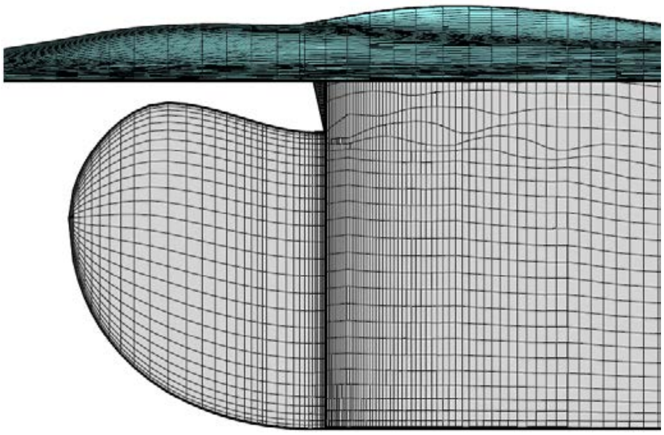
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΞΕΛΙΓΜΕΝΩΝ ΒΟΛΒΩΝ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΠΛΟΙΩΝ»



ΟΝΟΜΑ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ Α. ΒΙΤΣΑΡΑΣ
ΚΩΔΙΚΟΣ: nm12306

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΤΖΑΜΠΙΡΑΣ Δ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ Ι. ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΜΠΕΛΙΜΠΑΣΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΤΖΑΜΠΙΡΑΣ Δ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία στόχος είναι η πρόβλεψη της αντίστασης κυματισμού σε πλοία της σειράς 60 στα οποία έχει προστεθεί βολβός, ενώ παραδοσιακά δεν διαθέτουν, όταν κινούνται σε αδιατάρακτη ελεύθερη επιφάνεια χωρίς αρχική διαγωγή. Πιό συγκεκριμένα, μελετώνται σύγχρονες, λοξοειδείς παραλλαγές του βέλτιστου βολβού για τη συγκεκριμένη γάστρα, οι διαστάσεις του οποίου διερευνήθησαν σε προηγούμενη εργασία [7]. Επίσης, μελετάται η ελεύθερη επιφάνεια της γάστρας, η οποία συνυπολογίζεται από την αριθμητική μέθοδο που χρησιμοποιείται. Για την επίτευξη αυτού του στόχου έγινε χρήση του προγράμματος *panelw.f*, το οποίο έχει αναπτυχθεί στο *Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής* του *Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ)* από τον *Καθηγητή Γεώργιο Τζαμπίρα* και ενσωματώνει τη θεωρία δυναμικού, η οποία δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για την αντίσταση κυματισμού.

Βασική ιδέα είναι η περιγραφή του πεδίου ροής γύρω από τη γάστρα μέσω των εξισώσεων *Navier – Stokes* και της εξίσωσης συνέχειας. Για την επίλυση αυτών των μη – γραμμικών εξισώσεων είναι απαραίτητο να εισαχθούν κάποιες παραδοχές. Σε αυτή την εργασία, το πεδίο ροής θεωρείται αστρόβιλο και το ρευστό μη – συνεκτικό και ασυμπίεστο. Έτσι οι μη – γραμμικές εξισώσεις *Navier – Stokes,* απλοποιούνται τώρα σε εξισώσεις τύπου *Euler* και το δυναμικό φ της ροής περιγράφεται τώρα από μια εξίσωση τύπου *Laplace*. Πλέον η επίλυση του συστήματος καθίσταται εύκολη με εφαρμογή της θεωρίας δυναμικού. Η τελευταία, όμως, προϋποθέτει την εξ' αρχής γνώση της μορφής της ελεύθερης επιφάνειας, κάτι που δεν ισχύει σε αυτή την εργασία. Το πρόβλημα αυτό επιλύεται με την εισαγωγή μιας επαναληπτικής διαδικασίας για τον υπολογισμό της ελεύθερης επιφάνειας, με ικανοποιητική ακρίβεια, εκτός βέβαια από την περιοχή του ομόρρου για την οποία δεν ισχύουν οι παραδοχές που αναφέρθηκαν στην αρχή.

Η ελεύθερη επιφάνεια, όπως και η βυθισμένη επιφάνεια της γάστρας αναπαριστώνται με τη βοήθεια κάποιων τετράπλευρων στοιχείων που καλούνται panels. Σε κάποιο ενδιάμεσο βήμα της διαδικασίας η ελεύθερη επιφάνεια θεωρείται γνωστή και επιβάλλεται η κινηματική οριακή συνθήκη θεωρώντας την ένταση της πηγής σε κάθε στοιχείο σταθερή και επιλύεται το ευθύ πρόβλημα της θεωρίας δυναμικού. Σε κάθε ενδιάμεσο βήμα η δυναμική οριακή συνθήκη δεν ικανοποιείται, δηλαδή η πίεση που υπολογίζεται δεν είναι ίση με την πραγματική (*στατική = 0 + υδροστατική =* $\rho g z$). Η διαφορά τους εισάγεται σαν όρος πηγής στην ατριβή εξίσωση μεταφοράς για την κατακόρυφη συνιστώσα u_z*. Με τη διορθωμένη κατακόρυφη συνιστώσα επαναπροσδιορίζεται η ελεύθερη επιφάνεια σε δύο βήματα. Για τη νέα ελεύθερη επιφάνεια επιλύεται ξανά το ευθύ πρόβλημα της θεωρίας δυναμικού. Η σύγκλιση της μεθόδου επιτυγχάνεται με την ταυτόχρονη ικανοποίηση της κινηματικής και της δυναμικής οριακής συνθήκης. Στη συνέχεια με ολοκλήρωση της πίεσης σε κάθε στοιχείο της γάστρας υπολογίζεται η αντίσταση πίεσης που θεωρείται εδώ ίση με την αντίσταση κυματισμού, λόγω των παραδοχών της θεωρίας δυναμικού για αστρόβιλο και ατριβές πεδίο.

Για την παραγωγή των panels γίνεται υποδιαίρεση της γάστρας σε 5 περιοχές και κάθε περιοχή αποτελείται από διδιάστατες εγκάρσιες τομές που περιγράφονται αναλυτικά από το σύμμορφο μετασχηματισμό. Η εκτέλεση του σύμμορφου μετασχηματισμού έγινε με το πρόγραμμα *condor*, η λειτουργία του οποίου περιγράφεται στην παράγραφο 5.4 και αναλυτικότερα στο Παράρτημα Γ.

Για την περιγραφή της γεωμετρίας του βολβού και τη σύνδεσή του με την γεωμετρία της γάστρας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα *loxab.exe*, το οποίο περιγράφεται στην παράγραφο 5.4.1 και αναλυτικότερα στο Παράρτημα Β.

Ο υπολογισμός της αντίστασης κυματισμού και της ελεύθερης επιφάνειας έγινε με το πρόγραμμα *panelw.f*, και η επαναληπτική διαδικασία που εκτελείται περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο 5.3.

Στο κύριο σώμα της εργασίας (ενότητα 6), παρατίθενται τα αριθμητικά αποτελέσματα (παράγραφος 6.4) για κάθε περίπτωση που μελετήθηκε, ενώ στο τέλος κάθε ενότητας γίνεται σύγκριση όλων των αποτελεσμάτων. Συνολικά μελετήθηκαν ο βέλτιστος βολβός και δύο παραλλαγές αυτού με ανυψωμένη άκρη (λοξοειδής), για δύο γάστρες με συντελεστές C_B=0.60 (ενότητα 6.4.Α) και C_B=0.70 (ενότητα 6.4.Β) και σε δύο ταχύτητες κάθε φορά. Επίσης, μελετήθηκε και η περίπτωση γάστρας με C_B=0.70, αλλά με μειωμένο βύθισμα κατά 10% (ενότητα 6.4.Γ), σε ταχύτητα F_N=0.26.

Η χρήση των παραπάνω προγραμμάτων έγινε σε υπολογιστικό περιβάλλον *linux*, κι οι συνηθέστερες εντολές που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται στο παράρτημα Α.

2. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θέλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή μας, κύριο Γεώργιο Τζαμπίρα, πρώτα για τις πολύτιμες γνώσεις που μας μετέδωσε στην τάξη, όσο και για τις χρήσιμες συμβουλές. Η ευγένεια κι η υπομονή του αποτελούν υπόδειγμα. Τον ευχαριστώ επίσης που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο στα πλαίσια της διπλωματικής μου εργασίας.

Ευχαριστώ τον Διδάκτορα της Σχολής Ναυπηγών Μηχ/γων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., κύριο Στυλιανό Πολύζο για την σημαντικότατη συμβολή του, χωρίς την οποία δεν θα μπορούσε να εκπονηθεί η παρούσα εργασία. Η εκμάθηση των προγραμμάτων, η παροχή πληροφοριών, οι γνώσεις και εμπειρίες του στον τομέα της Υπολογιστικής Ρευστομηχανικής κι η γενικότερη βοήθειά του ήταν πάντα στην διάθεσή μου. Και φυσικά τον ευχαριστώ για την υπομονή και κατανόησή του.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά και τους φίλους μου για την βοήθεια και υποστήριξή τους σε αυτή την προσπάθειά μου, όπως και σε κάθε άλλη.

3. <u>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</u>

4. <u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>

Η κατανόηση της συμπεριφοράς ενός πλοίου στο υδάτινο περιβάλλον και η ικανότητα πρόβλεψης αυτής, αποτελούν στοιχειώδη βάση πάνω στην οποία οργανώνεται και εξελίσσεται η τέχνη της ναυπηγικής. Η υδροδυναμική σχεδίαση της γάστρας είναι ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης, η μελέτη του οποίου ξεκινά στα βάθη της ιστορίας, σχεδόν ταυτόχρονα και παράλληλα με την εξέλιξη της νοημοσύνης του ανθρώπου. Βασιζόμενος σε σύγχρονα εργαλεία και μέσα, ο ναυπηγός μηχανικός καλείται να προσεγγίσει το πρόβλημα της βέλτιστης σχεδίασης και κατασκευής με άμεσο και παραγωγικό τρόπο. Για την λύση αυτού του προβλήματος, πρέπει πρώτα να κατανοήσουμε την κίνηση του νερού/ρευστού γύρω από το σκάφος που πρόκειται να πλεύσει εντός και επί αυτού.

Η κίνηση ή *πεδίο ροής* ενός ρευστού γενικά, είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο, το οποίο μπορεί να περιγραφεί μόνο κατά προσέγγιση, και η εξαγωγή συμπερασμάτων και προβλέψεων γίνεται υπό την προϋπόθεση συγκεκριμένων παραδοχών. Για να περιγράψουμε το πεδίο ροής, στα πλαίσια της Διαφορικής Ανάλυσης, χρησιμοποιούμε ένα σύνολο διαφορικών εξισώσεων που σχετίζουν τους ρυθμούς μεταβολής της ορμής ενός απειροστού όγκου του ρευστού, με τις δυνάμεις ιξώδους, τις μεταβολές της πίεσης, της βαρύτητας και άλλων δυνάμεων που δρούν εντός του ρευστού, εφαρμόζοντας ουσιαστικά το 2ο νόμο του Νεύτωνα στα ρευστά. Οι εξισώσεις αυτές, γνωστές ως *εξισώσεις Navier-Stokes*, μαζί με την *εξίσωση συνέχειας* της ροής, χρησιμοποιούνται για να περιγράψουμε το πεδίο ροής. Επιλύονται στα πλαίσια του διαφορικού και ολοκληρωτικού λογισμού, αλλά ακριβείς λύσεις μπορούν να δώσουν μόνο σε απλές περιπτώσεις ροής και ρευστού. Στα περισσότερα πραγματικά προβλήματα ροής, η επίλυση γίνεται με αριθμητικές μεθόδους, όπως των πεπερασμένων διαφορών, των πεπερασμένων όγκων, και των πεπερασμένων ή οριακών στοιχείων. Η επίλυση των εξισώσεων με αριθμητικές μεθόδους οδήγησε στην ανάπτυξη του σημαντικού κλάδου της *Υπολογιστικής Δυναμικής των Ρευστών* (Computational Fluid Dynamics, CFD).

Στις παραδοχές που χρησιμοποιούμε στην παρούσα εργασία, θεωρούμε το ρευστό ασυμπίεστο και ατριβές, οπότε οι αρχικές εξισώσεις *Navier-Stokes* απλοποιούνται σε *εξισώσεις Euler*. Επιπλέον, θεωρούμε πως το πεδίο είναι αστρόβιλο, οπότε μεταβαίνουμε σε μία εξίσωση, γνωστή ως εξίσωση *Laplace* για το δυναμικό φ. Η επίλυση του ευθέως προβλήματος καθίσταται τότε εύκολη, με εφαρμογή της θεωρίας δυναμικού. Η θεωρία δυναμικού μπορεί να περιγράψει πλήθος ροών, αρκεί οι απλουστεύσεις που έγιναν να μην ακυρώνουν τα αποτελέσματα. Επιπλέον, η εφαρμογή της προϋποθέτει την εξ' αρχής γνώση της μορφής της ελεύθερης επιφάνειας, κάτι που δεν ισχύει σε αυτή την εργασία. Το πρόβλημα αυτό επιλύεται με την εισαγωγή μιας επαναληπτικής διαδικασίας για τον υπολογισμό της ελεύθερης επιφάνειας, διαδικασία που έχει αναπτυχθεί στο *Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής* του *Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ)* από τον *Καθηγητή Γεώργιο Τζαμπίρα.* Η παραπάνω τεχνική ενσωματώνεται στο πρόγραμμα *panelw.f*, το οποίο μας δίνει τελικά τη δυνατότητα υπολογισμού της αντίστασης κυματισμού, που είναι και το μέγεθος που μας ενδιαφέρει σε αυτή την εργασία.

Κατά την επαναληπτική διαδικασία που υιοθετείται από το παραπάνω πρόγραμμα, η ελεύθερη επιφάνεια, όπως και η βυθισμένη επιφάνεια της γάστρας αναπαριστώνται με τη βοήθεια κάποιων τετράπλευρων στοιχείων που καλούνται *panels*. Για την παραγωγή των panels γίνεται υποδιαίρεση της γάστρας σε 5 περιοχές. Κάθε περιοχή αποτελείται από διδιάστατες εγκάρσιες τομές που περιγράφονται αναλυτικά από το σύμμορφο μετασχηματισμό. Σε κάποιο ενδιάμεσο βήμα της επαναληπτικής διαδικασίας θεωρούμε την ελεύθερη επιφάνεια γνωστή και το ευθύ πρόβλημα της θεωρίας δυναμικού επιλύεται επιβάλλοντας την κινηματική οριακή συνθήκη, θεωρώντας σταθερή την ένταση της πηγής σε κάθε στοιχείο/panel.

Η πίεση που προκύπτει στην επιφάνεια δεν ικανοποιεί την δυναμική οριακή συνθήκη και η διαφορά εισάγεται σαν όρος πηγής στην ατριβή εξίσωση μεταφοράς για την κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας u_z*. Η εξίσωση αυτή επιλύεται αριθμητικά εφαρμόζοντας τη μέθοδο των όγκων ελέγχου. Στη συνέχεια, η ελεύθερη επιφάνεια επαναπροσδιορίζεται σε δύο βήματα χρησιμοποιώντας πλέον την διορθωμένη κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας. Με τη νέα ελεύθερη επιφάνεια επιλύεται ξανά το ευθύ πρόβλημα της θεωρίας δυναμικού. Η σύγκλιση της μεθόδου επιτυγχάνεται όταν ικανοποιηθούν ταυτόχρονα η κινηματική και η δυναμική οριακή συνθήκη.

Στη συνέχεια υπολογίζεται η αντίσταση πίεσης, με ολοκλήρωση της πίεσης σε κάθε στοιχείο της γάστρας. Η αντίσταση κυματισμού R_W θεωρείται ίση με την αντίσταση πίεσης. Οι υπόλοιπες μορφές αντίστασης θεωρούνται μηδενικές, καθώς η θεωρία δυναμικού αδυνατεί να τις προβλέψει, λόγω των παραδοχών που εφαρμόστηκαν.

Διεξήχθησαν αριθμητικά πειράματα υπολογιστικής ρευστομηχανικής, για πλοία της συστηματικής σειράς 60. Κεντρικός στόχος είναι η μελέτη της επίδρασης των εξελιγμένων βολβών στην υδροδυναμική αντίσταση των πλοίων αυτών, τα οποία παραδοσιακά δεν διαθέτουν βολβό. Η εφαρμογή του βολβού έχει επικρατήσει πλέον σε όλους τους τύπους πλοίων λόγω των καλών ιδιοτήτων που προσφέρει στην αντίσταση κυματισμού σε ήρεμο νερό, η οποία παίρνει μεγάλες τιμές σε πλοία που έχουν υψηλές ταχύτητες σχεδίασης. Ακόμα όμως και σε βραδέα, ογκώδη σκάφη έχουν παρατηρηθεί υψηλές τιμές αντίστασης κυματισμού, λόγω των έντονων κλίσεων της γάστρας περί τις παρειές στην πλώρη (Παπανικολάου, 2009). Συνεπώς γίνεται αντιληπτή η μεγάλη βαρύτητα της αντίστασης κυματισμού επί της ολικής. Έτσι, το αντικείμενο της σχεδίασης της βολβοειδούς πλώρας καθίσταται ενδιαφέρον, αλλά δεν παύει να αποτελεί και δύσκολο εγχείρημα καθώς είναι τόσο χρονοβόρα, όσο και δαπανηρή η διεξαγωγή των κατάλληλων πειραμάτων σε δεξαμενή. Στο παρελθόν έχουν γίνει διάφορες προσπάθειες ώστε να καλύψουν το κενό των σχεδιαστικών δεδομένων των βολβών με σημαντικότερη την έρευνα του *A. M. Kracht* (Kracht, 1978).

Η παρούσα διπλωματική εργασία βασίζεται και αποτελεί συνέχεια της διπλωματικής εργασίας[7] του Παναγιώτη Τζάφου, αποφοίτου της σχολής Ναυπηγών Μηχ/γων Μηχανικών Ε.Μ.Π., κατά την οποία διερευνήθησαν οι διαστάσεις του βέλτιστου (τυπικού) βολβού όπως προβλέπεται από τη θεωρία του *A.M. Kracht*, καθώς και παραλλαγές αυτού. Διατηρώντας ίδιες τις βασικές διαστάσεις μήκους και πλάτους του βέλτιστου βολβού όπως κατέληξαν τα αποτελέσματα της παραπάνω εργασίας, μελετήθηκε ο βέλτιστος (τυπικός) βολβός καθώς και δύο λοξοειδείς παραλλαγές αυτού, για δύο συντελεστές γάστρας (Cb=0.60 και Cb=0.70), και σε δύο ταχύτητες σε κάθε περίπτωση. Επίσης, μελετήθηκε και η περίπτωση γάστρας με C_B=0.70, αλλά με μειωμένο βύθισμα κατά 10%, σε ταχύτητα F_N=0.26.

5. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ [5]

Για τον υπολογισμό της αντίστασης κυματισμού του πλοίου, ακολουθείται αριθμητική μέθοδος που βασίζεται στη θεωρία δυναμικού. Η επίλυση γίνεται με χρήση του προγράμματος *panelw.f* που έχει αναπτυχθεί στο *Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής* του *Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ)* από τον *Καθηγητή Γεώργιο Τζαμπίρα*. Το πεδίο ροής θεωρείται ασυμπίεστο, ατριβές και αστρόβιλο. Ο τρόπος επίλυσης βασίζεται στη διατύπωση της θεωρίας δυναμικού των *Hess & Smith* (Hess & J.L.Smith, 1966)

5.1 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

Για ένα ασυμπίεστο και ατριβές ρευστό όπως αυτό που έχει υποτεθεί για αυτή την έρευνα, ρ = const. και μ = ν = 0, συνεπώς οι γενικευμένες *Navier – Stokes* εξισώσεις (5.1.1) υποβιβάζονται στη μορφή της *Euler*-ιανής εξίσωσης της κίνησης (5.1.2):

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial \rho u_x}{\partial t}+\mathrm{div}(\rho u_x\mathbf{U})&=-\frac{\partial p}{\partial x}+\mathrm{div}(\mu\,\mathrm{grad}u_x)+S_{M_x}\\ \frac{\partial \rho u_y}{\partial t}+\mathrm{div}(\rho u_y\mathbf{U})&=-\frac{\partial p}{\partial y}+\mathrm{div}(\mu\,\mathrm{grad}u_y)+S_{M_y}\\ \frac{\partial \rho u_z}{\partial t}+\mathrm{div}(\rho u_z\mathbf{U})&=-\frac{\partial p}{\partial z}+\mathrm{div}(\mu\,\mathrm{grad}u_z)+S_{M_z}\end{aligned}\right\} \qquad (5.1.1)$$

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial u_x}{\partial t}+\mathrm{div}(u_x\mathbf{U})&=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}\\ \frac{\partial u_y}{\partial t}+\mathrm{div}(u_y\mathbf{U})&=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}\\ \frac{\partial u_z}{\partial t}+\mathrm{div}(u_z\mathbf{U})&=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}\end{aligned}\right\} \qquad (5.1.2a)$$

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t}+(\mathbf{U}\cdot\mathrm{grad})\mathbf{U}=-\frac{1}{\rho}\mathrm{grad}p \qquad (5.1.2b)$$

Και επίσης, η εξίσωση συνέχειας (5.1.3) απλοποιείται στην (5.1.4):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\mathrm{div}(\rho\mathbf{U})=0 \qquad (5.1.3)$$

$$\mathrm{div}(\mathbf{U})=0 \qquad (5.1.4)$$

Για την επίλυση των παραπάνω εξισώσεων, πρέπει να εισαχθούν ορισμένες οριακές συνθήκες. Η μέθοδος που ακολουθείται (Hess, 1966) μπορεί να λύσει το ευθύ πρόβλημα της ρευστομηχανικής, με την προϋπόθεση ότι οι οριακές συνθήκες είναι γνωστές, έστω συναρτήσεις του χρόνου και η ταχύτητα του ρευστού είναι επίσης γνωστή πάνω στα σύνορα. Στην περίπτωση που μελετάμε παρ’ όλα αυτά, τα σύνορα δεν είναι γνωστά εξ’ αρχής, καθώς δεν είναι γνωστή η μορφή της ελεύθερης επιφάνειας, όπως και η δυναμική συμπεριφορά του πλοίου. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, υιοθετείται μια επαναληπτική διαδικασία όπου η μορφή της ελεύθερης επιφάνειας θεωρείται γνωστή εξ’ αρχής, με το δυναμικό πεδίο ροής να υπολογίζεται στη συνέχεια και την ελεύθερη επιφάνεια να ανανεώνεται στο τέλος (βλ. και 5.2) (Tzabiras, 2008).

Στη συνέχεια η συνοριακή συνθήκη θα γράφεται για όλο το σύνορο *S* ως:

$$\mathbf{U} \cdot \mathbf{n}|_{\mathbf{S}} = \mathbf{F} \qquad (5.1.5)$$

Όπου n είναι το μοναδιαίο κάθετο διάνυσμα σε κάποιο σημείο του *S*, και *F = F (x,t)* είναι μια γνωστή συνάρτηση της θέσης πάνω στο *S* και του χρόνου. Στο πρόβλημά μας τα σύνορα θεωρούνται ακίνητα, συνεπώς:

$$\mathbf{U} \cdot \mathbf{n}|_{\mathbf{S}} = 0 \qquad (5.1.6)$$

Επίσης, χρειάζεται και η κατάλληλη συνθήκη στο άπειρο.

Οι παραπάνω εξισώσεις ορίζουν ένα ασυμπίεστο και μη συνεκτικό πεδίο, αλλά όχι και ένα πεδίο δυναμικής ροής. Για ένα πεδίο δυναμικής ροής ισχύει ότι το άνυσμα της ταχύτητας ισούται με την αρνητική κλίση μιας βαθμωτής συνάρτησης δυναμικού φ:

$$\mathbf{U} = -\nabla\phi \qquad (5.1.7)$$

Από τη διανυματική ανάλυση είναι γνωστό ότι η στροβιλότητα ενός πεδίου δυναμικού είναι ίση με 0:

$$\nabla \times \nabla\phi = 0 \qquad (5.1.8)$$

Συνεπώς η στροβιλότητα ενός πεδίου δυναμικής ροής είναι μηδενική:

$$\nabla \times \mathbf{U} = 0 \qquad (5.1.9)$$

Συνεπώς ένα πεδίο δυναμικού είναι ένα αστρόβιλο πεδίο.

Σύμφωνα με τη θεώρηση του *Hess* θεωρούμε ότι το άνυσμα της ταχύτητας *U* εκφράζεται ως το άθροισμα της επ' άπειρο ταχύτητας του πεδίου και της διαταραχής λόγω της παρουσίας του συνόρου:

$$\mathbf{U} = \mathbf{U}_\infty + \mathbf{u} \qquad (5.1.10)$$

Θεωρούμε ότι η διαταραχή της ταχύτητας είναι ένα δυναμικό πεδίο:

$$\mathbf{u} = -\mathrm{grad}\phi \qquad (5.1.11)$$

Οπότε η ***u*** ικανοποιεί την εξίσωση (5.1.4):

$$\mathrm{div}(\mathbf{u}) = 0 \qquad (5.1.12)$$

Συνεπώς το δυναμικό φ της διαταραχής ικανοποιεί την εξίσωση *Laplace*:

$$\nabla^2\phi = 0 \qquad (5.1.13)$$

Οι οριακές συνθήκες για το φ γράφονται:

$$\mathrm{grad}\varphi \cdot \mathbf{n}|_{\mathbf{S}} = \left.\frac{\partial\phi}{\partial\mathbf{n}}\right|_{\mathbf{S}} = \mathbf{U}_\infty \cdot \mathbf{n}|_{\mathbf{S}} \qquad (5.1.14)$$

$$|\mathrm{grad}\phi| \to 0 \qquad (5.1.15)$$

Οι εξισώσεις (5.1.13), (5.1.14) και (5.1.15) αποτελούν ένα καλώς τεθιμένο πρόβλημα για το δυναμικό φ, το οποίο και επιλύεται στη συνέχεια.

Το πλεονέκτημα που εμφανίζει η θεωρία δυναμικού είναι ο ανεξάρτητος υπολογισμός της ταχύτητας από την πίεση, καθώς δεν απαιτείται η επίλυση των εξισώσεων μεταφοράς για τον υπολογισμό της ταχύτητας.

Για τον υπολογισμό της πίεσης χρησιμοποιείται η (5.1.2) εξίσωση *Bernoulli*:

$$\mathrm{p} - \mathrm{p}_{\infty} = \frac{1}{2}\rho\left(|\mathbf{U}_{\infty}|^2 - |\mathbf{U}|^2\right) \tag{5.1.16}$$

Όπου $p_{\infty} = 0$ η πίεση στο άπειρο.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή *Cp*, η (5.1.16) επαναδιατυπώνεται ως εξής:

$$\mathrm{C_P} = \frac{\mathrm{p} - \mathrm{p}_{\infty}}{\frac{1}{2}\rho|\mathbf{U}|^2} = 1 - \frac{|\mathbf{U}|^2}{|\mathbf{U}_{\infty}|^2} \tag{5.1.17}$$

Η θεωρία δυναμικού μπορεί να περιγράψει με ικανοποιητικά αποτελέσματα ροές στις οποίες η συνεκτικότητα και η στροβιλότητα δεν είναι σημαντικές. Αποτυγχάνει, λοιπόν στις περιοχές του ομόρρου και των οριακών στρωμάτων. Στην έρευνα αυτή λοιπόν, στην οποία επιχειρείται να προσδιορισθεί αρχικά η ελεύθερη επιφάνεια, αναμένονται καλά αποτελέσματα για όλο το πλοίο εκτός από την περιοχή της πρύμνης.

Για την επίλυση των εξισώσεων (5.1.13), (5.1.14) και (5.1.15) εργαζόμαστε ως εξής. Θεωρούμε ότι η ελεύθερη επιφάνεια καθώς και το βρεχόμενο μέρος της γάστρας (δηλαδή το *σύνορο S*) χαρακτηρίζεται από μία κατανομή έντασης του δυναμικού *σ(q)* , όπου q κάποιο σημείο του συνόρου *S*. Τότε για να ικανοποιούνται οι οριακές συνθήκες θα πρέπει να ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$2\pi\sigma(\mathrm{p}) - \oiint_{\mathrm{S}} \frac{\partial}{\partial \mathrm{n}} \frac{1}{\mathrm{r(p,q)}} \sigma(\mathrm{q})\, \mathrm{dS} = \mathbf{n}(\mathrm{p}) \cdot \mathbf{U}_{\infty} \tag{5.1.18}$$

Διακριτοποιώντας την (5.1.18) καταλήγουμε σε ένα σύστημα γραμμικών αλγεβρικών εξισώσεων. Θεωρούμε ότι η επιφάνεια του στερεού συνόρου *S*, καλύπτεται από *N* μικρά επίπεδα στοιχεία. Κάθε στοιχείο αντιπροσωπεύεται από ένα σημείο ελέγχου που βρίσκεται στο κέντρο του και θεωρούμε ότι η ένταση του δυναμικού είναι σταθερή σε όλη την επιφάνεια του στοιχείου. Με ολοκλήρωση της (5.1.18) σε κάθε στοιχείο προκύπτει ένα σύστημα *NxN* εξισώσεων για την ένταση του δυναμικού σε κάθε στοιχείο. Επιλύοντας το σύστημα των εξισώσεων προκύπτουν οι συνιστώσες της ταχύτητας για κάθε στοιχείο και με χρήση της εξ. *Bernoulli* (5.1.16) παίρνουμε την πίεση.

Προκειμένου να είναι επιλύσιμη η (5.1.18) απαιτείται η εξ' αρχής γνώση του στερεού συνόρου *S*, κάτι που δε συμβαίνει στην περίπτωση που μελετάμε. Για να υπολογισθεί, λοιπόν, η μορφή της ελεύθερης επιφάνειας ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία η οποία περιγράφεται στη συνέχεια.

5.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

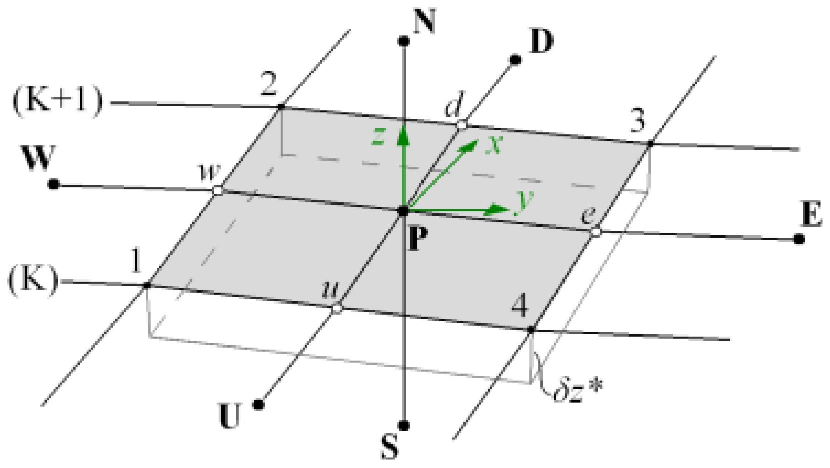
Σε κάποιο ενδιάμεσο βήμα θεωρούμε την ελεύθερη επιφάνεια γνωστή και λύνουμε το ευθύ πρόβλημα της θεωρίας δυναμικού (5.1). Κατασκευάζουμε τετράπλευρα στοιχεία που καλύπτουν την ελεύθερη επιφάνεια όπως και τη βυθισμένη επιφάνεια της γάστρας, θεωρώντας την ένταση του δυναμικού σταθερή στην επιφάνειά τους. Στη συνέχεια επιβάλλουμε την κινηματική οριακή συνθήκη σε κάθε στοιχείο, δηλαδή $u_z^* = 0$ για τα panels της ελύθερης επιφάνειας και $u \cdot n = 0$, όπου n συμβολίζει το κάθετο στη γάστρα κάθε φορά μοναδιαίο διάνυσμα. Στη συνέχεια επιλύεται η (5.1.18) και υπολογίζονται οι συνιστώσες της ταχύτητας u_x, u_y, u_z για κάθε στοιχείο. Τέλος, με χρήση της *εξ. Bernoulli* (5.1.16) υπολογίζεται η πίεση p^*.

