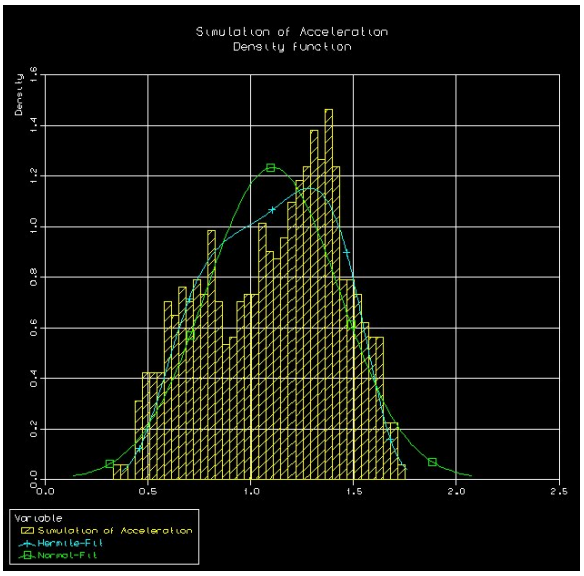
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΕ «ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΙΘΑΝΟΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ & ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ NEWDRIFT & PROBAN



Παπατζανάκης Γεώργιος

Διπλ. Ναυπηγός Μηχ/γος Μηχ/κος

Επιβλέπων: **Σπύρου Κ., Αναπλ. Καθηγητής**

Μέλη τριμελούς επιτροπής: **Παπανικολάου Α., Καθηγητής**

Ζαραφωνίτης Α., Επικ. Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ

Δεκέμβριος 2007

Ευχαριστίες

Για την πολύτιμη συνδρομή τους στην πραγματοποίηση αυτή της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω:

- Τον επιβλέποντα αυτής της εργασίας Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ κ. Κ. Σπύρου.
- Τον καθηγητή της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ και Διευθυντή του Εργαστηρίου Μελέτης Πλοίου κ. Α. Παπανικολάου.
- Τον Δρ. Δ. Σπανό για την αρμονική συνεργασία μας και την πολύτιμη βοήθεια του στην εκπόνηση αυτής της εργασίας.
- Τον Δρ Β. Μπουλουγούρη για την καθοριστική συνδρομή του σε κάποια σημαντικά σημεία της εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 1

2. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΙΘΑΝΟΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ 3

2.1 Τυχαία Συμβάντα 3

2.2 Μεταβλητές 6

2.3 Πιθανοθεωρητική Διαχείριση Μεταβλητών 7

3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ 8

3.1 Υπολογισμός Πιθανότητας 8

Monte Carlo 8

FORM 9

3.2 Υπολογισμός Κατανομής Πιθανότητας 11

Monte Carlo 11

Latin Hypercube 11

4. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΙΘΑΝΟΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ Η/Υ 12

4.1 Περιγραφή Προγραμμάτων 12

NEWDRIFT 12

SPECTRA 12

PROBAN 13

4.2 Διασύνδεση για Χρήση στο επίπεδο Σχεδιασμού 13

4.3 Διασύνδεση Επιχειρησιακής Χρήσης 21

4.4 Δυνατότητες Μοντέλου 26

Διακριτοποίηση Πεδίου Εφαρμογής 26

Χρόνοι Υπολογισμών 28

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ 30

5.1 Περιγραφή Πλοίου 30

5.2 Όρια Υπέρβασης τυχαίων Συμβάντων 30

5.3 Ενδεικτικά Αποτελέσματα 31

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 40

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 42

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 43

Α.1 Αποτελέσματα στο επίπεδο σχεδιασμού (τιμές rms επιταχύνσεων στην πρώρα και στη γέφυρα) 44

Α.2 Αποτελέσματα στο επίπεδο επιχειρησιακής χρήσης (rms τιμές επιταχύνσεων στην πρώρα και στη γέφυρα) 56

Α.3 Αποτελέσματα στο επίπεδο επιχειρησιακής χρήσης (Υπερβάσεις τυχαίων συμβάντων και επιταχύνσεων)..... 66

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πρόβλεψη της υδροδυναμικής συμπεριφοράς ενός πλοίου σε κυματισμούς είναι μια πολυσύνθετη διαδικασία. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά αυτή είναι πολλοί και η γνώση τους και μοντελοποίησή τους είναι μια πολύπλοκη διαδικασία. Τόσο το τρισδιάστατο περιβάλλον στο οποίο ταξιδεύει το πλοίο, όσο και οι παράγοντες που σχετίζονται με την ακριβή κατάστασή του, το φορτίο του, την ταχύτητα και την κατεύθυνσή του είναι αρκετά δύσκολο να μετρηθούν και να μοντελοποιηθούν με ακρίβεια. Η μερική άγνοια αυτή των πραγματικών συνθηκών που επικρατούν μπορεί να οδηγήσει πολλές φορές σε τραγικά αποτελέσματα όπως η ολική καταστροφή του πλοίου και η απώλεια ανθρώπινων ζωών, αλλά και σε μικρότερης κλίμακας συμβάντα όπως η απώλεια μέρους του φορτίου και η καταστροφή κύριων και βοηθητικών μηχανημάτων του.

Τις περισσότερες φορές η αποφυγή τέτοιων καταστάσεων έγκειται στην εμπειρία του καπετάνιου και του πληρώματος του πλοίου, οι οποίοι κάτω από δύσκολες καταστάσεις θα πρέπει να πάρουν αποφάσεις και κατάλληλα μέτρα για την επιβίωση του πλοίου.

Ένας τρόπος αντιμετώπισης της αβεβαιότητας των παραγόντων που επιδρούν στην υδροδυναμική συμπεριφορά του πλοίου είναι η πιθανοθεωρητική μελέτη του προβλήματος με την οποία παρέχεται η δυνατότητα μοντελοποίησης της αβεβαιότητας αυτής

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια για την ανάπτυξη ενός τέτοιου μοντέλου πιθανοθεωρητικής εξέτασης των δυναμικών αποκρίσεων του πλοίου και η εφαρμογή του με την χρήση του αξιόπιστου υδροδυναμικού κώδικα του Εργαστηρίου Μελέτης Πλοίου, NEWDRIFT και του προγράμματος γενικής πιθανοθεωρητικής ανάλυσης του DNV, PROBAN.

Η χρησιμότητα μιας τέτοιας εφαρμογής μπορεί να είναι πολύπλευρη καθώς μπορεί να χρησιμεύσει σημαντικά στο στάδιο της σχεδίασης του πλοίου με σκοπό την βελτιστοποίησή του, αλλά και σαν ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων (Decision Support System - DSS), το οποίο θα βρίσκεται στην γέφυρα του πλοίου και θα λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο δίνοντας στο πλήρωμα τις κατάλληλες οδηγίες για την αντιμετώπιση δύσκολων καταστάσεων.

Αρχικά και προς την κατεύθυνση αυτή αναπτύχθηκε το μοντέλο υπολογισμού πιθανοτήτων με βασικά κριτήρια τους παράγοντες που επιδρούν στη συμπεριφορά του πλοίου και την αβεβαιότητα που αυτοί εμπεριέχουν και στη συνέχεια δημιουργήθηκε το κατάλληλο λογισμικό για τη διασύνδεση των προγραμμάτων. Τέλος πραγματοποιήθηκε μια σειρά από υπολογισμούς ώστε να διαπιστωθεί η δυνατότητα του συστήματος και η αξιοπιστία του ως προς τον υπολογισμό των πιθανοτήτων.

Η εργασία αυτή έγινε στα πλαίσια του χρηματοδοτούμενου από την Ευρωπαϊκή Ένωση ερευνητικού προγράμματος ADOPT - Advanced Decision Support System for Ship Design, Operation and Training το οποίο βρίσκεται σε εξέλιξη και σε αυτό συμμετέχει το Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου του Ε.Μ.Π. υπό τον διευθυντή του Καθηγητή Α. Παπανικολάου.

2. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΙΘΑΝΟΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το πιθανοθεωρητικό μοντέλο το οποίο αναπτύχτηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας αφορά την προσπάθεια εκτίμησης της πιθανότητας εμφάνισης γεγονότων υδροδυναμικής συμπεριφοράς του πλοίου κατά την διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος του ταξιδίου ή καθόλη την διάρκεια της ζωής του, λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες οι οποίοι αφορούν το ίδιο το πλοίο, όπως την κατάσταση φόρτωσής του, την πορεία του και την κατάσταση του θαλάσσιου περιβάλλοντος στο οποίο ταξιδεύει. Παρακάτω αναπτύσσονται αναλυτικά τα τυχαία αυτά συμβάντα, οι μεταβλητές που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του πλοίου καθώς και η δυνατότητα πιθανοθεωρητικής αντιμετώπισης της ολικής ή μερικής άγνοιάς τους.

2.1 Τυχαία Συμβάντα

Σαν γεγονός της υδροδυναμικής συμπεριφοράς του πλοίου σε θαλάσσιους κυματισμούς (seakeeping event) ορίζουμε κάθε σχετικό τυχαίο φαινόμενο που δεν είναι συνεχής συνάρτηση του χρόνου. Έτσι στην κατηγορία αυτή μπορούμε να κατατάξουμε γεγονότα όπως τη διαβροχή του καταστρώματος (deck wetness – Greenwater), την ανάδυση της έλικας (propeller emergence – racing) και τη σφυρόκρουση του πυθμένα και των πλευρών της πρώρας (bottom και bow flare slamming). Τα γεγονότα αυτά επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την κατάσταση λειτουργίας του πλοίου όσον αφορά την αντοχή της μεταλλικής κατασκευής, τη σωστή λειτουργία της κύριας μηχανής, τη λειτουργία αριθμού βοηθητικών μηχανημάτων του πλοίου και την ασφάλεια του φορτίου, ειδικά σε πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Εκτός από αυτά, στην παρούσα εργασία εξετάζονται επιπλέον η κατακόρυφη επιτάχυνση στην πρώρα του πλοίου και η επιτάχυνση στην γέφυρα, καθώς επηρεάζουν σημαντικά τη λειτουργία συσκευών στην γέφυρα και στην πρώρα του πλοίου αλλά και τη λειτουργία του πληρώματος, προκαλώντας ναυτία και δυσκολία κίνησης των ατόμων πάνω στο πλοίο.

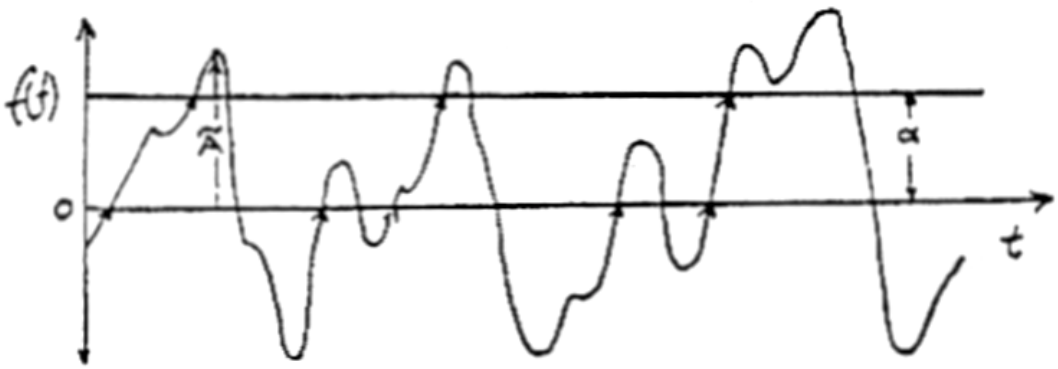
Η πρόβλεψη εμφάνισης των παρακάνω συμβάντων κατά τη διάρκεια του ταξιδιού προϋποθέτει τον υπολογισμό των δυναμικών αποκρίσεων πλοίου σε μια κατάσταση θάλασσας, ο οποίος μπορεί να γίνει με βάση τους συντελεστές απόκρισής του σε απλούς αρμονικούς κυματισμούς (R.A.O.), το φάσμα της θάλασσας και την αρχή της γραμμικής υπέρθεσης. Προς τούτο θεωρούμε το πλοίο σαν ένα γραμμικό

σύστημα για κάθε δυναμική απόκριση. Το σύστημα διεγείρεται υπό την επίδραση των κυμάτων, η δε απόκρισή του ως προς κάποια κίνηση εξαρτάται από τη συνάρτηση μεταφοράς ως προς την κίνηση αυτή, η οποία είναι η καμπύλη των συντελεστών απόκρισης (R.A.O) ως προς την κίνηση αυτή. Συγκεκριμένα ισχύει η σχέση:

$$S_{\xi i}(\omega) = \left|R_{\xi i}(\omega)\right|^2 S_{\zeta}(\omega)$$

όπου $S_{\xi i}$ και S_{ζ} είναι τα φάσματα της απόκρισης και της ανύψωσης της θάλασσας αντίστοιχα και $R_{\xi i}(\omega)$ είναι η καμπύλη των συντελεστών της συγκεκριμένης απόκρισης στο πεδίο συχνοτήτων συνάντησης ω. Η σχέση ανάμεσα στη συχνότητα συνάντησης ω και στη συχνότητα κύματος ω_0 είναι: $\omega = \omega_0 - \omega_0^2 U\cos\beta/g$ με β την γωνία συνάντησης των κυμάτων και U την ταχύτητα του πλοίου.

Έχοντας υπολογίσει το φάσμα των αποκρίσεων του πλοίου και χρησιμοποιώντας τη σχέση: $\nu^+ = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{m_2}{m_0}}\exp\left(-\frac{\alpha^2}{2m_0}\right)$ η οποία δίνει τον αριθμό των προς τα πάνω περασμάτων μιας στοχαστικής διαδικασίας X(t) (σχήμα 1) από την στάθμη α ανά μονάδα χρόνου, όπου $m_n = \int_0^{\infty} \omega^n S(\omega) d\omega$ οι φασματικές ροπές, μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό των υπερβάσεων ανά μονάδα χρόνου των παραπάνω γεγονότων.



Σχήμα 1: Προς τα πάνω περάσματα μιας διαδικασίας X(t) από την στάθμη α

Αναλυτικότερα:

- <u>Σφυρόκρουση πυθμένα (slamming)</u>:

Στην περίπτωση της σφυρόκρουσης του πυθμένα θα πρέπει να ισχύουν ταυτόχρονα δύο υπερβάσεις: ο πυθμένας του πλοίου να βρίσκεται έξω από το νερό και η θετική σχετική ταχύτητα του πυθμένα ως προς το νερό να υπερβαίνει ένα όριο

που ονομάζεται σχετική ταχύτητα σφυρόκρουσης U_{th}. Σε αυτήν την περίπτωση ο αριθμός των υπερβάσεων ανά ώρα δίνεται από την σχέση:

$$v^{+} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{m_{2V\,\mathrm{Re}\,lbow}}{m_{0V\,\mathrm{Re}\,lbow}}}\exp\left[-\left(\frac{T^{2}}{2_{m0V\,\mathrm{Re}\,lbow}}+\frac{U_{th}^{2}}{2m_{2V\,\mathrm{Re}\,lbow}}\right)\right]\cdot 3600$$

όπου $m_{0VRelbow}$ και $m_{2VRelbow}$ οι φασματικές ροπές της σχετικής κατακόρυφης κίνησης στην πρώρα του πλοίου. Η ταχύτητα U_{th} δίνεται από τους Ochi και Motter [8] ως συνάρτηση του μήκους του πλοίου από τις σχέσεις $U_{th} = 0.093\sqrt{gL}$ ή $U_{th} = 3.66L_{PP}/158.5$ σε m/sec.

- <u>Διαβροχή καταστρώματος (GreenWater)</u>:

Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει η σχετική κατακόρυφη κίνηση της πρώρας να είναι μεγαλύτερη από το ύψος εξάλων f και ο αριθμός των υπερβάσεων ανά ώρα δίνεται από την σχέση:

$$v^{+} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{m_{2V\,\mathrm{Re}\,lbow}}{m_{0V\,\mathrm{Re}\,lbow}}}\exp\left(-\frac{f^{2}}{2m_{0V\,\mathrm{Re}\,lbow}}\right)\cdot 3600$$

- <u>Ανάδυση έλικας (propeller racing)</u>:

Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει η σχετική κατακόρυφη κίνηση στην πρύμνη να είναι μεγαλύτερη από την απόσταση από το βύθισμα μέχρι το 1/4 της διαμέτρου της έλικας.

$$v^{+} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{m_{2V\,\mathrm{Re}\,lStern}}{m_{0V\,\mathrm{Re}\,lStern}}}\exp\left(-\frac{\alpha^{2}}{2m_{0V\,\mathrm{Re}\,lstern}}\right)\cdot 3600$$

όπου $m_{0VRelstern}$ και $m_{2VRelstern}$ οι φασματικές ροπές της σχετικής κατακόρυφης κίνησης στην πρώρα του πλοίου και α η απόσταση από το βύθισμα μέχρι το μέσον του πτερυγίου της έλικας.

- <u>Κατακόρυφη επιτάχυνση στην πρώρα</u>:

Στην περίπτωση αυτή η κατακόρυφη επιτάχυνση στην πρώρα θα πρέπει να υπερβαίνει το όριο α έτσι ώστε να έχουμε κάποιο συμβάν στην διάρκεια της ώρας.

$$v^{+} = \frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{m_{2V\,\mathrm{Re}\,lbow}}{m_{0V\,\mathrm{Re}\,lbow}}}\exp\left(-\frac{a^{2}}{2m_{4V\,\mathrm{Re}\,lbow}}\right)\cdot 3600$$

- Ολική επιτάχυνση στην γέφυρα:

Στην γέφυρα υπολογίζεται το άθροισμα των συντελεστών απόκρισης των τριών κινήσεων του πλοίου και στην συνέχεια από την καμπύλη των συντελεστών απόκρισης η συνολική επιτάχυνση, η οποία θα πρέπει επίσης να υπερβαίνει μια τιμή α για να έχουμε κάποιο συμβάν.

$$\nu^{+} = \frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{m_{2TotBridge}}{m_{0TotBridge}}}\exp\left(-\frac{a^{2}}{2m_{4TotBridge}}\right)\cdot 3600$$

2.2 Μεταβλητές

Οι μεταβλητές που επηρεάζουν τη υδροδυναμική συμπεριφορά του πλοίου και τελικά τις δυναμικές αποκρίσεις σε κυματισμούς μπορούν να διακριθούν σε κατηγορίες όπως η γεωμετρία της γάστρας, η κατάσταση φόρτωσης, το θαλάσσιο περιβάλλον στο οποίο ταξιδεύει καθώς και η πορεία του μέσα σε αυτό.

Στην παρούσα εργασία οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται ανά κατηγορία είναι οι εξής:

Κατάσταση Φόρτωσης

KG: Κατακόρυφο κέντρο βάρους [m]

ixx: Ακτίνα αδρανείας διατοιχισμού [m]

iyy: Ακτίνα αδρανείας προνευτασμού και στροφικής οριζόντιας ταλάντωσης [m]

Κατάσταση Περιβάλλοντος

Hs: Σημαντικό ύψος κύματος [m]

Tp: Περίοδος Κορυφής φάσματος [sec]

Πορεία πλοίου

B: Γωνία συνάντησης κύματος [deg]

U: Ταχύτητα Πλοίου [Knots]

Οι μεταβλητές αυτές διαφοροποιούνται μεταξύ τους και ως προς την χρονική μεταβολή τους καθώς κάποιες από αυτές μεταβάλλονται κατά την διάρκεια ενός ταξιδιού ενώ κάποιες μπορούν να θεωρηθούν ως σταθερές.

Επίσης κάποιες από αυτές τις μεταβλητές (B, U) μπορούν να μεταβληθούν από τον χρήστη (πλήρωμα πλοίου) άμεσα ως επιλογές ελέγχου της συμπεριφοράς του πλοίου και κάθε σχετιζόμενου ρίσκου, έτσι ώστε να αποφευχθεί μια επικίνδυνη κατάσταση, ενώ οι υπόλοιπες είναι ανεξάρτητες από αυτόν.

2.3 Πιθανοθεωρητική Διαχείριση Μεταβλητών

Οι μεταβλητές που αναφέρθηκαν προηγουμένως καθορίζουν σημαντικά την υδροδυναμική συμπεριφορά ενός πλοίου, όμως καθοριστικό στοιχείο προς την αντιμετώπισή τους σε ένα πιθανοθεωρητικό μοντέλο είναι η ακρίβεια της γνώσης ή της εκτίμησης των μεταβλητών αυτών.

Η τιμή των μεταβλητών που αφορούν την κατάσταση φόρτωσης του πλοίου μπορεί να δοθεί από τον συνδυασμό μετρητικών οργάνων τα οποία καταγράφουν την κατάσταση του πλοίου (βυθίσματα, διαγωγή) και προγραμμάτων (Load Masters) στα οποία μπορεί να εισαχθεί η συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης, (βάρη, θέσεις βαρών) και τα οποία, γνωρίζοντας ήδη την κατάσταση του άφορτου πλοίου, υπολογίζουν τα τελικά κέντρα βάρους και τις ακτίνες αδρανείας στη συγκεκριμένη περίπτωση. Οι τελικές τιμές των μεταβλητών αυτών υπόκεινται σε έναν αριθμό σφαλμάτων λόγω των μετρήσεων, των υπολογισμών και της διαφοροποίησης του πλοίου στο πέρασμα του χρόνου. Το ίδιο συμβαίνει και με τις μεταβλητές που αφορούν το περιβάλλον και την πορεία του ταξιδιού.

Στα πλαίσια μιας πιθανοθεωρητικής μελέτης του προβλήματος, όλες οι μεταβλητές μπορούν να δοθούν ως κανονικές κατανομές με την τυπική απόκλιση συναρτήσει του σφάλματος της μέτρησης και μέσο την τιμή μέτρησης της μεταβλητής.

Σε μία μελέτη στο αρχικό στάδιο της κατασκευής του πλοίου, στην οποία δεν έχουμε μια συγκεκριμένη κατάσταση και προκειμένου να καλυφθεί όλος ο χώρος των πιθανών συνθηκών λειτουργίας του, οι μεταβλητές αυτές μπορούν να αντιμετωπιστούν ως σταθερές κατανομές. Η διακριτοποίηση του χώρου σε τέτοιες σταθερές κατανομές εξαρτάται από τον χρόνο που απαιτείται για τους υπολογισμούς.

3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ

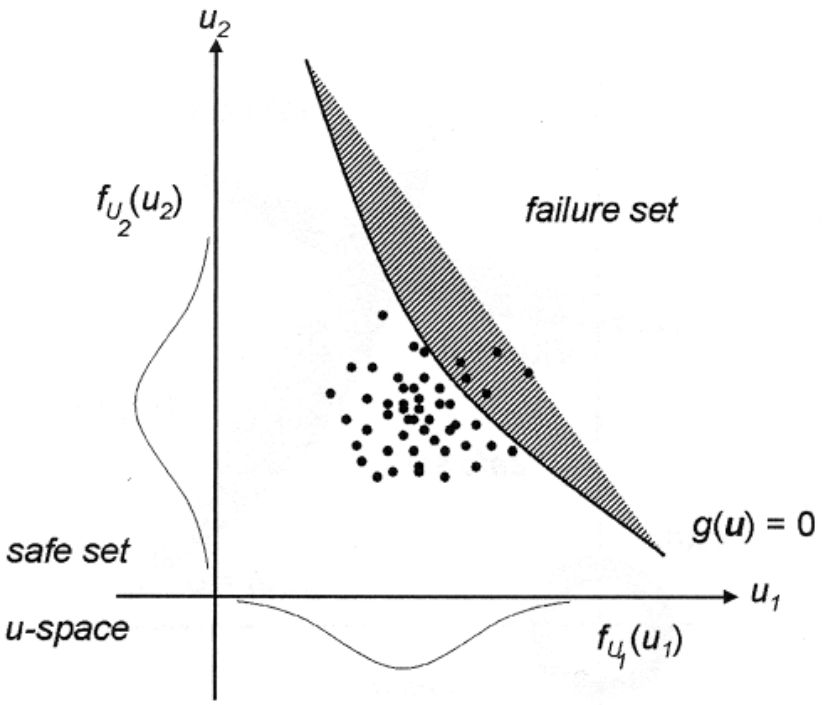
Για πιθανοθεωρητική μελέτη των υδροδυναμικών αποκρίσεων του πλοίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε απευθείας μέθοδοι υπολογισμού της πιθανότητας της υπέρβασης μίας κρίσιμης τιμής, είτε μέθοδοι οι οποίες υπολογίζουν την εμπειρική κατανομή της πιθανότητας, τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση. Στη δεύτερη περίπτωση οι μέθοδοι αυτές παρεμβάλλουν μια κατανομή (Κανονική ή Hermite) στα εμπειρικά αποτελέσματα. Χρησιμοποιώντας τις παρεμβάλλουσες κατανομές μπορεί κάποιος να υπολογίσει την πιθανότητα υπερβάσεως για διάφορες πλέον κρίσιμες τιμές. Το μειονέκτημα αυτής της διερεύνησης είναι ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποια αναλυτική μέθοδος για ακριβέστερα αποτελέσματα και ότι στις περιπτώσεις στις οποίες δεν είναι ικανοποιητικά τα αποτελέσματα της παρεμβολής, τότε χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

3.1 Υπολογισμός Πιθανότητας

Για τον υπολογισμό απευθείας της πιθανότητας χρησιμοποιήθηκαν η αναλυτική μέθοδος FORM (First Order Reliability Method) και η μέθοδος προσομοίωσης Monte Carlo. Παρακάτω δίνεται μια συνοπτική περιγραφή των δύο μεθόδων.

Monte Carlo

Η μέθοδος Monte Carlo είναι μια απλή μέθοδος προσομοίωσης η οποία παίρνει δειγματοληπτικά τυχαίες τιμές από τις μεταβλητές του προβλήματος και ανάλογα με την κατανομή τους ελέγχει αν το αποτέλεσμα υπερβαίνει η όχι το κριτήριο που θέτει ο χρήστης. Η πιθανότητα υπολογίζεται από τον λόγο τον υπερβάσεων ως προς τον αριθμό των προσομοιώσεων. Η μέθοδος δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτική (στα χαμηλά επίπεδα πιθανότητας) εκτός από στα αρκετά απλά μοντέλα συναρτήσεων και στις πιθανότητες στα μεσαία εύρη. Η αποτελεσματικότητά της αυξάνεται με την αύξηση από τον χρήστη του αριθμού των προσομοιώσεων, με επιπτώσεις ωστόσο στον συνολικό χρόνο υπολογισμών. Επίσης ο χρήστης μπορεί να ζητήσει την ολοκλήρωση της μεθόδου όταν θα έχει επιτευχθεί μια συγκεκριμένη τυπική απόκλιση. Στο σχήμα 2 φαίνεται η λειτουργία της μεθόδου Monte Carlo [4].



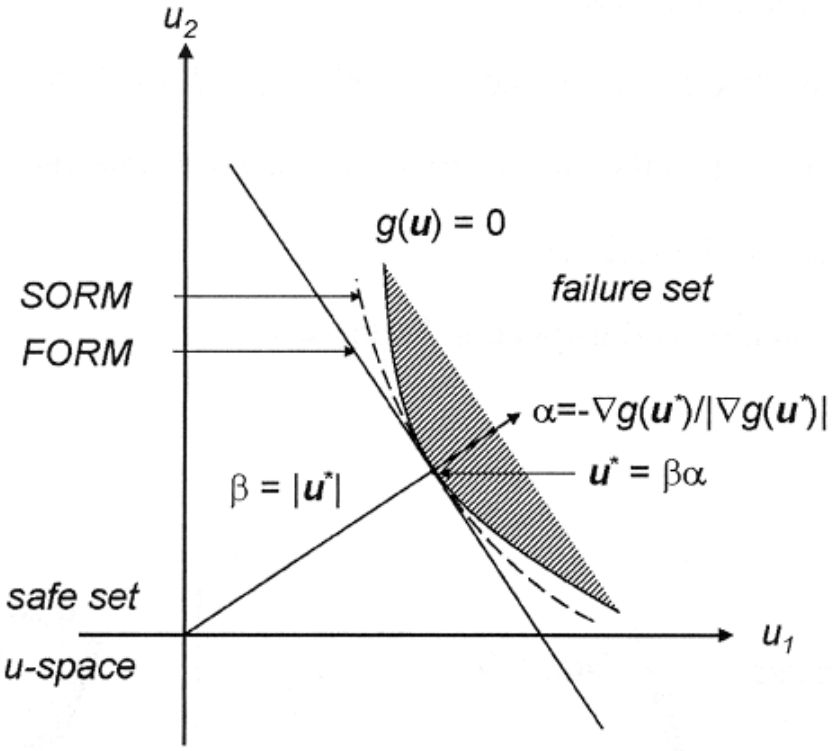
Σχήμα 2: Σχηματική λειτουργία μεθόδου Monte Carlo

FORM

Η μέθοδος FORM (First Order Reliability Method) είναι μια αναλυτική μέθοδος υπολογισμού πιθανότητας, η οποία έχει την δυνατότητα να δώσει αρκετά ακριβή αποτελέσματα σε σύντομο χρόνο με την προϋπόθεση ότι η μεταβλητή η οποία μελετάται είναι διαφορίσιμη. Αρχικά η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα μετασχηματισμό έτσι ώστε να μετασχηματίσει τις μεταβλητές του προβλήματος από τον χώρο **X** στον χώρο **U** στον οποίο όλες οι μεταβλητές είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους και έχουν τυποποιημένη κανονική κατανομή. Ο μετασχηματισμός που χρησιμοποιεί είναι ο μετασχηματισμός Rosenblatt όπου $\Phi(U_i) = F_{Xi}(X_i \backslash X_1, X_2, \ldots, X_n)$ i =1, 2,….,n. Αρχικά μετασχηματίζει τις μεταβλητές σε έναν χώρο **V,** όπου όλες έχουν τυποποιημένη κανονική κατανομή και στην συνέχεια στον χώρο **U,** όπου είναι και ανεξάρτητες μεταξύ τους.

