



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

“ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗ”

ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΑΒΒΟΓΛΟΥ Σ. ΧΡΗΣΤΟΥ

“ΜΕΛΕΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΙΓΑΣΤΡΩΝ
ΠΛΟΙΩΝ ΤΥΠΟΥ CATAMARAN”

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Ι. ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2015

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την δυναμική συμπεριφορά δύο δίγαστρων σκάφων, τύπου catamaran μεσαίων ταχυτήτων, σε αρμονικούς και τυχαίους κυματισμούς με την χρήση του κώδικα SWAN2.

Η υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας βασίζεται στην συνεργασία με τον καθ. Γ. Ι. Γρηγορόπουλο, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για τις χρήσιμες συμβουλές και την βοήθεια που μου παρείχε κατά την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
2	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ - ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΙΓΑΣΤΡΩΝ ΣΚΑΦΩΝ ΤΥΠΟΥ CATAMARAN.....	18
2.1	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΙΓΑΣΤΡΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΤΥΠΟΥ CATAMARAN.....	18
2.2	ΤΑ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΙΓΑΣΤΡΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΤΥΠΟΥ CATAMARAN.....	20
3	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ SWAN2	22
3.1	Η ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ Ο ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ SWAN2.....	22
3.2	ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SWAN2 ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	24
4	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΔΙΓΑΣΤΡΩΝ ΠΛΟΙΩΝ.....	26
5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ (STEADY ANALYSIS)	28
6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΣΕ ΑΡΜΟΝΙΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ	32
6.1	ΕΙΔΗ ΚΙΝΗΣΕΩΝ	32
6.2	ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ.....	33
6.3	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ	33
6.4	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΡΑΟ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL74 ΣΕ ΑΡΜΟΝΙΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ.....	34
6.5	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΡΑΟ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL92 ΣΕ ΑΡΜΟΝΙΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ.....	76
7	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ RMS ΤΙΜΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ	118
7.1	ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΣΚΑΦΟΥΣ	118
7.2	RMS ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL74	120
7.3	RMS ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL74.....	123
7.4	RMS ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL92	128
7.5	RMS ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL92.....	131
7.6	ΣΥΓΚΡΙΣΗ RMS ΤΙΜΩΝ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL74 ΚΑΙ HULL92	136
7.7	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	139
8	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΠΛΟΙΩΝ	142
8.1	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	142

8.2	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ	144
8.3	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ -ΑΝΕΣΗΣ ΕΠΙΒΑΤΩΝ	145
8.4	ΣΥΓΚΡΙΣΗ RMS ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL74 ΜΕ ΑΠΟΔΕΚΤΑ ΚΡΗΤΗΡΙΑ 145	
8.5	ΣΥΓΚΡΙΣΗ RMS ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL92 ΜΕ ΑΠΟΔΕΚΤΑ ΚΡΗΤΗΡΙΑ 155	
9	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	165
10	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	166

Πίνακας 4.1:	Χαρακτηριστικά των υπό μελέτη πλοίων	26
Πίνακας 5.1:	Πίνακας αποτελεσμάτων ολικής αντίστασης και αντίστασης κυματισμού μοντέλου CW_M	28
Πίνακας 5.2:	Αποτελέσματα αντίστασης κυματισμού C_w , δυναμικής βύθισης Sinkage και διαγωγής trim για την μικρή κλίμακα (HULL 74)	29
Πίνακας 5.3:	Αποτελέσματα αντίστασης κυματισμού C_w , δυναμικής βύθισης Sinkage και διαγωγής trim για την μεγάλη κλίμακα (HULL 92)	29
Πίνακας 6.1.1:	Ονοματολογία κινήσεων πλοίου	32
Πίνακας 6.3.1:	Πίνακας σημείων υπολογισμού των επιταχύνσεων	34
Πίνακας 7.1.1:	Πίνακας καταστάσεων θάλασσας	119
Πίνακας 7.2.1:	Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_1 (surge)	120
Πίνακας 7.2.2:	Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_2 (sway)	120
Πίνακας 7.2.3:	Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_3	121
Πίνακας 7.2.4:	Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_4 (roll)	121
Πίνακας 7.2.5:	Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_5 (pitch)	121
Πίνακας 7.2.6:	Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_6 (yaw)	122
Πίνακας 7.3.1:	Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους του πλοίου	123
Πίνακας 7.3.2:	Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πλώρη	123
Πίνακας 7.3.3:	Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρύμνη	123
Πίνακας 7.3.4:	Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης κατάστρωμα επιβατών	124
Πίνακας 7.3.5:	Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στην γέφυρα	124
Πίνακας 7.3.6:	Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκους επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους του πλοίου	124
Πίνακας 7.3.7:	Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκους επιτάχυνσης στην πλώρη	125
Πίνακας 7.3.8:	Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκους επιτάχυνσης στην πρύμνη	125
Πίνακας 7.3.9:	Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκους επιτάχυνσης στο κατάστρωμα επιβατών	125
Πίνακας 7.3.10:	Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκους επιτάχυνσης στην γέφυρα	126
Πίνακας 7.3.11:	Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους του πλοίου	126
Πίνακας 7.3.12:	Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πλώρη	126
Πίνακας 7.3.13:	Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πρύμνη	127

Πίνακας 7.3.14: Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στο κατάστρωμα επιβατών	127
Πίνακας 7.3.15: Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στην γέφυρα.....	127
Πίνακας 7.4.1: Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_1 (surge)	128
Πίνακας 7.4.2: Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_2 (sway).....	128
Πίνακας 7.4.3: Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_3 (heave).....	129
Πίνακας 7.4.4: Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_4 (roll)	129
Πίνακας 7.4.5: Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_5 (pitch)	129
Πίνακας 7.4.6 Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_6 (yaw)	130
Πίνακας 7.5.1: Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους του πλοίου	131
Πίνακας 7.5.2: Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πλώρη	131
Πίνακας 7.5.3: Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρύμνη	131
Πίνακας 7.5.4: Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών.....	132
Πίνακας 7.5.5: Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στην γέφυρα	132
Πίνακας 7.5.6: Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκους επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους του πλοίου	132
Πίνακας 7.5.7: Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκους επιτάχυνσης στην πλώρη	133
Πίνακας 7.5.8: Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκους επιτάχυνσης στην πρύμνη.....	133
Πίνακας 7.5.9: Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκους επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών	133
Πίνακας 7.5.10: Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκους επιτάχυνσης στην γέφυρα	134
Πίνακας 7.5.11: Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους του πλοίου	134
Πίνακας 7.5.12: Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πλώρη.....	134
Πίνακας 7.5.13: Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πρύμνη	135
Πίνακας 7.5.14: Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών	135
Πίνακας 7.5.15: Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στην γέφυρα.....	135
Πίνακας 7.6.1: Σύγκριση RMS τιμών της κίνησης ξ_1 (surge) των δύο πλοίων	136
Πίνακας 7.6.2: Σύγκριση RMS τιμών της κίνησης ξ_2 (sway) των δύο πλοίων.....	137
Πίνακας 7.6.3: Σύγκριση RMS τιμών της κίνησης ξ_3 (heave) των δύο πλοίων.....	137
Πίνακας 7.6.4: Σύγκριση RMS τιμών της κίνησης ξ_4 (roll) των δύο πλοίων	138
Πίνακας 7.6.5: Σύγκριση RMS τιμών της κίνησης ξ_5 (pitch) των δύο πλοίων.....	138
Πίνακας 7.6.6: Σύγκριση RMS τιμών της κίνησης ξ_6 (yaw) των δύο πλοίων	139
Πίνακας 7.7.1: Σύγκριση αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων σε φυσική κλίμακα της RMS τιμής της απόκρισης HEAVE σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$).	139
Πίνακας 7.7.2 : Σύγκριση αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων σε φυσική κλίμακα της RMS τιμής της απόκρισης PITCH σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$).....	140
Πίνακας 7.7.3 Σύγκριση αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων σε φυσική κλίμακα της RMS τιμής της κάθετης επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$).	140

Πίνακας 7.7.4: Σύγκριση αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων σε φυσική κλίμακα της RMS τιμής της κάθετης επιτάχυνσης στην πλήρη σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$).	140
Πίνακας 7.7.5: Σύγκριση αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων σε φυσική κλίμακα της RMS τιμής της κάθετης επιτάχυνσης στην πρύμνη σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$).	140
Πίνακας 8.1.1: Πίνακας κριτηρίων λειτουργησιμότητας Nordic Project 1987	142
Πίνακας 8.3.1: Κριτήρια απόδοσης προσωπικού και άνεσης επιβατών	145
Σχήμα 4.1: Σχέδιο ναυπηγικών γραμμών των υπό μελέτη πλοίων	27
Σχήμα 5.1: Διάγραμμα συντελεστή αντίστασης κυματισμού C_W	30
Σχήμα 5.2: Διάγραμμα δυναμικής βύθισης συναρτήσει του αριθμού Froude	30
Σχήμα 5.3: Διάγραμμα δυναμικής διαγωγής συναρτήσει του αριθμού Froude	31
Σχήμα 6.1.1: Ονοματολογία κινήσεων πλοίου	32
Σχήμα 6.4.1: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$)- HULL74	34
Σχήμα 6.4.2: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74	35
Σχήμα 6.4.3: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$)	35
Σχήμα 6.4.4: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 για ταχύτητα 13kn ($F_n=0.244$)- HULL74	36
Σχήμα 6.4.5: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 για ταχύτητα 15kn ($F_n=0.281$) - HULL74	36
Σχήμα 6.4.6: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 για ταχύτητα 17kn ($F_n=0.319$) - HULL74	37
Σχήμα 6.4.7: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 για ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$)- HULL74	37
Σχήμα 6.4.8: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74	38
Σχήμα 6.4.9: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74	38
Σχήμα 6.4.10: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.244$)- HULL74	39
Σχήμα 6.4.11: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$)-HULL74	39
Σχήμα 6.4.12: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$)- HULL74	40
Σχήμα 6.4.13: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$)-HULL74	40
Σχήμα 6.4.14: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL74	41
Σχήμα 6.4.15: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74	41
Σχήμα 6.4.16: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74	42
Σχήμα 6.4.17: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.244$) - HULL74	42
Σχήμα 6.4.18: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) - HULL74	43
Σχήμα 6.4.19: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$) - HULL74	43
Σχήμα 6.4.20: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) - HULL74	44
Σχήμα 6.4.21: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 σε πλωριούς κυματισμού($\beta=135^\circ$) - HULL74	44

Σχήμα 6.4.22: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74	45
Σχήμα 6.4.23: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.244$) - HULL74	45
Σχήμα 6.4.24: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) - HULL74	46
Σχήμα 6.4.25: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$) - HULL74	46
Σχήμα 6.4.26: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) - HULL74	47
Σχήμα 6.4.27: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL74	47
Σχήμα 6.4.28: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74	48
Σχήμα 6.4.29: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74	48
Σχήμα 6.4.30: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.244$) - HULL74	49
Σχήμα 6.4.31: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) - HULL74	49
Σχήμα 6.4.32: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$) - HULL74	50
Σχήμα 6.4.33: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) - HULL74	50
Σχήμα 6.4.34: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74	51
Σχήμα 6.4.35: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74	51
Σχήμα 6.4.36: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.244$) - HULL74	52
Σχήμα 6.4.37: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) - HULL74	52
Σχήμα 6.4.38: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$) - HULL74	53
Σχήμα 6.4.39: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) - HULL74	53
Σχήμα 6.4.40: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.244$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL74	54
Σχήμα 6.4.41: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL74	54
Σχήμα 6.4.42: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL74	55
Σχήμα 6.4.43: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL74	55
Σχήμα 6.4.44: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.281$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74.....	56
Σχήμα 6.4.45: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74.....	56
Σχήμα 6.4.46: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74.....	57
Σχήμα 6.4.47: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74.....	57
Σχήμα 6.4.48: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.244$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74.....	58
Σχήμα 6.4.49: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74.....	58

[illegible]

Σχήμα 6.4.73: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74.....	70
Σχήμα 6.4.74: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74.....	71
Σχήμα 6.4.75: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πλώρη- HULL74	71
Σχήμα 6.4.76: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πλώρη- HULL74	72
Σχήμα 6.4.77: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους του πλοίου- HULL74	72
Σχήμα 6.5.1: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92	76
Σχήμα 6.5.2: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92	76
Σχήμα 6.5.3: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92	77
Σχήμα 6.5.4: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.253$) - HULL92. 77	
Σχήμα 6.5.5: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.287$) - HULL92. 78	
Σχήμα 6.5.6: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.328$) - HULL92. 78	
Σχήμα 6.5.7: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε ταχύτητα 21 kn ($F_n=0.355$) - HULL92. 79	
Σχήμα 6.5.8: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92	79
Σχήμα 6.5.9: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92	80
Σχήμα 6.5.10: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) - HULL92	80
Σχήμα 6.5.11: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) - HULL92	81
Σχήμα 6.5.12: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.328$) - HULL92	81
Σχήμα 6.5.13: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.355$) - HULL92	82
Σχήμα 6.5.14: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 για μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92	82
Σχήμα 6.5.15: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 για πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92	83
Σχήμα 6.5.16: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 για πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92	83
Σχήμα 6.5.17: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 για ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) - HULL92	84
Σχήμα 6.5.18: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 για ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) - HULL92	84
Σχήμα 6.5.19: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 για ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.328$) - HULL92	85
Σχήμα 6.5.20: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 για ταχύτητα 21 Kn ($F_n=0.355$) - HULL92	85
Σχήμα 6.5.21: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 για πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92	86
Σχήμα 6.5.22: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 για πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$).....	86

Σχήμα 6.5.23: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 για ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) - HULL92	87
Σχήμα 6.5.24: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 για ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) - HULL92	87
Σχήμα 6.5.25: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 για ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.328$) - HULL92	88
Σχήμα 6.5.26: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 για ταχύτητα 21 Kn ($F_n=0.355$) - HULL92	88
Σχήμα 6.5.27: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92	89
Σχήμα 6.5.28: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92	89
Σχήμα 6.5.29: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92	90
Σχήμα 6.5.30: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) - HULL92	90
Σχήμα 6.5.31: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) - HULL92	91
Σχήμα 6.5.32: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.328$) - HULL92	91
Σχήμα 6.5.33: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε ταχύτητα 21 Kn ($F_n=0.355$) - HULL92	92
Σχήμα 6.5.34: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92	92
Σχήμα 6.5.35: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$)	93
Σχήμα 6.5.36: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) - HULL92	93
Σχήμα 6.5.37: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) - HULL92	94
Σχήμα 6.5.38: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.328$) - HULL92	94
Σχήμα 6.5.39: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε ταχύτητα 21 Kn ($F_n=0.355$) - HULL92	95
Σχήμα 6.5.40: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.253$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92	95
Σχήμα 6.5.41: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.287$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92	96
Σχήμα 6.5.42: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.320$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$)	96
Σχήμα 6.5.43: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 21 kn ($F_n=0.355$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92	97
Σχήμα 6.5.44: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.253$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92	97
Σχήμα 6.5.45: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.287$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92	98
Σχήμα 6.5.46: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.328$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92	98
Σχήμα 6.5.47: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 21 kn ($F_n=0.355$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92	99
Σχήμα 6.5.48: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.320$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92	99
Σχήμα 6.5.49: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.287$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92	100

Σχήμα 6.5.50: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.320$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92.....	100
Σχήμα 6.5.51: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 21 kn ($F_n=0.355$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92.....	101
Σχήμα 6.5.52: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πλώρη- HULL92.	101
Σχήμα 6.5.53: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρύμνη- HULL92.	102
Σχήμα 6.5.54: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους του πλοίου- HULL92.	102
Σχήμα 6.5.55: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92.	103
Σχήμα 6.5.56: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) και σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92.	103
Σχήμα 6.5.57: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) και σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92.	104
Σχήμα 6.5.58: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.328$) και σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92.	104
Σχήμα 6.5.59: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 21 Kn ($F_n=0.355$) και σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92.	105
6.5.60 Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) και σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.....	105
6.5.61 Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) και σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.	106
6.5.62 Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.328$) και σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.	106
6.5.63 Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 21 Kn ($F_n=0.355$) και σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.	107
6.5.64 Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) και σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92.	107
6.5.65 Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) και σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92.	108
6.5.66 Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) και σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92.	108
6.5.67 Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 21 Kn ($F_n=0.355$) και σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92.	109
Σχήμα 6.5.68: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) και σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.	109
Σχήμα 6.5.69: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) και σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.	110
Σχήμα 6.5.70: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.328$) και σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.	110
Σχήμα 6.5.71: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 21 Kn ($F_n=0.355$) και σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.	111

Σχήμα 6.5.72: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) και σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92	111
Σχήμα 6.5.73: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) και σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92	112
Σχήμα 6.5.74: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.328$) και σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92	112
Σχήμα 6.5.75: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 21 Kn ($F_n=0.355$) και σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92	113
Σχήμα 6.5.76: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πλώρη- HULL92.	113
Σχήμα 6.5.77: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους του πλοίου- HULL92.	114
Σχήμα 6.5.78: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πρύμνη του πλοίου- HULL92.	114
Σχήμα 7.1.1: Συσχέτιση διέγερσης – απόκρισης μέσω συνάρτησης μεταφοράς $R_{\xi}(\omega)$	118
Σχήμα 7.1.2: Διπαραμετρικό φάσμα bretscheider των θαλασσών που χρησιμοποιήθηκαν	119
Σχήμα 8.1.1 Κριτήριο κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πωραία κάθετο (FP).....	143
Σχήμα 8.1.2: Κρίσιμη πιθανότητα σφυρόκρουσης για εμπορικά πλοία	143
Σχήμα 8.4.1: Διάγραμμα RMS τιμών της κίνησης ξ_4 σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) HULL74	146
Σχήμα 8.4.2: Διάγραμμα RMS τιμών της κίνησης ξ_4 σε πλευρικούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL74	146
Σχήμα 8.4.3 Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πλώρη σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) κυματισμούς HULL74	147
Σχήμα 8.4.4: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πλώρη σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL74.....	147
Σχήμα 8.4.5: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πλώρη σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL74	148
Σχήμα 8.4.6: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στην γέφυρα σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL74.....	148
Σχήμα 8.4.7: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πλώρη σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL74.....	149
Σχήμα 8.4.8: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) κυματισμούς HULL74	149
Σχήμα 8.4.9 Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL74.....	150
Σχήμα 8.4.10: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL74.....	150
Σχήμα 8.4.11: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρύμνη σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) κυματισμούς HULL74	151
Σχήμα 8.4.12 Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρύμνη σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL74.....	151
Σχήμα 8.4.13: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρύμνη σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL74	152

Σχήμα 8.4.14: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL74.....	152
Σχήμα 8.4.15: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL74.....	153
Σχήμα 8.4.16: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πρύμνη σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL74.....	153
Σχήμα 8.4.17: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πρύμνη σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL74	154
Σχήμα 8.5.1: Διάγραμμα RMS τιμών της κίνησης ξ_4 σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL92.....	155
Σχήμα 8.5.2: Διάγραμμα RMS τιμών της κίνησης ξ_4 σε πλευρικούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL92	156
Σχήμα 8.5.3: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πλώρη σε μετωπικούς ($\beta=180^\circ$) κυματισμούς HULL92.....	156
Σχήμα 8.5.4: Διάγραμμα RMS τιμών της κάθετης επιτάχυνσης στην πλώρη σε πλευρικούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL92	157
Σχήμα 8.5.5: Διάγραμμα RMS τιμών της κάθετης επιτάχυνσης στην πλώρη σε πλωριούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL92	157
Σχήμα 8.5.6: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στην γέφυρα σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL92.....	158
Σχήμα 8.5.7: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στην γέφυρα σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL92.....	158
Σχήμα 8.5.8: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL92	159
Σχήμα 8.5.9: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL92.....	159
Σχήμα 8.5.10: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην γέφυρα σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL92	160
Σχήμα 8.5.11: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρύμνη σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) κυματισμούς HULL92	160
Σχήμα 8.5.12: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρύμνη σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL92.....	161
Σχήμα 8.5.13: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρύμνη σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL92	161
Σχήμα 8.5.14: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL92.....	162
Σχήμα 8.5.15: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL92.....	162
Σχήμα 8.5.16: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πρύμνη σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL92.....	163
Σχήμα 8.5.17: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πρύμνη σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL92	163

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εξετάζεται η δυναμική συμπεριφορά δύο διγαστρων πλοίων, τύπου καταμαράν. Η μορφή των γραμμών που χρησιμοποιήθηκαν αναπτύχθηκε από τον καθηγητή Γ. Ζαραφωνίτη στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος Cargoxpresss 2011. Τα δυο πλοία είναι διαφορετικής κλίμακας, έχουν βολβοειδή πλώρη ενώ η πρύμνη τους είναι τύπου καθρέφτη, οι γάστρες δε είναι συμμετρικές.

Στην εργασία αυτή αρχικά γίνεται αναφορά στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα πλοία αυτά και κατόπιν γίνεται μια συνοπτική περιγραφή του λογισμικού SWAN2 που θα χρησιμοποιηθεί. Με την χρήση του λογισμικού (steady analysis) γίνεται εκτίμηση της αντίστασης κυματισμού, της δυναμικής βύθισης και της διαγωγής για αριθμούς Froude από 0.24 έως 0.35. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για την αντίσταση κυματισμού συγκρίνονται με αποτελέσματα που προέκυψαν από δόκιμες σε μοντέλο στην δεξαμενή του ΕΜΠ.

Στην συνέχεια γίνεται χρήση του SWAN2 (unsteady analysis) σε αρμονικούς κυματισμούς με περίοδο από T ίση με 3 έως 15,7 sec και σε γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού $\beta=180^\circ, 135^\circ, 90^\circ$ και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των κινήσεων surge, sway, heave, roll, pitch και yaw καθώς και των κάθετων, οριζόντιων και εγκάρσιων επιταχύνσεων για ταχύτητες που αντιστοιχούν στους παραπάνω αριθμούς Froude.

Κατόπιν εφαρμόζοντας το φάσμα Bretschneider υπολογίζονται οι μέσες τετραγωνικές τιμές (RMS - root mean square) των αποκρίσεων σε τυχαίους κυματισμούς για τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις θάλασσας με ύψος κύματος $H^{1/3}=2, 3, 4, 5$ m και συχνότητες κορυφής $T=7.7, 8.6, 10.3, 11$ sec αντίστοιχα. Τα αριθμητικά αποτελέσματα που προκύπτουν συγκρίνονται μεταξύ τους και με αποτελέσματά που έχουν προκύψει από πειράματα σε μοντέλο στην δεξαμενή του ΕΜΠ. Τέλος τα αποτελέσματα συγκρίνονται με αποδεκτά κριτήρια προκειμένου να διαπιστωθεί η καλή συμπεριφορά των δύο πλοίων στους κυματισμούς.

Ακολουθεί ονοματολογία συμβόλων που εμφανίζονται μέσα στην εργασία αυτή.

ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

L_{BP}	: Μήκος μεταξύ καθέτων [m]
L_{WL}	: Μήκος ίσαλου [m]
B	: Μέγιστο πλάτος [m]
V	: Εκτοπιζόμενος όγκος [m^3]
Δ	: Εκτόπισμα [tons]
Fn	: Αριθμός Froude [-]
WS	: Βρεχόμενη επιφάνεια [m^2]
U	: Ταχύτητα [m/sec]
T	: Μέσο βύθισμα [m]
t	: Δυναμική διαγωγή, έμπρωρη ή έμπρυμνη [m]
ρ	: Πυκνότητα νερού [kg/m^3]
g	: Επιτάχυνση της βαρύτητας [$9.81\ m/sec^2$]
Tp	: Περίοδος κορυφής κύματος, [sec]
Tp'	: Αδιάστατη περίοδος [-]
$H^{1/3}$: Σημαντικό ύψος κύματος [m]
A	: Πλάτος κύματος [m]
λ	: Μήκος κύματος [m]
k	: Κυματικός αριθμός [], για βαθύ νερό $k=\omega^2/9,81$
ω	: Κυκλική συχνότητα [rad/sec]
f	: Συχνότητα [Hz]
$S(f)$: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος (συναρτήσει της συχνότητας)
$S(\omega)$: Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος (συναρτήσει της κυκλικής συχνότητας)
\sqrt{mo}	: Rms (root mean square), η μέση τετραγωνική τιμή
RAO	: Συντελεστής απόκρισης (Response Amplitude Operator), που ισούται με το πηλίκο του πλάτους απόκρισης προς το πλάτος της διέγερσης

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα κύματα του ωκεανού ήταν πάντα ένα πρόβλημα για τον ναυπηγό, ο οποίος έχει την ευθύνη να διασφαλίσει όχι μόνο ότι το πλοίο μπορεί πλεύσει με ασφάλεια κάτω από τις πιο μεγάλες θαλασσοταραχές, αλλά και ότι μπορεί να πλεύσει κάτω από αντίξοες συνθήκες με ελάχιστη καθυστέρηση.

Η μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς ενός πλοίου σε κυματισμούς πραγματεύεται, τον υπολογισμό των δυναμικών αποκρίσεων της κατασκευής (σύστημα 6 βαθμών ελευθερίας) σε κάποια κατάσταση θάλασσας και τον έλεγχο της ικανότητάς του να λειτουργεί και να διεκπεραιώνει επιτυχώς και ασφαλώς το σκοπό της σχεδιάσής του, παρά τις οποιεσδήποτε αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Η αξιολόγηση της δυναμικής συμπεριφοράς ενός συγκεκριμένου πλοίου γίνεται σε σχέση με την αποστολή του, τις περιβαλλοντικές συνθήκες για τη συγκεκριμένη περιοχή όπου το πλοίο πρόκειται να λειτουργήσει και με βάση το απαιτούμενο επίπεδο αποδοτικότητας.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η διερεύνησης της δυναμικής συμπεριφοράς των πλοίων καταμαράν που λόγω των υψηλών καθέτων επιταχύνσεων, του προνευστασμού και της μεγάλης κατακόρυφης κίνησης που παρουσιάζουν σε σχέση με τα συμβατικά πλοία προκαλούν στου επιβάτες δυσφορία, ναυτία ή ατυχήματα. Σε μεγάλο βαθμό η δυναμική συμπεριφορά των δίγαστρων πλοίων σε κυματισμούς είναι περιοριστική παράμετρος για τη λειτουργία τους.

Η πρόβλεψη της δυναμικής συμπεριφοράς των πλοίων γίνεται με δοκιμές σε μοντέλο, με μετρήσεις πλήρης κλίμακας για τα πλοία στη θάλασσα, με υπολογιστικές μεθόδους όπως υπολογισμοί στο πεδίο των συχνοτήτων, υπολογισμοί στο πεδίο του χρόνου (προσομοίωση στο χρόνο) κ.λπ. Οι υπολογιστικές μέθοδοι είναι εξειδικευμένα υπολογιστικά πακέτα που αναλαμβάνουν να κάνουν προβλέψεις της συμπεριφοράς του σκάφους με την χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Με την χρήση μιας τέτοιας μεθόδου θα ασχοληθούμε στα πλαίσια αυτής της εργασίας.

Γενικά η δυναμική συμπεριφορά των πλοίων διερευνάται σε σχέση με τα ακόλουθα θέματα:

- Μέγιστη ταχύτητα σε θαλασσοταραχή: ακούσια μείωση της ταχύτητας λόγω της προστιθέμενης αντίστασης σε κύματα και τη μείωση εθελοντικά της ταχύτητας για την αποφυγή υπερβολικών κινήσεων, μείωση φορτίσεων κ.λπ.
- Βελτιστοποίηση των δρομολογίων (routing) για την ελαχιστοποίηση, π.χ., του χρόνου μεταφοράς, κατανάλωση καυσίμου, ή το συνολικό κόστος.
- Διαρθρωτικό σχεδιασμό του πλοίου σε σχέση με τις φορτίσεις σε θαλασσοταραχές.
- Κατοικησιμότητα (habitability) και την ασφάλεια των επιβατών και πληρώματος επί του σκάφους: αποδοτικότητα πληρώματος, άνεση επιβατών.

- Ασφάλεια των πλοίων: ανατροπή, μεγάλες κλίσεις και επιταχύνσεις, οι επιπτώσεις από το κύμα στις υπερκατασκευές ή στο κατάστρωμα φορτίου, ανάδυση της έλικας με αποτέλεσμα τις υπερβολικές στροφές στον κινητήρα.
- Επιχειρησιακά όρια για τα πλοία (η προσνήωση ελικοπτέρων).

Για την επίτευξη των παραπάνω αντικειμένων υπάρχουν τρία βασικά βήματα που πρέπει να γίνουν κατά τη διάρκεια μιας σχεδίασης:

- Προσδιορισμός ή πρόβλεψη των καταστάσεων θάλασσας που πρόκειται να λειτουργήσει το πλοίο.
- Ποιοτικά και ποσοτικά κριτήρια για διάφορες αποκρίσεις του πλοίου που δεν πρέπει εν γένει να υπερβαίνονται για να είναι αποδεκτή και επιτυχής η σχεδίαση.
- Εναλλακτικές λύσεις στην περίπτωση που δεν ικανοποιούνται τα κριτήρια.

Επομένως, η ταχύτητα ενός καταμαράν σε κυματισμένη θάλασσα μπορεί να περιοριστεί είτε από την διατιθέμενη ισχύ της κύριας μηχανής του (involuntary speed loss in waves), είτε από τον εκούσιο περιορισμό της ταχύτητας του (voluntary speed reduction) από τον καπετάνιο για να αποφύγει υπερβολικές κινήσεις / αποκρίσεις του πλοίου, π.χ. σφυρόκρουση πλώρης

2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ - ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΙΓΑΣΤΡΩΝ ΣΚΑΦΩΝ ΤΥΠΟΥ CATAMARAN.

Τα δίγαστρα σκάφη αποτελούνται από δύο γάστρες που συνδέονται μεταξύ τους με μια υπερκατασκευή που βρίσκεται εξ' ολοκλήρου πάνω από το νερό.

2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΙΓΑΣΤΡΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΤΥΠΟΥ CATAMARAN

Τα πλεονεκτήματα των δίγαστρων σκαφών τύπου catamaran είναι τα εξής:

i. Η μεγάλη επιφάνεια καταστρωμάτων

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των δίγαστρων σκαφών είναι η μεγάλη επιφάνεια καταστρωμάτων, χαρακτηριστικό ιδιαίτερα σημαντικό για τα επιβατηγά ή επιβατηγά-οχηματαγωγά πλοία

ii. Η μεγάλη εγκάρσια ευστάθεια

Το πιο χαρακτηριστικό πλεονέκτημα των δίγαστρων σκαφών και αυτό που εξ' αρχής προκάλεσε το ενδιαφέρον των κατασκευαστών είναι η εγκάρσια ευστάθειά τους, η μεγάλη δηλαδή ασφάλεια έναντι ανατροπής που προσφέρουν και που οφείλεται ακριβώς στη στήριξή τους σε δύο γάστρες.

Σε σύγκριση με το μονόγαστρο πλοίο, τα δύο δίγαστρα παρ' όλο που έχουν σημαντικά μικρότερη ολική επιφάνεια ισάλου, παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερο μετακεντρικό ύψος. Η διαφορά αυτή οφείλεται στη μεγάλη τιμή της ροπής αδράνειας της ισάλου επιφανείας των δίγαστρων σκαφών. Η συνολική ροπή αδράνειας της ισάλου επιφανείας δίνεται από την σχέση:

$$I_{TC}=2(I_{Tm}+S_{CL}^2 A_{WLm})$$

Όπου I_{Tm} : η ροπή αδράνειας της ισάλου σε m^4 .

S_{CL} : η απόστασή του κέντρου της ημιγάστρας από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του σκάφους σε m.

A_{WLm} : Το εμβαδόν της ισάλου της κάθε ημιγάστρας σε m^2 .

Η κύρια συνεισφορά στην ροπή αδράνειας προέρχεται από τον δεύτερο όρο της πιο πάνω εξίσωσης που προκύπτει από την «μετατόπιση» της ημιγάστρας κατά την εγκάρσια διεύθυνση. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ο μελετητής έχει τη δυνατότητα να μειώσει ελεύθερα το πλάτος και την ισάλο επιφάνεια της κάθε ημιγάστρας (αυξάνοντας αντίστοιχα το βύθισμα, προκειμένου να εξασφαλίσει το απαιτούμενο εκτόπισμα) χωρίς να ανησυχεί για την εμφάνιση προβλημάτων εγκάρσιας ευστάθειας, εφ' όσον φυσικά η εγκάρσια απόσταση μεταξύ των γαστρών είναι αρκετά μεγάλη για να εξασφαλίσει την απαιτούμενη συνολική ροπή αδράνειας. Κατ' αυτόν τον τρόπο

είναι δυνατή η κατασκευή ιδιαίτερα λεπτόγραμμων γαστρών προκειμένου να μειωθεί η αντίσταση του πλοίου και η απαιτούμενη ισχύς πρόωσης.

Όσον αφορά την δυναμική ευστάθεια (ευστάθεια μεγάλων κλίσεων) προκύπτει γενικά ότι σε γωνία κλίσης περίπου των 16° αρχίζει να αναδύεται ο πυθμένας της μίας ημιγιάστρας στην περιοχή της πρύμνης. Σε ακόμη μεγαλύτερες γωνίες κλίσης η μία ημιγιάστρα αναδύεται εξ' ολοκλήρου, προκαλώντας την πτώση του μοχλοβραχίονα επαναφοράς.

Αυτή η συμπεριφορά των δίγαστρων πλοίων έχει σαν αποτέλεσμα τα πλοία αυτά, παρά την πολύ μεγάλη εγκάρσια ευστάθειά τους, να μην είναι σε θέση να ικανοποιήσουν το αντίστοιχο κριτήριο των κανονισμών ευστάθειας του IS CODE 2008 που αφορά τη γωνία εμφάνισης του μεγίστου της καμπύλης GZ-φ. Οι κανονισμοί ευστάθειας των ταχύπλοων σκαφών (HIGH SPEED CODE 1994 & 2000) λαμβάνουν υπ' όψη αυτή την ιδιομορφία των δίγαστρων πλοίων, απαιτώντας η γωνία μεγίστου μοχλοβραχίονα επαναφοράς να είναι μεγαλύτερη των 10° . Για να εφαρμοστούν όμως οι απατήσεις των ταχύπλοων σκαφών θα πρέπει τα σκάφη αυτά να μπορούν να αναπτύξουν μέγιστη ταχύτητα σε m/s ίση ή μεγαλύτερη από $3.7V^{0.1667}$,

όπου V : ο όγκος που εκτοπίζουν σε m^3 .

iii. Η δυνατότητα επίτευξης μεγάλων ταχυτήτων

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των δίγαστρων πλοίων είναι η δυνατότητα ανάπτυξης μεγάλων ταχυτήτων χάρις στις ιδιαίτερα λεπτόγραμμες ημιγιάστρες τους που περιορίζουν την αύξηση της αντίστασης κυματισμού. Το πλεονέκτημά τους αυτό περιορίζεται σε ένα βαθμό λόγω της αύξησης της αντίστασης που προκαλείται από την αλληλεπίδραση των δύο γαστρών, αλλά και λόγω της αυξημένης βρεχόμενης επιφάνειάς τους σε σύγκριση με ένα μονόγαστρο πλοίο του ίδιου εκτοπίσματος (μεγαλύτερη αντίσταση τριβής).

Σε χαμηλές ταχύτητες ($F_n \leq 0.35$) τα δίγαστρα σκάφη παρουσιάζουν συγκριτικά μεγαλύτερη αντίσταση από τα μονόγαστρα, λόγω της αυξημένης βρεχόμενης επιφάνειας. Σε μεγαλύτερες ταχύτητες όμως, ιδίως στην περιοχή του μεγίστου του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης, τα δίγαστρα πλοία εμφανίζουν καλύτερη συμπεριφορά.

iv. Η μεγαλύτερη ευχέρεια χειρισμών και ευελιξία σε μικρές ταχύτητες

Σε σχέση με ένα μονόγαστρο πλοίο της ίδιας μεταφορικής ικανότητας, το δίγαστρο έχει αρκετά μικρότερο μήκος και σημαντικά μεγαλύτερη ευχέρεια χειρισμών και ευελιξία σε μικρές ταχύτητες. Το πλεονέκτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για ταχύπλοα επιβατηγά ή επιβατηγά-οχηματαγωγά πλοία, που πραγματοποιούν καθημερινά πολλές προσεγγίσεις σε λιμάνια, ισθμούς, διαύλους και γενικά σε θαλάσσιες περιοχές με περιορισμένη έκταση και αυξημένη κίνηση πλοίων.

v. Η δυνατότητα μεταφοράς σημαντικών ποσοτήτων φορτίου

Όπως και τα μονόγαστρα πλοία ημικτοπίσματος, τα μεγάλα δίγαστρα πλοία έχουν τη δυνατότητα μεταφοράς σημαντικών ποσοτήτων φορτίου, σε αντίθεση με άλλους τύπους πλοίων μη συμβατική τεχνολογίας.

vi. Η σχετικά απλή κατασκευή τους

Η κατασκευή των δίγαστρων πλοίων τύπου καταμαράν είναι σχετικά απλή σε σχέση με άλλους μη συμβατικούς τύπους πλοίων. Πολλά ναυπηγία στον κόσμο έχουν αποκτήσει μεγάλη εμπειρία και ταχύτητα στην κατασκευή τους.

2.2 ΤΑ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΙΓΑΣΤΡΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΤΥΠΟΥ CATAMARAN

Τα μειονεκτήματα των δίγαστρων πλοίων τύπου catamaran είναι τα ακόλουθα:

i. Η δυναμική τους συμπεριφορά σε κυματισμούς

Η συμπεριφορά σε κυματισμούς είναι μάλλον το μεγαλύτερο μειονέκτημα των δίγαστρων σκαφών τύπου καταμαράν. Ο προνευστασμός (pitching) που παρουσιάζουν είναι χειρότερος από τις συμβατικές γάστρες. Επιπλέον οι κάθετες επιταχύνσεις είναι πολύ υψηλές στην πλευρά του καταστρώματος. Λόγω της μεγάλης κατακόρυφης κίνησης είναι πολύ πιθανών να εμφανιστούν προβλήματα διαβροχής του καταστρώματος (green water), σφυρόκρουση του wet deck, ακόμα και βύθιση της πλώρης. Το τελευταίο πρόβλημα είναι πιο έντονο σε περίπτωσης ακολουθούντων κυματισμών. Το φαινόμενο αυτό δεν θα εξεταστεί στην παρούσα εργασία λόγω της μη γραμμικότητας.

Η ανύψωση της γάστρας πάνω στην την ελεύθερη επιφάνεια (π.χ. στα σκάφη ολίσθησης και ημι-ολίσθησης) που απαιτείται για την επίτευξη μεγάλων ταχυτήτων, επιδεινώνει τα προβλήματα συμπεριφοράς σε κυματισμούς, καθώς στην περιοχή της ελεύθερης επιφάνειας η επίδραση των κυματισμών είναι ισχυρότερη.

Πολλά δίγαστρα πλοία εξοπλισμένα με συστήματα ελέγχου των κινήσεων τους σε θαλασσοταραχή (ride control systems), τα οποία έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικά και βελτιώνουν σημαντικά τη συμπεριφορά των πλοίων σε κυματισμούς. Τα συστήματα αυτά συνήθως αποτελούνται από περύγια ή flaps που κινούνται με τη βοήθεια υδραυλικών κινητήρων και ελέγχονται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Έχει αποδειχθεί στην πράξη ότι η μείωση των κινήσεων συμβατικών catamaran με τη βοήθεια συστημάτων ελέγχου της κίνησης μπορεί να φθάσει σε ποσοστά 40% με 60%.

Στα μεγάλα Catamaran τοποθετούνται T-foils κάτω από τον πυθμένα, στην περιοχή της πλώρης, προκειμένου να ελέγξουν τις κατακόρυφες κινήσεις και επιταχύνσεις του πλοίου, όταν ταξιδεύει μέσα από θαλάσσιους κυματισμούς.

ii. Προβλήματα λόγω μεγάλου πλάτους

Το μεγάλο τους πλάτος απαιτεί μεγαλύτερο χώρο στην προβλήτα κατά την πρυμνοδέτηση. Επίσης σε πλοία πολύ μεγάλου πλάτους υπάρχει δυσκολία εύρεσης διαθέσιμης δεξαμενής αντίστοιχων διαστάσεων για να δεξαμενιστεί το πλοίο.

3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ SWAN2

3.1 Η ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ Ο ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ SWAN2.

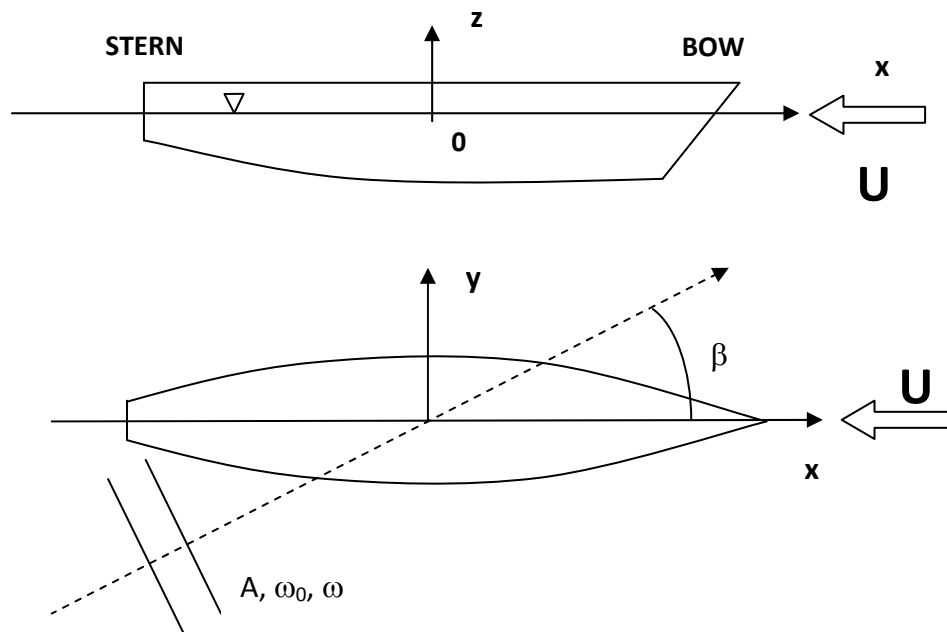
Ο κώδικας SWAN (Ship Wave Analysis) δημιουργήθηκε στην Βοστώνη των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής από το πανεπιστήμιο M.I.T. το 2000 και μετεξελίχθηκε το 2002 σε SWAN2 με σκοπό την εκτέλεση προσομοίωσης ροής σε ήρεμο νερό και σε κυματισμούς. Η συγκεκριμένη έκδοση (SWAN2) εκτός των άλλων τύπων πλοίων (μονόγαστρα πλοία, τρίγαστρα πλοία, πλοία επιφανείας) υποστηρίζει και δίγαστρα πλοία (catamaran) με τα οποία και θα ασχοληθούμε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Ο κώδικας SWAN2 2002 είναι ένα υπολογιστικό πρόγραμμα ο οποίος επιλύει στο πεδίο του χρόνου (time domain program) το πρόβλημα της ροής (μόνιμο πρόβλημα) σε νερό απείρου ή πεπερασμένου βάθους. Αυτό γίνεται με την επίλυση της ροής του υγρού στην ελεύθερη επιφάνεια, χρησιμοποιώντας την τρισδιάστατη μέθοδο “Rankine Panel”, στο πεδίο του χρόνου, κατανέμοντας τετράπλευρα πλαίσια με μη-ιδιόμορφες απλές πηγές Rankine πάνω στη γάστρα του πλοίου και στην ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας. Οι συνθήκες ελεύθερης επιφανείας που εισάγονται στο πρόγραμμα, γραμμικοποιούν τις κυματικές διαταραχές της ροής γύρω από το πλοίο.

Οι ροές με ελεύθερη επιφάνεια επιλύονται για το ακίνητο σύστημα αναφοράς συντεταγμένων προς την μέση θέση του πλοίου. Ένα ομοιόμορφο ρεύμα με ταχύτητα U ρέει στην αρνητική διεύθυνση x , και τα κύματα διαδίδονται μία γωνία β σε σχέση με το θετικό άξονα x . Οι μετωπικοί κυματισμοί (head waves) αντιστοιχούν σε $\beta = 180^\circ$. Το πλάτος τους είναι A , η απόλυτη συχνότητα τους ω_0 σε σχέση με ένα ακίνητο σύστημα και ω συχνότητα συνάντησης τους σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων αναφοράς ορίζεται από την σχέση:

$$\omega = \left| \omega_0 - \frac{\omega_0^2}{g} \cdot U \cdot \cos \beta \right|$$

Οι συντεταγμένες της γεωμετρίας της γάστρας καθορίζονται ως προς το σύστημα αξόνων του παρακάτω σχήματος. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1, οι θετικές δηλαδή τιμές του x -άξονα είναι προς την πλώρη του πλοίου, οι θετικές τιμές του y -άξονα είναι προς τα αριστερά και του z -άξονα είναι προς τα πάνω. Το σημείο αναφοράς για τις τιμές του x -άξονα είναι το μέσο του πλοίου για τον y -άξονα είναι το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας ενώ για τον z -άξονα είναι το επίπεδο την ισάλου στο βύθισμα των υπολογισμών.



Σχήμα 3.1

Σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιείται από το **SWAN 2**.

Η εσωτερική ρουτίνα δημιουργία πλέγματος από SWAN 2 διανέμει πάνελ πάνω από την μέση ελεύθερη επιφάνεια και την επιφάνεια του σώματος της γάστρας του πλοίου. Η πυκνότητα του πλέγματος και η έκταση της ελεύθερης επιφάνειας διακριτοποίησης μπορεί να καθορίζονται από το χρήστη, αλλά πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά. Η εσωτερική ρουτίνα ανάλυσης της σταθερότητας του SWAN 2 παρέχει το βέλτιστο χρονικό βήμα για την ολοκλήρωση του χρόνου της εξίσωσης της ελεύθερης επιφάνειας και κινήσεις του σώματος, έτσι ώστε το πλέγμα που ορίζεται από το χρήστη πληροί τα κριτήρια σταθερότητας SWAN 2.

Σαν πρώτο βήμα επίλυσης, λύνεται το πρόβλημα του πλοίου σε κατάσταση ισορροπίας. Το πλοίο επιταχύνει από στάση σε ήρεμο νερό και σταδιακά φτάνει στην τελική του ταχύτητα. Αφού επιτραπεί στο πλοίο να κινηθεί με σταθερή ταχύτητα για κάποιο χρονικό διάστημα, επιτυγχάνεται μια κατάσταση ισορροπίας. Η λύση δίνει την μόνιμη ροή. Στο δεύτερο βήμα επιβάλλεται στο πλοίο μια ταλάντωση και η μέθοδος λύνει για τις άγνωστες εντάσεις των πηγών Rankine. Για το βήμα του χρόνου επίλυσης χρησιμοποιείται μια τέταρτης τάξης Runge-Kutta-Fehlberg μέθοδος. Το πεδίο των υπολογισμών πάνω στην ελεύθερη επιφάνεια κινείται μαζί με το σώμα. Σε κάθε χρονικό βήμα, μια σειρά από σημεία εφαρμογής των συνθηκών στο κατάντι της ροής απορρίπτεται και σειρά καινούργιων σημείων στο κατάντι της ροής με καθορισμένο δυναμικό προστίθενται κατά το ανάντι. Στο τέλος της ροής προδιαγράφεται μηδενική διαταραχή και μηδενική κλίση της ελεύθερης επιφάνειας.

Η γεωμετρία της γάστρας του πλοίου, αυτή εισάγεται στο πρόγραμμα υπό την μορφή σημείων νομέων και σημείων της διαμόρφωσης της πλώρης και της πρύμνης. Το βάθος του νερού, όπως έχει ήδη αναφερθεί, μπορεί να είναι είτε πεπερασμένο είτε άπειρο. Η κυματική κατάσταση της θάλασσας προσομοιώνεται με τη χρήση κανονικών κυματισμών. Οι πληροφορίες που έχουν να κάνουν με τα χαρακτηριστικά του panel-mesh, με τα βασικά υδροστατικά χαρακτηριστικά του πλοίου, και αδρανειακά χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβάνονται στα αρχεία εξόδου.

Η γάστρα που εισάγεται υπό μορφή offsets μέσω του αρχείου εισόδου (PLN), μετατρέπεται στο αρχείο γεωμετρία φύλλου spline (SSG) που περιέχει τη διανομή του mesh panel στην ελεύθερη επιφάνεια και την επιφάνεια του σώματος της γάστρας. Αυτό γίνεται μέσω του προγράμματος MAKESSG.EXE.

Η πυκνότητα του πίνακα και το μέγεθος του χώρου ορίζεται από το χρήστη μέσω του αρχείου παραμέτρων ελέγχου της εργασίας εισόδου (INP).

3.2 ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SWAN2 ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στα πλαίσια της παρούσης διπλωματικής εργασίας θα κάνουμε χρήση του παραπάνω λογισμικού για τα υπό μελέτη πλοία. Για να κάνουμε αυτό, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τα δύο απαραίτητα από τα τρία συνολικά αρχεία τα οποία το πρόγραμμα χρησιμοποιεί ως είσοδο προκειμένου να λειτουργήσει. Αυτά είναι τα αρχεία με καταλήξεις *.inp και *.pln.

Το τρίτο αρχείο (που έχει την κατάληξη *.pms) και το οποίο περιέχει πληροφορίες για την κατανομή σημειακών μαζών, απαιτείται μόνο όταν θέλουμε να εκτελέσουμε υπολογισμούς αντοχής για τη μεταλλική κατασκευή του πλοίου και στην παρούσα φάση δεν θα το χρησιμοποιήσουμε.

Το αρχείο *.pln (Hull Offsets) είναι αυτό που περιέχει τον τύπο, την γεωμετρία της γάστρας του πλοίου υπό την μορφή σημείων νομέων και των σημείων της πλώρης και τις πρύμνης.

Το αρχείο *.inp είναι το αρχείο το οποίο ουσιαστικά καθορίζει τις παραμέτρους τις οποίες θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε κατά τη διαδικασία επίλυσης του προβλήματος. Αυτό το αρχείο, κατά κύριο λόγο περιέχει γεωμετρικά στοιχεία του πλοίου όπως $L_{pp}(m)$, $B(m)$, $T(m)$, το εκτόπισμα του πλοίου $\Delta(kg)$, στοιχεία που αφορούν τις συνθήκες πλεύσης του πλοίου όπως $V(m/sec)$, ύψος κύματος $H(m)$, περίοδος κύματος $T(sec)$, γωνία και κατεύθυνση κυματισμού σε σχέση με το διαμήκη άξονα του πλοίου καθώς και τους ενεργούς για την προσομοίωση βαθμούς ελευθερίας κίνησης του πλοίου.

Σημειώνεται ότι όταν εκτελούμε υπολογισμούς αντίστασης (steady analysis) το πρόγραμμα εκτελείται χωρίς να έχουμε εισάγει την περίοδο και την γωνιά πρόσπτωση και το ύψος του κύματος τα οποία απαιτούνται μόνο όταν εκτελούμε υπολογισμούς δυναμικής συμπεριφοράς (unsteady analysis). Επίσης στην πρώτη περίπτωση επιλέγουμε στο αρχείο *.inp την επιλογή fixed ενώ στην δεύτερη περίπτωση την επιλογή free motion.

4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΔΙΓΑΣΤΡΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

Στα πλαίσια της παρούσης διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκε να εξεταστεί η υδροδυναμική συμπεριφορά δύο δίγαστρων πλοίων οι γραμμές των οποίων έχουν αναπτυχθεί στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος cargoxpress 2011. Οι γάστρες είναι συμμετρικές και φέρουν βολβό στην πλώρη ενώ η πρύμνη τους είναι τύπου καθρέφτη. Η κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε προέκυψε από τις διπλωματικές εργασίες των Σωτήρη Κιουσοπούλου (Ιούνιος 2013) και Γεώργιου Μιχαλάκου (Ιούνιος 2013) για την μικρή και μεγάλη γάστρα αντίστοιχα. Οι κύριες διαστάσεις και τα λοιπά στοιχεία που παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες αντιστοιχούν στην κατάσταση Full Load Departure των παραπάνω διπλωματικών εργασιών, ενώ οι τιμές K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} , προέκυψαν προσεγγιστικά από του παρακάτω τύπους.

$$K_{xx} = 0,309 \cdot B$$

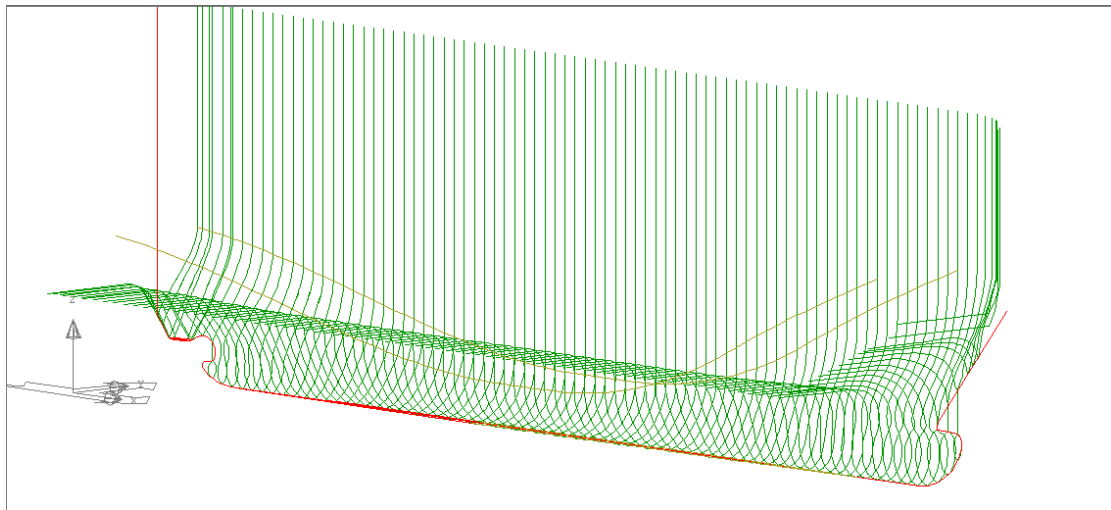
$$K_{yy} = 0,2367 \cdot L_{BP}$$

$$K_{zz} = 0,2367 \cdot L_{BP}$$

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	Hull 74	Hull 92
LBP : Μήκος Μεταξύ καθέτων, (m)	74.25	92.00
LWL : Μήκος ισάλου, (m)	76.63	94.90
B : Πλάτος, (m)	26.00	32.20
D : Κοίλο, (m)	8.125	9.570
T : Βύθισμα, (m)	4.408	5.460
Δ : Εκτόπισμα (tons)	2711	5151
CB : Συντελεστής, γάστρας	0.574	0.574
trim : Διαγωγή, (m)	-0.021	-0.354
KG : Κατακόρυφο κέντρο βάρους, (m)	10.222	12.236
LCG : Διάμηκες κέντρο βάρους, (m)	37.359	46.198
LCB : Διάμηκες κέντρο άντωσης, (m)	37.397	46.187
LCF : Διάμηκες κέντρο πλευστότητας, (m)	34.474	42.618
BM : Εγκάρσια μετακεντρική ακτίνα	28.017	35.400
GM : Μετακεντρικό ύψος, (m)	20.376	23.164
V : Μέγιστη ταχύτητα, (kn)	19.000	21.000
γ_{CL} : Απόσταση ημιγαστών από κατακορ. επίπεδο συμμετρίας, (m)	9.480	11.740
γ_{cl}/L_{bp} : Λόγος αποστάσεως ημιγαστρων προς L_{BP}	0.127	0.127
K_{xx} : Ακτίνα αδρανείας K_{xx} (m)	8.034	9.950
K_{yy} : Ακτίνα αδρανείας K_{yy} (m)	16.832	21.768
K_{zz} : Ακτίνα αδρανείας K_{zz} (m)	16.832	21.768

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά των υπό μελέτη πλοίων

Από τα offsets των γραμμών του σχήματος 4.1, δημιουργήθηκαν τα αρχεία Hull_74.pln και Hull_92.pln που περιέχουν την γεωμετρία της γάστρας με $L_{BP}=74.2$ m και $L_{BP}=92.00$ m αντιστοίχα. Στην συνέχεια δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα αρχεία Hull_74.inp και Hull_92.inp που περιέχουν τις παραμέτρους ελέγχου του πίνακα 4.1. Επίσης επιλέχθηκε άπειρο βάθος νερού και γωνίες πρόσπτωσης κυματισμών $\beta=180^\circ, 135^\circ, 90^\circ$. Οι ταχύτητες που επιλέχθηκαν για την γάστρα “Hull72” είναι 13,15,17,19 knots ενώ για την γάστρα “Hull92” είναι 15,17,19,21 knots έτσι ώστε οι αριθμοί froude να είναι περίπου οι ίδιοι.



Σχήμα 4.1: Σχέδιο ναυπηγικών γραμμών των υπό μελέτη πλοίων

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ (STEADY ANALYSIS)

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος cargoxpress 2011 μελετήθηκε πειραματικά στην δεξαμενή του ΕΜΠ η αντίσταση ρυμούλκησης μοντέλου. Η κλίμακα λ του μοντέλου και των υπό μελέτη πλοίων είναι 23,7 και 28 για την μικρή και την μεγάλη γάστρα αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της αντίστασης του μοντέλου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1. Σημειώνεται ότι η αντίσταση κυματισμού του μοντέλου CW προέκυψε με την μέθοδο Hughes σύμφωνα με τις παραπάνω διπλωματικές εργασίες.

Αποτελέσματα από πειράματα του μοντέλου στην δεξαμενή του ΕΜΠ					
V_M	V_M	F_n	CF_M	CT_M	CW_M
Kn	m/s				
1.6	0.830	0.150	0.0039	0.00502	0.0001
1.8	0.940	0.170	0.00381	0.00520	0.0004
2.0	1.050	0.190	0.00373	0.00522	0.0005
2.2	1.150	0.208	0.00366	0.00526	0.0006
2.4	1.260	0.228	0.0036	0.00520	0.0007
2.6	1.360	0.246	0.00355	0.00520	0.0007
2.9	1.470	0.265	0.0035	0.00514	0.0007
3.1	1.580	0.285	0.00345	0.00548	0.0011
3.3	1.680	0.303	0.00341	0.00604	0.0017
3.5	1.790	0.323	0.00337	0.00599	0.0017
3.7	1.890	0.341	0.00334	0.00570	0.0015
3.9	2.000	0.361	0.0033	0.00543	0.0013
4.1	2.100	0.379	0.00327	0.00589	0.0018
4.3	2.210	0.399	0.00324	0.00726	0.0032
4.5	2.310	0.417	0.00322	0.00890	0.0048

Πίνακας 5.1: Πίνακας αποτελεσμάτων ολικής αντίστασης και αντίστασης κυματισμού μοντέλου CW_M .

Με την χρήση του κώδικα SWAN2 υπολογίστηκε η αντίσταση κυματισμού CW, η δυναμική βύθιση (sinkage) και η διαγωγή (trim) των δύο γαστρών για τις ταχύτητες που φαίνονται στους παρακάτω πίνακες. Για τους υπολογισμούς εκτελέστηκε το πρόγραμμα για κάθε ταχύτητα θέτοντας αρχικά την δυναμική βύθιση και τη διαγωγή ίση με τον μηδέν. Επαναλήφτηκε η εκτέλεση του προγράμματος θέτοντας την δυναμική διαγωγή και βύθιση ίση με τις τιμές της προηγούμενης λύσης, μέχρι να

υπάρχει σύγκριση των τιμών αυτών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 5.2 και 5.3.

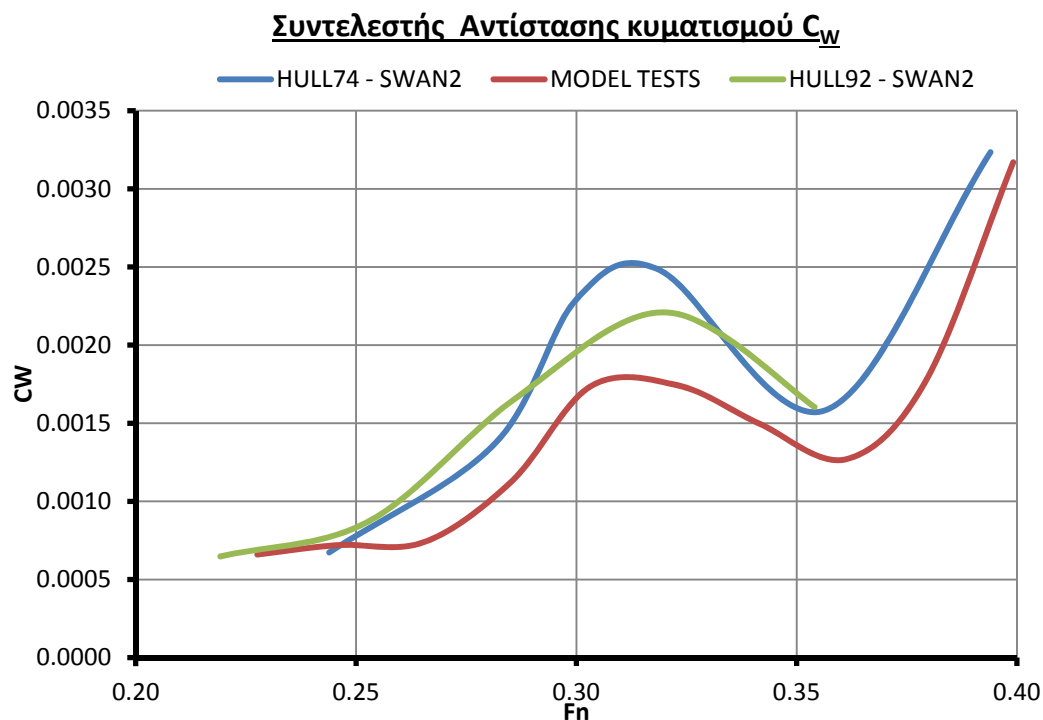
Αποτελέσματα SWAN2 για το πλοίο HULL 74					
U	U	Fn	Cw	sinkage	trim
Kn	m/s		Swan2	m	deg
13	6.688	0.244	0.00067	-0.210	-0.979
15	7.717	0.281	0.00137	-0.270	-1.035
16	8.231	0.300	0.00230	-0.326	-1.175
17	8.745	0.319	0.00248	-0.362	-1.216
19	9.774	0.356	0.00158	-0.396	-1.188
21	10.803	0.394	0.00324	-0.522	-1.748

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα αντίστασης κυματισμού C_w , δυναμικής βύθισης Sinkage και διαγωγής trim για την μικρή κλίμακα (HULL 74)

Αποτελέσματα SWAN2 για το πλοίο HULL92					
U	U	Fn	Cw	sinkage	trim
Kn	m/s			m	deg
13	6.688	0.219	0.00065	-0.210	-0.978
15	7.717	0.253	0.00087	-0.281	-1.032
17	8.745	0.287	0.00167	-0.326	-1.175
19	9.774	0.320	0.00221	-0.396	-1.189
21	10.803	0.354	0.00160	-0.564	-2.068

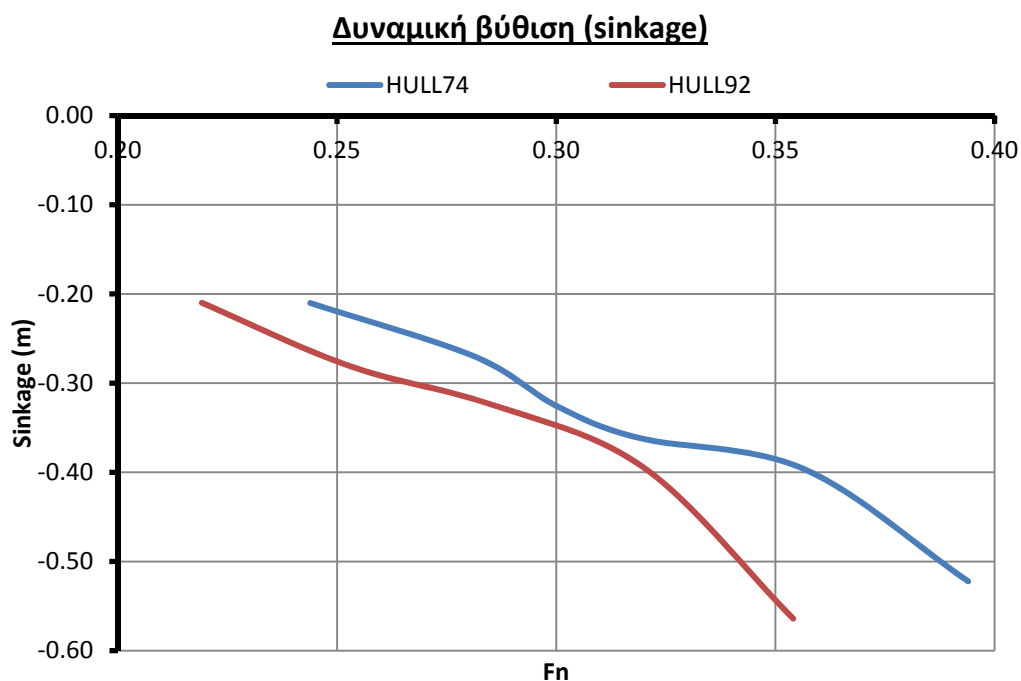
Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα αντίστασης κυματισμού C_w , δυναμικής βύθισης Sinkage και διαγωγής trim για την μεγάλη κλίμακα (HULL 92)

Από του πίνακες 5.1, 5.2, 5.3 προκύπτουν τα αντίστοιχα σχήματα 5.1, 5.2, 5.3 τα οποία απεικονίζουν των συντελεστή αντίστασης κυματισμού C_w , την δυναμική βύθιση (sinkage) και την διαγωγή (trim) των δύο πλοίων συναρτήσει του αριθμού Fn.



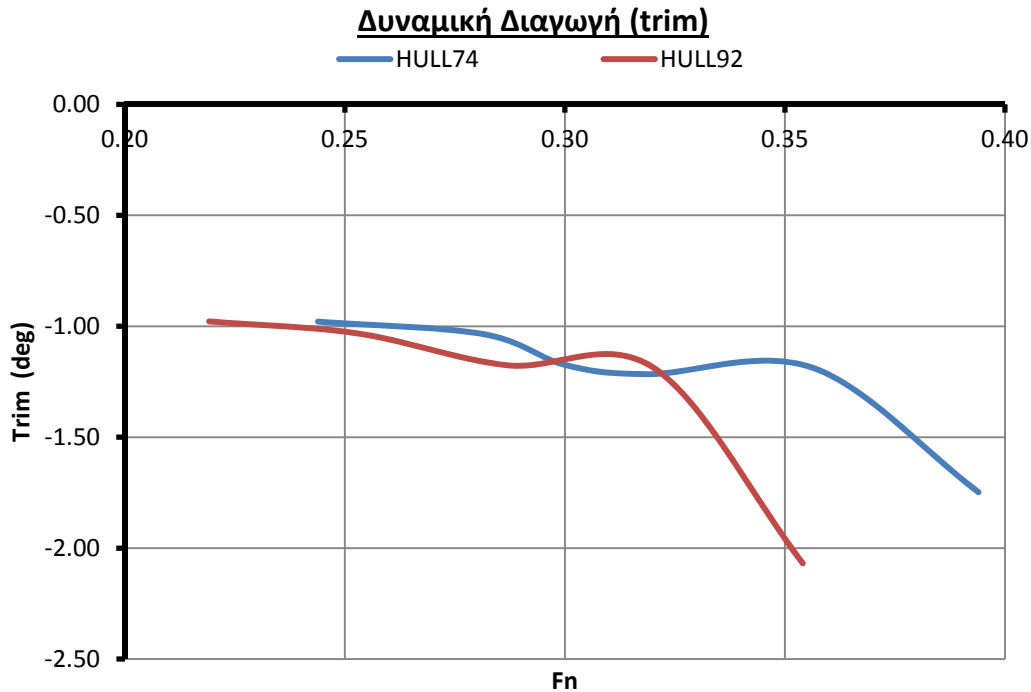
Σχήμα 5.1: Διάγραμμα συντελεστή αντίστασης κυματισμού C_W

Από το σχήμα 5.1 προκύπτει ότι τα αποτελέσματα του συντελεστή της αντίστασης κυματισμού C_W που υπολογίστηκε με την χρήση του λογισμικού Swan2 είναι σε καλή συμφωνία με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα πειράματα. Οι αποκλίσεις που υπάρχουν είναι σε λογικά πλαίσια.



Σχήμα 5.2: Διάγραμμα δυναμικής βύθισης συναρτήσει του αριθμού Froude

Από το σχήμα 5.2 παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνει ο αριθμός F_n αυξάνει και η δυναμική βύθιση του σκάφους, αφού το σκάφος δεν βρίσκεται σε κατάσταση ολίσθησης ή ημι-ολίσθησης για να δημιουργηθεί δυναμική άντωση.



Σχήμα 5.3: Διάγραμμα δυναμικής διαγωγής συναρτήσει του αριθμού Froude

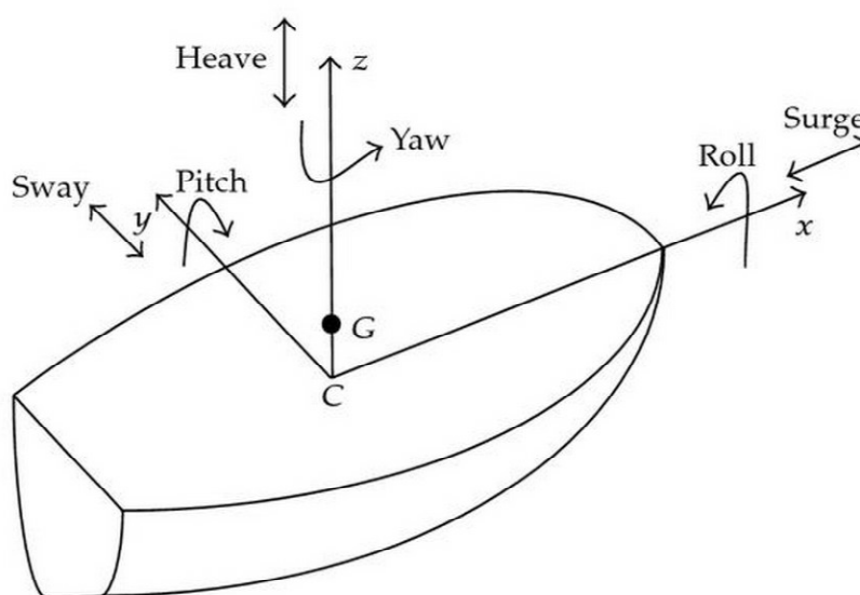
Από το παραπάνω διάγραμμα του σχήματος 5.3 προκύπτει ότι η διαγωγή για αριθμούς F_n από 0.22 έως 0.33 παραμένει σχετικά σταθερή και είναι περίπου μια μοίρα, ενώ για μεγαλύτερους αριθμό F_n παρατηρείται έντονη αύξηση της πρυμναίας διαγωγής.

6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΣΕ ΑΡΜΟΝΙΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

6.1 ΕΙΔΗ ΚΙΝΗΣΕΩΝ

Η δυναμική συμπεριφορά των δίγαστρων σκαφών σε κυματισμούς αποτελεί ένα αρκετά σύνθετο και πολύπλοκο φαινόμενο και αυτό διότι το σκάφος έχει 6 βαθμούς ελευθερίας κινήσεων, τρεις **μεταφορικές** κατά μήκος των αξόνων x , y , z και τρεις **περιστροφικές** περί αυτών (σχήμα 6.1)

Το αποτέλεσμα είναι οι διεγείρουσες δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό λόγω των κυματισμών να το εξαναγκάζουν σε πολλά είδη κινήσεων ταυτοχρόνως:



Σχήμα 6.1.1: Ονοματολογία κινήσεων πλοίου

Κίνηση	Ονομασία
Μεταφορικές	
ξ_1	Διαμήκης οριζόντια ταλάντωση (Surge)
ξ_2	Εγκάρσια οριζόντια ταλάντωση (Sway)
ξ_3	Κατακόρυφη ταλάντωση (Heave)
Περιστροφικές	
$\xi_4=\theta_1$	Ταλάντωση περί τον διαμήκη άξονα - Διατοιχισμός (Roll)
$\xi_5=\theta_2$	Ταλάντωση περί τον εγκάρσιο άξονα - Πρόνευση (Pitch)
$\xi_6=\theta_3$	Ταλάντωση περί τον κατακόρυφο άξονα (Yaw)

Πίνακας 6.1.1: Ονοματολογία κινήσεων πλοίου

6.2 ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ

Ένας αρμονικός κυματισμός μπορεί να περιγραφεί από την περίοδο T , τη συχνότητα f το μήκος κύματος λ και το ύψος κύματος H .

Για την συχνότητα και την περίοδο ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις :

$$f = \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \pi \cdot \lambda}} \quad [\text{Hz}] \quad \text{και} \quad T = 1/f \quad [\text{sec}]$$

Ακόμη, θεωρώντας το σύστημα μοντέλο-πλοίο γραμμικό, το πηλίκο του πλάτους της απόκρισης X σε αρμονικούς κυματισμούς ως προς το πλάτος της ανύψωσης ζ_a των κυματισμών αποτελεί τη συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος R_x . Ειδικότερα εάν η απόκριση του πλοίου εκφράζεται ως εξής :

$$X = X_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_x)$$

τότε η συνάρτηση μεταφοράς είναι :

$$R_x = X_a(\omega)/\zeta_a(\omega)$$

6.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ

Συνήθως οι κινήσεις που εξετάζονται κατά την πλεύση σε μετωπικούς κυματισμούς για την αξιολόγηση της δυναμικής συμπεριφοράς ενός σκάφους είναι το Pitch και το Heave. Αυτό συμβαίνει, διότι οι τιμές αυτών των κινήσεων επιδρούν σημαντικά τόσο στις κατακόρυφες επιταχύνσεις κατά μήκος του πλοίου όσο και σε τυχαία συμβάντα (φαινόμενα σφυρόκρουσης, μετακίνηση φορτίου, ανάδυση έλικας, έλλειψη αστάθειας, κακή πηδαλιουχία, διαβροχή καταστρώματος κ.α.) που με τη σειρά τους επηρεάζουν την άνεση των επιβατών.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι συντελεστές απόκρισης RAO (ξ_1 , ξ_2 , ξ_3 , ξ_4 , ξ_5 , ξ_6) και οι συντελεστές απόκρισης επιταχύνσεων (κατακόρυφων, εγκάρσιων και διαμήκων) για την γάστρα HULL74 και HULL92 σε αρμονικούς κυματισμούς για περιόδους $T = 3$ έως 11 sec για μία σειρά ταχυτήτων U που αντιστοιχούν σε αριθμούς Fn από 0.22 - 0.35 για την μικρή γάστρα και σε αριθμούς Fn από 0.25 - 0.35 για την μεγάλη, σε μετωπικούς (Head Waves $\beta=180^\circ$), πλωριούς (Bow waves $\beta=135^\circ$) και πλευρικούς κυματισμούς (Beam waves $\beta=90^\circ$), χρησιμοποιώντας την γραμμική λύση του SWAN2.

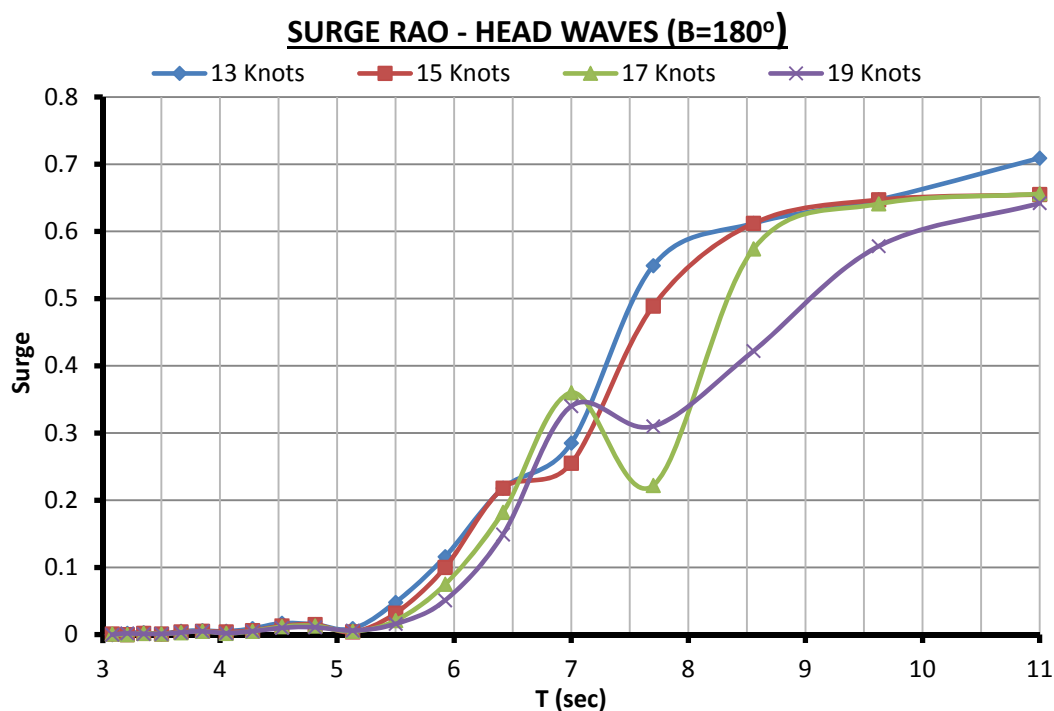
Όλοι οι συντελεστές απόκρισης είναι αδιάστατοι. Οι ξ_1 , ξ_2 , ξ_3 έχουν διαιρεθεί με το πλάτος του κύματος A ενώ οι συντελεστές ξ_4 , ξ_5 , ξ_6 έχουν διαιρεθεί με το πλάτος του κύματος A επί τον κυματαριθμό k και παρουσιάζονται στην παράγραφο 6.4 για την γάστρα HULL74 και στην 6.5 για την γάστρα HULL92.

Οι συντελεστές απόκρισης των επιταχύνσεων έχουν υπολογιστεί για τα σημεία του πίνακα 6.3.1 και διαιρεθεί με το πλάτος του κύματος A. Τα αντίστοιχα διαγράμματα παρουσιάζονται στην παράγραφο 6.4 και 6.5 για την γάστρα HULL74 και την HULL92.