Σαφώς η πίεση p^* που υπολογίστηκε δεν ισούται με την πραγματική, δηλαδή το άθροισμα της *στατικής = 0 + υδροστατικής = ρgh* , εφόσον η ελεύθερη επιφάνεια έχει υποτεθεί τυχαία στην αρχή. Αυτή η διαφορά πίεσης εισάγεται σαν όρος πηγής στην ατριβή εξίσωση μεταφοράς για την εύρεση της κατακόρυφης συνιστώσας της ταχύτητας uz*:

$$\rho\left[\frac{\partial u_x u_z^*}{\partial x} + \frac{\partial u_y u_z^*}{\partial y} + \frac{\partial u_z u_z^*}{\partial z}\right] = -\frac{\partial p^*}{\partial z} \qquad (4.2.1)$$

Για τη λύση της παραπάνω εξίσωσης γίνεται εφαρμογή της μεθόδου των όγκων ελέγχου, σε όγκους που ορίζει η επιφάνεια κάθε στοιχείου και ένα ύψος δz^* (Σχήμα 5.1) το οποίο εισάγει ο χρήστης και επιδρά στη σύγκλιση της μεθόδου. Για τους όρους μεταφοράς εφαρμόζεται το πρωτοτάξιο άναντες σχήμα. Τελικά προκύπτει ένα σύστημα εξισώσεων το οποίο διατυπώνεται στη συνήθη μορφή:

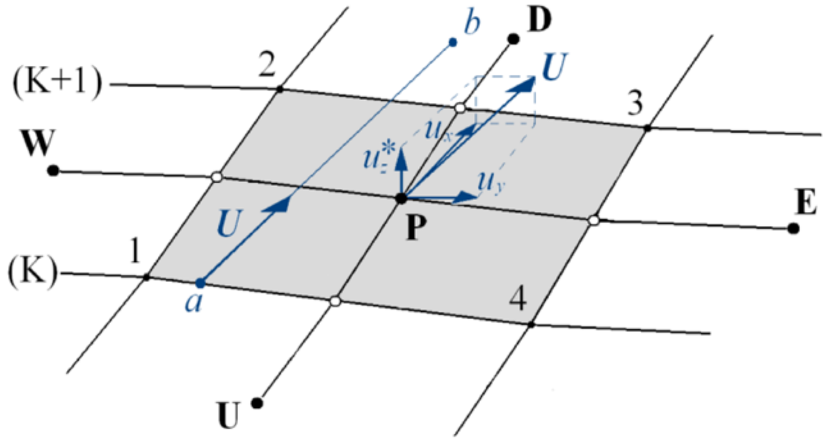
$$A_P u_{z,P}^* = A_E u_{z,E}^* + A_W u_{z,W}^* + A_U u_{z,U}^* + A_D u_{z,D}^* + (E_{1234})\left(p_P^* - \rho g z_P\right) \qquad (4.2.2)$$



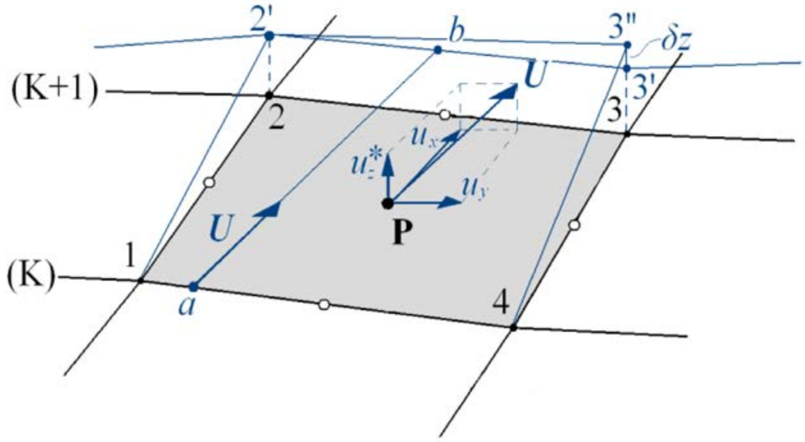
Σχήμα 5.1: Πεπερασμένος όγκος για την επίλυση της εξίσωσης μεταφοράς [5]

Καθώς οι όροι μεταφοράς προσεγγίζονται από πρωτοτάξιο σχήμα, απαιτείται μεγάλος αριθμός στοιχείων για την ακριβή λύση του προβλήματος.

Στη συνέχεια επαναϋπολογίζεται η ελεύθερη επιφάνεια σε δύο βήματα (Tzabiras, 2004) χρησιμοποιώντας τη διορθωμένη κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας. Αρχικά, προεκτείνοντας το νέο διάνυσμα ταχύτητας *U* τέμνονται σε 2 νέα σημεία οι γραμμές ροής *K* και *K+1* όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2 και δημιουργείται μια νέα τομή. Έπειτα, η νέα τομή διορθώνεται κατά το ύψος δz, ώστε η παροχή από τη νέα επιφάνεια να μηδενίζεται, δηλαδή επιβάλλεται εκ νέου η κινηματική οριακή συνθήκη (Σχήμα 5.3). Η διαδικασία σταθεροποιείται με την εφαρμογή μιας εξωτερικής παραμέτρου που περιορίζει τη μεταβολή της επιφάνειας με συνέπεια και την επιβράδυνση της σύγκλισης.



Σχήμα 5.2: Πρώτο βήμα διόρθωσης επιφάνειας [5]



Σχήμα 5.3: Δεύτερο βήμα διόρθωσης επιφάνειας [5]

Έχοντας την ανανεωμένη ελεύθερη επιφάνεια, το πρόβλημα της θεωρίας δυναμικού λύνεται εκ νέου και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ικανοποιηθούν ταυτόχρονα και η κινηματική και η δυναμική οριακή συνθήκη. Η ικανοποίηση της τελευταίας ελέγχεται με χρήση της μεταβλητής *IδzI*, η οποία συμβολίζει την απόλυτη τιμή της διαφοράς της πραγματικής πίεσης από την υπολογιζόμενη στα σημεία ελέγχου των στοιχείων. Λόγω της φύσης της μεθόδου, υπάρχει ένα κατώτατο όριο στην τιμή που μπορεί να λάβει η μεταβλητή αυτή. Όσο μικρότερη πάντως είναι η τιμή της, τόσο πιο ακριβής είναι και η λύση - τόσο πιο ορθά αναπαρίσταται η ελεύθερη επιφάνεια.

5.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ *Cw*

Με την ελεύθερη επιφάνεια γνωστή, και τις τιμές της πίεσης και της ταχύτητας να έχουν συγκλίνει, είμαστε τώρα σε θέση να υπολογίσουμε το συντελεστή αντίστασης *Cw* μέσω της ολοκλήρωσης της πίεσης για κάθε στοιχείο πάνω στη βυθισμένη επιφάνεια της γάστρας. Στο παρόν η αντίσταση κυματισμού θεωρείται ίση με την αντίσταση πίεσης, καθώς η αριθμητική μέθοδος αδυνατεί να προβλέψει τις άλλες μορφές αντίστασης (αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας και αντίσταση τριβής).

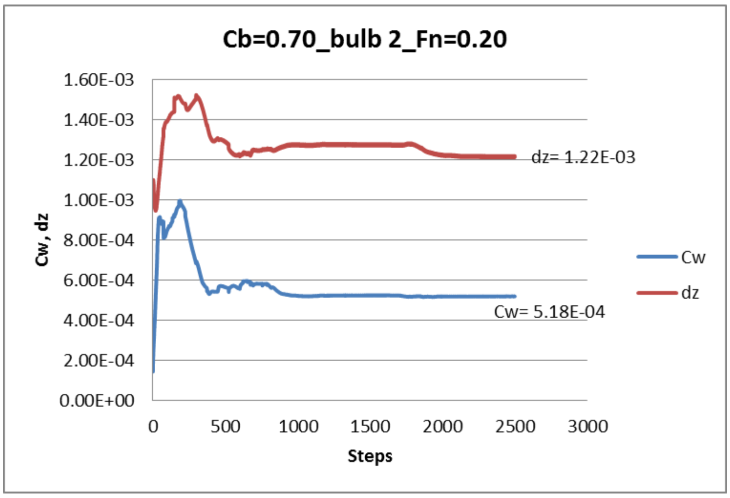
$$R_W = \iint_{WS}(p^* - \rho g h) \cdot (\mathbf{n} \cdot \mathbf{i})\, ds \qquad (4.3.1)$$

όπου *n* είναι το κάθετο στην επιφάνεια της γάστρας μοναδιαίο διάνυσμα και *i* το μοναδιαίο διάνυσμα παράλληλο στον *x – άξονα*. Ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού *Cw* ορίζεται ως:

$$C_W = -\frac{R_W}{\frac{1}{2}\cdot\rho\cdot WS\cdot {V_S}^2} \qquad (4.3.2)$$

όπου *ρ* η πυκνότητα του νερού, *WS* η βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας και *Vs* η ταχύτητα του πλοίου.

Ένα παράδειγμα υπολογισμού του *Cw* και του dz δίνεται παρακάτω μαζί με τη χρονική ιστορία της σύγκλισής τους για ένα πείραμα που έγινε στα πλαίσια αυτής της εργασίας:



Διάγραμμα 5.3.1: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και ΙδzΙ για C_B=0.70, F_N=0.20, με 1η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb 2».

Για το διάγραμμα του *Cw* παρατηρείται σύγκλιση από τις 800 περίπου επαναλήψεις και μετά, αλλά αφήνεται ώστε να επιτευχθεί σταθερότητα ως τα περίπου 2500 βήματα. Για το διάγραμμα dz παρατηρείται σύγκλιση στις 1500 περίπου επαναλήψεις.

5.4 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΒΟΛΒΟΥ

Τα στοιχεία στην επιφάνεια της γάστρας, χρησιμοποιούν για την κατασκευή τους τις διδιάστατες εγκάρσιες τομές που προκύπτουν αναλυτικά με τη χρήση του σύμμορφου μετασχηματισμού.

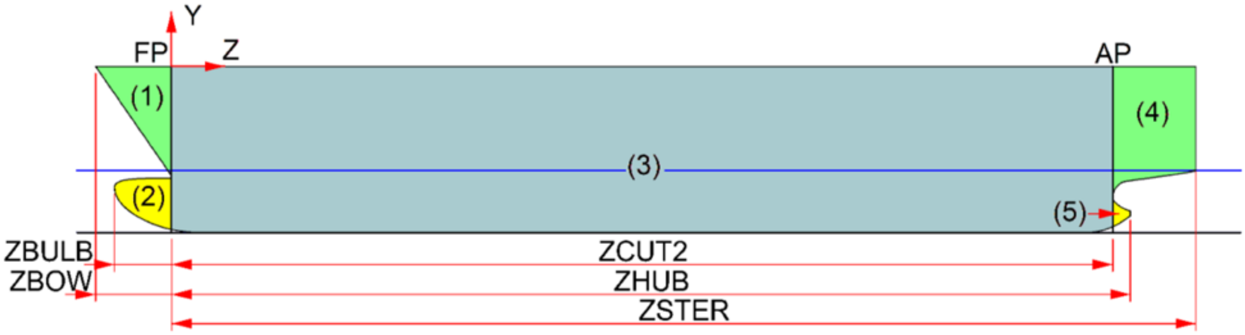
$$z = \sum_{n=1}^{N} a_n \zeta^{3-2n} \qquad (5.4.1)$$

Συνήθως ο αριθμός των τομών που περιγράφουν τη γάστρα είναι μικρότερος από τον αριθμό των τομών που απαιτούνται για την κατασκευή των στοιχείων. Για το λόγο αυτό το πρόγραμμα ενσωματώνει διάφορες μεθόδους παρεμβολής (Tzabiras & Kontogiannis, 2009) [1].

Για την αναπαράσταση γεωμετρίας της γάστρας ο κώδικας υποδιαιρεί την τελευταία σε 5 περιοχές. Η διαμήκης θέση της πρωραίας καθέτου ορίζεται στο σημείο που η εφαπτομένη του διαμήκους περιγράμματος της πλώρης είναι κάθετη (Σχήμα 5.4).

Η περιοχή 1 αναφέρεται στο μέρος του πλοίου που βρίσκεται πρώραθεν της πρωραίας καθέτου (F.P.) και άνωθεν του βολβού, ενώ η περιοχή 2 αναφέρεται στο βολβό που βρίσκεται πρώραθεν της πρωραίας καθέτου (F.P.). Ως περιοχή 3 ορίζεται η περιοχή ανάμεσα στην πρωραία (F.P.) και την πρυμναία (A.P.) κάθετο. Οι περιοχές 4 και 5 αναφέρονται στις περιοχές που βρίσκονται πρύμνηθεν της πρυμναίας καθέτου (A.P.).

Κατ’ αντιστοιχία ορίζουμε τη διαμήκη θέση της πρυμναίας καθέτου, στο σημείο όπου η εφαπτόμενη του διαμήκους περιγράμματος της πρύμνης είναι κάθετη.



Σχήμα 5.4: Ορισμός των περιοχών της γάστρας και του συστήματος συντεταγμένων [5]

Κάθε περιοχή περιγράφεται από ένα πλήθος νομέων ανάλογα με το μήκος και την πολυπλοκότητά της. Οι νομείς αποτελούνται από πλήθος σημείων το οποίο είναι εξίσου ανάλογο με την πολυπλοκότητα και τη θέση του κάθε νομέα.

Λόγω της πιο απαιτητικής γεωμετρίας στις περιοχές 1, 2, 4 και 5 επιλέγονται περισσότεροι αναλογικά ως προς το μήκος νομείς. Λόγω του μήκους όμως της περιοχής 3, εκεί εμφανίζεται και το μεγαλύτερο πλήθος νομέων. Για την περιγραφή της περιοχής 1 χρησιμοποιήθηκαν από το πρόγραμμα 4 νομείς, για την περιοχή 3 επιλέχθηκαν 62 νομείς, οι 3 πυκνότερα τοποθετημένοι κοντά στη διεπιφάνεια περιοχής 1,3 και οι υπόλοιποι 59 κατά το μήκος της περιοχής 3. Για την περιοχή του βολβού χρησιμοποιήθηκαν 36 νομείς, ενώ για την περιοχή 4 επιλέχθηκαν 9 νομείς. Τα πλοία που μελετήθηκαν δεν είχαν πλήμνη οπότε η περιοχή 5 αγνοήθηκε.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο τρόπος εισαγωγής των νομέων στο πρόγραμμα γίνεται μέσω αρχείων κειμένου (χαρακτήρων ASCII). Χρησιμοποιείται ένα αρχείο για τη γεωμετρία όλης της γάστρας πλην της περιοχής 2 και ένα ξεχωριστό αρχείο για τη γεωμετρία του βολβού. Για τον κάθε νομέα εισάγεται πρώτα η διαμήκης θέσης του, ύστερα ο αριθμός των σημείων που τον περιγράφουν και τέλος οι συντεταγμένες y,z του κάθε σημείου διαχωρισμένα με κενό χαρακτήρα. Για τους νομείς που συμπίπτουν με την τομή δύο περιοχών, ο νομέας εισάγεται εις διπλούν, μία φορά για κάθε περιοχή.

Το αρχείο που περιέχει τη γεωμετρία της γάστρας πλοίου της συστηματικής σειράς 60 λέγεται *dcondor2.txt* και εξάγεται απευθείας από τη «βιβλιοθήκη» του *Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής* για τα πλοία των σειρών 60 μέσω του προγράμματος *Rhinoceros.exe*. Το *dcondor1.txt*, περιέχει πληροφορίες όπως ο αριθμός των νομέων κάθε περιοχής και εξάγεται και αυτό απευθείας από το πρόγραμμα *Rhinoceros.exe*.

Το αρχείο που περιέχει τη γεωμετρία του βολβού λέγεται *dcondor3* και παράγεται από την εκτέλεση του προγράμματος *loxab.exe*, προγράμματος που είναι επίσης σχεδιασμένο από το *Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής.*

5.4.1 Γενικά για τους βολβούς [10]

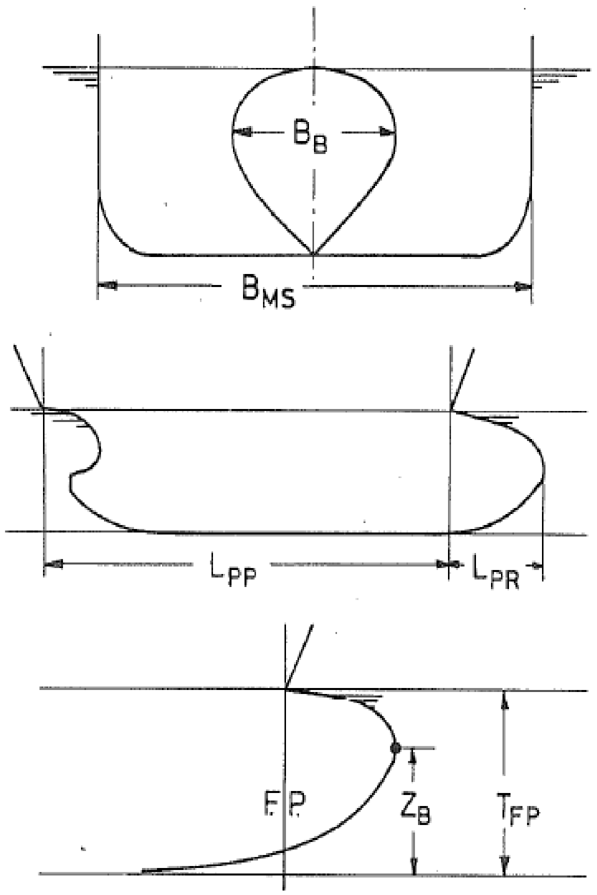
Για την περιγραφή της μορφής του βολβού έξι παράμετροι κρίθηκαν αναγκαίες. Από αυτές οι τρεις είναι γραμμικές και οι τρεις μη γραμμικές (Σπύρου, 1984)[10]. Οι γραμμικές είναι:

1. Η παράμετρος πλάτους, δηλαδή το μέγιστο πλάτος του βολβού Bb προς το πλάτος του πλοίου στο μέσον BMS:
$$CBB = \frac{BB}{BMS}$$
2. Η παράμετρος μήκους, δηλαδή το προεξέχον τμήμα του βολβού LBULB δια του μήκους Lpp του πλοίου:
$$CLPR = \frac{LBULB}{Lpp}$$
3. Η παράμετρος βυθίσματος, δηλαδή το ύψος ZB του πιο ακραίου κατά μήκος σημείου του βολβού διαιρεμένο με το βύθισμα TFP του πλοίου στην πρωραία κάθετο:
$$CZB = \frac{ZB}{TFP}$$

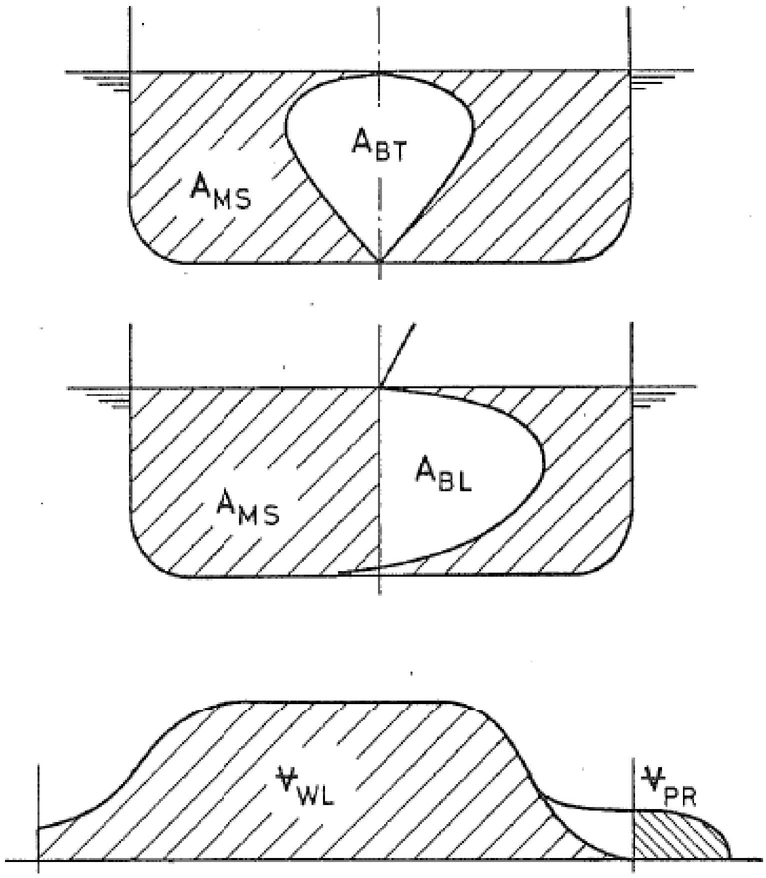
και οι μη – γραμμικές:

4. Η παράμετρος εγκάρσιας επιφάνειας *(cross section parameter)*, δηλαδή η εγκάρσια επιφάνεια ABT της βολβοειδούς πλώρης στην πρωραία κάθετο, διαιρεμένη με την επιφάνεια AMS στο μέσο του πλοίου:
$$CABT = \frac{ABT}{AMS}$$
5. Η πλάγια παράμετρος *(lateral parameter)*, δηλαδή η επιφάνεια της τομής του βολβού με το κεντρικό διάμηκες επίπεδο, διαιρεμένη με AMS:
$$CABL = \frac{ABL}{AMS}$$
6. Η ογκομετρική παράμετρος, δηλαδή ο όγκος VPR του προεξέχοντος μέρος του βολβού προς τον όγκο εκτοπίσματος του πλοίου:
$$CVPR = \frac{VPR}{VWL}$$

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται αναλυτικά οι διαστάσεις του βολβού και του πλοίου:



Σχήμα 5.7: Απεικόνιση των γραμμικών παραμέτρων βολβού.



Σχήμα 5.8: Απεικόνιση μη – γραμμικών παραμέτρων βολβού.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία για την περιγραφή της γεωμετρίας των βολβών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα *loxab.exe*, το οποίο αναπτύχθηκε από το *Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής.* Η λειτουργία και οι παράμετροι του προγράμματος αυτού περιγράφονται αναλυτικά στο Παράρτημα Β.

5.5 ΣΥΜΜΟΡΦΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ [1]

Η πληροφορία προκειμένου να δημιουργηθούν τα panels αποκτάται από τις διδιάστατες εγκάρσιες τομές στις οποίες υποδιαιρείται η γάστρα. Συγκεκριμένα κάθε νομέας αναπαριστάται αναλυτικά με εφαρμογή της σύμμορφης απεικόνισης. Αυτή η μέθοδος έχει αναπτυχθεί από τον καθηγητή *Γ. Τζαμπίρα* (Tzabiras, 2009).

Συνήθως ο αριθμός των νομέων που έχουμε στη διάθεσή μας είναι μικρός σε σχέση με τον αριθμό των νομέων που χρειάζονται για να δημιουργηθούν τα τετράπλευρα στοιχεία. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές παρεμβολής νομέων.

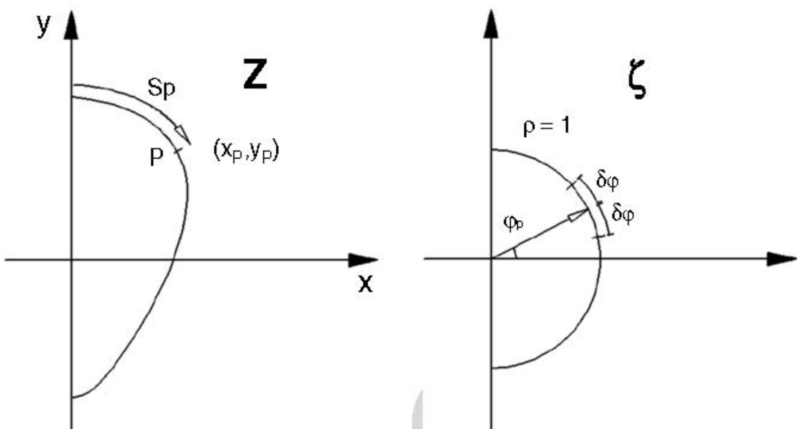
Ο σύμμορφος μετασχηματισμός ενός διδιάστατου εγκάρσιου νομέα που περιγράφει ένα πλοίο δίνεται από τον (Kerczek, 1969) ως:

$$z = c_0 + c_{-1}\zeta + \sum_{n=1}^{N} c_n \zeta^{-n} \tag{5.5.1}$$

Όπου ζ: συμβολίζει το μιγαδικό επίπεδο του μοναδιαίου κύκλου και z: το επίπεδο του νομέα. Αν ο νομέας είναι συμμετρικός ως προς τον y – άξονα, οι συντελεστές C_n ανάγονται σε πραγματικούς α_n και το πραγματικό και μιγαδικό μέρος του z (5.5.1) γράφονται αντίστοιχα:

$$x = \alpha_{-1}\cos\varphi + \sum_{n=1}^{N} \alpha_n \cos(-n\varphi)$$

$$y = \alpha_0 + \alpha_{-1}\sin\varphi + \sum_{n=1}^{N} \alpha_n \sin(-n\varphi) \tag{5.5.2}$$



Σχήμα 5.6: Περιγραφή ενός νομέα του πλοίου στον μιγαδικό μοναδιαίο κύκλο [1].

Στην εξίσωση (5,5.2), *φ = arg(x,y)* στο μοναδιαίο κύκλο, ενώ οι συντελεστές α_n υπολογίζονται αργότερα [4] (Tzabiras, Dimas, & Loukakis, 1986), είτε από τα παρακάτω ολοκληρώματα:

$$a_0^{(1)} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} x(\varphi)d\varphi$$

$$a_{-1}^{(1)} + a_1^{(1)} = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} x(\varphi)\cos(\varphi)d\varphi \qquad (5.5.3a),$$

$$a_n^{(1)} = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} x(\varphi)\cos(\varphi)d\varphi, n > 2$$

είτε από τα ολοκληρώματα:

$$a_0^{(2)} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} y(\varphi)d\varphi$$

$$a_{-1}^{(2)} + a_1^{(2)} = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} y(\varphi)\sin(\varphi)d\varphi \tag{5.5.3b}$$

$$a_n^{(2)} = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} y(\varphi)\sin(\varphi)d\varphi, n > 2$$

Τα αποτελέσματα α_n για τις δύο μεθόδους θα ήταν ίδια εάν αφήναμε το N → ∞. Σε πραγματικές, όμως, εφαρμογές το N είναι πεπερασμένος αριθμός και άρα οι τιμές για τα $\alpha_n^{(1)}$ και $\alpha_n^{(2)}$ διαφέρουν. Για να καταλήξουμε σε μια τιμή, ισχυριζόμαστε ότι η σχέση των δύο προσεγγίσεων είναι γραμμική:

$$a_n = ra_n^{(1)} + (1-r)a_n^{(2)}, n = -1, \dots, N \tag{5.5.4}$$

Με το συντελεστή βαρύτητας r να προσδιορίζεται ελαχιστοποιώντας το ολικό σφάλμα:

$$E_t = \sum_p \left[(x_p - x_{aP})^2 + (y_p - y_{aP})^2\right] \tag{5.5.5}$$

Όπου P είναι ο αρθμός των σημείων (x_p, y_p) που περιγράφουν το νομέα.

Τότε το r υπολογίζεται λύνοντας τη γραμμική σχέση: $$\frac{\partial E_t}{\partial r} = 0 \tag{5.5.6}$$

Για την εκτέλεση του σύμμορφου μετασχηματισμού χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα *condor* η λειτουργία του οποίου περιγράφεται στο Παράρτημα Γ.

5.6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΩΣ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Μελετήθηκαν οι περιπτώσεις με συντελεστή γάστρας C_B=0.60 και C_B=0.70, σε δύο ταχύτητες η κάθε μία. Από προηγούμενη εργασία[7] έχουν υπολογιστεί οι διαστάσεις του βέλτιστου βολβού. Σε κάθε περίπτωση μελετήθηκαν 2 λοξοειδείς παραλλαγές του βέλτιστου βολβού. Στην ενότητα 6 παρατίθενται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα για κάθε περίπτωση και στην ενότητα 7 γίνεται σύγκριση όλων των αποτελεσμάτων.

Η διαδικασία προετοιμασίας και διεξαγωγής των αριθμητικών πειραμάτων έχει ως εξής:

Αρχικά, προσδιορίσαμε τις γεωμετρικές μεταβλητές του βολβού που επιθυμούμε στο αρχείο *dloxab.txt*. Διατηρώντας ίδιες τις βασικές διαστάσεις μήκους και πλάτους του βέλτιστου βολβού, αλλάξαμε μόνο τους λόγους RHMAX, RHTIP και RLHMAX, ώστε να προσδώσουμε την επιθυμητή ανύψωση στην άκρη του βολβού. Έπειτα, με το πρόγραμμα *loxab.exe* παράγεται η νέα γεωμετρία (γάστρα+βολβός) και συγκεκριμένα τα αρχεία *dcondor1n, dcondor2n, dcondor3n*. Κατόπιν εκτελείται ο σύμμορφος μετασχηματισμός με το πρόγραμμα *condor*. Το πρόγραμμα *loxab.exe*, καθώς και των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται, περιγράφονται αναλυτικά στο Παράρτημα Β.

