



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΣΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ CFD ΓΙΑ
ΠΛΟΙΑ ΤΥΠΟΥ BULK CARRIER

ΚΑΤΣΙΓΙΑΝΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Γ. ΤΖΑΜΠΙΡΑΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΜΕΛΗ: Γ. ΖΑΡΑΦΩΝΙΤΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Γ. ΠΟΛΙΤΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών κ. Γεώργιο Τζαμπίρα για την ανάθεση του θέματος και για την υπομονή του καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ακόμη και το Διδάκτορα της σχολής Στυλιανό Πολύζο για την μεγάλη υποστήριξή του και για τη προθυμία του να βοηθήσει σε οποιαδήποτε απορία και δυσκολία είχα κατά την εκπόνηση του θέματος.

Τέλος θα θελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αδερφή μου για την ουσιαστική στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια, καθώς και τους φίλους και συναδέλφους που επί σειρά ετών μοιράστηκα μαζί τους τις αγωνίες και προβληματισμούς μου, αλλά εν τέλει πιο σημαντικό μοιράστηκα μαζί τους ένα μεγάλο και σημαντικό κομμάτι της ζωής μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1)Εισαγωγή.....	3
2)Γεωμετρική αναπαράσταση της γάστρας.....	4
2.1 Γενικός μετασχηματισμός του νομέα.....	4
2.2Παρεμβολή μεταξύ νομέων.....	8
3)Επίλυση των εξισώσεων Navier Stokes.....	9
4)Περιγραφή διαδικασίας εύρεσης συντεταγμένων με βάση το επικαμπύλιο μήκος του νομέα.....	11
5)Χρησιμοποιούμενα πλέγματα.....	25
6) Αποτελέσματα.....	29
6.1)Αντίσταση ρυμούλκησης.....	29
6.2)Αυτοπρόωση.....	34
7)Βιβλιογραφία.....	37

1)Εισαγωγή

Σκοπός:

Η συγκεκριμένη εργασία αφορά στον αριθμητικό υπολογισμό χαρακτηριστικών μεγεθών αντίστασης και πρόωσης ενός πλοίου τύπου bulk carrier, 164.000t DWT (τα χαρακτηριστικά του οποίου φαίνονται στο κάτωθι πίνακα) με τη βοήθεια υπολογισμών CFD καθώς και την επίδραση των χρησιμοποιούμενων πλεγμάτων γύρω από αυτό. Για τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν κώδικες που έχουν παραχθεί στο εργαστήριο ναυτικής και θαλάσσιας υδροδυναμικής του ΕΜΠ. Η βασική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε λύνει τις εξισώσεις RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) εφαρμόζοντας τη μέθοδο του πεπερασμένου όγκου σε κατάλληλο πλέγμα κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια το οποίο έχει παραχθεί με τη βοήθεια του σύμμορφου μετασχηματισμού. Η ελεύθερη επιφάνεια θεωρήθηκε η αδιατάραχτη επιφάνεια του νερού και η αντίσταση κυματισμού δε λήφθηκε υπόψιν. Η προπέλα προσομοιώθηκε με ένα ενεργό δίσκο ο οποίος παραλαμβάνει δυνάμεις κατά τον διαμήκη άξονα ,ενώ για όλα τους υπολογισμούς θεωρήσαμε σταθερό εκτόπισμα για σταθερό βύθισμα και ισοβύθιστη κατάσταση. Όλα τα βασικά μεγέθη παρουσιάζονται στο κάτωθι πίνακα.

Sophie -Bulk Carrier			
Loa		284.79	m
Lbp		274.6	m
Lwl		280.09	m
T		17	m
B		45.5	m
D		23.73	m
Cb		0.852	
Cp		0.857	
Cw		0.92	
Cm		0.998	
DWT		164000	t
Disp		187027.6	t

2)Γεωμετρική αναπαράσταση της γάστρας

2.1Γενικός μετασχηματισμός του νομέα

Ο σύμμορφος μετασχηματισμός όπως έχει αναπτυχθεί [1] χρησιμοποιείται για την αναλυτική αναπαράσταση της γάστρας του πλοίου :

Γενικός μετασχηματισμός του νομέα:

$$z=c_0+c_{-1}\zeta+\sum_{n=1}^N(c_n \zeta^{-n}) \quad (2.1)$$

όπου ζ το μιγαδικό επίπεδο του μοναδιαίου κύκλου και z το επίπεδο του νομέα. Εάν η καμπύλη είναι συμμετρική σε σχέση με τον y άξονα οι συντελεστές c_n εκφυλίζονται στους πραγματικούς a_n και το πραγματικό και φανταστικό μέρος της εξίσωσης (1) καταλήγει στις ακόλουθες σχέσεις:

$$x=\alpha_{-1}\cos\varphi+\sum_{n=1}^N(\alpha_n \cos (-n \varphi)) \quad (2.2\alpha)$$

$$y=\alpha_{-1}\sin\varphi+\alpha_0+\sum_{n=1}^N(\alpha_n \sin (-n \varphi)) \quad (2.2\beta)$$

Στις εξισώσεις 2 το φ αποτελεί το όρισμα του σημείου (x,y) πάνω στο μιγαδικό επίπεδο ζ του κύκλου.Οι συντελεστές α_n μπορούν να υπολογιστούν είτε από τα ολοκληρώματα:

$$\alpha_0^{(1)}=\int_0^{2\pi} x(\varphi)d\varphi$$

$$\alpha_{-1}^{(1)}+\alpha_{+1}^{(1)}=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} x(\varphi)\cos\varphi d\varphi \quad (2.3\alpha)$$

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

είτε από τα ακόλουθα:

$$\alpha_0^{(2)}=\int_0^{2\pi} y(\varphi)d\varphi$$

$$\alpha_{-1}^{(2)}+\alpha_{+1}^{(2)}=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} y(\varphi)\sin\varphi d\varphi \quad (2.3\beta)$$

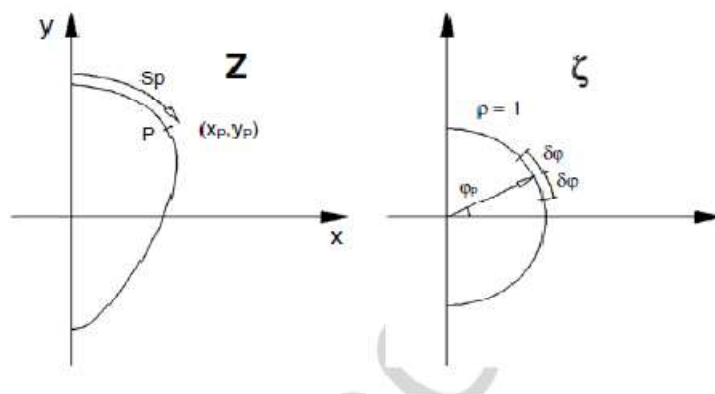
$$\alpha_n^{(2)}=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} y(\varphi)\sin(n\varphi)d\varphi$$

Οι εκφράσεις 3α και 3β δείχνουν ότι οι συντελεστές $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n$ μπορούν να υπολογιστούν αναλυτικά με δύο τρόπους, όπου για $N \rightarrow \infty$ καταλήγουν σε ίσες τιμές.

Παρόλα αυτά με δεδομένο ότι ο αριθμός N είναι πεπερασμένος αριθμός η εκτίμηση των ολοκληρωμάτων 3α και 3β βρίσκει διαφορετικές τιμές για τα $\alpha_n^{(1)}$ και $\alpha_n^{(2)}$.

Για να βρούμε μια βέλτιστη αναπαράσταση του νομέα θεωρούμε μια γραμμική σχέση μεταξύ των δυο προσεγγίσεων:

$$\alpha_n = r \alpha_n^{(1)} + (1-r) \alpha_n^{(2)}, \quad n = -1, \dots, N \quad (2.4)$$



Ο συντελεστής βαρύτητας r υπολογίζεται μέσω της ελαχιστοποίησης του ολικού σφάλματος το οποίο υπολογίζεται ως εξής:

$$E_t = \sum_P [(x_P - x_{aP})^2 + (y_P - y_{aP})^2] \quad (2.5)$$

Όπου P είναι ο αριθμός των σημείων (x_P, y_P) που περιγράφουν το περίγραμμα του νομέα και (x_{aP}, y_{aP}) τα σημεία που προκύπτουν μέσω των αναλυτικών εκφράσεων των εξισώσεων (2) Εισάγοντας το συντελεστή βαρύτητας r , στις εξισώσεις (2) παίρνουμε αντίστοιχα:

$$x_{aP} = (r\alpha_{-1}^{(1)} + (1-r)\alpha_{-1}^{(2)}) \cos \phi_P + \sum_{n=1}^N [(r\alpha_n^{(1)} + (1-r)\alpha_n^{(2)}) \cos(-n \phi_P)] \quad (2.6\alpha)$$

$$y_{aP} = (r\alpha_0^{(1)} + (1-r)\alpha_0^{(2)}) + (r\alpha_{-1}^{(1)} + (1-r)\alpha_{-1}^{(2)}) \sin \phi_P + \sum_{n=1}^N [(r\alpha_n^{(1)} + (1-r)\alpha_n^{(2)}) \sin(-n \phi_P)] \quad (2.6\beta)$$

$$\text{Οπότε και το } r \text{ υπολογίζεται από την επίλυση της γραμμικής εξίσωσης } \frac{\partial E_t}{\partial r} = 0 \quad (2.7)$$

Σημειώνεται ότι οι συντελεστές α_1 και α_{-1} υπολογίζονται μοναδικά από τις εξισώσεις 3α και 3β.

Για κάθε νομέα η επαναληπτική διαδικασία και οι υπολογισμοί ξεκινάνε για 4 συντελεστές και επαναλαμβάνονται μέχρι την αύξηση του αριθμού των συντελεστών σε ένα αρχικά ορισμένο αριθμό N ή μέχρι το ολικό σφάλμα E_t να γίνει μικρότερο από ένα συγκεκριμένο όριο.

Η εκτίμηση των ολοκληρωμάτων 3α και 3β απαιτεί τον υπολογισμό των γωνιών ϕ_p . Από τη βιβλιογραφία βρίσκουμε στο έργο των Von Kerczek και Tuck ότι η γωνία ϕ_p ορίζεται από την εύρεση της ελάχιστης απόστασης μεταξύ του σημείου P και της αναλυτικής αναπαράστασης αυξάνοντας μονοτονικά τη ϕ . Παρόλα αυτά η διαδικασία αυτή αποτυγχάνει όταν εφαρμόζεται σε περίπλοκους νομείς και καταλήγει σε ανώμαλες αναπαραστάσεις.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος εισήχθη μία βελτίωση η οποία υπολογίζει τη γωνία ϕ_p σε δύο στάδια. Αρχικά υποθέτουμε ότι η ϕ_p είναι μία συνάρτηση του S_p όπου το S είναι το επικαμπύλιο ολοκλήρωμα του νομέα και υπολογίζεται ως εξής:

$$S_p = S_{p-1} + \sqrt{(x_p - x_{p-1})^2 + (y_p - y_{p-1})^2} \quad (2.8)$$

Στη συνέχεια εισάγοντας ένα σύνολο γνωστών γωνιών ϕ_i οι τιμές του S_i υπολογίζονται αναλυτικά μέσω του σύμμορφου μετασχηματισμού. Έτσι οι τιμές ϕ_p καθορίζονται μέσω γραμμικής παρεμβολής ή παρεμβολής με κυβικές splines του αντίστοιχου μήκους εξ.8

Η κατανομή των ϕ_i εξαρτάται από τη διακύμανση της καμπυλότητας κατά μήκος του νομέα. Η μέθοδος αυτή αποδεικνύεται σταθερή και αρκετά γρήγορη αλλά δεδομένου ότι βασίζεται στη προσέγγιση του S_p μπορεί να παράξει ανακριβείς αναπαραστάσεις σε περιοχές με μεγάλες καμπυλότητες.

