρουσιάζει ο κλάδος της κρουαζιέρας.



Εικόνα 3.2-1: Εξέλιξη Μεγέθους Κρουαζιερόπλοιων (Πηγή: (1))

3.2.2 Περιγραφή επιβατηγών (Ε/Γ) πλοίων

Τα επιβατηγά πλοία, είτε ως ferries, που έχουν αντικατασταθεί από τα ROPAX, είτε ως κρουαζιερόπλοια, είναι πλοία στα οποία πέραν των άλλων η εξωτερική εμφάνιση και η εσωτερική διαρρύθμιση είναι κρίσιμης σημασίας για την ανταγωνιστικότητά τους.

Η γενική διάταξη ενός αμιγώς επιβατηγού πλοίου μεταφοράς επιβατών, δε διαφέρει σημαντικά από την αντίστοιχη διάταξη ενός ROPAX, με εξαίρεση ότι δεν υπάρχει ο χώρος οχημάτων και όλα τα καταστρώματα διατίθενται ως ενδιαίτηση για τους επιβάτες. Ωστόσο ο συγκεκριμένος τύπος πλοίου εκλείπει γενικώς, καθώς αντικαταστάθηκε από τα ROPAX που στην πλειονότητα των περιπτώσεων είναι οικονομικά πιο αποδοτικά, καθώς μεταφέρουν και φορτίο και οχήματα, με υψηλότερο ναύλο.

Τα κρουαζιερόπλοια ωστόσο αποτελούν πολύ ιδιαίτερα πλοία, υπό την έννοια ότι καλούνται να εξυπηρετήσουν και να παρέχουν με το βέλτιστο δυνατό τρόπο υπηρεσίες ξενοδοχειακού τύπου προς τους επιβαίνοντες, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να διασφαλίζουν και τη μέγιστη δυνατή ασφάλεια. Όπως προαναφέρθηκε, η χωρητικότητα των πλοίων σε όρους GT διπλασιαζόταν ανά δεκαετία. Η αύξηση των επιβατών, αν και δεν ήταν τόσο ραγδαία, ήταν επίσης σημαντική φτάνοντας σήμερα τα μεγαλύτερα κρουαζιερόπλοια να έχουν μεταφορική ικανότητα 5.400 επιβάτες και 2.934 μέλη πληρώματος, άρα συνολικά φτάνοντας περίπου 8.500 επιβαίνοντες. Η ικανοποίηση των απαιτήσεων του επιβατικού κοινού, συνεπάγεται παροχές, πολλές φορές στο όριο της υπερβολής, οι οποίες δεν υπάρχουν σε άλλα πλοία. Έτσι τα σύγχρονα κρουαζιερόπλοια διαθέτουν πισίνες μεγάλων διαστάσεων, κινηματογράφους, ακόμη και κήπους, ενώ υπάρχει η τάση για διαφοροποίηση των διαμερισμάτων σε όμοιες «γειτονιές» προκειμένου οι επιβάτες να απολαμβάνουν το ταξίδι.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η επάρκεια χώρων για να εμπερικλείουν όλα τα παραπάνω και να υπάρχει και η σχετική άνεση για τους επιβάτες, τα πλοία αυτά διαθέτουν πολλά καταστρώματα, αυξάνουν το ύψος της υπερκατασκευής τους, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται και το πλάτος τους, πρώτον για να αυξήσουν την επιφάνεια των καταστρωμάτων και δεύτερον για να εξασφαλιστεί επαρκής ευστάθεια, για την ασφάλεια του πλοίου.

Σχετικά με την υποδιαίρεση του πλοίου, το σύστημα είναι εγκάρσιο, δηλαδή ο διαχωρισμός των χώρων γίνεται μέσω εγκάρσιων στεγανών φρακτών, μερικές εκ των οποίων επεκτείνονται καθ' ύψος και άνωθεν του καταστρώματος στεγανών φρακτών. Οι φρακτές αυτές χρησιμοποιούνται για να διαιρέσουν την υπερκατασκευή σε ζώνες πυροπροστασίας, οι οποίες δεν μπορούν να υπερβαίνουν τα 40 μέτρα, εκτός κάποιων εξαιρέσεων που η ζώνη πυροπροστασίας μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 48 μέτρα. Επίσης τα κρουαζιερόπλοια έχουν πυκνότερη διαμέριση, στην προσπάθεια της ενίσχυσης της ασφάλειας, αυξάνοντας το βάρος της μεταλλικής κατασκευής. Στα αμιγώς επιβατηγά πλοία, κυρίως στα κρουαζιερόπλοια, όπου οι ανάγκες για φιλοξενία των επιβατών είναι αυξημένες, επιτρέπεται η τοποθέτηση των δωματίων ακόμη και κάτω από το κατάστρωμα στεγανών φρακτών. Η πρόσβαση όμως από χώρους μεταξύ διαδοχικών ζωνών, κάτω από το κατάστρωμα στεγανών φρακτών επιτρέπεται μόνο κατακόρυφα, μέσω κλίμακας. Αυτή η διάταξη θεωρείται ασφαλέστερη γιατί σε περίπτωση ρήγματος το νερό περιορίζεται εντός μόνο μιας ζώνης και κάτω από το κατάστρωμα στεγανών φρακτών. Από την άλλη πλευρά αποτελεί και κίνδυνο καθώς μετά από κάποιο ρήγμα το νερό μπορεί να κατακλύσει χώρους ψηλότερα, δηλαδή να ακολουθήσει κατακόρυφη διαδικασία κατάκλυσης (*up-flooding*) και να φτάσει στα καταστρώματα ενδιαίτησης όπου η διαμέριση δεν είναι τόσο πυκνή, αν το υδατοστεγές άνοιγμα στις κλίμακες παραμείνει ανοιχτό. Κάτι τέτοιο δεν ισχύει για ένα ROPAX, καθώς ο χώρος των οχημάτων είναι απομονωμένος από τους χώρους κάτωθεν του καταστρώματος, με την πρόσβαση σε αυτούς τους χώρους να γίνεται απευθείας από το πρώτο κατάστρωμα των υπερκατασκευών. Σε κάθε περίπτωση πάντως, η διάταξη των χώρων σε αμιγώς επιβατηγά πλοία σχεδιάζεται με στόχο την υψηλής ποιότητας φιλοξενία των επιβατών, τη λειτουργικότητα των χώρων, την άνεση, αλλά πρώτιστα την ασφάλεια.

Η κάλυψη των ξενοδοχειακών φορτίων, απαιτεί μεγάλη ηλεκτρική ισχύ η οποία παρέχεται από ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη. Επειδή η απαιτούμενη ισχύς είναι αρκετά υψηλή, είναι εξαιρετικά διαδεδομένη η ιδέα του πλήρως εξηλεκτρισμένου πλοίου, οπότε και η ισχύς πρόωσης παρέχεται από τις ηλεκτρογεννήτριες μέσω καλωδίων, και όχι μέσω άξονα που συνδέεται μηχανικά με τη μηχανή μέσω μειωτήρα. Με αυτό τον τρόπο η ενέργεια που έχει να διαχειριστεί το πλοίο είναι μόνο ηλεκτρική, ενώ υπάρχει ελευθερία για την τοποθέτηση του μηχανοστασίου καθώς η ισχύς μεταφέρεται μέσω καλωδιώσεων στις καταναλώσεις. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται ιδιαίτερα για την πρόωση είναι τα *azipods*, τα οποία δίνουν τη δυνατότητα συνδυασμού της έλικας και του πηδαλίου σε μια συμπαγή κατασκευή, καθιστώντας έτσι ευκολότερη και την πηδαλιουχία του πλοίου και πιο αποδοτική την πρόωση του. Αν και η έλικα των *azipods* είναι σταθερού βήματος (*Fixed Pitch Propeller-FPP*), υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου της ταχύτητας της, επειδή είναι συνδεδεμένη απευθείας στον ηλεκτροκινητήρα του *azipod*, ο οποίος είναι μεταβλητής συχνότητας. Αυτό είναι μια διαφορά σε ό,τι αφορά τις μηχανολογικές διατάξεις, με τα *pure passenger ferries* τα οποία χρησιμοποιούν, κατά κύριο λόγο, συμβατικές διατάξεις με τον άξονα της προπέλας, η οποία

είναι μεταβλητού βήματος, να συνδέεται μέσω μειωτήρα στην πηγή ισχύος που είναι συνήθως τετράχρονοι κινητήρες diesel.

Οι ταχύτητες των Pure Passenger Ferries είναι υψηλές, δηλαδή περίπου 27-31 κόμβους, καθώς ο στόχος τους είναι η μεταφορά των επιβατών, ενώ για τα κρουαζιερόπλοια η ταχύτητα είναι χαμηλότερη και κυμαίνεται μεταξύ 20 και 22 κόμβων, καθώς οι επιβαίνοντες βρίσκονται σε διακοπές και ενδιαφέρονται για την περιήγηση.

Συμπερασματικά, μια τεράστια άνθηση έχει προκύψει τα τελευταία χρόνια στο χώρο της κρουαζιέρας, με την ανάλογη ενίσχυση των παροχών, της πολυτέλειας και της φιλοξενίας των επιβατών, αλλά και αύξηση του μεγέθους των πλοίων και του αριθμού των επιβατών. Ωστόσο, αυτή η αύξηση εγείρει προβληματισμό, για την ασφάλεια των πλοίων αυτών, τόσο ως προς την εκκένωση του πλοίου όσο και ως προς την πυρασφάλεια.

3.2.3 Ζητήματα ασφάλειας επιβατηγών (Ε/Γ) πλοίων

Η ασφάλεια είναι ένα περίπλοκο κι αχανές πεδίο, το οποίο εμπεριέχει ενδογενείς απαιτήσεις. Τα ζητήματα ασφάλειας που αφορούν τα επιβατηγά πλοία είναι παρόμοια με εκείνα των επιβατηγών- οχηματαγωγών πλοίων (ROPAX). Οι βασικοί κίνδυνοι που ελλοχεύουν για πλοία αυτού του τύπου είναι η απώλεια ευστάθειας λόγω του μεγάλου ύψους των υπερκατασκευών, η πυρκαγιά και κυρίως η εγκατάλειψη του πλοίου από ένα μεγάλο αριθμό επιβαινόντων, μέσα σε ένα πολύ περιορισμένο χρονικό διάστημα.

Εκκινώντας από τα ζητήματα της απώλεια ευστάθειας, τα αμιγώς επιβατηγά πλοία δε διαθέτουν εκτενείς αδιαίρετους χώρους, όπως ο χώρος οχημάτων στα ROPAX, συνεπώς η ροπή των ελεύθερων επιφανειών είναι περιορισμένη. Ωστόσο άλλα ζητήματα που αφορούν στην ευστάθεια εγείρονται για δύο κύριους λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι το μεγάλο ύψος των υπερκατασκευών. Τα σύγχρονα κρουαζιερόπλοια μπορεί να φτάσουν ακόμη και 17 ορόφους- καταστρώματα διατιθέμενα στους επιβάτες. Έτσι το συνολικό τους ύψος, πάνω από την ίσαλο, μπορεί να φτάσει τα 72m ενώ το βύθισμα τους είναι στα 10m περίπου. Αυτό καθιστά πολύ επιρρεπή τα πλοία αυτά στην επίδραση ισχυρών πλευρικών ανέμων, γεγονός που επηρεάζει τόσο την ικανοποίηση των κριτηρίων καιρού στην άθικτη κατάσταση, αλλά και την ευστάθεια κατόπιν βλάβης. Ο δεύτερος λόγος είναι ο μεγάλος αριθμός επιβαινόντων που πρέπει να εγκαταλείψουν το πλοίο σε μόλις τριάντα λεπτά, σε περίπτωση ανάγκης. Λαμβάνοντας υπόψη ότι στα πλοία αυτά υπάρχουν άνθρωποι όλων των ηλικιών αλλά και άτομα με ειδικές ικανότητες, η σχεδίαση του πλοίου πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μπορεί να γίνει τάχιστα η εκκένωση του πλοίου.

Μια άλλη παράμετρος που λαμβάνεται υπόψη στη σύγχρονη σχεδίαση είναι η αξιοπιστία. Είναι θέμα προληπτικής προστασίας, το πλοίο να μπορεί να παραμείνει ασφαλές ακόμη και μετά από κάποια σοβαρή βλάβη. Οι νέοι κανονισμοί σχετικά με την *ασφαλή επιστροφή του πλοίου στο λιμάνι (Safe Return to Port)* αντικατοπτρίζουν ουσιαστικά αυτή την απαίτηση για εφεδρεία σε ισχύ, πρώτιστα για την πρόωση, αλλά και για βασικές λειτουργίες στις ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις του πλοίου. Έτσι για παράδειγμα η εταιρεία *Royal Caribbean* εφάρμοσε τη σχεδίαση *half ship (half ship concept)* όπου υπάρχουν διαχωρισμένα μηχανοστάσια, κυρίως για την πυρασφάλεια. Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι σε περίπτωση πυρκαγιάς σε ένα μηχανοστάσιο υπάρχει επαρκής ισχύς για την κάλυψη των αναγκών. Η ίδια εταιρία αργότερα, κατασκεύασε τα πλοία της με δύο τελείως ανεξάρτητα μηχανοστάσια, ενώ εισήγαγε διπλά τοιχώματα στην περιοχή των μηχανοστασίων.

Η πυρασφάλεια είναι επίσης ένα σοβαρό ζήτημα στα σύγχρονα κρουαζιερόπλοια. Γενικά, επειδή η αύξηση του μεγέθους και της μεταφορικής ικανότητας σε επιβάτες ήταν ραγδαία μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα, αναγκαστικά οι σχεδιάσεις έγιναν καθοδηγούμενες κυρίως από την εμπειρία, με αποτέλεσμα σημαντικά άλματα στην ασφάλεια. Η αρχή της *ισοδύναμης σχεδίασης (alternative design principle)* χρησιμοποιήθηκε εκτενώς για την ανάπτυξη των εσωτερικών αίθριων χώρων. Αυτοί οι εκτενείς χώροι αποτελούν πρόκληση για την πυρασφάλεια, όχι μόνο για τους σχεδιαστές, αλλά και για το ναυπηγείο και τους νηογνώμονες.

Τα σωστικά μέσα και η επάρκεια τους αποτελούν κεφαλαιώδους σημασίας παραμέτρους για την ασφάλεια του πλοίου. Τα σωστικά μέσα τοποθετούνται όσο το δυνατόν χαμηλότερα στην υπερκατασκευή προκειμένου η καθέλκυση των σωστικών λέμβων να επηρεάζεται κατά το δυνατόν λιγότερο από δυσμενείς εγκάρσιες κλίσεις. Ταυτόχρονα, η διαδικασία εκκένωσης του πλοίου λαμβάνει χώρα από τα ανώτερα καταστρώματα προς τα κατώτερα, γεγονός που χαμηλώνει το κέντρο βάρους κατά την εκκένωση. Το πρόβλημα ωστόσο αυτής της διαδικασίας είναι ότι σε περίπτωση που έχει ξεκινήσει διαδικασία καθ' ύψους κατάκλυσης (*up-flooding*) μέσω κάποιου ανοίγματος, το κατάστρωμα όπου βρίσκονται οι σωστικές λέμβοι μπορεί ήδη να έχει κατακλυσθεί πριν την ολοκλήρωση της εκκένωσης.

Άλλα ζητήματα ασφάλειας που τίθενται είναι η ικανότητα πηδαλιουχίας και ελικτικότητας, ακόμη και σε κατάσταση βλάβης και η κατάστροψη σχεδιασμού διαχείρισης κρίσεων εν πλω.

Τα ζητήματα ασφάλειας είναι αρκετά εκτενή και αδύνατο να παρουσιαστούν σε μια παράγραφο, ωστόσο αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι η αλλαγή της φιλοσοφίας σχετικά με την ασφάλεια. Η τάση είναι προς την προληπτική σχεδίαση, δηλαδή να ληφθούν τα σχεδιαστικά εκείνα μέτρα τα οποία αποτρέπουν τον κίνδυνο ατυχήματος, βλάβης και πυρκαγιάς, εν αντιθέσει με τη σχεδίαση, τα προηγούμενα χρόνια, όπου ήταν προσανατολισμένη στην καταστολή της βλάβης όταν συμβεί. Σε κάθε περίπτωση πάντως, η σχεδίαση κινείται με στόχο αφενός την καλύτερη δυνατή εμπορική εκμετάλλευση του πλοίου, το οποίο συνεπάγεται διάταξη χώρων με έμφαση στη λειτουργικότητα, την άνεση και την πολυτέλεια, χωρίς όμως να επιβαρύνεται η ασφάλεια σε καμία περίπτωση.

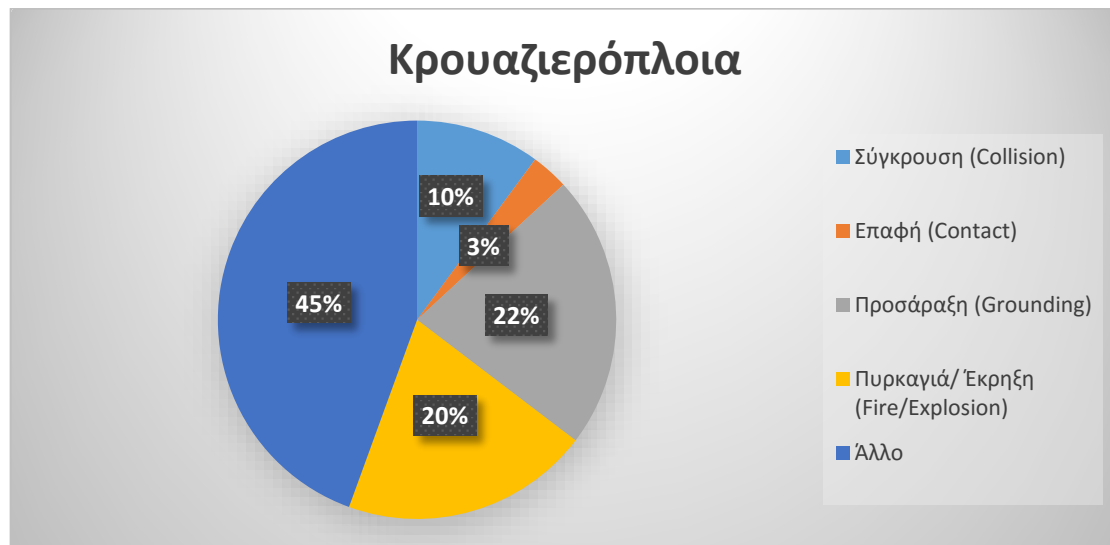
Παρακάτω, δίνονται σε μορφή πίνακα κάποια σημαντικά ατυχήματα σε επιβατηγά πλοία και κρουαζιερόπλοια, με την αλλαγή τη νομοθεσία που επήλθε κατόπιν του ατυχήματος.

Λίστα Ατυχημάτων σε Επιβατηγά Πλοία και Κρουαζιερόπλοια						
Όνομα Πλοίου	Τοποθεσία- Έτος	Απώλειες	Τύπος Ατυχήματος	Κύριο Αίτιο Ατυχήματος	Αλλαγή Νομοθεσίας	Βασική Επίδραση
<i>Titanic</i>	Ατλαντικός- 1912	1517	Βύθιση	Επαφή σε παγόβουνο	Εισαγωγή SOLAS	Σωστικά Μέσα
<i>Empress of Ireland</i>	St. Lawrence- 1914	1012	Βύθιση	Σύγκρουση με άλλο πλοίο	SOLAS 1929	
<i>Andrea Doria</i>	Η.Π.Α- 1956	46	Ανατροπή	Σύγκρουση με άλλο πλοίο	SOLAS 1960	
<i>Uskudar</i>	Τουρκία- 1958	272	Βύθιση	Κατασκευαστική αστοχία και απώλεια πηδαλιουχίας		
<i>Hans Hedtoft</i>	Γροιλανδία- 1959	95	Βύθιση	Επαφή σε παγόβουνο		
<i>Dara</i>	Περσικός Κόλπος- 1961	238	Βύθιση	Έκρηξη		
<i>Lakonia</i>	Ατλαντικός- 1963	128	Πυρκαγιά	Πυρκαγιά σε χώρο ενδιάμεσης		
<i>Heleanna</i>	Ιταλία- 1971	41	Πυρκαγιά			
<i>Dona Paz</i>	Φιλιπίνες- 1987	4386	Βύθιση	Σύγκρουση με άλλο πλοίο- Πυρκαγιά- Βύθιση		
<i>Neptune</i>	Αϊτή- 1993	900	Ανατροπή	Μετακίνηση Φορτίου		
<i>Sea Diamond</i>	Ελλάδα- 2007	2 αγνοούμενοι	Ανατροπή	Προσάραξη		
<i>Costa Concordia</i>	Ιταλία- 2012	32	Ανατροπή	Πλαγιοπροσάραξη	Τροποποίηση SOLAS Reg III/19	Διαδικασίες Απογραφής- ασφάλιση φορτίου- Ναυσιπλοΐα- Σωστικά μέσα

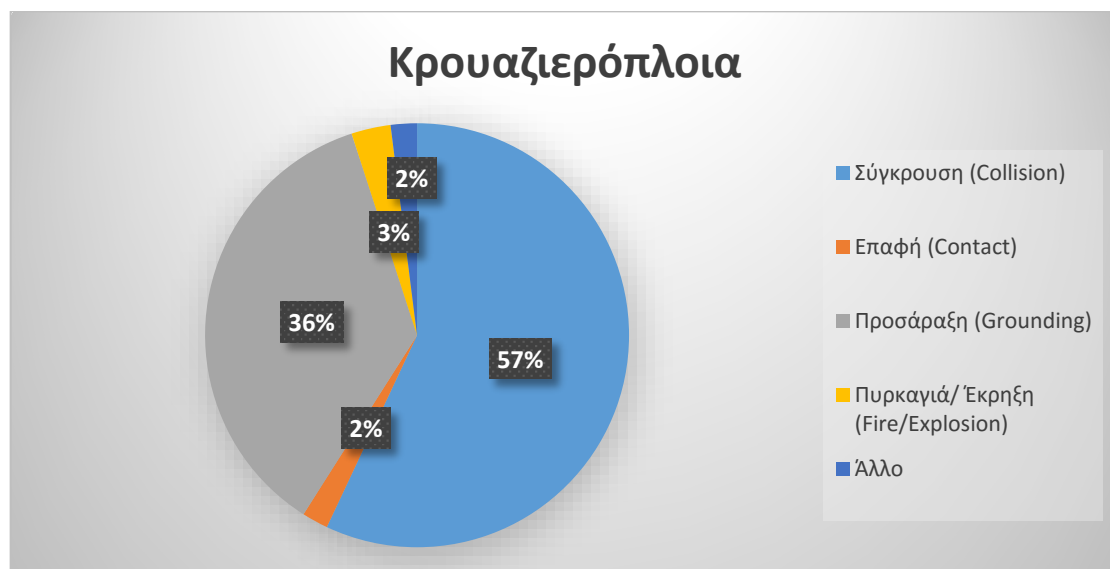
Πίνακας 3.2-1: Λίστα Ατυχημάτων σε αμιγώς επιβατηγά πλοία

Στα παρακάτω σχήματα δίνονται οι κατανομές των βασικών κινδύνων για τα κρουαζιερόπλοια, για την περίοδο 1990-2004, σύμφωνα με τη βάση δεδομένων του Lloyd's Register Fairplay® (LRFP) και της ανάλυσης ρίσκου (FSA) του ιταλικού ηηογνώμονα RINA.

Όπως φαίνεται από τα στοιχεία η πιθανότερη πηγή κινδύνου είναι εκτός των τεσσάρων μοντελοποιημένων κινδύνων και πιθανώς να σχετίζεται με κατασκευαστικές αστοχίες των σωστικών λέμβων, ή άλλου τύπου ατυχήματα. Ωστόσο τα ατυχήματα με τη μεγαλύτερη θνησιμότητα είναι τα ατυχήματα σύγκρουσης (57%), ενώ αν ληφθούν υπόψη και τα ατυχήματα προσάραξης η συνολική θνησιμότητα λόγω αυτών των κινδύνων είναι 93%. Αυτό οφείλεται στον πολύ μεγάλο αριθμό θυμάτων, εξαιτίας τέτοιων ατυχημάτων.



Διάγραμμα 3.2-1: Κατανομή ρίσκου ανά κίνδυνο ως ποσοστό επί του συνόλου των ατυχημάτων (Κρουαζιερόπλοια)



Διάγραμμα 3.2-2: Κατανομή ρίσκου ανά κίνδυνο ως ποσοστό επί του συνόλου των απωλειών (fatalities) (Κρουαζιερόπλοια)

Με βάση τα παραπάνω, καθίσταται σαφής ο λόγος για τον οποίο η ασφάλεια του πλοίου έναντι βύθισης και ανατροπής, κατόπιν κάποιας βλάβης, είναι κεφαλαιώδους σημασίας για τη σωστή σχεδίαση των πλοίων και κυρίως στα επιβατηγά πλοία.

Συμπερασματικά, τα επιβατηγά πλοία είτε αμιγώς επιβατηγά είτε ROPAX, αποτελούν πλοία σύγχρονης σχεδίασης, τα οποία ενσωματώνουν την αιχμή της τεχνολογίας σε κάθε περίοδο, αλλά ταυτόχρονα η ασφάλεια τους είναι μια από τις βασικότερες παραμέτρους σχεδίασης, αν όχι η κορυφαία. Ο λόγος είναι το πολύτιμο «φορτίο», που είναι οι επιβάτες, οι οποίοι πρέπει να παραμένουν ασφαλείς σε κάθε περίπτωση, ακόμη και αν το πλοίο έχει υποστεί βλάβη. Έτσι, το σύνολο της ναυτιλιακής κοινότητας πρέπει να καταβάλει το μέγιστο των προσπαθειών της, ώστε τα πλοία διαρκώς να γίνονται ασφαλέστερα, πάντοτε υπό το πρίσμα ότι απόλυτη ασφάλεια δεν υπάρχει και άρα υπάρχει πάντα περιθώριο για βελτίωση.

4 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΤΟΠΙΝ ΒΛΑΒΗΣ Ε/Γ ΚΑΙ Ε/Γ-Ο/Γ ΠΛΟΙΩΝ

Η ασφάλεια των πλοίων έναντι βύθισης ή ανατροπής, σε περίπτωση απώλειας της υδατοστεγούς ακεραιότητας τους είναι πρωταρχικού ενδιαφέροντος για την κοινωνία και συνεπώς για τις διεθνείς και εθνικές νομοθετικές αρχές, αλλά και την κατασκευαστική και ναυτιλιακή βιομηχανία.

Για να θεωρείται ένα πλοίο αξιόπλοο, πρέπει να διατηρεί την ευστάθεια του ακόμη και μετά από κατάκλυση λόγω βλάβης. Η κατάκλυση ορίζεται ως η εισροή υδάτων στο πλοίο, είτε λόγω ρήγματος, δηλαδή διάτρησης του μεταλλικού περιβλήματος της γάστρας, είτε λόγω βύθισης της κατώτερης ακμής ενός εξωτερικού ανοίγματος μέσω του οποίου επιτρέπεται η εισροή του θαλασσινού νερού. Το αποτέλεσμα είναι αφενός η αύξηση του εκτοπίσματος του πλοίου, λόγω της εισροής του ύδατος κι αφετέρου η απώλεια άντωσης, λόγω μείωσης του αρχικού άθικτου όγκου εκτοπίσματος του πλοίου. Τα κυριότερα αίτια πρόκλησης ρηγμάτων είναι οι συγκρούσεις και οι προσαράξεις.

Το θέμα της ασφάλειας των πλοίων αποτελούσε, αποτελεί και θα συνεχίσει να είναι ένα πεδίο διαρκούς έρευνας, καθώς απόλυτη ασφάλεια δεν μπορεί να υπάρξει σε οποιοδήποτε σύστημα. Συνεπώς, πάντα η έρευνα σκοπεύει στην εξεύρεση ουσιαστικά κατάλληλων εκφράσεων και απαιτήσεων, ώστε να αποτυπώνεται το απαιτούμενο από την κοινωνία επίπεδο ασφαλείας, το οποίο στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η ασφάλεια του πλοίου έναντι ανατροπής ή βύθισης. Έτσι διαρκώς αναθεωρούνται οι διατυπώσεις των μαθηματικών εκφράσεων που σχετίζονται με την επιθυμητή ασφάλεια, ενώ ταυτόχρονα η κοινωνική πρόοδος διαρκώς ανεβάζει τις απαιτήσεις, με αποτέλεσμα οι νέες διατυπώσεις να πρέπει να αντικατοπτρίζουν και τις νέες απαιτήσεις για υψηλότερο επίπεδο ασφαλείας. Καθίσταται λοιπόν, σαφές ότι τα ζητήματα της ασφάλειας είναι πάντα επίκαιρα και υπό διαβούλευση.

Σύμφωνα με τη Διεθνή Σύμβαση της Γραμμής Φόρτωσης (*International Load Line Convention*), του 1966, τα πλοία διακρίνονται στα πλοία τύπου Α, όπου περιλαμβάνονται τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς υγρού φορτίου και τα πλοία τύπου Β, όπου περιλαμβάνονται όλα τα υπόλοιπα πλοία. Τα πλοία τύπου Α είναι καλύτερα προστατευμένα από τη θάλασσα, γιατί έχουν λιγότερες επιφάνειες για ανοίγματα και έχουν πυκνότερη διαμέριση. Για το λόγο αυτό μπορούν να έχουν μικρότερο βασικό ύψος εξάλων (*freeboard*), συγκριτικά με τα τύπου Β. Τα πλοία ξηρού φορτίου, όπως τα επιβατηγά και τα επιβατηγά/ οχηματαγωγά RORO, είναι τύπου Β, έχουν μεγαλύτερο ύψος εξάλων και υπόκεινται σε λιγότερο αυστηρές απαιτήσεις για την υποδιαίρεση και την ευστάθεια κατόπιν βλάβης.

Σε ό,τι αφορά στη Διεθνή Σύμβαση της Ασφάλειας της Ζωής στη Θάλασσα (*Safety of Life at Sea-SOLAS*), οι απαιτήσεις για την υποδιαίρεση και την ευστάθεια κατόπιν βλάβης περιλαμβάνονται στο μέρος Β του κεφαλαίου ΙΙ της *SOLAS60 (Chapter II-Part B)* και στο κεφάλαιο ΙΙ-1 της έκδοσης του 1974 (*Chapter II-1 – Part B*). Και στις δύο εκδόσεις το πρότυπο της υποδιαίρεσης μεταβάλλεται σύμφωνα με το μήκος του πλοίου και τον αριθμό των επιβατών. Υπενθυμίζεται ότι ως επιβατηγό πλοίο ορίζεται ένα πλοίο με αποδεδειγμένη και πιστοποιημένη ικανότητα μεταφοράς παραπάνω των δώδεκα επιβατών.

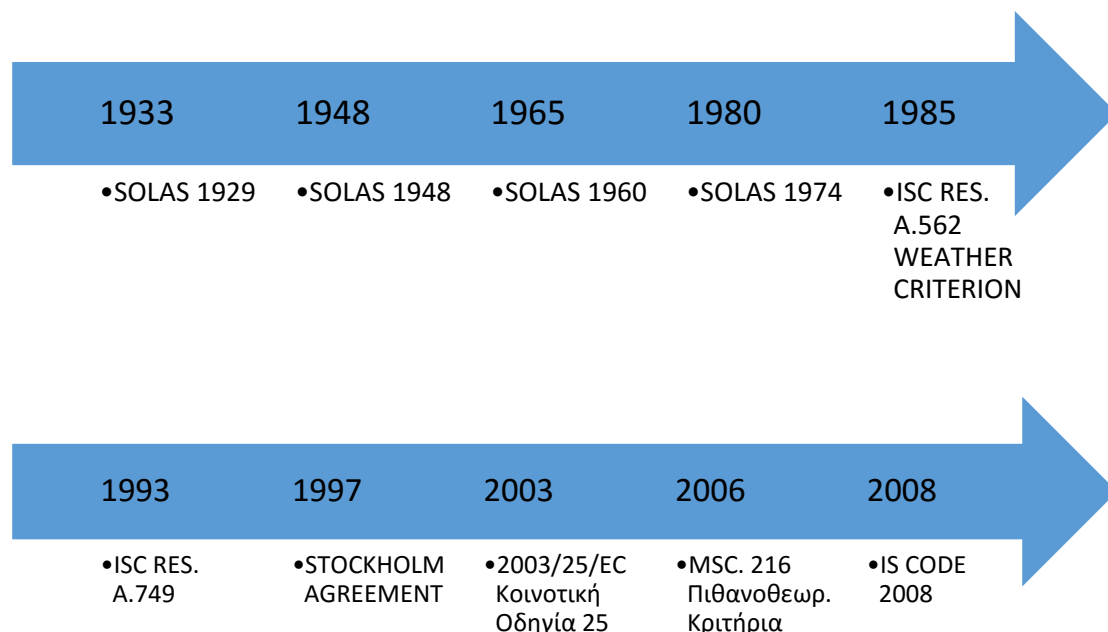
Αυτό είναι σημαντικό για τα επιβατηγά/ οχηματαγωγά, καθώς τα πλοία ROPAX θεωρούνται επίσης επιβατηγά πλοία, όπως και τα αμιγώς επιβατηγά πλοία. Το χαρακτηριστικό που

διακρίνει τα πλοία RORO, από τους άλλους τύπους πλοίων είναι το ενιαίο κατάστρωμα οχημάτων, το οποίο διατρέχει όλο το μήκος του πλοίου, με μία θύρα σε ένα από τα δύο άκρα του πλοίου. Αυτό είναι ένα απαραίτητο χαρακτηριστικό για την ιδέα των πλοίων RORO, αλλά και ένας από τους κυριότερους παράγοντες κινδύνου για την ευστάθεια των πλοίων αυτών, τόσο στην άθικτη κατάσταση όσο και σε κατάσταση βλάβης. Το βασικό αποτέλεσμα των ισχυόντων κανονισμών είναι ότι το κατάστρωμα οχημάτων πρέπει να κατασκευάζεται έτσι ώστε τα σταθμευμένα οχήματα να είναι άνωθεν της ισάλου, ενώ ο χώρος κάτω από το κατάστρωμα οχημάτων πρέπει να υποδιαιρείται με εγκάρσιες υδατοστεγείς φρακτές.

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται η προσπάθεια μιας συνοπτικής παρουσίασης των μεταβολών, τόσο ιστορικά όσο και ως προς την επιστημονική θεώρηση, στις μεθόδους αξιολόγησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης.

4.1 Ιστορική Εξέλιξη

Το παρακάτω σχήμα δείχνει συνοπτικά την εξελικτική πορεία των κανονισμών ευστάθειας.



Σχήμα 4.1-1: Ιστορικό Εξέλιξης Κανονισμών Ευστάθειας

Δεκαετίες νωρίτερα, η διεθνής ναυτιλιακή κοινότητα, αντέδρασε μετά από καταστροφικά ατυχήματα όπως ο *Τιτανικός* και το *Andrea Doria*, εισάγοντας τις πρώτες ντετερμινιστικές απαιτήσεις για την υποδιαίρεση και την ευστάθεια του πλοίου κατόπιν βλάβης. Αυτές ενσωματώθηκαν στις Διεθνείς Συμβάσεις για την Ασφάλεια της Ζωής στη Θάλασσα από τη *SOLAS 1929* και τις μετέπειτα τροποποιήσεις μέχρι και τη *SOLAS 1960*. Αναγνωρίστηκε ωστόσο η αναγκαιότητα για περαιτέρω έρευνα γύρω από το θέμα, καθώς η ημι-εμπειρική φύση της ντετερμινιστικής προσέγγισης για την ευστάθεια του πλοίου, η οποία βασιζόταν στα χαρακτηριστικά των έως τότε γνωστών ατυχημάτων, δε θεωρήθηκε αρκετά αξιόπιστη.

Στη συνθήκη της SOLAS του 1960 οι κανονισμοί ευστάθειας κατόπιν βλάβης για τα επιβατηγά πλοία βασίζονταν σε ντετερμινιστικές απαιτήσεις που καθόριζαν κυρίως τα παρακάτω:

- Συνθήκη μη βύθισης με βάση τη λεγόμενη οριακή γραμμή (*margin line*).
- Τη μέγιστη επιτρεπτή τελική γωνία κλίσης σε περίπτωση κατάκλυσης υδατοστεγούς διαμερίσματος (ενός ή δύο διαδοχικών διαμερισμάτων διαμήκως, αναλόγως του τύπου του πλοίου *1-compartment – 2-compartments standard*), ένεκα ρήγματος συγκεκριμένων διαστάσεων.
- Ένα ελάχιστο απαιτούμενο μετακεντρικό ύψος για το ανωτέρω σενάριο κατάκλυσης.

Αργότερα έγινε αντιληπτό ότι τόσο η ασύμμετρη κατάκλυση, όσο και τα ενδιάμεσα στάδια κατάκλυσης έπρεπε να λαμβάνονται υπόψη.

Ήδη από την εισαγωγή της SOLAS 60 προτάθηκαν οι βασικές ιδέες για ένα νέο, πιθανοθεωρητικό μοντέλο για την αξιολόγηση της υδατοστεγούς υποδιαίρεσης του πλοίου, επιτρέποντας τη θεώρηση των πιθανών σεναρίων βλάβης, με έναν πιο ορθολογικό τρόπο. Βασιζόμενος στις υπάρχουσες μελέτες ο IMO προχώρησε στην υιοθέτηση, ως εναλλακτικής της ντετερμινιστικής, μιας πιθανοθεωρητικής μεθόδου αξιολόγησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, για επιβατηγά πλοία, ισοδύναμη με τα πρότυπα της ντετερμινιστικής μεθόδου. Η μέθοδος περιλήφθηκε στην απόφαση (*resolution*) Res. A.265 της SOLAS 74.

Η ίδια ιδέα εξελίχθηκε περαιτέρω τις δεκαετίες του '80 και του '90, οδηγώντας σε μια πιθανοθεωρητική μέθοδο αξιολόγησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης για τα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου, με τους σχετικούς κανονισμούς να μπαίνουν σε εφαρμογή το 1992. Έκτοτε, οι τεχνικές υπό-επιτροπές του IMO ξεκίνησαν να διαβουλεύονται για την αναγκαιότητα αναθεώρησης, για άλλη μια φορά, των ντετερμινιστικών κριτηρίων αξιολόγησης της υδατοστεγούς υποδιαίρεσης των επιβατηγών πλοίων. Η συζήτηση οδήγησε στο συμπέρασμα ότι ο σωστός δρόμος μπροστά ήταν ο εναρμονισμός όλων των κανονισμών ευστάθειας κατόπιν βλάβης κάτω από μια ενοποιημένη πιθανοθεωρητική θεώρηση για όλους τους τύπους εμπορικών πλοίων, αντί να ανανεωθούν τα υπάρχοντα ντετερμινιστικά πρότυπα υποδιαίρεσης των επιβατηγών πλοίων. Η προτεινόμενη ενοποιημένη πιθανοθεωρητική μέθοδος αξιολόγησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης ήταν πλήρως συμμορφωμένη με την παράλληλη εισαγωγή άλλων θεωρήσεων, βασισμένων στη διακινδύνευση (*risk based*), σε άλλες κανονιστικές διαδικασίες του IMO, με σημαντικότερη την *Τυπική Αποτίμηση Ασφάλειας (Formal Safety Assessment- FSA)*.

Δύο μεγάλα ατυχήματα σε επιβατηγά- οχηματαγωγά πλοία RORO στην Ευρώπη, το *Herald of Free Enterprise* το 1987 και το *Estonia* το 1994, καθυστέρησαν τη δουλειά του IMO πάνω στον εναρμονισμό των ισχυόντων κανονισμών ευστάθειας κατόπιν βλάβης. Ως επείγον ζήτημα οι επιτροπές του IMO, *SLF (Stability, Load Lines & Fishing Vessels)* και *MSC (Maritime Safety Committee)* διευθέτησαν πρώτα την αναθεώρηση των ντετερμινιστικών κανονισμών ευστάθειας κατόπιν βλάβης, με τις τροποποιήσεις της SOLAS το 1990 και 1992, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η επίδραση των ελευθέρων επιφανειών στο κατάστρωμα οχημάτων των πλοίων RORO (*Water On Deck-WOD*). Ύστερα από την υιοθέτηση των ενισχυμένων ντετερμινιστικών απαιτήσεων στη σύμβαση της SOLAS, το 1995, οι σχετικές επιτροπές του IMO επανήλθαν στο ζήτημα του εναρμονισμού των κανονισμών ευστάθειας κατόπιν βλάβης και το 1998, στη διατμηματική συνεδρίαση IMO-SLF42, έγινε η πρώτη πρόταση για αναθεώρηση της SOLAS, Chapter II-1, Part A, B and B-1.

Η Συνθήκη της Στοκχόλμης (*Stockholm Agreement*), συντάχθηκε το 1996, ως αντίδραση στο πρόσφατο ατύχημα του *Estonia* και αφορούσε πρόσθετες απαιτήσεις ευστάθειας για τα πλοία ROPAX, τα οποία αναλαμβάνουν τακτικά διεθνείς πλόες, με λιμάνια άφιξης ή/και αναχώρησης στη βορειοδυτική Ευρώπη και γύρω από τη Βαλτική Θάλασσα. Οι πρόσθετες απαιτήσεις αφορούσαν κυρίως στην εξέταση των κριτηρίων ευστάθειας, υποθέτοντας συγκέντρωση συγκεκριμένης ποσότητας νερού στο κατάστρωμα οχημάτων.

Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας για την εξέλιξη των κανονισμών, μια ομάδα Ευρωπαϊκών βιομηχανιών, νηογνομόνων, πανεπιστημίων και ερευνητικών ιδρυμάτων, πρότειναν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή και έλαβαν χρηματοδότηση για το ερευνητικό πρόγραμμα *HARDER* (2000-2003). Οι βασικοί στόχοι του προγράμματος ήταν:

- Η δημιουργία νέας γνώσης, η οποία έλειπε, στο πεδίο της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, μέσω συστηματικής θεωρητικής και εφαρμοσμένης έρευνας.
- Η αποσαφήνιση σημαντικών τεχνικών ζητημάτων για τον εναρμονισμό στα πιθανοθεωρητικά πρότυπα, προς την υπό-επιτροπή IMO-SLF που είχε αναλάβει το έργο.
- Να βρεθούν ισοδύναμα επίπεδα ασφάλειας μεταξύ των απαιτήσεων που προέρχονται από τους ντετερμινιστικούς κανονισμούς ευστάθειας (*SOLAS*) και το πιθανοθεωρητικό κανονιστικό πλαίσιο, όπως εκφράζεται μέσω του επιτευχθέντος (*attained*) και του απαιτούμενου (*required*) δείκτη υποδιαίρεσης, A και R, αντίστοιχα.
- Ο ορθολογικός καθορισμός του απαιτούμενου δείκτη υποδιαίρεσης R, για διάφορους τύπους πλοίων, λαμβάνοντας υπόψη την ισοδυναμία με τα ισχύοντα ντετερμινιστικά πρότυπα ευστάθειας και υποδιαίρεσης για τις νέες κατασκευές (για επιβατηγά πλοία: *SOLAS 90, two compartment standard*), τις απαιτήσεις της *Γραμμής Φόρτωσης (Load Line)*, τη διαφορετικότητα των παραμέτρων σχεδίασης τυπικών σχεδιάσεων πλοίων, σε ό,τι αφορά κυρίως το μέγεθος του πλοίου, τη διαδικασία κατασκευής και τις διατάξεις.
- Να διερευνηθούν οι επιδράσεις των τοπικά εφαρμοζόμενων κριτηρίων, κυρίως της απόφασης *Res.14* της *SOLAS 95* και της Συνθήκης της Στοκχόλμης.

Στα πλαίσια του προγράμματος *HARDER*, το νέο πλαίσιο πιθανοθεωρητικής αξιολόγησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, γνωστό ως πρόταση (*proposal*) *SLF42*, η οποία ήταν υπό συζήτηση στον IMO, μελετήθηκε συστηματικά και τελικά οδήγησε σε μια βελτιωμένη πρόταση προς τον IMO, γνωστή ως *HARDER-SLF46*.

Το 2003 κι ενώ η διαδικασία εναρμονισμού είχε ολοκληρωθεί, κάποια τελευταία ζητήματα τέθηκαν υπό συζήτηση στον IMO και σχετίζονταν κυρίως με την προφανή σοβαρή επίδραση των προτεινόμενων νέων εναρμονισμένων κανονισμών στη σχεδίαση και την οικονομία των πολύ μεγάλων επιβατηγών πλοίων, καθυστερώντας εκ νέου την τυπική επικύρωση των σχετικών κανονισμών. Μια νέα σειρά μελετών εκπονήθηκε, λαμβάνοντας υπόψη τα ζητήματα υπό συζήτηση, κυρίως δηλαδή την ευστάθεια κατόπιν βλάβης για τα μεγάλα επιβατηγά πλοία και οδήγησε σε νέες προτάσεις για μεταβολές, για την *IMO-SLF46* και *MSC78*.

Το 2003, μετά το ατύχημα του *Express Samina* του 2000, εκδόθηκε η Ευρωπαϊκή Οδηγία 25, η οποία προέβλεπε την εφαρμογή των απαιτήσεων της Συνθήκης της Στοκχόλμης από όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης κι όχι μόνο από τις χώρες της Βαλτικής και της Βόρειας

Θάλασσας. Σύμφωνα με το Άρθρο 7 της Οδηγίας, η συμμόρφωση των κανονισμών γίνεται σταδιακά, με τα νέα πλοία, δηλαδή με ημερομηνία τοποθέτησης της τρόπιδας μετά την 1/10/2004 να πρέπει να συμμορφώνονται στους νέους κανονισμούς, τα υπάρχοντα RORO να πρέπει να συμμορφωθούν πριν το 2010, ενώ υπάρχοντα πλοία που συμμορφώνονται στα κριτήρια της SOLAS90, πρέπει να έχουν συμμορφωθεί και με τους κανονισμούς της Οδηγίας μέχρι το 2015.

Η πρόταση SLF46 αναθεωρήθηκε και οδήγησε στην πρόταση SLF47 η οποία επικυρώθηκε το Σεπτέμβριο του 2004 στη συνεδρίαση IMO-SLF47 και λίγο αργότερα στη συνεδρίαση IMO- MSC79. Και αυτή η πρόταση αναθεωρήθηκε εκ νέου, για τη μέθοδο αξιολόγησης της ευστάθειας των μεγάλων επιβατηγών πλοίων, φτάνοντας τελικά στη συνεδρίαση της MSC80 το Μάιο του 2005, όταν και τελικά υιοθετήθηκε. Η τελική πρόταση MSC80 για την πιθανοθεωρητική αξιολόγηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, εφαρμόζεται για όλα τα πλοία ξηρού φορτίου και τα επιβατηγά πλοία που κατασκευάζονται από την 1/1/2009 και μετά.

Το ισχύον πλαίσιο κανονισμών αναλύεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια σε επόμενη παράγραφο, ωστόσο διαπιστώνεται ότι η εξελικτική πορεία των κανονισμών είναι αρκετά εκτεταμένη χρονικά, με διαρκείς αναθεωρήσεις και αναπροσαρμογές των κανονισμών τόσο ως προς τις απαιτήσεις αλλά και ως προς τον τρόπο προσέγγισης και μελέτης του θέματος της υποδιαίρεσης και της ευστάθειας κατόπιν βλάβης. Έτσι, φαίνεται πως οι σημερινοί ισχύοντες κανονισμοί αποτελούν προϊόν ωρίμανσης στους κόλπους του IMO και συνεπώς είναι στη σωστή κατεύθυνση, κυρίως ως προς την επιστημονική θεώρηση της μεθόδου αξιολόγησης, η οποία είναι πιθανοθεωρητική. Ταυτόχρονα, ωστόσο, παραμένουν και ντετερμινιστικά κριτήρια, όπως η Κοινοτική Οδηγία 25. Αναφέρεται, ωστόσο ότι η μελέτη των ντετερμινιστικών κριτηρίων, μπορεί εναλλακτικά να πραγματοποιηθεί με πείραμα υπό κλίμακα (*performance based approach*).

4.2 Μέθοδοι Αξιολόγησης Ευστάθειας Κατόπιν Βλάβης

Η διαδικασία αξιολόγησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης έχει ως στόχο την αποτίμηση της δυνατότητας του πλοίου να επιβιώσει, δηλαδή να διατηρήσει την πλευστότητα αλλά και την ευστάθεια του. Η επιβιωσιμότητα του ελέγχεται έναντι ενός ελάχιστου απαιτούμενου επιπέδου επιβιωσιμότητας το οποίο προδιαγράφεται από τους κανονισμούς. Το ελάχιστο απαιτούμενο επίπεδο ασφάλειας, καθορίζεται μέσω κριτηρίων, τα οποία περιγράφονται στους σχετικούς κανονισμούς, σαν συνάρτηση των βασικών παραμέτρων ευστάθειας και πρέπει να ικανοποιούνται ύστερα από τα σενάρια βλάβης. Τα ναυτικά ατυχήματα τα οποία οδήγησαν τα πλοία σε απώλεια ευστάθειας και ανατροπή είναι μια αλληλουχία από γεγονότα και διαδικασίες τα οποία συνδέονται και αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους με περίπλοκο τρόπο, ενώ τυπικά περιλαμβάνουν τόσο κατασκευαστικές αστοχίες όσο και ανθρώπινα λάθη.

Καθίσταται συνεπώς σαφές ότι η αξιολόγηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης είναι μια επίπονη διαδικασία. Τα κριτήρια που τίθενται από τους κανονισμούς στοχεύουν στην αποτύπωση του ελάχιστου επιπέδου ασφαλείας το οποίο πρέπει το πλοίο να διαθέτει. Τα ίδια όμως τα κριτήρια πρέπει να ανανεώνονται διαρκώς, προκειμένου να συμμορφώνονται στις νέες απαιτήσεις και θεωρήσεις για την ασφάλεια των πλοίων. Έτσι η απαίτηση για την προοδευτική εξέλιξη των κριτηρίων δεν είναι απλά να βελτιώνονται, αλλά να γίνονται και

ορθολογικότερα. Με τον όρο αυτό, εννοείται η διατύπωση κριτηρίων με βάση τη φυσική του φαινομένου από την αρχή της κατάκλυσης μέχρι την ανατροπή, λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές, ως προς το πλοίο, δυνάμεις, με στόχο την κατά το δυνατόν ακριβέστερη πληροφόρηση σχετικά με την επιβιωσιμότητα του πλοίου, μετά από βλάβη. Το περίπλοκο λοιπόν πρόβλημα της αξιολόγησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, εξετάζεται υπό διάφορες μεθοδολογίες, με διαφορετικές επιστημονικές θεωρήσεις. Η βασική κατηγοριοποίηση των μεθοδολογιών αξιολόγησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης γίνεται με βάση την επιστημονική τους θεώρηση και διακρίνονται σε:

1. Προσδιοριστικές/ ντετερμινιστικές μεθόδους (*Deterministic*)
2. Πιθανοθεωρητικές μεθόδους (*Probabilistic*)

4.2.1 Προσδιοριστικές/ ντετερμινιστικές μέθοδοι

Η ντετερμινιστική ή προσδιοριστική (*deterministic*) μέθοδος ανάλυσης ενός συστήματος ή μιας διαδικασίας, ουσιαστικά προβλέπει μια σχέση αιτίου-αιτιατού, όπου το αίτιο έχει μια συγκεκριμένη, προδιαγεγραμμένη δυναμική ή γενικώς περιγραφή και το αποτέλεσμα μπορεί να υπολογιστεί μέσω συγκεκριμένων εξισώσεων.

Στα πλαίσια των κανονισμών ευστάθειας κατόπιν βλάβης, οι προσδιοριστικές μέθοδοι αξιολόγησης βασίζονται στη δημιουργία σεναρίων βλάβης που εμπλέκουν είτε ένα είτε και μια ομάδα παρακείμενων διαμερισμάτων, σύμφωνα με το συντελεστή υποδιαίρεσης του πλοίου (*factor of subdivision*), ο οποίος εξαρτάται από το μήκος του πλοίου, τον αριθμό των επιβατών και άλλα στοιχεία. Σε αυτά τα σενάρια βλάβης εξετάζεται η ικανότητα του πλοίου να ικανοποιεί συγκεκριμένα κριτήρια τα οποία είναι προδιαγεγραμμένα από τους κανονισμούς. Ο τελικός στόχος είναι ο υπολογισμός του μέγιστου επιτρεπόμενου μήκους ενός διαμερίσματος, δηλαδή του χώρου ανάμεσα σε δύο διαδοχικές εγκάρσιες φρακτές, άρα ο καθορισμός της υποδιαίρεσης του πλοίου, η οποία εξασφαλίζει ότι το πλοίο διατηρεί την πλευστότητα αλλά και ικανοποιητική ευστάθεια κατόπιν βλάβης.

Οι βασικότεροι κανονισμοί που αφορούσαν στην ευστάθεια των επιβατηγών πλοίων και ήταν προσδιοριστικοί ήταν οι κανονισμοί της SOLAS90, οι οποίοι ίσχυαν μέχρι το 2009 και στη συνέχεια αντικαταστάθηκαν από τους νέους πιθανοθεωρητικούς κανονισμούς για όλα τα επιβατηγά πλοία και τα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου. Ντετερμινιστικού χαρακτήρα ήταν επίσης η Συνθήκη της Στοκχόλμης, η οποία ενσωματώθηκε στην Κοινωνική Οδηγία 25 και η οποία εξακολουθεί να ισχύει για πλοία που εκτελούν πλόες μεταξύ Ευρωπαϊκών λιμένων. Σημειώνεται ωστόσο, ότι η Συνθήκη της Στοκχόλμης μπορεί, εναλλακτικά του ντετερμινιστικού προτύπου, να εξεταστεί και σαν performance based μεθοδολογία, δηλαδή εκτελώντας πειράματα μοντέλων υπό κλίμακα, σε δεξαμενές δοκιμών.

4.2.1.1 Κανονισμοί Ευστάθειας SOLAS90 (Chapter II-1, Part B)

Οι κανονισμοί ευστάθειας κατόπιν βλάβης, όπως προδιαγράφονταν από τη διεθνή σύμβαση SOLAS και τις τροποποιήσεις της από καιρό εις καιρόν, ακολουθούσαν τα ντετερμινιστικά πρότυπα. Η εξέλιξη των κανονισμών υπήρξε αργή αλλά σταθερή, με τις νέες τροποποιήσεις να προσαρμόζονται στα νέα ευρήματα από νεότερα ατυχήματα, ακολουθώντας μια ημι-εμπειρική μέθοδο δοκιμής-σφάλματος (*trial & error*). Η ανάλυση των ατυχημάτων και των παραμέτρων ευστάθειας που οδήγησαν τα πλοία στη βύθιση ή την ανατροπή, συγκρινόμενα με τα αντίστοιχα στοιχεία για τα πλοία που θεωρούνταν τα καλύτερα από άποψη ευστάθειας και χαρακτηριστικών πλευστότητας, οδηγούσαν στην αναθεώρηση των προτύπων. Τα

σχετικά κριτήρια οδήγησαν στον καθορισμό των χαρακτηριστικών της καμπύλης μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ και της τελικής θέσης ισορροπίας μετά τη βλάβη. Ωστόσο, πρωτοποριακές σχεδιάσεις και πλοία τα οποία υπερέβαιναν τα συνήθη μεγέθη δε μπορούσαν να καλυφθούν ικανοποιητικά εντός των ημι-εμπειρικών κριτηρίων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στις προηγούμενες εκδόσεις των προσδιοριστικών κριτηρίων ευστάθειας μετά από βλάβη οι μόνες απαιτήσεις ήταν θετικό μετακεντρικό ύψος GM και η μέγιστη γωνία εγκάρσιας κλίσης στην τελική ισορροπία. Κάτι τέτοιο είναι πολύ ελλιπές με βάση τη σημερινή γνώση. Παρακάτω δίνεται σχηματικά η εξέλιξη των απαιτήσεων των κανονισμών.

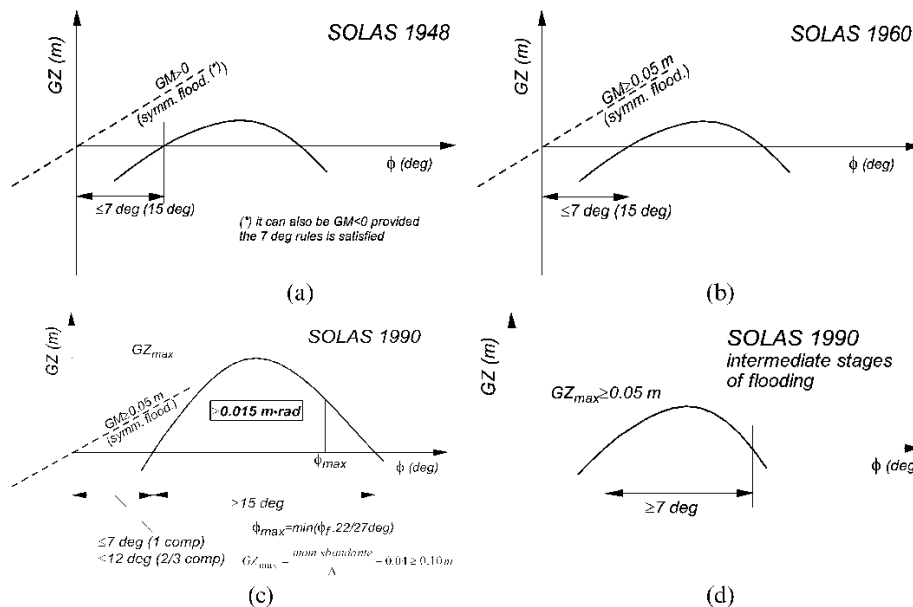


Fig. 1 Evolution of damage stability standards for passenger ships in SOLAS: (a) requirements after SOLAS 48; (b) requirements after SOLAS 60; (c) requirements after SOLAS 90; (d) intermediate stages of flooding

Σχήμα 4.2-1: Εξέλιξη κριτηρίων ευστάθειας κατόπιν βλάβης SOLAS48-SOLAS90 (Πηγή: (2))

Τα κριτήρια ευστάθειας της SOLAS90 για τα επιβατηγά πλοία γενικά θεωρούνται ικανοποιητικά πρότυπα ευστάθειας μετά από βλάβη. Ωστόσο δύο τραγικά δυστυχήματα, όπου νερό εισήλθε στο χώρο οχημάτων, το *Herald of Free Enterprise* και το *Estonia*, οδήγησε σε διορθωτικά μέτρα, ώστε τα κριτήρια της SOLAS90 να λαμβάνουν υπόψη την επίδραση της συσσώρευσης νερού στο κατάστρωμα οχημάτων (*Water On Deck Effects-WOD*). Ωστόσο κάτι τέτοιο τελικά δεν ολοκληρώθηκε σε διεθνές επίπεδο, οδήγησε όμως στη Συνθήκη της Στοκχόλμης, η οποία προέβλεπε ενισχυμένα κριτήρια ευστάθειας κατόπιν βλάβης για τις 7 χώρες της βόρειας Ευρώπης που τη συνυπέγραψαν.

Σύμφωνα με τα προσδιοριστικά πρότυπα, το πλοίο υποβάλλεται σε θεωρητικά ρήγματα, καθορισμένων διαστάσεων και εξετάζεται η ικανότητα του πλοίου να ικανοποιεί τα κριτήρια, τα οποία εκφράζονται ως απαιτήσεις στα χαρακτηριστικά της καμπύλης GZ και της θέσης στην τελική ισορροπία του πλοίου.

Πρώτιστα, για να διερευνηθεί η ευστάθεια, στη βάση αυτών των προτύπων, έπρεπε να καθορισθεί ο αριθμός των διαμερισμάτων τα οποία θεωρούνται κατακλυσμένα στα σενάρια βλάβης για τα οποία το πλοίο πρέπει να ικανοποιεί τα καθορισμένα κριτήρια. Ο αριθμός των διαμερισμάτων που θεωρούνται κατακλυσμένα, εξαρτάται από το συντελεστή υποδιαίρεσης F , σύμφωνα με τα παρακάτω:

- $0.50 < F \leq 1.00$ Αντιπροσωπεύει πλοία προδιαγραφής ενός διαμερίσματος.
- $0.33 < F \leq 0.50$ Αντιπροσωπεύει πλοία προδιαγραφής δύο διαμερισμάτων.
- $0.00 < F \leq 0.33$ Αντιπροσωπεύει πλοία προδιαγραφής τριών διαμερισμάτων.

Η προδιαγραφή ενός, δύο ή τριών διαμερισμάτων σημαίνει ότι το πλοίο πρέπει να αντέχει, δηλαδή να πληροί τα κριτήρια ευστάθειας, μετά από την κατάκλυση ενός οποιουδήποτε διαμερίσματος, δύο οποιονδήποτε διαδοχικών διαμερισμάτων ή τριών οποιονδήποτε διαδοχικών διαμερισμάτων, αντίστοιχα.

Ο συντελεστής υποδιαίρεσης F , εξαρτάται από το μήκος του πλοίου και για ένα δεδομένο μήκος από το κριτήριο υπηρεσίας C_s . Το κριτήριο υπηρεσίας λαμβάνει υπόψη το μέγεθος του πλοίου, από άποψη όγκου εκτοπίσματος, μήκους, όγκου χώρων μηχανοστασίου, όγκου δεξαμενών καυσίμου αλλά και αριθμού επιβατών. Ο συντελεστής υποδιαίρεσης μειώνεται με την αύξηση του μήκους του πλοίου.

Με τον όρο *διαχωρητότητα (permeability)* ορίζεται το ποσοστό επί τοις εκατό του χώρου αυτού που μπορεί να κατακλυσθεί. Για τους υπολογισμούς ευστάθειας κατόπιν βλάβης οι διαχωρητότητες των χώρων είναι σταθερές και ανεξάρτητες του βυθίσματος. Οι τιμές τους δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Διαχωρητότητες Χώρων Σύμφωνα με τη SOLAS 90	
Χώροι	Διαχωρητότητα
Προοριζόμενοι για ξηρό φορτίο, γαιάνθρακες ή αποθήκες εφοδίων	0.6
Προοριζόμενοι για τη στάθμευση οχημάτων	0.65
Προοριζόμενοι για ενδιαιτήσεις	0.95
Προοριζόμενοι για μηχανές	0.85
Προοριζόμενοι για υγρά	0 ή 0.95 (όποιο ανταποκρίνεται στις αυστηρότερες απαιτήσεις)

Πίνακας 4.2-1: Διαχωρητότητες χώρων σύμφωνα με τη SOLAS 90

Η υποτιθέμενη έκταση της βλάβης θεωρείται ότι έχει τις ακόλουθες διαστάσεις.

Έκταση Βλάβης Σύμφωνα με τη SOLAS 90	
Διαμήκης Έκταση	Minimum{ $3+0.03 \cdot L$ m; 11m}
Εγκάρσια Έκταση	$B/5$ [m], μετρούμενη από την πλευρά του πλοίου στο ύψος της ανώτατης έμφορτης ισάλου γραμμής υποδιαίρεσης και κάθετα προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου
Καθ' ύψος Έκταση	Από την άνω ακμή της τρόπιδας προς τα πάνω απεριόριστα

Πίνακας 4.2-2: Έκταση υποτιθέμενης βλάβης σύμφωνα με τη SOLAS 90

Σε περίπτωση που κάποια βλάβη μικρότερης έκτασης είναι δυνατό να έχει ως αποτέλεσμα δυσμενέστερες συνθήκες από άποψη εγκάρσιας κλίσης ή μείωσης του μετακεντρικού ύψους, η βλάβη αυτή θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τους σχετικούς υπολογισμούς.

Τα βασικά κριτήρια που πρέπει να πληρούνται στην τελική κατάσταση μετά από βλάβη είναι τα εξής:

- Τόσο σε περίπτωση συμμετρικής, όσο και σε περίπτωση ασύμμετρης κατάκλισης, μετά την επαναφορά το εναπομένον μετακεντρικό ύψος θα είναι θετικό και κατ'ελάχιστον 0.05m για την κατακόρυφη θέση του πλοίου, υπολογιζόμενο με τη μέθοδο της χαμένης άντωσης.
- Σε περίπτωση ασύμμετρης κατάκλισης ενός διαμερίσματος η τελική γωνία εγκάρσιας κλίσης δε θα υπερβαίνει τις 7°. Σε περίπτωση ασύμμετρης κατάκλισης δύο ή περισσότερων παρακείμενων διαμερισμάτων, η τελική γωνία εγκάρσιας κλίσης δε θα υπερβαίνει τις 12°.
- Σε καμία περίπτωση δεν επιτρέπεται στην τελική κατάσταση μετά τη βλάβη να βυθίζεται η γραμμή ορίου βύθισης.
- Εύρος περιοχής (*Range*) θετικής ευστάθειας $\geq 15^\circ$.
- Εμβαδόν κάτω από την καμπύλη GZ μέχρι τη γωνία βύθισης μη προστατευμένου ανοίγματος ή τις 27°, μεγαλύτερο από 0.015mrad.
- Μέγιστη τιμή μοχλοβραχίονα επαναφοράς πάνω από 0.1m και 0.05m για τα ενδιάμεσα στάδια.
- Μέγιστη τιμή μοχλοβραχίονα επαναφοράς, υπό την επίδραση ροπής ανέμου, πάνω από 0.04m.
- Μέγιστη τιμή μοχλοβραχίονα επαναφοράς, υπό την επίδραση ροπής λόγω μετακίνησης επιβατών, πάνω από 0.04m.

Ανεξάρτητα του συντελεστή υποδιαίρεσης F και της προδιαγραφής των διαστάσεων της υποθετικής βλάβης, σύμφωνα με τον Κανονισμό 8-2 της SOLAS95, τα Ε/Γ-Ο/Γ τα οποία έχουν πιστοποιηθεί για μεταφορά πάνω από 400 επιβατών, απαιτείται να συμμορφώνονται υποχρεωτικά με τις προδιαγραφές κατάκλισης δύο παρακείμενων διαμερισμάτων.

4.2.1.2 Συνθήκης της Στοκχόλμης (*Stockholm Agreement*)

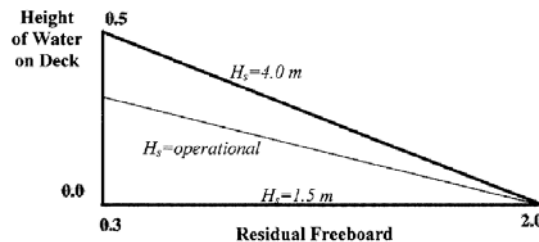
Αν και η συνάντηση για τη SOLAS95 δεν κατέληξε σε αλλαγές των κριτηρίων της SOLAS90, αποφασίστηκε η επιτάχυνση της διαδικασίας συμμόρφωσης των υπαρχόντων πλοίων στις απαιτήσεις της SOLAS90 και η απελευθέρωση των κρατών μελών του IMO να δημιουργήσουν συμφωνίες/ συνθήκες, τοπικού χαρακτήρα, ενισχύοντας τις απαιτήσεις της SOLAS90 σε ό,τι αφορά το φαινόμενο της συσσώρευσης νερού κατάκλισης στο κατάστρωμα οχημάτων (*WOD effect*).

Μετά την συνάντηση της SOLAS95, επτά χώρες της Βορειοδυτικής Ευρώπης συνυπέγραψαν μια τοπικού χαρακτήρα συνθήκη, τη λεγόμενη Συνθήκη της Στοκχόλμης, η οποία επέβαλε πρόσθετες κι ενισχυμένες απαιτήσεις πέρα από αυτές που προέβλεπε η SOLAS90, για πλοία που εκτελούσαν δρομολόγια μεταξύ λιμένων της δικαιοδοσίας τους. Τα κράτη τα οποία εισήλθαν στη Συνθήκη ήταν η Σουηδία, η Δανία, η Φιλανδία, η Γερμανία, η Ιρλανδία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ολλανδία, το Βέλγιο και η Νορβηγία.

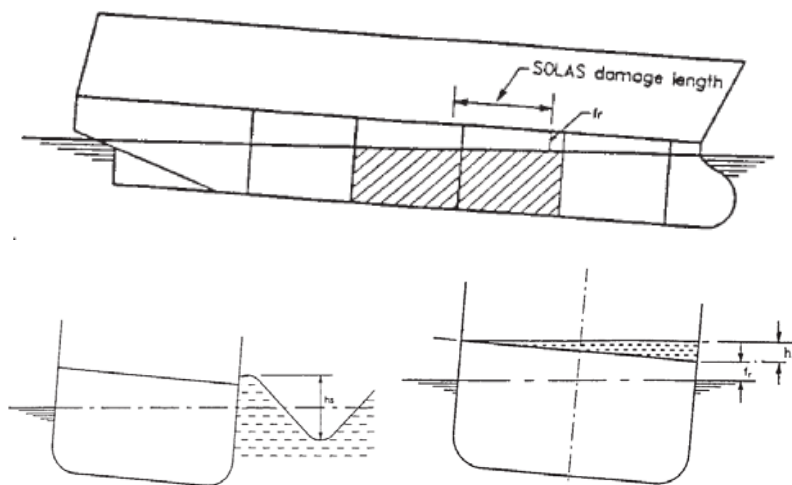
Η Συνθήκη της Στοκχόλμης προβλέπει την ικανοποίηση των κριτηρίων της SOLAS90, με την υπόθεση ότι γίνεται κατάκλυση του κυρίου καταστρώματος οχημάτων με νερό κατάκλυσης που η στάθμη του μπορεί να φτάσει τα 50 εκατοστά. Το ύψος του νερού κατάκλυσης, που λαμβάνεται υπόψη, εξαρτάται από το εναπομένον ύψος εξάλων στην κατάσταση βλάβης και το σημαντικό ύψος κύματος στην περιοχή λειτουργίας του πλοίου. Το σημαντικό ύψος κύματος είναι ο στατιστικός μέσος όρος του ενός τρίτου των υψηλότερων παρατηρήσεων σε κάποια θαλάσσια περιοχή. Η συγκεκριμένη παράμετρος χρησιμοποιείται για τη δημιουργία των φασμάτων των κυματισμών σε πολλές θεωρήσεις και λαμβάνεται μέσω Ατλάντων Θαλασσών για κάθε περιοχή.

Ο καθορισμός του ύψους νερού στο κατάστρωμα υπολογίζεται με βάση τα παρακάτω:

- Για εναπομένον ύψος εξάλων (fr) $\geq 2.0m$, ύψος νερού στο κατάστρωμα 0m
- Για εναπομένον ύψος εξάλων (fr) $\leq 0.3m$, ύψος νερού στο κατάστρωμα 0.5m
- Για εναπομένον ύψος εξάλων $0.3m < (fr) < 2m$, το ύψος του νερού στο κατάστρωμα υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των ανωτέρω τιμών
- Για σημαντικό ύψος κύματος στην περιοχή λειτουργίας μεγαλύτερο από 4m, το ύψος του νερού στο κατάστρωμα υπολογίζεται όπως ανωτέρω.
- Για σημαντικό ύψος κύματος στην περιοχή λειτουργία μικρότερο από 1.5m, το ύψος του νερού στο κατάστρωμα είναι 0m.
- Για ενδιάμεσες τιμές σημαντικού ύψους κύματος στην περιοχή λειτουργία, το ύψος του νερού στο κατάστρωμα υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή.



Σχήμα 4.2-2: Ύψος νερού κατάκλυσης για τη Συνθήκη της Στοκχόλμης



Σχήμα 4.2-3: Βασικά μεγέθη για τη Συνθήκης τη Στοκχόλμης

Η εφαρμογή της Συνθήκης της Στοκχόλμης στα υπάρχοντα πλοία, οδήγησε σε επιπλέον υποδιαίρεση του πλοίου μέσω εγκάρσιων και εν μέρει, μέσω διαμήκων, κινητών ή σταθερών φρακτών στο χώρο των οχημάτων, με στόχο τον περιορισμό της επίδραση της ροπής λόγω ελευθέρων επιφανειών. Άλλος τρόπος για την συμμόρφωση στους κανονισμούς της Συνθήκης, είναι η τοποθέτηση *sponsoons* στις πλευρές του πλοίου ή η τοποθέτηση αντρωτικού όγκου στην πρύμνη (*duck tail*). Επίσης, η χρήση πλευρικών δεξαμενών έρματος ως δεξαμενές επαναφοράς ή αντιδιατοιχισμού, αποτέλεσαν επίσης μια λύση για την εξισορρόπηση της νοητής έγερσης του κέντρου βάρους, λόγω των ελευθέρων επιφανειών και για τη διόρθωση της τελικής γωνίας εγκάρσιας κλίσης. Τελευταίος τρόπος για την ικανοποίηση των κριτηρίων ήταν η μείωση της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου, έτσι ώστε να αυξηθεί το ύψος εξάλων, με σοβαρές συνέπειες για το ναυλωτή και την οικονομική απόδοση του πλοίου. Η επίδραση στις νέες κατασκευές ήταν πιο περιορισμένη, καθώς οι σχεδιαστές ήδη έπαιρναν μέτρα για βελτιωμένη ευστάθεια ακόμη και στην άθικτη κατάσταση, αφήνοντας μεγαλύτερο ύψος εξάλων και συνεπώς μειώνοντας την πιθανότητα βύθισης του καταστρώματος οχημάτων.

Τελικά, μετά το τραγικό ναυάγιο του *Express Samina* η ικανοποίηση των κριτηρίων της Συνθήκης της Στοκχόλμης έγινε υποχρεωτική για όλα τα κράτη- μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέσω της κοινοτικής Οδηγίας 25, του 2003 (Directive 2003/25/EC). Η μεταβατική περίοδος που δόθηκε για να συμμορφωθούν τα υπάρχοντα πλοία ήταν μέχρι 1/10/2015. Επίσης η χρήση των νέων αυτών κριτηρίων επεκτάθηκε και σε όλες τις ανεπτυγμένες χώρες του κόσμου, όπως οι Η.Π.Α., ο Καναδάς και η Ιαπωνία.

Ανεξάρτητα από το γεγονός ότι οι απαιτήσεις της *SOLAS90*, μαζί με τις απαιτήσεις της Συνθήκης της Στοκχόλμης, θεωρούνται ικανοποιητικές μέχρι και σήμερα, το γεγονός ότι είναι προσδιοριστικές δεν επιτρέπει να συνδεθούν τα κριτήρια αυτά με το επίπεδο ασφάλειας. Ωστόσο, το επίπεδο ασφάλειας έχει αποδειχθεί ικανοποιητικό και αξίζει να σημειωθεί ότι μέχρι σήμερα κανένα πλοίο που ικανοποιούσε τα κριτήρια της *SOLAS90* δε βυθίστηκε ή ανατράπηκε.

4.2.2 Πιθανοθεωρητικές μέθοδοι

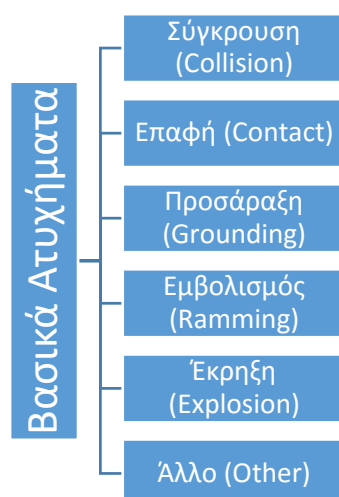
Η πιθανοθεωρητική (*probabilistic*) προσέγγιση στην αξιολόγηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης εισήχθη από τον Γερμανό Καθηγητή Kurt Wendel στα τέλη της δεκαετίας του '50, ενώ ήταν ήδη υπό διαβούλευση η *SOLAS60*. Ο στόχος ήταν να βρεθεί μια πιο ορθολογική μεθοδολογία για την εκτίμηση της πιθανότητας επιβίωσης του πλοίου, μετά από βλάβη, δηλαδή διάτρηση της γάστρας του πλοίου λόγω σύγκρουσης ή προσάραξης. Η νέα μέθοδος επέτρεψε τον ορισμό ενός καθολικού δείκτη ασφαλείας, μέσω του οποίου τα χαρακτηριστικά ευστάθειας θα μπορούσαν να ποσοτικοποιηθούν, ανεξάρτητα από το μέγεθος του πλοίου και συνεπώς τα επίπεδα ασφαλείας διαφορετικών πλοίων να γίνουν ευθέως συγκρίσιμα.

Η πιθανοθεωρητική μέθοδος αξιολόγησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, ενσωματώθηκε στην απόφαση (*resolution*) A.265, ως μια εναλλακτική μεθοδολογία αξιολόγησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης για τα επιβατηγά και τα επιβατηγά/ οχηματαγωγά πλοία. Λόγω της περιπλοκότητας της μεθόδου, εφαρμοζόταν πολύ σπάνια η εναλλακτική πρόταση, όμως στη συνέχεια η εξέλιξη των υπολογιστών και των υπολογιστικών εργαλείων, σε συνεργασία με τροποποιήσεις στην πρόταση, οδήγησε στην ενσωμάτωση της, το 1992 στη *SOLAS74* για όλα τα πλοία ξηρού φορτίου άνω των 100m αρχικά και στη συνέχεια άνω των 80m.

Η πιθανοθεωρητική προσέγγιση λαμβάνει υπόψη τρεις βασικές κατηγορίες πιθανοτήτων:

1. Την πιθανότητα το πλοίο να υποστεί μια βλάβη.
2. Την πιθανότητα ότι η προκαλούμενη βλάβη συμβαίνει σε κάποια θέση του πλοίου, λαμβάνοντας υπόψη και την έκταση της βλάβης.
3. Την πιθανότητα ότι το πλοίο επιβιώνει μετά από τη συγκεκριμένη βλάβη.

Αν και αυτή είναι η ιδεατή ανάλυση, η πρώτη πιθανότητα στις συνήθεις αναλύσεις δε λαμβάνεται υπόψη, καθώς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη ναυσιπλοΐα και συνήθως λαμβάνεται ως μονάδα, δηλαδή ότι το ατύχημα έχει ήδη συμβεί. Οι βασικότεροι τύποι ατυχημάτων φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Πρέπει να αναφερθεί ότι τα ατυχήματα σύγκρουσης (*collision*) θεωρείται ότι οδηγούν στις πιο δυσμενείς καταστάσεις και τις πιο σοβαρές συνέπειες.



Σχήμα 4.2-4: Βασικοί τύποι ατυχημάτων

Κατά συνέπεια, οι πιθανότητες που πρέπει να καθοριστούν είναι η πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου, μετά από μια στατιστικά καθορισμένη βλάβη, τα χαρακτηριστικά της οποίας προέρχονται από στατιστική ανάλυση καταγεγραμμένων ατυχημάτων σύγκρουσης και προσάραξη, σε κάποιες περιπτώσεις. Η πιθανότητα επιβίωσης εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους με κυριότερες τις ακόλουθες:

- Κύριες διαστάσεις και κυρίως το πλάτος.
- Βύθισμα και ευστάθεια στην άθικτη κατάσταση πριν την κατάκλυση.
- Διάταξη υδατοστεγούς υποδιαίρεσης.
- Διαπερατότητα- διαχωρητότητα των χώρων που κατακλύζονται.

Η πιθανοθεωρητική προσέγγιση τελικά οδηγεί στον υπολογισμό ενός χαρακτηριστικού συντελεστή ασφάλειας, ο οποίος ονομάζεται *επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης* (*Attained Subdivision Index- A*) και εκφράζει την πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου, μετά από βλάβη. Κατά συνέπεια, ισχύει ότι:

$$A = p(\text{damage}|\text{collision}) * p(\text{survive}|\text{damage}) \Rightarrow$$

$$A = p(\text{survive}|\text{collision}) \Rightarrow$$

$$1 - A = p(\text{ship loss}|\text{collision})$$

Ο δεύτερος δείκτης που υπολογίζεται στα πλαίσια του πιθανοθεωρητικού μοντέλου, είναι ο απαιτούμενος δείκτης υποδιαίρεσης (*Required Subdivision Index-R*), ο οποίος εκφράζει το γενικό αποδεκτό, με βάση τους κανονισμούς, επίπεδο ασφάλειας για το υπό μελέτη πλοίο και εξαρτάται από το μέγεθος του πλοίου και τον αριθμό των επιβαίνοντων οι οποίοι εκτίθενται στον κίνδυνο της σύγκρουσης. Ο απαιτούμενος δείκτης, αντιστοιχεί στην ελάχιστη απαιτούμενη πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου, άρα είναι το ελάχιστο όριο του επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης A , για το υπό εξέταση πλοίο. Συνεπώς η απαίτηση των κανονισμών είναι:

$$A \geq R$$

Κατά συνέπεια, μέσω της ευθείας σύγκρισης των τιμών των A και R του πλοίου, το σχετικό επίπεδο ασφάλειας, ως προς την επιβιωσιμότητα σε περίπτωση βλάβης μπορεί να καθοριστεί. Ταυτόχρονα, ο λόγος των τιμών A/R μπορεί να αποτελέσει, υπό προϋποθέσεις, μέτρο σύγκρισης της ασφάλειας μεταξύ ανόμοιων πλοίων, καθώς εκφράζει το συντελεστή ασφαλείας ή αλλιώς το περιθώριο μεταξύ του επιτευχθέντος και του απαιτούμενου δείκτη υποδιαίρεσης.

4.2.2.1 Μεθοδολογία

Ο δείκτης A πρέπει να υπολογιστεί για όλα τα πιθανά σενάρια σύγκρουσης και σε διαφορετικές, κατάλληλα στατιστικά, σταθμισμένες καταστάσεις φόρτωσης. Στην πραγματικότητα, ο υπολογισμός αρκεί να γίνει για ένα πεπερασμένο αριθμό σεναρίων βλάβης, καθώς περαιτέρω ανάλυση δεν αλλάζει σημαντικά τα αποτελέσματα, οπότε η τιμή του A συγκλίνει. Επιπρόσθετα, σύμφωνα με τους κανονισμούς, αρκεί ο υπολογισμός μόνο σε τρεις καθορισμένες από τον κανονισμό, καταστάσεις φόρτωσης. Η γενική σχέση υπολογισμού για τον A είναι:

$$A = \sum_{i=1}^3 w f_i A_i$$

Όπου, ο A_i είναι ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης για όλες τις βλάβες στην κατάσταση φόρτωση i . Η κατάσταση $i=1$, αντιστοιχεί στην κατάσταση που αντιστοιχεί στη μέγιστη έμφορτη ίσαλο, d_s , η κατάσταση $i=2$, αντιστοιχεί στην κατάσταση που αντιστοιχεί στο ενδιάμεσο βύθισμα, d_p και η κατάσταση $i=3$ αντιστοιχεί στην κατάσταση του ελάχιστου αναμενόμενου βυθίσματος λειτουργίας, d_l . Τα βυθίσματα στις αντίστοιχες καταστάσεις φόρτωσης φαίνονται στο επόμενο σχήμα. Οι συντελεστές $w f_i$ είναι οι συντελεστές στατιστικής στάθμισης του αθροίσματος, με τιμές αντίστοιχα $w f_1=0.4$, $w f_2=0.4$ και $w f_3=0.2$. Γίνεται συνεπώς, έμμεσα η παραδοχή ότι το πλοίο το 40% του χρόνου λειτουργίας του βρίσκεται στη μέγιστη έμφορτη κατάσταση (*full/ summer loading condition*), άλλο ένα 40% βρίσκεται στην κατάσταση μερικής φόρτωσης (*partial loading condition*) και 20% του χρόνου βρίσκεται στην κατάσταση ελαφρύτερης φόρτωσης (*light service condition*).



Σχήμα 4.2-5: Βυθίσματα υπολογισμού επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης, σύμφωνα με τον κανονισμό

Η κάθε βλάβη χαρακτηρίζεται από τη θέση της και την έκταση της, δηλαδή τη διαμήκη έκταση της, την εισχώρηση κατά την έννοια του πλάτους, κάθετα προς το επίπεδο συμμετρίας του πλοίου και την καθ' ύψος έκταση της. Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά θεωρούνται τυχαίες μεταβλητές και υπεισέρχονται στον υπολογισμό του A σε κάθε κατάσταση φόρτωσης.

Σε κάθε κατάσταση φόρτωσης, ο δείκτης υποδιαίρεσης εκφράζεται ως:

$$A_i = \sum_{j=1}^t p_j v_j s_j$$

Όπου j είναι η j -οστή βλάβη ενός διαμερίσματος ή μιας ομάδας διαμερισμάτων, t είναι το σύνολο των σεναρίων βλάβης που λαμβάνονται υπόψη στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης, p_j είναι η πιθανότητα ότι μόνο το j -οστό διαμέρισμα ή ομάδα διαμερισμάτων κατακλύζεται, v_j είναι η πιθανότητα ότι ένας χώρος πάνω από ένα κατακόρυφο όριο του j -οστού διαμερίσματος ή ομάδας διαμερίσματος δε θα κατακλυσθεί και s_j είναι η πιθανότητα του πλοίου να επιβιώσει μετά από την κατάκλυση του j -οστού διαμερίσματος ή ομάδας διαμερισμάτων που λαμβάνονται υπόψη στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης.

Ο συντελεστής p_j εξαρτάται από τη γεωμετρία της στεγανής υποδιαίρεσης, τόσο κατά το εγκάρσιο όσο και κατά το διάμηκες, μέσω ενός συντελεστή r ο οποίος είναι η πιθανότητα εισχώρησης της βλάβης πέραν ενός διαμήκους ορίου. Λαμβάνεται ως ομοιόμορφα κατανεμημένη πιθανότητα.

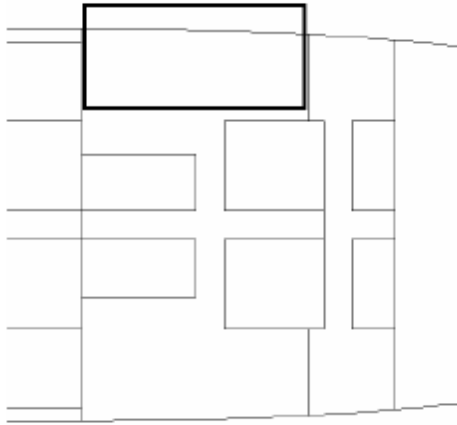
Ο συντελεστής v_j εξαρτάται από την κατακόρυφη στεγανή υποδιαίρεση και το βύθισμα στην αρχική άθικτη κατάσταση φόρτωσης.

Ο συντελεστής s_j , εκφράζει την πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου, δηλαδή την πιθανότητα να αποφύγει την ανατροπή και τη βύθιση, μετά από την κατάκλυση του συγκεκριμένου χώρου ή ομάδας χώρων. Εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως:

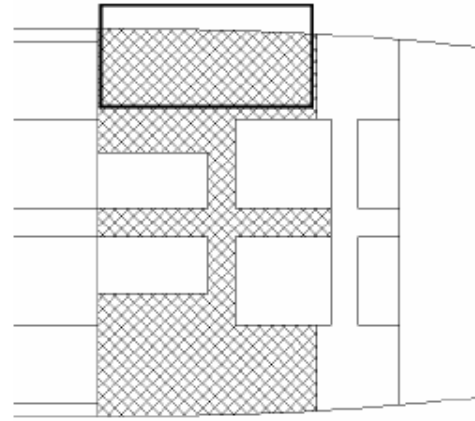
- Το αρχικό βύθισμα και το αντίστοιχο μετακεντρικό ύψος.
- Η διαχωρητότητα των χώρων που κατακλύζονται.
- Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του πλοίου, σε ό,τι αφορά τη διάταξη των χώρων ή την τοποθέτηση αντωτικών όγκων για εφεδρική πλευστότητα.
- Τη θέση των ανοιγμάτων που οδηγούν σε κατάκλυση.
- Τα χαρακτηριστικά της καμπύλης το μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ .

Για $s=0$, το πλοίο ανατρέπεται ή βυθίζεται, για $s=1$ το πλοίο επιβιώνει σίγουρα, ενώ για ενδιάμεσες τιμές το πλοίο έχει s πιθανότητα να επιβιώσει.

Μια σημαντική διευκρίνιση είναι ότι για τον υπολογισμό των πιθανοτήτων που σχετίζονται με τη βλάβη, δηλαδή τους p, r, v και b , η βλάβη θεωρείται σαν ένας κύβος (box), με βάση τις διαστάσεις του οποίου καθορίζονται οι παραπάνω πιθανότητες ύπαρξης της βλάβης. Για τον υπολογισμό του συντελεστή επιβιωσιμότητας όμως, λαμβάνεται υπόψη ο πραγματικός κατακλυσμένος χώρος και η γεωμετρία του. Τα παρακάτω σχήματα καταδεικνύουν τη διαφορά.



Σχήμα 4.2-6: Βλάβη ως κουτί (box)

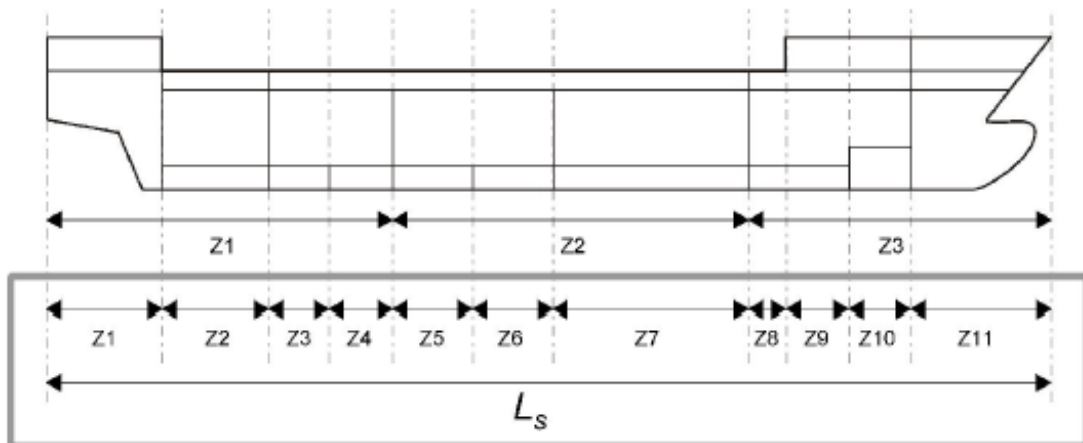


Σχήμα 4.2-7: Πραγματικός χώρος κατάκλυσης

4.2.2.1.1 Διαμήκης υποδιαίρεση- Ζωνοποίηση

Για τον υπολογισμό του δείκτη A , απαιτείται η υποδιαίρεση του υπό εξέταση πλοίου, σε έναν αριθμό ζωνών. Με αυτό τον τρόπο, επειδή τα διαμήκη όρια της κάθε ζώνης είναι καθορισμένα, υπάρχει η δυνατότητα υπολογισμού της πιθανότητα p , για κάθε ζώνη. Αν και γενικά ο καθορισμός των ζωνών είναι αυθαίρετος και επαφίεται στον εκάστοτε μελετητή η υποδιαίρεση του πλοίου, συνήθως οι ζώνες περιορίζονται μεταξύ διαδοχικών εγκαρσίων στεγανών φρακτών. Ο αριθμός των ζωνών δεν πρέπει να είναι μεγάλος, καθώς αυξάνεται πολύ ο χρόνος υπολογισμού, χωρίς πρακτική σημασία γιατί η διαδικασία είναι συγκλίνουσα, αλλά ούτε πολύ μικρός καθώς οδηγεί σε μεγαλύτερους χώρους κατάκλυσης με αποτέλεσμα το πλοίο να είναι δύσκολο να επιβιώσει των ρηγματών.

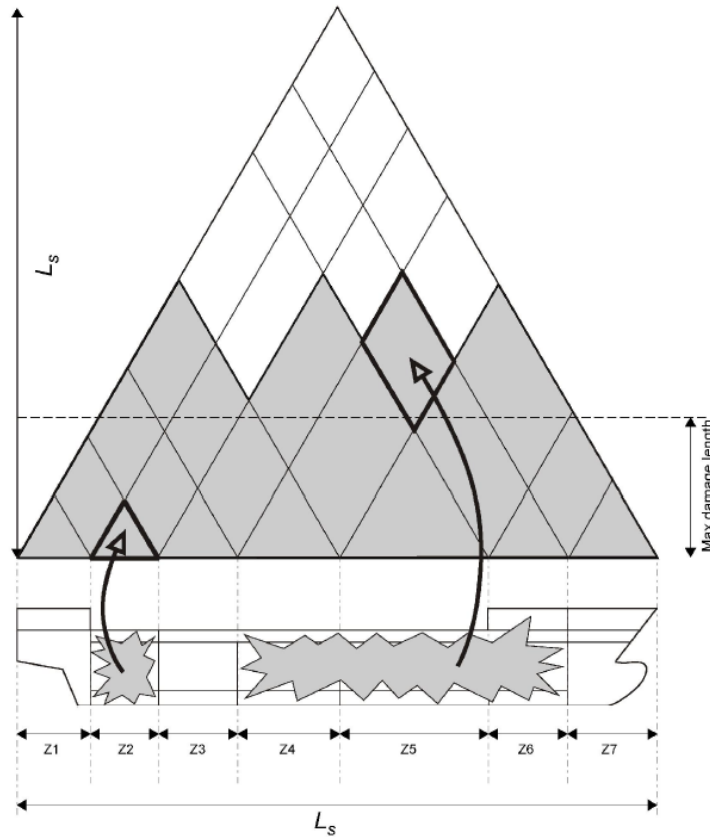
Σε κάθε περίπτωση, ο σκοπός της ζωνοποίησης είναι η εξεύρεση ενός κατάλληλου αριθμού ζωνών, ο οποίος δύναται να εξασφαλίσει ότι $A \geq R$ και συνεπώς να οδηγήσει σε ικανοποίηση των απαιτήσεων των κανονισμών.



Σχήμα 4.2-8: Παράδειγμα ζωνών υποδιαίρεσης

Ο αριθμός των ζωνών που ορίζονται, πρακτικά περιορίζεται από το μέγιστο μήκος βλάβης, όπως αυτό ορίζεται στους κανονισμούς, ίσο με 60m (l_{max}). Ο συντελεστής p μηδενίζεται όταν σε βλάβες όπου εμπλέκονται τρεις ή περισσότερες ζώνες, το μήκος των εμπλεκόμενων ζωνών, μειωμένο κατά το μήκος της πιο πρωραίας και της πιο πρυμναίας εμπλεκόμενης ζώνης είναι μεγαλύτερο του μέγιστου μήκους βλάβης. Υπό αυτή τη θεώρηση, ο επιτευχθείς

δείκτης υποδιαίρεσης μπορεί να μεγιστοποιηθεί, αν περιοριστεί ο αριθμός των ζωνών υποδιαίρεσης.



Σχήμα 4.2-9: Σχηματική απεικόνιση πιθανοτήτων κατάκλυσης

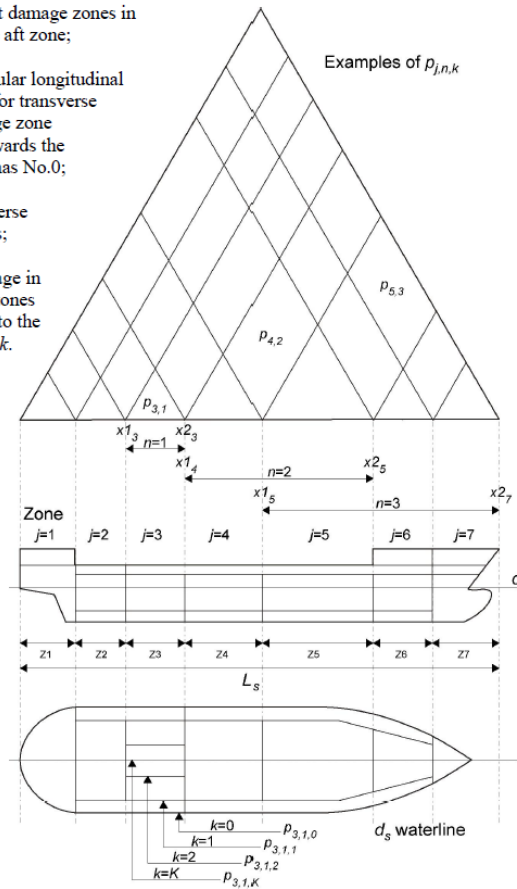
Στο παραπάνω σχήμα, τα τρίγωνα στη βάση αντιπροσωπεύουν την πιθανότητα βλάβης p , σε μία ζώνη, δηλαδή τα ρήγματα μονής ζώνης, ενώ τα παραλληλόγραμμα αντιπροσωπεύουν την πιθανότητα βλάβης πολλαπλών παρακείμενων ζωνών.

4.2.2.1.2 Εγκάρσια Υποδιαίρεση

Η βλάβη σε οποιαδήποτε ζώνη μπορεί να εισχωρήσει προκαλώντας διάρρηξη της γάστρας ή και να επεκταθεί κατά την έννοια του πλάτους προς το επίπεδο συμμετρίας. Προκειμένου να περιγραφεί η πιθανότητα εισχώρησης μόνο σε πλευρικό διαμέρισμα εισάγεται μια πιθανότητα r , η οποία στηρίζεται αποκλειστικά στο βάθος πλευρικής εισχώρησης b . Όταν το βάθος εισχώρησης είναι το μέγιστο προβλεπόμενο του κανονισμού, δηλαδή το ημιπλάτος $B/2$, η τιμή του r είναι 1, ενώ όταν $b=0$ η τιμή του r είναι το μηδέν. Ο συντελεστής r είναι ένας συντελεστής διόρθωσης της πιθανότητας p , προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι διαμήκεις στεγανές φρακτές.

Το βάθος πλευρικής εισχώρησης μετριέται στο βύθισμα υποδιαίρεσης d_s ως η εγκάρσια, κάθετη στο επίπεδο συμμετρίας, απόσταση μεταξύ του κελύφους του πλοίου και κάποιου διαμήκους ορίου.

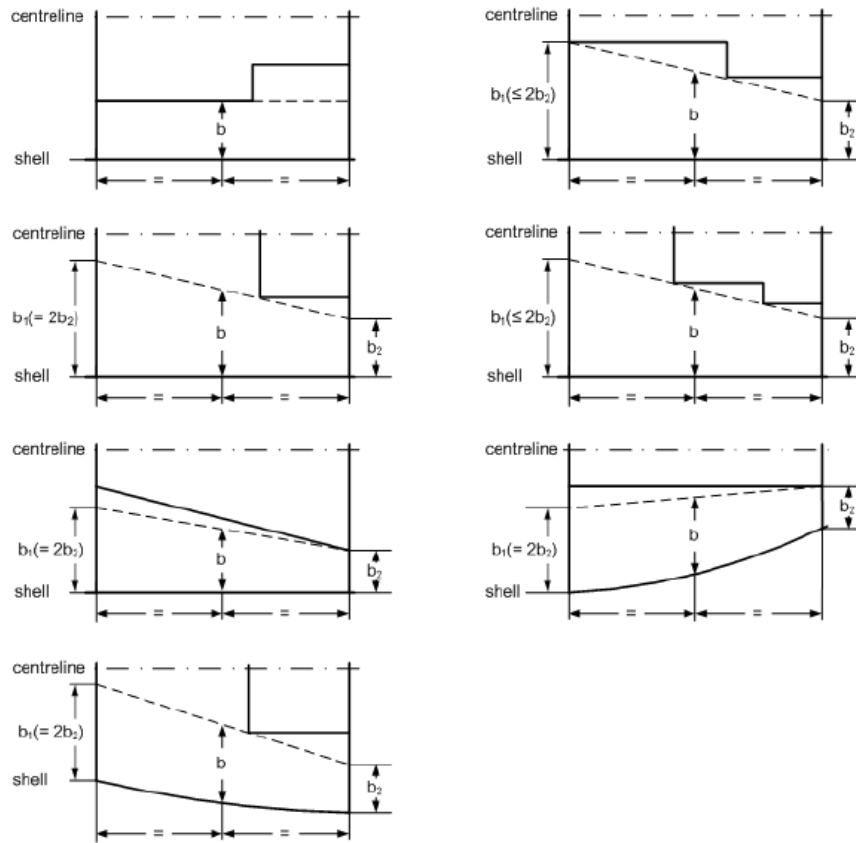
- j : the damage zone number starting with No.1 at the stern;
- n : the number of adjacent damage zones in question where j is the aft zone;
- k : the number of a particular longitudinal bulkhead as a barrier for transverse penetration in a damage zone counted from shell towards the centreline. The shell has No.0;
- K : total number of transverse penetration boundaries;
- $p_{j,n,k}$: the p -factor for a damage in zone j and next $(n-1)$ zones forward of j damaged to the longitudinal bulkhead k .



Σχήμα 4.2-10: Δείκτης p διορθωμένος για τα διαμήκη όρια υποδιαίρεσης

Όταν η πραγματική διαμήκης φρακτή δεν είναι επίπεδη, παράλληλη προς την πλευρά του πλοίου, το βάθος εισχώρησης θα πρέπει να καθοριστεί με βάση μια υποθετική γραμμή, η οποία υποδιαιρεί τη ζώνη μέχρι το κέλυφος με ένα λόγο b_1/b_2 , ο οποίος περιορίζεται από τη σχέση $\frac{1}{2} \leq b_1/b_2 \leq 2$.

Παραδείγματα τέτοιων υποθετικών γραμμών, δίνονται στο επόμενο σχήμα. Πρέπει ωστόσο να τονιστεί ότι τα διαμήκη όρια που λαμβάνονται υπόψη για το συγκεκριμένο κανονισμό πρέπει να διαπερνούν το επίπεδο της ισάλου που αντιστοιχεί στο βύθισμα d_s .



Σχήμα 4.2-11: Παραδείγματα υποθετικών γραμμών υπολογισμού για μη επίπεδες διαμήκεις φρακτές

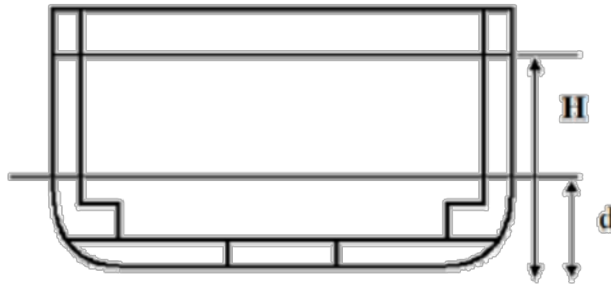
4.2.2.1.3 Κατακόρυφη υποδιαίρεση

Η κατακόρυφη υποδιαίρεση επιτυγχάνεται μέσω οριζόντιων υδατοστεγών ορίων, δηλαδή καταστρωμάτων. Στους νέους κανονισμούς έχει ληφθεί υπόψη η επίδραση της κατακόρυφης υποδιαίρεσης μέσω του συντελεστή ν . Ο συντελεστής αυτός αντιπροσωπεύει την πιθανότητα να μην κατακλυσθεί ο χώρος πάνω από την κατακόρυφη υποδιαίρεση και αν ο συντελεστής επιβιωσιμότητας s , είναι μεγαλύτερος του μηδενός, προκύπτει θετική συνεισφορά στον δείκτη υποδιαίρεσης A , εκφράζοντας τη βελτιωμένη, από άποψη ευστάθειας, συμπεριφορά του πλοίου.

Ο συντελεστής ν καθορίζεται με βάση τα καταστρώματα που βρίσκονται άνωθεν της ισάλου υποδιαίρεσης. Ωστόσο, η κατακόρυφη υποδιαίρεση κάτω από την ισάλο επηρεάζει τον καθορισμό των πιθανών σεναρίων βλάβης, από τα οποία προκύπτει το χειρότερο, δηλαδή αυτό με το χαμηλότερο, s .

Η τιμή του δείκτη ν υπολογίζεται ως εξής:

- Αν $H-d \leq 0 \Rightarrow \nu_i = 0$
- Αν $H-d \leq 7.8m \Rightarrow \nu_i = 0.8(H-d)/7.8$
- Αν $7.8m \leq H-d \leq 12.5m \Rightarrow \nu_i = 0.8 + 0.2((H-d)-7.8)/4.7$
- Αν $H-d \geq 12.5m \Rightarrow \nu_i = 1$
- Όταν οι συντελεστές αθροίζονται ισχύει ότι $\nu = \nu_1 + (\nu_2 - \nu_1) + \dots + (1 - \nu_n)$



Σχήμα 4.2-12: Σχηματική απεικόνιση για την κατακόρυφη υποδιαίρεση

4.2.2.1.4 Συντελεστής επιβιωσιμότητας

Ο συντελεστής επιβιωσιμότητας υπολογίζεται για κάθε σενάριο βλάβης μέσω παραμέτρων που αφορούν στην καμπύλη του μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ-φ. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται είναι:

- θ_e : Εγκάρσια γωνία κλίσης ισορροπίας σε κάθε στάδιο κατάκλισης.
- θ_v : Η γωνία εγκάρσιας κλίσης που αντιστοιχεί σε μηδενισμό του μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ, ή η ελάχιστη γωνία βύθισης της κατώτερης ακμής κάποιου μη καιροστεγούς ανοίγματος.
- GZ_{max} : Μέγιστη τιμή θετικού μοχλοβραχίονα επαναφοράς, έως τη θ_v .
- Εύρος (Range): Είναι το εύρος γωνιών εγκάρσιας κλίσης, μετρούμενες από τη γωνία θ_e , όπου ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς έχει θετικές τιμές.

Ο υπολογισμός του συντελεστή επιβιωσιμότητας s_i , για τα επιβατηγά πλοία υπολογίζεται ως:

$$s_i = \text{minimum}\{s_{intermediate,i} ; s_{final,i} * s_{mom,i}\}$$

Όπου $s_{intermediate}$, η πιθανότητα επιβίωσης όλων των σταδίων κατάκλισης μέχρι το τελικό στάδιο ισορροπίας. Το στάδιο κατάκλισης είναι οποιοδήποτε διακριτό βήμα της διαδικασίας κατάκλισης που περιλαμβάνει οποιοδήποτε στάδιο πριν την τελική ισορροπία. Ο s_{final} είναι η πιθανότητα επιβίωσης του τελικού σταδίου ισορροπίας και s_{mom} είναι η πιθανότητα επιβίωσης από δυσμενείς εγκάρσιες γωνίες κλίσης λόγω συγκέντρωσης επιβατών, καθέλκυσης σωστικών μέσων και ανέμου, όποιο έχει τη μεγαλύτερη επίδραση ως ροπή ανατροπής.

Ο υπολογισμός των ανώτερων συντελεστών γίνεται μέσω των σχέσεων:

$$s_{intermediate,i} = \left[\frac{GZ_{max} \text{ Range}}{0.05 \cdot 7} \right]^{\frac{1}{4}}$$

Με περιορισμούς $GZ_{max} \leq 0.05m$, $\text{Range} \leq 7^\circ$ και $s_{intermediate} = 0$ αν η γωνία εγκάρσιας κλίσης είναι πάνω από 15° .

$$s_{final,i} = K \left[\frac{GZ_{max} \text{ Range}}{0.12 \cdot 16} \right]^{\frac{1}{4}}$$

Με περιορισμούς $GZ_{max} \leq 0.12m$, $\text{Range} \leq 16^\circ$, $\theta_{min} = 7^\circ, \theta_{max} = 15^\circ$, $K = \sqrt{\frac{\theta_{max} - \theta_e}{\theta_{max} - \theta_{min}}}$, $K=1$ αν $\theta_e \leq \theta_{min}$, $K=0$ αν $\theta_e \geq \theta_{max}$.

$$S_{mom,i} = \frac{(GZ_{max} - 0.04) * Displacement}{M_{heel}}$$

Όπου $M_{heel} = maximum\{M_{passenger} ; M_{wind} ; M_{survival\ craft}\}$

$$M_{passenger} = (0.075 * N_p)(0.45 * B)[tm]$$

Όπου N_p ο αριθμός των επιβατών και B τα πλάτος του πλοίου

$$M_{wind} = \frac{P * A * Z}{9.806} [tm]$$

Όπου $P=120N/m^2$, A το εμβαδόν της εκτιθέμενης επιφάνειας του πλοίου άνωθεν της ισάλου και Z η απόσταση του κέντρου της επιφάνειας μέχρι το $T/2$.

Σχετικά με τον υπολογισμό του δείκτη επιβιωσιμότητας s , υπάρχει γενικότερη διερεύνηση προκειμένου να ληφθούν υπόψη και νεότερα στατιστικά στοιχεία. Μία τέτοια διατύπωση είναι η προκύπτουσα από το ερευνητικό πρόγραμμα *GOALDS* (1), η οποία συσχετίζει το συντελεστή επιβιωσιμότητας με το κρίσιμο σημαντικό ύψος κύματος, δηλαδή το ύψος κύματος που οδηγεί σε βέβαιη ανατροπή του πλοίου:

$$s_{i,j,k} = \int_0^{H_{Scrit}} dH_s * f_{H_s|coll}(H_s) = \exp(-\exp(0.16 - 1.2 * H_{Scrit}))$$

Όπου,

$$H_{Scrit} = \frac{A_{GZ}}{\frac{1}{2} * GM_e * Range} * V_R^{1/3}$$

Όπου, H_{Scrit} το κρίσιμο σημαντικό ύψος κύματος, A_{GZ} το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη GZ μέχρι τη γωνία βύθισης, V_R , ο εναπομένον όγκος, δηλαδή ο όγκος των διαμερισμάτων που δεν κατακλύσθηκαν και GM_e το ισοδύναμο μετακεντρικό ύψος του πλοίου υπό κατάκλυση.

Νεότερα ερευνητικά προγράμματα, όπως η *EMSA III*, προσεγγίζει το συντελεστή επιβιωσιμότητας για τις περιπτώσεις προσαράξεων (*groundings*) (3), ενώ και στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος *GOALDS*, είχε προταθεί μια εκτίμηση του επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης για τις περιπτώσεις προσαράξεων.

4.2.2.1.5 Υπολογισμός απαιτούμενου δείκτη υποδιαίρεσης R

Ο συντελεστής R είναι ο απαιτούμενος δείκτης υποδιαίρεσης και εκφράζει το απαιτούμενο επίπεδο ασφάλειας έναντι ανατροπής ή βύθισης, δηλαδή την απαιτούμενη πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου έναντι οποιασδήποτε βλάβης.

Ο απαιτούμενος δείκτης υποδιαίρεσης εξαρτάται από το μέγεθος του πλοίου, όπως αυτό εκφράζεται μέσω του μήκους του, αλλά και τον αριθμό των επιβατών στην περίπτωση των επιβατηγών πλοίων.

Η έκφραση υπολογισμού του απαιτούμενου δείκτη υποδιαίρεσης, για επιβατηγά πλοία είναι:

$$R = 1 - \frac{5000}{L_s + 2.5 * N + 15255}$$

Όπου L_s είναι το μήκος υποδιαίρεσης και $N = N_1 + 2 * N_2$, όπου N_1 ο αριθμός των επιβαινόντων για τους οποίους παρέχονται σωστικές λέμβοι και N_2 ο αριθμός των επιβαινόντων που επιτρέπεται να μεταφέρει το πλοίο, επιπλέον του αριθμού N_1 .

4.2.3 Σύγκριση προσδιοριστικών και πιθανοθεωρητικών μεθόδων αξιολόγησης
Στις παραπάνω παραγράφους αναλύθηκε η αξιολόγηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, τόσο με προσδιοριστικές μεθόδους όσο και με πιθανοθεωρητικές. Σε αυτήν την παράγραφο, επιχειρείται μια σύγκριση των δυο προτύπων επιστημονικής θεώρησης.

Οι διαφορές ξεκινούν ήδη θεμελιωδώς, δηλαδή στη θεώρηση και το στόχο της εφαρμογής της εκάστοτε μεθοδολογίας. Στις προσδιοριστικές μεθόδους, υπάρχει μια θεώρηση τυπικού ρήγματος συγκεκριμένων διαστάσεων, αναλογικών, μέχρι κάποιο βαθμό, του μήκους του πλοίου και στόχος είναι η εύρεση της κατάλληλης υποδιαίρεσης του πλοίου, δηλαδή της απόστασης μεταξύ φρακτών, ώστε να πληροί τα κριτήρια που προδιαγράφονται από τους κανονισμούς. Στις πιθανοθεωρητικές μεθόδους ο στόχος είναι η πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου κατόπιν βλάβης να είναι πάνω από το καθορισμένο, από τους κανονισμούς, όριο, καθιστώντας την υποδιαίρεση δευτερεύουσας σημασίας. Προφανώς, η υποδιαίρεση του πλοίου συναρτάται με την πιθανότητα επιβίωσης, όμως δεν υπάρχει αυστηρή απαίτηση για την απόσταση μεταξύ φρακτών, επί παραδείγματι. Αυτό συνδέεται άμεσα με τη θεώρηση της σχεδίασης με βάση τη διακινδύνευση (*Risk Based Ship Design*).

Κατά αυτή την έννοια, η πιθανοθεωρητική μέθοδος θεωρείται επιστημονικά ορθολογικότερη καθώς εκπληρώνει το βασικό στόχο των κανονισμών, δηλαδή την αξιολόγηση της ευστάθειας, χωρίς να θέτει τυπικές απαιτήσεις για τα μέσα με τα οποία θα επιτευχθεί το απαιτούμενο επίπεδο ασφάλειας.

Με τις πιθανοθεωρητικές μεθόδους είναι δυνατή η βελτιστοποίηση καθώς υπάρχουν καθολικά όρια και δείκτες ασφαλείας, μέσω των οποίων πλοία διαφορετικών διαστάσεων και διατάξεων μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους, για να βρεθεί το βέλτιστο. Έτσι με βάση την επίδοση του πλοίου σε όρους ευστάθειας κατόπιν βλάβης, όπως εκφράζεται είτε με τον A είτε με το λόγο A/R , είναι δυνατή η αξιολόγηση πολλών μοντέλων.

Σε ό,τι αφορά τα σενάρια βλάβης, το μήκος της βλάβης όπως προβλέπεται κατά τη *SOLAS90*, υποθέτει μέγιστο μήκος βλάβης μέχρι 11m ή $3m+0.03*L$, όποιο είναι μικρότερο. Συνεπώς, ακόμη και για ένα πολύ μεγάλο μήκους πλοίο, δηλαδή άνω των 265 μέτρων η βλάβη δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 11m. Κάτι τέτοιο είναι δικαιολογημένο, καθώς αυτά τα μεγέθη πλοίων δεν υπήρχαν όταν συντάχθηκε η *SOLAS90*, όμως αυτό έπρεπε να διορθωθεί καθώς τόσο η λογική όσο και σύγχρονα ατυχήματα κρουαζιερόπλοιων, δείχνουν ότι το μήκος βλάβης μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερο του συγκεκριμένου ορίου. Για το λόγο αυτό το μέγιστο μήκος βλάβης στη *SOLAS 2009* είναι 60m. Στη νεότερη μεθόδο της *SOLAS90*, υποτίθεται ότι η πλευρική εισχώρηση της βλάβης δε ξεπερνά τα $B/5$. Η συγκεκριμένη παραδοχή προέρχεται από στατιστική ανάλυση των έως τότε ατυχημάτων, αλλά είναι και αυθαίρετη παραδοχή των κανονισμών. Έτσι ουσιαστικά ο χώρος μεταξύ των ορίων του $B/5$ από κάθε πλευρά θεωρείται άθικτος. Από την άλλη μεριά, στις πιθανοθεωρητικές μεθόδους το πλευρικό βάθος εισχώρησης είναι μέχρι το $B/2$.

Σύμφωνα με την προσδιοριστική μέθοδο, η συμμόρφωση του πλοίου με τους κανονισμούς, ανάγεται τελικά στην αξιολόγηση της ευστάθειας, δηλαδή τον έλεγχο ικανοποίησης των

κριτηρίων, για το χειρότερο δυνατό συνδυασμό αρχικής φόρτωσης και περίπτωσης βλάβης. Αν λοιπόν το πλοίο ικανοποιεί τα κριτήρια για το χειρότερο συνδυασμό φόρτωσης- βλάβης, τότε θεωρείται, με βάση τη συγκεκριμένη μέθοδο, ότι έχει επαρκή ευστάθεια κατόπιν βλάβης και στους υπόλοιπους συνδυασμούς καταστάσεων φόρτωσης και βλάβης. Στα πιθανοθεωρητικά πρότυπα, εξετάζεται η πιθανότητα επιβίωσης σε κάθε σενάριο βλάβης, δηλαδή συνδυασμό αρχικής φόρτωσης και βλάβης και το αποτέλεσμα συνεισφέρει ή όχι στον επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης. Αυτό σημαίνει από τη μία μεριά, ότι εξετάζεται ένα μεγάλο φάσμα σεναρίων βλάβης και όχι μόνο το δυσμενέστερο, αλλά από την άλλη μεριά, ένα σενάριο βλάβης με χαμηλή ή μηδενική επιβιωσιμότητα μπορεί να μην επηρεάσει την αξιολόγηση, καθώς αθροιζόμενο με τις συνεισφορές άλλων σεναρίων, μπορεί τελικά ο δείκτης A να είναι υψηλότερο του R, οπότε το πλοίο να ικανοποιεί τα κριτήρια.

Η εφαρμογή της πιθανοθεωρητικής μεθόδου, επιτρέπει τοπική ενίσχυση της υποδιαίρεσης, με την έννοια πυκνότερης διαμέρισης ή προσθήκης άθικτων αντρωτικών όγκων, ακριβώς στις περιοχές του πλοίου, οι οποίες αν θιγούν οδηγούν σε μειωμένη επιβιωσιμότητα. Αυτό το γεγονός, έχει και αντίθετη ανάγνωση, καθώς η τοπική προσθήκη στοιχείων υποδιαίρεσης ουσιαστικά βοηθάει στην επίτευξη της απαίτησης $A \geq R$, χωρίς όμως να έχει πραγματική επίδραση στην επιβιωσιμότητα του πλοίου, ακριβώς λόγω του τοπικού χαρακτήρα της υποδιαίρεσης.

Τέλος, από άποψη υπολογιστικού κόστους, ο αριθμός των σεναρίων βλάβης για τα προσδιοριστικά κριτήρια είναι σαφώς λιγότερα των αντίστοιχων πιθανοθεωρητικών. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου της σχεδίασης και επανεξέτασης της ευστάθειας. Κάτι τέτοιο είναι σαφώς πιο επίπονο, για τα πιθανοθεωρητικά πρότυπα, καθώς τα εξεταζόμενα σενάρια βλάβης είναι εκατοντάδες.

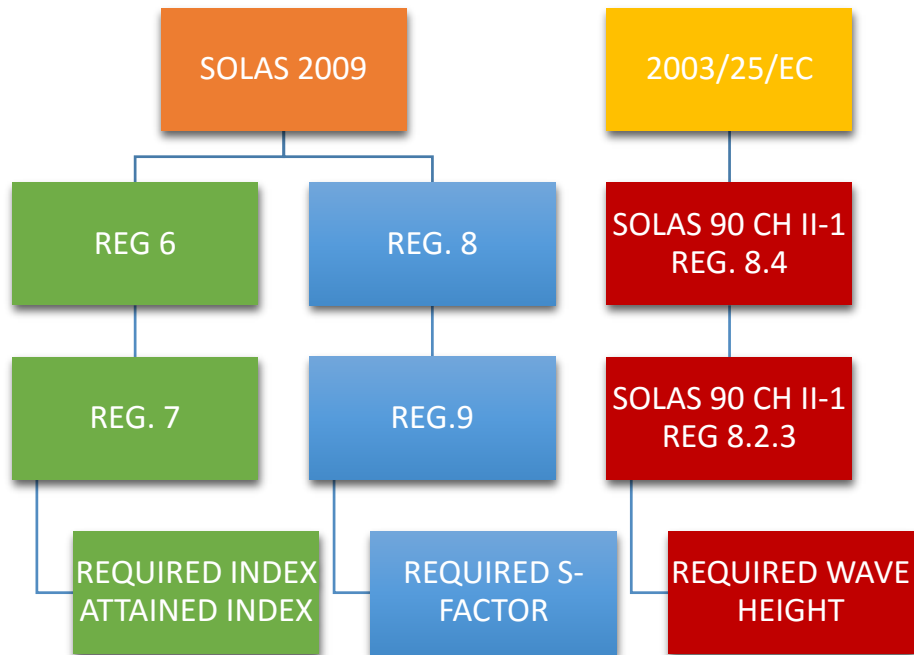
4.3 Εξεταζόμενοι Κανονισμοί στην Εργασία

Οι κανονισμοί που εξετάζονται στα πλαίσια της εργασίας είναι αφενός οι κανονισμοί ευστάθειας κατόπιν βλάβης, όπως προβλέπονται από τη *SOLAS 2009* και αφετέρου οι κανονισμοί της κοινοτικής οδηγίας 25, 2003/25/EC.

Οι κανονισμοί 6 και 7 της *SOLAS 2009* αναλύθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο εκτενώς και αποτελούν το πιθανοθεωρητικό μοντέλο εκτίμησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης για επιβατηγά πλοία.

Οι κανονισμοί 8 και 9 είναι ειδικοί κανονισμοί που αφορούν τα επιβατηγά πλοία, οι οποίοι όμως είναι προσδιοριστικών προτύπων. Οι συγκεκριμένοι κανονισμοί προβλέπουν ρήγμα συγκεκριμένων διαστάσεων και τίθενται απαιτήσεις στο δείκτη επιβιωσιμότητας s , σε κάθε βλάβη. Ο κανονισμός 8 περιέχει το άρθρο 8.1 το οποίο εξετάζει πρωραία βλάβη που εκτείνεται πρύμνηθεν της πρωραίας φρακτής σύγκρουσης και απαιτεί $s=1$ και τα άρθρα 8.2-3, στα οποία υπάρχει απαίτηση για $s \geq 0.9$, για τις λεγόμενες μικρές πλευρικές βλάβες, με πλευρική εισχώρηση μέχρι $B/10$. Ο κανονισμός 9, προβλέπει βλάβες ντετερμινιστικού χαρακτήρα, στην περιοχή του διπύθμενου, με καθ' ύψος εισχώρηση $B/20$ ή 2m, όποιο είναι μικρότερο.

Σχεδιαγραμματικά, η διαδικασία αξιολόγησης δίνεται παρακάτω.



Σχήμα 4.3-1: Σχεδιαγραμματική απεικόνιση των υπό εξέταση κανονισμών ευστάθειας κατόπιν θλάθης

REG 6	<ul style="list-style-type: none"> • $A_{REQ} \geq R$ • $A_i \geq 0.9R$ • $R = 1 - (5000 / (L_s + 2.5N + 15225))$
REG 7	<ul style="list-style-type: none"> • $A = \sum prvs$ • $A = 0.4A_s + 0.4A_p + 0.2A_L$ • $p = p(x_1, x_2); r = r(x_1, x_2, b)$ • $v = 0.8(H-d)/7.8; v = 0.8 + 0.2((H-d) - 7.8)/4.7$ • $s = \min\{s_{int}, s_{final}, s_{mom}\}$
REG 8	<ul style="list-style-type: none"> • REG. 8.1: BOW DAMAGES $s_{REQ} = 1$ • REG 8.2-3: MINOR SIDE DAMAGES $s_{REQ} \geq 0.9$
REG 9	<ul style="list-style-type: none"> • GROUNDING DAMAGES $s_{REQ} = 1$

Σχήμα 4.3-2: Απαιτήσεις κανονισμών SOLAS 2009 για επιβατηγά πλοία

Ο κανονισμός 8.1 απαιτεί πιθανότητα επιβίωσης $s=1$ για βλάβη που θίγει όλα τα διαμερίσματα του πλοίου τα οποία βρίσκονται εντός του ορίου των $0.08L$ πρύμνηθεν της πρωραίας καθέτου, για τις τρεις καταστάσεις φόρτωσης του κανονισμού.

Ο κανονισμός 8.2-3 απαιτεί πιθανότητα επιβίωσης $s \geq 0.9$ για βλάβες με καθ' ύψος έκταση από τη βασική γραμμή αναφοράς μέχρι τα $12.5m$ πάνω από το βύθισμα υποδιαίρεσης, εκτός αν μια μικρότερης καθ' ύψος έκτασης βλάβη δίνει μικρότερη τιμή του s . Το μήκος της βλάβης ορίζεται ως $0.03L_s$, αλλά όχι λιγότερο από $3m$ σε συνδυασμό με πλευρική εισχώρηση $0.1B$, αλλά όχι μικρότερη από $0.75m$ στο ύψος του βυθίσματος υποδιαίρεσης. Τα παραπάνω όρια ισχύουν για πλοία πιστοποιημένα για μεταφορά άνω των 400 επιβατών, το βάθος πλευρικής εισχώρησης για πλοία με μεταφορική ικανότητα κάτω από 36 άτομα, είναι μέχρι $0.05B$, ενώ για ενδιάμεση μεταφορική ικανότητα η τιμή του βάθους πλευρικής εισχώρησης προκύπτει με γραμμική παρεμβολή.

Ο κανονισμός 9 αφορά στην τοποθέτηση διπύθμενων σε επιβατηγά και φορτηγά πλοία, εκτός των δεξαμενοπλοίων. Το διπύθμενο τοποθετείται από την πρωραία φρακτή σύγκρουσης, μέχρι την πιο πρυμναία φρακτή, όσο αυτό είναι δυνατό και συμβατό με τη σχεδίαση και την κατάλληλη λειτουργία του πλοίου. Το ύψος του διπύθμενου θεωρείται επαρκές αν είναι τουλάχιστον ίσο με το $B/20$, οπωσδήποτε όμως μεγαλύτερο των $760mm$, αλλά δε χρειάζεται να είναι μεγαλύτερο από $2m$. Η απαίτηση του κανονισμού είναι η πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου s να είναι μονάδα, για όλες τις καταστάσεις υπηρεσίας, όταν το πλοίο υπόκειται σε βλάβη πυθμένος σε οποιαδήποτε θέση κατά μήκος του πλοίου. Οι θεωρούμενες διαστάσεις της βλάβης του κανονισμού είναι όπως δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

	Για μήκος $0.3L$ πρύμνηθεν της πρωραίας καθέτου	Σε οποιοδήποτε άλλο σημείο του πλοίου
Διαμήκης έκταση	$1/3 L^{2/3}$ ή $14.5m$, όποιο είναι μικρότερο	$1/3 L^{2/3}$ ή $14.5m$, όποιο είναι μικρότερο
Εγκάρσια έκταση	$B/6$ ή $10m$, όποιο είναι μικρότερο	$B/6$ ή $5m$, όποιο είναι μικρότερο
Καθ' ύψος έκταση	$B/20$ ή $2m$, όποιο είναι μικρότερο	$B/20$ ή $2m$, όποιο είναι μικρότερο

Πίνακας 4.3-1: Διαστάσεις βλάβης προσάραξης κανονισμού 9 SOLAS 2009

Αν ένα επιβατηγό πλοίο διαθέτει lower hold, μπορεί να απαιτηθεί από τις αρχές αυξημένο ύψος διπύθμενου, όχι μεγαλύτερο από το $B/10$ ή τα $3m$, όποιο είναι μικρότερο.

Οι κανονισμοί της κοινοτικής οδηγίας 25 του 2003, είναι τα προσδιοριστικά κριτήρια της Συνθήκης της Στοκχόλμης, τα οποία παρουσιάστηκαν σε προηγούμενη παράγραφο.

Πέραν των παραπάνω κριτηρίων ευστάθειας κατόπιν βλάβης το πλοίο πρέπει να συμμορφώνεται και προς τους ισχύοντες κανονισμούς ευστάθειας σε άθικτη κατάσταση, σε όλες τις καταστάσεις φόρτωσης. Οι κανονισμοί που σχετίζονται με την ευστάθεια σε άθικτη κατάσταση περιγράφονται στον Κώδικα Άθικτης Ευστάθειας (*Intact Stability Code- IS Code*) του 2008.

Οι σχετικοί κανονισμοί του *IS CODE 2008* είναι ο A2.2, ο A2.3.1.2 και ο A3.1. Το κριτήριο A2.2 εξετάζει κριτήρια που σχετίζονται με την καμπύλη GZ και αφορά όλα τα εμπορικά πλοία και τα επιβατηγά και ουσιαστικά είναι οι απαιτήσεις του Res A749. Το κριτήριο A2.3.1.1-2 είναι

το κριτήριο καιρού με τις αντίστοιχες απαιτήσεις. Το κριτήριο A3.1 είναι ειδικές απαιτήσεις που αφορούν σε επιβατηγά πλοία και προβλέπουν ροπές λόγω συγκέντρωσης επιβατών και λόγω στροφής του πλοίου, με απαίτηση η γωνία εγκάρσιας κλίσης να μην υπερβαίνει τις 10°.

Συγκεντρωτικά, τα κριτήρια άθικτης ευστάθειας είναι τα παρακάτω:

INTACT STABILITY CRITERIA (IS CODE 2008)		
Regulation	Description	Required Value
IS CODE 2008 A2.2	Area under GZ curve up to 30 deg	0.055 mrad
	Area under GZ curve up to 40 deg.	0.090 mrad
	Area under GZ curve between 30 and 40 deg	0.030 mrad
	Min. GZ > 0.2	0.2 m
	Max. GZ at an angle > 25 deg.	25 deg
	GM > 0.15 m	0.15 m
IS CODE 2008 A3.1	Max. heel due to crowding of pass.	10 deg
	Max. heel due to turning	10 deg
IS CODE 2008 A.2.3.1.1-2	IMO weather criterion (area ratio $b/a \geq 1$)	1
	Heeling angle due to steady wind <16 or $\leq 80\%$ of deck imm.	16 deg

Πίνακας 4.3-2: Κριτήρια άθικτης ευστάθειας υπό εξέταση (IS CODE 2008)

Σε αυτό το σημείο ολοκληρώθηκε η παρουσίαση των βασικών κανονισμών που εξετάστηκαν στα πλαίσια της εργασίας, σε ό,τι αφορά την ευστάθεια τόσο σε άθικτη κατάσταση όσο και σε κατάσταση βλάβης.



5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ Ε/Γ-Ο/Γ

5.1 Γενικά

Το πλοίο που μοντελοποιήθηκε ήταν το μοντέλο *Halkyon 90*, το οποίο αναπτύχθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος ανάπτυξης ολοκληρωμένης μεθοδολογίας σχεδίασης Ε/Γ-Ο/Γ πλοίων και εφαρμογή στη σχεδίαση Ε/Γ-Ο/Γ πλοίου τροφοδοτικών γραμμών για τις ανάγκες της Ελληνικής Ακτοπλοΐας, το οποίο εκπονήθηκε από το Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου του Ε.Μ.Π σε συνεργασία με τα ναυπηγεία της Ελευσίνας.

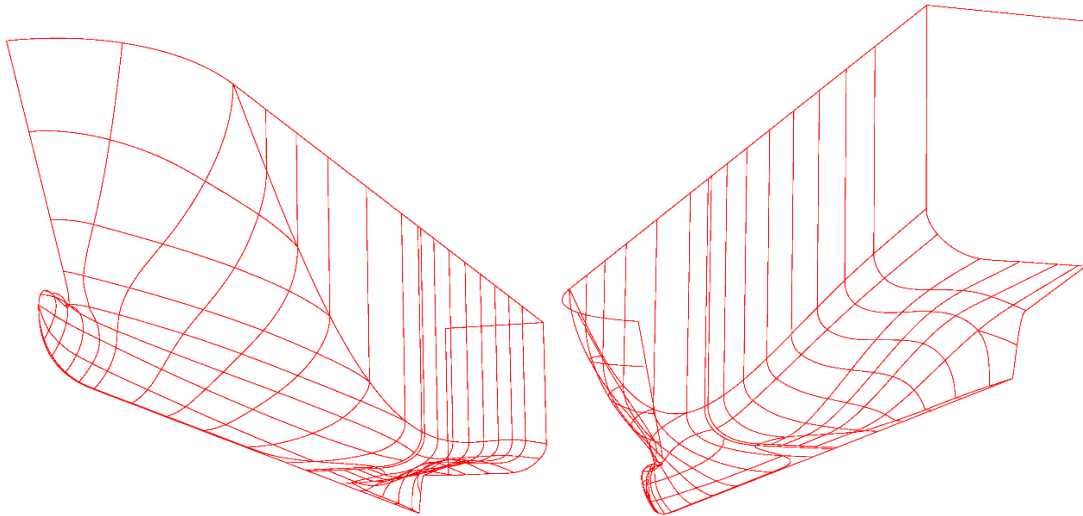
Όλη η μελέτη βασίστηκε στο ναυπηγικό λογισμικό NAPA®, το οποίο υποδιαιρείται σε διάφορα υποσυστήματα και επιτρέπει τη μοντελοποίηση του πλοίου από τον ορισμό της γάστρας μέχρι την εκπόνηση πολύπλοκων μελετών, όπως η ευστάθεια κατόπιν βλάβης. Το λογισμικό NAPA® και τα χρησιμοποιούμενα υποσυστήματα αναλύονται στο παράρτημα.

Το πλοίο *Halkyon 90* έχει μήκος μεταξύ καθέτων 75m, πλάτος 16m, βύθισμα σχεδίασης 4m, με κοίλο ως το κατάστρωμα υποδιαίρεσης/ οχημάτων 6.5m. Τα βασικά χαρακτηριστικά του υπό εξέταση πλοίου είναι:

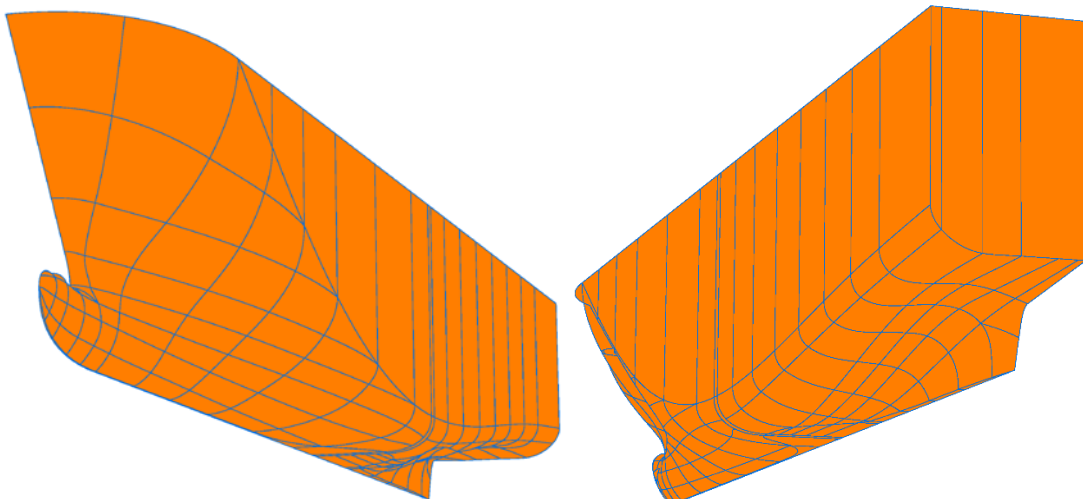
Κύρια Χαρακτηριστικά Πλοίου ROPAX		
Μήκος μεταξύ καθέτων	L_{BP} [m]	75
Ολικό μήκος	L_{OA} [m]	91.52
Μέγιστο πλάτος	B [m]	16
Βύθισμα σχεδίασης	T [m]	4
Κοίλο μέχρι το κατ/μα στεγ. φρακτών (Κ. κατ/μα οχημάτων)	D_{BD} [m]	6.5
Κοίλο μέχρι το κατάστρωμα αντοχής	D_{SD} [m]	11.3
Νεκρό Βάρος (Dead Weight)	DWT [t]	1386
Ταχύτητα υπηρεσίας	V_S [kn]	18
Εγκατεστημένη ισχύς πρόωσης	P_P [kW]	5200
Μεταφορική Ικανότητα		
Αριθμός επιβατών σε κλίνες (berthed)	P_B	20
Αριθμός επιβατών καταστρωμάτων χειμώνας	P_{CD}	500
Αριθμός επιβατών ανοιχτών κατ/των	P_{OP}	250
Αριθμός Οχημάτων	70 Ι.Χ.Ε. ή 13 φορτηγά των 16m	
Αριθμός μελών πληρώματος	P_{CR}	22

Πίνακας 5.1-1: Κύριες διαστάσεις πλοίου ROPAX

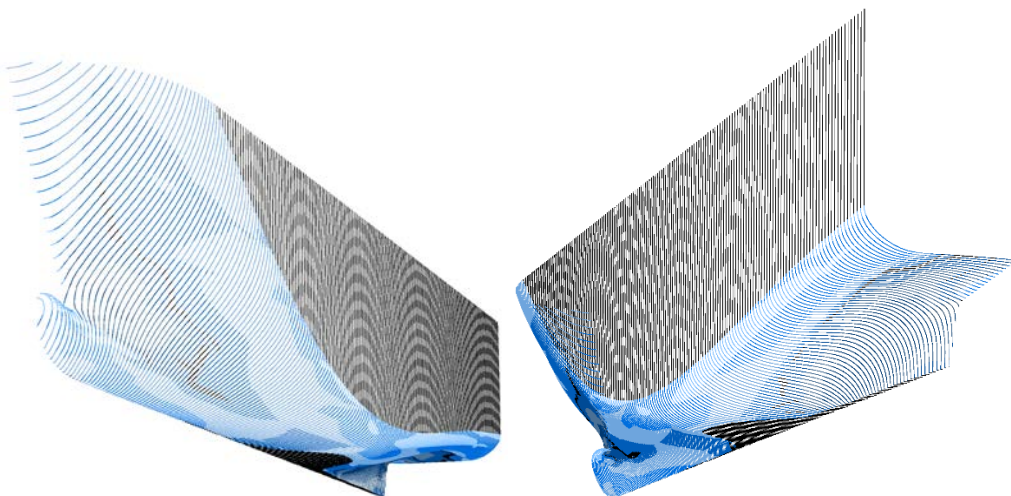
Η γάστρα ήταν ήδη μοντελοποιημένη και χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, χωρίς κάποια αλλαγή. Στα επόμενα σχήματα δίνονται μερικές όψεις της μοντελοποιημένης γάστρας.



Σχέδιο 5.1-1: Πλέγμα ορισμού της γάστρας (definition grid)



Σχέδιο 5.1-2: Επιφάνεια γάστρας (hull surface)



Σχέδιο 5.1-3: Καμπυλότητα γάστρας (x-section curvature)



5.2 Υδροστατικά Στοιχεία

Με βάση τη γάστρα μπορούν να υπολογιστούν στο υποσύστημα *Hydrostatics-HYD* του λογισμικού NAPA®, τα βασικότερα υδροστατικά μεγέθη καθώς επίσης και να σχεδιαστεί το υδροστατικό διάγραμμα στο υποσύστημα *Drawing-DR*.

Τα βασικότερα μεγέθη που εμφανίζονται στον πίνακα υδροστατικών μεγεθών και το υδροστατικό διάγραμμα είναι τα εξής:

- **Βύθισμα T:** Είναι η απόσταση της άνω όψης του ελάσματος της τρόπιδας από την ίσαλο για την οποία πραγματοποιείται ο υπολογισμός. Συνήθως τα υδροστατικά μεγέθη υπολογίζονται στην ισοβύθιστη κατάσταση, δηλαδή χωρίς διαμήκη και εγκάρσια κλίση. Αν αυτή η συνθήκη δεν ισχύει, τότε ο υπολογισμός αναφέρεται στο βύθισμα στη θέση του κέντρου πλευστότητας (*Center of Floatation-CF*).
- **Εκτόπισμα DISP:** Είναι το βάρος του εκτοπιζόμενου, από τον όγκο των υφάλων του πλοίου, νερού και είναι ίσο με το βάρος του πλοίου.
- **Διαμήκης θέση κέντρου άντωσης LCB:** Είναι η διαμήκης θέση του κέντρου όγκου των υφάλων του πλοίου.
- **Μετακεντρικό ύψος KM_T:** Είναι το άθροισμα της καθ' ύψους θέσης του κέντρου άντωσης KB και της εγκάρσιας μετακεντρικής ακτίνας BM_T και είναι ίσο με το θεωρητικό μετακεντρικό ύψος αν το κέντρο βάρους της φόρτωσης ήταν επί της τρόπιδας. Το πραγματικό μετακεντρικό ύψος GM προκύπτει αν από το KM_T αφαιρεθεί η διορθωμένη, για την επίδραση των ελεύθερων επιφανειών, καθ' ύψους θέση του κέντρου βάρους της φόρτωσης.
- **Συντελεστής γάστρας c_B:** Είναι ο λόγος του εκτοπίσματος προς το γινόμενο του μήκους, του πλάτους και του βυθίσματος και αποτελεί το ποσοστό πλήρωσης του όγκου πρίσματος, των παραπάνω διαστάσεων, από τον όγκο των υφάλων. Αποτελεί επίσης μέτρο χαρακτηρισμού του πλοίου ως λεπτόγραμμο ή ογκώδες, μαζί με το εκτόπισμα και το μήκος ή το συντελεστή λυγηρότητας.
- **Εμβαδόν ισάλου επιφανείας WLA:** Είναι το εμβαδόν της ισάλου επιφανείας, δηλαδή της τομής της γάστρα σε δεδομένο βύθισμα.
- **Ροπή διαγωγής ανά μονάδα αλλαγή βυθισμάτων MCT:** Το μέγεθος αυτό εκφράζει τη ροπή που πρέπει να ασκηθεί επί του διαμήκους άξονα του πλοίου, προκειμένου να προκαλέσει μεταβολή της διαγωγής κατά 1cm.
- **Αλλαγή εκτοπίσματος ανά μονάδα μεταβολής βυθίσματος:** Το μέγεθος αυτό εκφράζει πόση δύναμη άντωσης (βάρος) προστίθεται για κάθε εκατοστό βύθισης του πλοίου.