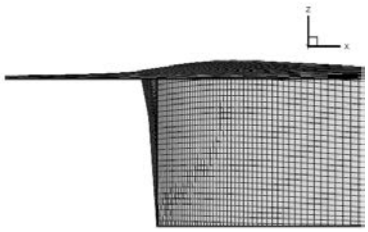
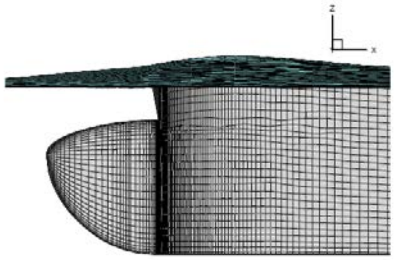
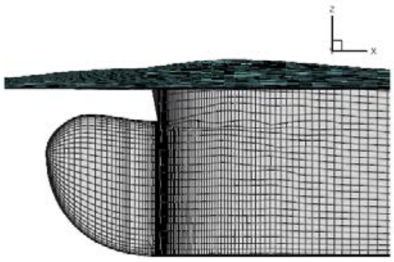
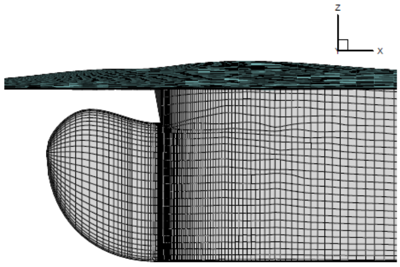
Το πρόγραμμα *condor*, απαιτεί ως input τα αρχεία *dcondor1, dcondor2 και dcondor3* και περιέχουν τη γεωμετρία των διδιάστατων εγκάρσιων τομών της γάστρας σε μορφή Y-Z συντεταγμένων. Συγκεκριμένα, το *dcondor1* παρέχει τις πληροφορίες όπως τον αριθμό των τομών για κάθε υποδιαιρεμένη περιοχή της γάστρας (βλ. 5.4), ενώ το *dcondor2* περιέχει την πληροφορία για τη γεωμετρία της γάστρας αυτής καθ' εαυτής. Τέλος, το *dcondor3* περιέχει τη γεωμετρία του βολβού. Το πρόγραμμα *condor*, καθώς και των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται, περιγράφονται αναλυτικά στο Παράρτημα Γ.

Μετά την εκτέλεση του σύμμορφου μετασχηματισμού, παράγεται το αρχείο *filecond* που περιέχει την απαραίτητη πληροφορία που χρειάζεται το πρόγραμμα *panelw.f* για να ξεκινήσει τις επαναλήψεις για τον προσδιορισμό της ελεύθερης επιφάνειας και την επίλυση της θεωρίας δυναμικού. Ο κώδικας χρειάζεται τα αρχεία *filecond* και *dpanelw* για να λειτουργήσει, με τα οποία ο χρήστης έχει τη δυνατότητα περισσότερο ή λιγότερο, να αλληλεπιδράσει με το πρόγραμμα *panelw.f*. Το *dpanelw.txt* περιέχει βασικές πληροφορίες όπως τον αριθμό των panels, τον αριθμό των επαναλήψεων, την ταχύτητα και τη γεωμετρία της γάστρας, την ύπαρξη ή όχι βολβού στην πλώρη, αρχική διαγωγή, όπως και άλλες μεταβλητές που επιδρούν στην ταχύτητα της σύγκλισης. Για κάθε διαφορετική περίπτωση, υπάρχει λοιπόν και ένα ξεχωριστό *dpanelw*.txt.

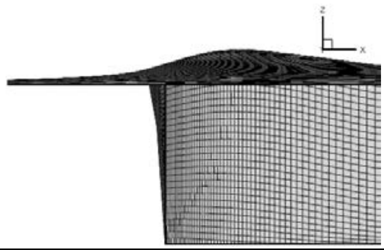
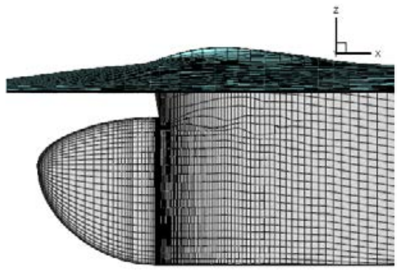
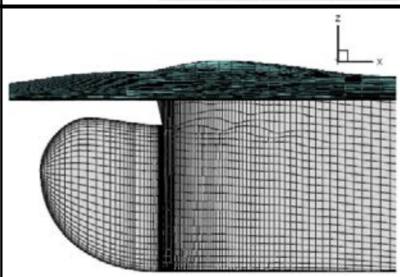
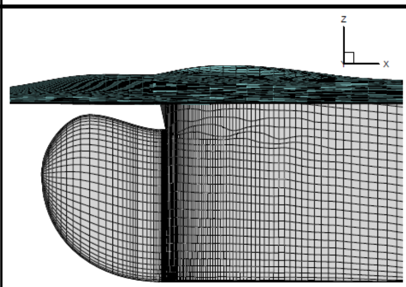
Τα προγράμματα *condor* και *panelw.f* εκτελούνται μέσω του server του τομέα *Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής (ΕΜΠ)*, σε υπολογιστικό περιβάλλον *linux*. Στο Παράρτημα Α περιγράφονται συνοπτικά τα βήματα εκτέλεσης των προγραμμάτων κατά σειρά, καθώς και οι συνηθέστερες εντολές που χρησιμοποιήθηκαν στο περιβάλλον linux.

Ακολουθούν δύο πίνακες που συνοψίζουν τα αριθμητικά πειράματα που διεξάχθησαν:

Πίνακας 5.6.1: περιπτώσεις που μελετήθηκαν, για συντελεστή γάστρας C_B=0.60

CB=0.60		**ταχύτητα**
γάστρα χωρίς βολβό ("original")		FN=0.20 FN=0.29
βέλτιστος βολβός ("bulb1")		FN=0.20 FN=0.29
παραλλαγή 1η (RHTIP **+2.5%**, RHMAX **+5%** , RLHMAX=**0.6**) ("**bulb2**")		FN=0.20 FN=0.29
παραλλαγή 2η (RHTIP **+5%**, RHMAX **+10%** , RLHMAX=**0.6**) ("**bulb3**")		FN=0.20 FN=0.29

Πίνακας 5.6.2: περιπτώσεις που μελετήθηκαν, για συντελεστή γάστρας C_B=0.70

<table>
<tr><th>CB=0.70</th><th></th><th>ταχύτητα</th></tr>
<tr><td rowspan="2">γάστρα χωρίς βολβό ("original")</td><td rowspan="2"></td><td>FN=0.20</td></tr>
<tr><td>FN=0.26</td></tr>
<tr><td rowspan="2">βέλτιστος βολβός ("bulb1")</td><td rowspan="2"></td><td>FN=0.20</td></tr>
<tr><td>FN=0.26</td></tr>
<tr><td rowspan="2">παραλλαγή 1η
(RHTIP +2.5%,
RHMAX +5% ,
RLHMAX=0.6)
("bulb2")</td><td rowspan="2"></td><td>FN=0.20</td></tr>
<tr><td>FN=0.26</td></tr>
<tr><td rowspan="2">παραλλαγή 2η
(RHTIP +5%,
RHMAX +10% ,
RLHMAX=0.6)
("bulb3")</td><td rowspan="2"></td><td>FN=0.20</td></tr>
<tr><td>FN=0.26</td></tr>
</table>

6. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1 Διαστάσεις και χαρακτηριστικά μεγέθη των πλοίων συστηματικής σειράς 60

Η πρώτη περίπτωση που εξετάστηκε αφορά πλοίο γεωμετρίας συστηματικής σειράς 60 με συντελεστή μορφής C_B = 0.60. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη του μοντέλου:

Πίνακας 6.1.1: Γενικά χαρακτηριστικά πλοίου C_B = 0.60

MAIN PARTICULARS (C_B = 0.60)			
Overall Length	Loa	3.158	[m]
Length Bet. Perp.	Lbp	3.048	[m]
Waterline Length	Lwl	3.099	[m]
Beam	B	0.4064	[m]
Draft	T	0.163	[m]
Depth	D	0.2439	[m]
Bilge radius	r	0.064	[m]
Displacement Volume	V	0.121	[m^3]
Wetted Surface	WS	1.524	[m^2]
Block Coeff.	C_B	0.599	[-]
Prismatic Coeff.	Cp	0.617	[-]
Entr. Prismatic Coeff.	Cpe	0.606	[-]
Run Prismatic Coeff.	Cpr	0.536	[-]
Midship Coeff.	Cx	0.973	[-]
Center of Boyancy (+fwd)	LCB	-1.271	[%]
Entrance Length	Le	49.97	[%]
Midship Length	Lx	10	[%]
Run Length	Lr	40.03	[%]
**********************	*******	********	******
Z-Bow	ZBOW	-0.022	[m]
Z-Bulb	ZBULB	No Bulb	[m]
Z-mid	ZMID	1.495	[m]
Z-cut	ZCUT2	2.99	[m]
Z-stern	ZSTER	3.136	[m]
Z-hub	ZHUB	No Hub	[m]

Η δεύτερη περίπτωση που εξετάστηκε αφορά πλοίο γεωμετρίας συστηματικής σειράς 60 με συντελεστή μορφής C_B = 0.70. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη του μοντέλου:

Πίνακας 6.1.2: Γενικά χαρακτηριστικά πλοίου C_B = 0.70

MAIN PARTICULARS (C_B = 0.70)			
Overall Length	Loa	3.158	[m]
Length Bet. Perp.	Lbp	3.048	[m]
Waterline Length	Lwl	3.099	[m]
Beam	B	0.469	[m]
Draft	T	0.163	[m]
Depth	D	0.245	[m]
Bilge radius	r	0.051	[m]
Displacement Volume	V	0.163	[m^3]
Wetted Surface	WS	1.783	[m^2]
Block Coeff.	C_B	0.7	[-]
Prismatic Coeff.	Cp	0.71	[-]
Entr. Prismatic Coeff.	Cpe	0.642	[-]
Run Prismatic Coeff.	Cpr	0.699	[-]
Midship Coeff.	Cx	0.985	[-]
Center of Boyancy (+fwd)	LCB	-1.531	[%]
Entrance Length	Le	41.926	[%]
Midship Length	Lx	11.861	[%]
Run Length	Lr	46.213	[%]
***			
Z-Bow	ZBOW	-0.022	[m]
Z-Bulb	ZBULB	No Bulb	[m]
Z-mid	ZMID	1.495	[m]
Z-cut	ZCUT2	2.99	[m]
Z-stern	ZSTER	3.136	[m]
Z-hub	ZHUB	No Hub	[m]

6.2 Διαστάσεις βέλτιστου βολβού

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, μελετώνται οι λοξοειδείς παραλλαγές του βέλτιστου βολβού για τις συγκεκριμένες γάστρες, διατηρώντας ίδια το μήκος και το πλάτος του. Οι διαστάσεις του βέλτιστου βολβού για κάθε περίπτωση, όπως μελετήθηκαν σε προηγούμενη εργασία [7] είναι οι εξής:

Πίνακας 6.1.3: Χαρακτηριστικά μεγέθη βολβού, γάστρας και οι λόγοι αυτών, για C_B = 0.60

BULB DATA		SHIP DATA		BULB DATA/ SHIP DATA	
Lbulb	0.1042	**Cb**	**0.6**	RLBULB	0.0336
Broot	0.0693	Lwl	3.099	RBROOT	0.1705
Htip	0.0978	Bwl	0.4064	RHROOT	0.8
Hroot	0.1304	T	0.163	RHTIP	0.75
Hmax	0.1304	D	0.2439	RYM	0.75
Bmax	0.0693	Zfp	-0.0158	RLHMAX	0
Abl	0.010685	Zcut	-0.0095	RHMAX	1
Abt	0.007228	Zbulb	-0.1201	RLBMAX	0
Vol	0.000509	Vol	0.12174	RBMAX	1
		AMS	0.065155	RDZ1	0.01
		FN	0.29		

Πίνακας 6.1.4: Χαρακτηριστικά μεγέθη βολβού, γάστρας και οι λόγοι αυτών, για C_B = 0.70

BULB DATA		SHIP DATA		BULB DATA/ SHIP DATA	
Lbulb	0.1145	**Cb**	**0.7**	RLBULB	0.03695
Broot	0.098	Lwl	3.099	RBROOT	0.209
Htip	0.0937	Bwl	0.469	RHROOT	0.85
Hroot	0.1386	T	0.163	RHTIP	0.676
Hmax	0.1386	D	0.245	RYM	0.676
Bmax	0.098	Zfp	-0.0158	RLHMAX	0
Abl	0.012415	Zcut	-0.0106	RHMAX	1
Abt	0.010865	Zbulb	-0.1303	RLBMAX	0
Vol	0.0008383	Vol	0.16351	RBMAX	1
		AMS	0.0753	RDZ1	0.01
		FN	0.29		

6.3 <u>Βέλτιστος αριθμός panels</u>

Η επιλογή του αριθμού των τετράπλευρων κατασκευαστικών στοιχείων που απαρτίζουν τη βυθισμένη επιφάνεια της γάστρας και την ελεύθερη επιφάνεια βασίστηκε σε δύο αντίρροπους παράγοντες. Από τη μία, μεγάλος αριθμός panels εμφανίζει μεγαλύτερη ακρίβεια αποτελεσμάτων, αλλά από την άλλη, και μεγαλύτερο υπολογιστικό χρόνο. Από παλαιότερες εργασίες [11] είχε διαπιστωθεί ότι ικανοποιητική ακρίβεια παρατηρείται για τον αριθμό των περίπου 21000 panels. Για αυτή την εργασία προτιμήθηκε μεγαλύτερη ακρίβεια σε βάρος του υπολογιστικού χρόνου. Η ποιότητα της σύγκλισης ελέγχεται με τη μεταβλητή *Iδzl*, που ισούται με το μέσο όρο των απολύτων τιμών των διαφορών της υπολογιζόμενης πίεσης από την πραγματική για κάθε στοιχείο. Συνεπώς μικρότερη τιμή *Iδzl* σημαίνει και ακριβέστερη λύση.

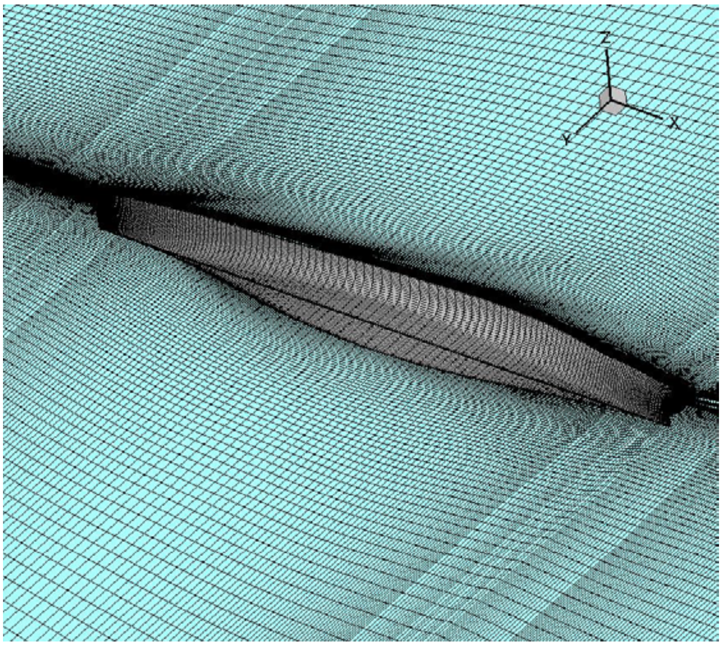
Η επιθυμητή – βέλτιστη λύση βρέθηκε σε προηγούμενη εργασία[7] με τη διεξαγωγή 3 αριθμητικών πειραμάτων και την επικράτηση του πειράματος που έδινε μικρότερη τιμή της μεταβλητής *Iδzl*. Έγιναν δοκιμές για 38000 panels, όπως επίσης και για 28000 και για 44000. Για τις δοκιμές χρησιμοποιήθηκε μοντέλο γεωμετρίας συστηματικής σειράς 60 με συντελεστή μορφής C_B = 0.60 και αριθμό Froude F_N = 0.316.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν ότι η βέλτιστη λύση για την ελεύθερη επιφάνεια δίνεται για τον αριθμό των 38000 στοιχείων.

Όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα με περαιτέρω αύξηση των στοιχείων δεν παρατηρείται μείωση στην τιμή του *Iδzl*, ενώ η αύξηση από τα 28000 στα 38000 panels προσφέρει σχετική βελτίωση στην ακρίβεια της λύσης.

Πίνακας 6.1.5: Συντελεστής αντίστασης κυματισμού Cw και υπόλοιπης πίεσης IδzI διαφορετικό αριθμό panels [7]

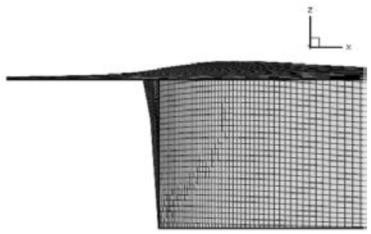
C_B = 0.60 & F_N = 0.316	*Cw*	*dz*
# panels		
28000	1.55E-03	1.31E-03
38000	**1.53E-03**	**1.21E-03**
44000	1.53E-03	1.21E-03



Σχήμα 6.1: Τελική αναπαράσταση γάστρας και ελεύθερης επιφάνειας με 38000 panels [7]

6.4 Παρουσίαση αριθμητικών αποτελεσμάτων

6.4.A.0 [C_B=0.60, γάστρα χωρίς βολβό]



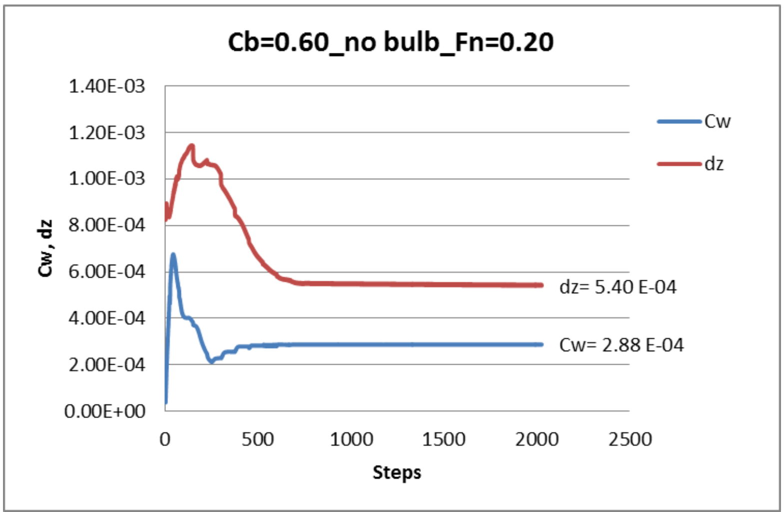
Εικόνα 6.4.1: προφίλ γάστρας, CB=0.60, χωρίς βολβό

Αρχικά μελετήθηκε η αντίσταση της γάστρας χωρίς βολβό, με C_B=0.60, σε δύο ταχύτητες F_N=0.20 και F_N=0.29. Τα χαρακτηριστικά της γάστρας φαίνονται αναλυτικά στην ενότητα 6.1. Οι καμπύλες σύγκλισης του συντελεστή αντίστασης *Cw* και του όρου υπόλοιπης πίεσης *Ιδzl*, για κάθε ταχύτητα, όπως υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα *panelw*, φαίνονται παρακάτω. Ακολουθούν τα διαγράμματα και οι αντίστοιχοι πίνακες με τις τιμές σύγκλισης:

[C_B=0.60, χωρίς βολβό, ταχύτητα F_N=0.20]

Πίνακας 6.4.1: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.60, F_N= 0.20, γάστρα χωρίς βολβό.

CB = 0.60_Fn=0.20	**χωρίς βολβό**	
	values	units
Cw	2.88E-04	-
Ιδzl	5.40E-04	-
TOTAL RES. (ITTC)	3.8146	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	3.6883	Nt
BUOYANCY	1.19E+03	Nt
LCB	1.5526	m
KB	-7.56E-02	m

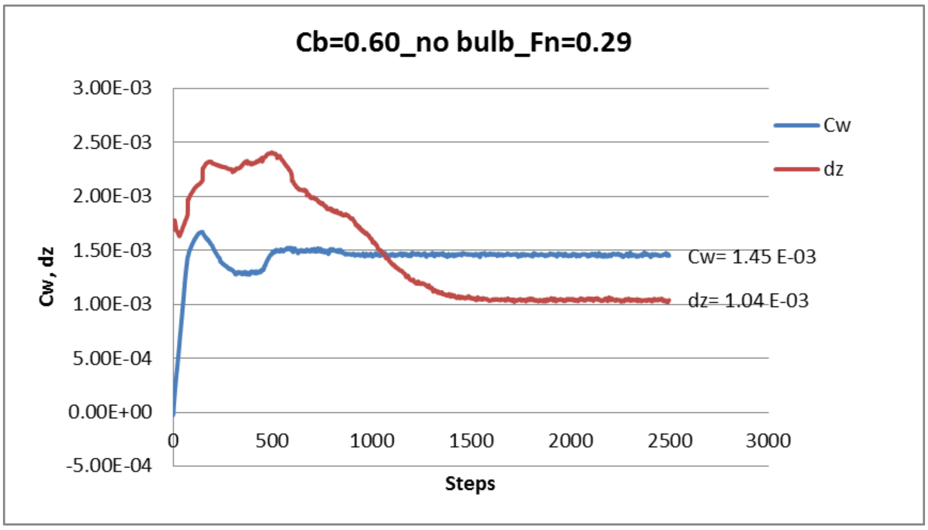


Διάγραμμα 6.4.1: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και Ιδzl για C_B=0.60, F_N=0.20, γάστρα χωρίς βολβό.

[C_B=0.60, χωρίς βολβό, ταχύτητα F_N=0.29]

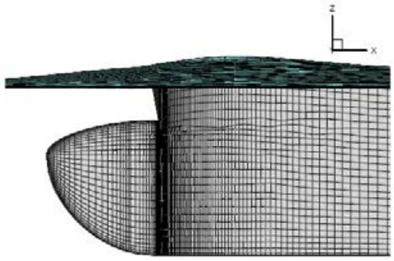
Πίνακας 6.4.2: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.60, F_N= 0.29, γάστρα χωρίς βολβό.

CB = 0.60_Fn=0.29	**χωρίς βολβό**	
	values	units
Cw	1.46E-03	-
Ιδzl	1.04E-03	-
TOTAL RES. (ITTC)	9.7608	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	9.5535	Nt
BUOYANCY	1.19E+03	Nt
LCB	1.5528	m
KB	-7.58E-02	m



Διάγραμμα 6.4.2: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και Ιδzl για C_B=0.60, F_N=0.29, γάστρα χωρίς βολβό.

6.4.A.1 [C_B = 0.60, “bulb1”]



Εικόνα 6.4.2: προφίλ γάστρας, CB=0.60, βέλτιστος βολβός, «bulb1»

Η πρώτη περίπτωση με βολβό που εξετάστηκε αφορά τον βέλτιστο βολβό “bulb1”, σε γάστρα της συστηματικής σειράς 60, με συντελεστή μορφής C_B = 0.60.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω (ενότητα 6.1), τα χαρακτηριστικά του βέλτιστου βολβού είναι:

Πίνακας 6.4.3: Χαρακτηριστικά μεγέθη «βέλτιστου» βολβού “bulb1”, γάστρας C_B=0.6 και οι λόγοι αυτών.

BULB DATA		SHIP DATA		BULB DATA/ SHIP DATA	
Lbulb	0.1042	**Cb**	**0.6**	RLBULB	0.0336
Broot	0.0693	Lwl	3.099	RBROOT	0.1705
Lhmax	0	Bwl	0.4064	RHROOT	0.8
Lbmax	0	T	0.163	RHTIP	0.75
Htip	0.0978	D	0.2439	RYM	0.75
Hroot	0.1304	Zfp	-0.0158	RLHMAX	0
Hmax	0.1304	Zcut	-0.0095	RHMAX	1
Bmax	0.0693	Zbulb	-0.1201	RLBMAX	0
Abl	0.010685	Vol	0.12174	RBMAX	1
Abt	0.007228	AMS	0.065155	RDZ1	0.01
Vol	0.000509				

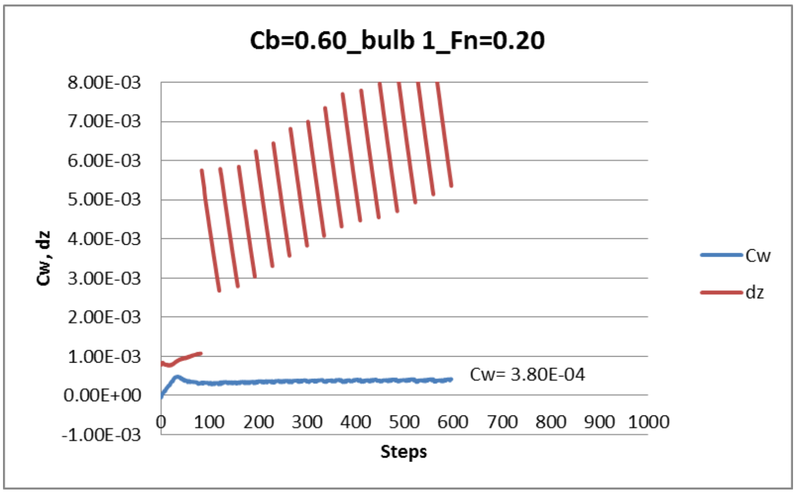
Οι καμπύλες σύγκλισης του συντελεστή αντίστασης *Cw* και του όρου υπόλοιπης πίεσης *Ιδzl*, όπως υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα *panelw*, για ταχύτητα F_N=0.20 και F_N=0.29 , φαίνονται παρακάτω. Ακολουθούν οι αντίστοιχοι πίνακες με τις τελικές τιμές σύγκλισης:

[C_B = 0.60, “bulb1”,ταχύτητα F_N = 0.20]

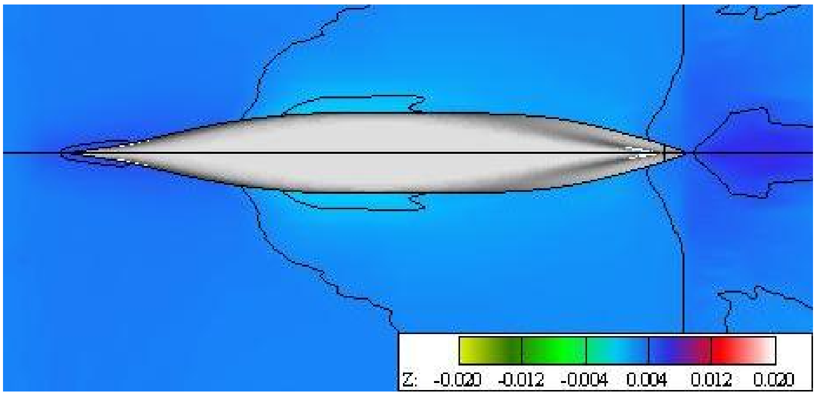
Σημείωση: Στην περίπτωση αυτή, το πρόγραμμα εμφάνιζε αδυναμία υπολογισμού της ελεύθερης επιφάνειας, και η λειτουργία του διεκόπη. Ωστόσο, προσαρτώνται τα αποτελέσματα για χάριν πληρότητας και επανεξέτασης σε μελλοντική εργασία.

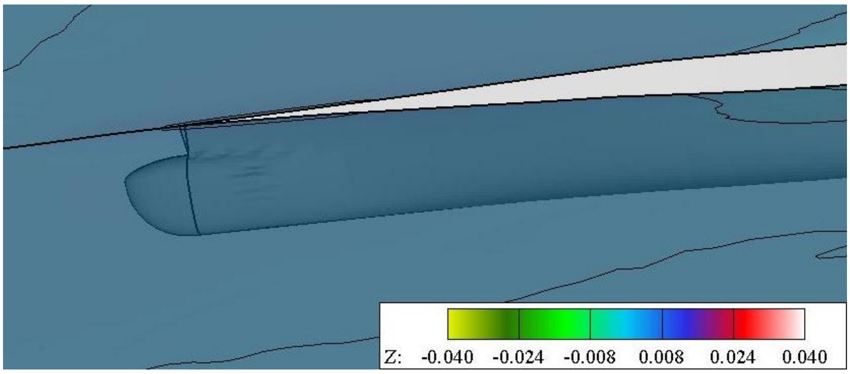
Πίνακας 6.4.4: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.60, F_N= 0.20, με «βέλτιστο» βολβό (bulb 1).

	bulb 1	
CB = 0.60_Fn=0.20	**"βέλτιστος" βολβός**	
	values	units
Cw	3.80E-04	-
Ιδzl	-	-
TOTAL RES. (ITTC)	4.0827	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	3.9515	Nt
BUOYANCY	1201	Nt
LCB	1.5341	m
KB	-0.075848	m



Διάγραμμα 6.4.3: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και IδzI για C_B=0.60, F_N=0.20, με «βέλτιστο» βολβό «bulb 1». (Παρατηρούμε αδυναμία υπολογισμού της ελεύθερης επιφάνειας)



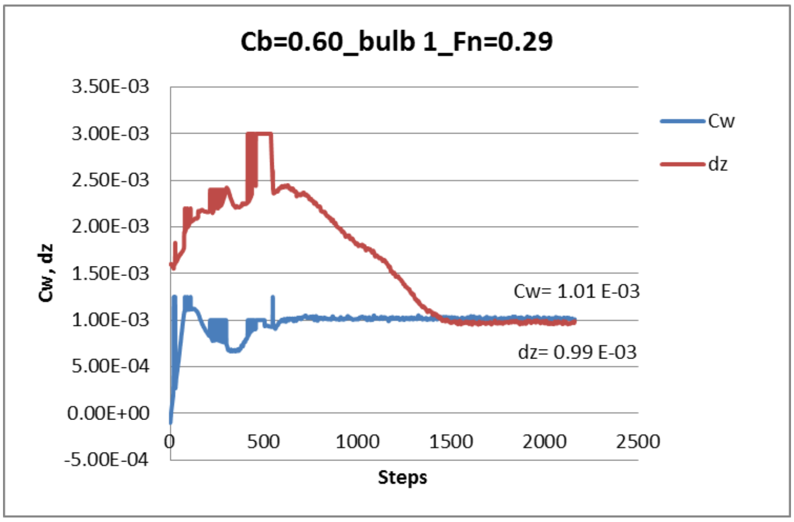


Εικόνα 6.4.3: Αναπαράσταση των ισοϋψών τομών της ελεύθερης επιφάνειας C_B = 0.60, F_N=0.20, με «βέλτιστο» βολβό «bulb1» (πάνω) και τρισδιάστατη πρόοψη μεγενθυμένη στην πλώρη (κάτω). (Παρατηρούμε αδυναμία υπολογισμού της ελεύθερης επιφάνειας)

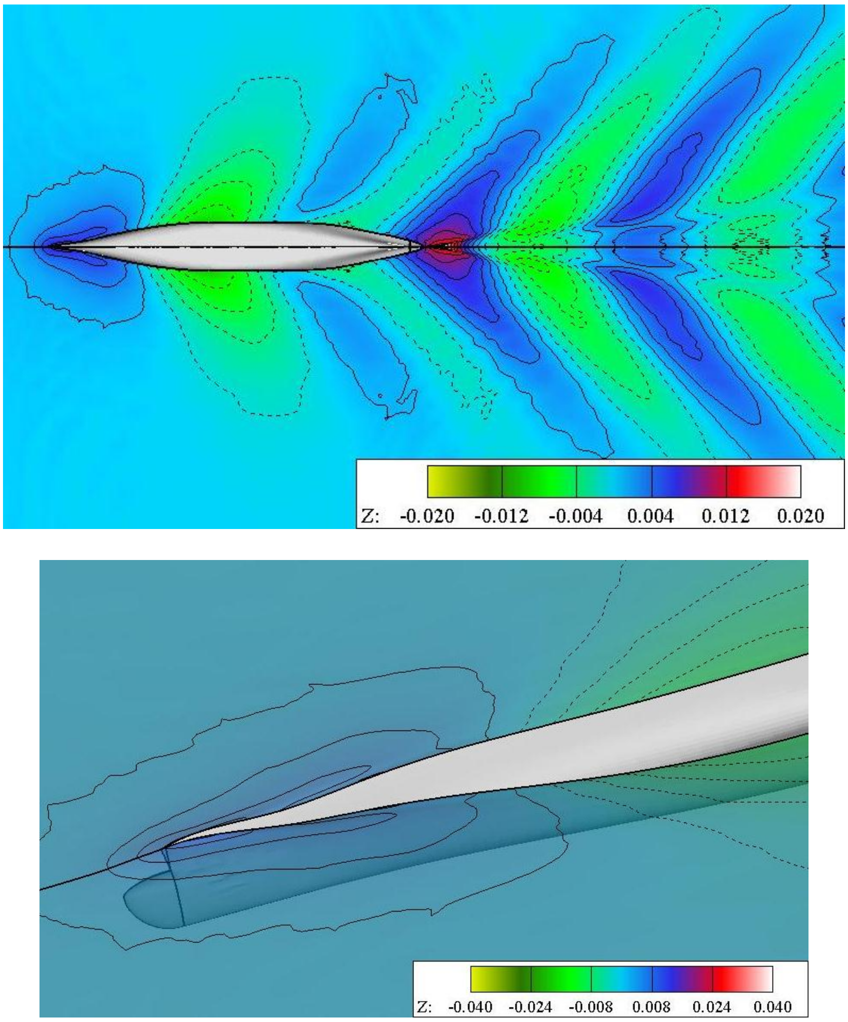
[C_B = 0.60, "bulb1",ταχύτητα F_N = 0.29]

Πίνακας 6.4.5: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.60, F_N= 0.29, με «βέλτιστο» βολβό (bulb 1).

	bulb 1	
C_B = 0.60_Fn=0.29	**"βέλτιστος" βολβός**	
	values	units
Cw	1.01E-03	-
Ιδzl	9.90E-04	-
TOTAL RES. (ITTC)	9.0768	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	8.8679	Nt
BUOYANCY	1.20E+03	Nt
LCB	1.5344	m
KB	-7.59E-02	m

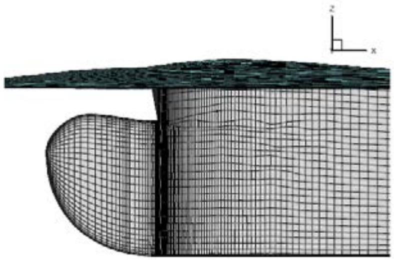


Διάγραμμα 6.4.4: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και Ιδzl για C_B=0.60, F_N=0.29, με «βέλτιστο» βολβό «bulb1».