Επομένως εφαρμόζεται μόνο σε ενδιάμεσα στάδια. Στη τελική επανάληψη μία δεύτερη διαδικασία ακολουθείται η οποία υπολογίζει τη τιμή της ϕ_p βρίσκοντας την ελάχιστη απόσταση μεταξύ του P και της αναλυτικής αναπαράστασης του νομέα στο εύρος $(\phi_p - \partial\phi, \phi_p + \partial\phi)$

Η παραπάνω διαδικασία ακολουθείται για πλοία με βολβό που διατηρούν μια συμμετρία σε σχέση με τον y -άξονα. Για πλοία συμμετρικά και ως προς τον μέσο νομέα ο γενικός μετασχηματισμός γίνεται:

$$z = \sum_{n=1}^N \alpha_n \zeta^{3-2n}.$$

2.2 Παρεμβολή μεταξύ νομέων

Παρόλο που ο σύμμορφος μετασχηματισμός αρχικά εφαρμόζεται σε συγκεκριμένους νομείς, η αποτελεσματική παραγωγή (αναλυτική αναπαράσταση) των ενδιάμεσων νομέων είναι απαραίτητη για τη παραγωγή του κατάλληλου πλέγματος.

Σε όλες τις σχετικές μεθόδους η γενική προσέγγιση είναι να υπολογίσουμε τους συντελεστές κάθε επιθυμητού νομέα μέσω παρεμβολής αυτών που πήραμε απ τα αρχικά δεδομένα. Η αρχική προσπάθεια βασιζόταν στην πολυωνυμική παρεμβολή. Παρόλα αυτά η διαδικασία που αναπτύχθηκε ήταν ανεπιτυχής και η χρήση των κυβικών splines βρέθηκε ότι είναι πολύ ακριβής.

Για γεωμετρικές γάστρας που εμφανίζουν μεγάλη διαμήκη απόκλιση της γεωμετρίας, μια αποτελεσματική εναλλακτική είναι να εφαρμόσουμε μια απλή κυβική παρεμβολή στους υπόλοιπους σταθμούς-νομείς.

Οι προαναφερθέντες μέθοδοι κρίνονται ανεπιτυχείς στη παρεμβολή νομέων στη περιοχή του βολβού και της πρύμνης όπου κυβικές και spline παρεμβολές αποτυγχάνουν να σχεδιάσουν ενδιάμεσους σταθμούς. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα μια νέα διαδικασία αναπτύχθηκε η οποία αρχικά παράγει σημεία P στον απαιτούμενο για τη δημιουργία πλέγματος σταθμό χρησιμοποιώντας κυβική παρεμβολή μεταξύ των σημείων τεσσάρων γειτονικών σταθμών. Οι τελευταίοι έχουν υπολογιστεί μέσω του σύμμορφου μετασχηματισμού. Με αυτό τον τρόπο ο νομέας (η καλύτερα τα σημεία που παίρνουμε) μετασχηματίζεται με τη μέθοδο που έχουμε ήδη περιγράψει και οι καινούριοι συντελεστές αποθηκεύονται σαν τα νέα μας δεδομένα. Αυτή η μέθοδος δίνει νομείς πολύ κοντά στους πραγματικούς.

Αφού η παρεμβολή ολοκληρωθεί ένα ορθογωνικό η μη ορθογωνικό καμπύλο πλέγμα δύο διαστάσεων μπορεί να παραχθεί αυτόματα σε ένα νομέα μετασχηματίζοντάς τον στο μιγαδικό επίπεδο του μοναδιαίου κύκλου. Το απλούστερο πλέγμα παράγεται με το μετασχηματισμό ομόκεντρων κύκλων και ακτινών. Όταν υπεισέρχεται το πρόβλημα της ελεύθερης επιφάνειας ορίζονται αντίστοιχα οι γωνίες κάθε μοναδιαίου κύκλου, και παράγονται τρισδιάστατα μη ορθογωνικά πλέγματα.

3) Επίλυση των εξισώσεων Navier Stokes

Οι εξισώσεις RANS (Reynold's averaged Navier-Stokes) επιλύονται με τη βοήθεια ενός ορθογωνικού καμπύλου συστήματος (x_i, x_j, x_l) όπου h_i, h_j, h_l είναι οι μετρικές των x_i, x_j, x_l και παίρνουμε αντίστοιχα και τις ταχύτητες u_i, u_j, u_l . Σε αυτό το σύστημα παίρνουμε την εξίσωση ορμής για την ταχύτητα u_i :

$$\begin{aligned} \frac{\rho}{h_i h_j h_l} \left[\frac{\partial(h_j h_l u_i u_i)}{\partial x_i} + \frac{\partial(h_i h_l u_j u_i)}{\partial x_j} + \frac{\partial(h_i h_j u_l u_i)}{\partial x_l} \right] = \\ - \frac{1}{h_i} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho u_j^2 K_{ij} + \rho u_l^2 K_{li} - \rho u_i u_j K_{ij} - \rho u_i u_l K_{il} + \\ (\sigma_{ii} - \sigma_{jj}) K_{ij} + (\sigma_{ii} - \sigma_{ll}) K_{il} + \sigma_{ij} (K_{ij} + K_{lj}) + \sigma_{il} (K_{il} + K_{jl}) \\ + \frac{1}{h_i} \frac{\partial \sigma_{ii}}{\partial x_i} + \frac{1}{h_j} \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + \frac{1}{h_l} \frac{\partial \sigma_{il}}{\partial x_l} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Στην παραπάνω εξίσωση, ο K_{ij} είναι ο τανυστής της καμπυλότητας, ρ η πυκνότητα του νερού p η συνολική πίεση και σ_{ij} ο τανυστής των τάσεων. Οι εξισώσεις της ορμής για τις άλλες 2 ταχύτητες προκύπτουν με κυκλική εναλλαγή των (i, j, l) .

Τα στοιχεία του τανυστή των τάσεων υπολογίζονται ως εξής:

$$\sigma_{ii} = \mu_e e_{ii} = 2\mu_e \left[\frac{1}{h_i} \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + u_j K_{ij} + u_l K_{il} \right] \quad (3.2a)$$

$$\sigma_{ij} = \mu_e e_{ij} = \mu_e \left[\frac{h_j}{h_i} \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{u_j}{h_j} \right) + \frac{h_i}{h_j} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{u_i}{h_i} \right) \right] \quad (3.2b)$$

Τα στοιχεία του τανυστή των τάσεων περιλαμβάνουν τη συνδυασμένη επίδραση του ιξώδους και της τυρβώδης τάσης (Reynolds) σύμφωνα με την υπόθεση του ισωτροπικού ιξώδους μοντέλου:

Στις εξισώσεις 2 η τιμή του μ_e υπολογίζεται σύμφωνα με το μοντέλο της τύρβης: SST-k- ω του Menter (1993) με την επίλυση 2 ακόμη διαφορικών εξισώσεων, μία για την κινητική ενέργεια της τύρβης k και μία για το ρυθμό διασποράς ω :

$$C(k) = \frac{1}{h_i h_j h_l} \left[\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\sigma_k \mu_t \frac{h_j h_l}{h_i} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\sigma_k \mu_t \frac{h_i h_l}{h_j} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial}{\partial x_l} \left(\sigma_k \mu_t \frac{h_i h_j}{h_l} \frac{\partial k}{\partial x_l} \right) \right] + G - \beta * \rho \omega k \quad (3.3\alpha)$$

$$C(\omega) = \frac{1}{h_i h_j h_l} \left[\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\sigma_\omega \mu_t \frac{h_j h_l}{h_i} \frac{\partial \omega}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\sigma_\omega \mu_t \frac{h_i h_l}{h_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial}{\partial x_l} \left(\sigma_\omega \mu_t \frac{h_i h_j}{h_l} \frac{\partial \omega}{\partial x_l} \right) \right] + \frac{\gamma}{v_t} G$$

$$g[\]q - \quad - \beta \rho \omega^2 + 2\rho(1 - F_1) \frac{\sigma_\omega}{\omega} \frac{1}{h_j^2} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \quad (3.3\beta)$$

Ο όρος G στις εξισώσεις 3α και 3β ορίζεται ως εξής:

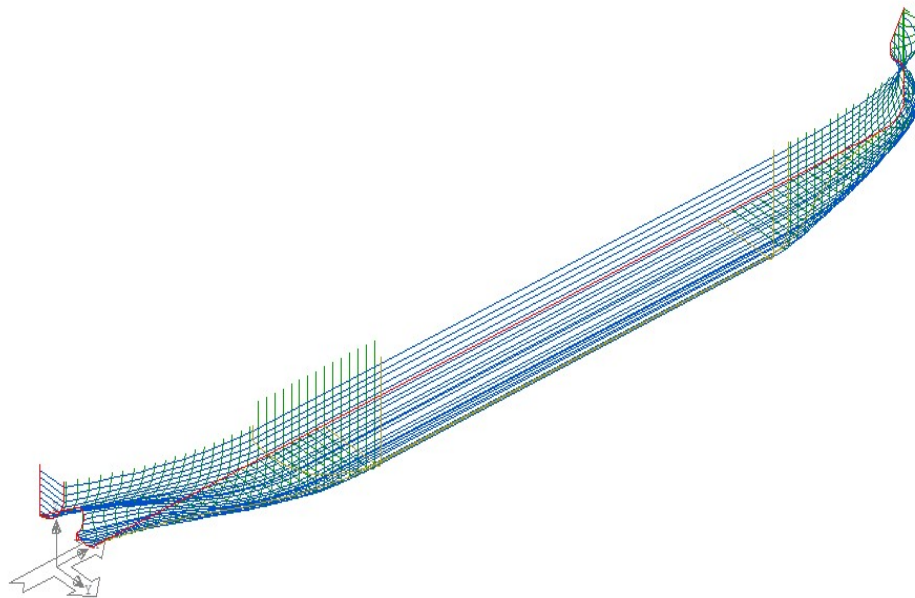
$$G = 2\mu_t [e_{ii}^2 + e_{jj}^2 + e_{ll}^2 + 1/2(e_{ij}^2 + e_{il}^2 + e_{jl}^2)] \quad (3.4)$$

4)Περιγραφή διαδικασίας εύρεσης συντεταγμένων με βάση το επικαμπύλιο μήκος του νομέα

Οι γραμμές της γάστρας του πλοίου Sophie είναι το αποτέλεσμα προσωπικής μελέτης στα πλαίσια του θέματος μελέτης πλοίου και εκπονήθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος 'AVEVA MARINE Lines'.

Σχήμα 4.1

Βασικές γραμμές του πλοίου Sophie('AVEVA MARINE Lines').



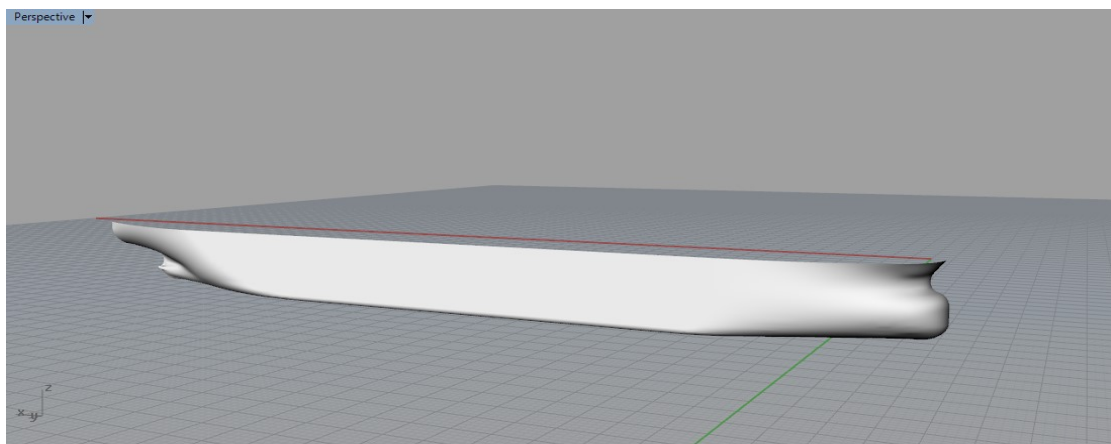
Απαραίτητη προϋπόθεση για να πάρουμε πλέγματα με καλύτερη γεωμετρία είναι να περιγράψουμε κάθε νομέα με βάση ένα σύνολο σημείων που εξαρτώνται από το επικαμπύλιο μήκος του νομέα και όχι από το βύθισμα. Το πρόγραμμα 'AVEVA MARINE Lines' δεν μας δίνει τη δυνατότητα να λάβουμε σε ένα αρχείο txt. τις συντεταγμένες επιλεγμένων νομέων με βάση το επικαμπύλιο μήκος. Για να αντιμετωπίσουμε αυτό το πρόβλημα περάσαμε τη γεωμετρία μας από το προηγούμενο πρόγραμμα στο πρόγραμμα rhinoceros 5 το οποίο μας δίνει αυτή τη δυνατότητα.

