



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

Διπλωματική Εργασία στην :

Μελέτη Ευστάθειας Πλωτών Εξέδρων



Όνομα :
Επίθετο :
Όνομα Πατρός :
Αριθμός Μητρώου :
Αρμόδιος καθηγητής :
Ημερομηνία :

Βασίλειος
Παπάς
Νικόλαος
08106010
Γ.Δ. Τζαμπίρας
Φεβρουάριος 2015

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον καθηγητή μου κ. Γ. Τζαμπίρα για την εμπιστοσύνη που επέδειξε, αναθέτοντάς μου την εκπόνηση του παρόντος θέματος καθώς επίσης και για την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της μελέτης. Παράλληλα κλείνοντας με την παρουσίαση της διπλωματικής αυτής, την πανεπιστημιακή μου πορεία, ευχαριστώ την οικογένεια μου για την ηθική και οικονομική ενίσχυση που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.

Πρόλογος

Η ευστάθεια πλωτών εξεδρών και γενικότερα πλωτών κατασκευών ως σύνολο αλλά και ως μεμονωμένη μονάδα, κάτω από την επίδραση ενός συστήματος φορτίσεων αποτελεί θέμα στο οποίο επικεντρώνεται μεγάλο ενδιαφέρον.

Η παρούσα μελέτη βασίζεται στον υπολογισμό των υδροστατικών στοιχείων δίνοντας την δυνατότητα στον μελετητή να λάβει πολύτιμες πληροφορίες που αφορούν την υδροστατική συμπεριφορά στην εκάστοτε κατάσταση φόρτισης, για την οποιαδήποτε πλωτή κατασκευή.

Όσον αφορά τον υπολογισμό των υδροστατικών χαρακτηριστικών, σε περιπτώσεις απλών προβλημάτων αρκεί η εφαρμογή των μεθοδολογιών που ο ναυπηγός μελετητής γνωρίζει από την υδροστατική. Στην περίπτωση όμως ενός πιο σύνθετου προβλήματος, ο μεγάλος αριθμός των μεταβλητών και η πολυπλοκότητα των αριθμητικών εξισώσεων καθιστούν τον παραδοσιακό τρόπο επίλυσης δύσκολο. Ο περιορισμός αυτός σε συνδυασμό με την επιθυμία για μέγιστη δυνατή ακρίβεια των αποτελεσμάτων και ταχεία επίλυση του προβλήματος μας οδήγησε στο να αναπτύξουμε κατάλληλο πρόγραμμα το οποίο με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή θα μας παρέχει αξιόπιστα και άμεσα αποτελέσματα.

Τον Σεπτέμβριο του 2000 εκπονήθηκε από τον προπτυχιακό τότε φοιτητή, Μάνο Αναστάσιο διπλωματική εργασία στην οποία αναπτύχθηκε κώδικας σε γλώσσα προγραμματισμού *FORTRAN 90/95* μέσω του οποίου αντιμετωπίζονται καταστάσεις ευστάθειας πλωτών κατασκευών συνδεδεμένων μεταξύ τους, συνδεδεμένων με σταθερά σημεία πρόσδεσης σε λιμενοβραχίονες και συνδεδεμένων με αγκυρώσεις. Μέσω αυτού λοιπόν υπολογίζονται όλα τα υδροστατικά χαρακτηριστικά κάθε εξέδρας που συμμετέχει στο σύστημα, η εγκάρσια και διαμήκη κλίση κάθε εξέδρας, καθώς και οι δυνάμεις και τα βυθίσματα σε κάθε άρθρωση του πλωτού συστήματος. Το πρόγραμμα λειτουργεί με την χρήση ενός αρχείου εισόδου δεδομένων μέσω του οποίου εισάγονται τα αριθμητικά δεδομένα (γεωμετρία εξεδρών, ασκούμενες φορτίσεις κτλ.) και με το πέρας της επεξεργασίας μέσω του προγράμματος πραγματοποιείται αυτόματα η εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε ψηφιακό αρχείο κειμένου.

Ο σκοπός της παρούσης διπλωματικής είναι:

- i. Η βελτιστοποίηση των υπολογιστικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται στο πρόγραμμα ώστε ο χρήστης να λαμβάνει ακριβέστερα αριθμητικά αποτελέσματα. Η βελτιστοποίηση της υπολογιστικής διαδικασίας, αφορά τα δύο ακόλουθα σκέλη:
 - Το πρώτο σκέλος έχει να κάνει με την απόσταση του σημείου της άρθρωσης από την επιφάνεια του νερού. Η αρχική θεώρηση είναι ότι η κατακόρυφη μετατόπιση κάθε σώματος ως προς την άρθρωση ταυτίζεται με αυτή των υπόλοιπων σωμάτων που συνδέονται σε αυτήν. Ο λόγος που έγινε αυτή η θεώρηση απλοποιεί την μοντελοποίηση του προβλήματος όμως μας κοστίζει στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Η

ορθή αντιμετώπιση του ζητήματος αυτού είναι ότι το σημείο της άρθρωσης απέχει σταθερή απόσταση από την ελεύθερη επιφάνεια οπότε βασιζόμενοι σε αυτό το δεδομένο και με κατάλληλη γεωμετρική ανάλυση ανασχηματίζουμε τον κώδικα στο σημείο αυτό ώστε να επιτύχουμε την ζητούμενη βελτίωση.

- Το δεύτερο σκέλος της βελτιστοποίησης αφορά την αντιμετώπιση προβλημάτων στα οποία οι εξέδρες παρουσιάζουν επιφάνειες τυχαίας διατομής. Με το υπάρχον πρόγραμμα υπάρχει η δυνατότητα για αντιμετώπιση προβλημάτων με γάστρα-ες τυχαίας διατομής. Για την απλούστευση όμως του προγράμματος και παράλληλα την διευκόλυνση των υπολογισμών δεν λαμβάνεται υπόψιν η επίδραση του γινομένου αδράνειας και άρα η στροφή που λαμβάνει το σώμα τυχαίας διατομής κατά την εφαρμογή δύναμης με σημείο εφαρμογής διαφορετικό του κέντρου επιφάνειας.
- ii. Επιπλέον έχουν ενταχθεί δύο νέα εργαλεία αυξάνοντας τις υπολογιστικές δυνατότητες του προγράμματος. Το πρώτο είναι η δυνατότητα αντιμετώπισης προβλημάτων ευστάθειας μετά από βλάβη. Έτσι, ο χρήστης έχει πλέον την δυνατότητα να υπολογίσει τα υδροστατικά χαρακτηριστικά σωμάτων στα οποία υπάρχει ένα ή περισσότερα διαμερίσματα με κατάκλυση. Το δεύτερο εργαλείο που έχει πλέον στην διάθεσή του ο χειριστής του προγράμματος είναι ότι μέσω του αρχείου εισόδου μπορεί πλέον να επιλέξει ένα ή περισσότερα επιθυμητά σημεία εντός των γεωμετρικών ορίων της γάστρας, στα οποία το πρόγραμμα θα υπολογίσει το βύθισμα και θα το τυπώσει στο αρχείο εξόδου.

Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή	1
2.	Γεωμετρικές ιδιότητες επίπεδων σχημάτων	4
3.	Το πρόβλημα ευστάθειας πλωτών εξεδρών	7
3.1.	Ευστάθεια σώματος που επιπλέει	7
3.2.	Δυνάμεις και ροπές σε σώμα που επιπλέει για μικρές μετατοπίσεις	7
3.3.	Προσθαφαίρεση βαρών στη θεωρία των μικρών μεταβολών	20
3.4.	Απόσταση σημείου από την ελεύθερη επιφάνεια	26
3.5.	Ευστάθεια μετά από βλάβη	28
4.	Η μοντελοποίηση της ευστάθειας πλωτών εξεδρών	37
4.1.	Η μοντελοποίηση του προβλήματος	37
4.2.	Το πρόβλημα δυο εξεδρών με δυο αρθρώσεις	44
4.3.	Το πρόβλημα της σταθερής άρθρωσης	48
4.4.	Επίλυση του γραμμικού συστήματος	53
5.	Ανάλυση του προγράμματος	59
5.1.	Ανάλυση και διάγραμμα ροής του προγράμματος	59
5.1.1.	Δεδομένα εισόδου	60
5.1.2.	Κύριο μέρος του αλγορίθμου	70
6.	Εισαγωγή δεδομένων	73
6.1.	Γενικά	73
6.2.	Κύριες μεταβλητές και σταθερές του προγράμματος	81
6.3.	Χαρακτηριστικά σωμάτων	85
6.4.	Χαρακτηριστικά γαστρών	87
6.5.	Χαρακτηριστικά αρθρώσεων	92
6.6.	Χαρακτηριστικά δυνάμεων	96
6.7.	Χαρακτηριστικά διαμερισμάτων υπό κατάκλυση	99
6.8.	Χαρακτηριστικά σημείων όπου επιθυμούμε να γίνει υπολογισμός του βυθίσματος	104
6.9.	Απλό Σώμα	107
7.	Εξαγωγή αποτελεσμάτων	110
7.1.	Δυνάμεις ανά άρθρωση σε κάθε σώμα	111
7.2.	Εγκάρσια και διαμήκη κλίση κάθε σώματος	113
7.3.	Βυθίσματα σε κάθε άρθρωση ανά σώμα	114

7.4.	Βυθίσματα σε προκαθορισμένα σημεία ενός σώματος.....	115
7.5.	Χαρακτηριστικά των διαμερισμάτων με κατάκλυση.....	117
7.6.	Υδροστατικά χαρακτηριστικά των σωμάτων.....	118
7.7.	Εξαγωγή γεωμετρικών χαρακτηριστικών των σωμάτων και των γαστρών	119
8.	Παραδείγματα και σύγκριση αποτελεσμάτων	123
8.1.	Απλές περιπτώσεις ευστάθειας σώματος	125
8.1.1.	Περίπτωση πλωτής εξέδρας με αγκύρωση	125
8.1.2.	Περίπτωση τεσσάρων εξεδρών με μία άρθρωση.....	133
8.1.3.	Περίπτωση δύο πλωτών εξεδρών συνδεδεμένων με δύο αρθρώσεις	143
8.1.4.	Περίπτωση δύο πλωτών εξεδρών με δύο αρθρώσεις εκ των οποίων η μία σταθερή	152
8.1.5.	Περίπτωση μιας πλωτής εξέδρας με επιπλέον βάρος και μία σταθερή άρθρωση 160	
8.1.6.	Περίπτωση δύο πλωτών εξεδρών με πολυγωνική έκκεντρη γάστρα	169
8.1.7.	Περίπτωση προσαραγμένης εξέδρας (με δύο σημεία αγκύρωσης).....	178
8.2.	Περιπτώσεις ευστάθειας σωμάτων με κατάκλυση.....	186
8.2.1.	Περίπτωση πλωτής εξέδρας με δύο κατακλυζόμενες γάστρες.....	186
8.2.2.	Περίπτωση πλωτής εξέδρας με κατάκλυση πολυγωνικής γάστρας.....	195
8.2.3.	Περίπτωση πλωτής εξέδρας πολυγωνικού σχήματος με κατάκλυση δύο διαμερισμάτων	203
8.2.4.	Περίπτωση εξέδρας με οκτώ γάστρες εκ των οποίων η μία κατακλύζεται.	212
8.2.5.	Περίπτωση πλωτής εξέδρας πολυγωνικού σχήματος με κατάκλυση δύο διαμερισμάτων	221
8.2.6.	Περίπτωση πλωτής εξέδρας με δύο κατακλυζόμενα διαμερίσματα από τα οποία το ανώτερο σημείο ενός είναι κάτω από το αρχικό βύθισμα.	230
8.2.7.	Περίπτωση πλωτής εξέδρας με 3 γάστρες εκ των οποίων στις δύο υπάρχει διαμέρισμα με κατάκλυση.....	239
8.3.	Πολύπλοκες περιπτώσεις ευστάθειας σωμάτων	249
8.3.1.	Περίπτωση συστήματος τριών εξεδρών με δύο αρθρώσεις	249
8.3.2.	Περίπτωση συστήματος τεσσάρων εξεδρών με τέσσερις αρθρώσεις	255
8.3.3.	Περίπτωση συστήματος πέντε εξεδρών με οκτώ αρθρώσεις	263
9.	Παράρτημα.....	272
10.	Βιβλιογραφία	282

1. Εισαγωγή

Στο σχηματισμό των εξισώσεων του συστήματος έγιναν παραδοχές οι οποίες διευκόλυναν την επίλυση των εξισώσεων χωρίς να επηρεάσουν καθόλου την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Η κύρια παραδοχή πάνω στην οποία στηρίζεται η μοντελοποίηση του προβλήματος είναι ότι λαμβάνουμε υπόψη τη θεωρία μικρών μεταβολών.

Σύμφωνα με την παραπάνω θεωρία ισχύουν τρεις κύριες παραδοχές.

- Για μικρές γωνίες εγκάρσιας κλίσης και διαγωγής ισχύει η αρχή της επαλληλίας, δηλαδή τα τρία χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη (βύθισμα T , γωνία εγκάρσιας κλίσης φ και γωνία διαμήκου κλίσης θ) μπορούν να υπολογιστούν ως ανεξάρτητα μεταξύ τους. Αξίζει να σημειώσουμε εδώ ότι για να καταλήξουμε στο προηγούμενο συμπέρασμα έχουμε βασιστεί σε σύστημα αναφοράς κυρίων αξόνων αδράνειας το κέντρο του οποίου προβάλλεται στο κέντρο πλευστότητας της προβολής της ισάλου πλευσεως στο επίπεδο Oxy του σωματοπαγούς συστήματος. Επομένως οι αποστάσεις των ροπών αναφέρονται πάντα ως προς αυτό το κέντρο.
- Η προσθαφαίρεση φορτίου που έχει το κέντρο βάρους του πάνω στην κατακόρυφη που διέρχεται από το κέντρο πλευστότητας προκαλεί μόνο παράλληλη βύθιση (ή ανύψωση) του σώματος.
- Σύμφωνα με τη θεωρία μικρών μεταβολών θεωρούμε ότι δεν μεταβάλλεται η επιφάνεια ισάλου πλευσεως και τα χαρακτηριστικά της, δηλαδή η προβολή της ισάλου πλευσεως είναι σταθερή.

Το πρόβλημα που καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε στην παρούσα μελέτη είναι ο υπολογισμός του μέσου βυθίσματος, της γωνίας εγκάρσιας και διαμήκου κλίσης κάθε εξέδρας, καθώς και των υπολοίπων γεωμετρικών και υδροστατικών χαρακτηριστικών τους. Γνωρίζοντας τις τιμές των γωνιών και του μέσου βυθίσματος είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε το βύθισμα σε κάθε θέση της εξέδρας και κατ' επέκταση να γνωρίζουμε εάν το σύστημα ικανοποιεί τις απαιτήσεις σχεδιασμού και τις απαιτήσεις ασφαλείας.

Η μοντελοποίηση του προβλήματος στηρίζεται στην ισότητα βυθισμάτων στις αρθρώσεις. Η άρθρωση είναι το γεωμετρικό στοιχείο το οποίο παραμένει σταθερό μεταξύ δύο σωμάτων. Η ισορροπία στις αρθρώσεις αναλύεται στην συνέχεια στην ισορροπία των δυνάμεων:

$$\sum P = 0$$

όπου το άθροισμα όλων των δυνάμεων στην άρθρωση είναι μηδέν, και στην συνθήκη κατά την οποία η απόσταση της άρθρωσης που συνδέει δύο η περισσότερα σώματα απέχει σταθερή απόσταση από την ελεύθερη επιφάνεια:

$$x = \frac{D_{\alpha} - T_{\alpha}}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_{\alpha} + \tan^2 \theta_{\alpha}}} = \frac{D_{\beta} - T_{\beta}}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_{\beta} + \tan^2 \theta_{\beta}}}$$

με:

- x : απόσταση της άρθρωσης που είναι προσδεμένα τα σώματα από την ελεύθερη επιφάνεια,
- D_α, D_β : το κοίλο της του σώματος α και β αντίστοιχα,
- T_α, T_β : το βύθισμα του σώματος α και β αντίστοιχα στο σημείο της άρθρωσης,
- $\varphi_\alpha, \varphi_\beta$: η εγκάρσια κλίση του σώματος α και β αντίστοιχα, και τέλος :
- $\theta_\alpha, \theta_\beta$: η διαμήκης κλίση του σώματος α και β αντίστοιχα.

Στις εξισώσεις βυθισμάτων τις κινηματικής συνθήκης συμπεριλαμβάνονται επιπλέον δυο συνθήκες, η ισορροπία κατακόρυφων δυνάμεων που περιλαμβάνεται στον όρο της παράλληλης βύθισης και η ισορροπία ροπών που περιλαμβάνεται στους όρους εγκάρσιας και διαμήκους κλίσης.

Λόγω ότι το σύστημα εξισώσεων που προκύπτει είναι ένα μη γραμμικό σύστημα, απαιτείται μια επαναληπτική ακολουθία για να επιλυθεί. Εφόσον οι εξέδρες ξεκινούν από την κατάσταση ισορροπίας, στην αρχή της επίλυσης του συστήματος θεωρούμε μηδενικές δυνάμεις στις αρθρώσεις και μηδενικές τιμές γωνιών διαμήκους και εγκάρσιας κλίσης. Στην επόμενη επανάληψη οι τιμές των γωνιών και των δυνάμεων λαμβάνουν νέες τιμές οι οποίες με την σειρά τους στην συνέχεια θα οριστούν ως αρχικές. Έτσι λοιπόν, στο τέλος της κάθε επανάληψης, από την επίλυση του συστήματος προκύπτουν νέες τιμές για τις δυνάμεις στις αρθρώσεις, τις οποίες τιμές τις χρησιμοποιούμε στους όρους των γωνιών, αλλάζοντας τους συντελεστές των όρων τις εξίσωσης, και στην συνέχεια επιλύοντας ξανά το σύστημα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται εσωτερικά μέχρις ότου το σύστημα να συγκλίνει.

Εκτός από τις συνηθισμένες συνδέσεις εξεδρών, καλούμαστε να επιλύουμε και περιπτώσεις όπου υπάρχει άρθρωση σταθερού βυθίσματος, όπως για παράδειγμα η σύνδεση της εξέδρας με το μόλο ή η αγκύρωση της στο πυθμένα της θάλασσας. Στην περίπτωση αυτή λόγω της ύπαρξης σταθερού σημείου προστίθεται άλλη μια δύναμη, εκείνη που προκύπτει από την αντίδραση της σταθερής άρθρωσης. Κατά συνέπεια λόγω του επιπλέον αγνώστου πρέπει να προσθέσουμε στο σύστημα επίλυσης άλλη μια εξίσωση. Η επιπλέον εξίσωση προέρχεται από την ικανοποίηση της οριακής συνθήκης σταθερού βυθίσματος, δηλαδή το σώμα στο σημείο της άρθρωσης έχει σταθερό, αμετάβλητο βύθισμα, το οποίο είναι γνωστό και καθορισμένο. Η σταθερή δύναμη που ασκείται στην άρθρωση εισέρχεται και στην συνθήκη ισορροπίας των δυνάμεων όπου ισχύει:

$$\sum P = 0$$

Συνεπώς, προσθέτοντας την εξίσωση για σταθερό βύθισμα στο σύστημα των εξισώσεων μπορούμε να επιλύσουμε και τις περιπτώσεις όπου έχουμε αγκύρωση της κατασκευής ή πρόσδεση της στο μόλο.

Το παρόν πρόγραμμα έχει υλοποιηθεί σε γλώσσα προγραμματισμού *FORTRAN 90/95*, η οποία μας δίνει την δυνατότητα χρήσης νέων εντολών που διευκολύνουν τόσο τον προγραμματισμό όσο και την μείωση του χρόνου επεξεργασίας του προγράμματος. Αρχικά το πρόγραμμα λαμβάνει τις κύριες μεταβλητές που καθορίζουν τον αριθμό

σωμάτων, των αρθρώσεων και των γαστρών του συστήματος που καλούμαστε να επιλύσουμε. Έτσι λοιπόν, στο πρώτο κομμάτι διαβάζει τα κύρια χαρακτηριστικά της κάθε εξέδρας, δηλαδή την αρχή συντεταγμένων του σωματοπαγούς συστήματος, το μήκος, το πλάτος και το κοίλο του καταστρώματος. Ακολούθως αρχίζει η ανάγνωση των γαστρών και των χαρακτηριστικών τους. Μπορούμε να υπολογίσουμε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά για τρεις τύπους γαστρών οι διατομές των οποίων μπορεί να είναι, τυχαίας γεωμετρίας, ορθογωνική ή κυκλική. Στην συνέχεια διαβάζει τα χαρακτηριστικά των αρθρώσεων και στην συνέχεια λαμβάνει τα χαρακτηριστικά των δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα. Αμέσως μετά, εάν υπάρχουν στο σύστημα διαμερίσματα με κατάκλυση τότε διαβάζονται τα χαρακτηριστικά αυτών με τον ίδιο τρόπο που διαβάζονται τα χαρακτηριστικά των γαστρών αφού και εδώ το σύστημα δύναται να αντιμετωπίσει τριών τύπων διαμερίσματα, με κυκλική, ορθογωνική και τυχαία διατομή. Τέλος, διαβάζονται οι συντεταγμένες των συγκεκριμένων σημείων όπου ο χρήστης ζητά να υπολογισθεί το βύθισμα.

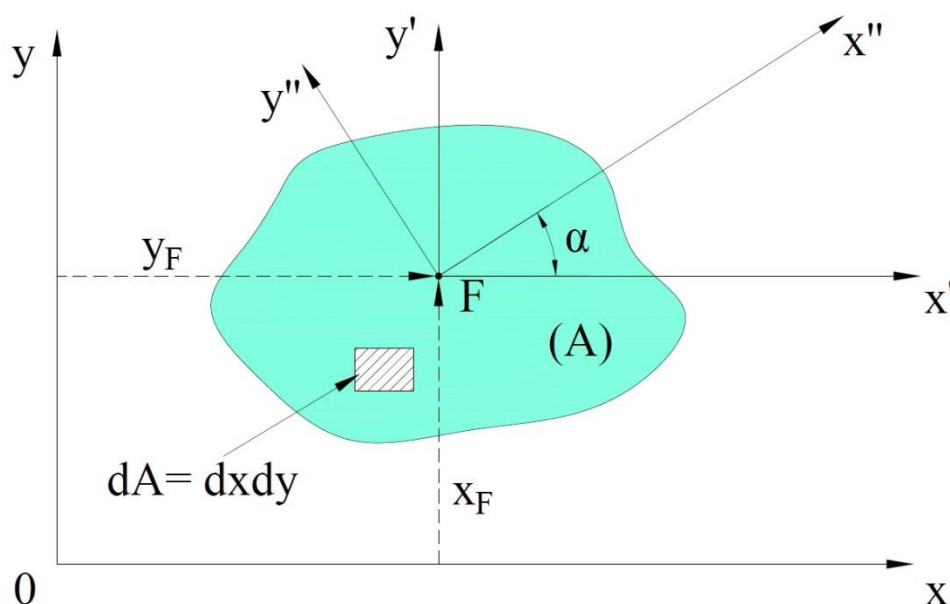
Καθότι το πρόγραμμα ακολουθεί επαναληπτική διαδικασία, κάποιοι υπολογισμοί χρειάζεται να επαναληφθούν τόσες φορές όσες και οι επαναλήψεις που απαιτούνται για την σύγκλιση του προγράμματος. Για αυτό το λόγο και την καλύτερη οργάνωση του, το πρόγραμμα αποτελείται από το κύριο μέρος και 11 υπορουτίνες (βλ. σχήμα 4.1.2.1) τις οποίες τις καλεί όποτε χρειάζεται να κάνει υπολογισμούς που συμμετέχουν στην επαναληπτική διαδικασία. Οπότε μέσα στο κύριο μέρος του αλγόριθμού καλούμε τις υπορουτίνες και όταν το πρόγραμμα συγκλίνει σε μια επιθυμητή ακρίβεια γράφουμε τα εξαγόμενα του προγράμματος, δίνοντας σε κάθε άρθρωση τις δυνάμεις που ασκούνται και τα βυθίσματα των σωμάτων που συνδέονται με την συγκεκριμένη άρθρωση καθώς και τα γεωμετρικά και υδροστατικά χαρακτηριστικά των σωμάτων.

Στην συνέχεια για την καλύτερη κατανόηση και επιβεβαίωση της ορθότητας του προγράμματος, παρουσιάζουμε μέσω παραδειγμάτων, συγκριτικά αποτελέσματα υπολογισμών με τους κλασσικούς απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής και με τα αποτελέσματα του προγράμματος που στηρίζεται στην θεωρία μικρών μεταβολών. Αρχικά παρουσιάζουμε μερικά παραδείγματα απλών περιπτώσεων ευστάθειας σώματος, ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα ευστάθειας σωμάτων μετά από βλάβη και τέλος μερικές περιπτώσεις πολύπλοκων συνδυασμών σωμάτων που θα ήταν αδύνατη η επίλυση τους χωρίς το παρόντα κώδικα. Τα παραδείγματα που παρουσιάζονται έχουν την μορφή ασκήσεων, δηλαδή πραγματικών περιπτώσεων που θέλουμε να βρούμε την θέση ισορροπίας του σώματος. Μικρές αποκλίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων στις ασκήσεις με την λύση χωρίς χρήση υπολογιστή και τα αποτελέσματα του προγράμματος, στις δυνάμεις που θα ασκούνται στις αρθρώσεις και κατά συνέπεια στις τιμές των γωνιών εγκάρσιας και διαμήκους κλίσης, οφείλονται κατά κύριο λόγο στην χρήση των απλοποιημένων τύπων επίλυσης της υδροστατικής κατά την επίλυση χωρίς υπολογιστή. Γεγονός όμως που δεν μπορούμε να το αποφύγουμε αφού η χρήση των αναλυτικών εξισώσεων ανεβάζει το βαθμό της εξίσωσης και καθιστά την επίλυση της χωρίς τη βοήθεια από ηλεκτρονικό υπολογιστή αδύνατη. Όμως σε όποιες ασκήσεις κάναμε χρήση των αναλυτικών εξισώσεων επαληθεύτηκαν με απόλυτη ακρίβεια τα αποτελέσματα του προγράμματος.

2. Γεωμετρικές ιδιότητες επίπεδων σχημάτων

Η γεωμετρία των επίπεδων επιφανειών στην υδροστατική αφορά τις ιδιότητες της ισάλου που εξ' ορισμού είναι ένα επίπεδο σχήμα. Οι γεωμετρικές ιδιότητες σχετίζονται άμεσα με τον υπολογισμό των μικρών μεταβολών που υφίσταται ένα σώμα που επιπλέει, όπως εκτενώς αναλύεται στην επόμενη παράγραφο. Τα γεωμετρικά στοιχεία που απαιτούνται είναι το εμβαδόν A_w της ισάλου τομής, οι πρώτες ροπές αδράνειας M_{xx} , M_{yy} το γεωμετρικό κέντρο (x_F, y_F) και οι δεύτερες ροπές αδράνειας I_x , I_y , I_{xy} της επιφάνειας ως προς αυτό.

Για την ανάλυση των προηγούμενων όρων θα χρησιμοποιήσουμε ένα τυχαίο κλειστό σχήμα (A) , το οποίο ορίζεται ως προς ένα σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων (x, y) , σχήμα



Σχήμα 2.1

Επιφάνεια (A) τυχαίας διατομής σε σύστημα συντεταγμένων (x, y)

Οι αναλυτικές σχέσεις που περιγράφουν τα γεωμετρικά μεγέθη που μας ενδιαφέρουν είναι:

- Εμβαδόν επιφάνειας

$$A_w = \iint_A dx dy \quad (2.1)$$

- Πρώτες ροπές ως προς τους άξονες (x,y)

$$\left. \begin{aligned} M_{xx} &= \iint_A y dx dy \\ M_{yy} &= \iint_A x dx dy \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

- Δεύτερες ροπές αδράνειας

$$\left. \begin{aligned} I_{xx} &= \iint_A y^2 dx dy \\ I_{yy} &= \iint_A x^2 dx dy \\ I_{xy} &= \iint_A xy dx dy \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

- Το κέντρο F της επιφάνειας (A) έχει συντεταγμένες εξ ορισμού:

$$\left. \begin{aligned} x_F &= \frac{M_{yy}}{A_w} \\ y_F &= \frac{M_{xx}}{A_w} \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

Οι ροπές αδράνειας που ορίζονται μέσω των σχέσεων (2.2) αναφέρονται στο τυχαίο σύστημα συντεταγμένων (x, y). Προφανώς οι I_{xx} και I_{yy} είναι θετικές ενώ το γινόμενο αδράνειας I_{xy} μπορεί να είναι είτε θετικό είτε αρνητικό.

Θεώρημα των παραλλήλων αξόνων

Αν υποθέσουμε μία παράλληλη μεταφορά του συστήματος συντεταγμένων (x, y) σε ένα νέο σύστημα (x', y'), έτσι ώστε τα ισχύει:

$$x' = x - x_A \quad \text{και} \quad y' = y - y_A$$

Τότε μέσω των σχέσεων (2.2) προκύπτει ότι:

$$\left. \begin{aligned} I_{x'x'} &= \iint_A (y - y_A)^2 dx dy = I_{xx} + y_A^2 A_w - 2y_A M_{xx} \\ I_{y'y'} &= \iint_A (x - x_A)^2 dx dy = I_{yy} + x_A^2 A_w - 2x_A M_{yy} \\ I_{x'y'} &= \iint_A (x - x_A)(y - y_A) dx dy = I_{xy} + x_A y_A A_w - x_A M_{yy} - y_A M_{xx} \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

Οι σχέσεις (2.5) εκφράζουν το γενικευμένο θεώρημα των παραλλήλων αξόνων. Στην ειδική περίπτωση όπου η αρχή των αξόνων του (x', y') συμπίπτει με το κέντρο επιφάνειας F (σχήμα 2.1), τότε με τη βοήθεια των σχέσεων (2.4) αποδεικνύεται ότι:

$$\left. \begin{aligned} I_{x'x'} &= I_{xx} - y_F^2 A_w \\ I_{y'y'} &= I_{yy} - x_F^2 A_w \\ I_{x'y'} &= I_{xy} - x_F y_F A_w \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Εάν υποθέσουμε τώρα ότι ζητούνται οι ροπές αδράνειας στο σύστημα (x'', y'') , το οποίο σχηματίζει γωνία α με το (x', y') , τότε μέσω των μετασχηματισμών:

$$\begin{aligned} x'' &= x' \cos \alpha + y' \sin \alpha \\ y'' &= y' \cos \alpha - x' \sin \alpha \end{aligned}$$

προκύπτει ότι οι αντίστοιχες δευτέρες ροπές αδράνειας στο (x'', y'') υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$\left. \begin{aligned} I_{x''x''} &= I_{x'x'} \cos^2 \alpha + I_{y'y'} \sin^2 \alpha - I_{x'y'} \sin 2\alpha \\ I_{y''y''} &= I_{x'x'} \sin^2 \alpha + I_{y'y'} \cos^2 \alpha + I_{x'y'} \sin 2\alpha \\ I_{x''y''} &= \frac{1}{2} I_{x'x'} \sin 2\alpha - \frac{1}{2} I_{y'y'} \sin 2\alpha + I_{x'y'} \cos 2\alpha \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

Η τρίτη σχέση από τις (2.7) δείχνει ότι μπορεί να υπολογιστεί μια γωνία στροφής ως προς την οποία το γινόμενο αδράνειας μηδενίζεται. Η γωνία αυτή βρίσκεται

$$\tan 2\alpha = \frac{2I_{x'y'}}{I_{y'y'} - I_{x'x'}}$$

Αποδεικνύεται εύκολα ότι οι αντίστοιχες ροπές $I_{x'x'}$ και $I_{y'y'}$ ταυτίζονται με τα μέγιστα και τα ελάχιστα των συναρτήσεων $I_{xx}(\alpha)$ και $I_{yy}(\alpha)$. Τότε οι άξονες (x'', y'') χαρακτηρίζονται ως κύριοι άξονες αδράνειας και οι αντίστοιχες ροπές κύριες ροπές αδράνειας. Όπως αποδεικνύεται στη συνέχεια, το σύστημα των κυρίων αξόνων έχει ιδιαίτερη σημασία για τη μελέτη και επίλυση των υδροστατικών προβλημάτων με τη βοήθεια των μικρών μεταβολών.

3. Το πρόβλημα ευστάθειας πλωτών εξεδρών

Θα προσπαθήσουμε να παρουσιάσουμε έναν σύγχρονο τρόπο υπολογισμού της θέσεως πλωτών εξέδρων συνδεδεμένων μεταξύ τους με «ελαστικές αρθρώσεις».

3.1. Ευστάθεια σώματος που επιπλέει

Το βασικό γενικότερο πρόβλημα στην υδροστατική ενός επιπλέοντος σώματος είναι ο προσδιορισμός της ισάλου πλευσης του κάτω από την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων και ροπών ή μετακινήσεων εσωτερικών φορτιών. Σε κάθε περίπτωση στην τελική κατάσταση ισορροπίας θα ισχύουν οι δυο θεμελιώδεις συνθήκες:

- το βάρος του σώματος θα είναι ίσο με την δύναμη άνωσης και
- το κέντρο βάρους του θα βρίσκεται στην ίδια κατακόρυφη που διέρχεται από το κέντρο άνωσης

Οι συνθήκες αυτές δεν μπορούν να εφαρμοσθούν εύκολα για τον προσδιορισμό της τελικής ισάλου πλευσης όταν μελετώνται σώματα με πολύπλοκες γεωμετρίες. Για τον λόγο αυτόν πριν από την αντιμετώπιση οποιουδήποτε προβλήματος υδροστατικής ισορροπίας γίνονται ορισμένοι προκαταρκτικοί υπολογισμοί γεωμετρικών στοιχείων της μορφής του σώματος, τα οποία απαιτούνται για τον προσδιορισμό των διαφόρων καταστάσεων πλευσης του. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα θα ασχοληθούμε με την μελέτη επιδράσεων μικρών σχετικά μεταβολών.

3.2. Δυνάμεις και ροπές σε σώμα που επιπλέει για μικρές μετατοπίσεις

Θεωρούμε ένα στερεό σώμα (Σ) που επιπλέει και ορίζουμε το σύστημα αξόνων $Oxyz$ ώστε το επίπεδο Oxy να συμπίπτει με την ίσαλο ισορροπίας (σχήμα 3.2.1). Πρέπει στην κατάσταση ισορροπίας το κέντρο βάρους του σώματος να βρίσκεται στον άξονα Oz και ο τελευταίος να περνά από το κέντρο πλευστότητας της ισάλου επιφανείας. Οι βαθμοί ελευθερίας του είναι έξι και αντιστοιχούν σ' όλες τις δυνατές μετακινήσεις του, δηλαδή:

- i. Μετατοπίσεις κατά τις διευθύνσεις Ox , Oy
- ii. Μετατοπίσεις κατά τη διεύθυνση Oz
- iii. Περιστροφές κατά γωνίες φ και θ γύρω από τους άξονες Ox και Oy αντίστοιχα
- iv. Περιστροφή κατά γωνία ω γύρω από τον άξονα Oz

Προφανώς οι μετακινήσεις των i) και iv) είναι αδιάφορες από την υδροστατική άποψη, επομένως μπορούμε να θεωρήσουμε ως γενικευμένες συντεταγμένες του συστήματος την τριάδα (z, φ, θ) που καθορίζει μονοσήμαντα τη θέση του συστήματος ως προς το αρχικό σύστημα αξόνων $Oxyz$.

Η ροπή \vec{M} μιας δύναμης $\vec{F} = (F_x, F_y, F_z)$ ως προς σταθερό σύστημα αξόνων αναφοράς $Oxyz$ ορίζεται ως:

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} = M_x \vec{i} + M_y \vec{j} + M_z \vec{k} \quad (3.2.1)$$

Όπου $\vec{r} = (r_x, r_y, r_z)$ η επιβατική ακτίνα του σημείου εφαρμογής της δύναμης από την αρχή του σωματοπαγούς συστήματος $Oxyz$ και M_x, M_y, M_z οι συνιστώσες της ροπής \vec{M} ως προς τους άξονες αναφοράς x, y, z για τις οποίες ισχύουν οι σχέσεις.

$$\left. \begin{aligned} M_x &= F_z r_y - F_y r_z \\ M_y &= F_x r_z - F_z r_x \\ M_z &= F_y r_x - F_x r_y \end{aligned} \right\} \quad (3.2.2)$$

Ορίζουμε σαν συνιστώσες ροπών ως προς τα αντίστοιχα επίπεδα αναφοράς τα μεγέθη

$$\left. \begin{aligned} K &= M_{yz} = |\vec{F}| \cdot r_x \\ M &= M_{xz} = |\vec{F}| \cdot r_y \\ N &= M_{xy} = |\vec{F}| \cdot r_z \end{aligned} \right\} \quad (3.2.3)$$

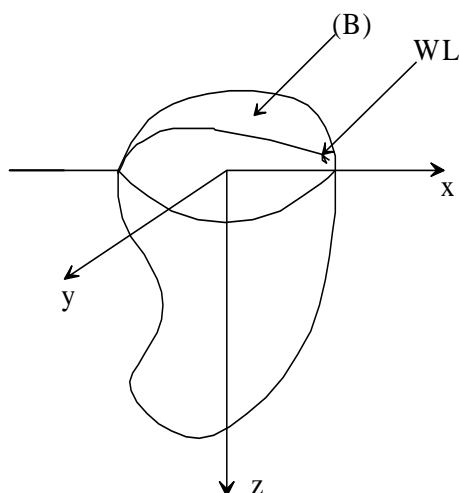
Αν υποθέσουμε πως \vec{n} είναι το μοναδιαίο διάνυσμα κατά την διεύθυνση της δύναμης \vec{F} , δηλαδή

$$\vec{F} = |\vec{F}| \cdot \vec{n}$$

τότε οι σχέσεις (3.2.2) μέσω των σχέσεων (3.2.3) μπορούν να γραφούν ως:

$$\left. \begin{aligned} M_x &= K(\vec{n} \cdot \vec{k}) - N(\vec{n} \cdot \vec{j}) \\ M_y &= N(\vec{n} \cdot \vec{i}) - M(\vec{n} \cdot \vec{k}) \\ M_z &= M(\vec{n} \cdot \vec{j}) - K(\vec{n} \cdot \vec{i}) \end{aligned} \right\} \quad (3.2.4)$$

Επομένως οι τρεις συνιστώσες της ροπής της δύναμης ορίζονται μονοσήμαντα από τις αντίστοιχες συνιστώσες K , M και N του βαθμωτού μεγέθους $|F|$ ως προς τα αντίστοιχα επίπεδα αναφοράς. Επειδή στην κατάσταση της υδροστατικής ισορροπίας εξετάζουμε την ισορροπία μόνο των κατακόρυφων δυνάμεων και επομένως, δυνάμεων που είναι παράλληλες μεταξύ τους, η εισαγωγή των μεγεθών K , M και N στους αντίστοιχους υπολογισμούς αποδεικνύεται ιδιαίτερα χρήσιμη.



Σχήμα 3.2.1

Ορισμοί και συστήματα συντεταγμένων

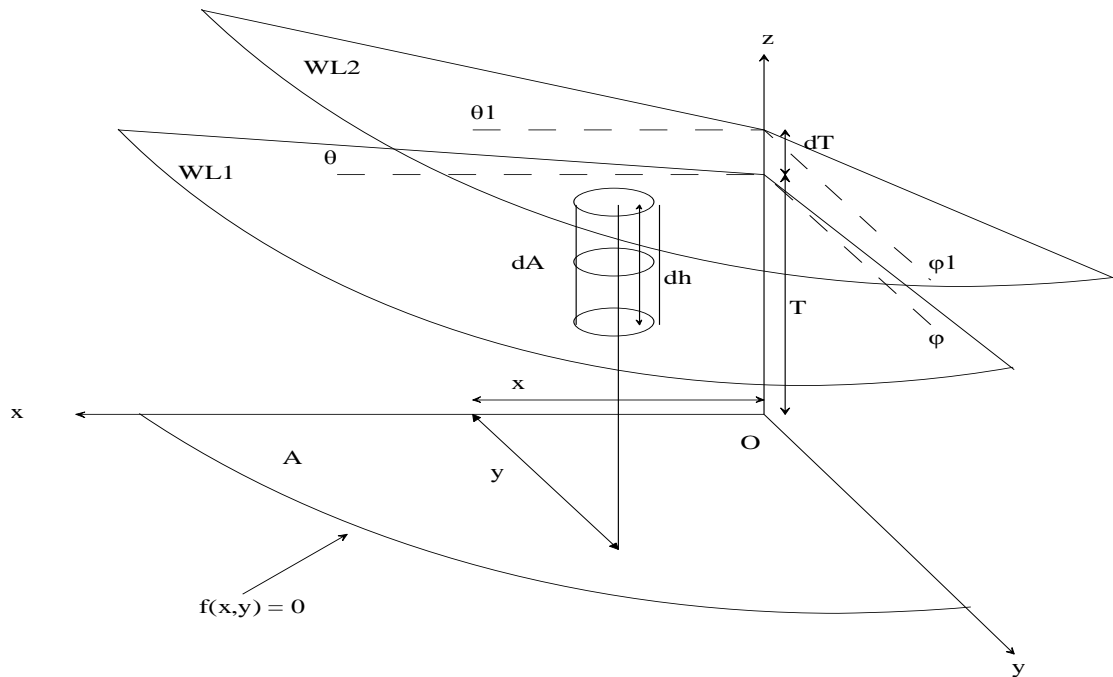
Θεωρούμε ένα στερεό σώμα που επιπλέει και το σωματοπαγές σύστημα αξόνων $Oxyz$. Το σώμα επιπλέει με αρχική ισάλο την WL_1 , που το επίπεδο της ορίζεται από τις παραμέτρους (T, φ, θ) , με την γνωστή σχέση της αναλυτικής γεωμετρίας.

$$z = T + x \tan \theta + y \tan \varphi \quad (3.2.5)$$

όπου T είναι η κατηγμένη της τομής της ισάλου WL_1 , με τον άξονα Oz , και θ, φ οι γωνίες που σχηματίζουν τα ίχνη της ισάλου στα επίπεδα (Oxz) και (Oyz) με τους άξονες Ox και Oy αντίστοιχα στο παρακάτω σχήμα. Το περίγραμμα της ισάλου θεωρείται γνωστό, όπως επίσης και η προβολή του $f(x,y)=0$ στο επίπεδο Oxy . Η θεώρηση ότι η προβολή $f(x,y)=0$ παραμένει σταθερή όταν τα μεγέθη (T, φ, θ) μεταβάλλονται αποτελεί την αναγκαία και ικανή συνθήκη για να οριστεί μια μεταβολή ως μικρή .

Είναι προφανές ότι για $x=\text{σταθερό}$ η εξίσωση (3.2.5) περιγράφει μια ευθεία που έχει σταθερή κλίση $\tan \varphi$ ως προς τον άξονα Oy . Το ίδιο συμβαίνει και σε κάθε ευθεία που ορίζεται από την σχέση $y=\text{σταθερό}$ και έχει κλίση $\tan \theta$ ως προς τον άξονα Ox . Όπως

θα δούμε στην συνέχεια για συμβατικές γάστρες οι γωνίες αυτές μπορεί να θεωρηθούν ως η γωνία εγκάρσιας κλίσης φ και η διαμήκουσ διαγωγής θ χωρίς να βλάπτεται η γενικότητα.



Σχήμα 3.2.2

Στερεό σώμα επιπλέει αρχικά στην ίσαλο WL1.

Οι μεταβολές δT , $\delta\varphi$, $\delta\theta$ των παραμέτρων της αρχικής ισάλου ορίζουν μια νέα ίσαλο την WL2.

Θεωρώντας τις τομές Ox' , Oy' , του επιπέδου της νέας ισάλου πλευσεως με τα επίπεδα αναφοράς Oxz και Oyz μπορούμε να ορίσουμε τα αντίστοιχα μοναδιαία διανύσματα \bar{i}' , \bar{j}' από τις σχέσεις :

$$\left. \begin{aligned} \bar{i}' &= \bar{i} \cos \theta + \bar{k} \sin \theta \\ \bar{j}' &= \bar{j} \cos \varphi + \bar{k} \sin \varphi \end{aligned} \right\} \quad (3.2.6)$$

οπότε ένα κάθετο στην ίσαλο επιφάνεια διάνυσμα \bar{k}' υπολογίζεται από την σχέση :

$$\bar{k}' = (\bar{i}' \times \bar{j}') = -\bar{i} \sin \theta \cos \varphi - \bar{j} \cos \theta \sin \varphi + \bar{k} \cos \theta \cos \varphi \quad (3.2.7)$$

και έχει προφανώς μέτρο

$$|\bar{k}'| = \sqrt{\sin^2 \theta \cos^2 \varphi + \cos^2 \theta} = \sqrt{\cos^2 \theta \sin^2 \varphi + \cos^2 \theta} \quad (3.2.8)$$

Εάν υποθέσουμε ότι το κέντρο άντωσης έχει συντεταγμένες (x_B, y_B, z_B) και το κέντρο βάρους της εξέδρας έχει συντεταγμένες (x_G, y_G, z_G) ως προς το αρχικό σωματοπαγές σύστημα αξόνων $Oxyz$, για να επιτευχθεί υδροστατική ισορροπία του σώματος πρέπει να ισχύουν οι συνθήκες:

$$F_B = W \quad (3.2.9)$$

και

$$(\delta x \cdot \bar{i} + \delta y \cdot \bar{j} + \delta z \cdot \bar{k}) \times \bar{k}' = 0 \quad (3.2.10)$$

Όπου F_B είναι η άνωση και W το βάρος της εξέδρας και

$$\left. \begin{aligned} \delta x &= x_G - x_B \\ \delta y &= y_G - y_B \\ \delta z &= z_G - z_B \end{aligned} \right\} \quad (3.2.11)$$

Η συνθήκη (3.2.10) συνεπάγεται ότι τα διανύσματα άνωσης και του βάρους του σώματος βρίσκονται πάνω στην ίδια κατακόρυφη .

Πρωτοτάξια θεώρηση των μικρών μεταβολών

Οι μεταβολές δT , $\delta\varphi$ και $\delta\theta$ των παραμέτρων της αρχικής ισάλου ορίζουνε μια νέα ίσαλο την $WL2$ με εξίσωση:

$$z = (T + \delta T) + x \tan(\theta + \delta\theta) + y \tan(\varphi + \delta\varphi) \quad (3.2.12)$$

Επειδή εξετάζουμε μικρές μεταβολές των παραμέτρων της αρχικής ισάλου, μπορούμε για να υπολογίσουμε τις μεταβολές της άντωσης δF_B και των ροπών της δK , δM και δN ως προς τα επίπεδα (Ozx) , (Oyz) και (Oxy) , να θεωρήσουμε ότι τα πλευρικά τοιχώματα του στερεού που ορίζεται μεταξύ των ισάλων $WL1$ και $WL2$ είναι παράλληλα προς τον άξονα Oz . Προφανώς αυτή η θεώρηση είναι ταυτόσημη με τον ορισμό των μικρών μεταβολών αφού σε πρώτη τάξη προσέγγισης συμπίπτουν οι προβολές των περιγραμμάτων των ισάλων $WL1$ και $WL2$ στο επίπεδο Oxy . Παίρνοντας τα ολικά διαφορικά των μεταβολών δF_B , δK , δM και δN μπορούμε να γράψουμε υπό μορφή πινάκων :

$$\begin{pmatrix} \delta F_B \\ \delta K \\ \delta M \\ \delta N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial F_B}{\partial T} & \frac{\partial F_B}{\partial \varphi} & \frac{\partial F_B}{\partial \theta} & 1 \\ \frac{\partial K}{\partial T} & \frac{\partial K}{\partial \varphi} & \frac{\partial K}{\partial \theta} & 1 \\ \frac{\partial M}{\partial T} & \frac{\partial M}{\partial \varphi} & \frac{\partial M}{\partial \theta} & 1 \\ \frac{\partial N}{\partial T} & \frac{\partial N}{\partial \varphi} & \frac{\partial N}{\partial \theta} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta T \\ \delta\varphi \\ \delta\theta \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3.2.13)$$

ή συνοπτικά

$$F = B \cdot M \quad (3.2.14)$$

Για τον προσδιορισμό των στοιχείων του πίνακα B ορίζουμε στο σχήμα (3.2.2) τα στοιχειώδη πρίσματα με βάση dA παράλληλη στο επίπεδο (Oxy) και ύψος δh όπου :

$$\delta h = \delta T + x [\tan(\theta + \delta\theta) - \tan \theta] + y [\tan(\varphi + \delta\varphi) + \tan \varphi] \quad (3.2.15)$$

Επειδή για μικρή γωνία $\delta\alpha$ θα ισχύει η σχέση (προσέγγιση πρώτης τάξης) :

$$\tan(\alpha + \delta\alpha) = \tan \alpha + \frac{\delta\alpha}{\cos^2 \alpha} + 0(\delta\alpha^2) \quad (3.2.16)$$

προκύπτει ότι για το ύψος δh :

$$\delta h = \delta T + x \frac{\delta\theta}{\cos^2 \theta} + y \frac{\delta\varphi}{\cos^2 \varphi} \quad (3.2.17)$$

Επίσης, και σε συνδυασμό με την σχέση στατικής ισορροπίας του στοιχειώδους κύβου

$$\bar{G}\rho dV + (-\nabla p)dV = 0 \quad \text{ή} \quad \nabla p = \rho\bar{G}$$

όπου \bar{G} είναι η εξωτερική δύναμη ανά μονάδα μάζας .

και την σχέση συνολικής δύναμης πάνω στο σώμα

$$F_B = - \iint_{S+A} p d\bar{s} = - \iiint_V \nabla p dV = -\bar{k}\rho g \iiint_V \rho dV$$

όπου A είναι η επιφάνεια της ισάλου πλευσεως. Προκύπτει τελικά ότι :

$$\left. \begin{aligned} \delta F_B &= \gamma \int_A \delta h dA = \gamma \left[\delta T \int_A dA + \frac{\delta\theta}{\cos^2 \theta} \int_A x dA + \frac{\delta\varphi}{\cos^2 \varphi} \int_A y dA \right] & \text{i)} \\ \delta K &= \gamma \int_A y \delta h dA = \gamma \left[\delta T \int_A y dA + \frac{\delta\theta}{\cos^2 \theta} \int_A xy dA + \frac{\delta\varphi}{\cos^2 \varphi} \int_A y^2 dA \right] & \text{ii)} \\ \delta M &= \gamma \int_A x \delta h dA = \gamma \left[\delta T \int_A x dA + \frac{\delta\theta}{\cos^2 \theta} \int_A x^2 dA + \frac{\delta\varphi}{\cos^2 \varphi} \int_A xy dA \right] & \text{iii)} \\ \delta N &= \gamma \int_A z \delta h dA = \gamma \left[\delta T \left(T \int_A dA + \tan \theta \int_A x dA + \tan \varphi \int_A y dA \right) \right] + & \\ &+ \frac{\delta\theta}{\cos^2 \theta} \left(T \int_A x dA + \tan \theta \int_A x^2 dA + \tan \varphi \int_A xy dA \right) + & \\ &+ \frac{\delta\varphi}{\cos^2 \varphi} \left(T \int_A y dA + \tan \theta \int_A xy dA + \tan \varphi \int_A y^2 dA \right) & \text{iv)} \end{aligned} \right\} \quad (3.2.18)$$

Τα ολοκληρώματα που εμφανίζονται στις προηγούμενες σχέσεις παριστάνουν τις γνωστές μας γεωμετρικές ιδιότητες της προβολής της αρχικής ισάλου WLI .

Πράγματι:

$$\left. \begin{aligned} \int_A dA &= A \\ \int_A x dA &= Ax_F \\ \int_A y dA &= Ay_F \\ \int_A x^2 dA &= I_{yy} \\ \int_A y^2 dA &= I_{xx} \\ \int_A xy dA &= I_{xy} \end{aligned} \right\} \quad (3.2.19)$$

Με βάση τις σχέσεις, οι προηγούμενες γράφονται:

$$\left. \begin{aligned} \delta F_B &= \gamma \left[A \delta T + \frac{Ax_F}{\cos^2 \theta} \delta \theta + \frac{Ay_F}{\cos^2 \varphi} \delta \varphi \right] & (i) \\ \delta K &= \gamma \left[Ay_F \delta T + \frac{I_{xy}}{\cos^2 \theta} \delta \theta + \frac{I_{xx}}{\cos^2 \varphi} \delta \varphi \right] & (ii) \\ \delta M &= \gamma \left[Ax_F \delta T + \frac{I_{yy}}{\cos^2 \theta} \delta \theta + \frac{I_{xy}}{\cos^2 \varphi} \delta \varphi \right] & (iii) \\ \delta N &= \gamma \left[(AT + Ax_F \tan \theta + Ay_F \tan \varphi) \delta T + \right. \\ &\quad \left. + (Ax_F T + I_{yy} \tan \theta + I_{xy} \tan \varphi) \frac{\delta \theta}{\cos^2 \theta} + \right. \\ &\quad \left. + (Ay_F T + I_{xy} \tan \theta + I_{xx} \tan \varphi) \frac{\delta \varphi}{\cos^2 \varphi} \right] & (iv) \end{aligned} \right\} \quad (3.2.20)$$

Εξισώνοντας τους αντίστοιχους συντελεστές των δT , $\delta \varphi$, $\delta \theta$ στις σχέσεις (3.2.13) και (3.2.18) ορίζουμε τους συντελεστές του πίνακα B συναρτήσει των γεωμετρικών ιδιοτήτων της προβολής της αρχικής ισάλου (T, φ, θ) :

$$\left. \begin{array}{l}
\frac{\partial F_B}{\partial T} = \gamma A \quad \frac{\partial F_B}{\partial \varphi} = \gamma \frac{M_{xx}}{\cos^2 \varphi} \quad \frac{\partial F_B}{\partial \theta} = \gamma \frac{M_{yy}}{\cos^2 \theta} \quad \text{i)} \\
\frac{\partial K}{\partial T} = \gamma M_{xx} \quad \frac{\partial K}{\partial \varphi} = \gamma \frac{I_{xx}}{\cos^2 \varphi} \quad \frac{\partial K}{\partial \theta} = \gamma \frac{I_{xy}}{\cos^2 \theta} \quad \text{ii)} \\
\frac{\partial M}{\partial T} = \gamma M_{yy} \quad \frac{\partial M}{\partial \varphi} = \gamma \frac{I_{xy}}{\cos^2 \varphi} \quad \frac{\partial M}{\partial \theta} = \gamma \frac{I_{yy}}{\cos^2 \theta} \quad \text{iii)} \\
\frac{\partial N}{\partial T} = \gamma A(T + x_F \tan \theta + y_F \tan \varphi) \\
\frac{\partial N}{\partial \varphi} = \gamma \left(T \frac{M_{xx}}{\cos^2 \varphi} + I_{xy} \frac{\tan \theta}{\cos^2 \theta} + I_{xx} \frac{\tan \varphi}{\cos^2 \varphi} \right) \\
\frac{\partial N}{\partial \theta} = \gamma \left(T \frac{M_{yy}}{\cos^2 \theta} + I_{xy} \frac{\tan \theta}{\cos^2 \theta} + I_{xy} \frac{\tan \varphi}{\cos^2 \varphi} \right) \quad \text{iv)}
\end{array} \right\} \quad (3.2.21)$$

Ο πίνακας B ορίζεται λοιπόν βάσει των γεωμετρικών ιδιοτήτων της προβολής της ισάλου πλεύσης και αν θεωρήσουμε τις γωνίες φ και θ της αρχικής ισάλου μηδενικές, τότε τα περισσότερα μεγέθη του, ισοδυναμούν με τα αντίστοιχα του γνωστού υδροστατικού διαγράμματος. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι οι σχέσεις μεταξύ της άνωσης και των ροπών της με τα χαρακτηριστικά μεγέθη της ισάλου πλεύσης είχαν αποδειχθεί για την απλή περίπτωση της μεταβολής ενός μόνο από τα χαρακτηριστικά μεγέθη (T , φ , θ) της ισάλου πλεύσης. Έτσι π.χ. η σχέση $\partial F_B / \partial T = \gamma A$ είναι η γνωστή $d\Delta / dz = T P c$. Επίσης οι $\partial K / \partial \varphi = \gamma I_{xx} / \cos^2 \varphi$ και $\partial N / \partial \varphi = \gamma I_{xx} \tan \varphi / \cos^2 \varphi$ που ισχύουν για συμμετρική ίσαλο, για την οποία $M_{xx} = I_{xy} = 0$, δίνουν αν ολοκληρωθούν $\delta K = \gamma I_{xy} \tan \varphi$ και $\delta N = \gamma I_{xx} \tan^2 \varphi / 2$, δηλαδή τις ήδη γνωστές σχέσεις της υδροστατικής που ισχύουν ακριβώς για μια συμμετρική ίσαλο στην περιοχή της οποίας τα τοιχώματα του πλοίου παραμένουνε κάθετα.

Ο πίνακας B επέχει θέση μιας γενικευμένης υδροστατικής σταθεράς που για ένα σώμα τυχαίας μορφής συνδέει τις μεταβολές του μέτρου της άνωσης και τις μετακινήσεις του σημείου εφαρμογής της με τις αντίστοιχες μεταβολές των γενικευμένων συντεταγμένων της ισάλου και αντίστροφα.

Ισόογκη μεταβολή στην πρωτοτάξια θεώρηση.

Ισόογκη μεταβολή σε ένα επιπέδον σώμα μπορεί να προέλθει είτε από τη μετακίνηση κάποιου φορτίου μέσα στο σώμα, είτε από την επιβολή ροπής ζεύγους δυνάμεων. Το βάρος του σώματος παραμένει σταθερό και επομένως και η άνωση παραμένει σταθερή ή ισοδύναμα θα ισχύει:

$$\delta F_B = \frac{\partial F_B}{\partial T} \delta T + \frac{\partial F_B}{\partial \varphi} \delta \varphi + \frac{\partial F_B}{\partial \theta} \delta \theta = 0 \quad (3.2.22)$$

Από την σχέση (3.2.20(i)) συνεπάγεται ότι:

$$\delta T = -\frac{x_F}{\cos^2 \theta} \delta \theta - \frac{y_F}{\cos^2 \varphi} \delta \varphi \quad (3.2.23)$$

Αν η αρχή του σωματοπαγούς συστήματος αξόνων συμπίπτει με το κέντρο πλευστότητας της αρχικής ισάλου πλευσης, θα είναι προφανώς $\delta T=0$ και οι σχέσεις (3.2.21(ii),(iii),(iv)) απλοποιούνται στις:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial K}{\partial \varphi} &= \gamma \frac{I_{xx}^F}{\cos^2 \varphi} & \frac{\partial K}{\partial \theta} &= \gamma \frac{I_{xy}^F}{\cos^2 \theta} \\ \frac{\partial M}{\partial \varphi} &= \gamma \frac{I_{xy}^F}{\cos^2 \varphi} & \frac{\partial M}{\partial \theta} &= \gamma \frac{I_{yy}^F}{\cos^2 \theta} \\ \frac{\partial N}{\partial \varphi} &= \gamma \left(I_{xy}^F \frac{\tan \theta}{\cos^2 \theta} + I_{xx}^F \frac{\tan \varphi}{\cos^2 \varphi} \right) & \frac{\partial N}{\partial \theta} &= \gamma \left(I_{yy}^F \frac{\tan \theta}{\cos^2 \theta} + I_{xy}^F \frac{\tan \varphi}{\cos^2 \varphi} \right) \end{aligned} \right\} (3.2.24)$$

όπου το σύμβολο F δηλώνει αναφορά ως προς το κέντρο πλευστότητας, επίσης ισχύει:

$$\left. \begin{aligned} I_{xx}^F &= I_{xx} - Ay_F^2 \\ I_{yy}^F &= I_{yy} - Ax_F^2 \\ I_{xy}^F &= I_{xy} - Ay_F x_F \end{aligned} \right\} (3.2.25)$$

Αν επιπλέον, το αρχικό σύστημα αξόνων Ox, Oy ταυτίζεται με το σύστημα κύριων αξόνων αδράνειας, οι σχέσεις (3.2.24) απλοποιούνται στις:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial K}{\partial \varphi} &= \gamma \frac{I_{xx}^F}{\cos^2 \varphi} & \frac{\partial K}{\partial \theta} &= 0 \\ \frac{\partial M}{\partial \varphi} &= 0 & \frac{\partial M}{\partial \theta} &= \gamma \frac{I_{yy}^F}{\cos^2 \theta} \\ \frac{\partial N}{\partial \varphi} &= \gamma I_{xx}^F \frac{\tan \varphi}{\cos^2 \varphi} & \frac{\partial N}{\partial \theta} &= \gamma I_{yy}^F \frac{\tan \theta}{\cos^2 \theta} \end{aligned} \right\} \quad (3.2.26)$$

Θεωρώντας ότι η μεταβολή στην υδροστατική ισορροπία του σώματος οφείλεται στη μετακίνηση ενός φορτίου P κατά δx_p , δy_p , δz_p , οι σχέσεις (3.2.11) γίνονται:

$$\left. \begin{aligned} \delta x &= \delta x_o + \frac{\delta M}{\Delta} - \frac{P \delta x_p}{\Delta} \\ \delta y &= \delta y_o + \frac{\delta K}{\Delta} - \frac{P \delta y_p}{\Delta} \\ \delta z &= \delta z_o + \frac{\delta N}{\Delta} - \frac{P \delta z_p}{\Delta} \end{aligned} \right\} \quad (3.2.27)$$

όπου Δ είναι το αμετάβλητο εκτόπισμα του επιπλέοντος σώματος και δx_o , δy_o , δz_o οι αρχικές διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων της άνωσης και του βάρους. Η διαφορά δz_o είναι ίση με $B\bar{G} = K\bar{G} - K\bar{B}$ και είναι γενικά μη μηδενική. Αν υποθεθεί ότι οι γωνίες φ και θ της αρχικής ισάλου είναι μηδενικές, τότε ισχύει ότι $\delta x_o = \delta y_o = 0$ και, επίσης οι σχέσεις (3.2.26) γίνονται:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial K}{\partial \varphi} &= \gamma I_{xx}^F \\ \frac{\partial M}{\partial \theta} &= \gamma I_{yy}^F \\ \frac{\partial K}{\partial \theta} &= \frac{\partial M}{\partial \varphi} = \frac{\partial N}{\partial \varphi} = \frac{\partial N}{\partial \theta} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.2.28)$$

Θεωρώντας μεταβολές $\delta\varphi$ και $\delta\theta$ των γωνιών και εισάγοντας τις (3.2.27) και (3.2.7) στην εξίσωση (3.2.10), προκύπτουν οι σχέσεις

$$\left. \begin{aligned} (\delta K - P\delta y_p) \cos \delta\varphi + (\delta N - P\delta z_p + \Delta B\bar{G}) \sin \delta\varphi &= 0 & \text{(i)} \\ (\delta M - P\delta y_p) \cos \delta\theta + (\delta N - P\delta z_p + \Delta B\bar{G}) \sin \delta\theta &= 0 & \text{(ii)} \\ (\delta K - P\delta y_p) \sin \delta\theta \cos \delta\varphi - (\delta M - P\delta z_p) \sin \delta\theta \cos \delta\varphi &= 0 & \text{(iii)} \end{aligned} \right\} \quad (3.2.29)$$

Εύκολα αποδεικνύεται ότι η σχέση (3.2.29 (iii)) προκύπτει από τις δύο προηγούμενες. Λόγω των (3.2.28) οι μεταβολές των ροπών ως προς τα τρία επίπεδα αναφοράς είναι $\delta K = \gamma I_{xx}^F \delta\varphi$, $\delta M = \gamma I_{yy}^F \delta\theta$ και $\delta N = 0$. Τότε από τη σχέση (3.2.29 (i)) και λαμβάνοντας υπόψη ότι $\delta\varphi \approx \tan \delta\varphi$ καταλήγουμε στην κλασσική σχέση της υδροστατικής:

$$\tan \delta\varphi \approx \delta\varphi = \frac{P\delta y_p}{\Delta \left[KB + \overline{BM}_T - (K\bar{G} + \delta K\bar{G}) \right]} \quad (3.2.30)$$

όπου

$$\begin{aligned} \overline{BM}_T &= \gamma \frac{I_{xx}^F}{\Delta} \text{ και} \\ \delta K\bar{G} &= \frac{P\delta z_p}{\Delta}. \end{aligned}$$

Με την σχέση (3.2.30) υπολογίζεται η γωνία εγκάρσιας κλίσης ως συνάρτηση της μετακίνησης του φορτίου P ως προς το σωματοπαγές σύστημα, των γεωμετρικών χαρακτηριστικών KB και BM της γάστρας του πλοίου πριν τη μετακίνηση του φορτίου και της αρχικής κατακόρυφης θέσης του κέντρου βάρους KG του πλοίου.

Αντίστοιχα, για τη γωνία διαμήκουσ κλίσης $\delta\theta$ βρίσκουμε:

$$\tan \delta\theta \approx \delta\theta = \frac{P\delta x_p}{\Delta \left[KB + \overline{BM}_L - (K\bar{G} + \delta K\bar{G}) \right]} \quad (3.2.31)$$

Είναι προφανές από τις σχέσεις (3.2.30) και (3.2.31) ότι στην πρωτοτάξια θεώρηση των μικρών μεταβολών οι γωνίες εγκάρσιας κλίσης και διαγωγής εμφανίζονται ανεξάρτητες μεταξύ τους. Αν θεωρήσουμε ότι η ισόογκη μεταβολή οφείλεται σε μια μόνιμη εξωτερική ροπή Q τότε οι δυνάμεις του βάρους του σώματος W και της άντωσης F_B θα δημιουργήσουν ένα αντίρροπο ζεύγος που θα εξισορροπεί την \bar{Q} . Σε αυτήν την περίπτωση το διάνυσμα που ορίζεται από τα σημεία εφαρμογής των W και F_B δεν θα είναι παράλληλο προς το κατακόρυφο διάνυσμα \bar{k}' και η εξίσωση (3.2.10) της υδροστατικής ισορροπίας γίνεται:

$$\left(\delta x \cdot \bar{i} + \delta y \cdot \bar{j} + \delta z \cdot \bar{k} \right) \times \left(\frac{\bar{k}'}{|\bar{k}'|} \cdot \Delta \right) + \bar{Q} = 0 \quad (3.2.32)$$

όπου $\Delta = F_B = W$. Αν η \bar{Q} αναλυθεί σε δύο συνιστώσες Q_x και Q_y που είναι σταθερές ως προς τους αντίστοιχους άξονες του σωματοπαγούς συστήματος τότε από την (3.2.32) και κατά αναλογία (3.2.29) προκύπτουν οι σχέσεις:

$$\left. \begin{aligned} \delta K \frac{\cos \delta\varphi \cos \delta\theta}{|\bar{k}'|} + \Delta \cdot \overline{BG} \frac{\sin \delta\varphi \cos \delta\theta}{|\bar{k}'|} + M_x &= 0 \\ \delta M \frac{\cos \delta\varphi \cos \delta\theta}{|\bar{k}'|} + \Delta \cdot \overline{BG} \frac{\sin \delta\varphi \cos \delta\theta}{|\bar{k}'|} - M_y &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.2.33)$$

Αν αντικαταστήσουμε το μέτρο του διανύσματος \bar{k}' από την (3.2.8) και κρατήσουμε μόνο τους όρους πρώτης τάξης στα αναπτύγματα των τριγωνομετρικών όρων, δηλαδή $\cos \delta\alpha \approx 1$

και $\sin \delta\alpha \approx \delta\alpha \approx \tan \delta\alpha$ τότε οι (3.2.33) καταλήγουν στις:

$$\left. \begin{aligned} \sin \delta\varphi \approx \delta\varphi &= \frac{-M_x}{\Delta GM_T} = \frac{-M_x}{\Delta [KB + BM_T - KG]} \quad (i) \\ \sin \delta\theta \approx \delta\theta &= \frac{M_y}{\Delta GM_L} = \frac{M_y}{\Delta [KB + BM_L - KG]} \quad (ii) \end{aligned} \right\} \quad (3.2.34)$$

Στις (3.2.34) έχουν αντικατασταθεί οι μεταβολές των ροπών και πάλι ως $\delta K = \gamma I_{xx} \delta\varphi$ και $\delta M = \gamma I_{yy} \delta\theta$. Το αρνητικό πρόσημο της M_x στο δεξί μέλος της (3.2.34(i)) είναι συμβατό με τον ορισμό των θετικών γωνιών φ και θ . Θετική θεωρείται μια γωνία εγκάρσιας κλίσης ή διαγωγής όταν αυξάνεται το βύθισμα προς τα θετικά του αντίστοιχου άξονα Oy ή Ox . Οι σχέσεις (3.2.34) παρουσιάζουν δυο διαφορές ως προς τις (3.2.30) και (3.2.31) που αφορούν σε ισόογκη μεταβολή μετά από μετακίνηση βάρους. Πρώτον, η μεταβολή του KG υπό την επίδραση εξωτερικής ροπής είναι

μηδενική και δεύτερον, οι επαπτόμενες των γωνιών στο αριστερό μέλος των (3.2.30) και (3.2.31) έχουν αντικατασταθεί από ημίτονα στις (3.2.34). Παρόλο που οι γωνίες που μελετώνται στην πρωτοτάξια θεωρήση είναι μικρές, όπως θα δούμε παρακάτω οι διαφορές αυτές ισχύουν και για πεπερασμένες τιμές των γωνιών εγκάρσιας κλίσης και διαγωγής.

3.3. Προσθαφαίρεση βαρών στη θεωρία των μικρών μεταβολών

Στον υπολογισμό των μεγεθών που υπεισέρχονται στις εξισώσεις στηριζόμαστε στην θεωρία μικρών μεταβολών. Αν υποτεθεί ότι η βασική προϋπόθεση για να θεωρηθεί μια μεταβολή ως «μικρή» ισχύει σε κάθε περίπτωση, τότε είναι δυνατό να υπολογισθεί με ακρίβεια η τελική ίσαλος πλευσης για οποιοσδήποτε (πεπερασμένες) τιμές των μεταβολών του βυθίσματος, της εγκάρσιας κλίσης και της διαγωγής που προκαλούνται από την πρόσθεση (ή αφαίρεση) ενός γνωστού φορτίου. Υπενθυμίζεται ότι η προϋπόθεση αυτή ορίζει ότι η εκάστοτε προβολή της ισάλου πλευσης στο βασικό επίπεδο αναφοράς Oxy του σωματοπαγούς συστήματος αξόνων του επιπλέοντος σώματος παραμένει σταθερή.

Θεωρούμε ότι αρχικά το επιπλέον σώμα έχει εκτόπισμα $\Delta_o = F_B$ που είναι ίσο με το βάρος του W_o . Ο άξονας Oz του σωματοπαγούς συστήματος αξόνων υποτίθεται ότι διέρχεται από το κέντρο πλευστότητας και οι άξονες Ox και Oy ταυτίζονται με τους κύριους άξονες αδρανείας της προβολής της ισάλου πλευσης στο βασικό επίπεδο αναφοράς. Τότε για τις μερικές παραγώγους των ροπών της άντωσης ως προς τις γωνίες στροφής θα ισχύουν οι σχέσεις (3.2.26).

Υποθέτουμε επίσης ότι το αρχικό κέντρο άντωσης έχει συντεταγμένες (x_{Bo}, y_{Bo}, z_{Bo}) , το αρχικό κέντρο βάρους συντεταγμένες (x_{Go}, y_{Go}, z_{Go}) , το αρχικό βύθισμα στην αρχή των αξόνων είναι T_o και οι αρχικές γωνίες εγκάρσιας και διαμήκους κλίσης είναι φ_o και θ_o αντίστοιχα. Η πρόσθεση του φορτίου P θα επιφέρει πεπερασμένη μεταβολή στην άνωση F_B που υπολογίζεται ως εξής:

$$P = \delta F_B \int_{T_o}^{T_o + \delta T} \frac{\partial F_B}{\partial T} dT + \int_{\varphi_o}^{\varphi} \frac{\partial F_B}{\partial \varphi} d\varphi + \int_{\theta_o}^{\theta} \frac{\partial F_B}{\partial \theta} d\theta \quad (3.3.1)$$

όπου:

- $T = T_o + \delta T$ το βύθισμα και
- φ, θ οι τελικές γωνίες μετά την επιβολή του φορτίου .

Όπως είναι προφανές από τις σχέσεις (3.2.21(i)), λόγω του ειδικού συστήματος συντεταγμένων που έχει επιλεγεί, τα δυο τελευταία ολοκληρώματα της (3.3.1) έχουν μηδενική συνεισφορά. Επομένως η μεταβολή της άντωσης είναι:

$$P = \delta \cdot F_B = \gamma \cdot A \cdot \delta T \quad (3.3.2)$$

Απλοποιώντας επίσης τις μερικές παραγώγους (3.2.21) με τη βοήθεια της (3.2.26) καταλήγουμε στις εξής εκφράσεις για τις πεπερασμένες μεταβολές των ροπών της άντωσης ως προς τα τρία βασικά επίπεδα.

$$\left. \begin{aligned} \delta K &= \gamma I_{xx}^F \int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{d\varphi}{\cos^2 \varphi} = \gamma I_{xx}^F (\tan \varphi - \tan \varphi_0) & (i) \\ \delta M &= \gamma I_{yy}^F \int_{\theta_0}^{\theta} \frac{d\theta}{\cos^2 \theta} = \gamma I_{yy}^F (\tan \theta - \tan \theta_0) & (ii) \\ \delta N &= \gamma I_{xx}^F \int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{\tan \varphi}{\cos^2 \varphi} d\varphi + \gamma I_{yy}^F \int_{\theta_0}^{\theta} \frac{\tan \theta}{\cos^2 \theta} d\theta \\ &= \frac{1}{2} \gamma I_{xx}^F (\tan^2 \varphi - \tan^2 \varphi_0) + \frac{1}{2} \gamma I_{yy}^F (\tan^2 \theta - \tan^2 \theta_0) & (iii) \end{aligned} \right\} \quad (3.3.3)$$

Αν με $\Delta = \Delta_0 + P$ συμβολίζεται το τελικό εκτόπισμα του σώματος, τότε οι διαφορές των ροπών άντωσης - βάρους ως προς τα τρία βασικά επίπεδα δίνονται από τις σχέσεις

$$\left. \begin{aligned} \Delta(x_B - x_G) &= (M + \delta M) - (W_o \cdot x_{G_o} - P \cdot x_P) & (i) \\ \Delta(y_B - y_G) &= (K + \delta K) - (W_o \cdot y_{G_o} - P \cdot y_P) & (ii) \\ \Delta(z_B - z_G) &= (N + \delta N) - (W_o \cdot z_{G_o} - P \cdot z_P) & (iii) \end{aligned} \right\} \quad (3.3.4)$$

Όπου x_P, y_P και z_P είναι οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους του P και αντίστοιχα τα $x_{G_o}, y_{G_o}, z_{G_o}$ είναι οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους W_o . Επειδή το σώμα βρίσκεται αρχικά σε ισορροπία ισχύουν οι σχέσεις $M = W_o \cdot x_{G_o}$ και $K = W_o \cdot y_{G_o}$, οπότε οι (3.3.4), κατ' αναλογία προς τις (3.2.27) απλοποιούνται στις:

$$\left. \begin{aligned}
\delta x = x_B + x_G &= \frac{\delta M}{\Delta} - \frac{P\delta x_p}{\Delta} & \text{(i)} \\
\delta y = y_B + y_G &= \frac{\delta K}{\Delta} - \frac{P\delta y_p}{\Delta} & \text{(ii)} \\
\delta z &= \frac{\delta N}{\Delta} - \frac{P\delta z_p}{\Delta} + \frac{(N - W_o z_{Go})}{\Delta} & \text{(iii)}
\end{aligned} \right\} \quad (3.3.5)$$

Ο όρος της παρένθεσης της σχέσης (3.3.5 (iii)) είναι μη μηδενικός γιατί η υδροστατική ισορροπία προϋποθέτει ότι το κέντρο βάρους του σώματος πρέπει να βρίσκεται στην ίδια κατακόρυφη με το κέντρο άντωσης χωρίς να είναι αναγκαίο να συμπίπτουν.

Εισάγοντας τις σχέσεις (3.3.5 (i),(ii)) στις (3.2.6 (i),(ii)) προκύπτουν οι επόμενες σχέσεις (που είναι αντίστοιχες των (3.2.29)).

$$\left. \begin{aligned}
(\delta K - Py_p) \cos \varphi + (N + \delta N - Pz_p + W_o z_{Go}) \sin \varphi &= 0 & \text{(i)} \\
(\delta M - Py_p) \cos \theta + (N + \delta N - Pz_p + W_o z_{Go}) \sin \theta &= 0 & \text{(ii)}
\end{aligned} \right\} \quad (3.3.6)$$

Από τις σχέσεις αυτές και με την βοήθεια των (3.3.3) υπολογίζονται οι γωνίες εγκάρσιας κλίσης φ και οι διαγωγής θ . Χωρίς καμία επίπτωση στην γενικότητα της θεώρησης μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι αρχικές τιμές φ_o και θ_o είναι μηδενικές. Τότε, μετά από απλές πράξεις, οι (3.3.6) και (3.3.3) καταλήγουν στις σχέσεις .

$$\tan \varphi = \frac{Py_p}{\Delta \left[\left(\overline{KB} + \delta \overline{KB}_\varphi + \overline{BM}_T \left(1 + \frac{\tan^2 \varphi}{2} \right) - \overline{KG} \right) \right]} \quad (3.3.7)$$

$$\tan \theta = \frac{Px_p}{\Delta \left[\left(\overline{KB} + \delta \overline{KB}_\varphi + \overline{BM}_L \left(1 + \frac{\tan^2 \theta}{2} \right) - \overline{KG} \right) \right]} \quad (3.3.8)$$

όπου:

$$\begin{aligned}
 N &= \overline{KB}_o \Delta_o & (i) \\
 W_o z_{G_o} &= \Delta_o \overline{KG}_o & (ii) \\
 \overline{KB} &= \frac{\left[N + \gamma A \delta T \left(T_o + \frac{\delta T}{2} \right) \right]}{\Delta} & (iii) \\
 \delta \overline{KB}_\varphi &= \frac{\gamma I_{xx}^F \tan^2 \varphi}{2\Delta} & (iv) & \delta \overline{KB}_\theta &= \frac{\gamma I_{yy}^F \tan^2 \theta}{2\Delta} & (v) \\
 \overline{BM}_T &= \frac{\gamma I_{xx}^F}{\Delta} & (vi) & \overline{BM}_L &= \frac{\gamma I_{yy}^F}{\Delta} & (vii) \\
 \overline{KG} &= \frac{\Delta_o \overline{KG}_o + P z_p}{\Delta} & (viii)
 \end{aligned} \tag{3.3.9}$$

και $\overline{KB}_o, \overline{KG}_o$ οι αποστάσεις των αρχικών κέντρων άνωσης και βάρους από το βασικό επίπεδο αναφοράς Oxy . Οι σχέσεις (3.3.7), (3.3.8) αποτελούν γενικεύσεις των (3.2.30) και (3.2.31) για πεπερασμένες μεταβολές και για οποιαδήποτε τυχαία (και πιθανώς πολλαπλά συνεκτική) γεωμετρία της ισάλου πλευσεως. Είναι αξιοσημείωτο ότι στις ακριβείς εκφράσεις η γωνία εγκάρσιας κλίσης επηρεάζεται από τη διαμήκη κλίση μέσω του όρου δKB_φ και αντίστροφα, η διαμήκης κλίση από την εγκάρσια μέσω του δKB_θ . Πρέπει όμως να τονισθεί εδώ ότι η γωνία εγκάρσιας ή διαμήκους κλίσης δημιουργείται μόνο αν η αντίστοιχη ροπή $P\delta y_p$ ή $P\delta x_p$ είναι μη μηδενική, όπως συνεπάγονται οι σχέσεις (3.3.7) και (3.3.8). Επομένως η αλληλεπίδραση των κλίσεων στη θεωρία μικρών μεταβολών έχει άμεση σχέση με την ύπαρξη ροπών και δεν πρέπει να συγχέεται με την εξάρτηση της εγκάρσιας κλίσης από την διαγωγή (και αντίστροφα) που συμβαίνει στις πραγματικές μορφές πλοίων και ιδιαίτερα σε μεγάλες γωνίες.

Θα εξετάσουμε τώρα την περίπτωση όπου η γεωμετρία της αρχικής ισάλου είναι τέτοια ώστε $I_{yy}^F \gg I_{xx}^F$, όπως συμβαίνει στην περίπτωση όπου $L \gg B$. Για μικρές τιμές των γωνιών φ και θ θα είναι επίσης $\tan^2 \varphi \ll \tan \varphi$ και $\tan^2 \theta \ll \tan \theta$. Με αυτές τις προϋποθέσεις, από τη διαίρεση αντίστοιχων μελών της (3.3.7) και (3.3.8) προκύπτει:

$$\frac{\tan \varphi}{\tan \theta} \approx \frac{y_p}{x_p} \frac{\Delta (\overline{KB} - \overline{KG}) + \gamma I_{yy}^F}{\Delta (\overline{KB} - \overline{KG}) + \gamma I_{xx}^F} \tag{i} \tag{3.3.10}$$

Αν θέλουμε να εξετάσουμε τις επιδράσεις ίσων ροπών, τότε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι $x_p=y_p$. Επίσης, για της συνήθεις τύπου γάστρας όπου $L \gg B$ είναι $\overline{KB} < \overline{KG}$. Για να είναι το GM_T θετικό θα πρέπει τότε $\gamma I_{xx}^F > \Delta |\overline{KB} - \overline{KG}|$ οπότε θα ισχύει και η ανισότητα $\gamma I_{yy}^F > \Delta |\overline{KB} - \overline{KG}|$. Επομένως, η (3.3.10 (i)) συνεπάγεται ότι η γωνία φ είναι κατ' αρχήν μεγαλύτερη από τη θ και επιπλέον, αφού $KB < KG$, θα ισχύει:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\tan \varphi}{\tan \theta} &= \frac{I_{yy}^F}{I_{xx}^F} \approx \frac{L^3 B}{LB^3} = \left(\frac{L}{B}\right)^2 \\ &\text{ή} \\ \tan \varphi &\gg \tan \theta \end{aligned} \right\} \quad \text{(ii) (3.3.10)}$$

Δηλαδή η γωνία διαμήκους κλίσης όταν εφαρμόζονται ισοδύναμες εξωτερικές ροπές. Με τις ίδιες προϋποθέσεις μπορούμε να παραλείψουμε τους όρους κατώτερης τάξης στον παρονομαστή της (3.3.8) οπότε προκύπτει η απλή σχέση για τη γωνία διαμήκους κλίσης:

$$\tan \theta \approx \frac{Px_p}{\gamma I_{yyF}} \quad (3.3.11)$$

Η σχέση (3.3.11) χρησιμοποιείται για άμεσο υπολογισμό της διαγωγής που εξαρτάται αποκλειστικά από τη γεωμετρία της ισάλου πλευσης ενώ είναι ανεξάρτητη από τη γωνία εγκάρσιας κλίσης, τη θέση του κέντρου βάρους και τη μορφή του όγκου της γάστρας. Από τη (3.3.10 (ii)) συνεπάγεται επίσης ότι $I_{xx}^F \tan^2 \varphi > I_{yy}^F \tan^2 \theta$, οπότε απλοποιείται και η σχέση (3.3.7) για την εγκάρσια κλίση:

$$\tan \varphi = \frac{Py_p}{\Delta \left[\left(\overline{KB} + \overline{BM}_T \left(1 + \frac{\tan^2 \varphi}{2} \right) - \overline{KG} \right) \right]} \quad (3.3.12)$$

που προκύπτει ανεξάρτητη από τη γωνία διαμήκους διαγωγής. Η ίδια σχέση για μικρές τιμές της φ , τέτοιες ώστε $2 \gg \tan^2 \varphi$, καταλήγει πάλι στη βασική σχέση της υδροστατικής:

$$\tan \varphi \approx \frac{Py_p}{\Delta GM_T} \quad (3.3.13)$$

όπου

$$GM_T = \overline{KB} + \overline{BM_T} - \overline{KG}$$

είναι το μετακεντρικό ύψος που θεωρείται σταθερό για μικρές κλίσεις.

Στις σχέσεις (3.3.7) και (3.3.8) η μετατόπιση του βάρους P εμφανίζεται αφ' ενός σαν επιβολή των σταθερών ροπών $P\delta x_p$ και $P\delta y_p$ και αφ' ετέρου, σαν κατακόρυφη μετακίνηση του κέντρου βάρους του πλοίου κατά δKG . Άρα, μπορούμε να υποθέσουμε ότι το κέντρο βάρους του σώματος έχει απλά μετατοπισθεί πάνω στην αρχική κατακόρυφο, ενώ παράλληλα εξασκούνται στο πλοίο δυο εξωτερικές ροπές. Η θεώρηση αυτή, που από την άποψη της μηχανικής είναι ισοδύναμη με την επίλυση του προβλήματος της πραγματικής μετακίνησης φορτίου, διευκολύνει σημαντικά σχετικούς υδροστατικούς υπολογισμούς.