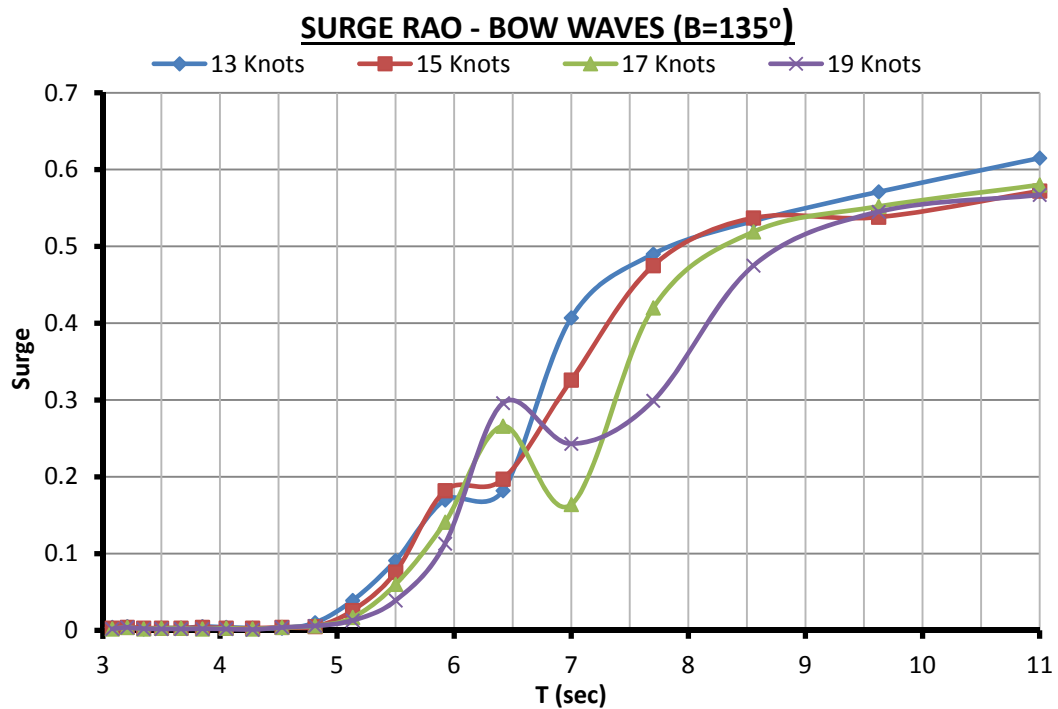
	HULL 74			HULL92		
Θέση	x	y	z	x	y	x
Center of gravity (COG)	-0.238	0.00	5.500	-0.355	0.000	6.777
Bow	37.125	0.000	5.500	46.000	0.000	6.777
Stern	-37.125	0.000	5.500	-46.000	0.000	6.777
First Dk	0.000	0.000	8.400	0.000	0.000	13.500
Wheelhouse (W/H)	31.000	0.000	11.200	43.000	0.000	19.100

Πίνακας 6.3.1: Πίνακας σημείων υπολογισμού των επιταχύνσεων

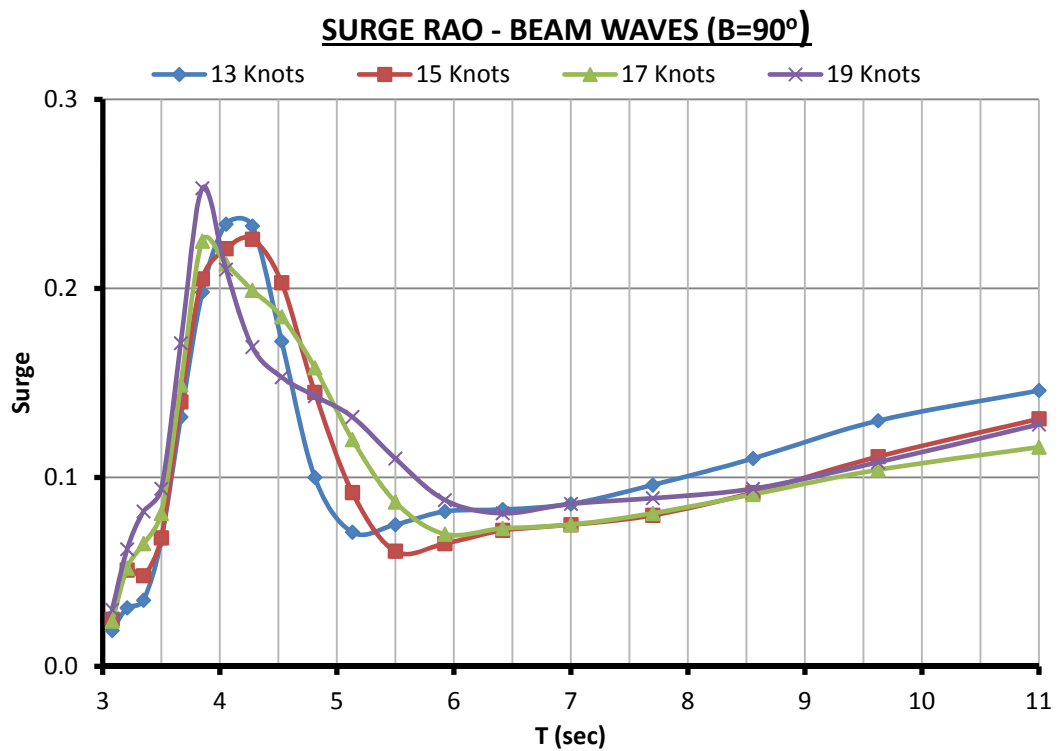
6.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ RAO ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL74 ΣΕ ΑΡΜΟΝΙΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ



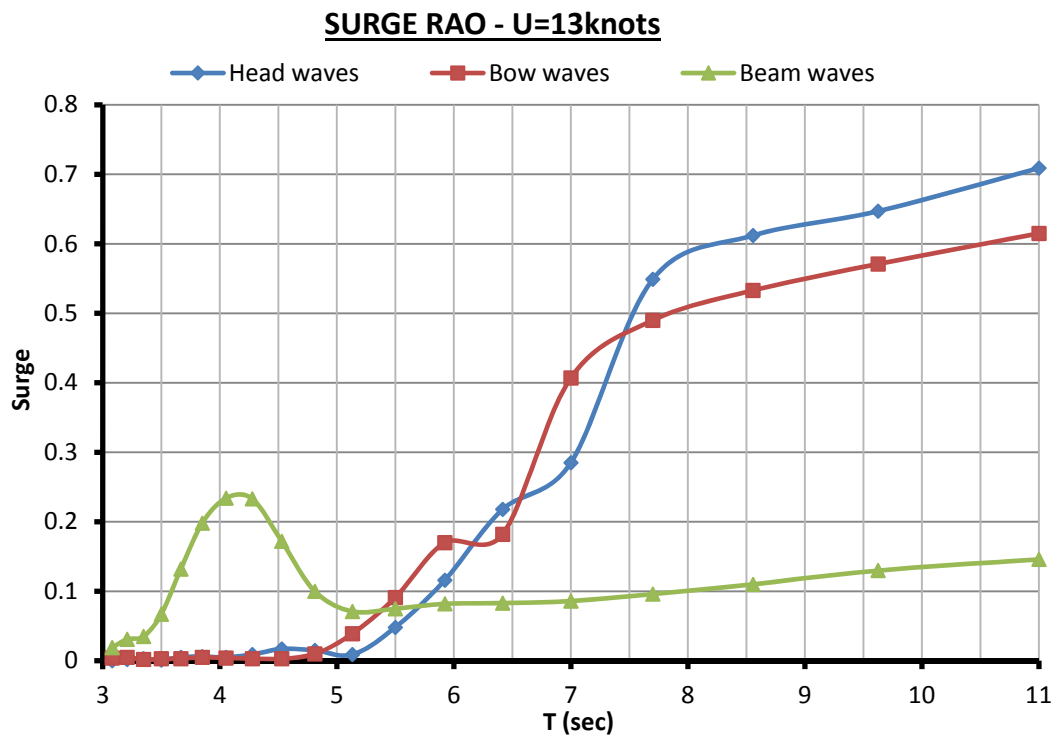
Σχήμα 6.4.1: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$)-HULL74



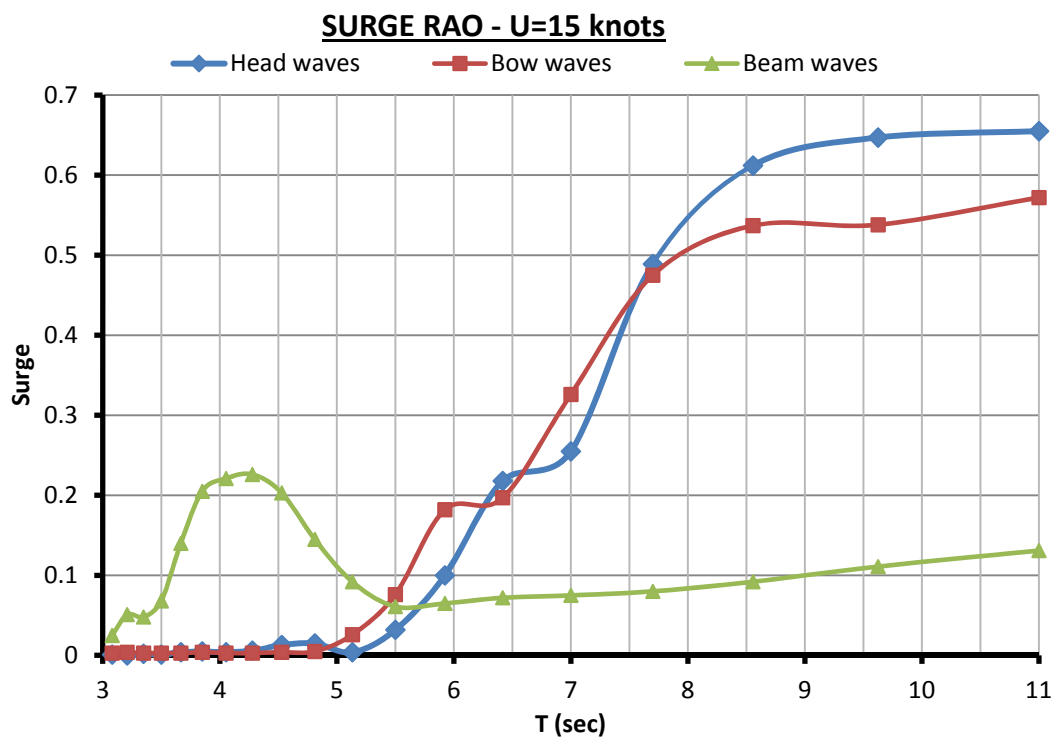
Σχήμα 6.4.2: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74



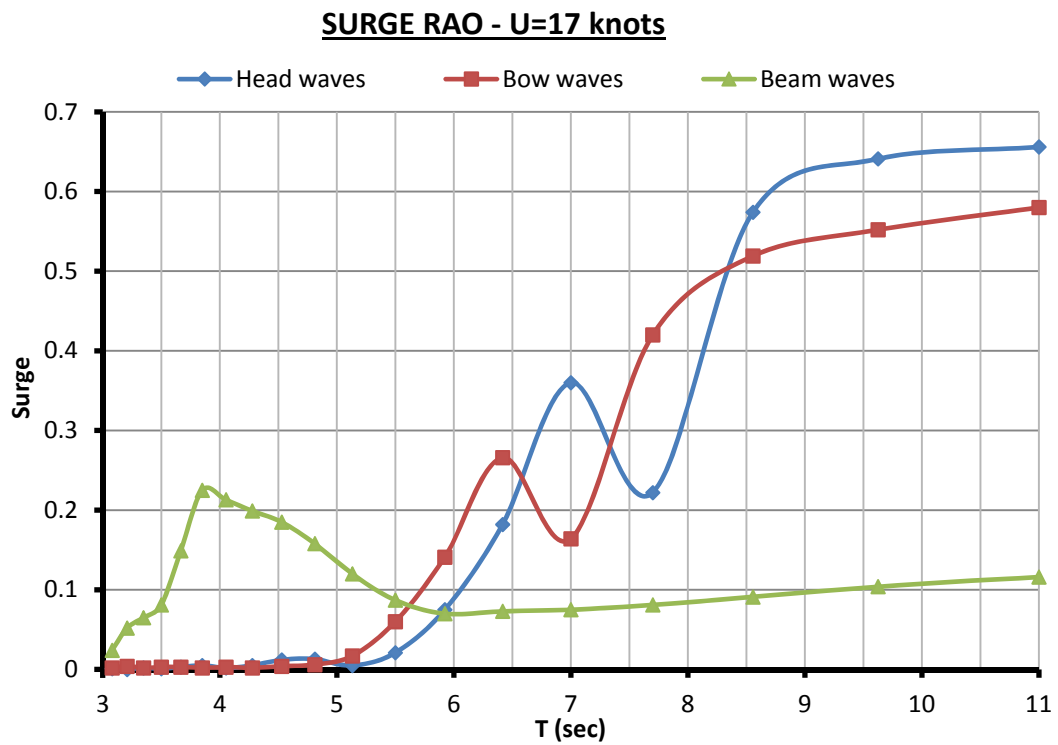
Σχήμα 6.4.3: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$)



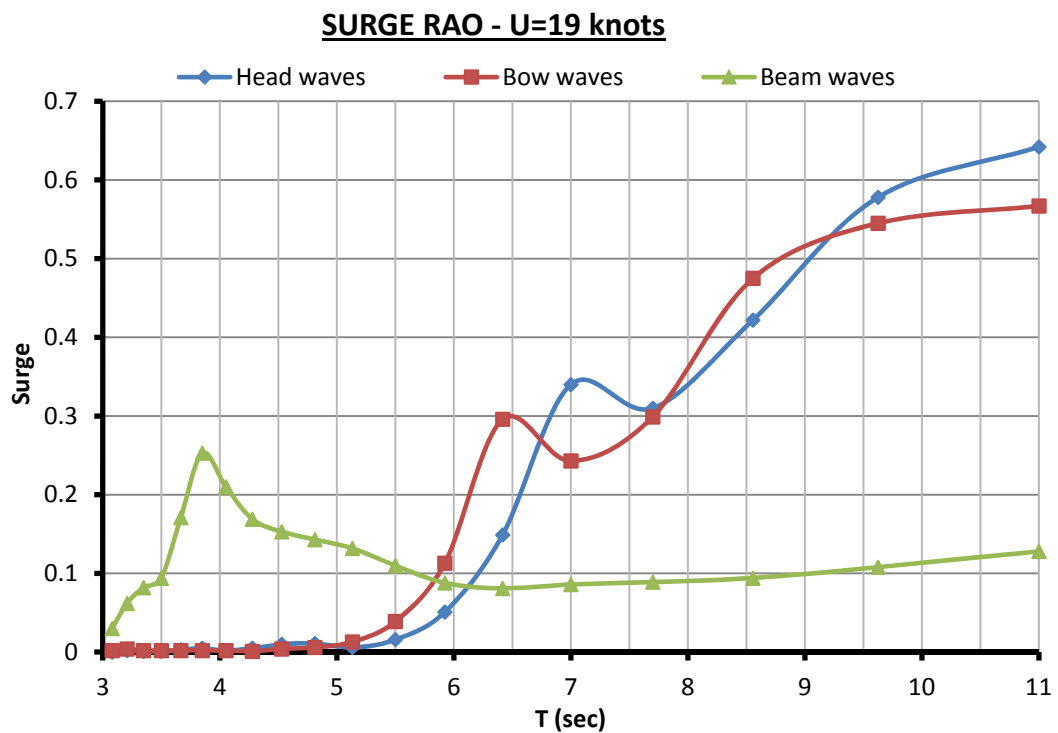
Σχήμα 6.4.4: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 για ταχύτητα 13kn ($F_n=0.244$)-
HULL74



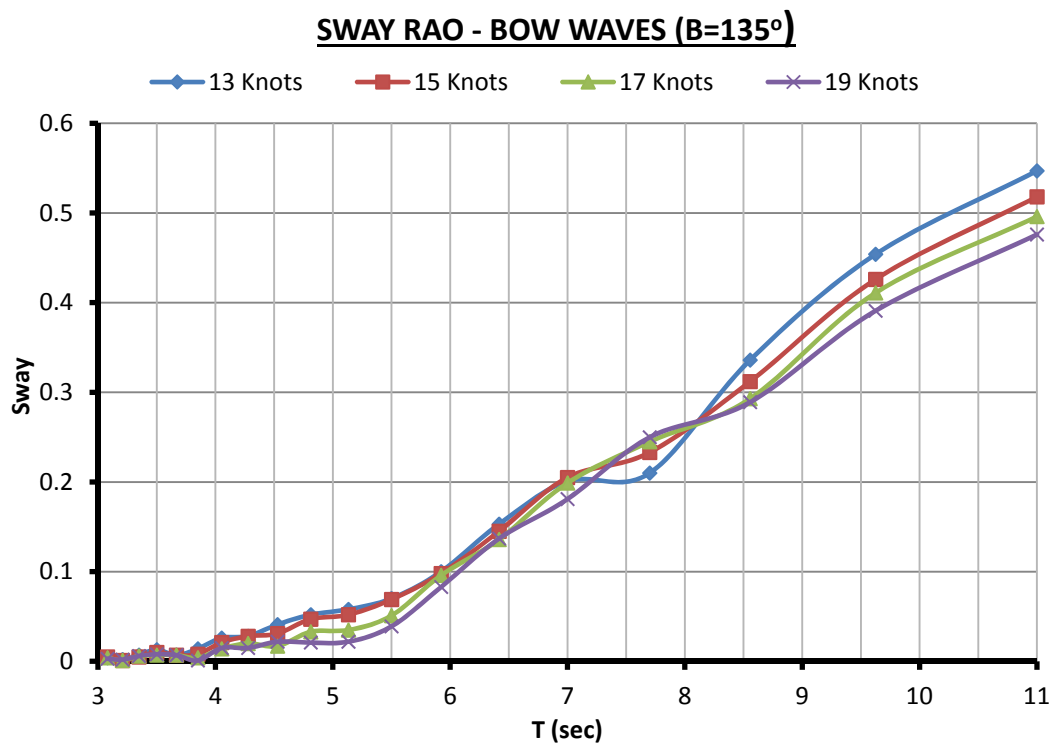
Σχήμα 6.4.5: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 για ταχύτητα 15kn ($F_n=0.281$) -
HULL74



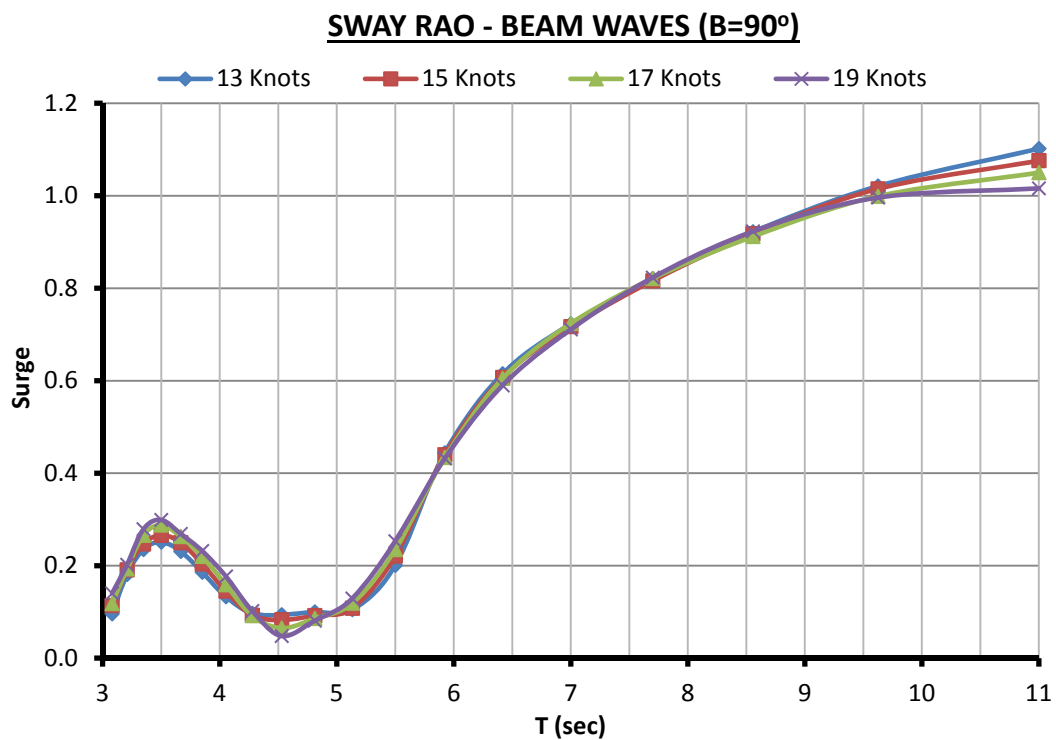
Σχήμα 6.4.6: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 για ταχύτητα 17kn ($F_n=0.319$) - HULL74



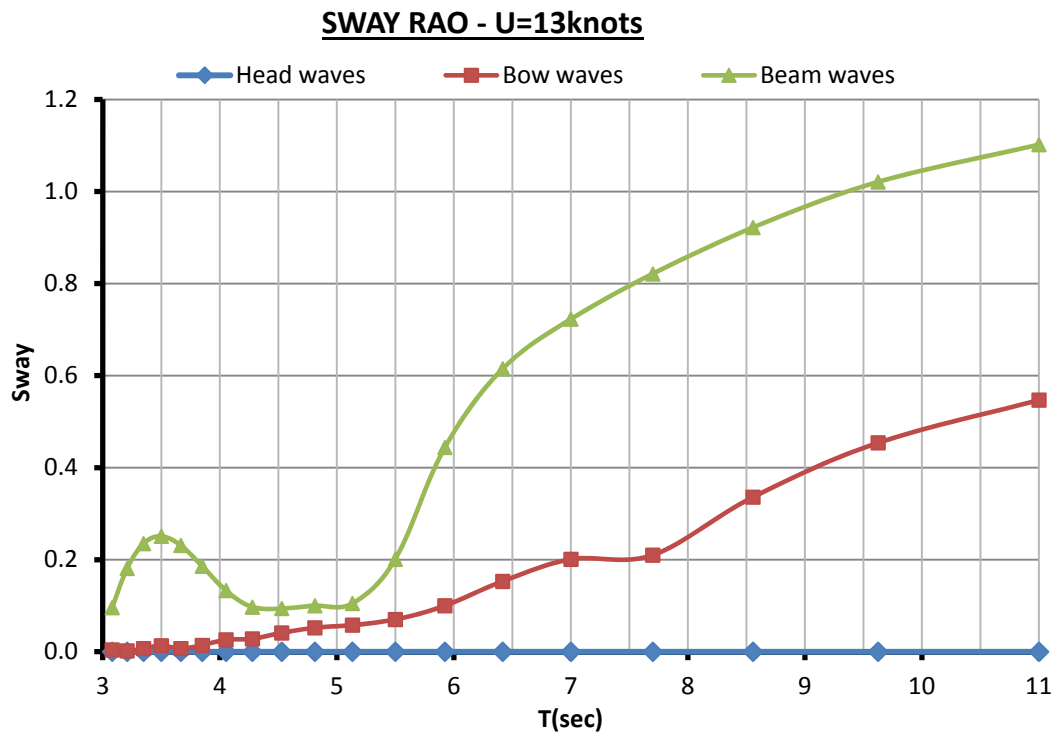
Σχήμα 6.4.7: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 για ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$)- HULL74



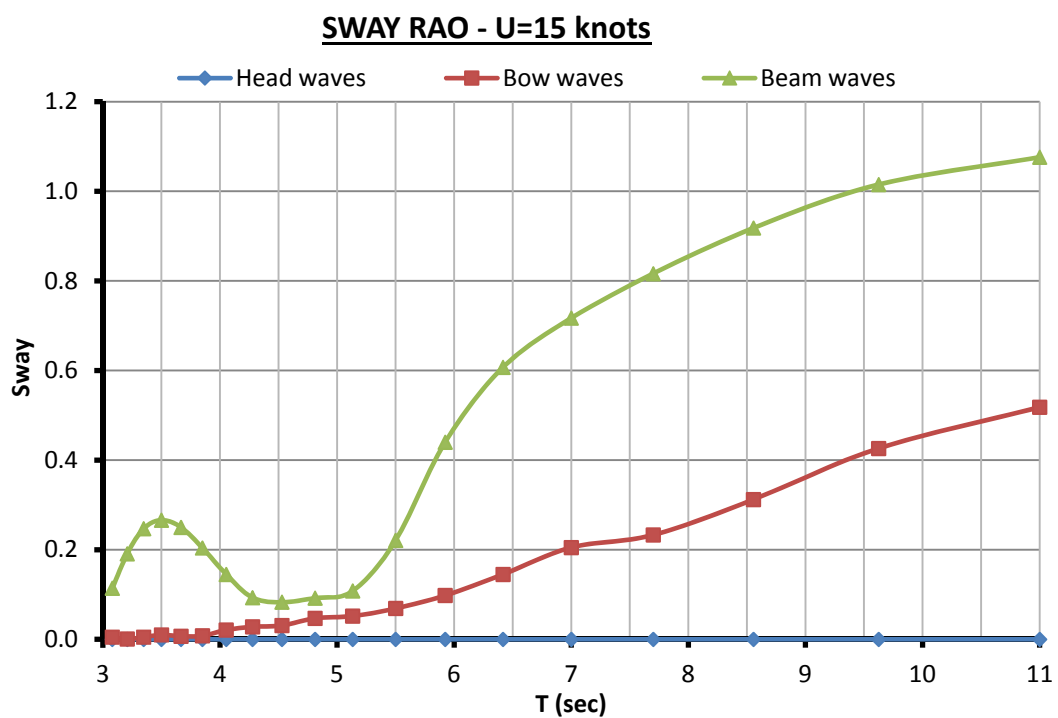
Σχήμα 6.4.8: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74



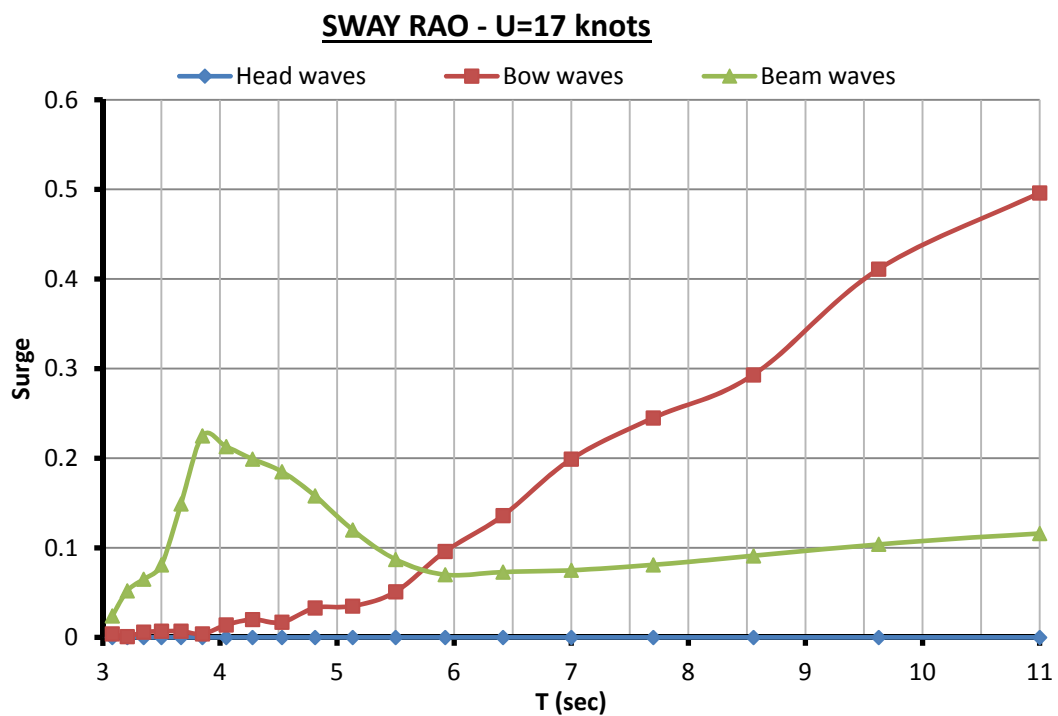
Σχήμα 6.4.9: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL 74



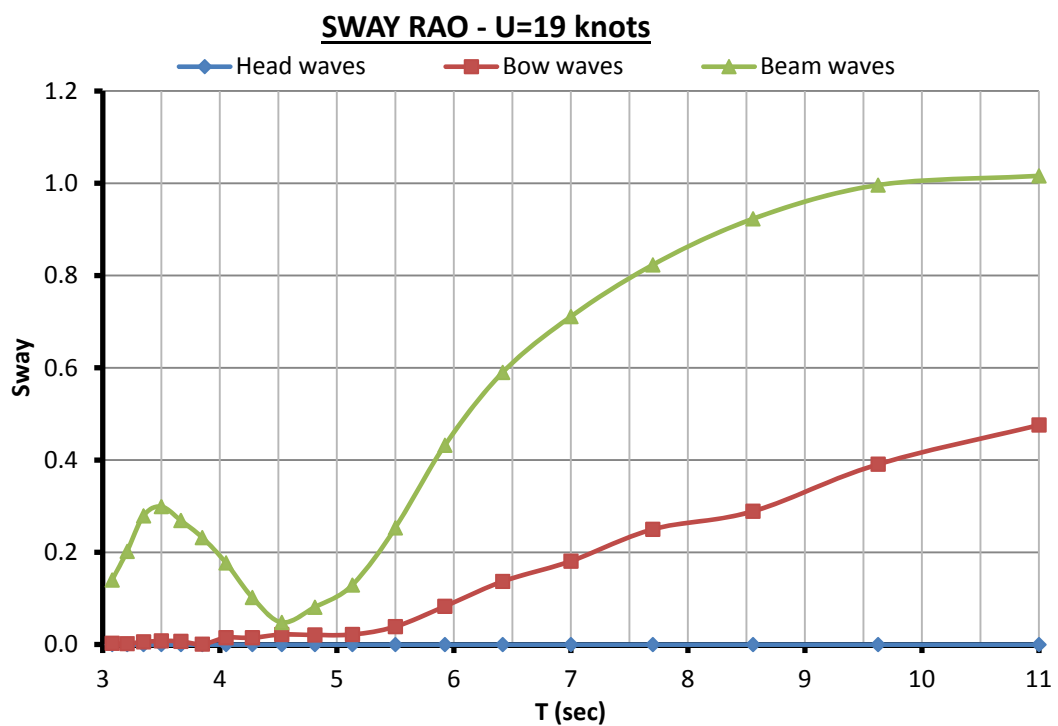
Σχήμα 6.4.10: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.244$)-HULL74



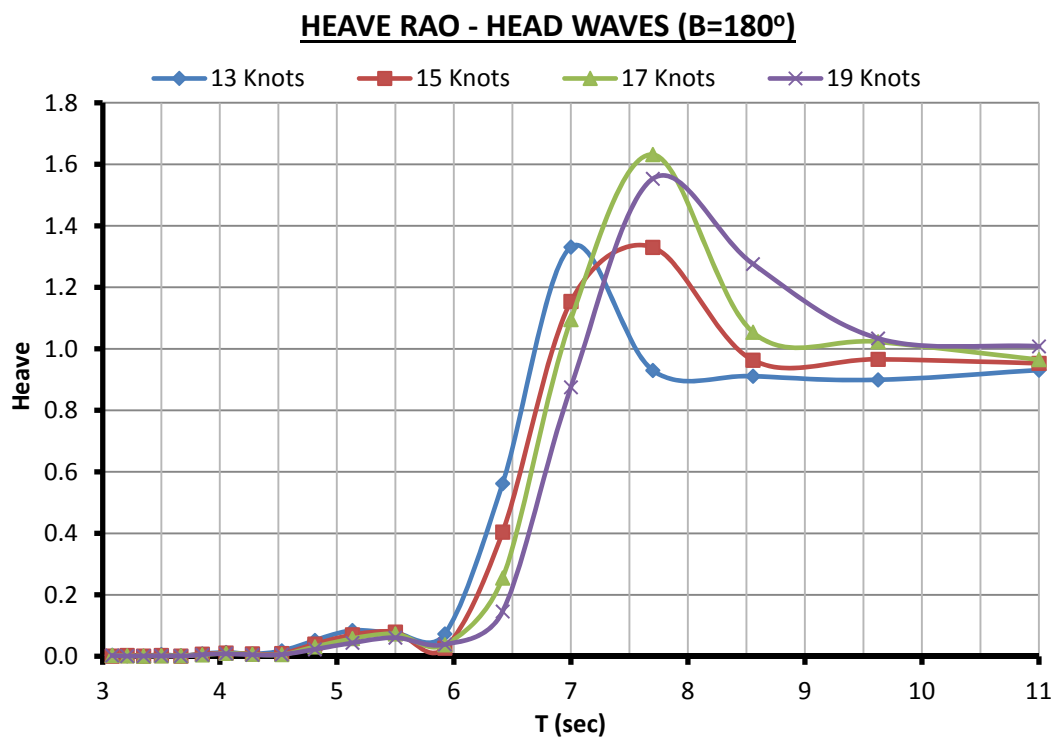
Σχήμα 6.4.11: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$)-HULL74



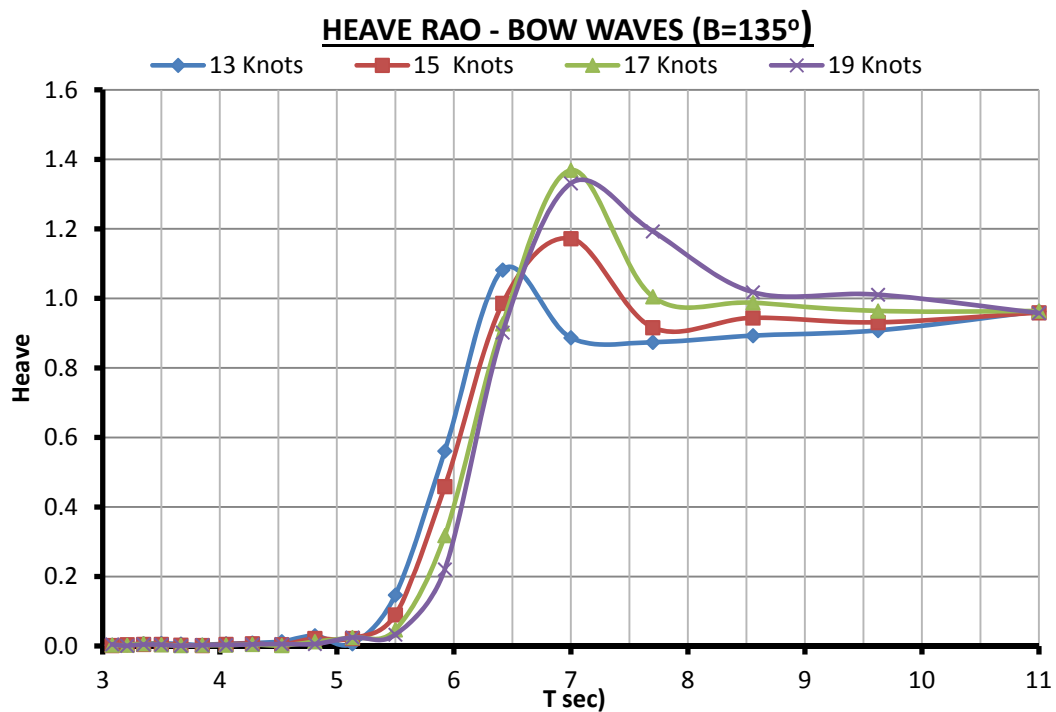
Σχήμα 6.4.12: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$)-
HULL 74



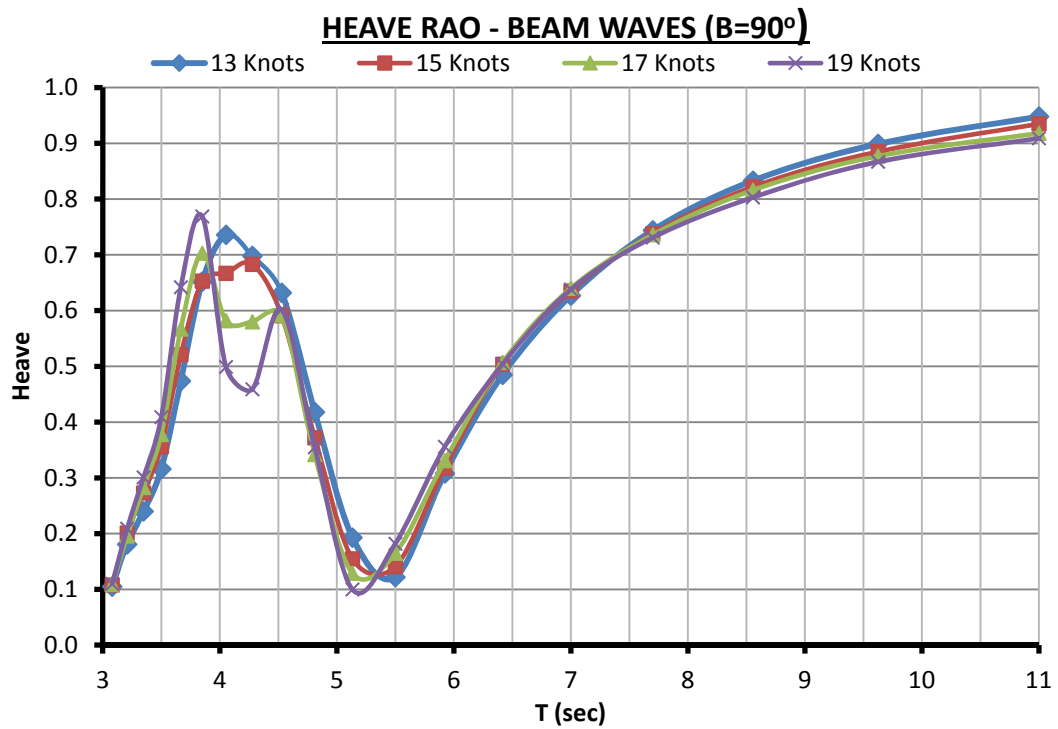
Σχήμα 6.4.13: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$)-
HULL74



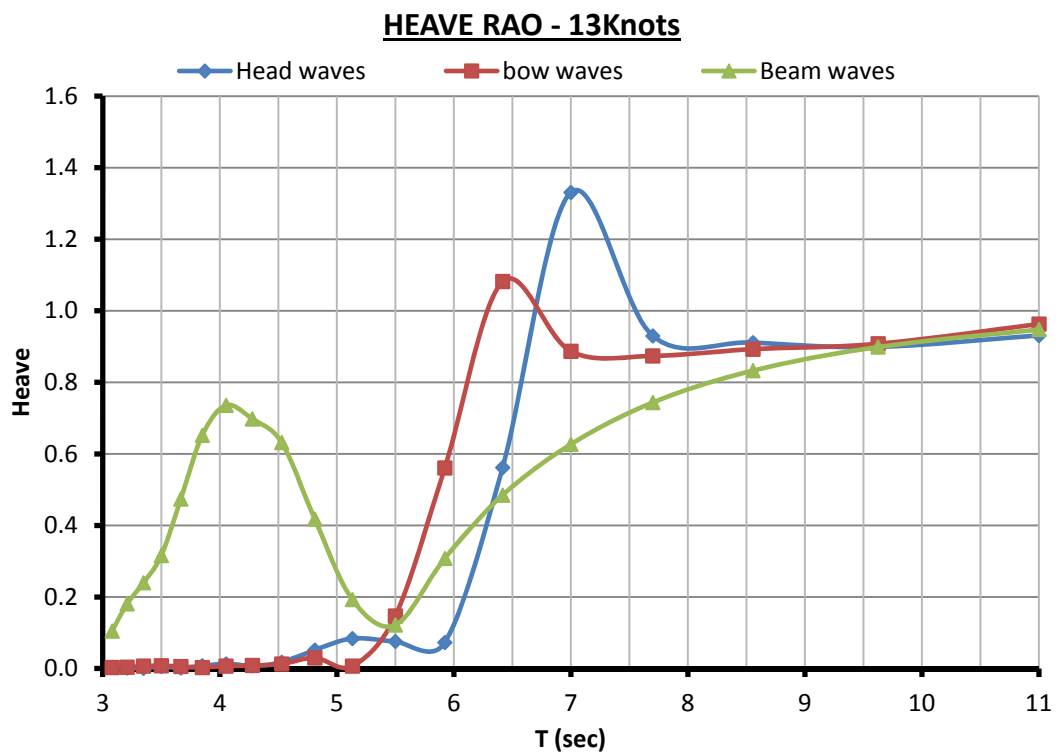
Σχήμα 6.4.14: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL74



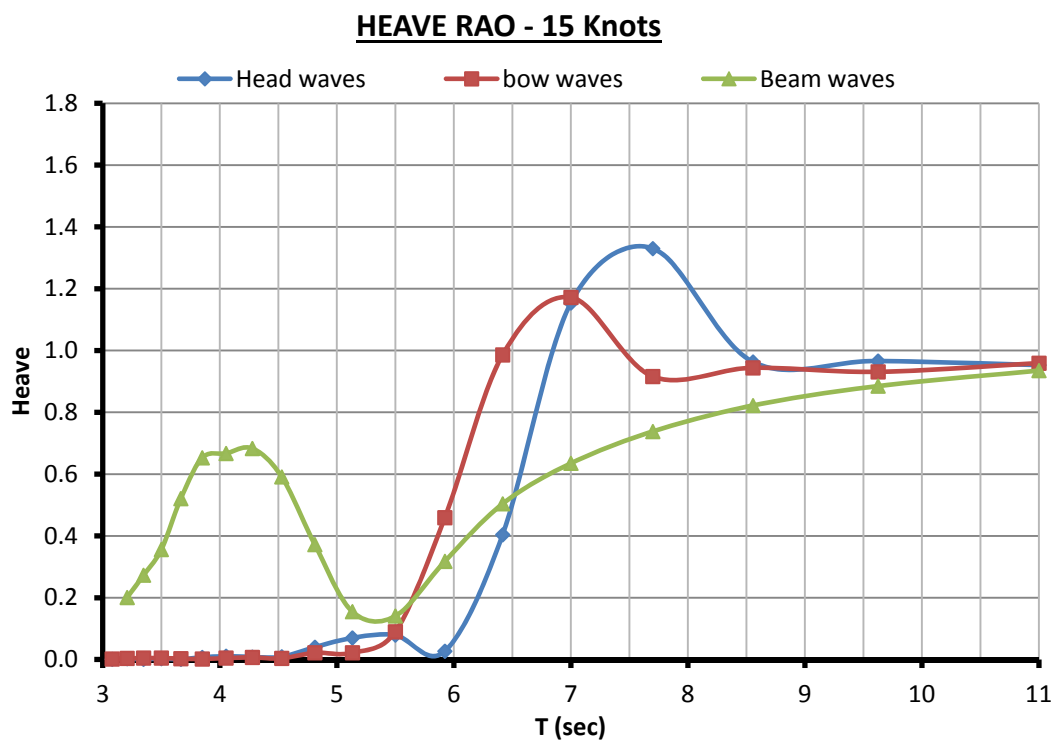
Σχήμα 6.4.15: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74



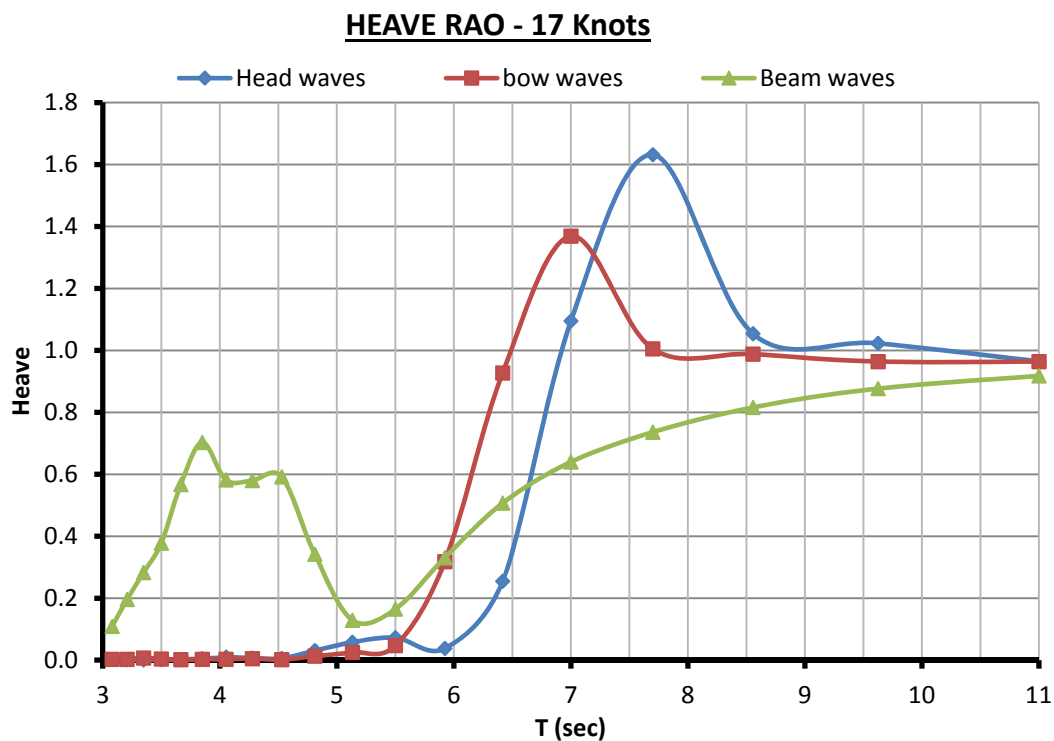
Σχήμα 6.4.16: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74



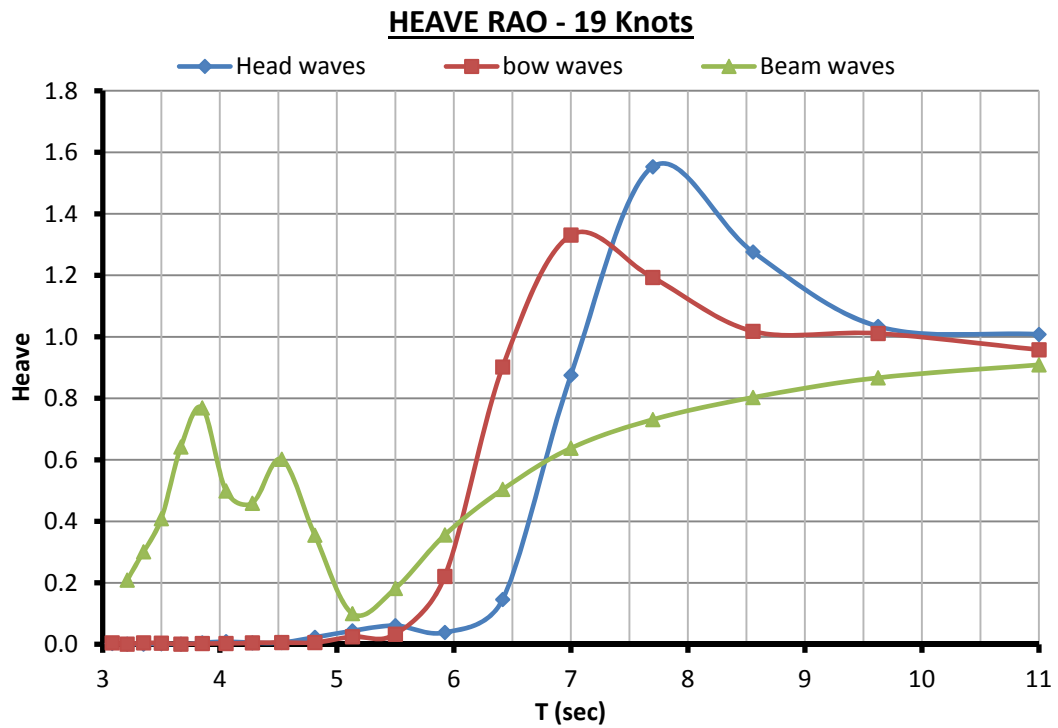
Σχήμα 6.4.17: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.244$) - HULL74



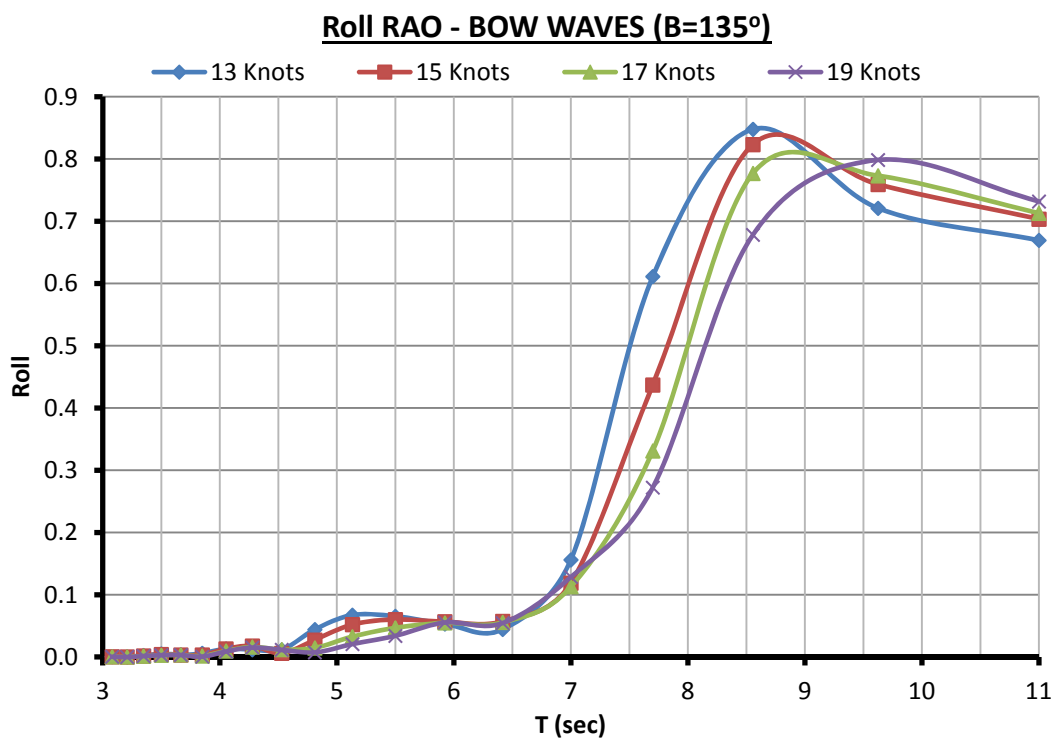
Σχήμα 6.4.18: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) - HULL74



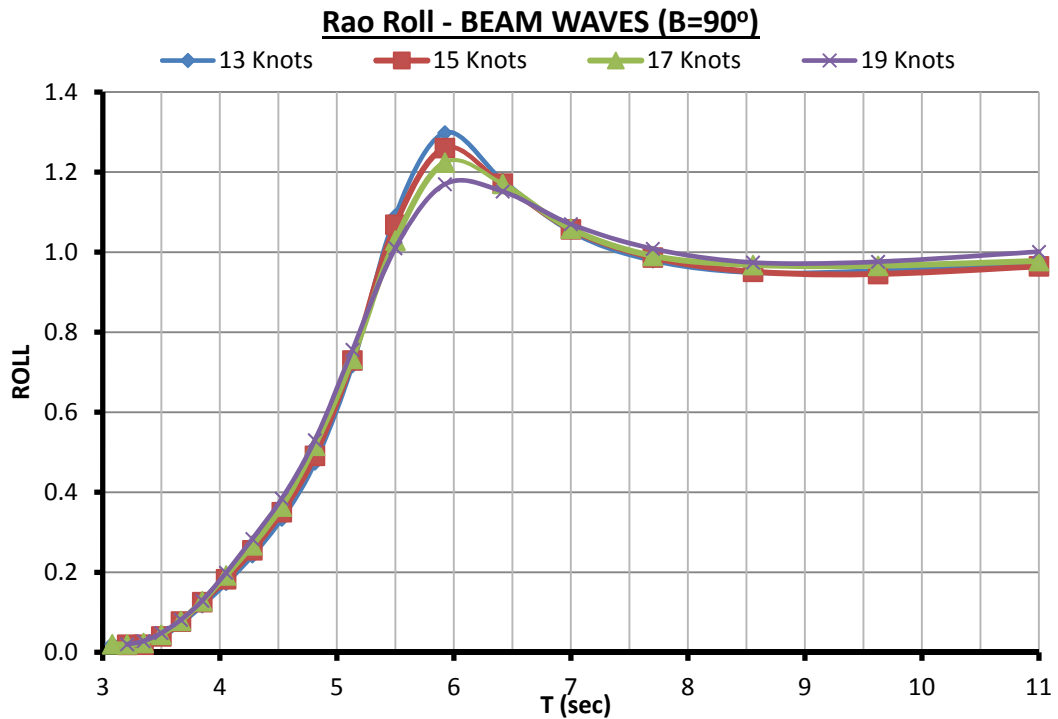
Σχήμα 6.4.19: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$) - HULL74



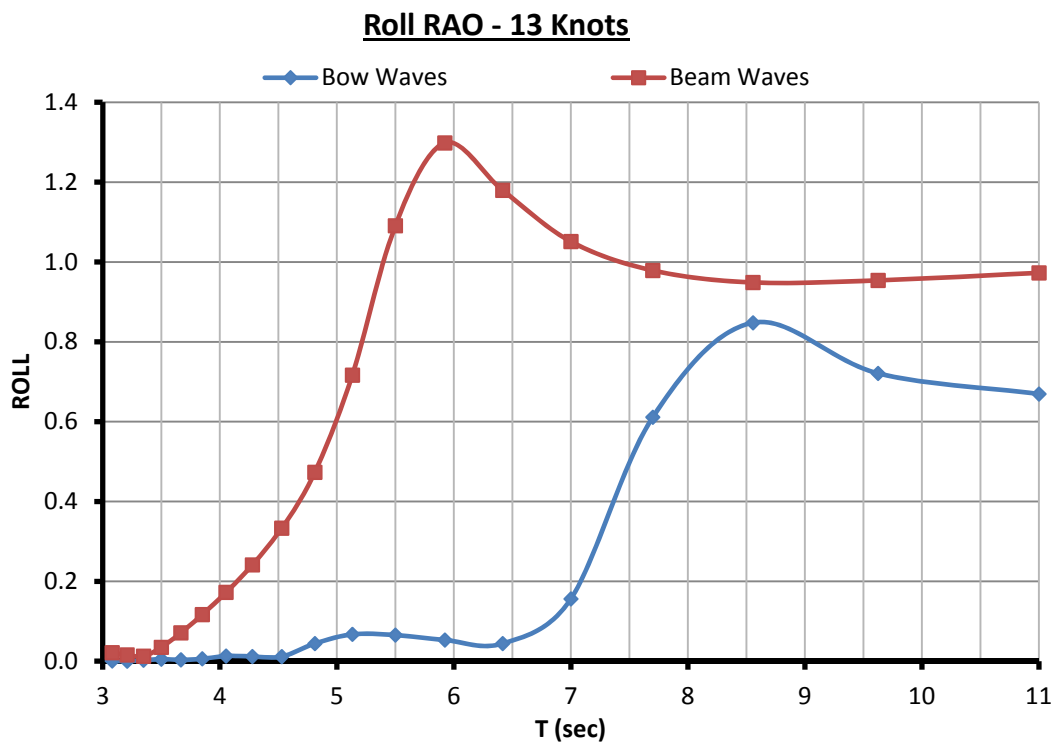
Σχήμα 6.4.20: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) - HULL74



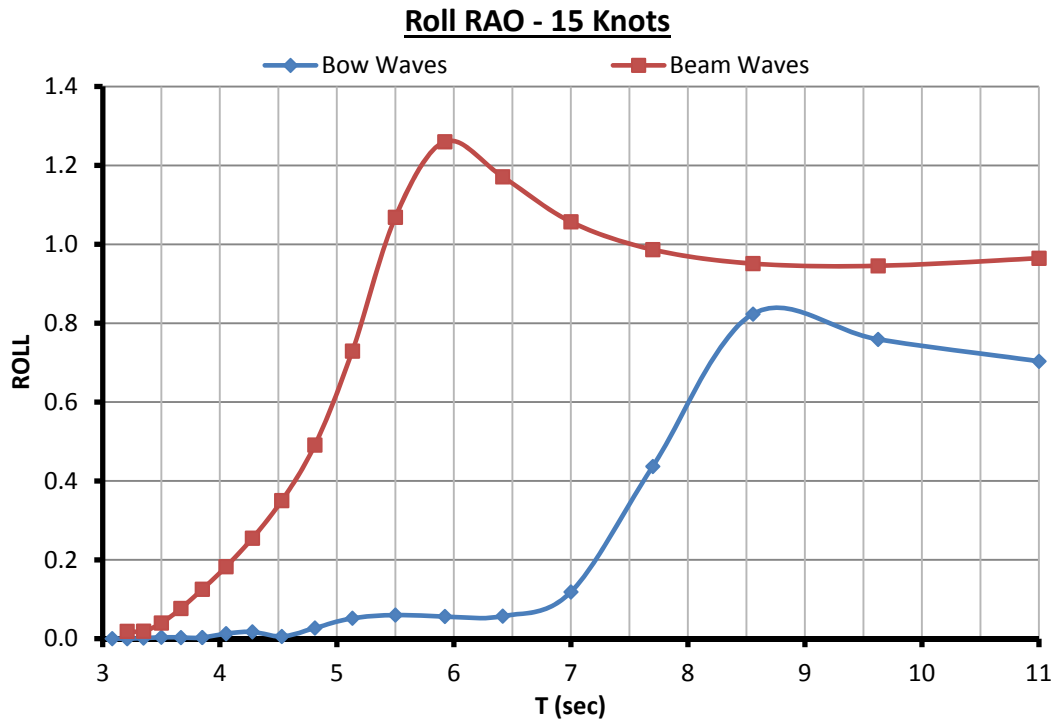
Σχήμα 6.4.21: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 σε πλωριούς κυματισμού($\beta=135^\circ$) - HULL74



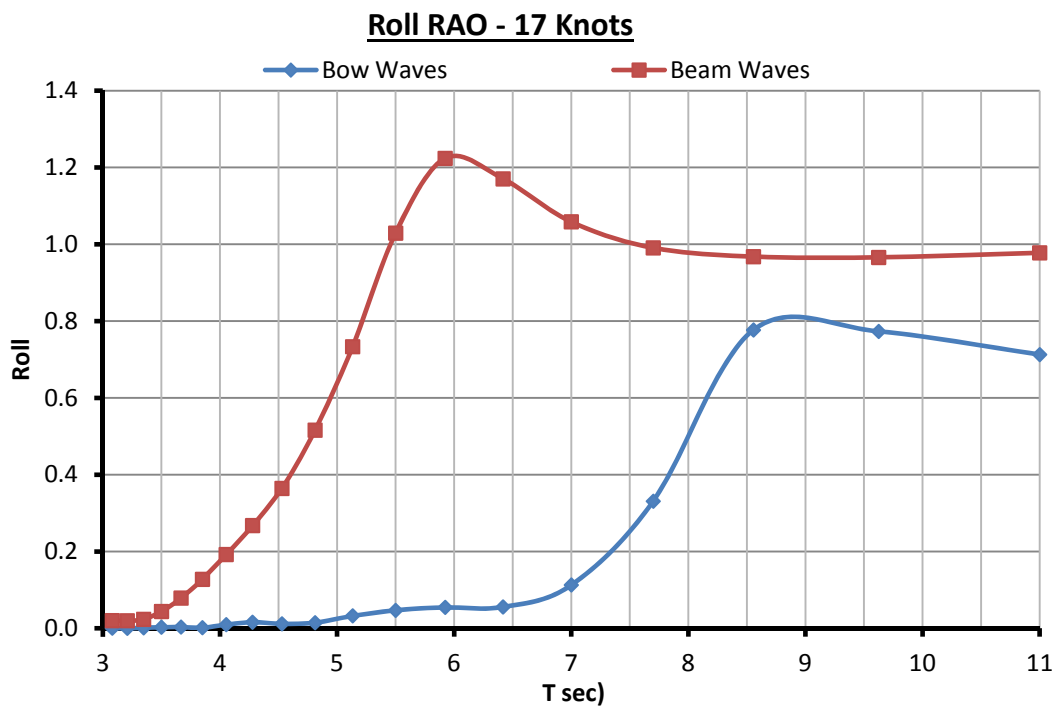
Σχήμα 6.4.22: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 σε πλευρικούς κυματισμού($\beta=90^\circ$) - HULL74



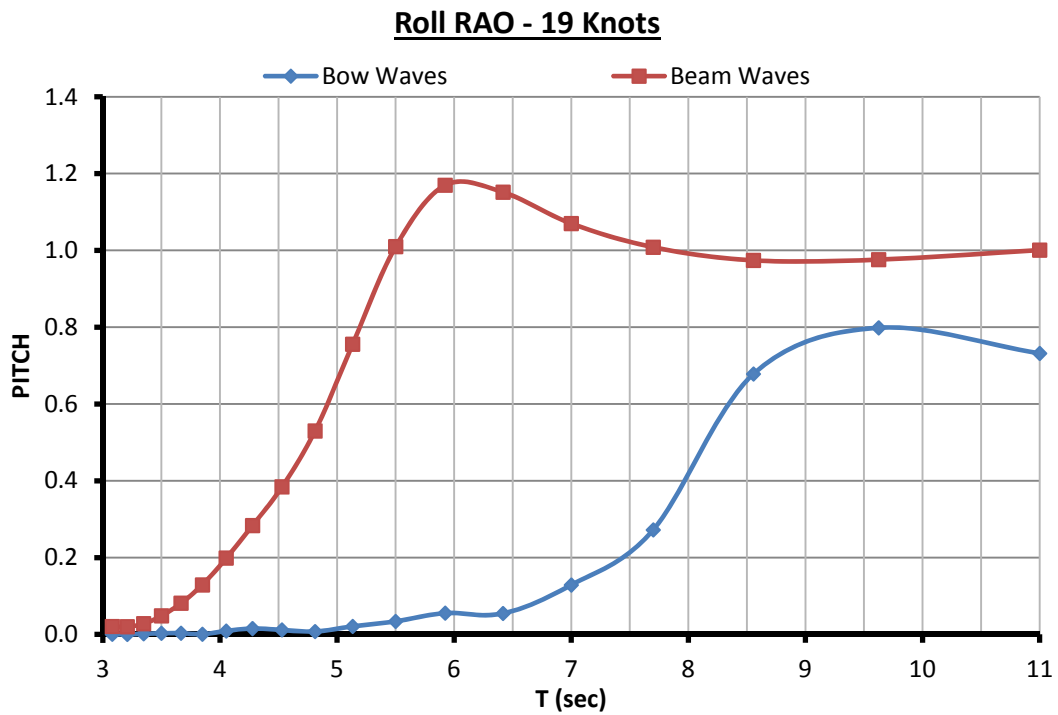
Σχήμα 6.4.23: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.244$) - HULL74



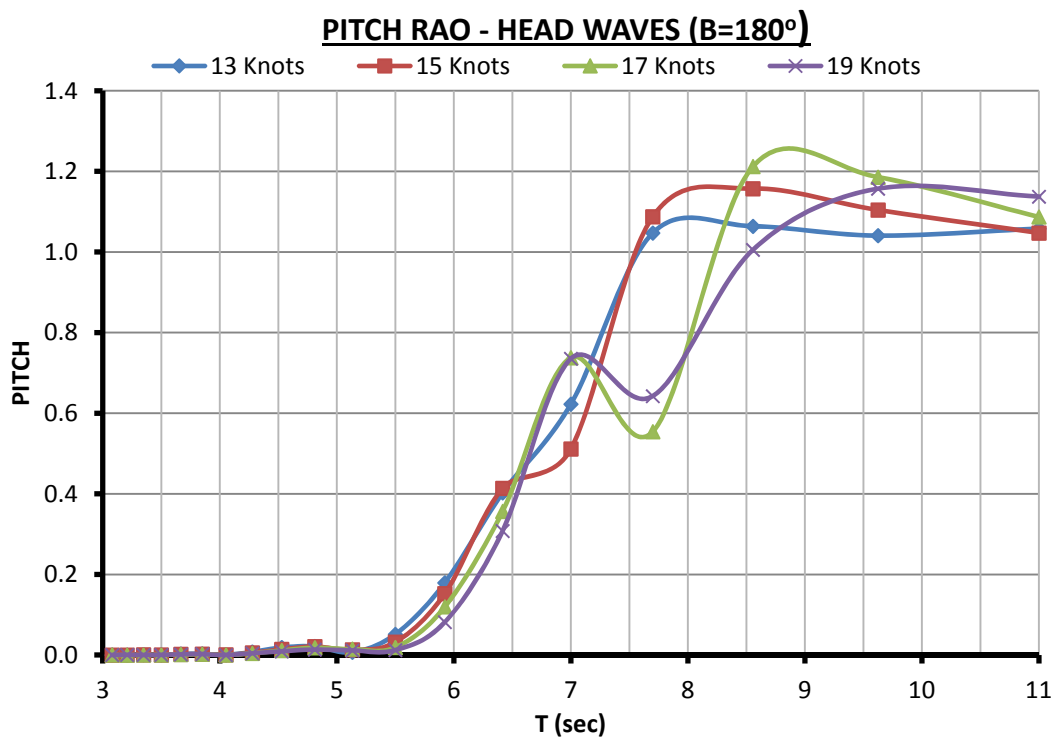
Σχήμα 6.4.24: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) - HULL74



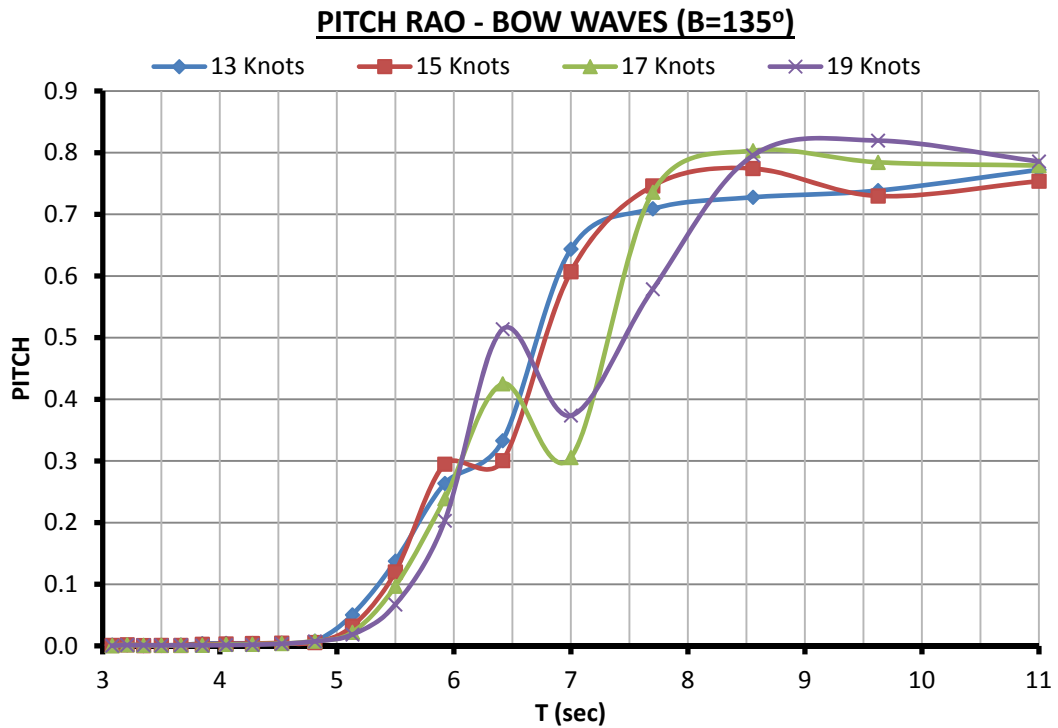
Σχήμα 6.4.25: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$) - HULL74



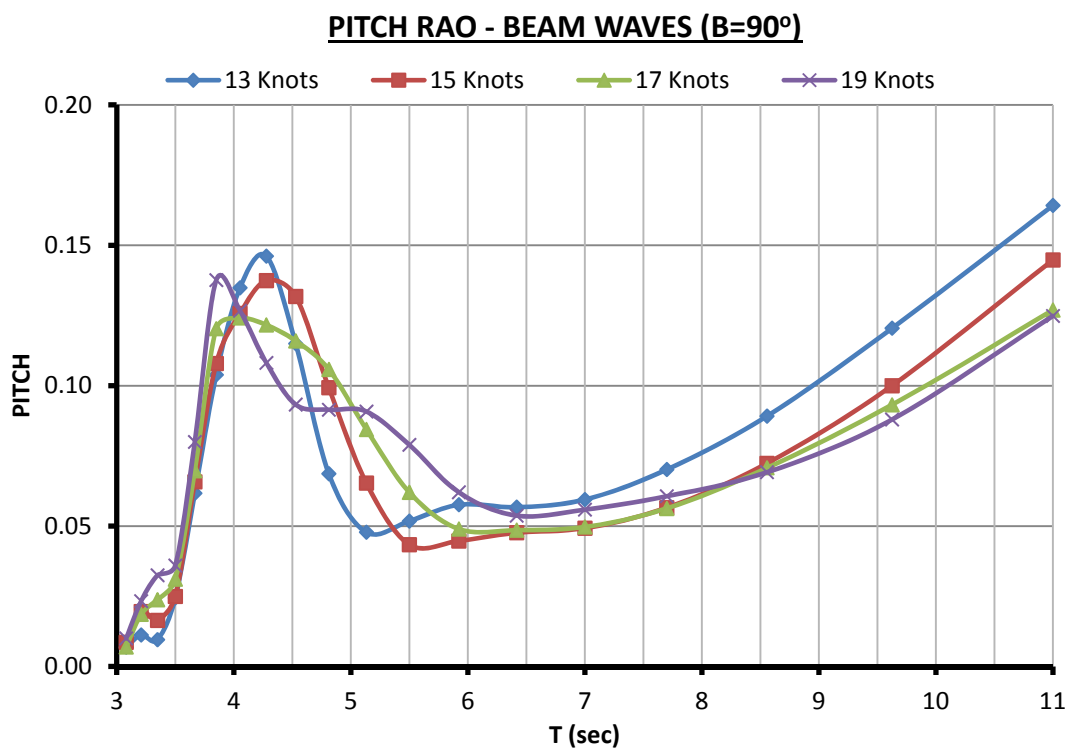
Σχήμα 6.4.26: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) - HULL74



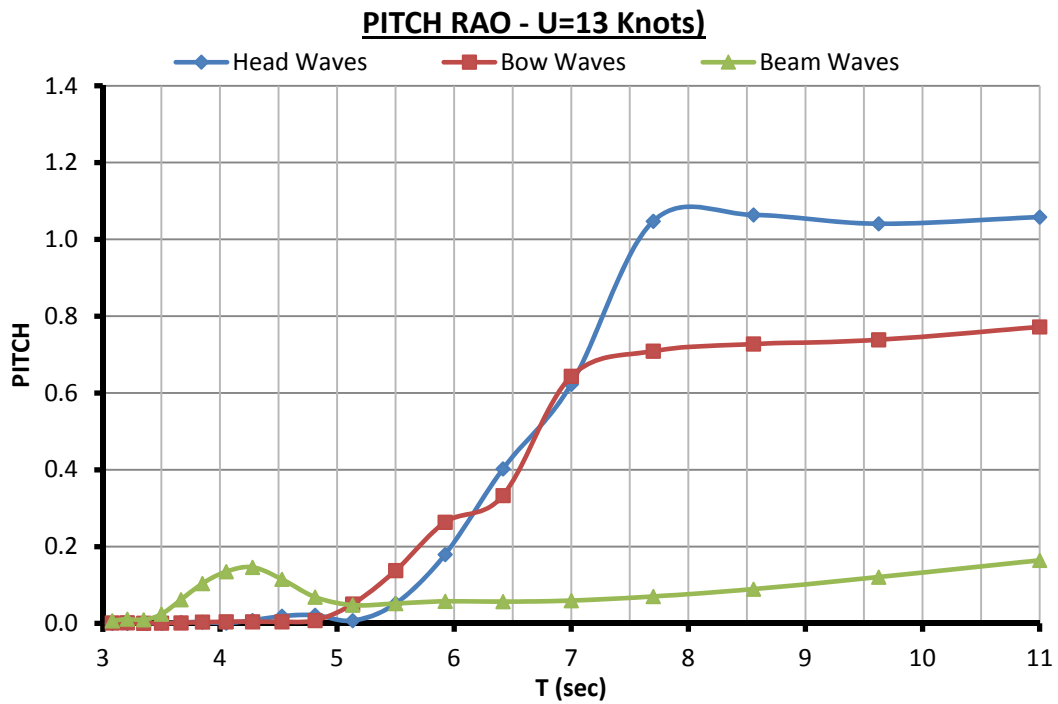
Σχήμα 6.4.27: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL74



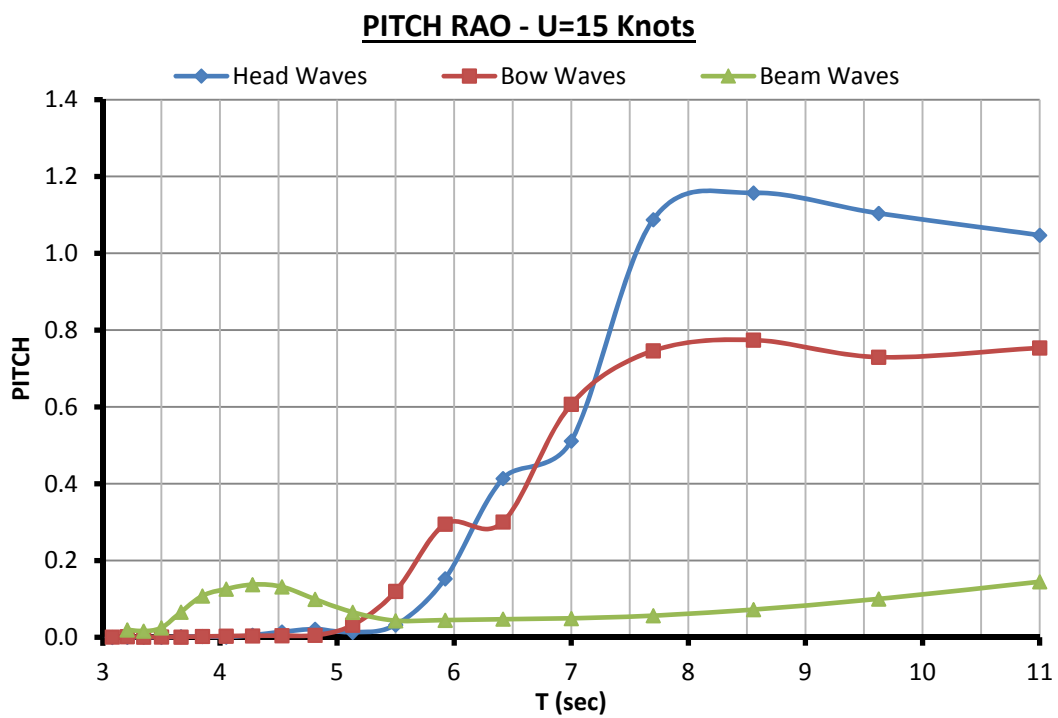
Σχήμα 6.4.28: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ5 πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74



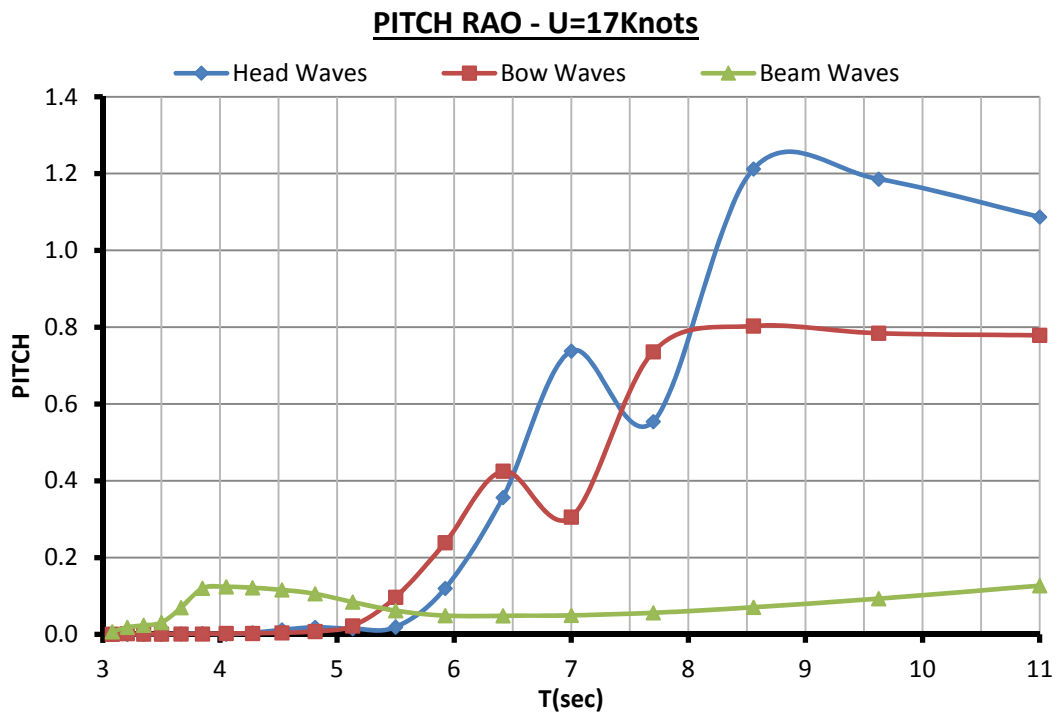
Σχήμα 6.4.29: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ5 πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74



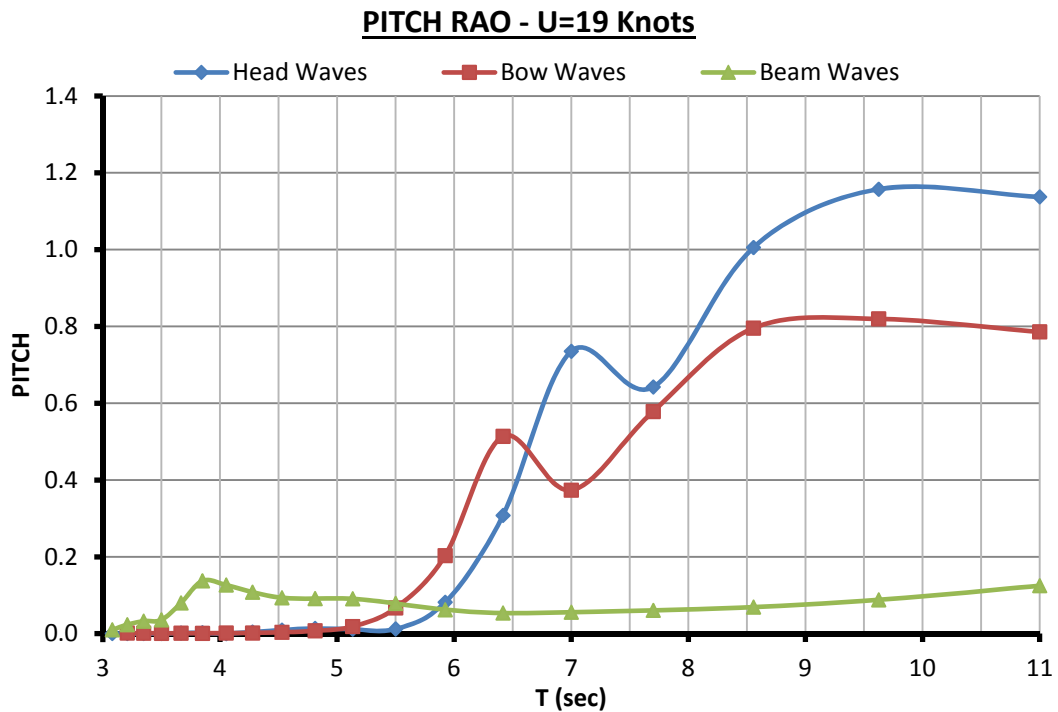
Σχήμα 6.4.30: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.244$) - HULL74



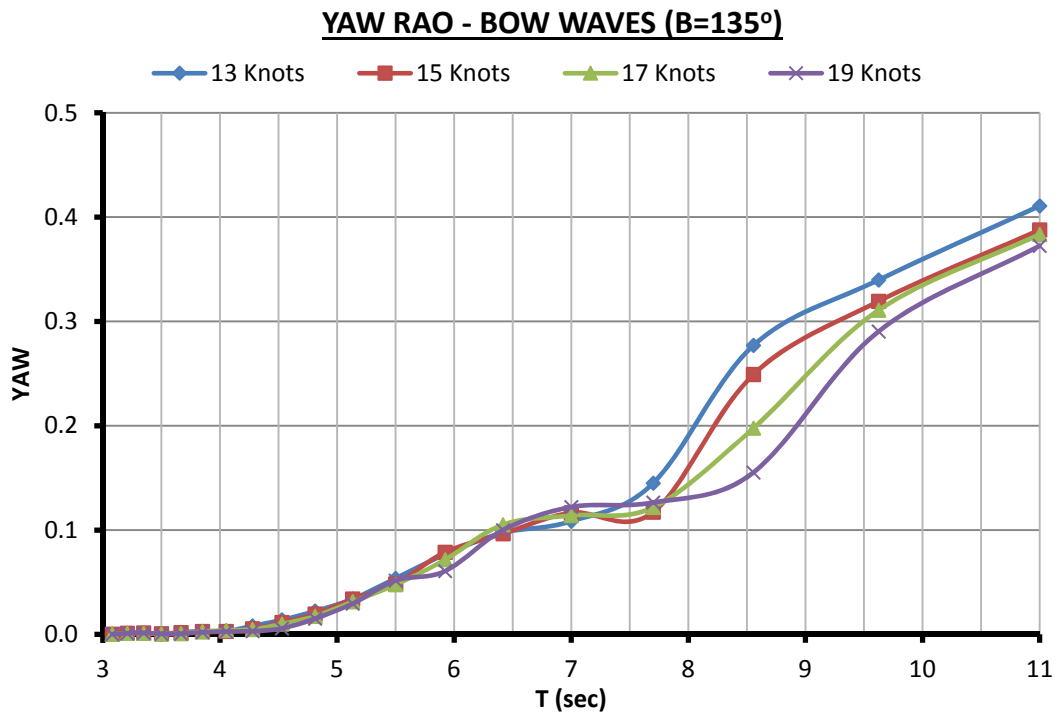
Σχήμα 6.4.31: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) - HULL74



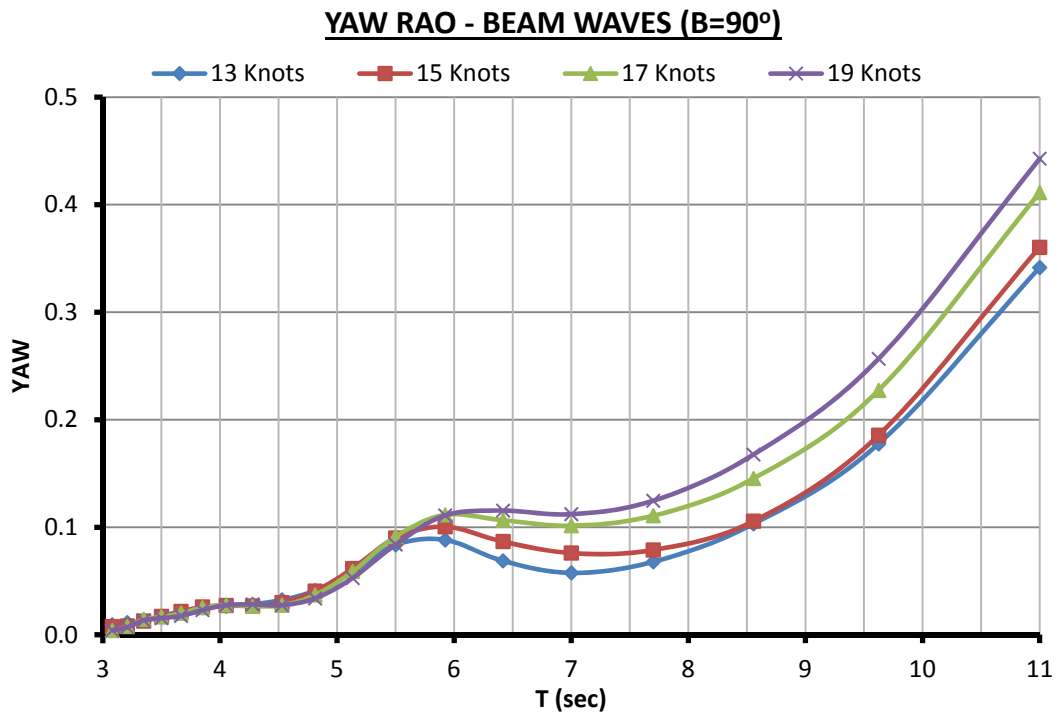
Σχήμα 6.4.32: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$) - HULL74