Σε σχέση με την εξομάλυνση σύμφωνα με τις οδηγίες των διδασκόντων παρενέβησα τοπικά στις περιοχές του βολβού και του άξονα της πρύμνης άλλα οι τροποποιήσεις που προέκυψαν δεν παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση από τις αρχικές γραμμές.

Ακολούθως πήραμε την κάτωθι επιφάνεια (Σχήμα 2) και περάσαμε επίπεδα κάθετα στην επιφάνεια της γάστρας(Σχήμα 3).Οι νομείς που δημιουργούνται ως η τομή της γάστρας με τα εγκάρσια επίπεδα παρουσιάζονται στο σχήμα 4.

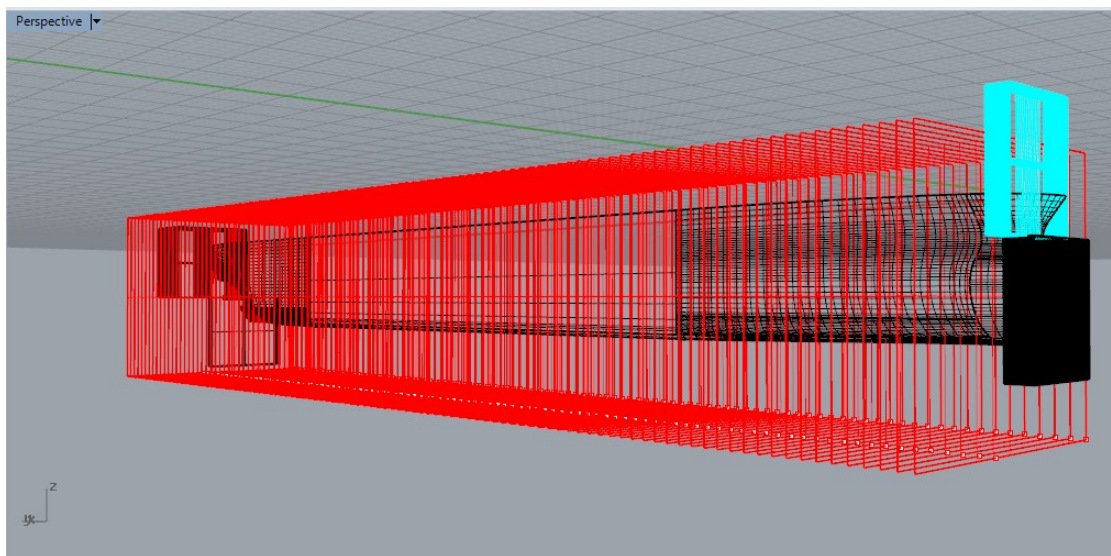
Σχήμα 4.2

Επιφάνεια της γάστρας του πλοίου Sophie στο Rhinoceros 5



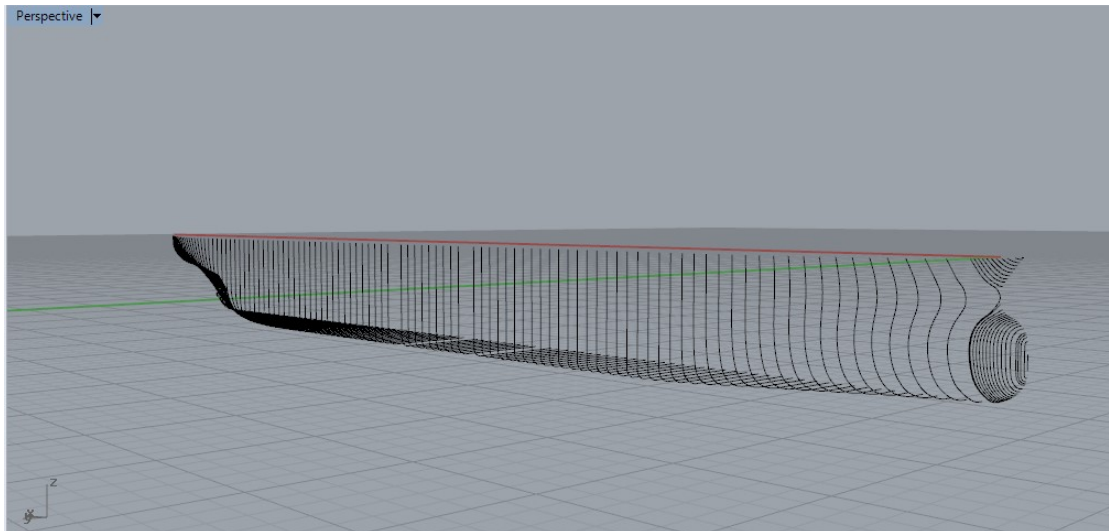
Σχήμα 4.3

Επιφάνεια της γάστρας και κάθετα επίπεδα



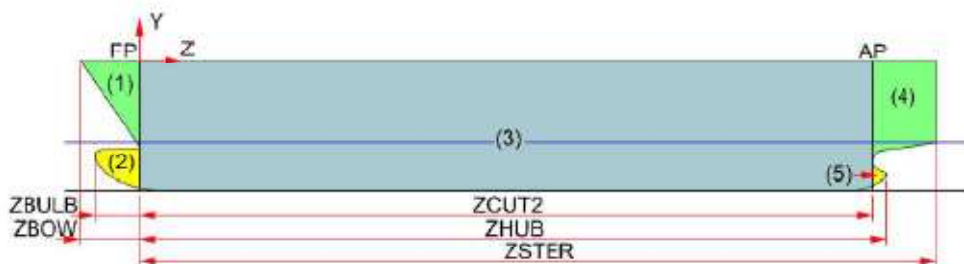
Σχήμα 4.4

Οι νομείς που δημιουργούνται από την τομή των επιπέδων και της γαστρας



Οι περιοχές της γαστρας κατηγοριοποιούνται όπως φαίνεται στο κάτωθι σχήμα 5. Ο αριθμός των σημείων που ελήφθησαν ανα νομέα εξαρτάται από τη πολυπλοκότητα της γεωμετρίας των νομέων κάθε περιοχής. Το πλήθος των σημείων που περιγράφουν κάθε νομέα ανα περιοχή φαίνεται στο κάτωθι πίνακα 1.

Σχήμα 4.5-Διαίρεση του πλοίου σε περιοχές



Πίνακας 4.2

Περιοχή	Σημεία ανα περιοχή
1	61
2	81
3-πρωραία	241
3-πρυμναία	121
4	81
5	61

Τη περιοχή 3 τη χωρίσαμε σε 2 περιοχές ,τη πρωραία και τη πρυμναία. Αυτό μας εξυπηρετεί γιατί οι 3 πρώτοι νομείς της περιοχής 3 είναι νομείς με πολύπλοκη γεωμετρία, μεγάλη αλλαγή στην καμπυλότητα άρα δύσκολο να περιγραφούν με το σύμμορφο μετασχηματισμό με τη χρήση λίγων συντελεστών .Από την άλλη το πρυμναίο κομμάτι της περιοχής παρουσιάζει ομαλές μεταβολές στη γεωμετρία του και δεν χρειάζεται μεγάλο αριθμό συντελεστών για την περιγραφή του. Οπότε η διαίρεση της περιοχής αυτής στις 2 υπο-περιοχές μας εξυπηρετεί στο να πάρουμε ταχύτερα και ακριβέστερα αποτελέσματα..

Επιπλέον με βάση τους νομείς που έχουμε παράξει (σχήμα 4) και τα σημεία που έχουμε πάρει ανά νομέα και περιοχή με την προαναφερθείσα διαδικασία το πρόγραμμα μας επιτρέπει να πάρουμε σε αρχείο txt. το σύνολο των σημείων ανά περιοχή. Με βάση κώδικα του εργαστηρίου ο οποίος διαβάζει τα αρχεία αυτά και ταξινομεί τα σημεία παίρνουμε και τα αποτελέσματα όπως φαίνονται στις επόμενες σελίδες.

Τα αποτελέσματα αυτά παράγονται από τον κώδικα dsort και παρουσιάζονται στα αρχεία EXTREMES_sofi_1.txt,EXTREMES_sofi_2.txt,EXTREMES_sofi_3.txt,EXTREMES_sofi_4.txt, EXTREMES_sofi_5.txt που παράγει ο κώδικας. Ακόμη μαζί με τα αποτελέσματα του κώδικα παρουσιάζονται σε πρόσοψη (χωρίς σταθερή κλίμακα) και τα σημεία που λαμβάνονται ανά περιοχή.

a/a Νομέας

NP= Πλήθος σημείων νομέα

Z= Θέση νομέα κατά τον διαμήκη άξονα

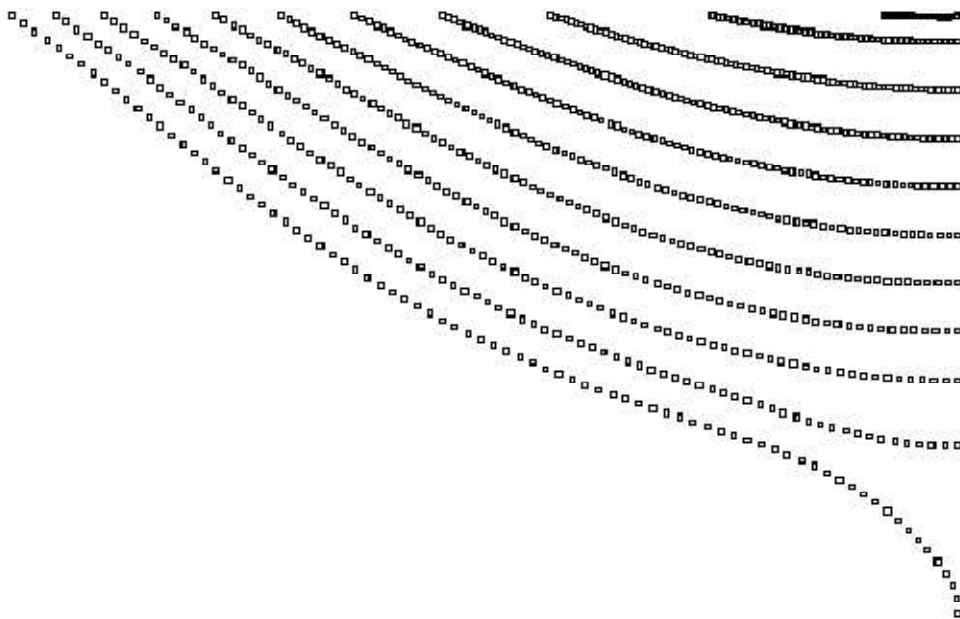
XMAX= θέση σημείου κατά τον εγκάρσιο άξονα με μέγιστο ημιπλάτος

YMAX= θέση κατώτατου σημείου στον κατακόρυφο άξονα

XMIN= θέση σημείου κατά τον εγκάρσιο άξονα με ελάχιστο ημιπλάτος

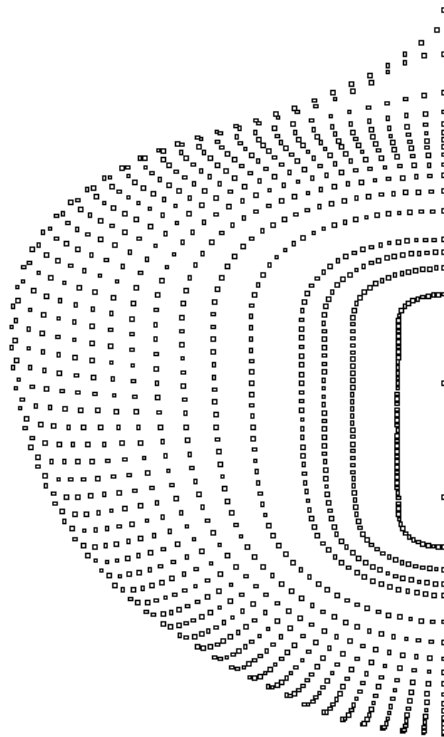
YMIN= θέση κατώτατου σημείου στον κατακόρυφο άξονα