Στην συνέχεια η μέθοδος χρησιμοποιεί υπερεπίπεδα για να περιφράξει την περιοχή στην οποία έχουμε συμβάντα. Επίσης η μέθοδος υπολογίζει την καμπύλη G(x)=0 όπου βρίσκονται τα σημεία τα οποία έχουν τιμή ίση με την κρίσιμη, η οποία χωρίζει τον χώρο σε ασφαλή και μη περιοχή και την μετασχηματίζει στην g(u) = 0.

Στον μετασχηματισμένο πλέον χώρο η μέθοδος χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης βρίσκει το κοντινότερο σημείο της καμπύλης (Design Point) από την αρχή των αξόνων και φέρνει την εφαπτομένη της καμπύλης στο σημείο εκείνο η οποία πλέον χωρίζει τον χώρο σε ασφαλές και μη και βάσει αυτής υπολογίζεται η πιθανότητα. Στο σχήμα 3 φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας της μεθόδου στον χώρο **U**. Μια ακόμα μέθοδος η οποία λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο με την FORM είναι η SORM (Second Order Reliability Method), η οποία όμως αντί για επίπεδα χρησιμοποιεί επιφάνειες δευτέρου βαθμού για να περιφράξει την περιοχή των συμβάντων και στην συνέχεια παρεμβάλλει στο Design Point καμπύλη δευτέρου βαθμού αντί της ευθείας της μεθόδου FORM. Τα αποτελέσματα που δίνει είναι ακριβέστερα σε σχέση με την FORM με αντίκτυπο όμως στον χρόνο υπολογισμών της πιθανότητας [4].



Σχήμα 3: Σχηματική λειτουργία μεθόδου FORM

3.2 Υπολογισμός Κατανομής Πιθανότητας

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της κατανομής της πιθανότητας μιας κατάστασης είναι οι μέθοδοι Monte Carlo και η Latin Hypercube και εφαρμόστηκαν με το πρόγραμμα PROBAN (DNV). Παρακάτω οι δύο μέθοδοι παρουσιάζονται συνοπτικά.

Monte Carlo

Όπως και στον υπολογισμό της πιθανότητας, η μέθοδος Monte Carlo χρησιμοποιεί δείγμα από τις μεταβλητές, ανάλογα με την κατανομή τους και δίνει ως αποτέλεσμα την κατανομή της πιθανότητας ταξινομώντας το δείγμα ως εξής:

$$y_i = y(x_i) \; i = 1,2,\ldots,n$$

όπου y είναι η τιμή της προς εξέταση μεταβλητής, x_i το i – δείγμα των μεταβλητών του προβλήματος και n το σύνολο του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε.

Η μέθοδος επίσης δίνει τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση της κατανομής και παρεμβάλλει μια κανονική κατανομή και μια κατανομή Hermite, από τις οποίες στην συνέχεια μπορούν να υπολογιστούν πιθανότητες για διάφορες κρίσιμες τιμές. Σε αντιστοιχεία με τον απευθείας υπολογισμό της πιθανότητας, το αποτέλεσμα εξαρτάται από τον αριθμό των προσομοιώσεων και κρίνεται ικανοποιητικό γύρω από το μέσο της κατανομής π.χ. για πιθανότητες από 0.1 έως 0.99 [4].

Latin Hypercube

Η μέθοδος Latin Hypercube λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο με αυτόν της Monte Carlo χρησιμοποιώντας κάποιο είδος οδήγησης της δειγματοληψίας. Συγκρινόμενη με την Monte Carlo δίνει καλύτερης εκτίμησης μέση τιμή και τυπική απόκλιση για την κατανομή, όμως τα αποτελέσματα και αυτής δεν είναι ικανοποιητικά στα άκρα της κατανομής [4].

4. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΙΘΑΝΟΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ Η/Υ

Η υλοποίηση του μοντέλου υπολογισμού της πιθανότητας υπερβάσεων μιας κρίσιμης τιμής των τυχαίων συμβάντων έγινε με χρήση των προγραμμάτων NEWDRIFT, SPECTRA και PROBAN. Οι δυνατότητες των προγραμμάτων αυτών περιγράφονται παρακάτω. Δημιουργήθηκαν δυο διαφορετικές διασυνδέσεις για τον υπολογισμό των πιθανοτήτων. Στην πρώτη από αυτές όλες οι μεταβλητές οι οποίες επηρεάζουν την υδροδυναμική συμπεριφορά του πλοίου συμμετέχουν στην πιθανοθεωρητική αντιμετώπιση του προβλήματος, ενώ στην δεύτερη εξετάζονται μόνο οι μεταβλητές που αφορούν το θαλάσσιο περιβάλλον.

4.1 Περιγραφή Προγραμμάτων

NEWDRIFT

Το NEWDRIFT είναι ένας τρισδιάστατος γραμμικός υδροδυναμικός κώδικας έξι βαθμών ελευθερίας στο πεδίο των συχνοτήτων. Η βρεχόμενη επιφάνεια του πλοίου περιγράφεται με την βοήθεια επίπεδων στοιχείων (panels). Ο κώδικας έχει την δυνατότητα να υπολογίζει αποκρίσεις, δυνάμεις και ροπές για πλοία ή διαφορετικής γεωμετρίας κατασκευές επιπλέουσες ή βυθισμένες σε μηδενικές ή μη ταχύτητες, σε κανονικούς κυματισμούς και για διάφορες γωνίες συνάντησης. Η ανάπτυξη του NEWDRIFT ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του ’80 από τον καθ. Α. Παπανικολάου και μέχρι σήμερα έχει αναβαθμιστεί αρκετές φορές λαμβάνοντας υπόψη τις διάφορες υδροδυναμικές επιδράσεις (Ταχύτητα πλεύσης, προσθήκη παρατοπιδίων και πτερυγίων, επιδράσεις συνεκτικότητας στην απόσβεση του διατοιχισμού). Μέχρι σήμερα έχει χρησιμοποιηθεί από το Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου του Ε.Μ.Π σε διάφορες ερευνητικές εργασίες και έχει διαπιστωθεί η αξιοπιστία του και οι δυνατότητές του [1].

SPECTRA

Το πρόγραμμα SPECTRA είναι ένα εργαλείο για τον υπολογισμό των δυναμικών αποκρίσεων πλοίου σε μια κατάσταση θάλασσας, το οποίο χρησιμοποιεί

τους συντελεστές απόκρισης του πλοίου σε απλούς αρμονικούς κυματισμούς και το φάσμα της θάλασσας. Το πρόγραμμα μπορεί να χρησιμοποιήσει τα παρακάτω φάσματα για τους υπολογισμούς:

- Το Φάσμα BRETSCHNEIDER.
- Το Φάσμα JONSWAP
- Φάσμα που θα δημιουργηθεί από τον ΧΡΗΣΤΗ.

PROBAN

Το PROBAN είναι ένα εργαλείο γενικής πιθανοθεωρητικής ανάλυσης. Παρέχει διάφορες μεθόδους ανάλυσης της πιθανότητας και της κατανομής πιθανότητας. Μπορεί να αντιμετωπίσει ένα μεγάλο αριθμό πιθανοθεωρητικών και στατιστικών προβλημάτων και γεγονότων και παρέχει επίσης ένα μεγάλο αριθμό κατανομών για την μοντελοποίηση των διαφόρων μεταβλητών. Επίσης παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να χρησιμοποιήσει ένα αριθμό συναρτήσεων ή να δημιουργήσει δικές του, καθώς και να διασυνδέσει το πρόγραμμα με εξωτερικά προγράμματα [3], [4], [5].

4.2 Διασύνδεση για Χρήση στο επίπεδο Σχεδιασμού

Για την διασύνδεση του PROBAN με εξωτερικά προγράμματα χρειάζεται η τροποποίηση του κώδικα του αρχείου <funclib.dll>. Για την συγκεκριμένη διασύνδεση δημιουργήθηκαν πέντε υπορουτίνες, μία για κάθε κατάσταση που εξετάζεται, οι οποίες περιέχουν τις μεταβλητές του προβλήματος και ορίζουν μέσω αρχείων *.bat τη διαδικασία και τη σειρά εκτέλεσης των εξωτερικών προγραμμάτων. Αυτές είναι οι εξής:

BowVertAcc.f

BridgeAcc.f

GreenWater.f

Propracing.f

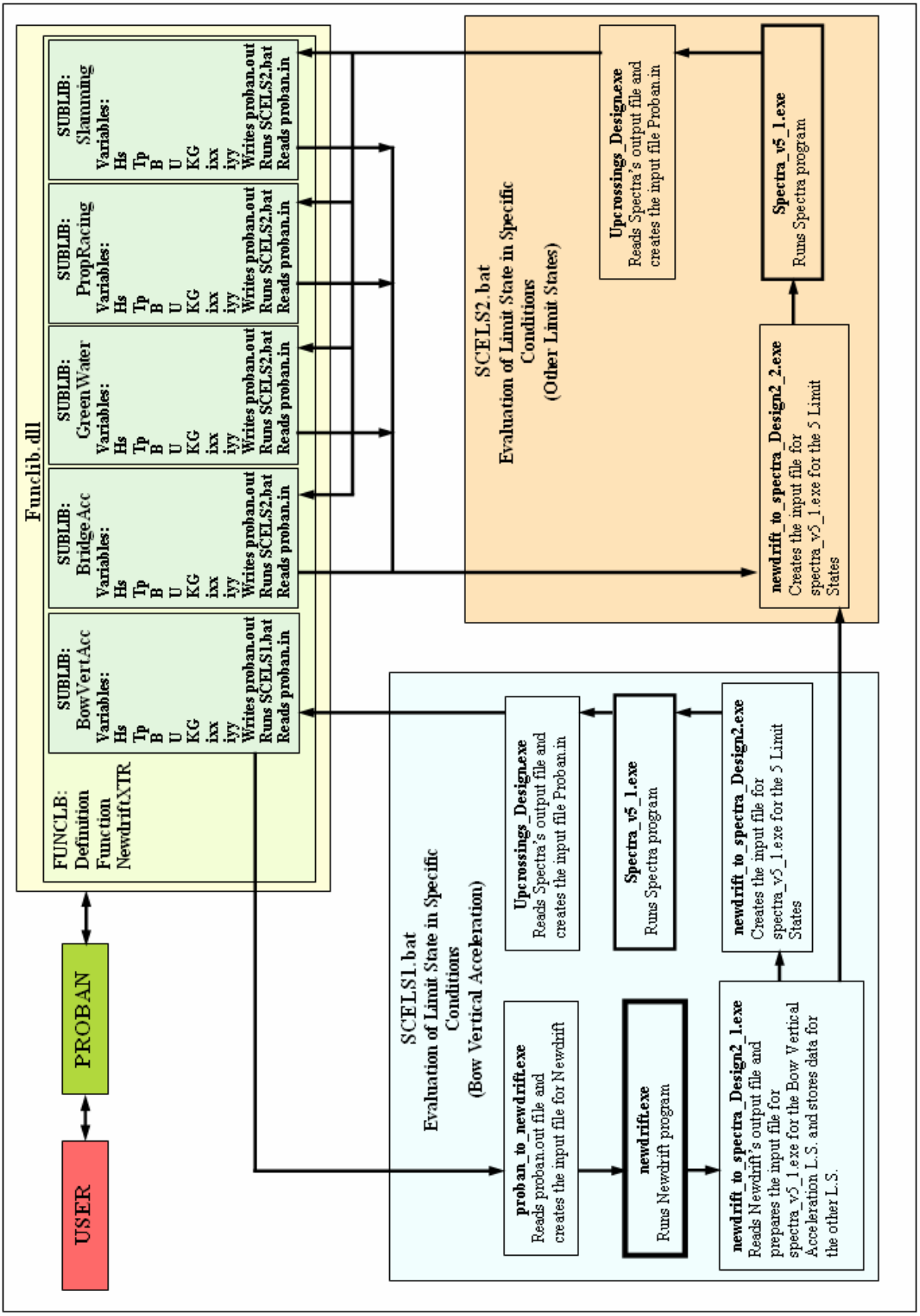
Slamming.f

Επίσης για να μπορεί το PROBAN να δει τις καινούργιες υπορουτίνες τροποποιήθηκαν κατάλληλα οι υπορουτίνες <FUNCLB.f> και <SUBLIB.f>. Τέλος δημιουργήθηκε ένας αριθμός εξωτερικών προγραμμάτων τα οποία διαβάζουν,

επεξεργάζονται, αποθηκεύουν και ανταλλάσουν δεδομένα μεταξύ των προγραμμάτων PROBAN, NEWDRIFT και SPECTRA.

Σε αυτήν την λειτουργία το μοντέλο έχει την δυνατότητα να αναλύει το πρόβλημα εξετάζοντας όλες τις μεταβλητές που επηρεάζουν την υδροδυναμική συμπεριφορά του πλοίου. Αρχικά το PROBAN στέλνει τα δεδομένα των μεταβλητών στο NEWDRIFT το οποίο εκτελεί τους υδροδυναμικούς υπολογισμούς και στην συνέχεια τα αποτελέσματα αυτά (RAOs) μεταφέρονται στο SPECTRA το οποίο στην συνέχεια υπολογίζει τις αποκρίσεις του πλοίου και επιστρέφει τα αποτελέσματα στο PROBAN.

Λόγω του πολύ χρόνου που χρειάζεται για την εξαγωγή αποτελεσμάτων σε αυτήν την περίπτωση έχουν δημιουργηθεί δύο διαφορετικά μοντέλα. Στο πρώτο από αυτά (Σχήμα 4) μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο μέθοδοι προσομοίωσης (Monte Carlo, Latin Hypercube) καθώς το μοντέλο εκτελεί υδροδυναμικούς υπολογισμούς μόνο για τη μία κατάσταση (Κατακόρυφη επιτάχυνση στην Πρώρα) και αποθηκεύει τα δεδομένα (RAOs) για όλες τις υπόλοιπες καταστάσεις για τις οποίες μπορεί να γίνει ανάλυση σε πολύ μικρό χρόνο. Στην δεύτερη περίπτωση (Σχήμα 5) οι υδροδυναμικοί υπολογισμοί εκτελούνται για κάθε μια από τις καταστάσεις. Με αυτό το μοντέλο μπορούν να χρησιμοποιηθούν και αναλυτικές μέθοδοι υπολογισμού πιθανότητας όπως οι FORM και SORM.



Σχήμα 4: Διασύνδεση μοντέλου στο επίπεδο σχεδιασμού

Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την διασύνδεση αυτή είναι τα εξής:

1	Proban_to_Newdrift.exe
2	Newdrift_to_Spectra_Design2_1.exe
3	Newdrift_to_Spectra_Design2_2.exe
4	Upcrossings_Design.exe

Αναλυτικά η λειτουργία καθενός από αυτά δίνεται παρακάτω.

Proban_to_Newdrift.exe

Το πρόγραμμα αυτό δημιουργεί το αρχείο εισόδου για το NEWDRIFT με τις τιμές των μεταβλητών που δίνει το PROBAN.

ΑΡΧΕΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ:	proban.out	(Αρχείο εξόδου του PROBAN που περιέχει τις μεταβλητές: Hs: Σημαντικό ύψος κύματος [m] Tp: Περίοδος Κορυφής φασμ. [sec] B: Γωνία συνάντησης κύμ. [deg] U: Ταχύτητα Πλοίου [Knots] KG: Κατακόρυφο κέντρο βάρους [m] ixx: Ακτίνα αδρανείας διατοιχισμού [m] iyy: Ακτίνα αδρανείας προνευτασμού και στροφικής οριζόντιας ταλάντωσης [m]
	adopt.dat	(Αρχείο εισόδου του NEWDRIFT με την γεωμετρία της γάστρας του πλοίου)
ΑΡΧΕΙΑ ΕΞΟΔΟΥ:	probanout.log	(Αρχείο αποθηκεύσεως των τιμών του PROBAN)
	input.dat	(Αρχείο εισόδου του NEWDRIFT)
ΕΞΩΤ. ΠΡΟΓΡ.:	Κανένα	

Newdrift_to_Spectra_Design2_1

Το πρόγραμμα αυτό διαβάζει τα αρχεία εξόδου των NEWDRIFT και PROBAN και προετοιμάζει το αρχείο εισόδου για το SPECTRA.

ΑΡΧΕΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ:	proban.out	(Αρχείο εξόδου του PROBAN που περιγράψαμε παραπάνω)
	relwave.dat	(Αρχείο εξόδου του NEWDRIFT με τις σχετικές κινήσεις του πλοίου)
	indat.dat	(Αρχείο εξόδου του NEWDRIFT με τις κινήσεις του πλοίου)
ΑΡΧΕΙΑ ΕΞΟΔΟΥ:	probandata.log	(Αρχείο αποθηκεύσεως των τιμών του PROBAN)
	Sternrelative.log	(Αρχείο αποθηκεύσεως των RAOs της σχετικής κίνησης της πρύμνης του πλοίου)
	Bowrelative.log	(Αρχείο αποθηκεύσεως των RAOs της σχετικής κίνησης της πρώρας του πλοίου)
	Bridgemotions.log	(Αρχείο αποθηκεύσεως των RAOs της συνολικής κίνησης στην γέφυρα του πλοίου)
	Bowvertmotions.dat	(Αρχείο με τα RAOs της κατακόρυφης κίνησης της πρώρας του πλοίου)
	Specres2.dat	(Στοιχεία για το αρχείο εισόδου του SPECTRA)
ΕΞΩΤ. ΠΡΟΓΡ.:	Κανένα	

<u>Newdrift_to_Spectra_Design2_2.exe</u>

Το πρόγραμμα αυτό δημιουργεί το αρχείο εισόδου του SPECTRA.

ΑΡΧΕΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ:	proban.out	(Αρχείο εξόδου του PROBAN που περιγράψαμε παραπάνω)
	checkvalues.out	(Αρχείο εξόδου του PROBAN που περιέχει τις τιμές: 1: Για την Κατακόρυφη Επιτάχυνση στην Πρώρα 2: Για Επιτάχυνση στην Γέφυρα

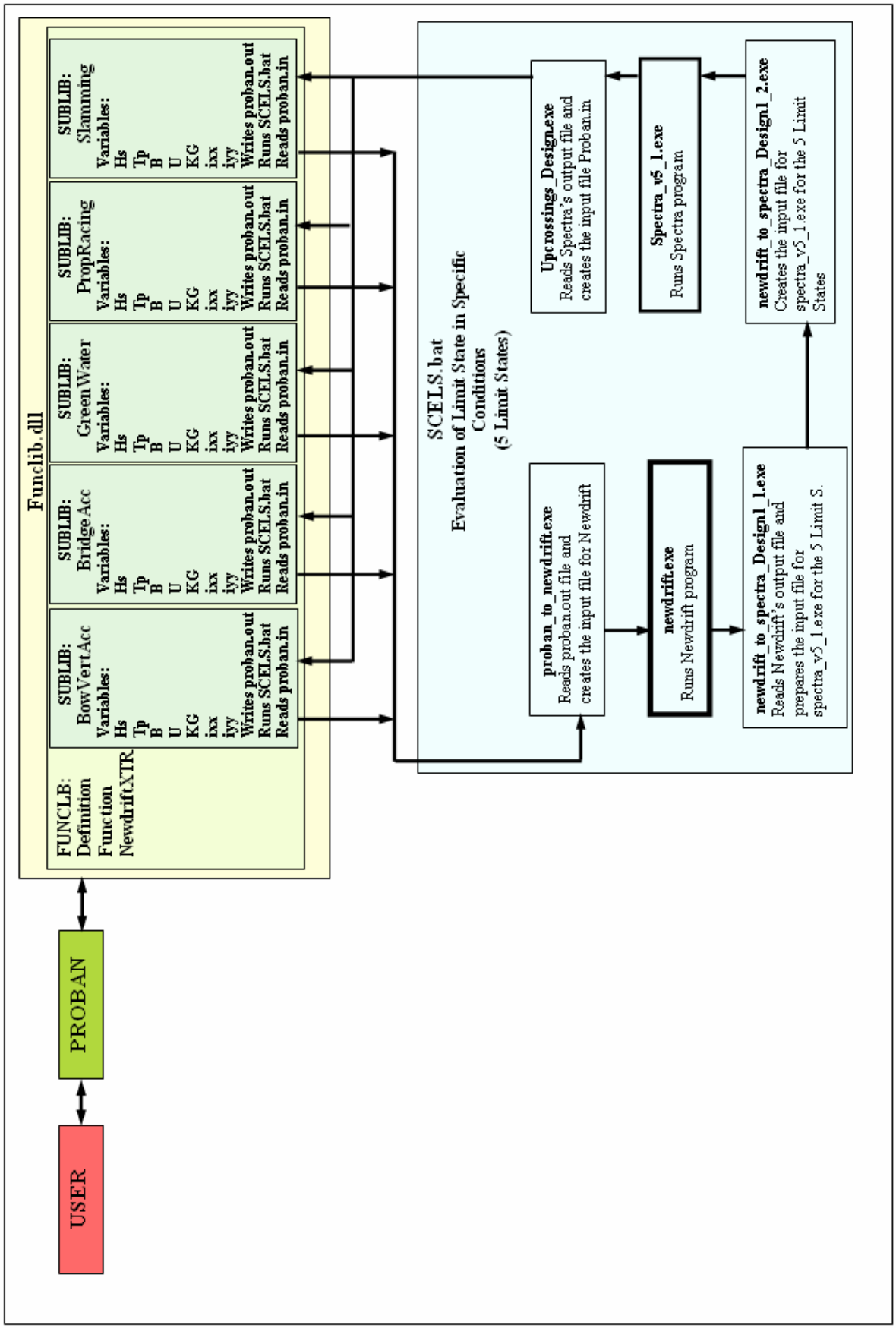
		3: Για Διαβροχή Καταστρώματος
		4: Για ανάδυση της Έλικας
		5: Για Σφυρόκρουση)
	Counter.dat	(Αρχείο που περιέχει την τιμή **1**. Πρέπει να αλλάζει στην αρχή των υπολογισμών)
	probandata.log	(Αρχείο αποθηκεύσεως των τιμών του PROBAN)
	Sternrelative.log	(Αρχείο αποθηκεύσεως των RAOs της σχετικής κίνησης της πρύμνης του πλοίου)
	Bowrelative.log	(Αρχείο αποθηκεύσεως των RAOs της σχετικής κίνησης της πρώρας του πλοίου)
	Bridgemotions.log	(Αρχείο αποθηκεύσεως των RAOs της συνολικής κίνησης στην γέφυρα του πλοίου)
	Bowvertmotions.dat	(Αρχείο με τα RAOs της κατακόρυφης κίνησης της πρώρας του πλοίου)
	Specres2.dat	(Στοιχεία για το αρχείο εισόδου του SPECTRA)
ΑΡΧΕΙΑ ΕΞΟΔΟΥ:	inp	(Αρχείο εισόδου του SPECTRA)
ΕΞΩΤ. ΠΡΟΓΡ.:	Κανένα	

<u>Upcrossings_Design.exe</u>

Το πρόγραμμα αυτό διαβάζει από το αρχείο εξόδου του SPECTRA τις φασματικές ροπές m0, m2 και m4 , υπολογίζει τις τιμές των υπερβάσεων των τυχαίων συμβάντων και τις επιστρέφει στο PROBAN.

ΑΡΧΕΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ:	proban.out	(Αρχείο εξόδου του PROBAN που περιγράψαμε παραπάνω)
	out	(Αρχείο εξόδου του SPECTRA που περιέχει τις Φασματικές Ροπές)

	limits.dat	(Αρχείο που περιέχει τις τιμές των ορίων για τις κινήσεις, ταχύτητες και επιταχύνσεις)
	checkvalues.out	(Αρχείο εξόδου του PROBAN με τις τιμές 1, 2. 3, 4 που περιγράψαμε παραπάνω)
ΑΡΧΕΙΑ ΕΞΟΔΟΥ:	proban.in	(Αρχείο εισόδου τουPROBAN)
	proban.log	(Αρχείο αποθηκεύσεως όλων των μεταβλητών, των τιμών των ορίων και των αποτελεσμάτων των υπερβάσεων)
ΕΞΩΤ. ΠΡΟΓΡ.:	Κανένα	



Σχήμα 5: Διασύνδεση μοντέλου στο επίπεδο σχεδιασμού

Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την διασύνδεση αυτή είναι τα εξής:

1	Proban_to_Newdrift.exe
2	Newdrift_to_Spectra_Design1_1.exe
3	Newdrift_to_Spectra_Design1_2.exe
4	Upcrossings_Design.exe

Τα παραπάνω προγράμματα έχουν πολύ μικρές τροποποιήσεις σε σχέση με αυτά της προηγούμενης διασύνδεσης.

4.3 Διασύνδεση Επιχειρησιακής Χρήσης

Στην περίπτωση αυτή όπως και στην προηγούμενη δημιουργήθηκαν οι υπορουτίνες :

BowVertAcc.f

BridgeAcc.f

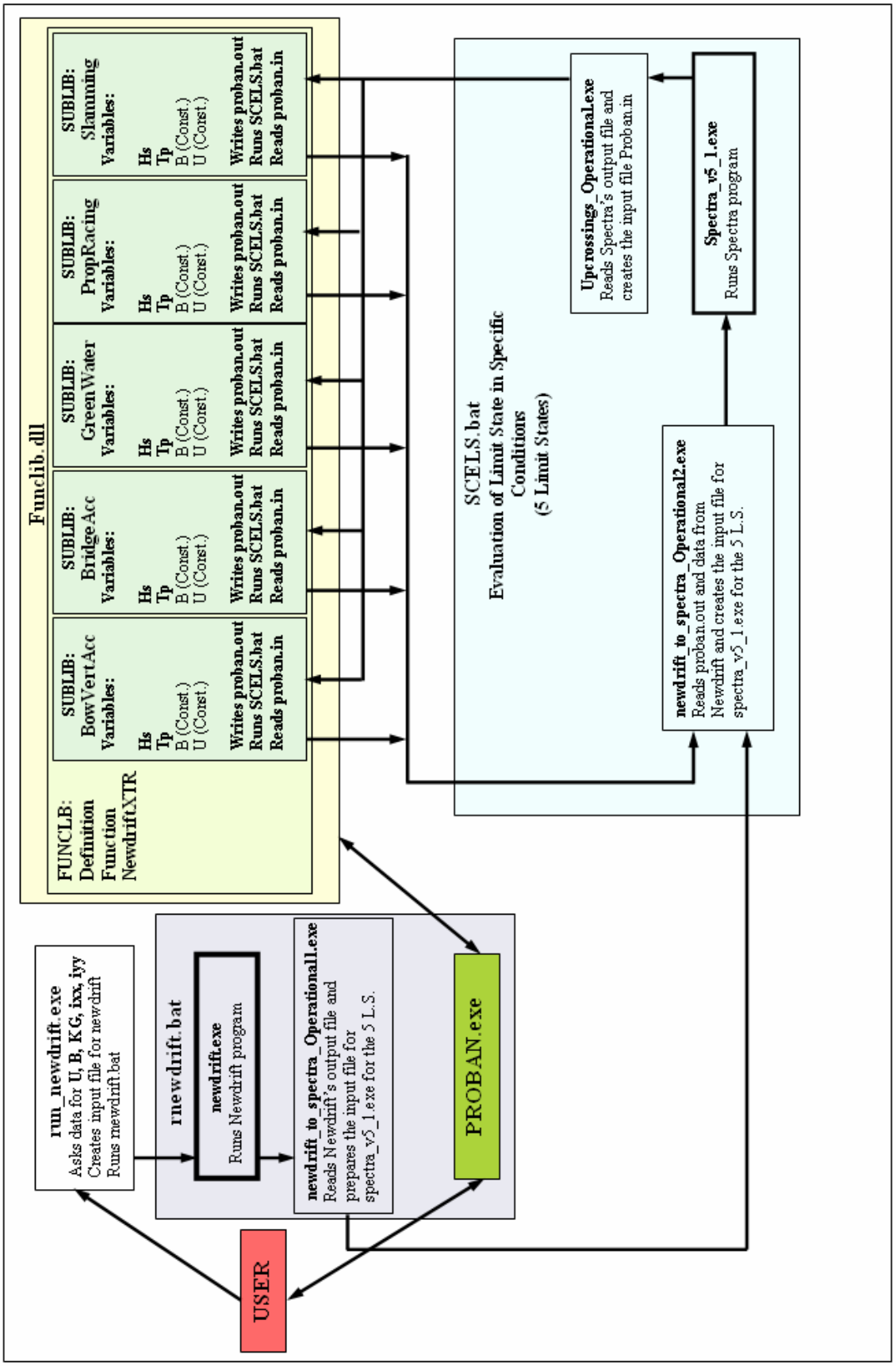
GreenWater.f

Propracing.f

Slamming.f,

τροποποιήθηκαν κατάλληλα οι <FUNCLB.f> και <SUBLIB.f> και δημιουργήθηκαν προγράμματα για την επεξεργασία και ανταλλαγή των δεδομένων μεταξύ των προγραμμάτων.

Η διαφορά είναι ότι σε αυτό το μοντέλο οι μεταβλητές που επιδρούν στην συμπεριφορά του πλοίου είναι σταθερές εκτός από αυτές που αφορούν το θαλάσσιο περιβάλλον Hs και Tp. Οι υδροδυναμικοί υπολογισμοί εκτελούνται μια φορά στην αρχή της ανάλυσης και στη συνέχεια οι συντελεστές απόκρισης χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της πιθανότητας υπερβάσης μιας κρίσιμης τιμής σε διαφορετικές θάλασσες. Το μοντέλο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πραγματικό χρόνο πάνω στο πλοίο και οι μεταβλητές οι οποίες αφορούν την πορεία του πλοίου (B, U) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως επιλογές ελέγχου του Ρίσκου, καθώς μπορεί ο χρήστης να εξετάσει την αλλαγή της συμπεριφοράς του πλοίου με μια μικρή τροποποίησή τους. Στο σχήμα 6 φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας της διασύνδεσης αυτής.



Σχήμα 6: Διασύνδεση μοντέλου επιχειρησιακής χρήσης

Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την διασύνδεση αυτή είναι τα εξής:

1	Run_Newdrift.exe
2	Newdrift_to_Spectra_Operational1.exe
3	Newdrift_to_Spectra_Operational2.exe
4	Upcrossings_Operational.exe

Αναλυτικά η λειτουργία καθενός από αυτά δίνεται παρακάτω.