Εικόνα 6.4.4: Αναπαράσταση των ισοϋψών τομών της ελεύθερης επιφάνειας C_B = 0.60, F_N=0.29, με «βέλτιστο» βολβό «bulb1» (πάνω) και τρισδιάστατη πρόοψη μεγενθυμένη στην πλώρη (κάτω).

6.4.A.2 [C_B = 0.60, “bulb2”] (RHTIP +2.5%, RLHMAX=0.6, RHMAX +5%)



Εικόνα 6.4.5: προφίλ γάστρας, CB=0.60, 1η λοξοειδής παραλλαγή «bulb2»

Ακολουθεί η μελέτη της 1ης λοξοειδούς παραλλαγής του βέλτιστου βολβού με τα εξής χαρακτηριστικά:

Πίνακας 6.4.6: Χαρακτηριστικά μεγέθη 1ης λοξοειδούς παραλλαγής βολβού “bulb2”, γάστρας C_B=0.60 και οι λόγοι αυτών.

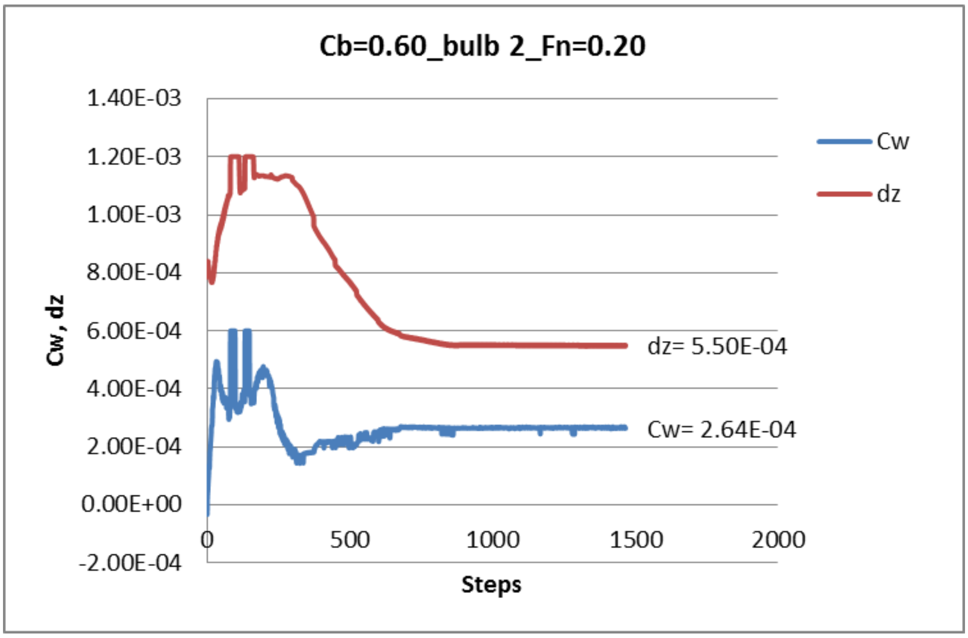
BULB DATA		SHIP DATA		BULB DATA/ SHIP DATA	
Lbulb	0.1042	**Cb**	**0.6**	RLBULB	0.0336
Broot	0.0693	Lwl	3.099	RBROOT	0.1705
Lhmax	0.0625	Bwl	0.4064	RHROOT	0.8
Lbmax	0	T	0.163	RHTIP +2.5%	0.76875
Htip	0.1002	D	0.2439	RYM	0.75
Hroot	0.1304	Zfp	-0.0158	RLHMAX	0.6
Hmax	0.1369	Zcut	-0.0095	RHMAX +5%	1.05
Bmax	0.0693	Zbulb	-0.1201	RLBMAX	0
Abl	0.011588	Vol	0.12174	RBMAX	1
Abt	0.007229	AMS	0.065155	RDZ1	0.01
Vol	0.000547				

Οι καμπύλες σύγκλισης του συντελεστή αντίστασης *Cw* και του όρου υπόλοιπης πίεσης *Ιδzl*, όπως υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα *panelw*, για ταχύτητα F_N=0.20 και F_N=0.29 , φαίνονται παρακάτω. Ακολουθούν και οι πίνακες με τις τελικές τιμές σύγκλισης:

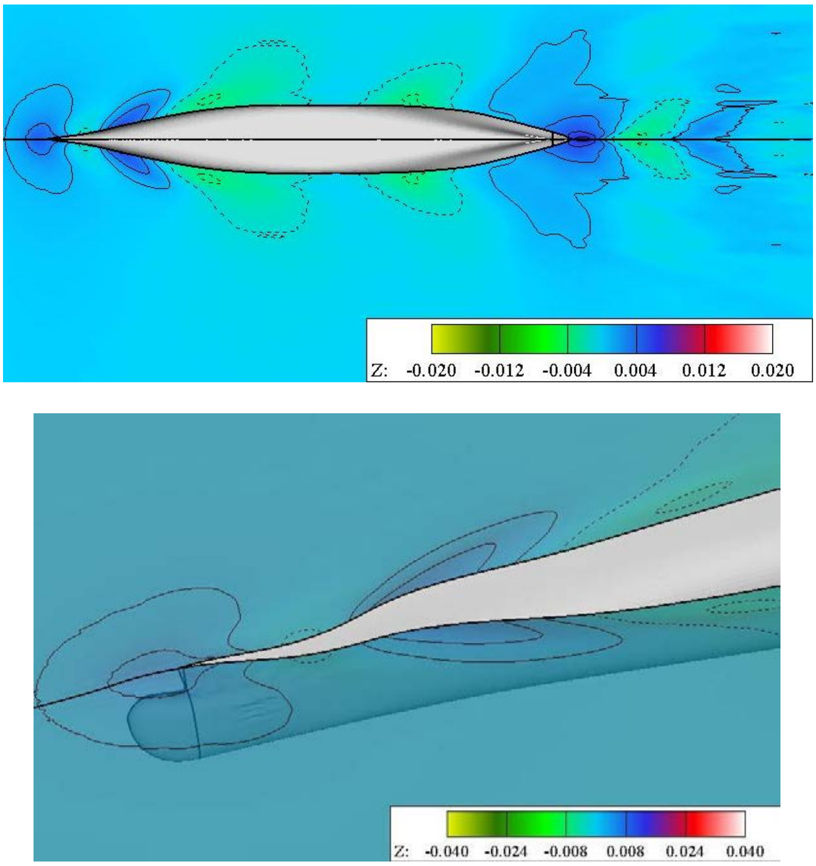
[C_B = 0.60, “bulb2”,ταχύτητα F_N = 0.20]

Πίνακας 6.4.7: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.60, F_N= 0.20, με 1η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb 2».

	bulb 2	
CB = 0.60_Fn=0.20	**(RHTIP +2.5%, RHMAX +5% , RLHMAX=0.6)**	
	values	units
Cw	2.64E-04	-
Ιδzl	5.50E-04	-
TOTAL RES. (ITTC)	3.8568	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	3.7302	Nt
BUOYANCY	1.20E+03	Nt
LCB	1.5335	m
KB	-7.58E-02	m



Διάγραμμα 6.4.5: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και ΙδzΙ για C_B=0.60, F_N=0.20, με 1η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb2».

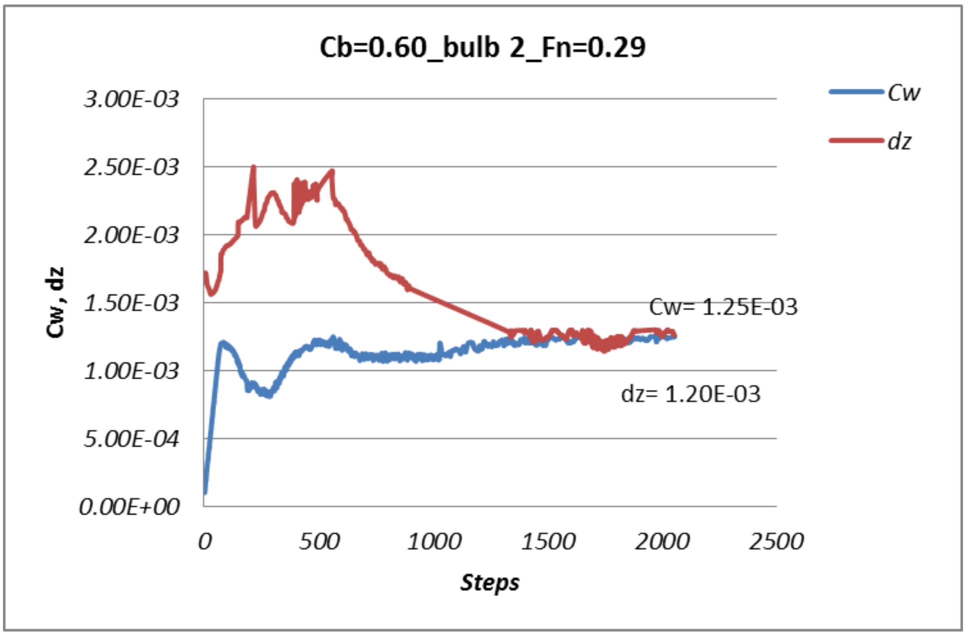


Εικόνα 6.4.6: Αναπαράσταση των ισοϋψών τομών της ελεύθερης επιφάνειας C_B = 0.60, F_N=0.20, bulb 2 (πάνω) και τρισδιάστατη πρόοψη μεγενθυμένη στην πλώρη (κάτω).

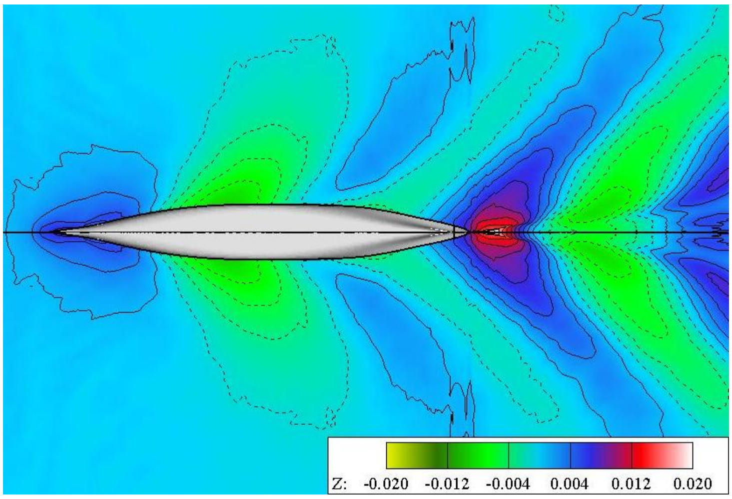
[C_B = 0.60, “bulb2”,ταχύτητα F_N = 0.29]

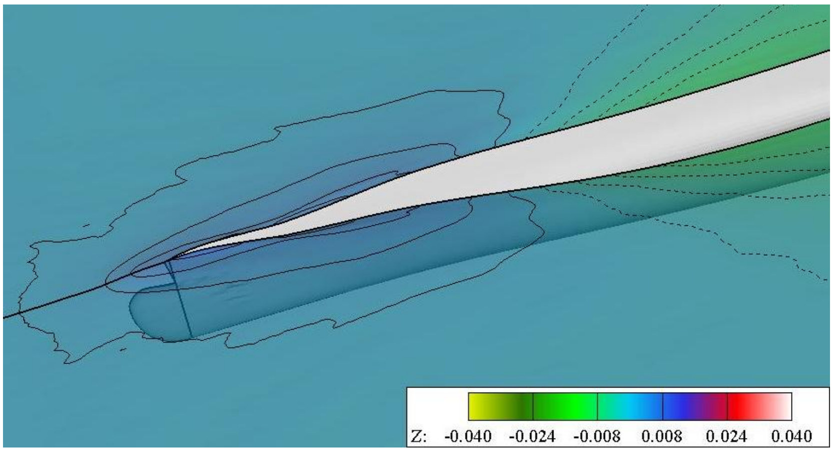
Πίνακας 6.4.8: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.60, F_N= 0.29, με 1η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb 2».

	bulb 2	
C_B = 0.60_Fn=0.29	**(RHTIP +2.5%, RHMAX +5% , RLHMAX=0.6)**	
	values	units
Cw	1.25E-03	-
IδzI	1.20E-03	-
TOTAL RES. (ITTC)	7.25E+00	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	7.04E+00	Nt
BUOYANCY	1.20E+03	Nt
LCB	1.5333	m
KB	-7.59E-02	m



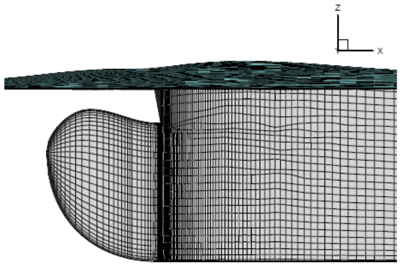
Διάγραμμα 6.4.6: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και IδzI για C_B=0.60, F_N=0.29, με 1η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb 2».





Εικόνα 6.4.7: Αναπαράσταση των ισοϋψών τομών της ελεύθερης επιφάνειας C_B = 0.60, F_N=0.29, «bulb 2» (πάνω) και τρισδιάστατη πρόοψη μεγενθυμένη στην πλώρη (κάτω).

6.4.Α.3 [C_B = 0.60, “bulb3”] (RHTIP +5%, RLHMAX=0.6, RHMAX +10%)



Εικόνα 6.4.8: προφίλ γάστρας, CB=0.60, 2η λοξοειδής παραλλαγή «bulb3»

Ακολουθεί η μελέτη της 2ης λοξοειδούς παραλλαγής του βέλτιστου βολβού με τα εξής χαρακτηριστικά:

Πίνακας 6.4.9: Χαρακτηριστικά μεγέθη 2ης λοξοειδούς παραλλαγής βολβού “bulb3”, γάστρας C_B=0.60 και οι λόγοι αυτών.

BULB DATA		SHIP DATA		BULB DATA/ SHIP DATA	
Lbulb	0.1042	**Cb**	**0.6**	RLBULB	0.0336
Broot	0.0693	Lwl	3.099	RBROOT	0.1705
Lhmax	0.0625	Bwl	0.4064	RHROOT	0.8
Lbmax	0	T	0.163	RHTIP +5%	0.7875
Htip	0.1002	D	0.2439	RYM	0.75
Hroot	0.1304	Zfp	-0.0158	RLHMAX	0.6
Hmax	0.1369	Zcut	-0.0095	RHMAX +10%	1.1
Bmax	0.0693	Zbulb	-0.1201	RLBMAX	0
Abl	0.011588	Vol	0.12174	RBMAX	1
Abt	0.007229	AMS	0.065155	RDZ1	0.01
Vol	0.000547				

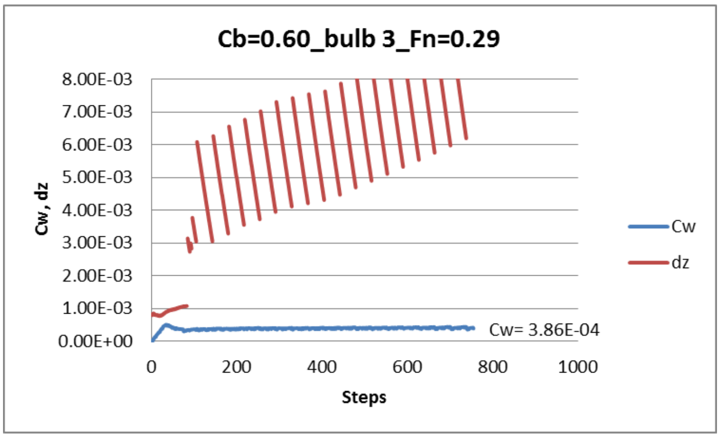
Οι καμπύλες σύγκλισης του συντελεστή αντίστασης *Cw* και του όρου υπόλοιπης πίεσης *Ιδzl*, όπως υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα *panelw*, για ταχύτητα F_N=0.29, φαίνονται παρακάτω. Ακολουθούν και οι πίνακες με τις τελικές τιμές σύγκλισης:

[C_B = 0.60, “bulb 3”,ταχύτητα F_N = 0.20]

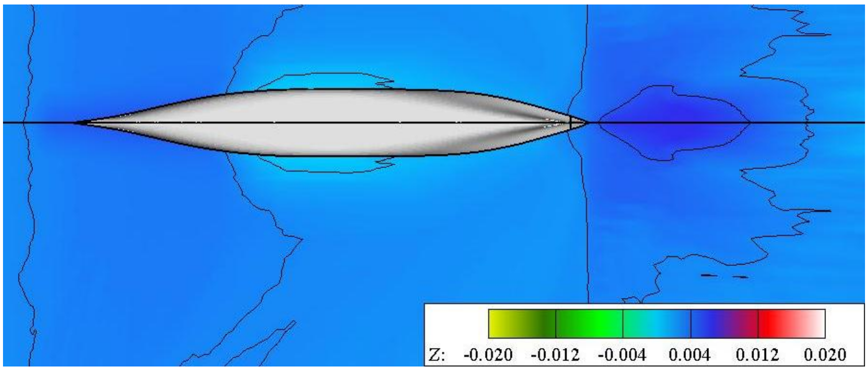
Σημείωση: Στην περίπτωση αυτή, (όπως και στην περίπτωση C_B = 0.60, “bulb1”, F_N = 0.20) το πρόγραμμα εμφάνιζε αδυναμία υπολογισμού της ελεύθερης επιφάνειας, και η λειτουργία του διεκόπη. Ωστόσο, προσαρτώνται τα αποτελέσματα για χάριν πληρότητας και επανεξέτασης σε μελλοντική εργασία.

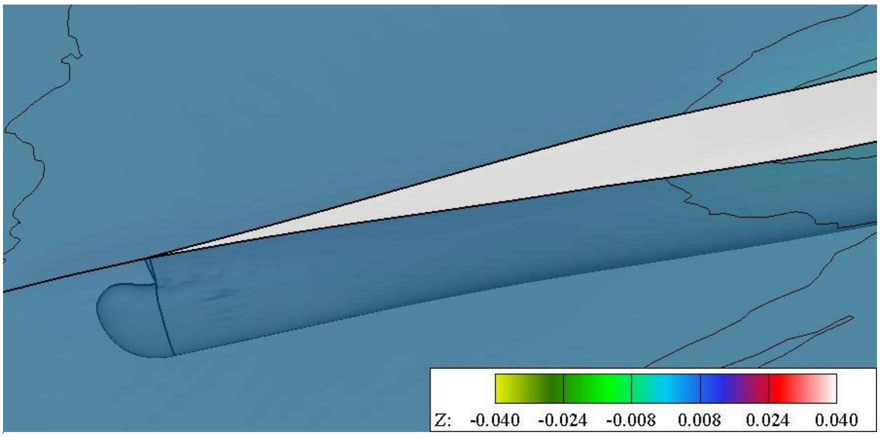
Πίνακας 6.4.10: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.60, F_N= 0.20, με 2η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb 3».

	bulb 3	
C_B = 0.60_Fn=0.20	**(RHTIP +5%, RHMAX +10% , RLHMAX=0.6)**	
	values	units
Cw	3.86E-04	-
Ιδzl	-	-
TOTAL RES. (ITTC)	4.113	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	3.9819	Nt
BUOYANCY	1.201	Nt
LCB	1.5335	m
KB	-0.075821	m



Διάγραμμα 6.4.7: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και ΙδzΙ για C_B=0.60, F_N=0.20, με 2η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb3». (Παρατηρούμε αδυναμία υπολογισμού της ελεύθερης επιφάνειας)



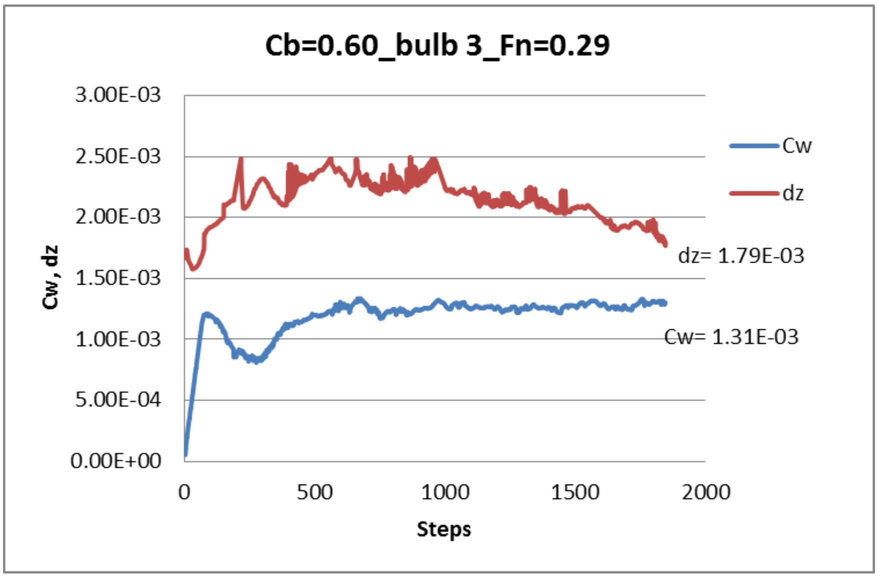


Εικόνα 6.4.9: Αναπαράσταση των ισοϋψών τομών της ελεύθερης επιφάνειας C_B = 0.60, F_N=0.20, με «βέλτιστο» βολβό «bulb1» (πάνω) και τρισδιάστατη πρόοψη μεγενθυμένη στην πλώρη (κάτω). (Παρατηρούμε αδυναμία υπολογισμού της ελεύθερης επιφάνειας)

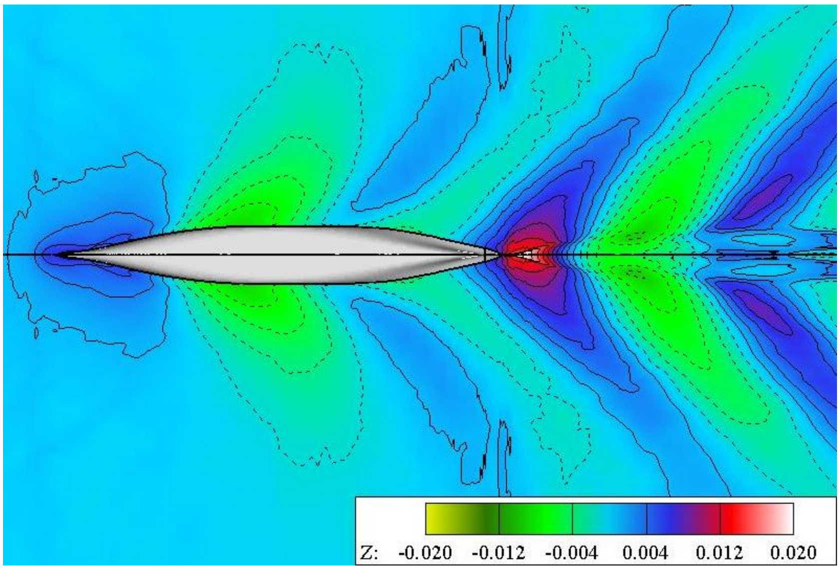
[C_B = 0.60, “bulb3”,ταχύτητα F_N = 0.29]

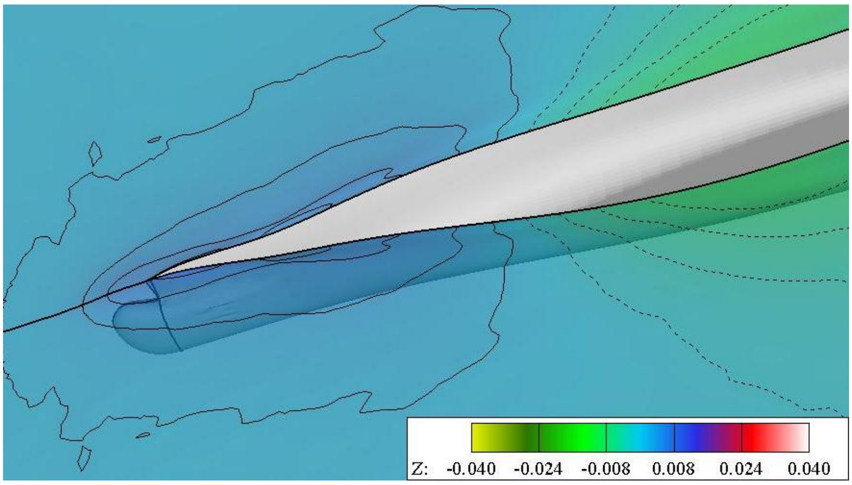
Πίνακας 6.4.11: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.60, F_N= 0.29, με 2η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb 3».

	bulb 3	
C_B = 0.60_Fn=0.29	**(RHTIP +5%, RHMAX +10% , RLHMAX=0.6)**	
	values	units
Cw	1.31E-03	-
IδzI	1.79E-03	-
TOTAL RES. (ITTC)	24.991	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	24.782	Nt
BUOYANCY	1.20E+03	Nt
LCB	1.5331	m
KB	-7.59E-02	m



Διάγραμμα 6.4.8: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και IδzI για C_B=0.6, F_N=0.29, με 2η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb3».



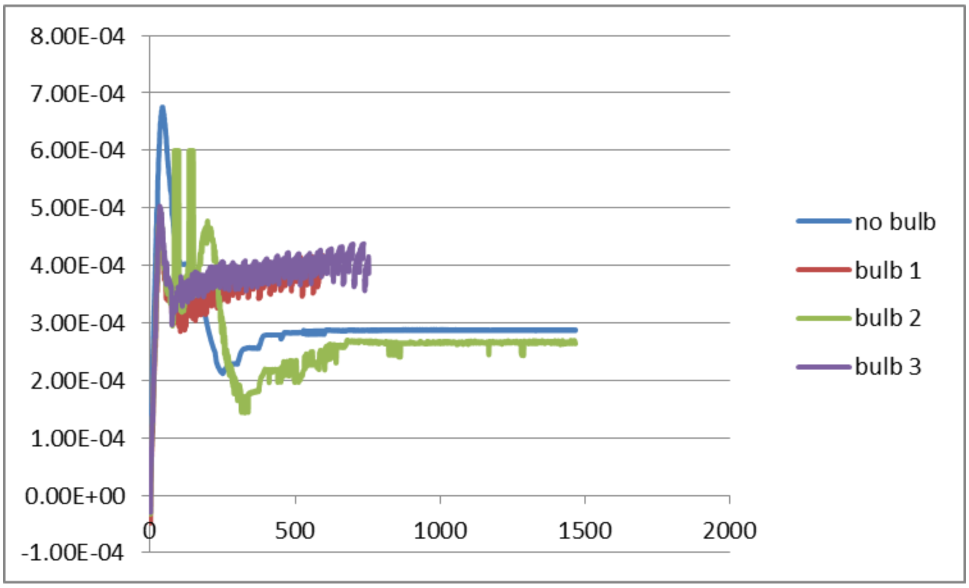


Εικόνα 6.4.10: Αναπαράσταση των ισοϋψών τομών της ελεύθερης επιφάνειας C_B = 0.60, F_N=0.29, «bulb 3» (πάνω) και τρισδιάστατη πρόοψη μεγενθυμένη στην πλώρη (κάτω).