Σχήμα4.6-Περιοχή 1-Πλώρη



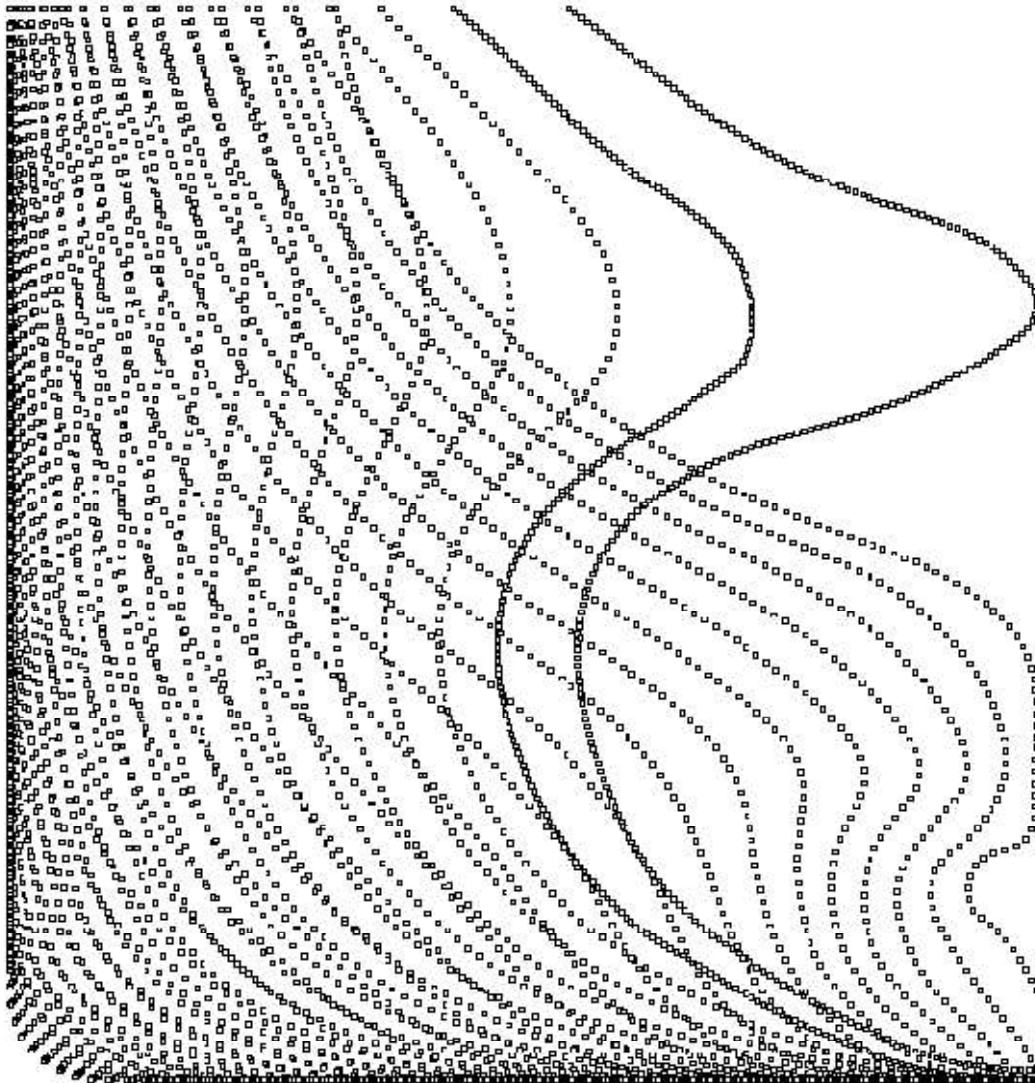
a/a, NP,	Z=,	XMAX=,	YMAX=,	XMIN=,	YMIN=
1, 1,	-3.7625,	0.0000,	0.0000,	0.0000,	0.0000
2, 81,	-3.7438,	0.7795,	0.0000,	0.0000,	-0.0161
3, 81,	-3.5468,	2.7041,	0.0000,	0.0000,	-0.2812
4, 81,	-3.1527,	4.4512,	0.0000,	0.0000,	-0.8112
5, 81,	-2.7586,	5.6450,	0.0000,	0.0000,	-1.3413
6, 81,	-2.3646,	6.6013,	0.0000,	0.0000,	-1.8713
7, 81,	-1.9705,	7.4141,	0.0000,	0.0000,	-2.4013
8, 81,	-1.5764,	8.1275,	0.0000,	0.0000,	-2.9318
9, 81,	-1.1823,	8.7667,	0.0000,	0.0000,	-3.4600
10, 81,	-0.7883,	9.3465,	0.0000,	0.0000,	-4.0052
11, 81,	-0.3942,	9.8762,	0.0000,	0.0000,	-4.7282
12, 81,	0.0000,	10.3643,	0.0000,	0.0000,	-6.5672

Σχήμα 4.7-Περιοχή 2-Βολβός πλήρης



a/a, NP,	Z=,	XMAX=,	YMAX=,	XMIN=,	YMIN=
1, 2,	-4.7386,	0.0000,	-15.3294,	0.0000,	-17.9899
2, 61,	-4.7002,	0.0000,	-13.2338,	0.0000,	-19.1722
3, 61,	-4.5826,	0.0000,	-12.6008,	0.0000,	-19.6941
4, 61,	-4.4651,	0.0000,	-12.2482,	0.0000,	-20.0332
5, 61,	-4.3476,	0.0000,	-11.9472,	0.0000,	-20.3045
6, 61,	-3.9951,	0.0000,	-11.2647,	0.0000,	-20.9277
7, 61,	-3.6426,	0.0000,	-10.8060,	0.0000,	-21.4008
8, 61,	-3.2901,	0.0000,	-10.4377,	0.0000,	-21.7862
9, 61,	-2.9376,	0.0000,	-10.1805,	0.0000,	-22.1106
10, 61,	-2.5851,	0.0000,	-9.9536,	0.0000,	-22.3873
11, 61,	-2.2326,	0.0000,	-9.7703,	0.0000,	-22.6288
12, 61,	-1.8801,	0.0000,	-9.6037,	0.0000,	-22.8353
13, 61,	-1.5276,	0.0000,	-9.4313,	0.0000,	-23.0178
14, 61,	-1.1751,	0.0000,	-9.2258,	0.0000,	-23.1745
15, 61,	-0.8226,	0.0000,	-8.9407,	0.0000,	-23.3094
16, 61,	-0.4701,	0.0000,	-8.4816,	0.0000,	-23.4243
17, 61,	-0.1176,	0.0000,	-7.5972,	0.0000,	-23.5198
18, 61,	0.0000,	0.0000,	-6.5672,	0.0000,	-23.5476

Σχήμα 4.48-Περιοχή 3



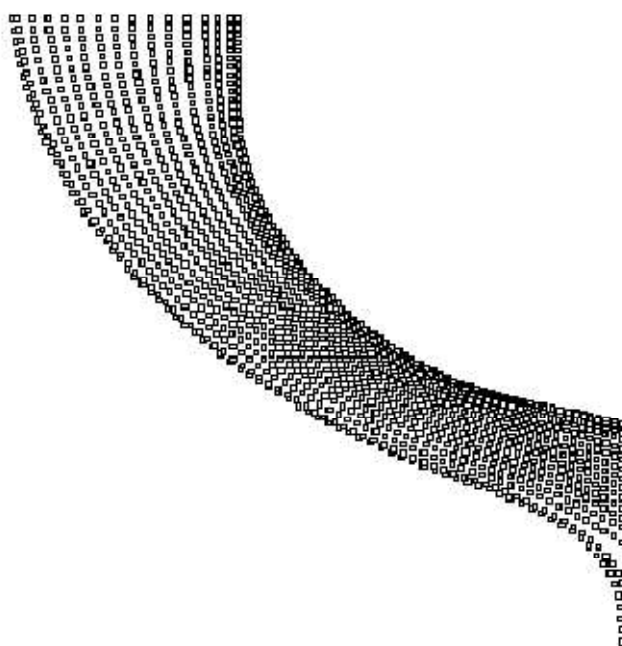
a/a, NP,	Z=,	XMAX=,	YMAX=,	XMIN=,	YMIN=
1, 241,	0.0000,	10.3643,	0.0000,	0.0000,	-23.5476
2, 241,	2.6554,	12.8959,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
3, 121,	5.3108,	14.5327,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
4, 121,	7.9661,	15.6484,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
5, 121,	10.6215,	16.6213,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
6, 121,	13.2769,	17.4908,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
7, 121,	15.9323,	18.2733,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
8, 121,	18.5877,	18.9763,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
9, 121,	21.2430,	19.6046,	0.0000,	0.0000,	-23.7300

10, 121,	23.8984,	20.1625,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
11, 121,	26.5538,	20.6536,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
12, 121,	29.2092,	21.0817,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
13, 121,	31.8646,	21.4510,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
14, 121,	34.5199,	21.7663,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
15, 121,	37.1753,	22.0322,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
16, 121,	39.8307,	22.2534,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
17, 121,	42.4861,	22.4339,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
18, 121,	45.1415,	22.5753,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
19, 121,	47.7968,	22.6761,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
20, 121,	50.4522,	22.7346,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
21, 121,	53.1076,	22.7502,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
22, 121,	55.7630,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
23, 121,	58.4184,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
24, 121,	61.0737,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
25, 121,	63.7291,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
26, 121,	66.3845,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
27, 121,	69.0399,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
28, 121,	71.6953,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
29, 121,	74.3506,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
30, 121,	77.0060,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
31, 121,	79.6614,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
32, 121,	82.3168,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
33, 121,	84.9722,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
34, 121,	87.6275,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
35, 121,	90.2829,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
36, 121,	92.9383,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
37, 121,	95.5937,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
38, 121,	98.2491,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
39, 121,	100.9040,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
40, 121,	103.5600,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
41, 121,	106.2150,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
42, 121,	111.5260,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300
43, 121,	114.1810,	22.7500,	0.0000,	0.0000,	-23.7300

44, 121, 116.8370, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
45, 121, 119.4920, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
46, 121, 122.1470, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
47, 121, 124.8030, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
48, 121, 127.4580, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
49, 121, 130.1140, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
50, 121, 132.7690, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
51, 121, 138.0800, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
52, 121, 140.7350, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
53, 121, 143.3910, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
54, 121, 146.0460, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
55, 121, 148.7010, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
56, 121, 151.3570, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
57, 121, 154.0120, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
58, 121, 156.6670, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
59, 121, 159.3230, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
60, 121, 161.9780, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
61, 121, 164.6340, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
62, 121, 167.2890, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
63, 121, 169.9440, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
64, 121, 172.6000, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
65, 121, 175.2550, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
66, 121, 177.9100, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
67, 121, 180.5660, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
68, 121, 183.2210, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
69, 121, 185.8770, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
70, 121, 188.5320, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
71, 121, 191.1870, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
72, 121, 193.8430, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
73, 121, 196.4980, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
74, 121, 199.1530, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
75, 121, 201.8090, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
76, 121, 204.4640, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
77, 121, 207.1200, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300