Run_Newdrift.exe

Το πρόγραμμα αυτό δημιουργεί το αρχείο εισόδου για το NEWDRIFT με τις τιμές των μεταβλητών που δίνει ο χρήστης και στην συνέχεια τρέχει το NEWDRIFT.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΕΙΣΑΓΕΙ Ο ΧΡΗΣΤΗΣ: (Variables:

U: Ταχύτητα Πλοίου [Knots]

B: Γωνία συνάντησης. [deg]

KG: Κατακόρυφο κέντρο βάρους [m]

ixx: Ακτίνα αδρανείας διατοιχισμού [m]

iyy: Ακτίνα αδρανείας προνευτασμού και στροφικής οριζόντιας ταλάντωσης [m]

ΑΡΧΕΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ: adopt.dat (Αρχείο εισόδου του NEWDRIFT με την γεωμετρία της γάστρας του πλοίου)

ΑΡΧΕΙΑ ΕΞΟΔΟΥ: newdrift_input.log (Αρχείο αποθηκεύσεως των δεδομένων του NEWDRIFT)

input.dat (Αρχείο εισόδου του NEWDRIFT)

ΕΞΩΤ. ΠΡΟΓΡ.: Κανένα

Newdrift_to_Spectra_Operational1.exe

Το πρόγραμμα αυτό διαβάζει τα αρχεία εξόδου των NEWDRIFT και PROBAN και προετοιμάζει το αρχείο εισόδου για το SPECTRA.

ΑΡΧΕΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ: relwave.dat (Αρχείο εξόδου του NEWDRIFT με τις σχετικές κινήσεις του πλοίου)

	indat.dat	(Αρχείο εξόδου του NEWDRIFT με τις κινήσεις του πλοίου)
ΑΡΧΕΙΑ ΕΞΟΔΟΥ:	Sternrelative.dat	(Αρχείο με τα RAOs της σχετικής κίνησης της πρύμνης του πλοίου)
	Bowrelative.dat	(Αρχείο με τα RAOs της σχετικής κίνησης της πρώρας του πλοίου)
	Bridgemotions.dat	(Αρχείο με τα RAOs της συνολικής κίνησης στην γέφυρα του πλοίου)
	Bowvertmotions.dat	(Αρχείο με τα RAOs της κατακόρυφης κίνησης της πρώρας του πλοίου)
	Specres2.dat	(Στοιχεία για το αρχείο εισόδου του SPECTRA)
ΕΞΩΤ. ΠΡΟΓΡ.:	Κανένα	

<u>Newdrift_to_Spectra_Operational2.exe</u>

Το πρόγραμμα αυτό δημιουργεί το αρχείο εισόδου του SPECTRA.

ΑΡΧΕΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ: proban.out (Αρχείο εξόδου του PROBAN που περιέχει τις μεταβλητές:

- Hs: Σημαντικό ύψος κύματος [m]
- Tp: Περίοδος Κορυφής φασμ. [sec]
- B: Γωνία συνάντησης κύμ. [deg]
- U: Ταχύτητα Πλοίου [Knots]
- KG: Κατακόρυφο κέντρο βάρους [m]
- ixx: Ακτίνα αδρανείας διατοιχισμού [m]
- iyy: Ακτίνα αδρανείας προνευτασμού και στροφικής οριζόντιας ταλάντωσης [m]

checkvalues.out (Αρχείο εξόδου του PROBAN που περιέχει τις τιμές:

1: Για την Κατακόρυφη Επιτάχυνση στην Πρώρα
2: Για Επιτάχυνση στην Γέφυρα
3: Για Διαβροχή Καταστρώματος

		4: Για ανάδυση της Έλικας
		5: Για Σφυρόκρουση)
	Newdrift_input.log	(Αρχείο αποθήκευσης των δεδομένων του NEWDRIFT)
	Sternrelative.dat	(Αρχείο με τα RAOs της σχετικής κίνησης της πρύμνης του πλοίου)
	Bowrelative.dat	(Αρχείο με τα RAOs της σχετικής κίνησης της πρώρας του πλοίου)
	Bridgemotions.dat	(Αρχείο με τα RAOs της συνολικής κίνησης στην γέφυρα του πλοίου)
	Bowvertmotions.dat	(Αρχείο με τα RAOs της κατακόρυφης κίνησης της πρώρας του πλοίου)
	Specres2.dat	(Στοιχεία για το αρχείο εισόδου του SPECTRA)
ΑΡΧΕΙΑ ΕΞΟΔΟΥ:	inp	(Αρχείο εισόδου SPECTRA)
ΕΞΩΤ. ΠΡΟΓΡ.:	Κανένα	

<u>Upcrossings_Operational.exe</u>

Το πρόγραμμα αυτό διαβάζει από το αρχείο εξόδου του SPECTRA τις φασματικές ροπές mp, m2 και m4, υπολογίζει την τιμή [log(Αριθμός Υπερβάσεων Τυχαίων Συμβάντων) – log(Όριο υπερβάσεων)] και την επιστρέφει στο PROBAN.

ΑΡΧΕΙΟ ΕΙΣΟΔΟΥ:	proban.out	(Αρχείο εξόδου του PROBAN που περιγράψαμε παραπάνω)
	newdrift_input.log	(Αρχείο αποθηκεύσεως των δεδομένων του NEWDRIFT)
	out	(Αρχείο εξόδου του SPECTRA που περιέχει τις Φασματικές Ροπές)
	limits.dat	(Αρχείο που περιέχει τις τιμές των ορίων για τις κινήσεις, ταχύτητες και επιταχύνσεις)
	Upcrossing_limits.dat	(Αρχείο που περιέχει τις τιμές των ορίων για τις υπερβάσεις)

	checkvalues.out	(Αρχείο εξόδου του PROBAN με τις τιμές 1, 2. 3, 4 που περιγράψαμε παραπάνω)
ΑΡΧΕΙΑ ΕΞΟΔΟΥ:	proban.in	(Αρχείο εισόδου του PROBAN)
	proban.log	(Αρχείο αποθηκεύσεως όλων των μεταβλητών, των τιμών των ορίων και των αποτελεσμάτων)
ΕΞΩΤ. ΠΡΟΓΡ.:	Κανένα	

4.4 Δυνατότητες Μοντέλου

Το μοντέλο υπολογισμού των πιθανοτήτων υπερβάσεων μιας οριακής τιμής που αναπτύχτηκε στην παρούσα εργασία και συγκεκριμένα η διασύνδεση των προγραμμάτων σε επίπεδο σχεδιασμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αρχικό στάδιο για την βελτιστοποίηση της σχεδίασης του πλοίου και στη συνέχεια να βοηθήσει την καταγραφή της υδροδυναμικής συμπεριφοράς για όλη την περίοδο της ζωής του, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το πλήρωμα για την αντιμετώπιση δύσκολων καταστάσεων και την αποφυγή μη αποδεκτού ρίσκου.

Η διασύνδεση επιχειρησιακής χρήσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί πάνω στο πλοίο έτσι ώστε λαμβάνοντας απευθείας στοιχεία για την κατάσταση της θάλασσας να υπολογίζει το συνολικό ρίσκο σε πραγματικό χρόνο και να δίνει εναλλακτικές λύσεις στο πλήρωμα μεταβάλλοντας την ταχύτητα και την πορεία του πλοίου.

Διακριτοποίηση Πεδίου Εφαρμογής

Συγκεκριμένα κατά την διάρκεια της κατασκευής θα μπορούσαν να εκτελεστούν οι απαραίτητοι υπολογισμοί για διάφορες περιοχές των μεταβλητών οι οποίες θα καλύπτουν όλο το φάσμα της λειτουργίας του πλοίου, να καταγραφούν με την μορφή πινάκων οι οποίοι θα απεικονίζουν χρωματικά την περιοχή του συνολικού ρίσκου στην οποία βρίσκεται το πλοίο και οι οποίοι θα χρησιμοποιούνται από το πλήρωμα ως εργαλείο για την εκτίμηση της συγκεκριμένης κατάστασης. Ένα τέτοιο σετ για 36 διαφορετικές καταστάσεις φόρτωσης και για όλες τις πιθανές καταστάσεις καιρού και πλεύσης μπορεί να δοθεί σε 36 πίνακες με την παρακάτω μορφή. Για να

καλύψουν όλο το φάσμα της λειτουργίας του πλοίου οι μεταβλητές μπορούν να δοθούν ως σταθερές κατανομές.

36 Πίνακες για Διαφορετικές Καταστάσεις Φόρτωσης

Α) – Δ) **KG = …….. (4 Σταθερές Κατανομές)**

Α1- 3) – Δ1- 3) **ixx =……. (3 Σταθερές Κατανομές)**

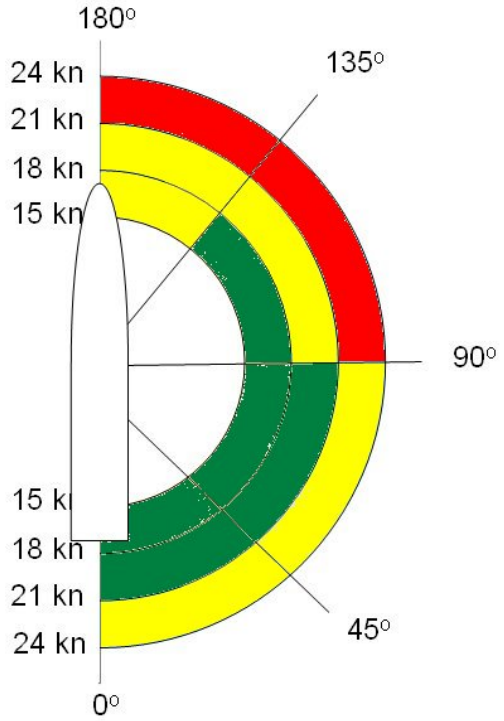
Α1α - γ) – Δ3α - γ) **iyy =……. (3 Σταθερές Κατανομές)**

	U \ β	0 – 45	45 – 90	90 – 135	135 – 180
Hs_1 = 0 – 2 Tp_1	0 – 6				
	6 – 12				
	12 – 18				
	18 – 24				
	U \ β	0 – 45	45 – 90	90 – 135	135 – 180
Hs_2 = 2 – 4 Tp_2	0 – 6				
	6 – 12				
	12 – 18				
	18 – 24				
	U \ β	0 – 45	45 – 90	90 – 135	135 – 180
Hs_3 = 4 – 6 Tp_3	0 – 6				
	6 – 12				
	12 – 18				
	18 – 24				
	U \ β	0 – 45	45 – 90	90 – 135	135 – 180
Hs_4 = 6 – 8 Tp_4	0 – 6				
	6 – 12				
	12 – 18				
	18 – 24				
	U \ β	0 – 45	45 – 90	90 – 135	135 – 180
Hs_5 = 8 – 10 Tp_5	0 – 6				
	6 – 12				
	12 – 18				
	18 – 24				

Εναλλακτικά θα μπορούσαν να εκτελεστούν υπολογισμοί κατά τη διάρκεια προετοιμασίας ενός ταξιδιού και με δεδομένη την κατάσταση φόρτωσης και το περιθώριο σφάλματός της (Κανονική Κατανομή), με σταθερές μεταβλητές τις U, B, Hs και Tp. Τα αποτελέσματα του συνολικού ρίσκου μπορούν επίσης να δοθούν είτε στη μορφή του παρακάτω πίνακα είτε σε κάποιο πολικό διάγραμμα (Σχήμα 7)

Πίνακας για Δεδομένη Κατάσταση Φόρτωσης

	U \ β	0 – 45	45 – 90	90 – 135	135 – 180
Hs_1 = Tp_1	15 – 18				
	18 – 21				
	21 – 24				
	U \ β	0 – 45	45 – 90	90 – 135	135 – 180
Hs_1 = Tp_1	15 – 18				
	18 – 21				
	21 – 24				



Σχήμα 7: Πολικό διάγραμμα για δεδομένη κατάσταση φόρτωσης

Χρόνοι Υπολογισμών

Οι χρόνοι που χρειάζονται για τους υπολογισμούς εξαρτώνται από τον αριθμό τον προσομοιώσεων της μεθόδου και από την διασύνδεση που χρησιμοποιείται. Στο επίπεδο σχεδιασμού όπου σε κάθε προσομοίωση χρειάζεται να εκτελεστούν υδροδυναμικοί υπολογισμοί με το πρόγραμμα NEWDRIFT οι χρόνοι είναι περίπου 1 λεπτό ανά εκτέλεση σε υπολογιστή με τα χαρακτηριστικά: Intel Core2 CPU 6600@2.4 GHz, 2 GB RAM. Αυτό σημαίνει ότι για ένα πλήρες σετ υπολογισμών στο

επίπεδο σχεδιασμού με 100 προσομοιώσεις Monte Carlo ο απαραίτητος υπολογιστικός χρόνος είναι περίπου:

2880 Περιπτώσεις x 100 λεπτά = 288000 λεπτά = 4800 ώρες = 200 Ημέρες

Για ένα σετ υπολογισμών κατά την προετοιμασία ενός ταξιδιού με δεδομένη κατάσταση φόρτωσης οι χρόνοι είναι:

24 Περιπτώσεις x 100 λεπτά = 2400 λεπτά = 40 ώρες = 1.6 Ημέρες

Αυτό θα συμβεί για τον μόνο υπολογισμό της πιθανότητας υπέρβασης της κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρώρα καθώς για τις υπόλοιπες καταστάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα αποθηκευμένα δεδομένα των συντελεστών απόκρισης και οι υπολογισμοί να γίνουν μόνο για τις διαφορετικές καταστάσεις θάλασσας με τη χρήση του SPECTRA. Στον ίδιο υπολογιστή οι χρόνοι υπολογισμού του SPECTRA είναι 1000 εκτελέσεις ανά λεπτό, δηλαδή 0.001 λεπτά ανά εκτέλεση. Άρα οι χρόνοι για ένα πλήρες σετ για κάθε ένα από τα υπόλοιπα συμβάντα θα είναι:

2880 Περιπτώσεις x100x 0.001 λεπτά = 288 λεπτά = 4.8 ώρες

και για την προετοιμασία ενός ταξιδιού αντίστοιχα:

24 Περιπτώσεις x100x 0.001 λεπτά = 2.5 λεπτά

Ο χρόνος που απαιτείται για τον υπολογισμό της πιθανότητας υπερβάσεων στην περίπτωση της διασύνδεσης επιχειρησιακής χρήσης είναι αρκετά μικρότερος και τέτοιος ώστε να επιτρέπει στο σύστημα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πραγματικό χρόνο κατά την διάρκεια του ταξιδιού καθώς απαιτούνται μόνο **2 λεπτά** για την πλήρη ανάλυση και των πέντε τυχαίων συμβάντων.

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

5.1 Περιγραφή Πλοίου

Για την εφαρμογή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε πλοίο Ro – Ro με τα εξής γενικά χαρακτηριστικά:

L_{BP} =190.292 m

B = 26.50

T = 7.65 m

D = 13.25

Weather Deck = 22.7 m

Δ = 22342 tons

Bridge Deck = 34.3 m

¼ Propeller = 4.6 m

Για την περιγραφή της γάστρας του στο NEWDRIFT χρησιμοποιήθηκαν 438 στοιχεία (panels).

5.2 Όρια Υπέρβασης τυχαίων Συμβάντων

Για τον τελικό υπολογισμό του συνολικού ρίσκου σημαντικό ρόλο έχουν τα όρια των υπερβάσεων των τυχαίων συμβάντων, καθώς αυτά διαχωρίζουν την περιοχή του πλοίου στην οποία η εμφάνιση υδροδυναμικών γεγονότων δεν επηρεάζει την εύρυθμη λειτουργία τόσο του πληρώματος όσο και των εξαρτημάτων που βρίσκονται σε αυτό και σε αυτήν όπου τα γεγονότα αυτά αρχίζουν να δημιουργούν προβλήματα.

Ο καθορισμός των ορίων αυτών σήμερα δεν είναι απολύτως σαφής καθώς δεν υπάρχουν μελέτες ή εργασίες που συνδέουν επακριβώς τον αριθμό της εμφάνισης των τυχαίων συμβάντων με κάποιες ανεπιθύμητες συνέπειες στη γάστρα του πλοίου, στο φορτίο, στη λειτουργία των εξαρτημάτων πάνω σε αυτό και στην ικανότητα λειτουργίας του πληρώματος.

Γενικά μπορεί να θεωρηθεί ότι κάποιο όριο ανάμεσα στις τιμές 20 και 80 υπερβάσεων ανά ώρα είναι μια λογική τιμή σε συνδυασμό βέβαια με την συγκεκριμένη κατάσταση η οποία μελετάται.

Στην εργασία αυτή έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες τιμές των ορίων οι οποίες κάποιες φορές είναι υπερβολικά μικρές ή μεγάλες έτσι ώστε να διαπιστωθεί η λειτουργία του μοντέλου.

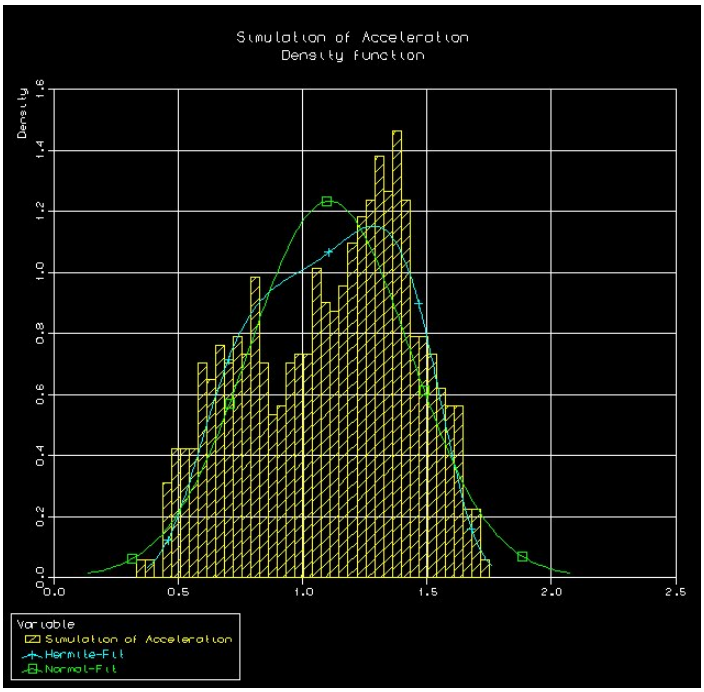
Οι τιμές αυτές εισάγονται από τον χρήστη στο αρχείο Upcrossing_Limits.dat και μπορούν πολύ εύκολα να αλλάξουν στην αρχή κάθε μελέτης.

5.3 Ενδεικτικά Αποτελέσματα

Αρχικά το μοντέλο σχεδιάστηκε να υπολογίζει την πιθανότητα της υπέρβασης της τιμής rms για τις επιταχύνσεις στην πρώρα και στη γέφυρα. Επίσης στους αρχικούς υπολογισμούς η μεταβλητή Tp χρησιμοποιήθηκε ως εξαρτημένη μεταβλητή του σημαντικού ύψους κύματος Hs με την σχέση $Tp = C\sqrt{Hs}$, όπου C σταθερή κατανομή με τιμές από 3.5 έως 6.0.

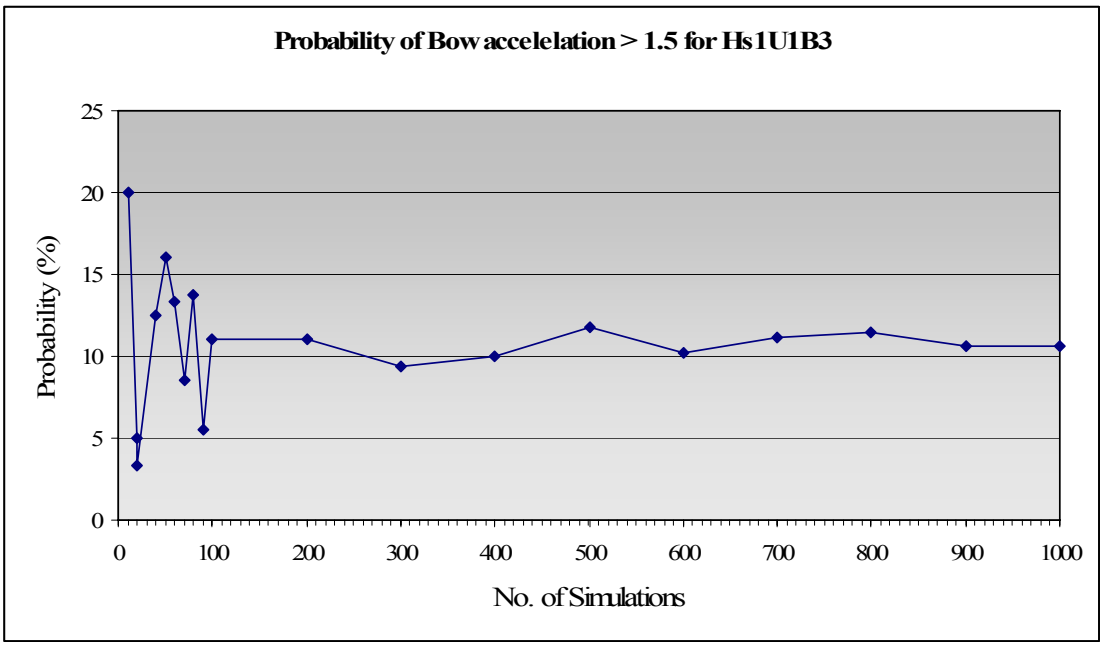
Στη μορφή αυτή εκτελέστηκε ένας μεγάλος αριθμός υπολογισμών και για τις δύο διασυνδέσεις με όλες τις μεθόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Τα πλήρη αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών παρατίθενται στο Παράρτημα Ι. Εδώ θα παραθέσουμε κάποια τα οποία αξίζει να σχολιαστούν.

Αρχικά εξετάστηκαν οι μέθοδοι υπολογισμού της εμπειρικής κατανομής. Στο σχήμα 8 φαίνεται η εμπειρική πυκνότητα πιθανότητας για μια κατάσταση και οι παρεμβαλλόμενες κατανομές (Hermite και Κανονική). Βλέπουμε ότι η απόκλιση είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορούμε να τις χρησιμοποιήσουμε για τον υπολογισμό της πιθανότητας σε διάφορες οριακές τιμές.



Σχήμα 8: Σ.π.π της κατάστασης Hs1U1β3 (1000 προσομοιώσεις)

Στην συνέχεια έγιναν υπολογισμοί πιθανότητας με τις μεθόδους Monte Carlo και FORM. Για τη διασύνδεση στο επίπεδο σχεδιασμού σημαντικός παράγοντας είναι ο χρόνος των υπολογισμών διότι χρειάζεται περίπου 1 λεπτό ανά προσομοίωση. Στο σχήμα 9 φαίνεται η σύγκλιση της μεθόδου Monte Carlo στις 100 περίπου προσομοιώσεις.



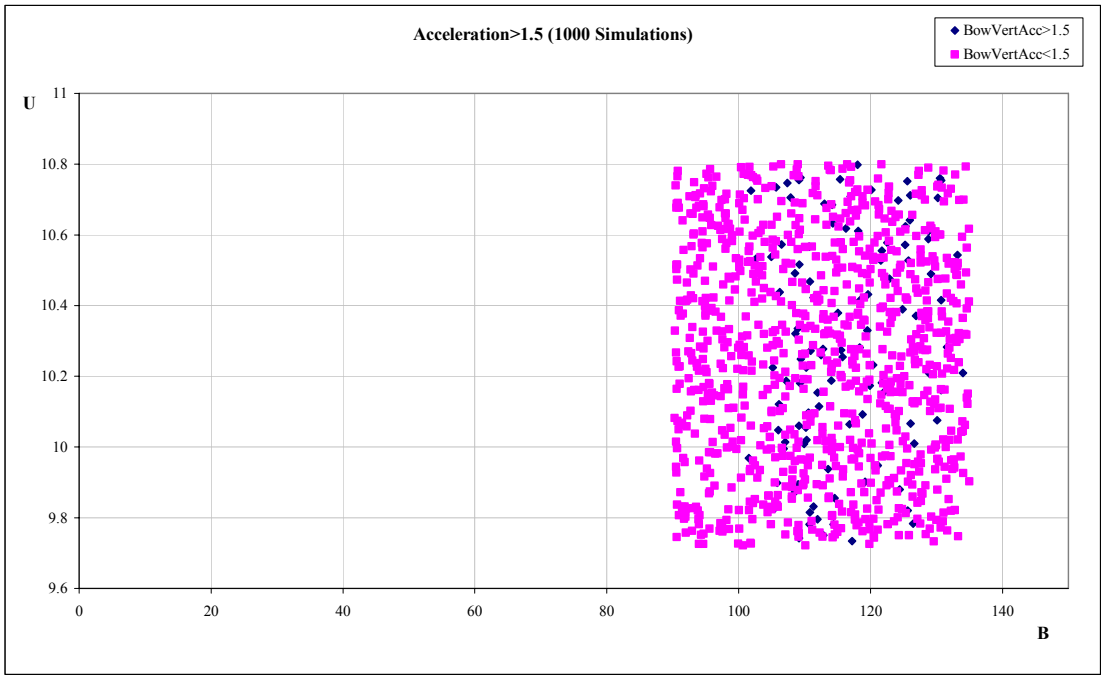
Σχήμα 9: Σύγκλιση της μεθόδου Monte Carlo

Στον πίνακα 1 μπορούμε να δούμε τις διαφορές μεταξύ των μεθόδων Monte Carlo και FORM. Γενικά από τους υπολογισμούς στο επίπεδο σχεδιασμού μπορούμε να πούμε ότι η μέθοδος FORM δεν μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα.

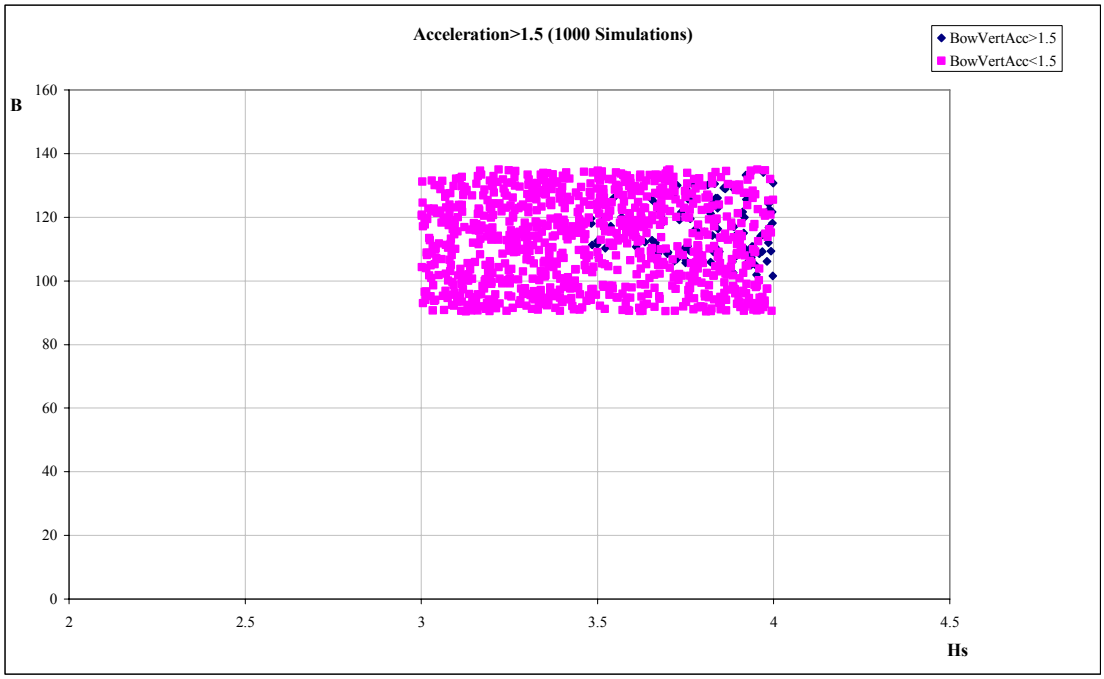
HS1U1B3	Monte Carlo	FORM
BowVertAcc > 1.0	**58 %**	**78.3 %**
BowVertAcc > 1.5	**10.6 %**	**50.4 %**
BowVertAcc > 1.8	**0 %**	**Aborted**

Πίνακας 1: Διαφορές στον υπολογισμό πιθανότητας μεταξύ των μεθόδων Monte Carlo και FORM

Αυτό μπορεί να εξηγηθεί εν μέρει βλέποντας τα σχήματα 10 και 11. Σε αυτά φαίνεται ο χώρος X της πιθανότητας υπέρβασης ενός ορίου για τις μεταβλητές B, U και Hs, B. Βλέπουμε ότι δεν υπάρχει κάποιο όριο το οποίο να διαχωρίζει την ασφαλή με την μη περιοχή.

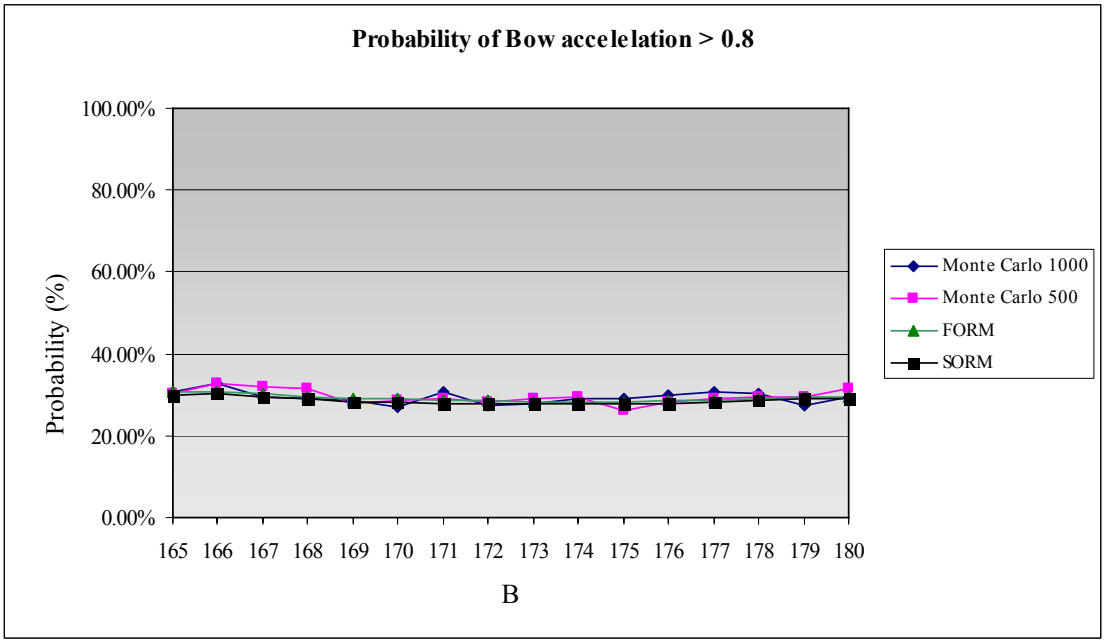


Σχήμα 10: Χώρος πιθανότητας **X** για τις μεταβλητές B και U



Σχήμα 11: Χώρος πιθανότητας **X** για τις μεταβλητές Hs και B

Από τους υπολογισμούς πιθανότητας που έγιναν στο επιχειρησιακό επίπεδο φαίνεται ότι η αναλυτική μέθοδος FORM λειτουργεί και δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα. Στο σχήμα 12 βλέπουμε τις πιθανότητες υπέρβασης της τιμής 0.8 της rms επιτάχυνσης στην πρώρα για διάφορες γωνίες συνάντησης.