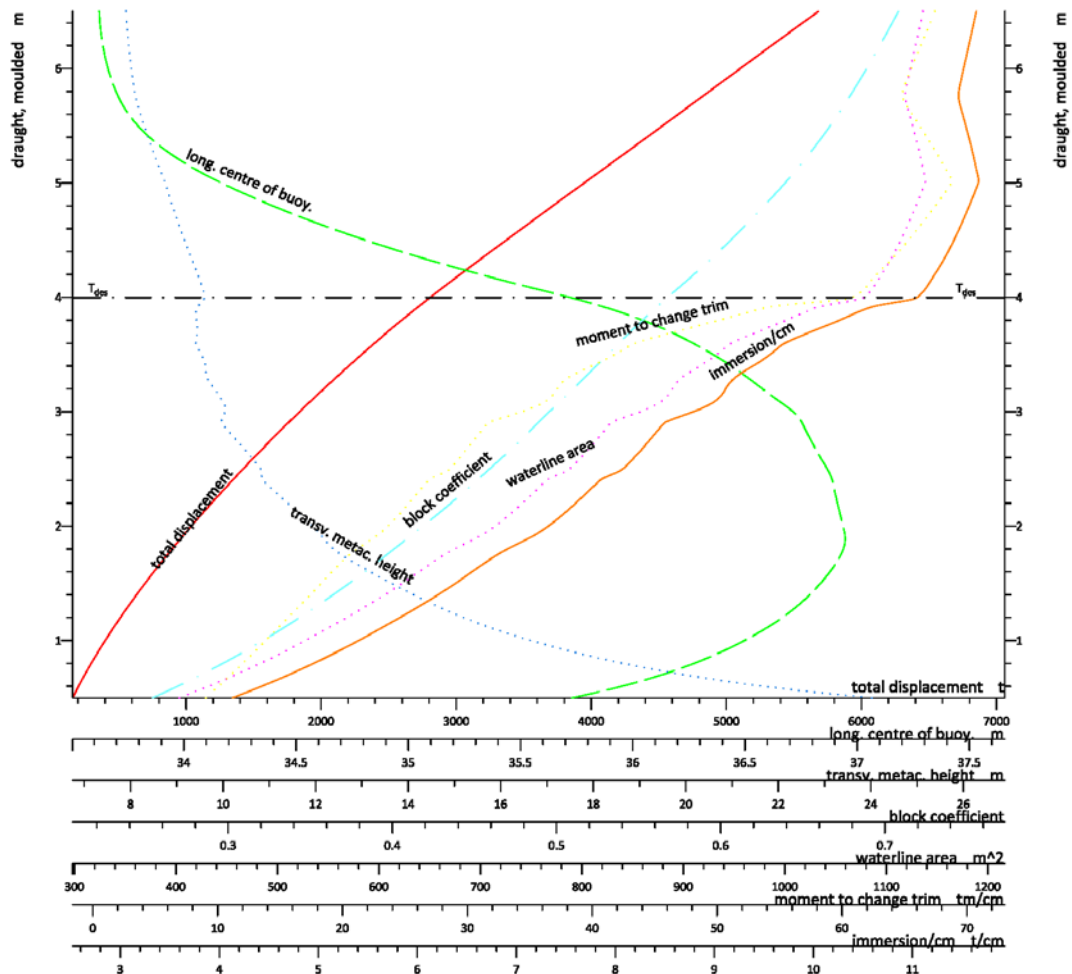
Τα παραπάνω μεγέθη εμφανίζονται παρακάτω σε πινακοποιημένη μορφή και αποτυπώνονται στο υδροστατικό διάγραμμα.

Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών							
T	DISP	LCB	KMT	CB	WLA	MCT	TPC
[m]	[t]	[m]	[m]		[m ²]	[tm/cm]	[t/cm]
0.5	160.518	35.73	24.018	0.253915	403.236	9.0525	4.13317
0.6	203.35	35.951	21.6827	0.269158	431.91	10.0699	4.42708
0.7	249.004	36.1279	19.9799	0.283345	458.476	11.051	4.69937
0.8	297.283	36.2727	18.6498	0.296669	483.032	11.9969	4.95108
0.9	347.989	36.3936	17.5688	0.309241	506.032	12.9341	5.18683
1	400.961	36.4973	16.6545	0.321151	527.536	13.834	5.40725
1.1	456.081	36.5878	15.8674	0.332488	548.009	14.7212	5.6171
1.2	513.282	36.6659	15.2007	0.343348	568.075	15.6282	5.82277
1.3	572.51	36.7321	14.6263	0.353808	587.366	16.5286	6.0205
1.4	633.678	36.7881	14.1174	0.363906	605.785	17.4351	6.20929
1.5	696.656	36.8364	13.6364	0.373645	622.864	18.2926	6.38435
1.6	761.345	36.8784	13.1813	0.383037	639.26	19.149	6.55241
1.7	827.703	36.9136	12.7539	0.392123	655.568	20.0464	6.71957
1.8	895.799	36.9384	12.3861	0.40098	674.12	21.1278	6.90973
1.9	966.04	36.9462	12.158	0.409791	696.642	22.5346	7.14058
2	1038.41	36.9374	11.946	0.418608	714.464	23.6343	7.32325
2.1	1112.39	36.9247	11.6767	0.427223	728.634	24.5101	7.4685
2.2	1187.73	36.9122	11.3979	0.435566	741.334	25.3094	7.59867
2.3	1264.34	36.9006	11.1234	0.44363	753.299	26.0811	7.72131
2.4	1342.17	36.8894	10.8621	0.451435	765.373	26.8963	7.84507
2.5	1421.83	36.8668	10.8146	0.459178	787.827	28.5966	8.07523
2.6	1503.19	36.8363	10.6169	0.466888	799.176	29.3973	8.19155
2.7	1585.64	36.8077	10.402	0.474361	809.286	30.1308	8.29518
2.8	1669.1	36.781	10.1846	0.481592	818.864	30.8586	8.39335
2.9	1753.53	36.7555	9.97532	0.488598	828.441	31.6162	8.49152
3	1839.94	36.7153	10.0476	0.49562	857.358	34.3331	8.78792
3.1	1929.35	36.6471	9.97605	0.502988	880.028	36.391	9.02028
3.2	2020.02	36.5779	9.8112	0.510254	889.22	37.1925	9.11451
3.3	2111.65	36.5111	9.64782	0.517312	898.669	38.0923	9.21136
3.4	2204.67	36.4394	9.62091	0.52427	916.127	39.9546	9.3903
3.5	2299.39	36.3587	9.53198	0.531226	932.996	41.7844	9.56321
3.6	2395.93	36.2679	9.41071	0.538208	947.511	43.4221	9.71198
3.7	2494.3	36.1665	9.44125	0.545191	973.688	46.691	9.9803
3.8	2595.43	36.0435	9.42614	0.552392	1001.24	50.1169	10.2627
3.9	2699.52	35.8978	9.42378	0.559841	1027.63	53.523	10.5332
4	2807.22	35.7203	9.59783	0.567598	1077.97	60.8128	11.0492
4.1	2918.26	35.5161	9.53979	0.57572	1088.16	62.0043	11.1536
4.2	3030.2	35.322	9.45149	0.583641	1095.28	62.7613	11.2266
4.3	3142.83	35.1391	9.35654	0.591325	1102.26	63.689	11.2981
4.4	3256.13	34.9683	9.26012	0.598786	1108.47	64.5313	11.3618
4.5	3370.05	34.8093	9.16555	0.606027	1114.21	65.3233	11.4206
4.6	3484.53	34.6613	9.07401	0.613053	1119.54	66.0709	11.4753
4.7	3599.55	34.5238	8.98673	0.619872	1124.58	66.7879	11.5269
4.8	3715.06	34.3961	8.90358	0.626493	1129.35	67.4771	11.5758
4.9	3831.05	34.2776	8.82443	0.632923	1133.86	68.1381	11.6221
5	3947.5	34.1678	8.74968	0.639169	1138.18	68.7793	11.6663
5.1	4064.12	34.0684	8.65135	0.64519	1136.73	68.4158	11.6515

Πίνακας Υδροστατικών Μεγεθών							
T	DISP	LCB	KMT	CB	WLA	MCT	TPC
[m]	[t]	[m]	[m]		[m ²]	[tm/cm]	[t/cm]
5.2	4180.53	33.9824	8.55427	0.650945	1134.35	67.9028	11.6271
5.3	4296.69	33.9086	8.46176	0.656445	1131.7	67.3555	11.5999
5.4	4412.56	33.8464	8.37457	0.661697	1128.87	66.7866	11.5709
5.5	4528.09	33.7953	8.29213	0.666707	1125.9	66.2052	11.5404
5.6	4643.31	33.7541	8.21468	0.671496	1122.84	65.6226	11.5091
5.7	4758.24	33.722	8.14247	0.676074	1119.68	65.029	11.4767
5.8	4872.95	33.6976	8.08702	0.680468	1118.99	64.8575	11.4697
5.9	4987.78	33.6778	8.04947	0.684733	1121.26	65.1849	11.4929
6	5102.79	33.662	8.01639	0.688879	1123.71	65.5471	11.518
6.1	5218.06	33.6493	7.98734	0.692927	1126.24	65.9229	11.5439
6.2	5333.63	33.639	7.96145	0.696882	1128.77	66.3032	11.5699
6.3	5449.46	33.6314	7.93891	0.700746	1131.34	66.6913	11.5962
6.4	5565.55	33.6262	7.91865	0.704523	1133.79	67.0625	11.6213
6.5	5681.88	33.6233	7.90116	0.708212	1136.2	67.4275	11.646

Πίνακας 5.2-1: Πίνακας υδροστατικών μεγεθών

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ



Διάγραμμα 5.2-1: Καμπύλες υδροστατικών μεγεθών

5.3 Γενική Διάταξη- Διαμερισματοποίηση

Μετά τη μοντελοποίηση της γάστρας ακολουθεί η εσωτερική υποδιαίρεση και διαμερισματοποίηση του πλοίου. Προκειμένου να γίνει η συγκεκριμένη διαδικασία, ορίστηκαν οι εσωτερικές επιφάνειες υποδιαίρεσης, όπως οι εγκάρσιες και οι διαμήκεις φρακτές, ως επιφάνειες *surface objects- SO*, και στη συνέχεια οι επί μέρους χώροι και δεξαμενές, ως δωμάτια *rooms- R*. Και οι δύο παραπάνω διαδικασίες γίνονται στο υποσύστημα *Definition-DEF* του NAPA®. Στη συνέχεια, ορίζεται η διάταξη των χώρων, υπό την έννοια ότι οι χώροι ομαδοποιούνται σε συγκεκριμένες διατάξεις (*arrangements*), μέσα στο υποσύστημα *Ship Model-SM*. Σε κάθε χώρο ανάλογα με τη λειτουργία του, αποδίδεται μία λειτουργικότητα (*purpose*), με κάποια χαρακτηριστικά όπως ο τύπος του φορτίου που μεταφέρεται, η πυκνότητα του, η μείωση λόγω ενισχυτικών, το μέγιστο όριο φόρτωσης και η διαχωρητικότητα. Στον επόμενο πίνακα, δίνονται τα *purposes* των δεξαμενών που χρησιμοποιήθηκαν.

Λειτουργικότητες/ Purposes Χώρων									
PURP	PDES	CLASS	TYPE	RHO	RED	CAP	PERM	IPERM	LF CODE
GRG	Garage Space	C	G	1.025	0	1	0.95		NAPABLUE
PSP	Passenger Space	S	G	1.025	0	1	0.95		LBLUE
CWH	Wheelhouse	N	A	1	0	1	0.95		C-CWH
MAP	Apparat Space	E	E	1	0	1	0.85		C-MAP
HFO	Heavy Fuel Oil	B	L	0.94	2	0.95	0.95		C-HFO
DO	Diesel Oil	B	L	0.86	2	0.95	0.95		C-DO
WB	Water Ballast	X	L	1.025	2	1	0.95		C-WB
FW	Fresh Water	B	L	1	2	0.95	0.95		C-FW
LO	Lubricating Oil	B	L	0.9	2	0.95	0.95		C-LO
SLU	Sludge	C	L	2.38	0	0.95	0.95		C-SLU
BW	Ballast Water	X	L	1.025	2	1	0.95		C-BW
MMA	Machinery Sp.	E	E	1	0	1	0.85		C-MMA
VOID	Void	V	V	1.025	0	0.95	0.95		C-VOID
RO	Crude Oil	C	L	0.97	2	0.95	0.95		C-GRAIN

Πίνακας 5.3-1: Λειτουργικότητες (*purposes*) διαμερισμάτων για το ROPAX

Στον επόμενο πίνακα δίνονται οι χώροι (*compartments*) για τη διάταξη του ROPAX. Τα ονόματα των δεξαμενών δείχνουν και τη λειτουργία τους, ενώ η εγκάρσια θέση τους υποδηλώνεται από την κατάληξη του ονόματος.

Πίνακας Διαμερισμάτων ROPAX								
NAME	PURP	VOLM	VNET	CGX	CGY	CGZ	IY*RHO	IY/IMO
BW.DIRTY.T.P	BW	0.46	0.45	39.15	3.72	0.69	0.09	0.07
BW.CLEAN.T.P	BW	0.61	0.60	39.15	2.11	0.61	0.14	0.13
GREY.WATER.T.C	BW	93.98	92.10	61.10	0.00	2.01	115.15	166.49
SUBTOTAL	BW	95.06	93.16	60.86	0.03	1.99		
BRIDGE	CWH	244.84	244.84	69.74	0.00	15.33	2606.15	2542.40

Πίνακας Διαμερισμάτων ROPAX								
NAME	PURP	VOLM	VNET	CGX	CGY	CGZ	IY*RHO	IY/IMO
M.G.O.SERV.T.S	DO	16.50	16.17	34.20	-2.63	4.45	3.58	3.51
M.G.O.STOR.T.S	DO	33.24	32.58	36.11	-2.21	0.61	41.14	38.93
SUBTOTAL	DO	49.74	48.75	35.48	-2.35	1.89		
NO.2.F.W.T.P	FW	73.80	72.33	13.05	1.78	4.85	23.49	23.02
NO.1.F.W.T.S	FW	73.80	72.33	13.05	-1.78	4.85	23.49	23.02
NO.3.F.W.T.C	FW	47.52	46.57	49.50	0.00	4.85	10.80	10.58
SUBTOTAL	FW	195.13	191.23	21.93	0.00	4.85		
MAIN.GARAGE	GRG	4624.43	4624.43	37.85	-0.13	8.92	19634.30	18873.60
NO.3.H.F.O.STOR.T.P	HFO	42.86	42.01	42.34	2.97	4.45	10.15	10.72
NO.1.H.F.O.STOR.T.S	HFO	42.86	42.01	42.34	-2.97	4.45	10.15	10.72
NO.2.H.F.O.STOR.T.C	HFO	50.40	49.39	42.45	0.00	4.45	16.17	15.85
H.F.O.SERV.T.P	HFO	43.20	42.34	35.40	1.00	3.45	3.01	2.95
H.F.O.SETT.T.P	HFO	54.00	52.92	35.40	3.25	3.45	5.88	5.76
SUBTOTAL	HFO	233.33	228.66	39.47	0.94	4.03		
ST.L.O.STOR.T.P	LO	4.80	4.70	15.40	0.75	2.20	0.41	0.40
ST.L.O.STOR.T.S	LO	4.80	4.70	15.40	-0.75	2.20	0.41	0.40
NO.4.L.O.CIRC.T.P	LO	5.91	5.79	29.35	4.35	0.95	0.40	0.39
NO.1.L.O.CIRC.T.S	LO	5.91	5.79	29.35	-4.35	0.95	0.40	0.39
NO.3.L.O.CIRC.T.P	LO	5.91	5.79	29.35	1.95	0.95	0.40	0.39
NO.2.L.O.CIRC.T.S	LO	5.91	5.79	29.35	-1.95	0.95	0.40	0.39
CPP.RG.L.O.STRO.T.S	LO	8.74	8.56	40.10	-2.64	2.20	2.44	2.39
ME.AE.L.O.STOR.T.S	LO	17.47	17.12	42.50	-2.64	2.20	4.88	4.79
L.O.RNVT.G.T.P	LO	2.72	2.66	38.55	0.63	1.93	0.22	0.22
L.O.RNVT.D.T.S	LO	2.72	2.66	38.55	-0.63	1.93	0.22	0.22
SUBTOTAL	LO	64.90	63.60	33.04	-1.06	1.72		
CENTRAL.CASING.C	MAP	393.12	393.12	34.05	1.50	8.90	61.43	61.43
FUNNEL	MAP	148.02	148.02	27.75	0.00	16.28	16.43	12.66
FUNNEL.DOWN	MAP	127.01	127.01	27.75	0.00	12.65	40.14	40.14
SUBTOTAL	MAP	668.15	668.15	31.46	0.88	11.25		
ENGINE.ROOM	MMA	854.82	854.82	27.75	0.00	3.96	3584.00	3571.57
AFT.SDCSN.P	PSP	251.61	251.61	6.38	6.30	8.86	51.83	50.43
AFT.SDCSN.S	PSP	251.61	251.61	6.38	-6.30	8.86	51.83	50.43

Πίνακας Διαμερισμάτων ROPAX								
NAME	PURP	VOLM	VNET	CGX	CGY	CGZ	IY*RHO	IY/IMO
ACCDECK1	PSP	2653.14	2653.14	40.75	0.00	12.65	22303.60	20824.60
ACCDECK2	PSP	309.36	309.36	56.45	0.00	15.35	272.84	272.84
SUBTOTAL	PSP	3465.71	3465.71	37.16	0.00	12.34		
THERMO.OIL.STOR.DR .T.C	SLU	18.12	18.12	23.82	0.00	0.71	65.20	63.64
FO.DR.T.C	SLU	6.08	6.08	26.22	0.00	0.70	3.44	3.44
DIRTY.OIL.T.C	SLU	15.68	15.68	30.10	0.00	0.70	8.89	8.89
C.W.DRAIN.T.P	SLU	12.93	12.93	34.20	2.25	0.60	43.38	43.21
SLUDGE.T.P	SLU	12.62	12.62	36.59	2.21	0.61	43.38	41.65
FO.OVFL.T.P	SLU	6.16	6.16	38.40	2.17	0.63	21.69	20.11
SUBTOTAL	SLU	71.59	71.59	30.78	0.98	0.66		
ROOMF6.C	VOID	170.49	170.49	67.97	0.00	5.06	253.28	462.55
ROOMF5.C	VOID	233.85	233.85	61.17	0.00	4.99	901.62	1212.27
ROOMF4.UP.C	VOID	297.19	297.19	54.97	0.00	4.93	1720.80	1861.42
ROOMF4.LOW.C	VOID	115.19	115.19	54.86	0.00	2.30	499.36	726.37
ROOMF4.DB.P	VOID	14.83	14.83	54.80	1.14	0.73	7.78	10.87
ROOMF4.DB.S	VOID	14.83	14.83	54.80	-1.14	0.73	7.78	10.87
ROOMF3.UP.C	VOID	279.88	279.88	48.60	0.00	4.87	2175.87	1701.22
ROOMF3.LOW.C	VOID	155.50	155.50	48.62	0.00	2.27	1144.60	1442.28
ROOMF3.DB.P	VOID	23.05	23.05	48.53	1.74	0.72	27.80	36.87
ROOMF3.DB.S	VOID	23.05	23.05	48.53	-1.74	0.72	27.80	36.87
ROOMF2.UP.C	VOID	75.93	75.93	42.57	0.00	5.57	571.06	122.35
ROOMF2.LOW.C	VOID	139.16	139.16	42.58	0.50	2.21	1118.63	947.26
ROOMF2.DB.P	VOID	28.98	28.98	42.32	2.02	0.66	43.79	38.55
ROOMF2.DB.S	VOID	28.98	28.98	42.32	-2.02	0.66	43.79	38.55
ROOMF2.WIG.P	VOID	5.46	5.46	41.89	5.12	0.93	3.16	2.73
ROOMF2.WIG.S	VOID	5.46	5.46	41.89	-5.12	0.93	3.16	2.73
ROOMF1.UP.C	VOID	262.14	262.14	36.43	-0.30	4.96	1990.03	1541.99
ROOMF1.LOW.C	VOID	150.53	150.53	36.26	-0.65	2.22	2001.14	1422.24
ROOMF1.DB.P	VOID	0.45	0.45	39.15	0.63	0.60	0.05	0.05
ROOMF1.WIG.P	VOID	13.72	13.72	35.78	5.70	0.78	9.26	7.65
ROOMF1.WIG.S	VOID	13.72	13.72	35.78	-5.70	0.78	9.26	7.65
MAIN.ENGINE.DB	VOID	130.38	130.38	28.16	0.00	0.74	2101.32	1471.07
ROOMA1.UP.C	VOID	332.64	332.64	19.35	0.00	4.85	2204.16	2204.16
ROOMA1.LOW.C	VOID	121.32	121.32	19.48	0.00	2.28	1930.69	1029.00
ROOMA1.DB.P	VOID	5.41	5.41	20.71	3.48	0.89	3.29	1.44
ROOMA1.DB.S	VOID	5.41	5.41	20.71	-3.48	0.89	3.29	1.44
ROOMA1.WIG.P	VOID	1.53	1.53	21.31	5.36	1.01	0.80	0.42
ROOMA1.WIG.S	VOID	1.53	1.53	21.31	-5.36	1.01	0.80	0.42

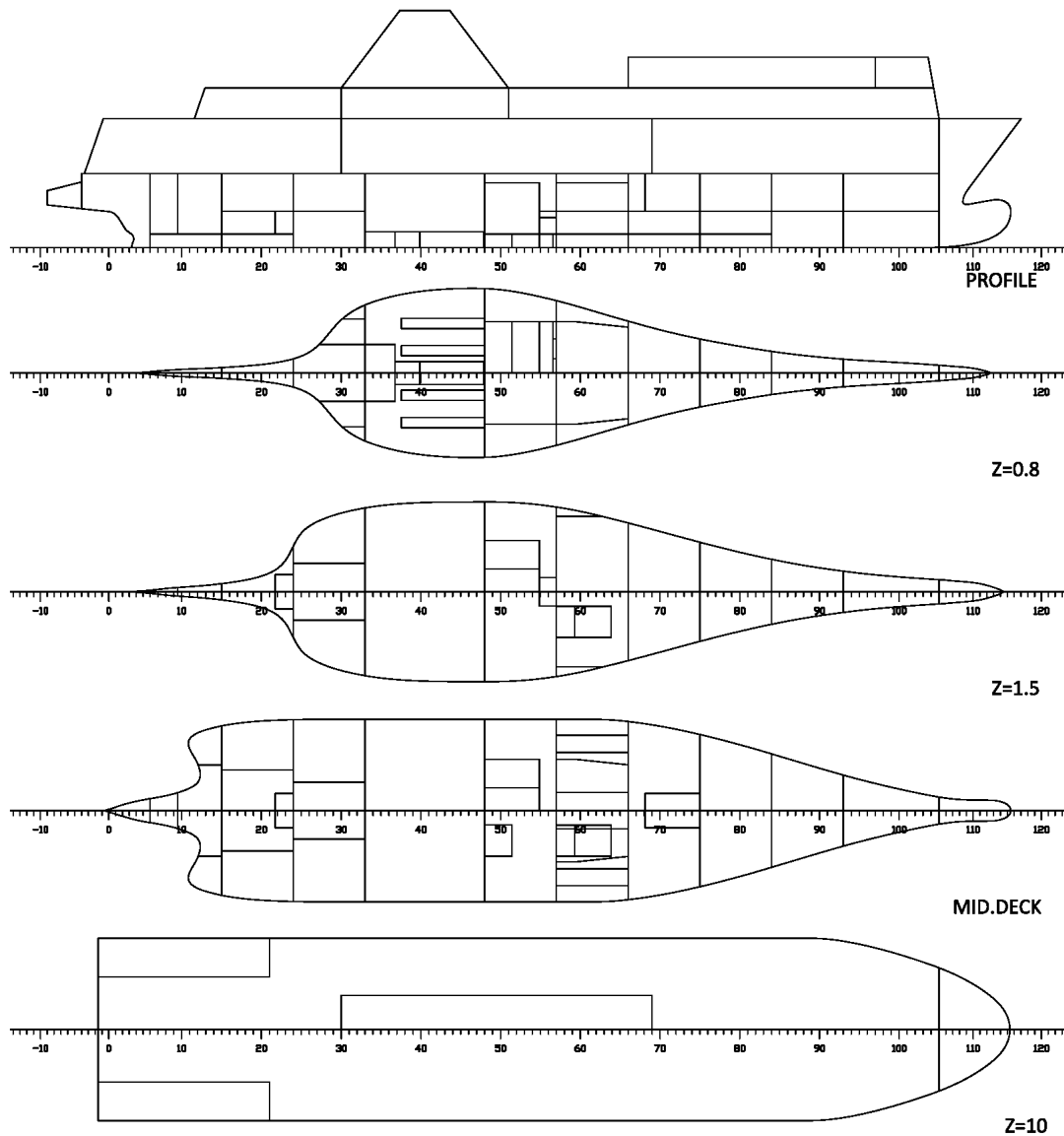
Πίνακας Διαμερισμάτων ROPAX								
NAME	PURP	VOLM	VNET	CGX	CGY	CGZ	IY*RHO	IY/IMO
ROOMA2.UP.P	VOID	92.19	92.19	13.06	5.77	4.86	47.42	47.17
ROOMA2.UP.S	VOID	92.19	92.19	13.06	-5.77	4.86	47.42	47.17
ROOMA2.LOW.C	VOID	101.81	101.81	13.37	0.00	2.53	1431.10	787.63
ROOMA2.DB.P	VOID	5.06	5.06	13.49	0.39	0.70	0.29	0.92
ROOMA2.DB.S	VOID	5.06	5.06	13.49	-0.39	0.70	0.29	0.92
ROOMA3.C	VOID	221.90	221.90	6.29	0.00	4.88	2034.14	590.03
ROOMA3.DB.P	VOID	2.32	2.32	7.29	0.17	0.62	0.02	0.04
ROOMA3.DB.S	VOID	2.32	2.32	7.29	-0.17	0.62	0.02	0.04
ROOMA4.C	VOID	257.77	257.77	0.68	0.00	5.13	2066.70	557.33
ROOMA5.C	VOID	63.41	63.41	-3.74	0.00	4.69	847.12	446.99
SUBTOTAL	VOID	3494.63	3494.63	34.25	-0.03	3.96		
HEELING.T.P	WB	70.69	69.27	42.38	6.64	4.50	13.12	8.02
HEELING.T.S	WB	70.69	69.27	42.38	-6.64	4.50	13.12	8.02
NO.1.W.B.T.C	WB	71.68	70.25	68.24	0.00	1.96	27.90	47.53
NO.2.W.B.T.C	WB	90.71	88.90	19.47	0.00	1.74	67.27	56.28
NO.3.W.B.T.C	WB	117.91	115.55	8.03	0.00	4.53	168.81	101.17
F.P.T	WB	206.15	202.03	75.22	0.00	8.20	166.49	108.47
SUBTOTAL	WB	627.83	615.27	46.35	0.00	5.03		
TOTAL		14690.14	14664.82	36.75	0.00	8.03		

Πίνακας 5.3-2: Πίνακας διαμερισμάτων ROPAX

Τα παραπάνω διαμερίσματα καλύπτουν ολόκληρο το χώρο του πλοίου, ωστόσο η μελέτη της ευστάθειας κατόπιν βλάβης περιορίστηκε μέχρι και το κατάστρωμα οχημάτων. Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιήθηκε αυτό το τμήμα του πλοίου είναι να δημιουργηθούν και περιπτώσεις βλάβης, που θίγουν το χώρο των οχημάτων, ώστε να ληφθεί υπόψη η δυσμενής επίδραση των ελευθέρων επιφανειών στο κατάστρωμα οχημάτων.

Σημειώνεται ότι η υποδιαίρεση του πλοίου ήταν προκαθορισμένη από το μοντέλο του *Halkyon 90*, σε 13 ζώνες, όπου η μία είναι το ducktail, ενώ η διαμερισματοποίηση του πλοίου έγινε έχοντας ως πλοίο αναφοράς ένα πλοίο μήκους 120 μέτρων σε μήκος και 19 μέτρων σε πλάτος.

Η γενική διάταξη του πλοίου φαίνεται στο επόμενο σχέδιο.



Σχέδιο 5.3-1: Γενική διάταξη πλοίου ROPAX

5.4 Υποδιαίρεση

Μετά τον καθορισμό της διάταξης (*arrangement*) είναι δυνατός ο καθορισμός των ζωνών βλάβης (*damage zones*) στο υποσύστημα *Damage Stability-DAM*, μέσω ενός πίνακα καθορισμού της υποδιαίρεσης (*Subdivision-SUBD Table*). Η διαδικασία καθορισμού των ζωνών βλάβης, η ζωνοποίηση, είναι μια διαδικασία αυθαίρετη, όπως αναφέρθηκε και αρχικά, συνεπώς ο κάθε μελετητής μπορεί να χρησιμοποιήσει διαφορετική συλλογιστική πορεία για τον καθορισμό των ζωνών. Οι ζώνες, σε κάθε περίπτωση, χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία των σεναρίων βλάβης, σύμφωνα με τα πιθανοθεωρητικά πρότυπα. Οι ζώνες που ορίστηκαν σε αυτήν την περίπτωση είναι 13, με την πρώτη να είναι το ducktail και οι επόμενες να ορίζονται ως ο χώρος μεταξύ διαδοχικών εγκάρσιων φρακτών. Στη συνέχεια λαμβάνονται υπόψη τα εγκάρσια όρια, διαμήκεις φρακτές και τα καθ' ύψος όρια, δηλαδή τα καταστρώματα σε κάθε ζώνη.

Αξίζει να αναφερθεί ότι η μελέτη της ευστάθειας κατόπιν βλάβης έγινε αμφίπλευρα, οπότε ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης είναι ο μέσος όρος των επιτευχθέντων δεικτών υποδιαίρεσης για κάθε πλευρά. Τα όρια που χρησιμοποιούνται ως διαμήκη όρια, άρα καθορίζουν την εγκάρσια έκταση της βλάβης, μπορούν να είναι οποιαδήποτε όρια πραγματικά ή όχι, τα οποία βρίσκονται εσωτερικά της γάστρας, αλλά όχι πάνω στο επίπεδο συμμετρίας του πλοίου. Σχετικά με τα καταστρώματα, ως ανώτερα όρια θεωρούνται τα καταστρώματα που βρίσκονται άνωθεν της ισάλου στο *light service draft* ενώ τα όρια που θεωρούνται ως κατώτερα είναι τα καταστρώματα που βρίσκονται κάτωθεν της ισάλου στο *deepest subdivision draft*. Στους παρακάτω πίνακες, εμφανίζονται τα όρια των ζωνών υποδιαίρεσης.

Ζώνες Υποδιαίρεσης						
ZONE	TBA	TBF	LBP	LBS	DDN	DUP
Z1	DAF.DAMHULL	TR.BHD1				DAF.DAMHULL
Z2	TR.BHD1	TR.BHD2				MAIN.DECK
Z3	TR.BHD2	TR.BHD3			DB	MAIN.DECK
Z4	TR.BHD3	TR.BHD4			DB/MID.DECK	MAIN.DECK
Z5	TR.BHD4	TR.BHD5			DB/MID.DECK	MAIN.DECK
Z6	TR.BHD5	TR.BHD6			DB.ENG	MAIN.DECK
Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	DB/MID.DECK	MAIN.DECK
Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	DB/MID.DECK	MAIN.DECK
Z9	TR.BHD8	TR.BHD9			DB/MID.DECK	MAIN.DECK
Z10	TR.BHD9	TR.BHD10			DB/MID.DECK	MAIN.DECK
Z11	TR.BHD10	TR.BHD11			MID.DECK	MAIN.DECK
Z12	TR.BHD11	TR.BHD12			MID.DECK	MAIN.DECK
Z13	TR.BHD12	DAF.DAMHULL				DAF.DAMHULL

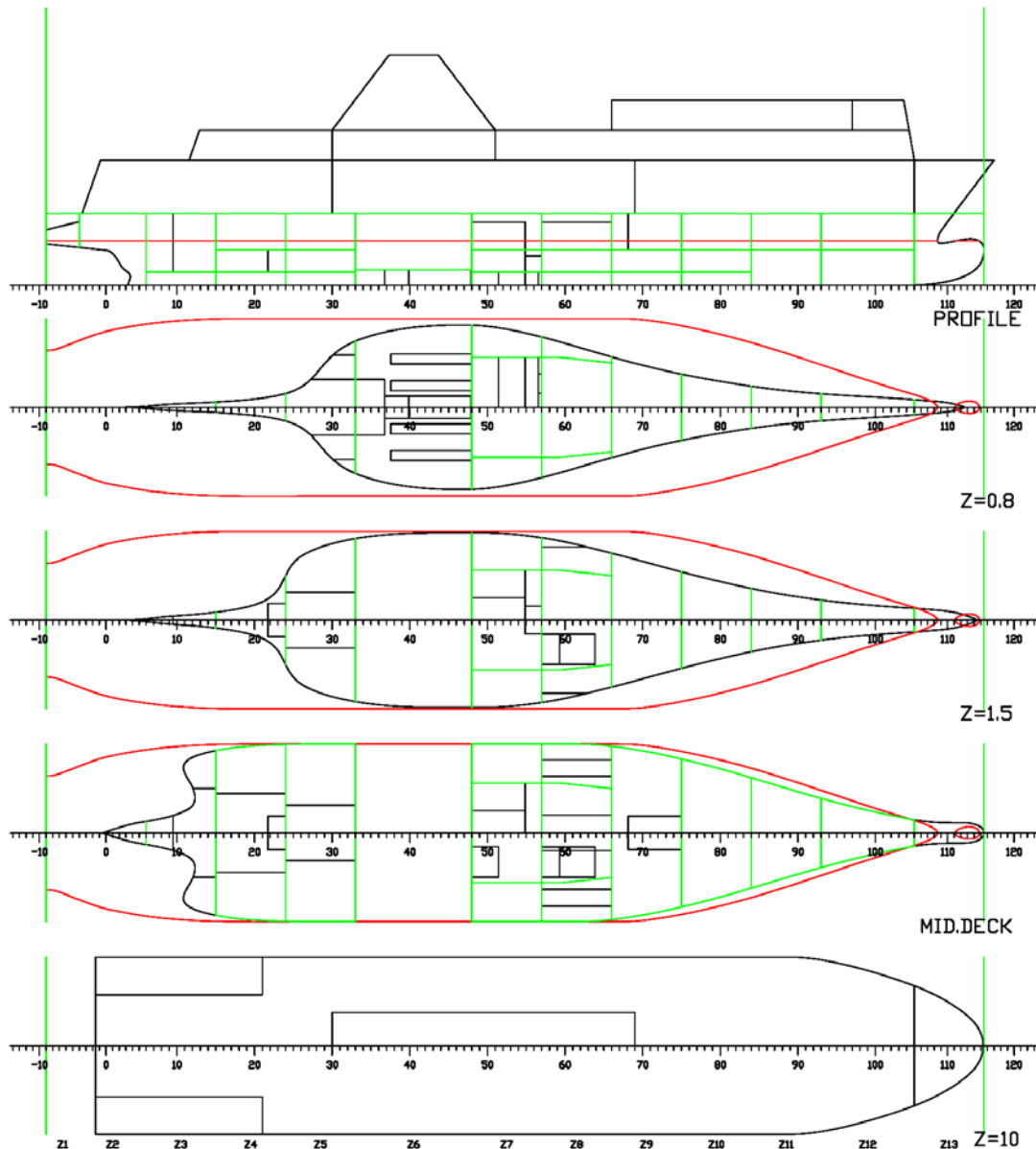
Πίνακας 5.4-1: Παραμετρικές ζώνες υποδιαίρεσης για το ROPAX

Ζώνες Υποδιαίρεσης						
ZONE	X1 [m]	X2 [m]	BP [m]	BS [m]	HHSU [m]	HHSU [m]
Z1	-5.4	-2.4	-	-	-	6.5
Z2	-2.4	3.6	-	-	-	6.5
Z3	3.6	9.9	-	-	1.2	6.5
Z4	9.9	16.2	-	-	1.2/3.2	6.5
Z5	16.2	22.5	-	-	1.2/3.2	6.5
Z6	22.5	33	-	-	1.4	6.5
Z7	33	39.3	3.5	3.5	1.2/3.2	6.5
Z8	39.3	45.6	3.655	3.655	1.2/3.2	6.5
Z9	45.6	51.9	-	-	1.2/3.2	6.5
Z10	51.9	58.2	-	-	1.2/3.2	6.5
Z11	58.2	64.5	-	-	3.2	6.5
Z12	64.5	72.9	-	-	3.2	6.5
Z13	72.9	79.1974	-	-	-	6.5

Πίνακας 5.4-2: Διαστάσεις ζωνών υποδιαίρεσης για το ROPAX

Τα διαμήκη όρια και η θέση η οποία λαμβάνεται ως οριακή είναι σύμφωνη με τη διατύπωση του κανονισμού, όπως παρουσιάστηκε στο Σχήμα 4.2-11. Επίσης, σημειώνεται ότι οι διαμήκεις φρακτές, για να ληφθούν υπόψη, πρέπει να διαπερνούν το επίπεδο της ισάλου του μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης.

Οι ζώνες υποδιαίρεσης φαίνονται στο επόμενο σχέδιο, με πράσινο χρώμα, ενώ η μέγιστη ισάλος πλεύσης εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα.



Σχέδιο 5.4-1: Ζώνες υποδιαίρεσης ROPAX

Με βάση τον πίνακα υποδιαίρεσης, δηλαδή τις ζώνες βλάβης, δημιουργείται ο πίνακας ορίων των διαμερισμάτων, ο οποίος περιλαμβάνει το όνομα του κάθε χώρου και τη ζώνη στην οποία ανήκει. Έτσι, σε κάθε σενάριο βλάβης, μπορεί να ευρεθεί ποιοι χώροι κατακλύζονται. Επειδή όπως αναφέρθηκε, η μελέτη έγινε αμφίπλευρα πρέπει να κατασκευαστούν δύο πίνακες ορίων των διαμερισμάτων (*compartment limit table- CLIM table*). Οι πίνακες

κατασκευάζονται αυτόματα μέσα στο υποσύστημα *DAM* και είναι ουσιαστικά ίδιοι, όμως χρειάζονται ώστε να γίνει η μελέτη αμφίπλευρα. Παρακάτω παρατίθενται τα όρια των διαμερισμάτων μόνο για την δεξιά (*starboard*) μεριά.

Πίνακας Ορίων Διαμερισμάτων ROPAX (Starboard Side)							
NAME	ZONE	ALIMIT	FLIMIT	PLIMIT	SLIMIT	LLIMIT	ULIMIT
ROOMA5.C	Z1	DAF.DAMHULL	TR.BHD1	-	-	-	DAF.DAMHULL
AFT.SDCSN.P	Z2-4	TR.BHD1	TR.BHD4	-	-	MAIN.DECK	-
AFT.SDCSN.S	Z2-4	TR.BHD1	TR.BHD4	-	-	MAIN.DECK	-
MAIN.GARAGE	Z2-12	TR.BHD1	TR.BHD12	-	-	MAIN.DECK	-
ROOMA4.C	Z2	TR.BHD1	TR.BHD2	-	-	-	MAIN.DECK
NO.3.W.B.T.C	Z3	TR.BHD2	TR.BHD3	-	-	DB	MAIN.DECK
ROOMA3.C	Z3	TR.BHD2	TR.BHD3	-	-	DB	MAIN.DECK
ROOMA3.DB.P	Z3	TR.BHD2	TR.BHD3	-	-	-	DB
ROOMA3.DB.S	Z3	TR.BHD2	TR.BHD3	-	-	-	DB
NO.2.F.W.T.P	Z4	TR.BHD3	TR.BHD4	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
NO.1.F.W.T.S	Z4	TR.BHD3	TR.BHD4	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
ST.L.O.STOR.T.P	Z4	TR.BHD3	TR.BHD4	-	-	DB	MID.DECK
ST.L.O.STOR.T.S	Z4	TR.BHD3	TR.BHD4	-	-	DB	MID.DECK
ROOMA2.UP.P	Z4	TR.BHD3	TR.BHD4	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
ROOMA2.UP.S	Z4	TR.BHD3	TR.BHD4	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
ROOMA2.LOW.C	Z4	TR.BHD3	TR.BHD4	-	-	DB	MID.DECK
ROOMA2.DB.P	Z4	TR.BHD3	TR.BHD4	-	-	-	DB
ROOMA2.DB.S	Z4	TR.BHD3	TR.BHD4	-	-	-	DB
NO.2.W.B.T.C	Z5	TR.BHD4	TR.BHD5	-	-	-	MID.DECK
CENTRAL.CASING.C	Z5-9	TR.BHD4	TR.BHD9	-	2*- /2*SIDE.FORE.S/ -	MAIN.DECK	-
ROOMA1.UP.C	Z5	TR.BHD4	TR.BHD5	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
ROOMA1.LOW.C	Z5	TR.BHD4	TR.BHD5	-	-	DB	MID.DECK
ROOMA1.DB.P	Z5	TR.BHD4	TR.BHD5	-	-	-	DB
ROOMA1.DB.S	Z5	TR.BHD4	TR.BHD5	-	-	-	DB
ROOMA1.WIG.P	Z5	TR.BHD4	TR.BHD5	-	-	-	DB
ROOMA1.WIG.S	Z5	TR.BHD4	TR.BHD5	-	-	-	DB
NO.4.L.O.CIRC.T.P	Z6	TR.BHD5	TR.BHD6	-	-	-	DB.ENG
NO.1.L.O.CIRC.T.S	Z6	TR.BHD5	TR.BHD6	-	-	-	DB.ENG
NO.3.L.O.CIRC.T.P	Z6	TR.BHD5	TR.BHD6	-	-	-	DB.ENG
NO.2.L.O.CIRC.T.S	Z6	TR.BHD5	TR.BHD6	-	-	-	DB.ENG
THERMO.OIL.STOR.DR.T.C	Z6	TR.BHD5	TR.BHD6	-	-	-	DB.ENG
FO.DR.T.C	Z6	TR.BHD5	TR.BHD6	-	-	-	DB.ENG
DIRTY.OIL.T.C	Z6	TR.BHD5	TR.BHD6	-	-	-	DB.ENG
ENGINE.ROOM	Z6	TR.BHD5	TR.BHD6	-	-	DB.ENG	MAIN.DECK

Πίνακας Ορίων Διαμερισμάτων ROPAX (Starboard Side)							
NAME	ZONE	ALIMIT	FLIMIT	PLIMIT	SLIMIT	LLIMIT	ULIMIT
MAIN.ENGINE.DB	Z6	TR.BHD5	TR.BHD6	-	-	-	DB.ENG
H.F.O.SERV.T.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	DB	MAIN.DECK
H.F.O.SETT.T.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	DB	MAIN.DECK
M.G.O.SERV.T.S	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	MID.DECK	MAIN.DECK
M.G.O.STOR.T.S	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	-	DB
L.O.RNVT.G.T.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	DB	MID.DECK
L.O.RNVT.D.T.S	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	DB	MID.DECK
C.W.DRAIN.T.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	-	DB
SLUDGE.T.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	-	DB
FO.OVFL.T.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	-	DB
BW.DIRTY.T.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	-	DB
BW.CLEAN.T.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	-	DB
ROOMF1.UP.C	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
ROOMF1.LOW.C	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	-	-	DB	MID.DECK
ROOMF1.DB.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	-	DB
ROOMF1.WIG.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	-	SIDE.FORE.S	-	DB
ROOMF1.WIG.S	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.FORE.P	-	-	DB
NO.3.H.F.O.STOR.T.P	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	MID.DECK	MAIN.DECK
NO.1.H.F.O.STOR.T.S	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	MID.DECK	MAIN.DECK
NO.2.H.F.O.STOR.T.C	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	MID.DECK	MAIN.DECK
HEELING.T.P	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	-	SIDE.FORE.S	DB	MAIN.DECK
HEELING.T.S	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.FORE.P	-	DB	MAIN.DECK
CPP.RG.L.O.STRO.T.S	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	DB	MID.DECK
ME.AE.L.O.STOR.T.S	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	DB	MID.DECK
ROOMF2.UP.C	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
ROOMF2.LOW.C	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	-	-	DB	MID.DECK
ROOMF2.DB.P	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	-	DB
ROOMF2.DB.S	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	-	DB
ROOMF2.WIG.P	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	-	SIDE.FORE.S	-	DB
ROOMF2.WIG.S	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.FORE.P	-	-	DB
NO.3.F.W.T.C	Z9	TR.BHD8	TR.BHD9	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
ROOMF3.UP.C	Z9	TR.BHD8	TR.BHD9	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
ROOMF3.LOW.C	Z9	TR.BHD8	TR.BHD9	-	-	DB	MID.DECK
ROOMF3.DB.P	Z9	TR.BHD8	TR.BHD9	-	-	-	DB
ROOMF3.DB.S	Z9	TR.BHD8	TR.BHD9	-	-	-	DB
ROOMF4.UP.C	Z10	TR.BHD9	TR.BHD10	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
ROOMF4.LOW.C	Z10	TR.BHD9	TR.BHD10	-	-	DB	MID.DECK

Πίνακας Ορίων Διαμερισμάτων ROPAX (Starboard Side)							
NAME	ZONE	ALIMIT	FLIMIT	PLIMIT	SLIMIT	LLIMIT	ULIMIT
ROOMF4.DB.P	Z10	TR.BHD9	TR.BHD10	-	-	-	DB
ROOMF4.DB.S	Z10	TR.BHD9	TR.BHD10	-	-	-	DB
GREY.WATER.T.C	Z11	TR.BHD10	TR.BHD11	-	-	-	MID.DECK
ROOMF5.C	Z11	TR.BHD10	TR.BHD11	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
NO.1.W.B.T.C	Z12	TR.BHD11	TR.BHD12	-	-	-	MID.DECK
ROOMF6.C	Z12	TR.BHD11	TR.BHD12	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
F.P.T	Z13	TR.BHD12	DAF.DAMH ULL	-	-	-	-

Πίνακας 5.4-3: Πίνακας ορίων διαμερισμάτων ROPAX (starboard side)

Με βάση τους παραπάνω πίνακες είναι δυνατός ο αυτόματος καθορισμός των σεναρίων βλάβης και η εύρεση των χώρων, οι οποίοι κατακλύζονται σε κάθε σενάριο.

5.5 Ανοίγματα

Στα πλαίσια της μελέτης αυτής μοντελοποιήθηκαν τα εξωτερικά ανοίγματα και κυρίως τα εξαεριστικά, *ventilators*, αλλά και εσωτερικά ανοίγματα, τα οποία επιτρέπουν την προοδευτική κατάκλυση από κάποιον χώρο, ο οποίος κατακλύζεται, σε κάποιον παρακείμενο.

Ο καθορισμός των εξωτερικών ανοιγμάτων έγινε με βάση κάποιο πλοίο αναφοράς, το οποίο εκτελούσε δρομολόγια στο Αιγαίο, ενώ τα εσωτερικά ανοίγματα βασίστηκαν εν μέρει στο συγκεκριμένο πλοίο και σε κάποιο βαθμό στην απαίτηση για προσπελασιμότητα όλων των χώρων, μέσω υδατοστεγών θυρών κάτω από το κατάστρωμα οχημάτων.

Όλα τα ανοίγματα ορίστηκαν ως γενικευμένες επιφάνειες, προκειμένου να είναι δυνατός ο αυτόματος εντοπισμός του κατώτερου σημείου του ανοίγματος, το οποίο είναι απαραίτητο για την εκτέλεση των υπολογισμών, αλλά και ο υπολογισμός άλλων γεωμετρικών χαρακτηριστικών, όπως το εμβαδόν της εγκάρσιας τομής τους, τα οποία δεν είναι απαραίτητα για τη μελέτη της ευστάθειας, υπό το πρίσμα των κανονισμών, αλλά είναι απαραίτητα για την εκτέλεση αριθμητικών πειραμάτων κατάκλυσης. Τα εξωτερικά ανοίγματα ορίστηκαν ως η τομή ενός πρίσματος-κυλίνδρου με εγκάρσια μορφή ίδια με του ανοίγματος και της εξωτερικής επιφάνεια της γάστρας. Η προκύπτουσα γεωμετρία είναι ένα *geometric object* σύμφωνα με το NAPA®. Τα εσωτερικά ανοίγματα, επειδή είναι απλές επιφάνειες, ορίστηκαν ως επιφάνειες περιορισμένων διαστάσεων, δηλαδή *surface objects*.

Με βάση τον κατάλογο ανοιγμάτων, στη συνέχεια παράγεται ο πίνακας συνδέσεων των διαμερισμάτων (*compartment connection table- CCONN table*) ο οποίος χρησιμοποιείται από το λογισμικό, προκειμένου να είναι δυνατή η εύρεση της κατάστασης του κάθε ανοίγματος και να εξετάσει αν η κατάκλυση επιτρέπεται να γίνει ή όχι. Πιο συγκεκριμένα, ο πίνακας περιέχει μια στήλη που έχει το χώρο που θεωρείται κατακλυσμένος, μια στήλη που δηλώνει το χώρο που κατακλύζεται, αν κατακλυσθεί ο προηγούμενος, μια στήλη για την κατάσταση του ανοίγματος, δηλαδή αν είναι ανοιχτό ή όχι και μια στήλη, όπου αναφέρεται το όνομα του ανοίγματος που επιτρέπει τη συγκεκριμένη σύνδεση. Μέσω του πίνακα σύνδεσης των ανοιγμάτων είναι εύκολη η αλλαγή της κατάστασης του ανοίγματος, επιτρέποντας τον υπολογισμό του επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης για διάφορα σενάρια.

5.5.1 Εξωτερικά ανοίγματα-εξαεριστικά

Τα εξωτερικά ανοίγματα, δηλαδή τα εξαεριστικά (*ventilators*), είναι τα ίδια με τα ανοίγματα που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ευστάθειας άθικτης ευστάθειας. Τα ανοίγματα αυτά, ορίζονται ως απροστάτευτα (*unprotected*), αφού δεν είναι ούτε καιροστεγή (*weathertight*) ούτε βέβαια και υδατοστεγή (*watertight*). Αυτό σημαίνει ότι οι υπολογισμοί που σχετίζονται με την ευστάθεια τόσο στην άθικτη κατάσταση όσο και σε κατάσταση βλάβης και αναφέρονται στην καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ-φ, περιορίζονται μέχρι την ελάχιστη γωνία βύθισης αυτών των ανοιγμάτων, αν αυτή βέβαια είναι μικρότερη της προβλεπόμενης από τους κανονισμούς. Παρακάτω δίνονται τα εξωτερικά ανοίγματα υπό τη μορφή πίνακα.

Πίνακας Εξωτερικών Ανοιγμάτων για το ROPAX							
ID	WT	GEOMOBJ	FR	REFX	REFY	REFZ	CONN
VL1.S	UNPROTECTED	LV1.S	0	0	0	0	SEA AFT.SDCSN.S
VL2.S	UNPROTECTED	LV2.S	0	0	0	0	SEA ROOMA1.UP.C
VL3.S	UNPROTECTED	LV3.S	0	0	0	0	SEA ROOMF1.UP.C
VL4.S	UNPROTECTED	LV4.S	0	0	0	0	SEA ROOMF1.WIG.S
VL5.S	UNPROTECTED	LV4.S	0	0	0	0	SEA ROOMF1.WIG.S
VL6.S	UNPROTECTED	LV6.S	0	0	0	0	SEA MAIN.GARAGE
VL7.S	UNPROTECTED	LV7.S	0	0	0	0	SEA MAIN.GARAGE
VL8.S	UNPROTECTED	LV8.S	0	0	0	0	SEA ROOMF4.UP.C
VL9.S	UNPROTECTED	LV9.S	0	0	0	0	SEA ROOMF5.C
VL10.S	UNPROTECTED	LV10.S	0	0	0	0	SEA ROOMF6.C
VL11.S	UNPROTECTED	LV11.S	0	0	0	0	SEA MAIN.GARAGE
VL1.P	UNPROTECTED	LV1.P	0	0	0	0	SEA ROOMA2.UP.P
VL2.P	UNPROTECTED	LV2.P	0	0	0	0	SEA ROOMF1.UP.C
VL3.P	UNPROTECTED	LV3.P	0	0	0	0	SEA ROOMF1.WIG.P
VL4.P	UNPROTECTED	LV4.P	0	0	0	0	SEA ROOMF2.WIG.P
VL5.P	UNPROTECTED	LV5.P	0	0	0	0	SEA MAIN.GARAGE
VL6.P	UNPROTECTED	LV6.P	0	0	0	0	SEA ROOMF4.UP.C
VL7.P	UNPROTECTED	LV6.P	0	0	0	0	SEA ROOMF5.C
VL8.P	UNPROTECTED	LV7.P	0	0	0	0	SEA MAIN.GARAGE
VL9.P	UNPROTECTED	LV8.P	0	0	0	0	SEA ROOMF6.C
VL10.P	UNPROTECTED	LV9.P	0	0	0	0	SEA MAIN.GARAGE
VG1.A.S	UNPROTECTED	GV1.A.S	0	0	0	0	SEA AFT.SDCSN.S
VM2.A.S	UNPROTECTED	MV2.A.S	0	0	0	0	SEA ROOMA4.C
VM1.A.P	UNPROTECTED	MV1.A.P	0	0	0	0	SEA ROOMA4.C

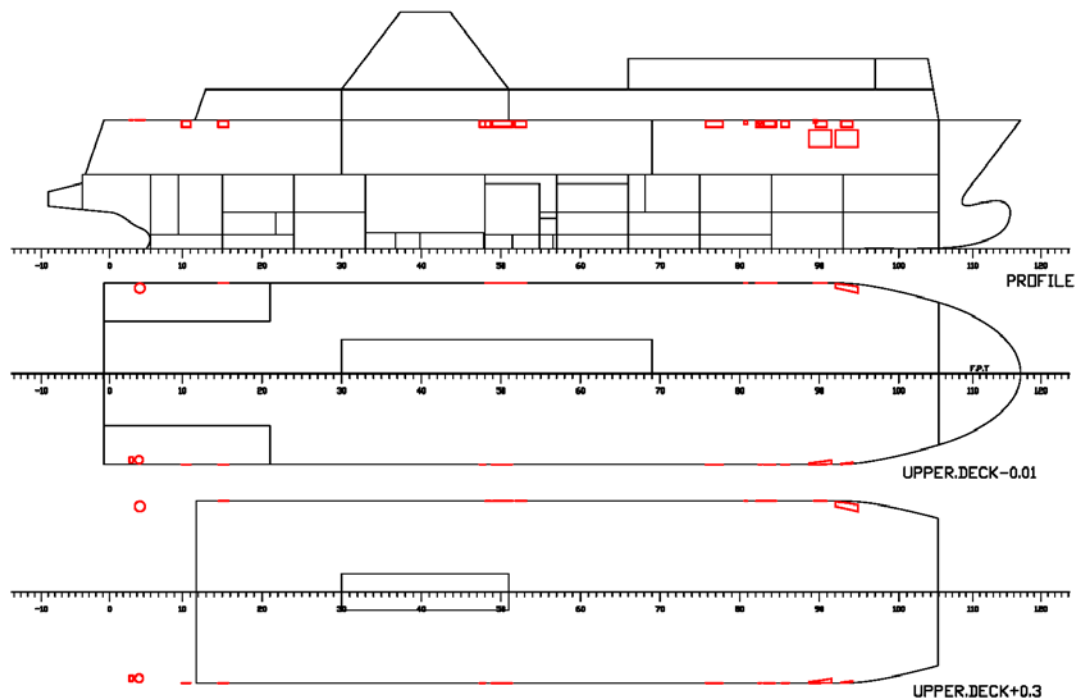
Πίνακας 5.5-1: Πίνακας εξωτερικών ανοιγμάτων ventilators για το ROPAX

Σημειώνεται ότι η τιμή 0 για τη θέση του κάθε ανοίγματος δεν είναι η πραγματική, καθώς η πραγματική θέση της κατώτερης ακμής του ανοίγματος υπολογίζεται αυτόματα μέσω της γεωμετρίας του ανοίγματος. Επίσης, τα γράμματα L,G και M, που εμφανίζονται στα ονόματα των ανοιγμάτων, αντιστοιχούν στις λέξεις *Louver*, *Gooseneck* και *Mushroom*, που υποδηλώνουν τη γεωμετρική μορφή του ανοίγματος.

Πίνακας Θέσης Εξωτερικών Ανοιγμάτων για το ROPAX			
NAME	X	Y	Z
VL1.S	6.3326	-8	10.698
VL2.S	9.5498	-8	10.7
VL3.S	32.5244	-8	10.699
VL4.S	33.5846	-8	10.701
VL5.S	33.5846	-8	10.701
VL6.S	52.4101	-8	10.699
VL7.S	57.0426	-8	10.95
VL8.S	57.506	-8	10.699
VL9.S	59.0621	-8	10.698
VL10.S	61.4757	-7.88021	8.9439
VL11.S	64.3164	-7.92587	10.699
VL1.P	9.5525	8	10.7
VL2.P	33.0183	8	10.698
VL3.P	33.6506	8	10.701
VL4.P	35.6487	8	10.699
VL5.P	55.7946	8	10.898
VL6.P	56.8193	8	10.701
VL7.P	56.8193	8	10.701
VL8.P	61.9035	8	11.0339
VL9.P	62.0656	8	10.7
VL10.P	63.8196	7.53108	8.9439
VG1.A.S	1.7414	-7.33	11.3
VM2.A.S	2.50211	-7.24139	11.3
VM1.A.P	2.56229	7.95565	11.3

Πίνακας 5.5-2: Πίνακας θέσεων εξωτερικών ανοιγμάτων για το ROPAX

Στο επόμενο σχέδιο φαίνεται η διάταξη των εξωτερικών ανοιγμάτων.



Σχέδιο 5.5-1: Διάταξη εξωτερικών ανοιγμάτων ROPAX

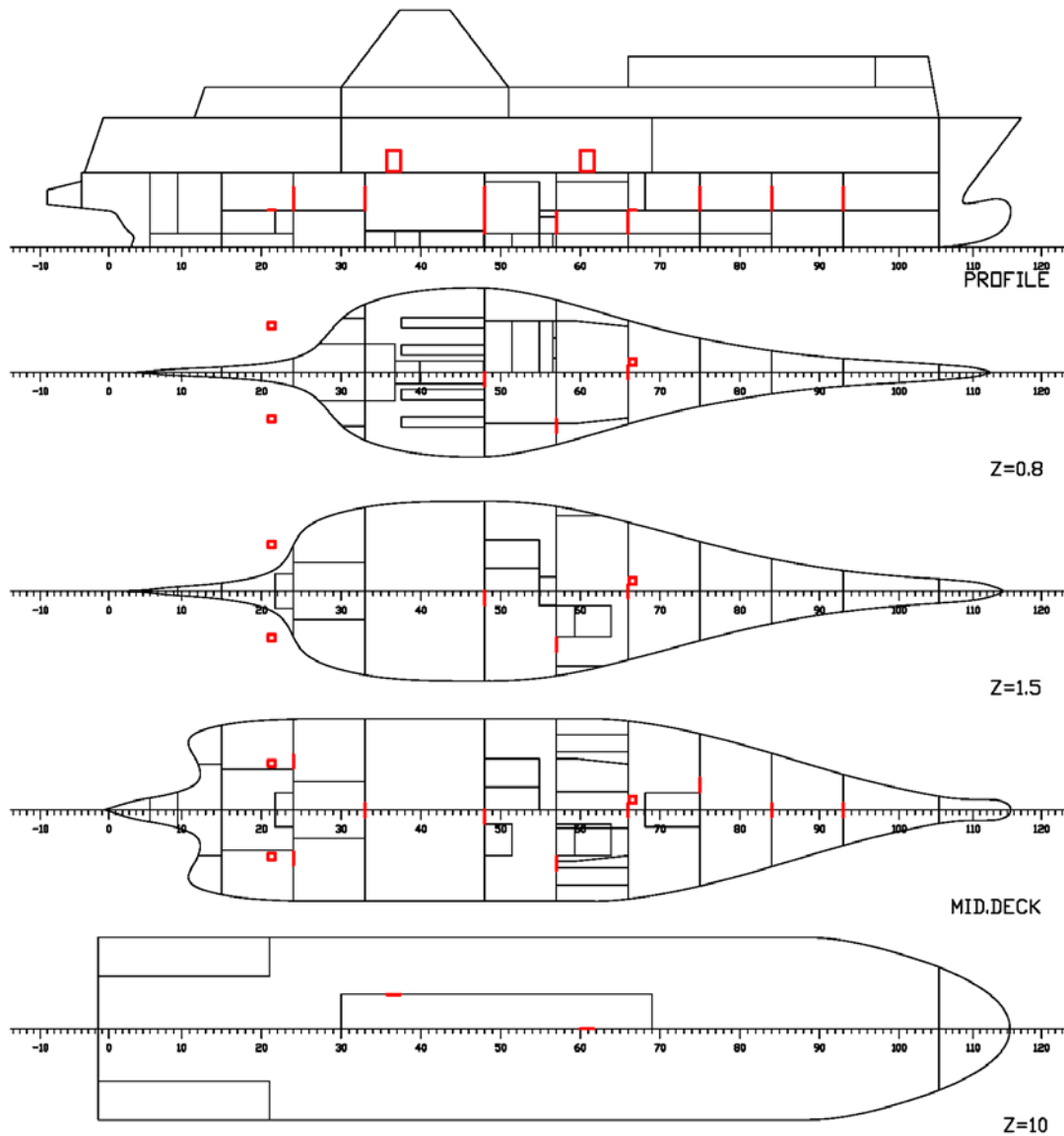
5.5.2 Υδατοστεγή ανοίγματα

Σε αυτά τα ανοίγματα εντάσσονται οι υδατοστεγείς θύρες και καταπακτές/ σκάλες που μπορούν να αποτρέψουν την προοδευτική κατάκλυση των παρακείμενων χώρων. Τα ανοίγματα αυτά δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας Υδατοστεγών Ανοιγμάτων για το ROPAX							
ID	WT	GEOMOBJ	FR	REFX	REFY	REFZ	CONN
WAD1	WATERTIGHT	WATD.MG.CCAS.P	0	0	0	0	MAIN.GARAGE CENTRAL.CASING.C
WAD2	WATERTIGHT	WATD.MG.CCAS.S	0	0	0	0	MAIN.GARAGE CENTRAL.CASING.C
WAD3	WATERTIGHT	WATD.RMF5C.RMF6C.C	0	0	0	0	ROOMF5.C ROOMF6.C
WAD4	WATERTIGHT	WATD.RMF4UPC.RMF5C.C	0	0	0	0	ROOMF4.UP.C ROOMF5.C
WAD5	WATERTIGHT	WATD.RMF3UPC.RMF4UPC.C	0	0	0	0	ROOMF3.UP.C ROOMF4.UP.C
WAD6	WATERTIGHT	WATD.RMF3LOWC.RMF3UPC.P	0	0	0	0	ROOMF3.LOW.C ROOMF3.UP.C
WAD7	WATERTIGHT	WATD.RMF2LOWC.RMF3LOWC.C	0	0	0	0	ROOMF2.LOW.C ROOMF3.LOW.C
WAD8	WATERTIGHT	WATD.RMF1LOWC.RMF2LOWC.S	0	0	0	0	ROOMF1.LOW.C ROOMF2.LOW.C
WAD9	WATERTIGHT	WATD.ER.RMF1LOWC.S	0	0	0	0	ENGINE.ROOM ROOMF1.LOW.C
WAD10	WATERTIGHT	WATD.ER.RMF1UPC.S	0	0	0	0	ENGINE.ROOM ROOMF1.UP.C
WAD11	WATERTIGHT	WATD.RMA1UPC.ER.C	0	0	0	0	ROOMA1.UP.C ENGINE.ROOM
WAD12	WATERTIGHT	WATD.RMA2UPP.RMA1UPC.P	0	0	0	0	ROOMA2.UP.P ROOMA1.UP.C
WAD13	WATERTIGHT	WATD.RMA2UPS.RMA1UPC.S	0	0	0	0	ROOMA2.UP.S ROOMA1.UP.C
WAD14	WATERTIGHT	WATD.RMA2LOWC.RMA2UPP.P	0	0	0	0	ROOMA2.LOW.C ROOMA2.UP.P
WAD15	WATERTIGHT	WATD.RMA2LOWC.RMA2UPS.S	0	0	0	0	ROOMA2.LOW.C ROOMA2.UP.S

Πίνακας 5.5-3: Πίνακας υδατοστεγών ανοιγμάτων για το ROPAX

Στο επόμενο σχέδιο δίνεται η διάταξη των υδατοστεγών ανοιγμάτων για το ROPAX.



Σχέδιο 5.5-2: Διάταξη υδατοστεγών ανοιγμάτων

5.5.3 Μηχανισμοί cross flooding

Στο μοντέλο έχει προστεθεί ένας μηχανισμός *cross flooding* μεταξύ των δεξαμενών διατοχισμού (*heeling tanks*), με στόχο να γίνεται κατά το δυνατόν συμμετρικά η κατάκλυση των χώρων και έτσι να επιτυγχάνονται ευνοϊκότερες συνθήκες ακόμη και μετά ή κατά τη διάρκεια της κατάκλυσης κάποιων χώρων. Στον επόμενο πίνακα δίνεται ο ορισμός των ανοιγμάτων για το *cross flooding*.

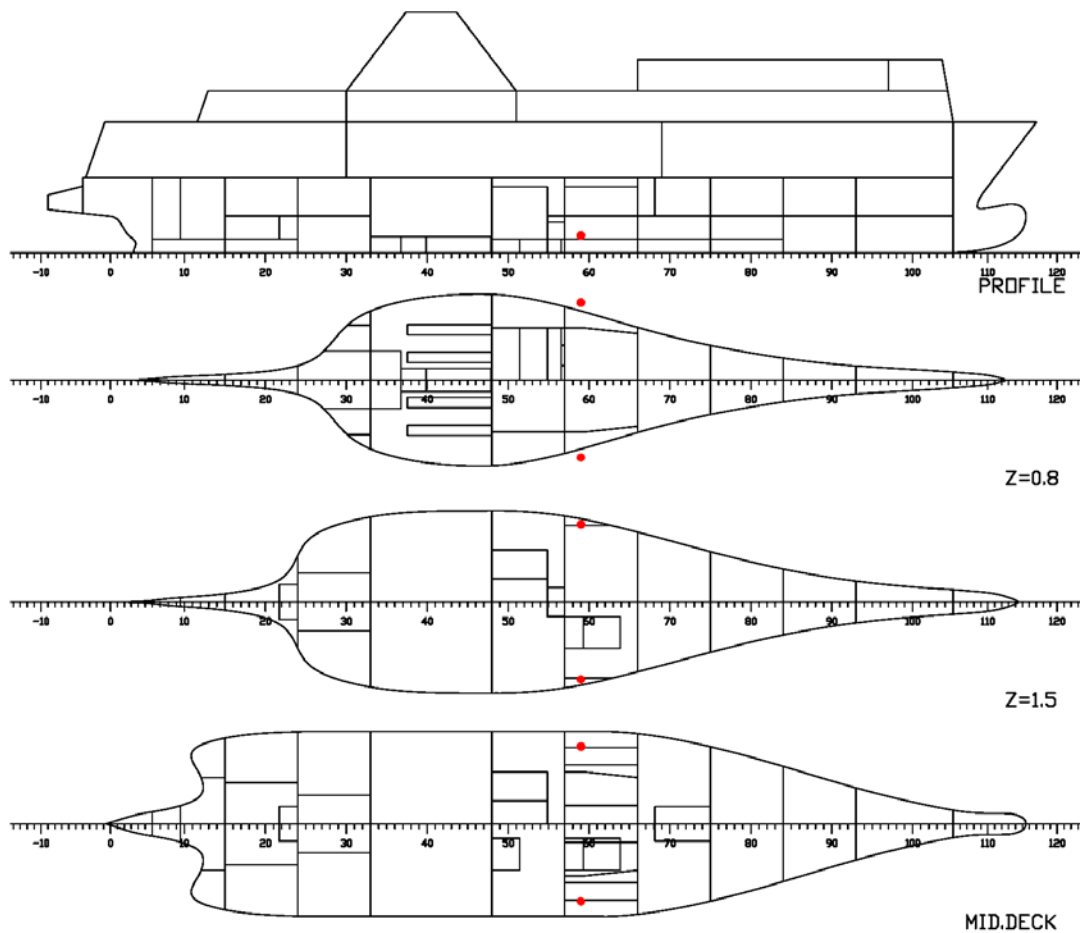
Πίνακας Μηχανισμών Cross Flooding για το ROPAX										
ID	WT	OTYPE	FR	REFX	REFY	REFZ	CONN	DIAM	AREA	KSUM
CROSS1	UNPROTECTED	PIPE	59	40.7	6.7	1.5	HEELING.T.P HEELING.T.S	0.2	0.031416	1.965
CROSS1#2	UNPROTECTED	PIPE	59	40.7	-6.7	1.5	HEELING.T.P HEELING.T.S	0.2	0.031416	1.965

Πίνακας 5.5-4: Πίνακας μηχανισμών cross flooding για το ROPAX

Ο υπολογισμός των διαστάσεων του ανοίγματος έγινε με βάση κάποια απλοποιημένη προσέγγιση του απαιτούμενου χρόνου μεταφοράς του μισού όγκου από τη μία δεξαμενή στην άλλη με το πλοίο στην κατακόρυφη θέση. Η μέθοδος αυτή δεν ανταποκρίνεται φυσικά στην αλήθεια, αλλά έγινε η προσπάθεια μιας πρωταρχικής εκτίμησης των διαστάσεων.

Ο πραγματικός χρόνος για την εγκάρσια κατάκλυση (*cross flooding*) γίνεται αυτόματα από το πρόγραμμα, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του παραρτήματος Α του Res. Α266.

Στο επόμενο σχέδιο δίνεται η διάταξη της θέσης των μηχανισμών *cross flooding*.



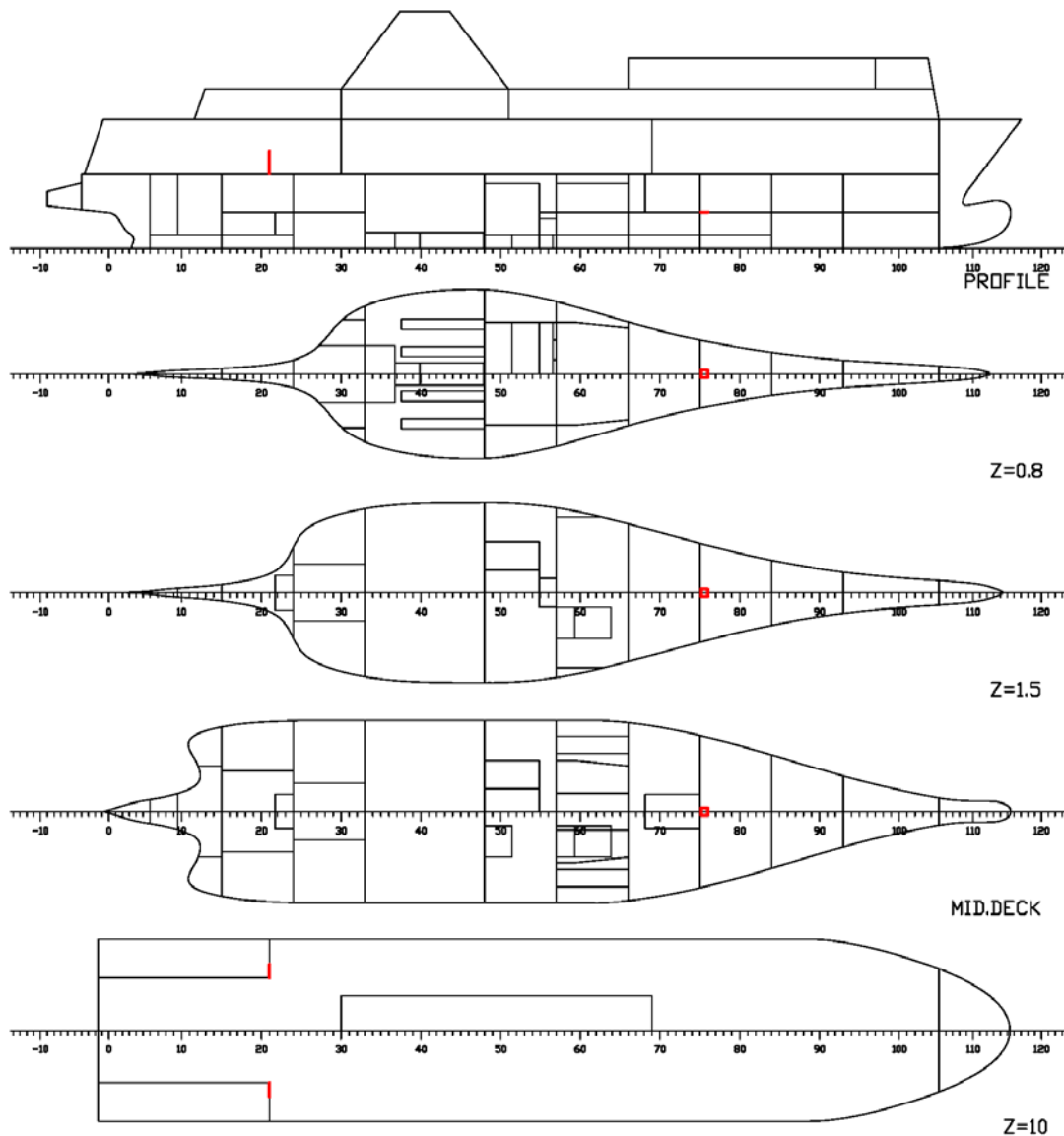
Σχέδιο 5.5-3: Διάταξη μηχανισμών *cross flooding* για το ROPAX

5.5.4 Εσωτερικά ανοίγματα

Πέραν των παραπάνω ανοιγμάτων, τα οποία είναι ανοίγματα ειδικού τύπου και σκοπού, μοντελοποιήθηκαν και κάποια ακόμη εσωτερικά ανοίγματα, όπως κάποιες θύρες στο επίπεδο του καταστρώματος οχημάτων και μία σκάλα, η οποία μοντελοποιήθηκε ισοδύναμα ως καταπακτή στο χώρο κάτω από το κατάστρωμα οχημάτων.

Πίνακας Εσωτερικών Ανοιγμάτων για το ROPAX							
ID	WT	GEOMOBJ	FR	REFX	REFY	REFZ	CONN
STAIR	WATERTIGHT	STAIR1	0	0	0	0	ROOMF4.UP.C ROOMF4.LOW.C
DOOR1	WATERTIGHT	DOOR1	0	0	0	0	AFT.SDCSN.P MAIN.GARAGE
DOOR2	WATERTIGHT	DOOR2	0	0	0	0	AFT.SDCSN.S MAIN.GARAGE

Πίνακας 5.5-5: Πίνακας εσωτερικών ανοιγμάτων για το ROPAX



Σχέδιο 5.5-4: Διάταξη εσωτερικών ανοιγμάτων για το ROPAX

Τα παραπάνω ανοίγματα, αποτελούν το σύνολο των ανοιγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την περίπτωση του ROPAX. Τα εξωτερικά ανοίγματα, τα υδατοστεγή ανοίγματα και οι μηχανισμοί *cross flooding*, μεταφέρθηκαν και στην εκδοχή του αμιγώς επιβατηγού πλοίου. Οι διαφορές εντοπίζονται στα εσωτερικά ανοίγματα, που είναι σαφώς περισσότερα στην περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ.

5.6 Καταστάσεις Φόρτωσης

Σε αυτήν την παράγραφο αναλύονται συνοπτικά οι καταστάσεις φόρτωσης του Ε/Γ-Ο/Γ. Υπενθυμίζεται, ότι σύμφωνα με τον κανονισμό προβλέπονται τρία βυθίσματα, το μέγιστο έμφορτο βύθισμα υποδιαίρεσης (*deepest subdivision draft*), το ελάχιστο προβλεπόμενο βύθισμα υπηρεσίας (*light service draft*) και το ενδιάμεσο βύθισμα, που αντιστοιχεί στο ελάχιστο βύθισμα υπηρεσίας αυξημένο κατά το 60% της διαφοράς μεταξύ του μέγιστου και του ελάχιστου βυθίσματος.

Σχετικά με όλες τις φορτώσεις, αναφέρεται ότι η ροπή λόγω ελευθέρων επιφανειών υπολογίστηκε ως η πραγματική ροπή, ανάλογα με το ύψος της στάθμης εντός κάθε δεξαμενής. Ο στόχος ήταν να ληφθεί μια κατά το δυνατόν ρεαλιστική εκτίμηση της ροπής, λόγω της ύπαρξης ελευθέρων επιφανειών. Επίσης, το βάρος του κενού σκάφους και η θέση του κέντρου του υπήρχε μέσα στο μοντέλο του NAPA®.

5.6.1 Κατάσταση μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης (DS)

Η κατάσταση βυθίσματος υποδιαίρεσης είναι η κατάσταση που αντιστοιχεί στο μέγιστο βύθισμα υποδιαίρεσης και στη δεδομένη περίπτωση αντιστοιχεί στο βύθισμα σχεδίασης των τεσσάρων μέτρων.

Η περιγραφή της κατάστασης φόρτωσης δίνεται παρακάτω.

Κατάσταση Φόρτωσης Deepest Subdivision Draft για το ROPAX					
NAME	MASS [t]	CENTER OF GRAVITY			FREE SURFACE MOMENT [tm]
		CGX [m]	CGY [m]	CGZ [m]	
DWT CONSUMABLES	545.05	32.18	0.16	3.37	363.37
CREW	2.97	44.31	0.00	11.78	0.00
PASSENGER	73.15	44.31	0.00	11.78	0.00
PROVISIONS	85.00	44.31	0.00	11.78	0.00
STORES	20.00	27.76	0.00	2.70	0.00
TRUCKS	660.00	36.60	-0.13	8.10	0.00
DEADWEIGHT	1386.17	35.63	0.00	6.59	363.37
LIGHTSHIP	1421.10	35.80	0.00	6.97	0.00
DISPLACEMENT	2807.27	35.72	0.00	6.78	363.37

Πίνακας 5.6-1: Κατάσταση φόρτωσης μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το ROPAX

Η κατάσταση πλεύσης και τα υδροστατικά στοιχεία της φόρτωσης δίνονται παρακάτω.

F L O A T I N G P O S I T I O N

Draught moulded	4.000 m	KM	9.60 m
Trim	0.000 m	KG	6.78 m
Heel, PS=+	0.0 deg		
TA	4.000 m	GMO	2.82 m
TF	4.000 m	GMCORR	-0.13 m
Trimming moment	-1 tonm	GM	2.69 m

Πίνακας 5.6-2: Θέση πλεύσης φόρτωσης μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το ROPAX

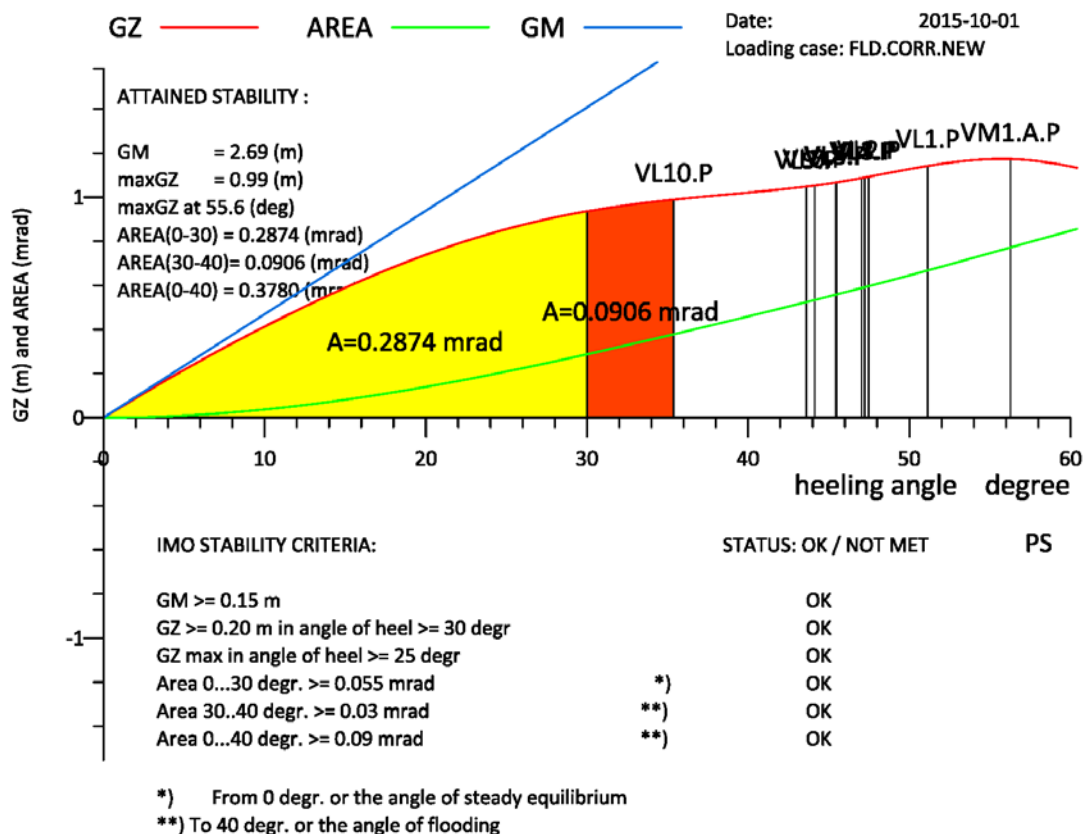
Η κατάσταση φόρτωσης εξετάζεται έναντι των κριτηρίων άθικτης ευστάθειας που παρουσιάστηκαν στο τέλος του κεφαλαίου 4. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε πινακοποιημένη μορφή παρακάτω και δίνεται η καμπύλη GZ στη δεδομένη φόρτωση.

Έλεγχος Κριτηρίων Άθικτης Ευστάθειας Κατάστασης Φόρτωσης DS για το ROPAX					
RCR	TEXT	REQ	ATTV	UNIT	STAT
V.AREA30	Area under GZ curve up to 30 deg	0.055	0.287387	mrad	OK
V.AREA40	Area under GZ curve up to 40 deg.	0.09	0.378015	mrad	OK
V.AREA3040	Area under GZ curve between 30 and 40 deg	0.03	0.090629	mrad	OK
V.GZ0.2	Min. GZ > 0.2	0.2	0.988823	m	OK
V.MAXGZ25	Max. GZ at an angle > 25 deg.	25	55.554	deg	OK
V.GM0.15	GM > 0.15 m	0.15	2.68816	m	OK
V.MAXHEELPASS	Max. heel due to crowding of pass.	10	3.77118	deg	OK
V.MAXHEELTURN	Max. heel due to turning	10	2.2304	deg	OK
V.IMOWEATHER	IMO weather criterion	1	1.0054		OK
2008IS-A2.3.1.2	Heeling angle due to steady wind <16 or <=80% of deck imm.	14.1593	3.02395	deg	OK

Πίνακας 5.6-3: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης μέγιστου θυθίσματος υποδιαίρεσης για το ROPAX

ATTAINED STABILITY VERSUS IMO CRITERIA

According to IMO Resolution MSC.267(85) (2008 IS Code)



Διάγραμμα 5.6-1: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης μέγιστου θυθίσματος υποδιαίρεσης για το ROPAX

5.6.2 Κατάσταση ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης (DP)

Η κατάσταση ενδιάμεσου βυθίσματος, *partial subdivision draft*, αντιστοιχεί σε βύθισμα ίσο με το ελάχιστο βύθισμα υπηρεσίας επαυξημένο κατά το 60% της διαφοράς του μέγιστου και του ελάχιστου βυθίσματος και το πλοίο σε ισοβύθιστη κατάσταση (*even keel*). Η κατάσταση φόρτωσης καταστρώνεται έτσι ώστε να είναι η δυσμενέστερη δυνατή στο δεδομένο βύθισμα. Η κατάσταση φόρτωσης περιγράφεται παρακάτω.

Κατάσταση Φόρτωσης Partial Subdivision Draft για το ROPAX					
NAME	MASS [t]	CENTER OF GRAVITY			FREE SURFACE MOMENT [tm]
		CGX [m]	CGY [m]	CGZ [m]	
DWT CONSUMABLES	353.12	34.14	0.22	2.15	431.23
CREW	2.97	44.31	0	11.78	0
PASSENGER	73.15	44.31	0	11.78	0
PROVISIONS	50	44.31	0	11.78	0
STORES	20	27.76	0	2.7	0
TRUCKS	610	36.6	-0.13	8.1	0
DEADWEIGHT	1109.24	36.54	0.00	6.53	431.23
LIGHTSHIP	1421.10	35.80	0.00	6.97	0.00
DISPLACEMENT	2530.34	36.12	0.00	6.78	431.23

Πίνακας 5.6-4: Κατάσταση φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το ROPAX

Η θέση πλεύσης στη δεδομένη κατάσταση δίνεται παρακάτω.

F L O A T I N G P O S I T I O N				
Draught moulded	3.736	m	KM	9.44 m
Trim	0.000	m	KG	6.77 m
Heel, PS=+	0.0	deg		
TA	3.736	m	GMO	2.66 m
TF	3.736	m	GM CORR	-0.17 m
Trimming moment	2	tonm	GM	2.49 m

Πίνακας 5.6-5: Θέση πλεύσης φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το ROPAX

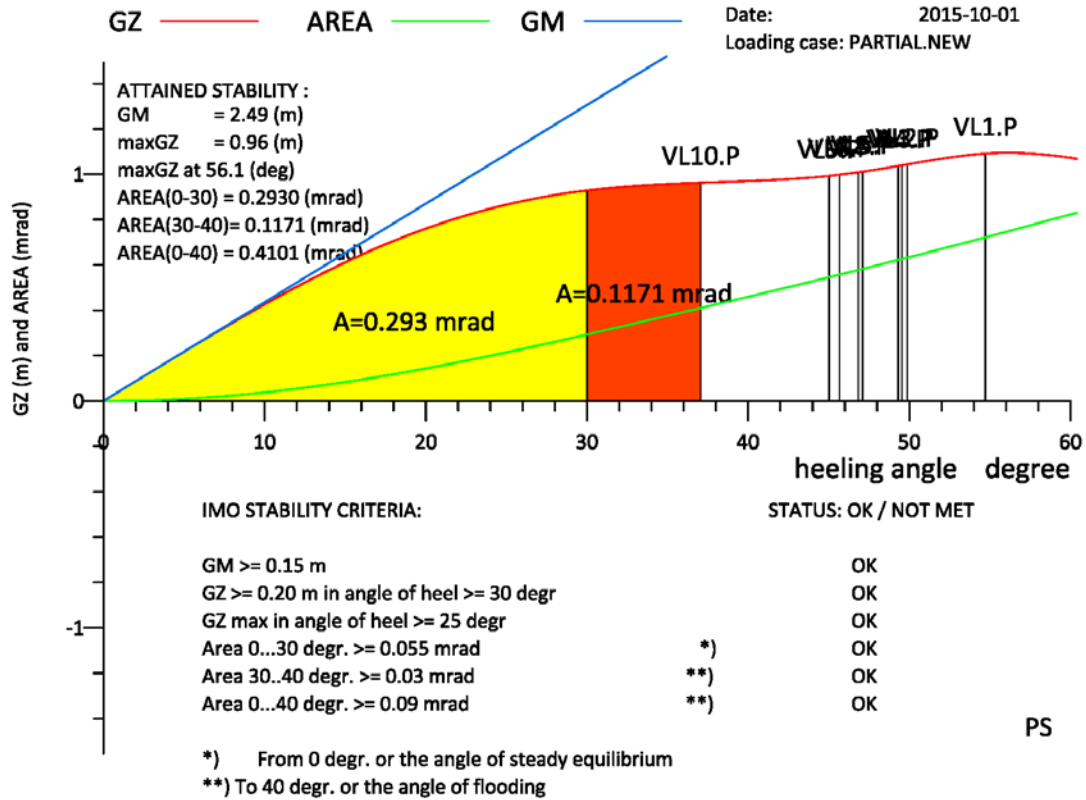
Ο έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας παρουσιάζεται αμέσως μετά.

Έλεγχος Κριτηρίων Άθικτης Ευστάθειας Κατάστασης Φόρτωσης DP για το ROPAX					
RCR	TEXT	REQ	ATTV	UNIT	STAT
V.AREA30	Area under GZ curve up to 30 deg	0.055	0.293043	mrad	OK
V.AREA40	Area under GZ curve up to 40 deg.	0.09	0.410113	mrad	OK
V.AREA3040	Area under GZ curve between 30 and 40 deg	0.03	0.11707	mrad	OK
V.GZ0.2	Min. GZ > 0.2	0.2	0.962681	m	OK
V.MAXGZ25	Max. GZ at an angle > 25 deg.	25	56.1026	deg	OK
V.GM0.15	GM > 0.15 m	0.15	2.49257	m	OK
V.MAXHEELPASS	Max. heel due to crowding of pass.	10	4.19801	deg	OK
V.MAXHEELTURN	Max. heel due to turning	10	2.30464	deg	OK
V.IMOWEATHER	IMO weather criterion	1	1.03331		OK
2008IS-A2.3.1.2	Heeling angle due to steady wind <16 or <=80% of deck imm.	15.6532	3.46435	deg	OK

Πίνακας 5.6-6: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το ROPAX

ATTAINED STABILITY VERSUS IMO CRITERIA

According to IMO Resolution MSC.267(85) (2008 IS Code)



Διάγραμμα 5.6-2: Έλεγχος κριτηρίων άδικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το ROPAX

5.6.3 Κατάσταση ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας (DL)

Η κατάσταση ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας, *lightest service condition*, αντιστοιχεί ουσιαστικά στην κατάσταση άφιξης σε κατάσταση ερματισμού, αλλά με το σύνολο των επιβατών επί του πλοίου, όπως προβλέπει ο κανονισμός.

Κατάσταση Φόρτωσης Light Service Draft για το ROPAX					
NAME	MASS [t]	CENTER OF GRAVITY			FREE SURFACE MOMENT [tm]
		CGX [m]	CGY [m]	CGZ [m]	
DWT CONSUMABLES	623.03	34.35	0.00	3.00	257.09
CREW	2.97	44.31	0	11.78	0
PASSENGER	73.15	44.31	0	11.78	0
PROVISIONS	29.2	44.31	0	11.78	0
STORES	14	27.76	0	2.7	0
DEADWEIGHT	742.35	35.64	0.00	4.24	257.09
LIGHTSHIP	1421.10	35.80	0.00	6.97	0.00
DISPLACEMENT	2163.45	35.75	0.00	6.03	257.09

Πίνακας 5.6-7: Κατάσταση φόρτωσης ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας για το ROPAX

Η θέση πλεύσης και τα υδροστατικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης φόρτωσης δίνονται παρακάτω.

F L O A T I N G P O S I T I O N

Draught moulded	3.340 m	KM	9.77 m
Trim	-0.400 m	KG	6.03 m
Heel, PS=+	0.0 deg		
TA	3.540 m	GMO	3.74 m
TF	3.140 m	GMCORR	-0.12 m
Trimming moment	-1617 tonm	GM	3.62 m

Πίνακας 5.6-8: Θέση πλεύσης φόρτωσης ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας για το ROPAX

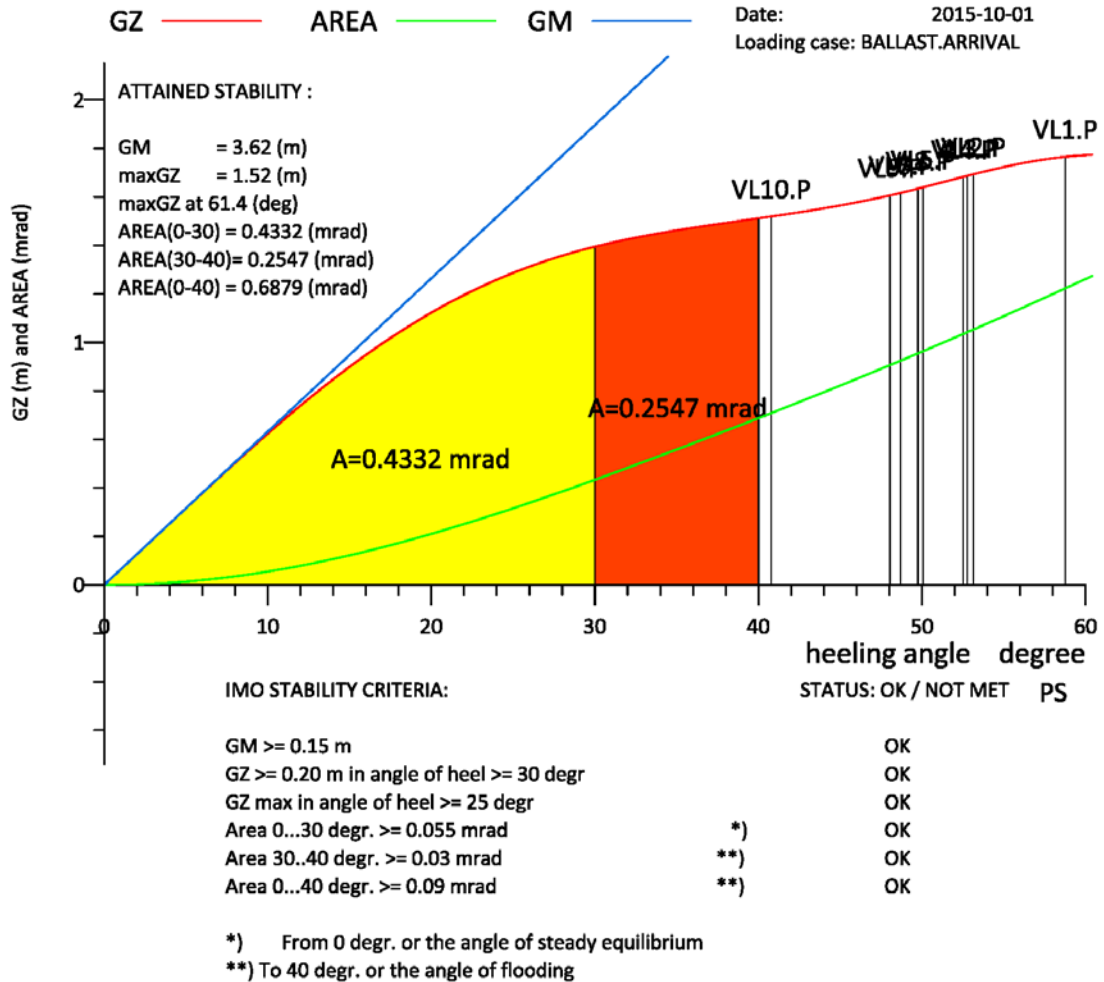
Τέλος, ακολουθεί ο έλεγχος των κριτηρίων άθικτης ευστάθειας της φόρτωσης.

Έλεγχος Κριτηρίων Άθικτης Ευστάθειας Κατάστασης Φόρτωσης DL για το ROPAX					
RCR	TEXT	REQ	ATTV	UNIT	STAT
V.AREA30	Area under GZ curve up to 30 deg	0.055	0.433217	mrad	OK
V.AREA40	Area under GZ curve up to 40 deg.	0.09	0.687896	mrad	OK
V.AREA3040	Area under GZ curve between 30 and 40 deg	0.03	0.254679	mrad	OK
V.GZ0.2	Min. GZ > 0.2	0.2	1.51943	m	OK
V.MAXGZ25	Max. GZ at an angle > 25 deg.	25	61.4375	deg	OK
V.GM0.15	GM > 0.15 m	0.15	3.62132	m	OK
V.MAXHEELPASS	Max. heel due to crowding of pass.	10	3.37898	deg	OK
V.MAXHEELTURN	Max. heel due to turning	10	1.4389	deg	OK
V.IMOWEATHER	IMO weather criterion	1	1.37786		OK
2008IS-A2.3.1.2	Heeling angle due to steady wind <16 or <=80% of deck imm.	16	2.89635	deg	OK

Πίνακας 5.6-9: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας για το ROPAX

ATTAINED STABILITY VERSUS IMO CRITERIA

According to IMO Resolution MSC.267(85) (2008 IS Code)



Διάγραμμα 5.6-3: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας για το ROPAX



6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΜΙΓΩΣ Ε/Γ

6.1 Γενικά

Σε αυτό το κεφάλαιο δίνεται η βασική περιγραφή του μοντέλου του αμιγώς επιβατηγού πλοίου, *pure passenger ferry*, το οποίο προέρχεται από μια υποθετική τροποποίηση του Ε/Γ-Ο/Γ πλοίου *Halkyon 90*. Ο στόχος είναι να μελετηθεί η επίδραση μιας πυκνότερης διαμέρισης στο χώρο των οχημάτων, με τον αντίστοιχο περιορισμό των σχηματιζόμενων ελεύθερων επιφανειών κατά την κατάκλιση του πλοίου, αλλά και η μελέτη της ευστάθειας ενός αμιγώς επιβατηγού πλοίου.

Για την τροποποίηση θεωρείται ότι ο χώρος των οχημάτων διαιρείται καθ' ύψος σε δύο καταστρώματα επιβατών, ύψους 2.4m το καθένα και σε κάθε κατάστρωμα τοποθετούνται καμπίνες και κοινόχρηστοι χώροι επιβατών. Συνολικά, ο αριθμός καμπινών που τοποθετούνται είναι 115 και στο ανώτερο εκ των δύο καταστρωμάτων τοποθετήθηκε ένας μεγάλος χώρος σαλονιού.

Η γάστρα του πλοίου παραμένει η ίδια, συνεπώς δεν υπάρχουν γεωμετρικές μεταβολές, ούτε αλλαγές στα υδροστατικά μεγέθη, οπότε οι αλλαγές από την έκδοση του ROPAX στην εκδοχή του Pure Passenger Ferry, περιορίζονται μόνο στην εσωτερική διάταξη του πλοίου και τις καταστάσεις φόρτωσης.

Κύρια Χαρακτηριστικά Πλοίου Pure Passenger Ferry		
Μήκος μεταξύ καθέτων	L_{BP} [m]	75
Ολικό μήκος	L_{OA} [m]	91.52
Μέγιστο πλάτος	B [m]	16
Βύθισμα σχεδίασης	T [m]	4
Κοίλο μέχρι το κατ/μα στεγ. φρακτών	D_{BD} [m]	6.5
Κοίλο μέχρι το κατάστρωμα αντοχής	D_{SD} [m]	11.3
Νεκρό Βάρος (Dead Weight)	DWT [t]	873.7
Ταχύτητα υπηρεσίας	V_S [kn]	18
Εγκατεστημένη ισχύς πρόωσης	P_P [kW]	5200
Μεταφορική Ικανότητα		
Αριθμός επιβατών σε κλίνες (berthed)	P_B	250
Αριθμός επιβατών καταστρωμάτων χειμώνας	P_{CD}	500
Αριθμός επιβατών ανοιχτών κατ/των	P_{OP}	250
Αριθμός μελών πληρώματος	P_{CR}	22

Πίνακας 6.1-1: Κύριες διαστάσεις πλοίου Pure Passenger Ferry

Σημειώνεται ότι για την εκπόνηση της μελέτης, έγιναν δύο διατάξεις για το Ε/Γ πλοίο. Η κανονική διάταξη που περιεγράφηκε παραπάνω χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη των προσομοιώσεων κατάκλισης, ενώ ο χρόνος υπολογισμού ήταν απαγορευτικός για τη χρήση της λεπτομερούς διάταξης για την εκπόνηση των υπολογισμών, σύμφωνα με τους κανονισμούς. Έτσι, αναπτύχθηκε μια απλοποιημένη διάταξη, η οποία και χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, σύμφωνα με τους κανονισμούς της SOLAS.

6.2 Γενική Διάταξη- Διαμερισματοποίηση

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζεται η γενική διάταξη του αμιγώς επιβατηγού πλοίου και η διαμερισματοποίηση. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η διάταξη αυτής της εκδοχής του πλοίου διαφέρει από την περίπτωση του ROPAX μόνο στην εσωτερική διαμέριση στην περιοχή του χώρου των οχημάτων, η οποία μετατρέπεται σε δύο καταστρώματα ενδιαίτησης των επιβατών. Κατά τα άλλα, για τις δεξαμενές νερού, καυσίμων και την υπόλοιπη διάταξη κάτω από το χώρο των οχημάτων δεν υπάρχουν αλλαγές.

Η διαδικασία δημιουργίας των επιφανειών- ορίων και των χώρων του πλοίου στο υποσύστημα DEF και η ομαδοποίηση τους σε διατάξεις (*arrangements*) στο υποσύστημα SM, του NAPA®, αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και η διαδικασία επαναλήφθηκε για την περίπτωση του αμιγώς επιβατηγού πλοίου.

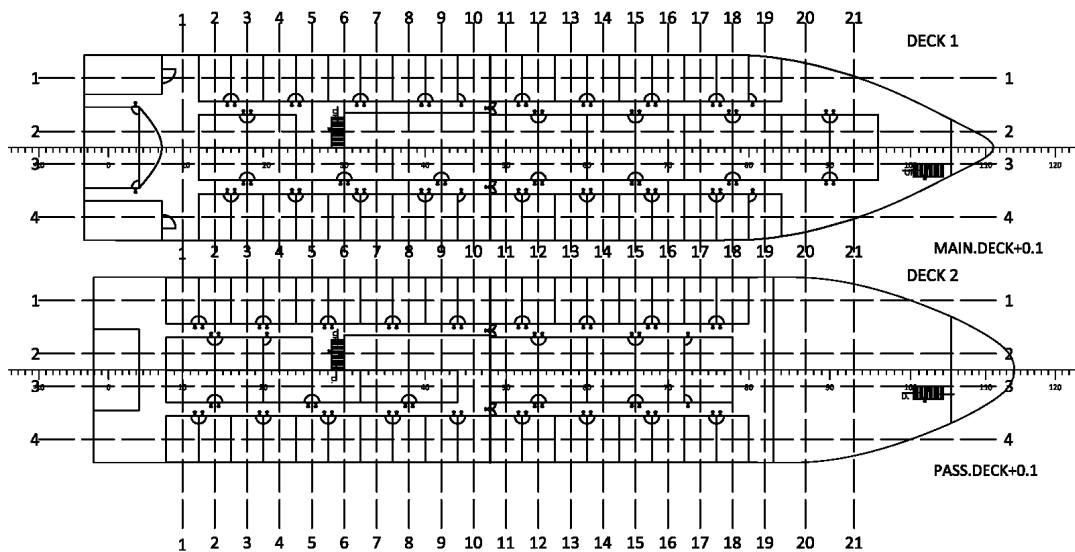
Στις διατάξεις, όπως αναφέρθηκε, δηλώνεται και ο σκοπός ή αλλιώς η λειτουργικότητα κάθε χώρου, η οποία εμπερικλείει κάποιες πληροφορίες όπως το είδος του φορτίου, η πυκνότητα του, η διαχωρητότητα του χώρου και άλλες. Στον επόμενο πίνακα δίνονται οι λειτουργικότητες (*purposes*) που χρησιμοποιήθηκαν στις διατάξεις του αμιγώς επιβατηγού πλοίου.

Λειτουργικότητες/ Purposes Χώρων									
PURP	PDES	CLASS	TYPE	RHO	RED	CAP	PERM	IPERM	LFCODE
HFO	Heavy Fuel Oil	B	L	0.94	2	0.95	0.95		C-HFO
DO	Diesel Oil	B	L	0.86	2	0.95	0.95		C-DO
WB	Water Ballast	X	L	1.025	2	1	0.95		C-WB
FW	Fresh Water	B	L	1	2	0.95	0.95		C-FW
FLOOD	Flood water	X	L	1.025	2	1	0.95		C-FLOOD
SLU	Sludge	C	L	2.38	0	0.95	0.95		C-SLU
BW	Ballast Water	X	L	1.025	2	1	0.95		C-BW
MAP	Apparat Space	E	E	1	0	1	0.85		C-MAP
MMA	Machinery Sp.	E	E	1	0	1	0.85		C-MMA
VOID	Void	V	V	1.025	0	0.95	0.95		C-VOID
CWH	Wheelhouse	N	A	1	0	1	0.95		C-CWH
PCA	Pass. Cabin	M	A	1	0	1	0.95		C-PCA
PCO	Pass. Corridor	P	A	1	0	1	0.95		C-PCO
ACC	Accommodation	A	A	1	2	1	0.95		C-PCA

Πίνακας 6.2-1: Λειτουργικότητες (*purposes*) διαμερισμάτων για το Pure Passenger Ferry

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω για το αμιγώς επιβατηγό πλοίο χρησιμοποιήθηκαν δύο διατάξεις μία πλήρης και λεπτομερής και μία απλοποιημένη. Οι παραπάνω λειτουργικότητες ήταν κοινές για τις δύο διατάξεις. Η διαφορά της απλοποιημένης από την πλήρη διάταξη έγκειται στο ότι στην απλοποιημένη διάταξη κάποιες καμπίνες ομαδοποιούνται σε «πακέτα» καμπινών, τα οποία λογίζονται ως ενιαίοι χώροι. Αυτό επιτρέπει ταχύτερους υπολογισμούς και λιγότερο περίπλοκες βλάβες και συνδέσεις διαμερισμάτων, καθιστώντας έτσι δυνατή την αξιολόγηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, σύμφωνα με τους κανονισμούς. Είναι προφανές, ότι η απλοποιημένη διάταξη διαφέρει από την πραγματική, επιφέροντας έτσι ανακρίβειες στους υπολογισμούς, οι οποίες όμως δεν αλλοιώνουν σημαντικά το αποτέλεσμα.

Σχετικά με την ονοματολογία των καμπινών, το όνομα δίνεται ως C.deck.transverse zone.longitudinal zone. Η παράμετρος deck έχει τιμή 1 όταν είναι στο κατώτερο κατάστρωμα επιβατών και 2 όταν είναι στο αμέσως επόμενο, οι τιμές των εγκαρσίων (*transverse*) ζωνών είναι από 1-4 με το 1 να αντιστοιχεί στην εξωτερική σειρά καμπινών που είναι στην αριστερή (*port*) πλευρά του πλοίου και η τιμή της διαμήκουσ στήλης-ζώνης αντιστοιχεί στο μικρότερο αριθμό-δείκτη της ζώνης που περνάει από τη συγκεκριμένη καμπίνα. Έτσι η καμπίνα C1.2.5 είναι η καμπίνα στο πρώτο κατάστρωμα, στην εσωτερική σειρά προς την αριστερή πλευρά του πλοίου και είναι στην 5^η στήλη κατά το διάμηκος. Τονίζεται ότι η λέξη ζώνη που χρησιμοποιείται εδώ, δεν έχει σχέση με τη ζώνη υποδιαίρεσης που χρησιμοποιείται στους κανονισμούς. Η αναγνώριση της θέσης γίνεται σύμφωνα με το παρακάτω σχέδιο.



Σχέδιο 6.2-1: Σχηματική απεικόνιση δεικτών αναγνώρισης (ID indices) για τις καμπίνες

Επειδή όπως αναφέρθηκε οι διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι δύο, αναγκαστικά και οι χώροι είναι διαφορετικοί εξ' ορισμού, αλλά και τα εσωτερικά ανοίγματα που επιτρέπουν την κατάκλυση είναι διαφορετικά και σαφώς λιγότερα, στην απλοποιημένη διάταξη. Ουσιαστικά, η μείωση του αριθμού των ανοιγμάτων και κατά προέκταση η μείωση των συνδέσεων μεταξύ των χώρων, είναι ο βασικός τρόπος για τη μείωση του χρόνου εξεύρεσης των σεναρίων βλάβης αλλά και των σχετικών υπολογισμών ευστάθειας ανά σενάριο βλάβης.

Παρακάτω δίνονται οι χώροι για κάθε διάταξη καθώς επίσης και τα εσωτερικά ανοίγματα για την κάθε περίπτωση. Όλα τα υπόλοιπα ανοίγματα, δηλαδή τα εξωτερικά ανοίγματα, τα εσωτερικά υδατοστεγή ανοίγματα και οι *cross flooding* διατάξεις παραμένουν ίδιες με το μοντέλο του ROPAX και συνεπώς δεν παρουσιάζονται εκ νέου.

6.2.1 Πραγματική διάταξη

6.2.1.1 Διάταξη χώρων

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζεται η πραγματική διάταξη του αμιγώς επιβατηγού πλοίου, η οποία χρησιμοποιήθηκε μόνο για τη μελέτη των προσομοιώσεων κατάκλυσης. Παρακάτω δίνονται τα ονόματα των διαμερισμάτων, με τα σχετικά με τον όγκο τους μεγέθη. Τα ονόματα υποδηλώνουν τη λειτουργικότητα του εκάστοτε χώρου, ενώ για τις καμπίνες ακολουθήθηκε ο κανόνας ονοματολογίας που παρουσιάστηκε προηγουμένως.

Πίνακας Διαμερισμάτων Pure Passenger Ferry (Πραγματική Διάταξη)								
NAME	PURP	VOLM	VNET	CGX	CGY	CGZ	IY*RHO	IY/IMO
AFT.SDCSN.P	ACC	51.74	50.71	1.44	6.30	7.67	20.81	19.73
AFT.SDCSN.S	ACC	51.74	50.71	1.44	-6.30	7.67	20.81	19.73
WC1	ACC	73.78	72.30	0.46	0.00	7.66	126.08	117.63
WC2	ACC	59.90	58.70	0.87	0.00	10.05	102.58	94.57
SALOON	ACC	538.46	527.69	64.76	0.00	10.12	4153.95	4478.37
BW.DIRTY.T.P	BW	0.46	0.45	39.15	3.72	0.69	0.09	0.07
BW.CLEAN.T.P	BW	0.61	0.60	39.15	2.11	0.61	0.14	0.13
GREY.WATER.T.C	BW	93.98	92.10	61.10	0.00	2.01	115.16	166.48
BRIDGE	CWH	244.84	244.84	69.74	0.00	15.33	2606.15	2542.40
M.G.O.SERV.T.S	DO	16.50	16.17	34.20	-2.63	4.45	3.58	3.51
M.G.O.STOR.T.S	DO	33.24	32.58	36.11	-2.21	0.61	41.14	38.93
NO.2.F.W.T.P	FW	73.80	72.33	13.05	1.78	4.85	23.49	23.02
NO.1.F.W.T.S	FW	73.80	72.33	13.05	-1.78	4.85	23.49	23.02
NO.3.F.W.T.C	FW	47.52	46.57	49.50	0.00	4.85	10.80	10.58
NO.3.H.F.O.STOR.T.P	HFO	42.86	42.01	42.34	2.97	4.45	10.15	10.72
NO.1.H.F.O.STOR.T.S	HFO	42.86	42.01	42.34	-2.97	4.45	10.15	10.72
NO.2.H.F.O.STOR.T.C	HFO	50.40	49.39	42.45	0.00	4.45	16.17	15.85
H.F.O.SERV.T.P	HFO	43.20	42.34	35.40	1.00	3.45	3.01	2.95
H.F.O.SETT.T.P	HFO	54.00	52.92	35.40	3.25	3.45	5.88	5.76
ST.L.O.STOR.T.P	LO	4.80	4.70	15.40	0.75	2.20	0.41	0.40
ST.L.O.STOR.T.S	LO	4.80	4.70	15.40	-0.75	2.20	0.41	0.40
NO.4.L.O.CIRC.T.P	LO	5.91	5.79	29.35	4.35	0.95	0.40	0.39
NO.1.L.O.CIRC.T.S	LO	5.91	5.79	29.35	-4.35	0.95	0.40	0.39
NO.3.L.O.CIRC.T.P	LO	5.91	5.79	29.35	1.95	0.95	0.40	0.39
NO.2.L.O.CIRC.T.S	LO	5.91	5.79	29.35	-1.95	0.95	0.40	0.39
CPP.RG.L.O.STRO.T.S	LO	8.74	8.56	40.10	-2.64	2.20	2.44	2.39
ME.AE.L.O.STOR.T.S	LO	17.47	17.12	42.50	-2.64	2.20	4.88	4.79
L.O.RNVT.G.T.P	LO	2.72	2.66	38.55	0.63	1.93	0.22	0.22
L.O.RNVT.D.T.S	LO	2.72	2.66	38.55	-0.63	1.93	0.22	0.22
ENGINE.CASING	MAP	169.34	169.34	26.70	1.40	8.90	23.05	23.05
FUNNEL	MAP	148.02	148.02	27.75	0.00	16.28	16.43	12.66
FUNNEL.DOWN	MAP	127.01	127.01	27.75	0.00	12.65	40.14	40.14
ENGINE.ROOM	MMA	854.82	854.82	27.75	0.00	3.96	3584.00	3571.57
C1.1.2	PCA	26.88	26.88	9.20	6.00	7.70	14.93	14.93
C1.1.3	PCA	26.88	26.88	12.00	6.00	7.70	14.93	14.93
C1.1.4	PCA	26.88	26.88	14.80	6.00	7.70	14.93	14.93
C1.1.5	PCA	26.88	26.88	17.60	6.00	7.70	14.93	14.93

Πίνακας Διαμερισμάτων Pure Passenger Ferry (Πραγματική Διάταξη)								
NAME	PURP	VOLM	VNET	CGX	CGY	CGZ	IY*RHO	IY/IMO
C1.1.6	PCA	26.88	26.88	20.40	6.00	7.70	14.93	14.93
C1.1.7	PCA	26.88	26.88	23.20	6.00	7.70	14.93	14.93
C1.1.8	PCA	26.88	26.88	26.00	6.00	7.70	14.93	14.93
C1.1.9	PCA	26.88	26.88	28.80	6.00	7.70	14.93	14.93
C1.1.10	PCA	26.88	26.88	31.60	6.00	7.70	14.93	14.93
C1.1.11	PCA	26.88	26.88	34.40	6.00	7.70	14.93	14.93
C1.1.12	PCA	26.88	26.88	37.20	6.00	7.70	14.93	14.93
C1.1.13	PCA	26.88	26.88	40.00	6.00	7.70	14.93	14.93
C1.1.14	PCA	26.88	26.88	42.80	6.00	7.70	14.93	14.93
C1.1.15	PCA	26.88	26.88	45.60	6.00	7.70	14.93	14.93
C1.1.16	PCA	26.88	26.88	48.40	6.00	7.70	14.93	14.93
C1.1.17	PCA	26.88	26.88	51.20	6.00	7.70	14.93	14.93
C1.1.18	PCA	26.88	26.88	54.00	6.00	7.70	14.93	14.93
C1.1.19	PCA	26.67	26.67	56.80	5.98	7.71	14.87	14.76
C1.2.2	PCA	28.22	28.22	9.90	1.40	7.70	7.68	7.68
C1.2.3	PCA	28.22	28.22	14.10	1.40	7.70	7.68	7.68
C1.2.11	PCA	28.22	28.22	35.10	1.40	7.70	7.68	7.68
C1.2.12	PCA	28.22	28.22	39.30	1.40	7.70	7.68	7.68
C1.2.14	PCA	28.22	28.22	43.50	1.40	7.70	7.68	7.68
C1.2.15	PCA	28.22	28.22	47.70	1.40	7.70	7.68	7.68
C1.2.17	PCA	28.22	28.22	51.90	1.40	7.70	7.68	7.68
C1.2.18	PCA	28.22	28.22	56.10	1.40	7.70	7.68	7.68
C1.2.20	PCA	28.22	28.22	60.30	1.40	7.70	7.68	7.68
C1.2.21	PCA	28.22	28.22	64.50	1.40	7.70	7.68	7.68
C1.3.2	PCA	28.22	28.22	9.90	-1.40	7.70	7.68	7.68
C1.3.3	PCA	28.22	28.22	14.10	-1.40	7.70	7.68	7.68
C1.3.5	PCA	28.22	28.22	18.30	-1.40	7.70	7.68	7.68
C1.3.6	PCA	28.22	28.22	22.50	-1.40	7.70	7.68	7.68
C1.3.8	PCA	28.22	28.22	26.70	-1.40	7.70	7.68	7.68
C1.3.9	PCA	28.22	28.22	30.90	-1.40	7.70	7.68	7.68
C1.3.11	PCA	28.22	28.22	35.10	-1.40	7.70	7.68	7.68
C1.3.12	PCA	28.22	28.22	39.30	-1.40	7.70	7.68	7.68
C1.3.14	PCA	28.22	28.22	43.50	-1.40	7.70	7.68	7.68
C1.3.15	PCA	28.22	28.22	47.70	-1.40	7.70	7.68	7.68
C1.3.17	PCA	28.22	28.22	51.90	-1.40	7.70	7.68	7.68
C1.3.18	PCA	28.22	28.22	56.10	-1.40	7.70	7.68	7.68
C1.3.20	PCA	28.22	28.22	60.30	-1.40	7.70	7.68	7.68
C1.3.21	PCA	28.22	28.22	64.50	-1.40	7.70	7.68	7.68
C1.4.2	PCA	26.88	26.88	9.20	-6.00	7.70	14.93	14.93
C1.4.3	PCA	26.88	26.88	12.00	-6.00	7.70	14.93	14.93
C1.4.4	PCA	26.88	26.88	14.80	-6.00	7.70	14.93	14.93
C1.4.5	PCA	26.88	26.88	17.60	-6.00	7.70	14.93	14.93
C1.4.6	PCA	26.88	26.88	20.40	-6.00	7.70	14.93	14.93
C1.4.7	PCA	26.88	26.88	23.20	-6.00	7.70	14.93	14.93
C1.4.8	PCA	26.88	26.88	26.00	-6.00	7.70	14.93	14.93

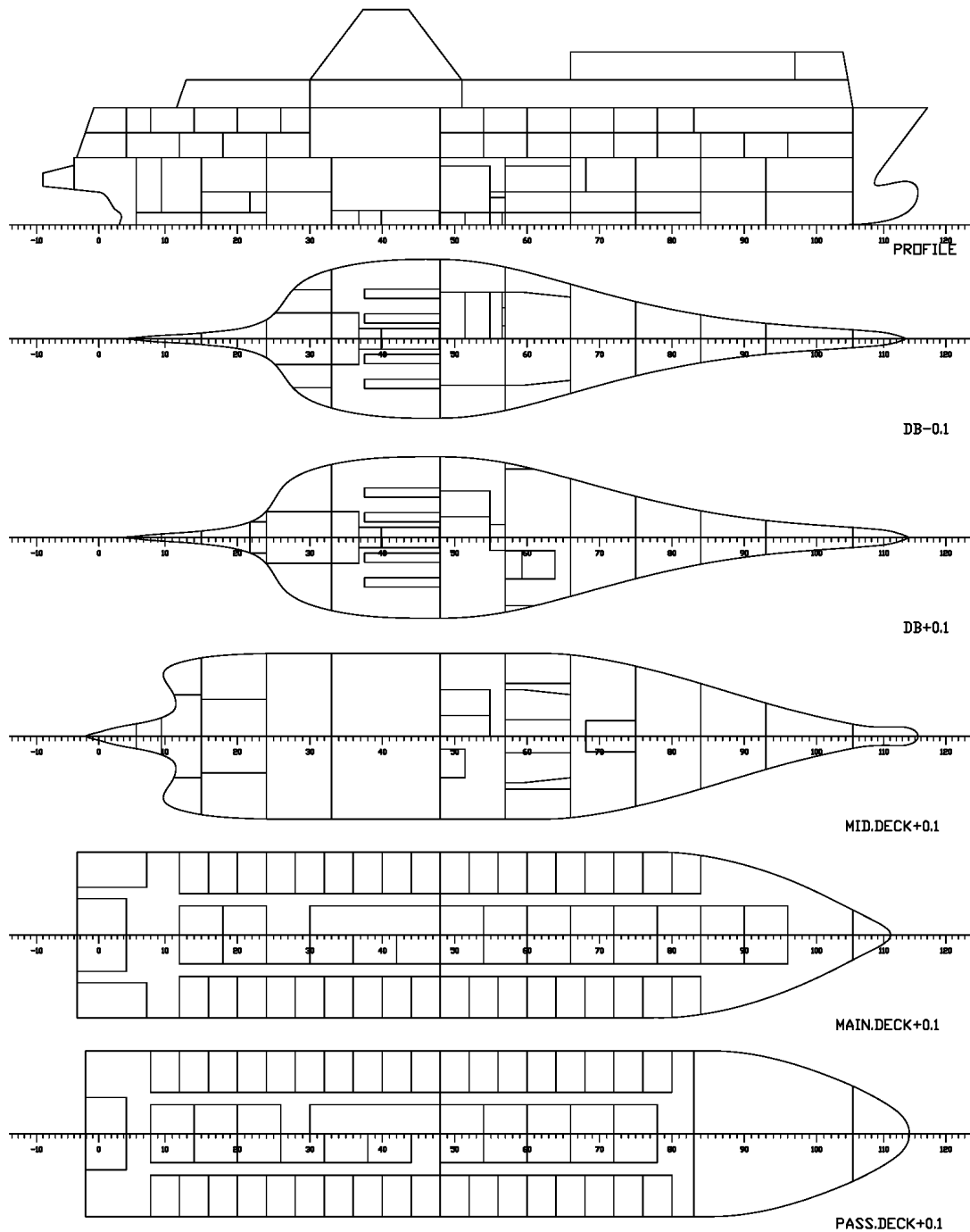
Πίνακας Διαμερισμάτων Pure Passenger Ferry (Πραγματική Διάταξη)								
NAME	PURP	VOLM	VNET	CGX	CGY	CGZ	IY*RHO	IY/IMO
C1.4.9	PCA	26.88	26.88	28.80	-6.00	7.70	14.93	14.93
C1.4.10	PCA	26.88	26.88	31.60	-6.00	7.70	14.93	14.93
C1.4.11	PCA	26.88	26.88	34.40	-6.00	7.70	14.93	14.93
C1.4.12	PCA	26.88	26.88	37.20	-6.00	7.70	14.93	14.93
C1.4.13	PCA	26.88	26.88	40.00	-6.00	7.70	14.93	14.93
C1.4.14	PCA	26.88	26.88	42.80	-6.00	7.70	14.93	14.93
C1.4.15	PCA	26.88	26.88	45.60	-6.00	7.70	14.93	14.93
C1.4.16	PCA	26.88	26.88	48.40	-6.00	7.70	14.93	14.93
C1.4.17	PCA	26.88	26.88	51.20	-6.00	7.70	14.93	14.93
C1.4.18	PCA	26.88	26.88	54.00	-6.00	7.70	14.93	14.93
C1.4.19	PCA	26.67	26.67	56.80	-5.98	7.71	14.87	14.76
C2.1.1	PCA	26.88	26.88	6.40	6.00	10.10	14.93	14.93
C2.1.2	PCA	26.88	26.88	9.20	6.00	10.10	14.93	14.93
C2.1.3	PCA	26.88	26.88	12.00	6.00	10.10	14.93	14.93
C2.1.4	PCA	26.88	26.88	14.80	6.00	10.10	14.93	14.93
C2.1.5	PCA	26.88	26.88	17.60	6.00	10.10	14.93	14.93
C2.1.6	PCA	26.88	26.88	20.40	6.00	10.10	14.93	14.93
C2.1.7	PCA	26.88	26.88	23.20	6.00	10.10	14.93	14.93
C2.1.8	PCA	26.88	26.88	26.00	6.00	10.10	14.93	14.93
C2.1.9	PCA	26.88	26.88	28.80	6.00	10.10	14.93	14.93
C2.1.10	PCA	26.88	26.88	31.60	6.00	10.10	14.93	14.93
C2.1.11	PCA	26.88	26.88	34.40	6.00	10.10	14.93	14.93
C2.1.12	PCA	26.88	26.88	37.20	6.00	10.10	14.93	14.93
C2.1.13	PCA	26.88	26.88	40.00	6.00	10.10	14.93	14.93
C2.1.14	PCA	26.88	26.88	42.80	6.00	10.10	14.93	14.93
C2.1.15	PCA	26.88	26.88	45.60	6.00	10.10	14.93	14.93
C2.1.16	PCA	26.88	26.88	48.40	6.00	10.10	14.93	14.93
C2.1.17	PCA	26.88	26.88	51.20	6.00	10.10	14.93	14.93
C2.1.18	PCA	26.88	26.88	54.00	6.00	10.10	14.93	14.93
C2.2.1	PCA	28.22	28.22	7.10	1.40	10.10	7.68	7.68
C2.2.2	PCA	28.22	28.22	11.30	1.40	10.10	7.68	7.68
C2.2.4	PCA	28.22	28.22	15.50	1.40	10.10	7.68	7.68
C2.2.11	PCA	28.22	28.22	35.10	1.40	10.10	7.68	7.68
C2.2.12	PCA	28.22	28.22	39.30	1.40	10.10	7.68	7.68
C2.2.14	PCA	28.22	28.22	43.50	1.40	10.10	7.68	7.68
C2.2.15	PCA	28.22	28.22	47.70	1.40	10.10	7.68	7.68
C2.2.17	PCA	28.22	28.22	51.90	1.40	10.10	7.68	7.68
C2.3.1	PCA	28.22	28.22	7.10	-1.40	10.10	7.68	7.68
C2.3.2	PCA	28.22	28.22	11.30	-1.40	10.10	7.68	7.68
C2.3.4	PCA	28.22	28.22	15.50	-1.40	10.10	7.68	7.68
C2.3.5	PCA	28.22	28.22	19.70	-1.40	10.10	7.68	7.68
C2.3.7	PCA	28.22	28.22	23.90	-1.40	10.10	7.68	7.68
C2.3.8	PCA	28.22	28.22	28.10	-1.40	10.10	7.68	7.68
C2.3.11	PCA	28.22	28.22	35.10	-1.40	10.10	7.68	7.68
C2.3.12	PCA	28.22	28.22	39.30	-1.40	10.10	7.68	7.68

Πίνακας Διαμερισμάτων Pure Passenger Ferry (Πραγματική Διάταξη)								
NAME	PURP	VOLM	VNET	CGX	CGY	CGZ	IY*RHO	IY/IMO
C2.3.14	PCA	28.22	28.22	43.50	-1.40	10.10	7.68	7.68
C2.3.15	PCA	28.22	28.22	47.70	-1.40	10.10	7.68	7.68
C2.3.17	PCA	28.22	28.22	51.90	-1.40	10.10	7.68	7.68
C2.4.1	PCA	26.88	26.88	6.40	-6.00	10.10	14.93	14.93
C2.4.2	PCA	26.88	26.88	9.20	-6.00	10.10	14.93	14.93
C2.4.3	PCA	26.88	26.88	12.00	-6.00	10.10	14.93	14.93
C2.4.4	PCA	26.88	26.88	14.80	-6.00	10.10	14.93	14.93
C2.4.5	PCA	26.88	26.88	17.60	-6.00	10.10	14.93	14.93
C2.4.6	PCA	26.88	26.88	20.40	-6.00	10.10	14.93	14.93
C2.4.7	PCA	26.88	26.88	23.20	-6.00	10.10	14.93	14.93
C2.4.8	PCA	26.88	26.88	26.00	-6.00	10.10	14.93	14.93
C2.4.9	PCA	26.88	26.88	28.80	-6.00	10.10	14.93	14.93
C2.4.10	PCA	26.88	26.88	31.60	-6.00	10.10	14.93	14.93
C2.4.11	PCA	26.88	26.88	34.40	-6.00	10.10	14.93	14.93
C2.4.12	PCA	26.88	26.88	37.20	-6.00	10.10	14.93	14.93
C2.4.13	PCA	26.88	26.88	40.00	-6.00	10.10	14.93	14.93
C2.4.14	PCA	26.88	26.88	42.80	-6.00	10.10	14.93	14.93
C2.4.15	PCA	26.88	26.88	45.60	-6.00	10.10	14.93	14.93
C2.4.16	PCA	26.88	26.88	48.40	-6.00	10.10	14.93	14.93
C2.4.17	PCA	26.88	26.88	51.20	-6.00	10.10	14.93	14.93
C2.4.18	PCA	26.88	26.88	54.00	-6.00	10.10	14.93	14.93
CORRIDOR1.1	PCO	362.00	362.00	12.17	0.11	7.70	2109.20	1666.79
CORRIDOR1.2	PCO	470.34	470.34	59.31	0.00	7.74	3323.68	2316.68
CORRIDOR2.1	PCO	365.66	365.66	12.11	0.00	10.09	2740.12	1712.24
CORRIDOR2.2	PCO	229.06	229.06	49.41	0.00	10.10	1370.33	1004.33
ACCDECK1	PSP	2653.14	2653.14	40.75	0.00	12.65	0.00	0.00
ACCDECK2	PSP	309.36	309.36	56.45	0.00	15.35	0.00	0.00
THERMO.OIL.STOR.DR.T.C	SLU	18.12	18.12	23.82	0.00	0.71	65.20	63.64
FO.DR.T.C	SLU	6.08	6.08	26.22	0.00	0.70	3.44	3.44
DIRTY.OIL.T.C	SLU	15.68	15.68	30.10	0.00	0.70	8.89	8.89
C.W.DRAIN.T.P	SLU	12.93	12.93	34.20	2.25	0.60	43.38	43.21
SLUDGE.T.P	SLU	12.62	12.62	36.59	2.21	0.61	43.38	41.65
FO.OVFL.T.P	SLU	6.16	6.16	38.40	2.17	0.63	21.69	20.11
ROOMF6.C	VOID	170.50	170.50	67.97	0.00	5.06	253.29	462.55
ROOMF5.C	VOID	233.85	233.85	61.17	0.00	4.99	901.62	1212.27
ROOMF4.UP.C	VOID	297.19	297.19	54.97	0.00	4.93	1720.80	1861.42
ROOMF4.LOW.C	VOID	115.19	115.19	54.86	0.00	2.30	499.36	726.37
ROOMF4.DB.P	VOID	14.83	14.83	54.80	1.14	0.73	7.78	10.87
ROOMF4.DB.S	VOID	14.83	14.83	54.80	-1.14	0.73	7.78	10.87
ROOMF3.UP.C	VOID	327.40	327.40	48.73	0.00	4.87	2187.07	2152.39
ROOMF3.LOW.C	VOID	155.50	155.50	48.62	0.00	2.27	1144.60	1442.28
ROOMF3.DB.P	VOID	23.05	23.05	48.53	1.74	0.72	27.80	36.87
ROOMF3.DB.S	VOID	23.05	23.05	48.53	-1.74	0.72	27.80	36.87
ROOMF2.UP.C	VOID	75.93	75.93	42.57	0.00	5.57	571.06	122.35
ROOMF2.LOW.C	VOID	139.16	139.16	42.58	0.50	2.21	1118.63	947.26

Πίνακας Διαμερισμάτων Pure Passenger Ferry (Πραγματική Διάταξη)								
NAME	PURP	VOLM	VNET	CGX	CGY	CGZ	IY*RHO	IY/IMO
ROOMF2.DB.P	VOID	28.98	28.98	42.32	2.02	0.66	43.79	38.55
ROOMF2.DB.S	VOID	28.98	28.98	42.32	-2.02	0.66	43.79	38.55
ROOMF2.WIG.P	VOID	5.46	5.46	41.89	5.12	0.93	3.16	2.73
ROOMF2.WIG.S	VOID	5.46	5.46	41.89	-5.12	0.93	3.16	2.73
ROOMF1.UP.C	VOID	262.14	262.14	36.43	-0.30	4.96	1990.03	1541.99
ROOMF1.LOW.C	VOID	150.53	150.53	36.26	-0.65	2.22	2001.14	1422.24
ROOMF1.DB.P	VOID	0.45	0.45	39.15	0.63	0.60	0.05	0.05
ROOMF1.WIG.P	VOID	13.72	13.72	35.78	5.70	0.78	9.26	7.65
ROOMF1.WIG.S	VOID	13.72	13.72	35.78	-5.70	0.78	9.26	7.65
MAIN.ENGINE.DB	VOID	130.38	130.38	28.16	0.00	0.74	2101.32	1471.07
ROOMA1.UP.C	VOID	332.64	332.64	19.35	0.00	4.85	2204.16	2204.16
ROOMA1.LOW.C	VOID	121.32	121.32	19.48	0.00	2.28	1930.69	1029.00
ROOMA1.DB.P	VOID	5.41	5.41	20.71	3.48	0.89	3.29	1.44
ROOMA1.DB.S	VOID	5.41	5.41	20.71	-3.48	0.89	3.29	1.44
ROOMA1.WIG.P	VOID	1.53	1.53	21.31	5.36	1.01	0.80	0.42
ROOMA1.WIG.S	VOID	1.53	1.53	21.31	-5.36	1.01	0.80	0.42
ROOMA2.UP.P	VOID	92.19	92.19	13.06	5.77	4.86	47.42	47.17
ROOMA2.UP.S	VOID	92.19	92.19	13.06	-5.77	4.86	47.42	47.17
ROOMA2.LOW.C	VOID	101.81	101.81	13.37	0.00	2.53	1431.10	787.63
ROOMA2.DB.P	VOID	5.06	5.06	13.49	0.39	0.70	0.29	0.92
ROOMA2.DB.S	VOID	5.06	5.06	13.49	-0.39	0.70	0.29	0.92
ROOMA3.C	VOID	221.90	221.90	6.29	0.00	4.88	2034.14	590.03
ROOMA3.DB.P	VOID	2.32	2.32	7.29	0.17	0.62	0.02	0.04
ROOMA3.DB.S	VOID	2.32	2.32	7.29	-0.17	0.62	0.02	0.04
ROOMA4.C	VOID	257.77	257.77	0.68	0.00	5.13	2066.70	557.33
ROOMA5.C	VOID	63.41	63.41	-3.74	0.00	4.69	847.12	446.99
HEELING.T.P	WB	70.69	69.27	42.38	6.64	4.50	13.12	8.02
HEELING.T.S	WB	70.69	69.27	42.38	-6.64	4.50	13.12	8.02
NO.1.W.B.T.C	WB	71.67	70.24	68.24	0.00	1.96	27.91	47.56
NO.2.W.B.T.C	WB	90.71	88.90	19.47	0.00	1.74	67.27	56.28
NO.3.W.B.T.C	WB	117.91	115.55	8.03	0.00	4.53	168.81	101.17
F.P.T	WB	206.12	202.00	75.22	0.00	8.20	166.54	108.42

Πίνακας 6.2-2: Πίνακας διαμερισμάτων Pure Passenger Ferry (πραγματική διάταξη)

Στο επόμενο σχέδιο δίνεται η πραγματική γενική διάταξη των χώρων του αμιγώς επιβατηγού πλοίου. Οι διαφορές σε σχέση με το Ε/Γ-Ο/Γ εντοπίζονται μόνο στο χώρο οχημάτων, ο οποίος αντικαθίσταται από τους χώρους που διατίθενται για τους επιβάτες στα δύο νέα καταστρώματα.



Σχέδιο 6.2-2: Γενική διάταξη πλοίου Pure Passenger Ferry (πραγματική διάταξη)

6.2.1.2 Εσωτερικά ανοίγματα

Αφού η διάταξη των χώρων άνωθεν του καταστρώματος αλλάζει, πρέπει να αλλάξουν και τα εσωτερικά ανοίγματα που επιτρέπουν την κατάκλιση των χώρων. Αν κάτι τέτοιο δε συμβεί τότε οι χώροι θα θεωρούνται στεγανοί και απομονωμένοι ο ένας από τον άλλο, γεγονός που δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα καθώς οι θύρες και τα όρια των δωματίων δε μπορούν (συνήθως) να συγκρατήσουν την πίεση του νερού κατάκλισης, ενώ ταυτόχρονα θα υπήρχε διαφορά στον όγκο νερών κατάκλισης μεταξύ του ROPAX και του αμιγώς Ε/Γ. Παρακάτω δίνονται τα εσωτερικά ανοίγματα για την κανονική διάταξη των χώρων.