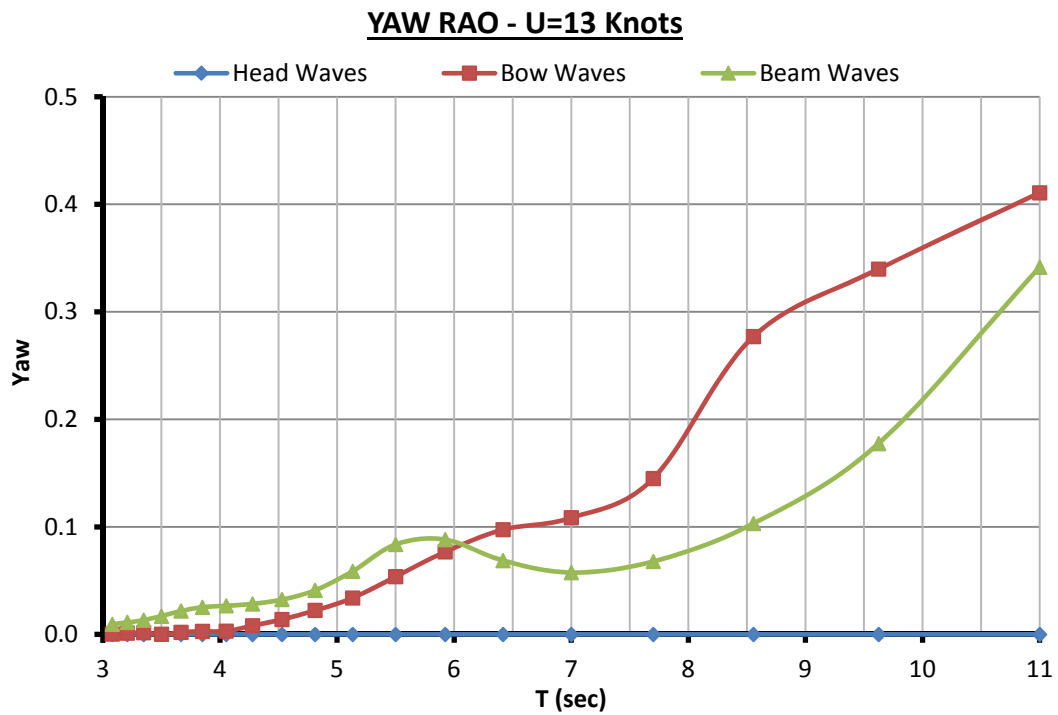
Σχήμα 6.4.33: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) - HULL74



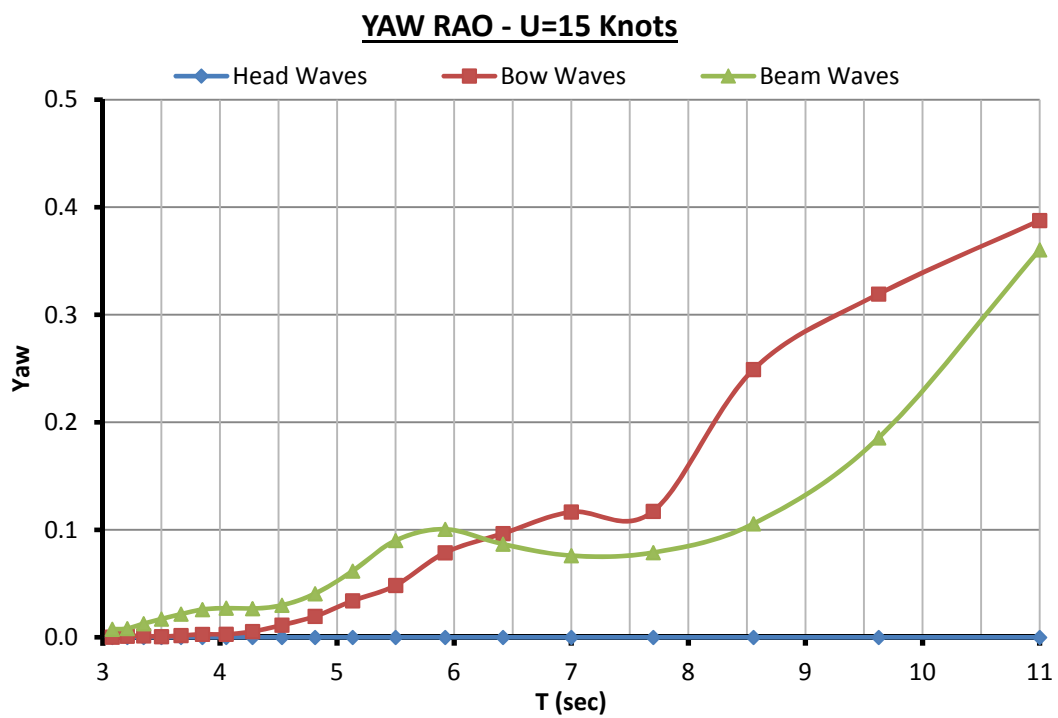
Σχήμα 6.4.34: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74



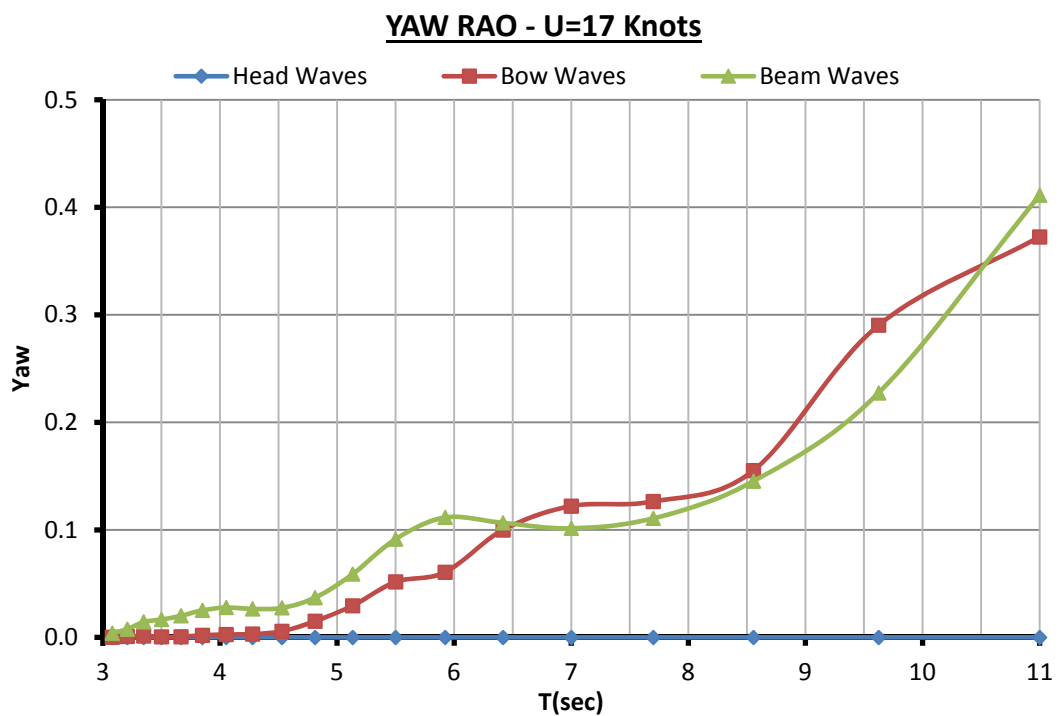
Σχήμα 6.4.35: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74



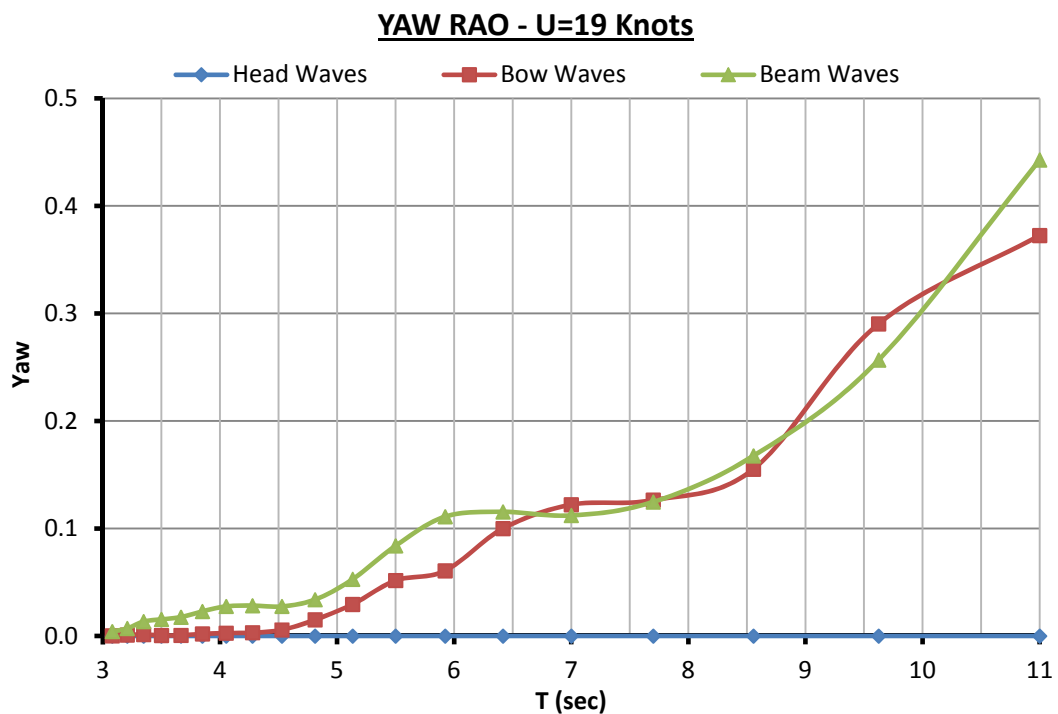
Σχήμα 6.4.36: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.244$) - HULL74



Σχήμα 6.4.37: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) - HULL74

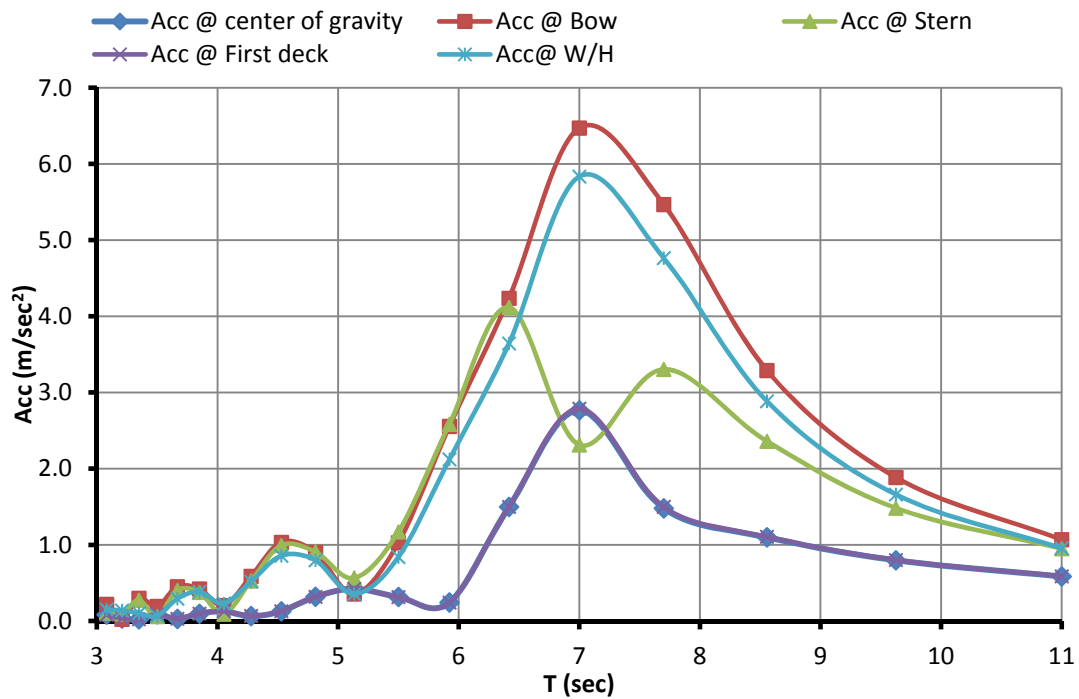


Σχήμα 6.4.38: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$) - HULL74



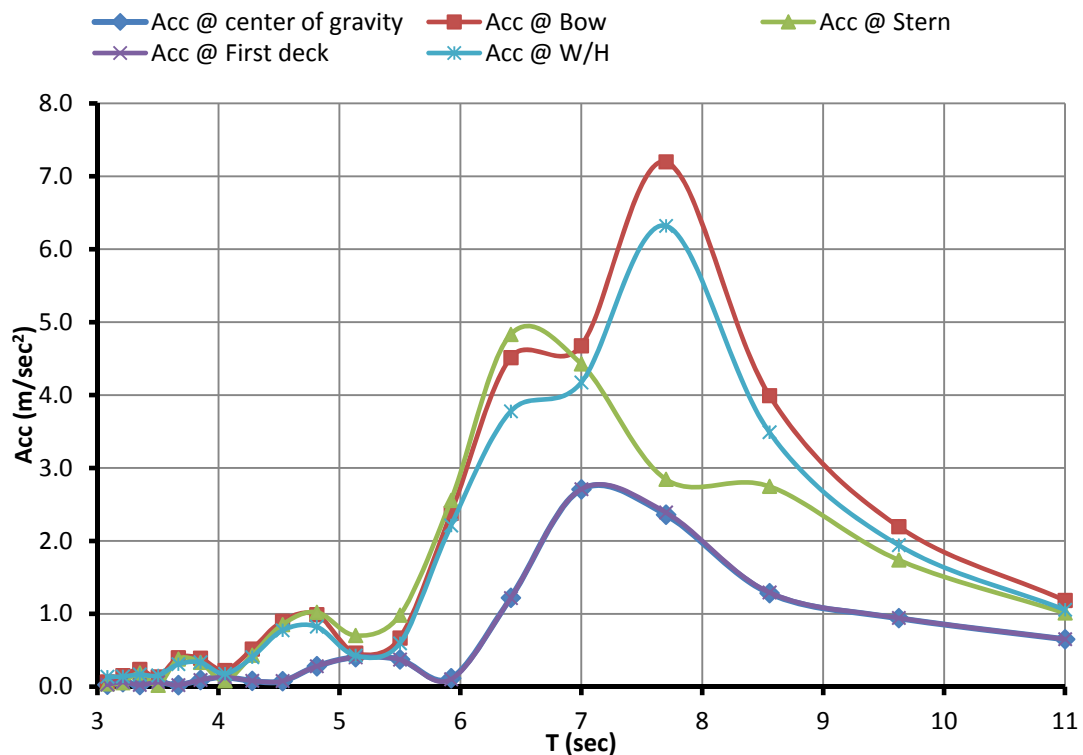
Σχήμα 6.4.39: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) - HULL74

Vertical Accelerations U=13 knots HEAD WAVES



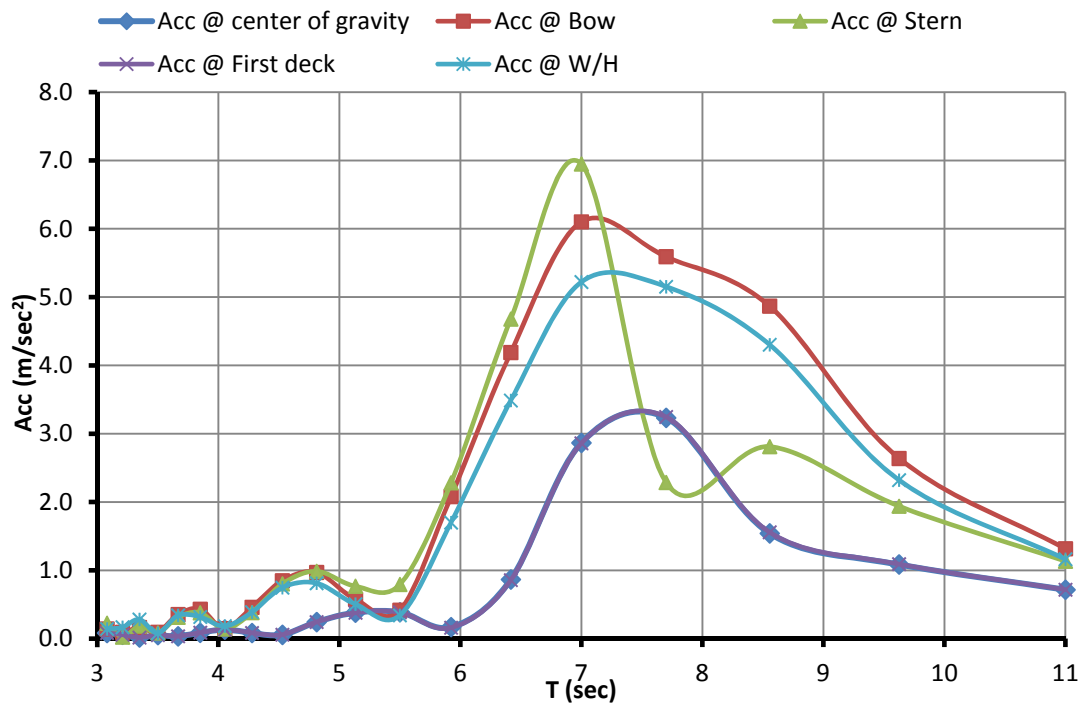
Σχήμα 6.4.40: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.244$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL74

Vertical Accelerations U=15 knots HEAD WAVES



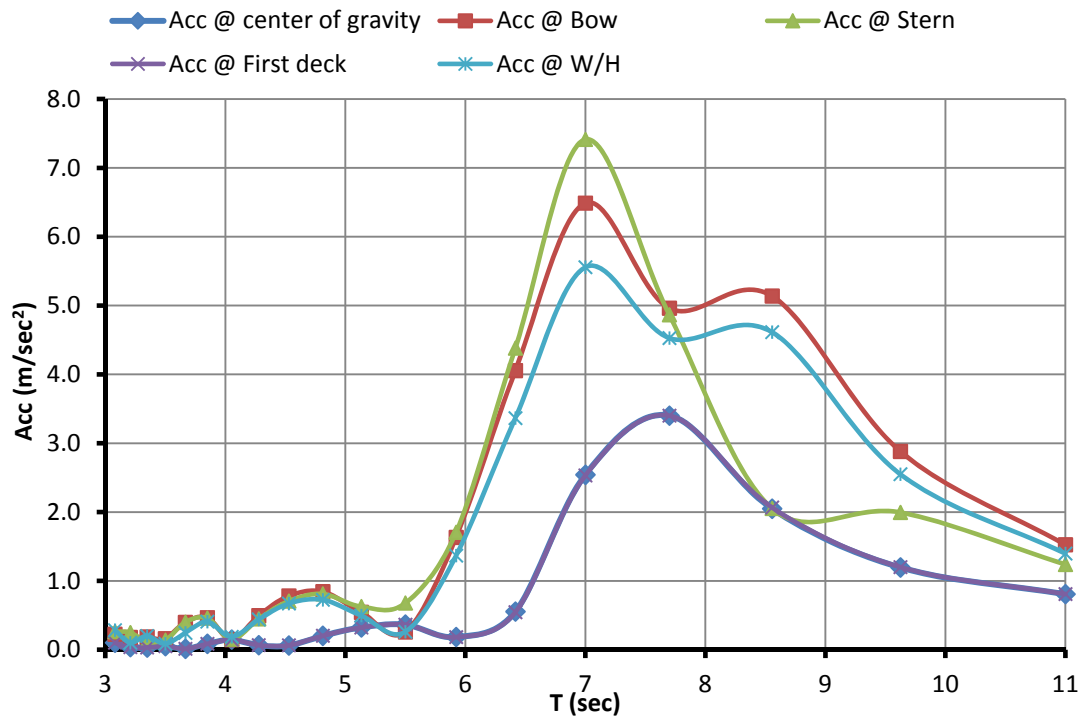
Σχήμα 6.4.41: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL74

Vertical Accelerations U=17 knots HEAD WAVES

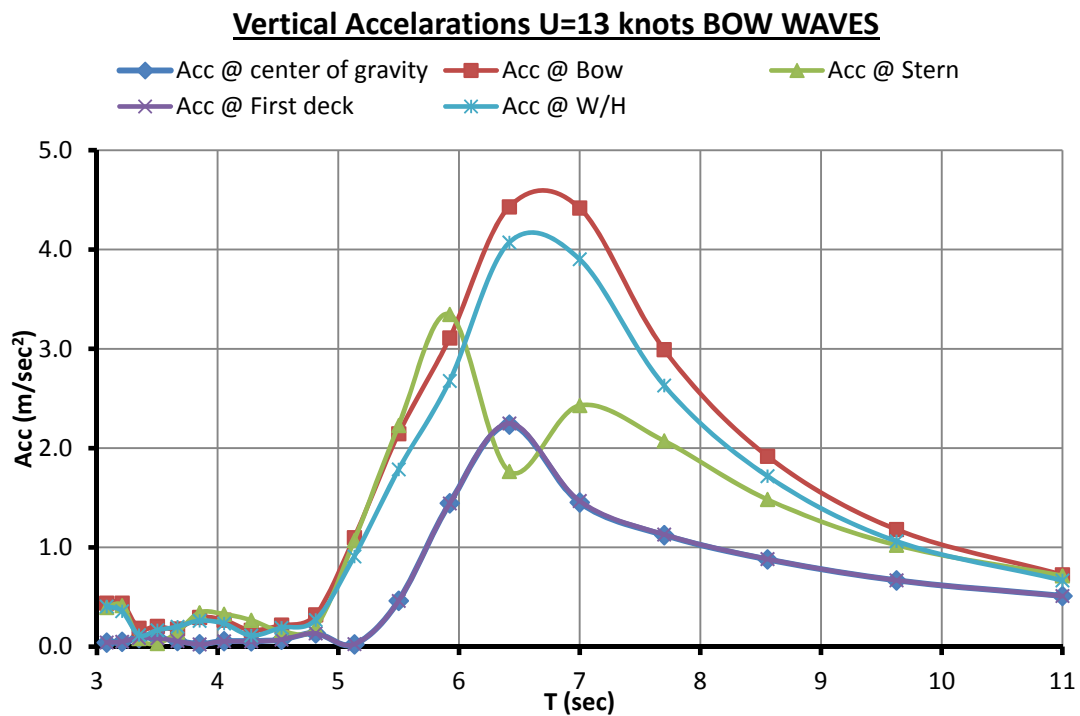


Σχήμα 6.4.42: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL74

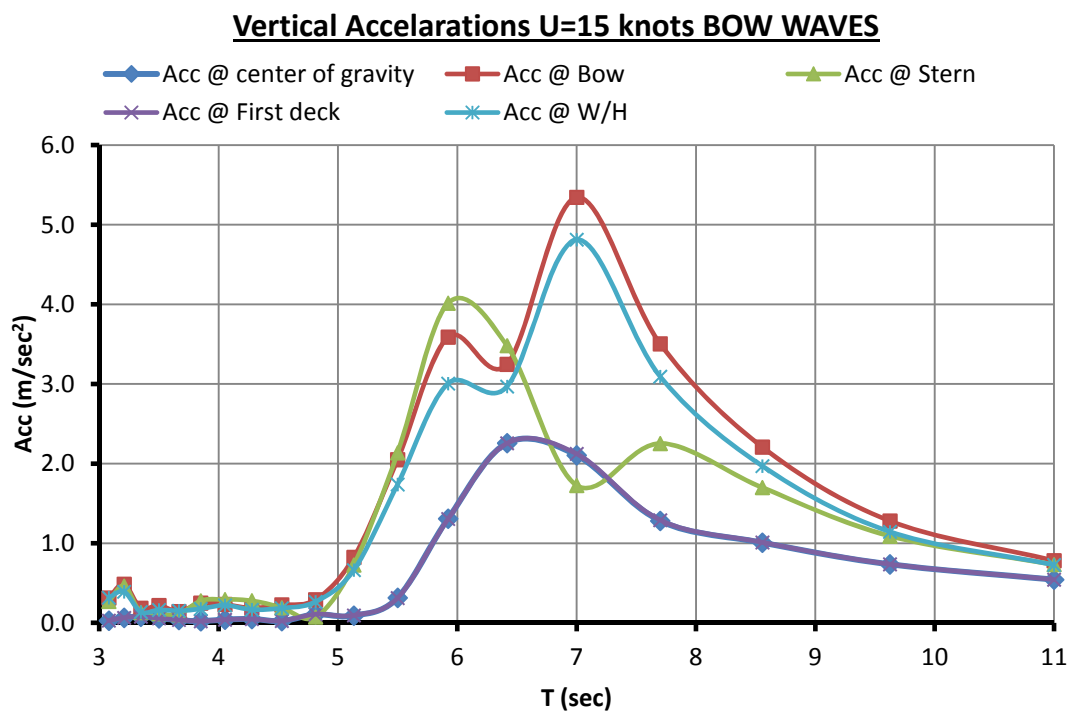
Vertical Accelerations U=19 knots HEAD WAVES



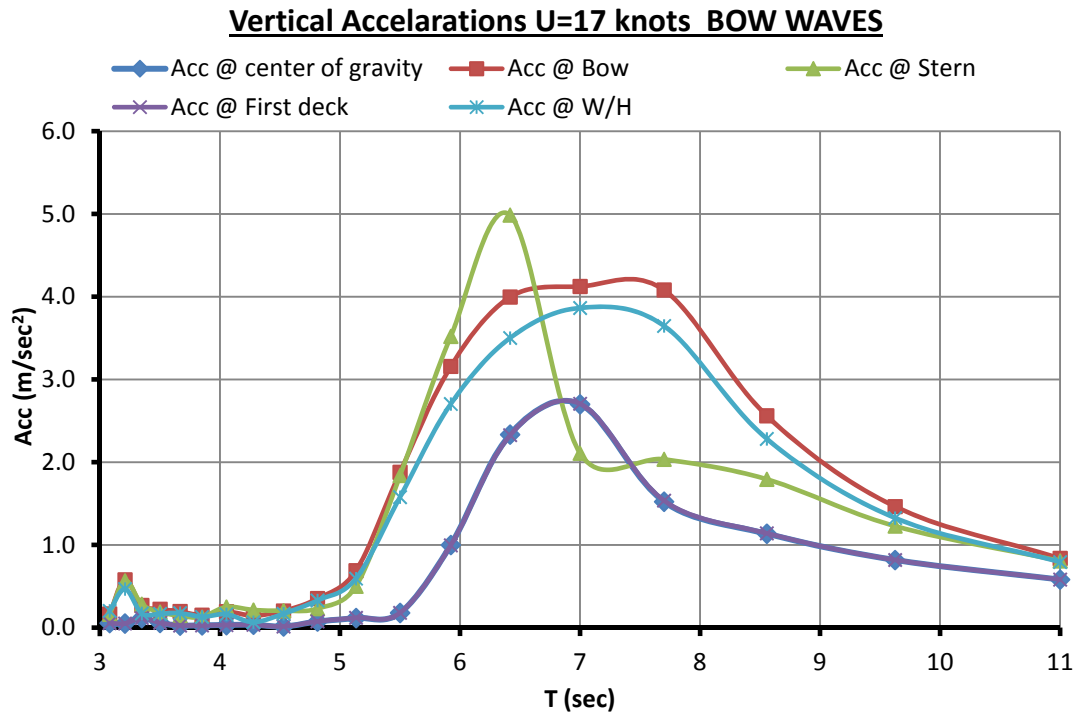
Σχήμα 6.4.43: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL74



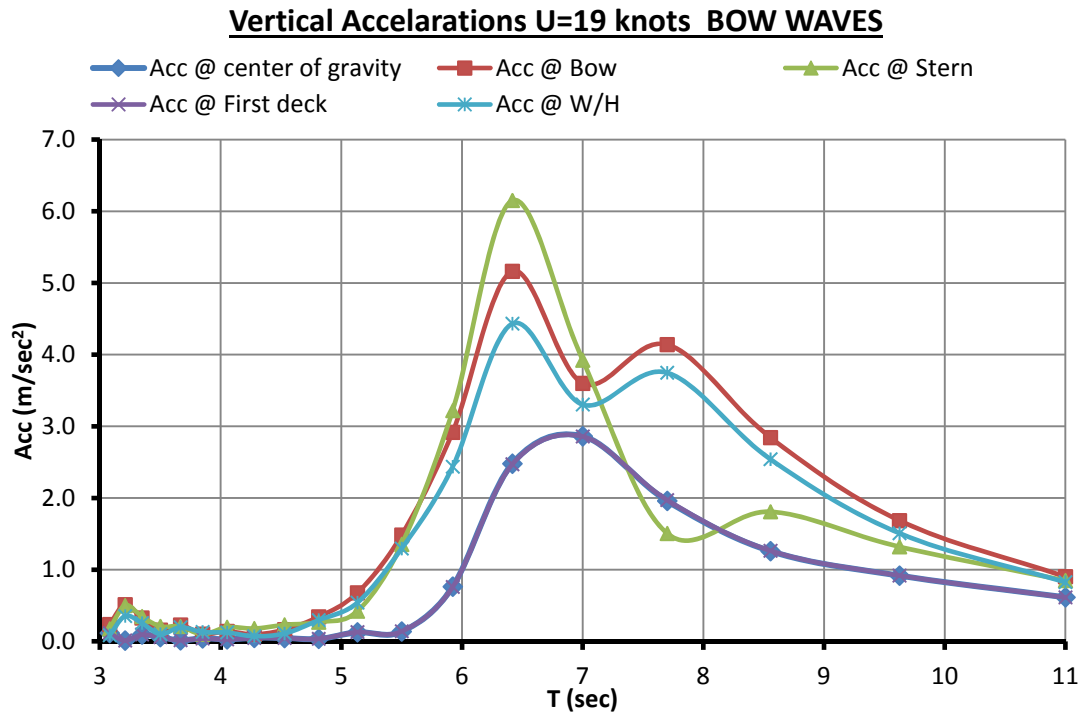
Σχήμα 6.4.44: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.281$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74



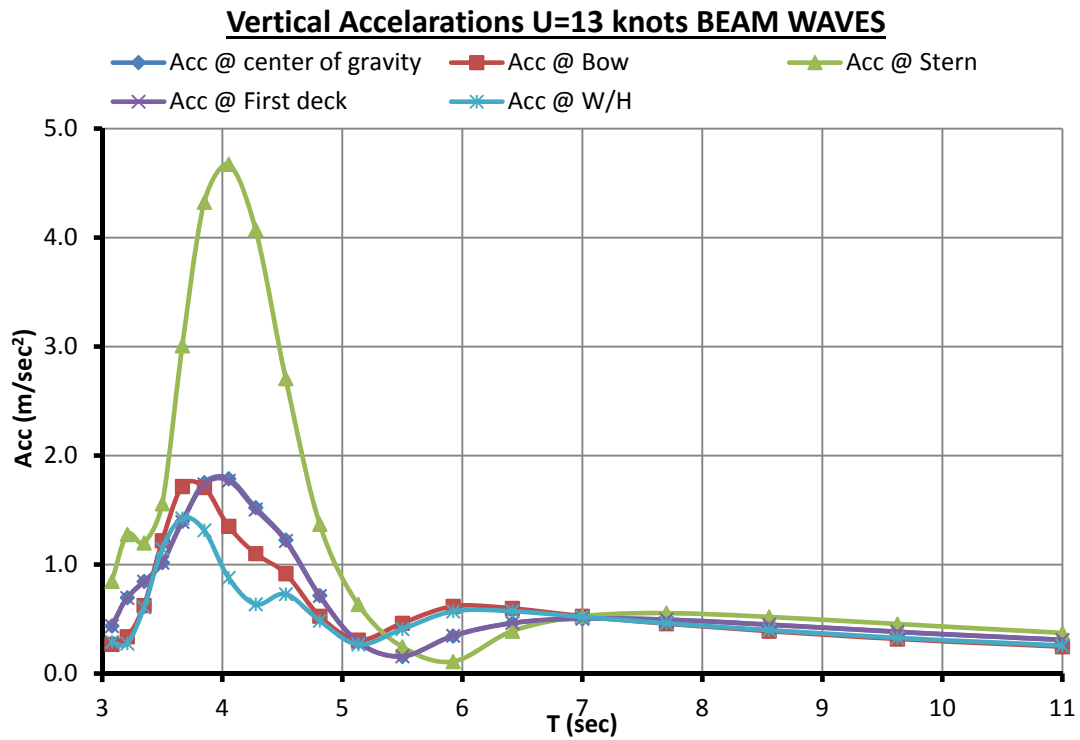
Σχήμα 6.4.45: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74



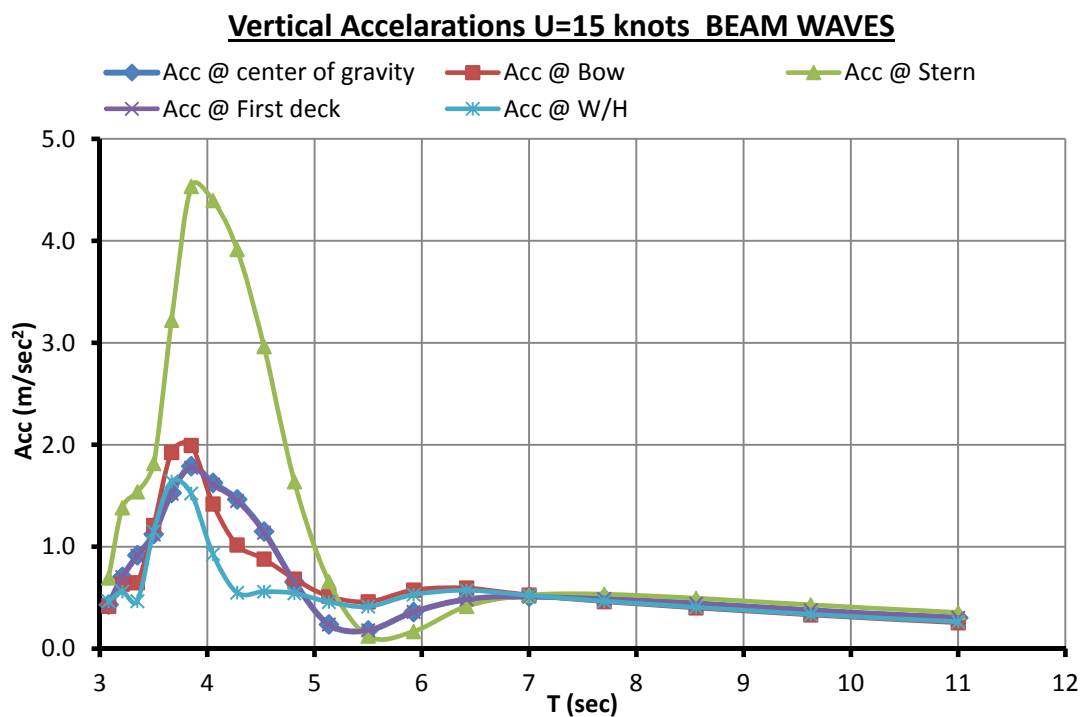
Σχήμα 6.4.46: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74



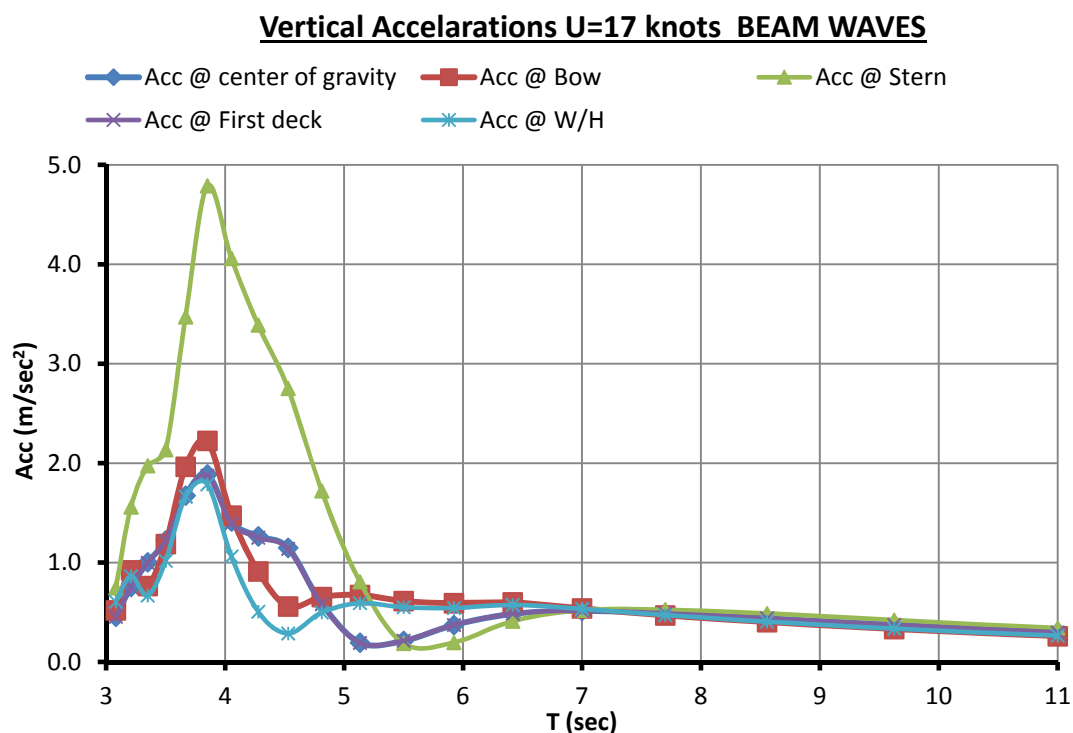
Σχήμα 6.4.47: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74



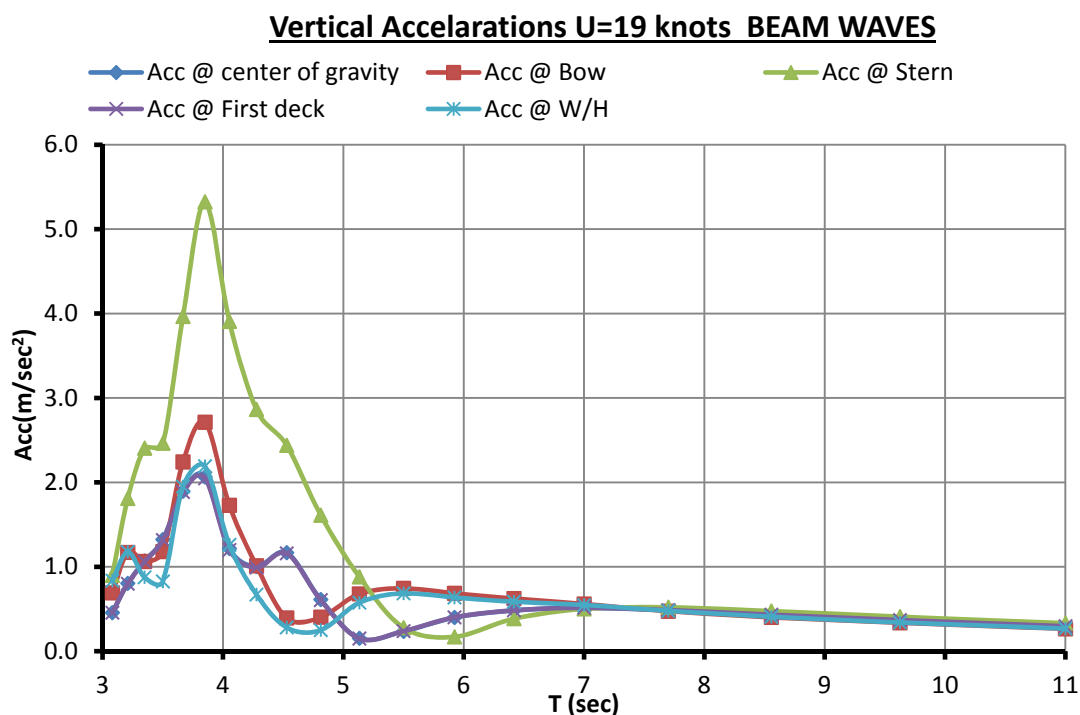
Σχήμα 6.4.48: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.244$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74



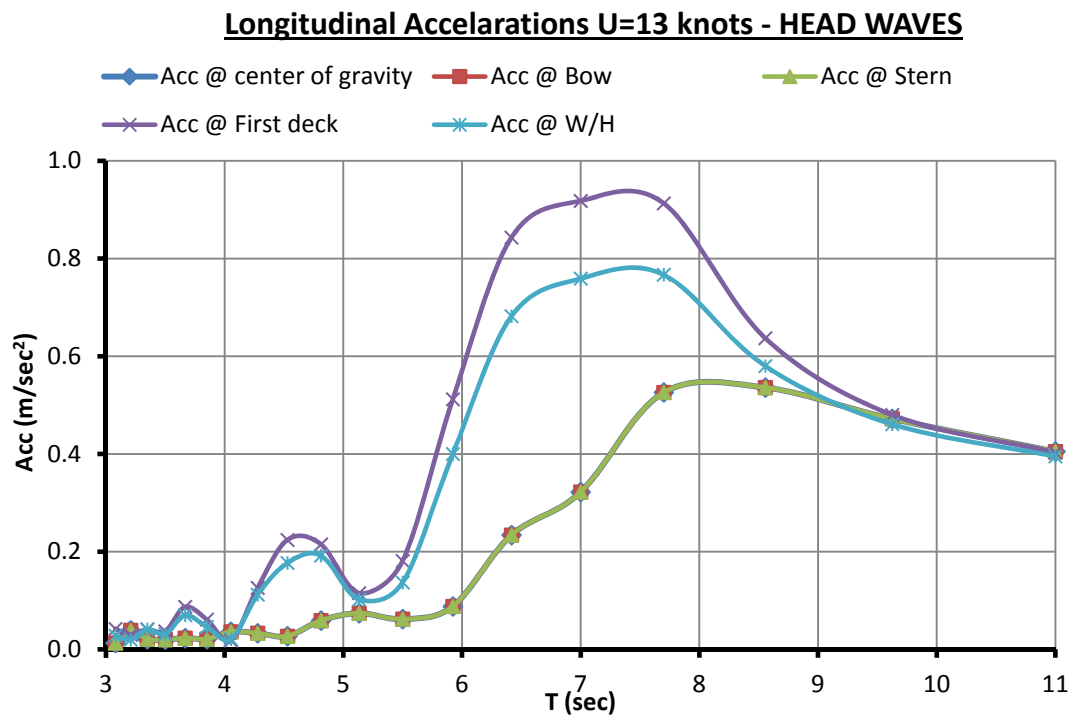
Σχήμα 6.4.49: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74



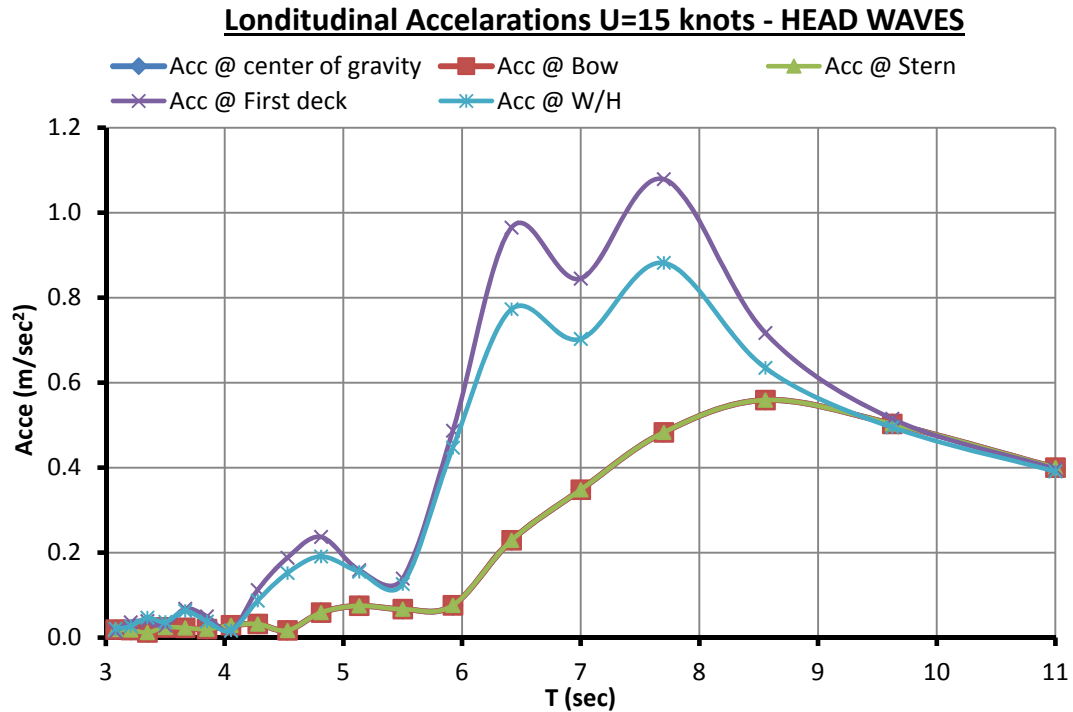
Σχήμα 6.4.50: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74



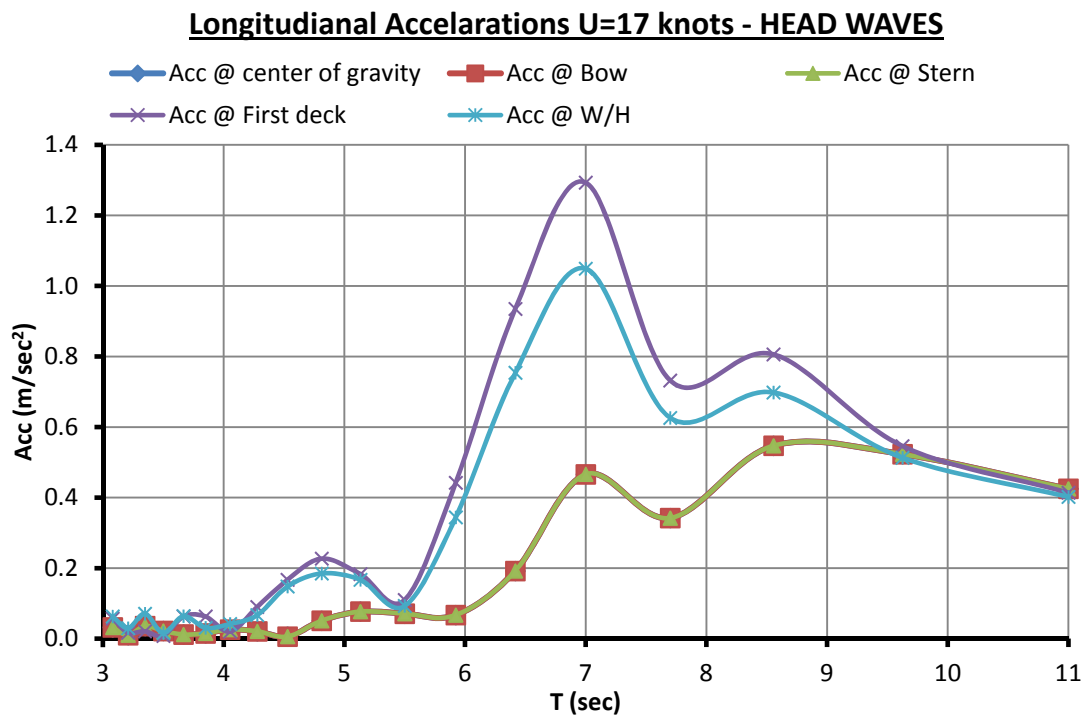
Σχήμα 6.4.51: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74



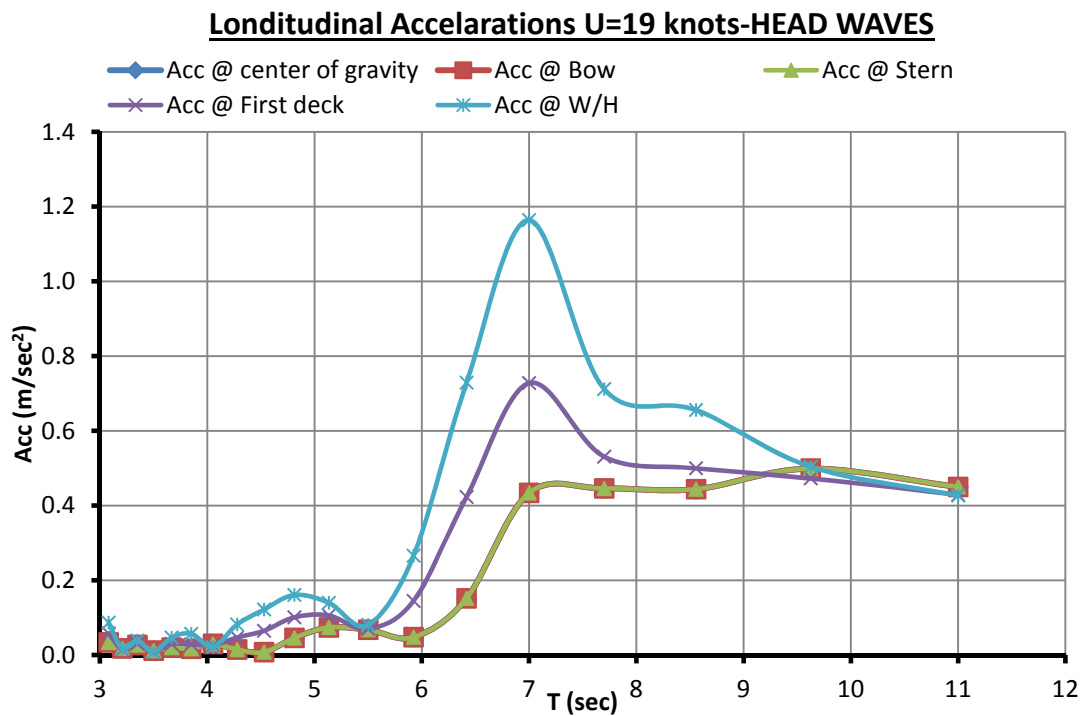
Σχήμα 6.4.52: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.244$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL74



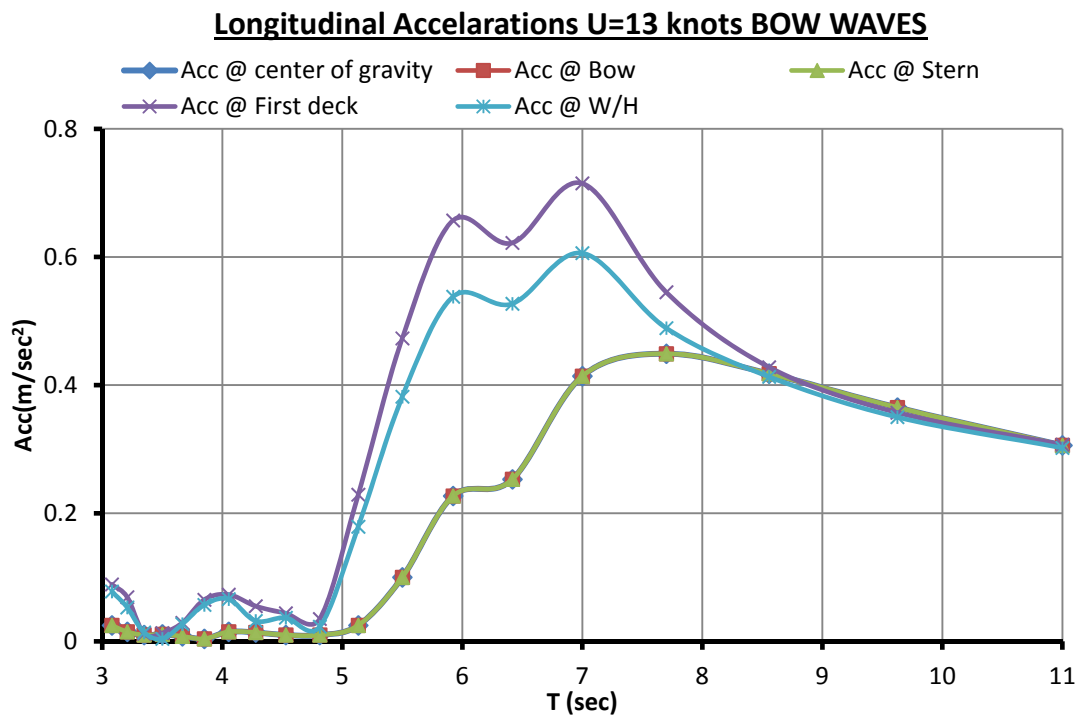
Σχήμα 6.4.53: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL74



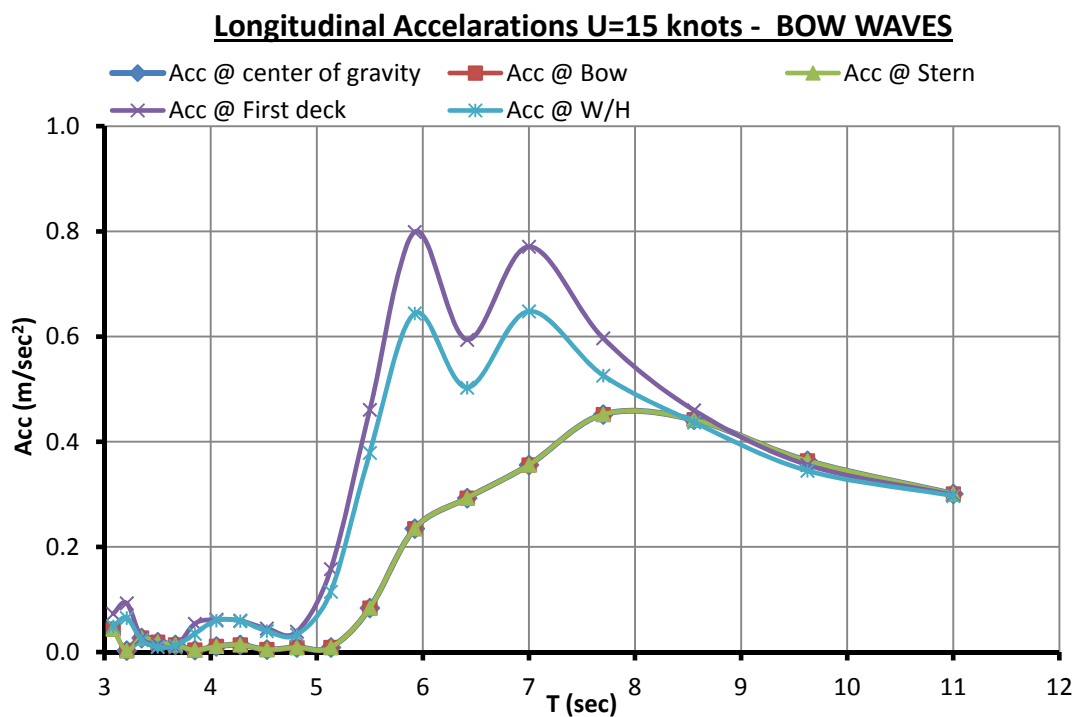
Σχήμα 6.4.54: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL74



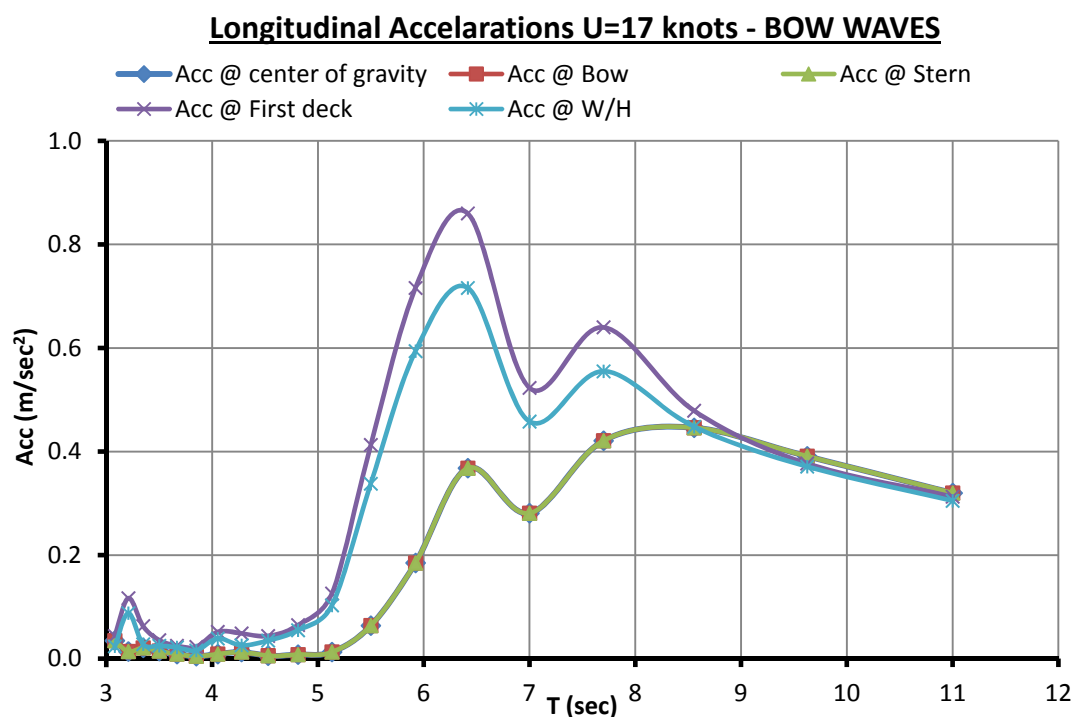
Σχήμα 6.4.55: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL74



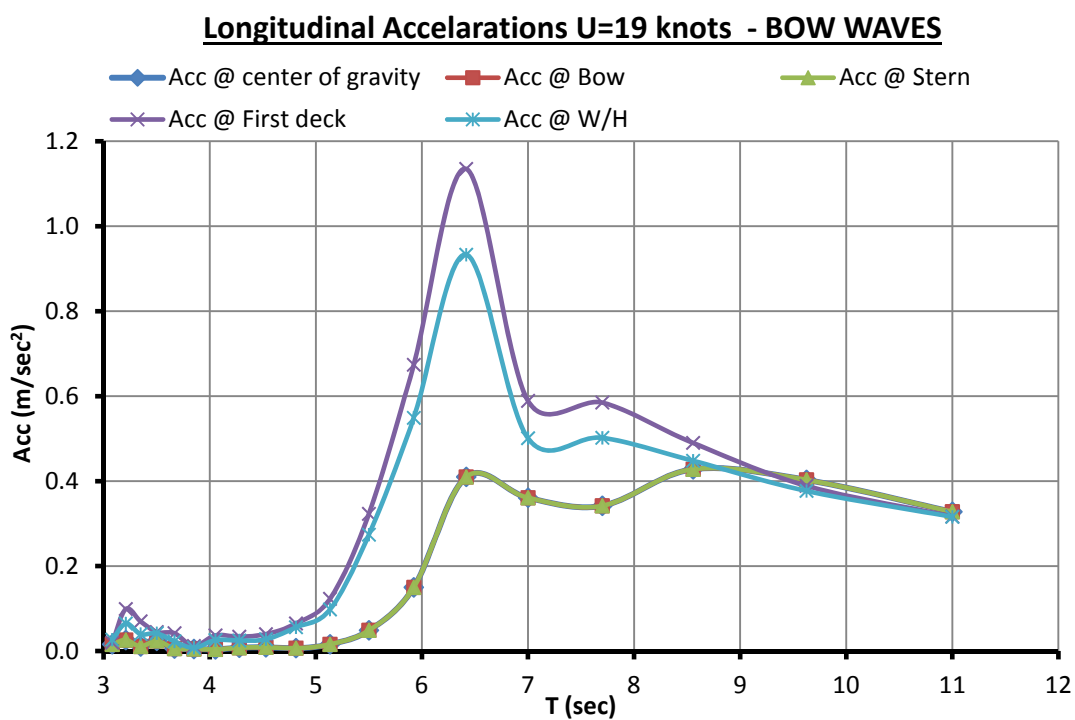
Σχήμα 6.4.56: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.244$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74



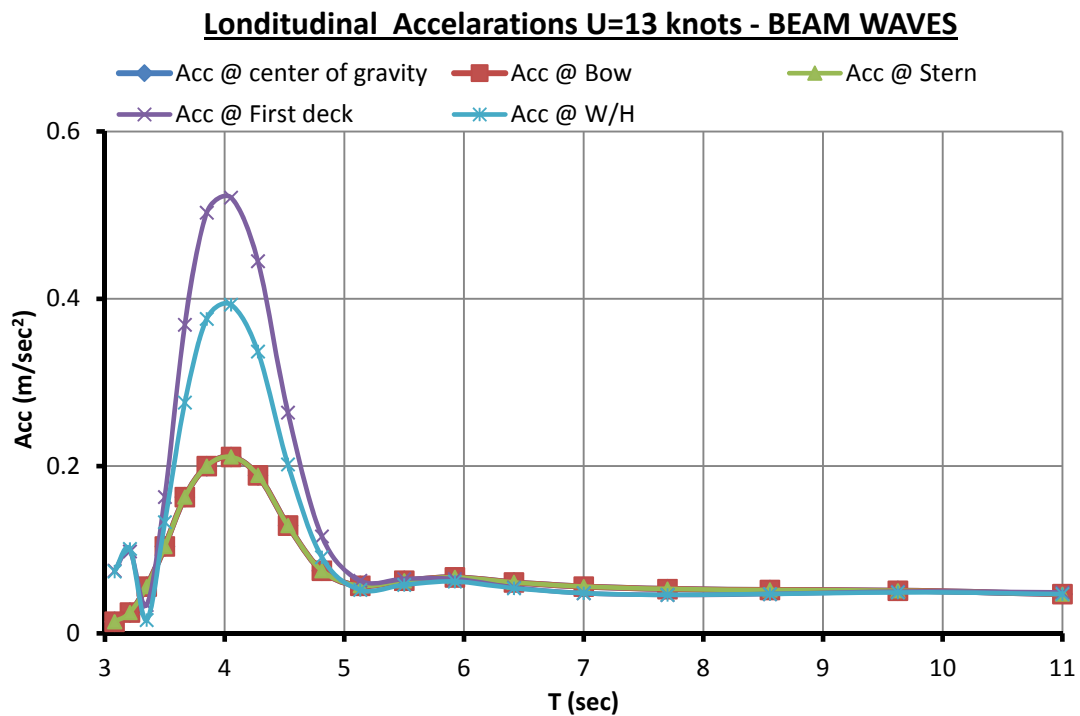
Σχήμα 6.4.57: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74



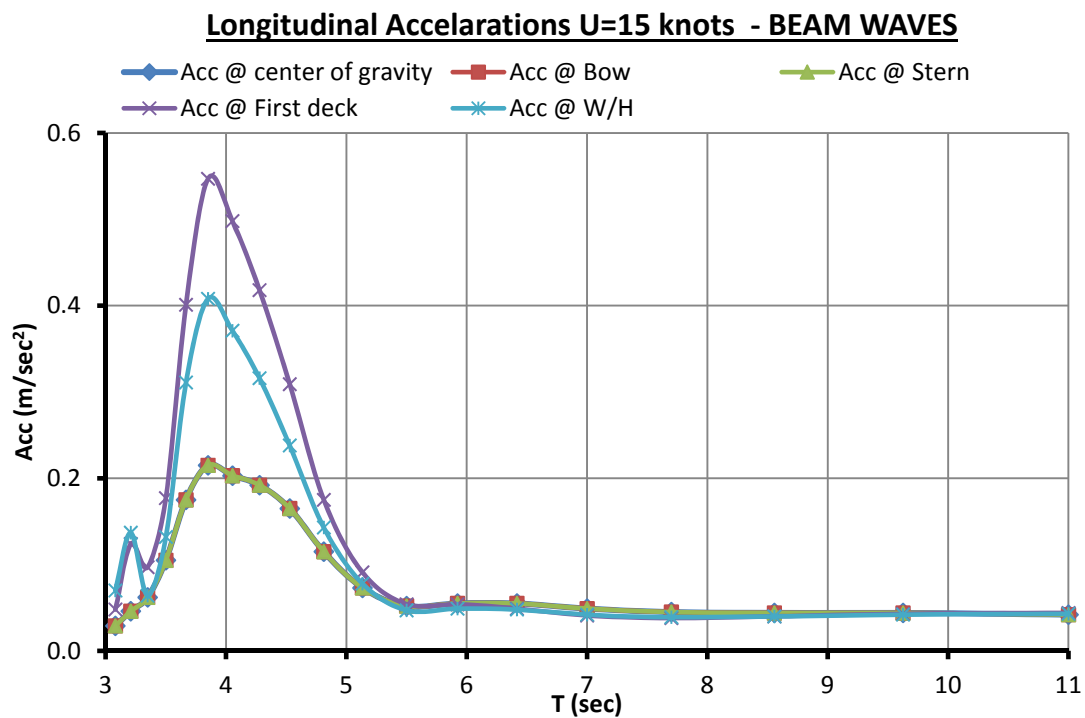
Σχήμα 6.4.58: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.244$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74



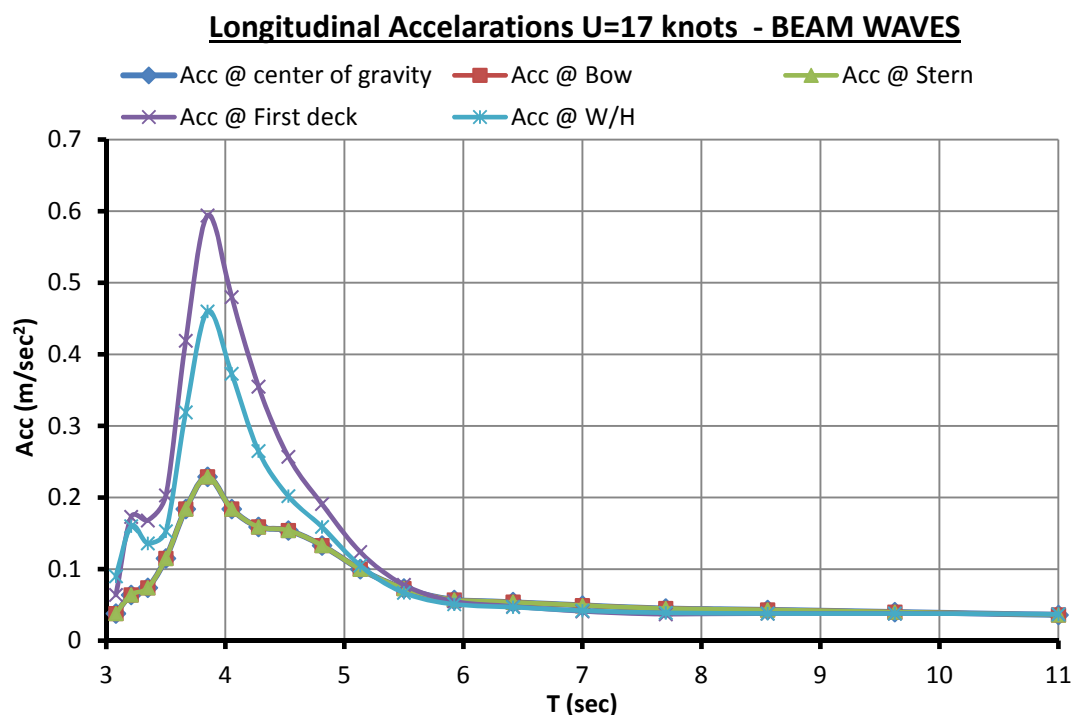
Σχήμα 6.4.59: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74



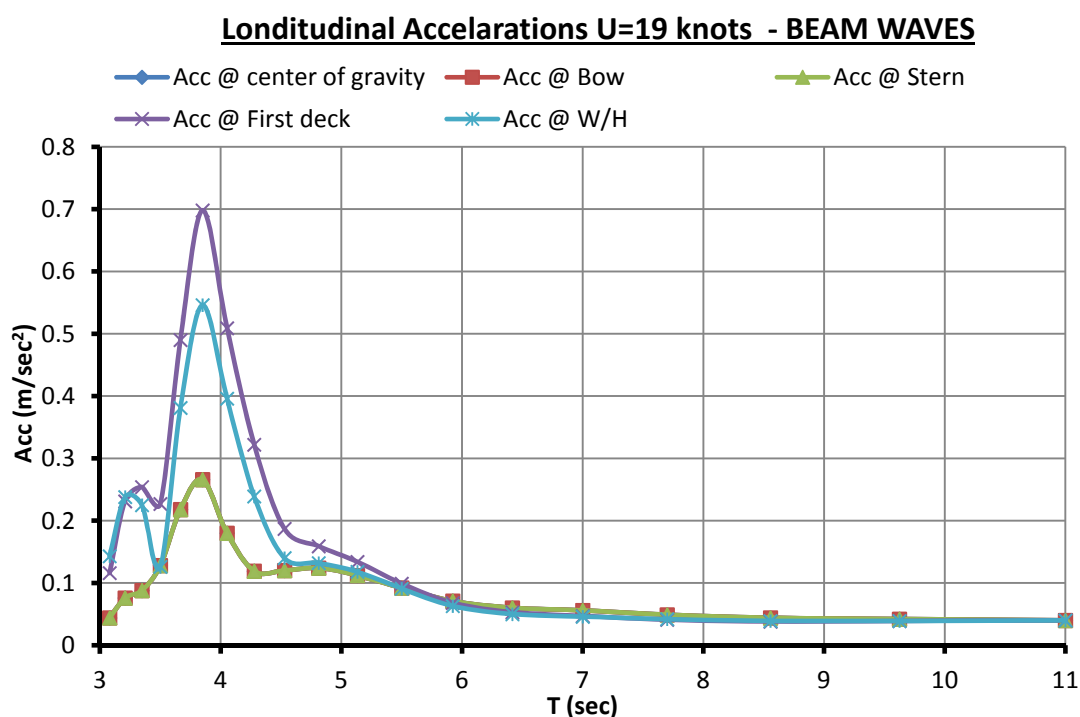
Σχήμα 6.4.60: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.244$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74



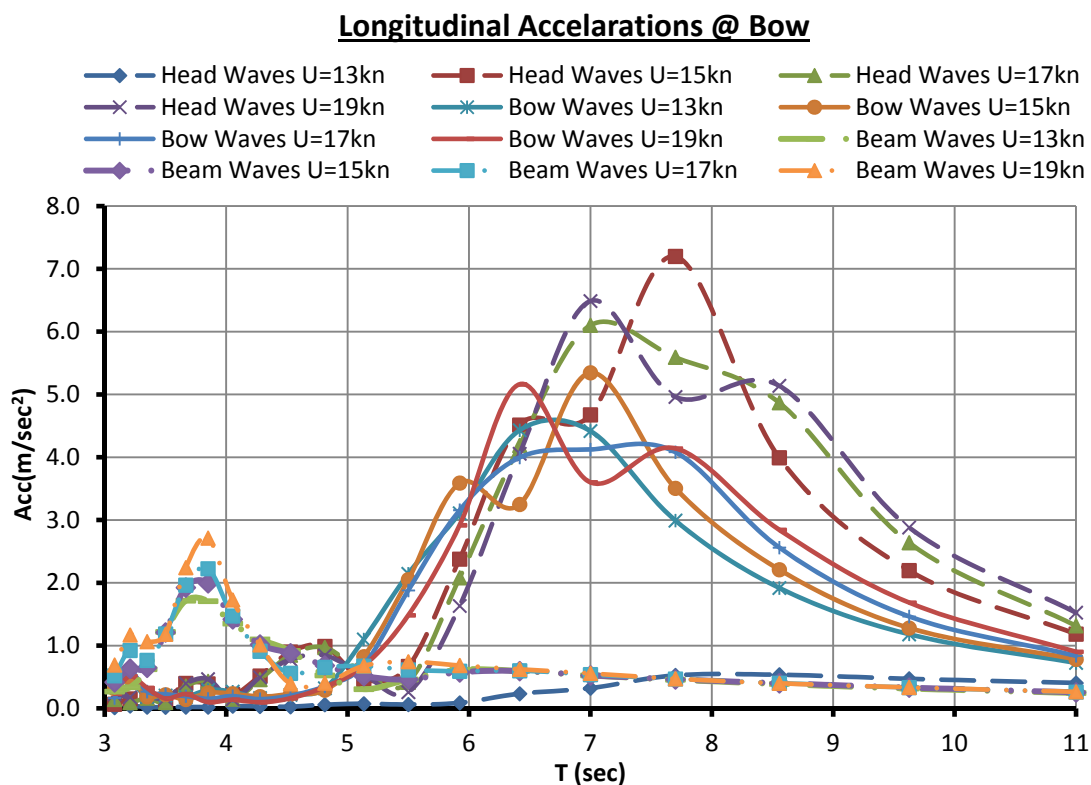
Σχήμα 6.4.61: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74



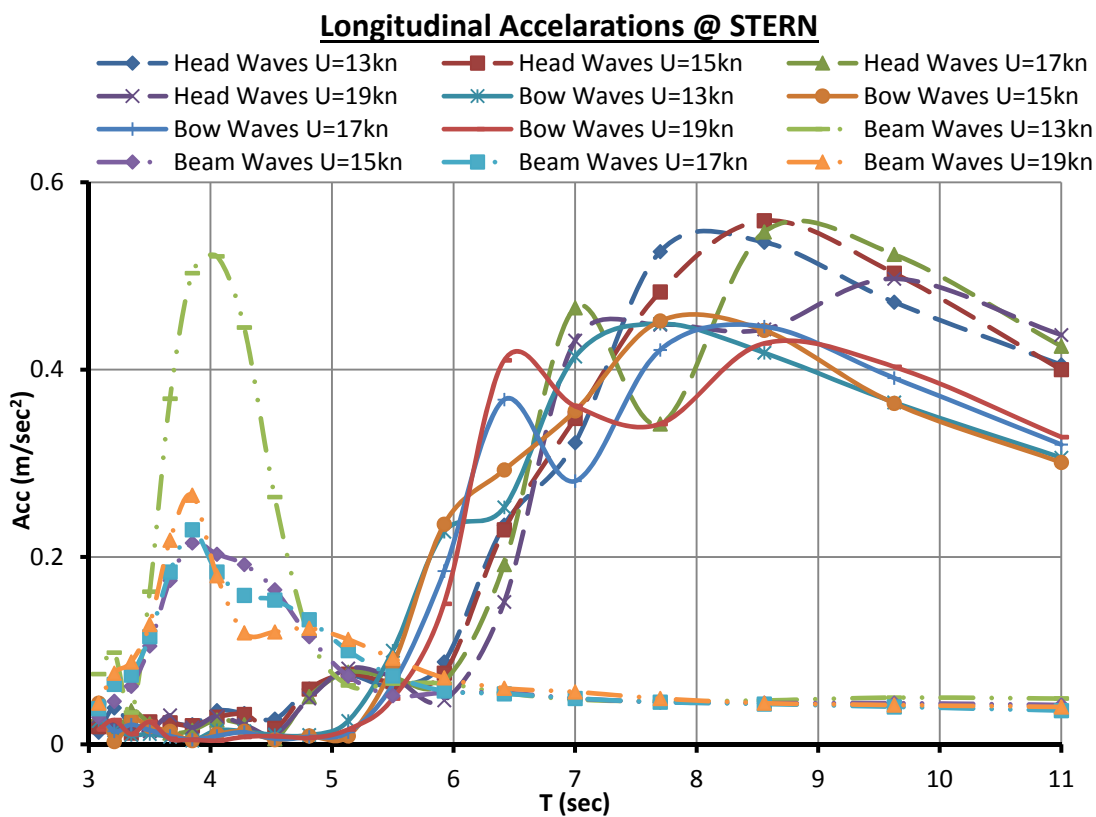
Σχήμα 6.4.62: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74



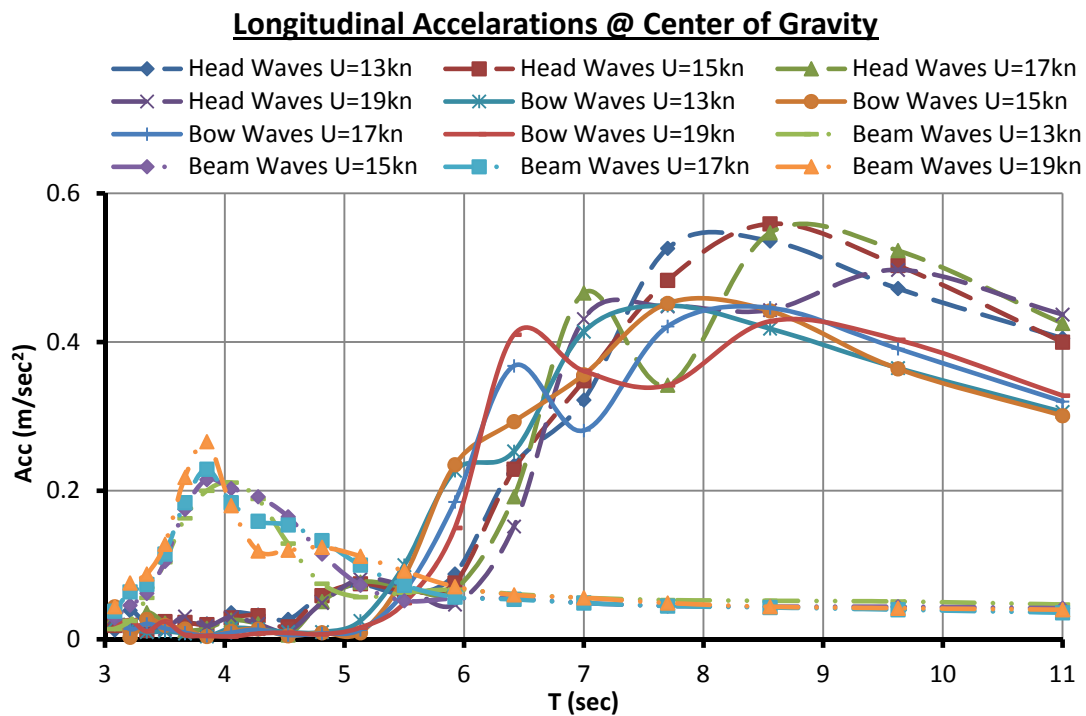
Σχήμα 6.4.63: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74



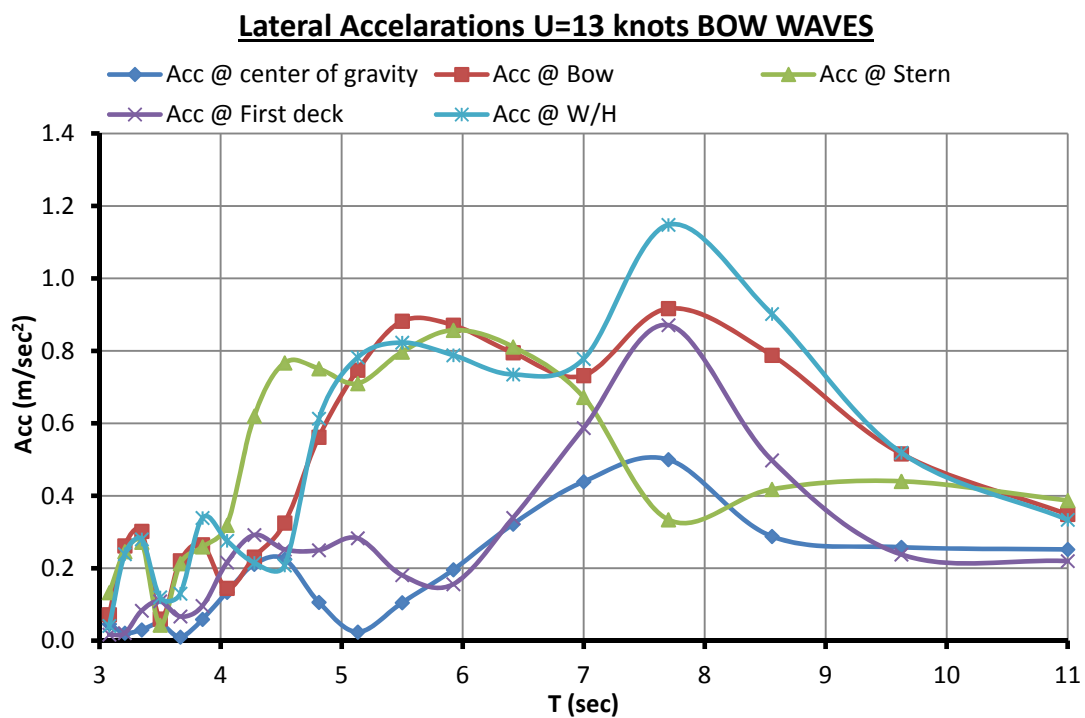
Σχήμα 6.4.64: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης στην πλώρης-
HULL74



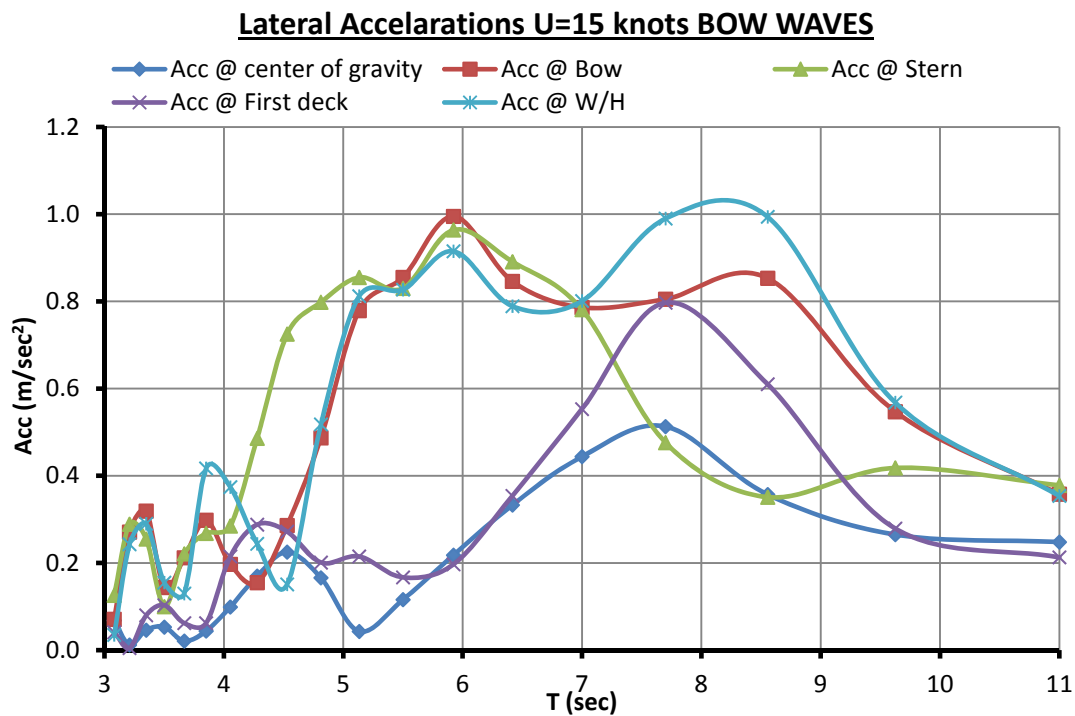
Σχήμα 6.4.65: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης στην πρύμη.