Σχήμα 12: Πιθανότητες κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρώρα για $\beta = 165^o - 180^o$

Στην συνέχεια προστέθηκαν στο μοντέλο τα τυχαία συμβάντα Propeller racing, Slamming, Green Water και τροποποιήθηκε κατάλληλα ώστε να υπολογίζει τον αριθμό των υπερβάσεων ανά ώρα από τις rms τιμές.

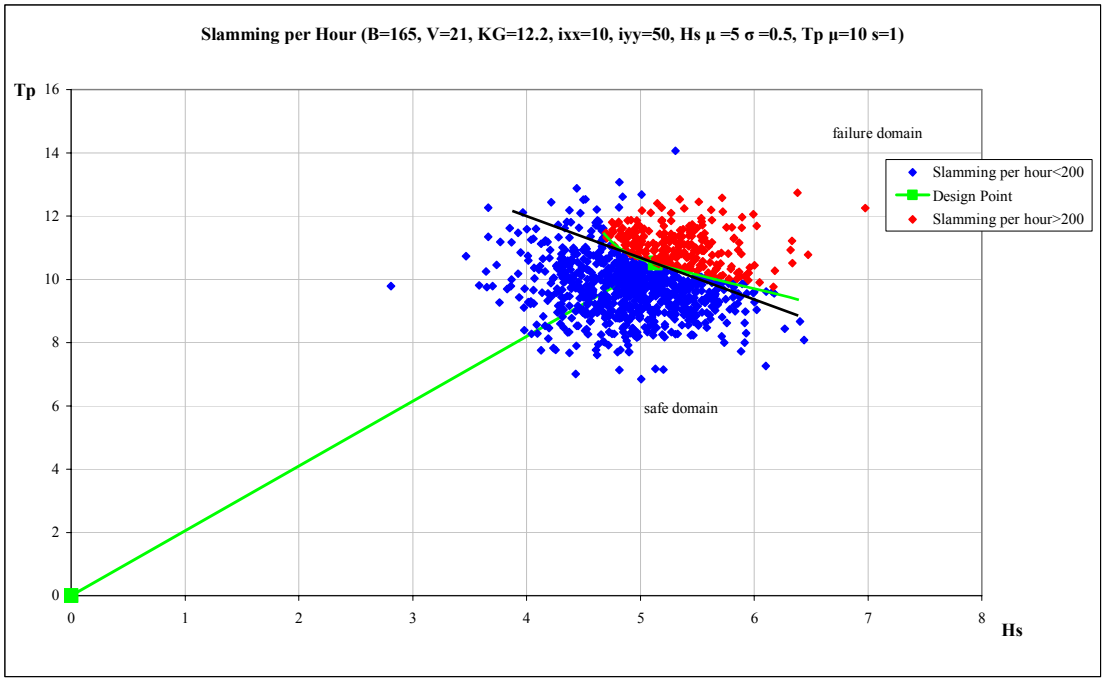
Επίσης τροποποιήθηκαν οι υπολογισμοί έτσι ώστε αντί να υπολογίζεται η πιθανότητα της σχέσης:

[Υπερβάσεις ανά ώρα Καταστάσεως - Όριο υπερβάσεων] > 0

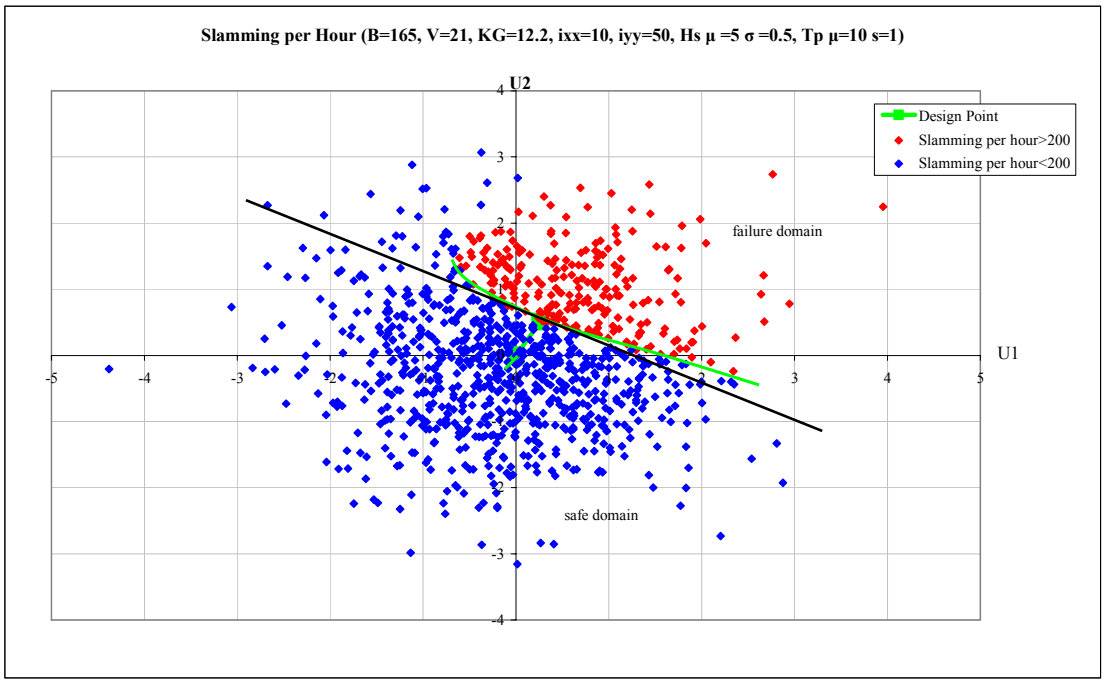
χρησιμοποιήθηκε η σχέση

[log(Υπερβάσεις ανά ώρα Καταστάσεως) – log(Όριο υπερβάσεων)] > 0

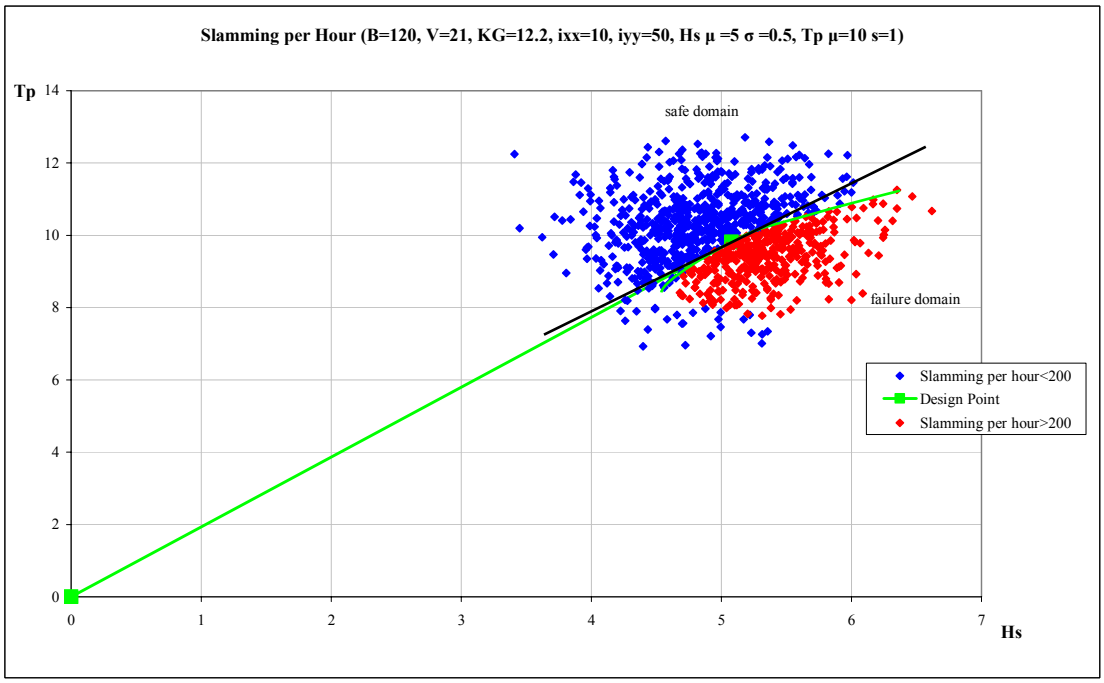
Με τον τρόπο αυτό ξεπεράστηκαν κάποια προβλήματα της μεθόδου FORM η οποία σε κάποιες περιπτώσεις σταματούσε τους υπολογισμούς. Τα αποτελέσματά της πλέον φαίνεται να είναι αξιόπιστα και η μέθοδος δείχνει να είναι ένα σημαντικό εργαλείο για τη διασύνδεση στο επιχειρησιακό επίπεδο καθώς λειτουργεί σε όλο το φάσμα της πιθανότητας σε σημαντικά μικρό χρόνο. Στα σχήματα 13 – 20 βλέπουμε τον χώρο **X** και τον χώρο **U** όπου οι μεταβλητές έχουν μετασχηματιστεί σε τυποποιημένες κανονικές κατανομές, για διάφορα τυχαία συμβάντα. Φαίνεται η καμπύλη διαχωρισμού του χώρου σε ασφαλή και μη περιοχή, το σημείο (Design Point) που υπολογίζει η μέθοδος και η εφαπτόμενη ευθεία που φέρνει για να υπολογίσει την πιθανότητα.



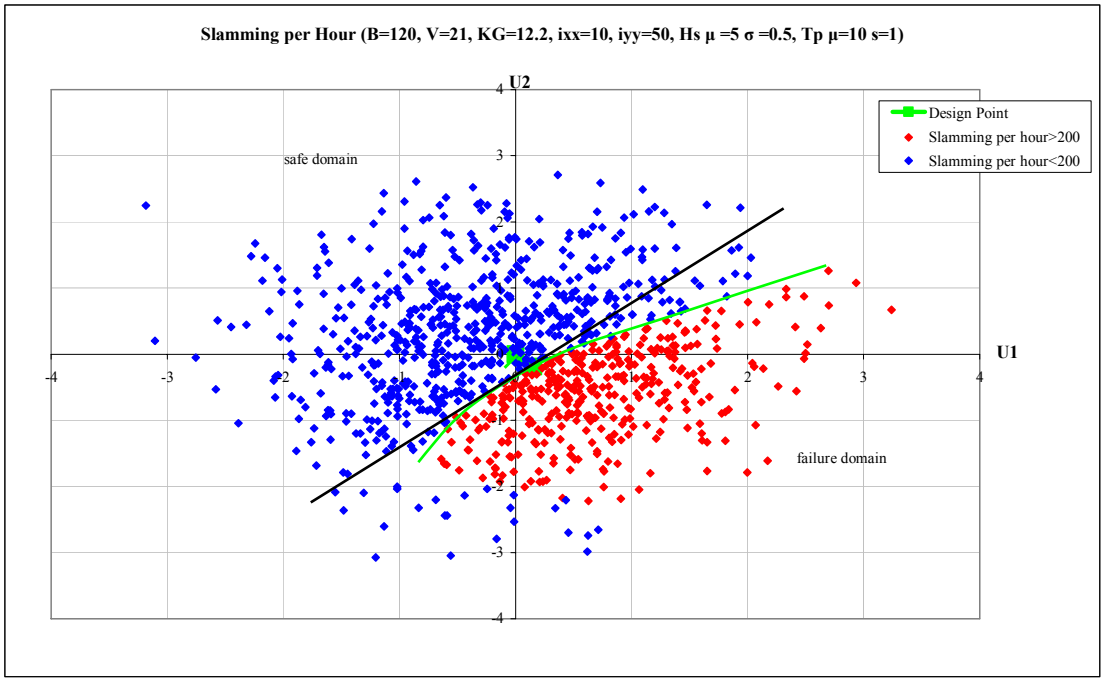
Σχήμα 13: Χώρος πιθανότητας **X** για τις μεταβλητές Hs και Tp



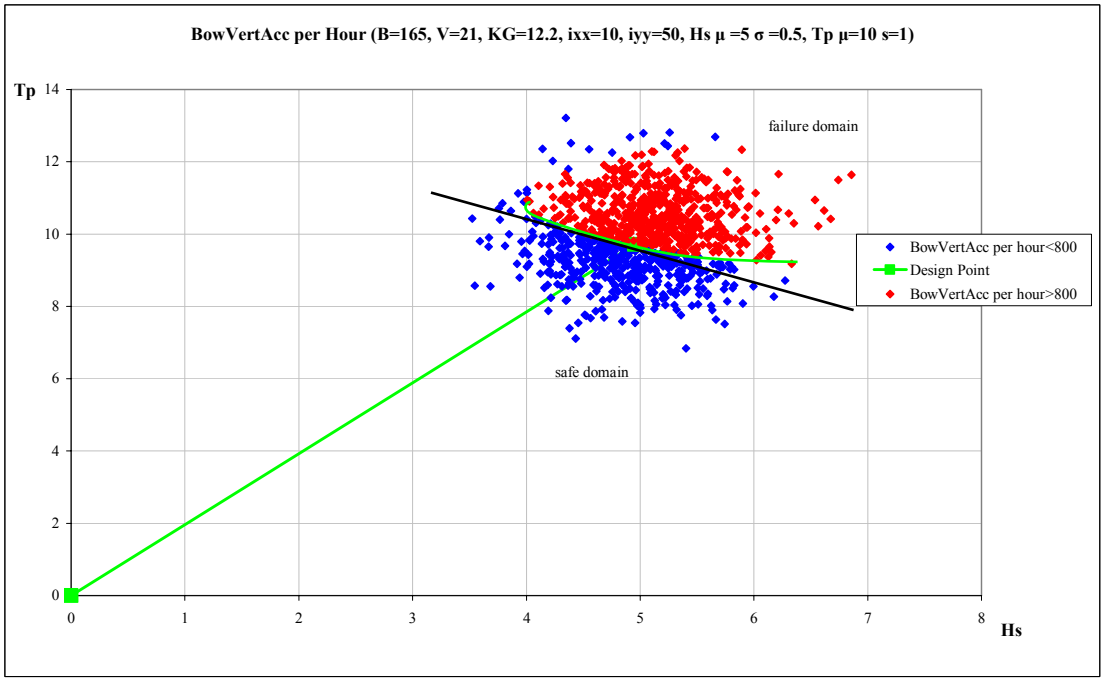
Σχήμα 14: Χώρος πιθανότητας **U** για τις μεταβλητές Hs και Tp



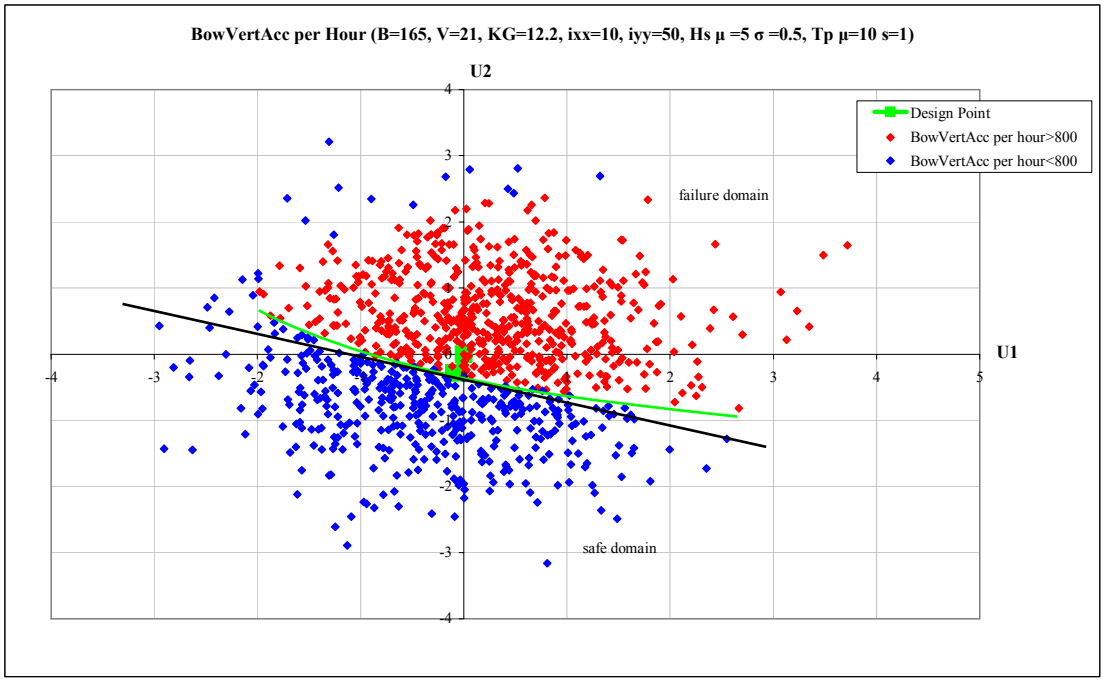
Σχήμα 15: Χώρος πιθανότητας **X** για τις μεταβλητές Hs και Tp



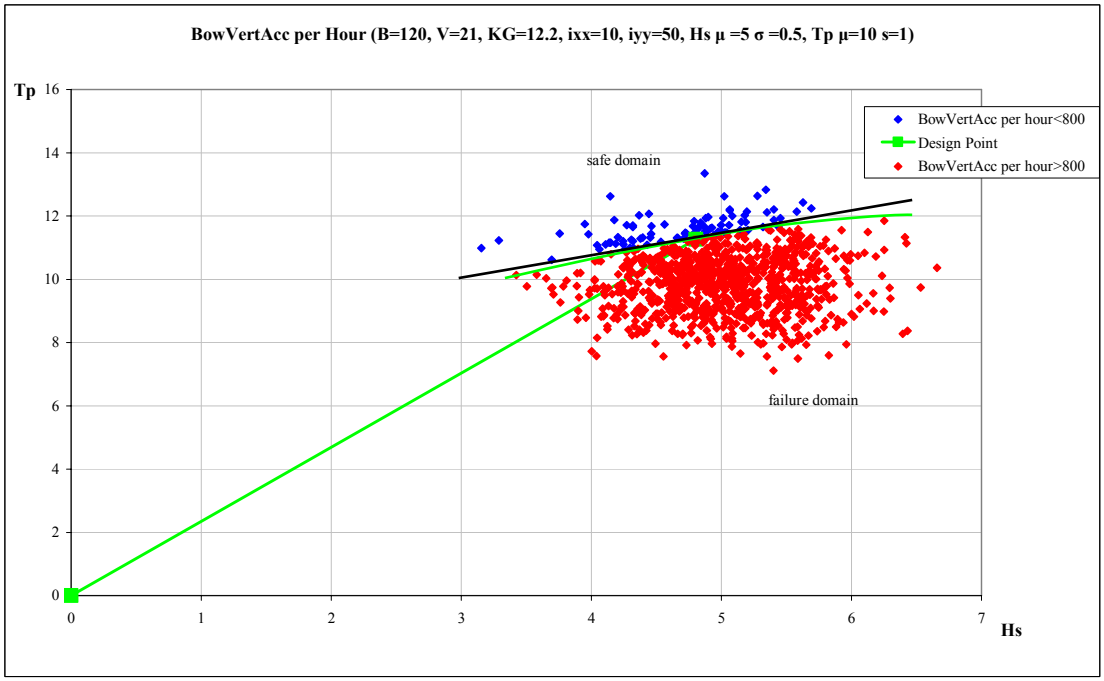
Σχήμα 16: Χώρος πιθανότητας **U** για τις μεταβλητές Hs και Tp



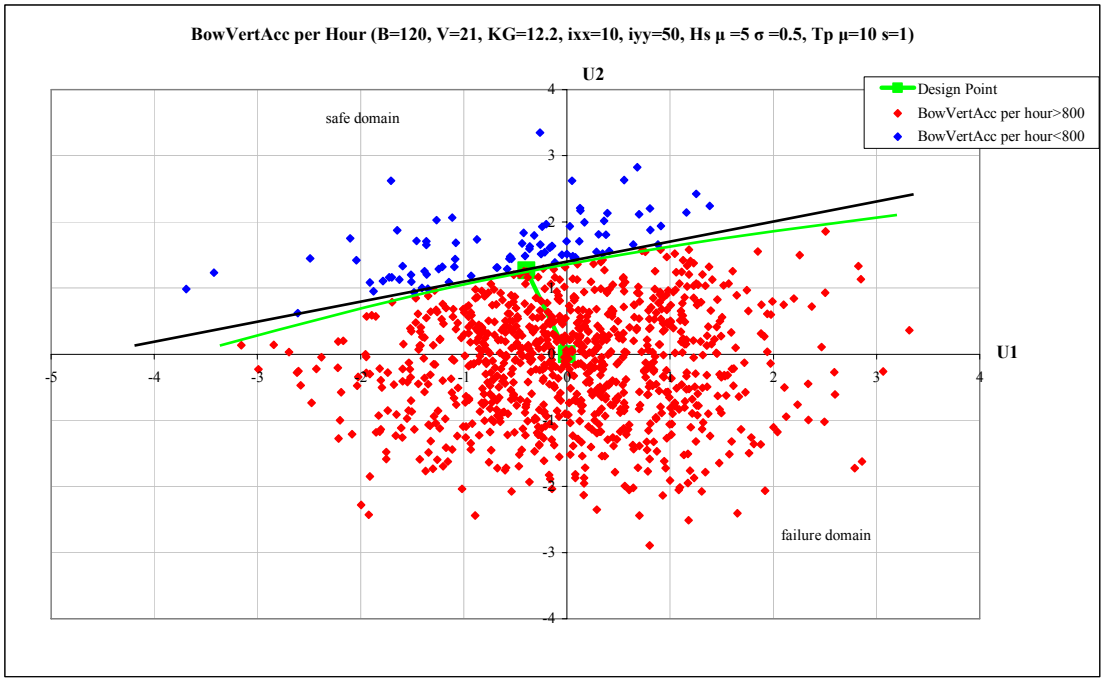
Σχήμα 17: Χώρος πιθανότητας **X** για τις μεταβλητές Hs και Tp



Σχήμα 18: Χώρος πιθανότητας **U** για τις μεταβλητές Hs και Tp



Σχήμα 19: Χώρος πιθανότητας **X** για τις μεταβλητές Hs και Tp



Σχήμα 20: Χώρος πιθανότητας **U** για τις μεταβλητές Hs και Tp

Από τα παραπάνω σχήματα και με βάση την εφαπτόμενη ευθεία στην καμπύλη διαχωρισμού του χώρου βλέπουμε ότι τα αποτελέσματα της μεθόδου FORM είναι συντηρητικά καθώς δίνουν σε όλες τις περιπτώσεις μεγαλύτερη πιθανότητα υπέρβασης του ορίου από ό,τι φαίνεται από τον χώρο.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία αναπτύχτηκε ένα μοντέλο υπολογισμού της πιθανότητας υπέρβασης κάποιου ορίου για πέντε χαρακτηριστικά γεγονότα των οποίων η εμφάνιση επηρεάζει σημαντικά την λειτουργία του πλοίου. Ταυτόχρονα αναπτύχτηκε το κατάλληλο λογισμικό για τη διασύνδεση των προγραμμάτων NEWDRIFT και PROBAN για την εφαρμογή του μοντέλου αυτού.

Αν και η πιθανοθεωρητική προσέγγιση της υδροδυναμικής συμπεριφοράς του πλοίου βρίσκεται ακόμα σε αρχικό στάδιο, το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο προς την κατεύθυνση της εκτίμησης της πιθανότητας κινδύνων και σχετιζόμενου ρίσκου κατά την λειτουργία του πλοίου.

Ως προς την αποτελεσματικότητα και λειτουργία του συγκεκριμένου μοντέλου παρατηρούμε τα εξής:

- Η επέκταση του μοντέλου ώστε να συμπεριληφθούν και άλλοι παράγοντες που είναι σημαντικοί ως προς την λειτουργία, όπως φορτίσεις στην γάστρα και κινήσεις, ταχύτητες και επιταχύνσεις σε άλλα σημεία, γίνεται απλά με τον ίδιο τρόπο που παρουσιάστηκε στην εργασία αυτή.
- Σημαντικό στοιχείο για την λειτουργία του είναι οι χρόνοι υπολογισμών. Η διασύνδεση επιχειρησιακής χρήσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πραγματικό χρόνο αφού για την ανάλυση και των πέντε μεταβλητών ο χρόνος που απαιτείται είναι δύο (2) λεπτά.
- Από την άλλη μία εκτεταμένη και πλήρης πιθανοθεωρητική ανάλυση θα ήταν αδύνατον να γίνει σε πραγματικό χρόνο, σε αυτή τη φάση τουλάχιστον, λόγω του υψηλού χρόνου που απαιτείται Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί εξωτερικά για υπολογισμούς είτε στο στάδιο σχεδίασης και κατασκευής του πλοίου, είτε κατά την προετοιμασία ενός ταξιδιού.
- Ο απαιτούμενος χρόνος υπολογισμών μπορεί να μειωθεί με βελτίωση της λειτουργίας των προγραμμάτων που χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, η τροποποίηση του προγράμματος NEWDRIFT ώστε να υπολογίζει και να καταγράφει μόνο τα απαραίτητα για αυτήν την μελέτη στοιχεία. Επίσης ο χρόνος μπορεί να ελαττωθεί με την μείωση των στοιχείων περιγραφής της γάστρας (panels).

- Η αναλυτική μέθοδος FORM λειτουργεί αποτελεσματικά στη διασύνδεση επιχειρησιακής χρήσης αλλά όχι στο πιο περίπλοκο μοντέλο της διασύνδεσης στο επίπεδο σχεδιασμού.
- Η διαδικασία υπολογισμών του PROBAN δεν μπορεί να γίνει αυτοματοποιημένα και χρειάζεται η παρέμβαση του χρήστη σε κάθε ανάλυση.

Η συγκεκριμένη διασύνδεση μπορεί να αναπτυχθεί περαιτέρω ώστε λαμβάνοντας υπόψη της τις συνέπειες των υπερβάσεων των ορίων να μπορεί να υπολογίσει το συνολικό ρίσκο το οποίο διατρέχει το πλοίο στην συγκεκριμένη κατάσταση.

Για το λόγο αυτό θα πρέπει να γίνει προσπάθεια προς την κατεύθυνση της μελέτης και εισαγωγής κριτηρίων και οριακών τιμών για τα διάφορα υδροδυναμικά γεγονότα που αντιμετωπίζει το πλοίο.

Επίσης θα πρέπει να αναλυθούν και να εκτιμηθούν οι ακριβείς συνέπειες της υπέρβασης των κριτηρίων αυτών ως προς την ασφάλεια του πλοίου, του φορτίου, των επιμέρους εξαρτημάτων και της ανθρώπινης ζωής, έτσι ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός του ρίσκου.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Papanikolaou, A., D., NEWDRIFT V.6: The six DOF three-dimensional diffraction theory program of NTUA-SDL for the calculation of motions and loads of arbitrarily shaped 3D bodies in regular waves, Internal Report, NTUA-SDL, 1989

[2] PROBAN. Reliability analysis program. DNV, 2004

[3] Proban User Manual, SESAM User Manual, DNV, October 1'st, 2004

[4] Proban Theory Manual, SESAM User Manual, DNV, October 1'st, 2004

[5] Proban Distribution Manual, SESAM User Manual, DNV, October 1'st, 2004

[6] Γ., Ι., Γρηγορόπουλος, Γ., Α., Αθανασούλης, Δυναμική συμπεριφορά πλοίου σε κυματισμούς, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, Οκτώβριος, 2004

[7] Γ., Κοκολάκης, Ι., Σπηλιώτης, Εισαγωγή στην θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική, Έκδοση 2η, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, Μάιος, 2001

[8] Ochi, M., K., Motter, L.,E., Prediction of Slamming Characteristics and Hull Responses for Ship Design, Transactions, Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1973

[9] Κ., Σπύρου, Ασφάλεια του πλοίου έναντι κατάκλι(υ)σης και κανονισμοί ασφαλείας, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Αθήνα, Σεπτέμβριος, 2005

[10] ADOPT - Advanced Decision Support System for Ship Design, Operation and Training, Funding: European Commission – FP6-STREP Programme, Principal Inv. (NTUA): Professor A. Papanikolaou

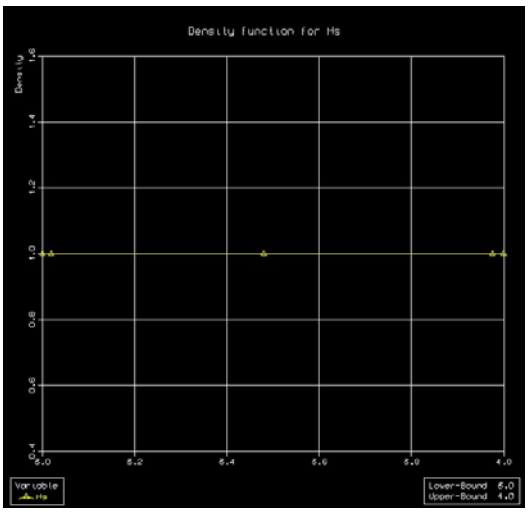
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

A.1 Αποτελέσματα στο επίπεδο σχεδιασμού (τιμές rms επιταχύνσεων στην πρώρα και στη γέφυρα)

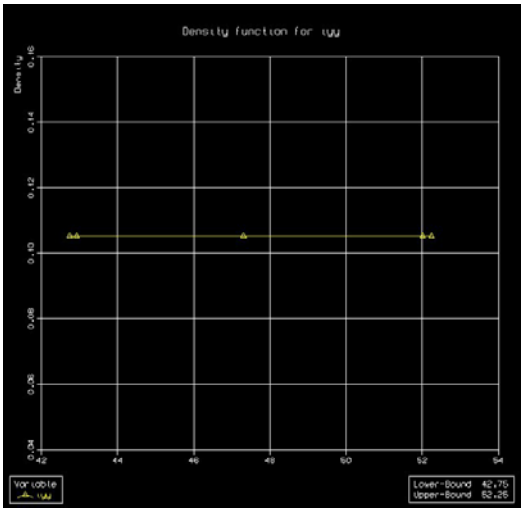
Κατακόρυφη Επιτάχυνση στην Πρώρα

	Hs1		**Hs2**	
Hs (Ύψος κύματος [m])	3 - 4		4 - 5	
	U1	**U2**	**U3**	
U (Ταχύτητα [m/sec])	10.8 – 9.72	9.72 – 7.56	7.56 – 5.4	
	β1	**β2**	**β3**	**β4**
B (Γωνία συνάντησης [^{o}])	0 – 45	45 – 90	90 – 135	135 – 180
Tp (Περίοδος κορυφής φάσματος [sec])	$(3.5 – 6.0)\sqrt{Hs}$			
KG (Κατακόρυφο κέντρο βάρους [m])	12.16 – 12.46			
ixx (Ακτίνα αδρανείας διατοιχισμού [m])	8.82 – 10.78			
iyy = izz (Ακτίνα αδρανείας προνευτασμού και στροφικής οριζόντιας ταλάντωσης [m])	42.75 – 52.25			

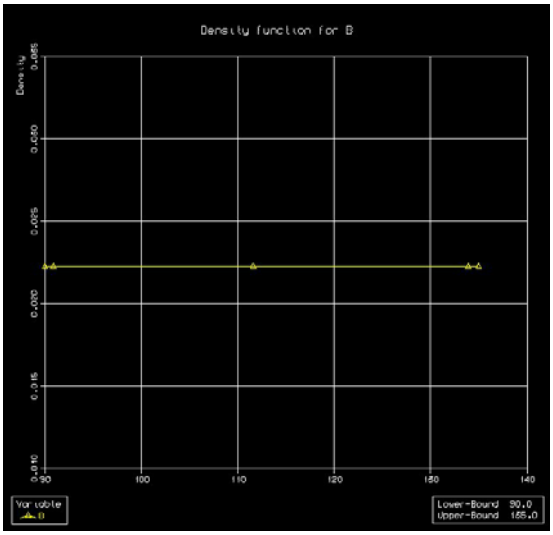
Πίνακας 2: Καταστάσεις πλεύσης



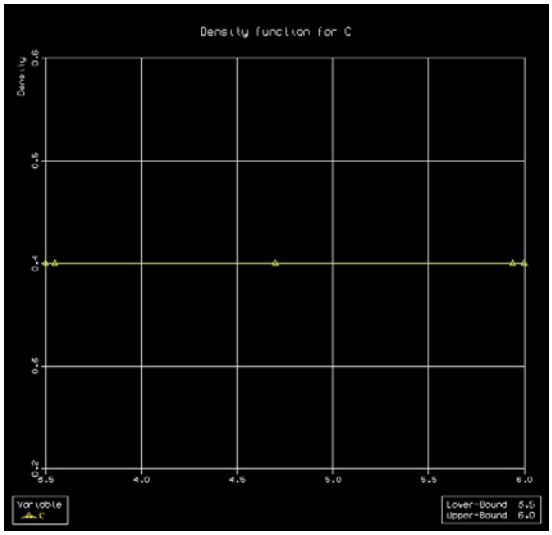
Σχήμα 21: Hs1



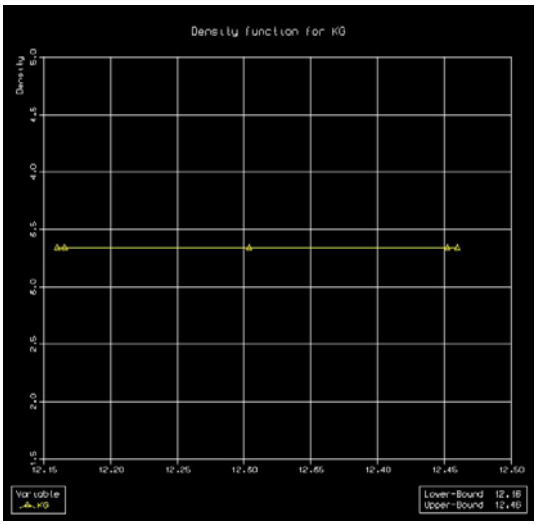
Σχήμα 22: U1



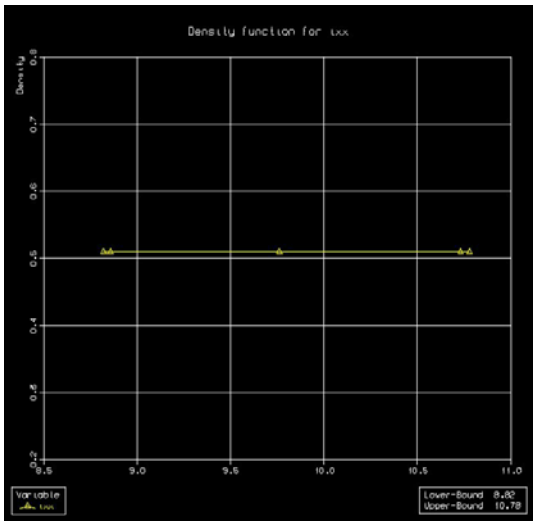
Σχήμα 23: β3



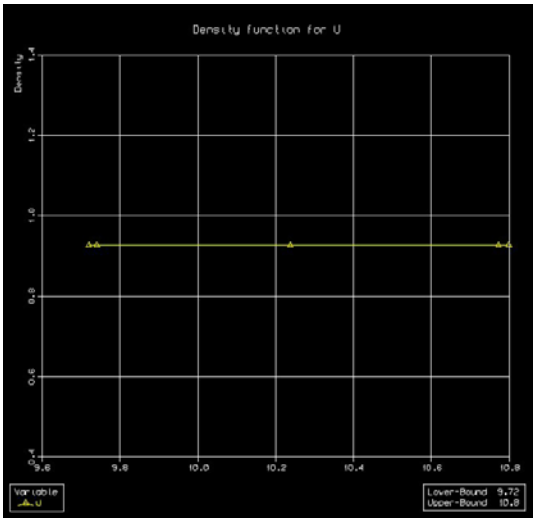
Σχήμα 24: C



Σχήμα 25: KG



Σχήμα 26: ixx



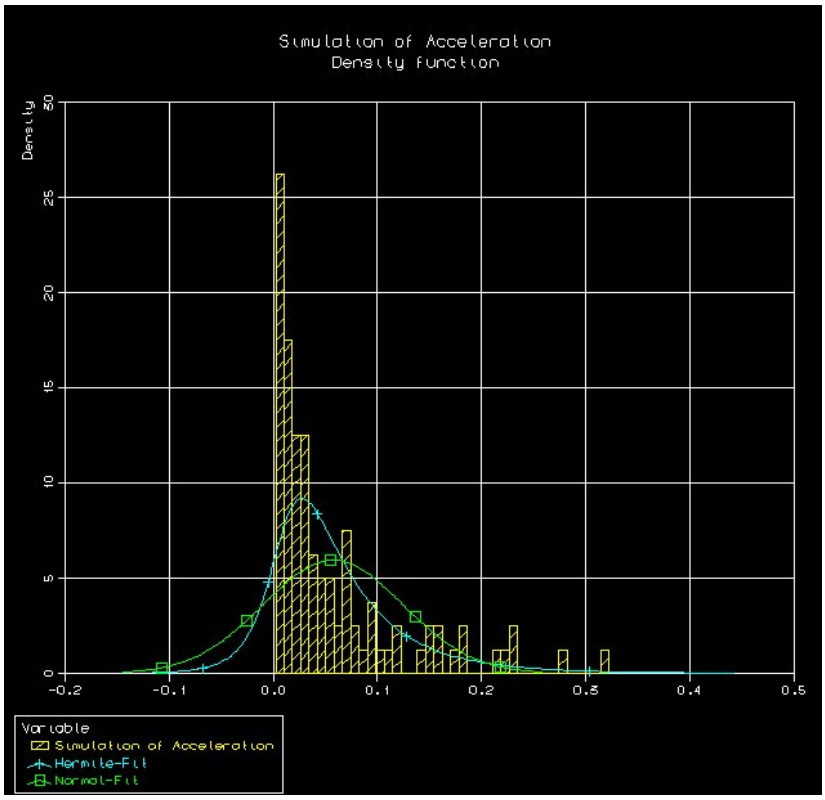
Σχήμα 27: iyy

Υπολογισμοί Κατανομής Πιθανότητας

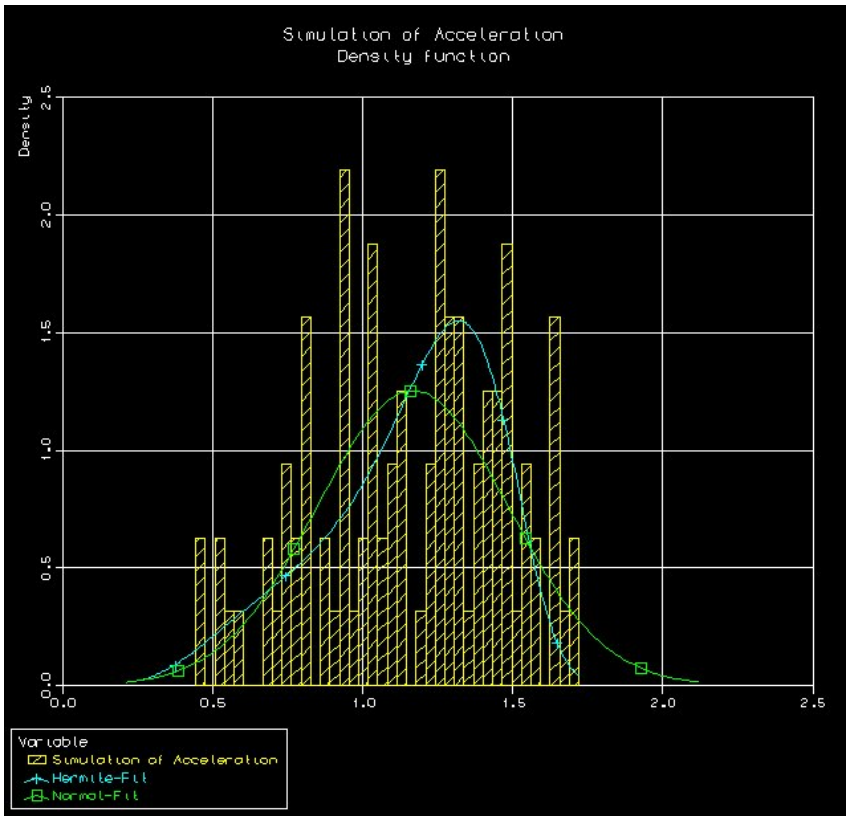
Μέθοδοι Monte Carlo και Latin Hypecube

		Monte Carlo Distribution Analysis			Latin Hypercube Distribution Analysis			
	Cases	**100 Simul.**	**500 Simul.**	**1000 Simul.**	**100 Simul.**	**200 Simul.**	**300 Simul.**	**400 Simul.**
1	**Hs1U1β1**	X	X	X			X	X
2	**Hs1U1β2**	X	X	X			X	X
3	**Hs1U1β3**	X	X	X	X	X	X	X
4	**Hs1U1β4**	X	X	X			X	X
5	**Hs1U2β1**	X						
6	**Hs1U2β2**	X						
7	**Hs1U2β3**	X						
8	**Hs1U2β4**	X						
9	**Hs1U3β1**	X						
10	**Hs1U3β2**	X						
11	**Hs1U3β3**	X						
12	**Hs1U3β4**	X						

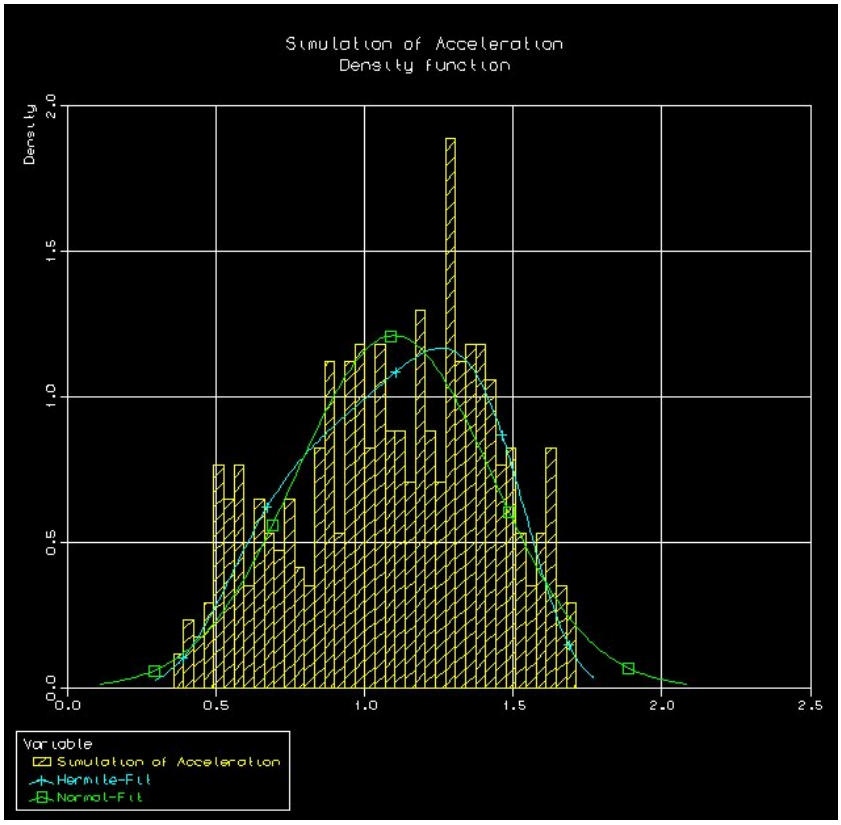
Πίνακας 3: Καταστάσεις πλεύσης οι οποίες έχουν διερευνηθεί με τις μεθόδους Monte Carlo και Latin Hypercube



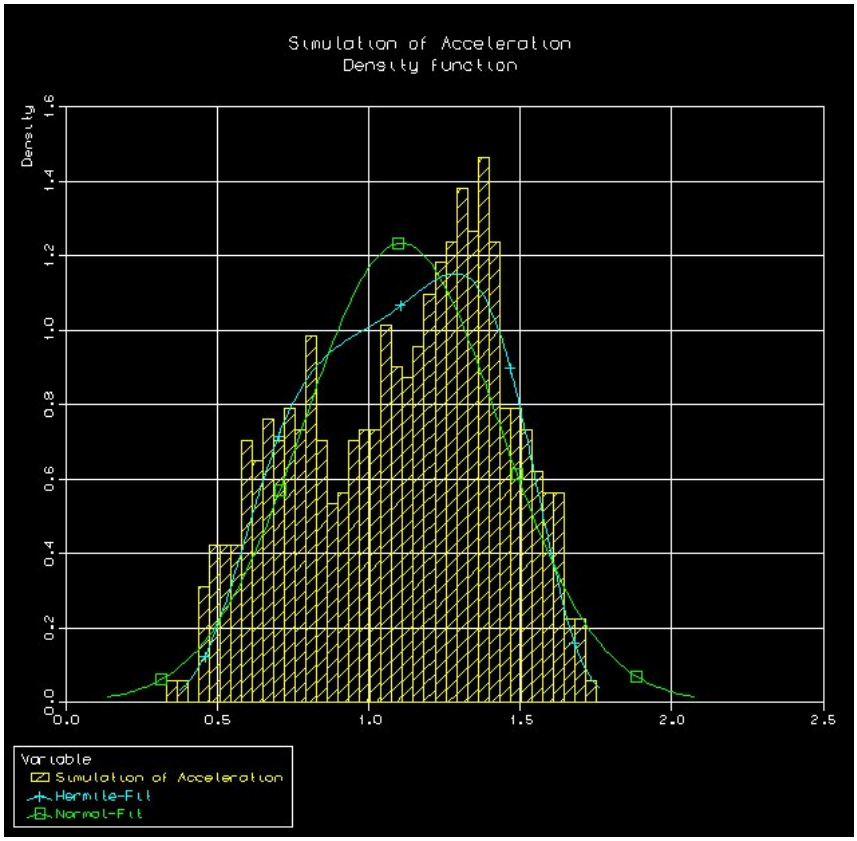
Σχήμα 28: Σ.π.π της κατάστασης Hs1U1β1 (100 προσομοιώσεις)



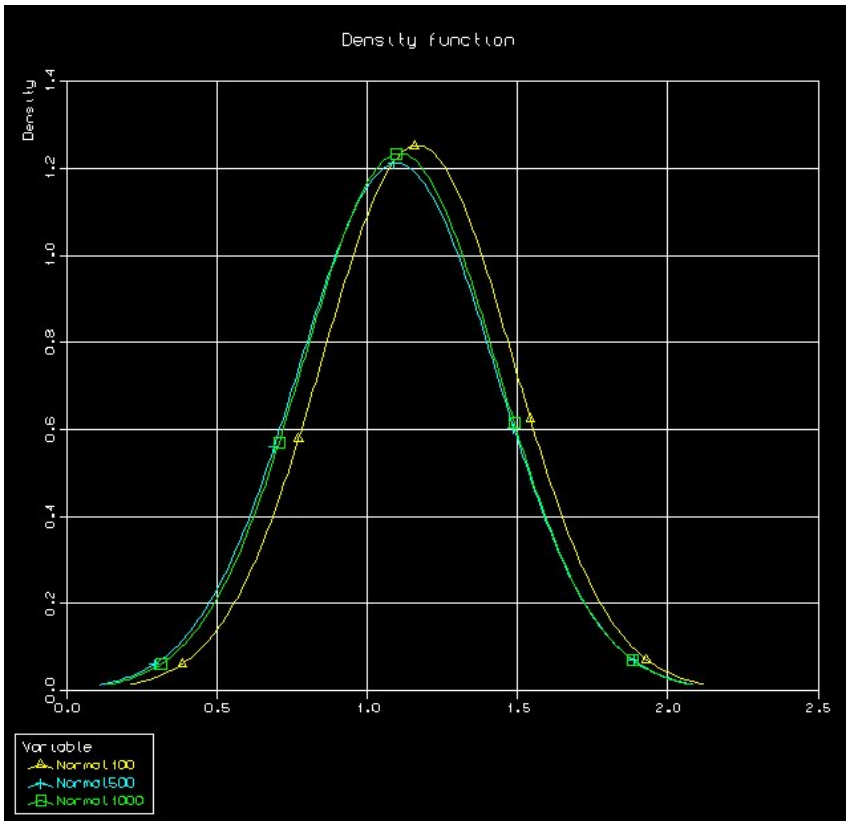
Σχήμα 29: Σ.π.π της κατάστασης Hs1U1β3 (100 προσομοιώσεις)



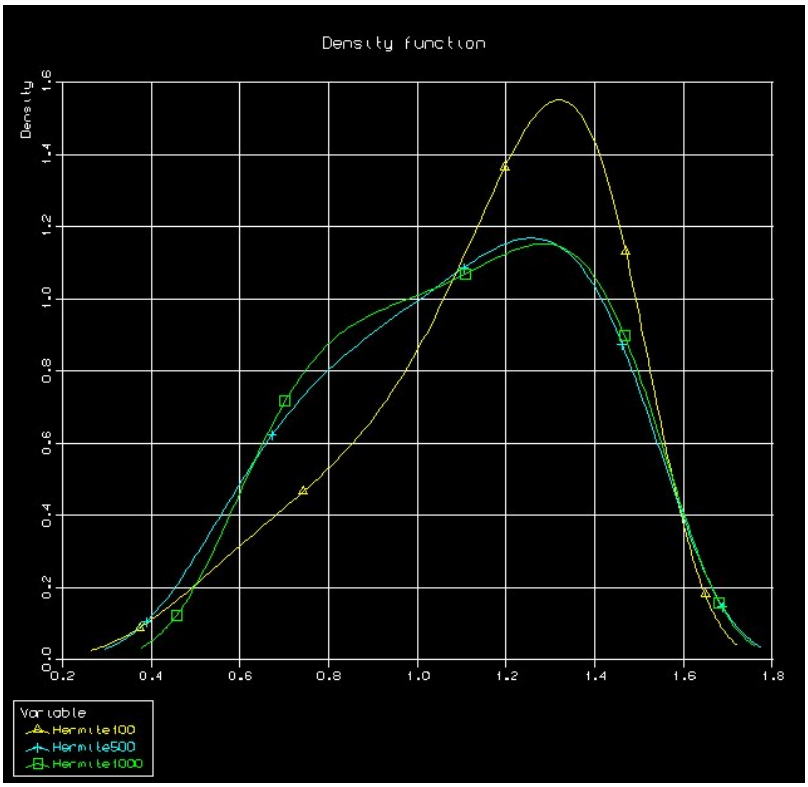
Σχήμα 30: Σ.π.π της κατάστασης Hs1U1β3 (500 προσομοιώσεις)



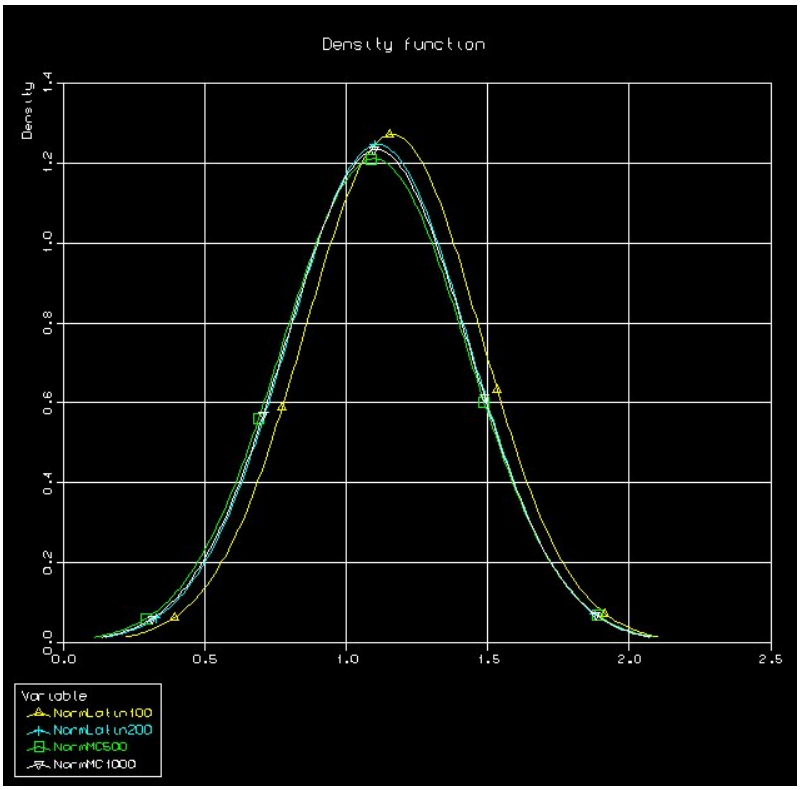
Σχήμα 31: Σ.π.π της κατάστασης Hs1U1β3 (1000 προσομοιώσεις)



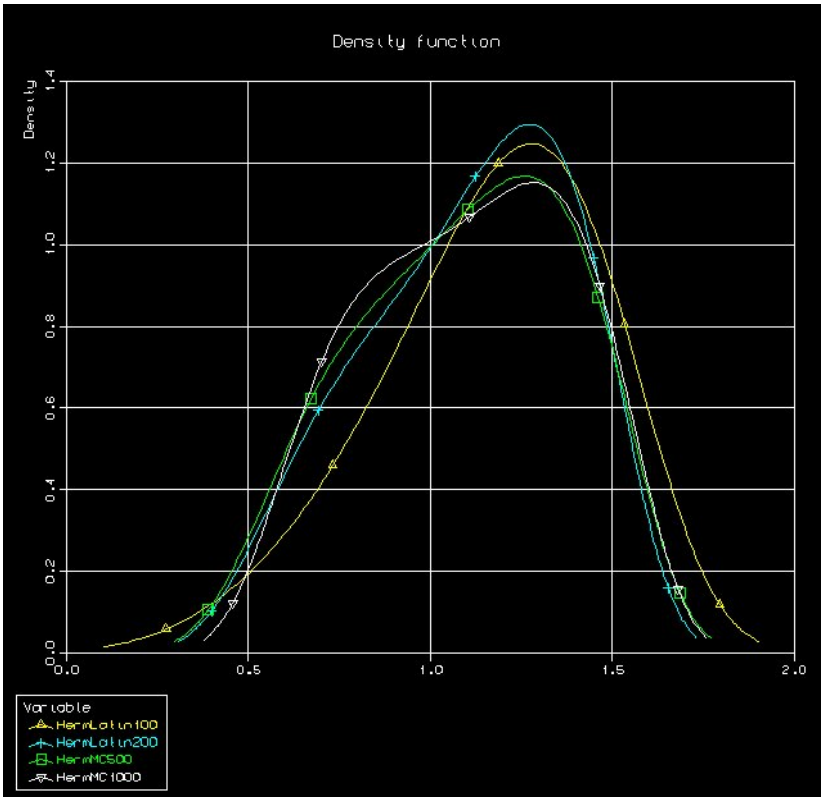
Σχήμα 32: Παρεμβαλλόμενες κανονικές κατανομές για την κατάσταση Hs1U1β3 (100-500-1000)



Σχήμα 33: Παρεμβαλλόμενες κατανομές Hermite για την κατάσταση Hs1U1β3 (100-500 -1000)



Σχήμα 34: Παρεμβαλλόμενες κανονικές κατανομές για την κατάσταση Hs1U1β3 (Monte Carlo 500 -1000, Latin Hypercube 100 - 200)



Σχήμα 35: Παρεμβαλλόμενες κατανομές Hermite για την κατάσταση Hs1U1β3 (Monte Carlo 500 -1000, Latin Hypercube 100 - 200)

```
+-------------------------------------------+
! Result name       : Hs1U1B3                !
!                                            !
! Distribution of   : Acceleration           !
! Analysis method   : Monte Carlo simulation !
+-------------------------------------------+


        Final results after 100 simulations

Mean        :  1.16676E+00    Skewness: -3.24117E-01
Standard-Dev:  3.18512E-01    Kurtosis:  2.28153E+00
```

Σχήμα 36: Αποτελέσματα με την μέθοδο Monte Carlo για την κατάσταση Hs1U1β3 (100 προσομοιώσεις)

```
+-------------------------------------------+
! Result name       : Hs1U1B3500             !
!                                            !
! Distribution of   : Acceleration           !
! Analysis method   : Monte Carlo simulation !
+-------------------------------------------+


        Final results after 500 simulations

Mean        :  1.09825E+00    Skewness: -2.65918E-01
Standard-Dev:  3.29437E-01    Kurtosis:  2.16436E+00
```

Σχήμα 37: Αποτελέσματα με την μέθοδο Monte Carlo για την κατάσταση Hs1U1β3 (500 προσομοιώσεις)

```
+-------------------------------------------+
! Result name       : Hs1U1B31000            !
!                                            !
! Distribution of   : Acceleration           !
! Analysis method   : Monte Carlo simulation !
+-------------------------------------------+


        Final results after 1000 simulations

Mean        :  1.10728E+00    Skewness: -2.72118E-01
Standard-Dev:  3.23362E-01    Kurtosis:  2.05830E+00
```

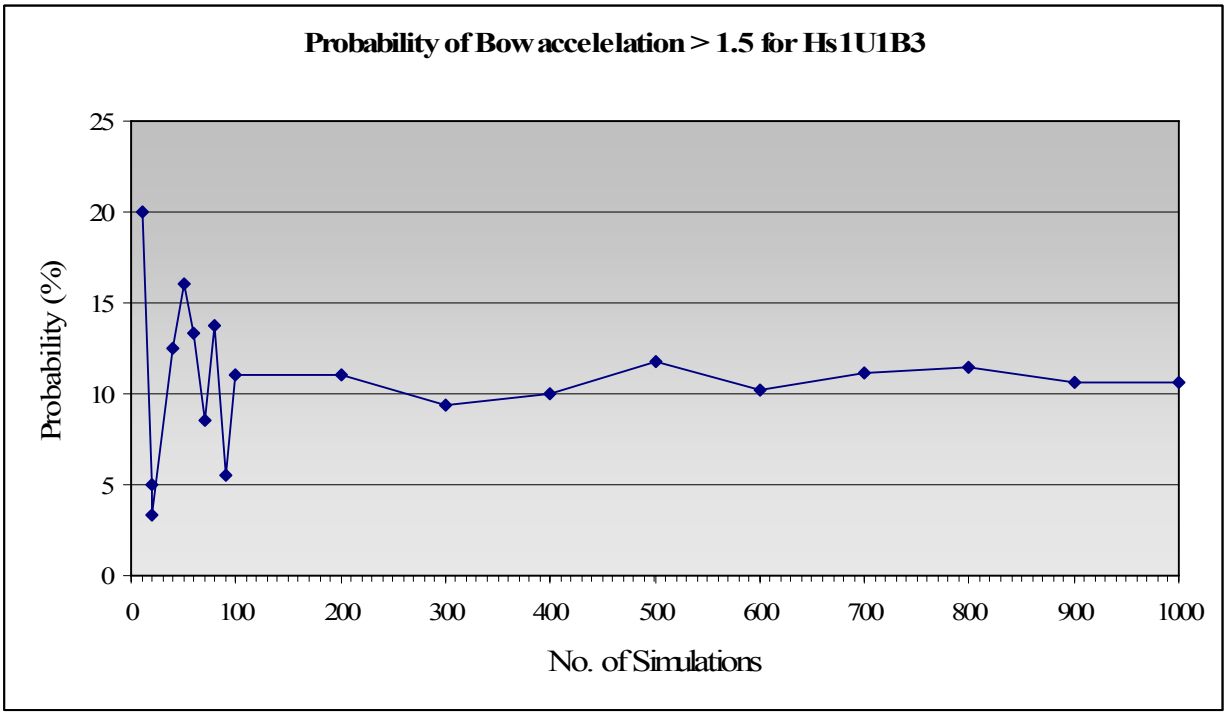
Σχήμα 38: Αποτελέσματα με την μέθοδο Monte Carlo για την κατάσταση Hs1U1β3 (1000 προσομοιώσεις)