Πίνακας Εσωτερικών Ανοιγμάτων για το Pure Passenger Ferry (Πραγματική Διάταξη)							
ID	WT	GEOMOBJ	FR	REFX	REFY	REFZ	CONN
STAIR	WATERTIGHT	STAIR1	0	0	0	0	ROOMF4.UP.C ROOMF4.LOW.C
DOOR1	WATERTIGHT	DOOR1	0	0	0	0	AFT.SDCSN.P CORRIDOR1.1
DOOR2	WATERTIGHT	DOOR2	0	0	0	0	AFT.SDCSN.S CORRIDOR1.1
D1.1.2	WATERTIGHT	O1.1.2	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.1.2
D1.1.3	WATERTIGHT	O1.1.3	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.1.3
D1.1.4	WATERTIGHT	O1.1.4	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.1.4
D1.1.5	WATERTIGHT	O1.1.5	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.1.5
D1.1.6	WATERTIGHT	O1.1.6	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.1.6
D1.1.7	WATERTIGHT	O1.1.7	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.1.7
D1.1.8	WATERTIGHT	O1.1.8	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.1.8
D1.1.9	WATERTIGHT	O1.1.9	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.1.9
D1.1.10	WATERTIGHT	O1.1.10	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.1.10
D1.1.11	WATERTIGHT	O1.1.11	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.1.11
D1.1.12	WATERTIGHT	O1.1.12	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.1.12
D1.1.13	WATERTIGHT	O1.1.13	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.1.13
D1.1.14	WATERTIGHT	O1.1.14	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.1.14
D1.1.15	WATERTIGHT	O1.1.15	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.1.15
D1.1.16	WATERTIGHT	O1.1.16	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.1.16
D1.1.17	WATERTIGHT	O1.1.17	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.1.17
D1.1.18	WATERTIGHT	O1.1.18	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.1.18
D1.1.19	WATERTIGHT	O1.1.19	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.1.19
D1.2.2	WATERTIGHT	O1.2.2	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.2.2
D1.2.3	WATERTIGHT	O1.2.3	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.2.3
D1.2.11	WATERTIGHT	O1.2.11	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.2.11
D1.2.12	WATERTIGHT	O1.2.12	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.2.12
D1.2.14	WATERTIGHT	O1.2.14	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.2.14
D1.2.15	WATERTIGHT	O1.2.15	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.2.15
D1.2.17	WATERTIGHT	O1.2.17	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.2.17
D1.2.18	WATERTIGHT	O1.2.18	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.2.18
D1.2.20	WATERTIGHT	O1.2.20	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.2.20
D1.2.21	WATERTIGHT	O1.2.21	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.2.21
D1.3.2	WATERTIGHT	O1.3.2	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.3.2
D1.3.3	WATERTIGHT	O1.3.3	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.3.3
D1.3.5	WATERTIGHT	O1.3.5	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.3.5
D1.3.6	WATERTIGHT	O1.3.6	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.3.6
D1.3.8	WATERTIGHT	O1.3.8	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.3.8
D1.3.9	WATERTIGHT	O1.3.9	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.3.9
D1.3.11	WATERTIGHT	O1.3.11	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.3.11
D1.3.12	WATERTIGHT	O1.3.12	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.3.12
D1.3.14	WATERTIGHT	O1.3.14	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.3.14
D1.3.15	WATERTIGHT	O1.3.15	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.3.15
D1.3.17	WATERTIGHT	O1.3.17	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.3.17
D1.3.18	WATERTIGHT	O1.3.18	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.3.18
D1.3.20	WATERTIGHT	O1.3.20	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.3.20
D1.3.21	WATERTIGHT	O1.3.21	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.3.21
D1.4.2	WATERTIGHT	O1.4.2	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.4.2
D1.4.3	WATERTIGHT	O1.4.3	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.4.3
D1.4.4	WATERTIGHT	O1.4.4	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.4.4

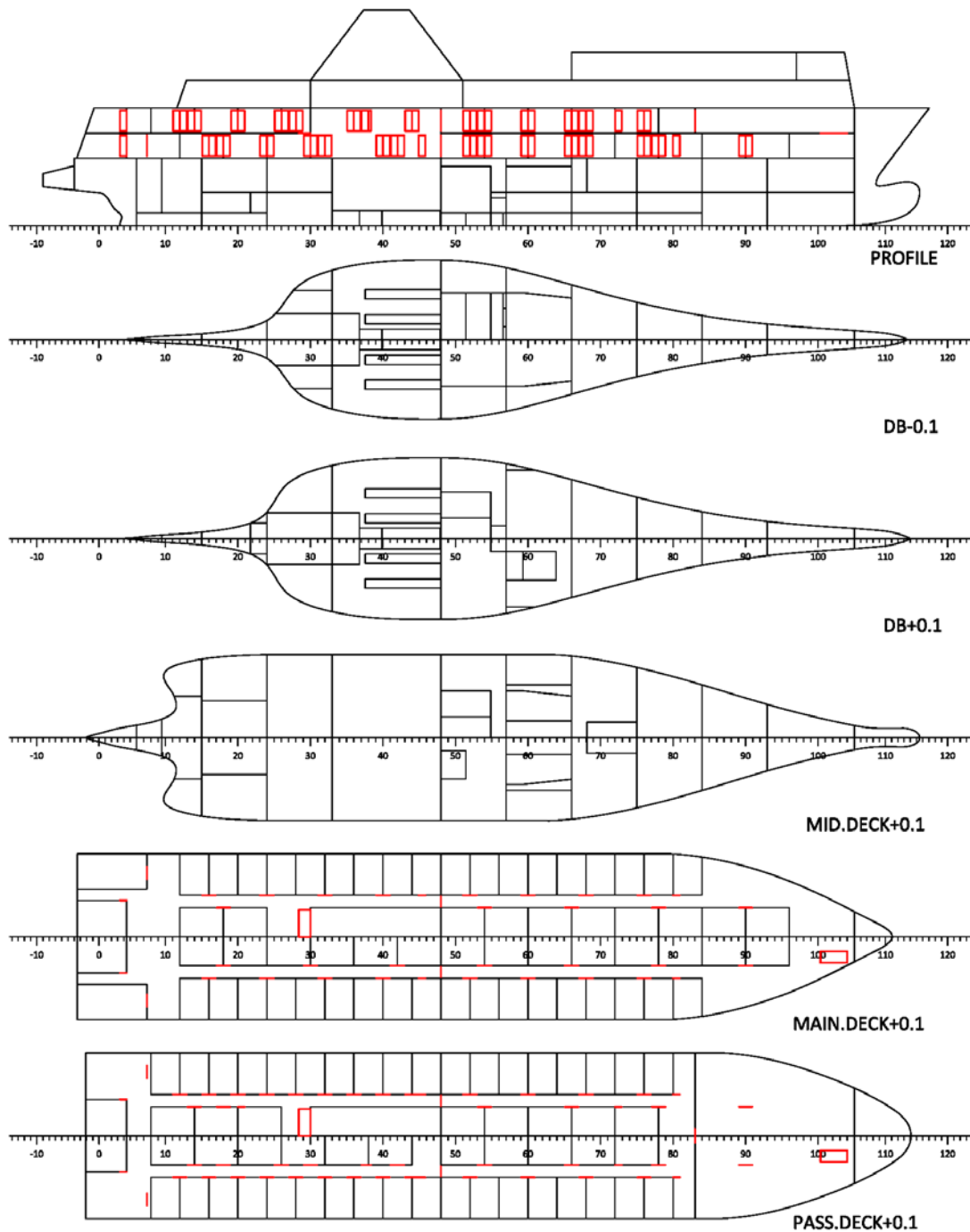
Πίνακας Εσωτερικών Ανοιγμάτων για το Pure Passenger Ferry (Πραγματική Διάταξη)							
ID	WT	GEOMOBJ	FR	REFX	REFY	REFZ	CONN
D1.4.5	WATERTIGHT	O1.4.5	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.4.5
D1.4.6	WATERTIGHT	O1.4.6	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.4.6
D1.4.7	WATERTIGHT	O1.4.7	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.4.7
D1.4.8	WATERTIGHT	O1.4.8	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.4.8
D1.4.9	WATERTIGHT	O1.4.9	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.4.9
D1.4.10	WATERTIGHT	O1.4.10	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.4.10
D1.4.11	WATERTIGHT	O1.4.11	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.4.11
D1.4.12	WATERTIGHT	O1.4.12	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.4.12
D1.4.13	WATERTIGHT	O1.4.13	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.4.13
D1.4.14	WATERTIGHT	O1.4.14	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.4.14
D1.4.15	WATERTIGHT	O1.4.15	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.4.15
D1.4.16	WATERTIGHT	O1.4.16	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.4.16
D1.4.17	WATERTIGHT	O1.4.17	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.4.17
D1.4.18	WATERTIGHT	O1.4.18	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.4.18
D1.4.19	WATERTIGHT	O1.4.19	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.4.19
WC1D1	WATERTIGHT	WC1D1	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 WC1
WC1D2	WATERTIGHT	WC1D2	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 WC2
CDOOR1.1	WATERTIGHT	CDOOR1.1	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 CORRIDOR1.2
CDOOR1.2	WATERTIGHT	CDOOR1.2	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 CORRIDOR1.2
STAIR1	WATERTIGHT	STAIR1	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 CORRIDOR2.1
STAIR2	WATERTIGHT	STAIR2	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 SALOON
D2.1.1	WATERTIGHT	O2.1.1	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.1.1
D2.1.2	WATERTIGHT	O2.1.2	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.1.2
D2.1.3	WATERTIGHT	O2.1.3	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.1.3
D2.1.4	WATERTIGHT	O2.1.4	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.1.4
D2.1.5	WATERTIGHT	O2.1.5	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.1.5
D2.1.6	WATERTIGHT	O2.1.6	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.1.6
D2.1.7	WATERTIGHT	O2.1.7	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.1.7
D2.1.8	WATERTIGHT	O2.1.8	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.1.8
D2.1.9	WATERTIGHT	O2.1.9	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.1.9
D2.1.10	WATERTIGHT	O2.1.10	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.1.10
D2.1.11	WATERTIGHT	O2.1.11	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.1.11
D2.1.12	WATERTIGHT	O2.1.12	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.1.12
D2.1.13	WATERTIGHT	O2.1.13	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.1.13
D2.1.14	WATERTIGHT	O2.1.14	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.1.14
D2.1.15	WATERTIGHT	O2.1.15	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.1.15
D2.1.16	WATERTIGHT	O2.1.16	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.1.16
D2.1.17	WATERTIGHT	O2.1.17	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.1.17
D2.1.18	WATERTIGHT	O2.1.18	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.1.18
D2.2.1	WATERTIGHT	O2.2.1	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.2.1
D2.2.2	WATERTIGHT	O2.2.2	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.2.2
D2.2.4	WATERTIGHT	O2.2.4	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.2.4
D2.2.11	WATERTIGHT	O2.2.11	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.2.11
D2.2.12	WATERTIGHT	O2.2.12	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.2.12
D2.2.14	WATERTIGHT	O2.2.14	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.2.14
D2.2.15	WATERTIGHT	O2.2.15	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.2.15
D2.2.17	WATERTIGHT	O2.2.17	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.2.17

Πίνακας Εσωτερικών Ανοιγμάτων για το Pure Passenger Ferry (Πραγματική Διάταξη)							
ID	WT	GEOMOBJ	FR	REFX	REFY	REFZ	CONN
D2.3.1	WATERTIGHT	O2.3.1	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.3.1
D2.3.2	WATERTIGHT	O2.3.2	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.3.2
D2.3.4	WATERTIGHT	O2.3.4	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.3.4
D2.3.5	WATERTIGHT	O2.3.5	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.3.5
D2.3.7	WATERTIGHT	O2.3.7	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.3.7
D2.3.8	WATERTIGHT	O2.3.8	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.3.8
D2.3.11	WATERTIGHT	O2.3.11	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.3.11
D2.3.12	WATERTIGHT	O2.3.12	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.3.12
D2.3.14	WATERTIGHT	O2.3.14	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.3.14
D2.3.15	WATERTIGHT	O2.3.15	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.3.15
D2.3.17	WATERTIGHT	O2.3.17	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.3.17
D2.4.1	WATERTIGHT	O2.4.1	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.4.1
D2.4.2	WATERTIGHT	O2.4.2	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.4.2
D2.4.3	WATERTIGHT	O2.4.3	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.4.3
D2.4.4	WATERTIGHT	O2.4.4	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.4.4
D2.4.5	WATERTIGHT	O2.4.5	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.4.5
D2.4.6	WATERTIGHT	O2.4.6	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.4.6
D2.4.7	WATERTIGHT	O2.4.7	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.4.7
D2.4.8	WATERTIGHT	O2.4.8	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.4.8
D2.4.9	WATERTIGHT	O2.4.9	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.4.9
D2.4.10	WATERTIGHT	O2.4.10	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.4.10
D2.4.11	WATERTIGHT	O2.4.11	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.4.11
D2.4.12	WATERTIGHT	O2.4.12	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.4.12
D2.4.13	WATERTIGHT	O2.4.13	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.4.13
D2.4.14	WATERTIGHT	O2.4.14	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.4.14
D2.4.15	WATERTIGHT	O2.4.15	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.4.15
D2.4.16	WATERTIGHT	O2.4.16	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.4.16
D2.4.17	WATERTIGHT	O2.4.17	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.4.17
D2.4.18	WATERTIGHT	O2.4.18	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.4.18
SDOOR	WATERTIGHT	SDOOR	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 SALOON
CDOOR2.1	WATERTIGHT	CDOOR2.1	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 CORRIDOR2.2
CDOOR2.2	WATERTIGHT	CDOOR2.2	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 CORRIDOR2.2
WC2D1	WATERTIGHT	WC2D1	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 WC2
WC2D2	WATERTIGHT	WC2D2	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 WC2

Πίνακας 6.2-3: Πίνακας εσωτερικών ανοιγμάτων για το Pure Passenger Ferry (πραγματική διάταξη)

Με βάση τον παραπάνω πίνακα ανοιγμάτων κατασκευάζεται ο πίνακας συνδέσεων των χώρων (*compartment connection table*), οι συνδέσεις του οποίου προστίθενται στις ήδη υπάρχουσες συνδέσεις, από τα υπόλοιπα ανοίγματα που μένουν ίδια με του επιβατηγού/οχηματαγωγού.

Στο επόμενο σχέδιο δίνεται η διάταξη των εσωτερικών ανοιγμάτων για τη λεπτομερή διάταξη των χώρων που παρουσιάστηκε προηγουμένως.



Σχέδιο 6.2-3: Διάταξη εσωτερικών ανοιγμάτων για το Pure Passenger Ferry (πραγματική διάταξη)

Η παραπάνω διάταξη χώρων και ανοιγμάτων χρησιμοποιήθηκε για τις προσομοιώσεις κατάκλυσης. Σημειώνεται ωστόσο, ότι για τα ανοίγματα χρειάζονται πρόσθετες πληροφορίες, όπως το εμβαδόν της εγκάρσιας τομής τους, προκειμένου να είναι δυνατή η εκτέλεση των υπολογισμών προσομοίωσης. Τέλος, αναφέρεται ότι έγινε προσπάθεια εκτέλεσης των υπολογισμών ευστάθειας κατόπιν βλάβης, σύμφωνα με τους κανονισμούς, όμως δεν κατέστη δυνατό, λόγω της πολυπλοκότητας των συνδέσεων μεταξύ των χώρων και του συνεπαγόμενου απαγορευτικού χρόνου υπολογισμού.

6.2.2 Απλοποιημένη διάταξη

6.2.2.1 Διάταξη χώρων

Στην απλοποιημένη διάταξη οι χώροι των καμπινών είναι ομαδοποιημένοι, σε ένα χώρο που εμπερικλείει όλες τις καμπίνες κάθε εγκάρσιας ζώνης, πρύμνηθεν ή πλώραθεν της φρακτής πυροπροστασίας, ανά κατάστρωμα. Με αυτόν τον τρόπο οι καμπίνες περιορίζονται σημαντικά σε αριθμό, όπως και τα ανοίγματα και κατ' επέκταση, οι συνδέσεις των διαμερισμάτων, επιτρέποντας έτσι τους υπολογισμούς ευστάθειας κατόπιν βλάβης.

Οι ονοματολογία των χώρων παραμένει όμοια με πριν, μόνο που οι διαμήκεις ζώνες θεωρούνται ότι είναι δύο, η 1 πρύμνηθεν της ζώνης πυροπροστασίας και η 2 πλώραθεν. Οπότε ο χώρος C1.1.1 είναι στο πρώτο κατάστρωμα, στην αριστερή σειρά καμπινών και είναι όλος ο χώρος καμπινών πρύμνηθεν της ζώνης πυροπροστασίας. Οι χώροι της απλοποιημένης διάταξης δίνονται στον επόμενο πίνακα.

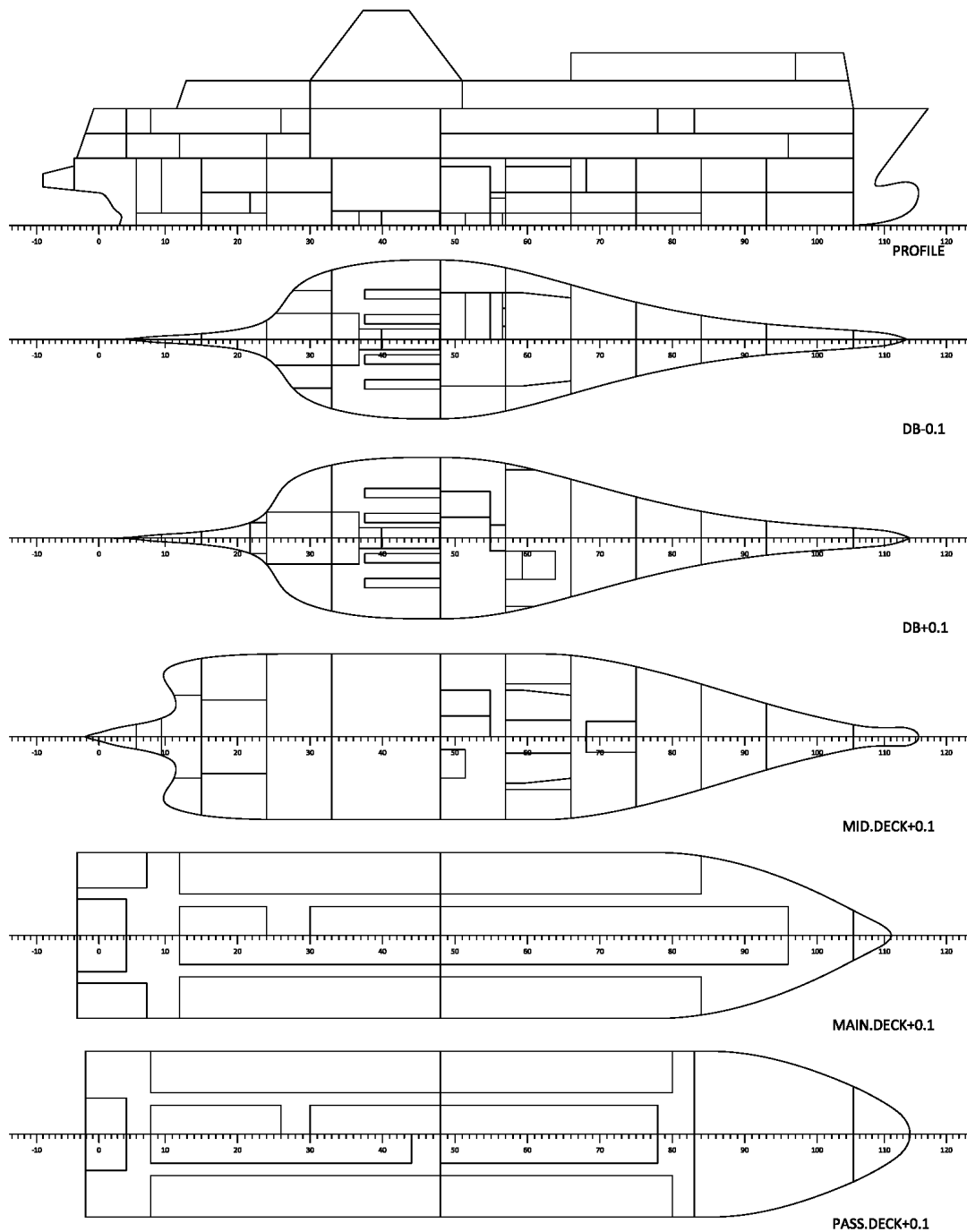
Πίνακας Διαμερισμάτων Pure Passenger Ferry (Απλοποιημένη Διάταξη)								
NAME	PURP	VOLM	VNET	CGX	CGY	CGZ	IY*RHO	IY/IMO
AFT.SDCSN.P	ACC	51.74	50.71	1.44	6.30	7.67	20.81	19.73
AFT.SDCSN.S	ACC	51.74	50.71	1.44	-6.30	7.67	20.81	19.73
WC1	ACC	73.78	72.30	0.46	0.00	7.66	126.08	117.63
WC2	ACC	59.90	58.70	0.87	0.00	10.05	102.58	94.57
SALOON	ACC	538.46	527.69	64.76	0.00	10.12	4153.95	4478.37
BW.DIRTY.T.P	BW	0.46	0.45	39.15	3.72	0.69	0.09	0.07
BW.CLEAN.T.P	BW	0.61	0.60	39.15	2.11	0.61	0.14	0.13
GREY.WATER.T.C	BW	93.98	92.10	61.10	0.00	2.01	115.16	166.48
BRIDGE	CWH	244.84	244.84	69.74	0.00	15.33	2606.15	2542.40
M.G.O.SERV.T.S	DO	16.50	16.17	34.20	-2.63	4.45	3.58	3.51
M.G.O.STOR.T.S	DO	33.24	32.58	36.11	-2.21	0.61	41.14	38.93
NO.2.F.W.T.P	FW	73.80	72.33	13.05	1.78	4.85	23.49	23.02
NO.1.F.W.T.S	FW	73.80	72.33	13.05	-1.78	4.85	23.49	23.02
NO.3.F.W.T.C	FW	47.52	46.57	49.50	0.00	4.85	10.80	10.58
NO.3.H.F.O.STOR.T.P	HFO	42.86	42.01	42.34	2.97	4.45	10.15	10.72
NO.1.H.F.O.STOR.T.S	HFO	42.86	42.01	42.34	-2.97	4.45	10.15	10.72
NO.2.H.F.O.STOR.T.C	HFO	50.40	49.39	42.45	0.00	4.45	16.17	15.85
H.F.O.SERV.T.P	HFO	43.20	42.34	35.40	1.00	3.45	3.01	2.95
H.F.O.SETT.T.P	HFO	54.00	52.92	35.40	3.25	3.45	5.88	5.76
ST.L.O.STOR.T.P	LO	4.80	4.70	15.40	0.75	2.20	0.41	0.40
ST.L.O.STOR.T.S	LO	4.80	4.70	15.40	-0.75	2.20	0.41	0.40
NO.4.L.O.CIRC.T.P	LO	5.91	5.79	29.35	4.35	0.95	0.40	0.39
NO.1.L.O.CIRC.T.S	LO	5.91	5.79	29.35	-4.35	0.95	0.40	0.39
NO.3.L.O.CIRC.T.P	LO	5.91	5.79	29.35	1.95	0.95	0.40	0.39
NO.2.L.O.CIRC.T.S	LO	5.91	5.79	29.35	-1.95	0.95	0.40	0.39
CPP.RG.L.O.STRO.T.S	LO	8.74	8.56	40.10	-2.64	2.20	2.44	2.39
ME.AE.L.O.STOR.T.S	LO	17.47	17.12	42.50	-2.64	2.20	4.88	4.79
L.O.RNVT.G.T.P	LO	2.72	2.66	38.55	0.63	1.93	0.22	0.22

Πίνακας Διαμερισμάτων Pure Passenger Ferry (Απλοποιημένη Διάταξη)								
NAME	PURP	VOLM	VNET	CGX	CGY	CGZ	IY*RHO	IY/IMO
L.O.RNVT.D.T.S	LO	2.72	2.66	38.55	-0.63	1.93	0.22	0.22
ENGINE.CASING	MAP	169.34	169.34	26.70	1.40	8.90	23.05	23.05
FUNNEL	MAP	148.02	148.02	27.75	0.00	16.28	16.43	12.66
FUNNEL.DOWN	MAP	127.01	127.01	27.75	0.00	12.65	40.14	40.14
ENGINE.ROOM	MMA	854.82	854.82	27.75	0.00	3.96	3584.00	3571.57
C1.1.1	PCA	241.92	241.92	20.40	6.00	7.70	134.40	134.40
C1.1.2	PCA	241.69	241.69	45.59	6.00	7.70	134.25	134.24
C1.2.1	PCA	56.45	56.45	12.00	1.40	7.70	15.37	15.37
C1.2.2	PCA	225.79	225.79	49.80	1.40	7.70	61.47	61.47
C1.3.1	PCA	169.34	169.34	20.40	-1.40	7.70	46.10	46.10
C1.3.2	PCA	225.79	225.79	49.80	-1.40	7.70	61.47	61.47
C1.4.1	PCA	241.92	241.92	20.40	-6.00	7.70	134.40	134.40
C1.4.2	PCA	241.69	241.69	45.59	-6.00	7.70	134.25	134.24
C2.1.1	PCA	268.80	268.80	19.00	6.00	10.10	149.33	149.33
C2.1.2	PCA	215.04	215.04	44.20	6.00	10.10	119.47	119.47
C2.2.1	PCA	84.67	84.67	11.30	1.40	10.10	23.05	23.05
C2.2.2	PCA	141.12	141.12	43.50	1.40	10.10	38.42	38.42
C2.3.1	PCA	169.34	169.34	17.60	-1.40	10.10	46.10	46.10
C2.3.2	PCA	141.12	141.12	43.50	-1.40	10.10	38.42	38.42
C2.4.1	PCA	268.80	268.80	19.00	-6.00	10.10	149.33	149.33
C2.4.2	PCA	215.04	215.04	44.20	-6.00	10.10	119.47	119.47
CORRIDOR1.1	PCO	362.00	362.00	12.17	0.11	7.70	2109.20	1666.79
CORRIDOR1.2	PCO	470.34	470.34	59.31	0.00	7.74	3323.68	2316.68
CORRIDOR2.1	PCO	365.66	365.66	12.11	0.00	10.09	2740.12	1712.24
CORRIDOR2.2	PCO	229.06	229.06	49.41	0.00	10.10	1370.33	1004.33
ACCDECK1	PSP	2653.14	2653.14	40.75	0.00	12.65	0.00	0.00
ACCDECK2	PSP	309.36	309.36	56.45	0.00	15.35	0.00	0.00
THERMO.OIL.STOR.DR.T.C	SLU	18.12	18.12	23.82	0.00	0.71	65.20	63.64
FO.DR.T.C	SLU	6.08	6.08	26.22	0.00	0.70	3.44	3.44
DIRTY.OIL.T.C	SLU	15.68	15.68	30.10	0.00	0.70	8.89	8.89
C.W.DRAIN.T.P	SLU	12.93	12.93	34.20	2.25	0.60	43.38	43.21
SLUDGE.T.P	SLU	12.62	12.62	36.59	2.21	0.61	43.38	41.65
FO.OVFL.T.P	SLU	6.16	6.16	38.40	2.17	0.63	21.69	20.11
ROOMF6.C	VOID	170.50	170.50	67.97	0.00	5.06	253.29	462.55
ROOMF5.C	VOID	233.85	233.85	61.17	0.00	4.99	901.62	1212.27
ROOMF4.UP.C	VOID	297.19	297.19	54.97	0.00	4.93	1720.80	1861.42
ROOMF4.LOW.C	VOID	115.19	115.19	54.86	0.00	2.30	499.36	726.37
ROOMF4.DB.P	VOID	14.83	14.83	54.80	1.14	0.73	7.78	10.87
ROOMF4.DB.S	VOID	14.83	14.83	54.80	-1.14	0.73	7.78	10.87
ROOMF3.UP.C	VOID	327.40	327.40	48.73	0.00	4.87	2187.07	2152.39

Πίνακας Διαμερισμάτων Pure Passenger Ferry (Απλοποιημένη Διάταξη)								
NAME	PURP	VOLM	VNET	CGX	CGY	CGZ	IY*RHO	IY/IMO
ROOMF3.LOW.C	VOID	155.50	155.50	48.62	0.00	2.27	1144.60	1442.28
ROOMF3.DB.P	VOID	23.05	23.05	48.53	1.74	0.72	27.80	36.87
ROOMF3.DB.S	VOID	23.05	23.05	48.53	-1.74	0.72	27.80	36.87
ROOMF2.UP.C	VOID	75.93	75.93	42.57	0.00	5.57	571.06	122.35
ROOMF2.LOW.C	VOID	139.16	139.16	42.58	0.50	2.21	1118.63	947.26
ROOMF2.DB.P	VOID	28.98	28.98	42.32	2.02	0.66	43.79	38.55
ROOMF2.DB.S	VOID	28.98	28.98	42.32	-2.02	0.66	43.79	38.55
ROOMF2.WIG.P	VOID	5.46	5.46	41.89	5.12	0.93	3.16	2.73
ROOMF2.WIG.S	VOID	5.46	5.46	41.89	-5.12	0.93	3.16	2.73
ROOMF1.UP.C	VOID	262.14	262.14	36.43	-0.30	4.96	1990.03	1541.99
ROOMF1.LOW.C	VOID	150.53	150.53	36.26	-0.65	2.22	2001.14	1422.24
ROOMF1.DB.P	VOID	0.45	0.45	39.15	0.63	0.60	0.05	0.05
ROOMF1.WIG.P	VOID	13.72	13.72	35.78	5.70	0.78	9.26	7.65
ROOMF1.WIG.S	VOID	13.72	13.72	35.78	-5.70	0.78	9.26	7.65
MAIN.ENGINE.DB	VOID	130.38	130.38	28.16	0.00	0.74	2101.32	1471.07
ROOMA1.UP.C	VOID	332.64	332.64	19.35	0.00	4.85	2204.16	2204.16
ROOMA1.LOW.C	VOID	121.32	121.32	19.48	0.00	2.28	1930.69	1029.00
ROOMA1.DB.P	VOID	5.41	5.41	20.71	3.48	0.89	3.29	1.44
ROOMA1.DB.S	VOID	5.41	5.41	20.71	-3.48	0.89	3.29	1.44
ROOMA1.WIG.P	VOID	1.53	1.53	21.31	5.36	1.01	0.80	0.42
ROOMA1.WIG.S	VOID	1.53	1.53	21.31	-5.36	1.01	0.80	0.42
ROOMA2.UP.P	VOID	92.19	92.19	13.06	5.77	4.86	47.42	47.17
ROOMA2.UP.S	VOID	92.19	92.19	13.06	-5.77	4.86	47.42	47.17
ROOMA2.LOW.C	VOID	101.81	101.81	13.37	0.00	2.53	1431.10	787.63
ROOMA2.DB.P	VOID	5.06	5.06	13.49	0.39	0.70	0.29	0.92
ROOMA2.DB.S	VOID	5.06	5.06	13.49	-0.39	0.70	0.29	0.92
ROOMA3.C	VOID	221.90	221.90	6.29	0.00	4.88	2034.14	590.03
ROOMA3.DB.P	VOID	2.32	2.32	7.29	0.17	0.62	0.02	0.04
ROOMA3.DB.S	VOID	2.32	2.32	7.29	-0.17	0.62	0.02	0.04
ROOMA4.C	VOID	257.77	257.77	0.68	0.00	5.13	2066.70	557.33
ROOMA5.C	VOID	63.41	63.41	-3.74	0.00	4.69	847.12	446.99
HEELING.T.P	WB	70.69	69.27	42.38	6.64	4.50	13.12	8.02
HEELING.T.S	WB	70.69	69.27	42.38	-6.64	4.50	13.12	8.02
NO.1.W.B.T.C	WB	71.67	70.24	68.24	0.00	1.96	27.91	47.56
NO.2.W.B.T.C	WB	90.71	88.90	19.47	0.00	1.74	67.27	56.28
NO.3.W.B.T.C	WB	117.91	115.55	8.03	0.00	4.53	168.81	101.17
F.P.T	WB	206.12	202.00	75.22	0.00	8.20	166.54	108.42

Πίνακας 6.2-4: Πίνακας διαμερισμάτων Pure Passenger Ferry (απλοποιημένη διάταξη)

Στο επόμενο σχέδιο δίνεται η απλοποιημένη διάταξη με τις ομαδοποιημένες καμπίνες.



Σχέδιο 6.2-4: Σχέδιο γενικής διάταξης Pure Passenger Ferry (απλοποιημένη διάταξη)

6.2.2.2 Εσωτερικά ανοίγματα

Τα εσωτερικά ανοίγματα τοποθετήθηκαν σε αυτή τη διάταξη έτσι ώστε η κατάκλυση να ξεκινάει από τις ίδιες περίπου περιοχές, άρα και στην ίδια φάση κατάκλυσης και θέση πλεύσης. Έτσι στους μεγάλους χώρους τοποθετήθηκαν 3 ανοίγματα, ένα πρυμναίο, ένα στη μέση περίπου του χώρου και ένα πρωραίο, με στόχο να γίνεται η κατάκλυση τη στιγμή που θα ξεκινούσε η κατάκλυση στη συγκεκριμένη περιοχή, αν χρησιμοποιούνταν η πραγματική διάταξη. Με αυτόν τον τρόπο επιτεύχθηκε μείωση του αριθμού των ανοιγμάτων και κατά συνέπεια του αριθμού συνδέσεων διαμερισμάτων που ελέγχονται ανά σενάριο βλάβης.

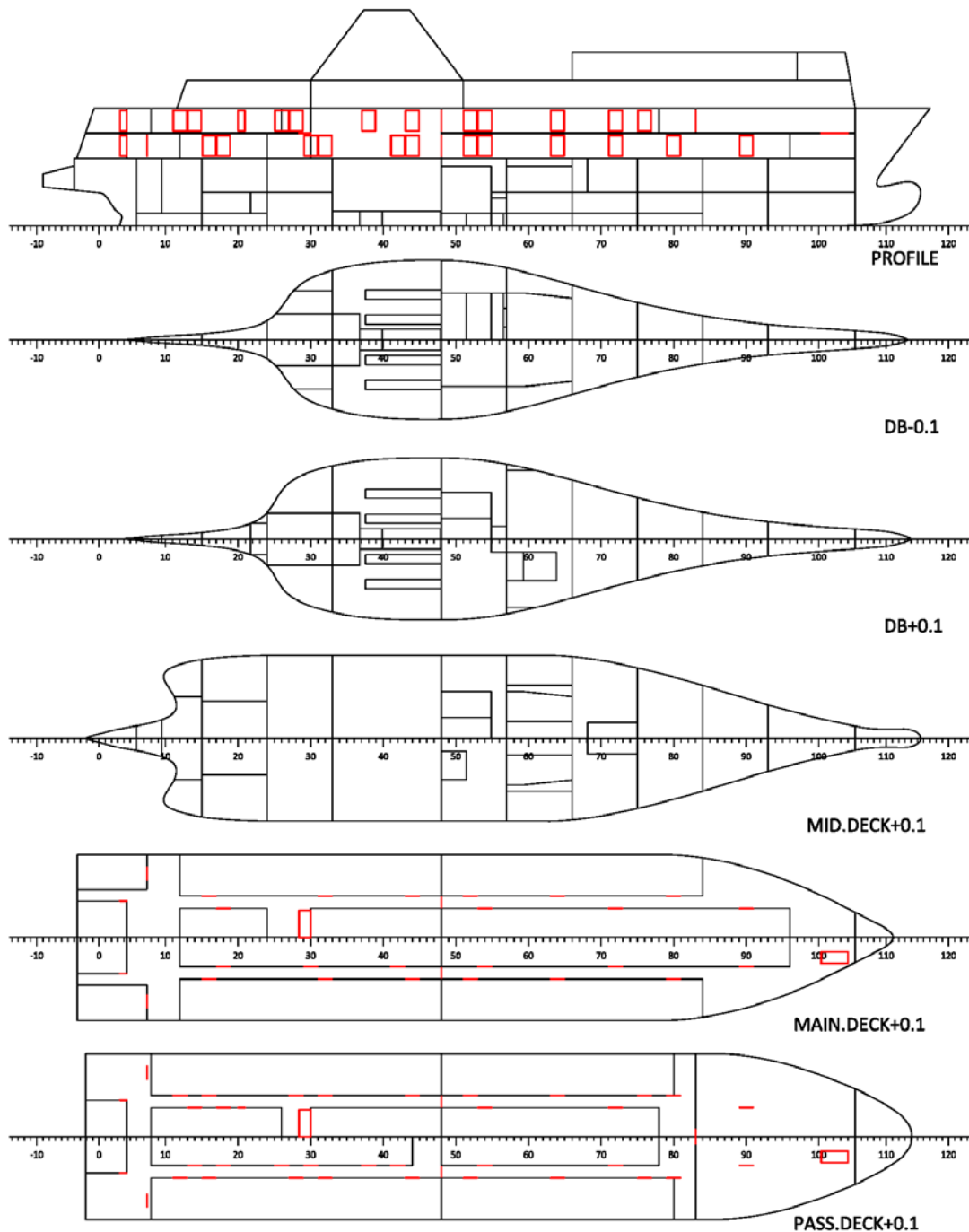
Τα εσωτερικά ανοίγματα στην περίπτωση της απλοποιημένης διάταξης δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας Εσωτερικών Ανοιγμάτων για το Pure Passenger Ferry (Απλοποιημένη Διάταξη)							
ID	WT	GEOMOBJ	FR	REFX	REFY	REFZ	CONN
STAIR	WATERTIGHT	STAIR1	0	0	0	0	ROOMF4.UP.C ROOMF4.LOW.C
DOOR1	WATERTIGHT	DOOR1	0	0	0	0	AFT.SDCSN.P CORRIDOR1.1
DOOR2	WATERTIGHT	DOOR2	0	0	0	0	AFT.SDCSN.S CORRIDOR1.1
D1.1.1	WATERTIGHT	O1.1.1	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.1.1
D1.1.2	WATERTIGHT	O1.1.2	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.1.1
D1.1.3	WATERTIGHT	O1.1.3	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.1.1
D1.1.4	WATERTIGHT	O1.1.4	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.1.2
D1.1.5	WATERTIGHT	O1.1.5	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.1.2
D1.1.6	WATERTIGHT	O1.1.6	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.1.2
D1.2.1	WATERTIGHT	O1.2.1	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.2.1
D1.2.2	WATERTIGHT	O1.2.2	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.2.2
D1.2.3	WATERTIGHT	O1.2.3	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.2.2
D1.2.4	WATERTIGHT	O1.2.4	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.2.2
D1.3.1	WATERTIGHT	O1.3.1	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.3.1
D1.3.2	WATERTIGHT	O1.3.2	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.3.1
D1.3.3	WATERTIGHT	O1.3.3	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.3.1
D1.3.4	WATERTIGHT	O1.3.4	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.3.2
D1.3.5	WATERTIGHT	O1.3.5	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.3.2
D1.3.6	WATERTIGHT	O1.3.6	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.3.2
D1.4.1	WATERTIGHT	O1.4.1	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.4.1
D1.4.2	WATERTIGHT	O1.4.2	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.4.1
D1.4.3	WATERTIGHT	O1.4.3	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 C1.4.1
D1.4.4	WATERTIGHT	O1.4.4	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.4.2
D1.4.5	WATERTIGHT	O1.4.5	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.4.2
D1.4.6	WATERTIGHT	O1.4.6	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 C1.4.2
WC1D1	WATERTIGHT	WC1D1	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 WC1
WC1D2	WATERTIGHT	WC1D2	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 WC2
CDOOR1.1	WATERTIGHT	CDOOR1.1	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 CORRIDOR1.2
CDOOR1.2	WATERTIGHT	CDOOR1.2	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 CORRIDOR1.2
STAIR1	WATERTIGHT	STAIR1	0	0	0	0	CORRIDOR1.1 CORRIDOR2.1
STAIR2	WATERTIGHT	STAIR2	0	0	0	0	CORRIDOR1.2 SALOON
D2.1.1	WATERTIGHT	O2.1.1	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.1.1
D2.1.2	WATERTIGHT	O2.1.2	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.1.1
D2.1.3	WATERTIGHT	O2.1.3	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.1.1
D2.1.4	WATERTIGHT	O2.1.4	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.1.2
D2.1.5	WATERTIGHT	O2.1.5	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.1.2
D2.1.6	WATERTIGHT	O2.1.6	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.1.2
D2.2.1	WATERTIGHT	O2.2.1	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.2.1

Πίνακας Εσωτερικών Ανοιγμάτων για το Pure Passenger Ferry (Απλοποιημένη Διάταξη)							
ID	WT	GEOMOBJ	FR	REFX	REFY	REFZ	CONN
D2.2.2	WATERTIGHT	O2.2.2	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.2.1
D2.2.3	WATERTIGHT	O2.2.3	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.2.2
D2.2.4	WATERTIGHT	O2.2.4	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.2.2
D2.3.1	WATERTIGHT	O2.3.1	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.3.1
D2.3.2	WATERTIGHT	O2.3.2	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.3.1
D2.3.3	WATERTIGHT	O2.3.3	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.3.1
D2.3.4	WATERTIGHT	O2.3.4	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.3.2
D2.3.5	WATERTIGHT	O2.3.5	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.3.2
D2.4.1	WATERTIGHT	O2.4.1	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.4.1
D2.4.2	WATERTIGHT	O2.4.2	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.4.1
D2.4.3	WATERTIGHT	O2.4.3	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 C2.4.1
D2.4.4	WATERTIGHT	O2.4.4	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.4.2
D2.4.5	WATERTIGHT	O2.4.5	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.4.2
D2.4.6	WATERTIGHT	O2.4.6	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 C2.4.2
SDOOR	WATERTIGHT	SDOOR	0	0	0	0	CORRIDOR2.2 SALOON
CDOOR2.1	WATERTIGHT	CDOOR2.1	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 CORRIDOR2.2
CDOOR2.2	WATERTIGHT	CDOOR2.2	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 CORRIDOR2.2
WC2D1	WATERTIGHT	WC2D1	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 WC2
WC2D2	WATERTIGHT	WC2D2	0	0	0	0	CORRIDOR2.1 WC2

Πίνακας 6.2-5: Πίνακας εσωτερικών ανοιγμάτων για το Pure Passenger Ferry (απλοποιημένη διάταξη)

Στο επόμενο σχέδιο δίνεται η απλοποιημένη διάταξη των εσωτερικών ανοιγμάτων.



Σχέδιο 6.2-5: Διάταξη εσωτερικών ανοιγμάτων για το Pure Passenger Ferry (απλοποιημένη διάταξη)

Σε αυτό το σημείο ολοκληρώθηκε η περιγραφή των διατάξεων, πραγματικής και απλοποιημένης, για την περίπτωση του αμιγώς επιβατηγού πλοίου. Η μελέτη της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, σύμφωνα με τους κανονισμούς, έγινε με βάση την απλοποιημένη διάταξη. Ωστόσο και μόνο για λόγους πληρότητας, αναφέρεται ότι οι καταστάσεις φόρτωσης έγιναν με βάση την πραγματική διάταξη, χωρίς όμως η χρήση και της απλοποιημένης διάταξης να επάγει προβλήματα, αφού οι χώροι αυτοί δεν εμπεριέχουν κάποιο φορτίο, παρά μόνο τους επιβάτες που λαμβάνονται ως σημειακά φορτία.

6.3 Υποδιαίρεση

Όπως αναφέρθηκε, ο στόχος της τροποποίησης του Ε/Γ-Ο/Γ σε αμιγώς επιβατηγό πλοίο είναι να φανεί η μεταβολή της επίδοσης του πλοίου στην ευστάθεια κατόπιν βλάβης. Για αυτό το λόγο, η υποδιαίρεση του πλοίου λήφθηκε ίδια με εκείνη του ROPAX. Ο λόγος είναι ότι, όπως αναφέρθηκε, η επιλογή των ορίων των ζωνών είναι αυθαίρετη και επαφίεται στον εκάστοτε μελετητή και την εμπειρία του η διαδικασία της ζωνοποίησης. Ωστόσο, η μεταβολή της υποδιαίρεσης επιδρά στον ορισμό των σεναρίων βλάβης και άρα στην αξιολόγηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης. Συνεπώς, η υποδιαίρεση παρέμεινε η ίδια προκειμένου να μην υπάρξει εύνοια ή δυσμένεια στην περίπτωση του αμιγώς επιβατηγού πλοίου. Επίσης, αφού η διαμερισματοποίηση του πλοίου κάτω από το κατάστρωμα οχημάτων δε μεταβάλλεται, δεν υπάρχει και λόγος για αλλαγές στις ζώνες υπολογισμού, καθώς οι διαμήκεις επιφάνειες που λαμβάνονται υπόψη πρέπει να διαπερνούν την ίσαλο υποδιαίρεσης. Σημειώνεται, τέλος, ότι το γεγονός ότι υπάρχουν ανοίγματα μεταξύ των καταστρωμάτων και οι θύρες επιτρέπουν την κατάκλυση από τις καμπίνες στους διαδρόμους και αντίστροφα, οδηγεί ουσιαστικά σε βλάβες με ισοδυναμία ως προς το χώρο και την ποσότητα νερού κατάκλυσης, με την περίπτωση του ROPAX, με διαφορά στη γεωμετρία της εσωτερικής ισάλου και κατ' επέκταση της επίδρασης των ελεύθερων επιφανειών.

Για λόγους πληρότητας, εμφανίζονται και πάλι οι πίνακες με τις ζώνες υποδιαίρεσης.

Ζώνες Υποδιαίρεσης						
ZONE	TBA	TBF	LBP	LBS	DDN	DUP
Z1	DAF.DAMHULL	TR.BHD1				DAF.DAMHULL
Z2	TR.BHD1	TR.BHD2				MAIN.DECK
Z3	TR.BHD2	TR.BHD3			DB	MAIN.DECK
Z4	TR.BHD3	TR.BHD4			DB/MID.DECK	MAIN.DECK
Z5	TR.BHD4	TR.BHD5			DB/MID.DECK	MAIN.DECK
Z6	TR.BHD5	TR.BHD6			DB.ENG	MAIN.DECK
Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	DB/MID.DECK	MAIN.DECK
Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.FORE.P	SIDE.FORE.S	DB/MID.DECK	MAIN.DECK
Z9	TR.BHD8	TR.BHD9			DB/MID.DECK	MAIN.DECK
Z10	TR.BHD9	TR.BHD10			DB/MID.DECK	MAIN.DECK
Z11	TR.BHD10	TR.BHD11			MID.DECK	MAIN.DECK
Z12	TR.BHD11	TR.BHD12			MID.DECK	MAIN.DECK
Z13	TR.BHD12	DAF.DAMHULL				DAF.DAMHULL

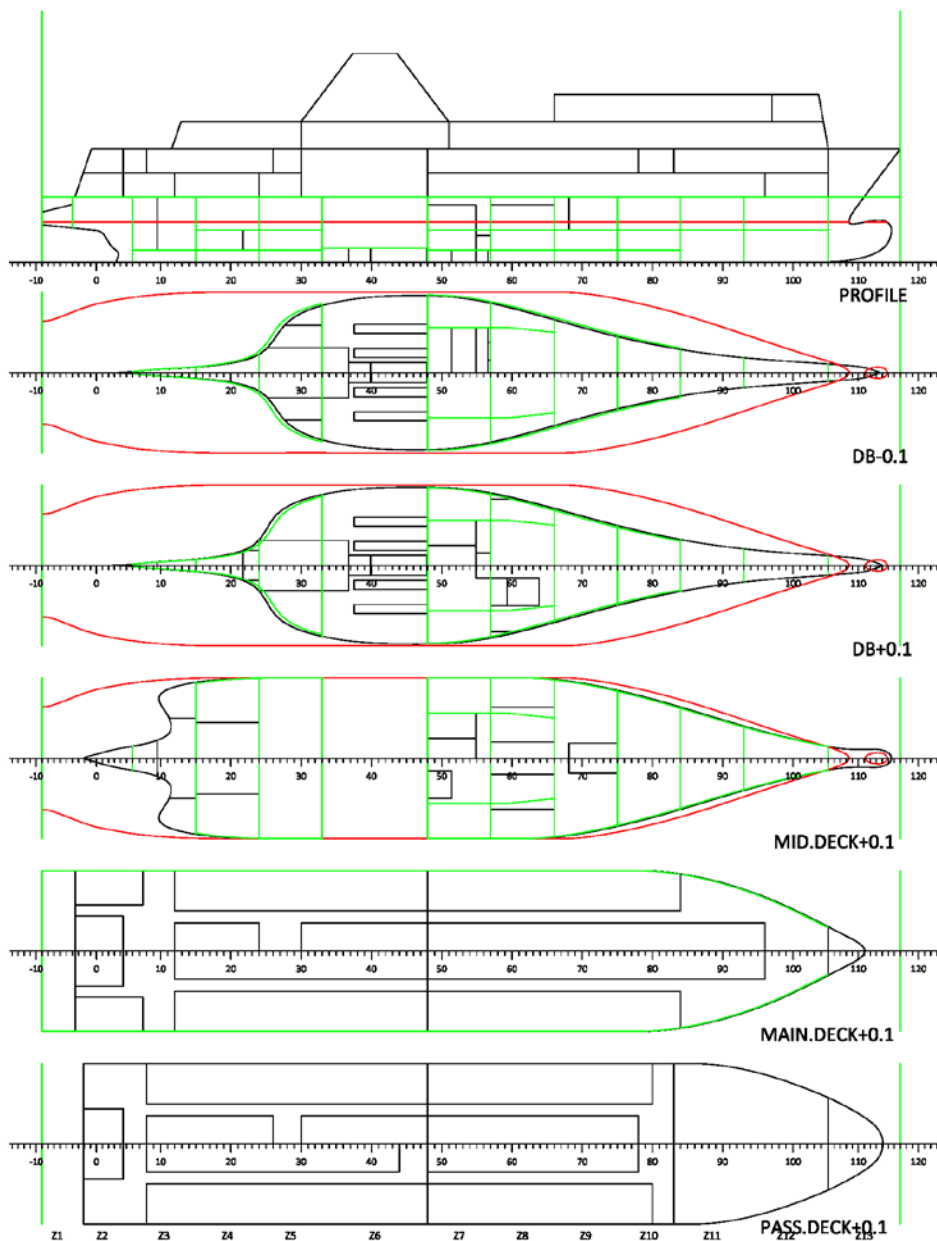
Πίνακας 6.3-1: Παραμετρικές ζώνες υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry

Ζώνες Υποδιαίρεσης						
ZONE	X1 [m]	X2 [m]	BP [m]	BS [m]	HHSD [m]	HHSU [m]
Z1	-5.4	-2.4	-	-	-	6.5
Z2	-2.4	3.6	-	-	-	6.5
Z3	3.6	9.9	-	-	1.2	6.5
Z4	9.9	16.2	-	-	1.2/3.2	6.5
Z5	16.2	22.5	-	-	1.2/3.2	6.5
Z6	22.5	33	-	-	1.4	6.5

Ζώνες Υποδιαίρεσης						
ZONE	X1 [m]	X2 [m]	BP [m]	BS [m]	HHSU [m]	HHSU [m]
Z7	33	39.3	3.5	3.5	1.2/3.2	6.5
Z8	39.3	45.6	3.655	3.655	1.2/3.2	6.5
Z9	45.6	51.9	-	-	1.2/3.2	6.5
Z10	51.9	58.2	-	-	1.2/3.2	6.5
Z11	58.2	64.5	-	-	3.2	6.5
Z12	64.5	72.9	-	-	3.2	6.5
Z13	72.9	79.1974	-	-	-	6.5

Πίνακας 6.3-2: Διαστάσεις ζωνών υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry

Στο επόμενο σχέδιο δίνεται σχηματικά η υποδιαίρεση του πλοίου.



Σχέδιο 6.3-1: Ζώνες υποδιαίρεσης Pure Passenger Ferry

Με βάση τον πίνακα ζωνών κατασκευάζονται οι πίνακες ορίων διαμερισμάτων, *compartments limit tables*, εντός των οποίων περιλαμβάνονται οι χώροι που ανήκουν σε κάθε ζώνη και επιτρέπεται έτσι η εύρεση των χώρων που κατακλύζονται σε κάθε σενάριο βλάβης. Όπως και για την περίπτωση του ROPAX, παράγονται δύο πίνακες, ένας για τη δεξιά και ένας για την αριστερή πλευρά του πλοίου, προκειμένου να είναι δυνατή η αμφίπλευρη μελέτη της ευστάθειας κατόπιν βλάβης.

Πίνακας Ορίων Διαμερισμάτων Pure Passenger Ferry (Starboard Side)							
NAME	ZONE	ALIMIT	FLIMIT	PLIMIT	SLIMIT	LLIMIT	ULIMIT
ROOMA5.C	Z1	DAF.STABHULL	TR.BHD1	-	-	-	MAIN.DECK
ROOMA4.C	Z2	TR.BHD1	TR.BHD2	-	-	-	MAIN.DECK
CORRIDOR1.1	Z2-6	TR.BHD1	TR.BHD6	-	-	MAIN.DECK	-
AFT.SDCSN.P	Z2-3	TR.BHD1	TR.BHD3	-	-	MAIN.DECK	-
AFT.SDCSN.S	Z2-3	TR.BHD1	TR.BHD3	-	-	MAIN.DECK	-
WC1	Z2	TR.BHD1	TR.BHD2	-	-	MAIN.DECK	-
CORRIDOR2.1	Z2-6	TR.BHD1	TR.BHD6	-	-	MAIN.DECK	-
WC2	Z2	TR.BHD1	TR.BHD2	-	-	MAIN.DECK	-
NO.3.W.B.T.C	Z3	TR.BHD2	TR.BHD3	-	-	DB	MAIN.DECK
ROOMA3.C	Z3	TR.BHD2	TR.BHD3	-	-	DB	MAIN.DECK
ROOMA3.DB.P	Z3	TR.BHD2	TR.BHD3	-	-	-	DB
ROOMA3.DB.S	Z3	TR.BHD2	TR.BHD3	-	-	-	DB
C1.1.1	Z3-6	TR.BHD2	TR.BHD6	-	-	MAIN.DECK	-
C1.2.1	Z3-4	TR.BHD2	TR.BHD4	-	-	MAIN.DECK	-
C1.3.1	Z3-6	TR.BHD2	TR.BHD6	-	-	MAIN.DECK	-
C1.4.1	Z3-6	TR.BHD2	TR.BHD6	-	-	MAIN.DECK	-
C2.1.1	Z3-6	TR.BHD2	TR.BHD6	-	-	MAIN.DECK	-
C2.2.1	Z3-5	TR.BHD2	TR.BHD5	-	-	MAIN.DECK	-
C2.3.1	Z3-6	TR.BHD2	TR.BHD6	-	-	MAIN.DECK	-
C2.4.1	Z3-6	TR.BHD2	TR.BHD6	-	-	MAIN.DECK	-
NO.2.F.W.T.P	Z4	TR.BHD3	TR.BHD4	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
NO.1.F.W.T.S	Z4	TR.BHD3	TR.BHD4	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
ST.L.O.STOR.T.P	Z4	TR.BHD3	TR.BHD4	-	-	DB	MID.DECK
ST.L.O.STOR.T.S	Z4	TR.BHD3	TR.BHD4	-	-	DB	MID.DECK
ROOMA2.UP.P	Z4	TR.BHD3	TR.BHD4	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
ROOMA2.UP.S	Z4	TR.BHD3	TR.BHD4	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
ROOMA2.LOW.C	Z4	TR.BHD3	TR.BHD4	-	-	DB	MID.DECK
ROOMA2.DB.P	Z4	TR.BHD3	TR.BHD4	-	-	-	DB
ROOMA2.DB.S	Z4	TR.BHD3	TR.BHD4	-	-	-	DB
NO.2.W.B.T.C	Z5	TR.BHD4	TR.BHD5	-	-	-	MID.DECK
ENGINE.CASIN G	Z5-6	TR.BHD4	TR.BHD6	-	-	MAIN.DECK	-
ROOMA1.UP.C	Z5	TR.BHD4	TR.BHD5	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK

Πίνακας Ορίων Διαμερισμάτων Pure Passenger Ferry (Starboard Side)							
NAME	ZONE	ALIMIT	FLIMIT	PLIMIT	SLIMIT	LLIMIT	ULIMIT
ROOMA1.LOW.C	Z5	TR.BHD4	TR.BHD5	-	-	DB	MID.DECK
ROOMA1.DB.P	Z5	TR.BHD4	TR.BHD5	-	-	-	DB
ROOMA1.DB.S	Z5	TR.BHD4	TR.BHD5	-	-	-	DB
ROOMA1.WIG.P	Z5	TR.BHD4	TR.BHD5	-	-	-	DB
ROOMA1.WIG.S	Z5	TR.BHD4	TR.BHD5	-	-	-	DB
NO.4.L.O.CIRC.T.P	Z6	TR.BHD5	TR.BHD6	-	-	-	DB.ENG
NO.1.L.O.CIRC.T.S	Z6	TR.BHD5	TR.BHD6	-	-	-	DB.ENG
NO.3.L.O.CIRC.T.P	Z6	TR.BHD5	TR.BHD6	-	-	-	DB.ENG
NO.2.L.O.CIRC.T.S	Z6	TR.BHD5	TR.BHD6	-	-	-	DB.ENG
THERMO.OIL.STOR.DR.T.C	Z6	TR.BHD5	TR.BHD6	-	-	-	DB.ENG
FO.DR.T.C	Z6	TR.BHD5	TR.BHD6	-	-	-	DB.ENG
DIRTY.OIL.T.C	Z6	TR.BHD5	TR.BHD6	-	-	-	DB.ENG
ENGINE.ROOM	Z6	TR.BHD5	TR.BHD6	-	-	DB.ENG	MAIN.DECK
MAIN.ENGINE.DB	Z6	TR.BHD5	TR.BHD6	-	-	-	DB.ENG
H.F.O.SERV.T.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	DB	MAIN.DECK
H.F.O.SETT.T.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	DB	MAIN.DECK
M.G.O.SERV.T.S	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	MID.DECK	MAIN.DECK
M.G.O.STOR.T.S	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	-	DB
L.O.RNVT.G.T.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	DB	MID.DECK
L.O.RNVT.D.T.S	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	DB	MID.DECK
C.W.DRAIN.T.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	-	DB
SLUDGE.T.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	-	DB
FO.OVFL.T.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	-	DB
BW.DIRTY.T.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	-	DB
BW.CLEAN.T.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	-	DB
ROOMF1.UP.C	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
ROOMF1.LOW.C	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	-	-	DB	MID.DECK

Πίνακας Ορίων Διαμερισμάτων Pure Passenger Ferry (Starboard Side)							
NAME	ZONE	ALIMIT	FLIMIT	PLIMIT	SLIMIT	LLIMIT	ULIMIT
ROOMF1.DB.P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	-	DB
ROOMF1.WIG. P	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	-	SIDE.F ORE.S	-	DB
ROOMF1.WIG. S	Z7	TR.BHD6	TR.BHD7	SIDE.F ORE.P	-	-	DB
C1.1.2	Z7-10	TR.BHD6	TR.BHD10	-	2*SIDE. FORE.S /2*-	MAIN.DECK	-
C1.2.2	Z7-12	TR.BHD6	TR.BHD12	-	2*SIDE. FORE.S /4*-	MAIN.DECK	-
C1.3.2	Z7-12	TR.BHD6	TR.BHD12	2*SIDE. FORE.P /4*-	-	MAIN.DECK	-
C1.4.2	Z7-10	TR.BHD6	TR.BHD10	2*SIDE. FORE.P /2*-	-	MAIN.DECK	-
CORRIDOR1.2	Z7-12	TR.BHD6	TR.BHD12	-	-	MAIN.DECK	-
C2.1.2	Z7-10	TR.BHD6	TR.BHD10	-	2*SIDE. FORE.S /2*-	MAIN.DECK	-
C2.2.2	Z7-10	TR.BHD6	TR.BHD10	-	2*SIDE. FORE.S /2*-	MAIN.DECK	-
C2.3.2	Z7-10	TR.BHD6	TR.BHD10	2*SIDE. FORE.P /2*-	-	MAIN.DECK	-
C2.4.2	Z7-10	TR.BHD6	TR.BHD10	2*SIDE. FORE.P /2*-	-	MAIN.DECK	-
CORRIDOR2.2	Z7-10	TR.BHD6	TR.BHD10	-	-	MAIN.DECK	-
NO.3.H.F.O.ST OR.T.P	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	MID.DECK	MAIN.DECK
NO.1.H.F.O.ST OR.T.S	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	MID.DECK	MAIN.DECK
NO.2.H.F.O.ST OR.T.C	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	MID.DECK	MAIN.DECK
HEELING.T.P	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	-	SIDE.F ORE.S	DB	MAIN.DECK
HEELING.T.S	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.F ORE.P	-	DB	MAIN.DECK
CPP.RG.L.O.ST RO.T.S	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	DB	MID.DECK
ME.AE.L.O.ST OR.T.S	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	DB	MID.DECK
ROOMF2.UP.C	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
ROOMF2.LOW .C	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	-	-	DB	MID.DECK

Πίνακας Ορίων Διαμερισμάτων Pure Passenger Ferry (Starboard Side)							
NAME	ZONE	ALIMIT	FLIMIT	PLIMIT	SLIMIT	LLIMIT	ULIMIT
ROOMF2.DB.P	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	-	DB
ROOMF2.DB.S	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.F ORE.P	SIDE.F ORE.S	-	DB
ROOMF2.WIG. P	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	-	SIDE.F ORE.S	-	DB
ROOMF2.WIG. S	Z8	TR.BHD7	TR.BHD8	SIDE.F ORE.P	-	-	DB
NO.3.F.W.T.C	Z9	TR.BHD8	TR.BHD9	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
ROOMF3.UP.C	Z9	TR.BHD8	TR.BHD9	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
ROOMF3.LOW .C	Z9	TR.BHD8	TR.BHD9	-	-	DB	MID.DECK
ROOMF3.DB.P	Z9	TR.BHD8	TR.BHD9	-	-	-	DB
ROOMF3.DB.S	Z9	TR.BHD8	TR.BHD9	-	-	-	DB
ROOMF4.UP.C	Z10	TR.BHD9	TR.BHD10	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
ROOMF4.LOW .C	Z10	TR.BHD9	TR.BHD10	-	-	DB	MID.DECK
ROOMF4.DB.P	Z10	TR.BHD9	TR.BHD10	-	-	-	DB
ROOMF4.DB.S	Z10	TR.BHD9	TR.BHD10	-	-	-	DB
SALOON	Z10-12	TR.BHD9	TR.BHD12	-	-	MAIN.DECK	-
GREY.WATER. T.C	Z11	TR.BHD10	TR.BHD11	-	-	-	MID.DECK
ROOMF5.C	Z11	TR.BHD10	TR.BHD11	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
NO.1.W.B.T.C	Z12	TR.BHD11	TR.BHD12	-	-	-	MID.DECK
ROOMF6.C	Z12	TR.BHD11	TR.BHD12	-	-	MID.DECK	MAIN.DECK
F.P.T	Z13	TR.BHD12	DAF.STABHULL	-	-	-	-

Πίνακας 6.3-3: Πίνακας ορίων διαμερισμάτων Pure Passenger Ferry (starboard side)

6.4 Καταστάσεις Φόρτωσης

Όμοια με το επιβατηγό πλοίο, για την εφαρμογή των κανονισμών ευστάθειας απαιτείται ο καθορισμός των καταστάσεων φόρτωσης που αντιστοιχούν στα τρία βυθίσματα που αντιστοιχούν στον κανονισμό.

Αρχικά, πρέπει να καθοριστεί η νέα τιμή του βάρους άφορτου σκάφους (*LightShip*) για την περίπτωση του Pure Passenger Ferry. Το βάρος του άφορτου σκάφους του ROPAX είναι γνωστό και θεωρούμε ότι πρέπει να διορθωθεί έτσι ώστε να ληφθεί υπόψη το προστιθέμενο κατάστρωμα και η επέκταση της φρακτής πυροπροστασίας, στα καταστρώματα των επιβατών, αλλά και η αύξηση του βάρους λόγω καλύτερης ποιότητας ενδιάτησης.

Η τοποθέτηση του επιπλέον βάρους λόγω του καταστρώματος, των καμινών και της επέκτασης της φρακτής υπολογίστηκε με βάση τυπικά μεγέθη ελασμάτων και μάλιστα σχετικά μεγάλου πάχους και τοποθετήθηκε στο πραγματικό κέντρο βάρους τους. Για την αύξηση λόγω καλύτερης ποιότητας της ενδιάτησης, θεωρήθηκε αύξηση περίπου 20% επί του αρχικού *LightShip* του Ε/Γ-Ο/Γ με κέντρο βάρους 10% υψηλότερα του αρχικού. Η μελέτη παρουσιάζεται παρακάτω.

Ανάλυση Light Ship				
Μέγεθος	Σύμβολο	Βάρος [t]	Κατακόρυφη Θέση [m]	Περιγραφή
Light Ship ROPAX	LS _{ROPAX}	1421.1	6.97	Αρχικό LS ROPAX
Additional LS ₁	LS _{ADD1}	213.1	7.67	Επιπλέον 15% του αρχικού LS λόγω βελτίωσης ενδαιήτησης και αναγκών σε outfitting
Additional LS ₂	LS _{ADD2}	298.9	8.9	Επιπλέον LS λόγω προσθήκης ενδιάμεσου deck, επέκτασης φρακτής πυροπροστασίας και καμπινών
Subtotal Additional LS	LS _{ADD}	512.0	8.39	Μερικό άθροισμα επιπλέον LS
Light Ship Pure Passenger Ferry	LS _{PURE PASS}	1933.1	7.35	Τελικό LS για το αμιγώς Ε/Γ

Πίνακας 6.4-1: Ανάλυση βάρους άφορτου σκάφους για το Pure Passenger Ferry

Σημειώνεται ότι ο στόχος είναι να εξεταστεί η επίδραση της αλλαγής της διάταξης του χώρου των οχημάτων στην ευστάθεια κατόπιν βλάβης. Προκειμένου να αποκρυσταλλωθεί αυτό, το μέγιστο βύθισμα υποδιαίρεσης πρέπει να παραμείνει σταθερό στα 4m. Κανονικά, θα έπρεπε να συμβεί το ίδιο και για τα υπόλοιπα βυθίσματα, όμως η αλλαγή του τύπου του πλοίου, όπου δεν υπάρχει πλέον το βάρος των φορτηγών, σε συνδυασμό με την απαίτηση των κανονισμών για ύπαρξη του συνόλου των επιβατών σε όλες τις καταστάσεις φόρτωσης και υπό τον περιορισμό των κανονισμών άθικτης ευστάθειας, οδήγησαν σε διαφορετικές απαιτήσεις μετακεντρικού ύψους με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η όμοια φόρτωση για το ROPAX και το αμιγώς Ε/Γ. Ως εκ τούτου προέκυψαν διαφορετικά βυθίσματα d_1 και d_P .

Τέλος, σημειώνεται ότι για το αμιγώς επιβατηγό πλοίο έγινε μελέτη ευστάθειας κατόπιν βλάβης και για τις δύο ομάδες καταστάσεων φόρτωσης, δηλαδή για τις τρεις καταστάσεις φόρτωσης του ROPAX και τις πραγματικές καταστάσεις του αμιγώς επιβατηγού πλοίου. Η πρώτη ομάδα χρησιμοποιήθηκε ώστε να φανεί η αλλαγή αποκλειστικά λόγω μεταβολής της διαμερισματοποίησης του πλοίου, ενώ η δεύτερη ομάδα φορτώσεων χρησιμοποιήθηκε ώστε να γίνει αξιολόγηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης για το αμιγώς επιβατηγό πλοίο.

6.4.1 Κατάσταση μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης (DS)

Η κατάσταση βυθίσματος υποδιαίρεσης είναι η κατάσταση που αντιστοιχεί στο μέγιστο βύθισμα υποδιαίρεσης και στη δεδομένη περίπτωση αντιστοιχεί στο βύθισμα σχεδίασης των τεσσάρων μέτρων. Τα υδροστατικά στοιχεία της συγκεκριμένης κατάστασης είναι ίδια, με την αντίστοιχη κατάσταση του ROPAX.

Η περιγραφή της κατάστασης φόρτωσης δίνεται παρακάτω.

Κατάσταση Φόρτωσης Deepest Subdivision Draft για το Pure Passenger Ferry					
NAME	MASS [t]	CENTER OF GRAVITY			FREE SURFACE MOMENT [tm]
		CGX [m]	CGY [m]	CGZ [m]	
DWT CONSUMABLES	657.55	34.88	0.00	3.26	595.67
CREW	2.97	43.00	0.00	9.50	0.00
PASSENGER	103.20	39.42	-0.12	9.24	0.00
PROVISIONS	90.00	38.00	-0.30	7.00	0.00
STORES	20.00	26.00	0.00	2.50	0.00
DEADWEIGHT	873.72	35.56	34.70	4.35	595.67
LIGHTSHIP	1933.10	35.80	0.00	7.35	0.00
DISPLACEMENT	2806.82	35.73	35.50	6.42	595.67

Πίνακας 6.4-2: Κατάσταση φόρτωσης μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry

Η κατάσταση πλεύσης και τα υδροστατικά στοιχεία της φόρτωσης δίνονται παρακάτω.

F L O A T I N G P O S I T I O N

Draught moulded	4.000 m	KM	9.60 m
Trim	0.000 m	KG	6.41 m
Heel, PS=+	0.0 deg		
TA	4.000 m	GMO	3.18 m
TF	4.000 m	GMCORR	-0.21 m
Trimming moment	0 tonm	GM	2.97 m

Πίνακας 6.4-3: Θέση πλεύσης φόρτωσης μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry

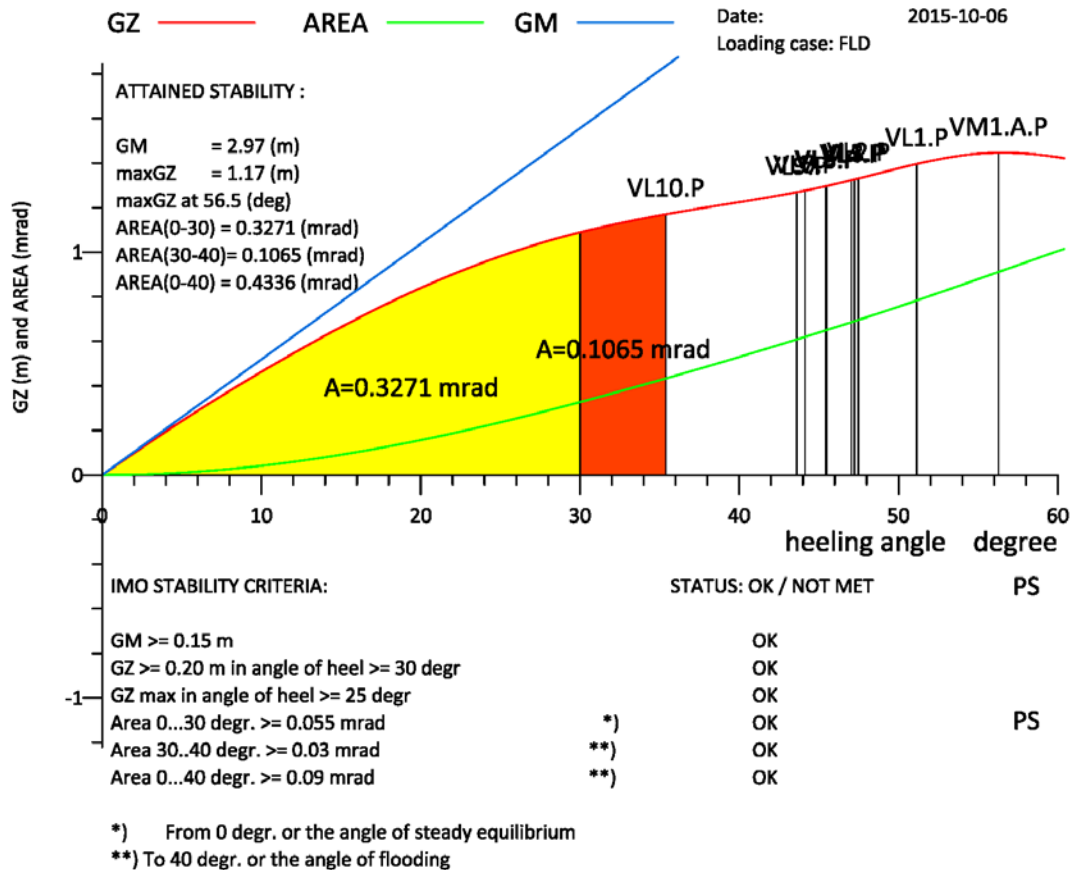
Η κατάσταση φόρτωσης εξετάζεται έναντι των κριτηρίων άθικτης ευστάθειας που παρουσιάστηκαν στο τέλος του κεφαλαίου 4. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε πινακοποιημένη μορφή παρακάτω και δίνεται η καμπύλη GZ-φ στη δεδομένη φόρτωση.

Έλεγχος Κριτηρίων Άθικτης Ευστάθειας Κατάστασης Φόρτωσης DS για το Pure Passenger Ferry					
RCR	TEXT	REQ	ATTV	UNIT	STAT
V.AREA30	Area under GZ curve up to 30 deg	0.055	0.327082	mrاد	OK
V.AREA40	Area under GZ curve up to 40 deg.	0.09	0.433632	mrاد	OK
V.AREA3040	Area under GZ curve between 30 and 40 deg	0.03	0.10655	mrاد	OK
V.GZ0.2	Min. GZ > 0.2	0.2	1.17012	m	OK
V.MAXGZ25	Max. GZ at an angle > 25 deg.	25	56.532	deg	OK
V.GM0.15	GM > 0.15 m	0.15	2.97132	m	OK
V.MAXHEELPASS	IMO weather criterion	1	1.00017		OK
V.MAXHEELTURN	Heeling angle due to steady wind <16 or <=80% of deck imm.	14.1644	3.30867	deg	OK
V.IMOWEATHER	Max. heel due to crowding of pass.	10	4.39409	deg	OK
2008IS-A2.3.1.2	Max. heel due to turning	10	1.91664	deg	OK

Πίνακας 6.4-4: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry

ATTAINED STABILITY VERSUS IMO CRITERIA

According to IMO Resolution MSC.267(85) (2008 IS Code)



Διάγραμμα 6.4-1: Έλεγχος κριτηρίων άδικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry

6.4.2 Κατάσταση ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης (DP)

Η κατάσταση ενδιάμεσου βυθίσματος, *partial subdivision draft*, αντιστοιχεί σε βύθισμα ίσο με το ελάχιστο βύθισμα υπηρεσίας επαυξημένο κατά το 60% της διαφοράς του μέγιστου και του ελάχιστου βυθίσματος και το πλοίο σε ισοβύθιση κατάσταση (*even keel*). Η κατάσταση φόρτωσης καταστρώνεται έτσι ώστε να είναι η δυσμενέστερη δυνατή στο δεδομένο βύθισμα. Σημειώνεται ότι και σε αυτήν την κατάσταση το σύνολο των επιβατών θεωρείται επί του πλοίου.

Η κατάσταση φόρτωσης περιγράφεται στον παρακάτω πίνακα.

Κατάσταση Φόρτωσης Partial Subdivision Draft για το Pure Passenger Ferry					
NAME	MASS [t]	CENTER OF GRAVITY			FREE SURFACE MOMENT [tm]
		CGX [m]	CGY [m]	CGZ [m]	
DWT CONSUMABLES	591.35	34.83	0.07	2.76	634.08
CREW	2.97	43.00	0.00	9.50	0.00
PASSENGER	104.30	41.51	-0.12	9.23	0.00
PROVISIONS	91.10	38.00	-0.30	7.00	0.00
STORES	20.00	28.00	0.00	2.70	0.00
DEADWEIGHT	809.72	35.91	0.00	4.09	634.08
LIGHTSHIP	1933.10	35.80	0.00	7.35	0.00
DISPLACEMENT	2742.82	35.83	0.00	6.39	634.08

Πίνακας 6.4-5: Κατάσταση φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry

Η θέση πλεύσης στη δεδομένη κατάσταση δίνεται παρακάτω.

F L O A T I N G P O S I T I O N					
Draught moulded	3.941	m	KM	9.46	m
Trim	0.000	m	KG	6.39	m
Heel, PS=+	0.0	deg			
TA	3.941	m	GMO	3.07	m
TF	3.941	m	GMCORR	-0.23	m
Trimming moment	1	tonm	GM	2.84	m

Πίνακας 6.4-6: Θέση πλεύσης φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry

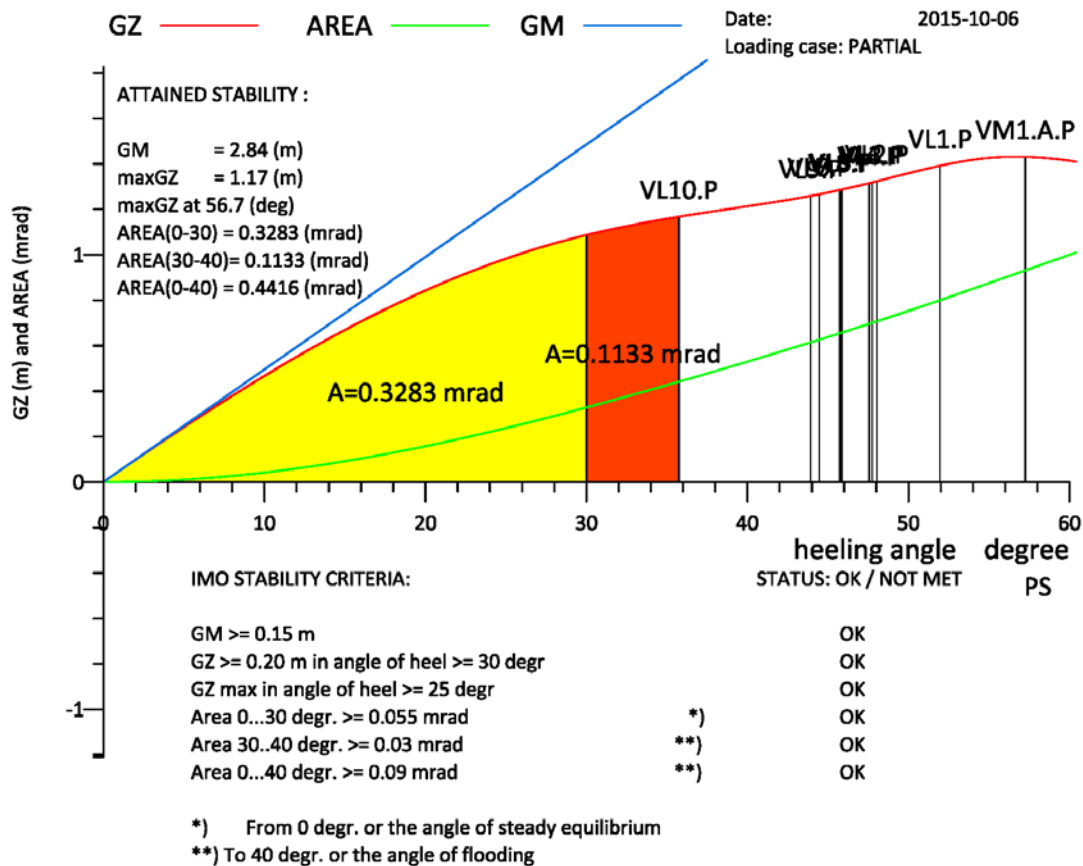
Ο έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας παρουσιάζεται αμέσως μετά.

Έλεγχος Κριτηρίων Άθικτης Ευστάθειας Κατάστασης Φόρτωσης DP για το Pure Passenger Ferry					
RCR	TEXT	REQ	ATTV	UNIT	STAT
V.AREA30	Area under GZ curve up to 30 deg	0.055	0.32828	mrad	OK
V.AREA40	Area under GZ curve up to 40 deg.	0.09	0.441582	mrad	OK
V.AREA3040	Area under GZ curve between 30 and 40 deg	0.03	0.113301	mrad	OK
V.GZ0.2	Min. GZ > 0.2	0.2	1.16762	m	OK
V.MAXGZ25	Max. GZ at an angle > 25 deg.	25	56.6824	deg	OK
V.GM0.15	GM > 0.15 m	0.15	2.83782	m	OK
V.MAXHEELPASS	IMO weather criterion	1	1.01715		OK
V.MAXHEELTURN	Heeling angle due to steady wind <16 or <=80% of deck imm.	14.484	3.40762	deg	OK
V.IMOWEATHER	Max. heel due to crowding of pass.	10	4.49557	deg	OK
2008IS-A2.3.1.2	Max. heel due to turning	10	1.9191	deg	OK

Πίνακας 6.4-7: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry

ATTAINED STABILITY VERSUS IMO CRITERIA

According to IMO Resolution MSC.267(85) (2008 IS Code)



Διάγραμμα 6.4-2: Έλεγχος κριτηρίων άδικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry

6.4.3 Κατάσταση ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας (DL)

Η κατάσταση ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας, *lightest service condition*, αντιστοιχεί ουσιαστικά στην κατάσταση άφιξης σε κατάσταση ερματισμού, αλλά με το σύνολο των επιβατών επί του πλοίου, όπως προβλέπει ο κανονισμός.

Κατάσταση Φόρτωσης Light Service Draft για το Pure Passenger Ferry					
NAME	MASS [t]	CENTER OF GRAVITY			FREE SURFACE MOMENT [tm]
		CGX [m]	CGY [m]	CGZ [m]	
DWT CONSUMABLES	576.27	34.65	0.04	3.10	566.66
CREW	2.97	38.00	0.00	9.50	0.00
PASSENGER	104.25	39.40	-0.12	9.23	0.00
PROVISIONS	25.00	38.00	-0.31	7.00	0.00
STORES	20.00	26.00	0.00	2.50	0.00
DEADWEIGHT	728.49	35.22	0.00	4.12	566.66
LIGHTSHIP	1933.10	35.80	0.00	7.35	0.00
DISPLACEMENT	2661.59	35.64	0.00	6.47	566.66

Πίνακας 6.4-8: Κατάσταση φόρτωσης ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας για το Pure Passenger Ferry

Η θέση πλεύσης και τα υδροστατικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης φόρτωσης δίνονται παρακάτω.

F L O A T I N G P O S I T I O N

Draught moulded	3.852	m	KM	9.54	m
Trim	-0.158	m	KG	6.46	m
Heel, PS=+	0.0	deg			
TA	3.931	m	GMO	3.07	m
TF	3.773	m	GMCORR	-0.21	m
Trimming moment	-846	tonm	GM	2.86	m

Πίνακας 6.4-9: Θέση πλεύσης φόρτωσης ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας για το Pure Passenger Ferry

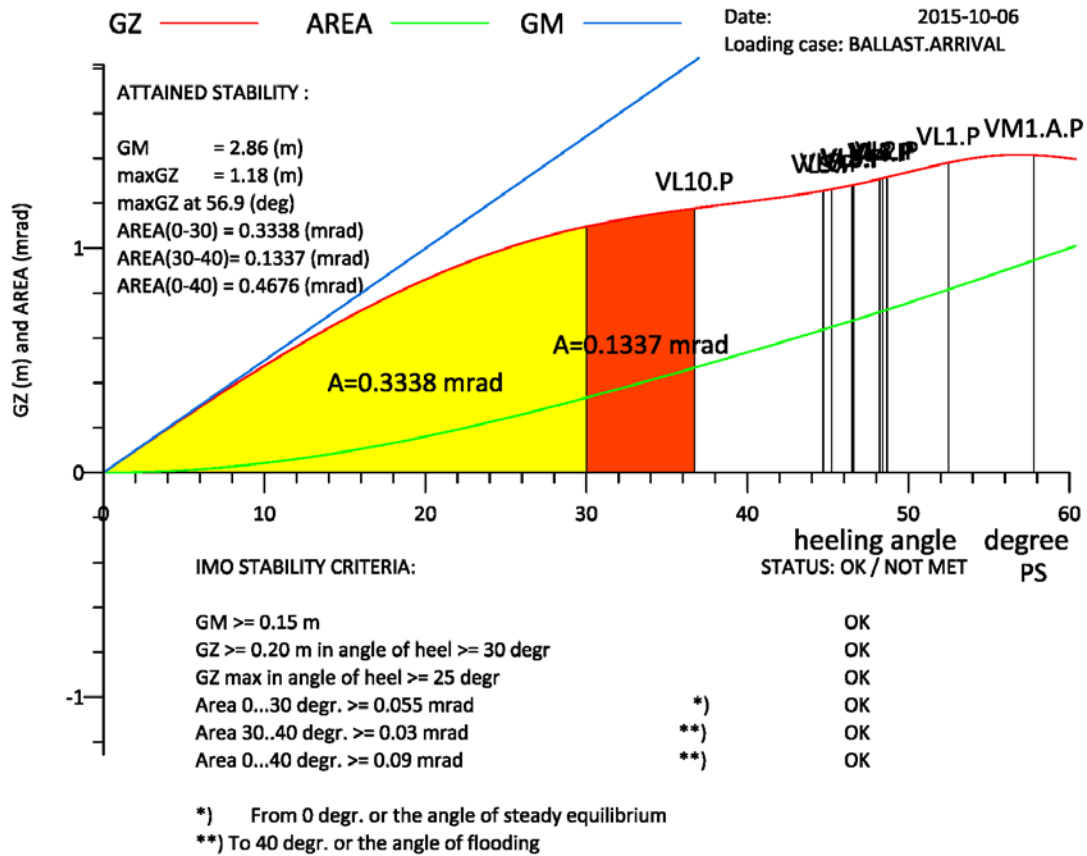
Τέλος, ακολουθεί ο έλεγχος των κριτηρίων άθικτης ευστάθειας της φόρτωσης.

Έλεγχος Κριτηρίων Άθικτης Ευστάθειας Κατάστασης Φόρτωσης DL για το Pure Passenger Ferry					
RCR	TEXT	REQ	ATTV	UNIT	STAT
V.AREA30	Area under GZ curve up to 30 deg	0.055	0.33384	mrad	OK
V.AREA40	Area under GZ curve up to 40 deg.	0.09	0.467578	mrad	OK
V.AREA3040	Area under GZ curve between 30 and 40 deg	0.03	0.133738	mrad	OK
V.GZ0.2	Min. GZ > 0.2	0.2	1.17748	m	OK
V.MAXGZ25	Max. GZ at an angle > 25 deg.	25	56.8676	deg	OK
V.GM0.15	GM > 0.15 m	0.15	2.86165	m	OK
V.MAXHEELPASS	IMO weather criterion	1	1.03492		OK
V.MAXHEELTURN	Heeling angle due to steady wind <16 or <=80% of deck imm.	15.1932	3.51571	deg	OK
V.IMOWEATHER	Max. heel due to crowding of pass.	10	4.59429	deg	OK
2008IS-A2.3.1.2	Max. heel due to turning	10	1.95743	deg	OK

Πίνακας 6.4-10: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας για το Pure Passenger Ferry

ATTAINED STABILITY VERSUS IMO CRITERIA

According to IMO Resolution MSC.267(85) (2008 IS Code)



Διάγραμμα 6.4-3: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας κατάστασης φόρτωσης ελάχιστου βυθίσματος υπηρεσίας για το Pure Passenger Ferry

Σε αυτό το σημείο ολοκληρώθηκε η παρουσίαση των νέων καταστάσεων φόρτωσης του τροποποιημένου πλοίου. Υπενθυμίζεται ότι εκτός των φορτώσεων που παρουσιάστηκαν σε αυτό το κεφάλαιο, χρησιμοποιήθηκαν και οι καταστάσεις φόρτωσης του Ε/Γ-Ο/Γ, προκειμένου να φανεί η επίδραση του κατακερματισμού του χώρου οχημάτων σε μικρότερους χώρους, αν και οι καταστάσεις αυτές δεν αντιστοιχούν σε πραγματικές φορτώσεις του αμιγώς επιβατηγού πλοίου.



7 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΤΟΠΙΝ ΒΛΑΒΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης. Η αξιολόγηση έγινε υπό το πρίσμα της σύγχρονης διεθνούς και ευρωπαϊκής νομοθεσίας.

Οι κανονισμοί που εξετάζονται, παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο και αναφέρονται για λόγους υπόμνησης σε αυτό το σημείο:

- **Κανονισμός 7** (SOLAS 2009-Part B-II)
- **Κανονισμός 8.1** (SOLAS 2009-Part B-II)
- **Κανονισμός 8.2-3** (SOLAS 2009-Part B-II)
- **Κανονισμός 9** (SOLAS 2009-Part B-II)
- **Κοινοτική Οδηγία 25** (2003/25/EC)

Ο κανονισμός 7 περιλαμβάνει τη διαδικασία καθορισμού των σεναρίων βλάβης, τη σχέση υπολογισμού του συντελεστή επιβιωσιμότητας και ανάγεται τελικά στην απαίτηση ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης να είναι ανώτερος του απαιτούμενου. Οι κανονισμοί 8.1, 8.2-3 και 9 περιλαμβάνουν απαιτήσεις για τα συντελεστή επιβιωσιμότητας s και η Κοινοτική οδηγία 25 είναι ντετερμινιστικού χαρακτήρα και περιλαμβάνει την απαίτηση των κριτηρίων ευστάθειας της SOLAS 90, υποθέτοντας συγκεκριμένο ύψος νερού συσσωρευμένο στο κατάστρωμα οχημάτων. Η κοινοτική οδηγία αφορά μόνο στα Ε/Γ-Ο/Γ, οπότε δεν εξετάστηκε στην περίπτωση του αμιγώς επιβατηγού πλοίου.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται αρχικά η μελέτη της ευστάθειας κατόπιν βλάβης για το ROPAX, στη συνέχεια για το αμιγώς επιβατηγό πλοίο, με τις καταστάσεις φόρτωσης του ROPAX και τις πραγματικές και τέλος μια σύγκριση και ανάλυση των αποτελεσμάτων.

7.1 Έλεγχος Ε/Γ-Ο/Γ

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διερεύνησης των κριτηρίων ευστάθειας για την περίπτωση του επιβατηγού- οχηματαγωγού (ROPAX) πλοίου, που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 5.

7.1.1 Δεδομένα υπολογισμού

Σε αυτήν την παράγραφο αναφέρονται οι βασικές παράμετροι που δόθηκαν ως είσοδος (*input*) στο πρόγραμμα, προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι σχετικοί υπολογισμοί για τη διερεύνηση των κριτηρίων ευστάθειας κατόπιν βλάβης.

Αρχικά, δίνονται οι κύριες διαστάσεις όπως υπολογίστηκαν από το λογισμικό και χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς.

PRINCIPAL PARTICULARS

Length over all (LOA)	91.518 m
Length betw. perpendiculars (LPP)	75.000 m
Subdivision length	85.495 m
Freeboard length	75.887 m
Load line draught	5.525 m
Design draught (moulded)	4.000 m
Breadth (moulded)	16.000 m

Πίνακας 7.1-1: Πίνακας κυρίων διαστάσεων ROPAX

Στη συνέχεια δίνονται συνοπτικά τα βασικά υδροστατικά μεγέθη κάθε μιας από τις τρεις φορτώσεις.

INIT		DL	DP	DS
T0	m	3.340	3.736	4.000
TRO	m	-0.400	0.000	0.000
HEEL0	degree	0.0	0.0	0.0
DSP0	t	2164.0	2530.4	2807.2
LCB	m	35.726	36.125	35.720
TCB	m	0.000	0.000	0.000
VCB	m	1.963	2.191	2.357
GMO	m	3.621	2.493	2.688
GM	m	3.621	2.493	2.688
KG	m	6.15	6.94	6.91
KMT	m	9.770	9.437	9.598

Πίνακας 7.1-2: Πίνακας υδροστατικών χαρακτηριστικών φορτώσεων για το ROPAX

Αυτόματα, μέσω της δήλωσης του διαμήκου προφίλ του πλοίου και του αριθμού των επιβατών, μπορούν να υπολογιστούν οι ροπές λόγω ανέμου και συγκέντρωσης των επιβατών. Τα σχετικά μεγέθη δίνονται στον επόμενο πίνακα.

HEELING MOMENTS

```
MOM, PROBSDSMAX,
      * Maximum moment ( PROBSDSPASS, PROBSDSWIND, PROBSDSSURV ) *
MAX, PROBSDSPASS, PROBSDSWIND, PROBSDSSURV
OK
```

```
MOM, PROBSDSPASS, ' Passenger moment'
CURV, CONSTANT
MOME, 415.805
OK
```

```
MOM, PROBSDSWIND, ' Wind moment'
TYPE, WIND
PARA, C=0.012237, PROF=DAE.PROF, TP2
OK
```

```
MOM, PROBSDSSURV, ' Survival craft moment'
CURV, CONSTANT
MOME, 0
OK
```

Πίνακας 7.1-3: Ροπές εγκάρσιας κλίσης για το ROPAX

Συνολικά λοιπόν, οι παραπάνω παράμετροι, μαζί με το μοντέλο πλοίου (*Ship Model*) και τη διάταξη των ανοιγμάτων αποτελούν το όρισμα υπολογισμού (*calculation arguments*), το οποίο παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα.

CALCULATION SETTINGS

CALCULATION ARGUMENTS USED IN THE STUDY:

HULL	DAF.STABHULL	hull name	
HEEL	0 1 3 5 7 10 12 15 20 25 30 40 50	heeling angle	DEGREE
ARRV	DAF.LOAD	arrangement version	
OPARR	PROB.OPARR	opening arrangement	
CCONN	CCONN*PROB.CCONN	compartment connections	
FORCE	BOTH	force heel side & range	
OPTION	PERM NOPROGR LOG CDISP CDIR	calc. and output options	
CMARG	...	margin line	
ROP	VL1.S VL2.S VL3.S VL4.S VL5.S VL6.S VL7.S VL8.S VL9.S VL10.S ROP VL1.S VL2.S VL3.S VL4.S VL5.S VL6.S VL7.S VL8.S VL9.S VL10.S, VL11.S VL1.P VL2.P VL3.P VL4.P VL5.P VL6.P VL7.P VL8.P VL9.P VL10.P VL11.S VL1.P VL2.P VL3.P VL4.P VL5.P VL6.P VL7.P VL8.P VL9.P VL10.P, VG1.A.S VM2.A.S VM1.A.P STAIR DOOR1 DOOR2 WAD1 WAD2 WAD3 WAD4 WAD5 WAD6 VG1.A.S VM2.A.S VM1.A.P STAIR DOOR1 DOOR2 WAD1 WAD2 WAD3 WAD4 WAD5 WAD6, WAD7 WAD8 WAD9 WAD10 WAD11 WAD12 WAD13 WAD14 WAD15	relevant openings	
RCR	...	relevant criteria	
CGM	not given	changed gm	M
WTARR	...	watertight arrangement	
SYTOL	0.001	symmetry tolerance	M
TRLIM	80	trim limit	DEGREE
SWH	not given	significant wave height	M
CFRB	...	freeboard deck edge	
AAS	not given	auto assign of arguments	

Πίνακας 7.1-4: Όρισμα υπολογισμού (calculation arguments) για το ROPAX

7.1.2 Αποτελέσματα

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται και αναλύονται τα βασικά αποτελέσματα της μελέτης και ο έλεγχος ικανοποίησης των κριτηρίων ευστάθειας κατόπιν βλάβης, για το ROPAX.

Αρχικά, δίνονται τα αποτελέσματα του κανονισμού 7, με τον επιτευχθή δείκτη και τη σύγκριση του έναντι του απαιτούμενου. Υπενθυμίζεται ότι ο δείκτης R υπολογίζεται σύμφωνα με τον κανονισμό 6 και συναρτάται με το μήκος του πλοίου και το συνολικό αριθμό επιβαινόντων, δηλαδή το σύνολο επιβατών και μελών πληρώματος.

Τα αποτελέσματα δίνονται ανά βύθισμα του κανονισμού και ανά αριθμό ζωνών που εμπλέκονται σε κάθε σενάριο βλάβης. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζεται ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης για κάθε σενάριο βλάβης που περιλαμβάνει, για παράδειγμα χώρους σε τρεις ζώνες και αθροιζόμενοι οι επιτευχθέντες δείκτες δίνουν τη συμβολή (*contribution*) στον τελικό επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης, που προέρχεται από όλα τα σενάρια βλάβης τριών ζωνών. Ομοίως γίνεται ο υπολογισμός για οποιοδήποτε αριθμό εμπλεκόμενων ζωνών. Για την περίπτωση της συμβολής στον δείκτη υποδιαίρεσης, ανά βύθισμα του κανονισμού, ο υπολογισμός του επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης προκύπτει ως άθροισμα των δεικτών υποδιαίρεσης για κάθε σενάριο βλάβης σε κάποιο βύθισμα και εν συνεχεία το άθροισμα αυτό πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή στάθμισης που προβλέπεται από τους κανονισμούς. Υπενθυμίζεται, τέλος, ότι η μελέτη έγινε αμφίπλευρα, δηλαδή και από την αριστερή και τη δεξιά πλευρά του πλοίου, με τον τελικό επιτευχθέντα δείκτη να προκύπτει ως ο μέσος όρος των δεικτών που προκύπτουν για κάθε πλευρά.

Τα αποτελέσματα δίνονται στον επόμενο πίνακα.

INDEX SUMMARY

TRIM 0
 ATTAINED AND REQUIRED SUBDIVISION INDEX
 Subdivision length 85.495 m
 Breadth at the load line 16.000 m
 Breadth at the bulkhead deck 16.000 m
 Number of persons N1 0
 Number of persons N2 792
 Required subdivision index R = 0.74054
 Attained subdivision index A = 0.93164

INIT	T	GMA/R	A	A*WCOE F	WCOEF	
	m	m				
DL	3.340	3.621	1.29	0.95411	0.19082	0.200
DP	3.736	2.493	1.26	0.93648	0.37459	0.400
DS	4.000	2.688	1.24	0.91557	0.36623	0.400

INDEX ACCORDING TO NUMBER OF ZONES

DAMAGES	W*P*V*S
1-ZONE DAMAGES	0.37912
2-ZONE DAMAGES	0.42959
3-ZONE DAMAGES	0.10698
4-ZONE DAMAGES	0.01508
5-ZONE DAMAGES	0.00087
A-INDEX TOTAL	0.93164

Πίνακας 7.1-5: Αποτελέσματα κανονισμού 7 SOLAS 2009 για το ROPAX

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα το πλοίο ικανοποιεί με άνεση τα κριτήρια ευστάθειας σύμφωνα με τον κανονισμό 7, καθώς ο επιτευχθείς συντελεστής υποδιαίρεσης είναι μεγαλύτερος του απαιτούμενου και μάλιστα κατά περίπου 25%. Συνεπώς το πλοίο συμμορφώνεται προς το απαιτούμενο επίπεδο ασφάλειας, που εκφράζεται μέσω του απαιτούμενου συντελεστή υποδιαίρεσης R.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι όσο αυξάνεται το βύθισμα, από το ελάχιστο βύθισμα υπηρεσίας μέχρι το μέγιστο βύθισμα υποδιαίρεσης, υπάρχει πτώση του επιτευχθέντος δείκτη, ανά βύθισμα. Αυτό δείχνει ότι το βύθισμα είναι ίσως πιο καθοριστική παράμετρος συγκριτικά με το GM, καθώς μεγαλύτερο βύθισμα οδηγεί και σε μεγαλύτερους όγκους νερού κατάκλυσης σε κάθε σενάριο βλάβης. Κάτι τέτοιο δικαιολογείται από το γεγονός ότι χρησιμοποιείται ο κανόνας της κοινής ισάλου (*common surface rule*), ο οποίος επιβάλλει η ίσαλος του νερού εντός και εκτός του πλοίου να είναι σε ισορροπία. Έτσι στην περίπτωση του μεγαλύτερου βυθίσματος και αφού εισέρχεται νερό λόγω των βλαβών, η τελική ίσαλος είναι σε μεγαλύτερο βύθισμα συγκριτικά με τις περιπτώσεις των πιο μικρών βυθισμάτων, για δεδομένο σενάριο βλάβης, οδηγώντας έτσι σε μεγαλύτερες ποσότητες νερού κατάκλυσης. Σε κάθε περίπτωση πάντως ο λόγος A/R κυμαίνεται από 1.24 έως 1.29, δηλαδή ο επιτευχθείς δείκτης είναι 24-29% υψηλότερος του απαιτούμενου.

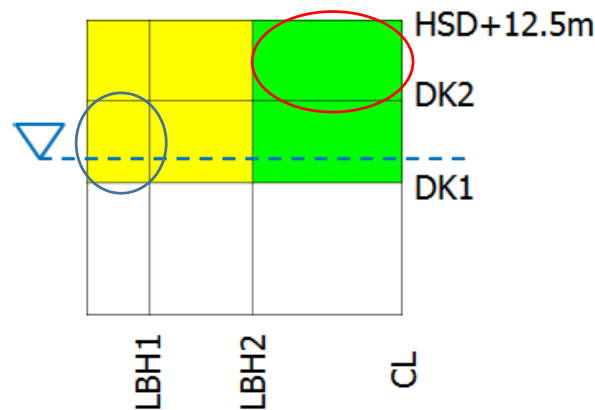
Εξετάζοντας τη συμβολή στον επιτευχθέντα δείκτη φαίνεται ότι τη μεγαλύτερη συμβολή την έχουν τα σενάρια βλάβης που εμπλέκουν δύο ζώνες, ενώ τα σενάρια με πέντε ζώνες δεν έχουν πρακτικά καμία συνεισφορά, οπότε δικαιολογημένα δε θεωρήθηκαν και σενάρια βλάβης με μεγαλύτερο αριθμό εμπλεκόμενων ζωνών.

Η επίδοση του πλοίου σε όρους A/R είναι πολύ υψηλή όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα. Σε γενικές γραμμές ο καθορισμός του R έγινε έτσι ώστε να τεθεί ένα ελάχιστο επίπεδο ασφάλειας το οποίο πρέπει να διατηρούν όλα τα πλοία, ενώ ταυτόχρονα έπρεπε να είναι και σχετικά κοντά στον επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης που επιτύγχαναν τα πλοία του δείγματος, προκειμένου να μην υπάρξει δραστική μείωση του μεγέθους του στόλου και να δημιουργηθεί ανισορροπία στην υπάρχουσα αγορά. Κατά συνέπεια, το αναμενόμενο θα ήταν ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης να είναι εγγύτερα στον απαιτούμενο, γεγονός που δεν επαληθεύεται. Ο κυριότερος λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι ο λόγος μήκους προς πλάτος (L_{BP}/B) είναι μικρός της τάξης του 4.69, ενώ οι συνήθεις τιμές του λόγου για μικρά επιβατηγά πλοία της ακτοπλοΐας είναι από 5.8 έως 6.8 (4). Συνεπώς, το συγκεκριμένο πλοίο έχει πολύ μεγάλο πλάτος για το μήκος του και αυτός είναι ο κύριος λόγος που το καθιστά τόσο ευσταθές. Επίσης, η διαμερισματοποίηση του πλοίου προέρχεται από ένα πλοίο μεγαλύτερου μεγέθους, το οποίο για να είναι σε θέση να ικανοποιεί τα κριτήρια ευστάθειας κατόπιν βλάβης θα χρειάζεται πυκνότερη υποδιαίρεση. Σε κάθε περίπτωση, η δεδομένη σχεδίαση υπερκαλύπτει την απαίτηση του κανονισμού 7 και στα πλαίσια της παρούσας μελέτης αυτό είναι το αντικείμενο ενδιαφέροντος.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα συντελεστή επιβιωσιμότητας (*s-factor diagrams*), τα οποία δείχνουν ποιοτικά την πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου για ρήγμα σε κάθε περιοχή του. Έτσι στα παρακάτω διαγράμματα το κάθε τρίγωνο δείχνει μια βλάβη με τα διάφορα όρια περιορισμού της διάτρησης (διαμήκεις φρακτές και καταστρώματα). Κάθε κουτάκι μέσα στα τρίγωνα δείχνει ποιοτικά την πιθανότητα επιβίωσης. Ο χρωματικός κανόνας είναι ο κάτωθι:

- Πράσινο: $s \geq 0.99$
- Κίτρινο: $0.05 \leq s < 0.99$
- Κόκκινο: $s < 0.05$
- Λευκό: $p \cdot r \cdot v < 0.00001$ (εξαιρετικά σπάνιο σενάριο βλάβης)

Στο επόμενο σχήμα, επεξηγείται ο τρόπος κατασκευής του διαγράμματος s-factor, στο οποίο δίνονται τα διάφορα όρια κατά την εγκάρσια έννοια και την καθ' ύψος, οπότε σε κάθε κουτί αντιστοιχεί ένα σενάριο βλάβης και ο χρωματικός κώδικας δίνει ποιοτικά την τιμή της πιθανότητας επιβίωσης.



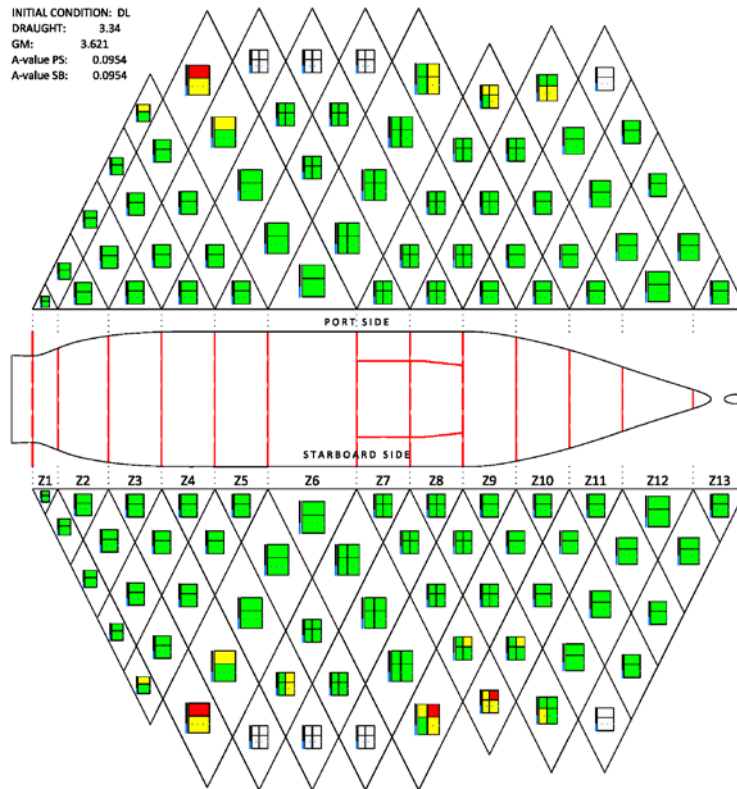
Σχήμα 7.1-1: Αποτύπωση σεναρίων βλάβης στο διάγραμμα *s-factor*

Το παραπάνω σχήμα αντιστοιχεί σε κάποια ζώνη με δύο διαμήκεις φρακτές, ανάμεσα στο πλευρικό τοίχωμα του πλοίου και το επίπεδο συμμετρίας του πλοίου, ενώ έχει δύο ενδιάμεσα καταστρώματα μέχρι το μέγιστο ύψος βλάβης, που προβλέπεται από τους κανονισμούς και αντιστοιχεί στα 12.5m πάνω από το βύθισμα υποδιαίρεσης. Όπως δείχνει το σχήμα, για παράδειγμα, το σενάριο βλάβης με έκταση έως το κατάστρωμα DK2 και για εγκάρσια διεύθυνση μέχρι την πρώτη φρακτή LBHD1, οδηγεί σε ενδιάμεση τιμή του συντελεστή επιβιωσιμότητας s . Αντίστοιχα, για το σενάριο βλάβης με καθ' ύψος έκταση απεριόριστα μέχρι το μέγιστο ύψος βλάβης και για εγκάρσια διεύθυνση μέχρι τη *centerline*, η τιμή του s είναι υψηλή.

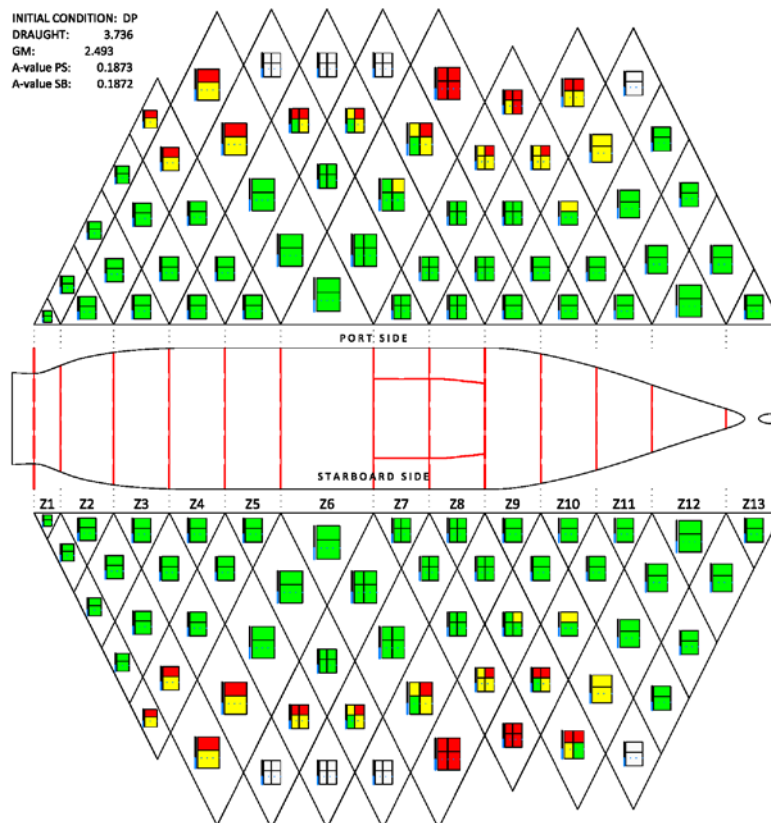
Τα διαγράμματα πιθανότητας επιβίωσης *SFAC Diagrams* κατασκευάζονται για κάθε βύθισμα του κανονισμού. Παρακάτω δίνονται τα διαγράμματα και για τα τρία βυθίσματα.

Επιπρόσθετα, υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής του διαγράμματος *P1S*, το οποίο αποτυπώνει το γινόμενο $p*(1-s)$ και ουσιαστικά εκφράζει την πιθανότητα του πλοίου να μην επιβιώσει κάποιο σενάριο βλάβης. Ο στόχος του διαγράμματος αυτού είναι να αναγνωριστούν οι προβληματικές περιπτώσεις που παρουσιάζουν χαμηλό επίπεδο ασφάλειας. Το *P1S* διάγραμμα, δίνεται επίσης παρακάτω.

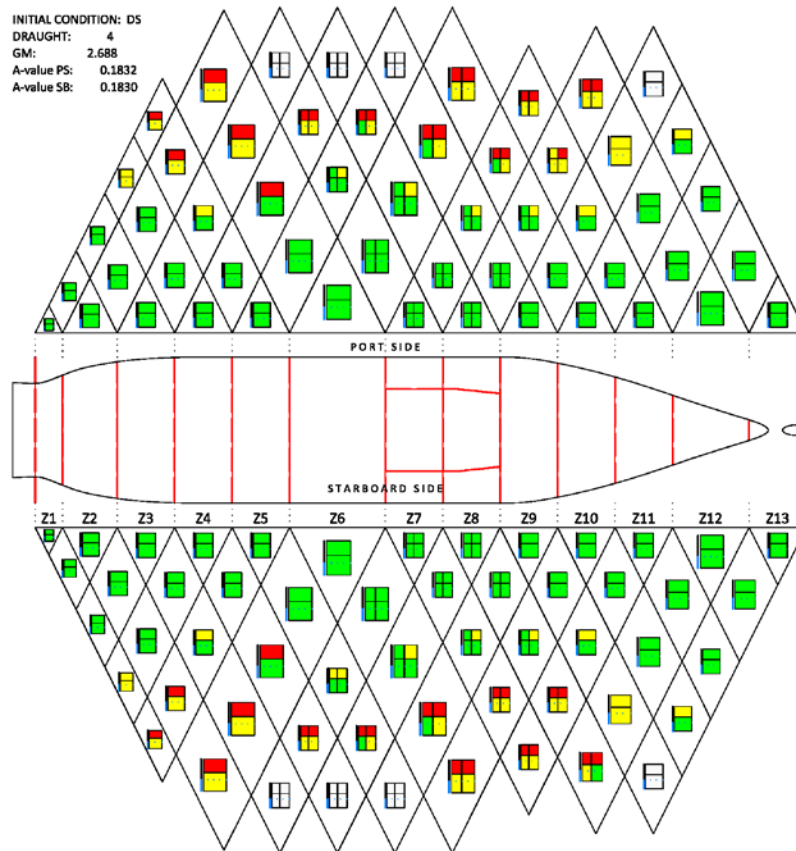
Τα δύο αυτά διαγράμματα χρησιμοποιούνται από τους μελετητές προκειμένου να αναγνωρίσουν τις περιοχές του πλοίου που είναι πιο ευάλωτες, να αποκαλυφθούν τα τρωτά σημεία της σχεδίασης από άποψη ασφάλειας και στη συνέχεια να ληφθούν κάποια μέτρα τοπικού χαρακτήρα, ώστε να ενισχυθεί η ασφάλεια του πλοίου.



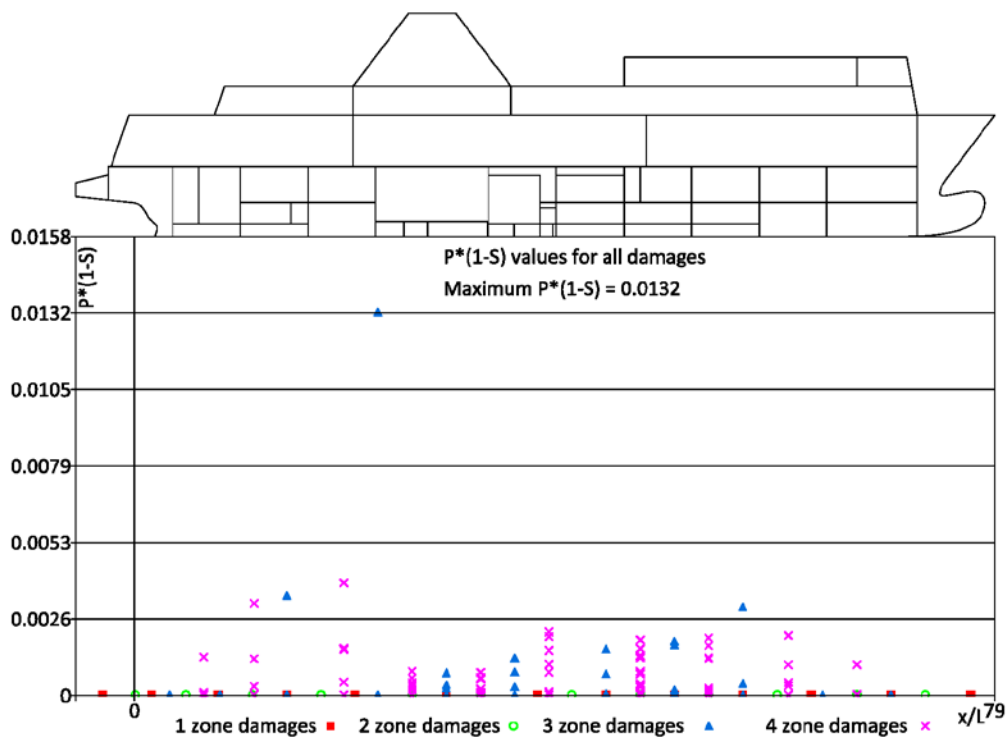
Διάγραμμα 7.1-1: Διάγραμμα s-factor για το ελάχιστο βύθισμα υπηρεσίας για το ROPAX



Διάγραμμα 7.1-2: Διάγραμμα s-factor για το ενδιάμεσο βύθισμα υποδιαίρεσης για το ROPAX



Διάγραμμα 7.1-3: Διάγραμμα s-factor για το μέγιστο βύθισμα υποδιαίρεσης για το ROPAX



Διάγραμμα 7.1-4: Διάγραμμα P1S για το ROPAX

Με βάση τα διαγράμματα, όπως φαίνεται η περιοχή του μηχανοστασίου σε συνδυασμό με τους χώρους πρύμνηθεν οδηγούν στα δυσμενέστερα σενάρια και τη χειρότερη κατάσταση από άποψη ευστάθειας. Σε κάθε περίπτωση τα κριτήρια του κανονισμού πληρούνται και το πλοίο επιβιώνει με πιθανότητα σημαντικά ανώτερη της απαιτούμενης.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα της εξέτασης των κριτηρίων του κανονισμού 8.1, σχετικά με πρωραία βλάβη.

REQUIREMENT REGULATION 8.1: SFAC = 1

```
TRIM 0
STATUS:          OK
WORST DAMAGE:   DS/DAM_REG8.1
SFAC:           1
MINGM:         1.141
```

Πίνακας 7.1-6: Έλεγχος κριτηρίου κανονισμού 8.1 για το ROPAX

Όπως φαίνεται το κριτήριο ικανοποιείται και ο υπολογισμός δείχνει ότι η ελάχιστη τιμή του GM που οδηγεί σε εκπλήρωση του κριτηρίου είναι 1.141m. Συνεπώς σε όλες τις καταστάσεις το κριτήριο ικανοποιείται, ενώ το δυσμενέστερο σενάριο είναι πάλι στην κατάσταση μέγιστου βυθίσματος.

Εξετάζοντας τα κριτήρια των κανονισμών 8.2-3 που σχετίζονται με μικρές πλευρικές βλάβες προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

REQUIREMENT REGULATION 8.2 and 8.3: SFAC >= 0.9

```
TRIM 0
STATUS:          OK
WORST DAMAGE:   DL/SDSR8.2S6-7.1.0-2
SFAC:           1
MINGM:         2.137
```

Πίνακας 7.1-7: Έλεγχος κριτηρίων κανονισμών 8.2-3 για το ROPAX

Και αυτός ο κανονισμός ικανοποιείται, με το χειρότερο σενάριο να προκύπτει για την περίπτωση του ελάχιστου βυθίσματος, σε βλάβη δύο ζωνών πρώραθεν του μηχανοστασίου.

Σχετικά με τα κριτήρια του κανονισμού 9 που προβλέπει ντετερμινιστικού χαρακτήρα βλάβες συγκεκριμένων διαστάσεων, στην περιοχή του διπύθμενου, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

REGULATION 9 SUMMARY

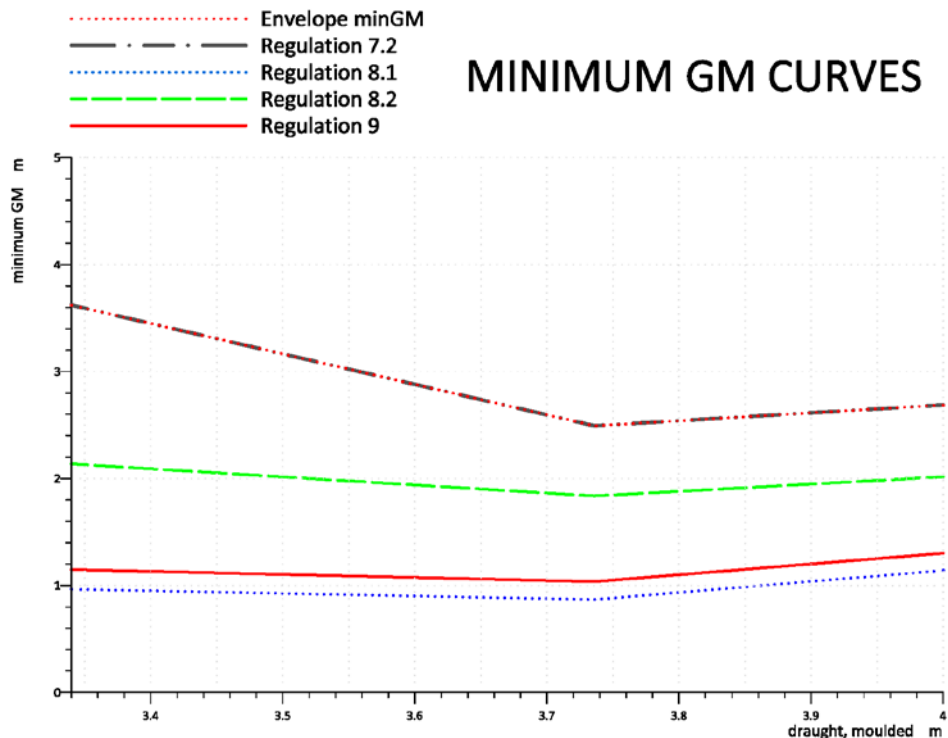
REQUIREMENT: SFAC = 1

TRIM 0
 STATUS: OK
 WORST DAMAGE: DS/SDSR9A1-1
 SFAC: 1
 MINGM: 1.301

Πίνακας 7.1-8: Έλεγχος κριτηρίων κανονισμού 9 για το ROPAX

Και τα κριτήρια του κανονισμού 9 πληρούνται με χαμηλή απαίτηση μετακεντρικού ύψους. Συνεπώς το πλοίο πληροί όλα τα κριτήρια των κανονισμών σύμφωνα με τη SOLAS 2009. Στη συνέχεια μπορεί να κατασκευαστεί η καμπύλη ελάχιστου μετακεντρικού ύψους. Η καμπύλη αυτή αποτυπώνει τις απαιτήσεις του εκάστοτε κανονισμού σε αρχικό μετακεντρικό ύψος για οριακή ικανοποίηση των κριτηρίων ευστάθειας. Με βάση αυτές τις καμπύλες μπορεί να καθορισθεί μια περιβάλλουσα καμπύλη (*envelope curve*), η οποία αντικατοπτρίζει την ελάχιστη τιμή του αρχικού μετακεντρικού ύψους GM, σε κάθε βύθισμα, η οποία οδηγεί σε ικανοποίηση όλων των κριτηρίων ευστάθειας κατόπιν βλάβης.

Παρακάτω δίνεται το διάγραμμα των καμπυλών ελάχιστου GM.



Διάγραμμα 7.1-5: Διάγραμμα ελάχιστου απαιτούμενου GM για το ROPAX

Όπως φαίνεται, από το διάγραμμα, η περιβάλλουσα ταυτίζεται με τις τιμές του GM των φορτώσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την εξέταση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης. Σε αυτήν την περίπτωση η καμπύλη δεν είναι ουσιαστικά το όριο του GM που οδηγεί σε $A=R$, καθώς κάτι τέτοιο απαιτεί σημαντικό χρόνο για τον υπολογισμό σε τόσα σενάρια βλάβης, αλλά τα GM των φορτώσεων σίγουρα οδηγούν σε μια καμπύλη, όπου για φορτώσεις με μεγαλύτερο GM θα ικανοποιούνται οι απαιτήσεις. Οπότε είναι ένα όριο για επίτευξη του ίδιου ή μεγαλύτερου A. Αντίστοιχα, θα μπορούσε να βρεθεί και το πραγματικό όριο που οδηγεί σε $A=R$. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι πριν την ικανοποίηση των κριτηρίων ευστάθειας κατόπιν βλάβης, πρέπει να ικανοποιούνται τα κριτήρια άθικτης ευστάθειας, τα οποία ενδεχομένως να μην ικανοποιούνται για το ελάχιστο GM που προβλέπει η περιβάλλουσα.

Τέλος, εξετάζονται τα αποτελέσματα τις ικανοποίησης των κριτηρίων ευστάθειας που επιβάλλονται από την Κοινοτική Οδηγία 25.

2003/25/EC SUMMARY

1 COMPARTMENT DAMAGES

STATUS: OK
 WORST DAMAGE: WODFLD. CORR. NEW/SDSWODP11-13. 1. 1
 CRITERIA: V. MINGZP1. ST
 MINGM: 1. 933

2 COMPARTMENT DAMAGES

STATUS: NOT MET
 WORST DAMAGE: WODFLD. CORR. NEW/SDSWODS9-11. 1. 1
 CRITERIA: V. ARANGE2. ST
 MINGM: 3. 541

Πίνακας 7.1-9: Έλεγχος κριτηρίων 2003/25/EC για το ROPAX

Όπως φαίνεται, το πλοίο πληροί τις απαιτήσεις για τις βλάβες ενός διαμερίσματος και μάλιστα στο δυσμενέστερο σενάριο η απαίτηση για το GM είναι χαμηλότερη των τιμών του GM για τις φορτώσεις του κανονισμού. Στον παραπάνω πίνακα ο όρος 2 *compartment damages* δεν υπονοεί βλάβες δύο διαμερισμάτων, αλλά γενικώς βλάβες πολλαπλών διαμερισμάτων. Ο μέγιστος αριθμός διαμερισμάτων-ζωνών που λαμβάνονται υπόψη είναι 3. Το συγκεκριμένο πλοίο για το κριτήριο υπηρεσίας και το μήκος του, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις δύο διαμερισμάτων (*two compartment standard*). Συνεπώς η ένδειξη *NOT MET* δεν αφορά τα πραγματικά σενάρια 2 διαμερισμάτων, αλλά και τριών. Αν και για βλάβες τριών διαμερισμάτων, όπως η αναφερόμενη ως δυσμενέστερη, δεν ικανοποιούνται ορισμένα κριτήρια της οδηγίας, για σενάρια βλαβών 2 διαμερισμάτων ικανοποιούνται όλα τα κριτήρια.

Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν, το ROPAX ικανοποιεί όλα τα κριτήρια ευστάθειας κατόπιν βλάβης, όπως προβλέπονται από τους διεθνείς κανονισμούς ναυτιλίας.

7.2 Έλεγχος Αμιγώς Ε/Γ

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων της εξέτασης των κριτηρίων ευστάθειας κατόπιν βλάβης, για το αμιγώς επιβατηγό πλοίο. Τα αποτελέσματα αφορούν στη νέα διάταξη, που προέρχεται από την αρχική ως μια τροποποίηση του χώρου οχημάτων και τον κατακερματισμό του. Η διάταξη παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 6.

7.2.1 Δεδομένα υπολογισμού

Τα δεδομένα υπολογισμού, δηλαδή οι παράμετροι εισόδου για την περίπτωση του αμιγώς επιβατηγού πλοίο δίνονται σε αυτήν την παράγραφο.

PRINCIPAL PARTICULARS

Length over all (LOA)	91.518 m
Length betw. perpendiculars (LPP)	75.000 m
Subdivision length	85.495 m
Freeboard length	75.887 m
Load line draught	5.525 m
Design draught (moulded)	4.000 m
Breadth (moulded)	16.000 m

Πίνακας 7.2-1: Πίνακας κυρίων διαστάσεων Pure Passenger Ferry

Οι καταστάσεις φόρτωσης που παρατίθενται, είναι οι πραγματικές καταστάσεις που αφορούν στη συγκεκριμένη σχεδίαση. Ωστόσο, υπενθυμίζεται ότι για λόγους σύγκρισης και ανάλυσης των αποτελεσμάτων, πραγματοποιήθηκε υπολογισμός για τη διάταξη του αμιγώς Ε/Γ, αλλά με τις καταστάσεις φόρτωσης του ROPAX, οι οποίες παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Τα αποτελέσματα που αναλύονται σε αυτήν την παράγραφο αφορούν στη διάταξη του αμιγώς Ε/Γ με τις πραγματικές καταστάσεις φόρτωσης.

INIT		DL	DP	DS
T0	m	3.852	3.941	4.000
TR0	m	-0.158	0.000	0.000
HEEL0	degree	0.0	0.0	0.0
DSP0	t	2661.5	2742.9	2807.2
LCB	m	35.634	35.832	35.720
TCB	m	0.000	0.000	0.000
VCB	m	2.271	2.319	2.357
GM0	m	2.862	2.838	2.971
GM	m	2.862	2.838	2.971
KG	m	6.68	6.62	6.63
KMT	m	9.537	9.455	9.598

Πίνακας 7.2-2: Πίνακας υδροστατικών χαρακτηριστικών φορτώσεων για το Pure Passenger Ferry

Οι ροπές λόγω συγκέντρωσης των επιβατών και λόγω του ανέμου, συνοψίζονται στον επόμενο πίνακα.

HEELING MOMENTS

```
MOM, PROBSDSMAX,
      'Maximum moment ( PROBSDSPASS, PROBSDSWIND, PROBSDSURV) '
MAX, PROBSDSPASS, PROBSDSWIND, PROBSDSURV
OK
```

```
MOM, PROBSDSPASS, ' Passenger moment'
CURV, CONSTANT
MOME, 540.006
OK
```

```
MOM, PROBSDSWIND, ' Wind moment'
TYPE, WIND
PARA, C=0.012237, PROF=DAF.PROF, TP2
OK
```

```
MOM, PROBSDSURV, ' Survival craft moment'
CURV, CONSTANT
MOME, 0
OK
```

Πίνακας 7.2-3: Ροπές εγκάρσιας κλίσης για το Pure Passenger Ferry

Στον επόμενο πίνακα δίνεται το σύνολο των παραμέτρων εισόδου για τους υπολογισμούς, δηλαδή το όρισμα εισόδου (*input arguments*).

CALCULATION SETTINGS

CALCULATION ARGUMENTS USED IN THE STUDY:

HULL	DAF.STABHULL	hull name	
HEEL	0 1 3 5 7 10 12 15 20 25 30 40 50	heeling angle	DEGREE
ARRV	PASS.SOLAS	arrangement version	
OPARR	PROB.OPARR	opening arrangement	
CCONN	CCONN*PROB.CCONN	compartment connections	
FORCE	BOTH	force heel side & range	
OPTION	PERM NOPROGR LOG CDISP CDIR	calc. and output options	
CMARG	...	margin line	
ROP	VL1.S VL2.S VL3.S VL4.S VL5.S VL6.S VL7.S VL8.S VL9.S VL10.S ROP VL1.S VL2.S VL3.S VL4.S VL5.S VL6.S VL7.S VL8.S VL9.S VL10.S, VL11.S VL1.P VL2.P VL3.P VL4.P VL5.P VL6.P VL7.P VL8.P VL9.P VL10.P VL11.S VL1.P VL2.P VL3.P VL4.P VL5.P VL6.P VL7.P VL8.P VL9.P VL10.P, VG1.A.S VM2.A.S VM1.A.P STAIR DOOR1 DOOR2 D1.1.1 D1.1.2 D1.1.3 D1.1.4 VG1.A.S VM2.A.S VM1.A.P STAIR DOOR1 DOOR2 D1.1.1 D1.1.2 D1.1.3 D1.1.4, D1.1.5 D1.1.6 D1.2.1 D1.2.2 D1.2.3 D1.2.4 D1.3.1 D1.3.2 D1.3.3 D1.3.4 D1.1.5 D1.1.6 D1.2.1 D1.2.2 D1.2.3 D1.2.4 D1.3.1 D1.3.2 D1.3.3 D1.3.4, D1.3.5 D1.3.6 D1.4.1 D1.4.2 D1.4.3 D1.4.4 D1.4.5 D1.4.6 WC1D1 WC1D2 D1.3.5 D1.3.6 D1.4.1 D1.4.2 D1.4.3 D1.4.4 D1.4.5 D1.4.6 WC1D1 WC1D2, CDOOR1.1 CDOOR1.2 STAIR1 STAIR2 D2.1.1 D2.1.2 D2.1.3 D2.1.4 D2.1.5 D2.1.6 CDOOR1.1 CDOOR1.2 STAIR1 STAIR2 D2.1.1 D2.1.2 D2.1.3 D2.1.4 D2.1.5 D2.1.6, D2.2.1 D2.2.2 D2.2.3 D2.2.4 D2.3.1 D2.3.2 D2.3.3 D2.3.4 D2.3.5 D2.4.1 D2.2.1 D2.2.2 D2.2.3 D2.2.4 D2.3.1 D2.3.2 D2.3.3 D2.3.4 D2.3.5 D2.4.1, D2.4.2 D2.4.3 D2.4.4 D2.4.5 D2.4.6 SDOOR CDOOR2.1 CDOOR2.2 WC2D1 WC2D2 D2.4.2 D2.4.3 D2.4.4 D2.4.5 D2.4.6 SDOOR CDOOR2.1 CDOOR2.2 WC2D1 WC2D2, WAD1 WAD3 WAD4 WAD5 WAD6 WAD7 WAD8 WAD9 WAD10 WAD11 WAD12 WAD13 WAD14 WAD1 WAD3 WAD4 WAD5 WAD6 WAD7 WAD8 WAD9 WAD10 WAD11 WAD12 WAD13 WAD14, WAD15	relevant openings	
RCR	...	relevant criteria	
CGM	not given	changed gm	M
WTARR	...	watertight arrangement	
SYTOL	0.001	symmetry tolerance	M
TRLIM	80	trim limit	DEGREE
SWH	not given	significant wave height	M
CFRB	...	freeboard deck edge	

Πίνακας 7.2-4: Όρισμα υπολογισμού (*calculation arguments*) για το Pure Passenger Ferry

7.2.2 Αποτελέσματα

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης για την περίπτωση του αμιγώς επιβατηγού πλοίου. Οι κανονισμοί που εξετάζονται είναι οι κανονισμοί της SOLAS όπως παρουσιάστηκαν στην αρχή του κεφαλαίου, όμως σε αυτήν την περίπτωση δεν εξετάζεται η Οδηγία 25, η οποία αφορά τα Ε/Γ-Ο/Γ.

Τα αποτελέσματα του κανονισμού 7 δίνονται παρακάτω.

INDEX SUMMARY

TRIM 0
 ATTAINED AND REQUIRED SUBDIVISION INDEX
 Subdivision length 85.495 m
 Breadth at the load line 16.000 m
 Breadth at the bulkhead deck 16.000 m
 Number of persons N1 0
 Number of persons N2 1022
 Required subdivision index R = 0.75515
 Attained subdivision index A = 0.96720

INIT	T	GMA/R	A	A*WCOE F	WCOEF	
	m	m				
DL	3.852	2.862	1.29	0.97447	0.19489	0.200
DP	3.941	2.838	1.28	0.96883	0.38753	0.400
DS	4.000	2.971	1.27	0.96195	0.38478	0.400

INDEX ACCORDING TO NUMBER OF ZONES

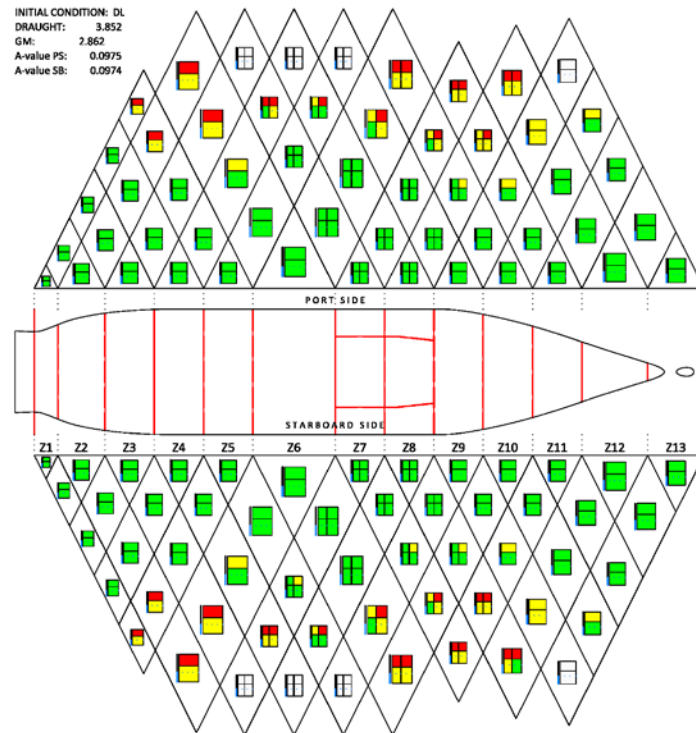
DAMAGES	W*P*V*S
1-ZONE DAMAGES	0.41194
2-ZONE DAMAGES	0.43927
3-ZONE DAMAGES	0.10380
4-ZONE DAMAGES	0.01147
5-ZONE DAMAGES	0.00072
A-INDEX TOTAL	0.96720

Πίνακας 7.2-5: Αποτελέσματα κανονισμού 7 SOLAS 2009 για το Pure Passenger Ferry

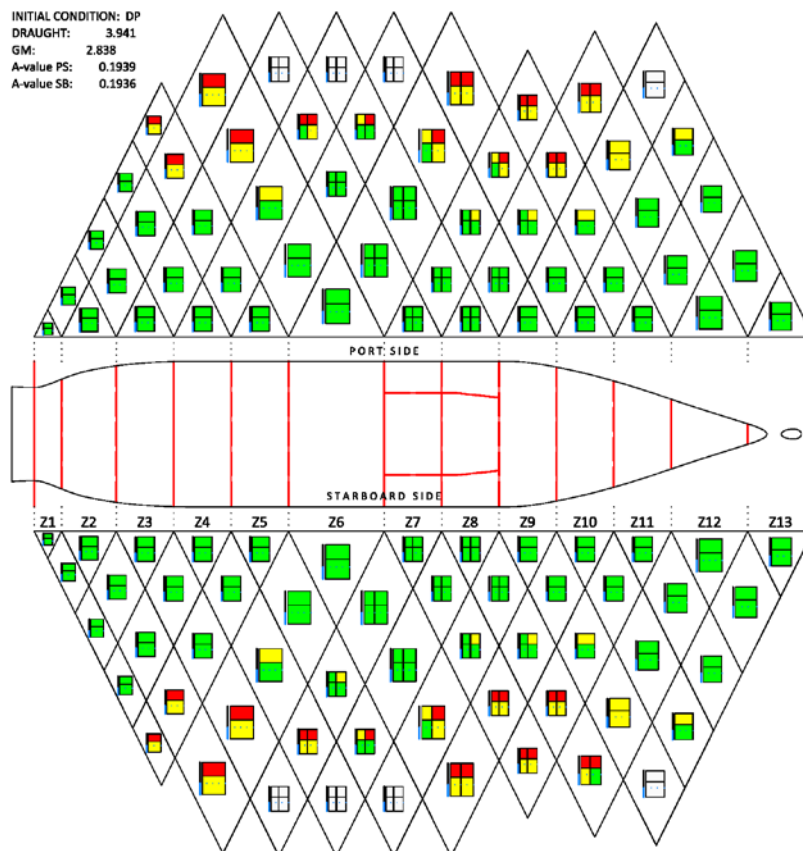
Όπως φαίνεται στην περίπτωση του Pure Passenger Ferry η επιβιωσιμότητα του πλοίου, όπως αυτή εκφράζεται μέσω του επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης A, είναι σαφώς ενισχυμένη φτάνοντας σε πολύ υψηλό επίπεδο ασφάλειας και υψηλότερου του ROPAX.

Ο λόγος A/R είναι από 1.27-1.29, οπότε η πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου είναι 27% με 29% μεγαλύτερη της απαιτούμενης. Και πάλι η δυσμενέστερη κατάσταση είναι για το μέγιστο βύθισμα υποδιαίρεσης και οφείλεται στο μεγαλύτερο όγκο νερού κατάκλυσης σε αυτήν την περίπτωση, όπως εξηγήθηκε και για την περίπτωση του ROPAX. Όμοια με την περίπτωση του ROPAX, οι βλάβες που εμπλέκουν 1 και 2 ζώνες έχουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στον δείκτη A, ενώ οι βλάβες 5 ζωνών δεν έχουν πρακτική συμβολή στον δείκτη A. Η συγκριτική μελέτη, παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο.

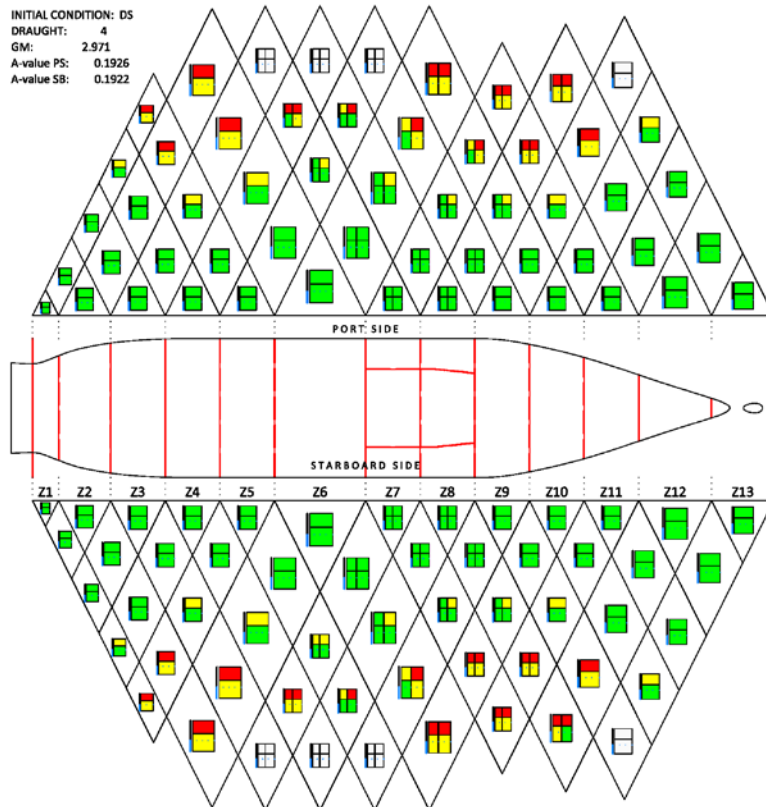
Παρακάτω δίνονται τα διαγράμματα πιθανότητας επιβίωσης *s-factor diagrams*, για τα τρία βυθίσματα του κανονισμού και το διάγραμμα P1S.



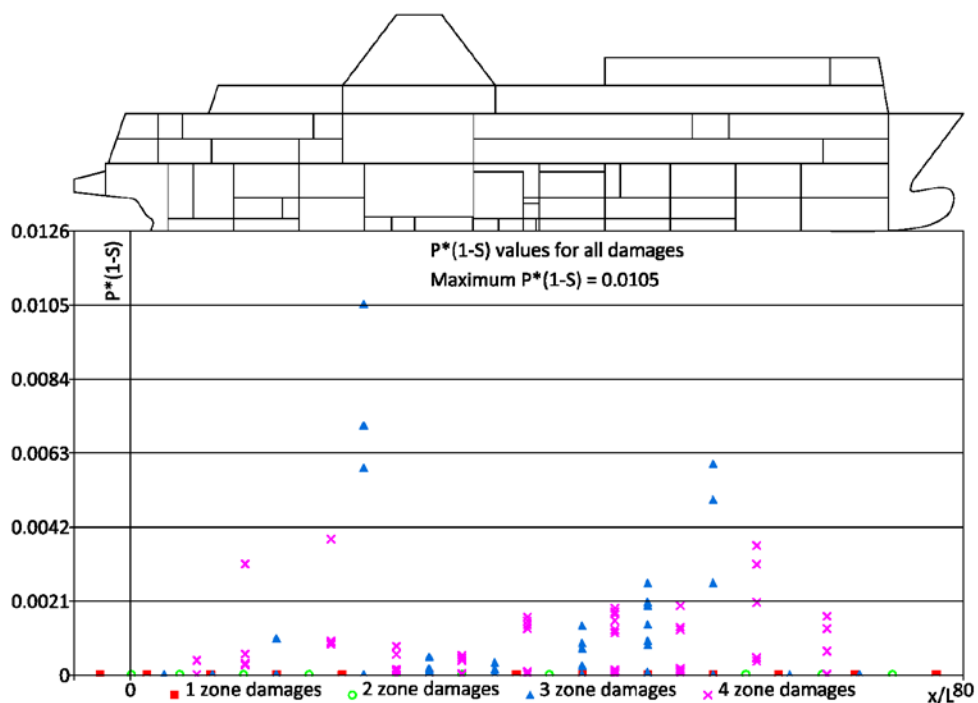
Διάγραμμα 7.2-1: Διάγραμμα *s-factor* για το ελάχιστο βύθισμα υπηρεσίας για το Pure Passenger Ferry



Διάγραμμα 7.2-2: Διάγραμμα *s-factor* για το ενδιάμεσο βύθισμα υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry



Διάγραμμα 7.2-3: Διάγραμμα s-factor για το μέγιστο θύψισμα υποδιαίρεσης για το Pure Passenger Ferry



Διάγραμμα 7.2-4: Διάγραμμα P1S για το Pure Passenger Ferry

Η πιο κρίσιμη, από άποψη ασφάλειας, περιοχή του αμιγώς Ε/Γ είναι η ίδια με του ROPAX, όμως το γινόμενο $p^*(1-s)$ έχει μικρότερη τιμή, άρα είναι ασφαλέστερο.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την περίπτωση πρωραίου ρήγματος, στα πλαίσια του κανονισμού 8.1

REQUIREMENT REGULATION 8.1: SFAC = 1

```
TRIM 0
STATUS: OK
WORST DAMAGE: DS/DAM_REG8.1
SFAC: 1
MINGM: 1.291
```

Πίνακας 7.2-6: Έλεγχος κριτηρίου κανονισμού 8.1 για το Pure Passenger Ferry

Τα κριτήρια του κανονισμού ικανοποιούνται. Το ελάχιστο απαιτούμενο μετακεντρικό ύψος, για οριακή ικανοποίηση του κανονισμού, είναι 1.291m το οποίο είναι μεγαλύτερο της τιμής για το ROPAX. Αυτό συμβαίνει επειδή οι χώροι στο δεύτερο κατάστρωμα που τοποθετήθηκε, έχουν καθ' ύψος θέση υψηλότερα της θέσης κέντρου βάρους του χώρου οχημάτων, με αποτέλεσμα η τελική κατάσταση να είναι δυσμενέστερη από άποψη ευστάθειας. Συνεπώς, είναι λογική η αυξημένη απαίτηση για GM.

Εν συνεχεία, ελέγχεται το κριτήριο των κανονισμών 8.2 και 8.3, σχετικά με τις πλευρικές βλάβες μικρής εισχώρησης.

REQUIREMENT REGULATION 8.2 and 8.3: SFAC >= 0.9

```
TRIM 0
STATUS: OK
WORST DAMAGE: DS/SDSR8.286-7.1.0-2
SFAC: 1
MINGM: 2.17
```

Πίνακας 7.2-7: Έλεγχος κριτηρίων κανονισμών 8.2-3 για το Pure Passenger Ferry

Τα κριτήρια του κανονισμού ικανοποιούνται και πάλι, η τιμή του ελάχιστου GM είναι λίγο μεγαλύτερη της αντίστοιχης του ROPAX, όμως αυτή τη φορά η μεταβολή δεν είναι σημαντική.

Τέλος εξετάζεται η ικανοποίηση των απαιτήσεων του κανονισμού 9, που σχετίζεται με βλάβες στην περιοχή του διπύθμενου.

REGULATION 9 SUMMARY

REQUIREMENT: SFAC = 1

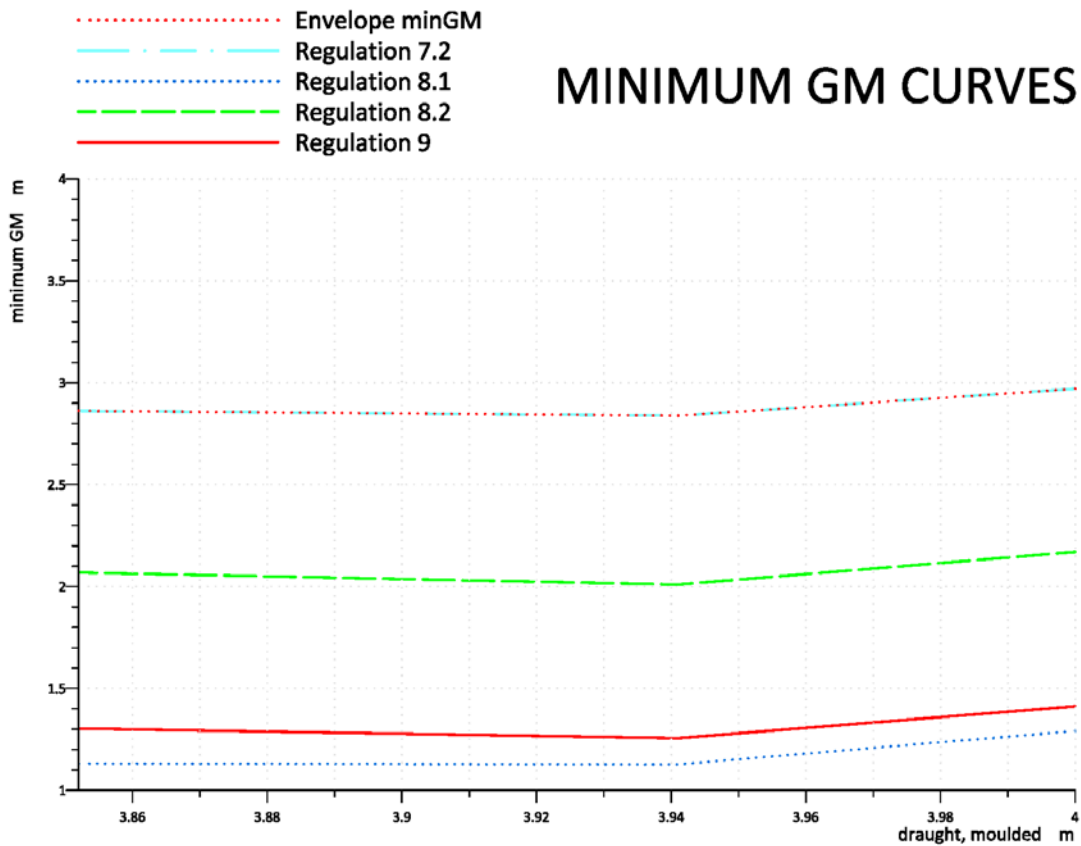
```
TRIM 0
STATUS: OK
WORST DAMAGE: DS/SDSR9A1-1
SFAC: 1
MINGM: 1.412
```

Πίνακας 7.2-8: Έλεγχος κριτηρίων κανονισμού 9 για το Pure Passenger Ferry

Τα κριτήρια του κανονισμού 9 ικανοποιούνται, οπότε συνολικά το πλοίο είναι συμμορφωμένο προς τους κανονισμούς της SOLAS 2009. Και πάλι το ελάχιστο GM είναι

μεγαλύτερο του αντίστοιχου μετακεντρικού ύψους για την περίπτωση του ROPAX. Κάτι τέτοιο σχετίζεται και με τις τελικές καταστάσεις βλάβης, όπου οι φορτώσεις ουσιαστικά είναι διαφορετικές.

Τέλος δίνονται οι καμπύλες ελάχιστου μετακεντρικού ύψους για ικανοποίηση των κανονισμών της SOLAS2009.



Διάγραμμα 7.2-5: Διάγραμμα ελάχιστου απαιτούμενου GM για το Pure Passenger Ferry

Όπως φαίνεται, από το διάγραμμα, η περιβάλλουσα ταυτίζεται με τις τιμές του GM των φορτώσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την εξέταση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, όπως και στην περίπτωση του ROPAX. Όπως αναλύθηκε και για το ROPAX, η καμπύλη αυτή ουσιαστικά αντιστοιχεί στις τιμές του GM που οδηγούν οριακά στην τιμή του A που επιτεύχθηκε. Σημειώνεται ότι οι καμπύλες αυτές που προκύπτουν από τα κριτήρια ευστάθειας κατόπιν βλάβης, δε μπορούν να αποτελέσουν από μόνες τους κριτήριο επιλογής των φορτώσεων, καθώς πρέπει να ικανοποιούνται και τα κριτήρια άθικτης ευστάθειας, τα οποία σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να είναι δυσκολότερο να ικανοποιηθούν.

Συμπερασματικά, η τροποποιημένη σχεδίαση πληροί τους κανονισμούς ευστάθειας κατόπιν βλάβης, όπως προδιαγράφονται από τους κανονισμούς της SOLAS 2009.

7.3 Συγκριτικά Αποτελέσματα Ευστάθειας Κατόπιν Βλάβης

Σε αυτήν την παράγραφο αναλύονται τα βασικότερα αποτελέσματα της μελέτης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, αυτή τη φορά συγκριτικά μεταξύ του πλοίου ROPAX και του τροποποιημένου αμιγώς επιβατηγού πλοίου. Ο στόχος είναι να βρεθεί η συσχέτιση του κατακερματισμού του χώρου οχημάτων με την επίδοση της σχεδίασης ως προς την ευστάθεια κατόπιν βλάβης.

Το γενικό πλαίσιο της συγκριτικής αυτής μελέτης είναι ότι με βάση την επίδοση του επιβατηγού/ οχηματοαγωγού πλοίου ως προς την ευστάθεια κατόπιν βλάβης, όπως αυτή εκφράζεται από τον επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης A, να διερευνηθεί αρχικά η επίδραση του κατακερματισμού του χώρου οχημάτων σε μικρότερα τμήματα και στη συνέχεια η αλλαγή των υδροστατικών παραμέτρων και των παραμέτρων ευστάθειας στις αρχικές συνθήκες πλεύσης. Αυτός ήταν ο λόγος για τον οποίο πραγματοποιήθηκε υπολογισμός του A για τη διάταξη του αμιγώς επιβατηγού πλοίου, με τις καταστάσεις φόρτωσης του ROPAX και στη συνέχεια με τις πραγματικές καταστάσεις φόρτωσης.

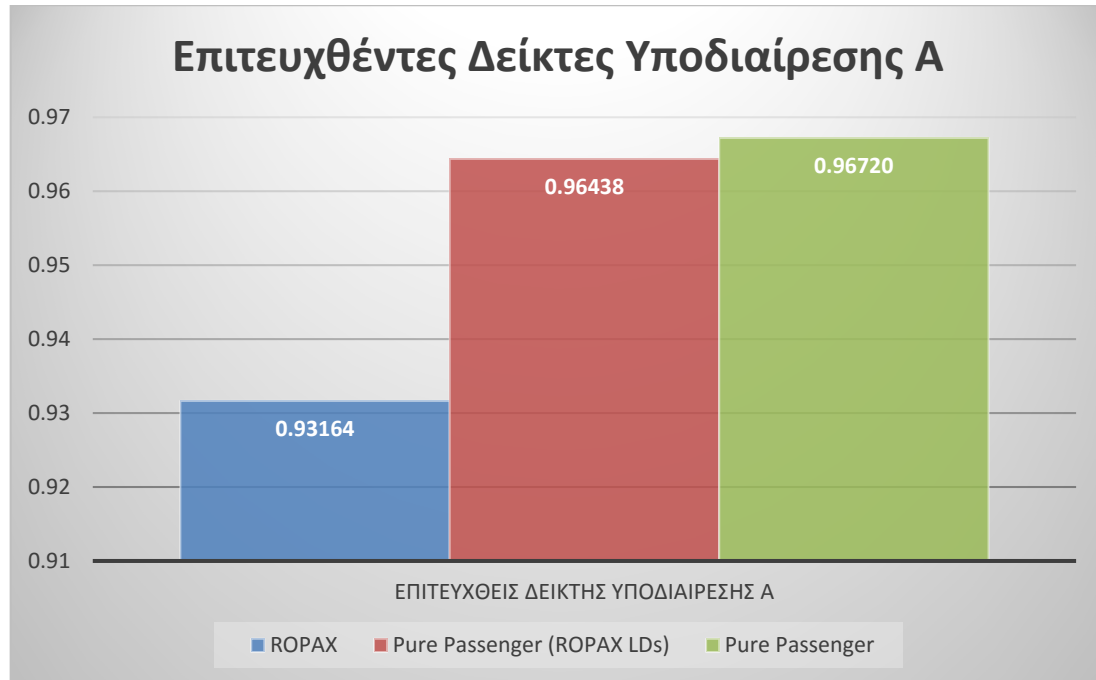
Στον επόμενο πίνακα δίνονται τα βασικά αποτελέσματα σχετικά με τη συμβολή στον επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης, ανά αριθμό εμπλεκόμενων ζωνών, για τα τρία σενάρια υπολογισμών.

Επιτευχθείς Δείκτης Υποδιαίρεσης A ανά Σενάριο και Αριθμό Εμπλεκόμενων Ζωνών					
Βλάβες	ROPAX	Pure Passenger (ROPAX LCs)		Pure Passenger	
	Τιμή	Τιμή	% μεταβολή (βάση ROPAX)	Τιμή	% μεταβολή (βάση ROPAX)
1-ΖΩΝΗΣ ΒΛΑΒΕΣ	0.37912	0.41194	8.657%	0.41194	0.000%
2-ΖΩΝΩΝ ΒΛΑΒΕΣ	0.42959	0.43927	2.253%	0.43927	0.000%
3-ΖΩΝΩΝ ΒΛΑΒΕΣ	0.10698	0.09938	-7.104%	0.10380	4.132%
4-ΖΩΝΩΝ ΒΛΑΒΕΣ	0.01508	0.01297	-13.992%	0.01147	-9.947%
5-ΖΩΝΩΝ ΒΛΑΒΕΣ	0.00087	0.00082	-5.747%	0.00072	-11.494%
ΕΠΙΤΕΥΧΘΕΙΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΠΟΔΙΑΙΡΕΣΗΣ A	0.93164	0.96438	3.514%	0.96720	0.303%

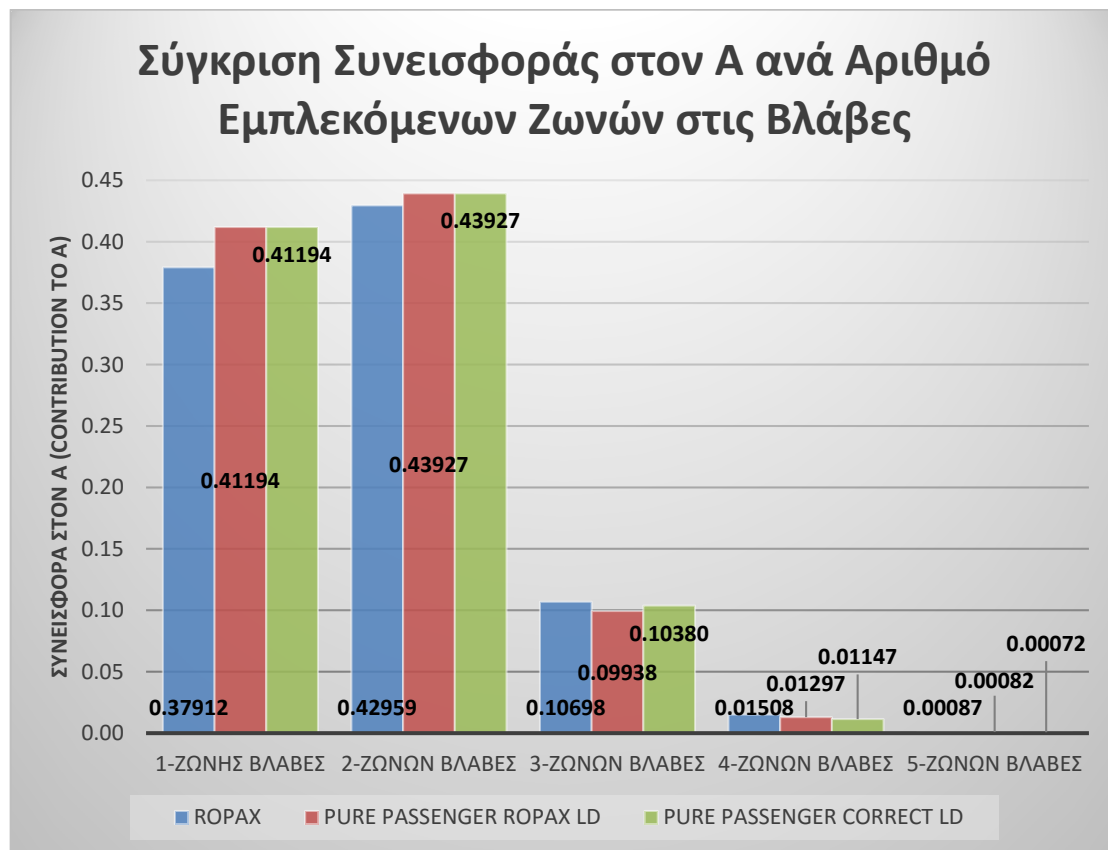
Πίνακας 7.3-1: Συγκριτικός πίνακας τιμών δείκτη υποδιαίρεσης ανά σενάριο και αριθμό εμπλεκόμενων ζωνών

Στην πρώτη στήλη δίνονται οι τιμές της συμβολής στον επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης, ανά αριθμό εμπλεκόμενων ζωνών σε όλα τα βυθίσματα, ενώ η τελευταία τιμή είναι η τιμή του A για το ROPAX. Στη δεύτερη στήλη δίνονται οι αντίστοιχες τιμές για την περίπτωση της διάταξης του αμιγώς επιβατηγού πλοίου, αλλά με τις καταστάσεις φόρτωσης του ROPAX. Στην τρίτη στήλη δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή του A και των επί μέρους συνεισφορών του ως προς την τιμή του ROPAX. Η σχέση υπολογισμού είναι: $(A_{\text{pure pass (ROPAXLC)}} - A_{\text{ROPAX}}) / A_{\text{ROPAX}}$. Στην τέταρτη στήλη δίνονται οι τιμές του A και των συνιστωσών του, για την περίπτωση της διάταξης του αμιγώς Ε/Γ, με τις πραγματικές καταστάσεις φόρτωσης που καταστρώθηκαν για τη μελέτη της ευστάθειας του. Η πέμπτη στήλη είναι οι ποσοστιαία μεταβολή του A από την περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ, με τις καταστάσεις φόρτωσης του ROPAX, προς την περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ με τις σωστές καταστάσεις φόρτωσης, ανηγμένη στις τιμές του A για το ROPAX. Άρα η σχέση υπολογισμού είναι: $(A_{\text{Pure Pass}} - A_{\text{Pure Pass (ROPAXLD)}}) / A_{\text{ROPAX}}$.

Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται και στα επόμενα διαγράμματα, το οποία είναι και σαφέστερα.



Διάγραμμα 7.3-1: Σύγκριση επιτευχθέντων δεικτών υποδιαίρεσης Α ανά σενάριο



Διάγραμμα 7.3-2: Σύγκριση συνεισφοράς στον Α ανά σενάριο και αριθμό εμπλεκόμενων ζωνών στις βλάβες

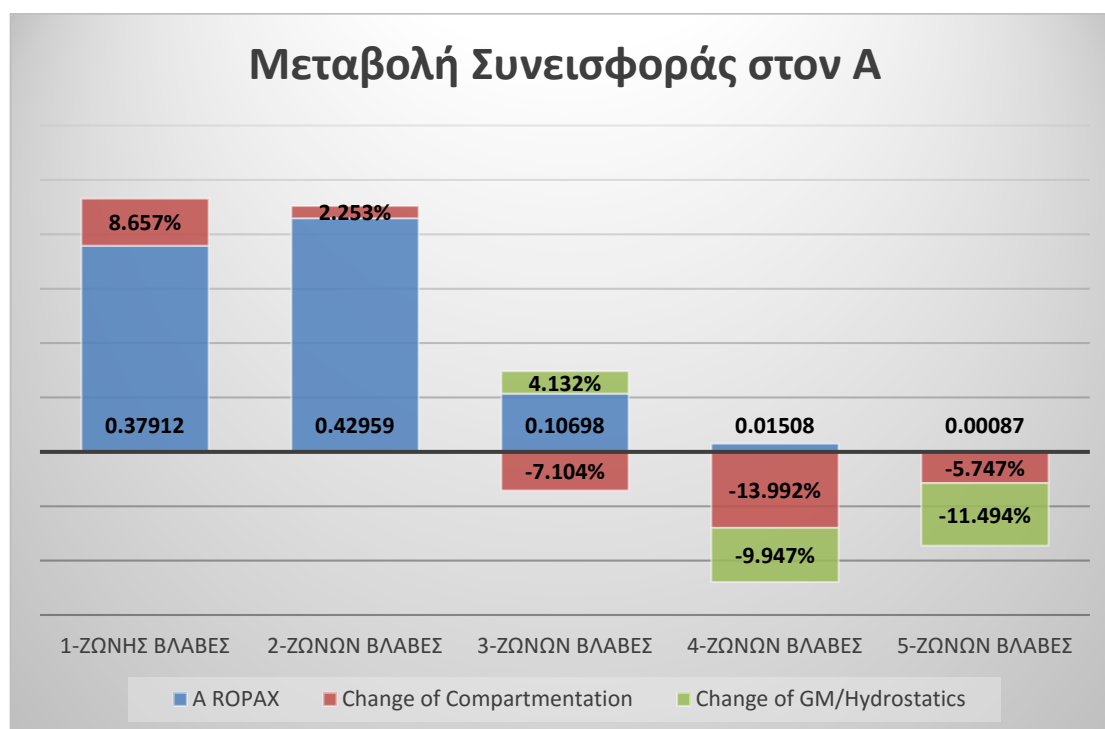
Εξετάζοντας και τον πίνακα και τα διαγράμματα, φαίνεται ότι η ευστάθεια κατόπιν βλάβης για την περίπτωση του αμιγώς επιβατηγού πλοίου είναι ενισχυμένη, κρίνοντας από τον υψηλότερο επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης. Αυτή η βελτίωση μπορεί να αναχθεί σε δύο συνιστώσες. Η πρώτη είναι ο κατακερματισμός του μεγάλης έκτασης χώρου οχημάτων σε μικρότερους χώρους. Με αυτόν τον τρόπο περιορίζεται η επίδραση των ροπών λόγω ελευθέρων επιφανειών, η οποία εξαρτάται από τη γεωμετρία της ισάλου του ρευστού που εγκλωβίζεται μέσα στο χώρο και συγκεκριμένα από τη ροπή αδράνειας της επιφάνειας περί το διαμήκη άξονα της. Συνεπώς αυτός ο παράγων είναι ευνοϊκός για την ευστάθεια. Ο δεύτερος παράγοντας, που όπως φαίνεται, οδηγεί επίσης σε βελτίωση της ευστάθειας είναι η αλλαγή των φορτώσεων, οι οποίες επηρεάζουν το βύθισμα και το μετακεντρικό ύψος.

Με τον τρόπο που κατασκευάστηκαν τα σενάρια, υπήρξε θεωρητικά απόζευξη των δύο συνιστωσών ευστάθειας. Οπότε, από τη βελτίωση που προκύπτει όταν αλλάζει μόνο η διάταξη του ROPAX, αλλά παραμένουν ίδιες οι παράμετροι των καταστάσεων φόρτωσης, μπορεί να φανεί η ενίσχυση της ευστάθειας μόνο από την πυκνότερη διαμέριση του χώρου οχημάτων. Στη συνέχεια, η βελτίωση λόγω της αλλαγής των παραμέτρων των καταστάσεων φόρτωσης, απομονώνεται καθώς η βελτίωση της ευστάθειας, στο σενάριο του αμιγώς Ε/Γ με τις πραγματικές καταστάσεις φόρτωσης, από το σενάριο της διάταξης του αμιγώς Ε/Γ με τις καταστάσεις φόρτωσης του ROPAX, οφείλεται μόνο στην αλλαγή των υδροστατικών παραμέτρων του πλοίου.

Όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 7.3-1, η βελτίωση της ευστάθειας από την περίπτωση του ROPAX στην περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ, υπό τις ίδιες καταστάσεις φόρτωσης είναι μεγαλύτερη της αντίστοιχης αύξησης του A , που προέρχεται από την αλλαγή των καταστάσεων φόρτωσης για το αμιγώς Ε/Γ. Έτσι, φαίνεται ότι ο κατακερματισμός του χώρου οχημάτων, είναι η ουσιαστικότερη παράμετρος βελτίωσης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης. Η αλλαγή στις καταστάσεις φόρτωσης, οδήγησε γενικά σε υψηλότερα GM και βυθίσματα για την περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ, συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές για το ROPAX. Η βελτίωση του GM είναι θετική παράμετρος ως προς την ευστάθεια, ενώ το αυξημένο βύθισμα οδηγεί σε μεγαλύτερες ποσότητες νερού κατάκλυσης, επιδρώντας αρνητικά για την ευστάθεια. Συνολικά, όμως, φαίνεται να υπερισχύει η θετική επίδραση των αυξημένων GM.

Το αποτέλεσμα της ενίσχυσης της επιβιωσιμότητας του πλοίου, λόγω του κατακερματισμού του χώρου των οχημάτων ήταν αναμενόμενη, ενώ η επίδραση της αλλαγής των υδροστατικών χαρακτηριστικών των καταστάσεων φόρτωσης δεν ήταν ξεκάθαρη. Η παραπάνω διαπίστωση επιβεβαιώθηκε συνολικά, όμως δεν επιβεβαιώνεται αν εξεταστεί ως προς την ανά αριθμό εμπλεκόμενων ζωνών συμβολή στον δείκτη A . Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 7.3-2, υπάρχει δραστική αύξηση της συμβολής στον A δείκτη από τις βλάβες μίας και δύο ζωνών, ενώ για βλάβες που θίγουν παραπάνω ζώνες η συμβολή μειώνεται. Επιπρόσθετα, η αλλαγή των υδροστατικών χαρακτηριστικών των φορτώσεων για το αμιγώς Ε/Γ, δεν επηρεάζει τη συνεισφορά των βλαβών μίας και δύο ζωνών, στις βλάβες τριών ζωνών υπάρχει μια βελτίωση φτάνοντας περίπου τα αντίστοιχα επίπεδα του ROPAX, ενώ για βλάβες τεσσάρων και πέντε ζωνών, υπάρχει περεταίρω υποβάθμιση της συνεισφοράς στο δείκτη A .

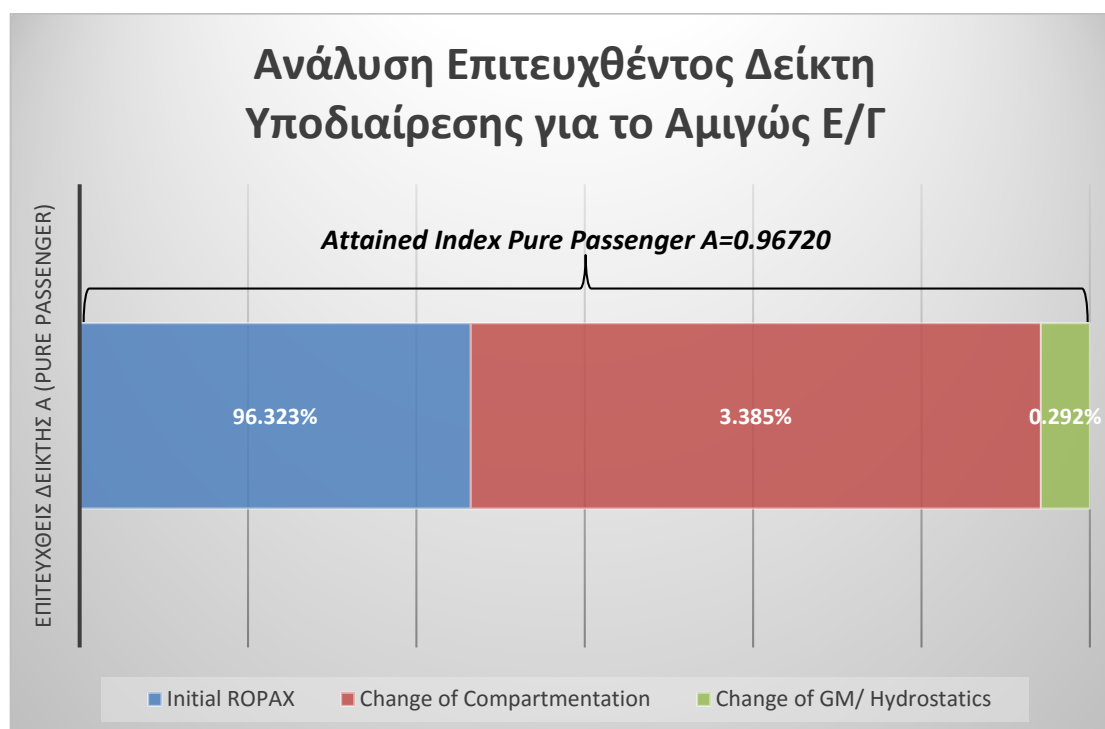
Τα αποτελέσματα φαίνονται και στο επόμενο διάγραμμα υπό τη μορφή ποσοστιαίας μεταβολής λόγω αλλαγών στη διαμερισματοποίηση και αλλαγών στα υδροστατικά χαρακτηριστικά, με βάση τις τιμές για την περίπτωση του ROPAX.



Διάγραμμα 7.3-3: Μεταβολή συνεισφοράς στον A ανά σενάριο και αριθμό εμπλεκόμενων ζωνών

Συνεπώς, η υποδιαίρεση του χώρου των οχημάτων οδηγεί σε βελτίωση της ευστάθειας όσον αφορά βλάβες μικρότερων συγκριτικά διαστάσεων και μάλιστα για τις μικρές μεταβολές στα υδροστατικά μεγέθη, ο κατακερματισμός ευθύνεται αποκλειστικά για το σύνολο της μεταβολής της συνεισφοράς στον δείκτη A, για βλάβες μίας και δύο ζωνών. Συνεπώς, η διαίρεση του χώρου οχημάτων επιδρά θετικά στις βλάβες μικρότερων διαστάσεων, ενώ στις βλάβες μεγαλύτερων διαστάσεων δε βοηθάει και μάλιστα αποδυναμώνει τη σχεδίαση. Συνεπώς, αν και συνολικά η εικόνα δείχνει καλύτερη συμπεριφορά, αφού επιτυγχάνεται υψηλότερος δείκτης A, για το αμιγώς επιβατηγό πλοίο, στην πραγματικότητα η βελτίωση προέρχεται από μικρότερων, συγκριτικά, διαστάσεων βλάβες, ενώ σε μεγαλύτερης έκτασης βλάβες η σχεδίαση αποδίδει χειρότερα από την περίπτωση του ROPAX. Οι αλλαγές των υδροστατικών χαρακτηριστικών και των παραμέτρων ευστάθειας στις φορτώσεις, επειδή είναι σχετικά μικρές, φαίνεται να αναστέλλουν την κακή επίδοση για βλάβες τριών ζωνών, ενώ έχουν αρνητική επίδραση σε μεγαλύτερης έκτασης βλάβες, αποδυναμώνοντας περαιτέρω τη σχεδίαση.

Στο επόμενο διάγραμμα δίνεται η ανάλυση του τελικώς επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης για το αμιγώς Ε/Γ.



Διάγραμμα 7.3-4: Ανάλυση επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης για την περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ

Όπως δείχνει το Διάγραμμα 7.3-4, ο λόγος της $A_{ROPAX}/A_{PURE\ PASSENGER}$ είναι 96.323%. Αυτό σημαίνει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του επιτευχθέντος δείκτη «προέρχεται» από το ROPAX, υπό την έννοια ότι πέραν της αλλαγής της διαμερισματοποίησης στο χώρο οχημάτων, δεν αλλάζει κάτι άλλο. Συνεπώς, η μεγάλη αυτή συμβολή στον A προέρχεται από τις κύριες διαστάσεις του πλοίου, πρώτιστα και δευτερευόντως από την υποδιαίρεση του πλοίου κάτω από το κατάστρωμα οχημάτων. Στη συνέχεια, το 3.385% προέρχεται από τον κατακερματισμό του χώρου οχημάτων, ενώ μόλις το 0.292% οφείλεται στην αλλαγή των υδροστατικών μεγεθών και των παραμέτρων ευστάθειας στις καταστάσεις φόρτωσης.

Συμπερασματικά, η βελτίωση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης στο αμιγώς επιβατηγό πλοίο, όπως εκφράζεται μέσω του επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης A, προέρχεται κατά κύριο λόγο, από τον κατακερματισμό του χώρου οχημάτων σε μικρότερους χώρους και δευτερευόντως λόγω της αλλαγής των υδροστατικών χαρακτηριστικών και των παραμέτρων ευστάθειας που λαμβάνονται υπόψη στους κανονισμούς. Ωστόσο, σημειώνεται ότι η συνολική ενίσχυση της ευστάθειας, προέρχεται από την αυξημένη συνεισφορά των βλαβών μίας και δύο ζωνών. Σε βλάβες με περισσότερες εμπλεκόμενες ζώνες, η επίδοση της σχεδίασης, σε όρους συνεισφοράς στο δείκτη A, είναι συγκριτικά χειρότερη από το ROPAX. Πάντως, σε κάθε περίπτωση, η σχεδίαση του ROPAX και η τροποποιημένη διάταξη του αμιγώς Ε/Γ, είναι συμμορφωμένες προς τους ισχύοντες κανονισμούς ασφαλείας, κυρίως λόγω των αρχικών κύριων διαστάσεων του πλοίου και συγκεκριμένα το μικρό λόγο L/B.



8 ΜΕΛΕΤΗ ΕΥΠΑΘΕΙΑΣ (VULNERABILITY) ΛΟΓΩ ΑΝΟΙΧΤΩΝ ΥΔΑΤΟΣΤΕΓΩΝ ΘΥΡΩΝ

8.1 Περιγραφή

Η χρήση των υδατοστεγών θυρών κάτω από το κατάστρωμα οχημάτων, κατά τη λειτουργία των πλοίων αποτελούσε και αποτελεί κίνδυνο για το πλοίο, καθώς ιστορικά έχει οδηγήσει σε τραγικά ναυτικά ατυχήματα με χαρακτηριστικότερη περίπτωση την ανατροπή του πλοίου *Express Samina*, το 2000, ύστερα από βλάβη στο μηχανοστάσιο και στο χώρο των οχημάτων. Μετά το 1982 και το ατύχημα του πλοίου *European Gateway*, έγιναν μεταβολές στους κανονισμούς της *SOLAS 74*, απαιτώντας οι υδατοστεγείς θύρες να παραμένουν κλειστές κατά την προσέγγιση ή την απομάκρυνση από τους λιμένες άφιξης και αναχώρησης, αντίστοιχα.

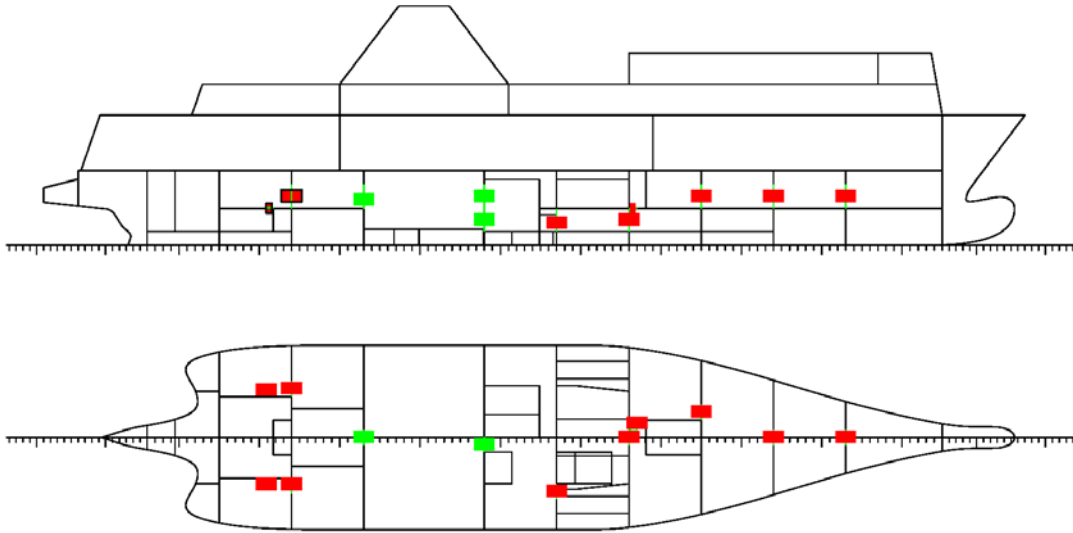
Το επίπεδο ασφαλείας κατά τη λειτουργία ενός πλοίου, αποτελεί και σήμερα πεδίο συζήτησης για τους ναυπηγούς μελετητές. Συγκεκριμένα, υπάρχει η ανησυχία ότι όταν ένα πλοίο σχεδιάζεται, έτσι ώστε να ικανοποιεί έστω και οριακά τους κανονισμούς, δηλαδή ουσιαστικά ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης A να είναι ίσος ή ελαφρώς υψηλότερος του απαιτούμενου R , τότε κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, όταν ανοίγουν οι υδατοστεγείς θύρες, ο πραγματικός δείκτης υποδιαίρεσης μπορεί να μειωθεί και χαμηλότερα από τον απαιτούμενο δείκτη. Αφού, λοιπόν, ο δείκτης υποδιαίρεσης είναι η πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου και οι κανονισμοί απαιτούν ουσιαστικά μια ελάχιστη πιθανότητα επιβίωσης, που εκφράζεται μέσω του απαιτούμενου συντελεστή υποδιαίρεσης R , τότε όσο το πλοίο βρίσκεται εν πλω και κάποιες θύρες είναι ανοιχτές, η πιθανότητα επιβίωσης είναι χαμηλότερη της αρχικά υπολογιζόμενης και πιθανώς χαμηλότερη και της ελάχιστης απαιτούμενης.

Σε αυτό το κεφάλαιο μελετάται η επίδραση των ανοιχτών υδατοστεγών θυρών, στην αποτίμηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης για την περίπτωση του επιβατηγού-οχηματαγωγού πλοίου *Halkyon 90*.

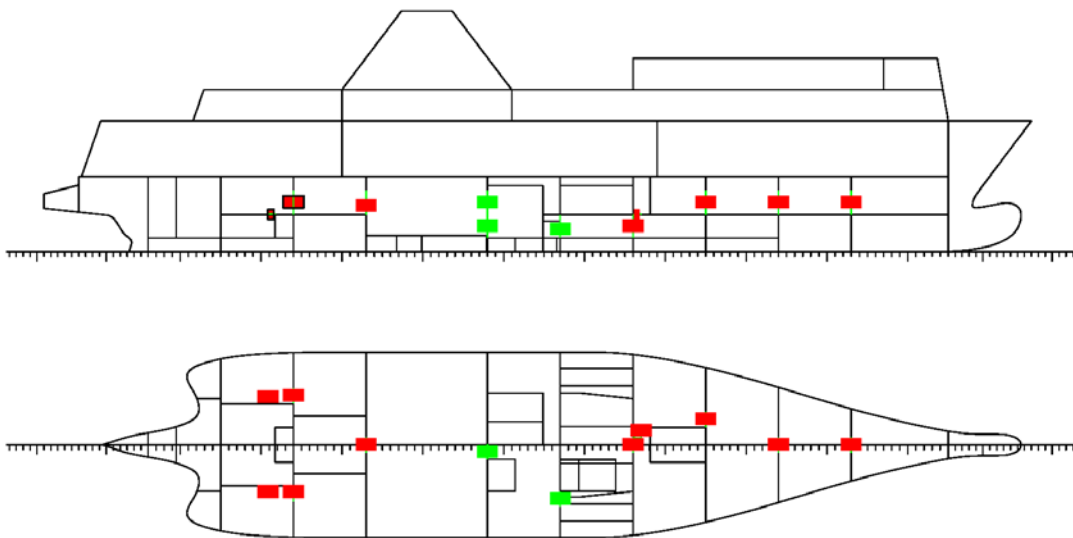
Η βασική ιδέα είναι να υπολογιστεί ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης για διάφορα σενάρια, με ανοιχτές κάποιες υδατοστεγείς θύρες. Οι δείκτες που υπολογίζονται στη συνέχεια ελέγχονται και συγκρίνονται με τον αρχικό επιτευχθέντα δείκτη, ο οποίος υπολογίστηκε με κλειστές τις υδατοστεγείς θύρες. Στη συνέχεια καταστρώθηκε ένα θεωρητικό σενάριο λειτουργίας των θυρών, κατά τη διάρκεια ενός δρομολογίου, προκειμένου να παρουσιαστεί η μεταβολή του A , κατά τη διάρκεια του ταξιδιού.

Προκειμένου να εκπονηθεί η μελέτη, οι υδατοστεγείς θύρες συνδυάστηκαν σε τρεις ομάδες. Η πρώτη ομάδα αποτελείται από τις θύρες στο πρυμναίο και στο πρωραίο άκρο του μηχανοστασίου. Η δεύτερη ομάδα, αποτελείται από τις πρωραίες θύρες του μηχανοστασίου και τη θύρα που ενώνει τα δύο διαμερίσματα πρώραθεν του μηχανοστασίου. Η τρίτη ομάδα, αποτελείται από την πρωραία θύρα του μηχανοστασίου και όλες τις θύρες πρύμνηθεν του μηχανοστασίου.

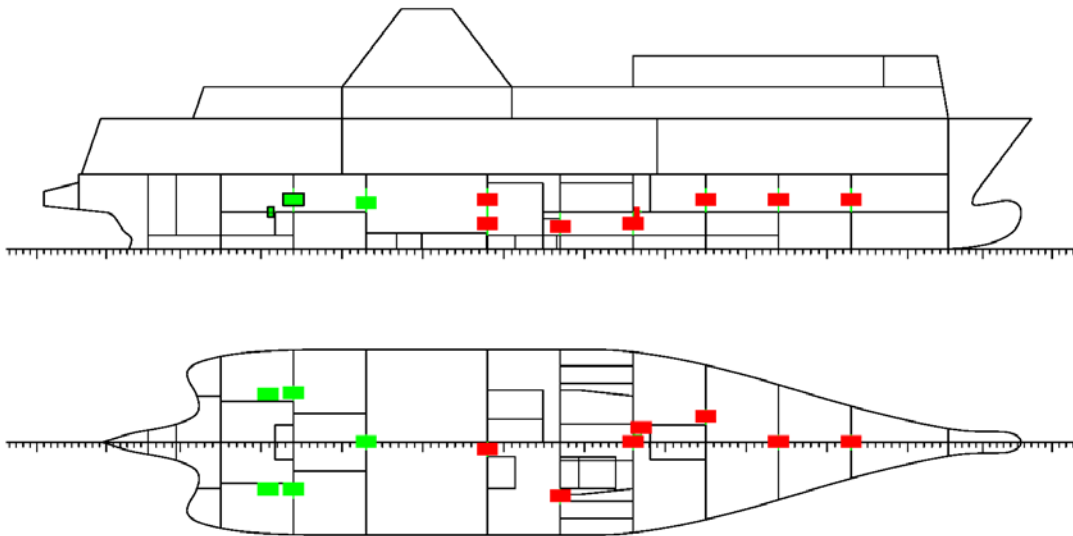
Στα επόμενα σχήματα φαίνονται οι τρεις ομάδες των θυρών, όπου με κόκκινο χρώμα φαίνονται οι κλειστές θύρες, ενώ με πράσινο οι ανοιχτές.



Σχέδιο 8.1-1: Σενάριο 1: Υδατοστεγείς θύρες (ανοιχτές/ κλειστές)



Σχέδιο 8.1-2: Σενάριο 2: Υδατοστεγείς θύρες (ανοιχτές/ κλειστές)



Σχέδιο 8.1-3: Σενάριο 3: Υδατοστεγείς θύρες (ανοιχτές/ κλειστές)

8.2 Αποτελέσματα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά αποτελέσματα που λήφθηκαν από τη μελέτη. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνεται η ανάλυση του δείκτη υποδιαίρεσης, σε συνεισφορά στον A ανά αριθμό εμπλεκόμενων ζωνών στις βλάβες.

Βλάβες	Κλειστές Θύρες	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 1+2	Σενάριο 1+2+3	Σενάριο "SAMINA"
1-Ζώνης Βλάβες	0.37912	0.37844	0.37912	0.37703	0.37242	0.31579	0.20370
2-Ζωνών Βλάβες	0.42959	0.39169	0.42007	0.38119	0.37346	0.31268	0.16075
3-Ζωνών Βλάβες	0.10698	0.07965	0.09337	0.08262	0.07815	0.06424	0.03097
4-Ζωνών Βλάβες	0.01508	0.01191	0.01483	0.01162	0.01327	0.01066	0.00488
5-Ζωνών Βλάβες	0.00087	0.00065	0.00091	0.00077	0.00080	0.00069	0.00054
Επιτευχθείς Δείκτης Υποδιαίρεσης A	0.93164	0.86234	0.90830	0.85327	0.84210	0.70407	0.40714

Πίνακας 8.2-1: Συντελεστής υποδιαίρεσης A ανά σενάριο

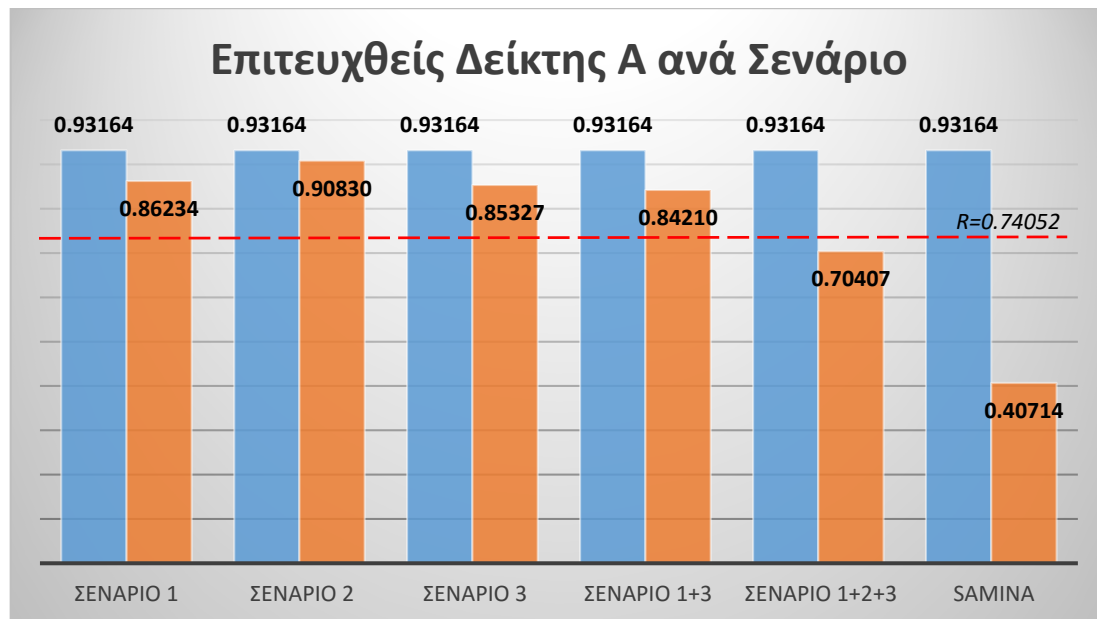
Ο απαιτούμενος δείκτης υποδιαίρεσης είναι $R=0.74052$. Όταν οι θύρες είναι κλειστές ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης είναι $A=0.93164$, αρκετά υψηλότερος από τον απαιτούμενο δείκτη και συνεπώς το πλοίο συμμορφώνεται προς τους κανονισμούς της SOLAS 2009. Όταν οι θύρες ανοίγουν, ο επιτευχθείς δείκτης είναι και πάλι πάνω από τον απαιτούμενο, ωστόσο είναι σημαντικά μειωμένος σε κάποια πιθανά σενάρια λειτουργίας.

Ακόμη κι αν ο επιτευχθείς δείκτης πληροί τις απαιτήσεις των κανονισμών ευστάθειας μετά από βλάβη, τα αποτελέσματα δείχνουν πολύ μεγάλη αρνητική επίδραση των ανοιχτών

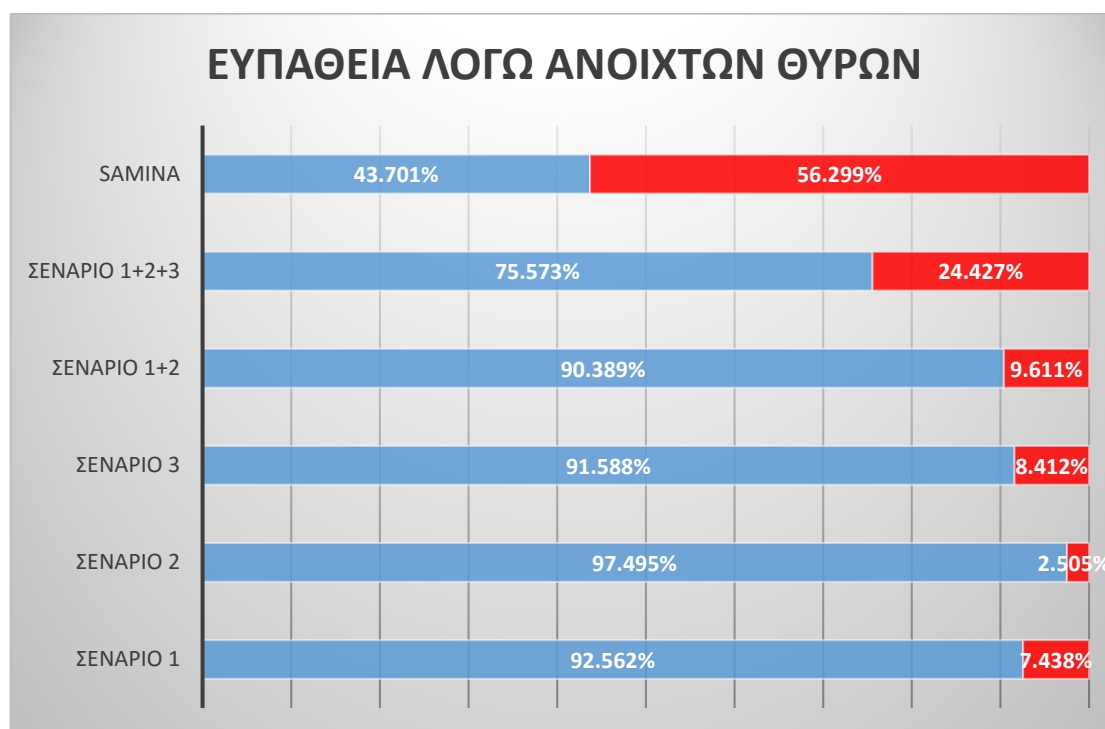
θυρών στον επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης. Κατά συνέπεια, η μείωση της τιμής ενός επιτευχθέντος δείκτη, που οριακά είναι υψηλότερος του απαιτούμενου, θα μπορούσε να οδηγήσει σε ένα νέο επιτευχθέντα δείκτη, χαμηλότερο ακόμη κι από τον απαιτούμενο. Ακόμη όμως κι αυτή να ήταν η κατάσταση, το πλοίο και πάλι θα πληρούσε τα κριτήρια ευστάθειας, καθώς η συμμόρφωση προς τους κανονισμούς εξετάζεται για τον αρχικό δείκτη A, τον επιτευχθέντα δείκτη σχεδίασης (*Design Attained Subdivision Index*), ο οποίος υπολογίζεται για κλειστές τις στεγανές θύρες.

Η χρήση πολλαπλών σεναρίων ανοιχτών θυρών έγινε περισσότερο για να δείξει τη γενική τάση της ευπάθειας (*vulnerability*), όταν παραπάνω θύρες είναι ανοιχτές. Το σενάριο *SAMINA*, αντιστοιχεί στην περίπτωση ανοιχτών όλων των υδατοστεγών θυρών, εκτός της πιο πρωραίας. Αυτή ήταν η κατάσταση του *ROPAX Express Samina*, το οποίο βυθίστηκε μετά από ρήγμα στο μηχανοστάσιο και στο χώρο των οχημάτων, το 2000. Όπως δείχνουν τα αποτελέσματα τόσο στον επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης όσο και στην ευπάθεια, το επίπεδο ασφάλειας ήταν πολύ χαμηλό και δυστυχώς επιβεβαιώθηκε από την ναυτική τραγωδία. Με αυτό το σενάριο φαίνεται πόσο πολύ επηρεάζεται το επίπεδο ασφάλειας από τα ανοιχτά υδατοστεγή ανοίγματα.

Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί ότι μια κατάσταση λειτουργίας όπου σχεδόν όλα τα ανοίγματα παραμένουν ανοιχτά ταυτόχρονα είναι εξαιρετικά σπάνια περίπτωση και για το λόγο αυτό τα ακραία σενάρια δεν αποτελούν μέρος της μελέτης.



Διάγραμμα 8.2-1: Δείκτης A ανά σενάριο σε σύγκριση με τον επιτευχθεί δείκτη για κλειστές θύρες



Διάγραμμα 8.2-2: Ευπάθεια επιτευχθέντος δείκτη λόγω ανοιχτών θυρών

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει την ευπάθεια του επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης, όταν οι υδατοστεγείς θύρες είναι ανοιχτές. Σε αυτή τη μελέτη, ο όρος *ευπάθεια δείκτη (index vulnerability)* εκφράζεται μαθηματικά με την παρακάτω έκφραση:

$$Vulnerability = \frac{A_{closed} - A}{A_{closed}}$$

Η ευπάθεια εκφράζει τη μείωση του επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης, λόγω του ανοίγματος των θυρών, ως ποσοστό του αρχικού δείκτη A_{closed} . Όπως είναι εμφανές η ευπάθεια του δείκτη είναι σημαντική, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε 8.5% μείωση του επιτευχθέντος δείκτη, στο σενάριο 3. Φαίνεται επίσης, ότι ο δείκτης επηρεάζεται κατά πολύ τόσο από το πλήθος όσο και από τη θέση των ανοιχτών ανοιγμάτων, γεγονός που αποτυπώνεται στο ότι και το σενάριο 1 και το σενάριο 2 έχουν τρεις θύρες ανοιχτές, όμως η πτώση του A είναι τριπλάσια στην περίπτωση του σεναρίου 1. Σε κάθε περίπτωση πάντως, το ποσοστό του αρχικού δείκτη A_{closed} που διατηρείται, ακόμη κι αν οι θύρες είναι ανοιχτές, είναι άνω του 90% για τα τρία πρώτα σενάρια. Η ευπάθεια που αντιστοιχεί σε A ίσο με τον απαιτούμενο δείκτη υποδιαίρεσης R είναι 20.51% και το αντίστοιχο ποσοστό του δείκτη, για κλειστές θύρες, που διατηρείται είναι 79.49%. Οι δύο τελευταίες παρατηρήσεις θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, προκειμένου να τεθεί ένα ελάχιστο όριο στον δείκτη υποδιαίρεσης με ανοιχτές θύρες. Το πλοίο δηλαδή, θα πρέπει να επιτυγχάνει δείκτη υποδιαίρεσης μεγαλύτερο αυτού του ελάχιστου ορίου ακόμη και κατά τη λειτουργία του, όταν κάποιες πόρτες ανοίγουν.

Αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι η ελάχιστη ευπάθεια αντιστοιχεί στο σενάριο 2, όταν και πάλι ο επιτευχθείς δείκτης είναι ανώτερος του απαιτούμενου. Αυτό σημαίνει, ότι ακόμη κι αν οι θύρες παρέμεναν ανοιχτές ή αν οι φρακτές που διαχωρίζουν τα διαμερίσματα

έλειπαν, το πλοίο θα συμμορφωνόταν προς τους κανονισμούς. Είναι ωστόσο προφανές, ότι στην τελευταία περίπτωση, η μικρή μείωση του δείκτη υποδιαίρεσης δεν αντικατοπτρίζει την ευπάθεια του πλοίου, αν κι άλλες θύρες ήταν ανοιχτές, κατά τη λειτουργία του πλοίου.

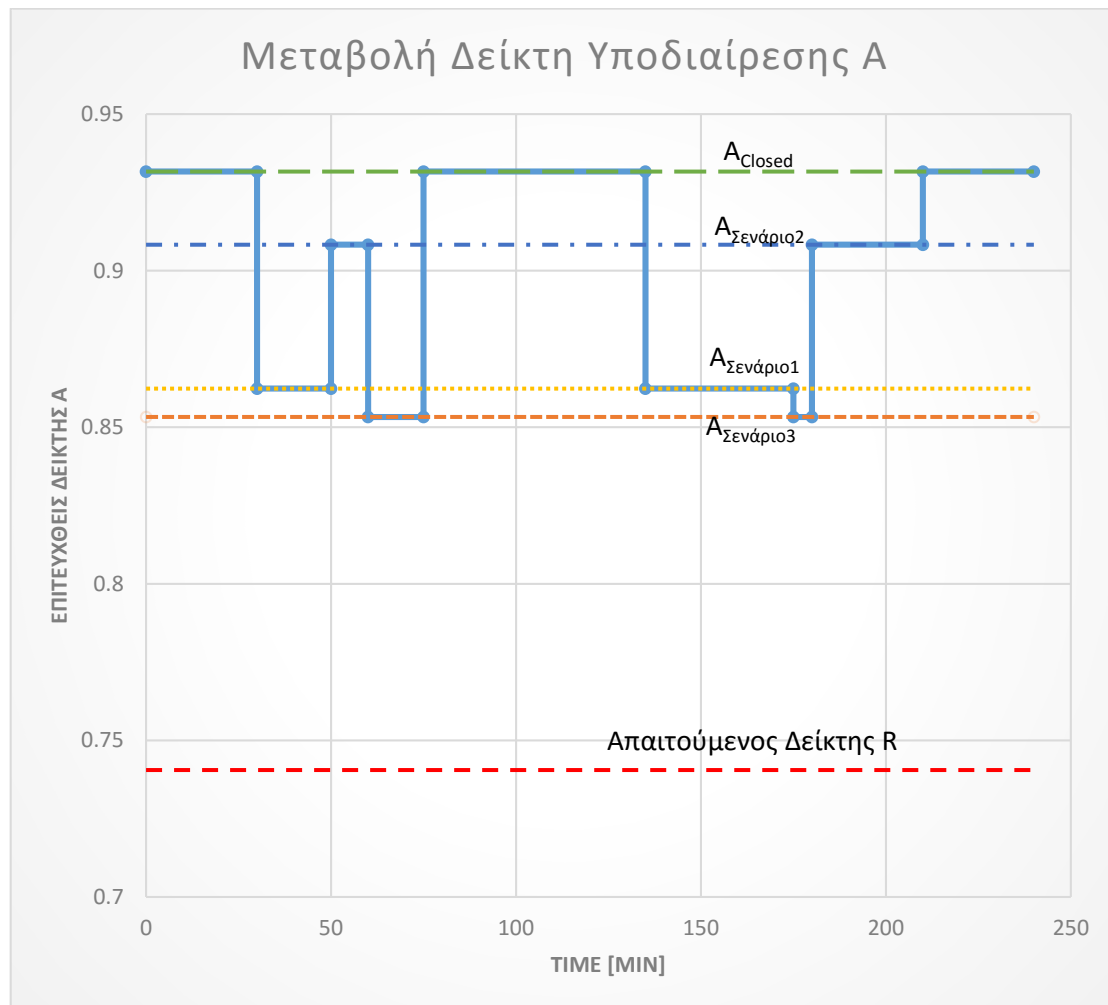
Τα παραπάνω αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι το επίπεδο ασφάλειας, εκφραζόμενο απλά ως μια απαίτηση ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης να είναι μεγαλύτερος του απαιτούμενου, δε λαμβάνει υπόψη ότι κατά τη διάρκεια του ταξιδιού και της λειτουργίας του πλοίου οι υδατοστεγείς θύρες μπορεί να μείνουν ανοιχτές είτε λόγω αστοχίας είτε λόγω ανάρμοστης και λανθασμένης χρήσης από το πλήρωμα.

Στη συνέχεια καταστρώνεται ένα υποθετικό σενάριο λειτουργίας, προκειμένου να παρουσιαστεί η μεταβολή του επιτευχθέντος δείκτη A , κατά τη διάρκεια ενός σύντομου ταξιδιού. Το πλοίο θεωρείται ότι εξυπηρετεί ένα δρομολόγιο από το λιμάνι A στο λιμάνι B . Ο συνολικός χρόνος ταξιδιού είναι 4 ώρες.

Το ταξίδι ξεκινάει από το λιμάνι A . Το πλοίο θεωρείται ότι χρειάζεται μισή ώρα για να αποχωρήσει από το λιμάνι και την ευρύτερη ζώνη γύρω του, όπου υπάρχει μεγαλύτερη κινητικότητα. Κατά τη διάρκεια του χρόνου αυτού, οι θύρες παραμένουν κλειστές, όπως προβλέπεται από το κανονιστικό πλαίσιο της *SOLAS*, σύμφωνα με το οποίο απαγορεύεται να ανοίγουν οι θύρες κατά τη διάρκεια αναχώρησης ή προσέγγισης σε λιμένα. Συνεπώς στην αρχική αυτή περίοδο το πλοίο επιτυγχάνει τον αρχικό δείκτη υποδιαίρεσης, για τις κλειστές θύρες. Στη συνέχεια, το πλήρωμα υποτίθεται ότι διατηρεί τις πόρτες του μηχανοστασίου ανοιχτές, προκειμένου να διευκολύνεται η πρόσβαση τους στα παράπλευρα διαμερίσματα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της μηχανής. Οι διαδικασίες αυτές θεωρείται ότι διαρκούν 20 λεπτά. Εν συνεχεία, παραμένουν οι πρωραίες θύρες του μηχανοστασίου ανοιχτές, αλλά και η πιο πρωραία, προκειμένου να υπάρχει πρόσβαση μέχρι τις δεξαμενές καυσίμου. Αυτή η κατάσταση θα μπορούσε να αντιστοιχεί σε κατάσταση εναλλαγής καυσίμου ή όταν απαιτείται ανταλλαγή καυσίμου από μια δεξαμενή σε κάποια άλλη, αν αυτό πρέπει να γίνει τοπικά και όχι από μακριά λόγω κάποιας δυσλειτουργίας. Η διαδικασία θεωρείται ότι διαρκεί 10 λεπτά. Το τρίτο σενάριο με τις ανοιχτές θύρες θεωρείται ότι μπορεί να υπάρξει κατά την επιθεώρηση των πρυμναίων χώρων ή του εξοπλισμού όπως αξόνων και ενδεχομένως μηχανισμού πηδαλίου. Κάτι τέτοιο βέβαια συμβαίνει όσο το πλοίο είναι σε λιμάνι, όμως εδώ υποθέτουμε ότι μπορεί να γίνει μια σύντομη επιθεώρηση διάρκειας 15 λεπτών. Κατόπιν, οι θύρες παραμένουν κλειστές για την επόμενη μία ώρα. Μετέπειτα ξαναανοίγουν οι θύρες του μηχανοστασίου για να προετοιμάσει το πλήρωμα την άφιξη στο λιμάνι. Και πάλι ακολουθεί μια σύντομη επιθεώρηση των πρυμναίων χώρων. Πριν το πλοίο φτάσει στο λιμάνι, το πλήρωμα ξεκινά διαδικασίες για την μεταφορά όλου του καυσίμου στη δεξαμενή *service* και προετοιμάζεται για την αλλαγή σε καύσιμο μικρής περιεκτικότητας σε θείο, καθώς το πλοίο προσεγγίζει παράκτιες περιοχές. Για τα τελευταία 30 λεπτά, το πλοίο βρίσκεται εντός της ζώνης επικινδυνότητας του λιμένα άφιξης, οπότε οι θύρες μένουν κλειστές.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι το ταυτόχρονο άνοιγμα θυρών κατά ομάδες είναι πολύ απόμακρο σενάριο, καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις οι πόρτες ανοίγουν και κλείνουν διαδοχικά, μέχρι την τελική θέση που θέλει να φτάσει το μέλος πληρώματος. Ωστόσο, σε αυτή τη μελέτη η συγκεκριμένη ιδέα υλοποιήθηκε ως μια πολύ δυσμενής κατάσταση.

Στο επόμενο διάγραμμα, φαίνεται η μεταβολή του επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης, A , ως προς το χρόνο.



Διάγραμμα 8.2-3: Μεταβολή επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης ως προς το χρόνο ταξιδιού

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει ξεκάθαρα ότι το πλοίο για ένα σημαντικό χρονικό διάστημα λειτουργεί σε ένα επίπεδο ασφάλειας κάτω από το αρχικά υπολογιζόμενο, με τις κλειστές θύρες. Ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης είναι περίπου 10% κάτω από τον αρχικά υπολογιζόμενο, γεγονός που αποδεικνύει ότι πρέπει να υπάρχει ένα σημαντικό περιθώριο πάνω από τον απαιτούμενο δείκτη, προκειμένου να διατηρείται το απαιτούμενο επίπεδο ασφάλειας, όπως αυτό εκφράζεται μέσω του απαιτούμενου δείκτη R, ακόμη και κατά τη λειτουργία του πλοίου.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα της παραπάνω έρευνας δείχνουν ότι ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης μπορεί να μειωθεί δραματικά κατά τη λειτουργία του πλοίου, λόγω του ανοίγματος των υδατοστεγών θυρών, εν πλω. Η *ευπάθεια* του επιτευχθέντος δείκτη, εκφραζόμενη ως το ποσοστό του αρχικού δείκτη, με κλειστές πόρτες, που «χάνεται» όταν ανοίγουν οι θύρες, μπορεί να είναι σημαντικά υψηλό, φτάνοντας μέχρι και το 10%. Έτσι, αν και ο απαιτούμενος δείκτης εκφράζει το απαιτούμενο επίπεδο ασφάλειας που πρέπει να έχει το πλοίο, αν ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης είναι οριακά υψηλότερος του απαιτούμενου τότε το πλοίο μπορεί να βρίσκεται χαμηλότερα από το απαιτούμενο επίπεδο ασφάλειας και μάλιστα για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Με βάση τα παραπάνω, κάποιες σκέψεις οι οποίες θα μπορούσαν να συζητηθούν είναι ότι αφού ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης επηρεάζεται σημαντικά από το άνοιγμα των θυρών, τότε μπορεί να θεωρηθεί ο *σχεδιαστικός επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης (design attained subdivision index)*, που υπολογίζεται για κλειστές τις θύρες και στη συνέχεια να υπολογίζονται δείκτες υποδιαίρεσης με ανοιχτές θύρες, οι οποίοι θα είναι οι *λειτουργικοί επιτευχθέντες δείκτες υποδιαίρεσης (operational attained subdivision indices)* και θα συγκρίνονται με ελάχιστους απαιτούμενους δείκτες. Επίσης, αφού ο απαιτούμενος δείκτης δεν μπορεί να λάβει υπόψη την πτώση του δείκτη υποδιαίρεσης λόγω ανοίγματος των θυρών, ίσως θα μπορούσαν να τεθούν πρόσθετα όρια τα οποία να διασφαλίζουν ότι το πλοίο δε θα λειτουργεί κάτω από το απαιτούμενο επίπεδο ασφάλειας ακόμη κι όταν οι θύρες θα είναι ανοιχτές. Τα πιθανά όρια θα μπορούσαν να τεθούν ως ποσοστό του επιτευχθέντος δείκτη ή και του απαιτούμενου. Σε κάθε περίπτωση πάντως, ακόμη και χωρίς αλλαγή νομοθεσίας, κατά τη φάση της σχεδίασης θα πρέπει να διατηρείται ένα περιθώριο ασφαλείας πάνω από τον απαιτούμενο δείκτη υποδιαίρεσης, έτσι ώστε το πλοίο να μην έχει πιθανότητα επιβίωσης κάτω από την απαιτούμενη, όπως εκφράζεται μέσω του R.

9 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ

Οι υπολογισμοί της ευστάθειας κατόπιν βλάβης στα πρώιμα στάδια της σχεδίασης είναι ένας βασικός δείκτης της ασφάλειας του πλοίου, δηλαδή της ικανότητας του να διατηρήσει την ευστάθεια του μετά από εισροή ύδατος. Κάποια ατυχήματα στο παρελθόν έχουν δείξει ότι είναι πολύ σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη τα κρίσιμα ενδιάμεσα στάδια κατάκλυσης, αντί να εξετάζεται το τελικό στάδιο κατάκλυσης στη βεβλαμμένη κατάσταση.

Οι αβεβαιότητες στον καθορισμό των κρίσιμων μορφών αστοχίας σε περίπτωση βλάβης, λαμβάνονται υπόψη μέσω ενός περιθωρίου ασφάλειας εντός των κανονισμών. Η μετάβαση από τις προσδιοριστικές στις πιθανοθεωρητικές μεθόδους στους ισχύοντες κανονισμούς παρέχει μια πιο εξεζητημένη και ορθολογική προσέγγιση στην αξιολόγηση των σχετικών σεναρίων βλάβης. Μέθοδοι βασιζόμενες στη διακινδύνευση χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του περιθωρίου ασφάλειας σε περίπτωση διάτρησης της υδατοστεγούς ακεραιότητας του πλοίου. Η αξιολόγηση κρίσιμων ενδιάμεσων σταδίων κατάκλυσης περιγράφονται μόνο χονδρικά στους σύγχρονους κανονισμούς, όμως οι φυσικές έννοιες που περιγράφουν το φαινόμενο δεν εξηγούνται επαρκώς.

Σε ό,τι αφορά τους σύγχρονους κανονισμούς, η φυσική μοντελοποίηση του πλοίου υπό βλάβη δε βελτιώθηκε, αν και η ισοδύναμη υπό κλίμακα δοκιμή της Συνθήκης της Στοκχόλμης μπορεί να θεωρηθεί ως ένα πρώτο βήμα στην εισαγωγή προτύπων βασισμένων στην επίδοση, στους κανονισμούς ασφαλείας.

Πρόσφατα υπήρξε μια στροφή από στατικές μεθόδους στις αριθμητικές προσομοιώσεις κατάκλυσης στο πεδίο του χρόνου, η οποία δίνει περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη συμπεριφορά του πλοίου κατά τη διάρκεια της κατάκλυσης. Αυτές οι αριθμητικές μέθοδοι μπορούν να θεωρηθούν συμπληρωματικές στα πειράματα υπό κλίμακα.

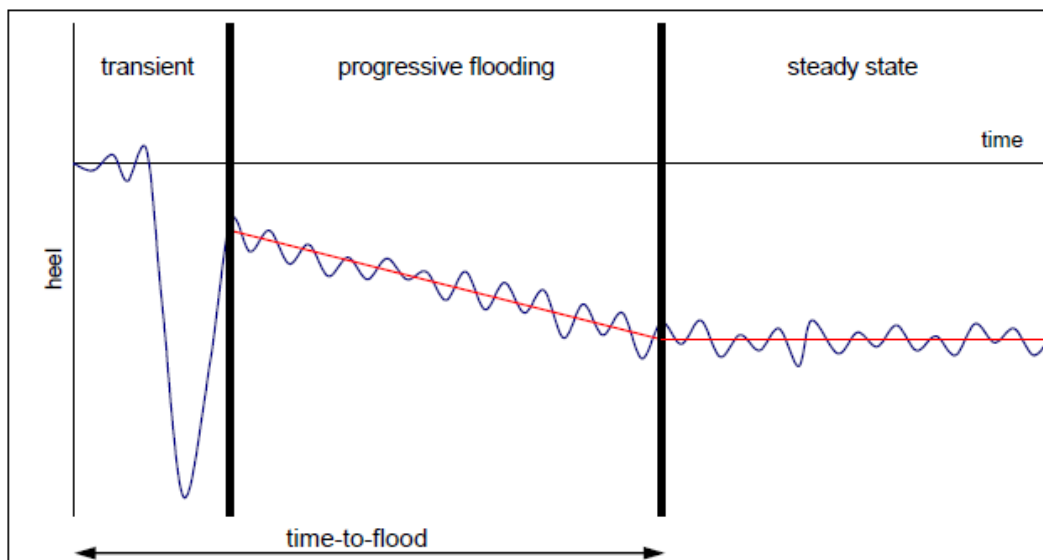
Όταν ένα πλοίο υποστεί μια βλάβη, λόγω για παράδειγμα μιας σύγκρουσης ή μιας προσάραξης, το νερό ξεκινά να κατακλύζει το χώρο. Τα εσωτερικά ανοίγματα και η μη υδατοστεγής υποδιαίρεση του πλοίου μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στις κινήσεις του πλοίου κατά τη διάρκεια της κατάκλυσης. Ανάμεσα στην άθικτη κατάσταση και την τελική κατάσταση βλάβης, αν τελικά υπάρξει ισορροπία, το πλοίο περνάει από ενδιάμεσα στάδια κατάκλυσης τα οποία μπορεί να είναι πιο επικίνδυνα από την τελική κατάσταση. Συνεπώς, είναι σημαντικό να μπορεί να αξιολογηθεί η ευστάθεια στα ενδιάμεσα στάδια. Πρακτικά, ο μόνος εφικτός και ακριβής τρόπος για να γίνει είναι αριθμητικές προσομοιώσεις κατάκλυσης (*flooding simulations*), στο πεδίο του χρόνου. Επιπρόσθετα, η προσομοίωση δίνει μια εκτίμηση του διαθέσιμου χρόνου για ομαλή εκκένωση και εγκατάλειψη του πλοίου, όταν υπάρχει ο κίνδυνος ανατροπής ή βύθισης του πλοίου.

Συνεπώς, η χρήση μεθόδων προσομοίωσης δίνει τη δυνατότητα να μελετηθεί η πρόοδος κατάκλυσης πιο λεπτομερειακά, να εντοπιστούν τα τρωτά σημεία της σχεδίασης, με στόχο την εστίαση της σχεδιαστικής προσπάθειας στον περιορισμό ή την εξάλειψη των φαινομένων που οδηγούν σε δυσμενείς ενδιάμεσες καταστάσεις. Μία ακόμη παράμετρος που υπολογίζεται μέσω των προσομοιώσεων είναι ο χρόνος κατάκλυσης (*Time To Flood- TTF*), όταν το πλοίο τελικά οδηγείται σε ισορροπία μετά την κατάκλυση και, αντίστοιχα, ο χρόνος μέχρι την ανατροπή (*Time To Capsize-TTC*) και ο χρόνος μέχρι τη βύθιση (*Time To Sink-TTS*).

9.1 Μηχανισμοί Κατάκλυσης

Η κατάκλυση ενός πλοίου σε κατάσταση βλάβης είναι μια περίπλοκη διαδικασία η οποία περιλαμβάνει διάφορα φαινόμενα, όπως η κατάρρευση μη υδατοστεγών κατασκευών και η συμπίεση του αέρα. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται μερικά σημαντικά θέματα σχετικά με τη φυσική του φαινομένου της κατάκλυσης.

Σε γενικές γραμμές, η διαδικασία κατάκλυσης που ακολουθεί τη δημιουργία ενός ρήγματος μπορεί να διακριθεί σε τρεις βασικές φάσεις (*IMO SLF46/INF.3, 2003*). Αμέσως μετά τη δημιουργία του ρήγματος, υπάρχει μια φάση μεταβατικής κατάκλυσης (*transient flooding*), καθώς το νερό εισέρχεται με ορμή μέσω του ρήγματος. Στη συνέχεια, ακολουθεί μια φάση προοδευτικής κατάκλυσης καθώς το νερό κατακλύζει χώρους οι οποίοι δεν είχαν θιγεί από το ρήγμα, μέσω εσωτερικών ανοιγμάτων. Αν το πλοίο δεν ανατραπεί ή βυθιστεί κατά τη διάρκεια αυτών των φάσεων, επιτυγχάνεται μια τελική μόνιμη κατάσταση (*steady state*).



Διάγραμμα 9.1-1: Βασικές φάσεις πορείας κατάκλυσης (Πηγή: (5))

9.1.1 Μεταβατική κατάκλυση

Κατά την πρώτη φάση μετά τη βλάβη, το νερό εισέρχεται μέσω του ρήγματος με μεγάλη ορμή εντός του πλοίου. Αν το ρήγμα είναι μεγάλο και βρίσκεται στην πλευρά του πλοίου, το νερό κατάκλυσης προκαλεί μια μεγάλη μεταβατική ροπή εγκάρσιας κλίσης. Κατά συνέπεια, το πλοίο αναπτύσσει ταχέως μια εγκάρσια κλίση προς την πλευρά του ρήγματος. Είναι πιθανό το πλοίο να ανατραπεί λόγω της απότομη φόρτωσης και κατά συνέπεια ο χρόνος μέχρι την ανατροπή να είναι πολύ σύντομος, από μερικά δευτερόλεπτα μέχρι λίγα λεπτά.

Διάφοροι παράγοντες, όπως η δύναμη σύγκρουσης από το εμπλεκόμενο πλοίο, η εισχώρηση της βλάβης και η στιγμή που συμβαίνει το ατύχημα, μπορεί να έχουν σημαντικό ρόλο. Ωστόσο, τέτοιοι παράγοντες είναι συνήθως άγνωστοι και συνεπώς αμελούνται στις αριθμητικές προσομοιώσεις.

Σε κάποιες περιπτώσεις, ακόμη και η κατάκλυση συμμετρικών χώρων μπορεί να είναι μεταβατικό φαινόμενο, αφού οι κατασκευές εντός των κατακλυζόμενων χώρων μπορούν να καθυστερήσουν σημαντικά την εξισορρόπηση του νερού κατάκλυσης. Ο όρος «μεταβατική

ασύμμετρη κατάκλυση συμμετρικών χώρων» (*transient asymmetric flooding of symmetrical compartments*) εισήχθη το 1986 από τον *Sprouge*. Η ανάπτυξη μεταβατικής γωνίας εγκάρσιας κλίσης μπορεί να μειωθεί επιτρέποντας την εγκάρσια κατάκλυση (*cross flooding*) σε ένα χώρο στη μη βεβλαμμένη πλευρά του πλοίου. Στην περίπτωση μικρών ανοιγμάτων ή βλάβης πυθμένα, η μεταβατική φάση είναι μάλλον ασήμαντη, αφού η εγκάρσια κλίση θα αναπτυχθεί σταδιακά.

9.1.2 Προοδευτική κατάκλυση

Μετά την πιθανή φάση της μεταβατικής κατάκλυσης, η διαδικασία κατάκλυσης γίνεται περισσότερο ημι-στατική. Αυτή η φάση μπορεί να διαρκέσει από λίγα λεπτά έως και αρκετές ώρες, ανάλογα με το ατύχημα, την εσωτερική υποδιαίρεση και τα πιθανά μέτρα που θα ληφθούν.

Η στάθμη του νερού στους κατακλυσμένους χώρους προοδευτικά αυξάνεται και προοδευτική κατάκλυση άλλων χώρων μπορεί να συμβεί, αν υπάρχουν ανοικτές συνδέσεις με τους ήδη πλημμυρισμένους χώρους. Επιπρόσθετα, η πίεση του νερού κατάκλυσης μπορεί να οδηγήσει σε διαρροή μέσω κλειστών θυρών ή ακόμη και να οδηγήσει σε κατάρρευση μη υδατοστεγανών κατασκευών. Επίσης, είναι ευνοϊκό για την ευστάθεια του πλοίου, η ασύμμετρη κατάκλυση να εξισορροπείται μέσω *cross flooding*, η οποία επιτρέπεται μέσω σωλήνων *cross ducts* και άλλες παθητικές οδούς εγκάρσιας κατάκλυσης και αποσκοπεί στη μείωση της γωνίας κλίσης. Παρομοίως, η προς τα κάτω κατάκλυση (*down-flooding*) επιτρέπεται κάποιες φορές με στόχο τη μείωση της καθ' ύψους θέσης του κέντρου βάρους και κατά συνέπεια την αύξηση της ευστάθειας του πλοίου υπό βλάβη.

Αν τελικά το πλοίο δε βυθιστεί ή ανατραπεί, επιτυγχάνεται τελικά μια μόνιμη κατάσταση. Ο συνολικός χρόνος που παρήλθε από την αρχή μέχρι το τέλος της προοδευτικής κατάκλυσης και συμπεριλαμβάνοντας το χρόνο μεταβατικής κατάκλυσης ονομάζεται χρόνος κατάκλυσης (*time to flood*). Αν χρησιμοποιηθούν και πρόσθετα κριτήρια σχετικά με την τελική γωνία εγκάρσιας κλίσης, η οποία αν είναι πολύ μεγάλη μπορεί να μην επιτρέπει την καθέλκυση των σωστικών λέμβων, ο χρόνος TTF είναι ο διαθέσιμος χρόνος για τακτική και ασφαλή εκκένωση και εγκατάλειψη του πλοίου.

9.2 Αριθμητικές Μέθοδοι

Η βασική ιδέα εφαρμογής της τεχνικής διόρθωσης της πίεσης (*pressure-correction technique*) για προσομοιώσεις στο πεδίο του χρόνου εισήχθη από τον *Ruronen* (2006) για συστήματα παρόμοια με τα πλοία, με χώρους και μικρά ανοίγματα όπου η θέση πλεύσης παραμένει σταθερή.

Συνήθως οι μέθοδοι προσομοίωσης κατάκλυσης στηρίζονται στον υπολογισμό του όγκου νερού κατάκλυσης, ο οποίος προκύπτει άμεσα ολοκληρώνοντας τις ταχύτητες ροής όπως προκύπτουν από την εξίσωση *Bernoulli*. Οι διαφορές στο ύψος της στάθμης του νερού για το επόμενο χρονικό βήμα υπολογίζονται από τους όγκους νερού συνυπολογίζοντας τις γωνίες εγκάρσιας και διαμήκου κλίσης. Αυτό είναι λογικό καθώς η στάθμη νερού είναι, από φυσικής άποψης, πιο ουσιώδης από τον όγκο του νερού, καθώς αντιπροσωπεύει την υδροστατική πίεση. Συνεπώς, η πορεία του νερού κατάκλυσης μπορεί να υπολογιστεί έμμεσα μέσω της πίεσης στους χώρους και των ταχυτήτων στα ανοίγματα.

Η αρχή της μεθόδου διόρθωσης της πίεσης είναι ότι η εξίσωση της συνέχειας και η γραμμικοποιημένη εξίσωση ορμής χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση των πιέσεων μέχρι να συγκλίνει επαναληπτικά η μέθοδος και να ικανοποιούνται ταυτόχρονα οι εξισώσεις συνέχειας και διατήρησης της ορμής.

9.3 Δομή Προγράμματος Προσομοίωσης

Καθώς η βαθύτερη ανάλυση του τρόπου υπολογισμού της πορείας κατάκλυσης εντός των χώρων του πλοίου ξεφεύγει από τα όρια της παρούσας διπλωματικής, παρουσιάζεται συνοπτικά μόνο η διαδικασία υπολογισμού μέσω του προγράμματος στο NAPA®.

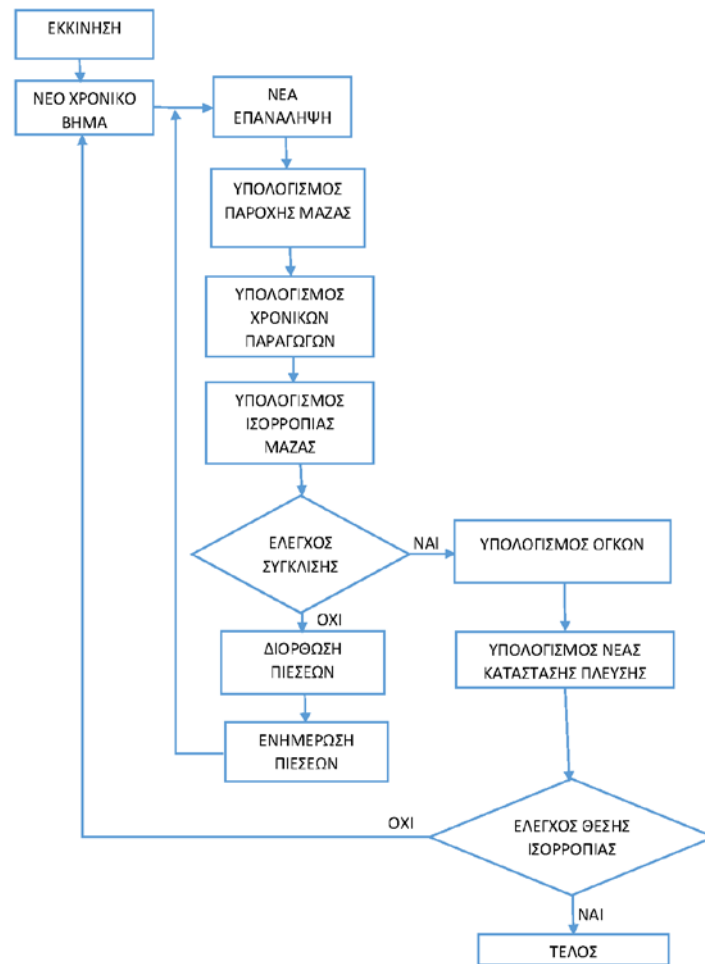
Το υπολογιστικό πλέγμα (*grid*) περιέχει το μοντέλο του πλοίου με όλους τους δυνατούς κατακλυζόμενους χώρους και τα ανοίγματα, περιλαμβάνοντας παραμέτρους όπως οι συντελεστές εκροής (*discharge coefficients*) και οι διαχωρητότητες (*permeabilities*).

Σαν είσοδος (*input*), δίνεται η κατάσταση φόρτωσης πριν τη βλάβη μαζί με τις εξής παραμέτρους προσομοίωσης:

- Χρονικό βήμα
- Κριτήρια σύγκλιση
- Αρχική τιμή συντελεστή υπο-χαλάρωσης

Η θάλασσα μπορεί να θεωρηθεί ήρεμη και συνεπώς η προσομοίωση σταματάει αν επιτευχθεί μια τελική κατάσταση ισορροπίας. Αυτό συμβαίνει όταν οι πιέσεις από το προηγούμενο χρονικό βήμα δίνουν μια συγκλίνουσα λύση χωρίς καμία επανάληψη. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι χρειάζεται ένα αυστηρότερο κριτήριο σύγκλισης, αν η προοδευτική κατάκλυση είναι πολύ αργή ή χρησιμοποιείται ένα πολύ μικρό χρονικό βήμα.

Σχηματικά, δίνεται παρακάτω η πορεία υπολογισμού στην προσομοίωση κατάκλυσης.



Εικόνα 9.3-1: Σχεδιάγραμμα επίλυσης ρουτίνας αριθμητικής προσομοίωσης (Μτφ Πηγή: (5))

Οι κινήσεις του πλοίου θεωρούνται αργές και συνεπώς η αδράνεια του πλοίου και η αλληλεπίδραση μεταξύ του νερού κατάκλυσης και του πλοίου μπορούν να αμεληθούν. Αυτό σημαίνει ότι οι κινήσεις του πλοίου υπό βλάβη υπολογίζονται με μια ψευδο-στατική προσέγγιση.

Η θέση πλεύσης με τρεις βαθμούς ελευθερίας (εγκάρσια κλίση, διαμήκης κλίση και βύθισμα) υπολογίζεται στο τέλος κάθε χρονικού βήματος μέσω της κατανομής του νερού κατάκλυσης εντός του πλοίου και η νέα θέση πλεύσης χρησιμοποιείται ως αρχική τιμή για το επόμενο χρονικό βήμα. Η θέση πλεύσης υπολογίζεται επαναληπτικά μέχρι οι δυνάμεις και οι ροπές να ισορροπήσουν, με δεδομένο τον όγκο του νερού κατάκλυσης σε κάθε χώρο. Επίσης λαμβάνεται υπόψη η αρχική άθικτη κατάσταση φόρτωσης με την επίδραση των ελεύθερων επιφανειών λόγω υγρού φορτίου σε δεξαμενές.

Τα παραπάνω αποτελούν μια πολύ συνοπτική παρουσίαση της χρησιμοποιούμενης μεθόδου η οποία είναι ενσωματωμένη στο λογισμικό του NAPA[®]. Η μελέτη έγινε με χρήση του *Flooding Simulator Manager* του NAPA[®], το οποίο προσομοιώνει την πρόοδο της κατάκλυσης, λαμβάνοντας υπόψη τη διάταξη, τη θέση και την αντίσταση κατά τη διέλευση του νερού, μέσω των ανοιγμάτων. Λαμβάνεται υπόψη επίσης η επίδραση των σχηματιζόμενων ελεύθερων επιφανειών στην ευστάθεια. Στόχος είναι η μελέτη της συμπεριφοράς του πλοίου

σε ό,τι αφορά τη θέση πλεύσης, την ποσότητα του νερού κατάκλυσης και τις παραμέτρους ευστάθειας, όπως και του συντελεστή επιβιωσιμότητας s .

Η προσομοίωση γίνεται ημι-στατικά ή αλλιώς ψευδο-στατικά (*quasi-static*), καθώς μόνο έτσι είναι δυνατός ο υπολογισμός της καμπύλης μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ και άρα του συντελεστή επιβιωσιμότητας s .

Οι ενδιάμεσες τιμές του δείκτη s , πριν τον τελικό, είναι ουσιαστικά οι τιμές του $s_{intermediate}$, που προβλέπεται από τους κανονισμούς, σε κάθε χρονική στιγμή. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές στον τρόπο υπολογισμού με βάση τις προσομοιώσεις κατάκλυσης και τη μεθοδολογία των κανονισμών. Η ειδοποιός διαφορά είναι ότι για τους κανονισμούς, δεν παίζει ρόλο η πραγματική παροχή μέσω ανοιγμάτων, παρά μόνο στα πλαίσια του τρόπου υπολογισμού της εγκάρσιας ή καθ' ύψος (ηθελημένης) κατάκλυσης (*cross/down flooding*), η οποία υπολογίζεται με κάποια διαδικασία που προβλέπεται στους κανονισμούς. Όμως σε όλα τα σενάρια βλάβης των κανονισμών, ο όγκος εντός του κάθε διαμερίσματος σε κάθε φάση υπολογίζεται με γνώμονα την ισορροπία των ισάλων εντός και εκτός του κατακλυζόμενου χώρου. Έτσι, αν η στάθμη σε ένα χώρο που κατακλύζεται φτάσει στο κατώτερο σημείο κάποιου ανοίγματος που επιτρέπει την κατάκλυση ενός παρακείμενου χώρου, τότε πρέπει ακαριαία η ίσαλος και στο δεύτερο χώρο να έρθει σε ισορροπία με την ίσαλο στον πρώτο χώρο. Ουσιαστικά, αυτή η απαίτηση «επιβάλλει» την ποσότητα νερού κατάκλυσης που εισέρχεται στον παρακείμενο χώρο. Από την άλλη πλευρά, στην προσομοίωση κατάκλυσης, όπου η έννοια του χρόνου υπεισέρχεται, ο υπολογισμός της ποσότητας νερού κατάκλυσης που εισέρχεται από τον έναν χώρο στον επόμενο, υπολογίζεται ως το γινόμενο της παροχής μέσω του σχετικού ανοίγματος και του χρονικού βήματος. Αυτή είναι ουσιαστικά η βασικότερη διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων. Είναι σαφές ότι οι προσομοιώσεις συνάδουν περισσότερο με τη φυσική του προβλήματος, όμως είναι υπολογιστικά πολύ πιο περίπλοκες και χρονοβόρες διαδικασίες.

9.4 Περιγραφή Διαδικασίας

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε χρήση του *Flooding Simulation Manager* του NAPA®, με στόχο τη μελέτη συγκεκριμένων τύπων ρηγμάτων στις διατάξεις του ROPAX *Halkyon 90*, αλλά και της τροποποιημένης έκδοσης, όπου το ROPAX μετατρέπεται σε αμιγώς επιβατηγό πλοίο.

Τα υπό εξέταση μοντέλα περιλαμβάνουν την εξωτερική γάστρα, τη διαμερισματοποίηση (*compartmentation*), τη διάταξη των εξωτερικών ανοιγμάτων, τη διάταξη υδατοστεγών θυρών και καταπακτών (*watertight doors and hatches*) και τη διάταξη άλλων μη προστατευμένων διόδων και ανοιγμάτων που επιτρέπουν την κατάκλυση των εκατέρωθεν χώρων με νερό.

9.4.1 Ανοίγματα

Όλα τα ανοίγματα μοντελοποιήθηκαν ως επιφάνειες *surface objects* προκειμένου να είναι δυνατός ο αυτόματος υπολογισμός των εγκαρσίων εμβαδών και των κατώτερων σημείων του εκάστοτε ανοίγματος, τα οποία λαμβάνονται υπόψη και στους υπολογισμούς. Ο πίνακας των ανοιγμάτων είναι επαυξημένος συγκριτικά με τον απλό πίνακα ανοιγμάτων που χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, σύμφωνα με τους κανονισμούς. Επιπρόσθετα δεδομένα που χρειάζονται για τα ανοίγματα είναι:

- Το εμβαδόν της εγκάρσιας διατομής του ανοίγματος, προκειμένου να υπολογισθεί η ταχύτητα ροής στη διατομή και η παροχή όγκου νερού κατάκλυσης.
- Το μήκος του αγωγού, αν πρόκειται για αγωγό, προκειμένου να υπολογιστεί η απώλεια πίεσης λόγω γραμμικών απωλειών κατά μήκος της σωλήνωσης.
- Ο αδιάστατος συντελεστής μείωσης της ταχύτητας του νερού WRCOEF, ο οποίος είναι ένας πολλαπλασιαστικός συντελεστής διόρθωσης της παροχής και υπολογίζεται με βάση το συντελεστή τοπικών απωλειών K. Αντιστοιχεί στο συντελεστή F των κανονισμών MSC.362(92) και ANNEX A.266. Ισχύει ότι:

$$RATE = WRCOEF * AREA * \sqrt{2 * g * h}$$

$$\text{και } WRCOEF = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum K}}$$

Όπου Rate η παροχή μέσω του ανοίγματος, wrcoef ο συντελεστής μείωσης της ταχύτητας του νερού, Area το εμβαδόν της εγκάρσιας επιφάνειας του ανοίγματος, g η επιτάχυνση της βαρύτητας, h το ύψος στήλης υγρού και K οι επί μέρους συντελεστές τοπικών απωλειών.

- Ο συντελεστής αντίστασης στη ροή του αέρα εντός αγωγού.
- Το ύψος στήλης υγρού που μπορεί να προκαλέσει διαρροή μέσω του ανοίγματος.
- Το ύψος στήλης υγρού που μπορεί να προκαλέσει κατάρρευση του ανοίγματος.

Δεν είναι απαραίτητο να δοθούν τιμές σε όλες τις παραπάνω παραμέτρους κι εξαρτάται από τη μελέτη που εκπονείται, ο βαθμός λεπτομέρειας με τον οποίο μοντελοποιούνται τα ανοίγματα.

Μέσω των ανοιγμάτων, παράγεται ο πίνακας σύνδεσης των χώρων (*compartment connection table*), μέσα στον οποίο μπορεί να οριστεί αν ένα άνοιγμα είναι ανοιχτό ή όχι και συνεπώς αν επιτρέπεται η προοδευτική κατάκλυση μέσω αυτού.

9.4.2 Ρήγματα

Τα ρήγματα στις προσομοιώσεις κατάκλυσης μπορούν να δηλωθούν με δύο διαφορετικούς τρόπους οι οποίοι οδηγούν σε διαφορετικά αποτελέσματα. Ουσιαστικά πρόκειται για τον ορισμό των αρχικών συνθηκών για την επίλυση των διαφορικών εξισώσεων που διέπουν την πρόοδο κατάκλυσης.

Ο πρώτος τρόπος είναι το ρήγμα να δηλωθεί ως βλάβη (*damage*) του NAPA®. Σε αυτήν την περίπτωση το νερό κατακλύζει τους χώρους που ορίζονται στη βλάβη, μέχρι την τελική ίσαλο που προκύπτει μετά από την κατάκλυση των χώρων που θίγονται στο σενάριο βλάβης (*damage case*). Η προσομοίωση ξεκινάει από αυτήν την τελική ίσαλο και υπολογίζεται η προοδευτική κατάκλυση στο εσωτερικό του πλοίου, μέσα από τα εσωτερικά ανοίγματα.

Ο δεύτερος τρόπος είναι το ρήγμα να δηλωθεί ως άνοιγμα που επιτρέπει την κατάκλυση. Με αυτόν τον τρόπο η προσομοίωση ξεκινάει από την άθικτη κατάσταση και συνεχίζει με την προοδευτική κατάκλυση μέσω των ανοιχτών εσωτερικών ανοιγμάτων. Σε αυτή τη μελέτη χρησιμοποιήθηκε αυτός ο τρόπος ορισμού των ρηγμάτων, προκειμένου να μελετηθεί η εξέλιξη της πορείας κατάκλυσης από την άθικτη κατάσταση μέχρι την ανατροπή ή τη βύθιση ή την τελική κατάσταση ισορροπίας, αν επιτευχθεί.

9.4.3 Καταστάσεις φόρτωσης

Τα ίδια μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, οπότε οι διατάξεις των ανοιγμάτων και των χώρων ήταν ήδη μοντελοποιημένες για αυτό το σκοπό. Επιπρόσθετα, είχαν αναπτυχθεί οι καταστάσεις φόρτωσης για το μοντέλο. Επιλέχθηκε η μελέτη να γίνει για την κατάσταση που αντιστοιχεί στο μερικό βύθισμα (*partial draft*), καθώς ήταν η δυσμενέστερη κατάσταση φόρτωσης, όπως εκφράζεται από το αρχικό μετακεντρικό ύψος GM.

Οι καταστάσεις φόρτωσης παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες για το Ε/Γ-Ο/Γ *Halkyon 90* και την έκδοση σε αμιγώς επιβατηγό πλοίο.

Κατάσταση Φόρτωσης Ενδιάμεσου Βυθίσματος για το ROPAX			
Εκτόπισμα [t]	2530.6	KG [m]	6.77
DWT [t]	1109.2	GM [m]	2.493
Βύθισμα [m]	3.736	KM _T [m]	9.44
Διαγωγή [m]	0		
Εγκάρσια κλίση [deg]	0		

Πίνακας 9.4-1: Περιγραφή κατάστασης φόρτωσης *partial draft* για το ROPAX

Κατάσταση Φόρτωσης Ενδιάμεσου Βυθίσματος για το Pure Passenger Ferry			
Εκτόπισμα [t]	2742.8	KG [m]	6.39
DWT [t]	809.7	GM [m]	2.838
Βύθισμα [m]	3.941	KM _T [m]	9.46
Διαγωγή [m]	0		
Εγκάρσια κλίση [deg]	0		

Πίνακας 9.4-2: Περιγραφή κατάστασης φόρτωσης *partial draft* για το Ε/Γ

Σημειώνεται ότι οι προσομοιώσεις κατάκλυσης έγιναν αρχικά για το ROPAX, εν συνεχεία επαναλήφθηκαν για τις ίδιες καταστάσεις φόρτωσης του ROPAX, αλλά για τη διάταξη του αμιγώς επιβατηγού πλοίου και τέλος έγιναν για το αμιγώς επιβατηγό πλοίο, με την αντίστοιχη διάταξη και τις πραγματικές καταστάσεις φόρτωσης.

9.4.4 Σενάρια βλάβης

Τα σενάρια βλάβης που εξετάστηκαν ήταν τα παρακάτω:

- 1) **Σενάριο *Express Samina*.** Πρόκειται για το συνδυασμό ρηγμάτων στο μηχανοστάσιο και το χώρο οχημάτων που οδήγησε στην τραγωδία του επιβατηγού οχηματογωγού πλοίου *Express Samina*, το 2000, στο Αιγαίο. Όλες οι θύρες είναι ανοιχτές, εκτός της πιο πρωραίας, όπως συνέβη και στην πραγματική περίπτωση του ναυαγίου.
- 2) **Σενάριο *Grounding*.** Πρόκειται για ρήγμα προσάραξης που θίγει τρεις ζώνες περί το μέσο του πλοίου. Σε αυτήν την περίπτωση όλες οι υδατοστεγείς θύρες θεωρούνται ανοιχτές, ενώ για την περίπτωση της διάταξης του αμιγώς επιβατηγού πλοίου, επιτρέπεται μέσω ανοίγματος κοντά στην πλώρη η καθ' ύψος κατάκλυση των ανώτερων χώρων (*up-flooding*).
- 3) **Σενάριο *Bow Grounding*.** Πρόκειται για ρήγμα πλώρης με έκταση μέχρι και άνωθεν του καταστρώματος οχημάτων, το οποίο είναι περίπου ισοδύναμο με το προβλεπόμενο ρήγμα του κανονισμού 8.1, σύμφωνα με τη *SOLAS 2009*. Σε αυτήν την περίπτωση μόνο μία υδατοστεγής θύρα είναι ανοιχτή.

Οι προσομοιώσεις έγιναν για τα παραπάνω σενάρια βλάβης αρχικά για ήρεμο νερό (still water) και στη συνέχεια με την επίδραση κυματισμών.

9.4.5 Επίδραση κυματισμού

Η επίδραση του κυματισμού μελετήθηκε για τα παραπάνω σενάρια βλάβης. Ο στόχος ήταν η εξέταση των παραμέτρων ευστάθειας κατά την κατάκλυση, υπό κυματισμό. Σημειώνεται ότι ο κυματισμός, επειδή η επίλυση γίνεται ημι-στατικά, δεν επάγει δυνάμεις στο πλοίο και δεν αλληλεπιδρά μαζί του, δηλαδή το πλοίο είναι διάφανο (*transparent*) ως προς τον κυματισμό. Έτσι η επίδραση του κυματισμού, λογίζεται σαν μια διαταραχή της επιφάνειας της ισάλου, με την συνεπαγόμενη μεταβολή του πεδίου πιέσεων και ταχυτήτων του υγρού και άρα της παροχής μέσω των ρηγμάτων. Ο κυματισμός που μπορεί να ληφθεί υπόψη για την προσομοίωση υπόκειται σε συγκεκριμένους περιορισμούς, οι οποίοι δίνονται παρακάτω:

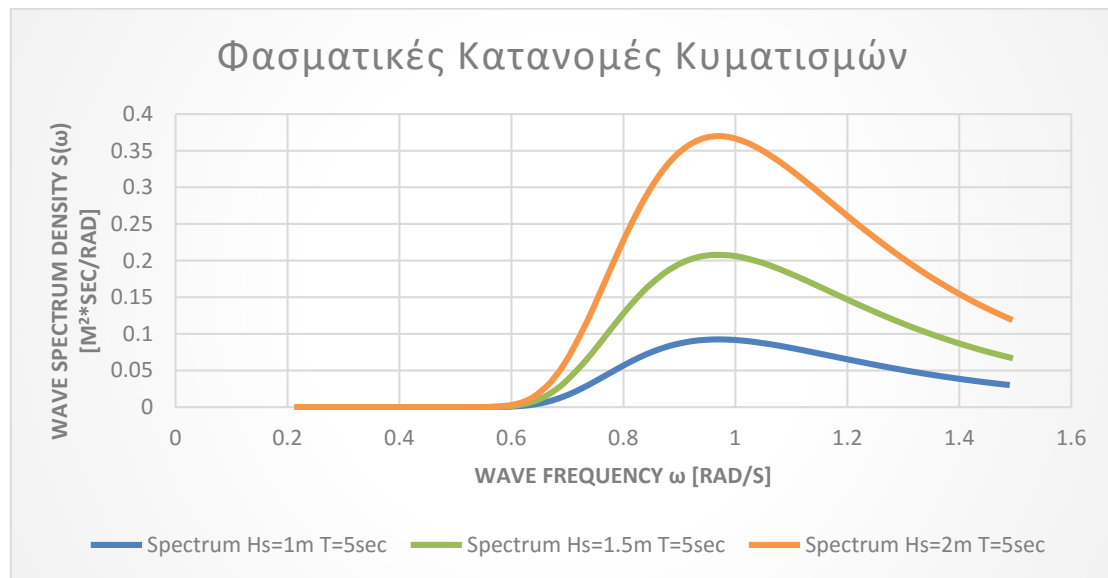
- Μέγιστο σημαντικό ύψος κύματος: $\text{Minimum}(4\text{m} ; 0.5 * T_{DES})$
- Μέγιστο μήκος κύματος: $1.5 * L_{REF}$
- Ελάχιστη περίοδος κυματισμού: 1 sec
- Η περίοδος κυματισμού πρέπει να είναι τουλάχιστον 8 φορές μεγαλύτερη από το χρονικό βήμα επίλυσης

Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν για σημαντικά ύψη κύματος 1m, 1.5m και 2m, όπου η τελευταία τιμή ήταν η μέγιστη δυνατή, καθώς το βύθισμα σχεδίασης του πλοίου ήταν 4m άρα με βάση τον πρώτο περιορισμό η μέγιστη τιμή του σημαντικού ύψους κύματος ήταν 2m. Η περίοδος του κυματισμού ήταν 5sec και τα χαρακτηριστικά των κυματισμών προκύπτουν ως οι δυνατοί συνδυασμοί περιόδου κυματισμού και σημαντικού ύψους κύματος. Το μήκος του κυματισμού, που υπόκειται σε περιορισμό, υπολογίζεται μέσω της περιόδου από τη σχέση διασποράς για νερό άπειρου βάθους:

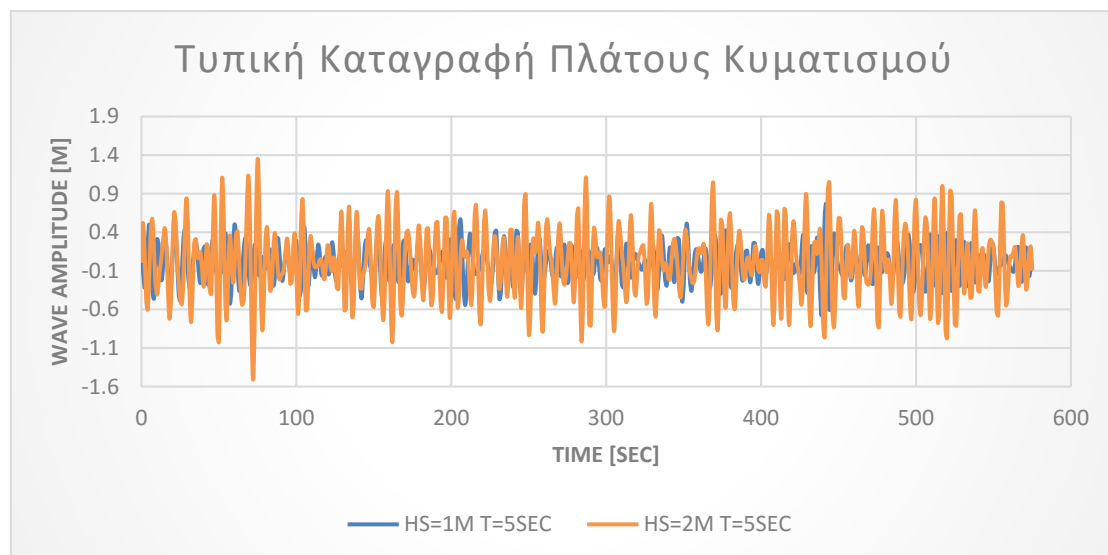
$$\omega^2 = gk \Rightarrow \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = g \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \Rightarrow \lambda = \frac{gT^2}{2\pi}$$

Οι κυματισμοί που παράγονται είναι ψευδοτυχαίοι (*irregular waves*) με φάσμα δύο παραμέτρων, σύμφωνα με το πρότυπο του *International Towing Tanks Conference- ITTC*.

Παρακάτω δίνεται η φασματική κατανομή των χρησιμοποιούμενων κυματισμών.



Διάγραμμα 9.4-1: Φασματική κατανομή κυματισμών



Διάγραμμα 9.4-2: Τυπική καταγραφή πλάτους κυματισμού

9.4.6 Παραδοχές

Οι βασικότερες παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη είναι οι εξής:

- Ημι-στατική επίλυση προσομοίωσης με στόχο τον υπολογισμό της καμπύλης GZ και του συντελεστή επιβιωσιμότητας s . Με αυτόν τον τρόπο δε λαμβάνεται υπόψη η δυναμική αλληλεπίδραση του πλοίου με το νερό.
- Δε λαμβάνονται υπόψη οι ροπές λόγω συνωστισμού των επιβατών στη μια μεριά του πλοίου και λόγω καθέλκυσης των σωστικών μέσων.
- Η επίδραση του κυματισμού περιορίζεται ως μια απλή διαταραχή της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας που μεταβάλλει το πεδίο πιέσεων και ταχυτήτων εντός του ρευστού, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της παροχής μέσω των ανοιγμάτων.
- Δεν εξετάστηκαν θέματα αντοχής των κατασκευαστικών στοιχείων του πλοίου.

9.5 Αποτελέσματα Προσομοίωσης Κατάκλυσης για Ε/Γ-Ο/Γ (ROPAX)

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται τα βασικά αποτελέσματα από την προσομοίωση για την περίπτωση του επιβατηγού/ οχηματαγωγού πλοίου *Halkyon 90* για τα τρία σενάρια βλάβης.

Η κατάσταση φόρτωσης η οποία χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη της κατάκλυσης είναι, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η κατάσταση που αντιστοιχεί στο ενδιάμεσο βύθισμα του κανονισμού της *SOLAS 2009*, όπως παρουσιάστηκε σε πινακοποιημένη μορφή σε προηγούμενη παράγραφο.

Τα ανοίγματα που χρησιμοποιήθηκαν και ήταν κοινά για όλα τα σενάρια βλάβης παρατίθενται σε αυτό το σημείο. Τα ρήγματα προστέθηκαν ως ανοίγματα, ανάλογα με το εκάστοτε σενάριο βλάβης.

Κατάλογος Χρησιμοποιούμενων Σταθερών Ανοιγμάτων Ε/Γ-Ο/Γ					
ID	WT	GEOMOBJ	CONN	WRCOEF	L
VL1.S	UNPROTECTED	LV1.S	SEA AFT.SDCSN.S	0.5	7
VL2.S	UNPROTECTED	LV2.S	SEA ROOMA1.UP.C	0.5	7
VL3.S	UNPROTECTED	LV3.S	SEA ROOMF1.UP.C	0.5	7
VL4.S	UNPROTECTED	LV4.S	SEA ROOMF1.WIG.S	0.5	7
VL5.S	UNPROTECTED	LV4.S	SEA ROOMF1.WIG.S	0.5	7
VL6.S	UNPROTECTED	LV6.S	SEA MAIN.GARAGE	0.5	0
VL7.S	UNPROTECTED	LV7.S	SEA MAIN.GARAGE	0.5	0
VL8.S	UNPROTECTED	LV8.S	SEA ROOMF4.UP.C	0.5	7
VL9.S	UNPROTECTED	LV9.S	SEA ROOMF5.C	0.5	7
VL10.S	UNPROTECTED	LV10.S	SEA ROOMF6.C	0.5	7
VL11.S	UNPROTECTED	LV11.S	SEA MAIN.GARAGE	0.5	0
VL1.P	UNPROTECTED	LV1.P	SEA ROOMA2.UP.P	0.5	7
VL2.P	UNPROTECTED	LV2.P	SEA ROOMF1.UP.C	0.5	7
VL3.P	UNPROTECTED	LV3.P	SEA ROOMF1.WIG.P	0.5	7
VL4.P	UNPROTECTED	LV4.P	SEA ROOMF2.WIG.P	0.5	7
VL5.P	UNPROTECTED	LV5.P	SEA MAIN.GARAGE	0.5	0
VL6.P	UNPROTECTED	LV6.P	SEA ROOMF4.UP.C	0.5	7
VL7.P	UNPROTECTED	LV6.P	SEA ROOMF5.C	0.5	7
VL8.P	UNPROTECTED	LV7.P	SEA MAIN.GARAGE	0.5	0
VL9.P	UNPROTECTED	LV8.P	SEA ROOMF6.C	0.5	7
VL10.P	UNPROTECTED	LV9.P	SEA MAIN.GARAGE	0.5	0
VG1.A.S	UNPROTECTED	GV1.A.S	SEA AFT.SDCSN.S	0.5	7
VM2.A.S	UNPROTECTED	MV2.A.S	SEA ROOMA4.C	0.5	7
VM1.A.P	UNPROTECTED	MV1.A.P	SEA ROOMA4.C	0.5	7
WAD1	WATERTIGHT	WATD.MG.CCAS.P	MAIN.GARAGE CENTRAL.CASING.C	0.75	0
WAD2	WATERTIGHT	WATD.MG.CCAS.S	MAIN.GARAGE CENTRAL.CASING.C	0.75	0
WAD3	WATERTIGHT	WATD.RMF5C.RMF6C.C	ROOMF5.C ROOMF6.C	0.75	0

Κατάλογος Χρησιμοποιούμενων Σταθερών Ανοιγμάτων Ε/Γ-Ο/Γ					
ID	WT	GEOMOBJ	CONN	WRCOEF	L
WAD4	WATERTIGHT	WATD.RMF4UPC.RMF5 C.C	ROOMF4.UP.C ROOMF5.C	0.75	0
WAD5	WATERTIGHT	WATD.RMF3UPC.RMF4 UPC.P	ROOMF3.UP.C ROOMF4.UP.C	0.75	0
WAD6	WATERTIGHT	WATD.RMF3LOWC.RMF 3UPC.P	ROOMF3.LOW.C ROOMF3.UP.C	0.75	0
WAD7	WATERTIGHT	WATD.RMF2LOWC.RMF 3LOWC.C	ROOMF2.LOW.C ROOMF3.LOW.C	0.75	0
WAD8	WATERTIGHT	WATD.RMF1LOWC.RMF 2LOWC.S	ROOMF1.LOW.C ROOMF2.LOW.C	0.75	0
WAD9	WATERTIGHT	WATD.ER.RMF1LOWC.S	ENGINE.ROOM ROOMF1.LOW.C	0.75	0
WAD10	WATERTIGHT	WATD.ER.RMF1UPC.S	ENGINE.ROOM ROOMF1.UP.C	0.75	0
WAD11	WATERTIGHT	WATD.RMA1UPC.ER.C	ROOMA1.UP.C ENGINE.ROOM	0.75	0
WAD12	WATERTIGHT	WATD.RMA2UPP.RMA1 UPC.P	ROOMA2.UP.P ROOMA1.UP.C	0.75	0
WAD13	WATERTIGHT	WATD.RMA2UPS.RMA1 UPC.S	ROOMA2.UP.S ROOMA1.UP.C	0.75	0
WAD14	WATERTIGHT	WATD.RMA2LOWC.RM A2UPP.P	ROOMA2.LOW.C ROOMA2.UP.P	0.75	0
WAD15	WATERTIGHT	WATD.RMA2LOWC.RM A2UPS.S	ROOMA2.LOW.C ROOMA2.UP.S	0.75	0
STAIR	UNPROTECTED	STAIR1	ROOMF4.UP.C ROOMF4.LOW.C	0.75	0
DOOR1	UNPROTECTED	DOOR1	MAIN.GARAGE AFT.SDCSN.P	0.75	0
DOOR2	UNPROTECTED	DOOR2	MAIN.GARAGE AFT.SDCSN.S	0.75	0

Πίνακας 9.5-1: Κατάλογος κοινών ανοιγμάτων για όλες τις προσομοιώσεις στο ROPAX

Στον παραπάνω πίνακα παρατίθενται μόνο τα βασικότερα χαρακτηριστικά μεγέθη των ανοιγμάτων, καθώς μεταβλητές όπως εκείνες της θέσης και της εγκάρσιας επιφάνειας του ανοίγματος υπολογίζονται αυτόματα μέσω του γεωμετρικού αντικειμένου *GEOMOBJ*.

Οι τιμές για την μείωση της ταχύτητας του νερού λήφθηκαν 0.5 για τα εξωτερικά ανοίγματα, μια τιμή που αντιστοιχεί σε συνολικό συντελεστή απώλειας πίεσης, λόγω τοπικών απωλειών, κατά μήκος της σωλήνωσης ίσο με $K=3$ που κρίθηκε επαρκής. Επίσης για τους αεραγωγούς από και προς τους χώρους κάτω από το κατάστρωμα οχημάτων λήφθηκε μια τιμή μήκους του αγωγού ίση με 7m, λόγω έλλειψης στοιχείων. Η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη του ύψους του καταστρώματος οχημάτων και θεωρήθηκε μεγαλύτερη για να ληφθεί υπόψη η πολυπλοκότητα της σωλήνωσης που αυξάνει το μήκος. Για τα υπόλοιπα ανοίγματα δηλαδή πόρτες και καταπακτές, ο συντελεστής μείωσης της ταχύτητας ροής του νερού είχε τιμή 0.75, προκειμένου να βρεθεί μια ισορροπία μεταξύ του δυσμενούς φαινομένου της ταχείας κατάκλυσης η οποία αντιστοιχεί σε μεγαλύτερες τιμές του WRCOEF, αλλά και του δυσμενούς

φαινομένου της αργής μεταβατικής κατάκλισης που επηρεάζει την ευστάθεια λόγω των ελεύθερων επιφανειών και αντιστοιχεί σε χαμηλότερες τιμές του WRCOEFF. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε $K=0.77$ που είναι αντίστοιχος για τις τιμές απώλειας στην είσοδο μεγάλης διαμέτρου σωλήνωσης.

Με βάση τον πίνακα ανοιγμάτων κατασκευάζεται και ο πίνακας σύνδεσης των χώρων (*compartment connection table-CCONN*). Παρακάτω δίνεται ο πίνακας σύνδεσης των χώρων μόνο για τα εξωτερικά ανοίγματα και κάποια εσωτερικά, καθώς τόσο οι υδατοστεγείς θύρες όσο και τα ανοίγματα-βλάβες είναι μεταβλητά σε κάθε σενάριο.

Πίνακας Σταθερών Συνδέσεων Χώρων Ε/Γ-Ο/Γ			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
SEA	AFT.SDCSN.S	Y	VL1.S
AFT.SDCSN.S	SEA	Y	VL1.S
SEA	ROOMA1.UP.C	Y	VL2.S
ROOMA1.UP.C	SEA	Y	VL2.S
SEA	ROOMF1.UP.C	Y	VL3.S
ROOMF1.UP.C	SEA	Y	VL3.S
SEA	ROOMF1.WIG.S	Y	VL4.S
ROOMF1.WIG.S	SEA	Y	VL4.S
SEA	ROOMF1.WIG.S	Y	VL5.S
ROOMF1.WIG.S	SEA	Y	VL5.S
SEA	MAIN.GARAGE	Y	VL6.S
MAIN.GARAGE	SEA	Y	VL6.S
SEA	MAIN.GARAGE	Y	VL7.S
MAIN.GARAGE	SEA	Y	VL7.S
SEA	ROOMF4.UP.C	Y	VL8.S
ROOMF4.UP.C	SEA	Y	VL8.S
SEA	ROOMF5.C	Y	VL9.S
ROOMF5.C	SEA	Y	VL9.S
SEA	ROOMF6.C	Y	VL10.S
ROOMF6.C	SEA	Y	VL10.S
SEA	MAIN.GARAGE	Y	VL11.S
MAIN.GARAGE	SEA	Y	VL11.S
SEA	ROOMA2.UP.P	Y	VL1.P
ROOMA2.UP.P	SEA	Y	VL1.P
SEA	ROOMF1.UP.C	Y	VL2.P
ROOMF1.UP.C	SEA	Y	VL2.P
SEA	ROOMF1.WIG.P	Y	VL3.P
ROOMF1.WIG.P	SEA	Y	VL3.P
SEA	ROOMF2.WIG.P	Y	VL4.P
ROOMF2.WIG.P	SEA	Y	VL4.P
SEA	MAIN.GARAGE	Y	VL5.P
MAIN.GARAGE	SEA	Y	VL5.P

Πίνακας Σταθερών Συνδέσεων Χώρων Ε/Γ-Ο/Γ			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
SEA	ROOMF4.UP.C	Y	VL6.P
ROOMF4.UP.C	SEA	Y	VL6.P
SEA	ROOMF5.C	Y	VL7.P
ROOMF5.C	SEA	Y	VL7.P
SEA	MAIN.GARAGE	Y	VL8.P
MAIN.GARAGE	SEA	Y	VL8.P
SEA	ROOMF6.C	Y	VL9.P
ROOMF6.C	SEA	Y	VL9.P
SEA	MAIN.GARAGE	Y	VL10.P
MAIN.GARAGE	SEA	Y	VL10.P
SEA	AFT.SDCSN.S	Y	VG1.A.S
AFT.SDCSN.S	SEA	Y	VG1.A.S
SEA	ROOMA4.C	Y	VM2.A.S
ROOMA4.C	SEA	Y	VM2.A.S
SEA	ROOMA4.C	Y	VM1.A.P
ROOMA4.C	SEA	Y	VM1.A.P
ROOMF4.UP.C	ROOMF4.LOW.C	Y	STAIR
ROOMF4.LOW.C	ROOMF4.UP.C	Y	STAIR
MAIN.GARAGE	AFT.SDCSN.P	Y	DOOR1
AFT.SDCSN.P	MAIN.GARAGE	Y	DOOR1
MAIN.GARAGE	AFT.SDCSN.S	Y	DOOR2
AFT.SDCSN.S	MAIN.GARAGE	Y	DOOR2

Πίνακας 9.5-2: Κατάλογος κοινών συνδέσεων χώρων για όλες τις προσομοιώσεις στο ROPAX

9.5.1 Σενάριο βλάβης *Express Samina*

9.5.1.1 Δεδομένα

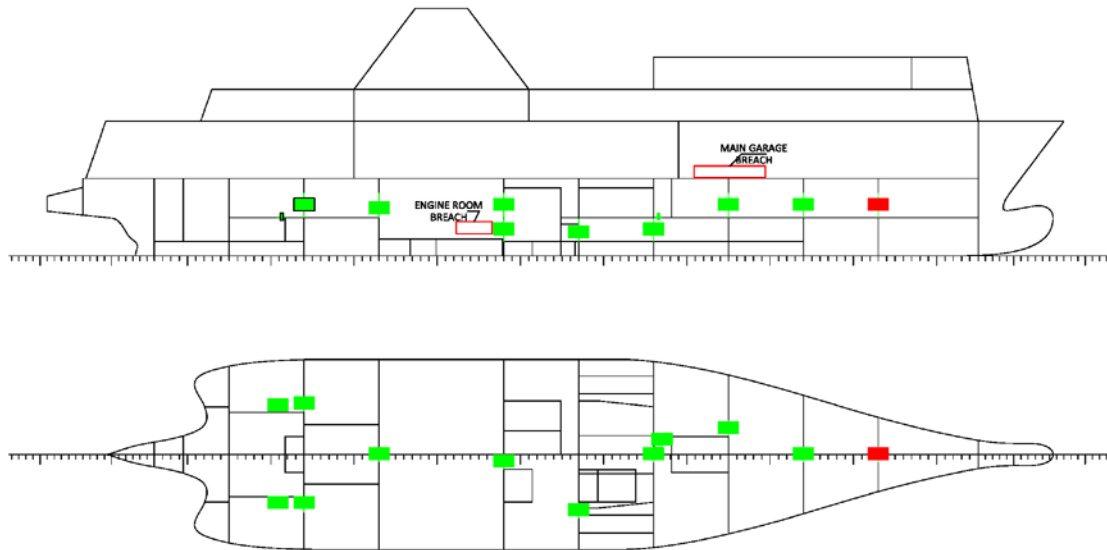
Σε αυτό το σενάριο εξετάζεται η πορεία κατάκλισης για το ROPAX *Halkyon 90*, σε περίπτωση που εμπλακεί σε ατύχημα που θα οδηγούσε στις ίδιες βλάβες με την περίπτωση του *Express Samina*. Σε αυτό το σενάριο, οι υδατοστεγείς θύρες είναι όλες ανοιχτές, εκτός από την πιο πωραία, όπως αντίστοιχα συνέβη την ημέρα του τραγικού ναυαγίου.

Τα ρήγματα που μοντελοποιήθηκαν ήταν δύο. Το ένα ήταν στη θέση του μηχανοστασίου και το άλλο στο χώρο των οχημάτων. Το ρήγμα στο μηχανοστάσιο είχε διαστάσεις 3m κατά το διάμηκες και 1m καθ' ύψος, με κέντρο στη θέση 30.5m κατά το διάμηκες και 2.35m καθ' ύψος επί της δεξιάς (*starboard*) πλευράς του πλοίου. Το ρήγμα στο χώρο των οχημάτων είναι διαστάσεων 6m κατά το διάμηκες και 1m καθ' ύψος, με κέντρο στη θέση 52m κατά το διάμηκες και 7.55m καθ' ύψος επί της δεξιάς πλευράς του πλοίου.

Τα ρήγματα, όπως αναφέρθηκε, μοντελοποιούνται ως ανοίγματα. Οπότε ο παραπάνω πίνακας σταθερών ανοιγμάτων επαυξάνεται για να συμπεριλάβει τις βλάβες. Επίσης ο πίνακας σύνδεσης των χώρων επίσης επαυξάνεται για να δημιουργηθούν οι συνδέσεις μέσω των ανοιγμάτων, αλλά και για να δηλωθούν ποια ανοίγματα είναι ανοιχτά και ποια κλειστά.

Υπενθυμίζεται ότι σε αυτή την περίπτωση όλες οι υδατοστεγείς θύρες και ανοίγματα κάτω από το κατάστρωμα οχημάτων είναι ανοιχτά, εκτός από την πιο πρωραία θύρα.

Με βάση τα παρακάτω πρόσθετα ανοίγματα, τις συνδέσεις των χώρων και την τοποθέτηση των ρηγμάτων, σε συνδυασμό με την επιλογή της αρχικής άθικτης κατάστασης πλεύσης, ουσιαστικά κατασκευάζεται το σενάριο βλάβης για το οποίο εκτελείται η προσομοίωση.



Σχέδιο 9.5-1: Βλάβες σεναρίου Express Samina και κατάσταση θυρών για το ROPAX

Κατάλογος Επιπλέον Ανοιγμάτων Ε/Γ-Ο/Γ για το σενάριο EXPRESS SAMINA					
ID	WT	GEOMOBJ	CONN	WRCOEF	L
ER.BREACH	UNPROTECTED	BREACH.ER	ENGINE.ROOM SEA	0.75	0
GRG.BREACH	UNPROTECTED	BREACH.GRG	MAIN.GARAGE SEA	0.75	0

Πίνακας 9.5-3: Κατάλογος επιπλέον ανοιγμάτων ROPAX για το σενάριο Express Samina

Πίνακας Επιπλέον Συνδέσεων Χώρων Ε/Γ-Ο/Γ για το σενάριο EXPRESS SAMINA			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
MAIN.GARAGE	CENTRAL.CASING.C	N	WAD1
CENTRAL.CASING.C	MAIN.GARAGE	N	WAD1
MAIN.GARAGE	CENTRAL.CASING.C	N	WAD2
CENTRAL.CASING.C	MAIN.GARAGE	N	WAD2
ROOMF5.C	ROOMF6.C	N	WAD3
ROOMF6.C	ROOMF5.C	N	WAD3
ROOMF4.UP.C	ROOMF5.C	Y	WAD4
ROOMF5.C	ROOMF4.UP.C	Y	WAD4
ROOMF3.UP.C	ROOMF4.UP.C	Y	WAD5
ROOMF4.UP.C	ROOMF3.UP.C	Y	WAD5
ROOMF3.LOW.C	ROOMF3.UP.C	Y	WAD6
ROOMF3.UP.C	ROOMF3.LOW.C	Y	WAD6

Πίνακας Επιπλέον Συνδέσεων Χώρων Ε/Γ-Ο/Γ για το σενάριο EXPRESS SAMINA			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
ROOMF2.LOW.C	ROOMF3.LOW.C	Y	WAD7
ROOMF3.LOW.C	ROOMF2.LOW.C	Y	WAD7
ROOMF1.LOW.C	ROOMF2.LOW.C	Y	WAD8
ROOMF2.LOW.C	ROOMF1.LOW.C	Y	WAD8
ENGINE.ROOM	ROOMF1.LOW.C	Y	WAD9
ROOMF1.LOW.C	ENGINE.ROOM	Y	WAD9
ENGINE.ROOM	ROOMF1.UP.C	Y	WAD10
ROOMF1.UP.C	ENGINE.ROOM	Y	WAD10
ROOMA1.UP.C	ENGINE.ROOM	Y	WAD11
ENGINE.ROOM	ROOMA1.UP.C	Y	WAD11
ROOMA2.UP.P	ROOMA1.UP.C	Y	WAD12
ROOMA1.UP.C	ROOMA2.UP.P	Y	WAD12
ROOMA2.UP.S	ROOMA1.UP.C	Y	WAD13
ROOMA1.UP.C	ROOMA2.UP.S	Y	WAD13
ROOMA2.LOW.C	ROOMA2.UP.P	Y	WAD14
ROOMA2.UP.P	ROOMA2.LOW.C	Y	WAD14
ROOMA2.LOW.C	ROOMA2.UP.S	Y	WAD15
ROOMA2.UP.S	ROOMA2.LOW.C	Y	WAD15
ENGINE.ROOM	SEA	Y	ER.BREACH
SEA	ENGINE.ROOM	Y	ER.BREACH
MAIN.GARAGE	SEA	Y	GRG.BREACH
SEA	MAIN.GARAGE	Y	GRG.BREACH

Πίνακας 9.5-4: Πίνακας πρόσθετων συνδέσεων χώρων για το ROPAX για το σενάριο Express Samina

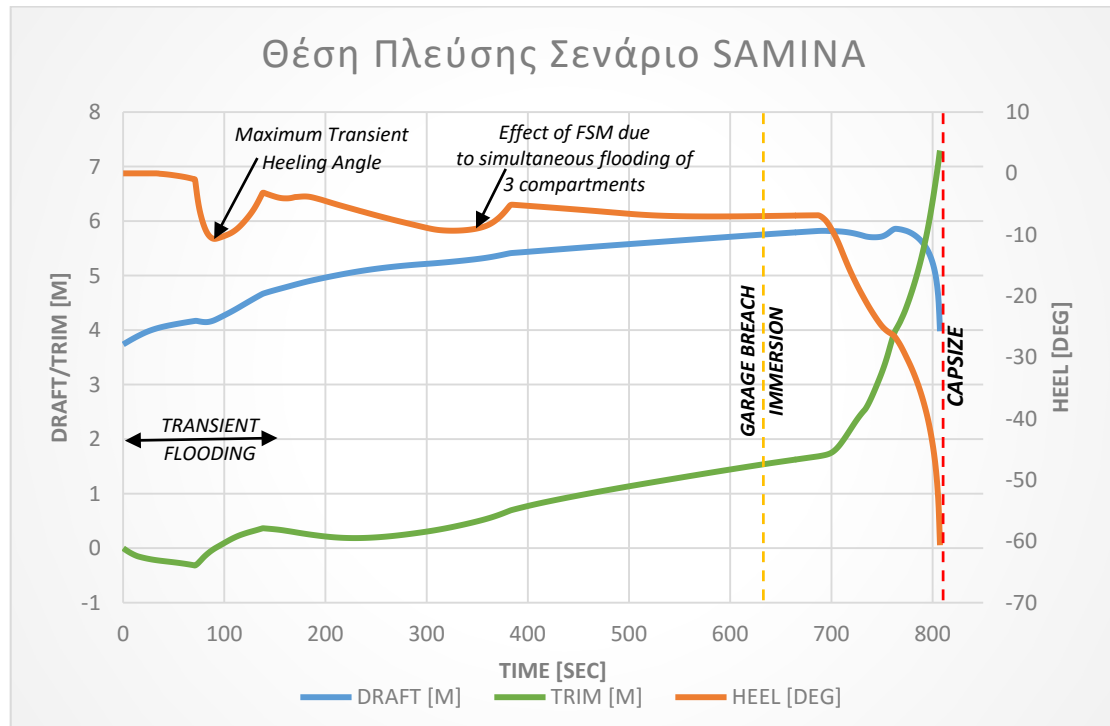
9.5.1.2 Αποτελέσματα

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται τα βασικότερα αποτελέσματα τα οποία λαμβάνονται από την εκτέλεση του αριθμητικού πειράματος προσομοίωσης κατάκλισης για την περίπτωση του ROPAX, υποθέτοντας ότι συμβαίνει το σενάριο βλάβης που αντιστοιχεί στο ατύχημα του *Express Samina*.

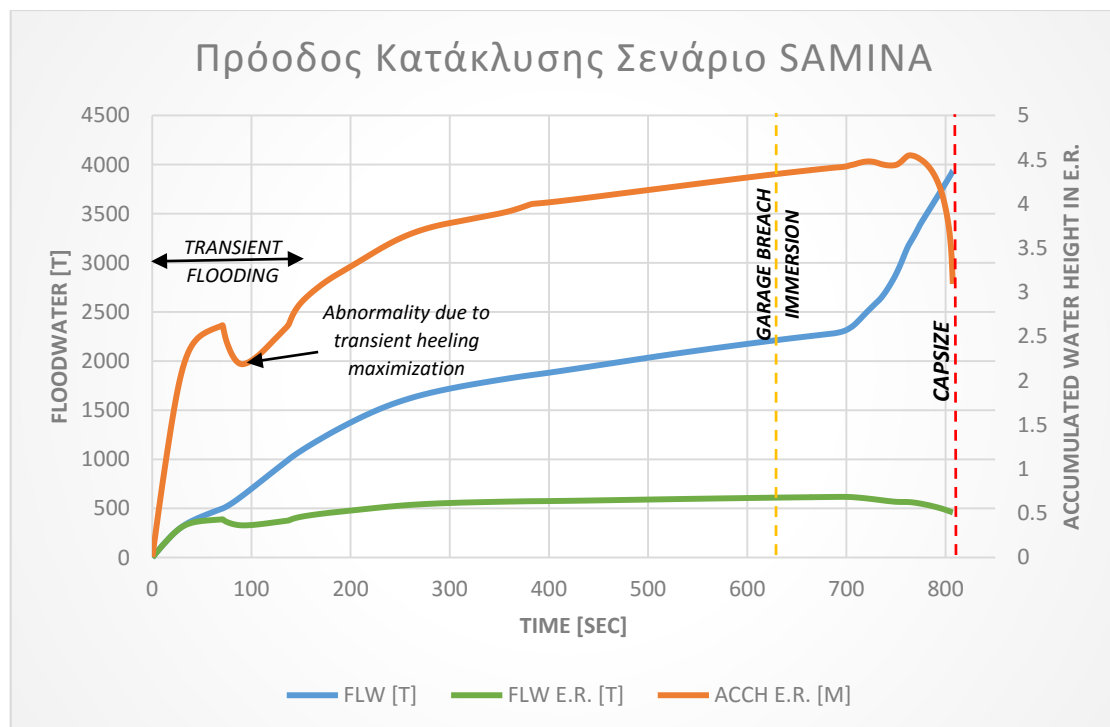
Τα κυριότερα αποτελέσματα είναι η μεταβολή, ως προς το χρόνο, της θέσης πλευσης, δηλαδή των τριών βαθμών ελευθερίας που την ορίζουν, το βύθισμα, η διαγωγή και η γωνία εγκάρσιας κλίσης, η πρόοδος κατάλυσης, δηλαδή η μεταβολή της ποσότητας του νερού κατάκλισης και η μεταβολή των παραμέτρων ευστάθειας, οι οποίες είναι το πραγματικό μετακεντρικό ύψος, η μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς και ο συντελεστής επιβιωσιμότητας s . Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται υπό τη μορφή διαγραμμάτων.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το πλοίο δεν επιβιώνει και τελικά οδηγείται στην ανατροπή *capsize*. Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο, καθώς τα ρήγματα αυτού του τύπου και κυρίως το ρήγμα στο χώρο των οχημάτων επιτρέπει αφενός μεγάλη ταχύτητα κατάκλισης των χώρων, διότι τα ρήγματα είναι αρκετά εκτενή κι αφετέρου οι σχηματιζόμενες ελεύθερες επιφάνειες έχουν πολύ μεγάλη έκταση, καθώς ο χώρος δεν είναι διαιρεμένος και η επίδραση της ροπής

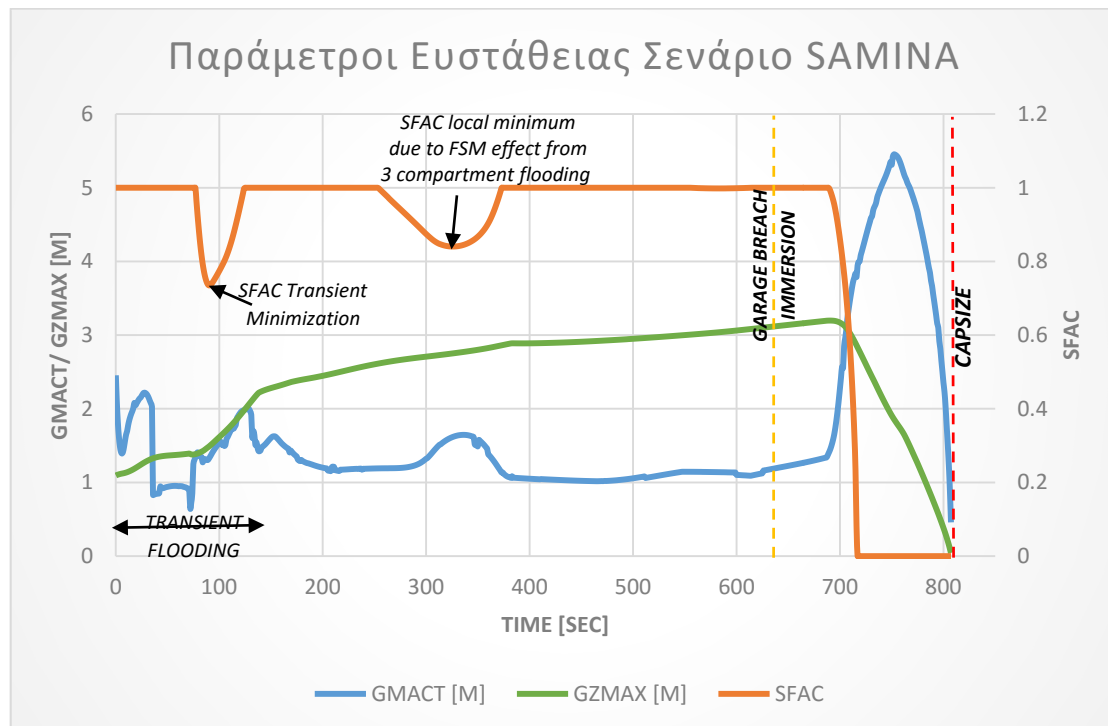
λόγω της μετακίνησης του υγρού (*sloshing effect*) μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του πραγματικού μετακεντρικού ύψους και απώλεια ευστάθειας. Ουσιαστικά, η δεύτερη παράμετρος είναι η σημαντικότερη, γεγονός που επιβεβαιώθηκε και από την τραγική κατάληξη του *Express Samina*.



Διάγραμμα 9.5-1: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το ROPAX στο σενάριο *Express Samina*



Διάγραμμα 9.5-2: Πρόδος κατάκλυσης για το ROPAX στο σενάριο *Express Samina*



Διάγραμμα 9.5-3: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το ROPAX στο σενάριο Express Samina

Παρατηρώντας τα διαγράμματα αποτελεσμάτων φαίνεται ότι υπάρχουν οι διακριτές περιόδους της πορείας κατάκλυσης, όπως περιεγράφηκε στην αρχή του κεφαλαίου. Υπάρχει αρχικά η μεταβατική περίοδος κατάκλυσης (*transient flooding*), η οποία διαρκεί περίπου δύο λεπτά και χαρακτηρίζεται από έντονη μεταβλητότητα των τιμών, κυρίως στη γωνία εγκάρσιας κλίσης, το πραγματικό μετακεντρικό ύψος και το συντελεστή επιβιωσιμότητας s και σχετίζεται με τη μεγάλη επίδραση των ελεύθερων επιφανειών. Στη συνέχεια, ακολουθεί μια πιο ομαλή διαδικασία κατάκλυσης, όπου η επίδραση των ελεύθερων επιφανειών περιορίζεται και αντισταθμίζεται από τη μείωση του κέντρου βάρους του πλοίου λόγω κατάκλυσης των χώρων κάτωθεν του καταστρώματος οχημάτων. Τελικά, το πλοίο οδηγείται στην ανατροπή μετά τη βύθιση του ρήγματος στο χώρο των οχημάτων, λόγω της επίδρασης των σχηματιζόμενων ελεύθερων επιφανειών στο κατάστρωμα οχημάτων.