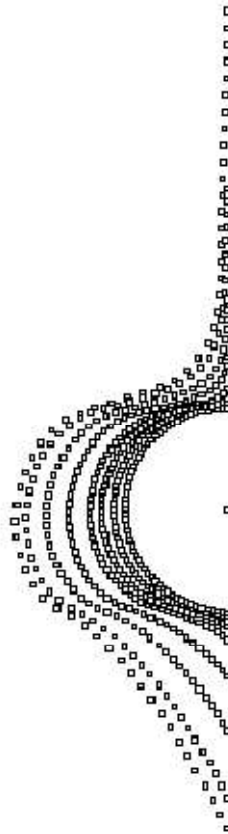
78, 121, 209.7750, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
79, 121, 212.4300, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
80, 121, 215.0860, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
81, 121, 217.7410, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
82, 121, 220.3970, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
83, 121, 223.0520, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
84, 121, 225.7070, 22.7500, 0.0000, 0.0000, -23.7300
85, 121, 228.3630, 22.7503, 0.0000, 0.0000, -23.7300
86, 121, 231.0180, 22.7028, 0.0000, 0.0000, -23.7300
87, 121, 233.6730, 22.5351, 0.0000, 0.0000, -23.7300
88, 121, 236.3290, 22.2907, 0.0000, 0.0000, -23.7300
89, 121, 238.9840, 21.9786, 0.0000, 0.0000, -23.7300
90, 121, 241.6400, 21.6008, 0.0000, 0.0000, -23.7300
91, 121, 244.2950, 21.1591, 0.0000, 0.0000, -23.7300
92, 121, 246.9500, 20.6552, 0.0000, 0.0000, -23.7300
93, 121, 249.6060, 20.0924, 0.0000, 0.0000, -23.7300
94, 121, 252.2610, 19.4716, 0.0000, 0.0000, -23.7300
95, 121, 254.9160, 18.7932, 0.0000, 0.0000, -23.7300
96, 121, 257.5720, 18.0571, 0.0000, 0.0000, -23.7300
97, 121, 260.2270, 17.2635, 0.0000, 0.0000, -23.7285
98, 121, 262.8830, 16.4124, 0.0000, 0.0000, -23.4936
99, 121, 265.5380, 15.5048, 0.0000, 0.0000, -21.7467

Σχήμα 4.9-Περιοχή 4-Πρύμνη



a/a, NP,	Z=,	XMAX=,	YMAX=,	XMIN=,	YMIN=
1, 81,	265.5380,	15.5048,	0.0000,	0.0000,	-15.8631
2, 81,	265.9010,	15.3761,	0.0000,	0.0000,	-14.3905
3, 81,	266.9930,	14.9838,	0.0000,	0.0000,	-13.3433
4, 81,	268.0850,	14.5823,	0.0000,	0.0000,	-12.9356
5, 81,	269.1760,	14.1716,	0.0000,	0.0000,	-12.6909
6, 81,	270.2680,	13.7520,	0.0000,	0.0000,	-12.4427
7, 81,	271.3600,	13.3234,	0.0000,	0.0000,	-12.1975
8, 81,	272.4510,	12.8861,	0.0000,	0.0000,	-11.9515
9, 81,	273.5430,	12.4401,	0.0000,	0.0000,	-11.7056
10, 81,	274.6340,	11.9855,	0.0000,	0.0000,	-11.4597
11, 81,	275.7260,	11.5227,	0.0000,	0.0000,	-11.2141
12, 81,	276.8180,	11.0520,	0.0000,	0.0000,	-10.9681
13, 81,	277.9090,	10.5741,	0.0000,	0.0000,	-10.7192
14, 81,	278.6370,	10.2519,	0.0000,	0.0000,	-10.5577
15, 81,	279.3650,	9.9271,	0.0000,	0.0000,	-10.3941
16, 81,	279.7290,	9.7638,	0.0000,	0.0000,	-10.3122

Σχήμα 4.10-Περιοχή 5-άξονας έλικας

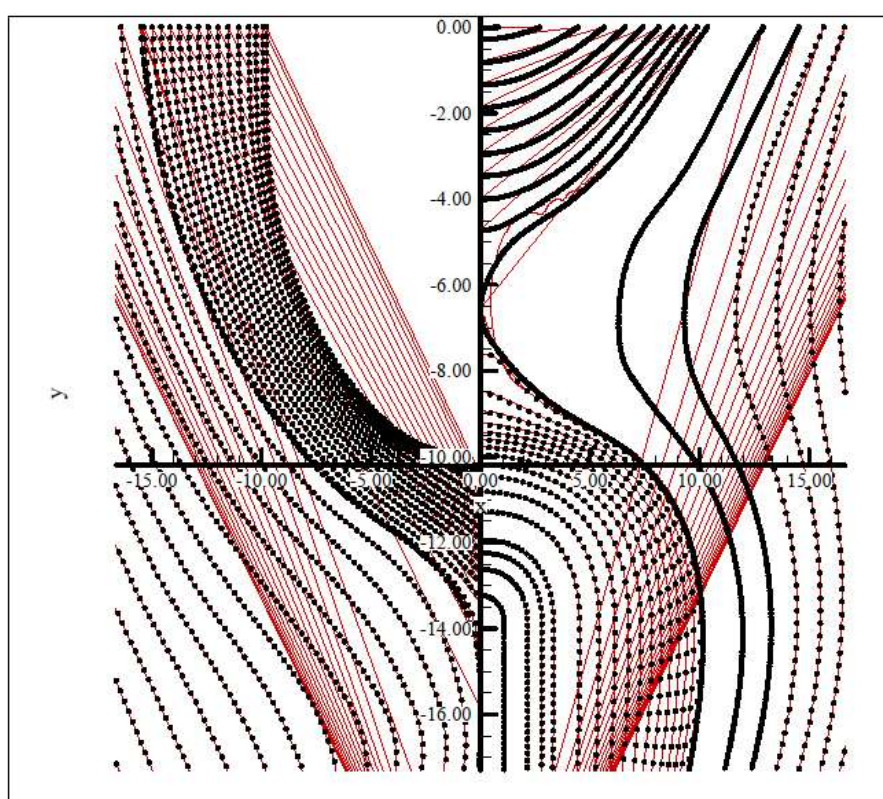


a/a, NP,	Z=,	XMAX=,	YMAX=,	XMIN=,	YMIN=
1, 61,	265.5380,	0.0000,	-15.8631,	0.0000,	-21.7467
2, 61,	265.7580,	0.0000,	-17.1355,	0.0000,	-21.5191
3, 61,	266.1970,	0.0000,	-17.9353,	0.0000,	-21.0444
4, 61,	266.6370,	0.0000,	-18.3458,	0.0000,	-20.6502
5, 61,	267.0760,	0.0000,	-18.5817,	0.0000,	-20.3786
6, 61,	267.2960,	0.0000,	-18.6442,	0.0000,	-20.2867
7, 61,	267.5150,	0.0000,	-18.6882,	0.0000,	-20.2182
8, 61,	267.7340,	0.0000,	-18.7096,	0.0000,	-20.1872
9, 1,	269.2130,	0.0000,	-19.4484,	0.0000,	-19.4484

Πίνακας 4.2

Περιοχή	Σημεία ανά περιοχή	Αριθμός συντελεστών ανά περιοχή
1	61	50
2	81	50
3-πρωραία	241	990
3-πρυμναία	121	100
4	81	50
5	61	50

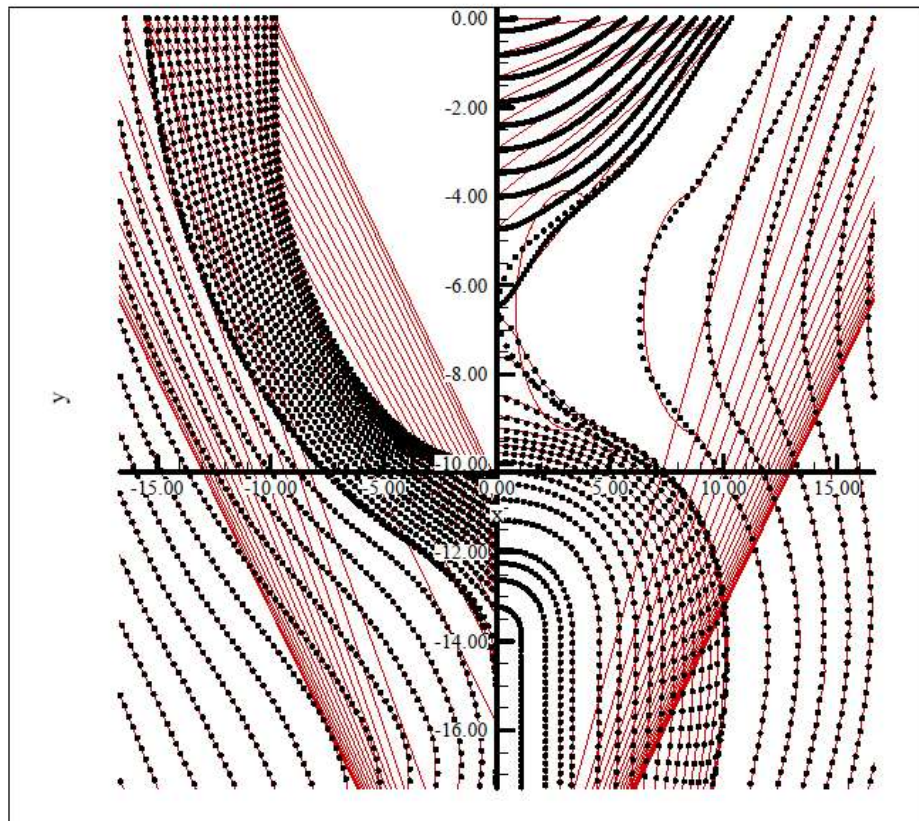
Σχήμα 4.11-Αποτελέσματα αναλυτικής αναπαράστασης σύμμορφου μετασχηματισμού



Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι ο σύμμορφος μετασχηματισμός καταφέρνει να περιγράψει αναλυτικά τους νομείς. Ο κώδικας αποτυγχάνει μερικώς μόνο στο πρωραίο νομέα της περιοχής 3 όπου δημιουργείται μια ‘μικρή’ απόκλιση όπως φαίνεται στο σχήμα. Αυτή η μικρή απόκλιση με βάση τις υποδείξεις των επιβλεπόντων καθηγητών δεν θα επηρεάσει τα αποτελέσματα καθώς βρίσκεται στην περιοχή των εξάλων με βάση το μέγιστο βύθισμα .

Το κάτωθι σχήμα προκύπτει από προηγούμενο 'τρέξιμο' και φαίνεται η αποτυχία του σύμμορφου να περιγράψει αναλυτικά τη γάστρα. Έχουμε χρησιμοποιήσει μικρό αριθμό συντελεστών (200) στην περιοχή 3 για αυτό βλέπουμε και τις μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ της αναλυτικής αναπαράστασης και των σημείων της γάστρας.