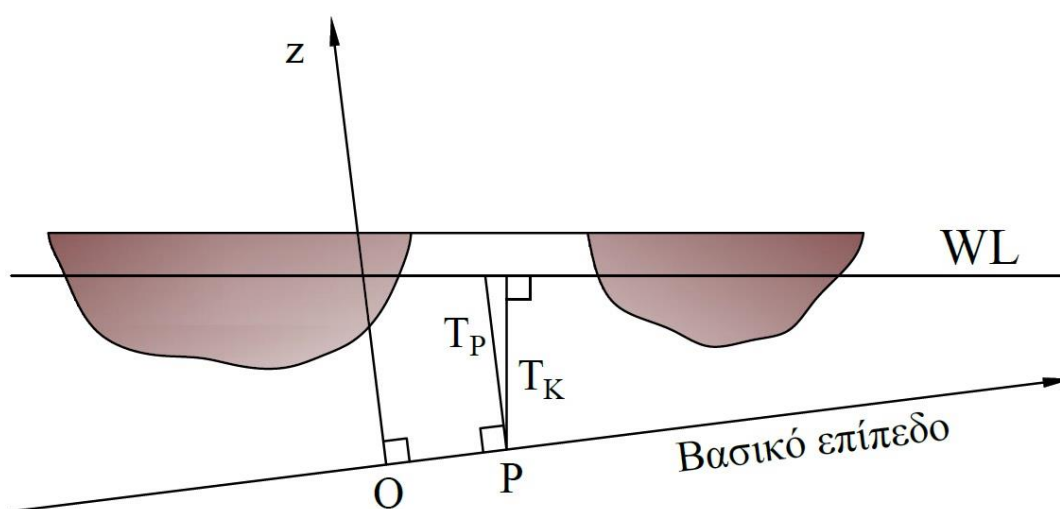
Από τις σχέσεις (3.3.2) , (3.3.11) και (3.3.13) συμπεραίνεται επίσης ότι **για μικρές γωνίες κλίσης και διαγωγής ισχύει η αρχή της επαλληλίας, δηλαδή τα τρία χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη (T, φ, θ) μπορούν να υπολογιστούν ως ανεξάρτητα μεταξύ τους.**

Αξίζει να σημειώσουμε εδώ ότι η προηγούμενη ανάλυση έχει βασιστεί σε σύστημα αναφοράς κυρίων αξόνων αδράνειας το κέντρο του οποίου προβάλλεται στο κέντρο πλευστότητας της προβολής της ισάλου πλευσεως στο επίπεδο Oxy του σωματοπαγούς συστήματος. Επομένως οι αποστάσεις (x_p, y_p) των ροπών αναφέρονται πάντα ως προς αυτό το κέντρο. Είναι λοιπόν προφανές ότι **η προσθαφαίρεση φορτίου που έχει το κέντρο βάρους του πάνω στην κατακόρυφη που διέρχεται από το κέντρο πλευστότητας προκαλεί μόνο παράλληλη βύθιση (ή ανύψωση) του σώματος .**

Τέλος, είναι εύκολο να αποδειχθεί ότι όλες οι προηγούμενες σχέσεις γενικεύονται και για την πρόσθεση ή αφαίρεση οποιουδήποτε αριθμού φορτίων και, εν γένει εξωτερικών δυνάμεων. Στην περίπτωση αυτή αρκεί να αντικαταστήσουμε τις εξωτερικές ροπές ως $\Sigma(P\delta x_p)$ και $\Sigma(P\delta y_p)$ όπου Σ δηλώνει το άθροισμα των επιδράσεων. Με P συμβολίζονται τα προσημασμένα φορτία που είναι θετικά όταν προστίθενται (αντίθετα της φοράς της άντωσης) και με $(\delta x_p, \delta y_p)$ οι προσημασμένες αποστάσεις ως προς τα θετικά των αξόνων της προβολής της ισάλου στο επίπεδο Oxy . Η ίδια προσήμανση χρησιμοποιείται και για τον προσδιορισμό του νέου κέντρου βάρους μέσω των ροπών $\Sigma P\delta z_p$ όπου οι αποστάσεις δz_p είναι θετικές ή αρνητικές, ανάλογα με την επιλογή του βασικού επιπέδου αναφοράς στο οποίο ο άξονας Oz είναι θετικός κατά τη φορά της άντωσης.

3.4. Απόσταση σημείου από την ελεύθερη επιφάνεια

Σε πολλές πρακτικές εφαρμογές απαιτείται ο υπολογισμός της απόστασης ενός σημείου ενός σώματος από την επιφάνεια του υγρού στο οποίο το σώμα επιπλέει και συνήθως αποτελεί το απόλυτο σύστημα αναφοράς. Στην περίπτωση όπου το σωματοπαγές σύστημα αναφοράς του σώματος στο οποίο ανήκει το σημείο είναι παράλληλο ως προς την επιφάνεια του υγρού τότε η απόσταση προκύπτει εύκολα εάν γνωρίζουμε το βύθισμα του σώματος στο υγρό. Στην περίπτωση όμως όπου το σύστημα αναφοράς του σώματος δεν είναι παράλληλο ως προς την επιφάνεια του υγρού, όπως για παράδειγμα παρουσιάζεται στο σχήμα 3.4.1, τότε ο υπολογισμός της απόστασης του σημείου που εξετάζουμε από την επιφάνεια του υγρού, βασίζεται στην ακόλουθη μαθηματική - γεωμετρική ανάλυση.



Σχήμα 3.4.1

Απόσταση σημείου από την επιφάνεια του υγρού.

Έστω ότι είναι γνωστό το βύθισμα T_P και ότι απαιτείται ο υπολογισμός της απόστασης T_K ενός σημείου P από την WL. Στο σωματοπαγές σύστημα, το μοναδιαίο κατακόρυφο διάνυσμα \bar{n} προκύπτει από τις σχέσεις (3.2.7) και (3.2.8) ως:

$$\bar{n} = \frac{\bar{k}'}{|\bar{k}'|} = \frac{-\bar{i} \sin \theta \cos \varphi - \bar{j} \cos \theta \sin \varphi + \bar{k} \cos \theta \cos \varphi}{\cos \varphi \cos \theta \sqrt{1 + \tan^2 \varphi + \tan^2 \theta}} \quad (3.4.1)$$

Επομένως, στο σύστημα αυτό, η κατακόρυφη απόσταση T_K υπολογίζεται από το εσωτερικό γινόμενο:

$$T_K = \overline{T_P} \cdot \bar{n} = (0, 0, T_P)(n_x, n_y, n_z) = \frac{T_P}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi + \tan^2 \theta}} \quad (3.4.2)$$

Στην ειδική περίπτωση που μία εκ των γωνιών φ ή θ είναι μηδενική τότε η (3.4.2) μετατρέπεται αντίστοιχα στις ακόλουθες σχέσεις:

$$\left. \begin{aligned} \bullet \theta = 0 & \rightarrow T_K = \frac{T_P}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi}} = T_P \cos \varphi & \text{(i)} \\ \bullet \varphi = 0 & \rightarrow T_K = \frac{T_P}{\sqrt{1 + \tan^2 \theta}} = T_P \cos \theta & \text{(ii)} \end{aligned} \right\} (3.4.3)$$

Προφανώς οι ανωτέρω σχέσεις γενικεύονται και κατά την περίπτωση όπου το σημείο P είναι τυχαίο, αρκεί να είναι προσδιορίσιμο το μέγεθος T_P .

3.5. Ευστάθεια μετά από βλάβη

Υπάρχουν δύο μέθοδοι υπολογισμού της επίδρασης της κατάκλυσης σε σώμα που επιπλέει. Η μία μέθοδος είναι γνωστή ως «Μέθοδος της χαμένης άντωσης», ενώ η δεύτερη ως «Η μέθοδος πρόσθετου βάρους».

Μέθοδος της χαμένης άντωσης

Η μέθοδος της χαμένης άντωσης θεωρεί ότι ο κατακλυσθέν χώρος δεν συνεισφέρει σε άντωση. Αυτό συμβαίνει και στην πραγματικότητα. Εάν φανταστούμε λοιπόν σχήμα (3.5.2) ότι υπάρχει επικοινωνία μεταξύ ενός διαμερίσματος και του παρακείμενου σε αυτό νερού, το νερό που βρίσκεται εντός του διαμερίσματος δημιουργεί υδροστατικές πιέσεις ίσες με τις πιέσεις που δημιουργεί το νερό έξω από αυτό. Συνεπώς, η άντωση όπως αυτή ορίσθηκε από την Αρχή του Αρχιμήδη, 'ακυρώνεται' από το βάρος του νερού που κατακλύζει τον χώρο.

Στην μέθοδο της χαμένης άντωσης, ο όγκος του κατακλυσθέν διαμερίσματος δεν ανήκει πιά στην γάστρα του σώματος, ενώ το βάρος της κατασκευής του συνεχίζει να περιλαμβάνεται στο συνολικό εκτόπισμα του σώματος. Το 'εναπομείναν' σώμα αλλάζει θέση έως ότου η δύναμη και η ροπή κλίσης επανασταθεροποιηθεί. Κατά την διαδικασία της επανασταθεροποίησης, όχι μόνο το εκτόπισμα, αλλά και η θέση του κέντρου βάρους παραμένουν σταθερά. Η μέθοδος της χαμένης άντωσης είναι γνωστή και ως «Μέθοδος σταθερού εκτοπίσματος». Επειδή το νερό που βρίσκεται στο κατακλυσθέν διαμέρισμα δεν αποτελεί μέρος του σώματος, δεν προκαλείται επίδραση ελευθέρων επιφανειών.

Μέθοδος πρόσθετου βάρους

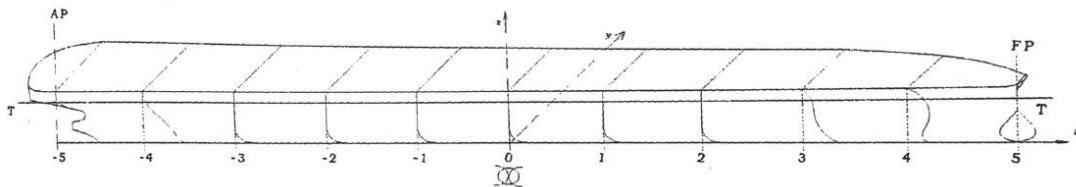
Στην μέθοδο του πρόσθετου βάρους το νερό που εισέρχεται εντός του διαμερίσματος θεωρείται ότι ανήκει στο σώμα που επιπλέει και το βάρος του θα πρέπει για το λόγο αυτό να προστεθεί στο εκτόπισμα του σώματος. Ως εκ τούτου προκύπτει και το όνομα του 'πρόσθετου βάρους'.

Κατά την μέθοδο του πρόσθετου βάρους το τελικό εκτόπισμα του κατακλυσθέντος σώματος προκύπτει ως άθροισμα του αρχικού εκτοπίσματος της άθικτης κατάστασης συν το βάρος του νερού που κατακλύζει κάποιο διαμέρισμα του σώματος. Η θέση του κέντρου βάρους του σώματος υπό βλάβη λαμβάνεται από το άθροισμα των ροπών του σώματος στην άθικτη κατάσταση και του νερού που κατακλύζει το εκάστοτε διαμέρισμα. Αποτελώντας μέρος του σώματος, το νερό κατάκλυσης προκαλεί την δημιουργία ελευθέρων επιφανειών, των οποίων η επίδραση θα πρέπει να συνυπολογισθεί στις αντίστοιχες σχέσεις της υδροστατικής.

Στην παρούσα μελέτη η αντιμετώπιση των προβλημάτων κατάκλυσης επιτυγχάνεται μέσω της μεθόδου της χαμένης άντωσης, η ανάλυση της οποίας ακολουθεί στην συνέχεια.

Ο υπολογισμός των υδροστατικών στοιχείων της κατάστασης πλεύσης, μέσω της μεθόδου της χαμένης άντωσης, για μια εξέδρα μετά από βλάβη μπορεί να βασισθεί στις προϋποθέσεις της θεωρίας των μικρών μεταβολών. Έτσι λοιπόν θεωρώντας αρχικά ότι δεν προστίθενται ή αφαιρούνται άλλα φορτία ταυτόχρονα με την κατάκλυση, ισχύουν οι δύο βασικές συνθήκες: το εκτόπισμα του επιπλέοντος σώματος και το κέντρο βάρους αυτού παραμένουν σταθερά.

Υποθέτουμε ότι το σώμα πλέει αρχικά ισοβύθιστο, που σημαίνει ότι η αρχική ίσαλος WL έχει μηδενική εγκάρσια κλίση και διαγωγή ($\varphi = \theta = 0$) ως προς το σωματοπαγές σύστημα αξόνων του σχήματος (3.5.1).



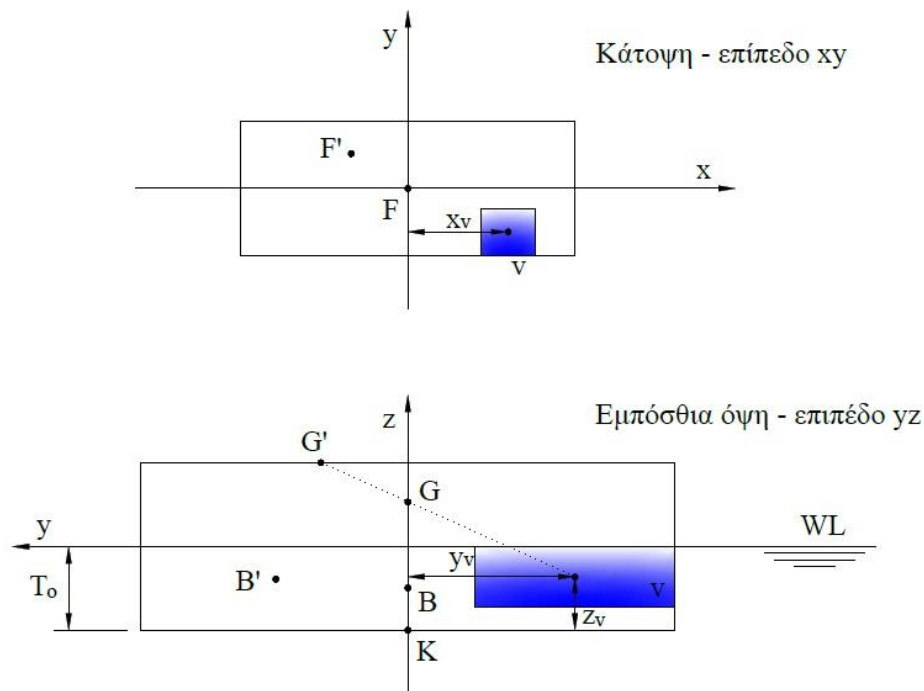
Σχήμα 3.5.1

Σωματοπαγές σύστημα συντεταγμένων

Στην συνέχεια κατακλύζεται το διαμερίσμα του οποίου ο αρχικός **καθαρός** όγκος κάτω από την WL είναι ο σκιασμένος (v) στο σχήμα (3.5.2). Αν θεωρήσουμε ότι το σημείο B' είναι το κέντρο της συνιστώσας της άντωσης που απέμεινε κάτω από την WL μετά την κατάκλυση του διαμερίσματος θα ισχύουν οι προφανείς σχέσεις ισορροπίας:

$$\left. \begin{aligned} (\Delta - \gamma v) \cdot y_{B'} + \gamma \cdot v \cdot y_v &= \Delta \cdot y_B \\ (\Delta - \gamma v) \cdot x_{B'} + \gamma \cdot v \cdot x_v &= \Delta \cdot x_B \\ (\Delta - \gamma v) \cdot z_{B'} + \gamma \cdot v \cdot z_v &= \Delta \cdot z_B \end{aligned} \right\} \quad (3.5.1)$$

όπου (x_v, y_v, z_v) είναι οι συντεταγμένες του κέντρου όγκου του διαμερίσματος και Δ το αρχικό εκτόπισμα κάτω από την ίσαλο WL .



Σχήμα 3.5.2

Κάτοψη και εμπρόσθια όψη εξέδρας υπό κατάκλιση

Οι εξισώσεις (3.5.1) δεν εκφράζουν τίποτε άλλο παρά την ανάλυση της αρχικής άντωσης που ασκείται στο B σε δύο συνιστώσες. Εκτός από ειδικές περιπτώσεις εκροής φορτίου προς τη θάλασσα, το συνολικό βάρος $W = \Delta$ του σώματος είναι προφανές ότι παραμένει σταθερό και το ίδιο θα ισχύει για το σημείο εφαρμογής του G . Για τον προσδιορισμό της τελικής ισάλου μετά τη βλάβη μπορούμε τώρα να θεωρήσουμε ότι το σώμα έπλεε σε μια υποθετική αρχική ισοβύθιστη κατάσταση που προσδιορίζεται από επίπεδο ίσαλο WL και έχει βάρος:

$$W - \gamma \cdot \nu = \Delta - \gamma \cdot \nu \quad (3.5.2)$$

ενώ, για να είναι ισοβύθιστο πρέπει αναγκαστικά να ισχύουν οι σχέσεις:

$$\left. \begin{aligned} x_{B'} - x_{G'} &= 0 \\ y_{B'} - y_{G'} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.5.3)$$

όπου G' είναι το υποθετικό κέντρο βάρους του σώματος. Το πρόβλημα τώρα ανάγεται στην εύρεση της τελικής θέσης ισορροπίας μετά από πρόσθεση βάρους σύμφωνα με την κλασική μέθοδο των μικρών μεταβολών.

Το υποθετικό βάρος P που προστίθεται θα έχει δύο συνέπειες:

- i. θα μεταβληθεί το ολικό βάρος του σώματος ώστε να αποκτήσει την τελική τιμή του W , δηλαδή:

$$P = \gamma \cdot \nu \quad \text{και}$$

- ii. θα μεταβάλλει τη θέση του κέντρου βάρους του έτσι ώστε το τελευταίο να προσδιορίζεται από τις συντεταγμένες (x_G, y_G, z_G) που ουσιαστικά αντιστοιχούν στο αμετακίνητο κέντρο βάρους του πραγματικού πλοίου.

Επειδή οι οριζόντιες συντεταγμένες βάρους και άντωσης συμπίπτουν προ της κατακλύσεως, δηλαδή $x_B = x_G$ και $y_B = y_G$, έπεται ότι το σημείο εφαρμογής της πρόσθετης δύναμης P βρίσκεται στο κέντρο του όγκου (ν) του κατακλυζόμενου διαμερίσματος.

Πρέπει όμως να τονιστεί ότι **όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ισάλου προβολής αναφέρονται στην ισάλο WL μετά την κατάκλυση**, γιατί αυτή θεωρείται πλέον ως αρχική.

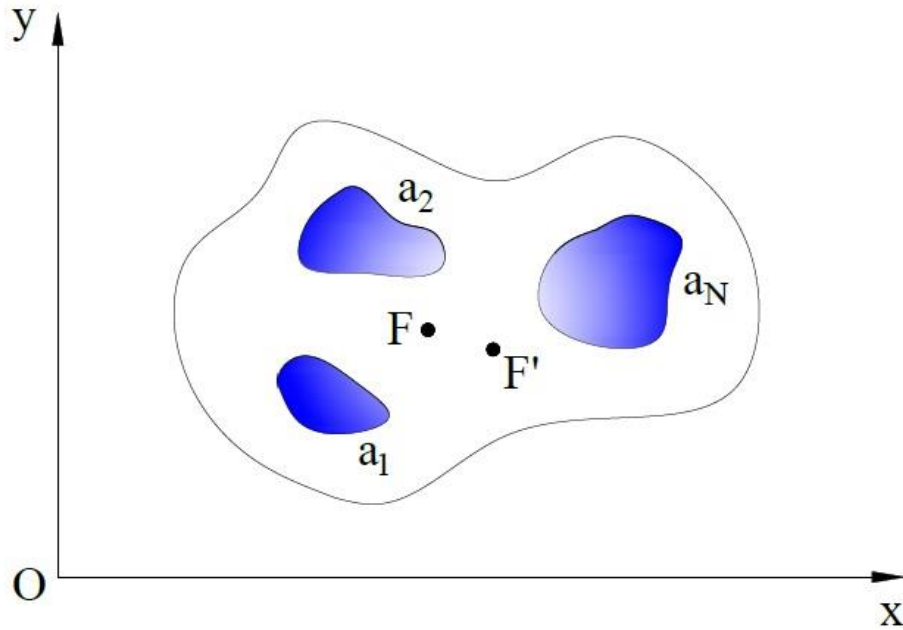
Επομένως ο υπολογισμός της παράλληλης βύθισης, της διαγωγής και της εγκάρσιας κλίσης γίνεται άμεσα με τη βοήθεια των σχέσεων (3.3.2), (3.3.7) και (3.3.8) που υπολογίστηκαν στο Κεφάλαιο 3.3, 'Πρόσθεση βαρών στην θεωρία των μικρών μεταβολών':

$$P = \delta \cdot F_B = \gamma \cdot A \cdot \delta T \quad (3.5.4)$$

$$\tan \varphi = \frac{Py_p}{\Delta \left[\left(\overline{KB} + \delta \overline{KB}_\theta + \overline{BM}_T \left(1 + \frac{\tan^2 \varphi}{2} \right) - \overline{KG} \right) \right]} \quad (3.5.5)$$

$$\tan \theta = \frac{Px_p}{\Delta \left[\left(\overline{KB} + \delta \overline{KB}_\varphi + \overline{BM}_L \left(1 + \frac{\tan^2 \theta}{2} \right) - \overline{KG} \right) \right]} \quad (3.5.6)$$

Μπορούμε τώρα να γενικεύσουμε αυτή τη θεώρηση στην περίπτωση κατακλύσεως περισσότερων διαμερισμάτων. Έστω ότι συμβαίνουν N κατακλύσεις διαμερισμάτων των οποίων οι τομές με το επίπεδο WL της αρχικής ισάλου ορίζονται ως $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_3)$, σχήμα 3.5.3



Σχήμα 3.5.3

N ταυτόχρονες κατακλύσεις σε σώμα με αρχικό κέντρο πλευστότητας F.

Το αρχικό κέντρο πλευστότητας της άθικτης ισάλου με εμβαδόν A_W ήταν το σημείο F με συντεταγμένες (x_F, y_F) ως προς ένα αυθαίρετο σύστημα αξόνων (x, y) . Το κέντρο πλευστότητας F' της ισάλου A_{W1} μετά τη βλάβη βρίσκεται από το θεώρημα των πρώτων ροπών:

$$\left. \begin{aligned} x_{F'} &= \frac{A_W x_F - \sum_{n=1}^N a_n x_{fn}}{A_{W1}} & (i) \\ y_{F'} &= \frac{A_W y_F - \sum_{n=1}^N a_n y_{fn}}{A_{W1}} & (ii) \end{aligned} \right\} \quad (3.5.7)$$

όπου

$$A_{W1} = A_W - \sum_{n=1}^N a_n \quad (3.5.8)$$

και οι προσημασμένες αποστάσεις (x_{fn}, y_{fn}) αναφέρονται στις θέσεις των κέντρων επιφανειών (a_1, a_2, \dots, a_N) των διαμερισμάτων που κατακλύζονται.

Σύμφωνα με το θεώρημα των παράλληλων αξόνων οι δεύτερες ροπές αδράνειας ως προς το σύστημα (x, y) , μετά τις κατακλύσεις, είναι:

$$\left. \begin{aligned} I'_{xx} &= I_{xx} - \sum_{n=1}^N (a_n y_{fn}^2 + i_{xx}) & (i) \\ I'_{yy} &= I_{yy} - \sum_{n=1}^N (a_n x_{fn}^2 + i_{yy}) & (ii) \\ I'_{xy} &= I_{xy} - \sum_{n=1}^N (a_n x_{fn} y_{fn} + i_{xy}) & (iii) \end{aligned} \right\} \quad (3.5.9)$$

Όπου οι ροπές (I_{xx} , I_{yy}) αναφέρονται στην άθικτη ίσαλο και οι (i_{xx} , i_{yy}) είναι οι αντίστοιχες ροπές των υπό κατάκλυση επιφανειών ως προς τα κέντρα τους. Επειδή στους υδροστατικούς υπολογισμούς μας ενδιαφέρουν οι ροπές αδράνειας ως προς το κέντρο πλευστότητας υπολογίζονται οι ροπές:

$$\left. \begin{aligned} I_{xx}^{F'} &= I'_{xx} - A_{w1} \cdot y_{F'}^2 & (i) \\ I_{yy}^{F'} &= I'_{yy} - A_{w1} \cdot x_{F'}^2 & (ii) \\ I_{xy}^{F'} &= I'_{xy} - A_{w1} \cdot x_{F'} \cdot y_{F'} & (iii) \end{aligned} \right\} \quad (3.5.10)$$

Στις ανωτέρω σχέσεις θεωρούμε σε πρώτη προσέγγιση ότι οι αρχικοί άξονες είναι παράλληλοι προς το σύστημα των κυρίων αξόνων της τελικής ισάλου πλευσης και επομένως δεν επιβάλλεται στροφή για να υπολογιστεί στροφή για να υπολογιστεί η τελική (πραγματική) τους θέση.

Οι ροπές κλίσης λόγω ταυτόχρονης κατάκλυσης των N διαμερισμάτων προκύπτουν από απλή μετάθεση:

$$\left. \begin{aligned} M_x &= \sum_{n=1}^N \gamma \cdot v_n \cdot (y_{v_n} + y_{F'}) & (i) \\ M_y &= \sum_{n=1}^N \gamma \cdot v_n \cdot (x_{v_n} + x_{F'}) & (ii) \end{aligned} \right\} \quad (3.5.11)$$

όπου (x_{v_n} , y_{v_n} , z_{v_n}) είναι οι προσημασμένες αποστάσεις των κέντρων όγκου των κατακλυσθέντων διαμερισμάτων ως προς το αρχικό, αυθαίρετο σύστημα (x, y).

Σύμφωνα με τη θεωρία των μικρών μεταβολών η νέα ίσαλος πλευσης προσδιορίζεται από τα βυθίσματα T ως προς το σωματοπαγές σύστημα αξόνων (x, y, z) που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T = T_o + \delta T + (x - x_{F'}) \tan \theta + (y - y_{F'}) \tan \varphi \quad (3.5.12)$$

Όπου όλες οι αποστάσεις αναφέρονται ως προς το αυθαίρετο αρχικό σωματοπαγές σύστημα. Η σχέση (3.5.12) αποτελεί τη γενίκευση της θεωρίας στην περίπτωση πολλών κατακλύσεων. Οι γωνίες διαγωγής και εγκάρσιας κλίσης για συμβατικά πλοία ($L \gg B$) βρίσκονται τώρα από τις απλοποιημένες των (3.5.5) και (3.5.6) σχέσεις:

$$\tan \varphi = \frac{M_y}{\Delta \left[\left(KB' + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot I_{yy}^{F'} \cdot \tan^2 \theta + \gamma \cdot I_{xx}^{F'} \cdot \left(1 + \frac{\tan^2 \varphi}{2} \right) - KG \right) \right]} \quad (3.5.13)$$

$$\tan \theta = \frac{M_x}{\gamma \cdot I_{yy}^{F'}} \quad (3.5.14)$$

Η παράλληλη βύθιση δT στη σχέση (3.5.12) υπολογίζεται ως:

$$\delta T = \frac{\sum_{n=1}^N v_n}{A_W - \sum_{n=1}^N a_n} = \frac{\sum_{n=1}^N v_n}{A_{W1}} \quad (3.5.14)$$

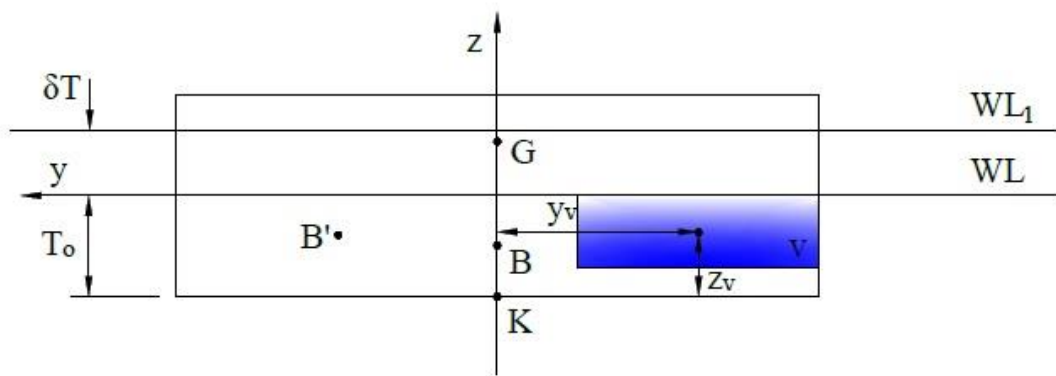
όπου A_{W1} η επιφάνεια της ισάλου μετά την κατάκλυση. Η παράλληλη βύθιση υπεισέρχεται στον υπολογισμό του KB' της σχέσης (3.5.13), αφού το κέντρο άντωσης μετακινείται. Σύμφωνα με τη θεωρία των μικρών μεταβολών, το κέντρο B' αντιστοιχεί στην ίσαλο WL_1 η οποία είναι μετατοπισμένη κατά δT ως προς την αρχική ίσαλο WL , σχήμα (3.5.4). Το KB' προκύπτει από την εφαρμογή του θεωρήματος των ροπών ως προς το βασικό επίπεδο αναφοράς:

$$M_{xy}^{B'} = M_{xy}^B - \sum_{n=1}^N \gamma \cdot v_n \cdot z_{vn} + (T_o + \delta T / 2) \cdot \sum_{n=1}^N \gamma \cdot v_n \quad (3.5.15)$$

ή

$$\Delta \cdot KB' = \Delta \cdot KB - \sum_{n=1}^N \gamma \cdot v_n \cdot (T_o + \delta T / 2 - z_{vn}) \Rightarrow$$

$$KB' = KB - \frac{\sum_{n=1}^N \gamma \cdot v_n \cdot (T_o + \delta T / 2 - z_{vn})}{\Delta} \quad (3.5.16)$$



Σχήμα 3.5.4

Παράλληλη βύθιση γάστρας υπό κατάκλυση.

Στην συνέχεια η μέθοδος της χαμένης άντωσης επεκτείνεται και στην περίπτωση που έχουμε και ταυτόχρονη προσθαφαίρεση φορτίων. Λαμβάνονται επίσης υπόψη και οι τιμές της διαπερατότητας και διαχωρητότητας για τα διαμερίσματα που κατακλύζονται, οι οποίες θεωρούνται δεδομένες. Αν θεωρήσουμε ότι κατακλύζονται N διαμερίσματα και επιβάλλονται ταυτόχρονα P_N φορτία με γνωστά σημεία εφαρμογής $(x_{P_n}, y_{P_n}, z_{P_n})$, τα βήματα που ακολουθούνται για τον υπολογισμό της τελικής ισάλου πλευσης είναι τα ακόλουθα:

A. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά της νέας ισάλου πλευσης

$$A_{W1} = A_W - \sum_{n=1}^N \mu_{sn} a_n \quad (3.5.17)$$

$$\left. \begin{aligned} x_{F'} &= \frac{A_W x_F - \sum_{n=1}^N \mu_{sn} a_n x_{fn}}{A_{W1}} & (i) \\ y_{F'} &= \frac{A_W y_F - \sum_{n=1}^N \mu_{sn} a_n y_{fn}}{A_{W1}} & (ii) \end{aligned} \right\} (3.5.18)$$

$$\left. \begin{aligned} I_{xx}^{F'} &= I_{xx} - \sum_{n=1}^N \mu_{sn} \cdot (a_n y_{fn}^2 + i_{xx}) - A_{W1} \cdot y_{F'}^2 & (i) \\ I_{yy}^{F'} &= I_{yy} - \sum_{n=1}^N \mu_{sn} \cdot (a_n x_{fn}^2 + i_{yy}) - A_{W1} \cdot x_{F'}^2 & (ii) \\ I_{xy}^{F'} &= I_{xy} - \sum_{n=1}^N \mu_{sn} \cdot (a_n x_{fn} y_{fn} + i_{xy}) - A_{W1} \cdot x_{F'} \cdot y_{F'} & (iii) \end{aligned} \right\} (3.5.19)$$

B. Νέα χαρακτηριστικά εκτοπίσματος και βάρους (Δ , KB' , KG')

$$\Delta = \Delta_0 + \sum_{n=1}^{N_p} P_n \quad (3.5.20)$$

$$\delta T = \frac{\sum_{n=1}^N \gamma \cdot \mu_{\nu n} \cdot \nu_n + \sum_{n=1}^{N_p} P_n}{\gamma \cdot A_{W1}} \quad (3.5.21)$$

$$\Delta \cdot KB' = \Delta_o \cdot KB - \sum_{n=1}^N \gamma \cdot \mu_{\nu n} \cdot \nu_n \cdot z_{\nu n} + (T_o + \delta T / 2) \left(\sum_{n=1}^N \gamma \cdot \mu_{\nu n} \cdot \nu_n + \sum_{n=1}^{N_p} P_n \right) \quad (3.5.22)$$

$$\Delta \cdot KG' = \Delta_o \cdot KG + \sum_{n=1}^{N_p} P_n \cdot z_{Pn} \quad (3.5.23)$$

Γ. Ροπές κλίσεως

$$\left. \begin{aligned} M_x &= \sum_{n=1}^N \gamma \cdot \mu_{\nu n} \cdot \nu_n \cdot (y_{\nu n} - y_{F'}) + \sum_{n=1}^{N_p} P_n \cdot (y_{Pn} - y_{F'}) \quad (i) \\ M_y &= \sum_{n=1}^N \gamma \cdot \mu_{\nu n} \cdot \nu_n \cdot (x_{\nu n} - x_{F'}) + \sum_{n=1}^{N_p} P_n \cdot (x_{Pn} - x_{F'}) \quad (ii) \end{aligned} \right\} \quad (3.5.24)$$

Με τη βοήθεια των παραπάνω σχέσεων (3.5.17) - (3.5.24) υπολογίζονται από τις (3.5.13) και (3.5.14) οι κλίσεις και από την (3.5.12) προσδιορίζεται η τελική ίσαλος πλευσης. Προφανώς τα αρχικά γεωμετρικά δεδομένα για τη γάστρα και την ίσαλο επιφάνεια όπως επίσης και η θέση του αρχικού κέντρου βάρους KG θεωρούνται γνωστά. Αν η παράλληλη βύθιση είναι σημαντική, συνήθως απαιτείται και μία δεύτερη επανάληψη για τον υπολογισμό της που λαμβάνει υπόψη τη γεωμετρία της νέα ισάλου WL_I :

$$\delta T = \frac{\sum_{n=1}^N \gamma \cdot \mu_{\nu n} \cdot \nu_n + \sum_{n=1}^{N_p} P_n}{\gamma \cdot \frac{1}{2} \cdot (A_{W1} + A'_{W1})} \quad (3.5.25)$$

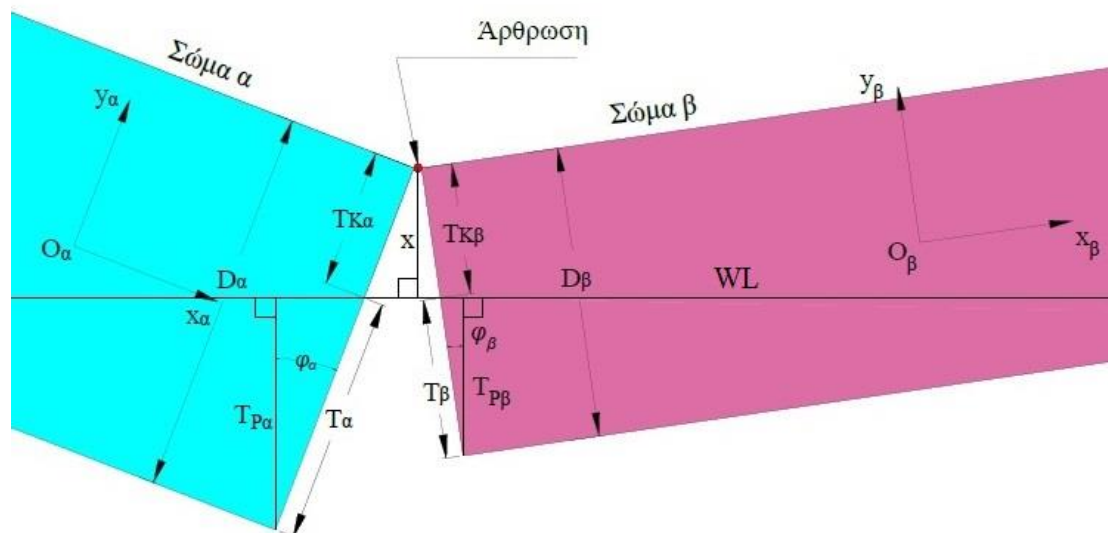
όπου A_{W1} και A'_{W1} είναι τα εμβαδά των ισάλων μετά τη βλάβη, στα βυθίσματα T_o και $(T_o + \delta T)$ αντίστοιχα. Τα γεωμετρικά στοιχεία των (2.5.17) - (2.5.19) υπολογίζονται τώρα για την ίσαλο A'_{W1} .

4. Η μοντελοποίηση της ευστάθειας πλωτών εξεδρών

4.1. Η μοντελοποίηση του προβλήματος

Το πρόβλημα που καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε είναι ο υπολογισμός του μέσου βυθίσματος, της γωνίας εγκάρσιας και διαμήκουσ κλίσης κάθε εξέδρας. Γνωρίζοντας τις τιμές των γωνιών και του μέσου βυθίσματος είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε το βύθισμα σε κάθε θέση της εξέδρας και κατ' επέκταση να γνωρίζουμε εάν το σύστημα ικανοποιεί τις απαιτήσεις σχεδιασμού και τις απαιτήσεις ασφαλείας.

Η μοντελοποίηση του προβλήματος στηρίζεται στην ισότητα της απόστασης από την ελεύθερη επιφάνεια, στο σημείο της άρθρωσης για τα δύο σώματα. Η άρθρωση είναι το γεωμετρικό στοιχείο το οποίο παραμένει σταθερό μεταξύ δύο σωμάτων.



Σχήμα 4.1.1

Απόσταση σταθερού σημείου άρθρωσης από την επιφάνεια της θάλασσας

Βάσει της συνθήκης του ότι η άρθρωση αποτελεί σταθερό σημείο για τα σώματα που είναι προσδεμένα σε αυτήν η απόσταση x του σχήματος 4.1.1 παραμένει σταθερή για τα σώματα α και β .

Μέσω όμοιων τριγώνων για την απόσταση x για το σώμα α και β αντίστοιχα θα ισχύει:

- Σώμα α

$$\frac{x}{T_{P\alpha}} = \frac{D_\alpha - T_\alpha}{T_\alpha} \quad (4.1.1)$$

όπου:

- D_α : Το κοίλο του σώματος α
- T_α : Το βύθισμα του σώματος α και
- $T_{P\alpha}$: είναι η κατακόρυφη απόσταση που φαίνεται στο σχήμα (4.1.1) και για την οποία στο κεφάλαιο 3.4 αποδείχθηκε ότι ισχύει:

$$T_{P\alpha} = \frac{T_\alpha}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_\alpha + \tan^2 \theta_\alpha}} \quad (4.1.2)$$

Από τις σχέσεις (4.1.1) και (4.1.2) προκύπτει τελικά για την απόσταση x ότι:

$$x = \frac{D_\alpha - T_\alpha}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_\alpha + \tan^2 \theta_\alpha}} \quad (4.1.3)$$

- Σώμα β

Ομοίως με το σώμα α θα ισχύει ότι:

$$x = \frac{D_\beta - T_\beta}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_\beta + \tan^2 \theta_\beta}} \quad (4.1.4)$$

και προκύπτει τελικώς η σχέση η οποία συνδέει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά D_α , D_β , T_α , T_β , φ_α , φ_β , θ_α , θ_β των σωμάτων α και β μέσω της σταθερής απόστασης x :

$$x = \frac{D_\alpha - T_\alpha}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_\alpha + \tan^2 \theta_\alpha}} = \frac{D_\beta - T_\beta}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_\beta + \tan^2 \theta_\beta}} \quad (4.1.5)$$

όπου:

- x : απόσταση της άρθρωσης που είναι προσδεμένα τα σώματα από την ελεύθερη επιφάνεια,
- D_α, D_β : το κοίλο της του σώματος α και β αντίστοιχα,
- T_α, T_β : το βύθισμα του σώματος α και β αντίστοιχα,
- $\varphi_\alpha, \varphi_\beta$: η εγκάρσια κλίση του σώματος α και β αντίστοιχα, και τέλος :
- $\theta_\alpha, \theta_\beta$: η διαμήκης κλίση του σώματος α και β αντίστοιχα.

Η ισορροπία στις αρθρώσεις αναλύεται στις :

- Συνθήκη ισορροπίας των δυνάμεων $\sum P = 0$, το άθροισμα όλων των δυνάμεων στην άρθρωση είναι μηδέν.
- Στην συνθήκη (3.1.5) κατά την οποία η απόσταση της άρθρωσης που συνδέει δύο η περισσότερα σώματα απέχει σταθερή απόσταση από την ελεύθερη επιφάνεια:

$$x = \frac{D_\alpha - T_\alpha}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_\alpha + \tan^2 \theta_\alpha}} = \frac{D_\beta - T_\beta}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_\beta + \tan^2 \theta_\beta}}$$

Στις εξισώσεις βυθισμάτων τις κινηματικής συνθήκης συμπεριλαμβάνονται επιπλέον δυο συνθήκες:

- Η ισορροπία κατακόρυφων δυνάμεων που περιλαμβάνεται στον όρο της παράλληλης βύθισης.
- Η ισορροπία ροπών που περιλαμβάνεται στους όρους εγκάρσιας και διαμήκους κλίσης.

Σε κάθε σώμα, σε ένα οποιοδήποτε σημείο το βύθισμα υπολογίζεται από τον τύπο:

$$T = T_o + \delta T + y \tan \varphi + x \tan \theta \quad (4.1.6)$$

όπου T_o το αρχικό βύθισμα, δT η παράλληλη βύθιση, $\tan \varphi$ η γωνία εγκάρσιας κλίσης και $\tan \theta$ η γωνία διαμήκους κλίσης.

Ο όρος παράλληλης βύθισης αναλύεται λόγω της ισορροπίας κατακόρυφων δυνάμεων σε:

$$\delta T = \frac{\sum P_{Joins} + \sum P_{Known}}{\gamma A_w} \quad (4.1.7)$$

Όπου:

- $\sum P_{Joins}$ είναι το συνολικό άθροισμα των δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα από τις αρθρώσεις
- $\sum P_{Known}$ το συνολικό άθροισμα των γνωστών βαρών που ασκούνται στο σώμα συμπεριλαμβανομένου και του βάρους του σώματος,
- γ η πυκνότητα του νερού στο μετρικό σύστημα και
- A_w η ίσαλος επιφάνεια του σώματος .

Ο όρος της εγκάρσιας κλίσης αναλύεται λόγω της ισορροπίας των ροπών σε:

$$y_y \cdot \tan \varphi = y_y \cdot \frac{M_T}{\Delta \cdot GM_T} = y_y \frac{\sum P_J \cdot y_J + \sum P_K \cdot y_K}{\Delta \cdot GM_T} \quad (4.1.8)$$

Όπου:

- y_y είναι η τετμημένη του σημείου που ζητάμε να βρούμε το βύθισμα,
- $\sum P_J \cdot y_J$ είναι η ροπή που ασκεί κάθε άρθρωση ως προς το κέντρο πλευστότητας (CF) του σώματος,
- $\sum P_K \cdot y_K$ είναι η ροπή κάθε γνωστής δύναμης ως προς το CF του σώματος,
- Δ το συνολικό εκτόπισμα του σώματος και
- GM_T το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος.

Ο όρος της διαμήκου κλίσης αντίστοιχα αναλύεται λόγω της ισορροπίας των ροπών σε:

$$x_x \cdot \tan \theta = x_x \cdot \frac{M_L}{\Delta \cdot GM_L} = x_x \frac{\sum P_J \cdot x_J + \sum P_K \cdot x_K}{\Delta \cdot GM_L} \quad (4.1.9)$$

Όπου:

- x_x είναι η τεταγμένη του σημείου που ζητάμε να βρούμε το βύθισμα,
- $\sum P_J \cdot x_J$ η ροπή κάθε άρθρωσης ως προς το κέντρο πλευστότητας (CF) του σώματος,
- $\sum P_K \cdot x_K$ η ροπή κάθε γνωστής δύναμη ως προς το (CF) του σώματος,
- Δ το συνολικό εκτόπισμα του σώματος και
- GM_L το διάμηκες μετακεντρικό ύψος.

Οπότε τελικά η εξίσωση (4.1.6) βάση των (4.1.7), (4.1.8) και (4.1.9) διαμορφώνεται ως εξής:

$$T = T_o + \frac{\sum P_J + \sum P_K}{\gamma A w} + y_y \frac{\sum P_J \cdot y_J + \sum P_K \cdot y_K}{\Delta \cdot GM_T} + x_x \frac{\sum P_J \cdot x_J + \sum P_K \cdot x_K}{\Delta \cdot GM_L} \quad (4.1.10)$$

Στην περίπτωση της ισότητας βυθισμάτων στην άρθρωση, η εξίσωση γράφεται για κάθε σώμα, με τις τοπικές συντεταγμένες τις άρθρωσης ως προς το κάθε σώμα. Οπότε στην περίπτωση δύο σωμάτων έχουμε:

- για το σώμα α:

$$T^a = T_o^a + \frac{\sum P_J^a + \sum P_K^a}{\gamma A^a w} + y_y^a \frac{\sum P_J^a \cdot y_J^a + \sum P_K^a \cdot y_K^a}{\Delta^a \cdot GM_T^a} + x_x^a \frac{\sum P_J^a \cdot x_J^a + \sum P_K^a \cdot x_K^a}{\Delta^a \cdot GM_L^a} \quad (4.1.11)$$

- και για το σώμα b :

$$T^b = T_o^b + \frac{\sum P_J^b + \sum P_K^b}{\gamma A^b w} + y_y^b \frac{\sum P_J^b \cdot y_J^b + \sum P_K^b \cdot y_K^b}{\Delta^b \cdot GM_T^b} + x_x^b \frac{\sum P_J^b \cdot x_J^b + \sum P_K^b \cdot x_K^b}{\Delta^b \cdot GM_L^b} \quad (4.1.12)$$

Η ανάλυση της συνθήκης για την οποία το σημείο της άρθρωσης στο οποίο είναι προσδεμένα δύο σώματα παραμένει σταθερό και απέχει σταθερή απόσταση από την επιφάνεια της θάλασσας μας οδήγησε στην σχέση (4.1.5) συνδέοντας το βύθισμα T_α και T_β του σώματος α και β αντίστοιχα. Θα προσπαθήσουμε λοιπόν διαμέσου της

σχέσης αυτής και των σχέσεων (4.1.11) και (4.1.12) να δημιουργήσουμε την τελική εξίσωση που θα χρησιμοποιήσουμε για την επίλυση του προβλήματος.

Από (4.1.5), λοιπόν ισχύει:

$$\frac{D^a - T^a}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_\alpha + \tan^2 \theta_\alpha}} = \frac{D^b - T^b}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_b + \tan^2 \theta_b}} \quad (4.1.13)$$

Οι όροι που μας ενδιαφέρουν είναι το T^a και T^b , οπότε ανασχηματίζουμε:

$$D^a - T^a = \left(\frac{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_\alpha + \tan^2 \theta_\alpha}}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_b + \tan^2 \theta_b}} \right) \cdot (D^b - T^b) \quad (4.1.14)$$

Για την απλούστευση των υπολογισμών και των μαθηματικών όρων που θα εισαχθούν στο τελικό σύστημα ως προς επίλυση θα ορίσουμε τον όρο RD_1 :

$$RD_1 = \frac{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_\alpha + \tan^2 \theta_\alpha}}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_b + \tan^2 \theta_b}} \quad (4.1.15)$$

Συνεπώς η (4.1.14) γίνεται:

$$D^a - T^a = RD_1 \cdot (D^b - T^b)$$

$$\Rightarrow T^a - D^a = RD_1 \cdot T^b - RD_1 \cdot D^b \quad (4.1.16)$$

Εμπεριέχοντας τους όρους T^a και T^b περισσότερο διακριτοποιημένους.

Εξισώνοντας τις σχέσεις (4.1.11), (4.1.12) διαμέσου της (4.1.16) θα έχουμε τελικά:

$$\begin{aligned}
& T_o^a + \frac{\sum P_J^a + \sum P_K^a}{\gamma A^a w} + y_y^a \frac{\sum P_J^a \cdot y_J^a + \sum P_K^a \cdot y_K^a}{\Delta^a \cdot GM_T^a} + x_x^a \frac{\sum P_J^a \cdot x_J^a + \sum P_K^a \cdot x_K^a}{\Delta^a \cdot GM_L^a} - D^a = \\
& = RD_1 \cdot T_o^b + RD_1 \cdot \left(\frac{\sum P_J^b + \sum P_K^b}{\gamma A^b w} + y_y^b \frac{\sum P_J^b \cdot y_J^b + \sum P_K^b \cdot y_K^b}{\Delta^b \cdot GM_T^b} + x_x^b \frac{\sum P_J^b \cdot x_J^b + \sum P_K^b \cdot x_K^b}{\Delta^b \cdot GM_L^b} - D^b \right)
\end{aligned}
\tag{4.1.17}$$

Ισοδύναμα:

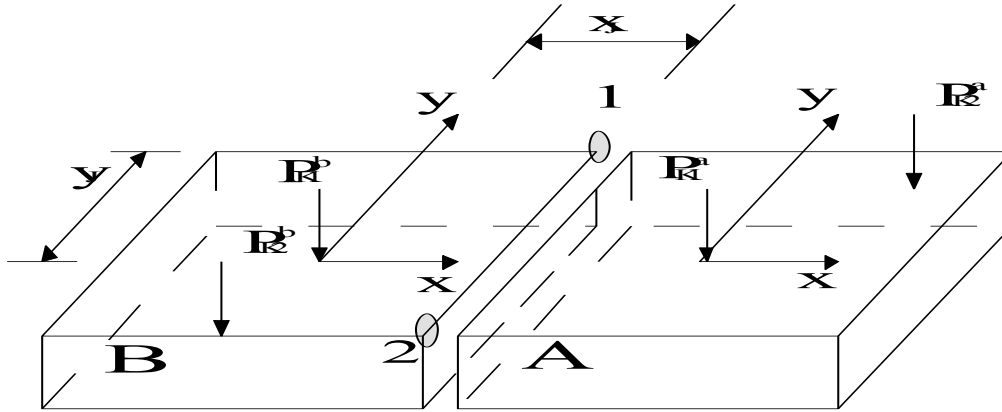
$$\begin{aligned}
& T_o^a + \frac{\sum P_J^a + \sum P_K^a}{\gamma A^a w} + y_y^a \frac{\sum P_J^a \cdot y_J^a + \sum P_K^a \cdot y_K^a}{\Delta^a \cdot GM_T^a} + x_x^a \frac{\sum P_J^a \cdot x_J^a + \sum P_K^a \cdot x_K^a}{\Delta^a \cdot GM_L^a} - D^a = \\
& = RD_1 \cdot T_o^b + RD_1 \cdot \left(\frac{\sum P_J^b + \sum P_K^b}{\gamma A^b w} \right) + RD_1 \cdot \left(y_y^b \frac{\sum P_J^b \cdot y_J^b + \sum P_K^b \cdot y_K^b}{\Delta^b \cdot GM_T^b} \right) + \\
& \quad + RD_1 \cdot \left(x_x^b \frac{\sum P_J^b \cdot x_J^b + \sum P_K^b \cdot x_K^b}{\Delta^b \cdot GM_L^b} \right) - RD_1 \cdot D^b
\end{aligned}
\tag{4.1.18}$$

οπότε χωρίζοντας τους γνωστούς όρους και τις γνωστές δυνάμεις με τις άγνωστες δυνάμεις από τις αρθρώσεις προκύπτει:

$$\begin{aligned}
& \frac{\sum P_J^a}{\gamma A^a w} + y_y^a \frac{\sum P_J^a \cdot y_J^a}{\Delta^a \cdot GM_T^a} + x_x^a \frac{\sum P_J^a \cdot x_J^a}{\Delta^a \cdot GM_L^a} - \\
& - RD_1 \cdot \frac{\sum P_J^b}{\gamma A^b w} - RD_1 \cdot y_y^b \frac{\sum P_J^b \cdot y_J^b}{\Delta^b \cdot GM_T^b} - RD_1 \cdot x_x^b \frac{\sum P_J^b \cdot x_J^b}{\Delta^b \cdot GM_L^b} = \\
& = -T_o^a - \frac{\sum P_K^a}{\gamma A^a w} - y_y^a \frac{\sum P_K^a \cdot y_K^a}{\Delta^a \cdot GM_T^a} - x_x^a \frac{\sum P_K^a \cdot x_K^a}{\Delta^a \cdot GM_L^a} + D^a \\
& + RD_1 \cdot T_o^b + RD_1 \cdot \frac{\sum P_K^b}{\gamma A^b w} + RD_1 \cdot y_y^b \frac{\sum P_K^b \cdot y_K^b}{\Delta^b \cdot GM_T^b} + RD_1 \cdot x_x^b \frac{\sum P_K^b \cdot x_K^b}{\Delta^b \cdot GM_L^b} - RD_1 \cdot D^b
\end{aligned}
\tag{4.1.19}$$

4.2. Το πρόβλημα δυο εξεδρών με δυο αρθρώσεις

Η παραπάνω σχέση γίνεται περαιτέρω κατανοητή στην περίπτωση όπου έχουμε δύο σώματα με δύο αρθρώσεις μεταξύ τους .



Σχήμα 4.2.1

Δύο σώματα προσδεμένα μεταξύ τους με δύο αρθρώσεις.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επειδή το CG συμπίπτει με το CF οι συντεταγμένες του βάρους ως προς το CF κάθε σώματος προκύπτουν μηδέν, για να μην διαταραχθεί όμως η γενικότητα του προβλήματος οι όροι του βάρους θα παραμείνουν στην εξίσωση.

Συνεπώς για την άρθρωση 1 από την ισότητα βυθισμάτων προκύπτει:

$$\begin{aligned}
 & \frac{P_1^a + P_2^a}{\gamma A^a w} + y_{j1}^a \frac{P_1^a y_{j1}^a + P_2^a y_{j2}^a}{\Delta^a \cdot GM_T^a} + x_{j1}^a \frac{P_1^a x_{j1}^a + P_2^a x_{j2}^a}{\Delta^a \cdot GM_L^a} - \frac{P_1^b + P_2^b}{\gamma A^b w} - RD_1 \cdot y_{j1}^b \frac{P_1^b y_{j1}^b + P_2^b y_{j2}^b}{\Delta^b \cdot GM_T^b} - RD_1 \cdot x_{j1}^b \frac{P_1^b y_{j1}^b + P_2^b y_{j2}^b}{\Delta^b \cdot GM_L^b} = \\
 & = -T_o^a - \frac{P_K^a}{\gamma A^a w} - y_{j1}^a \frac{P_{K1} y_{K1}^a + P_{K2} y_{K2}^a}{\Delta^a \cdot GM_T^a} - x_{j1}^a \frac{P_{K1} x_{K1}^a + P_{K2} x_{K2}^a}{\Delta^a \cdot GM_L^a} + D^a \\
 & + RD_1 \cdot T_o^b + RD_1 \cdot \frac{P_K^b}{\gamma A^b w} + RD_1 \cdot y_{j1}^b \frac{P_{K1} y_{K1}^b + P_{K2} y_{K2}^b}{\Delta^b \cdot GM_T^b} + RD_1 \cdot x_{j1}^b \frac{P_{K1} x_{K1}^b + P_{K2} x_{K2}^b}{\Delta^b \cdot GM_L^b} - RD_1 \cdot D^b
 \end{aligned}
 \tag{4.2.1}$$

Το πρώτο μέλος περιλαμβάνει μόνο τις άγνωστες δυνάμεις από τις αρθρώσεις και τους συντελεστές τους, ενώ το δεύτερο μέλος περιλαμβάνει όλα τα γνωστά μεγέθη τις εξίσωσης που προκύπτουν από τις γνωστές δυνάμεις που ασκούνται στο σώμα. Ο όρος RD_I υπενθυμίζεται ότι εξαρτάται από τις γωνίες εγκάρσιας και διαμήκου κλίσης ($\varphi_a, \varphi_b, \theta_a, \theta_b$ αντίστοιχα) των δύο σωμάτων α και β .

Συγκεντρωτικά οι όροι που περιλαμβάνονται στην εξίσωση ορίζονται ως εξής:

➤ Δυνάμεις:

- P_1^a : η δύναμη που ασκεί η άρθρωση 1 στο σώμα A.
- P_1^b : η δύναμη που ασκεί η άρθρωση 1 στο σώμα B .
- P_2^b : η δύναμη που ασκεί η άρθρωση 2 στο σώμα B .
- P_{K1}^a : το βάρος του σώματος A .
- P_{K2}^a : η επιπλέον δύναμη που ασκείται στο σώμα A .
- P_{K1}^b : το βάρος του σώματος B .
- P_{K2}^b η επιπλέον δύναμη που ασκείται στο σώμα B .

➤ Συντεταγμένες:

- x_{j1}^a, y_{j1}^a : οι συντεταγμένες της άρθρωσης 1 ως προς το σώμα A.
- x_{j2}^a, y_{j2}^a : οι συντεταγμένες της άρθρωσης 2 ως προς το σώμα A.
- x_{j1}^b, y_{j1}^b : οι συντεταγμένες της άρθρωσης 1 ως προς το σώμα B.
- x_{j2}^b, y_{j2}^b : οι συντεταγμένες της άρθρωσης 2 ως προς το σώμα B.

- x_{K1}^a, y_{K1}^a : οι συντεταγμένες του βάρους του σώματος A.
- x_{K2}^a, y_{K2}^a : οι συντεταγμένες της επιπλέον δύναμης στο σώμα A.
- x_{K1}^b, y_{K1}^b : οι συντεταγμένες του βάρους του σώματος B.
- x_{K2}^b, y_{K2}^b : οι συντεταγμένες της επιπλέον δύναμης στο σώμα B.

➤ Υπόλοιποι όροι:

- γ : το ειδικό βάρος του νερού στο μετρικό σύστημα .
- $A^a w$: το εμβαδόν της ισάλου της επιφάνειας του σώματος A.
- $A^b w$: το εμβαδόν της ισάλου της επιφάνειας του σώματος B.
- Δ^a : το εκτόπισμα του σώματος A.
- Δ^b : το εκτόπισμα του σώματος B.
- GM^a_T, GM^a_L : το μετακεντρικό ύψος ως προς το διαμήκη και τον εγκάρσιο άξονα για το σώμα A.
- GM^b_T, GM^b_L : το μετακεντρικό ύψος ως προς το διαμήκη και τον εγκάρσιο άξονα για το σώμα B.
- RD_1 : βοηθητικός συντελεστής, για τον οποίο ισχύει:

$$RD_1 = \frac{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_a + \tan^2 \theta_a}}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_b + \tan^2 \theta_b}}$$

Σύνολο στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχουμε τέσσερις δυνάμεις άγνωστες, τις P_1^a, P_1^b που είναι οι δυνάμεις που ασκεί η άρθρωση 1 στο σώμα A και B και τις P_2^a, P_2^b που είναι οι δυνάμεις που ασκεί η άρθρωση 2 στο σώμα A και B.

Από την ισότητα βυθισμάτων στην κάθε άρθρωση λαμβάνουμε δυο εξισώσεις συνολικά για την επίλυση του συστήματος, όμως χρειάζονται άλλες δυο εξισώσεις, οι οποίες προκύπτουν από την συνθήκη ισορροπίας των δυνάμεων σε κάθε άρθρωση και είναι οι :

➤ Άρθρωση 1:

$$P_1^a + P_1^b = 0 \quad (4.2.2)$$

➤ Άρθρωση 2:

$$P_2^a + P_2^b = 0 \quad (4.2.3)$$

Οπότε προκύπτει ένα σύστημα τεσσάρων εξισώσεων με τέσσερις αγνώστους . Στην μελέτη όμως της ευστάθειας των εξέδρων έχουμε λάβει υπόψη την θεωρία μικρών μεταβολών, με αποτέλεσμα ο αναλυτικός τύπος του μετακεντρικού ύψους να περιλαμβάνει και όρους διαμήκους και εγκάρσιας κλίσης. Ταυτόχρονα η ορθή μαθηματική – γεωμετρική αντιμετώπιση του προβλήματος μας ανάγκασε να εισάγουμε τον συντελεστή RD_1 ο οποίος επίσης υπολογίζεται μέσω των γωνιών της εγκάρσιας και διαμήκους κλίσης για κάθε σώμα.

Το εγκάρσιο και διάμηκες μετακεντρικό ύψος για το κάθε σώμα δίνεται από τις σχέσεις:

$$\bullet \quad GM_T = \left[\left(\overline{KB} + \overline{BM}_T \left(1 + \frac{\tan^2 \varphi}{2} \right) - (\overline{KG} + \delta KG_\varphi) \right) \right] \quad (4.2.4)$$

$$\bullet \quad GM_L = \left[\left(\overline{KB} + \overline{BM}_L \left(1 + \frac{\tan^2 \theta}{2} \right) - (\overline{KG} + \delta KG_\theta) \right) \right] \quad (4.2.5)$$

όπου

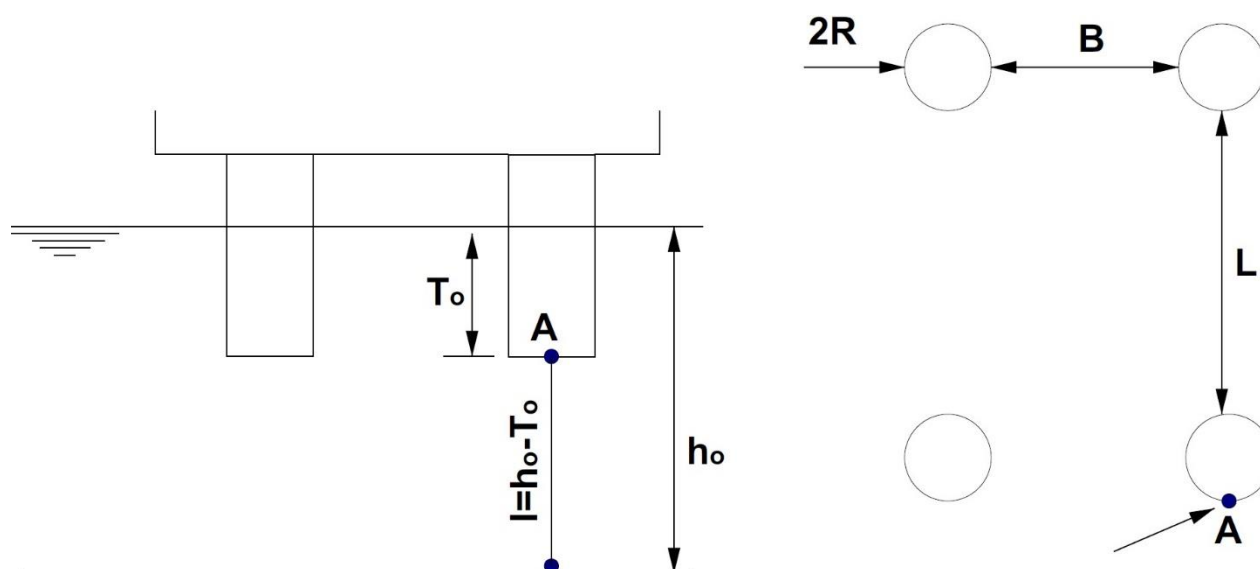
$$\bullet \quad \tan \varphi = \frac{M_T}{\Delta \cdot GM_T} = \frac{\sum P_J \cdot y_J + \sum P_K \cdot y_K}{\Delta \cdot GM_T} \quad (\text{από την εξίσωση (4.1.8)}) \text{ και}$$

$$\bullet \quad \tan \theta = \frac{M_L}{\Delta \cdot GM_L} = \frac{\sum P_J \cdot x_J + \sum P_K \cdot x_K}{\Delta \cdot GM_L} \quad (\text{από την εξίσωση (4.1.9)})$$

Το συγκεκριμένο σύστημα όπως προκύπτει είναι ένα μη γραμμικό σύστημα οπότε για να επιλυθεί χρειάζεται μια επαναληπτική μέθοδο. Εφόσον οι εξέδρες ξεκινάνε από την κατάσταση ισορροπίας, στην αρχή της επίλυσης του συστήματος θεωρώ μηδενικές δυνάμεις στις αρθρώσεις και μηδενικές τιμές γωνιών διαμήκους και εγκάρσιας κλίσης. Οπότε μετά από κάθε επανάληψη για την επίλυση του συστήματος προκύπτουν νέες τιμές για τις δυνάμεις στις αρθρώσεις, τις οποίες τιμές τις χρησιμοποιούμε στους όρους των γωνιών, αλλάζουνε οι συντελεστές των όρων τις εξίσωσης, και στην συνέχεια επιλύουμε ξανά το σύστημα μέχρι να συγκλίνει.

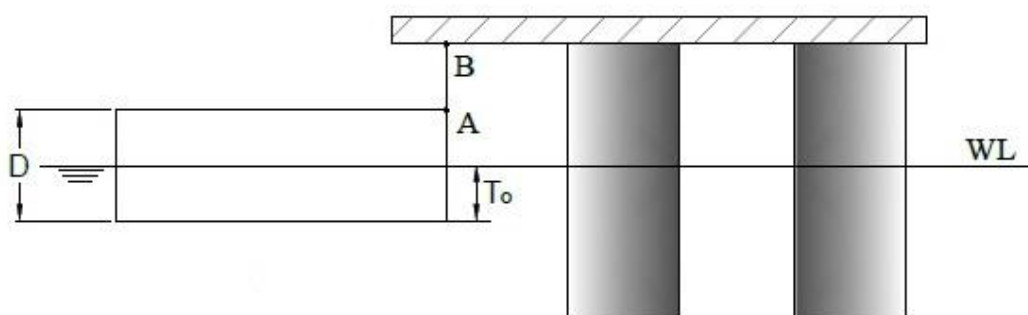
4.3. Το πρόβλημα της σταθερής άρθρωσης

Εκτός από τις συνηθισμένες συνδέσεις εξεδρών, καλούμαστε πολλές φορές να επιλύσουμε και περιπτώσεις όπου υπάρχει σταθερού βυθίσματος άρθρωση, όπως η σύνδεση της εξέδρας με το μόλο (σχήμα 4.3.2) ή η αγκύρωση της στο πυθμένα της θάλασσας όπως συμβαίνει στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 4.3.1).



Σχήμα 4.3.1

Αγκύρωση εξέδρας στο πυθμένα της θάλασσας.

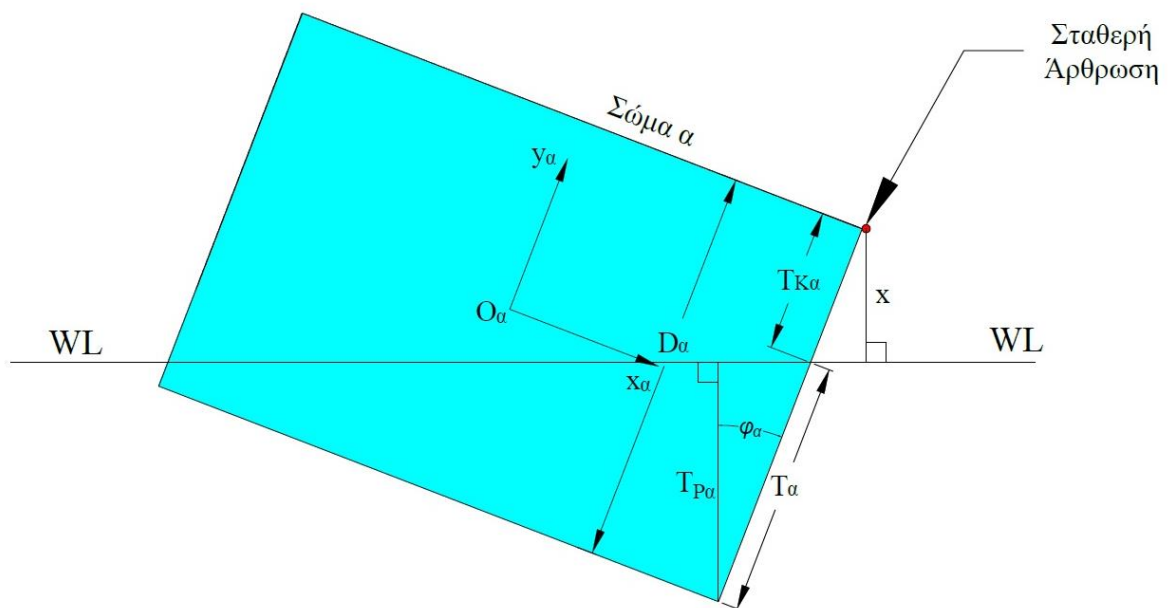


Σχήμα 4.3.2

Εξέδρα προσδεμένη σε μόλο.

Στην περίπτωση αυτή λόγω της ύπαρξης σταθερού σημείου προστίθεται άλλη μια δύναμη, αυτή που προκύπτει από την αντίδραση της σταθερής άρθρωσης. Κατά συνέπεια λόγω του επιπλέον αγνώστου πρέπει να προσθέσουμε στο σύστημα επίλυσης άλλη μια εξίσωση.

Η επιπλέον εξίσωση προέρχεται από την ικανοποίηση της οριακή συνθήκη σταθερού βυθίσματος, δηλαδή το σώμα στο σημείο της άρθρωσης έχει σταθερό, αμετάβλητο βύθισμα. Απόρροια αυτού, είναι ότι η κατακόρυφη απόσταση του σημείου της άρθρωσης από την επιφάνεια της θάλασσας παραμένει σταθερή και αμετάβλητη.



Σχήμα 4.3.3

Απόσταση σταθερού σημείου άρθρωσης από την επιφάνεια της θάλασσας

Έστω ότι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της άρθρωσης και της επιφάνειας του νερού είναι ίση με x , τότε βάσει του σχήματος 4.3.3 από όμοια τρίγωνα, για το σώμα α θα ισχύει:

$$\frac{x}{T_{P\alpha}} = \frac{D_{\alpha} - T_{\alpha}}{T_{\alpha}} \quad (4.3.1)$$

όπου:

- D_{α} : Το κοίλο του σώματος α
- T_{α} : Το βύθισμα του σώματος α και

- $T_{P\alpha}$: είναι η κατακόρυφη απόσταση που φαίνεται στο σχήμα (4.3.3) και για την οποία στο κεφάλαιο 3.4 αποδείχθηκε ότι ισχύει:

$$T_{P\alpha} = \frac{T_\alpha}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_\alpha + \tan^2 \theta_\alpha}} \quad (4.3.2)$$

Από τις σχέσεις (4.3.1) και (4.3.2) προκύπτει τελικά για την απόσταση x ότι:

$$x = \frac{D_\alpha - T_\alpha}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_\alpha + \tan^2 \theta_\alpha}} \quad (4.3.3)$$

όπου:

- x : απόσταση της άρθρωσης από την ελεύθερη επιφάνεια,
- D_α : το κοίλο του σώματος α
- T_α : το βύθισμα του σώματος α
- φ_α : η εγκάρσια κλίση του σώματος α , και τέλος
- θ_α : η διαμήκης κλίση του σώματος α

Ο όρος που μας ενδιαφέρει είναι το T^a , οπότε ανασχηματίζουμε:

$$D^a - T^a = x \cdot \sqrt{1 + \tan^2 \varphi_\alpha + \tan^2 \theta_\alpha} \quad (4.3.4)$$

Για την απλούστευση των υπολογισμών και των μαθηματικών όρων που θα εισαχθούν στο τελικό σύστημα ως προς επίλυση θα ορίσουμε τον όρο RD_2 :

$$RD_2 = \sqrt{1 + \tan^2 \varphi_\alpha + \tan^2 \theta_\alpha} \quad (4.3.5)$$

Συνεπώς η (4.3.4) γίνεται:

$$D^a - T^a = x \cdot RD_2 \quad (4.3.6)$$

Όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 4.1 της μοντελοποίησης του προβλήματος το βύθισμα T_a ενός σώματος a , σε οποιοδήποτε σημείο, δίνεται από την σχέση:

$$T^a = T_o^a + \frac{\sum P_J^a + \sum P_K^a}{\gamma A^a w} + y_y^a \frac{\sum P_J^a \cdot y_J^a + \sum P_K^a \cdot y_K^a}{\Delta^a \cdot GM_T^a} + x_x^a \frac{\sum P_J^a \cdot x_J^a + \sum P_K^a \cdot x_K^a}{\Delta^a \cdot GM_L^a} \quad (4.3.7)$$

όπου:

- $\sum P_{Joints}$ είναι το συνολικό άθροισμα των δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα από τις αρθρώσεις,
- $\sum P_{Known}$ το συνολικό άθροισμα των γνωστών βαρών που ασκούνται στο σώμα συμπεριλαμβανομένου και του βάρους του σώματος,
- γ η πυκνότητα του νερού στο μετρικό σύστημα και
- A_w η ίσαλος επιφάνεια του σώματος.
- y_y είναι η τετμημένη του σημείου που ζητάμε να βρούμε το βύθισμα,
- $\sum P_J \cdot y_J$ είναι η ροπή που ασκεί κάθε άρθρωση ως προς το κέντρο πλευστότητας (CF) του σώματος,
- $\sum P_K \cdot y_K$ είναι η ροπή κάθε γνωστή δύναμης ως προς το CF του σώματος,
- Δ το συνολικό εκτόπισμα του σώματος και
- GM_T το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος.
- x_x είναι η τεταγμένη του σημείου που ζητάμε να βρούμε το βύθισμα,
- $\sum P_J \cdot x_J$ η ροπή κάθε άρθρωσης ως προς το κέντρο πλευστότητας (CF) του σώματος,
- $\sum P_K \cdot x_K$ η ροπή κάθε γνωστή δύναμη ως προς το (CF) του σώματος,
- Δ το συνολικό εκτόπισμα του σώματος και
- GM_L το διάμηκες μετακεντρικό ύψος.

Οπότε τελικά με βάση τις σχέσεις (4.3.6) και (4.3.7) προκύπτει:

$$D^a - T_o^a - \frac{\sum P_J^a + \sum P_K^a}{\gamma A^a w} - y_y^a \frac{\sum P_J^a \cdot y_J^a + \sum P_K^a \cdot y_K^a}{\Delta^a \cdot GM_T^a} - x_x^a \frac{\sum P_J^a \cdot x_J^a + \sum P_K^a \cdot x_K^a}{\Delta^a \cdot GM_L^a} = x \cdot RD_2 \quad (4.3.8)$$

οπότε χωρίζοντας τους γνωστούς όρους και τις γνωστές δυνάμεις με τις άγνωστες δυνάμεις από τις αρθρώσεις προκύπτει:

$$\begin{aligned}
 & x \cdot RD_2 + \frac{\sum P_J^a}{\gamma A^a w} + y^a \frac{\sum P_J^a \cdot y_J^a}{\Delta^a \cdot GM_T^a} + x^a \frac{\sum P_J^a \cdot x_J^a}{\Delta^a \cdot GM_L^a} = \\
 & = -T_o^a - \frac{\sum P_K^a}{\gamma A^a w} - y^a \frac{\sum P_K^a \cdot y_K^a}{\Delta^a \cdot GM_T^a} - x^a \frac{\sum P_K^a \cdot x_K^a}{\Delta^a \cdot GM_L^a} + D^a
 \end{aligned} \tag{4.3.9}$$

4.4. Επίλυση του γραμμικού συστήματος

Το σύστημα που έχουμε να επιλύσουμε είναι της μορφής :

$$[A] \cdot [\bar{x}] = [B] \quad (4.4.1)$$

όπου :

- $[A]$ είναι ο πίνακας των συντελεστών των αγνώστων που προκύπτει από το πρώτο μέλος των εξισώσεων (4.2.1) , (4.2.2) και (4.2.3),
- $[B]$ είναι ο πίνακας των γνωστών όρων που προκύπτουν από το δεύτερο μέλος των εξισώσεων (4.2.1) , (4.2.2) και (4.2.3) και
- $[\bar{x}]$ είναι ο πίνακας των άγνωστων δυνάμεων στις αρθρώσεις.

Για την επίλυση του γραμμικού συστήματος θα χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο **LU Decomposition**, η οποία αναλύεται διεξοδικά στην συνέχεια. Ας υποθέσουμε ότι μπορούμε να γράψουμε το πίνακα A σαν γινόμενο δύο πινάκων.

$$L \cdot U = A \quad (4.4.2)$$

όπου:

- L είναι ένας κάτω διαγώνιος πίνακας και
- U ένας πάνω διαγώνιος πίνακας

Για την περίπτωση ενός 4×4 πίνακα A , η εξίσωση (4.4.2) θα γίνει ως εξής:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & \beta_{13} & \beta_{14} \\ 0 & \beta_{22} & \beta_{23} & \beta_{24} \\ 0 & 0 & \beta_{33} & \beta_{34} \\ 0 & 0 & 0 & \beta_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \quad (4.4.3)$$

$$= \begin{bmatrix} a_{11} \cdot \beta_{11} & a_{11} \cdot \beta_{12} & a_{11} \cdot \beta_{13} & a_{11} \cdot \beta_{14} \\ a_{21} \cdot \beta_{11} & a_{21} \cdot \beta_{12} + a_{22} \cdot \beta_{22} & a_{21} \cdot \beta_{13} + a_{22} \cdot \beta_{23} & a_{21} \cdot \beta_{14} + a_{22} \cdot \beta_{24} \\ a_{31} \cdot \beta_{11} & a_{31} \cdot \beta_{12} + a_{32} \cdot \beta_{22} & a_{31} \cdot \beta_{13} + a_{32} \cdot \beta_{23} + a_{33} \cdot \beta_{33} & a_{31} \cdot \beta_{14} + a_{32} \cdot \beta_{24} + a_{33} \cdot \beta_{34} \\ a_{41} \cdot \beta_{11} & a_{41} \cdot \beta_{12} + a_{42} \cdot \beta_{22} & a_{41} \cdot \beta_{13} + a_{42} \cdot \beta_{23} + a_{43} \cdot \beta_{33} & a_{41} \cdot \beta_{14} + a_{42} \cdot \beta_{24} + a_{43} \cdot \beta_{34} + a_{44} \cdot \beta_{44} \end{bmatrix}$$

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την διάσπαση του πίνακα όπως στην (4.4.2) για να λύσουμε το σύστημα:

$$A \cdot x = (L \cdot U) \cdot x = L \cdot (U \cdot x) = b \quad (4.4.4)$$

λύνοντας πρώτα για τον πίνακα y έτσι ώστε :

$$L \cdot y = b \quad (4.4.5)$$

και κατόπιν λύνοντας το :

$$U \cdot x = y \quad (4.4.6)$$

Το πλεονέκτημα που προκύπτει από την διάσπαση ενός γραμμικού συστήματος σε δυο διαδοχικά είναι ότι η λύση ενός διαγώνιου συστήματος εξισώσεων είναι αρκετά απλή, οπότε η εξίσωση (4.4.5) μπορεί να λυθεί με την αντικατάσταση:

$$y_1 = \frac{b_1}{a_{11}} \quad (4.4.7)$$

$$y_i = \frac{1}{a_{ii}} \left[b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij} y_j \right] \quad i = 2, 3, 4, \dots, N \quad (4.4.8)$$

και η εξίσωση (4.4.6) μπορεί να λυθεί με την παρακάτω αντικατάσταση:

$$x_N = \frac{y_N}{\beta_{NN}} \quad (4.4.9)$$

$$x_i = \frac{1}{\beta_{ii}} \left[y_i - \sum_{j=i+1}^N \beta_{ij} x_j \right] \quad i = N-1, N-2, \dots, 1 \quad (4.4.10)$$

για τις εξισώσεις (4.4.8) και (4.4.10) γίνονται σύνολο (για κάθε δεξιά μεριά του b) N^2 εκτελέσεις μιας εσωτερικής επανάληψης περιέχοντας ένα πολλαπλασιασμό και μια άθροιση. Εάν έχουμε N δεξιές μεριές οι οποίες είναι οι μιας στήλης πίνακες (οι οποίοι είναι η περίπτωση στην οποία αντιστρέφουμε ένα πίνακα), τότε λαμβάνοντας υπόψη τα καθοδηγητικά μηδενικά, μειώνεται ο μετρητής συνολικών επαναλήψεων για την (4.4.8) από $\frac{1}{2}N^3$ σε $\frac{1}{6}N^3$, ενώ για την (4.4.10) δεν μεταβάλλεται πέραν του $\frac{1}{2}N^3$. Σημειώνουμε ότι όταν έχουμε την μέθοδο LU για την διάσπαση του A μπορούμε να ασχοληθούμε με την επίλυση όσων διαφορετικών πινάκων b θέλουμε ταυτοχρόνως. Αυτή είναι και η ουσιώδης πλεονέκτημα της $LU Decomposition$ εν σχέση με άλλες μεθόδους.

Αλγόριθμος για την εκτέλεση την $LU Decomposition$

Πρέπει να βρούμε τον πίνακα L και U , δοθέντος της A . Πρώτα, γράφουμε τις i, j συνιστώσες της εξίσωσης (4.4.2) ή της (4.4.3). Η συνιστώσα αυτή είναι πάντοτε ένα άθροισμα ξεκινώντας με:

$$a_{i1}\beta_{1j} + \dots = a_{ij} \quad (4.4.11)$$

Το σύνολο των όρων στο άθροισμα εξαρτάται, στο εάν το i ή το j είναι μικρότερος αριθμός. Οπότε έχουμε τις κάτωθι τρεις περιπτώσεις:

$$\bullet \quad i < j \quad \Rightarrow \quad a_{i1}\beta_{1j} + a_{i2}\beta_{2j} + \dots + a_{ii}\beta_{ij} = a_{ij} \quad (4.4.12)$$

$$\bullet \quad i = j \quad \Rightarrow \quad a_{i1}\beta_{1j} + a_{i2}\beta_{2j} + \dots + a_{ii}\beta_{jj} = a_{ij} \quad (4.4.13)$$

$$\bullet \quad i > j \quad \Rightarrow \quad a_{i1}\beta_{1j} + a_{i2}\beta_{2j} + \dots + a_{ij}\beta_{jj} = a_{ij} \quad (4.4.14)$$

Οι εξισώσεις (4.4.12) – (4.4.14) αριθμούν σύνολο N^2 εξισώσεων για τα $N^2 + N$ άγνωστα α και β (διότι η διαγώνιος παρουσιάζεται σύνολο δυο φορές. Εφόσον

ο αριθμός των αγνώστων είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των εξισώσεων, πρέπει να καθορίσουμε N από τους αγνώστους αυθαιρέτως και κατόπιν να προσπαθήσουμε να λύσουμε τους υπόλοιπους. Πράγματι όπως θα δούμε, είναι πάντοτε δυνατό να πάρουμε:

$$a_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, N \quad (4.4.15)$$

Μια πολύ καλή διαδικασία είναι ο αλγόριθμος του *Crout*, ο οποίος πολύ απλά λύνει το σύστημα των $N^2 + N$ εξισώσεων (4.4.12) – (4.4.14), για όλα τα a και β , απλά διατάσσοντας τις εξισώσεις με μια συγκεκριμένη σειρά. Η σειρά αυτή έχει ως εξής :

➤ **Βήμα 1**

Θέτουμε $a_{ij} = 1$ για $i = 1, 2, \dots, N$ (εξίσωση 4.4.15)

➤ **Βήμα 2**

Για κάθε $j=2, 3, \dots, N$, κάνουμε τις παρακάτω δυο διαδικασίες:

a) Για $i=1, 2, \dots, j$ χρησιμοποιούμε τις (4.4.12) και (4.4.15) για να λύσουμε για την β_{ij} ως εξής:

$$\beta_{ij} = a_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} a_{ik} \beta_{kj} \quad (4.4.16)$$

(Όταν $i=1$ τότε στην (4.4.16) ο αθροιστικός όρος λαμβάνεται μηδέν).

b) Για $i=j+1, j+2, \dots, N$ χρησιμοποιούμε την (4.4.16) για την επίλυση του a_{ij} ως εξής:

$$a_{ij} = \frac{1}{\beta_{ii}} \left(a_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} a_{ik} \beta_{kj} \right) \quad (4.4.17)$$

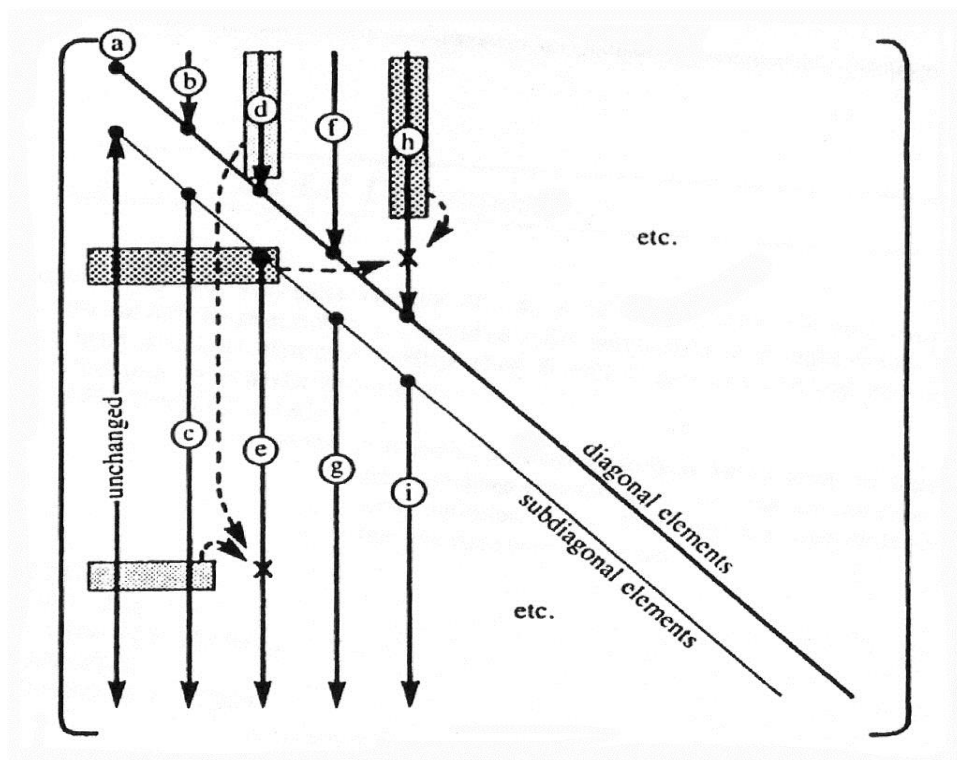
Η πρώτη και στην συνέχεια η δεύτερη διαδικασία θα πρέπει να ολοκληρώνονται πρώτου συνεχίσουμε με την επόμενη τιμή.

Εάν γίνουμε μερικές επαναλήψεις τις παραπάνω μεθόδου, θα δούμε ότι τα a και β που προκύπτουν στο δεξί μέλος των εξισώσεων (4.4.16) και (4.4.17) είναι ήδη

καθορισμένες από την στιγμή που θα τις χρειαστούμε. Επίσης θα δούμε ότι κάθε a_{ij} χρησιμοποιείτε μόνο μια φορά και ποτέ ξανά. Αυτό σημαίνει ότι το αντίστοιχο a_{ij} ή β_{ij} μπορεί να αποθηκευτεί στην θέση που χρησιμοποιούσε το a , οπότε η διάσπαση του πίνακα έχει αρχίσει (τα διαγώνια μοναδιαία στοιχεία a_{ii} (εξίσωση 4.4.15) δεν αποθηκεύονται). Συνοπτικά η μέθοδος του *Crout* συμπληρώνει στον συνδυασμένο πίνακα των α και β ,

$$\begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & \beta_{13} & \beta_{14} \\ a_{21} & \beta_{22} & \beta_{23} & \beta_{24} \\ a_{31} & a_{32} & \beta_{33} & \beta_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & \beta_{44} \end{bmatrix} \quad (4.4.18)$$

κατά στήλες από αριστερά στα δεξιά, και μέσα σε κάθε στήλη από την κορυφή προς το τέλος όπως σχηματικά παρουσιάζεται και στο ακόλουθο σχήμα (σχήμα 4.4.1).



Σχήμα 4.4.1

Σχηματική παρουσίαση της λειτουργίας του αλγορίθμου *Crout* για την *LU* διάσπαση ενός πίνακα. Στοιχεία από τον αρχικό πίνακα τροποποιούνται με την σειρά που καθορίζεται από γράμματα χαμηλότερων περιπτώσεων. Τα γραμμωσκιασμένα κουτιά δείχνουν τα προηγούμενα τροποποιημένα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την τροποποίηση δυο τυπικών στοιχείων το καθένα ενδεικνυόμενο από ένα «X».

Η καθοδήγηση (δηλαδή η επιλογή του σωστού καθοδηγητικού στοιχείου για την διαίρεση στην εξίσωση (4.4.17) είναι αναμφίβολα θεμελιώδη για την ευστάθεια στην μέθοδο του *Crout*. Μόνο μερική καθοδήγηση (εναλλαγή των σειρών) μπορεί να υλοποιηθεί αποτελεσματικά. Ωστόσο αυτό είναι αρκετό για να κάνει την μέθοδο ευσταθή. Αυτό σημαίνει, παρεμπιπτόντως, ότι δεν διασπούμε πραγματικά των πίνακα A σε LU μορφή, αλλά διασπούμε μια κατά σειρά αντιμετάθεση του A (η οποία είναι τόσο αποτελεσματική όσο και η διάσπαση του αρχικού πίνακα). Η καθοδήγηση είναι λίγο περίπλοκη στον αλγόριθμο του *Crout*. Το σημείο κλειδί που πρέπει να προσέξουμε είναι ότι η εξίσωση (4.4.16) στην περίπτωση όπου $i=j$ (στην τελική της εφαρμογή) είναι ακριβώς ίδια με την εξίσωση (4.4.17) εκτός από την διαίρεση στην τελευταία εξίσωση, και στις δυο περιπτώσεις το άνω όριο του αθροίσματος είναι $k=j-1(=i-1)$. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχουμε να δεσμευτούμε στο εάν το διαγώνιο στοιχείο β_{jj} είναι το στοιχείο το οποίο πέφτει στην διαγώνιο ή εάν είναι το (αδιαίρετο) a_{ij} κάτω από αυτό στην στήλη $i=j+1, \dots, N$ είναι εκείνο που θα «προαχθεί» να γίνει το διαγώνιο β . Αυτό μπορεί να αποφασιστεί όταν όλα τα υποψήφια στοιχεία στην στήλη είναι προς χρήση. Οπότε θα διαλέξουμε το μεγαλύτερο στοιχείο στην διαγώνιο, και στην συνέχεια κάνουμε όλες τις διαιρέσεις με αυτό το στοιχείο συνολικά. Αυτή είναι η μέθοδος *Crout* μερικής καθοδήγησης. Η υλοποίηση έχει μία επιπλέον λεπτομέρεια: αρχικά βρίσκει το μεγαλύτερο στοιχείο σε κάθε σειρά, και κατά συνέπεια (όταν ψάχνει για το μέγιστο στοιχείο οδήγησης) κλιμακώνω την σύγκριση σαν να είχαμε από την αρχή κλιμακώσει όλες τις εξισώσεις για να κάνουμε το μέγιστο συντελεστή ίσο με την μονάδα.

5. Ανάλυση του προγράμματος

5.1. Ανάλυση και διάγραμμα ροής του προγράμματος

Το παρόν πρόγραμμα έχει υλοποιηθεί σε *Fortran 95*, η οποία μας δίνει την δυνατότητα χρήσης νέων εντολών που διευκολύνουν τόσο τον προγραμματισμό όσο και την μείωση του χρόνου επεξεργασίας του προγράμματος.

Για την αύξηση της ταχύτητας επεξεργασίας του προγράμματος έπρεπε να χρησιμοποιηθεί η ελάχιστη δυνατή μνήμη. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση της εντολής *Allocate*. Με την παραπάνω εντολή οι διαστάσεις των πινάκων που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία του προγράμματος καθορίζονται εσωτερικά στο πρόγραμμα κατόπιν της ανάγνωσης μεταβλητών που καθορίζουν τις παραμέτρους του εκάστοτε προβλήματος που καλούμαστε να επιλύσουμε.

Στην επεξεργασία του προγράμματος χρησιμοποιούνται εκτός από τις αριθμητικές παραμέτρους και δυο παράμετροι που καθορίζουν το μαθηματικό μοντέλο επίλυσης του προβλήματος. Αυτές είναι η $F1$ και η $F2$ και ορίζουν εάν θα λάβουμε υπόψη μας στην αλγεβρική σχέση την θεωρία μικρών μεταβολών.

Οι όροι $F1$ και $F2$ εμπεριέχονται στους τύπους υπολογισμού της εγκάρσιας και διαμήκους γωνίας

$$\bullet \quad \tan \varphi = \frac{Py_p}{\Delta \left[\left(\overline{KB} + \overline{BM}_T \left(1 + F1 \frac{\tan^2 \varphi}{2} \right) - \overline{KG} \right) \right]} \quad (5.1.1)$$

$$\bullet \quad \tan \theta = \frac{Px_p}{\Delta \left[\left(\overline{KB} + \overline{BM}_L \left(1 + F2 \frac{\tan^2 \theta}{2} \right) - \overline{KG} \right) \right]} \quad (5.1.2)$$

και ισχύει ότι

- Για $F1 = F2 = 0$, (όταν δηλαδή οι μεταβλητές λαμβάνουν την τιμή μηδέν) απλοποιούνται οι όροι της εφαπτομένης θεωρώντας ότι η συμμετοχή τους στα αριθμητικά αποτελέσματα είναι αμελητέα, ενώ
- Για $F1 = F2 = 1$, (δηλαδή όταν παίρνουν τιμή ίση με την μονάδα) λαμβάνονται υπόψη όλοι οι όροι στην μοντελοποίηση του προβλήματος.

5.1.1. Δεδομένα εισόδου

Ανάγνωση δεδομένων εισόδου και επεξεργασίας τους

Αρχικά το πρόγραμμα λαμβάνει τις κύριες μεταβλητές που καθορίζουν

- τον αριθμό των σωμάτων,
- τον αριθμό των αρθρώσεων (αν υπάρχουν),
- τον αριθμό των γαστρών του συστήματος που καλούμαστε να επιλύσουμε και
- τον αριθμό των διαμερισμάτων που κατακλύζονται (αν υπάρχουν),
- τον αριθμό συγκεκριμένων σημείων στα οποία ο χρήστης ζητά το βύθισμα μιας γάστρας (εάν υπάρχουν).

Στην ανάγνωση των κυρίων μεταβλητών γίνεται ανάγνωση και άλλων δευτερευόντων μεταβλητών που θα δούμε αναλυτικά στο κεφάλαιο 6, όπου και περιγράφεται διεξοδικά η εισαγωγή των δεδομένων στο σύστημα.

Βάσει όλων των παραπάνω αριθμών θα καθορισθούν οι διαστάσεις των πινάκων που θα επεξεργασθούμε στο πρόγραμμα.

Στην συνέχεια γίνεται ανάγνωση των δεδομένων για τα κύρια χαρακτηριστικά της κάθε εξέδρας, δηλαδή

- την αρχή συντεταγμένων του σωματοπαγούς συστήματος,
- το μήκος,
- το πλάτος και
- το κοίλο του καταστρώματος.

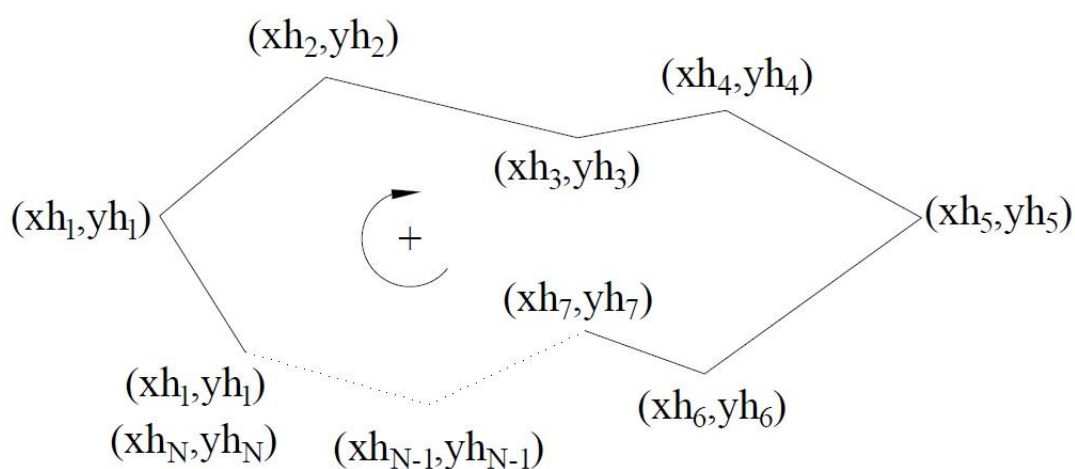
Ακολούθως αρχίζει η ανάγνωση των γαστρών και των χαρακτηριστικών τους. Μπορούμε να υπολογίσουμε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά για τρεις τύπους γαστρών.

Τύπος 1

Αντιστοιχεί σε γάστρα η διατομή της οποίας είναι τυχαίας γεωμετρίας.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ενδιαφέρον να αναφερθεί ο αλγόριθμος εύρεσης του εμβαδού, του κέντρου βάρους και της 2^{ης} ροπής αδράνειας.

Στην περίπτωση λοιπόν μιας γάστρας της οποίας η επιφάνεια έχει πολυγωνική διατομή (σχήμα 5.1.1.1), το εμβαδόν αυτής είναι δυνατόν να υπολογισθεί μέσω του αλγορίθμου Shoelace.



Σχήμα 5.1.1.1

Πολυγωνική γάστρα N σημείων

Ο αλγόριθμος Shoelace περιεγράφηκε από τον Carl Friedrich Gauss το 1795, γι' αυτό και είναι επίσης γνωστός και ως Gauss area formula. Μέσω του αλγορίθμου αυτού πραγματοποιείται ο υπολογισμός του εμβαδού της επιφάνειας ενός απλού πολυγώνου (πολύγωνο το οποίο δεν έχει πλευρές που να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους) μέσω της υποδιαίρεσης της επιφάνειας αυτής σε τρίγωνα. Βασική προϋπόθεση αποτελεί η γνώση του ζεύγους των συντεταγμένων για κάθε γωνία.

Ισχύει λοιπόν ότι, για πολύγωνο με N κορυφές x_i, y_i ($i = 1$ έως N), το εμβαδόν και το κέντρο της επιφάνειας ή κέντρο βάρους δίνονται από τις σχέσεις:

- Εμβαδόν:

$$A = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \right| \quad (4.1.1.1)$$

- Κέντρο επιφάνειας:

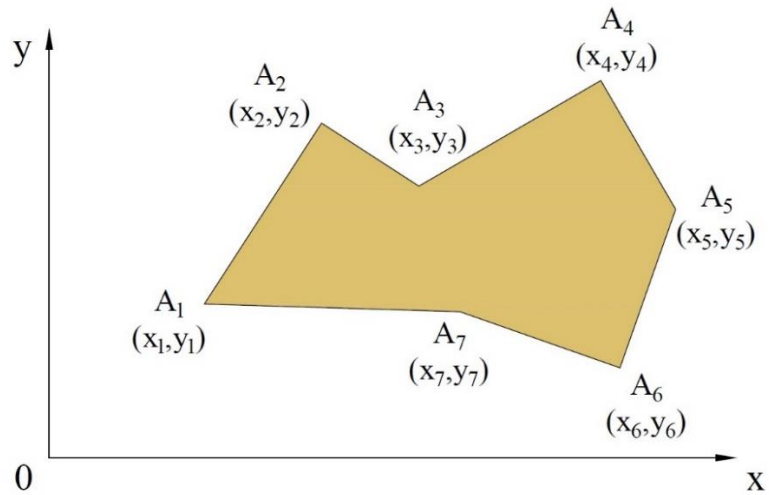
$$\left. \begin{aligned} C_x &= \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \\ C_y &= \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \end{aligned} \right\} \quad (4.1.1.2)$$

Το σημείο x_N είναι το σημείο x_0 , αυτό σημαίνει με άλλα λόγια ότι το πολύγωνο είναι ένα κλειστό σχήμα.

Η απόδειξη του αλγορίθμου Shoelace βασίζεται στην εξής θεωρία. Έστω πολύγωνο αποτελούμενο από N αριθμό σημείων $(A_1, A_2, \dots, A_{N-1}, A_N)$. Θεωρούμε ένα σημείο O εντός του πολυγώνου ώστε οι σχηματιζόμενες γωνίες $(OA_i) \hat{ } (OA_{i+1})$ και $(OA_n) \hat{ } (OA_1)$ να είναι θετικές. Μέσω του αλγορίθμου προθέτονται όλες οι περιοχές των σχηματιζόμενων τριγώνων $(OA_i A_{i+1})$ και $(OA_n A_1)$ με την κάθε μία από τις περιοχές αυτές να είναι ίση με $OA_i A_{i+1} = \frac{x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i}{2}$. Το προηγούμενο προκύπτει από το ότι η σχέση $x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i$ μας υπολογίζει το εμβαδόν ενός παραλληλογράμμου του οποίου το ήμισυ αντιστοιχεί στο εμβαδόν του κάθε ενός από τα σχηματιζόμενα τρίγωνα. Καθώς συμβαίνει η αναδίπλωση γύρω από το πολύγωνο, τα σχηματιζόμενα τρίγωνα με θετική και αρνητική περιοχή θα αλληλεπικαλύπτονται μεταξύ τους. Έτσι, οι περιοχές μεταξύ του σημείου O και του πολυγώνου να εξουδετερωθούν και να έχουν άθροισμα 0, παραμένοντας μόνο η περιοχή που ορίζεται από κάθε τρίγωνο. Εάν κινηθούμε κατά την ωρολογιακή φορά, από την πλευρά του σημείου O τότε θα προστεθεί θετική περιοχή ενώ στην αντίθετη περίπτωση θα προστεθεί αρνητική. Και στις 2 περιπτώσεις το εμβαδόν που θα προκύψει θα είναι σωστό, όμως το πρόσημο μπορεί να είναι είτε θετικό είτε αρνητικό για τον λόγο αυτό λαμβάνουμε πάντα την απόλυτη τιμή του αποτελέσματος που θα προκύψει (σχέση 5.1.1.1).

Για την πλήρη κατανόηση της απόδειξης του θεωρήματος που παρουσιάστηκε προηγουμένως θα χρησιμοποιήσουμε το ακόλουθο παράδειγμα:

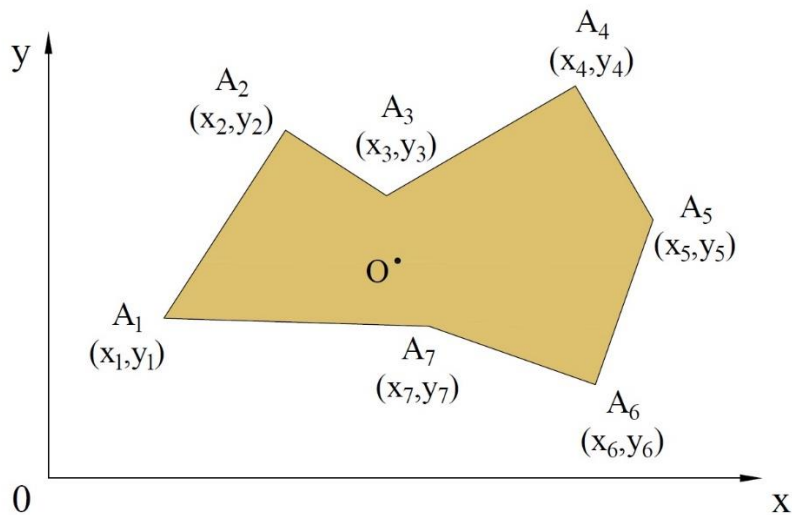
Έστω πολύγωνο αποτελούμενο από 7 σημεία (σχήμα 5.1.1.2)



Σχήμα 5.1.1.2

Πολύγωνο N κορυφών.

Θεωρώ το σημείο O στο εσωτερικό του πολυγώνου (σχήμα 5.1.1.3)

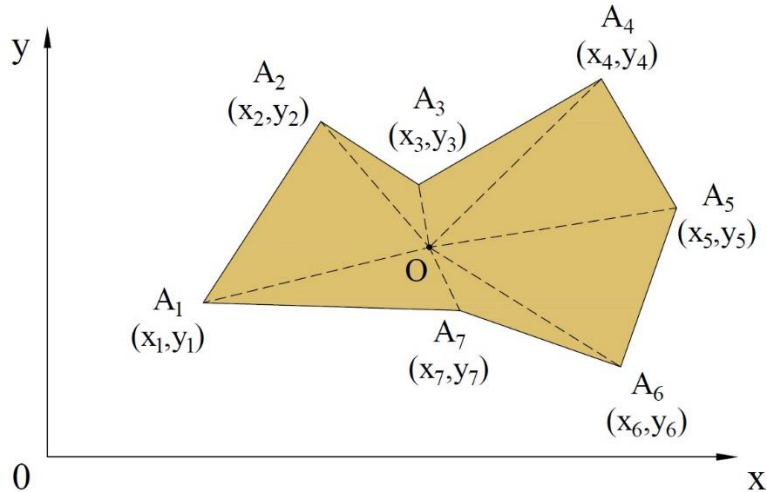


Σχήμα 5.1.1.3

Σημείο O στο εσωτερικό του πολυγώνου

με την βοήθεια του οποίου μπορεί να θεωρηθεί ότι σχηματίζονται τα 7 τρίγωνα (σχήμα 5.1.1.4) που ακολουθούν:

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| 1. $\triangle(OA_1A_2)$ | 5. $\triangle(OA_5A_6)$ |
| 2. $\triangle(OA_2A_3)$ | 6. $\triangle(OA_6A_7)$ |
| 3. $\triangle(OA_3A_4)$ | 7. $\triangle(OA_7A_1)$ |
| 4. $\triangle(OA_4A_5)$ | |



Σχήμα 5.1.1.4

Διαχωρισμός του πολυγώνου σε τρίγωνα

Μέσω της προηγούμενης ανάλυσης μπορεί να αποδειχθεί ότι οι δευτέρες ροπές αδράνειας της επιφάνειας ενός πολυγώνου δίνονται από τις σχέσεις:

Δευτέρες ροπές αδράνειας:

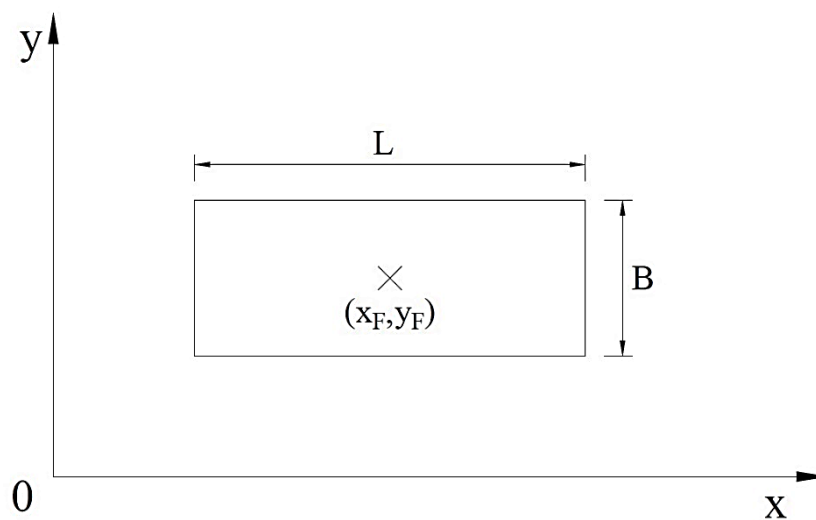
$$\left. \begin{aligned} I_x &= \frac{1}{12} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i^2 + y_i y_{i+1} + y_{i+1}^2) (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \\ I_y &= \frac{1}{12} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i^2 + x_i x_{i+1} + x_{i+1}^2) (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \\ I_{xy} &= \frac{1}{24} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_{i+1} + 2x_i y_i + 2x_{i+1} y_{i+1} + x_{i+1} y_i) (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \end{aligned} \right\} \quad (5.1.1.3)$$

Με τους παραπάνω τύπους υπολογίζουμε όλα τα χαρακτηριστικά της τυχαίας γάστρας που είναι απαραίτητα για τους υπολογισμούς μας, λαμβάνοντας υπόψιν τις ακόλουθες παρατηρήσεις:

- Ορίζουμε ως θετική φορά διαγραφής των σημείων της τυχαίας γάστρας την ωρολογιακή.
- Τις συντεταγμένες της γάστρας τις μετράμε όλες από την αρχή του σωματοπαγούς συστήματος αξόνων που ορίζεται από την εξέδρα στην οποία ανήκει η γάστρα που έχουμε επιλέξει.
- Το πρώτο ζευγάρι συντεταγμένων συμπίπτει με το τελευταίο έτσι ώστε να κλείνει γεωμετρικά η επιλεγμένη περιοχή.

Τύπος 2

Ο τύπος 2 αντιστοιχεί σε γάστρα ορθογωνικής διατομής τα γεωμετρικά στοιχεία της οποίας προκύπτουν από τους κλασσικούς τύπους για ορθογώνια.



Σχήμα 5.1.1.5

Γάστρα ορθογωνικής διατομής

Αν θεωρήσουμε ορθογωνική γάστρα όπως στο σχήμα 5.1.1.5 τα γεωμετρικά στοιχεία προκύπτουν:

- Εμβαδόν:

$$A = L \times B \quad (5.1.1.4)$$

- Κέντρο επιφάνειας:

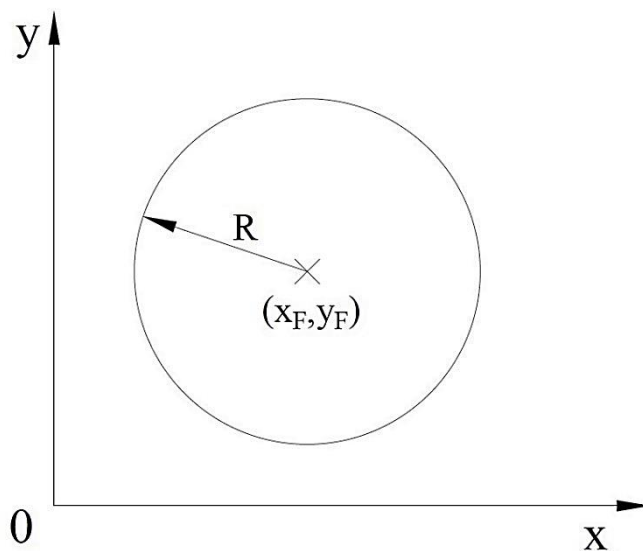
$$\left. \begin{array}{l} C_x = L/2 \\ C_y = B/2 \end{array} \right\} \quad (5.1.1.5)$$

- Δεύτερες ροπές αδράνειας:

$$\left. \begin{array}{l} I_{xx} = \frac{L \times B^3}{12} \\ I_{yy} = \frac{B \times L^3}{12} \\ I_{xy} = 0 \end{array} \right\} \quad (5.1.16)$$

Τύπος 3

Ο τύπος 3 τέλος, αντιστοιχεί σε γάστρα κυκλικής διατομής και ομοίως με την περίπτωση της ορθογωνικής διατομής τα γεωμετρικά του στοιχεία υπολογίζονται από τους κλασσικούς τύπους για κυκλικές επιφάνειες.



Σχήμα 5.1.1.6

Γάστρα κυκλικής διατομής

Αν θεωρήσουμε κυκλική γάστρα όπως στο σχήμα 5.1.1.6 τα γεωμετρικά στοιχεία προκύπτουν:

- Εμβαδόν:

$$A = \pi \times R^2 \quad (5.1.1.4)$$

- Κέντρο επιφάνειας:

Το κέντρο (x_F, y_F) του κύκλου

- Δεύτερες ροπές αδράνειας:

$$\left. \begin{aligned} I_{xx} = I_{yy} &= \frac{\pi \times R^2}{4} \\ I_{xy} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5.1.1.6)$$

Κατόπιν της ανάγνωσης των στοιχείων των γαστρών ακολουθεί η ανάγνωση των γεωμετρικών στοιχείων των αρθρώσεων. Δηλαδή σε ποια θέση είναι στο ολικό σύστημα συντεταγμένων η άρθρωση, εάν είναι ελεύθερη ή περιορισμένη (αγκύρωση ή δέσιμο σε μόλο) και επιπλέον με ποια σώματα συνδέεται η κάθε άρθρωση και σε ποιο ύψος, εν σχέση με το σωματοπαγές σύστημα κάθε εξέδρας.

Στην συνέχεια εντός του προγράμματος αντιστρέφουμε τους υπολογισμούς και υπολογίζουμε για κάθε σώμα με πόσες και ποιες αρθρώσεις συνδέεται καθότι θα μας χρειαστεί σε υπολογισμούς στην συνέχεια μέσα στο πρόγραμμα.

Ακολουθώντας της επεξεργασίας των στοιχείων των αρθρώσεων είναι η επεξεργασία των δεδομένων βαρών, όπου υπολογίζεται η συνισταμένη δύναμη των δυνάμεων που ασκούνται στην εξέδρα, η συνισταμένη ροπή τους και το κέντρο εφαρμογής τους.

Αμέσως μετά, στην περίπτωση ύπαρξης διαμερισμάτων υπό κατάκλυση το πρόγραμμα συνεχίζει με την ανάγνωση των χαρακτηριστικών για κάθε διαμέρισμα. Αρχικά διαβάζονται ο αριθμός του σώματος και της γάστρας όπου βρίσκεται το διαμέρισμα καθώς και η διαχωρητικότητα αυτού. Στην συνέχεια γίνεται ανάγνωση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών κάθε διαμερίσματος καθ' ομοίωση του τρόπου ανάγνωσης των γαστρών, δηλαδή υπάρχει η δυνατότητα και εδώ για ανάγνωση τριών τύπων γαστρών, πολυγωνικής, ορθογωνικής και κυκλικής διατομής. Ο υπολογισμός του εμβαδού, των δευτέρων ροπών και του γεωμετρικού κέντρου γίνεται και εδώ κατ' αντιστοιχία με αυτόν του υπολογισμού για κάθε γάστρα. Το γεωμετρικό κέντρο και εδώ υπολογίζεται σε σχέση με το τοπικό σύστημα συντεταγμένων.

Στην παρούσα φάση στην περίπτωση ύπαρξης διαμερισμάτων με κατάκλυση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός των νέων γεωμετρικών χαρακτηριστικών κάθε σώματος. Συγκεκριμένα, στα πλαίσια της μεθόδου της χαμένης άντωσης η οποία περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.5 θα πρέπει να υπολογισθεί το εμβαδόν της νέας ισάλου μετά τη βλάβη A_{wI} , οι συντεταγμένες του νέου κέντρου πλευστότητας $(x_{F'}, y_{F'})$ και τέλος οι νέες 2^{ες} ροπές αδράνειας $(I_{xx}^{F'}, I_{yy}^{F'}, I_{xy}^{F'})$ ως προς το νέο κέντρο πλευστότητας F' .

Πριν ολοκληρωθούν οι διαδικασίες επεξεργασίας των γεωμετρικών στοιχείων ευστάθειας που θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια του αλγορίθμου, θα πρέπει να γίνει απαλοιφή του όρου του γινομένου αδράνειας $I_{xy}^{F'}$ που αναπτύσσεται στην περίπτωση γαστρών ασύμμετρου σχήματος. Όπως περιεγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 2 θα υπολογισθεί μία γωνία στροφής των κυρίως αξόνων του συστήματος ως προς την οποία το γινόμενο αδράνειας θα μηδενιστεί.

Τέλος στην περίπτωση ύπαρξης σημείων όπου ζητάται να υπολογιστεί και στην συνέχεια να παρουσιαστεί το βύθισμα σε συγκεκριμένα σημεία μίας εξέδρας, πραγματοποιείται η ανάγνωση των συντεταγμένων του κάθε ενός σημείου στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων.

Επειδή έχουμε δώσει στο σώμα την δυνατότητα να έχει περισσότερες των μία γαστρών, και μάλιστα διαφορετικού κοίλου η καθεμία, χρειάζεται, προτού αρχίσουμε τους υπολογισμούς για τα υδροστατικά χαρακτηριστικά της εξέδρας, να ορίσουμε ένα μηδενικό επίπεδο. Οπότε υπολογίζουμε ποια γάστρα έχει το μεγαλύτερο κοίλο, και βάση του κατώτερου επιπέδου αυτής θα συνεχίσουμε τους υπολογισμούς μας .

Πριν προχωρήσουμε στο κυρίως μέρος του αλγορίθμου θα πρέπει να υπολογισθεί επίσης η συνισταμένη δύναμη που ασκείται σε κάθε σώμα, συμπεριλαμβανομένου και του βάρους του καθώς και η συνολική ροπή που δημιουργείται ως προς τους άξονες Ox , Oy και Oz .

Εφόσον το πρόγραμμα ακολουθεί επαναληπτική διαδικασία, κάποιοι υπολογισμοί χρειάζεται να επαναληφθούν τόσες φορές όσες και οι επαναλήψεις που απαιτούνται για την σύγκλιση του προγράμματος. Για αυτό το λόγο και την καλύτερη οργάνωση του, το πρόγραμμα αποτελείται από το κύριο μέρος και 11 υπορουτίνες (βλ. σχήμα 4.1.2.1) τις οποίες τις καλεί όποτε χρειάζεται να κάνει υπολογισμούς που συμμετέχουν στην επαναληπτική διαδικασία.

Προτού προχωρήσουμε στους υδροστατικούς υπολογισμούς, είναι απαραίτητο να βρούμε το συνολικό βύθισμα και εκτόπισμα του σώματος. Το πρόβλημα που ανακύπτει είναι ότι, εάν υπολογίσουμε το βύθισμα κάθε σώματος βάσει των αρχικών δυνάμεων που ασκούνται σε αυτό το κάθε σώμα θα ισοροπήσει σε θέση διαφορετική από αυτή που ορίζουν οι αρθρώσεις. Επιπλέον λόγω των περισσοτέρων από μια δυνάμεων, το συνιστάμενο αρχικό βάρος δεν είναι απαραίτητο να ασκείται στο CF του σώματος, οπότε η στροφή γύρω από τους άξονες να μην γίνεται γύρω από το σωστό σημείο. Για να διευκολύνουμε τους υπολογισμούς και να ικανοποιούμε τις απαιτήσεις της θεωρίας μικρών μεταβολών, βάσει της οποίας έχουμε μοντελοποιήσει το πρόβλημα ξεκινάμε την επίλυση του προβλήματος με ένα αρχικό βάρος στο CF του σώματος. Αυτό σημαίνει ότι το πρώτο βύθισμα στο σώμα το υπολογίζουμε βάσει αυτού του αρχικού βάρους που ασκείται στο κέντρο πλευστότητας. Πέραν όμως αυτού του σημείου προσθέτουμε στο σώμα το πραγματικό του βάρος και αφαιρούμε το αρχικό, οπότε το εξαναγκάζουμε σε παράλληλη βύθιση και στροφή γύρω από το σωστό αρχικό κέντρο περιστροφής.

Για τον σχηματισμό των εξισώσεων επίλυσης του προβλήματος χρειάζεται να γνωρίζουμε όλα τα υδροστατικά και γεωμετρικά της εξέδρας. Τα οποία θα υπολογισθούν στην συνέχεια. Για τον υπολογισμό του βυθίσματος και του εκτοπίσματος της κάθε εξέδρας καλούμε την υπορουτίνα ***Draught_Displf***. Στην οποία υπορουτίνα υπολογίζουμε πόσο απέχει κάθε φορά η ίσαλος επιφάνεια από το κατάστρωμα της εξέδρας ενώ στην περίπτωση ύπαρξης διαμερισμάτων με κατάκλυση λαμβάνεται υπόψη η παράλληλη βύθιση που προκύπτει λόγω του όγκου του νερού κατάκλυσης. Κατόπιν βρίσκουμε το βύθισμα κάθε γάστρας και τέλος το συνολικό της εκτόπισμα.

Αφού υπολογισθούν τα παραπάνω στοιχεία, καλούμε πλέον την υπορουτίνα ***CBUOY*** για τον υπολογισμό της εύρεσης του κέντρου άνωσης της εξέδρας KB , $LCBx$, $LCBy$. Όπως και στην ***Draught_Displf*** υπορουτίνα, έτσι και εδώ στην περίπτωση κατάκλυσης υπάρχει μία διαφοροποίηση. Ο υπολογισμός του κέντρου άνωσης θα πρέπει να πραγματοποιηθεί με βάση το συνολικό εκτόπισμα χωρίς τον όγκο του

κατακλυζόμενου νερού. Θα πρέπει λοιπόν, με απλά λόγια «να αφαιρεθεί» η άντωση του χώρου που κατακλύζεται όπως άλλωστε υπονοεί και το όνομα της μεθόδου που χρησιμοποιείται, «Μέθοδος χαμένης άντωσης».

Στην συνέχεια θα ορίσουμε τα στοιχεία των αρθρώσεων σε κάθε εξέδρα. Στο φάκελο εισόδου έχουμε δώσει τις συντεταγμένες των αρθρώσεων στο ολικό σύστημα αξόνων. Οπότε για τους υπολογισμούς μας, χρειαζόμαστε τις σχετικές συντεταγμένες της άρθρωσης (τους μοχλοβραχίονες) εν σχέσει με το κέντρο πλευστότητας CF της εξέδρας, τις οποίες τα χαρακτηριστικά υπολογίζουμε. Οπότε από τις συντεταγμένες της άρθρωσης αφαιρούμε τις συντεταγμένες του σωματοπαγούς συστήματος της εξέδρας και τις συντεταγμένες του κέντρου πλευστότητας που παραμένει αμετάβλητο καθ' όλη την διάρκεια των υπολογισμών μας. Είναι απαραίτητο να βρούμε και την καθ' ύψος θέση της άρθρωσης για τους παρακάτω δύο λόγους:

- Πρώτον οι δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε άρθρωση συμμετέχουνε στην εύρεση του KG , οπότε πρέπει να γνωρίζουμε την θέση της εν σχέσει με το βασικό επίπεδο αναφοράς, και
- Δεύτερον διότι χρειάζεται να υπολογίσουμε καθ' ύψος διαφορά στην άρθρωση σε κάθε εξέδρα. Αν δύο εξέδρες που συνδέονται μεταξύ τους με άρθρωση, έχουνε διαφορετικό κοίλο (δηλαδή κατά συνέπεια διαφορετικό επίπεδο αναφοράς) τότε η διαφορά αυτή πρέπει να συμπεριληφθεί σαν όρος στο δεύτερο μέλος στον υπολογισμό της ισότητας των βυθισμάτων, ώστε, να αναφέρονται στο ίδιο σύστημα αξόνων ως προς τον άξονα z .

Προτού προχωρήσουμε στο κύριο μέρος της επαναληπτικής διαδικασίας του προγράμματος υπολογίζουμε πλέον το συνολικό αριθμό εξισώσεων τόσο για να καθορίσουμε τον απαιτούμενο χώρο μνήμης που χρειάζεται να δεσμεύσουμε στην μνήμη του υπολογιστή μας όσο και να καθορίσουμε τον αριθμό των συνολικών επαναλήψεων που απαιτούνται για τον σχηματισμό του πίνακα των συντελεστών των αγνώστων.

5.1.2. Κύριο μέρος του αλγορίθμου

Αρχικά μηδενίζουμε όλες τις δυνάμεις στις αρθρώσεις και τις εφαπτόμενες των σωμάτων για να αποφύγουμε πιθανές αρχικές τιμές που μπορεί να έχει δώσει ο υπολογιστής στους παραπάνω πίνακες κατά τον ορισμό τους.

Η διαδικασία που θα περιγραφεί γίνεται είτε έως ότου το πρόγραμμα συγκλίνει είτε μέχρι να εκτελεστεί ένας αριθμός μεγίστων επαναλήψεων που εμείς έχουμε ορίσει.

Καλούμε την υπορουτίνα υπολογισμού των ροπών και των δυνάμεων *FANDM*. Στην υπορουτίνα αθροίζονται όλες οι δυνάμεις από τις αρθρώσεις (στην πρώτη επανάληψη είναι μηδέν) και υπολογίζεται η συνισταμένη τους και το σημείο εφαρμογής τους. Στην συνέχεια υπολογίζεται η συνολική δύναμη στο σώμα (συμπεριλαμβανομένων και των σταθερών βαρών που ασκούνται στο σώμα αφαιρώντας όμως πλέον την επίδραση της αρχικής υποθετικής δύναμης) και το σημείο εφαρμογής της καθώς και οι ροπές που δημιουργεί αυτή ως προς το CF .

Μετά, καλούμε την υπορουτίνα υπολογισμού του *KG*, την *DKGT*. Για την εύρεση του *KG* υπολογίζουμε κατευθείαν το γινόμενο εκτόπισμα επί *KG*. Ο λόγος είναι διότι στον παρονομαστή των εξισώσεων το *GM* πολλαπλασιάζεται με το εκτόπισμα, οπότε για μεγαλύτερη ευκολία στους υπολογισμούς πολλαπλασιάζουμε κατευθείαν τους όρους από τους οποίους αποτελείται το μετακεντρικό ύψος.

Παρομοίως υπολογίζουμε και το *KB*, καλώντας την υπορουτίνα *DKBT*. Και σε αυτή τη περίπτωση, αφού το *KB* είναι όρος του *GM* υπολογίζουμε κατευθείαν το γινόμενο εκτόπισμα επί *KB*.

Εφόσον γνωρίζουμε τις δυνάμεις και τις ροπές που ασκούνται σε κάθε εξέδρα, θα υπολογίσουμε με μια εσωτερική επαναληπτική διαδικασία σύγκλισης την γωνία εγκάρσιας και διαμήκουσ κλίσης κάθε εξέδρας, βάσει των υπολογισμένων δυνάμεων. Η υπορουτίνα που καλεί το πρόγραμμα είναι η *FINTAN*. Αξίζει να αναφερθούμε περιληπτικά στον αλγόριθμο υπολογισμού των εφαπτομένων. Ουσιαστικά διαμορφώνουμε τους τύπους (3.3.7) και (3.3.8) του 3^{ου} κεφαλαίου, με μόνη διαφορά ότι στους όρους συμμετοχής των εφαπτομένων στον παρονομαστή μπαίνουν επιπλέον οι συντελεστές συμμετοχής των όρων των εφαπτομένων, *F1*, *F2* που αναλύσαμε στην αρχή του κεφαλαίου. Οπότε επαναλαμβάνουμε τον τύπο μέχρι, το δεξί μέλος να ισούται με το αριστερό για τη τιμή της εφαπτομένης από την προηγούμενη επανάληψη και η διαφορά τους να είναι μικρότερη από την ακρίβεια που εμείς του έχουμε ορίσει.

Ακολούθως, αφού πλέον γνωρίζουμε όλους τους όρους του *GM*, υπολογίζουμε, με την υπορουτίνα *DGRTL*, το ολικό γινόμενο εκτοπίσματος επί μετακεντρικού ύψους, το οποίο υπεισέρχεται στον παρονομαστή τις εξίσωσης (4.1.19) του 4^{ου} κεφαλαίου.

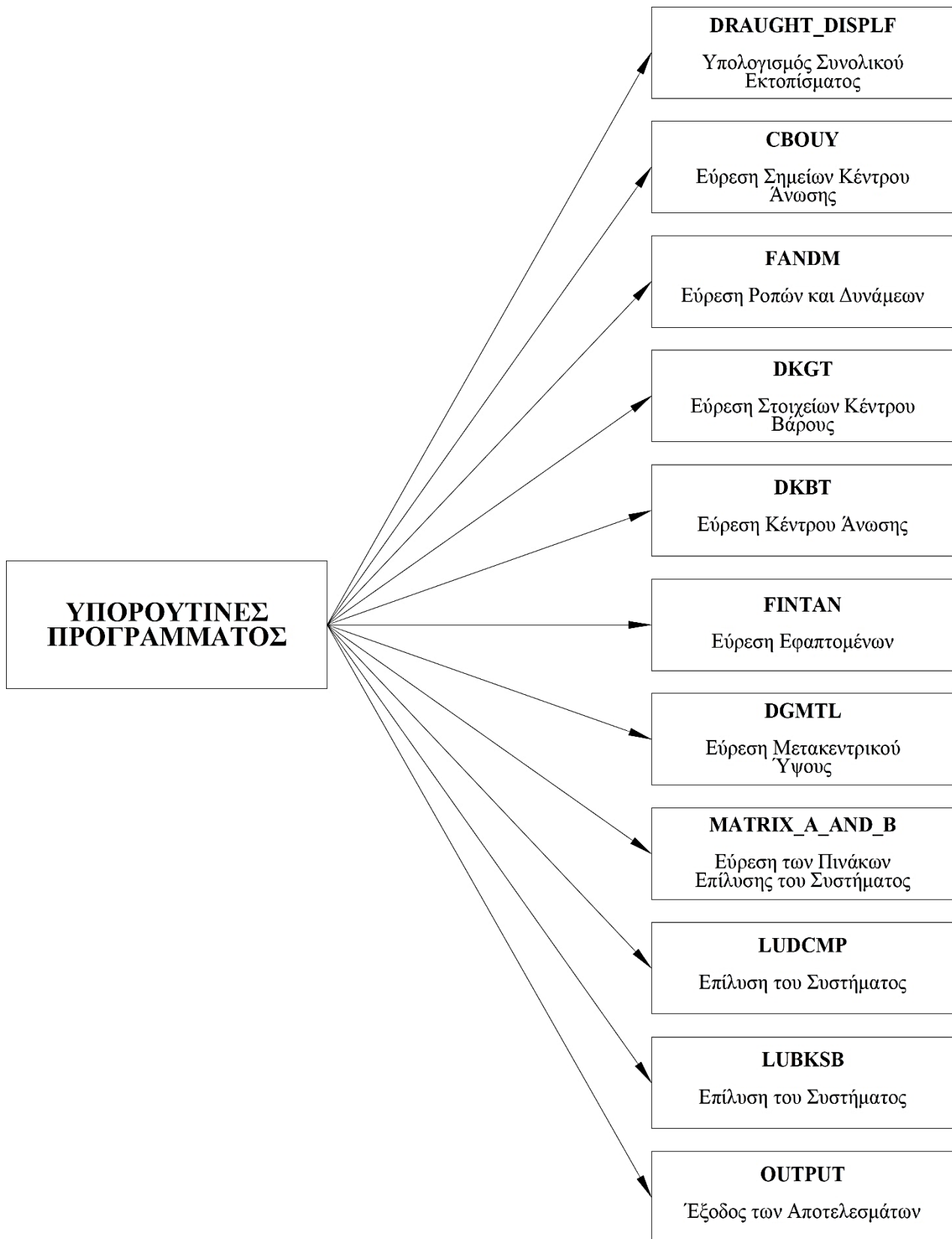
Στην συνέχεια καλούμε την υπορουτίνα **MATRIX_A_AND_B** και κατασκευάζουμε τον πίνακα συντελεστών των αγνώστων A , και τον πίνακα B των γνωστών όρων των εξισώσεων που χρησιμοποιούμε για να σχηματίσουμε το γινόμενο ($A \cdot \bar{x} = B$). Ο πίνακας A αποτελείται από τρία μέρη ουσιαστικά. Το πρώτο μέρος, είναι το κομμάτι που προκύπτει από την ισότητα των βυθισμάτων δηλαδή από την εξίσωση (4.1.19), το δεύτερο μέρος του προκύπτει από το αλγεβρικό άθροισμα των δυνάμεων στην άρθρωση και το τρίτο μέρος προκύπτει από τις αρθρώσεις σταθερού βυθίσματος, δηλαδή την εξίσωση (4.3.7). Αντίστοιχα και στον πίνακα B το πρώτο μέρος αποτελείται από τους γνωστούς όρους της εξίσωσης (4.1.19), το δεύτερο μέρος έχει μηδενικές τιμές καθότι το άθροισμα όλων των δυνάμεων είναι μηδέν, ενώ το τρίτο αποτελείται από τα γνωστά στοιχεία της εξίσωσης (4.3.7). Εντός της υπορουτίνας **MATRIX_A_AND_B** διαμορφώνονται οι όροι **RD1** και **RD2** για ελεύθερη και σταθερή άρθρωση αντίστοιχα, των οποίων ο ρόλος περιεγράφηκε στο κεφάλαιο 4.2 και 4.3, και οι οποίοι εισέρχονται στις σχέσεις που αφορούν τους πίνακες A και B .

Μετά τον υπολογισμό των απαραίτητων πινάκων θα καλέσουμε τις δυο υπορουτίνες **Ludcmp** και **Ludksb** που είναι απαραίτητες για να λυθεί το σύστημα με την μέθοδο LU που αναλύσαμε διεξοδικά στο 4.4 κεφάλαιο.

Τέλος αξιοποιώντας τα αποτελέσματα της λύσης γράφουμε τα εξαγόμενα του προγράμματος, δίνοντας σε κάθε άρθρωση τις δυνάμεις που ασκούνται και τα βυθίσματα των σωμάτων που συνδέονται με την συγκεκριμένη άρθρωση.

Μετά το πέρας μιας επανάληψης ελέγχεται η διαφορά των αποτελεσμάτων της προηγούμενης λύσης με της παρούσης, εάν η διαφορά τους είναι μικρότερη της ακρίβειας που ορίσαμε η διαδικασία τερματίζεται, αλλιώς επαναλαμβάνεται μέχρι να συγκλίνει το πρόγραμμα.

Στο τέλος του προγράμματος για να ελευθερώσουμε την μνήμη του υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασίες κάνουμε “*Deallocate*” όλους τους πίνακες που χρησιμοποιήσαμε στο πρόγραμμα.



Σχήμα 5.1.2.1

Λίστα των υπορουτίνων που υπάρχουν στο πρόγραμμα

6. Εισαγωγή δεδομένων

6.1. Γενικά

Το αρχείο εισόδου του προγράμματος είναι αρχείο της μορφής *name.dat* το οποίο μπορεί να ‘ανοιχθεί’ και να επεξεργασθεί από οποιοδήποτε Η/Υ μέσω του προ εγκατεστημένου προγράμματος «Σημειωματάριο» για Η/Υ με εγκατεστημένο λειτουργικό *Windows* στην Ελληνική γλώσσα και «Notepad» αντίστοιχα στην Αγγλική.

Το αρχείο εισόδου χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη διάταξη και δομή καθώς η οποιαδήποτε αλλαγή χωρίς την απαραίτητη γνώση πιθανόν να προκαλέσει δυσλειτουργία στον κώδικα. Ως αποτέλεσμα με το ‘τρέξιμο’ του προγράμματος θα προκύψει ένα από τα ακόλουθα αποτελέσματα:

1. απόρριψη του αρχείου εισόδου,
2. εξαγωγή αρχείου εξόδου δίχως αποτελέσματα ή τέλος
3. εξαγωγή αρχείου εξόδου το οποίο περιέχει λανθασμένα αποτελέσματα.

Από τις τρεις προηγούμενες περιπτώσεις η πιο ‘επικίνδυνη’ είναι η 3^η διότι ενδέχεται να μην εμφανισθεί από το πρόγραμμα κανένα μήνυμα λάθους και να θεωρηθεί ότι δίνει σωστά αποτελέσματα.

Μπορεί λοιπόν να φανταστεί κανείς πόσο σημαντική είναι η διαδικασία της επεξεργασίας του αρχείου εισόδου και πόσο προσοχή θα πρέπει να δοθεί στις οδηγίες που αφορούν τα δεδομένα που περιέχονται σε αυτό και αναλύονται στην συνέχεια της παρούσης ενότητας.

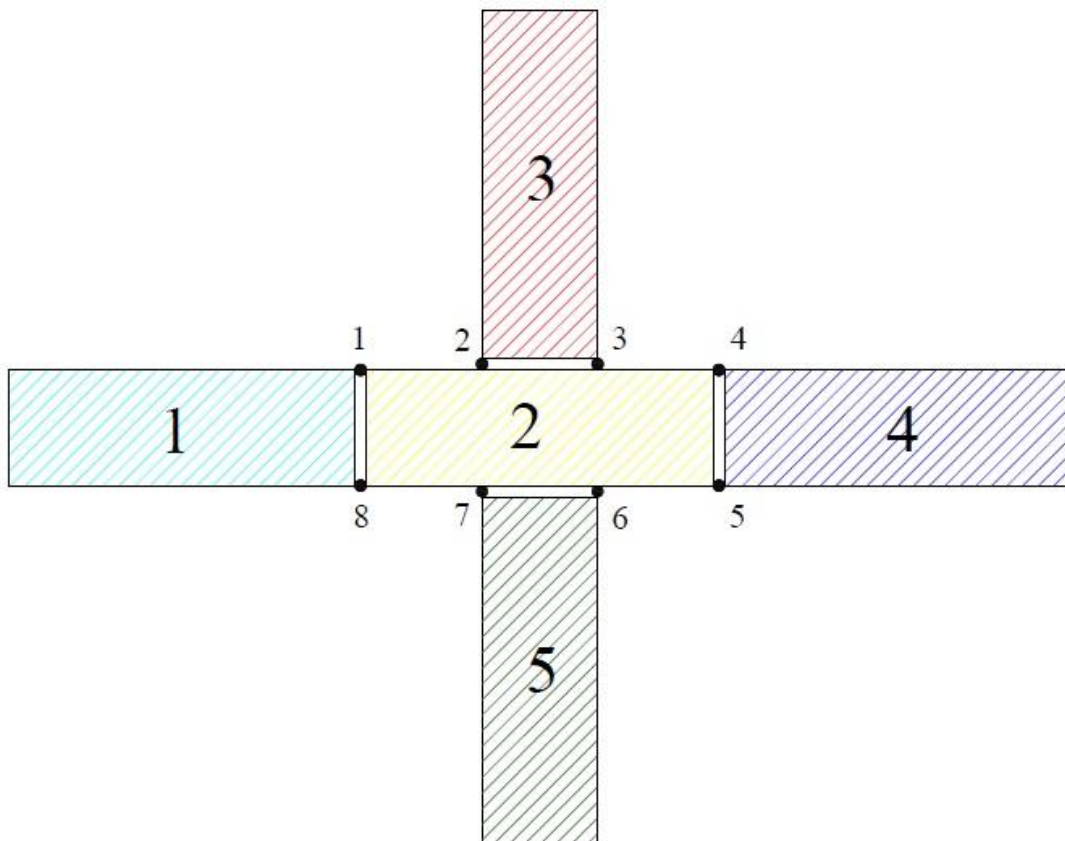
Το αρχείο εισόδου των δεδομένων αποτελείται από 7 ενότητες:

1. Κύριες μεταβλητές και σταθερές του προγράμματος
2. Χαρακτηριστικά των σωμάτων
3. Χαρακτηριστικά των γαστρών
4. Χαρακτηριστικά των αρθρώσεων
5. Χαρακτηριστικά των δυνάμεων
6. Χαρακτηριστικά των κατακλυσθέντων διαμερισμάτων
7. Χαρακτηριστικά συγκεκριμένων σημείων σε ένα σώμα, στα οποία επιθυμούμε να γίνει υπολογισμός του βυθίσματος.

Στο αρχείο εισόδου υπάρχουν σειρές με αλφαριθμητικές μεταβλητές, μέσω των οποίων γίνεται η ανάγνωση των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στην επίλυση του εκάστοτε μαθηματικού - υδροστατικού προβλήματος. Το πρόγραμμα στις συγκεκριμένες σειρές θα ‘διαβάζει’ αλφαριθμητικά δεδομένα και όχι μόνο αριθμούς για την ευκολότερη κατανόηση από τον χρήστη του συνόλου των δεδομένων που εισάγονται στο πρόγραμμα. Με άλλα λόγια, έχει γίνει προσπάθεια ώστε, τόσο η

είσοδος των δεδομένων που συμμετέχουν στους υπολογισμούς όσο και η έξοδος των αποτελεσμάτων να παρουσιάζονται και να ελέγχονται μέσω ενός περιβάλλοντος απεικόνισης πιο κοντά στον χρήστη, εξοικονομώντας πολύτιμο χρόνο.

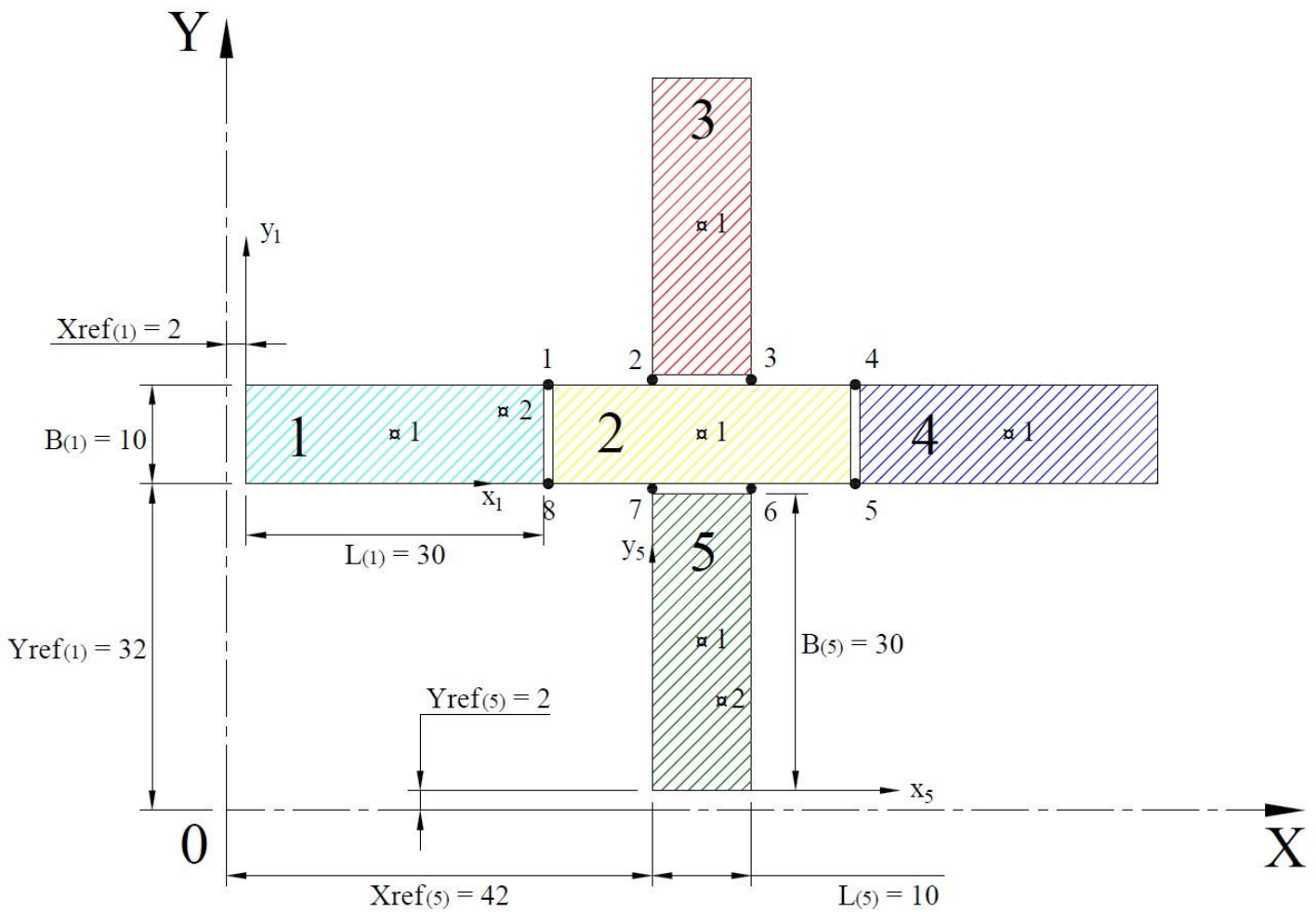
Η περιγραφή του αρχείου θα γίνει μέσω ενός παραδείγματος για να είναι περισσότερο κατανοητή η θέση των αριθμών που συμμετέχουν στο πρόγραμμα. Το παράδειγμα που θα χρησιμοποιήσουμε είναι φανταστικό και αποτελείται από 5 σώματα και 8 αρθρώσεις εκ των οποίων η μία θα είναι σταθερού βυθίσματος. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επίσης, περιέχονται επιπλέον δυνάμεις (εκτός των δυνάμεων του βάρους) αλλά και διαμερίσματα τα οποία έχουν υποστεί κατάκλυση. Το συγκεκριμένο παράδειγμα δεν είναι δυνατόν να επιλυθεί μέσω του προγράμματος λόγω της ταυτόχρονης ύπαρξης διαμερισμάτων με κατάκλυση και αρθρώσεων, όμως παρατίθεται διότι περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία που αφορούν τα διάφορα προβλήματα που μπορεί να αντιμετωπίσει το πρόγραμμα και δεν θα χρειασθεί να παρατεθούν περισσότερα παραδείγματα.



Σχήμα 6.1.1

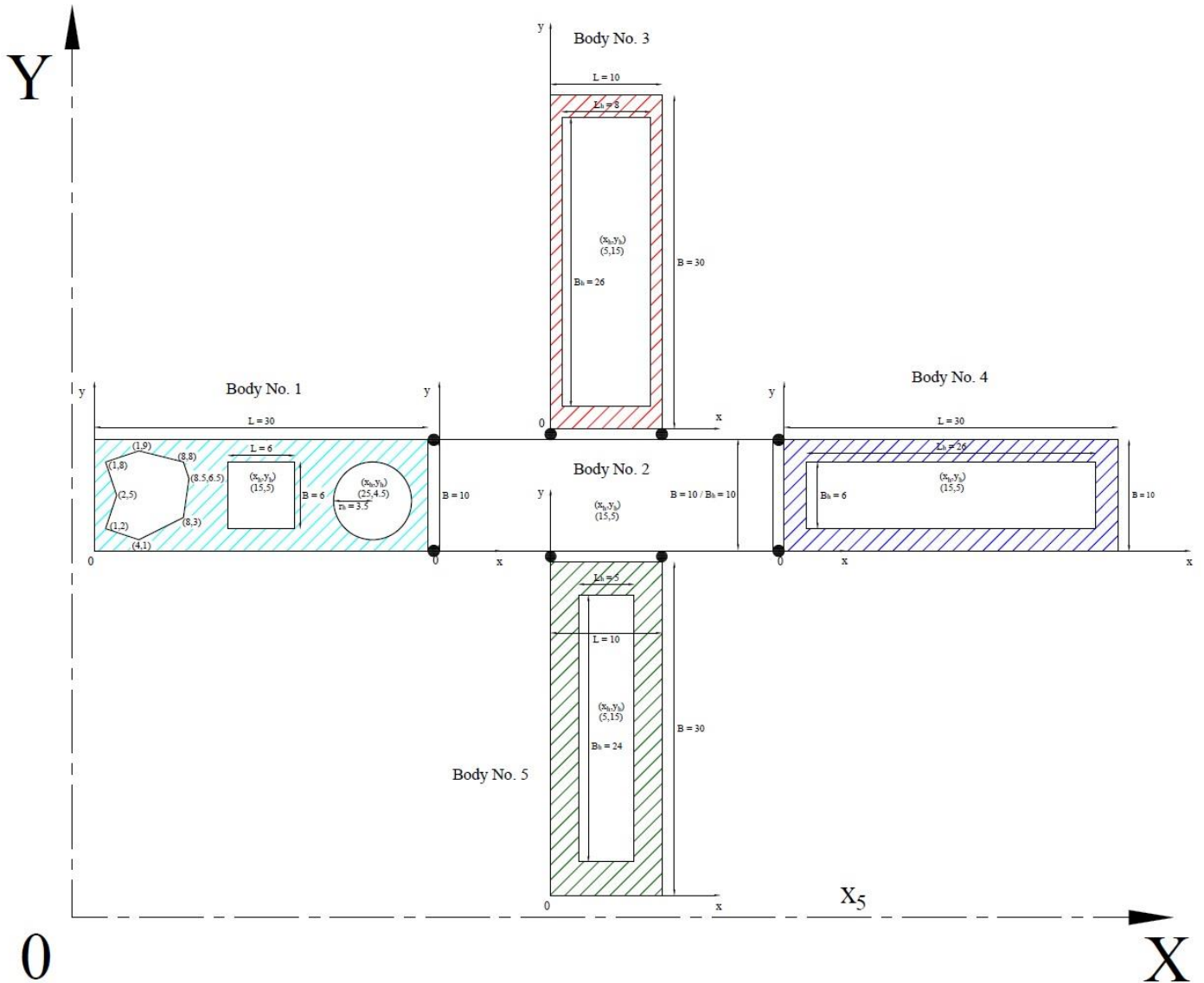
Κάτοψη του συστήματος 5 σωμάτων και 8 αρθρώσεων, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα για την περιγραφή του τρόπου εισαγωγής των δεδομένων εισόδου στο πρόγραμμα.

Πριν μεταβούμε στην αναλυτική περιγραφή του τρόπου που ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα του προβλήματος στο αρχείο εισόδου *input*, μέσω των εικόνων που βρίσκονται στις επόμενες σελίδες, θα γίνει γραφική απεικόνιση του προβλήματος που θα χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα.



Εικόνα 6.1.2

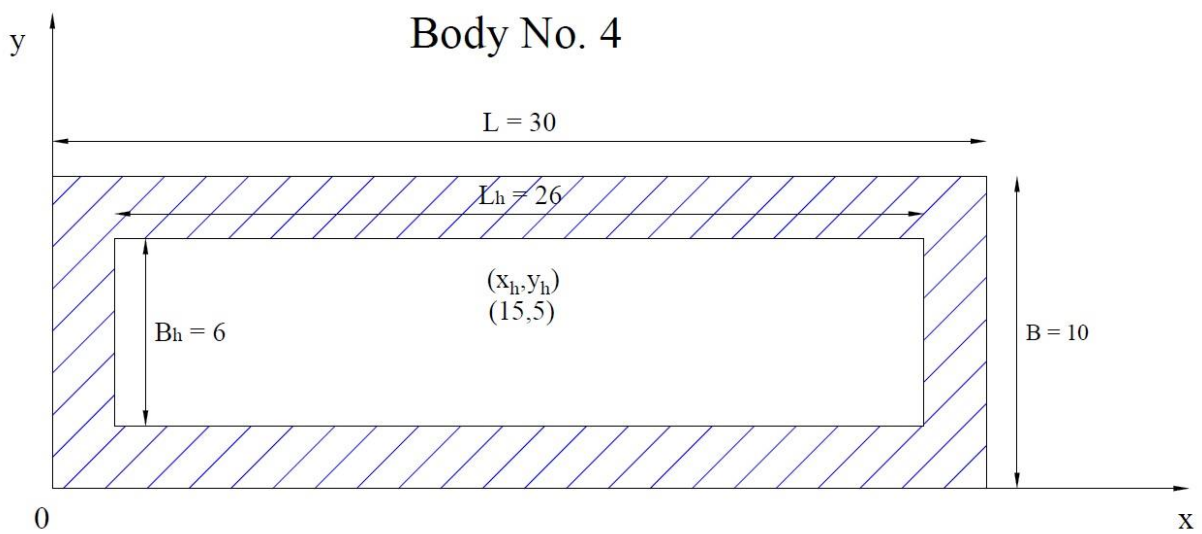
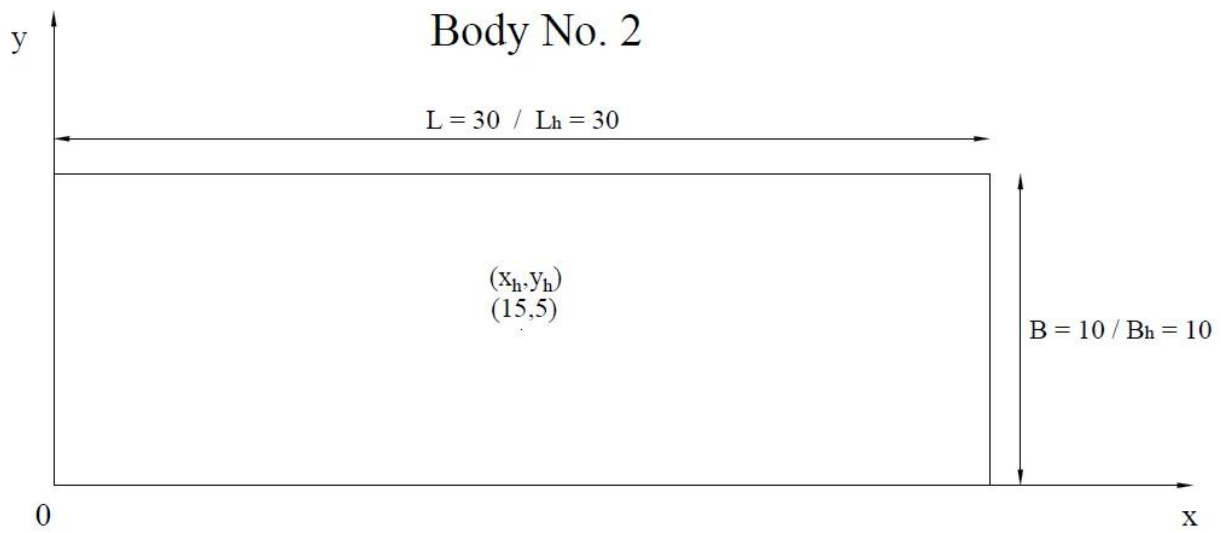
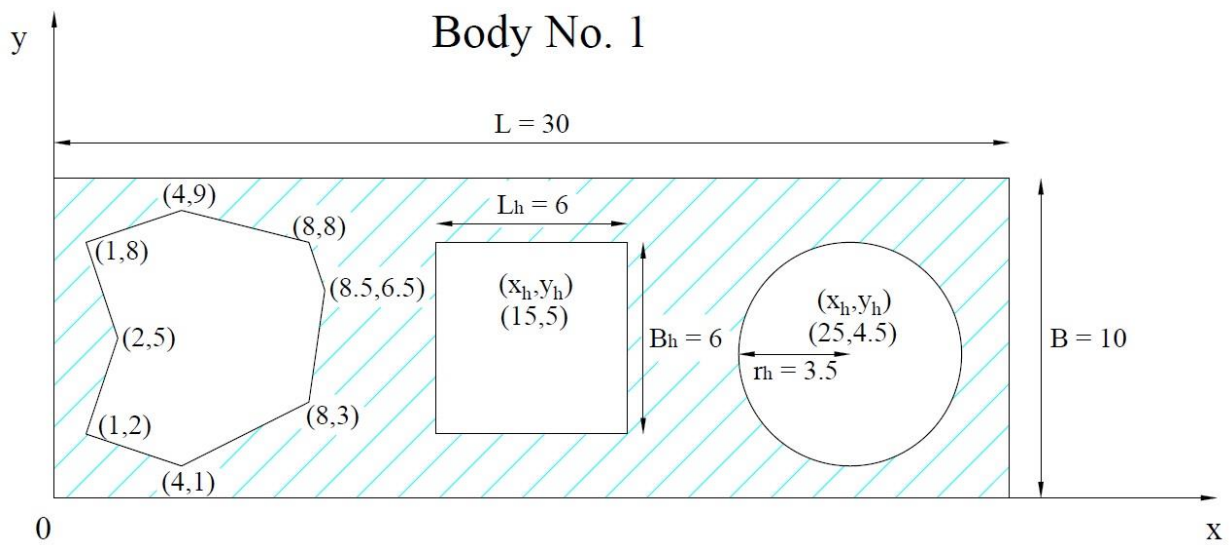
Κάτοψη του συστήματος των 5 σωμάτων και 8 αρθρώσεων. Στο σχήμα επίσης απεικονίζεται η θέση των δυνάμεων που ασκούνται στο κάθε σώμα (μέσω του συμβόλου \square), το κύριο σωματοπαγές σύστημα συντεταγμένων και τέλος το τοπικό σύστημα συντεταγμένων για τα σώματα 1 και 5.



Εικόνα 6.1.3

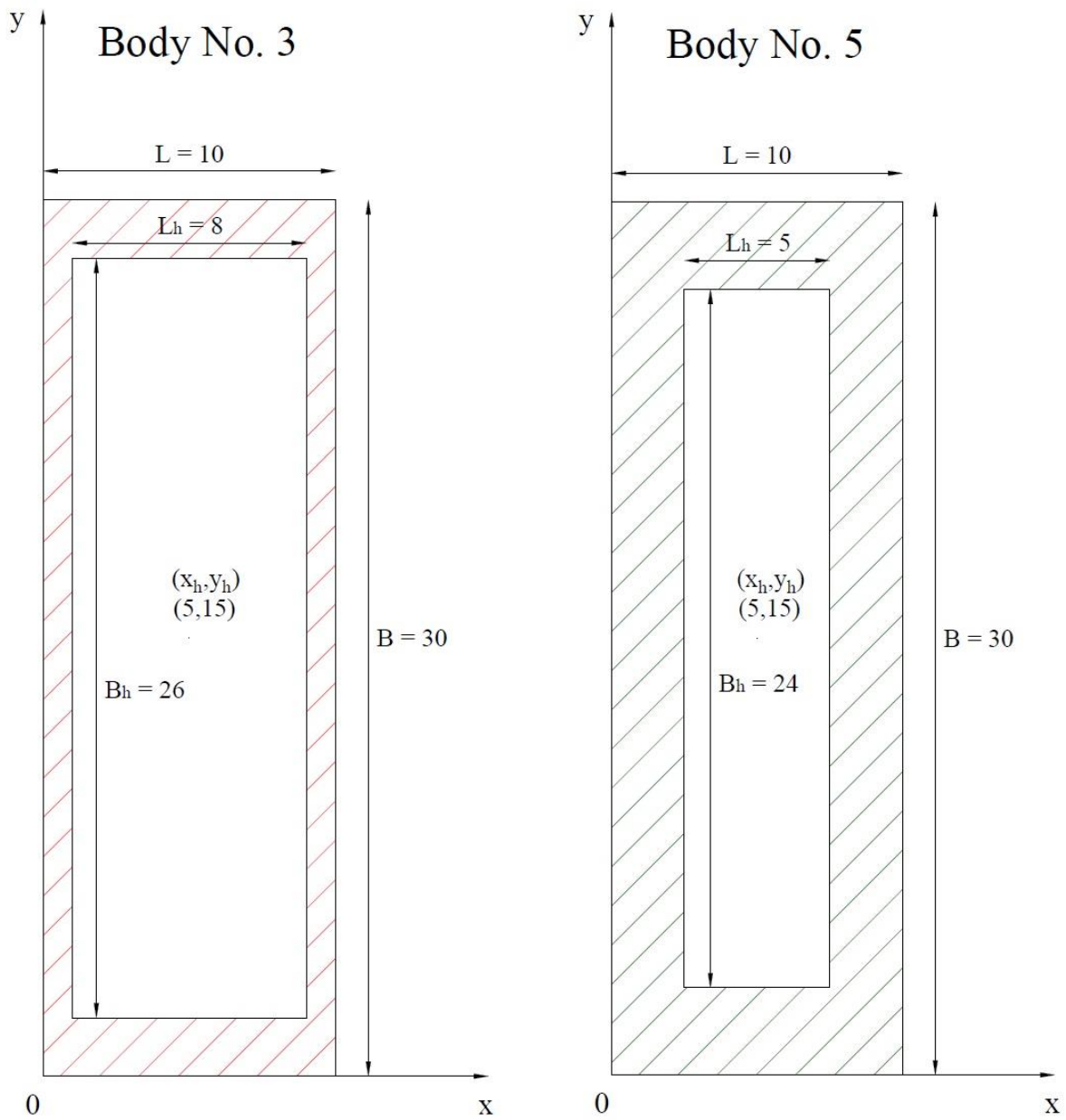
Κάτοψη των γαστρών με τον ακριβή τρόπο που αυτές είναι τοποθετημένες στο σύστημα παρέχοντας την σχετική άντωση στην εξέδρα στην οποία ανήκουν.

Ακολουθεί η παρουσίαση της κάθε εξέδρας ξεχωριστά στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων ώστε να γίνουν περισσότερο ευκρινείς τα γεωμετρικά στοιχεία, της ίδιας αλλά και της γάστρας ή των γαστρών που ανήκουν σε αυτήν.



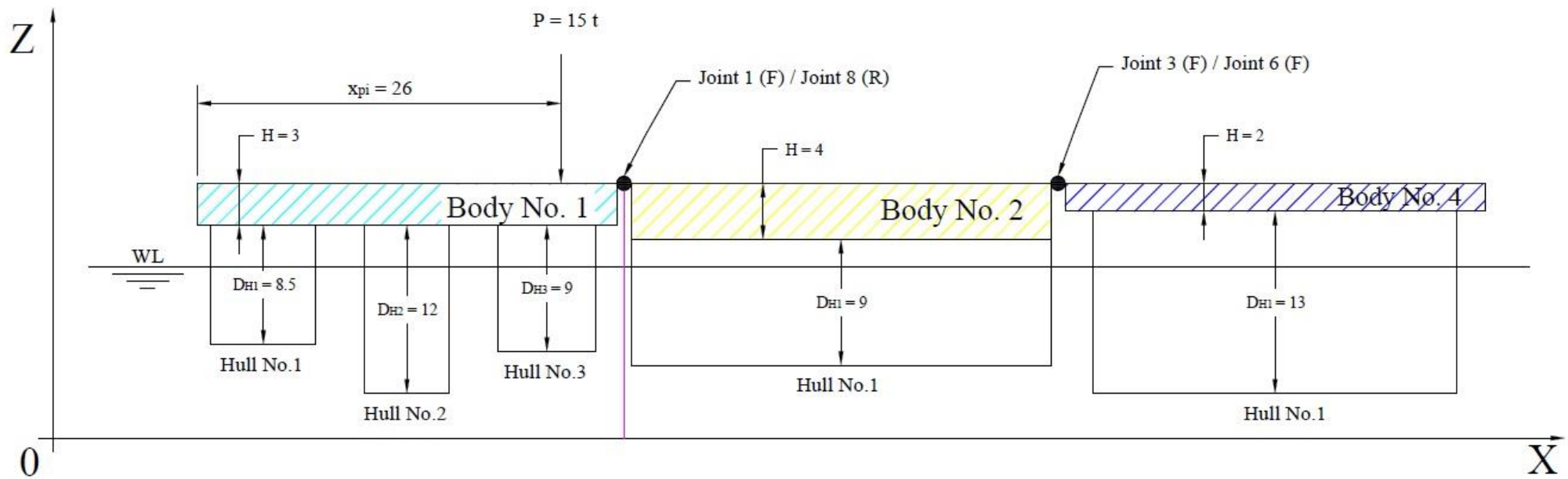
Σχήμα 6.1.4

Κάτοψη των σωμάτων 1,2 και 3 με σχηματική απεικόνιση των γαστρών από τις οποίες αποτελούνται



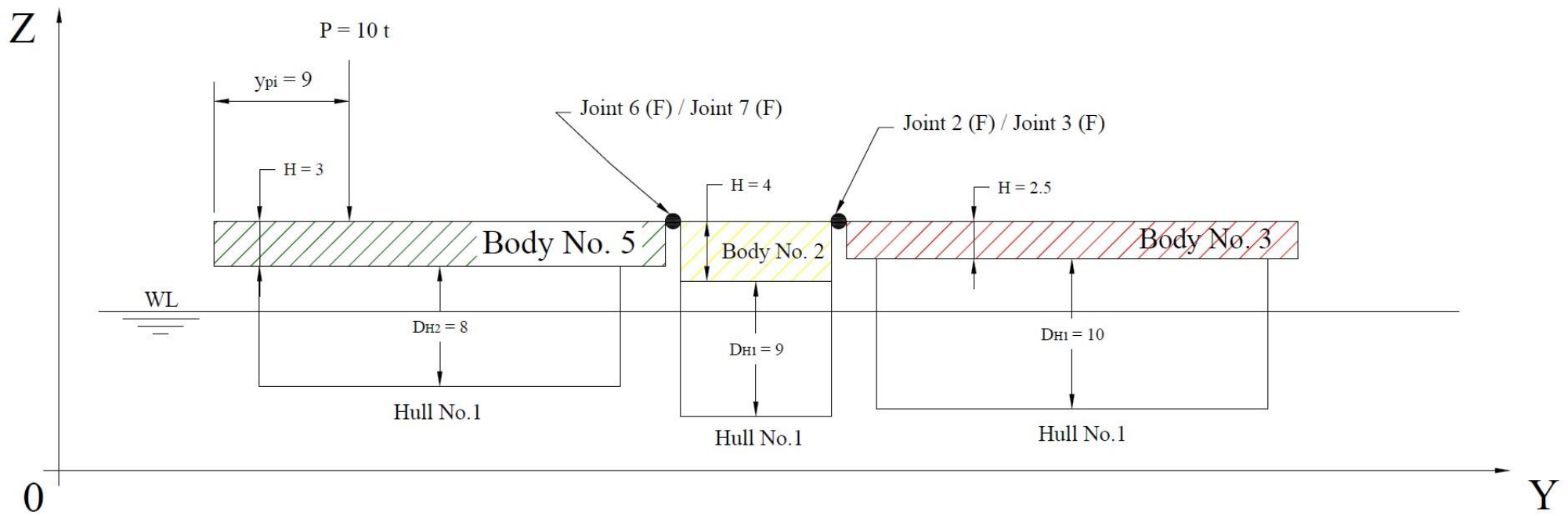
Σχήμα 6.1.5

Κάτοψη των σωμάτων 1,2 και 3 με σχηματική απεικόνιση των γαστρών από τις οποίες αποτελούνται



Σχήμα 6.1.6

Πλάγια όψη Oxz των σωμάτων 1, 2 και 4 όπου διακρίνεται το κοίλο της κάθε εξέδρας H , η γάστρες της κάθε εξέδρας και το κοίλο Dh της κάθε μίας από αυτές. Επίσης διακρίνεται η επιπλέον δύναμη P που εφαρμόζεται στο σώμα 1.



Σχήμα 6.1.7

Πλάγια όψη Ογζ των σωμάτων 5, 2 και 3 όπου διακρίνεται το κοίλο της κάθε εξέδρας H , η γάστρες της κάθε εξέδρας και το κοίλο Dh της κάθε μίας από αυτές. Επίσης διακρίνεται η επιπλέον δύναμη P που εφαρμόζεται στο σώμα 5

6.2. Κύριες μεταβλητές και σταθερές του προγράμματος

Οι κύριες μεταβλητές καθώς και οι σταθερές του προγράμματος είναι καθοριστικές και χωρίς αυτές είναι αδύνατον να υλοποιηθούν οι οποιαδήποτε υπολογισμοί. Η ενότητα που περιλαμβάνει τις μεταβλητές αυτές βρίσκεται πρώτη στο αρχείο εισόδου καθώς διαμέσου των κυρίων μεταβλητών επιτυγχάνεται και η ανάγνωση των υπολοίπων μεταβλητών.

Για το παράδειγμα το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε η μορφή της ενότητας των κυρίων μεταβλητών και σταθερών είναι ως ακολούθως :

Main Program Variables & Constants

Total Number of Bodies (NSM)	:5
Total Number of Joints (NAR)	:8
Total Number of Hulls (NGS)	:7
Total Number of Flooded Compartments (NFC)	:3
Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC)	:2
Total Number of Req. Draught Location (DRL)	:2
Maximum No. of Hulls/Body	:3
Maximum No. of Points/Hull	:9
Maximum No. of Points/Flooded Compartment	:7
Maximum No. of Bodies/Joint	:2
Maximum No. of Joints/Body	:1
Maximum No. of Forces/Body	:2
Water Special weight [tn/m ³] (PKNN)	:1.025000

Ακολουθεί η περιγραφή της κάθε μίας από τις μεταβλητές αυτές με την σειρά που η κάθε μία βρίσκεται στο αρχείο εισόδου.

- Total Number of Bodies (NSM)

Καθορίζει τον ολικό αριθμό των σωμάτων που συμμετέχουν στο σύστημα των εξεδρών. Ως σώμα ορίζεται το εκάστοτε σύστημα που αποτελείται από ένα κατάστρωμα (που έχει κάποιο αριθμό γαστρών) και συνδέεται μέσω αρθρώσεων με άλλα σώματα. Στο συγκεκριμένο σχήμα για παράδειγμα έχουμε σύνολο 5 σώματα. Η αρίθμηση των σωμάτων δύναται να είναι τυχαία, όμως η αρίθμηση του σώματος δεν γίνεται να υπερβαίνει το συνολικό αριθμό τους, πράγμα το οποίο ισχύει και στην αρίθμηση των αρθρώσεων, των γαστρών και των δυνάμεων. Αυτό σημαίνει ότι εφόσον έχουμε 5 σώματα δεν γίνεται να υπάρχει σώμα με αρίθμηση για παράδειγμα 9.

- Total Number of Joints (NAR)

Αναφέρεται στον ολικό αριθμό των αρθρώσεων, οι οποίες ομοίως με τα σώματα αριθμούνται τυχαία χωρίς όμως πάλι να επιτρέπεται η αρίθμηση κάποιας άρθρωσης να υπερβαίνει τον συνολικό αριθμό των αρθρώσεων. Στο υπάρχον παράδειγμα ο αριθμός των αρθρώσεων είναι 8 και είναι εμφανείς από τα σχήματα που προηγήθηκαν.

- Total Number of Hulls (NGS)

Καθορίζει τον ολικό αριθμό των γαστρών του συστήματος. Ως γάστρα ορίζεται το κομμάτι εκείνο του οποίου ένα μέρος είναι βυθισμένο στο νερό και προσφέρει την απαιτούμενη άνωση στο σώμα στο οποίο ανήκει. Κάθε σώμα (Body) είναι δυνατόν να έχει περισσότερες από μία γάστρες όπως θα παρατηρήσουμε και στην συνέχεια μέσω του παραδείγματος που χρησιμοποιούμε.

- Total Number of Flooded Compartments (NFC)

Είναι η μεταβλητή μέσω της οποίας καθορίζεται ο συνολικός αριθμός των διαμερισμάτων που βρίσκονται υπό κατάκλυση. Ως διαμέρισμα υπό κατάκλυση ορίζεται ένα μέρος του όγκου μιας γάστρας το οποίο έρχεται σε επαφή με το νερό που την περικλείει με αποτέλεσμα την είσοδο του νερού στο εσωτερικό του διαμερίσματος. Το νερό εισέρχεται εντός του διαμερίσματος διαμέσου ανοίγματος που υπάρχει είτε στον πυθμένα είτε πλευρικά της γάστρας και κατακλύζει το διαμέρισμα στο οποίο εισέρχεται είτε έως το ύψος της ισάλου πλεύσεως είτε μέχρι το ανώτερο σημείο του διαμερίσματος εάν το ύψος αυτού είναι χαμηλότερο από το ύψος της ισάλου πλεύσεως. Στο παράδειγμα που παραθέτουμε υπάρχουν 3 διαμερίσματα υπό κατάκλυση.

- Total Number of Bodies with Flooded Compartments (NBFC)

Αντιπροσωπεύει τον συνολικό αριθμό των γαστρών στις οποίες υπάρχει κατακλυσθέν διαμέρισμα και όπως είναι λογικό η τιμή του δεν είναι πάντα ίδια με αυτή του συνολικού αριθμού κατακλυσθέν διαμερισμάτων (NFC), διότι μπορεί για παράδειγμα να υπάρχουν 2 κατακλυσθέντα διαμερίσματα σε 1 σώμα και στην περίπτωση αυτή η τιμή του (NFC) αντιστοιχεί σε 2 ενώ η τιμή του (NBFC) σε 1. Στο παράδειγμα έχουμε 2 σώματα στα οποία έχουμε διαμέρισμα υπό κατάκλυση από τα οποία στο ένα από τα σώματα έχουμε 2 διαμερίσματα ενώ στο δεύτερο έχουμε ένα.

- Total Number of Requested Draught Location (DRL)

Η τιμή της μεταβλητής αυτής αντιστοιχεί στον αριθμό συγκεκριμένων σημείων στα οποία επιθυμούμε το πρόγραμμα να υπολογίζει το βύθισμα και να μας το παρουσιάζει στην έξοδο των αποτελεσμάτων. Στο υπάρχον παράδειγμα ζητάμε το βύθισμα σε 2 σημεία.

- Maximum Number of Hulls / Body

Δηλώνει τον μέγιστο αριθμό των γαστρών που ανήκουν σε ένα σώμα, συνεπώς στο παράδειγμα το οποίο χρησιμοποιούμε η μεταβλητή αυτή παίρνει την τιμή 3.

- Maximum Number of Points / Hull

Δηλώνει τον μέγιστο αριθμό των σημείων που περιγράφουν μια γάστρα τυχαίας διατομής (*Τύπος 1*), όπως αυτή ορίστηκε στην ενότητα 5.1.1. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει γάστρα αυτού του τύπου στο σύστημα η τιμή της μεταβλητής αυτής δεν λαμβάνεται υπόψιν στο πρόγραμμα συνεπώς στην θέση του αριθμού 6 που βρίσκεται στο παράδειγμα μπορεί να αντικατασταθεί με οποιοδήποτε άλλο ακέραιο αριθμό έως τέσσερα ψηφία. Στο παράδειγμα που χρησιμοποιούμε υπάρχει πολυγωνικής διατομής γάστρα, αποτελούμενη από 9 σημεία (το σημείο No. 1 και No. 9 ταυτίζονται).

- Maximum Number of Points / Flooded Compartment

Όπως και για κάθε γάστρα έτσι και κάθε κατακλυσθέν διαμέρισμα η διατομή είναι δυνατόν να είναι τυχαίας διατομής (*Τύπος 1*), άρα χρειαζόμαστε αντίστοιχα με προηγούμενος και εδώ μία μεταβλητή η οποία θα δηλώνει τον μέγιστο αριθμό των σημείων που περιγράφουν την τυχαία διατομή του κατακλυσθέν διαμερίσματος. Το διαμέρισμα που κατακλύζεται στο παράδειγμα περιγράφεται από 7 σημεία (το σημείο No.1 και No. 7 ταυτίζονται)

- Maximum Number of Bodies / Joint

Η μεταβλητή αυτή δηλώνει τον μέγιστο αριθμό των σωμάτων που μπορούν είναι συνδεδεμένες με μία άρθρωση σε ένα συγκεκριμένο σύστημα. Έτσι λοιπόν στο παράδειγμα το οποίο παραθέτουμε, όπως είναι και εμφανές από τα σχήματα που προηγήθηκαν, η μεταβλητή αυτή ορίζεται ίση με 2.

- Maximum Number of Joints / Body

Είναι η αντίστροφη μεταβλητή από την προηγούμενη και δηλώνει τον μέγιστο αριθμό των αρθρώσεων που μπορεί να είναι προσδεμένες σε ένα σώμα. Στο παράδειγμα που χρησιμοποιούμε η μεταβλητή αυτή αντιστοιχεί στον αριθμό 2.

- Maximum Number of Forces / Body

Με την μεταβλητή αυτή καθορίζεται ο μέγιστος αριθμός των δυνάμεων που ασκούνται πάνω σε ένα σώμα συμπεριλαμβανομένου και του βάρους του σώματος. Στο παράδειγμα που μελετάμε υπάρχουν 2 σώματα στα οποία έχουμε ορίσει και ακόμα μία

δύναμη εκτός του βάρους τους συνεπώς η συγκεκριμένη μεταβλητή εδώ θα ορισθεί ίση με 2.

- Water Special Weight [tn/m³] (PKNN)

Είναι η μεταβλητή που αντιπροσωπεύει το ειδικό βάρος του νερού γ και από την στιγμή όπου ορισθεί στην ενότητα των Κυρίων μεταβλητών & Σταθερών του προγράμματος, ακολουθεί την πορεία των υπολογισμών, σταθερή μέχρι το τέλος. Εδώ η τιμή της σταθεράς έχει ορισθεί ίση με 1.025 t/m³ η οποία αντιστοιχεί σε θαλασσινό νερό.

Παρατηρήσεις

1. Όλοι οι αριθμοί που αναφέραμε ως τώρα τοποθετούνται στην στήλη 47, αμέσως μετά την άνω κάτω τελεία (χωρίς κενό) και για να είναι επιτυχής η ανάγνωση των δεδομένων πρέπει να τοποθετηθούν οπωσδήποτε στις θέσεις που αναφέραμε.
2. Όλοι οι αριθμοί εκτός από το ειδικό βάρος του νερού είναι ακέραιοι και μπορούν να πάρουν μέγιστη τιμή τετραψήφιου ακεραίου. Το ειδικό βάρος του υγρού είναι πραγματικός αριθμός με 12 σημαντικά ψηφία και 6 δεκαδικά.

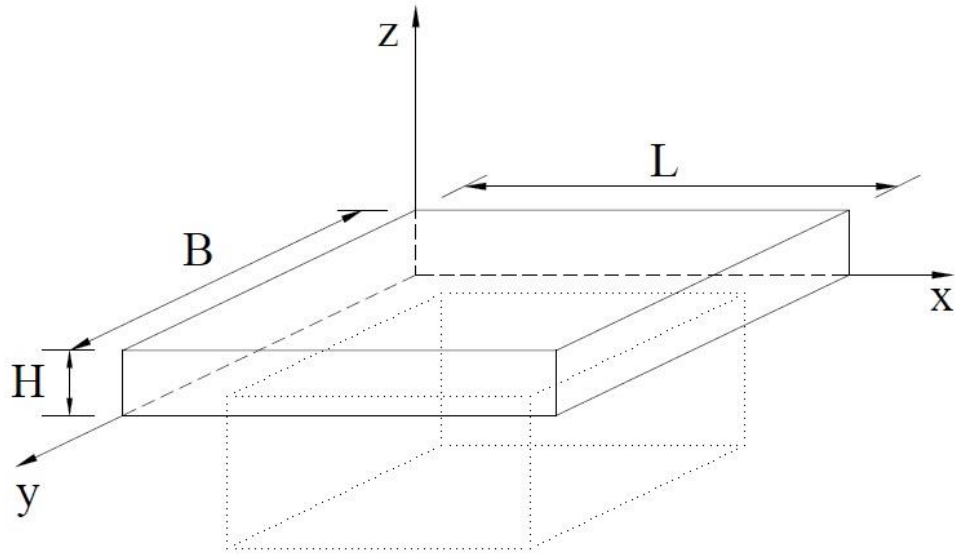
6.3. Χαρακτηριστικά σωμάτων

Η δεύτερη ενότητα του αρχείου εισόδου περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά της κάθε γάστρας. Για το παράδειγμα στο οποίο γίνεται αναφορά η συγκεκριμένη ενότητα έχει την μορφή που ακολουθεί. Ακολουθεί στην συνέχεια αναλυτικά η περιγραφή του περιεχομένου.

Bodies Characteristics					
Body No.	Xref	Yref	L	B	H
1	2.000000	32.000000	30.000000	10.000000	3.000000
2	32.000000	32.000000	30.000000	10.000000	4.000000
3	42.000000	42.000000	10.000000	30.000000	2.500000
4	62.000000	32.000000	30.000000	10.000000	2.000000
5	42.000000	2.000000	10.000000	30.000000	3.000000

Αρχικά έχουμε τέσσερις σειρές με αλφαριθμητικά δεδομένα. Κατόπιν δίνουμε τον αριθμό του σώματος (όχι απαραίτητως με αύξουσα σειρά). Για το κάθε σώμα δίνουμε ως αρχή αξόνων του τοπικού σωματοπαγούς συστήματος συντεταγμένων την κάτω αριστερή γωνία στο κατάστρωμα κάθε σώματος όπως φαίνεται στο 6.1.2 για το σώμα No. 1 και το σώμα No. 5.

Το μήκος L , το πλάτος B και το κοίλο H κάθε σώματος το μετράμε ως προς το τοπικό σύστημα συντεταγμένων σύμφωνα με το σχήμα 6.3.1. Ο αριθμός του σώματος είναι ακέραιος αριθμός ενώ όλα τα γεωμετρικά του στοιχεία είναι πραγματικοί αριθμοί με 12 σημαντικά ψηφία και 6 δεκαδικά. Η διάταξη των πραγματικών αριθμών όπως και στην συγκεκριμένη περίπτωση, όταν δεν έχουμε και αλφαριθμητικούς χαρακτήρες, θα είναι χωρίς περιορισμό θέσης (δηλαδή unformatted). Μοναδικός περιορισμός είναι οι μεταβλητές μεταξύ τους να χωρίζονται με κενό (space bar). Οι $Xref$ και $Yref$ είναι οι συντεταγμένες του σωματοπαγούς συστήματος αξόνων. Το L είναι το μήκος της εξέδρας, το B το πλάτος και το H το κοίλο του καταστρώματος. Έχουμε τόσες σειρές με δεδομένα όσα και τα σώματα που υπάρχουνε στο υπό μελέτη σύστημα. Μόλις τελειώσει η επαναληπτική διαδικασία της ανάγνωσης των $Xref$, $Yref$, L , B και H για κάθε σώμα γίνεται η ανάγνωση μίας αλφαριθμητικής σειράς.



Σχήμα 6.3.1

Απεικόνιση του μήκους L , του πλάτους B και του κοίλου H , μιας τυχαίας γάστρας στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων

6.4. Χαρακτηριστικά γαστρών

Στην τρίτη ενότητα του φακέλου δίνονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά της κάθε γάστρας ανά εξέδρα. Για το παράδειγμα που χρησιμοποιούμε η ενότητα αυτή διαμορφώνεται ως εξής:

```
-----
                          Hulls Characteristics
-----
Body No.:1 | Hulls/Body:3
-----
                          Hull No.:1 |Type:1
-----
Depth          |No. of points
8.500000 9
-----
      xhi      | yhi
1.000000 2.000000
2.000000 5.000000
1.000000 8.000000
4.000000 9.000000
8.000000 8.000000
8.500000 6.500000
8.000000 3.000000
4.000000 1.000000
1.000000 2.000000
-----
                          Hull No.:2 |Type:2
-----
Depth          |xh          |yh          |Lh          |Bh
12.000000 15.000000 5.000000 6.000000 6.000000
-----
                          Hull No.:3 |Type:3
-----
Depth          |xh          |yh          |rh
9.000000 25.000000 4.500000 3.500000
-----
Body No.:2 | Hulls/Body:1
-----
                          Hull No.:1 |Type:2
-----
Depth          |xh          |yh          |Lh          |Bh
9.000000 15.000000 5.000000 30.000000 10.000000
-----
Body No.:3 | Hulls/Body:1
-----
```

Hull No.:1		Type:2			
Depth	xh	yh	Lh	Bh	
10.000000	5.000000	15.000000	8.000000	26.000000	

Body No.:4 | Hulls/Body:1

Hull No.:1		Type:2			
Depth	xh	yh	Lh	Bh	
13.000000	15.000000	5.000000	26.000000	6.000000	

Body No.:5 | Hulls/Body:1

Hull No.:1		Type:2			
Depth	xh	yh	Lh	Bh	
8.000000	5.000000	15.000000	5.000000	24.000000	

Αρχικά όπως παρατηρούμε και στο παράδειγμα γίνεται ανάγνωση τριών σειρών με αλφαριθμητικά δεδομένα.

Αμέσως μετά αρχίζει επαναληπτική διαδικασία με αριθμό επαναλήψεων ίσο με τον αριθμό των σωμάτων του συστήματος.

Για κάθε επανάληψη (για κάθε σώμα δηλαδή), θα ακολουθήσει κατά σειρά η ανάγνωση:

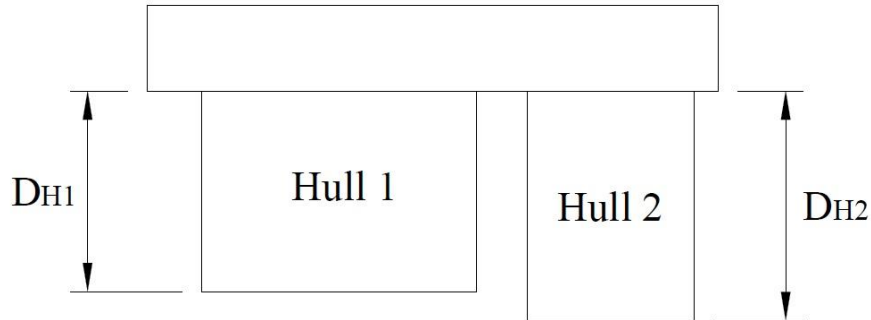
- αλφαριθμητικής σειράς
- μίας σειράς, στην οποία στην στήλη 10 διαβάζεται ο αριθμός (ακέραιος, έως 4 ψηφία) του σώματος του οποίου θα περιγράψουμε τις γάστρες και στη ίδια σειρά στην στήλη 27 τον αριθμό (ακέραιος, έως 4 ψηφία) των γαστρών ανά σώμα.
- αλφαριθμητικής σειράς

Τώρα ενώ βρισκόμαστε εντός της επαναληπτικής διαδικασίας για κάθε σώμα ξεκινάει μία εσωτερική επαναληπτική διαδικασία με αριθμό επαναλήψεων ίσο με τον αριθμό των γαστρών που υπάρχουν στο συγκεκριμένο σώμα στο οποίο βρισκόμαστε κάθε φορά.

Στο σημείο αυτό θα γίνει ανάγνωση της σειράς για την εκάστοτε γάστρα δίνοντας μετά την άνω κάτω τελεία στην στήλη 39 τον αριθμό της γάστρας που θέλω να περιγράψω και στην στήλη 48 τον τύπο της προς περιγραφή γάστρας.

Ακολουθεί η ανάγνωση δύο σειρών με αλφαριθμητικά δεδομένα.

Στην συνέχεια ανάλογα με τον τύπο της γάστρας έχουμε τρεις περιπτώσεις εισαγωγής δεδομένων.



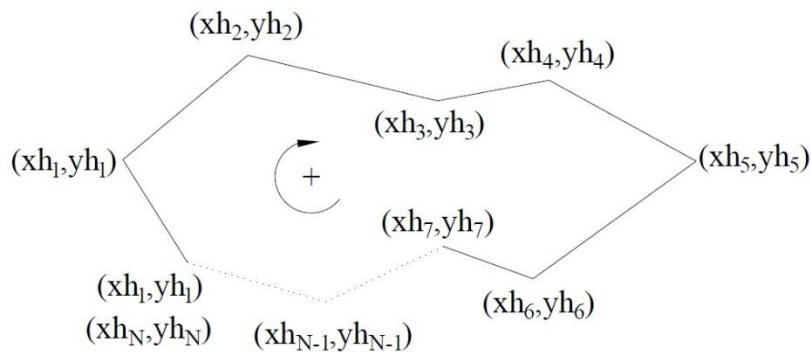
Σχήμα 6.4.1

Πλάγια όψη τυχαίου σώματος όπου διακρίνεται το κοίλο των γαστρών που το απαρτίζουν

Όλοι οι αριθμοί περιγραφής των γεωμετρικών στοιχείων των σωμάτων, για όλους τους τύπους είναι πραγματικοί αριθμοί με 12 σημαντικά ψηφία (6 δεκαδικά).

Τύπος 1 – Πολυγωνική γάστρα

Στο παρόν πρόγραμμα, ως γνωστών έχουμε την δυνατότητα να μελετήσουμε τρεις τύπους γαστρών. Ως πρώτο τύπο γάστρας ορίζουμε την πολυγωνική.



Σχήμα 6.4.2

Διατομή τυχαίας πολυγωνικής γάστρας (τύπος 1)

Αρχικά δίνουμε τη τιμή (πραγματικός αριθμός με 12 σημαντικά ψηφία και 6 δεκαδικά) του κοίλου (Depth) της πολυγωνικής γάστρας (D_H , στο σχήμα 5.4.1) και κατόπιν, στη ίδια σειρά γράφουμε τον αριθμό (ακέραιος αριθμός, έως 4 ψηφία) των σημείων που είναι απαραίτητα για την περιγραφή του πολυγωνικού χωρίου (στο συγκεκριμένο παράδειγμα περιγράφουμε την γάστρα με 9 σημεία). Οι δύο προηγούμενοι αριθμοί θα πρέπει να χωρίζονται με κενό μεταξύ τους.

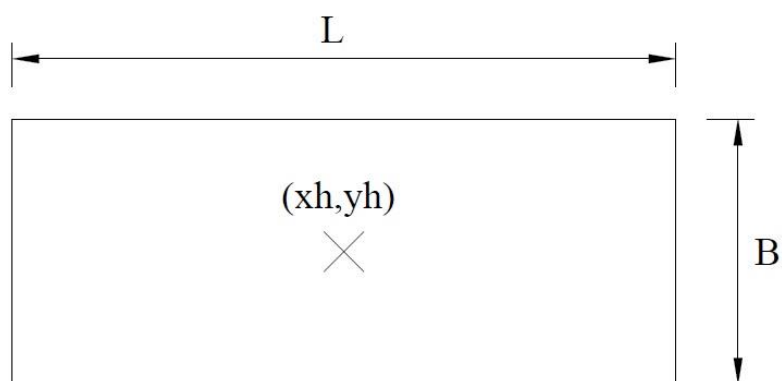
Ακολουθεί η ανάγνωση δύο αλφαριθμητικών σειρών

Στο σημείο αυτό ξεκινά νέα επανάληψη εντός του προγράμματος με βάση τον αριθμό των σημείων που ορίστηκαν προηγουμένως.

Έτσι λοιπόν όσα είναι τα σημεία που ορίσαμε τόσες θα είναι και οι σειρές που θα ακολουθήσουν με την κάθε μία από αυτές να περιέχει τις συντεταγμένες (x_{hi}, y_{hi}) του κάθε σημείου (σχήμα 6.4.2), τις οποίες μετράμε ως προς την αρχή των αξόνων του εκάστοτε τοπικού συστήματος (την αρχή των αξόνων της εξέδρας) και με φορά διαγραφής την ωρολογιακή. Επιπλέον το πρώτο ζευγάρι συντεταγμένων συμπίπτει με το τελευταίο έτσι ώστε να κλείνει γεωμετρικά η επιλεγμένη περιοχή. Οι δύο συντεταγμένες εκφράζονται μέσω πραγματικών αριθμών με 12 σημαντικά ψηφία και 6 δεκαδικά και χωρίζονται μεταξύ τους με ένα κενό.

Ακολουθεί η ανάγνωση αλφαριθμητικής σειράς.

Τύπος 2 – Ορθογωνική γάστρα



Σχήμα 6.4.3

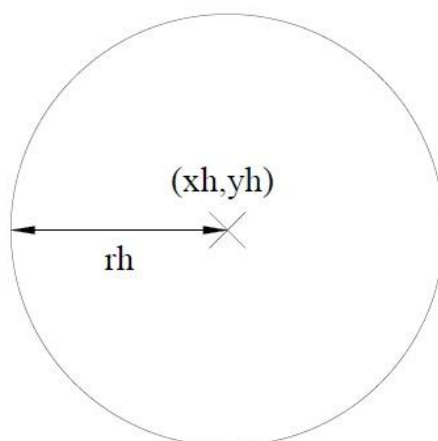
Διατομή ορθογωνικής γάστρας (τύπος 2)

Σαν δεύτερο τύπο γάστρας ορίζουμε τον ορθογωνικό. Γι' αυτόν τον τύπο γάστρας αρχικά δίνουμε την τιμή του κοίλου (Depth) της γάστρας (D_H , στο σχήμα 6.4.1), στην συνέχεια τις συντεταγμένες του κέντρου τις γάστρας (x_h, y_h) ως προς την αρχή των αξόνων του εκάστοτε τοπικού συστήματος (την αρχή των αξόνων της

εξέδρας), και τέλος το μήκος L και το πλάτος B του ορθογωνίου (σχήμα 6.4.3). Και οι τέσσερις προηγούμενες μεταβλητές βρίσκονται στην ίδια σειρά, είναι πραγματικοί αριθμοί με 12 σημαντικά ψηφία (6 δεκαδικά) και χωρίζονται μεταξύ τους με ένα κενό.

Ακολουθεί η ανάγνωση αλφαριθμητικής σειράς.

Τύπος 3 – Κυκλική γάστρα



Σχήμα 6.4.4

Διατομή κυκλικής γάστρας (τύπος 3)

Σαν τρίτο τύπο γάστρας έχουμε την περίπτωση της κυκλικής γάστρας. Γι' αυτόν τον τύπο όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις δίνουμε πρώτα την τιμή του κοίλου της (D_H , στο σχήμα 6.4.1), ακολούθως τις συντεταγμένες του κέντρου τις γάστρας (x_h, y_h) από την αρχή των αξόνων του εκάστοτε τοπικού συστήματος (την αρχή των αξόνων της εξέδρας), και τέλος την ακτίνα r_h του κύκλου (σχήμα 6.4.4). Και οι τέσσερις προηγούμενες μεταβλητές βρίσκονται στην ίδια σειρά, είναι πραγματικοί αριθμοί με 12 σημαντικά ψηφία (6 δεκαδικά) και χωρίζονται μεταξύ τους με κενό.

Ακολουθεί η ανάγνωση αλφαριθμητικής σειράς.

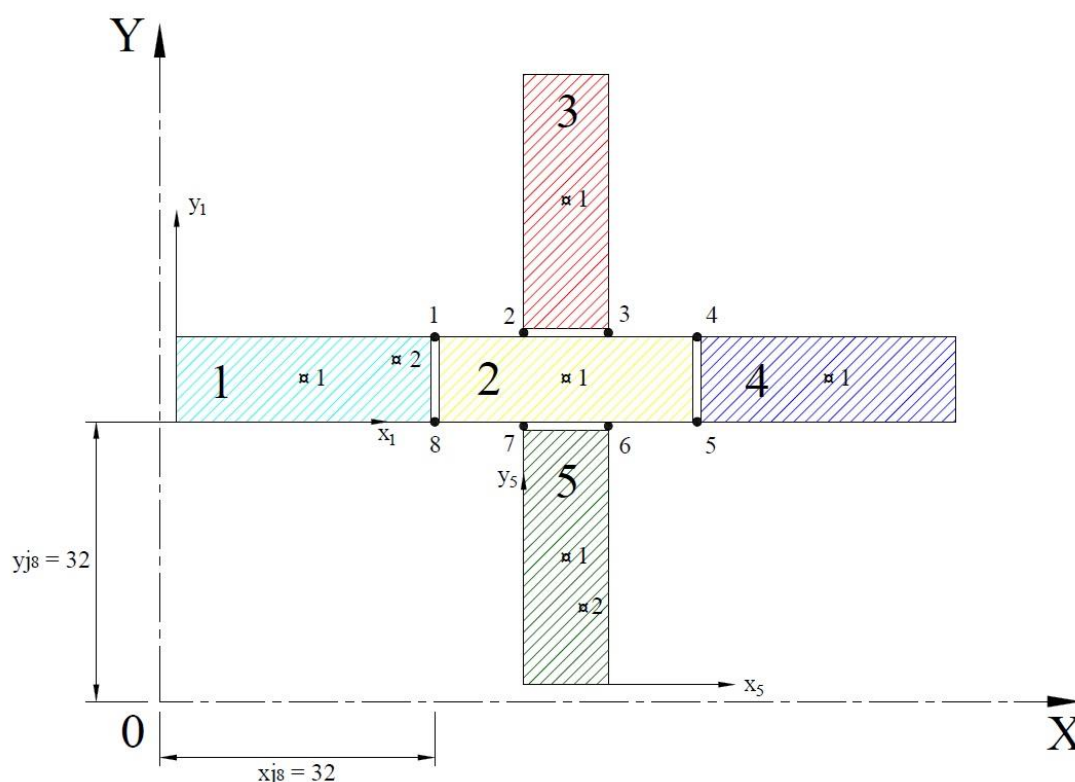
Μετά το τέλος της ανάγνωσης των γαστρών κάθε σώματος και πριν μεταβούμε στην ανάγνωση των μεταβλητών της επόμενης ενότητας γίνεται ανάγνωση αλφαριθμητικής σειράς.

6.5. Χαρακτηριστικά αρθρώσεων

Στην τέταρτη ενότητα δίδονται τα χαρακτηριστικά κάθε άρθρωσης. Τις συντεταγμένες των αρθρώσεων τις μετράμε ως προς το **ολικό** σύστημα συντεταγμένων για την διαμήκη και την εγκάρσια θέση τους. Επιπλέον επισημαίνονται τα σώματα με τα οποία συνδέεται κάθε άρθρωση ενώ επίσης καθορίζεται και η σχετική θέση ως προς το ύψος της κάθε άρθρωσης ανάλογα με το σώμα που συνδέεται.

Ακολουθεί η μορφή της ενότητας που χρησιμοποιείται στο *input* αρχείο για την ανάγνωση των χαρακτηριστικών των αρθρώσεων στο παράδειγμα το οποίο παραθέσαμε στην αρχείο του συστήματος των 5 σωμάτων. Όπως θα δούμε και παρακάτω αλλά ήταν και εμφανές από τα σχήματα 6.1.1-6.1.3 στο συγκεκριμένο παράδειγμα υφίστανται 8 αρθρώσεις, επτά ελεύθερες και μία σταθερή.

Μετέπειτα θα γίνει αναλυτικά η περιγραφή της κάθε μεταβλητής που λαμβάνει μέρος στην διαδικασία αλλά και του τρόπου εισαγωγής της στο πρόγραμμα.



Σχήμα 6.5.1

Καθορισμός των σχετικών αποστάσεων της άρθρωσης 8 του παραδείγματος από το κύριο σωματοπαγές σύστημα συντεταγμένων

 Joints Characteristics

Joint No	xj	yj	zj	type (F/R)	Zrestr
1	32.000000	42.000000	42.000000	F	0.000000
2	42.000000	42.000000	42.000000	F	0.000000
3	52.000000	42.000000	42.000000	F	0.000000
4	62.000000	42.000000	42.000000	F	0.000000
5	62.000000	32.000000	32.000000	F	0.000000
6	52.000000	32.000000	32.000000	F	0.000000
7	42.000000	32.000000	32.000000	F	0.000000
8	32.000000	32.000000	32.000000	R	6.000000

 Joint No.:1 |Bodies/Joint:2

Body No.	zhi
1	3.000000
2	4.000000

 Joint No.:2 |Bodies/Joint:2

Body No.	zhi
2	4.000000
3	2.500000

 Joint No.:3 |Bodies/Joint:2

Body No.	zhi
2	4.000000
3	2.500000

 Joint No.:4 |Bodies/Joint:2

Body No.	zhi
4	2.000000
2	4.000000

 Joint No.:5 |Bodies/Joint:2

Body No.	zhi
4	2.000000
2	4.000000

 Joint No.:6 |Bodies/Joint:2

Body No.	zhi
5	3.000000
2	4.000000

 Joint No.:7 |Bodies/Joint:2

Body No. | zhi

```

5          3.000000
2          4.000000
-----
Joint No.:8 |Bodies/Joint:2
-----
Body No.   | zhi
1          3.000000
2          4.000000
-----

```

Η ενότητα της ανάγνωσης των χαρακτηριστικών των αρθρώσεων ξεκινάει με το 'διάβασμα' των επόμενων τεσσάρων αλφαριθμητικών σειρών.

 Joints Characteristics

```

Joint No|xj          |yj          |type (F/R)   |Zrestr      |

```

Στην συνέχεια αρχίζει επαναληπτική διαδικασία ανάγνωσης των γενικών στοιχείων κάθε άρθρωσης. Έτσι λοιπόν ακολουθούν τόσες σειρές όσες είναι και αρθρώσεις του συστήματος μας όπου στην περίπτωση την δική μας είναι ίσες με 8.

Η ανάγνωση των γενικών στοιχείων επιτυγχάνεται μέσω πέντε μεταβλητών οι οποίες βρίσκονται στην ίδια σειρά. Στην στήλη 1 βρίσκεται ο αριθμός (ακέραιος, έως 4 ψηφία) ο οποίος αντιπροσωπεύει την άρθρωση για την οποία εξετάζουμε κάθε φορά (οι αρθρώσεις δεν είναι απαραίτητο να γραφούν κατά αύξουσα σειρά). Στην συνέχεια γράφουμε της συντεταγμένες κάθε άρθρωσης xj (συντεταγμένη της άρθρωσης ως προς τον άξονα x στο ολικό σύστημα συντεταγμένων), yj (συντεταγμένη της άρθρωσης ως προς τον άξονα y στο ολικό σύστημα συντεταγμένων) όπως φαίνεται για την άρθρωση 8 του παραδείγματος στο σχήμα 6.5.1. Ακολουθεί ένας αλφαριθμητικός δείκτης που παίρνει την τιμή F ή R . Την τιμή F (Free) την δίνουμε όταν η άρθρωση είναι ελεύθερη, ενώ την τιμή R (Restrained) όταν η άρθρωση είναι αγκύρωση ή δέσιμο της εξέδρας σε μόλο. Στην πρώτη περίπτωση ακολουθεί ένας μηδενικός αριθμός, ενώ στην περίπτωση της σταθερής άρθρωσης δίνουμε την καθ' ύψος θέση ($Zrestr$, στο σχήμα 6.5.2) της άρθρωσης εν σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας. Μόλις τελειώσει η ανάγνωση της κάθε σειράς που αφορά την κάθε άρθρωση τελειώνει και η επαναληπτική διαδικασία η οποία άρχισε στην αρχή.

Στην συνέχεια ξεκινά μία νέα επαναληπτική διαδικασία για την ανάγνωση των περισσότερων ειδικών στοιχείων κάθε άρθρωσης.

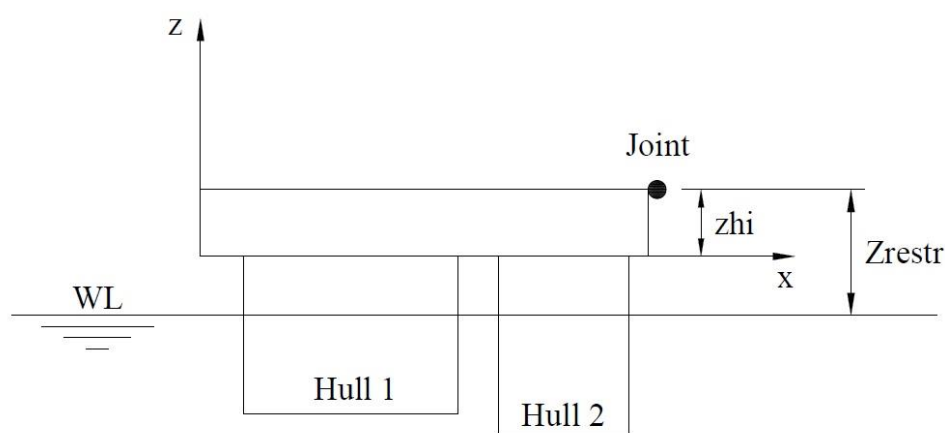
Για κάθε άρθρωση θα έχουμε αρχικά την ανάγνωση μίας αλφαριθμητικής σειράς.

Στην επόμενη σειρά έχουμε την ανάγνωση της άρθρωσης στην οποία βρισκόμαστε κάθε φορά και του αριθμού των σωμάτων που είναι συνδεδεμένα με την

συγκεκριμένη άρθρωση. Την πρώτη μεταβλητή αντιπροσωπεύει ακέραιος αριθμός έως 4 ψηφία που βρίσκεται στην 11^η στήλη (αμέσως μετά το σύμβολο της άνω κάτω τελείας) και η δεύτερη μεταβλητή πάλι από ακέραιο αριθμό έως τεσσάρων ψηφίων αμέσως μετά το σύμβολο της άνω κάτω τελείας).

Ακολουθεί η ανάγνωση δύο αλφαριθμητικών σειρών.

Στο σημείο αυτό ξεκινά νέα επαναληπτική διαδικασία με αριθμό επαναλήψεων, άρα και σειρών που θα ακολουθήσουν, τόσες όσες είναι οι εξέδρες που είναι προσδεμένες στην εκάστοτε άρθρωση. Σε κάθε μία από τις σειρές που αντιστοιχεί για μία συγκεκριμένη άρθρωση διαβάζεται ο αριθμός της εξέδρας που είναι προσδεμένη και μετά, στην ίδια σειρά η σχετική απόσταση z_{hi} κάθε άρθρωσης στο τοπικό σύστημα (σωματόδετο) από το κατώτερο σημείο του καταστρώματος κάθε εξέδρας, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.5.2 Η πρώτη μεταβλητή αντιστοιχεί σε ακέραιο αριθμό (έως τέσσερα ψηφία) ενώ η δεύτερη σε πραγματικό αριθμό 12 σημαντικών ψηφίων και 6 δεκαδικών. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα η άρθρωση 8 συνδέεται με δύο σώματα, το 1 και το 2 (σχήμα 6.5.1). Οι εγκάρσιες και διαμήκεις συντεταγμένες της άρθρωσης μετριοούνται επίσης στο ίδιο σχήμα, ενώ η καθ' ύψος θέση της και η απόσταση της από την επιφάνεια της θάλασσας (καθότι θεωρώ ότι η άρθρωση 8 είναι περιορισμένη) υπολογίζεται σύμφωνα με το σχήμα (6.5.2).



Σχήμα 6.5.2

Απόσταση άρθρωσης από το κατώτατο σημείο του καταστρώματος της εξέδρας στην οποία ανήκει και απόσταση από την επιφάνεια της θάλασσας στην περίπτωση σταθερής άρθρωσης, για τυχαίο σώμα.

Το κομμάτι της ανάγνωσης των αρθρώσεων που εντάσσεται στο αρχείο εισόδου των δεδομένων τελειώνει με την ανάγνωση μια αλφαριθμητικής σειράς.

6.6. Χαρακτηριστικά δυνάμεων

Στη πέμπτη ενότητα της εισαγωγής των δεδομένων ανάγνωσης έχουμε την ανάγνωση των χαρακτηριστικών κάθε δύναμης που ασκείται στο κάθε σώμα, συμπεριλαμβανομένου και του βάρους αυτού. Τα χαρακτηριστικά αυτά έχουν να κάνουν, πρώτον με το μέγεθος της δύναμης, και δεύτερον με το σημείο στο οποίο αυτή ασκείται στο εκάστοτε σώμα ώστε να υπολογισθούν οι ροπές που θα δημιουργηθούν.

Στο παράδειγμα που χρησιμοποιούμε σε όλη την παρουσίαση του αρχείου εισόδου των δεδομένων, υπάρχει μία δύναμη για κάθε σώμα που αντιστοιχεί στο βάρος αυτής ενώ παράλληλα στα σώματα 1 και 5 ασκείται από μια επιπλέον δύναμη.

Η ενότητα για το παράδειγμα διαμορφώνεται ως εξής:

External Powers & Characteristics					

No. Body:1 Power/Body:2					

Power	No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	289.000000	15.000000	5.000000	1.500000	
2	15.000000	26.000000	7.000000	4.000000	

No. Body:2 Power/Body:1					

Power	No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	369.000000	15.000000	5.000000	1.500000	

No. Body:3 Power/Body:1					

Power	No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	369.000000	5.000000	15.000000	1.500000	

No. Body:4 Power/Body:1					

Power	No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	369.000000	15.000000	5.000000	1.500000	

No. Body:5 Power/Body:2					

Power	No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	369.000000	5.000000	15.000000	1.500000	
2	10.000000	7.000000	9.000000	4.000000	

Αρχικά πραγματοποιείται η ανάγνωση των επόμενων, τριών αλφαριθμητικών σειρών.

External Powers & Characteristics

Στην συνέχεια ξεκινά επαναληπτική διαδικασία όπου οι επαναλήψεις είναι τόσες όσες και τα σώματα, είτε αυτά φέρουν έξτρα δύναμη εκτός του βάρους τους είτε όχι.

Για κάθε μία επανάληψη η οποία αντιστοιχεί και σε ένα συγκεκριμένο σώμα συμβαίνουν τα εξής:

Αρχικά πραγματοποιείται η ανάγνωση μίας αλφαριθμητικής σειράς.

Κατόπιν δίνουμε τον αριθμό του σώματος (τα σώματα όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω δεν είναι απαραίτητο να γραφούν κατά αύξουσα σειρά). Ο αριθμός (ακέραιος, μέχρι 4 ψηφία) του σώματος δίνεται στην στήλη 10 (αμέσως μετά το σύμβολο της άνω κάτω τελείας) και στην ίδια σειρά στην στήλη 27 (αμέσως μετά το σύμβολο της άνω κάτω τελείας) δίνεται ο συνολικός αριθμός (ακέραιος, μέχρι 4 ψηφία) των εξωτερικών δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα συμπεριλαμβανομένου και του βάρους του σώματος.

Ανάγνωση δύο αλφαριθμητικών σειρών.

Στο σημείο αυτό ξεκινά νέα επαναληπτική διαδικασία με αριθμό επαναλήψεων ίσο με τις δυνάμεις που ασκούνται στο σώμα στο οποίο βρισκόμαστε εντός της προηγούμενης επανάληψης. Έτσι, οι σειρές που θα ακολουθήσουν θα είναι όσες και οι δυνάμεις αυτές και για την κάθε μία από αυτές θα διαβαστούν τα εξής στοιχεία.

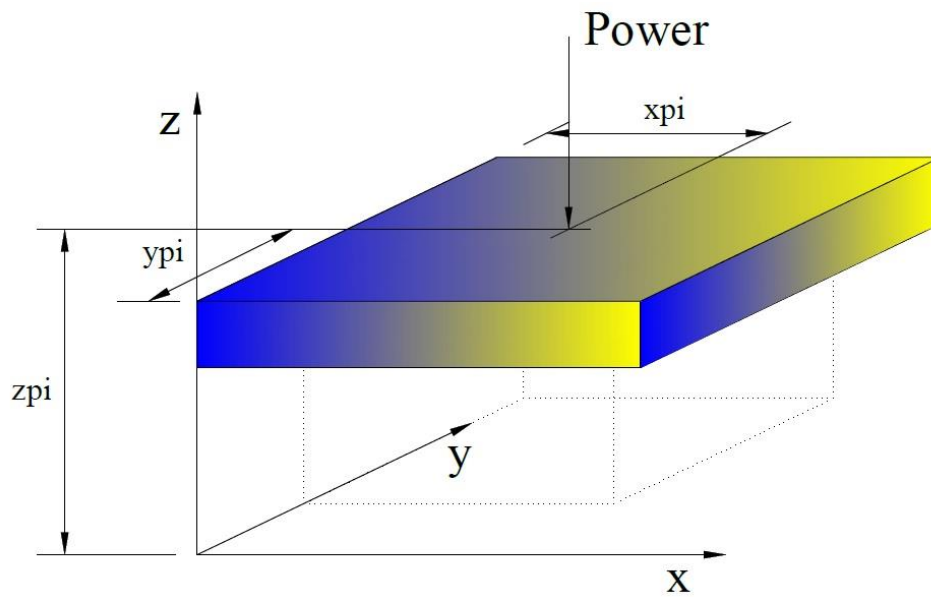
Στην στήλη 1 γράφουμε τον αριθμό της δύναμης (όχι υποχρεωτικά με αύξουσα σειρά) και ο οποίος είναι ακέραιος, μετά ακολουθεί η τιμή του μεγέθους της δύναμης (Force). Ακολουθούν οι συντεταγμένες τις δύναμης όπου το x_{pi} (κέντρο εφαρμογής της δύναμης ως προς x) και το y_{pi} (κέντρο εφαρμογής της δύναμης ως προς y) μετριούνται ως προς το σωματοπαγές σύστημα αξόνων, ενώ το z_{pi} (κέντρο εφαρμογής της δύναμης ως προς z) μετριέται από το κατώτερο σημείο όλης της εξέδρας (βλ. σχήμα 6.6.1). Όλοι οι αριθμοί που περιγράφουν την δύναμη (μέγεθος και σημείο εφαρμογής) είναι πραγματικοί αριθμοί με 12 σημαντικά ψηφία (6 δεκαδικά) και χωρίζονται μεταξύ τους με κενό (space bar).

Όσον αφορά την μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιείται στο σύστημα, αυτή είναι το 1 tonne, μιας και το βάρος του εκτοπίσματος του κάθε σώματος υπολογίζεται διαμέσου της σχέσης:

$$\Delta = \gamma \cdot \nabla$$

όπου:

- γ : το ειδικό βάρος του νερού (1,025 t/m³ για θαλασσινό νερό) και
- ∇ : ο συνολικός εκτοπιζόμενος όγκος του σώματος



Σχήμα 6.6.1

Απόσταση του σημείου εφαρμογής μιας δύναμης P από τους άξονες του συστήματος συντεταγμένων που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη περίπτωση

Με το τελείωμα των επαναλήψεων για κάθε σώμα και πριν προχωρήσουμε στην ανάγνωση των μεταβλητών της επόμενης ενότητας πραγματοποιείται η ανάγνωση αλφαριθμητικής σειράς σηματοδοτεί και το τέλος της ενότητας αυτής.

6.7. Χαρακτηριστικά διαμερισμάτων υπό κατάκλυση

Η ενότητα εισαγωγής των δεδομένων των χαρακτηριστικών των διαμερισμάτων υπό κατάκλυση έχει βασισθεί στην ενότητα εισαγωγής των δεδομένων των χαρακτηριστικών των γαστρών αφού η διατομή ενός κατακλυσθέν διαμερίσματος μπορεί να είναι τύπου 1,2 ή 3 όπως και για κάθε γάστρα. Υπενθυμίζεται ότι ο τύπος 1 αντιστοιχεί σε πολυγωνική διατομή, ο τύπος 2 σε ορθογωνική διατομή ενώ ο τύπος 3 σε κυκλική διατομή.

Όσον αφορά τον αριθμό των διαμερισμάτων υπό κατάκλυση σε μία γάστρα δεν υπάρχει περιορισμός αρκεί η συνολική επιφάνεια τους να μην υπερβαίνει την διατομή της γάστρας στην οποία ανήκουν. Θα πρέπει σε αυτό το σημείο να τονισθεί ότι ο χρήστης του προγράμματος είναι υπεύθυνος για την ορθή εισαγωγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών κάθε διαμερίσματος έτσι ώστε να μην ισχύουν τα κάτωθι:

- i. Το συνολικό εμβαδόν των διατομών των διαμερισμάτων υπό κατάκλυση να μην υπερβαίνει το εμβαδόν της διατομής της γάστρας στην οποία ανήκουν, όπως προαναφέρθηκε προηγουμένως
- ii. Τα γεωμετρικά όρια της διατομής κάθε διαμερίσματος να βρίσκονται εντός των γεωμετρικών ορίων της γάστρας στην οποία ανήκουν.

Κατά την περίπτωση όπου ένα από τα προηγούμενα ή και τα δύο ταυτόχρονα δεν συμβαίνει τότε το πρόγραμμα θα λειτουργήσει κανονικά όμως τα αποτελέσματα τα οποία θα παραχθούν θα είναι λανθασμένα. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την εισαγωγή των δεδομένων, σε αυτό το σημείο αλλά και γενικότερα.

Στο παράδειγμα που χρησιμοποιούμε έχουν ορισθεί 3 διαμερίσματα (για να παρουσιασθούν και οι 3 περιπτώσεις διαμερίσματος) στα οποία θα επέλθει κατάκλυση και στο αρχείο *input* η καταγραφή των χαρακτηριστικών τους έχει την ακόλουθη μορφή:

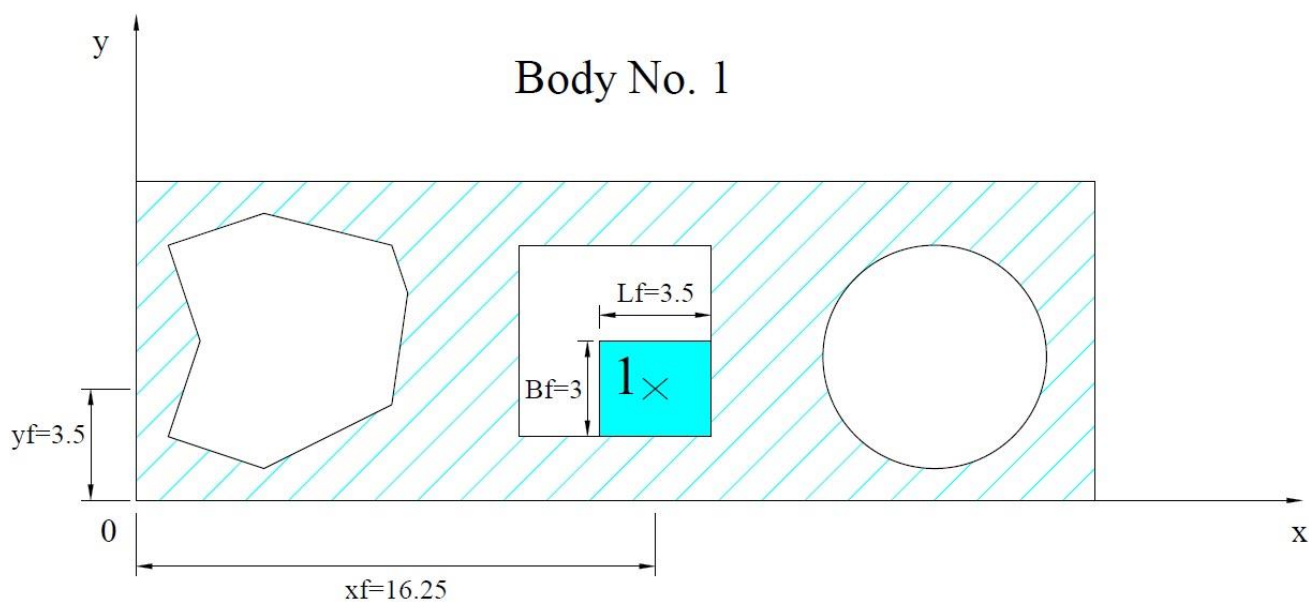
```
-----  
Flooded Compartments Characteristics  
-----  
-----  
Compartment No.:1 |Body No.:1 |Hull No.:2 |Type:2 |Permability:1.000  
-----  
|xf |yf |Lf |Bf  
16.250000 | 3.500000 | 3.500000 | 3.000000  
-----  
Compartment No.:2 |Body No.:4 |Hull No.:1 |Type:1 |Permability:1.000  
-----  
No. of points:7  
-----  
|xfi |yfi  
8.000000 | 2.000000
```

8.000000	4.000000
10.000000	4.000000
10.000000	6.000000
12.000000	6.000000
12.000000	2.000000
8.000000	2.000000

Compartment No.:3 |Body No.:4 |Hull No.:1 |Type:3 |Permeability:1.000

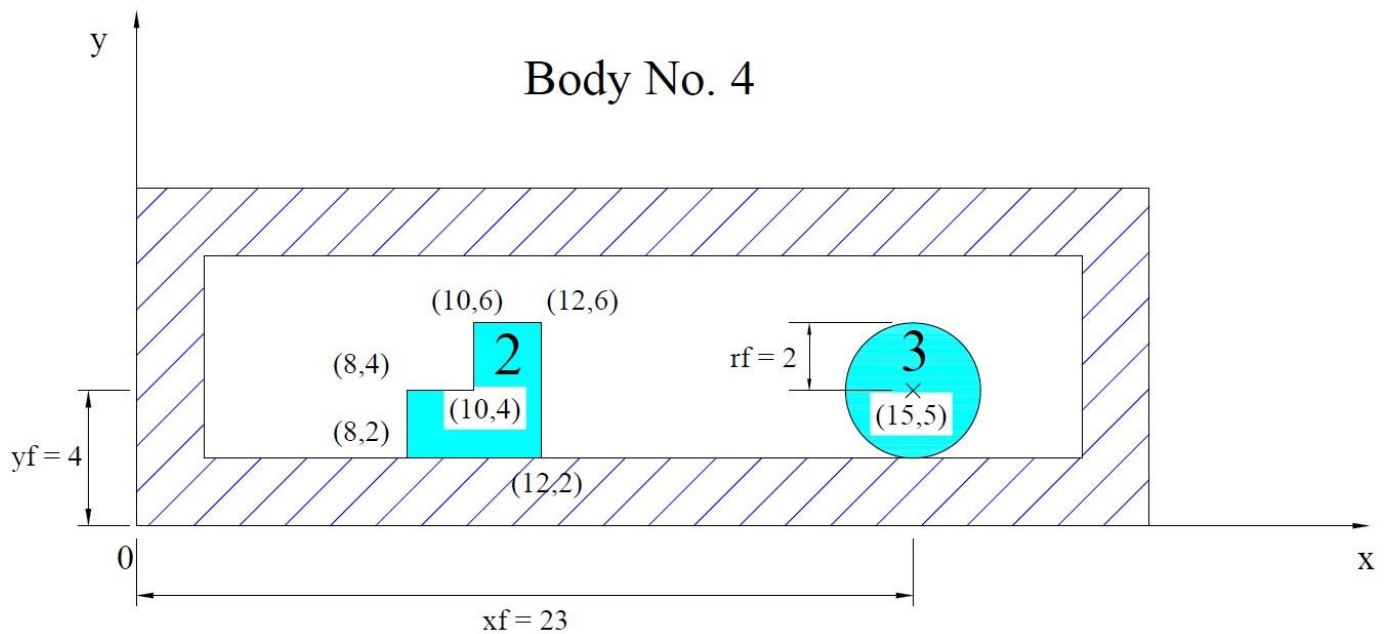
xf	yf	rf
23.000000	4.000000	2.000000

Στην συνέχεια θα παρουσιασθούν σχηματικά τα κατακλυζόμενα διαμερίσματα που υπάρχουν στο πρόβλημα του παραδείγματος.



Σχήμα 6.7.1

Απεικόνιση του κατακλυζόμενου διαμερίσματος 1, το οποίο ανήκει στην γάστρα 2 του σώματος 1 και η διατομή του είναι ορθογωνική (τύπος 2). Στο σχήμα διακρίνεται το γεωμετρικό κέντρο του διαμερίσματος, η απόσταση του από τους άξονες του τοπικού συστήματος συντεταγμένων καθώς και οι διαστάσεις του μήκους L και του πλάτους B .



Σχήμα 6.7.2

Απεικόνιση του κατακλυζόμενων διαμερισμάτων 2 και 3, τα οποία ανήκουν στην γάστρα 1 του σώματος 4 και η διατομή τους είναι πολυγωνική (τύπος 1) και κυκλική (τύπος 3) αντίστοιχα. Στο σχήμα διακρίνεται το γεωμετρικό κέντρο του κυκλικού διαμερίσματος 3, η απόσταση του από τους άξονες του τοπικού συστήματος συντεταγμένων καθώς και η ακτίνα r_h . Για το διαμέρισμα 2 διακρίνονται οι συντεταγμένες των σημείων που περιγράφουν το διαμέρισμα ως προς το τοπικό σύστημα συντεταγμένων

Στην συνέχεια θα δοθεί αναλυτικά η περιγραφή του τρόπου εισαγωγής των δεδομένων για τα διαμερίσματα που έχουν υποστεί κατάκλυση.

Η ενότητα ξεκινά με την ανάγνωση των παρακάτω, τριών αλφαριθμητικών δεδομένων:

Flooded Compartments Characteristics

Αμέσως μετά λαμβάνει χώρα επαναληπτική διαδικασία για την οποία ο αριθμός των επαναλήψεων συμβαδίζει με τον συνολικό αριθμό των διαμερισμάτων υπό κατάκλυση. Σε κάθε μία από αυτές τις επαναλήψεις θα διαβαστούν όλα τα χαρακτηριστικά για κάθε ένα από τα διαμερίσματα. Αρχικά θα πραγματοποιηθεί η ανάγνωση μίας αλφαριθμητικής σειράς. Έπειτα στην επόμενη σειρά θα διαβαστούν οι μεταβλητές:

- Στην 17^η στήλη διαβάζεται ο αριθμός του διαμερίσματος το οποίο εξετάζουμε σε κάθε επανάληψη.
- Στην 31^η στήλη διαβάζεται ο αριθμός του σώματος στο οποίο βρίσκεται το εν λόγω κατακλυσθέν διαμέρισμα.

- Στην συνέχεια της ίδιας σειράς, στην στήλη 45 διαβάζεται ο αριθμός της γάστρας, η οποία ανήκει στο σώμα του οποίου ο αριθμός διαβάστηκε προηγουμένως και στην οποία βρίσκεται το κατακλυσθέν διαμερίσμα.
- Τέλος, στην στήλη 62 της ίδιας σειράς πάντα διαβάζεται η διαχωρητικότητα του διαμερίσματος η οποία μπορεί να πάρει τιμές από 0.000 έως 1.000

Ως διαχωρητικότητα ενός χώρος ορίζεται το ποσοστό επί τοις εκατό του χώρου αυτού που μπορεί να κατακλυσθεί. Η τιμή της διαχωρητικότητας, αποτελείται από πραγματικό αριθμό 5 σημαντικών ψηφίων και 3 δεκαδικών και μπορεί να λάβει τιμές από το 0,000 (0%) για μηδενική διαχωρητικότητα έως το 1,000 (100%) για πλήρη κατάκλυση διαθέσιμου χώρου του διαμερίσματος.

Όλοι οι υπόλοιποι αριθμοί αντιστοιχούν σε ακέραιο αριθμό ο οποίος μπορεί να λάβει έως 4 ψηφία.

Ακολουθεί μία αλφαριθμητική σειρά.

Το επόμενο κομμάτι της ανάγνωσης των χαρακτηριστικών των διαμερισμάτων υπό κατάκλυση είναι διαφορετικό ανάλογα με τον τύπο στον οποίο ανήκει η διατομή του διαμερίσματος. Η εισαγωγή των σχετικών μεταβλητών είναι αντίστοιχη με αυτή της ανάγνωσης των χαρακτηριστικών για την γεωμετρία κάθε γάστρας, με ελάχιστες διαφοροποιήσεις. Έτσι λοιπόν ανάλογα τον τύπο της διατομής χωρίζουμε περιπτώσεις:

Τύπος 1 – Πολυγωνική διατομή διαμερίσματος υπό κατάκλυση

Αρχικά, στην στήλη 39 δίνουμε τον αριθμό (ακέραιος αριθμός, έως 4 ψηφία) των σημείων που περιγράφουν το πολυγωνικό χωρίο (στο συγκεκριμένο παράδειγμα περιγράφουμε την γάστρα με 7 σημεία).

Ακολουθεί η ανάγνωση δύο αλφαριθμητικών σειρών

Στο σημείο αυτό ξεκινά επανάληψη εντός του προγράμματος με βάση τον αριθμό των σημείων που ορίστηκαν προηγουμένως.

Έτσι λοιπόν όσα είναι τα σημεία που ορίσαμε τόσες θα είναι και οι σειρές που θα ακολουθήσουν με την κάθε μία από αυτές να περιέχει τις συντεταγμένες (xf_i, yf_i) του κάθε σημείου, τις οποίες μετράμε ως προς την αρχή των αξόνων του εκάστοτε τοπικού συστήματος (την αρχή των αξόνων της εξέδρας) και με φορά διαγραφής την ωρολογιακή (όπως στο σχήμα 6.7.2). Επιπλέον το πρώτο ζευγάρι συντεταγμένων συμπίπτει με το τελευταίο έτσι ώστε να κλείνει γεωμετρικά η επιλεγμένη περιοχή. Οι δύο συντεταγμένες εκφράζονται μέσω πραγματικών αριθμών με 12 σημαντικά ψηφία και 6 δεκαδικά και χωρίζονται μεταξύ τους με ένα κενό.

Ακολουθεί η ανάγνωση αλφαριθμητικής σειράς.

Τύπος 2 – Ορθογωνική γάστρα

Σαν δεύτερο τύπο διατομής του διαμερίσματος υπό κατάκλυση, αντίστοιχα με τις γάστρες, ορίζουμε τον ορθογωνικό. Γι' αυτόν τον τύπο γάστρας αρχικά δίνουμε τις συντεταγμένες του κέντρου τις διατομής (xf, yf) ως προς την αρχή των αξόνων του εκάστοτε τοπικού συστήματος (την αρχή των αξόνων της εξέδρας), και τέλος το μήκος L και το πλάτος B του ορθογωνίου (σχήμα 6.7.1). Και οι τρεις προηγούμενες

μεταβλητές βρίσκονται στην ίδια σειρά, είναι πραγματικοί αριθμοί με 12 σημαντικά ψηφία (6 δεκαδικά) και χωρίζονται μεταξύ τους με ένα κενό.

Τύπος 3 – Κυκλική γάστρα

Ο τύπος 3 αφορά την περίπτωση της κυκλικής διατομής. Γι' αυτόν τον τύπο δίνουμε πρώτα τις συντεταγμένες του κέντρου τις κυκλικής διατομής (x_f, y_f) από την αρχή των αξόνων του εκάστοτε τοπικού συστήματος (την αρχή των αξόνων της εξέδρας), και τέλος την ακτίνα r_f του κύκλου (σχήμα 6.7.1). Και οι τρεις προηγούμενες μεταβλητές βρίσκονται στην ίδια σειρά, είναι πραγματικοί αριθμοί με 12 σημαντικά ψηφία (6 δεκαδικά) και χωρίζονται μεταξύ τους με ένα κενό.

Με την ολοκλήρωση της επαναληπτικής διαδικασίας που περιλαμβάνει την καταγραφή των γεωμετρικών στοιχείων του κάθε διαμερίσματος υπό κατάκλυση η ενότητα κλείνει με την ανάγνωση μίας αλφαριθμητικής σειράς.

Παρατήρηση:

Η ύπαρξη ενός ή περισσότερων διαμερισμάτων υπό κατάκλυση προφανώς δεν είναι αναγκαστικό να συμβαίνει πάντα. Έτσι λοιπόν ανάλογα με το αν υπάρχει ένα τουλάχιστον διαμέρισμα με κατάκλυση προκύπτουν τα δύο ενδεχόμενα:

- i. Στην περίπτωση όπου στο σύστημα υπάρχει ένα τουλάχιστον κατακλυσθέν διαμέρισμα η ενότητα της οποίας η ανάλυση προηγήθηκε ενσωματώνεται στο αρχείο εισαγωγής των δεδομένων, αμέσως μετά την ενότητα 5 που αφορά την καταγραφή των χαρακτηριστικών των δυνάμεων του συστήματος.
- ii. Στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει διαμέρισμα υπό κατάκλυση, τότε καταρχήν στην 1^η ενότητα των κυρίων χαρακτηριστικών, ο ολικός αριθμός διαμερισμάτων υπό κατάκλυση (NFC) θα πρέπει να εισαχθεί μηδέν. Κατά δεύτερον η ενότητα που αναλύθηκε προηγουμένως θα πρέπει να αφαιρεθεί για την αποφυγή οποιασδήποτε σύγχυσης του προγράμματος.

6.8. Χαρακτηριστικά σημείων όπου επιθυμούμε να γίνει υπολογισμός του βυθίσματος

Η ενότητα αυτή, μαζί με την ενότητα που αφορά την κατάκλυση έχουν ενσωματωθεί στην παρούσα μελέτη και δεν προϋπήρχαν.

Στην συνέχεια παρατίθεται η ενότητα για το παράδειγμα που χρησιμοποιούμε, όπως ακριβώς αυτή βρίσκεται εντός του αρχείου εισαγωγής των δεδομένων.

Draught at Required Location

Location No.:1

Body	x i	y i
1	25.000000	8.000000

Location No.:2

Body	x i	y i
3	3.000000	19.000000

Η ενότητα αυτή όπως και οι προηγούμενες ξεκινά με την ανάγνωση τριών σειρών με αλφαριθμητικά στοιχεία όπως ακολουθεί:

Draught at Required Location

Αμέσως μετά ξεκινά επαναληπτική διαδικασία με αριθμό επαναλήψεων ίσο με τον αριθμό των σημείων στα οποία ζητάω το βύθισμα (έχει καθοριστεί στην πρώτη ενότητα των κυρίων μεταβλητών του προγράμματος).

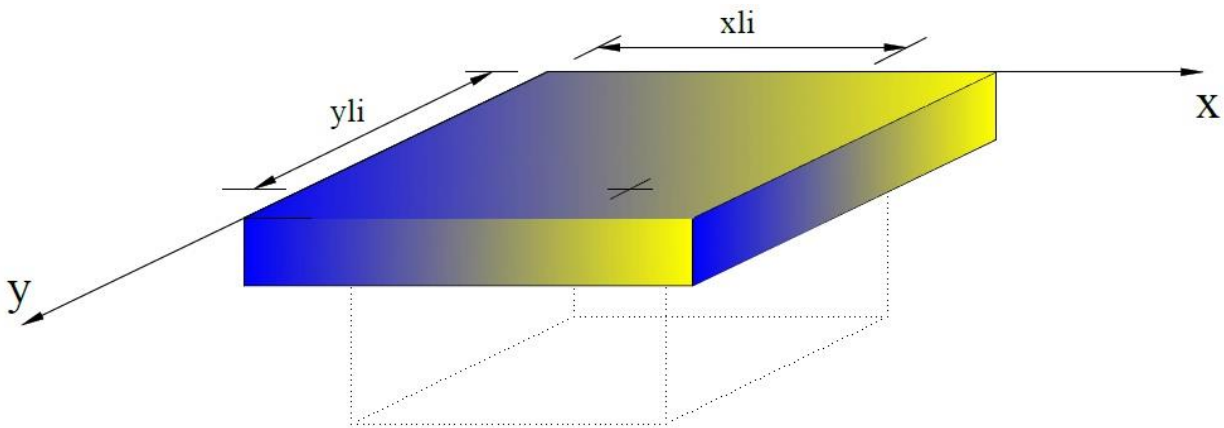
Σε κάθε μία από τις επαναλήψεις συμβαίνουν τα επόμενα:

- Ανάγνωση μίας αλφαριθμητικής σειράς
- Ανάγνωση του αριθμού του σημείου στο οποίο επιθυμούμε να υπολογισθεί το βύθισμα. Συγκεκριμένα πρόκειται για έναν ακέραιο αριθμό (έως 4 ψηφία) στην 14^η στήλη της σειράς.
- Ανάγνωση δύο αλφαριθμητικών σειρών
- Ανάγνωση του αριθμού του σώματος στο οποίο βρίσκεται το εξεταζόμενο σημείο μέσω ακεραίου αριθμού (μέχρι 4 ψηφία), της

απόστασης x_l του σημείου από τον άξονα Oy του τοπικού συστήματος συντεταγμένων (την αρχή των αξόνων της εξέδρας στην οποία βρίσκεται το σημείο) και την αντίστοιχη απόσταση y_l του σημείου από τον άξονα Ox του τοπικού συστήματος συντεταγμένων όπως στο σχήμα 6.8.1. Οι συντεταγμένες (x_l, y_l) του σημείου αντιπροσωπεύονται από πραγματικό αριθμό 12 σημαντικών ψηφίων (6 δεκαδικά). Οι τρεις προηγούμενες μεταβλητές χωρίζονται μεταξύ τους με κενό.

- Ανάγνωση μίας αλφαριθμητικής σειράς.

Με το τέλος των επαναλήψεων και την ανάγνωση των χαρακτηριστικών για κάθε σημείο η ενότητα κλείνει με την ανάγνωση μιας αλφαριθμητικής σειράς.



Σχήμα 6.8.1

Απεικόνιση σημείου στο οποίο επιθυμούμε τον υπολογισμό και την παρουσίαση του βυθίσματος, σε ένα τυχαίο σώμα.

Παρατήρηση:

Όπως και στην περίπτωση των διαμερισμάτων υπό κατάκλυση έτσι και για την ζήτηση υπολογισμού του βυθίσματος σε κάποιο ή κάποια συγκεκριμένα σημεία μίας εξέδρας είναι προαιρετική. Άλλωστε όπως θα δούμε και παρακάτω στην παρουσίαση και ανάλυση του αρχείου εξόδου, υπάρχει η εντολή στην έξοδο των αποτελεσμάτων να παρουσιάζεται σε κάθε επανάληψη το βύθισμα για κάθε άρθρωση (στην περίπτωση που υπάρχει άρθρωση). Αυτό σημαίνει ότι εάν επιθυμούμε τον υπολογισμό και την εμφάνιση του βυθίσματος στο σημείο όπου βρίσκεται μία άρθρωση στο σύστημα δεν χρειάζεται να προβούμε στην ενσωμάτωση της παρούσης ενότητας στο αρχείο input, διότι θα έχουμε την εμφάνιση του ίδιου αποτελέσματος δύο φορές.

Στην περίπτωση όπου δεν επιθυμούμε τον υπολογισμό και στην συνέχεια την εκτύπωση του βύθισματος σε κάποιο ή κάποια συγκεκριμένα σημεία μιας εξέδρας τότε θα πρέπει:

- Αρχικά στην 1η ενότητα εισαγωγής των κυρίων μεταβλητών του προβλήματος, ο αριθμός DRL (συνολικός αριθμός των σημείων όπου ζητάται να υπολογισθεί το βύθισμα) να ορισθεί ίσος με μηδέν (Total Number of Req. Draught Location (DRL) :1) .
- Να αφαιρεθεί η 8^η ενότητα που αφορά της εισαγωγή των στοιχείων του κάθε σημείου που ζητάμε το βύθισμα και αναλύθηκε προηγουμένως.

6.9. Απλό Σώμα

Το πρόγραμμα εκτός από τις σύνθετες περιπτώσεις σωμάτων τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με αρθρώσεις, επιλύει και την περίπτωση σώματος με τυχαίες γάστρες χωρίς καμία άρθρωση. Σε αυτήν την περίπτωση όμως διαφοροποιείται ο φάκελος εισόδου δεδομένων σε ορισμένα σημεία. Για καλύτερη κατανόηση της απλής περίπτωσης σώματος, παραθέτουμε πρώτα το φάκελο εισόδου ενός παραδείγματος ενός σώματος με μία γάστρα και στην συνέχεια θα επισημάνουμε τις διαφορές.

Main Program Variables & Constants

Total Number of Bodies (NSM)	:1
Total Number of Joints (NAR)	:0
Total Number of Hulls (NGS)	:1
Total Number of Flooded Compartments (NFC)	:1
Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC)	:1
Total Number of Req. Draught Location (DRL)	:1
Maximum No. of Hulls/Body	:1
Maximum No. of Points/Hull	:0
Maximum No. of Points/Flooded Compartment	:0
Maximum No. of Bodies/Joint	:0
Maximum No. of Joints/Body	:0
Maximum No. of Forces/Body	:2
Water Special weight [tn/m ³] (PKNN)	:1.025000

Bodies Characteristics

Body No.	Xref	Yref	L	B	H
1	2.000000	2.000000	50.000000	10.000000	0.200000

Hulls Characteristics

Body No.:1 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 |Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
3.800000	25.000000	5.000000	50.000000	10.000000

External Powers & Characteristics

No. Body:1 | Power/Body:2

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	563.750000	25.000000	5.000000	1.500000
2	20.000000	50.000000	10.000000	4.000000

 Flooded Compartments Characteristics

Compartment No.:1	Body No.:1	Hull No.:1	Type:2	Permability:1.000
	xf	yf	Lf	Bf
	35.000000	7.500000	10.000000	5.000000

 Draught at Required Location

Location No.:1

Body	xli	yli
1	10.000000	0.000000

Αρχικά για να γίνει κατανοητό από το πρόγραμμα ότι έχουμε την περίπτωση σώματος χωρίς καμία άρθρωση θέτουμε ολικό αριθμό αρθρώσεων μηδέν 0 (Total Number of Joints (NAR):0), Μέγιστο αριθμό σωμάτων ανά άρθρωση μηδέν 0 (Maximum No. of Bodies/Joint:0) και μέγιστο αριθμό αρθρώσεων ανά σώμα μηδέν 0 (Maximum No. of Joints/Body:0).

Κατά συνέπεια εφόσον δεν υπάρχουν αρθρώσεις στο φάκελο εισόδου παραλείπεται η ενότητα 6.5 που περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των αρθρώσεων, όλα τα άλλα στοιχεία του φακέλου εισόδου έχουν όπως τα έχουμε περιγράψει στις παραπάνω ενότητες.

Στο παράδειγμα που παραθέσαμε για το απλό σώμα έχουμε επιλέξει και την ύπαρξη ενός διαμερίσματος με κατάκλυση. Όμως όπως συμβαίνει για τα σώματα που αποτελούν μέρος σύνθετων προβλημάτων με αρθρώσεις δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει πάντα κάποιου είδους κατακλυζόμενο διαμέρισμα, όπως και είναι απόλυτα φυσιολογικό άλλωστε. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει έστω ένα κατακλυζόμενο διαμέρισμα όπως αναφέρθηκε και για την πρώτη περίπτωση αρκεί να ορισθεί ίσος με μηδέν ο αριθμός NFC (συνολικός αριθμός κατακλυζόμενων διαμερισμάτων) στις κύριες μεταβλητές, όπως επίσης και ο αριθμός NBFC (αριθμός σωμάτων με κατακλυζόμενο διαμέρισμα) ενώ τέλος παραλείπεται η ενότητα 6.7 που αφορά την εισαγωγή των χαρακτηριστικών των διαμερισμάτων στο πρόβλημα.

Τέλος ανάλογη με την προηγούμενη είναι και η θέση της ενότητας 6.8 για τα σημεία στα οποία επιθυμεί ο χρήστης να υπολογισθεί και να παρουσιασθεί το βύθισμα μίας εξέδρας. Στο παράδειγμα που χρησιμοποιήσαμε εδώ για το απλό σώμα ζητήσαμε το βύθισμα σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Εάν δεν επιθυμούσαμε να υπολογισθεί το

βύθισμα αυτό τότε θα έπρεπε στις κύριες μεταβλητές να ορισθεί η μεταβλητή DRL (συνολικός αριθμός σημείων στα οποία ζητείται το βύθισμα) ίση με μηδέν και στην συνέχεια τα παραληφθεί η 8^η ενότητα που αναλύθηκε στο εδάφιο 6.8 από το αρχείο εισαγωγής των δεδομένων.

Παρατήρηση για τα στοιχεία εισόδου του προγράμματος.

Δεν υπάρχουν περιορισμοί στον αριθμό των σωμάτων, των αρθρώσεων και του αριθμού των γαστρών ανά σώμα. Όμως έχουμε ορίσει στο πρόγραμμα να λύνει συστήματα μέχρι 100x100 οπότε οι συνολικοί άγνωστοι δεν πρέπει να υπερβαίνουν τους 100. Επιπλέον δεν γίνεται μεταξύ δύο σωμάτων να υπάρχουν περισσότερες των 2 αρθρώσεων διότι το σύστημα τότε είναι υπερστατικό και ακόμη και αν δώσει λύση το πρόγραμμα η λύση αυτή δεν θα είναι σωστή. Επιπλέον δεν γίνεται σε ένα σώμα να υπάρχουν περισσότερες των τριών σταθερών αρθρώσεων διότι τότε έχουμε πάλι υπερστατικό πρόβλημα αφού ορίζουμε το επίπεδο βάση 4 σημείων, πράγμα άτοπο. Τέλος όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου το πρόγραμμα είναι δυνατόν να επιλύσει προβλήματα με κατάκλυση μόνο στην περίπτωση του απλού σώματος όπου δεν υπάρχουν αρθρώσεις.

7. Εξαγωγή αποτελεσμάτων

Το αρχείο εξόδου του προγράμματος είναι αρχείο της μορφής *name.out*. Ο χρήστης του προγράμματος έχει την δυνατότητα να δώσει το όνομα που εκείνος επιθυμεί, αμέσως μετά την εισαγωγή των δεδομένων μέσω του αρχείου εισόδου. Όπως και για το αρχείο εισόδου έτσι και εδώ το αρχείο εξόδου των αποτελεσμάτων μπορεί να ‘ανοιχθεί’ και να επεξεργασθεί από οποιοδήποτε Η/Υ μέσω του προ εγκατεστημένου προγράμματος «Σημειωματάριο» για Η/Υ με εγκατεστημένο λειτουργικό *Windows* στην Ελληνική γλώσσα και «Notepad» αντίστοιχα στην Αγγλική.

Το αρχείο εξόδου είναι ένα αρχείο αριθμητικών αποτελεσμάτων με συγκεκριμένη διάταξη και αποτελείται από 6 ενότητες:

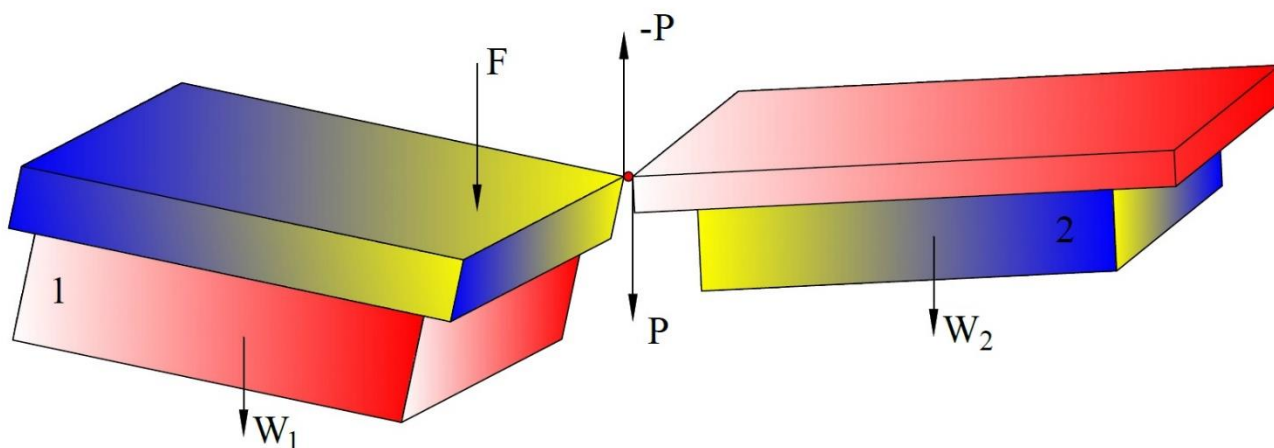
1. Δυνάμεις που ασκούνται ανά άρθρωση σε κάθε σώμα
2. Εγκάρσια και διαμήκη κλίση κάθε σώματος
3. Βυθίσματα σε κάθε άρθρωση ανά σώμα
4. Βυθίσματα σε προκαθορισμένα σημεία ενός σώματος
5. Χαρακτηριστικά των διαμερισμάτων με κατάκλυση
6. Τα υδροστατικά χαρακτηριστικά των σωμάτων που μελετάμε

Οι ενότητες βρίσκονται στο αρχείο με την σειρά που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Οι ενότητες 2 και 5 υπάρχουν σε κάθε περίπτωση ενώ οι υπόλοιπες εξαρτάται από τον τύπο του προβλήματος που το πρόγραμμα επιλύει κάθε φορά. Έτσι λοιπόν οι ενότητες 1 και 2 υφίσταται μόνο στις περιπτώσεις όπου στο πρόβλημα περιέχονται μία ή περισσότερες αρθρώσεις (σταθερές ή ελεύθερες). Η ενότητα 4 υπάρχει μόνο στην περίπτωση όπου ζητηθεί ο υπολογισμός του βυθίσματος μίας γάστρας σε ένα συγκεκριμένο σημείο αυτής και τέλος η ενότητα 5 υπάρχει μόνο στην περίπτωση όπου στο πρόβλημα εμπεριέχεται κατάκλυση ενός ή περισσότερων διαμερισμάτων.

Για κάθε ενότητα που θα περιγράψουμε αναλυτικά στην συνέχεια θα παραθέσουμε ένα παράδειγμα μέσω του οποίου θα γίνει η περισσότερο κατανοητή η δομή και τρόπος παρουσίασης των αποτελεσμάτων.

7.1. Δυνάμεις ανά άρθρωση σε κάθε σώμα

Τα αποτελέσματα για τις δυνάμεις έχουν την παρακάτω μορφή που θα περιγράψουμε αναλυτικά στην συνέχεια. Σε κάθε άρθρωση του συστήματος που μελετάμε μας δίνεται η δύναμη που ασκείται σε κάθε σώμα το οποίο συνδέεται με την συγκεκριμένη άρθρωση. Χάρη ευκολίας του χρήστη εντός της παρενθέσεως δίπλα από τη λέξη BODY αναγράφεται ο αριθμός του σώματος στο οποίο αναφέρεται η συγκεκριμένη δύναμη. Όταν τελειώσει η ανάλυση ελεύθερων δυνάμεων ανά σώμα, εάν έχουμε και περιορισμένες αρθρώσεις στο σύστημα, εμφανίζεται ο αριθμός της άρθρωσης που είναι περιορισμένη και η δύναμη που ασκείται στο στέλεχος, είτε είναι αγκύρωση είτε είναι μόνος. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η σταθερή άρθρωση είναι η όγδοη, οπότε μετά το πέρας όλων των αρθρώσεων παρατίθεται και η δύναμη που ασκείται (στην περίπτωσή μας) στην άγκυρα.



Σχήμα 7.1.1

Σύμβαση προσημών για τις δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε σώμα από την άρθρωση

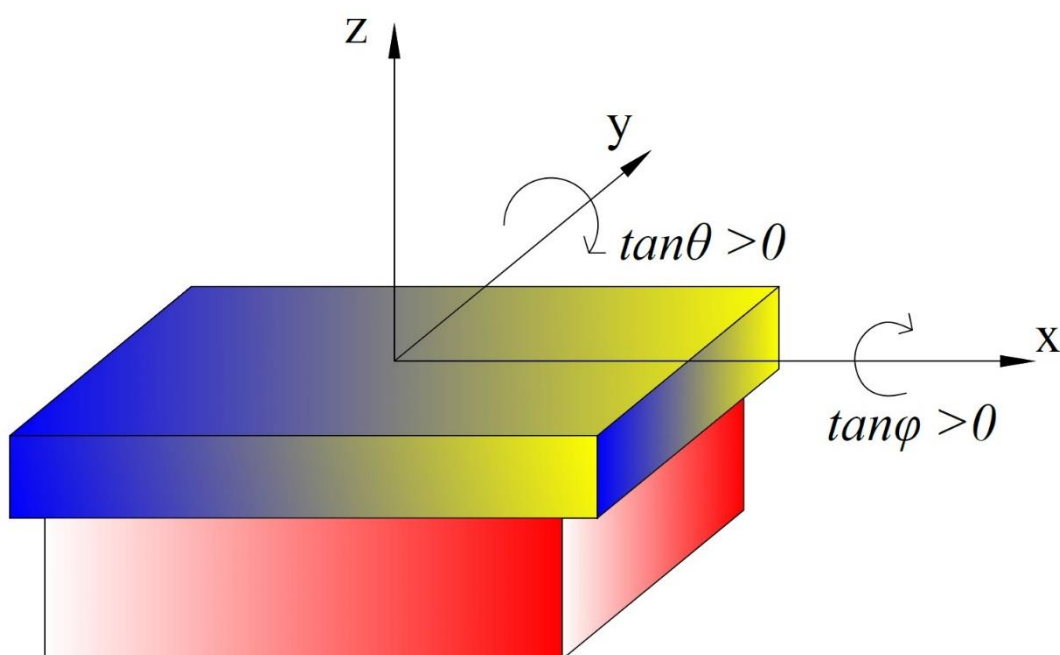
Όσον αφορά τα πρόσημα της κάθε δύναμης, το αρνητικό (-) πρόσημο αντιστοιχεί σε δύναμη αντίθετης κατεύθυνσης από τη δύναμη του βάρους και αντίθετα το θετικό (+) πρόσημο αντιστοιχεί σε δύναμη ίδιας κατεύθυνσης με την δύναμη του βάρους. Στο παράδειγμα του σχήματος 7.1.1, δύο εξέδρες 1 και 2 πλέον αρχικά ισοβύθιστες με την επίδραση μόνο του βάρους κάθε μίας W_1 και W_2 . Στην συνέχεια ασκείται δύναμη F στο σώμα 1 με αποτέλεσμα αυτό να πάρει κλίση και ταυτόχρονα να ασκήσει δύναμη $-P$ στην άρθρωση. Η άρθρωση με τη σειρά της θα ασκήσει αντίθετη δύναμη στο σώμα 2 (δύναμη P) και κατά συνέπεια το σώμα 2 θα λάβει κλίση όπως φαίνεται σχήμα.

Παράδειγμα δυνάμεων ανά άρθρωση σε αργείο εξόδου

```
-----  
                    FORCES  
-----  
-----  
JOINT                1  
-----  
F (t) BODY ( 1)    1 =   -5.386172E+00  
F (t) BODY ( 2)    2 =    5.386172E+00  
-----  
JOINT                2  
-----  
F (t) BODY ( 2)    3 =   -2.072881E+00  
F (t) BODY ( 3)    4 =    2.072881E+00  
-----  
JOINT                3  
-----  
F (t) BODY ( 2)    5 =   -1.070452E-01  
F (t) BODY ( 3)    6 =    1.070452E-01  
-----  
JOINT                4  
-----  
F (t) BODY ( 4)    7 =   -1.458194E+00  
F (t) BODY ( 2)    8 =    1.458194E+00  
-----  
JOINT                5  
-----  
F (t) BODY ( 4)    9 =   -1.252914E+00  
F (t) BODY ( 2)   10 =    1.252914E+00  
-----  
JOINT                6  
-----  
F (t) BODY ( 5)   11 =   -1.434976E+00  
F (t) BODY ( 2)   12 =    1.434976E+00  
-----  
JOINT                7  
-----  
F (t) BODY ( 5)   13 =    4.506870E+00  
F (t) BODY ( 2)   14 =   -4.506870E+00  
-----  
JOINT                8  
-----  
F (t) BODY ( 1)   15 =    8.161087E-01  
F (t) BODY ( 2)   16 =    6.685908E+00  
-----  
JOINT                8RESTRAINED  
-----  
F (t)   17 =   -7.502017E+00
```


7.2. Εγκάρσια και διαμήκη κλίση κάθε σώματος

Σε κάθε σώμα χρειάζεται να γνωρίζουμε την τιμή της εγκάρσιας και διαμήκης κλίσεως που αυτό έχει. Τα πρόσημα των γωνιών στηρίζονται στην παραδοχή ότι η τιμή της εφαπτομένης γύρω από έναν άξονα είναι θετική όταν «βυθίζεται» τον κάθετο σε αυτόν άξονα. Για παράδειγμα όταν η τιμή της διαμήκης εφαπτομένης είναι θετική (η $\tan\gamma > 0$) τότε «βυθίζονται» τα θετικά του άξονα Ox . Στο αρχείο εξόδου παρουσιάζεται η τιμή των εφαπτομένων και των γωνιών ανά εξέδρα.



Σχήμα 7.2.1

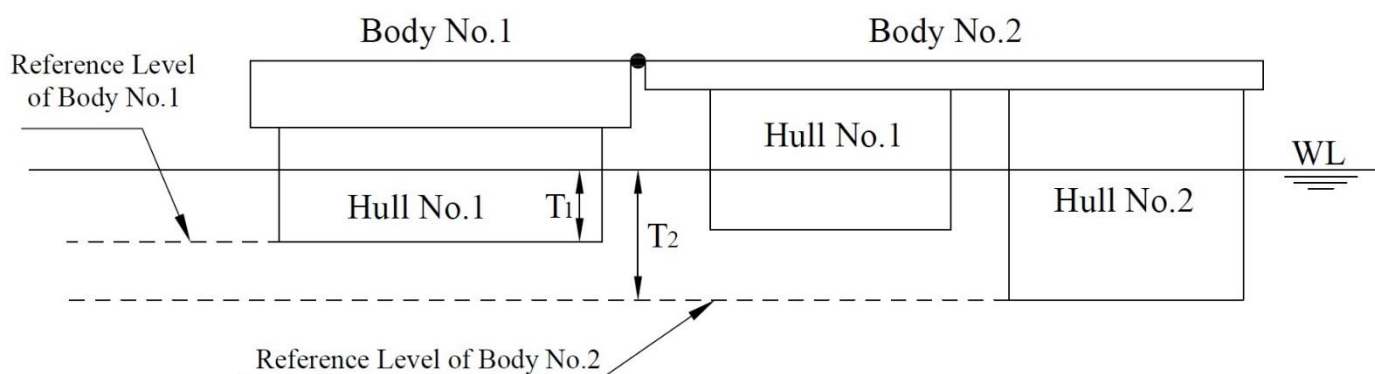
Σύμβαση προσήμων για τις γωνίες της εγκάρσιας (φ) και διαμήκουσ (θ) κλίσης

Παράδειγμα εγκάρσιας και διαμήκουσ κλίσης κάθε σώματος σε αρχείο εξόδου

----- BODIES INCLINATION -----				
BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	-1.640690E-02	6.230829E-02	-9.399619E-01	3.565392E+00
2	-1.640690E-02	-1.488850E-03	-9.399619E-01	-8.530478E-02
3	1.029240E-02	-1.488864E-03	5.896901E-01	-8.530558E-02
4	-1.640689E-02	-1.347247E-02	-9.399612E-01	-7.718689E-01
5	-4.951016E-03	-1.488850E-03	-2.836700E-01	-8.530474E-02

7.3. Βυθίσματα σε κάθε άρθρωση ανά σώμα

Εφόσον το σύστημα των εξέδρων επιλύεται με βάση της αρθρώσεις, χρειάζεται να γνωρίζουμε τα βυθίσματα σε κάθε άρθρωση ανά σώμα ούτως ώστε να έχουμε την δυνατότητα να ελέγξουμε εάν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις ασφαλείας και σχεδιασμού του προς μελέτη συστήματος. Επιπλέον του υπολογισμού του βυθίσματος του σώματος αναγράφουμε στο φάκελο εξόδου και τους όρους από τους οποίους σχηματίζεται το βύθισμα, δηλαδή τη παράλληλη βύθιση (dT), την συνεισφορά στην παράλληλη βύθιση λόγω της ροπής γύρω από τον άξονα Ox ($dTMx$) και την συνεισφορά στην παράλληλη βύθιση λόγω της ροπής γύρω από τον άξονα Oy ($dTMy$). Οπότε σε κάθε άρθρωση υπολογίζουμε το βύθισμα κάθε σώματος που συνδέεται με την αντίστοιχη άρθρωση, έχοντας όμως για κάθε σώμα ως επίπεδο αναφοράς μέτρησης του βυθίσματος εκείνο που ορίζεται από την βαθύτερη γάστρα κάθε εξέδρας. Κατά συνεπεία ελέγχοντας στο σημείο σύνδεσης (στην άρθρωση) τα βυθίσματα των εξέδρων πρέπει να διαφέρουν απόσταση ίση με την διαφορά των επιπέδων αναφοράς κάθε εξέδρας.



Σχήμα 7.3.1

Γραφική απεικόνιση των βυθισμάτων που μας δίνει το αρχείο εξόδου για δύο εξέδρες σε μία άρθρωση που τις συνδέει

Παράδειγμα βυθισμάτων σε κάθε άρθρωση ανά σώμα σε αρχείο εξόδου

```
-----  
BODIES DRAUGHT AT THE JOINT  
-----  
-----  
JOINT          1  
-----  
BODY      T (m)          dT          dTMx          dTMy  
  2      1.525760E+00      1.498273E+00      3.274473E-02      -5.258477E-03  
  3      1.525830E+00      1.503288E+00      1.252599E-02      1.001592E-02  
  1      1.525748E+00      1.539089E+00      3.274489E-02      -4.608562E-02  
-----  
JOINT          2  
-----  
BODY      T (m)          dT          dTMx          dTMy  
  1      1.460258E+00      1.539089E+00      -3.274489E-02      -4.608562E-02  
  2      1.460270E+00      1.498273E+00      -3.274473E-02      -5.258477E-03
```

7.4. Βυθίσματα σε προκαθορισμένα σημεία ενός σώματος

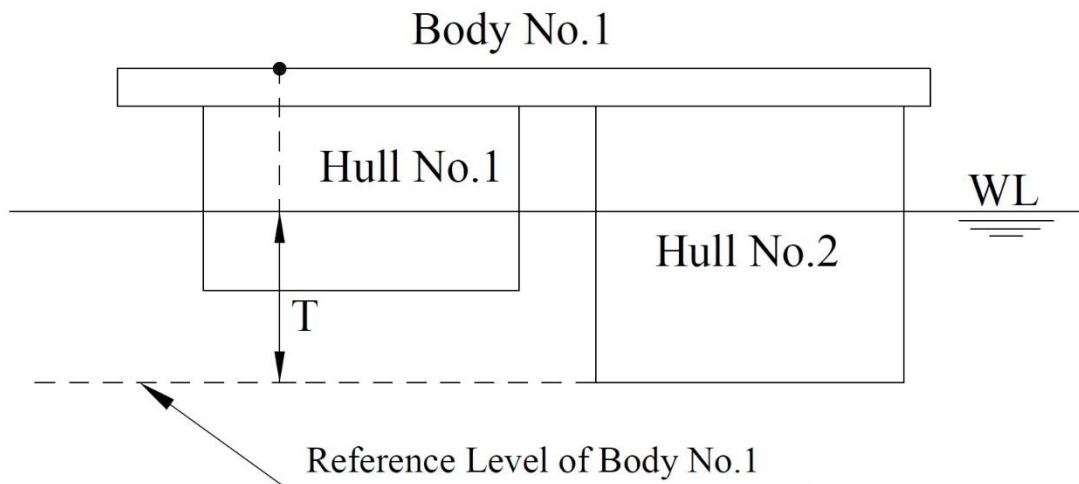
Όπως έχει γίνει γνωστό και από τα προηγούμενα κεφάλαια της μελέτης, ο νέος, ανανεωμένος κώδικας, παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη εάν επιθυμεί να επιλέξει ένα ή περισσότερα συγκεκριμένα σημεία για ένα σώμα όπου το πρόγραμμα θα υπολογίζει το βύθισμα και θα το παρουσιάσει στο αρχείο εξόδου των αποτελεσμάτων.

Μέχρι τώρα η αρχική έκδοση του προγράμματος εξήγαγε το βύθισμα των σωμάτων μόνο στο σημείο της κάθε άρθρωσης που αυτό ήταν συνδεδεμένο. Η ανάγκη όμως για τον υπολογισμό του βυθίσματος και σε άλλα καθορισμένα σημεία πάνω στην εξέδρα είναι απαραίτητη για πιθανούς ελέγχους που μπορεί να ζητούνται. Έτσι λοιπόν η παρούσα ενότητα χαρακτηρίζεται αναγκαία για την επίλυση των διαφόρων προβλημάτων που δύναται να επιλυθούν μέσω του προγράμματος.

Στο αρχείο εισόδου στην αντίστοιχη ενότητα των βυθισμάτων σε προκαθορισμένα σημεία εισάγονται ο αριθμός του σώματος στο οποίο βρίσκεται το σημείο και οι συντεταγμένες αυτού με βάση το τοπικό σύστημα συντεταγμένων.

Για την καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων, στο αρχείο εξόδου θα τυπωθούν τα στοιχεία της θέσης του σημείου, συγκεκριμένα ο αριθμός του σώματος στο οποίο βρίσκεται και οι συντεταγμένες (x,y) ως προς το τοπικό σύστημα της εξέδρας ενώ στην ίδια σειρά στην συνέχεια θα τυπωθεί το βύθισμα, όπως αυτό υπολογίστηκε.

Το βύθισμα που μας υπολογίζει το πρόγραμμα όπως και στην περίπτωση του βυθίσματος στις αρθρώσεις της προηγούμενης ενότητας, αντιστοιχεί στο επίπεδο αναφοράς μέτρησης του βυθίσματος εκείνο που ορίζεται από την βαθύτερη γάστρα κάθε εξέδρας.



Σχήμα 7.4.1

Γραφική απεικόνιση του βυθίσματος που μας δίνει το αρχείο εξόδου για μία εξέδρα σε ένα προκαθορισμένο σημείο

Παράδειγμα βυθισμάτων σε προκαθορισμένα σημεία σε αρχείο εξόδου

```

-----
BODIES DRAUGHT AT REQUIRED LOCATION
-----
LOCATION          1
-----
BODY      X (m)      Y (m)      T (m)
  1      3.000000E+01  0.000000E+00  1.824627E+00
-----
LOCATION          2
-----
BODY      X (m)      Y (m)      T (m)
  2      5.000000E+00  3.500000E+01  1.839682E+00

```

7.5. Χαρακτηριστικά των διαμερισμάτων με κατάκλυση

Ένα ακόμα εργαλείο το οποίο προστέθηκε στην νέα έκδοση του προγράμματος είναι η αντιμετώπιση προβλημάτων όπου υπάρχει κατάκλυση σε ένα ή περισσότερα διαμερίσματα μίας ή και υπόλοιπων γαστρών ενός σώματος. Η προσθήκη αυτή αυξάνει κατά πολύ τις υπολογιστικές δυνατότητες του προγράμματος αφού η κατάκλυση ενός ή περισσότερων χώρων μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην ευστάθεια του σώματος με δυσμενείς συνέπειες για την ασφάλεια. Παράλληλα σε ορισμένες περιπτώσεις υπάρχει η ανάγκη για έλεγχο της ικανοποίησης των εκάστοτε κανονισμών που διέπουν την ευστάθεια του σώματος. Έτσι λοιπόν αντιλαμβάνεται κανείς πόσο απαραίτητη είναι η ύπαρξη ενός εργαλείου υπολογισμού των χαρακτηριστικών ευστάθειας μετά από βλάβη με υψηλή ακρίβεια, εντός μικρού χρονικού διαστήματος.

Τα χαρακτηριστικά τα οποία παρουσιάζονται για κάθε ένα από τα διαμερίσματα με κατάκλυση είναι αρχικά ο αριθμός του σώματος και στην συνέχεια της γάστρας όπου βρίσκεται το διαμέρισμα. Στις επόμενες σειρές τυπώνεται η ίσαλος επιφάνεια που αντιστοιχεί στο κατακλυσθέν διαμέρισμα, ο όγκος του διαμερίσματος (TOTAL VOLUME), η διαχωρητικότητα που αντιστοιχεί στο διαμέρισμα και τελικά ο όγκος του νερού που υπάρχει στο διαμέρισμα (NET VOLUME). Στο παράδειγμα που θα χρησιμοποιήσουμε στην συνέχεια η διαχωρητικότητα και των δύο διαμερισμάτων αντιστοιχεί σε 100% που σημαίνει ότι και τα δύο διαμερίσματα είναι εντελώς άδεια. Συνεπώς ο όγκος του νερού που μπορεί να εισέλθει στο διαμέρισμα ισούται με τον συνολικό όγκο του διαμερίσματος. Η τιμή της διαχωρητικότητας προκαθορίζεται στο αρχείο εισόδου και αντιστοιχεί σε τιμές 1-100% ανάλογα της πληρότητας του διαμερίσματος.

Παράδειγμα χαρακτηριστικών για διαμερίσματα με κατάκλυση σε αρχείο εξόδου

FLOODING COMPARTMENTS CHARACTERISTICS					

COMPARTMENT		1			

LOCATION :	BODY	1			
	HULL	1			
WATER AREA	(m ²) =	50.00000	PERMABILITY (%) =	100.0000	
TOTAL VOLUME	(m ³) =	82.39782	NET VOLUME (m ³) =	82.39782	

COMPARTMENT		2			

LOCATION :	BODY	2			
	HULL	1			
WATER AREA	(m ²) =	15.00000	PERMABILITY (%) =	100.0000	
TOTAL VOLUME	(m ³) =	23.84367	NET VOLUME (m ³) =	23.84367	

7.6. Υδροστατικά χαρακτηριστικά των σωμάτων

Τέλος, στα δεδομένα εξόδου χρειαζόμαστε τα υδροστατικά και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κάθε εξέδρας για να μελετήσουμε την ευστάθειάς της. Στο φάκελο εξόδου, λαμβάνουμε

1. το συνολικό εκτόπισμα του εκάστοτε σώματος ($DISPLACEMENT(t)$),
2. το κέντρο άνωσης (KB , $LCB_x(m)$, $LCB_y(m)$),
3. το κέντρο πλευστότητας ($LCF_x(m)$, $LCF_y(m)$),
4. το κέντρο βάρους ($KG(m)$),
5. την επιφάνεια της ισάλου πλεύσεως ($WATER\ AREA(m^2)$),
6. την 2η ροπή αδράνειας και κατά τους δύο άξονες ($I_{xx}(m)$, $I_{yy}(m)$),
7. τη διαμήκης και εγκάρσια μετακεντρική ακτίνα ($BML(m)$, $BMT(m)$),
8. το μέσο βύθισμα ($T_m(m)$) και τέλος
9. το διάμηκες και εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος ($GML(m)$, $GMT(m)$).

Η ανάλυση του φακέλου εξόδου κλείνει με τα υδροστατικά χαρακτηριστικά των σωμάτων που συμμετέχουν στο σύστημα.

Παράδειγμα των υδροστατικών χαρακτηριστικών ανά σώμα σε αρχείο εξόδου

```
-----  
GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS  
-----  
BODY 1  
-----  
DISPLACEMENT(t) = 3.453318E+02   KB (m) = 8.571688E-01   KG (m) = 2.027496E+00  
WATER AREA (m^2) = 2.171172E+02   LCFx (m) = 1.459088E+01   LCFy (m) = 5.069088E+00  
BML (m) = 4.421304E+01   LCBx (m) = 1.468924E+01   Ixx (m^4) = 1.262226E+03  
BMT (m) = 3.746490E+00   LCBy (m) = 5.052477E+00   Iyy (m^4) = 1.489578E+04  
Tm (m) = 2.178668E+00   GML (m) = 4.304774E+01   GMT (m) = 2.581191E+00  
-----  
BODY 2  
-----  
DISPLACEMENT(t) = 3.422543E+02   KB (m) = 7.453272E-01   KG (m) = 1.304636E+00  
WATER AREA (m^2) = 2.240000E+02   LCFx (m) = 1.500000E+01   LCFy (m) = 5.000000E+00  
BML (m) = 4.382862E+01   LCBx (m) = 1.500000E+01   Ixx (m^4) = 1.194667E+03  
BMT (m) = 3.577846E+00   LCBy (m) = 5.000000E+00   Iyy (m^4) = 1.463467E+04  
Tm (m) = 1.490654E+00   GML (m) = 4.326985E+01   GMT (m) = 3.019068E+00
```

7.7. Εξαγωγή γεωμετρικών χαρακτηριστικών των σωμάτων και των γαστρών

Σε περιπτώσεις όπου το σύστημα των σωμάτων αποτελείται από πολύπλοκης γεωμετρίας γάστρες αλλά και γενικότερα, ορισμένες φορές δημιουργείται η ανάγκη υπολογισμού των γεωμετρικών ιδιοτήτων των επιφανειών των γαστρών αλλά και των σωμάτων. Έτσι λοιπόν στον ανανεωμένο κώδικα ο χρήστης αποκτά την δυνατότητα να επιλέξει εάν επιθυμεί το πρόγραμμα να εξάγει μαζί με το αρχείο εξόδου των αποτελεσμάτων που αφορούν την ευστάθεια και ένα δεύτερο αρχείο κειμένου στο οποίο θα εμπεριέχονται τα απαραίτητα γεωμετρικά στοιχεία που αφορούν το σύστημα.

Συγκεκριμένα σε αυτό το αρχείο εξόδου, το οποίο ονομάζεται “*Geometric Characteristics*” τυπώνονται τα εξής:

- 1) Εμβαδόν της ισάλου επιφάνειας κάθε γάστρας για κάθε σώμα,
- 2) 1^{ες} ροπές αδράνειας για την ίσαλο επιφάνεια κάθε γάστρας για κάθε σώμα ως προς το τοπικό σύστημα συντεταγμένων,
- 3) 2^{ες} ροπές αδράνειας για την ίσαλο επιφάνεια κάθε γάστρας για κάθε σώμα ως προς το τοπικό σύστημα συντεταγμένων,
- 4) Γεωμετρικό κέντρο της ισάλου επιφάνειας κάθε γάστρας για κάθε σώμα,
- 5) Εμβαδόν της ισάλου επιφάνειας κάθε σώματος,
- 6) 1^{ες} ροπές αδράνειας της ισάλου επιφάνειας κάθε σώματος ως προς το τοπικό σύστημα συντεταγμένων,
- 7) 2^{ες} ροπές αδράνειας της ισάλου επιφάνειας κάθε σώματος ως προς το τοπικό σύστημα συντεταγμένων,
- 8) Γεωμετρικό κέντρο της ισάλου επιφάνειας κάθε σώματος (κέντρο πλευστότητας ισάλου),
- 9) Εμβαδόν ισάλου κάθε διαμερίσματος με κατάκλυση (εάν υπάρχει),
- 10) 1^{ες} ροπές αδράνειας της ισάλου κάθε διαμερίσματος με κατάκλυση (εάν υπάρχει) ως προς το τοπικό σύστημα συντεταγμένων,
- 11) 2^{ες} ροπές αδράνειας της ισάλου κάθε διαμερίσματος με κατάκλυση (εάν υπάρχει) ως προς το τοπικό σύστημα συντεταγμένων,
- 12) Γεωμετρικό κέντρο της ισάλου επιφάνειας κάθε διαμερίσματος με κατάκλυση (εάν υπάρχει),
- 13) Νέο εμβαδόν ισάλου επιφάνειας για κάθε σώμα στην περίπτωση ύπαρξης διαμερισμάτων με κατάκλυση,
- 14) Νέες 1^{ες} ροπές αδράνειας της ισάλου επιφάνειας για κάθε σώμα στην περίπτωση ύπαρξης διαμερισμάτων με κατάκλυση ως προς το τοπικό σύστημα συντεταγμένων,
- 15) Νέες 2^{ες} ροπές αδράνειας της ισάλου επιφάνειας για κάθε σώμα στην περίπτωση ύπαρξης διαμερισμάτων με κατάκλυση ως προς το τοπικό σύστημα συντεταγμένων,
- 16) Νέο γεωμετρικό κέντρο της ισάλου επιφάνειας (κέντρο πλευστότητας) για κάθε σώμα στην περίπτωση ύπαρξης διαμερισμάτων με κατάκλυση,
- 17) 2^{ες} ροπές αδράνειας της ισάλου επιφάνειας για κάθε σώμα στην περίπτωση ως προς το κέντρο πλευστότητας,

- 18) Γωνία στροφής στη περίπτωση ύπαρξης γινομένου αδράνειας I_{xy} ,
 19) 2^{ες} ροπές αδράνειας της ισάλου επιφάνειας για κάθε σώμα στην περίπτωση ως προς το κέντρο πλευστότητας, για τις οποίες το γινόμενο αδράνειας I_{xy} είναι μηδενικό.

Η μορφή του αρχείου εξόδου “Geometric Characteristics” για ένα τυχαίο παράδειγμα ενός σώματος με δύο γάστρες και ένα διαμέρισμα με κατάκλυση στην μία από αυτές, είναι όπως ακολουθεί:

```
-----
----- Hull Area -----
-----
A(Body No.:      1,Hull No.:      1)=  46.00000
A(Body No.:      1,Hull No.:      2)=  46.00000
```

```
-----
----- Hull First Moment of Area -----
-----
Mx(Body No.:      1,Hull No.:      1)=  138.0000
My(Body No.:      1,Hull No.:      1)=  874.0000
Mx(Body No.:      1,Hull No.:      2)=  598.0001
My(Body No.:      1,Hull No.:      2)=  874.0001
```

```
-----
----- Hull Second Moment of Area -----
-----
Ixx(Body No.:      1,Hull No.:      1)=  14.33338
Iyy(Body No.:      1,Hull No.:      1)=  2062.334
Ixy(Body No.:      1,Hull No.:      1)=  2.0837784E-04
Ixx(Body No.:      1,Hull No.:      2)=  14.32861
Iyy(Body No.:      1,Hull No.:      2)=  2062.333
Ixy(Body No.:      1,Hull No.:      2)= -3.6411288E-03
```

```
-----
----- Hull Area Centroid -----
-----
Cx(Body No.:      1,Hull No.:      1)=  19.00000
Cy(Body No.:      1,Hull No.:      1)=  3.000000
Cx(Body No.:      1,Hull No.:      2)=  19.00000
Cy(Body No.:      1,Hull No.:      2)=  13.00000
```

```
-----
----- Body Area -----
-----
Aw(Body No.:      1)=  92.00000
```

```
-----
----- Body First Moment of Area -----
-----
Mx(Body No.:      1)=  736.0001
My(Body No.:      1)=  1748.000
```



```

----- Body Second Moment of Area -----
-----
Ixx(Body No.:          1)=  8216.665
Iyy(Body No.:          1)= 37336.67
Ixy(Body No.:          1)= 13984.00

-----
----- Body Area Centroid (Center of Flotation) -----
-----
Cx(Body No.:          1)=  19.00000
Cy(Body No.:          1)=  8.000001

-----
----- Flooded Compartment Area -----
-----
a(Compartment No.:    1)=  3.000000

-----
----- Flooded Compartment First Moment of Area -----
-----
mx(Compartment No.:  1)=  39.00000
my(Compartment No.:  1)= 24.00000

-----
----- Flooded Compartment Second Moment of Area -----
-----
ixx(Compartment No.:  1)= 0.4999695
iyy(Compartment No.:  1)= 1.499985
ixy(Compartment No.:  1)= -3.0517578E-05

-----
----- Flooded Compartment Centroid of Area -----
-----
cx(Compartment No.:  1)=  8.000000
cy(Compartment No.:  1)= 13.00000

-----
----- Hull New Area -----
-----
A"(Body No.:          1,Hull No.:          1)= 43.00000
A"(Body No.:          1,Hull No.:          2)= 46.00000

-----
----- Body New Area -----
-----
Aw"(Body No.:          1)=  89.00000

-----
----- Body New First Moment of Area -----
-----
Mx(Body No.:          1)=  697.0001
My(Body No.:          1)= 1724.000

-----
----- Body New Second Moment of Area -----
-----
Ixx(Body No.:          1)=  7709.165
Iyy(Body No.:          1)= 37143.17

```

Ixy(Body No.: 1)= 13672.00

----- Body New Centroid of Area (Center of Floatation) -----

Cx(Body No.: 1)= 19.37079
Cy(Body No.: 1)= 7.831461

----- Body Second Moment of Area from CF -----

Ixx(Body No.: 1)= 2250.636
Iyy(Body No.: 1)= 3747.931
Ixy(Body No.: 1)= 170.5604

----- Radius of Gyration -----

a(Body No.: 1)= 6.417166

----- Body Second Moment of Area from CF for Ixy=0 -----

Ixx(Body No.: 1)= 2231.453
Iyy(Body No.: 1)= 3766.875

8. Παραδείγματα και σύγκριση αποτελεσμάτων

Σκοπός του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι η παρουσίαση συγκριτικών αποτελεσμάτων μεταξύ των υπολογισμών με τους κλασσικούς απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής με τα αποτελέσματα του προγράμματος που στηρίζεται στην θεωρία μικρών μεταβολών. Θα παρουσιαστούν παραδείγματα που θα έχουν την μορφή ασκήσεων, δηλαδή πραγματικών περιπτώσεων που θέλουμε να βρούμε την θέση ισορροπίας του σώματος. Τα παραδείγματα θα ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες:

- Παραδείγματα απλών περιπτώσεων ευστάθειας σώματος.
- Παραδείγματα με κατάκλυση ενός ή περισσότερων διαμερισμάτων.
- Περιπτώσεις πολύπλοκων συνδυασμών σωμάτων που θα ήταν αδύνατη η επίλυση τους χωρίς το παρόν πρόγραμμα.

Τα συγκριτικά στοιχεία που θα παρουσιαστούν σε κάθε ένα από τα παραδείγματα θα αφορούν:

- 1) Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τους υπολογισμούς μέσω των κλασσικών τύπων της υδροστατικής και στην συνέχεια.
- 2) Τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε μέσω του προγράμματος
 - a) Μέσω του αρχικού κώδικα με τις απλοποιημένες μεθόδους υπολογισμού
 - b) Μέσω του νέου κώδικα στον οποίο έχει ληφθεί υπόψιν:
 - i. Η επίδραση του γινομένου αδράνειας I_{xy} που δημιουργείται σε περίπτωση ύπαρξης ασύμμετρων γαστρών. Ο τρόπος που επιδρά ο όρος I_{xy} στα τελικά αποτελέσματα αναλύεται στο κεφάλαιο 2 της παρούσης μελέτης.

ii. Η επίδραση του όρου $RD = \frac{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_\alpha + \tan^2 \theta_\alpha}}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_b + \tan^2 \theta_b}}$

που έχει εισαχθεί κατά την μοντελοποίηση του προβλήματος και συνδέει την απόσταση του σημείου μιας άρθρωσης από την επιφάνεια της θάλασσας για δύο σώματα που συνδέονται σε αυτήν. Στο εδάφιο 3.4 περιγράφεται αναλυτικά ο λόγος για τον οποίο δημιουργείται η ανάγκη της εισαγωγής του όρου RD στο μαθηματικό πρόβλημα ενώ στο εδάφιο 4.1 περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο ο όρος αυτός εισάγεται στο σύστημα που προκύπτει.

Παρατήρηση

Προτού συνεχίσουμε στην παρουσίαση των παραδειγμάτων και την σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την επίλυση μέσω της αναλυτικής μεθόδου και τη χρήση του προγράμματος πρέπει να επισημάνουμε την επίδραση που έχουν οι απλοποιημένοι τύποι της υδροστατικής στα αποτελέσματα των παραπάνω ασκήσεων.

Για παράδειγμα στην άσκηση 8.1.6 (δυο εξέδρες εκ των οποίων η μια με πολυγωνική γάστρα), μέσω της αναλυτικής μεθόδου προκύπτει ότι η δύναμη που ασκείται στην άρθρωση είναι $P=2,133 \text{ t}$. Για την επίλυση όμως της άσκησης χρησιμοποιήσαμε τον τύπο :

$$T = T_0 + \delta T + \tan(\varphi) \cdot \frac{B}{2} + \frac{t}{2}$$

Κατά την επίλυση μέσω του προγράμματος τώρα, εάν δεν κάνουμε χρήση του παραπάνω απλοποιημένου τύπου και χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση στην οποία συμπεριλαμβάνεται και το GML τότε η δύναμη στην άρθρωση προκύπτει $P=2,044 \text{ t}$. Ενώ εάν πάλι μέσω του προγράμματος επιλέξουμε να μην ληφθεί υπόψη η επίδραση των εφαπτόμενων εγκάρσιας και διαμήκους κλίσης στο εγκάρσιο και το διάμηκες μετακεντρικό ύψος τότε η δύναμη προκύπτει $P=2,053 \text{ t}$.

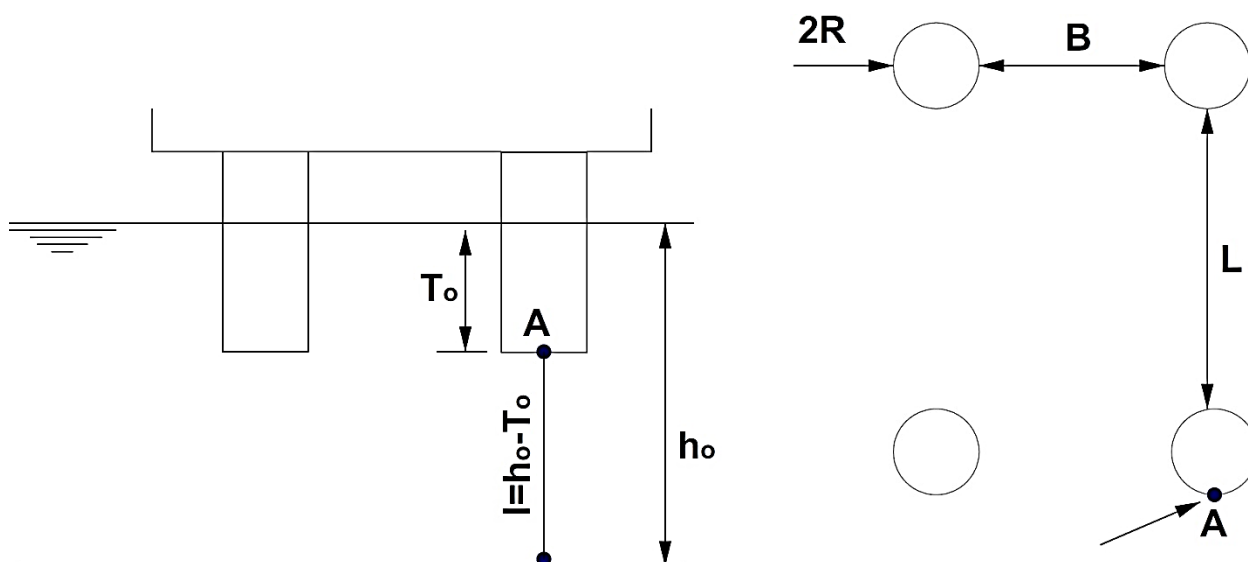
Όπως θα παρατηρήσουμε στα αποτελέσματα επίλυσης της άσκησης με το πρόγραμμα η δύναμη που ασκείται στην άρθρωση είναι $P=2,044 \text{ t}$, αποτέλεσμα που έρχεται πολύ κοντά στο αποτέλεσμα με τους υπολογισμούς μας με τους αναλυτικούς τύπους. Οπότε μικρές αποκλίσεις στα αποτελέσματα των ασκήσεων στις δυνάμεις που θα ασκούνται στις αρθρώσεις και κατά συνέπεια στις τιμές των γωνιών εγκάρσιας και διαμήκους κλίσης, οφείλονται κατά κύριο λόγο στην χρήση των απλοποιημένων τύπων επίλυσης της υδροστατικής. Γεγονός όμως που δεν μπορούμε να το αποφύγουμε αφού η χρήση των αναλυτικών εξισώσεων ανεβάζει το βαθμό της εξίσωσης και καθιστά την επίλυση της χωρίς τη βοήθεια από ηλεκτρονικό υπολογιστή αδύνατη.

8.1. Απλές περιπτώσεις ευστάθειας σώματος

8.1.1. Περίπτωση πλωτής εξέδρας με αγκύρωση

❖ ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Πλωτή εξέδρα που στηρίζεται πάνω σε τέσσερις κυλίνδρους είναι αγκυροβολημένη όπως φαίνεται στο σχήμα 8.1.1.1. Αρχικά είναι ισοβύθιστη και η αλυσίδα δεν εξασκεί πάνω της καμία δύναμη. Να υπολογιστεί η διαγωγή της εξέδρας όταν λόγω παλίρροιας το επίπεδο της θάλασσας ανέβει κατά h .



Σχήμα 8.1.1.1

Εξέδρα τεσσάρων γαστρών με σταθερή άρθρωση (για επίλυση με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής)

❖ ΛΥΣΗ ΜΕ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Επειδή το σημείο προσδέσεως παραμένει σταθερό (οι οριζόντιες δυνάμεις στην υδροστατική ισορροπία έχουν μηδενική συνισταμένη) το βύθισμα σε αυτό το σημείο θα είναι σταθερό. Οπότε αν θεωρήσουμε ότι μετά την άνοδο της στάθμης της θάλασσας είναι σε πρώτη προσέγγιση $T_0 + h$. Η διαγωγή της πλωτής εξέδρας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$t = \frac{M_L}{MT1} \quad (1)$$

όπου $M_L = P \cdot (L + 4R) / 2$ και P η αντίδραση της αλυσίδας στο σημείο προσδέσεως (θετική προς τα κάτω). Είναι επίσης:

$$MT1 = \gamma \frac{I_L}{L + 4R} = \frac{\gamma}{L + 4R} \left[4\pi \frac{(R)^4}{4} + 4\pi R^2 \left[\frac{L + 4R}{2} \right]^2 \right]$$

Η δύναμη P είναι άγνωστη και προσδιορίζεται από το σταθερό βύθισμα στο σημείο προσδέσεως. Ο συνδυασμός της παράλληλης βύθισης, εγκάρσιας κλίσης και διαγωγής που προκαλεί η P δίνει βύθισμα $T_0 + h$ στο σημείο αυτό, δηλαδή:

$$T_0 + h = T_0 + \delta T + \frac{t}{2} + \frac{(B + 4R)}{2} \tan(\varphi)$$

ή

$$h = \delta T + \frac{t}{2} + \left(\frac{B + 4R}{2} \right) \tan(\varphi)$$

όπου η γωνία εγκάρσιας κλίσης φ και η διαγωγή t θεωρούνται θετικές για βύθιση του σημείου προσδέσεως.

Η παράλληλη βύθιση δT είναι:

$$\delta T = \frac{P}{4\pi\gamma R^2}$$

και η γωνία φ βρίσκεται από τη σχέση:

$$\tan(\varphi) = \frac{M_T}{\Delta GM} \quad (3)$$

όπου:

- $M_T = P \cdot \frac{B+4R}{2}$
- $\Delta = \Delta_0 + P = \gamma 4\pi R^2 T_0 + P$
- $GM = KB + BM - KG$
- $KB = \frac{T_0 + \delta T}{2}$
- $BM = \frac{\gamma}{\Delta} I_T = \frac{\gamma}{\Delta} \left[4 \frac{\pi R^2}{4} + 4\pi R^2 \cdot \left(\frac{B+2R}{2} \right)^2 \right]$
- $KG = \frac{KG_0 \Delta_0}{\Delta}$

(η P εφαρμόζεται στο βασικό επίπεδο αναφοράς)

Παρατηρούμε ότι και η $\tan(\varphi)$ εκφράζεται συναρτήσει της άγνωστης δύναμης P και αντικαθιστώντας τα t και $\tan(\varphi)$ από τις (1) και (3) στην εξίσωση (2) προκύπτει μία εξίσωση τρίτου βαθμού ως προς P. Με επίλυσή της βρίσκεται η P άρα και η ζητούμενη διαγωγή από την (1).

Εφαρμογή :

Οπότε για :

- $B = 30\text{m}$
- $L = 10\text{m}$
- $R = 1\text{m}$
- $To = 1.53\text{m}$
- $To+h = 2\text{m}$
- $\Delta o = 19.32\text{m}$

Θα προκύψει η παρακάτω εξίσωση :

$$0,47 = \frac{P}{12,88} + \frac{P}{12,969} + 16 \cdot \frac{16 \cdot P}{(19,32 + P) \cdot \left(\frac{19,706 + P}{25,76} + \frac{2901,337}{19,32 + P} - \frac{28,98}{19,32 + P} \right)}$$

Λύνοντας την παραπάνω εξίσωση θα προκύψει:

- $P = 1,84 \text{ t}$
- $\tan\varphi = 0,01024$
- $\tan\theta = 0,03535$

❖ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ Η/Υ

Το αρχείο εισόδου για την περίπτωση που μελετάμε είναι:

Main Program Variables & Constants

Total Number of Bodies (NSM) :1
 Total Number of Joints (NAR) :1
 Total Number of Hulls (NGS) :4
 Total Number of Flooded Compartments (NFC) :0
 Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC) :0
 Total Number of Req. Draught Location (DRL) :0
 Maximum No. of Hulls/Body :4
 Maximum No. of Points/Hull :0
 Maximum No. of Points/Flooded Compartment :0
 Maximum No. of Bodies/Joint :1
 Maximum No. of Joints/Body :1
 Maximum No. of Forces/Body :1
 Water Special weight [tn/m³] (PKNN) :1.025000

Bodies Characteristics

Body No.	Xref	Yref	L	B	H
1	2.000000	2.000000	34.000000	14.000000	0.200000

Hulls Characteristics

Body No.:1 | Hulls/Body:4

Hull No.:1 | Type:3

Depth	xh	yh	rh
3.800000	2.000000	2.000000	1.000000

Hull No.:2 | Type:3

Depth	xh	yh	rh
3.800000	2.000000	12.000000	1.000000

Hull No.:3 | Type:3

Depth	xh	yh	rh
3.800000	32.000000	12.000000	1.000000

Hull No.:4 | Type:3

Depth	xh	yh	rh
3.800000	32.000000	2.000000	1.000000

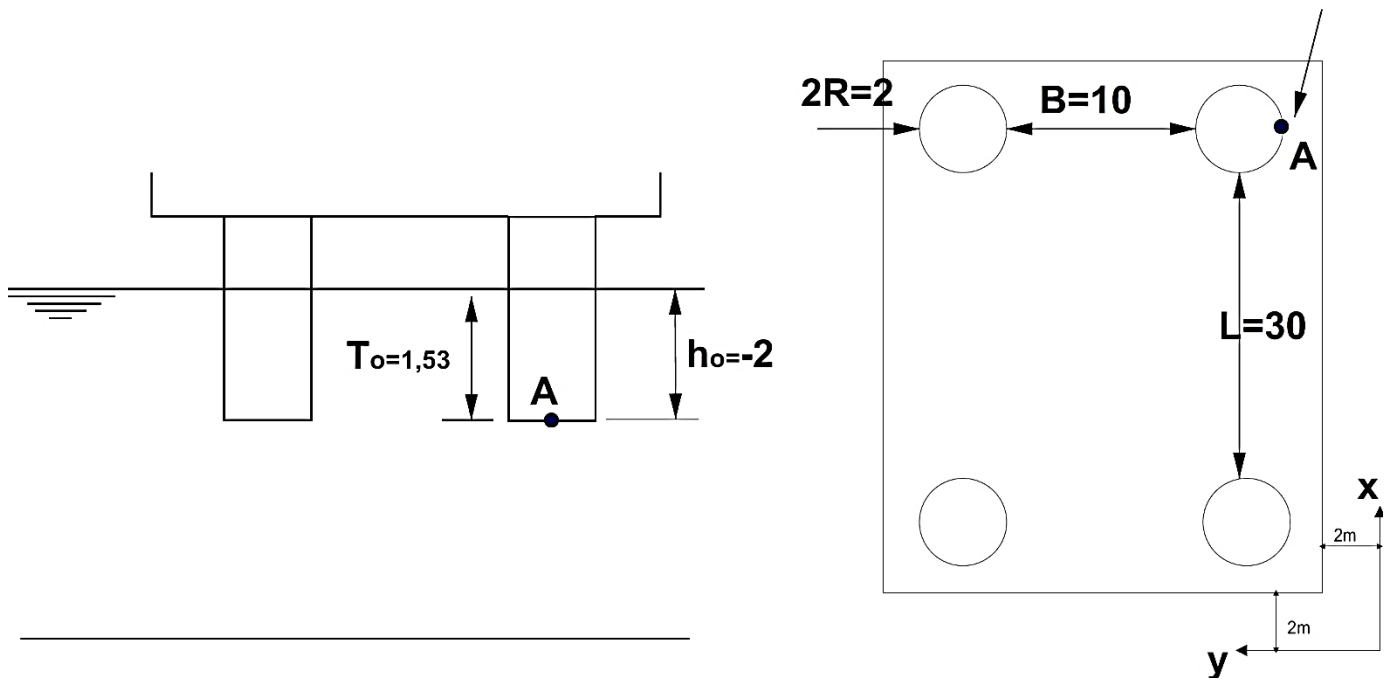
Joints Characteristics				
Joint No	xj	yj	type (F/R)	zrestr
1	34.000000	3.000000	R	-2.000000
Joint No.:1 Bodies/Joint:1				
Body No.	zhi			
1	-3.800000			

External Powers & Characteristics				
No. Body:1 Power/Body:1				
Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	19.320000	17.000000	7.000000	1.500000

όπου

- 3,8m είναι το κοίλο κάθε γάστρας
- 0,2m είναι το κοίλο του καταστρώματος

Το σχήμα με το οποίο προγραμματίσαμε τα παραπάνω δεδομένα είναι:



Σχήμα 8.1.1.2

Εξέδρα τεσσάρων γαστρών με σταθερή άρθρωση (για επίλυση μέσω H/Y)

Το πρόγραμμα για την παραπάνω περίπτωση συγκλίνει στην 5^η επανάληψη και τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι:

FINAL RESULTS

FORCES

JOINT 1

F (t) BODY (1) 1 = 1.856132E+00

JOINT 1RESTRAINED

F (t) 2 = -1.856132E+00

BODIES INCLINATION

BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	-3.546752E-02	9.633552E-03	-2.031287E+00	5.519448E-01

BODIES DRAUGHT AT THE JOINT

JOINT 1

BODY T (m) dT dTMx dTMy
1 2.001350E+00 1.644042E+00 2.128051E-01 1.445033E-01

GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS

BODY 1

DISPLACEMENT(t) = 2.117613E+01 KB (m) = 8.220211E-01 KG (m) = 1.368522E+00
WATER AREA (m^2)= 1.256637E+01 LCFx (m) = 1.700000E+01 LCFy (m) = 7.000000E+00
BML (m) = 1.370099E+02 LCBx (m) = 1.700000E+01 Ixx (m^4) = 3.173009E+02
BMT (m) = 1.535849E+01 LCBy (m) = 7.000000E+00 Iyy (m^4) = 2.830575E+03
Tm (m) = 1.644042E+00 GML (m) = 1.364794E+02 GMT (m) = 1.482801E+01

❖ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

			Υπολογισμοί με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής	Υπολογισμοί με H/Y	
				Αρχικός Κώδικας	Νέος Κώδικας
BODY NO.1	<i>Δύναμη:</i>	P =	-1,84 t	-1.8561 t	-1.8561
	<i>Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:</i>	tan(φ) =	-0,035350	-0.035467	-0.035467
	<i>Εφαπτόμενη διαμήκου κλίσης:</i>	tan(θ)=	0,010240	0.009633	0.009633

Η μικρή απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που μας δίνει η επίλυση της άσκησης με τους απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής και των αποτελεσμάτων μέσω του προγράμματος, ειδικά στην τιμή της διαμήκου κλίσης οφείλεται στην παρατήρηση που κάναμε στην 8.1 παράγραφο. Για την επίλυση μέσω των απλοποιημένων τύπων της υδροστατικής, στους υπολογισμούς στον διαμήκη άξονα έχουν χρησιμοποιηθεί απλοποιημένοι τύποι.

Όπως είναι λογικό δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ των τιμών που μας δίνει ο αρχικός κώδικας και ο νέος κώδικας. Αυτό συμβαίνει διότι:

- i. Στο σύστημα που επιλύθηκε δεν υπάρχουν αρθρώσεις όπου μέσα από τις βελτιστοποιήσεις που έχουν γίνει στον νέο κώδικα θα επηρεάσουν τα αποτελέσματα.
- ii. Οι γάστρες του σώματος είναι κυκλικής διατομής άρα συμμετρικές ως προς το κέντρο τους αλλά είναι και συμμετρικά τοποθετημένες στο σώμα με αποτέλεσμα το γινόμενο της ροπής αδράνειας να είναι μηδενικό ($I_{xy} = 0$). Το γεγονός αυτό δηλώνει μηδενική γωνία στροφής και άρα καμία αλλαγή στα αποτελέσματα των υπολογισμών σε σχέση με τον αρχικό κώδικα όπου δεν λαμβανόταν υπόψιν η επίδραση του γινομένου αδράνειας I_{xy} .

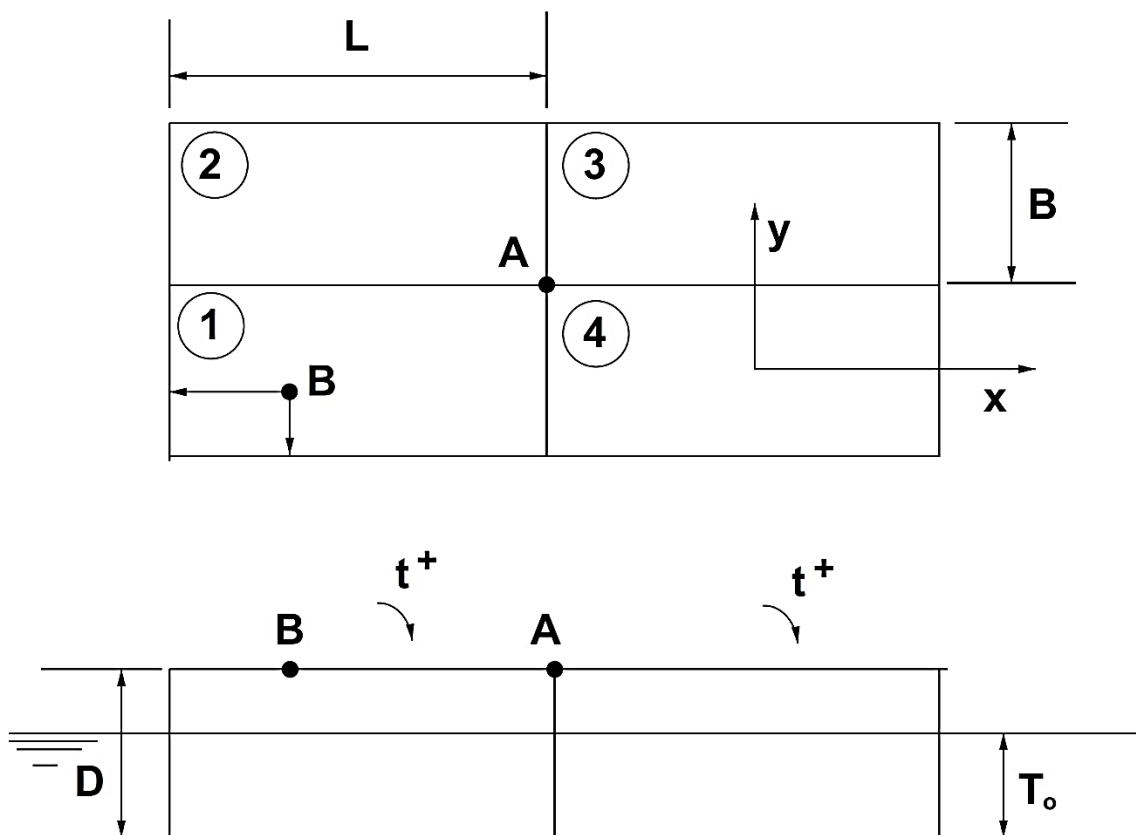
8.1.2. Περίπτωση τεσσάρων εξεδρών με μία άρθρωση

❖ ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Τέσσερα όμοια ποντόνια σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου συνδέονται μεταξύ τους με άρθρωση στο σημείο A και είναι στην αρχή ισοβύθιστα. Κατόπιν βάρος $w = 10t$ τοποθετείται στο σημείο B του ποντονιού No. 1. Ζητούνται οι εγκάρσιες κλίσεις και οι διαγωγές των τεσσάρων ποντονιών μετά την τοποθέτηση του βάρους.

Δίνονται:

- Μήκος ποντονιού $L = 30\text{m}$
- Πλάτος $B = 8\text{m}$
- Πλευρικό ύψος $D = 4\text{m}$
- Αρχικό βύθισμα $T_0 = 1.5\text{m}$
- Αρχικό KG $KG = 1.5\text{m}$



Σχήμα 8.1.2.1

Τέσσερις εξέδρες με μία άρθρωση (για επίλυση με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής)

❖ ΛΥΣΗ ΜΕ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Τα τέσσερα ποντόνια έχουν σε πρώτη προσέγγιση το ίδιο βύθισμα στο σημείο Α. Επιπλέον, οι δυνάμεις που ασκούνται στα ποντόνια 2, 3, 4 μέσω της αρθρώσεως Α είναι ίσες γιατί τα ποντόνια έχουν τα ίδια γεωμετρικά στοιχεία και την ίδια κατανομή βαρών ($T_A = f(F_A)$). Από την ισορροπία του κόμβου Α συνεπάγεται λοιπόν:

$$F_{A1} = -3F_{A4} \quad (1)$$

όπου F_{A1} είναι η κατακόρυφη δύναμη που επιδρά στο ποντόνι 1 και F_{A4} η κατακόρυφη δύναμη που επιδρά στο ποντόνι 4. (Θεωρούμε ότι F_A θετικό έχει φορά προς τα πάνω).

Τα βυθίσματα των ποντονίων 1 και 4 στο σημείο Α είναι:

$$\left. \begin{aligned} T_{A1} &= T_0 + \delta T_1 + \frac{t_1}{2} + \frac{B}{2} \tan \phi_1 \\ T_{A4} &= T_0 + \delta T_4 - \frac{t_4}{2} + \frac{B}{2} \tan \phi_4 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

όπου δT , t , ϕ είναι η παράλληλη βύθιση, η διαγωγή και η γωνία εγκάρσιας κλίσης κάθε ποντονίου προσημασμένες ως προς το σύστημα αξόνων (x, y) του σχήματος.

Εκφράζονται στη συνέχεια συναρτήσει της δύναμης F_{A1} :

Ποντόνι 1

- $t_1 = \frac{M_{L1}}{MT1} = \frac{w \left(-\frac{L}{2} + 10 \right) + F_{A1} \cdot \frac{L}{2}}{\frac{\gamma I_L}{L}} = \frac{-50 + 15 F_{A1}}{1.025 \times 30^2 \times 8} = \frac{-50 + 15 F_{A1}}{615}$
- $\delta T_1 = \frac{W + F_{A1}}{\gamma LB} = \frac{10 + F_{A1}}{246}$
- $\tan \phi_1 = \frac{M_{T1}}{\Delta_1 GM_1}$

- $M_{T1} = F_{A1} \cdot \frac{B}{2} + W \cdot \left(-\frac{B}{2} + 3 \right) = 4F_{A1} - 10$
- $\Delta_1 = \Delta_1 = \Delta_0 + w + F_{A1} = \gamma LBT_0 + w + F_{A1} = \gamma LBT_0 + w + F_{A1} = 379 + F_{A1}$
- $GM_1 = KB_1 + BM_1 - KG_1$
- $KB_1 = \frac{T_0 + \delta T_1}{2}$
- $BM_1 = \frac{\gamma LB^3}{\Delta_1 \cdot 12} = \frac{1312}{379 + F_{A1}}$
- $KG_1 = \frac{\Delta_0 KG_0 + w \cdot D}{\Delta_1} = \frac{593,5 + 4F_{A1}}{379 + F_{A1}}$

Ποιτόνι 4

- $\delta T_4 = -\frac{\frac{1}{3} F_{A1}}{\gamma LB} = -\frac{F_{A1}}{738}$
- $t_4 = \frac{M_{L4}}{MT1} = \frac{\frac{F_{A1} \cdot L}{3 \cdot 2}}{615} = \frac{F_{A1}}{123}$
- $\tan \phi_4 = \frac{M_{T4}}{\Delta_4 GM_4}$
- $M_{T4} = -\frac{F_{A1} \cdot B}{3 \cdot 2} = -1.333F_{A1}$
- $\Delta_4 = \gamma LBT_0 + \frac{1}{3} F_{A1} = 369 + \frac{F_{A1}}{3}$
- $GM_4 = KB_4 + BM_4 - KG_4$
- $KB_4 = \frac{T_0 + \delta T_4}{2}$
- $BM_4 = \frac{1312}{369 + \frac{F_{A1}}{3}}$
- $KG_4 = \frac{\Delta_0 KG_0 + \frac{F_{A1}}{3} D}{\Delta_4} = \frac{369 + 1.33F_{A1}}{369 + \frac{F_{A1}}{3}}$

Από την ισότητα $T_{A1} = T_{A4}$ συναρτήσει των (2) έχουμε την εξίσωση για το F_{A1} :

$$T_0 + \frac{10 + F_{A1}}{246} + \frac{-50 + 15F_{A1}}{1230} + 4 \times \frac{4F_{A1} - 10}{(379 + F_{A1}) \times \left(\frac{1.5 + \frac{10 + F_{A1}}{246}}{2} + \frac{718,5 + 4F_{A1}}{379 + F_{A1}} \right)} =$$

$$= T_0 - \frac{F_{A1}}{738} - \frac{F_{A1}}{246} + 4 \times \frac{-F_{A1} \times 1.333}{(369 + 0.333F_{A1}) \times \left(\frac{1.5 - \frac{F_{A1}}{738}}{2} + \frac{943 - 1.333F_{A1}}{369 + 0.333F_{A1}} \right)}$$

από την οποία υπολογίζεται αριθμητικά:

- $F_{A1} = 0,929 \text{ t}$
- $F_{A2} = 0,309 \text{ t}$

ενώ για την εγκάρσια και διαμήκη κλίση προκύπτει:

Ποντόνι 1

- $\phi_1 = 0.3571^0 \quad \rightarrow \quad \tan \phi_1 = -0,006233$
- $t_1 = -0.05864m \quad \rightarrow \quad \tan \theta_1 = -0,001954$

Ποντόνι 4

- $t_4 = 0.00755m (= |t_2| = |t_3|) \quad \rightarrow \quad \tan \phi_4 = -0,001197$
- $\phi_4 = 0.0685^0 (= |\phi_2| = |\phi_3|) \quad \rightarrow \quad \tan \theta_4 = -0,000251$

❖ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ Η/Υ

Το αρχείο εισόδου για την περίπτωση που μελετάμε είναι:

Main Program Variables & Constants

```
Total Number of Bodies (NSM)           :4
Total Number of Joints (NAR)           :1
Total Number of Hulls (NGS)            :4
Total Number of Flooded Compartments (NFC) :0
Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC) :0
Total Number of Req. Draught Location (DRL) :0
Maximum No. of Hulls/Body              :1
Maximum No. of Points/Hull             :0
Maximum No. of Points/Flooded Compartment :0
Maximum No. of Bodies/Joint            :4
Maximum No. of Joints/Body             :2
Maximum No. of Forces/Body             :2
Water Special weight [tn/m³] (PKNN)    :1.025000
-----
```

Bodies Characteristics

Body No.	Xref	Yref	L	B	H
1	2.000000	2.000000	30.000000	8.000000	0.200000
2	2.000000	10.000000	30.000000	8.000000	0.200000
3	32.000000	10.000000	30.000000	8.000000	0.200000
4	32.000000	2.000000	30.000000	8.000000	0.200000

Hulls Characteristics

Body No.:1 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 | Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
3.800000	15.000000	4.000000	30.000000	8.000000

Body No.:2 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 | Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
3.800000	15.000000	4.000000	30.000000	8.000000

Body No.:3 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 | Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
3.800000	15.000000	4.000000	30.000000	8.000000

 Body No.:4 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 |Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
3.800000	15.000000	4.000000	30.000000	8.000000

 Joints Characteristics

Joint No	xj	yj	type (F/R)	zrestr
1	32.000000	10.000000	F	0.000000

 Joint No.:1 |Bodies/Joint:4

Body No.	zhi
1	0.200000
2	0.200000
3	0.200000
4	0.200000

 External Powers & Characteristics

No. Body:1 | Power/Body:2

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	369.000000	15.000000	4.000000	1.500000
2	10.000000	10.000000	3.000000	4.000000

 No. Body:2 | Power/Body:1

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	369.000000	15.000000	4.000000	1.500000

 No. Body:3 | Power/Body:1

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	369.000000	15.000000	4.000000	1.500000

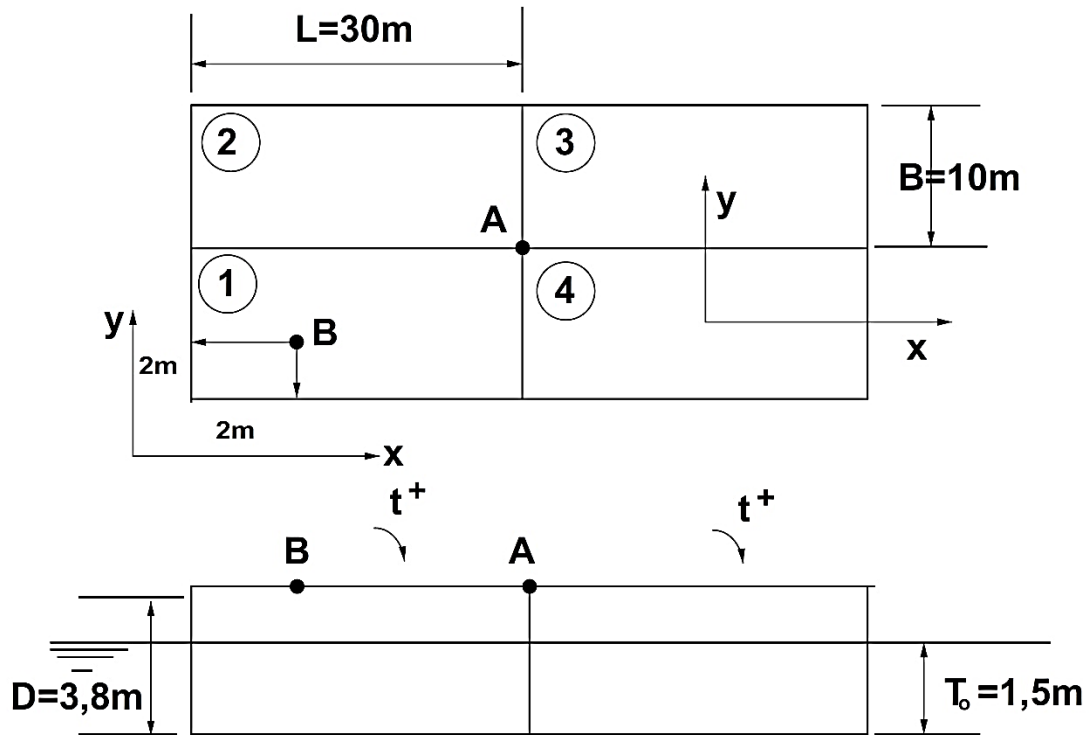
 No. Body:4 | Power/Body:1

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	369.000000	15.000000	4.000000	1.500000

όπου

- 3,8m είναι το κοίλο κάθε γάστρας
- 0,2m είναι το κοίλο του καταστρώματος

Το σχήμα με το οποίο προγραμματίσαμε τα παραπάνω δεδομένα είναι:



Σχήμα 8.1.2.2

Τέσσερις εξέδρες με μία άρθρωση (για επίλυση μέσω H/Y)

Το πρόγραμμα για την παραπάνω περίπτωση συγκλίνει στην 4^η επανάληψη και τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι:

```

-----
FINAL RESULTS
-----
-----
FORCES
-----
-----
JOINT          1
-----
F (t) BODY ( 1)  1 =    9.380805E-01
F (t) BODY ( 2)  2 =   -3.126935E-01
    
```

F (t) BODY (3) 3 = -3.126935E-01
 F (t) BODY (4) 4 = -3.126935E-01

 BODIES INCLINATION

BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	-6.196806E-03	-1.979962E-03	-3.550463E-01	-1.134433E-01
2	1.207272E-03	-2.580826E-04	6.917154E-02	-1.478705E-02
3	1.207272E-03	2.580826E-04	6.917154E-02	1.478705E-02
4	-1.207272E-03	2.580826E-04	-6.917153E-02	1.478704E-02

 BODIES DRAUGHT AT THE JOINT

 JOINT 1

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
1	1.489977E+00	1.544464E+00	-2.478722E-02	-2.969942E-02
2	1.490029E+00	1.498729E+00	-4.829087E-03	-3.871240E-03
3	1.490029E+00	1.498729E+00	-4.829087E-03	-3.871240E-03
4	1.490029E+00	1.498729E+00	-4.829086E-03	-3.871239E-03

 GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS

 BODY 1

DISPLACEMENT (t) =	3.799381E+02	KB (m) =	7.722319E-01	KG (m) =	1.571973E+00
WATER AREA (m^2) =	2.400000E+02	LCFx (m) =	1.500000E+01	LCFy (m) =	4.000000E+00
BML (m) =	4.856054E+01	LCBx (m) =	1.500000E+01	Ixx (m^4) =	1.280000E+03
BMT (m) =	3.453194E+00	LCBy (m) =	4.000000E+00	Iyy (m^4) =	1.800000E+04
Tm (m) =	1.544464E+00	GML (m) =	4.776096E+01	GMT (m) =	2.653615E+00

 BODY 2

DISPLACEMENT (t) =	3.686873E+02	KB (m) =	7.493645E-01	KG (m) =	1.497880E+00
WATER AREA (m^2) =	2.400000E+02	LCFx (m) =	1.500000E+01	LCFy (m) =	4.000000E+00
BML (m) =	5.004240E+01	LCBx (m) =	1.500000E+01	Ixx (m^4) =	1.280000E+03
BMT (m) =	3.558571E+00	LCBy (m) =	4.000000E+00	Iyy (m^4) =	1.800000E+04
Tm (m) =	1.498729E+00	GML (m) =	4.929389E+01	GMT (m) =	2.810060E+00

 BODY 3

DISPLACEMENT (t) =	3.686873E+02	KB (m) =	7.493645E-01	KG (m) =	1.497880E+00
WATER AREA (m^2) =	2.400000E+02	LCFx (m) =	1.500000E+01	LCFy (m) =	4.000000E+00
BML (m) =	5.004240E+01	LCBx (m) =	1.500000E+01	Ixx (m^4) =	1.280000E+03
BMT (m) =	3.558571E+00	LCBy (m) =	4.000000E+00	Iyy (m^4) =	1.800000E+04
Tm (m) =	1.498729E+00	GML (m) =	4.929389E+01	GMT (m) =	2.810060E+00

 BODY 4

DISPLACEMENT (t) =	3.686873E+02	KB (m) =	7.493645E-01	KG (m) =	1.497880E+00
WATER AREA (m^2) =	2.400000E+02	LCFx (m) =	1.500000E+01	LCFy (m) =	4.000000E+00
BML (m) =	5.004240E+01	LCBx (m) =	1.500000E+01	Ixx (m^4) =	1.280000E+03
BMT (m) =	3.558571E+00	LCBy (m) =	4.000000E+00	Iyy (m^4) =	1.800000E+04
Tm (m) =	1.498729E+00	GML (m) =	4.929389E+01	GMT (m) =	2.810060E+00

❖ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

			Υπολογισμοί με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής	Υπολογισμοί με H/Y	
				Αρχικός Κώδικας	Νέος Κώδικας
BODY NO. 1	<i>Δύναμη:</i>	P =	0,929 t	0,9392	0,9380
	<i>Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:</i>	tan(φ) =	-0,006233	-0,006192	-0,006196
	<i>Εφαπτόμενη διαμήκους κλίσης:</i>	tan(θ)=	-0,001954	-0,001978	0,001979
BODY NO. 2	<i>Δύναμη:</i>	P =	-0,309 t	-0,3130	-0,3126
	<i>Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:</i>	tan(φ) =	0,001197	0,001208	0,001207
	<i>Εφαπτόμενη διαμήκους κλίσης:</i>	tan(θ)=	-0,000251	-0,000258	-0,000258
BODY NO. 3	<i>Δύναμη:</i>	P =	-0,309 t	-0,3130	-0,3126
	<i>Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:</i>	tan(φ) =	0,001197	0,001208	0,001207
	<i>Εφαπτόμενη διαμήκους κλίσης:</i>	tan(θ)=	0,000251	0,000258	0,000258
BODY NO. 4	<i>Δύναμη:</i>	P =	-0,309 t	-0,3130	-0,3126
	<i>Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:</i>	tan(φ) =	-0,001197	-0,001208	-0,001207
	<i>Εφαπτόμενη διαμήκους κλίσης:</i>	tan(θ)=	0,000251	0,000258	0,000258

Για σώματα 2, 3 και 4 υπολογίζονται τα ίδια αποτελέσματα όμως μεταξύ τους διαφέρει το πρόσημο για την γωνία εγκάρσιας και διαμήκους κλίσης. Ο ρόλος των πρόσημων στα αριθμητικά αποτελέσματα περιγράφεται στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων μέσω του αρχείου εξόδου στο κεφάλαιο 7.

Η μικρή απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που μας δίνει η επίλυση της άσκησης με τους απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής και των αποτελεσμάτων μέσω του προγράμματος, ειδικά στην τιμή της διαμήκου κλίσης οφείλεται στην παρατήρηση που κάναμε στην 8.1 παράγραφο. Για την επίλυση μέσω των απλοποιημένων τύπων της υδροστατικής, στους υπολογισμούς στον διαμήκη άξονα έχουν χρησιμοποιηθεί απλοποιημένοι τύποι.

Μεταξύ των τιμών που προκύπτουν μέσω του αρχικού και του νέου κώδικα παρατηρείται μία πολύ μικρή διαφορά η οποία είναι αναμενόμενη. Ο λόγος είναι η βελτιστοποίηση που έχει επιτευχθεί στο νέο πρόγραμμα για την γεωμετρική σχέση που συνδέει δύο σώματα μεταξύ τους με άρθρωση.

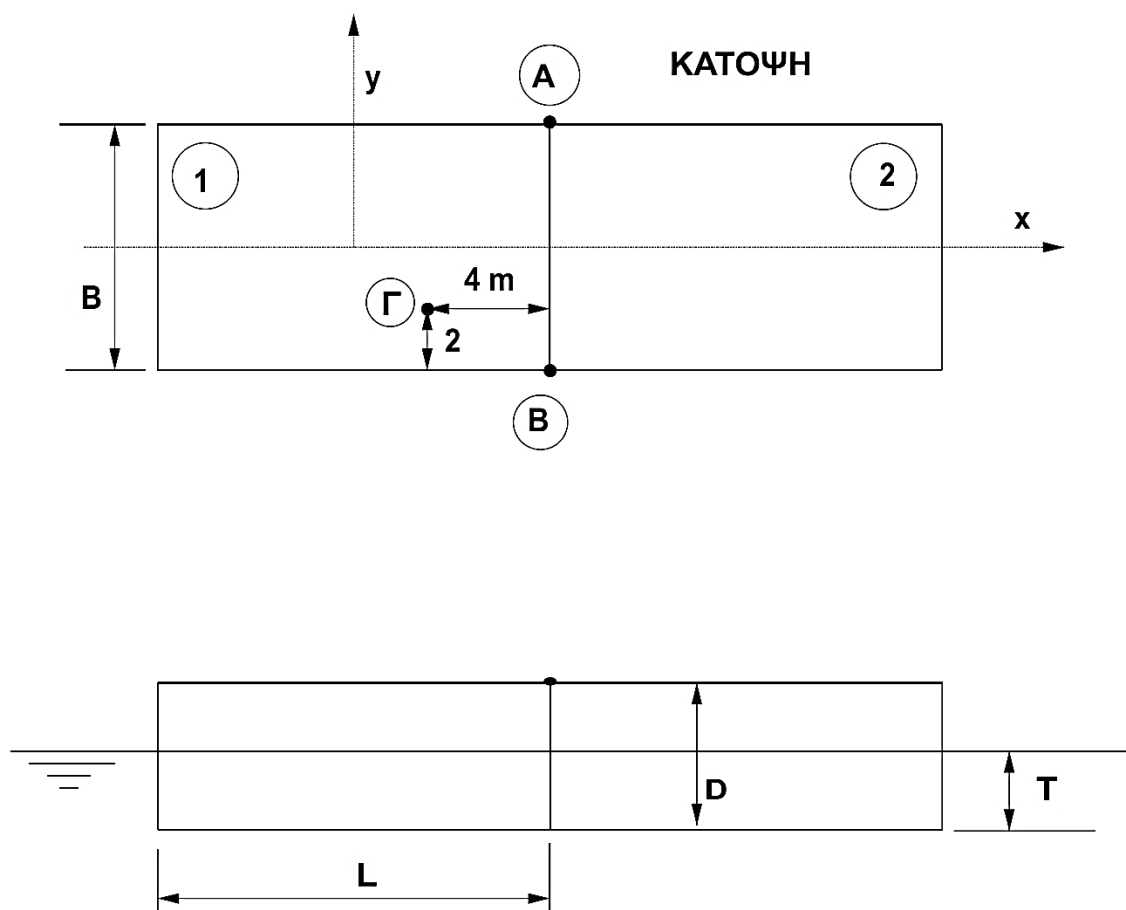
8.1.3. Περίπτωση δύο πλωτών εξεδρών συνδεδεμένων με δύο αρθρώσεις

❖ ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Δυο όμοια ποντόνια σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου συνδέονται μεταξύ τους με αρθρώσεις στα σημεία Α και Β, όπως φαίνεται στο σχήμα. Αν στο σημείο Γ του ποντονιού Νο. 1 τοποθετηθεί βάρος $w = 15t$ ζητείται η εγκάρσια κλίση και η διαγωγή που θα έχει κάθε ποντόνι.

Δεδομένα

- $L = 30$ m
- $B = 8$ m
- $D = 3$ m
- $T_0 = 1.5$ m
- KG (αρχικό) = 1.5 m



Σχήμα 8.1.3.1

Δύο εξέδρες με δύο αρθρώσεις (για επίλυση με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής)

Παρατήρηση

Θα θεωρήσουμε ότι στην τελική κατάσταση τα ποντόνια δεν έχουν άλλα σημεία επαφής εκτός από τα σημεία των αρθρώσεων Α και Β.

❖ ΛΥΣΗ ΜΕ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Λόγω της κοινής ακμής ΑΒ που έχουν τα ποντόνια θα έχουν το ίδιο βύθισμα και σε όλο το μήκος της ΑΒ, άρα και στο μέσο της. Θεωρούμε ότι στις αρθρώσεις Α και Β ενεργούν προς τα πάνω για το ποντόνι 1 οι δυνάμεις F_A και F_B αντίστοιχα (όποτε οι αντίθετές τους θα ενεργούν στο ποντόνι 2). Το βύθισμα στο μέσο της ΑΒ για το ποντόνι 1 με πρόσημα που αναφέρονται στους άξονες x, y είναι:

$$T_M = T_0 + \delta T_1 + \frac{t_1}{2}$$

και για το ποντόνι 2:

$$T_M = T_0 + \delta T_2 + \frac{t_2}{2}$$

συνεπώς:

$$\delta T_1 + \frac{t_1}{2} = \delta T_2 - \frac{t_2}{2} \quad (1)$$

Εκφράζουμε την παράλληλη βύθιση και τη διαγωγή κάθε ποντονιού συναρτήσει των F_A, F_B :

- $$t_1 = \frac{M_{L1}}{\frac{\gamma I_L}{L}} = \frac{w \cdot (15 - 4) - (F_A + F_B) \cdot \frac{L}{2}}{\frac{\gamma L^2 B}{12}}$$
- $$t_2 = \frac{M_{L2}}{\frac{\gamma L^2 B}{12}} = -\frac{(F_A + F_B) \cdot \frac{L}{2}}{\frac{\gamma L^2 B}{12}}$$

- $\delta T_1 = \frac{w - (F_A + F_B)}{\gamma LB}$
- $\delta T_2 = \frac{(F_A + F_B)}{\gamma LB}$

και αντικαθιστώντας στην (1) για $w = 15m$, $L = 30m$, $B = 8m$ βρίσκουμε:

$$F_A + F_B = 6 \text{ t.}$$

Επομένως οι διαγωγές των δύο ποντονιών είναι:

$$t_1 = 0,0122m \text{ και } t_2 = 0,1460m$$

Η γωνία εγκάρσιας κλίσης είναι ίδια για τα δύο ποντόνια (κοινή ακμή AB) δηλαδή:

$$\begin{aligned} \tan \varphi_1 &= \tan \varphi_2 \\ \dot{\eta} & \quad (2) \\ \frac{M_{T1}}{\Delta_1 GM_1} &= \frac{M_{T2}}{\Delta_2 GM_2} \end{aligned}$$

όπου για το ποντόνι 1:

- $M_{T1} = \left(\frac{B}{2} - 2 \right) w + \frac{B}{2} (F_A - F_B) = 30 + 4(F_A - F_B)$
- $\Delta_1 = \gamma L B T_0 + w - (F_A + F_B) = 369 + 15 - 6 = 378t$
- $GM_1 = KB_1 + BM_1 - KG_1$
- $KB_1 = \frac{T_0 + \delta T_1}{2} = \frac{1.5 + \frac{15-6}{1.025 \times 30 \times 8}}{2} = 0.768m$
- $BM_1 = \frac{\gamma \cdot I_T}{\Delta_1} = \frac{1.025}{380.625} \times \frac{30 \times 8^3}{12} = 3.447m$
- $KG_1 = \frac{\Delta_0 KG_0 + w \cdot D - (F_A + F_B) \cdot D}{\Delta} = 1.535m$
- Προκύπτει: $GM_1 = 2.679m$

και για το ποντόνι 2:

- $M_{T_2} = (F_B - F_A) \cdot \frac{B}{2} = 4(F_B - F_A)$
- $\Delta_2 = \Delta_0 + F_A + F_B = 369 + 6 = 375t$
- $GM = KB_2 + BM_2 - KG_2$
- $KB_2 = \frac{T_0 + \delta T_2}{2} = \frac{1.5 + \frac{6}{1.025 \times 30 \times 8}}{2} = 0.762m$
- $BM_2 = \frac{\gamma}{\Delta_2} \times \frac{30 \times 8^3}{122} = 3.523m$
- $KG_2 = \frac{\Delta_0 KG_0 + (F_A + F_B) \cdot D}{\Delta} = 1.524m$
- Προκύπτει: $GM_2 = 2.761m$

και αντικαθιστώντας στη σχέση (2):

$$\frac{30 + 4(F_A - F_B)}{378 \times 2.679} = \frac{(F_B - F_A) \cdot 4}{375 \times 2.761}$$

από την οποία βρίσκεται

$$F_A - F_B = -3.791 t$$

Οπότε

$$F_A = 1,104 t \quad \text{και} \quad F_B = 4.896 t$$

και

$$\tan\varphi = 0.0146 \quad \text{ή} \quad \varphi_1 = \varphi_2 = 0.84^\circ$$

❖ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ Η/Υ

Το αρχείο εισόδου για την περίπτωση που μελετάμε είναι:

Main Program Variables & Constants

Total Number of Bodies (NSM)	:2
Total Number of Joints (NAR)	:2
Total Number of Hulls (NGS)	:2
Total Number of Flooded Compartments (NFC)	:0
Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC)	:0
Total Number of Req. Draught Location (DRL)	:0
Maximum No. of Hulls/Body	:1
Maximum No. of Points/Hull	:0
Maximum No. of Points/Flooded Compartment	:0
Maximum No. of Bodies/Joint	:2
Maximum No. of Joints/Body	:2
Maximum No. of Forces/Body	:2
Water special weight [tn/m ³] (PKNN)	:1.025000

Bodies Characteristics

Body No.	Xref	Yref	L	B	H
1	32.000000	2.000000	30.000000	8.000000	0.200000
2	2.000000	2.000000	30.000000	8.000000	0.200000

Hulls Characteristics

Body No.:1 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 | Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
2.800000	15.000000	4.000000	30.000000	8.000000

Body No.:2 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 | Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
2.800000	15.000000	4.000000	30.000000	8.000000

Joints Characteristics				
Joint No	xj	yj	type (F/R)	zrestr
1	32.000000	10.000000	F	0.000000
2	32.000000	2.000000	F	0.000000

Joint No.:1		Bodies/Joint:2	
Body No.	zhi		
1	0.200000		
2	0.200000		

Joint No.:2		Bodies/Joint:2	
Body No.	zhi		
1	0.200000		
2	0.200000		

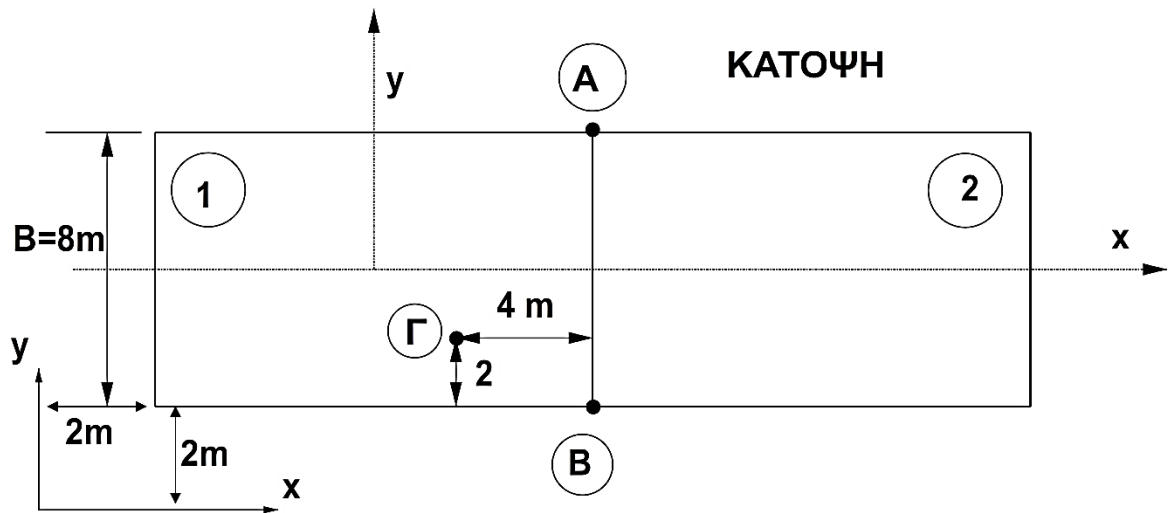
External Powers & Characteristics				
No. Body:2		Power/Body:2		
Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	369.000000	15.000000	4.000000	1.500000
2	15.000000	26.000000	2.000000	3.000000

No. Body:1		Power/Body:1		
Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	369.000000	15.000000	4.000000	1.500000

όπου

- 2,8m είναι το κοίλο κάθε γάστρας
- 0,2m είναι το κοίλο του καταστρώματος

Το σχήμα με το οποίο προγραμματίσαμε τα παραπάνω δεδομένα είναι:



Σχήμα 8.1.3.2

Τέσσερις εξέδρες με μία άρθρωση (για επίλυση μέσω H/Y)

Το πρόγραμμα για την παραπάνω περίπτωση συγκλίνει στην 5^η επανάληψη και τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι:

 FINAL RESULTS

 FORCES

 JOINT 1

 F (t) BODY (1) 1 = 1.118128E+00
 F (t) BODY (2) 2 = -1.118128E+00

 JOINT 2

 F (t) BODY (1) 3 = 4.876359E+00
 F (t) BODY (2) 4 = -4.876359E+00

 BODIES INCLINATION

BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	-1.464201E-02	-4.950113E-03	-8.388653E-01	-2.836183E-01
2	-1.464196E-02	4.134463E-03	-8.388623E-01	2.368859E-01

 BODIES DRAUGHT AT THE JOINT

 JOINT 1

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
1	1.540051E+00	1.524368E+00	-5.856803E-02	7.425170E-02
2	1.540057E+00	1.536608E+00	-5.856782E-02	6.201695E-02

 JOINT 2

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
1	1.657188E+00	1.524368E+00	5.856803E-02	7.425170E-02
2	1.657193E+00	1.536608E+00	5.856782E-02	6.201695E-02

 GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS

 BODY 1

DISPLACEMENT(t)	=	3.749945E+02	KB (m)	=	7.621839E-01	KG (m)	=	1.523978E+00
WATER AREA (m^2)	=	2.400000E+02	LCFx (m)	=	1.500000E+01	LCFy (m)	=	4.000000E+00
BML (m)	=	4.920072E+01	LCBx (m)	=	1.500000E+01	Ixx (m^4)	=	1.280000E+03
BMT (m)	=	3.498718E+00	LCBy (m)	=	4.000000E+00	Iyy (m^4)	=	1.800000E+04
Tm (m)	=	1.524368E+00	GML (m)	=	4.843991E+01	GMT (m)	=	2.737902E+00

 BODY 2

DISPLACEMENT(t)	=	3.780055E+02	KB (m)	=	7.683040E-01	KG (m)	=	1.535736E+00
WATER AREA (m^2)	=	2.400000E+02	LCFx (m)	=	1.500000E+01	LCFy (m)	=	4.000000E+00
BML (m)	=	4.880881E+01	LCBx (m)	=	1.500000E+01	Ixx (m^4)	=	1.280000E+03
BMT (m)	=	3.470849E+00	LCBy (m)	=	4.000000E+00	Iyy (m^4)	=	1.800000E+04
Tm (m)	=	1.536608E+00	GML (m)	=	4.804217E+01	GMT (m)	=	2.704206E+00

❖ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

			Υπολογισμοί με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής	Υπολογισμοί με H/Y	
				Αρχικός Κώδικας	Νέος Κώδικας
BODY NO. 1	Δυνάμεις:	$P_1 =$	1,104	1,1182	1,1181
		$P_2 =$	4,896	4,8764	4,8763
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	-0,014600	-0,0146419	-0,0146420
	Εφαπτόμενη διαμήκουσ κλίσης:	$\tan(\theta) =$	-0,004860	-0,0049502	-0,0049501
BODY NO. 2	Δυνάμεις:	$P_1 =$	-1,104	-1,1182	-1,1181
		$P_2 =$	-4,896	-4,8764	-4,8763
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	-0,014600	-0,0146419	-0,0146419
	Εφαπτόμενη διαμήκουσ κλίσης:	$\tan(\theta) =$	0,004063	-0,0041343	0,0041344

Η μικρή απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που μας δίνει η επίλυση της άσκησης με τους απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής και των αποτελεσμάτων μέσω του προγράμματος, ειδικά στην τιμή της διαμήκουσ κλίσης οφείλεται στην παρατήρηση που κάναμε στην 8.1 παράγραφο. Για την επίλυση μέσω τον απλοποιημένων τύπων της υδροστατικής, στους υπολογισμούς στον διαμήκη άξονα έχουν χρησιμοποιηθεί απλοποιημένοι τύποι.

Όσον αφορά την σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων του νέου και του αρχικού κώδικα, λόγω της άρθρωσης που συνδέει τα δύο σώματα μεταξύ τους είναι λογικό ότι με τον νέο κώδικα τα αποτελέσματα θα έχουν αλλάξει. Η αλλαγή αυτή οφείλεται στην βελτιστοποίηση που έχει δεχτεί ο κώδικας στο θέμα της ανάλυσης του τρόπου που συνδέεται μία άρθρωση με ένα σώμα, κατά τη φάση της μοντελοποίησης του προβλήματος.

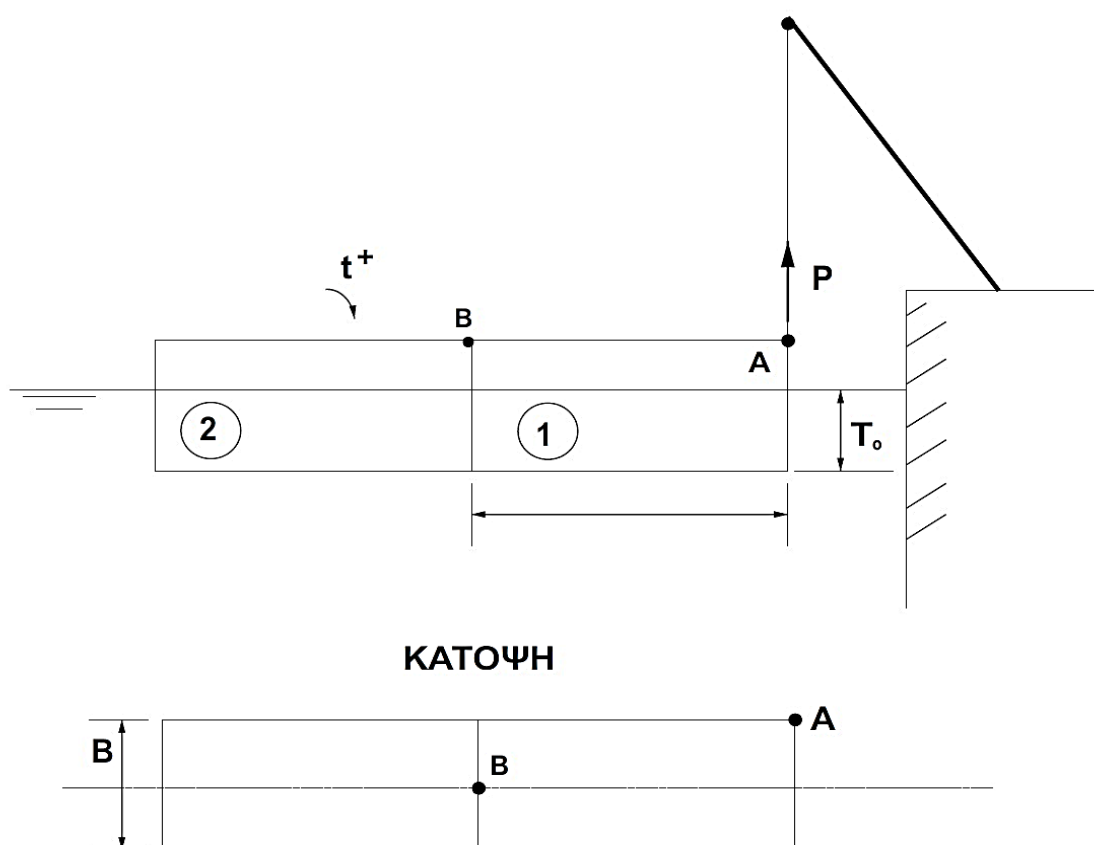
8.1.4. Περίπτωση δύο πλωτών εξεδρών με δύο αρθρώσεις εκ των οποίων η μία σταθερή

❖ ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Δύο όμοια ποντόνια σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου είναι συνδεδεμένα με άρθρωση στο σημείο Β όπως φαίνεται στο σχήμα. Γερανός που βρίσκεται σε προβλήτα ανυψώνει το ποντόνι 1 από το σημείο Α το οποίο αποκτά βύθισμα στη άρθρωση $T_0=1.4\text{m}$. Εάν η διαγωγή του ποντονίου 2 είναι τότε $t=0.02\text{m}$ (έμπροση) ζητείται να βρεθεί η εγκάρσια κλίση και η διαγωγή του ποντονίου No. 1.

Δίνονται:

- Μήκος ποντονίου $L = 30\text{m}$
- Πλάτος ποντονίου $B = 10\text{m}$
- Πλευρικό ύψος $D = 3\text{m}$
- Αρχικό βύθισμα $T_0 = 1.5\text{m}$
- Αρχικό KG $KG = 1.5\text{m}$



Σχήμα 8.1.4.1

Δύο εξέδρες με μία ελεύθερη και μία σταθερή άρθρωση (για επίλυση με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής)

❖ ΛΥΣΗ ΜΕ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Μέσω της άρθρωσης Β επιδρά στο ποντόνι 2 η κατακόρυφη δύναμη F_B (θετική προς τα κάτω) που προκαλεί διαγωγή:

$$t_2 = \frac{F_B \cdot \frac{L}{2}}{MT_1} = \frac{F_B \times 15}{\frac{1.025 \times 30^2 \times 10}{12}} = \frac{F_B \times 15}{768.75}$$

Δίνεται όμως $t_2 = 0.02m$ οπότε $F_B = 1.025t$. Το βύθισμα στη θέση Β του ποντονιού 2 είναι:

$$T_B = T_0 + \delta T_2 + \frac{t_2}{2}$$

όπου

$$\delta T_2 = \frac{F_B}{\gamma LB} = 0.0033m$$

συνεπώς προκύπτει για το βύθισμα στο σημείο Β:

$$T_B = 1.5 + 0.0033 + 0.01 = 1.513m$$

Σε πρώτη προσέγγιση το βύθισμα σε αυτό το σημείο είναι κοινό και για τα δύο ποντόνια. Από την υδροστατική ισορροπία του ποντονιού 1 είναι:

$$T_B = 1.5133 = T_0 + \delta T_1 + \frac{t_1}{2} \quad (1)$$

όπου

$$\delta T_1 = -\frac{F_B + P}{\gamma LB} = -\frac{1.025 + P}{307.5}$$

(η F_B εδώ έχει αντίθετη φορά)

$$t_1 = \frac{(P - F_B) \cdot \frac{L}{2}}{MT_1} = \frac{(P - 1.025) \times 15}{768.75}$$

και από τη σχέση (1) έχουμε:

$$1.5133 = 1.5 - \frac{1.025 + P}{307.5} + \frac{(P - 1.025) \times 7.5}{768.75}$$

ή

$$P = 4.1t$$

Η αρχική ροπή εγκάρσιας κλίσης στο ποντόνι 1 είναι:

$$M_T = P \times \frac{B}{2} = 4.1 \times 5 = 20.5tm$$

ενώ το εκτόπισμά του:

$$\Delta = \gamma LBT_0 - P - F_B = 456.125t$$

και το αρχικό μετακεντρικό του ύψος:

$$GM = KB + BM - KG$$

όπου

- $KB = \frac{T_0 + \delta T_1}{2} = \frac{1.5 - \frac{1.025 + 4.1}{307.5}}{2} = 0.742m$
- $BM = \frac{\gamma}{\Delta} I_T = \frac{1.025}{436.25} \times \frac{30 \times 10^3}{12} = 5.618m$
- $KG = \frac{KG_0 \Delta_0 - (P + F_B) \cdot D}{\Delta} = \frac{1.5 \times 1.025 \times 30 \times 10 \times 1.5 - (4.1 + 1.025) \times 3}{456.125} = 1.483m$

οπότε προκύπτει:

$$GM = 0.742 + 5.618 - 1.483 = 4.877m.$$

Η εφαπτομένη εγκάρσιας κλίσης σε πρώτη προσέγγιση είναι:

$$\tan \varphi = \frac{M_T}{\Delta GM} = \frac{20.5}{456.125 \times 4.877} = 0.0092$$

και η γωνία εγκάρσιας κλίσης:

$$\varphi = 0.52^\circ$$

ενώ η εφαπτομένη διαμήκου κλίσης είναι:

$$\tan \theta = 0.002$$

και η γωνία διαμήκου κλίσης είναι:

$$\theta = 0.114^\circ$$

❖ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ Η/Υ

Το αρχείο εισόδου για την περίπτωση που μελετάμε είναι:

Main Program Variables & Constants

Total Number of Bodies (NSM)	:2
Total Number of Joints (NAR)	:2
Total Number of Hulls (NGS)	:2
Total Number of Flooded Compartments (NFC)	:0
Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC)	:0
Total Number of Req. Draught Location (DRL)	:0
Maximum No. of Hulls/Body	:1
Maximum No. of Points/Hull	:0
Maximum No. of Points/Flooded Compartment	:0
Maximum No. of Bodies/Joint	:2
Maximum No. of Joints/Body	:2
Maximum No. of Forces/Body	:1
Water Special weight [tn/m ³] (PKNN)	:1.025000

Bodies Characteristics

Body No.	Xref	Yref	L	B	H
1	32.000000	2.000000	30.000000	10.000000	0.200000
2	2.000000	2.000000	30.000000	10.000000	0.200000

Hulls Characteristics

Body No.:1 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 |Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
2.800000	15.000000	5.000000	30.000000	10.000000

Body No.:2 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 |Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
2.800000	15.000000	5.000000	30.000000	10.000000

Joints Characteristics

Joint No	xj	yj	type (F/R)	zrestr
1	62.000000	12.000000	R	0.450000
2	32.000000	7.000000	F	1.000000

Joint No.:1 |Bodies/Joint:1

Body No.	zhi
1	0.200000

Joint No.:2 |Bodies/Joint:2

Body No.	zhi
1	0.200000
2	0.200000

External Powers & Characteristics

No. Body:1 | Power/Body:1

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	461.250000	15.000000	5.000000	1.500000

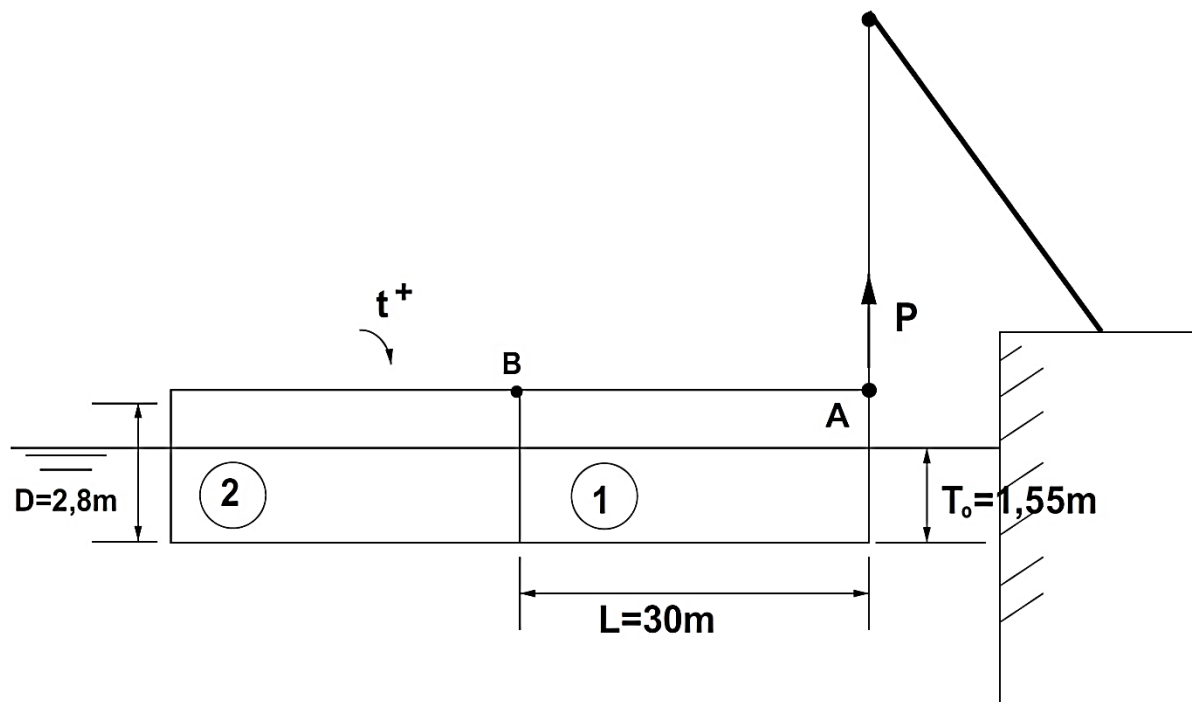
No. Body:2 | Power/Body:1

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	461.250000	15.000000	5.000000	1.500000

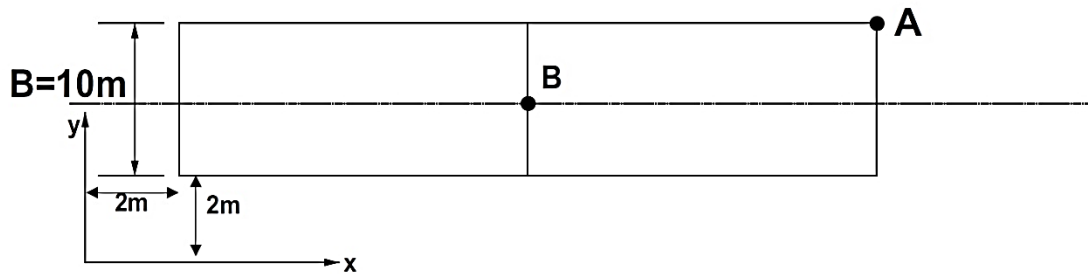
όπου

- 2,8m είναι το κοίλο κάθε γάστρας
- 0,2m είναι το κοίλο του καταστρώματος

Το σχήμα με το οποίο προγραμματίσαμε τα παραπάνω δεδομένα είναι:



ΚΑΤΟΨΗ



Σχήμα 8.1.4.2

Τέσσερις εξέδρες με μία άρθρωση (για επίλυση μέσω H/Y)

Το πρόγραμμα για την παραπάνω περίπτωση συγκλίνει στην 4^η επανάληψη και τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι:

 FINAL RESULTS

 FORCES

 JOINT 1

 F (t) BODY (1) 1 = -3.965773E+00

 JOINT 2

 F (t) BODY (1) 2 = -1.004576E+00
 F (t) BODY (2) 3 = 1.004576E+00

 JOINT 1RESTRAINED

 F (t) 4 = 3.965772E+00

 BODIES INCLINATION

BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	-8.915038E-03	-1.954653E-03	-5.107805E-01	-1.119932E-01
2	0.000000E+00	6.633769E-04	0.000000E+00	3.800869E-02

 BODIES DRAUGHT AT THE JOINT

 JOINT 1

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
1	1.409941E+00	1.483836E+00	-4.457519E-02	-2.931980E-02

 JOINT 2

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
1	1.513156E+00	1.483836E+00	0.000000E+00	2.931980E-02
2	1.513218E+00	1.503267E+00	0.000000E+00	9.950653E-03

 GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS

 BODY 1

DISPLACEMENT(t)	=	4.562797E+02	KB (m)	=	7.419181E-01	KG (m)	=	1.483660E+00
WATER AREA (m^2)	=	3.000000E+02	LCFx (m)	=	1.500000E+01	LCFy (m)	=	5.000000E+00
BML (m)	=	5.054466E+01	LCBx (m)	=	1.500000E+01	Ixx (m^4)	=	2.500000E+03
BMT (m)	=	5.616073E+00	LCBy (m)	=	5.000000E+00	Iyy (m^4)	=	2.250000E+04
Tm (m)	=	1.483836E+00	GML (m)	=	4.980323E+01	GMT (m)	=	4.874651E+00

 BODY 2

DISPLACEMENT(t)	=	4.622546E+02	KB (m)	=	7.516334E-01	KG (m)	=	1.503260E+00
WATER AREA (m^2)	=	3.000000E+02	LCFx (m)	=	1.500000E+01	LCFy (m)	=	5.000000E+00
BML (m)	=	4.989134E+01	LCBx (m)	=	1.500000E+01	Ixx (m^4)	=	2.500000E+03
BMT (m)	=	5.543482E+00	LCBy (m)	=	5.000000E+00	Iyy (m^4)	=	2.250000E+04
Tm (m)	=	1.503267E+00	GML (m)	=	4.913972E+01	GMT (m)	=	4.791867E+00

❖ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

			Υπολογισμοί με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής	Υπολογισμοί με H/Y		
				Αρχικός Κώδικας	Νέος Κώδικας	
BODY NO. 1	Δύναμη:	$P_1 =$	-4,100	-3,96540 t	-3,96577 t	
		$P_2 =$	-1,025	-1,00214 t	-1,00457 t	
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:		$\tan(\varphi) =$	0,0092	-0,00891425	-0,00891503
	Εφαπτόμενη διαμήκουσ κλίσης:		$\tan(\theta) =$	-0,0020	-0,00195602	-0,00195465
BODY NO. 2	Δύναμη:		$P =$	1,025 t	1,00214 t	1,00457 t
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:		$\tan(\varphi) =$	0,0000000	0,0000000	0,0000000
	Εφαπτόμενη διαμήκουσ κλίσης:		$\tan(\theta) =$	0,0006666	0,00066177	-0,00066337

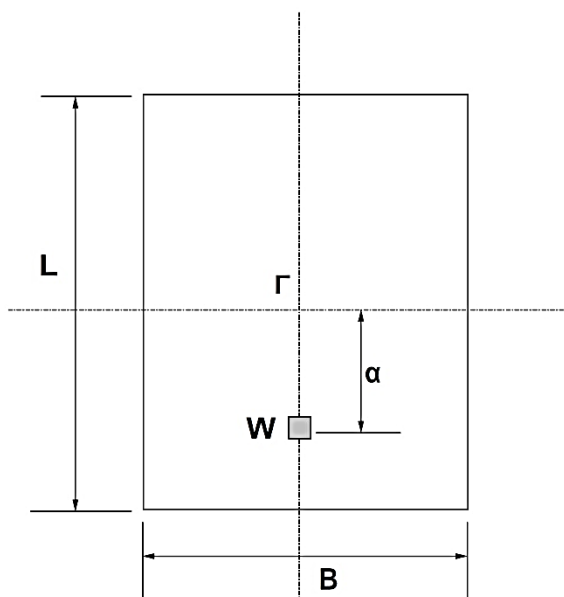
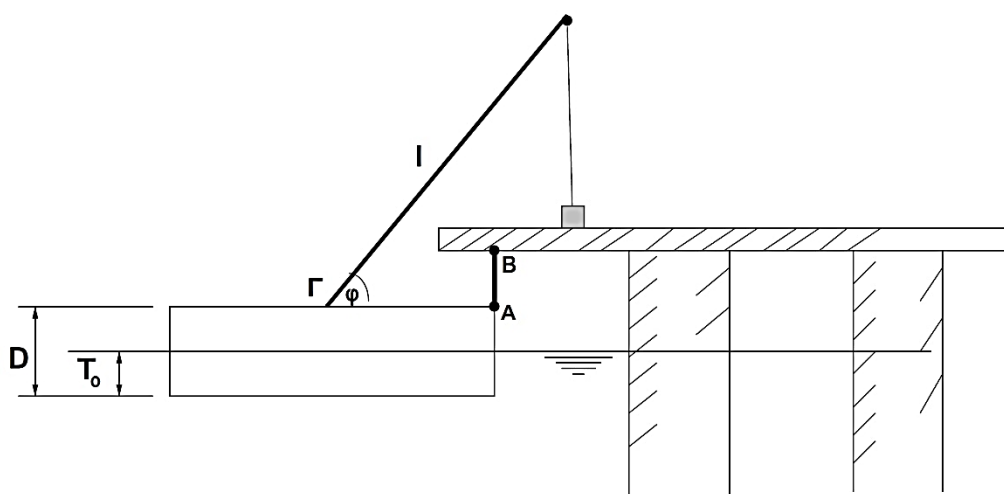
Η μικρή απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που μας δίνει η επίλυση της άσκησης με τους απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής και των αποτελεσμάτων μέσω του προγράμματος, ειδικά στην τιμή της διαμήκουσ κλίσης οφείλεται στην παρατήρηση που κάναμε στην 8.1 παράγραφο. Για την επίλυση μέσω των απλοποιημένων τύπων της υδροστατικής, στους υπολογισμούς στον διαμήκη άξονα έχουν χρησιμοποιηθεί απλοποιημένοι τύποι.

Όσον αφορά τώρα τις αποκλίσεις που προκύπτουν μεταξύ των αποτελεσμάτων από τον αρχικό και από τον νέο κώδικα αυτές προέκυψαν εξαιτίας της ύπαρξης των αρθρώσεων (μίας σταθερής και μίας ελεύθερης άρθρωσης). Η βελτιστοποίηση που αφορά τον τρόπο που συνδέεται μία άρθρωση με ένα σώμα επηρέασε όπως φαίνεται τα αποτελέσματα.

8.1.5. Περίπτωση μιας πλωτής εξέδρας με επιπλέον βάρος και μία σταθερή άρθρωση

❖ ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Πλωτός γερανός σταθερής εγκάρσιας ορθογωνικής διατομής πλέει αρχικά ισοβύθιστος και είναι δεμένος σε προβλήτα με το σχοινί AB του σχήματος (μη εκτατό). Τότε το μήκος του σχοινιού είναι ίσο με την κατακόρυφη απόσταση του καταστρώματος του γερανού (σημείο A) από το κάτω μέρος της προβλήτας (σημείο B) και δεν μεταφέρει καμιά δύναμη. Ο γερανός πρόκειται να ανυψώσει βάρος $W = 15t$ που βρίσκεται πάνω στην προβλήτα και στην προέκταση του επιπέδου του μέσου νομέα του.



Σχήμα 8.1.5.1

Εξέδρα με μία σταθερή άρθρωση (για επίλυση με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής)

Δίνονται:

- Μήκος γερανού $L = 50\text{m}$
- Πλάτος γερανού $B = 20\text{m}$
- Πλευρικό ύψος γερανού $D = 4\text{m}$
- Αρχικό βύθισμα γερανού $T_0 = 1.5\text{m}$
- Αρχικό KG γερανού $KG = 1.5\text{m}$
- Γωνία κλίσεως βελονιού $\varphi = 45^\circ$
- Μήκος βελονιού $l = 30\text{m}$

Το βελόνι θεωρείται αβαρές και η γωνία κλίσεως του σταθερή.

Ζητούνται:

1. Η γωνία εγκάρσιας κλίσης του γερανού μόλις έχει ανυψώσει το φορτίο.
2. Η διαγωγή του γερανού όταν το φορτίο τοποθετείται πάνω στο κατάστρωμά του σε απόσταση $a = 15\text{m}$ από το μέσο νομέα του και στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας.

❖ ΛΥΣΗ ΜΕ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Αφού το σχοινί AB είναι μή εκτατό το σημείο A θα παραμείνει σταθερό και σε πρώτη προσέγγιση το βύθισμα στο ίδιο σημείο θα είναι επίσης σταθερό, δηλαδή:

$$T_A = T_0 = 1\text{m}$$

Εκφράζουμε το βύθισμα T_A συναρτήσει της παράλληλης βύθισης και της εγκάρσιας κλίσης που έχει ο γερανός υπό την επίδραση του φορτίου W και της τάσης του σχοινιού P (θετικής προς τα πάνω).

$$T_A = T_0 + \delta T + \frac{B}{2} \tan \varphi \quad (1)$$

(η γωνία φ θεωρείται θετική για βύθιση στο A)

όπου:

$$\delta T = \frac{w - p}{\gamma LB} = \frac{15 - P}{1025} \quad (2)$$

και
$$\tan \varphi = \frac{M_T}{\Delta GM} \quad (3)$$

με

- $M_T = wl \cos 45 - P \frac{B}{2} = 15 \times 30 \times \cos 45 - P \times 10 = 318.2 - P \times 10$
- $\Delta = \gamma L B T_0 + w - P = 1025 + 15 - P = 1040 - P$
- $GM = KB + BM - KG$
- $KB = \frac{T_0 + \delta T}{2}$
- $BM = \frac{\gamma}{\Delta} I_T = \frac{1.025}{1040 - P} \times \frac{50 \times 20^3}{12} = \frac{34166.66}{1040 - P}$
- $KG = \frac{\Delta_0 KG_0 + W \cdot (D + l \sin 45) - PD}{\Delta} = \frac{1025 + 363.19 - 3P}{1040 - P}$

και αντικαθιστώντας τα δT και $\tan \varphi$ από τις σχέσεις (2) και (3) στην (1) έχουμε:

$$T_A = 1 = 1 + \frac{15 - P}{1025} + 10 \times \frac{318.2 - P \times 10}{(1040 - P) \times \left(\frac{\left(1 + \frac{15 - P}{1025}\right)}{2} + 32778.47 + P \times 3 \right)}$$

από την οποία βρίσκεται:

$$P = 27.6t \text{ και}$$

$$\tan \varphi = 0.00126 \text{ ή } \varphi = 0.072^\circ.$$

Η διαγωγή του γερανού μετά την τοποθέτηση του φορτίου βρίσκεται από τη σχέση:

$$t = \frac{M_L}{MT1} = \frac{w \cdot a}{\gamma \frac{L^2 B}{12}} = \frac{15 \times 15}{\frac{1.025 \times 50^2 \times 20}{12}} = 0.053m$$

Παρατήρηση

Η ακριβής συνθήκη για τον προσδιορισμό της γωνίας εγκάρσιας κλίσης φ είναι το ότι η κατακόρυφη απόσταση του σημείου A από την επιφάνεια της θάλασσας παραμένει σταθερή. Από τη γεωμετρία του σχήματος είναι:

$$h = D - T_0 = (D - T_A) \cos \varphi$$

όπου το T_A εκφράζεται όπως στην (1). Λόγω όμως της μικρής γωνίας εγκάρσιας κλίσης είναι $\cos \varphi = 1$ και χρησιμοποιήθηκε η σχέση $T_A = T_0$.

❖ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ Η/Υ

Το αρχείο εισόδου για την περίπτωση που μελετάμε είναι:

----- Main Program Variables & Constants -----					
Total Number of Bodies (NSM)					:1
Total Number of Joints (NAR)					:1
Total Number of Hulls (NGS)					:1
Total Number of Flooded Compartments (NFC)					:0
Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC)					:0
Total Number of Req. Draught Location (DRL)					:0
Maximum No. of Hulls/Body					:1
Maximum No. of Points/Hull					:0
Maximum No. of Points/Flooded Compartment					:0
Maximum No. of Bodies/Joint					:1
Maximum No. of Joints/Body					:1
Maximum No. of Forces/Body					:2
water special weight [tn/m ³] (PKNN)					:1.025000

----- Bodies Characteristics -----					
Body No.	xref	yref	L	B	H
1	2.000000	2.000000	50.000000	20.000000	0.200000

Hulls Characteristics

Body No.:1 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 | Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
2.800000	25.000000	10.000000	50.000000	20.000000

Joints Characteristics

Joint No	xj	yj	type (F/R)	zrestr
1	27.000000	2.000000	R	2.000000

Joint No.:1 | Bodies/Joint:1

Body No.	zhi
1	0.200000

External Powers & Characteristics

No. Body:1 | Power/Body:2

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	1025.000000	25.000000	10.000000	1.000000
2	15.000000	25.000000	-11.210000	24.210000

Ενώ για το 2^ο ζήτημα η ενότητα External Powers & Characteristics γίνεται:

External Powers & Characteristics

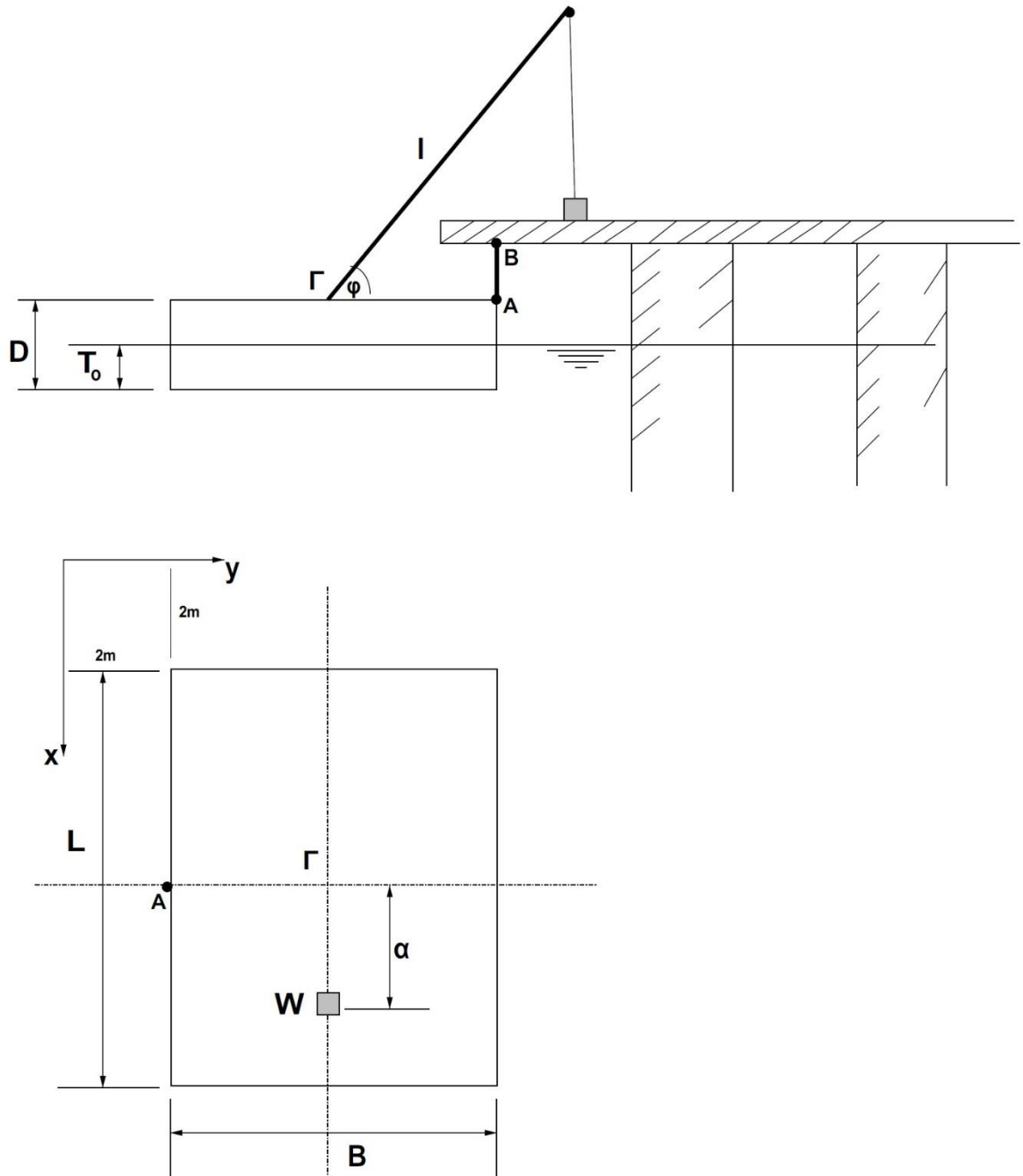
No. Body:1 | Power/Body:2

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	1025.000000	25.000000	10.000000	1.000000
2	15.000000	40.000000	0.000000	3.000000

όπου

- 2,8m είναι το κοίλο κάθε γάστρας
- 0,2m είναι το κοίλο του καταστρώματος

Το σχήμα με το οποίο προγραμματίσαμε τα παραπάνω δεδομένα είναι:



Σχήμα 8.1.5.2

Εξέδρα με μία σταθερή άρθρωση (για επίλυση μέσω H/Y)

Το πρόγραμμα για το 1^ο ζήτημα συγκλίνει στην 4^η επανάληψη και τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι:

 FINAL RESULTS

 FORCES

 JOINT 1

 F (t) BODY (1) 1 = -2.768618E+01

 JOINT 1RESTRAINED

 F (t) 2 = 2.768618E+01

 BODIES INCLINATION

BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	-1.237602E-03	0.000000E+00	-7.090932E-02	0.000000E+00

 BODIES DRAUGHT AT THE JOINT

JOINT	T (m)	dT	dTMx	dTMy
1	9.999993E-01	9.876233E-01	1.237602E-02	0.000000E+00

 GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS

BODY	1							
DISPLACEMENT(t)	=	1.012314E+03	KB (m)	=	4.938116E-01	KG (m)	=	1.289216E+00
WATER AREA (m^2)	=	1.000000E+03	LCFx (m)	=	2.500000E+01	LCFy (m)	=	1.000000E+01
BML (m)	=	2.109441E+02	LCBx (m)	=	2.500000E+01	Ixx (m^4)	=	3.333333E+04
BMT (m)	=	3.375106E+01	LCBy (m)	=	1.000000E+01	Iyy (m^4)	=	2.083333E+05
Tm (m)	=	9.876233E-01	GML (m)	=	2.101487E+02	GMT (m)	=	3.295568E+01

Για το 2^ο ζήτημα και εδώ το πρόγραμμα συγκλίνει στην 4^η επανάληψη και τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι:

 FINAL RESULTS

 FORCES

 JOINT 1

 F (t) BODY (1) 1 = -1.500016E+01

 JOINT 1RESTRAINED

 F (t) 2 = 1.500016E+01

 BODIES INCLINATION

BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	4.624661E-08	1.056193E-03	2.649736E-06	6.051537E-02

 BODIES DRAUGHT AT THE JOINT

 JOINT 1

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
1	9.999995E-01	9.999999E-01	-4.624661E-07	0.000000E+00

 GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS

 BODY 1

DISPLACEMENT(t)	=	1.025000E+03	KB (m)	=	4.999999E-01	KG (m)	=	9.999996E-01
WATER AREA (m ²)	=	1.000000E+03	LCFx (m)	=	2.500000E+01	LCFy (m)	=	1.000000E+01
BML (m)	=	2.083333E+02	LCBx (m)	=	2.500000E+01	Ixx (m ⁴)	=	3.333333E+04
BMT (m)	=	3.333333E+01	LCBy (m)	=	1.000000E+01	Iyy (m ⁴)	=	2.083333E+05
Tm (m)	=	9.999999E-01	GML (m)	=	2.078335E+02	GMT (m)	=	3.283345E+01

❖ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

			Υπολογισμοί με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής	Υπολογισμοί με H/Y	
				Αρχικός Κώδικας	Νέος Κώδικας
1° Ζήτημα	Δύναμη:	$P =$	27,6 t	27,6863	27,6861
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	-0,0012600	-0,0012375	-0,0012376
2° Ζήτημα	Εφαπτόμενη διαμήκου κλίσης:	$\tan(\theta) =$	0,00106000	0,00105619	0,00105619

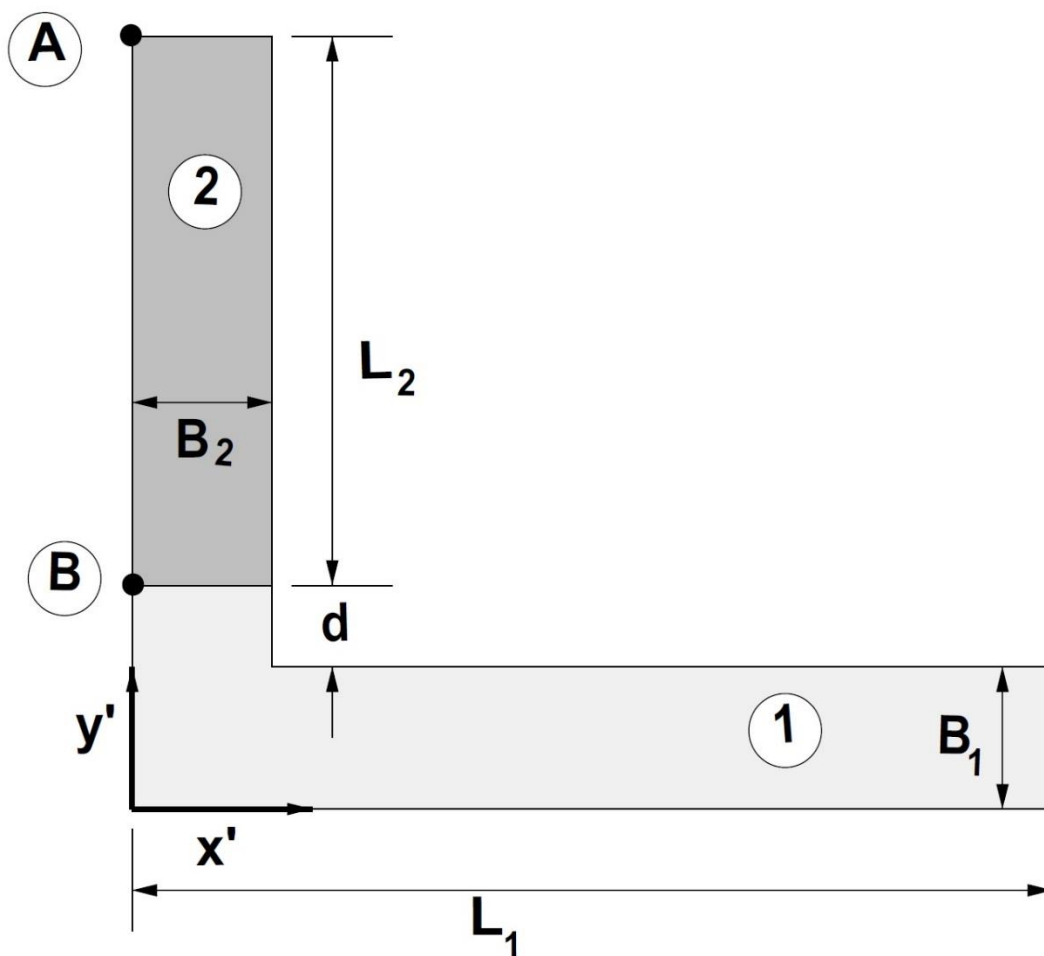
Η μικρή απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που μας δίνει η επίλυση της άσκησης με τους απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής και των αποτελεσμάτων μέσω του προγράμματος, ειδικά στην τιμή της διαμήκου κλίσης οφείλεται στην παρατήρηση που κάναμε στην 8.1 παράγραφο. Για την επίλυση μέσω των απλοποιημένων τύπων της υδροστατικής, στους υπολογισμούς στον διαμήκη άξονα έχουν χρησιμοποιηθεί απλοποιημένοι τύποι.

Για την μικρή διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων που μας δίνει ο αρχικός και ο νέος κώδικας λόγω της σταθερής άρθρωσης είναι δικαιολογημένη η απόκλιση για το 1° ζήτημα. Για το 2° ζήτημα δεν παρατηρείται κάποια διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων και αυτό οφείλεται στο ότι δεν έχουμε πλέον την επίδραση της άρθρωσης.

8.1.6. Περίπτωση δύο πλωτών εξεδρών με πολυγωνική έκκεντρη γάστρα

❖ ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Πλωτή μαρίνα που σχηματίζει γωνία, αποτελείται από τα δύο τμήματα 1 και 2 που συνδέονται μεταξύ τους με άρθρωση πάνω στο κατάστρωμα όπως φαίνεται στο σχήμα. Να υπολογισθεί η εγκάρσια κλίση και διαγωγή του τμήματος 1 όταν βάρος w τοποθετηθεί στο σημείο A του καταστρώματος του τμήματος 2.



Σχήμα 8.1.6.1

Δύο εξέδρες με την μία εκ των δύο να αποτελείται από πολυγωνική έκκεντρη γάστρα (για επίλυση με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής)

❖ ΛΥΣΗ ΜΕ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Τα δύο τμήματα θα έχουν το ίδιο βύθισμα στο σημείο της αρθρώσεως. Αν μετά την τοποθέτηση του φορτίου εξασκείται κατακόρυφη προς τα κάτω δύναμη στο τμήμα 1 μέσω της αρθρώσεως θα είναι:

$$\tan(\varphi)_1 = \frac{MT_1}{\Delta'_1 GM'_1} \quad (1)$$

Επειδή το τμήμα (1) δεν έχει διαμήκη άξονα συμμετρίας πρέπει να προσδιορισθεί πρώτα το κέντρο πλευστότητας και στη συνέχεια τα απαραίτητα υδροστατικά στοιχεία. Θεωρώντας το σύστημα αξόνων (x', y') του σχήματος έχουμε:

$$A_{w1} = B_1 L_1 + dB_2$$

$$x'_F = \frac{B_1 L_1 \cdot \frac{L_1}{2} + dB_2 \cdot \frac{B_2}{2}}{A_w}$$

$$y'_F = \frac{B_1 L_1 \cdot \frac{B_1}{2} + dB_2 \left(\frac{d}{2} + B_1 \right)}{A_w}$$

όπου A_{w1} το εμβαδόν της ισάλου επιφάνειας και x'_F, y'_F οι συντεταγμένες του κέντρου πλευστότητας. Οι δεύτερες ροπές υπολογίζονται με το θ . Steiner:

- $I_{T1} = \frac{B_1^3 L_1}{12} + \frac{d^3 B_2}{12} + B_1 L_1 \left(y'_F - \frac{B_1}{2} \right)^2 + dB_2 \left(\frac{d}{2} + B_1 - y'_F \right)^2$
- $I_{L1} = \frac{L_1^3 B_1}{12} + \frac{B_2^3 d}{12} + B_1 L_1 \left(\frac{L_1}{2} - x'_F \right)^2 + dB_2 \left(\frac{B_2}{2} - x'_F \right)^2$

Η ροπή εγκάρσιας κλίσης M_T είναι:

$$M_T = P \cdot (B_1 + d - y'_F)$$

και οι συνιστώσες του GM:

- $KB' = \frac{T_0 + \delta T_1}{2} = \frac{T_0 + \frac{P}{\gamma A_{w1}}}{2}$
- $BM' = \gamma \frac{I_{T1}}{\Delta'_1}, \Delta'_1 = \Delta_1 + P = \gamma A_w T_0 + P$
- $KG' = \frac{KG_1 \cdot \Delta_1 + D \cdot P}{\Delta'_1}$

Τέλος, η διαμήκης διαγωγή δίνεται από τη σχέση:

$$t_1 = \frac{M_L}{MT_1} = \frac{L_1 M_{L1}}{\gamma I_{L1}} = -\frac{L_1 \cdot P \cdot x'_F}{\gamma I_{L1}}$$

και το βύθισμα του τμήματος 1 στη θέση της αρθρώσεως είναι:

$$T_1 = T_0 + \delta T_1 + \tan(\phi)_1 \cdot (B + d - y'_F) + \frac{t_1}{L_1} (x'_F) \quad (2)$$

όπου τα μεγέθη δT_1 , $\tan(\phi)_1$ και t_1 έχουν εκφραστεί ως συναρτήσεις της P . Το αντίστοιχο βύθισμα του τμήματος (2) βρίσκεται από τον συνδυασμό των επιβαλλόμενων φορτίων w και P (προς τα πάνω):

$$T_2 = T_0 + \delta T_2 + \tan(\phi)_2 \cdot \frac{B_2}{2} - \frac{t_2}{2} \quad (3)$$

όπου

- $\delta T_2 = \frac{w - P}{\gamma L_2 B_2}$
- $\tan(\phi)_2 = \frac{MT_2}{\Delta'_2 GM'_2}$
- $\Delta'_2 = \gamma L_2 B_2 T_0 + w - P$
- $M_{T_2} = (w - P) \frac{B_2}{2}$
- $GM'_2 = KB'_2 + BM'_2 - KG'_2$

- $KB'_2 = \frac{T_0 + \delta T_2}{2}$
- $BM'_2 = \frac{\gamma}{\Delta'_2} \times \frac{L_2 B_2^3}{12}$
- $KG'_2 = \frac{KG_2 \cdot \Delta_{02} + D(w - P)}{\Delta'_2}$
- $\Delta_{02} = \gamma L_2 B_2 T_0$
- $t_2 = \frac{L_2 M_{L2}}{\gamma I_{L2}}$
- $I_{L2} = \frac{L_2^3 B_2}{12}$
- $M_{L2} = (W + P) \frac{L_2}{2}$

εξισώνοντας $T_1 = T_2$ βρίσκεται η δύναμη P και τα ζητούμενα μεγέθη του τμήματος 1.

Οπότε για :

- $L_1 = 40\text{m}$
- $B_1 = 10\text{m}$
- $d = 5\text{m}$
- $L_2 = 30\text{m}$
- $B_2 = 10\text{m}$
- $D = 4\text{m}$
- $T_0 = 1.5\text{m}$
- $KG = 1.5\text{m}$
- $w = 20\text{ t}$

Προκύπτει ότι :

Για το σώμα 1:

- Δύναμη στην άρθρωση: $P_1 = 2,13\text{ t}$
- Εγκάρσια κλίση: $\tan\varphi_1 = 0,003508 \rightarrow \varphi_1 = 0,201$
- Διαμήκης κλίση: $\tan\theta_1 = -0,0006021 \rightarrow \theta_1 = -0,0345$

Για το σώμα 2:

- Δύναμη στην άρθρωση: $P_2 = - 2,13\text{ t}$
- Εγκάρσια κλίση: $\tan\varphi_2 = 0,041125 \rightarrow \varphi_2 = 2,355$
- Διαμήκης κλίση: $\tan\theta_2 = 0,014626 \rightarrow \theta_2 = 0,838$

❖ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ Η/Υ

Το αρχείο εισόδου για την περίπτωση που μελετάμε είναι:

Main Program Variables & Constants

```
Total Number of Bodies (NSM)           :2
Total Number of Joints (NAR)           :1
Total Number of Hulls (NGS)            :2
Total Number of Flooded Compartments (NFC) :0
Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC) :0
Total Number of Req. Draught Location (DRL) :0
Maximum No. of Hulls/Body               :1
Maximum No. of Points/Hull             :7
Maximum No. of Points/Flooded Compartment :0
Maximum No. of Bodies/Joint            :2
Maximum No. of Joints/Body             :1
Maximum No. of Forces/Body             :2
Water special weight [tn/m³] (PKNN)     :1.025000
-----
```

Bodies Characteristics

```
Body No. |Xref      |Yref      |L      |B      |H
1         2.000000  2.000000  40.000000  15.000000  0.200000
2         2.000000  17.000000  10.000000  30.000000  0.200000
-----
```

Hulls Characteristics

Body No.:1 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 |Type:1

```
Depth      |No. of points
3.800000  7
-----
```

```
  xhi      | yhi
  0.000000  15.000000
  10.000000  15.000000
  10.000000  10.000000
  40.000000  10.000000
  40.000000   0.000000
   0.000000   0.000000
   0.000000  15.000000
-----
```

Body No.:2 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 |Type:2

```
Depth      |xh      |yh      |Lh      |Bh
-----
```

3.800000 5.000000 15.000000 10.000000 30.000000

Joints Characteristics

Joint No	xj	yj	type (F/R)	zrestr
1	2.000000	17.000000	F	0.000000

Joint No.:1 |Bodies/Joint:2

Body No.	zhi
1	0.200000
2	0.200000

External Powers & Characteristics

No. Body:1 | Power/Body:1

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	691.875000	18.333330	5.833330	1.500000

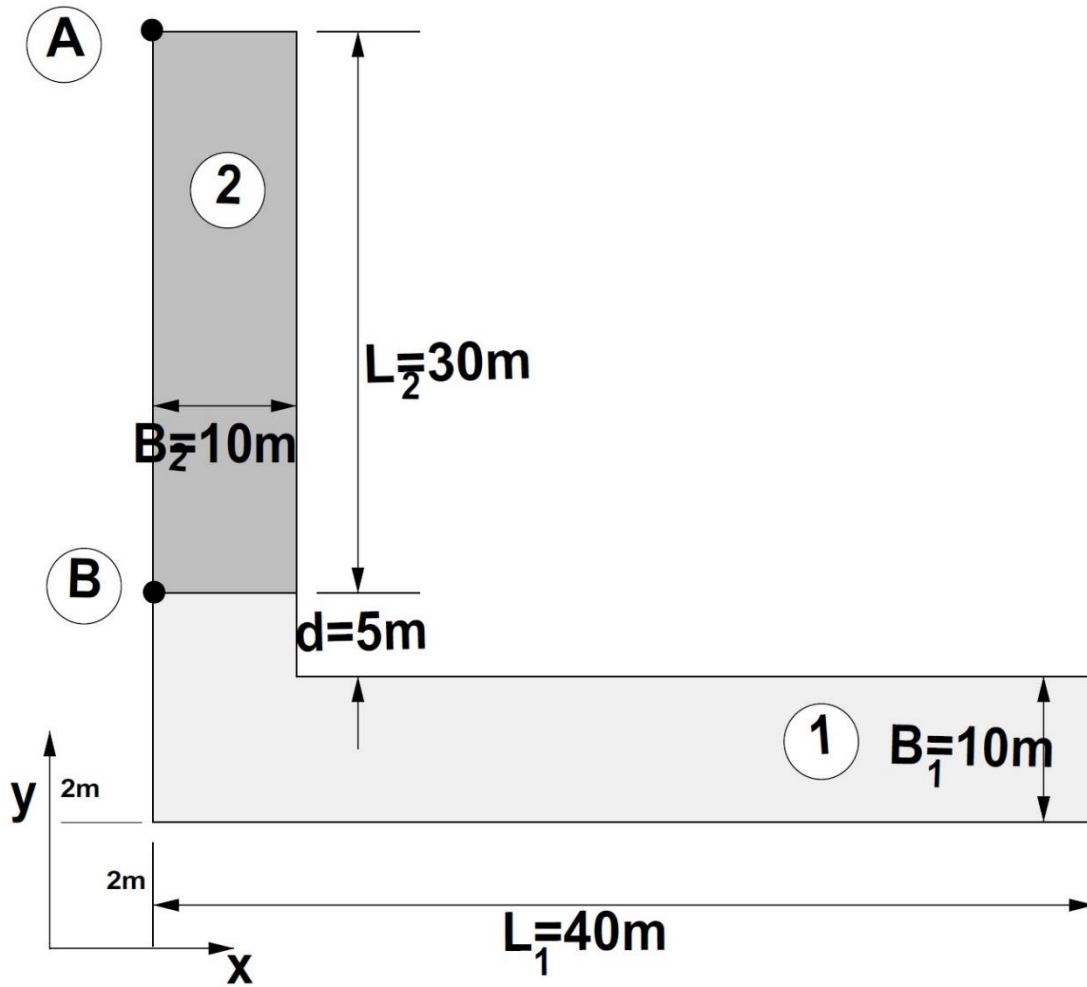
No. Body:2 | Power/Body:2

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	461.250000	5.000000	15.000000	1.500000
2	20.000000	0.000000	30.000000	4.000000

όπου

- 3,8m είναι το κοίλο κάθε γάστρας
- 0,2m είναι το κοίλο του καταστρώματος

Το σχήμα με το οποίο προγραμματίσαμε τα παραπάνω δεδομένα είναι:



Σχήμα 8.1.6.2

Δύο εξέδρες με την μία εκ των δύο να αποτελείται από πολυγωνική έκκεντρη γάστρα (για επίλυση μέσω H/Y)

Το πρόγραμμα για την παραπάνω περίπτωση συγκλίνει στην 5^η επανάληψη και τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι:

 FINAL RESULTS

 FORCES

 JOINT 1

 F (t) BODY (1) 1 = 2.038462E+00
 F (t) BODY (2) 2 = -2.038462E+00

 BODIES INCLINATION

BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	3.647706E-03	-5.727310E-04	2.089972E-01	-3.281507E-02
2	1.457775E-02	-4.125647E-02	8.351844E-01	-2.362482E+00

 BODIES DRAUGHT AT THE JOINT

 JOINT 1

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
1	1.548357E+00	1.504419E+00	3.343730E-02	1.050007E-02
2	1.546028E+00	1.558412E+00	-2.186663E-01	2.062824E-01

 GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS

 BODY 1

DISPLACEMENT(t) =	6.939135E+02	KB (m) =	7.522097E-01	KG (m) =	1.507344E+00
WATER AREA (m^2)=	4.500000E+02	LCFx (m) =	1.833333E+01	LCFy (m) =	5.833333E+00
BML (m) =	9.479639E+01	LCBx (m) =	1.833333E+01	Ixx (m^4) =	5.508255E+03
BMT (m) =	8.136405E+00	LCBy (m) =	5.833333E+00	Iyy (m^4) =	6.417609E+04
Tm (m) =	1.504419E+00	GML (m) =	9.404134E+01	GMT (m) =	7.381341E+00

 BODY 2

DISPLACEMENT(t) =	4.792115E+02	KB (m) =	7.792058E-01	KG (m) =	1.593704E+00
WATER AREA (m^2)=	3.000000E+02	LCFx (m) =	5.000000E+00	LCFy (m) =	1.500000E+01
BML (m) =	5.347325E+00	LCBx (m) =	5.000000E+00	Ixx (m^4) =	2.250000E+04
BMT (m) =	4.812593E+01	LCBy (m) =	1.500000E+01	Iyy (m^4) =	2.500000E+03
Tm (m) =	1.558412E+00	GML (m) =	4.542491E+00	GMT (m) =	4.732109E+01

❖ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

			Υπολογισμοί με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής	Υπολογισμοί με H/Y	
				Αρχικός Κώδικας	Νέος Κώδικας
BODY NO. 1	Δύναμη:	$P =$	2,13 t	2,04436	2,03846
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	0,3838	0,003365083	0,003647706
	Εφαπτόμενη διαμήκου κλίσης:	$\tan(\theta) =$	-0,00060213	-0,000057824	-0,000057273
BODY NO. 2	Δύναμη:	$P =$	-2,13 t	-2,04436	-2,03846
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	0,014620	0,01458161	0,01457775
	Εφαπτόμενη διαμήκου κλίσης:	$\tan(\theta) =$	0,041120	-0,04124274	-0,04125647

Η μικρή απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που μας δίνει η επίλυση της άσκησης με τους απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής και των αποτελεσμάτων μέσω του προγράμματος, ειδικά στην τιμή της διαμήκου κλίσης οφείλεται στην παρατήρηση που κάναμε στην 8.1 παράγραφο. Για την επίλυση μέσω των απλοποιημένων τύπων της υδροστατικής, στους υπολογισμούς στον διαμήκη άξονα έχουν χρησιμοποιηθεί απλοποιημένοι τύποι.

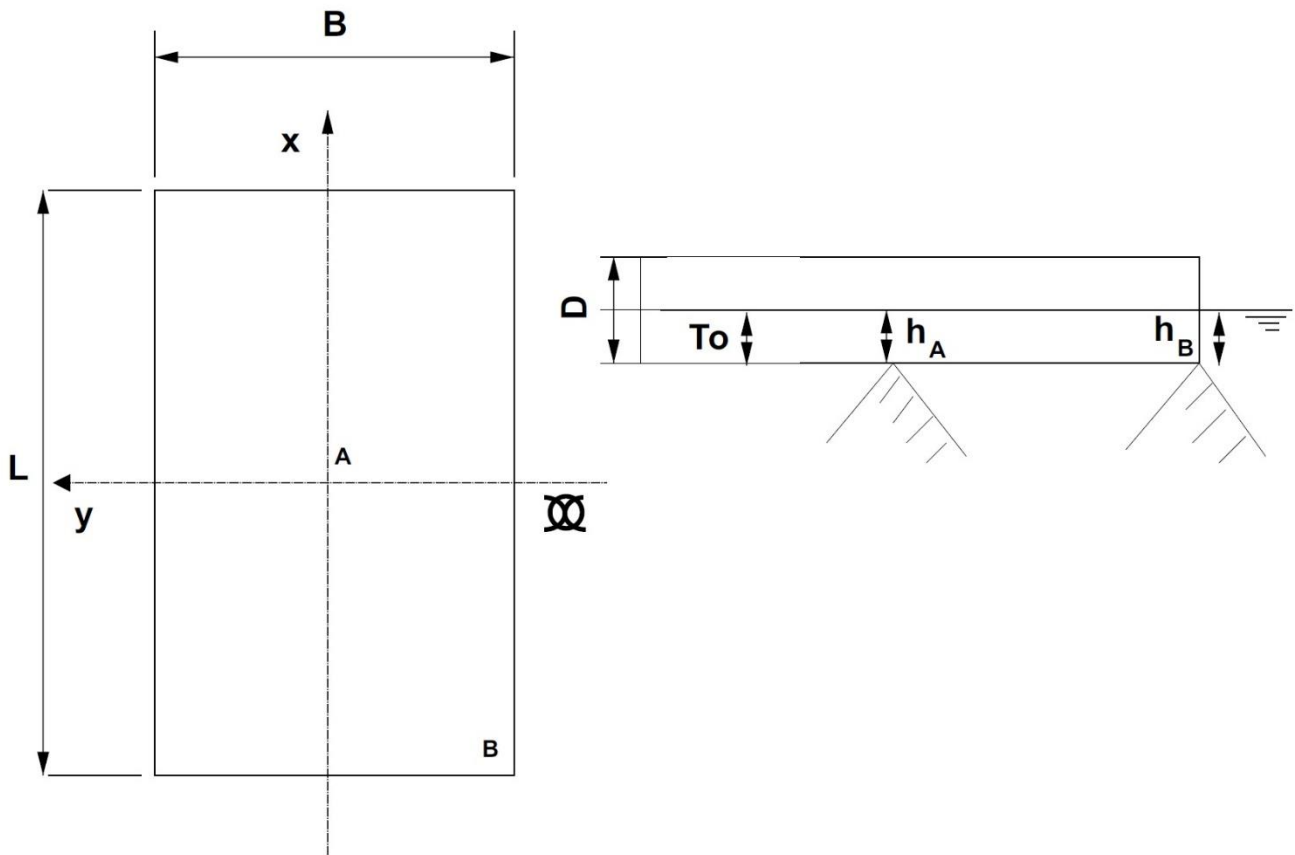
Η απόκλιση που παρατηρείται μεταξύ των τιμών που προκύπτουν από το αρχικό πρόγραμμα και το νέο πρόγραμμα οφείλονται στους δύο επόμενους λόγους:

- i. Στον νέο κώδικα λαμβάνεται υπόψιν η επίδραση του γινομένου αδράνειας, συνεπώς λόγω της πολυγωνικής μορφής της γάστρας του σώματος 1, τα αποτελέσματα θα παρουσιάζουν μία σχετική απόκλιση σε σχέση με τα αποτελέσματα του αρχικού κώδικα.
- ii. Η ύπαρξη άρθρωσης, η οποία εδώ συγκεκριμένα συνδέει τα δύο σώματα μεταξύ τους θα επηρεάσει τα αποτελέσματα που θα λάβουμε λόγω της βελτιστοποίησης του νέου κώδικα για την ανάλυση της σχέσης μιας άρθρωσης με το σώμα στο οποίο συνδέεται.

8.1.7. Περίπτωση προσαραγμένης εξέδρας (με δύο σημεία αγκύρωσης)

❖ ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Λόγω παλίρροιας η εξέδρα του σχήματος έχει προσαράξει στα σημεία A και B. Αν το βάθος του νερού στα σημεία προσάραξης είναι αντίστοιχα h_A και h_B να υπολογιστεί η εγκάρσια κλίση και η διαγωγή της εξέδρας. Όλα τα απαραίτητα στοιχεία φαίνονται στο σχήμα.



Σχήμα 8.1.7.1

Εξέδρα προσαραγμένη σε δύο σημεία (για επίλυση με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής)

❖ ΛΥΣΗ ΜΕ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Με την υπόθεση μικρών τιμών γωνίας κλίσεως και διαγωγής τα βυθίσματα στα σημεία Α και Β είναι περίπου ίσα με το αντίστοιχο βάθος του νερού, δηλαδή h_A και h_B . Αν υποθέσουμε ότι η νέα ίσαλος πλεύσης προκύπτει από την αρχική ισοβύθιστη κατάσταση (T_0) με την συνδυασμένη επιβολή παράλληλης βύθισης δT , εγκάρσιας κλίσης που αντιστοιχεί σε γωνία φ και διαγωγής t , τα βυθίσματα στα σημεία Α και Β είναι:

$$T_A = h_A = T_0 + \delta T \quad (1a)$$

$$T_B = h_B = T_0 + \delta T - \frac{t}{2} - \frac{B}{2} \tan(\varphi) \quad (1b)$$

όπου θετικές φ και t αντιστοιχούν σε ανύψωση του σημείου Β. Θεωρώντας ότι στα σημεία Α και Β του πυθμένα ενεργούν προς τα πάνω οι δυνάμεις P_A και P_B αντίστοιχα έχουμε:

$$\left. \begin{aligned} \tan\left(\varphi = \frac{M_T}{\Delta GM}\right) \\ t = \frac{M_L}{MT1} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα μεγέθη που υπεισέρχονται στις (2).

- Αρχική ροπή εγκάρσιας κλίσης:

$$M_T = P_B \cdot \frac{B}{2}$$

- Νέο εκτόπισμα:

$$\Delta = \Delta_0 - P_B - P_A = \gamma L B T_0 - P_B - P_A$$

- Νέο αρχικό μετακεντρικό ύψος:

$$GM = KB + BM - KG$$

όπου

- $KB = (T_0 + \delta T) / 2, \delta T = -(P_A + P_B) / (\gamma LB)$
- $BM = \gamma / T / \Delta, I_T = LB^3 / 12$
- $KG = (KG_0 \Delta_0) / (\Delta_0 - P_A - P_B)$

(οι ροπές ως προς το βασικό επίπεδο αναφοράς των δυνάμεων P_A και P_B είναι μηδενικές).

- Ροπή διαγωγής

$$M_L = P_B \cdot \frac{L}{2} \text{ και } MT1 = \frac{\gamma I_L}{L} = \frac{\gamma L^3 B}{12L} = \frac{\gamma L^2 B}{12} \quad (3\beta)$$

Αν αντικαταστήσουμε τα παραπάνω μεγέθη μέσω των (2), (3) στις αρχικές εξισώσεις (1) έχουμε αγνώστους τα φορτία P_A και P_B και επιλύοντας το σύστημα των (1α) και (1β) βρίσκονται οι τιμές τους, άρα και οι ζητούμενες τιμές εγκάρσιας κλίσης και διαγωγής. Από την εξίσωση (1α) βρίσκεται κατ' ευθείαν το συνολικό φορτίο $P_A + P_B$ γιατί:

$$h_A - T_0 = -\frac{P_A + P_B}{\gamma LB} \Rightarrow P_A + P_B = \gamma LB(T_0 - h_A)$$

οπότε είναι γνωστά τα μεγέθη KB, BM, KG και το εκτόπισμα Δ και η εξίσωση (1β) γίνεται πρώτου βαθμού ως προς το φορτίο P_B :

$$h_B - T_0 + \delta T = -P_B \left[\frac{1}{4MT1} + \frac{B^2}{4} \cdot \frac{1}{\Delta GM} \right]$$

οπότε εύκολα προσδιορίζεται το P_B άρα και το P_A .

Οπότε για :

- Πλάτος εξέδρας: $B = 10\text{m}$
- Μήκος εξέδρας $L = 30\text{m}$
- Πλευρικό ύψος εξέδρας: $D = 4\text{m}$
- Αρχικό βύθισμα εξέδρας: $T_o = 1,5\text{m}$
- Ύψος σημείου προσάραξης A: $h_A = 1,4\text{m}$
- Ύψος σημείου προσάραξης B: $h_B = 1,3\text{m}$

Προκύπτει ότι

- Δύναμη στο σημείο προσάραξης A:

$$P_A = - 26,057 \text{ t}$$

- Δύναμη στο σημείο προσάραξης B:

$$P_B = - 4,666 \text{ t}$$

- Εγκάρσια κλίση:

$$\tan\varphi = - 0,01074 \quad \rightarrow \quad \varphi = - 0,6153$$

- Διαμήκης κλίση:

$$\tan\theta = - 0,003087 \quad \rightarrow \quad \theta = - 0,1768$$

❖ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ Η/Υ

Το αρχείο εισόδου για την περίπτωση που μελετάμε είναι:

Main Program Variables & Constants

Total Number of Bodies (NSM)	:1
Total Number of Joints (NAR)	:2
Total Number of Hulls (NGS)	:1
Total Number of Flooded Compartments (NFC)	:0
Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC)	:0
Total Number of Req. Draught Location (DRL)	:0
Maximum No. of Hulls/Body	:1
Maximum No. of Points/Hull	:0
Maximum No. of Points/Flooded Compartment	:0
Maximum No. of Bodies/Joint	:1
Maximum No. of Joints/Body	:2
Maximum No. of Forces/Body	:1
Water special weight [tn/m ³] (PKNN)	:1.025000

Bodies Characteristics

Body No.	Xref	Yref	L	B	H
1	2.000000	2.000000	34.000000	14.000000	0.200000

Hulls Characteristics

Body No.:1 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 |Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
3.800000	15.000000	5.000000	30.000000	10.000000

Joints Characteristics

Joint No	xj	yj	type (F/R)	Zrestr
1	17.000000	7.000000	R	-1.400000
2	32.000000	12.000000	R	-1.300000

Joint No.:1 |Bodies/Joint:1

Body No.	zhi
1	-3.800000

Joint No.:2 | Bodies/Joint:1

Body No. | zhi
1 | -3.800000

External Powers & Characteristics

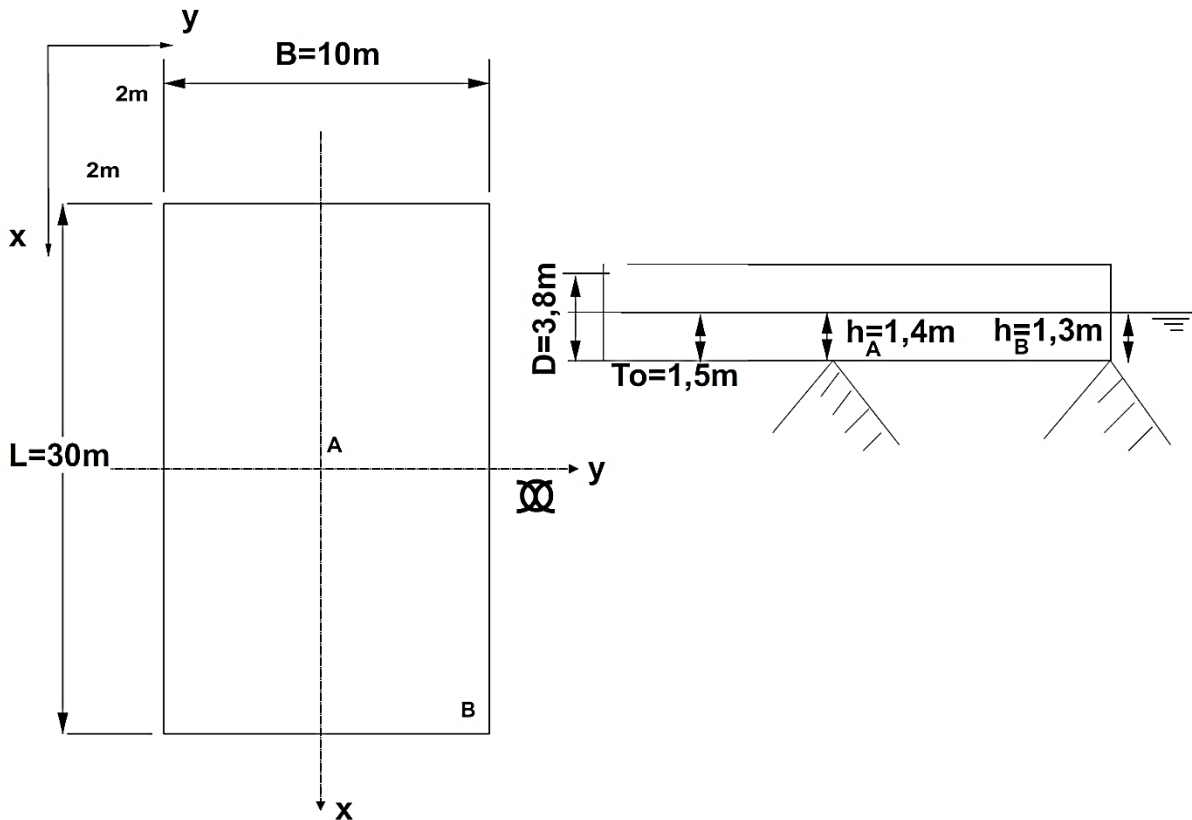
No. Body:1 | Power/Body:1

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	461.250000	15.000000	5.000000	1.500000

όπου

- 3,8m είναι το κοίλο κάθε γάστρας
- 0,2m είναι το κοίλο του καταστρώματος

Το σχήμα με το οποίο προγραμματίσαμε τα παραπάνω δεδομένα είναι:



Σχήμα 8.1.7.2

Εξέδρα προσαραγμένη σε δύο σημεία (για επίλυση μέσω H/Y)

Το πρόγραμμα για την παραπάνω περίπτωση συγκλίνει στην 5^η επανάληψη και τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι:

FINAL RESULTS

FORCES

JOINT 1

F (t) BODY (1) 1 = -2.611153E+01

JOINT 2

F (t) BODY (1) 2 = -4.665380E+00

JOINT 1RESTRAINED

F (t) 3 = 2.611153E+01

JOINT 2RESTRAINED

F (t) 4 = 4.665381E+00

BODIES INCLINATION

BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	-1.073886E-02	-3.086631E-03	-6.152678E-01	-1.768504E-01

BODIES DRAUGHT AT THE JOINT

JOINT	T (m)	dT	dTMx	dTMy
1	1.399912E+00	1.399912E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
2	1.299919E+00	1.399912E+00	-5.369432E-02	-4.629947E-02

GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS

BODY	1				
DISPLACEMENT(t)	=	4.304731E+02	KB (m)	=	6.999562E-01
KG (m)	=	1.607243E+00	LCFx (m)	=	1.500000E+01
WATER AREA (m^2)	=	3.000000E+02	LCBy (m)	=	5.000000E+00
BML (m)	=	5.357478E+01	GML (m)	=	5.266809E+01
BMT (m)	=	5.952753E+00	GMT (m)	=	5.046064E+00
Tm (m)	=	1.399912E+00	Ixx (m^4)	=	2.500000E+03
			Iyy (m^4)	=	2.250000E+04

❖ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

			Υπολογισμοί με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής	Υπολογισμοί με H/Y		
				Αρχικός Κώδικας	Νέος Κώδικας	
BODY NO. 1	Δύναμη:	$P_A =$	-26,0570 t	-26,0570	-26,1115	
		$P_B =$	-4,66660 t	-4,66660 t	-4,66538	
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:		$\tan(\varphi) =$	-0,010740	-0,010740040	-0,01073886
	Εφαπτόμενη διαμήκου κλίσης:		$\tan(\theta) =$	-0,003087	-0,003087068	-0,003086631

Η μικρή απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που μας δίνει η επίλυση της άσκησης με τους απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής και των αποτελεσμάτων μέσω του προγράμματος, ειδικά στην τιμή της διαμήκου κλίσης οφείλεται στην παρατήρηση που κάναμε στην 8.1 παράγραφο. Για την επίλυση μέσω των απλοποιημένων τύπων της υδροστατικής, στους υπολογισμούς στον διαμήκη άξονα έχουν χρησιμοποιηθεί απλοποιημένοι τύποι.

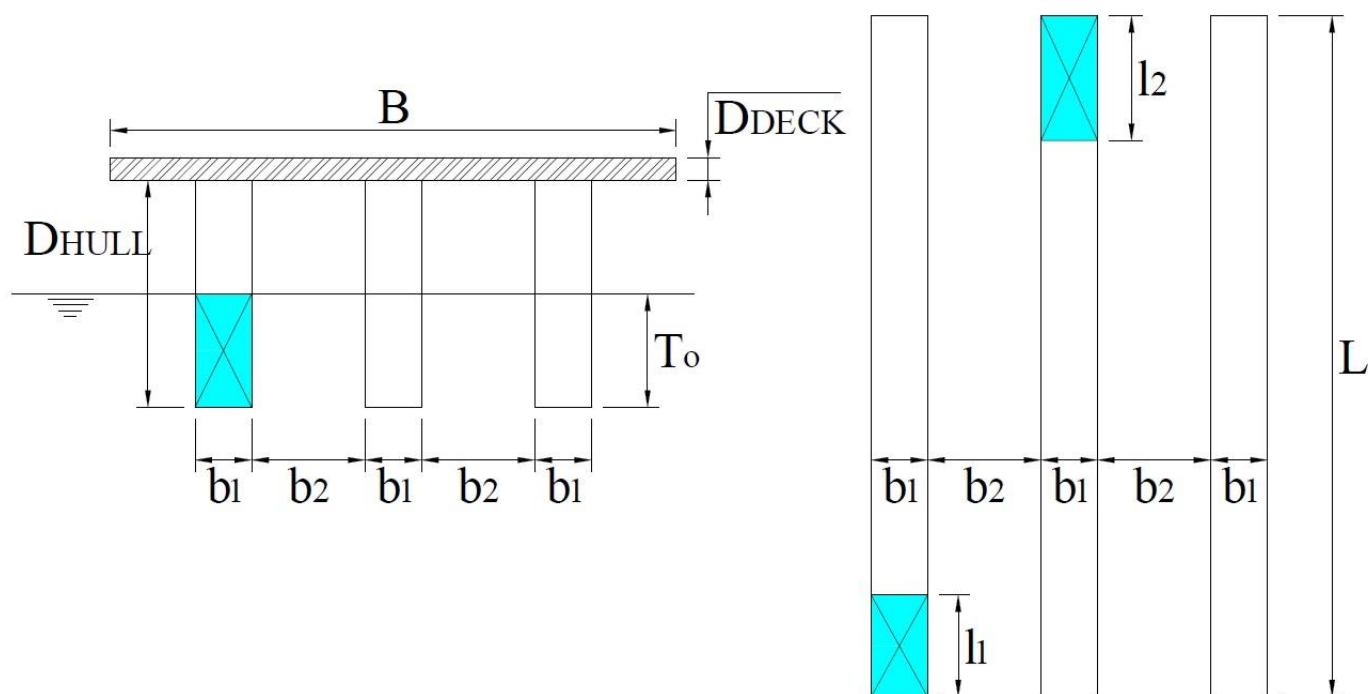
Η απόκλιση που παρατηρείται μεταξύ των τιμών που προκύπτουν από το αρχικό πρόγραμμα και το νέο πρόγραμμα οφείλονται στα σημεία προσάραξης τα οποία λαμβάνονται ως σταθερές αρθρώσεις και θα επηρεάσουν τα αποτελέσματα που θα λάβουμε λόγω της βελτιστοποίησης του νέου κώδικα για την ανάλυση της σχέσης μιας άρθρωσης με το σώμα στο οποίο συνδέεται.

8.2. Περιπτώσεις ευστάθειας σωμάτων με κατάκλυση

8.2.1. Περίπτωση πλωτής εξέδρας με δύο κατακλυζόμενες γάστρες

❖ ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Να βρεθεί η διαγωγή και η εγκάρσια κλίση της εξέδρας του σχήματος όταν κατακλυσθούν ταυτόχρονα οι δεξαμενές 1 και 2. Όλα τα απαραίτητα στοιχεία φαίνονται στο σχήμα.



Σχήμα 8.2.1.1

Εξέδρα τριών γαστρών εκ των οποίων οι δύο διαθέτουν διαμέρισμα με κατάκλυση (για επίλυση με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής)

❖ ΛΥΣΗ ΜΕ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Η άσκηση λύνεται με τη μέθοδο της χαμένης αντώσεως.

Όγκος νερού κατακλύσεως:

$$U = T_o b_1 (l_1 + l_2)$$

Χαρακτηριστικά της νέας ισάλου πλεύσεως σε πρώτη προσέγγιση:

$$A_{w1} = A_w - \mu_s \cdot a = 3Lb_1 - b_1(l_1 + l_2)$$

Οι συντεταγμένες του νέου κέντρου πλευστότητας $(x_{F1} \ y_{F1})$ βρίσκονται με την εφαρμογή του θεωρήματος των ροπών ως προς το σύστημα αξόνων που διέρχεται από το αρχικό $(x_F \ y_F)$:

$$A_{w1} \cdot y_{F1} - l_1 b_1 \cdot (b_1 + b_2) = 0$$

$$\Rightarrow y_{F1} = \frac{l_1 b_1 \cdot (b_1 + b_2)}{A_{w1}}$$

$$A_{w1} \cdot x_{F1} - l_1 b_1 \left(\frac{L-l_1}{2}\right) + l_2 b_1 \left(\frac{L-l_2}{2}\right) = 0$$

$$\Rightarrow x_{F1} = \frac{l_1 b_1 \left(\frac{L-l_1}{2}\right) + l_2 b_1 \left(\frac{L-l_2}{2}\right)}{A_{w1}}$$

Υπολογισμός δεύτερων ροπών ως προς το νέο κέντρο πλευστότητας:

$$I'_T = 3 \frac{Lb_1^3}{12} + 2Lb_1(b_1 + b_2)^2 - \frac{l_1 b_1^3}{12} - \frac{l_2 b_2^3}{12} - l_1 b_1 (b_1 + b_2)^2 - A_{w1} \cdot y_{F1}^2$$

$$I'_L = 3 \frac{L^3 b_1}{12} - \frac{l_1^3 b_1}{12} - \frac{l_2^3 b_2}{12} - l_1 b_1 \left(\frac{L-l_1}{2}\right)^2 - l_2 b_1 \left(\frac{L-l_2}{2}\right)^2 - A_{w1} \cdot x_{F1}^2$$

Η γωνία εγκάρσιας κλίσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\tan \varphi = \frac{M_T}{\Delta \cdot GM}$$

όπου:

$$\bullet \quad M_T = \gamma l_1 b_1 T_o [b_1 + b_2 + y_{F1}] + \gamma l_2 b_1 T_o y_{F1}$$

(θετική για βύθιση της δεξαμενής 1)

$$\bullet \quad \Delta = \Delta_o = 3\gamma L b_1 T_o$$

$$\bullet \quad GM = KB + BM - KG$$

$$\bullet \quad KB = \frac{T_o + \delta T}{2} \quad \text{με} \quad \delta T = \frac{U}{A_{w1}}$$

$$\bullet \quad BM = \frac{\gamma}{\Delta} I'_T$$

$$\bullet \quad KG = KG_o \quad (\text{αφού δεν έχουμε προσθαφαίρεση φορτίων})$$

Η διαγωγή t βρίσκεται από τη σχέση:

$$t = \frac{M_L}{MT1}$$

όπου:

$$\bullet \quad MT1 = \frac{\gamma I'_L}{L} \quad \text{και}$$

$$\bullet \quad M_L = \gamma l_1 b_1 T_o \left[\frac{L-l_1}{2} + x_{F1} \right] - \gamma l_2 b_1 T_o \left[\frac{L-l_2}{2} - x_{F1} \right]$$

(θετική για βύθιση της δεξαμενής 1)

Εφαρμογή:

- L = 6m
- B = 5m
- l_1 = 0.9m
- l_2 = 1.1m
- b_1 = 0,5m
- b_2 = 1m
- D_{HULL} = 2m
- D_{DECK} = 0.5m
- KG_o = 1,5m
- μ_s = 1

με τα προηγούμενα δεδομένα και τις σχέσεις που περιεγράφηκαν προκύπτει:

- $U = 1 \text{ m}^2$
- $A_{w1} = 8 \text{ m}^2$
- $y_{F1} = 0,08437 \text{ m}$
 $x_{F1} = 0,025 \text{ m}$
- $I'_T = 12,5972 \text{ m}^4$
 $I'_L = 20,6817 \text{ m}^4$
- $M_T = 0,7783 \text{ m}$
- $M_L = 0,4100 \text{ m}$
- $\Delta = \Delta_0 = 9,225 \text{ t}$
- $\delta T = 0,125 \text{ m}$
- $KB = 0,5625 \text{ m}$
- $BM = 1,3996 \text{ m}$
- $KG = KG_o = 1,5 \text{ m}$
- $MT1 = 3,4791 \text{ m}$

Η διαγωγή υπολογίζεται:

$$t = 0,11785 \text{ m}$$

Και η γωνία διαμήκουσ κλίσης:

$$\tan \theta = 0,01964 \quad \rightarrow \quad \theta = 1,125^\circ$$

Τέλος, η γωνία εγκάρσιας κλίσης υπολογίζεται:

$$\tan \varphi = 0,1825 \quad \rightarrow \quad \varphi = 10,342^\circ$$

❖ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ Η/Υ

Το αρχείο εισόδου για την περίπτωση που μελετάμε είναι:

Main Program Variables & Constants

```
Total Number of Bodies (NSM)           :1
Total Number of Joints (NAR)           :0
Total Number of Hulls (NGS)           :3
Total Number of Flooded Compartments (NFC) :2
Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC) :1
Total Number of Req. Draught Location (DRL) :0
Maximum No. of Hulls/Body              :3
Maximum No. of Points/Hull             :0
Maximum No. of Points/Flooded Compartment :0
Maximum No. of Bodies/Joint            :0
Maximum No. of Joints/Body             :0
Maximum No. of Forces/Body             :1
Water special weight [tn/m³] (PKNN)    :1.025000
-----
```

Bodies Characteristics

```
Body No. |Xref      |Yref      |L      |B      |H
1         5.000000  5.000000  6.000000  5.000000  0.500000
-----
```

Hulls Characteristics

Body No.:1 | Hulls/Body:3

Hull No.:1 |Type:2

```
Depth      |xh      |yh      |Lh      |Bh
2.000000   3.000000  0.250000  6.000000  0.500000
-----
```

Hull No.:2 |Type:2

```
Depth      |xh      |yh      |Lh      |Bh
2.000000   3.000000  1.750000  6.000000  0.500000
-----
```

Hull No.:3 |Type:2

```
Depth      |xh      |yh      |Lh      |Bh
2.000000   3.000000  3.250000  6.000000  0.500000
-----
```

External Powers & Characteristics

No. Body:1 | Power/Body:1

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	9.225000	3.000000	1.750000	1.500000

Flooded Compartments Characteristics

Compartment No.:1 | Body No.:1 | Hull No.:1 | Type:2 | Permability:1.000

xh	yh	Lh	Bh
0.450000	0.250000	0.900000	0.500000

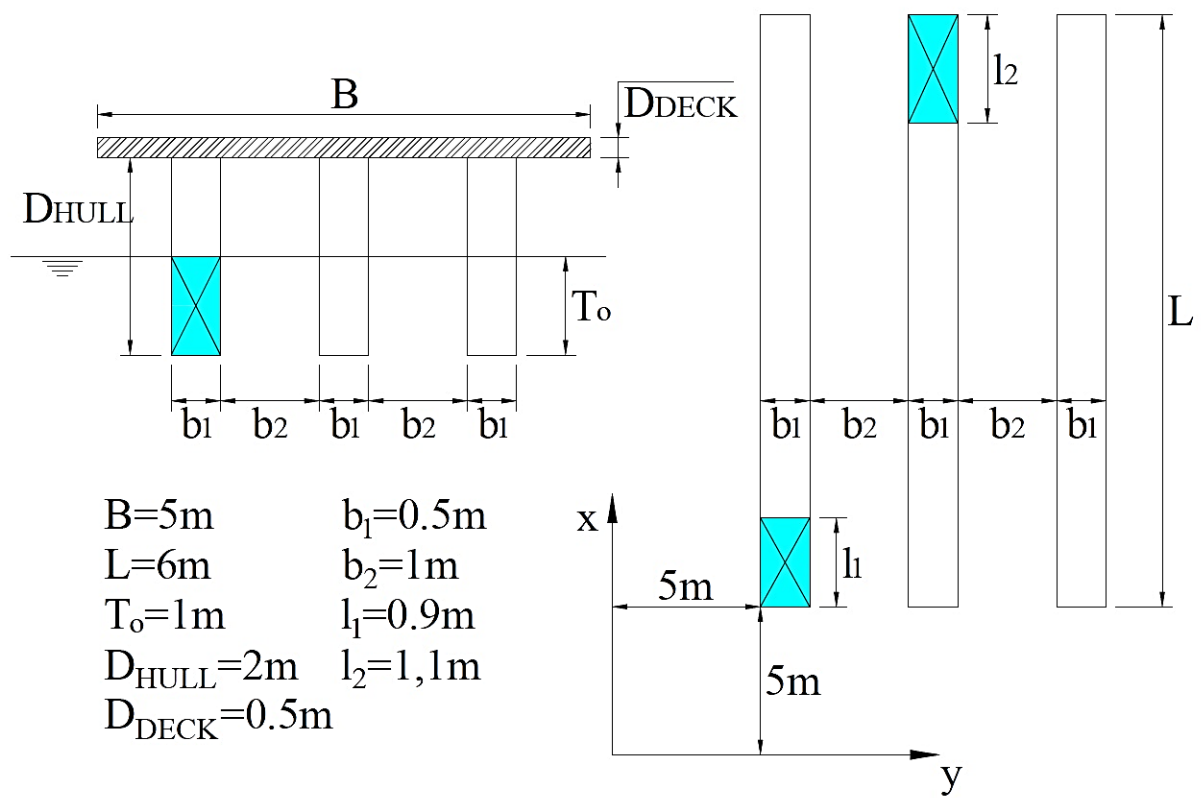
Compartment No.:2 | Body No.:1 | Hull No.:2 | Type:2 | Permability:1.000

xh	yh	Lh	Bh
5.450000	1.750000	1.100000	0.500000

όπου

- 2m είναι το κοίλο κάθε γάστρας
- 0,5m είναι το κοίλο του καταστρώματος

Το σχήμα με το οποίο προγραμματίσαμε τα παραπάνω δεδομένα είναι:



Σχήμα 8.2.1.2

Εξέδρα τριών γαστρών εκ των οποίων οι δύο διαθέτουν διαμέρισμα με κατάκλυση (για επίλυση μέσω H/Y)

Το πρόγραμμα για την παραπάνω περίπτωση συγκλίνει στην 3^η επανάληψη και τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι:

FINAL RESULTS

BODIES INCLINATION

BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	-1.881838E-01	1.758443E-02	-1.065750E+01	1.007410E+00

FLOODING COMPARTMENTS CHARACTERISTICS

COMPARTMENT 1

LOCATION :	BODY	1		
	HULL	1		
WATER AREA	(m ²) =	0.450000	PERMABILITY (%) =	100.0000
TOTAL VOLUME	(m ³) =	0.5062500	NET VOLUME (m ³) =	0.5062500

COMPARTMENT 2

LOCATION :	BODY	1		
	HULL	2		
WATER AREA	(m ²) =	0.550000	PERMABILITY (%) =	100.0000
TOTAL VOLUME	(m ³) =	0.6187501	NET VOLUME (m ³) =	0.6187501

GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS

BODY 1

DISPLACEMENT(t)	=	9.225000E+00	KB (m)	=	5.625001E-01	KG (m)	=	1.500000E+00
WATER AREA	(m ²) =	9.000000E+00	LCFx (m)	=	2.975000E+00	LCFy (m)	=	1.834375E+00
BML	(m) =	2.334751E+00	LCBx (m)	=	2.975000E+00	Ixx (m ⁴)	=	1.225259E+01
BMT	(m) =	1.361398E+00	LCBy (m)	=	1.834375E+00	Iyy (m ⁴)	=	2.101276E+01
Tm	(m) =	1.125000E+00	GML (m)	=	1.421718E+00	GMT (m)	=	4.483651E-01

❖ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

				Υπολογισμοί με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής	Υπολογισμοί με H/Y
BODY NO. 1	<i>Δύναμη:</i>	P =	-	-	
	<i>Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:</i>	tan(φ) =	0,18250	-0,1881838	
	<i>Εφαπτόμενη διαμήκου κλίσης:</i>	tan(θ)=	0,01964	0,01758443	

Στην επίλυση του προβλήματος με τους κλασσικούς τύπους της υδροστατικής έχει θεωρηθεί θετική η διαμήκης κλίση για βύθιση της δεξαμενής 1, ενώ στην λύση μέσω του προγράμματος θετική έχει θεωρηθεί η θετική φορά των αξόνων (σχήμα 8.2.1.2), δηλαδή η αντίθετη. Αυτό δικαιολογεί και την διαφορά των πρόσημων της $\tan\varphi$.

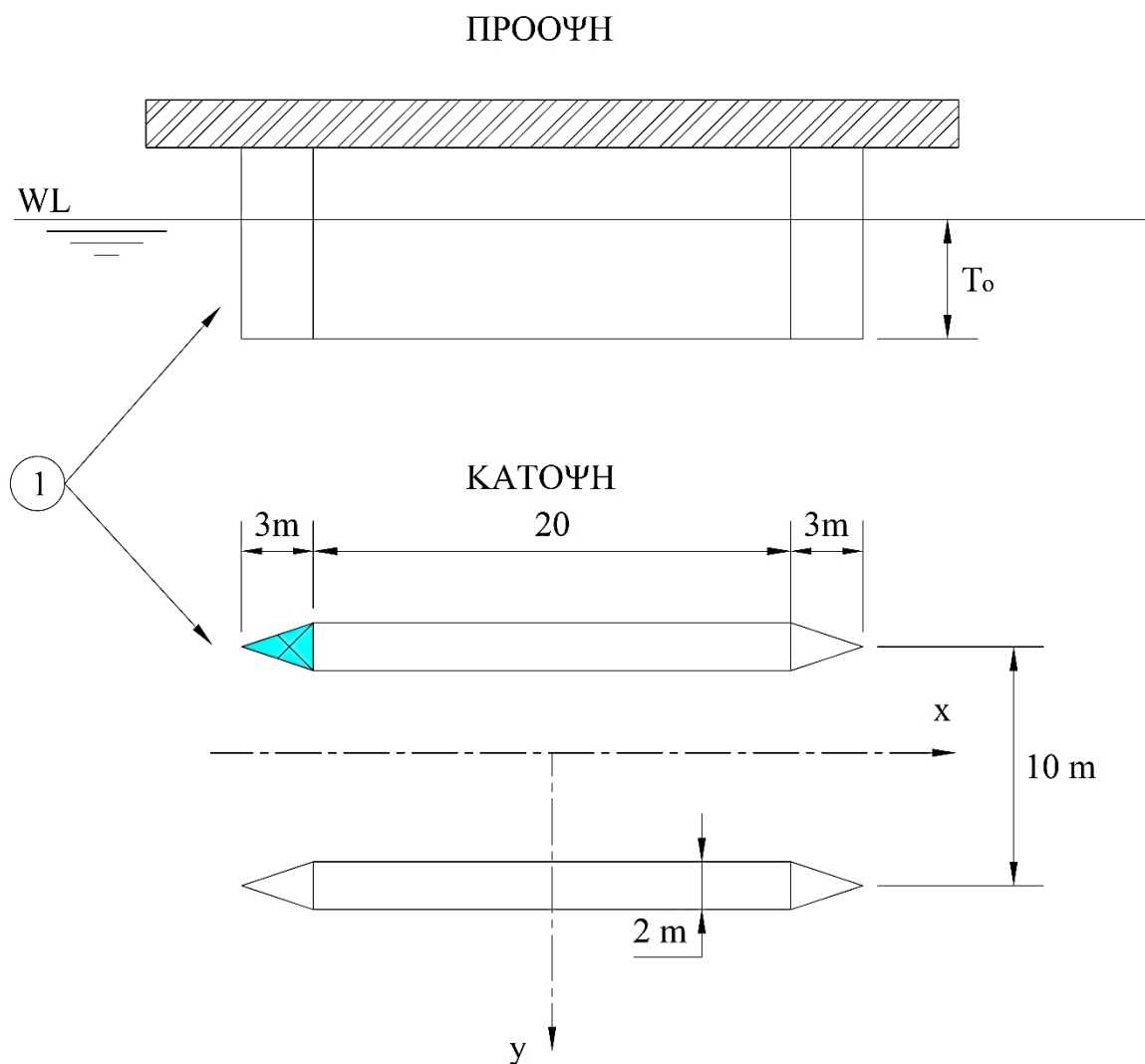
Η μικρή απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που μας δίνει η επίλυση της άσκησης με τους απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής και των αποτελεσμάτων μέσω του προγράμματος, ειδικά στην τιμή της διαμήκου κλίσης οφείλεται στην παρατήρηση που κάναμε στην 8.1 παράγραφο. Για την επίλυση μέσω των απλοποιημένων τύπων της υδροστατικής, στους υπολογισμούς στον διαμήκη άξονα έχουν χρησιμοποιηθεί απλοποιημένοι τύποι.

Παράλληλα στην επίλυση του προβλήματος μέσω του προγράμματος λαμβάνεται υπόψιν η επίδραση του γινομένου αδράνειας, συνεπώς λόγω της των διαμερισμάτων όπου κατακλύζονται, τα αποτελέσματα θα παρουσιάζουν μία σχετική απόκλιση σε σχέση με τα αποτελέσματα από την επίλυση μέσω της αναλυτικής μεθόδου.

8.2.2. Περίπτωση πλωτής εξέδρας με κατάκλυση πολυγωνικής γάστρας

❖ ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Να υπολογιστεί η εγκάρσια κλίση και διαγωγή της πλωτής εξέδρας του σχήματος όταν κατακλυσθεί η αρχικά κενή δεξαμενή Νο. 1. Οι απαραίτητες διαστάσεις δίνονται στο σχήμα που ακολουθεί. Επιπλέον είναι δεδομένα:



Σχήμα 8.2.2.1

Εξέδρα δύο γαστρών εκ των οποίων η μία διαθέτει διαμέρισμα σε κατάκλυση (για επίλυση με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής)

❖ ΛΥΣΗ ΜΕ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Ακολουθώντας τη μεθοδολογία της χαμένης αντώσεως βρίσκουμε αρχικά όλα τα απαραίτητα γεωμετρικά στοιχεία της νέας ισάλου πλευσεως:

- Επιφάνεια κατακλυσθέντος διαμερίσματος:

$$a = \frac{1}{2} \times 3 \times 2 = 3 \text{ m}^2$$

- Επιφάνεια νέας ισάλου (μετά την κατάκλυση)

$$A_{w1} = A_w - \mu_s \cdot a = 2 \times [20 \times 2 + 2 \times 3] - 3 = 89 \text{ m}^2$$

- Συντεταγμένες του νέου κέντρου πλευστότητας, ως προς το αρχικό σύστημα αξόνων (x, y):

$$x_{F1} = \frac{3 \times [10 + 1]}{89} = 0,37 \text{ m}$$

$$y_{F1} = \frac{3 \times 5}{89} = 0,168 \text{ m}$$

- Δεύτερες ροπές αδράνειας ισάλου πλευσεως μετά την κατάκλυση ως προς το νέο αρχικό κέντρο πλευστότητας:

$$I'_T = 2 \times \left[\frac{20 \times 2^3}{12} + 2 \times 20 \times 5^2 \right] + 8 \times \frac{3 \times 1^3}{36} + 4 \times \frac{1}{2} \times 1 \times 3 \times \left[5 + \frac{1}{3} \right]^2 +$$

$$+ 4 \times \frac{1}{2} \times 1 \times 3 \times \left[5 - \frac{1}{3} \right]^2 - A_{w1} \cdot y_{F1}^2 = 2325,56 \text{ m}^4$$

$$I'_L = 2 \times \left[\frac{2 \times 20^3}{12} + 4 \times \frac{3^3 \times 1}{36} + 4 \times \frac{1}{2} \times 3 \times 1 \times \left[10 + \frac{1}{2} \right]^2 \right] - A_{w1} \cdot x_{F1}^2 = 3940,98 \text{ m}^4$$

(ροπή αδράνειας ορθογωνίου τριγώνου $b \times h$ ως προς το κέντρο επιφάνειας

του: $i = \frac{b \times h^3}{36}$)

- Όγκος νερού κατακλύσεως:

$$U = a \cdot T_o = 3 \times 1,5 = 4,5 \text{ m}^3$$

- Νέο μετακεντρικό ύψος:

$$GM = KB + BM - KG$$

όπου:

$$\begin{aligned} - KB &= \frac{T_o + \delta T}{2} = \frac{1,5 + \frac{\gamma U}{A_{w1}}}{2} = 0,781 \text{ m} \\ - BM &= \frac{I'_T}{\nabla} = \frac{I'_T}{A_{w1} \cdot T_o} = \frac{2325,56}{92 \times 1,5} = 16,85 \text{ m} \\ - KG &= KG_o = 1,5 \text{ m} \end{aligned}$$

άρα

$$GM = 0,781 + 16,85 - 1,5 = 16,131 \text{ m}$$

- Και η γωνία εγκάρσιας κλίσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\tan \varphi = \frac{M_T}{\Delta GM} = \frac{\gamma U [5 + y_{F1}]}{\gamma \Delta GM} = \frac{4,5 \times 5,168}{92 \times 1,5 \times 16,131}$$

από την οποία βρίσκεται ότι

$$\tan \varphi = 0,01047 \quad \rightarrow \quad \varphi = 0,6^\circ$$

- Η διαγωγή της εξέδρας βρίσκεται από τη σχέση:

$$t = \frac{M_L}{MT1} = \frac{\gamma U [11 + y_{F1}]}{\gamma I'_L / L} = \frac{4,5 \times 11,37 \times 26}{3940,98} = 0,338 \text{ m}$$

και η γωνία διαμήκου κλίσης, μέσω της διαγωγής προκύπτει:

$$\tan \theta = \frac{t}{L} = \frac{0,338}{26}$$

$$\tan \theta = 0,013 \quad \rightarrow \quad \theta = 0,744^\circ$$

❖ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ Η/Υ

Το αρχείο εισόδου για την περίπτωση που μελετάμε είναι:

Main Program Variables & Constants

```
Total Number of Bodies (NSM)           :1
Total Number of Joints (NAR)           :0
Total Number of Hulls (NGS)            :2
Total Number of Flooded Compartments (NFC) :1
Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC) :1
Total Number of Req. Draught Location (DRL) :0
Maximum No. of Hulls/Body               :2
Maximum No. of Points/Hull              :7
Maximum No. of Points/Flooded Compartment :4
Maximum No. of Bodies/Joint             :0
Maximum No. of Joints/Body              :0
Maximum No. of Forces/Body              :1
Water special weight [tn/m³] (PKNN)     :1.025000
```

Bodies Characteristics

```
Body No. |Xref      |Yref      |L      |B      |H
1         5.000000  5.000000  38.000000  16.000000  0.200000
```

Hulls Characteristics

Body No.:1 | Hulls/Body:2

Hull No.:1 |Type:1

```
-----
Depth      |No. of points
4.800000  7
```

```
-----
xhi      | yhi
6.000000  3.000000
9.000000  4.000000
29.000000  4.000000
32.000000  3.000000
29.000000  2.000000
9.000000  2.000000
6.000000  3.000000
```

Hull No.:2 |Type:1

```
-----
Depth      |No. of points
4.800000  7
```

```
-----
xhi      | yhi
6.000000  13.000000
9.000000  14.000000
```

29.000000	14.000000
32.000000	13.000000
29.000000	12.000000
9.000000	12.000000
6.000000	13.000000

External Powers & Characteristics

No. Body:1 | Power/Body:1

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	141.450000	19.000000	8.000000	1.500000

Flooded Compartments Characteristics

Compartment No.:1 | Body No.:1 | Hull No.:1 | Type:1 | Permability:1.000

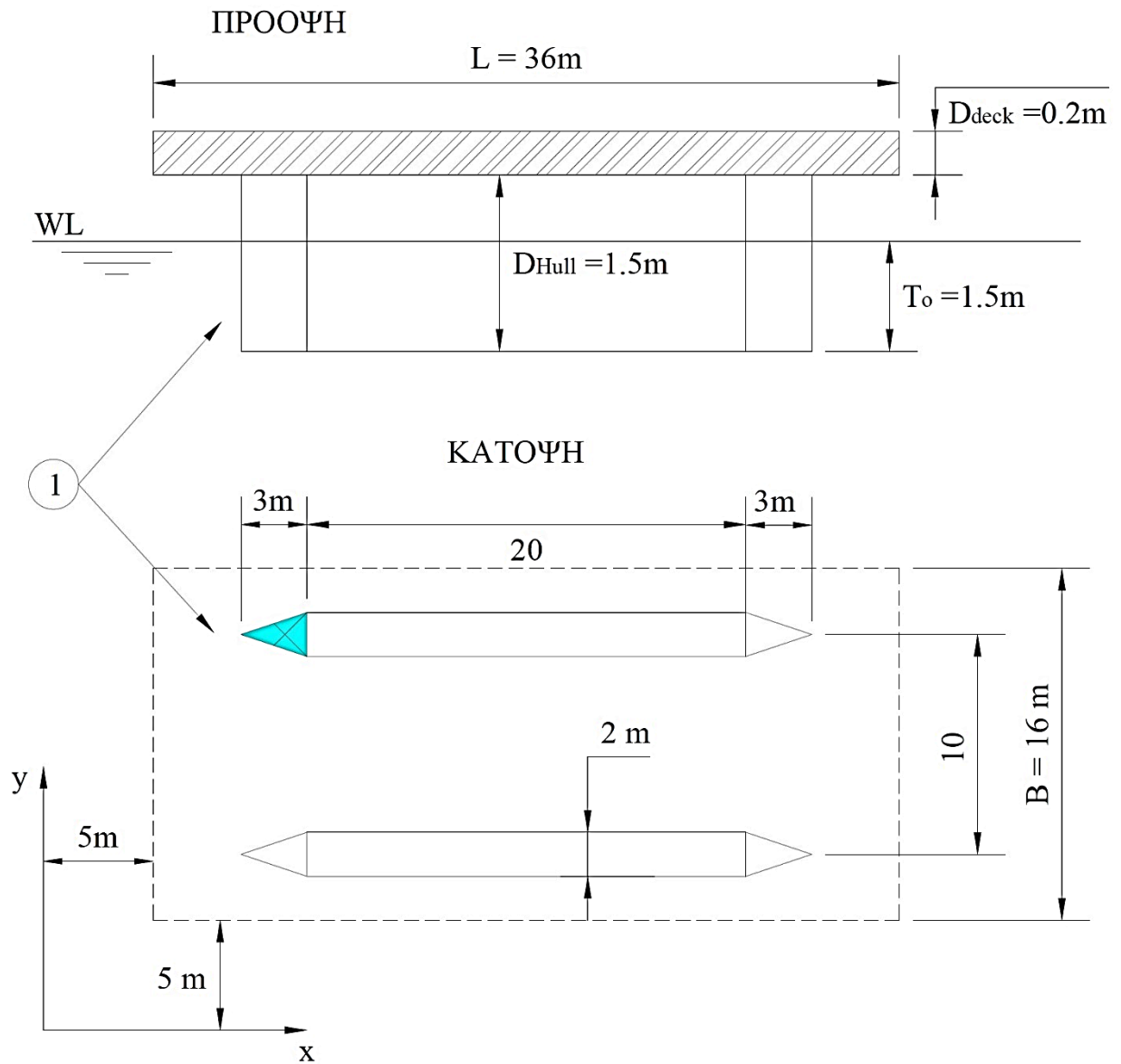
No. of points:4

xhi	yhi
9.000000	14.000000
9.000000	12.000000
6.000000	13.000000
9.000000	14.000000

όπου

- 4,8m είναι το κοίλο κάθε γάστρας
- 0,2m είναι το κοίλο του καταστρώματος

Το σχήμα με το οποίο προγραμματίσαμε τα παραπάνω δεδομένα είναι:



Σχήμα 8.2.2.2

Εξέδρα δύο γαστρών εκ των οποίων η μία διαθέτει διαμέρισμα σε κατάκλυση (για επίλυση μέσω H/Y)

Το πρόγραμμα για την παραπάνω περίπτωση συγκλίνει στην 3^η επανάληψη και τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι:

 FINAL RESULTS

 BODIES INCLINATION

BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	1.090946E-02	-1.395241E-02	6.250411E-01	-7.993625E-01

 FLOODING COMPARTMENTS CHARACTERISTICS

 COMPARTMENT 1

LOCATION :	BODY	1		
	HULL	1		
WATER AREA	(m ²) =	3.000000	PERMABILITY (%) =	100.0000
TOTAL VOLUME	(m ³) =	4.651685	NET VOLUME (m ³) =	4.651685

 GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS

 BODY 1

DISPLACEMENT (t) =	1.414500E+02	KB (m) =	7.752809E-01	KG (m) =	1.500000E+00
WATER AREA (m ²) =	9.200000E+01	LCFx (m) =	1.937079E+01	LCFy (m) =	7.831461E+00
BML (m) =	2.729619E+01	LCBx (m) =	1.937079E+01	Ixx (m ⁴) =	2.231453E+03
BMT (m) =	1.616995E+01	LCBy (m) =	7.831461E+00	Iyy (m ⁴) =	3.766875E+03
Tm (m) =	1.550562E+00	GML (m) =	2.657509E+01	GMT (m) =	1.544885E+01

❖ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

				Υπολογισμοί με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής	Υπολογισμοί με H/Y
BODY NO. 1	<i>Δύναμη:</i>	P =	-	-	
	<i>Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:</i>	<i>tan(φ) =</i>	0,01047	0,01090946	
	<i>Εφαπτόμενη διαμήκου κλίσης:</i>	<i>tan(θ) =</i>	-0,01300	-0,01395241	

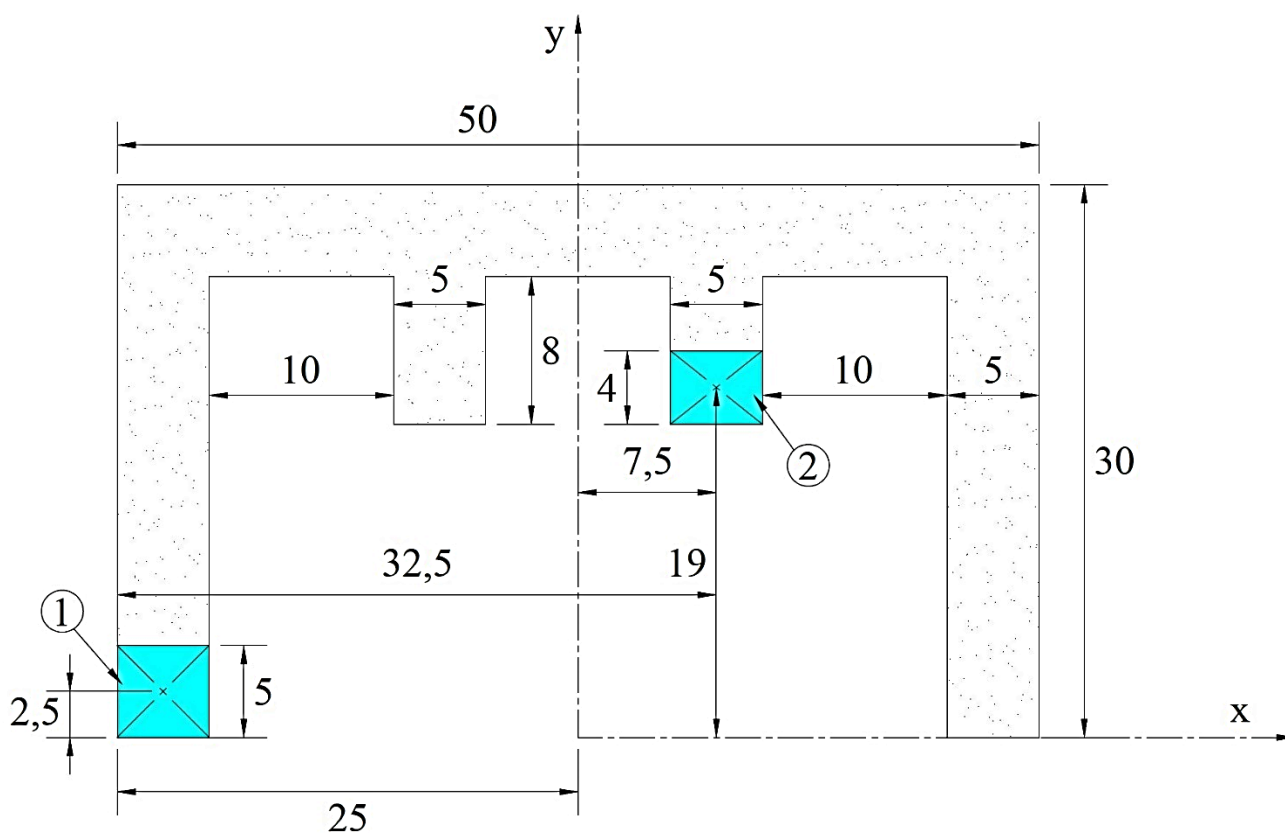
Η μικρή απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που μας δίνει η επίλυση της άσκησης με τους απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής και των αποτελεσμάτων μέσω του προγράμματος, ειδικά στην τιμή της διαμήκου κλίσης οφείλεται στην παρατήρηση που κάναμε στην 8.1 παράγραφο. Για την επίλυση μέσω των απλοποιημένων τύπων της υδροστατικής, στους υπολογισμούς στον διαμήκη άξονα έχουν χρησιμοποιηθεί απλοποιημένοι τύποι.

Παράλληλα στην επίλυση του προβλήματος μέσω του προγράμματος λαμβάνεται υπόψιν η επίδραση του γινομένου αδράνειας, συνεπώς λόγω των διαμερισμάτων όπου κατακλύζονται και της πολυγωνικής μορφής των γαστρών, τα αποτελέσματα θα παρουσιάζουν μία σχετική απόκλιση σε σχέση με τα αποτελέσματα από την επίλυση μέσω της αναλυτικής μεθόδου.

8.2.3. Περίπτωση πλωτής εξέδρας πολυγωνικού σχήματος με κατάκλυση δύο διαμερισμάτων

❖ ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Η πλωτή κατασκευή του σχήματος πλέει αρχικά ισοβύθιστη έχοντας $T=2\text{m}$ και $KG=1,5\text{m}$. Ζητείται να υπολογισθεί η εγκάρσια κλίση της και η διαγωγή της (στροφές παράλληλα προς τους άξονες x και y αντίστοιχα, που θεωρούνται και παράλληλοι προς τους εκάστοτε κύριους άξονες αδράνειας) όταν κατακλυσθούν τα διαμερίσματα 1 και 2. Η ίσαλος είναι σταθερή σε κάθε βύθισμα. Οι διαπερατότητες-διαχωρητότητες να θεωρηθούν ίσες με 1.



Σχήμα 8.2.3.1

Εξέδρα πολυγωνικού σχήματος με κατάκλυση δύο διαμερισμάτων (για επίλυση με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής)

❖ ΛΥΣΗ ΜΕ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Η άσκηση λύνεται με τη μέθοδο της χαμένης άντωσης. Θεωρείται το αυθαίρετο σύστημα αξόνων (x, y) του συστήματος ως προς το οποίο θα αναφέρονται όλες οι αποστάσεις με το κατάλληλο πρόσημο. Αρχικά βρίσκονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της νέας ισάλου πλευσης μετά την κατάκλυση.

- Αρχική επιφάνεια άθικτης ισάλου:

$$A_w = 2 \times (25 \times 5) + 2 \times (8 \times 5) + 50 \times 5 = 580 \text{ m}^2$$

- Επιφάνειες κατακλυσθέντων διαμερισμάτων 1 και 2:

$$a_1 = 5 \times 5 = 25 \text{ m}^2$$

$$a_2 = 4 \times 5 = 20 \text{ m}^2$$

- Επιφάνεια ισάλου μετά την κατάκλυση:

$$A_{w1} = A_w - a_1 - a_2 = 535 \text{ m}^2$$

Οι συντεταγμένες του κέντρου πλευστότητας μετά την κατάκλυση βρίσκονται από το θεώρημα των ροπών ως προς τους επιλεγμένους άξονες (x, y) .

(Συνολική ροπή άθικτης επιφάνειας) = (Ροπή επιφάνειας μετά την κατάκλυση) + (Ροπές επιφανειών κατακλυσθέντων διαμερισμάτων)

Προφανώς οι σχετικές συνολικές ροπές είναι μη μηδενικές καθώς το σύστημα των αξόνων δεν έχει ως αρχή το κέντρο πλευστότητας της άθικτης ισάλου CF.

Έτσι έχουμε:

- Ροπές ως προς x :

$$2 \times (25 \times 5 \times 12,5) + 2 \times (8 \times 5 \times 21) + 50 \times 5 \times 27,5 = A_{w1} \cdot y_F + a_1 \times 2,5 + a_2 \times 19$$

$$\Rightarrow y_F = 20,14 \text{ m}$$

- Ροπές ως προς y :

$$0 = A_{w1} \cdot x_F + a_1 \times (-22,5) + a_2 \times (+7,5)$$

$$\Rightarrow x_F = 0,771 \text{ m}$$

όπου (x_F, y_F) είναι οι συντεταγμένες του κέντρου πλευστότητας της επιφάνειας μετά τη βλάβη A_w . Οι δεύτερες ροπές (αδράνειας) ως προς το νέο κέντρο πλευστότητας υπολογίζονται με τη βοήθεια του θεωρήματος των παραλλήλων αξόνων:

(Ροπή αδράνειας ως προς το νέο κέντρο πλευστότητας μετά τη βλάβη) = (Ροπή αδράνειας αρχικής ισάλου ως προς τον αντίστοιχο άξονα) – (Ροπή αδράνειας των επιφανειών κατάκλυσης ως προς τον αντίστοιχο άξονα) – (Επιφάνεια τελικής ισάλου \times (Αντίστοιχη συντεταγμένη του νέου κέντρου)²)

Υπολογίζονται κατά σειρά οι όροι του δεύτερου μέλους:

$$I_{xx} = 2 \times \left(\frac{25^3 \times 5}{12} + 25 \times 5 \times 12,5^2 \right) + 2 \times \left(\frac{8^3 \times 5}{12} + 8 \times 5 \times 21^2 \right) + \left(\frac{50 \times 5^3}{12} + 50 \times 5 \times 27,5^2 \right) = 273373 \text{ m}^4$$

$$i_{xx} = \frac{5^3 \times 5}{12} + 5 \times 5 \times 2,5^2 + \frac{5 \times 4^3}{12} + 5 \times 4 \times 19^2 = 7455 \text{ m}^4$$

οπότε η ζητούμενη δεύτερη ροπή ως προς τον άξονα x είναι:

$$I'_{xx} = I_{xx} - i_{xx} - A_w \cdot y_F^2 = 33983 \text{ m}^4$$

και ως προς τον άξονα y :

$$I_{yy} = \frac{50^3 \times 5}{12} + 2 \times \left(\frac{5^3 \times 8}{12} + 5 \times 8 \times 7,5^2 \right) + 2 \times \left(\frac{5^3 \times 25}{12} + 5 \times 25 \times 22,5^2 \right) \approx 183833 \text{ m}^4$$

$$i_{yy} = \frac{5^3 \times 5}{12} + 5 \times 5 \times 22,5^2 + \frac{5^3 \times 4}{12} + 5 \times 4 \times 7,5^2 = 13875 \text{ m}^4$$

$$I'_{yy} = I_{yy} - i_{yy} - A_w \cdot x_F^2 = 169639 \text{ m}^4$$

Με τα γεωμετρικά δεδομένα της ισάλου μετά τη βλάβη η γωνία εγκάρσιας κλίσης υπολογίζεται από τη σχέση (μικρές μεταβολές) :

$$\tan \varphi = \frac{M_T}{\Delta \cdot GM}$$

όπου:

- $M_T = \gamma \cdot U_1 \cdot (2,5 - y_F) + \gamma \cdot U_2 \cdot (19 - y_F)$
- $\Delta = \Delta_o = \gamma \cdot A_w \cdot T_o = 1,025 \times 580 \times 2 = 1189 \text{ m}^3$
- $U_1 = a_1 \cdot T_o = 25 \times 2 = 50 \text{ m}^3$
- $U_2 = a_2 \cdot T_o = 20 \times 2 = 40 \text{ m}^3$

$$\Rightarrow M_T = -1030,125 \text{ tm}$$

- $GM = KB + BM - KG$
- $KB = \frac{T_o + \delta T}{2} = 1,084 \text{ m}$ (όπου $\delta T = \frac{U_1 + U_2}{A_w}$)
- $BM = \frac{\gamma}{\Delta} I'_{xx} = 1,025 \times \frac{33980}{1189} = 29,29 \text{ m}$
- $KG = KG_o = 1,5 \text{ m}$ (αφού δεν έχουμε προσθαφαίρεση φορτίων)

$$\Rightarrow GM = 28,874 \text{ m}$$

Καταλήγουμε:

$$\tan \varphi = \frac{-1030,125}{1189 \times 28,874}$$

$$\tan \varphi = -0,0300 \quad \rightarrow \quad \varphi = -1,718^\circ$$

Αντίστοιχά η διαγωγή t υπολογίζεται από τη σχέση:

$$t = \frac{M_L}{MT1}$$

όπου:

- $MT1 = \frac{\gamma I'_{yy}}{L} = \frac{1,025 \times 169639}{50} = 3477,62 \text{ t}$ και
- $M_L = \gamma \cdot U_1 \cdot (22,5 + x_F) + \gamma \cdot U_2 \cdot (7,5 - x_F) = -916,75 \text{ tm}$

$$t = 0,11785 \text{ m}$$

και η γωνία διαμήκους κλίσης:

$$\tan \theta = 0,00526 \quad \rightarrow \quad \theta = 0,3013^\circ$$

❖ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ Η/Υ

Το αρχείο εισόδου για την περίπτωση που μελετάμε είναι:

Main Program Variables & Constants

Total Number of Bodies (NSM)	:1
Total Number of Joints (NAR)	:0
Total Number of Hulls (NGS)	:1
Total Number of Flooded Compartments (NFC)	:2
Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC)	:1
Total Number of Req. Draught Location (DRL)	:0
Maximum No. of Hulls/Body	:1
Maximum No. of Points/Hull	:17
Maximum No. of Points/Flooded Compartment	:0
Maximum No. of Bodies/Joint	:0
Maximum No. of Joints/Body	:0
Maximum No. of Forces/Body	:1
Water Special weight [tn/m ³] (PKNN)	:1.025000

Bodies Characteristics

Body No.	Xref	Yref	L	B	H
1	5.000000	5.000000	50.000000	30.000000	0.200000

Hulls Characteristics

Body No.:1 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 |Type:1

Depth |No. of points
4.800000 17

xhi	yhi
0.000000	0.000000
0.000000	30.000000
50.000000	30.000000
50.000000	0.000000
45.000000	0.000000
45.000000	25.000000
35.000000	25.000000
35.000000	17.000000
30.000000	17.000000
30.000000	25.000000
20.000000	25.000000
20.000000	17.000000
15.000000	17.000000
15.000000	25.000000
5.000000	25.000000
5.000000	0.000000
0.000000	0.000000

External Powers & Characteristics

No. Body:1 | Power/Body:1

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	1189.000000	25.000000	20.137900	1.500000

Flooded Compartments Characteristics

Compartment No.:1 |Body No.:1 |Hull No.:1 |Type:2 |Permability:1.000

xh	yh	Lh	Bh
2.500000	2.500000	5.000000	5.000000

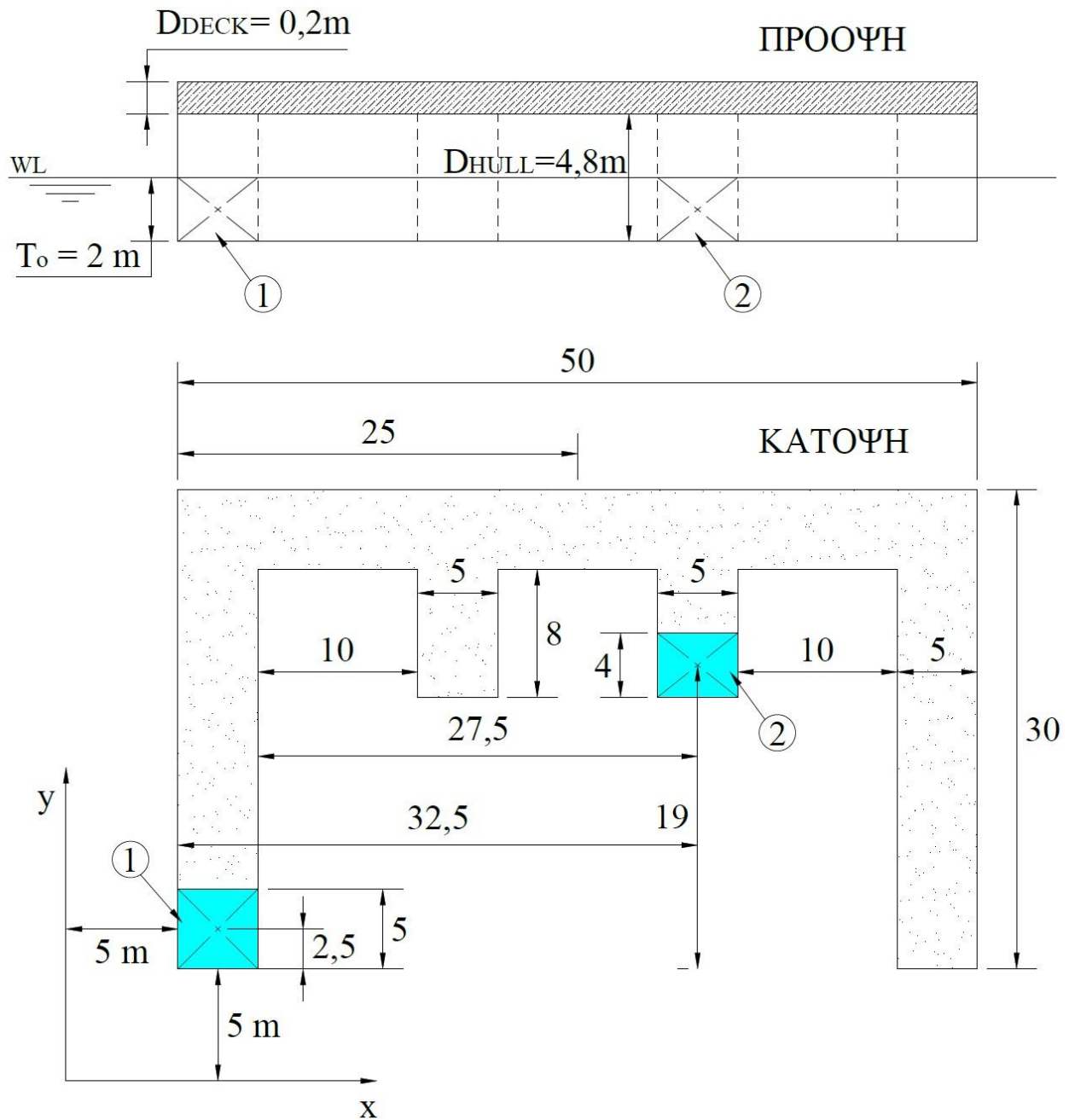
Compartment No.:2 |Body No.:1 |Hull No.:1 |Type:2 |Permability:1.000

xh	yh	Lh	Bh
32.500000	19.000000	5.000000	4.000000

όπου

- 4,8m είναι το κοίλο της γάστρας
- 0,2m είναι το κοίλο του καταστρώματος

Το σχήμα με το οποίο προγραμματίσαμε τα παραπάνω δεδομένα είναι:



Σχήμα 8.2.3.2

Εξέδρα πολυγωνικού σχήματος με κατάκλιση δύο διαμερισμάτων (για επίλυση μέσω H/Y)

Το πρόγραμμα για την παραπάνω περίπτωση συγκλίνει στην 3^η επανάληψη και τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι:

FINAL RESULTS

BODIES INCLINATION

BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	-3.078056E-02	-5.263659E-03	-1.763039E+00	-3.015826E-01

FLOODING COMPARTMENTS CHARACTERISTICS

COMPARTMENT 1

LOCATION :	BODY	1		
	HULL	1		
WATER AREA	(m ²) =	25.00000	PERMABILITY (%) =	100.0000
TOTAL VOLUME	(m ³) =	54.20561	NET VOLUME (m ³) =	54.20561

COMPARTMENT 2

LOCATION :	BODY	1		
	HULL	1		
WATER AREA	(m ²) =	20.00000	PERMABILITY (%) =	100.0000
TOTAL VOLUME	(m ³) =	43.36449	NET VOLUME (m ³) =	43.36449

GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS

BODY 1

DISPLACEMENT(t)	=	1.189000E+03	KB (m)	=	1.084112E+00	KG (m)	=	1.500000E+00
WATER AREA	(m ²) =	5.800000E+02	LCFx (m)	=	2.577104E+01	LCFy (m)	=	2.100467E+01
BML	(m) =	1.468833E+02	LCBx (m)	=	2.577104E+01	Ixx (m ⁴)	=	3.312979E+04
BMT	(m) =	2.856017E+01	LCBy (m)	=	2.100468E+01	Iyy (m ⁴)	=	1.703846E+05
Tm	(m) =	2.168224E+00	GML (m)	=	1.464829E+02	GMT (m)	=	2.815984E+01

❖ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

				Υπολογισμοί με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής	Υπολογισμοί με H/Y
BODY NO. 1	<i>Δύναμη:</i>	$P =$	-	-	
	<i>Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:</i>	$\tan(\varphi) =$	-0,0300	-0,030780560	
	<i>Εφαπτόμενη διαμήκου κλίσης:</i>	$\tan(\theta) =$	-0,00526	-0,005263659	

Η μικρή απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που μας δίνει η επίλυση της άσκησης με τους απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής και των αποτελεσμάτων μέσω του προγράμματος, ειδικά στην τιμή της διαμήκου κλίσης οφείλεται στην παρατήρηση που κάναμε στην 8.1 παράγραφο. Για την επίλυση μέσω των απλοποιημένων τύπων της υδροστατικής, στους υπολογισμούς στον διαμήκη άξονα έχουν χρησιμοποιηθεί απλοποιημένοι τύποι.

Παράλληλα στην επίλυση του προβλήματος μέσω του προγράμματος λαμβάνεται υπόψιν η επίδραση του γινομένου αδράνειας, συνεπώς λόγω της των διαμερισμάτων όπου κατακλύζονται αλλά και της πολυγωνικής μορφής της γάστρας, τα αποτελέσματα θα παρουσιάζουν μία σχετική απόκλιση σε σχέση με τα αποτελέσματα από την επίλυση μέσω της αναλυτικής μεθόδου.

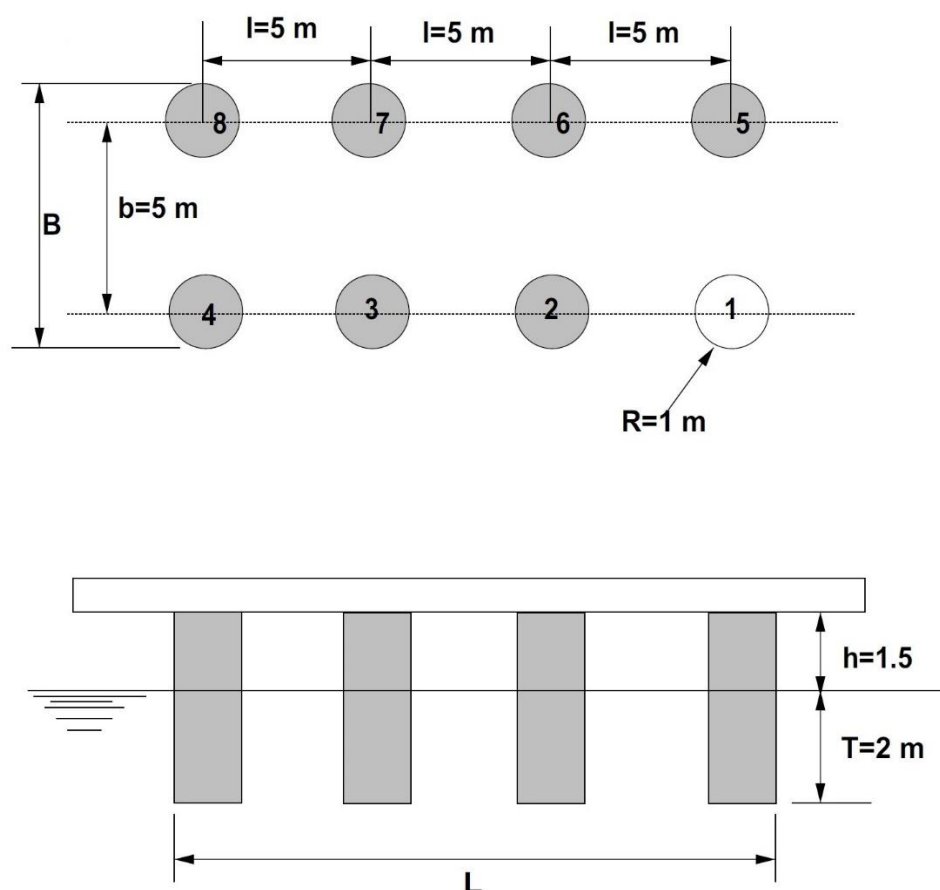
8.2.4. Περίπτωση εξέδρας με οκτώ γάστρες εκ των οποίων η μία κατακλύζεται

❖ ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Πλωτή εξέδρα αποτελείται από μία επίπεδη επιφάνεια που εδράζεται πάνω σε οκτώ κατακόρυφους κυλίνδρους με τις διαστάσεις που φαίνονται στο σχήμα. Να βρεθεί η εγκάρσια κλίση και η διαγωγή της εξέδρας όταν κατακλυσθεί ο κύλινδρος Νο. 1.

Δίνονται:

- Διαχωρητικότητα, διαπερατότητα όγκου κυλίνδρων $\mu_s = \mu = 1$.
- Αρχικό βύθισμα $T_o = 2\text{ m}$ (ισοβύθιστοι κύλινδροι)
- Αρχικό $KG_o = 3\text{ m}$.
-



Σχήμα 8.2.4.1

Εξέδρα οκτώ γαστρών εκ των οποίων η μία κατακλύζεται (για επίλυση με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής)

❖ ΛΥΣΗ ΜΕ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Βρίσκουμε αρχικά τα χαρακτηριστικά της νέας ισάλου πλευσης A_{w1} μετά την κατάκλυση του κυλίνδρου 1:

$$A_{w1} = 7\pi R^2 = 21,99m^2$$

συντεταγμένες νέου κέντρου πλευστότητας ως προς το αρχικό σύστημα αξόνων (x,y):

$$y_{F1} = -\frac{\pi R^2 \cdot \frac{b}{2}}{A_{w1}} = -0,357m$$

$$x_{F1} = -\frac{\pi R^2 \cdot \frac{3l}{2}}{A_{w1}} = -1,07m$$

Δεύτερες ροπές ως προς το νέο κέντρο πλευστότητας:

$$I'_T = 7 \frac{\pi R^2}{4} + 4 \times \left[\pi R^2 \times \left(\frac{b}{2} + y_{F1} \right)^2 \right] + 3 \times \left[\pi R^2 \left(\frac{b}{2} - y_{F1} \right)^2 \right] = 140,13m^4$$

$$I'_L = 7 \frac{\pi R^2}{4} + 2 \times \pi R^2 \times \left[\frac{3l}{2} + x_{F1} \right]^2 + 2\pi R^2 \times \left[\frac{l}{2} + x_{F1} \right]^2 +$$

$$2 \times \pi \times R^2 \left[\frac{l}{2} - x_{F1} \right]^2 + \pi R^2 \left[\frac{l}{2} - x_{F1} \right]^2 = 588,93m^4$$

Η αρχική ροπή εγκάρσιας κλίσης είναι:

$$M_T = \gamma \cdot U \left[\frac{b}{2} - y_{F1} \right] = 1,025 \times \pi R^2 \times 2 \times [2,5 + 0,357] = 18,4tm$$

και το μετακεντρικό ύψος μετά την κατάκλυση:

$$GM = KB + BM - KG$$

όπου:

$$\bullet \quad KB = \frac{T_0 + \delta T}{2}, \quad (\delta T = \frac{\gamma U}{A_{w1}} = \frac{1,025 \times \pi R^2 \times 2}{21,99} = 0,293m)$$

$$\bullet \quad KB = \frac{2 + 0,293}{2} = 1,146m$$

$$\bullet \quad BM = \frac{\gamma}{\Delta} I'_T = \frac{\gamma}{\gamma 8 \pi R^2 T_0} I'_T = \frac{140,13}{8 \times \pi \times 2} = 2,787m$$

$$\bullet \quad KG = KG_0 = 3m$$

$$\Rightarrow \quad GM = 1,146 + 2,787 - 3 = 0,933m.$$

Η εφαπτομένη της γωνίας εγκάρσιας κλίσης είναι:

$$\tan \phi = \frac{M_T}{\Delta GM} = \frac{18,4}{(1,025 \times 8 \times \pi \times 2) \times 0,933} = \frac{18,4}{51,5 \times 0,933} = 0,382$$

$$\tan \phi = 0,382 \quad \rightarrow \quad \phi = 20,95^\circ$$

Επειδή η γωνία εγκάρσιας κλίσης που υπολογίστηκε είναι αρκετά μεγάλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο τύπος Scribanti (που εδώ είναι ακριβής) για ακριβέστερο υπολογισμό της:

$$\tan \phi = \frac{M_T}{\Delta \left(KB + BM \left(1 + \frac{\tan^2 \phi}{2} \right) - KG \right)} = \frac{18,4}{51,5 \times \left[2,787 \left(1 + \frac{\tan^2 \phi}{2} \right) - 1,854 \right]}$$

από την οποία υπολογίζεται:

$$\tan \phi = 0,329 \quad \rightarrow \quad \phi = 18,20^\circ$$

$$\tan \phi = 0,329 \quad \text{ή} \quad \phi = 18,2^\circ.$$

Η διαγωγή της εξέδρας βρίσκεται από τη σχέση:

$$t = \frac{M_L}{MT1}$$

όπου:

- $M_L = \gamma U \left[\frac{31}{2} - x_{F1} \right] = 1,025 \times \pi \times 2 \times [7,5 + 1,07] = 55,19tm$
- $MT1 = \frac{\gamma I'_L}{L} = \frac{1,025 \times 588,93}{3l + 2R} = 35,5t$

$$\Rightarrow t = \frac{55,19}{35,5} = 1,55m$$

Και η γωνία διαμήκους κλίσης είναι:

$$\tan \theta = \frac{t}{L} = \frac{1,55}{17}$$

$$\tan \theta = 0,09117 \quad \rightarrow \quad \theta = 5,209^\circ$$

Αν λάβουμε υπόψη την επίδραση αυτής της σχετικά μεγάλης διαγωγής στην αύξηση του KB από τη σχέση:

$$\delta KB = \frac{MT1 \cdot t^2}{2\Delta L}$$

τότε βρίσκουμε γωνία εγκάρσιας κλίσης $\varphi = 17,6^0$ (αντί $18,2^0$) και εφαπτομένη $\tan \varphi = 0,3172$.

❖ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ Η/Υ

Το αρχείο εισόδου για την περίπτωση που μελετάμε είναι:

Main Program Variables & Constants

```
Total Number of Bodies (NSM)           :1
Total Number of Joints (NAR)           :0
Total Number of Hulls (NGS)            :8
Total Number of Flooded Compartments (NFC) :1
Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC) :1
Total Number of Req. Draught Location (DRL) :0
Maximum No. of Hulls/Body              :8
Maximum No. of Points/Hull             :0
Maximum No. of Points/Flooded Compartment :0
Maximum No. of Bodies/Joint            :0
Maximum No. of Joints/Body             :0
Maximum No. of Forces/Body             :1
Water special weight [tn/m³] (PKNN)    :1.025000
-----
```

Bodies Characteristics

```
Body No. |xref      |yref      |L      |B      |H
1         5.000000  5.000000  25.000000  20.000000  0.200000
-----
```

Hulls Characteristics

Body No.:1 | Hulls/Body:8

Hull No.:1 |Type:3

```
Depth |xh      |yh      |rh
3.500000  10.000000  10.000000  1.000000
-----
```

Hull No.:2 |Type:3

```
Depth |xh      |yh      |rh
3.500000  15.000000  10.000000  1.000000
-----
```

Hull No.:3 |Type:3

```
Depth |xh      |yh      |rh
3.500000  20.000000  10.000000  1.000000
-----
```

Hull No.:4 |Type:3

```
Depth |xh      |yh      |rh
3.500000  25.000000  10.000000  1.000000
-----
```

Hull No.:5 |Type:3

Depth	xh	yh	rh
3.500000	10.000000	15.000000	1.000000

Hull No.:6 |Type:3

Depth	xh	yh	rh
3.500000	15.000000	15.000000	1.000000

Hull No.:7 |Type:3

Depth	xh	yh	rh
3.500000	20.000000	15.000000	1.000000

Hull No.:8 |Type:3

Depth	xh	yh	rh
3.500000	25.000000	15.000000	1.000000

External Powers & Characteristics

No. Body:1 | Power/Body:1

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	51.500000	17.500000	12.500000	3.000000

Flooded Compartments Characteristics

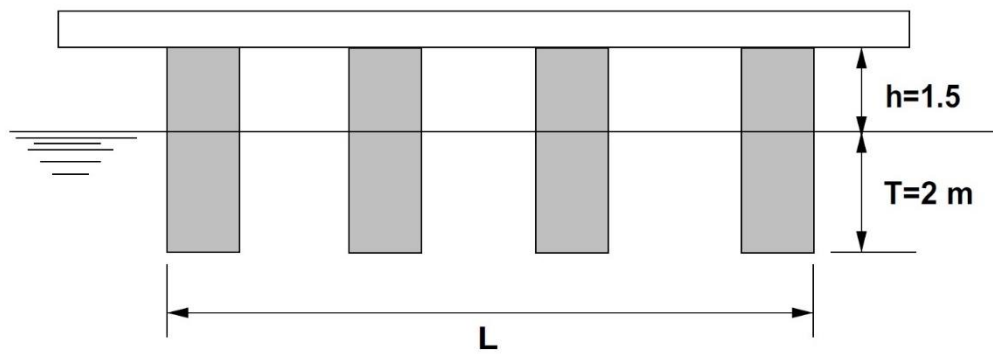
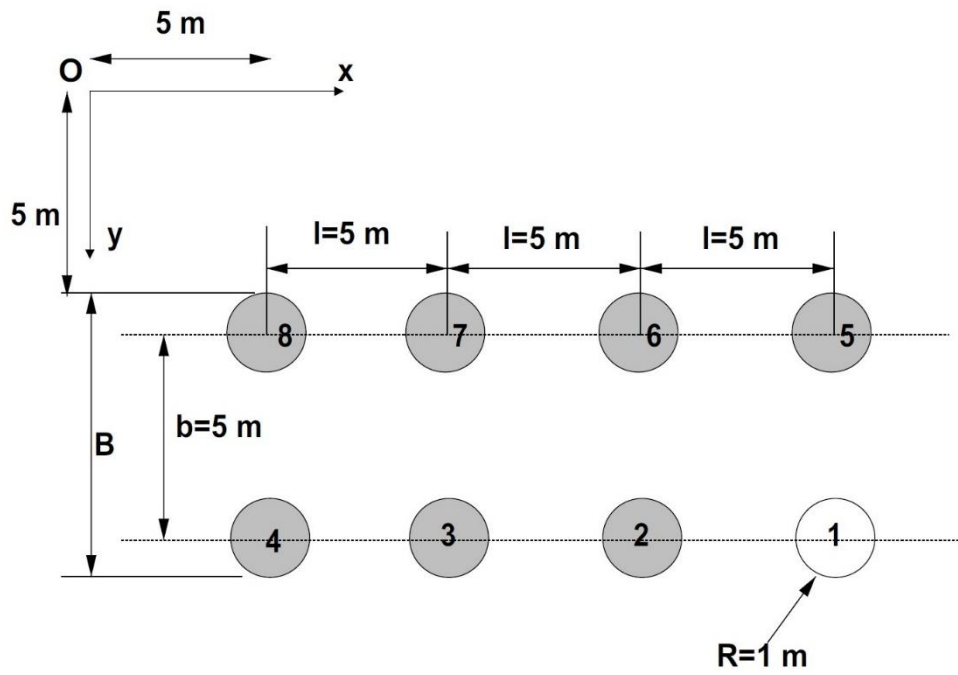
Compartment No.:1 |Body No.:1 |Hull No.:8 |Type:3 |Permability:1.000

xh	yh	rh
25.000000	15.000000	1.000000

όπου

- 3,5m είναι το κοίλο κάθε γάστρας
- 0,2m είναι το κοίλο του καταστρώματος

Το σχήμα με το οποίο προγραμματίσαμε τα παραπάνω δεδομένα είναι:



Σχήμα 8.2.1.2

Εξέδρα τριών γαστρών εκ των οποίων οι δύο διαθέτουν διαμέρισμα με κατάκλυση (για επίλυση μέσω H/Y)

Το πρόγραμμα για την παραπάνω περίπτωση συγκλίνει στην 5^η επανάληψη και τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι:

 FINAL RESULTS

 BODIES INCLINATION

BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	3.667737E-01	1.040695E-01	2.014171E+01	5.941354E+00

 FLOODING COMPARTMENTS CHARACTERISTICS

 COMPARTMENT 1

LOCATION :	BODY	1		
	HULL	8		
WATER AREA	(m ²) =	3.141593	PERMABILITY (%) =	100.0000
TOTAL VOLUME	(m ³) =	7.177701	NET VOLUME (m ³) =	7.177701

 GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS

 BODY 1

DISPLACEMENT(t)	=	5.150000E+01	KB (m)	=	1.142367E+00	KG (m)	=	3.000000E+00
WATER AREA	(m ²)=	2.513274E+01	LCFx (m)	=	1.642857E+01	LCFy (m)	=	1.214286E+01
BML	(m) =	1.191404E+01	LCBx (m)	=	1.642857E+01	Ixx (m ⁴)	=	1.302563E+02
BMT	(m) =	2.592480E+00	LCBy (m)	=	1.214286E+01	Iyy (m ⁴)	=	5.986079E+02
Tm	(m) =	2.284733E+00	GML (m)	=	1.029530E+01	GMT (m)	=	9.737381E-01

❖ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

/			<i>Υπολογισμοί με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής</i>	<i>Υπολογισμοί με H/Y</i>
BODY NO. 1	<i>Δύναμη:</i>	$P =$	-	-
	<i>Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:</i>	$\tan(\varphi) =$	0,32900	0,3677370
	<i>Εφαπτόμενη διαμήκου κλίσης:</i>	$\tan(\theta) =$	0,09117	0,1040695

Η μικρή απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που μας δίνει η επίλυση της άσκησης με τους απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής και των αποτελεσμάτων μέσω του προγράμματος, ειδικά στην τιμή της διαμήκου κλίσης οφείλεται στην παρατήρηση που κάναμε στην 8.1 παράγραφο. Για την επίλυση μέσω των απλοποιημένων τύπων της υδροστατικής, στους υπολογισμούς στον διαμήκη άξονα έχουν χρησιμοποιηθεί απλοποιημένοι τύποι.

Παράλληλα στην επίλυση του προβλήματος μέσω του προγράμματος λαμβάνεται υπόψιν η επίδραση του γινομένου αδράνειας, συνεπώς λόγω της των διαμερισμάτων όπου κατακλύζονται, τα αποτελέσματα θα παρουσιάζουν μία σχετική απόκλιση σε σχέση με τα αποτελέσματα από την επίλυση μέσω της αναλυτικής μεθόδου.

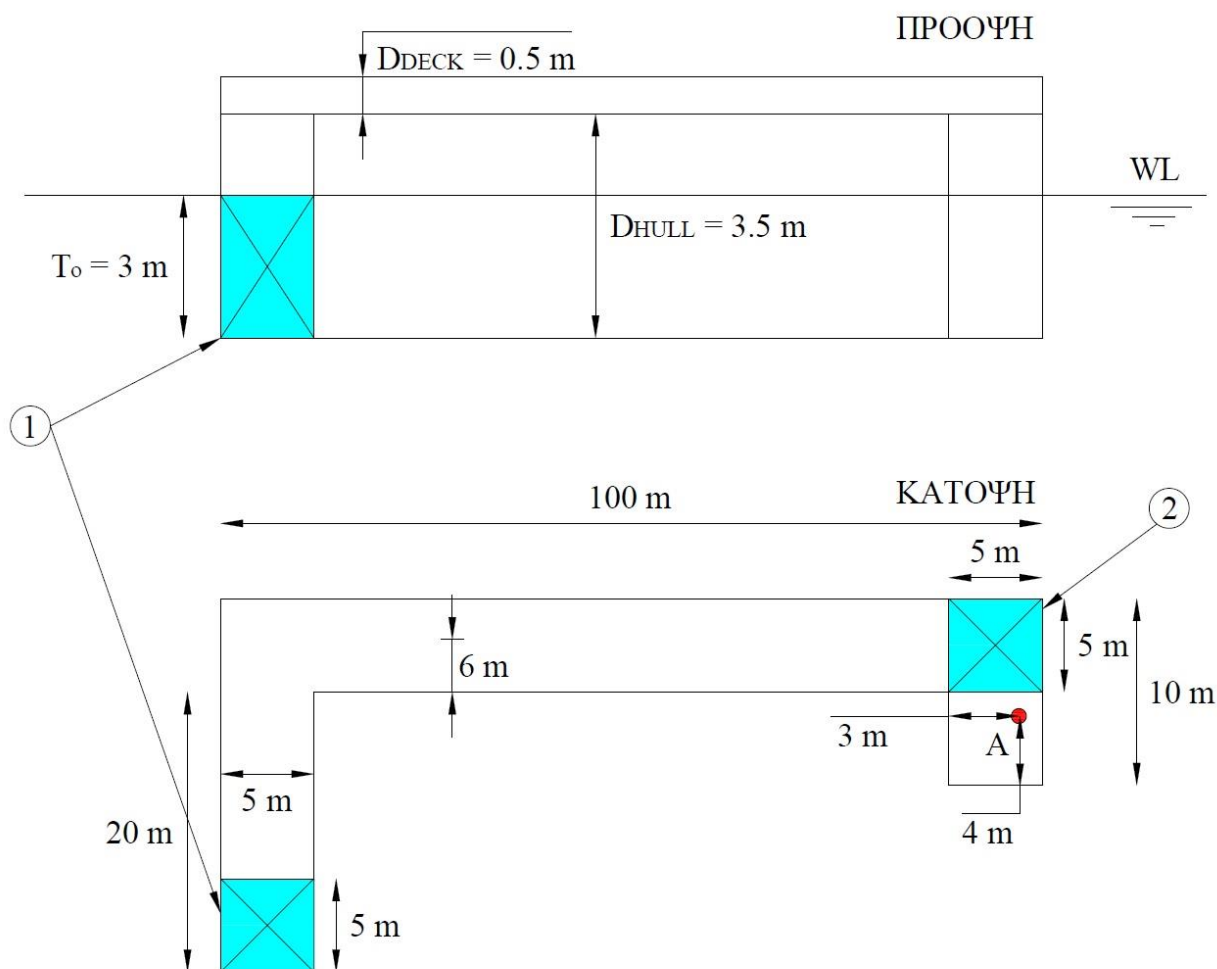
8.2.5. Περίπτωση πλωτής εξέδρας πολυγωνικού σχήματος με κατάκλυση δύο διαμερισμάτων

❖ ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Να υπολογιστεί η εγκάρσια κλίση και διαγωγή της πλωτής εξέδρας του σχήματος όταν κατακλυθούν οι αρχικά κενές δεξαμενές No. 1 και No. 2. Επίσης να υπολογισθεί το βύθισμα στο σημείο A.

Οι απαραίτητες διαστάσεις δίνονται στο σχήμα που ακολουθεί. Επιπλέον είναι δεδομένα:

$T_o = 3\text{m}$, $KG_o = 2\text{m}$, $\mu_s = 0.8$ (διαχωρητότητα)



Σχήμα 8.2.5.1

Εξέδρα μίας γάστρας πολυγωνικού σχήματος στην οποία υπάρχουν δύο διαμερίσματα με κατάκλυση (για επίλυση με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής)

❖ ΛΥΣΗ ΜΕ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Ακολουθώντας τη μεθοδολογία της χαμένης αντώσεως βρίσκουμε αρχικά όλα τα απαραίτητα γεωμετρικά στοιχεία της νέας ισάλου πλευσεως:

- Επιφάνεια αρχικής ισάλου πλευσεως:

$$A_w = 100 \times 5 + 15 \times 5 + 5 \times 5 = 600 \text{ m}^2$$

- Επιφάνεια διαμερισμάτων με κατάκλυση:

$$a_1 = 5 \times 5 = 25 \text{ m}^2$$

$$a_2 = 5 \times 5 = 25 \text{ m}^2$$

- Επιφάνεια νέας ισάλου (μετά την κατάκλυση)

$$A_{w1} = A_w - \mu_s \cdot a_1 - \mu_s \cdot a_2 = 600 - 0.8 \times 25 - 0.8 \times 25 = 560 \text{ m}^2$$

- Από θεώρημα ροπών οι συντεταγμένες του νέου κέντρου πλευστότητας, ως προς το αρχικό σύστημα αξόνων (x, y) είναι:

$$100 \times 5 \times 50 + 15 \times 5 \times 2.5 + 5 \times 5 \times 97.5 = A_{w1} \times x_F + 0.8 \times a_1 \times 2.5 + 0.8 \times a_2 \times 97.5$$

$$\Rightarrow x_F = 45.758 \text{ m}$$

$$100 \times 5 \times 17.5 + 15 \times 5 \times 7.5 + 5 \times 5 \times 12.5 = A_{w1} \times y_F + 0.8 \times a_1 \times 2.5 + 0.8 \times a_2 \times 17.5$$

$$\Rightarrow y_F = 16.473 \text{ m}$$

- Δεύτερες ροπές αδράνειας ισάλου πλεύσεως μετά την κατάκλυση ως προς το νέο αρχικό κέντρο πλευστότητας:

$$I_{xx}^F = \frac{100 \times 5^3}{12} + 100 \times 5 \times 17.5^2 + \frac{15^3 \times 5}{12} + 15 \times 5 \times 7.5^2 + \frac{5 \times 5^3}{12} + 5 \times 5 \times 12.5^2 - 0.8 \times \left[\frac{5 \times 5^3}{12} + 5 \times 5 \times 2.5^2 \right] - 0.8 \times \left[\frac{5 \times 5^3}{12} + 5 \times 5 \times 17.5^2 \right] - A_{w1} \cdot y_F^2 = 5451.344 \text{ m}^4$$

$$I_{yy}^F = \frac{100^3 \times 5}{12} + 100 \times 5 \times 50^2 + \frac{5^3 \times 15}{12} + 5 \times 15 \times 2.5^2 + \frac{5 \times 5^3}{12} + 5 \times 5 \times 97.5^2 - 0.8 \times \left[\frac{5 \times 5^3}{12} + 5 \times 5 \times 2.5^2 \right] - 0.8 \times \left[\frac{5 \times 5^3}{12} + 5 \times 5 \times 97.5^2 \right] - A_{w1} \cdot x_F^2 = 542094.094 \text{ m}^4$$

- Όγκος νερού κατακλύσεως:

$$U_1 = \mu_s \cdot a_1 \cdot T_o = 0.8 \times 25 \times 3 = 60 \text{ m}^3$$

$$U_2 = \mu_s \cdot a_2 \cdot T_o = 0.8 \times 25 \times 3 = 60 \text{ m}^3$$

$$U = U_1 + U_2 = 120 \text{ m}^3$$

- Νέο μετακεντρικό ύψος:

$$GM = KB + BM - KG$$

όπου:

$$- KB = \frac{T_o + \delta T}{2} = \frac{3 + \frac{\gamma U_1 + \gamma U_2}{A_{w1}}}{2} = 1.609 \text{ m}$$

$$- BM = \frac{I_{xx}^F}{\nabla} = \frac{I_{xx}^F}{A_{w1} \cdot T_o} = \frac{5451.344}{600 \times 3} = 3.028 \text{ m}$$

$$- KG = KG_o = 2 \text{ m}$$

άρα

$$GM = 1.609 + 3.028 - 2 = 2.637 \text{ m}$$

- Και η γωνία εγκάρσιας κλίσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned}\tan \varphi &= \frac{M_T}{\Delta GM} = \frac{\gamma U_1 [2.5 - y_F] + \gamma U_2 [17.5 - y_F]}{\gamma \Delta GM} = \\ &= \frac{60 \times [2.5 - 16.77] + 60 \times [17.5 - 16.77]}{600 \times 3 \times 2.637} = \frac{-816.083}{4746.6}\end{aligned}$$

από την οποία βρίσκεται ότι

$$\tan \varphi = -0,1719 \quad \rightarrow \quad \varphi = -9.753^\circ$$

- Η διαγωγή της εξέδρας βρίσκεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned}\tan \theta &= \frac{M_L}{\gamma I_{yy}^F} = \frac{\gamma U_1 [2.5 - x_F] + \gamma U_2 [97.5 - x_F]}{\gamma I_{yy}^F} = \\ &= \frac{60 \times [2.5 - 45.758] + 60 \times [97.5 - 45.758]}{542094.049} = 0,0009390\end{aligned}$$

και η γωνία διαμήκου κλίσης προκύπτει:

$$\tan \theta = 0.000939 \quad \rightarrow \quad \theta = 0,0538^\circ$$

Ο υπολογισμός του βυθίσματος στο ζητούμενο σημείο υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$T_A = T_o + \delta\Gamma + (x - x_{F'}) \tan \theta + (y - y_{F'}) \tan \varphi$$

όπου:

- $\delta\Gamma = \frac{U_1 + U_2}{A_{w1}} = 0,214m$
- $T_o = 3m$
- $(x, y) = (98, 19)$, ως προς το σύστημα αξόνων της γάστρας
- $(x_F, y_F) = (45.758, 16.473)$

προκύπτει:

$$T_A = 2.828 m$$

❖ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ Η/Υ

Το αρχείο εισόδου για την περίπτωση που μελετάμε είναι:

Main Program Variables & Constants

```
Total Number of Bodies (NSM)           :1
Total Number of Joints (NAR)           :0
Total Number of Hulls (NGS)            :1
Total Number of Flooded Compartments (NFC) :2
Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC) :1
Total Number of Req. Draught Location (DRL) :1
Maximum No. of Hulls/Body              :1
Maximum No. of Points/Hull             :9
Maximum No. of Points/Flooded Compartment :0
Maximum No. of Bodies/Joint            :0
Maximum No. of Joints/Body             :0
Maximum No. of Forces/Body             :1
Water special weight [tn/m³] (PKNN)    :1.025000
-----
```

Bodies Characteristics

```
Body No. | Xref      | Yref      | L      | B      | H
1         | 5.000000  | 5.000000  | 100.000000 | 20.000000 | 0.500000
-----
```

Hulls Characteristics

```
Body No.:1 | Hulls/Body:1
-----
Hull No.:1 | Type:1
-----
Depth      | No. of points
3.500000  | 9
-----
xhi      | yhi
0.000000 | 0.000000
0.000000 | 20.000000
100.000000 | 20.000000
100.000000 | 10.000000
95.000000 | 10.000000
95.000000 | 15.000000
5.000000  | 15.000000
5.000000  | 0.000000
0.000000  | 0.000000
-----
```

External Powers & Characteristics

No. Body:1 | Power/Body:1

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	1845.000000	46.041600	16.041600	2.000000

Flooded Compartments Characteristics

Compartment No.:	Body No.:	Hull No.:	Type:	Permability:
1	1	1	2	0.800

xh	yh	Lh	Bh
2.500000	2.500000	5.000000	5.000000

Compartment No.:	Body No.:	Hull No.:	Type:	Permability:
2	1	1	2	0.800

xh	yh	Lh	Bh
97.500000	17.500000	5.000000	5.000000

Draught at Required Location

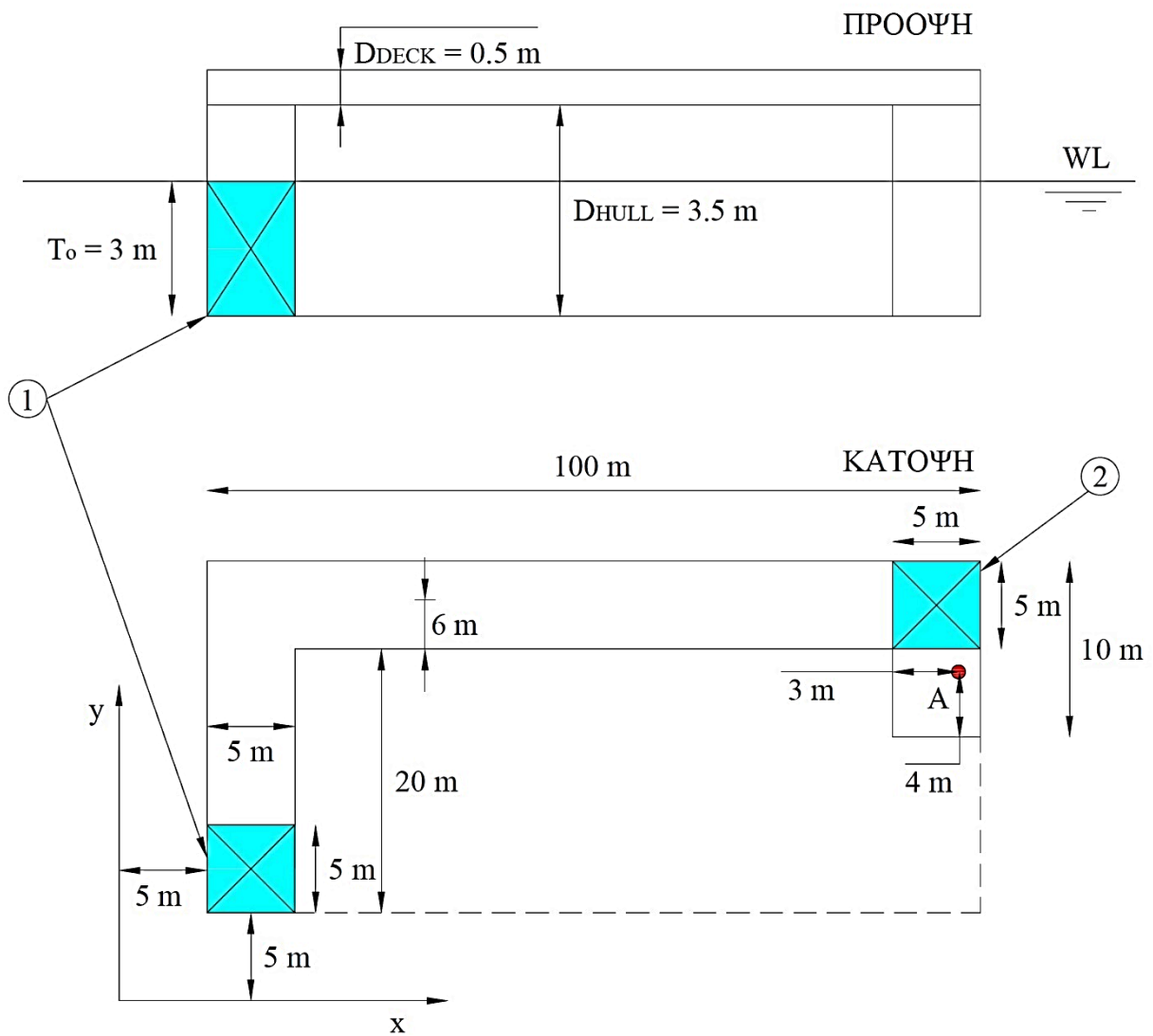
Location No.:1

Body	xli	yli
1	98.000000	19.000000

όπου

- 3,5m είναι το κοίλο της γάστρας
- 0,5m είναι το κοίλο του καταστρώματος

Το σχήμα με το οποίο προγραμματίσαμε τα παραπάνω δεδομένα είναι:



Σχήμα 8.2.2.2

Εξέδρα δύο γαστρών εκ των οποίων η μία διαθέτει διαμέρισμα σε κατάκλυση (για επίλυση μέσω H/Y)

Το πρόγραμμα για την παραπάνω περίπτωση συγκλίνει στην 3^η επανάληψη και τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι:

FINAL RESULTS

BODIES INCLINATION

BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	-1.724138E-01	9.391381E-04	-9.782405E+00	5.380863E-02

BODIES DRAUGHT AT REQUIRED LOCATION

LOCATION 1

BODY	X (m)	Y (m)	T (m)
1	9.800000E+01	1.900000E+01	2.827695E+00

FLOODING COMPARTMENTS CHARACTERISTICS

COMPARTMENT 1

LOCATION :	BODY	1		
	HULL	1		
WATER AREA	(m ²) =	20.00000	PERMABILITY (%) =	80.00000
TOTAL VOLUME	(m ³) =	64.28572	NET VOLUME (m ³) =	51.42857

COMPARTMENT 2

LOCATION :	BODY	1		
	HULL	1		
WATER AREA	(m ²) =	20.00000	PERMABILITY (%) =	80.00000
TOTAL VOLUME	(m ³) =	64.28572	NET VOLUME (m ³) =	51.42857

GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS

BODY 1

DISPLACEMENT (t) =	1.871357E+03	KB (m) =	1.607143E+00	KG (m) =	2.000000E+00
WATER AREA (m ²) =	6.000000E+02	LCFx (m) =	4.575893E+01	LCFy (m) =	1.647321E+01
BML (m) =	2.970938E+02	LCBx (m) =	4.511444E+01	Ixx (m ⁴) =	5.136607E+03
BMT (m) =	2.813478E+00	LCBy (m) =	1.624120E+01	Iyy (m ⁴) =	5.424085E+05
Tm (m) =	3.214286E+00	GML (m) =	2.967485E+02	GMT (m) =	2.468103E+00

❖ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

				Υπολογισμοί με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής	Υπολογισμοί με H/Y
BODY NO. 1	Βύθισμα σε συγκεκριμένη θέση:	$T_A =$	2,827	2,828	
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	-0,1719	-0,1724	
	Εφαπτόμενη διαμήκου κλίσης:	$\tan(\theta) =$	0,0009390	0,0009391	

Η μικρή απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που μας δίνει η επίλυση της άσκησης με τους απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής και των αποτελεσμάτων μέσω του προγράμματος, ειδικά στην τιμή της διαμήκου κλίσης οφείλεται στην παρατήρηση που κάναμε στην 8.1 παράγραφο. Για την επίλυση μέσω των απλοποιημένων τύπων της υδροστατικής, στους υπολογισμούς στον διαμήκη άξονα έχουν χρησιμοποιηθεί απλοποιημένοι τύποι.

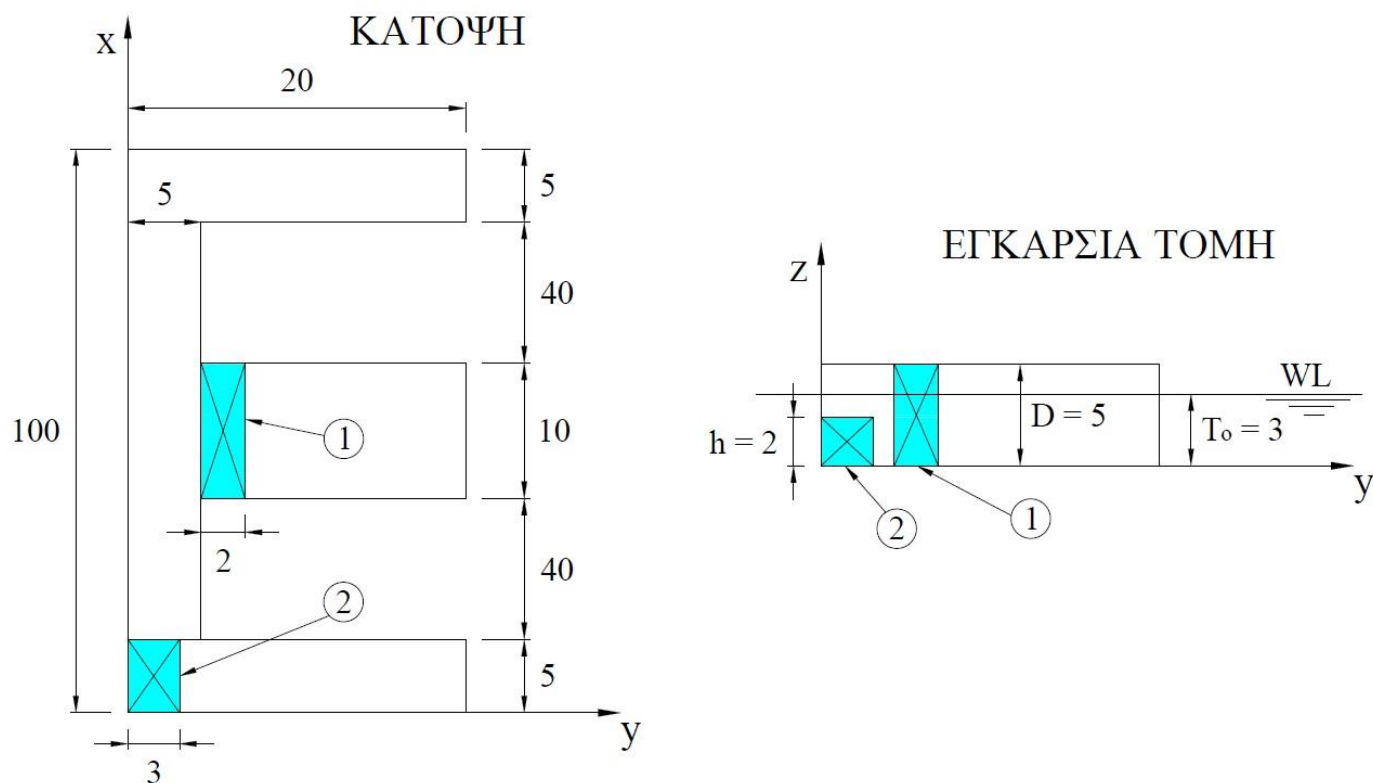
Παράλληλα στην επίλυση του προβλήματος μέσω του προγράμματος λαμβάνεται υπόψιν η επίδραση του γινομένου αδράνειας, συνεπώς λόγω της των διαμερισμάτων όπου κατακλύζονται αλλά και της πολυγωνικής μορφής της γάστρας, τα αποτελέσματα θα παρουσιάζουν μία σχετική απόκλιση σε σχέση με τα αποτελέσματα από την επίλυση μέσω της αναλυτικής μεθόδου.

Η πολύ μικρή απόκλιση μεταξύ των τιμών που αντιστοιχούν στο ζητούμενο, υπολογισθέν βύθισμα οφείλεται όπως είναι λογικό στην αντίστοιχη απόκλιση που έχουν οι τιμές της διαμήκου και εγκάρσιας κλίσης.

8.2.6. Περίπτωση πλωτής εξέδρας με δύο κατακλυζόμενα διαμερίσματα από τα οποία το ανώτερο σημείο ενός είναι κάτω από το αρχικό βύθισμα.

❖ ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Να υπολογισθεί η εγκάρσια κλίση και η διαγωγή της πλωτής κατασκευής του σχήματος όταν κατακλυθούν οι δεξαμενές 1 και 2. Δίνονται: το αρχικό βύθισμα $T_0 = 3.0 \text{ m}$, το αρχικό κέντρο βάρους $KG_0 = 1.5 \text{ m}$ και η διαχωρητικότητα $\mu_v = 1.0$.



Σχήμα 8.2.6.1

Εξέδρα μίας γάστρας πολυγωνικού σχήματος στην οποία υπάρχουν δύο διαμερίσματα με κατάκλυση και το ένα από τα δύο έχει άνω όριο το οποίο βρίσκεται κάτω από το βύθισμα T_0 (για επίλυση με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής)

❖ ΛΥΣΗ ΜΕ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Η ιδιαιτερότητα της συγκεκριμένης άσκησης είναι ότι το ένα από τα δύο διαμερίσματα που κατακλύζονται, έχει άνω επίπεδο το οποίο βρίσκεται κάτω από το αρχικό βύθισμα T_0 (σχήμα 8.2.6.1). Για την ορθή αντιμετώπιση τέτοιου είδους περιπτώσεων, λαμβάνουμε υπόψη στην μέθοδο της χαμένης άντωσης μόνο το διαμέρισμα που έχει ελεύθερη επιφάνεια (το διαμέρισμα 1 στην προκειμένη περίπτωση) και το διαμέρισμα το οποίο κατακλύζεται πλήρως (διαμέρισμα 2) θα θεωρηθεί απλά ότι δημιουργεί μία δύναμη ίση με το βάρος του νερού που το κατακλύζει.

Ακολουθώντας τη μεθοδολογία της χαμένης ανώσεως βρίσκουμε αρχικά όλα τα απαραίτητα γεωμετρικά στοιχεία της νέας ισάλου πλευσεως:

- Επιφάνεια αρχικής ισάλου πλευσεως:

$$A_w = (20 \times 5) \times 2 + 15 \times 10 + 90 \times 5 = 800 \text{ m}^2$$

- Συντεταγμένες αρχικού κέντρου πλευστότητας ως προς το αρχικό σύστημα αξόνων (x, y) :

$$y_c = \frac{(20 \times 5) \times 10 + (90 \times 5) \times 2.5 + (10 \times 15) \times 12.5 + (20 \times 5) \times 10}{20 \times 5 + 90 \times 5 + 10 \times 15 + 20 \times 5} = \frac{5000}{800}$$

$$y_c = 6.25 \text{ m}$$

Η επιφάνεια είναι συμμετρική ως προς τον άξονα y ,

$$x_c = 50 \text{ m}$$

- Επιφάνεια διαμερισμάτων με κατάκλυση:

$$a_1 = 2 \times 10 = 20 \text{ m}^2$$

$$a_2 = 3 \times 5 = 15 \text{ m}^2$$

- Επιφάνεια νέας ισάλου (μετά την κατάκλυση)

$$A_{w1} = A_w - a_1 = 800 - 20 = 780 \text{ m}^2$$

- Από θεώρημα ροπών οι συντεταγμένες του νέου κέντρου πλευστότητας, ως προς το αρχικό σύστημα αξόνων (x, y) είναι:

$$2 \times [10 \times (20 \times 5)] + (90 \times 5) \times 2.5 + (10 \times 15) \times 12.5 = A_{w1} \times y_F + 1.0 \times a_1 \times 6$$

$$\Rightarrow y_F = 6.256 \text{ m}$$

η δεξαμενή 1, η οποία κατακλύζεται έχει κέντρο πάνω στον άξονα συμμετρίας της ισάλου συνεπώς δεν αλλάζει η απόσταση του κέντρου πλευστότητας από τον άξονα των y .

$$\Rightarrow x_F = 50 \text{ m}$$

- Δεύτερες ροπές αδράνειας ισάλου πλευσεως μετά την κατάκλυση ως προς το νέο αρχικό κέντρο πλευστότητας:

$$I_{xx}^F = I_{xx} - i_{xx} - A_{w1} \cdot y_F^2$$

$$I_{xx}^F = 2 \times \left(\frac{20^3 \times 5}{12} + 20 \times 5 \times 10^2 \right) + \left(\frac{15^3 \times 10}{12} + 15 \times 10 \times 12.5^2 \right) + \left(\frac{5^3 \times 90}{12} + 15 \times 10 \times 2.5^2 \right) -$$

$$- \left(\frac{2^3 \times 10}{12} + 2 \times 10 \times 6^2 \right) - 780 \times 6.256^2 = 25408.72 \text{ m}^4$$

$$I_{yy}^F = I_{yy} - i_{yy} - A_{w1} \cdot x_F^2$$

$$I_{yy}^F = \left(\frac{5^3 \times 20}{12} + 5 \times 20 \times 97.5^2 \right) + \left(\frac{5^3 \times 20}{12} + 5 \times 20 \times 2.5^2 \right) + \left(\frac{10^3 \times 15}{12} + 10 \times 15 \times 50^2 \right) +$$

$$+ \left(\frac{90^3 \times 5}{12} + 90 \times 5 \times 50^2 \right) - \left(\frac{10^3 \times 2}{12} + 10 \times 2 \times 50^2 \right) - 780 \times 50^2 = 756500.3 \text{ m}^4$$

- Όγκος νερού κατακλύσεως:

$$U_1 = a_1 \cdot T_o = 20 \times 3 = 60 \text{ m}^3$$

$$U_2 = a_2 \cdot h = 15 \times 2 = 30 \text{ m}^3$$

- Νέο μετακεντρικό ύψος:

$$GM = KB + BM - KG$$

όπου:

$$- KB = \frac{T_o + \delta T}{2} = \frac{3 + \frac{\gamma U_1}{\gamma A_{wl}}}{2} = \frac{3 + \frac{60}{780}}{2} = 1.538 \text{ m}$$

$$- BM = \frac{I_{xx}^F}{\nabla A_{wl} \cdot T_o} = \frac{I_{xx}^F}{800 \times 3} = \frac{25408.72}{2400} = 10.586 \text{ m}$$

$$- KG = KG_o = 1.5 \text{ m}$$

άρα

$$GM = 1.538 + 10.586 - 1.5 = 10.624 \text{ m}$$

- Και η γωνία εγκάρσιας κλίσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} \tan \varphi &= \frac{M_T}{\Delta GM} = \frac{\gamma U_1 [y_1 - y_F] + \gamma U_2 [y_2 - y_F]}{\Delta GM} = \\ &= \frac{1.025 \times 60 \times [6 - 6.256] + 1.025 \times 30 \times [1.5 - 6.256]}{2460 \times 10.624} = \frac{-161.991}{26135.04} \end{aligned}$$

από την οποία βρίσκεται ότι

$$\tan \varphi = -0.006198 \rightarrow \varphi = -0.3551^\circ$$

- Η διαγωγή της εξέδρας βρίσκεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned}\tan \theta &= \frac{M_L}{\gamma I_{yy}^F} = \frac{\gamma U_1 [x_1 - x_F] + \gamma U_2 [x_2 - x_F]}{\gamma I_{yy}^F} = \\ &= \frac{1.025 \times 60 \times [50 - 50] + 1.025 \times 30 \times [2.5 - 50]}{1.025 \times 756500.3}\end{aligned}$$

και η γωνία διαμήκους κλίσης προκύπτει:

$$\tan \theta = -0.0018836 \quad \rightarrow \quad \theta = -0,1079^\circ$$

❖ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ Η/Υ

Το αρχείο εισόδου για την περίπτωση που μελετάμε είναι:

Main Program Variables & Constants

```
Total Number of Bodies (NSM)           :1
Total Number of Joints (NAR)           :0
Total Number of Hulls (NGS)            :1
Total Number of Flooded Compartments (NFC) :1
Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC) :1
Total Number of Req. Draught Location (DRL) :0
Maximum No. of Hulls/Body              :1
Maximum No. of Points/Hull             :13
Maximum No. of Points/Flooded Compartment :0
Maximum No. of Bodies/Joint            :0
Maximum No. of Joints/Body             :0
Maximum No. of Forces/Body             :2
Water special weight [tn/m³] (PKNN)    :1.025000
-----
```

Bodies Characteristics

```
Body No. |Xref      |Yref      |L      |B      |H
1         5.000000  5.000000 100.000000 20.000000 0.500000
-----
```

Hulls Characteristics

```
Body No.:1 | Hulls/Body:1
-----
Hull No.:1 |Type:1
-----
Depth      |No. of points
5.000000 13
-----
xhi      | yhi
0.000000 0.000000
0.000000 20.000000
5.000000 20.000000
5.000000 5.000000
45.000000 5.000000
45.000000 20.000000
55.000000 20.000000
55.000000 5.000000
95.000000 5.000000
95.000000 20.000000
100.000000 20.000000
100.000000 0.000000
0.000000 0.000000
-----
```

External Powers & Characteristics

 No. Body:1 | Power/Body:2

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	2460.000000	50.000000	6.250000	1.500000
2	30.750000	2.500000	1.500000	1.000000

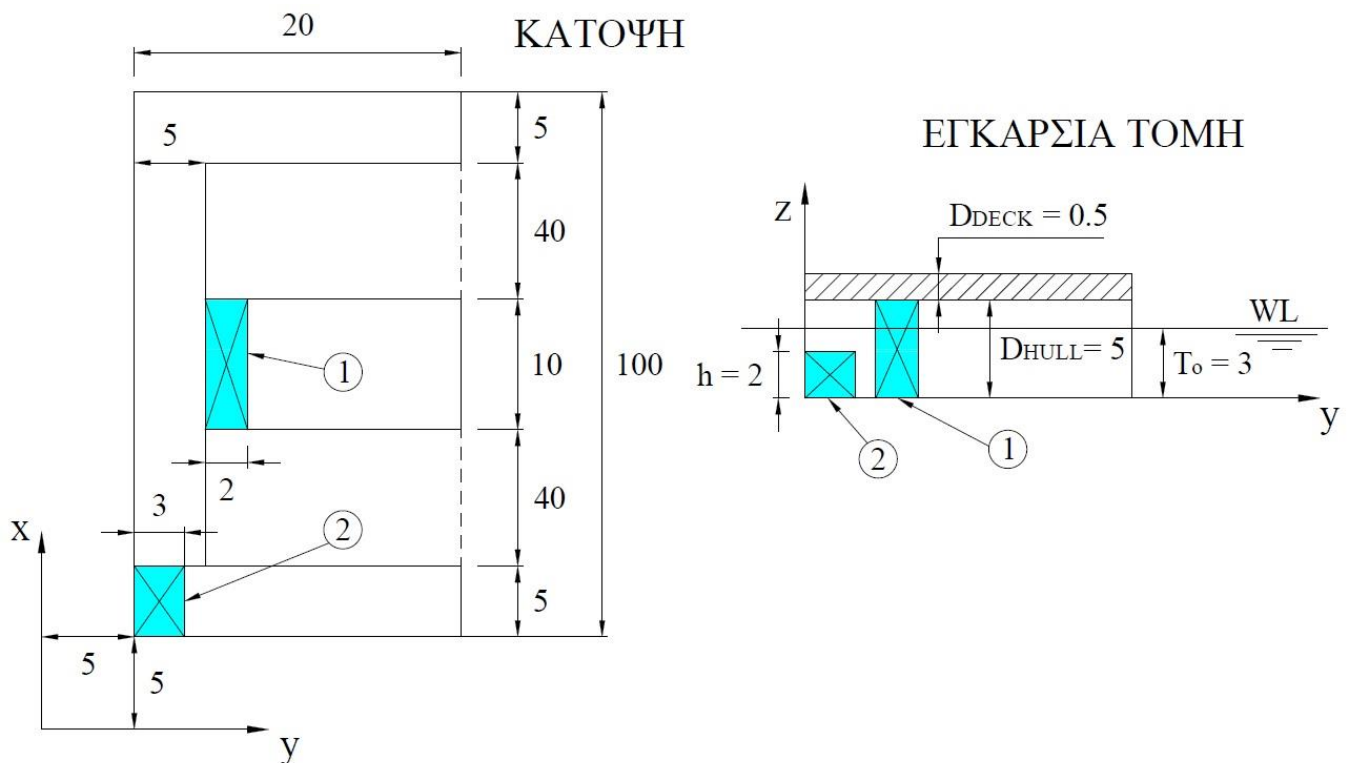
 Flooded Compartments Characteristics

Compartment No.:	1	Body No.:	1	Hull No.:	1	Type:	2	Permability:	1.000
xh	50.000000	yh	6.000000	Lh	10.000000	Bh	2.000000		

όπου

- 5m είναι το κοίλο της γάστρας
- 0,5m είναι το κοίλο του καταστρώματος

Το σχήμα με το οποίο προγραμματίσαμε τα παραπάνω δεδομένα είναι:



Σχήμα 8.2.6.2

Εξέδρα μίας γάστρας πολυγωνικού σχήματος στην οποία υπάρχουν δύο διαμερίσματα με κατάκλυση και το ένα από τα δύο έχει άνω όριο το οποίο βρίσκεται κάτω από το βύθισμα T_o (για επίλυση μέσω H/Y)

Το πρόγραμμα για την παραπάνω περίπτωση συγκλίνει στην 3^η επανάληψη και τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι:

 FINAL RESULTS

 BODIES INCLINATION

BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	-6.183096E-03	-1.883271E-03	-3.542608E-01	-1.079033E-01

 FLOODING COMPARTMENTS CHARACTERISTICS

 COMPARTMENT 1

LOCATION :	BODY	1		
	HULL	1		
WATER AREA	(m ²) =	20.00000	PERMABILITY (%) =	100.0000
TOTAL VOLUME	(m ³) =	62.30769	NET VOLUME (m ³) =	62.30769

 GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS

 BODY 1

DISPLACEMENT (t) =	2.490750E+03	KB (m) =	1.557692E+00	KG (m) =	1.493827E+00
WATER AREA (m ²) =	8.000000E+02	LCFx (m) =	5.000000E+01	LCFy (m) =	6.256410E+00
BML (m) =	3.113170E+02	LCBx (m) =	5.000000E+01	Ixx (m ⁴) =	2.540872E+04
BMT (m) =	1.045627E+01	LCBy (m) =	6.256411E+00	Iyy (m ⁴) =	7.565003E+05
Tm (m) =	3.115385E+00	GML (m) =	3.113817E+02	GMT (m) =	1.052088E+01

❖ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

			Υπολογισμοί με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής	Υπολογισμοί με H/Y
	Εφαπτόμενη εγκάρσια κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	-0,006198	-0,006183
	Εφαπτόμενη διαμήκου κλίσης:	$\tan(\theta) =$	0,0018836	0,0018832

Η μικρή απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που μας δίνει η επίλυση της άσκησης με τους απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής και των αποτελεσμάτων μέσω του προγράμματος, ειδικά στην τιμή της διαμήκου κλίσης οφείλεται στην παρατήρηση που κάναμε στην 8.1 παράγραφο. Για την επίλυση μέσω των απλοποιημένων τύπων της υδροστατικής, στους υπολογισμούς στον διαμήκη άξονα έχουν χρησιμοποιηθεί απλοποιημένοι τύποι.

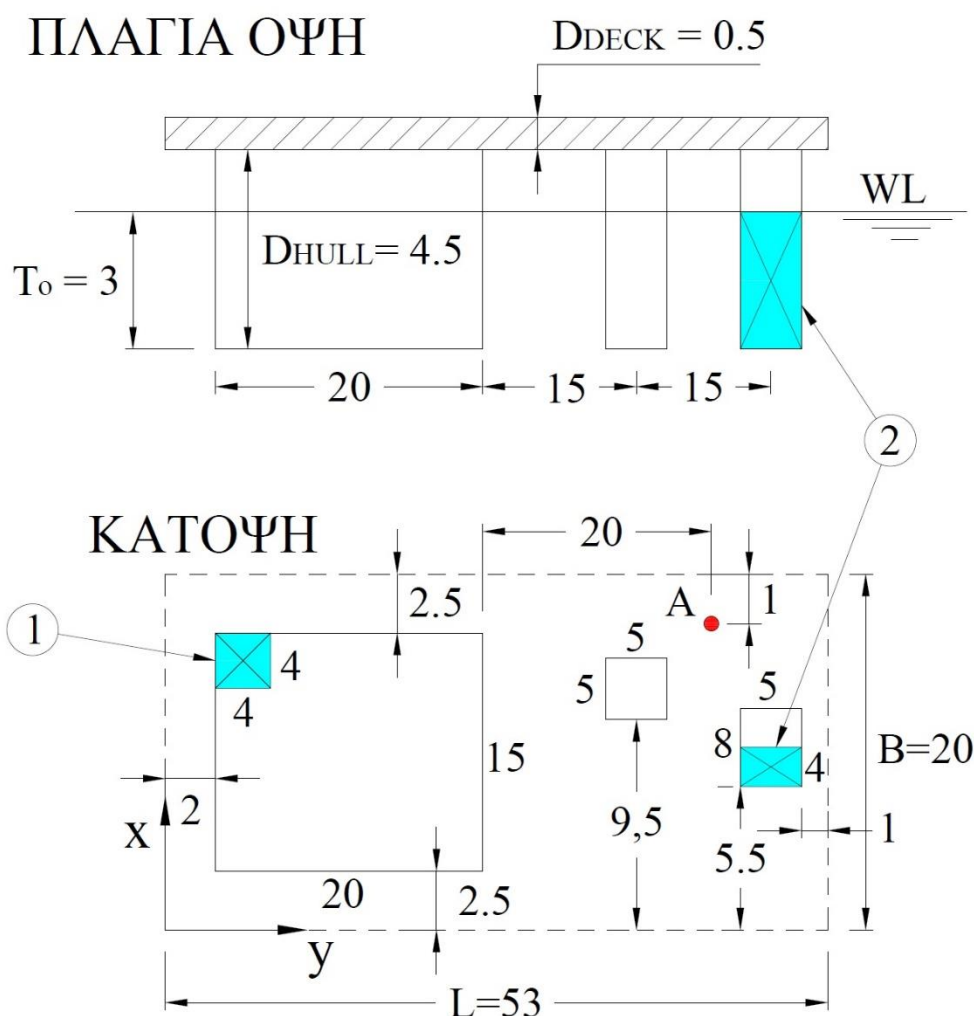
Παράλληλα στην επίλυση του προβλήματος μέσω του προγράμματος λαμβάνεται υπόψιν η επίδραση του γινομένου αδράνειας, συνεπώς λόγω της των διαμερισμάτων όπου κατακλύζονται αλλά και της πολυγωνικής μορφής της γάστρας, τα αποτελέσματα θα παρουσιάζουν μία σχετική απόκλιση σε σχέση με τα αποτελέσματα από την επίλυση μέσω της αναλυτικής μεθόδου.

8.2.7. Περίπτωση πλωτής εξέδρας με 3 γάστρες εκ των οποίων στις δύο υπάρχει διαμέρισμα με κατάκλυση

❖ ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Να υπολογιστεί η εγκάρσια κλίση και διαγωγή της πλωτής εξέδρας του σχήματος όταν κατακλυσθούν οι αρχικά κενές δεξαμενές No. 1 και No. 2. Επίσης να υπολογισθεί το βύθισμα στο σημείο A.

Οι απαραίτητες διαστάσεις δίνονται στο σχήμα που ακολουθεί. Επιπλέον είναι δεδομένα: $T_o = 3\text{m}$, $KG_o = 1.5\text{m}$, $\mu_s = 1.0$ (διαχωρητότητα)



Σχήμα 8.2.5.1

Εξέδρα με τρεις γάστρες εκ των οποίων οι δύο έχουν διαμέρισμα που κατακλύζεται (για επίλυση με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής)

❖ ΛΥΣΗ ΜΕ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Ακολουθώντας τη μεθοδολογία της χαμένης αντώσεως βρίσκουμε αρχικά όλα τα απαραίτητα γεωμετρικά στοιχεία της νέας ισάλου πλευσεως:

- Επιφάνεια αρχικής ισάλου πλευσεως:

$$A_w = 15 \times 20 + 5 \times 5 + 8 \times 5 = 365 \text{ m}^2$$

- Αρχικό εκτόπισμα:

$$\Delta = A_w \cdot T_o \cdot \gamma = 365 \times 3 \times 1.025 = 1122.375 \text{ t}$$

- Επιφάνεια διαμερισμάτων με κατάκλυση:

$$a_1 = 4 \times 4 = 16 \text{ m}^2$$

$$a_2 = 5 \times 4 = 20 \text{ m}^2$$

- Επιφάνεια νέας ισάλου (μετά την κατάκλυση)

$$A_{w1} = A_w - a_1 - a_2 = 365 - 16 - 20 = 329 \text{ m}^2$$

- Συντεταγμένες αρχικού κέντρου πλευστότητας ως προς το αρχικό σύστημα αξόνων (x, y):

$$y_c = \frac{7.5 \times 300 + 9.5 \times 25 + 3 \times 40}{365} + 2.5$$

$$y_c = 9.643 \text{ m}$$

$$x_c = \frac{10 \times 300 + 35 \times 25 + 50 \times 40}{365} + 2$$

$$x_c = 18.095 \text{ m}$$

- Από θεώρημα ροπών οι συντεταγμένες του νέου κέντρου πλευστότητας, ως προς το αρχικό σύστημα αξόνων (x, y) είναι:

$$y_F = \frac{20 \times 15 \times 7.5 + 5 \times 5 \times 9.5 + 8 \times 5 \times 3 - 4 \times 4 \times 13 - 5 \times 4 \times 1}{329}$$

$$\Rightarrow y_F = 9.732 \text{ m}$$

$$x_F = \frac{20 \times 15 \times 12 + 5 \times 5 \times 37 + 8 \times 5 \times 52 - 4 \times 4 \times 4 - 5 \times 4 \times 52}{329}$$

$$\Rightarrow x_F = 16.720 \text{ m}$$

- Δεύτερες ροπές αδράνειας ισάλου πλευσεως μετά την κατάκλυση ως προς το νέο αρχικό κέντρο πλευστότητας:

$$I_{xx}^F = I_{xx} - i_{xx} - A_{w1} \cdot y_F^2$$

$$I_{xx}^F = \left(\frac{15^3 \times 20}{12} + 15 \times 20 \times 10^2 \right) + \left(\frac{5^3 \times 5}{12} + 5 \times 5 \times 12^2 \right) + \left(\frac{8^3 \times 5}{12} + 8 \times 5 \times 5.5^2 \right) - \left(\frac{4^3 \times 4}{12} + 4 \times 4 \times 15.5^2 \right) - \left(\frac{4^3 \times 5}{12} + 4 \times 5 \times 3.5^2 \right) - 329 \times 9.732^2 = 5400.024 \text{ m}^4$$

$$I_{yy}^F = I_{yy} - i_{yy} - A_{w1} \cdot x_F^2$$

$$I_{yy}^F = \left(\frac{15 \times 20^3}{12} + 15 \times 20 \times 12^2 \right) + \left(\frac{5^3 \times 5}{12} + 5 \times 5 \times 37^2 \right) + \left(\frac{8 \times 5^3}{12} + 8 \times 5 \times 52^2 \right) - \left(\frac{4^3 \times 4}{12} + 4 \times 4 \times 4^2 \right) - \left(\frac{4 \times 5^3}{12} + 4 \times 5 \times 52^2 \right) - 329 \times 16.72^2 = 49346.702 \text{ m}^4$$

- Όγκος νερού κατακλύσεως:

$$U_1 = a_1 \cdot T_o = 16 \times 3 = 48 \text{ m}^3$$

$$U_2 = a_2 \cdot T_o = 20 \times 3 = 60 \text{ m}^3$$

- Νέο μετακεντρικό ύψος:

$$GM = KB + BM - KG$$

όπου:

$$\begin{aligned} - KB &= \frac{T_o + \delta T}{2} = \frac{3 + \frac{\gamma U_1 + \gamma U_2}{\gamma A_{w1}}}{2} = \frac{3 + \frac{48 + 60}{329}}{2} = 1.664 \text{ m} \\ - BM &= \frac{I_{xx}^F}{\nabla} = \frac{I_{xx}^F}{A_{w1} \cdot T_o} = \frac{5400.024}{329 \times 3} = 4.931 \text{ m} \\ - KG &= KG_o = 1.5 \text{ m} \end{aligned}$$

άρα

$$GM = 1.664 + 4.931 - 1.5 = 5.095 \text{ m}$$

- Και η γωνία εγκάρσιας κλίσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} \tan \varphi &= \frac{M_T}{\Delta GM} = \frac{\gamma U_1 [y_1 - y_F] + \gamma U_2 [y_2 - y_F]}{\Delta GM} = \\ &= \frac{1.025 \times 48 \times [15.5 - 9.732] + 1.025 \times 60 \times [3.5 - 9.732]}{1122.375 \times 5.095} = \frac{-99.537}{5718.500} \end{aligned}$$

από την οποία βρίσκεται ότι

$$\tan \varphi = -0,01740 \rightarrow \varphi = -0.9968^\circ$$

- Η διαγωγή της εξέδρας βρίσκεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \frac{M_L}{\gamma I_{yy}^F} = \frac{\gamma U_1 [x_1 - x_F] + \gamma U_2 [x_2 - x_F]}{\gamma I_{yy}^F} = \\ &= \frac{1.025 \times 48 \times [4 - 16.720] + 1.025 \times 60 \times [52 - 16.720]}{1.025 \times 49346.702} \end{aligned}$$

και η γωνία διαμήκους κλίσης προκύπτει:

$$\tan \theta = 0.03052 \rightarrow \theta = 1.7481^\circ$$

Ο υπολογισμός του βυθίσματος στο ζητούμενο σημείο υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$T_A = T_o + \delta\Gamma + (x - x_{F'}) \tan \theta + (y - y_{F'}) \tan \varphi$$

όπου:

- $\delta\Gamma = \frac{U_1 + U_2}{A_{w1}} = 0,328m$
- $T_o = 3m$
- $(x, y) = (42, 19)$, ως προς το σύστημα αξόνων της γάστρας
- $(x_F, y_F) = (16.720, 9.732)$

προκύπτει:

$$T_A = 3.938 m$$

❖ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ Η/Υ

Το αρχείο εισόδου για την περίπτωση που μελετάμε είναι:

Main Program Variables & Constants

Total Number of Bodies (NSM) :1
 Total Number of Joints (NAR) :0
 Total Number of Hulls (NGS) :3
 Total Number of Flooded Compartments (NFC) :2
 Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC) :1
 Total Number of Req. Draught Location (DRL) :1
 Maximum No. of Hulls/Body :3
 Maximum No. of Points/Hull :0
 Maximum No. of Points/Flooded Compartment :0
 Maximum No. of Bodies/Joint :0
 Maximum No. of Joints/Body :0
 Maximum No. of Forces/Body :1
 Water special weight [tn/m³] (PKNN) :1.025000

Bodies Characteristics

Body No.	Xref	Yref	L	B	H
1	5.000000	5.000000	53.000000	20.000000	0.500000

Hulls Characteristics

Body No.:1 | Hulls/Body:3

Hull No.:1 | Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
4.500000	12.000000	10.000000	20.000000	15.000000

Hull No.:2 | Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
4.500000	37.000000	12.000000	5.000000	5.000000

Hull No.:3 | Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
4.500000	52.000000	5.500000	5.000000	8.000000

External Powers & Characteristics

No. Body:1 | Power/Body:1

Power No.	Power	xpi	ypi	zpi
1	1122.375000	18.095000	9.643000	1.500000

Flooded Compartments Characteristics

Compartment No.:1 | Body No.:1 | Hull No.:1 | Type:2 | Permability:1.000

xh	yh	Lh	Bh
4.000000	15.500000	4.000000	4.000000

Compartment No.:2 | Body No.:1 | Hull No.:3 | Type:2 | Permability:1.000

xh	yh	Lh	Bh
52.000000	3.500000	5.000000	4.000000

Draught at Required Location

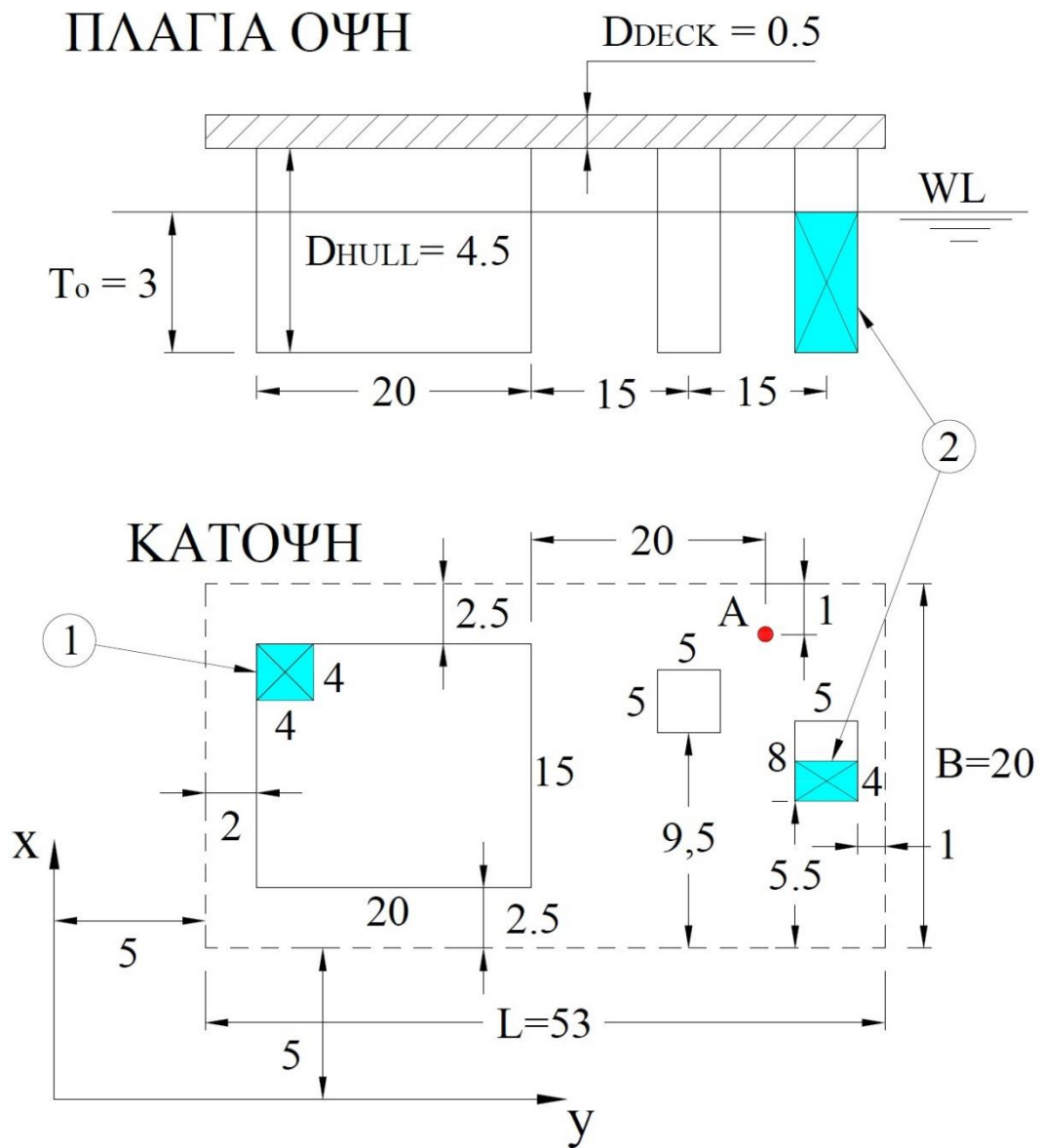
Location No.:1

Body	xli	yli
1	42.000000	19.000000

όπου

- 4,5m είναι το κοίλο της γάστρας
- 0,5m είναι το κοίλο του καταστρώματος

Το σχήμα με το οποίο προγραμματίσαμε τα παραπάνω δεδομένα είναι:



Σχήμα 8.2.7.2

Εξέδρα με τρεις γάστρες εκ των οποίων οι δύο έχουν διαμέρισμα που κατακλύζεται (για επίλυση μέσω H/Y)

Το πρόγραμμα για την παραπάνω περίπτωση συγκλίνει στην 3^η επανάληψη και τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι:

FINAL RESULTS

BODIES INCLINATION

BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	-1.750472E-02	3.037845E-02	-1.002844E+00	1.740022E+00

BODIES DRAUGHT AT REQUIRED LOCATION

LOCATION 1

BODY	X (m)	Y (m)	T (m)
1	4.200000E+01	1.900000E+01	3.933999E+00

FLOODING COMPARTMENTS CHARACTERISTICS

COMPARTMENT 1

LOCATION :	BODY	1		
	HULL	1		
WATER AREA	(m ²) =	16.00000	PERMABILITY (%) =	100.0000
TOTAL VOLUME	(m ³) =	53.25228	NET VOLUME (m ³) =	53.25228

COMPARTMENT 2

LOCATION :	BODY	1		
	HULL	3		
WATER AREA	(m ²) =	20.00000	PERMABILITY (%) =	100.0000
TOTAL VOLUME	(m ³) =	66.56535	NET VOLUME (m ³) =	66.56535

GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS

BODY 1

DISPLACEMENT(t)	=	1.122375E+03	KB (m)	=	1.664134E+00	KG (m)	=	1.500000E+00
WATER AREA	(m ²) =	3.650000E+02	LCFx (m)	=	1.672036E+01	LCFy (m)	=	9.732523E+00
BML	(m) =	4.506467E+01	LCBx (m)	=	1.672036E+01	Ixx (m ⁴)	=	5.396770E+03
BMT	(m) =	4.928557E+00	LCBy (m)	=	9.732523E+00	Iyy (m ⁴)	=	4.934581E+04
Tm	(m) =	3.328268E+00	GML (m)	=	4.525035E+01	GMT (m)	=	5.114240E+00

❖ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

				Υπολογισμοί με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής	Υπολογισμοί με H/Y
BODY NO. 1	Βύθισμα σε συγκεκριμένη θέση:	$T_A =$	3,938	3,933	
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	-0,01740	-0,01750	
	Εφαπτόμενη διαμήκου κλίσης:	$\tan(\theta) =$	0,03052	0,03037	

Η μικρή απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που μας δίνει η επίλυση της άσκησης με τους απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής και των αποτελεσμάτων μέσω του προγράμματος, ειδικά στην τιμή της διαμήκου κλίσης οφείλεται στην παρατήρηση που κάναμε στην 8.1 παράγραφο. Για την επίλυση μέσω των απλοποιημένων τύπων της υδροστατικής, στους υπολογισμούς στον διαμήκη άξονα έχουν χρησιμοποιηθεί απλοποιημένοι τύποι.

Παράλληλα στην επίλυση του προβλήματος μέσω του προγράμματος λαμβάνεται υπόψιν η επίδραση του γινομένου αδράνειας, συνεπώς λόγω της των διαμερισμάτων όπου κατακλύζονται, τα αποτελέσματα θα παρουσιάζουν μία σχετική απόκλιση σε σχέση με τα αποτελέσματα από την επίλυση μέσω της αναλυτικής μεθόδου.

Η πολύ μικρή απόκλιση μεταξύ των τιμών που αντιστοιχούν στο ζητούμενο, υπολογισθέν βύθισμα οφείλεται όπως είναι λογικό στην αντίστοιχη απόκλιση που έχουν οι τιμές της διαμήκου και εγκάρσιας κλίσης.

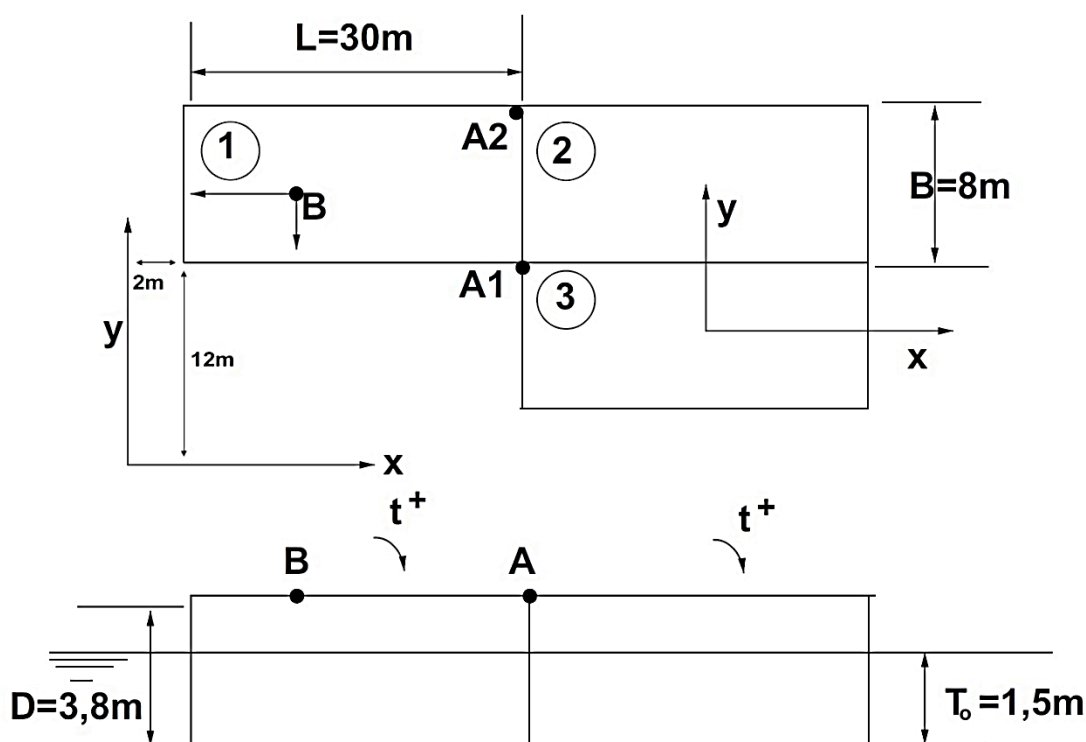
8.3. Πολύπλοκες περιπτώσεις ευστάθειας σωμάτων

Στη συγκεκριμένη παράγραφο θα παρουσιαστούν κάποιες περιπτώσεις συνδυασμών πλωτών εξέδρων για τις οποίες δεν είναι δυνατή η επίλυση τους χωρίς τη χρήση υπολογιστή λόγω του αριθμού των αγνώστων που προκύπτουν.

8.3.1. Περίπτωση συστήματος τριών εξέδρων με δύο αρθρώσεις

❖ ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Σύστημα τριών σωμάτων συνδέονται μεταξύ τους μέσω δύο αρθρώσεων όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Ζητείται ο υπολογισμός της εγκάρσιας και διαμήκου κλίσης κάθε εξέδρας, καθώς και οι δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε άρθρωση, ύστερα από την επιβολή δύναμης 10 τόνων στο σημείο B του σώματος 1. Όλα τα απαραίτητα γεωμετρικά στοιχεία που αφορούν το σύστημα βρίσκονται στο σχήμα.



Σχήμα 8.3.1.1

Τρεις εξέδρες συνδεδεμένες μεταξύ τους με δύο αρθρώσεις

❖ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ Η/Υ

Στην περίπτωση τριών εξεδρών με δυο αρθρώσεις έχουμε συνολικά 5 αγνώστους τρεις από την άρθρωση 1 και 2 από την άρθρωση 2, οπότε κατά συνέπεια και το σύστημα που προκύπτει είναι 5x5.

Ο φάκελος εισόδου που χρειαζόμαστε διαμορφώνεται ως εξής:

Main Program Variables & Constants

Total Number of Bodies (NSM)	:3
Total Number of Joints (NAR)	:2
Total Number of Hulls (NGS)	:3
Total Number of Flooded Compartments (NFC)	:0
Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC)	:0
Total Number of Req. Draught Location (DRL)	:0
Maximum No. of Hulls/Body	:1
Maximum No. of Points/Hull	:0
Maximum No. of Points/Flooded Compartment	:0
Maximum No. of Bodies/Joint	:3
Maximum No. of Joints/Body	:2
Maximum No. of Forces/Body	:2
Water Special weight [tn/m ³] (PKNN)	:1.025000

Bodies Characteristics

Body No.	Xref	Yref	L	B	H
1	2.000000	10.000000	30.000000	8.000000	0.200000
2	32.000000	10.000000	30.000000	8.000000	0.200000
3	32.000000	2.000000	30.000000	8.000000	0.200000

Hulls Characteristics

Body No.:1 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 | Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
3.800000	15.000000	4.000000	30.000000	8.000000

Body No.:2 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 | Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
3.800000	15.000000	4.000000	30.000000	8.000000

Body No.:3 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 |Type:2

Depth |xh |yh |Lh |Bh
3.800000 15.000000 4.000000 30.000000 8.000000

Joints Characteristics

Joint No|xj |yj |type (F/R) |Zrestr |
1 32.000000 10.000000 F 0.000000
2 32.000000 18.000000 F 0.000000

Joint No.:1 |Bodies/Joint:3

Body No. | zhi
2 0.200000
3 0.200000
1 0.200000

Joint No.:2 |Bodies/Joint:2

Body No. | zhi
1 0.200000
2 0.200000

External Powers & Characteristics

No. Body:1 | Power/Body:2

Power No. |Power |xpi |ypi |zpi
1 369.000000 15.000000 4.000000 1.500000
2 10.000000 10.000000 2.000000 4.000000

No. Body:2 | Power/Body:1

Power No. |Power |xpi |ypi |zpi
1 369.000000 15.000000 4.000000 1.500000

No. Body:3 | Power/Body:1

Power No. |Power |xpi |ypi |zpi
1 369.000000 15.000000 4.000000 1.500000

όπου

- 3,8m είναι το κοίλο κάθε γάστρας
- 0,2m είναι το κοίλο του καταστρώματος

Το πρόγραμμα για την παραπάνω περίπτωση συγκλίνει στην 5^η επανάληψη και τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι:

FINAL RESULTS

FORCES

JOINT 1

F (t) BODY (2) 1 = 8.480998E-01
F (t) BODY (3) 2 = 8.088965E-01
F (t) BODY (1) 3 = -1.656996E+00

JOINT 2

F (t) BODY (1) 4 = 1.272853E+00
F (t) BODY (2) 5 = -1.272853E+00

BODIES INCLINATION

BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	-8.186222E-03	-3.072375E-03	-4.690255E-01	-1.760335E-01
2	-8.186182E-03	3.505652E-04	-4.690232E-01	2.008590E-02
3	3.131496E-03	-6.677281E-04	1.794209E-01	-3.825800E-02

BODIES DRAUGHT AT THE JOINT

JOINT 1

BODY T (m) dT dTMx dTMy
2 1.525760E+00 1.498273E+00 3.274473E-02 -5.258477E-03
3 1.525830E+00 1.503288E+00 1.252599E-02 1.001592E-02
1 1.525748E+00 1.539089E+00 3.274489E-02 -4.608562E-02

JOINT 2

BODY T (m) dT dTMx dTMy
1 1.460258E+00 1.539089E+00 -3.274489E-02 -4.608562E-02
2 1.460270E+00 1.498273E+00 -3.274473E-02 -5.258477E-03

GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS

BODY 1

DISPLACEMENT(t) = 3.786158E+02 KB (m) = 7.695444E-01 KG (m) = 1.563494E+00
WATER AREA (m^2)= 2.400000E+02 LCFx (m) = 1.500000E+01 LCFy (m) = 4.000000E+00
BML (m) = 4.873013E+01 LCBx (m) = 1.500000E+01 Ixx (m^4) = 1.280000E+03
BMT (m) = 3.465254E+00 LCBy (m) = 4.000000E+00 Iyy (m^4) = 1.800000E+04
Tm (m) = 1.539089E+00 GML (m) = 4.793653E+01 GMT (m) = 2.671651E+00

BODY 2

DISPLACEMENT(t)	=	3.685753E+02	KB (m)	=	7.491367E-01	KG (m)	=	1.497119E+00
WATER AREA (m^2)	=	2.400000E+02	LCFx (m)	=	1.500000E+01	LCFy (m)	=	4.000000E+00
BML (m)	=	5.005762E+01	LCBx (m)	=	1.500000E+01	Ixx (m^4)	=	1.280000E+03
BMT (m)	=	3.559653E+00	LCBy (m)	=	4.000000E+00	Iyy (m^4)	=	1.800000E+04
Tm (m)	=	1.498273E+00	GML (m)	=	4.930976E+01	GMT (m)	=	2.811793E+00

 BODY 3

DISPLACEMENT(t)	=	3.698089E+02	KB (m)	=	7.516442E-01	KG (m)	=	1.505468E+00
WATER AREA (m^2)	=	2.400000E+02	LCFx (m)	=	1.500000E+01	LCFy (m)	=	4.000000E+00
BML (m)	=	4.989063E+01	LCBx (m)	=	1.500000E+01	Ixx (m^4)	=	1.280000E+03
BMT (m)	=	3.547778E+00	LCBy (m)	=	4.000000E+00	Iyy (m^4)	=	1.800000E+04
Tm (m)	=	1.503288E+00	GML (m)	=	4.913683E+01	GMT (m)	=	2.793983E+00

❖ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

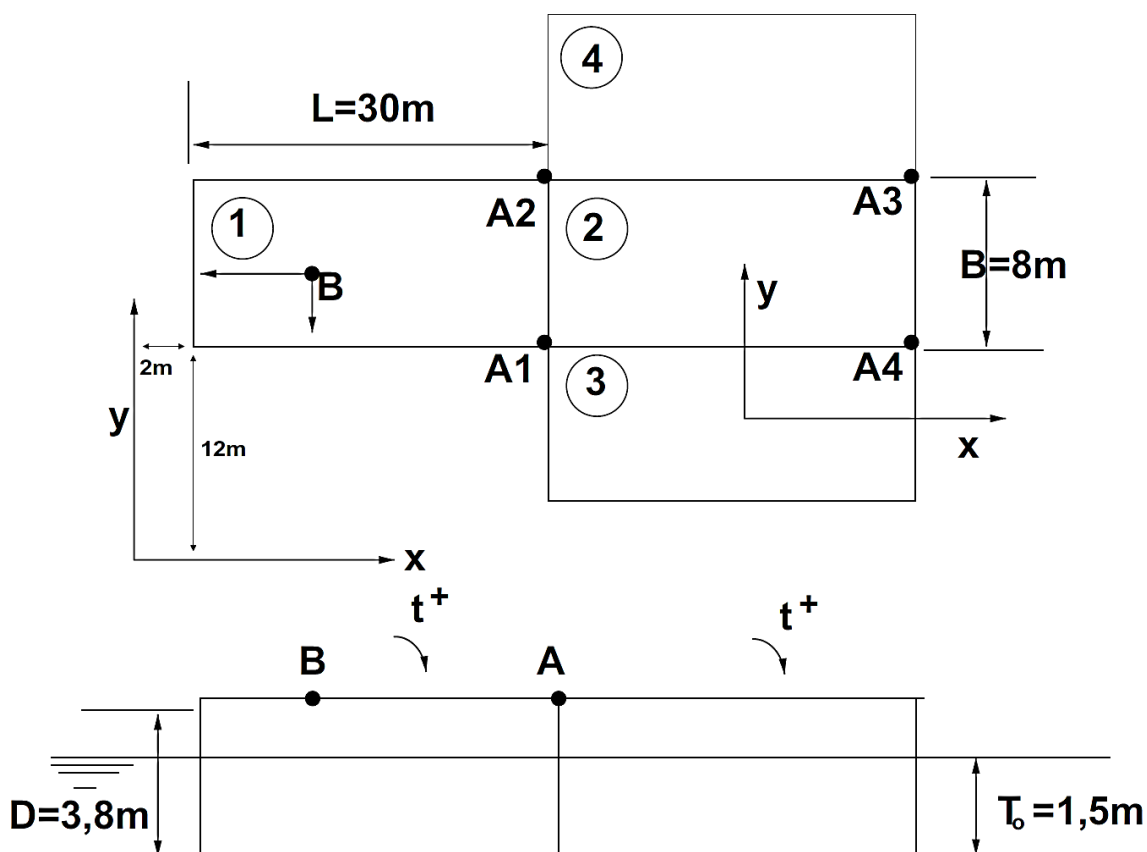
			Υπολογισμοί με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής	
			Αρχικός κώδικας	Νέος κώδικας
BODY NO. 1	Δύναμη άρθρωσης A1:	$P_{A1} =$	0,8487245 t	0,8480998 t
	Δύναμη άρθρωσης A2:	$P_{A2} =$	1,2730380 t	1,2728530 t
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	-0,008189317	-0,008186222
	Εφαπτόμενη διαμήκουσ κλίσης:	$\tan(\theta) =$	-0,003071427	-0,003072375
BODY NO. 2	Δύναμη άρθρωσης A1:	$P_{A1} =$	0,8073096 t	0,8088965 t
	Δύναμη άρθρωσης A2:	$P_{A2} =$	-1,2730380 t	-1,2728530 t
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	-0,008189318	-0,008186182
	Εφαπτόμενη διαμήκουσ κλίσης:	$\tan(\theta) =$	0,000350202	0,0003505652
BODY NO. 3	Δύναμη άρθρωσης A1:	$P_{A1} =$	-1,6560340 t	-1,6569960 t
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	0,003125341	0,003131496
	Εφαπτόμενη διαμήκουσ κλίσης:	$\tan(\theta) =$	-0,000666418	-0,0006677281

Οι διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ των τιμών του αρχικού και του νέου κώδικα οφείλονται στην βελτιστοποίηση του νέου κώδικα στο κομμάτι της μοντελοποίησης του προβλήματος που αφορά την γεωμετρική σχέση που έχει μία άρθρωση με το σώμα στο οποίο συνδέεται.

8.3.2. Περίπτωση συστήματος τεσσάρων εξέδρων με τέσσερις αρθρώσεις

❖ ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Σύστημα τεσσάρων σωμάτων συνδέονται μεταξύ τους μέσω τεσσάρων αρθρώσεων όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Ζητείται ο υπολογισμός της εγκάρσιας και διαμήκουσ κλίσης κάθε εξέδρας, καθώς και οι δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε άρθρωση, ύστερα από την επιβολή δύναμης 10 τόνων στο σημείο B του σώματος 1. Όλα τα απαραίτητα γεωμετρικά στοιχεία που αφορούν το σύστημα βρίσκονται στο σχήμα.



Σχήμα 8.3.2.1

Τέσσερις εξέδρες συνδεδεμένες μεταξύ τους με τέσσερις αρθρώσεις

❖ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ Η/Υ

Στην περίπτωση τεσσάρων εξέδρων με τέσσερις αρθρώσεις έχουμε συνολικά 10 αγνώστους: τρεις από την άρθρωση 1, τρεις από την άρθρωση 2, δυο από την άρθρωση 3 και δυο από την άρθρωση 4, οπότε κατά συνέπεια και το σύστημα που προκύπτει είναι 10x10. Το σύστημα είναι αρκετά πολύπλοκο και δύσκολο να επιλυθεί με κλασσικές μεθόδους επίλυσης καθιστώντας απαραίτητη την χρήση προγράμματος για την ταχύτερη και ακριβέστερη επίλυση του προβλήματος.

Ο φάκελος εισόδου που χρειαζόμαστε διαμορφώνεται ως εξής:

Main Program Variables & Constants

Total Number of Bodies (NSM)	:4
Total Number of Joints (NAR)	:4
Total Number of Hulls (NGS)	:4
Total Number of Flooded Compartments (NFC)	:0
Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC)	:0
Total Number of Req. Draught Location (DRL)	:0
Maximum No. of Hulls/Body	:1
Maximum No. of Points/Hull	:0
Maximum No. of Points/Flooded Compartment	:0
Maximum No. of Bodies/Joint	:3
Maximum No. of Joints/Body	:4
Maximum No. of Forces/Body	:2
water special weight [tn/m ³] (PKNN)	:1.025000

Bodies Characteristics

Body No.	Xref	Yref	L	B	H
1	2.000000	10.000000	30.000000	8.000000	0.200000
2	32.000000	10.000000	30.000000	8.000000	0.200000
3	32.000000	2.000000	30.000000	8.000000	0.200000
4	32.000000	18.000000	30.000000	8.000000	0.200000

Hulls Characteristics

Body No.:1 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 |Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
3.800000	15.000000	4.000000	30.000000	8.000000

Body No.:2 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 |Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
3.800000	15.000000	4.000000	30.000000	8.000000

Body No.:3 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 |Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
3.800000	15.000000	4.000000	30.000000	8.000000

Body No.:4 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 |Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
3.800000	15.000000	4.000000	30.000000	8.000000

Joints Characteristics

Joint No	xj	yj	type (F/R)	Zrestr
1	32.000000	10.000000	F	0.000000
2	32.000000	18.000000	F	0.000000
3	62.000000	18.000000	F	0.000000
4	62.000000	10.000000	F	0.000000

Joint No.:1 |Bodies/Joint:3

Body No.	zhi
2	0.200000
3	0.200000
1	0.200000

Joint No.:2 |Bodies/Joint:3

Body No.	zhi
1	0.200000
2	0.200000
4	0.200000

Joint No.:3 |Bodies/Joint:2

Body No.	zhi
4	0.200000
2	0.200000

Joint No.:4 |Bodies/Joint:2

Body No.	zhi
3	0.200000
2	0.200000

External Powers & Characteristics

No. Body:1 | Power/Body:2

Power No.	Power	xpi	ypr	zpr
1	369.000000	15.000000	4.000000	1.500000
2	10.000000	26.000000	2.000000	4.000000

No. Body:2 | Power/Body:1

Power No.	Power	xpi	ypr	zpr
1	369.000000	15.000000	4.000000	1.500000

No. Body:3 | Power/Body:1

Power No.	Power	xpi	ypr	zpr
1	369.000000	15.000000	4.000000	1.500000

No. Body:4 | Power/Body:1

Power No.	Power	xpi	ypr	zpr
1	369.000000	15.000000	4.000000	1.500000

όπου

- 3,8m είναι το κοίλο κάθε γάστρας
- 0,2m είναι το κοίλο του καταστρώματος

Το πρόγραμμα για την παραπάνω περίπτωση συγκλίνει στην 5^η επανάληψη και τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι:

FINAL RESULTS

FORCES

JOINT			
1			
F (t) BODY (2)	1 =	2.708297E+00	
F (t) BODY (3)	2 =	1.899303E+00	
F (t) BODY (1)	3 =	-4.607600E+00	
2			
F (t) BODY (1)	4 =	-9.988304E-01	
F (t) BODY (2)	5 =	2.073140E-01	
F (t) BODY (4)	6 =	7.915165E-01	
3			

F (t) BODY (4) 7 = -1.077818E+00
 F (t) BODY (2) 8 = 1.077818E+00

 JOINT 4

F (t) BODY (3) 9 = 3.048180E-02
 F (t) BODY (2) 10 = -3.048180E-02

 BODIES INCLINATION

BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	-5.432673E-03	1.426223E-03	-3.112662E-01	8.171647E-02
2	-5.432655E-03	-1.542888E-03	-3.112651E-01	-8.840089E-02
3	7.490733E-03	-1.542908E-03	4.291793E-01	-8.840206E-02
4	1.105425E-03	-1.542866E-03	6.333616E-02	-8.839962E-02

 BODIES DRAUGHT AT THE JOINT

 JOINT 1

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
2	1.560984E+00	1.516110E+00	2.173062E-02	2.314332E-02
3	1.560951E+00	1.507845E+00	2.996293E-02	2.314362E-02
1	1.560984E+00	1.517860E+00	2.173069E-02	2.139334E-02

 JOINT 2

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
1	1.517523E+00	1.517860E+00	-2.173069E-02	2.139334E-02
2	1.517522E+00	1.516110E+00	-2.173062E-02	2.314332E-02
4	1.517557E+00	1.498836E+00	-4.421700E-03	2.314298E-02

 JOINT 3

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
4	1.471272E+00	1.498836E+00	-4.421700E-03	-2.314298E-02
2	1.471236E+00	1.516110E+00	-2.173062E-02	-2.314332E-02

 JOINT 4

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
3	1.514664E+00	1.507845E+00	2.996293E-02	-2.314362E-02
2	1.514697E+00	1.516110E+00	2.173062E-02	-2.314332E-02

 GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS

 BODY 1

DISPLACEMENT(t) =	3.733936E+02	KB (m) =	7.589300E-01	KG (m) =	1.529417E+00
WATER AREA (m^2)=	2.400000E+02	LCFx (m) =	1.500000E+01	LCFy (m) =	4.000000E+00
BML (m) =	4.941167E+01	LCBx (m) =	1.500000E+01	Ixx (m^4) =	1.280000E+03
BMT (m) =	3.513719E+00	LCBy (m) =	4.000000E+00	Iyy (m^4) =	1.800000E+04
Tm (m) =	1.517860E+00	GML (m) =	4.864129E+01	GMT (m) =	2.743334E+00

 BODY 2

DISPLACEMENT(t) =	3.729630E+02	KB (m) =	7.580548E-01	KG (m) =	1.526564E+00
WATER AREA (m^2)=	2.400000E+02	LCFx (m) =	1.500000E+01	LCFy (m) =	4.000000E+00
BML (m) =	4.946872E+01	LCBx (m) =	1.500000E+01	Ixx (m^4) =	1.280000E+03

BMT	(m)	=	3.517776E+00	LCBy	(m)	=	4.000000E+00	Iyy	(m ⁴)	=	1.800000E+04
Tm	(m)	=	1.516110E+00	GML	(m)	=	4.870032E+01	GMT	(m)	=	2.749377E+00

 BODY 3

DISPLACEMENT(t)	=	3.709298E+02	KB	(m)	=	7.539224E-01	KG	(m)	=	1.513006E+00	
WATER AREA (m ²)	=	2.400000E+02	LCFx	(m)	=	1.500000E+01	LCFy	(m)	=	4.000000E+00	
BML	(m)	=	4.973987E+01	LCBx	(m)	=	1.500000E+01	Ixx	(m ⁴)	=	1.280000E+03
BMT	(m)	=	3.537058E+00	LCBy	(m)	=	4.000000E+00	Iyy	(m ⁴)	=	1.800000E+04
Tm	(m)	=	1.507845E+00	GML	(m)	=	4.898095E+01	GMT	(m)	=	2.778132E+00

 BODY 4

DISPLACEMENT(t)	=	3.687137E+02	KB	(m)	=	7.494181E-01	KG	(m)	=	1.498059E+00	
WATER AREA (m ²)	=	2.400000E+02	LCFx	(m)	=	1.500000E+01	LCFy	(m)	=	4.000000E+00	
BML	(m)	=	5.003883E+01	LCBx	(m)	=	1.500000E+01	Ixx	(m ⁴)	=	1.280000E+03
BMT	(m)	=	3.558316E+00	LCBy	(m)	=	4.000000E+00	Iyy	(m ⁴)	=	1.800000E+04
Tm	(m)	=	1.498836E+00	GML	(m)	=	4.929025E+01	GMT	(m)	=	2.809737E+00

❖ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

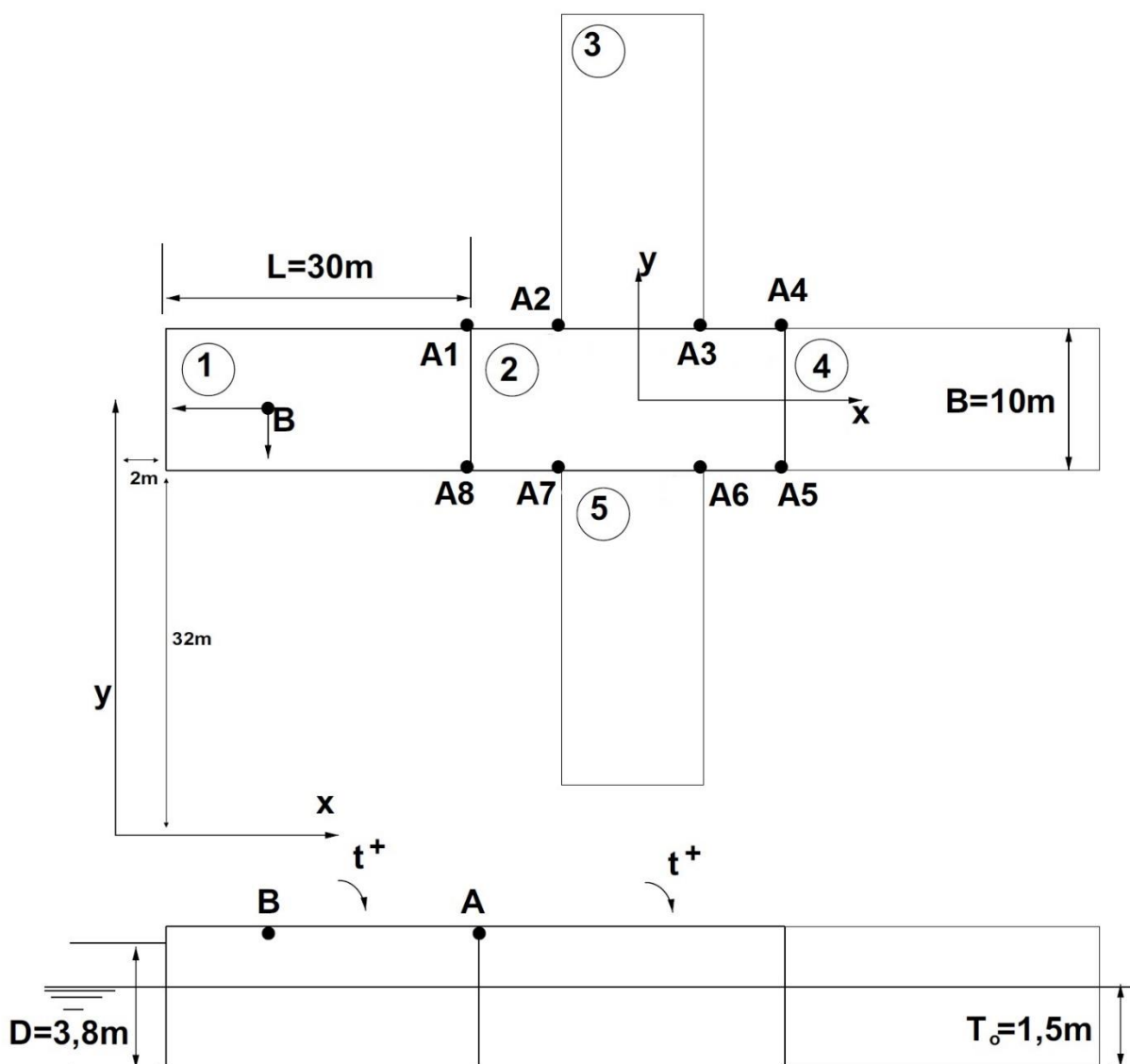
			Υπολογισμοί με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής	
			Αρχικός κώδικας	Νέος κώδικας
BODY NO. 1	Δύναμη άρθρωσης A1:	$P_{A1} =$	-4,608087	-4,607600
	Δύναμη άρθρωσης A2:	$P_{A2} =$	-0,9983464 t	-0,9988304 t
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	-0,005428883	-0,005432673
	Εφαπτόμενη διαμήκουσ κλίσης:	$\tan(\theta) =$	0,001426220	0,001426223
BODY NO. 2	Δύναμη άρθρωσης A1:	$P_{A1} =$	2,708339 t	2,708297 t
	Δύναμη άρθρωσης A2:	$P_{A2} =$	0,2073289	0,2073140
	Δύναμη άρθρωσης A3:	$P_{A3} =$	1,078345	1,077818
	Δύναμη άρθρωσης A4:	$P_{A4} =$	-0,03095085	-0,03048180
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	-0,005428882	-0,005432655
	Εφαπτόμενη διαμήκουσ κλίσης:	$\tan(\theta) =$	-0,001542888	-0,001542888
BODY NO. 3	Δύναμη άρθρωσης A1:	$P_{A1} =$	1,899747	1,899303
	Δύναμη άρθρωσης A4:	$P_{A4} =$	0,03095085	0,03048180
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	0,007494294	0,007490733
	Εφαπτόμενη διαμήκουσ κλίσης:	$\tan(\theta) =$	-0,001542888	-0,001542908
BODY NO. 4	Δύναμη άρθρωσης A2:	$P_{A2} =$	0,7910176	0,7915165
	Δύναμη άρθρωσης A3:	$P_{A3} =$	-1,078345	-1,077818
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	0,001109380	0,001105425
	Εφαπτόμενη διαμήκουσ κλίσης:	$\tan(\theta) =$	-0,001542888	-0,001542866

Οι διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ των τιμών του αρχικού και του νέου κώδικα οφείλονται στην βελτιστοποίηση του νέου κώδικα στο κομμάτι της μοντελοποίησης του προβλήματος που αφορά την γεωμετρική σχέση που έχει μία άρθρωση με το σώμα στο οποίο συνδέεται.

8.3.3. Περίπτωση συστήματος πέντε εξέδρων με οκτώ αρθρώσεις

❖ ΕΚΦΩΝΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Σύστημα πέντε σωμάτων συνδέονται μεταξύ τους μέσω οκτώ αρθρώσεων όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Ζητείται ο υπολογισμός της εγκάρσιας και διαμήκου κλίσης κάθε εξέδρας, καθώς και οι δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε άρθρωση, ύστερα από την επιβολή δύναμης 15 τόνων στο σημείο B του σώματος 1 και δύναμης 10 τόνων στο σώμα 5. Όλα τα απαραίτητα γεωμετρικά στοιχεία που αφορούν το σύστημα βρίσκονται στο σχήμα.



Σχήμα 8.3.3.1

Πέντε εξέδρες συνδεδεμένες μεταξύ τους με οκτώ αρθρώσεις

❖ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ Η/Υ

Σαν τελευταίο παράδειγμα θα παρουσιαστεί παράδειγμα παρόμοιο με εκείνο που αναλύσαμε στο 5^ο κεφάλαιο σαν παράδειγμα φακέλου εισόδου. Στην περίπτωση πέντε εξέδρων με οχτώ αρθρώσεις έχουμε συνολικά 16 αγνώστους: τέσσερις από κάθε άρθρωση οπότε κατά συνέπεια και το σύστημα που προκύπτει είναι 16x16. Το σύστημα είναι αδύνατο να λυθεί χωρίς την χρήση υπολογιστή καθιστώντας το πρόγραμμα ως μόνο μέσο για την επίλυση τόσο (ή και περισσότερο) πολύπλοκων περιπτώσεων.

Ο φάκελος εισόδου που χρειαζόμαστε διαμορφώνεται ως εξής:

Main Program Variables & Constants

Total Number of Bodies (NSM)	:5
Total Number of Joints (NAR)	:8
Total Number of Hulls (NGS)	:7
Total Number of Flooded Compartments (NFC)	:0
Total Number of Bodies with Fl. Comp. (NBFC)	:0
Total Number of Req. Draught Location (DRL)	:0
Maximum No. of Hulls/Body	:1
Maximum No. of Points/Hull	:0
Maximum No. of Points/Flooded Compartment	:0
Maximum No. of Bodies/Joint	:2
Maximum No. of Joints/Body	:8
Maximum No. of Forces/Body	:3
Water special weight [tn/m ³] (PKNN)	:1.025000

Bodies Characteristics

Body No.	xref	yref	L	B	H
1	2.000000	32.000000	30.000000	10.000000	0.200000
2	32.000000	32.000000	30.000000	10.000000	0.200000
3	42.000000	42.000000	10.000000	30.000000	0.200000
4	62.000000	32.000000	30.000000	10.000000	0.200000
5	42.000000	2.000000	10.000000	30.000000	0.200000

Hulls Characteristics

Body No.:1 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 |Type:2

Depth	xh	yh	Lh	Bh
3.800000	15.000000	5.000000	30.000000	10.000000

Body No.:2 | Hulls/Body:1

Hull No.:1 |Type:2


```

-----
Depth      |xh      |yh      |Lh      |Bh
3.800000  15.000000  5.000000  30.000000  10.000000
-----

```

```

-----
Body No.:3 | Hulls/Body:1
-----

```

```

-----
Hull No.:1 |Type:2
-----

```

```

Depth      |xh      |yh      |Lh      |Bh
3.800000  5.000000  15.000000  10.000000  30.000000
-----

```

```

-----
Body No.:4 | Hulls/Body:1
-----

```

```

-----
Hull No.:1 |Type:2
-----

```

```

Depth      |xh      |yh      |Lh      |Bh
3.800000  15.000000  5.000000  30.000000  10.000000
-----

```

```

-----
Body No.:5 | Hulls/Body:1
-----

```

```

-----
Hull No.:1 |Type:2
-----

```

```

Depth      |xh      |yh      |Lh      |Bh
3.800000  5.000000  15.000000  10.000000  30.000000
-----

```

```

-----
Joints Characteristics
-----

```

```

Joint No|xj      |yj      |type (F/R) |Zrestr |
1        32.000000  42.000000 F           0.000000 |
2        42.000000  42.000000 F           0.000000 |
3        52.000000  42.000000 F           0.000000 |
4        62.000000  42.000000 F           0.000000 |
5        62.000000  32.000000 F           0.000000 |
6        52.000000  32.000000 F           0.000000 |
7        42.000000  32.000000 F           0.000000 |
8        32.000000  32.000000 R           2.400000 |
-----

```

```

-----
Joint No.:1 |Bodies/Joint:2
-----

```

```

Body No. | zhi
1         0.200000
2         0.200000
-----

```

```

-----
Joint No.:2 |Bodies/Joint:2
-----

```

```

Body No. | zhi
2         0.200000
3         0.200000
-----

```

```

-----
Joint No.:3 |Bodies/Joint:2
-----

```

```

Body No. | zhi
2         0.200000
3         0.200000
-----

```

```

-----
Joint No.:4 |Bodies/Joint:2
-----

```

```

Body No. | zhi
4         0.200000
-----

```

```

2                0.200000
-----
Joint No.:5     |Bodies/Joint:2
-----
Body No.   | zhi
4           | 0.200000
2           | 0.200000
-----
Joint No.:6     |Bodies/Joint:2
-----
Body No.   | zhi
5           | 0.200000
2           | 0.200000
-----
Joint No.:7     |Bodies/Joint:2
-----
Body No.   | zhi
5           | 0.200000
2           | 0.200000
-----
Joint No.:8     |Bodies/Joint:2
-----
Body No.   | zhi
1           | 0.200000
2           | 0.200000
-----

```

External Powers & Characteristics

```

-----
No. Body:1     | Power/Body:2
-----
Power No. |Power      |xpi          |ypi          |zpi
1          |461.250000 |15.000000   |5.000000    |1.500000
2          |15.000000  |26.000000   |7.000000    |4.000000
-----
No. Body:2     | Power/Body:1
-----
Power No. |Power      |xpi          |ypi          |zpi
1          |461.250000 |15.000000   |5.000000    |1.500000
-----
No. Body:3     | Power/Body:1
-----
Power No. |Power      |xpi          |ypi          |zpi
1          |461.250000 |5.000000    |15.000000   |1.500000
-----
No. Body:4     | Power/Body:1
-----
Power No. |Power      |xpi          |ypi          |zpi
1          |461.250000 |15.000000   |5.000000    |1.500000
-----
No. Body:5     | Power/Body:2
-----
Power No. |Power      |xpi          |ypi          |zpi
1          |461.250000 |5.000000    |15.000000   |1.500000
2          |10.000000  |7.000000    |9.000000    |4.000000
-----

```

όπου

- 3,8m είναι το κοίλο κάθε γάστρας
- 0,2m είναι το κοίλο του καταστρώματος

Το πρόγραμμα για την παραπάνω περίπτωση συγκλίνει στην 5^η επανάληψη και τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι:

FINAL RESULTS

FORCES

JOINT			
1			
F (t) BODY (1)	1 =		-5.386172E+00
F (t) BODY (2)	2 =		5.386172E+00
2			
F (t) BODY (2)	3 =		-2.072881E+00
F (t) BODY (3)	4 =		2.072881E+00
3			
F (t) BODY (2)	5 =		-1.070452E-01
F (t) BODY (3)	6 =		1.070452E-01
4			
F (t) BODY (4)	7 =		-1.458194E+00
F (t) BODY (2)	8 =		1.458194E+00
5			
F (t) BODY (4)	9 =		-1.252914E+00
F (t) BODY (2)	10 =		1.252914E+00
6			
F (t) BODY (5)	11 =		-1.434976E+00
F (t) BODY (2)	12 =		1.434976E+00
7			
F (t) BODY (5)	13 =		4.506870E+00
F (t) BODY (2)	14 =		-4.506870E+00
8			
F (t) BODY (1)	15 =		8.161087E-01
F (t) BODY (2)	16 =		6.685908E+00

JOINT 8RESTRAINED

 F (t) 17 = -7.502017E+00

 BODIES INCLINATION

BODY	TANX	TANY	PHI	THETA
1	-4.616434E-04	4.250566E-03	-2.645022E-02	2.435380E-01
2	-4.616459E-04	-4.445233E-03	-2.645036E-02	-2.546914E-01
3	-1.439771E-03	-4.445239E-03	-8.249276E-02	-2.546918E-01
4	-4.616382E-04	1.789637E-03	-2.644992E-02	1.025385E-01
5	-6.137135E-04	-4.445232E-03	-3.516319E-02	-2.546914E-01

 BODIES DRAUGHT AT THE JOINT

JOINT 1

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
1	1.595369E+00	1.533918E+00	-2.308217E-03	6.375849E-02
2	1.595367E+00	1.530996E+00	-2.308230E-03	6.667850E-02

JOINT 2

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
2	1.550914E+00	1.530996E+00	-2.308230E-03	2.222617E-02
3	1.550912E+00	1.507089E+00	2.159657E-02	2.222620E-02

JOINT 3

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
2	1.506462E+00	1.530996E+00	-2.308230E-03	-2.222617E-02
3	1.506460E+00	1.507089E+00	2.159657E-02	-2.222620E-02

JOINT 4

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
4	1.462031E+00	1.491183E+00	-2.308191E-03	-2.684456E-02
2	1.462010E+00	1.530996E+00	-2.308230E-03	-6.667850E-02

JOINT 5

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
4	1.466647E+00	1.491183E+00	2.308191E-03	-2.684456E-02
2	1.466626E+00	1.530996E+00	2.308230E-03	-6.667850E-02

JOINT 6

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
5	1.511078E+00	1.542510E+00	-9.205702E-03	-2.222616E-02
2	1.511078E+00	1.530996E+00	2.308230E-03	-2.222617E-02

JOINT 7

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
5	1.555531E+00	1.542510E+00	-9.205702E-03	2.222616E-02
2	1.555531E+00	1.530996E+00	2.308230E-03	2.222617E-02

JOINT 8

BODY	T (m)	dT	dTMx	dTMy
1	1.599985E+00	1.533918E+00	2.308217E-03	6.375849E-02
2	1.599983E+00	1.530996E+00	2.308230E-03	6.667850E-02

GENERAL HYDROSTATIC CHARACTERISTICS

BODY 1

DISPLACEMENT(t) =	4.716799E+02	KB (m) =	7.669592E-01	KG (m) =	1.555281E+00
WATER AREA (m^2)=	3.000000E+02	LCFx (m) =	1.500000E+01	LCFy (m) =	5.000000E+00
BML (m) =	4.889438E+01	LCBx (m) =	1.500000E+01	Ixx (m^4) =	2.500000E+03
BMT (m) =	5.432709E+00	LCBy (m) =	5.000000E+00	Iyy (m^4) =	2.250000E+04
Tm (m) =	1.533918E+00	GML (m) =	4.810651E+01	GMT (m) =	4.644830E+00

BODY 2

DISPLACEMENT(t) =	4.707814E+02	KB (m) =	7.654982E-01	KG (m) =	1.550615E+00
WATER AREA (m^2)=	3.000000E+02	LCFx (m) =	1.500000E+01	LCFy (m) =	5.000000E+00
BML (m) =	4.898771E+01	LCBx (m) =	1.500000E+01	Ixx (m^4) =	2.500000E+03
BMT (m) =	5.443079E+00	LCBy (m) =	5.000000E+00	Iyy (m^4) =	2.250000E+04
Tm (m) =	1.530996E+00	GML (m) =	4.820308E+01	GMT (m) =	4.658447E+00

BODY 3

DISPLACEMENT(t) =	4.634299E+02	KB (m) =	7.535446E-01	KG (m) =	1.511760E+00
WATER AREA (m^2)=	3.000000E+02	LCFx (m) =	5.000000E+00	LCFy (m) =	1.500000E+01
BML (m) =	5.529423E+00	LCBx (m) =	5.000000E+00	Ixx (m^4) =	2.250000E+04
BMT (m) =	4.976480E+01	LCBy (m) =	1.500000E+01	Iyy (m^4) =	2.500000E+03
Tm (m) =	1.507089E+00	GML (m) =	4.771314E+00	GMT (m) =	4.900669E+01

BODY 4

DISPLACEMENT(t) =	4.585389E+02	KB (m) =	7.455917E-01	KG (m) =	1.485219E+00
WATER AREA (m^2)=	3.000000E+02	LCFx (m) =	1.500000E+01	LCFy (m) =	5.000000E+00
BML (m) =	5.029562E+01	LCBx (m) =	1.500000E+01	Ixx (m^4) =	2.500000E+03
BMT (m) =	5.588403E+00	LCBy (m) =	5.000000E+00	Iyy (m^4) =	2.250000E+04
Tm (m) =	1.491183E+00	GML (m) =	4.955608E+01	GMT (m) =	4.848857E+00

BODY 5

DISPLACEMENT(t) =	4.743219E+02	KB (m) =	7.712551E-01	KG (m) =	1.568898E+00
WATER AREA (m^2)=	3.000000E+02	LCFx (m) =	5.000000E+00	LCFy (m) =	1.500000E+01
BML (m) =	5.402449E+00	LCBx (m) =	5.000000E+00	Ixx (m^4) =	2.250000E+04
BMT (m) =	4.862204E+01	LCBy (m) =	1.500000E+01	Iyy (m^4) =	2.500000E+03
Tm (m) =	1.542510E+00	GML (m) =	4.604869E+00	GMT (m) =	4.782446E+01

❖ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

			Υπολογισμοί με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής	
			Αρχικός κώδικας	Νέος κώδικας
BODY NO. 1	Δύναμη άρθρωσης A1:	$P_{A1} =$	-5,386411	-5,386172
	Δύναμη άρθρωσης A2:	$P_{A8} =$	0,8158259	0,8161087
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	-0,0004615430	-0,0004616434
	Εφαπτόμενη διαμήκουσ κλίσης:	$\tan(\theta) =$	0,004250221	0,004250566
BODY NO. 2	Δύναμη άρθρωσης A1:	$P_{A1} =$	5,386411	5,386172
	Δύναμη άρθρωσης A2:	$P_{A2} =$	-2,072963	-2,072881
	Δύναμη άρθρωσης A3:	$P_{A3} =$	-0,1073276	-0,1070452
	Δύναμη άρθρωσης A4:	$P_{A4} =$	1,458644	1,458190
	Δύναμη άρθρωσης A5:	$P_{A5} =$	1,253405	1,252914
	Δύναμη άρθρωσης A6:	$P_{A6} =$	1,434824	1,434976
	Δύναμη άρθρωσης A7:	$P_{A7} =$	-4,506829	-4,506870
	Δύναμη άρθρωσης A8:	$P_{A8} =$	6,685805	6,685908
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	-0,0004615429	-0,0004616459
	Εφαπτόμενη διαμήκουσ κλίσης:	$\tan(\theta) =$	-0,004444788	-0,004445233
BODY NO. 3	Δύναμη άρθρωσης A2:	$P_{A2} =$	2,072963	2,072881
	Δύναμη άρθρωσης A3:	$P_{A3} =$	0,1073276	0,1070452
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	-0,001440012	-0,001439771
	Εφαπτόμενη διαμήκουσ κλίσης:	$\tan(\theta) =$	-0,004444789	-0,004445239

			Υπολογισμοί με απλοποιημένους τύπους της υδροστατικής	
			Αρχικός κώδικας	Νέος κώδικας
BODY NO. 4	Δύναμη άρθρωσης A4:	$P_{A4} =$	-1,458644	-1,458190
	Δύναμη άρθρωσης A5:	$P_{A5} =$	-1,253405	-1,252914
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	-0,0004615437	-0,0004616382
	Εφαπτόμενη διαμήκου κλίσης:	$\tan(\theta) =$	0,001790258	0,001789637
BODY NO. 5	Δύναμη άρθρωσης A6:	$P_{A6} =$	-1,434824	-1,434976
	Δύναμη άρθρωσης A7:	$P_{A7} =$	4,506829	4,506870
	Εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης:	$\tan(\varphi) =$	-0,0006136399	-0,0006137135
	Εφαπτόμενη διαμήκου κλίσης:	$\tan(\theta) =$	-0,004444789	-0,004445232

Οι διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ των τιμών του αρχικού και του νέου κώδικα οφείλονται στην βελτιστοποίηση του νέου κώδικα στο κομμάτι της μοντελοποίησης του προβλήματος που αφορά την γεωμετρική σχέση που έχει μία άρθρωση με το σώμα στο οποίο συνδέεται.

9. Παράρτημα

Το παράρτημα έχει ως σκοπό την συγκεντρωτική παρουσίαση και ταυτόχρονα επεξήγηση των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στο πρόγραμμα. Για περαιτέρω βελτίωση ή μετατροπή του προγράμματος στο μέλλον, και προς διευκόλυνση του προγραμματιστή, είναι απαραίτητη η αναφορά της ονοματολογίας των μεταβλητών. Η παρουσίαση θα γίνει αλφαβητικά.

I , J , K , N , L , W , U , F , V , B , H : Είναι μεταβλητές οι οποίες χρησιμοποιούνται μόνο σαν δείκτες για επαναληπτικές διαδικασίες στην ροή του προγράμματος.

ADX : η 1^η ροπή αδράνειας γύρω από τον άξονα Ox για κάθε γάστρα που ανήκει σε μία εξέδρα

ADXf : η 1^η ροπή αδράνειας γύρω από τον άξονα Ox για όλες τις γάστρες μίας εξέδρας

ADXX : η 2^η ροπή αδράνειας γύρω από τον άξονα Ox για κάθε γάστρα που ανήκει σε μία εξέδρα

ADXXf : η 2^η ροπή αδράνειας γύρω από τον άξονα Ox για όλες τις γάστρες μίας εξέδρας

ADY : η 1^η ροπή αδράνειας γύρω από τον άξονα Oy για κάθε γάστρα που ανήκει σε μία εξέδρα

ADYf : η 1^η ροπή αδράνειας γύρω από τον άξονα Oy για όλες τις γάστρες μίας εξέδρας

ADYY : η 2^η ροπή αδράνειας γύρω από τον άξονα Oy για κάθε γάστρα που ανήκει σε μία εξέδρα

ADYYf : η 2^η ροπή αδράνειας γύρω από τον άξονα Oy για όλες τις γάστρες μίας εξέδρας

ALFA : ο πίνακας συντελεστών των αγνώστων για την επίλυση των εξισώσεων του συστήματος .

BETA : ο πίνακας των γνωστών όρων για την επίλυση των εξισώσεων του συστήματος των εξέδρων.

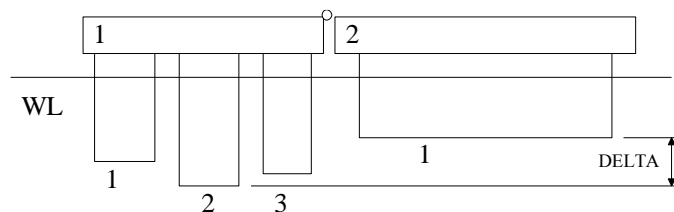
BGSO : το πλάτος κάθε ορθογωνικής γάστρας που υπάρχει στο σύστημα των σωμάτων

BSM : το πλάτος κάθε εξέδρας του συστήματος .

D : μεταβλητή που χρησιμοποιείται εσωτερικά στον αλγόριθμο της *LU*

DDF : ο πίνακας που συμμετέχει στον υπολογισμό του βυθίσματος κάθε γάστρας

DELTA : η υψομετρική διαφορά των βασικών επιπέδων αναφοράς μεταξύ δυο εξέδρων που συνδέονται με άρθρωση (δηλαδή είναι η απόσταση μεταξύ δύο εξεδρών συνδεδεμένων με άρθρωση, οι οποίες εξέδρες έχουν διαφορετικά κοίλα στις γάστρες)



DIAFMAX : η μέγιστη επιτρεπόμενη διαφορά μεταξύ βάρους της εξέδρας και προσφερόμενης άνωσης

DIAFORA : η διαφορά μεταξύ βάρους της εξέδρας και προσφερόμενης άνωσης

DGML : το διάμηκες μετακεντρικό ύψος πολλαπλασιασμένο με το εκτόπισμα της εξέδρας

DGMT : το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος πολλαπλασιασμένο με το εκτόπισμα της εξέδρας

DKB : το κέντρο άνωσης της εξέδρας πολλαπλασιασμένο με το εκτόπισμα της εξέδρας

DKG : το κέντρο βάρους της εξέδρας πολλαπλασιασμένο με το εκτόπισμα της εξέδρας

DKTMN : ο δείκτης για το ποια γάστρα σε κάθε εξέδρα έχει το μικρότερο κοίλο

DKTMX : ο δείκτης για το ποια γάστρα σε κάθε εξέδρα έχει το μεγαλύτερο κοίλο

DRL : ο αριθμός των συγκεκριμένων σημείων όπου ζητάται ο υπολογισμός του βυθίσματος για ένα σώμα

DRLB : ο δείκτης που δηλώνει το σώμα στο οποίο ανήκει το συγκεκριμένο σημείο όπου ζητάται να υπολογιστεί το βύθισμα

DRLX : η συντεταγμένη ενός συγκεκριμένου σημείου όπου ζητάται να υπολογισθεί το βύθισμα ενός σώματος ως προς τον άξονα *Ox*

DRLY :	η συντεταγμένη ενός συγκεκριμένου σημείου όπου ζητάται να υπολογισθεί το βύθισμα ενός σώματος ως προς τον άξονα Oy
DSPL :	το εκτόπισμα κάθε γάστρας
DSPLf :	το συνολικό εκτόπισμα κάθε εξέδρας
EMB :	το εμβαδό κάθε γάστρας
EMBf :	το συνολικό εμβαδό της ισάλου επιφανείας της εξέδρας
F1 :	μεταβλητή για την χρήση του αναλυτικού τύπου στον υπολογισμό της εφαπτόμενης σώματος γύρω από τον άξονα Ox
F2 :	μεταβλητή για την χρήση του αναλυτικού τύπου στον υπολογισμό της εφαπτόμενης σώματος γύρω από τον άξονα Oy
FADX :	η 1 ^η ροπή αδράνειας της επιφάνειας ενός διαμερίσματος με κατάκλιση γύρω από τον άξονα Ox
FADXf :	η συνολική 1 ^η ροπή αδράνειας των επιφανειών κάθε διαμερίσματος με κατάκλιση γύρω από τον άξονα Ox
FADXX :	η 2 ^η ροπή αδράνειας της επιφάνειας ενός διαμερίσματος με κατάκλιση γύρω από τον άξονα Ox
FADXXf :	η συνολική 2 ^η ροπή αδράνειας των επιφανειών κάθε διαμερίσματος με κατάκλιση γύρω από τον άξονα Ox
FADXY :	το γινόμενο της ροπή αδράνειας της επιφάνειας ενός διαμερίσματος με κατάκλιση στο σύστημα συντεταγμένων Oxy
FADXYf :	το συνολικό γινόμενο της ροπή αδράνειας της επιφάνειας των διαμερίσματος με κατάκλιση στο σύστημα συντεταγμένων Oxy
FADY :	η 1 ^η ροπή αδράνειας της επιφάνειας ενός διαμερίσματος με κατάκλιση γύρω από τον άξονα Oy
FADYf :	η συνολική 1 ^η ροπή αδράνειας των επιφανειών κάθε διαμερίσματος με κατάκλιση γύρω από τον άξονα Oy

FADYY :	η 2 ^η ροπή αδράνειας της επιφάνειας ενός διαμερίσματος με κατάκλυση γύρω από τον άξονα Oy
FADYYf :	η συνολική 2 ^η ροπή αδράνειας των επιφανειών κάθε διαμερίσματος με κατάκλυση γύρω από τον άξονα Oy
FCB :	μεταβλητή η οποία δηλώνει τον αριθμό του σώματος στο οποίο ανήκει ένα διαμέρισμα με κατάκλυση
FCH :	μεταβλητή η οποία δηλώνει τον αριθμό της γάστρας ενός σώματος στην οποία βρίσκεται ένα διαμέρισμα με κατάκλυση
FEMB :	το εμβαδό της επιφάνειας κάθε διαμερίσματος με κατάκλυση
FEMBf :	το συνολικό εμβαδό των επιφανειών κάθε διαμερίσματος με κατάκλυση
FIGSM :	ο τύπος επιφάνειας ενός διαμερίσματος με κατάκλυση
FNAMEIN :	το όνομα του αρχείου εισόδου
FNAMEOUT :	το όνομα του αρχείου εξόδου
FNSHM :	ο αριθμός σημείων περιγραφής της πολυγωνικής επιφάνειας ενός διαμερίσματος με κατάκλυση
FBGSO :	το πλάτος της ορθογωνικής διατομής που περιγράφει ένα διαμέρισμα με κατάκλυση
FLGSO :	το μήκος της ορθογωνικής διατομής που περιγράφει ένα διαμέρισμα με κατάκλυση
FRGSK :	η ακτίνα της κυκλικής διατομής που περιγράφει ένα διαμέρισμα με κατάκλυση
FXGSK :	η συντεταγμένη του κέντρου της κυκλικής διατομής που περιγράφει ένα διαμέρισμα με κατάκλυση κατά τον άξονα Ox
FXGSO :	η συντεταγμένη του κέντρου της ορθογωνικής διατομής που περιγράφει ένα διαμέρισμα με κατάκλυση κατά τον άξονα Ox
FXGST :	η συντεταγμένη ενός σημείου της πολυγωνικής διατομής ενός διαμερίσματος με κατάκλυση κατά τον άξονα Ox
FXMES :	η απόσταση του γεωμετρικού κέντρου της επιφάνειας ενός διαμερίσματος με κατάκλυση από το LCF του σώματος στο οποίο ανήκει κατά τον άξονα Ox
FXMESO :	η συντεταγμένη του γεωμετρικού κέντρου της επιφάνειας ενός διαμερίσματος με κατάκλυση κατά τον άξονα Ox
FYGSK :	η συντεταγμένη του κέντρου της κυκλικής διατομής που περιγράφει ένα διαμέρισμα με κατάκλυση κατά τον άξονα Oy

FYGSO :	η συντεταγμένη του κέντρου της ορθογωνικής διατομής που περιγράφει ένα διαμέρισμα με κατάκλυση κατά τον άξονα <i>Oy</i>
FYGST :	η συντεταγμένη ενός σημείου της πολυγωνικής διατομής ενός διαμερίσματος με κατάκλυση κατά τον άξονα <i>Oy</i>
FYMES :	η απόσταση του γεωμετρικού κέντρου της επιφάνειας ενός διαμερίσματος με κατάκλυση από το LCF του σώματος στο οποίο ανήκει κατά τον άξονα <i>Oy</i>
FYMESO :	η συντεταγμένη του γεωμετρικού κέντρου της επιφάνειας ενός διαμερίσματος με κατάκλυση κατά τον άξονα <i>Oy</i>
GONIA :	η γωνία στροφής των αξόνων για την οποία το γινόμενο αδράνειας μηδενίζεται
HATRDYN :	η ροπή ως προς τον άξονα <i>z</i> κάθε δύναμης που ασκείται στο σώμα
HDYN :	η καθ' ύψος θέση κάθε δύναμης που ασκείται στο σώμα
HGS :	το κοίλο κάθε γάστρας στο σύστημα
HMAX :	το μέγιστο κοίλο γάστρας ανά εξέδρα (βάση του αποτελεί το βασικό επίπεδο αναφοράς)
HMIN :	το μικρότερο κοίλο γάστρας ανά εξέδρα
HSM :	το κοίλο κάθε εξέδρας (ουσιαστικά το ύψος καταστρώματος)
IERROR :	δείκτης λάθους στις διαστάσεις πινάκων
IGSM :	ο τύπος επιφάνειας της γάστρας σε κάθε εξέδρα
INDX :	μεταβλητή που χρησιμοποιείται εσωτερικά στον αλγόριθμο της <i>LU</i>
ITER :	ο αριθμός επανάληψης στον οποίον βρίσκεται ο αλγόριθμος
ITERMAX :	ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων για την επίλυση του συστήματος

- KB :** η καθ' ύψος θέση του κέντρου άνωσης μετρημένο από το βασικό επίπεδο αναφοράς
- KEMB :** το εμβαδό της ισάλου κάθε γάστρας μείον το εμβαδόν της ισάλου των διαμερισμάτων με κατάκλυση
- KEMBF :** το συνολικό εμβαδό της ισάλου μιας εξέδρας μείον εμβαδόν της ισάλου των κατακλυσθέντων διαμερισμάτων
- KGARTHAR :** η καθ' ύψος θέση της κάθε άρθρωσης από το βασικό επίπεδο αναφοράς

- L1 :** λογική μεταβλητή για έλεγχο της ορθότητας συνθηκών στο πρόγραμμα
- LINE :** αλφαριθμητική μεταβλητή για την ανάγνωση των σειρών χωρίς χρησιμότητα στο φάκελο εισόδου
- LCBX :** η διαμήκης θέση του κέντρου άνωσης
- LCBY :** η εγκάρσια θέση του κέντρου άνωσης
- LCFX :** η διαμήκης θέση του κέντρου επιφανείας
- LCFY :** η εγκάρσια θέση του κέντρου επιφανείας
- LGSO :** το μήκος κάθε ορθογωνικής γάστρας στο σύστημα
- LSM :** το μήκος κάθε εξέδρας του συστήματος

MAXBODIES : ο μέγιστος αριθμός σωμάτων ανά άρθρωση

MAXEQ : ο αριθμός των εξισώσεων του συστήματος επίλυσης

MAXFORCES : ο μέγιστος αριθμός δυνάμεων ανά εξέδρα

MAXFPOINTS : ο μέγιστος αριθμός σημείων που περιγράφουν ένα διαμέρισμα με κατάκλυση

MAXHULLS : ο μέγιστος αριθμός γαστρών ανά εξέδρα

MAXJOINTS :	ο μέγιστος αριθμός αρθρώσεων ανά σώμα
MAXPOINTS :	ο μέγιστος αριθμός σημείων για τυχαία γάστρα
MBA :	ο αριθμός της άρθρωσης ανά σώμα
MGS :	ο αριθμός γαστρών ανά εξέδρα
MSA :	ο αριθμός σωμάτων ανά γάστρα
MSARTH :	ο αριθμός σώματος με δείκτες άρθρωση και αριθμό σώματος ανά γάστρα
MXTOT :	η διαμήκης ροπή στο κάθε σώμα λόγω των δυνάμεων από τις αρθρώσεις
MXTOTf :	η διαμήκης ροπή στο κάθε σώμα λόγω όλων των δυνάμεων που ασκούνται σε αυτό
MYTOT :	η εγκάρσια ροπή στο κάθε σώμα λόγω των δυνάμεων από τις αρθρώσεις
MYTOTf :	η διαμήκης ροπή στο κάθε σώμα λόγω όλων των δυνάμεων που ασκούνται σε αυτό
MZTOT :	η καθ' ύψος θέση της συνισταμένης της δύναμης λόγω των δυνάμεων από τις αρθρώσεις
MZTOTf :	η καθ' ύψος θέση της συνισταμένης της δύναμης λόγω όλων των δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα
NAR :	ο αριθμός των αρθρώσεων στο σύστημα που μελετάμε
NBA :	ο αριθμός αρθρώσεων ανά εξέδρα
NBFC :	ο αριθμός των σωμάτων στα οποία υπάρχουν ένα ή περισσότερα διαμερίσματα με κατάκλυση
NDYN :	ο αριθμός δυνάμεων ανά εξέδρα
NEQ :	μεταβλητή που συμμετέχει στον υπολογισμό του μέγιστου αριθμού εξισώσεων
NFC :	ο αριθμός των διαμερισμάτων υπό κατάκλυση
NGS :	ο ολικός αριθμός γαστρών στο σύστημα
NMAX :	ο μέγιστος αριθμός εξισώσεων που έχουμε ορίσει ότι το σύστημα μπορεί να λύσει
NSHM :	ο αριθμός σημείων περιγραφής της τυχαίας γάστρας
NSM :	ο αριθμός εξέδρων στο σύστημα που μελετάμε

P :	η δύναμη που ασκείται από κάθε άρθρωση στην εξέδρα
PERM :	η διαχωρητικότητα ενός διαμερίσματος με κατάκλυση
PDYN :	το μέγεθος της κάθε δύναμης που ασκείται σε κάθε εξέδρα
PDYNf :	η συνολική δύναμη της δύναμης που ασκείται σε κάθε εξέδρα
PI :	για τον υπολογισμό του εμβαδού του κύκλου το π
PKNN :	το ειδικό βάρος του υγρού στο οποίο βρίσκεται το σύστημα που μελετάμε
PP :	ο δείκτης για το εάν θα εκτυπωθούν όλα τα αποτελέσματα ή μόνο τα τελικά
PREC :	η ακρίβεια που θέλουμε να έχει η επίλυση του συστήματος στην διαφορά μεταξύ βάρους και προσφερόμενης άνωσης
PTOT :	η δύναμη που ασκείται συμπεριλαμβανομένου και βαρών και δυνάμεων από τις αρθρώσεις
PTOTf :	η συνολική συνιστάμενη δύναμη όλων των δυνάμεων που ασκούνται στην εξέδρα
RES :	η μεταβλητή υπολογισμού υπολοίπου μεταξύ δύο λύσεων του συστήματος
RD1 :	η μεταβλητή η οποία έχει χρησιμοποιηθεί ως βοηθητικός όρος και συνδέει τις γωνίες $\varphi_1, \varphi_2, \theta_1, \theta_2$ κατά τη μοντελοποίηση του προβλήματος στην περίπτωση μιας ελεύθερης άρθρωσης
RD1 :	η μεταβλητή η οποία έχει χρησιμοποιηθεί ως βοηθητικός όρος και συνδέει τις γωνίες φ_1, θ_1 κατά τη μοντελοποίηση του προβλήματος στην περίπτωση μιας σταθερής άρθρωσης
RD2 :	
RGSK :	η ακτίνα κυκλικής γάστρας
TANX :	η εφαπτόμενη εγκάρσιας κλίσης της κάθε εξέδρας

TANY :	η εφαπτόμενη διαμήκους κλίσης της κάθε εξέδρας
Tarx :	το αρχικό βύθισμα μιας εξέδρας
TARTH :	η μεταβλητή δήλωσης εάν μια άρθρωση είναι περιορισμένη η ελεύθερη
TGS :	το βύθισμα κάθε γάστρας ανά εξέδρα
THETA :	η γωνία διαμήκους κλίσης κάθε εξέδρας
TT :	το βύθισμα στις αρθρώσεις
XARTH :	η συντεταγμένη της κάθε άρθρωσης κατά τον άξονα Ox
XATRDYN :	η συντεταγμένη της συνιστάμενης δύναμης κατά τον άξονα Ox
XDYN :	η συντεταγμένη κάθε εξωτερικής δύναμης κατά τον άξονα Ox
XGSK :	η συντεταγμένη του κέντρου της κυκλικής γάστρας κατά τον άξονα Ox
XGSO :	η συντεταγμένη του κέντρου της ορθογωνικής γάστρας κατά τον άξονα Ox
XGST :	η συντεταγμένη ενός σημείου της τυχαίας γάστρας κατά τον άξονα Ox
XMESO :	η συντεταγμένη του κέντρου επιφανείας κάθε γάστρας κατά τον άξονα Ox
XPTOT :	η συντεταγμένη της δύναμης που ασκείται στο σώμα για το πρώτη επανάληψη κατά τον άξονα Ox
XPTOTf :	η συντεταγμένη της ολικής συνιστάμενης που ασκείται σε κάθε εξέδρα κατά τον άξονα Ox
XSM :	η συντεταγμένη της κάτω αριστερής γωνίας κάθε εξέδρας κατά τον άξονα Ox
XTAR :	η συντεταγμένη κάθε άρθρωσης στο τοπικό σύστημα μέτρησης κάθε εξέδρας
YARTH :	η συντεταγμένη της κάθε άρθρωσης κατά τον άξονα Oy
YATRDYN :	η συντεταγμένη της συνιστάμενης δύναμης κατά τον άξονα Oy
YDYN :	η συντεταγμένη κάθε εξωτερικής δύναμης κατά τον άξονα Oy

YGSK :	η συντεταγμένη του κέντρου της κυκλικής γάστρας κατά τον άξονα <i>Oy</i>
YGSO :	η συντεταγμένη του κέντρου της ορθογωνικής γάστρας κατά τον άξονα <i>Oy</i>
YGST :	η συντεταγμένη ενός σημείου της τυχαίας γάστρας κατά τον άξονα <i>Oy</i>
YMESO :	η συντεταγμένη του κέντρου επιφανείας κάθε γάστρας κατά τον άξονα <i>Oy</i>
YPTOT :	η συντεταγμένη της δύναμης που ασκείται στο σώμα για το πρώτη επανάληψη κατά τον άξονα <i>Oy</i>
YPTOTf :	η συντεταγμένη της ολικής συνιστάμενης που ασκείται σε κάθε εξέδρα κατά τον άξονα <i>Oy</i>
YSM :	η συντεταγμένη της κάτω αριστερής γωνίας κάθε εξέδρας κατά τον άξονα <i>Oy</i>
YTAR :	η συντεταγμένη κάθε άρθρωσης στο τοπικό σύστημα μέτρησης κάθε εξέδρας κατά τον άξονα <i>Oy</i>
ZARTH :	η συντεταγμένη κάθε άρθρωσης στον κατακόρυφο άξονα με αρχή μέτρησης το κατώτερο σημείο κάθε καταστρώματος της εξέδρας
ZPTOT :	η συντεταγμένη κάθε δύναμης στον κατακόρυφο άξονα
ZPTOTf :	η συντεταγμένη ολικής συνιστάμενης δύναμης σε κάθε εξέδρα στον κατακόρυφο άξονα
ZRESTR :	η συντεταγμένη κάθε περιορισμένης άρθρωσης στον κατακόρυφο άξονα με αρχή μέτρησης την επιφάνεια της θάλασσας

10. Βιβλιογραφία

1. "Μελέτη και Σχεδίαση Πλωτών Κατασκευών (Υδροδυναμική Ανάλυση)", Σ.Μαυράκου, Αθήνα, 1995.
2. "Ειδικά Κεφάλαια Μελέτης Θαλάσσιων Κατασκευών", Σ. Μαυράκου, Αθήνα, 1995.
3. "Υδροστατική και Ευστάθεια Πλοίου Τόμος Α", Θ.Α. Λουκάκη , Π.Τ. Πέρρα , Γεωργίου Δ. Τζαμπίρα , Αθήνα, 1995.
4. "Υδροστατική και Ευστάθεια Πλοίου Τόμος Β", Θ.Α. Λουκάκη , Π.Τ. Πέρρα , Γεωργίου Δ. Τζαμπίρα , Αθήνα, 1995.
5. "Numerical Recipes The Art of Scientific Computing", William H. Press , Brian P. Flannery , Saul A. Teukolsky , William T. Vetterling, Cambridge University Press 1987
6. "Αριθμητικές Μέθοδοι και Προγράμματα για Μαθηματικούς Υπολογισμούς", G.E. Forsythe, M.A. Malcolm και C.B. Moler (Μετάφραση: Γ.Δ. Ακρίβη και Β.Α. Δουγαλή), Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 1993, ή
7. "Εισαγωγή στην Αριθμητική Ανάλυση", Α. Μπακόπουλου και Ι. Χρυσοβέργη, Εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ, Αθήνα 1996.

8. *"Εισαγωγή στην Αριθμητική Ανάλυση"*, Γ.Δ. Ακριβη και Β.Α. Δουγαλή, Αθήνα, 1982.
9. *"Σημειώσεις στην Αριθμητική Γραμμική Άλγεβρα"*, Π.Δ. Κακλή, Αθήνα, 1992.
10. *"Fortran 77 Με στοιχεία του MS-DOS"*, Κωνσταντίνου Ε. Λάζου, Θεσσαλονίκη, 1997
11. *"Optimization techniques in Fortran"*, Sears, Joel L. , 1979
12. *"Fortran 90 and engineering computation"*, Schick, William, 1995
13. *"Lahey/Fujitsu Fortran 95 Language Reference Revision D"*, 1994-1998
14. *"Lahey/Fujitsu FORTRAN 95 User's Guide Revision B"*, 1995-1999
15. *"Fujitsu SSL II Extended Capabilities User's Guide II (Scientific Subroutine Library) Second Edition "*, July 1997
16. *"Fujitsu SSL II Extended Capabilities User's Guide (Scientific Subroutine Library) Second Edition "*, September 1991

17. *"Ship Hydrostatics and Stability "*, A.B. Biran, Technion – Faculty of Mechanical Engineering, 2003

18. *"Introduction to Naval Architecture 3rd Edition"*, E.C. Tupper , 1996

19. *"Modern Fortran Explained"*, M. Metcalf, J. Reid, M Cohen, OXFORD University press, 2011

20. *"The Fortran 2003 Handbook – The Complete Syntax, Features and Procedures"*, J.C. Adams - W.S. Brainerd - R.A. Hendrickson - R.E. Maine - J.T. Martin - B.T. Smith, 2009

21. *"Προγραμματισμός FORTRAN 90/95 για Επιστήμονες και Μηχανικούς"*, Δ.Σ. Ματαράς, Φ.Α. Κουτελιέρης, Εκδόσεις Τζιόλα, 2003

22. *"Polygons and Meshes – Surface (polygonal) Simplification"*, Paul Bourke, 1997

23. *"Engineering Mechanics: Statics"*, Hibbeler, R.C. , Prentice Hall, 1991