Στο Διάγραμμα 9.5-1 φαίνεται η μεταβολή των παραμέτρων που ορίζουν μονοσήμαντα τη θέση πλευσης. Από αυτό το διάγραμμα φαίνεται μια διαρκής αύξηση του βυθίσματος, κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο, καθώς η αύξηση του νερού κατάκλυσης προοδευτικά οδηγεί σε αύξηση του εκτοπίσματος, ενώ η μείωση που εμφανίζεται προς το τέλος, οφείλεται στο ότι η μέτρηση του βυθίσματος γίνεται για το μέσο του πλοίου και λόγω των υπερβολικά μεγάλων κλίσεων, διαμήκως και εγκάρσια, ο υπολογισμός του βυθίσματος στη θέση αυτή είναι ανακριβής. Αρχικά, αναπτύσσεται έμπρυσμη διαγωγή, όμως στη συνέχεια, η καμπύλη της διαγωγής εμφανίζει προοδευτική αύξηση, λόγω της κατάκλυσης των χώρων κάτωθεν του καταστρώματος οχημάτων, οι περισσότεροι εκ των οποίων είναι διατεταγμένοι πρώραθεν του μηχανοστασίου, σε σχετικά μεγαλύτερη απόσταση από το κέντρο πλευστότητας, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη έμπρωρης διαγωγής. Στη συνέχεια και αμέσως μετά τη βύθιση του κατώτερου σημείου του ρήγματος στο χώρο οχημάτων, προκαλείται ραγδαία αύξηση του trim. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο καθώς λόγω της ήδη υπάρχουσας διαμήκου κλίσης, το

νερό που συσσωρεύεται στο χώρο των οχημάτων κινείται προς την πλήρη με αποτέλεσμα περαιτέρω αύξηση της διαγωγής.

Στο Διάγραμμα 9.5-1 αποτυπώνεται επίσης η προοδευτική μεταβολή της γωνίας εγκάρσιας κλίσης. Στη γωνία εγκάρσιας κλίσης αποκρυσταλλώνεται η δυναμική του φαινομένου της κατάκλυσης, όπου κατά το μεταβατικό φαινόμενο υπάρχει ραγδαία αύξηση της γωνίας κλίσης, με μέγιστη μεταβατική γωνία περί τις 10° . Στη συνέχεια και καθώς τα κατώτερα διαμερίσματα κατακλύζονται, το πλοίο επανέρχεται σε μικρότερες γωνίες κλίσης, ενώ λόγω της ταυτόχρονης κατάκλυσης των τριών πιο πρωραίων χώρων, υπάρχει μια νέα βύθιση της καμπύλης περί τα 360sec. Το πλοίο επανέρχεται και φαίνεται να σταθεροποιείται σε γωνία εγκάρσια κλίσης περί τις 8° , μέχρι που λόγω της αύξησης του βυθίσματος και της διαγωγής, λόγω του νερού κατάκλυσης, το ρήγμα στο χώρο των οχημάτων βυθίζεται. Από εκεί και πέρα το πλοίο είναι καταδικασμένο. Όπως φαίνεται ουσιαστικά μέσα σε 3 λεπτά το πλοίο αναπτύσσει μια πρόσθετη κλίση 50° και οδηγείται στην ανατροπή.

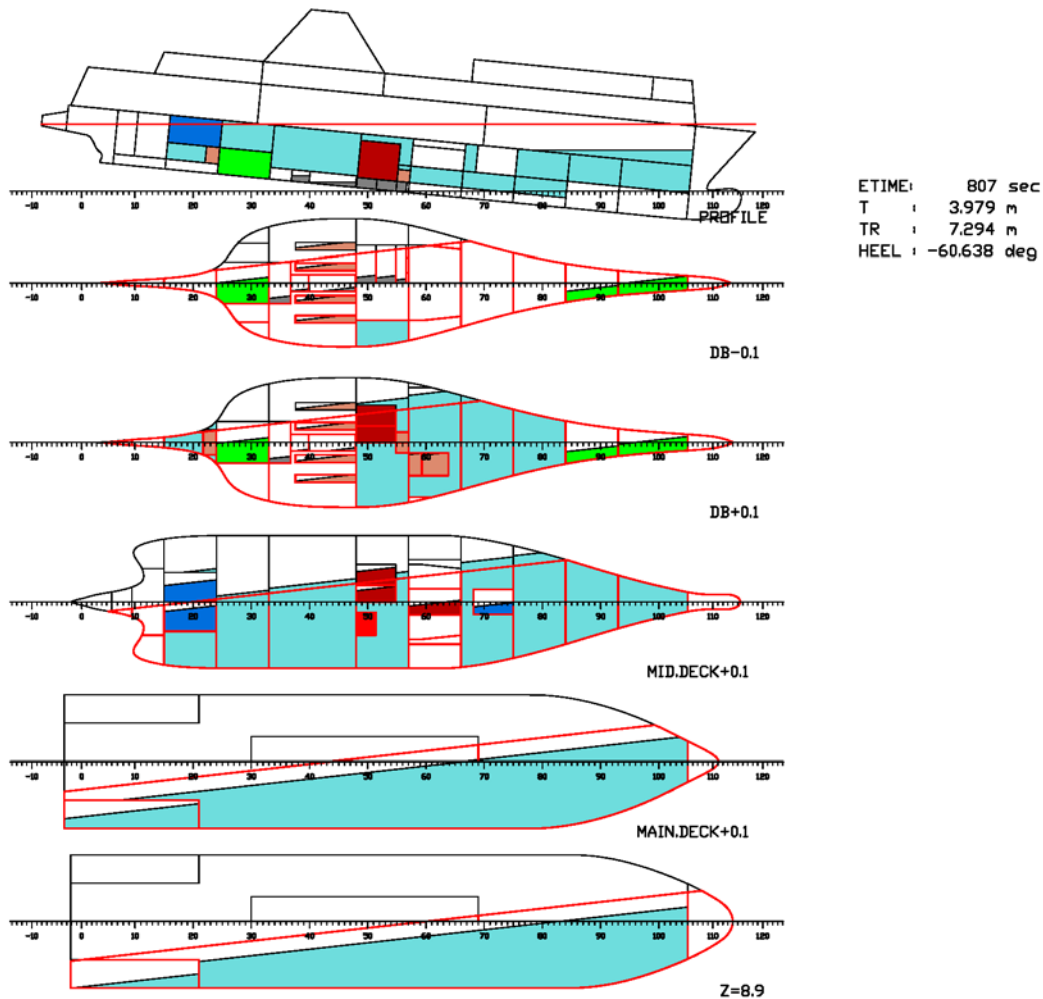
Στο Διάγραμμα 9.5-2 παρουσιάζεται η πορεία κατάκλυσης, δηλαδή η χρονική εξέλιξη της συσσώρευσης του νερού κατάκλυσης κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Στην πρώτη φάση της μεταβατικής κατάκλυσης, όπως αναμένεται, η ποσότητα του νερού κατάκλυσης αυξάνεται, με εξαίρεση ένα μέρος προς το τέλος της αρχικής μεταβατικής φάσης, όπου λόγω της ανώμαλης πορείας της γωνίας κλίσης, μια ποσότητα του νερού κατάκλυσης επιστρέφει στη θάλασσα. Στη συνέχεια, η ποσότητα του νερού κατάκλυσης διαρκώς αυξάνεται μέχρι την ανατροπή του πλοίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι μέσα στο πρώτο λεπτό, το ύψος του νερού μέσα στο μηχανοστάσιο φτάνει τα 2.5m, γεγονός που δείχνει την κρισιμότητα της κατάστασης για το πλήρωμα του μηχανοστασίου και ότι ο διαθέσιμος χρόνος για την εκκένωση του είναι πολύ περιορισμένος. Τέλος, η ποσότητα του νερού κατάκλυσης, μετά τη βύθιση του ρήγματος στο χώρο των οχημάτων, είναι περίπου ίση με την ποσότητα του νερού κατάκλυσης πριν από αυτή. Έτσι σε περίπου 3 λεπτά μετά τη βύθιση του ανοίγματος, συσσωρεύεται στο πλοίο όσο νερό είχε συσσωρευθεί στα πρώτα 10 λεπτά.

Στο Διάγραμμα 9.5-3 αποτυπώνεται η μεταβολή των κυριότερων παραμέτρων ευστάθειας για την περίπτωση του Ε/Γ-Ο/Γ, όταν υποβάλλεται στα ρήγματα του *Express Samina*. Οι ποσότητες που παρουσιάζονται είναι το πραγματικό μετακεντρικό ύψος GMACT, δηλαδή το μετακεντρικό ύψος που προκύπτει από την αφαίρεση της καθ' ύψους θέσης του KG από το άθροισμα της καθ' ύψους θέσης του κέντρου άντωσης KB και της εγκάρσιας μετακεντρικής ακτίνας BM_T , διορθωμένη κατά την εικονική αύξηση του KG, που λαμβάνει υπόψη την επίδραση των ελεύθερων επιφανειών. Η επίδραση των ελεύθερων επιφανειών, που λογίζεται ως μια εικονική αύξηση του KG ή αντίστοιχα μια εικονική μείωση του μετακεντρικού ύψους, εξαρτάται από τη γεωμετρία της ισάλου εντός κάποιων μη πληρωμένης δεξαμενής και συγκεκριμένα από την ροπή αδράνειας της επιφάνειας της στάθμης. Όπως φαίνεται το μετακεντρικό ύψος μειώνεται σημαντικά αμέσως μετά την κατάκλυση, λόγω της ανάπτυξης των ελεύθερων επιφανειών στο μηχανοστάσιο. Στη συνέχεια και καθώς το νερό πληρώνει το χώρο μηχανοστασίου, το KG μειώνεται, οπότε αυξάνεται το GM. Εν συνεχεία, το νερό προοδευτικά κατακλύζει τους παράπλευρους χώρους, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ροπών λόγω ελεύθερων επιφανειών, η επίδραση των οποίων εξασθενεί στη συνέχεια, λόγω της επερχόμενης μείωσης του KG, λόγω αύξησης της ποσότητας νερού κατάκλυσης που συσσωρεύεται στους κατώτερους χώρους. Η μεταβατική λοιπόν περίοδος, χαρακτηρίζεται από την εναλλαγή της επίδρασης των ελεύθερων

επιφανειών και της μετέπειτα μείωσης του KG, λόγω της συγκέντρωσης μεγάλης ποσότητας νερού σε χώρους με χαμηλό κέντρο βάρους. Κατά την προοδευτική κατάκλυση, η τιμή του GM ισορροπεί σχετικά, με εξαίρεση κάποιες περιόδους όπου και πάλι το παραπάνω φαινόμενο εναλλαγής εμφανίζεται ξανά. Στην τελική φάση, παρατηρείται μια άνοδος της τιμής του GM και στη συνέχεια ραγδαία πτώση. Η άνοδος οφείλεται στο γεγονός ότι η αύξηση της εγκάρσιας κλίσης, περιορίζει την ελεύθερη επιφάνεια στο χώρο των οχημάτων, με αποτέλεσμα η ροπή αδράνειας να είναι σχετικά μειωμένη. Επιπρόσθετα, επειδή πλέον οι γωνίες κλίσης είναι σημαντικές, ορισμένα εξωτερικά ανοίγματα βυθίζονται οδηγώντας σε κατάκλυση νέων χώρων οι οποίοι επίσης βρίσκονται κάτω από το κατάστρωμα οχημάτων, χαμηλώνοντας έτσι το κέντρο βάρους στη βεβλαμμένη κατάσταση. Προοδευτικά και όσο οι ποσότητες νερού κατάκλυσης αυξάνονται ραγδαία, η ελεύθερη επιφάνεια διαρκώς επεκτείνεται, η γωνία εγκάρσιας κλίσης μειώνεται και τελικά το μετακεντρικό ύψος μειώνεται και μηδενίζεται.

Σε ό,τι αφορά το συντελεστή επιβιωσιμότητας s , παρατηρείται ότι υπάρχει μεταβολή της πιθανότητας επιβίωσης του πλοίου κατά τη διάρκεια των φάσεων κατάκλυσης. Στην αρχική μεταβατική περίοδο, η τιμή του συντελεστή επιβιωσιμότητας μειώνεται μέχρι περίπου το 0.77. Στη συνέχεια, η τιμή του συντελεστή επανέρχεται στη μονάδα, οπότε το πλοίο θεωρητικά είναι εξασφαλισμένο έναντι ανατροπής και βύθισης. Λόγω της ταυτόχρονης κατάκλυσης τριών χώρων στο πλοίο, ο συντελεστής εκ νέου μειώνεται, μέχρι περίπου 0.82 και στη συνέχεια επανέρχεται στη μονάδα. Τελικά, ο συντελεστής μετά τη βύθιση του ρήγματος στο χώρο φορτίου, μειώνεται ραγδαία και φτάνει το 0, πράγμα που δείχνει ότι το πλοίο ουσιαστικά έχει χαθεί και θα ανατραπεί, γεγονός που επιβεβαιώνεται εν τέλει. Αξίζει να σημειωθεί, ότι για το τελευταίο 1.5 λεπτό, ο συντελεστής επιβιωσιμότητας είναι μηδενικός, όμως το πλοίο δεν ανατρέπεται εκείνη τη χρονική στιγμή που μηδενίζεται ο συντελεστής s .

Η τελική κατάσταση του πλοίου, λίγο πριν την ανατροπή φαίνεται στο επόμενο σχέδιο.

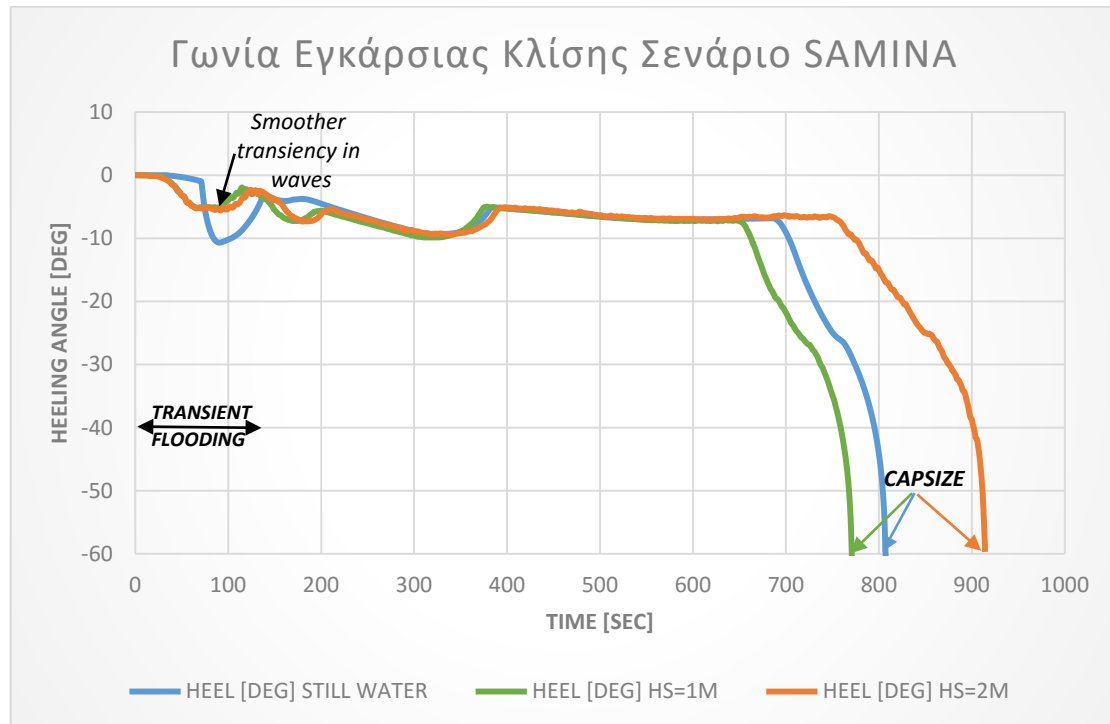


Σχέδιο 9.5-2: Τελική θέση πλοίου ROPAX στο σενάριο Express Samina

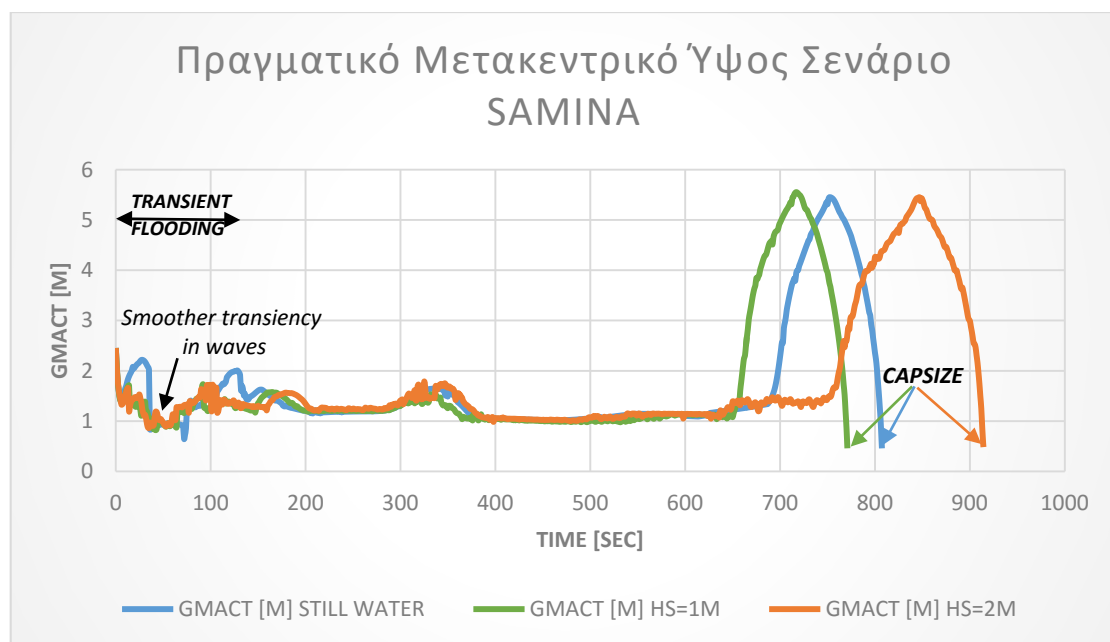
9.5.1.3 Επίδραση κυματισμού

Σε αυτήν την παράγραφο εξετάζεται η επίδραση των κυματισμών στην πορεία κατάκλισης για το ίδιο σενάριο βλάβης. Όπως αναφέρθηκε, ο κυματισμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν ψευδοτυχαίος με σημαντικό ύψος κύματος 1m και 2m και περίοδο κυματισμού 5sec.

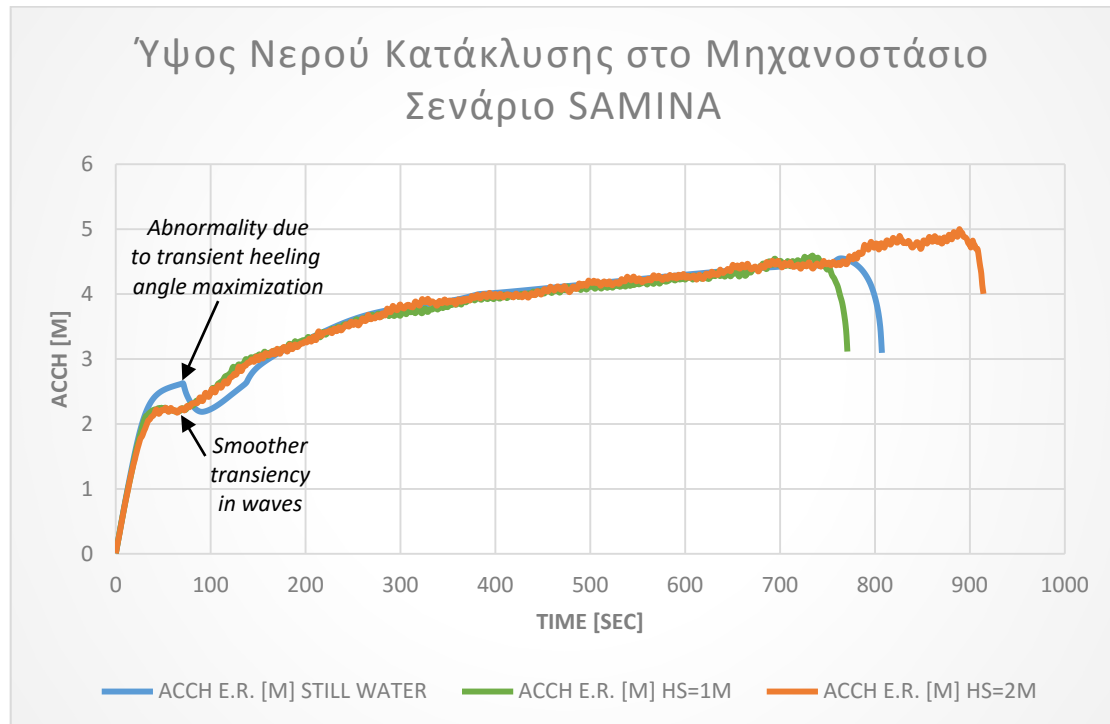
Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στα παρακάτω διαγράμματα όπου αποτυπώνεται η μεταβολή της εγκάρσιας κλίσης για ήρεμο νερό και τους κυματισμούς, η μεταβολή της πορείας κατάκλισης σε όρους ποσότητας νερού κατάκλισης, η μεταβολή του πραγματικού μετακεντρικού ύψους και η μεταβολή του συντελεστή επιβιωσιμότητας s .



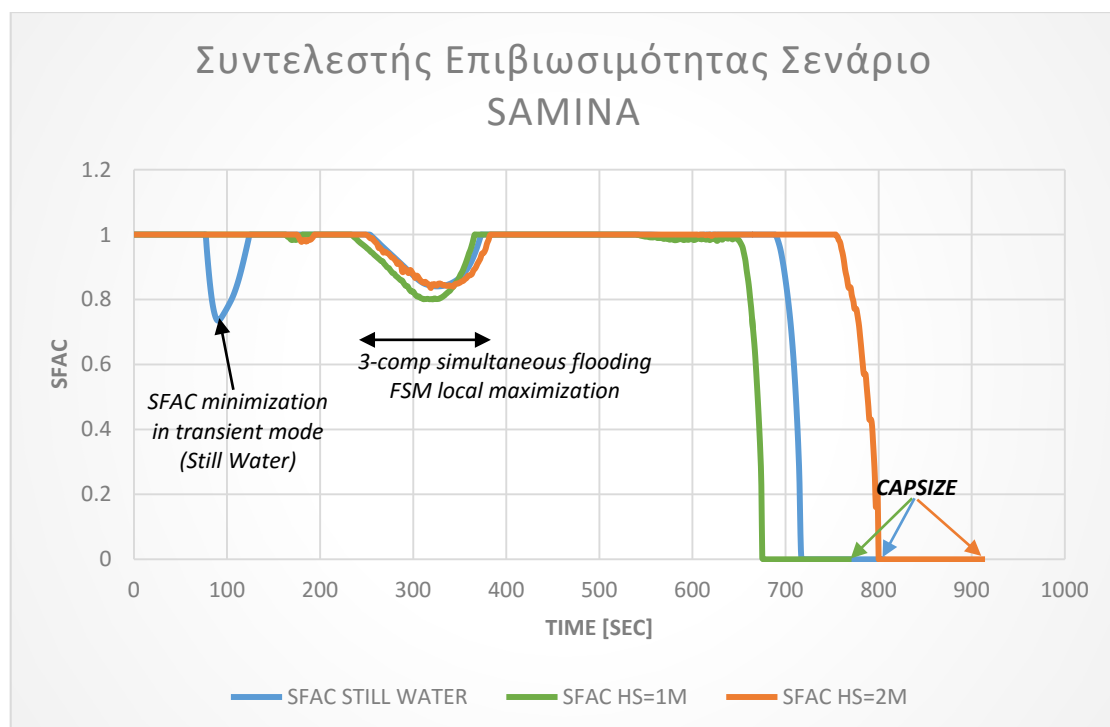
Διάγραμμα 9.5-4: Μεταβολή γωνίας εγκάρσιας κλίσης για το ROPAX στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.5-5: Μεταβολή μετακεντρικού ύψους για το ROPAX στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.5-6: Πρόοδος κατάκλυσης για το ROPAX στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.5-7: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για το ROPAX στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό

Αρχικά σχολιάζονται τα βασικότερα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επίδραση των κυματισμών. Σε γενικές γραμμές η μορφή των καμπυλών είναι παραπλήσια, όμως σε ό,τι αφορά το χρονικό παράθυρο προσομοίωσης, υπάρχουν διαφορές. Όπως φαίνεται για την

περίπτωση του κυματισμού σημαντικού ύψους κύματος ενός μέτρου η ανατροπή γίνεται νωρίτερα από την περίπτωση του ήρεμου νερού, ενώ για την περίπτωση κυματισμού με σημαντικό ύψος κύματος 2m, η ανατροπή καθυστερεί. Γενικώς, όλα τα φαινόμενα της κατάκλυσης υπεισέρχονται με κάποια χρονική διαφορά, από την περίπτωση ήρεμου νερού, είτε ως προπορία για την περίπτωση του σημαντικού ύψους κύματος 1m, είτε ως υστέρηση για την περίπτωση του κυματισμού με σημαντικό ύψος κύματος 2m.

Οι χρόνοι μέχρι την ανατροπή (*Time to Capsize*) είναι για κάθε κυματισμό:

- Ήρεμο νερό (*Still Water*): 807.3 sec \approx 13.455 min
- Κυματισμός με σημαντικό ύψος κύματος $H_s=1m$: 770.9 sec \approx 12.848 min
- Κυματισμός με σημαντικό ύψος κύματος $H_s=2m$: 914.3 sec \approx 15.238 min

Όπως φαίνεται ο χρόνος μέχρι την ανατροπή είναι πολύ μικρός, περίπου ένα τέταρτο της ώρας. Αυτός ο χρόνος αντιστοιχεί στο μισό του μέγιστου προβλεπόμενου χρόνου εκκένωσης και εγκατάλειψης του πλοίου, ο οποίος ορίζεται στα τριάντα λεπτά, σύμφωνα με τους κανονισμούς Ασφάλειας της Ζωής στη Θάλασσα (*SOLAS*). Κατά συνέπεια, το συγκεκριμένο σενάριο βλάβης είναι πολύ επικίνδυνο και ο χρόνος αντίδρασης είναι πολύ περιορισμένος.

Παρατηρώντας επίσης τα διάφορα διαγράμματα, φαίνεται ότι η επίδραση του κυματισμού συμβάλλει στην ομαλοποίηση της αρχικής μεταβατικής κατάκλυσης, καθώς και η μέγιστη γωνία εγκάρσιας κλίσης κατά τη μεταβατική φάση είναι μικρότερη και οι τιμές του πραγματικού μετακεντρικού ύψους σταθεροποιούνται γρήγορα γύρω από κάποια τιμή γύρω στο 1.2m. Επίσης σε ό,τι αφορά στην πιθανότητα επιβίωσης, η βύθιση που παρατηρείται για την αρχική φάση της κατάκλυσης, για την περίπτωση του ήρεμου νερού, δεν υπάρχει στις περιπτώσεις με την επίδραση του κυματισμού.

Σε γενικές γραμμές η κύρια μορφολογία των καμπυλών παραμένει η ίδια, αφού τα φαινόμενα που εξελίσσονται κατά την προοδευτική κατάκλυση είναι ίδια. Ωστόσο, οι καμπύλες για την περίπτωση όπου λαμβάνεται υπόψη ο κυματισμός, παρουσιάζουν έντονη μεταβλητότητα, ακριβώς λόγω της διαρκούς διαταραχής της ελεύθερης επιφάνειας, άρα και των πιέσεων και ταχυτήτων εντός του πεδίου ροής και συνεπώς και της παροχής μέσω των ανοιγμάτων. Η έντονη μεταβολή της επιφάνειας του νερού εξωτερικά, οδηγεί σε αντίστοιχες μεταβολές και στην εσωτερική κοινή ισάλο των διαμερισμάτων. Συνεπώς, ένα άνοιγμα το οποίο βυθίζεται σε κάποια στιγμή, μπορεί στη συνέχεια να είναι εκτός νερού, οδηγώντας έτσι σε μία περιοδικά διακοπτόμενη κατάκλυση παρακείμενων χώρων. Προφανώς κάποια στιγμή η μέση τιμή της ισάλου θα βρίσκεται πάνω από το κατώτερο σημείο του ανοίγματος, οπότε η κατάκλυση θα γίνει συνεχής, όμως φαίνεται ότι η αρχική διακοπτόμενη μεταβατική κατάκλυση οδηγεί σε ομαλότερη μεταβατική κατάκλυση, χωρίς πολύ βίαιες κινήσεις.

Σημειώνεται, επίσης ότι η πορεία κατάκλυσης εξαρτάται εν μέρει και από τον κυματισμό που επιδρά επί του πλοίου, κυρίως λόγω πιθανών συμπτώσεων μεταξύ δυσμενών φαινομένων κατάκλυσης και θέσης της ισάλου επιφάνειας που επενεργεί αρνητικά στην πορεία κατάκλυσης.

9.5.1.4 Συμπεράσματα

Με βάση τα παραπάνω, μπορούν να εξαχθούν κάποια δόκιμα συμπεράσματα.

- Με βάση το παραπάνω πείραμα προσομοίωσης επιβεβαιώθηκε σε μεγάλο βαθμό η αρχική θεωρία που προβλέπει την κατάκλυση σε διακριτές φάσεις, δηλαδή την αρχική μεταβατική και την προοδευτική κατάκλυση.
- Η επίδραση του κυματισμού είναι ωφέλιμη, αρχικά, καθώς οδηγεί σε περιορισμό των αρχικών μεταβατικών φαινομένων και άρα οδηγεί σε ομαλότερη μεταβατική συμπεριφορά. Ωστόσο, για την τελική στιγμή της ανατροπής, δεν μπορεί να εξαχθεί συμπέρασμα, καθώς για τον κυματισμό με σημαντικό ύψος κύματος 1m η βύθιση γίνεται νωρίτερα απ' ό τι στην περίπτωση του ήρεμου νερού, ενώ για σημαντικό ύψος κύματος 2m η βύθιση καθυστερεί.
- Σε κάθε περίπτωση είτε με κυματισμό είτε χωρίς, το πλοίο που υπόκειται στο συγκεκριμένο σενάριο βλάβης τελικά οδηγείται στην ανατροπή και μάλιστα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.
- Το σύντομο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μέχρι την τελική ανατροπή είναι μικρότερο από το μισό του μέγιστου προβλεπόμενου χρόνου εκκένωσης του πλοίου, όπως ορίζεται στους κανονισμούς.

9.5.2 Σενάριο βλάβης προσάραξης *Grounding*

9.5.2.1 Δεδομένα

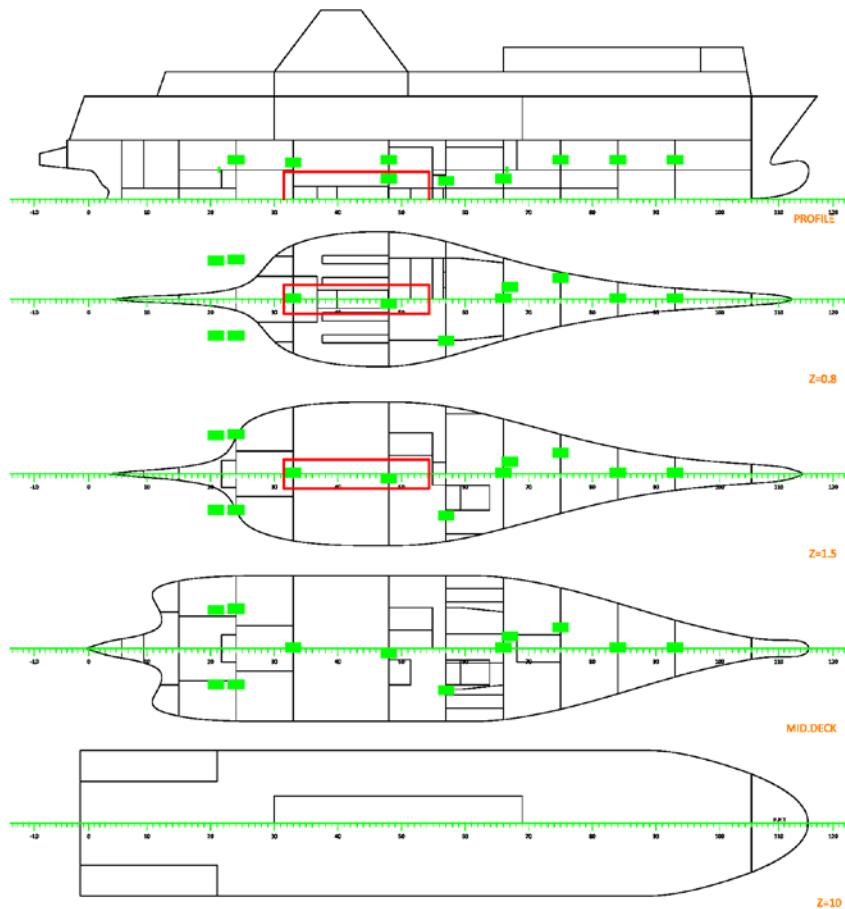
Σε αυτό το σενάριο εξετάζεται η πορεία κατάκλυσης για το ROPAX *Halkyon 90*, σε περίπτωση ατυχήματος προσάραξης (*grounding*). Το ατύχημα αυτό συμβαίνει στην περιοχή του μέσου του πλοίου, θίγει τη ζώνη του μηχανοστασίου και τις δύο ζώνες εκατέρωθεν αυτού, οδηγώντας σε βλάβη, συνολικά, τριών ζωνών. Ταυτόχρονα, όλα τα υδατοστεγή ανοίγματα θεωρήθηκαν ανοιχτά, προκειμένου να μελετηθεί η προοδευτική κατάκλυση, στο δυσμενέστερο πιθανό σενάριο βλάβης.

Το ρήγμα είναι ρήγμα πυθμένα, με μήκος 16m, περί το μέσον του πλοίου, συνολική εγκάρσια έκταση 3.2m, συμμετρικά περί τη *centerline* και καθ' ύψος εισχώρηση μέχρι τα 3m. Οι διαστάσεις και η θέση του ρήγματος προέρχονται εν μέρει από στατιστικά στοιχεία, ενώ η καθ' ύψος εισχώρηση είναι μέχρι ένα μέτρο κάτω από την ίσαλο σχεδίασης, όπως συνέβη στην περίπτωση της πλαγιοπροσάραξης του πλοίου *Costa Concordia*.

Το ρήγμα, μοντελοποιείται και πάλι ως άνοιγμα, προκειμένου να μελετηθεί η προοδευτική κατάκλυση από την άθικτη κατάσταση, μέχρι την τελική έκβαση του ατυχήματος. Όμοια λοιπόν, με το παραπάνω σενάριο, ο σταθερός πίνακας ανοιγμάτων και συνδέσεων χώρων, επαυξάνεται προκειμένου να ληφθούν υπόψη τα ρήγματα και οι ανοιχτές θύρες.

Το σενάριο βλάβης ορίζεται από την κατάσταση φόρτωσης, που είναι η κατάσταση που αντιστοιχεί στο ενδιάμεσο βύθισμα του κανονισμού, τα πρόσθετα ανοίγματα που αντιστοιχούν στη βλάβη και τις συνδέσεις των χώρων.

Στο επόμενο σχέδιο δίνεται η θέση και η έκταση της βλάβης, σε συνδυασμό με τις ανοιχτές θύρες, οι οποίες παρούσιάζονται με πράσινο χρώμα.



Σχέδιο 9.5-3: Βλάβες σεναρίου Grounding και κατάσταση θυρών για το ROPAX

Κατάλογος Επιπλέον Ανοιγμάτων Ε/Γ-Ο/Γ για το σενάριο GROUNDING					
ID	WT	GEOMOBJ	CONN	WRCOEF	L
GRD.BREACH.P1	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA NO.2.W.B.T.C	0.75	0
GRD.BREACH.P2	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA THERMO.OIL.STOR.DR.T.C	0.75	0
GRD.BREACH.P3	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA FO.DR.T.C	0.75	0
GRD.BREACH.P4	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA DIRTY.OIL.T.C	0.75	0
GRD.BREACH.P5	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA ENGINE.ROOM	0.75	0
GRD.BREACH.P6	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA MAIN.ENGINE.DB	0.75	0
GRD.BREACH.P7	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA NO.3.L.O.CIRC.T.P	0.75	0
GRD.BREACH.P8	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA C.W.DRAIN.T.P	0.75	0
GRD.BREACH.P9	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA SLUDGE.T.P	0.75	0
GRD.BREACH.P10	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA H.F.O.SERV.T.P	0.75	0
GRD.BREACH.S1	UNPROTECTED	BREACH.GRD2	SEA NO.2.L.O.CIRC.T.S	0.75	0
GRD.BREACH.S2	UNPROTECTED	BREACH.GRD2	SEA ROOMF1.LOW.C	0.75	0
GRD.BREACH.S3	UNPROTECTED	BREACH.GRD2	SEA M.G.O.STOR.T.S	0.75	0

Πίνακας 9.5-5: Κατάλογος επιπλέον ανοιγμάτων ROPAX για το σενάριο Grounding

Πίνακας Επιπλέον Συνδέσεων Χώρων Ε/Γ-Ο/Γ για το σενάριο <i>GROUNDING</i>			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
MAIN.GARAGE	CENTRAL.CASING.C	N	WAD1
CENTRAL.CASING.C	MAIN.GARAGE	N	WAD1
MAIN.GARAGE	CENTRAL.CASING.C	N	WAD2
CENTRAL.CASING.C	MAIN.GARAGE	N	WAD2
ROOMF5.C	ROOMF6.C	Y	WAD3
ROOMF6.C	ROOMF5.C	Y	WAD3
ROOMF4.UP.C	ROOMF5.C	Y	WAD4
ROOMF5.C	ROOMF4.UP.C	Y	WAD4
ROOMF3.UP.C	ROOMF4.UP.C	Y	WAD5
ROOMF4.UP.C	ROOMF3.UP.C	Y	WAD5
ROOMF3.LOW.C	ROOMF3.UP.C	Y	WAD6
ROOMF3.UP.C	ROOMF3.LOW.C	Y	WAD6
ROOMF2.LOW.C	ROOMF3.LOW.C	Y	WAD7
ROOMF3.LOW.C	ROOMF2.LOW.C	Y	WAD7
ROOMF1.LOW.C	ROOMF2.LOW.C	Y	WAD8
ROOMF2.LOW.C	ROOMF1.LOW.C	Y	WAD8
ENGINE.ROOM	ROOMF1.LOW.C	Y	WAD9
ROOMF1.LOW.C	ENGINE.ROOM	Y	WAD9
ENGINE.ROOM	ROOMF1.UP.C	Y	WAD10
ROOMF1.UP.C	ENGINE.ROOM	Y	WAD10
ROOMA1.UP.C	ENGINE.ROOM	Y	WAD11
ENGINE.ROOM	ROOMA1.UP.C	Y	WAD11
ROOMA2.UP.P	ROOMA1.UP.C	Y	WAD12
ROOMA1.UP.C	ROOMA2.UP.P	Y	WAD12
ROOMA2.UP.S	ROOMA1.UP.C	Y	WAD13
ROOMA1.UP.C	ROOMA2.UP.S	Y	WAD13
ROOMA2.LOW.C	ROOMA2.UP.P	Y	WAD14
ROOMA2.UP.P	ROOMA2.LOW.C	Y	WAD14
ROOMA2.LOW.C	ROOMA2.UP.S	Y	WAD15
ROOMA2.UP.S	ROOMA2.LOW.C	Y	WAD15
SEA	NO.2.W.B.T.C	Y	GRD.BREACH.P1
NO.2.W.B.T.C	SEA	Y	GRD.BREACH.P1
SEA	THERMO.OIL.STOR.DR.T.C	Y	GRD.BREACH.P2
THERMO.OIL.STOR.DR.T.C	SEA	Y	GRD.BREACH.P2
SEA	FO.DR.T.C	Y	GRD.BREACH.P3
FO.DR.T.C	SEA	Y	GRD.BREACH.P3
SEA	DIRTY.OIL.T.C	Y	GRD.BREACH.P4
DIRTY.OIL.T.C	SEA	Y	GRD.BREACH.P4
SEA	ENGINE.ROOM	Y	GRD.BREACH.P5
ENGINE.ROOM	SEA	Y	GRD.BREACH.P5

Πίνακας Επιπλέον Συνδέσεων Χώρων Ε/Γ-Ο/Γ για το σενάριο <i>GROUNDING</i>			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
SEA	MAIN.ENGINE.DB	Y	GRD.BREACH.P6
MAIN.ENGINE.DB	SEA	Y	GRD.BREACH.P6
SEA	NO.3.L.O.CIRC.T.P	Y	GRD.BREACH.P7
NO.3.L.O.CIRC.T.P	SEA	Y	GRD.BREACH.P7
SEA	C.W.DRAIN.T.P	Y	GRD.BREACH.P8
C.W.DRAIN.T.P	SEA	Y	GRD.BREACH.P8
SEA	SLUDGE.T.P	Y	GRD.BREACH.P9
SLUDGE.T.P	SEA	Y	GRD.BREACH.P9
SEA	H.F.O.SERV.T.P	Y	GRD.BREACH.P10
H.F.O.SERV.T.P	SEA	Y	GRD.BREACH.P10
SEA	NO.2.L.O.CIRC.T.S	Y	GRD.BREACH.S1
NO.2.L.O.CIRC.T.S	SEA	Y	GRD.BREACH.S1
SEA	ROOMF1.LOW.C	Y	GRD.BREACH.S2
ROOMF1.LOW.C	SEA	Y	GRD.BREACH.S2
SEA	M.G.O.STOR.T.S	Y	GRD.BREACH.S3
M.G.O.STOR.T.S	SEA	Y	GRD.BREACH.S3

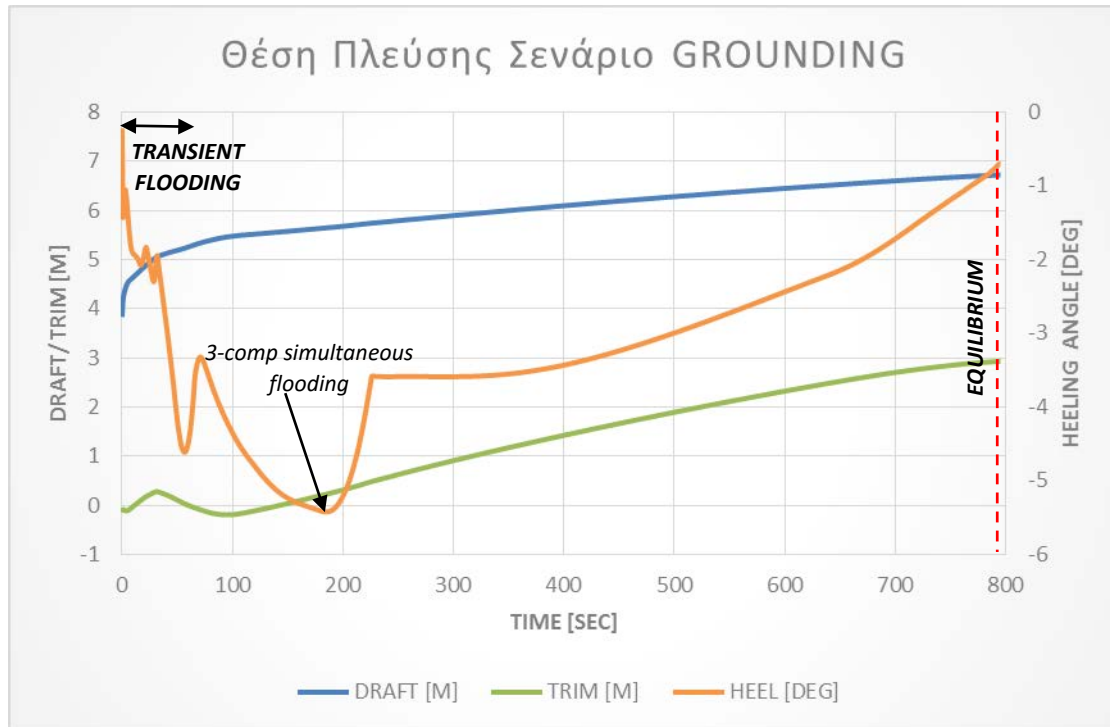
 Πίνακας 9.5-6: Πίνακας πρόσθετων συνδέσεων χώρων για το ROPAX για το σενάριο *Grounding*

9.5.2.2 Αποτελέσματα

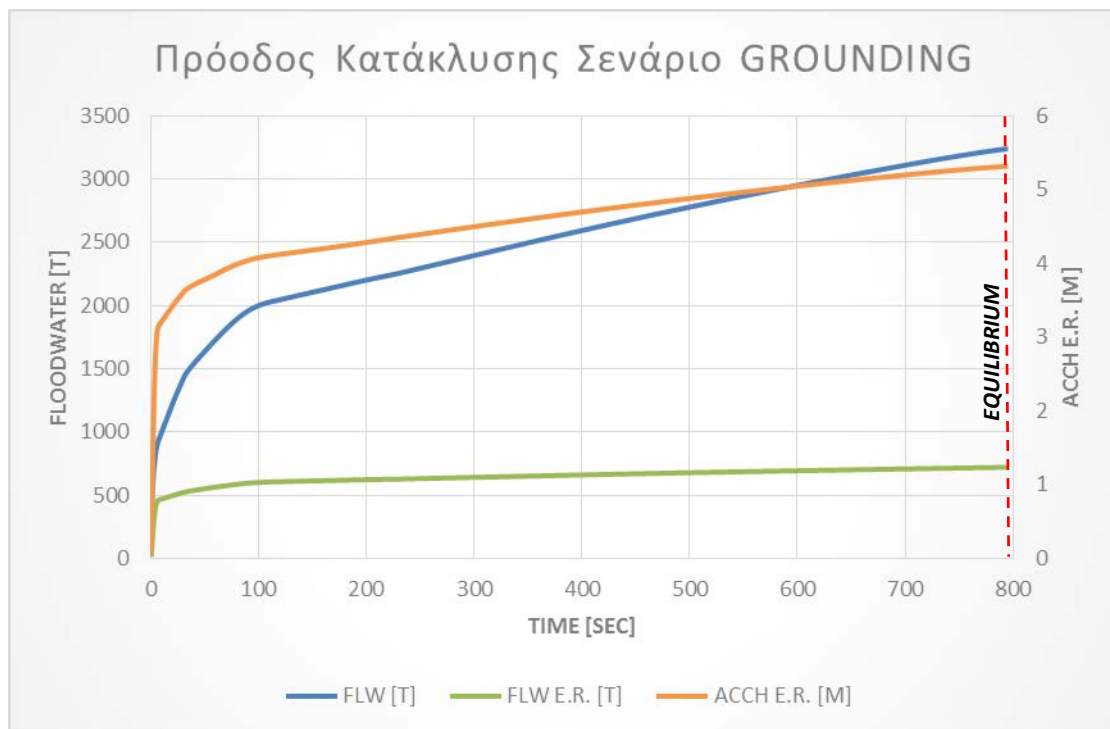
Σε αυτήν την παράγραφο συνοψίζονται τα αποτελέσματα του αριθμητικού πειράματος προσομοίωσης κατάκλισης στο σενάριο προσάραξης τριών ζωνών για το πλοίο ROPAX. Η δομή των διαγραμμάτων είναι η ίδια με την αντίστοιχη της περίπτωσης του σεναρίου *Express Samina*. Συνεπώς, στα διαγράμματα παρουσιάζεται η μεταβολή των τριών παραμέτρων που ορίζουν μονοσήμαντα τη θέση πλεύσης, δηλαδή το βύθισμα και οι γωνίες εγκάρσιας και διαμήκους κλίσης, η πρόοδος κατάκλισης σε όρους ποσότητας νερού κατάκλισης και η μεταβολή των παραμέτρων ευστάθειας, όπως το πραγματικό μετακεντρικό ύψος και ο συντελεστής επιβιωσιμότητας s .

Όπως δείχνουν τα αποτελέσματα, το πλοίο τελικά επιβιώνει επιτυχάνοντας μια νέα θέση ισορροπίας, σε κατάσταση βλάβης. Μια τέτοια συμπεριφορά δείχνει ότι το πλοίο μπορεί να επιβιώσει ρήγματα προσάραξης και μάλιστα αρκετά μεγάλων διαστάσεων. Μια ένδειξη ότι το πλοίο θα μπορούσε να επιβιώσει ενός τέτοιου ρήγματος είναι το διάγραμμα συντελεστή επιβιωσιμότητας που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 7 για την περίπτωση του ROPAX. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, η περιοχή είναι πράσινη, άρα η πιθανότητα επιβίωσης είναι μεγαλύτερη του 0.99. Ωστόσο, για το συγκεκριμένο διάγραμμα δε θεωρούνται ανοιχτές οι υδατοστεγείς θύρες. Αν και οι βλάβες που προδιαγράφονται στον κανονισμό είναι πλευρικές βλάβες, ενώ το ρήγμα αυτής της περίπτωσης είναι ρήγμα προσάραξης, μπορούν να αποτελέσουν ένδειξη ποιοτικά καλής συμπεριφοράς του πλοίου.

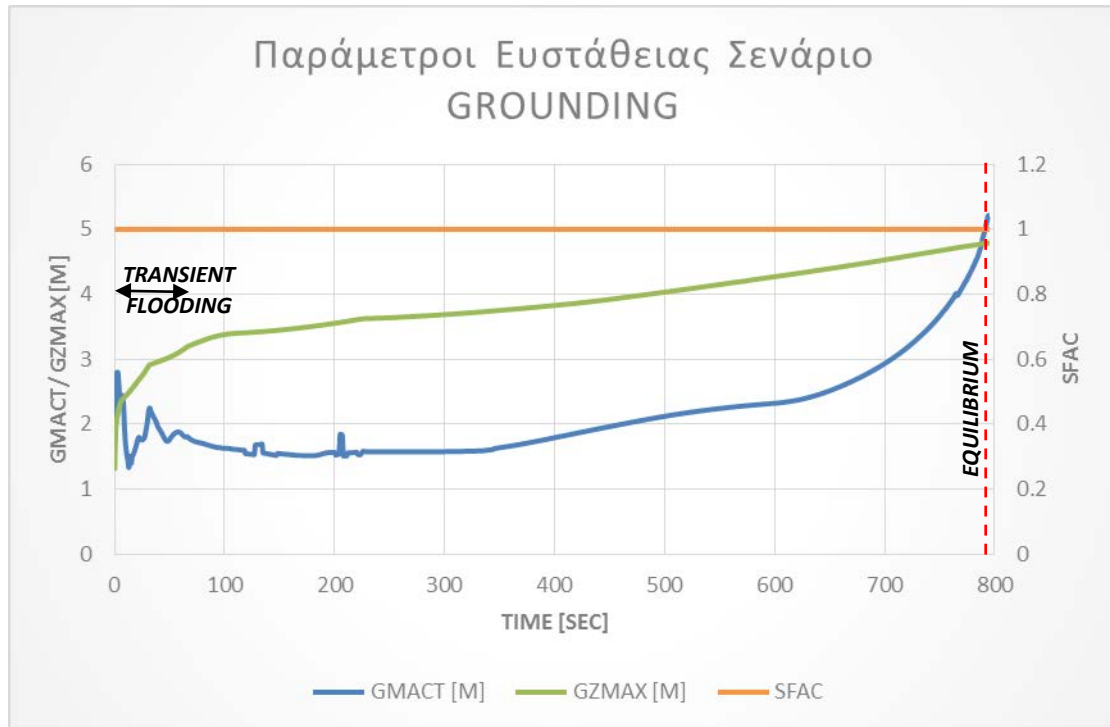
Τα αποτελέσματα δίνονται υπό τη μορφή διαγραμμάτων παρακάτω.



Διάγραμμα 9.5-8: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το ROPAX στο σενάριο Grounding



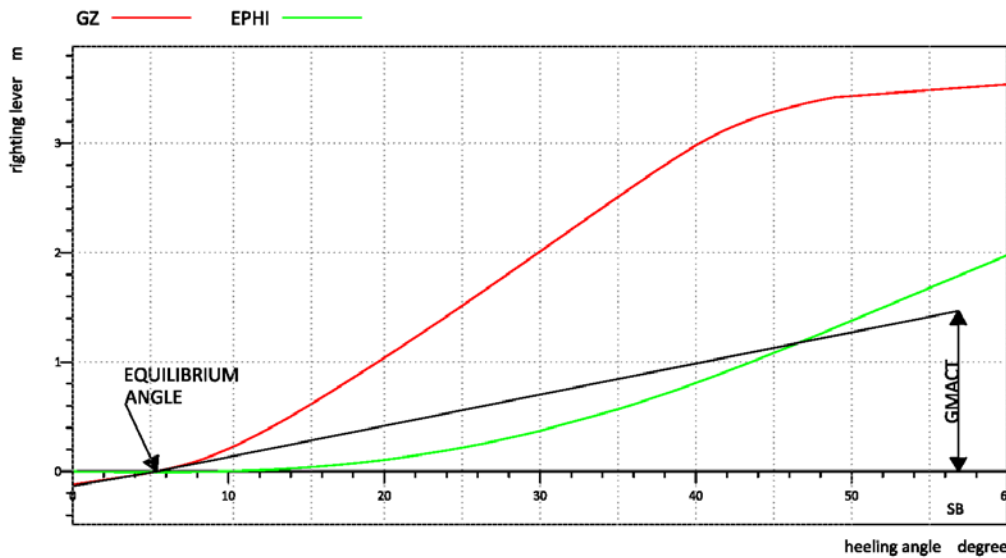
Διάγραμμα 9.5-9: Πρόδος κατάκλυσης για το ROPAX στο σενάριο Grounding



Διάγραμμα 9.5-10: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το ROPAX στο σενάριο Grounding

Εξετάζοντας τα διαγράμματα και πάλι αποτυπώνονται οι διακριτές, χαρακτηριστικές περιόδους της πορείας κατάκλυσης. Υπάρχει η αρχική μεταβατική περιοχή, η οποία διαρκεί για περίπου ενάμιση λεπτό και χαρακτηρίζεται από μεγάλες μεταβολές σε όλα τα μεγέθη, εκτός των ποσοτήτων νερού κατάκλυσης. Το φαινόμενο αυτό εξηγείται από την αυξημένη επίδραση των ελευθέρων επιφανειών, έναντι της μείωσης της καθ' ύψους θέσης του κέντρου βάρους, λόγω της συγκέντρωσης του νερού χαμηλά.

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να σημειωθεί ότι η τιμή της παραμέτρου GMACT, στα πλαίσια της παρούσας μελέτης είναι η διορθωμένη τιμή του μετακεντρικού ύψους, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των ελεύθερων επιφανειών. Η τιμή αυτή προκύπτει ως η παράγωγος της καμπύλης μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ-φ, στη γωνία ισορροπίας. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ενώ τα διαμερίσματα τα οποία θίγονται είναι συμμετρικά και η τιμή της παραμέτρου GMACT είναι θετική, το πλοίο αρχίζει να αναπτύσσει γωνία εγκάρσιας κλίσης. Το παρακάτω σχήμα είναι διαφωτιστικό, δείχνει την καμπύλη GZ-φ για τη χρονική στιγμή 180sec και όπως φαίνεται το αρχικό μετακεντρικό ύψος είναι αρνητικό όπως και η τιμή του μοχλοβραχίονα GZ, μέχρι τη γωνία ισορροπίας. Η εφαπτομένη σε αυτή τη γωνία και για την τιμή $1\text{rad}=57.3^\circ$, δίνει την τιμή της παραμέτρου GMACT.



Σχήμα 9.5-1: Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς τη χρονική στιγμή 180sec, για το ROPAX στο σενάριο Grounding.

Στη συνέχεια ξεκινάει η προοδευτική κατάκλιση, η οποία γρήγορα οδηγεί στην ταυτόχρονη κατάκλιση τριών διαμερισμάτων, με την αντίστοιχη επίδραση των σχηματιζόμενων ελεύθερων επιφανειών να αποτυπώνεται στην τοπική μεγιστοποίηση της γωνίας εγκάρσιας κλίσης και την ελαχιστοποίηση του πραγματικού μετακεντρικού ύψους, περίπου στα 190sec ή τρία λεπτά μετά την αρχή της προσομοίωσης. Στη συνέχεια, η κατάκλιση οδηγεί σε περιορισμό των αναπτυσσόμενων γωνιών εγκάρσιας κλίσης και τελικά στην επαναφορά του πλοίου περίπου σε όρθια θέση. Γενικά οι γωνίες κλίσης είναι μικρότερες των αντίστοιχων του σεναρίου βλάβης Express Samina, που εξετάστηκε νωρίτερα.

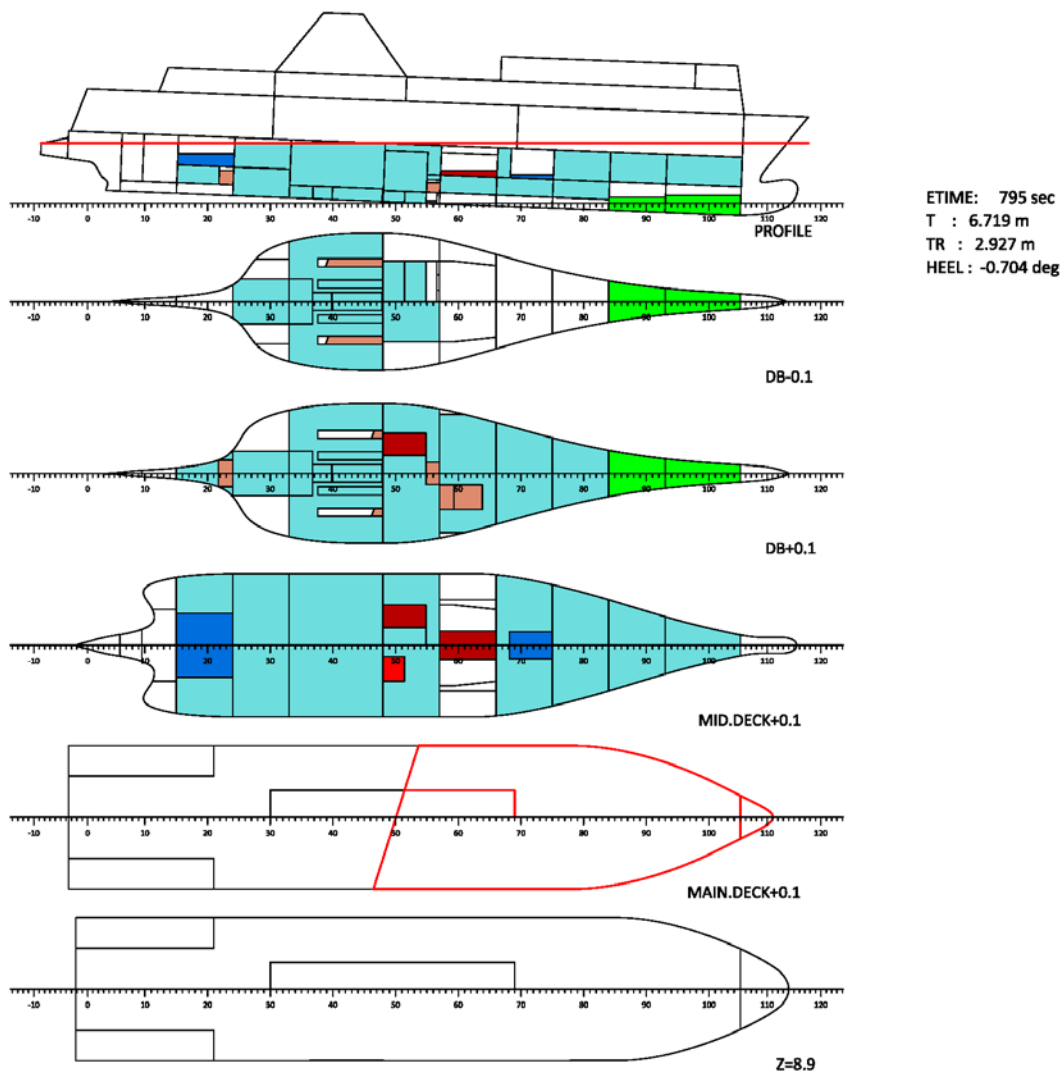
Τελικά, το πλοίο μετά από 13 λεπτά περίπου επιτυγχάνει μια νέα θέση ισορροπίας. Στη νέα θέση ισορροπίας η κατώτερη ακμή του καταστρώματος οχημάτων είναι κάτω από την ίσαλο, όμως το πλοίο επιτυγχάνει ισορροπία. Αυτό δείχνει ότι και στην περίπτωση του ρήγματος στο σενάριο του *Express Samina* το πλοίο ενδεχομένως θα διατηρούσε την ευστάθεια του, αν εξέλιπε το ρήγμα στο χώρο οχημάτων.

Συμπερασματικά, το πλοίο τελικά επιτυγχάνει μια θέση ισορροπίας, σε βύθισμα περίπου 7m, με 2 μέτρα έμπρωση διαγωγή και αφού έχουν συσσωρευτεί περίπου παραπάνω από 3000t νερού κατάκλισης. Αν και οι ποσότητες του νερού κατάκλισης είναι συγκρίσιμες με την περίπτωση του σεναρίου του *Samina*, η θέση του ρήγματος και το γεγονός ότι είναι συμμετρικό, οδηγεί σε τελείως διαφορετική έκβαση.

Εξετάζοντας τέλος τις παραμέτρους ευστάθειας, παρατηρείται ότι η τιμή του πραγματικού μετακεντρικού ύψους μεταβάλλεται δραστικά κατά τη φάση της αρχικής μεταβατικής κατάκλισης, γεγονός αναμενόμενο, καθώς η ροπή λόγω ελευθέρων επιφανειών έχει άμεση επίδραση στο μετακεντρικό ύψος. Κατά τη φάση της προοδευτικής κατάκλισης οι τιμές του μετακεντρικού ύψους παραμένουν περίπου σταθερές και κατά την τελική φάση της κατάκλισης και καθώς το πλοίο οδεύει στην ισορροπία, οι τιμές του GM αυξάνονται, φτάνοντας τελικά σε τιμή ανώτερη της αρχικής. Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο, καθώς η συμμετρική κατάκλιση οδηγεί σε μείωση του KG, αφού μεγάλες ποσότητες νερού

συγκεντρώνονται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους της αρχικής φόρτωσης. Η τιμή του συντελεστή επιβιωσιμότητας είναι διαρκώς στο 1, συνεπώς το πλοίο είναι βέβαιο ότι θα επιβιώσει των διαδοχικών φάσεων κατάκλυσης και γι' αυτόν το λόγο τελικά οδηγείται στην ισορροπία.

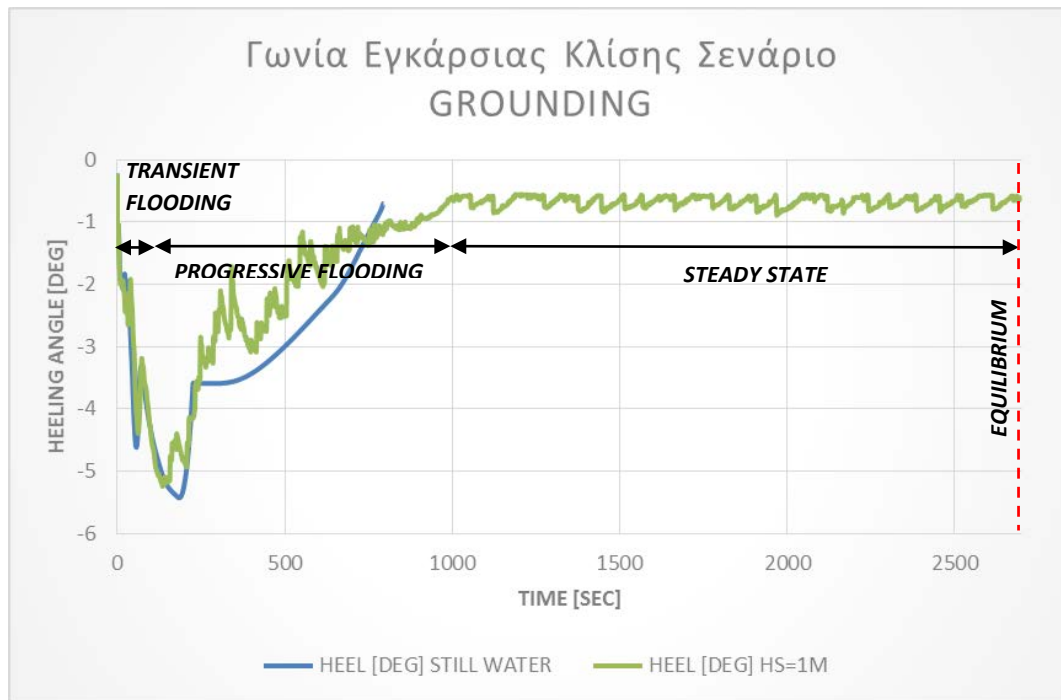
Η τελική κατάσταση ισορροπίας, μετά την κατάκλυση, δίνεται στο επόμενο σχέδιο.



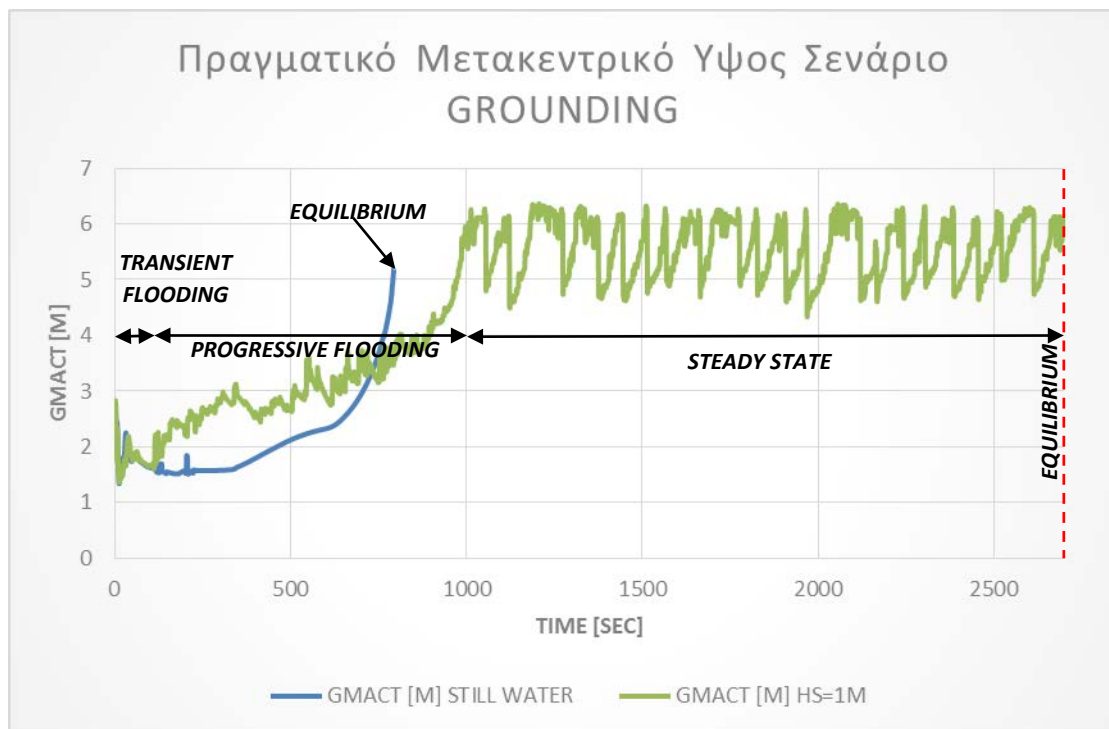
Σχέδιο 9.5-4: Τελική θέση πλοίου ROPAX στο σενάριο Grounding

9.5.2.3 Επίδραση κυματισμού

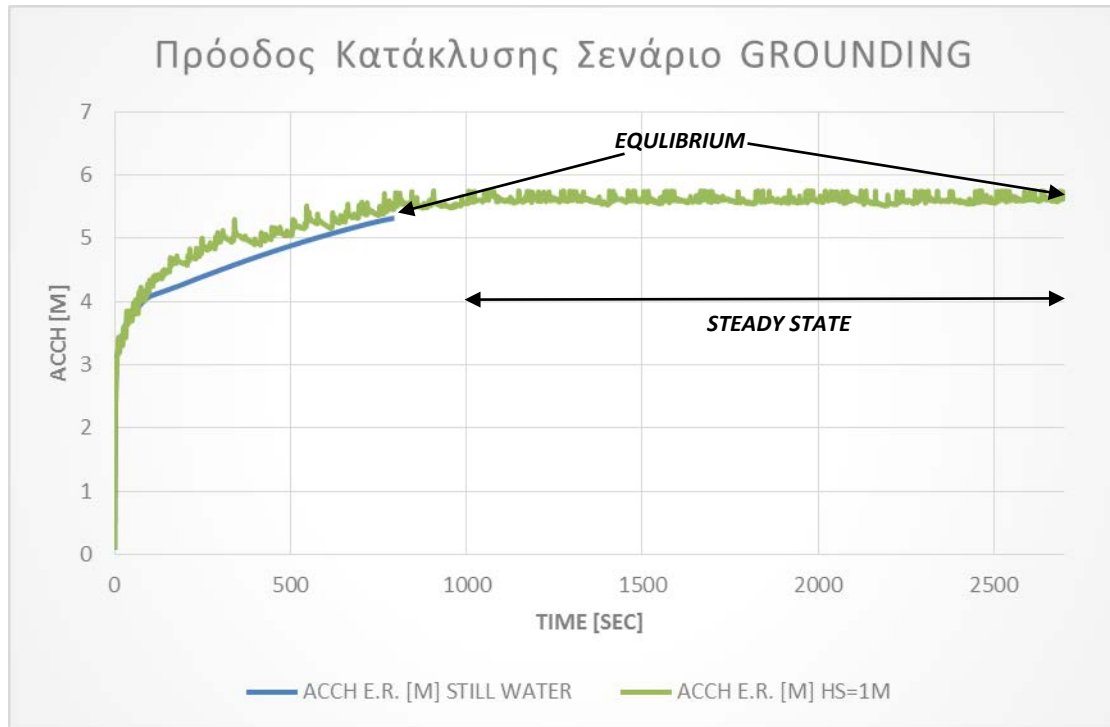
Σε αυτήν την παράγραφο εξετάζεται η επίδραση του κυματισμού στην μελέτη της κατάκλυσης, αν το πλοίο υποστεί το ρήγμα προσάραξης. Ο κυματισμός που εξετάστηκε είχε περίοδο $T=5\text{sec}$ και σημαντικό ύψος κύματος $H_s=1\text{m}$. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα.



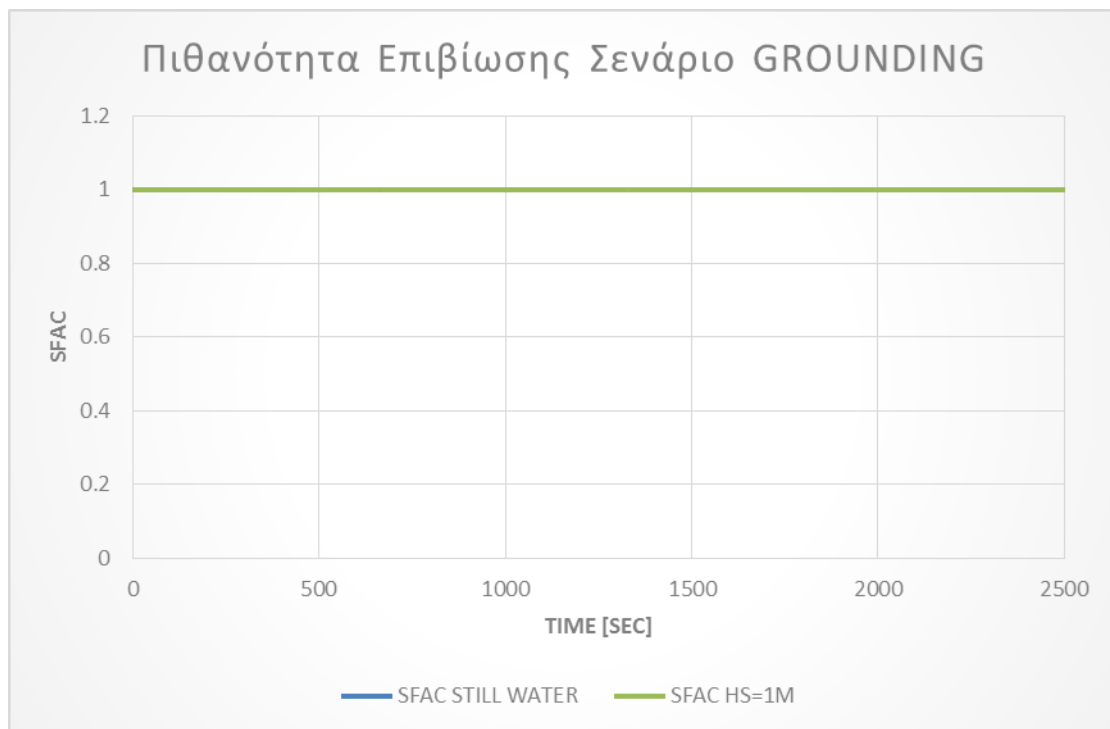
Διάγραμμα 9.5-11: Μεταβολή γωνίας εγκάρσιας κλίσης για το ROPAX στο σενάριο Grounding, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.5-12: Μεταβολή μετακεντρικού ύψους για το ROPAX στο σενάριο Grounding, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.5-13: Πρόοδος κατάκλυσης για το ROPAX στο σενάριο Grounding, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.5-14: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για το ROPAX στο σενάριο Grounding, με κυματισμό

Στα διαγράμματα αυτά φαίνεται πιο έντονα η διαρκής μεταβολή των περισσότερων μεγεθών που εξετάστηκαν, ακριβώς λόγω της διαρκούς διαταραχής της ισάλου επιφανείας. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση του κυματισμού, η προσομοίωση ολοκληρώθηκε φτάνοντας το μέγιστο χρονικό όριο της προσομοίωσης, που ήταν 45 λεπτά. Αυτό συνέβη, διότι λόγω της

συνεχούς μεταβολής της ισάλου, δεν μπορεί να βρεθεί η τελική θέση ισορροπίας του πλοίου, όπου η εσωτερική και η εξωτερική ίσαλος έρχονται σε ισορροπία.

Εξετάζοντας το διάγραμμα της μεταβολής της εγκάρσιας γωνίας κλίσης, παρατηρείται η σαφώς έντονη ταλαντωτικότητα, όμως κατά μέσο όρο διαφαίνεται η ομαλότερη μεταβατική κατάκλυση, αλλά και η μικρότερη επίδραση της ταυτόχρονης κατάκλυσης των τριών διαμερισμάτων, στην περίπτωση που λαμβάνεται υπόψη ο κυματισμός. Τελικά το πλοίο μετά τα 16 λεπτά περίπου, δηλαδή 1000sec ταλαντεύεται γύρω από μια μικρή γωνία εγκάρσιας κλίσης, φτάνοντας τη μόνιμη κατάσταση (*steady-state*), που προβλέπεται και στη θεωρία που παρουσιάστηκε στην αρχή του κεφαλαίου.

Όμοια συμπεριφορά παρουσιάζεται και για την περίπτωση του πραγματικού μετακεντρικού ύψους, με τις ακραίες τιμές της ταλάντωσης να διαφέρουν μέχρι και 1.5m. Ωστόσο, κατά μέση τιμή, το μετακεντρικό ύψος είναι αυξημένο συγκριτικά με το αρχικό, όπως και στην περίπτωση χωρίς τον κυματισμό, καθώς η κατάκλυση των χώρων κάτω από το κατάστρωμα οχημάτων, αντιστοιχεί σε «ερματισμό» του σκάφους επιδρώντας θετικά στην ευστάθεια του τελικά.

Σχετικά με την πρόοδο κατάκλυσης παρατηρείται υψηλότερη στάθμη νερού στο χώρο του μηχανοστασίου, για την περίπτωση με κυματισμό, συνεπώς και μεγαλύτερη ποσότητα νερού κατάκλυσης. Με βάση αυτό, μπορεί να εξαχθεί ένα συμπέρασμα βελτιωμένης ευστάθειας, καθώς το πλοίο διατηρεί την ευστάθεια του ακόμη και με αυξημένη ποσότητα νερού, συγκριτικά με την περίπτωση της προσομοίωσης χωρίς τον κυματισμό.

Τέλος, σε ό,τι αφορά την επίδραση του κυματισμού στο συντελεστή επιβιωσιμότητας, παρατηρείται ότι δεν υπάρχει μεταβολή του δείκτη s , ο οποίος παραμένει σταθερά στην τιμή 1, γεγονός που υποδηλώνει ότι το πλοίο δεν κινδυνεύει από απώλεια ευστάθειας και ανατροπή, κατά τη διάρκεια της κατάκλυσης.

9.5.2.4 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τη μελέτη αυτού του σεναρίου, παρουσιάζονται παρακάτω:

- Με βάση την προσομοίωση επιβεβαιώθηκε η θεωρητική προσέγγιση της πορείας κατάκλυσης, με τις τρεις διακριτές περιοχές, όπως και στο προηγούμενο σενάριο, όμως σε αυτό αποτυπώθηκε και η μόνιμη κατάσταση λίγο πριν ή γύρω από την τελική θέση ισορροπίας.
- Κρίνοντας, με βάση την ομαλότερη αρχική μεταβατική κατάκλυση, την περιορισμένη επίδραση των σχηματιζόμενων ελεύθερων επιφανειών κατά τη φάση της κατάκλυσης τριών διαμερισμάτων, αλλά και το γεγονός ότι το πλοίο διατηρεί την ευστάθεια του υποστηρίζοντας μεγαλύτερες ποσότητες νερού κατάκλυση, στην περίπτωση του κυματισμού, διαφαίνεται η θετική του επίδραση.
- Σε κάθε περίπτωση, το πλοίο διατηρεί την ευστάθεια του, οδηγείται σε μια νέα θέση ισορροπίας και καθ' όλη τη διάρκεια της κατάκλυσης ο συντελεστής s ήταν 1, γεγονός που σημαίνει ότι δεν κινδύνευσε το πλοίο να ανατραπεί σε κάποιο ενδιάμεσο στάδιο κατάκλυσης.

9.5.3 Σενάριο βλάβης πρωραίας προσάραξης *Bow Grounding*

9.5.3.1 Δεδομένα

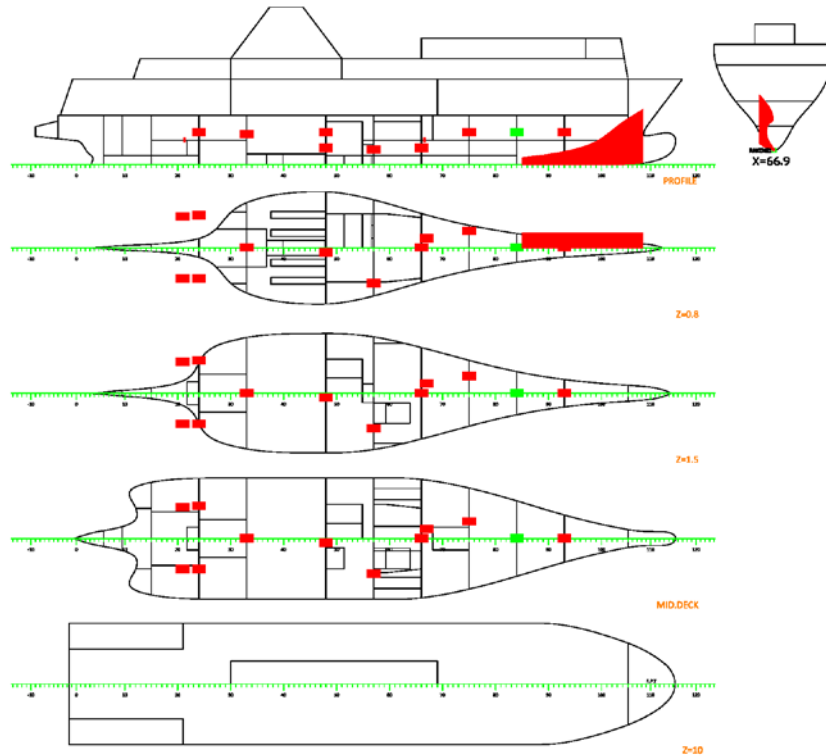
Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πορείας κατάκλυσης για το ROPAX σε περίπτωση που το πλοίο εκτεθεί σε ρήγμα προσάραξης στην πλώρη, εντοπισμένο στην αριστερή (*port*) μεριά του πλοίου και με μεγάλη καθ' ύψος εισχώρηση της βλάβης, μέχρι και τον χώρο των οχημάτων.

Το ρήγμα και πάλι μοντελοποιείται ως άνοιγμα και ως προς του χώρους τους οποίους θίγει προσομοιάζει το ρήγμα που προβλέπεται από τον κανονισμό 8.1, περί ευστάθειας κατόπιν ρήγματος πλώρας. Τα υδατοστεγή ανοίγματα θεωρούνται όλα κλειστά με εξαίρεση το δεύτερο, στην κατεύθυνση από πλώρη προς πρύμνη, το οποίο θεωρήθηκε ανοιχτό.

Το ρήγμα είναι τοποθετημένο στη θέση των 66.9m κατά το διάμηκες, με διαμήκη έκταση 16m, εγκάρσια εισχώρηση 2m από την centerline προς την αριστερή πλευρά και καθ' ύψος έκταση μέχρι τα 7.5m. Το ρήγμα θίγει όλες τις περιοχές εντός της έκτασης της, συμπεριλαμβάνοντας την πρωραία δεξαμενή έρματος/ ζυγοστάθμισης (*fore peak tank*) και το χώρο των οχημάτων.

Όμοια και με τα παραπάνω σενάρια, η βλάβη μοντελοποιείται ως άνοιγμα ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός της πορείας κατάκλυσης από την άθικτη κατάσταση μέχρι το τέλος. Συνεπώς, ο αρχικός πίνακας σταθερών ανοιγμάτων επαυξάνεται, προκειμένου να συμπεριληφθούν τα επιπλέον ανοίγματα-βλάβες, όπως επίσης επαυξάνεται και τροποποιείται ο πίνακας συνδέσεων των χώρων, ώστε να ληφθούν υπόψη οι πρόσθετες συνδέσεις και να καθοριστεί η κατάσταση του κάθε ανοίγματος.

Παρακάτω δίνονται σχηματικά και σε πινακοποιημένη μορφή τα πρόσθετα ανοίγματα-βλάβες και οι συνδέσεις των χώρων.



Σχέδιο 9.5-5: Βλάβες σεναρίου Bow Grounding και κατάσταση θυρών για το ROPAX

Κατάλογος Επιπλέον Ανοιγμάτων Ε/Γ-Ο/Γ για το σενάριο BOW GROUNDING					
ID	WT	GEOMOBJ	CONN	WRCOEF	L
RAKING1	UNPROTECTED	RAKING1P	SEA F.P.T	0.75	0
RAKING2	UNPROTECTED	RAKING1P	SEA NO.1.W.B.T.C	0.75	0
RAKING3	UNPROTECTED	RAKING1P	SEA ROOMF6.C	0.75	0
RAKING4	UNPROTECTED	RAKING1P	SEA GREY.WATER.T.C	0.75	0
RAKING5	UNPROTECTED	RAKING1P	SEA ROOMF5.C	0.75	0
RAKING6	UNPROTECTED	RAKING1P	SEA MAIN.GARAGE	0.75	0

Πίνακας 9.5-7: Κατάλογος επιπλέον ανοιγμάτων ROPAX για το σενάριο Bow Grounding

Πίνακας Επιπλέον Συνδέσεων Χώρων Ε/Γ-Ο/Γ για το σενάριο BOW GROUNDING			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
MAIN.GARAGE	CENTRAL.CASING.C	N	WAD1
CENTRAL.CASING.C	MAIN.GARAGE	N	WAD1
MAIN.GARAGE	CENTRAL.CASING.C	N	WAD2
CENTRAL.CASING.C	MAIN.GARAGE	N	WAD2
ROOMF5.C	ROOMF6.C	N	WAD3
ROOMF6.C	ROOMF5.C	N	WAD3
ROOMF4.UP.C	ROOMF5.C	Y	WAD4
ROOMF5.C	ROOMF4.UP.C	Y	WAD4
ROOMF3.UP.C	ROOMF4.UP.C	N	WAD5
ROOMF4.UP.C	ROOMF3.UP.C	N	WAD5
ROOMF3.LOW.C	ROOMF3.UP.C	N	WAD6

Πίνακας Επιπλέον Συνδέσεων Χώρων Ε/Γ-Ο/Γ για το σενάριο <i>BOW GROUNDING</i>			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
ROOMF3.UP.C	ROOMF3.LOW.C	N	WAD6
ROOMF2.LOW.C	ROOMF3.LOW.C	N	WAD7
ROOMF3.LOW.C	ROOMF2.LOW.C	N	WAD7
ROOMF1.LOW.C	ROOMF2.LOW.C	N	WAD8
ROOMF2.LOW.C	ROOMF1.LOW.C	N	WAD8
ENGINE.ROOM	ROOMF1.LOW.C	N	WAD9
ROOMF1.LOW.C	ENGINE.ROOM	N	WAD9
ENGINE.ROOM	ROOMF1.UP.C	N	WAD10
ROOMF1.UP.C	ENGINE.ROOM	N	WAD10
ROOMA1.UP.C	ENGINE.ROOM	N	WAD11
ENGINE.ROOM	ROOMA1.UP.C	N	WAD11
ROOMA2.UP.P	ROOMA1.UP.C	N	WAD12
ROOMA1.UP.C	ROOMA2.UP.P	N	WAD12
ROOMA2.UP.S	ROOMA1.UP.C	N	WAD13
ROOMA1.UP.C	ROOMA2.UP.S	N	WAD13
ROOMA2.LOW.C	ROOMA2.UP.P	N	WAD14
ROOMA2.UP.P	ROOMA2.LOW.C	N	WAD14
ROOMA2.LOW.C	ROOMA2.UP.S	N	WAD15
ROOMA2.UP.S	ROOMA2.LOW.C	N	WAD15
SEA	F.P.T	Y	RAKING1
F.P.T	SEA	Y	RAKING1
SEA	NO.1.W.B.T.C	Y	RAKING2
NO.1.W.B.T.C	SEA	Y	RAKING2
SEA	ROOMF6.C	Y	RAKING3
ROOMF6.C	SEA	Y	RAKING3
SEA	GREY.WATER.T.C	Y	RAKING4
GREY.WATER.T.C	SEA	Y	RAKING4
SEA	ROOMF5.C	Y	RAKING5
ROOMF5.C	SEA	Y	RAKING5
SEA	MAIN.GARAGE	Y	RAKING6
MAIN.GARAGE	SEA	Y	RAKING6

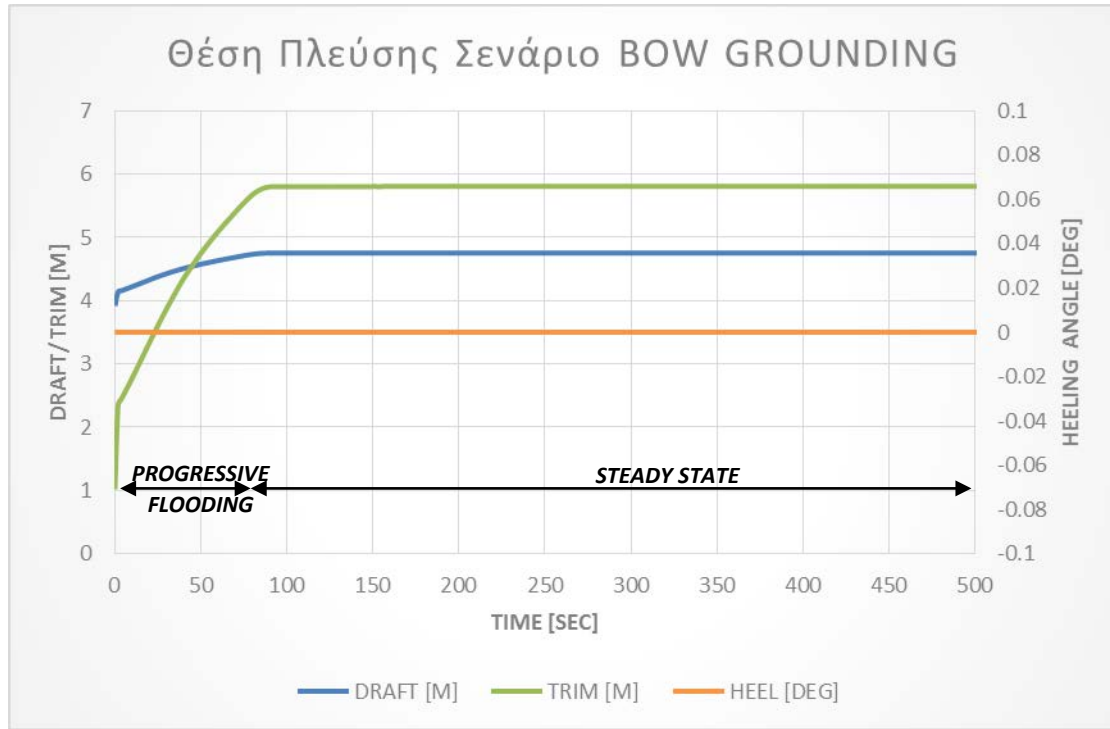
Πίνακας 9.5-8: Πίνακας πρόσθετων συνδέσεων χώρων για το ROPAX για το σενάριο Bow Grounding

9.5.3.2 Αποτελέσματα

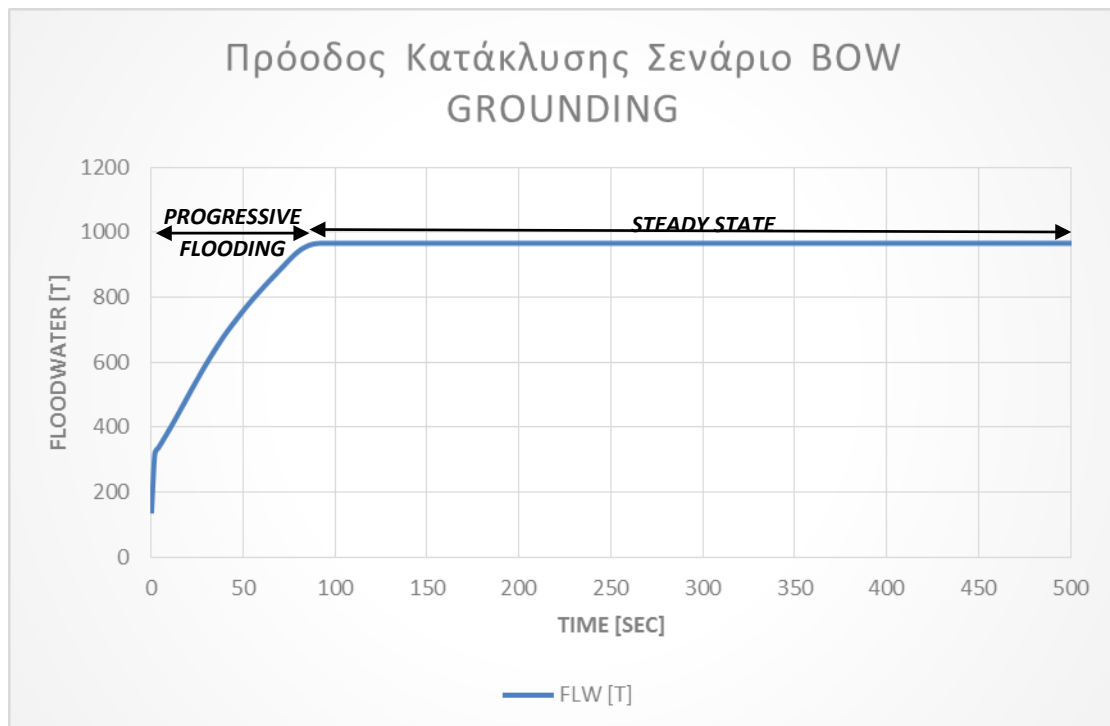
Σε αυτήν την παράγραφο παρατίθενται τα βασικά αποτελέσματα που λήφθηκαν από την αριθμητική προσομοίωση της κατάκλυσης του ROPAX, αν υποστεί ένα ρήγμα προσάραξης στην πλώρη του.

Τα μεγέθη που παρουσιάζονται είναι και πάλι η μεταβολή της θέσης πλεύσης του πλοίου, όπως ορίζεται από τις τρεις ανεξάρτητες παραμέτρους καθορισμού της, η πρόοδος κατάκλυσης σε όρους συνολικής ποσότητας νερού κατάκλυσης που συσσωρεύεται στο εσωτερικό του πλοίου και η μεταβολή των παραμέτρων ευστάθειας.

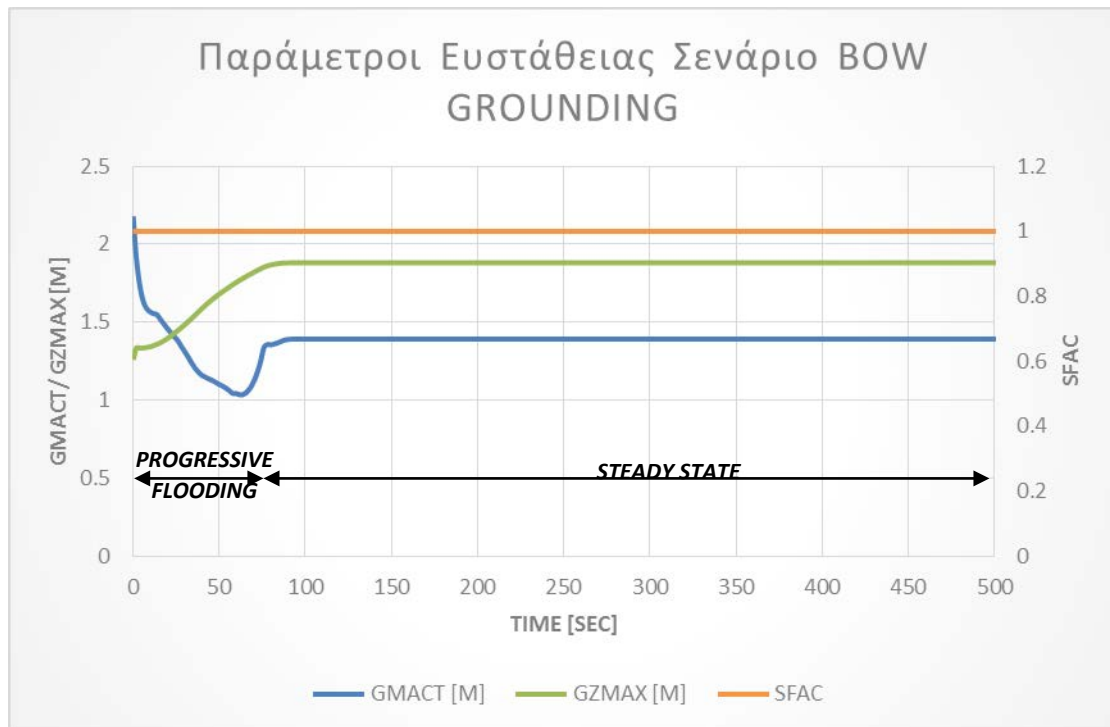
Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στα επόμενα διαγράμματα.



Διάγραμμα 9.5-15: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το ROPAX στο σενάριο Bow Grounding



Διάγραμμα 9.5-16: Πρόδος κατάκλυσης για το ROPAX στο σενάριο Bow Grounding



Διάγραμμα 9.5-17: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το ROPAX στο σενάριο Bow Grounding

Σημειώνεται ότι η παραπάνω προσομοίωση ολοκληρώθηκε φτάνοντας το μέγιστο χρόνο προσομοίωσης που ορίστηκε. Ωστόσο, επειδή όπως αναλύθηκε στη θεωρία, αλλά όπως δείχνουν και τα διαγράμματα, τελικά προκύπτει μια μόνιμη κατάσταση, επιλέχθηκε να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα στην αρχική φάση της κατάκλισης, όπου έχουν και περισσότερο ενδιαφέρον, ενώ στη συνέχεια δεν υπάρχουν περεταίρω μεταβολές.

Όπως ήταν αναμενόμενο, η συμμετρική κατάκλιση οδηγεί σε μηδενική γωνία εγκάρσιας κλίσης, ενώ η θέση του ρήγματος οδηγεί σε μεγάλες ποσότητες νερού κατάκλισης συγκεντρωμένες στην πρωραία περιοχή του πλοίου, οδηγώντας σε ακραίες τιμές της διαγωγής περί τα 6m.

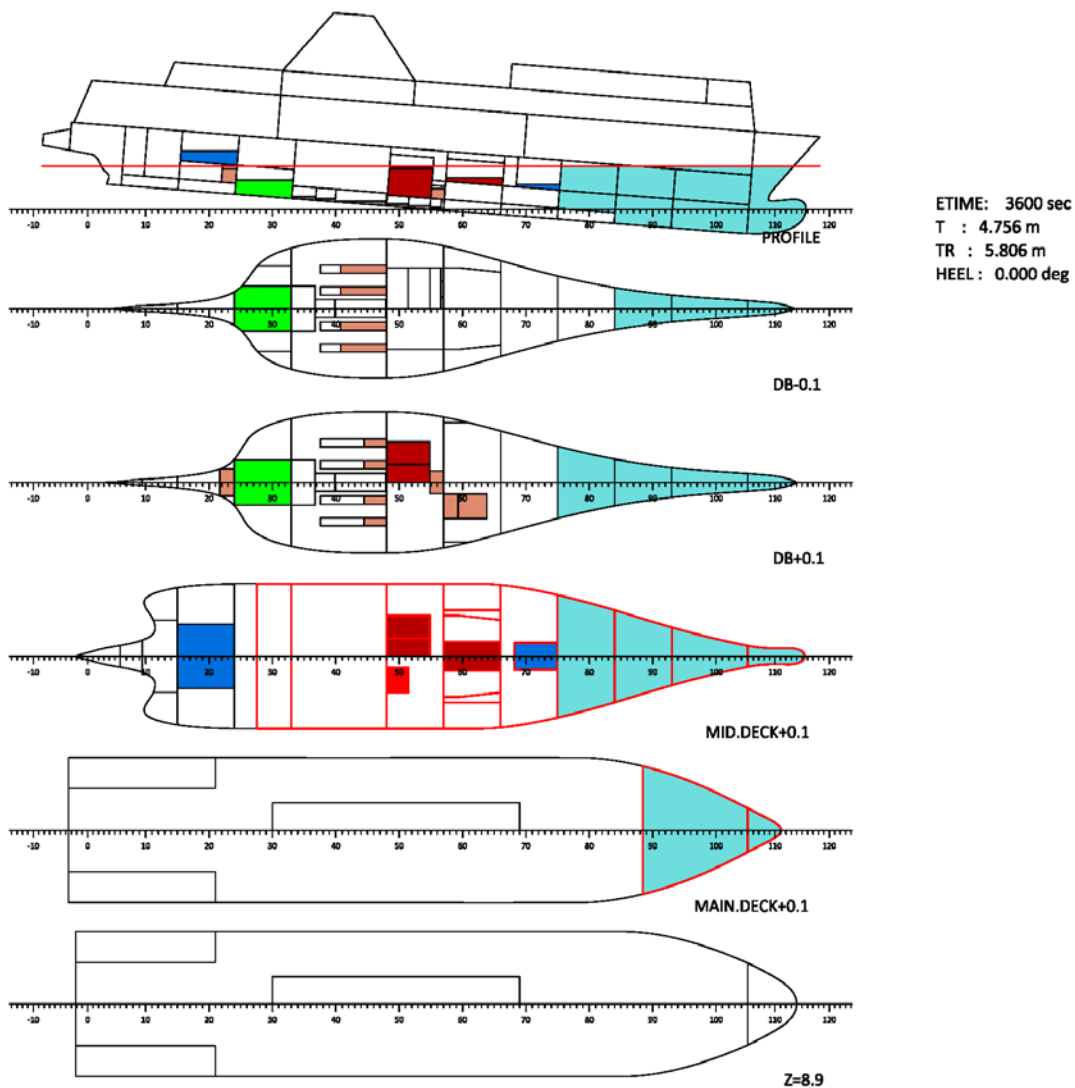
Η ποσότητα του νερού κατάκλισης, φτάνει περίπου τους 990t, ποσότητα σαφώς μικρότερη της αντίστοιχης των προηγούμενων προσομοιώσεων. Επίσης οι τιμές των παραμέτρων ευστάθειας, όπως το GM παραμένουν σταθερές, για τη μόνιμη κατάσταση, αν και χαμηλότερες των αρχικών. Ο λόγος για την πτώση του GM είναι αφενός ότι τοποθετείται ποσότητα νερού στο κατάστρωμα οχημάτων ανεβάζοντας το κέντρο βάρους, αν και η συγκεκριμένη διαδικασία εξισορροπείται από το γεγονός ότι τοποθετείται νερό και σε χώρους χαμηλά. Ωστόσο, η επίδραση της ροπής των ελεύθερων επιφανειών, λόγω της ύπαρξης νερού στο μεγάλης έκτασης κατάστρωμα οχημάτων, οδηγεί σε χαμηλότερη τιμή του GM. Ωστόσο, τελικά η τιμή είναι περίπου 1.4m, οπότε είναι αρκετά ασφαλές το πλοίο.

Τέλος, η τιμή του δείκτη επιβιωσιμότητας s , είναι μονάδα, γεγονός που δείχνει ότι το πλοίο δεν κινδυνεύει από ένα τέτοιο ρήγμα. Η τιμή αυτή, επιβεβαιώνει και τον υπολογισμό για τον κανονισμό 8.1, όπου υπάρχει η απαίτηση $s=1$ για ικανοποίηση των κριτηρίων. Συνεπώς, μέσω της συγκεκριμένης προσομοίωσης επιβεβαιώθηκε η ικανότητα πλήρωσης των κριτηρίων

ευστάθειας του κανονισμού 8.1, αν και το ρήγμα διαφέρει ελαφρώς, από το προβλεπόμενο των κανονισμών.

Αν και όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η προσομοίωση ολοκληρώθηκε όταν έφτασε στο μέγιστο χρόνο προσομοίωσης, είναι ασφαλές το συμπέρασμα ότι το πλοίο βρίσκεται σε μια τελική θέση ισορροπίας η οποία περιγράφεται από τις παραμέτρους που δόθηκαν παραπάνω. Άλλωστε κάτι τέτοιο συνάδει και με την ικανοποίηση του κριτηρίου του κανονισμού 8.1

Η τελική θέση πλεύσης του πλοίου δίνεται στο επόμενο σχέδιο.

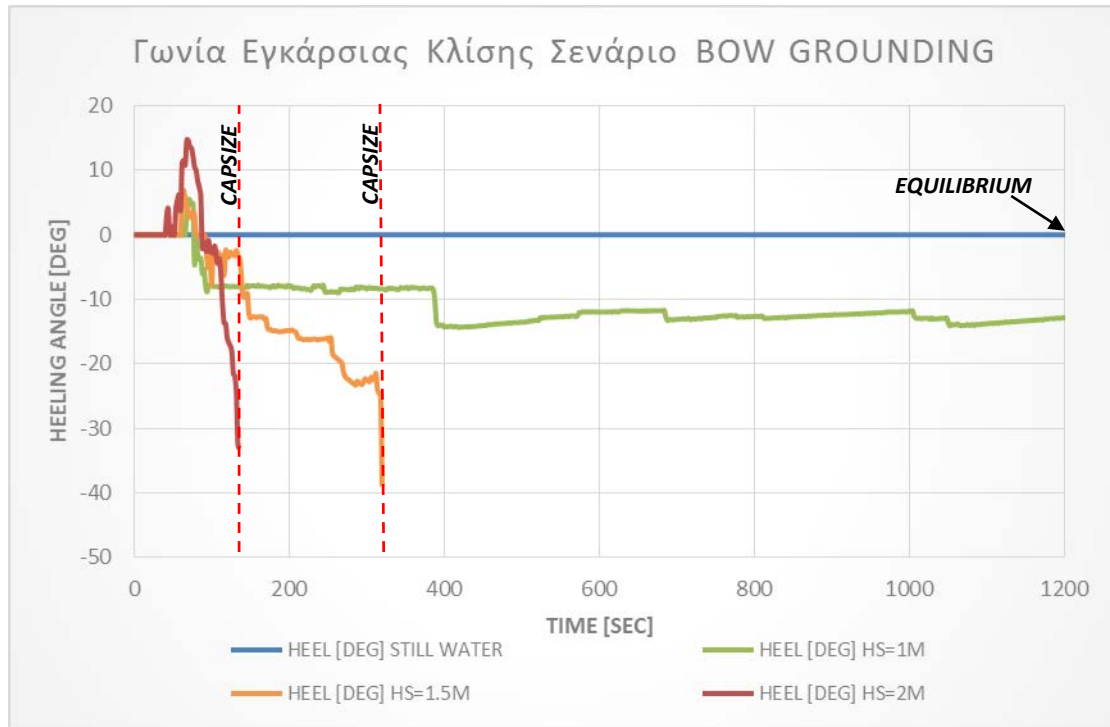


Σχέδιο 9.5-6: Τελική θέση πλοίου ROPAX στο σενάριο Bow Grounding

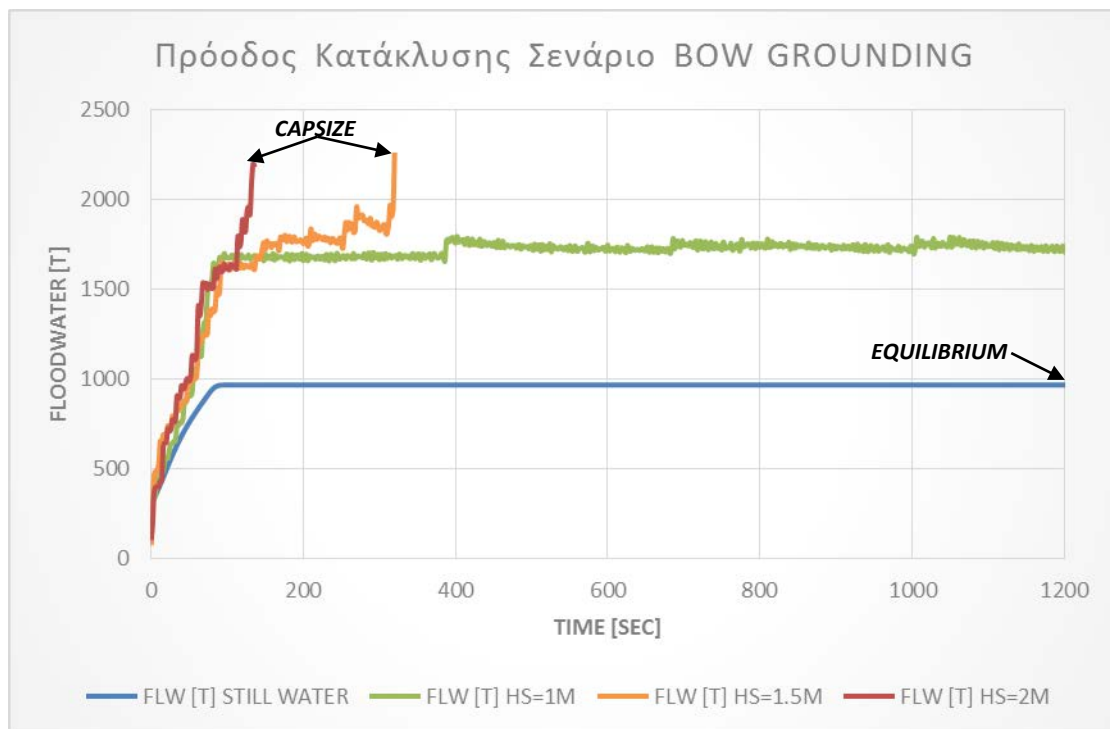
9.5.3.3 Επίδραση κυματισμού

Σε αυτήν την παράγραφο αναλύεται η επίδραση των κυματισμών στο σενάριο πρωραίας προσάραξης. Είναι ίσως το σενάριο, όπου η επίδραση του κυματισμού καθίσταται ιδιαίτερως ενδιαφέρουσα. Ο κυματισμός που εφαρμόστηκε ήταν σταθερής περιόδου $T=5\text{sec}$ και με σημαντικά ύψη κύματος 1m, 1.5m και 2m.

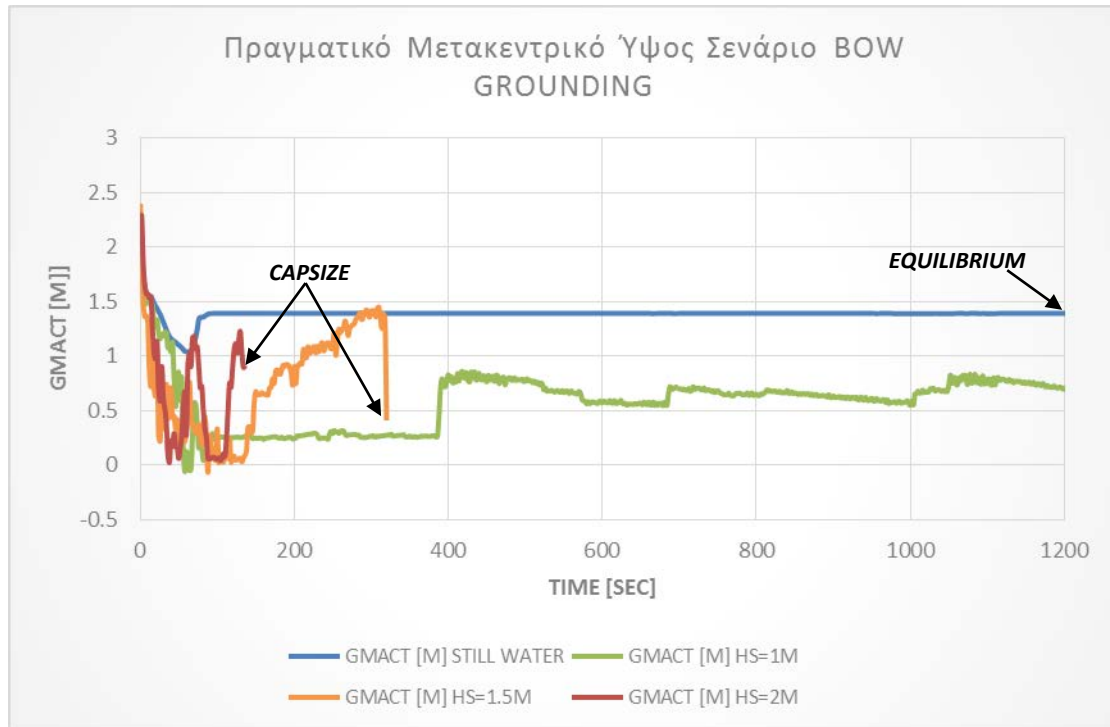
Τα αποτελέσματα που συλλέχθηκαν, δίνονται στα επόμενα διαγράμματα.



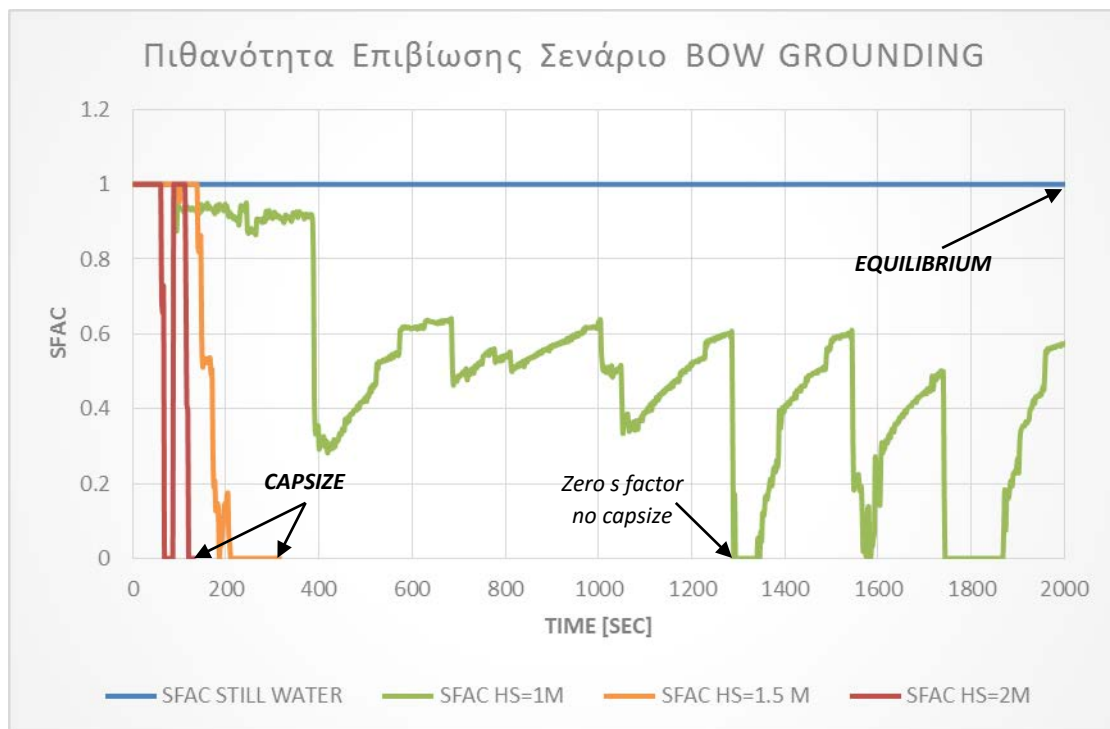
Διάγραμμα 9.5-18: Μεταβολή γωνίας εγκάρσιας κλίσης για το ROPAX στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.5-19: Πρόοδος κατάκλυσης για το ROPAX στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.5-20: Μεταβολή μετακεντρικού ύψους για το ROPAX στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.5-21: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για το ROPAX στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό

Η επίδραση των κυματισμών επάγει μια εντελώς διαφορετική συμπεριφορά του πλοίου, από άποψη ευστάθειας, οδηγώντας το σε τελείως διαφορετική έκβαση. Έτσι, ενώ στην περίπτωση του ήρεμου νερού, το πλοίο δεν διατρέχει κανένα κίνδυνο, διατηρώντας την τιμή του s ίση

με τη μονάδα καθ' όλη την εξέλιξη της κατάκλυσης, η επίδραση των κυματισμών οδηγεί τελικά στην ανατροπή. Ταυτόχρονα, μέσω του συγκεκριμένου αριθμητικού πειράματος, αποκαλύφθηκαν κάποιες ιδιαιτερότητες τόσο ως προς τον συντελεστή επιβιωσιμότητας s , όσο και στο χειρισμό των κανονισμών.

Εκκινώντας από το διάγραμμα των αναπτυσσόμενων εγκαρσίων κλίσεων, φαίνεται ότι ενώ για την περίπτωση του ήρεμου νερού, η γωνία κλίσης είναι μηδενική, όπως είναι λογικό λόγω της συμμετρικής κατάκλυσης, στις περιπτώσεις όπου λαμβάνεται υπόψη ο κυματισμός, αρχικά αναπτύσσεται μια κλίση προς τα αριστερά (*port*), δηλαδή προς την πλευρά του ρήγματος, ενώ στη συνέχεια αναπτύσσεται αντίθετη κλίση προς τα δεξιά (*starboard*) και το πλοίο οδηγείται στην ανατροπή. Εξάιρεση αποτελεί η περίπτωση για κυματισμό σημαντικού ύψους κύματος ενός μέτρου, όπου το πλοίο κλίνει προς τα δεξιά στις περίπου 15 μοίρες. Σημειώνεται ότι η προσομοίωση, με τον συγκεκριμένο κυματισμό, ολοκληρώθηκε φτάνοντας το μέγιστο χρόνο προσομοίωσης που ήταν 90 λεπτά.

Στο Διάγραμμα 9.5-19 φαίνεται η πρόοδος κατάκλυσης ως συνολική ποσότητα νερού κατάκλυσης που συσσωρεύεται στο πλοίο. Όπως φαίνεται η επίδραση των κυματισμών εισάγει μεγαλύτερες ποσότητες νερού, μέχρι και διπλάσια της ποσότητας σε ήρεμο νερό. Φαίνεται επίσης, η έντονη μεταβλητότητα των τιμών που οφείλεται στη συνεχή διαταραχή της ελεύθερης επιφάνειας του νερού.

Το Διάγραμμα 9.5-20, αποτυπώνει τη μεταβολή του πραγματικού μετακεντρικού ύψους. Η αρχική φάση της μεταβατικής κατάκλυσης υπάρχει και μάλιστα εντονότερα στην περίπτωση των κυματισμών, εν αντιθέσει με τις προηγούμενες περιπτώσεις, όπου με τον κυματισμό η μετάβαση ήταν ομαλότερη. Στη συνέχεια, ενώ για την περίπτωση του ήρεμου νερού το GM βυθίζεται, κατά την αρχική μεταβατική φάση, στη συνέχεια επανέρχεται, αυτό φαίνεται να συμβαίνει για πολύ μικρό χρονικό διάστημα για τις περιπτώσεις κυματισμού με σημαντικό ύψος κύματος 1.5m και 2m, ενώ για την περίπτωση κυματισμού με $H_s=1m$ το GM επανέρχεται και παραμένει ως το τέλος σε μία τιμή μικρότερη του ενός μέτρου, γεγονός που δείχνει ότι η κατάσταση ισορροπίας σε κάθε φάση, είναι σχετικά ασταθής. Τελικά, για τις περιπτώσεις με $H_s=1.5m$ και 2m η τιμή του μετακεντρικού ύψους αφού αγγίξει τιμές αντίστοιχες της τιμής του GM για το ήρεμο νερό, βυθίζεται σχεδόν ακαριαία, γεγονός που υποδεικνύει και την τελική ανατροπή.

Τέλος, σχετικά με την περίπτωση του διαγράμματος με τη μεταβολή των συντελεστών επιβιωσιμότητας, παρατηρείται μια ιδιαιτέρως ανώμαλη συμπεριφορά. Ίσως το πιο ιδιαίτερο αποτέλεσμα αφορά στην καμπύλη για $H_s=1m$, όπου όπως φαίνεται ο συντελεστής s μηδενίζεται κάποια στιγμή, στη συνέχεια επανέρχεται στην τιμή 0.6 και επαναληπτικά η ίδια συμπεριφορά επιδείχθηκε καθ' όλο τον υπόλοιπο χρόνο προσομοίωσης. Στις περιπτώσεις των κυματισμών σημαντικού ύψους κύματος 1.5m και 2m ο δείκτης μηδενίζεται πολύ γρήγορα, επανέρχεται σχεδόν ακαριαία και τελικά βυθίζεται ραγδαία μέχρι τον τελικό μηδενισμό. Με βάση το παραπάνω, φαίνεται ότι ο συντελεστής επιβιωσιμότητας, όταν μηδενίζεται δεν οδηγεί αυτόματα σε ανατροπή του πλοίου, αλλά ενδεχομένως ούτε και αργότερα, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά από την περίπτωση του κυματισμού με $H_s=1m$.

Όπως έδειξε η συγκεκριμένη εκτέλεση του πειράματος η τελική έκβαση του ατυχήματος μπορεί να είναι εντελώς διαφορετική σε περίπτωση που επενεργεί ο κυματισμός. Έτσι, για το ήρεμο νερό, το πλοίο τελικά επιτυγχάνει μια νέα θέση ισορροπίας, για την περίπτωση

κυματισμού με $H_s=1\text{m}$ δεν ανατρέπεται και ο χρόνος προσομοίωσης φτάνει τη μία ώρα, συνεπώς είτε τελικά βρίσκει μια ασταθή θέση ισορροπίας είτε ανατρέπεται, αλλά μετά από μία ώρα και στις περιπτώσεις για $H_s=1.5\text{m}$ και $H_s=2\text{m}$ το πλοίο ανατρέπεται σχεδόν ακαριαία και η ανατροπή μπορεί να χρεωθεί ως ανατροπή στην αρχική μεταβατική κατάκλυση.

Οι χρόνοι μέχρι την τελική ανατροπή (*Time to Capsize*) υπολογίστηκαν παρακάτω:

- Ήρεμο νερό (*Still Water*): Δεν έγινε ανατροπή
- Κυματισμός με σημαντικό ύψος κύματος $H_s=1\text{m}$: Δεν έγινε ανατροπή
- Κυματισμός με σημαντικό ύψος κύματος $H_s=1.5\text{m}$: $320\text{ sec} \approx 5.333\text{ min}$
- Κυματισμός με σημαντικό ύψος κύματος $H_s=2\text{m}$: $136\text{ sec} \approx 2.267\text{ min}$

Για την περίπτωση του κυματισμού με $H_s=1\text{m}$ η ανατροπή πιθανώς τελικά να συμβεί καθώς ο συντελεστής s έχει την τιμή 0.6, όμως κάτι τέτοιο δε συνέβη μέσα στο χρονικό παράθυρο μελέτης, άρα η ανατροπή ακόμη κι αν γίνει θα συμβεί μετά από 60 λεπτά.

Όπως φαίνεται και από τους χρόνους μέχρι την ανατροπή, ένα φαινομενικά συμμετρικό σενάριο βλάβης μπορεί να οδηγήσει το πλοίο στην ανατροπή, στην περίπτωση που λαμβάνεται υπόψη ο κυματισμός. Ταυτόχρονα, ο χρόνος μέχρι την ανατροπή είναι εξαιρετικά περιορισμένος, με το πλοίο ουσιαστικά να βυθίζεται ήδη από την αρχική μεταβατική κατάκλυση είτε αμέσως μετά. Συνεπώς, επί του πρακτέου δεν υπάρχει χρόνος αντίδρασης για τους επιβαίνοντες στο πλοίο, οπότε ένα τέτοιο ρήγμα θα οδηγούσε σε μεγάλο αριθμό απωλειών.

Ίσως το σημαντικότερο αποτέλεσμα της παραπάνω μελέτης είναι ότι ένα ρήγμα, το οποίο οδηγεί στην κατάκλυση των ίδιων διαμερισμάτων με την περίπτωση του ρήγματος που προβλέπει ο κανονισμός 8.1, οδηγεί σε επιβεβαίωση της ικανοποίησης του κριτηρίου $s=1$ μόνο στην περίπτωση του ήρεμου νερού. Στις περιπτώσεις όπου επενεργεί ο κυματισμός ο συντελεστής επιβιωσιμότητας όχι μόνο είναι μικρότερος της μονάδας αλλά το πλοίο μπορεί να οδηγηθεί σε ανατροπή, μέσα σε λίγα λεπτά. Βεβαίως, η εξέταση των κανονισμών ευστάθειας γίνεται για την περίπτωση ήρεμου νερού και συνεπώς το παραπάνω πείραμα προσομοίωσης επιβεβαιώνει το αποτέλεσμα ικανοποίησης του κανονισμού για ήρεμο νερό.

9.5.3.4 Συμπεράσματα

Σε αυτήν την παράγραφο, συνοψίζονται τα βασικότερα συμπεράσματα που εξήχθησαν:

- Και το παραπάνω πείραμα, επιβεβαίωσε την αρχική θεωρία καθώς για την περίπτωση χωρίς κυματισμό, φάνηκαν και πάλι οι τρεις διακριτές φάσεις κατάκλυσης, με την αρχική μεταβατική, την προοδευτική κατάκλυση και τέλος τη μόνιμη κατάσταση γύρω από τη θέση ισορροπίας.
- Επίσης, στις περιπτώσεις κυματισμού με $H_s=1.5\text{m}$ και $H_s=2\text{m}$, επιβεβαιώθηκε το γεγονός ότι το πλοίο μπορεί να οδηγηθεί στην ανατροπή ακόμη και κατά την αρχική μεταβατική φάση της κατάκλυσης, λόγω της απότομης φόρτωσης, ακόμη και αν οι χώροι που θίγονται είναι συμμετρικοί.
- Η επίδραση του κυματισμού, σε αυτήν την περίπτωση, είναι δυσμενής καθώς η συνεχής μεταβολή της ισάλου επιφανείας, με την αντίστοιχη μεταβολή της παροχής νερού κατάκλυσης μέσω του ρήγματος, οδηγεί σε έντονη ασυμμετρία της πορείας κατάκλυσης, με αποτέλεσμα την ταχεία ανατροπή του πλοίου μέσα σε λίγα λεπτά.

- Επιβεβαιώθηκε η ικανοποίηση του κριτηρίου $s=1$ για τον κανονισμό 8.1, αν και το ρήγμα δεν ήταν όμοιων διαστάσεων, έθιγε όμως τους ίδιους χώρους.
- Για την περίπτωση όπου λαμβάνεται υπόψη η επίδραση του κυματισμού, ο κανονισμός 8.1 όχι μόνο δεν ικανοποιείται ως προς το συντελεστή επιβιωσιμότητας, αλλά μπορεί να οδηγήσει το πλοίο σε ανατροπή και μάλιστα μέσα σε λίγα λεπτά.
- Ο συντελεστής s μπορεί να μηδενιστεί, ενώ το πλοίο δεν ανατρέπεται και τελικά αν ευνοήσουν οι συνθήκες πλεύσης ο συντελεστής επιβιωσιμότητας μπορεί να επανέλθει σε κάποια μεγαλύτερη τιμή.

9.6 Αποτελέσματα Προσομοίωσης Κατάκλυσης για Ε/Γ (Pure Passenger Ferry)

Σε αυτήν την παράγραφο αναλύονται τα βασικά αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις κατάκλυσης για την περίπτωση της τροποποιημένης σε αμιγώς επιβατηγό πλοίο εκδοχής του *Halkyon 90*.

Υπενθυμίζεται ότι για τις προσομοιώσεις κατάκλυσης χρησιμοποιήθηκε η πλήρης, λεπτομερής διάταξη του αμιγώς επιβατηγού πλοίου που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 6. Επιπρόσθετα, το κάθε αριθμητικό πείραμα προσομοίωσης εκτελέστηκε μία φορά για την κατάσταση φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος του ROPAX και άλλη μία φορά για την πραγματική κατάσταση ενδιάμεσου βυθίσματος του αμιγώς επιβατηγού πλοίου, όπως αυτές καθορίστηκαν και παρουσιάστηκαν στην αρχή του κεφαλαίου. Ο στόχος των δύο εκτελέσεων του πειράματος ήταν να απομονωθούν οι επιδράσεις της πυκνότερης διαμέρισης του χώρου οχημάτων και η επίδραση της αλλαγής της κατάστασης φόρτωσης σε όρους υδροστατικών μεγεθών και παραμέτρων ευστάθειας.

Όπως και στην περίπτωση των αποτελεσμάτων για το ROPAX, αρχικά δίνουμε τον κατάλογο σταθερών ανοιγμάτων και συνδέσεων, τα οποία παρέμειναν ίδια για όλα τα σενάρια βλάβης και παρουσιάζονται τα επιπλέον ανοίγματα και οι πρόσθετες συνδέσεις χώρων, ανά σενάριο βλάβης ξεχωριστά.

Τα ρήγματα μοντελοποιήθηκαν και σε αυτήν την περίπτωση ως ανοίγματα, έτσι ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός της πορείας κατάκλυσης από την αρχική άθικτη κατάσταση πλεύσης μέχρι την τελική κατάληξη του πλοίου, δηλαδή είτε την τελική επίτευξη ισορροπίας είτε την ανατροπή και βύθιση.

Τα ανοίγματα που χρησιμοποιήθηκαν και ήταν κοινά για όλα τα σενάρια βλάβης δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Κατάλογος Χρησιμοποιούμενων Σταθερών Ανοιγμάτων Αμιγώς Ε/Γ					
ID	WT	GEOMOBJ	CONN	WRCOEF	L
STAIR	WATERTIGHT	STAIR	ROOMF4.UP.C ROOMF4.LOW.C	0.75	0
DOOR1	WATERTIGHT	DOOR1	AFT.SDCSN.P CORRIDOR1.1	0.75	0
DOOR2	WATERTIGHT	DOOR2	AFT.SDCSN.S CORRIDOR1.1	0.75	0
D1.1.2	WATERTIGHT	O1.1.2	CORRIDOR1.1 C1.1.2	0.75	0
D1.1.3	WATERTIGHT	O1.1.3	CORRIDOR1.1 C1.1.3	0.75	0
D1.1.4	WATERTIGHT	O1.1.4	CORRIDOR1.1 C1.1.4	0.75	0
D1.1.5	WATERTIGHT	O1.1.5	CORRIDOR1.1 C1.1.5	0.75	0

Κατάλογος Χρησιμοποιούμενων Σταθερών Ανοιγμάτων Αμγώς Ε/Γ					
ID	WT	GEOMOBJ	CONN	WRCOEF	L
D1.1.6	WATERTIGHT	O1.1.6	CORRIDOR1.1 C1.1.6	0.75	0
D1.1.7	WATERTIGHT	O1.1.7	CORRIDOR1.1 C1.1.7	0.75	0
D1.1.8	WATERTIGHT	O1.1.8	CORRIDOR1.1 C1.1.8	0.75	0
D1.1.9	WATERTIGHT	O1.1.9	CORRIDOR1.1 C1.1.9	0.75	0
D1.1.10	WATERTIGHT	O1.1.10	CORRIDOR1.1 C1.1.10	0.75	0
D1.1.11	WATERTIGHT	O1.1.11	CORRIDOR1.2 C1.1.11	0.75	0
D1.1.12	WATERTIGHT	O1.1.12	CORRIDOR1.2 C1.1.12	0.75	0
D1.1.13	WATERTIGHT	O1.1.13	CORRIDOR1.2 C1.1.13	0.75	0
D1.1.14	WATERTIGHT	O1.1.14	CORRIDOR1.2 C1.1.14	0.75	0
D1.1.15	WATERTIGHT	O1.1.15	CORRIDOR1.2 C1.1.15	0.75	0
D1.1.16	WATERTIGHT	O1.1.16	CORRIDOR1.2 C1.1.16	0.75	0
D1.1.17	WATERTIGHT	O1.1.17	CORRIDOR1.2 C1.1.17	0.75	0
D1.1.18	WATERTIGHT	O1.1.18	CORRIDOR1.2 C1.1.18	0.75	0
D1.1.19	WATERTIGHT	O1.1.19	CORRIDOR1.2 C1.1.19	0.75	0
D1.2.2	WATERTIGHT	O1.2.2	CORRIDOR1.1 C1.2.2	0.75	0
D1.2.3	WATERTIGHT	O1.2.3	CORRIDOR1.1 C1.2.3	0.75	0
D1.2.11	WATERTIGHT	O1.2.11	CORRIDOR1.2 C1.2.11	0.75	0
D1.2.12	WATERTIGHT	O1.2.12	CORRIDOR1.2 C1.2.12	0.75	0
D1.2.14	WATERTIGHT	O1.2.14	CORRIDOR1.2 C1.2.14	0.75	0
D1.2.15	WATERTIGHT	O1.2.15	CORRIDOR1.2 C1.2.15	0.75	0
D1.2.17	WATERTIGHT	O1.2.17	CORRIDOR1.2 C1.2.17	0.75	0
D1.2.18	WATERTIGHT	O1.2.18	CORRIDOR1.2 C1.2.18	0.75	0
D1.2.20	WATERTIGHT	O1.2.20	CORRIDOR1.2 C1.2.20	0.75	0
D1.2.21	WATERTIGHT	O1.2.21	CORRIDOR1.2 C1.2.21	0.75	0
D1.3.2	WATERTIGHT	O1.3.2	CORRIDOR1.1 C1.3.2	0.75	0
D1.3.3	WATERTIGHT	O1.3.3	CORRIDOR1.1 C1.3.3	0.75	0
D1.3.5	WATERTIGHT	O1.3.5	CORRIDOR1.1 C1.3.5	0.75	0
D1.3.6	WATERTIGHT	O1.3.6	CORRIDOR1.1 C1.3.6	0.75	0
D1.3.8	WATERTIGHT	O1.3.8	CORRIDOR1.1 C1.3.8	0.75	0
D1.3.9	WATERTIGHT	O1.3.9	CORRIDOR1.1 C1.3.9	0.75	0
D1.3.11	WATERTIGHT	O1.3.11	CORRIDOR1.2 C1.3.11	0.75	0
D1.3.12	WATERTIGHT	O1.3.12	CORRIDOR1.2 C1.3.12	0.75	0
D1.3.14	WATERTIGHT	O1.3.14	CORRIDOR1.2 C1.3.14	0.75	0
D1.3.15	WATERTIGHT	O1.3.15	CORRIDOR1.2 C1.3.15	0.75	0
D1.3.17	WATERTIGHT	O1.3.17	CORRIDOR1.2 C1.3.17	0.75	0
D1.3.18	WATERTIGHT	O1.3.18	CORRIDOR1.2 C1.3.18	0.75	0
D1.3.20	WATERTIGHT	O1.3.20	CORRIDOR1.2 C1.3.20	0.75	0
D1.3.21	WATERTIGHT	O1.3.21	CORRIDOR1.2 C1.3.21	0.75	0
D1.4.2	WATERTIGHT	O1.4.2	CORRIDOR1.1 C1.4.2	0.75	0
D1.4.3	WATERTIGHT	O1.4.3	CORRIDOR1.1 C1.4.3	0.75	0

Κατάλογος Χρησιμοποιούμενων Σταθερών Ανοιγμάτων Αμιγώς Ε/Γ					
ID	WT	GEOMOBJ	CONN	WRCOEF	L
D1.4.4	WATERTIGHT	O1.4.4	CORRIDOR1.1 C1.4.4	0.75	0
D1.4.5	WATERTIGHT	O1.4.5	CORRIDOR1.1 C1.4.5	0.75	0
D1.4.6	WATERTIGHT	O1.4.6	CORRIDOR1.1 C1.4.6	0.75	0
D1.4.7	WATERTIGHT	O1.4.7	CORRIDOR1.1 C1.4.7	0.75	0
D1.4.8	WATERTIGHT	O1.4.8	CORRIDOR1.1 C1.4.8	0.75	0
D1.4.9	WATERTIGHT	O1.4.9	CORRIDOR1.1 C1.4.9	0.75	0
D1.4.10	WATERTIGHT	O1.4.10	CORRIDOR1.1 C1.4.10	0.75	0
D1.4.11	WATERTIGHT	O1.4.11	CORRIDOR1.2 C1.4.11	0.75	0
D1.4.12	WATERTIGHT	O1.4.12	CORRIDOR1.2 C1.4.12	0.75	0
D1.4.13	WATERTIGHT	O1.4.13	CORRIDOR1.2 C1.4.13	0.75	0
D1.4.14	WATERTIGHT	O1.4.14	CORRIDOR1.2 C1.4.14	0.75	0
D1.4.15	WATERTIGHT	O1.4.15	CORRIDOR1.2 C1.4.15	0.75	0
D1.4.16	WATERTIGHT	O1.4.16	CORRIDOR1.2 C1.4.16	0.75	0
D1.4.17	WATERTIGHT	O1.4.17	CORRIDOR1.2 C1.4.17	0.75	0
D1.4.18	WATERTIGHT	O1.4.18	CORRIDOR1.2 C1.4.18	0.75	0
D1.4.19	WATERTIGHT	O1.4.19	CORRIDOR1.2 C1.4.19	0.75	0
WC1D1	WATERTIGHT	WC1D1	CORRIDOR1.1 WC1	0.75	0
WC1D2	WATERTIGHT	WC1D2	CORRIDOR1.1 WC1	0.75	0
CDOOR1.1	WATERTIGHT	CDOOR1.1	CORRIDOR1.1 CORRIDOR1.2	0.75	0
CDOOR1.2	WATERTIGHT	CDOOR1.2	CORRIDOR1.1 CORRIDOR1.2	0.75	0
STAIR1	WATERTIGHT	STAIR1	CORRIDOR1.1 CORRIDOR2.1	0.75	0
STAIR2	WATERTIGHT	STAIR2	CORRIDOR1.2 SALOON	0.75	0
D2.1.1	WATERTIGHT	O2.1.1	CORRIDOR2.1 C2.1.1	0.75	0
D2.1.2	WATERTIGHT	O2.1.2	CORRIDOR2.1 C2.1.2	0.75	0
D2.1.3	WATERTIGHT	O2.1.3	CORRIDOR2.1 C2.1.3	0.75	0
D2.1.4	WATERTIGHT	O2.1.4	CORRIDOR2.1 C2.1.4	0.75	0
D2.1.5	WATERTIGHT	O2.1.5	CORRIDOR2.1 C2.1.5	0.75	0
D2.1.6	WATERTIGHT	O2.1.6	CORRIDOR2.1 C2.1.6	0.75	0
D2.1.7	WATERTIGHT	O2.1.7	CORRIDOR2.1 C2.1.7	0.75	0
D2.1.8	WATERTIGHT	O2.1.8	CORRIDOR2.1 C2.1.8	0.75	0
D2.1.9	WATERTIGHT	O2.1.9	CORRIDOR2.1 C2.1.9	0.75	0
D2.1.10	WATERTIGHT	O2.1.10	CORRIDOR2.1 C2.1.10	0.75	0
D2.1.11	WATERTIGHT	O2.1.11	CORRIDOR2.2 C2.1.11	0.75	0
D2.1.12	WATERTIGHT	O2.1.12	CORRIDOR2.2 C2.1.12	0.75	0
D2.1.13	WATERTIGHT	O2.1.13	CORRIDOR2.2 C2.1.13	0.75	0
D2.1.14	WATERTIGHT	O2.1.14	CORRIDOR2.2 C2.1.14	0.75	0
D2.1.15	WATERTIGHT	O2.1.15	CORRIDOR2.2 C2.1.15	0.75	0
D2.1.16	WATERTIGHT	O2.1.16	CORRIDOR2.2 C2.1.16	0.75	0
D2.1.17	WATERTIGHT	O2.1.17	CORRIDOR2.2 C2.1.17	0.75	0
D2.1.18	WATERTIGHT	O2.1.18	CORRIDOR2.2 C2.1.18	0.75	0

Κατάλογος Χρησιμοποιούμενων Σταθερών Ανοιγμάτων Αμιγώς Ε/Γ					
ID	WT	GEOMOBJ	CONN	WRCOEF	L
D2.2.1	WATERTIGHT	O2.2.1	CORRIDOR2.1 C2.2.1	0.75	0
D2.2.2	WATERTIGHT	O2.2.2	CORRIDOR2.1 C2.2.2	0.75	0
D2.2.4	WATERTIGHT	O2.2.4	CORRIDOR2.1 C2.2.4	0.75	0
D2.2.11	WATERTIGHT	O2.2.11	CORRIDOR2.2 C2.2.11	0.75	0
D2.2.12	WATERTIGHT	O2.2.12	CORRIDOR2.2 C2.2.12	0.75	0
D2.2.14	WATERTIGHT	O2.2.14	CORRIDOR2.2 C2.2.14	0.75	0
D2.2.15	WATERTIGHT	O2.2.15	CORRIDOR2.2 C2.2.15	0.75	0
D2.2.17	WATERTIGHT	O2.2.17	CORRIDOR2.2 C2.2.17	0.75	0
D2.3.1	WATERTIGHT	O2.3.1	CORRIDOR2.1 C2.3.1	0.75	0
D2.3.2	WATERTIGHT	O2.3.2	CORRIDOR2.1 C2.3.2	0.75	0
D2.3.4	WATERTIGHT	O2.3.4	CORRIDOR2.1 C2.3.4	0.75	0
D2.3.5	WATERTIGHT	O2.3.5	CORRIDOR2.1 C2.3.5	0.75	0
D2.3.7	WATERTIGHT	O2.3.7	CORRIDOR2.1 C2.3.7	0.75	0
D2.3.8	WATERTIGHT	O2.3.8	CORRIDOR2.1 C2.3.8	0.75	0
D2.3.11	WATERTIGHT	O2.3.11	CORRIDOR2.2 C2.3.11	0.75	0
D2.3.12	WATERTIGHT	O2.3.12	CORRIDOR2.2 C2.3.12	0.75	0
D2.3.14	WATERTIGHT	O2.3.14	CORRIDOR2.2 C2.3.14	0.75	0
D2.3.15	WATERTIGHT	O2.3.15	CORRIDOR2.2 C2.3.15	0.75	0
D2.3.17	WATERTIGHT	O2.3.17	CORRIDOR2.2 C2.3.17	0.75	0
D2.4.1	WATERTIGHT	O2.4.1	CORRIDOR2.1 C2.4.1	0.75	0
D2.4.2	WATERTIGHT	O2.4.2	CORRIDOR2.1 C2.4.2	0.75	0
D2.4.3	WATERTIGHT	O2.4.3	CORRIDOR2.1 C2.4.3	0.75	0
D2.4.4	WATERTIGHT	O2.4.4	CORRIDOR2.1 C2.4.4	0.75	0
D2.4.5	WATERTIGHT	O2.4.5	CORRIDOR2.1 C2.4.5	0.75	0
D2.4.6	WATERTIGHT	O2.4.6	CORRIDOR2.1 C2.4.6	0.75	0
D2.4.7	WATERTIGHT	O2.4.7	CORRIDOR2.1 C2.4.7	0.75	0
D2.4.8	WATERTIGHT	O2.4.8	CORRIDOR2.1 C2.4.8	0.75	0
D2.4.9	WATERTIGHT	O2.4.9	CORRIDOR2.1 C2.4.9	0.75	0
D2.4.10	WATERTIGHT	O2.4.10	CORRIDOR2.1 C2.4.10	0.75	0
D2.4.11	WATERTIGHT	O2.4.11	CORRIDOR2.2 C2.4.11	0.75	0
D2.4.12	WATERTIGHT	O2.4.12	CORRIDOR2.2 C2.4.12	0.75	0
D2.4.13	WATERTIGHT	O2.4.13	CORRIDOR2.2 C2.4.13	0.75	0
D2.4.14	WATERTIGHT	O2.4.14	CORRIDOR2.2 C2.4.14	0.75	0
D2.4.15	WATERTIGHT	O2.4.15	CORRIDOR2.2 C2.4.15	0.75	0
D2.4.16	WATERTIGHT	O2.4.16	CORRIDOR2.2 C2.4.16	0.75	0
D2.4.17	WATERTIGHT	O2.4.17	CORRIDOR2.2 C2.4.17	0.75	0
D2.4.18	WATERTIGHT	O2.4.18	CORRIDOR2.2 C2.4.18	0.75	0
SDOOR	WATERTIGHT	SDOOR	CORRIDOR2.2 SALOON	0.75	0
CDOOR2.1	WATERTIGHT	CDOOR2.1	CORRIDOR2.1 CORRIDOR2.2	0.75	0
CDOOR2.2	WATERTIGHT	CDOOR2.2	CORRIDOR2.1 CORRIDOR2.2	0.75	0

Κατάλογος Χρησιμοποιούμενων Σταθερών Ανοιγμάτων Αμιγώς Ε/Γ					
ID	WT	GEOMOBJ	CONN	WRCOEF	L
WC2D1	WATERTIGHT	WC2D1	CORRIDOR2.1 WC2	0.75	0
WC2D2	WATERTIGHT	WC2D2	CORRIDOR2.1 WC2	0.75	0
VL1.S	UNPROTECTED	LV1.S	SEA AFT.SDCSN.S	0.5	7
VL2.S	UNPROTECTED	LV2.S	SEA ROOMA1.UP.C	0.5	7
VL3.S	UNPROTECTED	LV3.S	SEA ROOMF1.UP.C	0.5	7
VL4.S	UNPROTECTED	LV4.S	SEA ROOMF1.WIG.S	0.5	7
VL5.S	UNPROTECTED	LV4.S	SEA ROOMF1.WIG.S	0.5	7
VL6.S	UNPROTECTED	LV6.S	SEA CORRIDOR1.1	0.5	0
VL7.S	UNPROTECTED	LV7.S	SEA CORRIDOR1.2	0.5	0
VL8.S	UNPROTECTED	LV8.S	SEA ROOMF4.UP.C	0.5	7
VL9.S	UNPROTECTED	LV9.S	SEA ROOMF5.C	0.5	7
VL10.S	UNPROTECTED	LV10.S	SEA ROOMF6.C	0.5	7
VL11.S	UNPROTECTED	LV11.S	SEA CORRIDOR2.2	0.5	0
VL1.P	UNPROTECTED	LV1.P	SEA ROOMA2.UP.P	0.5	7
VL2.P	UNPROTECTED	LV2.P	SEA ROOMF1.UP.C	0.5	7
VL3.P	UNPROTECTED	LV3.P	SEA ROOMF1.WIG.P	0.5	7
VL4.P	UNPROTECTED	LV4.P	SEA ROOMF2.WIG.P	0.5	7
VL5.P	UNPROTECTED	LV5.P	SEA CORRIDOR1.1	0.5	0
VL6.P	UNPROTECTED	LV6.P	SEA ROOMF4.UP.C	0.5	7
VL7.P	UNPROTECTED	LV6.P	SEA ROOMF5.C	0.5	7
VL8.P	UNPROTECTED	LV7.P	SEA CORRIDOR1.2	0.5	0
VL9.P	UNPROTECTED	LV8.P	SEA ROOMF6.C	0.5	7
VL10.P	UNPROTECTED	LV9.P	SEA CORRIDOR2.2	0.5	0
VG1.A.S	UNPROTECTED	GV1.A.S	SEA AFT.SDCSN.S	0.5	7
VM2.A.S	UNPROTECTED	MV2.A.S	SEA ROOMA4.C	0.5	7
VM1.A.P	UNPROTECTED	MV1.A.P	SEA ROOMA4.C	0.5	7
WAD1	WATERTIGHT	WATD.MG. CCAS.P	CORRIDOR1.1 ENGINE.CASING	0.75	0
WAD3	WATERTIGHT	WATD.RMF 5C.RMF6C. C	ROOMF5.C ROOMF6.C	0.75	0
WAD4	WATERTIGHT	WATD.RMF 4UPC.RMF 5C.C	ROOMF4.UP.C ROOMF5.C	0.75	0
WAD5	WATERTIGHT	WATD.RMF 3UPC.RMF 4UPC.P	ROOMF3.UP.C ROOMF4.UP.C	0.75	0
WAD6	WATERTIGHT	WATD.RMF 3LOWC.RM F3UPC.P	ROOMF3.LOW.C ROOMF3.UP.C	0.75	0

Κατάλογος Χρησιμοποιούμενων Σταθερών Ανοιγμάτων Αμιγώς Ε/Γ					
ID	WT	GEOMOBJ	CONN	WRCOEF	L
WAD7	WATERTIGHT	WATD.RMF 2LOWC.RM F3LOWC.C	ROOMF2.LOW.C ROOMF3.LOW.C	0.75	0
WAD8	WATERTIGHT	WATD.RMF 1LOWC.RM F2LOWC.S	ROOMF1.LOW.C ROOMF2.LOW.C	0.75	0
WAD9	WATERTIGHT	WATD.ER.R MF1LOWC. S	ENGINE.ROOM ROOMF1.LOW.C	0.75	0
WAD10	WATERTIGHT	WATD.ER.R MF1UPC.S	ENGINE.ROOM ROOMF1.UP.C	0.75	0
WAD11	WATERTIGHT	WATD.RM A1UPC.ER. C	ROOMA1.UP.C ENGINE.ROOM	0.75	0
WAD12	WATERTIGHT	WATD.RM A2UPP.RM A1UPC.P	ROOMA2.UP.P ROOMA1.UP.C	0.75	0
WAD13	WATERTIGHT	WATD.RM A2UPS.RM A1UPC.S	ROOMA2.UP.S ROOMA1.UP.C	0.75	0
WAD14	WATERTIGHT	WATD.RM A2LOWC.R MA2UPP.P	ROOMA2.LOW.C ROOMA2.UP.P	0.75	0
WAD15	WATERTIGHT	WATD.RM A2LOWC.R MA2UPS.S	ROOMA2.LOW.C ROOMA2.UP.S	0.75	0
UPFLOOD	WATERTIGHT	UPOPE	ROOMF6.C CORRIDOR1.2	0.75	0

Πίνακας 9.6-1: Κατάλογος κοινών ανοιγμάτων για όλες τις προσομοιώσεις στο Pure Passenger Ferry

Όπως και στην περίπτωση του ROPAX τα ανοίγματα γενικά ήταν επιφάνειες είτε απλούστερες είτε πιο σύνθετες και περιγράφονται από το γεωμετρικό αντικείμενο στη στήλη *GEOMOBJ*. Οι τιμές των συντελεστών τοπικών απωλειών πίεσης, των συντελεστών αντίστασης και του μήκους του ανοίγματος, αναλύθηκαν στην περίπτωση του ROPAX. Οι τιμές των παραμέτρων των ανοιγμάτων ελήφθησαν έτσι ώστε αφενός να επιτρέπουν μεγάλες παροχές ποσοτήτων νερού κατάκλυσης διαμέσου τους, αφετέρου όμως να αυξάνεται η χρονική περίοδος της μεταβατικής κατάκλυσης, προκειμένου να δημιουργηθεί το κατά το δυνατό δυσμενέστερο σενάριο βλάβης. Το άνοιγμα *UPFLOOD* είναι ένα άνοιγμα, το οποίο αντιστοιχεί σε μια σκάλα η οποία συνδέει τον πιο πρωραίο χώρο κάτω από το κατάστρωμα οχημάτων, με τους νέους χώρους επιβατών, άνωθεν αυτού. Το συγκεκριμένο άνοιγμα τοποθετήθηκε μόνο για τη μελέτη των προσομοιώσεων κατάκλυσης, σε κάποια σενάρια βλάβης και επιτρέπει την καθ' ύψος κατάκλυση (upflooding), ενώ δε λήφθηκε υπόψη στην αξιολόγηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης.

Με βάση τον πίνακα ανοιγμάτων κατασκευάζεται και ο πίνακας συνδέσεων των χώρων (*compartment connection table-CCONN*). Επειδή σε κάθε σενάριο βλάβης, ο πίνακας

συνδέσεων αλλάζει, καθώς θεωρούνται διαφορετικά ανοίγματα ανοιχτά σε κάθε σενάριο, δίνεται παρακάτω το τμήμα του πίνακα συνδέσεων που έμεινε σταθερό σε όλα τα σενάρια.

Πίνακας Σταθερών Συνδέσεων Χώρων Αμιγώς Ε/Γ			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
ROOMF4.UP.C	ROOMF4.LOW.C	Y	STAIR
ROOMF4.LOW.C	ROOMF4.UP.C	Y	STAIR
AFT.SDCSN.P	CORRIDOR1.1	Y	DOOR1
CORRIDOR1.1	AFT.SDCSN.P	Y	DOOR1
AFT.SDCSN.S	CORRIDOR1.1	Y	DOOR2
CORRIDOR1.1	AFT.SDCSN.S	Y	DOOR2
CORRIDOR1.1	C1.1.2	Y	D1.1.2
C1.1.2	CORRIDOR1.1	Y	D1.1.2
CORRIDOR1.1	C1.1.3	Y	D1.1.3
C1.1.3	CORRIDOR1.1	Y	D1.1.3
CORRIDOR1.1	C1.1.4	Y	D1.1.4
C1.1.4	CORRIDOR1.1	Y	D1.1.4
CORRIDOR1.1	C1.1.5	Y	D1.1.5
C1.1.5	CORRIDOR1.1	Y	D1.1.5
CORRIDOR1.1	C1.1.6	Y	D1.1.6
C1.1.6	CORRIDOR1.1	Y	D1.1.6
CORRIDOR1.1	C1.1.7	Y	D1.1.7
C1.1.7	CORRIDOR1.1	Y	D1.1.7
CORRIDOR1.1	C1.1.8	Y	D1.1.8
C1.1.8	CORRIDOR1.1	Y	D1.1.8
CORRIDOR1.1	C1.1.9	Y	D1.1.9
C1.1.9	CORRIDOR1.1	Y	D1.1.9
CORRIDOR1.1	C1.1.10	Y	D1.1.10
C1.1.10	CORRIDOR1.1	Y	D1.1.10
CORRIDOR1.2	C1.1.11	Y	D1.1.11
C1.1.11	CORRIDOR1.2	Y	D1.1.11
CORRIDOR1.2	C1.1.12	Y	D1.1.12
C1.1.12	CORRIDOR1.2	Y	D1.1.12
CORRIDOR1.2	C1.1.13	Y	D1.1.13
C1.1.13	CORRIDOR1.2	Y	D1.1.13
CORRIDOR1.2	C1.1.14	Y	D1.1.14
C1.1.14	CORRIDOR1.2	Y	D1.1.14
CORRIDOR1.2	C1.1.15	Y	D1.1.15
C1.1.15	CORRIDOR1.2	Y	D1.1.15
CORRIDOR1.2	C1.1.16	Y	D1.1.16
C1.1.16	CORRIDOR1.2	Y	D1.1.16
CORRIDOR1.2	C1.1.17	Y	D1.1.17
C1.1.17	CORRIDOR1.2	Y	D1.1.17

Πίνακας Σταθερών Συνδέσεων Χώρων Αμιγώς Ε/Γ			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
CORRIDOR1.2	C1.1.18	Y	D1.1.18
C1.1.18	CORRIDOR1.2	Y	D1.1.18
CORRIDOR1.2	C1.1.19	Y	D1.1.19
C1.1.19	CORRIDOR1.2	Y	D1.1.19
CORRIDOR1.1	C1.2.2	Y	D1.2.2
C1.2.2	CORRIDOR1.1	Y	D1.2.2
CORRIDOR1.1	C1.2.3	Y	D1.2.3
C1.2.3	CORRIDOR1.1	Y	D1.2.3
CORRIDOR1.2	C1.2.11	Y	D1.2.11
C1.2.11	CORRIDOR1.2	Y	D1.2.11
CORRIDOR1.2	C1.2.12	Y	D1.2.12
C1.2.12	CORRIDOR1.2	Y	D1.2.12
CORRIDOR1.2	C1.2.14	Y	D1.2.14
C1.2.14	CORRIDOR1.2	Y	D1.2.14
CORRIDOR1.2	C1.2.15	Y	D1.2.15
C1.2.15	CORRIDOR1.2	Y	D1.2.15
CORRIDOR1.2	C1.2.17	Y	D1.2.17
C1.2.17	CORRIDOR1.2	Y	D1.2.17
CORRIDOR1.2	C1.2.18	Y	D1.2.18
C1.2.18	CORRIDOR1.2	Y	D1.2.18
CORRIDOR1.2	C1.2.20	Y	D1.2.20
C1.2.20	CORRIDOR1.2	Y	D1.2.20
CORRIDOR1.2	C1.2.21	Y	D1.2.21
C1.2.21	CORRIDOR1.2	Y	D1.2.21
CORRIDOR1.1	C1.3.2	Y	D1.3.2
C1.3.2	CORRIDOR1.1	Y	D1.3.2
CORRIDOR1.1	C1.3.3	Y	D1.3.3
C1.3.3	CORRIDOR1.1	Y	D1.3.3
CORRIDOR1.1	C1.3.5	Y	D1.3.5
C1.3.5	CORRIDOR1.1	Y	D1.3.5
CORRIDOR1.1	C1.3.6	Y	D1.3.6
C1.3.6	CORRIDOR1.1	Y	D1.3.6
CORRIDOR1.1	C1.3.8	Y	D1.3.8
C1.3.8	CORRIDOR1.1	Y	D1.3.8
CORRIDOR1.1	C1.3.9	Y	D1.3.9
C1.3.9	CORRIDOR1.1	Y	D1.3.9
CORRIDOR1.2	C1.3.11	Y	D1.3.11
C1.3.11	CORRIDOR1.2	Y	D1.3.11
CORRIDOR1.2	C1.3.12	Y	D1.3.12
C1.3.12	CORRIDOR1.2	Y	D1.3.12

Πίνακας Σταθερών Συνδέσεων Χώρων Αμιγώς Ε/Γ			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
CORRIDOR1.2	C1.3.14	Y	D1.3.14
C1.3.14	CORRIDOR1.2	Y	D1.3.14
CORRIDOR1.2	C1.3.15	Y	D1.3.15
C1.3.15	CORRIDOR1.2	Y	D1.3.15
CORRIDOR1.2	C1.3.17	Y	D1.3.17
C1.3.17	CORRIDOR1.2	Y	D1.3.17
CORRIDOR1.2	C1.3.18	Y	D1.3.18
C1.3.18	CORRIDOR1.2	Y	D1.3.18
CORRIDOR1.2	C1.3.20	Y	D1.3.20
C1.3.20	CORRIDOR1.2	Y	D1.3.20
CORRIDOR1.2	C1.3.21	Y	D1.3.21
C1.3.21	CORRIDOR1.2	Y	D1.3.21
CORRIDOR1.1	C1.4.2	Y	D1.4.2
C1.4.2	CORRIDOR1.1	Y	D1.4.2
CORRIDOR1.1	C1.4.3	Y	D1.4.3
C1.4.3	CORRIDOR1.1	Y	D1.4.3
CORRIDOR1.1	C1.4.4	Y	D1.4.4
C1.4.4	CORRIDOR1.1	Y	D1.4.4
CORRIDOR1.1	C1.4.5	Y	D1.4.5
C1.4.5	CORRIDOR1.1	Y	D1.4.5
CORRIDOR1.1	C1.4.6	Y	D1.4.6
C1.4.6	CORRIDOR1.1	Y	D1.4.6
CORRIDOR1.1	C1.4.7	Y	D1.4.7
C1.4.7	CORRIDOR1.1	Y	D1.4.7
CORRIDOR1.1	C1.4.8	Y	D1.4.8
C1.4.8	CORRIDOR1.1	Y	D1.4.8
CORRIDOR1.1	C1.4.9	Y	D1.4.9
C1.4.9	CORRIDOR1.1	Y	D1.4.9
CORRIDOR1.1	C1.4.10	Y	D1.4.10
C1.4.10	CORRIDOR1.1	Y	D1.4.10
CORRIDOR1.2	C1.4.11	Y	D1.4.11
C1.4.11	CORRIDOR1.2	Y	D1.4.11
CORRIDOR1.2	C1.4.12	Y	D1.4.12
C1.4.12	CORRIDOR1.2	Y	D1.4.12
CORRIDOR1.2	C1.4.13	Y	D1.4.13
C1.4.13	CORRIDOR1.2	Y	D1.4.13
CORRIDOR1.2	C1.4.14	Y	D1.4.14
C1.4.14	CORRIDOR1.2	Y	D1.4.14
CORRIDOR1.2	C1.4.15	Y	D1.4.15
C1.4.15	CORRIDOR1.2	Y	D1.4.15

Πίνακας Σταθερών Συνδέσεων Χώρων Αμιγώς Ε/Γ			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
CORRIDOR1.2	C1.4.16	Y	D1.4.16
C1.4.16	CORRIDOR1.2	Y	D1.4.16
CORRIDOR1.2	C1.4.17	Y	D1.4.17
C1.4.17	CORRIDOR1.2	Y	D1.4.17
CORRIDOR1.2	C1.4.18	Y	D1.4.18
C1.4.18	CORRIDOR1.2	Y	D1.4.18
CORRIDOR1.2	C1.4.19	Y	D1.4.19
C1.4.19	CORRIDOR1.2	Y	D1.4.19
CORRIDOR1.1	WC1	Y	WC1D1
WC1	CORRIDOR1.1	Y	WC1D1
CORRIDOR1.1	WC1	Y	WC1D2
WC1	CORRIDOR1.1	Y	WC1D2
CORRIDOR1.1	CORRIDOR1.2	Y	CDOOR1.1
CORRIDOR1.2	CORRIDOR1.1	Y	CDOOR1.1
CORRIDOR1.1	CORRIDOR1.2	Y	CDOOR1.2
CORRIDOR1.2	CORRIDOR1.1	Y	CDOOR1.2
CORRIDOR1.1	CORRIDOR2.1	Y	STAIR1
CORRIDOR2.1	CORRIDOR1.1	Y	STAIR1
CORRIDOR1.2	SALOON	Y	STAIR2
SALOON	CORRIDOR1.2	Y	STAIR2
CORRIDOR2.1	C2.1.1	Y	D2.1.1
C2.1.1	CORRIDOR2.1	Y	D2.1.1
CORRIDOR2.1	C2.1.2	Y	D2.1.2
C2.1.2	CORRIDOR2.1	Y	D2.1.2
CORRIDOR2.1	C2.1.3	Y	D2.1.3
C2.1.3	CORRIDOR2.1	Y	D2.1.3
CORRIDOR2.1	C2.1.4	Y	D2.1.4
C2.1.4	CORRIDOR2.1	Y	D2.1.4
CORRIDOR2.1	C2.1.5	Y	D2.1.5
C2.1.5	CORRIDOR2.1	Y	D2.1.5
CORRIDOR2.1	C2.1.6	Y	D2.1.6
C2.1.6	CORRIDOR2.1	Y	D2.1.6
CORRIDOR2.1	C2.1.7	Y	D2.1.7
C2.1.7	CORRIDOR2.1	Y	D2.1.7
CORRIDOR2.1	C2.1.8	Y	D2.1.8
C2.1.8	CORRIDOR2.1	Y	D2.1.8
CORRIDOR2.1	C2.1.9	Y	D2.1.9
C2.1.9	CORRIDOR2.1	Y	D2.1.9
CORRIDOR2.1	C2.1.10	Y	D2.1.10
C2.1.10	CORRIDOR2.1	Y	D2.1.10

Πίνακας Σταθερών Συνδέσεων Χώρων Αμιγώς Ε/Γ			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
CORRIDOR2.2	C2.1.11	Y	D2.1.11
C2.1.11	CORRIDOR2.2	Y	D2.1.11
CORRIDOR2.2	C2.1.12	Y	D2.1.12
C2.1.12	CORRIDOR2.2	Y	D2.1.12
CORRIDOR2.2	C2.1.13	Y	D2.1.13
C2.1.13	CORRIDOR2.2	Y	D2.1.13
CORRIDOR2.2	C2.1.14	Y	D2.1.14
C2.1.14	CORRIDOR2.2	Y	D2.1.14
CORRIDOR2.2	C2.1.15	Y	D2.1.15
C2.1.15	CORRIDOR2.2	Y	D2.1.15
CORRIDOR2.2	C2.1.16	Y	D2.1.16
C2.1.16	CORRIDOR2.2	Y	D2.1.16
CORRIDOR2.2	C2.1.17	Y	D2.1.17
C2.1.17	CORRIDOR2.2	Y	D2.1.17
CORRIDOR2.2	C2.1.18	Y	D2.1.18
C2.1.18	CORRIDOR2.2	Y	D2.1.18
CORRIDOR2.1	C2.2.1	Y	D2.2.1
C2.2.1	CORRIDOR2.1	Y	D2.2.1
CORRIDOR2.1	C2.2.2	Y	D2.2.2
C2.2.2	CORRIDOR2.1	Y	D2.2.2
CORRIDOR2.1	C2.2.4	Y	D2.2.4
C2.2.4	CORRIDOR2.1	Y	D2.2.4
CORRIDOR2.2	C2.2.11	Y	D2.2.11
C2.2.11	CORRIDOR2.2	Y	D2.2.11
CORRIDOR2.2	C2.2.12	Y	D2.2.12
C2.2.12	CORRIDOR2.2	Y	D2.2.12
CORRIDOR2.2	C2.2.14	Y	D2.2.14
C2.2.14	CORRIDOR2.2	Y	D2.2.14
CORRIDOR2.2	C2.2.15	Y	D2.2.15
C2.2.15	CORRIDOR2.2	Y	D2.2.15
CORRIDOR2.2	C2.2.17	Y	D2.2.17
C2.2.17	CORRIDOR2.2	Y	D2.2.17
CORRIDOR2.1	C2.3.1	Y	D2.3.1
C2.3.1	CORRIDOR2.1	Y	D2.3.1
CORRIDOR2.1	C2.3.2	Y	D2.3.2
C2.3.2	CORRIDOR2.1	Y	D2.3.2
CORRIDOR2.1	C2.3.4	Y	D2.3.4
C2.3.4	CORRIDOR2.1	Y	D2.3.4
CORRIDOR2.1	C2.3.5	Y	D2.3.5
C2.3.5	CORRIDOR2.1	Y	D2.3.5

Πίνακας Σταθερών Συνδέσεων Χώρων Αμιγώς Ε/Γ			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
CORRIDOR2.1	C2.3.7	Y	D2.3.7
C2.3.7	CORRIDOR2.1	Y	D2.3.7
CORRIDOR2.1	C2.3.8	Y	D2.3.8
C2.3.8	CORRIDOR2.1	Y	D2.3.8
CORRIDOR2.2	C2.3.11	Y	D2.3.11
C2.3.11	CORRIDOR2.2	Y	D2.3.11
CORRIDOR2.2	C2.3.12	Y	D2.3.12
C2.3.12	CORRIDOR2.2	Y	D2.3.12
CORRIDOR2.2	C2.3.14	Y	D2.3.14
C2.3.14	CORRIDOR2.2	Y	D2.3.14
CORRIDOR2.2	C2.3.15	Y	D2.3.15
C2.3.15	CORRIDOR2.2	Y	D2.3.15
CORRIDOR2.2	C2.3.17	Y	D2.3.17
C2.3.17	CORRIDOR2.2	Y	D2.3.17
CORRIDOR2.1	C2.4.1	Y	D2.4.1
C2.4.1	CORRIDOR2.1	Y	D2.4.1
CORRIDOR2.1	C2.4.2	Y	D2.4.2
C2.4.2	CORRIDOR2.1	Y	D2.4.2
CORRIDOR2.1	C2.4.3	Y	D2.4.3
C2.4.3	CORRIDOR2.1	Y	D2.4.3
CORRIDOR2.1	C2.4.4	Y	D2.4.4
C2.4.4	CORRIDOR2.1	Y	D2.4.4
CORRIDOR2.1	C2.4.5	Y	D2.4.5
C2.4.5	CORRIDOR2.1	Y	D2.4.5
CORRIDOR2.1	C2.4.6	Y	D2.4.6
C2.4.6	CORRIDOR2.1	Y	D2.4.6
CORRIDOR2.1	C2.4.7	Y	D2.4.7
C2.4.7	CORRIDOR2.1	Y	D2.4.7
CORRIDOR2.1	C2.4.8	Y	D2.4.8
C2.4.8	CORRIDOR2.1	Y	D2.4.8
CORRIDOR2.1	C2.4.9	Y	D2.4.9
C2.4.9	CORRIDOR2.1	Y	D2.4.9
CORRIDOR2.1	C2.4.10	Y	D2.4.10
C2.4.10	CORRIDOR2.1	Y	D2.4.10
CORRIDOR2.2	C2.4.11	Y	D2.4.11
C2.4.11	CORRIDOR2.2	Y	D2.4.11
CORRIDOR2.2	C2.4.12	Y	D2.4.12
C2.4.12	CORRIDOR2.2	Y	D2.4.12
CORRIDOR2.2	C2.4.13	Y	D2.4.13
C2.4.13	CORRIDOR2.2	Y	D2.4.13

Πίνακας Σταθερών Συνδέσεων Χώρων Αμιγώς Ε/Γ			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
CORRIDOR2.2	C2.4.14	Y	D2.4.14
C2.4.14	CORRIDOR2.2	Y	D2.4.14
CORRIDOR2.2	C2.4.15	Y	D2.4.15
C2.4.15	CORRIDOR2.2	Y	D2.4.15
CORRIDOR2.2	C2.4.16	Y	D2.4.16
C2.4.16	CORRIDOR2.2	Y	D2.4.16
CORRIDOR2.2	C2.4.17	Y	D2.4.17
C2.4.17	CORRIDOR2.2	Y	D2.4.17
CORRIDOR2.2	C2.4.18	Y	D2.4.18
C2.4.18	CORRIDOR2.2	Y	D2.4.18
CORRIDOR2.2	SALOON	Y	SDOOR
SALOON	CORRIDOR2.2	Y	SDOOR
CORRIDOR2.1	CORRIDOR2.2	Y	CDOOR2.1
CORRIDOR2.2	CORRIDOR2.1	Y	CDOOR2.1
CORRIDOR2.1	CORRIDOR2.2	Y	CDOOR2.2
CORRIDOR2.2	CORRIDOR2.1	Y	CDOOR2.2
CORRIDOR2.1	WC2	Y	WC2D1
WC2	CORRIDOR2.1	Y	WC2D1
CORRIDOR2.1	WC2	Y	WC2D2
WC2	CORRIDOR2.1	Y	WC2D2
SEA	AFT.SDCSN.S	Y	VL1.S
AFT.SDCSN.S	SEA	Y	VL1.S
SEA	ROOMA1.UP.C	Y	VL2.S
ROOMA1.UP.C	SEA	Y	VL2.S
SEA	ROOMF1.UP.C	Y	VL3.S
ROOMF1.UP.C	SEA	Y	VL3.S
SEA	ROOMF1.WIG.S	Y	VL4.S
ROOMF1.WIG.S	SEA	Y	VL4.S
SEA	ROOMF1.WIG.S	Y	VL5.S
ROOMF1.WIG.S	SEA	Y	VL5.S
SEA	CORRIDOR1.1	Y	VL6.S
CORRIDOR1.1	SEA	Y	VL6.S
SEA	CORRIDOR1.2	Y	VL7.S
CORRIDOR1.2	SEA	Y	VL7.S
SEA	ROOMF4.UP.C	Y	VL8.S
ROOMF4.UP.C	SEA	Y	VL8.S
SEA	ROOMF5.C	Y	VL9.S
ROOMF5.C	SEA	Y	VL9.S
SEA	ROOMF6.C	Y	VL10.S
ROOMF6.C	SEA	Y	VL10.S

Πίνακας Σταθερών Συνδέσεων Χώρων Αμιγώς Ε/Γ			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
SEA	CORRIDOR2.2	Y	VL11.S
CORRIDOR2.2	SEA	Y	VL11.S
SEA	ROOMA2.UP.P	Y	VL1.P
ROOMA2.UP.P	SEA	Y	VL1.P
SEA	ROOMF1.UP.C	Y	VL2.P
ROOMF1.UP.C	SEA	Y	VL2.P
SEA	ROOMF1.WIG.P	Y	VL3.P
ROOMF1.WIG.P	SEA	Y	VL3.P
SEA	ROOMF2.WIG.P	Y	VL4.P
ROOMF2.WIG.P	SEA	Y	VL4.P
SEA	CORRIDOR1.1	Y	VL5.P
CORRIDOR1.1	SEA	Y	VL5.P
SEA	ROOMF4.UP.C	Y	VL6.P
ROOMF4.UP.C	SEA	Y	VL6.P
SEA	ROOMF5.C	Y	VL7.P
ROOMF5.C	SEA	Y	VL7.P
SEA	CORRIDOR1.2	Y	VL8.P
CORRIDOR1.2	SEA	Y	VL8.P
SEA	ROOMF6.C	Y	VL9.P
ROOMF6.C	SEA	Y	VL9.P
SEA	CORRIDOR2.2	Y	VL10.P
CORRIDOR2.2	SEA	Y	VL10.P
SEA	AFT.SDCSN.S	Y	VG1.A.S
AFT.SDCSN.S	SEA	Y	VG1.A.S
SEA	ROOMA4.C	Y	VM2.A.S
ROOMA4.C	SEA	Y	VM2.A.S
SEA	ROOMA4.C	Y	VM1.A.P
ROOMA4.C	SEA	Y	VM1.A.P

Πίνακας 9.6-2: Κατάλογος κοινών συνδέσεων χώρων για όλες τις προσομοιώσεις στο Pure Passenger Ferry

9.6.1 Σενάριο βλάβης *Express Samina*

9.6.1.1 Δεδομένα

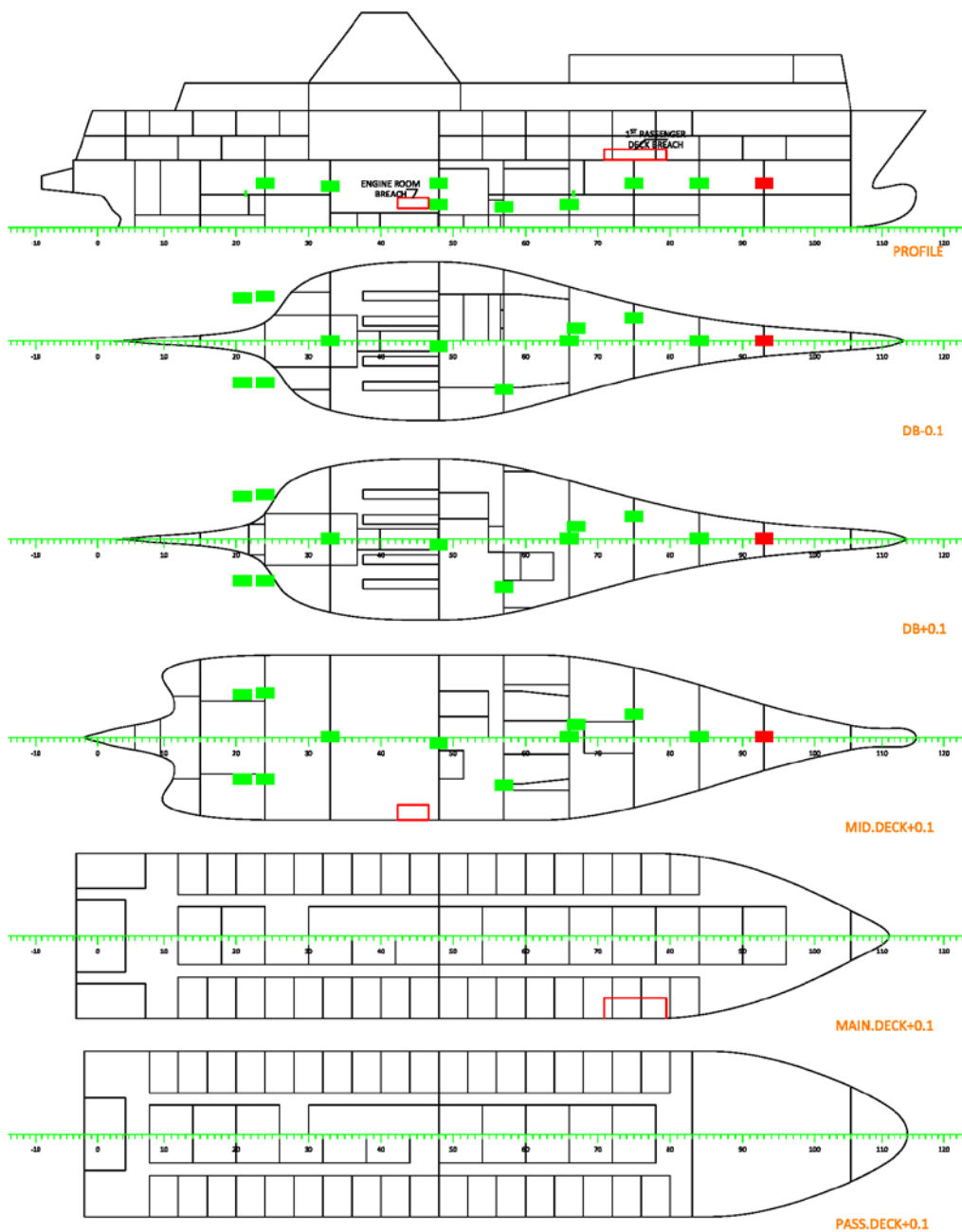
Σε αυτό το σενάριο εξετάζεται η πορεία κατάκλισης για το αμιγώς επιβατηγό πλοίο, που προέρχεται ως τροποποίηση του αρχικού *Halkyon 90* και αφορά σε πλευρικά ρήγματα μεγάλης έκτασης.

Τα ρήγματα είναι τα ίδια με την περίπτωση του ROPAX και οι θέσεις και οι διαστάσεις τους παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 9.5.1. Το ρήγμα του μηχανοστασίου θίγει το μηχανοστάσιο και στις δύο περιπτώσεις, ενώ το ρήγμα πάνω από το κατάστρωμα οχημάτων στο ROPAX, σε αυτήν την περίπτωση, θίγει τρία δωμάτια επιβατών (καμπίνες) στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών.

Οι υδατοστεγείς θύρες θεωρούνται ανοικτές, με εξαίρεση την πιο πρωραία θύρα. Τα ρήγματα και σε αυτήν την περίπτωση μοντελοποιήθηκαν ως ανοίγματα, προκειμένου να είναι δυνατή η μελέτη της κατάκλυσης από την άθικτη κατάσταση πλεύσης.

Τα επιπλέον ανοίγματα με τις αντίστοιχες συνδέσεις μεταξύ των χώρων παρουσιάζονται στους επόμενους πίνακες. Ο συνδυασμός άθικτης κατάστασης πλεύσης, το σύνολο των ανοιγμάτων και ο πίνακας συνδέσεων των χώρων ορίζουν το σενάριο βλάβης για το οποίο εκτελείται η προσομοίωση.

Στο επόμενο σχέδιο αποτυπώνονται τα ρήγματα και η κατάσταση των θυρών για το συγκεκριμένο σενάριο.



Σχέδιο 9.6-1: Βλάβες σεναρίου Express Samina και κατάσταση θυρών για το Pure Passenger Ferry

Κατάλογος Επιπλέον Ανοιγμάτων Αμιγώς Ε/Γ για το σενάριο EXPRESS SAMINA					
ID	WT	GEOMOBJ	CONN	WRCOEF	L
ER.BREACH	UNPROTECTED	BREACH.ER	ENGINE.ROOM SEA	0.75	0
SAM.BREACH1	UNPROTECTED	BREACH.GRG	C1.4.16 SEA	0.75	0
SAM.BREACH2	UNPROTECTED	BREACH.GRG	C1.4.17 SEA	0.75	0
SAM.BREACH3	UNPROTECTED	BREACH.GRG	C1.4.18 SEA	0.75	0

Πίνακας 9.6-3: Κατάλογος επιπλέον ανοιγμάτων Pure Passenger Ferry για το σενάριο Express Samina

Πίνακας Επιπλέον Συνδέσεων Χώρων Αμιγώς Ε/Γ για το σενάριο EXPRESS SAMINA			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
CORRIDOR1.1	ENGINE.CASING	N	WAD1
ENGINE.CASING	CORRIDOR1.1	N	WAD1
ROOMF5.C	ROOMF6.C	N	WAD3
ROOMF6.C	ROOMF5.C	N	WAD3
ROOMF4.UP.C	ROOMF5.C	Y	WAD4
ROOMF5.C	ROOMF4.UP.C	Y	WAD4
ROOMF3.UP.C	ROOMF4.UP.C	Y	WAD5
ROOMF4.UP.C	ROOMF3.UP.C	Y	WAD5
ROOMF3.LOW.C	ROOMF3.UP.C	Y	WAD6
ROOMF3.UP.C	ROOMF3.LOW.C	Y	WAD6
ROOMF2.LOW.C	ROOMF3.LOW.C	Y	WAD7
ROOMF3.LOW.C	ROOMF2.LOW.C	Y	WAD7
ROOMF1.LOW.C	ROOMF2.LOW.C	Y	WAD8
ROOMF2.LOW.C	ROOMF1.LOW.C	Y	WAD8
ENGINE.ROOM	ROOMF1.LOW.C	Y	WAD9
ROOMF1.LOW.C	ENGINE.ROOM	Y	WAD9
ENGINE.ROOM	ROOMF1.UP.C	Y	WAD10
ROOMF1.UP.C	ENGINE.ROOM	Y	WAD10
ROOMA1.UP.C	ENGINE.ROOM	Y	WAD11
ENGINE.ROOM	ROOMA1.UP.C	Y	WAD11
ROOMA2.UP.P	ROOMA1.UP.C	Y	WAD12
ROOMA1.UP.C	ROOMA2.UP.P	Y	WAD12
ROOMA2.UP.S	ROOMA1.UP.C	Y	WAD13
ROOMA1.UP.C	ROOMA2.UP.S	Y	WAD13
ROOMA2.LOW.C	ROOMA2.UP.P	Y	WAD14
ROOMA2.UP.P	ROOMA2.LOW.C	Y	WAD14
ROOMA2.LOW.C	ROOMA2.UP.S	Y	WAD15
ROOMA2.UP.S	ROOMA2.LOW.C	Y	WAD15
ENGINE.ROOM	SEA	Y	ER.BREACH
SEA	ENGINE.ROOM	Y	ER.BREACH
C1.4.16	SEA	Y	SAM.BREACH1
SEA	C1.4.16	Y	SAM.BREACH1
C1.4.17	SEA	Y	SAM.BREACH2
SEA	C1.4.17	Y	SAM.BREACH2
C1.4.18	SEA	Y	SAM.BREACH3
SEA	C1.4.18	Y	SAM.BREACH3
ROOMF6.C	CORRIDOR1.2	N	UPFLOOD
CORRIDOR1.2	ROOMF6.C	N	UPFLOOD

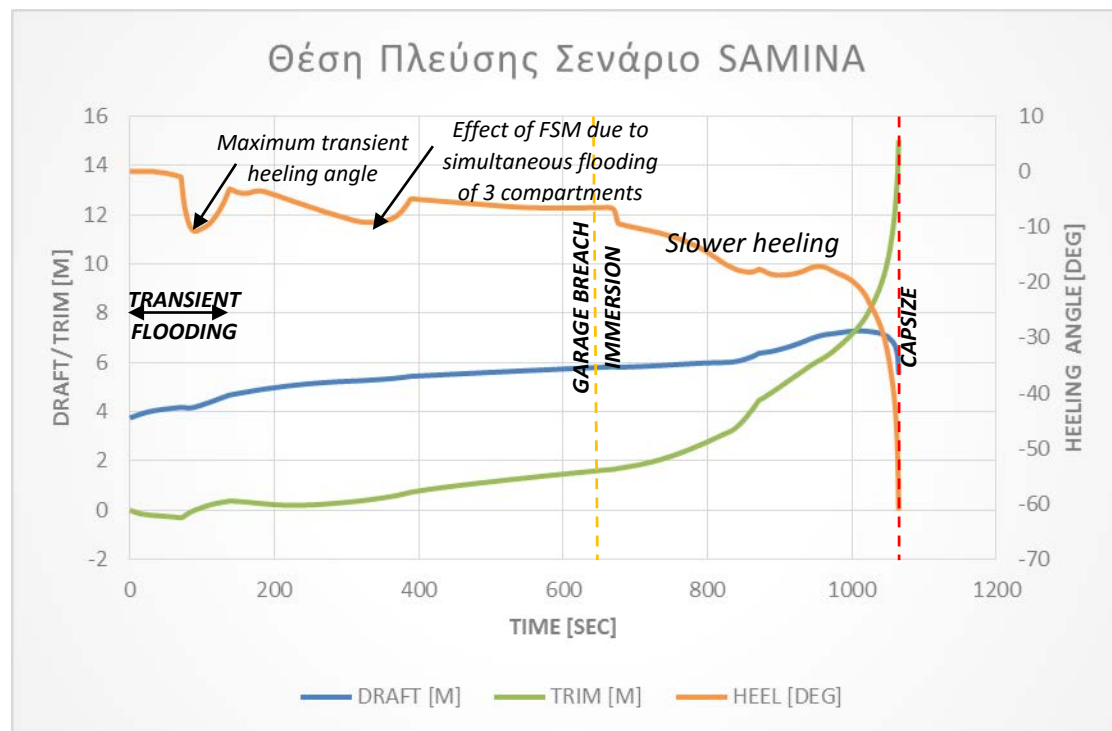
Πίνακας 9.6-4: Πίνακας πρόσθετων συνδέσεων χώρων για το Pure Passenger Ferry για το σενάριο Express Samina

9.6.1.2 Αποτελέσματα (κατάσταση φόρτωσης ROPAX)

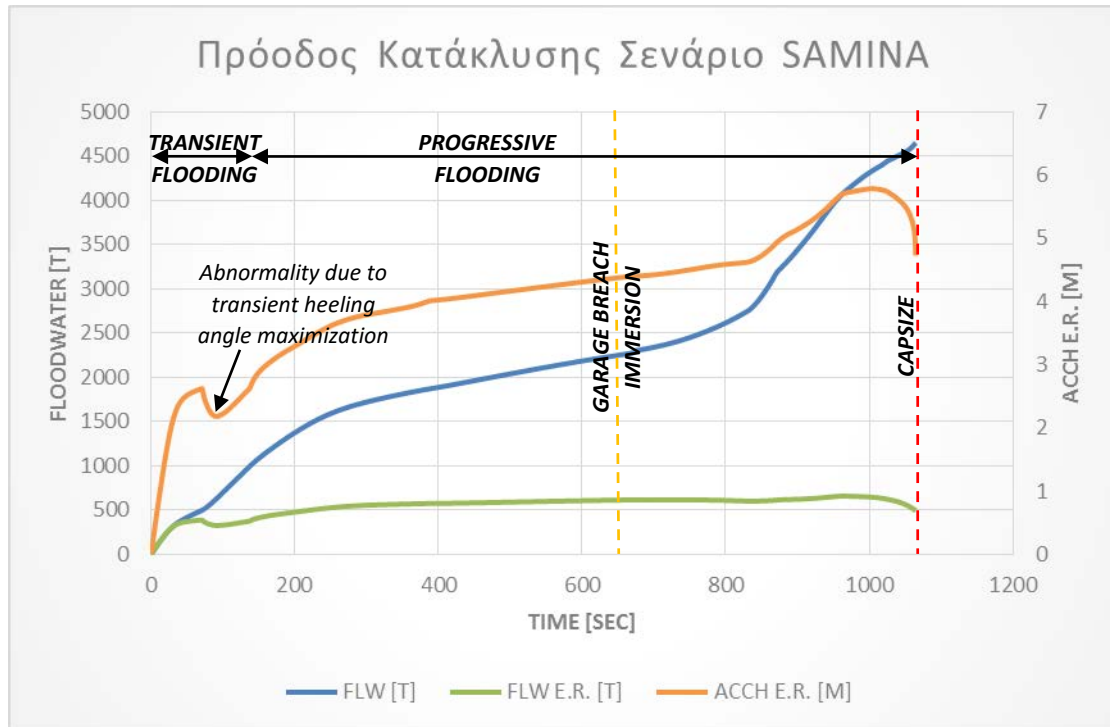
Σε αυτήν την παράγραφο δίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το σενάριο βλάβης του *Express Samina*, υποθέτοντας ως κατάσταση άθικτης ευστάθειας την κατάσταση φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος, που αντιστοιχεί στο ROPAX.

Όπως σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, δίνονται τα διαγράμματα χρονικής μεταβολής της θέσης πλεύσης του πλοίου, της ποσότητας νερού κατάκλυσης και των παραμέτρων ευστάθειας από την άθικτη κατάσταση μέχρι την τελική κατάσταση ισορροπίας ή την ανατροπή και βύθιση.

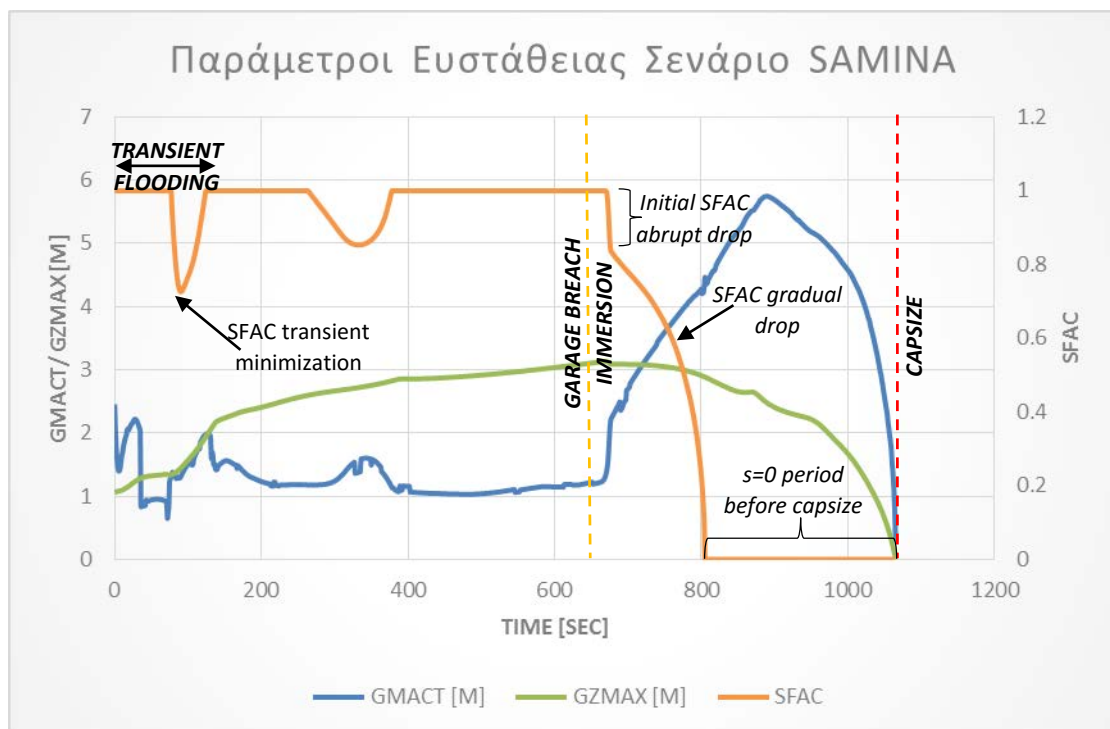
Όπως δείχνουν τα αποτελέσματα το πλοίο εν τέλει οδηγήθηκε στην ανατροπή, με παρόμοιο τρόπο με αυτόν του ROPAX. Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο, τουλάχιστον μέχρι τη βύθιση του ανώτερου ρήγματος, καθώς η υδατοστεγής υποδιαίρεση μέχρι το κατάστρωμα οχημάτων και η κατάσταση των θυρών είναι ίδια στην περίπτωση του ROPAX και του αμιγώς επιβατηγού πλοίου. Επειδή, τόσο ο τύπος του ρήγματος όσο και η έκταση του είναι αρκετά δυσμενή για την ευστάθεια, η αλλαγή της υποδιαίρεσης στο χώρο των οχημάτων ήταν αναμενόμενο να μην καταφέρει να διατηρήσει το πλοίο σε ισορροπία, συνεπώς η ανατροπή δεν ήταν απευκαίτια. Η θετική επίδραση του κατακερματισμού του χώρου οχημάτων φάνηκε στην επέκταση του χρονικού παράθρου μέχρι την τελική ανατροπή.



Διάγραμμα 9.6-1: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Express Samina



Διάγραμμα 9.6-2: Πρόοδος κατάκλισης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Express Samina



Διάγραμμα 9.6-3: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Express Samina

Όπως ήταν αναμενόμενο η εξέλιξη της κατάκλισης ακολουθεί την ίδια πορεία με την περίπτωση του ίδιου σεναρίου, για το ROPAX. Οι λόγοι για τους οποίους δικαιολογούνται οι συμπεριφορές των καμπυλών, εξηγήθηκαν και σχετίζονται με το σχηματισμό των ελεύθερων επιφανειών, τόσο στην αρχική μεταβατική κατάκλιση όσο και κατά τη διάρκεια της προοδευτικής κατάκλισης, όπου μπορεί να υπάρξουν φαινόμενα ταυτόχρονης εκκίνησης κατάκλισης πολλών διαμερισμάτων.

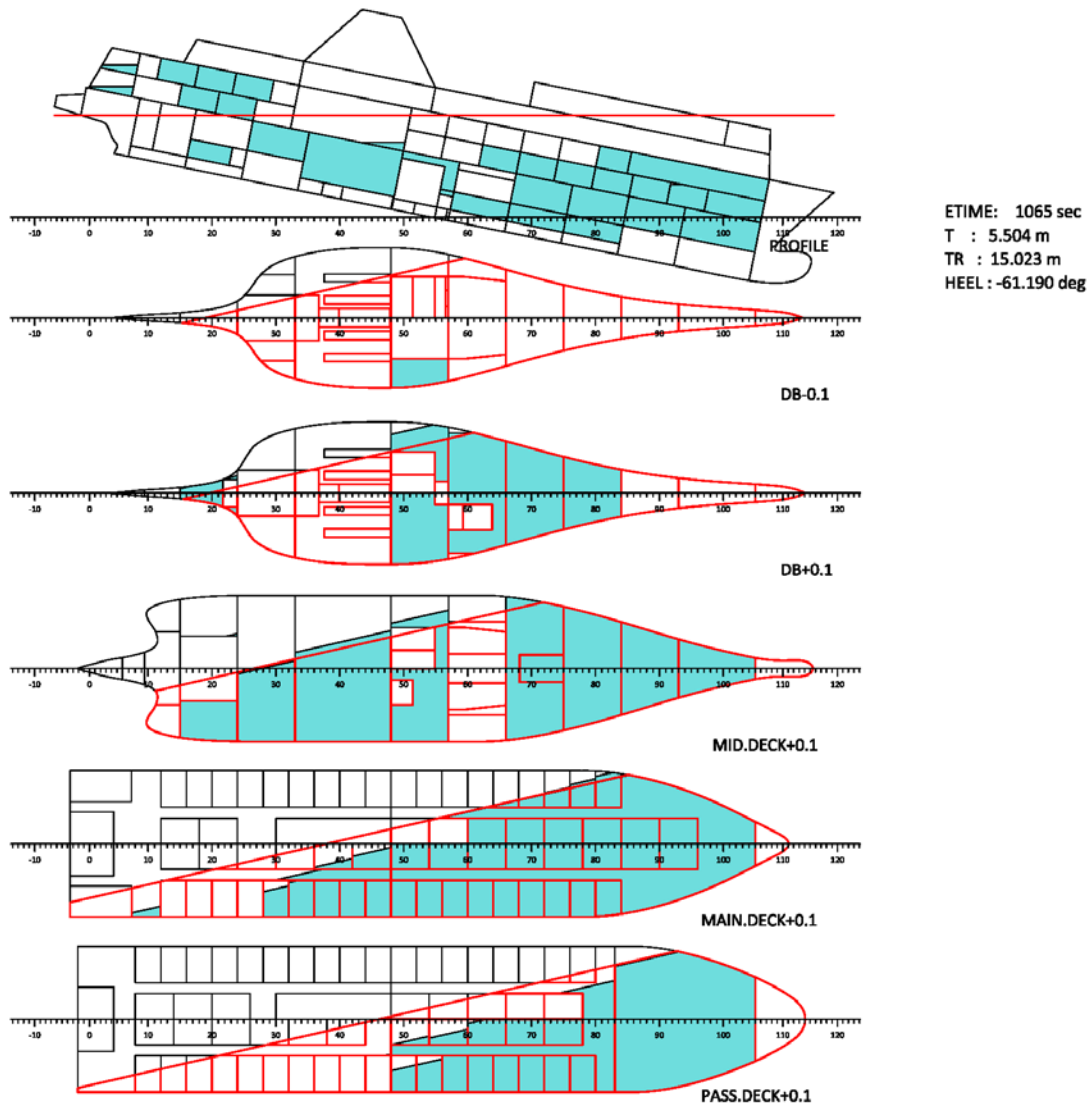
Η διαφορά εμφανίζεται μετά τη βύθιση του ανώτερου ρήγματος. Συγκεκριμένα, ενώ στην περίπτωση του ROPAX η ανάπτυξη γωνίας εγκάρσιας κλίσης γίνεται απότομα, με την κλίση της καμπύλης να είναι σχεδόν κατακόρυφη, σε αυτήν την περίπτωση η γωνία κλίσης έχει μικρότερο ρυθμό αύξησης, γεγονός που υποδηλώνει την καλύτερη συμπεριφορά λόγω του κατακερματισμού του χώρου οχημάτων. Ο κατακερματισμός οδηγεί σε περιορισμό των ελεύθερων επιφανειών με αποτέλεσμα τη διατήρηση της ευστάθειας για μεγαλύτερο χρόνο, αφενός και αφετέρου πιο αργή ανάπτυξη μεγάλων κλίσεων. Για αυτό το λόγο φαίνεται και μία σχετική σταθεροποίηση περί τις 20°. Η πιο αργή ανάπτυξη εγκάρσιων κλίσεων, επιτρέπει την κατάκλιση άθικτων χώρων μέσω των εξωτερικών ανοιγμάτων, για περισσότερο χρόνο, με αποτέλεσμα ομαλότερη κατάκλιση και διατήρηση της ευστάθειας, για μεγαλύτερο χρόνο.

Η ανάπτυξη μεγαλύτερης έμπρορης διαγωγής, περίπου διπλάσιας της περίπτωσης του ROPAX, οδηγεί την εσωτερική στάθμη σε υψηλότερα επίπεδα από την περίπτωση του ROPAX, άρα και σε ανώτερες τιμές της καθ' ύψους θέσης του κέντρου βάρους του πλοίου. Αυτή η παράμετρος επιδρά αρνητικά στην ευστάθεια και συνεισφέρει στην τελική ανατροπή του πλοίου.

Η τελική τιμή της ποσότητας νερού κατάκλισης ήταν 4500t που είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή για το ίδιο σενάριο στην περίπτωση του ROPAX. Κατά συνέπεια, η ποσότητα νερού κατάκλισης είναι μεγαλύτερη, όπως άλλωστε αναμένεται, γιατί η κατάκλιση διαρκεί παραπάνω, αρά επιτρέπεται η είσοδος του νερού για περισσότερο χρόνο. Η ύπαρξη των μικρότερων χώρων περιορίζει την επίδραση των ελεύθερων επιφανειών, με αποτέλεσμα την παράταση του χρόνου μέχρι την ανατροπή. Οπότε τελικά, επιδεικνύεται καλύτερη συμπεριφορά από άποψη ευστάθειας, καθώς σε αυτήν την εκδοχή, το πλοίο υποστηρίζει μεγαλύτερη ποσότητα νερού κατάκλισης πριν την ανατροπή, η οποία επέρχεται και αργότερα, συγκριτικά με την περίπτωση του ROPAX.

Σχετικά με τις παραμέτρους ευστάθειας, η πορεία των καμπυλών αναλύθηκε στην περίπτωση του ROPAX. Η πιο αξιοσημείωτη διαφορά είναι στην καμπύλη του συντελεστή επιβιωσιμότητας s . Όπως δείχνει η καμπύλη, μετά τη βύθιση του ανώτερου ρήγματος, ξεκινάει μια ραγδαία πτώση του δείκτη s . Η πτώση αυτή συνεχίστηκε με τον ίδιο ρυθμό στην περίπτωση του ROPAX, όμως σε αυτήν την περίπτωση μετά την πρώτη ραγδαία πτώση, επέρχεται μια μείωση του ρυθμού πτώσης του δείκτη. Η συγκεκριμένη πτώση σχετίζεται αφενός με την κατάκλιση χώρων στην περιοχή του πλοίου κάτω από το πρώτο κατάστρωμα επιβατών (πρώην κατάστρωμα οχημάτων), μέσω εξωτερικών ανοιγμάτων κι αφετέρου σχετίζεται με την καθ' ύψος κατάκλιση (*up-flooding*), μεταξύ των δυο καταστρωμάτων επιβατών, η οποία είναι πιο αργή διαδικασία συγκριτικά με την περίπτωση του ROPAX, όπου ο χώρος οχημάτων είναι ενιαίος.

Η τελική κατάσταση λίγο πριν την ανατροπή δίνεται στο επόμενο σχέδιο.



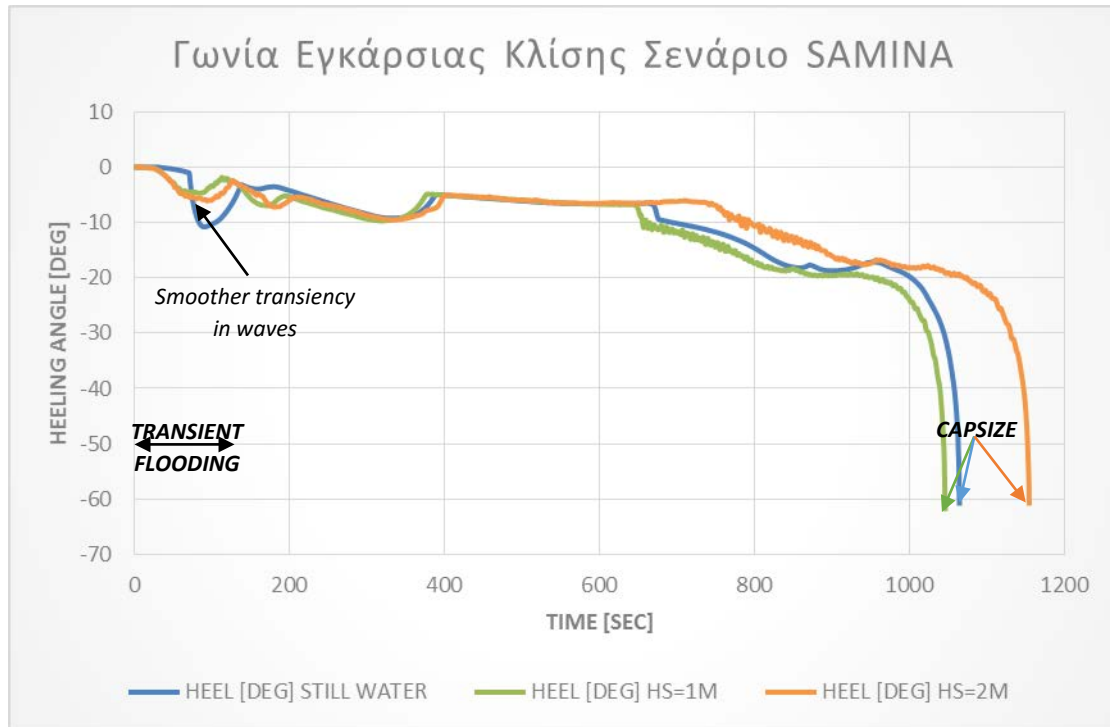
Σχέδιο 9.6-2: Τελική θέση πλοίου Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Express Samina

Όπως φαίνεται η κατάκλιση οδηγεί σε μια πολύ δυσμενή κατάσταση, καθώς η ανάπτυξη μεγάλης εγκάρσιας κλίσης συνοδεύεται και από την ανάπτυξη μεγάλης διαμήκου διαγωγής, κάτι το οποίο δε συνέβη στην περίπτωση του ROPAX. Ωστόσο, δόθηκε περισσότερος χρόνος μέχρι την τελική ανατροπή, γεγονός που, θεωρητικά τουλάχιστον, μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερο αριθμό διασωθέντων επιβατών.

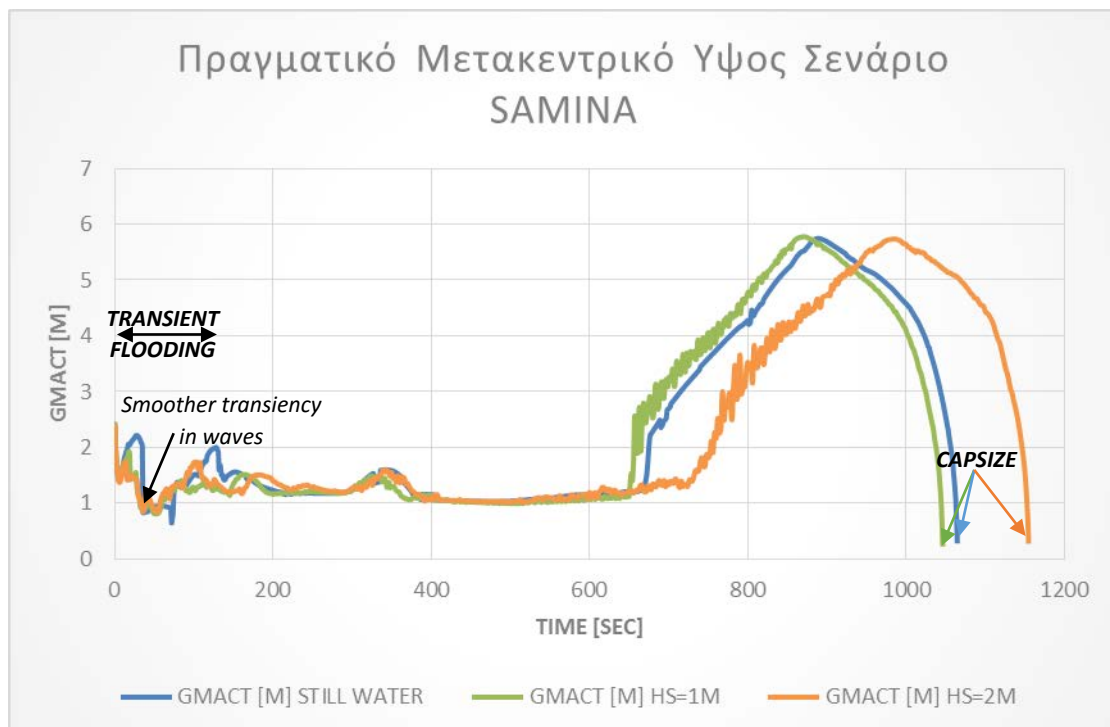
9.6.1.3 Επίδραση κυματισμού (κατάσταση φόρτωσης ROPAX)

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίδρασης των κυματισμών για το παραπάνω σενάριο με τις καταστάσεις φόρτωσης του ROPAX. Ο κυματισμός που χρησιμοποιήθηκε είχε περίοδο 5sec και σημαντικό ύψος κύματος 1m και 2m.

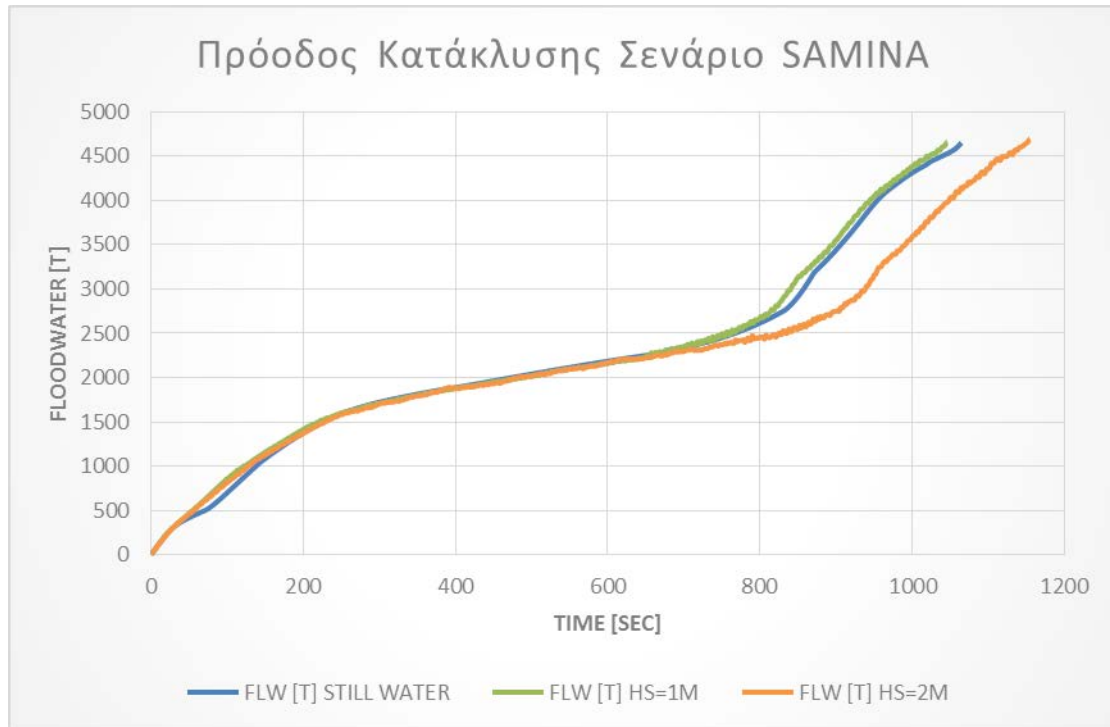
Τα αποτελέσματα δίνονται στα επόμενα διαγράμματα.



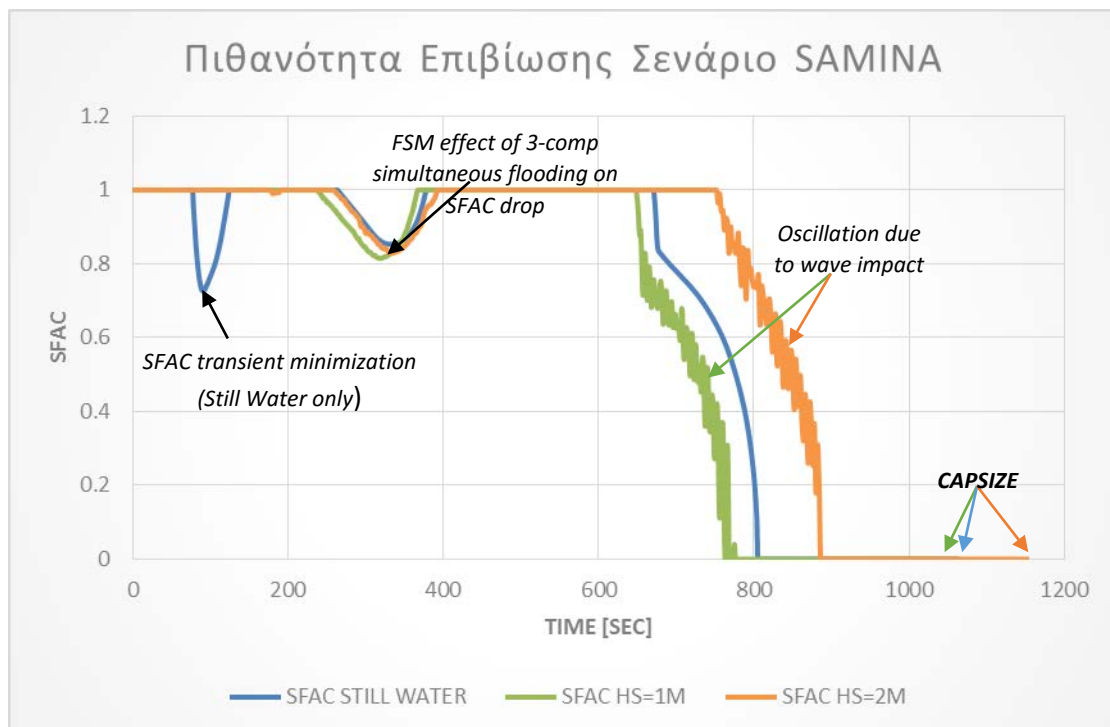
Διάγραμμα 9.6-4: Μεταβολή γωνίας εγκάρσιας κλίσης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.6-5: Μεταβολή μετακεντρικού ύψους για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.6-6: Πρόοδος κατάκλυσης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.6-7: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό

Όπως και στην περίπτωση του ROPAX, η επίδραση του κυματισμού είναι αμφίσημη ως προς την ευστάθεια. Και πάλι φαίνεται η ομαλότερη μετάβαση κατά τη φάση της αρχικής

μεταβατικής κατάκλυσης, το οποίο ήταν αναμενόμενο αφού η υποδιαίρεση και όλη η πορεία κατάκλυσης παραμένει ίδια και για το ROPAX και για το Pure Passenger Ferry, με τις καταστάσεις φόρτωσης του ROPAX, τουλάχιστον μέχρι τη βύθιση του ανώτερου ρήγματος.

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα εγκαρσίων κλίσεων για την περίπτωση του κυματισμού με $H_s=2\text{m}$ η γωνία κλίσης παραμένει σε μικρότερες τιμές για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα μέχρι να αρχίσει η ραγδαία αύξηση της τιμής της. Αντίθετα, για την περίπτωση με $H_s=1\text{m}$ η γωνία κλίσης μετά τη βύθιση του ρήγματος είναι συστηματικά μεγαλύτερη και η τελική ανατροπή γίνεται νωρίτερα απ' ό,τι στην περίπτωση του ήρεμου νερού. Η ίδια συμπεριφορά επιδείχθηκε και στην περίπτωση του ROPAX, με τις καμπύλες ήρεμου νερού και $H_s=1\text{m}$ να ταυτίζονται σχεδόν, μετά τη βύθιση του ανώτερου ρήγματος και τις καμπύλες για κυματισμό με $H_s=2\text{m}$ να διακρίνονται για την παράταση του χρονικού ορίου μέχρι την ανατροπή.

Αυτό που είναι αρκετά προφανές για όλες τις καμπύλες είναι η έντονη ταλαντωτικότητα των τιμών σχεδόν όλων των μεγεθών, γεγονός που δείχνει την ευαισθησία της προόδου κατάκλυσης από τη μεταβολή της ελεύθερης επιφάνειας, λόγω του κυματισμού. Αυτή η συμπεριφορά, δεν ήταν τόσο έντονη στην περίπτωση το ROPAX, τόσο ως προς το ρυθμό μεταβολής όσο και ως προς το εύρος της μεταβολής. Αυτή η συμπεριφορά μπορεί να συσχετισθεί με το γεγονός ότι ουσιαστικά μετά τη βύθιση του ανώτερου ρήγματος το πλοίο μπαίνει σε μια διαδικασία κατάκλυσης, με νέους χώρους να ανοίγονται προς την κατάκλυση διαρκώς, με αποτέλεσμα το σχηματισμό νέων ελεύθερων επιφανειών αλλά και τη μεταβολή της καθ' ύψους θέσης του κέντρου βάρους. Η διαδικασία αυτή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θέση της εσωτερικής στάθμης του νερού, άρα και από τη διαταραχή της εξωτερικής στάθμης, λόγω του κυματισμού.

Οι χρόνοι μέχρι την ανατροπή (*Time to Capsize*) είναι για κάθε περίπτωση:

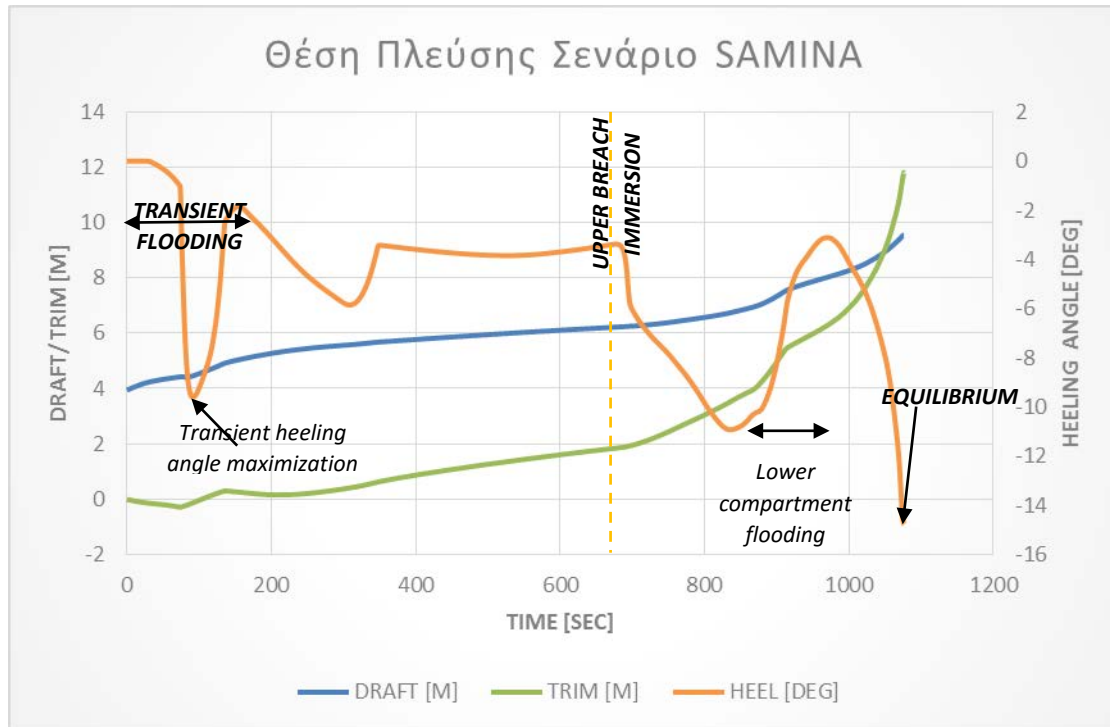
- Ήρεμο νερό (*Still Water*): 1064.8 sec \approx 17.747 min
- Κυματισμός με σημαντικό ύψος κύματος $H_s=1\text{m}$: 1046.3 sec \approx 17.438 min
- Κυματισμός με σημαντικό ύψος κύματος $H_s=2\text{m}$: 1154.8 sec \approx 19.247 min

Και πάλι οι χρόνοι μέχρι την ανατροπή είναι μικρότεροι του μέγιστου προβλεπόμενου χρόνου εκκένωσης του πλοίου, των τριάντα λεπτών, συνεπώς ενδεχομένως να μην ολοκληρωθεί η διαδικασία εκκένωσης και εγκατάλειψης του πλοίου. Επιπρόσθετα, η δυσμενής τελική κατάσταση με τη μεγάλη διαγωγή και εγκάρσια κλίση μπορεί να καταστήσει ακόμη και αδύνατη την καθέλκυση των σωστικών λέμβων. Η παράταση του χρόνου μέχρι την ανατροπή είναι περίπου 4 λεπτά, συγκριτικά με το ROPAX. Τα τέσσερα αυτά λεπτά ενδεχομένως να αποβούν μοιραία ή σωτήρια για τέτοιες περιπτώσεις, όμως το γεγονός είναι ότι είναι μάλλον αδύνατη η εγκατάλειψη του πλοίου μέσα στο χρονικό περιθώριο μέχρι την ανατροπή.

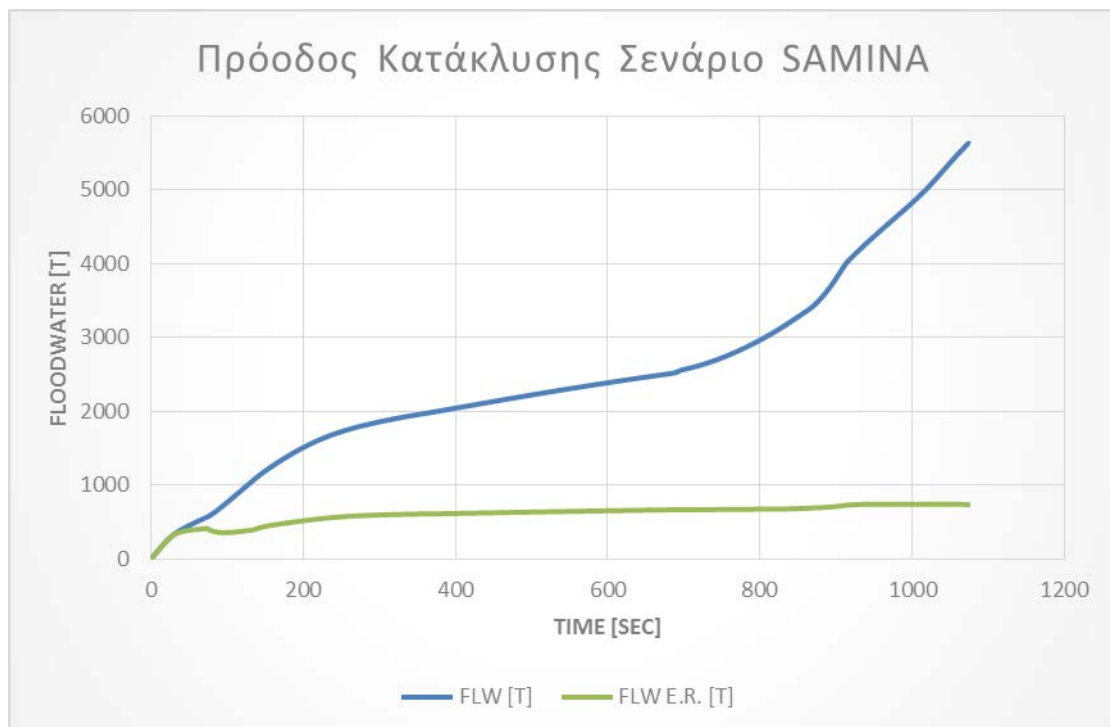
9.6.1.4 Αποτελέσματα (πραγματική κατάσταση φόρτωσης)

Σε αυτήν την παράγραφο δίνονται τα βασικότερα αποτελέσματα, υπό τη μορφή διαγραμμάτων, από την εκτέλεση της προσομοίωσης. Η διαφορά σε αυτήν την περίπτωση είναι η κατάσταση φόρτωσης που χρησιμοποιήθηκε. Χρησιμοποιήθηκε η πραγματική κατάσταση φόρτωσης που αντιστοιχεί στο ενδιάμεσο βύθισμα των κανονισμών και παρουσιάστηκε στην παράγραφο 9.4.3.

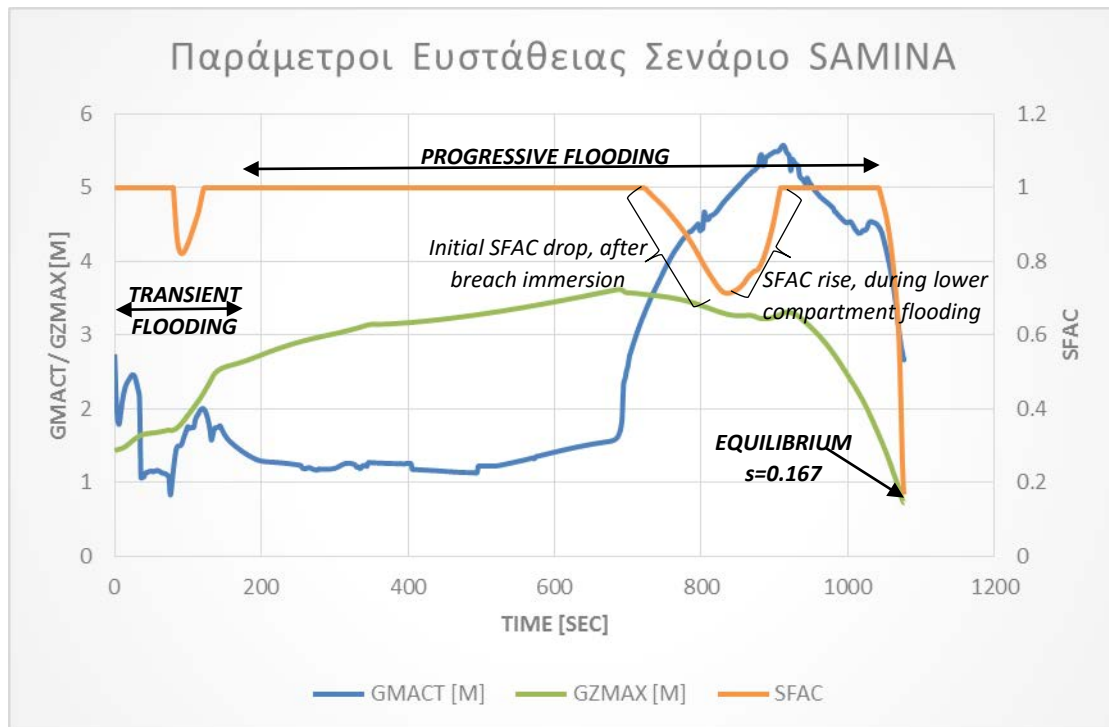
Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα.



Διάγραμμα 9.6-8: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Express Samina



Διάγραμμα 9.6-9: Πρόοδος κατάκλυσης για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Express Samina



Διάγραμμα 9.6-10: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Express Samina

Σε αυτήν την περίπτωση το πλοίο τελικά δεν ανατρέπεται, αλλά σύμφωνα με την αναφορά του προγράμματος, το πλοίο οδηγείται σε ισορροπία. Κάτι τέτοιο, δεν ήταν και τόσο αναμενόμενο, καθώς η ανώτερη ευστάθεια όπως εκφράζεται μέσω του αρχικού GM, αλλά σε αυξημένο βύθισμα, θεωρήθηκε ότι στην καλύτερη περίπτωση θα οδηγούσε σε αύξηση του χρόνου μέχρι την ανατροπή. Ωστόσο τελικά το πλοίο βρήκε μια θέση ισορροπίας.

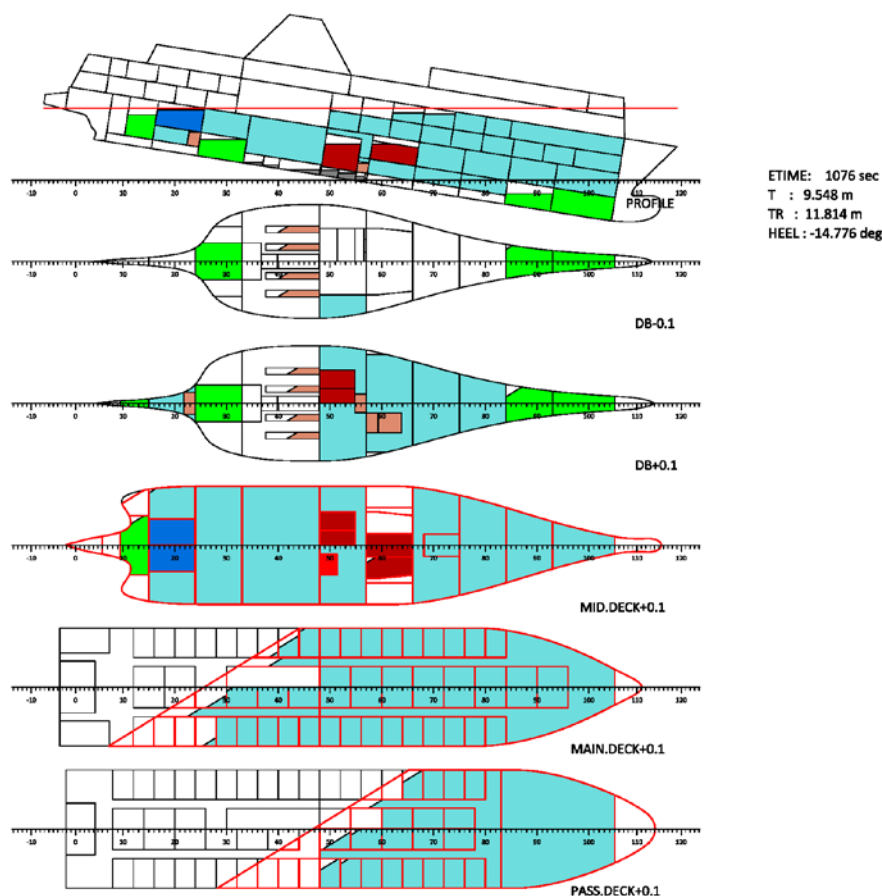
Όμοια με τις προηγούμενες περιπτώσεις για το ROPAX και το αμιγώς Ε/Γ με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, αρχικά υπάρχει η μεταβατική κατάκλυση, η οποία ως φαινόμενο οδηγείται από την επίδραση της ροπής λόγω ελεύθερων επιφανειών. Στη συνέχεια ακολουθεί η φάση της προοδευτικής κατάκλυσης. Η δεύτερη αυτή φάση, ξεκινάει με την ταυτόχρονη κατάκλυση των τριών διαμερισμάτων που συζητήθηκε και στην περίπτωση του ROPAX κι εδώ αποτυπώνεται με την έντονη αύξηση της καμπύλης εγκάρσιας κλίσης. Στη συνέχεια, ακολουθεί μια νέα αύξηση της καμπύλης εγκάρσιας κλίσης, λόγω της βύθισης του ανώτερου ρήγματος. Στην πραγματικότητα, σε εκείνη τη φάση το πλοίο μπαίνει στην τελική φάση ανατροπής. Ωστόσο, επειδή το βύθισμα είναι μεγαλύτερο, συγκριτικά με τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις, γίνεται γρήγορα βύθιση ενός ανοίγματος που οδηγεί σε κατάκλυση ενός πρωραίου χώρου ο οποίος έως εκείνη τη φάση ήταν άθικτος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της παραμέτρου KG και συνεπώς βελτίωση της ευστάθειας. Το γεγονός αυτό αποτυπώνεται στην επαναφορά του πλοίου κατά περίπου 8° λίγο πριν την τελική αύξηση της γωνίας. Τελικά, το πλοίο αναπτύσσει γωνία εγκάρσιας κλίσης μέχρι τις 15° , όπου και ισορροπεί.

Όσον αφορά την ποσότητα νερού κατάκλυσης φαίνεται ότι η τελική ποσότητα είναι μεγαλύτερη από τις άλλες δύο περιπτώσεις και αυτό οφείλεται στο μεγαλύτερο βύθισμα και τις αντίστοιχα μεγαλύτερες πιέσεις και παροχές νερού μέσω του ρήγματος.

Οι μορφές των καμπυλών στο διάγραμμα των παραμέτρων ευστάθειας είναι λίγο πολύ παρόμοιες με την περίπτωση του ROPAX και του αμιγώς Ε/Γ, με τις καταστάσεις φόρτωσης του ROPAX. Ωστόσο, υπάρχει μια σημαντική διαφορά στην πορεία της καμπύλης του συντελεστή επιβιωσιμότητας. Όπως φαίνεται μετά τη βύθιση του ανώτερου ρήγματος η πορεία του δείκτη s είναι πτωτική όπως αναμενόταν, όμως στη συνέχεια ακολουθεί επαναφορά λόγω κατάκλισης του πρωραίου χώρου, που αναφέρθηκε προηγουμένως και επιδρά θετικά, γιατί ουσιαστικά αντιστοιχεί σε ερματισμό του πλοίου. Τελικά, ο συντελεστής μειώνεται μέχρι την τελική τιμή 0.167, όπου σύμφωνα με το πρόγραμμα επίλυσης, το πλοίο έφτασε σε ισορροπία.

Όπως φαίνεται το πλοίο τελικά αποφεύγει την ανατροπή και βρίσκει κάποια θέση ισορροπίας. Ωστόσο, η χαμηλή τιμή του s δείχνει ότι η ισορροπία αυτή ενδεχομένως να μην είναι ευσταθής και τελικά αν λαμβανόταν υπόψη η κίνηση των επιβατών ή μια οποιαδήποτε μικρή διαταραχή το πλοίο θα μπορούσε να οδηγηθεί στην ανατροπή. Σε κάθε περίπτωση πάντως, φάνηκε η καλύτερη επίδοση του πλοίου από άποψη ευστάθειας λόγω αύξησης του GM, αλλά και της αλλαγής των υδροστατικών μεγεθών και του βυθίσματος, καθώς το πλοίο σε αυτήν την περίπτωση φαίνεται να οδηγείται στην ισορροπία. Δεν αποκλείεται και αριθμητικό λάθος κατά την επίλυση από το πρόγραμμα, όμως δεν είναι και παράλογο τελικά το πλοίο να βρεθεί σε κάποια θέση ισορροπίας, λόγω της καλύτερης αρχικής ευστάθειας του.

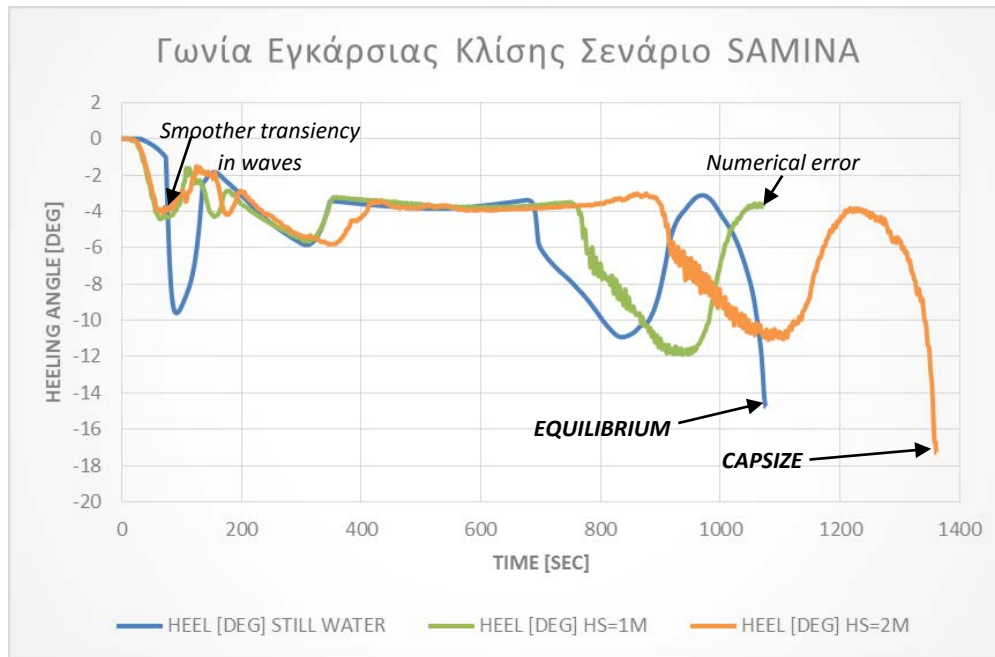
Στο επόμενο σχέδιο δίνεται η τελική θέση ισορροπίας του πλοίου.



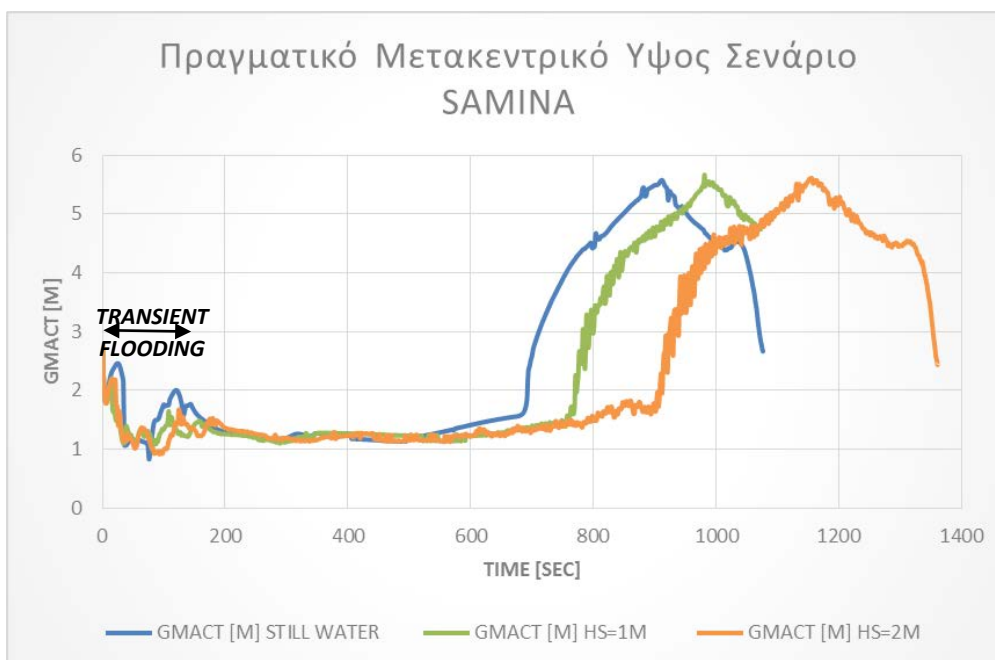
Σχέδιο 9.6-3: Τελική θέση πλοίου Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Express Samina

9.6.1.5 Επίδραση κυματισμού (πραγματική κατάσταση φόρτωσης)

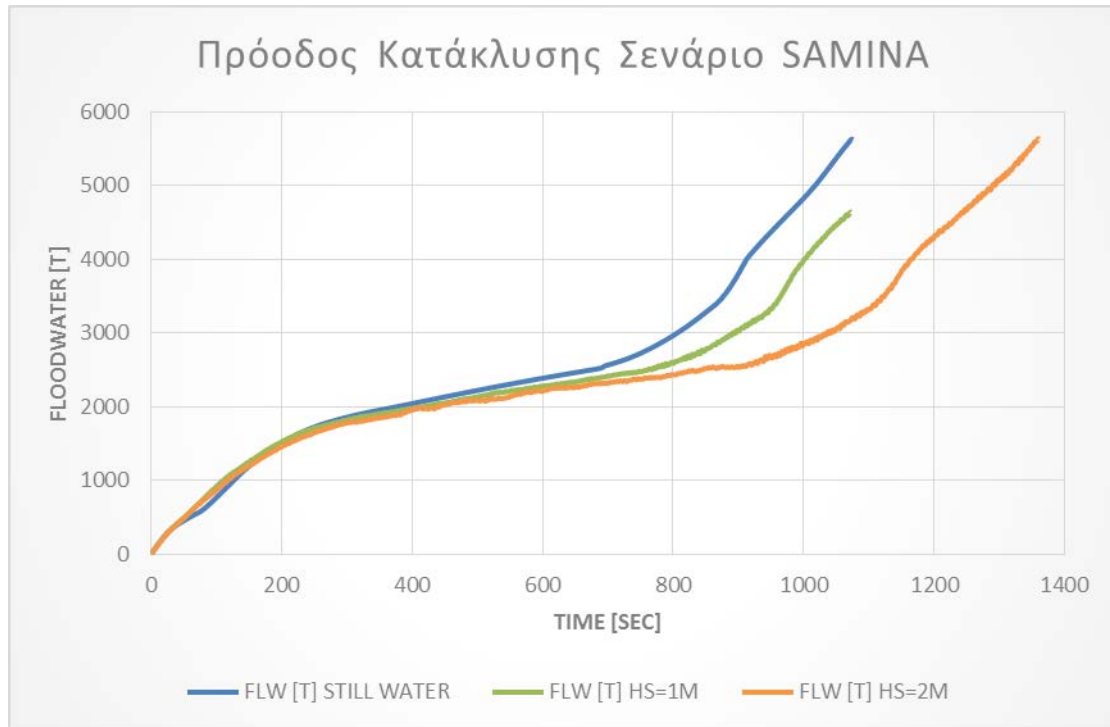
Στην παράγραφο αυτή δίνονται τα βασικά αποτελέσματα για την περίπτωση του σεναρίου βλάβης *Express Samina*, για το αμιγώς Ε/Γ, χρησιμοποιώντας την πραγματική κατάσταση φόρτωσης του ενδιάμεσου βυθίσματος. Όπως και στις άλλες περιπτώσεις, ο κυματισμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν ψευδοτυχαίος με περίοδο 5sec και σημαντικό ύψος κύματος 1m και 2m. Τα αποτελέσματα δίνονται στα επόμενα διαγράμματα.



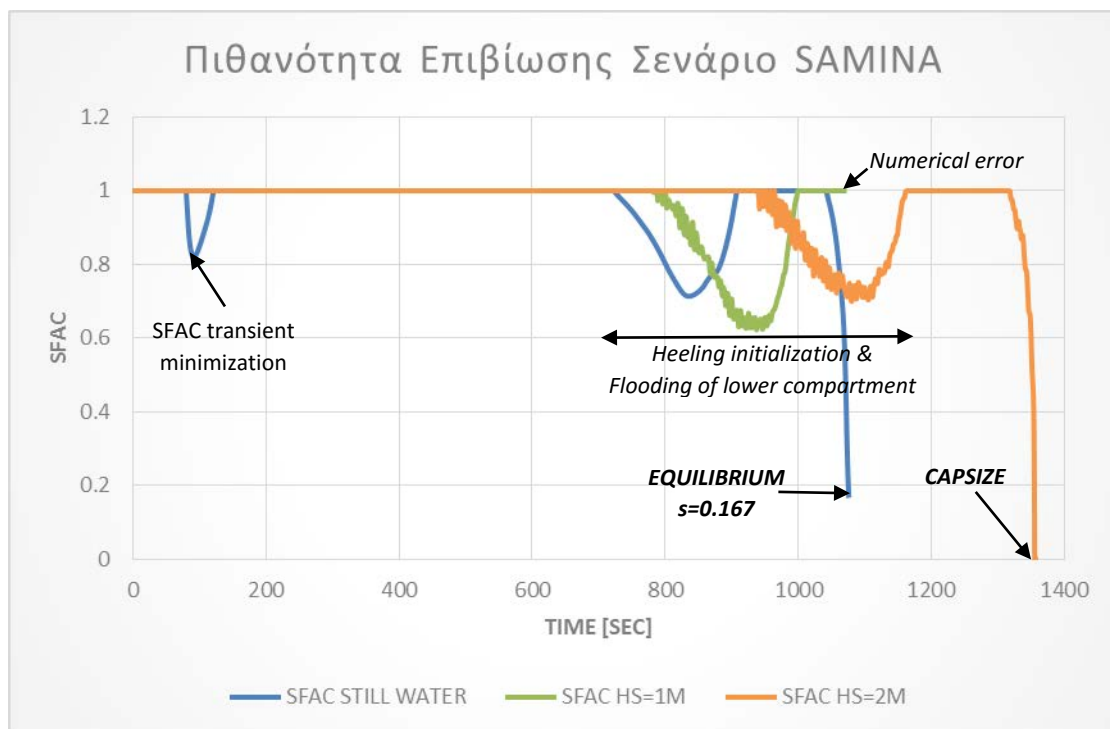
Διάγραμμα 9.6-11: Μεταβολή γωνίας εγκάρσιας κλίσης για το *Pure Passenger Ferry*, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο *Express Samina*, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.6-12: Μεταβολή μετακεντρικού ύψους για το *Pure Passenger Ferry*, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο *Express Samina*, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.6-13: Πρόοδος κατάκλυσης για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.6-14: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Express Samina, με κυματισμό

Αρχικά αναφέρεται ότι για σημαντικό ύψος κύματος $H_s=1\text{m}$ κατέστη αδύνατη η ολοκλήρωση της προσομοίωσης καθώς διαρκώς δημιουργούνταν αριθμητικά σφάλματα που οδηγούσαν σε πρόωρο τερματισμό της επίλυσης. Τα αποτελέσματα όμως μέχρι τη στιγμή του τερματισμού είναι σωστά και γι' αυτό παρουσιάστηκαν. Όπως φαίνεται για την περίπτωση κυματισμού με $H_s=2\text{m}$ το πλοίο τελικά οδηγήθηκε στην ανατροπή, γεγονός που αποδεικνύει και την αστάθεια της θέσης ισορροπίας που επιτεύχθηκε για την περίπτωση ήρεμου νερού.

Και σε αυτήν την περίπτωση φάνηκε η έντονη μεταβλητότητα των μεγεθών, λόγω της επίδρασης του κυματισμού η οποία είναι σε ευθεία σχέση με την διαταραχή της ελεύθερης επιφάνειας. Σε γενικές γραμμές πάντως φαίνεται μια υστέρηση των φαινομένων στις περιπτώσεις των κυματισμών, όπως αποτυπώνεται και στις μεταβολές του δείκτη s , γεγονός που δε φάνηκε στην περίπτωση του ROPAX ή του αμιγώς Ε/Γ με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX. Σε εκείνες τις περιπτώσεις ο κυματισμός με $H_s=1\text{m}$ οδηγεί σε χειρότερη έκβαση υπό την έννοια ότι η ανατροπή είναι ταχύτερη, ενώ για $H_s=2\text{m}$ η ανατροπή καθυστερούσε. Σε αυτήν την περίπτωση, δεν είναι εύκολο να αποφανθεί κανείς για βελτίωση ή όχι της ευστάθειας καθώς, όπως φαίνεται για ήρεμο νερό το πλοίο οδηγείται ταχύτερα σε μια ασταθή θέση ισορροπίας, ενώ για $H_s=2\text{m}$ οδηγείται στην ανατροπή αργότερα. Θεωρητικά και για $H_s=1\text{m}$ τελικά το πλοίο θα οδηγούνταν στην ανατροπή λόγω της αστάθειας της θέσης ισορροπίας που προβλέπει η κατάσταση ήρεμου νερού, όμως αυτό δεν είναι ασφαλές συμπέρασμα. Συγκρίνοντας λοιπόν μόνο τις περιπτώσεις ήρεμου νερού και κυματισμού 2m εξάγεται το συμπέρασμα ότι για ήρεμο νερό, αν η τελική θέση δεν είναι αρκετά ευσταθής, το πλοίο θα ανατραπεί νωρίτερα απ' ό,τι προβλέπεται για τον κυματισμό των 2m .

Έτσι τα αποτελέσματα για το χρόνο μέχρι την ανατροπή είναι τα κάτωθι:

- Ήρεμο νερό (*Still Water*): Δεν έγινε ανατροπή (Αν γίνει θα γίνει για χρόνο $> 1076.2\text{sec} \approx 17.936\text{ min}$)
- Κυματισμός με σημαντικό ύψος κύματος $H_s=2\text{m}$: $1360.91\text{ sec} \approx 22.682\text{ min}$

Ο χρόνος αυτός είναι μικρότερος του μέγιστου προβλεπόμενου, όμως είναι αρκετά κοντά σε αυτόν, τουλάχιστον για την περίπτωση του κυματισμού με σημαντικό ύψος κύματος 2m , άρα είναι αυξημένες οι πιθανότητες επιτυχούς εκκένωσης του πλοίου ή τουλάχιστον μικρότερος αριθμός απωλειών.

9.6.1.6 Συμπεράσματα

Σε αυτήν την παράγραφο συνοψίζονται τα βασικότερα συμπεράσματα της παραπάνω προσομοίωσης:

- Και σε αυτήν την περίπτωση επιβεβαιώθηκε η θεωρία σε ό,τι αφορά τις διακριτές φάσεις εξέλιξης της πορείας κατάκλυσης.
- Η επίδραση του κατακερματισμού του χώρου οχημάτων επέκτεινε το χρόνο μέχρι την τελική ανατροπή, όπως και αναμενόταν.
- Η επίδραση της βελτίωσης της αρχικής ευστάθειας, όπως εκφράζεται μέσω του αυξημένου αρχικού μετακεντρικού ύψους GM, άλλαξε την έκβαση του σεναρίου, οδηγώντας το πλοίο σε μια νέα τελική θέση ισορροπίας.
- Το πλοίο μετά την αλλαγή της διαμερισματοποίησης, στο χώρο οχημάτων, μπόρεσε να υποστηρίξει μεγαλύτερες ποσότητες νερού κατάκλυσης πριν την ανατροπή, ενώ

- μετά και την αλλαγή και των χαρακτηριστικών φόρτωσης, μπόρεσε να υποστηρίξει ακόμη μεγαλύτερη ποσότητα νερού και να διατηρήσει την ευστάθεια του.
- Ο περιορισμός των ελεύθερων επιφανειών, οδηγεί σε πιο αργή ανάπτυξη εγκάρσιας κλίσης, δίνοντας τη δυνατότητα κατάκλυσης χώρων μέσω των εξωτερικών ανοιγμάτων, οδηγώντας σε ευνοϊκότερες φορτώσεις καθώς η διαδικασία αντιστοιχεί με ερματισμό του σκάφους.
 - Η αλλαγή του βυθίσματος οδήγησε σε διαφορετική σχέση της επίδρασης του κυματισμού, με την επίδραση να κρίνεται θετική ως προς το χρόνο μέχρι την ανατροπή, γεγονός που δε συνέβη για τις προηγούμενες περιπτώσεις.
 - Από την άλλη πλευρά, ο κυματισμός οδήγησε το πλοίο στην ανατροπή, συνεπώς είναι δυσμενέστερο σενάριο, αφού στο ήρεμο νερό το πλοίο πέτυχε θέση ισορροπίας.
 - Το πλοίο μπορεί να οδηγηθεί σε θέση ισορροπίας με χαμηλό δείκτη επιβιωσιμότητας, αν οι συνθήκες πλεύσης και φόρτωσης του σε βεβλαμμένη κατάσταση δεν ευνοούν την ανατροπή. Ωστόσο, η κατάσταση ισορροπίας μπορεί να είναι ασταθής και το πλοίο να είναι εύκολα ανατρέψιμο.
 - Σε κάθε περίπτωση η ανατροπή έγινε πριν το μέγιστο προβλεπόμενο χρόνο εκκένωσης του πλοίου των 30 λεπτών, όμως ο μέγιστος χρόνος μέχρι την ανατροπή επιτεύχθηκε για τη διάταξη του αμιγώς επιβατηγού πλοίου, για την πραγματική κατάσταση φόρτωσης και για κυματισμό σημαντικού ύψους κύματος 2m. Εξαιρείται η αντίστοιχη περίπτωση, χωρίς κυματισμό, για την οποία το πλοίο ισορρόπησε.

9.6.2 Σενάριο βλάβης προσάραξης *Grounding*

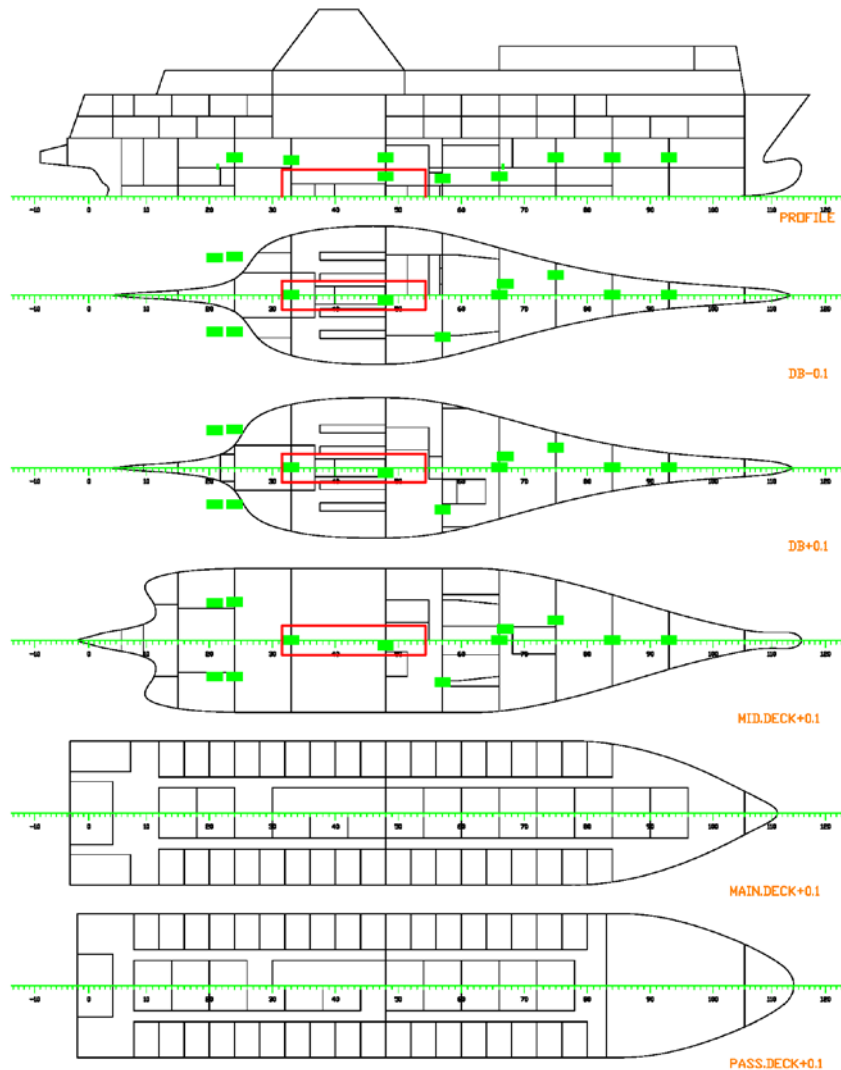
9.6.2.1 Δεδομένα

Σε αυτήν την παράγραφο εξετάζεται η πορεία κατάκλυσης στην περίπτωση της προσάραξης. Επειδή το συγκεκριμένο ρήγμα θίγει μόνο τους χώρους που βρίσκονται κάτω από το κατάστρωμα οχημάτων του ROPAX ή αντίστοιχα το πρώτο κατάστρωμα επιβατών του αμιγώς Ε/Γ, όπου δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ των δύο σχεδιαστικών εκδοχών, κρίθηκε άσκοπη η επανεκτέλεση ουσιαστικά της ίδιας προσομοίωσης.

Για αυτό το σενάριο λοιπόν, υποτίθεται ότι υπάρχει ένα άνοιγμα το οποίο ενώνει ένα πρωραίο χώρο κάτω από το πρώτο κατάστρωμα επιβατών με τους χώρους άνωθεν αυτού. Στην πραγματικότητα, η ύπαρξη του ανοίγματος αυτού επιτρέπει την καθ' ύψος κατάκλυση (*up-flooding*) των χώρων από το ένα κατάστρωμα στο παραπάνω. Συνεπώς ο στόχος είναι η μελέτη της εξελικτικής πορείας του *up-flooding*.

Τα υποτιθέμενα ρήγματα και οι διαστάσεις τους παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα, σχετικά με το ROPAX και γι' αυτό δεν επαναλαμβάνονται εδώ. Υπενθυμίζεται απλά, ότι τα ρήγματα θίγουν τρεις διαδοχικές ζώνες περί το μηχανοστάσιο και όλες οι υδατοστεγείς θύρες και ανοίγματα θεωρήθηκαν ανοιχτά για την εκπόνηση της μελέτης. Στο επόμενο σχέδιο δίνεται το ρήγμα και η κατάσταση των θυρών στο συγκεκριμένο σενάριο βλάβης.

Ακολουθούν οι πίνακες με τα πρόσθετα ανοίγματα, τα οποία αντιστοιχούν στο ρήγμα, καθώς επίσης και οι επιπλέον συνδέσεις μεταξύ των χώρων μέσω των οποίων επιτρέπεται η προοδευτική κατάκλυση.



Σχέδιο 9.6-4: Βλάβες σεναρίου Grounding και κατάσταση θυρών για το Pure Passenger Ferry

Κατάλογος Επιπλέον Ανοιγμάτων Αμιγώς Ε/Γ για το σενάριο GROUNDING					
ID	WT	GEOMOBJ	CONN	WRCOEF	L
GRD.BREACH.P1	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA NO.2.W.B.T.C	0.75	0
GRD.BREACH.P2	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA THERMO.OIL.STOR.DR.T.C	0.75	0
GRD.BREACH.P3	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA FO.DR.T.C	0.75	0
GRD.BREACH.P4	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA DIRTY.OIL.T.C	0.75	0
GRD.BREACH.P5	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA ENGINE.ROOM	0.75	0
GRD.BREACH.P6	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA MAIN.ENGINE.DB	0.75	0
GRD.BREACH.P7	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA NO.3.L.O.CIRC.T.P	0.75	0
GRD.BREACH.P8	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA C.W.DRAIN.T.P	0.75	0
GRD.BREACH.P9	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA SLUDGE.T.P	0.75	0
GRD.BREACH.P10	UNPROTECTED	BREACH.GRD1	SEA H.F.O.SERV.T.P	0.75	0
GRD.BREACH.S1	UNPROTECTED	BREACH.GRD2	SEA NO.2.L.O.CIRC.T.S	0.75	0
GRD.BREACH.S2	UNPROTECTED	BREACH.GRD2	SEA ROOMF1.LOW.C	0.75	0
GRD.BREACH.S3	UNPROTECTED	BREACH.GRD2	SEA M.G.O.STOR.T.S	0.75	0

Πίνακας 9.6-5: Κατάλογος επιπλέον ανοιγμάτων Pure Passenger Ferry για το σενάριο Grounding

Πίνακας Επιπλέον Συνδέσεων Χώρων Αμιγώς Ε/Γ για το σενάριο <i>GROUNDING</i>			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
CORRIDOR1.1	ENGINE.CASING	N	WAD1
ENGINE.CASING	CORRIDOR1.1	N	WAD1
ROOMF5.C	ROOMF6.C	Y	WAD3
ROOMF6.C	ROOMF5.C	Y	WAD3
ROOMF4.UP.C	ROOMF5.C	Y	WAD4
ROOMF5.C	ROOMF4.UP.C	Y	WAD4
ROOMF3.UP.C	ROOMF4.UP.C	Y	WAD5
ROOMF4.UP.C	ROOMF3.UP.C	Y	WAD5
ROOMF3.LOW.C	ROOMF3.UP.C	Y	WAD6
ROOMF3.UP.C	ROOMF3.LOW.C	Y	WAD6
ROOMF2.LOW.C	ROOMF3.LOW.C	Y	WAD7
ROOMF3.LOW.C	ROOMF2.LOW.C	Y	WAD7
ROOMF1.LOW.C	ROOMF2.LOW.C	Y	WAD8
ROOMF2.LOW.C	ROOMF1.LOW.C	Y	WAD8
ENGINE.ROOM	ROOMF1.LOW.C	Y	WAD9
ROOMF1.LOW.C	ENGINE.ROOM	Y	WAD9
ENGINE.ROOM	ROOMF1.UP.C	Y	WAD10
ROOMF1.UP.C	ENGINE.ROOM	Y	WAD10
ROOMA1.UP.C	ENGINE.ROOM	Y	WAD11
ENGINE.ROOM	ROOMA1.UP.C	Y	WAD11
ROOMA2.UP.P	ROOMA1.UP.C	Y	WAD12
ROOMA1.UP.C	ROOMA2.UP.P	Y	WAD12
ROOMA2.UP.S	ROOMA1.UP.C	Y	WAD13
ROOMA1.UP.C	ROOMA2.UP.S	Y	WAD13
ROOMA2.LOW.C	ROOMA2.UP.P	Y	WAD14
ROOMA2.UP.P	ROOMA2.LOW.C	Y	WAD14
ROOMA2.LOW.C	ROOMA2.UP.S	Y	WAD15
ROOMA2.UP.S	ROOMA2.LOW.C	Y	WAD15
SEA	NO.2.W.B.T.C	Y	GRD.BREACH.P1
NO.2.W.B.T.C	SEA	Y	GRD.BREACH.P1
SEA	THERMO.OIL.STOR.DR.T.C	Y	GRD.BREACH.P2
THERMO.OIL.STOR.DR.T.C	SEA	Y	GRD.BREACH.P2
SEA	FO.DR.T.C	Y	GRD.BREACH.P3
FO.DR.T.C	SEA	Y	GRD.BREACH.P3
SEA	DIRTY.OIL.T.C	Y	GRD.BREACH.P4
DIRTY.OIL.T.C	SEA	Y	GRD.BREACH.P4
SEA	ENGINE.ROOM	Y	GRD.BREACH.P5
ENGINE.ROOM	SEA	Y	GRD.BREACH.P5
SEA	MAIN.ENGINE.DB	Y	GRD.BREACH.P6
MAIN.ENGINE.DB	SEA	Y	GRD.BREACH.P6
SEA	NO.3.L.O.CIRC.T.P	Y	GRD.BREACH.P7
NO.3.L.O.CIRC.T.P	SEA	Y	GRD.BREACH.P7
SEA	C.W.DRAIN.T.P	Y	GRD.BREACH.P8
C.W.DRAIN.T.P	SEA	Y	GRD.BREACH.P8
SEA	SLUDGE.T.P	Y	GRD.BREACH.P9

Πίνακας Επιπλέον Συνδέσεων Χώρων Αμιγώς Ε/Γ για το σενάριο <i>GROUNDING</i>			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
SLUDGE.T.P	SEA	Y	GRD.BREACH.P9
SEA	H.F.O.SERV.T.P	Y	GRD.BREACH.P10
H.F.O.SERV.T.P	SEA	Y	GRD.BREACH.P10
SEA	NO.2.L.O.CIRC.T.S	Y	GRD.BREACH.S1
NO.2.L.O.CIRC.T.S	SEA	Y	GRD.BREACH.S1
SEA	ROOMF1.LOW.C	Y	GRD.BREACH.S2
ROOMF1.LOW.C	SEA	Y	GRD.BREACH.S2
SEA	M.G.O.STOR.T.S	Y	GRD.BREACH.S3
M.G.O.STOR.T.S	SEA	Y	GRD.BREACH.S3
ROOMF6.C	CORRIDOR1.2	Y	UPFLOOD
CORRIDOR1.2	ROOMF6.C	Y	UPFLOOD

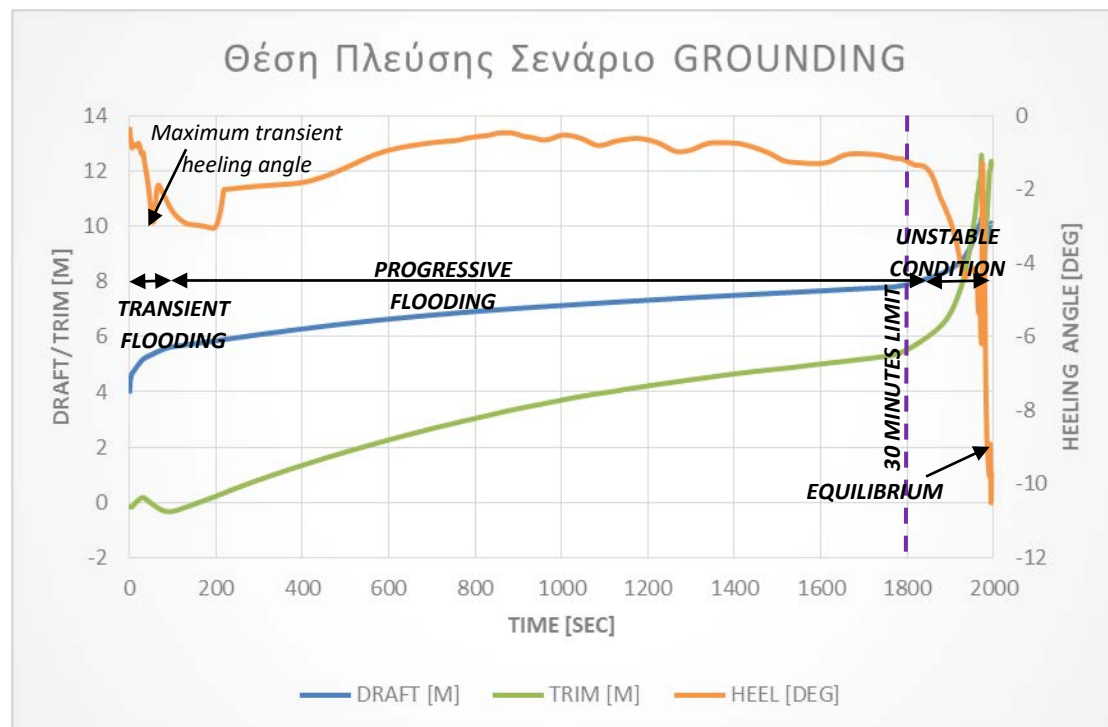
Πίνακας 9.6-6: Πίνακας πρόσθετων συνδέσεων χώρων για το *Pure Passenger Ferry* για το σενάριο *Grounding*

9.6.2.2 Αποτελέσματα (κατάσταση φόρτωσης *ROPAX*)

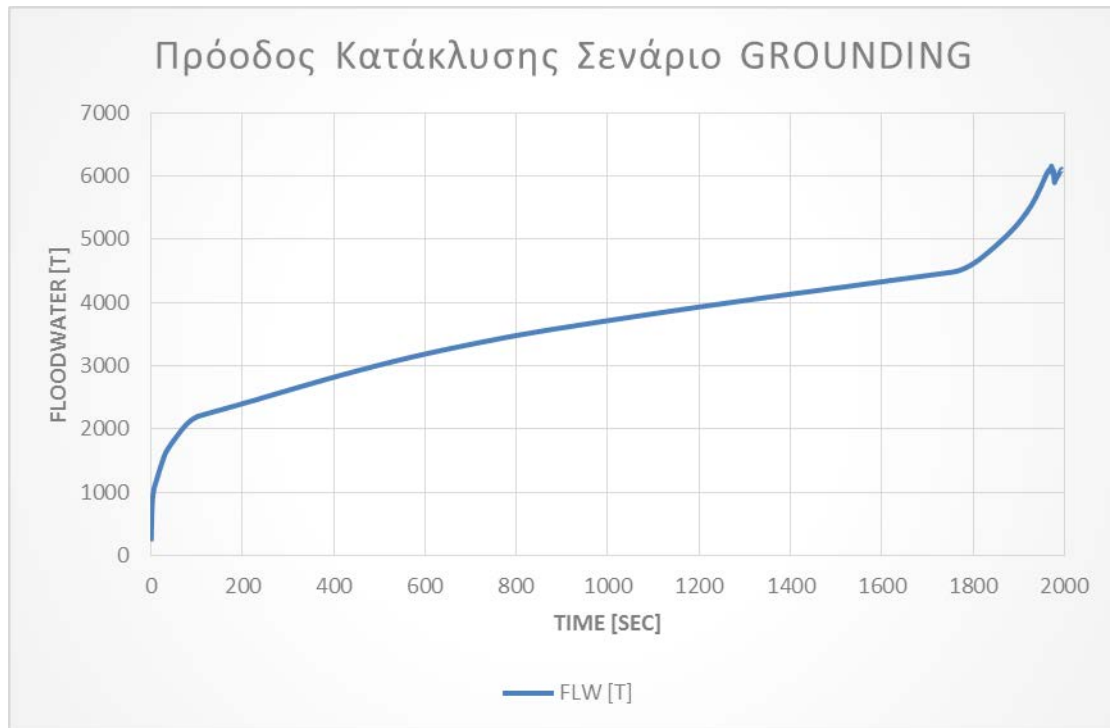
Σε αυτήν την παράγραφο δίνονται σε διαγράμματα χρόνου, οι μεταβολές των κυρίων παραμέτρων θέσης πλεύσης, ποσότητας νερού κατάκλυσης και μεταβολής παραμέτρων ευστάθειας για το σενάριο προσάραξης στην κατάσταση ενδιάμεσου βυθίσματος του *ROPAX*.

Το συγκεκριμένο σενάριο διαφοροποιείται από το αντίστοιχο του *ROPAX*, επειδή επιτρέπεται η καθ' ύψος επέκταση της βλάβης, ή αλλιώς το *up-flooding*. Αυτή η μικρή φαινομενικά διαφορά, οδηγεί σε διαφοροποίηση της εξέλιξης της κατάκλυσης γιατί επιτρέπει τη συγκέντρωση νερού σε χώρους ψηλότερα, γεγονός δυσμενές για την ευστάθεια.

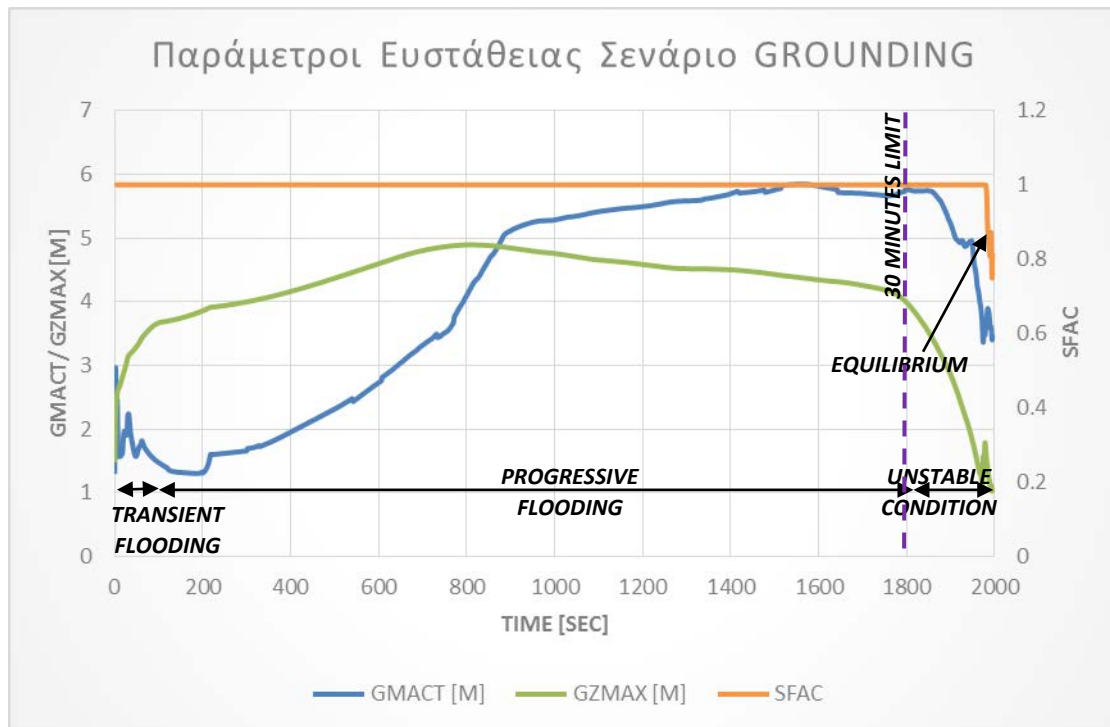
Τα αποτελέσματα δίνονται στα επόμενα διαγράμματα.



Διάγραμμα 9.6-15: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το *Pure Passenger Ferry*, με την κατάσταση φόρτωσης του *ROPAX*, στο σενάριο *Grounding*



Διάγραμμα 9.6-16: Πρόοδος κατάκλυσης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Grounding



Διάγραμμα 9.6-17: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Grounding

Όπως φαίνεται το πλοίο τελικά επιτυγχάνει μια θέση ισορροπίας, σε κατάσταση βλάβης, όπως συνέβη και στην περίπτωση του ROPAX. Ωστόσο, τα χαρακτηριστικά της τελικής ισορροπίας δεν είναι ακριβώς τα ίδια για τις δύο περιπτώσεις. Με την πρώτη ματιά, διακρίνεται ότι η τελική ισορροπία στην περίπτωση του αμιγώς επιβατηγού πλοίου επιτεύχθηκε αργότερα από την περίπτωση του ROPAX και μάλιστα περίπου 2.5 φορές. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο γιατί στην περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ αφήνονται ανοιχτοί προς κατάκλυση περισσότεροι χώροι, οι οποίοι πρέπει να πληρωθούν ώστε να επιτευχθεί η ισορροπία. Συνεπώς, είναι λογικό να καθυστερήσει η διαδικασία αυτή. Μια ακόμη παρατήρηση είναι ότι μέχρι περίπου τα 800sec η πορεία κατάκλυσης είναι ίδια και για το ROPAX και για το αμιγώς Ε/Γ, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX και αυτό επειδή η διαδικασία *up-flooding* ξεκινάει από τον πιο πρωραίο χώρο της υδατοστεγούς υποδιαίρεσης του πλοίου. Ο χώρος αυτός κατακλύζεται τελευταίος στην περίπτωση του ROPAX, συνεπώς η πορεία εξέλιξης μέχρι την κατάκλυση του πρωραίου χώρου είναι η ίδια και για το ROPAX και για το αμιγώς επιβατηγό πλοίο, καθώς δεν υπάρχουν διαφορές ούτε στην αρχική κατάσταση πλεύσης ούτε στην υδατοστεγή υποδιαίρεση κάτω από το κατάστρωμα οχημάτων.

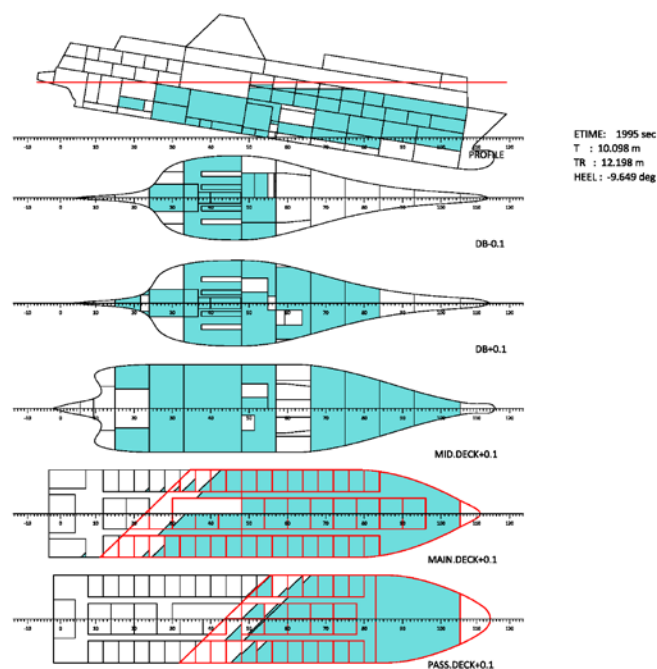
Όπως φαίνεται στο διάγραμμα μεταβολής της γωνίας διαγωγής, εμφανίζονται οι διακριτές περίοδοι αρχικής μεταβατικής κατάκλυσης, προοδευτικής κατάκλυσης αλλά και η περίοδος μόνιμης κατάστασης. Ωστόσο, προς το τέλος και λίγο πριν την τελική ισορροπία, εμφανίζεται έντονη μεταβλητότητα των τιμών της γωνίας κλίσης. Αυτή η συμπεριφορά σχετίζεται με τη διαρκή αύξηση της διαγωγής και του βυθίσματος, λόγω της κατάκλυσης όλο και περισσότερων χώρων με νερό, που οδηγεί σε μαζική βύθιση ανοιγμάτων και συνεπώς στην εισροή ακόμη περισσότερου νερού κατάκλυσης σε χώρους του πλοίου. Ταυτόχρονα, λόγω της διαδικασίας καθ' ύψους κατάκλυσης των χώρων, μεγαλύτερες ποσότητες νερού συγκεντρώνονται στα ανώτερα καταστρώματα, ανεβάζοντας διαρκώς την καθ' ύψους θέση του κέντρου βάρους. Η τελική αστάθεια των τιμών πριν την επίτευξη της ισορροπίας, υποδηλώνει την ύπαρξη μιας κρίσιμης τιμής του KG, πέραν της οποίας το πλοίο κινδυνεύει με ανατροπή. Ωστόσο, παρά την έντονη μεταβλητότητα των τιμών το πλοίο τελικά ισορροπεί καθώς οι χώροι κάτωθεν του πρώτου καταστρώματος επιβατών κατακλύζονται πλήρως και ταυτόχρονα παύει να επιδρά η ύπαρξη των ελευθέρων επιφανειών, οδηγώντας έτσι σε πιο ευσταθή φόρτωση υπό βλάβη.

Όπως δείχνει το διάγραμμα, το πλοίο καταφέρνει να υποστηρίξει πολύ μεγάλη ποσότητα νερού, με τελική τιμή ποσότητας νερού κατάκλυσης, περίπου διπλάσια της αντίστοιχης για την περίπτωση του ROPAX. Αξίζει επιπλέον να σημειωθεί ότι περίπου το ένα τρίτο της συνολικής ποσότητας νερού συγκεντρώνεται κατά τη φάση της έντονα ταλαντωτικής συμπεριφοράς πριν την τελική ισορροπία. Αυτό το γεγονός είναι αίτιο και αποτέλεσμα της έντονης ταλαντωτικής συμπεριφοράς, καθώς με την επίτευξη της κρίσιμης τιμής του KG, το πλοίο αρχίζει να αναπτύσσει γωνία εγκάρσιας κλίσης, η οποία επάγει κατάκλυση νέων χώρων με νερό, οι οποίοι ενδεχομένως να συνεισφέρουν και σε περεταίρω αύξηση του KG, ενώ ταυτόχρονα λόγω της κίνησης ποσότητα νερού εξέρχεται από το πλοίο. Συνεπώς, η τελική φάση πριν την ισορροπία χαρακτηρίζεται από φαινόμενα και γεγονότα τα οποία συνδέονται μεταξύ τους ποικιλοτρόπως.

Εξετάζοντας τις παραμέτρους ευστάθειας, φαίνεται ότι η τελική τιμή του GM είναι ανώτερη της αρχικής, όμως η μέγιστη τιμή GZ στο διάγραμμα μοχλοβραχίονα επαναφοράς είναι μικρότερη στην τελική θέση ισορροπίας, έναντι της αρχικής. Όπως φαίνεται από τις δύο

αυτές καμπύλες, στο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα οι τιμές ήταν ανώτερες των αρχικών, γεγονός που υποδηλώνει αυξημένη ευστάθεια και άρα σχετική ασφάλεια κατά την κατάκλυση. Σχετικά, με το συντελεστή s , στην τελική κατάσταση ισορροπίας επιτυγχάνει τιμή επιβιωσιμότητας 0.82, ενώ η μορφή της καμπύλης ακολουθεί την καμπύλη μεταβολής του μέγιστου GZ . Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο, αφού ο υπολογισμός του s συνδέεται με την τιμή του GZ_{MAX} . Καθ' όλη τη διάρκεια της κατάκλυσης η τιμή του συντελεστή επιβιωσιμότητας s είναι μονάδα, εκτός από την τελική φάση προ της ισορροπίας. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει την αυξημένη ευστάθεια κατά τη διαδικασία κατάκλυσης, όμως η τελική τιμή που είναι μικρότερη του 1, δείχνει μειωμένη ευστάθεια συγκριτικά με την περίπτωση του ROPAX, όπου η τιμή του s ήταν 1.

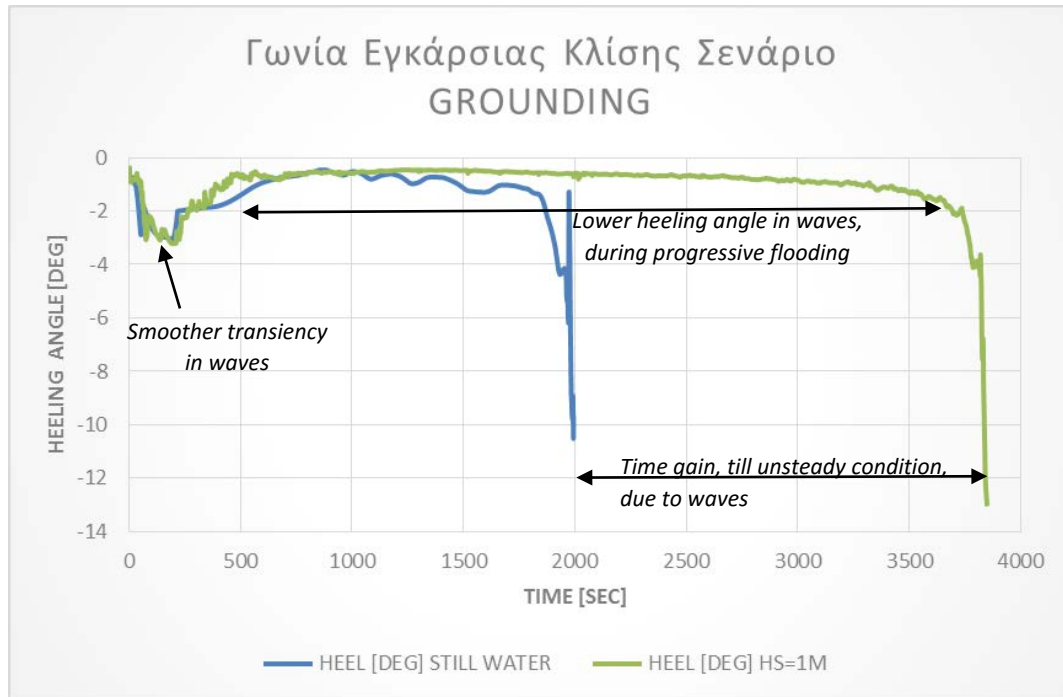
Κάποιες παρατηρήσεις που χρειάζεται να επισημανθούν είναι ότι δε μπορεί να συγκριθεί η τιμή του s , με την αντίστοιχη τιμή που προβλέπεται από τα διαγράμματα συντελεστή επιβιωσιμότητας που προέρχεται από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των κανονισμών της ευστάθειας κατόπιν βλάβης. Αυτό διότι κατά την αξιολόγηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, σύμφωνα με τους κανονισμούς, το άνοιγμα που επιτρέπει την καθ' ύψος επέκταση της κατάκλυσης *up-flooding* δε χρησιμοποιήθηκε κατά τους υπολογισμούς. Επιπρόσθετα, όπως φαίνεται από τα διαγράμματα, τόσο η θέση του πλοίου από άποψη διαγωγής και εγκάρσιας κλίσης, όσο και οι παράμετροι ευστάθειας που υποδεικνύουν αυξημένη ασφάλεια, διατηρούνται μέχρι την τιμή των 1800sec που αντιστοιχεί στο μέγιστο προβλεπόμενο χρόνο εγκατάλειψης του πλοίου. Συνεπώς, θεωρητικά η εγκατάλειψη του πλοίου θα έχει ολοκληρωθεί πριν αρχίσει τις έντονες κινήσεις το πλοίο στην τελική φάση πριν την τελική ισορροπία. Η πολύ μικρή γωνία εγκάρσιας κλίσης, περί τη 1° , επιτρέπει τη συμμετρική καθέλκυση των σωστικών μέσων και των επιβατών, περιορίζοντας την επίδραση της ροπής λόγω συγκέντρωσης των επιβατών, η οποία δεν είχε ληφθεί υπόψη. Η τελική θέση ισορροπίας του πλοίου δίνεται στο επόμενο σχήμα.