Σχήμα 4.12-Αποτελέσματα αναλυτικής αναπαράστασης σύμμορφου μετασχηματισμού

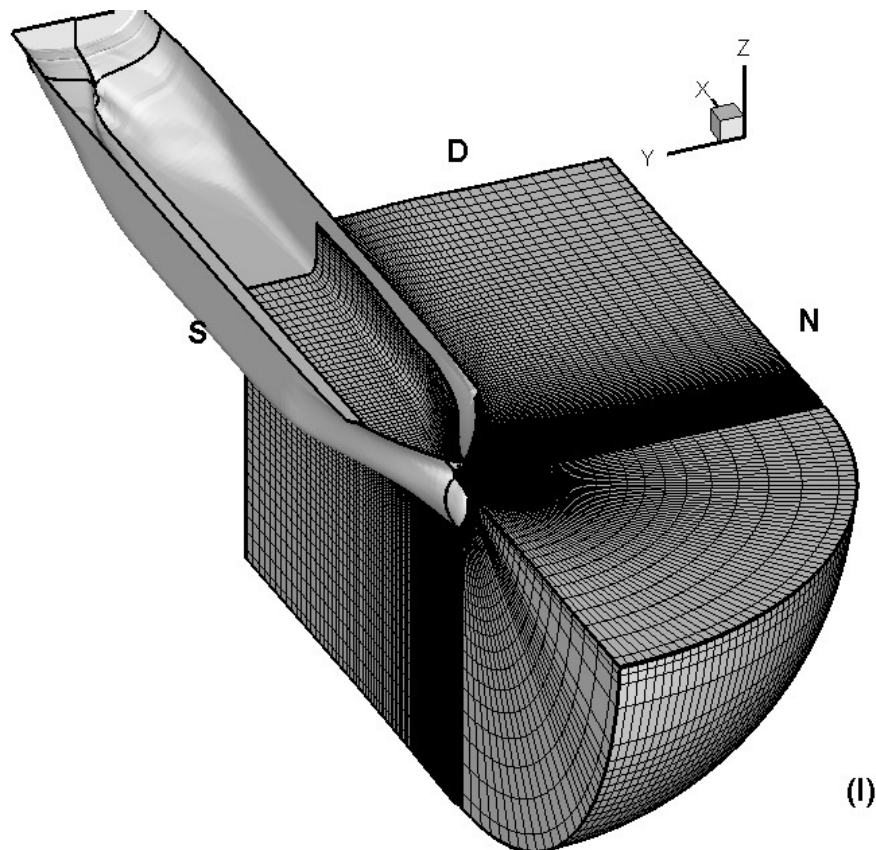


5.Χρησιμοποιούμενα πλέγματα

Στη μέθοδο που ακολουθήθηκε θεωρήσαμε ελεύθερη επιφάνεια την αδιατάραχτη επιφάνεια του νερού. Ο κώδικας που τρέξαμε λύνει τις εξισώσεις Navier-Stokes κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια με τη βοήθεια κατάλληλου πλέγματος. Η γάστρα μας έχει πρωραίο βολβό, και για αυτό επιλέγονται πλέγματα τύπου C τα οποία ορίζουν το Block I, όπως φαίνονται και στο κάτωθι σχήμα 1 (σε περίπτωση που δεν είχαμε πρωραίο βολβό το πλέγμα μας θα αποτελούταν από μια αλληλουχία H-O τομών). Επιπλέον η ύπαρξη πρύμνης καθρέφτη μας ωθεί στη χρήση 2 ακόμα block τύπου H-O όπως φαίνεται στο κάτωθι σχήμα 2. Τα πλέγματα δημιουργούνται με τη βοήθεια του σύμμορφου μετασχηματισμού όπως περιγράφηκε στην εργασία των 'Τζαμπίρας και Κοντογιάννης 2011'

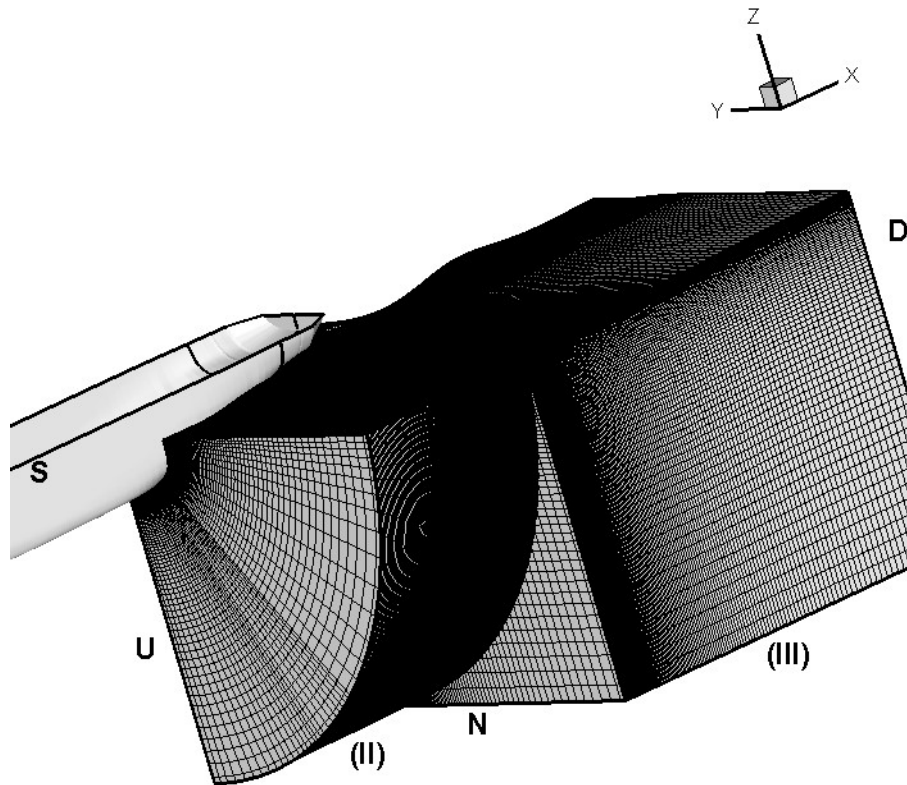
Σχήμα 5.1

Πλέγμα τύπου C γύρω από πρωραίο βολβό



Σχήμα 5.2

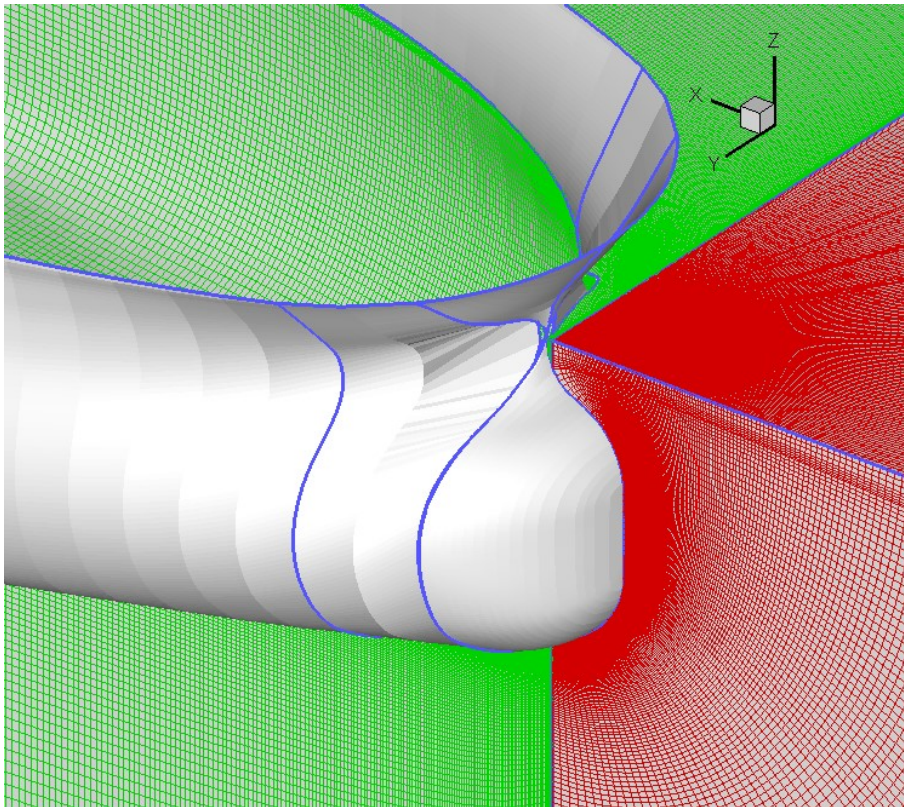
Πλέγματα τύπου H-O των blocks II και III.



Με τους ακόλουθους χαρακτήρες (N,S,D,U) ορίζονται τα σύνορα των πλεγμάτων καθενός από τα 3 blocks .Εμείς θα κάνουμε υπολογισμούς για δύο περιπτώσεις. Στη πρώτη περίπτωση το πλέγμα C που θα πάρουμε 'κόβει' το βολβό ενώ στη δεύτερη περίπτωση 'αγκαλιάζει' το βολβό. Στα ακόλουθα σχήματα παρουσιάζονται οι διαφορές στις τοπολογίες του κάθε πλέγματος . Ιδιαίτερα στο σχήμα 5 φαίνεται ότι η περίπτωση 1 δίνει πολύ απότομες κλίσεις στις γραμμές του πλέγματος του block 2 κάτι το οποίο στη περιοχή αυτή θα μας δώσει αποτελέσματα τα οποία αποκλίνουν από τα πραγματικά.