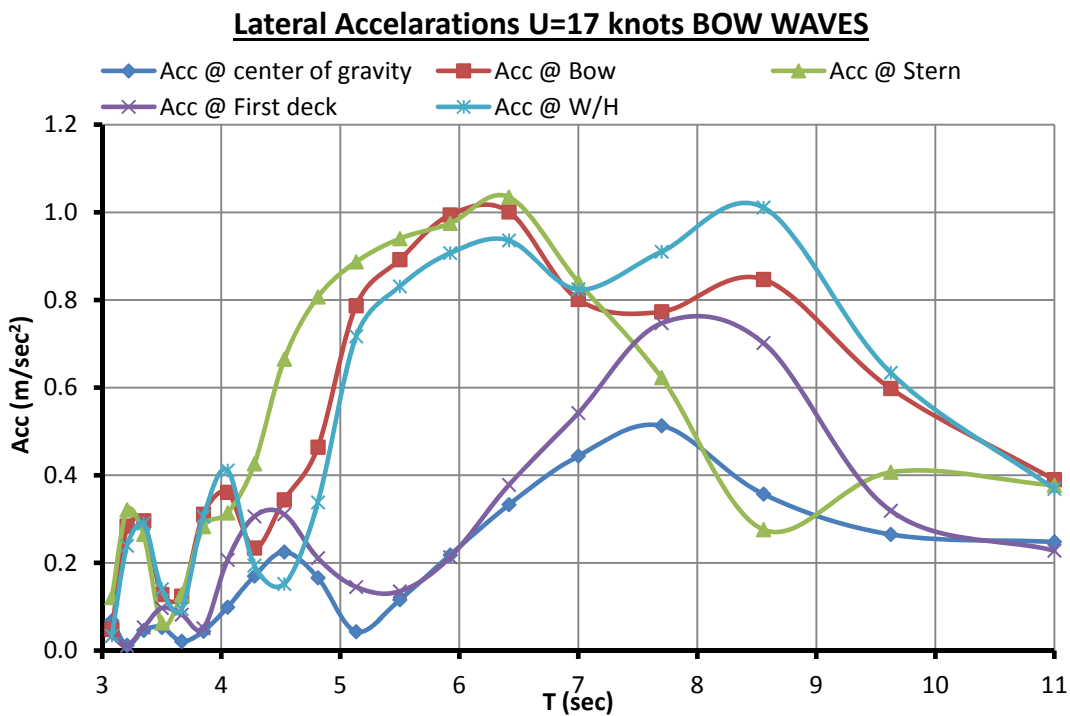
Σχήμα 6.4.66: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης στην πρύμη- HULL74



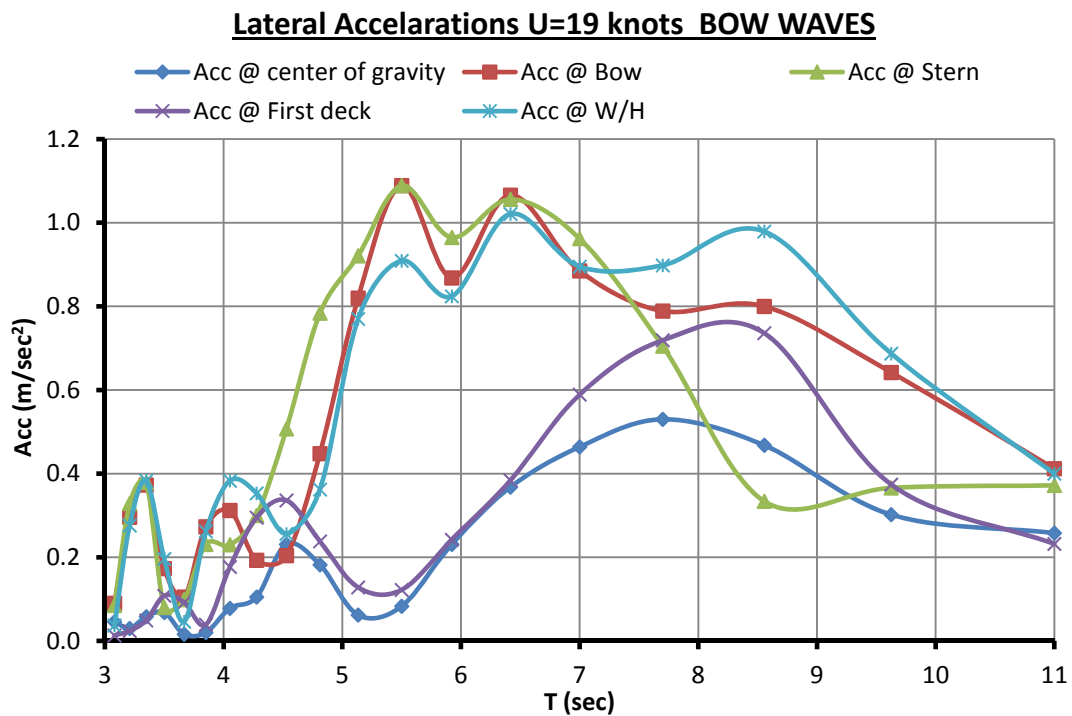
Σχήμα 6.4.67: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 13 kn και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74



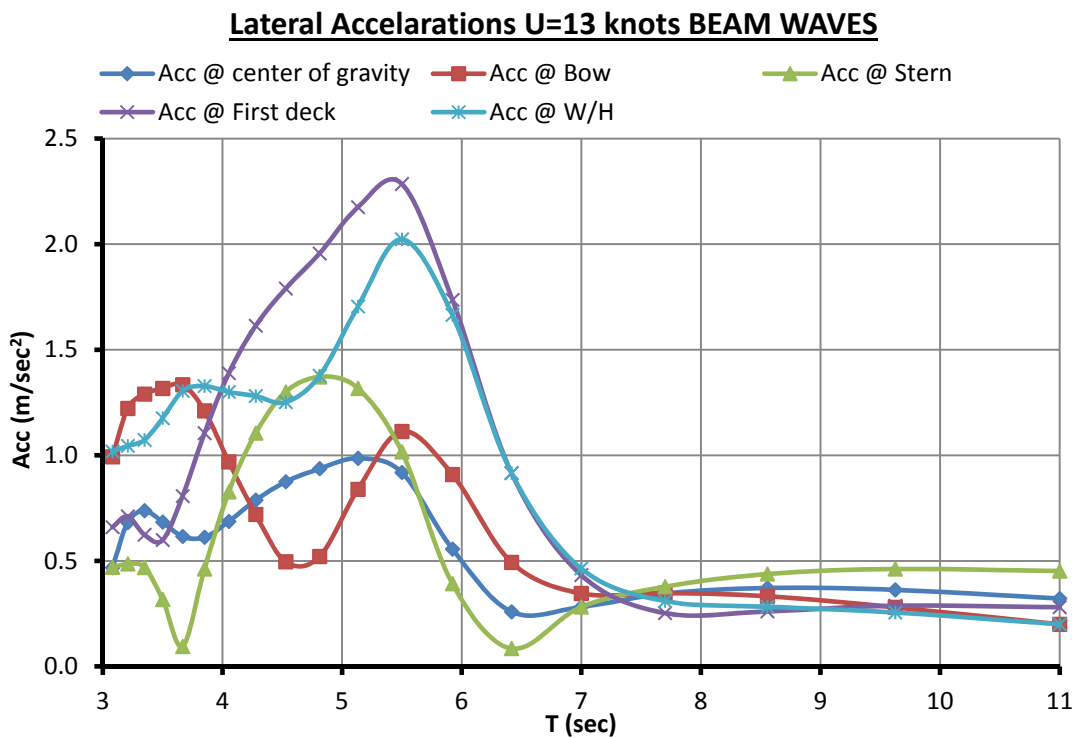
Σχήμα 6.4.68: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74



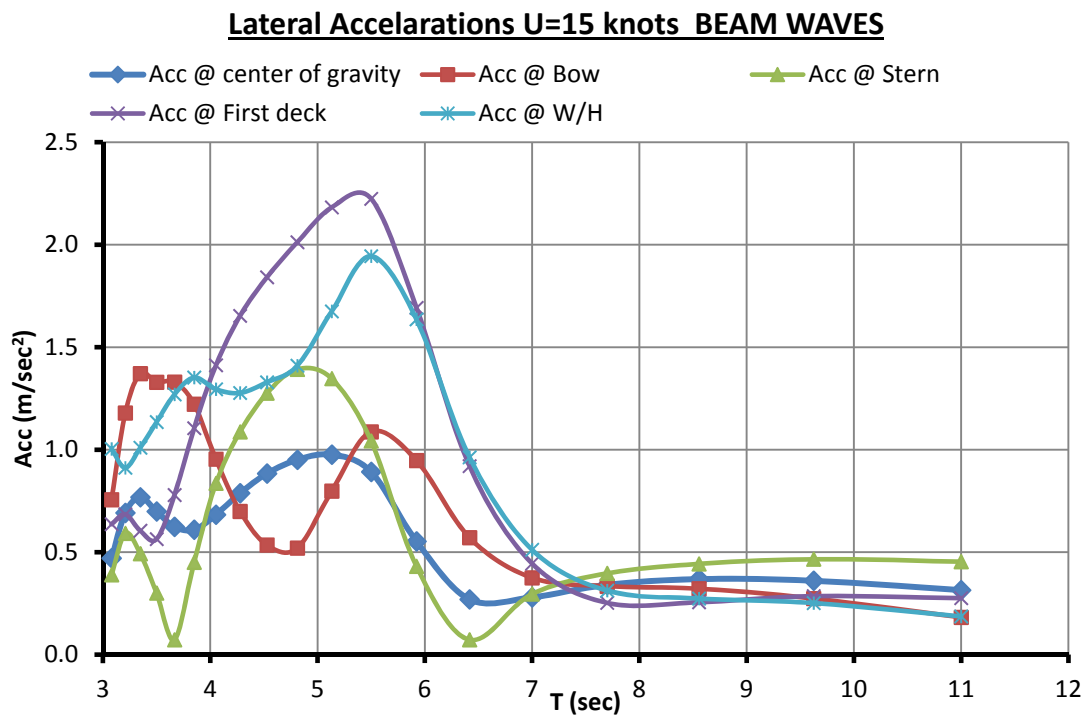
Σχήμα 6.4.69: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74



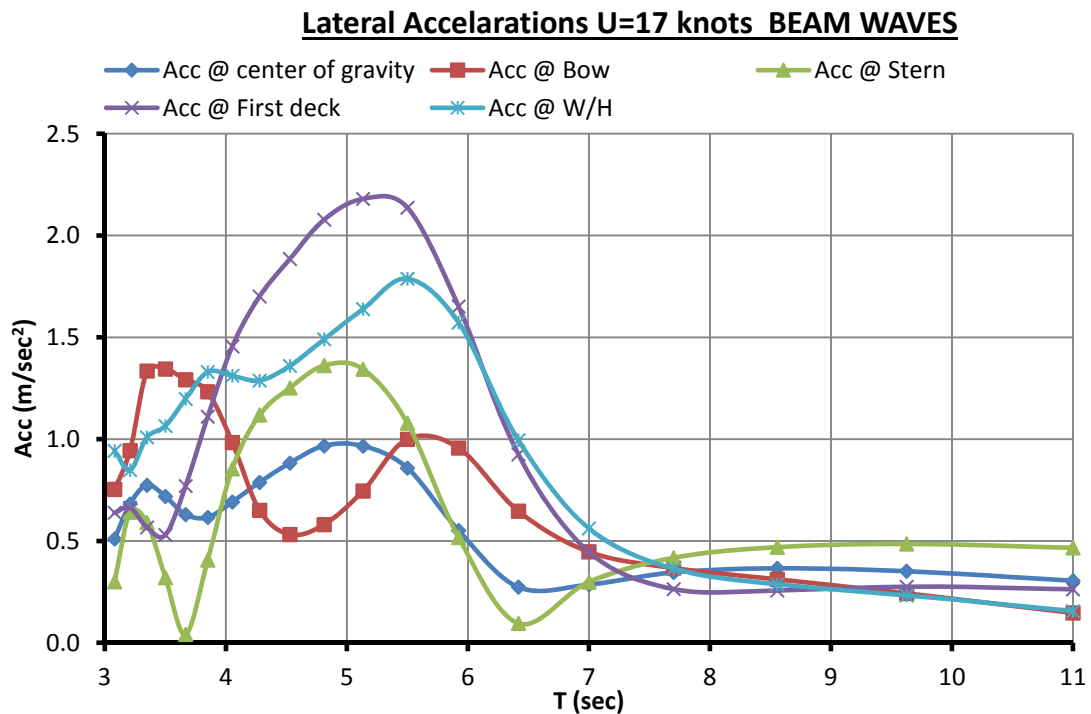
Σχήμα 6.4.70: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL74



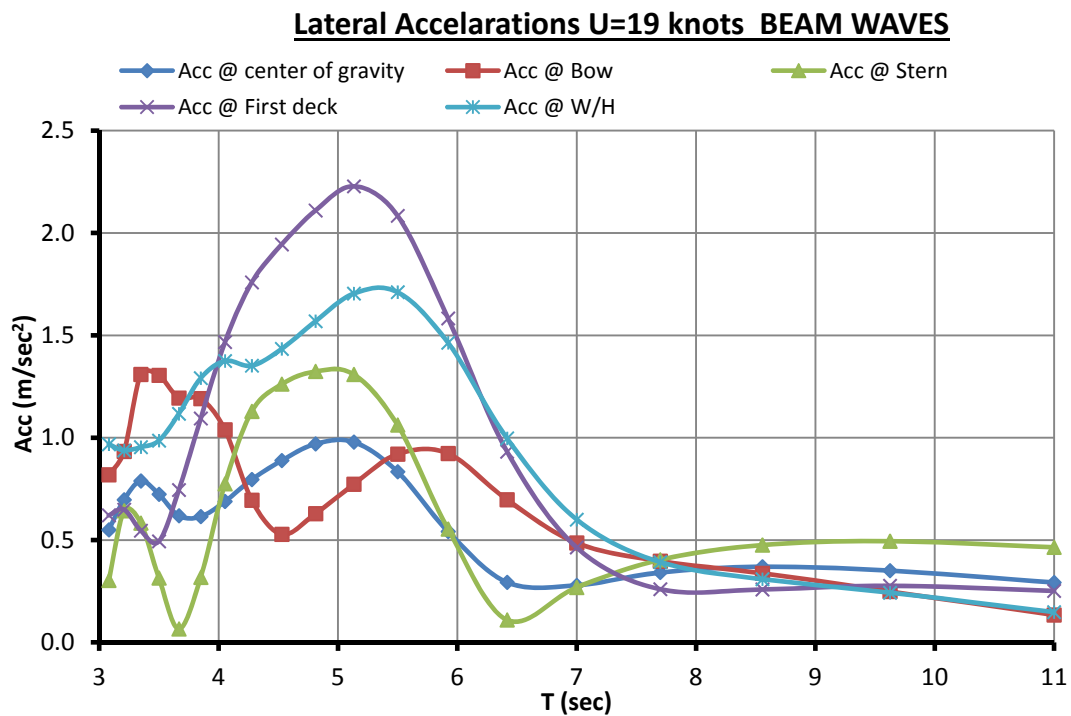
Σχήμα 6.4.71: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 13 kn ($F_n=0.244$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74



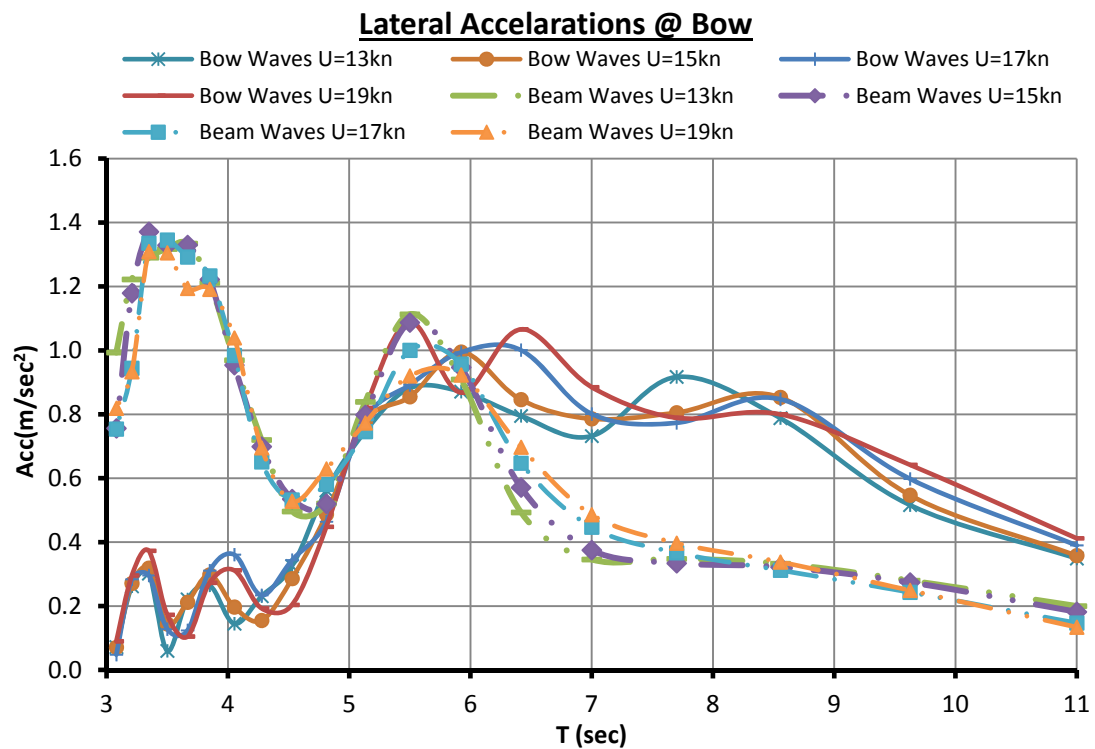
Σχήμα 6.4.72: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.281$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74



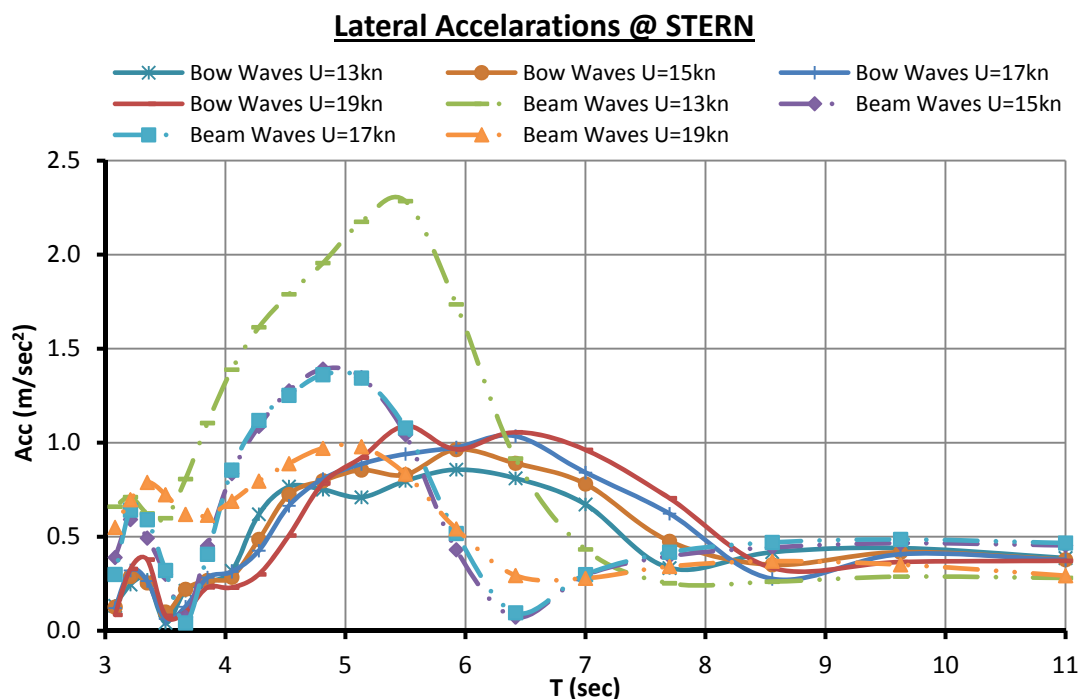
Σχήμα 6.4.73: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.319$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74



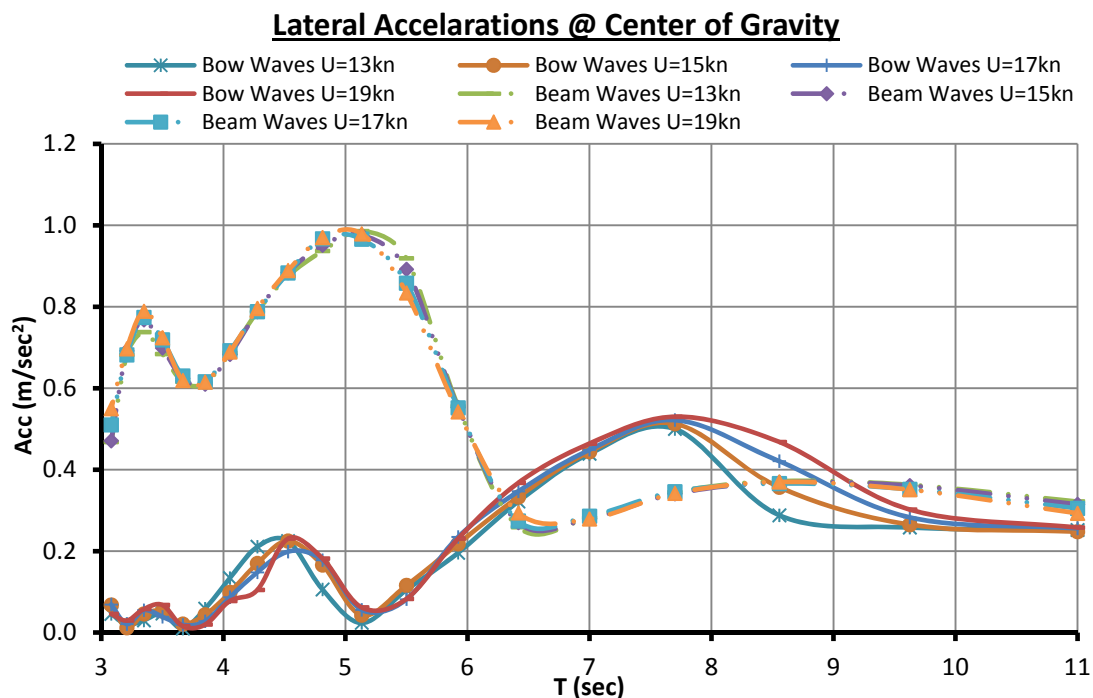
Σχήμα 6.4.74: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.356$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL74



Σχήμα 6.4.75: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πλώρη- HULL74



Σχήμα 6.4.76: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πλώρη- HULL74



Σχήμα 6.4.77: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους του πλοίου- HULL74

Από τα σχήματα 6.4.1 έως 6.4.7 που αφορούν τις αποκρίσεις της κίνησης ξ_1 (surge) για την γάστρα HULL74 παρατηρούμε ότι παρουσιάζουν peak σε πλευρικούς κυματισμούς όταν το μήκος του κύματος είναι περίπου ίσο με το πλάτος του πλοίου ($\lambda=B$). Στο σημείο όμως αυτό η απόκριση του φάσματος σε όλες τις καταστάσεις θάλασσας είναι πολύ μικρή. Για μήκη κύματος ίσα με το διπλάσιου του πλάτους η απόκριση παρουσιάζει ελάχιστο για όλες τις ταχύτητες ενώ για μεγαλύτερα μήκη κύματος ($\lambda \geq 2B$) η απόκριση αυξάνει σταδιακά. Στην περιοχή αυτή την μεγαλύτερη απόκριση παρουσιάζει η μικρότερη ταχύτητα. Σε μετωπικούς και πλωριούς κυματισμούς για περιόδους μικρότερες ή ίσες με $T=5.5$ sec η απόκριση είναι σχεδόν μηδενική. Επίσης σε μετωπικούς κυματισμούς και αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.30 παρατηρούμε τοπικό μέγιστο για μήκος κύματος ίσο με το μήκος του πλοίου. Σε μεγαλύτερα μήκη κύματος παρατηρείται ότι για μικρότερες ταχύτητες η απόκριση του σκάφους είναι μεγαλύτερη

Από τα σχήματα 6.4.8 έως 6.4.13 που αφορούν την απόκριση της κίνησης ξ_2 (sway) για την γάστρα HULL74 παρατηρούμε ότι σε πλευρικούς κυματισμούς παρουσιάζεται μέγιστο όταν το μήκος του κύματος είναι ίσο με $0.75B$ και ελάχιστο όταν το μήκος κύματος είναι ίσο με $1.25B$. Για μήκη κύματος μεγαλύτερα από $1.25B$ υπάρχει αύξηση της τιμής της απόκρισης. Επίσης σε πλευρικούς κυματισμούς η ταχύτητα του σκάφους δεν επηρεάζει την απόκριση. Η απόκριση είναι μηδενική σε μετωπικούς κυματισμούς, ενώ σε πλωριούς κυματισμούς η απόκριση της κίνησης αυξάνεται καθώς αυξάνει το μήκος του κύματος. Στους πλωριούς κυματισμούς η επίδραση της ταχύτητας είναι μικρή και το μεγαλύτερο μέρος παρατηρούμε ότι σε μεγαλύτερες ταχύτητας του σκάφους έχουμε μικρότερη απόκριση σε σχέση με τις μικρότερες ταχύτητες.

Από τα σχήματα 6.4.14 έως 6.4.20 που αφορούν την κίνηση ξ_3 (heave) για την γάστρα HULL74 παρατηρούμε σε πλευρικούς κυματισμούς η απόκριση παρουσιάζει ελάχιστο όταν $\lambda=2B$ γιατί η κάθετη δύναμη σε κάθε γάστρα από το κύμα εξουδετερώνει η μια την άλλη (σε αυτή την περίπτωση η κίνηση ξ_4 (roll) παρουσιάζει μέγιστο). Η επίδραση της ταχύτητας είναι εμφανής μόνο για μήκη κύματος ίσα σχεδόν με το πλάτος του πλοίου, ενώ σε όλες τις άλλες περιοχές, δεν υπάρχει σημαντική επίδραση της ταχύτητας. Σε μετωπικούς κυματισμούς η κίνηση ξ_3 γίνεται μέγιστη όταν το μήκος του κύματος λ είναι ίσο με το L_{BP} ή $1.2L_{BP}$. Επίσης καθώς αυξάνει η ταχύτητα αυξάνει η μέγιστη τιμή της απόκρισης στο σημείο που παρουσιάζεται το μέγιστο μετατίθεται δεξιότερα στο διάγραμμα. Πριν από την περιοχή του τοπικού μέγιστου, η μικρότερες ταχύτητες παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόκριση ενώ μετά συμβαίνει το αντίθετο. Επιπλέον παρατηρούμε ότι, σε πλωριούς και μετωπικούς κυματισμούς η κίνηση ξ_3 είναι ίση το μηδέν για μήκη κύματος λ ίσα με $L_{BP}/2$ και μικρότερα, ενώ για μήκη κύματος μεγαλύτερα από το μήκος του πλοίου παραμένει σχετικά σταθερή και ίση με την μονάδα.

Από τα σχήματα 6.4.21 έως 6.4.26 που αφορούν στην απόκριση της κίνησης ξ_4 (roll) για την γάστρα HULL74 παρατηρούμε ότι σε πλευρικούς κυματισμούς έχουμε μέγιστο όταν το μήκος του κύματος λ ισούται με $2B$, όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω στο σημείο όπου η κίνηση ξ_3 παρουσιάζει ελάχιστο. Για μήκη κύματος πολύ μεγαλύτερα από $2B$ η απόκριση παραμένει σταθερή και είναι λίγο μικρότερη από την μονάδα. Επίσης στο σημείο όπου παρουσιάζεται το μέγιστο παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του πλοίου μειώνεται η απόκριση στο σημείο αυτό. Έξω από την περιοχή $1.8B-2.2B$ η αύξηση ή μείωση της ταχύτητας δεν επηρεάζει την απόκριση. Στην περίπτωση των πλωρίων κυματισμών παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται η ταχύτητα το μέγιστό της απόκρισης μετατίθεται δεξιότερα στο σχετικό διάγραμμα.

Από τα σχήματα 6.4.27 έως 6.4.33 που αφορούν του συντελεστές απόκρισης της κίνησης ξ_5 (pitch) για την γάστρα HULL74 παρατηρούμε ότι σε πλευρικούς κυματισμούς η απόκριση είναι γενικά χαμηλή σε σχέση με άλλες γωνίες πρόπτωσης κύματος και παρουσιάζεται τοπικό μέγιστο όταν το μήκος κύματος λ είναι ίσο με το πλάτος B του πλοίου, ενώ τοπικό ελάχιστο όταν το μήκος του κύματος είναι ίσο με το διπλάσιο του πλάτους του πλοίου ($\lambda=2B$). Έπειτα για μεγαλύτερα μήκη κύματος έχουμε αύξηση της απόκρισης. Σε μετωπικούς ή πλωριούς κυματισμούς για μήκη κύματος $\lambda=2L_{BP}$ η απόκριση παραμένει σχεδόν σταθερή ενώ για μήκη κύματος μέχρι και $0.75L_{BP}$ η απόκριση είναι σχεδόν μηδενική. Η μέγιστη απόκριση παρατηρείται στους μετωπικούς κυματισμούς και ακολουθούν οι πλωριοί κυματισμοί. Σε αυτούς τους κυματισμούς το μέγιστο παρατηρείται για κύματα μεγαλύτερα από το μήκος του πλοίου, ενώ για $T \leq 5\text{sec}$ η απόκριση είναι μηδενική.

Από τα σχήματα 6.1.34 έως 6.1.39 που αφορούν τους συντελεστές της απόκρισης της κίνησης ξ_6 (yaw) για την γάστρα HULL74 παρατηρούμε ότι για πλευρικούς κυματισμούς μεγαλύτερους από το διπλάσιο του πλάτους του πλοίου ($\lambda > 2B$) έχουμε σημαντική αύξηση της απόκρισης ιδιαίτερα όσο αυξάνεται η ταχύτητα του σκάφους, ενώ για μήκη κύματος ίσα με το πλάτος του πλοίου ($\lambda=B$) έχουμε πολύ μικρή απόκριση και δεν υπάρχει επίδραση της ταχύτητας του σκάφους. Σε πλωριούς κυματισμούς για μήκη κύματος μικρότερα από το μήκος του πλοίου η απόκριση είναι μικρή και ανεξάρτητη της ταχύτητας, ενώ για μεγαλύτερα μήκη κύματος η απόκριση αυξάνει. Στην περιοχή αυτή παρατηρείται ότι μείωση της ταχύτητας αυξάνει την απόκριση.

Από τα σχήματα 6.4.40 έως 6.4.51 που αφορούν τους συντελεστές g_{ao} της κατακόρυφης επιτάχυνσης παρατηρούμε ότι σε μετωπικούς κυματισμούς η απόκριση γίνεται μέγιστη όταν το μήκος του κύματος λ είναι ίσο με το μήκος του πλοίου ($\lambda=L_{BP}$). Για μήκη κύματος πολύ μεγαλύτερα ή μικρότερα από το μήκος του πλοίου η απόκριση είναι χαμηλή. Η μέγιστη κατακόρυφη επιτάχυνση παρουσιάζεται στην πλώρη και ακολουθεί η γέφυρα και έπειτα στην πρύμνη. Η χαμηλότερη απόκριση παρουσιάζεται στο κέντρο βάρους του πλοίου και το πρώτο κατάστρωμα επιβατών

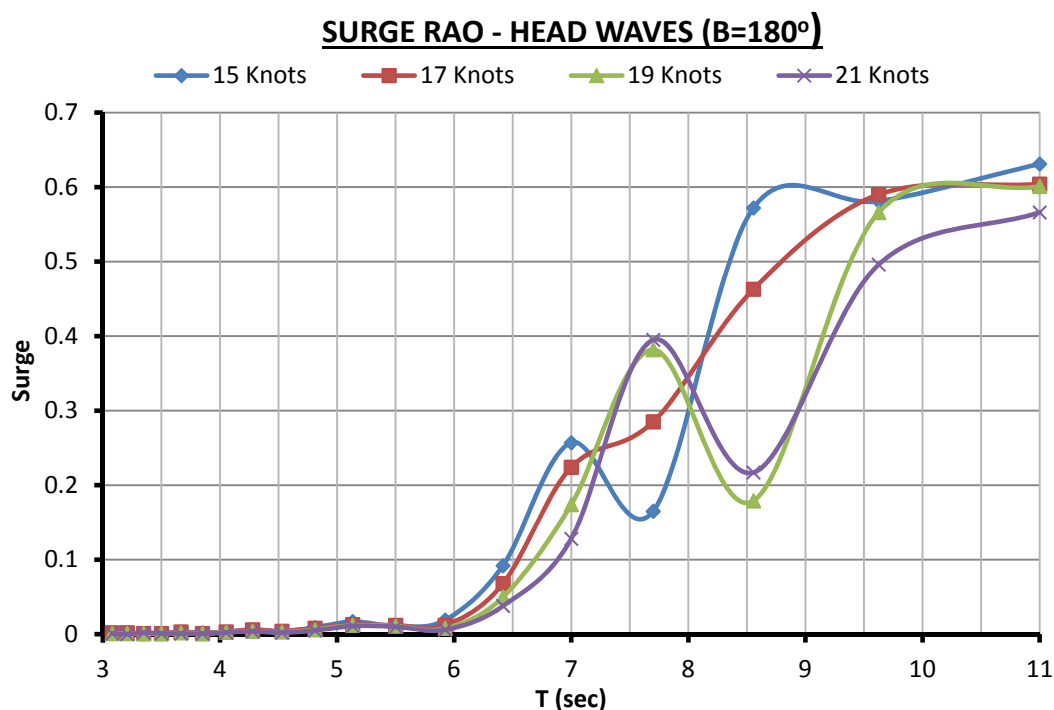
που το σημείο υπολογισμού είναι το μέσο του πλοίου. Οπότε η κατακόρυφη απόκριση εξαρτάται από την διαμήκη θέση του σημείου υπολογισμού και δεν επηρεάζεται από την καθ' ύψος θέση αφού η καμπύλη της απόκρισης στο κέντρο βάρους και στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών ταυτίζεται. Οι μέγιστες αποκρίσεις εμφανίζονται σε μετωπικούς κυματισμούς και σε μεγάλες ταχύτητες πλεύσης. Αυτό σημαίνει ότι αν θέλουμε να μειώσουμε τις κάθετες επιταχύνσεις θα πρέπει να μειώσουμε την ταχύτητα ή και να αλλάξουμε την πορεία του σκάφους.

Σε πλευρικούς κυματισμούς η κατακόρυφη επιτάχυνση στην πρύμνη είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τις άλλες θέσεις υπολογισμού. Για όλα τα σημεία υπολογισμού το μέγιστο της κατακόρυφης επιτάχυνση παρουσιάζεται όταν το μήκος του κύματος είναι ίσο με το πλάτος του πλοίου. Επίσης με την αύξηση της ταχύτητας παρατηρούμε ότι ο συντελεστής της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην περιοχή όπου παρουσιάζει το μέγιστο, αυξάνει. Για μήκη κύματος ίσα η μεγαλύτερα του διπλάσιου του πλάτους του πλοίου η απόκριση σχεδόν για όλα τα σημεία ταυτίζεται και είναι πολύ χαμηλή.

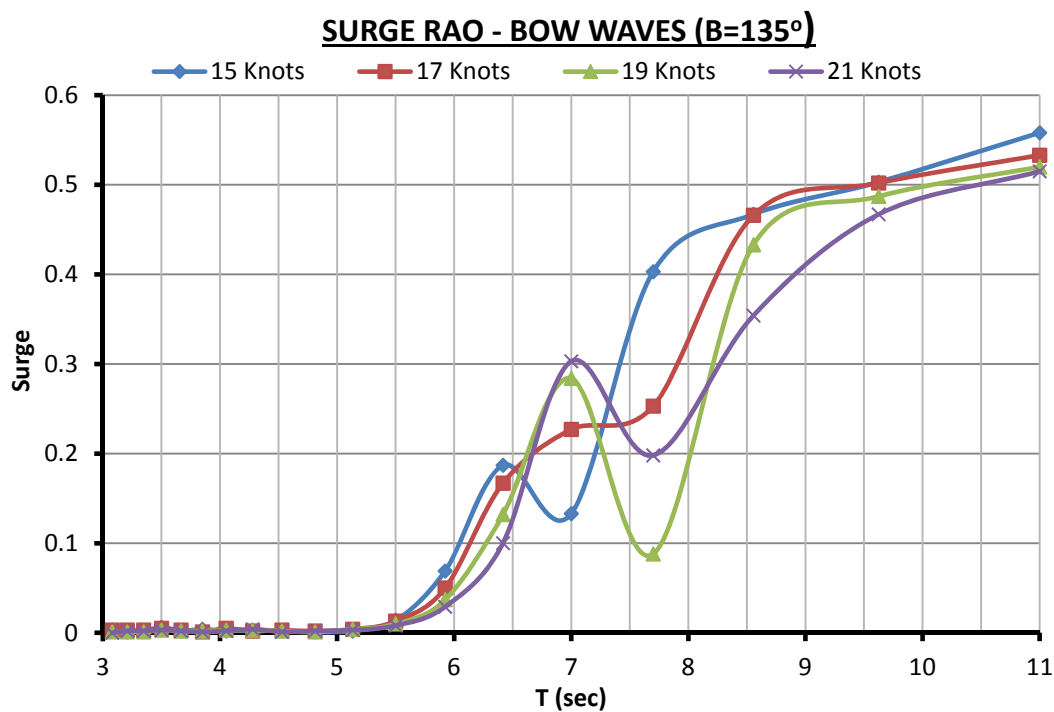
Από τα διαγράμματα 6.4.52 έως 6.4.66 που αφορούν τον συντελεστή απόκρισης της διαμήκους επιτάχυνσης παρατηρούμε ότι σε μετωπικούς κυματισμούς η μέγιστη απόκριση παρατηρείται όταν το μήκος του κύματος είναι ίσο με το μήκος του πλοίου ($\lambda=L_{BP}$), ενώ σε πλευρικούς κυματισμούς το μέγιστο παρουσιάζεται όταν το μήκος του κύματος είναι ίσο με το πλάτος του πλοίου ($\lambda=B$). Επίσης η μέγιστη απόκριση παρουσιάζεται στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών και ακολουθεί η περιοχή της γέφυρας. Η μικρότερη απόκριση παρατηρείται στην πλώρη, στην πρύμνη και στο κέντρο βάρους του πλοίου όπου οι καμπύλες του διαγράμματος ταυτίζονται. Τα σημεία αυτά βρίσκονται στο ίδιο καθ' ύψος σημείο, που σημαίνει ότι η οριζόντια επιτάχυνση εξαρτάται από την καθ' ύψος θέση υπολογισμού. Επίσης στου πλευρικούς κυματισμούς οι αποκρίσεις όλων των σημείων για μήκη κύματος πολύ μεγαλύτερα από το πλάτος του πλοίου, σχεδόν ταυτίζονται και είναι σχεδόν μηδενικές.

Από τα διαγράμματα 6.4.67 έως 6.4.77 που αφορούν του συντελεστές απόκρισης των εγκάρσιων επιταχύνσεων παρατηρούμε ότι σε πλευρικούς κυματισμούς και σε μήκη κύματος ίσα ή μεγαλύτερα με του διπλάσιου του πλάτους του πλοίου, οι επιταχύνσεις σχεδόν ταυτίζονται και παραμένουν σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Οι μέγιστες τιμές παρουσιάζονται στα σημεία με την υψηλότερη καθ' ύψος θέση και για μήκη κύματος ίσα η μικρότερα από το διπλάσιο του πλάτους του πλοίου.

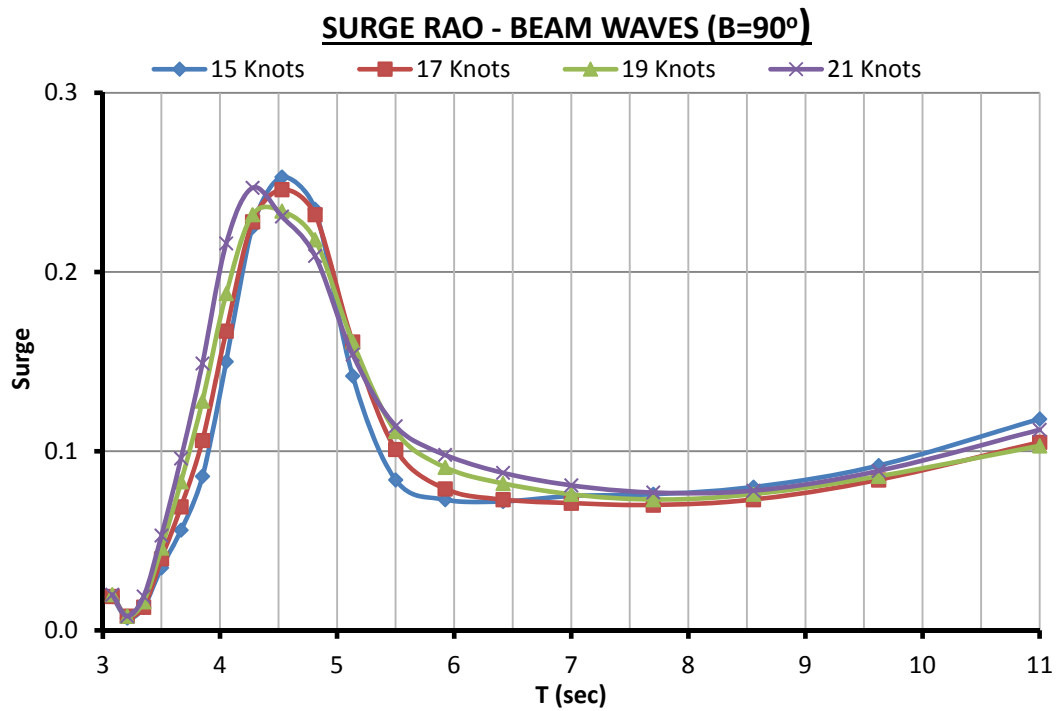
6.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ RAO ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL92 ΣΕ ΑΡΜΟΝΙΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ



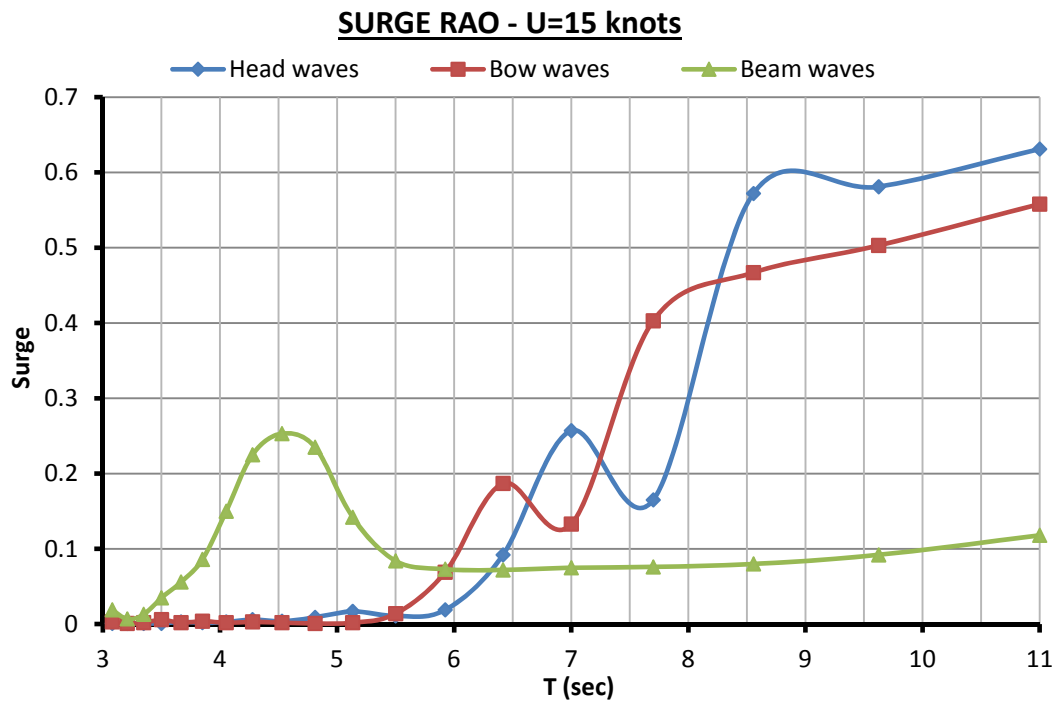
Σχήμα 6.5.1: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92



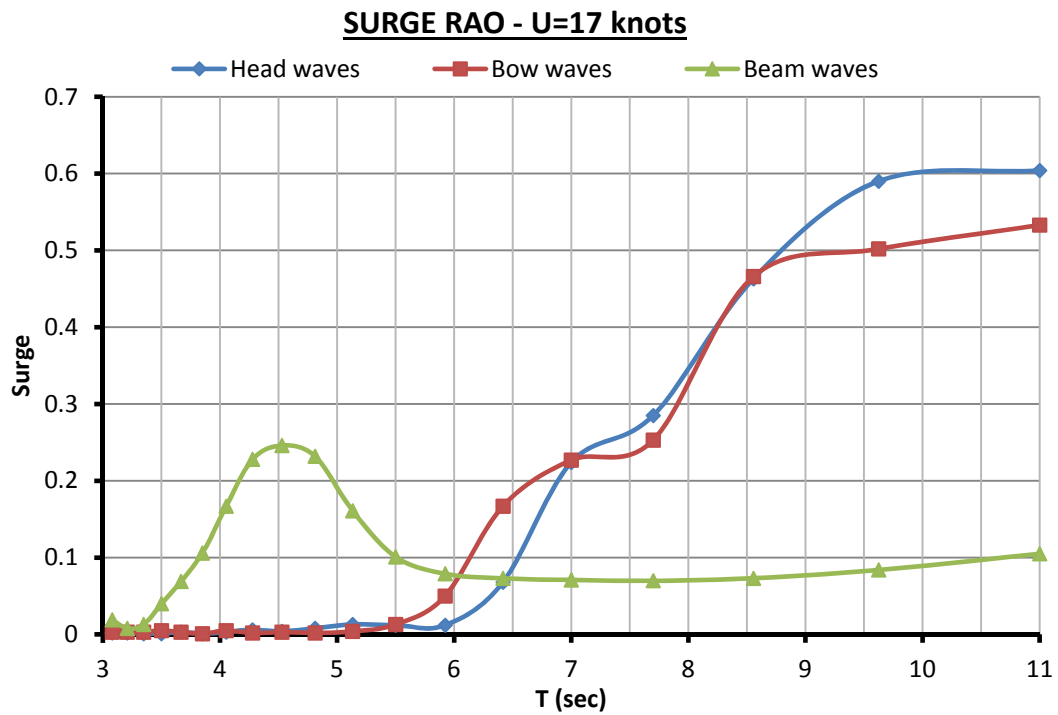
Σχήμα 6.5.2: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92



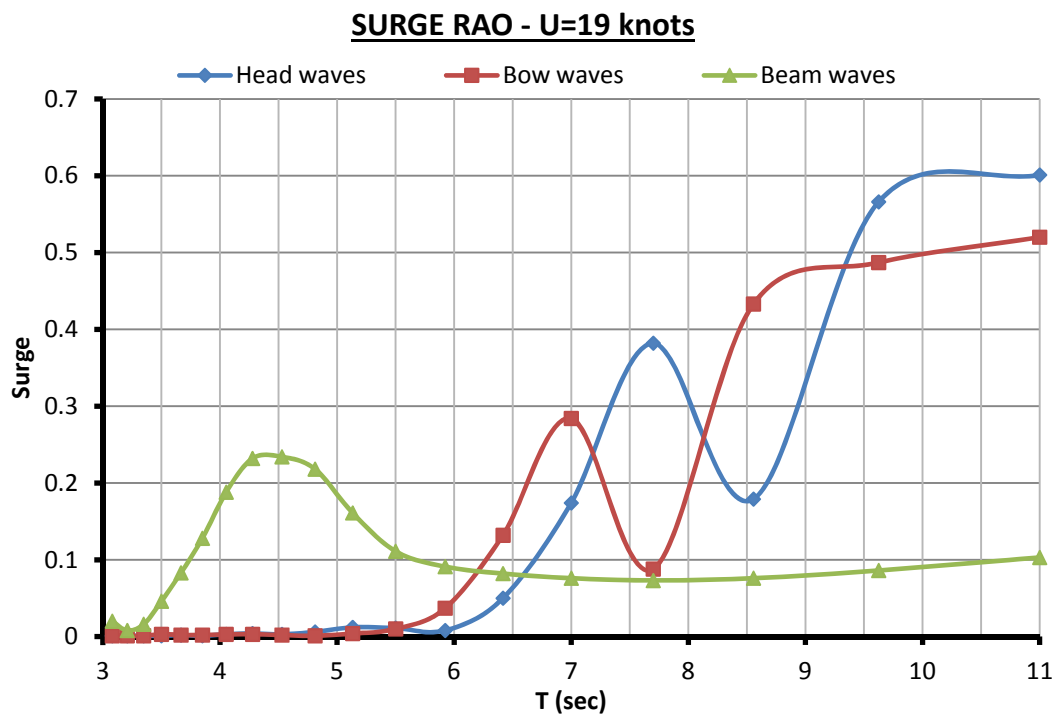
Σχήμα 6.5.3: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92



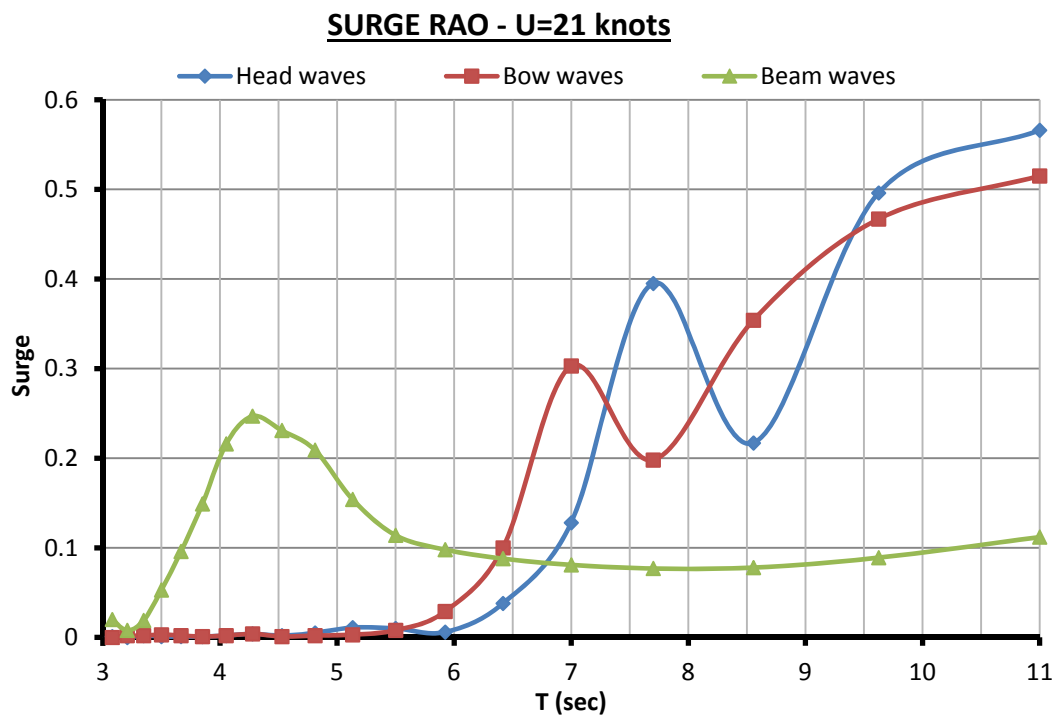
Σχήμα 6.5.4: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.253$) - HULL92



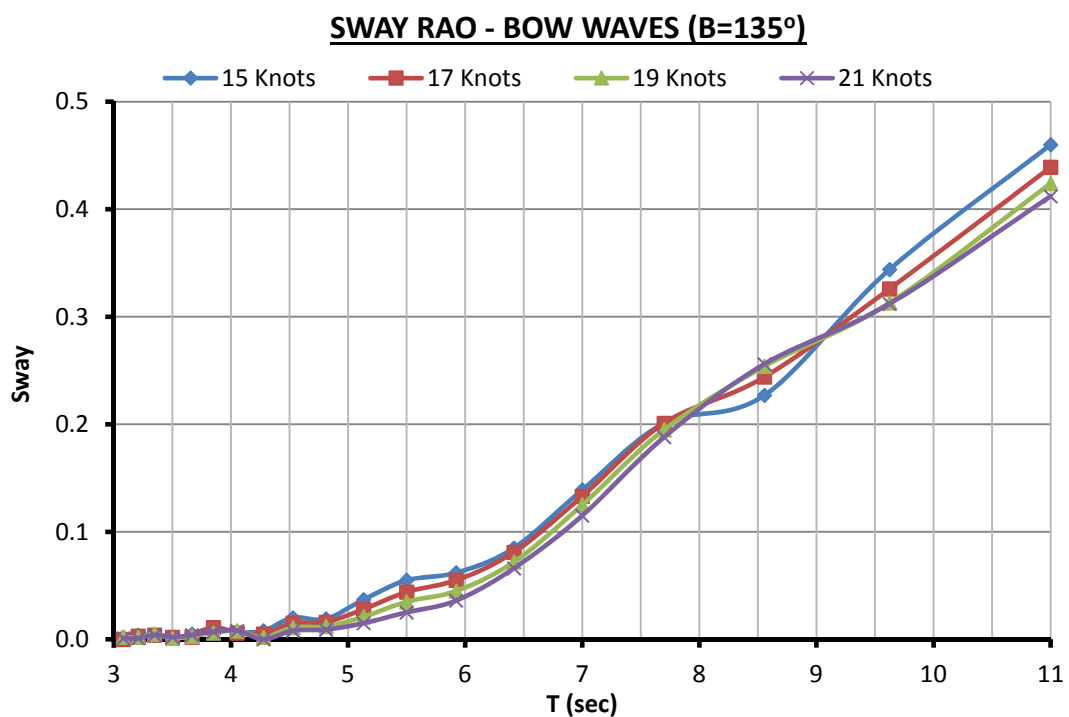
Σχήμα 6.5.5: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.287$) - HULL92



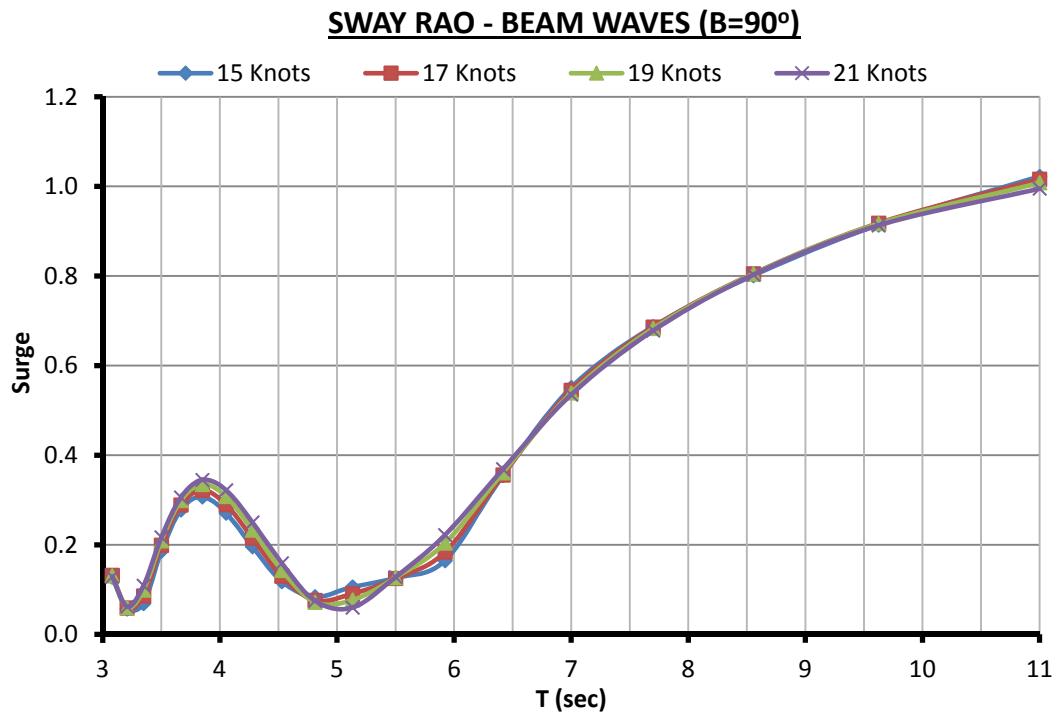
Σχήμα 6.5.6: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.328$) - HULL92



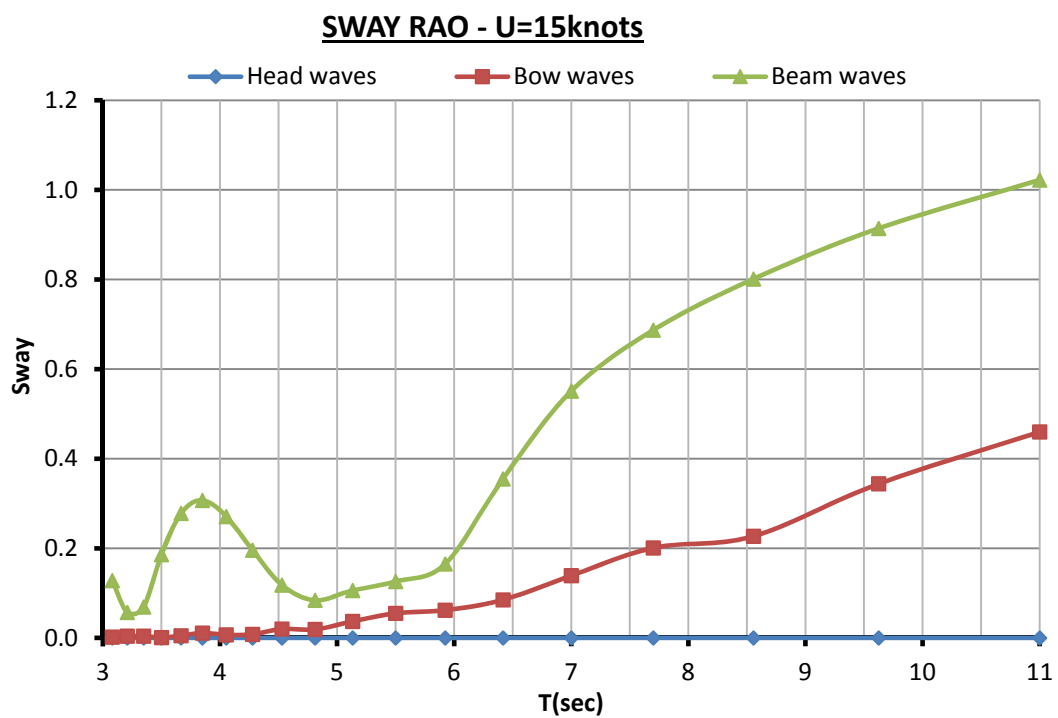
Σχήμα 6.5.7: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_1 σε ταχύτητα 21 kn ($F_n=0.355$) - HULL92



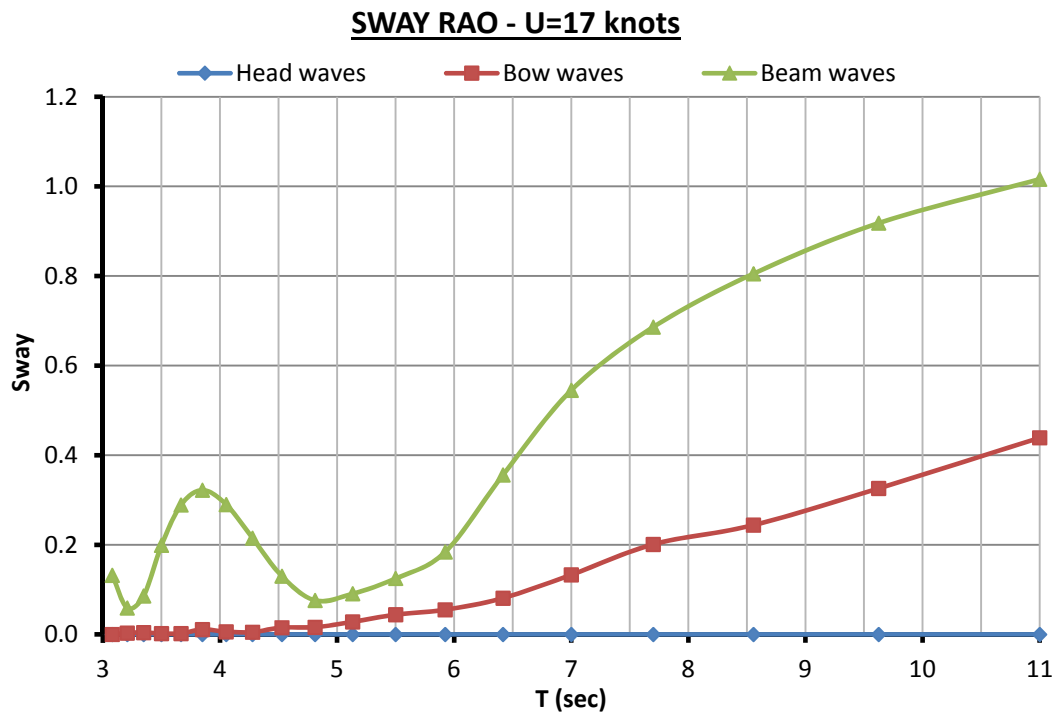
Σχήμα 6.5.8: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92



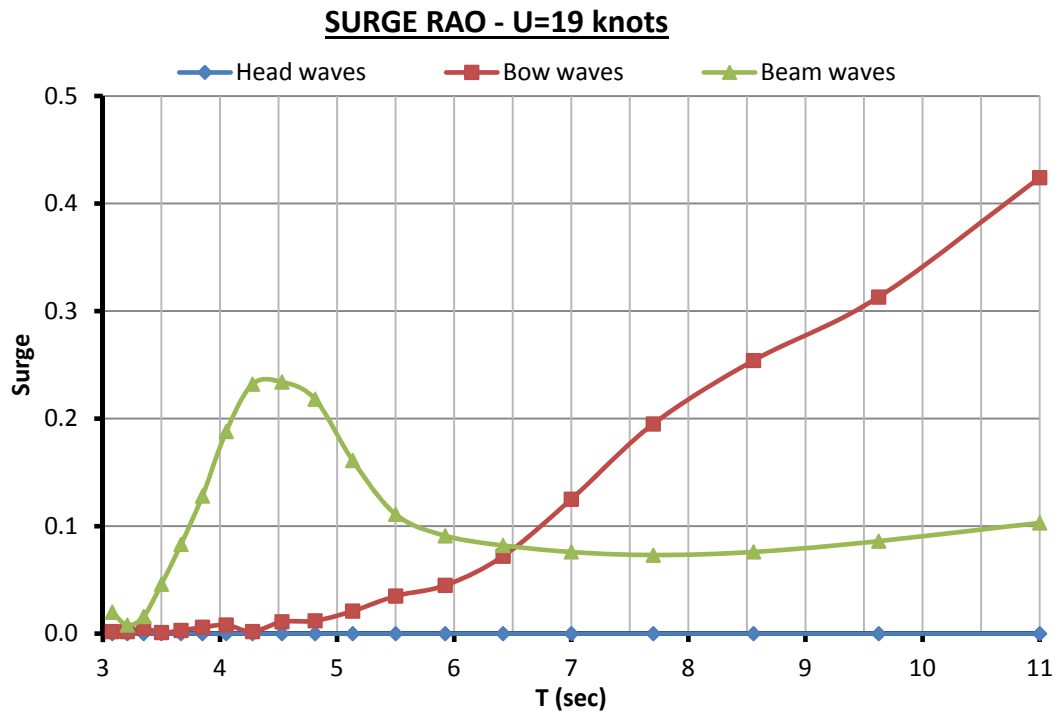
Σχήμα 6.5.9: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92



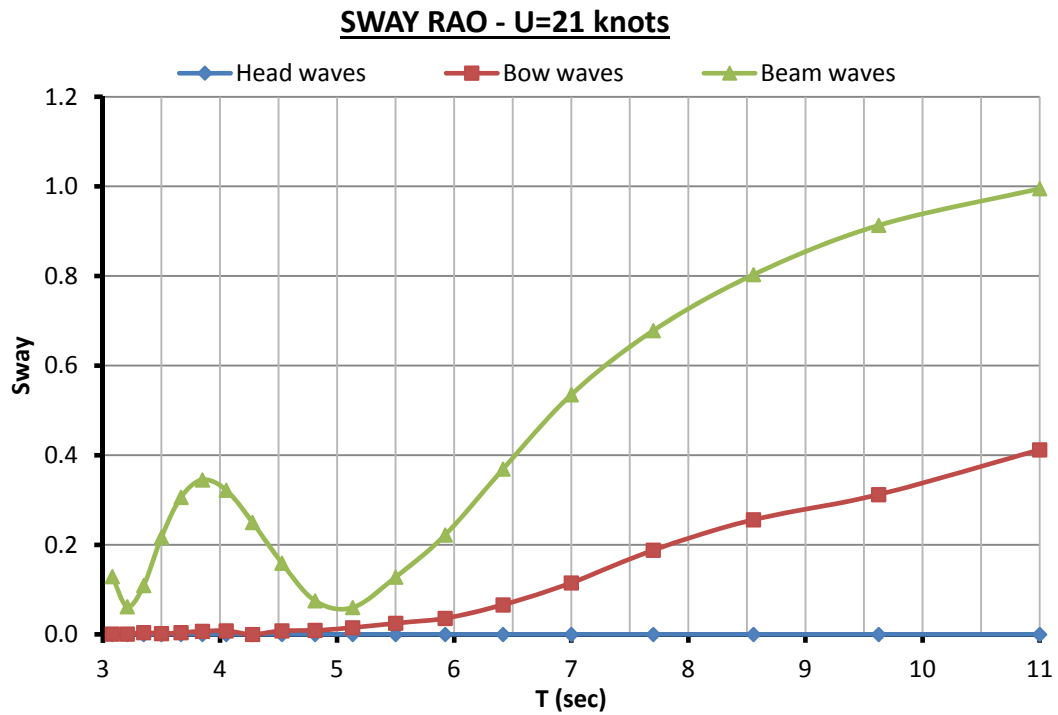
Σχήμα 6.5.10: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) - HULL92



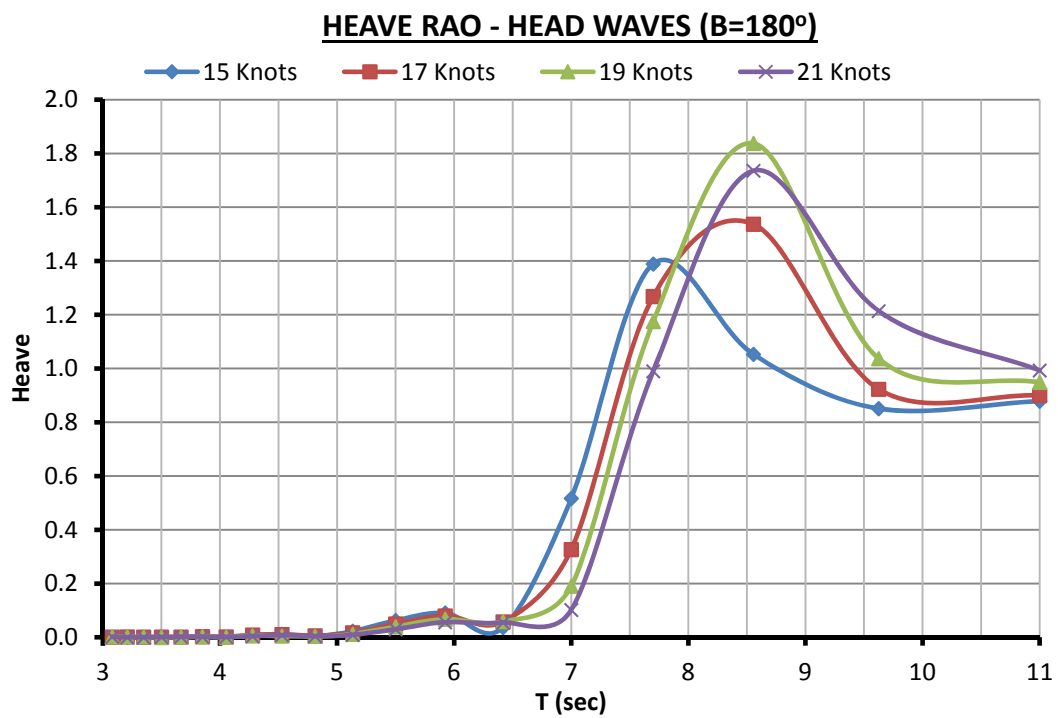
Σχήμα 6.5.11: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ2 ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) - HULL92



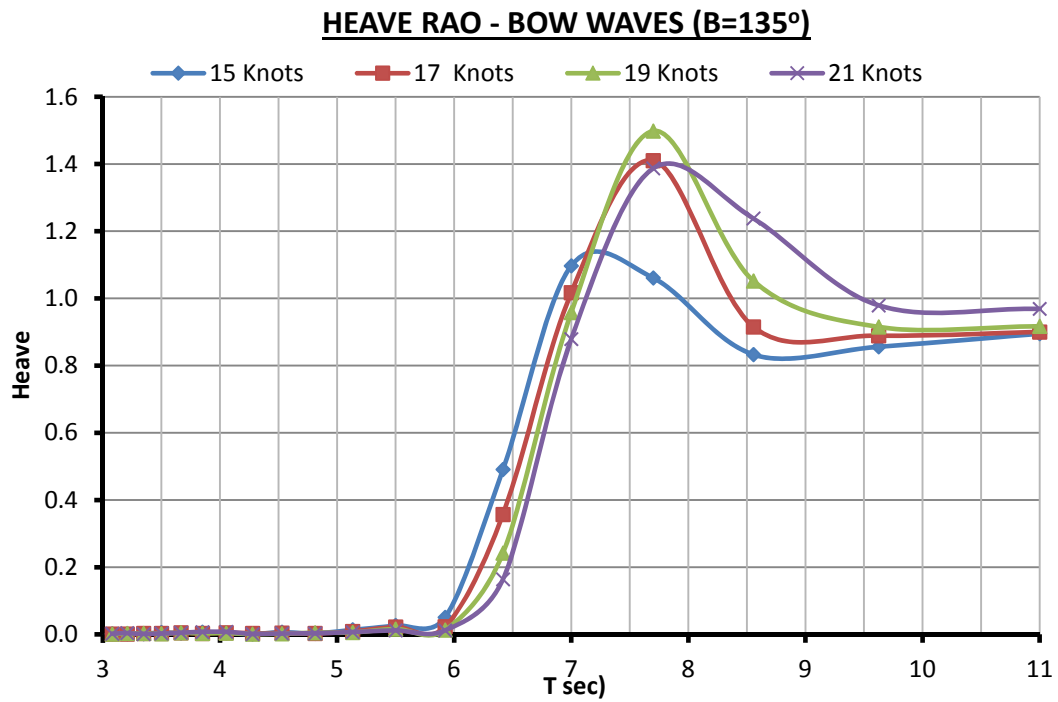
Σχήμα 6.5.12: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ2 ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.328$) - HULL92



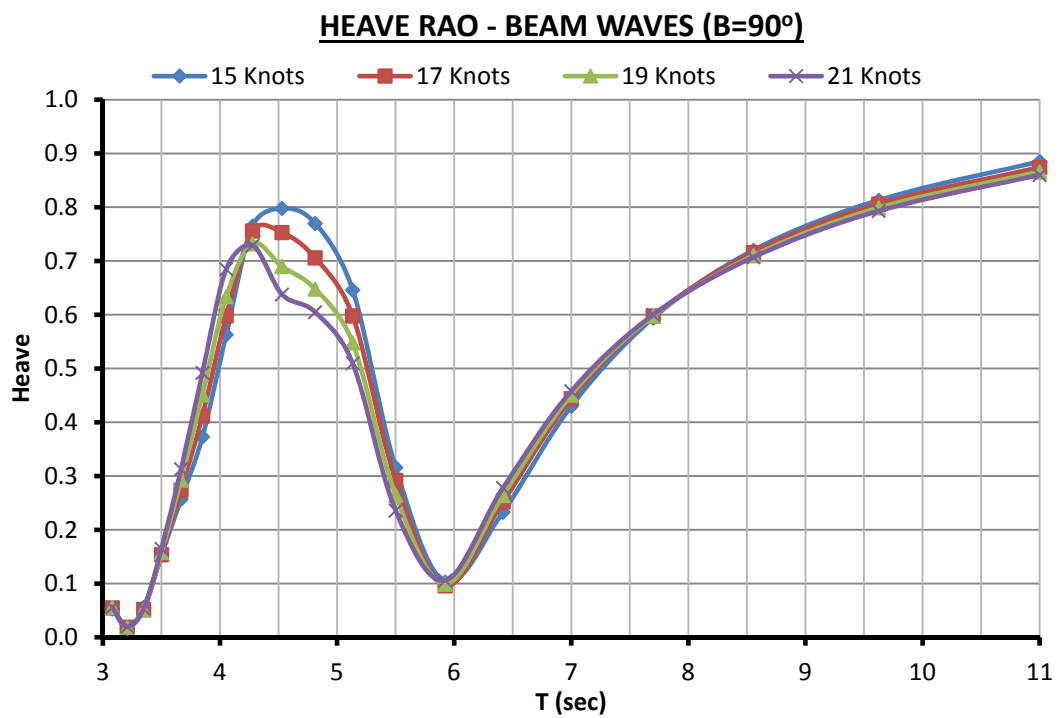
Σχήμα 6.5.13: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_2 ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.355$) - HULL92



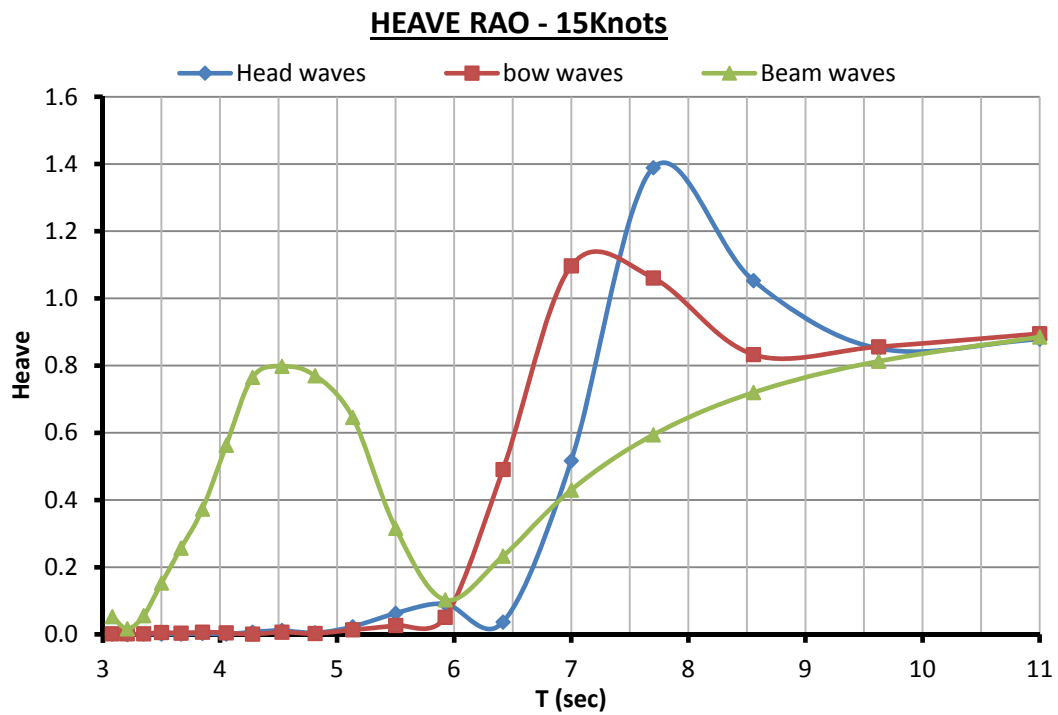
Σχήμα 6.5.14: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 για μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92



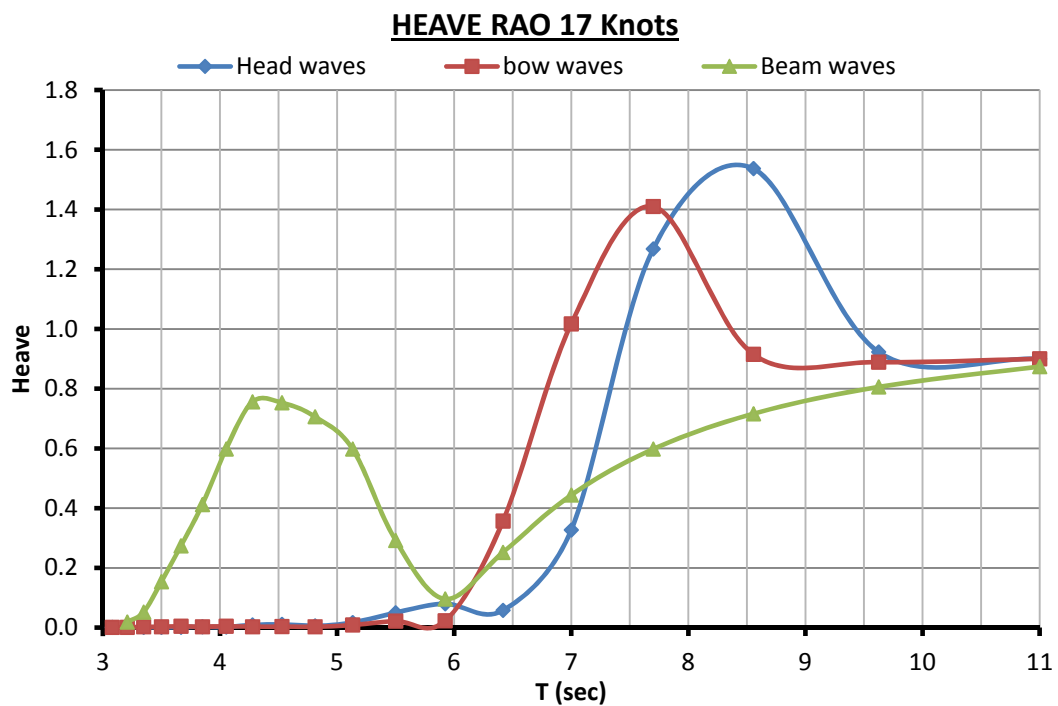
Σχήμα 6.5.15: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 για πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92



