



## ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΜΠΣ: ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ &  
ΕΠΙΣΤΗΜΗ

ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

*«Πολυ-κριτηριακή βελτιστοποίηση της δυναμικής συμπεριφοράς φρεγάτας ως προς την άνεση του πληρώματος και την επιχειρησιακή υποστήριξη ελικοπτέρου»*

### Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**ΧΑΤΖΗΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ**

Επιβλέπων Καθηγητής:  
*Γ.Ι.Γρηγορόπουλος*

Αθήνα, Φεβρουάριος 2009



Θερμές ευχαριστίες στους ανθρώπους που με βοήθησαν κατά την εκπόνηση της εργασίας και ιδιαίτερα στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γρηγόριο Γρηγορόπουλο για την καθοδήγηση και τις συμβουλές. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και την αρραβωνιαστικιά μου για την υπομονή και τη στήριξη.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ.....</b>	<b>1</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....</b>	<b>4</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....</b>	<b>6</b>
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>7</b>
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	7
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	7
1.3 ΣΥΝΟΨΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	8
<b>2 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ.....</b>	<b>9</b>
2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	9
2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	9
2.3 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	11
2.4 Η ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΩΝ .....	12
2.5 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ .....	13
2.5.1 Διατύπωση των βασικών προβλημάτων.....	13
2.5.2 Ανάλυση των μεταβλητών εισόδου-εξόδου .....	14
<b>3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ .....</b>	<b>16</b>
3.1 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ FRIENDSHIP-MODELLER.....	16
3.2 ΚΩΔΙΚΑΣ FRANK.....	16
3.3 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ EASY .....	17
<b>4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΑΣΤΡΑΣ.....</b>	<b>18</b>
4.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΓΑΣΤΡΑΣ .....	18
4.2 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ.....	18
4.3 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΑΣΤΡΑΣ.....	20
4.4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ .....	24
<b>5 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΓΑΣΤΡΑΣ.....</b>	<b>27</b>
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	27
5.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ.....	27
5.2.1 Είδη γάστρας μοντέλων.....	27
5.2.2 Σύνταξη του αρχείου παραμετροποίησης.....	28
5.2.3 Παραμετροποίηση γάστρας .....	30
<b>6 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΓΑΣΤΡΑΣ .....</b>	<b>55</b>

6.1	ΓΕΝΙΚΑ .....	55
6.2	ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ (EVOLUTION ALGORITHMS) .....	55
6.2.1	Γενετικοί Αλγόριθμοι ( <i>Genetic Algorithms</i> ).....	56
6.2.2	Εξελικτικές Στρατηγικές ( <i>Evolutionary Strategies</i> ) .....	58
6.2.3	Πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση με γενετικούς αλγόριθμους.....	58
6.2.4	Αντικειμενικοί στόχοι .....	59
6.2.5	Αριθμός κριτηρίων .....	60
6.2.6	Περιορισμοί .....	61
6.2.7	Μεταβλητές σχεδίασης .....	61
6.3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	63
<b>7</b>	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>67</b>
7.1	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ .....	67
7.2	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	106
	<b>ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....</b>	<b>117</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>118</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	<b>119</b>

## Περίληψη

Στη σημερινή εποχή η ανάγκη για σωστές και γρήγορες αποφάσεις στο χώρο της ναυπηγίας γίνεται ολοένα και μεγαλύτερη, ιδιαίτερα για κάποιον που θέλει να θεωρεί τον εαυτό του ανταγωνιστικό στο συγκεκριμένο χώρο. Οι δύσκολες αποφάσεις πρέπει να παρθούν κατά τη φάση της προμελέτης η οποία αποτελεί μια τεχνικό-οικονομική πραγματεία του πλοίου.

Τα μεγαλύτερα προβλήματα, πέραν του οικονομικού, στη μελέτη ενός πλοίου αφορούν κυρίως τον τομέα της υδροδυναμικής. Η ιδιαιτερότητα πλεύσης ενός σκάφους, οι θαλάσσιοι κυματισμοί, η αντίσταση πλεύσης και άλλοι τέτοιοι ευμετάβλητοι παράγοντες πρέπει να καθοριστούν από νωρίς στην μελέτη ενός πλοίου. Εξάλλου αυτοί οι παράγοντες διαμορφώνουν και την καλή συμπεριφορά του σκάφους σε κυματισμούς, γεγονός που επηρεάζει τόσο το πλήρωμα όσο και τους επιβάτες, στην περίπτωση που μιλάμε για επιβατικό πλοίο.

Πέραν των ανωτέρω, στην ιδιαίτερη περίπτωση των πολεμικών πλοίων πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι επιχειρησιακές απαιτήσεις του σκάφους. Πολλές από αυτές συμπίπτουν με αυτές των συμβατικών πλοίων, όπως η αντίσταση πλεύσης, η μέγιστη συνεχής ισχύς της κύριας μηχανής, η ακτίνα ενεργείας, η ευστάθεια και άλλοι τέτοιου είδους παράγοντες, ενώ άλλες από αυτές αφορούν μόνο τα πολεμικά λόγω της ιδιαιτερότητας της αποστολής. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι οι συνθήκες που επικρατούν στο χώρο του ελικοδρομίου κατά την προσνήωση και απονήωση ελικοπτέρου.

Σκοπός λοιπόν της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς του πλοίου ως προς τις συνθήκες θαλάσσης, λαμβάνοντας υπόψη την άνεση του πληρώματος και την επιχειρησιακή υποστήριξη ελικοπτέρου. Η γάστρα που βελτιστοποιήθηκε είναι πολεμικού πλοίου. Τα κύρια στάδια μελέτης αυτής της εργασίας αναγράφονται συνοπτικά παρακάτω:

1. Παραμετρική αναπαράσταση γάστρας με τη βοήθεια του λογισμικού πακέτου FRIENDSHIP-MODELER.
2. Διαδικασία βελτιστοποίησης με το λογισμικό πακέτο EASY.

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενικά

Σε πολλά επιστημονικά πεδία, των οποίων τα προβλήματα φυσικής μπορούν να μοντελοποιηθούν μέσω μερικών διαφορικών εξισώσεων, η ανάλυση των μηχανικών συστημάτων έχει ευνοηθεί από την ανάπτυξη των σύγχρονων ηλεκτρονικών υπολογιστών και των υπολογιστικών εργαλείων των οποίων η απόδοση χαρακτηρίζεται από μεγάλη ακρίβεια και αποδοτικότητα υψηλού επιπέδου.

Στα προβλήματα σχεδίασης, ο δρόμος για την επιτυχία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες· η μέθοδος βελτιστοποίησης είναι ένας από αυτούς. Διαλέγοντας ανάμεσα στα είδη βελτιστοποίησης, ο σημαντικότερος παράγοντας είναι η γνώση του βέλτιστου. Στοχαστική, ντετερμινιστική ή υβριδική τους μέθοδος θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί; Στις στοχαστικές μεθόδους, όπως οι εξελικτικοί αλγόριθμοι (evolution algorithms), αυτό που χρειαζόμαστε είναι αποδεκτές τιμές για τις πιθανές λύσεις. Από την άλλη για τις ντετερμινιστικές μεθόδους, όπως οι αλγόριθμοι μεγίστης κλίσης (descent algorithms), είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της μεταβολής της αντικειμενικής συνάρτησης. Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι είναι αρκετά δυνατοί και μπορούν να πετύχουν το καλύτερο αποτέλεσμα, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τους τα τοπικά βέλτιστα που προκύπτουν κατά τη διαδικασία αναζήτησης.

Ασχέτως με τα εργαλεία εξελικτικής ανάλυσης, είναι πολύ σημαντικό ο συνολικός αριθμός των επαναλήψεων που χρειάζεται μια μέθοδος για την διαδικασία της βελτιστοποίησης να είναι όσο το δυνατό μικρότερος. Οι απαιτήσεις αυτές γίνονται πιο εμπεριστατωμένες όταν αναφερόμαστε στους εξελικτικούς αλγόριθμους. Για παράδειγμα η καλύτερη εκμετάλλευση του χώρου λύσεων σε συνάρτηση με την βέλτιστη εξέταση των προηγούμενων υπολογισθέντων λύσεων, απαιτεί ένα μεγάλο αριθμό επαναλήψεων ανά κύκλο (generation).

### 1.2 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι αφ' ενός η παραμετρική αναπαράσταση γάστρας και αφετέρου η βελτιστοποίηση των παραμέτρων σχεδίασης με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Από μαθηματικής σκοπιάς λέγοντας βελτιστοποίηση εννοούμε την αναζήτηση βέλτιστων παραμέτρων ενός, συνήθως περίπλοκου, συστήματος. Ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης το διατυπώνουμε σαν πρόβλημα ελαχιστοποίησης ή μεγιστοποίησης μιας συνάρτησης, μιας μεταβλητής ή πολλών μεταβλητών. Ενώ στην ελαχιστοποίηση/ μεγιστοποίηση συναρτήσεων μιας μεταβλητής μπορούν να

χρησιμοποιηθούν αναλυτικές και αλγεβρικές μέθοδοι για τον ακριβή ορισμό ελαχίστων/ μεγίστων, στη μελέτη συναρτήσεων πολλών μεταβλητών χρησιμοποιούνται κυρίως αριθμητικές μέθοδοι για έναν προσεγγιστικό αριθμό ελαχίστων/ μεγίστων.

Με τον τρόπο αυτό θα προσομοιάσουμε το πρόβλημα μας με πρόβλημα ελαχιστοποίησης και συγκεκριμένα θα εξετάσουμε πως να ελαχιστοποιήσουμε τρεις δυναμικές αποκρίσεις του πλοίου ώστε να πετύχουμε την βέλτιστη άνεση του πληρώματος και την ασφαλέστερη/ταχύτερη προσνήωση/απονήωση ελικοπτέρου κατά τη διάρκεια πλου και πολεμικών επιχειρήσεων.

Οι κινήσεις που θα εξετάσουμε και μας ενδιαφέρουν είναι η οριζόντια επιτάχυνση στη γέφυρα (bridge acceleration), που αποτελεί το κριτήριο άνεσης του πληρώματος και η κατακόρυφη ταχύτητα στο ελικοδρόμιο (heave), η οποία σε συνδυασμό με την κίνηση του διατοιχισμού (roll) αποτελεί το κριτήριο επιχειρησιακής ετοιμότητας του ελικοπτέρου.

Τέλος, στόχος της εργασίας αποτελεί και ο σωστός σχεδιασμός της γάστρας του πλοίου γιατί με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσαμε να αξιολογήσουμε καλύτερα τα αποτελέσματα που θα πάρουμε από τη λύση του προβλήματος βελτιστοποίησης, αλλά και να δούμε εάν το αποτέλεσμα ελαχιστοποίησης των παραμέτρων δεν τροποποιεί ριζικά την ήδη υπάρχουσα γάστρα.

### **1.3 Σύνοψη της εργασίας**

Η δομή των κεφαλαίων που ακολουθούν είναι η εξής:

Κεφάλαιο 2. Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στην βελτιστοποίηση σκάφους. Αρχικά γίνεται μια ιστορική αναδρομή και έπειτα παρουσιάζεται το πρόβλημα της βελτιστοποίησης γενικά αλλά και στη σχεδίαση πλοίων.

Κεφάλαιο 3. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια πρώτη γνωριμία με τα υπολογιστικά εργαλεία που θα χρησιμοποιήσουμε.

Κεφάλαιο 4. Σ' αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία της γάστρας και οι βασικές γραμμές της.

Κεφάλαιο 5. Εδώ αναπτύσσουμε τη μεθοδολογία μοντελοποίησης μέσω του λογισμικού πακέτου FRIENDSHIP-MODELER.

Κεφάλαιο 6. Εδώ παρουσιάζουμε το πρόβλημα και τη διαδικασία βελτιστοποίησης με το λογισμικό πακέτο EASY, καθώς και κάποια γενικά στοιχεία για την χρήση των γενετικών αλγόριθμων.

Κεφάλαιο 7. Αποτελέσματα και συμπεράσματα που προκύπτουν από την εργασία.



## 2 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

### 2.1 Γενικά

Η επιθυμία και η ικανότητα του ανθρώπου για βελτιστοποίηση αποφάσεων, από τα πιο απλά καθημερινά προβλήματα έως και τις μακροχρόνιες και πολύπλοκες αναζητήσεις είναι ένα μοναδικό χαρακτηριστικό του ανθρώπινου είδους και αποτελεί μία ευσυνείδητη ή υποσυνείδητη συμπεριφορά αυτού. Ο χώρος της βελτιστοποίησης αναφέρεται στην αναζήτηση βέλτιστων παραμέτρων ενός, συνήθως περίπλοκου, συστήματος. Προβλήματα βελτιστοποίησης απαντώνται σε πολλά επιστημονικά πεδία όπως π.χ. στη φυσική, στη χημεία, στην οικονομία κ.α.

Γενικά βελτιστοποίηση σημαίνει το να βρεθεί η καλύτερη δυνατή λύση ή ένας συγκεκριμένος ή απεριόριστος αριθμός επιλογών. Ακόμα και αν ο αριθμός των λύσεων είναι πεπερασμένος, συνήθως είναι τόσο μεγάλος που είναι απίθανο να αποτιμήσουμε κάθε δυνατή λύση και έπειτα να αποφασίσουμε για την καλύτερη.

Η βελτιστοποίηση, όπως και κάθε άλλη ανθρώπινη εργασία είναι πιθανόν τόσο να πετύχει όσο και να αποτύχει τον αντικειμενικό της σκοπό. Υπεύθυνος του αποτελέσματος είναι αποκλειστικά και μόνο αυτός ο οποίος ηγείται της πράξης, γι' αυτό και πρέπει ένα τέτοιο πρόβλημα να είναι σαφώς ορισμένο.

Επεξηγώντας τον όρο σαφώς ορισμένο αναφερόμαστε σε στοιχεία τα οποία θα πρέπει να αναφέρονται και τα κυριότερα από αυτά είναι:

- i. Σαφή και πλήρη ορισμένα δεδομένα.
- ii. Ελεύθερες μεταβλητές
- iii. Αντικειμενικοί παράγοντες
- iv. Εξωτερικοί παράγοντες
- v. Περιορισμοί

Βέβαια όλα αυτά τα στοιχεία θα να εξηγήσουμε παρακάτω για να κατανοήσουμε καλύτερα σε τι ακριβώς αναφερόμαστε.

### 2.2 Ιστορικά στοιχεία

Πρακτικά η βελτιστοποίηση είναι τόσο παλιά όσο και η ανθρωπότητα. Από μαθηματική όμως σκοπιά άρχεται στην αρχαία Ελλάδα. Στην Ελληνο-Ρωμαϊκή μυθολογία η Διδώ, βασίλισσα της Φοινίκης και ιδρύτρια της Καρχηδόνας, κατά την άφιξή της στην Αφρική αγόρασε τόση γη όση μπορούσε να χωρέσει ένα κομμάτι δέρματος βοδιού. Έπειτα πήρε το δέρμα αυτό, το κομμάτισε σε πολύ μικρά νήματα, τα έδεσε και έφτιαξε ένα κορδόνι του οποίου το μήκος προσδιόριζε την περίμετρο του τμήματος της γης που δικαιούταν. Το κορδόνι αυτό ήταν αρκετά μακρύ ώστε να περικυκλώσει το πέτρινο κάστρο της Βύρσας. Ο μύθος αυτός θεωρείται η απαρχή των κλασικών παραμετρικών προβλημάτων.

Ένα άλλο παράδειγμα βελτιστοποίησης και του πόσο παλιά άρχεται είναι το πρόβλημα της εύρεσης του βέλτιστου σχήματος του περιγράμματος έτσι ώστε με δεδομένη την περίμετρο να πετύχουμε μέγιστο εμβαδό. Την μαθηματική λύση την έδωσε ο Έλληνας Πάππος περίπου το 320 π.χ. δείχνοντας ότι από δύο κανονικά πολύγωνα με ίση περίμετρο, αυτό με τον μεγαλύτερο αριθμό πλευρών καλύπτει μεγαλύτερη περιοχή. Ασυμπτωτικά δε, αυξάνοντας τον αριθμό των πλευρών του πολυγώνου, αυτό τείνει να προσεγγίσει το κυκλικό σχήμα. Ο Ζηνόδωρος περί το 180 π.χ. είχε καταλήξει σε ισοδύναμα συμπεράσματα για παρόμοιου τύπου προβλήματα.

Παρατηρούμε λοιπόν, ότι ακόμα και στις παλιές εποχές τα προβλήματα βελτιστοποίησης είχαν κοινά χαρακτηριστικά γνωρίσματα. “Να βρεθεί το μέγιστο-ελάχιστο μίας ποσότητας το οποίο εξαρτάται από συγκεκριμένες ελεύθερες μεταβλητές έτσι ώστε να μην παραβιάζονται συγκεκριμένοι περιορισμοί”.

Η ιστορία αφθονεί από παραδείγματα επιτυχημένων εφαρμογών στρατηγικής βελτιστοποίησης, βασισμένα σε λιγότερο ή περισσότερο τυποποιημένες περιγραφές. Μεγάλη ανάπτυξη της μαθηματικής βελτιστοποίησης έδωσε η άφιξη του απειροστικού λογισμού πριν το τέλος του 17<sup>ου</sup> αιώνα, ο οποίος έκανε πολλά προβλήματα πιο εύκολα στο χειρισμό. Με τον καιρό εξελίχθηκε μια διάκριση ανάμεσα σε δύο κυρίως κατηγορίες προβλημάτων:

- Το *πρόβλημα ακροτάτων ορίων*, το πρόβλημα δηλαδή μεγιστοποίησης ή ελαχιστοποίησης μίας συνάρτησης με συγκεκριμένες ελεύθερες μεταβλητές, που είναι μια εφαρμογή του συνήθους λογισμού. Οι λύσεις είναι σταθερά σημεία της συνάρτησης.
- Το *πρόβλημα μεταβολών*, το πρόβλημα δηλαδή μεγιστοποίησης ή ελαχιστοποίησης μίας συνάρτησης που εξαρτάται από τις ελεύθερες μεταβλητές. Οι λύσεις είναι συνήθως μη σταθερές τιμές της συνάρτησης αλλά μπορεί να εξαρτώνται από περιορισμούς.

Η παραπάνω διάκριση έγινε ουσιαστικά μετά την ανάπτυξη του λογισμού των μεταβλητών από τον Euler (1744) και τον Lagrange (1788). Οι δύο τύποι των προβλημάτων παρουσιάζονται και στη μηχανολογική σχεδίαση και στη ναυπηγική. Ευτυχώς, και οι δύο παραπάνω κατηγορίες μπορούν να θεωρηθούν σα προβλήματα βελτιστοποίησης, είτε η αντικειμενική συνάρτηση είναι ολοκληρωτική συνάρτηση, είτε όχι. Σε αντίθεση με το πρόβλημα της Διδούς, τα κλασικά ισοπαραμετρικά προβλήματα περιλαμβάνουν και το βραχύχρονο πρόβλημα, το οποίο αναζητά την τροχιά ελαχίστου χρόνου μιας μάζας που εκτελεί επίπεδη κίνηση λόγω βαρύτητας από το σημείο A στο σημείο B, το οποίο επιλύθηκε το 1696 από τους John Bernoulli, James Bernoulli, Newton, Leibniz και τον de l'Hospital.

Αυτές λοιπόν οι επίσημες εκδοχές της βελτιστοποίησης των συναρτήσεων και των συναρτησιακών είχαν κατανοηθεί από τους μαθηματικούς πολλούς αιώνες

πριν. Όμως η πρακτική εφαρμογή της βελτιστοποίησης στην μηχανολογική σχεδίαση έχει δύο επιπλέον βασικές αναγκαίες προϋποθέσεις.

- Την ώριμη κατανόηση, βασισμένη στην αξιόπιστη μηχανολογική επιστήμη, των διαδικασιών που ελέγχουν την φυσική απόδοση και την λειτουργική συμπεριφορά των τεχνικών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένου και τους περιορισμούς για την ασφαλή σχεδίαση.
- Τις υπολογιστικές μεθόδους και συστήματα υπολογισμών για να αποτιμήσουν μεγάλης κλίμακας αναλύσεις με πολλές επαναλήψεις.

Επομένως, παρ' όλες τις πολυάριθμες σημαντικές αναλύσεις των προηγούμενων ετών, η σύγχρονη εποχή των αριθμητικών βελτιστοποιήσεων άρχισε μόλις το 1950.

### **2.3 Το πρόβλημα της Βελτιστοποίησης**

Η βελτιστοποίηση, βάση των εξελικτικών αλγορίθμων, χρησιμοποιείται στην ναυπηγική από τότε που ξεκίνησαν να αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο στην λύση τρεχόντων ή μελλοντικών τεχνολογικών προβλημάτων. Παρά τα πλεονεκτήματά τους, όλοι οι πληθυσμιακοί (Population-based) αλγόριθμοι απαιτούν υπερβολικό χρόνο σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή λόγω στον πολύ μεγάλο αριθμό πιθανών λύσεων, οι οποίοι μετά το πέρας πολλαπλών επαναλήψεων θα πρέπει να δοκιμαστούν στα υπολογιστικά μοντέλα.

Παρ' όλα αυτά, η ανάλυση των μηχανικών συστημάτων ή των συνιστωσών/παραγώνων του, που χρησιμοποιούν υπολογιστικά εργαλεία είναι μόνο ένα μέρος του προβλήματος. Ο αντικειμενικός σκοπός είναι να χρησιμοποιήσουμε αυτά τα εργαλεία για να κατανοήσουμε την συμπεριφορά των υπάρχοντων συστημάτων και έπειτα να εκμεταλλευθούμε αυτές τις πληροφορίες για τον σχεδιασμό νέων με βελτιωμένες επιδόσεις. Γι' αυτό το σκοπό χρησιμοποιούνται νέες στρατηγικές για να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση, όπως η τυχαία αναζήτηση και η εξαντλητική απαρίθμηση, μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά στις σύγχρονες μηχανολογικές εφαρμογές. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει και η διαίσθηση του σχεδιαστή. Δουλεύοντας ακόμα και με τον ανορθόδοξο δοκιμαστικό τρόπο, η εμπειρία του σχεδιαστή μπορεί να τον οδηγήσει στο τελικό αποτέλεσμα ξεπερνώντας ένα μεγάλο αριθμό αναποτελεσματικών δοκιμών.

Ο σχεδιασμός της βέλτιστης γάστρας ή γενικότερα οποιοδήποτε πρόβλημα βελτιστοποίησης στην ναυπηγική είναι γενικά ένα από τα πιο δύσκολα στην μηχανολογία, και αυτό γιατί το πλήθος των προβλημάτων συνήθως είναι πολύ-κριτηριακά. Για να μπορέσει ο σχεδιαστής να αντιμετωπίσει ταυτόχρονα πολλά παρουσιαζόμενα προβλήματα, θα πρέπει να βασιστεί σε αυτοματοποιημένες μεθόδους βελτιστοποίησης, οι οποίες θα υποστηρίζονται από τα απαραίτητα εργαλεία ανάλυσης για κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις.

Ένας πρακτικός τρόπος για να αντιμετωπίσει κάποιος το πρόβλημα σχεδίασης στην ναυπηγεία είναι μέσω μιας δύο σταδίων προσέγγισης.

Στο πρώτο στάδιο, ο ολικός σχεδιασμός του συστήματος γίνεται από την υπάρχουσα εμπειρία από προηγούμενους σχεδιασμούς ή και από απλά εργαλεία δημιουργίας μοντέλων. Αυτό το βήμα οδηγεί σε κάποιες βασικές αποφάσεις σχετικά με τις συνιστώσες του προβλήματος και ορίζει στους στόχους και τους περιορισμούς για κάθε μια από αυτές. Παρ' όλο που ο ρόλος της εμπειρίας του σχεδιαστή είναι εμφανής, νέοι σχεδιασμοί οι οποίοι είναι πολύ διαφορετικοί από τους προηγούμενους δεν μπορούν να παραβλεφθούν. Για τους ολοκαίνουργιους σχεδιασμούς οι σχεδιαστές θα πρέπει να αλλάξουν συμπεριφορά και να αναθεωρήσουν πολλούς από τους υπάρχοντες κανόνες τους.

Το δεύτερο βήμα αφορά τον αναλυτικό σχεδιασμό των επιμέρους τμημάτων. Ο σχεδιασμός καθενός από αυτούς βασίζεται σε προηγούμενα ορισμένους στόχους και πιθανόν να περιέχει παραπάνω από μία επιδιώξεις. Για παράδειγμα κατά τη σχεδίαση ενός σκάφους ο συνολικός αριθμός των νομέων και των στεγανών εξαρτάται από το αποτέλεσμα του πρώτου σταδίου, όπου τα βασικά στοιχεία της γάστρας (μήκος, πλάτος, βύθισμα, κ.α.) καθορίζονται, ενώ το ακριβές σχήμα του σκάφους υπολογίζεται από το δεύτερο στάδιο όπου λαμβάνουμε υπόψη και τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά και τις αντοχές του.

## **2.4 Η βελτιστοποίηση στη σχεδίαση πλοίων**

Η βελτιστοποίηση του σχήματος είναι στην πραγματικότητα ένα από τα πιο συνηθισμένα προβλήματα. Στην μηχανική των ρευστών η αναζήτηση του βέλτιστου υδροδυναμικού σχήματος τοποθετείται την εποχή του Νεύτωνα. Η έρευνα για τη δημιουργία ενός συμμετρικού σε άξονα σώματος με ελάχιστη αντίσταση υγρού κατά τη διάρκεια κινήσεων με σταθερή ταχύτητα παράλληλα στον άξονα συμμετρίας, είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη των υδροδυναμικών και αεροδυναμικών σχημάτων.

Γενικά, ένα μέτρο για το βέλτιστο είναι ο βαθμός στον οποίο μία λύση του προβλήματος εκπληρώνει τις ζητούμενες απαιτήσεις ή στόχους. Κάθε τέτοιος στόχος θα πρέπει να απεικονιστεί σε μορφή συνάρτησης, στην οποία θα αναζητήσουμε το συνολικό μέγιστο ή ελάχιστο. Από τη σκοπιά της υδροδυναμικής η επιτάχυνση στο κατάστρωμα γεφύρας, η κίνηση του διατοιχισμού και του προνευστασμού, η ταχύτητα στο ελικοδρόμιο για τα πολεμικά σκάφη κ.α. είναι μερικά από τα πιο συνήθη ζητούμενα για βελτιστοποίηση.

Κάθε σχηματική αναπαράσταση γάστρας μπορεί να παραμετροποιηθεί με πολλούς τρόπους, καθένας από τους οποίους απεικονίζεται με διαφορετικά μαθηματικά μοντέλα και μεταβλητές σχεδίασης. Μερικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις μεθόδους παραμετροποίησης και πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση σε αυτούς είναι οι παρακάτω:

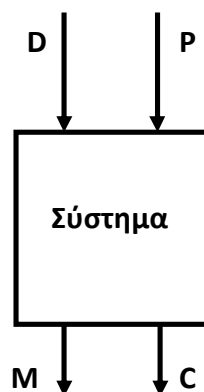
1. Να έχουν αυξημένη ευελιξία έτσι ώστε να καλύπτουν τον χώρο εύρεσης λύσεων στο μέγιστο δυνατό, επιτρέποντας ταυτόχρονα την ανάδειξη λύσεων “όχι παραδοσιακών” σχημάτων.
2. Να κρατάνε τον αριθμό των παραμέτρων σχεδίασης όσο το δυνατό πιο χαμηλά.
3. Να αποφεύγουν ασυνέχειες σε καμπύλες στα σημεία ένωσης επιφανειών ή καμπύλων, μέσω διαδικασιών στρογγυλοποίησης ή παρεμβολής.
4. Να αποκλείουν μεταβλητές σχεδίασης οι οποίες επιδρούν αρνητικά στην υδροδυναμική σχεδίαση της γάστρας.
5. Να περικλείουν μεταβλητές σχεδίασης οι οποίες είναι άμεσα συνδεδεμένες με τους περιορισμούς, έτσι ώστε να αποκλείουν κάθε δυνατή λύση εκτός των ορίων που έχουμε θέσει.

## 2.5 Διατύπωση των προβλημάτων βελτιστοποίησης μέσω της μοντελοποίησης

### 2.5.1 Διατύπωση των βασικών προβλημάτων

Η διατύπωση των προβλημάτων βελτιστοποίησης είναι μια θεμελιώδη διαδικασία μοντελοποίησης η οποία ακολουθεί συγκεκριμένη πορεία και καταλήγει σε ένα καθορισμένο αποτέλεσμα, προσαρμοσμένο για χρήση εφαρμογών. π.χ. στον σχεδιασμό πλοίων.

Θέλοντας να παραστήσουμε το πρόβλημα της βελτιστοποίησης με ένα διάγραμμα ροής τότε θα επιλέξουμε το παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.1: Σύστημα προς βελτιστοποίηση

Στο σύστημα που θέλουμε να σχεδιάσουμε ορίζονται μεταβλητές εισόδου, όπως απεικονίζεται και στο σχήμα και είναι οι κάτωθι:

- $D$ = μεταβλητές σχεδίασης, οι οποίες είναι ελεύθερες μεταβλητές του προβλήματος βελτιστοποίησης.
- $P$ = παράμετροι, όπως για παράδειγμα εξωτερικές επιδράσεις, σενάρια, δευτερεύουσες καταστάσεις, οι οποίες δεν είναι στον έλεγχο του σχεδιαστή.

Η αποτίμηση της προετοιμασίας του προγράμματος για τις δεδομένες μεταβλητές εισόδου, καταλήγει στις μεταβλητές εξόδου:

- $M = M(D,P)$ = αντικειμενική συνάρτηση.
- $C = C(D,P)$ = περιορισμοί, που είναι συνήθως συνθήκες ισότητας και/ ή ανισότητας.

Το μαθηματικό μοντέλο του συστήματος στοχεύει στο να συγκεντρώσει τα εξέχουσα χαρακτηριστικά του αποδιδόμενου συστήματος, τουλάχιστον αυτά που είναι σχετικά με την βελτιστοποίηση. Σε ένα στατικό σύστημα όλες οι μεταβλητές είναι ανεξάρτητες με τον χρόνο σε αντίθεση με ένα δυναμικό σύστημα όπου οι μεταβλητές μεταβάλλονται με το χρόνο.

Με δύο λόγια στόχος της βελτιστοποίησης είναι:

“Βρες και όρισε τις μεταβλητές εισόδου  $D$  για δεδομένες παραμέτρους  $P$ , οι οποίες ελαχιστοποιούν ή μεγιστοποιούν το μέτρο τις αντικειμενικής συνάρτησης  $M$ ”

### 2.5.2 Ανάλυση των μεταβλητών εισόδου-εξόδου

ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ( $D$ ) :

Αυτές μπορεί να είναι είτε *συνεχείς* είτε *διακριτές* ή *μεικτές*. Στα προβλήματα σχεδίασης για λόγους διαστάσεων, οι μεταβλητές σχεδίασης είναι πιθανόν να ποικίλουν με ένα συνεχή τρόπο ώστε να είναι πιο εύκολη η επεξεργασία τους. Μπορεί να υπάρχουν και κάποιες άλλες μεταβλητές, που ίσως να σχετίζονται με την διαμόρφωση ή την σύνθεση του αντικειμένου σχεδίασης, και οι οποίες να θεωρηθούν διακριτές, σε ακέραιες τιμές. Για παράδειγμα στο σχεδιασμό ενός πλοίου ο αριθμός των καταστρωμάτων και ο αριθμός των ελίκων σε μία προπέλα είναι υποχρεωτικά ακέραιος αριθμός.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ( $P$ ) :

Αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

- Ντετερμινιστικά ή στοχαστικά μοντέλα: Οι εξωγενείς παράγοντες ενός προβλήματος σχεδίασης μπορεί να είναι γνωστές με βεβαιότητα εκ των προτέρων (ντετερμινιστική περίπτωση) ή να είναι ακαθόριστες, είτε με κάποια πιθανότητα (στοχαστική περίπτωση) είτε με απόλυτη αβεβαιότητα.

- Λήψη πολλαπλών αποφάσεων: Στο σχεδιασμό ενός πλοίου, όπως συμβαίνει με όλα τα προϊόντα σε μια ανταγωνιστική αγορά, η οικονομική επιτυχία μιας λύσης μπορεί να επηρεαστεί από τις κινήσεις των ανταγωνιστών. Γι' αυτό το λόγο ο βέλτιστος στρατηγικός σχεδιασμός εξαρτάται και από τις αποφάσεις των ανταγωνιστών, οι οποίες συνήθως δεν είναι γνωστές εκ των προτέρων.

#### ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ (M) :

Αυτή χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την αποστολή.

- Ενός κριτηρίου ή πολυκριτηριακή: Πολλές φορές ένα σύστημα πρέπει να εκπληρώσει παραπάνω από μία αποστολή, (π.χ. ένα ιστιοπλοϊκό σε διαφορετικές πορείες) ή να εκτελέσει πολυσυναρτησιακά προβλήματα ταυτόχρονα ή συνεχόμενα, τα οποία ακόμα και χωρίς ιδιαίτερες αξιώσεις δεν είναι εύκολο να εκφραστούν με μια αντικειμενική συνάρτηση.
- Ενός σταδίου ή πολλαπλών σταδίων μοντέλο: Είναι χρήσιμο πολλές φορές να αναφερόμαστε σε ένα σύστημα σαν ένα πολλαπλών σταδίων σύστημα. Με αυτόν τον τρόπο χωρίζουμε το σύστημα μας σε υποκατηγορίες και προσπαθούμε να βρούμε την βέλτιστη λύση για κάθε μια από αυτές. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η μείωση του αριθμού των ελεύθερων μεταβλητών ανά στάδιο, το οποίο οδηγεί τελικά σε ένα πιο συγκεκριμένο και κατ' επέκταση πιο εύκολο πρόβλημα βελτιστοποίησης.

#### ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ (C) :

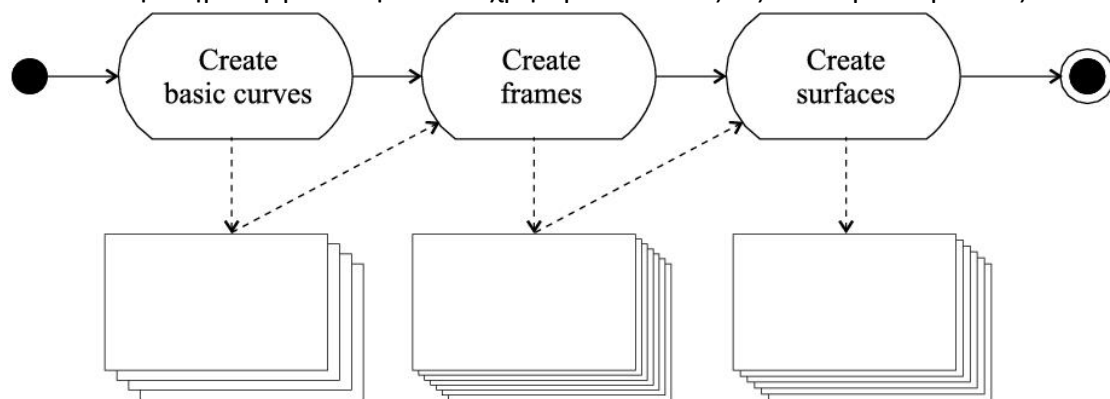
Ένας περιορισμός αποτελεί οριοθέτηση λύσεων σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης. Αυτός αναφέρεται κυρίως στον σχεδιαστικό τομέα, περιορισμούς διαστάσεων του σκάφους αλλά και σε θέματα πλεύσης. Για παράδειγμα, μπορεί να υπάρχει περιορισμός μεγίστου βυθίσματος, μεγίστου πλάτους, ευστάθειας, μεγίστης ταχύτητας, διατάξεων ασφαλείας, κ.α. τα οποία μπορεί να επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα.

### 3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ

#### 3.1 Λογισμικό πακέτο *FRIENDSHIP-Modeller*

Το λογισμικό πακέτο *FRIENDSHIP-Modeller* χαρακτηρίζεται από μια ευέλικτη σειρά παραμέτρων, πολλές από τις οποίες είναι υποχρεωτικές να οριστούν ενώ άλλες προαιρετικές. Η διαδικασία αναπαράστασης γάστρας είναι υποδιαιρεμένη σε τρία βασικά στάδια όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.1.:

1. Στην δημιουργία διαμηκών βασικών καμπύλων (basic curves).
2. Στην δημιουργία των κάθετων/ εγκάρσιων καμπύλων (σχεδιαστικών νομέων), από τις πληροφορίες που λαμβάνονται από τις διαμήκεις καμπύλες.
3. Στην δημιουργία επιφανειών χρησιμοποιώντας τις ανωτέρω καμπύλες.



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα μεθοδολογίας γραφικής αναπαράστασης γάστρας

#### 3.2 Κώδικας *FRANK*

Το κώδικας *FRANK* είναι ένα πρόγραμμα Η/Υ φτιαγμένο σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran και κάνει υπολογισμούς σχετικά με τη συμπεριφορά του πλοίου σε κυματισμούς. Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το πρόγραμμα παραμετρικής σχεδίασης γάστρας (*Friendship-Modeller*) με σκοπό την αυτοματοποιημένη βελτιστοποίηση γάστρας.

Ο κώδικας *FRANK* χρησιμοποιεί την ομώνυμη μέθοδο με την βοήθεια της θεωρίας λωρίδων για να λύσει το δισδιάστατο υδροδυναμικό πρόβλημα. Οι παραδοχές οι οποίες κάνουμε γιατί δεν υποστηρίζονται από τον παραπάνω κώδικα είναι οι εξής:

- Το υγρό θεωρείται ασυμπίεστο και μη συνεκτικό
- Δεν υπολογίζονται τα φαινόμενα επιφανειακής τάσης
- Το υδροδυναμικό πεδίο θεωρείται αστρόβιλο



- Στις κινήσεις του υγρού ισχύει η συνθήκη της ελεύθερης επιφάνειας και η εξίσωση Bernoulli.

### **3.3 Λογισμικό EASY**

Το EASY (Evolutionary Algorithm System) είναι μία γενικότερης χρήσης πλατφόρμα βελτιστοποίησης η οποία δημιουργήθηκε από το Ε.Μ.Π. Η χρήση του είναι είτε για την επίλυση μονοκριτηριακών (SOO) ή πολυκριτηριακών (MOO), σταθερών ή μεταβλητών προβλημάτων βελτιστοποίησης. Προσφέρει μια πληθώρα εργαλείων βελτιστοποίησης τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε μόνα τους, είτε σε συνδυασμό συμβάλλοντας στην ελαχιστοποίηση του υπολογιστικού κόστους. Το EASY υποστηρίζει τόσο τις στοχαστικές όσο και τις ντετερμινιστικές μεθόδους βελτιστοποίησης καθώς επίσης και κάποιες υβριδικές αυτών.

## 4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΑΣΤΡΑΣ

### 4.1 Παραμετρική σχεδίαση γάστρας

Η βασική ιδέα της παραμετρικής αναπαράστασης, όχι μόνο στον σχεδιασμό των πλοίων, πηγάζει από την επιθυμία των σχεδιαστών να τροποποιούν το σχήμα ενός σκάφους μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα, είτε για την μετέπειτα βελτιστοποίηση του, είτε για την παραγωγή παρόμοιων προϊόντων. Η παραμετροποίηση ενός προϊόντος γενικά είναι κάτι το αυθαίρετο, πρακτικά όμως πρέπει να σχετίζεται με τα προφανή χαρακτηριστικά που απαιτούνται για να καθορίσουν το σχήμα του προϊόντος.

Στο σχεδιασμό πλοίων η γραφική αναπαράσταση και η κατανόηση του σχεδιασμού της γάστρας του σκάφους πηγάζει από τις τεχνικές σχεδίασης και από τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται στις συστηματικές σειρές που έχουν προκύψει από πειραματικά δεδομένα. Οι παράμετροι που προκύπτουν από τις τεχνικές σχεδίασης βασίζονται στις τομές της βρεχόμενης επιφάνειας του πλοίου όπως για παράδειγμα τις εγκάρσιες (sections), διαμήκεις τομές (buttocks), παρίσαλους (waterlines) και τομές με άλλα επίπεδα. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί και η γωνία εισόδου της ισάλου σχεδίασης, ο συντελεστής επιφανείας της και το κέντρο πλευστότητας.

### 4.2 Καμπύλες σχεδίασης

Οι καμπύλες σχεδίασης αποτελούνται συνολικά από έντεκα καμπύλες χωρισμένες σε δύο σετ από τις οποίες οι επτά ανήκουν στις βασικές καμπύλες και οι υπόλοιπες τέσσερις στις δευτερεύουσες, βλ. Πίνακες 4.2.1 και 4.2.2. Από αυτές ο σχεδιαστής θα χρησιμοποιήσει μόνο εκείνες που κρίνει ότι είναι κατάλληλες για την δημιουργία της γάστρας που επιθυμεί. Επίσης υπάρχουν εντολές με τις οποίες ο σχεδιαστής μπορεί να προσθέσει στο πλοίο βολβό, θόλο ηχοβολιστικού, ή πτερύγιο ανάλογα με το πρόβλημα που έχει να αντιμετωπίσει με τις αντίστοιχες καμπύλες να προσαρμόζονται στις καμπύλες σχεδίασης. Στο σχήμα 4.2.1 φαίνονται οι καμπύλες σχεδίασης του πολεμικού πλοίου που εξετάζουμε.

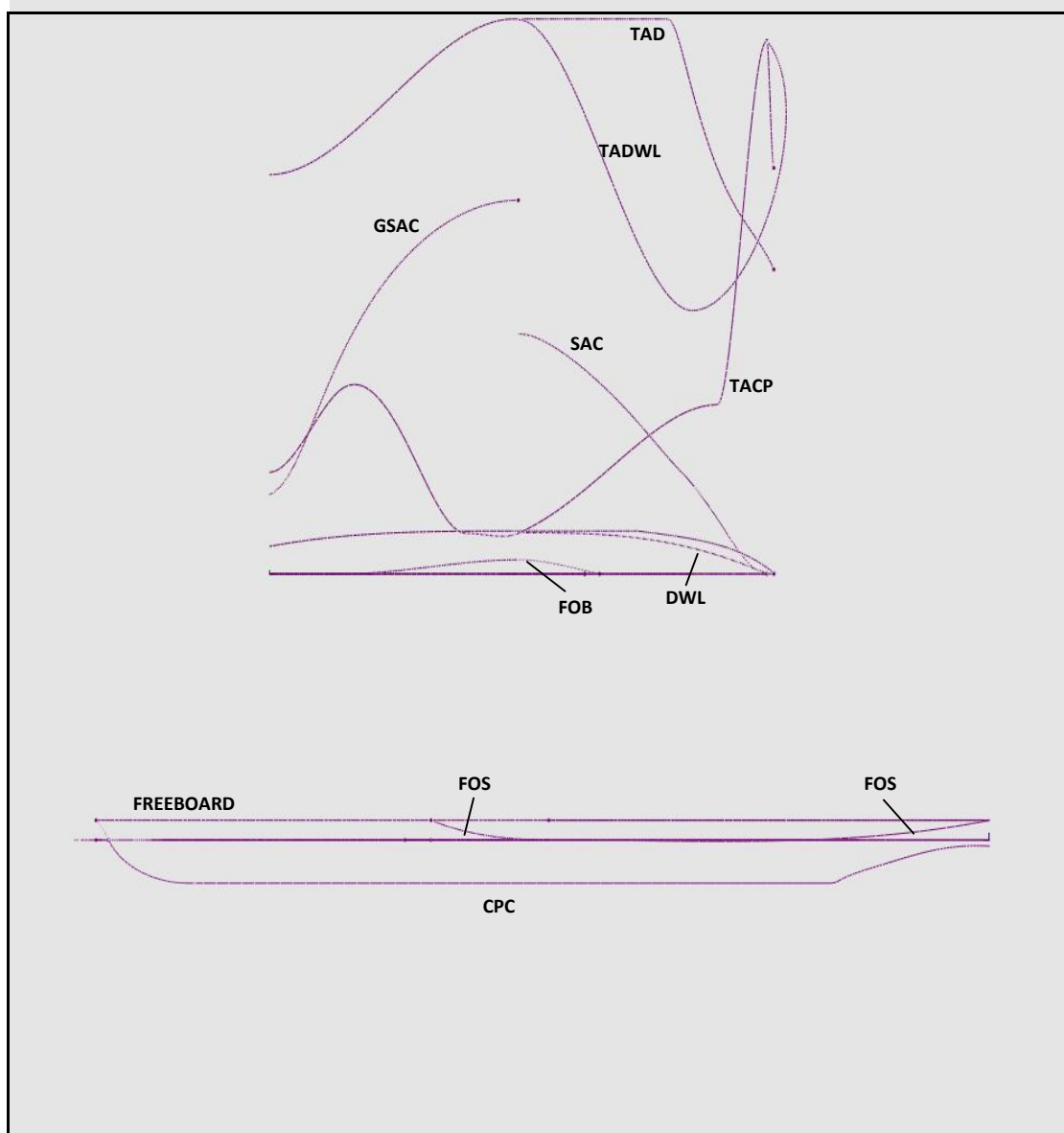
1	Sectional Area Curve	SAC
2	Global Sectional Area Curve	GSAC
3	Center Plane Curve	CPC
4	Deck Curve	DEC
5	Design Water Line	DWL
6	Flat of Bottom Curve	FOB

7	Flat of Side	FOS
---	--------------	-----

Πίνακας 4.2.1: Βασικές Καμπύλες

1	Freeboard	FREEBOARD
2	Tangent at Deck	TAD
3	Tangent at Center Plane Curve	TACPC
4	Tangent at Design Water Line	TADWL

Πίνακας 4.2.2: Δευτερεύουσες καμπύλες



Σχήμα 4.2.1: Οι καμπύλες σχεδίασης του πολεμικού πλοίου

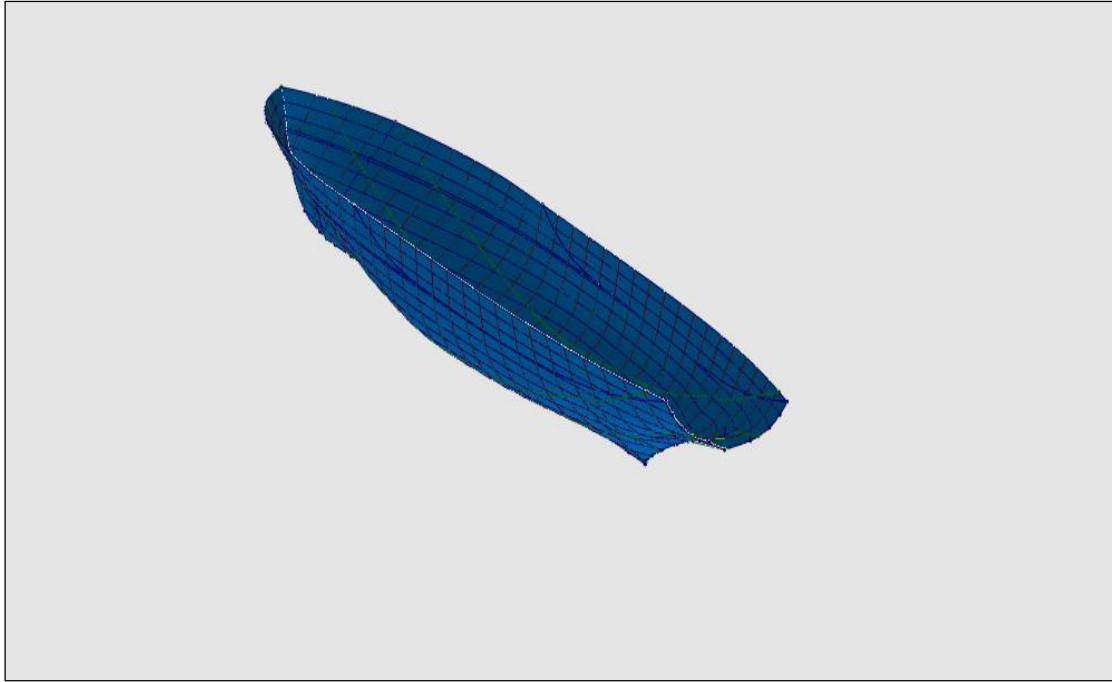
### 4.3 Γενικά στοιχεία γάστρας

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα χαρακτηριστικά (ισοβύθιστη κατάσταση) του πολεμικού πλοίου:

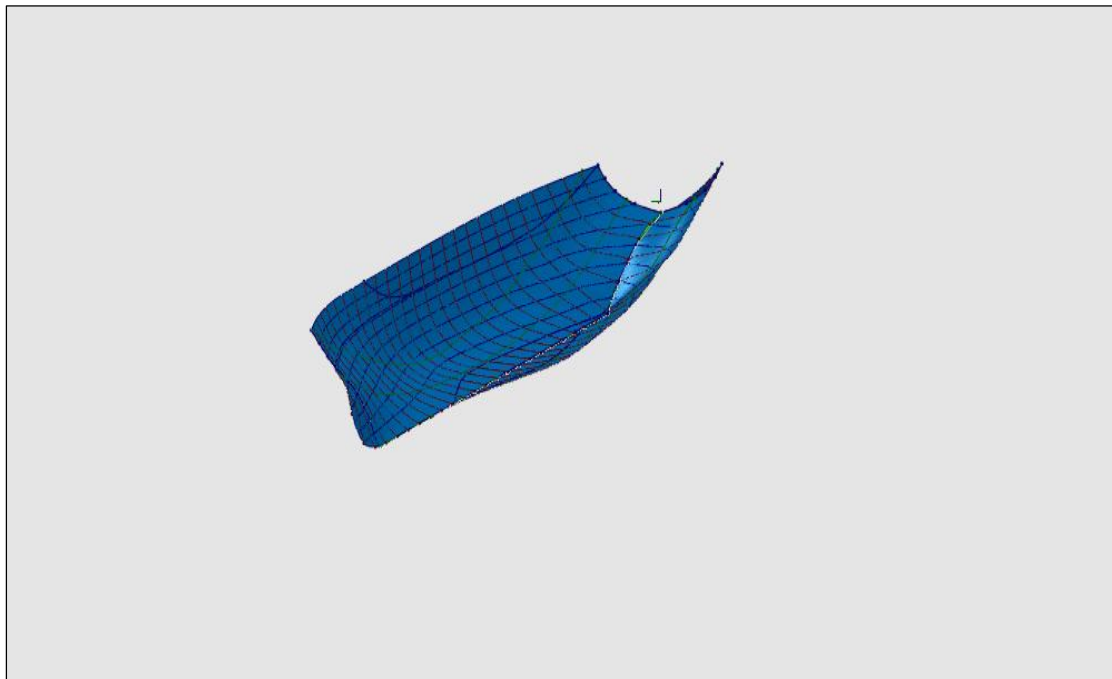
Ολικό μήκος	$L_{OA}$ [m]	145
Μήκος μεταξύ καθέτων	$L_{BP}$ [m]	140
Μέγιστο πλάτος	$B$ [m]	19.19
Βύθισμα σχεδίασης	$T_d$ [m]	6.16
Όγκος εκτοπίσματος	[ $m^3$ ]	8274.6
Επιφάνεια ισάλου	$A_{WP}$ [ $m^2$ ]	1456.5
Βρεχόμενη επιφάνεια	$W.S.$ [ $m^2$ ]	2798.3
Κέντρο επιφανείας ισάλου	$LCF$ [m]	67.3
Διαμήκης θέση κέντρου άνωσης	$LCB$ [m]	69.0
Συντελεστής γάστρας	$C_B$ [-]	0.500
Πρισματικός συντελεστής	$C_p$ [-]	0.614

Πίνακας 4.3.1: Υδροστατικά στοιχεία του πλοίου

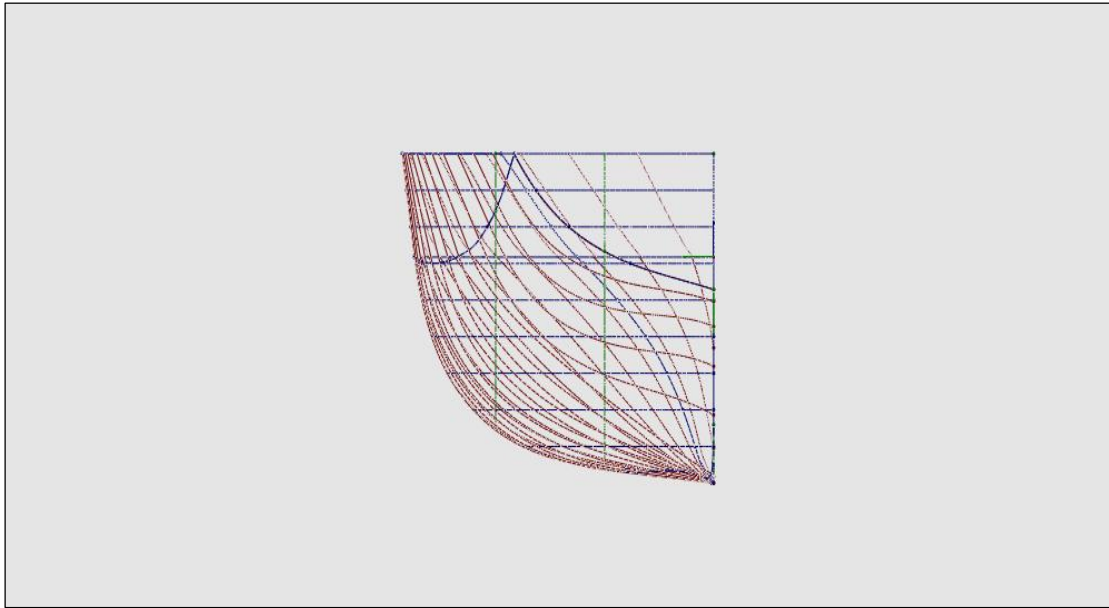
Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται η μοντελοποιημένη γάστρα, οι εγκάρσιες, οι διαμήκεις ναυπηγικές γραμμές και οι οριζόντιες ναυπηγικές γραμμές ή παρίσαλοι επιφανείας του πλοίου.