Υπολογισμοί Πιθανότητας

Μέθοδος Monte Carlo

Monte Carlo Probability Analysis	10 Sim.	20 Sim.	30 Sim.	40 Sim.	50 Sim.	60 Sim.	70 Sim.	80 Sim.	90 Sim.	
Acceleration > 1.5	20.0 %	5.0 %	3.33 %	12.5 %	16.0 %	13.33 %	8.75 %	13.75 %	5.55 %	
Monte Carlo Probability Analysis	100 Sim.	200 Sim.	300 Sim.	400 Sim.	500 Sim.	600 Sim.	700 Sim.	800 Sim.	900 Sim.	1000 Sim.
Acceleration > 1.0	58 %									
Acceleration > 1.5	11.0 %	11.0 %	9.333 %	10.0 %	11.8 %	10.167 %	11.143 %	11.5 %	10.67 %	10.6 %
Acceleration > 1.8	0 %				0 %					

Πίνακας 4: Υπολογισμοί πιθανότητας με την μέθοδο Monte Carlo για την κατάσταση Hs1U1β3



Σχήμα 39: Σύγκλιση της μεθόδου Monte Carlo

```
+-----------------------------------------+
! Result name      : H1U1B3M15100          !
!                                          !
! Probability of   : Acceleration > 1.5    !
! Analysis method  : Monte Carlo simulation !
+-----------------------------------------+


     Final results after 100 simulations

     Estimate  Stand-Dev C-of-V 90% confidence interv
    --------- ---------- ------ --------------------
Probability   1.100E-01  3.129E-02  0.284  5.853E-02  1.615E-01
Beta          1.2265                       0.9885     1.5672
Log10(Prob)  -9.586E-01                   -1.233E+00 -7.919E-01
```

Σχήμα 40: Αποτελέσματα μεθόδου Monte Carlo για την κατάσταση Hs1U1β3, Επιτάχυνση > 1.5 (100 προσομοιώσεις)

```
+-----------------------------------------+
! Result name      : H1U1B3M15500          !
!                                          !
! Probability of   : Acceleration > 1.5    !
! Analysis method  : Monte Carlo simulation !
+-----------------------------------------+


     Final results after 500 simulations

     Estimate  Stand-Dev C-of-V 90% confidence interv
    --------- ---------- ------ --------------------
Probability   1.180E-01  1.443E-02  0.122  9.427E-02  1.417E-01
Beta          1.1850                       1.0726     1.3149
Log10(Prob)  -9.281E-01                   -1.026E+00 -8.485E-01
```

Σχήμα 41: Αποτελέσματα μεθόδου Monte Carlo για την κατάσταση Hs1U1β3, Acceleration > 1.5 (500 προσομοιώσεις)

```
+-----------------------------------------+
! Result name      : MonteC1000            !
!                                          !
! Probability of   : Acceleration > 1.5    !
! Analysis method  : Monte Carlo simulation !
+-----------------------------------------+


     Final results after 1000 simulations

     Estimate  Stand-Dev C-of-V 90% confidence interv
    --------- ---------- ------ --------------------
Probability   1.060E-01  9.735E-03  0.092  8.999E-02  1.220E-01
Beta          1.2481                       1.1650     1.3408
Log10(Prob)  -9.747E-01                   -1.046E+00 -9.136E-01
```

Σχήμα 42: Αποτελέσματα μεθόδου Monte Carlo για την κατάσταση Hs1U1β3, Acceleration > 1.5 (1000 προσομοιώσεις)

Μέθοδος FORM

FORM Probability Analysis	Result	No. of Simulations
Acceleration > 1.0	**78.279 %**	165
Acceleration > 1.5	**50.39 %**	47
Acceleration > 1.8	**Aborted**	123

Πίνακας 5: Υπολογισμοί πιθανότητας με την μέθοδο FORM για την κατάσταση Hs1U1β3

```
+-------------------------------------+
! Result name       : Hs1U1B3F10      !
!                                     !
! Probability of    : Acceleration > 1.0 !
! Analysis method   : FORM            !
+-------------------------------------+

FORM Probability:                 7.82792E-01

FORM Reliability index:               -0.7817
```

Σχήμα 43: Αποτελέσματα μεθόδου FORM για την κατάσταση Hs1U1β3, Επιτάχυνση>1.5

```
+-------------------------------------+
! Result name       : Hs1U1B3F15      !
!                                     !
! Probability of    : Acceleration > 1.5 !
! Analysis method   : FORM            !
+-------------------------------------+

FORM Probability:                 5.03989E-01

FORM Reliability index:               -0.0100
```

Σχήμα 44: Αποτελέσματα μεθόδου FORM για την κατάσταση Hs1U1β3, Επιτάχυνση>1.5

Μέθοδος SORM

SORM Probability Analysis	Result	No. of Simulations
Acceleration > 1.0	**77.77 %**	193
Acceleration > 1.5	**45.98 %**	75
Acceleration > 1.8	**Aborted**	123

Πίνακας 6: Υπολογισμοί πιθανότητας με την μέθοδο SORM για την κατάσταση Hs1U1β3

```
+-------------------------------------+
! Result name       : Hs1U1B3S10      !
!                                     !
! Probability of    : Acceleration > 1.0 !
! Analysis method   : SORM            !
+-------------------------------------+


FORM Probability:                 7.82792E-01
SORM Probability:                 7.77700E-01

FORM Reliability index:               -0.7817
SORM Reliability index:               -0.7644
```

Σχήμα 45: Αποτελέσματα μεθόδου SORM για την κατάσταση Hs1U1β3, Επιτάχυνση>1.5

```
+-------------------------------------+
! Result name       : Hs1U1B3S15      !
!                                     !
! Probability of    : Acceleration > 1.5 !
! Analysis method   : SORM            !
+-------------------------------------+


FORM Probability:                 5.03989E-01
SORM Probability:                 4.59845E-01

FORM Reliability index:               -0.0100
SORM Reliability index:                0.1008
```

Σχήμα 46: Αποτελέσματα μεθόδου SORM για την κατάσταση Hs1U1β3, Επιτάχυνση>1.5

A.2 Αποτελέσματα στο επίπεδο επιχειρησιακής χρήσης (rms τιμές επιταχύνσεων στην πρώρα και στη γέφυρα)

Υπολογισμοί πιθανότητας κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρώρα

$\beta = 165^o - 180^o$

U = 21 Kn = 10.794 m/s

KG = 12.46 m

ixx = 10.78 m

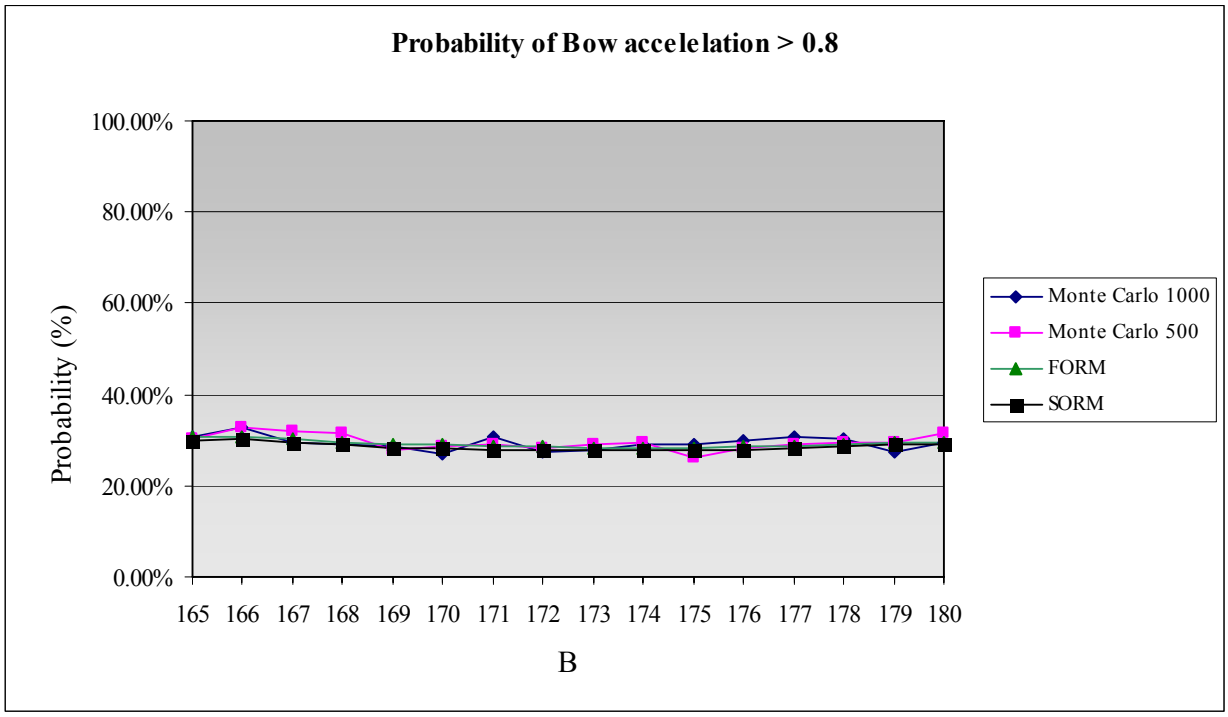
iyy = 52.25 m

Hs = 4 – 5 (Κανονική Κατανομή)

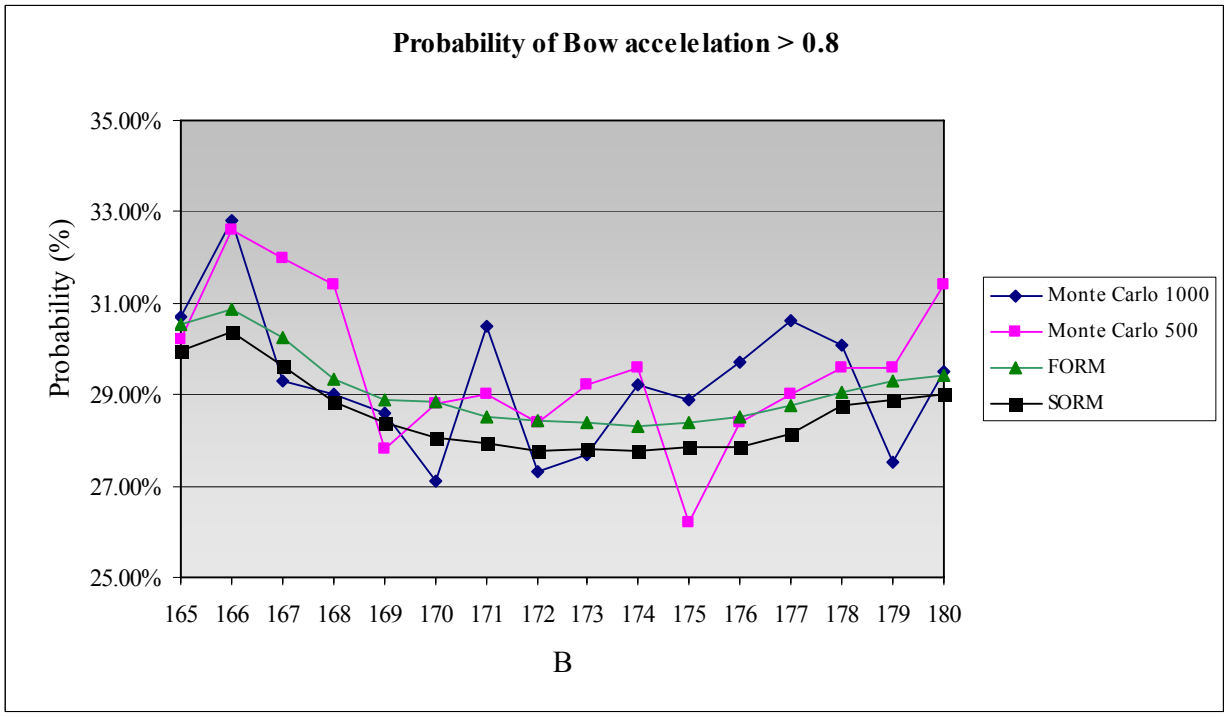
Tp = 6 – 10 (Κανονική Κατανομή)

	β	Monte Carlo 1000	Monte Carlo 500	FORM	SORM
1	165°	**30.70 %**	**30.20 %**	**30.520 %**	**29.977 %**
2	166°	**32.80 %**	**32.60 %**	**30.859 %**	**30.368 %**
3	167°	**29.30 %**	**32.00 %**	**30.230 %**	**29.631 %**
4	168°	**29.00 %**	**31.40 %**	**29.329 %**	**28.853 %**
5	169°	**28.60 %**	**27.80 %**	**28.884 %**	**28.373 %**
6	170°	**27.10 %**	**28.80 %**	**28.860 %**	**28.070 %**
7	171°	**30.50 %**	**29.00 %**	**28.510 %**	**27.935 %**
8	172°	**27.30 %**	**28.40 %**	**28.426 %**	**27.783 %**
9	173°	**27.70 %**	**29.20 %**	**28.372 %**	**27.817 %**
10	174°	**29.20 %**	**29.60 %**	**28.317 %**	**27.782 %**
11	175°	**28.90 %**	**26.20 %**	**28.371 %**	**27.863 %**
12	176°	**29.70 %**	**28.40 %**	**28.497 %**	**27.846 %**
13	177°	**30.60 %**	**29.00 %**	**28.746 %**	**28.147 %**
14	178°	**30.10 %**	**29.60 %**	**29.040 %**	**28.751 %**
15	179°	**27.50 %**	**29.60 %**	**29.302 %**	**28.879 %**
16	180°	**29.50 %**	**31.40 %**	**29.414 %**	**28.996 %**

Πίνακας 7: Πιθανότητες κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρώρα > 0.8



Σχήμα 47: Πιθανότητες κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρώρα για β = 165° – 180°



Σχήμα 48: Πιθανότητες κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρώρα για β = 165° – 180° (Zoom)

Υπολογισμοί κατανομών & πιθανοτήτων κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρώρα

$\beta = 0^o$

U = 21 Kn = 10.794 m/s

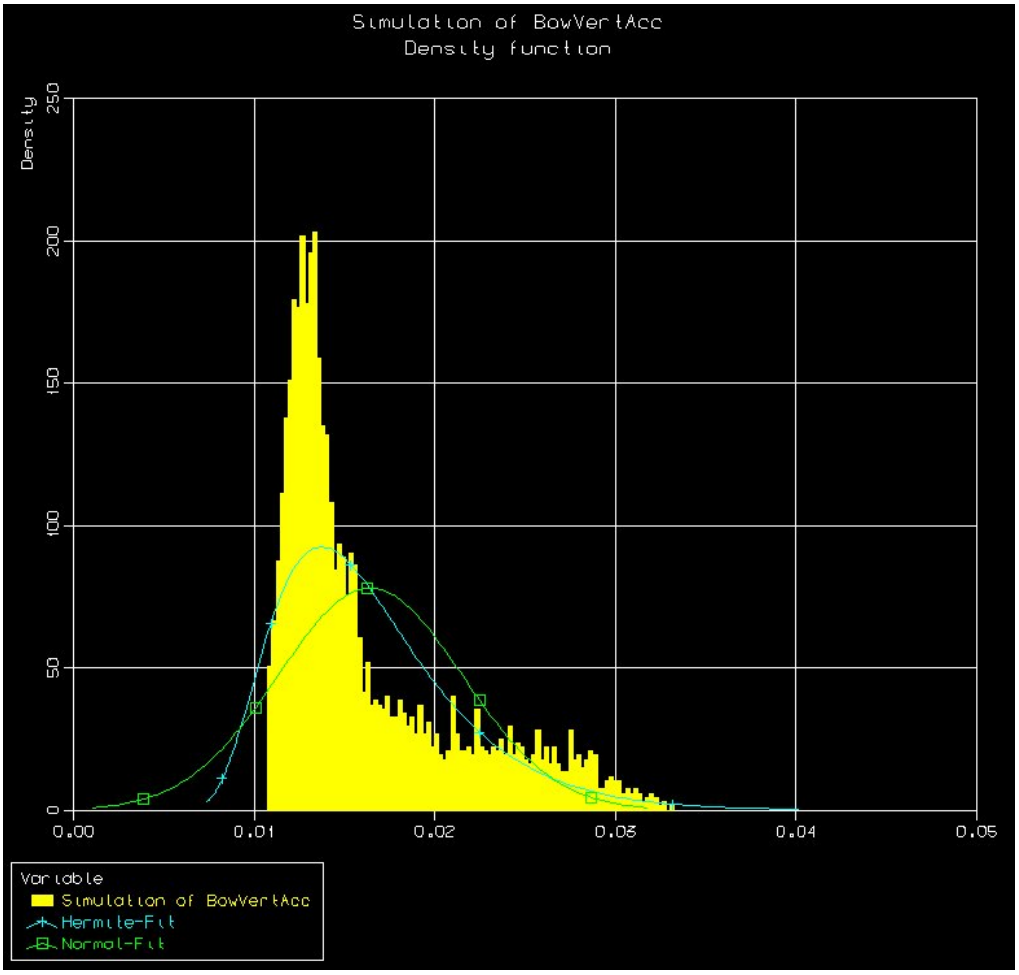
KG = 12.46 m

ixx = 10.78 m

iyy = 52.25 m

Hs = 4 – 5 (Κανονική Κατανομή)

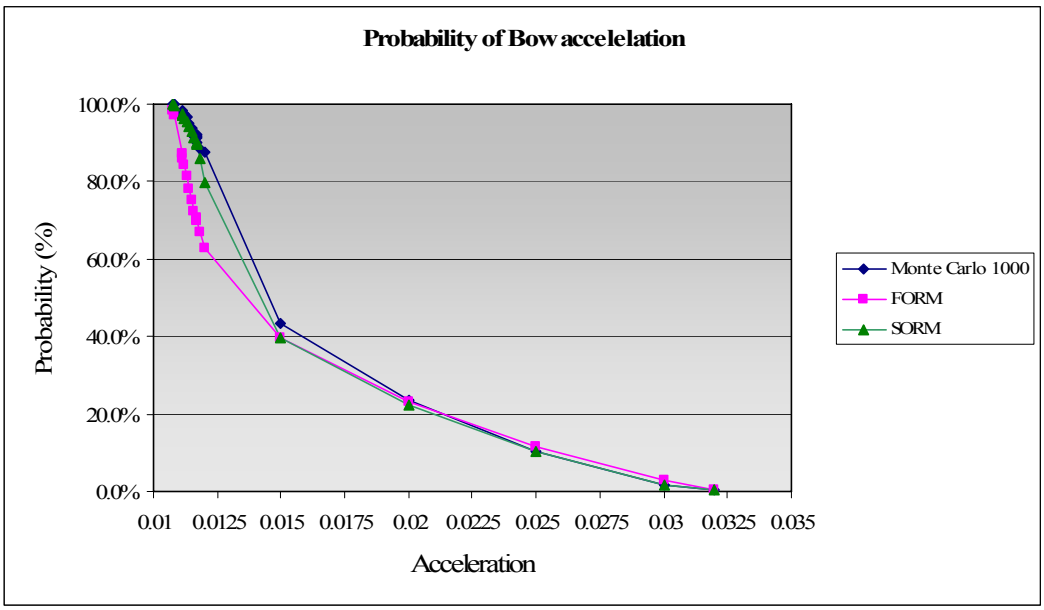
Tp = 6 – 10 (Κανονική Κατανομή)



Σχήμα 49: Σ.π.π κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρώρα με την μέθοδο Monte Carlo (1000 προσομοιώσεις)

	Acceleration	Monte Carlo 1000	FORM	SORM
1	> 0.03500	0.0 %	Aborted	Aborted
2	> 0.03200	0.3 %	0.57 %	0.33 %
3	> 0.03000	1.8 %	2.77 %	1.70 %
4	> 0.02500	10.5 %	11.65 %	10.42 %
5	> 0.02000	23.5 %	23.28 %	22.40 %
6	> 0.01500	43.3 %	39.60 %	39.49 %
7	> 0.01200	87.4 %	62.76 %	79.65 %
8	> 0.01180	88.4 %	67.14 %	86.09 %
9	> 0.01170	92.2 %	69.70 %	89.47 %
10	> 0.01169	89.9 %	69.93 %	89.59 %
11	> 0.01168	91.8 %	70.26 %	90.12 %
12	> 0.01167	91.3 %	70.50 %	90.07 %
13	> 0.01160	91.6 %	72.50 %	91.12 %
14	> 0.01150	94.0 %	75.33 %	92.95 %
15	> 0.01140	94.9 %	78.24 %	94.14 %
16	> 0.01130	96.5 %	81.37 %	95.41 %
17	> 0.01120	97.6 %	84.32 %	96.38 %
18	> 0.01115	97.1 %	86.11 %	97.15 %
19	> 0.01112	98.2 %	87.07 %	97.56 %
20	> 0.01111	97.4 %	87.19 %	97.19 %
21	> 0.01080	100.0 %	97.05 %	99.57 %
22	> 0.01077	99.9 %	98.32 %	99.82 %
23	> 0.01050	100 %	Aborted	Aborted

Πίνακας 8: Πιθανότητες κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρώρα με τις μεθόδους Monte Carlo, FORM και SORM



Σχήμα 50: Πιθανότητες κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρώρα

Υπολογισμοί πιθανοτήτων κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρώρα επιτάχυνσης στη γέφυρα

$\beta = 0^o, 90^o, 180^o$

U = 21 Kn = 10.794 m/s

KG = 12.46 m

ixx = 10.78 m

iyy = 52.25 m ± 10 % (47.025 m, 52.25 m, 57.475 m)

Hs = 4 – 5 (Κανονική Κατανομή)

Tp = 6 – 10 (Κανονική Κατανομή)

Πίνακας 9: Πιθανότητες επιτάχυνσης στην γέφυρα και στη πρώρα για διαφορετικές γωνίες συνάντησης και ακτίνες αδρανείας iyy

A) $\beta = 0^o$

A1) iyy = 47.025 m

	Acceleration	Monte Carlo 1000	FORM	SORM
Bow Vertical Acc.	> 0.02	**22.10 %**	**22.45 %**	**21.87 %**
	> 0.012	**77.90 %**	**55.12 %**	**58.16 %**
Bridge Acc	> 0.02	**56.40 %**	**54.72 %**	**54.14 %**
	> 0.012	**65.90 %**	**65.23 %**	**65.23 %**

A2) iyy = 52.25 m

	Acceleration	Monte Carlo 1000	FORM	SORM
Bow Vertical Acc.	> 0.02	**23.4 %**	**23.28 %**	**22.40 %**
	> 0.012	**88.40 %**	**62.76 %**	**79.65 %**
Bridge Acc	> 0.02	**53.40 %**	**55.05 %**	**55.05 %**
	> 0.012	**66.80 %**	**65.22 %**	**65.22 %**

A3) iyy = 57.475 m

	Acceleration	Monte Carlo 1000	FORM	SORM
Bow Vertical Acc.	> 0.02	**23.90 %**	**24.42 %**	**23.83 %**
	> 0.012	**98.00 %**	**85.15 %**	**97.13 %**
Bridge Acc	> 0.02	**53.20 %**	**55.07 %**	**54.70 %**
	> 0.012	**61.50 %**	**65.28 %**	**65.28 %**

B) $\beta = 90^o$

B1) iyy = 47.025 m

	Acceleration	Monte Carlo 1000	FORM	SORM
Bow Vertical Acc.	> 1.0	**6.50 %**	**11.70 %**	**9.07 %**
	> 0.8	**44.40 %**	**43.46 %**	**45.50 %**
Bridge Acc	> 1.0	**39.30 %**	**47.15 %**	**47.15 %**
	> 0.8	**89.60 %**	**86.98 %**	**90.49 %**

B2) iyy = 52.25 m

	Acceleration	Monte Carlo 1000	FORM	SORM
Bow Vertical Acc.	> 1.0	**7.50 %**	**11.50 %**	**8.50 %**
	> 0.8	**45.40 %**	**45.11 %**	**45.30 %**
Bridge Acc	> 1.0	**42.50 %**	**47.18 %**	**47.18 %**
	> 0.8	**90.10 %**	**87.17 %**	**90.04 %**

B3) iyy = 57.475 m

	Acceleration	Monte Carlo 1000	FORM	SORM
Bow Vertical Acc.	> 1.0	**5.50 %**	**9.55 %**	**5.93 %**
	> 0.8	**43.20 %**	**46.27 %**	**45.64 %**
Bridge Acc	> 1.0	**40.40 %**	**47.83 %**	**45.98 %**
	> 0.8	**90.30 %**	**86.04 %**	**89.37 %**

Γ) β = 180°

Γ1) iyy = 47.025 m

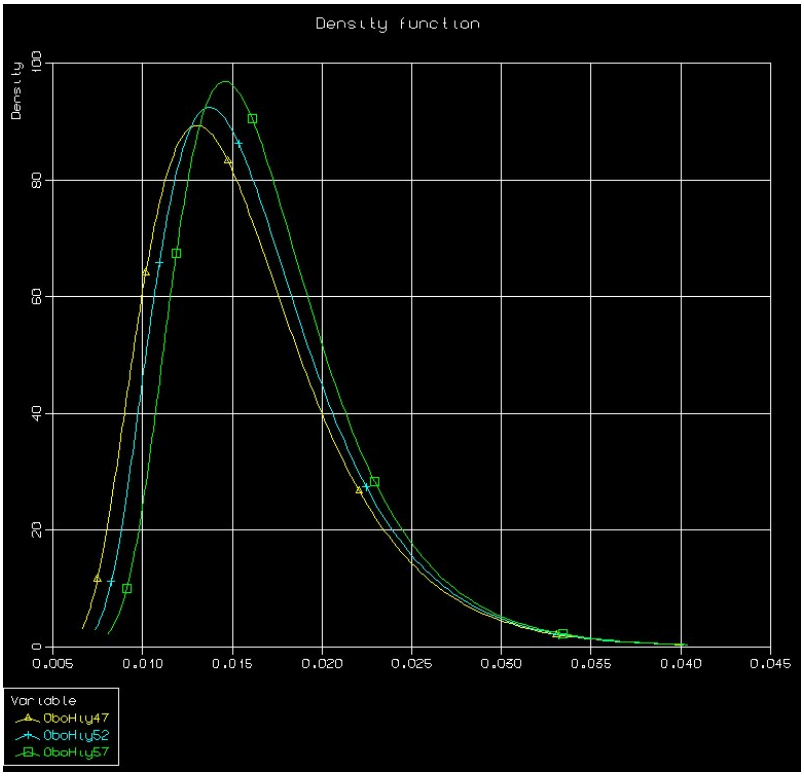
	Acceleration	Monte Carlo 1000	FORM	SORM
Bow Vertical Acc.	> 1.0	**14.90 %**	**18.52 %**	**17.49 %**
	> 0.8	**34.80 %**	**36.67 %**	**37.69 %**
Bridge Acc	> 0.25	**28.20 %**	**44.61 %**	**44.61 %**
	> 0.20	**87.70 %**	**89.25 %**	**91.16 %**

Γ2) iyy = 52.25 m

	Acceleration	Monte Carlo 1000	FORM	SORM
Bow Vertical Acc.	> 1.0	**14.20 %**	**14.48 %**	**13.35 %**
	> 0.8	**29.10 %**	**29.41 %**	**28.99 %**
Bridge Acc	> 0.25	**26.30 %**	**43.83 %**	**43.82 %**
	> 0.20	**85.50 %**	**50.30 %**	**72.12 %**

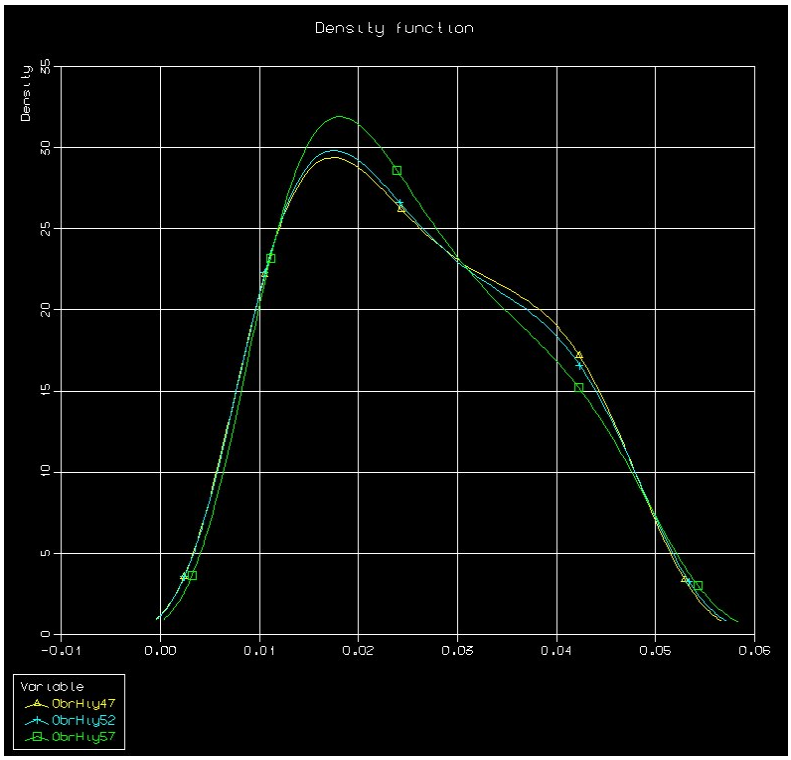
Γ3) iyy = 57.475 m

	Acceleration	Monte Carlo 1000	FORM	SORM
Bow Vertical Acc.	> 1.0	**8.30 %**	**9.95 %**	**8.41 %**
	> 0.8	**24.50 %**	**23.43 %**	**22.64 %**
Bridge Acc	> 0.25	**21.30 %**	**42.31 %**	**41.74 %**
	> 0.20	**81.50 %**	**50.39 %**	**72.91 %**



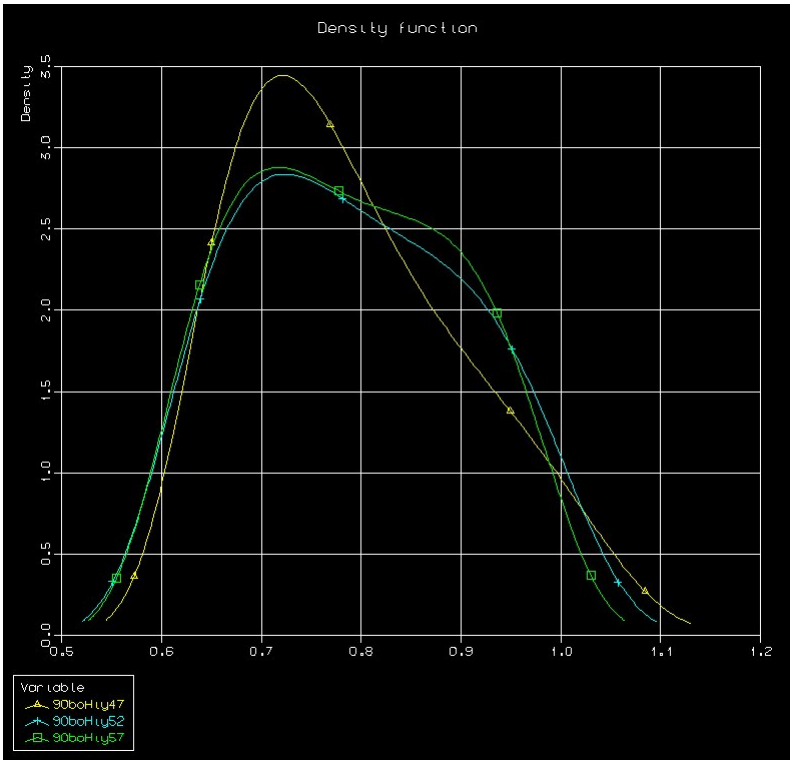
Σχήμα 51: Παρεμβαλλόμενες κατανομές Hermite της κ. επιτάχυνσης στην πρώρα

(β = 0°, iyy = 47.025, 52.25, 57.475)

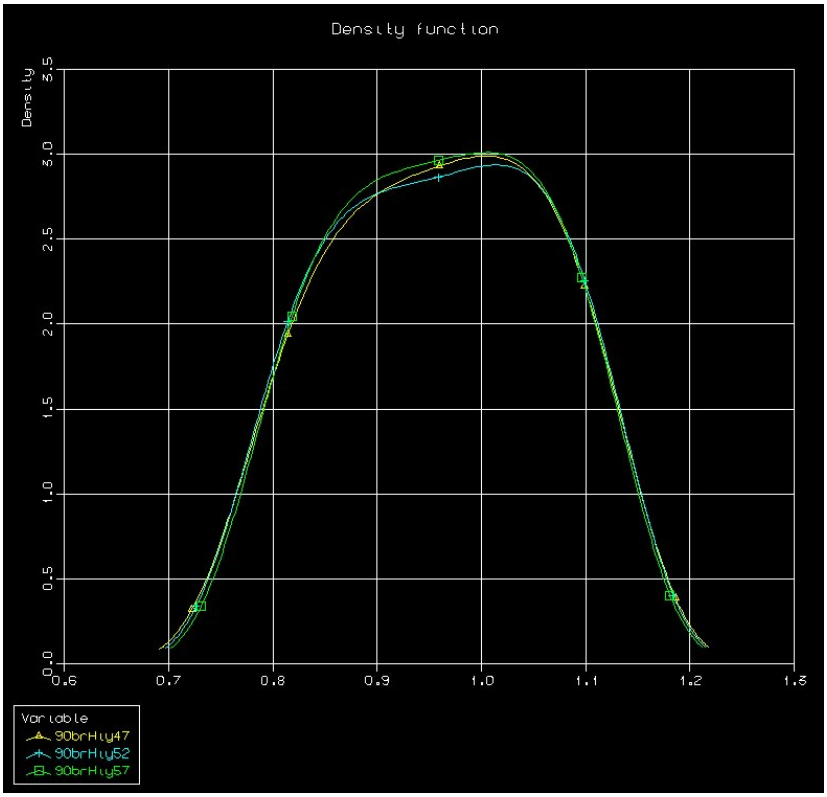


Σχήμα 52: Παρεμβαλλόμενες κατανομές Hermite της επιτάχυνσης στη γέφυρα

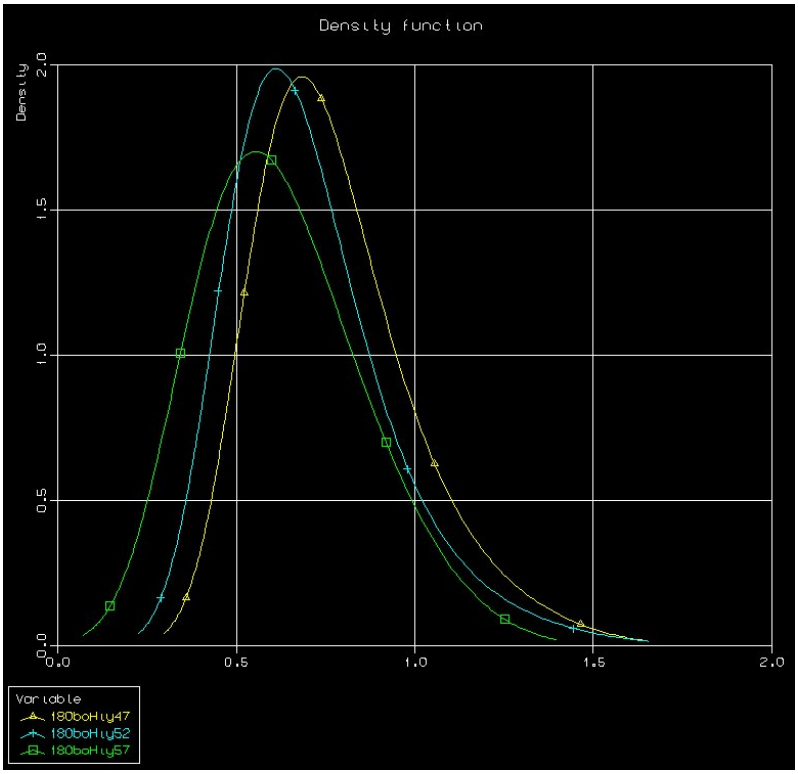
(β = 0°, iyy = 47.025, 52.25, 57.475)



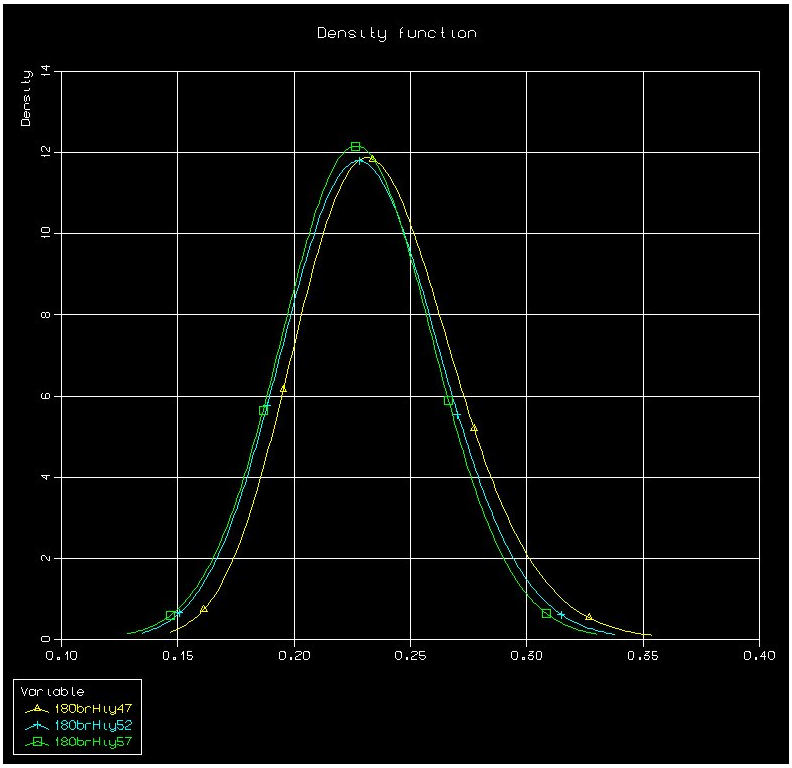
Σχήμα 53: Παρεμβαλλόμενες κατανομές Hermite της κ. επιτάχυνσης στην πρώρα ($\beta = 90^o$, iyy = 47.025, 52.25, 57.475)



Σχήμα 54: Παρεμβαλλόμενες κατανομές Hermite της επιτάχυνσης στη γέφυρα ($\beta = 90^o$, iyy = 47.025, 52.25, 57.475)



Σχήμα 55: Παρεμβαλλόμενες κατανομές Hermite της κ. επιτάχυνσης στην πρώρα ($\beta = 180^o$, iyy = 47.025, 52.25, 57.475)



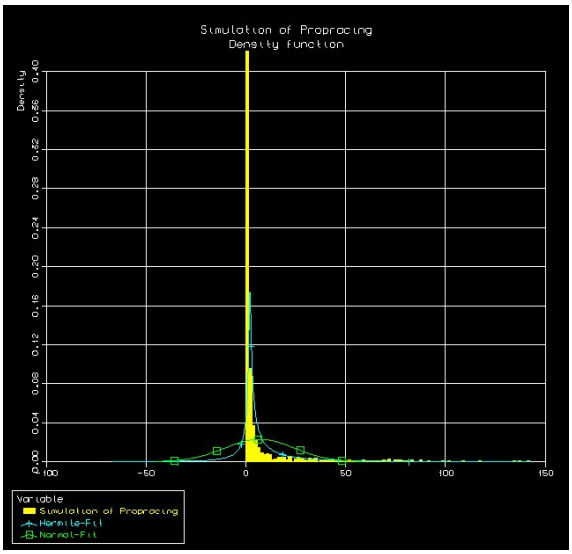
Σχήμα 56: Παρεμβαλλόμενες κατανομές Hermite της επιτάχυνσης στη γέφυρα ($\beta = 180^o$, iyy = 47.025, 52.25, 57.475)

A.3 Αποτελέσματα στο επίπεδο επιχειρησιακής χρήσης (Υπερβάσεις τυχαίων συμβάντων και επιταχύνσεων)

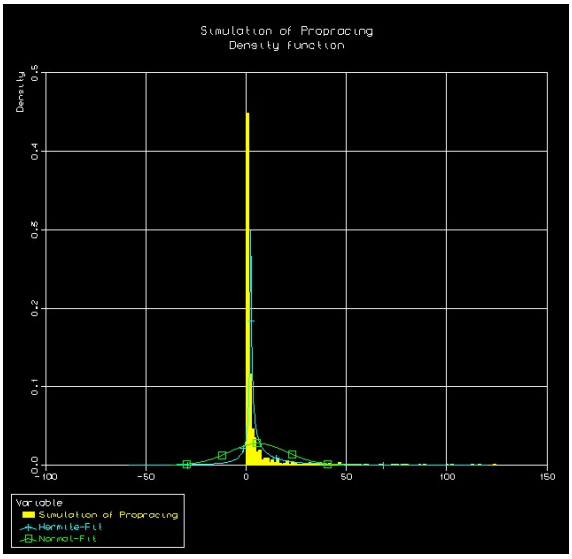
Vs = 21 Kn, <u>B = 165°,</u> KG = 12.2 m, ixx = 10 m, iyy = 50m,

Hs = 5 ± 0.5 m (Κανονική Κατανομή), Tp = 10 ± 1 sec (Κανονική Κατανομή)

ΑΝΑΔΥΣΗ ΕΛΙΚΑΣ



Σχήμα 57: Σ.π.π. με την μέθοδο Monte Carlo της ανάδυσης της έλικας (1000)

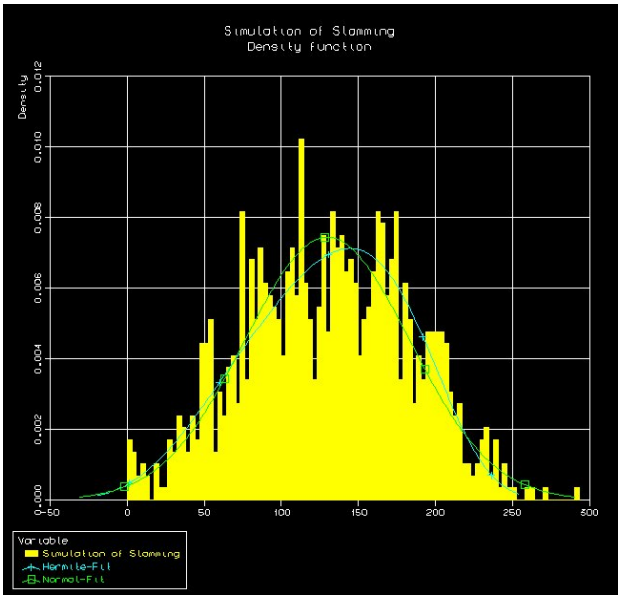


Σχήμα 58: Σ.π.π. με την μέθοδο Latin Hypercube της ανάδυσης της έλικας (1000)

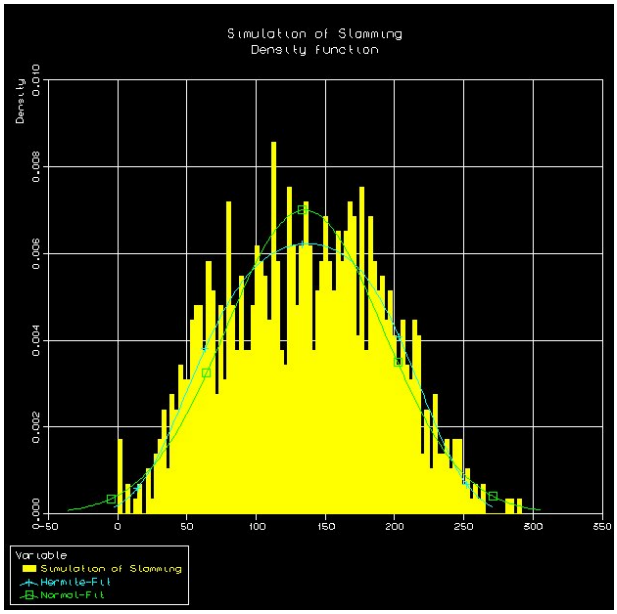
	M.C. 500	FORM
Propeller racing > 5	19%	18%
Propeller racing > 15	11%	11%
Propeller racing > 50	4%	5%

Πίνακας 10: Πιθανότητες υπερβάσεων ανάδυσης έλικας

ΣΦΥΡΟΚΡΟΥΣΗ



Σχήμα 59: Σ.π.π. με την μέθοδο Monte Carlo της σφυρόκρουσης (1000)

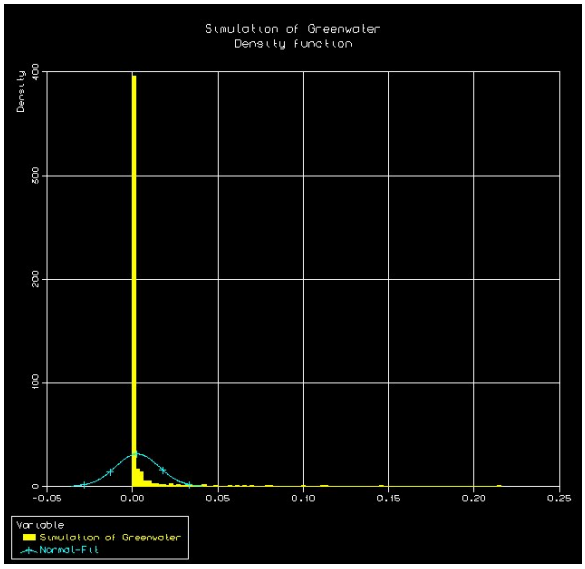


Σχήμα 60: Σ.π.π. με την μέθοδο Latin Hypercube της σφυρόκρουσης (1000)

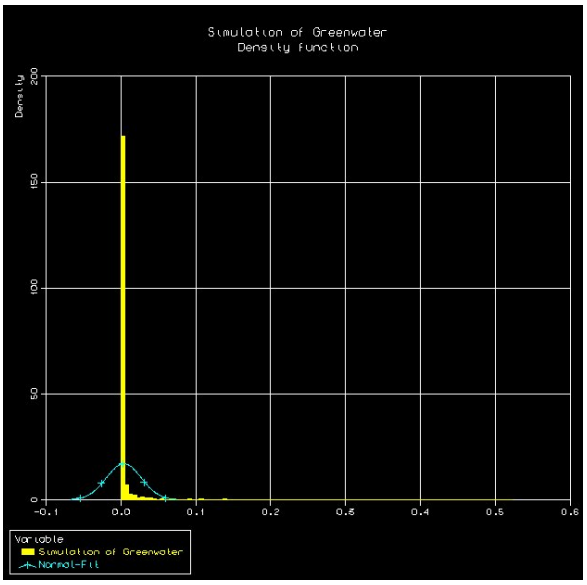
	M.C. 500	FORM
Slamming (4.0181 m/sec) > 70	72%	74%
Slamming (4.0181 m/sec) > 120	59%	57%
Slamming (4.0181 m/sec) > 200	24%	28%

Πίνακας 11: Πιθανότητες υπερβάσεων σφυρόκρουσης

ΔΙΑΒΡΟΧΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ



Σχήμα 61: Σ.π.π. με την μέθοδο Monte Carlo της διαβροχής του καταστρώματος (1000)

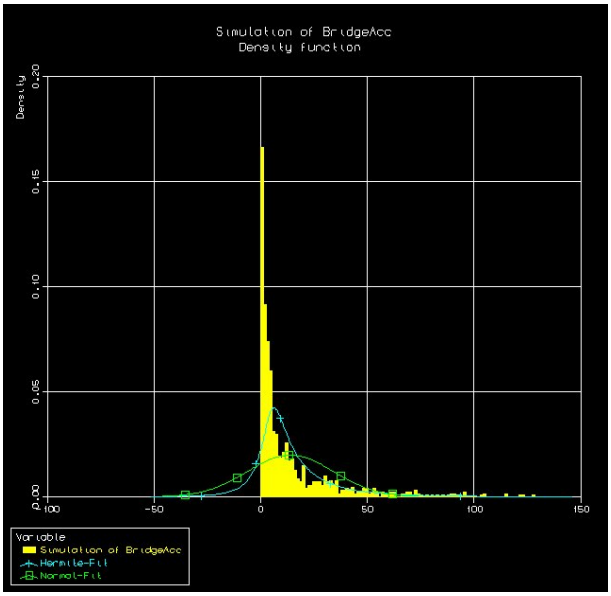


Σχήμα 62: Σ.π.π. με την μέθοδο Latin Hypercube της διαβροχής του καταστρώματος (1000)

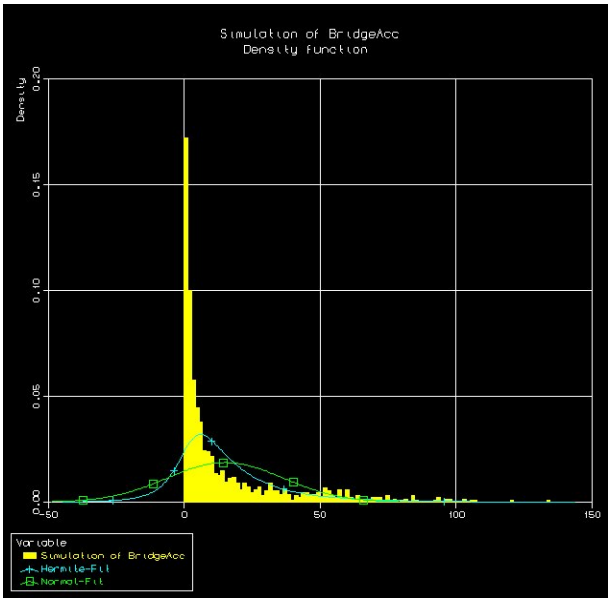
	M.C. 500	FORM
Greenwater > 0.01	7%	10%
Greenwater > 0.02	5%	6%
Greenwater > 0.05	2%	3%

Πίνακας 12: Πιθανότητες υπερβάσεων διαβροχής καταστρώματος

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΤΗ ΓΕΦΥΡΑ



Σχήμα 63: Σ.π.π. με την μέθοδο Monte Carlo της επιτάχυνσης στη γέφυρα (1000)

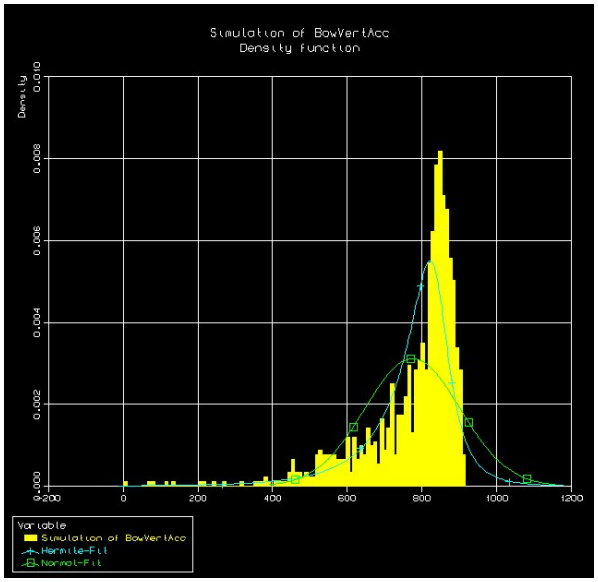


Σχήμα 64: Σ.π.π. με την μέθοδο Latin Hypercube της επιτάχυνσης στη γέφυρα (1000)

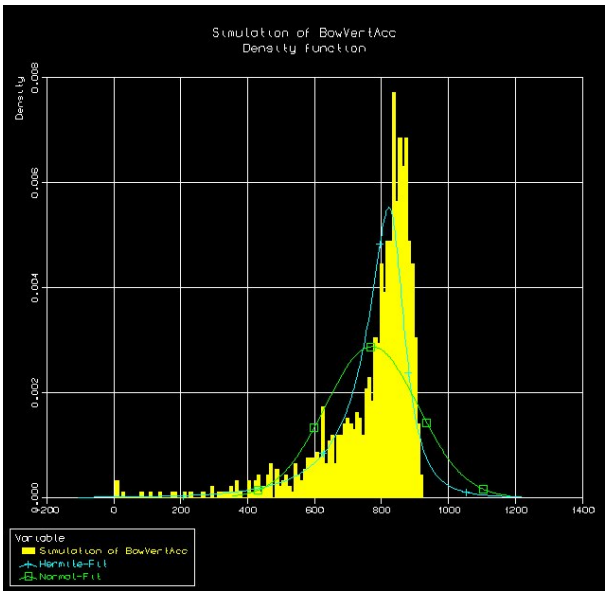
	M.C. 500	FORM
BridgeAcc (0.1g) > 10	37%	35%
BridgeAcc (0.1g) > 30	18%	19%
BridgeAcc (0.1g) > 60	5%	4%

Πίνακας 13: Πιθανότητες υπερβάσεων επιτάχυνσης στην γέφυρα

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΤΗΝ ΠΡΩΡΑ



Σχήμα 65: Σ.π.π. με την μέθοδο Monte Carlo της κ. επιτάχυνσης στη πρώρα (1000)



Σχήμα 66: Σ.π.π. με την μέθοδο Latin Hypercube της κ. επιτάχυνσης στη πρώρα (1000)

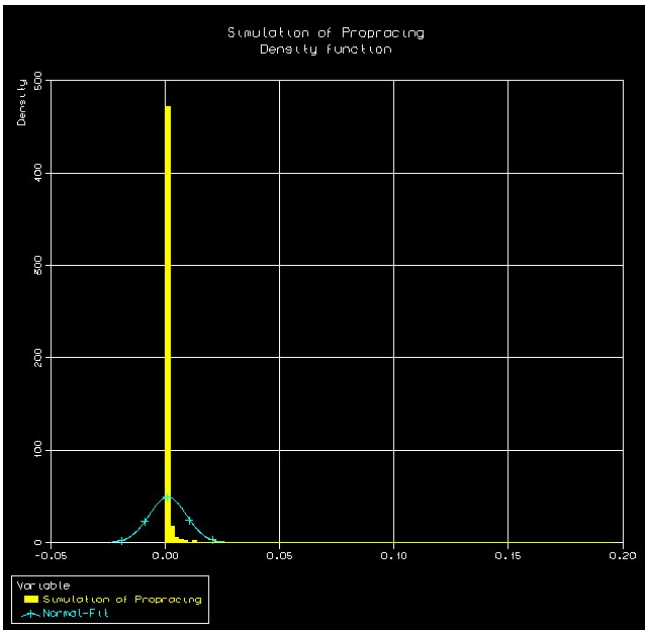
	M.C. 500	FORM
BowVertAcc (0.1g) > 400	98%	98%
BowVertAcc (0.1g) > 600	89%	89%
BowVertAcc (0.1g) > 800	60%	62%

Πίνακας 14: Πιθανότητες υπερβάσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρώρα

Vs = 21 Kn, <u>B = 120°,</u> KG = 12.2 m, ixx = 10 m, iyy = 50m,

Hs = 5 ± 0.5 m (Κανονική Κατανομή), Tp = 10 ± 1 sec (Κανονική Κατανομή)

ΑΝΑΔΥΣΗ ΕΛΙΚΑΣ

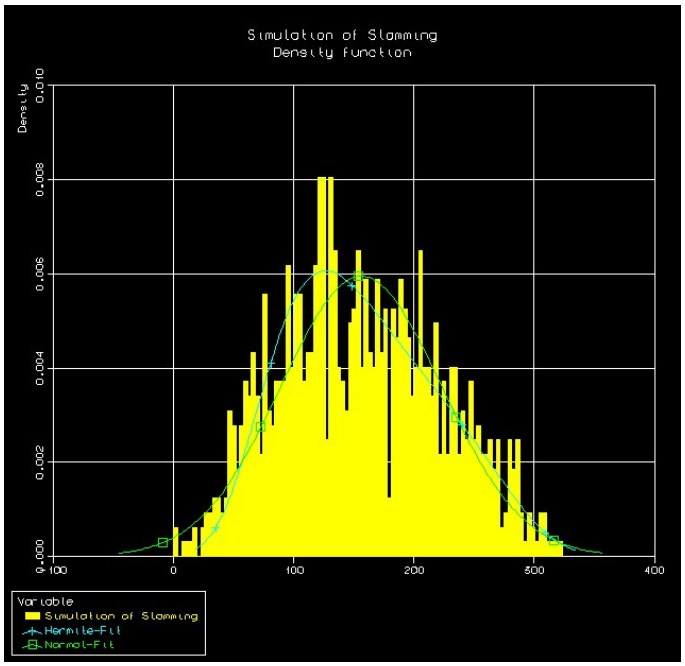


Σχήμα 67: Σ.π.π. με την μέθοδο Monte Carlo της ανάδυσης της έλικας (1000)

	M.C. 500	FORM
Propeller racing > 5	0%	0%
Propeller racing > 15	0%	0%
Propeller racing > 50	0%	0%

Πίνακας 15: Πιθανότητες υπερβάσεων ανάδυσης έλικας

ΣΦΥΡΟΚΡΟΥΣΗ

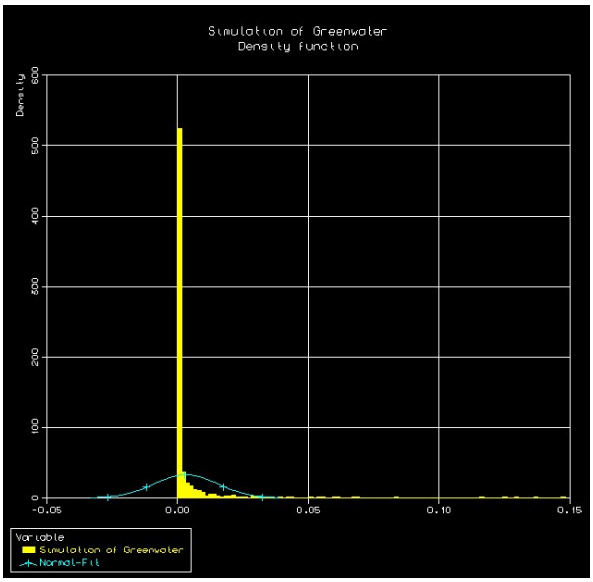


Σχήμα 68: Σ.π.π. με την μέθοδο Monte Carlo της σφυρόκρουσης (1000)

	M.C. 500	FORM
Slamming (4.0181 m/sec) > 70	96%	96%
Slamming (4.0181 m/sec) > 120	82%	82%
Slamming (4.0181 m/sec) > 200	37%	40%

Πίνακας 16: Πιθανότητες υπερβάσεων σφυρόκρουσης

ΔΙΑΒΡΟΧΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

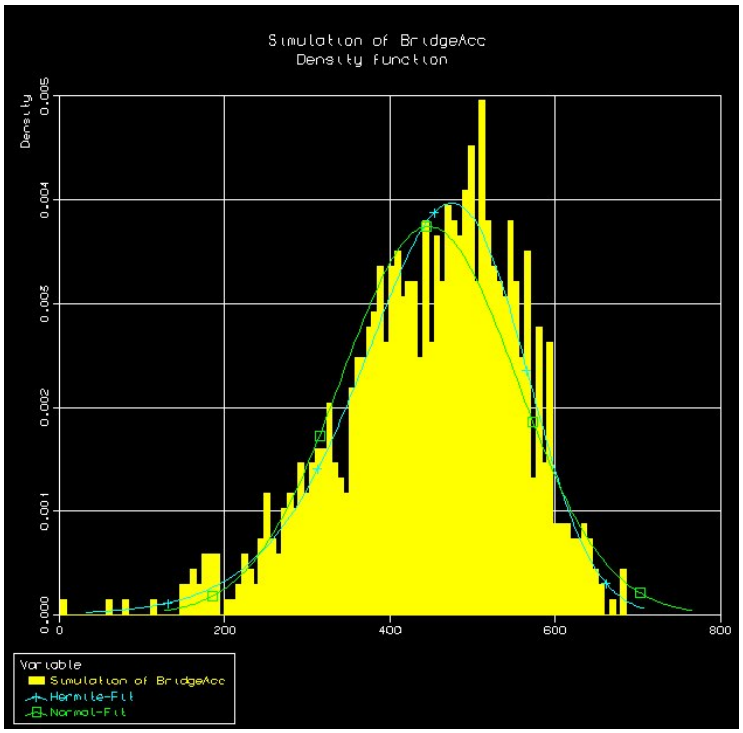


Σχήμα 69: Σ.π.π. με την μέθοδο Monte Carlo της διαβροχής του καταστρώματος (1000)

	M.C. 500	FORM
Greenwater > 0.01	6%	10%
Greenwater > 0.02	3%	5%
Greenwater > 0.05	1%	2%

Πίνακας 17: Πιθανότητες υπερβάσεων διαβροχής καταστρώματος

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΤΗ ΓΕΦΥΡΑ

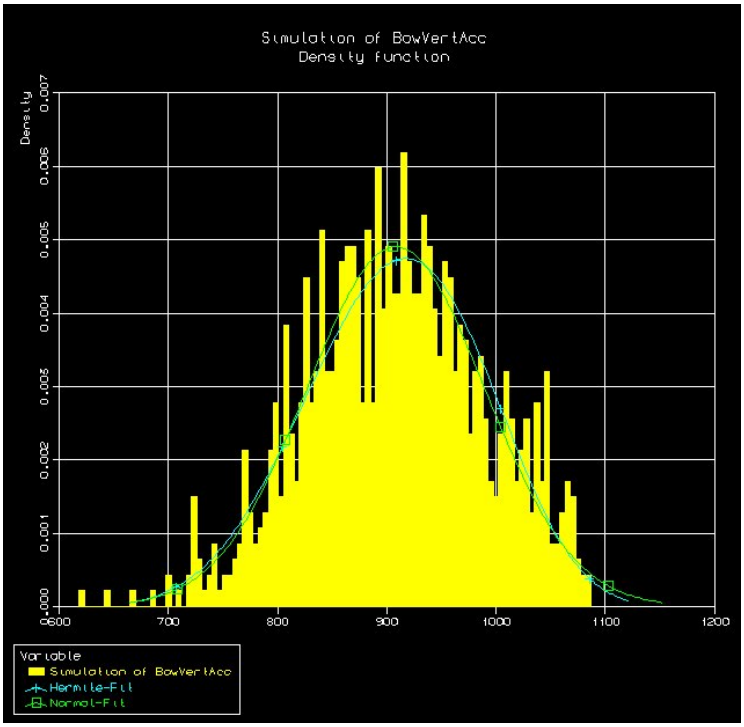


Σχήμα 70: Σ.π.π. με την μέθοδο Monte Carlo της επιτάχυνσης στη γέφυρα (1000)

	M.C. 500	FORM
BridgeAcc (0.1g) > 10	100%	100%
BridgeAcc (0.1g) > 30	100%	100%
BridgeAcc (0.1g) > 60	100%	100%

Πίνακας 18: Πιθανότητες υπερβάσεων επιτάχυνσης στην γέφυρα

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΤΗΝ ΠΡΩΡΑ



Σχήμα 71: Σ.π.π. με την μέθοδο Monte Carlo της κ. επιτάχυνσης στην πρώρα (1000)

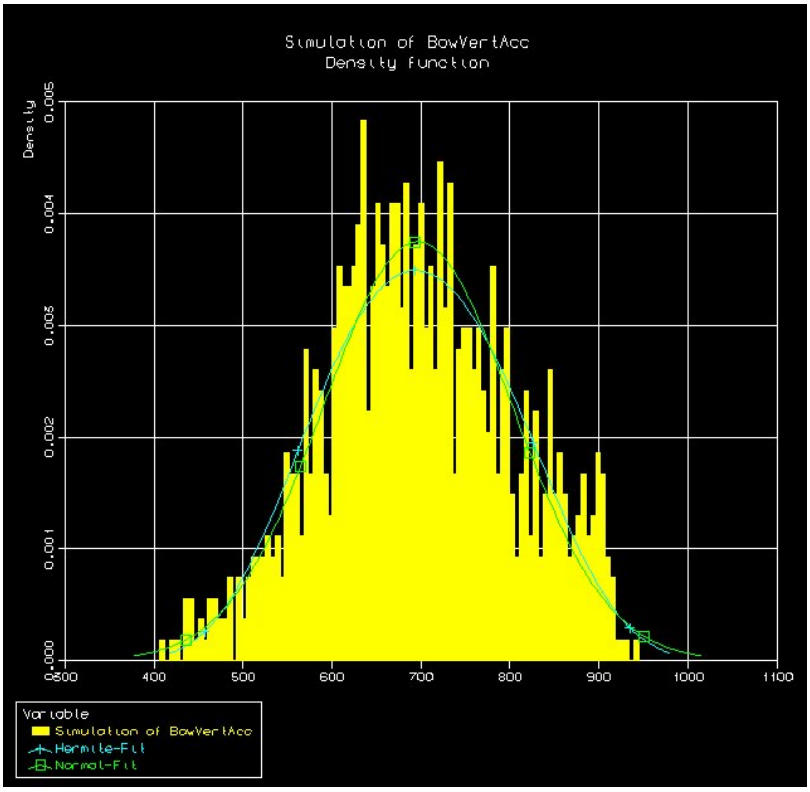
	M.C. 500	FORM
BowVertAcc (0.1g) > 400	100%	100%
BowVertAcc (0.1g) > 600	100%	100%
BowVertAcc (0.1g) > 800	91%	91%

Πίνακας 19: Πιθανότητες υπερβάσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρώρα

Vs = 21 Kn, <u>B = 100°,</u> KG = 12.2 m, ixx = 10 m, iyy = 50m,

Hs = 5 ± 0.5 m (Κανονική Κατανομή), Tp = 10 ± 1 sec (Κανονική Κατανομή)

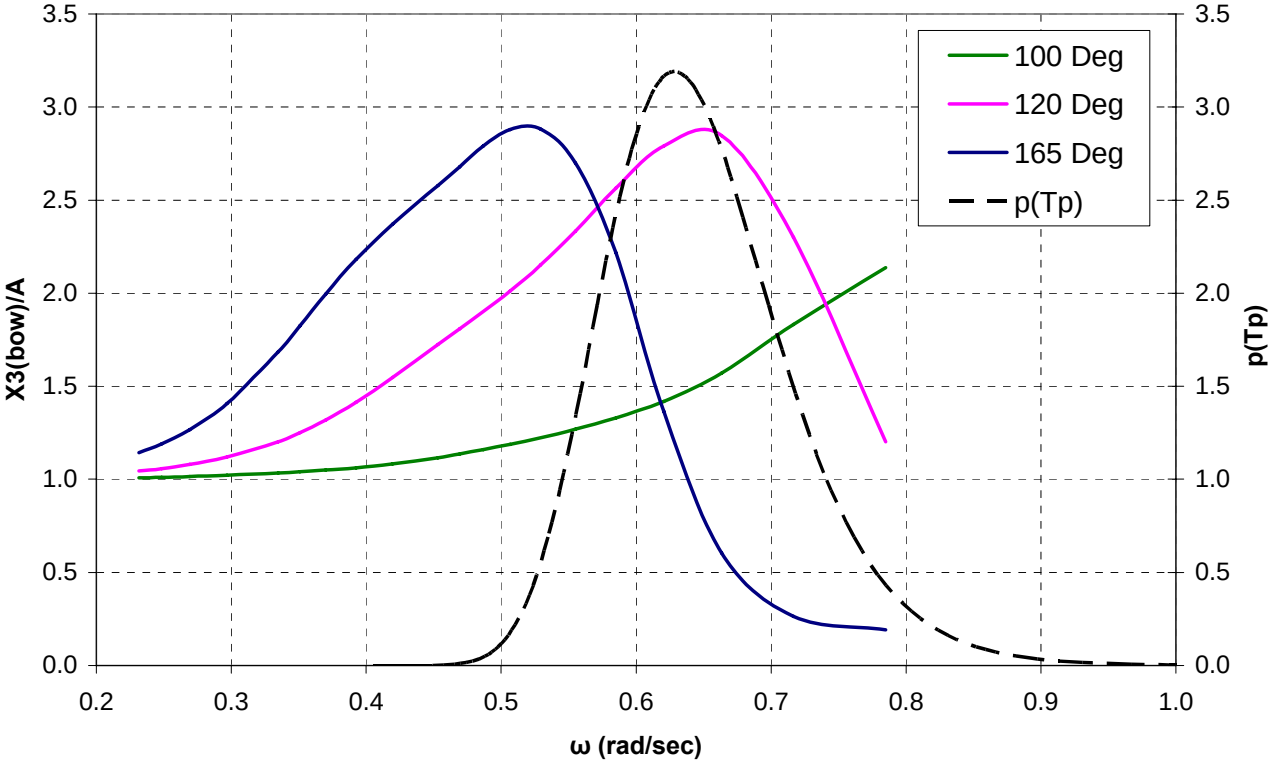
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΤΗΝ ΠΡΩΡΑ



Σχήμα 72: Σ.π.π. με την μέθοδο Monte Carlo της κ. επιτάχυνσης στην πρώρα (1000)

	M.C. 500	FORM
BowVertAcc (0.1g) > 400	100%	100%
BowVertAcc (0.1g) > 600	82%	83%
BowVertAcc (0.1g) > 800	18%	18%

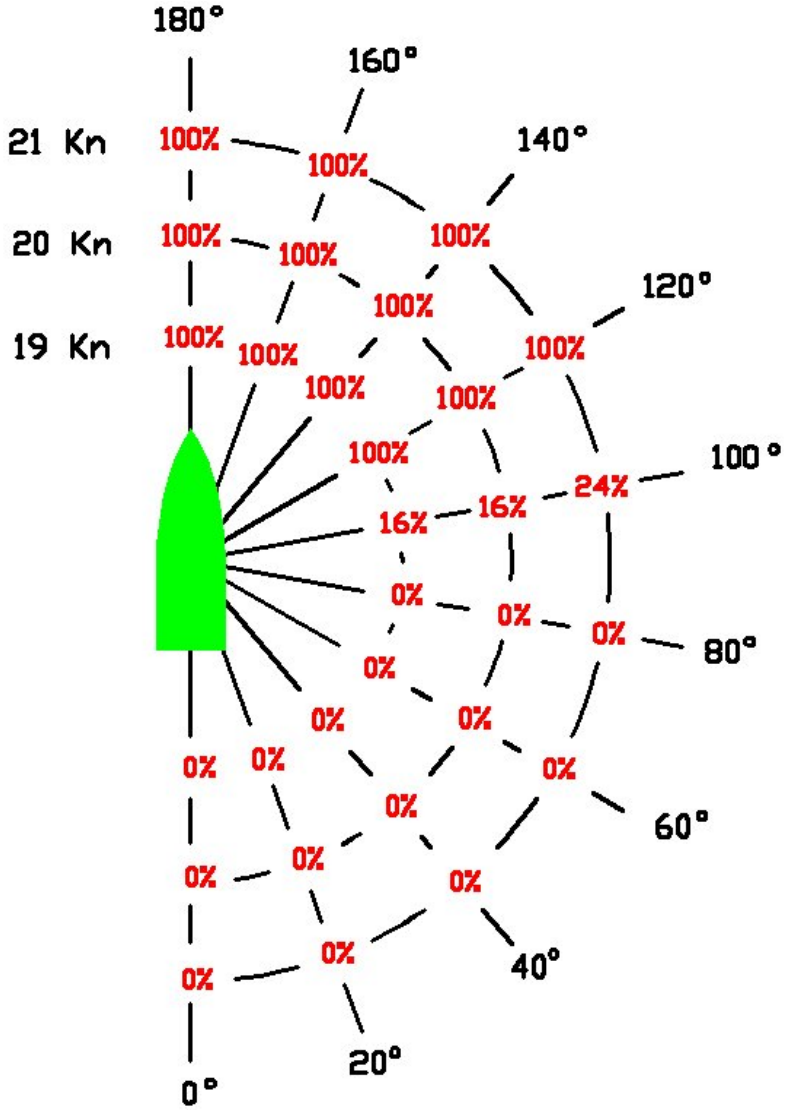
Πίνακας 20: Πιθανότητες υπερβάσεων κατακόρυφης επιτάχυνσης στην πρώρα



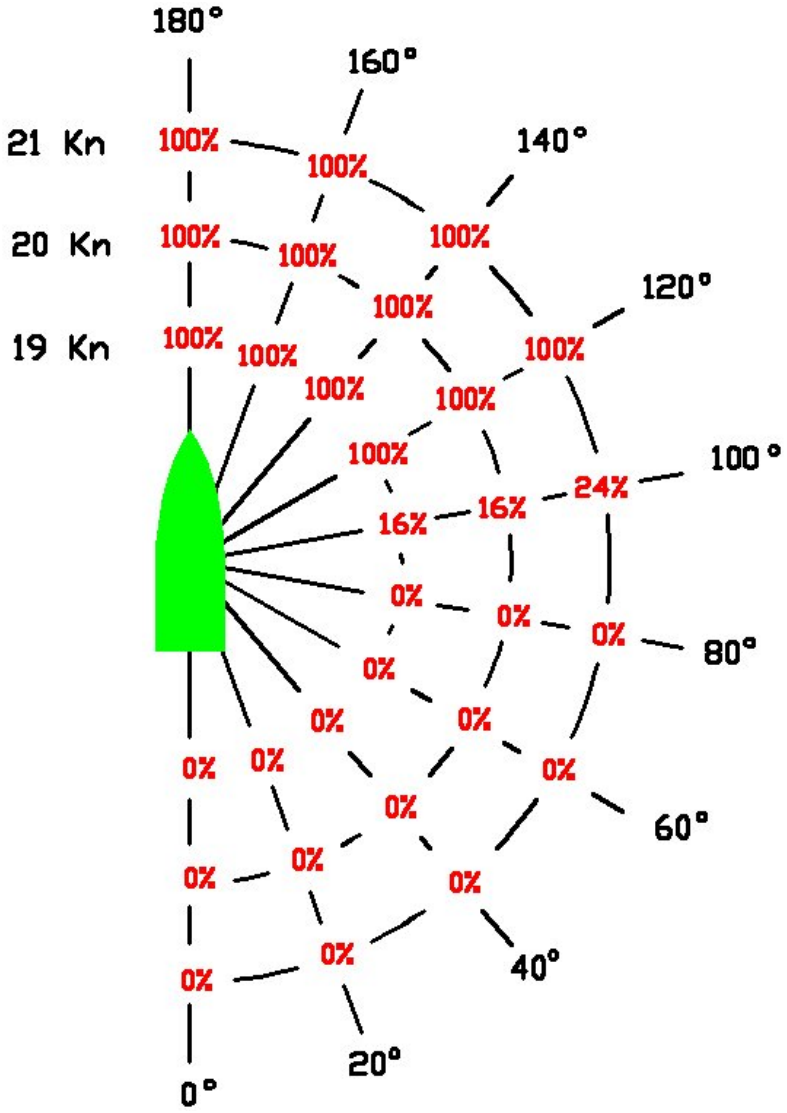
Σχήμα 73: Καμπύλες Συντελεστών Απόκρισης Κατακόρυφης κίνησης στην πρώρα

Vs = 21 Kn, KG = 12.5 m, ixx = 12.5 m, iyy = 50m,

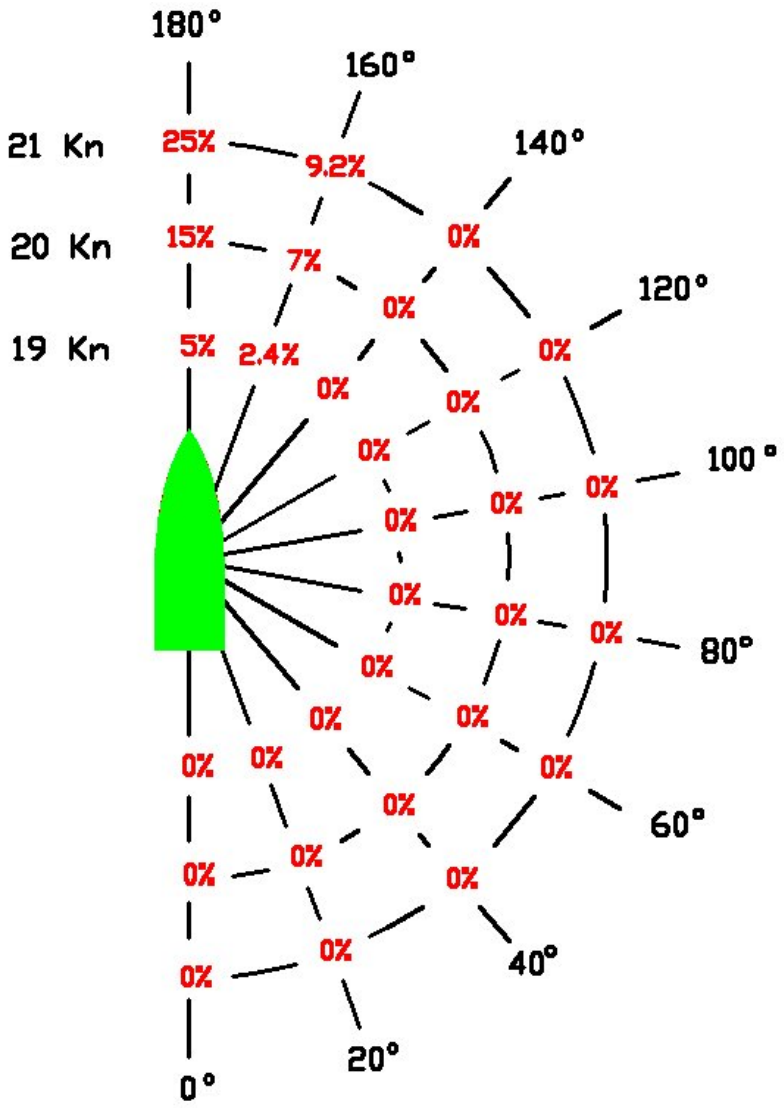
Hs = 7 ± 0.2 m (Κανονική Κατανομή), Tp = 10 ± 1 sec (Κανονική Κατανομή)



Σχήμα 74: Πιθανότητα υπέρβασης 5 σφυροκρούσεων πρώρας ανά ώρα



Σχήμα 75: Πιθανότητα υπέρβασης 20 διαβροχών καταστρώματος ανά ώρα



Σχήμα 76: Πιθανότητα υπέρβασης 60 αναδύσεων έλικας ανά ώρα

Vs = 19 – 21 Kn, KG = 12.5 m, ixx = 12.5 m, iyy = 50m,

Hs = 4 ± 0.2 m (Κανονική Κατανομή), Tp = 10 ± 1 sec (Κανονική Κατανομή)

Hs = 21 Kn	MonteCarlo 500	FORM
1) B = 140		
SLAMMING>5.0	98%	98%
2) B = 130		
SLAMMING>5.0	99%	100%
3) B = 120		
SLAMMING>5.0	100%	100%
4) B = 110		
SLAMMING>5.0	80%	81%
5) B = 105		
SLAMMING>5.0	25%	23%
6) B = 100		
SLAMMING>5.0	0%	0%

Hs = 20 Kn	MonteCarlo 500	FORM
1) B = 140 SLAMMING>5.0	99%	99%
2) B = 130 SLAMMING>5.0	100%	100%
3) B = 120 SLAMMING>5.0	100%	100%
4) B = 110 SLAMMING>5.0	77%	77%
5) B = 105 SLAMMING>5.0	21%	21%
6) B = 100 SLAMMING>5.0	0%	0%

Hs = 19 Kn	MonteCarlo 500	FORM
1) B = 140		
SLAMMING>5.0	99%	99%
2) B = 130		
SLAMMING>5.0	100%	100%
3) B = 120		
SLAMMING>5.0	100%	100%
4) B = 110		
SLAMMING>5.0	72%	73%
5) B = 105		
SLAMMING>5.0	19%	18%
6) B = 100		
SLAMMING>5.0	0%	0%

Vs = 19 – 21 Kn, KG = 12.5 m, ixx = 12.5 m, iyy = 50m,

Hs = 6 ± 0.2 m (Κανονική Κατανομή), Tp = 10 ± 1 sec (Κανονική Κατανομή)

(Κατάστρωμα 6 μέτρα πάνω από την ίσαλο)

Vs = 21 Kn	MonteCarlo 500	FORM
1) B = 140		
GreenWater>20	91%	92%
2) B = 130		
GreenWater>20	98%	100%
3) B = 120		
GreenWater>20	98%	99%
4) B = 110		
GreenWater>20	64%	64%
5) B = 105		
GreenWater>20	16%	16%
6) B = 100		
GreenWater>20	0%	0%

Vs = 20 Kn	MonteCarlo 500	FORM
1) B = 140		
GreenWater>20	91%	92%
2) B = 130		
GreenWater>20	99%	100%
3) B = 120		
GreenWater>20	98%	99%
4) B = 110		
GreenWater>20	62%	60%
5) B = 105		
GreenWater>20	13%	14%
6) B = 100		
GreenWater>20	0%	0%

Vs = 19 Kn	MonteCarlo 500	FORM
1) B = 140		
GreenWater>20	96%	94%
2) B = 130		
GreenWater>20	99%	100%
3) B = 120		
GreenWater>20	98%	99%
4) B = 110		
GreenWater>20	54%	57%
5) B = 105		
GreenWater>20	13%	13%
6) B = 100		
GreenWater>20	0%	0%

Vs = 19 – 21 Kn, KG = 12.5 m, ixx = 12.5 m, iyy = 50m,

Hs = 7 ± 0.2 m (Κανονική Κατανομή), Tp = 10 ± 1 sec (Κανονική Κατανομή)

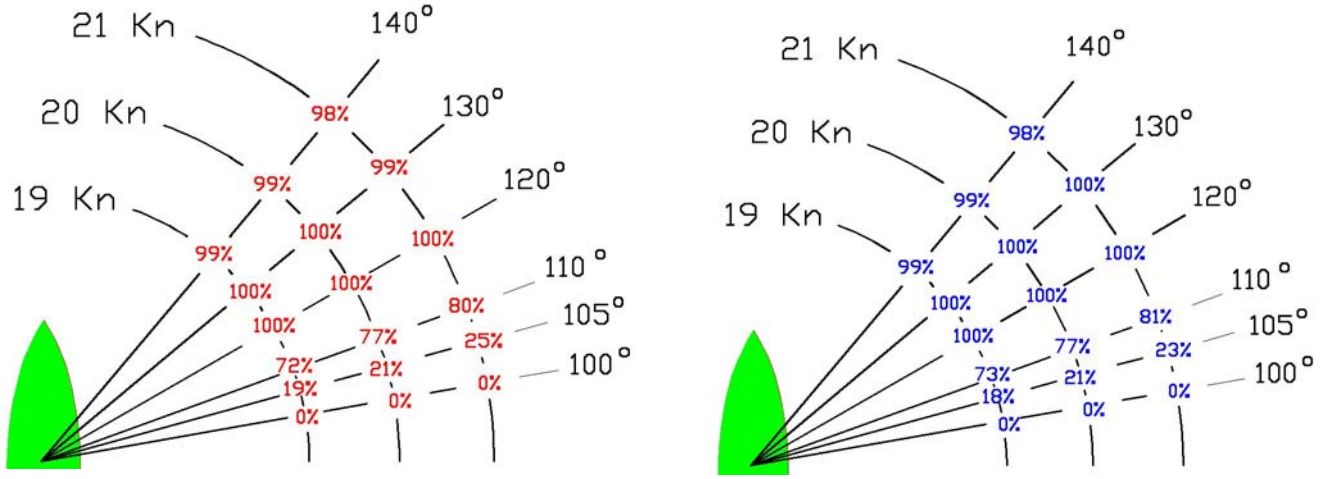
Vs = 21 Kn	MonteCarlo 500	FORM
1) B = 180		
PropRacing>60	25%	24%
2) B = 175		
PropRacing>60	26%	25%
3) B = 170		
PropRacing>60	22%	22%
4) B = 165		
PropRacing>60	17%	16%
5) B = 160		
PropRacing>60	10%	0%

Vs = 20 Kn	MonteCarlo 500	FORM
1) B = 180		
PropRacing>60	15%	15%
2) B = 175		
PropRacing>60	13%	14%
3) B = 170		
PropRacing>60	10%	11%
4) B = 165		
PropRacing>60	11%	11%
5) B = 160		
PropRacing>60	5%	0%

Vs = 19 Kn	MonteCarlo 500	FORM
1) B = 180		
PropRacing>60	5%	1%
2) B = 175		
PropRacing>60	6%	8%
3) B = 170		
PropRacing>60	5%	0%
4) B = 165		
PropRacing>60	2.4%	0%
5) B = 160		
PropRacing>60	0%	0%

Vs = 21 Kn, KG = 12.5 m, ixx = 12.5 m, iyy = 50m,

Hs = 4 ± 0.2 m (Κανονική Κατανομή), Tp = 10 ± 1 sec (Κανονική Κατανομή)

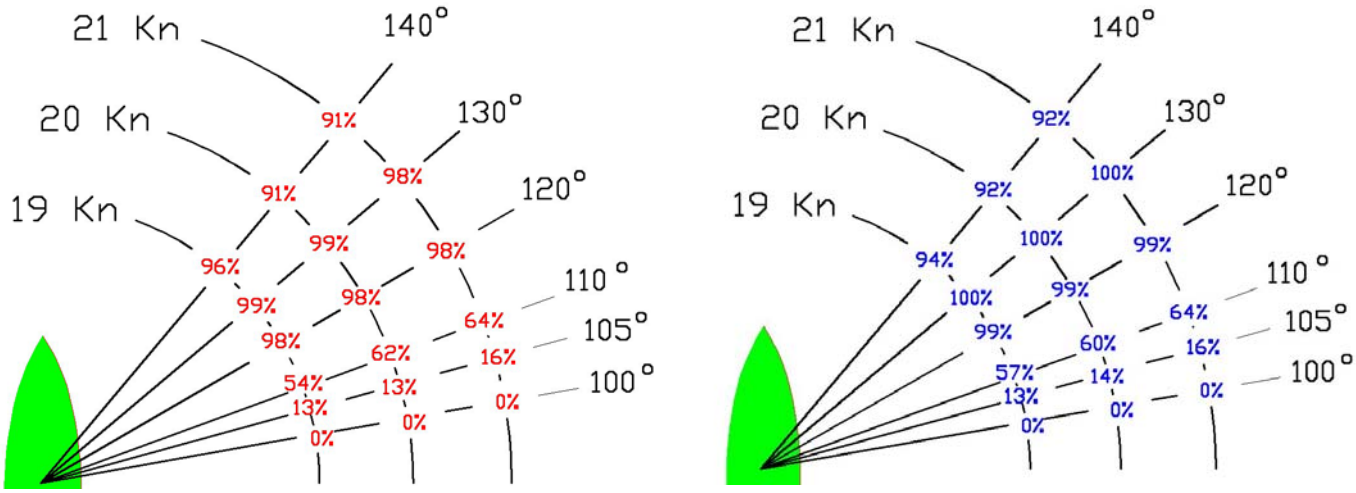


Σχήμα 77: Πιθανότητα υπέρβασης 5 σφυροκρούσεων πρώρας ανά ώρα (Monte Carlo 500, FORM)

Vs = 21 Kn, KG = 12.5 m, ixx = 12.5 m, iyy = 50m,

Hs = 6 ± 0.2 m (Κανονική Κατανομή), Tp = 10 ± 1 sec (Κανονική Κατανομή)

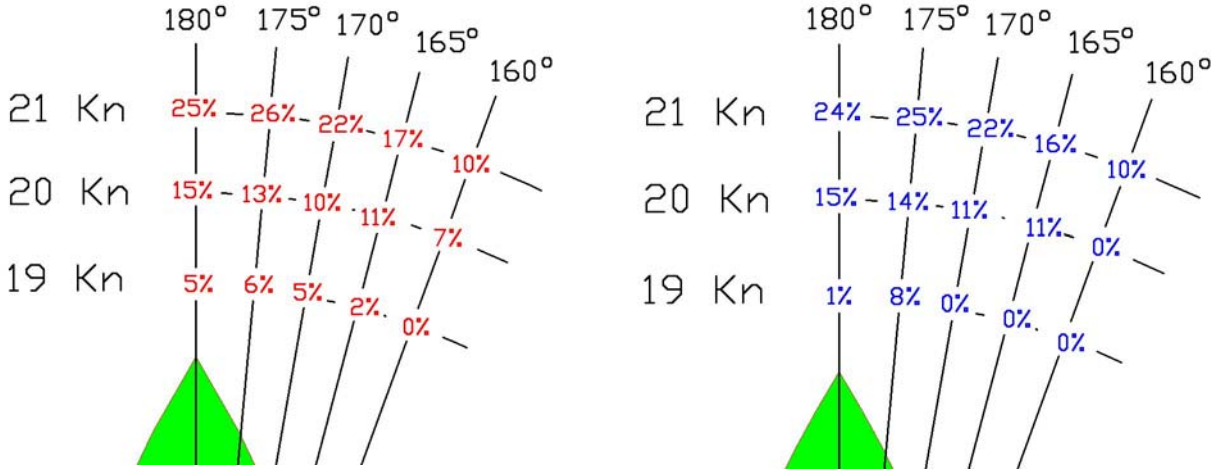
(Κατάστρωμα 6 μέτρα πάνω από την ίσαλο)



Σχήμα 78: Πιθανότητα υπέρβασης 60 διαβροχών καταστρώματος ανά ώρα (Monte Carlo 500, FORM)

Vs = 21 Kn, KG = 12.5 m, ixx = 12.5 m, iyy = 50m,

Hs = 7 ± 0.2 m (Κανονική Κατανομή), Tp = 10 ± 1 sec (Κανονική Κατανομή)



Σχήμα 79: Πιθανότητα υπέρβασης 60 αναδύσεων έλικας ανά ώρα (Monte Carlo 500, FORM)