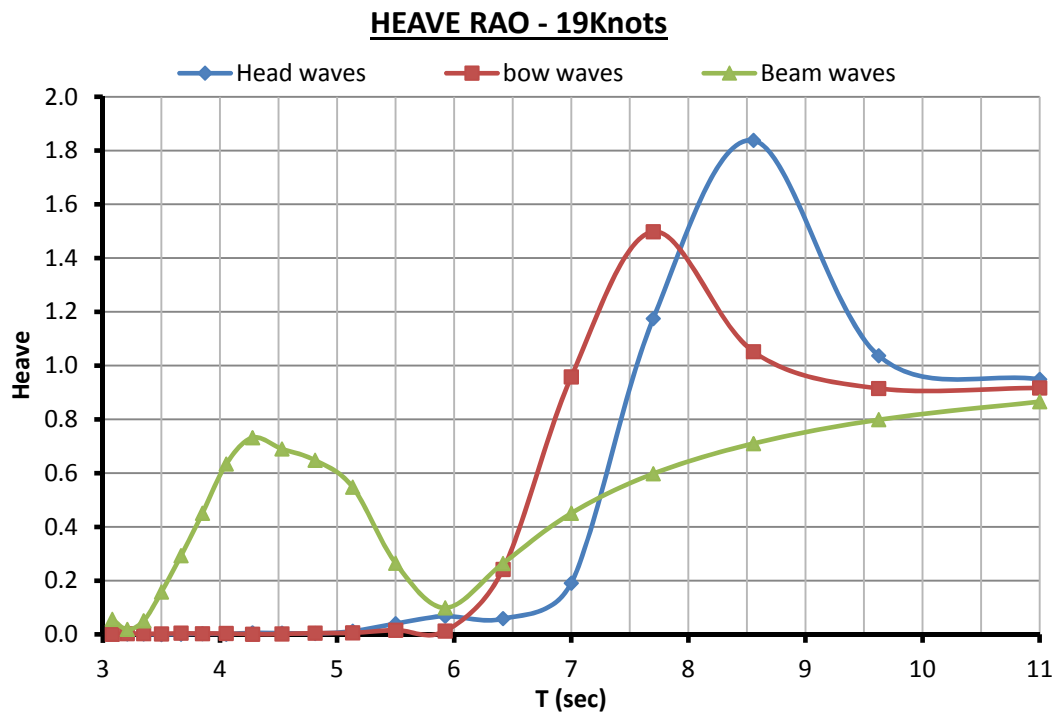
Σχήμα 6.5.16: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 για πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92



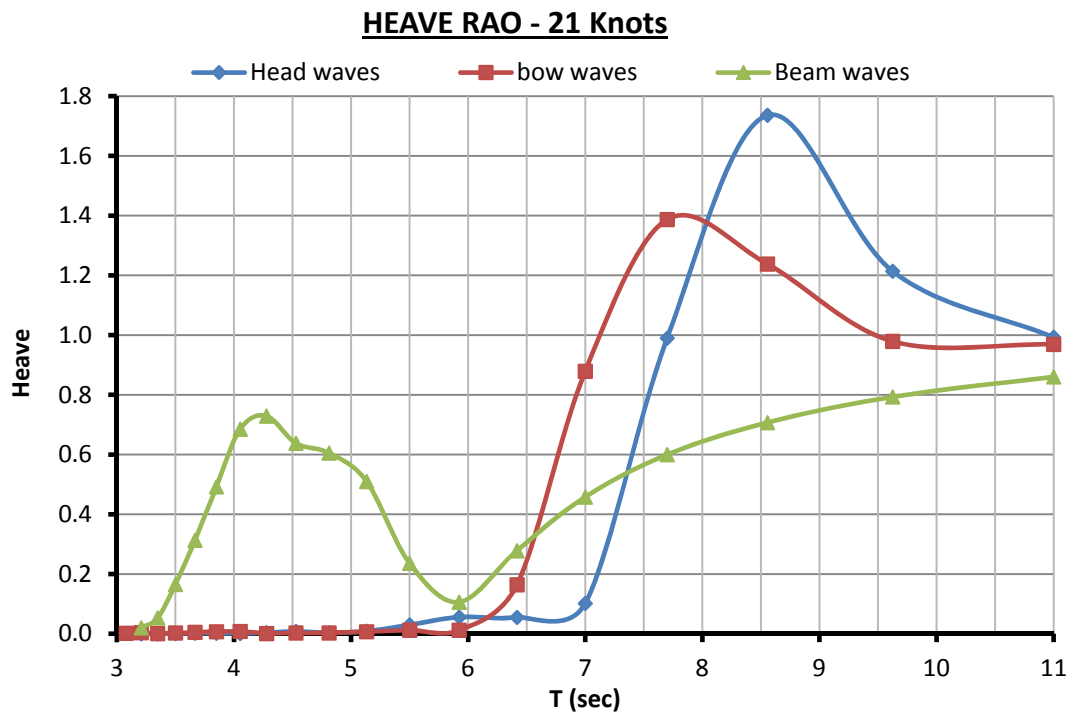
Σχήμα 6.5.17: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 για ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) - HULL92



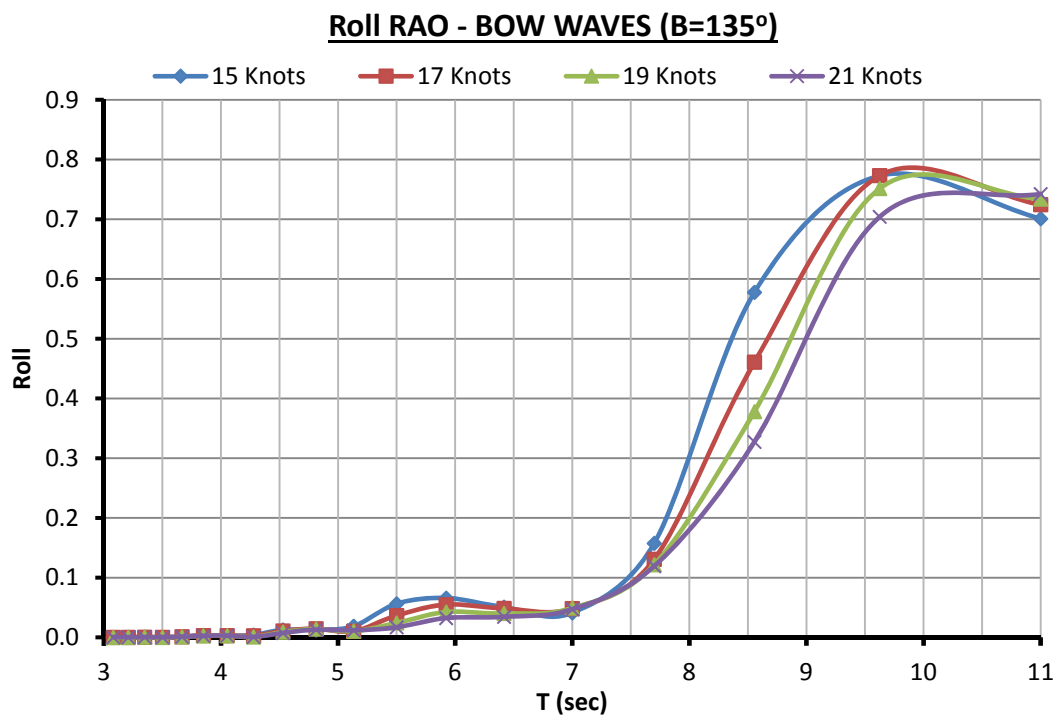
Σχήμα 6.5.18: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 για ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) - HULL92



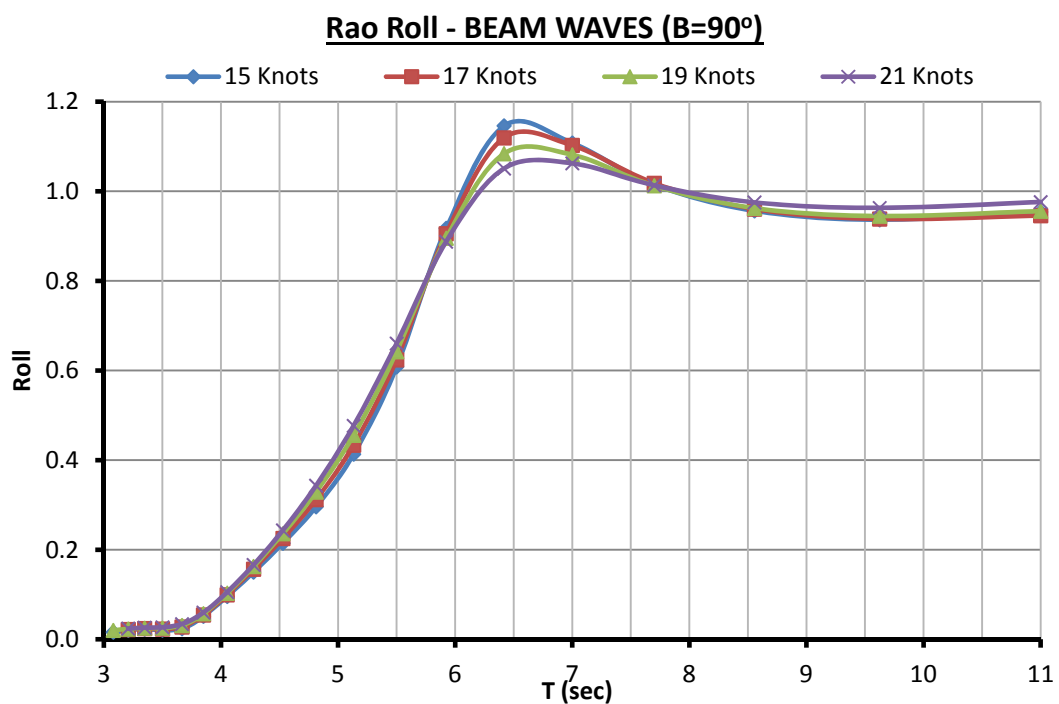
Σχήμα 6.5.19: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 για ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.328$) - HULL92



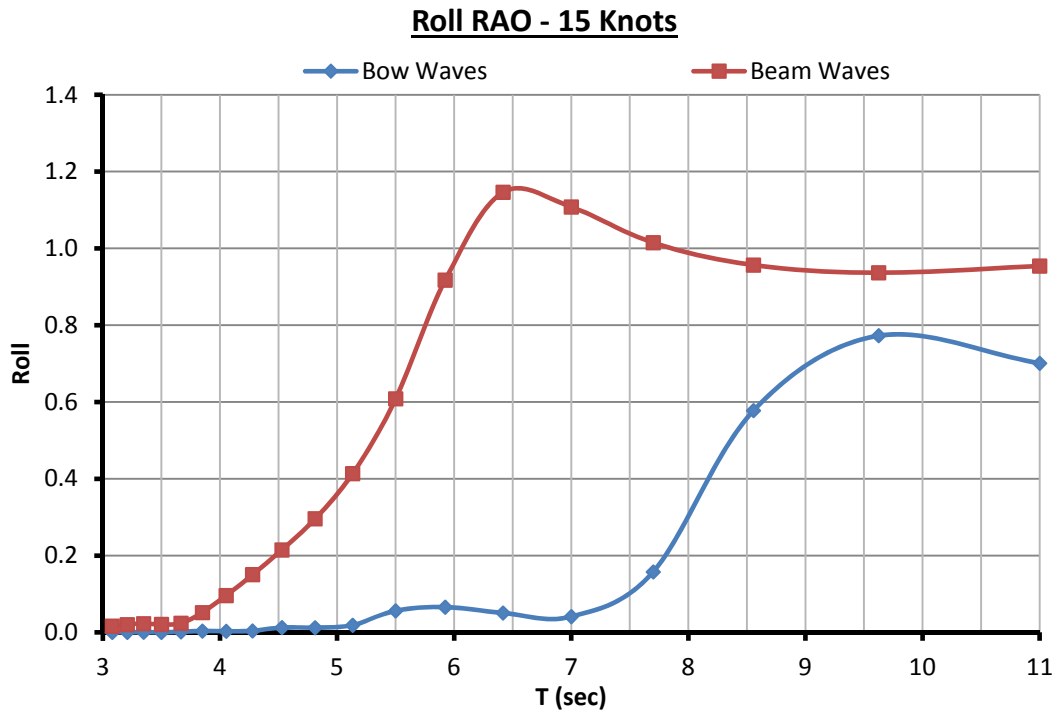
Σχήμα 6.5.20: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_3 για ταχύτητα 21 Kn ($F_n=0.355$) - HULL92



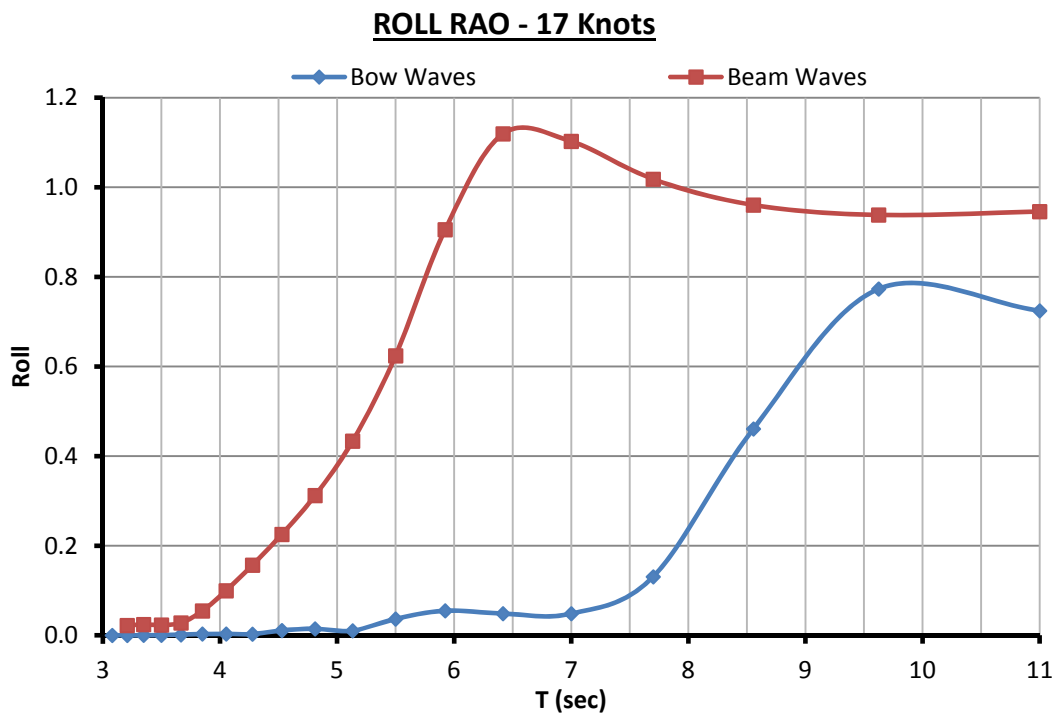
Σχήμα 6.5.21: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 για πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92



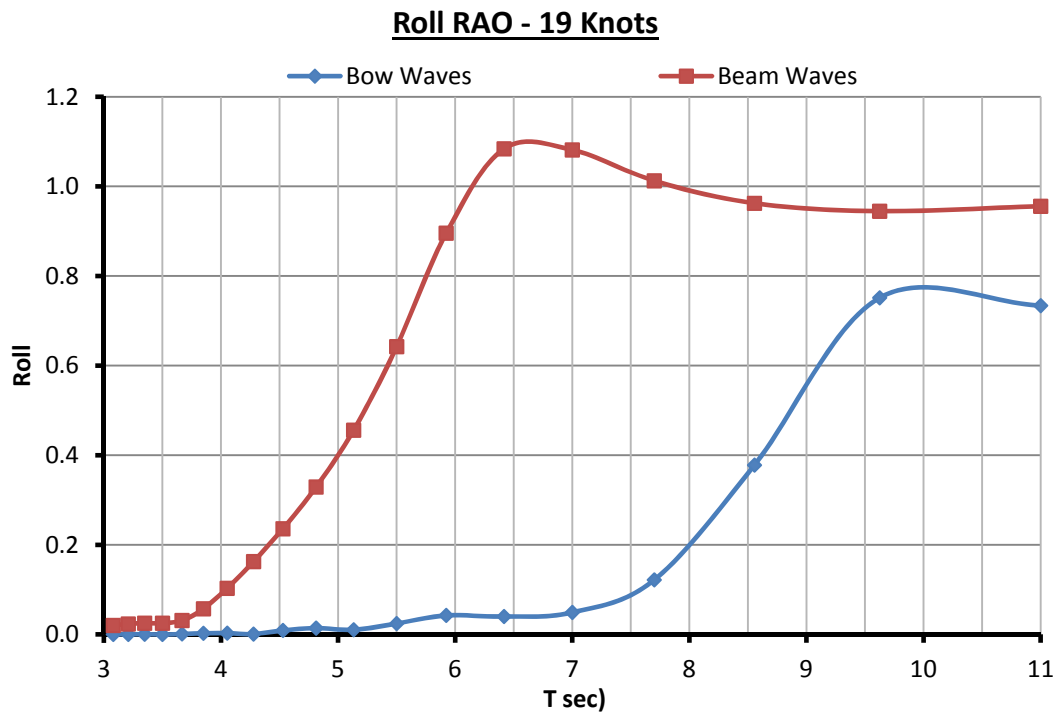
Σχήμα 6.5.22: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 για πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$)



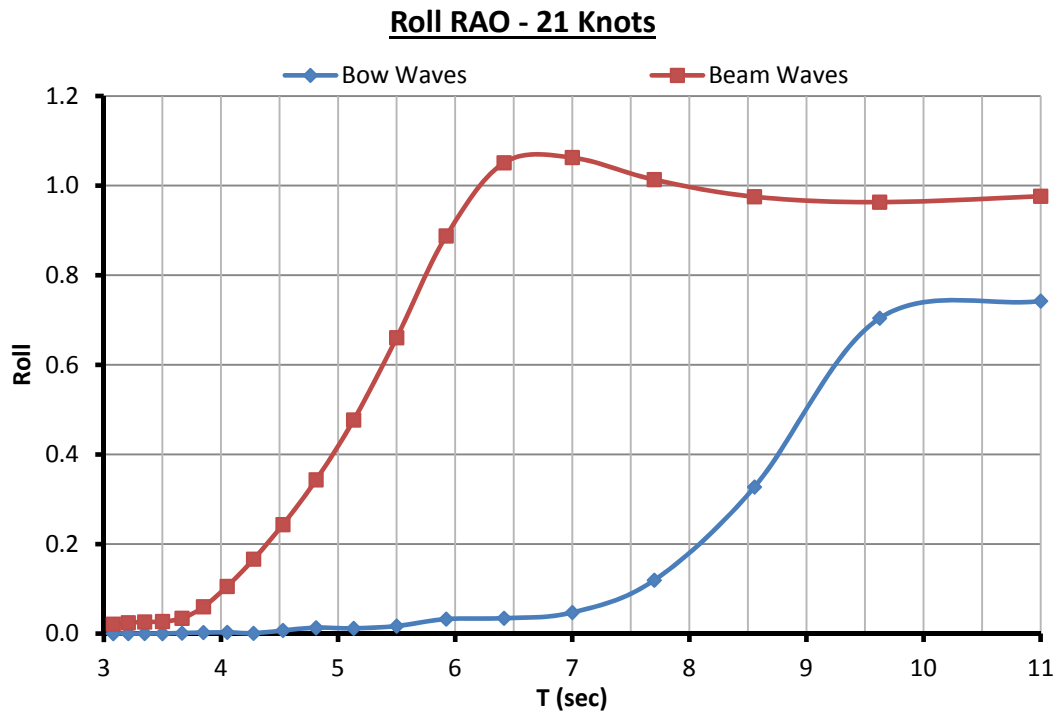
Σχήμα 6.5.23 Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 για ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) - HULL92



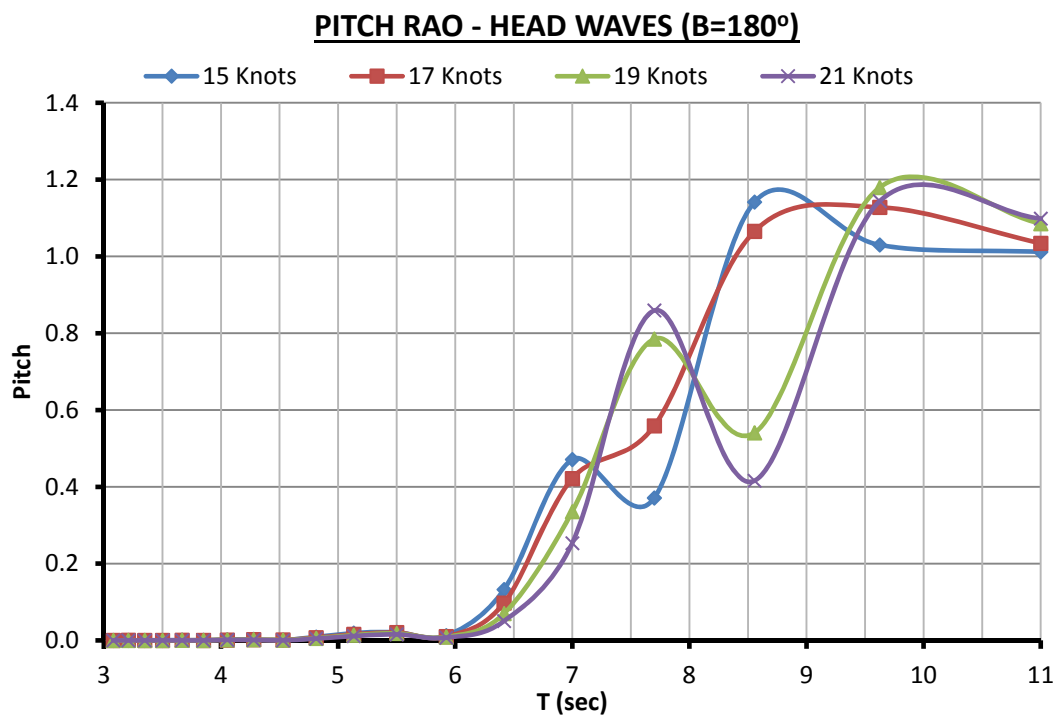
Σχήμα 6.5.24: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 για ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) - HULL92



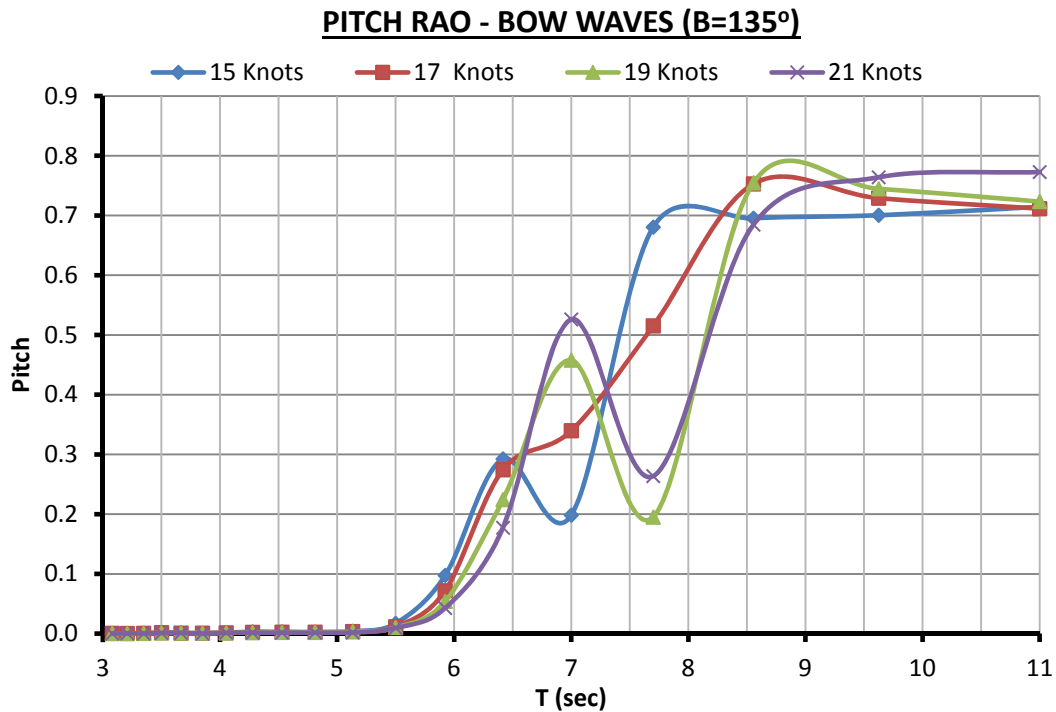
Σχήμα 6.5.25: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 για ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.328$) - HULL92



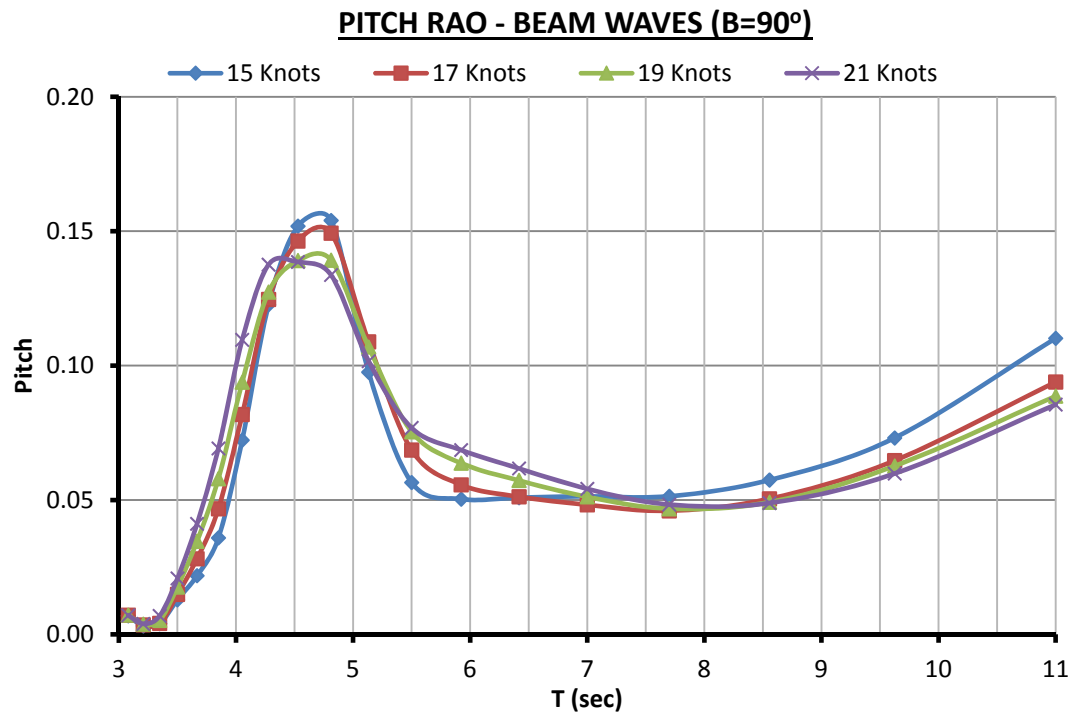
Σχήμα 6.5.26: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_4 για ταχύτητα 21 Kn ($F_n=0.355$) - HULL92



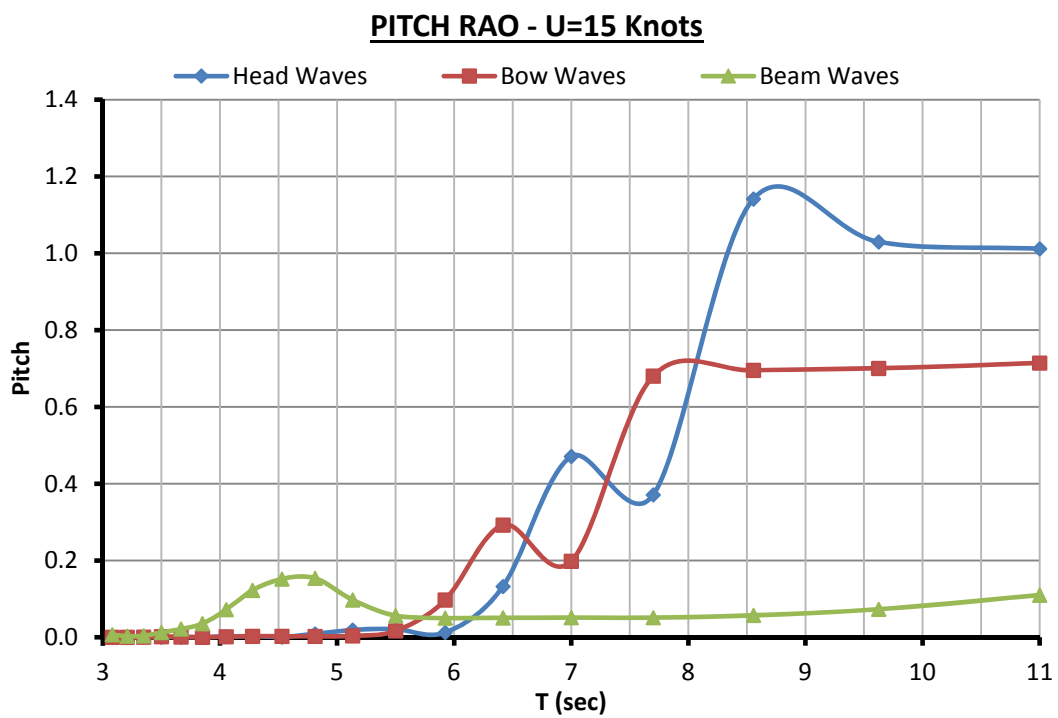
Σχήμα 6.5.27: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92



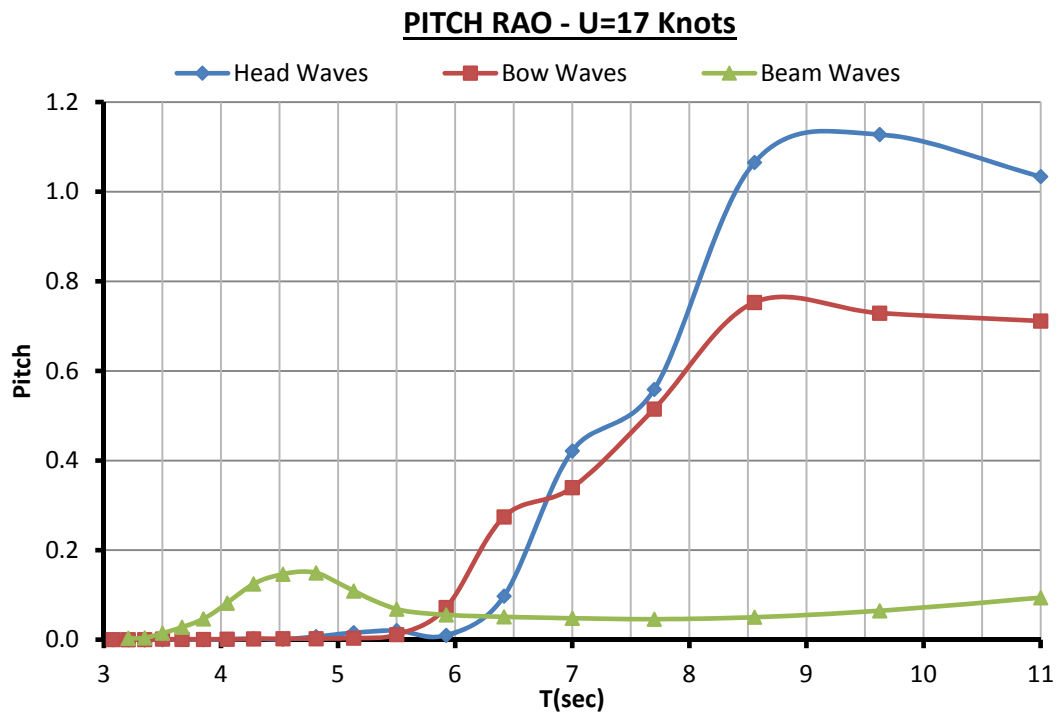
Σχήμα 6.5.28: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92



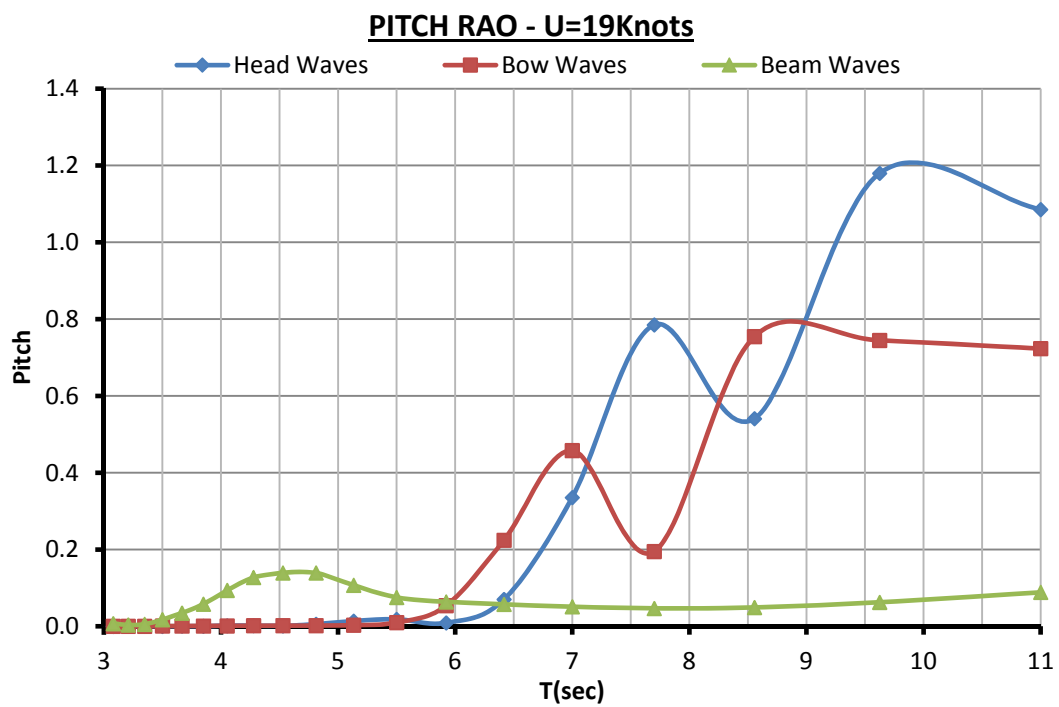
Σχήμα 6.5.29: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92



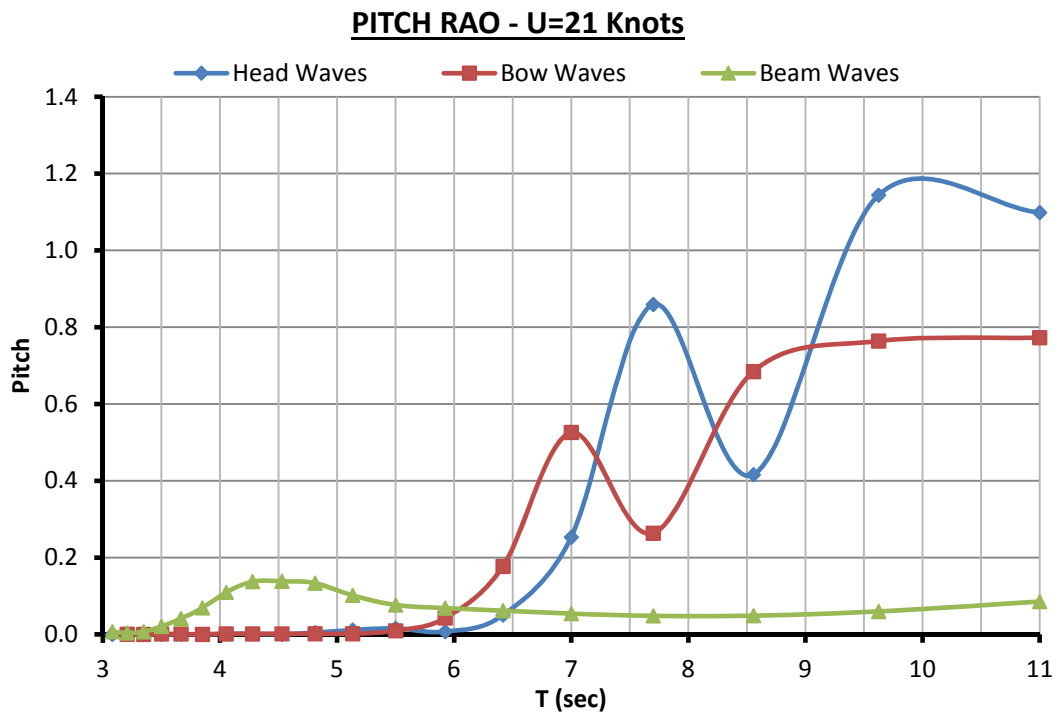
Σχήμα 6.5.30: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) - HULL92



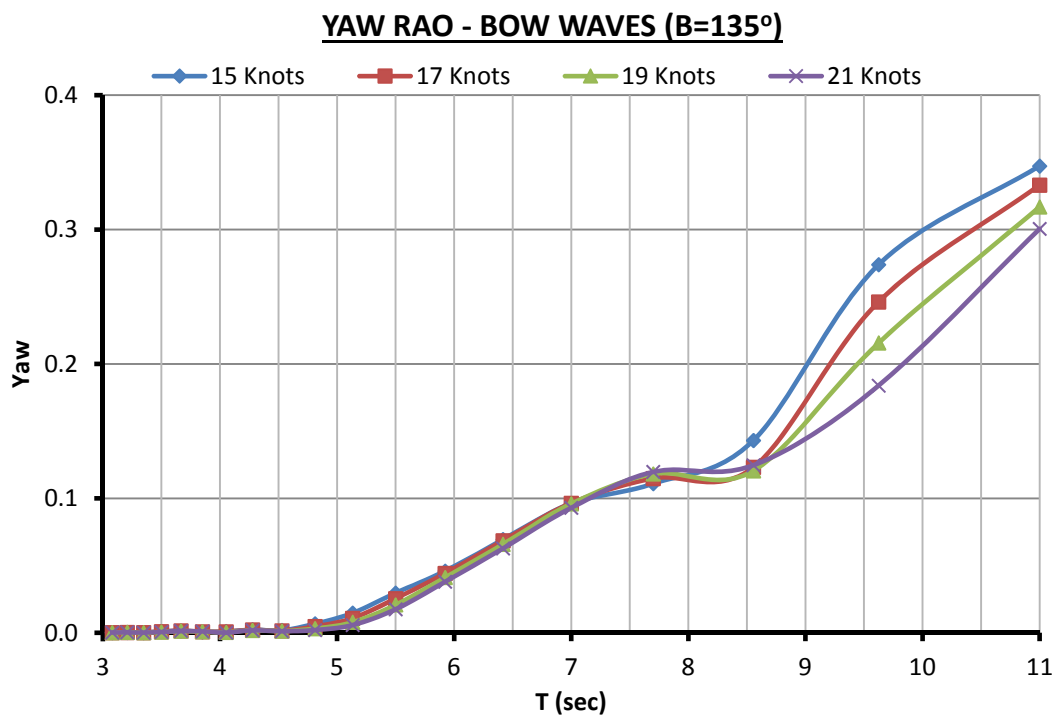
Σχήμα 6.5.31: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) - HULL92



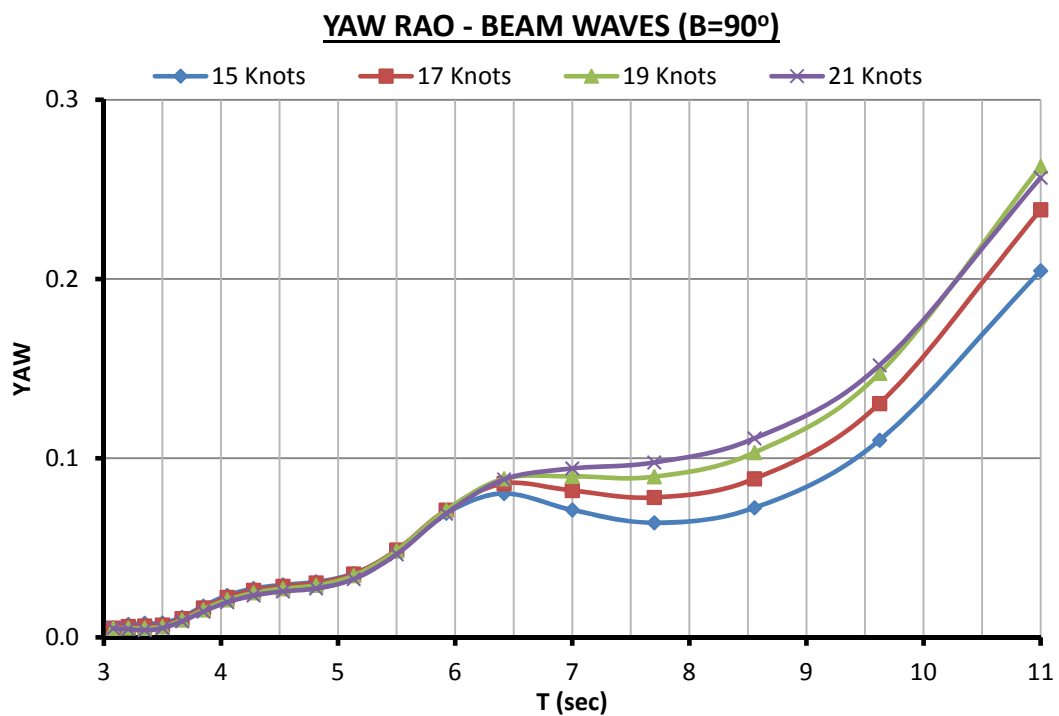
Σχήμα 6.5.32: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.328$) - HULL92



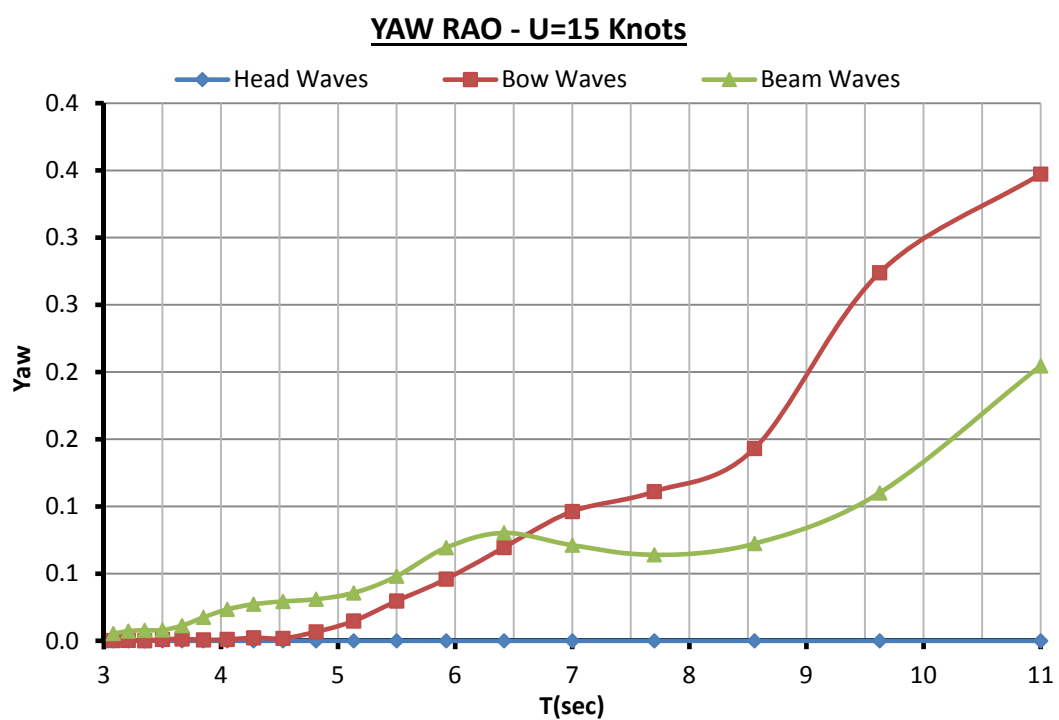
Σχήμα 6.5.33: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_5 σε ταχύτητα 21 Kn ($F_n=0.355$) - HULL92



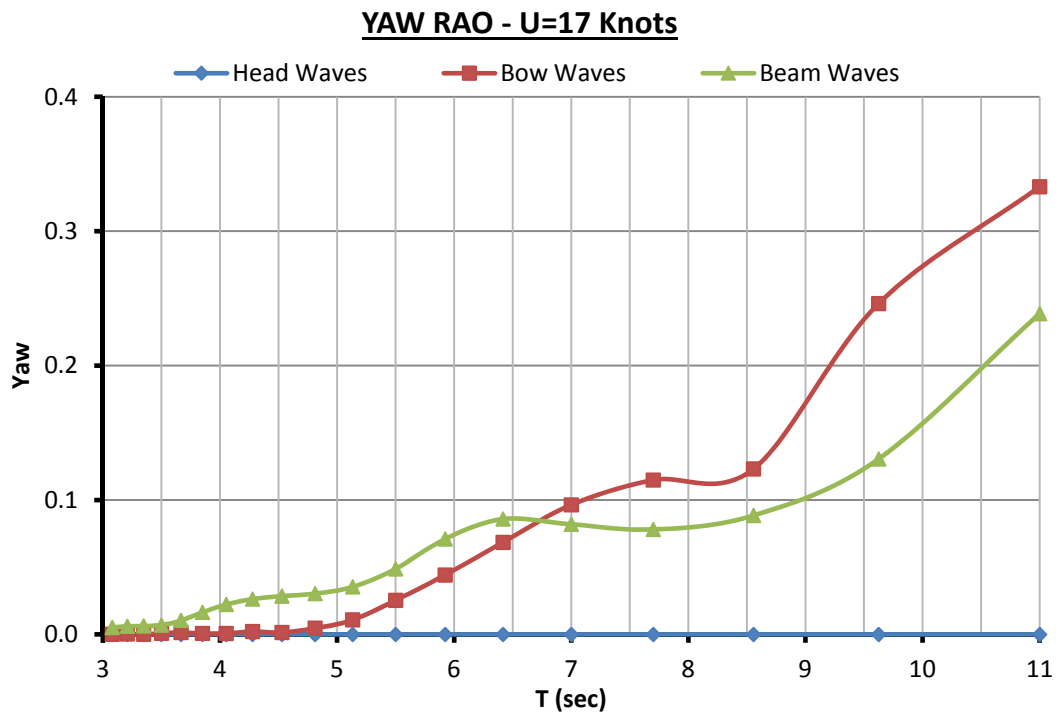
Σχήμα 6.5.34: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$)- HULL92



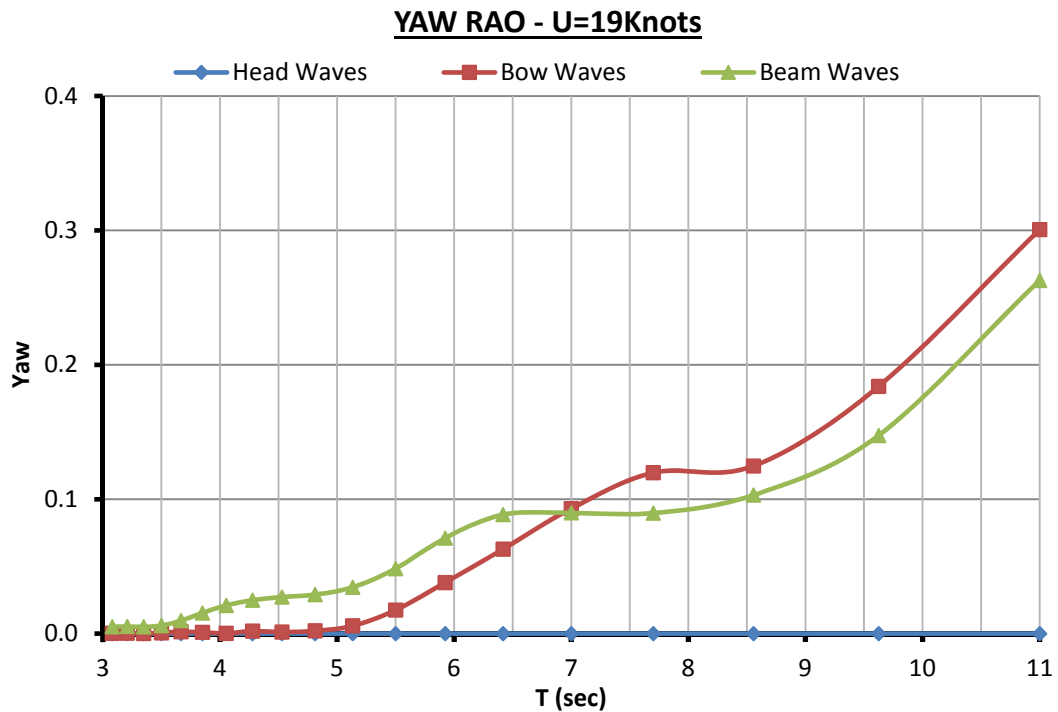
Σχήμα 6.5.35: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$)



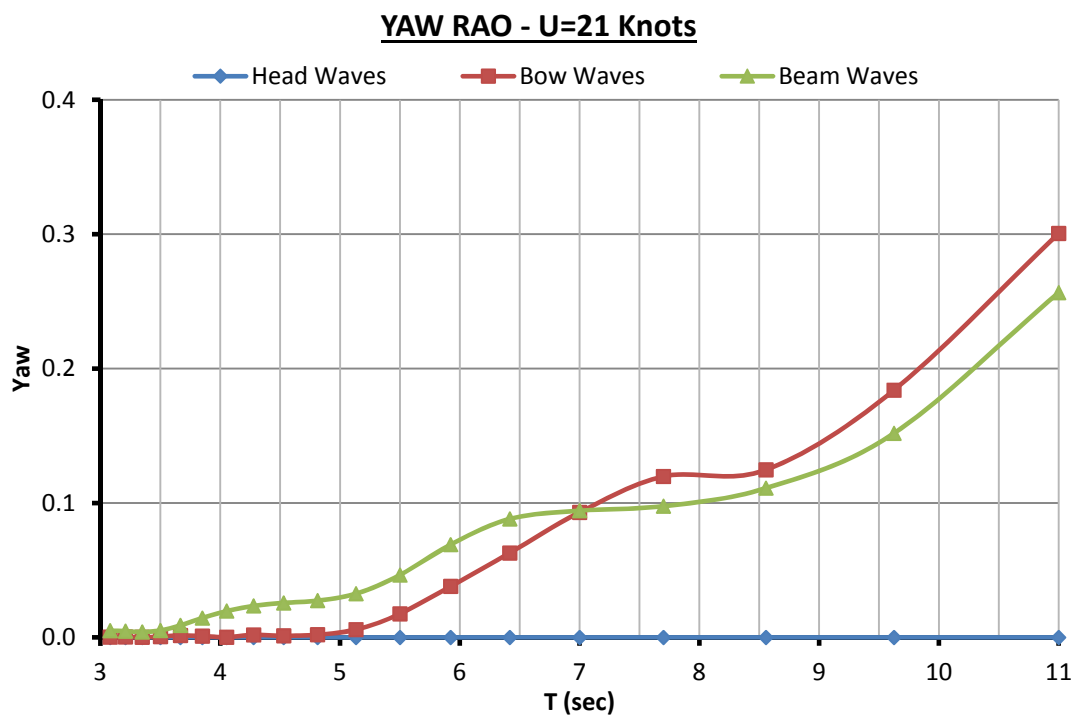
Σχήμα 6.5.36: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) - HULL92



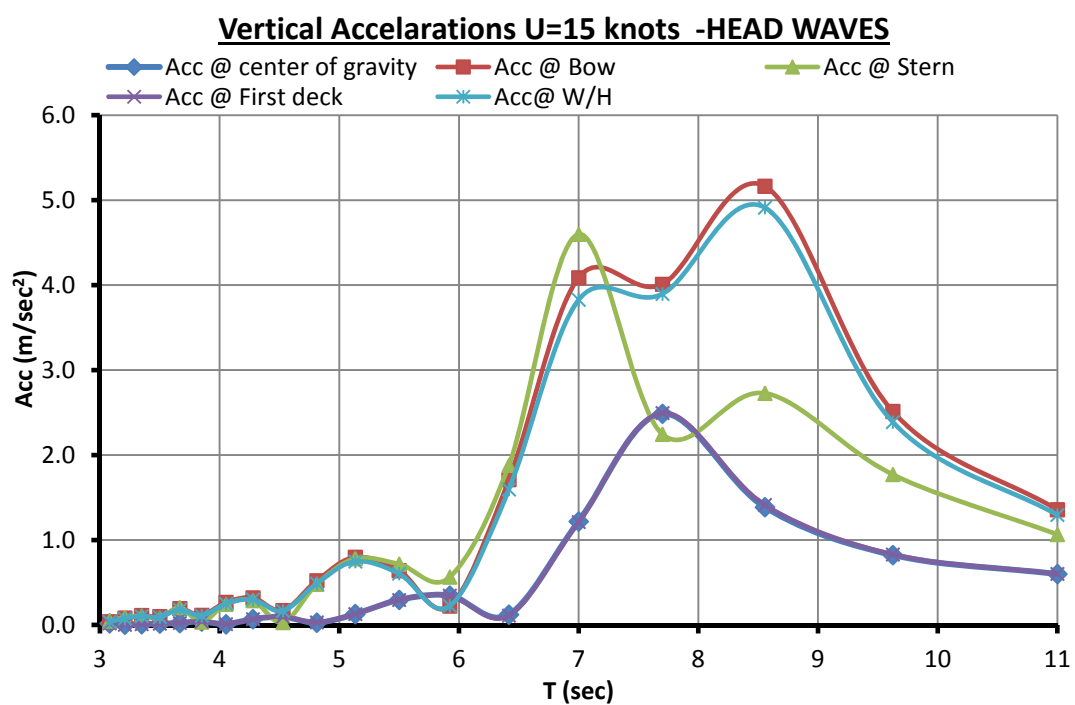
Σχήμα 6.5.37: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) - HULL92



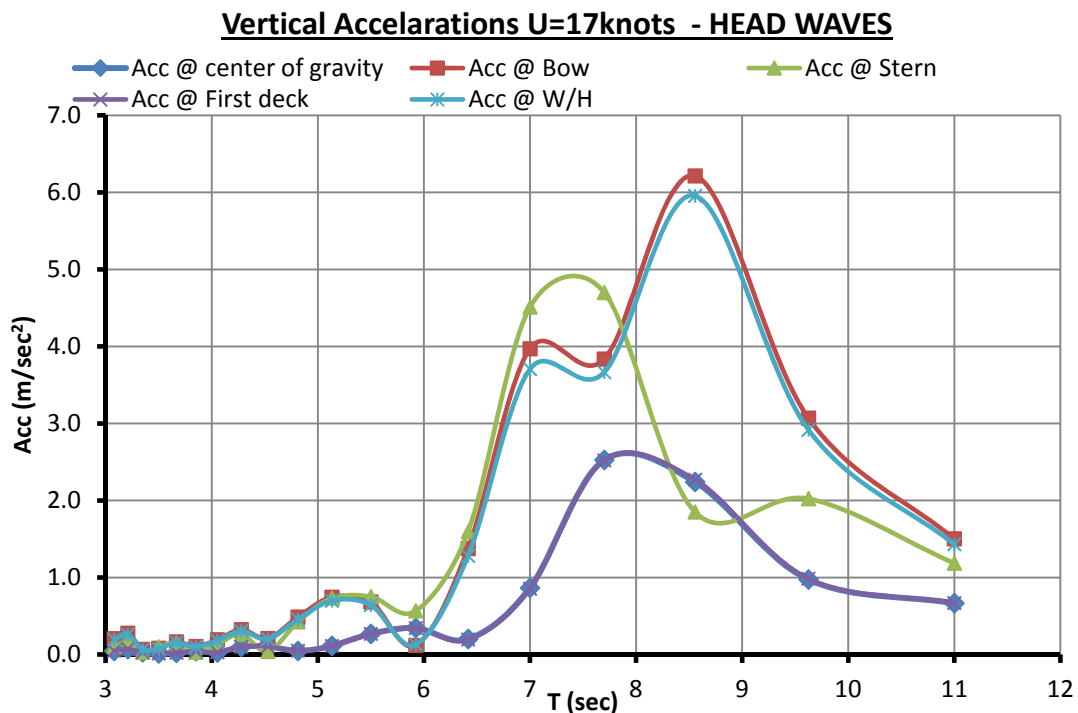
Σχήμα 6.5.38: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.328$) - HULL92



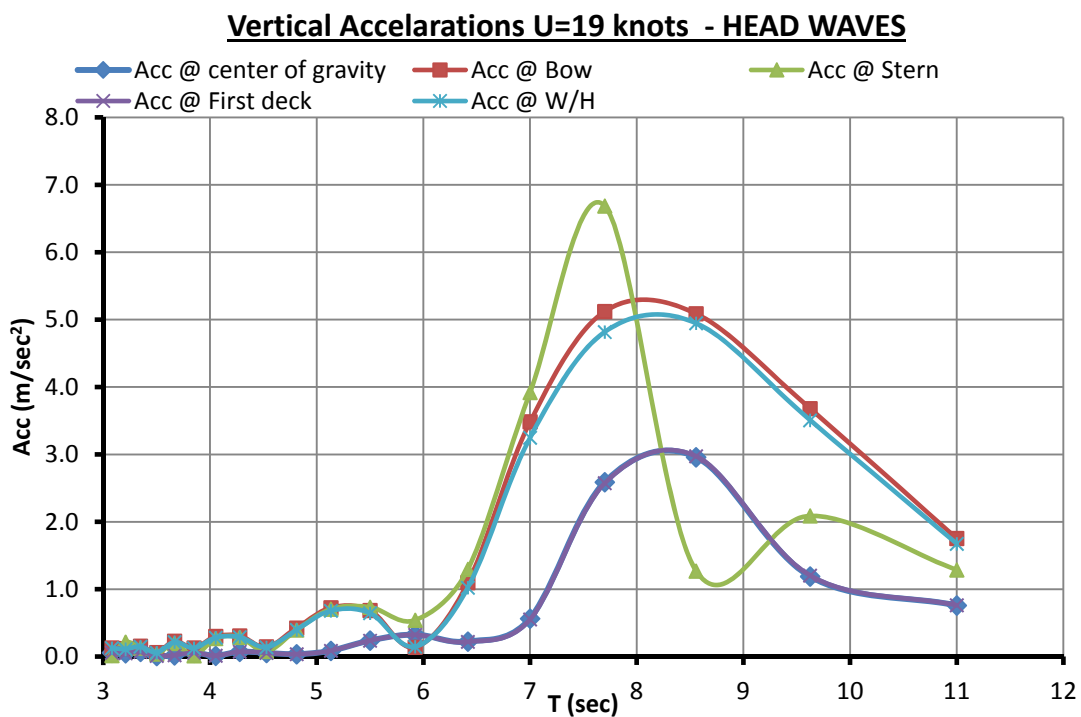
Σχήμα 6.5.39: Διάγραμμα συντελεστών RAO ξ_6 σε ταχύτητα 21 Kn ($F_n=0.355$) - HULL92



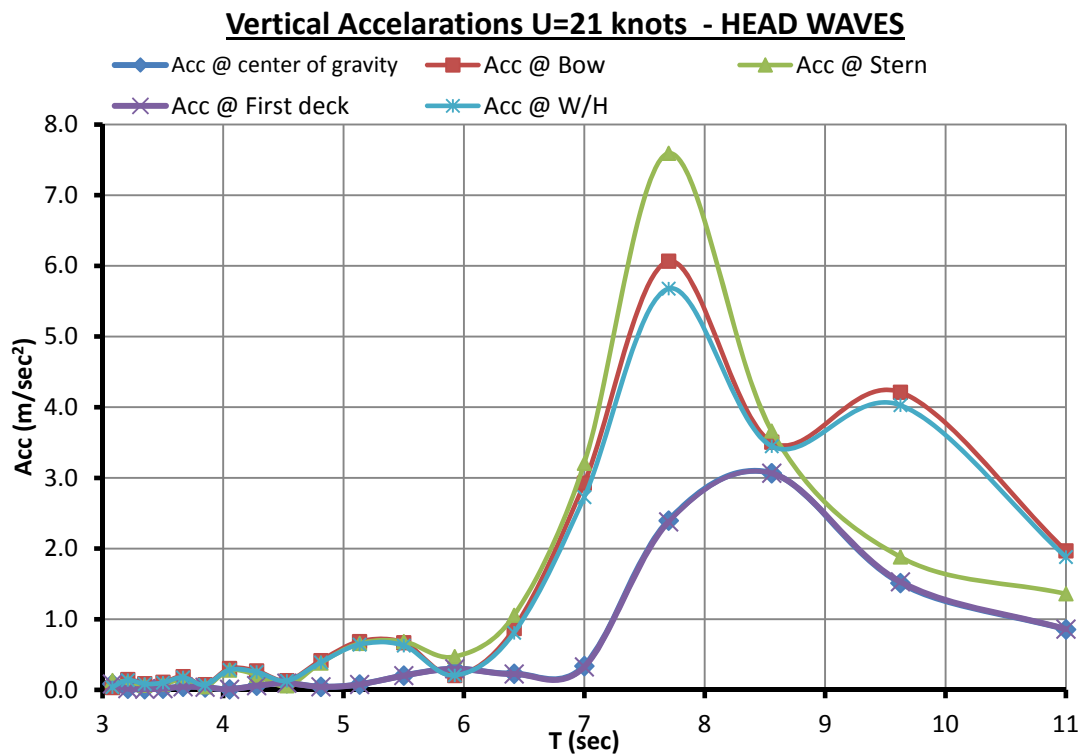
Σχήμα 6.5.40: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.253$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92.



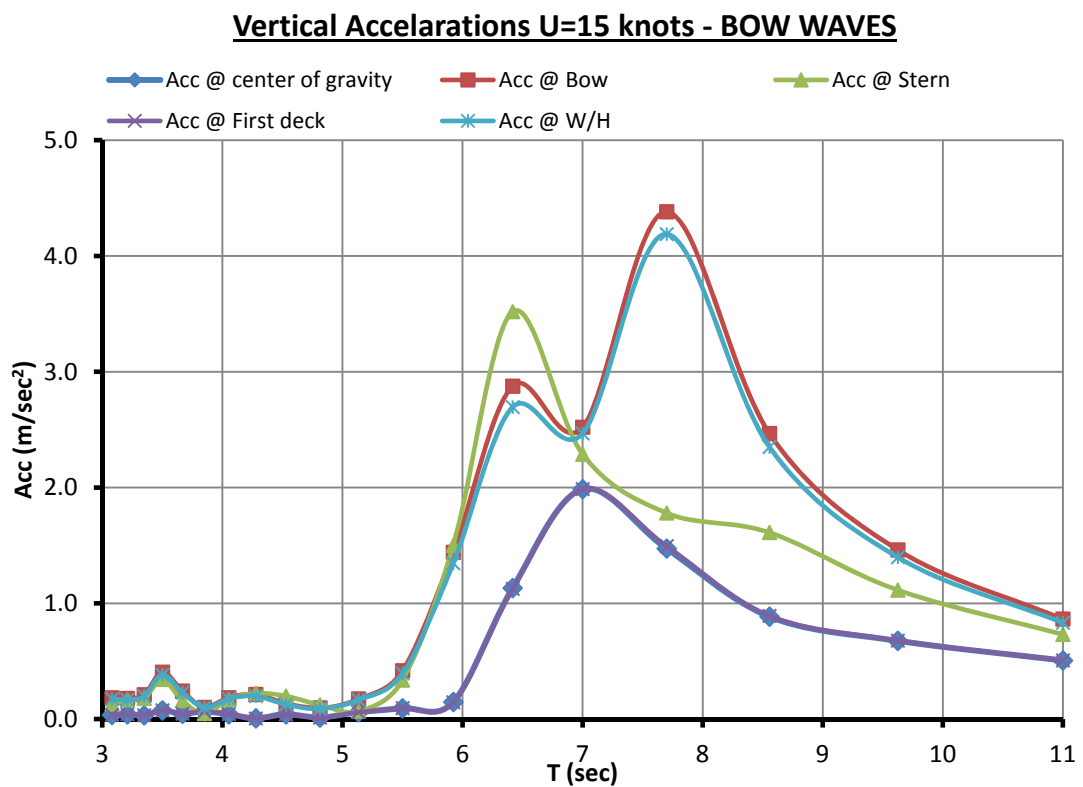
Σχήμα 6.5.41: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.287$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92.



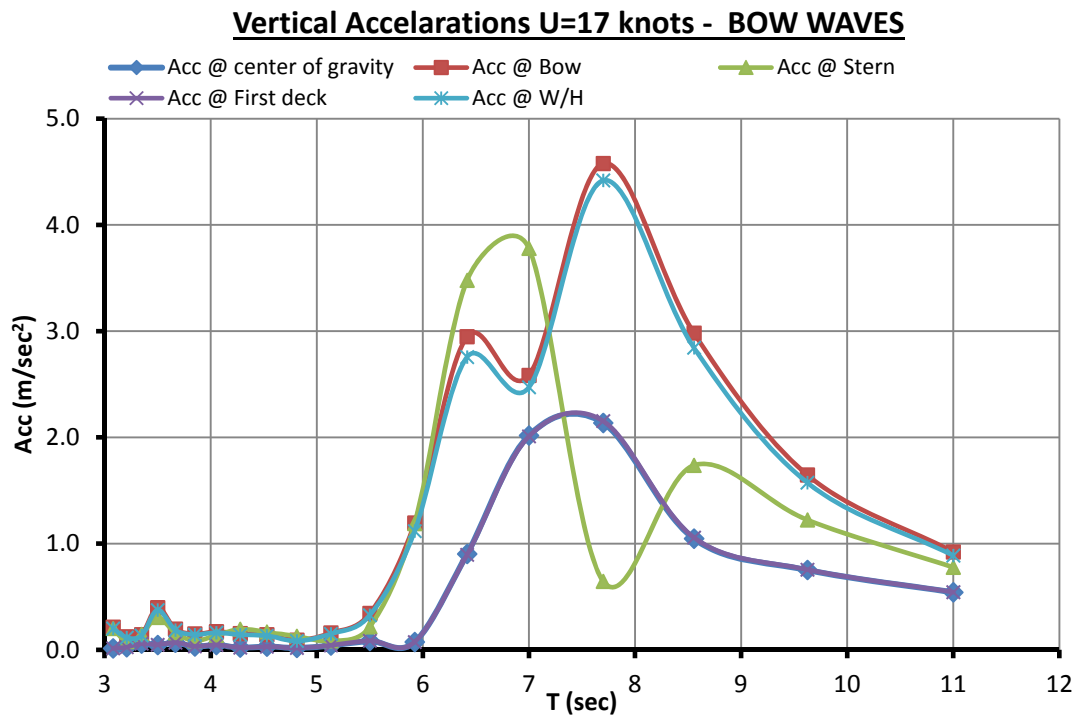
Σχήμα 6.5.42: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.320$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$).



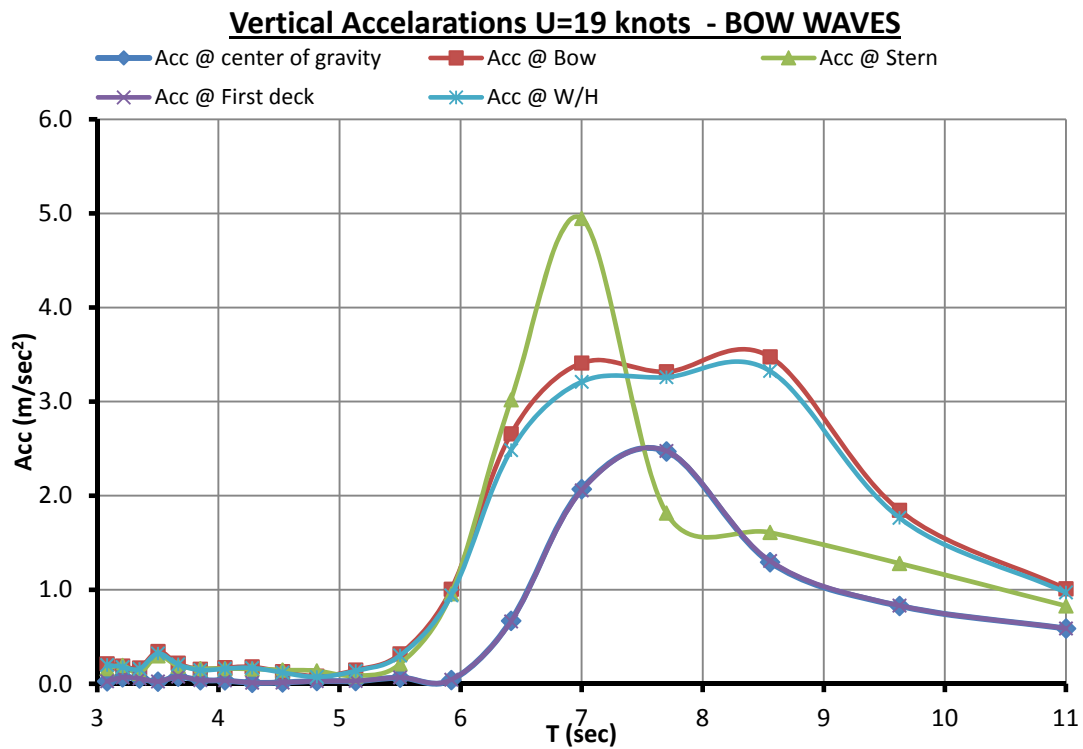
Σχήμα 6.5.43: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 21 kn ($F_n=0.355$) και μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92.



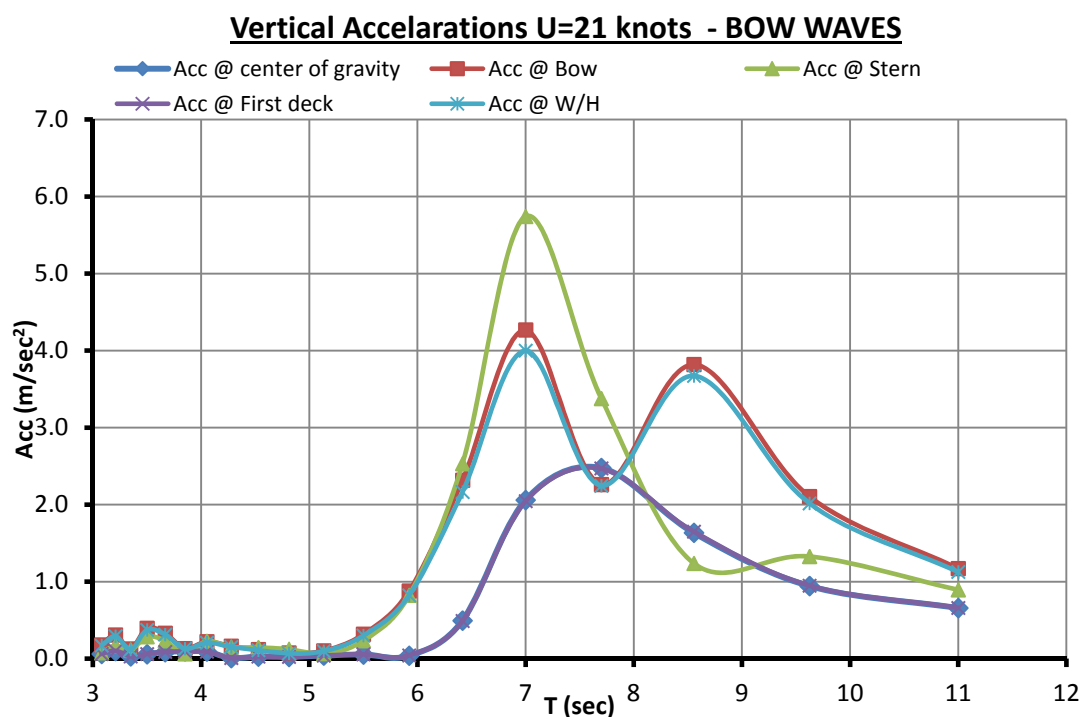
Σχήμα 6.5.44: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.253$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.



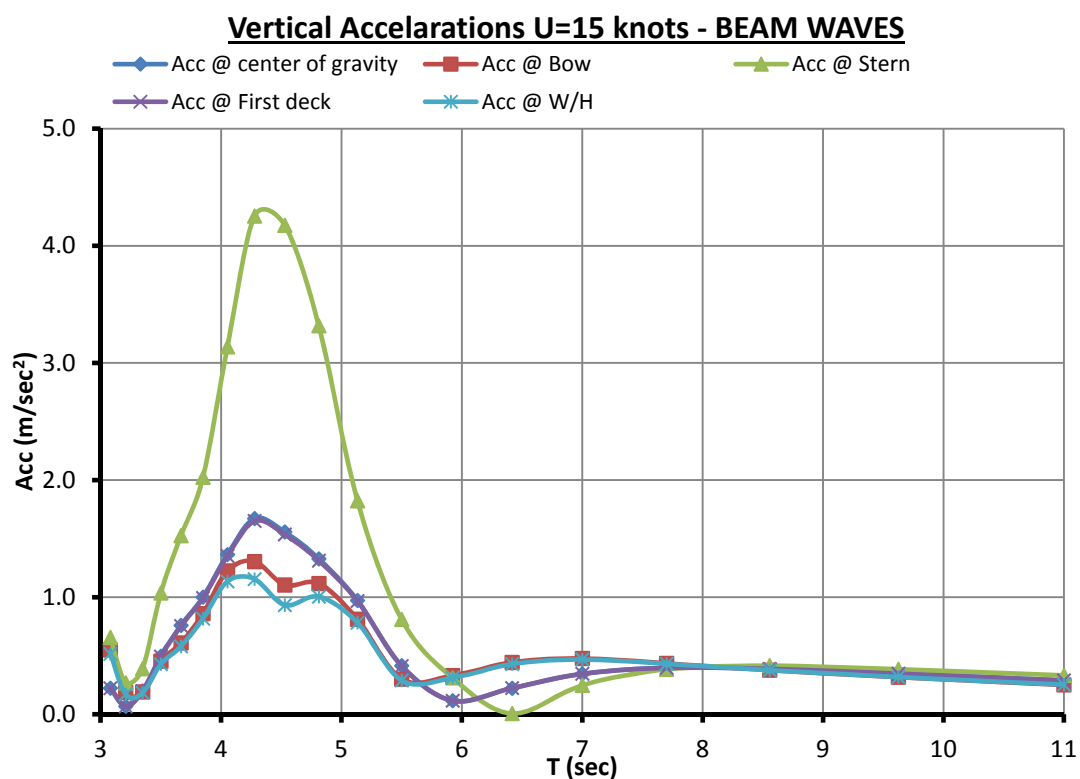
Σχήμα 6.5.45: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.287$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.



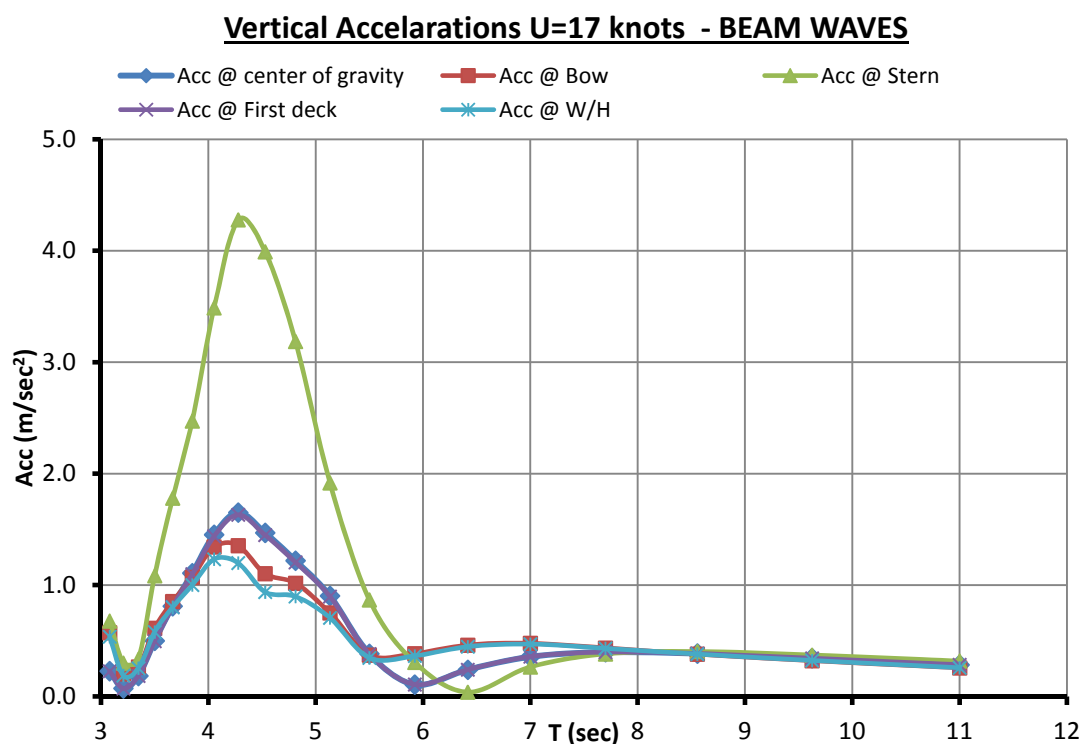
Σχήμα 6.5.46: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.328$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.



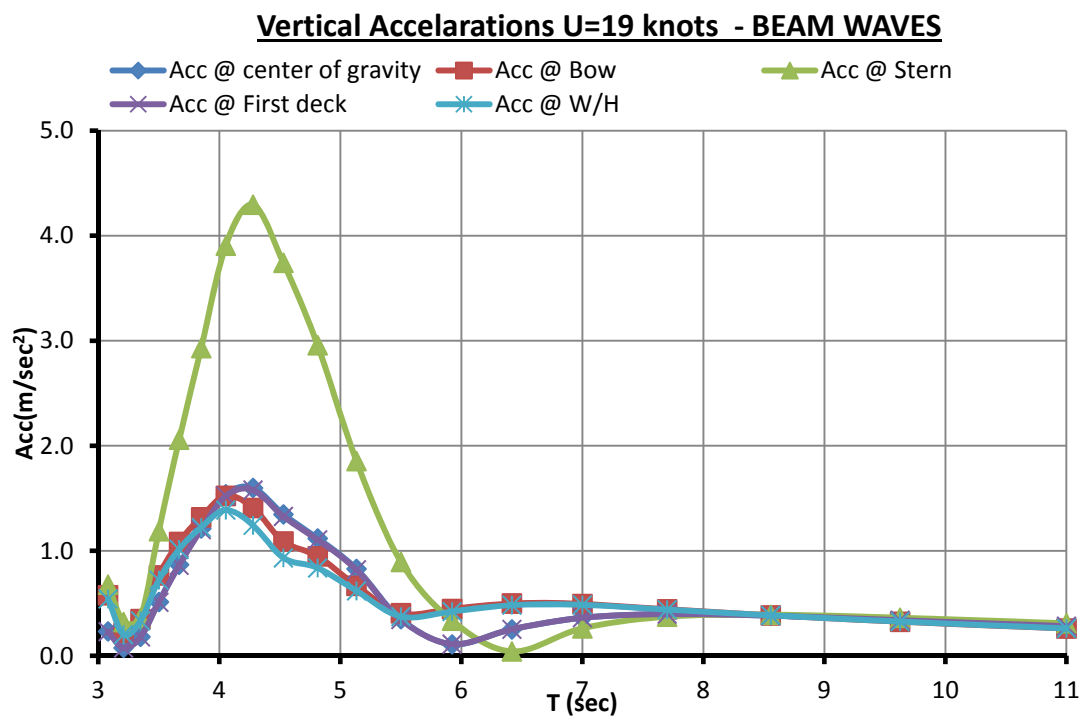
Σχήμα 6.5.47: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 21 kn ($F_n=0.355$) και πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.