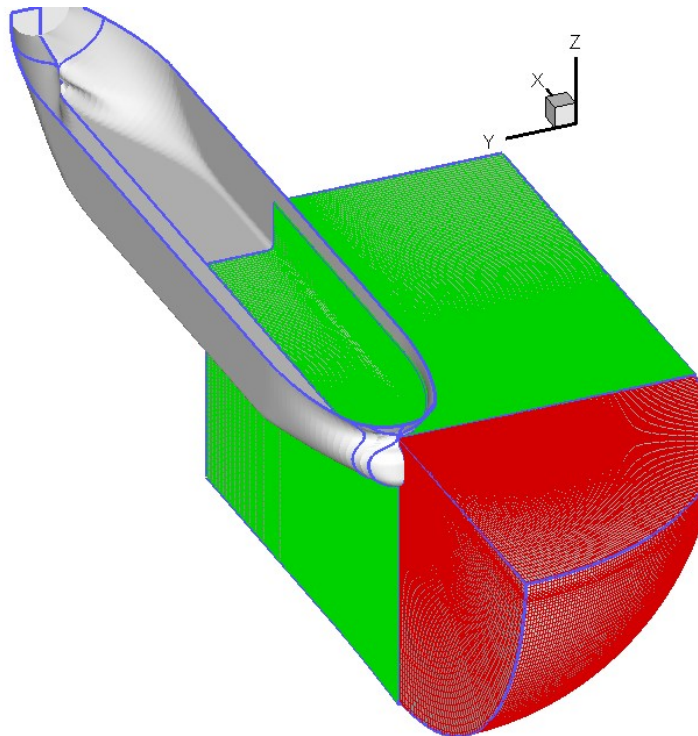
Σχήμα 5.3

Πλέγμα Τύπου C 'κόβει' το βολό-περίπτωση 1



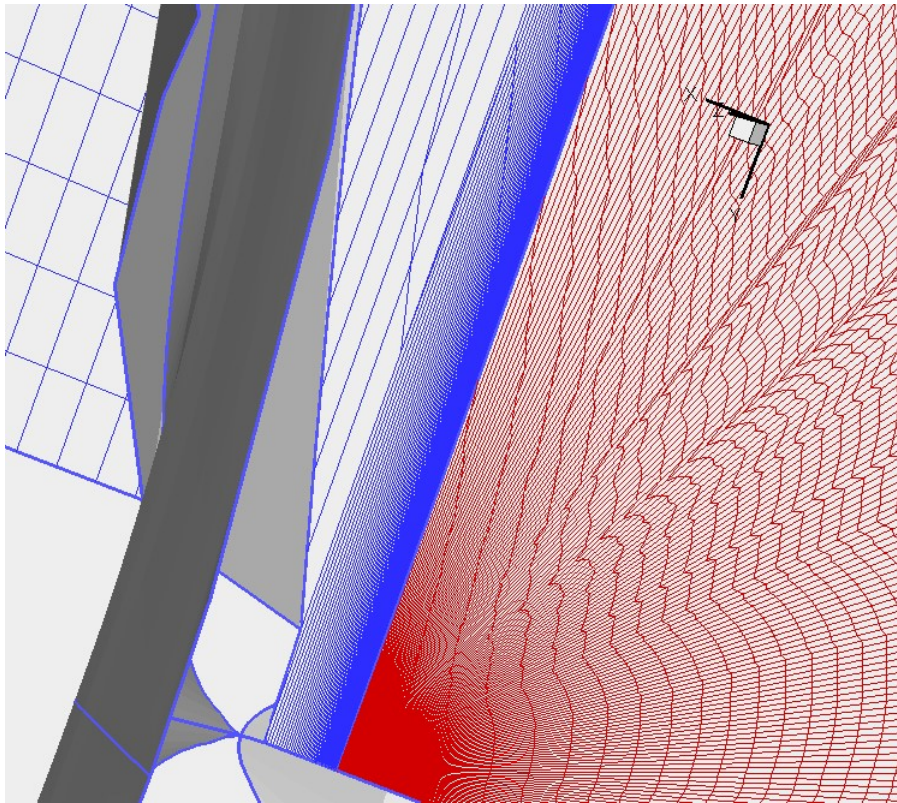
Σχήμα 5.4

Τα πλέγματα των blocks I και II - περίπτωση 1



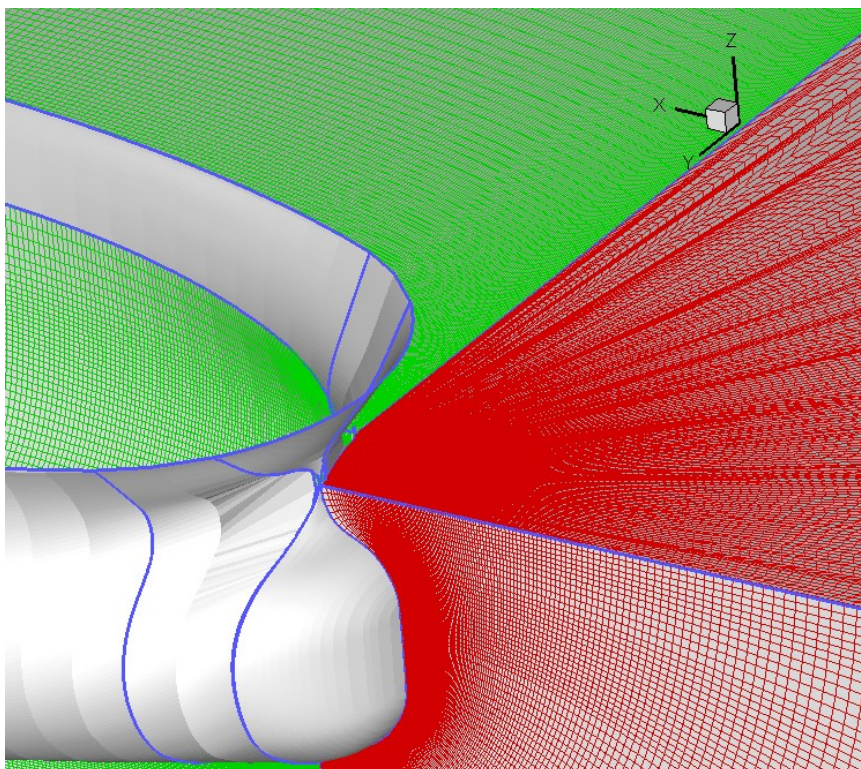
Σχήμα 5.5

Κάτοψη της τομής των 2 περιοχών (blocks I και II) -περίπτωση 1



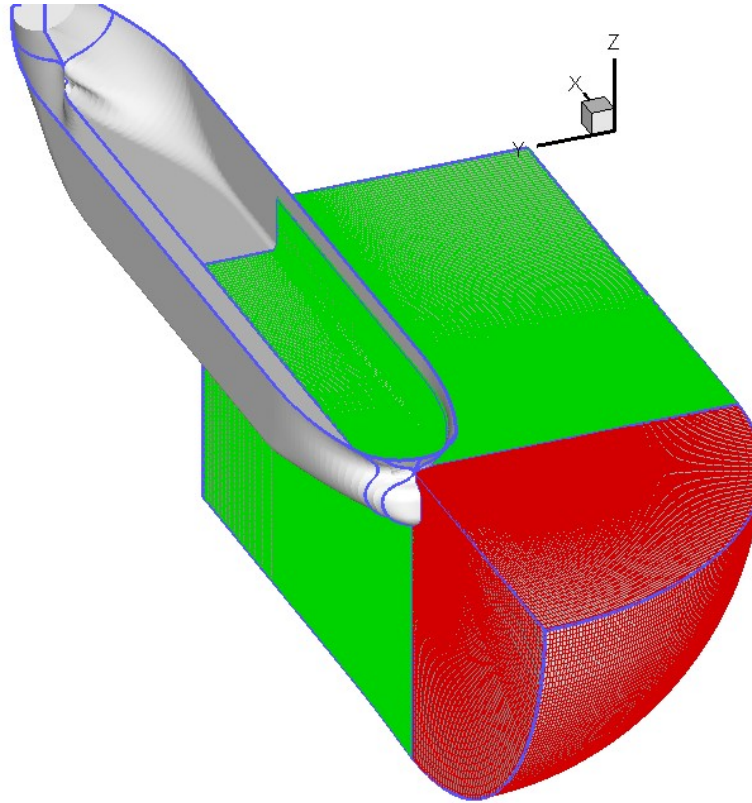
Σχήμα 5.6

Πλέγμα Τύπου C 'αγκαλιάζει' το βολβό -περίπτωση 2



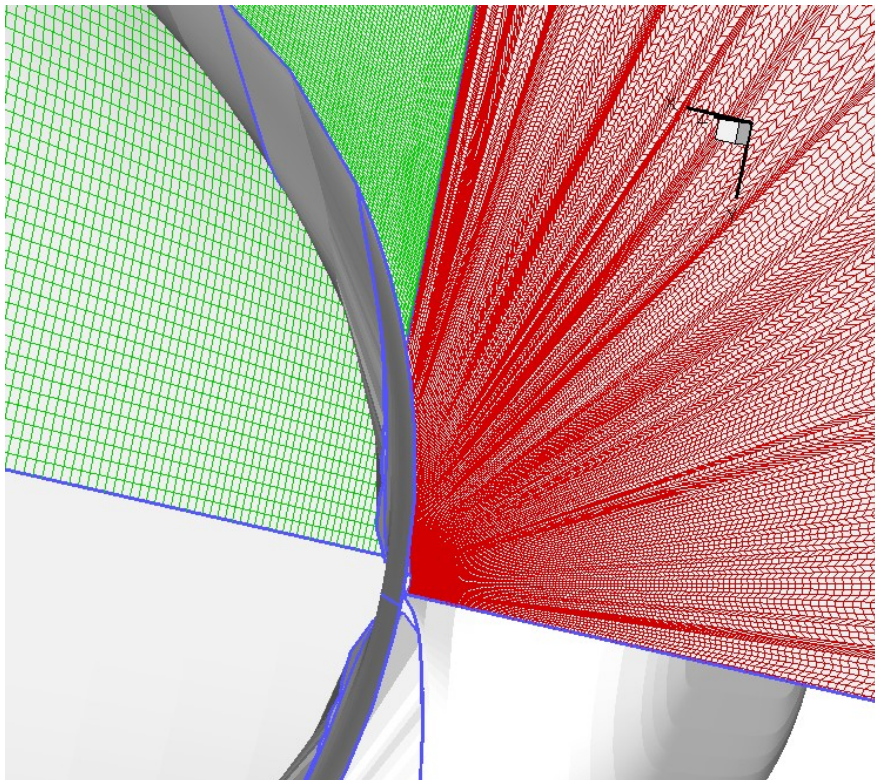
Σχήμα 5.7

Τα πλέγματα των blocks I και II - περίπτωση 2



Σχήμα 5.8

Κάτοψη της τομής των 2 περιοχών (blocks I και II) -περίπτωση 2



6) Αποτελέσματα

6.1 Αντίσταση ρυμούλκησης

Η μέθοδος που περιγράφηκε εφαρμόζεται για το Bulk Carrier Sophie, 164000t DWT τα χαρακτηριστικά του οποίου έχουν ήδη παρουσιαστεί στον πίνακα 1. Όλοι οι υπολογισμοί αφορούν τη ταχύτητα υπηρεσίας 15 knots. Οι υπολογισμοί όπως παρουσιάζονται και ακολούθως αφορούν και τα δύο πλέγματα. Παρουσιάζεται ακόμα ως ένα μέτρο της επίδρασης του πλέγματος και η ποσοστιαία αύξηση του εκάστοτε μεγέθους σε σχέση με το μέγεθος του πλέγματος 1. Ο αριθμός Fr σε αυτή τη ταχύτητα υπολογίζεται ως 0.14711. Επιπλέον ο αριθμός των κόμβων που χρησιμοποιήθηκαν στις 2 περιπτώσεις είναι 8.355.030 και 9.422.730 αντίστοιχα. Σε σχέση με τους υπολογισμούς για την αντίσταση ρυμούλκησης παίρνουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα Αντίστασης

	Resistance				100 x (Gr1-Gr2)/Gr1	
	Grid 1		Grid 2			
X force	1643700	Nt	1641500	Nt	0.13	%
x press	701030	Nt	708280	Nt	-1.03	%
x fricti	942680	Nt	933220	Nt	1.00	%
Total no of nodes	8355030		9422730		-12.78	%
X force	1643700	Nt	1641500	Nt	0.13	%
Vdisp	183740	m3	183760	m3	-0.01	%
displ-weight	188340000	kp	188360000	kp	-0.01	%
wet srf	19869.58	m2	19867.438	m2	0.01	%
resistance	167550	kp	167330	kp	0.13	%
resistance	1643700	Nt	1641500	Nt	0.13	%
EHP	12673	KW	12656	KW	0.13	%
CT	0.0027154		0.002712		0.13	%
CF	0.0015573		0.0015418		1.00	%
CP	0.0011581		0.0011702		-1.04	%
CW	0		0			
CF-ITTC	0.0014554		0.0014554		0.00	%
CF-ATTC	0.0014562		0.0014562		0.00	%
k-ITTC	0.86573		0.86342		0.27	%
k-ATTC	0.86478		0.86246		0.27	%
1-wn	0.5588		0.54005		3.36	%

Αξιόλογη μεταβολή παρουσιάζει μόνο το nominal wake friction (w_n) το οποίο με το πλέγμα 2 παρουσιάζει αύξηση 3.36 %.

Σε σχέση με τις αντιστάσεις παρατηρούμε ότι δεν έχουμε μεγάλες μεταβολές καθώς η χρήση του πλέγματος 2 αυξάνει μόλις κατά 0.13% την συνολική αντίσταση σε σχέση με τη χρήση του πλέγματος 1. Αυτό συμβαίνει γιατί έχουμε μια αύξηση του συντελεστή τριβής κατά 1% η οποία συνοδεύεται από μείωση του συντελεστή πίεσης κατά -1.04%. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται η επίδραση των συντελεστών CP και CF σε σχέση με τον CT για κάθε πλέγμα καθώς και τα μέτρα της αύξησης και μείωσης από την περίπτωση 1 στη 2.

Πίνακας 6.2

Επίδραση συντελεστών τριβής και πίεσης

	Grid 1		Grid 2
CF/CT	0.574		0.569
CP/CT	0.426		0.431
$CF_1 - CF_2$	1.55E-05		
$CP_1 - CP_2$	-1.21E-05		
$\Delta(CT)$	3.40E-06		

Στον κάτωθι πίνακα παρουσιάζεται συνοπτικά τα αποτελέσματα για την αντίσταση ρυμούλκησης συναρτήσει της ταχύτητας υπηρεσίας. Η αντίσταση δίνεται από τις σειρές μεθόδων Hollenbach, Lap –Keller και formdata ενώ οι παρακάτω υπολογισμοί προέκυψαν από τη προσωπική μου έρευνα στα πλαίσια του 9^{ου} ερωτήματος του θέματος μελέτης πλοίου.

Πίνακας 6.3

		ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΝΑ ΜΕΘΟΔΟ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ								
		Hollenbach			Lap - Keller			formdata		
Ταχύτητα Πλοίου		Rtotal	EHP		Rtotal	EHP		Rtotal	EHP	
m/s	kn	Kp	HP	KW	Kp	HP	KW	Kp	HP	KW
6.585	12.8	92772	0	0	134474	11807	8804	90447	7941	5922
6.842	13.3	100478	9166	6835	144964	13225	9862	98247	8963	6684
7.202	14	112375	10791	8047	160181	15382	11471	110796	10640	7934
7.614	14.8	127794	12973	9674	178515	18122	13514	128508	13046	9728
7.71	15	131815	13559	10111	182995	18821	14035	133354	13719	10230
7.871	15.3	138557	14541	10844	190507	19993	14909	141480	14848	11072
8.231	16	155275	17041	12708	207828	22809	17009	164052	18004	13426
8.643	16.8	177035	20401	15213	228589	26342	19643	199381	22976	17133

Πίνακας 6.5

Αντίσταση ρυμούλκησης για την υπηρεσιακή ταχύτητα

		Hollenbach		Lap - Keller		formdata	
Ταχύτητα Πλοίου		Rtotal		Rtotal		Rtotal	
m/s	kn	Kp	Nt	Kp	Nt	Kp	Nt
7.71	15	131815	1293101	182995	1795176	133354	1308199

		grid 1		grid2	
Ταχύτητα Πλοίου		Rtotal		Rtotal	
m/s	kn	Kp	Nt	Kp	Nt
7.71	15.00	167550	1643700	167330	1641500

Με βάση τη σύγκριση των παραπάνω θα μπορούσαμε να βγάλουμε ένα πρώτο συμπέρασμα σε σχέση με τη χρήση των συστηματικών σειρών για την εύρεση αντίστασης. Παρατηρούμε ότι η μέθοδος Lap-Keller μας δίνει τιμή για την αντίσταση ρυμούλκησης ίση με 1795176 Nt και είναι μόλις 9.4% μεγαλύτερη από τη τιμή που μας δίνει το grid 2, οπότε με δεδομένο ότι δεν έχουμε λάβει υπόψη μας στους υπολογισμούς το συντελεστή αντίστασης C_w , βγάζουμε το συμπέρασμα ότι μας δίνει ακριβή αποτελέσματα για τη περίπτωση μας. Στον ακόλουθο πίνακα φαίνεται η απόλυτη τιμή της αντίστασης που μας

δίνει η κάθε μέθοδος καθώς και η ποσοστιαία διαφορά της από αυτή που παίρνουμε από τους υπολογισμούς μας με το grid 2.

Πίνακας 6.5

Ποσοστιαία διαφορά της αντίστασης που δίνουν οι συστηματικές σειρές και το πλέγμα 2

		Hollenbach		Lap - Keller		formdata	
Ταχύτητα Πλοίου							
m/s	kn	Nt	%	Nt	%	Nt	%
7.71	15.00	1293101	-21.2244	1795176	9.361929	1308199	-20.3047

Συμπέρασμα: για πλοία με εκτόπισμα 160.000-200.000t με $C_b=0.85$ που κινούνται σε μικρούς αριθμούς $Fr(Fr=0.15)$ ενδεχομένως η μέθοδος Lap-Keller να δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα.

6.2 Αυτοπρόωση

Από τους υπολογισμούς για την αυτοπρόωση θα πάρουμε τον ακόλουθο πίνακα

Πίνακας 6.6

Self propulsion					100 x (Gr1-Gr2)/Gr1	
	Grid 1		Grid 2			
X force	1922000	Nt	1889000	Nt	1.72	%
1-w	0.6332		0.6290		0.66	%
1-t	0.8564		0.8557		0.08	%
Kt	0.2075		0.2073		0.11	%
Kq	0.0276		0.0276		0.09	%
RPM	89.125		88.408		0.80	%
j	0.4108		0.4114		-0.14	%
PE	0.4918		0.4924		-0.12	%
p/D	0.79996		0.7999		0.01	%
AE/A0	0.6		0.6		0.00	%
Z	4		4		0.00	%
DPROP	8	m	8	m	0.00	%
EHP	12695.45	KW	12467.20	KW	1.80	%
DHP	19082.45	KW	18608.82	KW	2.48	%
THRUST	1922000	Nt	1889000	Nt	1.72	%
TORQUE	2044500	Ntm	2009900	Ntm	1.69	%
Ov.prop.coef.	0.66517		0.66986		-0.71	%
CT	0.0031751		0.0031209		1.71	%
CF	0.0015602		0.001546		0.91	%
CP	0.0016149		0.0015748		2.48	%
CG	0		0			

Παρατηρούμε ότι το πλέγμα 1 μας δίνει αντίσταση 1.72 % μεγαλύτερη από αυτή του πλέγματος 1. Η διαφορά αυτή είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτή της περίπτωσης της αντίστασης ρυμούλκησης και κυρίαρχο ρόλο παίζει η διαφορά στο συντελεστή πίεσης ο οποίος για το πλέγμα 1 είναι κατά 2.48% μεγαλύτερος.

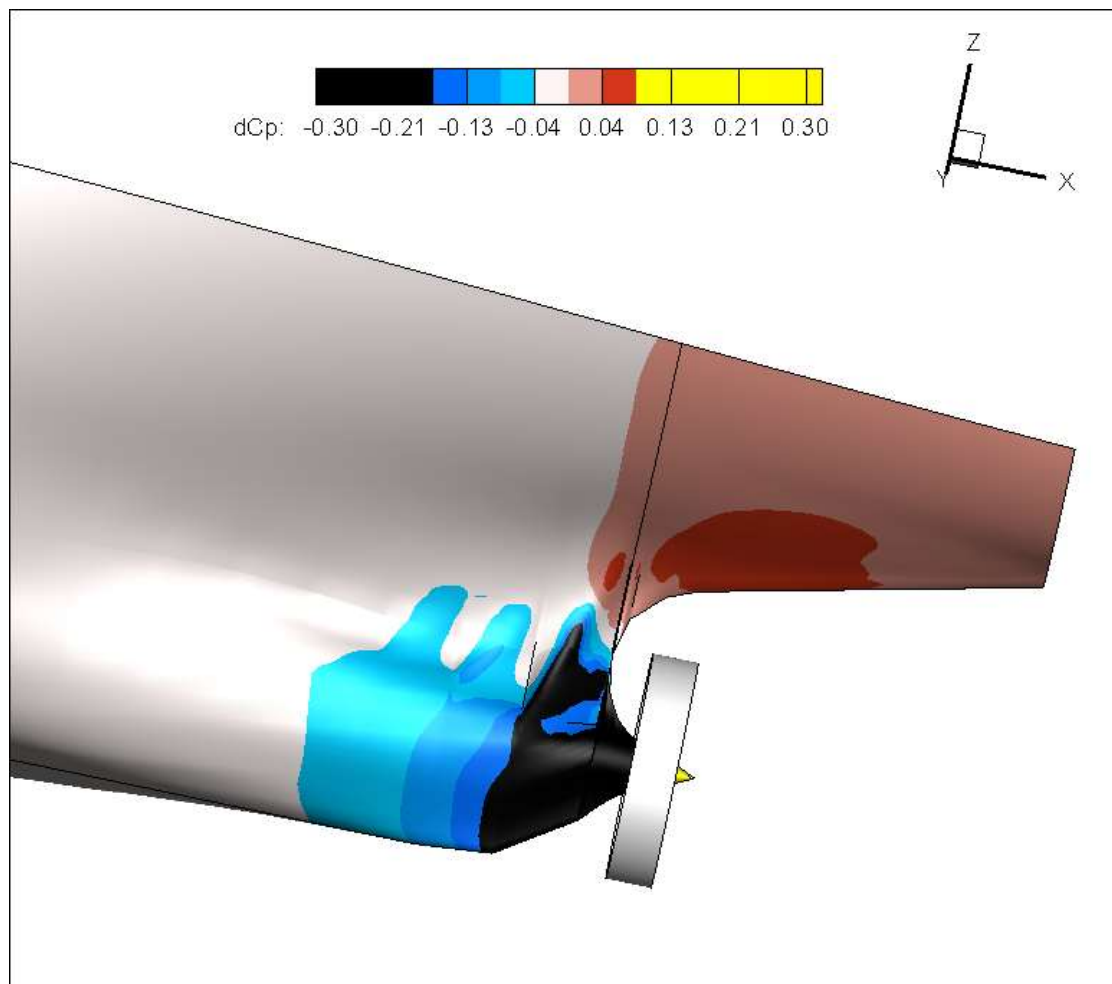
Άλλα μεγέθη που επηρεάζονται και από την αντίσταση και οδηγούν σε μια διαφορά στις τιμές που παίρνουμε για τα δύο πλέγματα είναι η αναγκαία ισχύ που θα μας δώσει ο κινητήρας (DHP), η ώση (THRUST) και η ροπή (TORQUE).

Τέλος ο συνολικός συντελεστής απόδοσης για το πλέγμα 2 λαμβάνεται κατά 0.71% μικρότερος του πλέγματος 1 .

Ακολουθούν 2 εικόνες που προκύπτουν από την επίλυση του πεδίου ροής και αφορούν την μεταβολή της πίεσης πάνω στην επιφάνεια της γάστρας και τις ταχύτητες του νερού στον ομόρρου του πλοίου

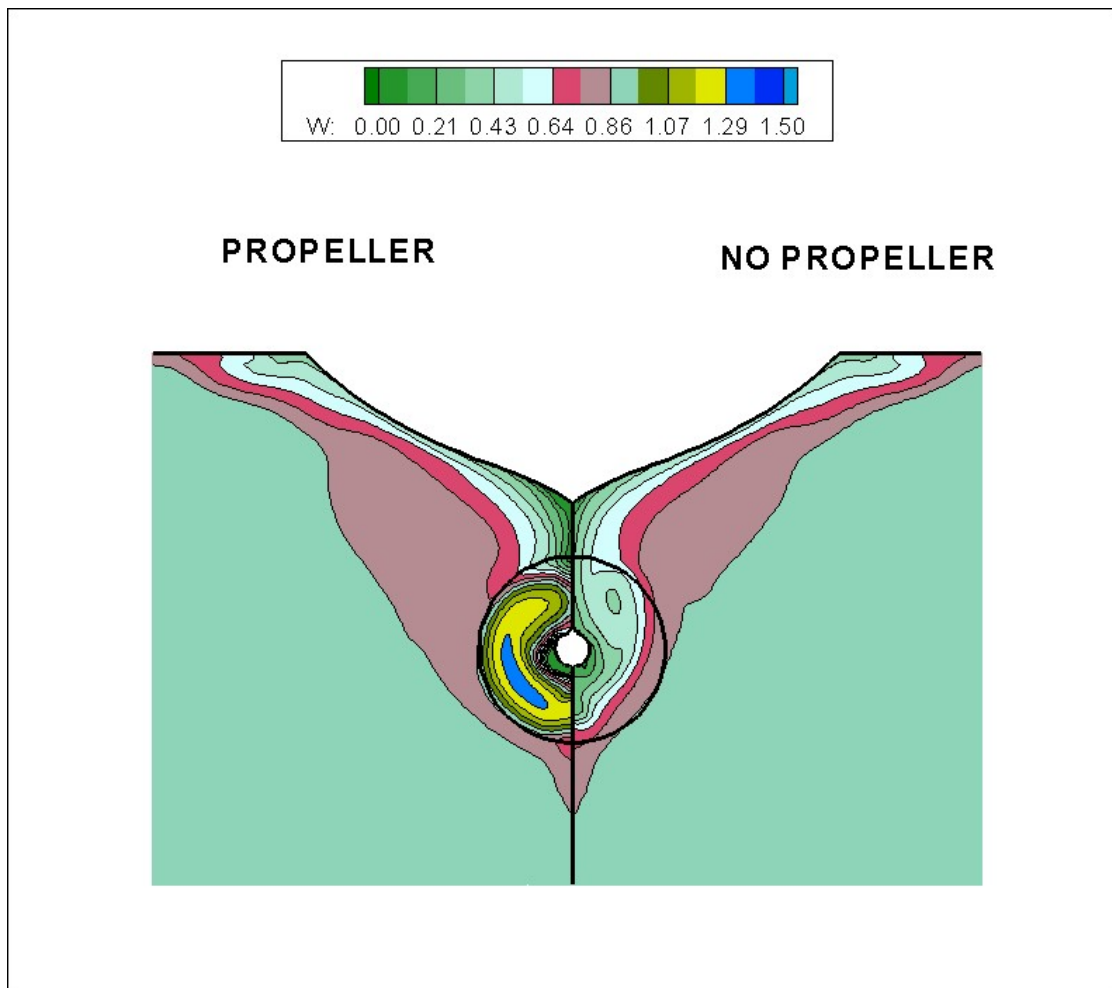
Εικόνα 6.1

Μεταβολή της πίεσης πάνω στη γάστρα



Εικόνα 6.2-

Χαρακτηριστικές ταχύτητες κατά τον διαμήκη άξονα στον ομορρο του πλοίου



7)Βιβλιογραφία

- 1) Πολίτης Γ.Κ. : 'Αντίσταση Πρόωση πλοίου' Σημειώσεις μαθήματος, Αθήνα 2008
- 2)Τζαγγαρης.: 'Μηχανική των Ρευστών' , εκδόσεις Συμεών,Αθήνα 1995
- 3)Tzabiras,Psaras: Numerical Simulation of self-propulsion tests of a product-carrier at various conditions
- 4)Tzabiras,Kontogiannis: An integrated method for predicting the hydrodynamic resistance of low-cb ships,2009