6.4.A.4 <u>Σύγκριση των βολβών, για C_B=0.60</u>

Πίνακας 6.4.12: Σύγκριση όλων των περιπτώσεων, για γάστρα με C_B=0.60, F_N=0.20

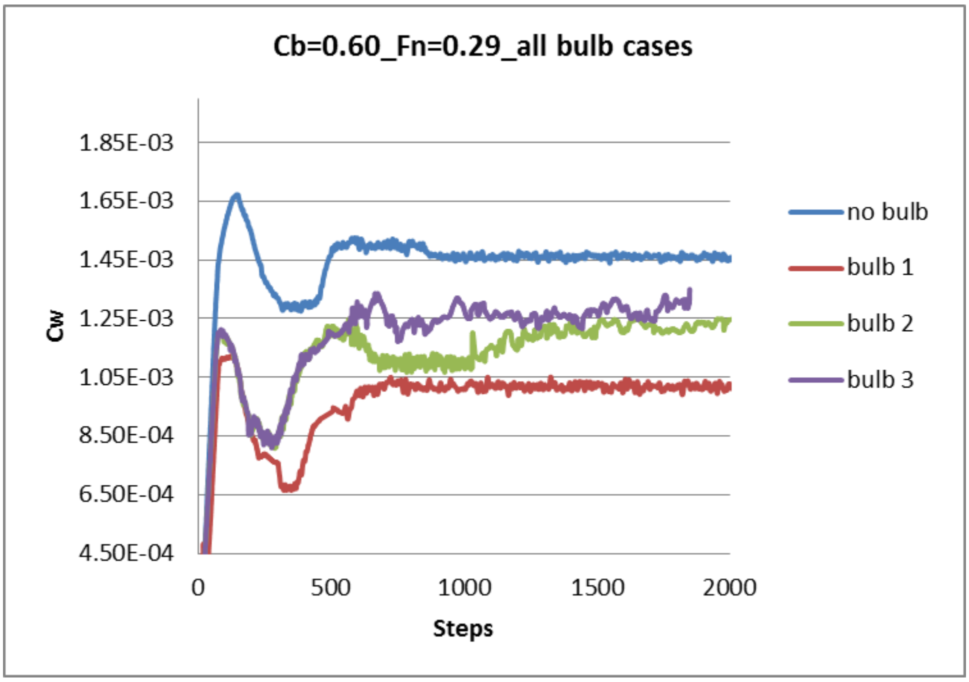
Test cases for CB= 0.60 & FN= 0.20		
case	**Cw**	**ΔCw (%)**
no bulb	2.88E-04	-
bulb 1 ("βέλτιστος" βολβός)		
bulb 2 (RHTIP +2.5%, RHMAX +5% , RLHMAX=0.6)	2.64E-04	-8.33%
bulb 3 (RHTIP +5%, RHMAX +10% , RLHMAX=0.6)		



Διάγραμμα 6.4.9: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw για C_B=0.60, F_N=0.20, όλων των περιπτώσεων. (Σημείωση: οι περιπτώσεις bulb1 και bulb3 , σε ταχύτητα F_N=0.20, εμφάνιζαν αδυναμία υπολογισμού της ελεύθερης επιφάνειας γι’αυτό διεκόπη ο περαιτέρω υπολογισμός τους)

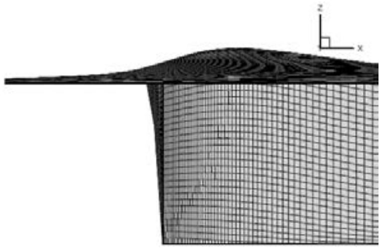
Πίνακας 6.4.13: Σύγκριση όλων των περιπτώσεων, για γάστρα με C_B=0.60, F_N=0.29

Test cases for CB= 0.60 & FN= 0.29		
case	**Cw**	**ΔCw (%)**
no bulb	1.46E-03	-
bulb 1 ("βέλτιστος" βολβός)	1.01E-03	-30.73%
bulb 2 (RHTIP +2.5%, RHMAX +5% , RLHMAX=0.6)	1.25E-03	-14.27%
bulb 3 (RHTIP +5%, RHMAX +10% , RLHMAX=0.6)	1.31E-03	-10.15%



Διάγραμμα 6.4.10: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και ΙδzΙ για C_B=0.60, F_N=0.29, όλων των περιπτώσεων.

6.4.B.0 [C_B=0.70, γάστρα χωρίς βολβό]



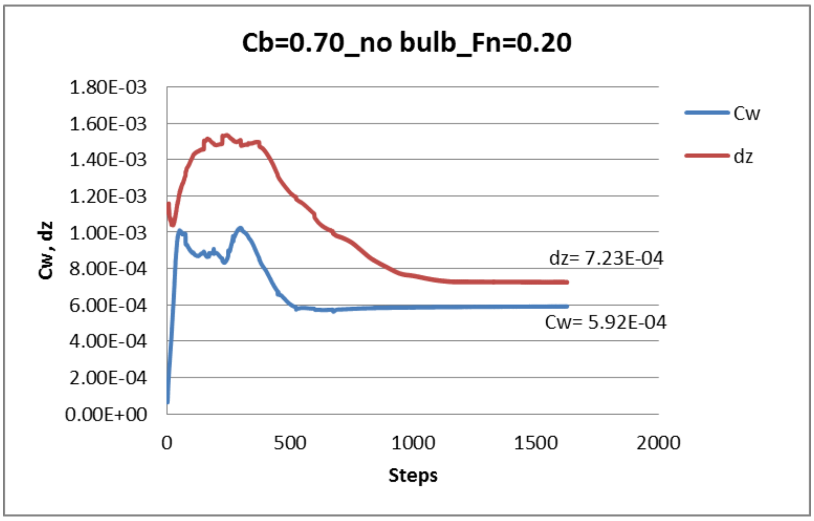
Εικόνα 6.4.11: προφίλ γάστρας, C_B=0.70, χωρίς βολβό

Αντίστοιχα, μελετήθηκε η αντίσταση της γάστρας χωρίς βολβό, με C_B=0.70, σε δύο ταχύτητες F_N=0.20 και F_N=0.26. Τα χαρακτηριστικά της γάστρας φαίνονται αναλυτικά στην ενότητα 6.1. Οι καμπύλες σύγκλισης του συντελεστή αντίστασης *Cw* και του όρου υπόλοιπης πίεσης *IδzI*, για κάθε ταχύτητα, όπως υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα *panelw*, φαίνονται παρακάτω. Ακολουθούν και οι πίνακες με τις τελικές τιμές σύγκλισης:

[C_B=0.70, χωρίς βολβό, ταχύτητα F_N=0.20]

Πίνακας 6.4.14: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.70, F_N= 0.20, γάστρα χωρίς βολβό.

CB = 0.70_Fn=0.20	**χωρίς βολβό**	
	values	units
Cw	5.92E-04	-
IδzI	7.23E-04	-
TOTAL RES. (ITTC)	4.8052	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	4.6575	Nt
BUOYANCY	1598.4	Nt
LCB	1.5527	m
KB	-0.077426	m

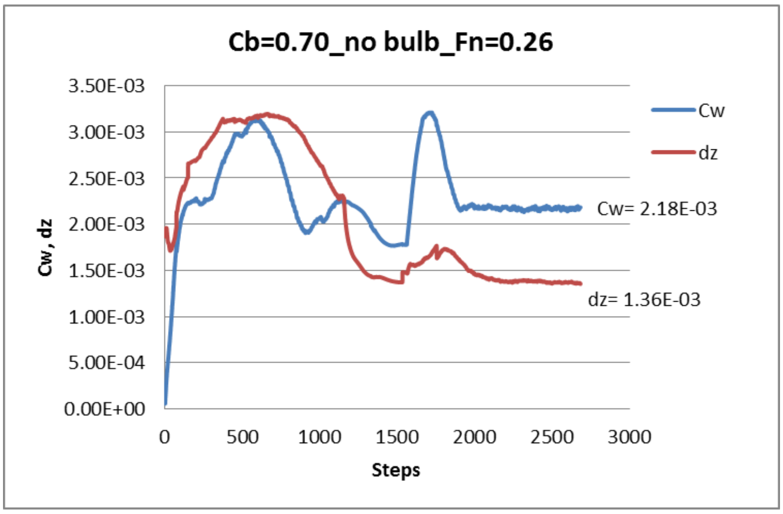


Διάγραμμα 6.4.11: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και IδzI για C_B=0.70, F_N=0.20, γάστρα χωρίς βολβό.

[C_B=0.70, χωρίς βολβό, ταχύτητα F_N=0.26]

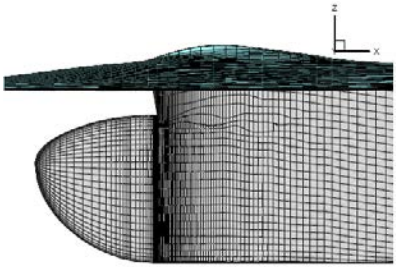
Πίνακας 6.4.15: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.70, F_N= 0.26, γάστρα χωρίς βολβό.

CB = 0.70_Fn=0.26	**χωρίς βολβό**	
	values	units
Cw	2.18E-03	-
IδzI	1.36E-03	-
TOTAL RES. (ITTC)	10.74	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	10.531	Nt
BUOYANCY	1594.6	Nt
LCB	1.5529	m
KB	-0.077625	m



Διάγραμμα 6.4.12: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και IδzI για C_B=0.70, F_N=0.26, γάστρα χωρίς βολβό.

6.4.B.1 [C_B = 0.70, "bulb1"]



Εικόνα 6.4.12: προφίλ γάστρας, CB=0.70, βέλτιστος βολβός, «bulb1»

Εξετάζεται ο βέλτιστος βολβός "bulb1", σε γάστρα της συστηματικής σειράς 60, με συντελεστή μορφής C_B = 0.70.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω (ενότητα 6.1), τα χαρακτηριστικά του βέλτιστου βολβού είναι:

Πίνακας 6.4.16: Χαρακτηριστικά μεγέθη «βέλτιστου» βολβού "bulb1", γάστρας C_B=0.70 και οι λόγοι αυτών.

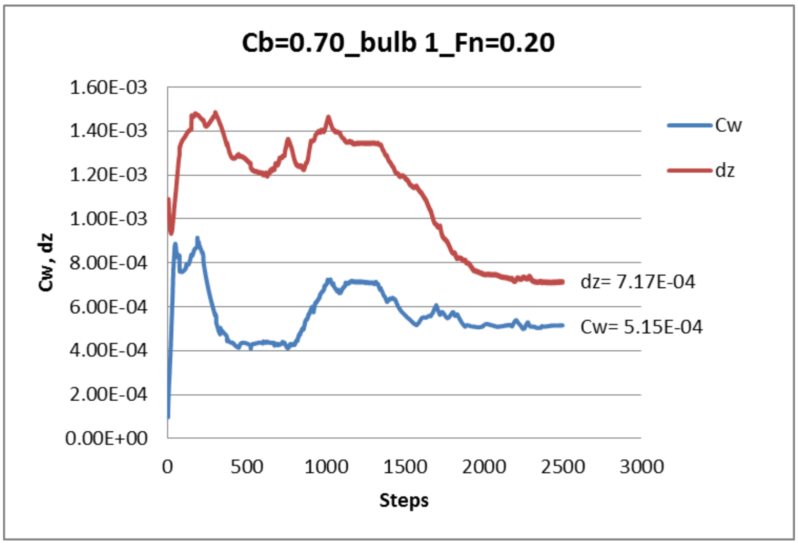
BULB DATA		SHIP DATA		BULB DATA/ SHIP DATA	
Lbulb	0.1145	**Cb**	**0.7**	RLBULB	0.03695
Broot	0.098	Lwl	3.099	RBROOT	0.209
Lhmax	0	Bwl	0.469	RHROOT	0.85
Lbmax	0	T	0.163	RHTIP	0.676
Htip	0.0937	D	0.245	RYM	0.676
Hroot	0.1386	Zfp	-0.0158	RLHMAX	0
Hmax	0.1386	Zcut	-0.0106	RHMAX	1
Bmax	0.098	Zbulb	-0.1303	RLBMAX	0
Abl	0.012415	Vol	0.16452	RBMAX	1
Abt	0.010865	AMS	0.0753	RDZ1	0.01
Vol	0.0008383				

Οι καμπύλες σύγκλισης του συντελεστή αντίστασης *Cw* και του όρου υπόλοιπης πίεσης *IδzI*, όπως υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα *panelw*, για ταχύτητα F_N=0.20 και F_N=0.26 , φαίνονται παρακάτω. Ακολουθούν και οι πίνακες με τις τελικές τιμές σύγκλισης:

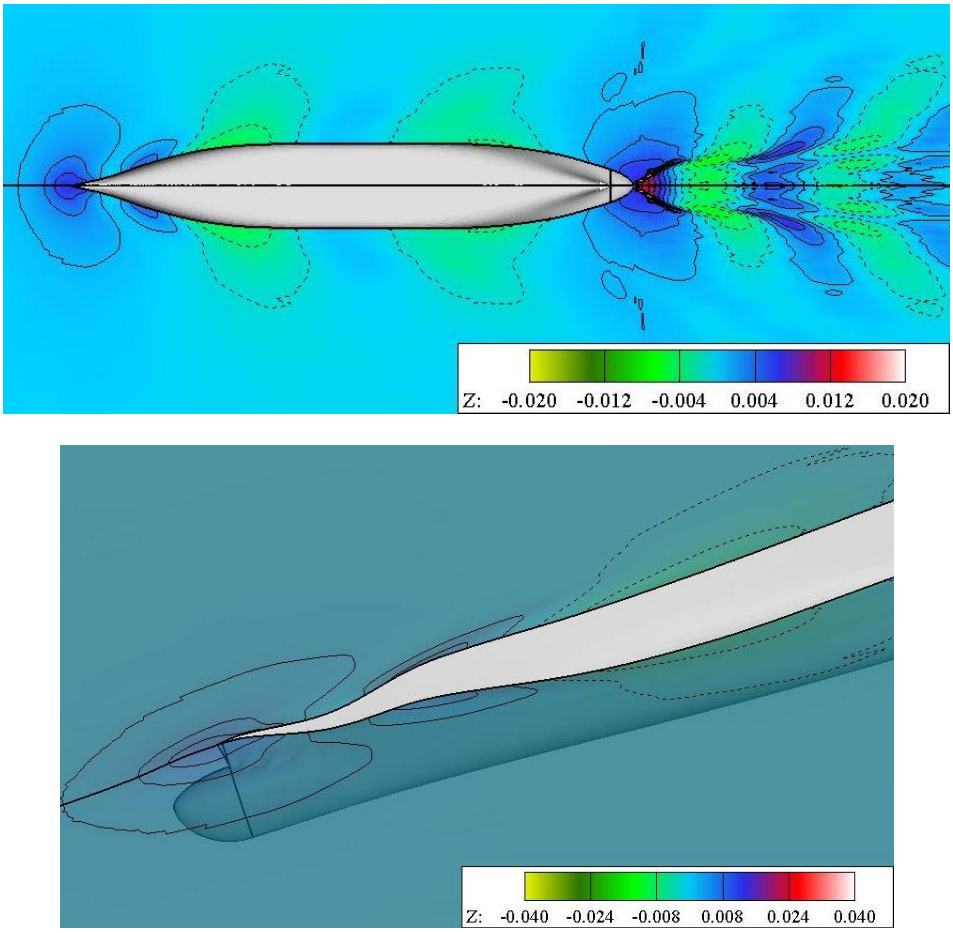
[C_B = 0.70, "bulb1",ταχύτητα F_N = 0.20]

Πίνακας 6.4.17: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.70, F_N= 0.20, με «βέλτιστο» βολβό (bulb 1).

	bulb 1	
CB = 0.70_Fn=0.20	**"βέλτιστος" βολβός**	
	values	units
Cw	5.15E-04	-
IδzI	7.17E-04	-
TOTAL RES. (ITTC)	4.7903	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	4.6427	Nt
BUOYANCY	1615.9	Nt
LCB	1.5353	m
KB	-0.07751	m



Διάγραμμα 6.4.13: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και |δz| για C_B=0.70, F_N=0.20, με «βέλτιστο» βολβό (bulb 1).

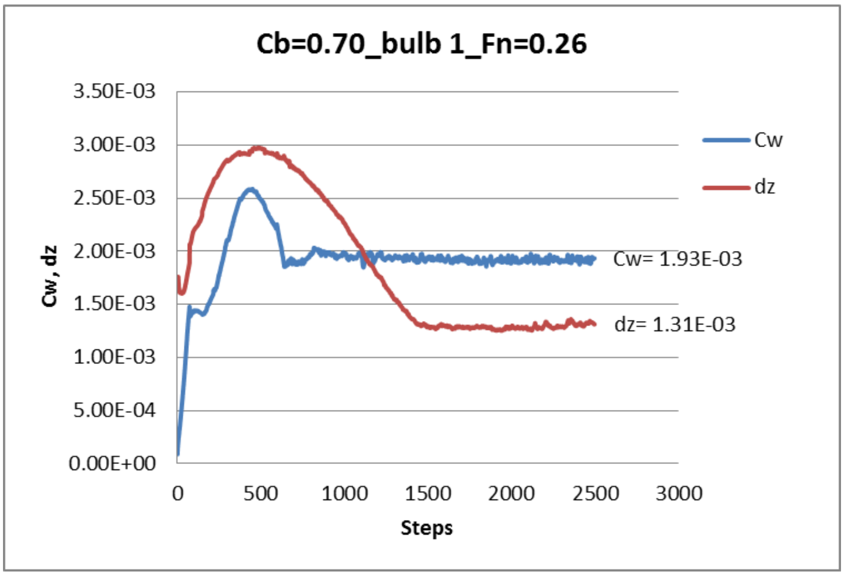


Εικόνα 6.4.13: Αναπαράσταση των ισοϋψών τομών της ελεύθερης επιφάνειας C_B = 0.70, F_N=0.20, με «βέλτιστο» βολβό «bulb1» (πάνω) και τρισδιάστατη πρόοψη μεγενθυμένη στην πλώρη (κάτω).

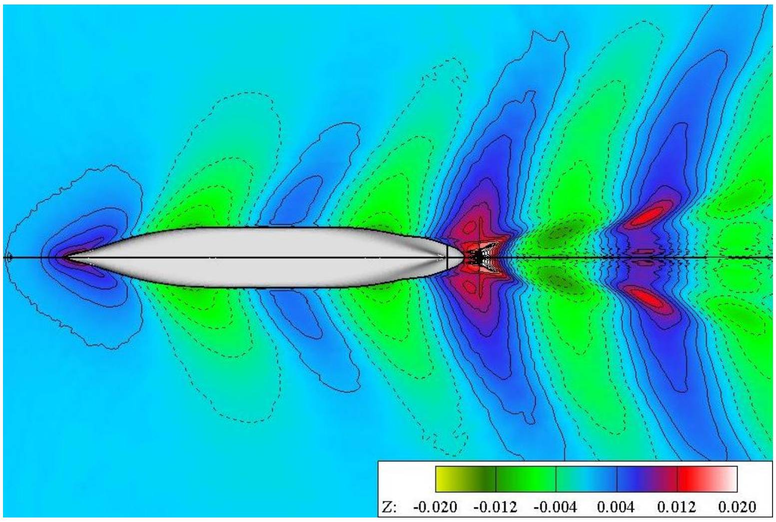
[C_B = 0.70, "bulb1",ταχύτητα F_N = 0.26]

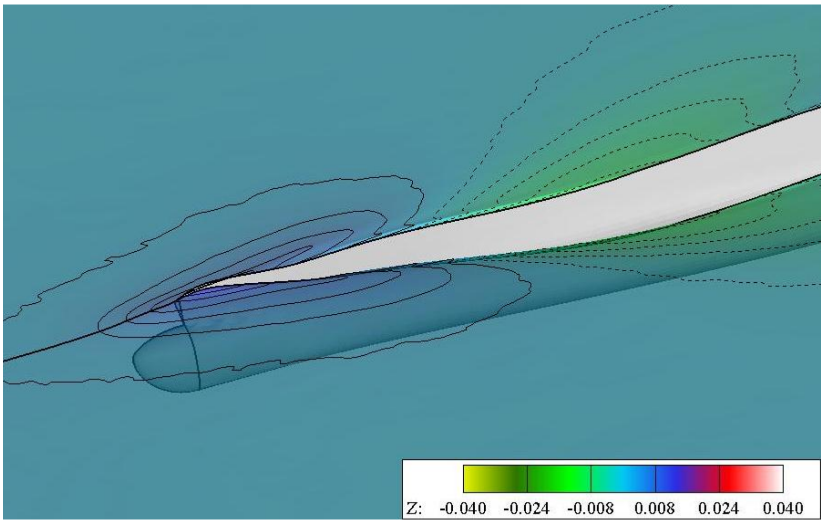
Πίνακας 6.4.18: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.70, F_N= 0.26, με «βέλτιστο» βολβό (bulb 1).

	bulb 1	
C_B = 0.70_Fn=0.26	**"βέλτιστος" βολβός**	
	values	units
Cw	1.93E-03	-
Iδzl	1.31E-03	-
TOTAL RES. (ITTC)	10.43	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	10.22	Nt
BUOYANCY	1613.2	Nt
LCB	1.5342	m
KB	-0.077641	m



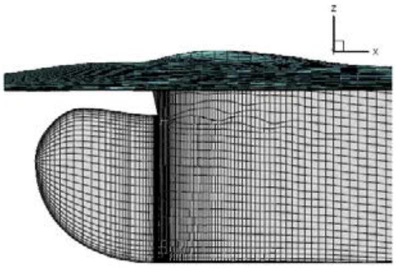
Διάγραμμα 6.4.14: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και Iδzl για C_B=0.70, F_N=0.26, με «βέλτιστο» βολβό (bulb 1).





Εικόνα 6.4.14: Αναπαράσταση των ισοϋψών τομών της ελεύθερης επιφάνειας C_B = 0.70, F_N=0.26, με «βέλτιστο» βολβό «bulb1» (πάνω) και τρισδιάστατη πρόοψη μεγενθυμένη στην πλώρη (κάτω).

6.4.B.2 [C_B = 0.70, "bulb2"] (RHTIP +2.5%, RLHMAX=0.6, RHMAX +5%)



Εικόνα 6.4.15: προφίλ γάστρας, CB=0.70, 1η λοξοειδής παραλλαγή «bulb2»

Ακολουθεί η μελέτη της 1ης λοξοειδούς παραλλαγής του βέλτιστου βολβού με τα εξής χαρακτηριστικά:

Πίνακας 6.4.19: Χαρακτηριστικά μεγέθη 1ης λοξοειδούς παραλλαγής βολβού "bulb2", γάστρας C_B=0.70 και οι λόγοι αυτών.

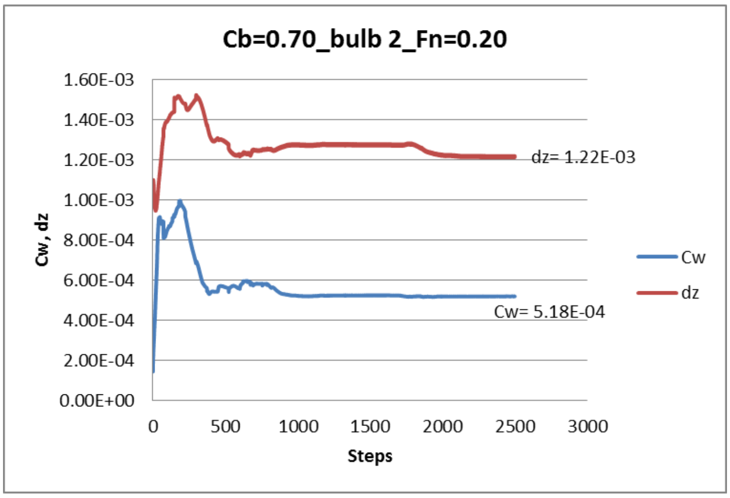
BULB DATA		SHIP DATA		BULB DATA/ SHIP DATA	
Lbulb	0.1145	**Cb**	**0.7**	RLBULB	0.03695
Broot	0.098	Lwl	3.099	RBROOT	0.209
Lhmax	0.0687	Bwl	0.469	RHROOT	0.85
Lbmax	0	T	0.163	RHTIP +2.5%	0.6929
Htip	0.096	D	0.245	RYM	0.676
Hroot	0.1386	Zfp	-0.0158	RLHMAX	0.6
Hmax	0.1455	Zcut	-0.0106	RHMAX +5%	1.05
Bmax	0.098	Zbulb	-0.1303	RLBMAX	0
Abl	0.013648	Vol	0.16452	RBMAX	1
Abt	0.010865	AMS	0.0753	RDZ1	0.01
Vol	0.000911				

Οι καμπύλες σύγκλισης του συντελεστή αντίστασης *Cw* και του όρου υπόλοιπης πίεσης *Iδzl*, όπως υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα *panelw*, για ταχύτητα F_N=0.20 και F_N=0.26 , φαίνονται παρακάτω. Ακολουθούν και οι πίνακες με τις τελικές τιμές σύγκλισης:

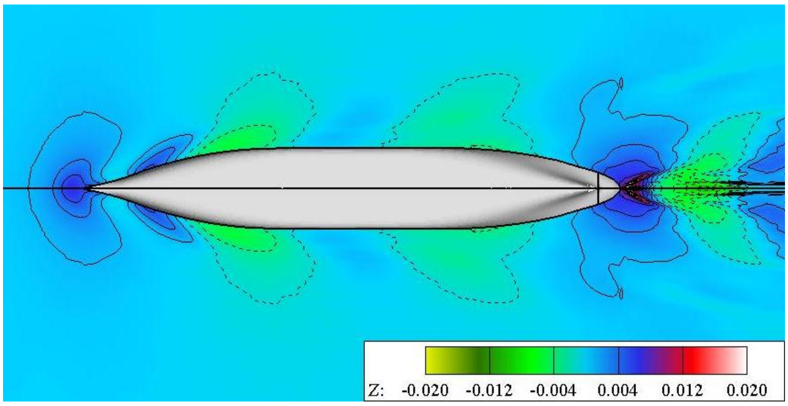
[C_B = 0.70, "bulb2",ταχύτητα F_N = 0.20]

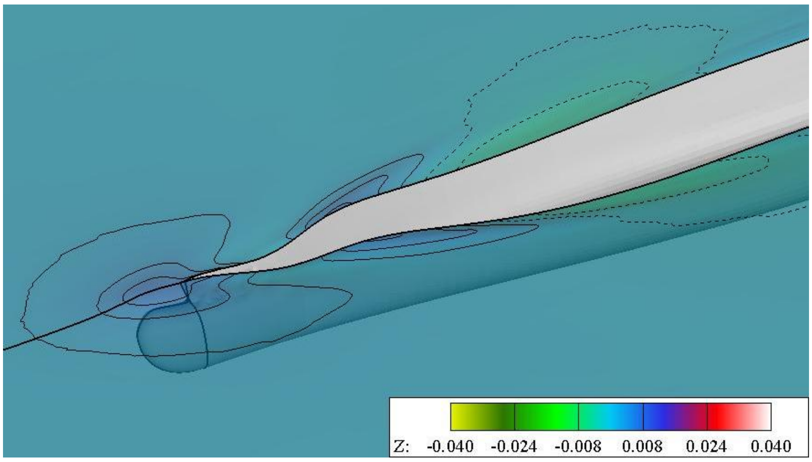
Πίνακας 6.4.20: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.70, F_N= 0.20, με 1η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb 2».

	bulb 2	
CB = 0.70_Fn=0.20	**(RHTIP +2.5%, RHMAX +5%, RLHMAX=0.6)**	
	values	units
Cw	5.18E-04	-
Iδzl	1.22E-04	-
TOTAL RES. (ITTC)	4.8172	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	4.6691	Nt
BUOYANCY	1618.8	Nt
LCB	1.5326	m
KB	-0.077526	m



Διάγραμμα 6.4.15: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και ΙδzΙ για C_B=0.70, F_N=0.20, με 1η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb 2».



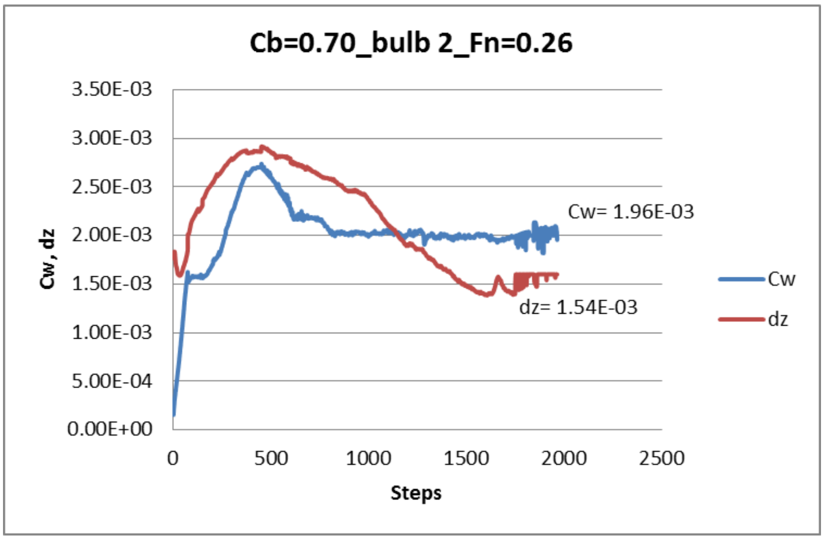


Εικόνα 6.4.16: Αναπαράσταση των ισοϋψών τομών της ελεύθερης επιφάνειας C_B = 0.70, F_N=0.20, «bulb 2» (πάνω) και τρισδιάστατη πρόοψη μεγενθυμένη στην πλώρη (κάτω).

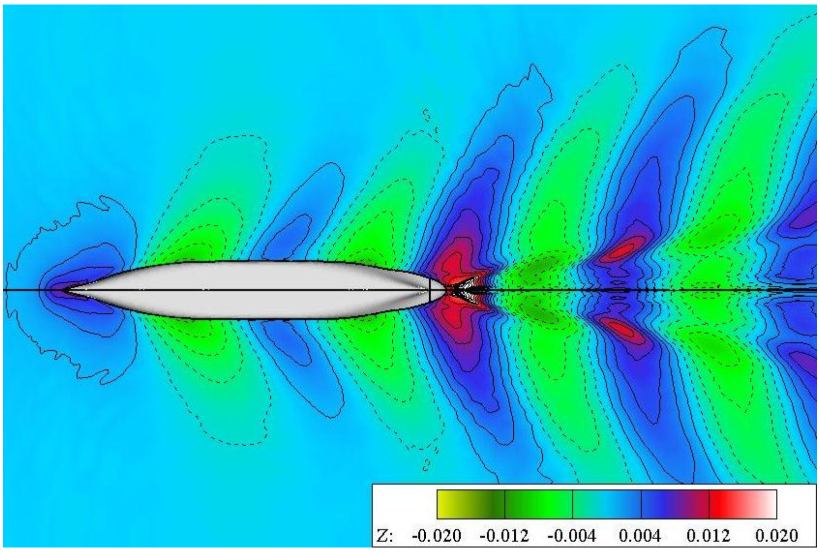
[C_B = 0.70, “bulb2”,ταχύτητα F_N = 0.26]

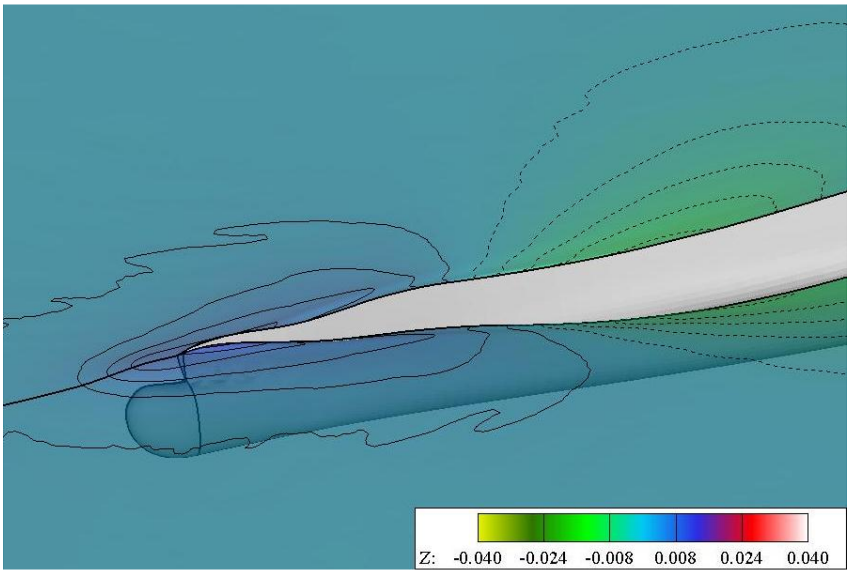
Πίνακας 6.4.21: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.70, F_N= 0.26, με 1η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb 2».

	bulb 2	
CB = 0.70_Fn=0.26	**(RHTIP +2.5%, RHMAX +5%, RLHMAX=0.6)**	
	values	units
Cw	1.96E-03	-
Iδzl	1.54E-03	-
TOTAL RES. (ITTC)	10.536	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	10.325	Nt
BUOYANCY	1616.5	Nt
LCB	1.5315	m
KB	-0.077639	m



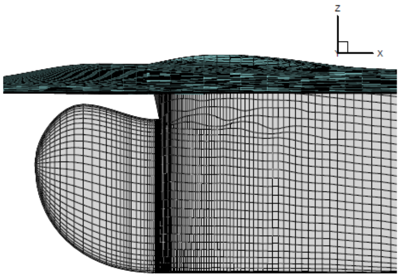
Διάγραμμα 6.4.16: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και Iδzl για C_B=0.70, F_N=0.26, με 1η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb 2».