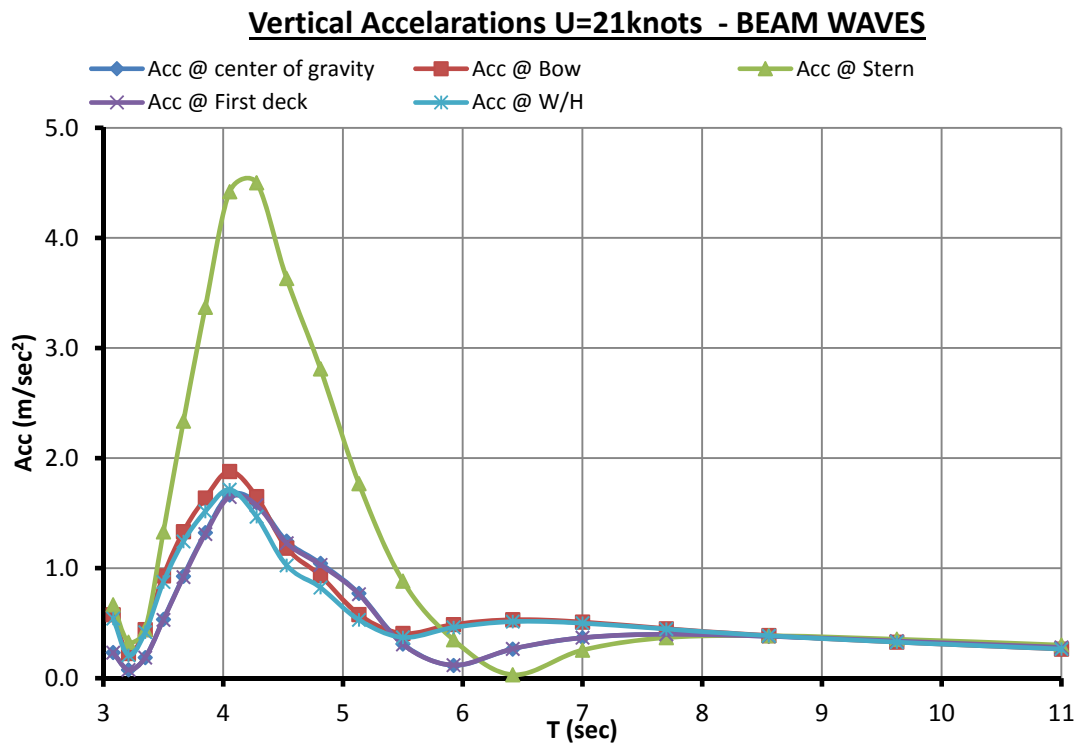
Σχήμα 6.5.48: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 kn ($F_n=0.320$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92.



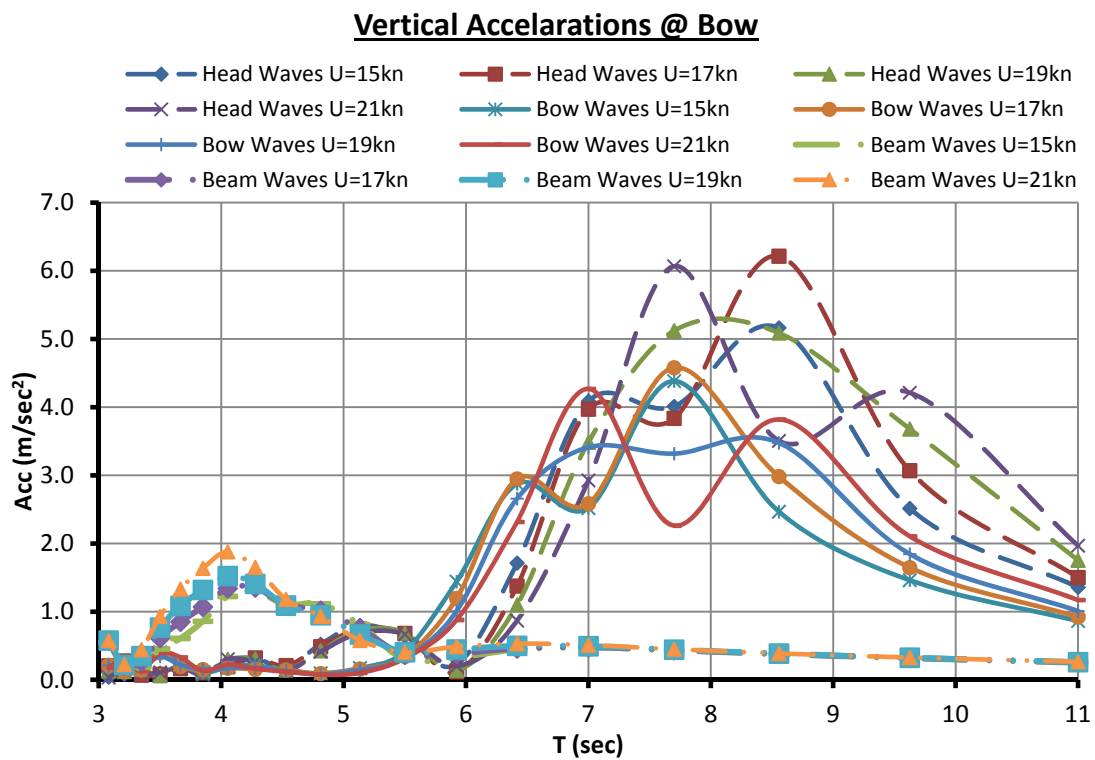
Σχήμα 6.5.49: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 kn ($F_n=0.287$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92.



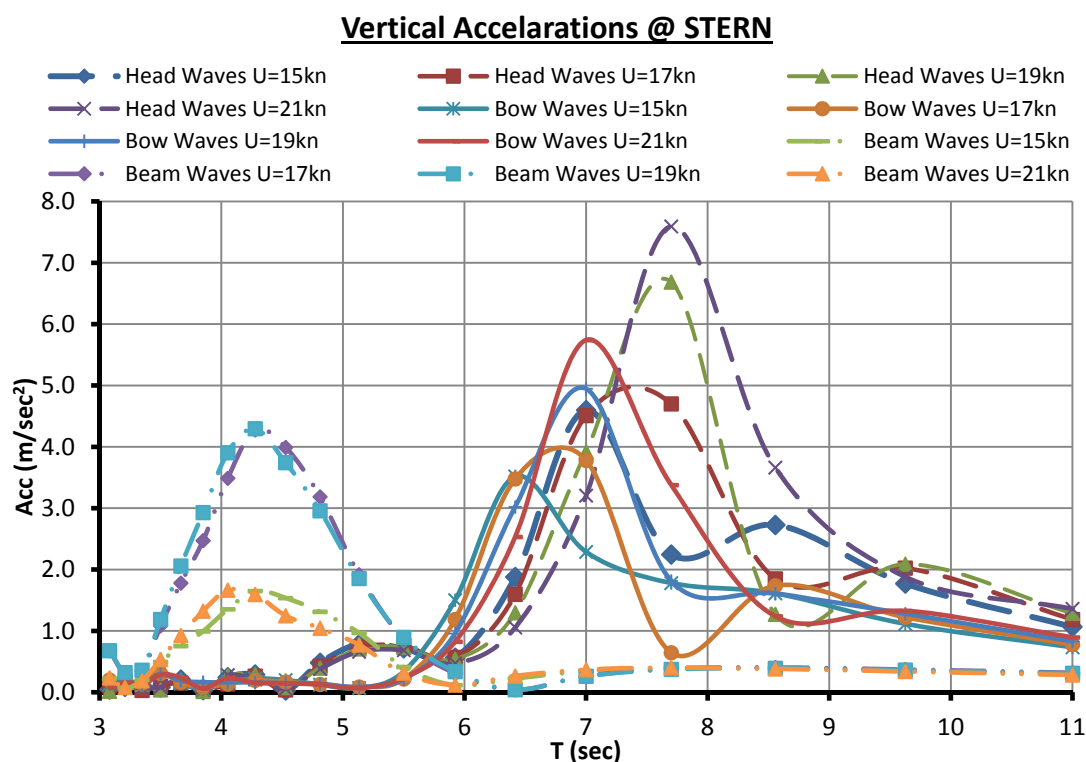
Σχήμα 6.5.50: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 kn ($F_n=0.320$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92.



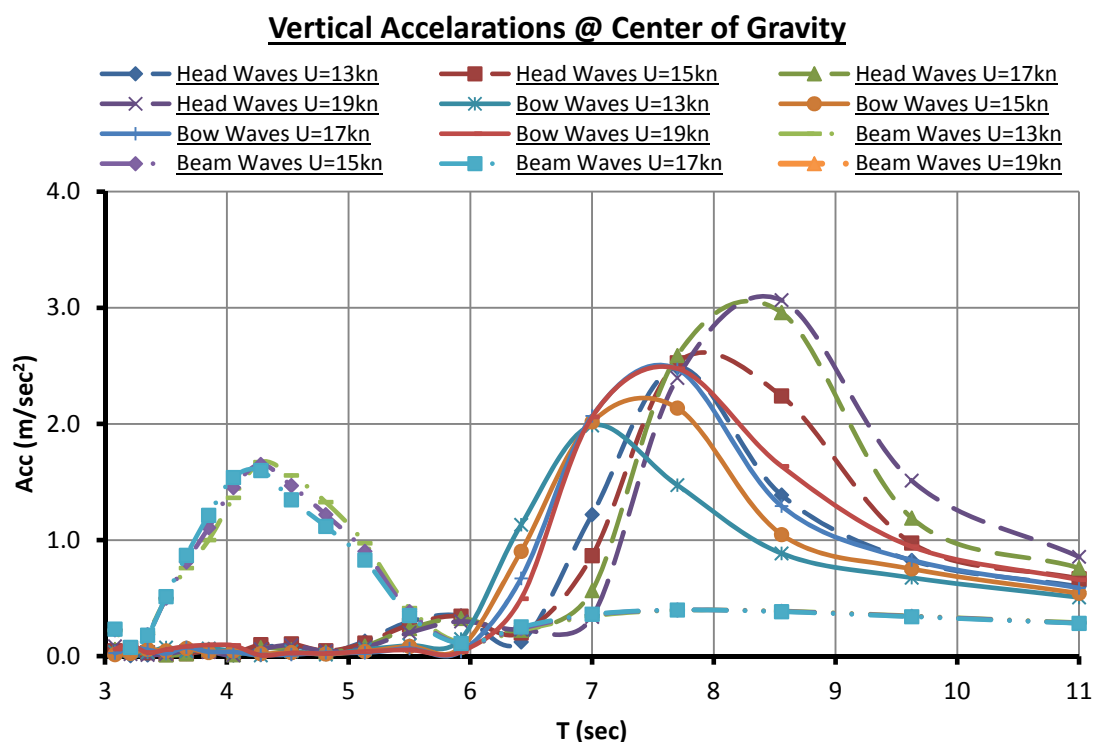
Σχήμα 6.5.51: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ταχύτητα 21 kn ($F_n=0.355$) και πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92.



Σχήμα 6.5.52: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πλώρη- HULL92.

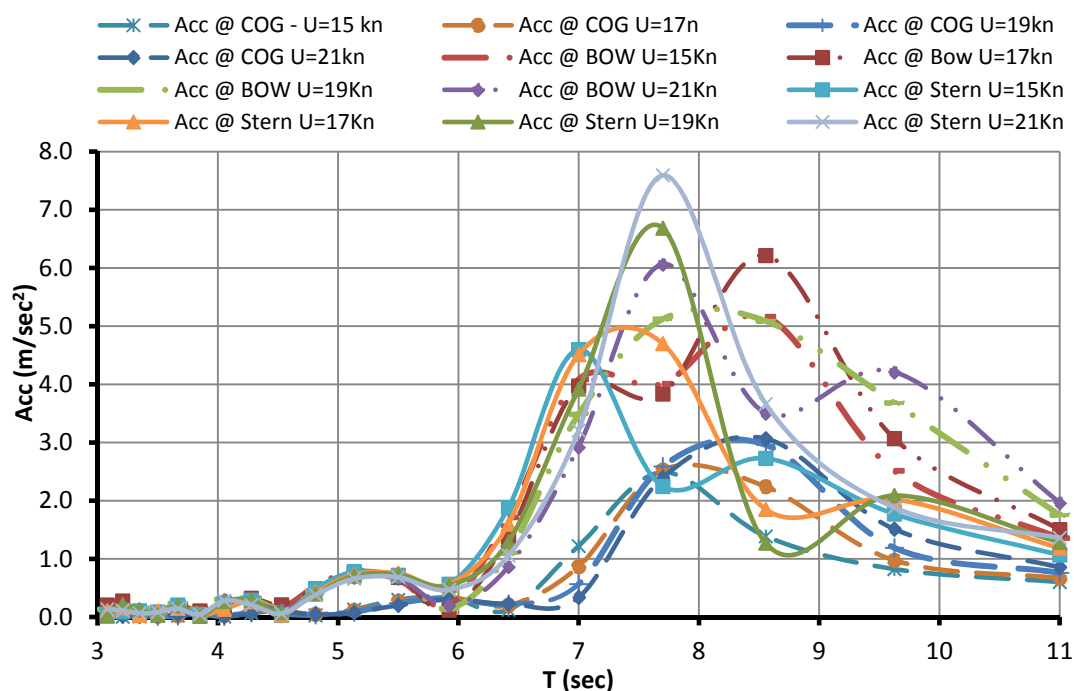


Σχήμα 6.5.53: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρύμνη- HULL92.



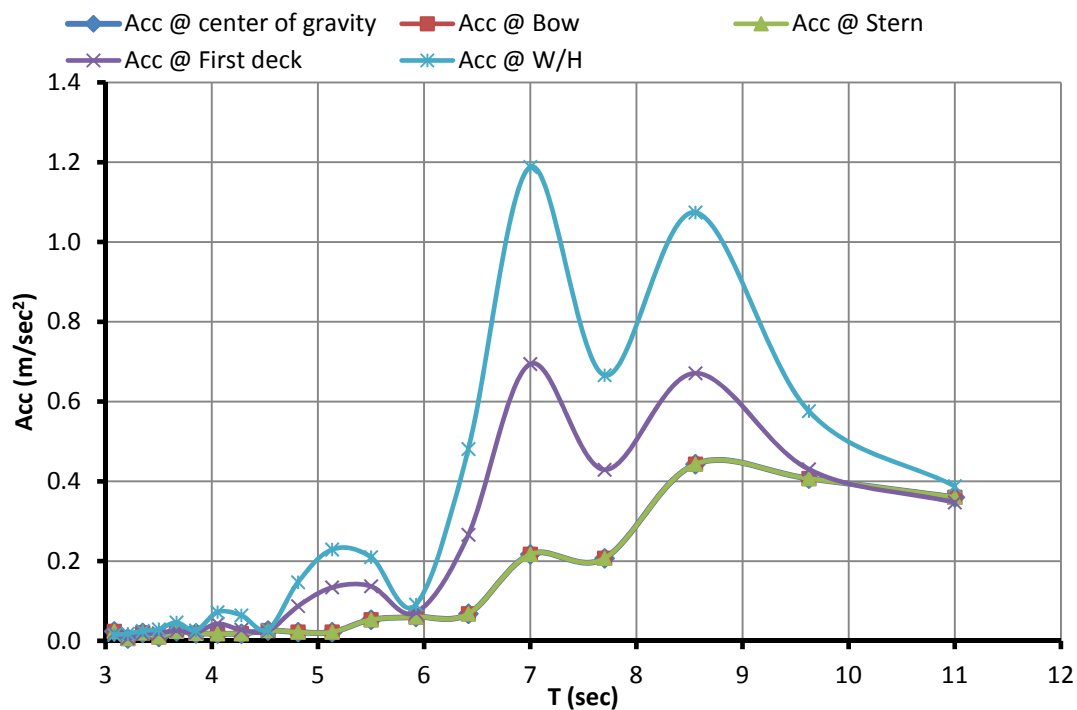
Σχήμα 6.5.54: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους του πλοίου- HULL92.

Vertical Accelerations HEAD WAVES

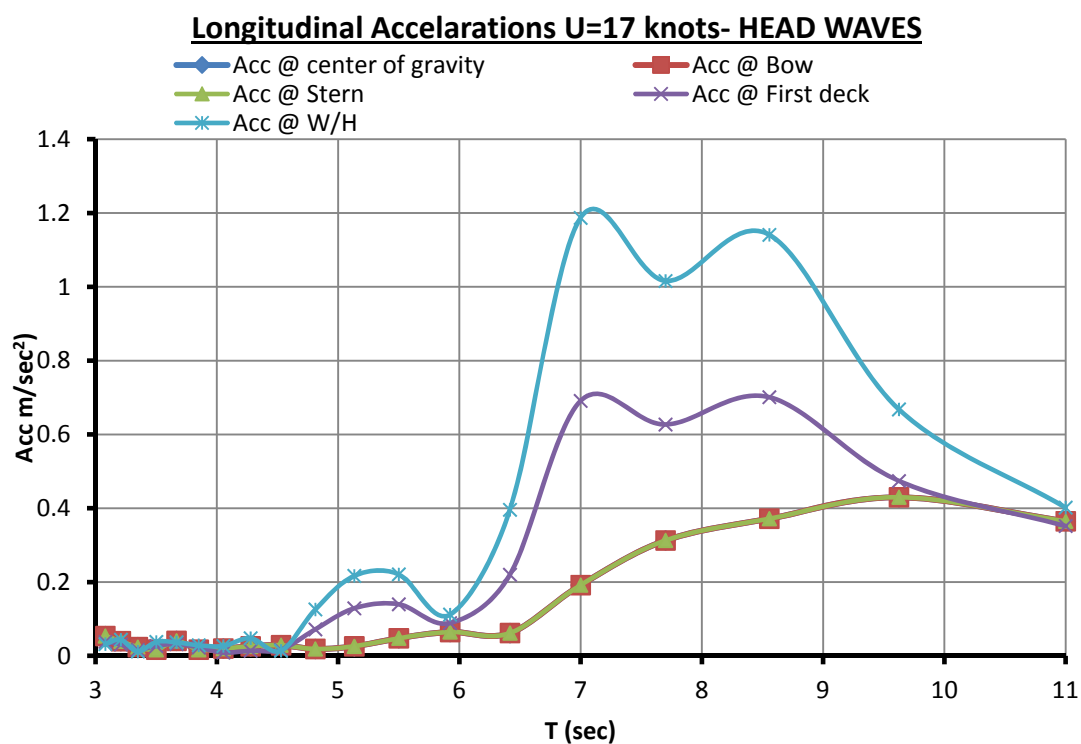


Σχήμα 6.5.55: Διάγραμμα συντελεστών RAO κατακόρυφης επιτάχυνσης σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92.

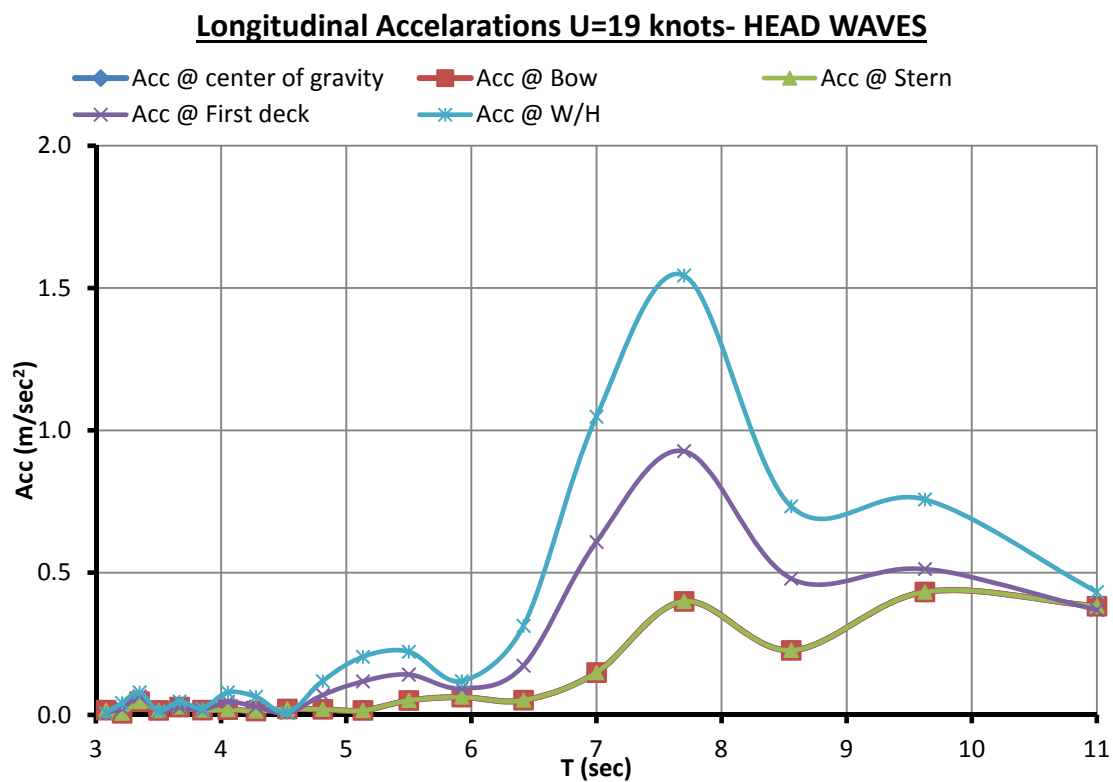
Longitudinal Accelerations U=15knots - HEAD WAVES



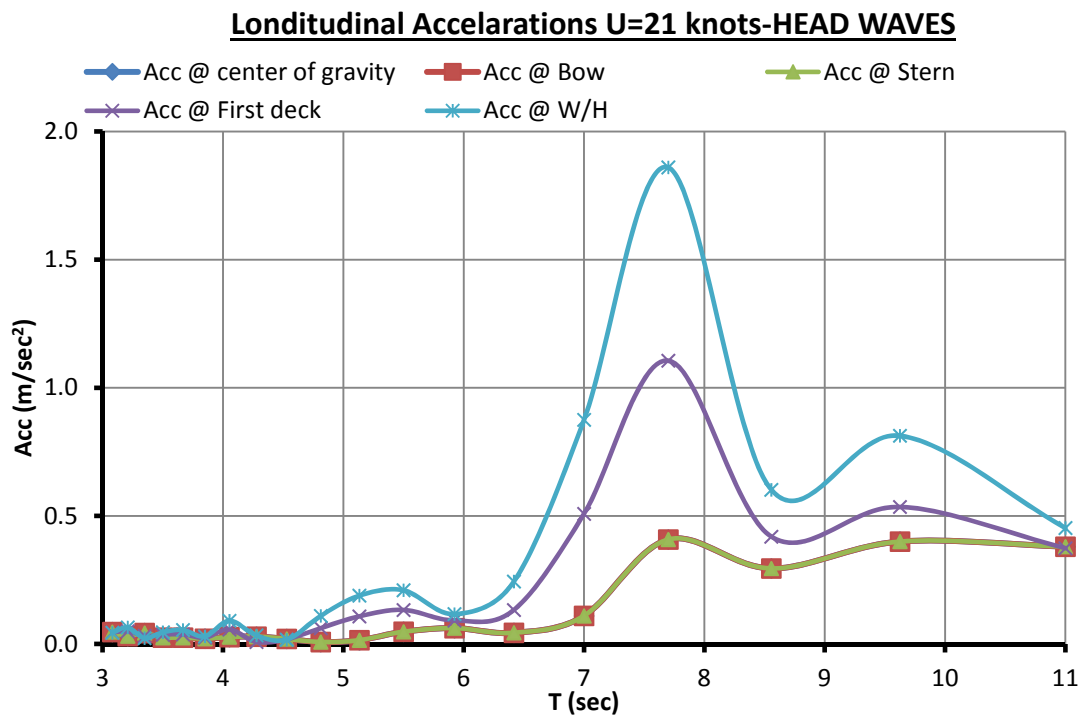
Σχήμα 6.5.56: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκου επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) και σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92.



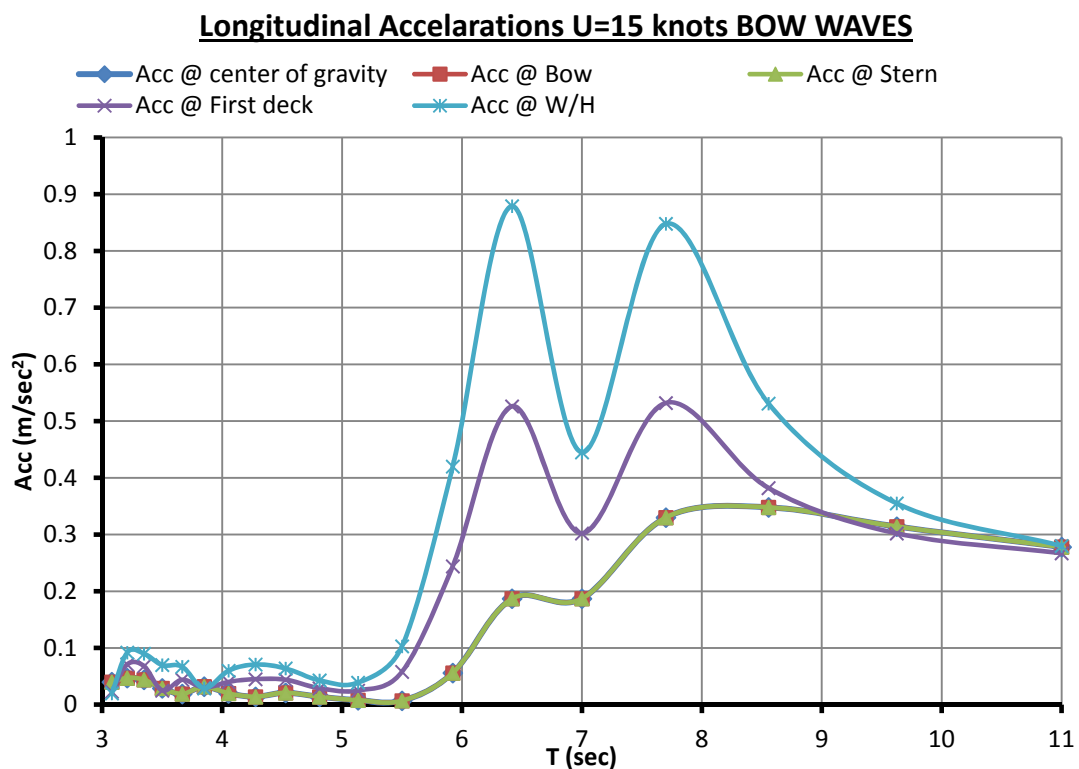
Σχήμα 6.5.57: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) και σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92.



Σχήμα 6.5.58: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.328$) και σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92.

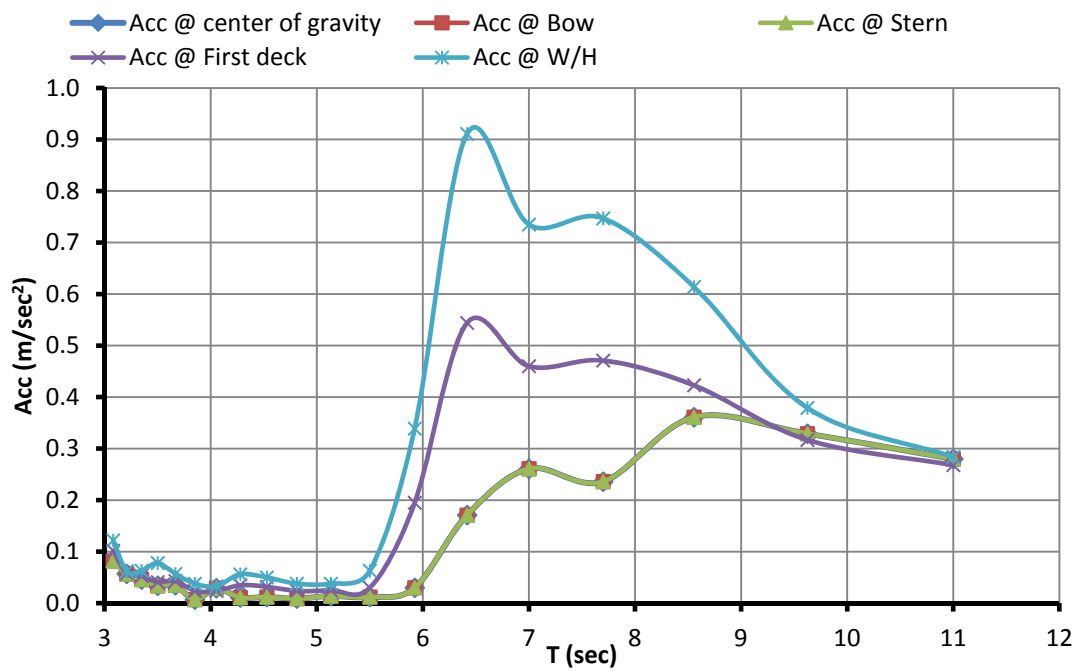


Σχήμα 6.5.59: Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 21 Kn ($F_n=0.355$) και σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) - HULL92.



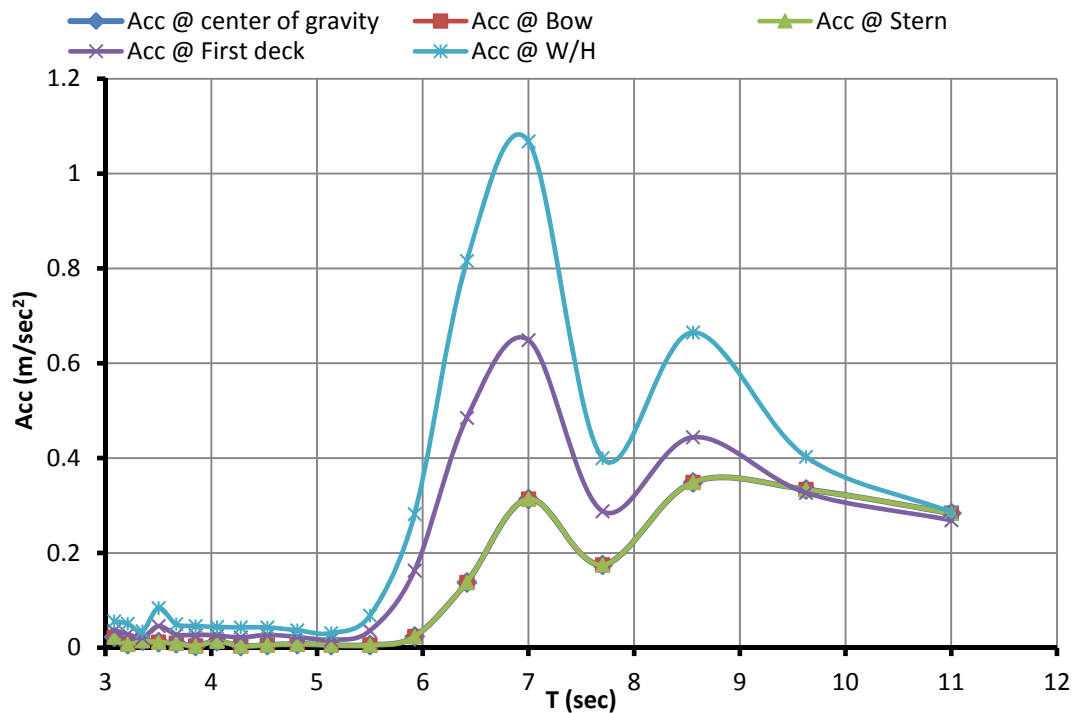
6.5.60 Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) και σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.

Longitudinal Accelerations U=17 knots - BOW WAVES

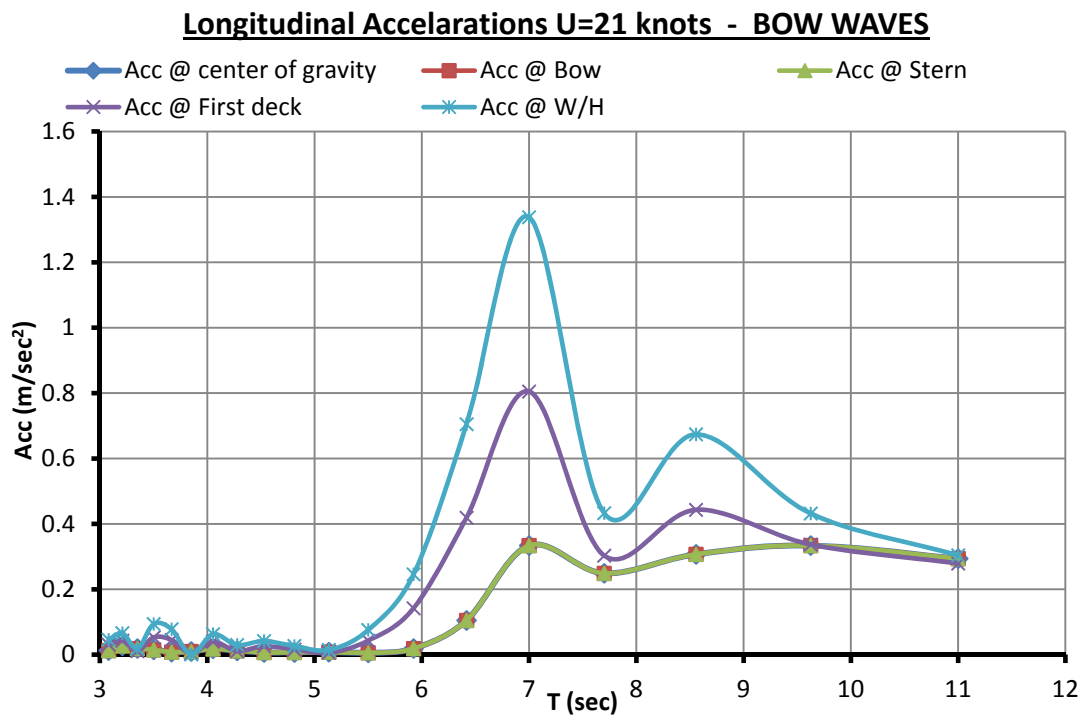


6.5.61 Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) και σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.

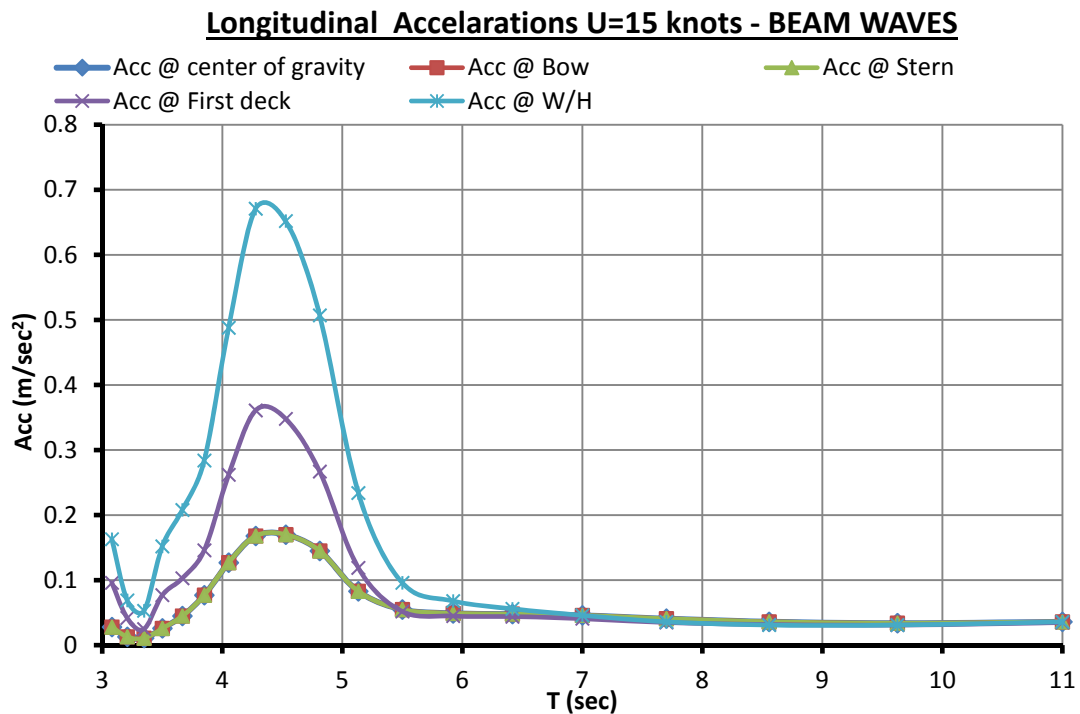
Longitudinal Accelerations U=19knots BOW WAVES



6.5.62 Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.328$) και σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.

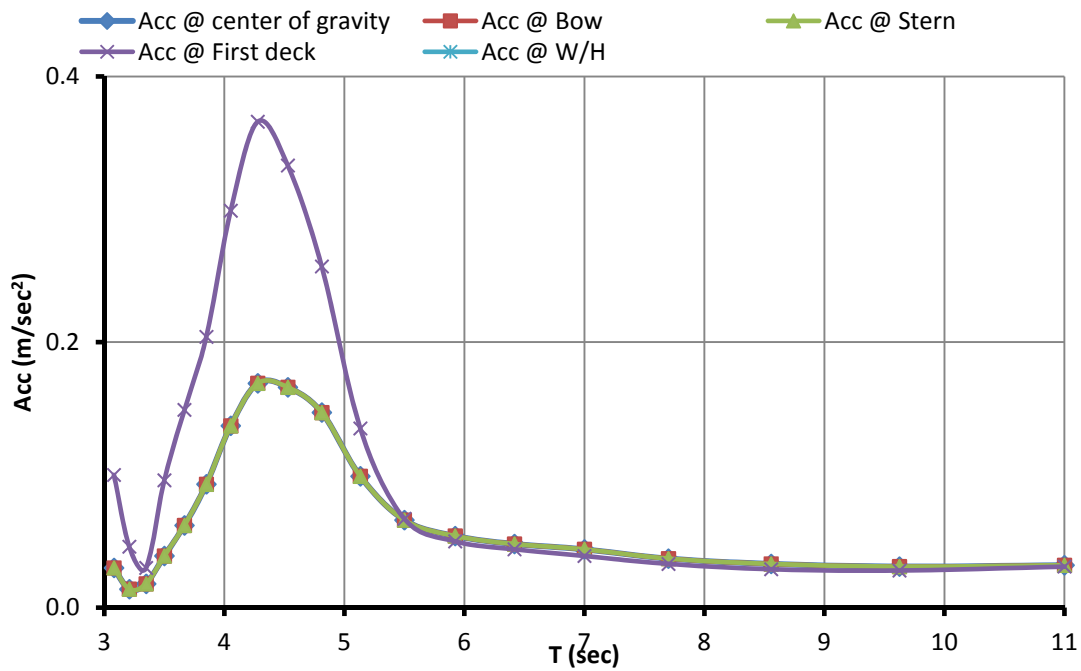


6.5.63 Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 21 Kn ($F_n=0.355$) και σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.



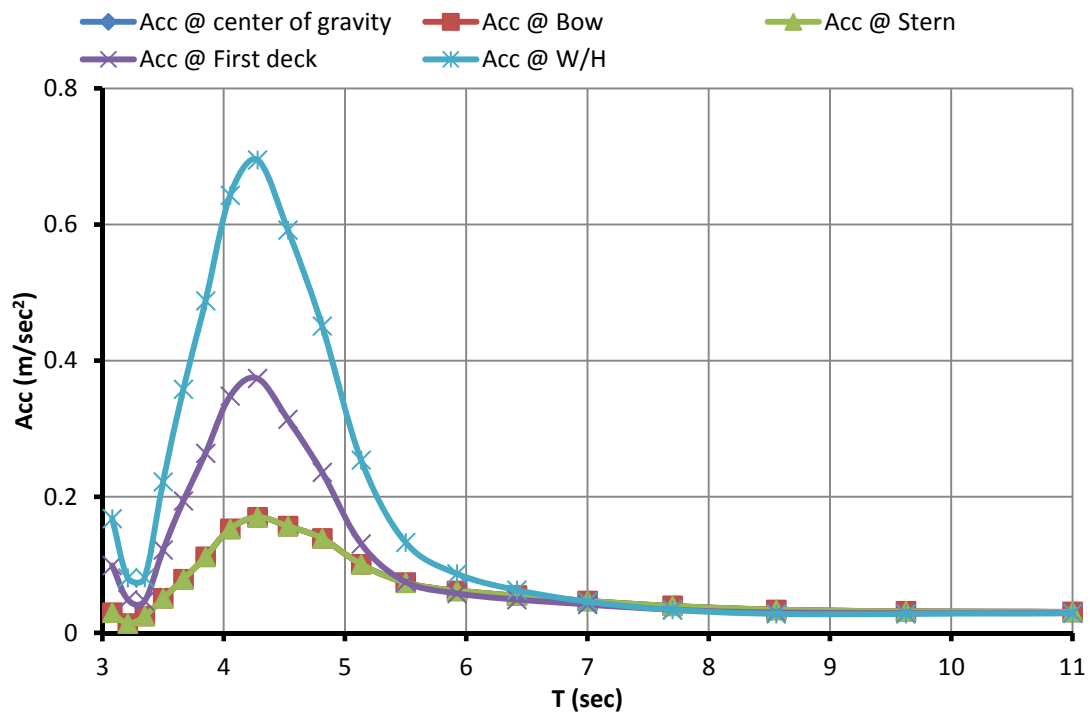
6.5.64 Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) και σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92.

Longitudinal Accelerations U=17 knots - BEAM WAVES

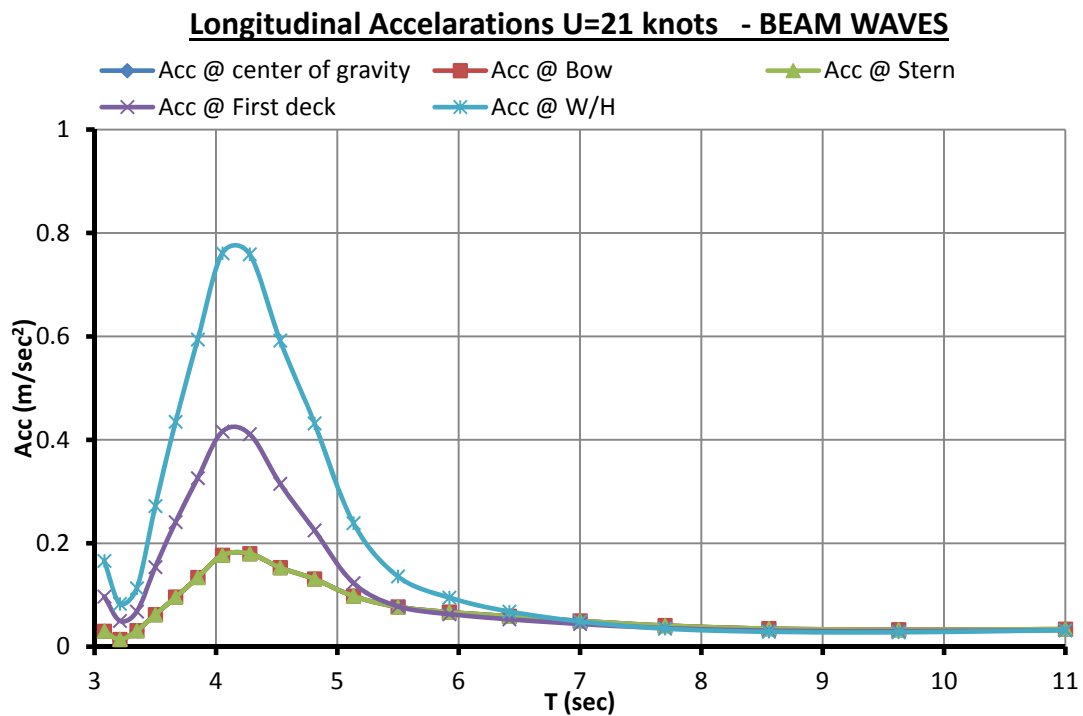


6.5.65 Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) και σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92.

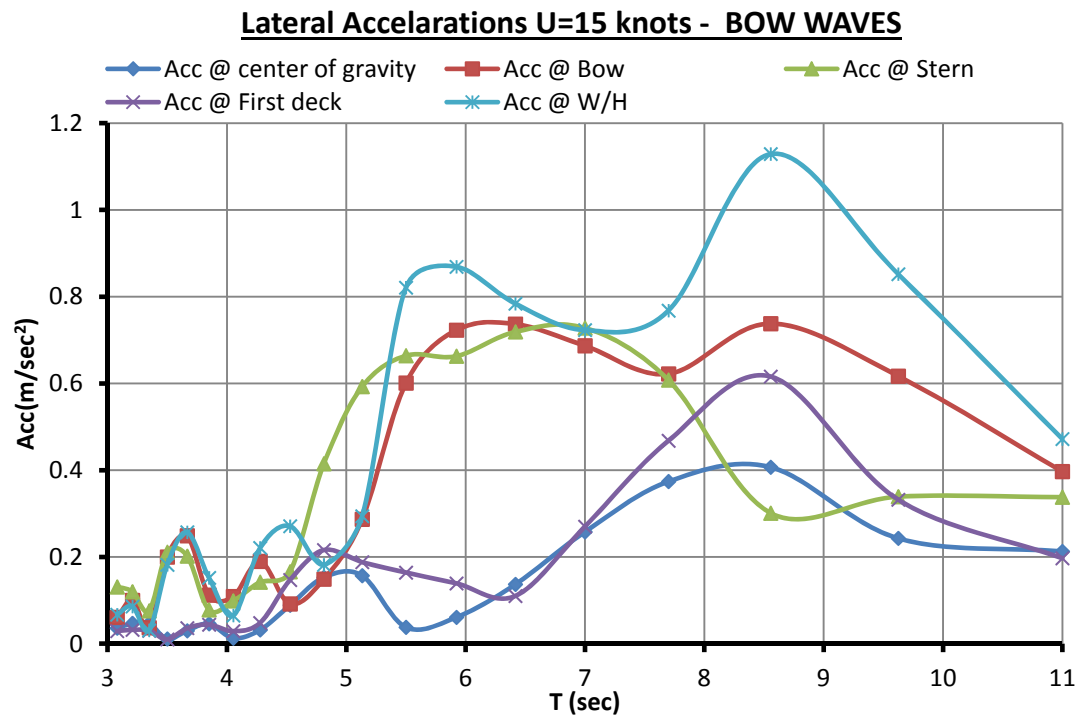
Longitudinal Accelerations U=19 knots - BEAM WAVES



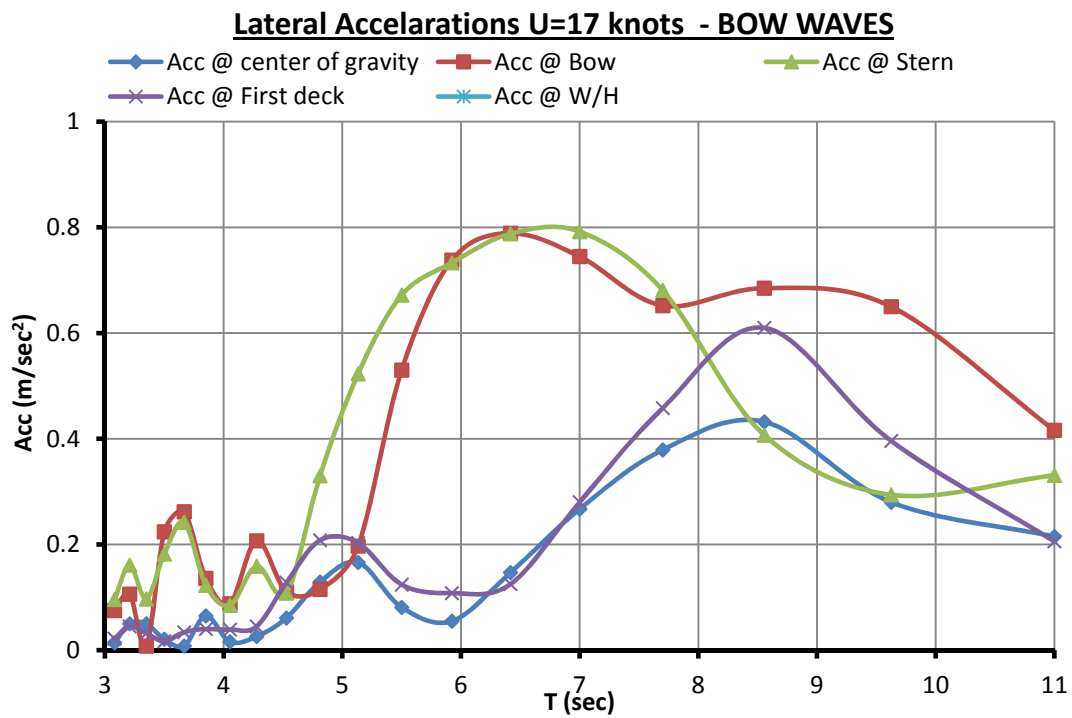
6.5.66 Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) και σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92.



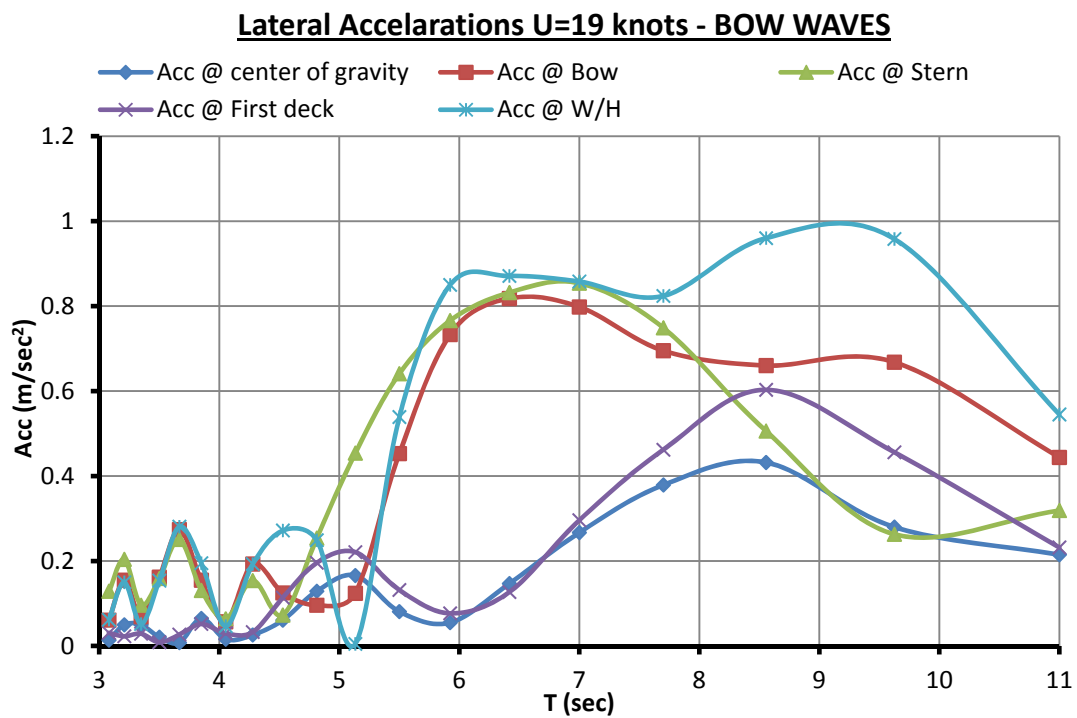
6.5.67 Διάγραμμα συντελεστών RAO διαμήκους επιτάχυνσης σε ταχύτητα 21 Kn ($F_n=0.355$) και σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92.



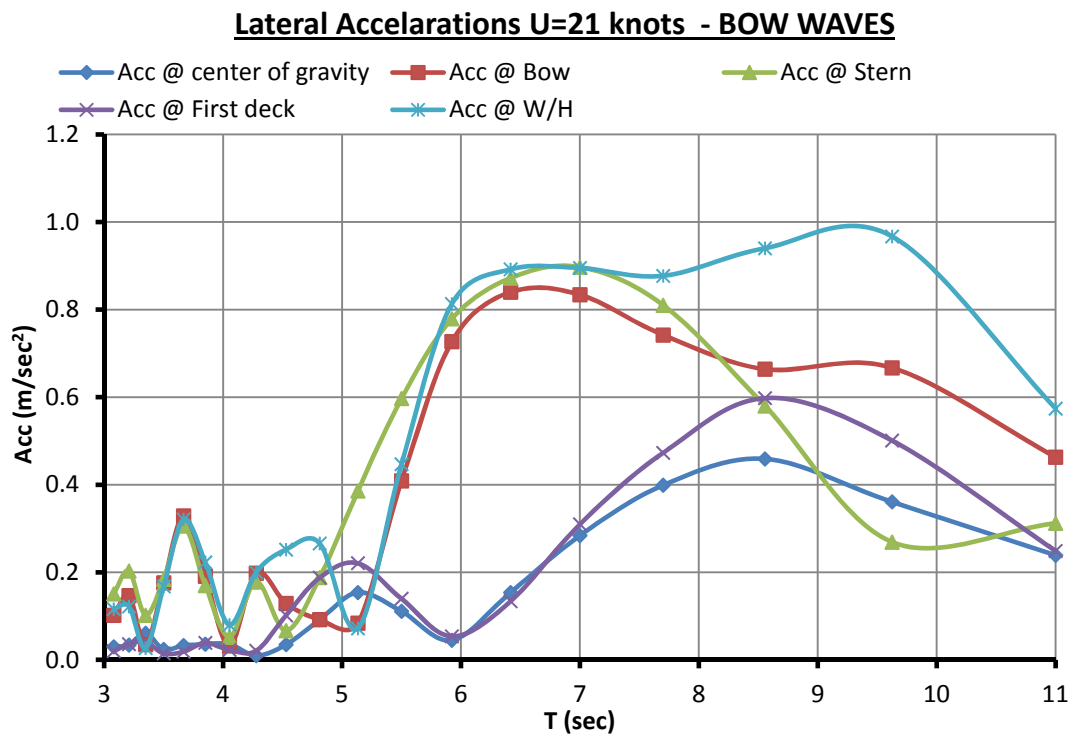
Σχήμα 6.5.68: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) και σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.



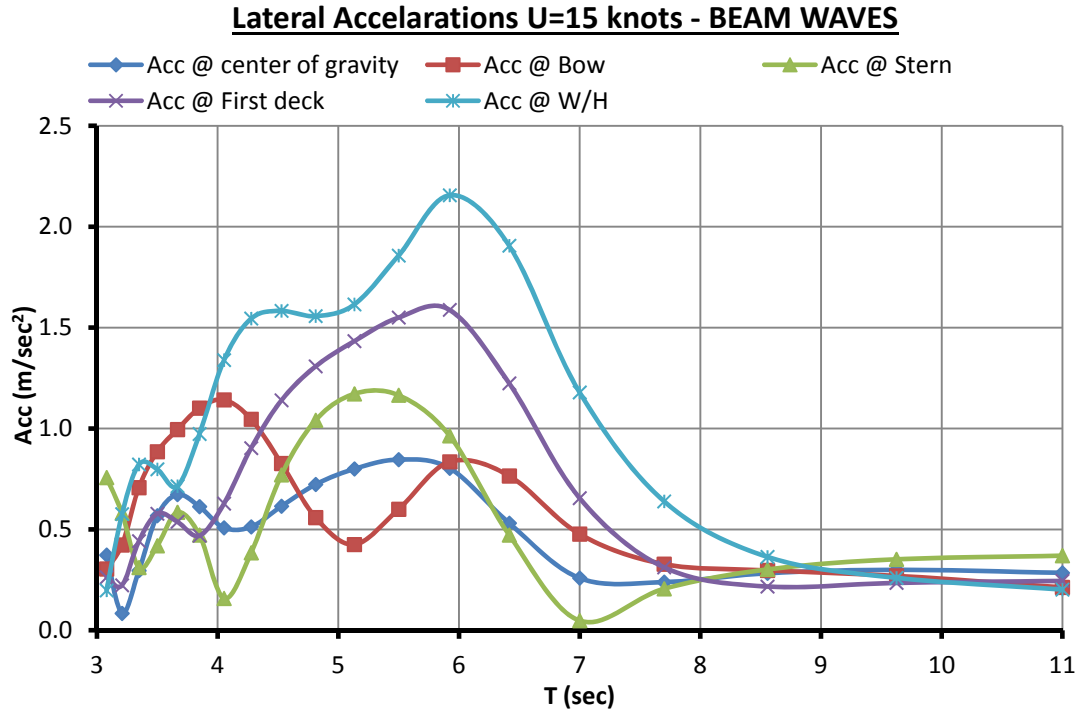
Σχήμα 6.5.69: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) και σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.



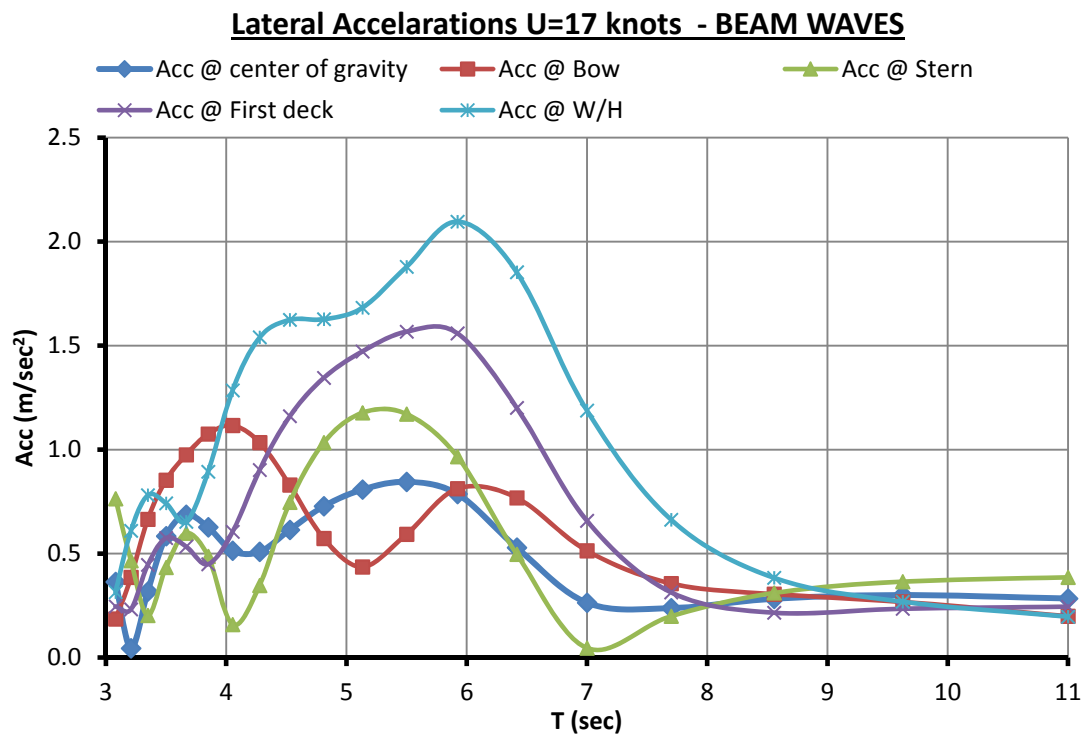
Σχήμα 6.5.70: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.328$) και σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.



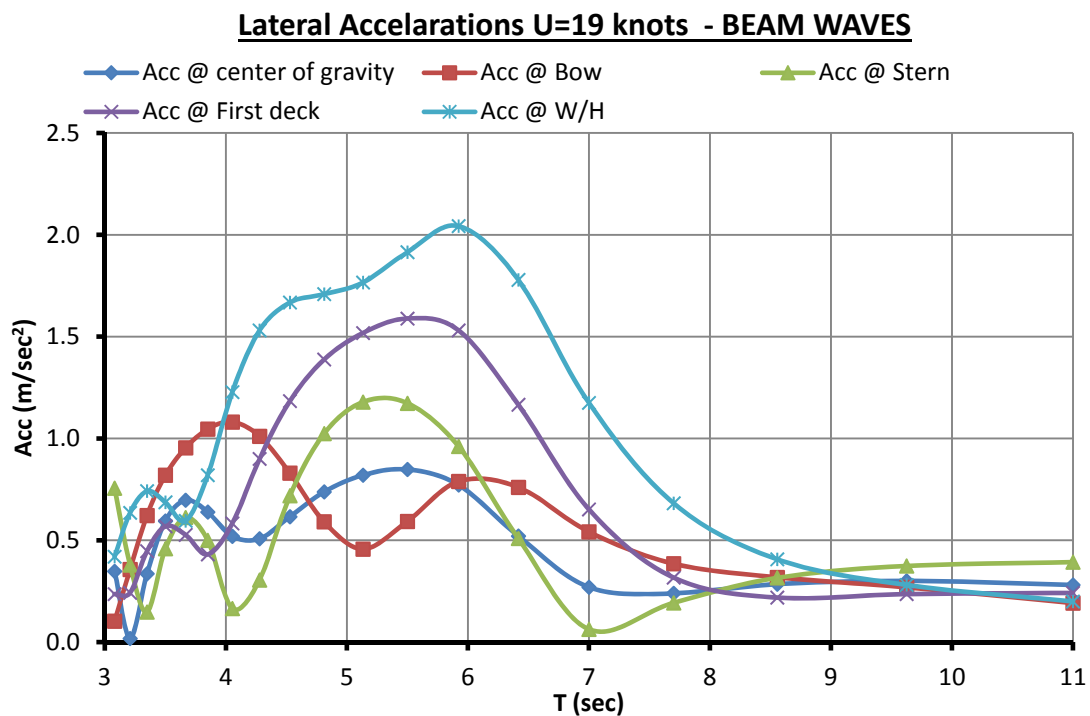
Σχήμα 6.5.71: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 21 Kn ($F_n=0.355$) και σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) - HULL92.



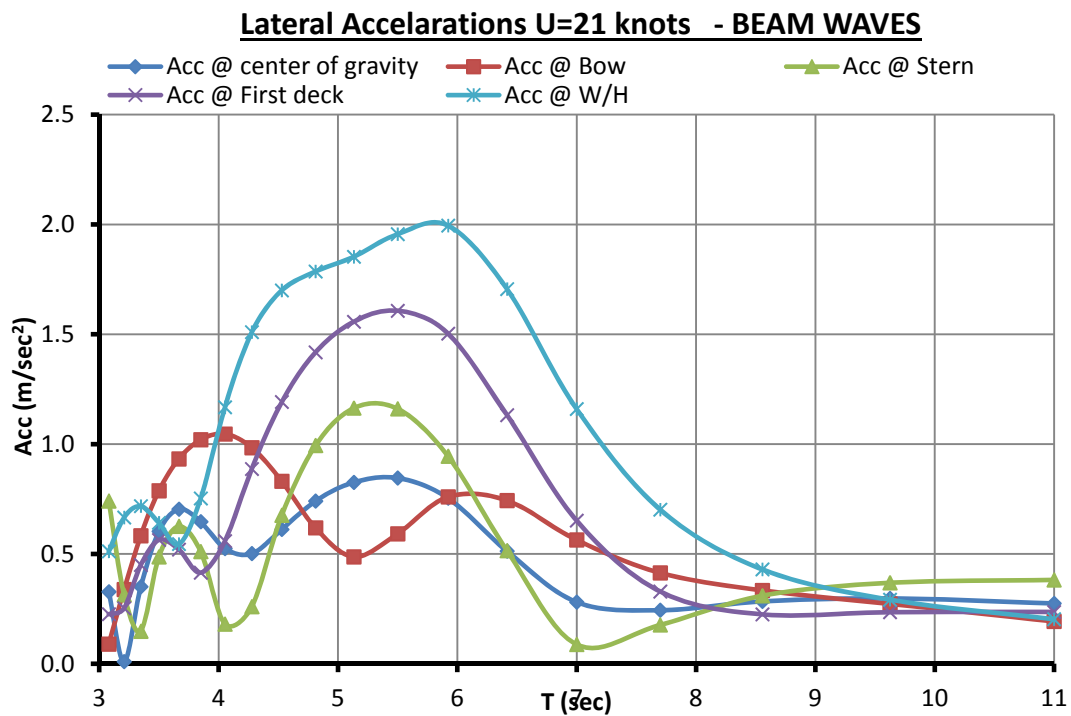
Σχήμα 6.5.72: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 15 Kn ($F_n=0.253$) και σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92.



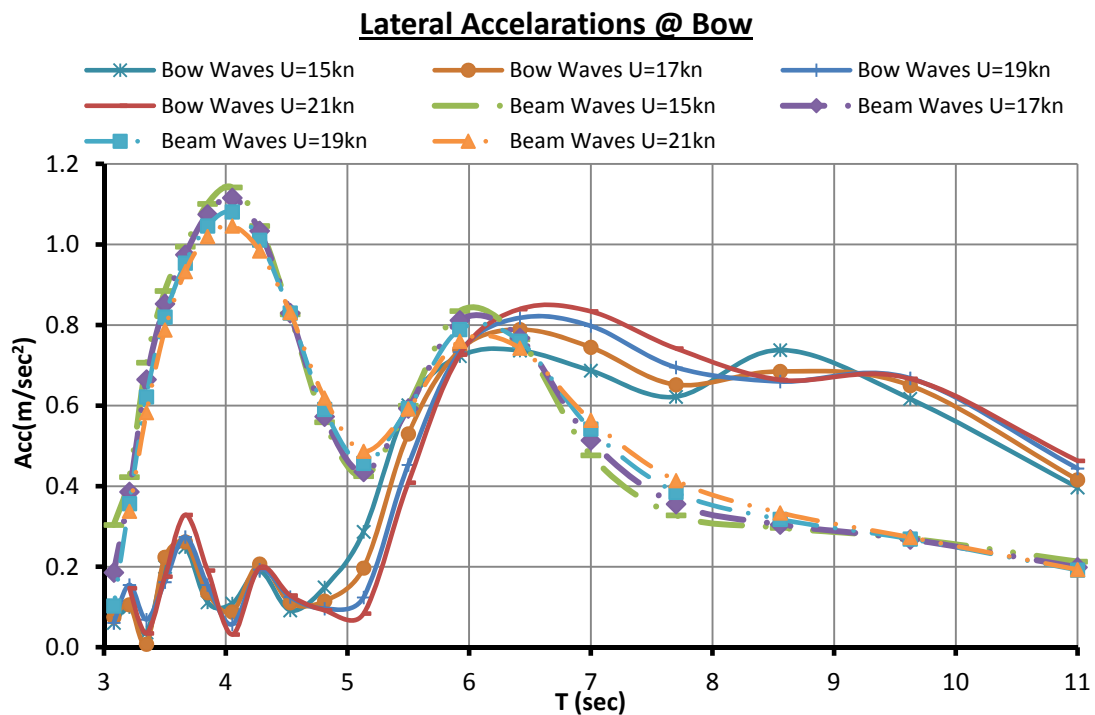
Σχήμα 6.5.73: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 17 Kn ($F_n=0.287$) και σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92.



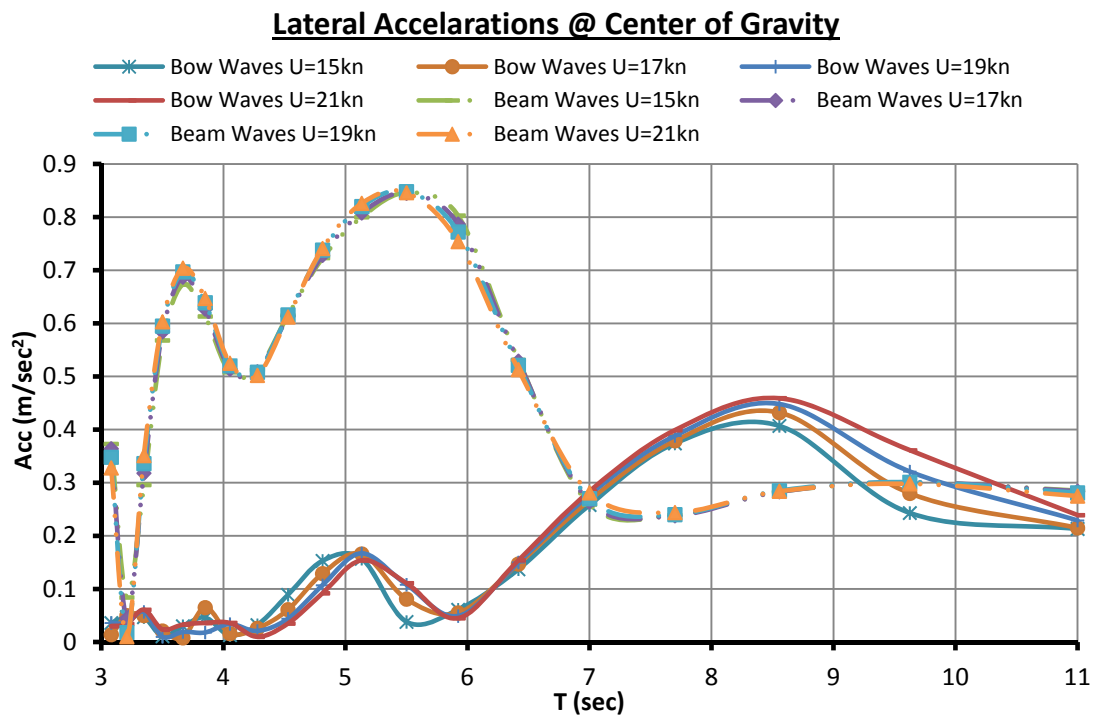
Σχήμα 6.5.74: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 19 Kn ($F_n=0.328$) και σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92.



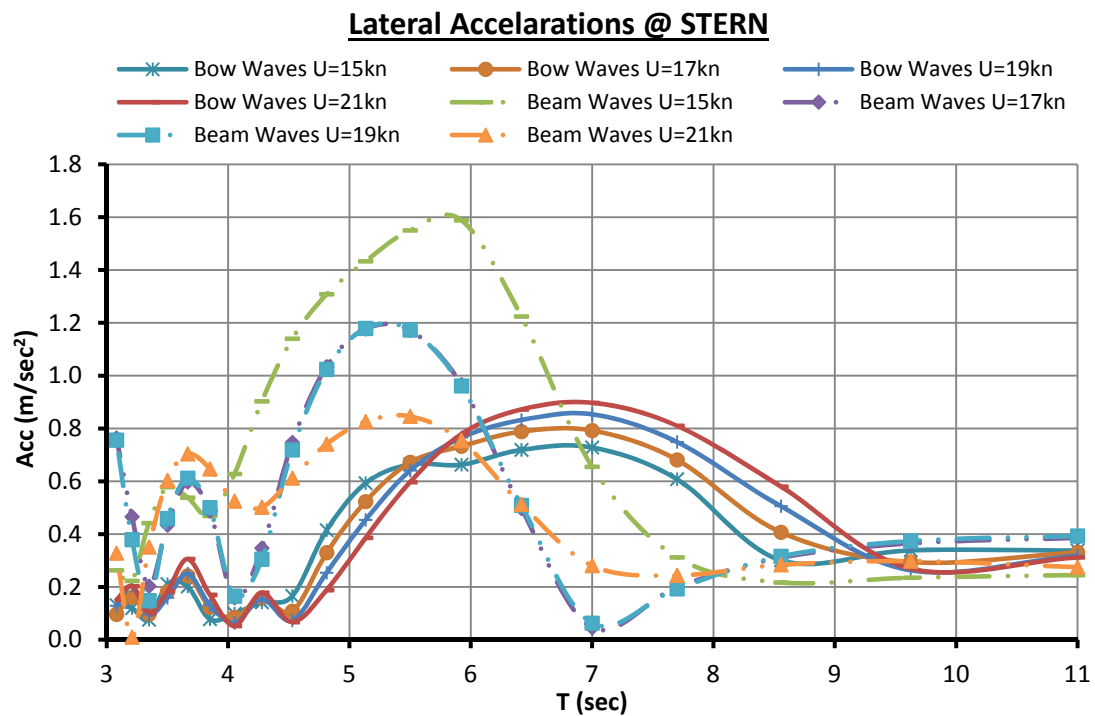
Σχήμα 6.5.75: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης σε ταχύτητα 21 Kn ($F_n=0.355$) και σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) - HULL92.



Σχήμα 6.5.76: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πλώρη- HULL92.



Σχήμα 6.5.77: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους του πλοίου- HULL92.



Σχήμα 6.5.78: Διάγραμμα συντελεστών RAO εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πρύμνη του πλοίου- HULL92.

Από τα σχήματα 6.5.1 έως 6.5.7 που αφορούν τις αποκρίσεις της κίνησης ξ_1 (surge) για την γάστρα HULL74 παρατηρούμε ότι παρουσιάζουν peak σε πλευρικούς κυματισμούς όταν το μήκος του κύματος είναι περίπου ίσο με το πλάτος του πλοίου ($\lambda=B$). Για μήκη κύματος ίσα με το διπλάσιου του πλάτους η απόκριση παρουσιάζει ελάχιστο για όλες τις ταχύτητες ενώ για μεγαλύτερα μήκη κύματος ($\lambda \geq 2B$) η απόκριση αυξάνει σταδιακά. Στην περιοχή αυτή την μεγαλύτερη απόκριση παρουσιάζει η μικρότερη ταχύτητα. Σε μετωπικούς και πλωριούς κυματισμούς για περιόδους μικρότερες ή ίσες με $T=5.5$ sec η απόκριση είναι σχεδόν μηδενική. Επίσης σε μετωπικούς κυματισμούς και αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.30 παρατηρούμε τοπικό μέγιστο για μήκος κύματος ίσο με το μήκος του πλοίου. Σε μεγαλύτερα μήκη κύματος η απόκριση μειώνεται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα.

Από τα σχήματα 6.5.8 έως 6.5.13 που αφορούν την απόκριση της κίνησης ξ_2 (sway) για την γάστρα HULL74 παρατηρούμε ότι σε πλευρικούς κυματισμούς παρουσιάζεται μέγιστο όταν το μήκος του κύματος είναι ίσο με $0.75B$ και ελάχιστο όταν το μήκος κύματος είναι ίσο με $1.25B$. Για μήκη κύματος μεγαλύτερα από $1.25B$ υπάρχει αύξηση της τιμής της απόκρισης. Επίσης σε πλευρικούς κυματισμούς η ταχύτητα του σκάφους δεν επηρεάζει την απόκριση. Η απόκριση είναι μηδενική σε μετωπικούς κυματισμούς, ενώ σε πλωριούς κυματισμούς η απόκριση της κίνησης αυξάνεται καθώς αυξάνει το μήκος του κύματος. Στους πλευρικούς κυματισμούς η επίδραση της ταχύτητας είναι μικρή και το μεγαλύτερο μέρος παρατηρούμε ότι σε μεγαλύτερες ταχύτητας έχουμε μικρότερη απόκριση σε σχέση με τις μικρότερες ταχύτητες.

Από τα σχήματα 6.5.14 έως 6.5.20 που αφορούν την κίνηση ξ_3 (heave) για την γάστρα HULL74 παρατηρούμε σε πλευρικούς κυματισμούς η απόκριση είναι μικρή όταν $\lambda=2B$ γιατί η κάθετη δύναμη σε κάθε γάστρα από το κύμα εξουδετερώνει η μια την άλλη (σε αυτή την περίπτωση η κίνηση ξ_4 (roll) παρουσιάζει μέγιστο). Η επίδραση της ταχύτητας είναι εμφανής μόνο για μήκη κύματος ίσα σχεδόν με το πλάτος του πλοίου, ενώ σε όλες τις άλλες περιοχές δεν υπάρχει σημαντική επίδραση. Σε μετωπικούς κυματισμούς η κίνηση ξ_3 γίνεται μέγιστη όταν το μήκος του κύματος λ είναι ίσο με το L_{BP} ή $1.2L_{BP}$. Επίσης καθώς αυξάνει η ταχύτητα αυξάνει η μέγιστη τιμή της απόκρισης στο σημείο που παρουσιάζει το μέγιστο. Πριν από αυτή την περιοχή η μικρότερες ταχύτητες παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόκριση ενώ μετά συμβαίνει το αντίθετο. Επιπλέον παρατηρούμε ότι, σε πλωριούς και μετωπικούς κυματισμούς η κίνηση ξ_3 είναι ίση το μηδέν για μήκη κύματος λ ίσα με $L_{BP}/2$, ενώ για μήκη κύματος μεγαλύτερα από το μήκος του πλοίου παραμένει σχετικά σταθερή και ίση με την μονάδα.

Από τα σχήματα 6.5.21 έως 6.5.26 που αφορούν στην απόκριση της κίνησης ξ_4 (roll) για την γάστρα HULL74 παρατηρούμε ότι σε πλευρικούς κυματισμούς έχουμε μέγιστο όταν το μήκος του κύματος λ ισούται με $2B$. Για μήκη κύματος πολύ μεγαλύτερα από $2B$ η απόκριση παραμένει σταθερή και είναι λίγο μικρότερη από την

μονάδα. Επίσης καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του πλοίου παρατηρούμε μικρή μείωση του μέγιστου της απόκριση δηλαδή για $\lambda=2B$. Έξω από την περιοχή 1.8B-2.2B η αύξηση ή μείωση της ταχύτητας δεν επηρεάζει την απόκριση.

Από τα σχήματα 6.5.27 έως 6.5.33 που αφορούν του συντελεστές απόκρισης της κίνησης ξ_5 (pitch) για την γάστρα HULL74 παρατηρούμε ότι σε πλευρικούς κυματισμούς η μεγίστη απόκριση παρουσιάζεται όταν το μήκος κύματος λ είναι ίσο με το πλάτος B του πλοίου. Σε μετωπικούς ή πλωριούς κυματισμού για μήκη κύματος $\lambda=2L_{BP}$ η απόκριση παραμένει σχεδόν σταθερή ενώ για μήκη κύματος μέχρι και $0.75L_{BP}$ η απόκριση είναι σχεδόν μηδενική.

Από τα σχήματα 6.5.34 έως 6.5.39 που αφορούν τους συντελεστές της απόκρισης της κίνησης ξ_6 (yaw) για την γάστρα HULL74 παρατηρούμε ότι για πλευρικούς κυματισμούς μεγαλύτερους από το διπλάσιο του πλάτους του πλοίου ($\lambda>2B$) έχουμε σημαντική αύξηση της απόκρισης ιδιαίτερα όσο αυξάνεται η ταχύτητα του σκάφους, ενώ για μήκη κύματος ίσα με το πλάτος του πλοίου ($\lambda=B$) έχουμε πολύ μικρή απόκριση και δεν υπάρχει επίδραση της ταχύτητας του σκάφους. Σε πλωριούς κυματισμούς για μήκη κύματος μικρότερα από το μήκος του πλοίου η απόκριση είναι μικρή και ανεξάρτητη της ταχύτητάς, ενώ για μεγαλύτερα μήκη κύματος η απόκριση αυξάνει. Στην περιοχή αυτή παρατηρείται ότι μείωση της ταχύτητας αυξάνει την απόκριση.

Από τα σχήματα 6.5.40 έως 6.5.55 που αφορούν τους συντελεστές γ_{ao} της κατακόρυφης επιτάχυνσης παρατηρούμε ότι σε μετωπικούς κυματισμούς η απόκριση γίνεται μέγιστη όταν το μήκος του κύματος λ είναι ίσο με το μήκος του πλοίου. Για μήκη πολύ μεγαλύτερα ή μικρότερα από το μήκος του πλοίου η απόκριση είναι πολύ χαμηλή. Η μέγιστη κατακόρυφη επιτάχυνση παρουσιάζεται στην πλώρη και ακολουθεί η γέφυρα και έπειτα στην πρύμνη. Η χαμηλότερη απόκριση παρουσιάζεται στο κέντρο βάρους του πλοίου και το πρώτο κατάστρωμα επιβατών που το σημείο υπολογισμού είναι το μέσο του πλοίου. Οπότε η κατακόρυφη απόκριση εξαρτάται από την διαμήκη θέση του σημείου υπολογισμού και δεν επηρεάζεται από την καθ' ύψος θέση αφού η καμπύλη του σημείου στο κέντρο βάρους και στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών ταυτίζεται. Με την αύξηση της ταχύτητας έχουμε αύξηση της απόκρισης. Αυτό σημαίνει ότι αν θέλουμε να μειώσουμε τις κάθετες επιταχύνσεις θα πρέπει να μειώσουμε την ταχύτητα.

Σε πλευρικούς κυματισμούς η κατακόρυφη επιτάχυνση στην πρύμνη είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τις άλλες θέσεις υπολογισμού. Για όλα τα σημεία υπολογισμού το μέγιστο της κατακόρυφης επιτάχυνση παρουσιάζεται όταν το μήκος του κύματος είναι ίσο με το πλάτος του πλοίου. Επίσης με την αύξηση της ταχύτητας παρατηρούμε ότι ο συντελεστής της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην περιοχή αυτή, όπου παρουσιάζεται το μέγιστο αυξάνει. Για μήκη κύματος ίσα η μεγαλύτερα του

διπλάσιου του πλάτους του πλοίου η απόκριση σχεδόν για όλα τα σημεία ταυτίζεται και είναι πολύ χαμηλή.

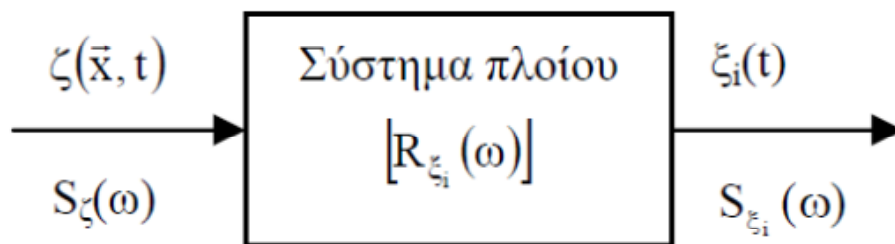
Από τα διαγράμματα 6.5.56 έως 6.4.67 που αφορούν τον συντελεστή απόκρισης της διαμήκου επιτάχυνσης παρατηρούμε ότι σε μετωπικούς κυματισμούς η μέγιστη απόκριση παρατηρείται όταν το μήκος του κύματος είναι ίσο με το μήκος του πλοίου ($\lambda=L_{BP}$), ενώ σε πλευρικούς κυματισμούς το μέγιστο παρουσιάζεται όταν το μήκος του κύματος είναι ίσο με το πλάτος του πλοίου ($\lambda=B$). Επίσης η μέγιστη απόκριση παρουσιάζεται στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών και ακολουθεί η περιοχή της γέφυρας. Η μικρότερη απόκριση παρατηρείται στην πλώρη, στην πρύμνη και στο κέντρο βάρους του πλοίου όπου οι καμπύλες ταυτίζονται. Τα σημεία αυτά βρίσκονται στο ίδιο καθ' ύψος σημείο, που σημαίνει ότι η οριζόντια επιτάχυνση εξαρτάται από την καθ' ύψος θέση υπολογισμού. Επίσης στου πλευρικούς κυματισμούς οι αποκρίσεις όλων των σημείων για μήκη κύματος πολύ μεγαλύτερα από το πλάτος του πλοίου, σχεδόν ταυτίζονται και είναι σχεδόν μηδενικές.

Από τα διαγράμματα 6.5.68 έως 6.5.77 που αφορούν του συντελεστές απόκρισης των εγκάρσιων επιταχύνσεων παρατηρούμε ότι σε πλευρικούς κυματισμούς και σε μήκη κύματος ίσα ή μεγαλύτερα με του διπλάσιο του πλάτους του πλοίου, οι επιταχύνσεις σχεδόν ταυτίζονται και παραμένουν σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Οι μέγιστες τιμές παρουσιάζονται στα σημεία με την υψηλότερη καθ' ύψος θέση και ότι για μήκη κύματος ίσα ή μικρότερα από το διπλάσιο του πλάτους του πλοίου.

7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ RMS ΤΙΜΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ

7.1 ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΣΚΑΦΟΥΣ

Η εκτίμηση της συμπεριφοράς ενός πλοίου σε κυματισμούς γίνεται με τη χρήση των αδιάστατων συντελεστών απόκρισης (Response Amplitude Operator RAO). Συγκεκριμένα, το πλοίο θεωρείται ως γραμμικό σύστημα για κάθε δυναμική απόκριση (αρχή γραμμικής υπέρθεσης). Καθώς λοιπόν έχουμε διέγερση από κάποιον κυματισμό φάσματος $S_{\zeta}(\omega)$, το φάσμα συγκεκριμένης απόκρισης $S_{\xi_i}(\omega)$ εξαρτάται από τη συνάρτηση μεταφοράς $R_{\xi_i}(\omega)$ ως προς την απόκριση αυτή (Σχήμα 7.1.1).



Σχήμα 7.1.1: Συσχέτιση διέγερσης – απόκρισης μέσω συνάρτησης μεταφοράς $R_{\xi_i}(\omega)$ (RAO).

Η γραμμικότητα απόκρισης - διέγερσης περιγράφεται μέσω της γενικής σχέσης

$$S_{\xi_i}(\omega) = \text{RAO}^2 * S_{\zeta}(\omega)$$

Η υπόθεση αυτή προϋποθέτει ότι κατά την πλεύση διαμέσου των κυματισμών οι αλλαγές στα ύφαλα του πλοίου είναι αμελητέες και συνεπώς τα πλάτη των σχετικών κινήσεων είναι μικρά.

Ο υπολογισμός των RMS τιμών των αποκρίσεων για πραγματικές θάλασσες έγινε για τυχαίους κυματισμούς που περιγράφονται από το διπαραμετρικό φάσμα Bretschneider, που ισχύει για ανοιχτές θάλασσες οποιουδήποτε βαθμού ανάπτυξης. Το φάσμα αυτό ορίζεται με τη βοήθεια δύο παραμέτρων: της συχνότητας κορυφής ω_p και του σημαντικού ύψους κύματος $H_{1/3}$ καθώς δίνεται από τη ακόλουθη σχέση:

$$S(\omega) = \frac{5}{16} \left(\frac{\omega_p}{\omega} \right)^5 \frac{\left(\bar{H}_{1/3} \right)^2}{\omega_p} \exp \left\{ -\frac{5}{4} \left(\frac{\omega_p}{\omega} \right)^4 \right\}$$

όπου

ω_p είναι η συχνότητα κορυφής και

$H^{1/3} = H_s = 4\sqrt{m_o}$ είναι το (φασματικό) σημαντικό ύψος κύματος. Η περίοδος κορυφής του φάσματος ορίζεται από την σχέση $T_p = 2\pi / \omega_p$

Η RMS τιμή δίνεται από το παρακάτω τύπο

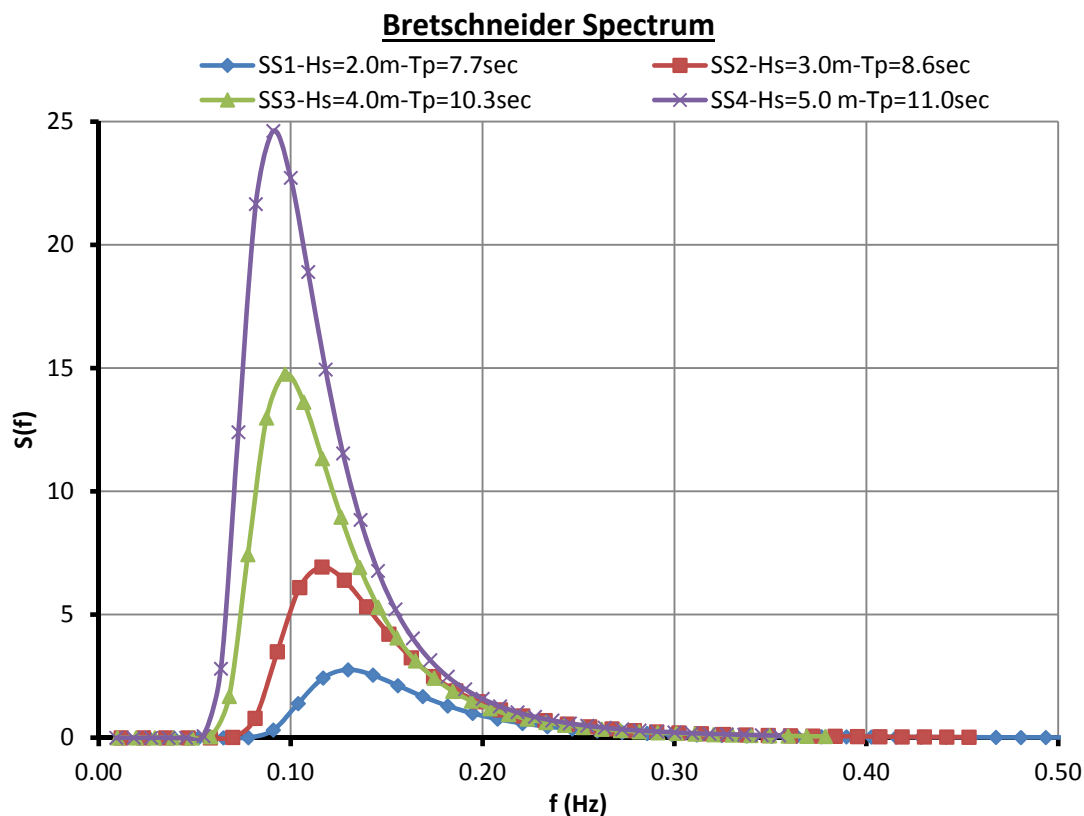
$$RMS = \sqrt{m_o} \text{ όπου } m_o = \int_0^\infty S(\omega) d\omega = \int_0^\infty S(f) df = \int_0^\infty S(\omega) 2\pi df$$

Οι καταστάσεις θάλασσας που επιλέχθηκαν αντιστοιχούν σε θάλασσες που αναπτύσσονται στην Μεσόγειο (Wind and Waves Atlas of West Mediterranean sea, April 2004). Στον πίνακα 7.1 που ακολουθεί φαίνονται τα ύψη κύματος $H_{1/3}$ και οι συχνότητες κορυφής T_p των κυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν.

Sea state	H1/3 [m]	Tp [s]
SS1	2	7.7
SS2	3	8.6
SS3	4	10.3
SS4	5	11.0

Πίνακας 7.1.1: Πίνακας καταστάσεων θάλασσας.

Η γραφική απεικόνιση του φάσματος bretscheider φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 7.1.2: Διπαραμετρικό φάσμα bretscheider των θαλασσών που χρησιμοποιήθηκαν

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι RMS αποκρίσεις των δύο πλοίων για τέσσερις πραγματικές θάλασσες χρησιμοποιώντας το φάσμα Bretschneider χρησιμοποιώντας των παρακάτω τύπο που έχει ήδη αναλυθεί παραπάνω.

$$S_{\xi i}(f) = RAO^2 * S_{\zeta}(f)$$

7.2 RMS ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL74

SURGE (m) -RMS												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.191	0.183	0.163	0.146	0.179	0.171	0.158	0.147	0.054	0.051	0.052	0.054
SS2	0.351	0.333	0.302	0.282	0.316	0.303	0.286	0.269	0.079	0.075	0.074	0.077
SS3	0.567	0.538	0.517	0.486	0.495	0.475	0.461	0.462	0.118	0.103	0.099	0.107
SS4	0.740	0.703	0.677	0.649	0.638	0.617	0.594	0.583	0.149	0.129	0.125	0.139

Πίνακας 7.2.1: Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_1 (surge)

SWAY (m) - RMS												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.112	0.108	0.105	0.102	0.329	0.327	0.326	0.325
SS2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.218	0.208	0.201	0.195	0.570	0.566	0.561	0.558
SS3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.401	0.383	0.366	0.367	0.896	0.885	0.870	0.871
SS4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.548	0.522	0.491	0.480	1.166	1.148	1.128	1.101

Πίνακας 7.2.2: Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_2 (sway)

HEAVE (m) -RMS												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.378	0.402	0.441	0.433	0.369	0.393	0.419	0.433	0.308	0.305	0.303	0.301
SS2	0.616	0.652	0.708	0.744	0.598	0.632	0.666	0.703	0.519	0.513	0.508	0.505
SS3	0.874	0.931	0.990	1.047	0.873	0.906	0.937	0.934	0.794	0.785	0.777	0.776
SS4	1.121	1.170	1.242	1.304	1.117	1.150	1.172	1.222	1.029	1.015	1.007	1.000

Πίνακας 7.2.3: Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_3

ROLL (deg) - RMS												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.725	0.641	0.584	0.532	2.569	2.554	2.535	2.519
SS2	0.000	0.000	0.000	0.000	1.219	1.112	1.034	0.956	3.507	3.486	3.460	3.452
SS3	0.000	0.000	0.000	0.000	1.649	1.557	1.479	1.470	3.816	3.797	3.779	3.774
SS4	0.000	0.000	0.000	0.000	1.999	1.906	1.823	1.764	4.384	4.356	4.341	4.356

Πίνακας 7.2.4: Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_4 (roll)

PITCH (deg) -RMS												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	1.242	1.255	1.150	1.092	0.997	1.001	0.928	0.915	0.296	0.299	0.302	0.306
SS2	2.024	1.998	1.840	1.837	1.547	1.537	1.462	1.421	0.385	0.388	0.382	0.386
SS3	2.588	2.567	2.521	2.443	1.933	1.931	1.890	1.886	0.402	0.391	0.380	0.379
SS4	3.116	3.108	3.042	2.979	2.304	2.318	2.265	2.242	0.454	0.395	0.406	0.397

Πίνακας 7.2.5 Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_5 (pitch)

YAW (deg) -RMS												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.279	0.261	0.247	0.233	0.202	0.223	0.259	0.272
SS2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.474	0.440	0.413	0.387	0.316	0.347	0.402	0.433
SS3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.707	0.660	0.624	0.624	0.570	0.575	0.638	0.633
SS4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.903	0.845	0.795	0.752	0.830	0.808	0.870	0.957

Πίνακας 7.2.6: Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ6 (yaw)

Από τον πίνακα 7.2.1 παρατηρούμε ότι οι RMS τιμές για την κίνηση ξ1 (surge) για μετωπικούς και πλωριούς κυματισμούς μειώνονται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του σκάφους, ενώ για πλευρικούς κυματισμούς οι τιμές παραμένουν σταθερές. Αυτό συμβαίνει για σε πλευρικούς κυματισμούς η μέγιστη απόκριση του πλοίου παρουσιάζεται για περίοδο $T=4$ ενώ η απόκριση του φάσματος στην περίοδο αυτή είναι πολύ μικρή.

Από τον πίνακα 7.2.2 παρατηρούμε ότι οι RMS τιμές για την κίνηση ξ2 (sway) για πλωριούς κυματισμούς μειώνονται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του σκάφους. Μικρή μείωση των RMS τιμών επίσης παρατηρούμε και σε πλευρικούς κυματισμούς.

Στον πίνακα 7.2.3 παρατηρούμε ότι οι RMS τιμές της κίνησης ξ3 (Heave) αυξάνονται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα στην περίπτωση των πλωριών και των μετωπικών κυματισμών, ενώ παραμένουν σχετικά σταθερές δηλαδή είναι ανεξάρτητες της ταχύτητας του πλοίου στην περίπτωση των πλευρικών κυματισμών.

Στον πίνακα 7.2.4 παρατηρούμε ότι οι RMS τιμές της κίνησης ξ4 (Roll) μειώνονται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του σκάφους στην περίπτωση των πλωριών κυματισμών. Σε πλευρικούς κυματισμούς οι RMS τιμές παραμένουν σχετικά σταθερές και η επίδραση της ταχύτητας είναι αμελητέα.

Στον πίνακα 7.2.5 παρατηρούμε ότι οι RMS τιμές της κίνησης ξ5 (Pitch) μειώνονται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του σκάφους στην περίπτωση των πλωριών και μετωπικών κυματισμών, ενώ παραμένουν σχετικά σταθερές πλοίου στην περίπτωση των πλευρικών κυματισμών.

Στον πίνακα 7.2.6 παρατηρούμε ότι οι RMS τιμές της κίνησης ξ6 (yaw) μειώνονται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του σκάφους στην περίπτωση των πλωριών και μετωπικών κυματισμών, ενώ αυξάνονται με την αύξηση της ταχύτητας στην περίπτωση των πλευρικών κυματισμών.

Επίσης σε όλες σε όλους τους παραπάνω πίνακες (7.2.1-7.2.6) παρατηρούμε ότι για ίδιες ταχύτητες οι RMS τιμές αυξάνονται καθώς αυξάνεται το ύψος κύματος, όπως είναι αναμενόμενο.

7.3 RMS ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL74

VERTICAL ACCELERATION (g) @ COG												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.068	0.076	0.089	0.091	0.059	0.067	0.076	0.082	0.033	0.032	0.032	0.032
SS2	0.100	0.113	0.131	0.146	0.084	0.096	0.108	0.121	0.044	0.043	0.042	0.042
SS3	0.114	0.135	0.155	0.175	0.096	0.111	0.123	0.137	0.046	0.045	0.044	0.043
SS4	0.133	0.157	0.181	0.204	0.111	0.128	0.143	0.159	0.050	0.050	0.049	0.049

Πίνακας 7.3.1: Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους του πλοίου

VERTICAL ACCELERATION (g) @ BOW												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.192	0.200	0.199	0.199	0.143	0.152	0.149	0.154	0.031	0.032	0.034	0.037
SS2	0.290	0.295	0.296	0.309	0.205	0.212	0.217	0.223	0.041	0.043	0.044	0.043
SS3	0.324	0.340	0.357	0.366	0.225	0.243	0.247	0.257	0.043	0.045	0.044	0.046
SS4	0.376	0.395	0.413	0.429	0.256	0.275	0.285	0.297	0.047	0.047	0.049	0.051

Πίνακας 7.3.2: Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πλώρη

VERTICAL ACCELERATION (g) @ STERN												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.122	0.148	0.172	0.191	0.095	0.110	0.124	0.145	0.066	0.067	0.066	0.066
SS2	0.183	0.217	0.238	0.285	0.136	0.156	0.170	0.197	0.082	0.083	0.081	0.081
SS3	0.213	0.242	0.279	0.313	0.153	0.176	0.190	0.216	0.078	0.078	0.073	0.068
SS4	0.249	0.281	0.319	0.362	0.176	0.196	0.219	0.248	0.076	0.076	0.072	0.070

Πίνακας 7.3.3: Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρύμνη

VERTICAL ACCELERATION (g) @ FIRST DECK												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.069	0.076	0.089	0.091	0.059	0.067	0.076	0.082	0.033	0.032	0.032	0.032
SS2	0.101	0.114	0.131	0.146	0.084	0.096	0.108	0.031	0.044	0.043	0.042	0.050
SS3	0.115	0.136	0.156	0.176	0.096	0.111	0.123	0.137	0.046	0.045	0.044	0.043
SS4	0.134	0.158	0.182	0.204	0.111	0.128	0.144	0.159	0.052	0.051	0.050	0.049

Πίνακας 7.3.4: Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης κατάστρωμα επιβατών

VERTICAL ACCELERATION (g) @ W/H												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.169	0.176	0.175	0.174	0.127	0.135	0.133	0.137	0.027	0.028	0.030	0.032
SS2	0.255	0.259	0.261	0.272	0.182	0.189	0.194	0.200	0.038	0.039	0.040	0.043
SS3	0.285	0.301	0.315	0.324	0.200	0.216	0.221	0.230	0.041	0.042	0.042	0.043
SS4	0.331	0.349	0.366	0.380	0.228	0.245	0.256	0.267	0.046	0.046	0.048	0.050

Πίνακας 7.3.5: Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στην γέφυρα

LONGITUDINAL ACCELERATION (g) @ COG												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.017	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.015	0.015	0.004	0.004	0.004	0.004
SS2	0.030	0.030	0.028	0.029	0.026	0.026	0.025	0.025	0.005	0.005	0.005	0.006
SS3	0.041	0.041	0.041	0.041	0.034	0.034	0.034	0.034	0.006	0.006	0.006	0.006
SS4	0.051	0.051	0.051	0.051	0.041	0.042	0.042	0.042	0.007	0.006	0.006	0.007

Πίνακας 7.3.6 Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκου επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους του πλοίου

LONGITUDINAL ACCELERATION (g) @ BOW												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.017	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.015	0.015	0.004	0.004	0.004	0.004
SS2	0.030	0.030	0.028	0.029	0.026	0.026	0.025	0.025	0.005	0.005	0.005	0.006
SS3	0.041	0.041	0.041	0.041	0.034	0.034	0.034	0.034	0.006	0.006	0.006	0.006
SS4	0.051	0.051	0.051	0.051	0.041	0.042	0.042	0.042	0.007	0.006	0.006	0.007

Πίνακας 7.3.7: Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκους επιτάχυνσης στην πλώρη

LONGITUDINAL ACCELERATION (g) @ STERN												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.017	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.015	0.015	0.004	0.004	0.004	0.004
SS2	0.030	0.030	0.028	0.029	0.026	0.026	0.025	0.025	0.005	0.000	0.005	0.006
SS3	0.041	0.041	0.041	0.041	0.034	0.034	0.034	0.034	0.006	0.003	0.006	0.006
SS4	0.051	0.051	0.051	0.051	0.041	0.042	0.042	0.042	0.007	0.006	0.006	0.007

Πίνακας 7.3.8: Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκους επιτάχυνσης στην πρύμνη

LONGITUDINAL ACCELERATION (g) @ FIRST DECK												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.020	0.021	0.022	0.022	0.017	0.018	0.018	0.018	0.004	0.004	0.004	0.004
SS2	0.033	0.034	0.033	0.035	0.027	0.027	0.027	0.028	0.005	0.005	0.005	0.006
SS3	0.044	0.044	0.045	0.046	0.035	0.035	0.036	0.036	0.006	0.005	0.005	0.005
SS4	0.053	0.054	0.055	0.056	0.042	0.043	0.043	0.044	0.006	0.006	0.006	0.006

Πίνακας 7.3.9: Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκους επιτάχυνσης στο κατάστρωμα επιβατών

LONGITUDINAL ACCELERATION (g) @ W/H												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.027	0.030	0.031	0.032	0.022	0.023	0.023	0.025	0.006	0.006	0.006	0.006
SS2	0.043	0.045	0.045	0.049	0.033	0.034	0.034	0.036	0.007	0.007	0.007	0.008
SS3	0.053	0.055	0.057	0.059	0.040	0.041	0.042	0.043	0.007	0.007	0.007	0.007
SS4	0.063	0.066	0.068	0.071	0.047	0.048	0.050	0.051	0.007	0.007	0.007	0.007

Πίνακας 7.3.10: Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκους επιτάχυνσης στην γέφυρα

LATERAL ACCELERATION (g) @ COG												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.017	0.017	0.018	0.028	0.028	0.028	0.028
SS2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.025	0.027	0.028	0.038	0.037	0.037	0.037
SS3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.032	0.034	0.036	0.042	0.042	0.042	0.041
SS4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037	0.039	0.041	0.043	0.049	0.049	0.048	0.047

Πίνακας 7.3.11: Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους του πλοίου

LATERAL ACCELERATION (g) @ BOW												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037	0.038	0.039	0.040	0.032	0.033	0.033	0.033
SS2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054	0.056	0.057	0.058	0.042	0.042	0.042	0.043
SS3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.064	0.066	0.068	0.069	0.042	0.042	0.042	0.043
SS4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.075	0.077	0.079	0.081	0.046	0.046	0.047	0.047

Πίνακας 7.3.12: Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πλώρη

LATERAL ACCELERATION (g) @ STERN												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.034	0.036	0.038	0.033	0.034	0.034	0.034
SS2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.043	0.048	0.050	0.053	0.045	0.046	0.047	0.046
SS3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.051	0.054	0.058	0.059	0.053	0.053	0.055	0.055
SS4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060	0.064	0.068	0.069	0.063	0.063	0.065	0.065

Πίνακας 7.3.13: Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πρύμνη

LATERAL ACCELERATION (g) @ FIRST DECK												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.019	0.020	0.020	0.039	0.039	0.039	0.039
SS2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.029	0.030	0.031	0.051	0.051	0.051	0.050
SS3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034	0.036	0.038	0.039	0.053	0.053	0.052	0.052
SS4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.041	0.043	0.044	0.046	0.060	0.060	0.059	0.059

Πίνακας 7.3.14: Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στο κατάστρωμα επιβατών

LATERAL ACCELERATION (g) @ W/H												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	13	15	17	19	13	15	17	19	13	15	17	19
SS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040	0.040	0.040	0.041	0.053	0.053	0.052	0.052
SS2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.059	0.059	0.060	0.061	0.068	0.068	0.067	0.067
SS3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.070	0.071	0.072	0.073	0.067	0.067	0.066	0.066
SS4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.081	0.083	0.084	0.086	0.074	0.074	0.073	0.073

Πίνακας 7.3.15: Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στην γέφυρα.

Στους πίνακες 7.3.1 έως 7.3.5 παρατηρούμε ότι RMS τιμές των κάθετων επιταχύνσεων αυξάνονται καθώς αυξάνεται η ταχύτητά του σκάφους στην περίπτωση των μετωπικών και πλωριών κυματισμών, σε όλα τα σημεία υπολογισμού που

φαίνονται στον πίνακα 6.3.1. Στην περίπτωση των πλευρικών κυματισμών η επίδραση της ταχύτητας του σκάφους είναι αμελητέα.

Στους πίνακες 7.3.6 έως 7.3.10 και 7.3.11 έως 7.3.15 που αφορούν τις RMS τιμές των οριζόντιων και εγκάρσιων επιταχύνσεων αντίστοιχα παρατηρούμε ότι η επίδραση της ταχύτητας του σκάφους είναι αμελητέα.

Επίσης στους παραπάνω πίνακες παρατηρούμε ότι όλες οι RMS των όλων των επιταχύνσεων αυξάνονται καθώς το ύψος του κύματος αυξάνει.

7.4 RMS ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL92

SURGE (m) -RMS												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.146	0.139	0.121	0.116	0.142	0.132	0.121	0.117	0.054	0.054	0.056	0.057
SS2	0.280	0.270	0.242	0.231	0.260	0.250	0.232	0.220	0.077	0.076	0.077	0.080
SS3	0.493	0.474	0.441	0.419	0.438	0.424	0.405	0.385	0.103	0.098	0.099	0.105
SS4	0.659	0.623	0.598	0.567	0.584	0.563	0.535	0.518	0.131	0.123	0.124	0.134

Πίνακας 7.4.1: Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_1 (surge)

SWAY (m) - RMS												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.084	0.083	0.081	0.080	0.269	0.270	0.269	0.269
SS2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.169	0.165	0.161	0.157	0.486	0.486	0.485	0.483
SS3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.331	0.320	0.310	0.302	0.806	0.801	0.795	0.786
SS4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.464	0.447	0.423	0.419	1.067	1.057	1.045	1.032

Πίνακας 7.4.2: Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_2 (sway)

HEAVE (m) - RMS												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.269	0.270	0.269	0.269	0.354	0.391	0.407	0.406	0.274	0.271	0.266	0.264
SS2	0.486	0.486	0.485	0.483	0.585	0.627	0.671	0.687	0.460	0.455	0.449	0.446
SS3	0.806	0.801	0.795	0.786	0.846	0.889	0.940	0.978	0.723	0.715	0.708	0.703
SS4	1.067	1.057	1.045	1.032	1.079	1.128	1.172	1.221	0.947	0.934	0.926	0.920

Πίνακας 7.4.3: Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_3 (heave)

ROLL (deg) - RMS												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.451	0.398	0.360	0.330	2.115	2.109	2.095	2.087
SS2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.841	0.773	0.712	0.663	2.979	2.971	2.949	2.941
SS3	0.000	0.000	0.000	0.000	1.283	1.218	1.159	1.109	3.363	3.353	3.334	3.333
SS4	0.000	0.000	0.000	0.000	1.603	1.538	1.464	1.418	3.890	3.876	3.858	3.862

Πίνακας 7.4.4: Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_4 (roll)

PITCH (deg) - RMS												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.891	0.906	0.828	0.817	0.759	0.736	0.684	0.700	0.297	0.302	0.305	0.314
SS2	1.520	1.553	1.370	1.431	1.209	1.221	1.140	1.132	0.378	0.382	0.383	0.393
SS3	2.147	2.179	2.060	2.055	1.623	1.628	1.583	1.536	0.382	0.379	0.376	0.381
SS4	2.645	2.654	2.555	2.563	1.974	1.983	1.932	1.895	0.442	0.418	0.434	0.443

Πίνακας 7.4.5: Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ_5 (pitch)

YAW(deg) - RMS												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.193	0.184	0.177	0.171	0.163	0.177	0.187	0.190
SS2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.338	0.318	0.303	0.287	0.243	0.270	0.290	0.294
SS3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.532	0.501	0.474	0.445	0.370	0.413	0.451	0.453
SS4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.690	0.654	0.610	0.577	0.516	0.563	0.613	0.613

Πίνακας 7.4.6 Πίνακας RMS αποκρίσεων κίνησης ξ6 (yaw)

Από τον πίνακα 7.4.1 παρατηρούμε ότι οι RMS τιμές για την κίνηση ξ1 (surge) για μετωπικούς και πλωριούς κυματισμούς μειώνονται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του σκάφους, ενώ για πλευρικούς κυματισμούς οι τιμές παραμένουν σταθερές. Αυτό συμβαίνει για σε πλευρικούς κυματισμούς η μέγιστη απόκριση του πλοίου παρουσιάζεται για περίοδο $T=4.5\text{sec}$ ενώ η απόκριση του φάσματος στην περίοδο αυτή είναι πολύ μικρή.

Από τον πίνακα 7.5.2 παρατηρούμε ότι οι RMS τιμές για την κίνηση ξ2 (sway) για πλωριούς κυματισμούς μειώνονται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του σκάφους. Μικρή μείωση των RMS τιμών επίσης παρατηρούμε και σε πλευρικούς κυματισμούς.

Στον πίνακα 7.5.3 παρατηρούμε ότι οι RMS τιμές της κίνησης ξ3 (Heave) αυξάνονται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα στην περίπτωση των πλωριών και των μετωπικών κυματισμών, ενώ παραμένουν σχετικά σταθερές δηλαδή είναι ανεξάρτητες της ταχύτητας του πλοίου στην περίπτωση των πλευρικών κυματισμών.

Στον πίνακα 7.5.4 παρατηρούμε ότι οι RMS τιμές της κίνησης ξ4 (Roll) μειώνονται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του σκάφους στην περίπτωση των πλωριών κυματισμών. Σε πλευρικούς κυματισμούς οι RMS τιμές παραμένουν σχετικά σταθερές.

Στον πίνακα 7.5.5 παρατηρούμε ότι οι RMS τιμές της κίνησης ξ5 (Pitch) μειώνονται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του σκάφους στην περίπτωση των πλωριών και μετωπικών κυματισμών, ενώ παραμένουν σχετικά σταθερές πλοίου στην περίπτωση των πλευρικών κυματισμών.

Στον πίνακα 7.5.6 παρατηρούμε ότι οι RMS τιμές της κίνησης ξ6 (yaw) μειώνονται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του σκάφους στην περίπτωση των πλωριών και μετωπικών κυματισμών, ενώ αυξάνονται με την αύξηση της ταχύτητας στην περίπτωση των πλευρικών κυματισμών.

Επίσης σε όλες σε όλους τους παραπάνω πίνακες (7.5.1-7.5.6) παρατηρούμε ότι για ίδιες ταχύτητες οι RMS τιμές αυξάνονται καθώς αυξάνεται το ύψος κύματος, όπως είναι αναμενόμενο.

7.5 RMS ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL92

VERTICAL ACCELERATION (g) @ COG												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.060	0.067	0.076	0.076	0.054	0.062	0.068	0.070	0.032	0.032	0.031	0.030
SS2	0.096	0.106	0.105	0.129	0.081	0.091	0.102	0.109	0.043	0.042	0.041	0.040
SS3	0.118	0.134	0.154	0.165	0.096	0.108	0.121	0.133	0.046	0.045	0.044	0.043
SS4	0.138	0.160	0.180	0.198	0.112	0.126	0.142	0.155	0.050	0.048	0.046	0.045

Πίνακας 7.5.1: Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους του πλοίου

VERTICAL ACCELERATION (g) @ BOW												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.151	0.162	0.160	0.157	0.121	0.128	0.122	0.125	0.029	0.030	0.031	0.034
SS2	0.243	0.259	0.236	0.259	0.181	0.193	0.193	0.193	0.039	0.040	0.042	0.045
SS3	0.306	0.326	0.329	0.335	0.217	0.227	0.236	0.237	0.042	0.043	0.043	0.045
SS4	0.360	0.386	0.387	0.409	0.252	0.266	0.275	0.280	0.048	0.049	0.050	0.052

Πίνακας 7.5.2: Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πλώρη

VERTICAL ACCELERATION (g) @ STERN												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.116	0.135	0.155	0.175	0.090	0.101	0.117	0.136	0.071	0.072	0.072	0.073
SS2	0.173	0.206	0.229	0.272	0.129	0.149	0.165	0.194	0.089	0.090	0.089	0.091
SS3	0.206	0.245	0.273	0.320	0.147	0.170	0.189	0.216	0.087	0.086	0.084	0.085
SS4	0.243	0.282	0.321	0.372	0.172	0.197	0.219	0.250	0.095	0.093	0.091	0.090

Πίνακας 7.5.3: Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρύμνη

VERTICAL ACCELERATION (g) @ FIRST DECK												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.061	0.068	0.076	0.076	0.054	0.062	0.068	0.070	0.032	0.031	0.030	0.030
SS2	0.097	0.107	0.105	0.129	0.082	0.091	0.102	0.109	0.042	0.041	0.040	0.040
SS3	0.119	0.135	0.154	0.166	0.097	0.109	0.122	0.133	0.046	0.045	0.043	0.043
SS4	0.139	0.161	0.181	0.199	0.113	0.127	0.142	0.155	0.051	0.050	0.048	0.047

Πίνακας 7.5.4: Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών

VERTICAL ACCELERATION (g) @ W/H												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.144	0.154	0.152	0.148	0.116	0.122	0.117	0.119	0.027	0.028	0.029	0.032
SS2	0.231	0.246	0.225	0.246	0.173	0.185	0.184	0.184	0.037	0.038	0.039	0.042
SS3	0.292	0.311	0.314	0.319	0.208	0.217	0.226	0.227	0.041	0.041	0.041	0.043
SS4	0.343	0.368	0.370	0.390	0.241	0.255	0.264	0.268	0.048	0.048	0.050	0.053

Πίνακας 7.5.5: Πίνακας RMS αποκρίσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στην γέφυρα

LONGITUDINAL ACCELERATION (g) @ COG												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.012	0.012	0.011	0.012	0.011	0.011	0.011	0.011	0.003	0.004	0.004	0.004
SS2	0.021	0.021	0.020	0.021	0.019	0.019	0.018	0.019	0.005	0.005	0.005	0.005
SS3	0.032	0.033	0.032	0.032	0.027	0.027	0.027	0.027	0.005	0.005	0.005	0.005
SS4	0.041	0.041	0.041	0.041	0.034	0.034	0.034	0.034	0.006	0.005	0.006	0.006

Πίνακας 7.5.6: Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκου επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους του πλοίου

LONGITUDINAL ACCELERATION (g) @ BOW												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.012	0.012	0.011	0.012	0.011	0.011	0.011	0.011	0.001	0.002	0.003	0.004
SS2	0.021	0.021	0.020	0.021	0.034	0.035	0.032	0.019	0.010	0.010	0.010	0.003
SS3	0.032	0.033	0.032	0.032	0.070	0.072	0.070	0.069	0.014	0.015	0.016	0.015
SS4	0.041	0.041	0.041	0.041	0.109	0.111	0.110	0.109	0.020	0.021	0.022	0.022

Πίνακας 7.5.7: Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκους επιτάχυνσης στην πλώρη

LONGITUDINAL ACCELERATION (g) @ STERN												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.012	0.012	0.011	0.012	0.011	0.011	0.011	0.011	0.003	0.004	0.004	0.004
SS2	0.021	0.021	0.020	0.021	0.019	0.019	0.018	0.019	0.005	0.000	0.005	0.005
SS3	0.032	0.033	0.032	0.032	0.027	0.027	0.027	0.027	0.005	0.002	0.005	0.005
SS4	0.041	0.041	0.041	0.041	0.034	0.034	0.034	0.034	0.006	0.006	0.006	0.006

Πίνακας 7.5.8: Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκους επιτάχυνσης στην πρύμνη

LONGITUDINAL ACCELERATION (g) @ FIRST DECK												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.021	0.023	0.024	0.026	0.017	0.018	0.018	0.020	0.006	0.006	0.006	0.007
SS2	0.034	0.037	0.036	0.041	0.026	0.028	0.028	0.030	0.007	0.008	0.008	0.008
SS3	0.045	0.048	0.049	0.052	0.034	0.035	0.036	0.037	0.007	0.007	0.007	0.008
SS4	0.054	0.058	0.059	0.064	0.041	0.042	0.043	0.045	0.008	0.008	0.008	0.009

Πίνακας 7.5.9: Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκους επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών

LONGITUDINAL ACCELERATION (g) @ W/H												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.034	0.038	0.040	0.043	0.027	0.028	0.029	0.032	0.011	0.011	0.011	0.012
SS2	0.054	0.060	0.057	0.067	0.039	0.043	0.043	0.047	0.013	0.014	0.014	0.015
SS3	0.068	0.074	0.076	0.082	0.048	0.050	0.053	0.055	0.013	0.013	0.013	0.013
SS4	0.081	0.087	0.090	0.099	0.056	0.060	0.062	0.065	0.014	0.014	0.014	0.015

Πίνακας 7.5.10: Πίνακας RMS αποκρίσεων διαμήκους επιτάχυνσης στην γέφυρα

LATERAL ACCELERATION (g) @ COG												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.013	0.014	0.014	0.026	0.026	0.026	0.026
SS2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.021	0.022	0.023	0.035	0.035	0.035	0.035
SS3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.027	0.028	0.030	0.031	0.039	0.039	0.039	0.038
SS4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033	0.035	0.036	0.038	0.045	0.045	0.045	0.044

Πίνακας 7.5.11: Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους του πλοίου

LATERAL ACCELERATION (g) @ BOW												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.031	0.031	0.032	0.030	0.030	0.030	0.030
SS2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.046	0.047	0.048	0.049	0.040	0.040	0.040	0.040
SS3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.058	0.059	0.060	0.061	0.041	0.042	0.042	0.042
SS4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.068	0.070	0.072	0.073	0.045	0.045	0.046	0.046

Πίνακας 7.5.12: Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πλώρη

LATERAL ACCELERATION (g) @ STERN												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.030	0.032	0.033	0.031	0.031	0.031	0.031
SS2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040	0.043	0.045	0.048	0.041	0.042	0.042	0.041
SS3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.046	0.050	0.053	0.055	0.047	0.047	0.048	0.047
SS4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.055	0.058	0.062	0.065	0.056	0.056	0.057	0.055

Πίνακας 7.5.13: Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πρύμνη

LATERAL ACCELERATION (g) @ FIRST DECK												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.017	0.017	0.017	0.048	0.048	0.048	0.048
SS2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.027	0.028	0.028	0.029	0.062	0.062	0.062	0.062
SS3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.036	0.038	0.039	0.064	0.064	0.064	0.064
SS4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0.044	0.045	0.047	0.072	0.072	0.072	0.072

Πίνακας 7.5.14: Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών

LATERAL ACCELERATION (g) @ W/H												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
U	15	17	19	21	15	17	19	21	15	17	19	21
SS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.038	0.038	0.038	0.038	0.067	0.067	0.066	0.066
SS2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.059	0.060	0.060	0.060	0.088	0.088	0.088	0.087
SS3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.075	0.076	0.077	0.078	0.090	0.090	0.090	0.089
SS4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.091	0.092	0.093	0.100	0.100	0.100	0.100

Πίνακας 7.5.15: Πίνακας RMS αποκρίσεων εγκάρσιας επιτάχυνσης στην γέφυρα

Στους πίνακες 7.5.1 έως 7.5.5 παρατηρούμε ότι RMS τιμές των κάθετων επιταχύνσεων αυξάνονται καθώς αυξάνεται η ταχύτητά του σκάφους στην περίπτωση

των μετωπικών και πλωριών κυματισμών, σε όλα τα σημεία υπολογισμού που φαίνονται στον πίνακα 6.3.1. Στην περίπτωση των πλευρικών κυματισμών η επίδραση της ταχύτητας του σκάφους είναι αμελητέα.

Στους πίνακες 7.5.6 έως 7.5.10 και 7.5.11 έως 7.5.15 που αφορούν τις RMS τιμές των οριζόντιων και εγκάρσιων επιταχύνσεων αντίστοιχα παρατηρούμε ότι η επίδραση της ταχύτητας του σκάφους είναι αμελητέα.

Επίσης στους παραπάνω πίνακες παρατηρούμε ότι όλες οι RMS των όλων των επιταχύνσεων αυξάνονται καθώς το ύψος του κύματος αυξάνει.

7.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ RMS ΤΙΜΩΝ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL74 ΚΑΙ HULL92

Στους παρακάτω πίνακες 7.6.1 έως 7.6.6 γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων της δυναμικής συμπεριφοράς της μεγάλης και της μικρή κλίμακας. Οι τιμές στους πίνακες προκύπτουν από τον παρακάτω τύπο:

$$\left| \frac{RMS_{HULL74} - RMS_{HULL92}}{RMS_{HULL74}} \right|$$

Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται τα επί της εκατό αποτελέσματα όταν η γάστρα της μεγάλης κλίμακας παρουσιάζει καλύτερη δυναμική συμπεριφορά ενώ με πράσινο χρώμα όταν η γάστρα της μικρής κλίμακας παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα.

Στον πίνακα 7.6.1 παρατηρούμε ότι η μεγάλη γάστρα παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα κατά 25-30% περίπου σε μετωπικούς και πλωριούς κυματισμούς για ύψος κύματος 2m, ενώ καθώς το ύψος κύματος αυξάνει, εξακολουθεί να έχει καλύτερα αποτελέσματα, όμως το ποσοστό αυτό μειώνεται και φτάνει περίπου στο 10-14% για ύψος κύματος 5 m. Σε πλευρικούς κυματισμούς η μεγάλη γάστρα παρουσιάζει ελαφρώς χειρότερα αποτελέσματα σε θάλασσες με σημαντικό ύψος κύματος 2, ενώ για ύψη κύματος 4 και 5 μέτρα και για αριθμούς Fn μέχρι 0.290 παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα.

COMPARISON OF RMS VALUES FOR SURGE (%)												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
HULL 74 FN	0.244	0.281	0.319	0.356	0.244	0.281	0.319	0.356	0.244	0.281	0.319	0.356
HULL 92 FN	0.253	0.287	0.320	0.354	0.253	0.287	0.320	0.354	0.253	0.287	0.320	0.354
SS1	30.56	31.73	35.25	25.93	26.23	29.51	30.24	25.71	0.19	5.21	6.25	4.97
SS2	25.06	23.44	24.51	21.89	21.47	21.07	23.27	22.33	2.24	1.00	4.09	3.68
SS3	15.10	13.45	17.11	16.08	12.92	11.96	13.78	20.09	14.39	4.54	0.26	1.90
SS4	12.28	12.88	13.20	14.52	9.28	9.65	10.97	12.75	13.70	5.28	0.85	3.54

Πίνακας 7.6.1: Σύγκριση RMS τιμών της κίνησης ξ1 (surge) των δύο πλοίων

Από τον πίνακα 7.6.2 παρατηρούμε ότι η μεγάλη γάστρα παρουσιάζει καλύτερη δυναμική συμπεριφορά ιδιαίτερα στα μικρότερα ύψη κύματος που εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα κατά 27-32% για τους πλωριούς κυματισμούς και 21-22% για τους πλευρικούς κυματισμούς. Στα μεγαλύτερα ύψη κύματος τα ποσοστά αυτά μειώνονται. Επίσης παρατηρούμε ότι τα ποσοστά μειώνονται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα των σκαφών για ίδιες θάλασσες.

COMPARISON OF RMS VALUES FOR SWAY (%)												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
HULL 74 FN	0.244	0.281	0.319	0.356	0.244	0.281	0.319	0.356	0.244	0.281	0.319	0.356
HULL 92 FN	0.253	0.287	0.320	0.354	0.253	0.287	0.320	0.354	0.253	0.287	0.320	0.354
SS1	0.00	0.00	0.00	0.00	32.72	30.21	28.83	27.33	22.20	21.32	21.07	20.98
SS2	0.00	0.00	0.00	0.00	28.50	26.29	24.59	24.07	15.28	14.62	14.21	14.04
SS3	0.00	0.00	0.00	0.00	21.20	19.58	18.07	21.85	11.17	8.75	8.13	7.79
SS4	0.00	0.00	0.00	0.00	18.09	16.77	16.15	14.72	8.10	7.11	6.43	5.95

Πίνακας 7.6.2: Σύγκριση RMS τιμών της κίνησης ξ2 (sway) των δύο πλοίων

Στον πίνακα 7.6.3 παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη γάστρα παρουσιάζει καλύτερη δυναμική συμπεριφορά στην κίνηση ξ3 σε πλευρικούς κυματισμούς σε όλες τις καταστάσεις θάλασσας, ενώ σε μετωπικούς και πλωριούς κυματισμούς παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερη συμπεριφορά σε θάλασσες με σημαντικό ύψος κύματος μέχρι 2 m.

COMPARISON OF RMS VALUES FOR HEAVE (%)												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
HULL 74 FN	0.244	0.281	0.319	0.356	0.244	0.281	0.319	0.356	0.244	0.281	0.319	0.356
HULL 92 FN	0.253	0.287	0.320	0.354	0.253	0.287	0.320	0.354	0.253	0.287	0.320	0.354
SS1	5.06	2.34	3.89	7.76	4.46	0.49	2.85	6.82	12.24	12.73	13.84	13.94
SS2	0.05	1.43	10.08	2.37	2.19	0.81	0.71	2.25	11.39	11.26	11.43	11.62
SS3	1.42	2.27	3.90	1.24	3.08	1.86	0.25	4.49	9.83	8.04	7.99	8.05
SS4	0.31	2.36	2.68	2.85	3.50	1.94	0.05	0.06	6.77	6.90	6.92	6.97

Πίνακας 7.6.3: Σύγκριση RMS τιμών της κίνησης ξ3 (heave) των δύο πλοίων

Στον πίνακα 7.6.4 παρατηρούμε ότι στην κίνηση ξ4 η μεγαλύτερη γάστρα παρουσιάζει σαφώς καλύτερη συμπεριφορά σε πλωριούς και πλευρικούς

κυματισμούς σε όλους τους αριθμούς Fn και σε όλες τις καταστάσεις θάλασσας. Συγκεκριμένα σε πλωριούς κυματισμούς και θάλασσες με ύψος κύματος 2m η μεγάλη γάστρα παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα κατά περίπου 60% ενώ για ύψος κύματος 5m παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα κατά 24%. Αντίστοιχα σε πλευρικούς κυματισμούς παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα περίπου 21% και 10% για πλωριούς και πλευρικούς κυματισμούς αντίστοιχα.

COMPARISON OF RMS VALUES FOR ROLL (%)												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
HULL 74 FN	0.244	0.281	0.319	0.356	0.244	0.281	0.319	0.356	0.244	0.281	0.319	0.356
HULL 92 FN	0.253	0.287	0.320	0.354	0.253	0.287	0.320	0.354	0.253	0.287	0.320	0.354
SS1	0.00	0.00	0.00	0.00	60.80	60.94	62.22	61.05	21.56	21.08	21.02	20.71
SS2	0.00	0.00	0.00	0.00	45.00	43.87	45.13	44.19	14.62	14.60	14.76	15.19
SS3	0.00	0.00	0.00	0.00	28.51	27.86	27.58	32.49	13.47	10.86	11.03	11.47
SS4	0.00	0.00	0.00	0.00	24.66	23.92	24.49	24.40	9.96	9.88	10.11	10.41

Πίνακας 7.6.4: Σύγκριση RMS τιμών της κίνησης ξ_4 (roll) των δύο πλοίων

Από τον πίνακα 7.6.5 προκύπτει ότι σε μετωπικούς και πλωριούς κυματισμούς η μεγάλη γάστρα παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα σε όλους τους αριθμούς Fn και καταστάσεις θάλασσας, Σε πλευρικούς κυματισμούς παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα σε θάλασσες με ύψος κύματος 3 μέτρα.

COMPARISON OF RMS VALUES FOR PITCH (%)												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
HULL 74 FN	0.244	0.281	0.319	0.356	0.244	0.281	0.319	0.356	0.244	0.281	0.319	0.356
HULL 92 FN	0.253	0.287	0.320	0.354	0.253	0.287	0.320	0.354	0.253	0.287	0.320	0.354
SS1	39.36	38.48	38.91	33.63	31.29	35.92	35.59	30.75	1.62	1.00	0.82	2.73
SS2	33.15	28.62	34.25	28.34	27.93	25.84	28.28	25.53	8.90	7.58	5.51	4.22
SS3	20.54	17.84	22.35	18.89	19.07	18.62	19.40	22.79	5.16	1.79	1.97	4.77
SS4	17.79	17.11	19.09	16.24	16.71	16.89	17.21	18.34	0.14	8.20	7.15	8.93

Πίνακας 7.6.5: Σύγκριση RMS τιμών της κίνησης ξ_5 (pitch) των δύο πλοίων

Στον πίνακα 7.6.6 παρατηρούμε ότι στην κίνηση ξ_6 η μεγαλύτερή γάστρα παρουσιάζει σαφώς καλύτερα αποτελέσματα σε όλους τους κυματισμούς και σε όλες τις καταστάσεις θάλασσας.

COMPARISON OF RMS VALUES FOR YAW (%)												
HEAD WAVES					BOW WAVES				BEAM WAVES			
HULL 74 FN	0.244	0.281	0.319	0.356	0.244	0.281	0.319	0.356	0.244	0.281	0.319	0.356
HULL 92 FN	0.253	0.287	0.320	0.354	0.253	0.287	0.320	0.354	0.253	0.287	0.320	0.354
SS1	0.00	0.00	0.00	0.00	44.47	42.14	39.10	36.50	44.47	42.14	39.10	36.50
SS2	0.00	0.00	0.00	0.00	40.54	38.39	36.52	34.80	40.54	38.39	36.52	34.80
SS3	0.00	0.00	0.00	0.00	32.81	31.72	31.81	40.46	32.81	31.72	31.81	40.46
SS4	0.00	0.00	0.00	0.00	30.82	29.17	30.17	30.28	30.82	29.17	30.17	30.28

Πίνακας 7.6.6: Σύγκριση RMS τιμών της κίνησης ξ_6 (yaw) των δύο πλοίων

7.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος cargoxpress 2011 εξετάστηκε πειραματικά στην δεξαμενή του ΕΜΠ η δυναμική συμπεριφορά μοντέλου σε μετωπικούς κυματισμούς και ταχύτητα 13 knots. Η κλίμακα λ του μοντέλου είναι 23,7 και 28 για την μικρή και μεγάλη κλίμακα αντίστοιχα, εκτός από το πλάτος αφού στο μοντέλο που εξετάστηκε τα δύο ημίγαστρα είναι πιο κοντά.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα πειράματα του μοντέλου, μετά την αναγωγή τους στην φυσική κλίμακα σε σύγκριση με τα αριθμητικά αποτελέσματα που προέκυψαν από το Swan2. Η ταχύτητα υπολογισμού για την γάστρα HULL74 είναι 13 Knots ενώ για την γάστρα HULL92 είναι 15 Knots.

HEAVE (m) - RMS			
SEA STATE	HULL74		HULL92
	Experiments	Numerical -SWAN2	Numerical -SWAN2
SS1	0.389	0.378	0.269
SS2	0.647	0.616	0.486
SS3	0.880	0.874	0.806

Πίνακας 7.7.1: Σύγκριση αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων σε φυσική κλίμακα της RMS τιμής της απόκρισης HEAVE σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$).

PITCH (deg) - RMS			
SEA STATE	HULL74		HULL92
	Experiments	Numerical -SWAN2	Numerical -SWAN2
SS1	1.523	1.242	0.891
SS2	2.490	2.042	1.520
SS3	3.018	2.588	2.147

Πίνακας 7.7.2 : Σύγκριση αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων σε φυσική κλίμακα της RMS τιμής της απόκρισης PITCH σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$).

VERTICAL ACC (g) @ COG- RMS			
SEA STATE	HULL74		HULL92
	Experiments	Numerical -SWAN2	Numerical -SWAN2
SS1	0.069	0.068	0.060
SS2	0.099	0.100	0.096
SS3	0.099	0.144	0.118

Πίνακας 7.7.3 Σύγκριση αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων σε φυσική κλίμακα της RMS τιμής της κάθετης επιτάχυνσης στο κέντρο βάρους σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$).

VERTICAL ACC (g) @ BOW- RMS			
SEA STATE	HULL74		HULL92
	Experiments	Numerical -SWAN2	Numerical -SWAN2
SS1	0.221	0.192	0.151
SS2	0.319	0.290	0.243
SS3	0.333	0.324	0.306

Πίνακας 7.7.4: Σύγκριση αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων σε φυσική κλίμακα της RMS τιμής της κάθετης επιτάχυνσης στην πλώρη σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$).

VERTICAL ACC (g) @ STERN- RMS			
SEA STATE	HULL74		HULL92
	Experiments	Numerical -SWAN2	Numerical -SWAN2
SS1	0.127	0.122	0.116
SS2	0.185	0.183	0.173
SS3	0.218	0.213	0.206

Πίνακας 7.7.5: Σύγκριση αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων σε φυσική κλίμακα της RMS τιμής της κάθετης επιτάχυνσης στην πρύμνη σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$).

Παρατηρούμε ότι υπάρχει πολύ καλή συμφωνία των πειραματικών αποτελεσμάτων του μοντέλου και αριθμητικών αποτελεσμάτων της γάστρας HULL74. Οι RMS τιμές της γάστρας HULL92 είναι μικρότερες από τα πειραματικά αποτελέσματα όπως είναι αναμενόμενο για τις δεδομένες καταστάσεις θάλασσας.

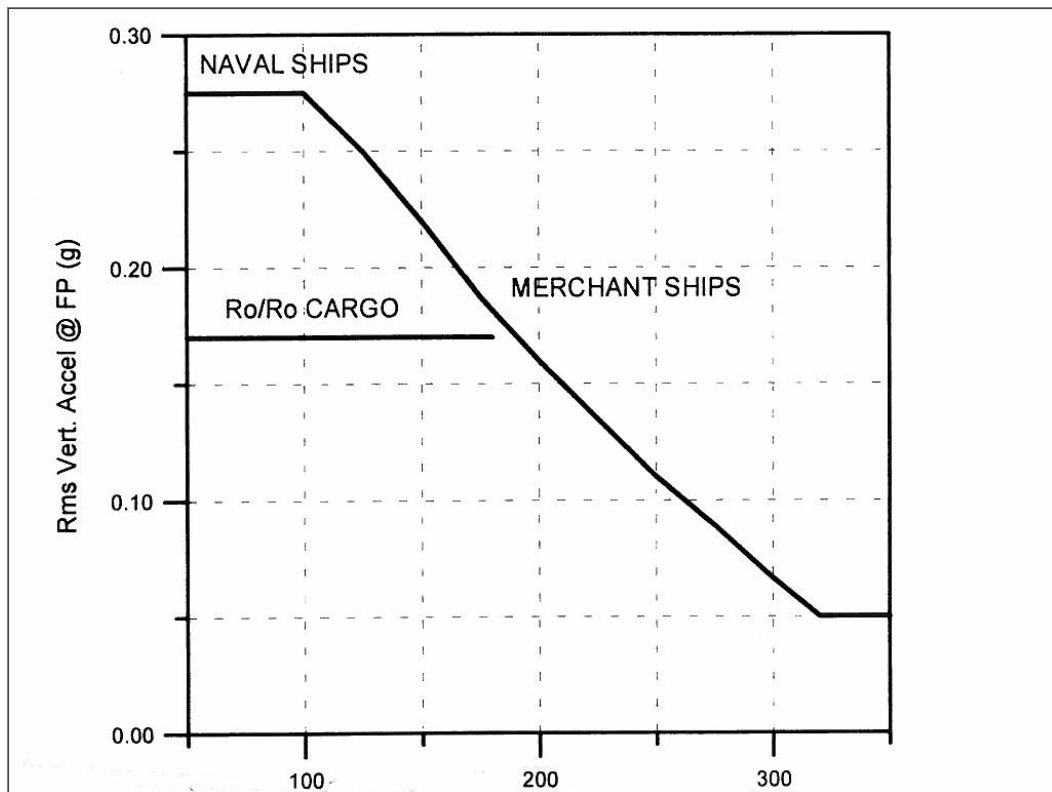
8 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΠΛΟΙΩΝ

8.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

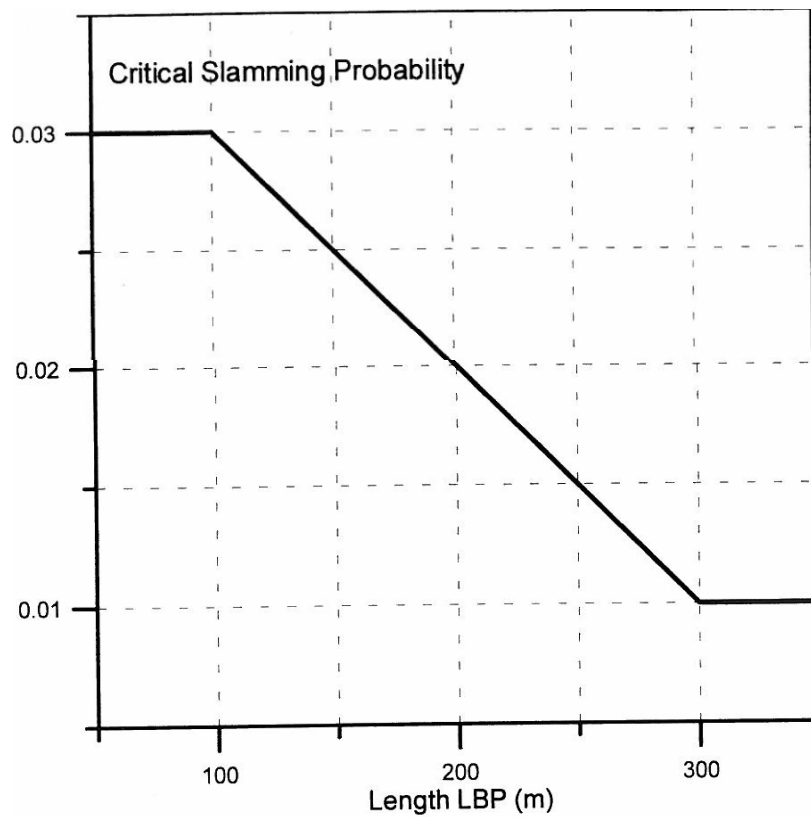
Ως κριτήρια γενικής εφαρμογής χαρακτηρίζονται τα αποδεκτά όρια τιμών (κριτηρίων) για τις δυναμικές αποκρίσεις, για την απόδοση προσωπικού / άνεση επιβατών και πρόωσης σε κυματισμούς, κάτω από τα οποία μπορεί ένα πλοίο να λειτουργεί ικανοποιητικά. Στην περίπτωση αυτή ως κριτήριο θεσπίζεται μια μόνο τιμή, η οποία έχει προσδιοριστεί με βάση τις πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί από μετρήσεις σε φυσική κλίμακα και έχουν εμπλουτιστεί με τα αποτελέσματα διεξαγωγής πειραμάτων σε πρότυπα. Τα βασικά γενικά κριτήρια που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία εκτίμησης της λειτουργησιμότητας ενός πλοίου συνοψίζονται στον Πίνακα 8.1.1 που ακολουθεί. Η σφυρόκρουση και η διαβροχή του καταστρώματος αναφέρονται σε σχέση με την κρίσιμη πιθανότητα εμφάνισης (συμβάντα ανά κύκλους κύματος), τα υπόλοιπα μεγέθη είναι σε μέσες τετραγωνικές τιμές (rms).

Κριτήρια λειτουργησιμότητας για διάφορα είδη πλοίων			
Τιμές RMS	Εμπορικά Πλοία	Πολεμικά Πλοία	Μικρά Ταχύπλοα
Κατακόρυφη επιτάχυνση στην πλώρη (rms)	0.05g($L_{BP}>300m$) 0.16g($L_{BP}>200m$) 0.30g($L_{BP}>100m$)	0.275g	0.65g
Κατακόρυφη επιτάχυνση στη γέφυρα (rms)	0.15g	0.20g	0.275g
Εγκάρσια επιτάχυνση στη γέφυρα (rms)	0.12g	0.10g	0.10g
Διατοιχισμός (rms)	6.0 deg	4.0 deg	4.0 deg
Σφυρόκρουση (κρίσιμη πιθ.)	0.01($L_{BP}>300m$) 0.02($L_{BP}>200m$) 0.03($L_{BP}>100m$)	0.03	0.03
Διαβροχή (κρίσιμη πιθ.)	0.05	0.05	0.05

Πίνακας 8.1.1: Πίνακας κριτηρίων λειτουργησιμότητας Nordic Project 1987



Σχήμα 8.1.1 Κριτήριο κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πωραία κάθετο (FP)



Σχήμα 8.1.2: Κρίσιμη πιθανότητα σφυρόκρουσης για εμπορικά πλοία

8.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ

- Κατακόρυφη επιτάχυνση

Η κατακόρυφη επιτάχυνση στην πρωαία κάθετο χρησιμοποιείται ως κριτήριο για την σύγκριση μεταξύ εναλλακτικών σχεδιάσεων ή ακόμα ως κριτήριο για την μείωση της ταχύτητας ή την αλλαγή πορείας κατά τη διάρκεια πλεύσης. Επίσης, με το κριτήριο αυτό περιγράφεται η συνολική κατακόρυφη κίνηση στην περιοχή της πλώρης, όπου η διαβροχή του καταστρώματος ή η σφυρόκρουση στον πυθμένα της πλώρης μπορεί να λαμβάνουν κρίσιμες τιμές. Στο σχήμα 8.1.1 παρουσιάζονται οι τιμές της κατακόρυφης επιτάχυνσης που χρησιμοποιούνται ως κριτήρια λειτουργησιμότητας για τα εμπορικά σκάφη ως συνάρτηση του μήκους μεταξύ καθέτων. Το κριτήριο για την κατακόρυφη επιτάχυνση στη γέφυρα σχετίζεται με τις βασικές εργασίες που λαμβάνουν χώρα εκεί, όπως πηδαλιουχία, παρατήρηση και πλοήγηση.

- Εγκάρσια επιτάχυνση

Το κριτήριο που χρησιμοποιείται κυρίως για την εγκάρσια επιτάχυνση στη γέφυρα είναι 0.1g rms και αναφέρεται στην ασφάλεια και στην απόδοση του πληρώματος, σύμφωνα με τα κριτήρια του Αμερικάνικου Ναυτικού. Με βάση τις παρατηρήσεις σε φυσική κλίμακα οι καπετάνιοι και το πλήρωμα γέφυρας στα εμπορικά πλοία φαίνεται ότι αντέχουν σε λίγο μεγαλύτερη τιμή της εγκάρσιας επιτάχυνσης.

- Διατοιχισμός

Το κριτήριο για τον διατοιχισμό στα εμπορικά πλοία βασίζεται σε μετρήσεις φυσικής κλίμακας στα ίδια πλοία με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρωαία κάθετο. Ένα όριο ασφαλείας για τον διατοιχισμό είναι η τιμή περί των 14° rms, ενώ η rms τιμή ως κριτήριο για τη λειτουργησιμότητα δεν πρέπει να ξεπερνάει τις 6°. Τέλος, η τιμή των 4° rms για το διατοιχισμό χρησιμοποιείται σαν κριτήριο για την αποτελεσματικότητα του πληρώματος.

- Σφυρόκρουση πυθμένα, διαβροχή καταστρώματος και ανάδυση έλικας

Η κριτική πιθανότητα σφυρόκρουσης για τα εμπορικά πλοία παρουσιάζεται στο σχήμα 1.2, συναρτήσει του μήκους μεταξύ καθέτων. Σύμφωνα με τον Ochi (1964) μια κρούση του πυθμένα ενός πλοίου χαρακτηρίζεται σαν σφυρόκρουση, όταν το πρωαίο μέρος αναδύεται και η κατακόρυφη σχετική ταχύτητα ως προς την επιφάνεια του νερού στον συγκεκριμένο νομέα ξεπερνάει μια κρίσιμη τιμή που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_{cr} = 0.093 \cdot \sqrt{g \cdot L}$$

όπου g: η επιτάχυνση της βαρύτητας και

L: το μήκος μεταξύ καθέτων.

8.3 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ -ΑΝΕΣΗΣ ΕΠΙΒΑΤΩΝ

Για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα τα κριτήρια που χρησιμοποιούνταν για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια, η αποδοτικότητα του πληρώματος καθώς και η άνεση των επιβατών, σχετίζονταν με τις αποκρίσεις του διατοιχισμού, του προνευτασμού και της κατακόρυφης και εγκάρσια επιτάχυνσης. Τα όρια για τις τιμές της κατακόρυφης επιτάχυνσης, σε οποιαδήποτε θέση κατά μήκος του πλοίου, και του διατοιχισμού που σχετίζονται με ικανότητα διεκπεραίωσης κάποιας εργασίας (όπως αναφέρονται στο NORDIC project 1987) παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.3.1:

Root Mean Square Criterion			
Περιγραφή Εργασίας	Κατακόρυφη Επιτάχυνση	Εγκάρσια Επιτάχυνση	Διατοιχισμός
Ελαφριά χειρωνακτική εργασία	0.20g	0.10g	6.0°
Βαριά χειρωνακτική εργασία	0.15g	0.07g	4.0°
Πνευματική εργασία	0.10g	0.05g	3.0°
Επιβάτες σε επιβατηγά	0.05g	0.04g	2.5°
Επιβάτες σε κρουαζιερόπλοια	0.02g	0.03g	2.0°

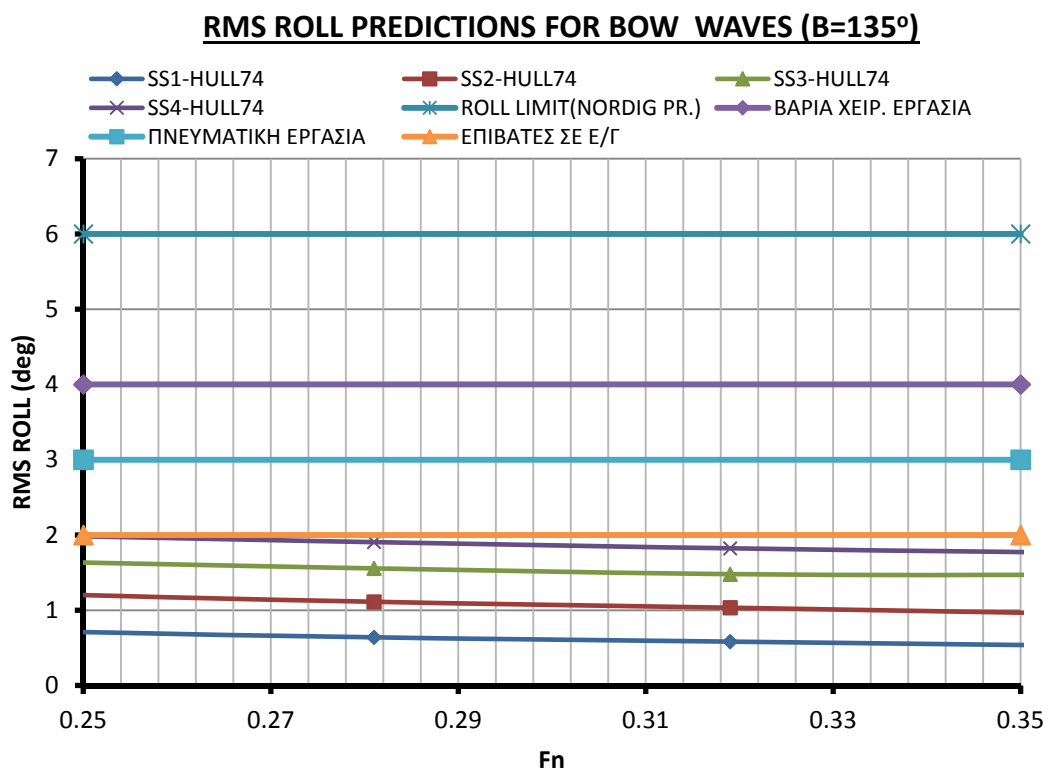
Πίνακας 8.3.1: Κριτήρια απόδοσης προσωπικού και άνεσης επιβατών

Τα τελευταία χρόνια καταβάλλεται σημαντική προσπάθεια από την πλευρά των ερευνητών για τον προσδιορισμό των αιτιών της ναυτίας που προκαλείται στους επιβάτες και για την θέσπιση κριτηρίων περιορισμού της. Στην κατεύθυνση αυτή έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα για την εκτίμηση της απόδοσης και της άνεσης του ανθρώπου όταν βρίσκεται υπό την επίδραση των κινήσεων του πλοίου, που σχετίζονται με φυσιολογικές επιπτώσεις των κινήσεων του, όπως:

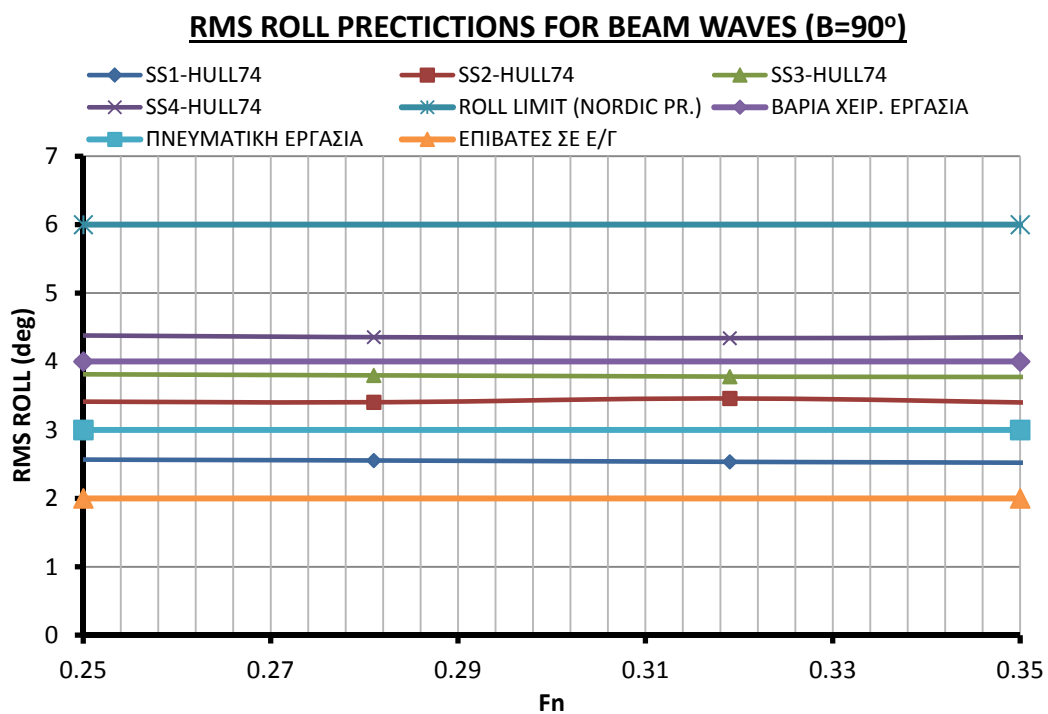
- Πρόκληση ναυτίας (Motion Sickness Incidence)
- Διαταραχές στην κίνηση (Motion Induced Interruptions)
- Κόπωση (Motion Induced Fatigue)

8.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ RMS ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL74 ΜΕ ΑΠΟΔΕΚΤΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

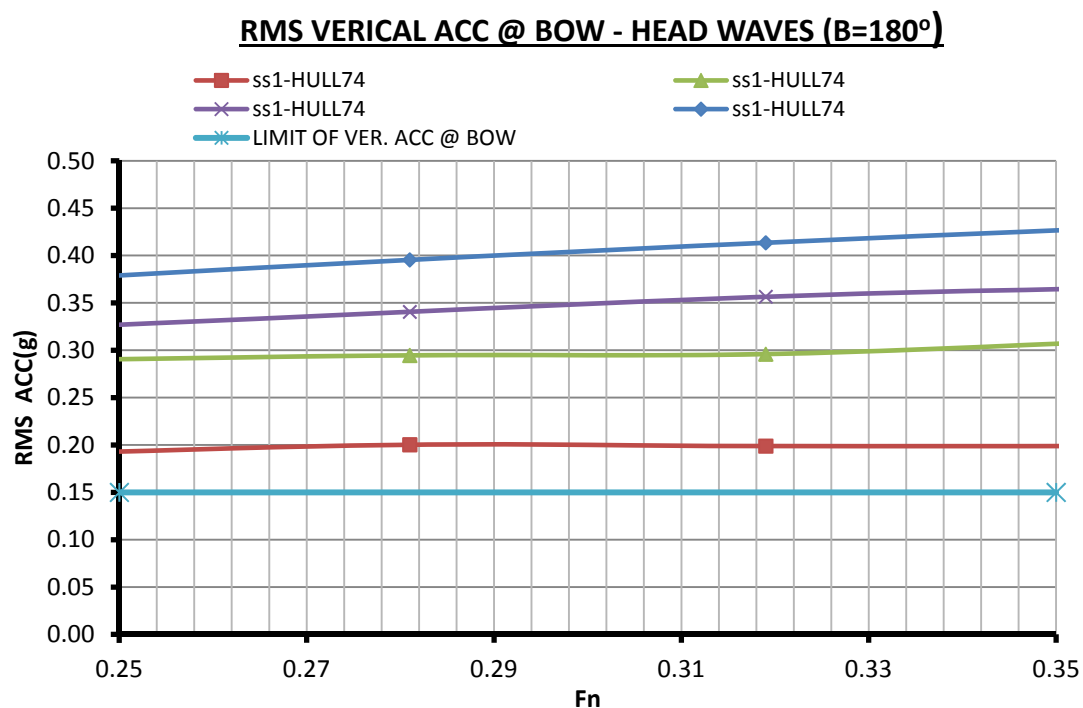
Τα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζουν την σύγκριση των RMS αποκρίσεων της γάστρας HULL74 με αποδεκτές τιμές που προτάθηκαν από το Nordic Project 1987 και έχουν ήδη περιγραφεί στον πίνακα 8.3.1



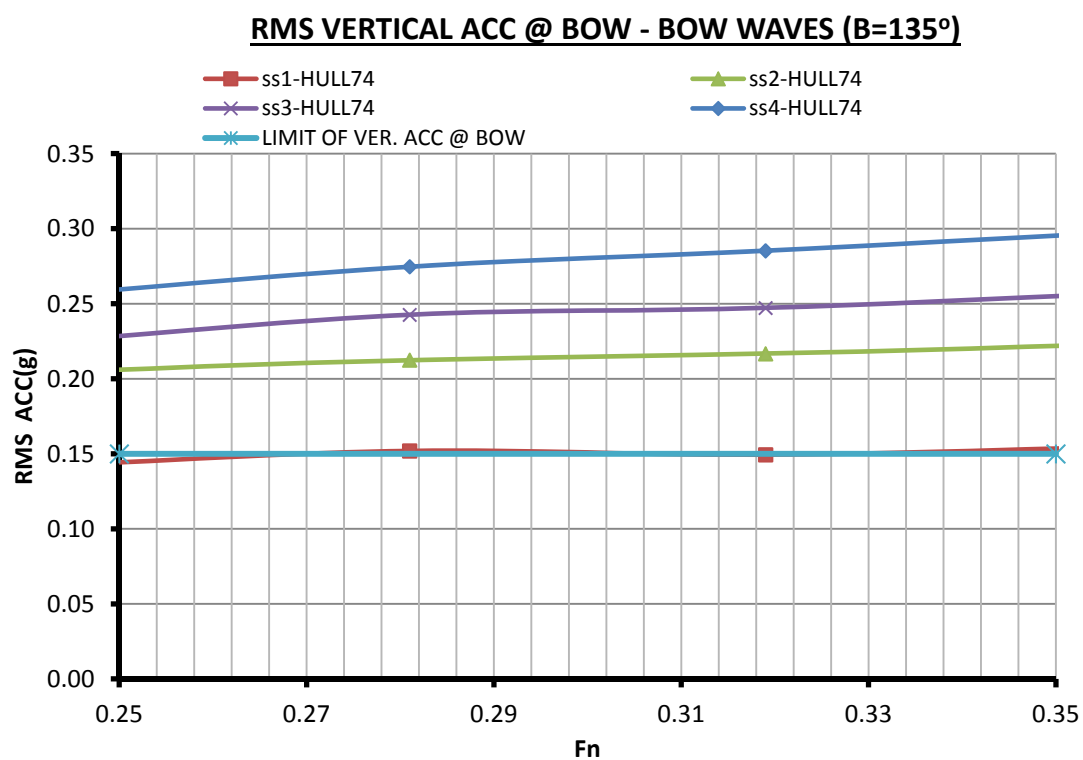
Σχήμα 8.4.1: Διάγραμμα RMS τιμών της κίνησης ξ_4 σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) HULL74



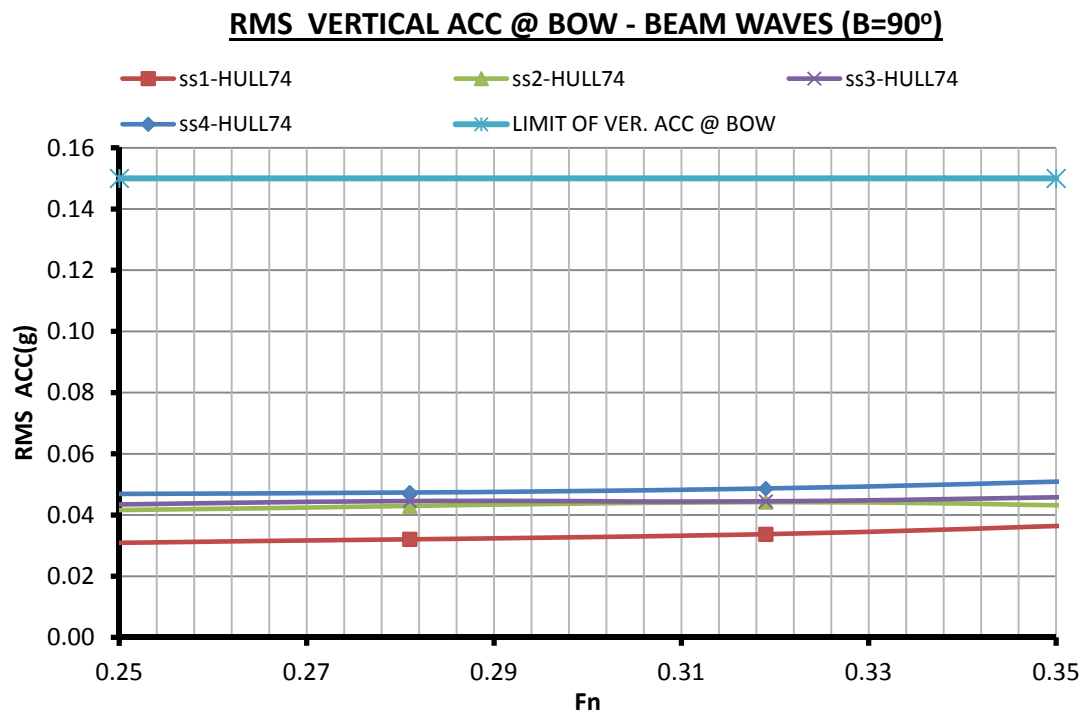
Σχήμα 8.4.2: Διάγραμμα RMS τιμών της κίνησης ξ_4 σε πλευρικούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL74



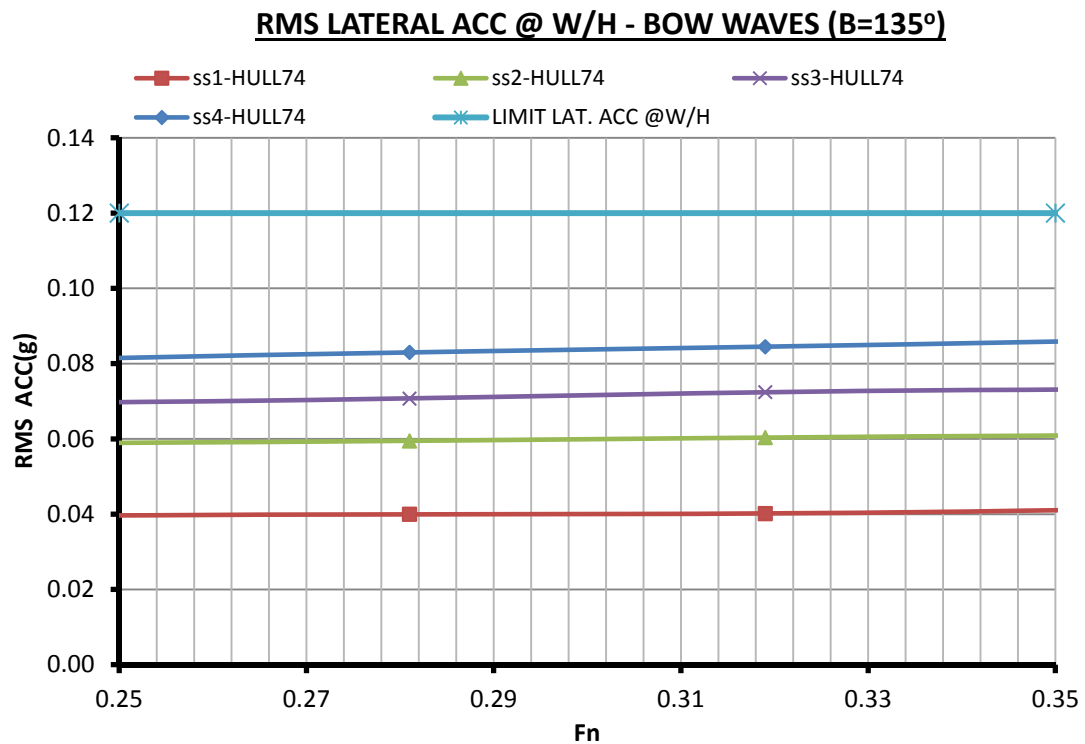
Σχήμα 8.4.3 Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πλώρη σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) κυματισμούς HULL74



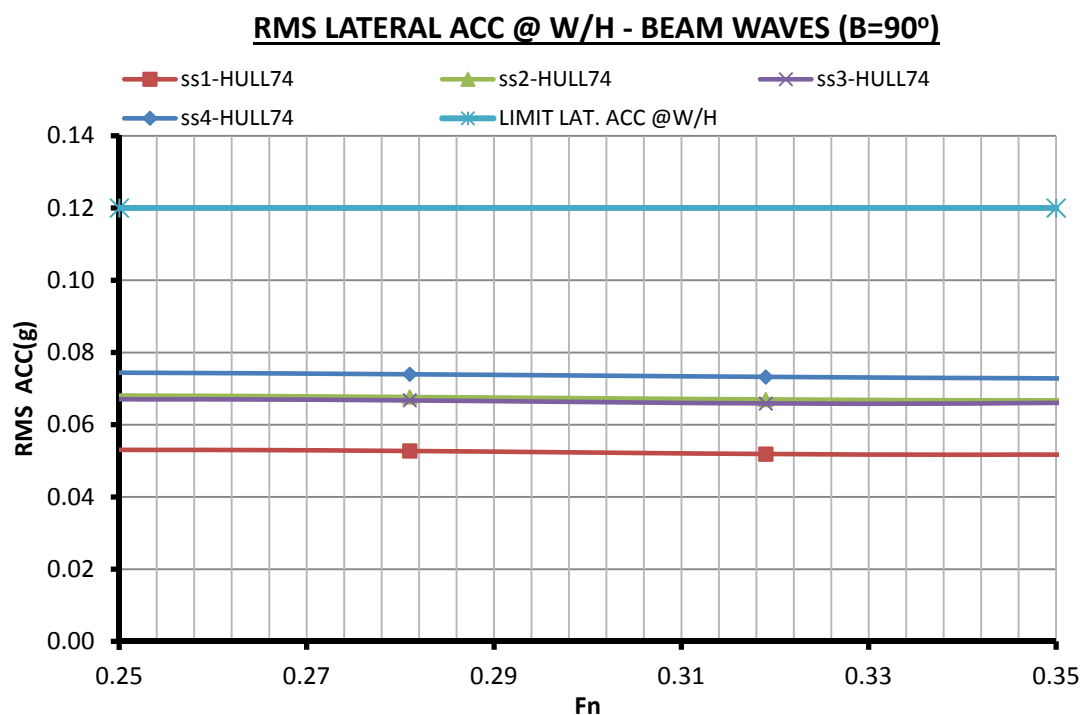
Σχήμα 8.4.4: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πλώρη σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL74



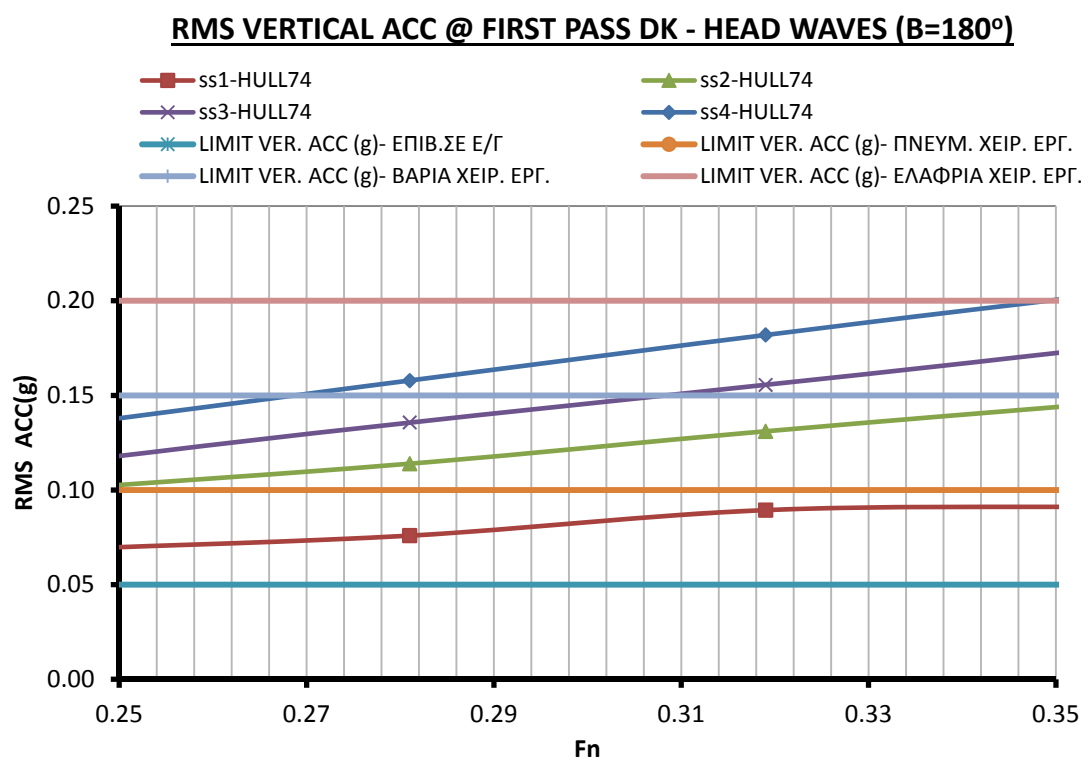
Σχήμα 8.4.5: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πλώρη σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL74



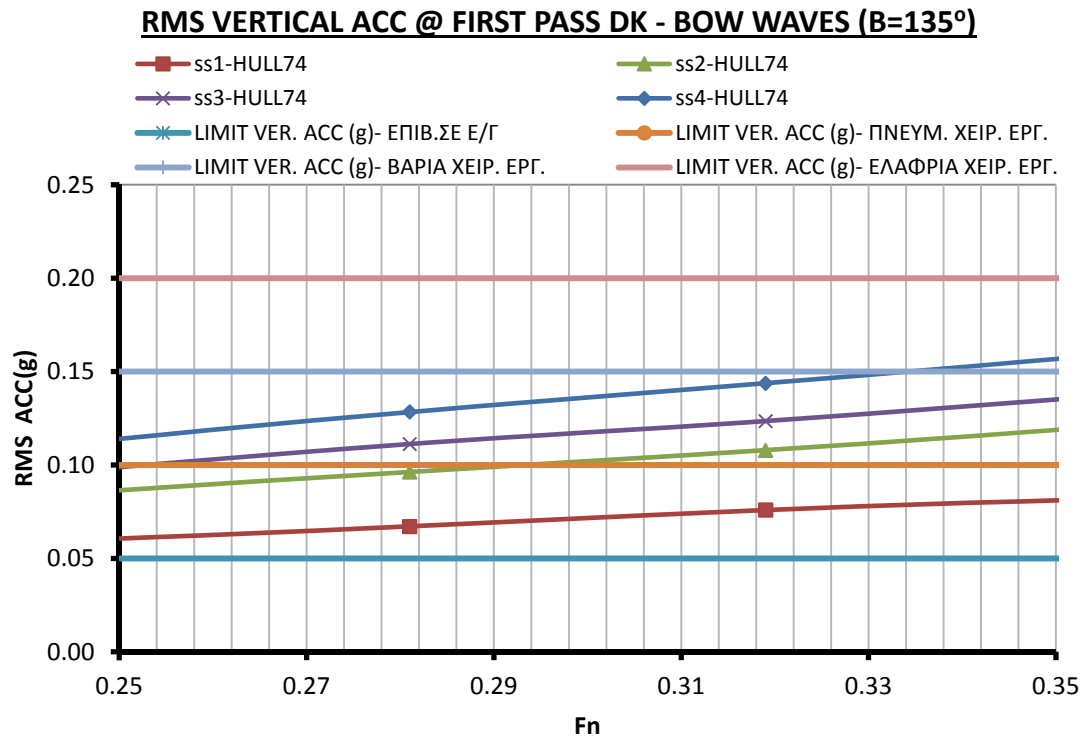
Σχήμα 8.4.6: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στην γέφυρα σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL74



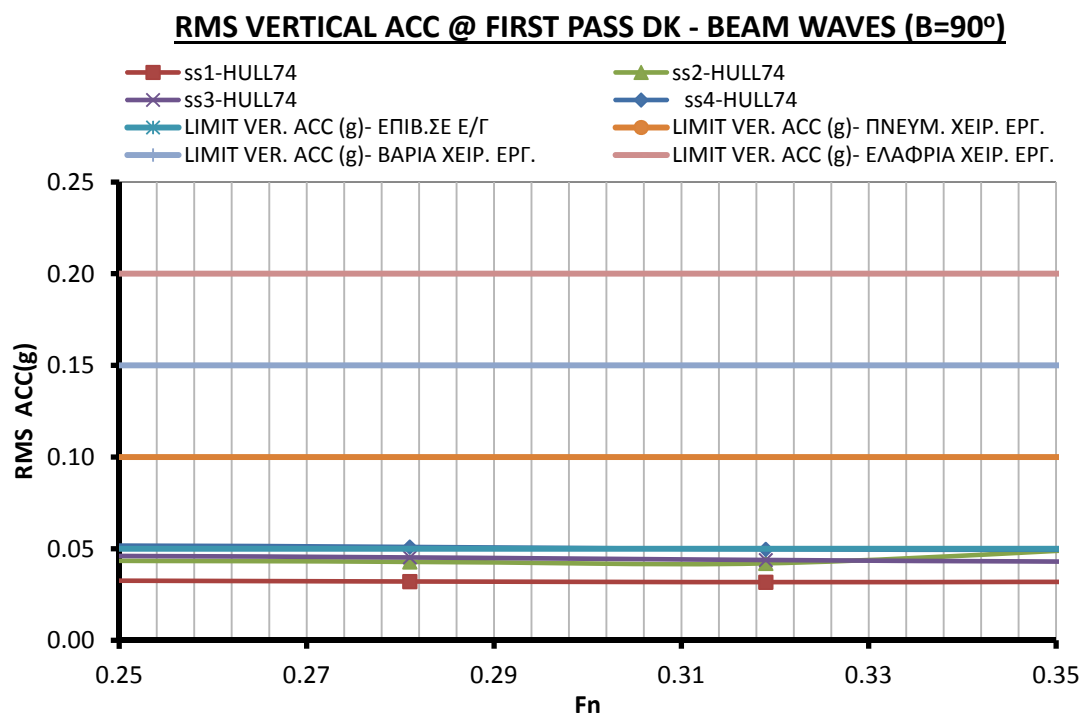
Σχήμα 8.4.7: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πλώρη σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL74



Σχήμα 8.4.8: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) κυματισμούς HULL74

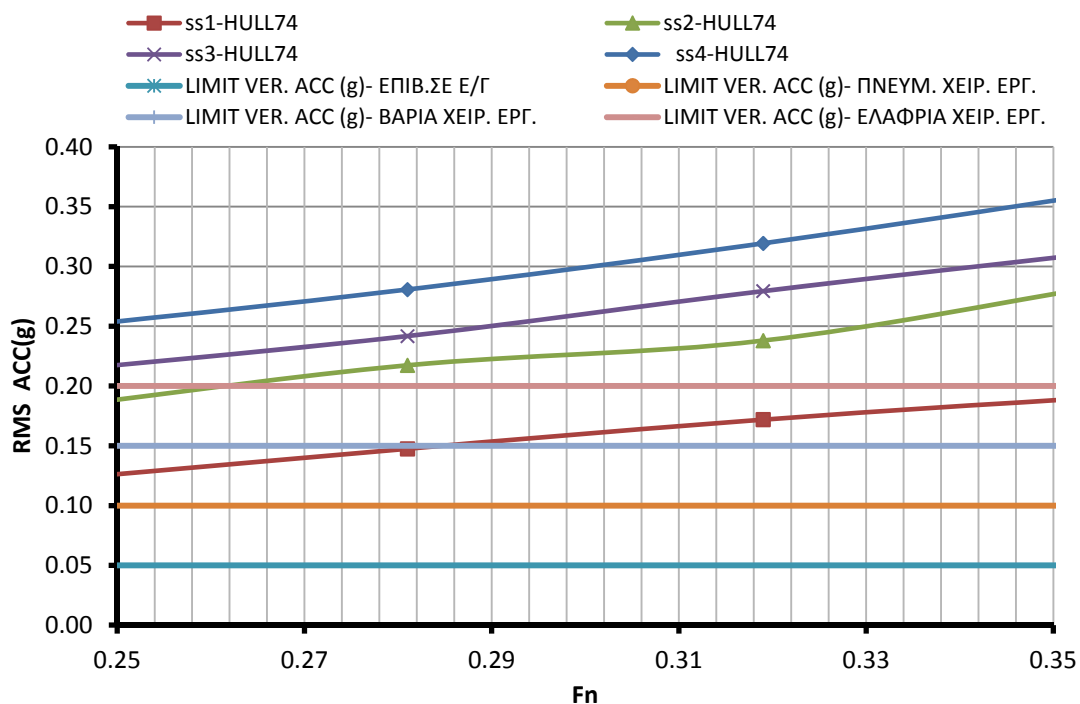


Σχήμα 8.4.9 Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL74



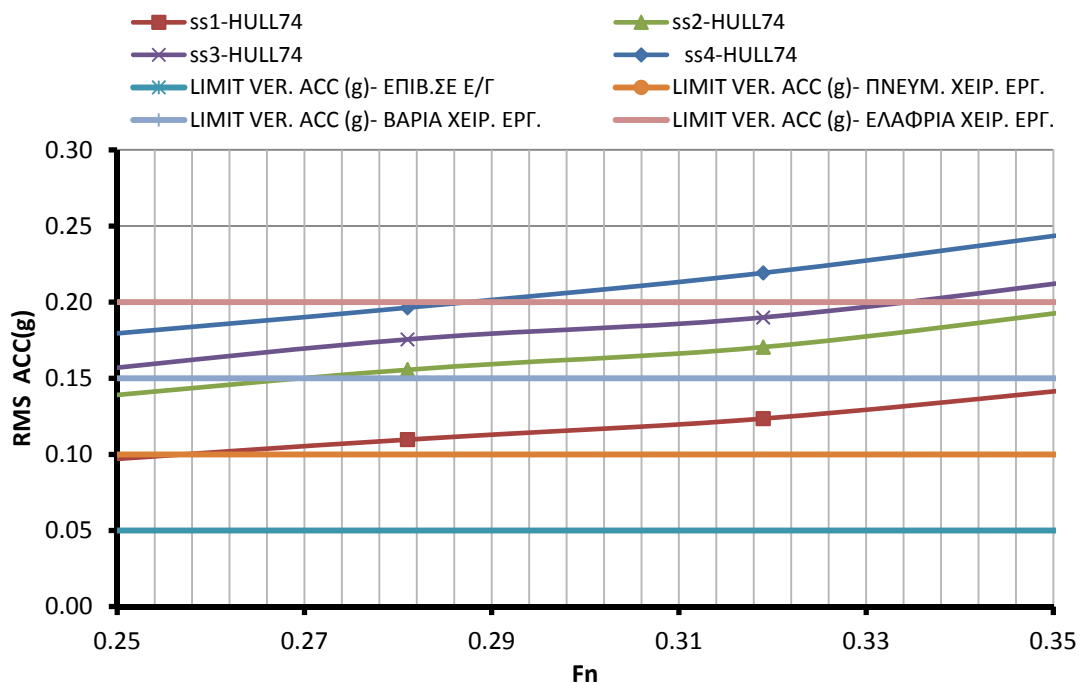
Σχήμα 8.4.10: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL74

RMS VERTICAL ACC @ STERN- HEAD WAVES (B=180°)



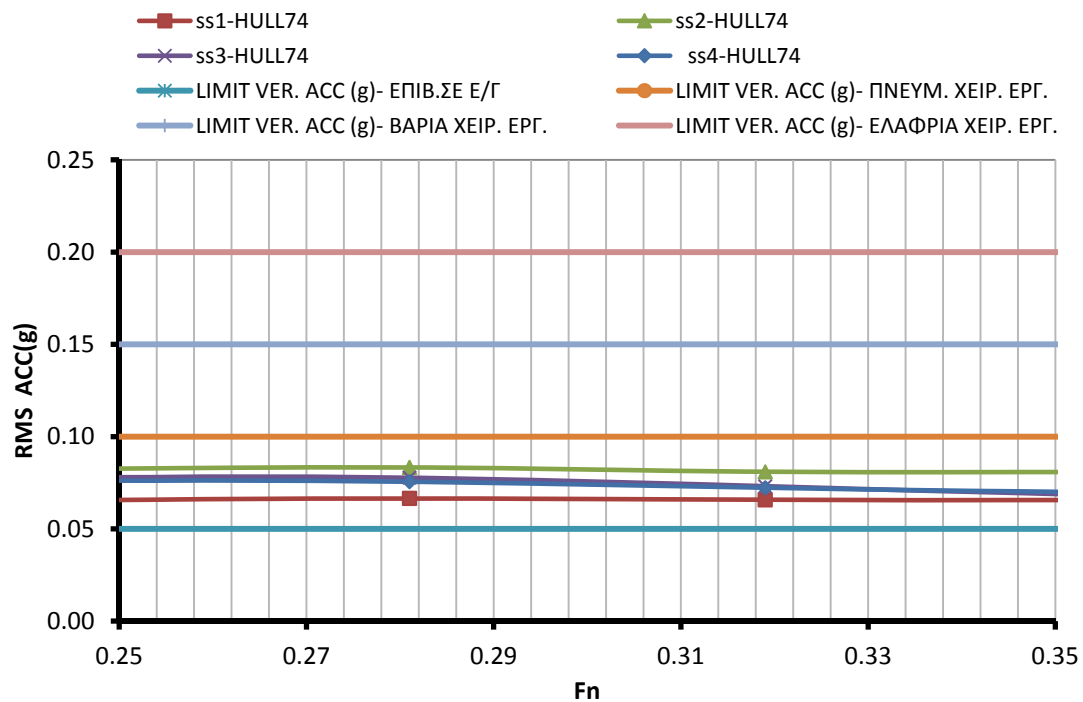
Σχήμα 8.4.11: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρύμνη σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) κυματισμούς HULL74

RMS VERTICAL ACC @ STERN- BEAM WAVES (B=135°)



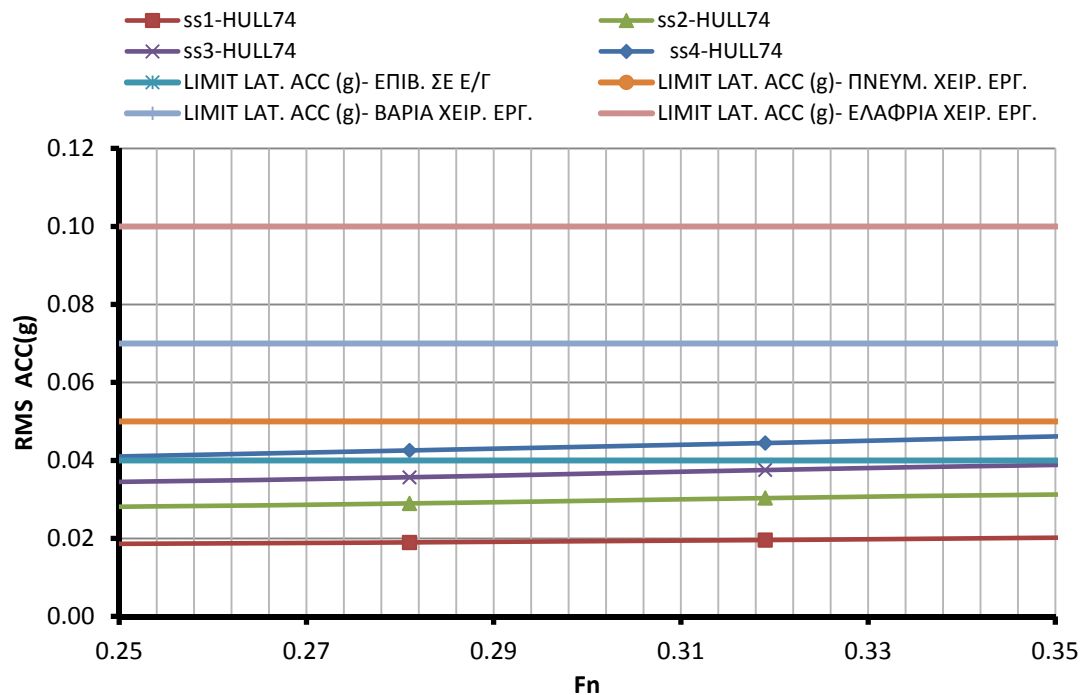
Σχήμα 8.4.12 Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρύμνη σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL74

RMS VERTICAL ACC @ STERN- BEAM WAVES (B=90°)

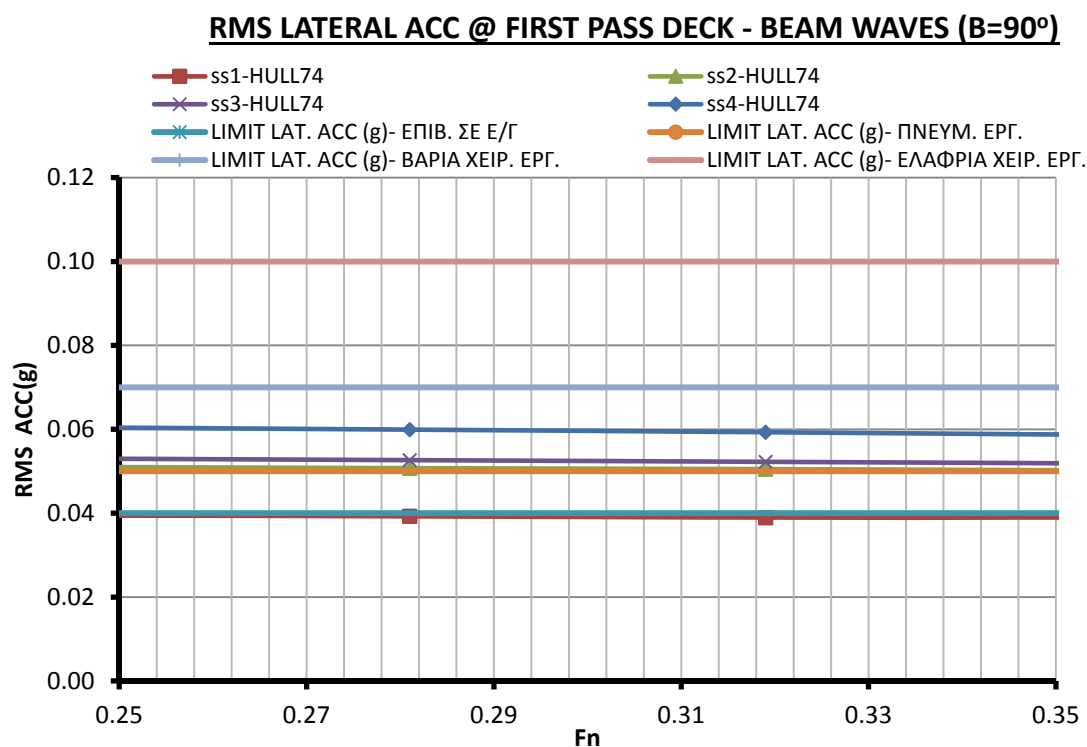


Σχήμα 8.4.13: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρύμνη σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL74

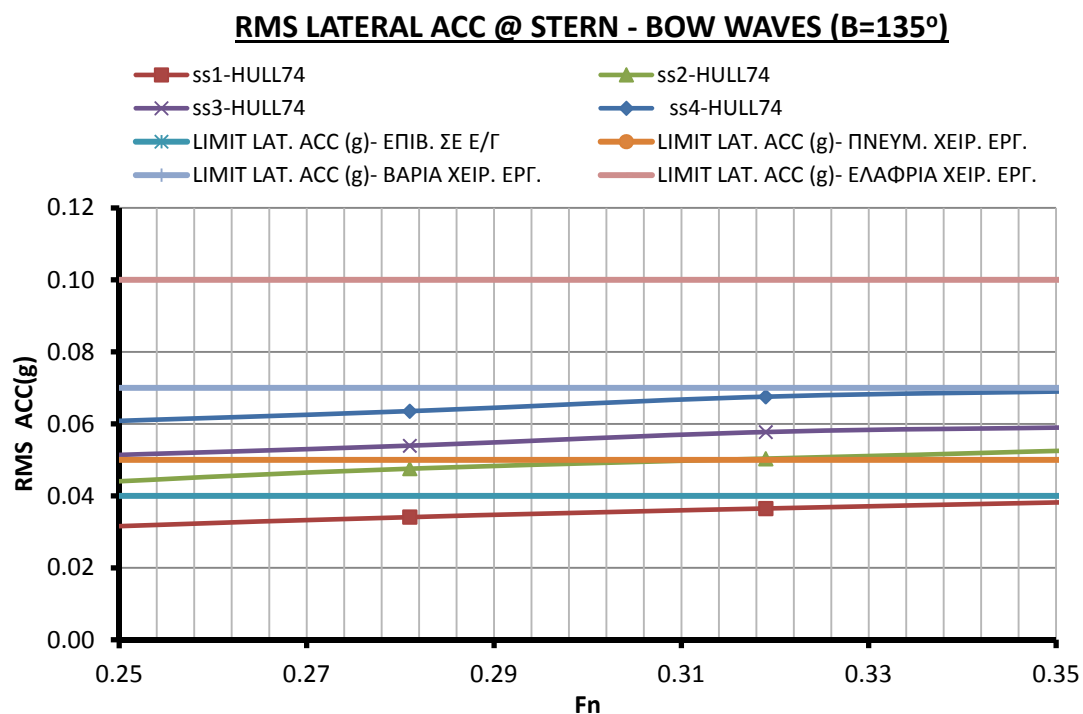
RMS LATERAL ACC @ FIRST PASS DECK - BOW WAVES (B=135°)



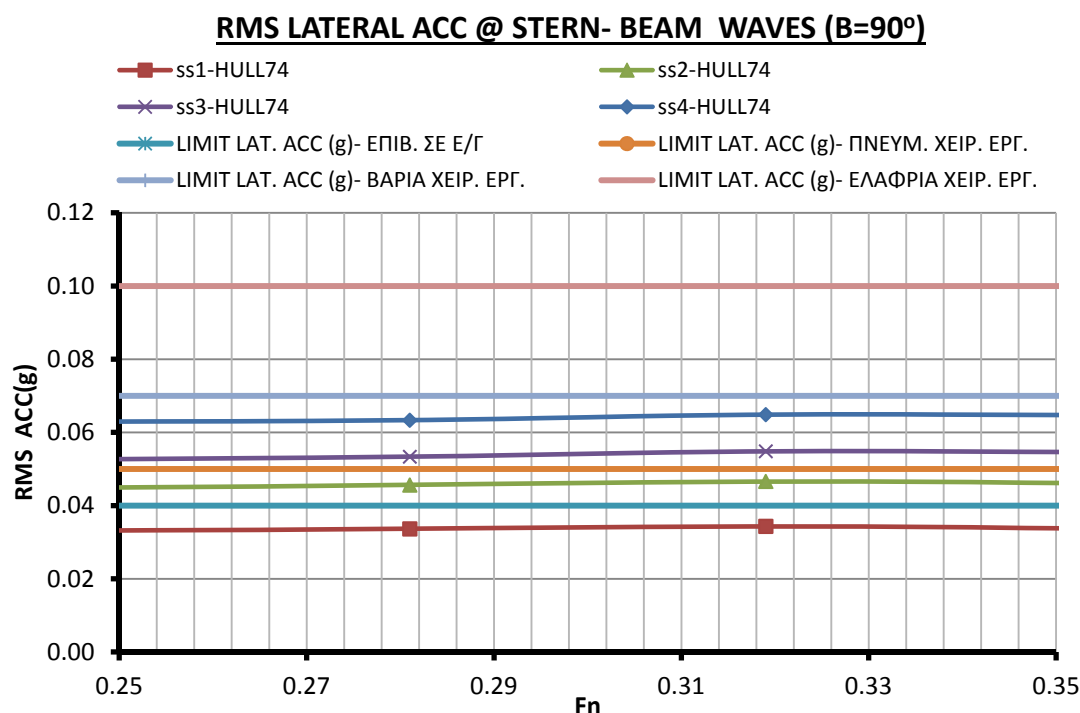
Σχήμα 8.4.14: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL74



Σχήμα 8.4.15: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL74



Σχήμα 8.4.16: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πρύμνη σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL74



Σχήμα 8.4.17: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πρύμνη σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL74

Στο σχήμα 8.4.1 που αφορά των διατοιχισμό της γάστρας HULL74 σε πλωριούς κυματισμούς παρατηρούμε ότι όλα τα κριτήρια συμπεριλαμβανομένου και του κριτηρίου άνεσης επιβατών σε επιβατηγά πλοία ικανοποιούνται για όλες τις καταστάσεις θάλασσας που εξετάστηκαν, ενώ από το σχήμα 8.4.2 που αφορά τον διατοιχισμό σε πλευρικούς κυματισμούς προκύπτει ότι το κριτήριο των επιβατών δεν ικανοποιείται σε καμία κατάσταση θάλασσας.. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε όλες τις καταστάσεις θάλασσας σε πλευρικούς κυματισμούς ικανοποιείται το Roll limit και το όριο για βαριά χειρονακτική εργασία.

Στο σχήμα 8.4.3 που αφορά την κάθετη επιτάχυνση στην πλώρη σε μετωπικούς κυματισμούς παρατηρούμε ότι δεν ικανοποιείται το κριτήριο των 0.15g σε καμία κατάσταση θάλασσας. Στην περίπτωση των πλωριών κυματισμών (σχήμα 8.4.4) το ίδιο κριτήριο ικανοποιείται για καταστάσεις θάλασσας με ύψος κύματος μέχρι 2m για όλες της ταχύτητες του σκάφους που εξετάστηκαν, ενώ στην περίπτωση των πλευρικών κυματισμών (σχήμα 8.4.5) τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά για όλες τις καταστάσεις θάλασσας.

Από τα σχήματα 8.4.6 και 8.4.7 που αφορούν την εγκάρσια επιτάχυνση στην γέφυρα σε πλωριούς και πλευρικούς κυματισμούς προκύπτει ότι το αντίστοιχο κριτήριο των 0.12g ικανοποιείται σε όλες τις περιπτώσεις.

Από τα σχήματα 8.4.8 έως 8.4.10 που αφορούν την κατακόρυφη επιτάχυνση στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών παρατηρούμε το κριτήριο της άνεσης επιβατών ικανοποιείται μόνο σε πλευρικούς κυματισμούς σε όλες τις καταστάσεις θάλασσας.

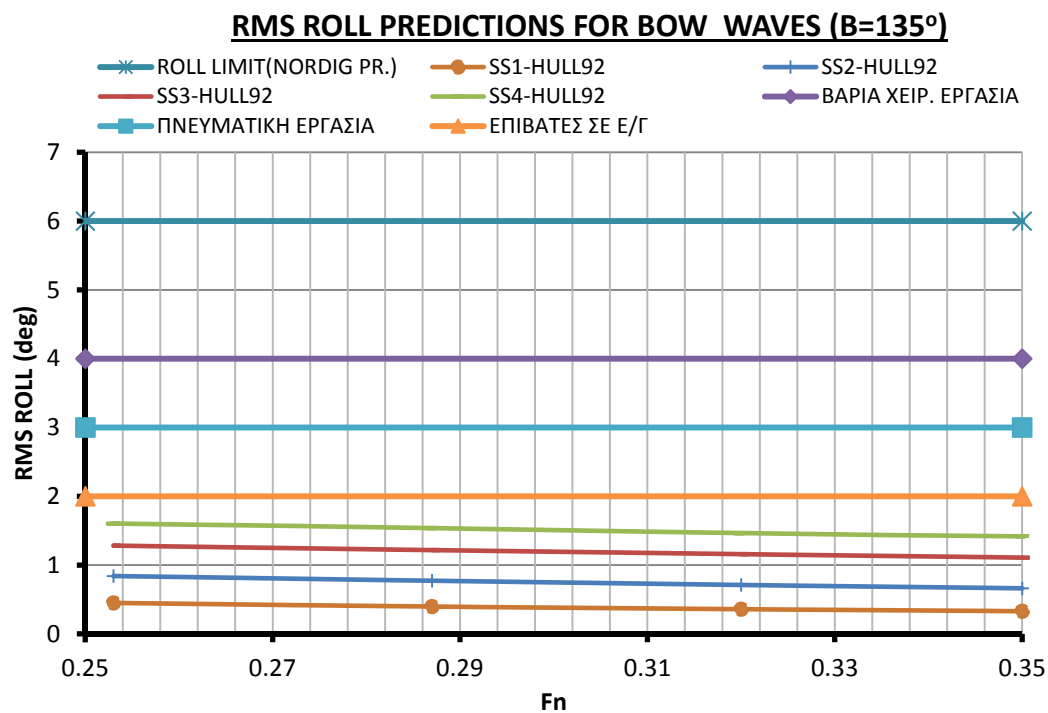
Στα σχήματα 8.4.11 έως 8.4.13 που αφορούν την κατακόρυφή επιτάχυνση στην περιοχή της πρύμνης παρατηρούμε ότι το κριτήριο για πνευματική εργασία ικανοποιείται μόνο στην περίπτωση των πλευρικών κυματισμών για όλες τις καταστάσεις θάλασσας.

Από τα σχήματα 8.4.14 εις 8.4.15 που αφορούν την εγκάρσια επιτάχυνση στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών προκύπτει ότι η σε πλωριούς κυματισμούς το κριτήριο των επιβατών ικανοποιείται για ύψος κύματος μέχρι 4 m ενώ σε πλευρικούς κυματισμούς το κριτήριο ικανοποιείται για ύψος κύματος μέχρι 2 m.

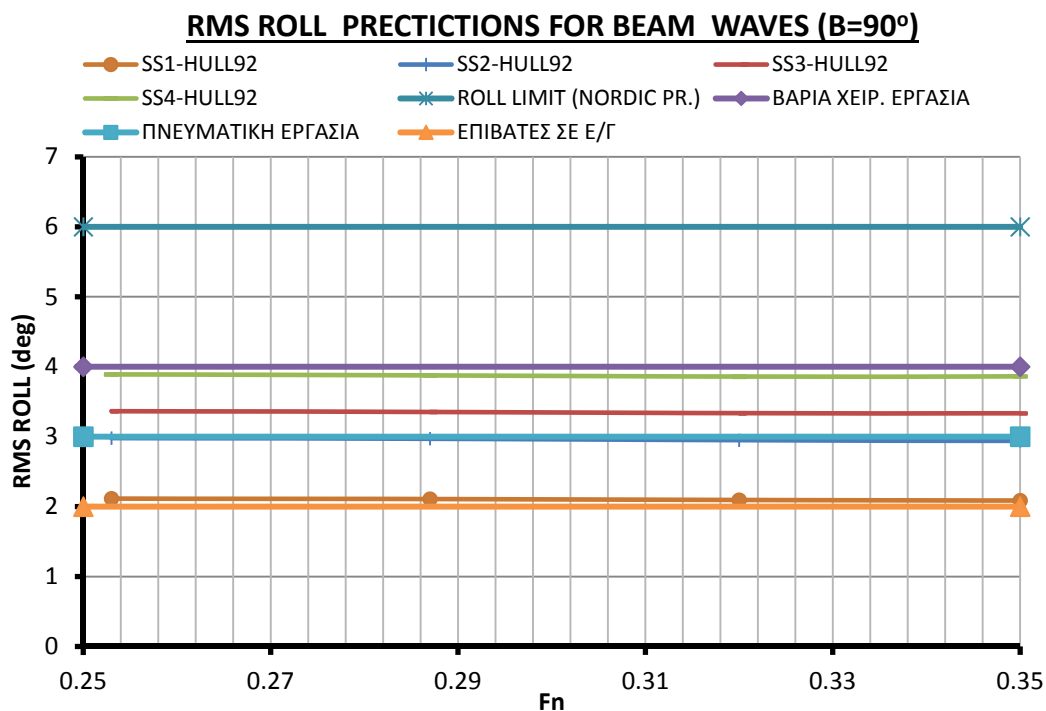
Από τα σχήματα 8.4.16 έως 8.4.17 που αφορούν την εγκάρσια στην πρύμνη προκύπτει ότι η το κριτήριο των επιβατών ικανοποιείται για ύψος κύματος 2 m σε όλους τους κυματισμούς που εξετάστηκαν.

8.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ RMS ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL92 ΜΕ ΑΠΟΔΕΚΤΑ ΚΡΙΗΤΗΡΙΑ

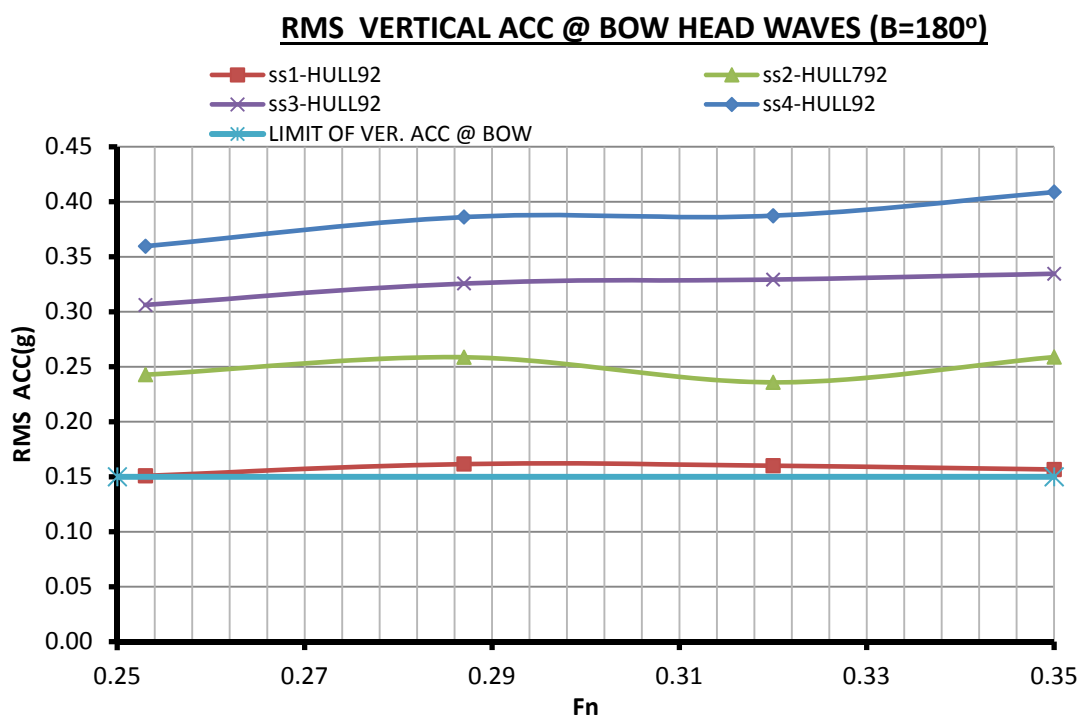
Τα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζουν την σύγκριση των RMS αποκρίσεων της γάστρας HULL74 με αποδεκτές τιμές που προτάθηκαν από το Nordic Project 1987 και έχουν ήδη περιγραφεί στον πίνακα 8.3.1.



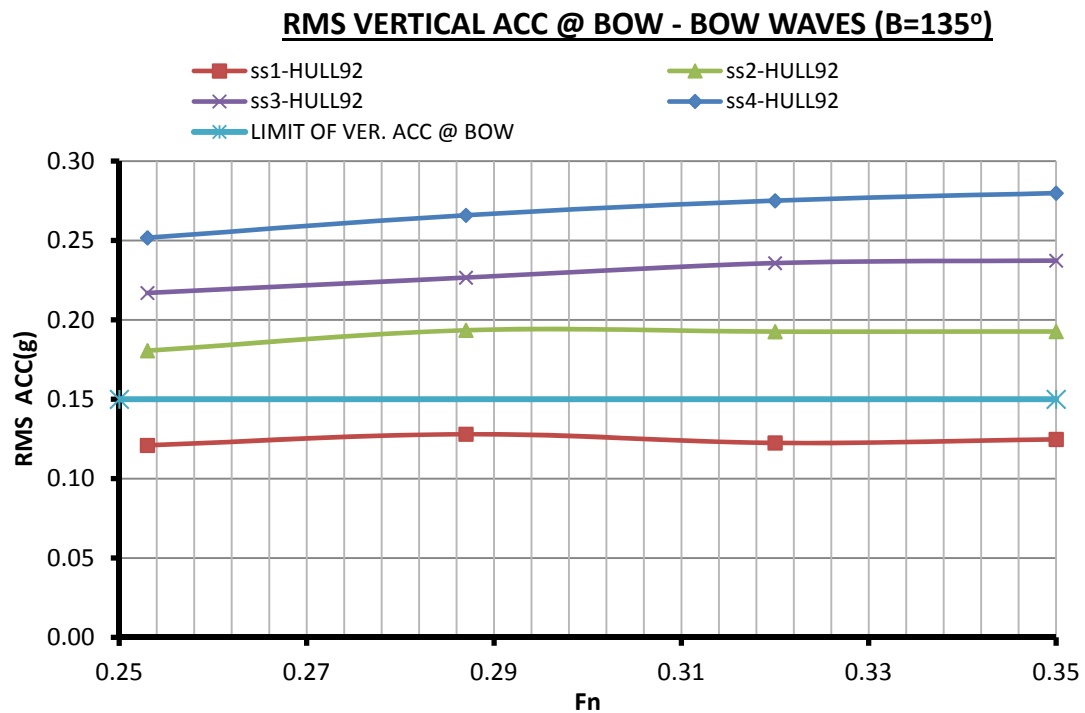
Σχήμα 8.5.1: Διάγραμμα RMS τιμών της κίνησης ξ_4 σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL92



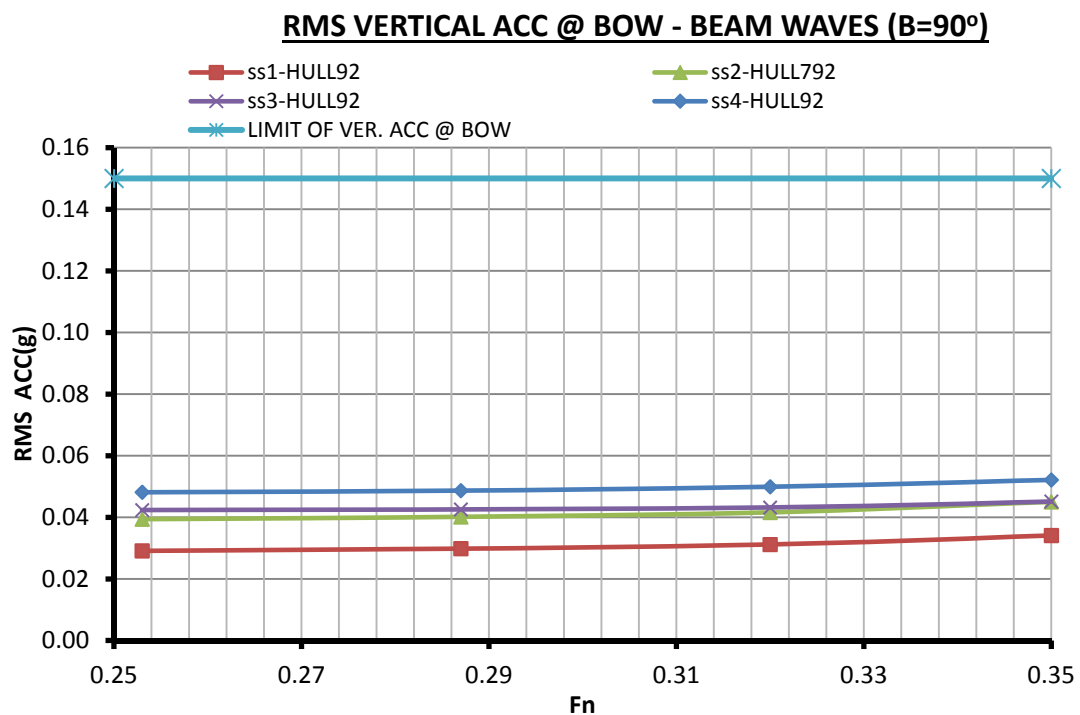
Σχήμα 8.5.2: Διάγραμμα RMS τιμών της κίνησης ξ_4 σε πλευρικούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL92



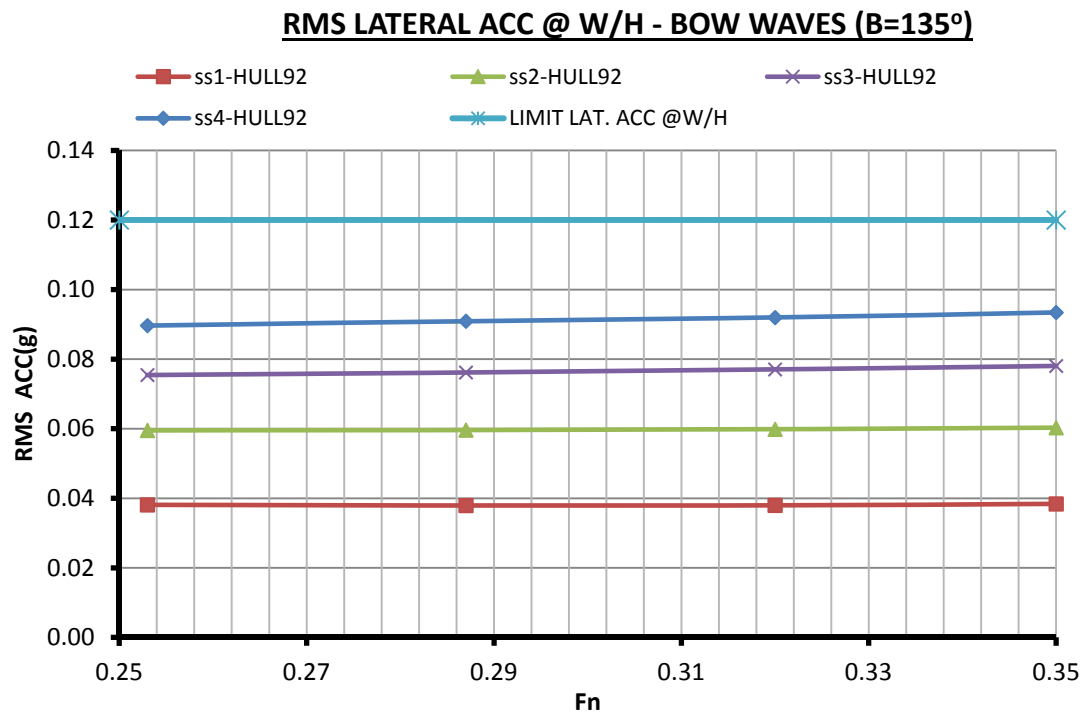
Σχήμα 8.5.3: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πλώρη σε μετωπικούς ($\beta=180^\circ$) κυματισμούς HULL92



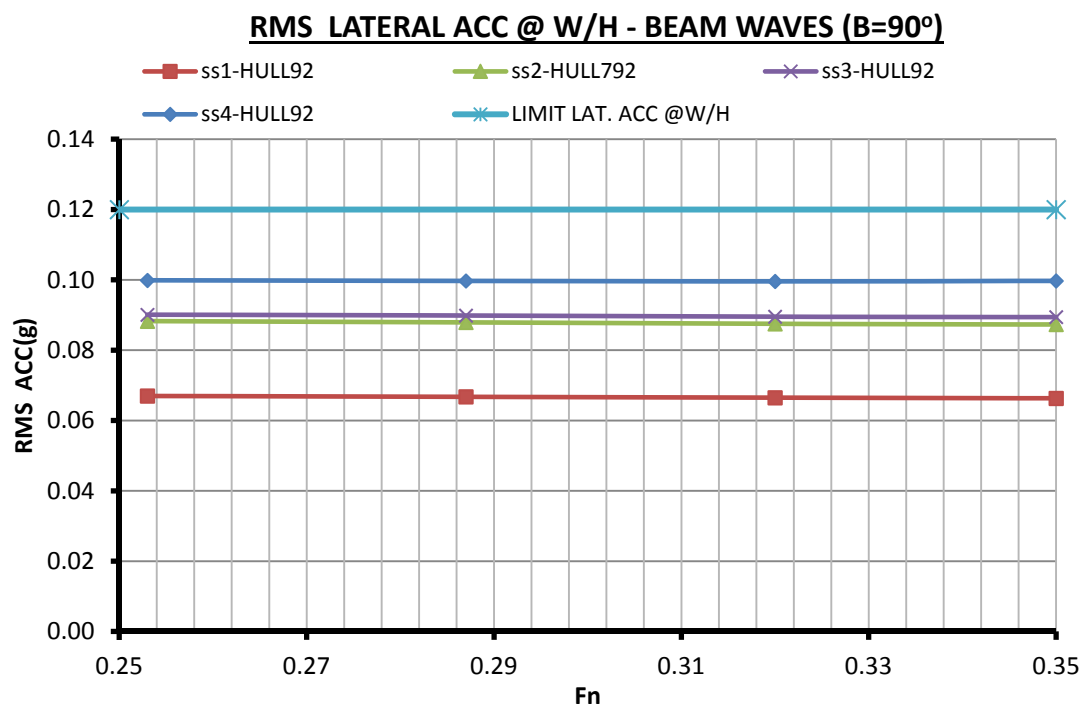
Σχήμα 8.5.4: Διάγραμμα RMS τιμών της κάθετης επιτάχυνσης στην πλώρη σε πλευρικούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL92



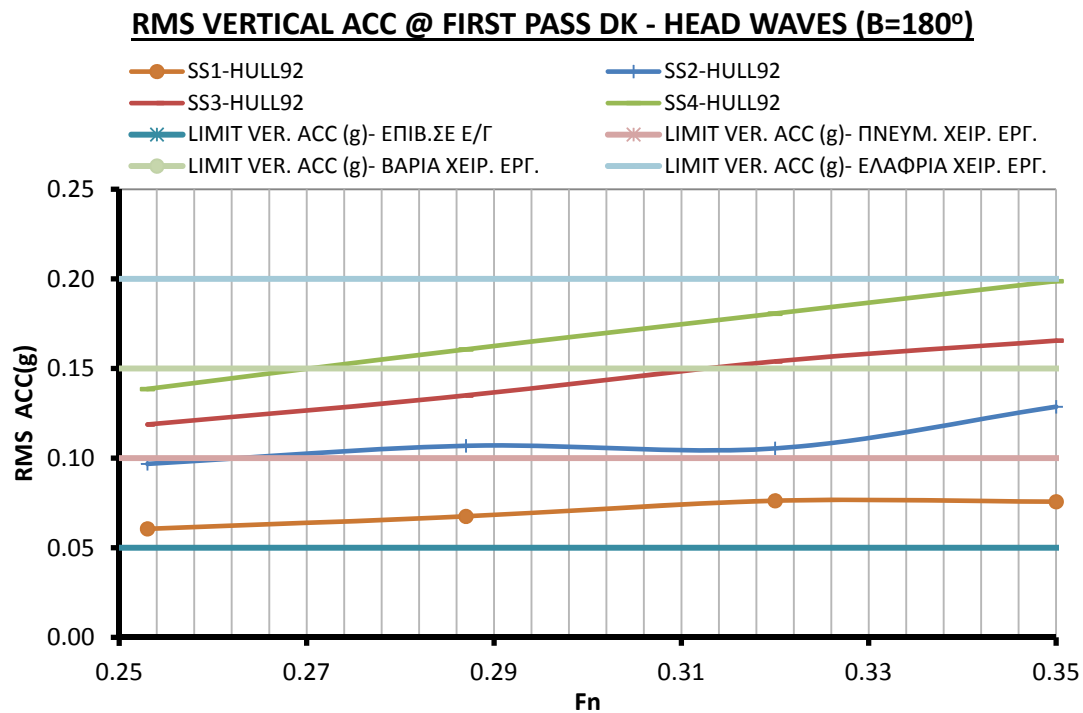
Σχήμα 8.5.5: Διάγραμμα RMS τιμών της κάθετης επιτάχυνσης στην πλώρη σε πλωριούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL92



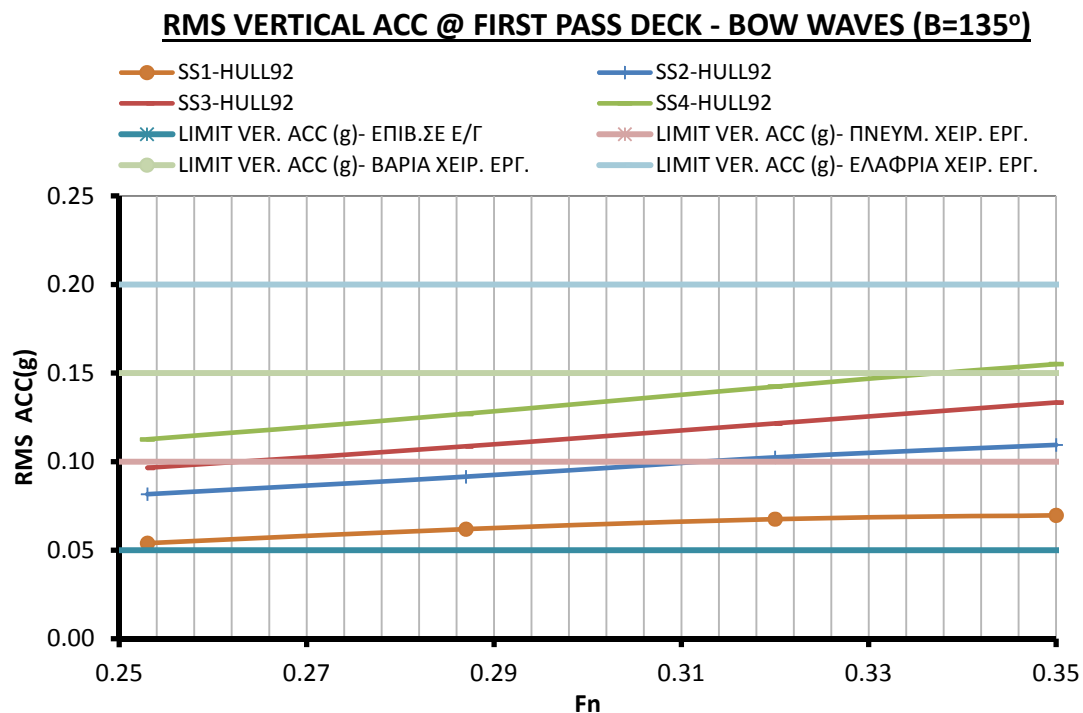
Σχήμα 8.5.6: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στην γέφυρα σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL92



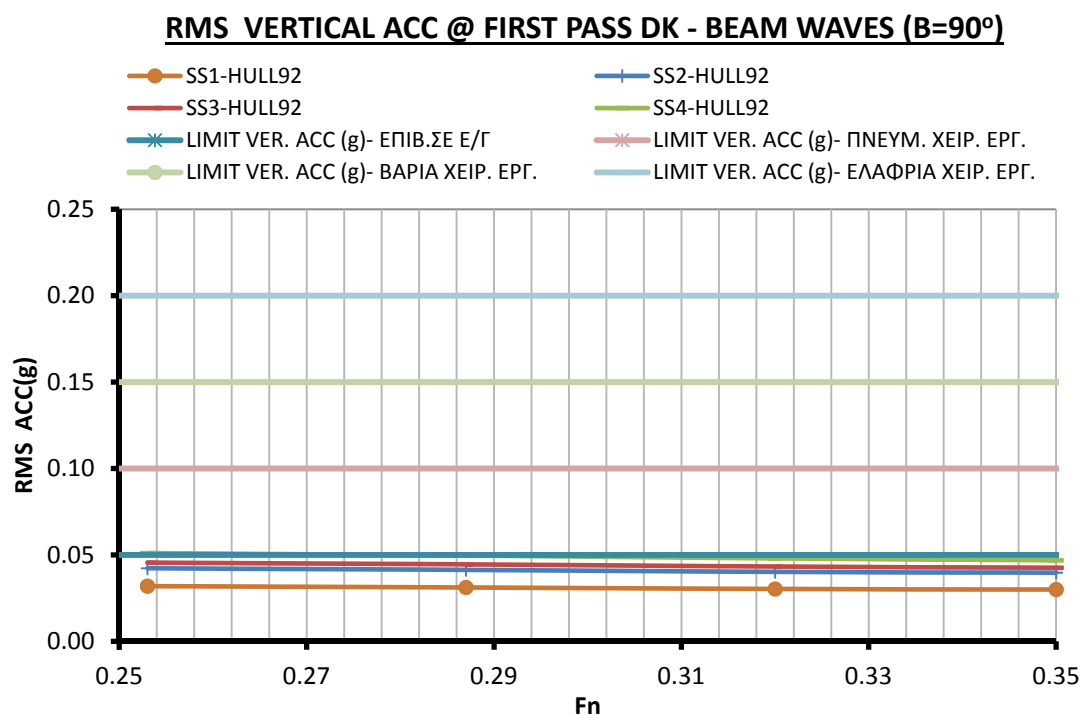
Σχήμα 8.5.7: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στην γέφυρα σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL92



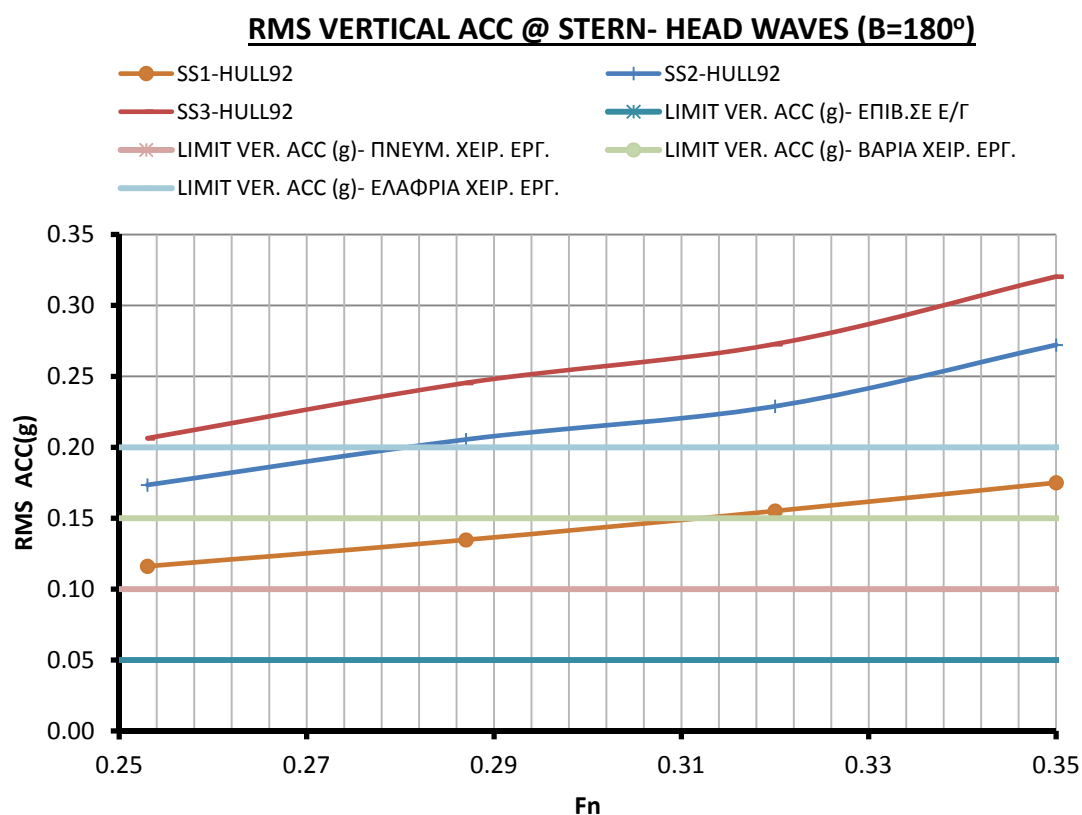
Σχήμα 8.5.8: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL92



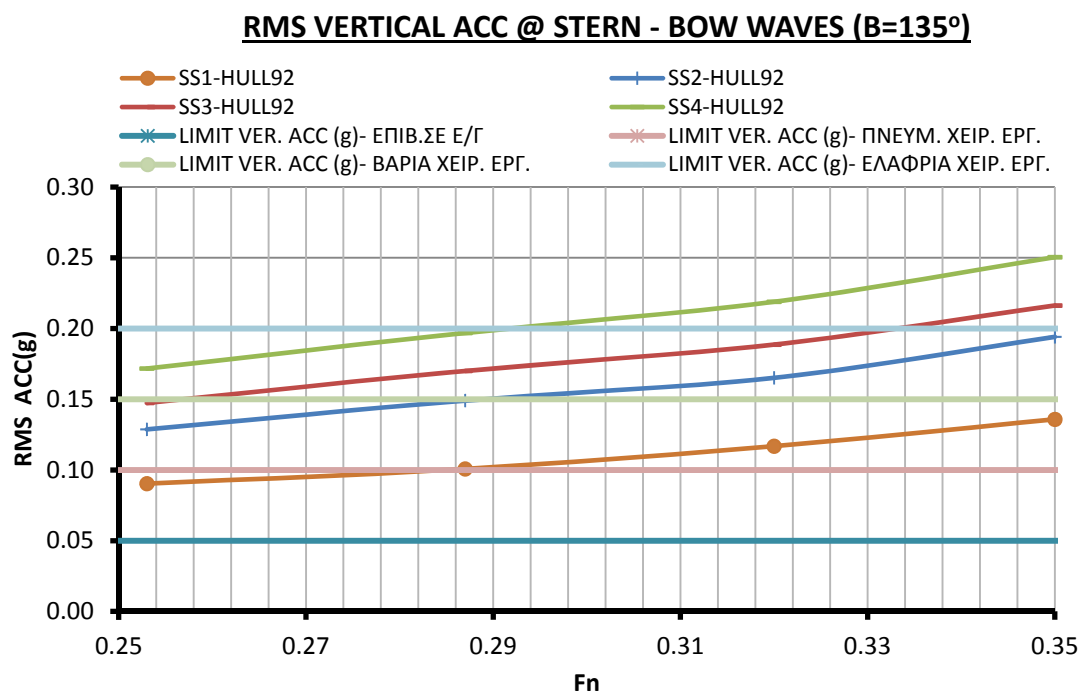
Σχήμα 8.5.9: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL92



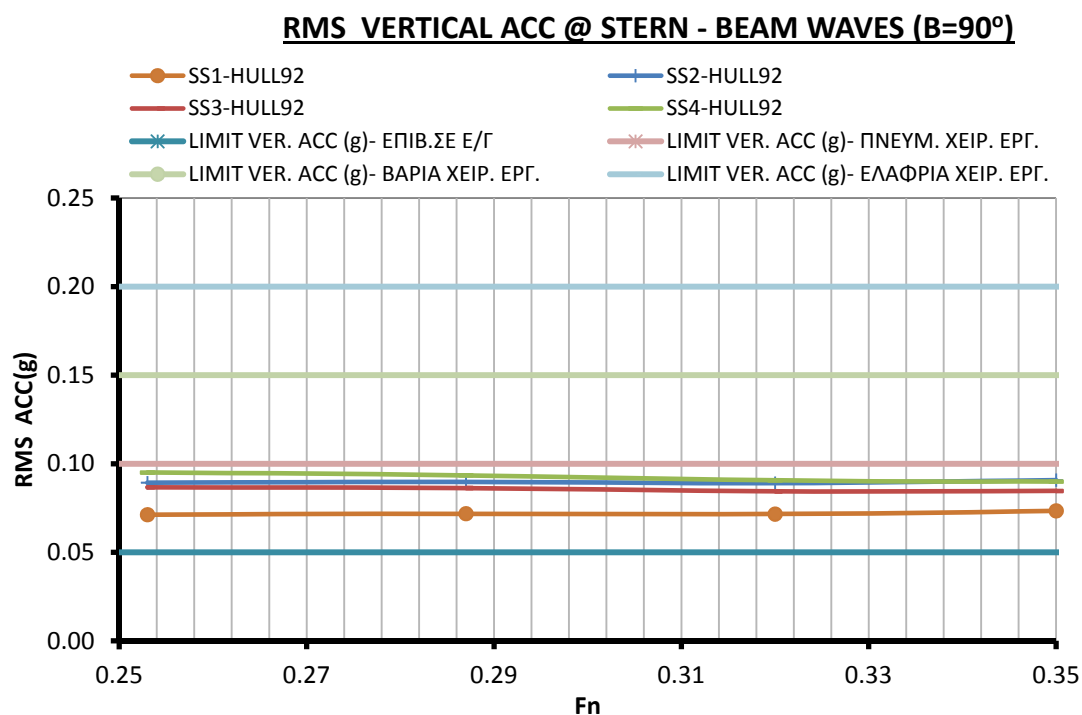
Σχήμα 8.5.10: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην γέφυρα σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL92



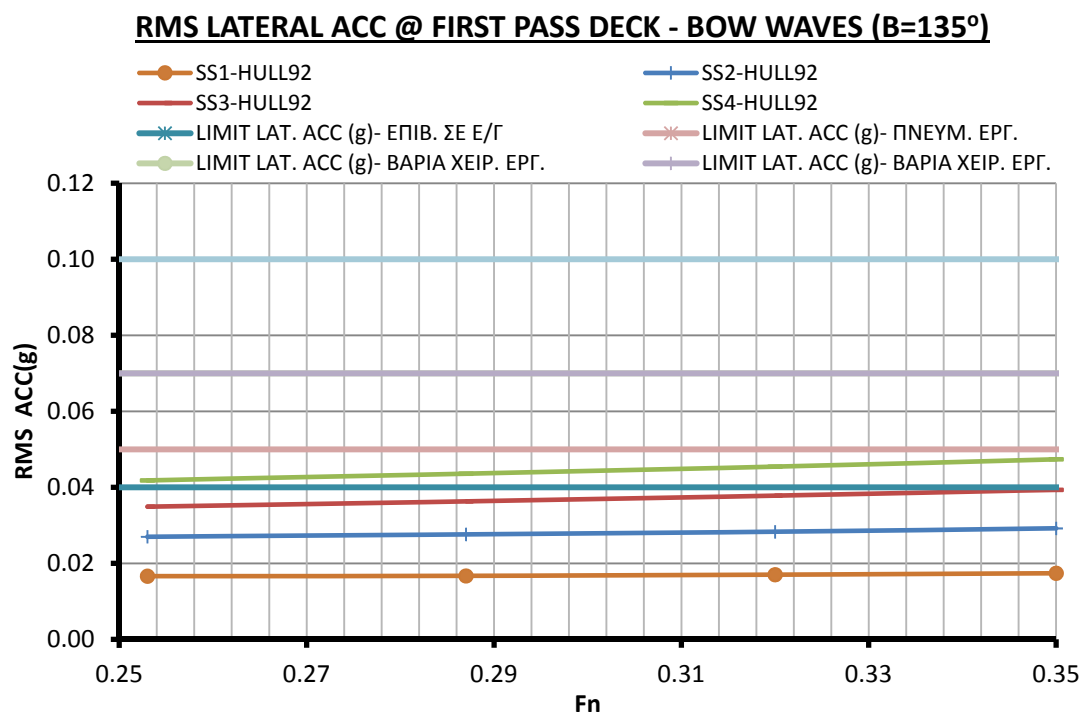
Σχήμα 8.5.11: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρύμνη σε μετωπικούς κυματισμούς ($\beta=180^\circ$) κυματισμούς HULL92



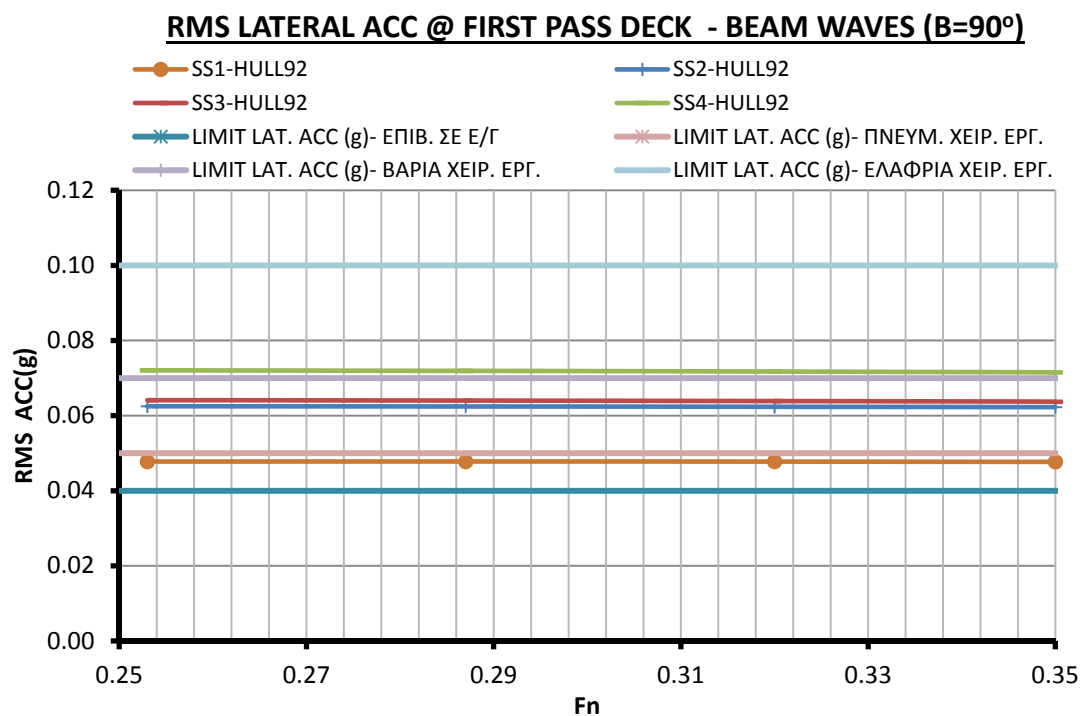
Σχήμα 8.5.12: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρύμνη σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL92



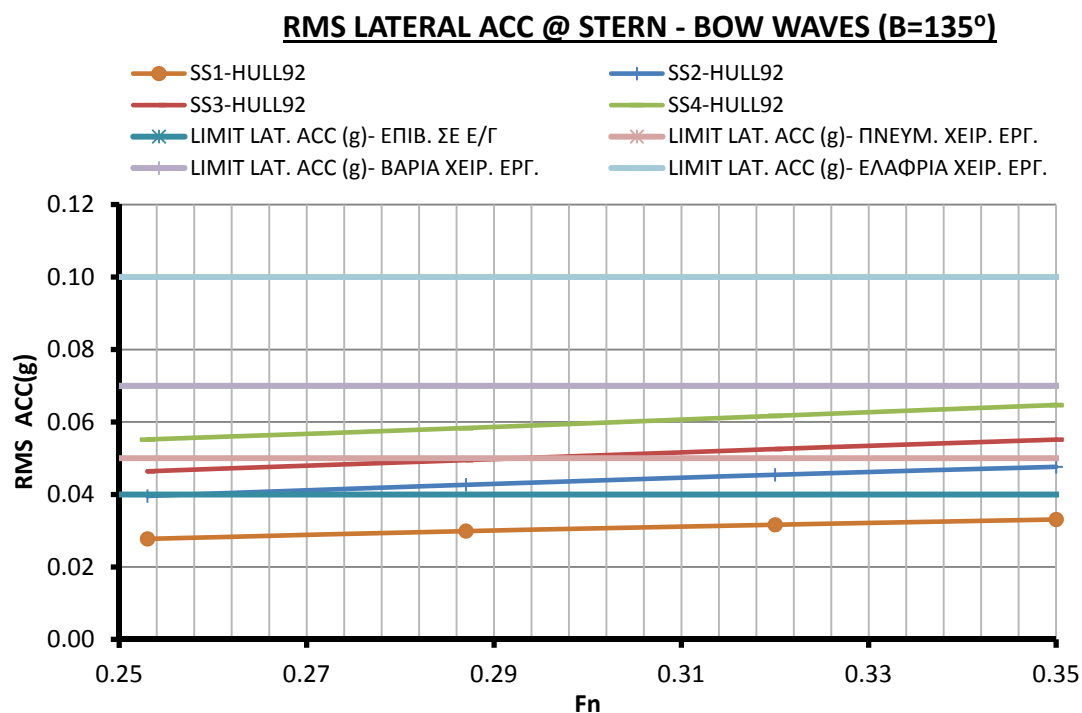
Σχήμα 8.5.13: Διάγραμμα RMS τιμών της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρύμνη σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL92



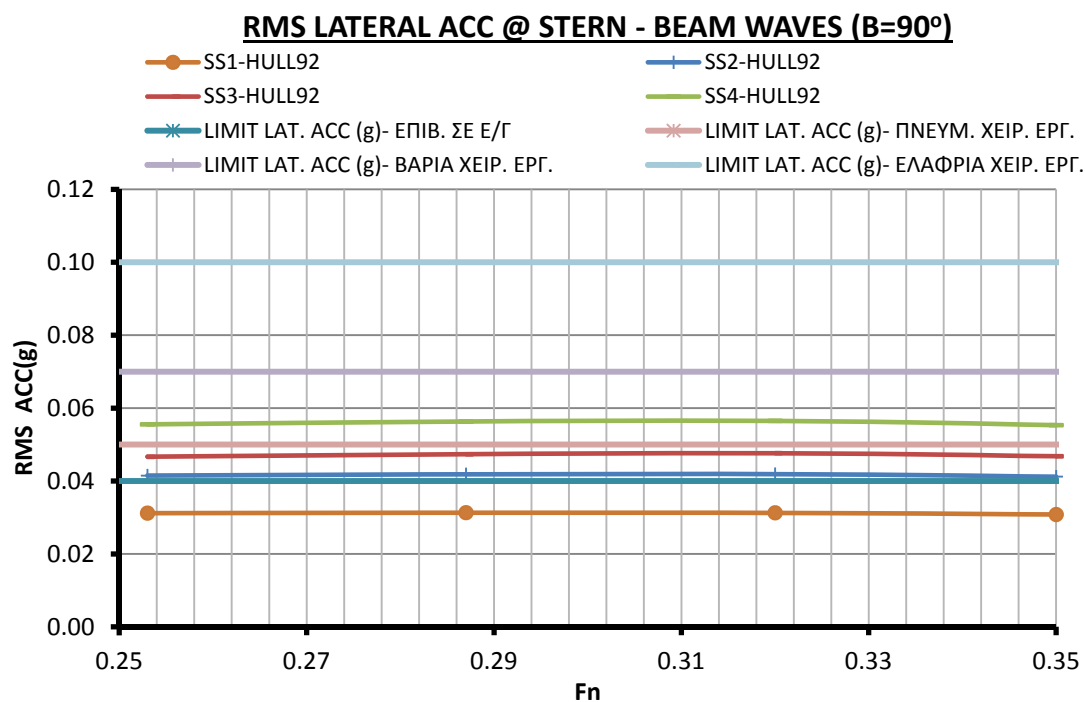
Σχήμα 8.5.14: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL92



Σχήμα 8.5.15: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL92



Σχήμα 8.5.16: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πρύμνη σε πλωριούς κυματισμούς ($\beta=135^\circ$) κυματισμούς HULL92



Σχήμα 8.5.17: Διάγραμμα RMS τιμών της εγκάρσιας επιτάχυνσης στην πρύμνη σε πλευρικούς κυματισμούς ($\beta=90^\circ$) κυματισμούς HULL92

Στο σχήμα 8.5.1 που αφορά των διατοιχισμό της γάστρας HULL92 σε πλωριούς κυματισμούς παρατηρούμε ότι όλα τα κριτήρια συμπεριλαμβανομένου και του

κριτηρίου άνεσης επιβατών σε επιβατηγά πλοία ικανοποιούνται για όλες τις καταστάσεις θάλασσας που εξετάστηκαν, ενώ από το σχήμα 8.5.2 που αφορά τον διατοιχισμό σε πλευρικούς κυματισμούς προκύπτει ότι το κριτήριο των επιβατών δεν ικανοποιείται για καταστάσεις θάλασσας SS2,SS3,SS4. Για την κατάσταση θάλασσας SS1 ο διατοιχισμός σε πλευρικούς κυματισμούς είναι 2.1° ενώ το όριο της άνεσης επιβατών είναι 2° . Πρέπει να σημειωθεί ότι σε όλες τις καταστάσεις θάλασσας σε πλευρικούς κυματισμούς πληρείται το Roll limit και το όριο για βαριά χειρονακτική εργασία.

Στο σχήμα 8.5.3 που αφορά την κάθετη επιτάχυνση στην πλώρη σε μετωπικούς κυματισμούς παρατηρούμε ότι ικανοποιείται το κριτήριο των $0.15g$ μόνο για ύψος κύματος μέχρι 2 m και για αριθμούς F_n μέχρι περίπου 0.26 . Στην περίπτωση των πλωριών κυματισμών (σχήμα 8.5.4) το ίδιο κριτήριο ικανοποιείται για καταστάσεις θάλασσας με ύψος κύματος μέχρι 2 m για όλες της ταχύτητες του σκάφους που εξετάστηκαν, ενώ στην περίπτωση των πλευρικών κυματισμών (σχήμα 8.5.5) τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά για όλες τις καταστάσεις θάλασσας.

Από τα σχήματα 8.5.6 και 8.5.7 που αφορούν την εγκάρσια επιτάχυνση στην γέφυρα σε πλωριούς και πλευρικούς κυματισμούς προκύπτει ότι το αντίστοιχο κριτήριο των $0.12g$ ικανοποιείται σε όλες τις περιπτώσεις.

Από τα σχήματα 8.5.8 έως 8.5.10 που αφορούν την κατακόρυφη επιτάχυνση στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών παρατηρούμε το κριτήριο της άνεση επιβατών ικανοποιείτε μόνο σε πλευρικούς κυματισμούς σε όλες τις καταστάσεις θάλασσάς. Το κριτήριο αυτό επίσης σχεδόν ικανοποιείται στην περίπτωση των πλωριών κυματισμών σε καταστάσεις θάλασσας με ύψος κύματος μέχρι 2 m εφόσον η ταχύτητα του σκάφους δεν ξεπερνά τους 15 kn .

Στα σχήματα 8.5.11 έως 8.5.13 που αφορούν την κατακόρυφή επιτάχυνση στην περιοχή της πρύμνη παρατηρούμε ότι το κριτήριο για πνευματική εργασία στην περίπτωση των πλευρικών κυματισμών ικανοποιείται για όλες τις καταστάσεις θάλασσας, ενώ στην περίπτωση των πλωριών κυματισμών ικανοποιείται μονό στην περίπτωση όπου το ύψος κύματος δεν ξεπερνά τα 2 m και ταχύτητα του σκάφους δεν ξεπερνά τους 17 kn .

Από τα σχήματα 8.5.14 εις 8.5.15 που αφορούν την εγκάρσια επιτάχυνση στο πρώτο κατάστρωμα επιβατών προκύπτει ότι η σε πλωριούς κυματισμούς το κριτήριο των επιβατών ικανοποιείται για ύψος κύματος μέχρι 4 m ενώ σε πλευρικούς κυματισμούς το κριτήριο αυτό δεν ικανοποιείται.

Από τα σχήματα 8.5.16 έως 8.5.17 που αφορούν την εγκάρσια στην πρύμνη προκύπτει ότι η το κριτήριο των επιβατών ικανοποιείται για ύψος κύματος 2 m σε όλους τους κυματισμούς που εξετάστηκαν ενώ για ύψος κύματος 3 m και εφόσον το η ταχύτητα του σκάφους δεν ξεπερνά τους 16 kn το κριτήριο αυτό ικανοποιείται και στην περίπτωση των πλωριών.

9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρατηρούμε ότι τα πλοία παρουσιάζουν υψηλές κάθετες επιταχύνσεις και πιθανόν να προκαλούν στους επιβάτες δυσφορία ή ναυτία σε θαλασσοταραχή . Η δυναμική συμπεριφορά σε κυματισμούς ιδιαίτερα όταν το ύψος κύματος ξεπερνά τα 2m είναι περιοριστική παράμετρος για τη λειτουργία τους.

Ο καπετάνιος προκειμένου να αποφύγει τις υψηλές επιταχύνσεις θα πρέπει να μειώσει την ταχύτητα ή και να αλλάξει πορεία πλεύσης. Επιπλέον, για την βελτίωση της δυναμική συμπεριφοράς προτείνεται να τοποθετηθούν T-foils κάτω από τον πυθμένα, στην περιοχή της πλώρης, προκειμένου να ελέγξουν τις κατακόρυφες κινήσεις και επιταχύνσεις του πλοίου, όταν ταξιδεύει μέσα από θαλάσσιους κυματισμούς.

10 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- “Μελέτη & Σχεδίαση Πλοίων Νέας Τεχνολογίας” : Γ. Ζαραφονίτης
- “Εφαρμογές της Δυναμικής Συμπεριφοράς Πλοίων σε Κυματισμούς”: Θ.Α. Λουκάκης, Γ.Ι. Γρηγορόπουλος, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2000
- “Υδροδυναμική Πλοίου, Αντίσταση-Πρόωση (Σημειώσεις)”: Θ.Α. Λουκάκης, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2001
- “Seakeeping Analysis of a Medium-Speed Twin-Hull Containership”, George Zaraphonitis, Gregory J. Grigoropoulos, Dimitra P. Damala, and Dimitris Mourkoyannis
- “Model Tests For Calm Water Performance Seakeeping Tests” : D.V. Triperinas, D.P. Damala, G.D. Tzabiras, Athens 2011
- “SWAN2 2002 User Manual”: MIT, Boston Marine Consulting, Boston 2002
- “Μελέτη και Σχεδίαση Δίγαστρου Επιβατηγού- Οχηματαγωγού Πλοίου Μεγάλου Μεγέθους”, Διπλωματική Εργασία: Σωτήρη Κιουσόπουλου, Αθήνα 2013
- “Μελέτη και Σχεδίαση Δίγαστρου Επιβατηγού- Οχηματαγωγού Πλοίου Μεσαίου Μεγέθους, τύπου Catamaran”, Διπλωματική Εργασία: Γεώργιου Π. Μιχαλάκου, Αθήνα 2013
- “Αναλυτική και Πειραματική Διερεύνηση της Δυναμικής Συμπεριφοράς Ταχύπλοων Σκαφών σε Κυματισμούς”, Διπλωματική Εργασία: Θ.Κ. Περδικάρη, Αθήνα 2006
- “Δυναμική Συμπεριφορά Πλοίου σε Κυματισμούς” : Εκδόσεις ΕΜΠ, Γ.Α. Αθανασούλης, Αθήνα 2008.
- “Κύματα Ανέμου και Στοιχεία Θεωρίας Στοχαστικών Διαδικασιών”: Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2004
- “Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου”: Εκδοσεις ΕΜΠ, Γ.Κ. Πολίτη, Φ.Α. Σκαμνέλη, Αθήνα 2008
- “The influence of hull configuration on the motions of a catamaran”, Lawrence J. Doctors, Australia 2000