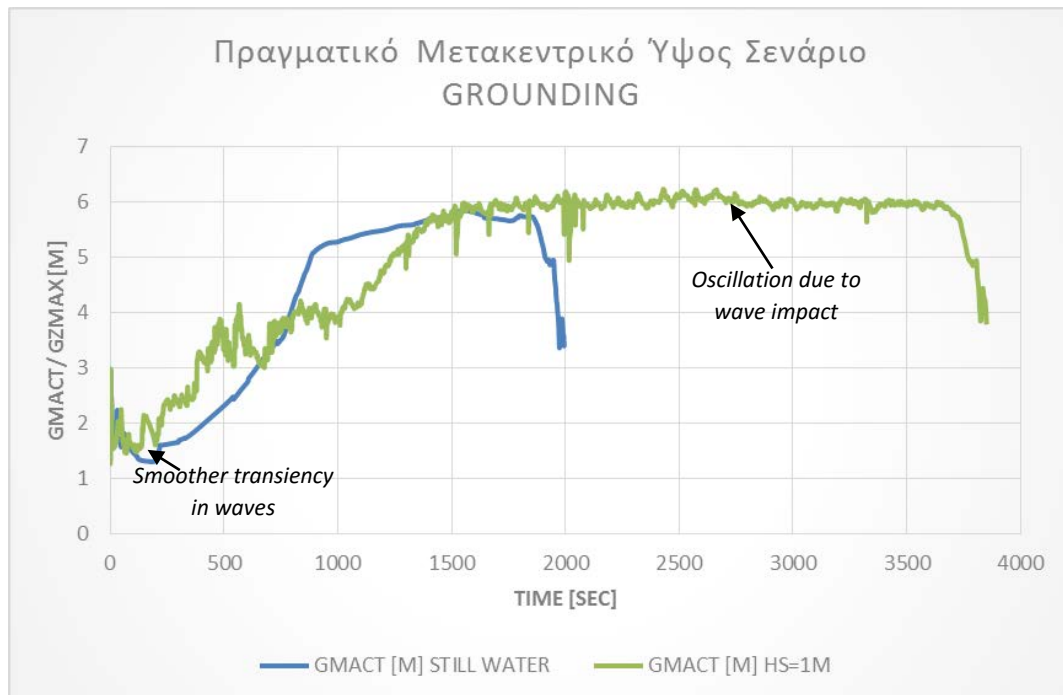
Σχέδιο 9.6-5: Τελική θέση πλοίου Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Grounding

9.6.2.3 Επίδραση κυματισμού (κατάσταση φόρτωσης ROPAX)

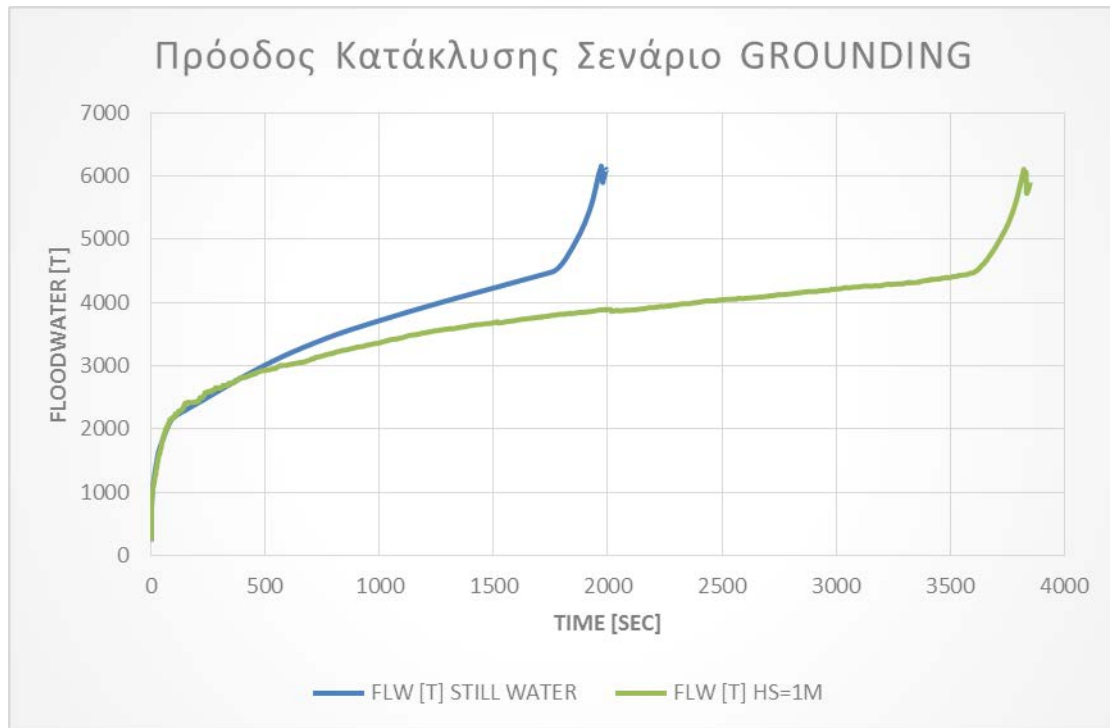
Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που λήφθηκαν για το ίδιο σενάριο βλάβης προσάραξης, υπό την επίδραση του κυματισμού. Ο κυματισμός που χρησιμοποιήθηκε είχε περίοδο 5sec και σημαντικό ύψος κύματος 1m.



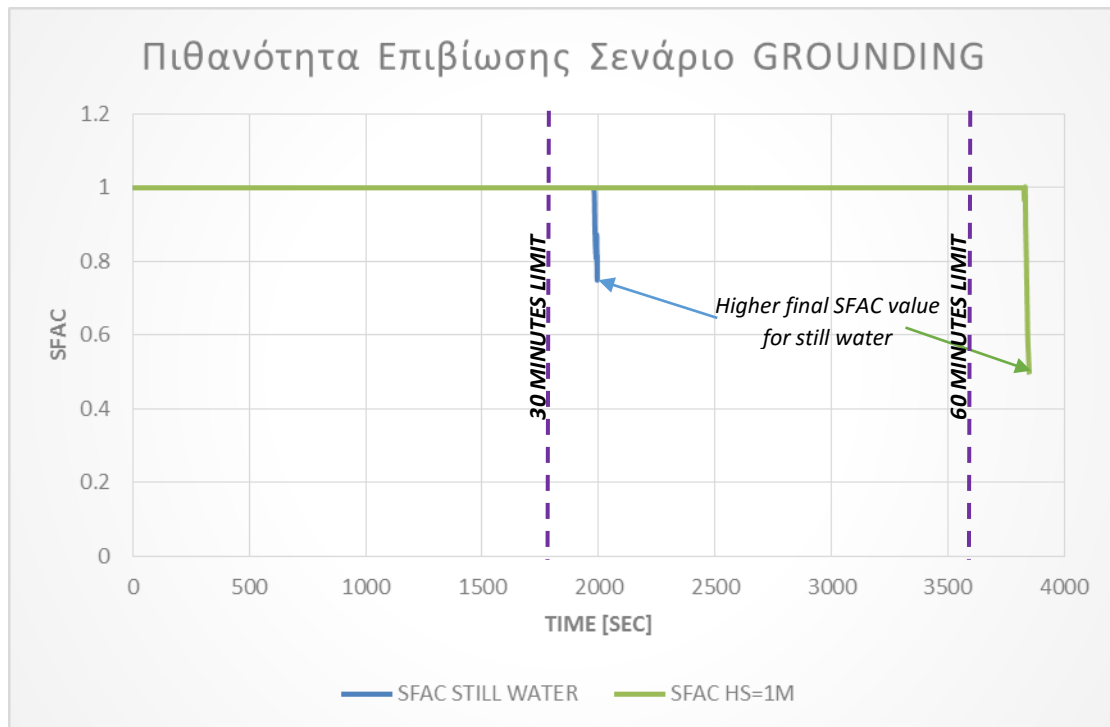
Διάγραμμα 9.6-18: Μεταβολή γωνίας εγκάρσιας κλίσης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Grounding, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.6-19: Μεταβολή μετακεντρικού ύψους για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Grounding, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.6-20: Πρόοδος κατάκλυσης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Grounding, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.6-21: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Grounding, με κυματισμό

Σημειώνεται ότι στην περίπτωση του κυματισμού, η ολοκλήρωση της προσομοίωσης επήλθε λόγω αριθμητικού σφάλματος, συνεπώς η τελική έκβαση της προσομοίωσης παραμένει άγνωστη. Ωστόσο, τα αποτελέσματα μέχρι την τελική τιμή μπορούν να χρησιμοποιηθούν και γι' αυτό δόθηκαν στα παραπάνω διαγράμματα.

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα εγκάρσιας κλίσης, ο κυματισμός περιόρισε την αναπτυσσόμενη γωνία και τη διατήρησε περί τη 1° για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Και πάλι όμως τελικά αναπτύσσεται μεγάλη γωνία κλίσης στο τέλος της προσομοίωσης, η οποία είτε οδήγησε το πλοίο σε ανατροπή είτε το οδήγησε σε κάποια θέση ισορροπίας με γωνία κλίσης μεγαλύτερη της αντίστοιχης για ήρεμο νερό.

Στο διάγραμμα μεταβολή του GM φαίνεται η θετική επίδραση του κυματισμού κατά τη μεταβατική κατάκλυση και την πρώτη φάση της προοδευτικής κατάκλυσης, όπου, όπως φαίνεται οι τιμές του GM είναι ανώτερες για τον κυματισμό, έναντι των αντίστοιχων για την περίπτωση του ήρεμου νερού. Στη συνέχεια, ακολουθεί η δεύτερη φάση προοδευτικής κατάκλυσης όπου οι τιμές του GM είναι ανώτερες για το ήρεμο νερό, έναντι του κυματισμού. Αυτό σχετίζεται με τη διακοπτόμενη κατάκλυση χώρων, λόγω της διαρκούς μεταβολής της ισάλου εντός του πλοίου, εξαιτίας του κυματισμού.

Η μεταβολή του δείκτη επιβιωσιμότητας είναι μορφολογικά η ίδια, με αλλαγμένη την τελική τιμή όπου για την περίπτωση του ήρεμου νερού είναι περίπου 0.8 ενώ στην περίπτωση με τον κυματισμό είναι περίπου 0.5. Αυτό σημαίνει ότι ακόμη κι αν τελικά επιτευχθεί η ισορροπία θα είναι λιγότερο σίγουρη και ευσταθής ως θέση, συγκριτικά με την αντίστοιχη σε ήρεμο νερό.

Σε κάθε περίπτωση πάντως οι καμπύλες είναι αρκετά μετατοπισμένες χρονικά, γεγονός που δείχνει ότι η εξέλιξη της πορείας κατάκλυσης είναι πιο αργή. Επιπρόσθετα, φαίνεται ότι ο χρόνος μέχρι την τελική περιοχή αστάθειας είναι περίπου μία ώρα. Το χρονικό αυτό διάστημα είναι επαρκές για την εκκένωση του πλοίου και διπλάσιο του προβλεπόμενου, από τους κανονισμούς, χρόνου εγκατάλειψης του πλοίου. Σημειώνεται δε, ότι κατά τα πρώτα 30 λεπτά ο συντελεστής επιβιωσιμότητας είναι 1, οι συνθήκες πλεύσης δε χαρακτηρίζονται από υπέρμετρες κλίσεις, τόσο διαμήκως όσο και εγκάρσια, άρα υπάρχει η δυνατότητα ομαλής και ασφαλούς εκκένωσης του πλοίου. Συνεπώς, όπως φαίνεται και στις δύο περιπτώσεις, δηλαδή και με κυματισμό και χωρίς, υπάρχει αρκετός χρόνος για την εκκένωση του πλοίου.

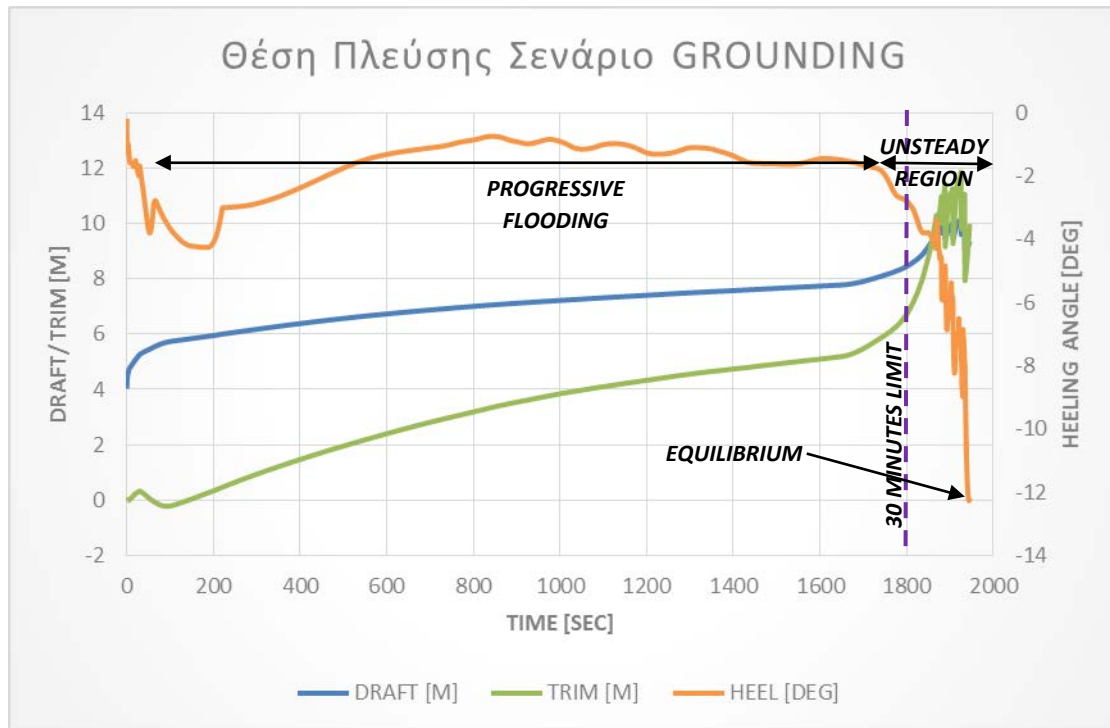
9.6.2.4 Αποτελέσματα (πραγματική κατάσταση φόρτωσης)

Σε αυτήν την παράγραφο δίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, για την περίπτωση της προσάραξης, όπου επιτρέπεται το *up-flooding*, για το μοντέλο του αμιγώς επιβατηγού πλοίου, αυτή τη φορά όμως, για την πραγματική κατάσταση ενδιάμεσου βυθίσματος του κανονισμού, δηλαδή αυτήν που αντιστοιχεί στη φόρτωση του αμιγώς Ε/Γ κι όχι του ROPAX.

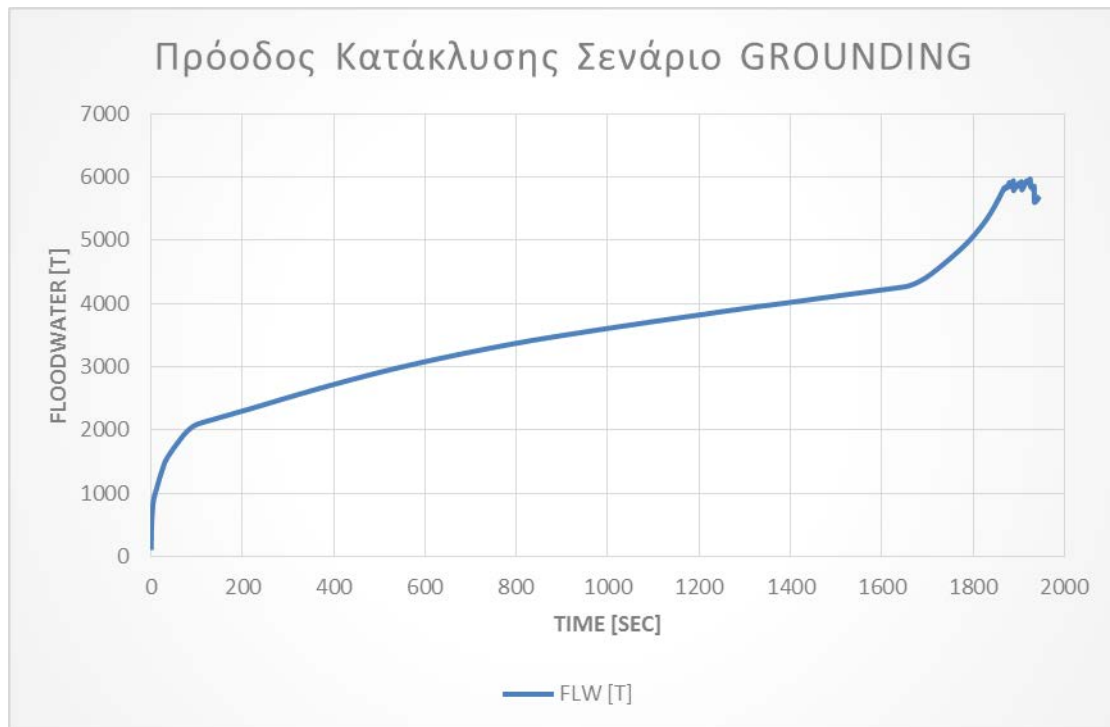
Στα επόμενα διαγράμματα δίνεται η χρονική μεταβολή της θέσης πλεύσης, η πρόοδος κατάκλυσης σε όρους ποσότητας νερού, που εισέρχεται στο πλοίο και η μεταβολή των παραμέτρων ευστάθειας.

Τα αποτελέσματα δείχνουν παρόμοια συμπεριφορά με την περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ, για τη φόρτωση του ROPAX, με την ύπαρξη μιας φάσης λίγο πριν την επίτευξη ισορροπίας, όπου το πλοίο υπόκειται σε απότομες κινήσεις και χαρακτηρίζεται από σχετική αστάθεια.

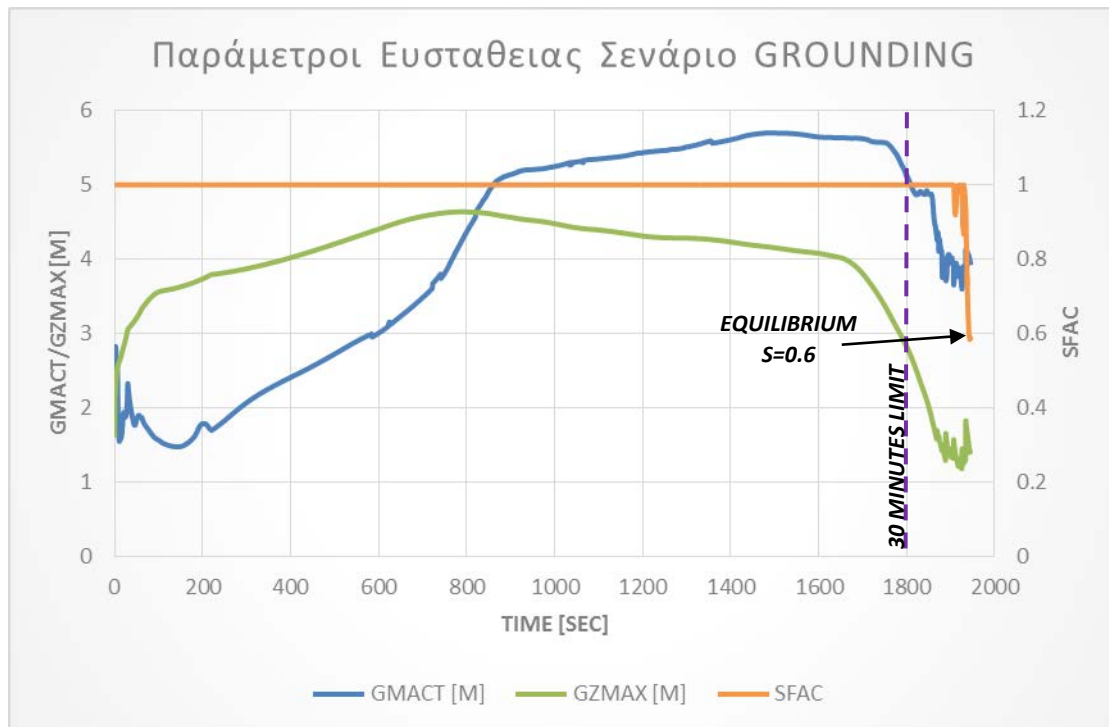
Στα επόμενα διαγράμματα δίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.



Διάγραμμα 9.6-22: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Grounding



Διάγραμμα 9.6-23: Πρόοδος κατάκλυσης για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Grounding



Διάγραμμα 9.6-24: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Grounding

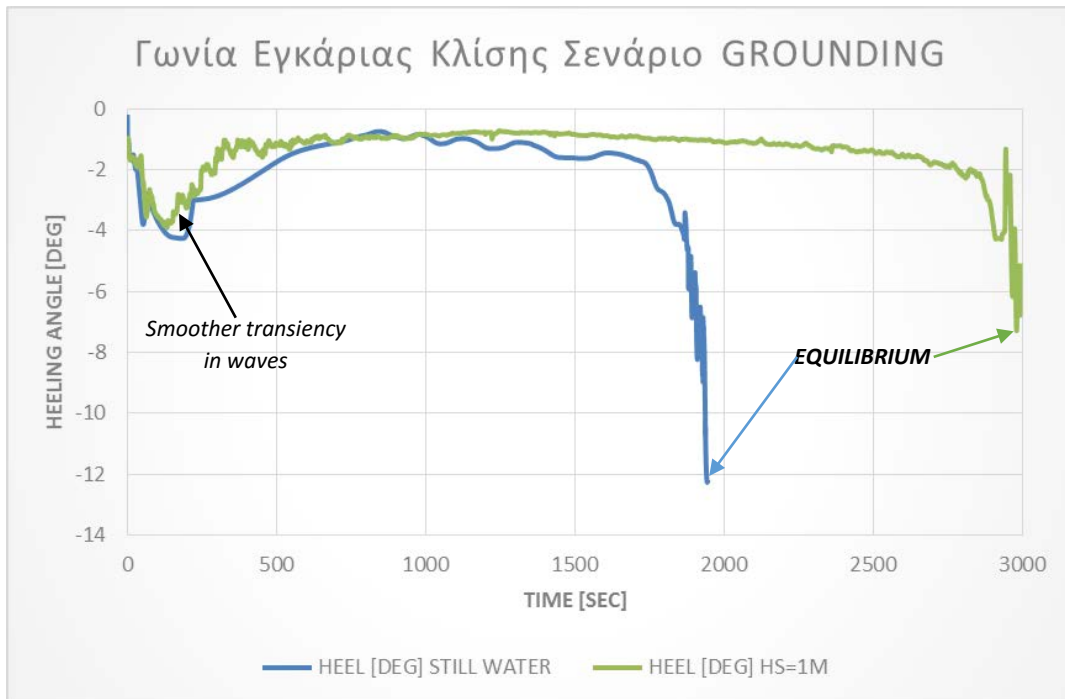
Και στην περίπτωση της πραγματικής κατάστασης φόρτωσης, τελικά επιτεύχθηκε ισορροπία, ύστερα από μεγαλύτερου εύρους μεταβολές της γωνίας κλίσης στην τελική φάση. Επιπρόσθετα, η υψηλότερη τιμή του GM δεν συνεισέφερε στην ουσιαστική μεταβολή του χρόνου μέχρι την τελική ισορροπία, συγκριτικά με την περίπτωση της φόρτωσης του ROPAX για το αμιγώς Ε/Γ.

Το διάγραμμα του συντελεστή επιβιωσιμότητας εμφανίζει μια διαφορά στην τελική φάση, καθώς η πτώση του ξεκινάει λίγο αργότερα και φτάνει σε χαμηλότερη τιμή, συγκριτικά με την περίπτωση της φόρτωσης του ROPAX στο αμιγώς επιβατηγό, με την τελική τιμή του δείκτη να είναι 0.6, έναντι 0.82 που επιτεύχθηκε στην προηγούμενη περίπτωση. Με βάση αυτό, φαίνεται ότι η επίδραση της αλλαγής των υδροστατικών χαρακτηριστικών και κυρίως του βυθίσματος, είναι πιο σημαντική από τη βελτίωση της αρχικής ευστάθειας σε όρους GM. Κάτι τέτοιο, μπορεί να θεωρηθεί λογικό, καθώς το μεγαλύτερο βύθισμα, επιτρέπει μεγαλύτερη παροχή νερού κατάκλυσης μέσω του ρήγματος κι επειδή επιτρέπεται η καθ' ύψος πρόοδος της κατάκλυσης επιτρέπεται η συγκέντρωση διαρκώς μεγαλύτερης ποσότητας νερού σε χώρους ψηλότερα, γεγονός που επιδρά αρνητικά στην ευστάθεια.

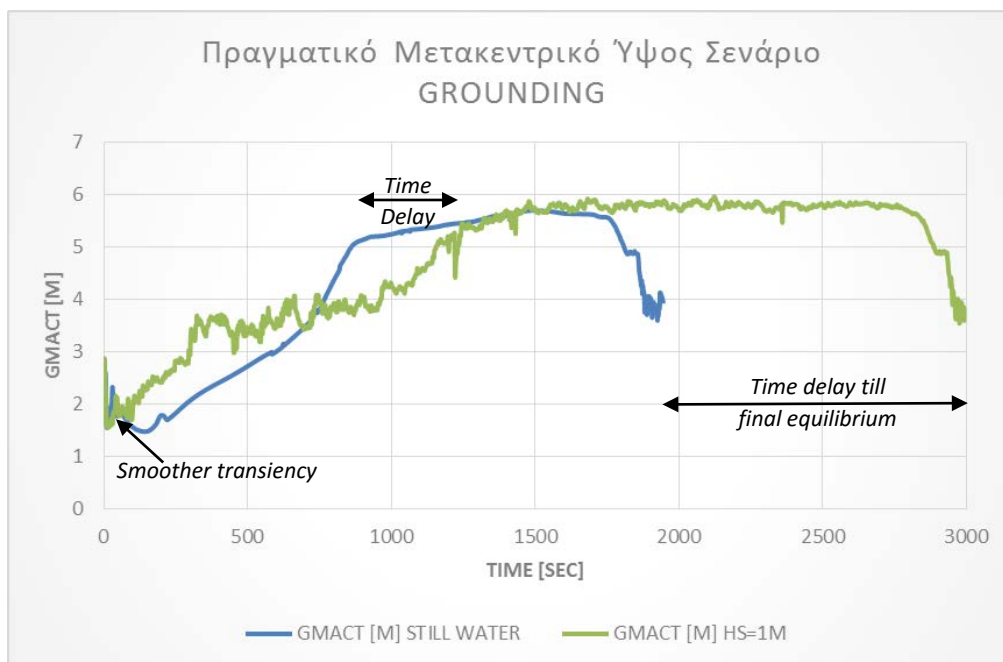
Και σε αυτήν την περίπτωση, όπως και στην προηγούμενη, όπου χρησιμοποιήθηκε η κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, μέχρι και τα 1800sec ο συντελεστής επιβιωσιμότητας και η κατάσταση πλεύσης του πλοίου, μπορούσαν να υποστηρίξουν τις διαδικασίες εγκατάλειψης του πλοίου. Συνεπώς, μετά το μέγιστο προβλεπόμενο χρόνο εγκατάλειψης του πλοίου, ενδεχομένως το πλοίο να βρεθεί σε μια πιο εύθραυστη ισορροπία, όμως υπάρχει ο χρόνος εγκατάλειψης του πλοίου, ώστε να μην κινδυνεύσουν οι ανθρώπινες ζωές.

9.6.2.5 Επίδραση κυματισμού (πραγματική κατάσταση φόρτωσης)

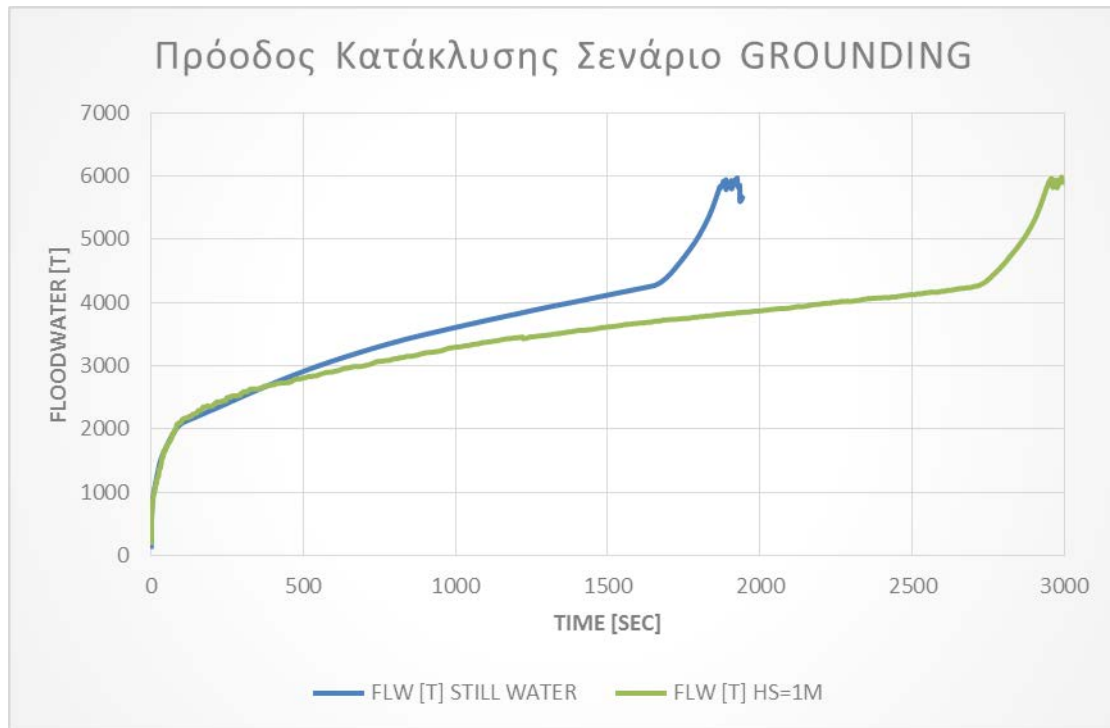
Σε αυτήν την παράγραφο εξετάζεται η επίδραση του κυματισμού στην υλοποίηση της προσομοίωσης για το σενάριο προσάραξης, στο αμιγώς επιβατηγό πλοίο με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, ενδιάμεσου βυθίσματος. Και πάλι ο κυματισμός χαρακτηρίζεται από περίοδο $T=5\text{sec}$ και σημαντικό ύψος κύματος $H_s=1\text{m}$.



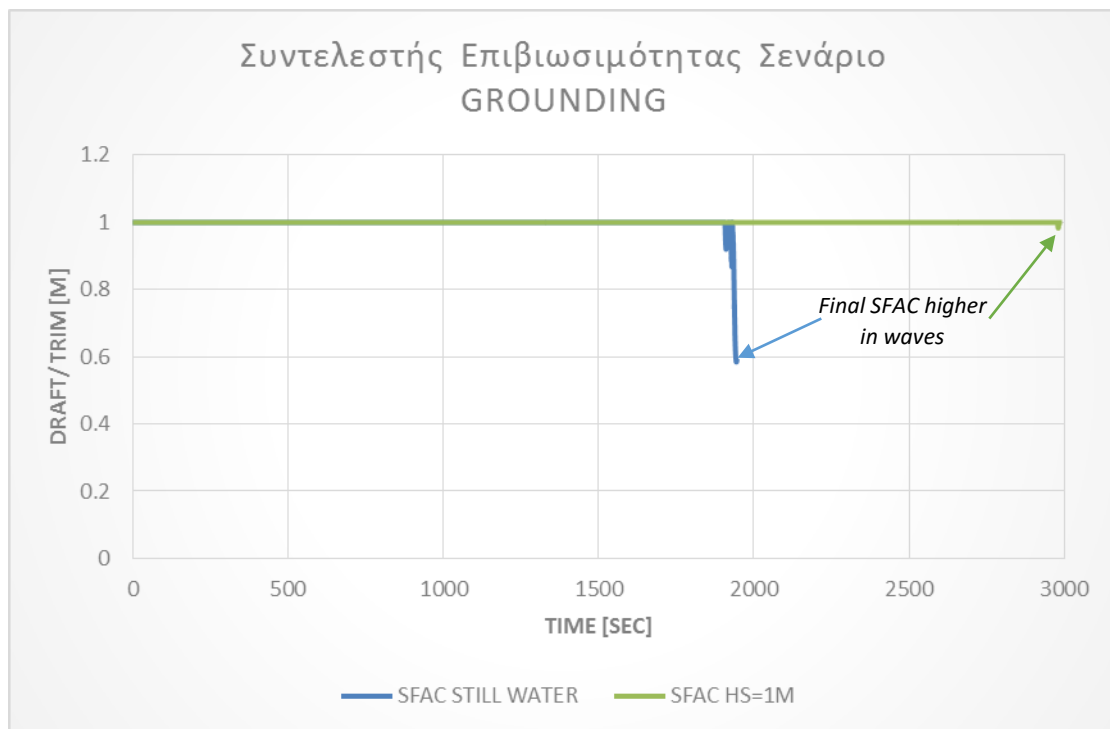
Διάγραμμα 9.6-25: Μεταβολή γωνίας εγκάρσιας κλίσης για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική φόρτωσης, στο σενάριο Grounding, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.6-26: Μεταβολή μετακεντρικού ύψους για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική φόρτωσης, στο σενάριο Grounding, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.6-27: Πρόοδος κατάκλισης για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική φόρτωση, στο σενάριο Grounding, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.6-28: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική φόρτωση, στο σενάριο Grounding, με κυματισμό

Σημειώνεται αρχικά ότι και σε αυτήν την περίπτωση, η επίδραση του κυματισμού οδήγησε σε αριθμητικά σφάλματα, με αποτέλεσμα τον πρόωρο τερματισμό του υπολογισμού προσομοίωσης.

Σε γενικές γραμμές η συμπεριφορά της πορείας κατάκλυσης είναι παρόμοια με την προηγούμενη κατάσταση. Φαίνεται δηλαδή και πάλι η ομαλότερη μετάβαση κατά την αρχική μεταβατική κατάκλυση αλλά και κατά την προοδευτική κατάκλυση, συγκριτικά με την περίπτωση του ήρεμου νερού. Στην τελική φάση της προσομοίωσης, αναπτύσσονται και πάλι μεγάλοι εύρους κινήσεις διατοχισμού, συνεπώς φαίνεται να υπάρχει κάποια κρίσιμη, οριακή τιμή του KG, η οποία όταν ξεπεραστεί οδηγεί το πλοίο πρώτα σε αστάθεια και στη συνέχεια μπορεί να το οδηγήσει σε κάποια θέση ισορροπίας, λιγότερο ευσταθή σε όρους s , είτε ενδεχομένως και σε ανατροπή. Με βάση αυτήν την παρατήρηση, φαίνεται ότι η συγκεκριμένη συμπεριφορά σχετίζεται με τη διαδικασία καθ' ύψους επέκτασης της βλάβης (*up-flooding*) και φαίνεται ότι ο κυματισμός επιβραδύνει την επίτευξη της κρίσιμης τιμής του KG, λόγω της διαρκούς μεταβολή της επιφάνειας του νερού. Αυτός είναι και ο λόγος που η αστάθεια του τελικού σταδίου, εμφανίζεται αργότερα από τις συνθήκες ήρεμου νερού. Υπό αυτήν την έννοια, η επίδραση του κυματισμού μπορεί να κριθεί ευνοϊκή ως προς την ευστάθεια.

Με βάση τα στοιχεία που συλλέχθηκαν, φαίνεται ότι η περιοχή αστάθειας προς το τέλος της προσομοίωσης εμφανίστηκε νωρίτερα απ' ότι στην περίπτωση του αμιγώς επιβατηγού πλοίου με την κατάσταση φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος του ROPAX. Κάτι τέτοιο δείχνει να επιβεβαιώνει και τη σχετικά δυσμενέστερη τελική θέση ισορροπίας, που υποδεικνύεται από το συγκριτικά χαμηλότερο δείκτη s , για τις περιπτώσεις ήρεμου νερού, για τη διάταξη του αμιγώς Ε/Γ στις δύο καταστάσεις φόρτωσης.

Η σχετική συμπεριφορά, υποδεικνύει ότι στο ρήγμα προσάραξης πυθμένα, το βύθισμα έχει μεγαλύτερη επίδραση στην ευστάθεια, με αρνητικό πρόσημο, συγκριτικά με την αυξημένη τιμή του μετακεντρικού ύψους, που χαρακτηρίζει τη φόρτωση και επιδρά θετικά στην ευστάθεια. Συνεπώς, το αυξημένο βύθισμα και άρα η αυξημένη πίεση στον πυθμένα του πλοίου, όπου βρίσκεται το ρήγμα, επιτρέπουν μεγαλύτερη παροχή και κατά συνέπεια ταχύτερη κατάκλυση των χώρων. Αυτό, όπως δείχνουν τα δεδομένα, επιδρά αρνητικά στην ευστάθεια και οδηγεί το πλοίο σε πιο μεγάλου εύρους κινήσεις.

Σε κάθε περίπτωση πάντως, η έντονη μεταβλητότητα των τιμών προς το τέλος της προσομοίωσης, είναι μετά το όριο της μισής ώρας, οπότε θεωρητικά τουλάχιστον η διαδικασία εγκατάλειψης του πλοίου ολοκληρώνεται έγκαιρα και οι επιβάτες δεν διατρέχουν τον κίνδυνο, μιας δυσμενούς τελικής έκβασης του σεναρίου βλάβης, λόγω απώλειας ευστάθειας.

9.6.2.6 Συμπεράσματα

Σε αυτήν την παράγραφο, δίνονται τα βασικά συμπεράσματα που εξάγονται από τη συγκεκριμένη μελέτη. Στόχος όπως προαναφέρθηκε ήταν η μελέτη της καθ' ύψους επέκτασης της κατάκλυσης, μέσω ανοίγματος που συνδέει το χώρο της υδατοστεγούς υποδιαίρεσης, με την ανώτερη υπερκατασκευή.



- Η διαδικασία καθ' ύψους κατάκλυσης, οδήγησε το αμιγώς επιβατηγό πλοίο, τόσο με αρχική κατάσταση πλεύσης την κατάσταση ενδιάμεσου βυθίσματος του ROPAX, όσο και την πραγματική, σε μια νέα θέση ισορροπίας, η οποία κρίθηκε λιγότερο ευσταθής σε όρους συντελεστή επιβιωσιμότητας s , από την αντίστοιχη του ROPAX.
- Αναγνωρίστηκαν οι τρεις διακριτές φάσεις κατάκλυσης και σε αυτήν την προσομοίωση, όπως προβλέπεται από τη θεωρία, ενώ προέκυψε και μια φάση αστάθειας λίγο πριν την επίτευξη ισορροπίας.
- Η πορεία κατάκλυσης δείχνει ότι υπάρχει κάποια οριακά κρίσιμη τιμή της καθ' ύψους θέσης του κέντρου βάρους του πλοίου, πέραν από την οποία το πλοίο οδηγείται σε ανάπτυξη σημαντικών εγκάρσιων κλίσεων.
- Το μεγαλύτερο βύθισμα, επενεργεί δυσμενώς ως προς την ευστάθεια, καθώς οδηγεί σε ταχύτερη κατάκλυση και συνεπώς η κρίσιμη τιμή του KG επιτυγχάνεται ταχύτερα.
- Για τον ίδιο λόγο και οι κινήσεις του πλοίου στην τελική φάση είναι πιο έντονες, ενώ ο συντελεστής επιβιωσιμότητας στην τελική θέση ισορροπίας είναι χαμηλότερος για την περίπτωση της πραγματικής φόρτωσης του Ε/Γ με το αυξημένο βύθισμα, σε σύγκριση με τον αντίστοιχο δείκτη για τη φόρτωση του ROPAX.
- Η επίδραση του κυματισμού είναι και πάλι αμφίσημη, καθώς επιδρά θετικά καθώς ομαλοποιεί την πορεία κατάκλυσης και επιβραδύνει την εμφάνιση της περιοχής αστάθειας, όμως τελικά οι κινήσεις είναι πιο έντονες στην τελική φάση, συγκριτικά με το περιβάλλον ήρεμου νερού.
- Σε κάθε περίπτωση, η λήξη της προσομοίωσης, αλλά και η έναρξη της περιοχής της τελικής αστάθειας επήλθε μετά το χρονικό όριο των 30 λεπτών, που είναι ο μέγιστος επιτρεπόμενος χρόνος εκκένωσης του πλοίου, οπότε υπάρχει ο χρόνος για την ομαλή εγκατάλειψη του πλοίου.

9.6.3 Σενάριο βλάβης πρωραίας προσάραξης *Bow Grounding*

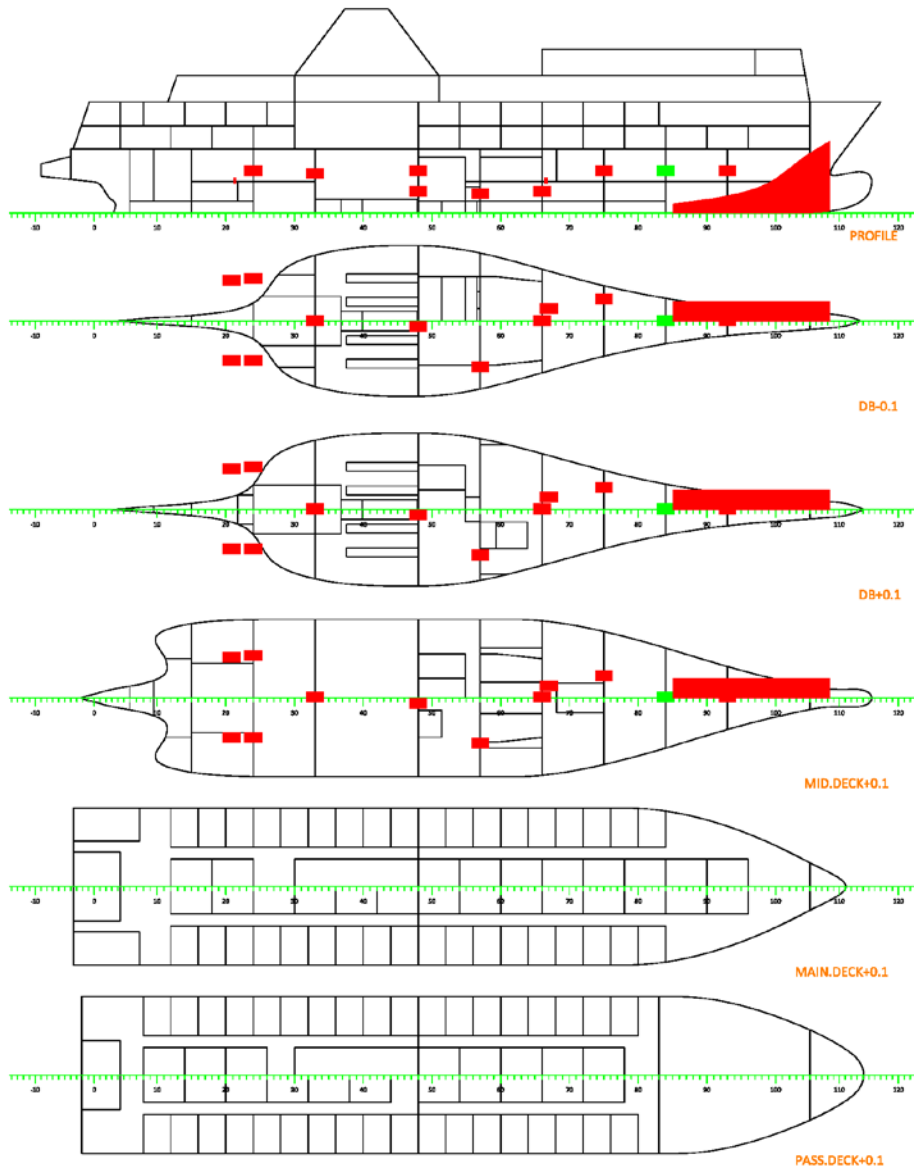
9.6.3.1 Δεδομένα

Σε αυτήν την παράγραφο εξετάζεται η πορεία κατάκλυσης στην περίπτωση του ρήγματος προσάραξης πρώρας, για την περίπτωση του αμιγώς επιβατηγού πλοίου. Και σε αυτήν την περίπτωση πραγματοποιείται καθ' ύψους επέκταση της βλάβης, δηλαδή *up-flooding*, μεταξύ των καταστροφικών επιβατών, εν αντιθέσει με την περίπτωση του ROPAX, όπου η κατάκλυση περιορίζεται στο χώρο των οχημάτων.

Υπενθυμίζεται ότι σε αυτό το σενάριο, το ρήγμα είναι περίπου αντίστοιχο του ρήγματος του κανονισμού 8.1, της *SOLAS 2009*, που σχετίζεται με την ικανότητα διατήρησης της ευστάθειας του πλοίου μετά από πρωραίο ρήγμα, συγκεκριμένων, ντετερμινιστικών διαστάσεων. Το αμιγώς επιβατηγό πλοίο πληρούσε το κριτήριο του κανονισμού, που είναι η πιθανότητα επιβίωσης του να είναι μονάδα ($s=1$) στο συγκεκριμένο σενάριο βλάβης. Επιπρόσθετα, στο συγκεκριμένο σενάριο έγινε η υπόθεση ότι όλες οι υδατοστεγείς θύρες είναι κλειστές, με εξαίρεση μία θύρα στην πρωραία περιοχή του πλοίου.

Οι διαστάσεις του ρήγματος έχουν δοθεί ήδη για την περίπτωση του ROPAX, οπότε δεν αναφέρονται εκ νέου εδώ. Υπενθυμίζεται ότι τα ρήγματα μοντελοποιούνται ως ανοίγματα, προκειμένου να είναι δυνατή η μελέτη της πορείας κατάκλυσης από την άθικτη κατάσταση μέχρι την τελική έκβαση της προσομοίωσης.

Παρακάτω δίνεται το σχέδιο όπου αποτυπώνεται το ρήγμα και η κατάσταση των ανοιγμάτων. Στη συνέχεια, σε πινακοποιημένη μορφή δίνονται τα πρόσθετα ανοίγματα, δηλαδή τα ρήγματα και η κατάσταση των συνδέσεων, δηλαδή αν επιτρέπεται ή όχι η κατάκλιση.



Σχέδιο 9.6-6: Βλάβες σεναρίου Bow Grounding και κατάσταση θυρών για το Pure Passenger Ferry

Κατάλογος Επιπλέον Ανοιγμάτων Αμιγώς Ε/Γ για το σενάριο BOW GROUNDING					
ID	WT	GEOMOBJ	CONN	WRCOEF	L
RAKING1.P1	UNPROTECTED	RAKING1P	F.P.T SEA	0.75	0
RAKING1.P2	UNPROTECTED	RAKING1P	NO.1.W.B.T.C SEA	0.75	0
RAKING1.P3	UNPROTECTED	RAKING1P	ROOMF6.C SEA	0.75	0
RAKING1.P4	UNPROTECTED	RAKING1P	GREY.WATER.T.C SEA	0.75	0
RAKING1.P5	UNPROTECTED	RAKING1P	ROOMF5.C SEA	0.75	0
RAKING1.P6	UNPROTECTED	RAKING1P	CORRIDOR1.2 SEA	0.75	0

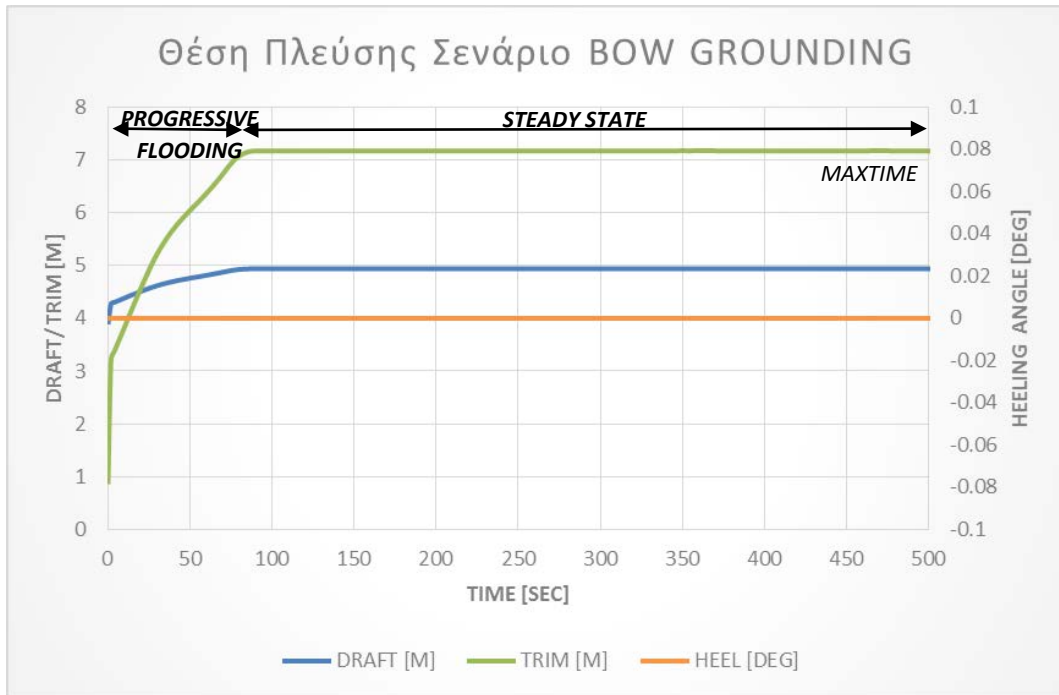
Πίνακας 9.6-7: Κατάλογος επιπλέον ανοιγμάτων Pure Passenger Ferry για το σενάριο Bow Grounding

Πίνακας Επιπλέον Συνδέσεων Χώρων Αμιγώς Ε/Γ για το σενάριο BOW GROUNDING			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
CORRIDOR1.1	ENGINE.CASING	N	WAD1
ENGINE.CASING	CORRIDOR1.1	N	WAD1
ROOMF5.C	ROOMF6.C	N	WAD3
ROOMF6.C	ROOMF5.C	N	WAD3
ROOMF4.UP.C	ROOMF5.C	Y	WAD4
ROOMF5.C	ROOMF4.UP.C	Y	WAD4
ROOMF3.UP.C	ROOMF4.UP.C	N	WAD5
ROOMF4.UP.C	ROOMF3.UP.C	N	WAD5
ROOMF3.LOW.C	ROOMF3.UP.C	N	WAD6
ROOMF3.UP.C	ROOMF3.LOW.C	N	WAD6
ROOMF2.LOW.C	ROOMF3.LOW.C	N	WAD7
ROOMF3.LOW.C	ROOMF2.LOW.C	N	WAD7
ROOMF1.LOW.C	ROOMF2.LOW.C	N	WAD8
ROOMF2.LOW.C	ROOMF1.LOW.C	N	WAD8
ENGINE.ROOM	ROOMF1.LOW.C	N	WAD9
ROOMF1.LOW.C	ENGINE.ROOM	N	WAD9
ENGINE.ROOM	ROOMF1.UP.C	N	WAD10
ROOMF1.UP.C	ENGINE.ROOM	N	WAD10
ROOMA1.UP.C	ENGINE.ROOM	N	WAD11
ENGINE.ROOM	ROOMA1.UP.C	N	WAD11
ROOMA2.UP.P	ROOMA1.UP.C	N	WAD12
ROOMA1.UP.C	ROOMA2.UP.P	N	WAD12
ROOMA2.UP.S	ROOMA1.UP.C	N	WAD13
ROOMA1.UP.C	ROOMA2.UP.S	N	WAD13
ROOMA2.LOW.C	ROOMA2.UP.P	N	WAD14
ROOMA2.UP.P	ROOMA2.LOW.C	N	WAD14
ROOMA2.LOW.C	ROOMA2.UP.S	N	WAD15
ROOMA2.UP.S	ROOMA2.LOW.C	N	WAD15
ROOMF6.C	CORRIDOR1.2	N	UPFLOOD
CORRIDOR1.2	ROOMF6.C	N	UPFLOOD
F.P.T	SEA	Y	RAKING1.P1
SEA	F.P.T	Y	RAKING1.P1
NO.1.W.B.T.C	SEA	Y	RAKING1.P2
SEA	NO.1.W.B.T.C	Y	RAKING1.P2
ROOMF6.C	SEA	Y	RAKING1.P3
SEA	ROOMF6.C	Y	RAKING1.P3
GREY.WATER.T.C	SEA	Y	RAKING1.P4
SEA	GREY.WATER.T.C	Y	RAKING1.P4
ROOMF5.C	SEA	Y	RAKING1.P5
SEA	ROOMF5.C	Y	RAKING1.P5
CORRIDOR1.2	SEA	Y	RAKING1.P6
SEA	CORRIDOR1.2	Y	RAKING1.P6

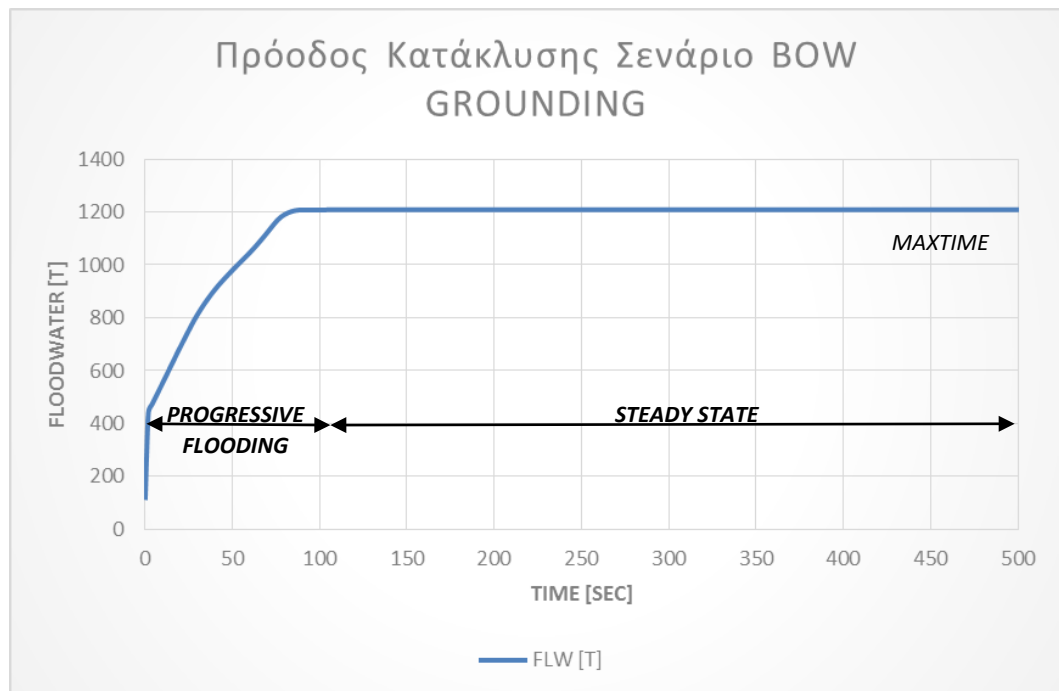
Πίνακας 9.6-8: Πίνακας πρόσθετων συνδέσεων χώρων για το Pure Passenger Ferry για το σενάριο Bow Grounding

9.6.3.2 Αποτελέσματα (κατάσταση φόρτωσης ROPAX)

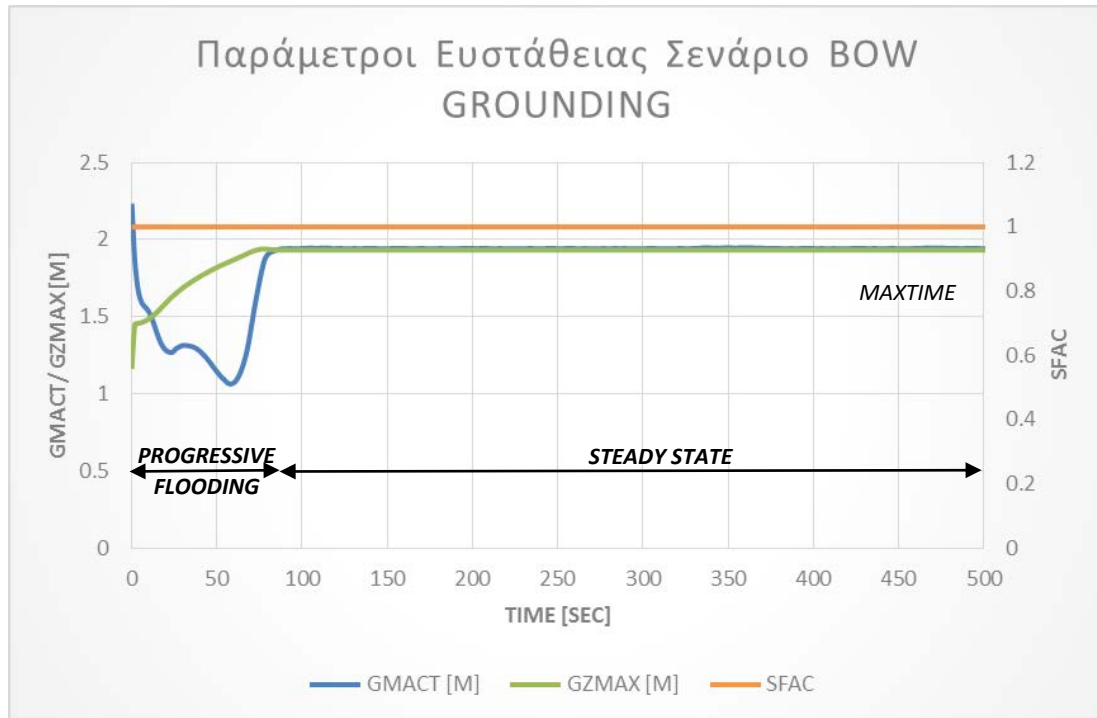
Σε αυτήν την παράγραφο, παρουσιάζονται τα βασικά αποτελέσματα της πραγματοποίησης της προσομοίωσης πρωραίου ρήγματος προσάραξης, για την κατάσταση φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος του ROPAX. Τα αποτελέσματα δίνονται στα επόμενα διαγράμματα.



Διάγραμμα 9.6-29: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Bow Grounding



Διάγραμμα 9.6-30: Πρόδος κατάκλυσης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Bow Grounding



Διάγραμμα 9.6-31: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Bow Grounding

Η προσομοίωση ολοκληρώθηκε με την επίτευξη του μέγιστου χρόνου προσομοίωσης, της μίας ώρας. Ωστόσο, τα αποτελέσματα εστιάζονται στην αρχική περίοδο, καθώς η συνέχεια των διαγραμμάτων παραμένει αναλλοίωτη.

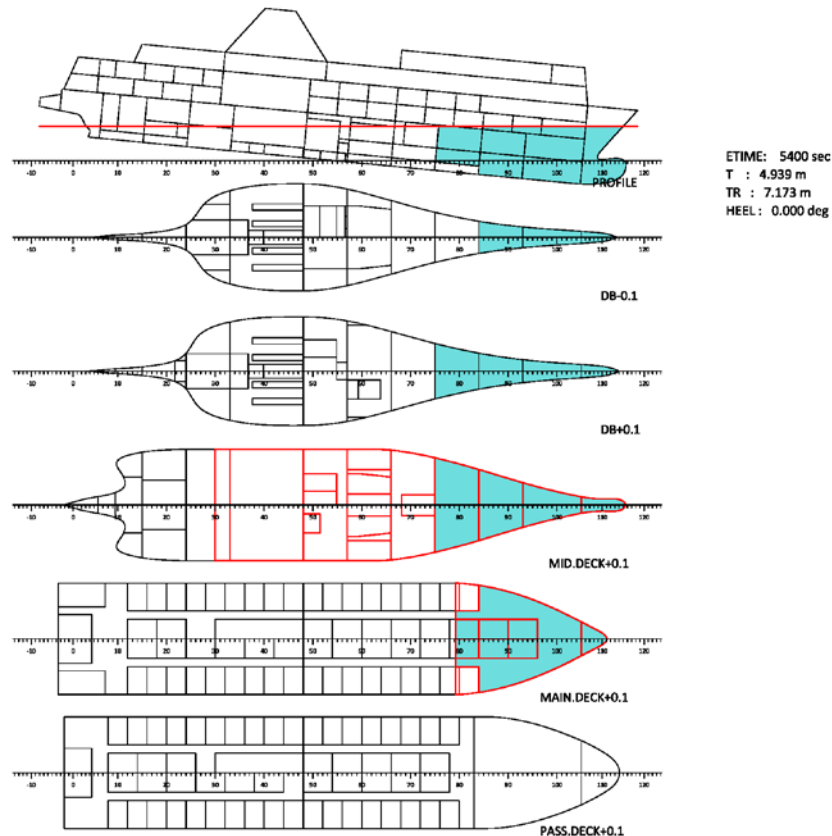
Όπως δείχνουν τα αποτελέσματα, η προσομοίωση επιβεβαιώνει την ικανοποίηση του κανονισμού 8.1. Η συμπεριφορά, τουλάχιστον, μορφολογικά είναι ίδια με την περίπτωση του ROPAX. Συγκεκριμένα, φαίνεται η αρχική μεταβατική κατάκλυση, ακολουθεί μια μικρή περίοδος προοδευτικής κατάκλυσης, μέχρι που τελικά επιτυγχάνεται η μόνιμη κατάσταση ισορροπίας.

Συγκριτικά με την περίπτωση του ROPAX, οι διαφορές που εντοπίζονται αφορούν κυρίως στη θέση πλεύσης, όπου η τελική κατάσταση ισορροπίας χαρακτηρίζεται από περίπου ένα μέτρο μεγαλύτερη διαγωγή, στην περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ, συγκριτικά με την περίπτωση του ROPAX. Σε ό,τι αφορά τη γωνία εγκάρσιας κλίσης, αυτή παραμένει μηδενική, γεγονός αναμενόμενο, καθώς η κατάκλυση γίνεται συμμετρικά. Όμοια συμπεριφορά, παρατηρήθηκε και στην περίπτωση του ROPAX.

Σε ό,τι αφορά την ποσότητα νερού κατάκλυσης, στην περίπτωση του αμιγώς επιβατηγού πλοίου συσσωρεύτηκαν περίπου 300t παραπάνω νερό κατάκλυσης. Αυτό σχετίζεται με τη θέση πλεύσης του πλοίου, όπου λόγω της μεγαλύτερης διαγωγής, επιτρέπεται η μεγαλύτερη παροχή νερού κατάκλυσης μέσω του ρήγματος, λόγω αυξημένης πίεσης. Ταυτόχρονα, επειδή δεν επιτρέπεται η ελεύθερη διάχυση του νερού σε όλη την έκταση του καταστρώματος, λόγω των ορίων των καμπινών και των θυρών, η ποσότητα νερού που συσσωρεύεται παραμένει στην πρωραία περιοχή του καταστρώματος, εν αντιθέσει με την περίπτωση του ROPAX, όπου το νερό απλώνεται σε όλη την έκταση του καταστρώματος οχημάτων.

Η μεγαλύτερη διαφορά σε αυτή την περίπτωση είναι η τιμή του GM, η οποία είναι υψηλότερη της αντίστοιχης του ROPAX. Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο καθώς, ο κατακερματισμός του χώρου οχημάτων οδηγεί σε περιορισμό των ελευθέρων επιφανειών, περιορίζει τη δυσμενή τους επίδραση και αυτό αποτυπώνεται στην αυξημένη τιμή του GM. Ως προς τις άλλες παραμέτρους ευστάθειας, δεν υπάρχουν σημαντικές αλλαγές, με το συντελεστή επιβιωσιμότητας να παραμένει στην τιμή 1, μέχρι το τέλος της προσομοίωσης.

Η τελική θέση ισορροπίας δίνεται στο επόμενο σχέδιο.



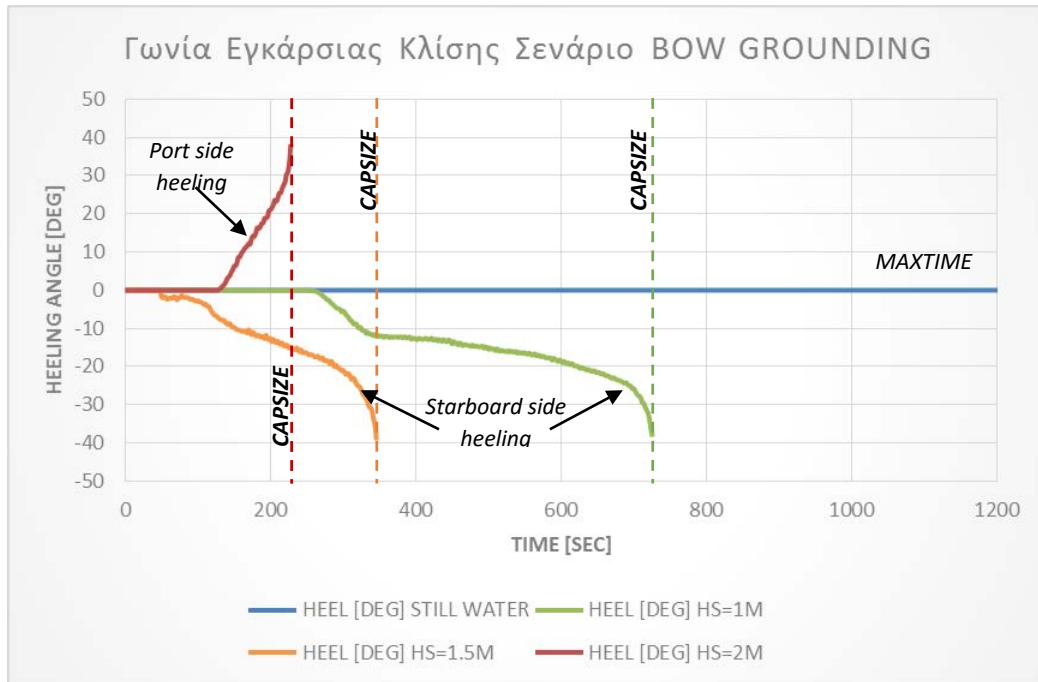
Σχέδιο 9.6-7: Τελική θέση πλοίου Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Bow Grounding

9.6.3.3 Επίδραση κυματισμού (κατάσταση φόρτωσης ROPAX)

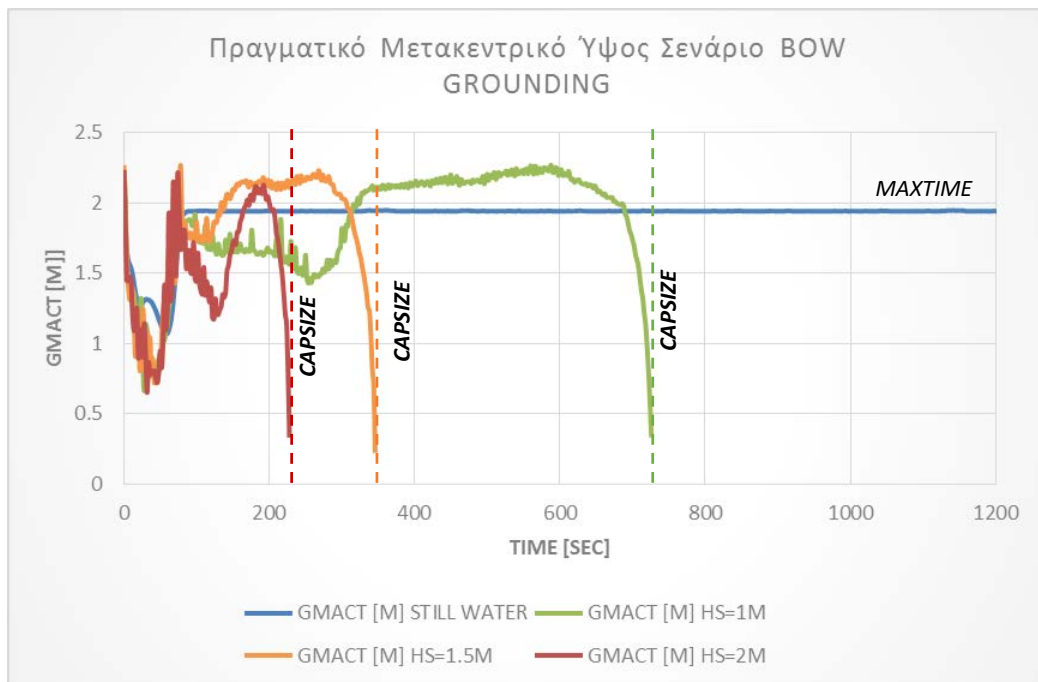
Σε αυτήν την παράγραφο δίνονται τα βασικά αποτελέσματα της προσομοίωσης του ίδιου σεναρίου βλάβης, για τη φόρτωση ενδιάμεσου βυθίσματος του ROPAX, υπό την επίδραση κυματισμού. Ο κυματισμός χαρακτηρίζεται από περίοδο κυματισμού 5sec και σημαντικά ύψη κύματος 1m, 1.5m και 2m.

Όπως δείχνουν τα αποτελέσματα, τελικά το πλοίο οδηγήθηκε στην ανατροπή σε σύντομο χρονικό διάστημα, ουσιαστικά εντός της περιόδου μεταβατικής κατάκλυσης. Η ίδια συμπεριφορά επιδείχθηκε και για την περίπτωση του ROPAX. Ωστόσο, ο χρόνος μέχρι την ανατροπή είναι ελαφρώς μεγαλύτερος, γεγονός που υποδεικνύει τη βελτίωση της ευστάθειας, λόγω του κατακερματισμού του χώρου οχημάτων. Η μικρή αύξηση του χρόνου μέχρι την ανατροπή υποδεικνύει ότι η εξάρτηση του χρόνου capsizes είναι ισχυρότερα εξαρτημένη από τις αρχικές συνθήκες φόρτωσης, παρά από την υποδιαίρεση του πλοίου.

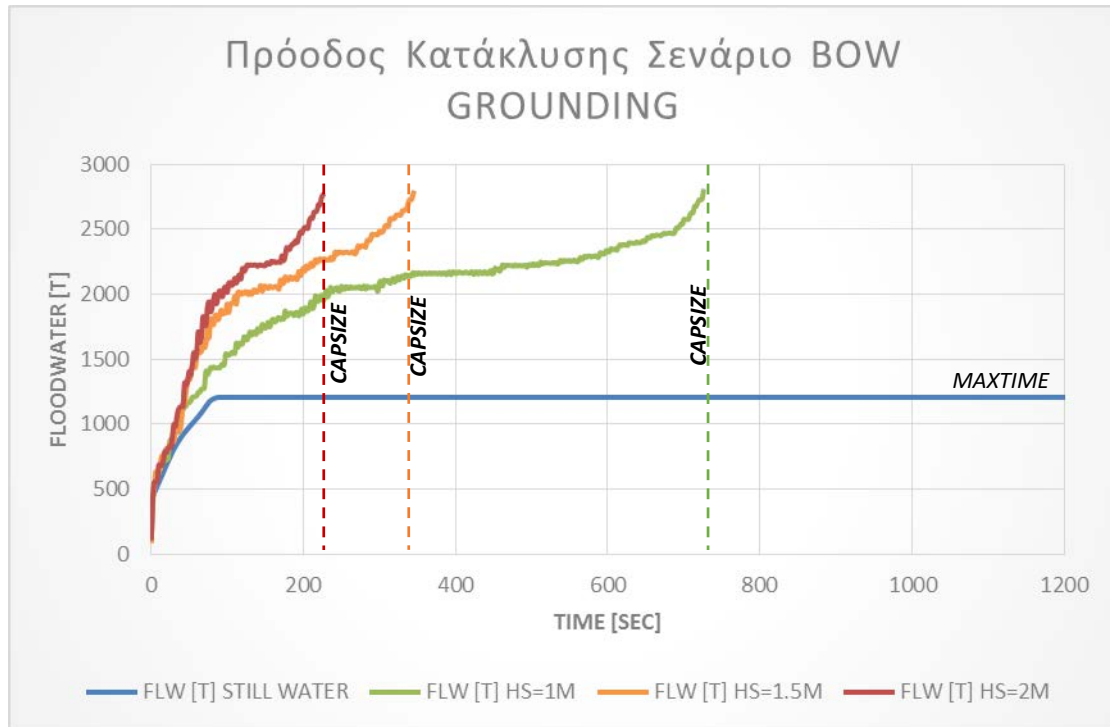
Σημειώνεται, ότι στην περίπτωση του ROPAX, για σημαντικό ύψος κύματος 1m, το πλοίο δεν ανατράπηκε, εντός του χρόνου προσομοίωσης, όμως υπήρξε μηδενισμός του συντελεστή s . Σε αυτήν την περίπτωση το πλοίο οδηγήθηκε στην ανατροπή για όλες τις περιπτώσεις κυματισμού. Τα αποτελέσματα δίνονται στα κάτωθι διαγράμματα.



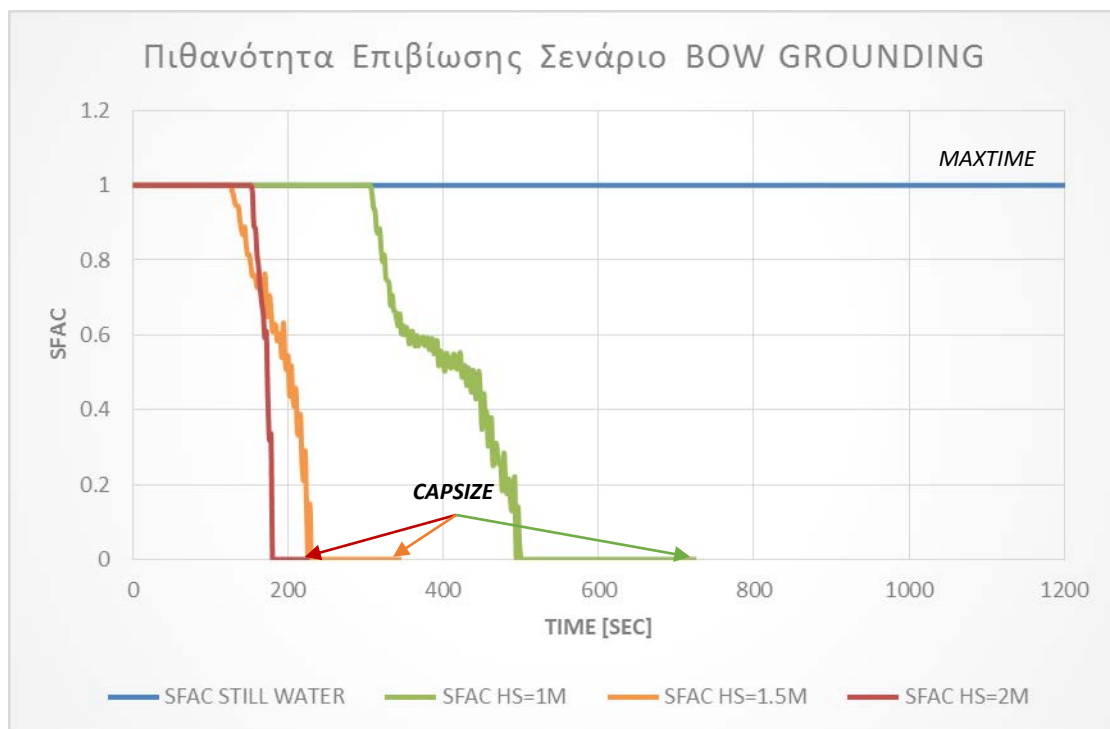
Διάγραμμα 9.6-32: Μεταβολή γωνίας εγκάρσιας κλίσης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.6-33: Μεταβολή μετακεντρικού ύψους για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.6-34: Πρόοδος κατάκλισης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.6-35: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό

Μια διαφορά που προκύπτει είναι ότι για τον κυματισμό των 2m, η ανατροπή του πλοίου γίνεται προς την πλευρά που υπάρχει το ρήγμα, ενώ για τις υπόλοιπες περιπτώσεις, η ανατροπή γίνεται προς την αντίθετη πλευρά. Στην περίπτωση του ROPAX η ανατροπή του πλοίου έγινε σε όλες τις περιπτώσεις προς την αντίθετη πλευρά, από εκείνη του ρήγματος.

Επίσης, σε ό,τι αφορά τη γωνία κλίσης, στην περίπτωση του ROPAX, η κλίση αναπτύχθηκε πρώτα προς την πλευρά του ρήγματος και στη συνέχεια η ανατροπή έγινε αντίθετα. Στην υπό εξέταση περίπτωση, ωστόσο, η γωνία κλίσης δεν αλλάζει πρόσημο και το πλοίο ανατρέπεται προς την πλευρά όπου αναπτύσσεται εξ' αρχής η γωνία κλίσης. Αυτό, μπορεί να συσχετιστεί με την επίδραση των ελεύθερων επιφανειών και την ευχέρεια που έχει το νερό να κινηθεί ελεύθερα στο κατάστρωμα οχημάτων.

Εξετάζοντας το διάγραμμα του μετακεντρικού ύψους, φαίνεται ότι η πορεία κατάκλισης διέπεται από τα ίδια φαινόμενα και μηχανισμούς, όμως η εκάστοτε διακριτή φάση κατάκλισης περιορίζεται με αύξηση του σημαντικού ύψους κύματος, οπότε και συνολικά το χρονικό παράθυρο μέχρι την ανατροπή περιορίζεται αντίστοιχα.

Σε όρους ποσότητας νερού κατάκλισης η συνολική ποσότητα παραμένει η ίδια για όλες τις περιπτώσεις κυματισμού και είναι σαφώς μεγαλύτερη της ποσότητας νερού κατάκλισης στην περίπτωση του ήρεμου νερού. Με βάση αυτήν την παρατήρηση, εξάγεται το συμπέρασμα, ότι στην πραγματικότητα το κύριο αίτιο για την ανατροπή του πλοίου δεν είναι η ποσότητα νερού κατάκλισης, αλλά ο τρόπος με τον οποίο εισέρχεται στο πλοίο και συνεπώς η ταχύτητα μεταβολής του GM.

Τέλος σε ό,τι αφορά τη μεταβολή του συντελεστή s , φαίνεται η σαφής πτώση του, ενώ για μείωση του σημαντικού ύψους κύματος εμφανίζεται μια αυξημένη περιοχή σταθεροποίησης του s , γύρω από κάποια ενδιάμεση τιμή. Τελικά όμως το πλοίο οδηγείται στην ανατροπή, όπως υποδηλώνει και ο μηδενισμός του δείκτη s .

Ο χρόνος μέχρι την ανατροπή υπολογίστηκε ως εξής:

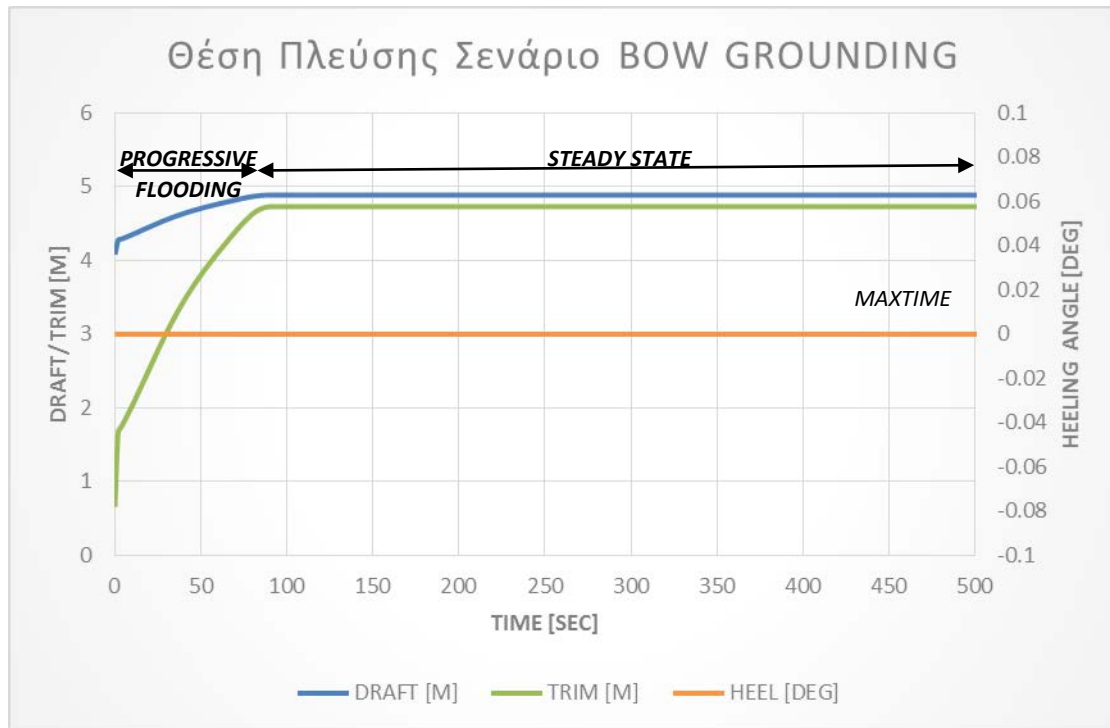
- Ήρεμο νερό (*Still Water*): Δεν ανατράπηκε
- Κυματισμός με σημαντικό ύψος κύματος $H_S=1\text{m}$: 726 sec \approx 12.1 min
- Κυματισμός με σημαντικό ύψος κύματος $H_S=1.5\text{m}$: 346 sec \approx 5.767 min
- Κυματισμός με σημαντικό ύψος κύματος $H_S=2\text{m}$: 228 sec \approx 3.8min

Οι παραπάνω χρόνοι, δείχνουν ότι η ανατροπή του πλοίου γίνεται πολύ σύντομα, εκμηδενίζοντας πρακτικά την πιθανότητα επιβίωσης των επιβαινόντων. Επιπρόσθετα, φαίνεται ότι η ικανοποίηση του κριτηρίου του κανονισμού 8.1, συμβαίνει μόνο για την περίπτωση του ήρεμου νερού, όπως άλλωστε προβλέπεται και στο πλαίσιο των κανονισμών. Όταν, όμως, λαμβάνεται υπόψη η επίδραση του κυματισμού, η κατάσταση αλλάζει άρδην και το πλοίο πρακτικά χάνει την ευστάθειά του.

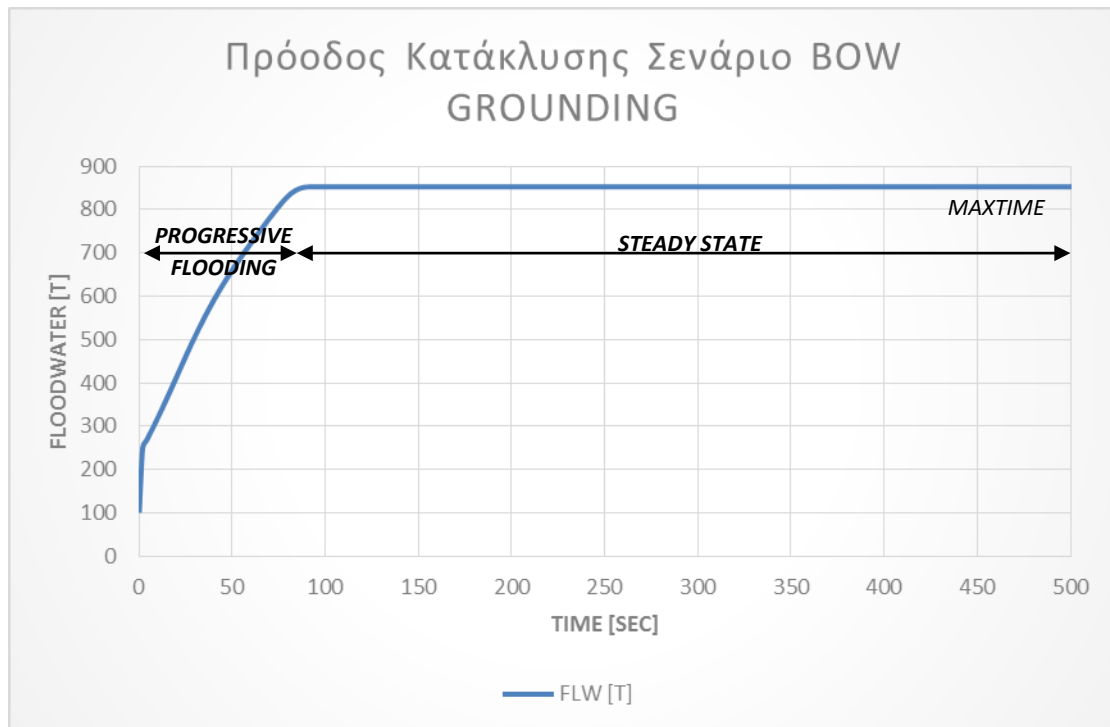
9.6.3.4 Αποτελέσματα (πραγματική κατάσταση φόρτωσης)

Σε αυτήν την παράγραφο, δίνονται τα αποτελέσματα της επανάληψης της προσομοίωσης κατάκλισης, για το ίδιο σενάριο, της πρωραίας προσάραξης, αυτή τη φορά όμως χρησιμοποιώντας την πραγματική κατάσταση φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος, του κανονισμού, όπως καθορίστηκε για το αμιγώς Ε/Γ.

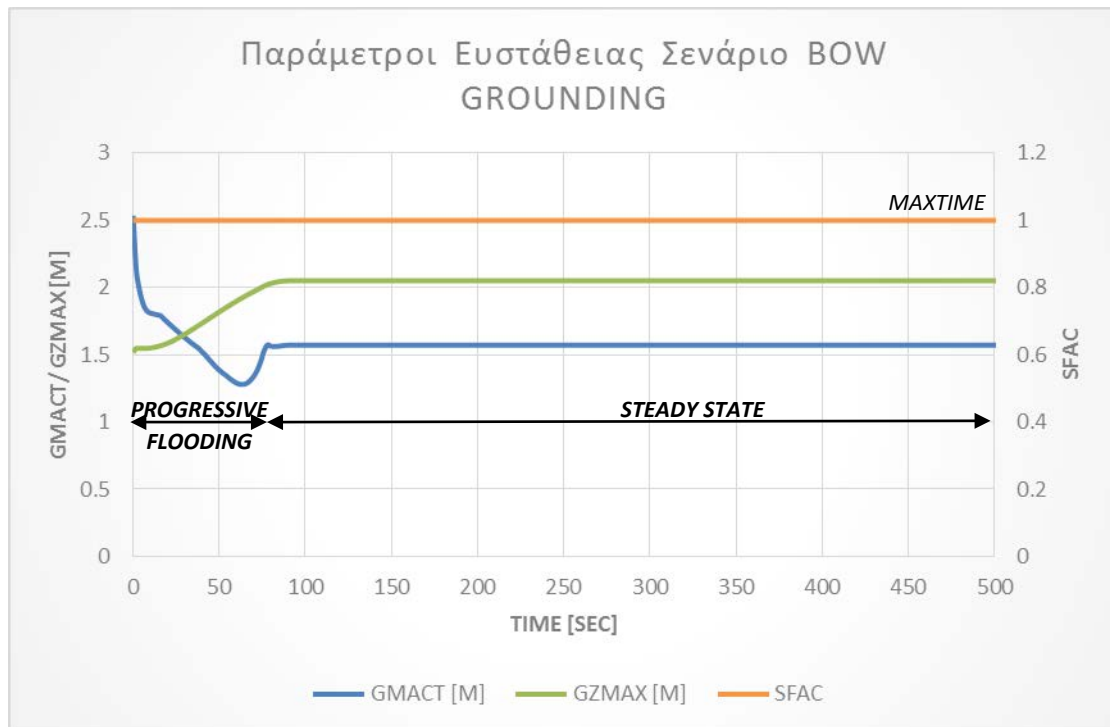
Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα.



Διάγραμμα 9.6-36: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Bow Grounding



Διάγραμμα 9.6-37: Πρόδος κατάκλυσης για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Bow Grounding



Διάγραμμα 9.6-38: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Bow Grounding

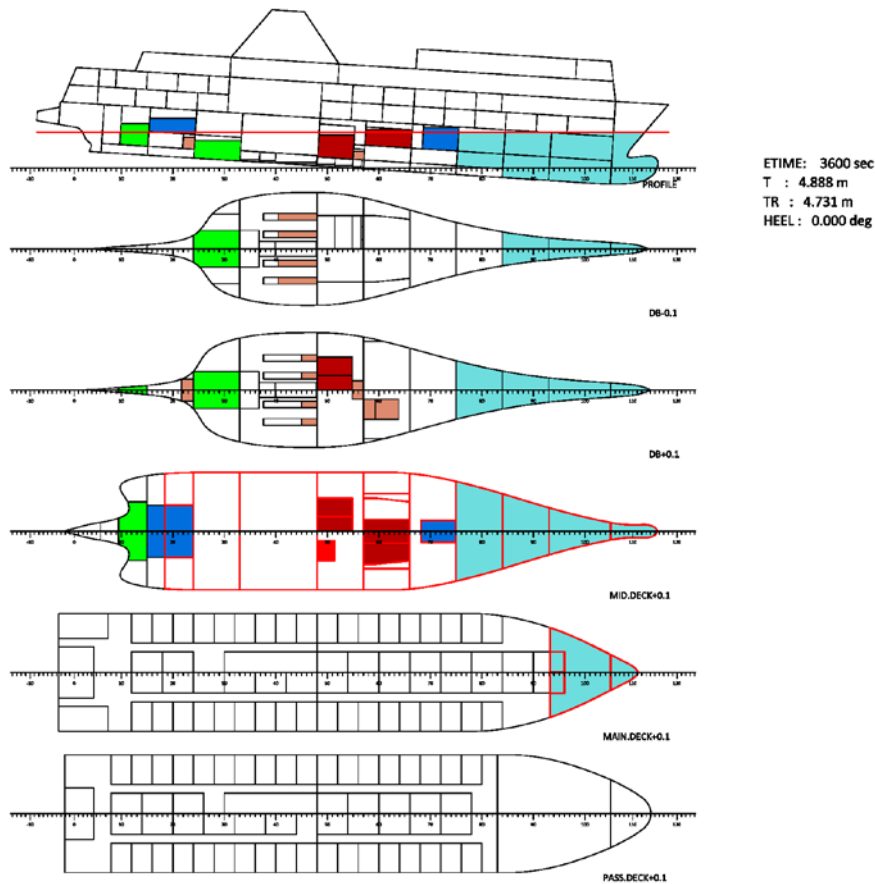
Και σε αυτήν την περίπτωση, η προσομοίωση επιβεβαιώνει την ικανοποίηση του κριτηρίου του κανονισμού 8.1, για $s=1$ για την περίπτωση του ήρεμου νερού. Και πάλι η προσομοίωση έφτασε το μέγιστο χρόνο προσομοίωσης της μίας ώρας, όμως επιλέχθηκε να γίνει εστίαση στην αρχική περιοχή, καθώς πέραν αυτής δεν υπάρχουν μεταβολές στις τιμές των μεγεθών.

Όπως φαίνεται, το πλοίο δεν αναπτύσσει και σε αυτήν την περίπτωση γωνία εγκάρσιας κλίσης, γεγονός αναμενόμενο λόγω της συμμετρικότητας των διαμερισμάτων που θεωρούνται κατακλυσμένα. Όσον αφορά την αναπτυσσόμενη διαγωγή, σε αυτήν την περίπτωση είναι μικρότερη και από τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις, δηλαδή του ROPAX και του αμιγώς Ε/Γ, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, το οποίο σχετίζεται με την καλύτερη ευστάθεια του πλοίου, κρίνοντας από την υψηλότερη τιμή του GM.

Η ποσότητα του νερού κατάκλυσης εντός του πλοίου είναι επίσης μικρότερη των δύο προηγούμενων περιπτώσεων, συνεπώς μικρότερη ποσότητα νερού εισέρρευσε στο πλοίο. Αυτό δείχνει ότι παρά το αυξημένο βύθισμα, η βελτιωμένη ευστάθεια σε όρους GM, επιτρέπει στο πλοίο να διατηρήσει μια θέση πλεύσης τέτοια ώστε να μην οδηγήσει σε αύξηση της παροχής μέσω των ρηγμάτων.

Όσον αφορά στις παραμέτρους ευστάθειας, φαίνεται ότι η τιμή του GM είναι ανώτερη των δύο προηγούμενων, γεγονός που σχετίζεται τόσο με την καλύτερη αρχική ευστάθεια του πλοίου, όσο και με την πιο κανονική, από άποψη διαγωγής, θέση πλεύσης του πλοίου. Ο συντελεστής s διατήρησε την τιμή 1 σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, επιβεβαιώνοντας τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των κριτηρίων ευστάθειας, σχετικά με τον κανονισμό 8.1. Επίσης, όπως φαίνεται το πλοίο βρίσκεται σε μία τέτοια θέση πλεύσης και οι παράμετροι ευστάθειας του είναι τέτοιες που δε φαίνεται να διατρέχει κίνδυνο απώλειας ευστάθειας.

Στο επόμενο σχέδιο δίνεται η τελική κατάσταση πλεύσης του πλοίου

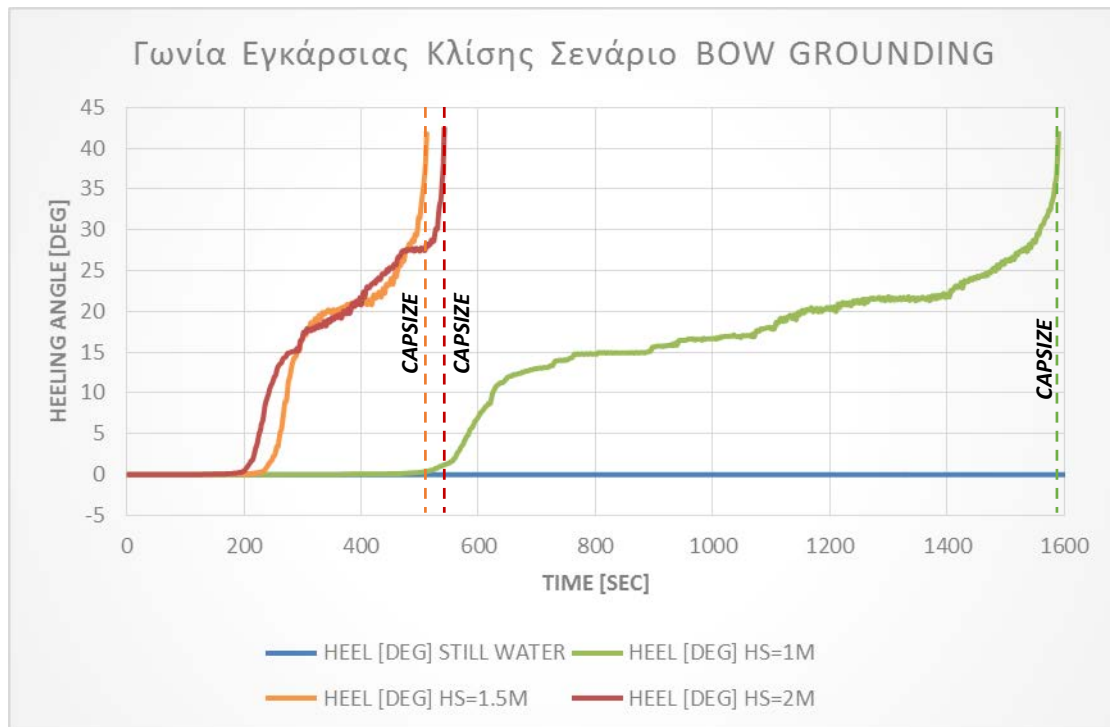


Σχέδιο 9.6-8: Τελική θέση πλοίου Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Bow Grounding

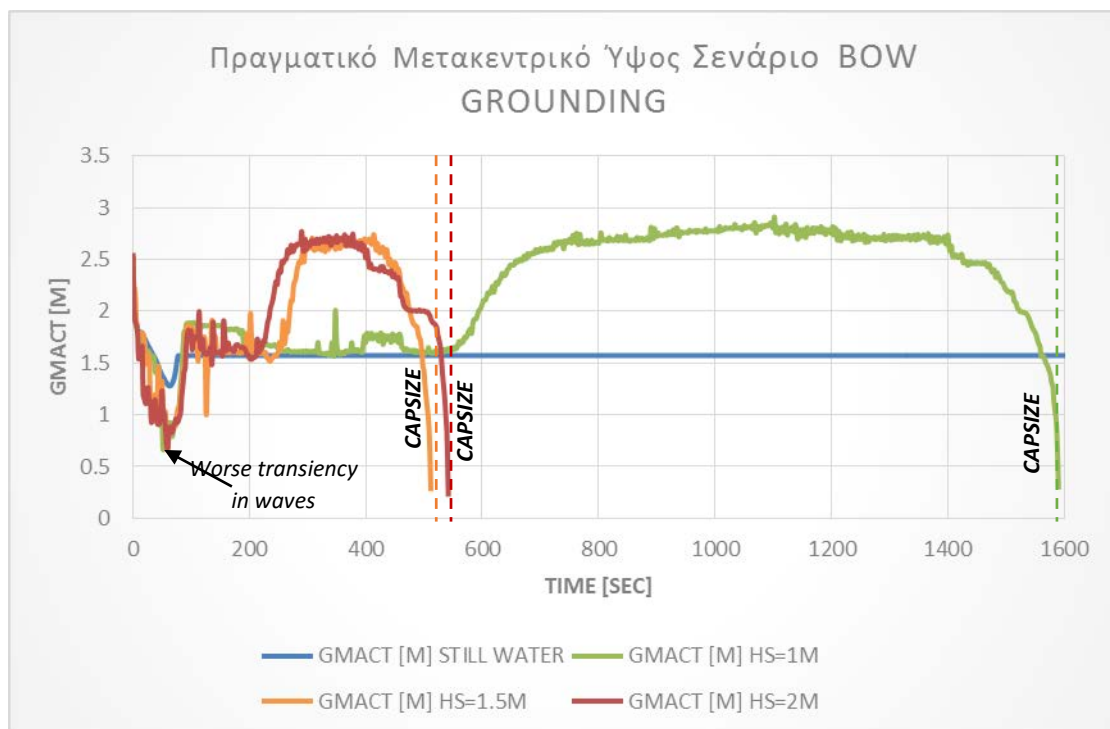
9.6.3.5 Επίδραση κυματισμού (πραγματική κατάσταση φόρτωσης)

Σε αυτήν την παράγραφο δίνονται τα βασικά αποτελέσματα της επίδρασης των κυματισμών, στο σενάριο βλάβης πρωραίας προσάραξης στο αμιγώς Ε/Γ, για την πραγματική κατάσταση φόρτωσης. Και σε αυτήν την προσομοίωση ο κυματισμός χαρακτηρίζεται από σημαντικά ύψη κύματος 1m, 1.5m και 2m και περίοδο 5sec.

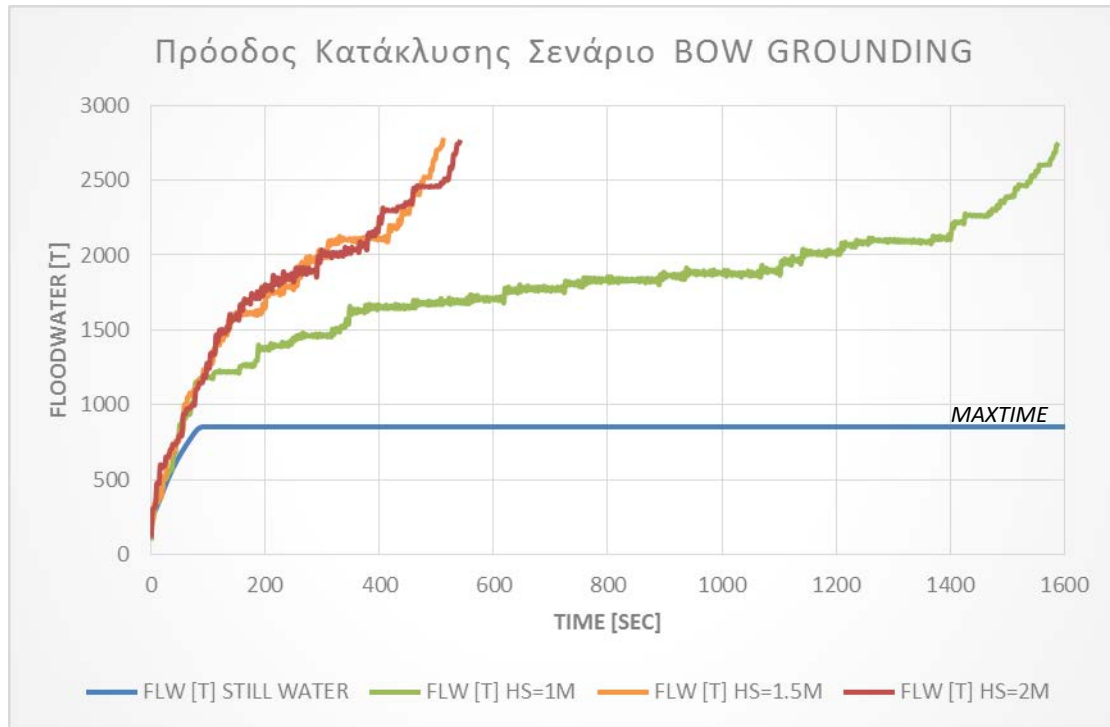
Και σε αυτήν την περίπτωση το πλοίο οδηγήθηκε στην ανατροπή (*capsize*), υπό την επίδραση των κυματισμών. Και πάλι ο χρόνος μέχρι να γίνει η ανατροπή ήταν εξαιρετικά συρρικνωμένος, αφήνοντας πολύ μικρά χρονικά περιθώρια αντίδρασης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα.



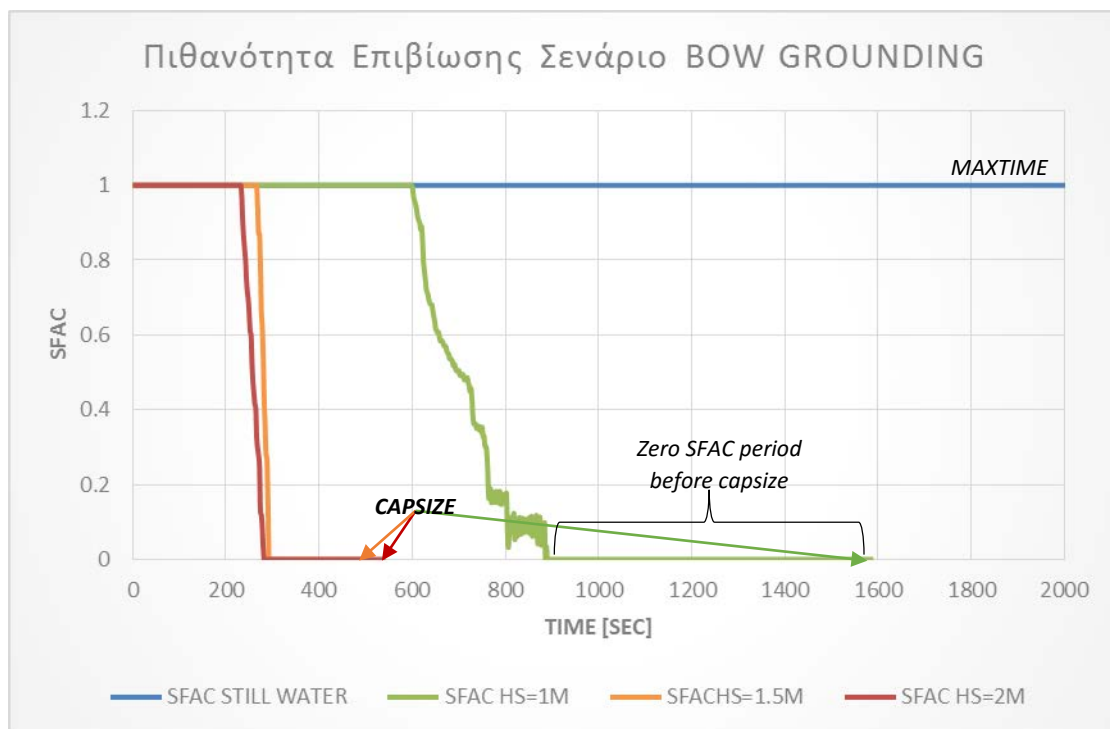
Διάγραμμα 9.6-39: Μεταβολή γωνίας εγκάρσιας κλίσης για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.6-40: Μεταβολή μετακεντρικού ύψους για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.6-41: Πρόοδος κατάκλισης για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό



Διάγραμμα 9.6-42: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για το Pure Passenger Ferry, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Bow Grounding, με κυματισμό

Όπως δείχνουν τα διαγράμματα αυτή τη φορά, σε όλες τις περιπτώσεις, η βύθιση γίνεται προς την πλευρά του ρήγματος. Γενικά, η φορά προς την οποία το πλοίο κλίνει, περιλαμβάνει κάποια τυχαιότητα, ανάλογα με τις συνθήκες του κυματισμού. Ουσιαστικά, η περίπτωση αυτή της βύθισης είναι αποτέλεσμα της λεγόμενης ασύμμετρης κατάκλυσης, συμμετρικών διαμερισμάτων. Πιο συγκεκριμένα, η παροχή μέσω των ανοιγμάτων, μπορεί να οδηγήσει σε μια ανισοροπία και ασυμμετρία της ισάλου εσωτερικά του πλοίου, λόγω της επίδρασης του κυματισμού. Μόλις δημιουργηθεί αυτή η ανισοροπία, το πλοίο κλίνει απότομα προς την πλευρά που ευνοείται η ανάπτυξη κλίσης ή η ανατροπή.

Οι φάσεις κατάκλυσης είναι διακριτές ειδικά στην περίπτωση του κυματισμού και αποτυπώνεται κυρίως στο διάγραμμα μετακεντρικού ύψους, ο χρονικός περιορισμός της κάθε φάσης και συνεπώς η συρρίκνωση του χρόνου μέχρι την ανατροπή, όσο αυξάνεται το σημαντικό ύψος κύματος. Ως τιμές, ωστόσο παραμένουν ίδιες και για τους τρεις κυματισμούς. Το ίδιο ισχύει και για τις ποσότητες νερού κατάκλυσης, οι οποίες είναι περίπου ίσες και για τους τρεις κυματισμούς και σαφώς μεγαλύτερες της ποσότητας για το ήρεμο νερό.

Η πιθανότητα επιβίωσης, ακολουθεί μια αντίστοιχη πορεία, με την προηγούμενη περίπτωση, όπου ο κυματισμός οδηγεί στη βύθιση του συντελεστή επιβιωσιμότητας και τελικά μηδενίζεται, οπότε και το πλοίο ανατρέπεται. Φαίνεται ωστόσο, ότι ειδικά για $H_s=1\text{m}$ ο συντελεστής s παραμένει στο μηδέν, ενώ το πλοίο δεν έχει ανατραπεί ακόμη και μάλιστα η κατάσταση αυτή διαρκεί για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Οι χρόνοι μέχρι την ανατροπή είναι οι εξής:

- Ήρεμο νερό (*Still Water*): Δεν ανατράπηκε
- Κυματισμός με σημαντικό ύψος κύματος $H_s=1\text{m}$: 1592.2 sec \approx 26.537 min
- Κυματισμός με σημαντικό ύψος κύματος $H_s=1.5\text{m}$: 514.2 sec \approx 8.570 min
- Κυματισμός με σημαντικό ύψος κύματος $H_s=2\text{m}$: 542 sec \approx 9.033 min

Όπως φαίνεται, τελικά επέρχεται ανατροπή, όμως πολύ αργότερα από τις περιπτώσεις πρωραίας προσάραξης, για το ROPAX και το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX. Ο χρόνος μέχρι την ανατροπή μπορεί να φτάνει και τη διπλάσια τιμή, από τις αντίστοιχες τιμές χρόνου, στις άλλες περιπτώσεις. Η συμπεριφορά αυτή, υποδεικνύει την εξάρτηση του χρόνου μέχρι την ανατροπή από τις αρχικές συνθήκες πλεύσης και κυρίως τη βελτιωμένη αρχική ευστάθεια, σε όρους GM. Παρατηρήθηκε, επίσης, ότι η πτώση του χρόνου μέχρι την ανατροπή, συναρτηθεί της αύξησης του σημαντικού ύψους κύματος είναι ραγδαία. Με εξαίρεση την περίπτωση για σημαντικό ύψος κύματος 1m, ο χρόνος μέχρι την ανατροπή είναι πολύ μικρός, οπότε και πάλι η διαδικασία εγκατάλειψης του πλοίου, πιθανότατα δε θα προλάβει να ολοκληρωθεί έγκαιρα.

9.6.3.6 Συμπεράσματα

Σε αυτήν την παράγραφο, συνοψίζονται τα κυριότερα συμπεράσματα που εξήχθησαν για την περίπτωση ρήγματος προσάραξης στην πλώρα στο αμιγώς επιβατηγό πλοίο.

- Και το παραπάνω πείραμα, επιβεβαίωσε την αρχική θεωρία καθώς για την περίπτωση χωρίς κυματισμό, φάνηκαν και πάλι οι τρεις διακριτές φάσης κατάκλυσης, με την αρχική μεταβατική, την προοδευτική κατάκλυση και τέλος τη μόνιμη κατάσταση γύρω από τη θέση ισοροπίας.

- Για τις περιπτώσεις του κυματισμού, αποτυπώθηκε η περίπτωση ανατροπής λόγω ασύμμετρης κατάκλυσης συμμετρικών χώρων.
- Η επίδραση του κυματισμού, σε αυτήν την περίπτωση, είναι δυσμενής καθώς η συνεχής μεταβολή της ισάλου, με την αντίστοιχη μεταβολή της παροχής νερού κατάκλυσης μέσω του ρήγματος, οδηγεί σε έντονη ασυμμετρία της κατανομής της ποσότητας νερού επί του καταστρώματος, με αποτέλεσμα την ταχεία ανατροπή του πλοίου μέσα σε λίγα λεπτά.
- Ο χρόνος μέχρι την ανατροπή για την περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, εμφανίστηκε είτε ίδιος είτε ελαφρώς αυξημένος συγκριτικά με την περίπτωση του ROPAX. Στην περίπτωση όμως του αμιγώς Ε/Γ, με την πραγματική φόρτωση, ο χρόνος μέχρι την ανατροπή επεκτάθηκε σημαντικά. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι η αλλαγή των συνθηκών πλεύσης, και η ανώτερη από άποψη αρχικής ευστάθειας, σε όρους GM, φόρτωση, έχει ισχυρότερη επίδραση στο χρόνο μέχρι την ανατροπή, συγκριτικά με την αλλαγή στη διαμερισματοποίηση του πλοίου.
- Ο χρόνος μέχρι την ανατροπή είναι περιορισμένος και μειώνεται δραστικά με αύξηση του σημαντικού ύψους κύματος. Η αλλαγή στο GM μπορεί να οδηγήσει μέχρι και σε διπλασιασμό του χρόνου ως την ανατροπή για αντίστοιχα σημαντικά ύψη κύματος.
- Επιβεβαιώθηκε η ικανοποίηση του κριτηρίου $s=1$ για τον κανονισμό 8.1, σε ήρεμο νερό, αν και το ρήγμα δεν ήταν όμοιων διαστάσεων, έθιγε όμως τους ίδιους χώρους.
- Για την περίπτωση όπου λαμβάνεται υπόψη η επίδραση του κυματισμού, ο κανονισμός 8.1 όχι μόνο δεν ικανοποιείται ως προς το συντελεστή επιβιωσιμότητας, αλλά μπορεί να οδηγήσει το πλοίο σε ανατροπή και μάλιστα μέσα σε λίγα λεπτά.
- Ο συντελεστής s μπορεί να μηδενιστεί, ενώ το πλοίο δεν έχει ανατραπεί ακόμη και το πλοίο διατηρεί σχετικά την ευστάθεια του μέχρι την τελική ανατροπή, για σημαντικό χρονικό διάστημα.

9.7 Σύγκριση Συμπεριφοράς Ε/Γ-Ο/Γ και Αμιγώς Ε/Γ στο Σενάριο Βλάβης *Express Samina*

9.7.1 Γενικά

Σε αυτήν την ενότητα γίνεται η προσπάθεια σύγκρισης της συμπεριφοράς του πλοίου κατά την κατάκλυση, για το σενάριο βλάβης *Express Samina* το οποίο παρουσιάστηκε προηγουμένως. Αν και στην ανάλυση, έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων για όλους τους τύπους ρηγμάτων, μεταξύ των διαφορετικών διατάξεων και καταστάσεων φόρτωσης, σε αυτήν την παράγραφο γίνεται η προσπάθεια ακόμη πιο λεπτομερούς κατάδειξης των διαφορών, εξαιτίας του κατακερματισμού του χώρου οχημάτων και της αλλαγής των υδροστατικών παραμέτρων και της ευστάθειας της αρχικής άθικτης κατάστασης φόρτωσης

Σε όλες τις προσομοιώσεις που παρουσιάστηκαν ως τώρα, η άθικτη κατάσταση φόρτωσης που χρησιμοποιήθηκε, ήταν η κατάσταση ενδιάμεσου βυθίσματος και αυτό διότι αυτή η κατάσταση φόρτωσης ήταν και για το ROPAX και για το αμιγώς επιβατηγό πλοίο, η δυσμενέστερη κατάσταση από άποψη αρχικής ευστάθειας, εκφραζόμενη σε όρους GM. Η προσομοίωση του κάθε σεναρίου πραγματοποιήθηκε για την κατάσταση ενδιάμεσου βυθίσματος του ROPAX, στη συνέχεια υλοποιήθηκε με την ίδια κατάσταση φόρτωσης, αλλά για τη διάταξη του αμιγώς επιβατηγού, προκειμένου να φανεί η διαφορά λόγω του κατακερματισμού του χώρου οχημάτων και τέλος επαναλήφθηκε για τη διάταξη του αμιγώς

Ε/Γ με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος, προκειμένου να καταδειχθεί η διαφορά λόγω αλλαγής της κατάστασης φόρτωσης. Η αλλαγή στην κατάσταση φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος, συνίσταται αφενός σε αλλαγή στο βύθισμα κι αφετέρου σε αλλαγή στο μετακεντρικό ύψος. Όπως φάνηκε από τα παραπάνω, οι δύο αυτές αλλαγές είναι ασυμβίβαστες ως προς την ευστάθεια, καθώς η αυξημένη τιμή του GM είναι συνυφασμένη με την καλύτερη ευστάθεια, όμως το βύθισμα επιδρά στην παροχή μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού, η οποία επιδρά αρνητικά ως προς την ευστάθεια. Στόχος, λοιπόν είναι η απομόνωση των δύο αυτών παραγόντων, ώστε να φανεί η καθαρή επίδραση του κάθε παράγοντα στην πορεία κατάκλυσης. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, έπρεπε το αρχικό βύθισμα να είναι σταθερό και ίδιο για τις διατάξεις, προκειμένου να φανεί η διαφορά λόγω του GM και αντίστοιχα, να κρατηθεί σταθερό το GM σε διαφορετικά βυθίσματα. Το δεύτερο σενάριο, απορρίφθηκε καθώς δε συνάδει με την πραγματικότητα και η μελέτη θα αναγόταν καθαρά σε θεωρητικό επίπεδο. Όμως, το σταθερό βύθισμα που μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, γιατί είναι ίδιο και για το ROPAX και για το αμιγώς Ε/Γ, είναι το βύθισμα υποδιαίρεσης των 4m.

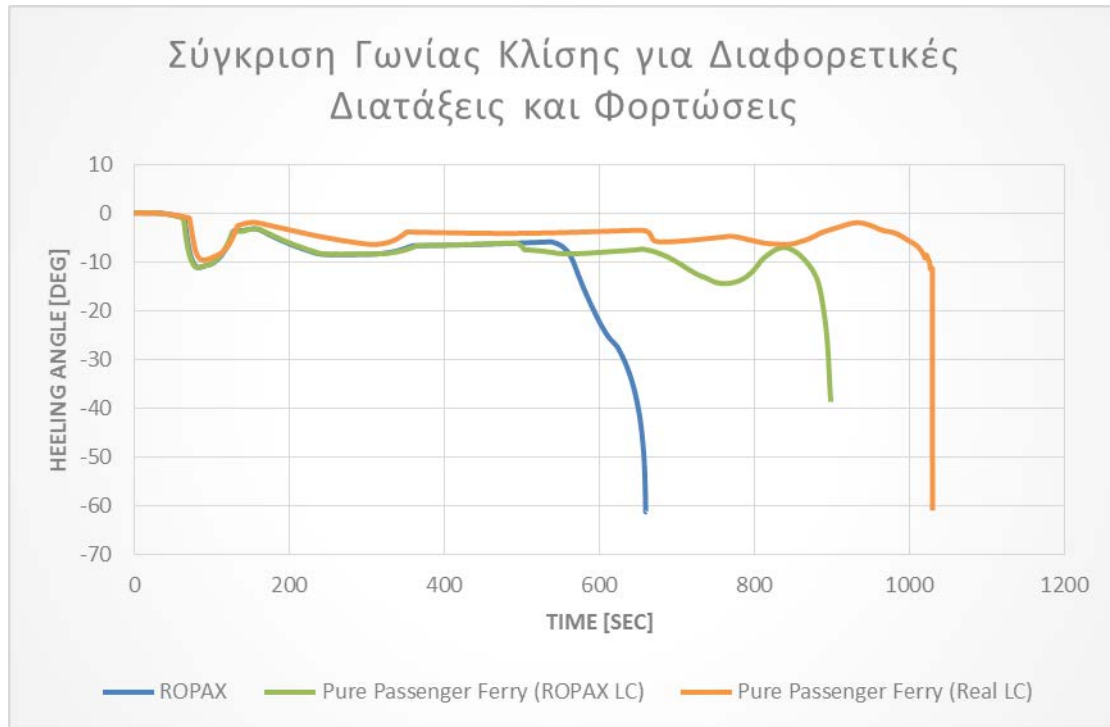
Κατά συνέπεια, σε αυτήν την παράγραφο, εξετάζεται για την κατάσταση φόρτωσης μέγιστου βυθίσματος των 4m, η επίδραση της αλλαγής της διαμερισματοποίησης σε πρώτο χρόνο και σε δεύτερο χρόνο η επίδραση της αλλαγής του αρχικού μετακεντρικού ύψους στην εξέλιξη της κατάκλυσης. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιήθηκαν οι βλάβες του σεναρίου *Express Samina*, στην κατάσταση μέγιστου βυθίσματος (d_s) υποδιαίρεσης των κανονισμών, επαναλήφθηκε για την ίδια κατάσταση, στην τροποποιημένη διάταξη του αμιγώς Ε/Γ και τέλος υλοποιήθηκε και για την περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ, στην κατάσταση μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης του αμιγώς Ε/Γ.

Τα ρήγματα και η θέση τους παρουσιάστηκαν παραπάνω και υπενθυμίζεται ότι μοντελοποιήθηκαν ως ανοίγματα, μέσω των οποίων επιτρέπεται η εισροή υδάτων, προκειμένου να μελετηθεί η κατάκλυση από την άθικτη κατάσταση ως το τέλος της προσομοίωσης. Η κατάσταση φόρτωσης που χρησιμοποιήθηκε, έχει παρουσιαστεί στα κεφάλαια 5, 6 και 7 και αφορά στην κατάσταση φόρτωσης μέγιστου βυθίσματος υποδιαίρεσης για τις δύο διατάξεις.

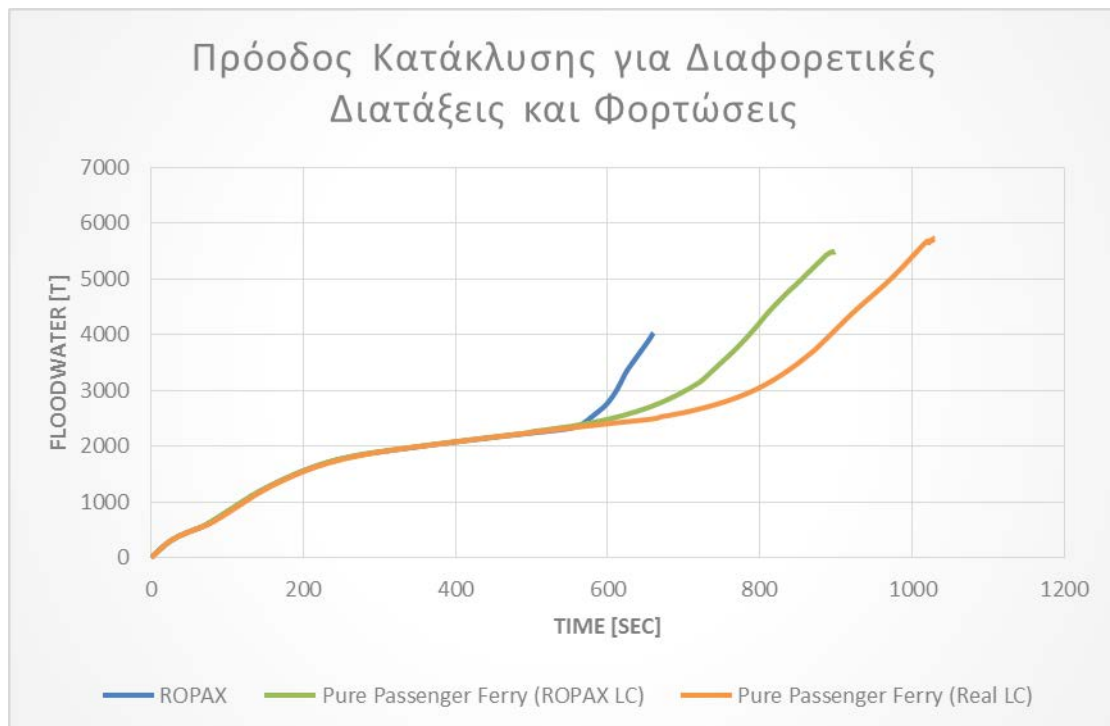
9.7.2 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα ακολουθούν σε μορφή διαγραμμάτων, όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται είναι τα σημαντικότερα και αφορούν στη γωνία εγκάρσιας κλίσης, στην ποσότητα νερού κατάκλυσης, στη μεταβολή του πραγματικού μετακεντρικού ύψους και στη μεταβολή του συντελεστή επιβιωσιμότητας s .

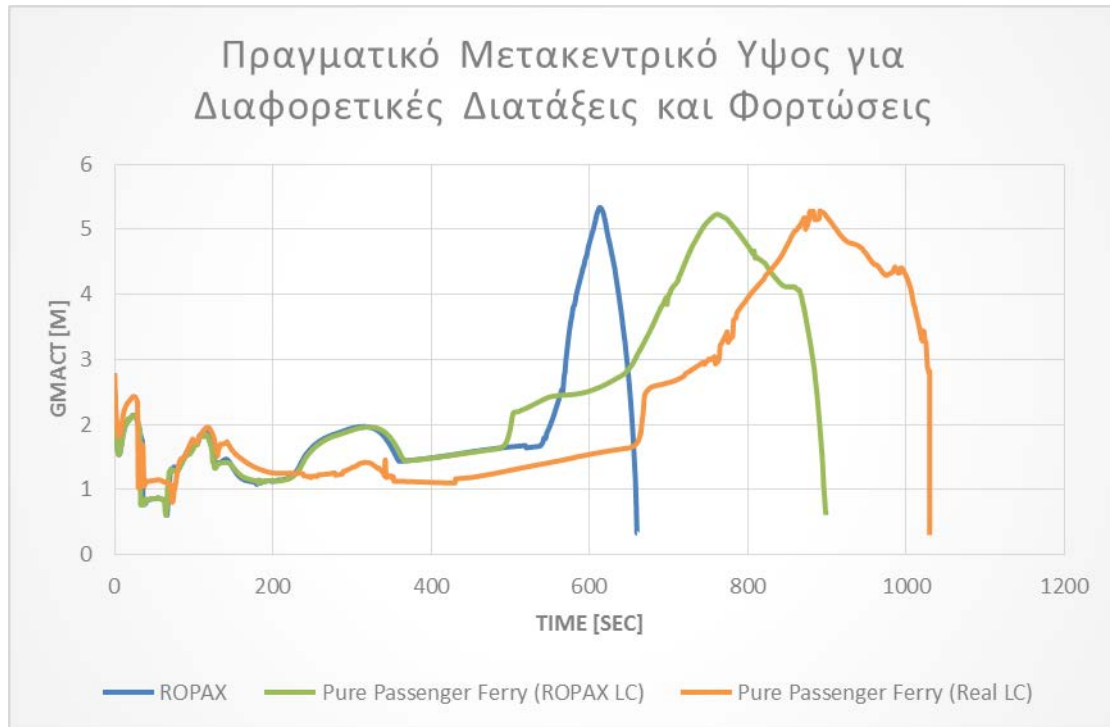
Σε όλες τις περιπτώσεις το πλοίο οδηγήθηκε στην ανατροπή, χάνοντας την ευστάθεια του, όμως η πορεία των καμπυλών είχε διαφορές, ανάλογα με το υπό εξέταση μέγεθος, τη διάταξη και την κατάσταση φόρτωσης.



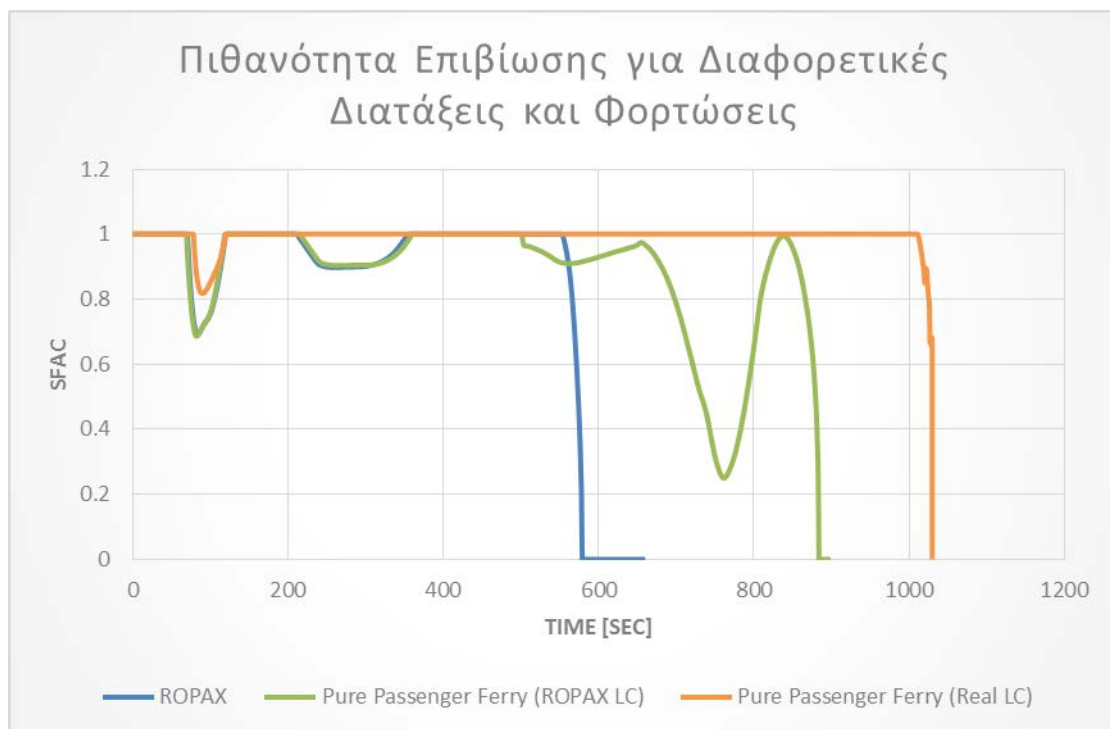
Διάγραμμα 9.7-1: Μεταβολή γωνία κλίσης για τις διαφορετικές διατάξεις και φορτώσεις (Loading Conditions-LC)



Διάγραμμα 9.7-2: Πρόοδος κατάκλυσης για τις διαφορετικές διατάξεις και φορτώσεις (Loading Conditions-LC)



Διάγραμμα 9.7-3: Μεταβολή πραγματικού μετακεντρικού ύψους για τις διαφορετικές διατάξεις και φορτώσεις (Loading Conditions-LC)



Διάγραμμα 9.7-4: Μεταβολή συντελεστή επιβιωσιμότητας για τις διαφορετικές διατάξεις και φορτώσεις (Loading Conditions-LC)

Αρχικά, οι καμπύλες που αντιστοιχούν στο ROPAX και το αμιγώς Ε/Γ με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX (ROPAX LC), ακολουθούν κοινή πορεία μέχρι τη βύθιση του ανώτερου ρήγματος. Κάτι τέτοιο είναι λογικό, καθώς η κατάσταση φόρτωσης είναι η ίδια και η υδατοστεγής υποδιαίρεση, κάτω από το κατάστρωμα οχημάτων κοινή. Οι αλλαγές παρατηρούνται μετά τη βύθιση του ανώτερου ανοίγματος.

Εξετάζοντας το διάγραμμα αναπτυσσόμενης γωνίας εγκάρσιας κλίσης, φαίνεται ότι συστηματικά στην περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ πλοίου, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, αναπτύσσονται μικρότερες γωνίες κλίσεων, συγκριτικά με τις άλλες δύο περιπτώσεις. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στη βελτιωμένη ευστάθεια, σε όρους αρχικού μετακεντρικού ύψους. Στο ίδιο διάγραμμα, φαίνεται η ύπαρξη μιας απότομης πτώσης της γωνίας για τις περιπτώσεις του αμιγώς Ε/Γ και ανεξάρτητα από τη φόρτωση, ακριβώς τη στιγμή που βυθίζεται το ανώτερο άνοιγμα, ενώ στην περίπτωση του ROPAX, η συμπεριφορά αυτή δεν παρατηρήθηκε. Αυτή η συμπεριφορά μπορεί, λοιπόν, να αποδοθεί στην αλλαγή της διαμερισματοποίησης και σχετίζεται αφενός με τον περιορισμό της ελεύθερης επιφάνειας κι αφετέρου με την προοδευτική κατάκλυση μέσω των θυρών των καμπινών που θίγονται, εν αντιθέσει με το ROPAX, όπου η κατάκλυση του χώρου οχημάτων είναι ελεύθερη.

Η πρόοδος κατάκλυσης, σε όρους ποσότητας νερού κατάκλυσης που εισρέει στο πλοίο, δείχνει ότι για τις περιπτώσεις του αμιγώς επιβατηγού πλοίου η ποσότητα που οδηγεί το πλοίο στην ανατροπή είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ποσότητα στο ROPAX. Αυτό είναι δείγμα βελτιωμένης ευστάθειας, για την περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ. Η ποσότητα που οδηγεί σε ανατροπή το πλοίο εξαρτάται από τη διαμερισματοποίηση, καθώς η ποσότητα είναι ίδια για τις δύο φορτώσεις του Pure Passenger Ferry, αλλά η βελτιωμένη αρχική ευστάθεια, καθυστερεί το χρόνο μέχρι την επίτευξη αυτής της ποσότητας.

Στη συνέχεια, δίνεται το διάγραμμα μεταβολής του πραγματικού μετακεντρικού ύψους. Σε αυτό το διάγραμμα, αποτυπώνεται επίσης το «γόνατο» στις καμπύλες του Pure Passenger Ferry, τη στιγμή της βύθισης του ανώτερου ρήγματος και μάλιστα πιο έντονα. Επίσης, όπως φαίνεται, οι καμπύλες για το αμιγώς Ε/Γ, είναι ίδιες μετά τη βύθιση του ανώτερου ρήγματος, απλά για την πραγματική φόρτωση η καμπύλη παρουσιάζει μια χρονική καθυστέρηση. Επίσης, αποτυπώνεται ότι η πιο ευσταθής κατάσταση φόρτωσης, περιορίζει την πτώση του GM κατά την αρχική μεταβατική κατάσταση, αλλά και κατά την ταυτόχρονη κατάκλυση τριών διαμερισμάτων, στη φάση της προοδευτικής κατάκλυσης. Τέλος, στην περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ, με την πραγματική φόρτωση, φαίνεται ότι οι διακριτές περιοχές του GM, είναι πιο εκτεταμένες, συγκριτικά με την περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ και την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX.

Τέλος, σχετικά με το διάγραμμα του συντελεστή επιβιωσιμότητας, φαίνεται ότι και για το ROPAX και για το αμιγώς Ε/Γ, με την ίδια κατάσταση φόρτωσης, η βύθιση του συντελεστή στην αρχική μεταβατική κατάκλυση είναι μεγαλύτερη, συγκριτικά με την περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης. Επίσης, οι δύο αυτές περιπτώσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερη επιρρέπεια στην ταυτόχρονη κατάκλυση των τριών διαμερισμάτων, στη φάση της προοδευτικής κατάκλυσης, εν αντιθέσει με την περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, όπου δεν παρουσιάζεται πτώση του συντελεστή. Παρατηρήθηκε, επίσης, ομοιότητα μεταξύ της πορείας βύθισης της καμπύλης

του s προ της ανατροπής, για την περίπτωση του ROPAX και του αμιγώς επιβατηγού, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, ενώ στην περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, η πορεία του συντελεστή μεταβάλλεται. Συγκεκριμένα, ενώ το πλοίο ήδη αρχίζει να παίρνει κλίση, αυτό συμβαίνει με αργότερο ρυθμό, συγκριτικά με το ROPAX. Έτσι κάποια στιγμή, βυθίζεται η κατώτερη ακμή κάποιου εξωτερικού ανοίγματος, κατακλύζεται κάποιος χώρος χαμηλά με νερό, με αποτέλεσμα ο δείκτης να επανέλθει σε υψηλότερη τιμή. Ωστόσο, η πορεία της ανατροπής είναι αναπόφευκτη, οπότε τελικά πάλι ο δείκτης s μηδενίζεται.

9.7.3 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, λοιπόν, πράγματι επιβεβαιώθηκε ότι η βελτιωμένη αρχική ευστάθεια οδηγεί σε καθυστέρηση του χρόνου μέχρι την ανατροπή του πλοίου. Αυτή ίσως να ήταν μια πληροφορία, η οποία σε κάποια από τα παραδείγματα προσομοιώσεων, δεν ήταν τόσο προφανής, καθώς το αυξημένο βύθισμα, με τα αλλαγμένα υδροστατικά χαρακτηριστικά σε κάποιες περιπτώσεις επισκίασε τη θετική συμβολή του αυξημένου αρχικού μετακεντρικού ύψους.

Σε ό,τι αφορά το χρόνο μέχρι τον πρώτο μηδενισμό του δείκτη επιβιωσιμότητας s και του χρόνου μέχρι την ανατροπή, ο επόμενος πίνακας δείχνει τους παραπάνω χρόνους για την κάθε περίπτωση. Οι συγκεκριμένοι χρόνοι, ονομάζονται στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης, χρόνοι ορόσημων της προσομοίωσης.

Ανάλυση Χρόνου Μέχρι την Επίτευξη Ορόσημων Προσομοίωσης			
Χρόνος [sec] έως:	ROPAX	Pure Passenger Ferry (ROPAX LC)	Pure Passenger Ferry (Real LC)
Πρώτο μηδενισμό του δείκτη s ($t_{s=0}$)	579	884	1029.9
Ανατροπή (t_{CAP})	660.1	898.7	1029.9

Πίνακας 9.7-1: Ανάλυση χρόνου μέχρι την επίτευξη ορόσημων κατά την προσομοίωση, ανά διάταξη και φόρτωση

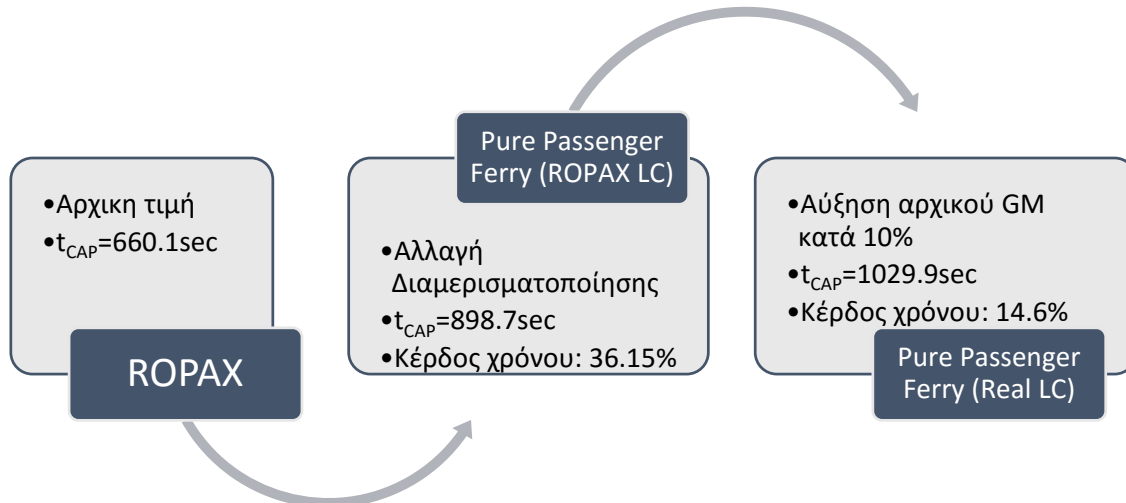
Χρόνος [sec] έως:	Κέρδος από διαμερισματοποίηση	Κέρδος από αλλαγή GM	Κέρδος από μεταβολή διαμερισματοποίησης + αλλαγή GM
	$(t_{PPF-ROPAXLC} - t_{ROPAX}) / t_{ROPAX}$	$(t_{PPF-ROPAXLC} - t_{PPF-REALLC}) / t_{PPF-ROPAXLC}$	$(t_{PPF-REALLC} - t_{ROPAX}) / t_{ROPAX}$
Πρώτο μηδενισμό του δείκτη s ($t_{s=0}$)	52.68%	16.50%	77.88%
Ανατροπή (t_{CAP})	36.15%	14.60%	56.02%

Πίνακας 9.7-2: Ανάλυση ποσοστιαίας μεταβολής χρόνου μέχρι την επίτευξη ορόσημων κατά την προσομοίωση, ανά διάταξη και φόρτωση

Όπως δείχνει ο πίνακας, ο χρόνος μέχρι το σημείο πρώτου μηδενισμού του s και της ανατροπής, αυξάνεται κατά 52.68% και 36.15%, αντίστοιχα, εξαιτίας του κατακερματισμού του χώρου οχημάτων, δηλαδή της αλλαγής στη διαμερισματοποίηση. Στη συνέχεια, 16.50% και 14.60%, επαύξηση των χρόνων ως τον πρώτο μηδενισμό του s και την ανατροπή, επιτυγχάνεται λόγω της αύξησης του GM. Συνολικά, η μεταβολή του χρόνου μέχρι την ανατροπή, από τη διάταξη του ROPAX στη διάταξη του αμιγώς επιβατηγού πλοίου, αυξήθηκε

κατά 56.02%, δηλαδή ο χρόνος ήταν περίπου μιάμιση φορά μεγαλύτερος για την περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ, με τις πραγματικές καταστάσεις φόρτωσης, συγκριτικά με το ROPAX.

Στο επόμενο σχήμα δίνεται πιο απλοποιημένα η παραπάνω μεταβολή για του χρόνου, μέχρι την ανατροπή.



Σχήμα 9.7-1: Στάδια μεταβολής του χρόνου μέχρι την ανατροπή

Αποτυπώθηκε συνεπώς, η ευρεία θετική επίδραση που έχει η αλλαγή της διαμερισματοποίησης, αλλά και της αρχικής ευστάθειας, σε όρους GM, στην επίδραση του χρόνου μέχρι την ανατροπή του πλοίου. Το κέρδος σε χρόνο είναι αρκετά σημαντικό, ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι η αλλαγή της υποδιαίρεσης είναι σαφώς εκτενής και το πλοίο έχει αλλάξει εντελώς χαρακτήρα μετά από την τροποποίηση. Ωστόσο και πιο απλές λύσεις, με κουβούκλια, casings στο χώρο των οχημάτων, θα μπορούσαν να επιδράσουν θετικά και να επαυξήσουν το χρόνο μέχρι την ανατροπή.

Επιπρόσθετα, αυτό που δείχνουν τα αποτελέσματα είναι το εξής. Στο συγκεκριμένο σενάριο βλάβης, και για τις δύο διατάξεις και για τις δύο καταστάσεις φόρτωσης, το πλοίο τελικά ανατράπηκε και ο δείκτης επιβιωσιμότητας ήταν μηδενικός. Αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο σενάριο βλάβης, αν προβλεπόταν στους κανονισμούς και αξιολογούνταν, υπό το πρίσμα των κανονισμών, τότε και το ROPAX και το αμιγώς Ε/Γ, είναι ισοδύναμα ως προς την ασφάλεια, επειδή ο δείκτης επιβιωσιμότητας μηδενίζεται και στα δύο. Εξετάζοντας όμως και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και παρατηρώντας ότι ο χρόνος μέχρι την ανατροπή διπλασιάζεται, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι δύο διατάξεις δεν είναι ισοδύναμες ως προς την ασφάλεια. Αυτό το γεγονός, αποτελεί ασυμβίβαστο μεταξύ των κανονισμών και της δυναμικής της κατάκλυσης, όπου θα μπορούσε ενδεχομένως για την περίπτωση του αμιγώς επιβατηγού πλοίου, ο χρόνος μέχρι την ανατροπή να είναι σημαντικά μεγαλύτερος του μέγιστου προβλεπόμενου χρόνου εγκατάλειψης του πλοίου, οπότε οι επιβαίνοντες θα μπορούσαν να διασωθούν. Αντίθετα, στο ίδιο σενάριο βλάβης, η ανατροπή θα μπορούσε να συμβεί νωρίτερα από το χρόνο εγκατάλειψης, για το ROPAX, με αποτέλεσμα να υπάρξουν ανθρώπινες απώλειες. Σε μία τέτοια περίπτωση, για τον κανονισμό, τα δύο πλοία δεν επιβιώνουν, άρα χαρακτηρίζονται από τον ίδιο δείκτη επιβιωσιμότητας $s=0$, ενώ στην πραγματικότητα οι ανθρώπινες απώλειες μπορεί να μην είναι αντίστοιχες.