Εικόνα 6.4.17: Αναπαράσταση των ισοϋψών τομών της ελεύθερης επιφάνειας C_B = 0.70, F_N=0.26, «bulb 2» (πάνω) και τρισδιάστατη πρόοψη μεγενθυμένη στην πλώρη (κάτω).

6.4.B.3 [C_B = 0.70, "bulb3"] (RHTIP +5%, RLHMAX=0.6, RHMAX +10%)



Εικόνα 6.4.18: προφίλ γάστρας, CB=0.70, 2η λοξοειδής παραλλαγή «bulb3»

Ακολουθεί η μελέτη της 2ης λοξοειδούς παραλλαγής του βέλτιστου βολβού με τα εξής χαρακτηριστικά:

Πίνακας 6.4.22: Χαρακτηριστικά μεγέθη 2ης λοξοειδούς παραλλαγής βολβού "bulb3", γάστρας C_B=0.70 και οι λόγοι αυτών.

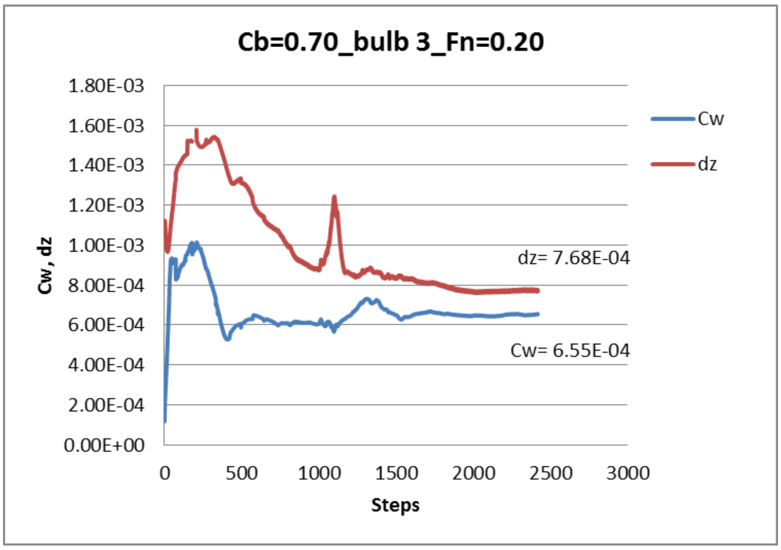
BULB DATA		SHIP DATA		BULB DATA/ SHIP DATA	
Lbulb	0.1145	**Cb**	**0.7**	RLBULB	0.03695
Broot	0.098	Lwl	3.099	RBROOT	0.209
Lhmax	0.0687	Bwl	0.469	RHROOT	0.85
Lbmax	0	T	0.163	RHTIP +5%	0.7098
Htip	0.0983	D	0.245	RYM	0.676
Hroot	0.1386	Zfp	-0.0158	RLHMAX	0.6
Hmax	0.1524	Zcut	-0.0106	RHMAX +10%	1.1
Bmax	0.098	Zbulb	-0.1303	RLBMAX	0
Abl	0.014096	Vol	0.16452	RBMAX	1
Abt	0.010865	AMS	0.0753	RDZ1	0.01
Vol	0.000938				

Οι καμπύλες σύγκλισης του συντελεστή αντίστασης *Cw* και του όρου υπόλοιπης πίεσης *Ιδzl*, όπως υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα *panelw*, για ταχύτητα F_N=0.20 και F_N=0.26 , φαίνονται παρακάτω. Ακολουθούν και οι πίνακες με τις τελικές τιμές σύγκλισης:

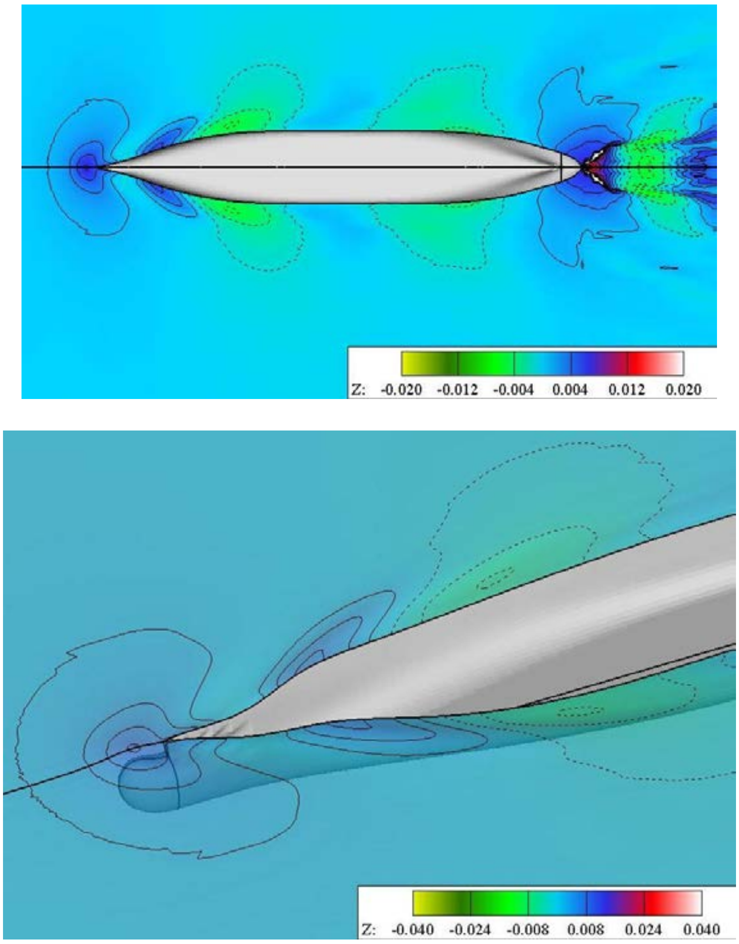
[C_B = 0.70, "bulb3",ταχύτητα F_N = 0.20]

Πίνακας 6.4.23: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.70, F_N= 0.20, με 2η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb 3».

	bulb 3	
CB = 0.70_Fn=0.20	**(RHTIP +5%, RHMAX +10% , RLHMAX=0.6)**	
	values	units
Cw	6.55E-04	-
Ιδzl	7.68E-04	-
TOTAL RES. (ITTC)	4.9723	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	4.8241	Nt
BUOYANCY	1619.1	Nt
LCB	1.5323	m
KB	-0.077516	m



Διάγραμμα 6.4.17: στορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και IδzI για C_B=0.70, F_N=0.20, με 2η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb 3».

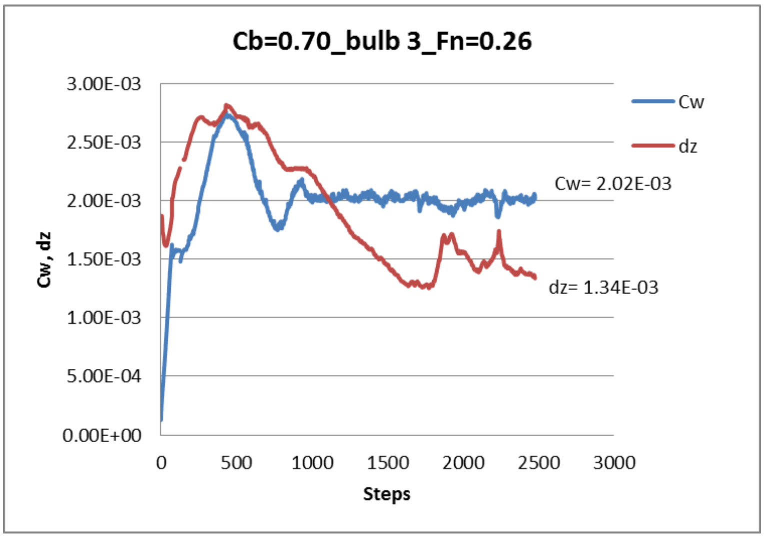


Εικόνα 6.4.19: Αναπαράσταση των ισοϋψών τομών της ελεύθερης επιφάνειας C_B = 0.70, F_N=0.20, «bulb 3» (πάνω) και τρισδιάστατη πρόοψη μεγενθυμένη στην πλώρη (κάτω).

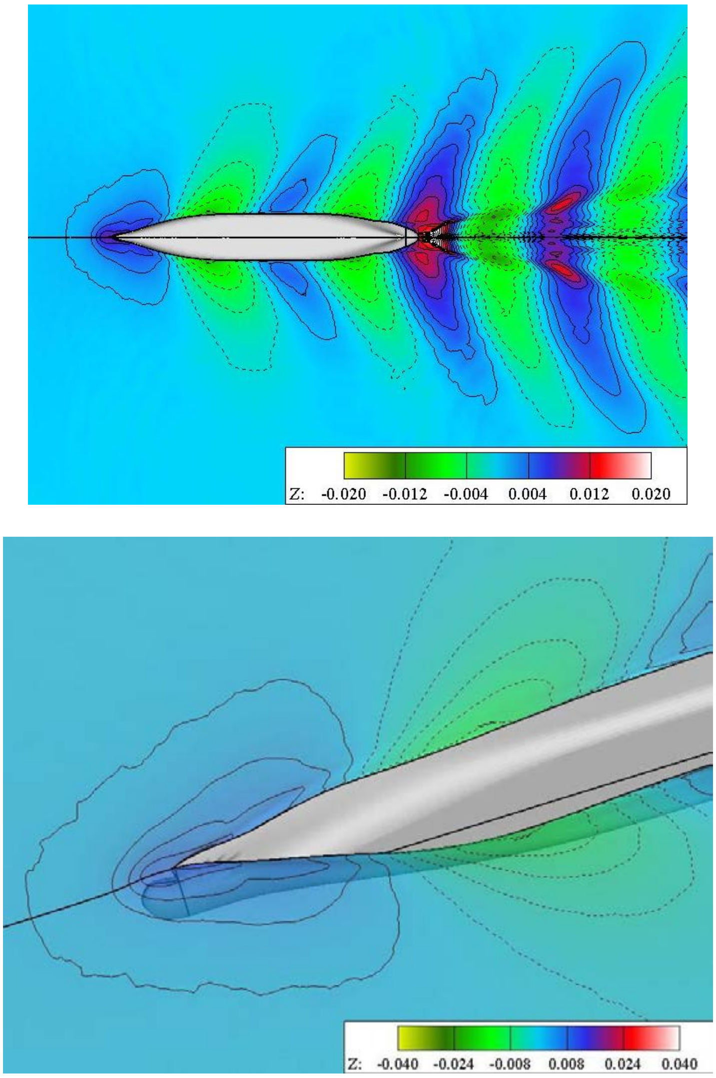
[C_B = 0.70, “bulb3”,ταχύτητα F_N = 0.26]

Πίνακας 6.4.24: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.70, F_N= 0.26, με 2η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb 3».

	bulb 3	
C_B = 0.70_Fn=0.26	**(RHTIP +5%, RHMAX +10% , RLHMAX=0.6)**	
	values	units
Cw	2.02E-03	-
Ιδzl	1.34E-03	-
TOTAL RES. (ITTC)	10.639	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	10.429	Nt
BUOYANCY	1616.6	Nt
LCB	1.5312	m
KB	-0.077633	m



Διάγραμμα 6.4.18: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και Ιδzl για C_B=0.70, F_N=0.26, με 2η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb 3».

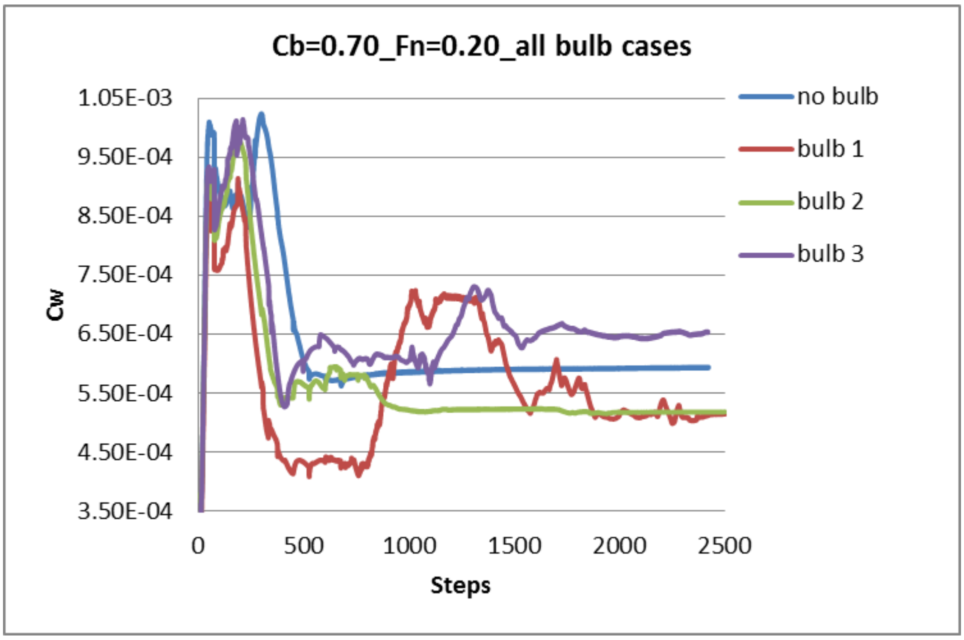


Εικόνα 6.4.20: Αναπαράσταση των ισοϋψών τομών της ελεύθερης επιφάνειας C_B = 0.70, F_N=0.26, «bulb 3» (πάνω) και τρισδιάστατη πρόοψη μεγενθυμένη στην πλώρη (κάτω).

6.4.B.4 Σύγκριση των βολβών, για C_B=0.70

Πίνακας 6.4.25: Σύγκριση όλων των περιπτώσεων, για γάστρα με C_B=0.70, F_N=0.20

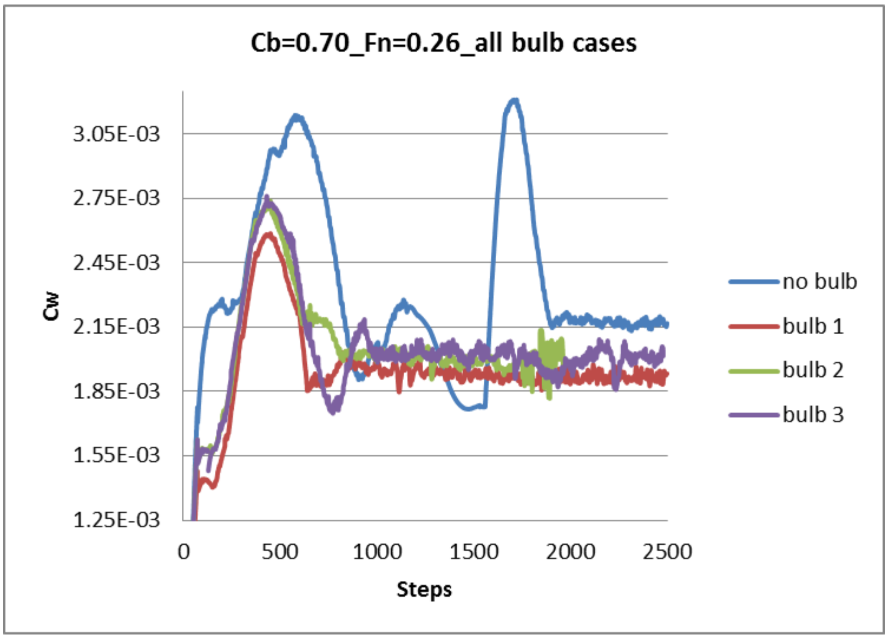
Test cases for CB= 0.70 & FN= 0.20		
case	**Cw**	**ΔCw (%)**
no bulb	5.94E-04	-
bulb 1 ("βέλτιστος" βολβός)	5.15E-04	-13.30%
bulb 2 (RHTIP +2.5%, RHMAX +5% , RLHMAX=0.6)	5.18E-04	-12.79%
bulb 3 (RHTIP +5%, RHMAX +10% , RLHMAX=0.6)	6.55E-04	10.27%



Διάγραμμα 6.4.19: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και Ιδzl για C_B=0.70, F_N=0.20, όλων των περιπτώσεων.

Πίνακας 6.4.26: Σύγκριση όλων των περιπτώσεων, για γάστρα με C_B=0.70, F_N=0.26

Test cases for CB= 0.70 & FN= 0.26		
case	**Cw**	**ΔCw (%)**
no bulb	2.18E-03	-
bulb 1 ("βέλτιστος" βολβός)	1.93E-03	-11.47%
bulb 2 (RHTIP +2.5%, RHMAX +5% , RLHMAX=0.6)	1.96E-03	-10.09%
bulb 3 (RHTIP +5%, RHMAX +10% , RLHMAX=0.6)	2.02E-03	-7.34%



Διάγραμμα 6.4.20: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και Ιδzl για C_B=0.70, F_N=0.26, όλων των περιπτώσεων.

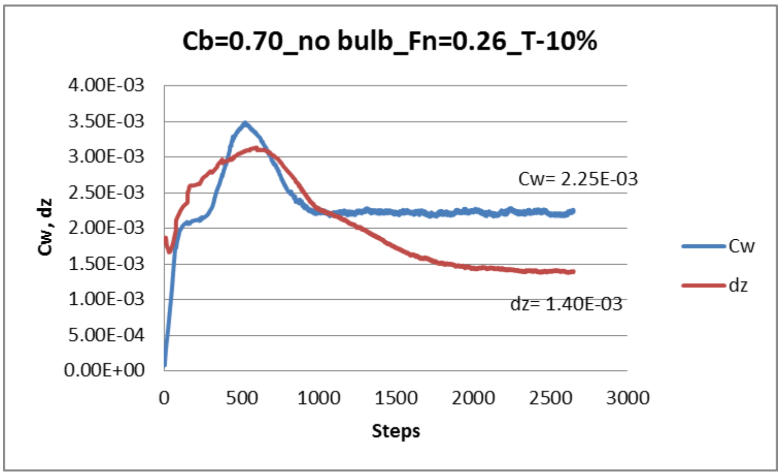
6.4.Γ.0 [C_B=0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), γάστρα χωρίς βολβό]

Τέλος, μελετήθηκε η αντίσταση της γάστρας χωρίς βολβό, με C_B=0.70, με μειωμένο βύθισμα κατα 10%, σε ταχύτητα F_N=0.26, με σκοπό να αναδειχθεί περισσότερο η επίδραση του βολβού στην μείωση της υδροδυναμικής αντίστασης. Τα χαρακτηριστικά της γάστρας φαίνονται αναλυτικά στην ενότητα 6.1. Οι καμπύλες σύγκλισης του συντελεστή αντίστασης *Cw* και του όρου υπόλοιπης πίεσης *Ιδzl*, όπως υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα *panelw*, φαίνονται παρακάτω. Ακολουθούν και οι πίνακες με τις τελικές τιμές σύγκλισης:

[C_B=0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), χωρίς βολβό, ταχύτητα F_N=0.26]

Πίνακας 6.4.27: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), F_N= 0.26, γάστρα χωρίς βολβό.

C_B = 0.70_ T (-10%)_ Fn=0.26	**χωρίς βολβό**	
	values	units
Cw	2.25E-03	-
Ιδzl	1.40E-03	-
TOTAL RES. (ITTC)	10.56	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	10.356	Nt
BUOYANCY	1504.4	Nt
LCB	1.549	m
KB	-0.073815	m



Διάγραμμα 6.4.21: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και Ιδzl για C_B=0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), F_N=0.26, γάστρα χωρίς βολβό.

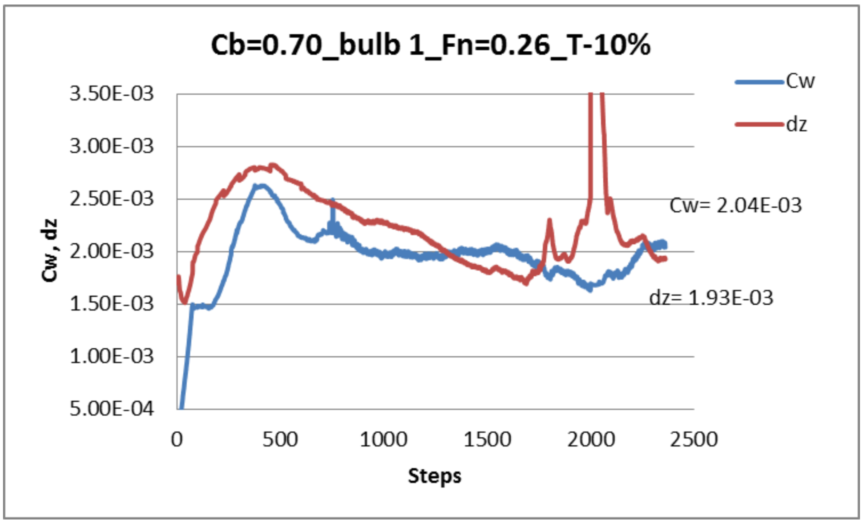
6.4.Γ.1 [C_B = 0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), "bulb1"]

Οι καμπύλες σύγκλισης του συντελεστή αντίστασης *Cw* και του όρου υπόλοιπης πίεσης *Ιδzl*, όπως υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα *panelw*, για ταχύτητα F_N=0.26 , φαίνονται παρακάτω. Ακολουθούν και οι πίνακες με τις τελικές τιμές σύγκλισης:

[C_B = 0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), "bulb1",ταχύτητα F_N = 0.26]

Πίνακας 6.4.28: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), F_N= 0.26, με «βέλτιστο» βολβό «bulb 1».

	bulb 1	
CB = 0.70_ T (-10%)_ Fn=0.26	**"βέλτιστος" βολβός**	
	values	units
Cw	2.04E-03	-
IδzI	1.93E-03	-
TOTAL RES. (ITTC)	10.224	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	10.02	Nt
BUOYANCY	1523.3	Nt
LCB	1.5295	m
KB	-0.073772	m



Διάγραμμα 6.4.22: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και IδzI για C_B=0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), F_N=0.26, με «βέλτιστο» βολβό «bulb 1».

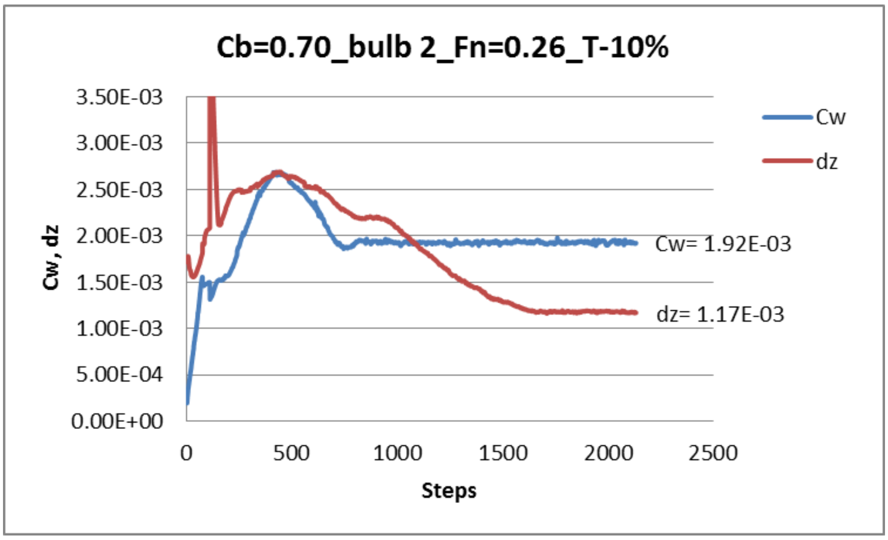
6.4.Γ.2 [C_B = 0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), "bulb2"] (RHTIP +2.5%, RLHMAX=0.6, RHMAX +5%)

Οι καμπύλες σύγκλισης του συντελεστή αντίστασης *Cw* και του όρου υπόλοιπης πίεσης *Ιδzl*, όπως υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα *panelw*, για ταχύτητα F_N=0.26 , φαίνονται παρακάτω. Ακολουθούν και οι πίνακες με τις τελικές τιμές σύγκλισης:

[C_B = 0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), "bulb2",ταχύτητα F_N = 0.26]

Πίνακας 6.4.29: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), F_N= 0.26, με 1η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb 2».

	bulb 2	
C_B = 0.70_ T (-10%)_ Fn=0.26	**(RHTIP +2.5%, RHMAX +5%, RLHMAX=0.6)**	
	values	units
Cw	1.92E-03	-
Ιδzl	1.17E-03	-
TOTAL RES. (ITTC)	10.191	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	9.9858	Nt
BUOYANCY	1526.3	Nt
LCB	1.5264	m
KB	-0.073773	m



Διάγραμμα 6.4.23: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και Ιδzl για C_B=0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), F_N=0.26, με 1η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb 2».

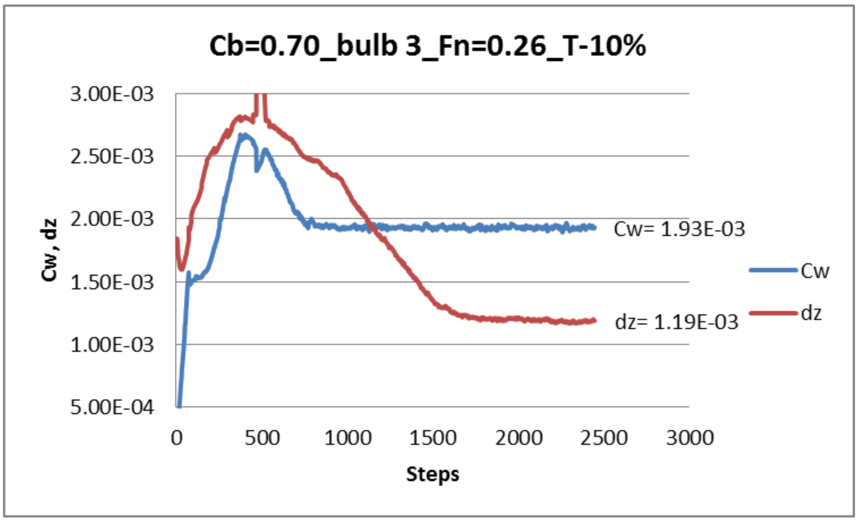
6.4.Γ.3 [C_B = 0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), “bulb3”] (RHTIP +5%, RLHMAX=0.6, RHMAX +10%)

Οι καμπύλες σύγκλισης του συντελεστή αντίστασης *Cw* και του όρου υπόλοιπης πίεσης *Iδzl*, όπως υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα *panelw*, για ταχύτητα F_N=0.26 , φαίνονται παρακάτω. Ακολουθούν και οι πίνακες με τις τελικές τιμές σύγκλισης:

[C_B = 0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), “bulb3”,ταχύτητα F_N = 0.26]

Πίνακας 6.4.30: Αποτελέσματα σύγκλισης για C_B= 0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), F_N= 0.26, με 2η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb 3».

	bulb 3	
CB = 0.70_ T (-10%)_ Fn=0.26	**(RHTIP +5%, RHMAX +10%, RLHMAX=0.6)**	
	values	units
Cw	1.93E-03	-
Iδzl	1.19E-03	-
TOTAL RES. (ITTC)	10.184	Nt
TOTAL RES. (ATTC)	9.9802	Nt
BUOYANCY	1526.4	Nt
LCB	1.5261	m
KB	-0.07377	m

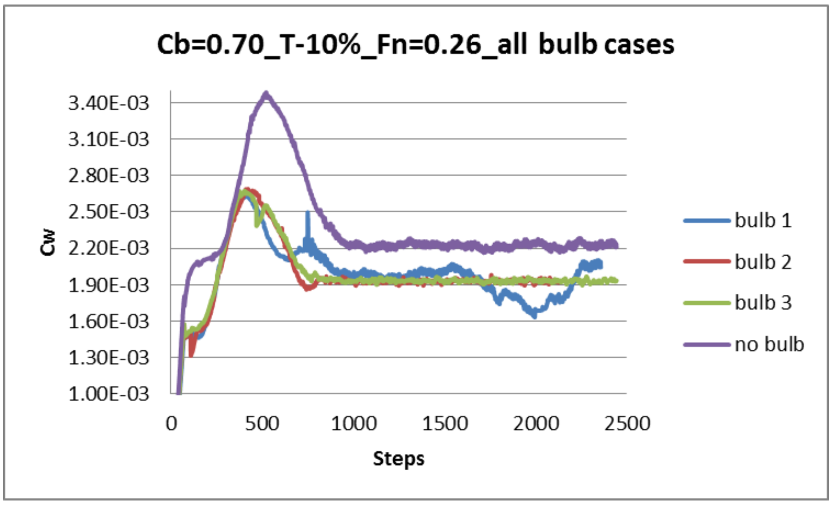


Διάγραμμα 6.4.24: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και Iδzl για C_B=0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), F_N=0.26, με 2η παραλλαγή λοξοειδούς βολβού «bulb 3».

6.4.Γ.4 Σύγκριση των βολβών, για C_B=0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), F_N=0.26

Πίνακας 6.4.31: Σύγκριση όλων των περιπτώσεων, για γάστρα με C_B=0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), F_N=0.26

Test cases for CB= 0.70, βύθισμα -10%, FN= 0.26		
case	**Cw**	**ΔCw (%)**
no bulb	2.25E-03	-
bulb 1 ("βέλτιστος" βολβός)	2.04E-03	-0.093333
bulb 2 (RHTIP +2.5%, RHMAX +5% , RLHMAX=0.6)	1.92E-03	-0.146667
bulb 3 (RHTIP +5%, RHMAX +10% , RLHMAX=0.6)	1.93E-03	-0.142222



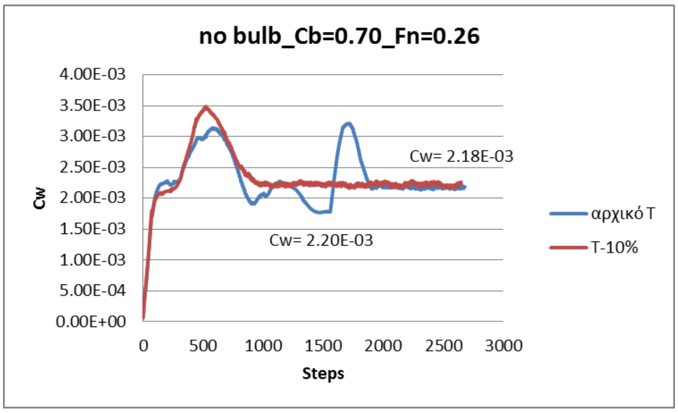
Διάγραμμα 6.4.25: Ιστορία σύγκλισης ποσοτήτων Cw και ΙδzΙ για C_B=0.70, μειωμένο βύθισμα (-10%), F_N=0.26, όλων των περιπτώσεων.