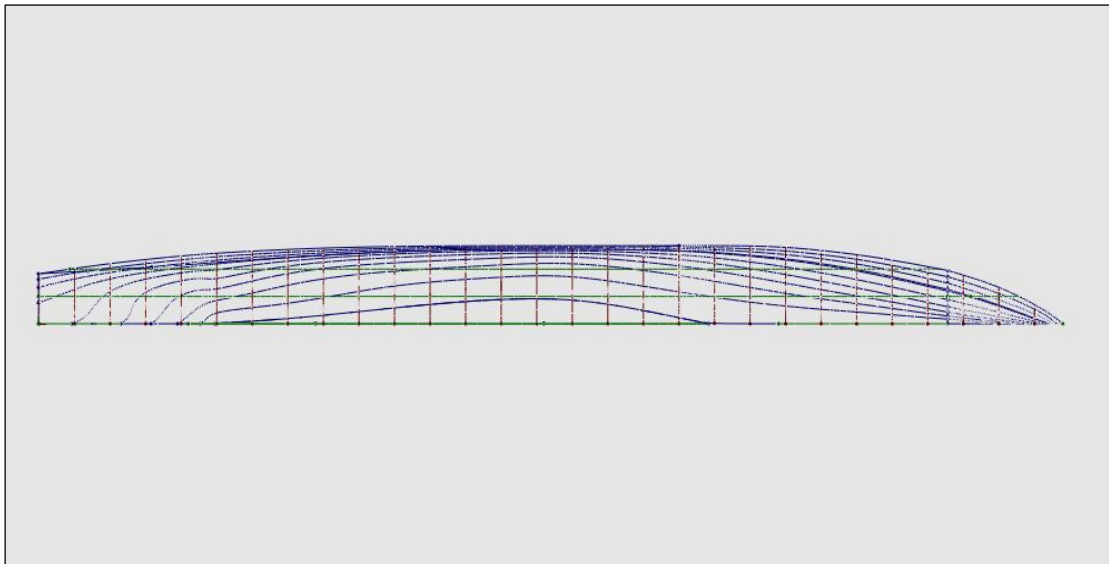
Σχήμα 4.2.2: Η μοντελοποιημένη γάστρα (άποψη από ψηλά/πάνω)



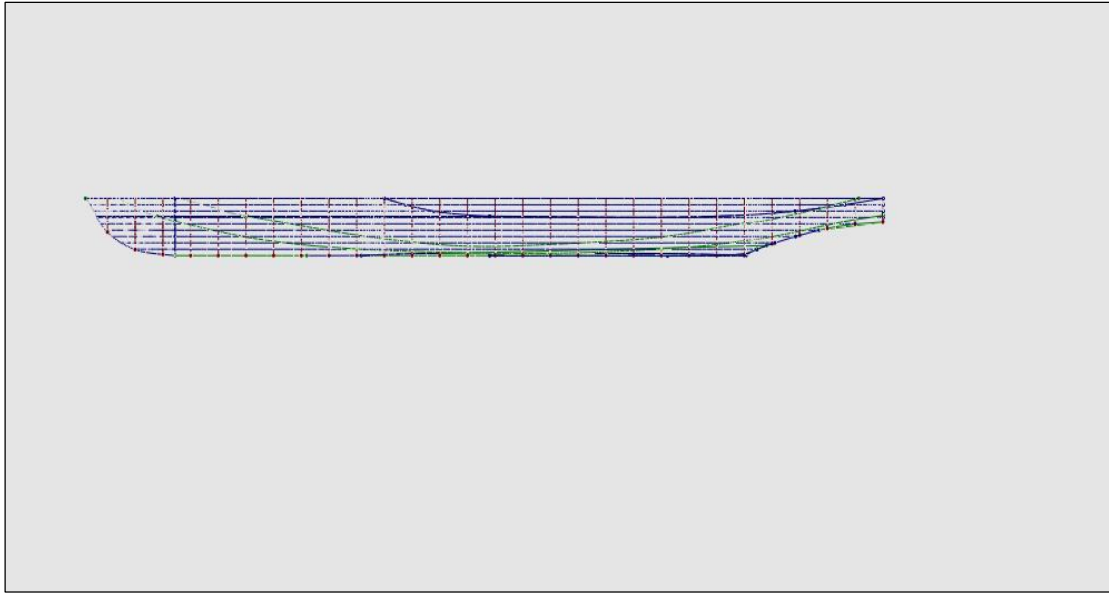
Σχήμα 4.2.3: Η μοντελοποιημένη γάστρα (άποψη από χαμηλά/κάτω)



Σχήμα 4.2.4: Εγκάρσιες ναυπηγικές γραμμές ή γραμμές νομέων (frames or sections)



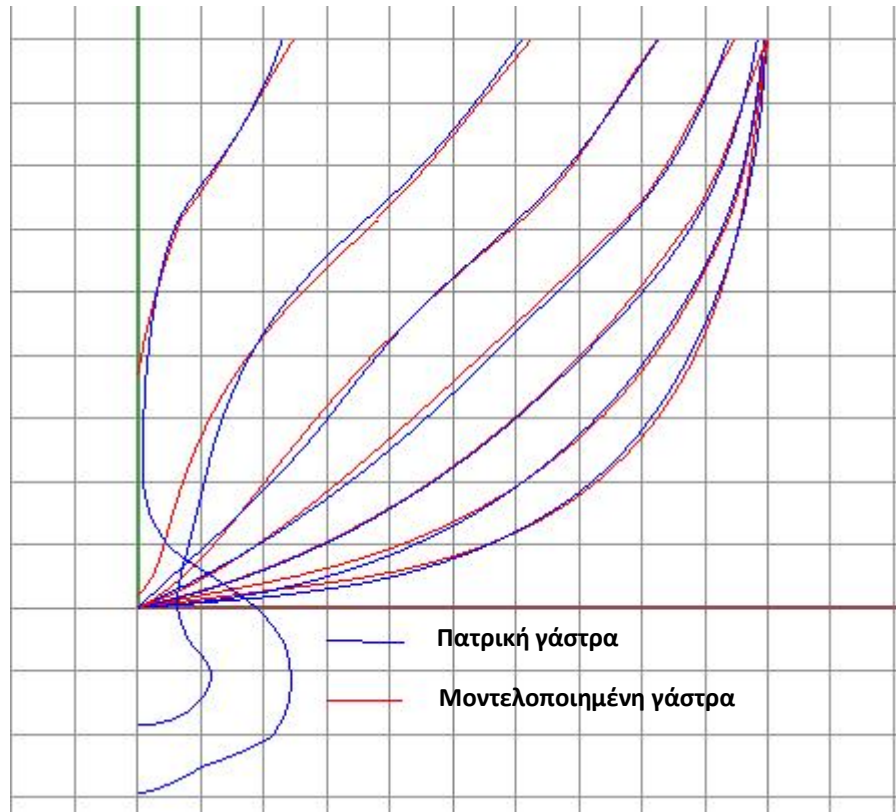
Σχήμα 4.2.5: Οριζόντιες ναυπηγικές γραμμές ή ίσαλοι σχεδίασης (water lines)



Σχήμα 4.2.6: Διαμήκεις ναυπηγικές γραμμές ή κάθετοι (*buttocks*)

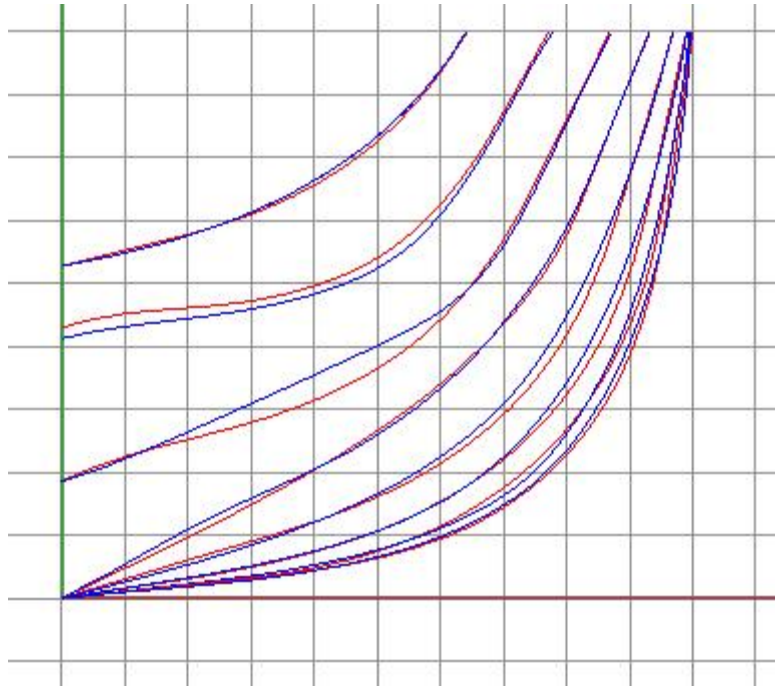
#### 4.4 Μοντελοποίηση

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η σύγκριση της πατρικής και της μοντελοποιημένης γάστρας.



Σχήμα 4.4.1: Σύγκριση πατρικής και μοντελοποιημένης γάστρας (πρωραίοι νομείς)





Σχήμα 4.4.2: Σύγκριση πατρικής και μοντελοποιημένης γάστρας (πρυμναίοι νομείς)

Η μοντελοποίηση του θόλου ηχοβολιστικού (sonar dome) δεν συμπεριλήφθηκε στο μοντέλο λόγω του ότι η παρουσία του επηρεάζει κυρίως την κάθετη επιτάχυνση στην πλώρα και την κίνηση του προνευστασμού (pitch). Η παράληψη του ηχοβολιστικού δεν επηρεάζει καθόλου τη διαδικασία της βελτιστοποίησης μιας και τα βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου παραμένουν αμετάβλητα. Γενικά σοβαρές αποκλίσεις δεν υφίστανται σε σύγκριση με την πατρική γάστρα, όπως φαίνονται αναλυτικότερα και στον παρακάτω πίνακα.

		Πατρική Γάστρα	Μοντελοποιη μένη	Ποσοστό Απόκλισης
Ολικό μήκος	$L_{OA}$ [m]	144.78	145	0.15%
Μήκος μεταξύ καθέτων	$L_{BP}$ [m]	142	142	0.00%
Μέγιστο πλάτος	B [m]	20	20	0.00%
Βύθισμα σχεδίασης	$T_d$ [m]	6.16	6.16	0.00%
Όγκος εκτοπίσματος	$\nabla$ [m <sup>3</sup> ]	8297.7	8274.6	-0.01%
Επιφάνεια ισάλου	$A_{WP}$ [m <sup>2</sup> ]	1425.2	1456.5	2,1%
Βρεχόμενη επιφάνεια	W.S. [m <sup>2</sup> ]	2814.9	2798.3	-0.59%
Κέντρο επιφανείας ισάλου	LCF [m]	68,46	67.3	-1.69%

Διαμήκης θέση κέντρου άνωσης	LCB [m]	69,39	69.0	-0.56%
Συντελεστής γάστρας	CB [-]	0.334	0.500	19.7%
Συντελεστής επιφανείας ισάλου	CWP [-]	0.771	0.776	0.64%
Πρισματικός συντελεστής	CP [-]	0.613	0.614	0.16%
Συντελεστής μέσης τομής	CM [-]	0.545	0.58	6.4%
Εγκάρσια ροπή αδρανείας	IT [m4]	48919	49891	1.98%
Εγκάρσια μετακεντρική ακτίνα	BMT [m]	6.42	6.03	-6.0%
Διαμήκης ροπή αδρανείας	IL [m4]	2481447	2593124	4.50%
Διαμήκης μετακεντρική ακτίνα	BML [m]	299.1	313.385	4.77%

Πίνακας 4.4.1: Σύγκριση Υδροστατικών χαρακτηριστικών πατρικού και μοντελοποιημένου πλοίου

## 5 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΓΑΣΤΡΑΣ

### 5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία μοντελοποίησης της γάστρας του πλοίου που εξετάζουμε μέσω του λογισμικού πακέτου FRIENDSHIP-MODELER. Η διαδικασία είναι συγκεκριμένη και ακολουθεί κάποιους κανόνες προγραμματισμού που περιγράφονται παρακάτω.

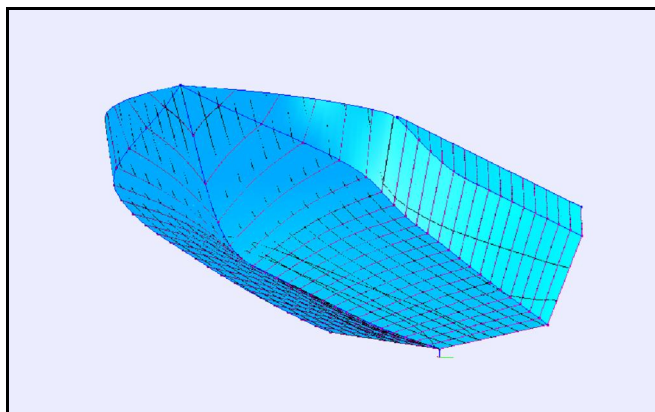
Όπως έχει ήδη αναφερθεί το λογισμικό πακέτο FRIENDSHIP-Modeler προβάλλει μια σειρά ευέλικτων παραμέτρων από τις οποίες άλλες είναι υποχρεωτικές και άλλες προαιρετικές. Οι πληροφορίες για την δημιουργία των βασικών καμπυλών δίνονται είτε από τον σχεδιαστή μέσω των εντολών του προγράμματος, είτε δημιουργούνται από το ίδιο το πρόγραμμα βάση των κανόνων σχεδίασης που υπάρχουν ενσωματωμένα σ' αυτό. Ανάλογα με τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται από τον σχεδιαστή, το πρόγραμμα αναγνωρίζει τα στοιχεία αυτά που θα πρέπει να μοντελοποιηθούν και αυτά που θα πρέπει να απορριφθούν.

### 5.2 Μεθοδολογία παραμετρικής αναπαράστασης γάστρας

#### 5.2.1 Είδη γάστρας μοντέλων

Το FRIENDSHIP-Modeler μπορεί να δημιουργήσει ποικίλες μορφές γάστρας σύμφωνα με το μοντέλο που θα επιλέξουμε κατά τον προγραμματισμό. Κάθε μοντέλο ορίζεται από τις δικές του παραμέτρους οι οποίες πιθανόν να διαφέρουν από αυτές ενός άλλου μοντέλου. Τα κυριότερα είδη από αυτά είναι:

- Hull Module: Χρησιμοποιείται για βασικές μορφές γάστρας, κυρίως για πλοία τύπου Κορβέτα (Corvette) και Ε/Γ – Ο/Γ (RoPaxFerry)
- Hulldhc01 Module: Χρησιμοποιείται για πλοία υψηλών ταχυτήτων και για δημιουργία πλοίων με διπλή τρόπιδα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 5.1

- Hulldhc02 Module: Έχει αναπτυχθεί για πλοία μήκος 40 μέτρων. Η πλώρα έχει σχήμα V για σχεδιασμό γρήγορων πλοίων όπως περιπολικά (patrol boat) και ταχύπλοα (fast ferries).
- Hulldhb01 Module: Χρησιμοποιείται κυρίως για φορτηγά πλοία (bulker)
- Yacht Module: Το συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιείται μόνο για δημιουργία ιστιοπλοϊκών σκαφών.
- Keel Module: Μοντελοποιεί τρόπιδες ιστιοπλοϊκών σκαφών
- Merge Module: Αυτό το μοντέλο προσφέρει την δυνατότητα της συγχώνευσης διαφορετικών γεωμετριών πλοίων σε ένα, κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις.

Όπως είναι φανερό και από τα ανωτέρω στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιήσουμε το Hull Module για δύο λόγους. Πρώτον ταιριάζει περισσότερο στο πλοίο που θέλουμε να μοντελοποιήσουμε και δεύτερον έχουμε μεγαλύτερη ευελιξία στη χρήση παραμέτρων.

### 5.2.2 Σύνταξη του αρχείου παραμετροποίησης

Σε αυτό το μέρος περιγράφονται τα βασικά βήματα προγραμματισμού για την μοντελοποίηση της γάστρας που εξετάζουμε. Το αρχείο στο οποίο θα γράφουμε τις εντολές θα το ονομάσουμε αρχείο παραμέτρων, θα έχει επέκταση .fs2 και θα μπορεί να αναγνωστεί με οποιονδήποτε text editor. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται κατηγοριοποιούνται σε ομάδες μεταβλητών (blocks) μέσα στα οποία υπάρχουν οι εντολές οι οποίες επεξηγούν το block. Σκοπός μας βέβαια είναι να φέρουμε το μοντέλο όσον το δυνατό καλύτερα πιο κοντά στην πατρική γάστρα.

Σε περίπτωση που χρησιμοποιούμε κάποιο από τα μοντέλα που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο τότε αυτό θα πρέπει να αναγράφεται στην αρχή του αρχείου. Καλούμε το τύπο του μοντέλου και έπειτα αναγράφουμε το όνομα που θέλουμε να δώσουμε στο μοντέλο μας, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Πριν ξεκινήσουμε να γράφουμε εντολές θα πρέπει πρώτα να αναγράψουμε το όνομα του, το ίδιο ακριβώς που έχουμε δώσει πριν, και έπειτα όλα τα blocks που ανήκουν στο μοντέλο θα περικλείονται μέσα σε αγκύλες {}.

```
Model Hulldhc01 MyModel // Καλούμε το μοντέλο hulldhc01 και το
                           ονομάζουμε MyModel

MyModel { // Αρχή των εντολών

...

} // τέλος
```

Σχήμα 5.2.1: Σύνταξη του αρχείου αρχικοποίησης

Στην περίπτωση μας, που δεν χρησιμοποιούμε κάποιο τυποποιημένο μοντέλο, δεν είναι αναγκαίο να ορίσουμε όνομα στο μοντέλο που θα δημιουργήσουμε.

Οι παράμετροι που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα είναι μοναδικοί και δεν μπορούν να αλλαχθούν από τον χρήστη. Οι κυριότεροι από αυτούς φαίνονται στον πίνακα 5.2.1. Η σύνταξη τους δε, είναι και αυτή τυποποιημένη. Κάθε παράμετρος ορίζεται από το όνομα της, την αριθμητική της τιμή, από την μονάδα της (π.χ. m, deg) και από τυχόν σχόλια που θέλουμε να γράψουμε. Εάν δεν υφίσταται μονάδα στην τιμή που έχουμε βάλει, αδιάστατος αριθμός, τότε βάζουμε παύλα (" - "). Επίσης η μονάδα μπορεί να αναφέρεται και ως ένα ποσοστό μιας άλλης παραμέτρου (βλέπε σχήμα 5.2.2). Τέλος για τα σχόλια μπορούμε να γράψουμε ότι θέλουμε, χωρίς περιορισμό μετά την διπλή παύλα (" // ") στο τέλος της γραμμής ορισμού της παραμέτρου.

<i>Block name {</i>			
.			
<i>Παράμετροι</i>	<i>τιμή</i>	<i>μονάδα*</i>	<i>// σχόλια</i>
<i>Parameter2</i>	<i>1.0</i>	<i>m</i>	<i>// this is a comment</i>
.			
<i>}// Block name</i>			
*Η "μονάδα" μπορεί να αναφέρεται και ως ένα ποσοστό μιας άλλης			

Σχήμα 5.2.2: Σύνταξη ενός block

1	Control parameters	CREATE
2	Generation of section	SECTIONS
3	Operation mode	OPERATION
4	Fluid properties	WATER
5	Criteria file	CRITERIA
6	Generic parameters	GENERIC
7	Principle dimensions	MAIN
8	Section area curve	SAC

9	Global section area curve	GSAC
10	Center plane curve	CPC
11	Deck curve	DEC
12	Bow parameters	BOW
13	Design water line	DWL
14	Freeboard specification	FREEBOARD
15	Flat of bottom curve	FOB
16	Midship section	MIDSEC
17	Transom section	TRANSEC
18	Flat of side	FOS
19	Tangent at deck	TAD
20	Tangent at center plane curve	TACPC
21	Tangent at design water line	TADWL
22	Bulbous bow section	BBOW
23	Skeg shape	SKEG
24	Gondola design	GONDOLA
25	Sonar dome design	SONARDOME
26	Coordinate system	COORDS
27	Topology control parameters	CREATE
28	Use of parameters	USE
29	Output of data generation	SHOW

Πίνακας 5.2.1: Βασικοί παράμετροι σχεδίασης γάστρας

### 5.2.3 Παραμετροποίηση γάστρας

Ξεκινάμε ορίζοντας το σύστημα συντεταγμένων με το Block COORDS, όπως φαίνεται παρακάτω, έτσι ώστε να τοποθετήσουμε την αρχή των αξόνων στο

πρυμνιό τμήμα του πλοίου για τον άξονα x, στο κατώτερο σημείο της γάστρας για τον άξονα z, και στο μέσο του πλοίου για τον άξονα y.

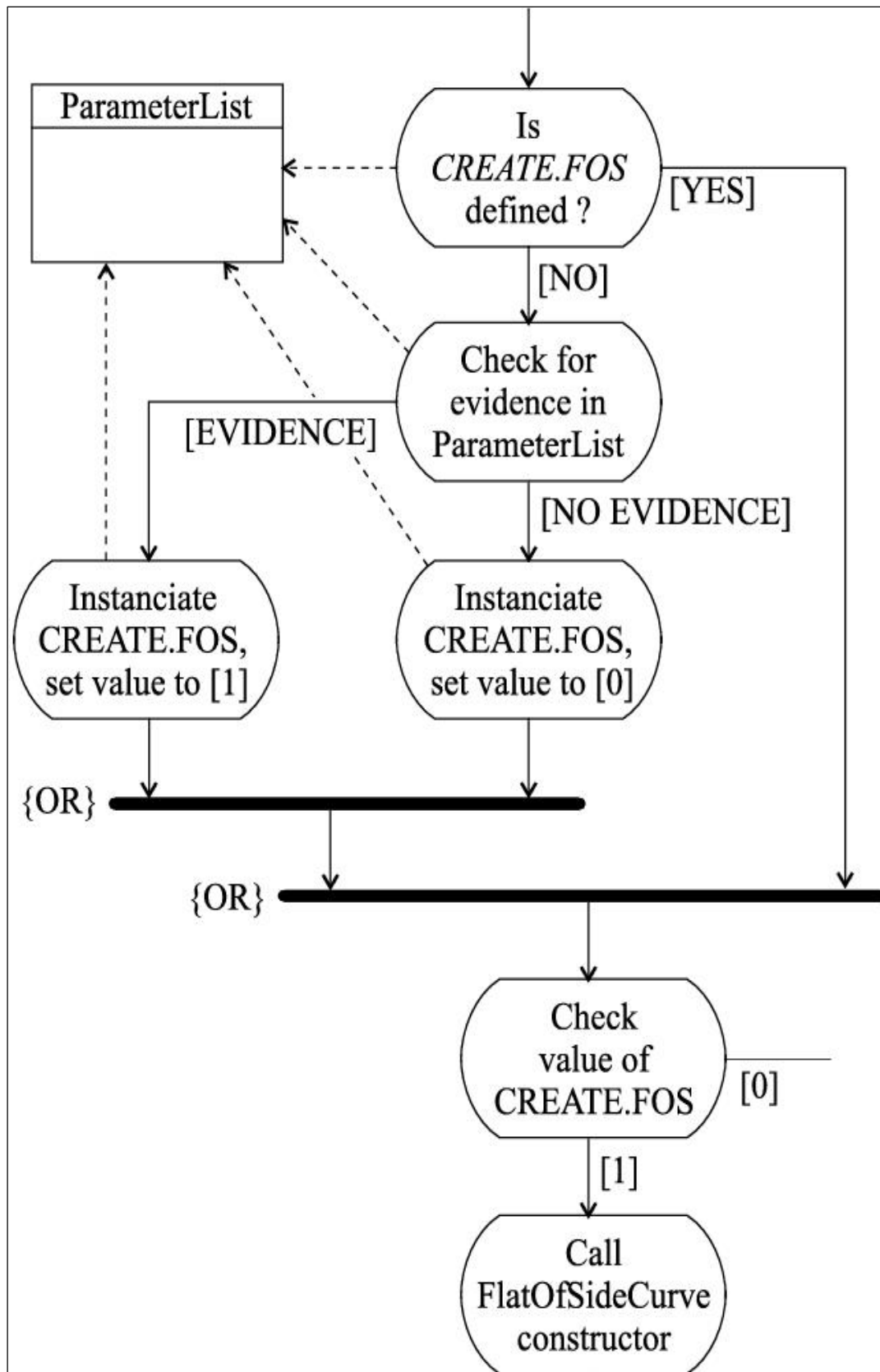
```
COORDS {  
  zOrigin      -1.0  MAIN.draft  // Καθ' ύψος θέση του συστήματος  
  xOrigin      0.0   MAIN.length // Διαμήκης θέση του συστήματος  
} // COORDS
```

Το επόμενο Block είναι το SECTIONS με το οποίο δημιουργούμε νομείς, ορίζοντας το σημείο ορισμού του πρώτου νομέα, την απόσταση μεταξύ τους και τον συνολικό αριθμό τους.

```
Xsections {  
  start      0   -   //Αρχή δημιουργίας πρώτου νομέα  
  interval   5   -   //Απόσταση μεταξύ νομέων  
  number     29  -   //Συνολικός αριθμός νομέων  
} // Xsections
```

Με το επόμενο Block CREATE ορίζουμε τα βασικά χαρακτηριστικά της γάστρας, αλλά και την ύπαρξη ή όχι καμπύλων, τις οποίες σε περίπτωση που δεν τις ορίζουμε παρακάτω τις ορίζει αυτόματα το πρόγραμμα βάση των ενσωματωμένων κανόνων που περιέχει (βλέπε σχήμα 5.2.3).

```
CREATE {  
  noOfSections 21  int  // Καθορίζει τον αριθμό των νομέων  
  BODY         1   -   // Καθορίζει τη δημιουργία ή όχι της  
                       γάστρας  
  SAC          1   -   // Καθορίζει τη δημιουργία ή όχι της  
                       καμπύλης Sectional Area Curve  
  skeg         1   -   // Καθορίζει τη δημιουργία ή όχι skeg  
  CRITERIA     1   -   // Καθορίζει τη δημιουργία ή όχι αρχείου  
                       με τα υδροστατικά και άλλες  
                       πληροφορίες  
} // CREATE
```



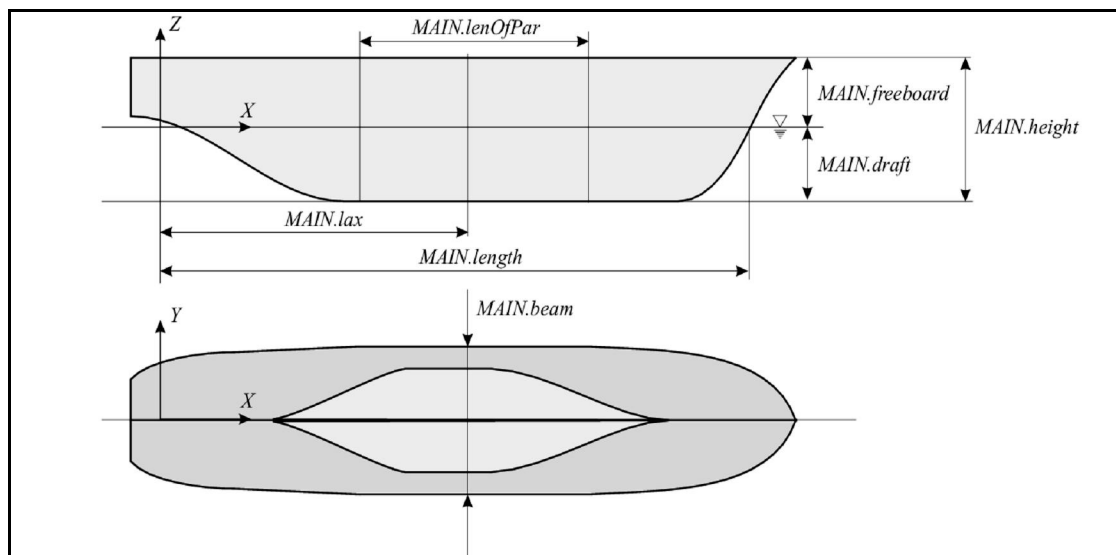
Σχήμα 5.2.3: Διάγραμμα ενεργείας για την δημιουργία της καμπύλης Flat of Side (FOS)



Στο επόμενο Block που είναι το MAIN ορίζουμε τα βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου. Η μόνη υποχρεωτική παράμετρος που πρέπει να οριστεί είναι το μήκος μεταξύ καθέτων. Το σύστημα των αξόνων έχει αρχή την πρυμναία κάθετο στο ύψος της ισάλου επιφανείας.

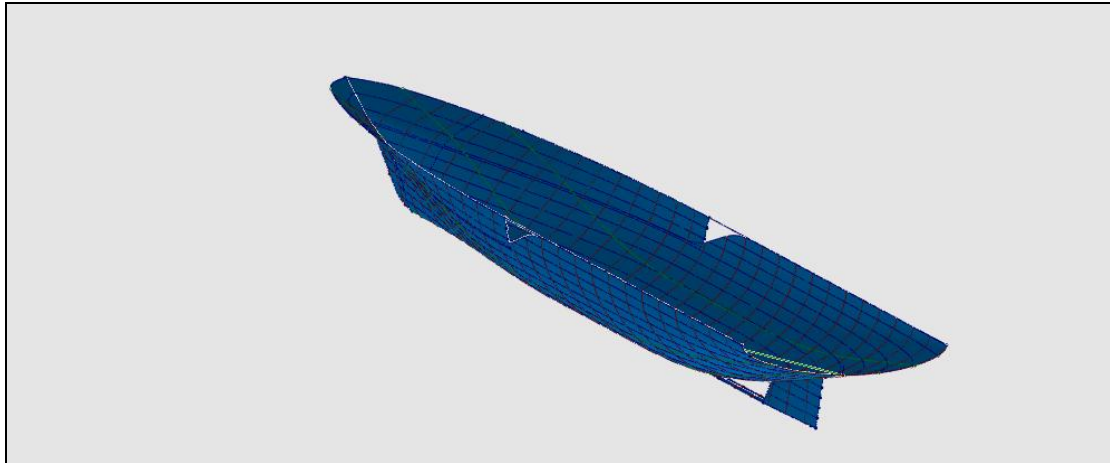
```
MAIN {  
  length      142.0 m           // Μήκος μεταξύ καθέτων  
  lax        0.5 MAIN.length   // Διαμήκης θέση της μέσης τομής  
  lenOfPar   0 m               // Μήκος παραλλήλου τμήματος  
  beam 20    m                 // Πλάτος (της μέσης τομής στην DWL)  
  draft      6.16 m            // Βύθισμα  
  freeboard  2.82 m            // Ύψος πλώρας από την DWL  
} // MAIN
```

Οι παράμετροι του MAIN φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5.2.4: Ορισμός παραμέτρων του MAIN Block

Το πρόγραμμα είναι ήδη σε θέση να δημιουργήσει μια γάστρα με τα στοιχεία που του έχουμε δώσει. Αυτό συμβαίνει, όπως έχουμε προαναφέρει, λόγω του ότι το FRIENDSHIP επιλέγει συγκεκριμένες τιμές για τις απαραίτητες μεταβλητές ακόμα και αν δεν τις έχουμε ορίσει. Βέβαια πρέπει να δώσουμε ακόμα πολλά στοιχεία μέχρι η γάστρα να πάρει την τελική της μορφή, αλλά αξίζει να δούμε πως διαμορφώνεται βήμα, βήμα.



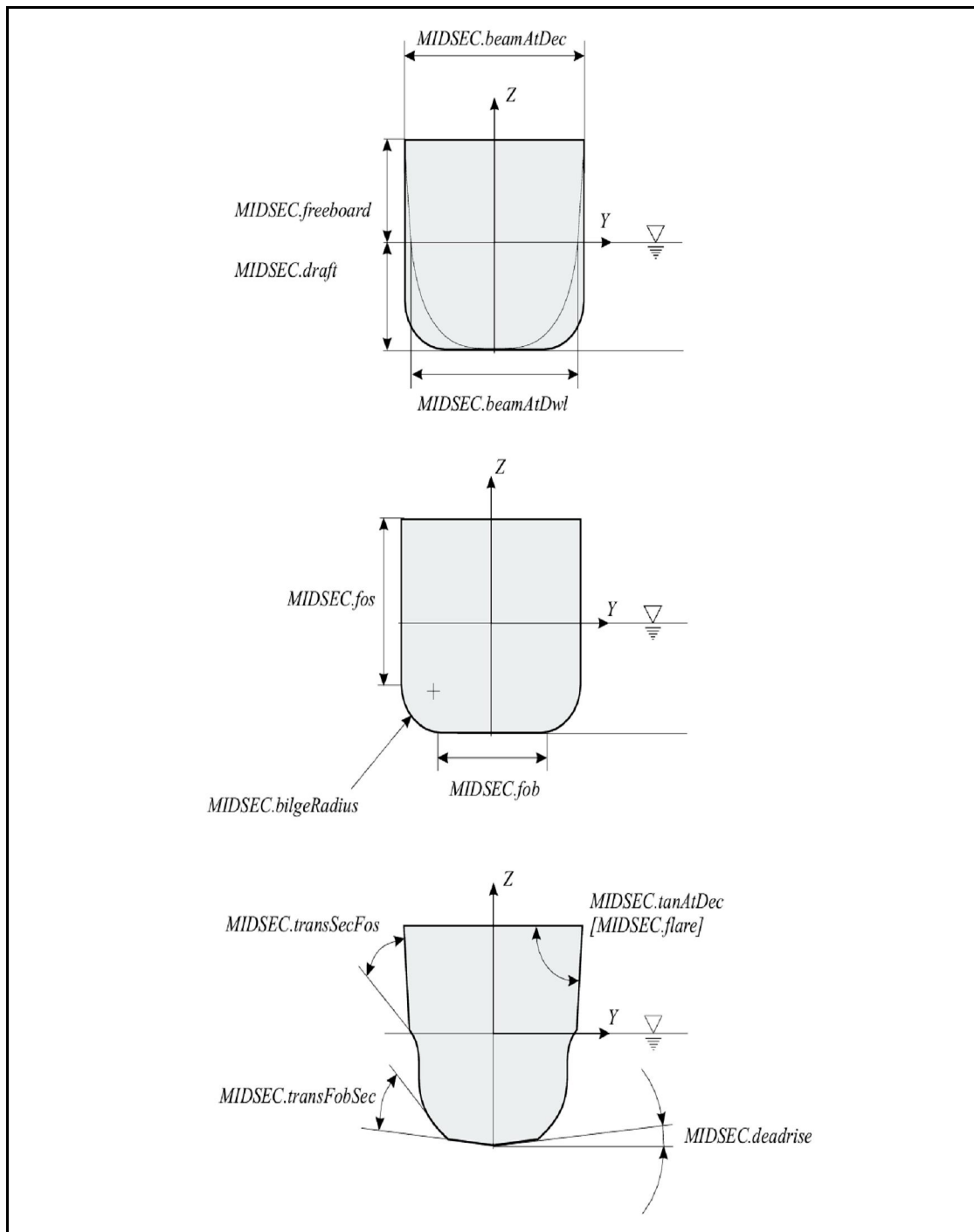
Σχήμα 5.2.5: Η πρώτη γάστρα

Όπως φαίνεται και στο σχήμα υπάρχουν δύο ασυνέχειες, μία στη μέση τομή και μία στο skeg λόγω έλλειψης δεδομένων στα Blocks FOS και SKEG αντίστοιχα.

Επόμενο Block που προσθέτουμε είναι το MIDSEC το οποίο περιέχει πολλά στοιχεία για τη μέση τομή του πλοίου. Συγκεκριμένα δημιουργεί μία καμπύλη στην μέση τομή του πλοίου στο σημείο που ορίζεται από την τιμή του block MAIN.lax. Ορίζοντας παραμέτρους σε αυτό το block τότε οι αντίστοιχοι παράμετροι που έχουν οριστεί στο block MAIN αναιρούνται.

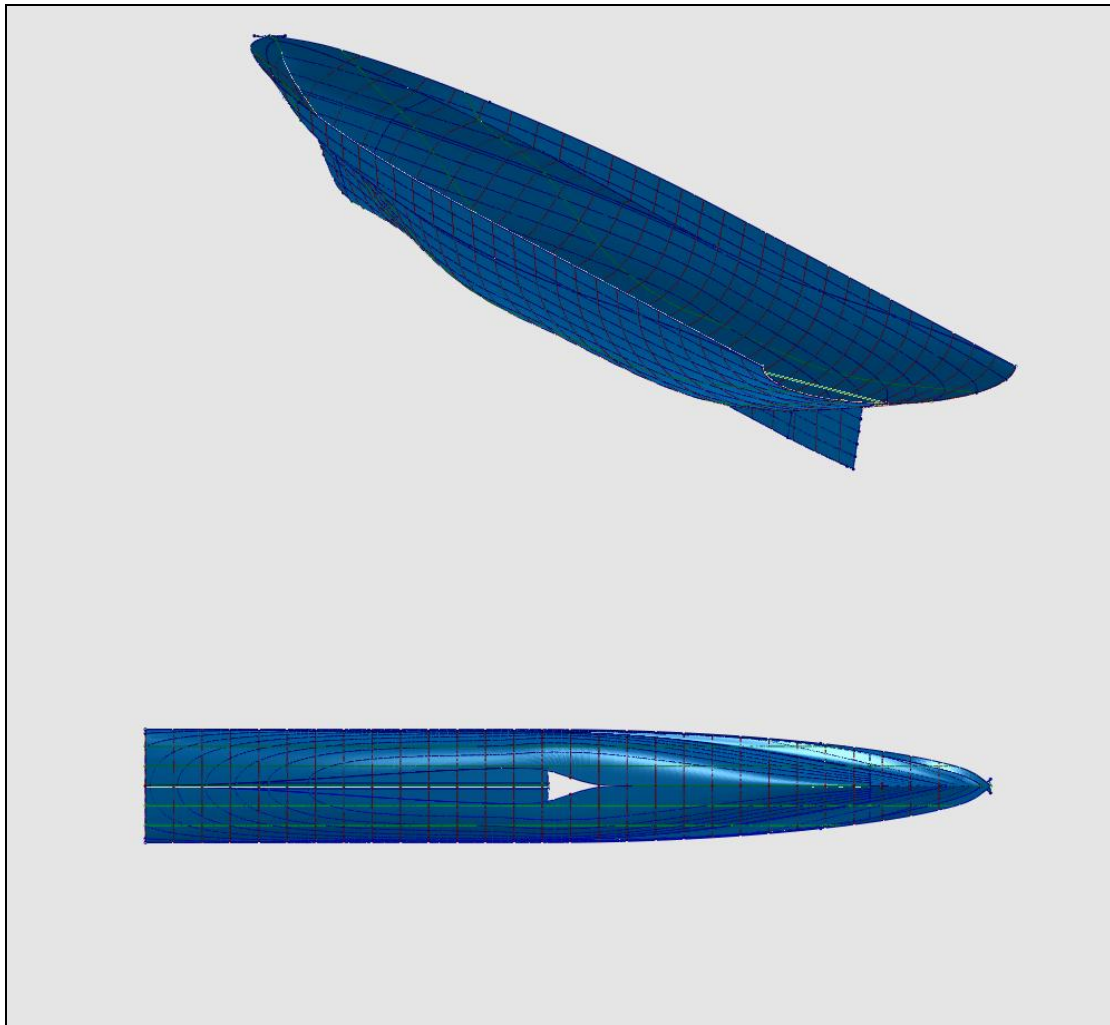
```
MIDSEC {  
  Beam      1.0   Main.beam // Πλάτος στο κατάστρωμα  
  Draft     1.0   Main.draft // Βύθισμα  
  tanAtCpc  6     deg    // Γωνία ανυψωσης πυθμένα (deadrise)  
  tanAtDec  82   deg    // Γωνία εξοχής καταστρώματος (flare)  
  fos       2.8   m      // Flat of side  
  fob       6.6   m      // Flat of bottom  
  areaCoeff 0.788 -      // Συντελεστής επιφανείας  
} // MIDSEC
```

Οι παράμετροι του MIDSEC φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5.2.6: Παράμετροι επιλογής του block MIDSEC

Η γάστρα μας μετά την προσθήκη του block MIDSEC έχει διαμορφωθεί ως εξής:



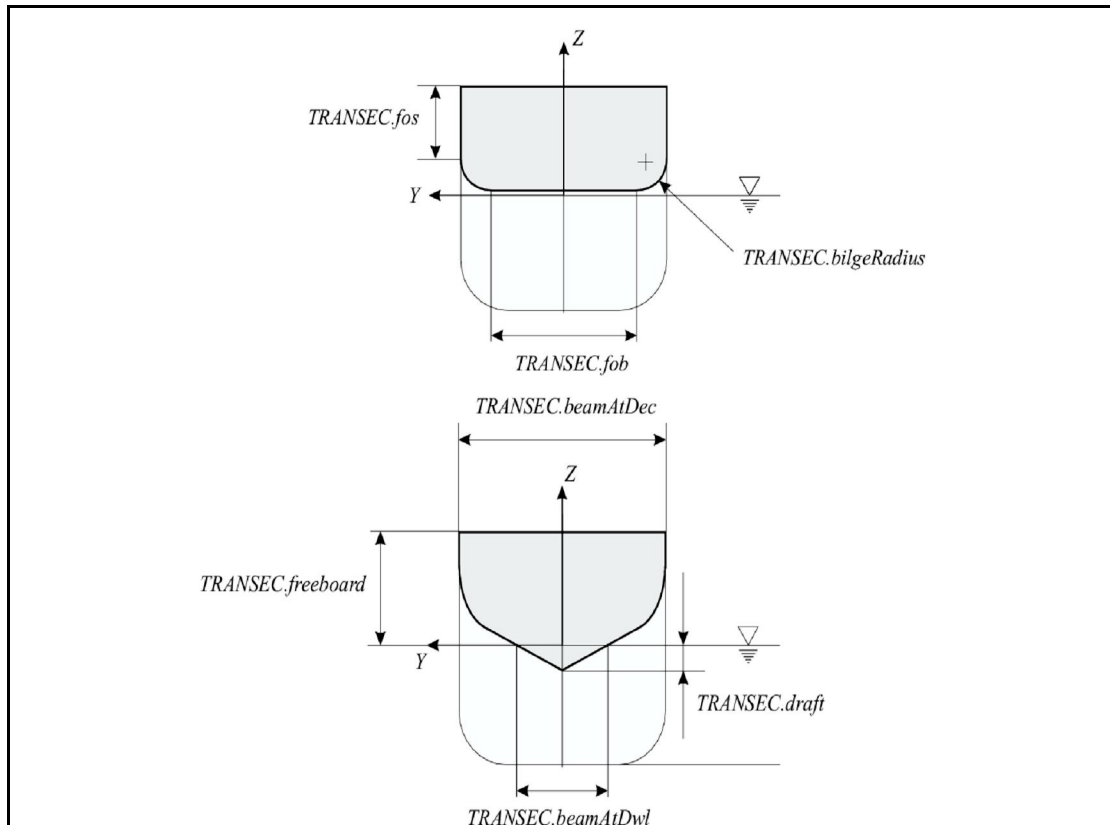
Σχήμα 5.2.7: Η γάστρα μετά την προσθήκη του block MIDSEDC

Παρατηρούμε ότι οι ασυνέχειες που υπήρχαν πριν την εισαγωγή του ανωτέρω block στην μέση τομή και στο skeg δεν υφίστανται πλέον. Αντίθετα η ασυνέχεια στον πυθμένα του πλοίου θα εξακολουθεί να υπάρχει εωσότου ενταχθεί το block FOB. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι το πρόγραμμα από μόνο του δημιουργεί τις καμπύλες που χρειάζεται χωρίς όμως να έχει τα στοιχεία που θέλει. Όταν εμείς του δώσουμε αυτά τα στοιχεία τότε είναι σε θέση να περιγράψει πλήρως την καμπύλη.

Συνεχίζουμε προσθέτοντας το block TRANSEC που χαρακτηρίζει το σχήμα του καθρέφτη του πλοίου. Η καμπύλη του καθρέφτη αποτελείται από τρία μέρη. Από τις καμπύλες FOB, FOS και την καμπυλότητα της γάστρας, χωρίς βέβαια να είναι υποχρεωτικός ο ορισμός τους. Όμοια με το block MIDSEC έτσι και εδώ, ορίζοντας παραμέτρους σε αυτό το block τότε οι αντίστοιχοι παράμετροι που έχουν οριστεί στο block MAIN αναιρούνται.

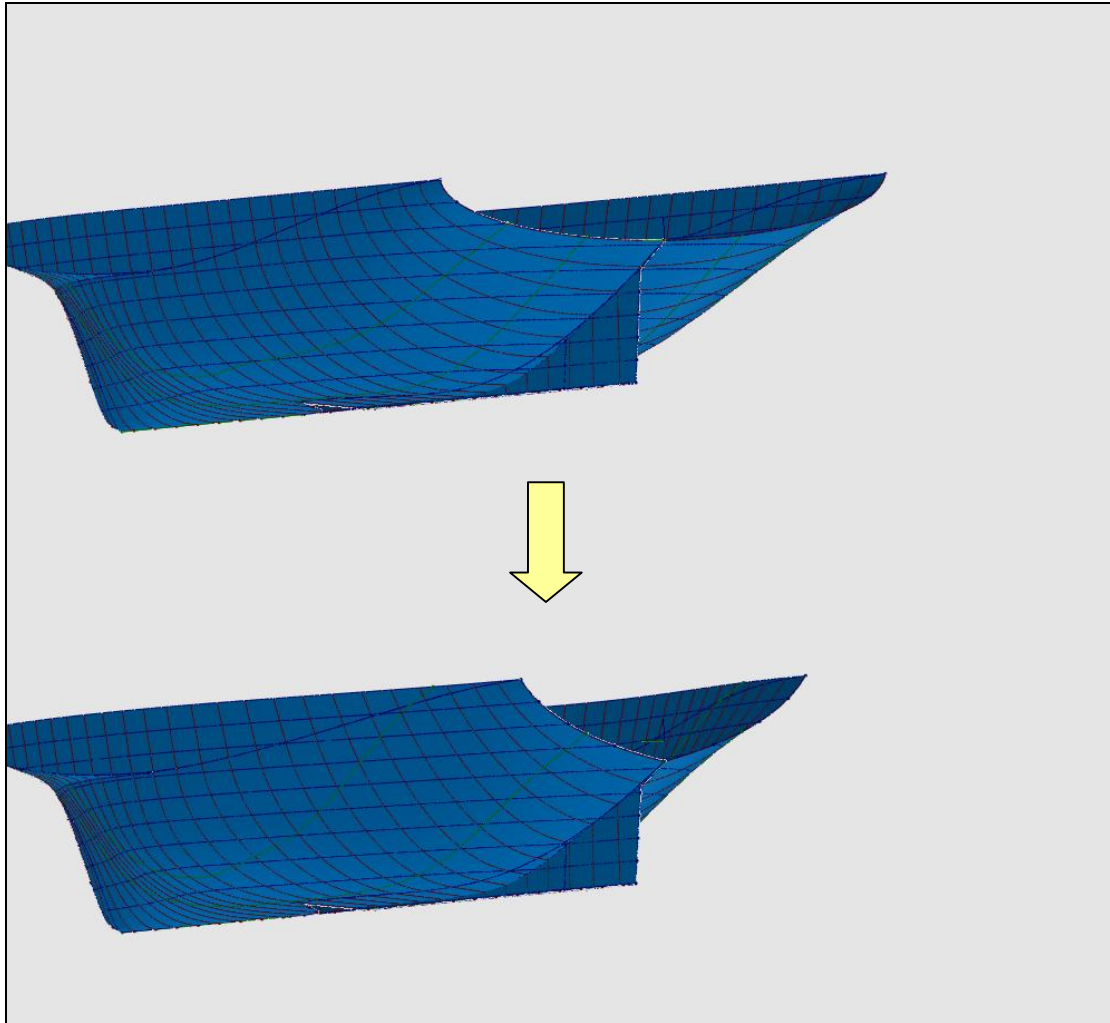
```
TRANSEC {  
  position -0.1 m // Διαμήκης θέση του καθρέφτη  
  draft 0.88 m // Το βύθισμα (από τη ίσαλο και πάνω θετικό)  
  tanAtCpc 15 deg // Γωνία ανύψωσης πυθμένα (deadrise)  
  tanAtDec 59 deg // Γωνία εξοχής καταστρώματος (flare)  
  beamAtDec 0.64 MAIN.beam // Πλάτος του καθρέφτη  
} // TRANSEC
```

Οι παράμετροι του TRANSEC φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 5.2.8: Παράμετροι επιλογής του block TRANSEC

Η γάστρα μας μετά την προσθήκη του block TRANSEC έχει διαμορφωθεί ως εξής:

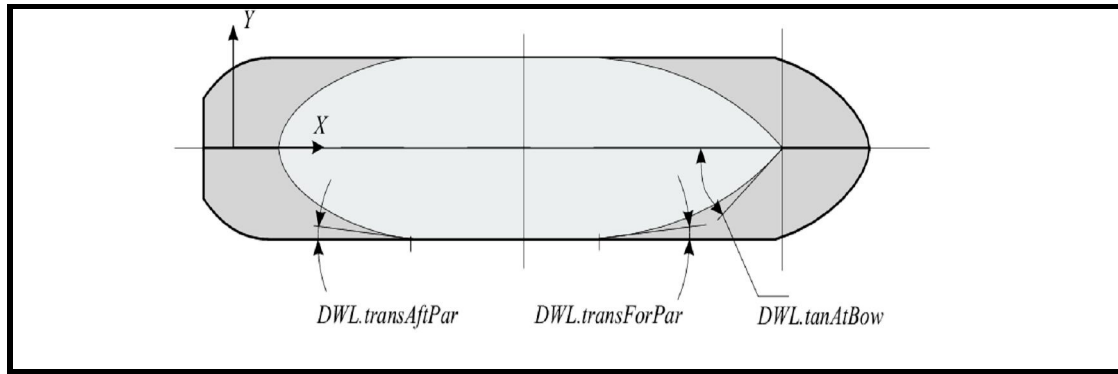


Σχήμα 5.2.8: Η γάστρα μετά την προσθήκη του block TRANSEC

Για να ενώσουμε τώρα όλα τα παραπάνω block πρέπει να προσθέσουμε το block DWL. Η ίσαλος επιφανείας χαράζεται στο σημείο τομής της γάστρας με την επιφάνεια του νερού (ήρεμη κατάσταση).

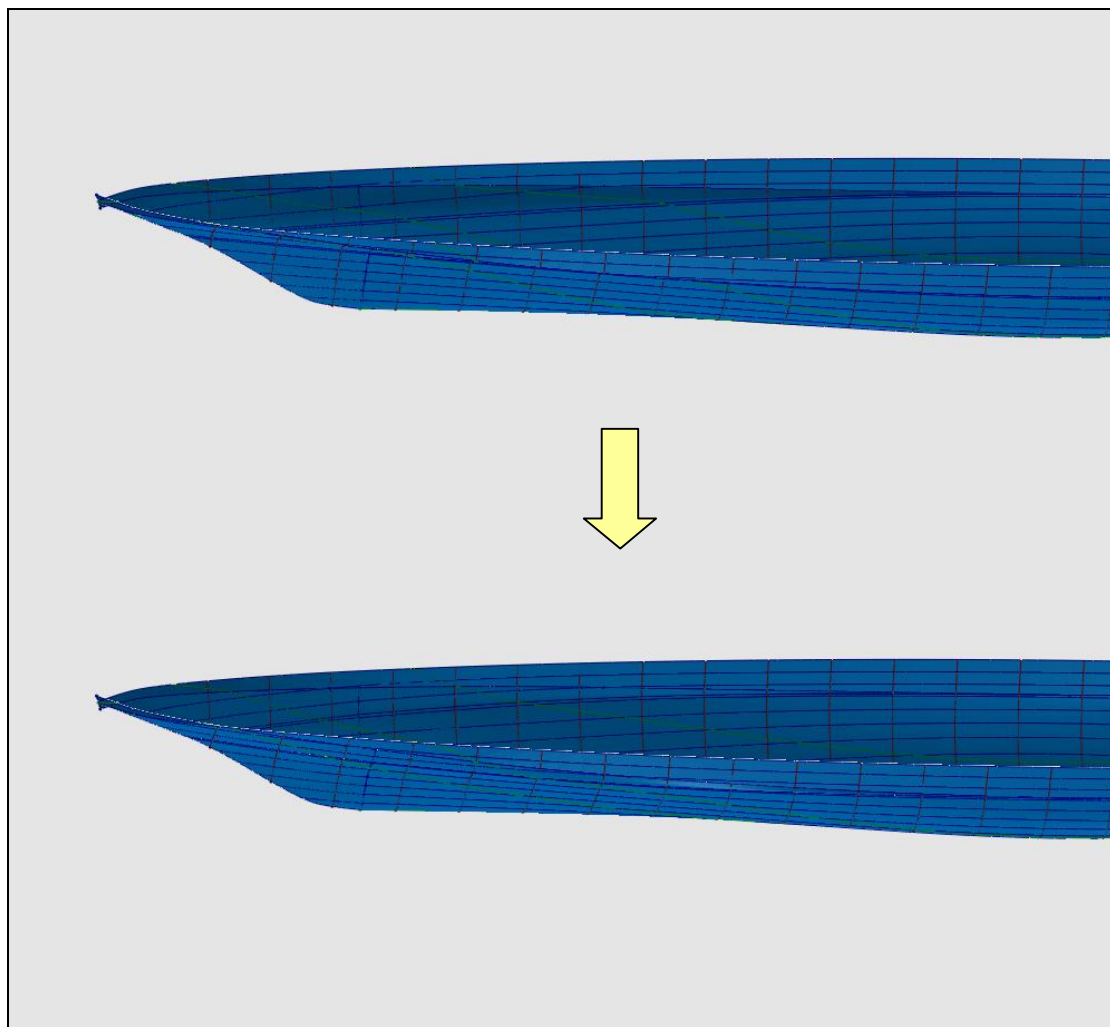
```
DWL {  
  tanAtBow  20  deg      // Γωνία εισόδου στο πλοίο  
  areaCoeff  0.735 -     // Συντελεστής επιφανείας  
  transForPar 0  deg     // Γωνία μετάβασης από το πρωραίο καμπύλο  
                                     τμήμα στο παράλληλο  
} // DWL
```

Οι παράμετροι του DWL φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 5.2.9: Παράμετροι επιλογής του block DWL

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι ο συντελεστής επιφανείας αφορά μόνο το πρωραίο κομμάτι του πλοίου. Η γάστρα μετά την προσθήκη του block DWL έχει διαμορφωθεί ως εξής:

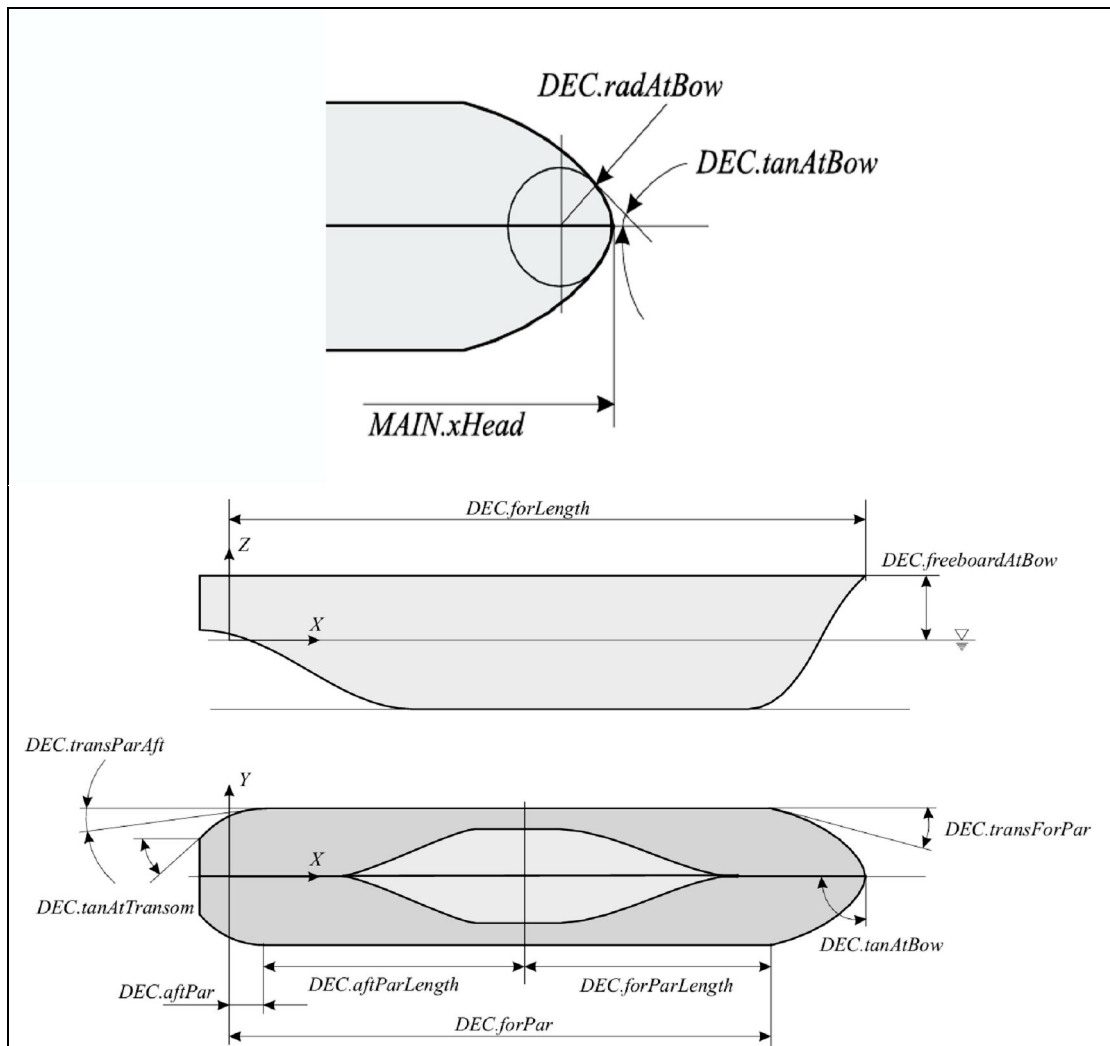


Σχήμα 5.2.10: Η γάστρα μετά την προσθήκη του block DWL

Επόμενο block που προσθέτουμε είναι το DECK. Οι παράμετροι του περιγράφουν την αντίστοιχη καμπύλη που δημιουργείται και η οποία αποτελείται από τρία μέρη όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.2.11. Το πρώτο είναι ένα κοίλο μέρος στην περιοχή της πλώρας, το δεύτερο είναι ένα παράλληλο τμήμα και το τρίτο είναι ένα κοίλο μέρος στην περιοχή της πρύμνης.

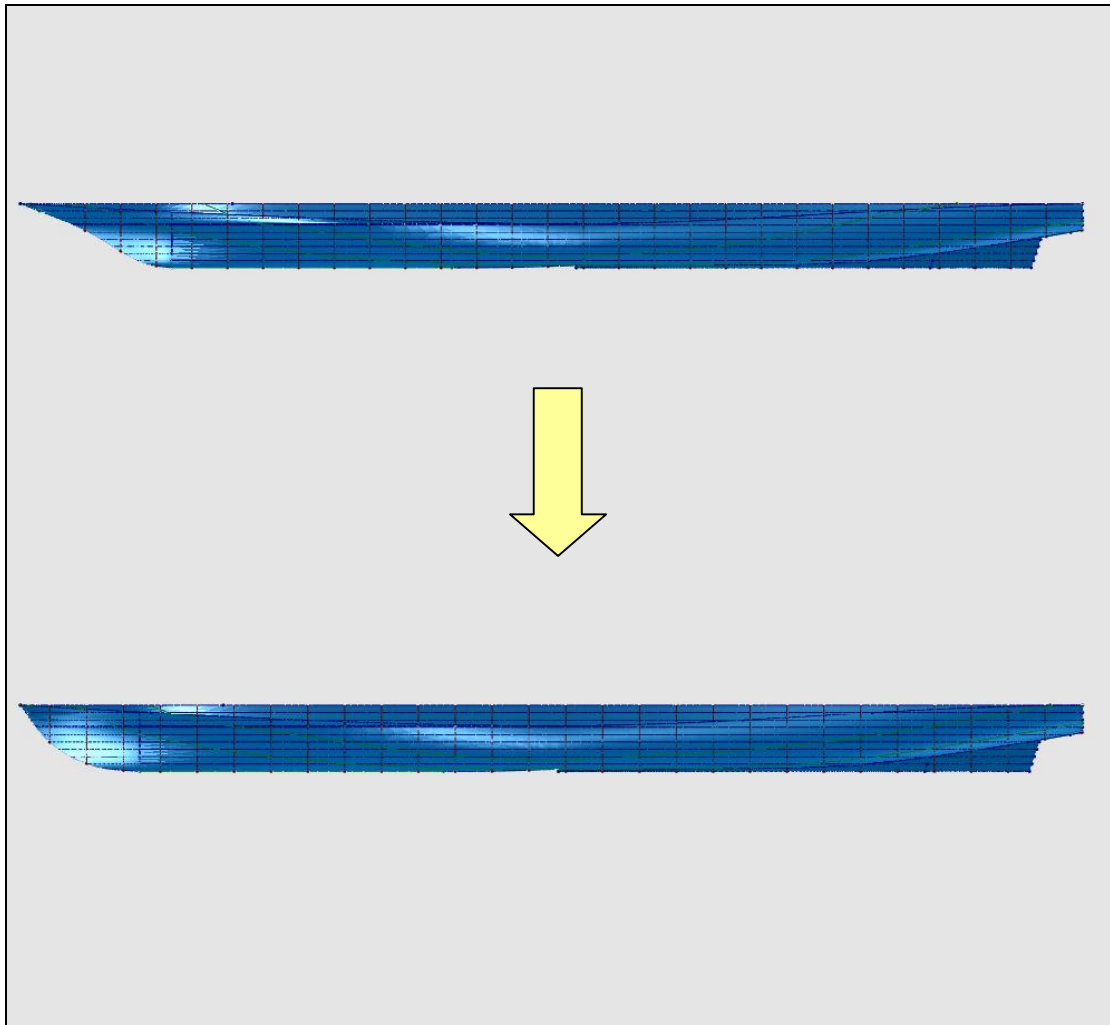
```
DEC {  
  forLength      144  m           // Το πρωραίο σημείο από AP  
  freeboardAtBow 1.0  MAIN.freeboard// Προσδιορίζει την θέση στον άξονα z  
                                     για την γραμμή DEC.forLength  
  tanAtBow       35   deg         // Γωνία πλώρης  
  radAtBow       0.2  m           // Ακτίνα καμπυλότητας στην πλώρα  
  forPar         0.74 MAIN.length // Σημείο μετάβασης στο ευθύγραμμο  
                                     τμήμα μετρούμενο από AP  
  aftPar         0.4898 MAIN.length // Σημείο μετάβασης από το παράλληλο  
                                     τμήμα στο πρυμνικό κυρτό  
                                     μετρούμενο από AP  
  transForPar    6    deg         // Γωνία μετάβασης στο ευθύγραμμο  
                                     τμήμα  
  tanAtTransom   8.8  deg         // Γωνία μετάβασης στο πρυμνικό κυρτό  
                                     τμήμα  
} // DEC
```





Σχήμα 5.2.11: Παράμετροι επιλογής του block DECK

Στο σχήμα 5.2.12 φαίνονται οι αλλαγές που προκύπτουν

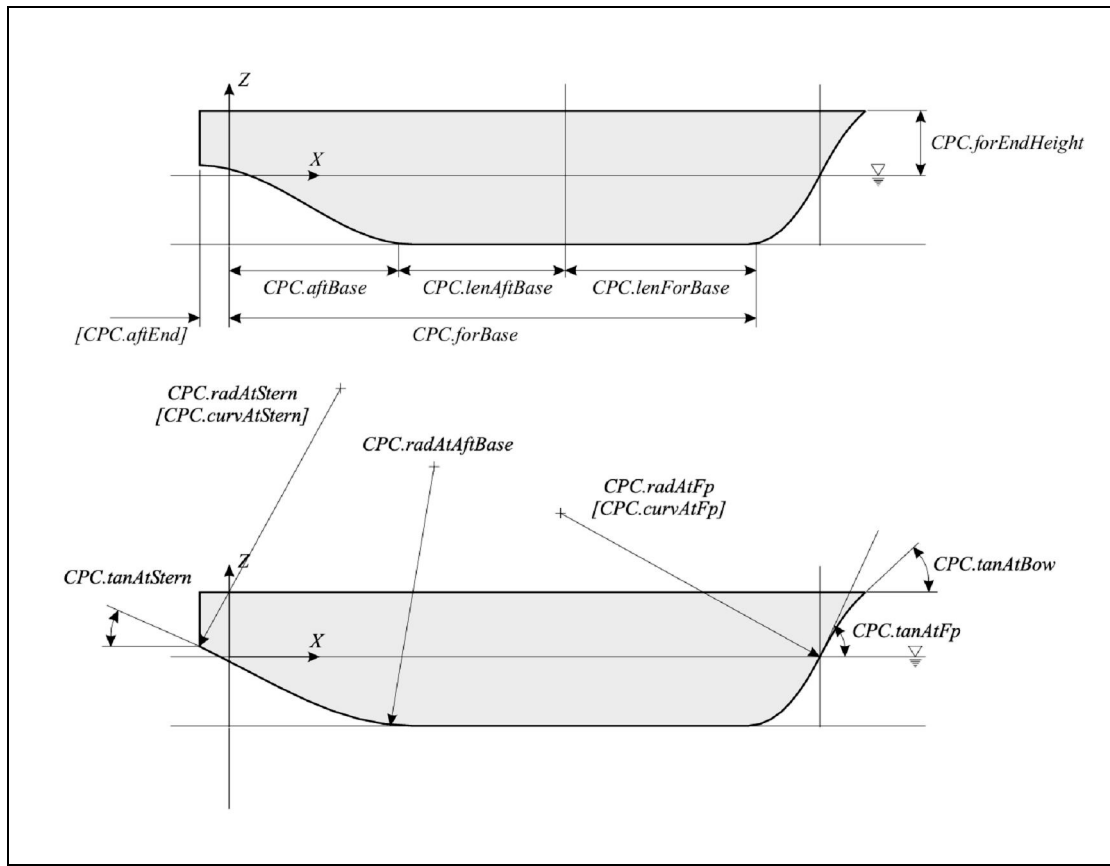


Σχήμα 5.2.12: Η γάστρα μετά την προσθήκη του *block DECK*

Το επόμενο block που προσθέτουμε είναι η CPC (center plane curve). Αυτή η καμπύλη μορφοποιεί τις διαμήκεις γραμμές του πλοίου κατά μήκος της εξωτερικής γραμμής και αποτελείται από τέσσερα μέρη. Από το ψηλότερο και το χαμηλότερο σημείο της καμπύλης πλώρας, από το ευθύ τμήμα της βάσης και από το κοίλο σημείο που εκτείνεται από το σημείο που η CPC αφήνει τη βάση έως τη πρύμνη του σκάφους.

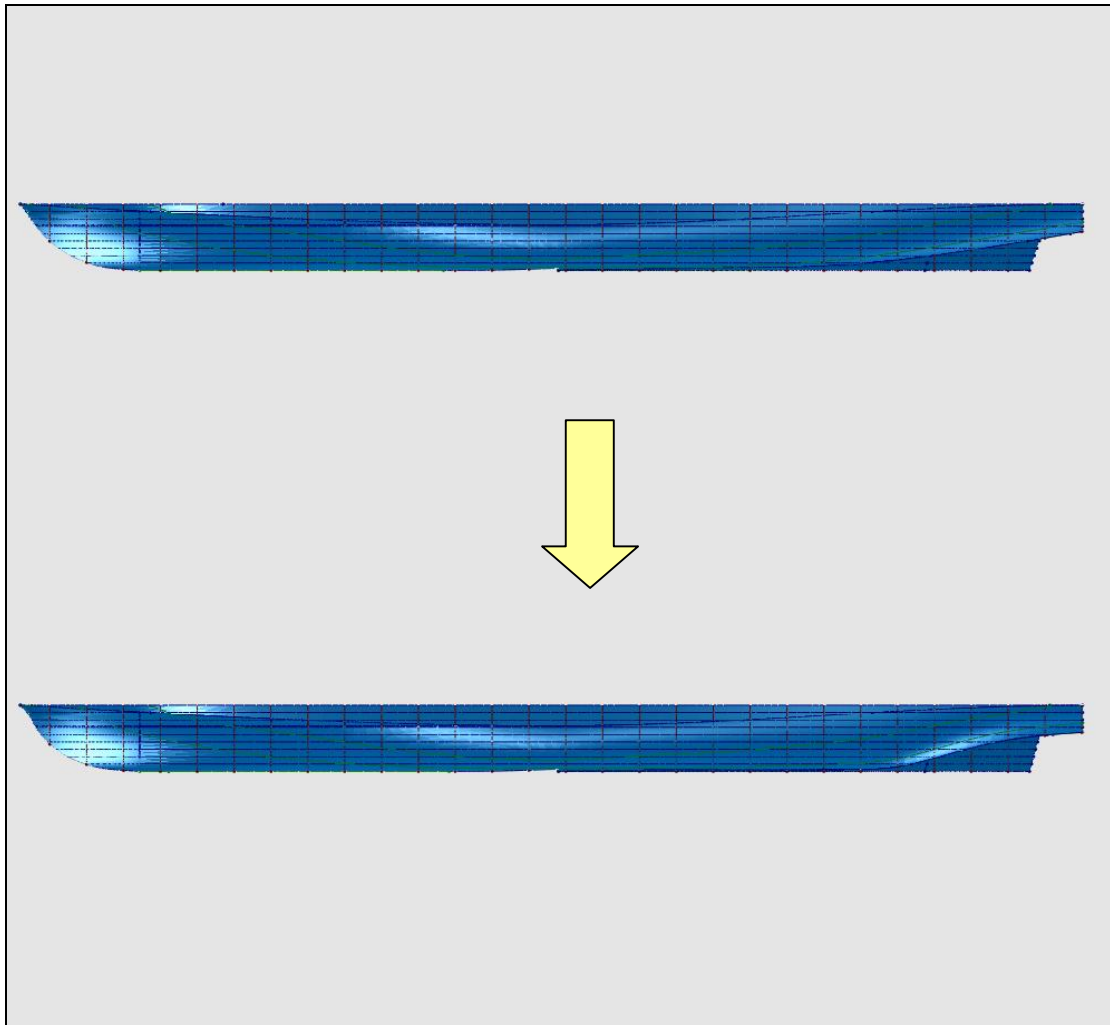
```
CPC {  
  tanAtBow    40    deg    // Η γωνία στην πλώρα  
  xAftBase    24.9  m      // Η αρχή ευθυγράμμου τμήματος από AP  
  tanAtStern  -3.5  deg    // Η γωνία με τον καθρέπτη  
  tanAtAftBase30  deg    // Η γωνία στο σημείο που η CPC αφήνει τη  
                          βάση  
  radAtAftBase -11  -      //Ακτίνα καμπυλότητας στο aftbase  
} // CPC
```

Οι παράμετροι της CPC φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 5.2.13: Παράμετροι επιλογής του block CPC

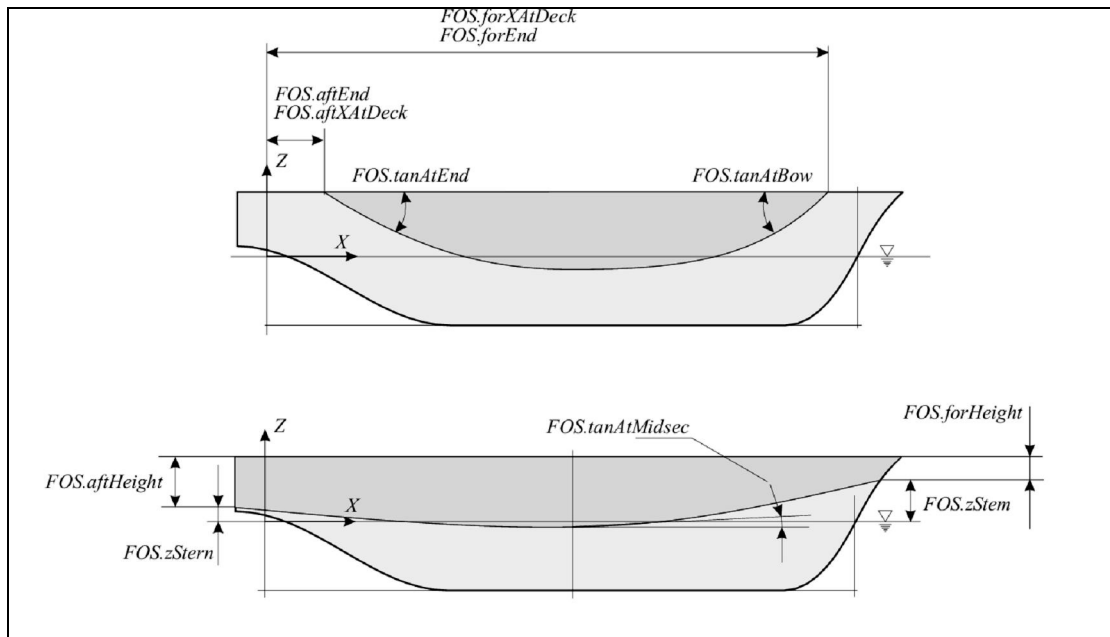
Στο σχήμα 5.2.14 φαίνονται οι αλλαγές που προκύπτουν



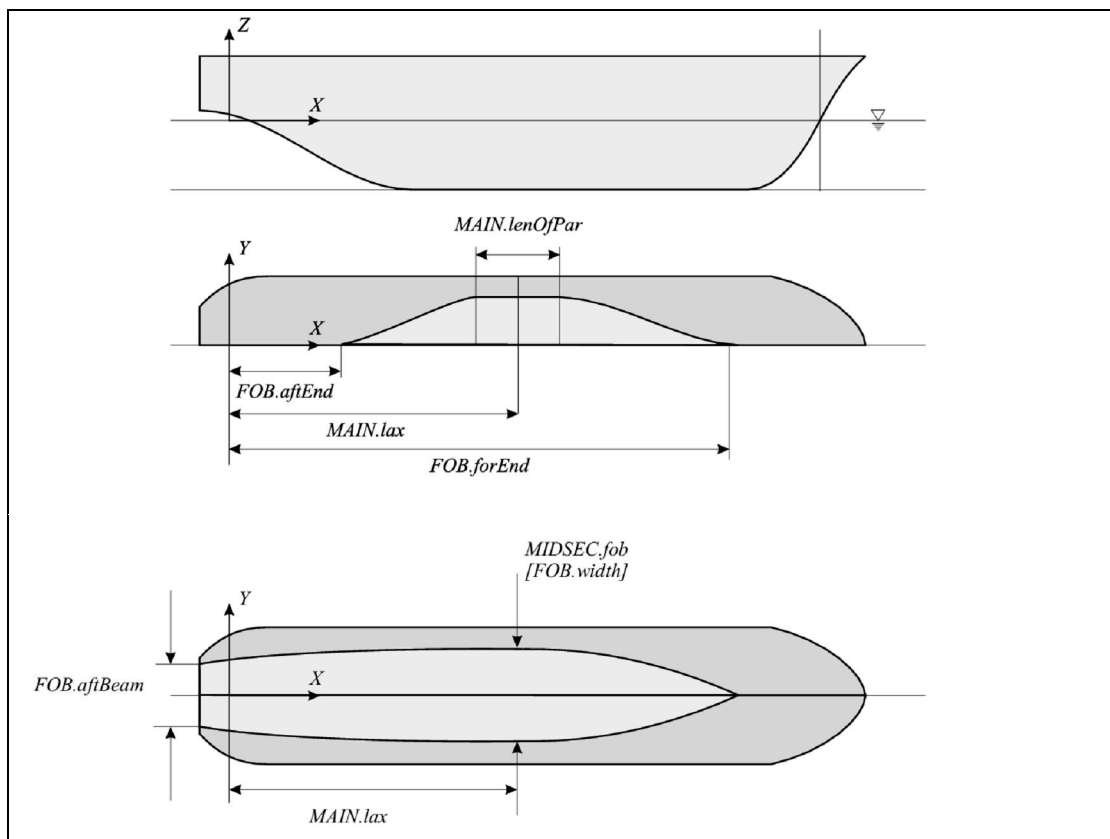
Σχήμα 5.2.14: Η γάστρα μετά την προσθήκη του block CPC

Στη συνέχεια θα προσθέσουμε δύο block το FOS και το FOB. Οι παράμετροι τους φαίνονται στα σχήματα 5.2.15 και 5.2.16 αντίστοιχα.

```
FOS {  
  forEnd      90    m           // Το πρωραίο σημείο της καμπύλης  
  tanAtBow    20    deg        // Η γωνία στο πρωραίο σημείο  
  tanAtEnd    10    deg        // Η γωνία στο πρυμναίο σημείο  
} // FOS  
  
FOB {  
  forEnd      0.66326  MAIN.length // Το πρωραίο σημείο της καμπύλης  
  forAngle    10.0    deg          // Η γωνία στο πρωραίο σημείο  
  aftEnd      21      m           // Το πρυμναίο σημείο της καμπύλης  
} // FOB
```

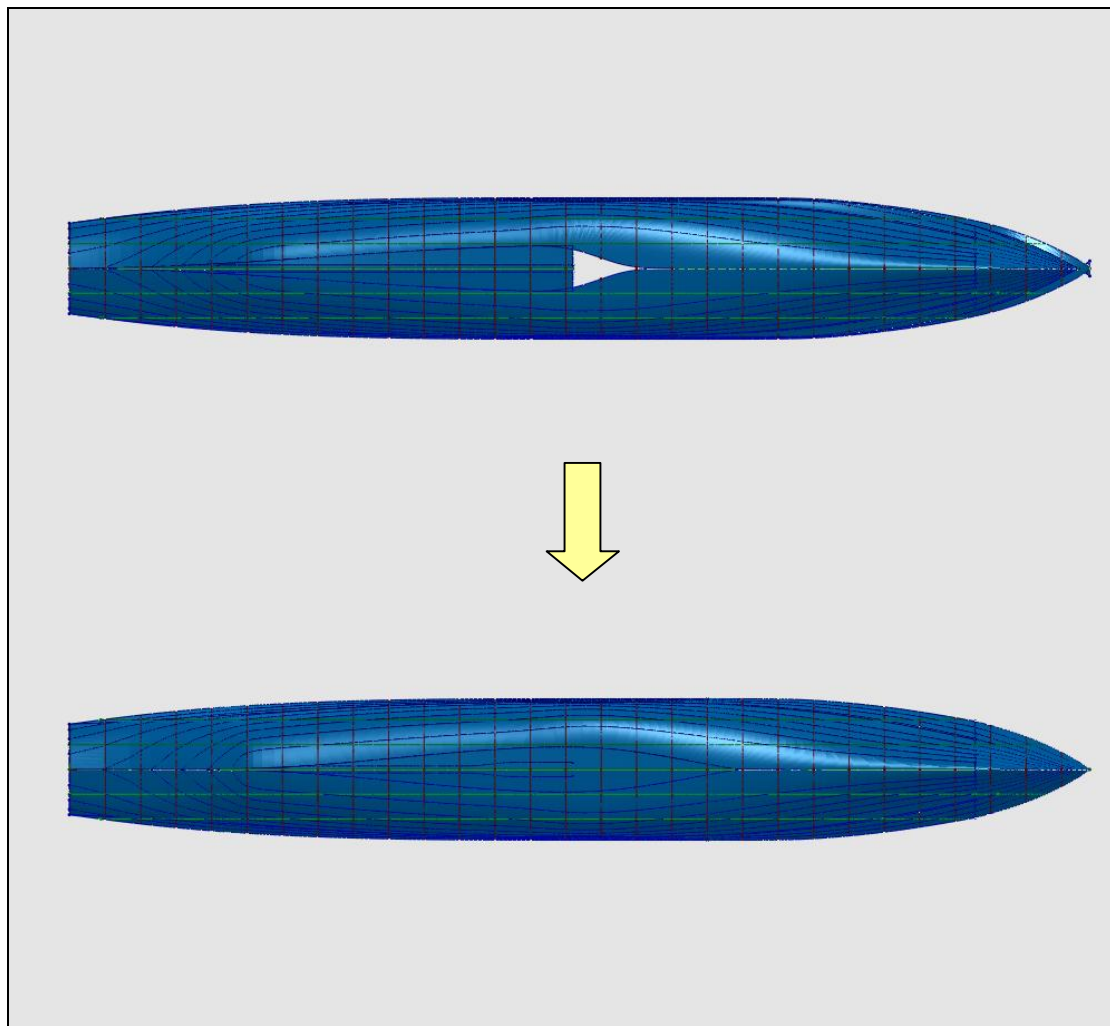


Σχήμα 5.2.15: Παράμετροι επιλογής του block FOS



Σχήμα 5.2.16: Παράμετροι επιλογής του block FOB

Οι αλλαγές μετά την προσθήκη των δύο block φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.

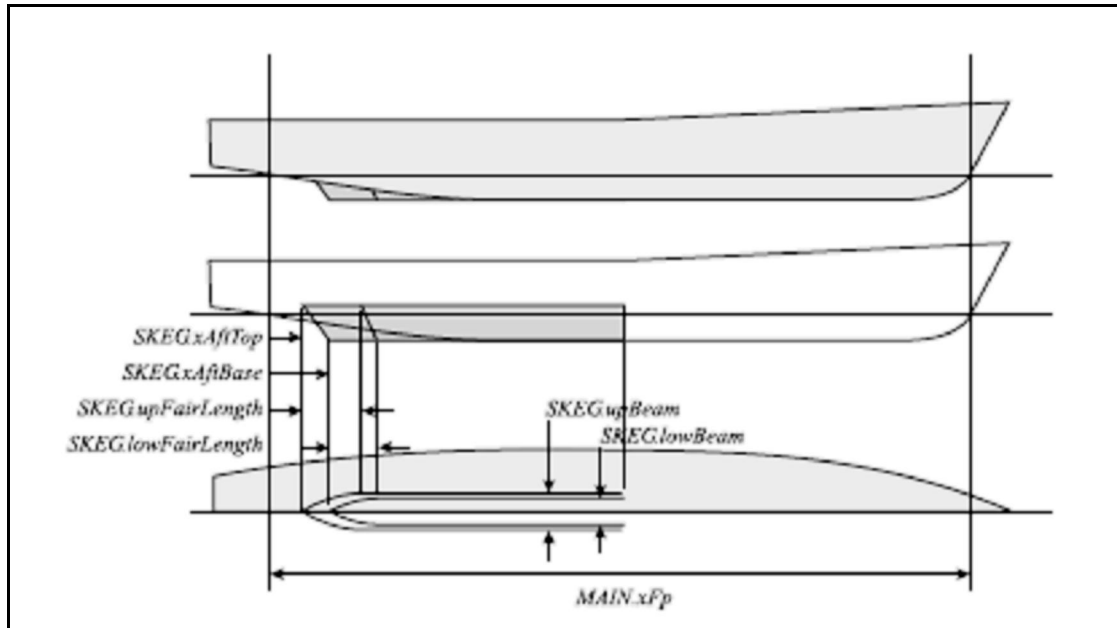


Σχήμα 5.2.17: Η γάστρα μετά την προσθήκη των blocks FOS και FOB

Όπως αναφέραμε και πιο πριν η ασυνέχεια στο Συνεχίζοντας τη μορφοποίηση της γάστρας προσθέτουμε το SKEG με το παρακάτω block. Βέβαια για να δημιουργηθεί το skeg θα πρέπει η παράμετρος CREATE.skeg να είναι ίση με 1. Πρακτικά το skeg αποτελείται από δύο γραμμές οι οποίες είναι παράλληλες με τον άξονα x και η μία είναι πάνω στην βάση του πλοίου, ενώ η άλλη είναι σε κάποιο συγκεκριμένο ύψος που ορίζουμε εμείς.

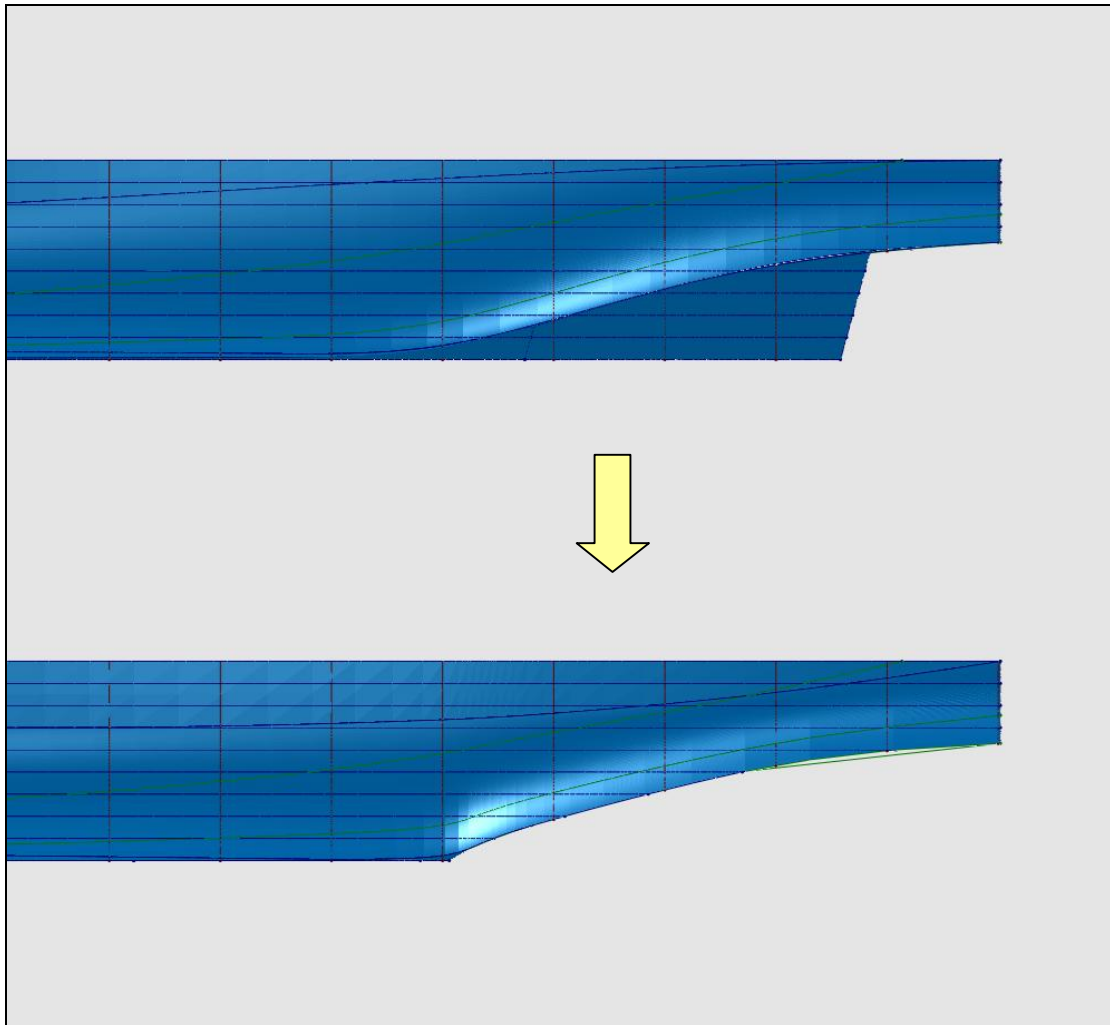
```
SKEG {  
  xAftBase  24.7  m    // Σημείο που ορίζεται το τέλος της κάτω γραμμής skeg  
  xAftTop   20.8  m    // Σημείο που ορίζεται το τέλος της πάνω γραμμής skeg  
  lowBeam   0.1   m    // Το πλάτος στο κάτω μέρος του skeg  
  upBeam    4.2   m    // Το πλάτος στο πάνω μέρος του skeg  
  zTop      -4.56 m    // Ανύψωση skeg στον άξονα z  
} // SKEG
```

Οι παράμετροι του SKEG φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 5.2.18: Παράμετροι επιλογής του block SKEG

Μετά την προσθήκη του παραπάνω block το πλοίο έχει πάρει την μορφή που φαίνεται στο σχήμα 5.2.19.



Σχήμα 5.2.19: Η γάστρα μετά την προσθήκη του block SKEG

Τα δύο επόμενα blocks είναι το SAC και το GSAC και είναι πολύ σημαντικά γιατί επηρεάζουν την γάστρα μας σε μεγάλο βαθμό. Η καμπύλη που δημιουργείται από την προσθήκη του block SAC διαφοροποιεί τους πρωραίους νομείς του πλοίου, ενώ επηρεάζει ελάχιστα τους μέσους νομείς καθώς και το πολύ πρωραίο τμήμα του πλοίου, λόγω του ότι αυτά έχουν ορισθεί κατάλληλα με άλλα blocks (MIDSEC,DWL). Αντίστοιχα η καμπύλη που δημιουργείται από την προσθήκη του block GSAC διαφοροποιεί τους πρυμναίους νομείς και μας εξυπηρετεί ιδιαίτερα στην περίπτωση που θέλουμε να τους φτιάξουμε με συγκεκριμένη κοιλότητα.

```
SAC {  
  xForFrame  0.83  MAIN.length  // Διαμήκης θέση ενός θεωρητικού νομέα  
  centroidShift 0.1  %          // Μετακίνηση του LCB  
  cpForBody   0.57  -          // Πρισματικός συντελεστής  
  caForFrame  0.42  -          // Συντελεστής επιφανείας του θεωρητικού  
                               νομέα  
  tanAtFp    2     deg         // Γωνία στην FP
```



}// SAC

GSAC {

*midsecCoeff* 1.227 - // Συντελεστής επιφανείας στο σημείο ένωσης  
με το μέσο νομέα

*transecCoeff* 0.26 - // Συντελεστής επιφανείας στην πρύμνη

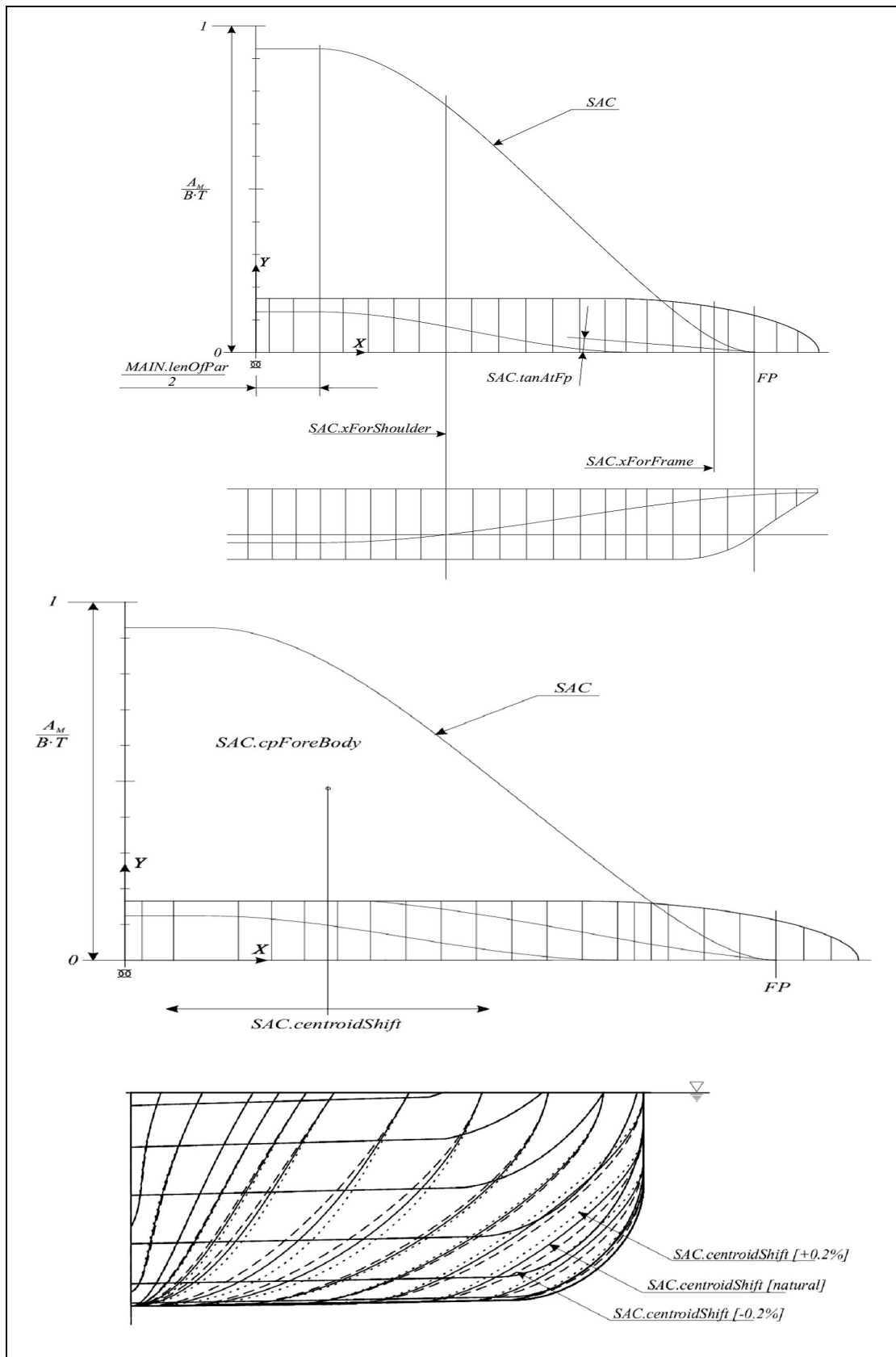
*areaCoeff* 0.726 - // Συντελεστής επιφανείας της καμπύλης

*xcbAft* 42.40 m // Θεωρητική θέση του LCB για την GSAC

*tanAtTransec* 20 deg // Γωνία της GSAC στην πρύμνη

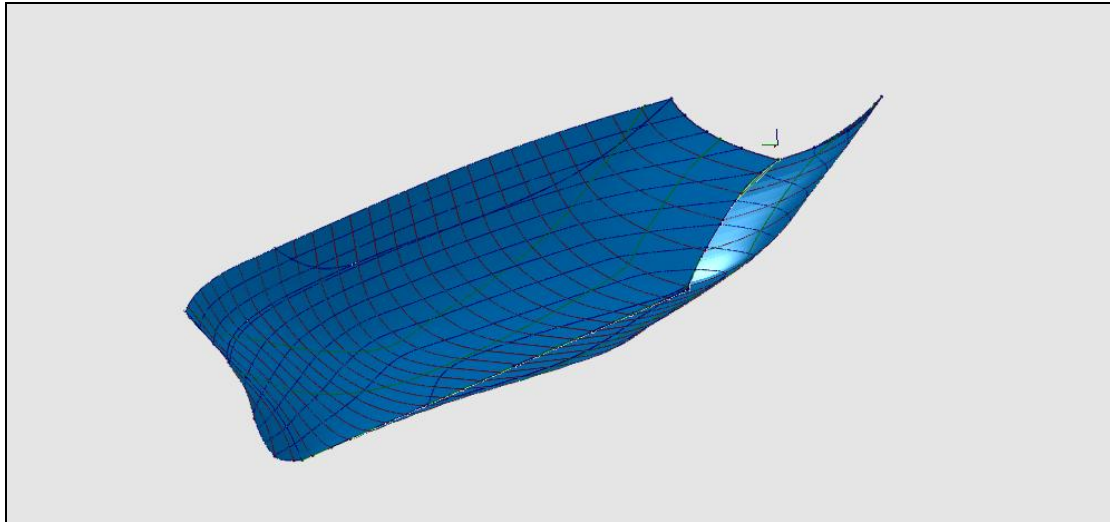
}// GSAC

Οι παράμετροι της καμπύλης SAC φαίνονται στο σχήμα 5.2.20. Αντίστοιχα ισχύουν και για την καμπύλη GSAC.



Σχήμα 5.2.20: Παράμετροι επιλογής του block SAC

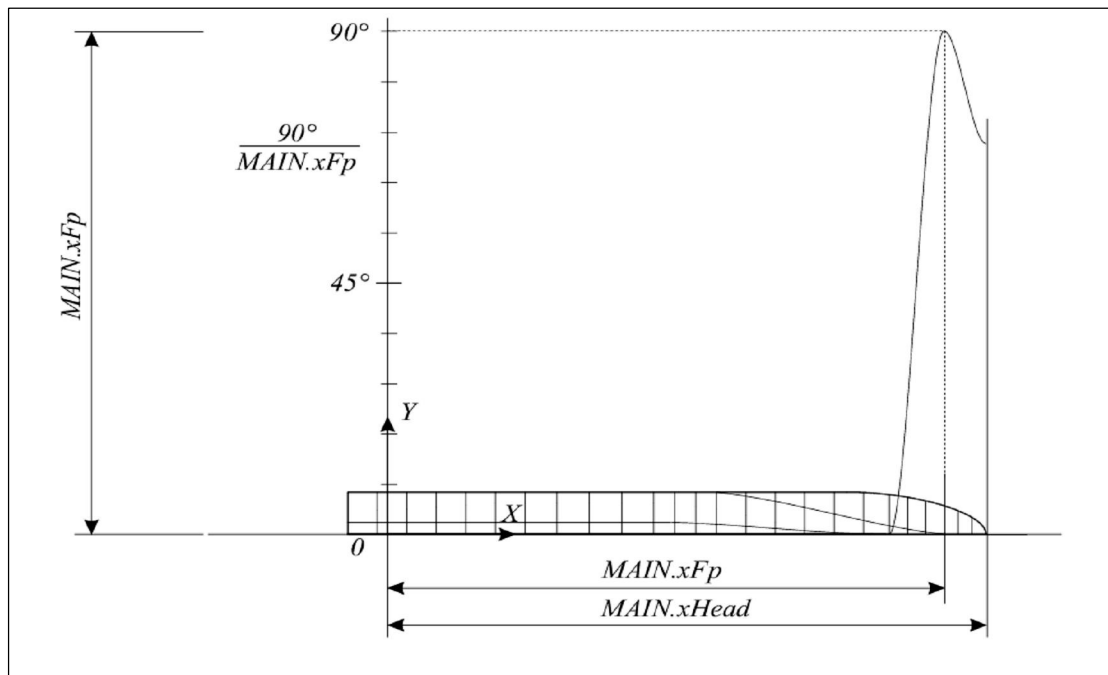
Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι την παράμετρο SAC.centroidShift πρέπει να την μεταβάλλουμε με πολύ προσοχή και με μικρές διαφοροποιήσεις λόγω του ότι μεταβάλλει πολύ την γεωμετρία των πρωραίων νομέων. Επίσης οι παράμετροι GSAC.midsecCoeff και GSAC.xcbAft πρέπει και αυτοί να μεταβάλλονται με προσοχή λόγω του ότι η μεν πρώτη μπορεί να δημιουργήσει ασυνέχεια στο μέσο νομέα, η δε δεύτερη μπορεί να παραμορφώσει ολόκληρο το πρυμναίο τμήμα του πλοίου με μικρές μόνο αλλαγές. Μετά την προσθήκη των παραπάνω blocks η γάστρα μάς έχει διαμορφωθεί ως εξής:



Σχήμα 5.2.21: Η γάστρα μετά την προσθήκη των blocks SAC και GSAC

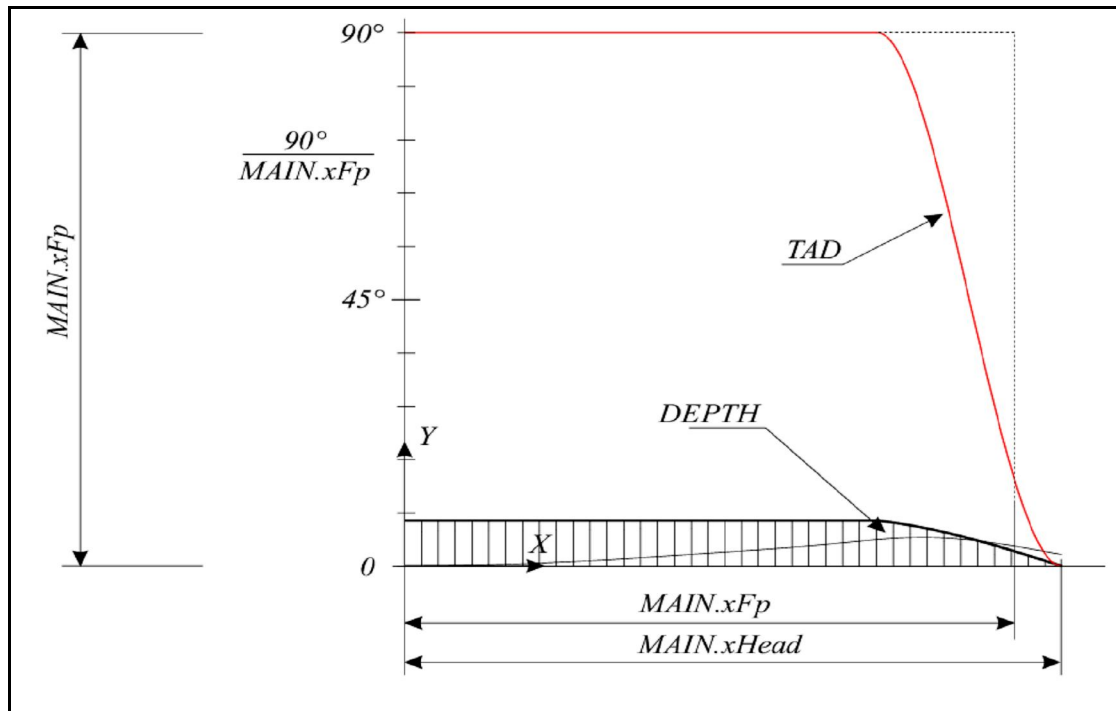
Τελειώνοντας την μορφοποίηση προσθέτουμε τα block TACPC, TAD και TADWL. Και στα τρία από αυτά ορίζονται κυρίως εφαπτόμενες γωνιών που σχετίζονται με την center plane curve (TACPC), την deck (TAD) και την design water line (TADWL).

```
TACPC {  
  tanAtBow 60 deg // Γωνία πρώρας  
  tanAtForBase25 deg // Η γωνία στο σημείο που η CPC αφήνει τη  
  βάση  
  forFramePos 0.9 MAIN.length // Σημείο που ορίζεται η atForFrame  
  dTanAtMidSec20 deg // Η γωνία εφαπτομένης στο μέσο νομέα  
  atAftFrame 28 deg // Η γωνία εφαπτομένης στο νομέα που  
  ορίζεται από την atFramePos  
  aftFramePos 24 m // Σημείο που ορίζεται η atAftFrame  
  xAftBase 56 m // Σημείο που ορίζεται η γωνία ανύψωσης  
  πυθμένα της FOS  
} // TACPC
```



Σχήμα 5.2.22: Παράμετροι επιλογής του block TACPC

```
TAD {
  forFramePos 0.9   MAIN.length // Σημείο που ορίζεται η AtForFrame
  atForFrame 60    deg         // Γωνία εφαπτομένης του καταστρώματος
  tanAtBow 45     deg         // Γωνία εφαπτομένης πλώρας
  dTanAtBow 10    deg         // Γωνία εφαπτομένης της πλώρας με το
                               κατάστρωμα
} // TAD
```



Σχήμα 5.2.23: Παράμετροι επιλογής του block TAD

```
TADWL {  
  dTanAtBow 45 deg //Γωνία εφαπτομένης στην πλώρα  
} //TADWL
```

Μετά την προσθήκη των τριών παραπάνω blocks το πλοίο έχει πάρει πλέον την τελική του μορφή η οποία φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 5.2.19: Η μοντελοποιημένη γάστρα

## 6 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΓΑΣΤΡΑΣ

### 6.1 Γενικά

Τα πλοία επιφανείας είναι μια ειδική κατηγορία πολεμικών πλοίων, περίπλοκα και με πολλαπλές λειτουργίες, γι' αυτό και ο σχεδιασμός τους απαιτεί πολλές μεταβλητές σχεδίασης και ένα μεγάλο αριθμό περιορισμών. Κάτω από αυτές τις συνθήκες η εύρεση μιας μαθηματικά βέλτιστης λύσης για την επίλυση του προβλήματος σχεδιασμού του πλοίου γίνεται πολύ δύσκολη.

Στον αντίποδα, οι σύγχρονες εξελίξεις στις τεχνικές σχεδίασης και η ανάπτυξη του κλάδου των ηλεκτρονικών υπολογιστών επέτρεψε την εισαγωγή μίας μεγάλης κλίμακας εργαλείων σχεδίασης. Λόγω του ότι υπάρχουν πολύ λίγα στοιχεία για τη μαθηματική συμπεριφορά των δεδομένων ενός προβλήματος, πρέπει να τηρηθούν κάποιοι περιορισμοί και να ικανοποιηθούν κάποια κριτήρια. Η παρουσία πολλαπλών και πολλές φορές αντίθετων στόχων, ο μεγάλος και περίπλοκος χώρος λύσεων και τα σύνθετα χαρακτηριστικά των αντικειμενικών συναρτήσεων, ανάγκασαν τη χρήση διαδικασιών στοχαστικής βελτιστοποίησης, όπως είναι και οι εξελικτικοί αλγόριθμοι (Evolution Algorithms).

### 6.2 Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (Evolution Algorithms)

Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι είναι ευρέως διαδεδομένοι στον σχεδιασμό και στην βελτιστοποίηση μηχανολογικών συστημάτων. Παρ' όλη την αυτοδυναμία τους και την συνεργασία τους με άλλα προγράμματα σχεδίασης τα πλεονεκτήματά τους αυτά επισκιάζονται από το υψηλό υπολογιστικό κόστος. Σε πολλούς επιστημονικούς τομείς, στους οποίους παίζει σημαντικό ρόλο η ταχύτητα επεξεργασίας, αυτό το ελάττωμα είναι και ο κύριος λόγος της μη γρήγορης εξάπλωσης των εξελικτικών αλγόριθμων.

Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι έχουν ως εννοιολογική βάση την προσομοίωση της εξέλιξης ενός πληθυσμού (population) εφικτών σημείων, μέσω υπολογιστικών διαδικασιών εμπνευσμένων από τη φυσική επιλογή και την αναπαραγωγή. Έτσι σε κάθε άτομο (individual) αντιστοιχεί μια εφικτή λύση. Μέτρο της ποιότητας κάθε ατόμου είναι ο βαθμός καταλληλότητας (fitness rate), που αποτιμάται με βάση την τιμή της συνάρτησης και ορίζει μια αντίστοιχη πιθανότητα επιβίωσης. Η εξέλιξη πραγματοποιείται σε στάδια, που καλούνται γενιές (generations). Κάθε νέα λύση καλείται απόγονος (offspring), και γεννάται είτε με διασταύρωση (crossover) δύο ή περισσότερων γονέων του, είτε μέσω μετάλλαξης (mutation). Η διαδικασία εξασφαλίζει βελτίωση της μέσης ποιότητας του πληθυσμού σε κάθε γενιά, άρα και ασυμπτωτική σύγκλιση στο ολικό ακρότατο.

Οι δύο πιο γνωστοί τύποι των εξελικτικών αλγόριθμων (EA) που χρησιμοποιούνται είναι οι γενετικοί αλγόριθμοι (GA) και οι στρατηγικές εξέλιξης (ES).

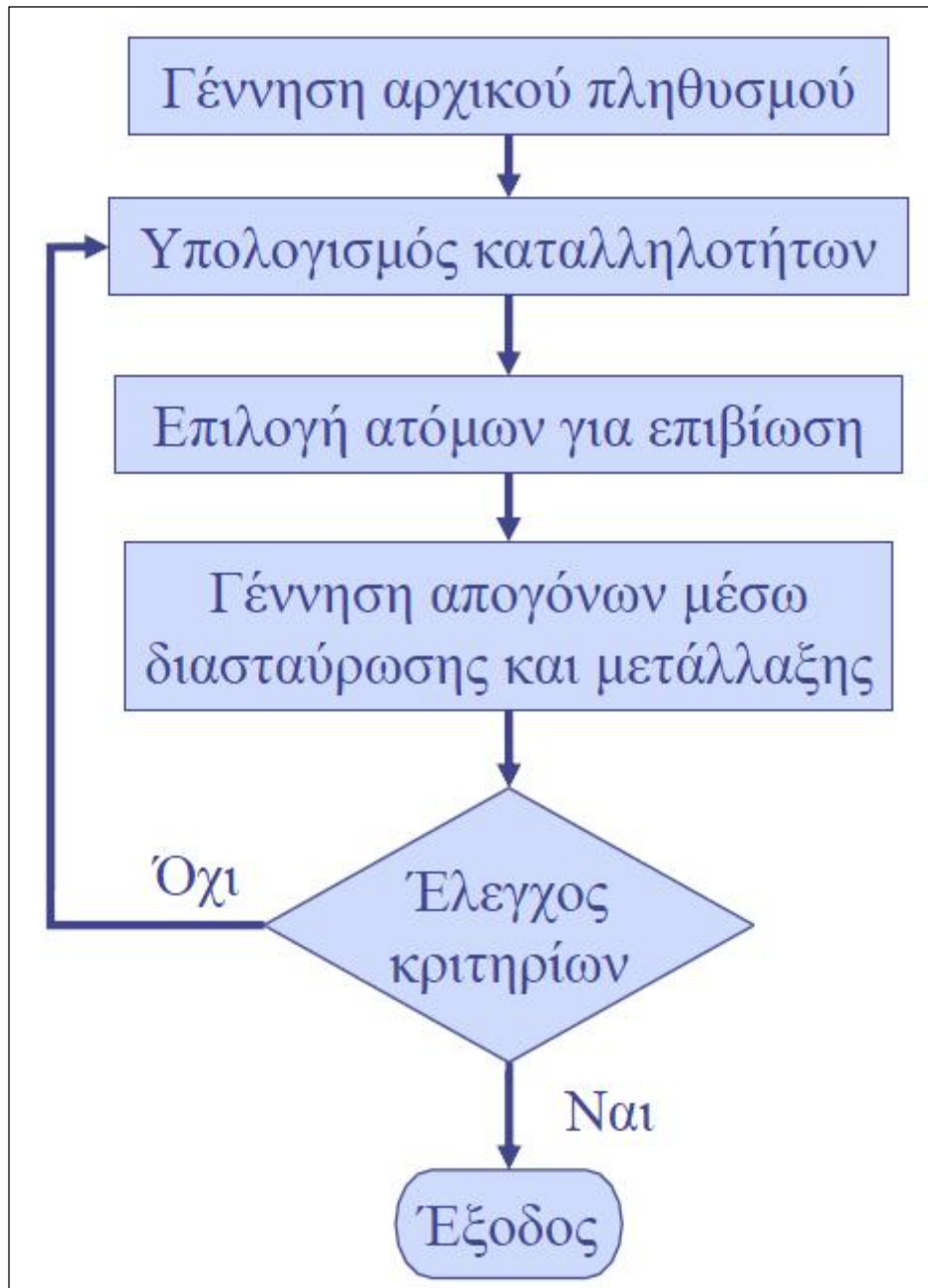
### 6.2.1 Γενετικοί Αλγόριθμοι (Genetic Algorithms)

Οι γενετικοί αλγόριθμοι αναπτύχθηκαν στις ΗΠΑ, στις αρχές της δεκαετίας του 1970. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η κωδικοποιημένη, συνήθως δυαδική, αναπαράσταση των μεταβλητών ελέγχου. Η κύρια διαδικασία παραγωγής νέων λύσεων είναι η διασταύρωση. Σε κάθε γενιά, τα ισχυρότερα άτομα έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα επιβίωσης.

Η ανάπτυξη των γενετικών αλγόριθμων προήλθε από την ανάγκη για δημιουργία αλγόριθμων οι οποίοι δε θα σταμάταγαν σε τοπικά ακρότατα αλλά θα επαναλάμβαναν την διαδικασία μέχρι την εύρεση της μέγιστης/ελάχιστης λύσης.

Στους γενετικούς αλγόριθμους ο αρχικός πληθυσμός παράγεται με τυχαία δειγματοληψία, ενώ οι επόμενες γενιές παράγονται με εφαρμογή των λεγόμενων γενετικών τελεστών (genetic operators). Το μέγεθος του πληθυσμού αυτού ορίζεται από τον χρήστη και διατηρείται σταθερό κατά τη διάρκεια της υπολογιστικής διαδικασίας. Ο αλγόριθμος εξελίσσει τον πληθυσμό εφαρμόζοντας σ' αυτόν διάφορες γενετικές διαδικασίες, όπως διαδικασίες επιλογής, αναπαραγωγής και μετάλλαξης. Μέσω του τελεστή επιλογής (selection), καθορίζονται οι ευκαιρίες αναπαραγωγής κάθε ατόμου, αντιστοιχώντας έτσι σε κάθε μέλος του πληθυσμού μια συγκεκριμένη πιθανότητα επιβίωσης. Η διαδικασία αυτή αποσκοπεί στη βελτίωση των μέσων γενετικών χαρακτηριστικών του πληθυσμού, παρέχοντας στα ικανά άτομα μεγαλύτερη πιθανότητα επιβίωσης στην επόμενη γενιά. Σε κάθε γενιά δημιουργείται μια δεξαμενή ζευγαρώματος (mating pool), που περιέχει ένα ή περισσότερα αντίγραφα ατόμων από τον πληθυσμό. Από εκεί επιλέγονται τυχαία τα άτομα-γονείς που, μέσω του τελεστή διασταύρωσης (crossover), ανταλλάσσουν τη γενετική τους πληροφορία, με σκοπό την παραγωγή στατιστικά ισχυρότερων απογόνων. Ο τελεστής μετάλλαξης (mutation) επιφέρει τυχαίες τροποποιήσεις στα γενετικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού, με μικρή συχνότητα. Με τη μετάλλαξη επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ποικιλία λύσεων και διαφυγή από τοπικά ακρότατα. Η δημιουργία νέου πληθυσμού από τις παραπάνω διαδικασίες αντικαθιστά τον προηγούμενο, επιλέγοντας όμως τα καταλληλότερα μέλη από τον προηγούμενο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για προκαθορισμένο αριθμό γενεών ή τερματίζεται εφόσον ικανοποιούνται ορισμένα κριτήρια σύγκλισης (βλέπε σχήμα 6.2.1).





Σχήμα 6.2.1: Διάγραμμα ροής

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι οι γενετικοί αλγόριθμοι δουλεύουν με μια κωδικοποίηση του συνόλου τιμών που μπορούν να λάβουν οι μεταβλητές και όχι με τις ίδιες τις μεταβλητές του προβλήματος. Επίσης κάνουν αναζήτηση σε πολλά σημεία ταυτόχρονα και όχι μόνο σε ένα. Χρησιμοποιούν μόνο την αντικειμενική συνάρτηση και πιθανοθεωρητικούς κανόνες μετάβασης σε αντίθεση με τους παραδοσιακούς αλγόριθμους που χρησιμοποιούν ντετερμινιστικούς.

Υπάρχουν πολλοί λόγοι για την ραγδαία εξάπλωση των γενετικών αλγορίθμων σε πολλά πεδία εφαρμογών. Οι πιο σημαντικοί από αυτούς είναι οι εξής:

1. Είναι δυνατοί και μπορούν να βρουν βέλτιστη λύση, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να παγιδευτούν σε τοπικά ακρότατα.
2. Μπορούν άμεσα να ενσωματώσουν οποιαδήποτε υπάρχουσα λύση.
3. Μπορούν να χειρίζονται είτε μονό-κριτηριακά είτε πολύ-κριτηριακά προβλήματα.
4. Μπορούν να επιλύουν δύσκολα προβλήματα γρήγορα και αξιόπιστα.
5. Μπορούν εύκολα να συνεργαστούν με τα υπάρχοντα μοντέλα και συστήματα.
6. Μπορούν να συμμετέχουν σε υβριδικές μορφές με άλλες μεθόδους.
7. Δεν απαιτούν περιορισμούς στις συναρτήσεις που επεξεργάζονται.
8. Είναι μία μέθοδος που κάνει ταυτόχρονα εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης και εκμετάλλευση της ήδη επεξεργασμένης πληροφορίας.
9. Μπορούν εύκολα να παραλληλιστούν, έτσι ώστε διαφορετικά μέλη του παρόντος πληθυσμού (population), να τρέχουν παράλληλα σε διαφορετικούς υπολογιστές.

### 6.2.2 Εξελικτικές Στρατηγικές (Evolutionary Strategies)

Οι εξελικτικές στρατηγικές (evolutionary strategies) αναπτύχθηκαν στη Γερμανία, κατά τη δεκαετία του 1960. Η κύρια διαδικασία παραγωγής νέων λύσεων είναι η μετάλλαξη, με τη μορφή τυχαίων διαταραχών, με μέση τιμή μηδέν. Σε κάθε γενιά επιβιώνουν τα ισχυρότερα άτομα από το σύνολο των γονέων και απογόνων τους. Για τις εξελικτικές στρατηγικές, η αναπαράσταση των ατόμων συχνά είναι πολύ κοντά στην φυσική αναπαράσταση του προβλήματος και δεν δίνουν έμφαση στη γενετική αναπαράσταση. Συνήθως χρησιμοποιούν ένα καθοριστικό τύπο επιλογής, διακριτό ή ενδιάμεσο ανασυνδυασμό. Ο όρος διασταύρωση σπάνια χρησιμοποιείται γιατί οι εξελικτικές στρατηγικές δεν προσομοιώνουν την εξέλιξη σε γενετικό επίπεδο. Η μετάλλαξη στις εξελικτικές στρατηγικές συχνά εφαρμόζεται προσθέτοντας ένα τυχαίο αριθμό στο γονέα.

Η διαφορά τους με τους γενετικούς αλγόριθμους έγκειται στο λόγο για τον οποίο αναπτύχθηκαν. Οι γενετικοί αλγόριθμοι σχεδιάστηκαν για να λύνουν διακριτά ή ακέραια προβλήματα βελτιστοποίησης, ενώ οι εξελικτικές στρατηγικές σχεδιάστηκαν για προβλήματα βελτιστοποίησης συνεχών μεταβλητών, σε συνδυασμό με εργαστηριακά πειράματα.

### 6.2.3 Πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση με γενετικούς αλγόριθμους

Η πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση με την βοήθεια γενετικών αλγορίθμων, χρησιμοποιείται κυρίως για την εύρεση σχεδιαστικών παραμέτρων του πλοίου, βασισμένες στο κόστος κύκλου ζωής και στην αποτελεσματικότητα να φέρνει σε πέρας αποστολές. Υπάρχουν πολλές δυνατότητες για την τελική επιλογή του συστήματος μάχης, του προωστήριου σκεύους, του σχήματος της γάστρας, της

επάνδρωσης και της αντοχής του πλοίου. Τα κρίσιμα χαρακτηριστικά που μας ενδιαφέρουν στην παρούσα διπλωματική εργασία και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε κάθε σχεδίαση είναι η επιχειρησιακή υποστήριξη ελικοπτέρου κατά τη διάρκεια αποστολών και η άνεση του πληρώματος. Αυτά τα χαρακτηριστικά δεν μπορούν να συνδυαστούν σε μία μόνο παράμετρο. Πρέπει να υπολογίζονται ξεχωριστά μεν, αλλά ταυτόχρονα λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση του ενός στο άλλο. Βέβαια αυτοί είναι θεωρητικοί στόχοι και είναι δύσκολο να μετρηθούν ποσοτικά.

Το σημαντικό στην περίπτωση της πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης με γενετικούς αλγορίθμους είναι ότι διατηρούνται οι υπολογιστικές διαδικασίες που αναφέρονται στη γέννηση του αρχικού πληθυσμού, την κωδικοποίηση των μεταβλητών και την παραγωγή νέων λύσεων (διασταύρωση, μετάλλαξη), ενώ τροποποιείται η διαδικασία επιλογής.

Οι τρόποι προσδιορισμού της καλύτερα συμβιβαστικής λύσης ενός πολυκριτηριακού προβλήματος βελτιστοποίησης είναι οι εξής:

1. Επιλογή πριν την αναζήτηση: Τα επιμέρους κριτήρια σταθμίζονται σε μια ενιαία αριθμητική έκφραση που συνιστά την αντικειμενική συνάρτηση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης. Συνεπώς, η βέλτιστη λύση του βαθμωτού προβλήματος, ταυτίζεται με την καλύτερα συμβιβαστική λύση του πολυκριτηριακού.
2. Επιλογή μετά την αναζήτηση: Διατυπώνεται μια διανυσματική αντικειμενική συνάρτηση, συνιστώσες της οποίας είναι τα επιμέρους κριτήρια, και επιλύεται το πολυκριτηριακό πρόβλημα για τον εντοπισμό του συνόλου των μη κατωτέρων λύσεων. Στη συνέχεια, επιλέγεται μία εξ αυτών, με βάση την υποκειμενική κρίση του αναλυτή.
3. Επιλογή κατά την αναζήτηση: Η βελτιστοποίηση γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να ενημερώνεται ο αναλυτής για την εξέλιξη της διαδικασίας αναζήτησης και να παρεμβαίνει σε αυτή. Αξιολογώντας τα επίκαιρα αποτελέσματα, ο αναλυτής μπορεί να αναπροσαρμόσει τις προτιμήσεις του ή και να ενσωματώσει νέα κριτήρια, καθοδηγώντας τη διαδικασία αναζήτησης προς την επιθυμητή γι' αυτόν κατεύθυνση.

#### **6.2.4 Αντικειμενικοί στόχοι**

Το πρόβλημα της βελτιστοποίησης και από ποια σκοπιά θα προσεγγιστεί έχει να κάνει γενικά με τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη. Δηλαδή, το αν μας ενδιαφέρει η μέγιστη ταχύτητα του σκάφους, ή η ακτίνα ενεργείας, ή η ικανότητα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων έχει να κάνει καθαρά με το προορισμό του σκάφους, λαμβάνοντας πάντα υπόψη και τους περιορισμούς που τυχόν υπάρχουν.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα προσπαθήσουμε να μειώσουμε την κατακόρυφη ταχύτητα στο κατάστρωμα ελικοδρομίου και την κατακόρυφη

επιτάχυνση στο κατάστρωμα γεφύρας της φρεγάτας της οποίας την γάστρα αναπαραστήσαμε γραφικά προηγουμένως. Βέβαια την περίπτωση μας ο στόχος έχει να κάνει και με την αποστολή του πλοίου και τις προτεραιότητες που θέτει ο εκάστοτε κρατικός οργανισμός. Έτσι στην παρούσα φάση θέλουμε να αυξήσουμε την επιχειρησιακή ετοιμότητα και την ασφάλεια του πλοίου, κατά την απονήωση και προσνήωση ελικοπτέρου, αλλά και να εξετάσουμε την καλή συμπεριφορά σε κυματισμούς με αντίκτυπο στην άνεση των επιβατών.

Όλα αυτά βέβαια θα γίνουν αφού ορίσουμε τα κριτήρια που θέλουμε να εξετάσουμε και αφού βάλουμε τις μεταβλητές σχεδίασης.

### 6.2.5 Αριθμός κριτηρίων

Ο αριθμός κριτηρίων εξαρτάται απόλυτα και με το στόχο που έχουμε θέσει, όπως αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο. Βέβαια τα καθαρά μονοκριτηριακά προβλήματα δεν είναι εύκολο να τα συναντήσουμε μιας και στις περισσότερες περιπτώσεις αυτό που θέλουμε να πετύχουμε δεν είναι απλά η ελαχιστοποίηση ή μεγιστοποίηση μιας μεταβλητής, αλλά περισσότερων.

Βέβαια, στο τέλος του προβλήματος και αφού έχουμε πάρει ένα σετ σχεδιάσεων με πιθανές λύσεις, πρέπει να κάνουμε απαλοιφή των κακών σχεδιάσεων και να διατηρήσουμε αυτές που μας ενδιαφέρουν.

Αναλυτικότερα οι περιπτώσεις που θα εξετάσουμε είναι:

- I. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης ταχύτητας ελικοδρομίου (-55.6, 0, 4,.57) για γωνία πρόσπτωσης κύματος  $0^\circ$  (πρυμνιοί) και ταχύτητα 20 κόμβων (20kn).
- II. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης ταχύτητας ελικοδρομίου (-55.6, 0, 4,.57) για γωνία πρόσπτωσης κύματος  $30^\circ$  και ταχύτητα 20 κόμβων (20kn).
- III. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης ταχύτητας ελικοδρομίου (-55.6, 0, 4,.57) και κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας (11.2, 0, 7.62) για γωνία πρόσπτωσης κύματος  $0^\circ$  (πρυμνιοί) και ταχύτητα 20 κόμβων (20kn).
- IV. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης ταχύτητας ελικοδρομίου (-55.6, 0, 4,.57) και κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας (11.2, 0, 7.62) για γωνία πρόσπτωσης κύματος  $30^\circ$  και ταχύτητα 20 κόμβων (20kn).
- V. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας (11.2, 0, 7.62) για γωνία πρόσπτωσης κύματος  $150^\circ$  και ταχύτητα 20 κόμβων (20kn).
- VI. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας (11.2, 0, 7.62) για γωνία πρόσπτωσης κύματος  $180^\circ$  (μετωπικοί) και ταχύτητα 20 κόμβων (20kn).

Στη συνέχεια θα δοκιμάσουμε τις ίδιες περιπτώσεις με τις παραπάνω αλλά για διαφορετικές ταχύτητες. Αναλυτικότερα θα εξετάσουμε:

- i. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης ταχύτητας ελικοδρομίου (-55.6, 0, 4,.57) για γωνία πρόσπτωσης κύματος  $0^\circ$  (πρυμνιοί) και ταχύτητα 10 κόμβων (10kn).

- ii. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης ταχύτητας ελικοδρομίου (-55.6, 0, 4,.57) για γωνία πρόσπτωσης κύματος  $30^\circ$  και ταχύτητα 10 κόμβων (10kn).
- iii. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης ταχύτητας ελικοδρομίου (-55.6, 0, 4,.57) και κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας (11.2, 0, 7.62) για γωνία πρόσπτωσης κύματος  $0^\circ$  (πρυμνιοί) και ταχύτητα 10 κόμβων (10kn).
- iv. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης ταχύτητας ελικοδρομίου (-55.6, 0, 4,.57) και κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας (11.2, 0, 7.62) για γωνία πρόσπτωσης κύματος  $30^\circ$  και ταχύτητα 10 κόμβων (10kn).
- v. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας (11.2, 0, 7.62) για γωνία πρόσπτωσης κύματος  $150^\circ$  και ταχύτητα 30 κόμβων (30kn).
- vi. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας (11.2, 0, 7.62) για γωνία πρόσπτωσης κύματος  $180^\circ$  (μετωπικοί) και ταχύτητα 30 κόμβων (30kn).

### 6.2.6 Περιορισμοί

Στα προβλήματα βελτιστοποίησης δεν είναι οι μεταβλητές ορισμένες με τυχαίο τρόπο. Σε πολλές περιπτώσεις πρέπει να μπουν περιορισμοί είτε επειδή ο στόχος μας είναι συγκεκριμένος και δεν θέλουμε να πειράξουμε τη γενική μορφή της γάστρας, είτε γιατί η συνάρτηση που θέλουμε να βελτιστοποιήσουμε είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με άλλες μεταβλητές οι οποίες αλλάζουν ριζικά την μορφή του πλοίου με τρόπο που δεν θέλουμε. Γι' αυτό το λόγο προσέχουμε πάντα οι μεταβλητές σχεδίασης, ο σκελετός του πλοίου και το βύθισμα να διατηρούνται σταθερά. Συγκεκριμένα στο πρόβλημα μας διατηρούμε σταθερά τα παρακάτω μεγέθη καθ' όλη τη διάρκεια της βελτιστοποίησης.:

LBP	142m
Bmax	20m
T	6.16m
$-1\% \nabla < \nabla < +1\% \nabla$ $8190.953 < \nabla < 8356.426$	

### 6.2.7 Μεταβλητές σχεδίασης

Ο ορισμός των μεταβλητών σχεδίασης σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης είναι ένα από τα πιο σημαντικά θέματα. Θα πρέπει να επιλέξουμε τον κατάλληλο αριθμό, αλλά και τις κατάλληλες μεταβλητές άμα θέλουμε η αναζήτηση μας να έχει αποτέλεσμα. Ο λόγος είναι προφανής μιας και αν διαλέξουμε μεταβλητές χωρίς

πρώτα να εξετάσουμε αν είναι οι ιδανικές, μπορεί να μη καταφέρουμε ποτέ να πετύχουμε κριτήριο σύγκλησης, ή ακόμα χειρότερα να μη πετύχουμε κανένα καλό σχεδιαστικό αποτέλεσμα. Θα πρέπει γενικά, ο αριθμός των μεταβλητών σχεδίασης να είναι όσο το δυνατό μικρότερος αφού με αυτόν τον τρόπο θα αποφύγουμε τα χρονοβόρα πειράματα καθώς και τα μεγάλου βαθμού δυσκολίας λόγω περιπλοκότητας. Σημαντικό ρόλο παίζει και ο σχεδιαστής ο οποίος με την εμπειρία του μπορεί να βοηθήσει στο να αποφευχθούν άσκοπες δοκιμές, οι οποίες στην περίπτωση που δεν υπάρχει προηγούμενη εμπειρία είναι απαραίτητες.

Στο πρόβλημα μας οι μεταβλητές σχεδίασης και τα όρια στα οποία κυμαίνονται φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Κατακόρυφη Ταχύτητα Ελικοδρομίου για γωνίες 0°, 30° → 20kn, 10kn				
Παράμετρος	Αντικειμενική	Μονάδα	Φάσμα	% Απόκλιση
GSACareaCoeff	0.726	-	0.7 – 0.75	-4% έως 3%
GSACxcbAft	42.4	-	41.5 – 45	-2% έως 6%
TRANSECdraft	0.88	m	0.6 – 1.2	-32% έως 36%
TRANSEctanAtCpc	15	deg	10 – 25	-33% έως 133%
TRANSECbeamAtDec	0.64	MAIN.beam	0.5 – 0.8	-22% έως 25%
Επιτάχυνση Καταστρώματος Γεφύρας για γωνίες 150°, 180° → 20kn, 10kn				
SACcpForBody	0.57	-	0.5 – 0.67	-12% έως 18%
SACcaForFrame	0.42	-	0.36 – 0.45	-14% έως 7%
DWLtanAtBow	20	deg	15 – 25	-25% έως 25%
DWLareaCoeff	0.735	-	0.65 – 0.78	-12% έως 6%
FOSforEnd	90	m	80 – 100	-11% έως 11%
FOSanAtBow	20	deg	10 – 30	-50% έως 50%
Κατακόρυφη Ταχύτητα Ελικοδρομίου & Επιτάχυνση Καταστρώματος Γεφύρας για γωνίες 0°, 30° → 20kn, 30kn				
SACcpForBody	0.57	-	0.5 – 0.67	-12% έως 18%
SACcaForFrame	0.42	-	0.36 – 0.45	-14% έως 7%
GSACareaCoeff	0.726	-	0.7 – 0.75	-4% έως 3%
GSACxcbAft	42.4	-	41.5 – 45	-2% έως 6%
TRANSECdraft	0.88	m	0.6 – 1.2	-32% έως 36%
TRANSEctanAtCpc	15	deg	10 – 25	-33% έως 133%
TRANSECbeamAtDec	0.64	MAIN.beam	0.5 – 0.8	-22% έως 25%
DWLtanAtBow	20	deg	15 – 25	-25% έως 25%
DWLareaCoeff	0.735	-	0.65 – 0.78	-12% έως 6%

FOSforEnd	90	m	80 – 100	-11% έως 11%
FOSatBow	20	deg	10 – 30	-50% έως 50%

### 6.3 Ανάλυση διαδικασίας βελτιστοποίησης

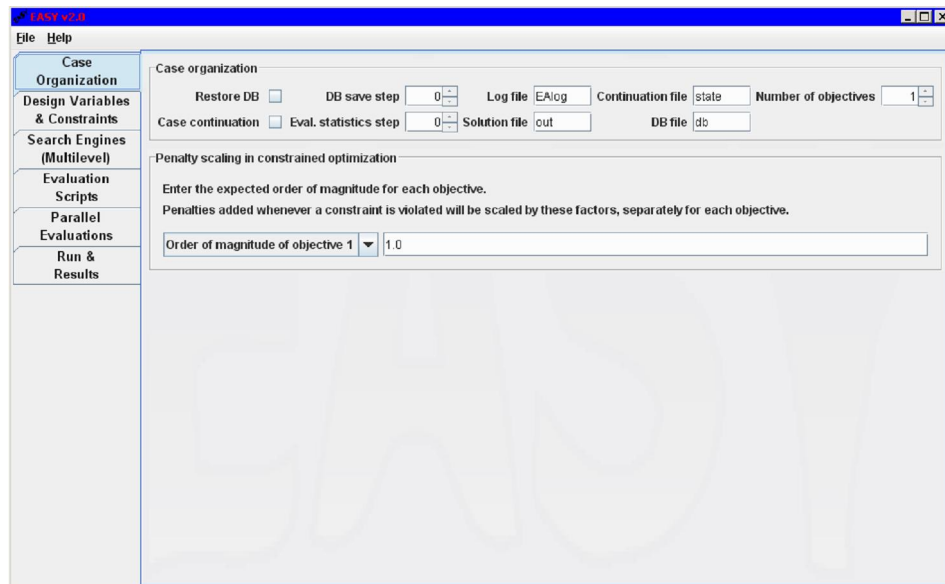
Η βελτιστοποίηση των κινήσεων της φρεγάτας που προαναφέραμε θα γίνει με το λογισμικό πακέτο EASY. Το EASY είναι ένα πρόγραμμα βελτιστοποίησης αυθαίρετα ορισμένων προβλημάτων. Είναι υπευθυνότητα του χρήστη να θέσει ακριβώς το πρόβλημα και να επιλέξει σωστά τις παραμέτρους τις εξέλιξης. Προϋπόθεση για την επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος βελτιστοποίησης με τη χρήση του EASY είναι η ύπαρξη ενός προγράμματος ανάλυσης αποτιμώντας την λύση του προβλήματος και ποσοτικοποιώντας τις αντικειμενικές συναρτήσεις ή τις σταθερές τιμές.

Το πρόγραμμα αυτό στην περίπτωση μας είναι το “task.bat”, το οποίο καλεί μία σειρά άλλων προγραμμάτων με τελικό σκοπό τη δημιουργία ενός αρχείου “task.res” το οποίο θα περιέχει τον αντικειμενικό στόχο μας. Επίσης απαραίτητο για την λειτουργία του “task.bat” είναι το αρχείο “task.dat” το οποίο περιέχει N+1 γραμμές, με ένα νούμερο ανά γραμμή, όπου N ο αριθμός των μεταβλητών βελτιστοποίησης. Το αρχείο “task.dat” το χρησιμοποιεί και το EASY μιας και εκεί γράφει μετά από κάθε κύκλο εκτέλεσης του τις νέες τιμές για τις μεταβλητές μας. Τέλος σημαντικό είναι η σειρά των κριτηρίων να παραμένει η ίδια στο αρχείο “task.res” κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του EASY.

Αφού έχουμε ετοιμάσει τα παραπάνω αρχεία το επόμενο βήμα είναι να κάνουμε και τις κατάλληλες ρυθμίσεις για την βελτιστοποίηση στο EASY.

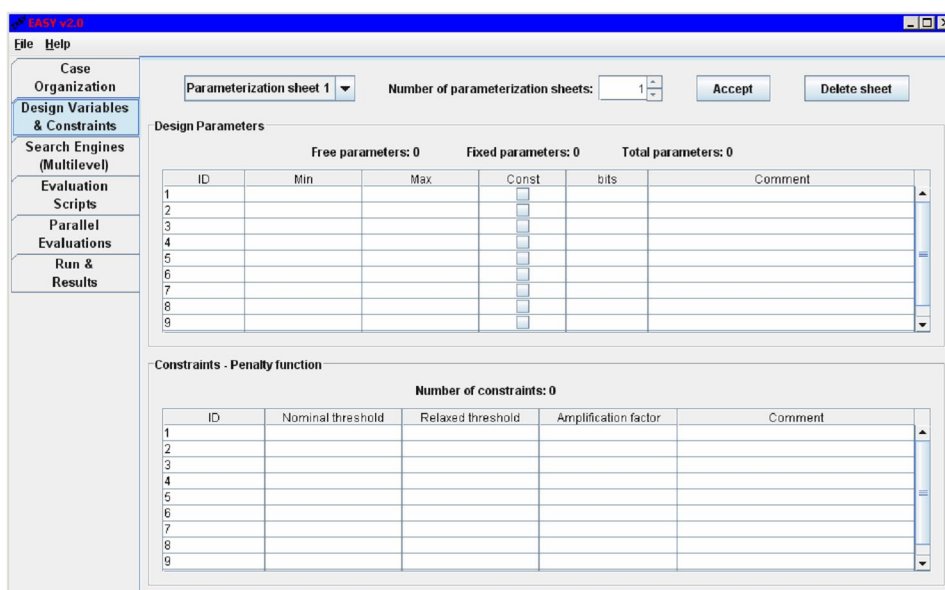
Στην πρώτη καρτέλα που εμφανίζεται “Case Organization” (σχήμα 6.3.1) μας ζητείται να αναγράψουμε τα ονόματα, του αρχείου που θα αποθηκευτεί η τελική βέλτιστη λύση, του αρχείου που θα αποθηκεύσει όλες τις στατιστικές πληροφορίες σχετικά με την εξέλιξη της διαδικασίας και του αρχείου που θα περιέχει στοιχεία τα οποία θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο ενδεχόμενο μιας πιθανής διακοπής της εκτέλεσης του προγράμματος και επανεκτέλεσης του. Αυτήν την δυνατότητα συνέχισης της λειτουργίας του προγράμματος από κάποια διακοπή μας την δίνει με την επιλογή “Case continuation” και “Restore DB”. Τέλος το πιο σημαντικό κελί είναι το “Number of objectives” που όπως αναγράφει ορίζει τον αριθμό των κριτηρίων που επιθυμούμε για βελτιστοποίηση.





Σχήμα 6.3.1: Καρτέλα No 1

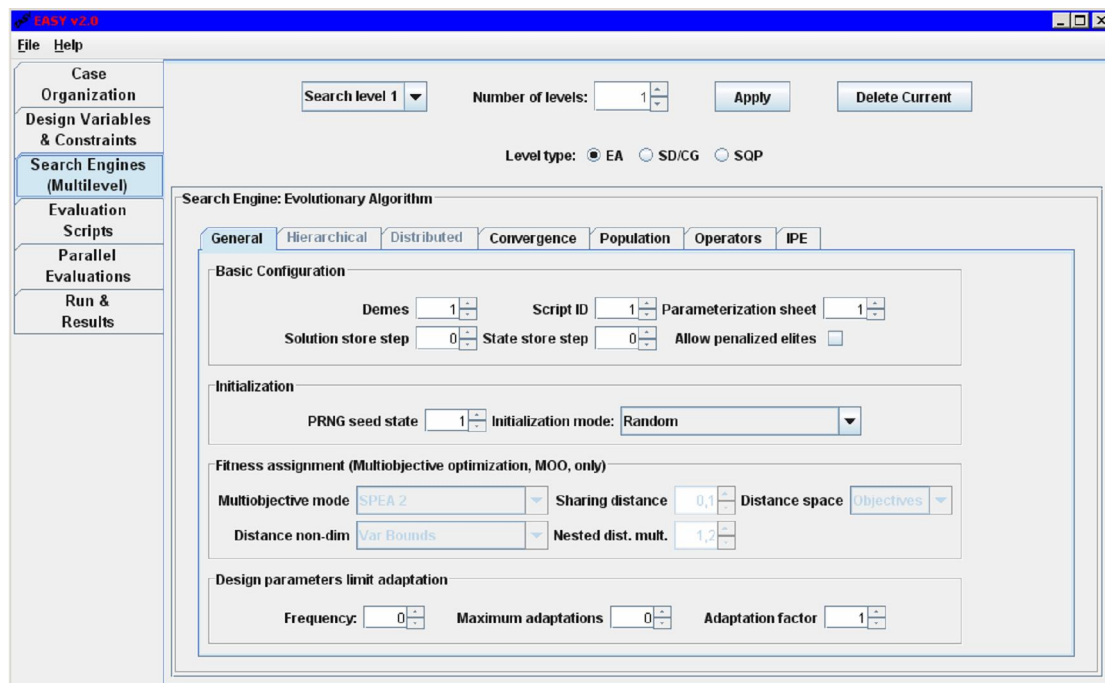
Συνεχίζοντας στην δεύτερη καρτέλα “Design Variables & Constraints” (σχήμα 6.3.2) ήρθε η στιγμή να ορίσουμε τις μεταβλητές μας, με την σειρά που αυτές αναγράφονται στο αρχείο “task.dat”. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα οι μεταβλητές καταχωρούνται με αύξοντα αριθμό “ID”, ακριβώς δίπλα ορίζονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή που θέλουμε να πάρουν, δεξιά τους υπάρχει η επιλογή για να κρατήσουμε κάποιες από αυτές σταθερές κατά τη διάρκεια λειτουργίας του προγράμματος και τέλος στην δεξιά στήλη “Comment” μπορούμε να βάλουμε τα δικά μας σχόλια. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήσαμε και το εύρος διακύμανσης τους αναγράφονται στην παράγραφο 6.2.7.



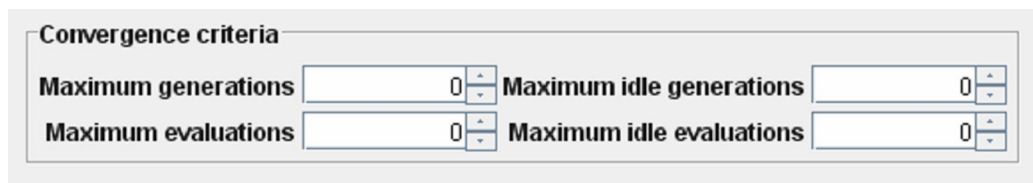
Σχήμα 6.3.2: Καρτέλα No 2



Συνεχίζοντας στην καρτέλα “Search Engines (Multilevel)” (σχήμα 6.3.3) το πρώτο πράγμα που πρέπει να ορίσουμε είναι το είδος του αλγόριθμου που θα χρησιμοποιήσουμε. Εμείς θα επιλέξουμε του εξελικτικούς αλγόριθμους “ΕΑ”. Πολλές επιλογές στις υποκαρτέλες που φαίνονται και στο σχήμα έχουν να κάνουν με ποια τεχνική θα διαλέξουμε για την πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση, με το να ορίσουμε το βήμα μετάβασης από το κατώτερο στο ανώτερο σημείο που έχουμε ορίσει στις μεταβλητές μας, με το είδος της μετάλλαξης και στοιχεία αυτής (συχνότητα, διάρκεια, πιθανότητα) κ.α. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις αφήσαμε τις προκαθορισμένες επιλογές. Οι δύο υποκαρτέλες που αλλάξαμε και που έχουν να κάνουν με τον αριθμό των επαναλήψεων, με το κριτήριο σύγκλησης και με το μέγεθος του πληθυσμού και το πλήθος των γενεών φαίνονται στα σχήματα 6.3.4 και 6.3.5.



Σχήμα 6.3.3: Καρτέλα No 3



Σχήμα 6.3.4: Υποκαρτέλα No1

**Parents and offspring**

Parent population size: 15      Offspring population size: 60

Max life span: 0      Parents of one offspring: 2

**Elitism**

Elite archive size: 15

Elite indiv. to force as new offspring: 1

Probability to select an elite: 0,15

**Parent Selection**

Tournament size: 2      Tournament prob.: 0,9

Σχήμα 6.3.5: Υποκαρτέλα Νο2

Συγκεκριμένα στην καρτέλα που φαίνεται στο σχήμα 6.3.5 επιλέξαμε αριθμό γονέων “Parent population size” 6, πλήθος απογόνων “Offspring population size” 25, γονέα κάθε απογόνου “Parents of one offspring” 3 καθώς και σε κάθε γενιά να παίρνουμε τις 4 καλύτερες τιμές των κριτηρίων μας “Elitism→Elite archive size”. Έπειτα στην καρτέλα του σχήματος 6.3.4 βάλαμε μέγιστο αριθμό επαναλήψεων και μέγιστο αριθμό γενεών “Maximum evaluations” και “Maximum generations” 500 και 20 αντίστοιχα, ενώ στα κριτήρια σύγκλισης και στις δύο περιπτώσεις “Maximum idle generations” και “Maximum idle evaluations” βάλαμε 12.

Στην επόμενη καρτέλα (σχήμα 6.3.6) γράφουμε το πρόγραμμα ανάλυσης που θα χρησιμοποιήσει το EASY, στην περίπτωση μας το “task.bat”, τον αριθμό τον μέγιστων επαναλήψεων που θα εκτελεστεί το παραπάνω αρχείο, καθώς και τυχόν σχόλια που επιθυμούμε.

**Scripts (for evaluation and interlevel data exchange in Multilevel Parameterization)**

Number of scripts: 1

Script ID	Script filename	Maximum evaluations	Aux file (grid)	Cost unit (estim.)	Comment
1	task.bat	10000		1.0	null
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**Multilevel Parameterization - Interlevel links & adaptations**

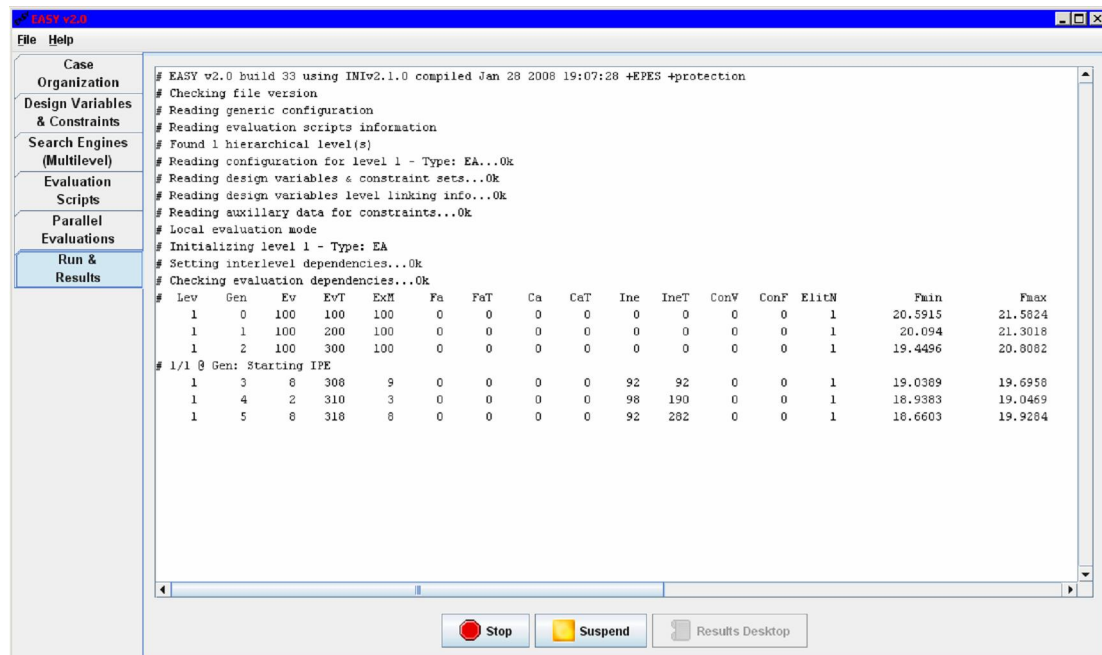
Number of link entries: 0

ID	Source param. sheet	Destination param. sheet	Script ID	Comment
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Σχήμα 6.3.6: Καρτέλα Νο 4

Στην καρτέλα που ακολουθεί δεν θα αναφερθούμε λόγω του ότι αναφέρεται σε περιπτώσεις που θέλουμε να κάνουμε παραλληλισμό του προγράμματος, έτσι ώστε διαφορετικά μέλη του παρόντος πληθυσμού να τρέχουν παράλληλα σε διαφορετικούς υπολογιστές.

Τέλος στην τελευταία καρτέλα (σχήμα 6.3.7) μπορούμε να παρακολουθούμε το πρόγραμμα κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του καθώς περιλαμβάνει πολλά στατιστικά στοιχεία, γραφήματα, καθώς και ενδιάμεσα αποτελέσματα.



Σχήμα 6.3.7: Καρτέλα Νο 6

## 7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μετά το πέρας εκτέλεσης του EASY λαμβάνουμε το αρχείο με τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης μαζί με τα αποτελέσματα και από τα ενδιάμεσα στάδια. Η διαδικασία από εδώ και πέρα έχει ως εξής. Από το αρχείο με τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων διαλέγουμε τις καλύτερες και τις μεταφέρουμε στο FRIENDSHIP-Modeller. Ανάμεσα στις νέες γάστρες που έχουμε σχεδιάσει διαλέγουμε αυτήν που πλησιάζει περισσότερο στην μοντελοποιημένη που είχαμε αρχικά, αφού εκτός από την βελτιστοποίηση στα νούμερα μας ενδιαφέρει να έχουμε μια προσιτή μορφή γάστρας που πλησιάζει την αρχική μας.

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων παρουσιάζονται με την σειρά που αναγράφονται στην παράγραφο 6.2.5

### 7.1 Διαγράμματα μεταβολών μεταβλητών σχεδίασης

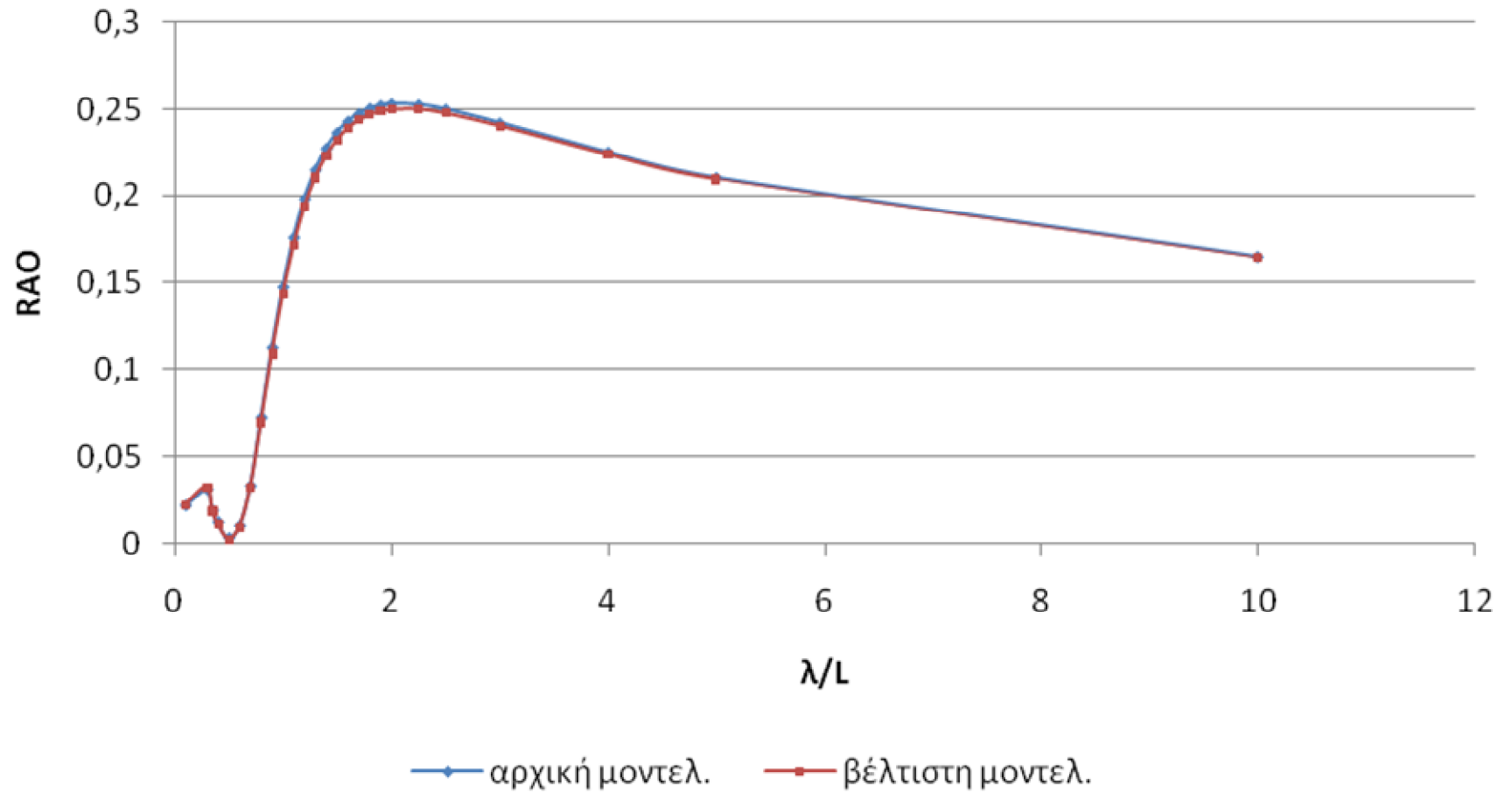
**I. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης ταχύτητας ελικοδρομίου για γωνία πρόσπτωσης κύματος 0° (πρυμνιοί) και ταχύτητα 20 κόμβων (20kn).**

Στο επόμενο γράφημα φαίνεται η σύγκριση της απόλυτης ταχύτητας στο κατάστρωμα ελικοδρομίου για τις δύο γάστρες και στον πίνακα οι τιμές των μεταβλητών και του κριτηρίου και η μεταβολή τους.

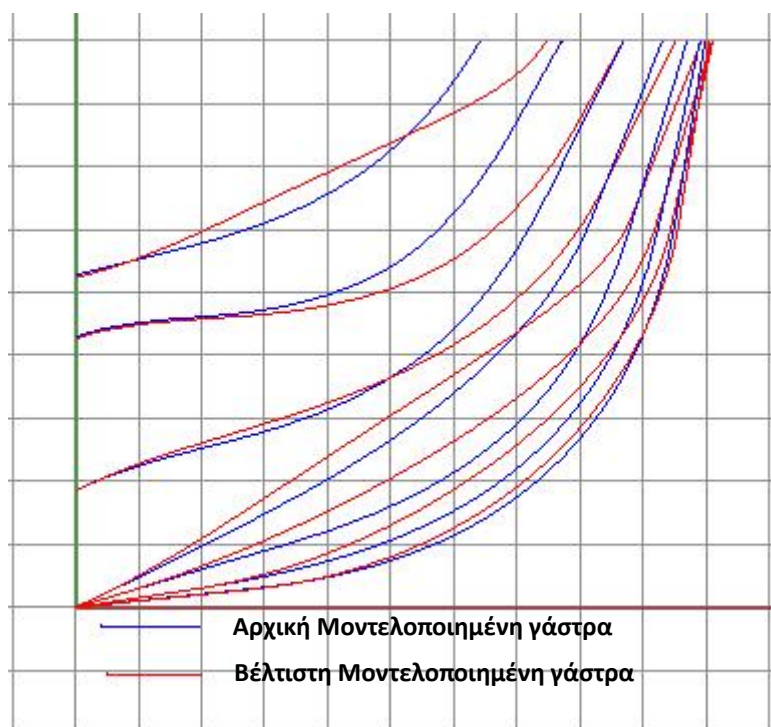
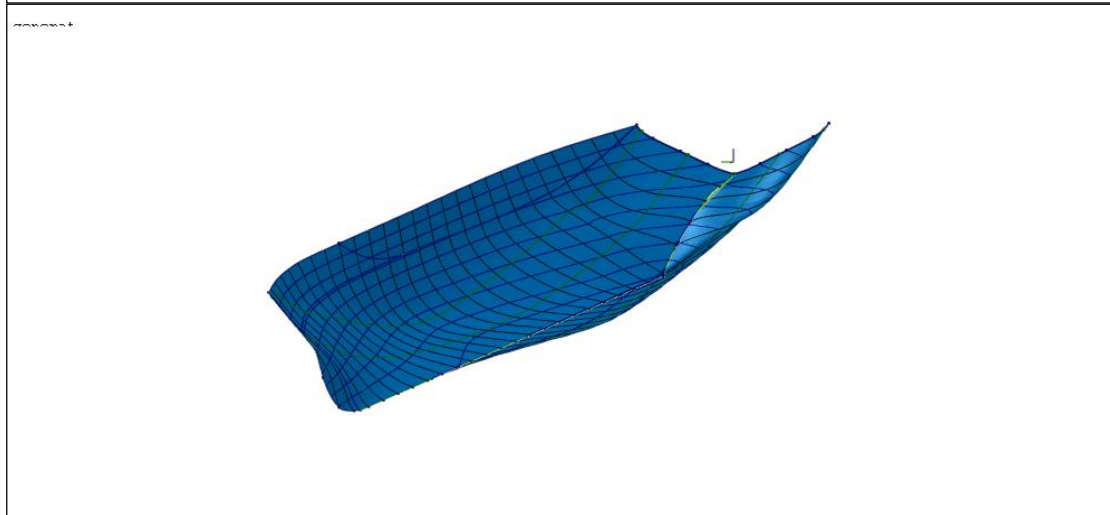
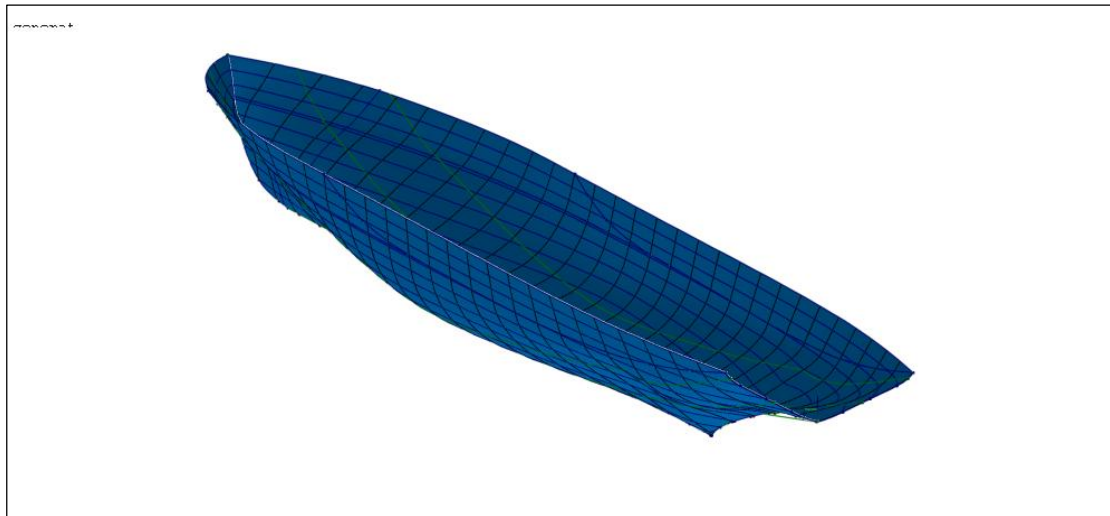
Παράμετροι	Τιμή		Μεταβολή
	Αρχική	Τελική	%
GSACareaCoeff	0,726	0,74	1,93%
GSACxcbAft	42,4	41,77	-1,49%
TRANSECdraft	0,88	0,93	5,68%
TRANSEctanAtCpc	15	13,13	-12,47%
TRANSECbeabAtDec	0,64	0,74	15,63%
<b>Κριτήρια</b>	<b>Αρχική</b>	<b>Τελική</b>	<b>%</b>
AbsVelocHeli	0,2557	0,2508	-1,92%

Πίνακας 7.1.1

## Helipad Absolute Velocities



Στα παρακάτω δύο σχήματα φαίνεται η μορφή της νέας γάστρας και στο επόμενο η σύγκριση της νέας βελτιστοποιημένης με την αρχική μοντελοποιημένη.



## II. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης ταχύτητας ελικοδρομίου για γωνία πρόσπτωσης κύματος 30° και ταχύτητα 20 κόμβων (20kn).

Σε αυτή την περίπτωση μετά το τέλος της διαδικασίας της βελτιστοποίησης παρατηρήσαμε ότι δεν είχαμε σημαντική βελτιστοποίηση. Γι' αυτό το λόγο δεν εξετάσαμε καμία μορφή γάστρας. Παρακάτω φαίνεται και ο σχετικός πίνακας με τις βέλτιστες τιμές και τις μεταβολές των κριτηρίων.

Παράμετροι	1 <sup>η</sup> Βέλτιστη λύση			2 <sup>η</sup> Βέλτιστη λύση		3 <sup>η</sup> Βέλτιστη λύση		4 <sup>η</sup> Βέλτιστη λύση	
	Τιμή	Τιμή	Μεταβολή	Τιμή	Μεταβολή	Τιμή	Μεταβολή	Τιμή	Μεταβολή
	Αρχική	Τελική	%	Τελική	%	Τελική	%	Τελική	%
GSACareaCoeff	0,726	0,7521	3,60%	0,7596	4,63%	0,7595	4,61%	0,7259	-0,02%
GSACxcbAft	42,4	41,6929	-1,67%	40,8287	-3,71%	40,4862	-4,51%	40,8287	-3,71%
TRANSECdraft	0,88	0,7560	-14,09%	0,7181	-18,40%	0,6522	-25,89%	0,8532	-3,04%
TRANSECtanAtCpc	15	17,6292	17,53%	17,6568	17,71%	17,5988	17,33%	13,0179	-13,21%
TRANSECbeabAtDec	0,64	0,6292	-1,69%	0,6033	-5,73%	0,5977	-6,60%	0,5475	-14,45%
Κριτήρια	Αρχική	Τελική	%	Τελική	%	Τελική	%	Τελική	%
AbsVelocHeli	0,2844	0,2806	-1,34%	0,2807	-1,30%	0,2815	-1,02%	0,2859	-0,53%
Roll	1,1905	1,1871	-0,29%	1,1836	-0,58%	1,1833	-0,60%	1,1797	-0,91%

Πίνακας 7.1.2

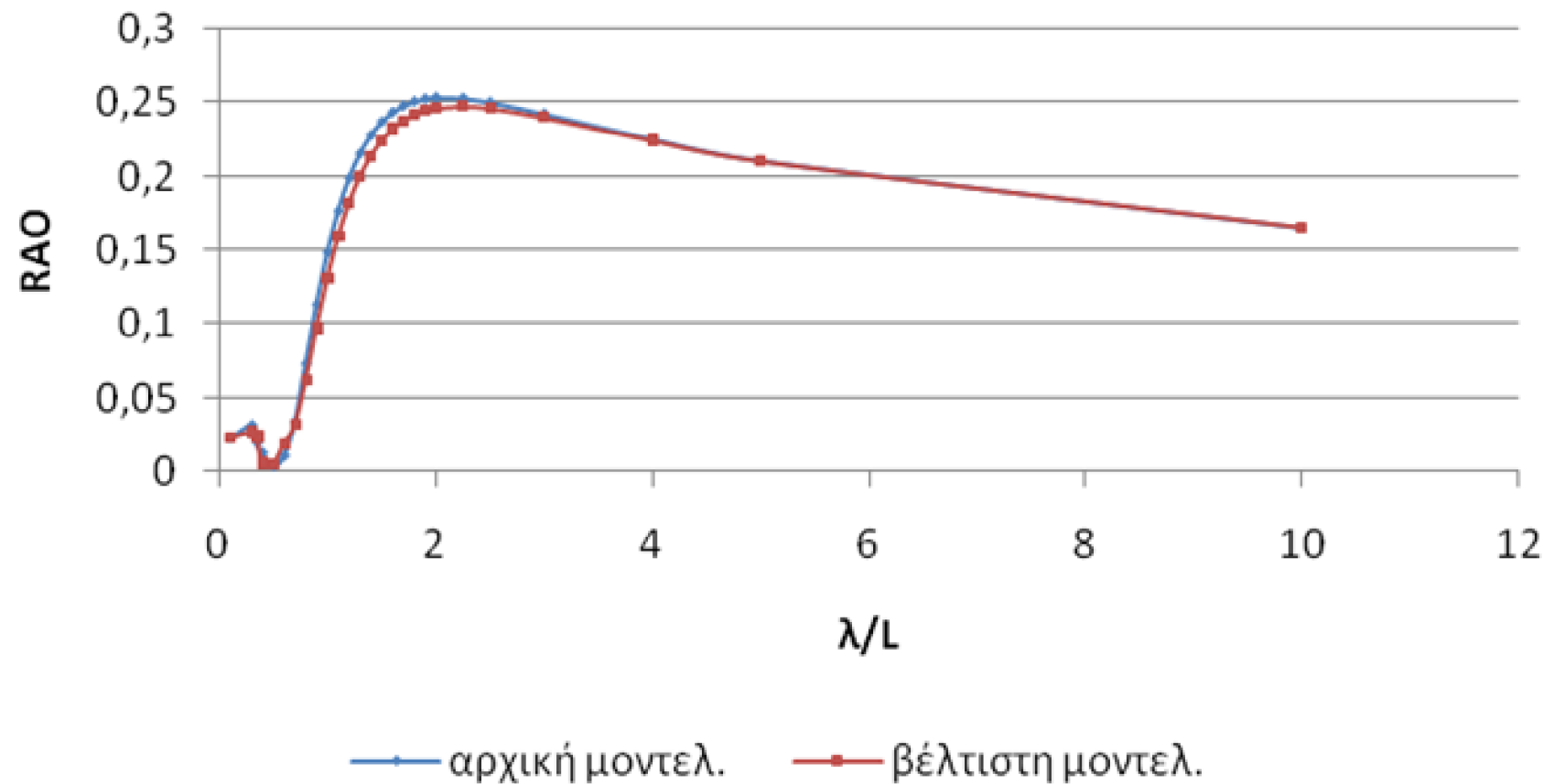
## III. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης ταχύτητας ελικοδρομίου και κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας για γωνία πρόσπτωσης 0° (πρυμνιοί) με τους κυματισμούς και ταχύτητα 20 κόμβων (20kn).

Στο επόμενο γράφημα φαίνεται η σύγκριση της απόλυτης ταχύτητας στο κατάστρωμα ελικοδρομίου και τις επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας για τις δύο γάστρες και στον πίνακα οι τιμές των μεταβλητών και του κριτηρίου και η μεταβολή τους.

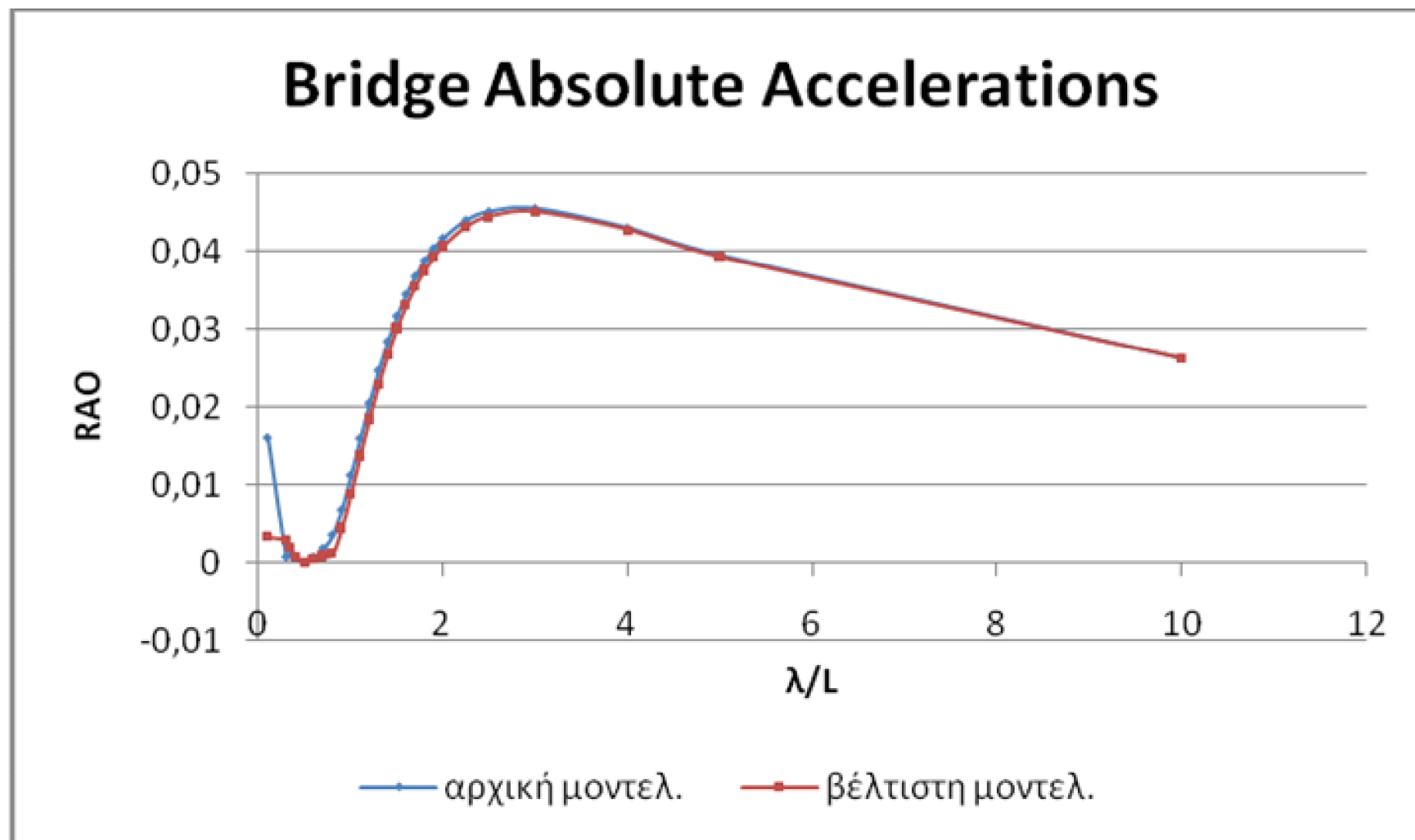
Παράμετροι	Τιμή		Μεταβολή
	Αρχική	Τελική	%
SACcpForBody	0,57	0,57	0,00%
SACcaForframe	0,42	0,444	5,71%
GSACareaCoeff	0,726	0,708	-2,48%
GSACxcbAft	42,4	41,52	-2,08%
TRANSECdraft	0,88	1,04	18,18%
TRANSECtanAtCpc	15	22,28	48,53%
TRANSECbeabAtDec	0,64	0,702	9,69%
DWLtanForFrame	20	26,4	32,00%
DWLareaCoeff	0,735	0,605	-17,69%
FOSforEnd	90	98,23	9,14%
FOSanAtBow	20	13,4	-33,00%
Κριτήρια	Αρχική	Τελική	%
AbsVelocHeli	0,2557	0,2467	-3,52%
AbsAccelBridge	0,0456	0,0451	-1,10%

Πίνακας 7.1.3

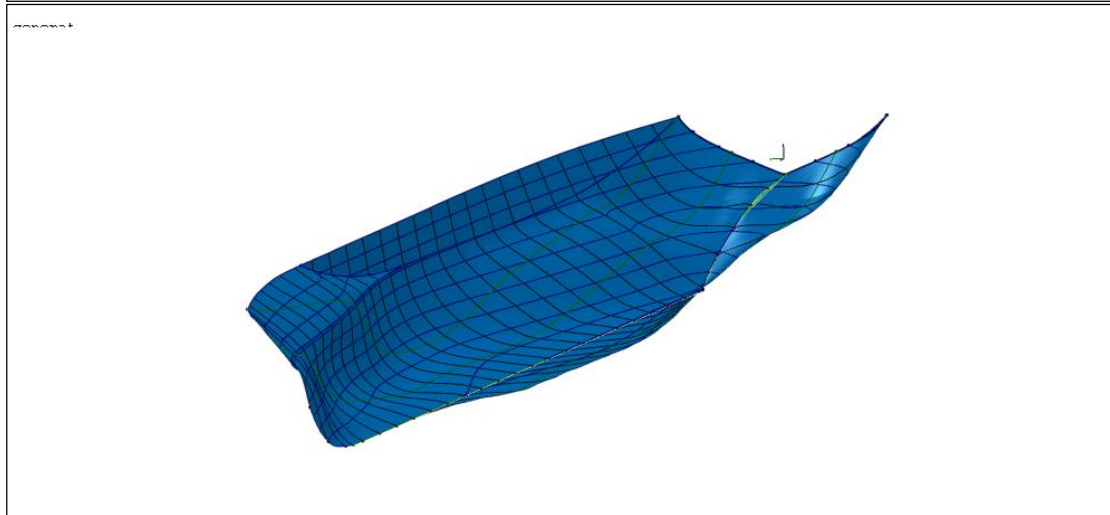
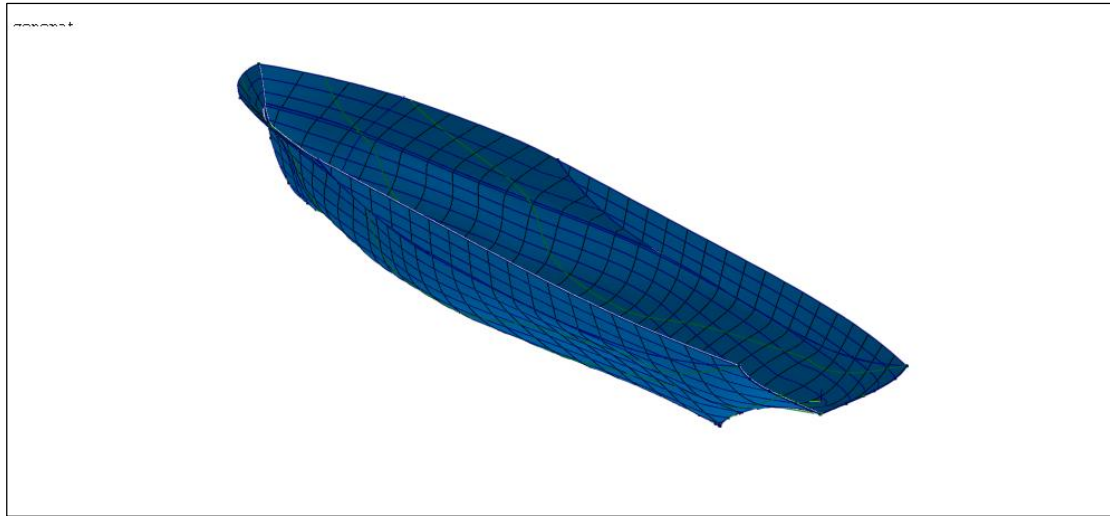
# Helipad Absolute Velocities

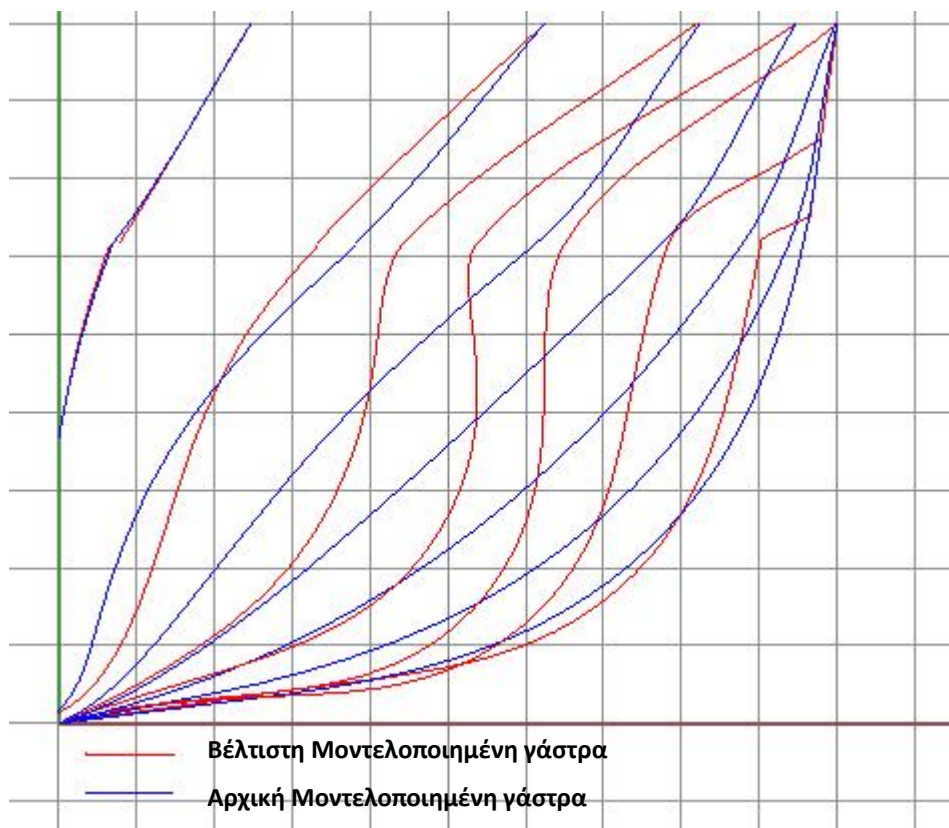
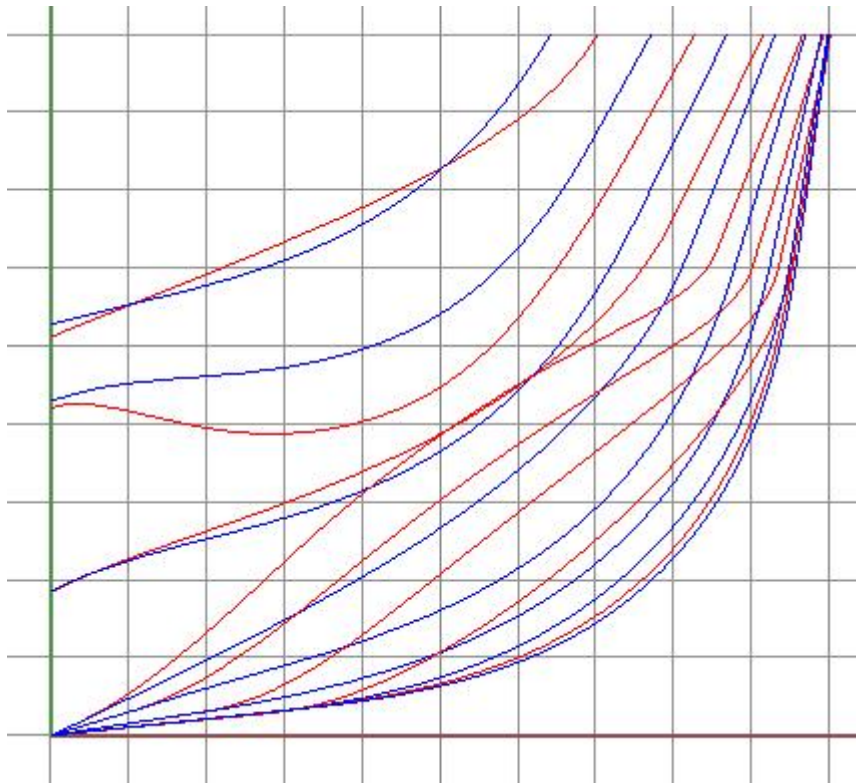






Στα παρακάτω δύο σχήματα φαίνεται η μορφή της νέας γάστρας και στο επόμενο η σύγκριση της νέας βελτιστοποιημένης με την αρχική μοντελοποιημένη.





**IV. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης ταχύτητας ελικοδρομίου και κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας για γωνία πρόσπτωσης κύματος 30° και ταχύτητα 20 κόμβων (20kn).**

Και σε αυτή την περίπτωση μετά το τέλος της διαδικασίας της βελτιστοποίησης παρατηρήσαμε ότι δεν είχαμε σημαντική βελτιστοποίηση. Γι' αυτό το λόγο δεν μελετήσαμε καμία νέα γάστρα. Παρακάτω φαίνεται και ο σχετικός πίνακας με τις βέλτιστες τιμές και τις μεταβολές των κριτηρίων.

	1 <sup>η</sup> Βέλτιστη λύση		2 <sup>η</sup> Βέλτιστη λύση		3 <sup>η</sup> Βέλτιστη λύση		4 <sup>η</sup> Βέλτιστη λύση		
			%		%		%		%
SACcpForBody	0,57	0,4604	-19,23%	0,5138	-9,86%	0,47675	-16,36%	0,4822	-15,41%
SACcaForframe	0,42	0,4545	8,23%	0,4702	11,95%	0,47589	13,31%	0,4433	5,56%
GSACareaCoeff	0,726	0,7058	-2,78%	0,7079	-2,50%	0,7097	-2,25%	0,7079	-2,50%
GSACxcbAft	42,4	41,518	-2,08%	43,324	2,18%	42,4132	0,03%	42,284	-0,27%
TRANSECdraft	0,88	1,0782	22,52%	0,7554	-14,16%	1,02866	16,89%	1,0193	15,83%
TRANSECtanAtCpc	15	9,6006	-36,00%	11,386	-24,09%	16,4288	9,53%	10,519	-29,88%
TRANSECbeabAtDec	0,64	0,5729	-10,49%	0,6738	5,29%	0,68149	6,48%	0,5582	-12,78%
DWLTanForFrame	20	24,436	22,18%	25,087	25,43%	25,8628	29,31%	25,888	29,44%
DWLareaCoeff	0,735	0,7277	-1,00%	0,6697	-8,89%	0,64909	-11,69%	0,6493	-11,65%
FOSforEnd	90	78,434	-12,85%	81,137	-9,85%	86,054	-4,38%	76,269	-15,26%
FOSanAtBow	20	14,429	-27,86%	15,555	-22,23%	18,1071	-9,46%	14,741	-26,29%
		%	%	%	%	%	%	%	%
AbsVelocHeli	0,2844	0,2832	-0,42%	0,2894	1,76%	0,3032	6,61%	0,3048	7,17%
AbsAccelBridge	0,0579	0,0576	-0,52%	0,0574	-0,86%	0,0572	-1,21%	0,0574	-0,86%
Roll	1,1905	1,1836	-0,58%	1,1926	0,18%	1,1914	0,08%	1,1848	-0,48%

Πίνακας 7.1.4

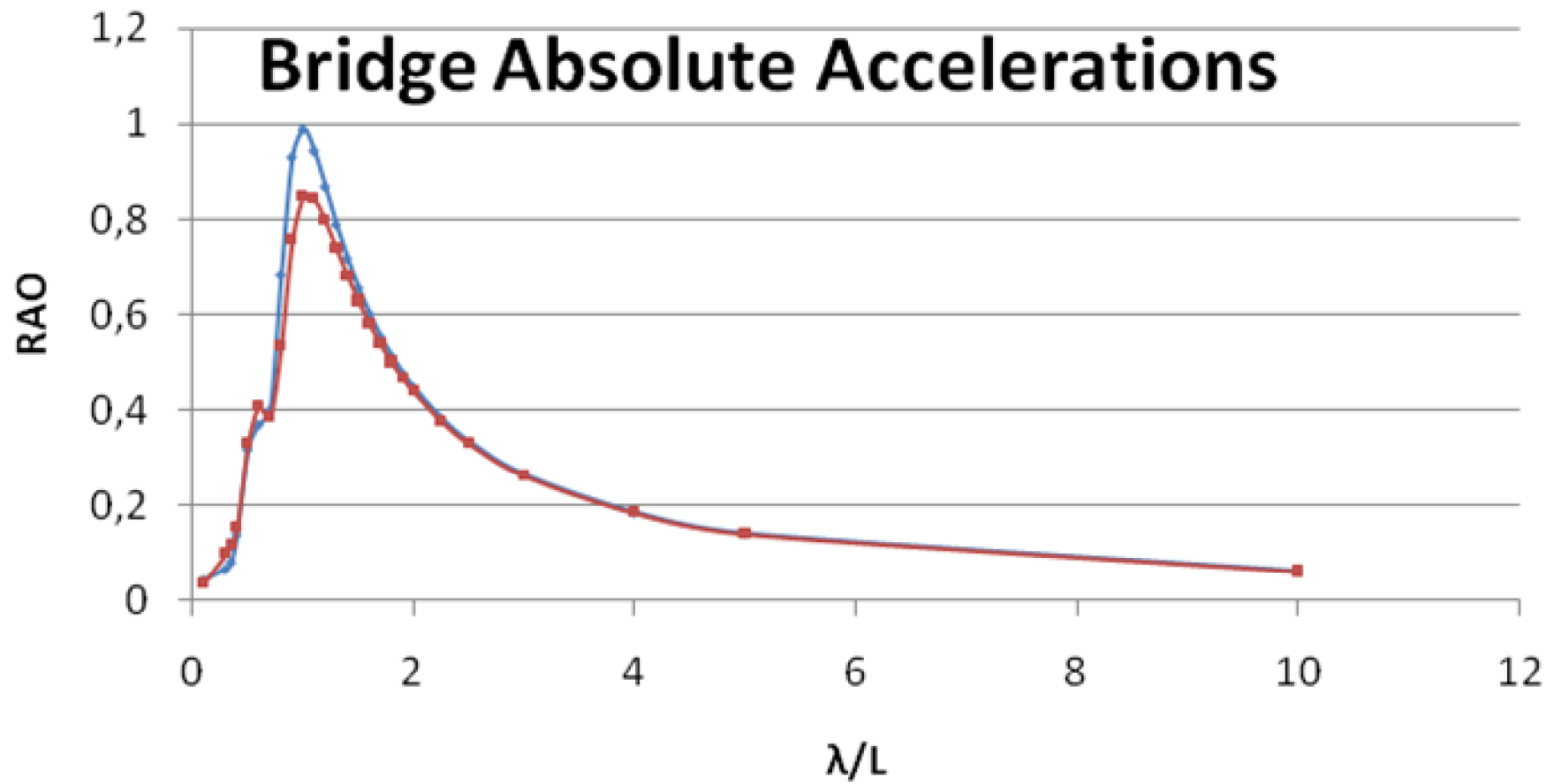
**V. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας για γωνία πρόσπτωσης κύματος 150° και ταχύτητα 20 κόμβων (20kn).**

Στα επόμενα γραφήματα φαίνεται η σύγκριση της απόλυτης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας και της κίνησης του διατοιχισμού για τις δύο γάστρες και στον πίνακα που ακολουθεί οι τιμές των μεταβλητών και του κριτηρίου και η μεταβολή τους.

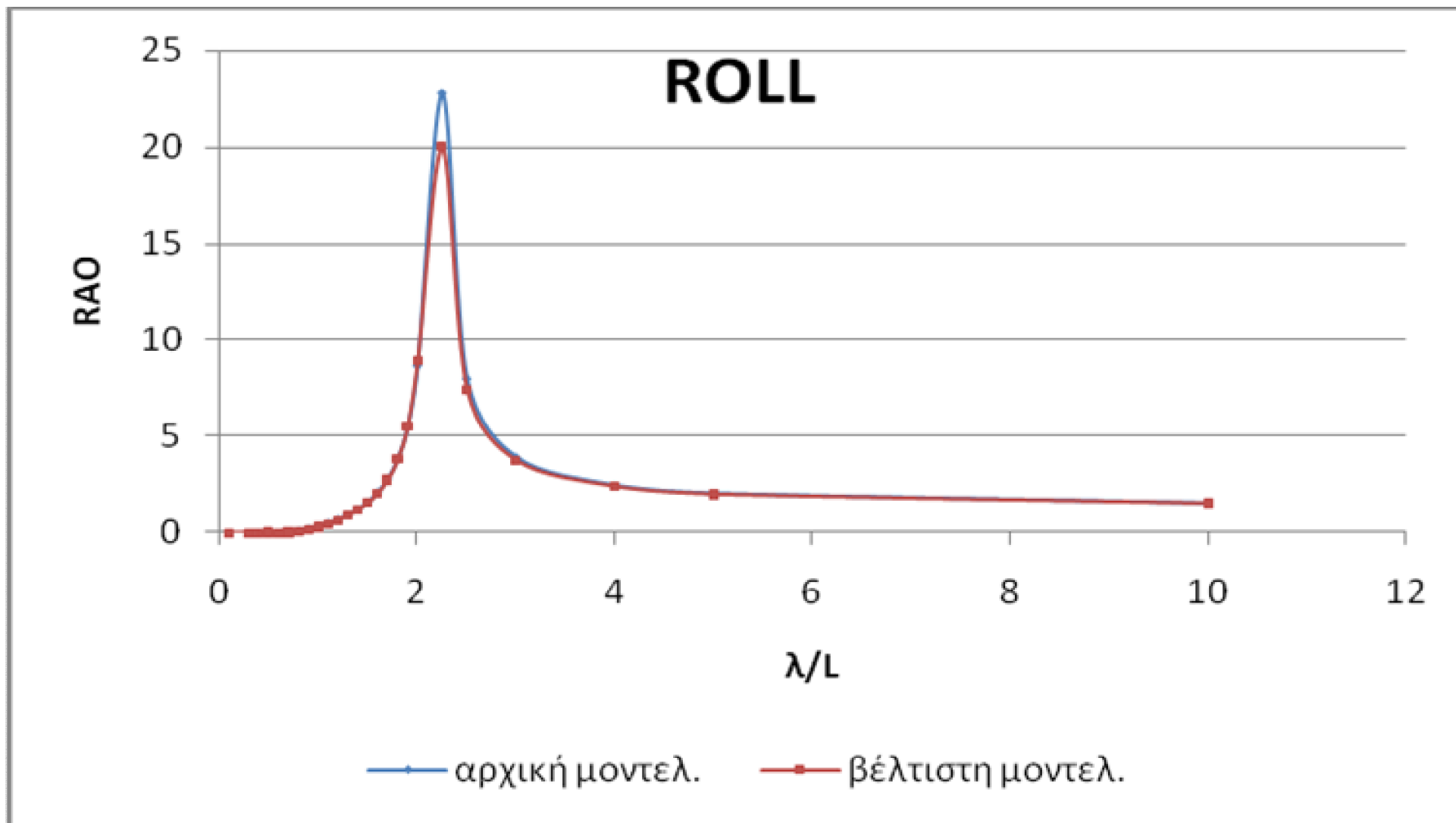
Παράμετροι	Τιμή		Μεταβολή
	Αρχική	Τελική	%
SACcpForBody	0,57	0,54338	-4,67%
SACcaForframe	0,42	0,36914	-12,11%
DWLTanForFrame	20	17,0513	-14,74%
DWLareaCoeff	0,735	0,74444	1,28%
FOSforEnd	90	96,757	7,51%
FOSanAtBow	20	29,1306	45,65%
<b>Κριτήρια</b>	<b>Αρχική</b>	<b>Τελική</b>	<b>%</b>
AbsAccelBridge	0,9862	0,8517	-13,64%
Roll	22,961	20,0804	-12,55%

Πίνακας 7.1.5

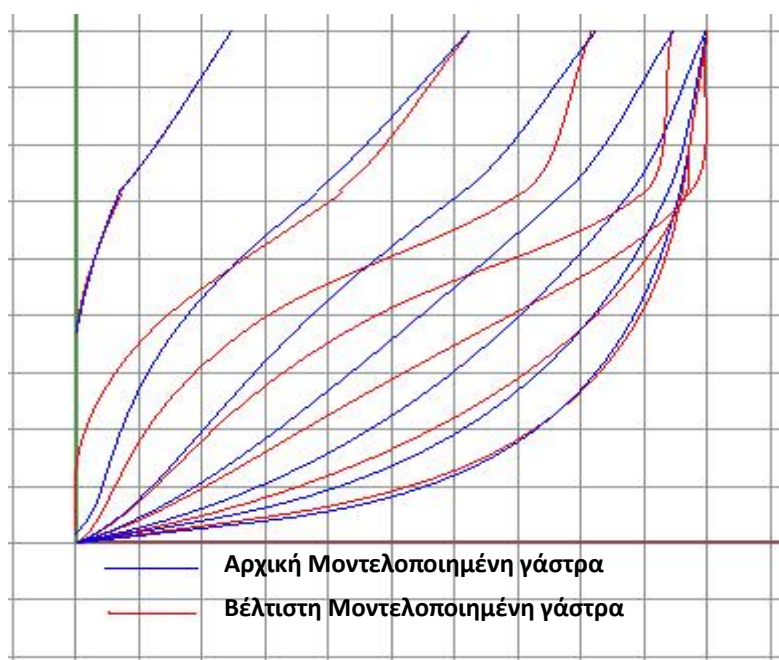
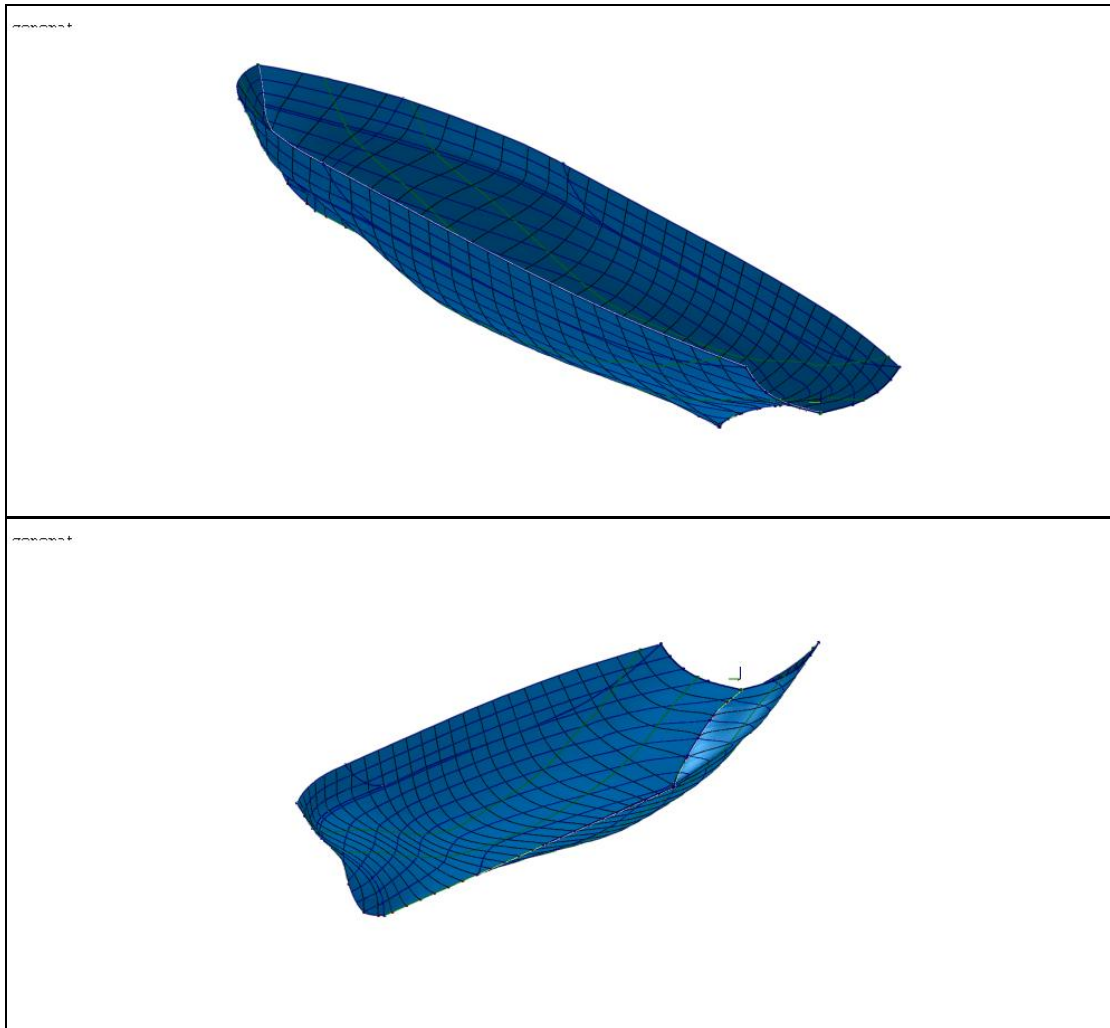
# Bridge Absolute Accelerations



—◆— αρχική μοντελ.    —■— βέλτιστη μοντελ.



Στα παρακάτω δύο σχήματα φαίνεται η μορφή της νέας γάστρας και στο επόμενο η σύγκριση της νέας βελτιστοποιημένης με την αρχική μοντελοποιημένη.



**VI. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας (11.2, 0, 7.62) για γωνία πρόσπτωσης κύματος 180° (μετωπικοί) και ταχύτητα 20 κόμβων (20kn).**

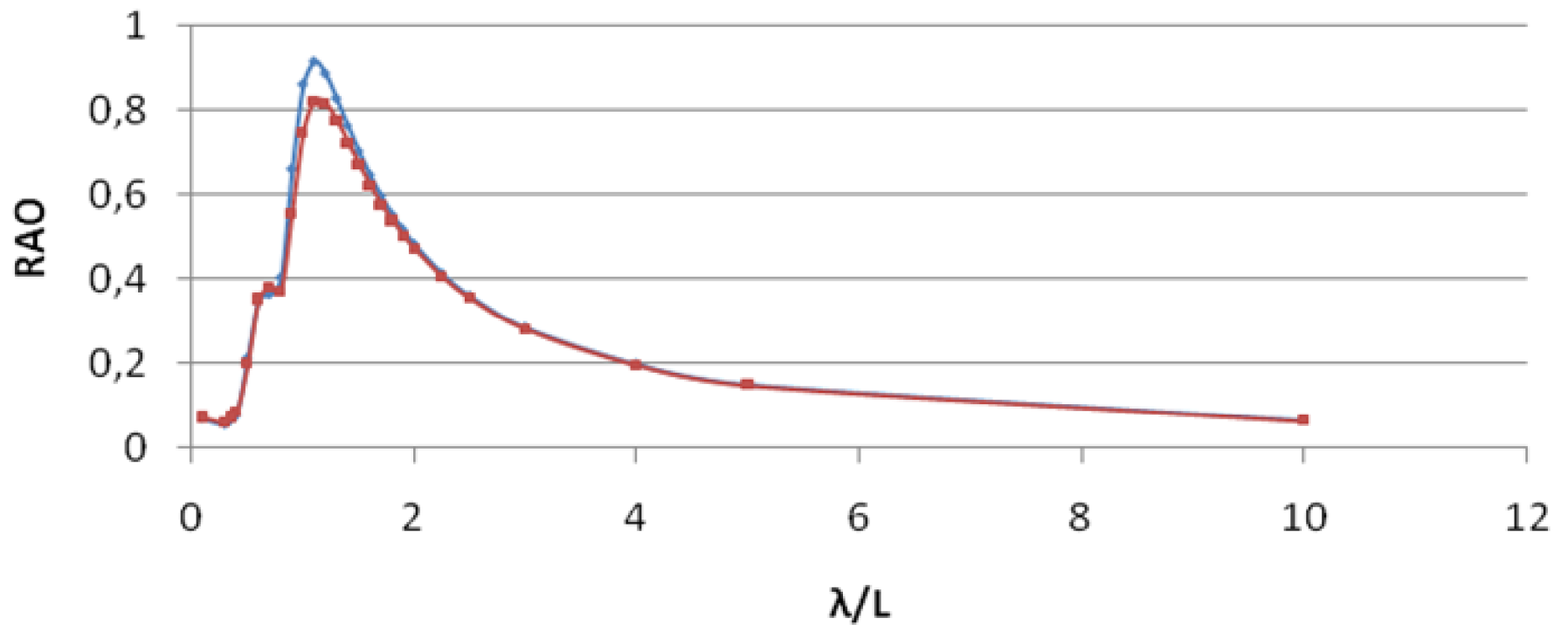
Στο επόμενο γράφημα φαίνεται η σύγκριση της απόλυτης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας για τις δύο γάστρες και στον πίνακα που ακολουθεί οι τιμές των μεταβλητών και του κριτηρίου και η μεταβολή τους.

Παράμετροι	Τιμή		Μεταβολή
	Αρχική	Τελική	%
SACcpForBody	0,57	0,5804	1,83%
SACcaForframe	0,42	0,4356	3,72%
DWLtanForFrame	20	24,065	20,32%
DWLareaCoeff	0,735	0,7795	6,05%
FOSforEnd	90	81,206	-9,77%
FOSanAtBow	20	10,718	-46,41%
Κριτήρια	Αρχική	Τελική	%
AbsAccelBridge	0,9188	0,8338	-9,25%

Πίνακας 7.1.6

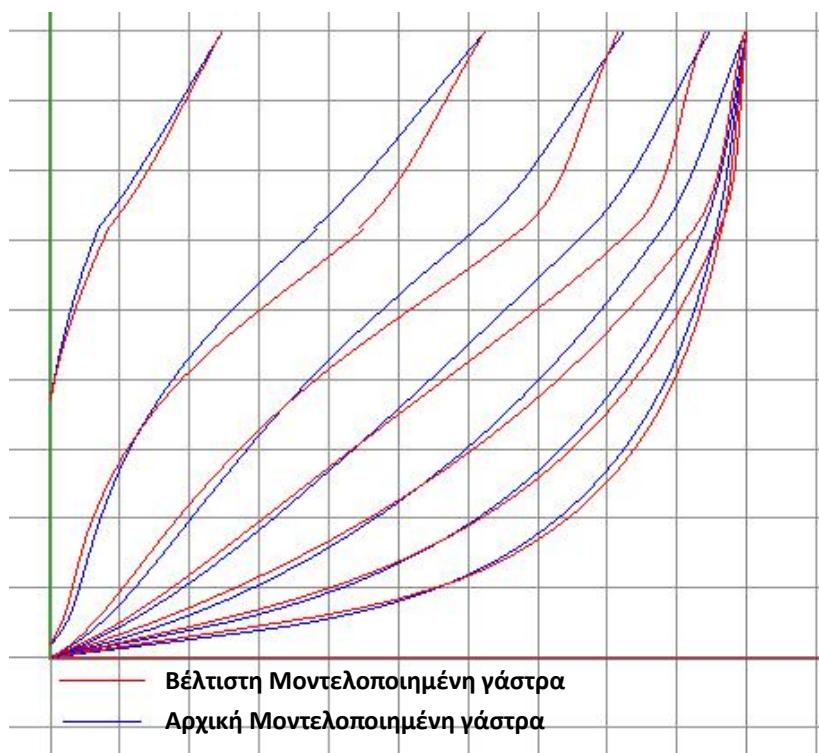
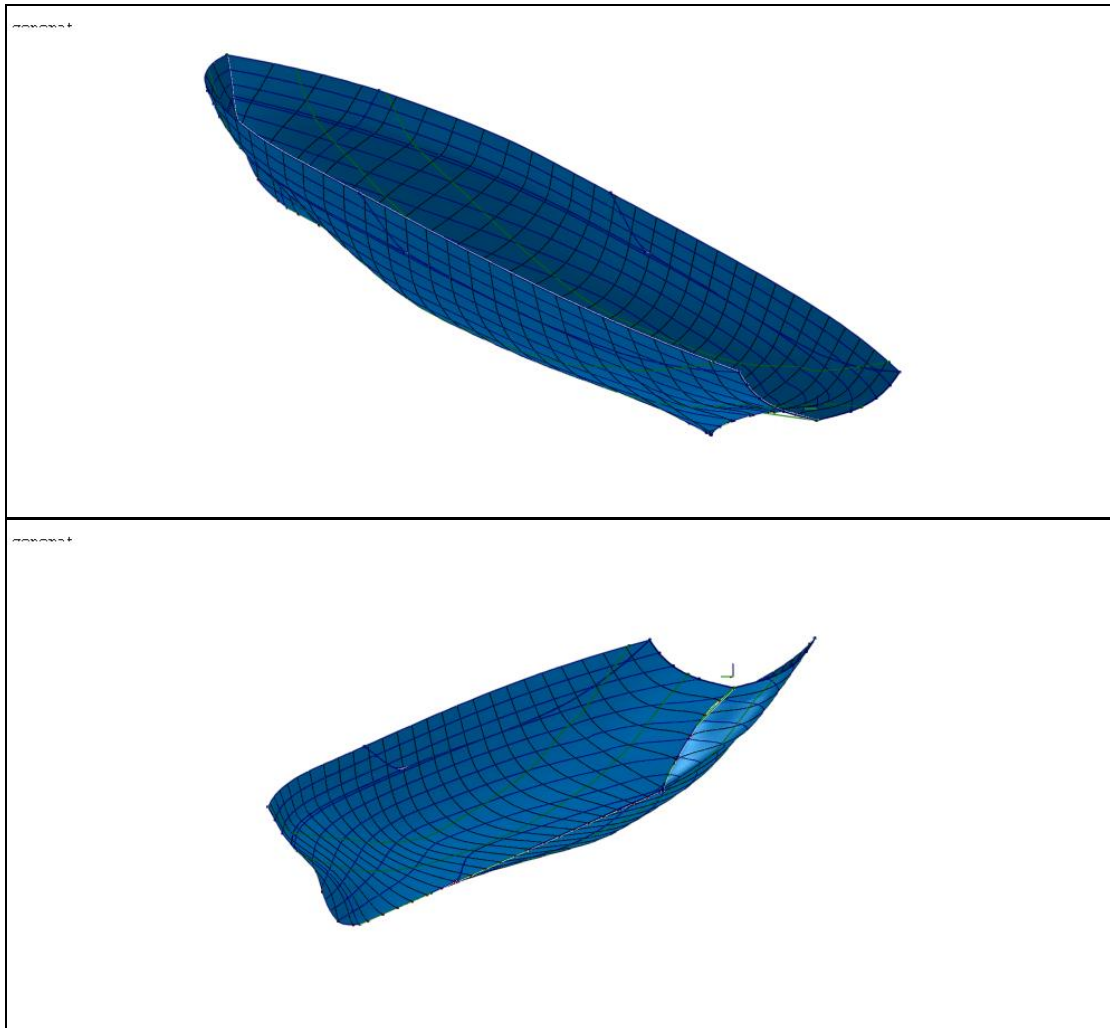


# Bridge Absolute Accelerations



—•— αρχική μοντελ.    —■— βέλτιστη μοντελ.

Στα παρακάτω δύο σχήματα φαίνεται η μορφή της νέας γάστρας και στο επόμενο η σύγκριση της νέας βελτιστοποιημένης με την αρχική μοντελοποιημένη.



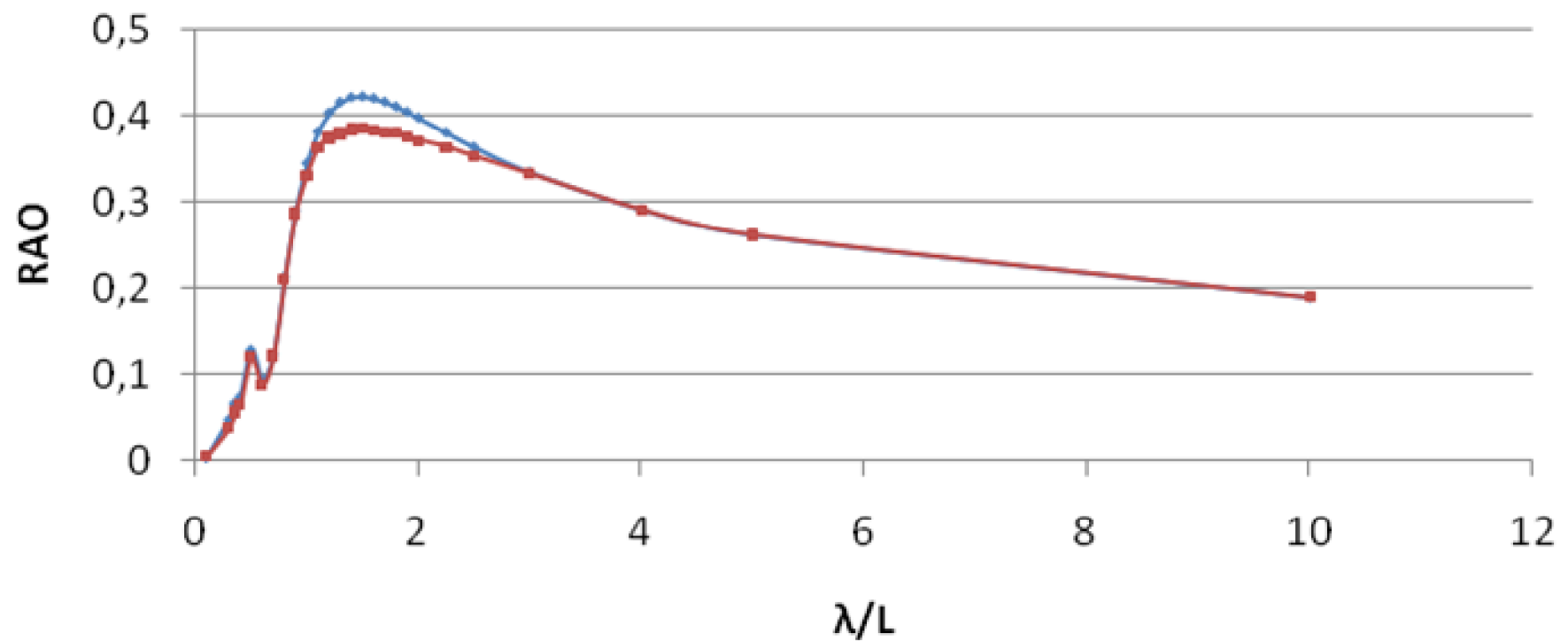
**i. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης ταχύτητας ελικοδρομίου για γωνία πρόσπτωσης κύματος 0° (πρυμνιοί) και ταχύτητα 10 κόμβων (10kn).**

Στο επόμενο γράφημα φαίνεται η σύγκριση της κατακόρυφης ταχύτητας στο ελικοδρόμιο για τις δύο γάστρες και στον πίνακα που ακολουθεί οι τιμές των μεταβλητών και του κριτηρίου και η μεταβολή τους.

Παράμετροι	Τιμή		Μεταβολή
	Αρχική	Τελική	%
GSACareaCoeff	0,726	0,730073	0,56%
GSACxcbAft	42,4	41,54017	-2,03%
TRANSECdraft	0,88	0,661245	-24,86%
TRANSEctanAtCpc	15	12,337	-17,75%
TRANSECbeabAtDec	0,64	0,61937	-3,22%
Κριτήρια	Αρχική	Τελική	%
AbsVelocHeli	0,4222	0,3852	-8,76%

Πίνακας 7.1.7

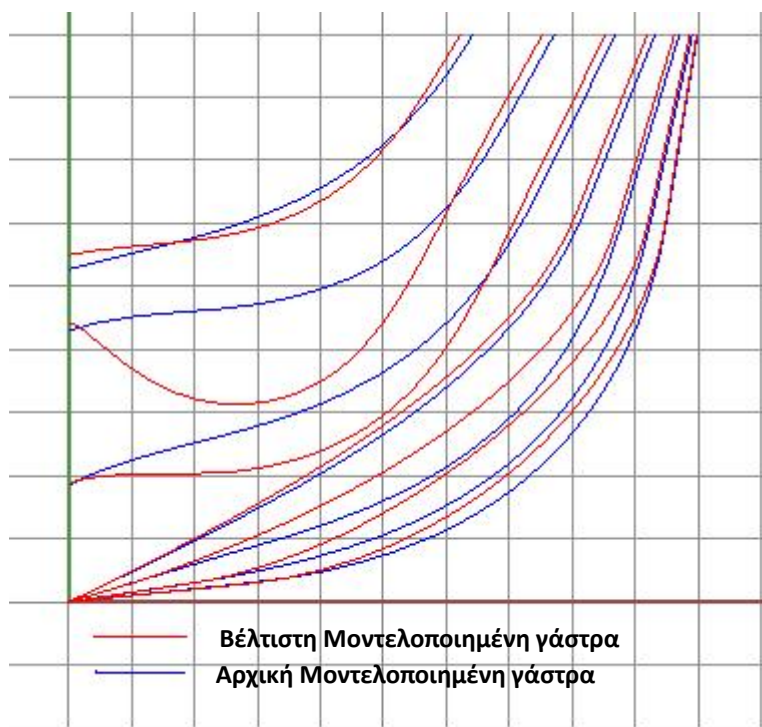
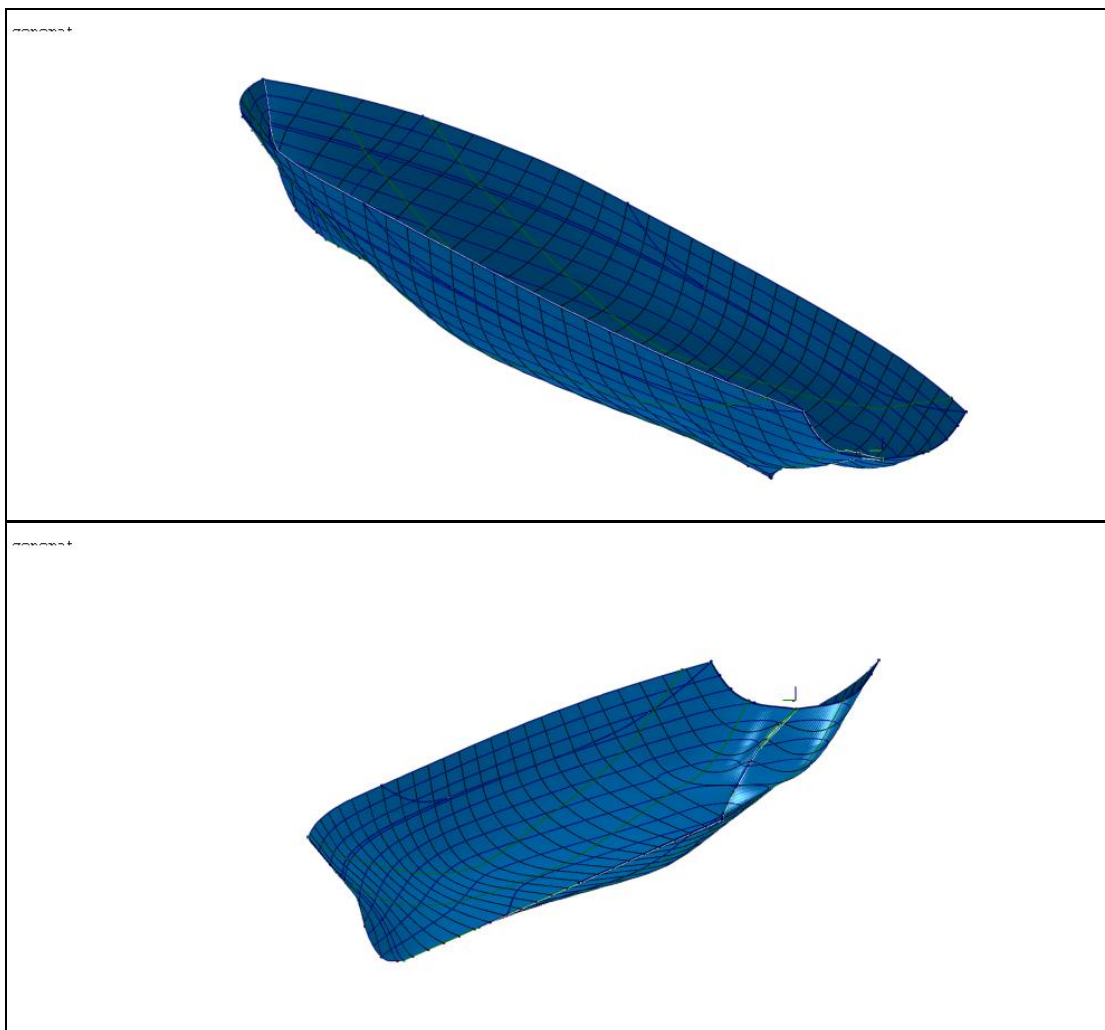
# Helipad Absolute Velocities



— αρχική μοντελ.

— βέλτιστη μοντελ.

Στα παρακάτω δύο σχήματα φαίνεται η μορφή της νέας γάστρας και στο επόμενο η σύγκριση της νέας βελτιστοποιημένης με την μοντελοποιημένη.



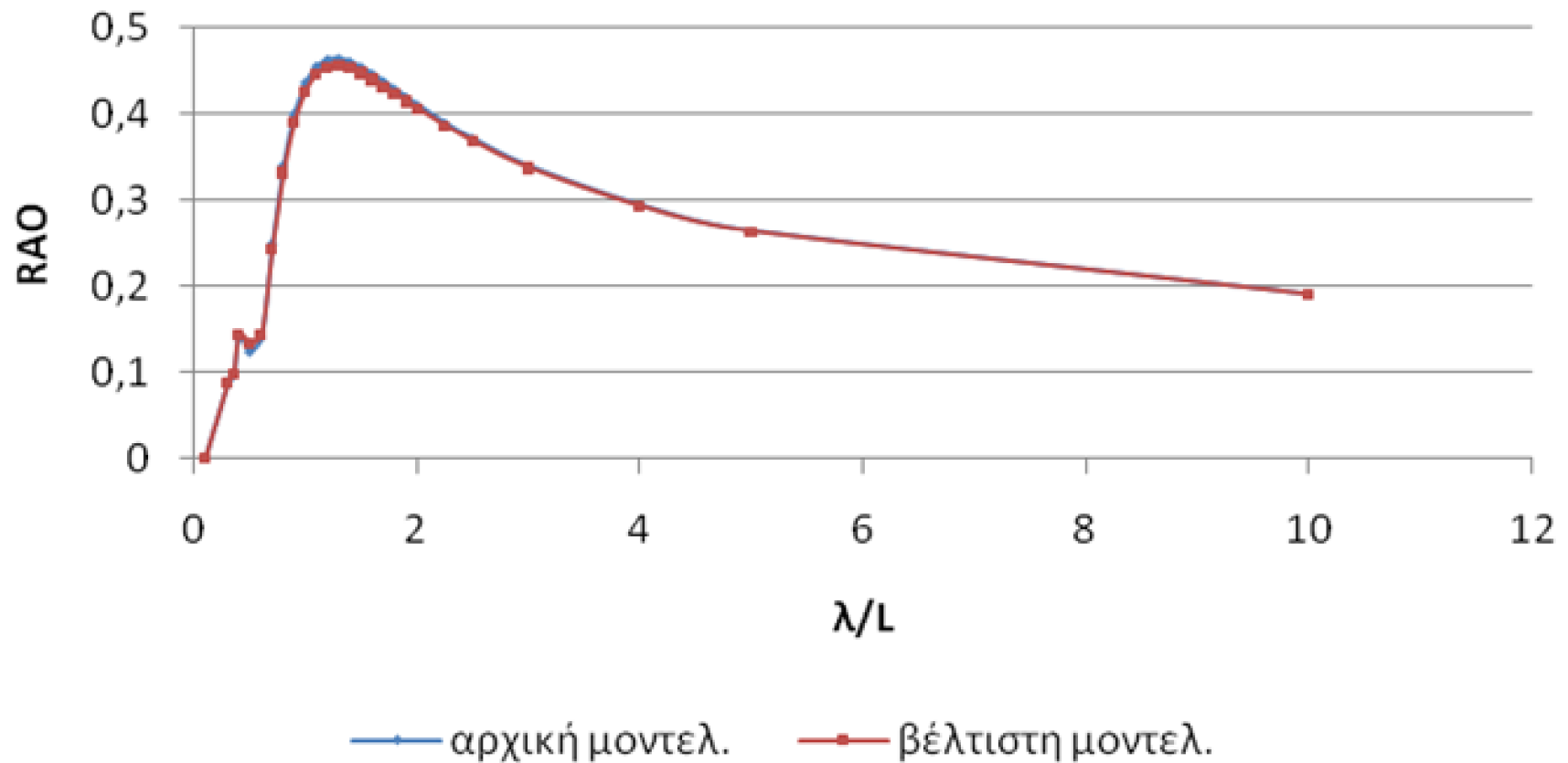
ii. **Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης ταχύτητας ελικοδρομίου για γωνία πρόσπτωσης κύματος 30° και ταχύτητα 10 κόμβων (10kn).**

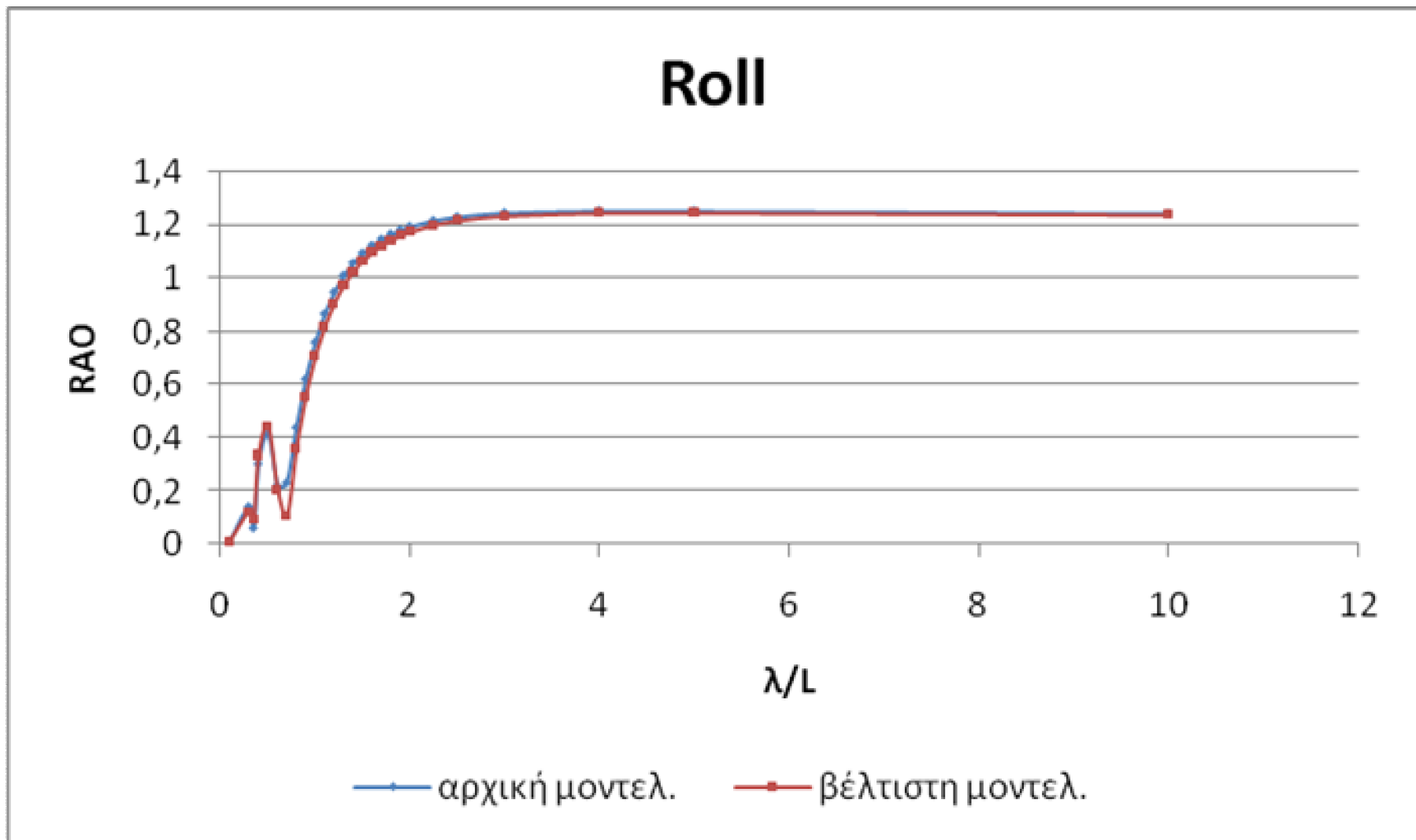
Στο επόμενο γράφημα φαίνεται η σύγκριση της κατακόρυφης ταχύτητας στο ελικοδρόμιο για τις δύο γάστρες και στον πίνακα που ακολουθεί οι τιμές των μεταβλητών και του κριτηρίου και η μεταβολή τους.

			%
GSACareaCoeff	0,726	0,7367	1,47%
GSACxcbAft	42,4	41,5692	-1,96%
TRANSECdraft	0,88	1,06784	21,35%
TRANSEctanAtCpc	15	24,5201	63,47%
TRANSECbeabAtDec	0,64	0,71705	12,04%
			%
AbsVelocHeli	0,4651	0,4575	-1,63%
Roll	1,2923	1,2461	-3,58%

Πίνακας 7.1.8

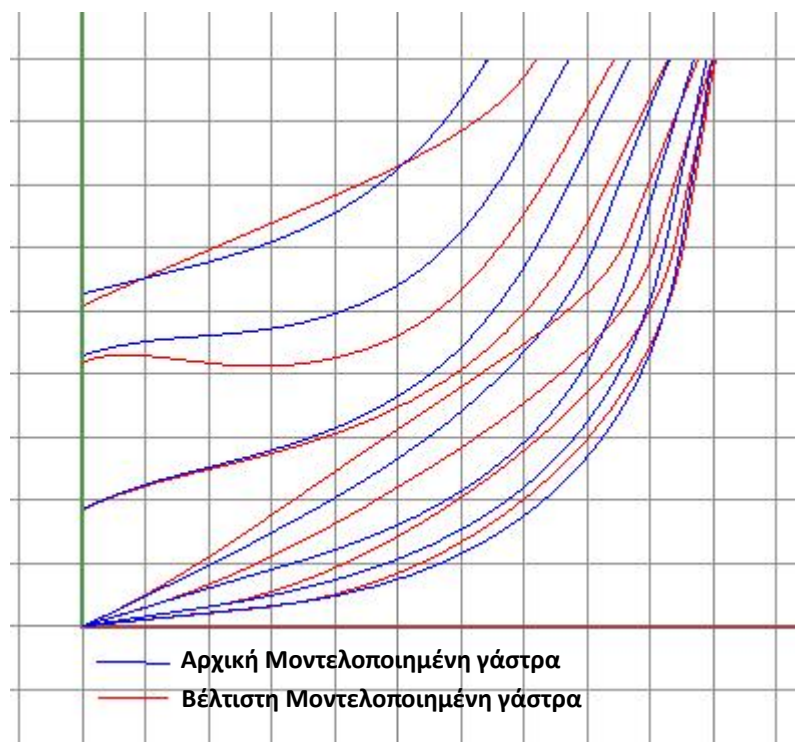
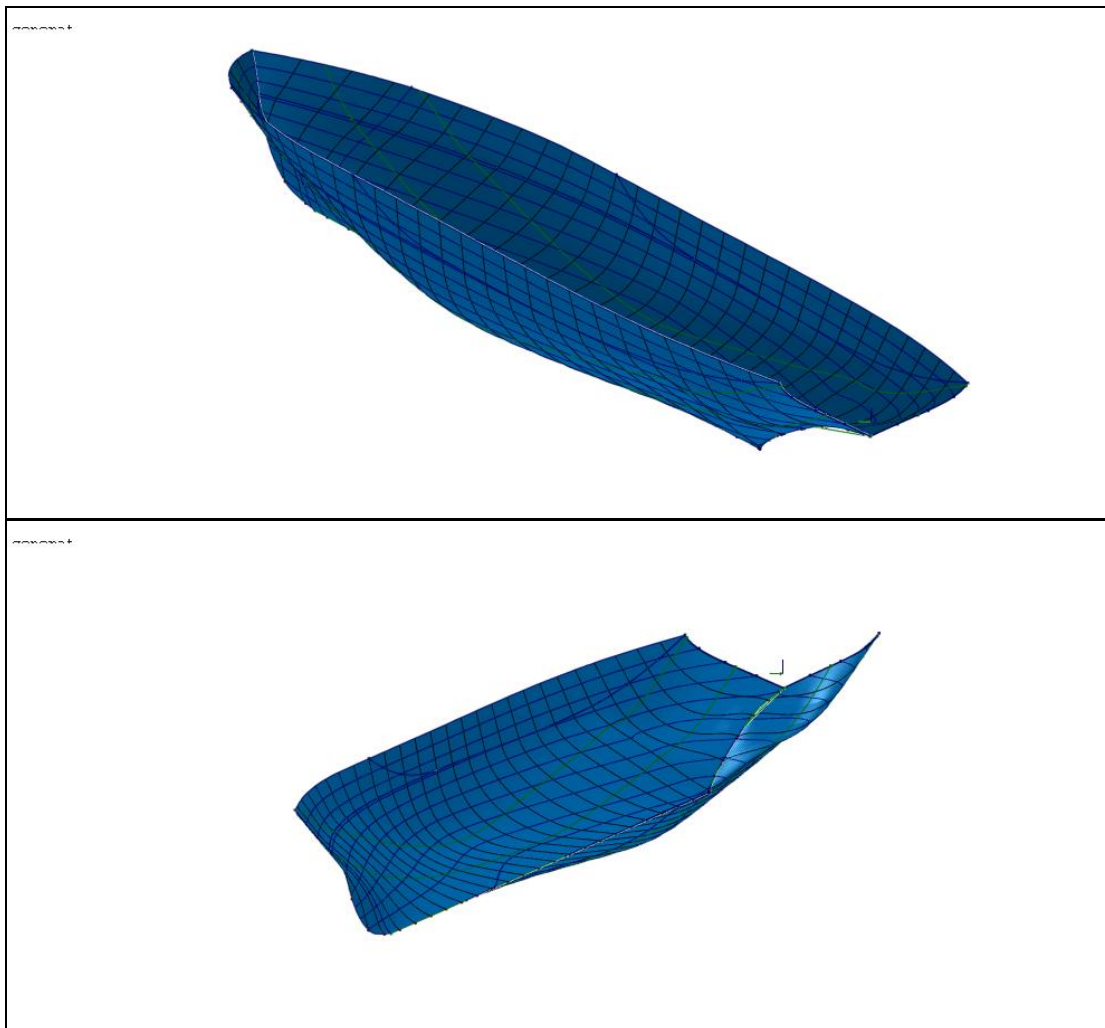
## Helipad Absolute Velocities







Στα παρακάτω δύο σχήματα φαίνεται η μορφή της νέας γάστρας και στο επόμενο η σύγκριση της νέας βελτιστοποιημένης με την αρχική μοντελοποιημένη.



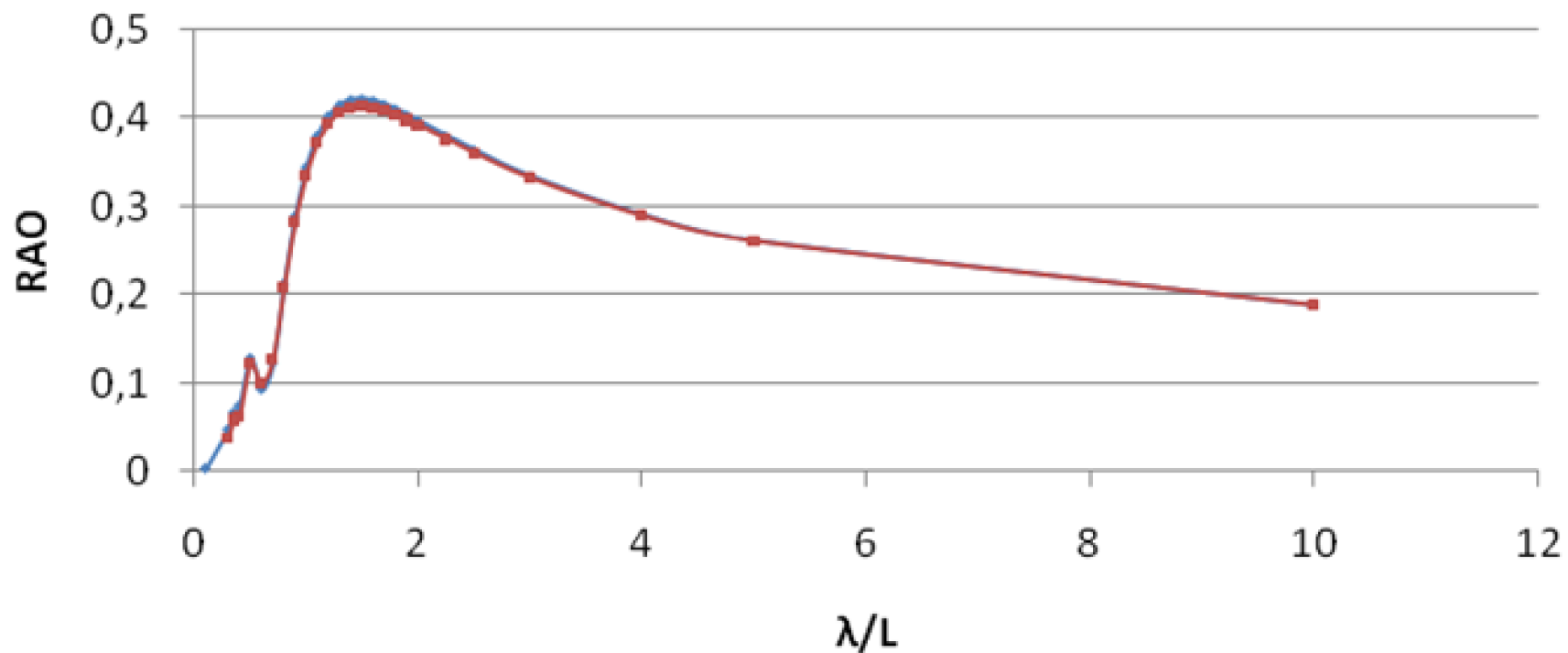
iii. **Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης ταχύτητας ελικοδρομίου και κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας για γωνία πρόσπτωσης κύματος 0° (πρυμνιοί) και ταχύτητα 10 κόμβων (10kn).**

Στο επόμενο γράφημα φαίνεται η σύγκριση της κατακόρυφης ταχύτητας στο ελικοδρόμιο, η κατακόρυφη επιτάχυνση στο κατάστρωμα γεφύρας για τις δύο γάστρες και στον πίνακα που ακολουθεί οι τιμές των μεταβλητών και των κριτηρίων και η μεταβολή τους.

Παράμετροι	Τιμή		Μεταβολή
	Αρχική	Τελική	%
SACcpForBody	0,57	0,58597	2,80%
SACcaForframe	0,42	0,40098	-4,53%
GSACareaCoeff	0,726	0,72914	0,43%
GSACxcbAft	42,4	40,6301	-4,17%
TRANSECdraft	0,88	0,55245	-37,22%
TRANSEctanAtCpc	15	18,1614	21,08%
TRANSECbeabAtDec	0,64	0,66055	3,21%
DWLtanForFrame	20	21,2559	6,28%
DWLareaCoeff	0,735	0,70152	-4,56%
FOSforEnd	90	92,9242	3,25%
FOSanAtBow	20	20,8901	4,45%
<b>Κριτήρια</b>	<b>Αρχική</b>	<b>Τελική</b>	<b>%</b>
AbsVelocHeli	0,4222	0,4089	-3,15%
AbsAccelBridge	0,0966	0,0959	-0,72%

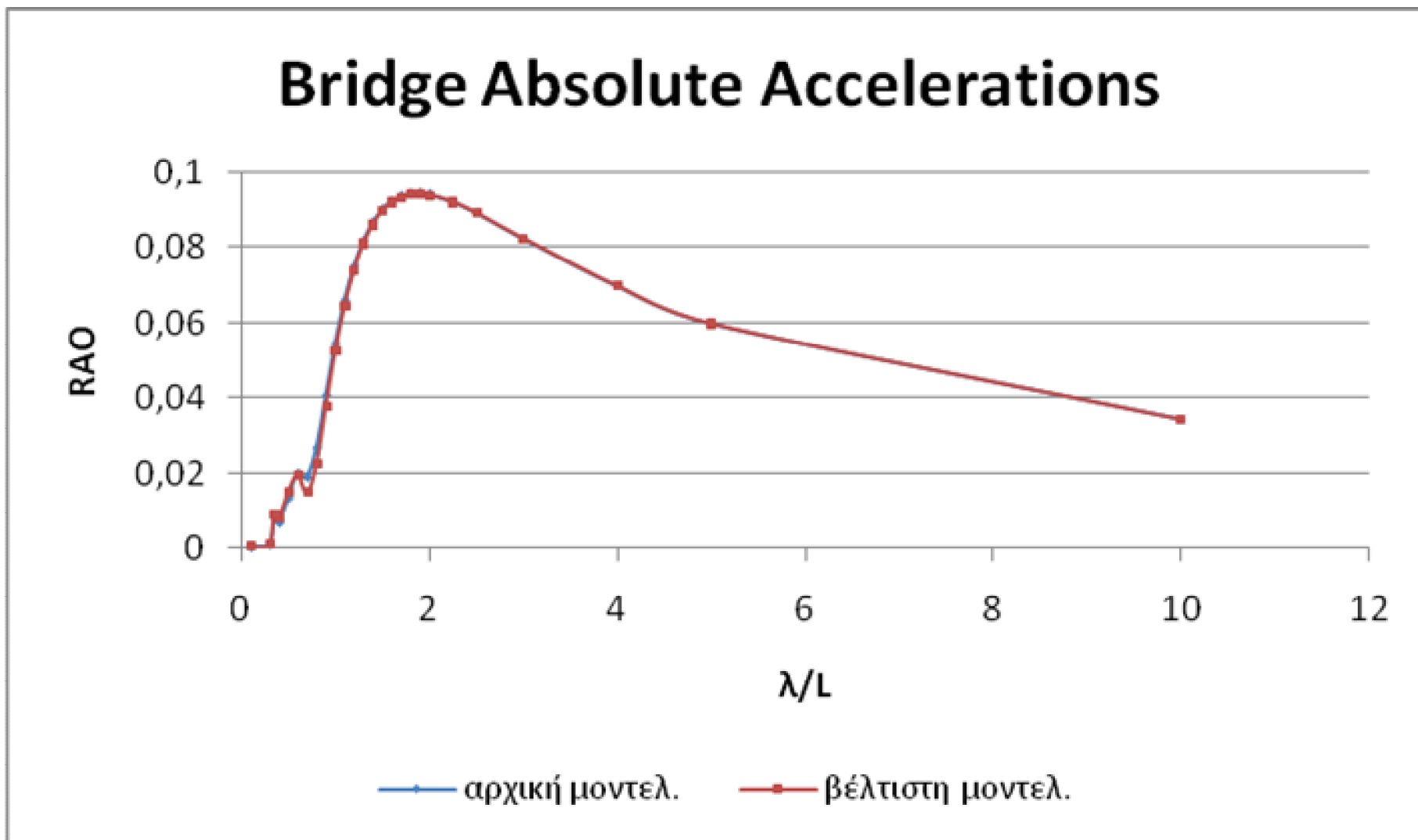
Πίνακας 7.1.9

## Helipad Absolute Velocities

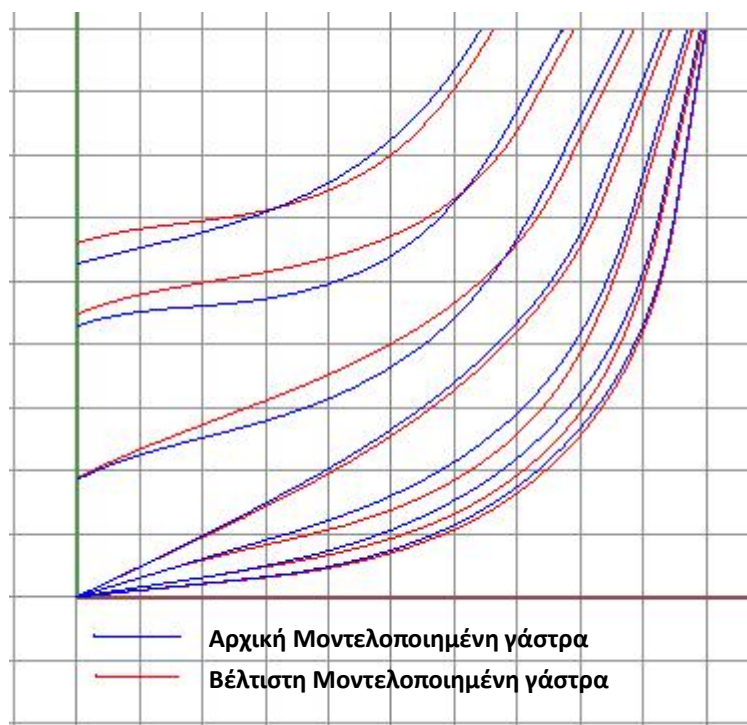
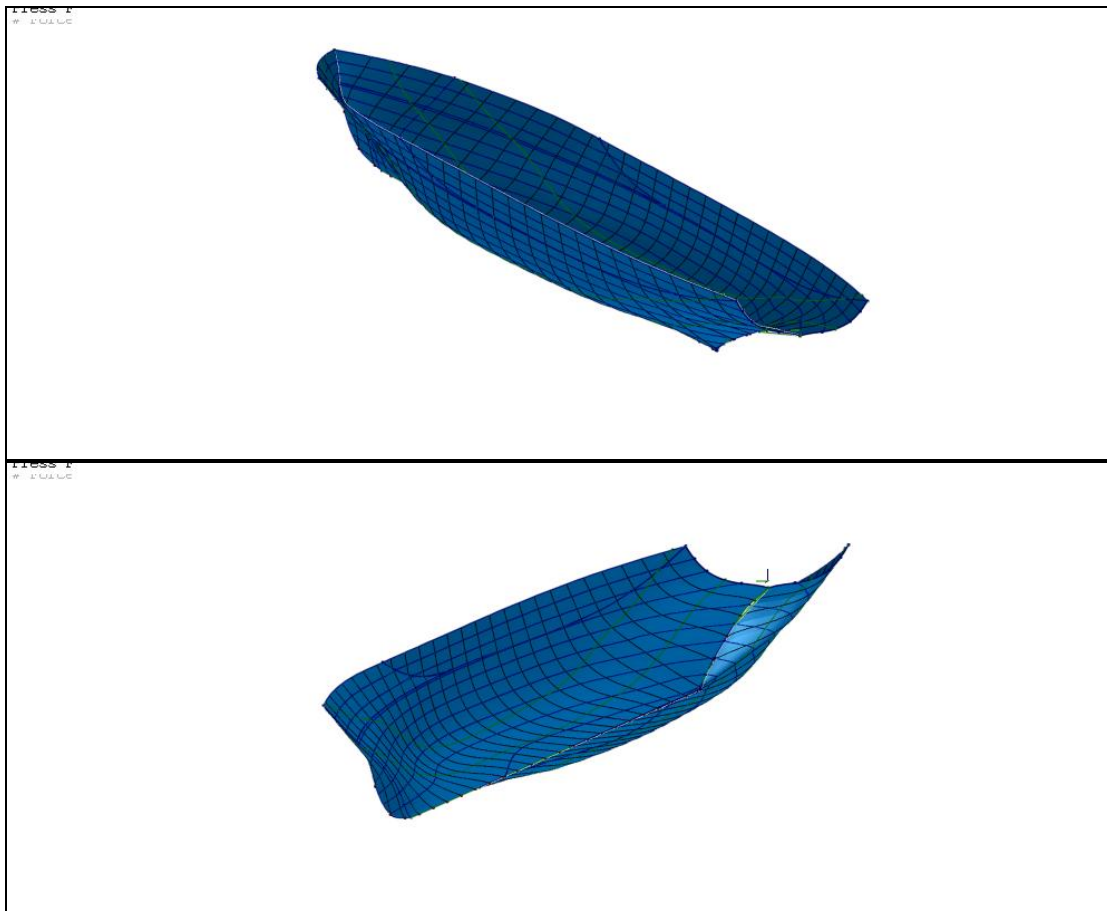


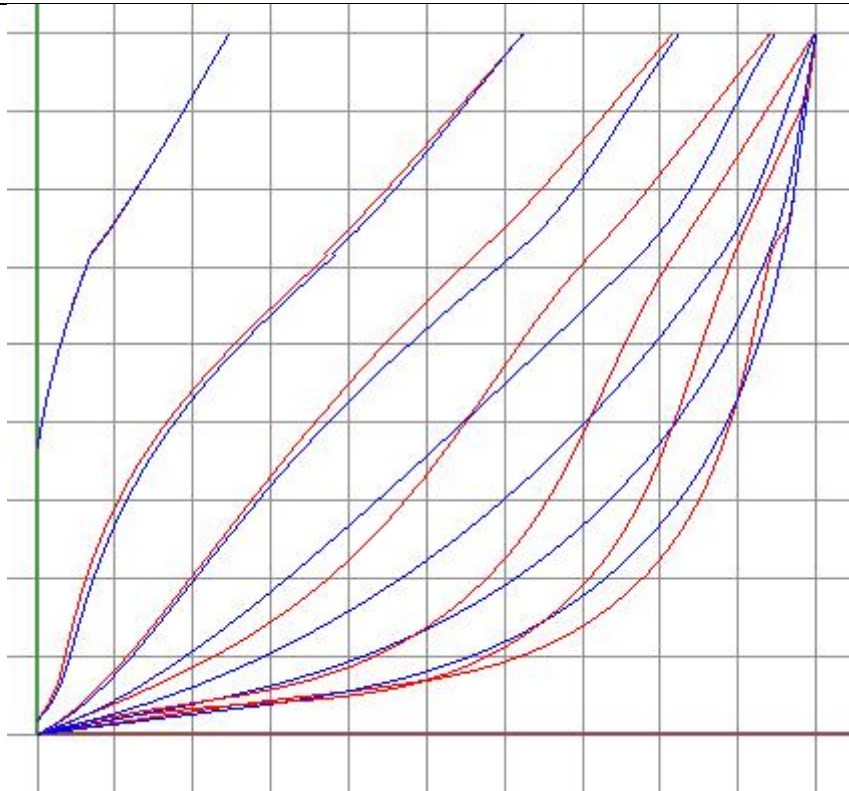
—♦— αρχική μοντελ.

—■— βέλτιστη μοντελ.



Στα παρακάτω δύο σχήματα φαίνεται η μορφή της νέας γάστρας και στο επόμενο η σύγκριση της νέας βελτιστοποιημένης με την αρχική μοντελοποιημένη.





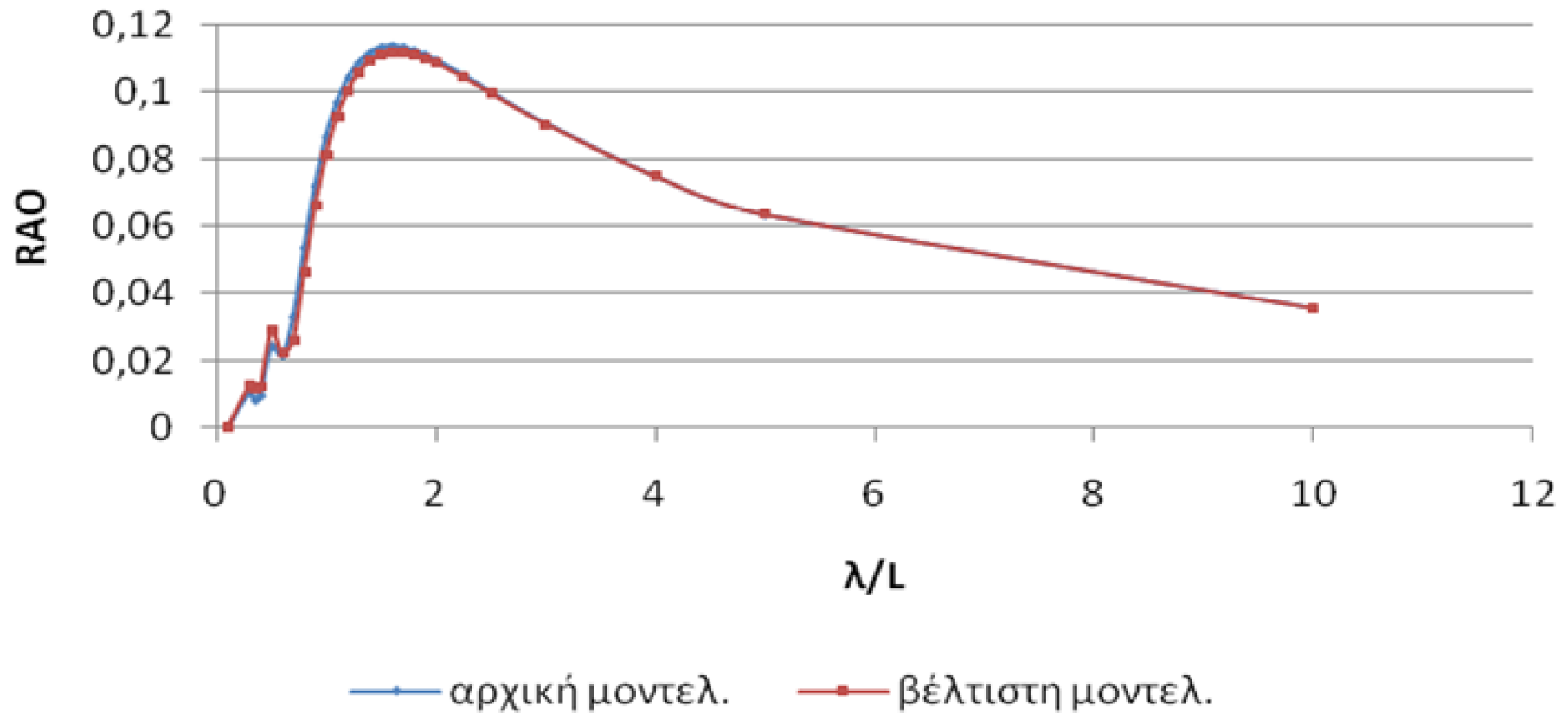
iv. **Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης ταχύτητας ελικοδρομίου και κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας για γωνία πρόσπτωσης κύματος 30° και ταχύτητα 10 κόμβων (10kn).**

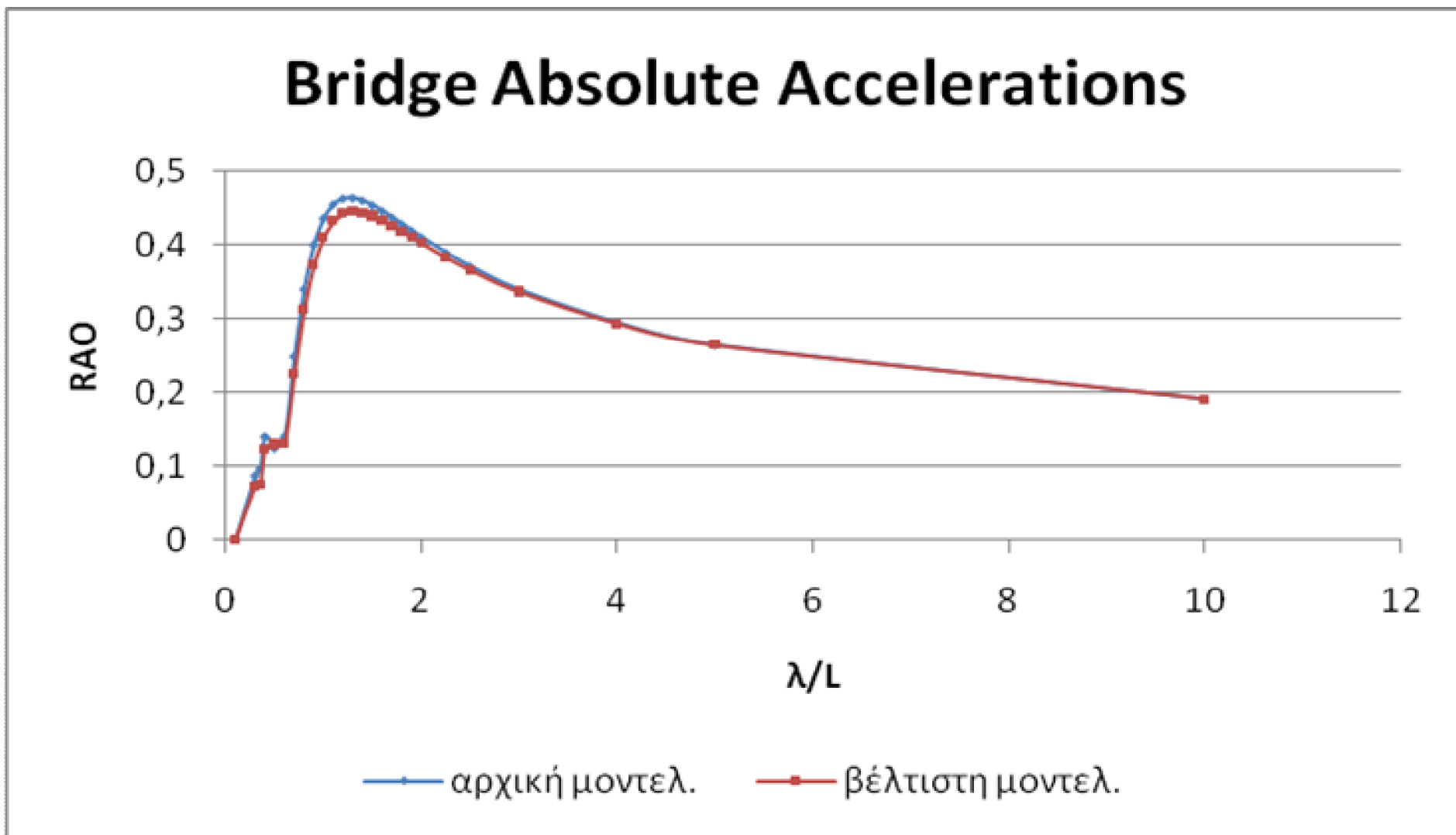
Στο επόμενο γράφημα φαίνεται η σύγκριση της κατακόρυφης ταχύτητας στο ελικοδόρμιο, η επιτάχυνση στο κατάστρωμα γεφύρας για τις δύο γάστρες και στον πίνακα που ακολουθεί οι τιμές των μεταβλητών και των κριτηρίων και η μεταβολή τους.

Παράμετροι	Τιμή	Τιμή	Μεταβολή
	Αρχική	Τελική	%
SACcpForBody	0,57	0,533219	-6,45%
SACcaForframe	0,42	0,4338737	3,30%
GSACareaCoeff	0,726	0,7378602	1,63%
GSACxcbAft	42,4	40,351945	-4,83%
TRANSECdraft	0,88	0,8428974	-4,22%
TRANSECtanAtCpc	15	23,97566	59,84%
TRANSECbeabAtDec	0,64	0,7153437	11,77%
DWLtanForFrame	20	25,271359	26,36%
DWLareaCoeff	0,735	0,7314997	-0,48%
FOSforEnd	90	79,670338	-11,48%
FOSanAtBow	20	26,681449	33,41%
<b>Κριτήρια</b>	<b>Αρχική</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
AbsVelocHeli	0,4651	0,4455	-4,21%
AbsAccelBridge	0,1183	0,1114	-5,83%
Roll	1,2923	1,2409	-3,98%

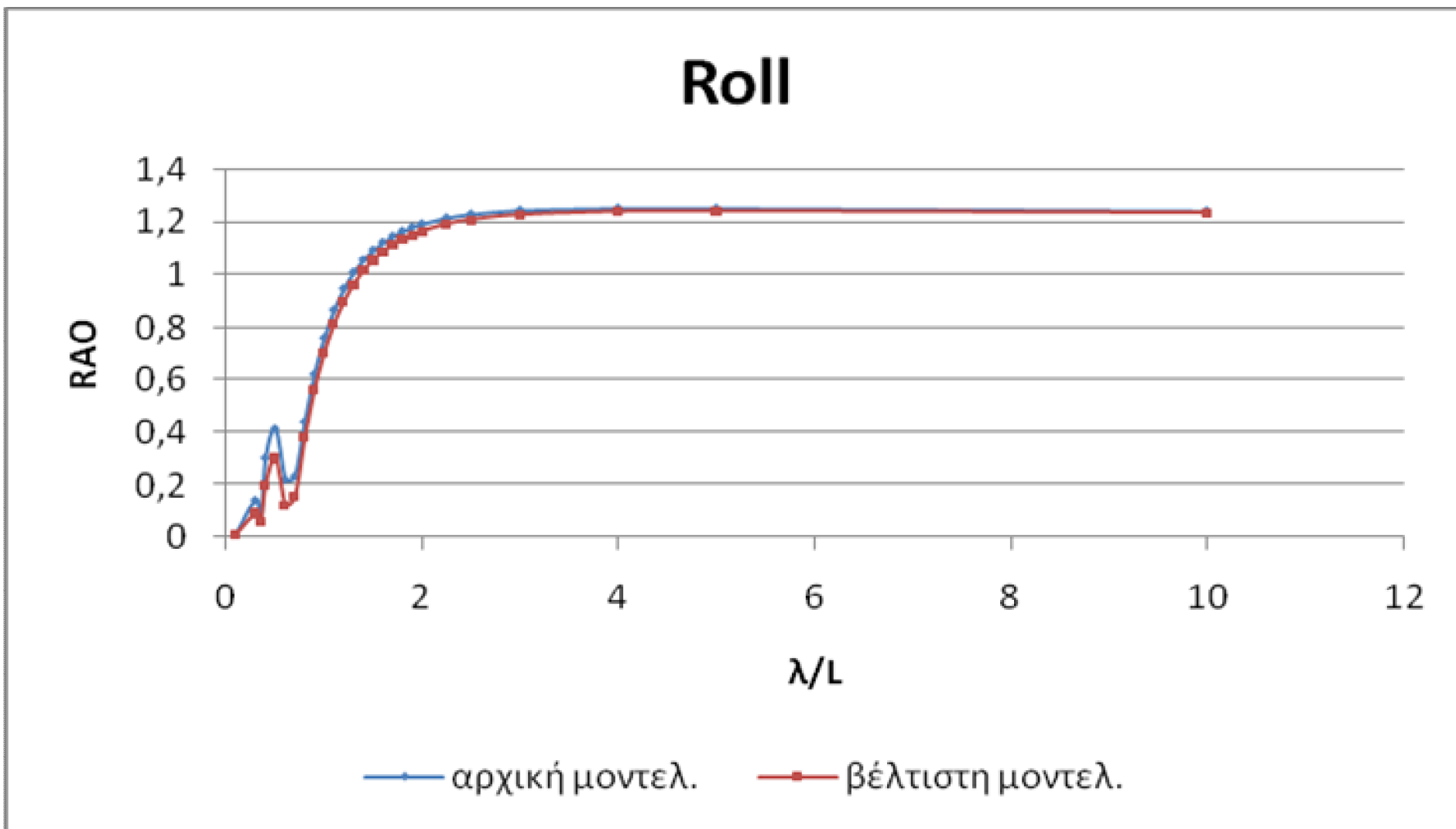
Πίνακας 7.1.10

# Helipad Absolute Velocities

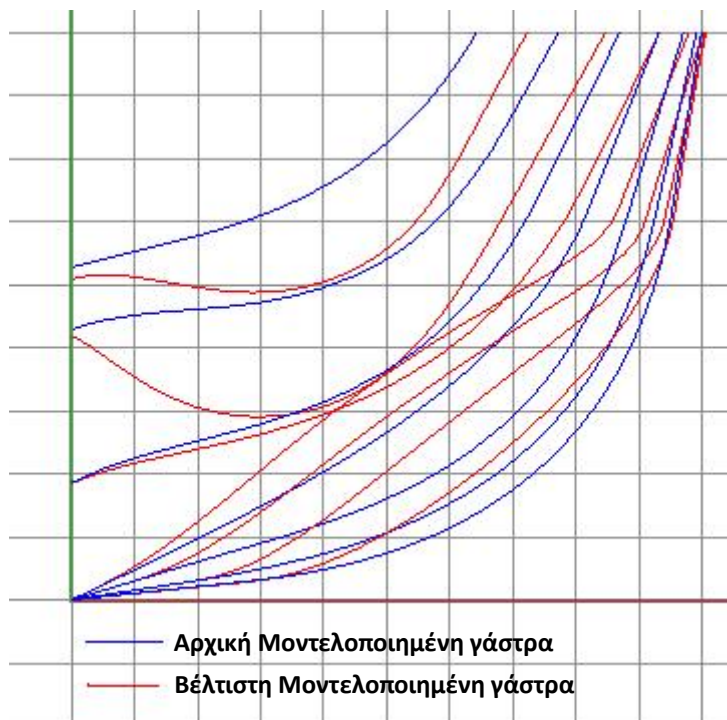
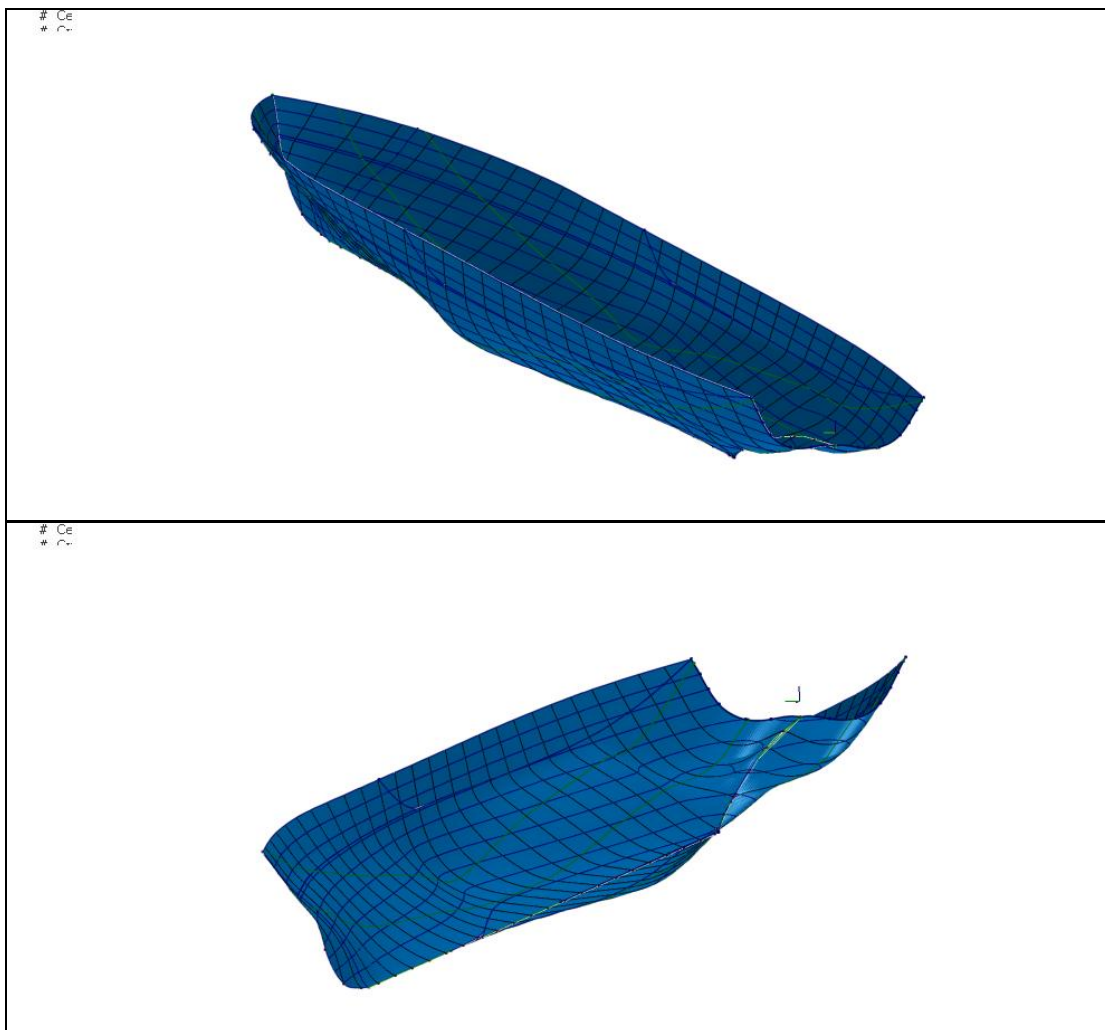


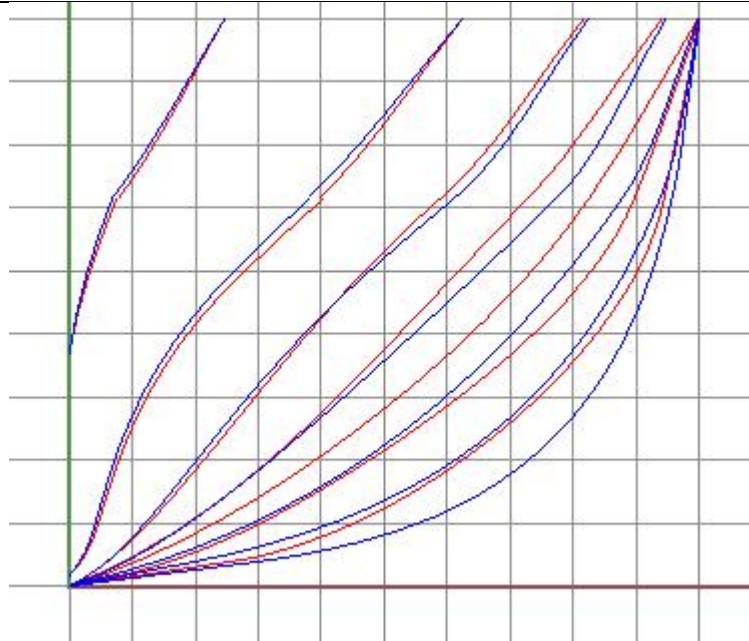






Στα παρακάτω δύο σχήματα φαίνεται η μορφή της νέας γάστρας και στο επόμενο η σύγκριση της νέας βελτιστοποιημένης με την αρχική μοντελοποιημένη.





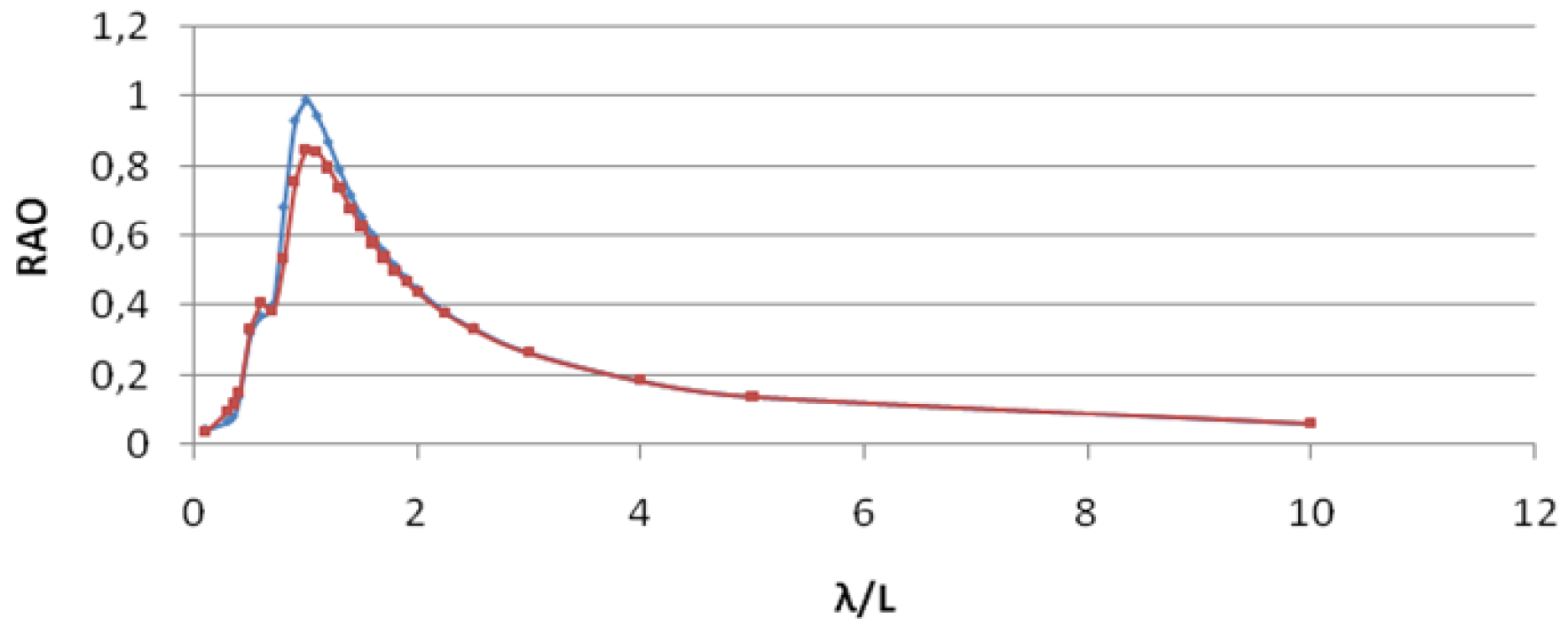
**v. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας για γωνία πρόσπτωσης κύματος 150° και ταχύτητα 30 κόμβων (30kn).**

Στα επόμενα γραφήματα φαίνεται η σύγκριση της απόλυτης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας και της κίνησης του διατοιχισμού για τις δύο γάστρες και στον πίνακα που ακολουθεί οι τιμές των μεταβλητών και του κριτηρίου και η μεταβολή τους.

Παράμετροι	Τιμή		Μεταβολή
	Αρχική	Τελική	%
SACcpForBody	0,57	0,543382	-4,67%
SACcaForframe	0,42	0,369143	-12,11%
DWLtanForFrame	20	17,05128	-14,74%
DWLareaCoeff	0,735	0,744444	1,28%
FOSforEnd	90	96,75702	7,51%
FOStanAtBow	20	29,13065	45,65%
<b>Κριτήρια</b>	<b>Αρχική</b>	<b>Τελική</b>	<b>%</b>
AbsAccelBridge	0,9829	0,8517	-13,35%
Roll	22,9277	20,083	-12,41%

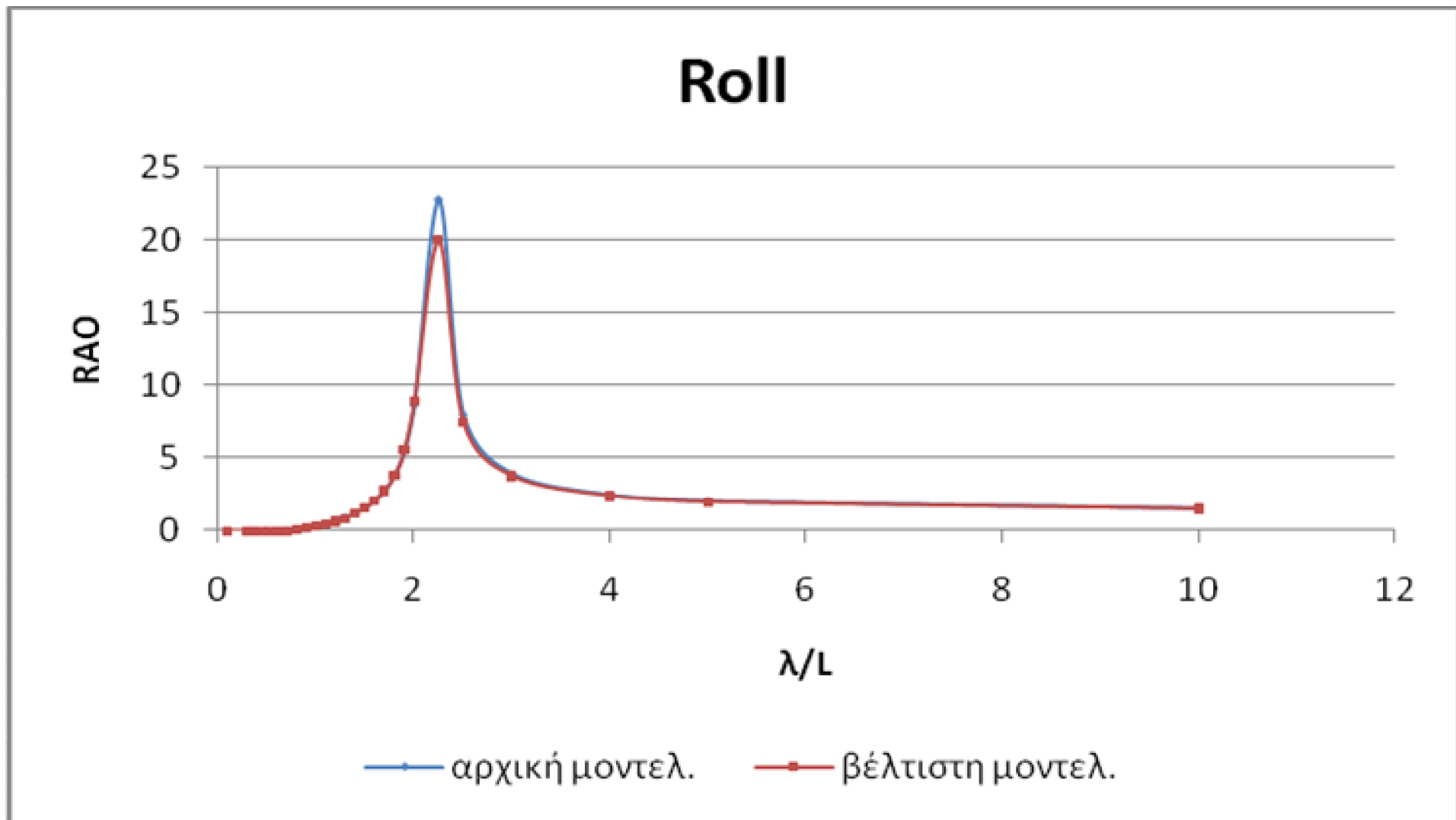
Πίνακας 7.1.11

# Bridge Absolute Accelerations

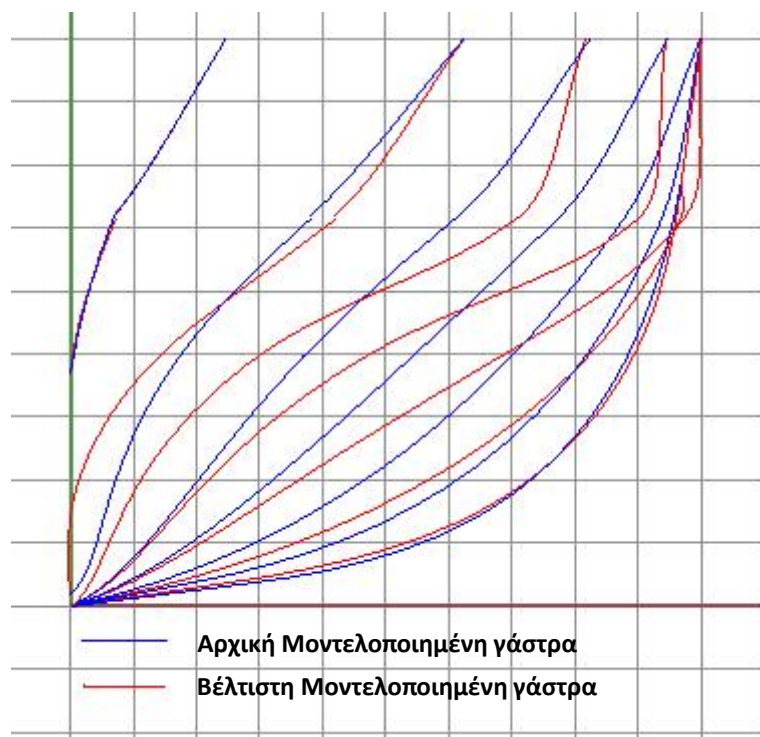
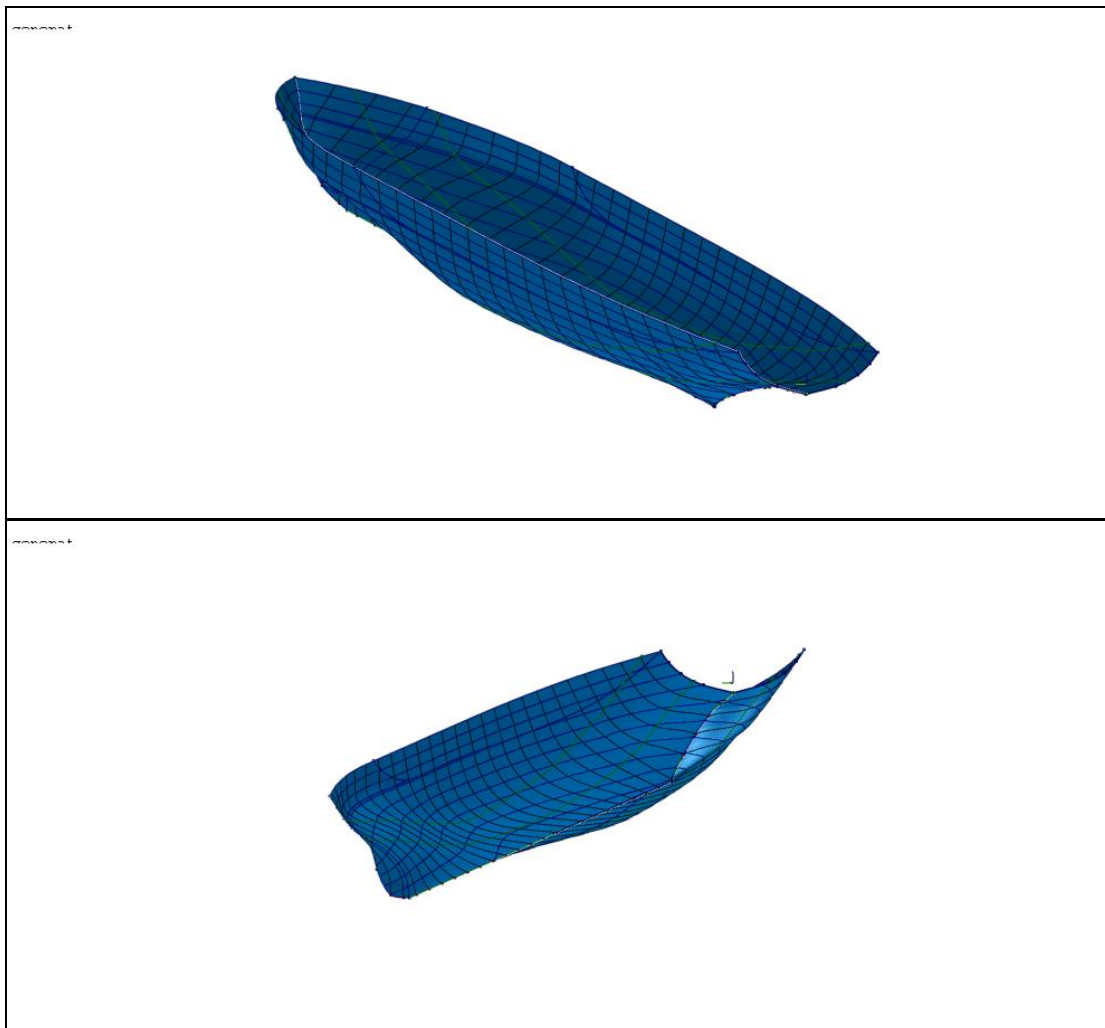


— αρχική μοντελ.

— βέλτιστη μοντελ.



Στα παρακάτω δύο σχήματα φαίνεται η μορφή της νέας γάστρας και στο επόμενο η σύγκριση της νέας βελτιστοποιημένης με την αρχική μοντελοποιημένη.



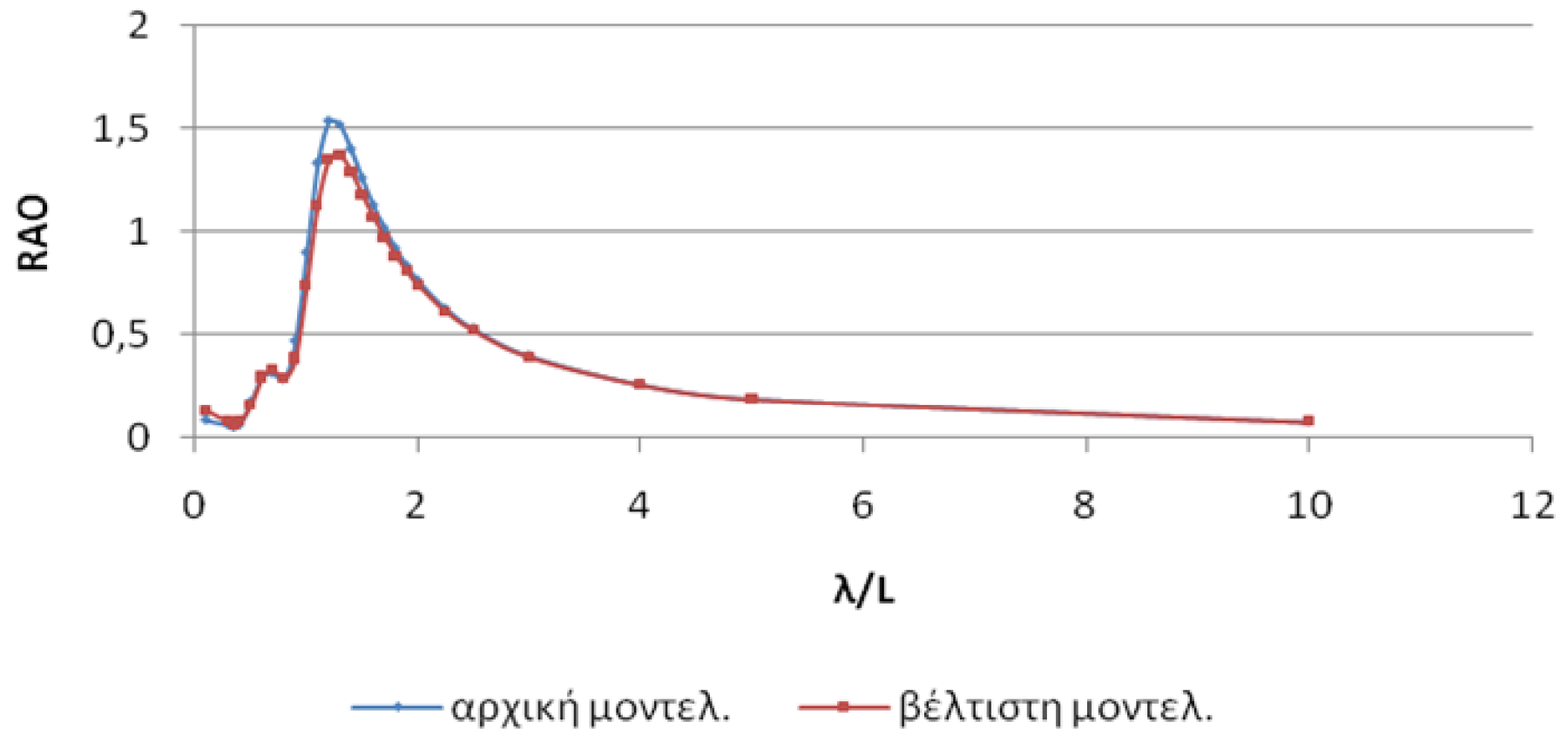
**vi. Ελαχιστοποίηση κατακόρυφης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας για γωνία πρόσπτωσης κύματος 180° (μετωπικοί) και ταχύτητα 30 κόμβων (30kn).**

Στο επόμενο γράφημα φαίνεται η σύγκριση της απόλυτης επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας για τις δύο γάστρες και στον πίνακα οι τιμές των μεταβλητών και του κριτηρίου και η μεταβολή τους.

Παράμετροι	Τιμή		Μεταβολή
	Αρχική	Τελική	%
SACcpForBody	0,57	0,56547	-0,80%
SACcaForframe	0,42	0,44789	6,64%
DWLtanForFrame	20	21,21	6,05%
DWLareaCoeff	0,735	0,72562	-1,28%
FOSforEnd	90	99,4188	10,47%
FOSanAtBow	20	26,4884	32,44%
<b>Κριτήρια</b>	<b>Αρχική</b>	<b>Τελική</b>	<b>%</b>
AbsAccelBridge	1,5663	1,3864	-11,49%

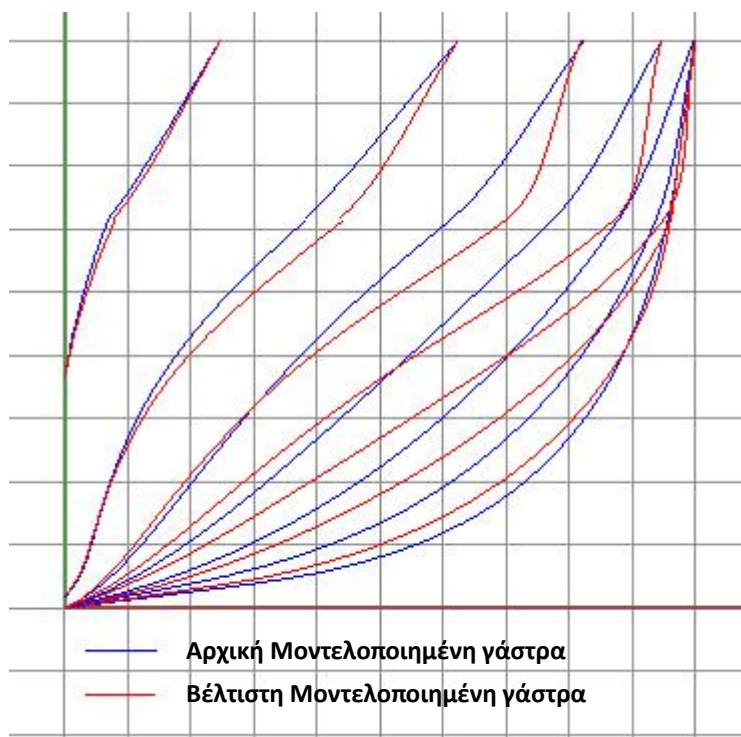
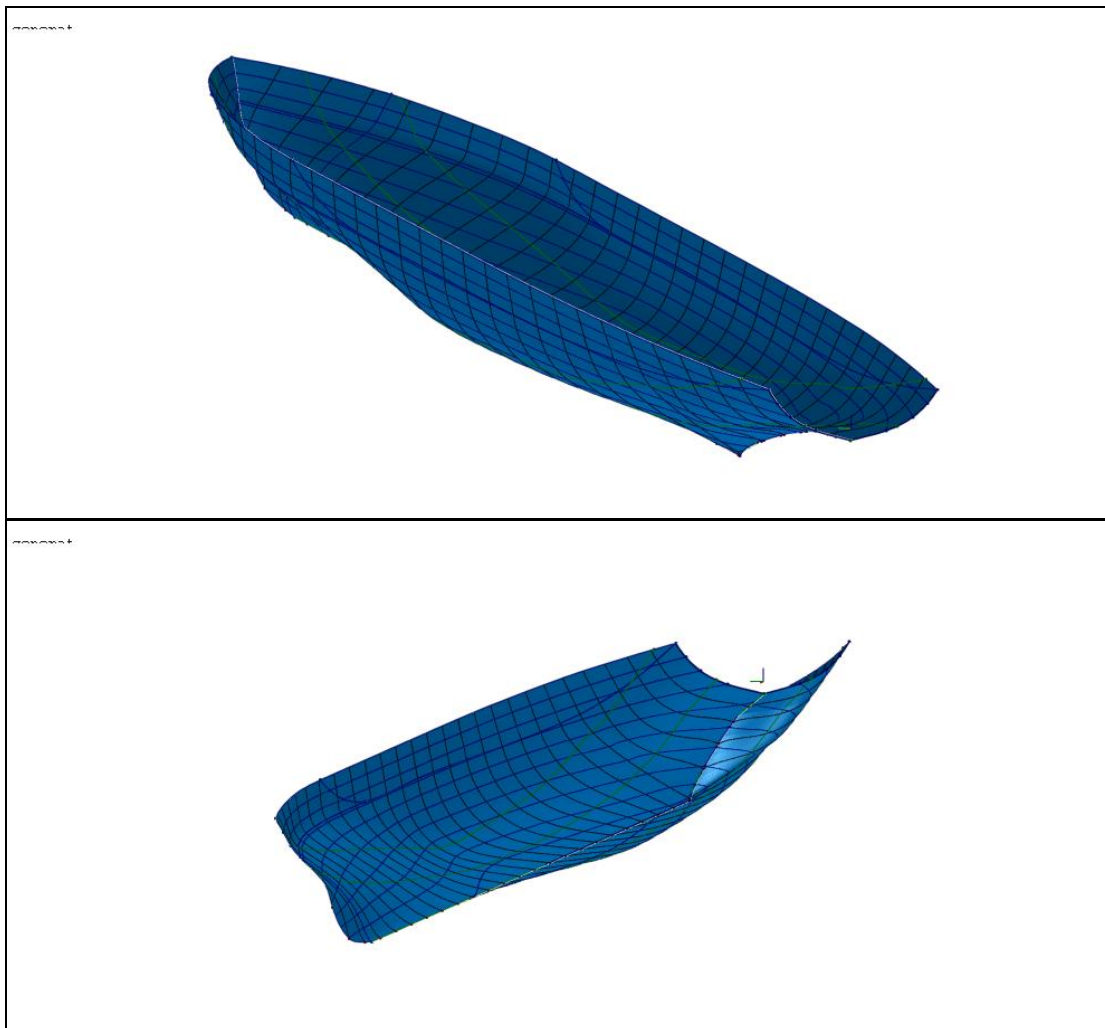
Πίνακας 7.1.12

# Bridge Absolute Accelerations





Στα παρακάτω δύο σχήματα φαίνεται η μορφή της νέας γάστρας και στο επόμενο η σύγκριση της νέας βελτιστοποιημένης με την αρχική μοντελοποιημένη.



## 7.2 Συμπεράσματα - Παρατηρήσεις

Μετά το τέλος όλων των δοκιμών είμαστε σε θέση να δούμε και να κρίνουμε τα αποτελέσματα των πειραμάτων και να επιλέξουμε τελικά αν οι βέλτιστες μορφές γάστρας είναι οι επιθυμητές ή όχι.

Ξεκινώντας, για ταχύτητα πλοίου 20 κόμβους, με το κριτήριο βελτιστοποίησης της επιτάχυνσης στο κατάστρωμα γεφύρας μπορούμε να πούμε ότι και στις δύο περιπτώσεις γωνίας πρόσκρουσης κυμάτων ( $150^\circ$  και  $180^\circ$ ) και στην ταχύτητα των 20 κόμβων η βελτιστοποίηση ήταν αρκετά αποτελεσματική. Αφ' ενός η μείωση των απόλυτων επιταχύνσεων στη γέφυρα ήταν της τάξης του 10% (13,64% και 9,25% αντίστοιχα) και αφ' ετέρου οι γάστρες που δημιουργήθηκαν ήταν στα πλαίσια του εφικτού, με μικρές διαφοροποιήσεις από την μοντελοποιημένη γάστρα, όπως φαίνεται και στα σχετικά διαγράμματα. Τέλος αξίζει να πούμε και ότι στην περίπτωση των κυματισμών  $150^\circ$  η μείωση της μέγιστης τιμής της κίνησης του διατοιχισμού (roll) ήταν 12,55% γεγονός που αυξάνει ακόμα περισσότερο την αξία του αποτελέσματος βελτιστοποίησης.

Συνεχίζοντας και αναλύοντας τα αποτελέσματα για την βελτιστοποίηση της απόλυτης ταχύτητας (γωνία κυμάτων  $0^\circ$  και  $30^\circ$ ) στο ελικοδρόμιο τα πράγματα είναι λίγο διαφορετικά από την προηγούμενη περίπτωση. Αρχικά, μιλάμε για πολύ μικρότερες μεταβολές στις απόλυτες τιμές της ταχύτητας και του roll ( $\approx 2\%$  και  $\approx 0.5\%$  αντίστοιχα για τις δύο περιπτώσεις). Από την άλλη βέβαια στην περίπτωση των πρυμνίων κυματισμών ( $0^\circ$ ) βλέπουμε ότι η τάση που υπάρχει για την μείωση της απόλυτης ταχύτητας συνοδεύεται με πιο οξείς μορφές γάστρας στην πρύμνη και αύξηση του πλάτους του καθρέπτη κατά 15% περίπου, φτάνοντας έτσι το 74% του μεγίστου πλάτους ( $B_{max}$ ).

Τέλος στις δύο περιπτώσεις βελτιστοποίησης απόλυτης τιμής της ταχύτητας στο ελικοδρόμιο και απόλυτης τιμής επιτάχυνσης στη γέφυρα έχουμε να πούμε ότι στην μεν περίπτωση των πρυμνίων κυματισμών ( $0^\circ$ ) η βελτιστοποίηση ήταν περίπου 3,5% για την ταχύτητα και 1,1% για την επιτάχυνση, ενώ στην περίπτωση των κυματισμών υπό γωνία ( $30^\circ$ ) η βελτιστοποίηση ήταν μικρότερη της τάξης του 0,5% για όλα τα μεγέθη. Βέβαια σημαντικό ρόλο παίζει και το γεγονός ότι στην περίπτωση των κυμάτων υπό γωνία  $30^\circ$  έπρεπε να ικανοποιηθούν ταυτοχρόνως τρία κριτήρια γεγονός που κάνει την βελτιστοποίηση δυσκολότερη.

Συνεχίζοντας με τις ίδιες δοκιμές, αλλά για διαφορετικές ταχύτητες πλοίου μπορούμε να πούμε ότι γενικά τα αποτελέσματα ήταν καλύτερα από ότι στις προηγούμενες περιπτώσεις. Συγκεκριμένα στην περίπτωση γωνίας πρόσκρουσης κυμάτων  $150^\circ$  και  $180^\circ$  και ταχύτητα 30 κόμβους, η βελτιστοποίηση της επιτάχυνσης στην γέφυρα κατ' απόλυτη τιμή ήταν 13,35% και 11,5% αντίστοιχα, ενώ και η μέγιστη τιμή του roll μειώθηκε κατά 12,4%.

Στην περίπτωση της βελτιστοποίησης της απόλυτης τιμής της ταχύτητας στο ελικοδρόμιο για γωνίες κύματος  $0^\circ$  και  $30^\circ$  και ταχύτητα 10 κόμβους, η μείωση ήταν

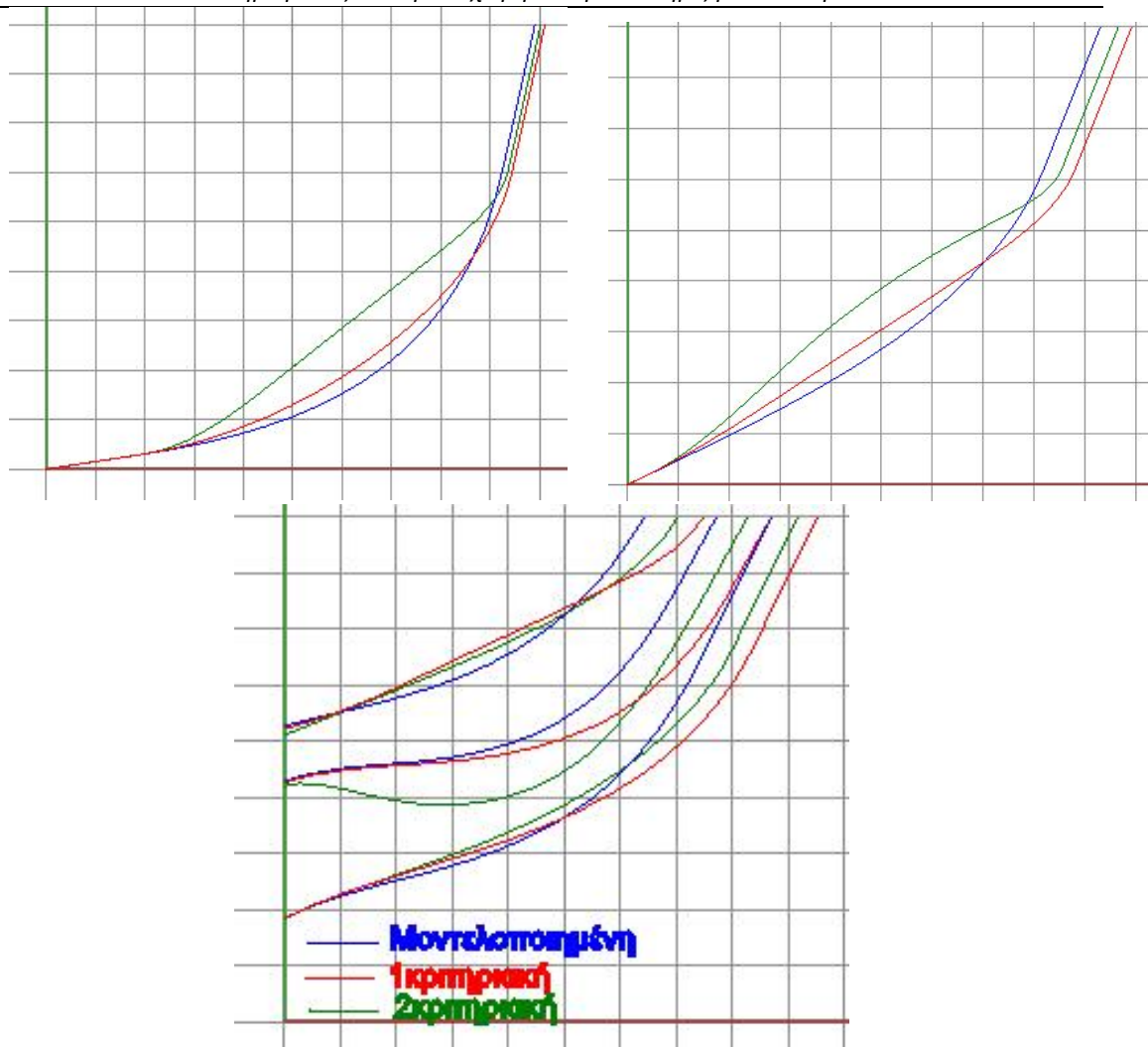
8,76% και 1,63% αντίστοιχα, ενώ στην μέγιστη τιμή του roll η μείωση ήταν 3,58%. Βέβαια όσο πιο μεγάλο είναι το ποσοστό μείωσης τόσο πιο πολύ διαφοροποιείται και η γάστρα μας από την αρχική της μορφή.

Τελειώνοντας τις δοκιμές με τις περιπτώσεις βελτιστοποίησης απόλυτης τιμής της ταχύτητας στο ελικοδρόμιο και απόλυτης τιμής επιτάχυνσης στη γέφυρα, έχουμε να παρατηρήσουμε ότι στην περίπτωση που έχουμε γωνία κυμάτων 0° και ταχύτητα 10 κόμβους η μείωση κατ' απόλυτη τιμή στα μεγέθη μας είναι 3,15% και 0,7% αντίστοιχα, ενώ στην περίπτωση γωνίας κυμάτων 30° η μείωση των ανωτέρω μεγεθών είναι 4,2% και 5,8% αντίστοιχα.

Συνεχίζοντας την αναζήτηση προς την βέλτιστη λύση αξίζει να ρίξουμε μια ματιά στους πίνακες τιμών στην περίπτωση που έχουμε πρυμνιούς κυματισμούς (0°), ταχύτητα 20 κόμβων και ένα ή δύο κριτήρια προς βελτιστοποίηση. Με τα γραμμοσκιασμένα είναι οι τιμές των μεγεθών προς σύγκριση. Εδώ παρατηρούμε ότι στο κριτήριο σύγκλησης έχουμε πετύχει μεγαλύτερη μείωση της τιμής του, αλλά ταυτόχρονα έχουμε μεγαλύτερες αποκλίσεις στις τιμές των μεταβλητών. Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται και η διαφορά στις γάστρες για την συγκεκριμένη περίπτωση.

Παράμετροι	2Κριτηριακό πρόβλημα			1Κριτηριακό πρόβλημα	
	Τιμή		Μεταβολή	Τιμή	Μεταβολή
	Αρχική	Τελική	%	Τελική	%
SACcpForBody	0,57	0,57	0,00%	Τιμή	Μεταβολή
SACcaForframe	0,42	0,444	5,71%	Τελική	%
GSACareaCoeff	0,726	0,708	-2,48%	0,74	1,93%
GSACxcbAft	42,4	41,52	-2,08%	41,77	-1,49%
TRANSECdraft	0,88	1,04	18,18%	0,93	5,68%
TRANSECtanAtCpc	15	22,28	48,53%	13,13	-12,47%
TRANSECbeabAtDec	0,64	0,702	9,69%	0,74	15,63%
DWLtanForFrame	20	26,4	32,00%		
DWLareaCoeff	0,735	0,605	-17,69%		
FOSforEnd	90	98,23	9,14%		
FOStanAtBow	20	13,4	-33,00%		
Κριτήρια	Αρχική	Τελική	%	Τελική	%
AbsVelocHeli	0,2557	0,2467	-3,52%	0,2508	-1,92%
AbsAccelBridge	0,0456	0,0451	-1,10%		

Πίνακας 7.2.1



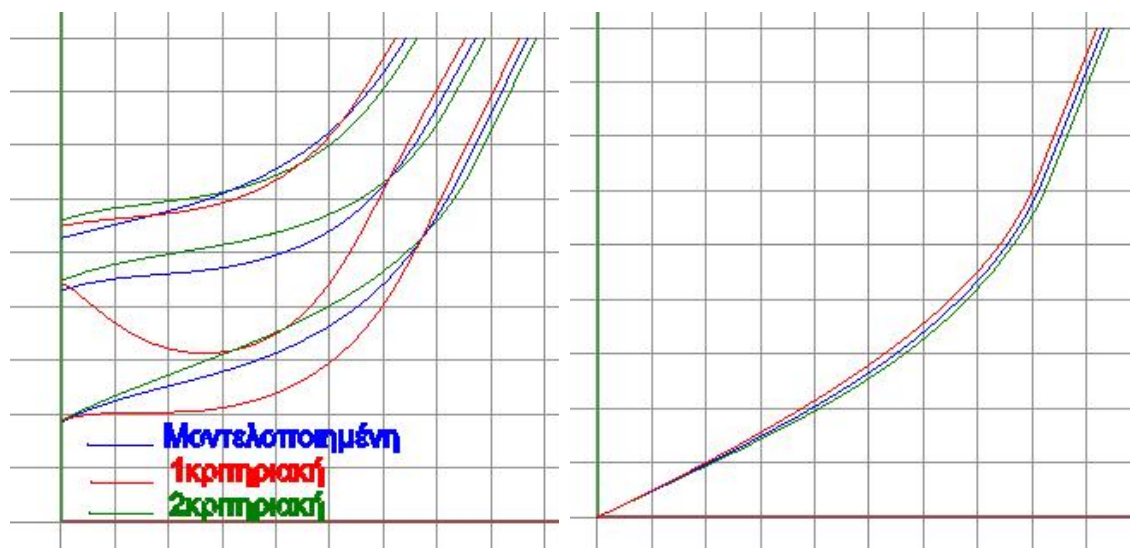
Σχήμα 7.2.1

Στην περίπτωση που έχουμε πρυμνιούς κυματισμούς υπό γωνία ( $30^\circ$ ) και ταχύτητα 20 κόμβων, δεν αξίζει να κάνουμε σύγκριση των αποτελεσμάτων στην περίπτωση ενός ή δύο κριτηρίων μιας και δεν είχαμε βέλτιστη λύση σε κάποια από τις δύο περιπτώσεις.

Στις δοκιμές με ταχύτητα 10 κόμβους, όμοια με προηγούμενες, θα δούμε στον πίνακα που ακολουθεί μία σύγκριση τιμών στην περίπτωση πρυμνιών κυματισμών ( $0^\circ$ ) και με ένα ή δύο κριτήρια προς βελτιστοποίηση. Με τα γραμμοσκιασμένα είναι οι τιμές των μεγεθών προς σύγκριση. Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση που εξετάζουμε την βελτιστοποίηση ενός μόνο κριτηρίου έχουμε μεγαλύτερη μείωση της τιμής του, απ' ότι όταν εξετάζουμε την ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση δύο κριτηρίων, ενώ και το εύρος τιμών των μεταβλητών είναι μικρότερο στην πρώτη περίπτωση. Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται και η διαφορά στις γάστρες για την συγκεκριμένη περίπτωση.

Παράμετροι	2Κριτηριακό πρόβλημα		Μεταβολή	1Κριτηριακό πρόβλημα	
	Τιμή	Μεταβολή		Τιμή	Μεταβολή
Αρχική	Τελική	%	Τελική	%	
SACcpForBody	0,57	0,586	2,80%	0,73007	0,56%
SACcaForframe	0,42	0,401	-4,53%	0,66125	-24,86%
GSACareaCoeff	0,726	0,7291	0,43%	0,61937	-3,22%
GSACxcbAft	42,4	40,63	-4,17%	41,5402	-2,03%
TRANSECdraft	0,88	0,5524	-37,22%	0,66125	-24,86%
TRANSECtanAtCpc	15	18,161	21,08%	12,337	-17,75%
TRANSECbeabAtDec	0,64	0,6605	3,21%	0,61937	-3,22%
DWLtanForFrame	20	21,256	6,28%		
DWLareaCoeff	0,735	0,7015	-4,56%		
FOSforEnd	90	92,924	3,25%		
FOSanAtBow	20	20,89	4,45%		
Κριτήρια	Αρχική	Τελική	%	Τελική	%
AbsVelocHeli	0,4222	0,4089	-3,15%	0,3852	-8,76%
AbsAccelBridge	0,0966	0,0959	-0,72%		

Πίνακας 7.2.2



Σχήμα 7.2.2

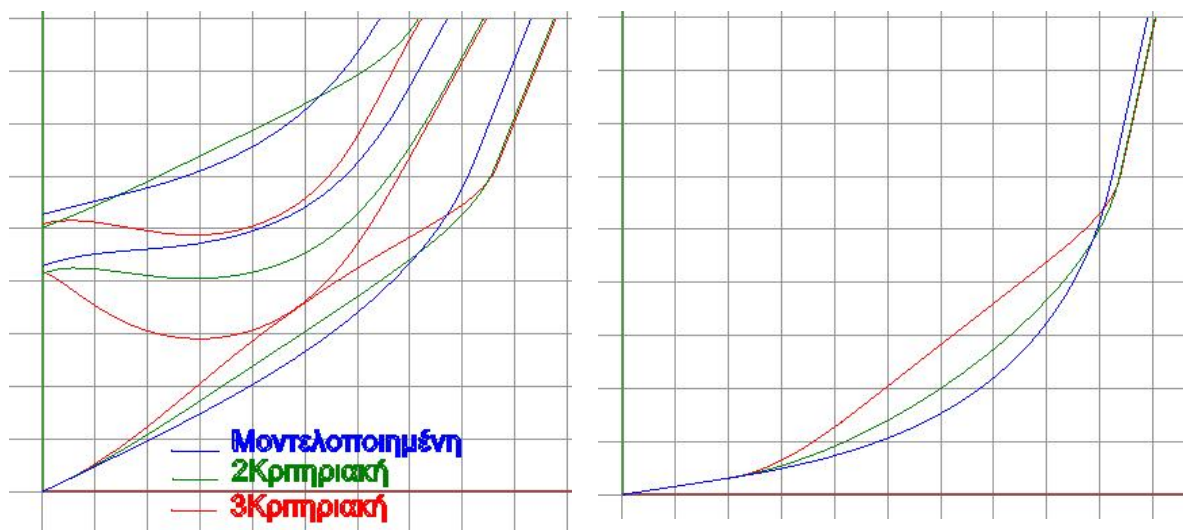
Συνεχίζοντας την μελέτη των πειραμάτων, δοκιμές με ταχύτητα 10 κόμβους και κυματισμούς 30°, στον παρακάτω πίνακα κάνουμε σύγκριση τιμών για τα δύο πολυκριτηριακά προβλήματα. Με τα γραμμοσκιασμένα είναι οι τιμές των μεγεθών προς σύγκριση. Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση που εξετάζουμε την βελτιστοποίηση δύο κριτηρίων έχουμε μικρότερη μείωση της απόλυτης τιμής τους, απ' ό τι όταν εξετάζουμε την ελαχιστοποίηση τριών κριτηρίων, ενώ και το εύρος



τιμών των μεταβλητών είναι μεγαλύτερο στην πρώτη περίπτωση. Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται και η διαφορά στις γάστρες για την συγκεκριμένη περίπτωση.

Παράμετροι	3Κριτηριακό πρόβλημα			2Κριτηριακό πρόβλημα	
	Τιμή		Μεταβολή	Τιμή	Μεταβολή
	Αρχική	Τελική	%		
SACcpForBody	0,57	0,53322	-6,45%	0,53322	-6,45%
SACcaForframe	0,42	0,43387	3,30%	0,43387	3,30%
GSACareaCoeff	0,726	0,73786	1,63%	0,7367	1,47%
GSACxcbaft	42,4	40,3519	-4,83%	41,5692	-1,96%
TRANSECdraft	0,88	0,8429	-4,22%	1,06784	21,35%
TRANSEctanAtCpc	15	23,9757	59,84%	24,5201	63,47%
TRANSECbeabAtDec	0,64	0,71534	11,77%	0,71705	12,04%
DWLtanForFrame	20	25,2714	26,36%		
DWLareaCoeff	0,735	0,7315	-0,48%		
FOSforEnd	90	79,6703	-11,48%		
FOSanAtBow	20	26,6814	33,41%		
Κριτήρια	Αρχική	%	%	Τελική	%
AbsVelocHeli	0,4651	0,4455	-4,21%	0,4575	-1,63%
AbsAccelBridge	0,1183	0,1114	-5,83%		
Roll	1,2923	1,2409	-3,98%	1,2461	-3,58%

Πίνακας 7.2.3



Σχήμα 7.2.3

Μία άλλη ενδιαφέρων σύγκριση στοιχείων είναι αυτή των δοκιμών ίδιας γωνίας πρόσπτωσης κυμάτων αλλά για διαφορετικές ταχύτητες πλεύσης.

Στους παρακάτω διαδοχικούς πίνακες δεν αξίζει να δούμε την μείωση των κριτηρίων αριθμητικά, αλλά σαν ποσοστό μεταβολής, μιας και οι απόλυτες τιμές τους είναι διαφορετικές για κάθε ταχύτητα.

Κριτήρια	Ταχύτητα 20kn Πρυμοί κυματισμοί (0°)			Ταχύτητα 10kn Πρυμοί κυματισμοί (0°)		
	Τιμή		Μεταβολή	Τιμή		Μεταβολή
	Αρχική	Τελική	%	Αρχική	Τελική	%
AbsVelocHeli	0,2557	0,2508	-1,92%	0,4222	0,3852	-8,76%

Κριτήρια	Ταχύτητα 20kn γωνία κυματισμών 30°					Ταχύτητα 20kn γωνία κυματ. 30°	
	Τιμή	1 λύση				Τιμή	Μεταβολή
		Μεταβολή	Μεταβολή	Μεταβολή	Μεταβολή		
Αρχική	%	%	%	%	Αρχική	%	
AbsVelocHeli	0,2844	-1,34%	-1,30%	-1,02%	-0,53%	0,4651	-1,63%
Roll	1,1905	-0,29%	-0,58%	-0,60%	-0,91%	1,2923	-3,58%

Κριτήρια	Ταχύτητα 20kn Πρυμοί κυματισμοί (0)			Ταχύτητα 10kn Πρυμοί κυματισμοί (0)		
	Τιμή		Μεταβολή	Τιμή		Μεταβολή
	Αρχική	Τελική	%	Αρχική	Τελική	%
AbsVelocHeli	0,2557	0,2467	-3,52%	0,4222	0,4089	-3,15%
AbsAccelBridge	0,0456	0,0451	-1,10%	0,0966	0,0959	-0,72%

Κριτήρια	Ταχύτητα 20kn γωνία κυματισμών 30°					Ταχύτητα 20kn γωνία κυματ. 30°	
	Τιμή	1 λύση				Τιμή	Μεταβολή
		Μεταβολή	Μεταβολή	Μεταβολή	Μεταβολή		
Αρχική	%	%	%	%	Αρχική	%	
AbsVelocHeli	0,2844	-0,42%	1,76%	6,61%	7,17%	0,4651	-4,21%
AbsAccelBridge	0,0579	-0,52%	-0,86%	-1,21%	-0,86%	0,1183	-5,83%
Roll	1,1905	-0,58%	0,18%	0,08%	-0,48%	1,2923	-3,98%

Κριτήρια	Ταχύτητα 20kn γωνία κυματισμών 150°			Ταχύτητα 30kn γωνία κυματισμών 150°		
	Τιμή		Μεταβολή	Τιμή		Μεταβολή
	Αρχική	Τελική	%	Αρχική	Τελική	%
AbsAccelBridge	0,9862	0,8517	-13,64%	0,9829	0,8517	-13,35%
Roll	22,961	20,0804	-12,55%	22,9277	20,083	-12,41%

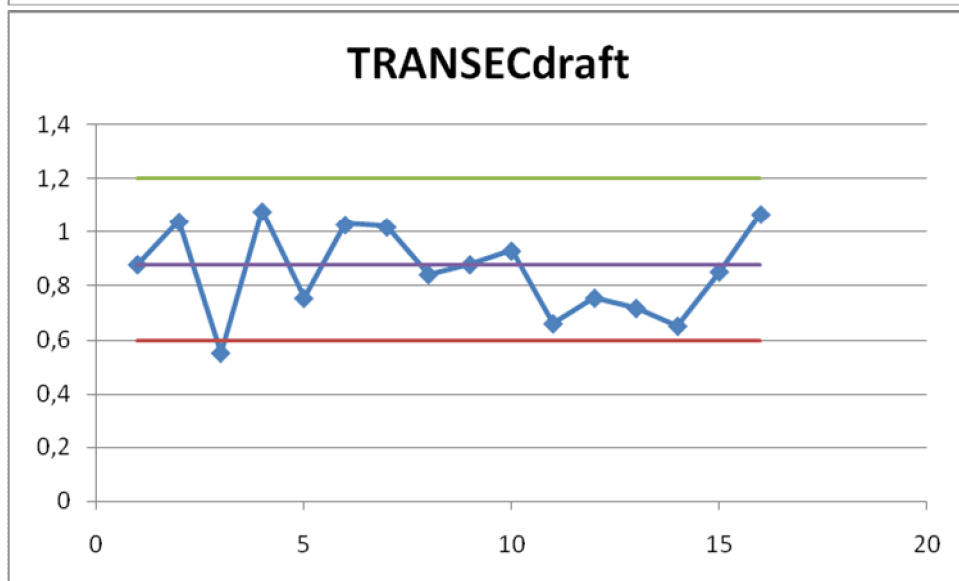
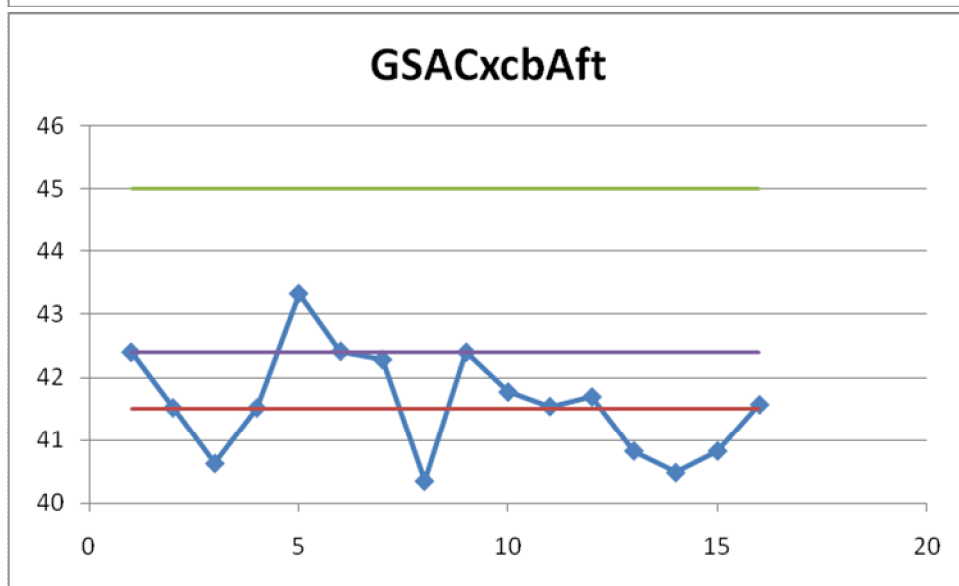
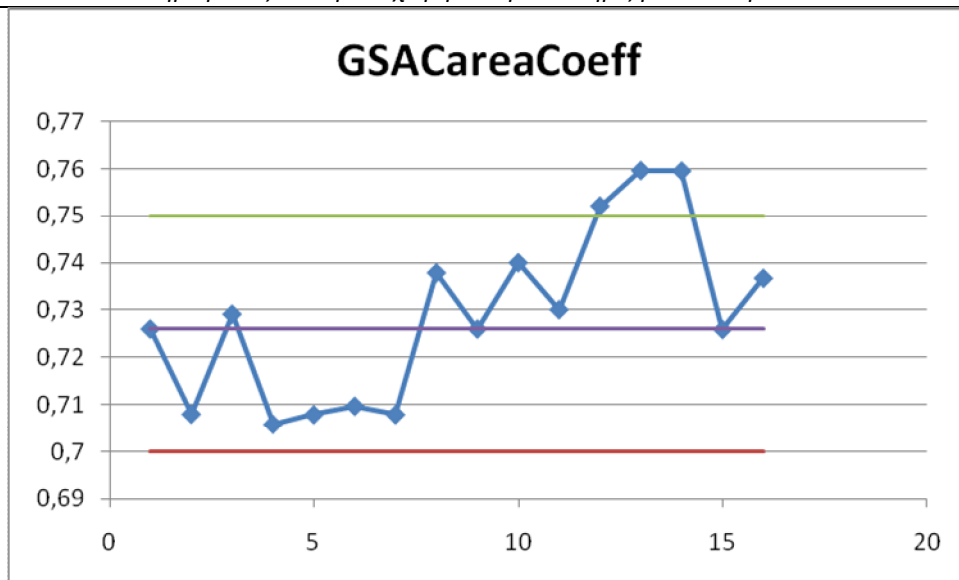
Κριτήρια	Ταχύτητα 20kn Μετωπικοί κυματισμοί (180°)			Ταχύτητα 30kn Μετωπικοί κυματισμοί (180°)		
	Τιμή		Μεταβολή	Τιμή		Μεταβολή
	Αρχική	Τελική	%	Αρχική	Τελική	%
AbsAccelBridge	0,9188	0,8338	-9,25%	1,5663	1,3864	-11,49%

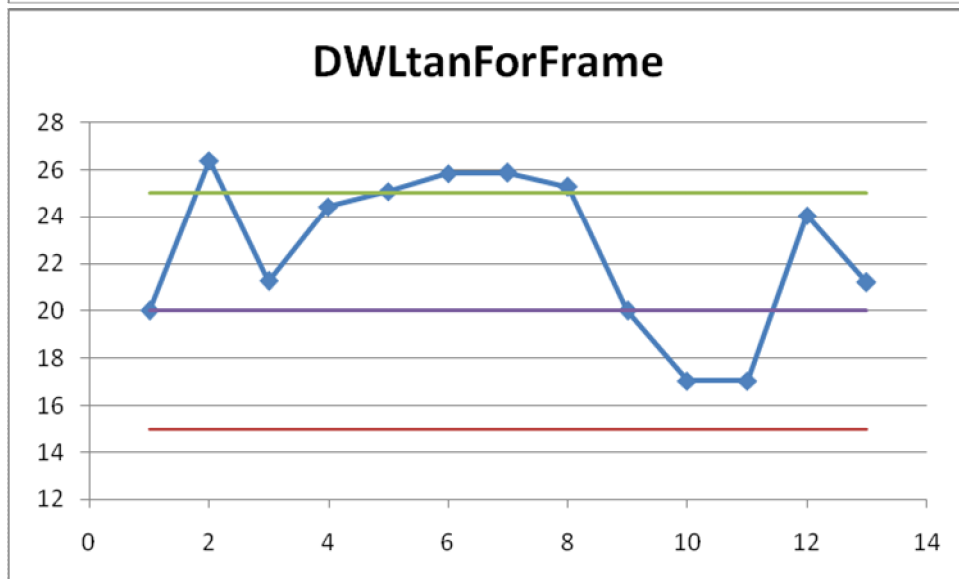
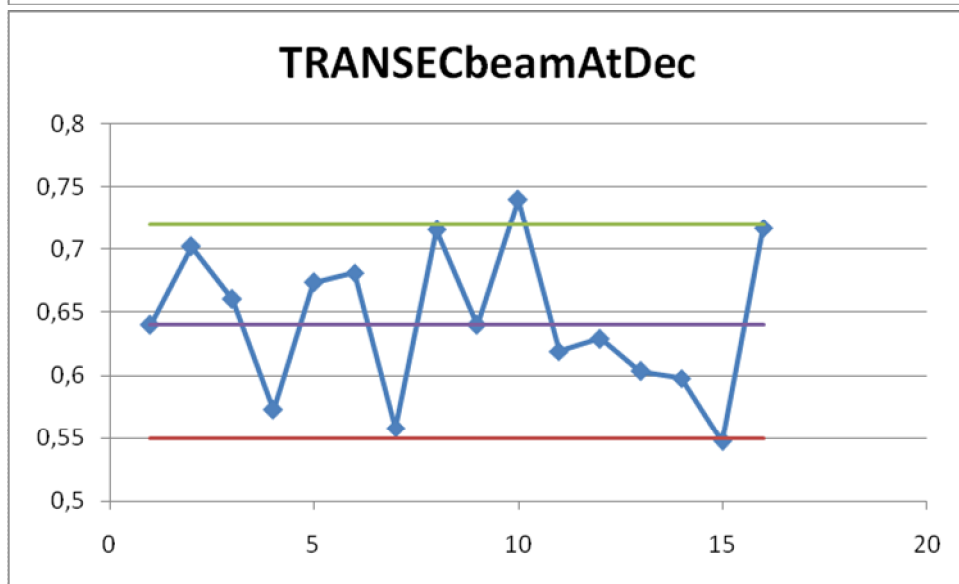
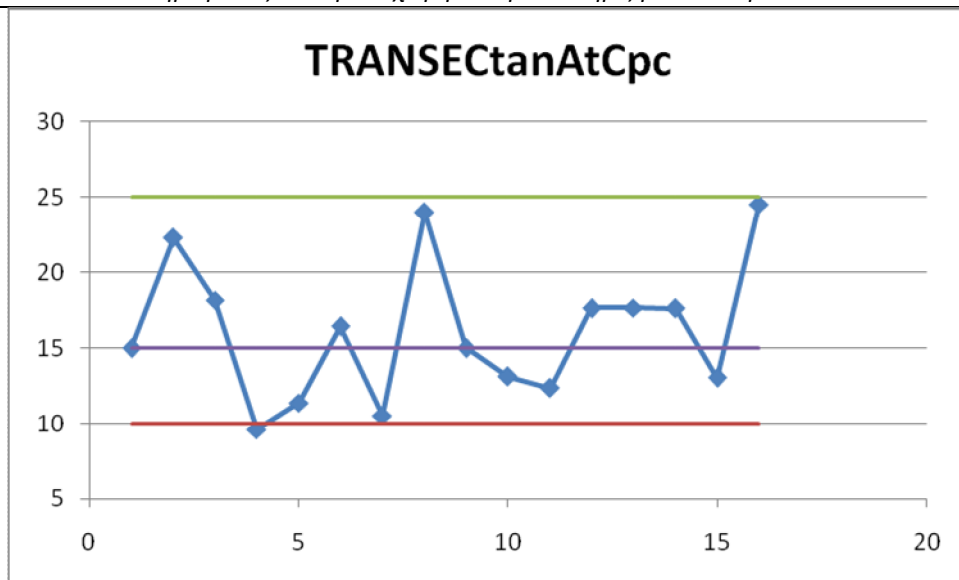
Πίνακες 7.2.4

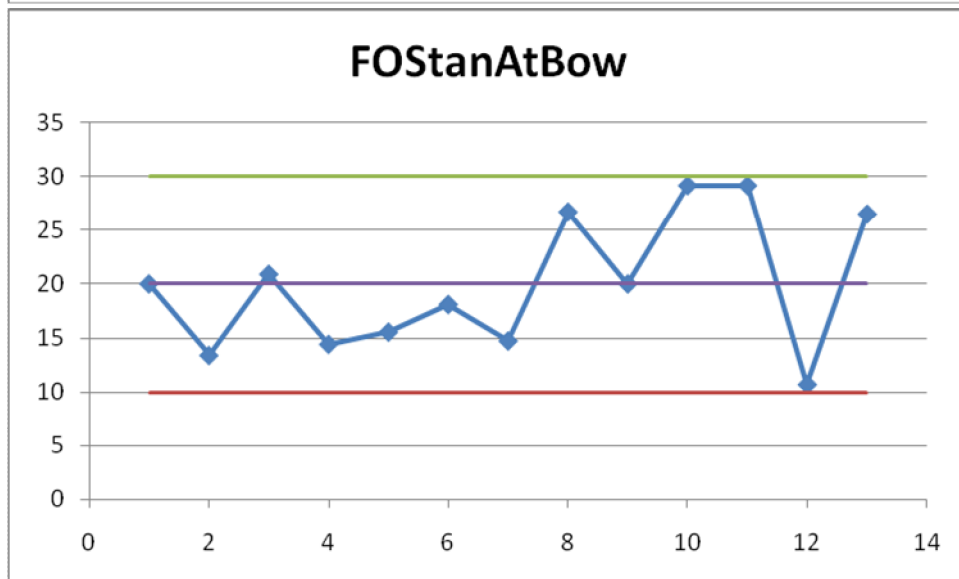
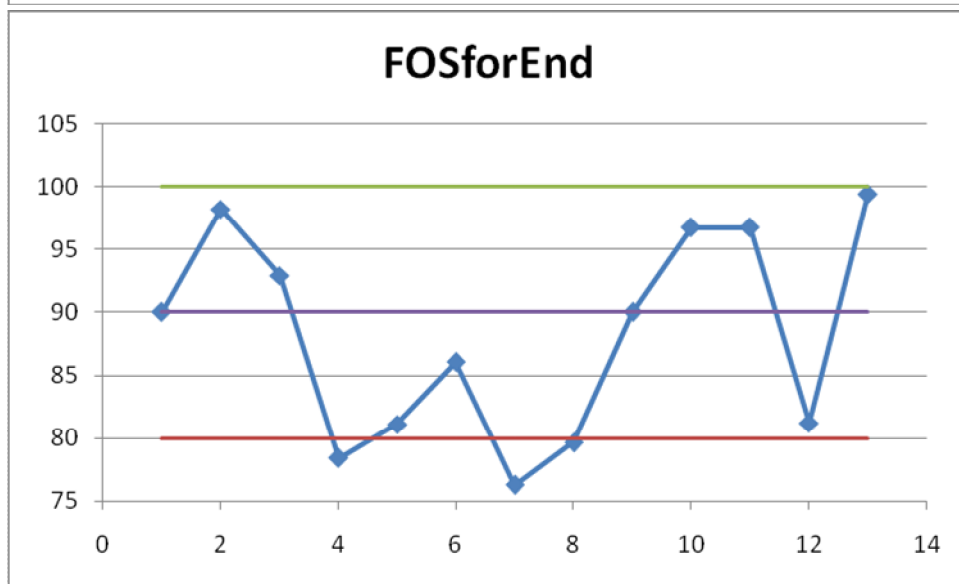
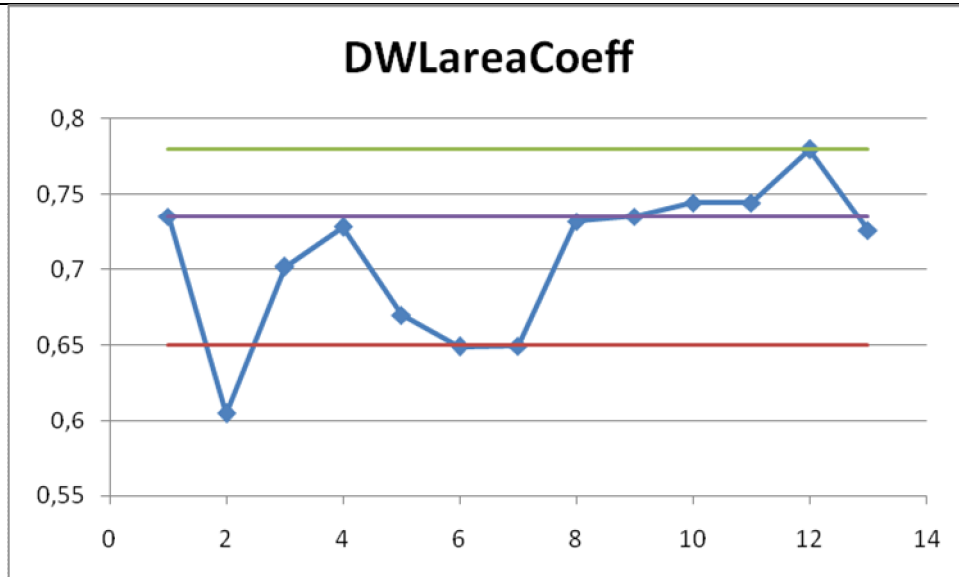
Στην συνέχεια μπορούμε να ρίξουμε μια ματιά στις έντεκα μεταβλητές μας και πως αυτές κυμαίνονται κατά τη διάρκεια των δοκιμών μας, ανεξαρτήτως κριτηρίων ή γωνιών πρόσπτωσης κύματος. Με κόκκινη γραμμή δηλώνεται το κάτω όριο και με την πράσινη το πάνω, ενώ με τη μωβ γραμμή στο κέντρο δηλώνεται η αρχική τιμή της μεταβλητής.











Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις παρατηρούμε ότι οι μεταβλητές κυμαίνονται σε όλο, σχεδόν, το φάσμα τιμών που τους έχει ορισθεί. Σε κάποιες όμως δοκιμές, όταν η μεταβλητή πάει στα όρια και τα ξεπερνάει, τότε το πρόγραμμα αδυνατεί να δώσει λύση και βγάζει “error”. Από την άλλη άμα αφήσουμε τα όρια των τιμών των μεταβλητών μεγαλύτερα, θα δημιουργηθούν γάστρες οι οποίες δεν είναι φυσιολογικές. Έτσι τα όρια των τιμών των μεταβλητών που θα μπούν πριν ξεκινήσουν τα πειράματα, θα πρέπει πρώτα να ελεγχούν από τον χρήστη. Επίσης είναι δυνατόν κατά τη διάρκεια δοκιμών να δούμε ότι μία μεταβλητή παίρνει συνέχεια μία τιμή, η οποία συνήθως είναι κοντά στα όρια, τότε πρέπει να μικρήνουμε λίγο το εύρος τιμών αυτής της μεταβλητής.

Σημαντική επιδίωξη καθ’ όλη τη διάρκεια των δοκιμών ήταν η ελαχιστοποίηση του RAO, γιατί με την μείωση του ελαχιστοποιούμε την απόκριση, ρίχνοντας την κορυφή της καμπύλης, άρα ελαχιστοποιούμε και την τιμή RMS. Επίσης με την ελαχιστοποίηση της απόκρισης RAO επιτεύχθηκε και η μείωση του μεγίστου της καμπύλης κατ’ απόλυτη τιμή, χωρίς η καμπύλη να μεταφερθεί στον άξονα των τεταγμένων.

## Επίλογος

Συνοψίζοντας, τόσο η παραμετρική αναπαράσταση όσο και η βελτιστοποίηση ενός σκάφους είναι διαδικασίες που απαιτούν μελέτη και εμπειρία. Είναι χρονοβόρες διαδικασίες και όπως και κάθε άλλη ανθρώπινη εργασία υπάρχει πιθανότητα τόσο να πετύχουν όσο και να αποτύχουν τον αντικειμενικό τους σκοπό. Έτσι και εμείς, μετά από μια σειρά πειραμάτων, φτάσαμε στον αντικειμενικό μας σκοπό, την βελτιστοποίηση πολεμικού πλοίου τύπου φρεγάτας.

Για να πετύχουμε την καλύτερη δυνατή βελτιστοποίηση θέσαμε εξ' αρχής τους στόχους, ορίσαμε με ακρίβεια τα κριτήρια και τις μεταβλητές σχεδίασης. Το αποτέλεσμα ήταν να πετύχουμε τον αντικειμενικό μας σκοπό, ο οποίος είναι η βελτιστοποίηση της δυναμικής συμπεριφοράς μιας φρεγάτας ως προς την επιχειρησιακή υποστήριξη ελικοπτέρου και την άνεση του πληρώματος. Γι' αυτό το λόγο μελετήθηκαν και αναλύθηκαν μέσω κατάλληλων προγραμμάτων Η/Υ η κατακόρυφη ταχύτητα στο ελικοδρόμιο και η επιτάχυνση στο κατάστρωμα γεφύρας.

Από τις δοκιμές που έγιναν πήραμε πολλά αποτελέσματα και βγάλαμε αρκετά συμπεράσματα. Για να ελαχιστοποιήσουμε την κατακόρυφη ταχύτητα στο ελικοδρόμιο μελετήσαμε αφ' ενός την κίνηση του πλοίου με ταχύτητα 20 κόμβων, πού είναι και η επιχειρησιακή ταχύτητα φρεγάτας, και με 10 κόμβους που είναι μια συνήθης ταχύτητα προσνήωσης και απονήωσης ελικοπτέρου και αφ' ετέρου τη συμπεριφορά του σε πρυμνιούς και σε 30° προσπίπτοντες κυματισμούς. Από την άλλη για να ελαχιστοποιήσουμε την επιτάχυνση στη γέφυρα εργαστήκαμε σε ταχύτητες 20 και 30 (μέγιστη υπηρεσιακή) κόμβων, για μετωπικούς και 150° προσπίπτοντες κυματισμούς.

Τα συμπεράσματα που βγάλαμε, ήταν αποτέλεσμα μονοκριτηριακών και πολυκριτηριακών δοκιμών βελτιστοποίησης. Γενικά παρατηρήσαμε ότι η βελτιστοποίηση του κριτηρίου της επιτάχυνσης στη γέφυρα για πρωραίους κυματισμούς μπορεί να γίνει σε μεγάλο ποσοστό, χωρίς να αλλάζει σε μεγάλο βαθμό η γάστρα στους πρωραίους νομείς. Τέλος η βελτιστοποίηση της απόλυτης τιμής της ταχύτητας στο ελικοδρόμιο μπορεί να επιτευχθεί σε μικρότερο ποσοστό, επηρεάζοντας αρνητικά σε μεγαλύτερο βαθμό τους πρυμναίους νομείς του πλοίου.

## Βιβλιογραφία

- Lothar Birk and Stefan Harries “*OPTIMISTIC – Optimization in Marine Design*”, 39<sup>th</sup> WEGEMT Summer School, Berlin, Germany, May 2003
- FRIENDSHIP SYSTEMS “*FRIENDSHIP-Modeler User manual*”, December 2004
- NTUA School of Mechanical Engineering Parallel CFD & Optimisation unit “*The Evolutionary Algorithm System User’s Manual*”, January 2008
- Γ.Χ. Τίκκος “*Αυτοματοποιημένη διαδικασία πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης υδροδυναμικών χαρακτηριστικών γάστρας με χρήση παραμετρικής αναπαράστασης*”, Διπλωματική εργασία, Αθήνα, Μάρτιος 2004
- Ανδρέας Ευστρατιάδης – Δημήτριος Κουτσογιάννης “*Βελτιστοποίηση συστημάτων υδατικών πόρων*”, Σημειώσεις, Αθήνα, 2004-2007
- K.C.Giannakoglou “*Design of optimal aerodynamic shapes using stochastic optimization methods and computational intelligence*”, Progress in Aerospace Sciences, Pergamon, 2002
- G.Grigoropoulos “*Hull Form optimization for hydrodynamic performance, Marine Technology*”, Vol. 41, No. 4, October 2004
- G.Grigoropoulos “*Laboratory for ship and marine hydrodynamics (LSMH)*”, Παρουσίαση, Αθήνα, Δεκέμβριος 2007
- Σ.Κ.Κάτσικας “*Εξελικτικός προγραμματισμός – Νέες μέθοδοι βελτιστοποίησης*”, Παρουσίαση, Τμήμα Μηχ/κων Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
- K.C.Giannakoglou “*Cost-Effective Metamodel-Assisted Evolutionary Algorithms*”, Σημειώσεις, Νοέμβριος 2004
- E.K.Boulougouris – A.D.Papanikolaou – G.Zaraphonitis “*Optimization of Arrangements of Ro-Ro Passenger Ship with Genetic Algorithms*”, Σημειώσεις
- A.J.Brown – J.Salcedo “*Multiple-Objective Optimization in Naval Ship Design*”, paper (Naval Engineers Journal, vol 115, No.4, pp.49-61), 2003

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Παραμετρικό αρχείο μοντελοποίησης frigate.fs2

```
COORDS {
  zOrigin   -1.0  MAIN.draft      //Καθ' ύψος θέση του συστήματος
  xOrigin   0.0   MAIN.length    //Διαμήκης θέση του συστήματος
} // COORDS

Xsections {
  start      0      -           //Αρχή δημιουργίας πρώτου νομέα
  interval   5      -           //Απόσταση μεταξύ νομέων
  number     29     -           //Συνολικός αριθμός νομέων
} // Xsections

SHOW {
  basic      1      -           //
  section    1      -           //
  surface    1      -           //
} // SHOW

USE {
  interpolation 1      -           //
  GSAC         1      -           //
} // USE

CREATE {
  noOfSections 21   int   //Καθορίζει τον αριθμό των νομέων
  BODY          1   -     //Καθορίζει τη δημιουργία ή όχι της
                          γάστρας
  SAC           1   -     //Καθορίζει τη δημιουργία η όχι της
                          καμπύλης SAC
  skeg          1   -     //Καθορίζει τη δημιουργία ή όχι skeg
  CRITERIA      1   -     //Καθορίζει τη δημιουργία ή όχι αρχείου
                          με τα υδροστατικά στοιχεία
} // CREATE

MAIN {
  length      142.0 m   //Μήκος μεταξύ καθέτων
  lax 0.5     MAIN.length //Διαμήκης θέση της μέσης τομής
  lenOfPar    0       m   //Μήκος παραλλήλου τμήματος
  beam        20      m   //Πλάτος μέσης τομής στην DWL
  draft       6.16   m   //Βύθισμα
  freeboard   2.82   m   //Ύψος πώρας στην DWL
} // MAIN

SAC {
  xForFrame 0.83  MAIN.length //Διαμήκης θέση ενός θεωρητικού νομέα
  centroidShift 0.1  %       //Μετακίνηση του LCB
  cpForBody 0.57  -         //Πρισματικός συντελεστής
  caForFrame 0.42  -         //Συντελεστής επιφανείας του θεωρητικού
                          νομέα
  tanAtFp    2     deg      //Γωνία στην FP
} // SAC

GSAC {
  midsecCoeff 1.227 -         //Συντελεστής επιφανείας στο σημείο
                          ένωσης με το μέσο νομέα
  transecCoeff 0.26 -        //Συντελεστής επιφανείας στην πρύμνη
```

**«Πολυ-κριτηριακή βελτιστοποίηση της δυναμικής συμπεριφοράς φρεγάτας ως προς την άνεση του πληρώματος και την επιχειρησιακή υποστήριξη ελικοπτήρου»**

```

areaCoeff      0.726 - //Συντελεστής επιφανείας της καμπύλης
xcbAft         42.40 m //Θεωρητική θέση του LCB για την GSAC
tanAtTransec   20 deg //Γωνία της GSAC στην πρύμνη
} // GSAC

MIDSEC {
  Beam         1.0 Main.beam //Πλάτος στο κατάστρωμα
  Draft        1.0 Main.draft //Βύθισμα
  tanAtCpc     6 deg //Γωνία ανύψωσης πυθμένα (deadrise)
  tanAtDec     82 deg //Γωνία εξοχής καταστρώματος (flare)
  fos          2.8 m //Flat of side
  fob          6.6 m //Flat of bottom
  areaCoeff    0.788 - //Συντελεστής επιφανείας
} // MIDSEC

TRANSEC {
  position     -0.1 m //Διαμήκης θέση του καθρέφτη
  draft        0.88 m //Βύθισμα (από την ίσαλο και πάνω
                    θετικό)
  tanAtCpc     15 deg //Γωνία ανύψωσης πυθμένα (deadrise)
  tanAtDec     59 deg //Γωνία εξοχής καταστρώματος (flare)
  beamAtDec    0.64 MAIN.beam //Πλάτος καθρέφτη
} // TRANSEC

DEC {
  forLength    144 m //Το πρωαίο σημείο από την AP
  freeboardAtBow 1.0 MAIN.freeboard //Προσδιορίζει τη θέση στον
                    άξονα z για την γραμμή DEC.forLength
  tanAtBow     35 deg //Γωνία πλώρας
  radAtBow     0.2 m //Ακτίνα καμπυλότητας στην πλώρα
  forPar       0.74 MAIN.length //Σημείο μετάβασης στο ευθύγραμμο τμήμα
                    μετρούμενο από AP
  aftPar       0.4898 MAIN.length //Σημείο μετάβασης από το
                    παράλληλο τμήμα στο πρυμνιό κυρτό
                    μετρούμενο από AP
  transForPar  6 deg //Γωνία μετάβασης στο ευθύγραμμο τμήμα
  tanAtTransom 8.8 deg //Γωνία μετάβασης στο πρυμνιό κυρτό
                    τμήμα
} // DEC

FREEBOARD {
  riseAtBow    0 deg //
  riseAtStern  0 deg //
} // FREEBOARD

TAD {
  forFramePos  0.9 MAIN.length //Σημείο που ορίζεται η
                    AtForFrame
  atForFrame   60 deg //Γωνία εφαπτομένης του
                    καταστρώματος
  tanAtBow     45 deg //Γωνία εφαπτομένης πλώρας
  dTanAtBow    10 deg //
} // TAD

CPC {
  forEndHeight 1.0 MAIN.freeboard //
  tanAtBow     40 deg //Γωνία πλώρας
  xAftBase     24.9 m //Η αρχή του ευθυγράμμου τμήματος από
                    AP
  tanAtStern   -3.5 deg //Η γωνία με τον καθρέφτη

```



**«Πολυ-κριτηριακή βελτιστοποίηση της δυναμικής συμπεριφοράς φρεγάτας ως προς την άνεση του πληρώματος και την επιχειρησιακή υποστήριξη ελικοπτέρου»**

---

```

tanAtAftBase 30 deg //Η γωνία στο σημείο που η CPC αφήνει
               τη βάση
radAtAftBase -11 - //Ακτίνα καμπυλότητας στο aftbase
} // CPC

TACPC {
tanAtBow 60 deg //Γωνία πλώρας
tanAtForBase 25 deg //Η γωνία στο σημείο που η CPC
                  αφήνει τη βάση
forFramePos 0.9 MAIN.length //Σημείο που ορίζεται η
                              atForFrame
dTanAtMidSec 20 deg //Η γωνία εφαπτομένης στο μέσο
                    νομέα
atAftFrame 28 deg //Η γωνία εφαπτομένης στο νομέα
                που ορίζεται από την atFramePos
aftFramePos 24 m //Σημείο που ορίζεται η
                  atAftFrame
xAftBase 56 m //Σημείο που ορίζεται η γωνία ανύψωσης
               πυθμένα της FOS
} // TACPC

DWL {
tanAtBow 20 deg //Γωνία εισόδου στο πλοίο
areaCoeff 0.735 - //Συντελεστής επιφανείας
transForPar 0 deg //Γωνία μετάβασης από το πρωραίο τμήμα
                  στο παράλληλο
} // DWL

TADWL {
dTanAtBow 45 deg //Γωνία εφαπτομένης στην πλώρα
} // TADWL

FOS {
forEnd 90 m //Το πρωραίο σημείο της καμπύλης
tanAtBow 20 deg //Η γωνία στο πρωραίο σημείο
tanAtEnd 10 deg //Η γωνία στο πρυμναίο σημείο
} // FOS

FOB {
forEnd 0.66326 MAIN.length //Το πρωραίο σημείο της καμπύλης
forAngle 10.0 deg //Η γωνία στο πρωραίο σημείο
aftEnd 21 m //Το πρυμναίο σημείο της καμπύλης
} // FOB

SKEG {
xAftBase 24.7 m //Σημείο που ορίζεται το τέλος της κάτω
                γραμμής skeg
xAftTop 20.8 m //Σημείο που ορίζεται το τέλος της πάνω
                γραμμής skeg
lowBeam 0.1 m //Το πλάτος στο κάτω μέρος του skeg
upBeam 4.2 m //Το πλάτος στο πάνω μέρος του skeg
zTop -4.56 m //Ανύψωση skeg στον άξονα z
} // SKEG

```