9.8 Τροποποιημένες Διατάξεις

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται κάποιες τροποποιημένες διατάξεις για την περίπτωση του αμιγώς επιβατηγού πλοίου, προκειμένου να εξεταστεί η επίδοση κάποιων τέτοιων λύσεων. Βασικό κριτήριο για την αξιολόγηση αυτών των σχεδιαστικών μέτρων είναι ο χρόνος μέχρι την ανατροπή και φυσικά, αν τελικά το πλοίο δεν ανατρέπεται η σχεδιαστική λύση είναι αποτελεσματικότερη μιας άλλης που οδηγεί το πλοίο σε ανατροπή, αλλά αργότερα.

Οι φορτώσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η κατάσταση φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος του ROPAX και η κατάσταση φόρτωσης ενδιάμεσου βυθίσματος του αμιγώς Ε/Γ, η χρησιμοποιούμενη διάταξη ήταν αυτή που αντιστοιχεί στο αμιγώς Ε/Γ και το σενάριο βλάβης, ολοκληρώνεται με τον καθορισμό ως ανοίγματα των ρηγμάτων του σεναρίου *Express Samina*.

Σαν εναλλακτικές επιλογές που εξετάστηκαν σε αυτήν την περίπτωση είναι οι εξής:

- 1) Η ύπαρξη του ίδιου ανοίγματος το οποίο προκαλούσε *up-flooding*, στο σενάριο *Grounding*, όμως σε αυτήν την περίπτωση λειτουργεί ως μηχανισμός *down-flooding*.
- 2) Η χρήση άθικτων χώρων, περί το κέντρο του πλοίου, οι οποίοι δε θίγονται από το ρήγμα, δεν κατακλύζονται και συμμετέχουν ευνοϊκά στην ευστάθεια, παρέχοντας εφεδρική άντωση.

Στην πραγματικότητα, το πρώτο σενάριο είναι μια μελέτη της επίδρασης του ανοίγματος που οδηγεί τα νερά κατάκλυσης από το πρώτο κατάστρωμα επιβατών, στο χώρο της στεγανής υποδιαίρεσης. Ουσιαστικά, ως διαδικασία αντιστοιχεί στους μηχανισμούς *down-flooding*, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στα επιβατηγά πλοία, με στόχο το νερό κατάκλυσης να μπορεί να συσσωρευθεί κατά το δυνατόν χαμηλότερα, έτσι ώστε να μειωθεί η παράμετρος του KG και το πλοίο να διατηρήσει την ευστάθειά του.

Η δεύτερη εναλλακτική, αποτελεί σχεδιαστική επιλογή, όχι στην έκταση που εξετάζεται σε αυτήν την περίπτωση, όμως η διαμόρφωση χώρων σε περιοχές του πλοίου, που παρουσιάζουν αδυναμία και χαμηλό συντελεστή σ , με σκοπό να παραμείνουν άθικτοι, να υποδιαιρέσουν μεγαλύτερες περιοχές ή να πληρωθούν με κάποιο υλικό χαμηλής πυκνότητας και μικρής διαχωρητότητας, ώστε να παρέχουν εφεδρική άντωση, είναι κάποιες σχεδιαστικές λύσεις που εξετάζονται στα ναυπηγεία.

Παρακάτω δίνονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων με τις εναλλακτικές διατάξεις, για τις δύο καταστάσεις φόρτωσης του αμιγώς Ε/Γ και συγκρίνονται οι χρόνοι- ορόσημα της προσομοίωσης για κάθε περίπτωση εναλλακτικής σχεδίασης, με την αρχική περίπτωση προσομοίωσης του *Express Samina*.

9.8.1 Διάταξη *down-flooding*

9.8.1.1 Γενικά

Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει ανοικτή σύνδεση, μέσω ενός ανοίγματος που συνδέει το πρώτο κατάστρωμα των επιβατών, με ένα χώρο κάτωθεν του καταστρώματος. Με αυτόν τον τρόπο το νερό κατάκλυσης, που εισέρχεται στο κατάστρωμα μέσω του ανώτερου ρήγματος του σεναρίου *Express Samina*, έχει τη δυνατότητα να κατέβει στους κατώτερους χώρους, μειώνοντας έτσι την καθ' ύψος θέση του κέντρου βάρους του πλοίου. Η σύνδεση των χώρων δίνεται παρακάτω.

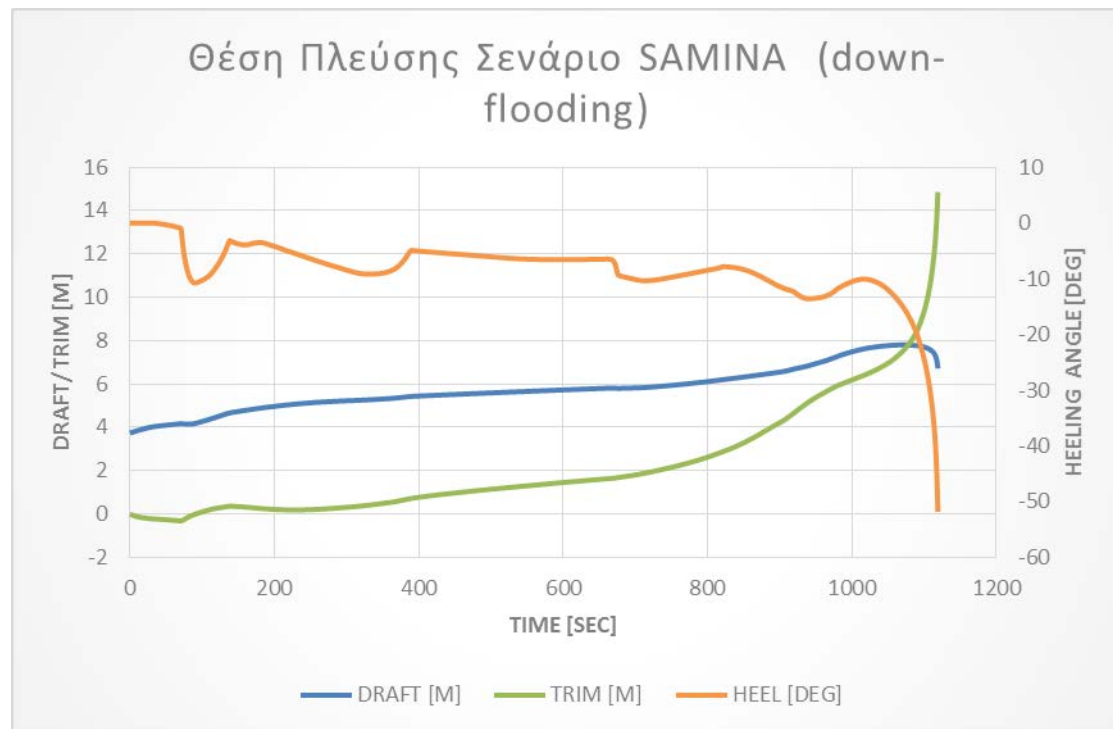
Πίνακας Επιπλέον Συνδέσεων Χώρων Αμιγώς Ε/Γ Εναλλακτικό Σενάριο EXPRESS SAMINA			
CONN	COMP	OPEN	OPENING
ROOMF6.C	CORRIDOR1.2	Y	UPFLOOD
CORRIDOR1.2	ROOMF6.C	Y	UPFLOOD

Πίνακας 9.8-1: Πίνακας επιπλέον σύνδεσης χώρων για το Pure Passenger Ferry για την εναλλακτική περίπτωση, down-flooding, στο σενάριο Express Samina

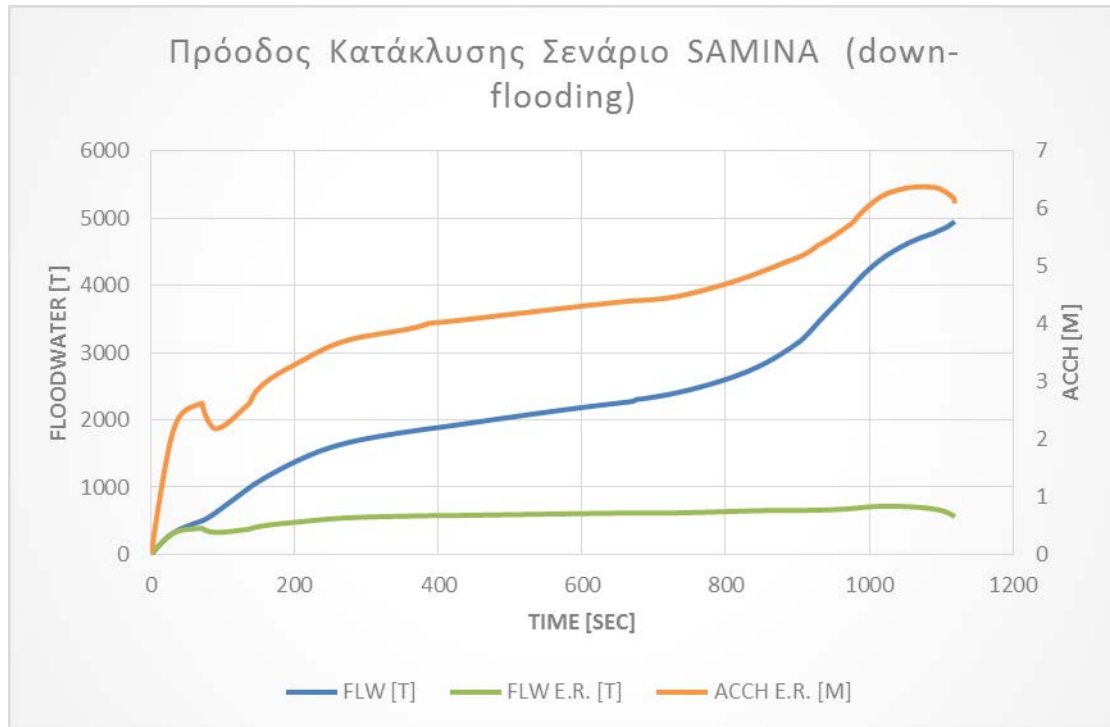
Ουσιαστικά, όλες οι υπόλοιπες συνδέσεις παραμένουν ίδιες με την περίπτωση του σεναρίου Express Samina που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 9.6.1. Συνεπώς και πάλι το πλοίο έχει ανοικτές όλες τις θύρες, εκτός από την πιο πρωραία, προκειμένου να προσομοιωθεί η πραγματική κατάσταση πλεύσης του πλοίου Express Samina, στην περίπτωση του ναυαγίου.

9.8.1.2 Αποτελέσματα (κατάσταση φόρτωσης ROPAX)

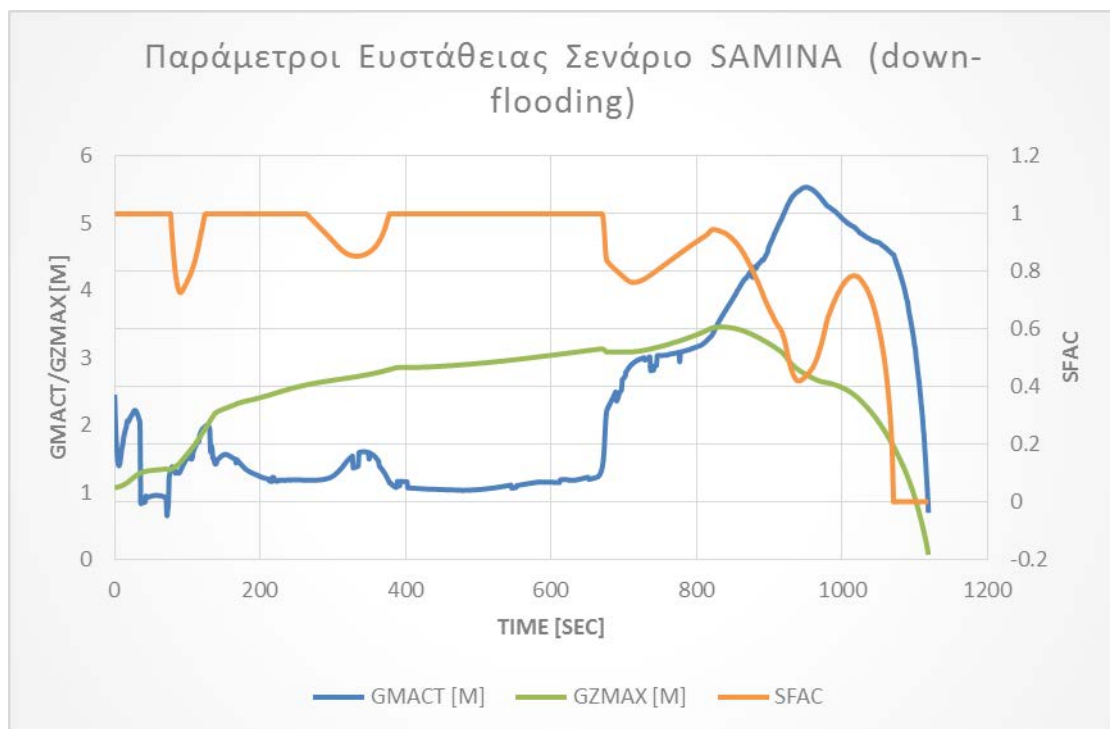
Σε αυτήν την παράγραφο δίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης κατάκλισης για την περίπτωση χρήσης της κατάστασης φόρτωσης του πλοίου ROPAX, στο αμιγώς επιβατηγό πλοίο, με τη διάταξη που επιτρέπει το down-flooding, στο σενάριο βλάβης του Express Samina. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στα παρακάτω διαγράμματα.



Διάγραμμα 9.8-1: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη που επιτρέπει το down-flooding



Διάγραμμα 9.8-2: Πρόοδος κατάκλυσης για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη που επιτρέπει το down-flooding



Διάγραμμα 9.8-3: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη που επιτρέπει το down-flooding

Όπως δείχνουν τα αποτελέσματα, το πλοίο τελικά ανατρέπεται και σε αυτή την περίπτωση. Ο χρόνος μέχρι τη βύθιση είναι ελαφρώς επαυξημένος, συγκριτικά με την αντίστοιχη περίπτωση, όπου δεν επιτρέπεται το *down-flooding* και εξετάστηκε νωρίτερα.

Η κυριότερη διαφορά, εντοπίζεται στην πορεία του δείκτη επιβιωσιμότητας s , όπου για αυτήν την περίπτωση ο δείκτης παραμένει υψηλός και ίσος με 1, για μεγαλύτερο διάστημα, περνώντας από μια φάση εναλλαγής πτώσεων και εγέρσεων, πριν τον τελικό μηδενισμό. Αυτή η συμπεριφορά είναι αναμενόμενη, καθώς αρχικά, αμέσως μετά τη βύθιση του ανώτερου ρήγματος, ξεκινάει η πτώση του δείκτη s . Όμως, επειδή υπάρχει η δυνατότητα το νερό να κατέβει στο χαμηλότερο διαμέρισμα, προκαλείται επάνοδος του δείκτη, καθώς η επαγόμενη μείωση του KG της φόρτωσης οδηγεί σε βελτίωση της ευστάθειας. Ταυτόχρονα και καθώς υπάρχει χρόνος και το πλοίο κλίνει ομαλότερα, προκαλείται κατάκλυση ενός ακόμη κατώτερου χώρου, μέσω των εξωτερικών ανοιγμάτων του πλοίου. Αυτό είναι ο λόγος για τη δεύτερη επαναφορά του δείκτη. Κάποια στιγμή όμως, δεν είναι δυνατή η υποστήριξη του εισρέοντος νερού και το πλοίο οδηγείται στην ανατροπή. Η αντίστοιχη συμπεριφορά δεν παρατηρήθηκε για την περίπτωση, χωρίς το *down-flooding*, όπου μετά τη βύθιση του ανώτερου ρήγματος ο συντελεστής μηδενίζεται ραγδαία.

Τα φαινόμενα που διέπουν την πορεία κατάκλυσης, έχουν αναλυθεί λεπτομερώς στις προηγούμενες παραγράφους. Η εστίαση γίνεται εδώ στο κέρδος χρόνου, λόγω της λειτουργίας του *down-flooding* ανοίγματος. Το κέρδος στους χρόνους επίτευξης ορόσημων της προσομοίωσης σε αυτήν την περίπτωση φαίνεται παρακάτω:

Ανάλυση Χρόνου Μέχρι την Επίτευξη Ορόσημων Προσομοίωσης για την Εναλλακτική Διάταξη με το Down- Flooding			
Χρόνος [sec] μέχρι:	Αρχική τιμή	Down-flooding alteration	Ποσοστιαία αύξηση
Πρώτο μηδενισμό του s	805	1071	33.04%
Ανατροπή	1064.8	1120	5.18%

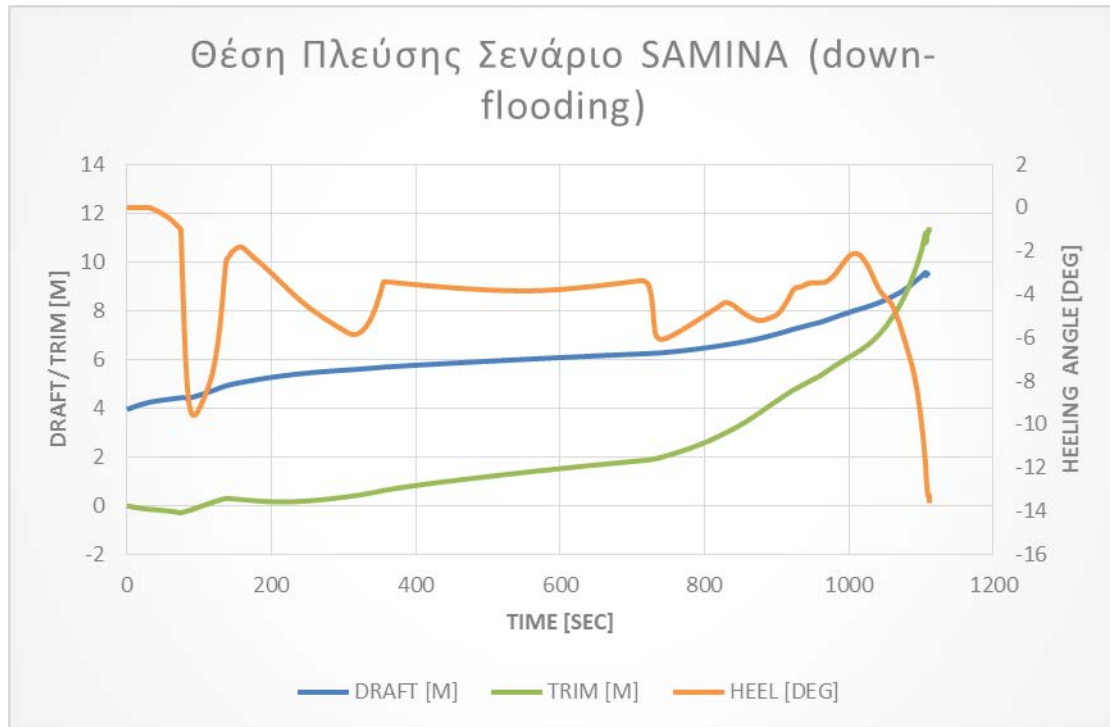
Πίνακας 9.8-2: Ανάλυση κέρδους χρόνου με τη χρήση της διάταξης που επιτρέπει το *down-flooding*

Όπως φαίνεται, το χρονικό κέρδος μέχρι την ανατροπή είναι περίπου ένα λεπτό και αντιστοιχεί σε περίπου 5% ποσοστιαία αύξηση του χρόνου. Για την περίπτωση του πρώτου μηδενισμού του συντελεστή s , η αύξηση είναι περίπου 33% κι αυτό διότι όπως αναφέρθηκε δεν γίνεται ταχεία βύθιση του συντελεστή s , όπως στην περίπτωση χωρίς το *down-flooding*. Συνεπώς, η συνεισφορά της διαδικασίας *down-flooding* είναι η καθυστέρηση του χρόνου μέχρι το μηδενισμό του συντελεστή s , οπότε και η αναπτυσσόμενη γωνία κλίσης είναι μειωμένη για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, συγκριτικά με την περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ, χωρίς τη διάταξη για το *down-flooding*.

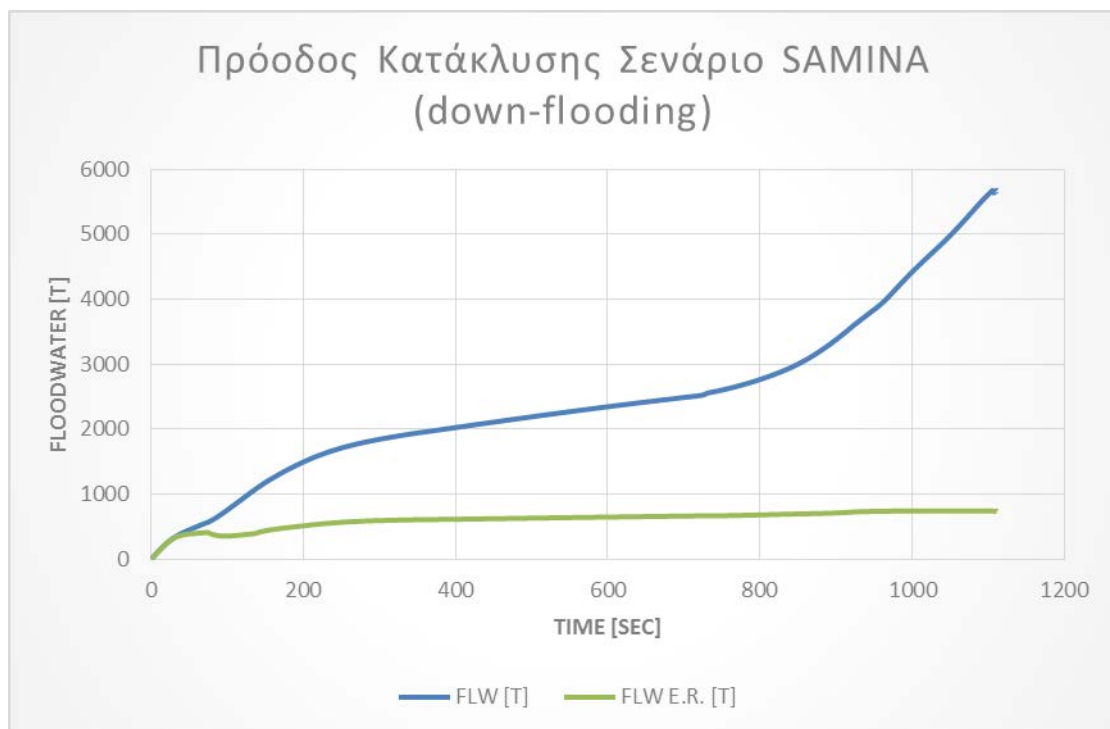
9.8.1.3 Αποτελέσματα (πραγματική κατάσταση φόρτωσης)

Σε αυτήν την περίπτωση, επαναλαμβάνεται το παραπάνω πείραμα προσομοίωσης, αυτή τη φορά για την πραγματική κατάσταση φόρτωσης του αμιγώς Ε/Γ. Στόχος και πάλι είναι να αποτυπωθεί, αν τελικά το πλοίο βελτιώθηκε, από άποψη ευστάθειας, λόγω της ύπαρξης κάποιου ανοίγματος που επιτρέπει το *down-flooding*.

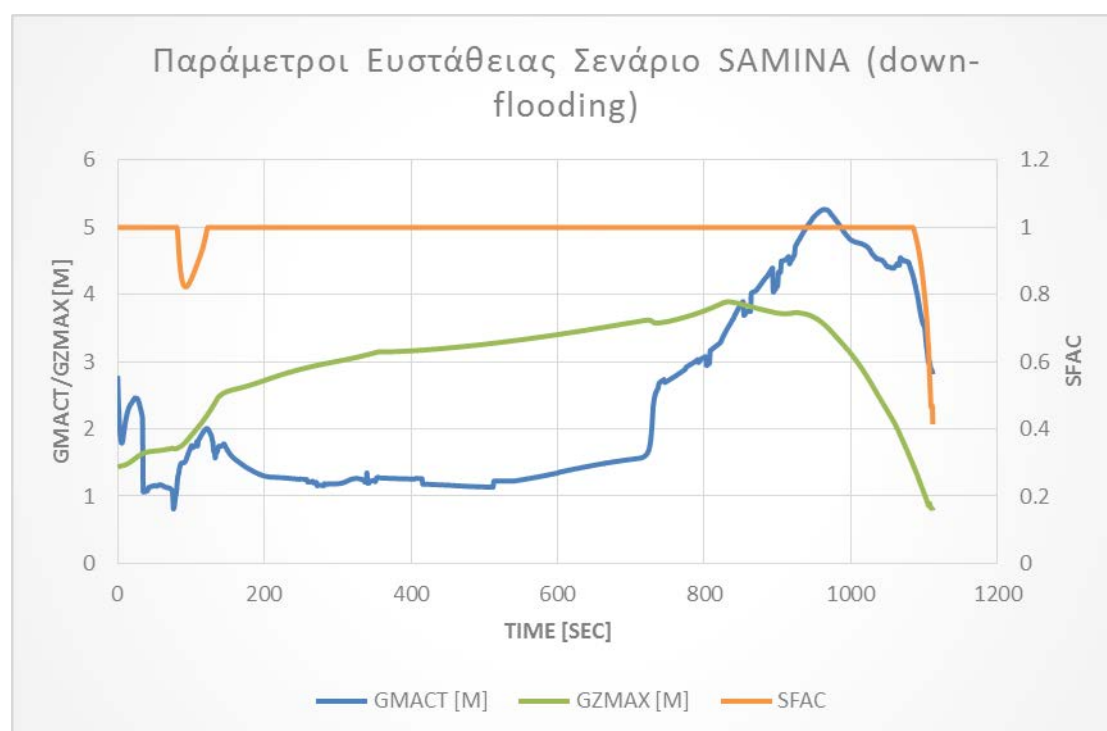
Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν



Διάγραμμα 9.8-4: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη που επιτρέπει το down-flooding



Διάγραμμα 9.8-5: Πρόοδος κατάκλυσης για το Pure Passenger Ferry με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη που επιτρέπει το down-flooding



Διάγραμμα 9.8-6: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη που επιτρέπει το down-flooding

Συγκρίνοντας τα παραπάνω διαγράμματα με τα αντίστοιχα της παραγράφου 9.6.1.4, παρατηρείται ότι και σε αυτήν την περίπτωση το πλοίο οδηγήθηκε σε μία θέση ισορροπίας. Σε αυτήν την περίπτωση η τελική τιμή του δείκτη s είναι 0.4, οπότε είναι υψηλότερη της αντίστοιχης τιμής 0.16, που επιτεύχθηκε για την περίπτωση χωρίς το *down-flooding*. Συνεπώς, από άποψη ευστάθειας, η ανώτερη τιμή του δείκτη s υποδεικνύει πιο ευσταθή θέση ισορροπίας και αυτή είναι η κυριότερη συμβολή της διαδικασίας *down-flooding*.

Συνεπώς, σε αυτήν την περίπτωση, το πλοίο διατήρησε την ευστάθεια του, δεν ανατράπηκε, όπως και στην περίπτωση χωρίς το *down-flooding*, όμως η τελική θέση ισορροπίας ήταν πιο ασφαλής, ως προς την ευστάθεια, όπως υποδηλώνει η ανώτερη τιμή του δείκτη s .

9.8.1.4 Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται λοιπόν, η διάταξη που επιτρέπει το *down-flooding*, δεν ήταν ιδιαίτερα αποδοτική, καθώς δε μετέβαλλε σημαντικά την τελική έκβαση της προσομοίωσης, με τα χαρακτηριστικά ευστάθειας να παραμένουν σχετικά αναλλοίωτα. Για την περίπτωση της δυσμενέστερης κατάστασης φόρτωσης, δηλαδή την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, με το χαμηλότερο GM, η ανατροπή του πλοίου καθυστέρησε κατά ένα λεπτό.

Αν και η διαδικασία *down-flooding* είναι μια καλή μέθοδος για την βελτίωση της ευστάθειας, σε αυτήν την περίπτωση δεν ήταν αποτελεσματική, καθώς το ρήγμα έχει ήδη οδηγήσει σε κατάκλιση των μεγαλύτερων χώρων, χαμηλότερα από το πρώτο κατάστρωμα επιβατών, οπότε η πλήρωση τους έχει ήδη γίνει, πριν αρχίσει το *down-flooding*. Μολαταύτα, αποδείχθηκε η θετική επίδραση του *down-flooding* στην πορεία κατάκλισης και από τη μικρή αύξηση του χρόνου ως την ανατροπή και από την αυξημένη τιμή του s .

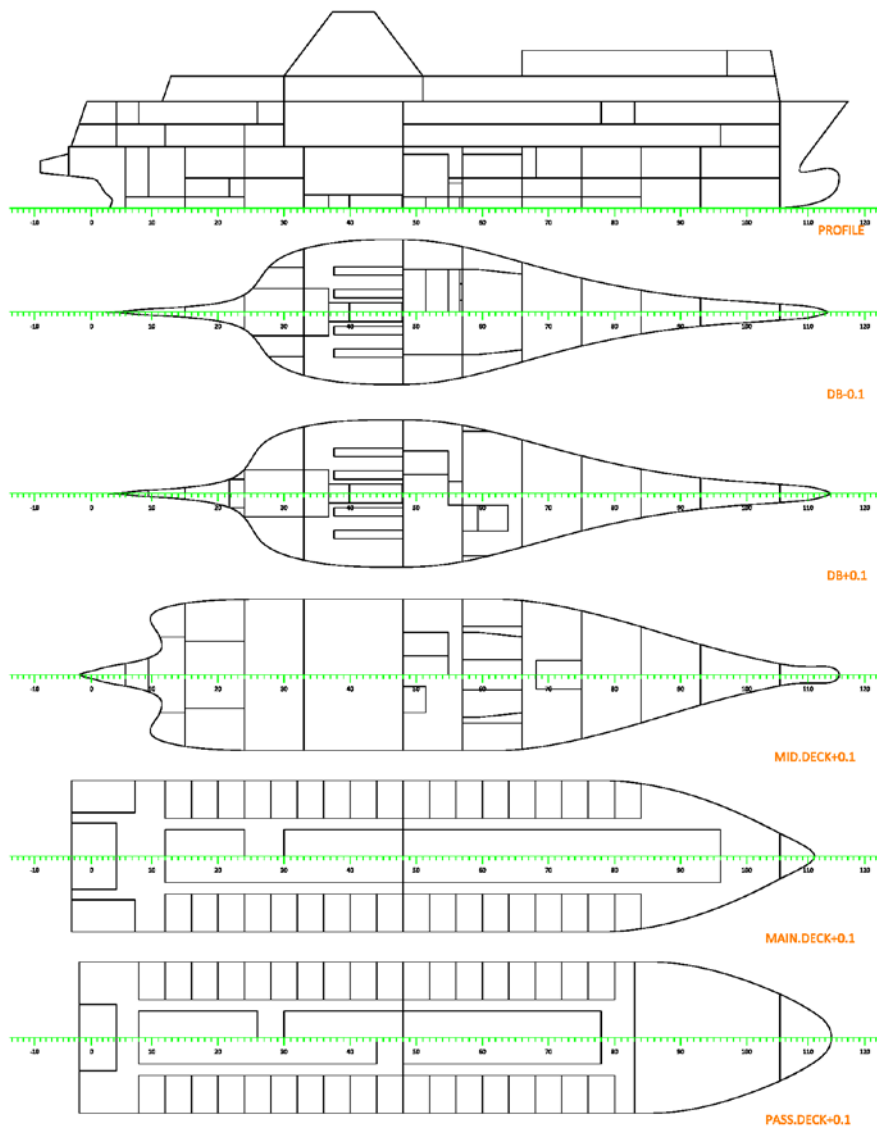
9.8.2 Διάταξη άθικτων χώρων (intact casings)

9.8.2.1 Γενικά

Σε αυτήν την παράγραφο εξετάζεται η επίδραση χρήση άθικτων χώρων (*intact casings*) τα οποία αντικαθιστούν τους χώρους των καμπινών περί το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου. Ο στόχος της τοποθέτησης τους είναι να μελετηθεί η επίδραση χώρων οι οποίοι δεν κατακλύζονται, οπότε μπορούν να παρέχουν εφεδρική άντωση στο πλοίο. Ταυτόχρονα, η ύπαρξη των άθικτων χώρων περιορίζει το εμβαδόν της ισάλου στο κατάστρωμα και κατά συνέπεια και τη ροπή αδράνειας της, άρα και την επίδραση των ελεύθερων επιφανειών.

Αν και η διάταξη θα μπορούσε να μείνει η ίδια και να οριστούν κλειστά τα ανοίγματα, επιλέχθηκε να δημιουργηθούν νέα διαμερίσματα τα οποία αντιστοιχούν στα casings, τα οποία αντικαθιστούν τις εσωτερικές καμπίνες και να καταργηθούν τελείως τα ανοίγματα που αντιστοιχούσαν στις καμπίνες αυτές.

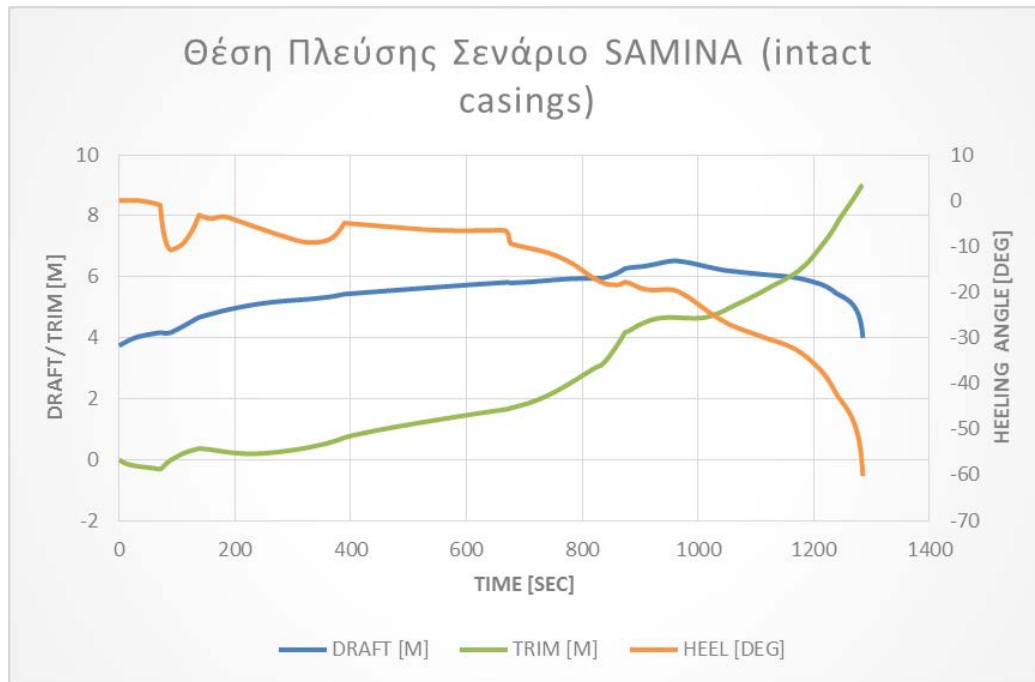
Η διάταξη φαίνεται στο επόμενο σχέδιο.



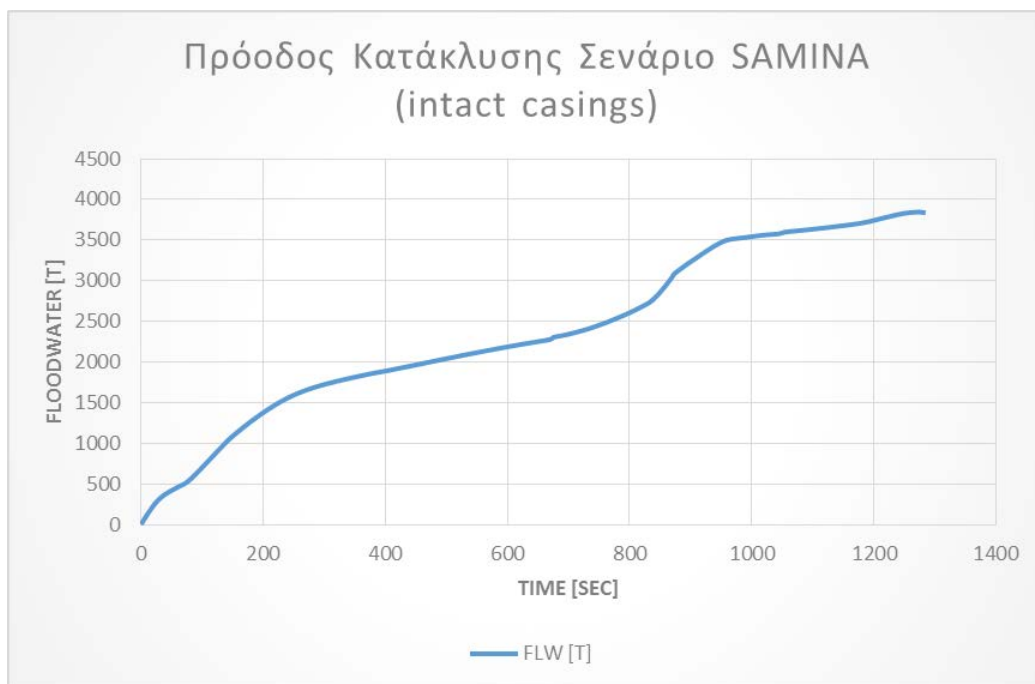
Σχέδιο 9.8-1: Σχέδιο γενικής διάταξης Pure Passenger Ferry με τοποθετημένα casings

9.8.2.2 Αποτελέσματα (κατάσταση φόρτωσης ROPAX)

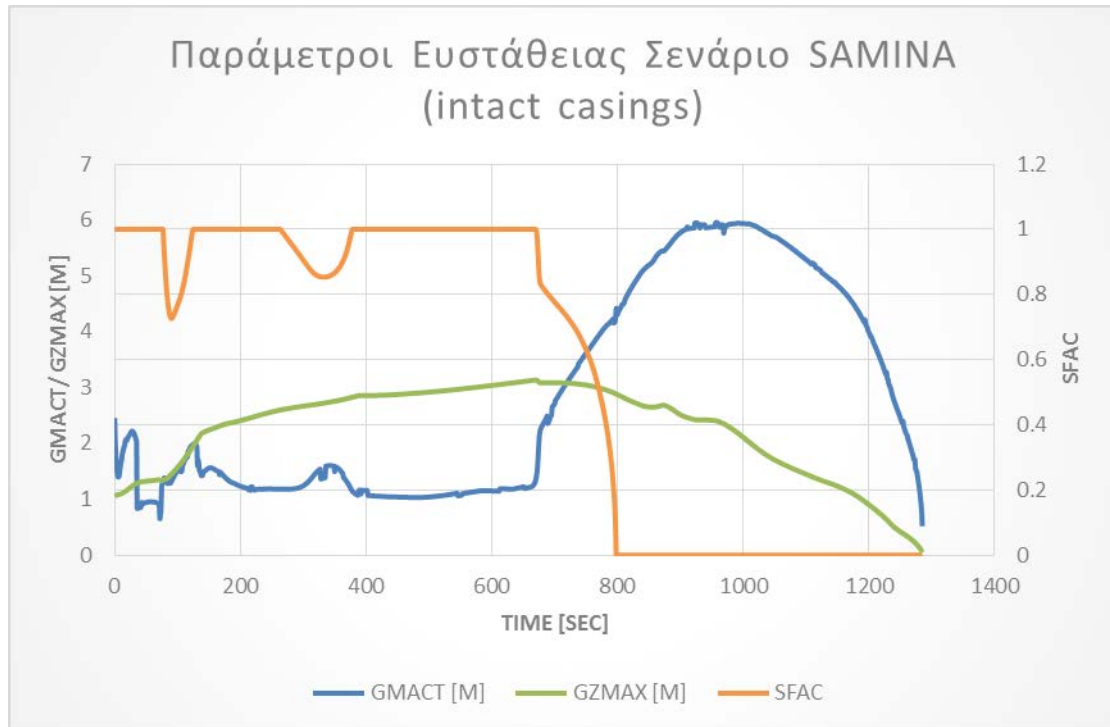
Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης κατάκλισης, για την περίπτωση της εναλλακτικής διάταξης του αμιγώς Ε/Γ, όπου έχουν αντικατασταθεί οι εσωτερικές καμπίνες με άθικτα casings και για την κατάσταση φόρτωσης που αντιστοιχεί στο ενδιάμεσο βύθισμα του ROPAX. Τα αποτελέσματα δίνονται στα ακολουθούντα διαγράμματα.



Διάγραμμα 9.8-7: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη με τα casings



Διάγραμμα 9.8-8: Πρόοδος κατάκλισης για το Pure Passenger Ferry με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη με τα casings



Διάγραμμα 9.8-9: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη με τα casings

Όπως δείχνουν τα αποτελέσματα, το πλοίο και πάλι οδηγείται στην ανατροπή, όμως αυτή τη φορά η καθυστέρηση της ανατροπής αντιστοιχεί σε 220sec, δηλαδή 3.5 λεπτά. Το πλοίο οδηγείται στην ανατροπή σε περίπου 21.5 λεπτά και αν και πάλι ο χρόνος μέχρι την ανατροπή δεν υπερβαίνει το μέγιστο προβλεπόμενο χρόνο εγκατάλειψης του πλοίου, που είναι 30 λεπτά, τα επιπλέον 3.5 λεπτά μπορεί να κριθούν κρίσιμα σε τέτοιες περιπτώσεις.

Ανάλυση Χρόνου Μέχρι την Επίτευξη Ορόσημων Προσομοίωσης για την Εναλλακτική Διάταξη με τα Άθικτα Casings			
Χρόνος [sec] μέχρι:	Αρχική τιμή	Intact Casings Alteration	Ποσοστιαία μεταβολή
Πρώτο μηδενισμό του s	805	798	-0.87%
Ανατροπή	1064.8	1284.9	20.67%

Πίνακας 9.8-3: Ανάλυση κέρδους χρόνου με τη χρήση της διάταξης των άθικτων χώρων (intact casings)

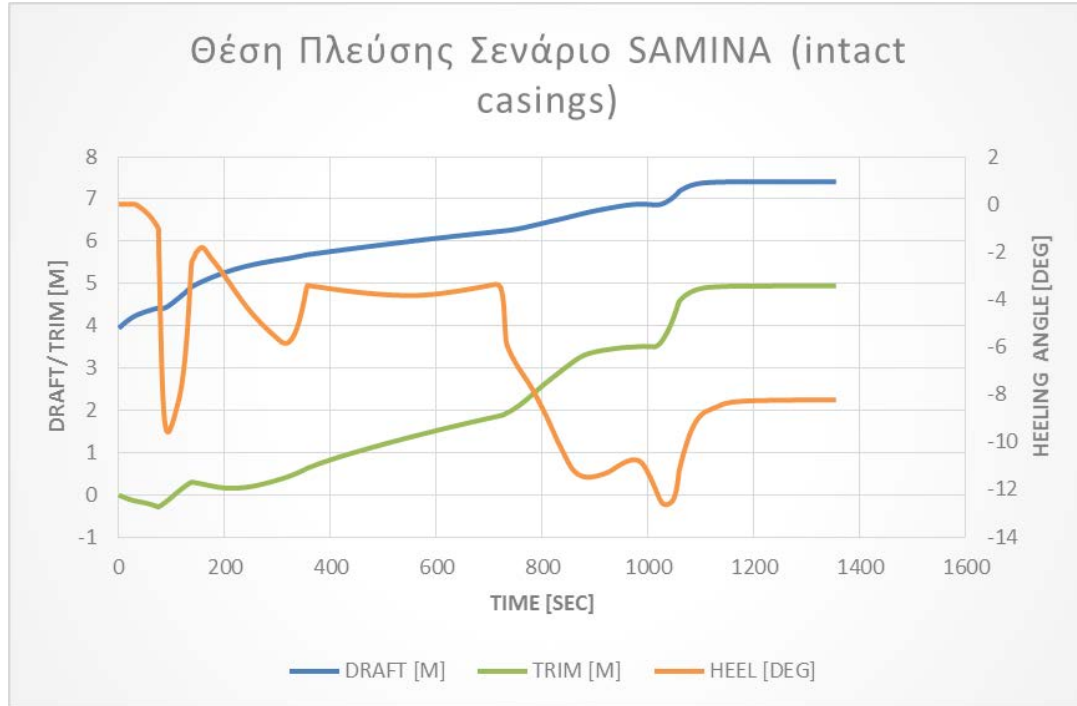
Τα αποτελέσματα δείχνουν μια σημαντική αύξηση της τάξης του 21% στο χρόνο μέχρι την ανατροπή του πλοίου και συνεπώς είναι ένα σαφώς αποτελεσματικό μέτρο για την ενίσχυση της επιβιωσιμότητας, όπως αναμενόταν.

9.8.2.3 Αποτελέσματα (πραγματική κατάσταση φόρτωσης)

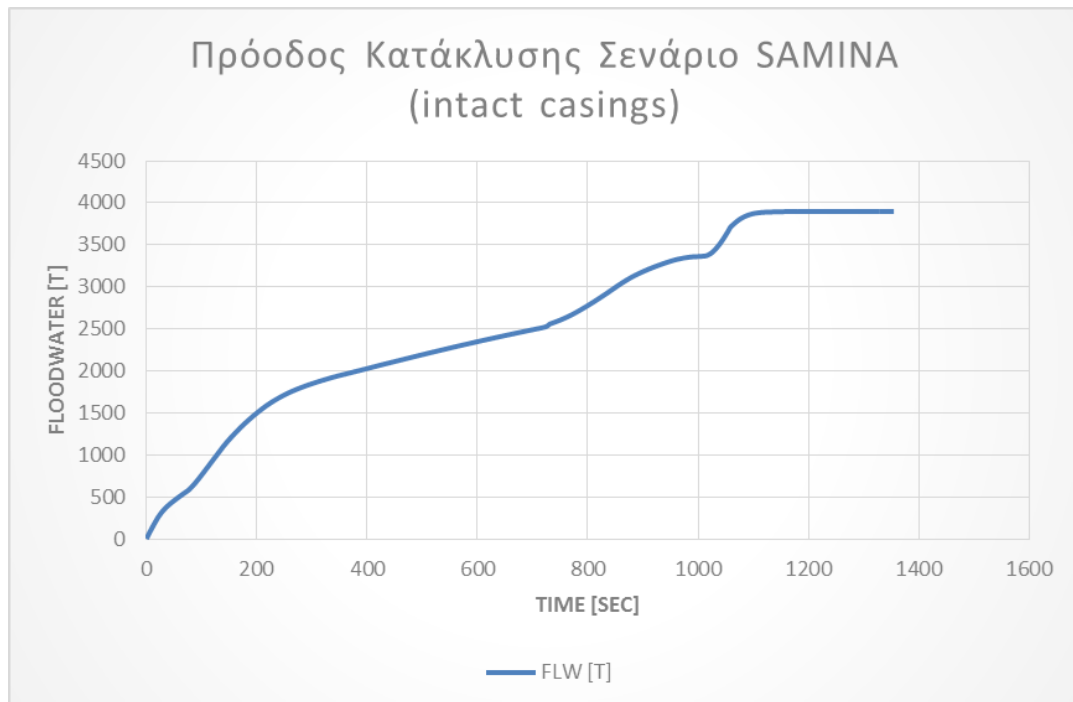
Σε αυτήν την παράγραφο δίνονται τα αποτελέσματα της υλοποίησης της αριθμητικής προσομοίωσης του σεναρίου Express Samina, με τη διάταξη που περιλαμβάνει τους άθικτους χώρους, για την περίπτωση της κανονικής κατάστασης ενδιάμεσου βυθίσματος του αμιγώς Ε/Γ.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δίνονται στα ακόλουθα διαγράμματα.

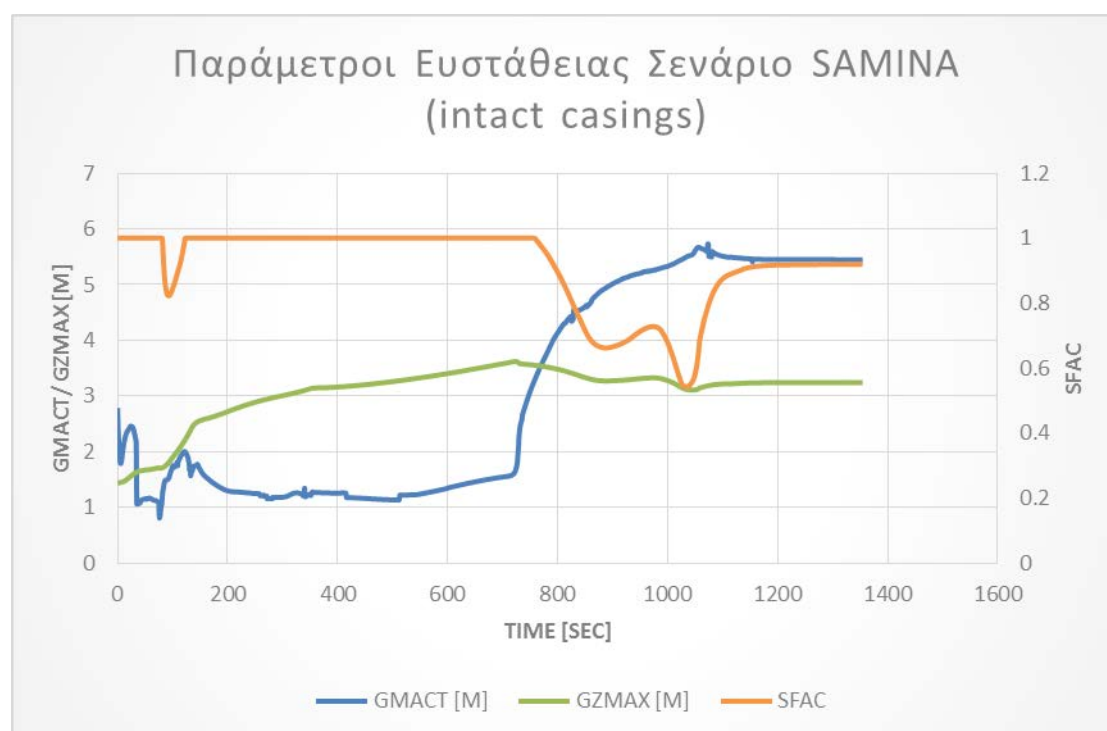
Υπενθυμίζεται ότι στην περίπτωση του σεναρίου Express Samina χωρίς τις εναλλακτικές διατάξεις, αλλά και στην περίπτωση της διάταξης που επιτρέπει το *down-flooding* το πλοίο επιβίωνε με τελική τιμή του συντελεστή επιβιωσιμότητας, χαμηλότερο της μονάδας.



Διάγραμμα 9.8-10: Μεταβολή θέσης πλεύσης για το Pure Passenger Ferry με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη με τα casings



Διάγραμμα 9.8-11: Πρόοδος κατάκλυσης για το Pure Passenger Ferry με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη με τα casings



Διάγραμμα 9.8-12: Μεταβολή παραμέτρων ευστάθειας για το Pure Passenger Ferry με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, στο σενάριο Express Samina και την εναλλακτική διάταξη με τα casings

Όπως δείχνουν τα διαγράμματα, το πλοίο και πάλι επιβιώνει και μάλιστα με συντελεστή επιβιωσιμότητας μεγαλύτερο από 0.9, ενώ και η τελική του θέση ισορροπίας είναι σχετικά ευνοϊκή για τη διαδικασία εγκατάλειψης του πλοίου. Η γωνία εγκάρσιας κλίσης είναι περίπου 8° , εν αντιθέσει, με τις γωνίες $14-15^\circ$ που επιτεύχθηκαν ως τελικές τιμές για την αρχική περίπτωση και την περίπτωση της διάταξης του *down-flooding*.

Συνεπώς τόσο από άποψη θέσης ισορροπίας όσο και από άποψη επιβιωσιμότητας, το πλοίο είναι σε ευνοϊκότερη κατάσταση, ως προς την ευστάθεια της τελικής ισορροπίας. Αν και η τιμή του δείκτη είναι μικρότερη της μονάδας, για να μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα απόλυτα σίγουρης, ευσταθούς θέσης ισορροπίας, η τιμή 0.9 είναι περίπου 5 φορές ανώτερη της αντίστοιχης χωρίς τα intact casings. Άρα είναι σαφώς μια καλή σχεδιαστική λύση, η οποία οδηγεί σε σημαντικά ανώτερο συντελεστή επιβιωσιμότητας.

Τέλος, παρατηρείται ότι ο χρόνος μέχρι την επίτευξη της τελικής ισορροπίας είναι ελαφρώς μεγαλύτερος των αντίστοιχων χρόνων, για την αρχική περίπτωση και για τη διάταξη όπου επιτρέπεται η διαδικασία *down-flooding*.

9.8.2.4 Συμπεράσματα

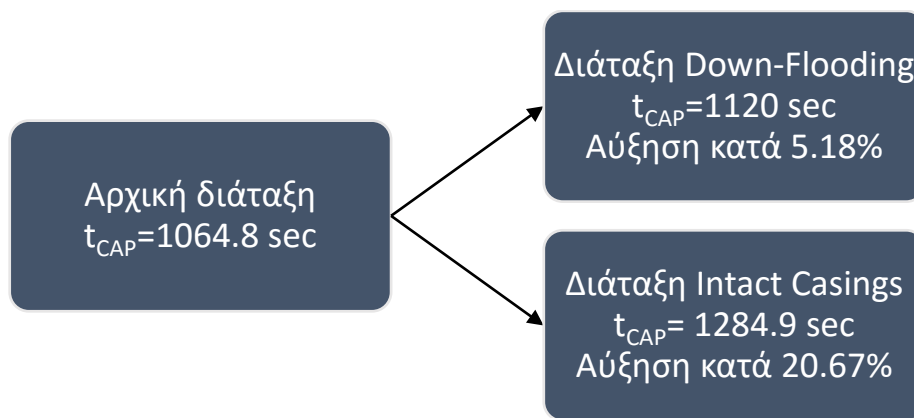
Συμπερασματικά, φαίνεται ότι η τοποθέτηση χώρων οι οποίοι δεν είναι ελεύθεροι προς κατάκλυση, ενισχύει την επιβιωσιμότητα του πλοίου είτε σε όρους χρόνου μέχρι την ανατροπή είτε σε όρους τελικού δείκτη επιβιωσιμότητας.

Σε κάθε περίπτωση, η βελτίωση ήταν αισθητή και δικαιολογεί το λόγο για τον οποίο τέτοιες διατάξεις, ακόμη και μικρότερης έκτασης τίθενται υπό συζήτηση στα ναυπηγεία προκειμένου να βελτιωθεί η επιβιωσιμότητα του πλοίου και να εξευρεθεί μια πιο ασφαλή σχεδίαση.

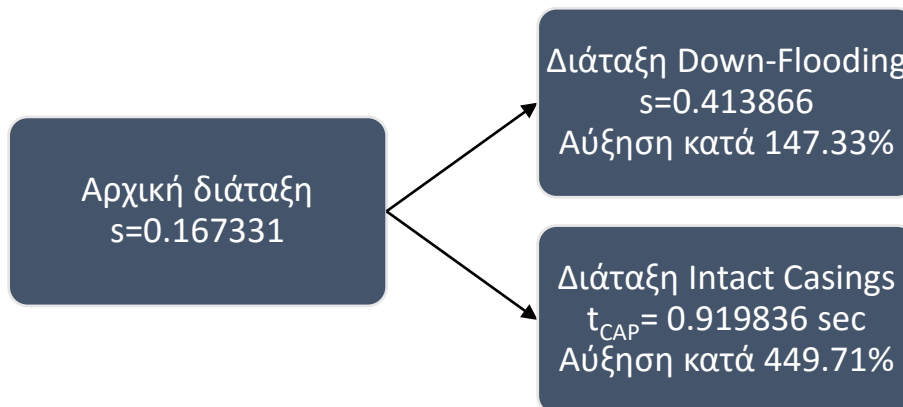
9.8.3 Συμπεράσματα

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων φαίνεται ότι η διάταξη με τη χρήση των άθικτων χώρων (intact casings) είναι σαφώς αποτελεσματική καθώς στις περιπτώσεις όπου τελικά γίνεται η ανατροπή, η παραπάνω διάταξη την καθυστερεί σημαντικά, ενώ στις περιπτώσεις όπου οι αρχικές συνθήκες ευνοούσαν την τελική επίτευξη ισορροπίας, η παραπάνω διάταξη οδήγησε σε θέση ισορροπίας με αρκετά υψηλό δείκτη επιβιωσιμότητας, δηλαδή τιμή μεγαλύτερη του 0.9.

Αντίθετα η περίπτωση της διάταξης όπου επιτρέπεται η διαδικασία κατάκλυσης κατώτερων χώρων (*down-flooding*), τα αποτελέσματα δεν έδειξαν σημαντική βελτίωση. Τα παρακάτω σχέδια είναι διαφωτιστικά και δείχνουν τη βελτίωση της ευστάθειας ανά λύση.



Σχήμα 9.8-1: Μεταβολή χρόνου μέχρι την ανατροπή για τις τροποποιημένες διατάξεις

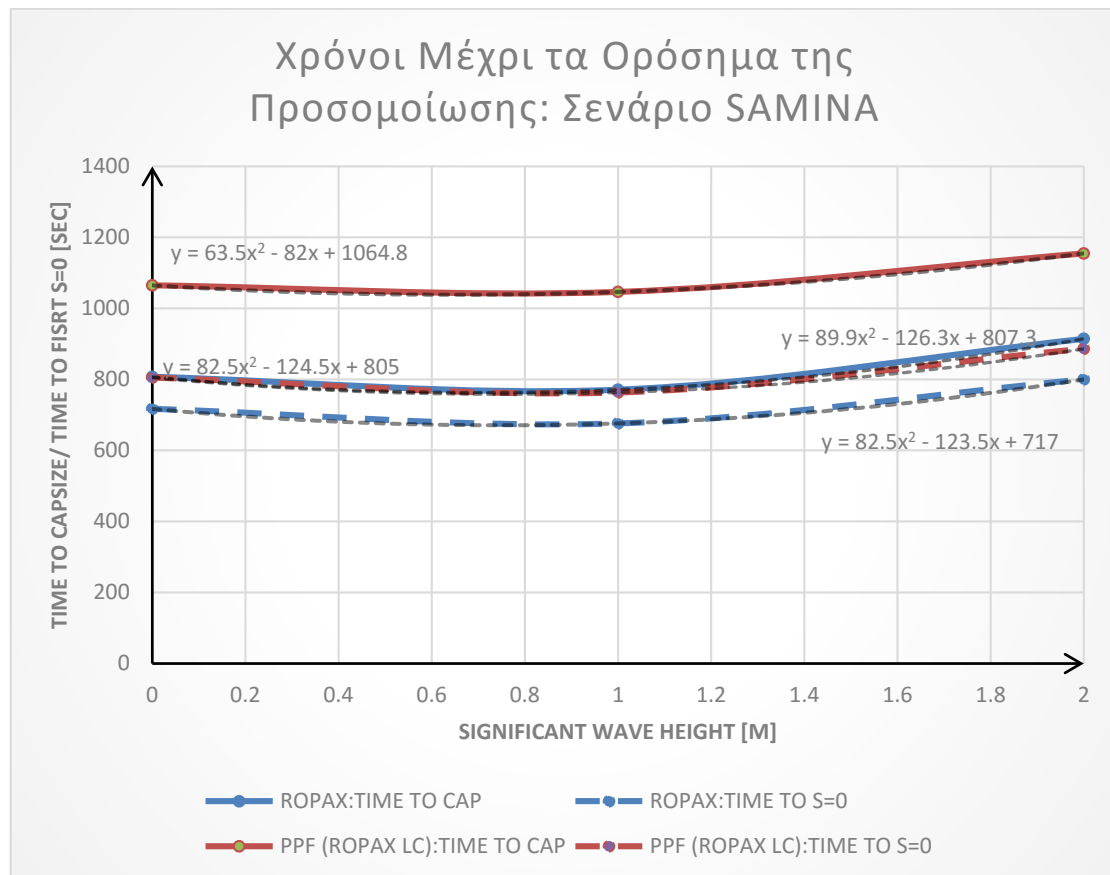


Σχήμα 9.8-2: Μεταβολή τιμής δείκτη επιβιωσιμότητας στην τελική θέση ισορροπίας για τις τροποποιημένες διατάξεις

9.9 Γενικά Αποτελέσματα

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται και κάποια πρόσθετα αποτελέσματα τα οποία είναι γενικότερα και αφορούν στους χρόνους μέχρι την ανατροπή, για τα διάφορα σενάρια βλάβης.

Αρχικά δίνονται σε μορφή διαγραμμάτων οι χρόνοι μέχρι τα ορόσημα της προσομοίωσης, δηλαδή μέχρι τον πρώτο μηδενισμό του δείκτη επιβιωσιμότητας s και μέχρι την τελική ανατροπή του πλοίου, ανά τύπο σεναρίου βλάβης και ως συνάρτηση του σημαντικού ύψους κύματος.



Διάγραμμα 9.9-1: Καμπύλες χρόνων μέχρι τα ορόσημα της προσομοίωσης, ως προς το σημαντικό ύψος κύματος για το σενάριο Express Samina

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει το χρόνο μέχρι την ανατροπή (*time to capsize*) και το χρόνο μέχρι τον πρώτο μηδενισμό του δείκτη s , για την περίπτωση των προσομοιώσεων του σεναρίου *Express Samina*. Οι καμπύλες προέρχονται μόνο από τα αποτελέσματα των περιπτώσεων του ROPAX και του αμιγώς επιβατηγού (*Pure Passenger Ferry-PPF*), με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, καθώς για την περίπτωση του αμιγώς επιβατηγού πλοίου και την πραγματική κατάσταση φόρτωσης του, το πλοίο δεν οδηγήθηκε στην ανατροπή.

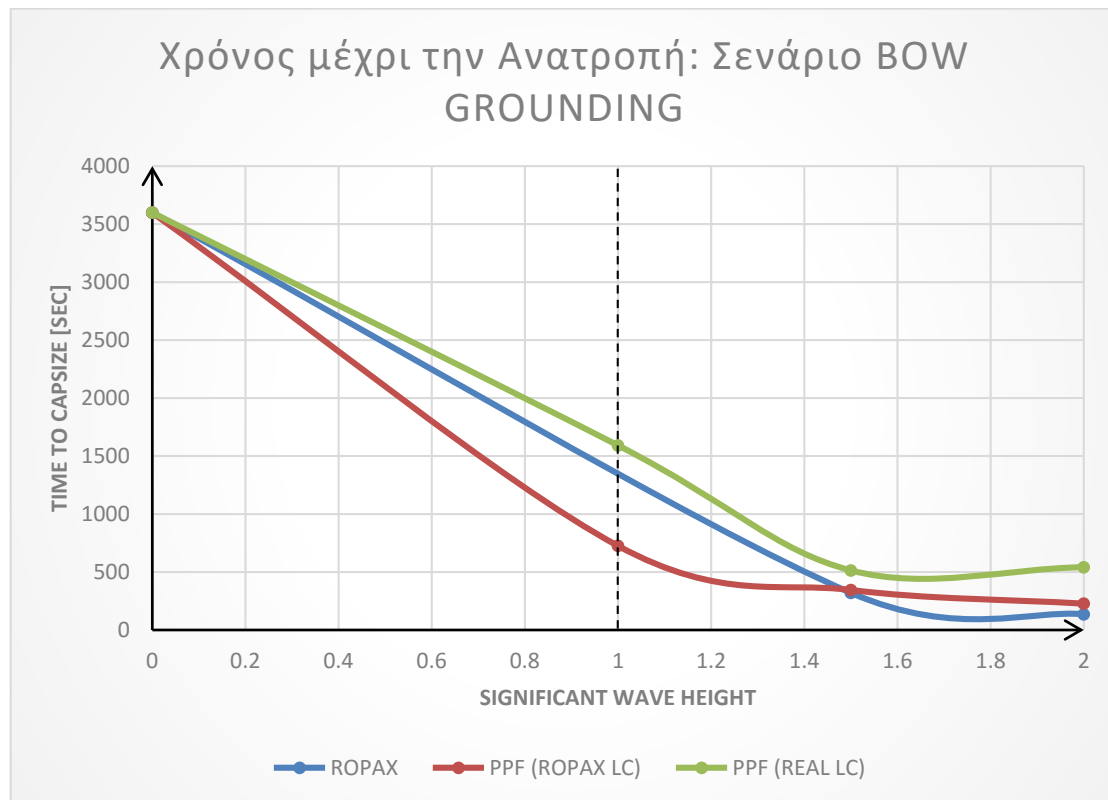
Η περίπτωση κυματισμού με μηδενικό σημαντικό ύψος κύματος, ουσιαστικά αντιστοιχεί στην περίπτωση ήρεμου νερού. Τα σημεία με βάση τα οποία χαράχτηκαν οι παραπάνω καμπύλες, προέκυψαν για την περίπτωση ήρεμου νερού και για κυματισμούς με σημαντικό ύψος κύματος 1m και 2m. Με βάση τα σημεία αυτά, μπορούν να χαραχθούν καμπύλες

παρεμβολής των δεδομένων, όπου εδώ προσεγγίζονται με πολυωνυμικές καμπύλες 2^{ου} βαθμού, καθώς τα σημεία είναι μόλις 3 για κάθε καμπύλη. Οι εξισώσεις αριστερά αφορούν τα πολυώνυμα από τα δεδομένα για το αμιγώς επιβατηγό πλοίο, ενώ οι εξισώσεις δεξιά αφορούν την περίπτωση του ROPAX.

Όπως αποτυπώνεται και στις καμπύλες, για κάθε καμπύλη το τοπικό ελάχιστο εμφανίζεται για την περίπτωση κυματισμού σημαντικού ύψους κύματος 1m, όμως ως τιμή είναι αρκετά κοντινή με την περίπτωση του ήρεμου νερού. Συνεπώς, ουσιαστικά για κυματισμούς χαμηλού σημαντικού ύψους κύματος, οι τιμές είναι περίπου ίσες με εκείνες που προκύπτουν για την περίπτωση του ήρεμου νερού. Κάτι τέτοιο, επιβεβαιώθηκε και από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, όπου η ανατροπή συνέβαινε περίπου στον ίδιο χρόνο για το ήρεμο νερό και τον κυματισμό σημαντικού ύψους κύματος ενός μέτρου. Στη συνέχεια, ο χρόνος αυξάνεται με μεγαλύτερη κλίση για την περίπτωση του κυματισμού 2m, οπότε υπάρχει θετική επίδραση των κυματισμών με $H_s=1m-2m$, καθώς επιβραδύνουν τη διαδικασία και μέχρι τον πρώτο μηδενισμό του δείκτη s και μέχρι την ανατροπή.

Συγκρίνοντας τις καμπύλες προκύπτει ένα δεδομένο που ήταν εξ' αρχής αναμενόμενο. Δηλαδή, για δεδομένο σημαντικό ύψος κύματος, ο χρόνος είτε μέχρι τον πρώτο μηδενισμό του s , είτε μέχρι την ανατροπή, είναι μεγαλύτερος για την περίπτωση του αμιγώς επιβατηγού πλοίου, συγκριτικά με την περίπτωση του επιβατηγού-οχηματαγωγού πλοίου. Δοθέντος δε, ότι η διαφορά στα σενάρια είναι μόνο ως προς τη διάταξη των χώρων, ενώ οι καταστάσεις φόρτωσης είναι ίδιες, η διαφορά στους αντίστοιχους χρόνους, για δεδομένο ύψος κύματος, μπορεί να αποδοθεί εξ' ολοκλήρου στον κατακερματισμό του χώρου οχημάτων του ROPAX.

Για δεδομένο ύψος κύματος και δεδομένη διάταξη, δηλαδή ROPAX ή αμιγώς επιβατηγό, η διαφορά του χρόνου μεταξύ ανατροπής και πρώτου μηδενισμού του δείκτη επιβιωσιμότητας, είναι η περίοδος του χρόνου όπου το πλοίο διατηρεί οριακά την ευστάθεια του, συνεχίζει να κλίνει εγκάρσια, ενώ ο συντελεστής επιβιωσιμότητας του είναι μηδενικός. Στην πραγματικότητα, αυτός ο χρόνος μπορεί να συνδεθεί με το ρυθμό αύξησης της γωνίας κλίσης. Έτσι, αφού η περίοδος μηδενικού s , είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ, ο ρυθμός αύξησης της εγκάρσιας κλίσης είναι μικρότερος του αντίστοιχου για το ROPAX. Πράγματι, αυτό αποτυπώνεται και στα διαγράμματα αποτελεσμάτων, όπου η περίοδος, κατά την οποία, ο δείκτης s είναι μηδενικός και μέχρι το τέλος της προσομοίωσης είναι μικρότερη για την περίπτωση του ROPAX. Και αυτό το δεδομένο, μπορεί να συσχετισθεί με τη διαφορά στη διάταξη και τον περιορισμό της επίδρασης των ελεύθερων επιφανειών στην περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ.

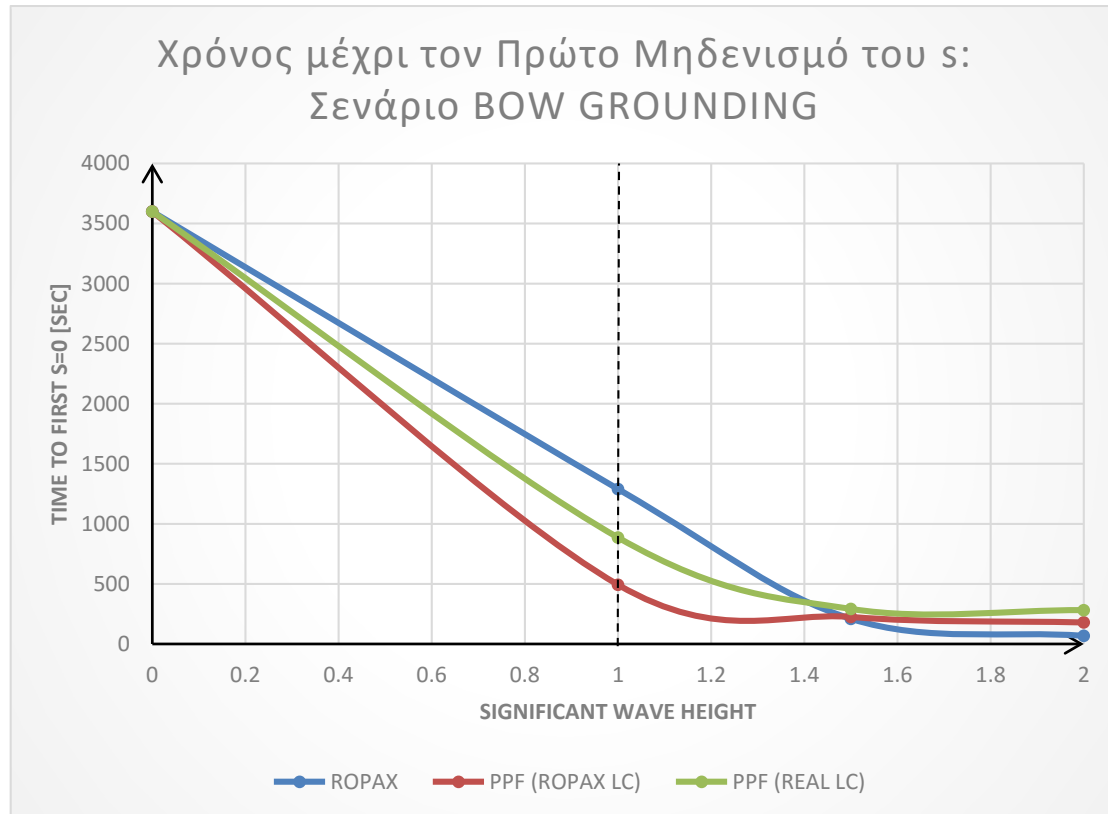


Διάγραμμα 9.9-2: Καμπύλες χρόνου μέχρι την ανατροπή, ως προς το σημαντικό ύψος κύματος, για το σενάριο Bow Grounding

Στο παραπάνω διάγραμμα δίνεται ο χρόνος μέχρι την ανατροπή για την περίπτωση του σεναρίου *Bow Grounding*, για διάφορα ύψη κύματος. Επισημαίνεται ότι για την περίπτωση του ήρεμου νερού, το πλοίο δεν ανατράπηκε και η τιμή που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυθαίρετα η μέγιστη τιμή του χρόνου προσομοίωσης που ορίστηκε στη μία ώρα. Συνεπώς οι τιμές του χρόνου, για τιμές του σημαντικού ύψους κύματος μικρότερες του ενός μέτρου δεν είναι σωστές, καθώς για διαφορετική τιμή του χρόνου για ήρεμο νερό προκύπτει διαφορετική κλίση. Ωστόσο, στο διάγραμμα δόθηκαν οι τιμές ώστε να φανεί η τάση των καμπυλών να μειώνονται με αύξηση της τιμής του σημαντικού ύψους κύματος. Επίσης για την περίπτωση του ROPAX, δεν ήταν εφικτή η εύρεση τιμής για $H_s=1\text{m}$ λόγω αριθμητικών σφαλμάτων.

Όπως δείχνει η τάση των καμπυλών, η αύξηση του σημαντικού ύψους κύματος οδηγεί σε πτώση του χρόνου μέχρι την ανατροπή. Συγκρίνοντας τις καμπύλες μεταξύ τους, φαίνεται ότι για την περίπτωση του αμιγώς Ε/Γ, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, επιτυγχάνεται συστηματικά μεγαλύτερος χρόνος μέχρι την ανατροπή, από τις άλλες περιπτώσεις. Επίσης, οι τιμές του ROPAX και του αμιγώς Ε/Γ, με την κατάσταση φόρτωσης του ROPAX, είναι αρκετά κοντινές για σημαντικά ύψη κύματος 1.5m και 2m, ενώ η απόκλιση των τιμών στις ενδιάμεσες τιμές οφείλεται στην έλλειψη του σημείου για την καμπύλη του ROPAX, στο $H_s=1\text{m}$. Πάντως, η συμπεριφορά αυτή υποδεικνύει αυξημένη συσχέτιση του χρόνου μέχρι την ανατροπή, για το συγκεκριμένο σενάριο βλάβης, με την αρχική κατάσταση φόρτωσης του πλοίου και κυρίως το αρχικό μετακεντρικό ύψος και λιγότερο με την τροποποίηση της διάταξης. Οπότε αυξημένη τιμή του GM, οδηγεί σε αυξημένο χρόνο μέχρι την ανατροπή.

Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται η μεταβολή του χρόνου μέχρι τον πρώτο μηδενισμό του συντελεστή επιβιωσιμότητας, συναρτήσει του σημαντικού ύψους κύματος και πάλι για την περίπτωση του σεναρίου προσάραξης πλώρης.

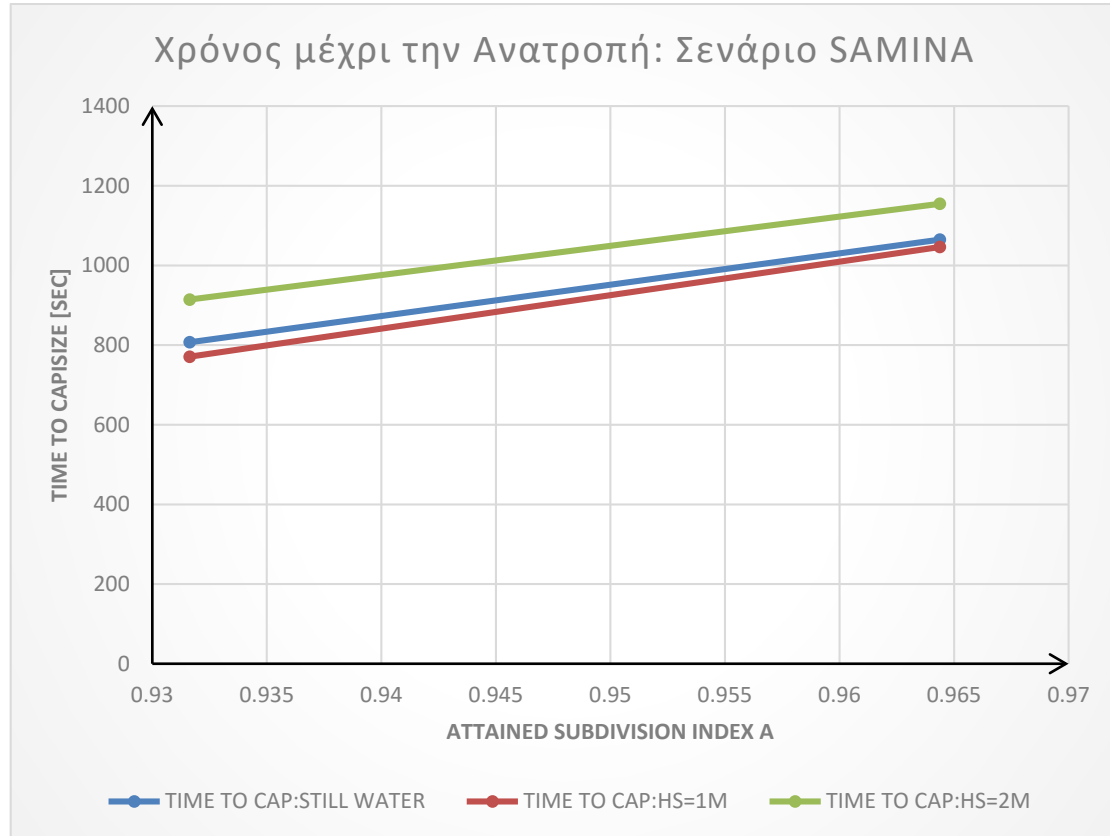


Διάγραμμα 9.9-3: Καμπύλες χρόνου μέχρι τον πρώτο μηδενισμό του συντελεστή επιβιωσιμότητας s , ως προς το σημαντικό ύψος κύματος, για το σενάριο Bow Grounding

Και σε αυτήν την περίπτωση οι τιμές για σημαντικό ύψος κύματος μικρότερο από ένα μέτρο, οι τιμές δεν είναι σωστές και δεν προέρχονται από δεδομένα της προσομοίωσης. Σε αυτήν την περίπτωση ο χρόνος μέχρι τον πρώτο μηδενισμό του s είναι εφικτό να υπολογιστεί για όλα τα σημαντικά ύψη κύματος και όλες τις διατάξεις και καταστάσεις φόρτωσης, οπότε η κλίση των καμπυλών και ο συσχετισμός μεταξύ τους είναι ορθότερος από την προηγούμενη περίπτωση.

Ο χρόνος μέχρι τον πρώτο μηδενισμό για την περίπτωση του ROPAX είναι μέγιστος, ενώ για τις ίδιες καταστάσεις φόρτωσης, ο χρόνος μέχρι τον πρώτο μηδενισμό μειώνεται δραστικά, παρά τον κατακερματισμό του χώρου οχημάτων. Ωστόσο, η βελτίωση του GM στις αρχικές φορτώσεις, οδηγεί σε μεγαλύτερο χρόνο μέχρι τον πρώτο μηδενισμό του s . Επίσης η τάση δείχνει ότι για σημαντικό ύψος κύματος, μεγαλύτερο του 1.5m, οι τιμές σε κάθε καμπύλη, μοιάζουν να παραμένουν σταθερές, γεγονός που υποδηλώνει την πιθανή ύπαρξη ελάχιστου ορίου, δηλαδή ενός ελάχιστου χρόνου μέχρι το μηδενισμό του συντελεστή s , ο οποίος είναι ανεξάρτητος του σημαντικού ύψους κύματος. Εάν κάτι τέτοιο αληθεύει τότε το όριο αυτό εξαρτάται τόσο από την αλλαγή της διάταξης και τον κατακερματισμό του χώρου οχημάτων, όσο και από την αλλαγή των υδροστατικών στοιχείων και των παραμέτρων ευστάθειας στην αρχική άθικτη κατάσταση, όπως δείχνει η διαφορετική τελική τιμή των καμπυλών.

Στη συνέχεια, οι αντίστοιχοι χρόνοι συσχετίζονται με τον επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης A , ο οποίος υπολογίστηκε και τα αποτελέσματα αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 7. Τα αποτελέσματα δίνονται στα επόμενα διαγράμματα.

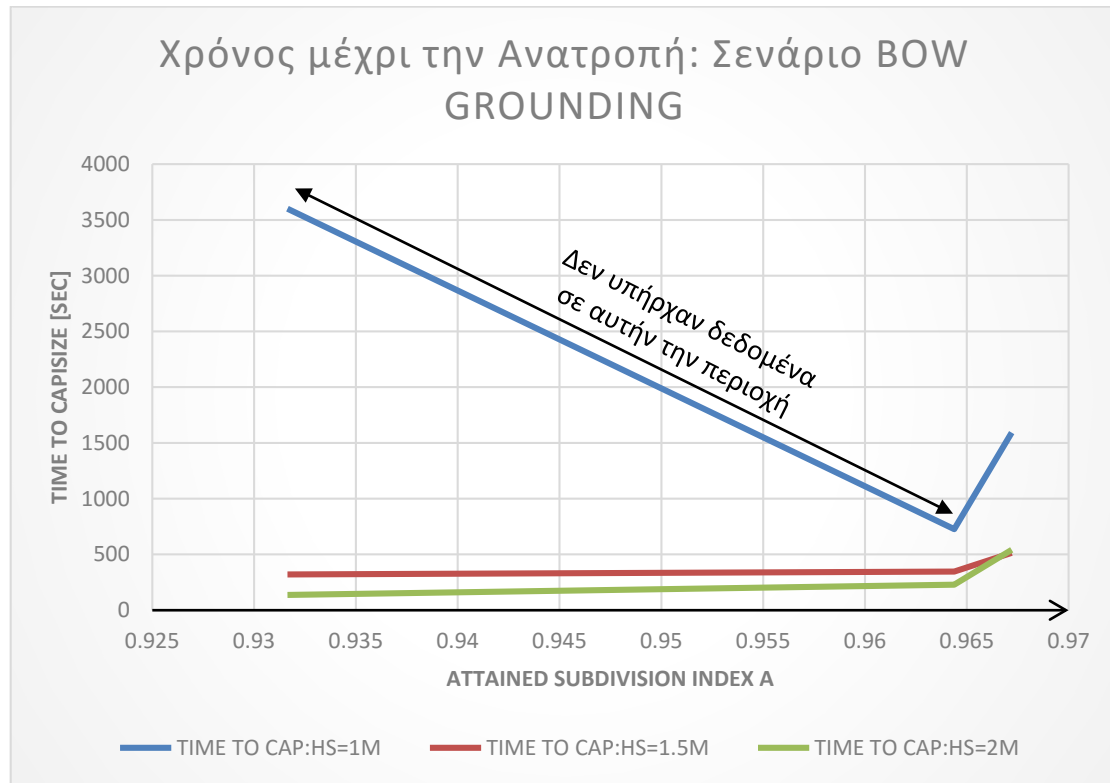


Διάγραμμα 9.9-4: Καμπύλες χρόνου μέχρι την ανατροπή, ως προς τον επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης A , για το σενάριο Express Samina

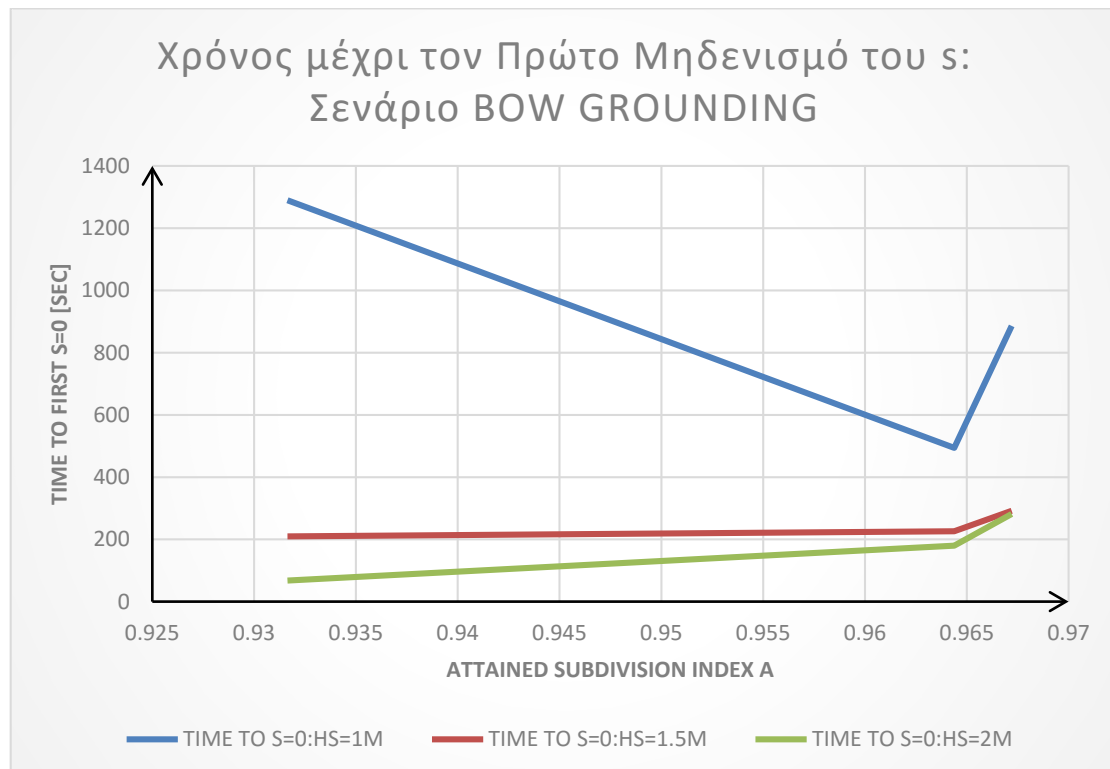
Αρχικά, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το χρόνο μέχρι την ανατροπή, για την περίπτωση του σεναρίου βλάβης *Express Samina*. Οι παραπάνω καμπύλες εμφανίζονται ως γραμμικές, καθώς τα δεδομένα υπολογισμού είναι μόνο δύο ανά καμπύλη, καθώς για την περίπτωση του αμιγώς επιβατηγού πλοίου, με την πραγματική κατάσταση φόρτωσης, δεν έγινε ανατροπή, οπότε δε μπορούσε να καθοριστεί και σημείο επί του διαγράμματος.

Είναι σαφής η τάση αύξησης του χρόνου μέχρι την ανατροπή, με την αύξηση του επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης, για όλες τις περιπτώσεις κυματισμού που εξετάζονται στα πλαίσια της μελέτης και του συγκεκριμένου σεναρίου βλάβης. Ταυτόχρονα, φαίνεται ότι για σημαντικό ύψος κύματος $H_s=1m$ η καμπύλη παρουσιάζει πολύ μικρές διαφορές, συγκριτικά με την περίπτωση ήρεμου νερού, γεγονός που αποτυπώθηκε και παρουσιάστηκε και στα επιμέρους, αναλυτικά αποτελέσματα των προηγούμενων παραγράφων.

Στη συνέχεια, ακολουθούν τα διαγράμματα του χρόνου μέχρι την ανατροπή και τον πρώτο μηδενισμό του δείκτη επιβιωσιμότητας s , για την περίπτωση του σεναρίου βλάβης πρωραίας προσάραξης.



Διάγραμμα 9.9-5: Καμπύλες χρόνου μέχρι την ανατροπή, ως προς τον επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης, για το σενάριο Bow Grounding



Διάγραμμα 9.9-6: Καμπύλες χρόνου μέχρι τον πρώτο μηδενισμό του δείκτη επιβιωσιμότητας s, ως προς τον επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης, για το σενάριο Bow Grounding

Οι καμπύλες επιλέχθηκαν να γίνουν ως τεθλασμένες γραμμές παρεμβολής μεταξύ των σημείων, καθώς η τάση μεταξύ των πρώτων σημείων είναι γραμμική, ενώ μεταξύ των δύο τελευταίων σε κάθε καμπύλη, η απόσταση είναι πολύ μικρή, ώστε να επιτρέπεται η γραμμική παρεμβολή.

Για την καμπύλη σημαντικού ύψους κύματος ενός μέτρου οι κλίσεις μεταβολής ανά τμήμα είναι οι μεγαλύτερες, σημειώνεται ωστόσο ότι για την καμπύλη του χρόνου μέχρι την ανατροπή η πρώτη τιμή των 3600sec αντιστοιχεί στο τέλος της προσομοίωσης και είναι αυθαίρετη η τιμή. Επίσης, για τις περιπτώσεις σημαντικού ύψους κύματος 1.5m και 2m, η σταθερότητα των τιμών και για την ανατροπή και για τον πρώτο μηδενισμό του συντελεστή επιβιωσιμότητας, αποτελεί και πάλι μια ένδειξη ότι υπάρχει ένα ελάχιστο χρονικό διάστημα το οποίο απαιτείται για να βυθιστεί το πλοίο, το οποίο εξαρτάται ισχυρά από την αρχική άθικτη κατάσταση φόρτωσης και λιγότερο από την τροποποίηση των διατάξεων.

Ο στόχος των καμπυλών αυτών είναι τελικά, δηλαδή μετά από αντίστοιχες μελέτες σε διαφορετικού μεγέθους πλοία να μπορέσουν να δημιουργηθούν σμήνη καμπυλών, τα οποία να μπορούν να δώσουν μια εκτίμηση του χρόνου μέχρι την ανατροπή, με βάση μεγέθη που προκύπτουν από την αξιολόγηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, όπως είναι ο δείκτης A, η οποία στα πλαίσια της σχεδίασης του πλοίου, αναγκαστικά θα πρέπει να γίνει. Επίσης, η γνώση του χρόνου μέχρι την ανατροπή, με βάση την αξιολόγηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, επιτρέπει να βρεθεί η πιο ασφαλής διάταξη, ακόμη κι αν οι διάφορες διατάξεις οδηγούν στον ίδιο επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης.

Τέλος, επισημαίνεται ότι ο χρόνος μέχρι την ανατροπή θα μπορούσε να αποτελέσει ένα στόχο βελτιστοποίησης σχεδιαστικών λύσεων και να εξετάζεται το κατά πόσο είναι δυνατό για ίδια σενάρια βλάβης, να επιτευχθεί μεγαλύτερος χρόνος μέχρι την ανατροπή. Ακόμη κι αν οι διατάξεις οδηγούν στον ίδιο ή ελάχιστα διαφορετικό επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης, μπορεί το κέρδος σε χρόνο μέχρι την ανατροπή να είναι σημαντικό και τότε, αν και στα πλαίσια των κανονισμών αυτό δε θα λαμβανόταν υπόψη, η λογική υπαγορεύει ότι η σχεδιαστική λύση με το μεγαλύτερο χρόνο ως την ανατροπή είναι και ασφαλέστερη.

Στο σημείο αυτό, ολοκληρώθηκε η παρουσίαση των αποτελεσμάτων σχετικά με τις προσομοιώσεις κατάκλυσης και αναφέρθηκαν τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από κάθε σενάριο βλάβης.

10 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο συνοψίζονται τα κυριότερα συμπεράσματα που εξήχθησαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, παρουσιάζονται κάποιες σκέψεις και ιδέες, σχετικές με το θέμα και τέλος προτείνονται θέματα για περαιτέρω έρευνα.

Αρχικά, εκκινώντας από την αξιολόγηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, στα πλαίσια των κανονισμών ναυτιλίας SOLAS 2009, παρατηρήθηκε ότι τόσο το αρχικό μοντέλο του πλοίου ROPAX, όσο και η τροποποιημένη του εκδοχή, σε αμιγώς επιβατηγό πλοίο, ικανοποιούσε όλα τα κριτήρια των σύγχρονων κανονισμών ευστάθειας κατόπιν βλάβης, που διέπουν την περίπτωση των επιβατηγών πλοίων. Μάλιστα, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η απαίτηση ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης να είναι ανώτερος του απαιτούμενου, ικανοποιήθηκε με ένα πολύ μεγάλο περιθώριο, κυρίως εξαιτίας των κυρίων διαστάσεων του πλοίου. Ο χαμηλός λόγος μήκους προς πλάτος, χαμηλότερος και των τυπικών τιμών του λόγου, που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία (4), οδηγεί σε υπερβολικά ευσταθείς σχεδιάσεις και αυτός είναι ο κυριότερος λόγος για τον υπερβολικά υψηλό επιτευχθεί δείκτη υποδιαίρεσης, συγκριτικά με τον απαιτούμενο. Πρέπει, ωστόσο, να αναφερθεί ότι όταν έγινε η μελέτη καθορισμού του δείκτη R, χρησιμοποιήθηκαν δείγματα πλοίων του υπάρχοντος στόλου, όπου πλοία αυτού του μεγέθους δεν ήταν ιδιαίτερα διαδεδομένα. Συνεπώς, για αυτές τις κατηγορίες πλοίων ο απαιτούμενος δείκτης υποδιαίρεσης, προήλθε ως προεκβολή των δεδομένων από μεγαλύτερα πλοία. Αυτός είναι ένας λόγος, για τον οποίο σήμερα η ναυτιλιακή κοινότητα εξετάζει την περίπτωση επανακαθορισμού του απαιτούμενου δείκτη, τουλάχιστον για τα πολύ μικρού μεγέθους πλοία, ανεβάζοντας τις απαιτήσεις ασφάλειας.

Σημειώνεται επίσης, ότι ο υψηλός δείκτης A μπορεί να μειωθεί σημαντικά, όταν κάποια υδατοστεγή ανοίγματα του πλοίου θεωρούνται ανοιχτά. Αυτό συμβαίνει κατά τη διάρκεια των ταξιδιών, προκειμένου να γίνουν οι απαιτούμενες εργασίες από το πλήρωμα. Συνεπώς, κατά τη διάρκεια της διαδρομής, ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης μεταβάλλεται και ενδεχομένως το πλοίο να μη λειτουργήσει ποτέ, παρά μόνο κοντά στους λιμένες, όπου υποχρεωτικά τα υδατοστεγή ανοίγματα κλείνουν, επιτυγχάνοντας τον αρχικά υπολογιζόμενο δείκτη υποδιαίρεσης. Αν για παράδειγμα, μια θύρα πρέπει να ανοίγει και να κλείνει πολύ συχνά, είναι πολύ πιθανό να παραμείνει ανοιχτή για όλη τη διαδρομή, προκειμένου να διευκολυνθεί η διέλευση των μελών πληρώματος. Είναι ωστόσο, σαφές ότι δεν επιτυγχάνεται το αρχικά υπολογιζόμενο επίπεδο ασφάλειας, όπως εκφράζεται μέσω του δείκτη A.

Η λύση στο παραπάνω πρόβλημα, το οποίο είναι γνωστό και λογικό να συμβαίνει, θα μπορούσε να είναι ο καθορισμός ενός πρόσθετου ελάχιστου ορίου, ενός λειτουργικού ελάχιστου δείκτη υποδιαίρεσης, ο οποίος να εξασφαλίζει ότι ακόμη και με άνοιγμα κάποιων υδατοστεγών θυρών το πλοίο λειτουργεί σε ένα αποδεκτό επίπεδο ασφάλειας. Το όριο αυτό, θα μπορούσε να είναι ο ίδιος ο R, οπότε για την επίτευξη του με ανοιχτές θύρες, αναγκαστικά ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης, που υπολογίζεται με κλειστές τις θύρες, θα πρέπει να έχει ένα ικανοποιητικό περιθώριο πάνω από τον R, αποκλείοντας έτσι οριακές σχεδιάσεις. Ένα άλλο όριο, θα μπορούσε να είναι ένα υποπολλαπλάσιο του δείκτη R ή και του δείκτη A, αν αυτό μπορέσει να καθορισθεί μέσω μιας εκτενούς διερεύνησης της πτώσης του δείκτη A, ανάλογα με τη μεταβολή της κατάστασης των υδατοστεγών ανοιγμάτων.

Σε ό,τι αφορά το πλαίσιο κανονισμών σχετικά με την ευστάθεια κατόπιν βλάβης, εξετάστηκαν πέραν του κανονισμού 7 και οι κανονισμοί 8 και 9, της SOLAS 2009 και οι απαιτήσεις της Κοινοτικής Οδηγίας 25, του 2003. Όλοι οι παραπάνω κανονισμοί, είναι διαρκώς υπό συζήτηση, προκειμένου να βρεθεί κατάλληλη μεθοδολογία αξιολόγησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης. Έτσι υπάρχουν θεωρήσεις διαφορετικής σχέσης υπολογισμού του δείκτη s , ανά σενάριο βλάβης, όπως αυτή που προέκυψε από το ερευνητικό πρόγραμμα GOALDS, ή και άλλες προτάσεις όπως η SLF-55, οι οποίες στοχεύουν στην καλύτερη εκτίμηση του δείκτη επιβιωσιμότητας. Περεταίρω έρευνα γύρω από τον καθορισμό ενός επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης για τα ρήγματα προσάραξης, είναι σήμερα εν εξελίξει, με το ερευνητικό πρόγραμμα EMSA III. Τέλος, άλλες θεωρήσεις, στοχεύουν στη γνώση της επίδρασης του πλοίου σε ό,τι αφορά την ευστάθεια κατόπιν βλάβης, από τη μελέτη του διαγράμματος μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ-φ, στην άθικτη κατάσταση, λαμβάνοντας υπόψη συσσώρευση νερού στο κατάστρωμα (WOD), προκειμένου να βρεθεί μια μέθοδος η οποία να αντικαταστήσει κατά βάση την Κοινοτική Οδηγία 25 και τη Συνθήκη της Στοκχόλμης.

Οι προσομοιώσεις κατάκλυσης έγιναν προκειμένου να μελετηθεί η ευστάθεια κατόπιν βλάβης, υπό ένα διαφορετικό πρίσμα, πέρα από τους κανονισμούς. Τα αποτελέσματα που συλλέχθηκαν ήταν αρκετά ενδιαφέροντα και οδήγησαν σε συμπεράσματα και σκέψεις πιο αντισυμβατικές. Αρχικά, αυτό που διαπιστώθηκε, ήταν η σημαντική επίδραση του κυματισμού στην πορεία εξέλιξης της κατάκλυσης. Αυτή φάνηκε κυρίως για την περίπτωση του κανονισμού 8.1, όπου στα πλαίσια των υπολογισμών με βάση τη μεθοδολογία των κανονισμών, ικανοποιούνται τα κριτήρια του. Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώθηκε από τις προσομοιώσεις κατάκλυσης, για ήρεμο νερό, όμως για τις περιπτώσεις του κυματισμού, το πλοίο όχι απλά δεν ικανοποιούσε τις απαιτήσεις, αλλά οδηγούνταν πολύ σύντομα στην ανατροπή. Κάτι τέτοιο δε θα μπορούσε να προβλεφθεί στα πλαίσια των κανονισμών, καθώς η μελέτη γίνεται για ήρεμο νερό.

Μια ακόμη παρατήρηση, είναι αυτό καθ' αυτό το διάγραμμα μεταβολής του δείκτη s , ως προς το χρόνο, που προέκυψε από την υλοποίηση των προσομοιώσεων. Παρατηρήθηκε, σε κάποιες περιπτώσεις, ότι το πλοίο ακόμη κι αν τελικά ανατράπηκε, ο δείκτης επιβιωσιμότητας s ήταν μηδενικός, για μια αρκετά εκτεταμένη περίοδο, πριν την ανατροπή. Στην περίπτωση της πρωραίας προσάραξης, για σημαντικό ύψος κύματος 1m, στην περίπτωση του ROPAX, ο συντελεστής s μηδενίστηκε πολλές φορές μέσα στο χρόνο, χωρίς όμως το πλοίο τελικά να ανατραπεί. Τέλος, σε κάποιες περιπτώσεις η τελική τιμή του δείκτη επιβιωσιμότητας ήταν μια ενδιάμεση τιμή μεταξύ 0 και 1.

Όλες αυτές οι παρατηρήσεις, δείχνουν ότι ο συντελεστής s , ενδεχομένως να μη μπορεί από μόνος του να καθορίσει το αν το πλοίο επιβιώνει ή όχι. Αρχικά, όμως πρέπει να αναλυθεί τι είναι ο συντελεστής s στα πλαίσια της προσομοίωσης. Ο δείκτης s , σε μια πρώτη προσέγγιση είναι μια παράμετρος, η οποία προκύπτει μέσω κάποιας σχέσης υπολογισμού, η οποία χρησιμοποιεί μεγέθη που σχετίζονται με την καμπύλη GZ-φ, όπως το εμβαδόν της, το εύρος και άλλα. Άρα, σε πρώτη θεώρηση είναι απλά ένα λογιστικό μέγεθος το οποίο, αν υπάρχει καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς μπορεί να υπολογιστεί.

Σε δεύτερο επίπεδο, ο δείκτης s είναι η πιθανότητα επιβίωσης. Σύμφωνα με τους κανονισμούς, ο δείκτης s είναι η πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου, από κάποιο σενάριο βλάβης και ταυτίζεται με το **ελάχιστο** της πιθανότητας επιβίωσης που προκύπτει για όλα τα

ενδιάμεσα στάδια κατάκλυσης και της πιθανότητας επιβίωσης του τελικού σταδίου, λαμβάνοντας υπόψη τη ροπή λόγω επιβατών, ανέμου κλπ. Η πιθανότητα επιβίωσης όλων των ενδιάμεσων σταδίων κατάκλυσης, ορίζεται ως η **ελάχιστη** τιμή του δείκτη s , για οποιοδήποτε διακριτό στάδιο κατάκλυσης, εκτός του τελικού. Υπό τη σκοπιά αυτή, φαίνεται ότι στην πραγματικότητα, ο κανονισμός αμελεί την ύπαρξη αλληλουχίας μεταξύ των φάσεων κατάκλυσης. Αν θεωρούσε ότι υπάρχει αλληλουχία, τότε η συνολική πιθανότητα επιβίωσης για το πλοίο, στο συγκεκριμένο σενάριο βλάβης, θα ήταν το γινόμενο των πιθανοτήτων που προκύπτουν σε διαδοχικά στάδια κατάκλυσης. Υπό αυτό το πρίσμα, το διάγραμμα μεταβολής του δείκτη s , ως προς το χρόνο, στην πραγματικότητα είναι η τιμή του δείκτη s , σε κάθε στάδιο κατάκλυσης, δηλαδή σε κάθε υπολογιστική φάση. Στην πραγματικότητα, το διάγραμμα, στον άξονα του χρόνου θα μπορούσε να μην έχει αριθμητικές τιμές, αλλά απλές ονομασίες «στάδιο/φάση 1», «στάδιο/φάση 2», κ.λπ. και μάλιστα θα μπορούσαν να μπουν με οποιαδήποτε σειρά και όχι, αναγκαστικά, με τη σωστή διαδοχική αλληλουχία. Έτσι κι αλλιώς, στα πλαίσια του κανονισμού, ουσιαστικά η τιμή που θα κρατηθεί θα είναι η ελάχιστη και αν αυτή προκύπτει για το τελικό στάδιο, θα πολλαπλασιαστεί με το συντελεστή s_{mom} . Άρα το διάγραμμα, με αυτή την έννοια δείχνει τις τιμές του δείκτη s σε κάθε στάδιο κατάκλυσης.

Πέραν όλων των παραπάνω, αν σταθεί κανείς στο ότι ο συντελεστής s είναι η πιθανότητα επιβίωσης κάποιου σταδίου κατάκλυσης, τότε το παραπάνω διάγραμμα, με τη σωστή αλληλουχία των φάσεων, είναι το πιθανότερο σενάριο μεταβολής του δείκτη s . Δηλαδή, σε κάθε φάση υπάρχει πιθανότητα s να περάσει στο επόμενο στάδιο και πιθανότητα $(1-s)$ να μην περάσει. Υπό τη σκοπιά αυτή, το παραπάνω διάγραμμα είναι το πιο πιθανό σενάριο εξέλιξης της κατάκλυσης. Αυτή η προσέγγιση όμως, δε μπορεί να δικαιολογήσει πώς μπορεί να υπάρχουν περίοδοι και μάλιστα χρονικά, αρκετά εκτεταμένες, όπου ο συντελεστής s είναι 0 αφού, μόλις ο συντελεστής μηδενιστεί η πιθανότητα το πλοίο να περάσει από τη μία φάση στην επόμενη εκμηδενίζεται κι άρα η προσομοίωση θα έπρεπε να ολοκληρώνεται.

Το παραπάνω πρόβλημα λύνεται, αν ληφθεί υπόψη ότι πέραν του δείκτη s , υπολογίζονται και τα υπόλοιπα υδροστατικά μεγέθη και η θέση πλεύσης. Τότε, όποια κι αν είναι η τιμή του δείκτη, για να πραγματοποιηθεί η ανατροπή του πλοίου πρέπει να ευνοούν κάτι τέτοιο και οι συνθήκες πλεύσης. Δε μπορεί κανείς να φανταστεί για μια περίπτωση όπου ο συντελεστής s , έχει τιμή πχ 0.8 και γωνία κλίσης, τη δεδομένη χρονική στιγμή, 10° , ότι υπάρχει η πιθανότητα 20%, σε χρόνο όσο το χρονικό βήμα υπολογισμού της προσομοίωσης, το πλοίο να ανατραπεί και να αναπτύξει σε τόσο μικρό χρονικό διάστημα τόσο μεγάλη γωνία κλίσης. Σε αυτήν την περίπτωση, ο δείκτης s παύει από μόνος του να αποτελεί την πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου, ανά φάση κατάκλυσης και γίνεται μια παράμετρος ευστάθειας η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δείξει αν ένα στάδιο είναι απόλυτα ευσταθές ($s=1$), απόλυτα ασταθές ($s=0$) ή να αξιολογηθεί πόσο κοντά στην ευστάθεια ή την αστάθεια είναι το συγκεκριμένο στάδιο ($1>s>0$). Πάντως σε αυτή τη θεώρηση, ο δείκτης δεν αντιπροσωπεύει πιθανότητα επιβίωσης, καθώς η θέση πλεύσης πρέπει να συνάδει με την ανατροπή ή όχι.

Η αλήθεια για το τι αντιπροσωπεύει αυτό το διάγραμμα, βρίσκεται ανάμεσα στις παραπάνω θεωρήσεις και είναι αρκετά ακαθόριστο. Ωστόσο, ο υπολογισμός γίνεται στα πλαίσια των κανονισμών και συνεπώς αντιπροσωπεύει το δείκτη s σε κάθε στάδιο κατάκλυσης.

Στα πλαίσια των προσομοιώσεων κατάκλυσης εξήχθησαν ορισμένα συμπεράσματα, τα οποία συζητήθηκαν επί μέρους και συνοψίζονται σε αυτό το σημείο.

Αρχικά, φάνηκε ότι η επίδραση του κυματισμού δεν μπορεί να χαρακτηριστεί μονοσήμαντα ως θετική ή αρνητική για την ευστάθεια. Κάτι τέτοιο, γίνεται ανά σενάριο βλάβης και όχι συνολικά. Ωστόσο, η θετική του επίδραση φάνηκε στην ομαλοποίηση φαινομένων, όπως απότομες μεταβολές της γωνίας εγκάρσιας κλίσης, τόσο κατά την αρχική μεταβατική κατάκλυση, όσο και κατά την προοδευτική κατάκλυση. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις, η διαρκής μεταβολή της ισάλου και μάλιστα για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο σημαντικό ύψος κύματος, οδηγεί σε επιβράδυνση της ανατροπής, ενώ μπορεί να οδηγήσει και σε πολύ μικρή μείωση, για μικρότερα σημαντικά ύψη κύματος. Από την άλλη πλευρά, ο κυματισμός μπορεί να επάγει φαινόμενα ασύμμετρης κατάκλυσης συμμετρικών χώρων και να οδηγήσει σε ταχεία ανατροπή του πλοίου. Η σχέση, σε αυτήν την περίπτωση είναι μονοσήμαντη, καθώς σε όλες τις περιπτώσεις, όπου έλαβε χώρα το φαινόμενο, αύξηση του σημαντικού ύψους κύματος, οδήγησε σε μείωση του χρόνου μέχρι την ανατροπή.

Επίσης, τόσο οι μελέτες για τις προσομοιώσεις κατάκλυσης, όσο και για την αξιολόγηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, έδειξαν ότι η αύξηση του βυθίσματος λειτουργεί δυσμενώς για την ευστάθεια, καθώς επιτρέπει την κατάκλυση των χώρων με μεγαλύτερη ποσότητα νερού. Επίσης, η μεταβολή της αρχικής ευστάθειας των άθικτων καταστάσεων, μπορεί να κριθεί θετική καθώς είτε περιορίζει είτε και ανατρέπει τα δυσμενή αποτελέσματα της αύξησης του βυθίσματος.

Τέλος, φάνηκε ότι ο κατακερματισμός του χώρου οχημάτων, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση της ευστάθειας, γεγονός που εκφράζεται και μέσω της αυξημένης τιμής του επιτευχθέντος δείκτη υποδιαίρεσης, όσο και από την επίδοση του πλοίου σε χρόνο μέχρι την ανατροπή. Η επίδραση, στο χρόνο μέχρι την ανατροπή αυξάνεται αρκετά παραπάνω, αν οι χώροι δεν κατακλυσθούν με νερό, οπότε συνεχίζουν να παρέχουν άντωση στο πλοίο. Ο χρόνος μέχρι την ανατροπή, θα μπορούσε να αποτελεί και αντικειμενικό σκοπό στα πλαίσια κάποιας βελτιστοποίησης. Σημειώνεται, ωστόσο, ότι στα πλαίσια των κανονισμών δύο πλοία που τελικά ανατρέπονται, έχουν συντελεστή επιβιωσιμότητας $s=0$ και άρα λαμβάνουν μηδενική συνεισφορά στον A , από το συγκεκριμένο σενάριο βλάβης, θεωρούνται ισοδύναμα ως προς την ασφάλεια είτε ανατρέπονται σε 10 λεπτά είτε σε μία ώρα.

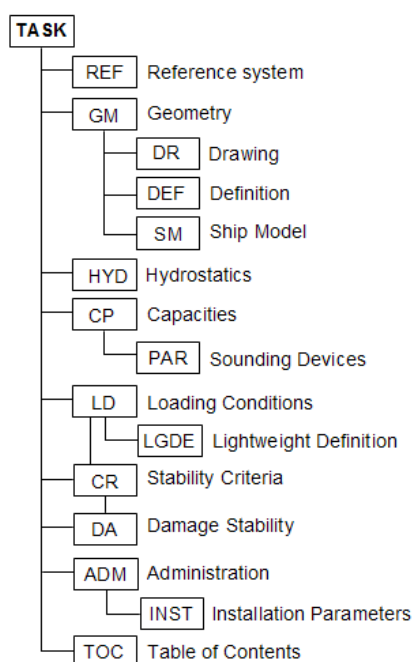
Περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε να γίνει σχετικά με τις εξής μελέτες:

- Επίδραση των ανοιχτών υδατοστεγών ανοιγμάτων, όχι κατά ομάδες, αλλά μεμονωμένα, στον επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης A .
- Προσομοιώσεις κατάκλυσης, σε άλλου τύπου ρήγματα, όπως πλαγιοπροσαράξεις και χρήση διαφορετικών εκφράσεων του δείκτη s , όπως την έκφραση κατά *GOALDS* και *EMSA III*.
- Χρήση εναλλακτικών μεθόδων αξιολόγησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, όπως η μέθοδος κατά Henning Luhmann (6).
- Επίδραση εναλλακτικών διατάξεων για ROPAX, με διαφορετική θέση και μέγεθος casings ή/και με υλικά χαμηλής διαχωρητότητας, στο χρόνο μέχρι την ανατροπή.
- Βελτιστοποίηση σχεδιάσεων, με αντικειμενική συνάρτηση τη μεγιστοποίηση του χρόνου μέχρι την ανατροπή/βύθιση.
- Αξιολόγηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, όχι μόνο υδροστατικά, αλλά λαμβάνοντας υπόψη και την αντοχή των κατασκευαστικών στοιχείων του πλοίου.
- Επανάληψη της μελέτης, για μεγαλύτερου μεγέθους πλοία ROPAX.

11 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ NAPA®

Στο παράρτημα αυτό δίνεται μια πολύ συνοπτική παρουσίαση του ναυπηγικού λογισμικού NAPA®, με βάση το οποίο εκπονήθηκε η μελέτη της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Το λογισμικό NAPA® είναι ένα επαγγελματικό, ναυπηγικό πρόγραμμα, το οποίο χρησιμοποιείται από ναυπηγεία, ναυτιλιακές εταιρείες, νηογνώμονες και Πανεπιστήμια, σε όλο τον κόσμο. Το πρόγραμμα μπορεί να κατασκευάσει τρισδιάστατα γεωμετρικά μοντέλα, παρέχει τη δυνατότητα ολιστικής μελέτης, από τα πολύ πρώιμα στάδια της μελέτης της σχεδίασης του πλοίου, μέχρι και πολύ εξειδικευμένους τομείς, όπως η ασφάλεια και η περιβαλλοντική αποδοτικότητα, ενώ το βασικό του προτέρημα είναι η εξέταση των σχεδιάσεων έναντι κριτηρίων, που υπαγορεύονται από τους σύγχρονους κανονισμούς ναυτιλίας.

Το πρόγραμμα αποτελείται από υποσυστήματα, τα οποία είναι εξειδικευμένα για να επιτελούν συγκεκριμένου τύπου υπολογισμούς και εργασίες, άλλες εκ των οποίων είναι σημαντικές και απαραίτητες, και άλλες οι οποίες γίνονται ανάλογα με τη μελέτη που εκπονείται και τα κύρια σημεία εστίασης της. Τα βασικότερα υποσυστήματα, όπως και η αλληλεπίδραση μεταξύ τους, δίνονται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 9.9-1: Απλοποιημένη παρουσίαση υποσυστημάτων NAPA®

1. **TASK:** Το υποσύστημα *TASK* ουσιαστικά είναι το βασικό διαχειριστικό υποσύστημα του προγράμματος. Δεν υπάρχουν εντολές (*commands*) σε αυτό το υποσύστημα, καθώς ο ρόλος του είναι να κατευθύνει το χρήστη προς τα εξειδικευμένα υποσυστήματα.
2. **REF:** Το υποσύστημα *REF*, εμπεριέχει βασικές παραμέτρους που αφορούν τη σχεδίαση, όπως είναι οι κύριες διαστάσεις του πλοίου, ο ορισμός του πίνακα νομέων (*frame table*), οι προκαθορισμένες γεωμετρικές οντότητες που λαμβάνονται και στα υπόλοιπα υποσυστήματα, όπως η γάστρα, το προφίλ του πλοίου κ.α., αλλά και πρόσθετες πληροφορίες όπως ο αριθμός επιβατών, ο τύπος μηχανών πρόωσης, κ.α.



3. **GM:** Το υποσύστημα *GM*, σχετίζεται γενικώς με τη γεωμετρία του πλοίου αφενός κι αφετέρου ελέγχει οτιδήποτε έχει να κάνει με την παραγωγή σχεδίων και την απεικόνιση τους, από όλα τα υποσυστήματα.
 - 3.1. **DR:** Το υποσύστημα *DR*, ελέγχει τα παραγόμενα οπτικά αποτελέσματα, όπως σχέδια, προβολές γεωμετρικών στοιχείων, κ.α. από όλα τα υποσυστήματα που μπορεί να προέρχονται.
 - 3.2. **DEF:** Το υποσύστημα *DEF*, χρησιμοποιείται για τον ορισμό και τη δημιουργία των διάφορων απαιτούμενων γεωμετρικών αντικειμένων, όπως οι καμπύλες (*Curves-C*), οι επιφάνειες (*Surfaces-S*), οι περιορισμένων ορίων επιφάνειες (*Surface Objects-SO*) και οι χώροι (*Rooms-R*).
 - 3.3. **SM:** Το υποσύστημα *SM*, παράγει το μοντέλο του πλοίου (*Ship Model*), υπό την έννοια ότι ομαδοποιεί γεωμετρικά αντικείμενα, που έχουν οριστεί στο υποσύστημα *DEF*, σε διατάξεις (*Arrangements*). Κατά βάση χρησιμοποιείται για να ομαδοποιηθούν οι χώροι του πλοίου, ανάλογα με τη λειτουργία που επιτελούν, τη θέση τους στο πλοίο, ή όποια άλλη ομαδοποίηση επιλέξει ο χρήστης.
4. **HYD:** Το υποσύστημα *HYD*, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του υδροστατικού διαγράμματος, των καμπυλών *KN* και την κατασκευή σχετικών διαγραμμάτων.
5. **CP:** Το υποσύστημα *CP*, ασχολείται με μεγέθη, όπως η χωρητικότητα, ο όγκος και άλλες ποσότητες σχετικά με τους χώρους του πλοίου.
6. **LD:** Το υποσύστημα *LD*, χρησιμοποιείται για την κατάστρωση των καταστάσεων φόρτωσης που αφορούν στο πλοίο, αφού πρώτα γίνει ο καθορισμός του βάρους άφορτου πλοίου (*LS*), στο υποσύστημα *LGDEF*.
7. **CR:** Το υποσύστημα *CR*, καθορίζει τα διάφορα κριτήρια ευστάθειας, τόσο σε άθικτη κατάσταση, όσο και σε κατάσταση βλάβης.
8. **DAM:** Το υποσύστημα *DAM*, χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς και τον έλεγχο των κριτηρίων ευστάθειας, σε κατάσταση βλάβης και μπορεί να υλοποιήσει προσομοιώσεις κατάκλυσης.

Τα υπόλοιπα υποσυστήματα που φαίνονται στο σχήμα, έχουν να κάνουν με τη διαχείριση του προγράμματος, τις παραμέτρους εγκατάστασης και άλλα θέματα που αφορούν το διαχειριστή το προγράμματος. Πέραν των παραπάνω, υπάρχουν κι άλλα επιπρόσθετα υποσυστήματα τα οποία έχουν να κάνουν με υπολογισμούς αντίστασης και πρόωσης, sea-keeping, ελκτικότητας και επίλυσης εξισώσεων ρευστομηχανικής. Επίσης, μπορεί να πραγματοποιήσει ορισμό της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου, των κατασκευαστικών του στοιχείων και επιτρέπει σχετική ανάλυση αντοχής με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Τέλος, μπορεί να προχωρήσει σε βελτιστοποίηση μέσω συγκεκριμένων αλγορίθμων και να γίνει εκτίμηση βάρους και κόστους κατασκευής. Επιπρόσθετα, μέσα στο λογισμικό *NAPA*[®] υπάρχουν συγκεκριμένα υπό-προγράμματα τα οποία είναι εξειδικευμένα και ουσιαστικά αποτελούν ένα σύνολο εντολών, το οποίο είναι αρκετά ευκολότερο για το χρήστη στη διαχείριση. Τα υπό-προγράμματα αυτά είναι οι *Managers*, οι οποίοι είναι ενσωματωμένοι στο πρόγραμμα και χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας. Τέλος, υπάρχουν συγκεκριμένα εργαλεία (*tools*) τα οποία βοηθούν σε διαδικασίες συγγραφής κώδικα μακροεντολών (*macros*), κατασκευής πινάκων και άλλα τα οποία σχετίζονται με την οπτική παρουσίαση γεωμετριών, διαγραμμάτων και σχεδίων.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης, επειδή ήδη υπήρχε ο ορισμός της γάστρας μέσω γραμμών, στα πλαίσια του υποσυστήματος *GM*, έγινε ο καθορισμός των εσωτερικών ορίων του πλοίου, δηλαδή των εγκάρσιων, των διαμήκων φρακτών και των καταστρωμάτων, ορίστηκαν οι χώροι του πλοίου, δηλαδή δεξαμενές, χώροι οχημάτων, κενοί χώροι, κ.α., οι οποίοι τελικά ομαδοποιήθηκαν σε συγκεκριμένες διατάξεις (*arrangements*), μέσω του υποσυστήματος *SM*. Επίσης, το συγκεκριμένο υποσύστημα, χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των ανοιγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη, αλλά και των ρηγμάτων, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια των προσομοιώσεων κατάκλυσης.

Στη συνέχεια, καταστρώθηκαν οι καταστάσεις φόρτωσης, που αντιστοιχούν στα προβλεπόμενα, από τον κανονισμό, βυθίσματα. Πρώτα δηλώθηκε το βάρος άφορτου σκάφους, στο υποσύστημα *LGDEF*. Στη συνέχεια, έγινε ανάλυση νεκρού βάρους (*DWT*) και τοποθετήθηκαν τα φορτία στις δεξαμενές, ή ως σημειακά φορτία. Τέλος, ελέγχθηκαν τα κριτήρια των κανονισμών άθικτης ευστάθειας, τα οποία παρουσιάστηκαν στα κεφάλαια 4,5 και 6.

Η αξιολόγηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, έγινε με χρήση του *Probabilistic Damage Stability Manager (PROB-Manager)* του NAPA®. Η εφαρμογή είναι οργανωμένη σε δένδροειδή δομή, η οποία αντιπροσωπεύει τη διαδικασία υπολογισμών, σχετικά με την ευστάθεια κατόπιν βλάβης. Οι υπολογισμοί βασίζονται σε πίνακες και συγκεκριμένες διαδικασίες, ανεπτυγμένες εντός του προγράμματος. Κάθε νέο στοιχείο που υπολογίζεται ή αναθεωρείται (*update*), αποτελεί νέα μεταβλητή για μετέπειτα συναρτήσεις υπολογισμού ή εξαγωγής αποτελεσμάτων.

Για τους υπολογισμούς προαπαιτείται ο ορισμός της γάστρας υπολογισμών σε κατάσταση βλάβης (*DAMHULL*), η διάταξη του *ship model* και ένα ορισμένο σχέδιο όψεων. Συνίσταται επίσης, να έχει ήδη οριστεί ο πίνακας υποδιαίρεσης, δηλαδή οι ζώνες του πλοίου, όπως και η διάταξη ανοιγμάτων, ενδεχομένως ανά τύπο (εξωτερικά, υδατοστεγή, κ.λπ.). Αν τα δύο τελευταία, δεν έχουν ήδη οριστεί, υπάρχει η δυνατότητα ορισμού τους μέσω του ίδιου του *Manager*. Στη συνέχεια, δηλώνεται ο τύπος του πλοίου (φορτηγό/ επιβατηγό), ο συνολικός αριθμός των επιβατών, ο αριθμός των επιβατών για τους οποίους διατίθενται σωστικές λέμβοι (*N1*) και ο αριθμός των επιβατών υπεράνω του αριθμού *N1* (*N2*).

Στη συνέχεια, ελέγχεται η διάταξη των χώρων, ορίζεται η καμπύλη του καταστρώματος εξάλων και δηλώνεται το προφίλ του πλοίου. Οι ροπές λόγω συγκέντρωσης των επιβατών, λόγω της επίδρασης του ανέμου και λόγω καθέλκυσης των σωστικών λέμβων, υπολογίζονται αυτόματα, σύμφωνα με τους κανονισμούς, μέσω των παραπάνω μεταβλητών. Όλες οι μεταβλητές, όπως καμπύλες και σχέδια είναι οπτικοποιημένα, εντός της εφαρμογής.

Ακολουθεί η δήλωση των ανοιγμάτων και των συνδέσεων των χώρων. Η δήλωση των ανοιγμάτων μπορεί να γίνει διαδραστικά, μέσω γραφικής περιγραφής, δηλαδή σημειώνοντας επί του σχεδίου τη θέση του χαμηλότερου σημείου του ανοίγματος. Συνήθως, αυτό γίνεται πριν την εκκίνηση της εφαρμογής, οπότε τα ανοίγματα είναι ήδη δηλωμένα. Τα ανοίγματα που λαμβάνονται υπόψη συνήθως, είναι τα εξαιρετικά ανοίγματα, οι υδατοστεγείς θύρες, τα μέσα *cross* και *down flooding*, τα οριζόντια και κατακόρυφα ανοίγματα διαφυγής και άλλα ανοίγματα, τα οποία μπορεί να υπάρχουν εσωτερικά του πλοίου. Με βάση αυτά τα ανοίγματα, μπορεί να παραχθεί ο πίνακας σύνδεσης των χώρων.

Η υποδιαίρεση του πλοίου είτε έχει ήδη δηλωθεί, μέσω πίνακα, ή μπορεί να δηλωθεί εντός της εφαρμογής. Με βάση την επιλεγμένη υποδιαίρεση, ακολουθεί η αυτόματη παραγωγή του πίνακα ορίων των διαμερισμάτων, όπου ουσιαστικά περιλαμβάνεται η κατανομή όλων των χώρων στις επιλεγμένες ζώνες. Έπειτα, ορίζονται αυτόματα από το σύστημα οι επιφάνειες που αποτελούν όρια των βλαβών, κατά την εγκάρσια έννοια. Οι επιφάνειες αυτές είναι το όριο του B/2, για τους πιθανοθεωρητικούς κανονισμούς, το όριο του B/5 για τον έλεγχο των κριτηρίων της Κοινοτικής Οδηγίας 25 και το όριο του B/10 για τους κανονισμούς 8.2 και 8.3, σχετικά με τις μικρές πλευρικές βλάβες. Τα παραπάνω είναι απαραίτητα για τον ορισμό των ορίων των ρηγμάτων, ανά σενάριο βλάβης. Το σύνολο των ορισμάτων εισόδου (*input*), ολοκληρώνεται με τη δήλωση των αρχικών, άθικτων καταστάσεων φόρτωσης και τη δήλωση της διαχωρητότητας, ανά χώρο (*compartment*).

Για την περίπτωση των επιβατηγών πλοίων, ενεργοποιούνται τα πρόσθετα στοιχεία ελέγχου των κανονισμών 8 και 9, αλλά και της Κοινοτικής Οδηγίας 25. Το κάθε στοιχείο είναι ανεξάρτητο των υπολοίπων και δημιουργούνται οι βλάβες, που προβλέπονται από τον εκάστοτε κανονισμό, ενώ ακολουθούν οι σχετικοί υπολογισμοί. Ως έξοδος, δηλαδή αποτελέσματα, είναι η ελάχιστη τιμή του μετακεντρικού ύψους, η οποία οδηγεί σε οριακή ικανοποίηση των κριτηρίων του συγκεκριμένου κανονισμού. Προκύπτει επίσης, ως αποτέλεσμα, αν η σχεδίαση ικανοποιεί τους κανονισμούς.

Στη συνέχεια, ακολουθεί ο καθορισμός των βλαβών, για την αξιολόγηση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης. Οι βλάβες, είναι μιας ζώνης, ενώ επαφίεται στο χρήστη η επιλογή του μέγιστου αριθμού ζωνών που εμπλέκονται σε κάθε βλάβη. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα, το ρήγμα να μην είναι, όπως προβλέπεται στους κανονισμούς, δηλαδή *box*, αλλά να επεκτείνεται παράλληλα στο εξωτερικό όριο του πλοίου, δηλαδή *offset*. Στο ίδιο πλαίσιο, μπορούν να δηλωθούν τα στάδια της κάθε βλάβης, όπως και το πλήθος των φάσεων υπολογισμού, ανά στάδιο.

Το αποτέλεσμα των υπολογισμών είναι ουσιαστικά ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης A. Σε επόμενο στάδιο είναι δυνατή η ανάλυση των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, υπολογίζεται ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης, ανά πλήθος εμπλεκόμενων ζωνών στις βλάβες και το ελάχιστο μετακεντρικό ύψος, το οποίο οδηγεί σε οριακή ικανοποίηση των κριτηρίων, ανά βύθισμα. Παράγονται επίσης, τα διαγράμματα συντελεστή επιβιωσιμότητας *SFAC-diagram* και το διάγραμμα *P15*. Εν συνεχεία, μπορούν να παραχθούν λίστες αποτελεσμάτων, με το δείκτη A, ανά σενάριο βλάβης. Πρόσθετη, ανάλυση των αποτελεσμάτων, σχετικά με τον επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης, μπορεί να πραγματοποιηθεί σε αρκετά λεπτομερές επίπεδο. Σε κάθε αριθμό εμπλεκόμενων ζωνών, μπορεί να γίνει γραφική ανάλυση, του επιτευχθέντος δείκτη, ανά βύθισμα και ζώνη, ως προς το μέγιστο επιτευχθέντα δείκτη που θα μπορούσε να επιτευχθεί. Το συγκεκριμένο διάγραμμα, μπορεί να είναι αρκετά χρήσιμο, σε περίπτωση που αναζητούνται λύσεις για την ενίσχυση της ευστάθειας, σε κάθε περιοχή του πλοίου. Τέλος, γίνεται αυτόματα εξεύρεση των σεναρίων βλαβών, που οδήγησαν σε ανατροπή, σε υπέρβαση του ορίου κλίσης και σε βύθιση καιροστεγών ή απροστάτευτων ανοιγμάτων. Τελικά, παράγεται μια γενική αναφορά, σχετικά με την ικανοποίηση των κριτηρίων των κανονισμών ευστάθειας κατόπιν βλάβης.

Η παραπάνω εφαρμογή, εκτελέστηκε για την αξιολόγηση και τον έλεγχο των σχεδιάσεων έναντι των κριτηρίων των κανονισμών. Το υποσύστημα, στο οποίο εκτελείται είναι το *DAM*.

Στο υποσύστημα *DAM*, μπορεί να εκτελεστεί και η εφαρμογή *Flooding Simulation Manager*, η οποία χρησιμοποιείται για την εκτέλεση αριθμητικών προσομοιώσεων κατάκλυσης. Ο συγκεκριμένος *Manager*, έχει ως απαιτούμενα ορίσματα τα εξής:

- Τη γάστρα *DAMHULL*.
- Τη διάταξη *Ship Model*.
- Μια αρχική άθικτη κατάσταση φόρτωσης, για να βασιστούν οι υπολογισμοί.

Στη συνέχεια πρέπει να τοποθετηθούν τα ανοίγματα, σε συγκεκριμένο πίνακα. Ο πίνακας αυτός είναι επαυξημένος, καθώς πρόσθετα της θέσης του ανοίγματος, απαιτείται το εμβαδόν της εγκάρσιας τομής τους, τα διαμερίσματα που συνδέονται μέσω του ανοίγματος, οι τοπικές απώλειες πίεσης, πάνω στο άνοιγμα ή αντίστοιχα, ο συντελεστής αντίστασης στη ροή του νερού και του αέρα. Προαιρετικά, μπορούν, επίσης, να δηλωθούν το ύψος στήλης υγρού που οδηγεί σε διαρροή ή κατάρρευση κάποιου ανοίγματος και ο λόγος εμβαδού ανοίγματος που οδηγεί σε διαρροή, προς το συνολικό εμβαδόν του ανοίγματος. Με βάση τα ανοίγματα, κατασκευάζεται και πάλι ο πίνακας σύνδεσης των χώρων, στον οποίο μπορεί να οριστεί αν κάποιο άνοιγμα είναι ανοιχτό ή όχι.

Τελικά το πρόγραμμα είναι σε θέση να εκτελέσει τους υπολογισμούς σχετικά με την προσομοίωση. Αρχικά, δίνεται η άθικτη κατάσταση φόρτωσης του πλοίου, η οποία πρέπει να έχει οριστεί εξ' αρχής. Στη συνέχεια, επιλέγεται αν η εισροή υδάτων γίνεται μέσω ανοίγματος ή μέσω βλάβης. Αν επιλεγθεί η είσοδος νερού να γίνει μέσω ανοίγματος, τότε το άνοιγμα αυτό πρέπει να βρίσκεται κάτωθεν της ισάλου. Με αυτόν τον τρόπο η προσομοίωση της κατάκλυσης ξεκινάει από την άθικτη κατάσταση και οι σχετικές διαφορικές εξισώσεις, οδηγούν στην περιγραφή της κατάκλυσης από τη δημιουργία του ρήγματος ως την τελική κατάληξη του σεναρίου βλάβης. Σε περίπτωση που η επιλογή για εισροή υδάτων είναι κάποια βλάβη, τότε η προσομοίωση κατάκλυσης ξεκινάει από την τελική ισορροπία, μετά την κατάκλυση των χώρων που ορίζονται στη βλάβη και περιγράφει την εξέλιξη της κατάκλυσης, μετά την κατάκλυση των χώρων αυτών.

Στη συνέχεια, γίνονται κάποιες επιλογές σχετικά με την προσομοίωση, όπως το χρονικό βήμα, ο μέγιστος χρόνος προσομοίωσης και το πλήθος των φάσεων, ανά τις οποίες γίνεται αποθήκευση των αποτελεσμάτων. Εξ' ορισμού, οι παράμετροι που υπολογίζονται είναι η θέση πλεύσης και η ποσότητα νερού κατάκλυσης. Μπορεί όμως να υπολογιστεί και η καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ -φ και μέσω αυτής πρόσθετες παράμετροι, όπως ο συντελεστής s , η μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς, το εύρος της καμπύλης και το μετακεντρικό ύψος. Το μετακεντρικό ύψος, υπολογίζεται ως η εφαπτομένη της καμπύλης GZ -φ, στη γωνία ισορροπίας.

Αντί του μοχλοβραχίονα επαναφοράς, μπορεί να υπολογιστεί η δυναμική εγκάρσια κλίση. Και τα δύο μαζί, όμως είναι αδύνατο να υπολογιστούν. Χρειάζονται πρόσθετες παράμετροι για τον υπολογισμό, όπως η φυσική περίοδος διατοιχισμού, ο κρίσιμος λόγος απόσβεσης, κ.α. Υπολογίζεται, η γωνία κλίσης, ενώ η διαγωγή και το βύθισμα είναι ψευδοστατικά μεγέθη.

Επιπρόσθετα, μπορεί να γίνει υπολογισμός, λαμβάνοντας υπόψη κυματισμούς, είτε αρμονικούς είτε ψευδοτυχαίους, οι οποίοι υπόκεινται σε περιορισμούς, όπως παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 9. Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα να ληφθεί υπόψη η μετακίνηση μαζών, λόγω ολίσθησης φορτίου ή μετακίνησης επιβατών.





12 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. *GOALDS-Goal Based Damage Stability of Passenger Ships*. Papanikolaou, Apostolos, και συν. Seattle : s.n., 2013. SNAME 2013 Annual Meeting.
2. *Buoyancy, stability, and subdivision: from Archimedes to SOLAS 2009 and the way ahead*. Papanikolaou, Apostolos και Fransescutto, A. 2010. IMechE: Engineering for the Maritime Environment.
3. *Probabilistic Assessment of Survival on Case of Grounding: Development and Testing of a Direct Non-Zonal Approach*. Bulian, Gabriele, και συν. Glasgow : s.n., 2015. 12th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles.
4. Παπανικολάου, Απόστολος Δ. *Μελέτη Πλοίου, Μεθοδολογίες Προμελέτης*. Αθήνα : Εκδόσεις Συμείων, 2009.
5. Ruronen, Pekka. *Progressive Flooding of a Damaged Passenger Ship*. Helsinki : Helsinki University of Technology, 2007.
6. *Design for Safety and Stability*. Luhmann, Henning και Pottgen, Jorg. 2015 : s.n., 2015. 12th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles.
7. Σπύρου, Κωνσταντίνος. *Σχεδίαση Πλοίων για Ασφάλεια και Περιβαλλοντική Προστασία*. Αθήνα : Ε.Μ.Π., 2010.
8. Ζαραφωνίτης, Γεώργιος. *Εισαγωγή στη Ναυπηγική και τη Θαλάσσια Τεχνολογία*. Αθήνα : Ε.Μ.Π., 2005.
9. Τζαμπίρας, Γεώργιος Δ. *Υδροστατική και Ευστάθεια Πλοίου I (Ευστάθεια Άθικτου Πλοίου)*. Αθήνα : Ε.Μ.Π., 2010.
10. Τζαμπίρας, Γεώργιος Δ., Δαμάλα, Δήμητρα Π. και Πέρρα, Πάρι Π. *Υδροστατική και Ευστάθεια Πλοίου II (Ευστάθεια Πλοίου μετά από Βλάβη)*. Αθήνα : Ε.Μ.Π., 2008.
11. Dankowski, Hendrik. *A Fast and Explicit Method for Simulating Flooding and Sinkage Scenarios of Ships*. Hamburg : Technical University of Hamburg, 2013.
12. Konovessis, Dimitris, Vassalos, Dracos και Mermiris, George. *Risk Analysis for RoPax Vessels*.
13. *IMO and ro-ro safety*. s.l. : IMO, 1997.
14. Κανελλοπούλου, Αφροδίτη. *Έρευνα για Ευστάθεια μετά από Βλάβη σε Επιβατηγό-Οχηματαγωγό Πλοίο με Χρήση του Ναυπηγικού Προγράμματος NAPA*. Αθήνα : Διπλωματική Εργασία, 2013.
15. *On the development of the new harmonised damage stability regulations for dry cargo and passenger ships*. Papanikolaou, Apostolos και Eliopoulou, Eleftheria. 9, s.l. : Elsevier, 2008, Τόμ. 93.
16. *EMSA III, WTD Risk*. Jasionowski, Andrzej, και συν. Hamburg : s.n., 2015.
17. van Dokkum, K. *Ship Knowledge, A Modern Enyclopedia*.



18. Vassalos, Vracos και Papanikolaou, Apostolos. *Stockholm Agreement-Past, Present & Future (Part I & II)*. s.l. : SU-SSRC/NTUA-SDL, 2001.
19. *Οδηγία 2003/24/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου*. s.l. : Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2003.
20. *International Code on Intact Stability, 2008 (2008 IS CODE)*.
21. *NAPA Manuals 2014*.
22. *Safety & Stability through Innovation in Cruise Ship Design*. Kulovaara, Harri. Glasgow : s.n., 2015. 12th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles.
23. Papanikolaou, A., και συν. *Investigation into the Sinking of the RO-RO Passenger Ferry Express Samina*. s.l. : NTUA-SDL.
24. Ship disasters involving watertight doors. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 12 November 2015.] <http://www.gard.no/web/updates/content/20651838/ship-disasters-involving-watertight-doors>.
25. The world's worst cruise ship disasters. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 12 November 2015.] <http://www.ship-technology.com/features/featurethe-worlds-deadliest-cruise-ship-disasters-4181089/>.
26. FSA-RoPax ships Details of the Formal Safety Assessment. *RINA Web site*. [Ηλεκτρονικό] RINA. [Παραπομπή: 2015 November 12.] http://www.rina.org.uk/hres/msc%2085_inf_3.pdf.
27. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 12 November 2015.] http://www.maritimecenter.dk/public/dokumenter/EMUC/Konferencer/2010/Penge%20og%20Paragraffer/poul_RoRo%20Fleet%201003%20-%20Maritime.pdf.
28. Passenger Ship Safety. *IMO Web Site*. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 12 November 2015.] <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/passengership/Pages/default.aspx>.
29. Damage Stability. *IMO Web Site*. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 12 November 2015.] <http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/StabilityAndSubdivision/Pages/DamageStability.aspx>.
30. RO-RO PASSENGER SHIPS. SPECIFIC STABILITY REQUIREMENTS APPLICABLE IN EUROPEAN UNION WATERS. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 12 November 2015.] http://www1.veristar.com/veristar/dps_info.nsf/9e56a174f11e088cc1256d36004c8779/20e7cd932cc1d9a1c12573b0006059f2?OpenDocument.
31. What is Probabilistic and Deterministic Approach for Calculating Damage Stability. [Ηλεκτρονικό] <http://marinerjai.blogspot.gr/2013/01/what-is-probabilistic-and-deterministic.html>.
32. Papanikolaou, Apostolos., και συν. *Risk-Based Ship Design, Methods, Tools and Applications*. Berlin : Springer, 2009.



33. Resolution MSC.281 (85): Explanatory Notes to the SOLAS Chapter II-1 Subdivision and Damage Stability Regulations. 2008.

34. Resolution MSC.216 (82): Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as Amended. 2006.

35. SOLAS, Chapter II-1, Part B-1 & Part B-2.

36. Resolution A.266(VIII): Recommendation on a Standard Method for Establishing Compliance with the Requirements for Cross-Flooding Arrangements in Passenger Ships .

37. Wikipedia. [Ηλεκτρονικό]

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_maritime_disasters_in_the_21st_century.

38. Wikipedia. [Ηλεκτρονικό] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_roll-on/roll-off_vessel_accidents.