6.4.Γ.5 Επίδραση του βυθίσματος και Σύγκριση των βολβών, για C_B=0.70, F_N=0.26

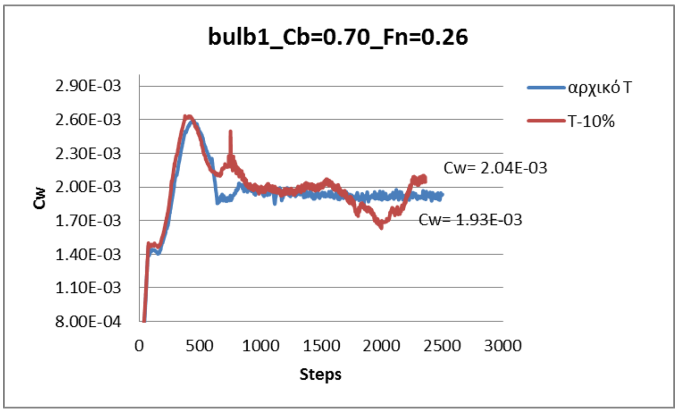
Πίνακας 6.4.32: Σύγκριση όλων των περιπτώσεων, για γάστρα με C_B=0.70, F_N=0.26

σύγκριση των συντελεστών Cw, για την περίπτωση Cb=0.70, Fn=0.26			
	Cw (αρχικό T)	Cw (T-10%)	ΔCw (%)
no bulb	2.18E-03	2.25E-03	3.21%
bulb1	1.93E-03	2.04E-03	5.70%
bulb2	1.96E-03	1.92E-03	-2.04%
bulb3	2.02E-03	1.93E-03	-4.46%

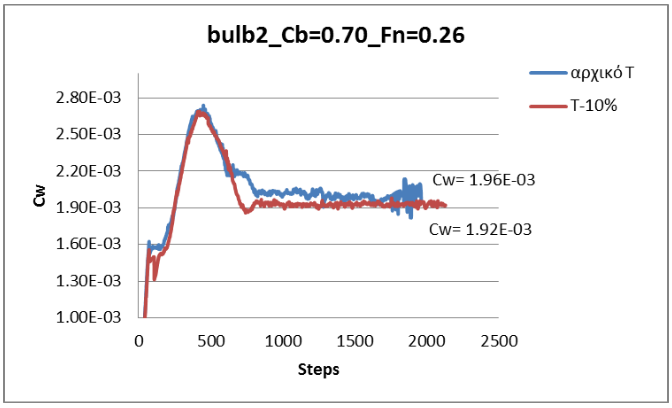
no bulb



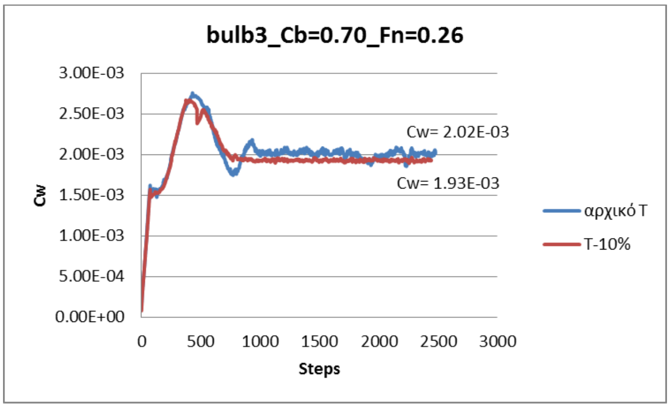
bulb1



bulb2



bulb3



Διαγράμματα 6.4.26: Επίδραση του βυθίσματος και ιστορίες σύγκλισης του συντελεστή αντίστασης κυματισμού Cw, για C_B=0.70, F_N=0.26, για κάθε περίπτωση βολβού.

7. Συμπεράσματα

Μετά την μελέτη όλων των παραπάνω περιπτώσεων, παρατηρούμε πως η χρήση λοξοειδούς (εξελιγμένου) βολβού σε κάποιες περιπτώσεις μειώνει περισσότερο την υδροδυναμική αντίσταση της γάστρας, σε σχέση με την χρήση του βέλτιστου (παραδοσιακού) βολβού, ενώ σε κάποιες άλλες η μειώση είναι μικρότερη. Μια ακόμη γενική παρατήρηση είναι πως ο βολβός με την πιό έντονη ανύψωση (bulb3), επιφέρει την μικρότερη μείωση από όλους τους άλλους βολβούς, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις η αντίσταση που προκαλεί είναι μεγαλύτερη και από αυτή της γάστρας χωρίς βολβό. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα της παρούσης έρευνας μπορούν να συνοψισθούν ως παρακάτω:

Για το αρχικό βύθισμα και κατάσταση φόρτωσης που μελετήθηκαν:

- Ο βολβός με μικρή ανύψωση (bulb2) «συναγωνίζεται» τον «βέλτιστο» βολβό (bulb1) καθώς και οι δύο εμφανίζουν παρόμοιες τιμές στον συντελεστή αντίστασης Cw.

- Ο βολβός bulb2 «προτιμάται» μάλλον σε μικρότερες ταχύτητες, καθώς εκεί εμφανίζει την μικρότερη αντίσταση, αλλά με μικρές διαφορές.

- Για το συγκεκριμένο, αρχικό βύθισμα και κατάσταση φόρτωσης που μελετήθηκαν, ο «βέλιστος» βολβός (bulb1) δείχνει να αποτελεί, εν γένει, και την βέλτιστη λύση, όσον αφορά την μείωση στην υδροδυναμική αντίσταση.

- Φανερό επίσης είναι, πως σχεδόν σε κάθε περίπτωση, η χρήση βολβού, είτε παραδοσιακού είτε εξελιγμένου, μειώνει την υδροδυναμική αντίσταση της γάστρας, σε σύγκριση με την γάστρα χωρίς βολβό, ιδιαιτέρως σε υψηλότερους αριθμούς Froude.

- Ο βολβός με την μεγαλύτερη ανύψωση (bulb3) αποτελεί την «χειρότερη» περίπτωση, σε σχέση με τους άλλους δύο βολβούς, τόσο σε χαμηλές όσο και σε υψηλές ταχύτητες.

- Στην περίπτωση C_B=0.70, Fn=0.20, ο βολβός bulb3 εμφανίζει μεγαλύτερη αντίσταση και από την γάστρα χωρίς βολβό.

- Οι περιπτώσεις C_B=0.60, Fn=0.20, bulb1 και C_B=0.60, Fn=0.20, bulb3, εμφάνιζαν δυσκολία υπολογισμού της ελεύθερης επιφάνειας. Καλό είναι να διερευνηθεί ο λόγος.

Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει η επίδραση του βυθίσματος στην υδροδυναμική συμπεριφορά των βολβών για τη γάστρα με C_B=0.70, σε ταχύτητα Fn=0.26. Πιο συγκεκριμένα:

- και οι δύο λοξοειδείς παραλλαγές (bulb2, bulb3) εμφανίζουν μικρότερη αντίσταση στην περίπτωση μειωμένου βυθίσματος, σε σύγκριση με το αρχικό βύθισμα.

- και οι δύο λοξοειδείς παραλλαγές (bulb2, bulb3) παρουσιάζουν μικρότερη αντίσταση απο τον «βέλτιστο» βολβό (bulb1).

- ο βολβός bulb1 εμφάνισε αύξηση της αντίστασης στην περίπτωση μειωμένου βυθίσματος, σε σύγκριση με το αρχικό βύθισμα.

- οι λοξοειδείς παραλλαγές (bulb2, bulb3), αν και εμφανίζουν παραπλήσιες τιμές αντίστασης μεταξύ τους, ο βολβός bulb2 φαίνεται να είναι ο βέλτιστος.

8. Ιδέες για μελλοντική έρευνα

Φαίνεται πως σε μειωμένο βύθισμα κατά 10%, οι λοξοειδείς παραλλαγές εμφανίζουν, εν γένει, «καλύτερη» συμπεριφορά (μικρότερη αντίσταση), σε σχέση με τον βολβό χωρίς ανύψωση. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε με μειωμένο βύθισμα μόνο η περίπτωση C_B=0.70, Fn=0.26. Αξίζει να μελετηθούν:

- και η περίπτωση C_B=0.60 με μειωμένο βύθισμα.

- οι περιπτώσεις με διάφορετικά ποσοστά μείωσης του βυθίσματος, μικρότερα ή μεγαλύτερα.

- η επίδραση του βυθίσματος σε συνδυασμό με την μελέτη διαφόρων ταχυτήτων, χαμηλών και υψηλών, για κάθε περίπτωση γάστρας.

- οι περιπτώσεις στις οποίες ο βολβός «ξενερίζει», είτε λόγω μεγάλης ανύψωσης, είτε λόγω μικρού βυθίσματος, είτε σε συνδυασμό και των δύο, σε χαμηλές και υψηλές ταχύτητες.

Παρακάτω ακολουθεί ένας πίνακας που συγκεντρώνει τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν, καθώς και πιθανές ιδέες για μελέτη στο μέλλον:

Πίνακας 6.4.33: Περιπτώσεις που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία και πιθανές ιδέες για μελλοντική έρευνα.

αρχικό βύθισμα	CB= 0.60		CB= 0.70	
	χαμηλή ταχύτητα	υψηλή ταχύτητα	χαμηλή ταχύτητα	υψηλή ταχύτητα
no bulb	√	√	√	√
bulb1 (χωρίς ανύψωση)	√	√	√	√
bulb2 (μικρή ανύψωση)	√	√	√	√
bulb3 (μεγάλη ανύψωση	√	√	√	√
bulb4 (βολβός ξενερίζει)	...	...	...	...

βύθισμα μειωμένο κατά 10%	CB= 0.60		CB= 0.70	
	χαμηλή ταχύτητα	υψηλή ταχύτητα	χαμηλή ταχύτητα	υψηλή ταχύτητα
no bulb	...	...	...	√
bulb1 (χωρίς ανύψωση)	...	...	...	√
bulb2 (μικρή ανύψωση)	...	...	...	√
bulb3 (μεγάλη ανύψωση	...	...	...	√
bulb4 (βολβός ξενερίζει)	...	...	...	...

βύθισμα μειωμένο κατά 2.5%, 5%, 7.5%, 15%, ...κτλ	CB= 0.60		CB= 0.70	
	χαμηλή ταχύτητα	υψηλή ταχύτητα	χαμηλή ταχύτητα	υψηλή ταχύτητα
no bulb	...	...	...	...
bulb1 (χωρίς ανύψωση)	...	...	...	...
bulb2 (μικρή ανύψωση)	...	...	...	...
bulb3 (μεγάλη ανύψωση	...	...	...	...
bulb4 (βολβός ξενερίζει)	...	...	...	...

9. Βιβλιογραφία

1. Tzabiras, G. D., & Kontogiannis, K. (2009). An integrated method for predicting the hydrodynamic resistance of low- CB ships. *JCAD*, 1–16.

2. Tzabiras, G. D. (2004). Resistance and self-propulsion simulations for a Series-60, CB = 0.6 hull at model and full scale. *Ship Technology Research*, 21–34

3. Tzabiras, G. D. (2008). A method for predicting the influence of an additive bulb on ship resistance. *Proc. 8th International Conference of Hydrodynamics*, 53–60.

4. Tzabiras, G. D., Dimas, A., & Loukakis, T. A. (1986). A numerical method for the calculation of incompressible, steady, separated flows around aerofoils. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 789–809.

5. Polyzos, P. Stylianos (2010). «Numerical Investigation of the Wave Resistance of Catamaran Ships using Potential Solvers», Master's Thesis.

6. Hess, & J.L.Smith. (1966). Calculations of potential flow about arbitary bodies, 1–136.

7. Τζάφος, Παναγιώτης (2017). «Υπολογισμός της αντίστασης κυματισμού σε πλοία γεωμετρίας συστηματικών σειρών 60 με χρήση της θεωρίας δυναμικού και μελέτη της επίδρασης της ύπαρξης βολβού και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών αυτού στη μεταβολή της αντίστασης κυματισμού», Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ναυπηγών Μηχ/γων Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

8. Τζαμπίρας, Δ. Γεώργιος (1998). *Αριθμητικές Προσομοιώσεις Υδροδυναμικών Ροών*, εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα.

9. Παπανικολάου, Δ. Απόστολος (2009). *Μελέτη Πλοίου, Μεθοδολογίες Προμελέτης,* Τεύχος 1 & 2, εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ.

10. Σπύρου, Κ. (1984). «*Το πρόβλημα του βολβού, βολβοί και αντίσταση»,* Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ναυπηγών Μηχ/γων Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

11. Fragkoulis, G. (2015). *Αριθμητική Διερεύνηση της Αντίστασης Κυματισμού στη Συστηματική Σειρά 60*.

12. Inui, T., Takahei, T., & Kumano, M. (1961). Wave Profile Measurements on the Wave-making Characteristics of the Bulbous-Bow. *Journal of the British Ship Research Association*, *16*.

13. Kerczek, V. (1969). The Representation of ship hulls by conformal mapping functions. *Journal of Ship Research*, (284–298).

14. Kracht, A. (1978). Design of Bulbous Bows. *SNAME Transactions*, *86*, 197–217.

15. Weinblum, G. (1935). Theorie der Wulstschiffe.

16. Wigley, W. C. S. (n.d.). The Theory of the Bulbous Bow and its Practical Application. *Trans. North-East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders*, *52*.

17. Πολύζος, Π. Στυλιανός (2017). *Οδηγίες για το πρόγραμμα loxab.f90, Έκδοση 1.4*. Εργ/ριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής, Σχολή Ναυπηγών Μηχ/γων Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Βασικές εντολές linux, για χρήση των προγραμμάτων *loxab*, *condor*, *panelw*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Βασικές εντολές linux, για χρήση των προγραμμάτων *loxab*, *condor*, *panelw*

Η σύνδεση της γεωμετρίας της γάστρα χωρίς βολβό με την γεωμετρία του βολβού γίνεται με χρήση του προγράμματος ***loxab*** (βλ. Παράρτημα Β). Το πρόγραμμα ***loxab*** δέχεται ως αρχεία input τα **dcondor1**, **dcondor2** της γάστρας **χωρίς βολβό** και το text αρχείο **dloxab**. Στο **dloxab** εισάγουμε τις τιμές των παραμέτρων που περιγράφουν την γεωμετρία του βολβού. Τα αρχεία που παράγονται είναι τα **dcondor1n**, **dcondor2n** και **dcondor3n** και περιγράφουν την νέα γεωμετρία (γάστρα+βοβλός). Αυτά τα αρχεία χρειάζονται για την εκτέλεση του σύμμορφου μετασχηματισμού, η οποία πραγματοποιείται με το πρόγραμμα ***condor***. Κατόπιν, μετά το πέρας του σύμμορφου μετ/σμού, εκτελούμε το πρόγραμμα ***panelw***, με το οποίο υπολογίζονται οι τιμές σύγκλισης του συντελεστή αντίστασης κυματισμού $\mathbf{C_w}$ και της μεταβολής της ελεύθερης επιφάνειας **dz**, σε όλη την πορεία των υπολογιστικών βημάτων.

Ακολουθούν οι οδηγίες χρήσης των παραπάνω προγραμμάτων σε βήματα κατά σειρά:

-εισαγωγή/επικόλληση των αρχείων **dcondor1** και **dcondor2 (**της γάστρας **χωρίς βολβό)** στον φάκελο όπου βρίσκεται το εκτελέσιμο **loxab.exe**

- διαμόρφωση των παραμέτρων του βολβού στο text αρχείο **dloxab** (Προσοχή στον αριθμό σημαντικών ψηφίων κάθε τιμής και στα κενά μεταξύ τους!)

- εκτέλεση του **loxab.exe** (παράγονται τα αρχεία **dcondor1n**, **dcondor2n** και **dcondor3n**)

- έλεγχος του βολβού από τα αρχεία **tecplot** (προαιρετικό).

- Αντιγραφή των αρχείων **dcondor1n**, **dcondor2n** και **dcondor3n** και επικόλληση στον φάκελο που βρίσκεται το πρόγραμμα ***condor***.

- διαγραφή των προηγουμένων αρχείων **dcondor1**, **dcondor2** και **dcondor3**

- μετονομασία των **dcondor1n**, **dcondor2n** και **dcondor3n** που επικολλήσαμε σε **dcondor1**, **dcondor2** και **dcondor3** αντίστοιχα (δηλαδή απλά σβήνουμε την κατάληξη “**n**”)

- εκτέλεση του προγράμματος ***condor*** (μέσω του server του τομέα Ν.Θ.Υ.), όπου πραγματοποιείται ο σύμμορφος μετασχηματισμός:

οδηγίες εκτέλεσης του *condor*

- σύνδεση με τον server του τομέα (π.χ. με το πρόγραμμα **Xshell**)

- πληκτρολογούμε τις εντολές:

`cd␣<σχετική διεύθυνση>↵` “μετάβαση στον φάκελο όπου βρίσκεται το ***condor***”

`nohup␣./condor&↵` “εκτέλεση του ***condor*** στο φόντο”

- μετά το πέρας του σύμμορφου μετ/σμού, παράγεται το αρχείο **filecond**. Το αρχείο αυτό το κάνουμε αντιγραφή/επικόλληση στον φάκελο που βρίσκεται το πρόγραμμα ***panelw***.

- διαμορφώνουμε το text αρχείο **dpanelw** , αλλάζοντας τις επιθυμητές παραμέτρους. Προσοχή: αλλάζουμε και τις παραμέτρους **ZCUT1** και **ZBULB** σύμφωνα με τις τιμές του αρχείου **oloxab.dat**, που παρήγαγε το ***loxab***.

- εκτέλεση του προγράμματος ***panelw*** (μέσω του server του τομέα Ν.Θ.Υ.), με το οποίο υπολογίζονται οι τιμές σύγκλισης του συντελεστή αντίστασης κυματισμού $\mathbf{C_w}$ και της μεταβολής της ελεύθερης επιφάνειας **dz**:

***οδηγίες εκτέλεσης του *panelw* ***

- σύνδεση με τον server του τομέα (π.χ. με το πρόγραμμα **Xshell**)

- πληκτρολογούμε τις εντολές:

`cd␣<σχετική διεύθυνση>↵` “μετάβαση στον φάκελο που βρίσκεται το ***panelw***”

`nohup␣./panelw&↵` “εκτέλεση του ***panelw*** στο φόντο”

- προαιρετικά, σχεδόν αμέσως μετά την εντολή εκτέλεσης του ***panelw*** μπορούμε να επιβεβαιώσουμε τη μορφή της γάστρας/βολβού από τα αρχεία tecplot που περιγράφουν τη γεωμετρία. Ειδικότερα, χρειάζεται το αρχείο **hestec.dat,** που παράγεται σχεδόν αμέσως, για να ανοίξουμε τα αρχεία tecplot της γεωμετρίας της γάστρας και της ελεύθερης επιφάνειας. Αντίστοιχα, για να ελέγχουμε την εξέλιξη των αποτελεσμάτων για τις καμπύλες Cw και dz οποιαδήποτε χρονική στιγμή, χρειάζεται το αρχείο **osurf** .

- αφού τελειώσει το ***panelw***, τα χρήσιμα αρχεία που εξάγονται είναι τα εξής:

cptec.dat, **filecpot**, **filegrsur**, **hestec.dat**, **nohup.out**, **ohesp**, **osurf**, **vtec.dat**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Οδηγίες για το πρόγραμμα *loxab.f90* [17]

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Οδηγίες για το πρόγραμμα *loxab.f90* [17]

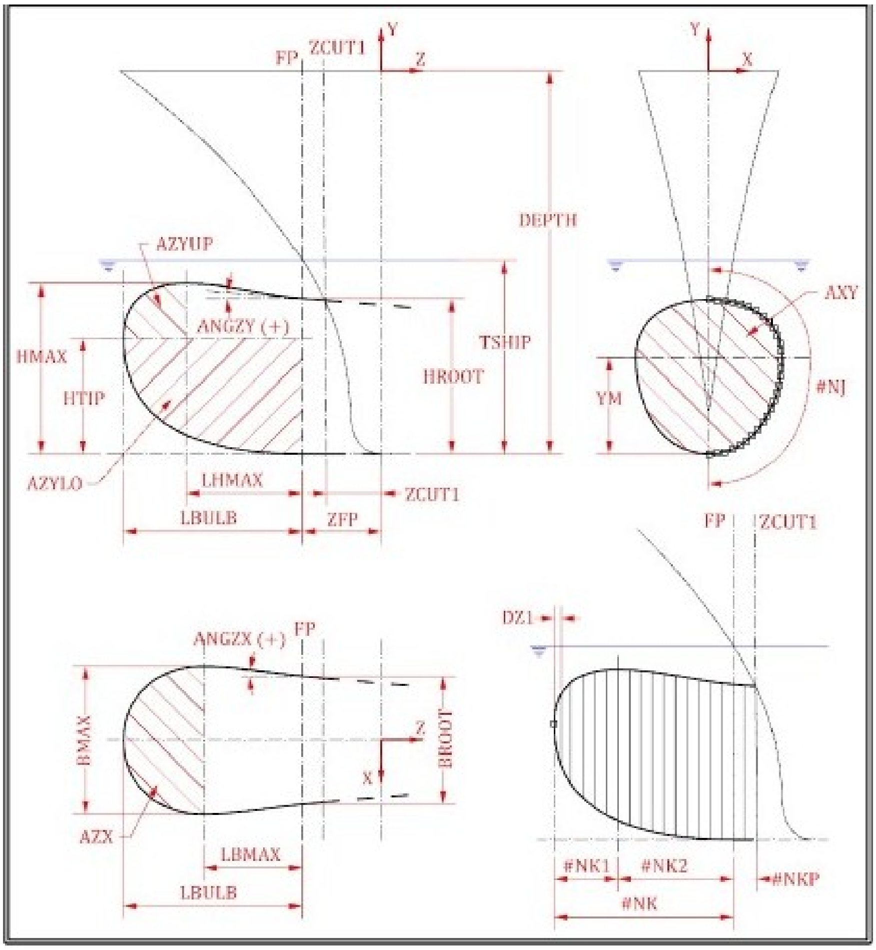
Έκδοση 1.4

(Οι παρακάτω οδηγίες αποτελούν περίληψη των πλήρων οδηγιών [17] και προσαρτήθησαν στην παρούσα εργασία για λόγους πληρότητας.)

Το πρόγραμμα αυτό ουσιαστικά «ενώνει» τις δύο γεωμετρίες (γάστρα+βολβός), παράγοντας τα νέα αρχεία που εισάγονται για την εκτέλεση του σύμμορφου μετασχηματισμού. Το λογισμικό LOXAB που περιέχεται στους κώδικες loxab.f90, subroutines.f90 και splines.f90, παράγει τη γεωμετρία βολβού πλοίου, την οποία αποτυπώνει στο έγγραφο dcondor3n προς χρήση από το πρόγραμμα σύμμορφου μετασχηματισμού condor. Για την εκτέλεση του το λογισμικό διαβάζει από το έγγραφο dloxab τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του βολβού, από το έγγραφο dcondor2 τις συντεταγμένες των σημείων που περιγράφουν το πλοίο, από το έγγραφο dcondor3 τις συντεταγμένες των σημείων που περιγράφουν το hub και από το έγγραφο dcondor1 τις μεταβλητές για την εκτέλεση του λογισμικού condor.

Ο βολβός εκτείνεται πρώραθεν της πρωραίας καθέτου, της καθέτου δηλαδή στη θέση όπου η ίσαλος τέμνει το προφίλ της πλώρης. Στην πρωραία κάθετο θεωρούμε πως κείτεται η ρίζα του βολβού ενώ πρύμνηθεν αυτής, οι νομείς παραμορφώνονται κατά τους άξονες x και y σύμφωνα με τις μεταβλητές ANGZX και ANGZY αντίστοιχα. Ο βολβός εκτείνεται μέχρι του σημείου όπου το προφίλ του βολβού τέμνει το προφίλ της πλώρης. Οι νομείς πρύμνηθεν του δεύτερου σημείου προκύπτουν από την υπέρθεση των αρχικών νομέων του πλοίου, με αυτούς του βολβού.

Το σύστημα συντεταγμένων είναι εκείνο που απαιτεί το λογισμικό condor, με την αρχή των αξόνων τοποθετημένη επί του επιπέδου συμμετρίας στο ύψος του κοίλου. Ο άξονας Ζ είναι παράλληλος με το διάμηκες του πλοίου, με φορά προς την πρύμνη. Ο άξονας Υ είναι κατακόρυφος και με φορά προς τα άνω ενώ τέλος ο άξονας Χ συμπληρώνει το τρισορθογώνιο σύστημα (Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Ορισμός των διαστάσεων του βολβού.

Η γεωμετρία του βολβού αποτυπώνεται στο έγγραφο dcondor3n μέσω των συντεταγμένων NJ σημείων για κάθε έναν από NK=NK1+NK2 νομείς, όπου NK1 νομείς περιγράφουν την περιοχή από την άκρη του βολβού, μέχρι τη θέση του μέγιστου ύψους, ενώ NK2 νομείς περιγράφουν τον υπόλοιπο βολβό μέχρι την πρωραία κάθετο. Η περιοχή πρύμνηθεν της πρωραίας καθέτου περιγράφεται από NKP νομείς. Το πλήθος των σημείων καθώς και αυτό των νομέων προδιαγράφεται από το χρήστη στο έγγραφο dloxab.

Η μορφή του βολβού υπολογίζεται με βάση σειρά διαστάσεων και εμβαδών, τις τιμές των οποίων καθορίζει ο χρήστης μέσα από το έγγραφο dloxab (Σχήματα 1-4). Συγκεκριμένα ο χρήστης αρχικά καθορίζει τις διαστάσεις του πλοίου:

- Μήκος, LSHIP
- Πλάτος, BSHIP
- Βύθισμα, TSHIP
- Κοίλο, DEPTH
- Εμβαδό μέσης τομής, AMS
- Διαμήκη θέση πρωραίας καθέτου, ZFP

Πλην του βυθίσματος, οι υπόλοιπες διαστάσεις μπορούν να υπολογιστούν από το πρόγραμμα από τα δεδομένα του εγγράφου dcondor2 (βλ. Παράρτημα Γ).
Στη συνέχεια ο χρήστης ορίζει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του βολβού:

- Το λόγο του μήκους βολβού προς το μήκος αναφοράς του πλοίου, **RLBULB**:

LBULB=RLBULB*LSHIP

- Το λόγο του πλάτους στη ρίζα του βολβού, προς το πλάτος του πλοίου, **RBROOT**:

BROOT=RBROOT*BSHIP

- Το λόγο του ύψους στη ρίζα του βολβού, προς το βύθισμα του πλοίου, **RHROOT**:

HROOT=RHROOT*TSHIP

- Το λόγο του ύψους στην άκρη του βολβού, προς το ύψος στη ρίζα του, **RHTIP**:

HTIP=RHTIP*HROOT

- Το λόγο της κατακόρυφης θέση μέγιστου πλάτους του βολβού, προς το ύψος στη ρίζα του, μετρώντας από τη βάση του, **RYM**:

YM=RYM*HROOT

- Το λόγο της διαμήκους θέσης μέγιστου ύψους του βολβού, προς το μήκος του, μετρώντας από τη ρίζα, **RLHMAX**:

LHMAX=RLHMAX*LBULB

- Το λόγο του μέγιστου ύψους του βολβού, προς το ύψος στη ρίζα του, **RHMAX**:

HMAX=RHMAX*HROOT

- Το λόγο της διαμήκους θέσης μέγιστου πλάτους του βολβού, προς το μήκος του, μετρώντας από τη ρίζα **RLBMAX**:

LBMAX= RLBMAX*LBULB

- Το λόγο του μέγιστου πλάτους του βολβού, προς το πλάτος στη ρίζα του **RBMAX**:

BMAX=RBMAX*BROOT

- Το λόγο της απόστασης του δεύτερου νομέα από την άκρη του βολβού, προς το μήκος του. Οι υπόλοιποι νομείς μέχρι τη θέση μέγιστου ύψους κατανέμονται με τρόπο εκθετικό, **RDZ1**:

DZ1=RDZ1*LBULB

- Το λόγο του εμβαδού του προφίλ του βολβού στο διάστημα από την άκρη μέχρι τη θέση μέγιστου ύψους και από το ύψος της άκρης μέχρι το μέγιστο ύψος, προς το εμβαδό του αντίστοιχου περιγεγραμμένου ορθογωνίου τετραπλεύρου, **RAZYUP**:

AZYUP=RAZYUP*(LBULB-LHMAX)*(HMAX-HTIP) (Σχήμα 2)

- Το λόγο του εμβαδού του προφίλ του βολβού στο διάστημα από την άκρη μέχρι τη ρίζα και από τη βάση μέχρι το ύψος της άκρης, προς το εμβαδό του αντίστοιχου περιγεγραμμένου ορθογωνίου τετραπλεύρου, **RAZYLO**:

AZYLO=RAZYLO*LBULB*HTIP (Σχήμα 2)

- Το λόγο του εμβαδού της εγκάρσιας τομής του βολβού στη ρίζα, προς το εμβαδό του αντίστοιχου περιγεγραμμένου ορθογωνίου τετραπλεύρου, **RAZX**:

AZX=RAZX*(LBULB-LBMAX)*BMAX (Σχήμα 3)

- Το λόγο του εμβαδού της προβολής του βολβού στο οριζόντιο επίπεδο στο διάστημα από την άκρη μέχρι τη θέση μέγιστου πλάτους, προς το εμβαδό του αντίστοιχου περιγεγραμμένου ορθογωνίου τετραπλεύρου, **RAXY**:

AXY=RAXY*BROOT*HROOT (Σχήμα 4)

- Το λόγο του όγκου του βολβού, προς τον όγκο του ορθογωνίου εξαέδρου με μήκη ακμών LBULB, BMAX, HMAX, **RVOL**:

VPR=RVOL*LBULB*BMAX*HMAX

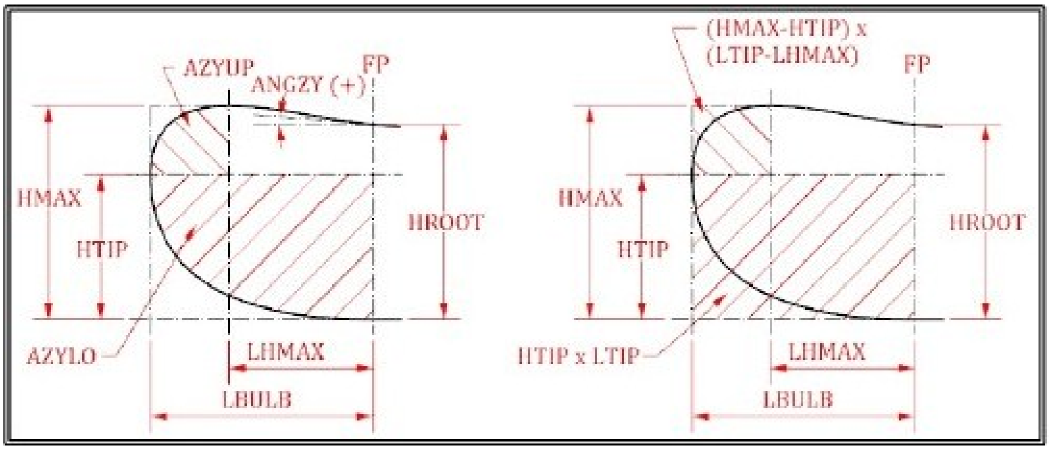
- Η κλίση σε μοίρες, της άνω πλευράς του προφίλ του βολβού, στη ρίζα του, **ANGZY**
- Η κλίση σε μοίρες, της προβολής του βολβού στο οριζόντιο επίπεδο, στη ρίζα του, **ANGZX**

Στην περίπτωση όπου ο χρήστης δεν καθορίσει τιμές για τις μεταβλητές RAZYUP, RAZYLO, RAZX και RAXY, το πρόγραμμα τους αποδίδει την τιμή 0.8. Ακόμη στην περίπτωση όπου ο χρήστης δεν καθορίσει τιμή για τη μεταβλητή RYM, το πρόγραμμα της αποδίδει την τιμή 0.5.

Με βάση τις παραπάνω τιμές, το πρόγραμμα υπολογίζει αρχικά το προφίλ του βολβού, την προβολή του στο οριζόντιο επίπεδο καθώς και την εγκάρσια τομή στη ρίζα του. Το προφίλ του βολβού αποτελείται από τρία τμήματα, δύο για το άνω μέρος και ένα τμήμα για το κάτω μέρος. Το άνω μέρος αποτελείται από δύο τμήματα, το πρωραίο, από το άκρο του βολβού και μέχρι τη διαμήκη θέση μέγιστου ύψους και το πρυμναίο, από τη διαμήκη θέση μέγιστου ύψους μέχρι τη ρίζα του βολβού.

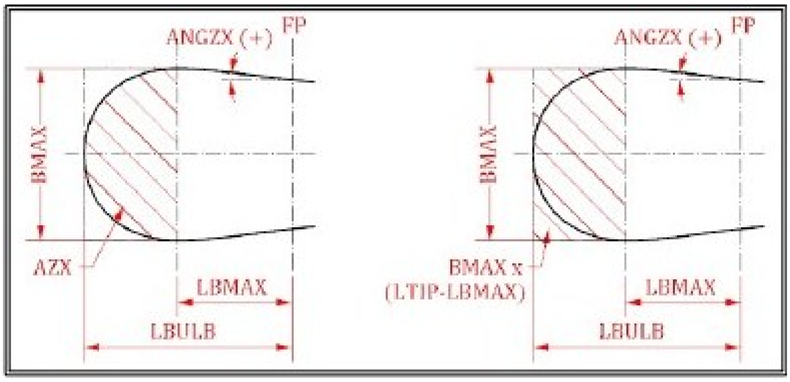
Το πρωραίο τμήμα του άνω μέρους, περιγράφεται από μία καμπύλη τύπου Lewis, με δεδομένα το μήκος της (LBULB-LHMAX), το ύψος της (HMAX-HTIP) και τέλος το εμβαδό κάτω από αυτή (AZYUP). Το υπόλοιπο του άνω μέρους του προφίλ, περιγράφεται από μία πολυωνυμική καμπύλη 3ου βαθμού με δεδομένα τα δύο άκρα καθώς και την κλίση της σε αυτά. Η κλίση στο πρωραίο άκρο την καμπύλης, δηλαδή στο σημείο μέγιστου ύψους, είναι μηδενική. Η κλίση στο πρυμναίο άκρο, δηλαδή στη ρίζα του βολβού, προδιαγράφεται από το χρήστη μέσω της μεταβλητής ANGZY (Σχήματα 1 και 2).

Το κάτω μέρος του προφίλ περιγράφεται από μία καμπύλη τύπου Lewis, με δεδομένα το μήκος του βολβού (LBULB), το ύψος της καμπύλης, δηλαδή την κατακόρυφη απόσταση των δύο άκρων της (HTIP) και τέλος το εμβαδό κάτω από αυτή (AZYLO).

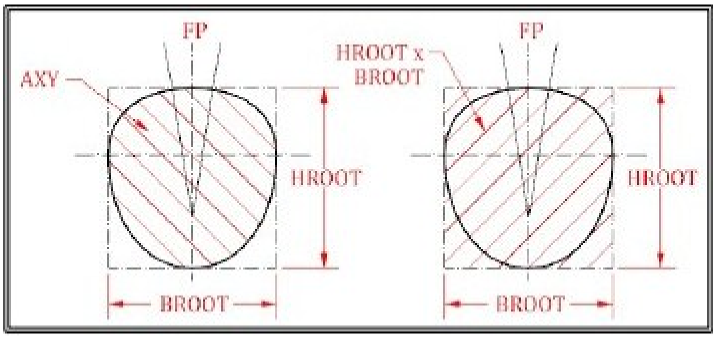


Σχήμα 2: Ορισμός των διαστάσεων του προφίλ του βολβού.

Η προβολή του βολβού στο οριζόντιο επίπεδο, αποτελείται από δύο τμήματα, το πρωραίο, από το άκρο του βολβού και μέχρι τη διαμήκη θέση μέγιστου πλάτους και το πρυμναίο, από τη διαμήκη θέση μέγιστου πλάτους μέχρι τη ρίζα του βολβού. Το πρωραίο τμήμα της προβολής, περιγράφεται από μία καμπύλη τύπου Lewis, με δεδομένα το μήκος της (LBULB-LBMAX), το πλάτος της (BMAX/2) και τέλος το εμβαδό κάτω από αυτή (AZX/2). Το υπόλοιπο, περιγράφεται από μία πολυωνυμική καμπύλη 3ου βαθμού με δεδομένα τα δύο άκρα καθώς και την κλίση της σε αυτά. Η κλίση στο πρωραίο άκρο την καμπύλης, δηλαδή στο σημείο μέγιστου πλάτους, είναι μηδενική. Η κλίση στο πρυμναίο άκρο, δηλαδή στη ρίζα του βολβού, προδιαγράφεται από το χρήστη μέσω της μεταβλητής ANGZX (Σχήματα 1 και 3).



Σχήμα 3: Ορισμός των διαστάσεων της προβολής στο επίπεδο αναφοράς του βολβού.



Σχήμα 4: Ορισμός των διαστάσεων της εγκάρσιας τομής της ρίζας του βολβού.

Η εγκάρσια τομή στη ρίζα του βολβού, στη θέση της πρωραίας καθέτου, αποτελείται από δύο τμήματα, το άνω και το κάτω. Κάθε τμήμα περιγράφεται από μία καμπύλη τύπου Lewis, με δεδομένα το ύψος της (HROOT-YM και YM αντίστοιχα), το πλάτος της (BROOT/2) και τέλος το εμβαδό κάτω από αυτή (AXY*(HROOT-YM)/HROOT και AXY*YM/HROOT αντίστοιχα) (Σχήματα 1 και 4).

Η γεωμετρία του βολβού προκύπτει στη συνέχεια από τη μετάθεση κατά το μήκος του βολβού, της εγκάρσιας τομής στη ρίζα και τη μη-ομοιόμορφη αλλαγή των διαστάσεων της, σύμφωνα με το προφίλ και την προβολή στο οριζόντιο επίπεδο. Πρύμνηθεν της πρωραίας καθέτου και μέχρι του σημείου όπου το προφίλ του βολβού τέμνει το προφίλ της πλώρης, οι νομείς παραμορφώνονται κατά τους άξονες x και y σύμφωνα με τις μεταβλητές ANGZX και ANGZY αντίστοιχα.

Στη συνέχεια ορίζονται οι διαμήκεις θέσεις των νομέων. Εφόσον ο χρήστης δεν έχει ορίσει τιμή για τη μεταβλητή RDZ1, το πρόγραμμα ισοκατανέμει NK1 νομείς, στην περιοχή από το άκρο του βολβού και μέχρι τη θέση μέγιστου ύψους. Εφόσον έχει οριστεί τιμή για τη μεταβλητή RDZ1, το πρόγραμμα κατανέμει τους NK1 νομείς με τρόπο τέτοιο ώστε η απόσταση των δύο πρώτων να είναι DZ1 ενώ η απόσταση των επόμενων νομέων αυξάνεται με τρόπο ομαλό.

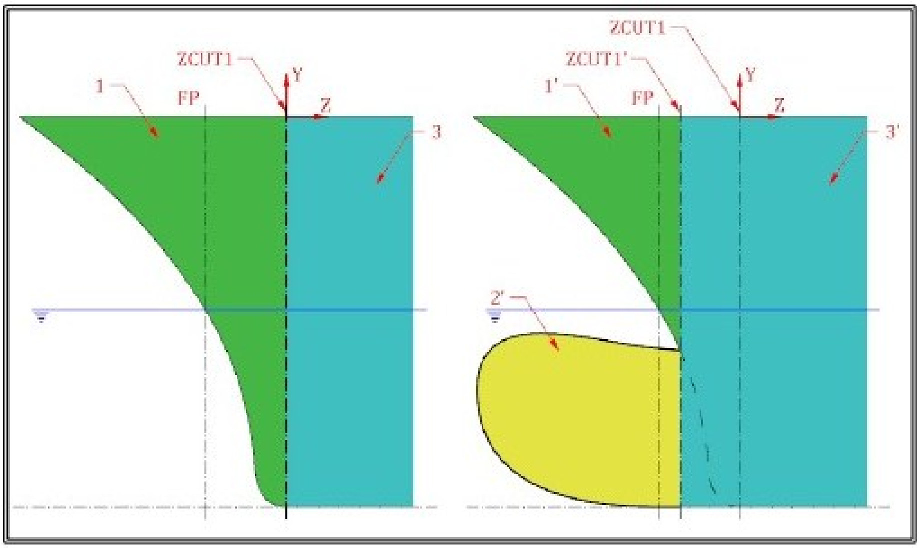
Για την περιοχή μεταξύ της θέσης μέγιστου ύψους και της ρίζας του βολβού, το πρόγραμμα ισοκατανέμει NK2 νομείς. Εφόσον ο χρήστης δεν έχει ορίσει τιμή για τη μεταβλητή NK2, το πρόγραμμα υπολογίζει το πλήθος ώστε η ισαπόσταση των νομέων να είναι ίση με την απόσταση των δύο τελευταίων νομέων της προηγούμενης περιοχής.

Για την περιοχή πρύμνηθεν της πρωραίας καθέτου, το πρόγραμμα ισοκατανέμει NKP νομείς. Εφόσον ο χρήστης δεν έχει ορίσει τιμή για τη μεταβλητή NKP, το πρόγραμμα υπολογίζει το πλήθος ώστε η ισαπόσταση των νομέων να είναι ίση με την απόσταση των δύο τελευταίων νομέων της προηγούμενης περιοχής.

Στη συνέχεια το πρόγραμμα υπολογίζει τις συντεταγμένες NJ ισαπεχόντων σημείων για κάθε νομέα και τις τυπώνει στο έγγραφο dcondor3n.

Το πρόγραμμα condor διαχωρίζει την επιφάνεια του πλοίου σε περιοχές. Στην περίπτωση πλοίων με βολβό, ορίζονται τουλάχιστον τρεις περιοχές, για την πλώρη, το βολβό και το υπόλοιπο πλοίο. Οι παραπάνω περιοχές εφάπτονται ανά δύο στη θέση όπου το προφίλ του βολβού τέμνει το προφίλ της πλώρης. Η Z-συντεταγμένη της παραπάνω θέσης ορίζεται ως ZCUT1 (Σχήμα 5). Καθώς η τιμή της ZCUT1 εν γένει διαφοροποιείται για ένα πλοίο μετά την προσθήκη του βολβού, το πρόγραμμα τροποποιεί τις τιμές του εγγράφου dcondor2, ώστε να συμπεριληφθεί ο νομέας στη θέση ZCUT1'. Ο νέος νομέας προκύπτει από παρεμβολή των συντεταγμένων των δύο νομέων που βρίσκονται εκατέρωθεν του ZCUT1'. Η παρεμβολή μπορεί να είναι γραμμική ή με χρήση κυβικής spline καμπύλης. Ο τρόπος παρεμβολής ορίζεται από τη μεταβλητή INTP.

Παράλληλα τροποποιούνται και οι νομείς πρύμνηθεν του ZCUT1' σύμφωνα με τη μορφή του βολβού. Συγκεκριμένα για κάθε σημείο, κάθε νομέα, υπολογίζονται τα έως δύο, σημεία όπου ο βολβός τέμνει τη γάστρα. Στη συνέχεια υπολογίζεται η μέση απόσταση των σημείων του αρχικού νομέα και κατανέμονται σημεία στο νέο νομέα, ομοιόμορφα. Ακόμη υπάρχει η δυνατότητα το σημείο τομής γάστρας και βολβού να εξομαλύνεται με κυκλικό fillet ακτίνας RFILLET. Οι νέες τιμές των συντεταγμένων που περιγράφουν τη μορφή του πλοίου, τυπώνονται στο έγγραφο dcondor2n.



Σχήμα 5 Ορισμός των περιοχών του πλοίου πριν και μετά την προσθήκη του βολβού.

Τέλος το πρόγραμμα τροποποιεί τις τιμές του εγγράφου dcondor1, ώστε το πρόγραμμα condor να αναγνωρίζει την ύπαρξη του βολβού. Ακόμη τροποποιούνται οι τιμές λόγω της προσθήκης του νομέα στη θέση ZCUT1'. Οι νέες τιμές τυπώνονται στο έγγραφο dcondor1n. Για την εκτέλεση του προγράμματος condor και στη συνέχεια του προγράμματος επίλυσης της ροής ιδεατού ρευστού panelw, χρησιμοποιείται η νέα τιμή της ZCUT1 καθώς και η θέση της άκρης του βολβού ZBULB ενώ οι λοιπές διαστάσεις του πλοίου (π.χ. ZBOW, ZSTERN) παραμένουν αμετάβλητες.

Παρακάτω ακολουθεί ένα παράδειγμα ενός αρχείου input και πίνακας με όλες τις παραμέτρους εισαγωγής του προγράμματος *loxab*:

Παράδειγμα, έγγραφο εισαγωγής δεδομένων dloxab:

```
* Complex Bulbous Bow Variables ***************************************
LSHIP(**)_BSHIP(**)_TSHIP_____DEPTH(**)_AMS(**)___ZFP(***)__
3.0994     0.5550     0.163      0.2445     0.0903     1.E9
RLBULB____RBROOT____RHROOT____RHTIP_____RYM(*)_____
0.050      0.18       0.800      0.800      0.70
RLHMAX____RHMAX_____RLBMAX____RBMAX_____RDZ1______
0.7        1.1        0.6        1.2        0.020
RAZYUP(*)_RAZYLO(*)_RAZX(*)___RAXY(*)___RVOL______
0.80       0.80       0.80       0.80       0.00
ANGZY_____ANGZX_____RFILLET___
0.000      0.000      0.050
NJ___NK1__NK2__NKP__INTP_ITST_
50   10   00   0    3    0
```

(*): If value <=0 the software uses a default value
(**): If value =0 the software will calculate the value from the data of dcondor2
(***): If value >1.E6 the software will calculate the value from the data of dcondor2

Πίνακας 1: Παράμετροι του προγράμματος *loxab,* v1.4

Γραμμή	Όνομα	Τύπος	Περιγραφή
1	LSHIP	F10.4	>0: Το μήκος αναφοράς του πλοίου
			≤0: Υπολογίζει το μήκος αναφοράς του πλοίου από τα δεδομένα του dcondor2
	BSHIP		>0: Το πλάτος του πλοίου
			≤0: Υπολογίζει το πλάτος του πλοίου από τα δεδομένα του dcondor2
	TSHIP		>0: Το βύθισμα του πλοίου
	DEPTH		>0: Το κοίλο του πλοίου
			≤0: Υπολογίζει το κοίλο του πλοίου από τα δεδομένα του dcondor2
	AMS		>0: Το εμβαδό μέσης τομής του πλοίου
			≤0: Υπολογίζει το εμβαδό μέσης τομής από τα δεδομένα του dcondor2
	ZFP		≤|10^6|: Η διαμήκης θέση της πρωραίας καθέτου, ως προς το σύστημα αναφοράς του dcondor2
			>|10^6|: Υπολογίζει το μήκος του πλοίου από τα δεδομένα του dcondor2
2	RLBULB	F10.4	Ο λόγος του μήκους βολβού προς το μήκος αναφοράς του πλοίου
	RBROOT		Ο λόγος του πλάτους στη ρίζα του βολβού, προς το πλάτος του πλοίου
	RHROOT		Ο λόγος του ύψους στη ρίζα του βολβού, προς το βύθισμα του πλοίου
	RHTIP		Ο λόγος του ύψους στην άκρη του βολβού, προς το ύψος στη ρίζα του
	RYM		>0: Ο λόγος της κατακόρυφης θέση μέγιστου πλάτους του βολβού, προς το ύψος στη ρίζα του, μετρώντας από τη βάση του
			≤0: προκαθορισμένη τιμή RAXY=0.5
3	RLHMAX	F10.4	Ο λόγος της διαμήκους θέσης μέγιστου ύψους του βολβού, προς το μήκος του, μετρώντας από τη ρίζα
	RHMAX		Ο λόγος του μέγιστου ύψους του βολβού, προς το ύψος στη ρίζα του
	RLBMAX		Ο λόγος της διαμήκους θέσης μέγιστου πλάτους του βολβού, προς το μήκος του, μετρώντας από τη ρίζα
	RBMAX		Ο λόγος του μέγιστου πλάτους του βολβού, προς το πλάτος στη ρίζα του
	RDZ1		>0: Ο λόγος της απόστασης του δεύτερου νομέα από την άκρη του βολβού, προς το μήκος του. Οι υπόλοιποι νομείς μέχρι τη θέση μέγιστου ύψους κατανέμονται με τρόπο εκθετικό
			≤0: ομοιόμορφη κατανομή νομέων
4	RAZYUP	F10.4	>0: Ο λόγος του εμβαδού του προφίλ του βολβού στο διάστημα από την άκρη μέχρι τη θέση μέγιστου ύψους και από το ύψος της άκρης μέχρι το μέγιστο ύψος, προς το εμβαδό του αντίστοιχου περιγεγραμμένου ορθογωνίου τετραπλεύρου
			≤0: προκαθορισμένη τιμή RAZYUP=0.8
	RAZYLO		>0: Ο λόγος του εμβαδού του προφίλ του βολβού στο διάστημα από την άκρη μέχρι τη ρίζα και από τη βάση μέχρι το ύψος της άκρης, προς το εμβαδό του αντίστοιχου περιγεγραμμένου ορθογωνίου τετραπλεύρου
			≤0: προκαθορισμένη τιμή RAZYLO=0.8
	RAZX		>0: Ο λόγος του εμβαδού της εγκάρσιας τομής του βολβού στη ρίζα, προς το εμβαδό του αντίστοιχου περιγεγραμμένου ορθογωνίου τετραπλεύρου
			≤0: προκαθορισμένη τιμή RAZX=0.8
	RAXY		>0: Ο λόγος του εμβαδού της προβολής του βολβού στο οριζόντιο επίπεδο στο διάστημα από την άκρη μέχρι τη θέση μέγιστου πλάτους, προς το εμβαδό του αντίστοιχου περιγεγραμμένου ορθογωνίου τετραπλεύρου
			≤0: προκαθορισμένη τιμή RAXY=0.8
	RVOL		>0: Ο λόγος του όγκου του βολβού, προς τον όγκο του ορθογωνίου εξαέδρου με μήκη ακμών LBULB, BMAX, HMAX

5	ANGZY	F10.4	Η κλίση σε μοίρες, της άνω πλευράς του προφίλ του βολβού, στη ρίζα του
	ANGZX		Η κλίση σε μοίρες, της προβολής του βολβού στο οριζόντιο επίπεδο, στη ρίζα του
	RFILLET		Ο λόγος της ακτίνας fillet, προς το ύψος στη ρίζα του βολβού
6	NJ	I5	Το πλήθος των σημείων που περιγράφουν κάθε τομή του βολβού
	NK1		Το πλήθος των νομέων που περιγράφουν το βολβό από την άκρη του και μέχρι τη θέση μέγιστου ύψους
	NK2		>0: Το πλήθος των νομέων που περιγράφουν το βολβό από τη θέση μέγιστου ύψους μέχρι τη ρίζα
			≤0: Το πλήθος υπολογίζεται από την απόσταση των δύο τελευταίων νομέων της περιοχής από την άκρη του και μέχρι τη θέση μέγιστου ύψους
	NKP		>0: Το πλήθος των νομέων που περιγράφουν το βολβό από τη ρίζα του και μέχρι τη θέση ZCUT1
			≤0: Το πλήθος υπολογίζεται από την απόσταση των δύο τελευταίων νομέων της περιοχής από τη θέση μέγιστου ύψους μέχρι τη ρίζα του βολβού
	INTP		=1: Γραμμική παρεμβολή για το υπολογισμό του νομέα τη θέση ZCUT1
			=3: Κυβική spline παρεμβολή για το υπολογισμό του νομέα τη θέση ZCUT1
	ITEST		>0: Τυπώνει ενδιάμεσα αποτελέσματα στην οθόνη
			>1: Τυπώνει τους νομείς στο έγγραφο test_section.out

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Γενική περιγραφή του προγράμματος condor που εκτελεί τον σύμμορφο μετασχηματισμό.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

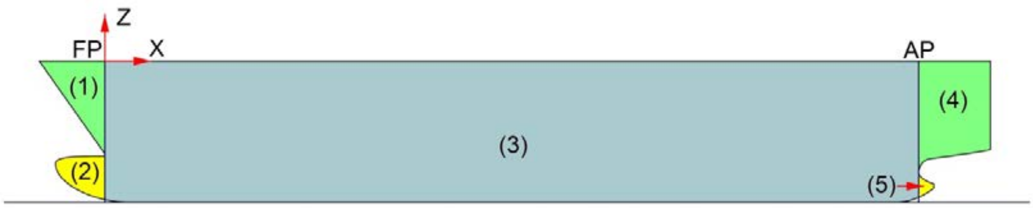
Γενική περιγραφή του προγράμματος condor που εκτελεί τον σύμμορφο μετασχηματισμό.

(Οι παρακάτω οδηγίες αποτελούν περίληψη των πλήρων οδηγιών που συντάχθησαν από τον Στυλιανό Πολύζο, Διδάκτορα της σχολής Ναυπηγών Μηχ/γων Μηχανικών Ε.Μ.Π. και προσαρτήθησαν στην παρούσα εργασία για λόγους πληρότητας.)

Για την παραγωγή των αριθμητικών πλεγμάτων η αναπαράσταση της γεωμετρίας των πλοίων γίνεται μέσω νομέων οι οποίοι περιγράφονται από τους συντελεστές του αντίστοιχου σύμμορφου μετασχηματισμού. Τον μετασχηματισμό τον εκτελεί το πρόγραμμα condor το οποίο αναζητεί δεδομένα από τρία έγγραφα κειμένου (χαρακτήρων ASCII) χωρίς προέκταση. Το πρώτο, dcondor1, περιλαμβάνει τις τιμές για τις μεταβλητές του προγράμματος. Τα άλλα έγγραφα, dcondor2 και dcondor3, περιέχουν τις συντεταγμένες των σημείων που περιγράφουν τους νομείς.

Ως προς την αναπαράσταση της γεωμετρίας της γάστρας, αρχικά χωρίζουμε το πλοίο σε έως πέντε περιοχές, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του. Η διαμέριση γίνεται με βάση την πρωραία και την πρυμναία κάθετο. Ως πρωραία κάθετο ορίζουμε την ευθεία την κάθετη στο βασικό επίπεδο αναφοράς, η οποία εφάπτεται στο προφίλ της πλώρης (Σχήμα 1). Αντίστοιχα ως πρυμναία κάθετο ορίζουμε την ευθεία την κάθετη στο βασικό επίπεδο αναφοράς, η οποία εφάπτεται στο προφίλ της πρύμνης. Στην περίπτωση όπου δεν έχουμε βολβό, η πρωραία κάθετος τοποθετείται στο άκρο της πλώρης. Αντίστοιχα όταν δεν υπάρχει βολβός στην πρύμνη, η πρυμναία κάθετος τοποθετείται στην πρύμνη.

Οι περιοχές 1-5 ορίζονται από τις δύο καθέτους σύμφωνα με το Σχήμα 1. Σε περίπτωση που το πλοίο δεν έχει βολβό, τότε δεν υπάρχουν οι περιοχές 1 και 2 ενώ όταν δεν υπάρχει βολβός στην πρύμνη δεν υπάρχουν οι περιοχές 4 και 5.



Σχήμα 1. Ορισμός της πρωραίας και πρυμναίας καθέτου, καθώς και των περιοχών του πλοίου.

Κάθε περιοχή περιγράφεται από ένα πλήθος νομέων ανάλογα με το μήκος και την πολυπλοκότητά της. Για παράδειγμα οι περιοχές 1 και 4 συχνά περιγράφονται από 20 νομείς, οι περιοχές 2 και 5 από 10 νομείς ενώ η περιοχή 3 από 100. Ανάλογα με το πλοίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότερες τομές. Οι νομείς που βρίσκονται στην τομή δύο περιοχών δίνονται εις διπλούν. Για παράδειγμα, στο πλοίο του Σχήματος 1, ο νομέας στην τομή των περιοχών 1, 2 και 3 δίνεται ολόκληρος για την περιοχή 3, το άνω του τμήμα για την περιοχή 1 και το κάτω του τμήμα για την περιοχή 2.

Κάθε νομέας περιγράφεται από σημεία, το πλήθος των οποίων εξαρτάται από την πολυπλοκότητά του. Τυπικά οι νομείς της περιοχής 3 περιγράφονται από 100 σημεία, οι νομείς των περιοχών 1 και 4 από 80 σημεία και εκείνοι των περιοχών 2 και 5 από 60 σημεία. Τα σημεία συνήθως είναι ισο-κατανεμημένα αν και αυτό δεν είναι απαραίτητο. Προσοχή απαιτείται στο γεγονός ότι τα ευθύγραμμα τμήματα δεν αρκεί να περιγράφονται από 2 σημεία. Ο πρώτος νομέας της περιοχής 1 (ή της 3 όταν δεν υπάρχει η 1) περιγράφεται από 1 ή 2 σημεία μόνον, το δεύτερο όταν έχουμε κατακόρυφη πλώρη. Ο πρώτος νομές της περιοχής 2, όπου αυτή υπάρχει, περιγράφεται από ένα σημείο μόνο.

Τα σημεία που περιγράφουν τους νομείς κάθε περιοχής διαβάζονται από το πρόγραμμα από τα δύο αρχεία κειμένου, το dcondor2 περιέχει τους νομείς των περιοχών 1, 3 και 4 ενώ το dcondor3 περιέχει τους νομείς των περιοχών 2 και 5. Τα σημεία δίνονται υπό μορφή συντεταγμένων x,y,z όπου οι τιμές κάθε διάστασης έχουν συγκεκριμένο format και χωρίζονται με κενά. Η αρχή των αξόνων καθώς και το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται, δίνεται στο Σχήμα 1. Οι νομείς δίνονται κατά αυξανόμενο x. Για κάθε νομέα δίνεται σε μία γραμμή η διαμήκης θέση του x, στην επόμενη το πλήθος των σημείων που τον περιγράφουν και στη συνέχεια ακολουθούν γραμμές στις οποίες δίνονται οι y και z συντεταγμένες των σημείων. Τα σημεία κάθε νομέα δίνονται και αυτά διατεταγμένα με πρώτο εκείνο που έχει το μέγιστο z (=0) και τελευταίο εκείνο με το ελάχιστο z (=-DEPTH).

Αναφορικά με τις μεταβλητές του εγγράφου dcondor1 τροποποίηση χρειάζονται μόνο οι τιμές των μεταβλητών DEPTH, KST και NAN. Στη μεταβλητή DEPTH δίνεις την τιμή του κοίλου. Στη μεταβλητή KST δίνεις τον αριθμό των νομέων περιγράφουν κάθε περιοχή. Στη μεταβλητή NAN δίνεις το πλήθος των συντελεστών του σύμμορφου μετασχηματισμού που θέλεις να χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα. Συνήθως 200 συντελεστές είναι αρκετοί αλλά αυτό εξαρτάται από τη μορφή των νομέων.

Οι μεταβλητές KST και NAN δίνονται σε ξεχωριστές γραμμές για κάθε περιοχή. Έτσι αν έχεις πλοίο με όλες τις περιοχές τότε θα έχεις έξη γραμμές ως εξής:

Γραμμή 1 -> Περιοχή 1
Γραμμή 2 -> Περιοχή 2
Γραμμή 3 -> Περιοχή 3
Γραμμή 4 -> κενή
Γραμμή 5 -> Περιοχή 4
Γραμμή 6 -> Περιοχή 5

Οι γραμμές πρέπει να υπάρχουν σε ζευγάρια υποχρεωτικά. Αν δηλαδή έχεις μόνο περιοχή 1, τότε θα υπάρχει και η γραμμή 2 αλλά θα είναι κενή. Αντίστοιχα για τις γραμμές 3 και 4 καθώς και 5 και 6.

Παράδειγμα αρχείου *dcondor1*:

```
1 cb70-5_b
JOB__KREG_KRE1_KRE2_
1    3    1    3
KJ0__KPRE_KJOB_KPRB_
0    0    7    1
FAIR_MAX1_MAX2_NEXT_LASA_ICAL_IST1_
0  300  300    0    3    4    1
IBUL_LEQU_ICAB_LAO__NEXB_LASB_IST2_
0    0    4    1    0    1    1
KVDU_IPR1_IPR2_IPLO_IPLB_
0    1    1    1    1
SCALE_____DEPTH_____ZCUT2_____ZCUB1_____ZCUB2_____DERROR____
0.000000  0.245000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000
DFO_______DFMIN_____DFMAX_____URFA______ANGIN_____DRINV_____URFAB_____
0.100000  0.100000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000 -0.500000
KST__NAN__ITRE_ISTR_IANG_IERO_IFOU_NRM1_  KREG TIMES
4  100    0    0    0    1    1    0    0    0
36  100   0    0    0    1    1
62  200   0    0    0    1    1    0    0    0
0    0    0    0    0    0    0
9  200    0    0    0    1    1    0    0    0
0    0    0    0    0    0    0
IPA1_IPA2_LIN1_LIN2_
0    0    0    0
ICU1_ICU2_ICU3_
0    0    0
IHES_NROW_
0   31
KNEW_IDEF_MINT_NINT_ITRM_
0    1    0  100    0    0
```

-ΤΕΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ-