



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Μετατροπή δεξαμενοπλοίου σε FPSO και μελέτη  
της αντοχής του σύμφωνα με τους κανονισμούς  
του ABS

---

Διπλωματική Εργασία

**Δημήτρης Γ. Γεωργιάδης**

Επιβλέπων: Εμμανουήλ Σαμουηλίδης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα  
Ιούλιος 2016



## Ευχαριστίες

Οι ευχαριστίες απευθύνονται σε όλους όσους με βοήθησαν, ο κάθε ένας και η κάθε μία με τον δικό του/της τρόπο, στην περάτωση αυτής της εργασίας. Παρόλα αυτά, θα ήθελα να ευχαριστήσω κάποια άτομα ιδιαίτερα. Πρώτα, θέλω να εκφράσω τη βαθιά μου εκτίμηση στον επιβλέπων της εργασίας αυτής, Καθηγητή Εμμανουήλ Σαμουηλίδη, για την αμέριστη βοήθεια του και την στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γιάννη Βαλιδάκη, Αρχιτέκτων Ναυπηγό & Μηχανικό, για τις πολύτιμες συμβουλές και κατευθύνσεις που μου έδωσε με τις γνώσεις του και την εμπειρία του πάνω στα FPSOs. Τέλος, ευχαριστώ για την πολύτιμη συνεισφορά τους ανθρώπους από τον ABS, κ. Ευάγγελο Μανουσακάκη, που μου χορήγησε τα απαραίτητα λογισμικά, κ. Γιώργο Ζήνδρο και κ. Κώστα Χαμπέρη, για την επίλυση των αποριών μου σχετικά με τα θέματα που αφορούσαν τους κανονισμούς.

## Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος .....	7
Λίστα Εικόνων.....	9
Λίστα Πινάκων .....	11
1 Κεφάλαιο 1 – Περιγραφή των FPSO .....	13
1.1 Εισαγωγή.....	13
1.2 Ιστορική Αναδρομή.....	15
1.3 FPSO – Δομή και Γενική διάταξη.....	16
1.4 Συστήματα Αγκύρωσης.....	20
1.4.1 Spread Mooring System.....	22
1.4.2 Turret Mooring.....	24
1.5 Διαφορές μεταξύ Tanker και FPSO.....	27
1.6 Δομή και ροή εργασίας- Σκοπός.....	29
2 Κεφάλαιο 2 - Δεδομένα (input data) .....	32
2.1 Πλοίο.....	32
2.1.1 Principal Particulars .....	32
2.1.2 Γενική Διάταξη και Μέση Τομή.....	33
2.1.3 Επιτρεπόμενες Καμπτικές Ροπές και Διατμητικές Δυνάμεις.....	37
2.2 Περιβάλλον (Environment).....	39
2.2.1 Γεωγραφική Θέση (Geographic Location) .....	42
2.2.2 Περιβαλλοντικές Συνθήκες της περιοχής (Environmental Data for the field).....	43
2.3 Ναυπηγεία .....	44
3 Κεφάλαιο 3 – Σχεδιασμός Converted FPSO.....	46
3.1 Γενική Διάταξη FPSO και Γενικά Χαρακτηριστικά.....	46
3.2 Κατανομή Βάρους Κενού Σκάφους.....	48
3.3 Διαμερισματοποίηση και Χωρητικότητα Δεξαμενών.....	52
3.4 Καταστάσεις Φόρτωσης (Loading Conditions) .....	55
4 Κεφάλαιο 4 – Μελέτη Αντοχής FPSO.....	61
4.1 Εισαγωγή.....	61
4.2 Environmental Severity Factors (ESFs).....	62
4.3 Περί Διάβρωσης.....	67

4.4	Διαδικασία Steel Renewal Assessment .....	70
4.5	Προσδιορισμός Reassessed Scantlings .....	72
4.5.1	Απαιτούμενη Ροπή Αντίστασης .....	72
4.5.2	Υπολογισμός πραγματικής Ροπής Αντίστασης Μέσης Τομής .....	85
4.5.3	Απαιτήσεις Τοπικής Αντοχής .....	92
4.5.4	Έλεγχος Απαιτήσεων Ολικής και Τοπικής Αντοχής.....	135
4.6	Προσδιορισμός Renewal Scantlings .....	136
4.6.1	Έλεγχος σε Λυγισμό .....	146
4.7	Κριτήρια Αξιολόγησης και Εκτίμησης της Μεταλλικής Κατασκευής.....	165
4.8	Εκτίμηση βαθμού διάβρωσης της μεταλλικής κατασκευής κατά την μετατροπή στο ναυπηγείο 166	
4.9	Final Renewal Table .....	174
4.10	Αξιολόγηση κατάστασης - Αποφάσεις.....	185
5	Κεφάλαιο 5 - Κόπωση .....	188
5.1	Εισαγωγή.....	188
5.2	Εκτίμηση Κόπωσης για Μετατροπή Δεξαμενοπλοίου σε FPSO .....	190
5.3	Ανάλυση - Υπολογισμός Κόπωσης.....	192
5.3.1	Συσσωρευμένη βλάβη .....	192
5.3.2	Αξιολόγηση αντοχής κόπωσης.....	192
5.3.3	Υπο θεώρηση τάσεις για τον υπολογισμό της κόπωσης.....	192
5.3.4	S-N Curves .....	193
5.3.5	Υπολογισμός εύρους τάσεων .....	196
5.3.6	Υπολογισμός Συντελεστή Συσσωρευμένης Βλάβης <i>DM</i> .....	207
6	Κεφάλαιο 6 – Συμπεράσματα-Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα .....	211
6.1	Συμπεράσματα.....	211
6.2	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	214
7	Κεφάλαιο 7 - Βιβλιογραφία .....	216
A.	Παραρτήματα .....	218
A.1.	Υπολογισμός κινήσεων πλοίου και επιταχύνσεων .....	219
A.2.	Υπολογισμός ονομαστικών πιέσεων .....	222
A.3.	Υπολογισμός nominal sloshing pressures .....	254
A.4.	Αναλυτικός υπολογισμός πραγματικής ροπής αδράνειας και ροπής αντίστασης μέσης τομής.	262

A.5. Αναλυτικός υπολογισμός ροπής αντίστασης ενισχυτικών .....	271
A.6. Design Fatigue Load Cases for Fatigue Strength Assessment .....	278
A.7. Lightship weight summary.....	282
A.8. Καταστάσεις φόρτωσης (loading conditions) - Αποτελέσματα Aveva .....	284
A.9. Παρουσίαση προγράμματος <i>EAGLE FPSO SEAS</i> .....	296

## Πρόλογος

Κύριος μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μετατροπή δεξαμενοπλοίου σε FPSO και η μελέτη της αντοχής του, σύμφωνα με κανονισμούς αναγνωρισμένου νηογνώμονα. Η πλήρης μελέτη κατά τη μετατροπή δεξαμενοπλοίων σε πλωτές μονάδες περιλαμβάνει 3 στάδια. Αυτά είναι ο έλεγχος της ολικής αντοχής θεωρώντας το πλοίο σαν δοκάρι, της τοπικής αντοχής των κατασκευαστικών στοιχείων και της κόπωσης. Στην εργασία αυτή μελετήθηκαν και τα τρία στάδια και οι υπολογισμοί έγιναν βάσει των κανονισμών του Αμερικανικού νηογνώμονα (American Bureau of Shipping). Συγκεκριμένα, οι κανονισμοί που λαμβάνονται σαν βάση για την μελέτη είναι αυτοί των *Floating Production Installations (FPI)*. Η συμβολή του Αμερικανικού νηογνώμονα ήταν επίσης καθοριστική στην περάτωση αυτής της εργασίας, καθώς μας χορήγησε το λογισμικό *EAGLE FPSO SEAS* και *ISE* τα οποία ήταν απαραίτητα στην εξαγωγή αποτελεσμάτων. Πέρα αυτών των λογισμικών χρησιμοποιήθηκε το ναυπηγικό πακέτο *AVEVA* και το πρόγραμμα *MARS* του Bureau Veritas.

Η εργασία αυτή κατά βάσει πραγματεύεται ένα πολύ σοβαρό ζήτημα που αφορά τα FPSOs. Πρόκειται για το ρόλο που έχουν οι περιβαλλοντικές συνθήκες, στην περιοχή μόνιμης λειτουργίας ή και κατά τη μεταφορά στη τοποθεσία από το ναυπηγείο, στην ικανοποίηση των κατασκευαστικών απαιτήσεων και τελικά, στην καθιέρωση νέων προδιαγραφών. Σκοπός, λοιπόν, είναι μέσα από μια διαδικασία επανεκτίμησης-επιανεξιολόγησης (reassessment procedure) της πραγματικής κατασκευής του δεξαμενοπλοίου, ο προσδιορισμός νέων απαιτήσεων για την ασφαλή λειτουργία του σκάφους ως πλωτή μονάδα αποθήκευσης, επεξεργασίας και εκφόρτωσης πετρελαίου και όχι πλέον ως πλοίου μεταφοράς πετρελαίου.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας έγινε η υπόθεση της επιλογής δύο περιοχών για την τοποθέτηση του FPSO διαφορετικών περιβαλλοντικών συνθηκών. Η μία περιοχή είναι ο κόλπος Γουινέας, ανοιχτά της Νιγηρίας και η άλλη περιοχή η Βόρεια Θάλασσα. Οι δύο περιοχές επιλέχθηκαν με συγκεκριμένο σκοπό και αυτός ήταν να φανεί σε τι βαθμό επηρεάζει το περιβάλλον - και ιδιαίτερα οι κυματισμοί - την μετατροπή και την διαμόρφωση της τελικής κατασκευής από άποψη αντοχής. Στα πλαίσια αυτής της υπόθεσης, επιλέχθηκαν και δύο διαφορετικά ναυπηγεία, ένα στην Άπω Ανατολή και ένα στην Ευρώπη, ώστε να παρουσιαστεί και η διαφορά ανάλογα με τη διαδρομή μεταφοράς στο χώρο εγκατάστασης.

Η παρούσα εργασία χωρίζεται σε έξι κεφάλαια.

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μια πρώτη επαφή με τα γενικά χαρακτηριστικά των FPSOs και την εξέλιξη τους στον χρόνο. Επίσης, περιγράφονται οι διαφορές τους σε σχέση με τα συμβατικά δεξαμενόπλοια και παρουσιάζονται άλλες γενικές πληροφορίες που αφορούν την

δομή, τις μεθόδους αγκύρωσης, την γενική διάταξη και τις κύριες διαστάσεις. Στο τέλος του κεφαλαίου περιγράφεται ο σκοπός της εργασίας και η δομή αυτής.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα δεδομένα που έχουμε στη διάθεσή μας τα οποία θα αποτελέσουν τη βάση για μια σωστή και ολοκληρωμένη μελέτη. Πρώτα, περιγράφεται το πλοίο που θα μετατραπεί σε FPSO, οι κύριες διαστάσεις, τα γενικά χαρακτηριστικά του και τα σχέδια Γενικής Διάταξης και Μέσης Τομής. Μετά γίνεται λόγος για το περιβάλλον και για τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στις τοποθεσίες λειτουργίας της μονάδας. Τέλος, πραγματοποιείται η επιλογή των ναυπηγείων για τη μετασκευή.

Στο Κεφάλαιο 3 πραγματοποιείται ο σχεδιασμός του μετασκευασμένου FPSO στις δύο περιοχές. Η νέα διάταξη και διαμερισματοποίηση έγινε με βάση το ναυπηγικό πρόγραμμα AVEVA. Βάσει της νέας γενικής διάταξης παρουσιάζονται οι κύριες καταστάσεις φόρτωσης για την περιοχή και τη μεταφορά, η διαδικασία φόρτωσης-εκφόρτωσης στο site και υπολογίζονται οι μέγιστες φορτίσεις της κατασκευής στην εκάστοτε κατάσταση φόρτωσης.

Στο Κεφάλαιο 4 μελετάται η αντοχή της μονάδας, η οποία στηρίζεται σε μια διαδικασία επανεκτίμησης (reassessment) και προσδιορισμού νέων ανανεωμένων (renewal) scantlings<sup>1</sup> που ορίζουν οι κανονισμοί του ABS. Η πρώτη φάση της μελέτης – reassessment calculation – λαμβάνει υπόψη την ολική αντοχή του πλοίου σαν δοκάρι και τις τοπικές κατασκευαστικές απαιτήσεις διαμορφώνοντας τους υπολογισμούς σε συνάρτηση με το περιβάλλον της περιοχής λειτουργίας. Η δεύτερη φάση – renewal calculation – προσδιορίζει τα απαιτούμενα πάχη των στοιχείων, ελασμάτων και ενισχυτικών, που πρέπει να διαθέτει η κατασκευή κατά τη μετατροπή στο ναυπηγείο και καταχωρώντας το πάχος του κάθε στοιχείου αν είναι σε επιτρεπτή ή όχι περιοχή καταλήγουμε στις απαραίτητες μετατροπές στο χώρο του ναυπηγείου.

Στο Κεφάλαιο 5 ελέγχεται η αντοχή σε κόπωση της σύνδεσης του διαμήκους ενισχυτικού του καταστρώματος με την εγκάρσια φρακτή, στην περίπτωση τοποθέτησης του FPSO στη Βόρεια Θάλασσα.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας και προτείνονται μελλοντικά θέματα για περαιτέρω διερεύνηση.

---

<sup>1</sup> Με τον όρο scantlings αναφερόμαστε σε όλα τα κατασκευαστικά μεγέθη ενός στοιχείου, όπως πάχος, ύψος κορμού, πλάτος φλάτζας, κλπ.



## Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1-1:	Η παγκόσμια κατανομή των FPSO (C. Jones, "2015 Worldwide Survey of Floating Production, Storage and Offloading FPSO Units", August 2015) .....	14
Εικόνα 1-2:	Αριθμός των κατασκευασμένων FPSOs από το 1985 έως το 2005 (Ravi K., "FPSO Design – an Introduction") .....	15
Εικόνα 1-3:	Γενική διάταξη μιας μονάδας μεταφοράς, παραγωγής και αποθήκευσης πετρελαίου στην περιοχή λειτουργίας (Ref.19) .....	17
Εικόνα 1-4:	FPSO με τα topsides στο κύριο κατάστρωμα και τον χώρο του accommodation στο πρυμναίο τμήμα (www.sbmoffshore.com) .....	18
Εικόνα 1-5:	FPSO με τα topsides στο κύριο κατάστρωμα και τον χώρο του accommodation στο πρωραίο τμήμα (Ravi K., "FPSO Design – an Introduction").....	19
Εικόνα 1-6:	Κάτοψη των μονάδων επεξεργασίας και παραγωγής ενέργειας στο κύριο κατάστρωμα ενός FPSO (www.sbmoffshore.com).....	19
Εικόνα 1-7:	Αριθμός εγκαταστάσεων FPSO σε σχέση με το σύστημα αγκύρωσης και το βάθος νερού.....	20
Εικόνα 1-8:	Worldwide Offshore Mooring trends (www.offshore-mag.com, September 2013) .....	21
Εικόνα 1-9:	Catenary and Taut leg mooring systems (www.vryhof.com) .....	23
Εικόνα 1-10:	Spread-moored FPSO (http://www.itochu.co.jp/en/news/2011/110715.html).....	23
Εικόνα 1-11:	FPSO with External Turret mooring system (http://www.londonmarine.co.uk/) .....	25
Εικόνα 1-12:	FPSO with Internal disconnectable Turret mooring system (http://www.nov.com/fps_landing/products/submerged-turret-production.html) .....	25
Εικόνα 1-13:	Δομή κεφαλαίου 2 – Παρουσίαση των βασικών δεδομένων. ....	30
Εικόνα 1-14:	Δομή κεφαλαίου 3 – Σχεδιασμός μετασκευασμένου FPSO. ....	30
Εικόνα 1-15:	Δομή κεφαλαίου 4 – Μελέτη αντοχής & έλεγχος απαιτήσεων FPSO. ....	31
Εικόνα 2-1:	Σχέδιο Γενικής Διάταξης του υπό μετατροπή πλοίου. ....	34
Εικόνα 2-2:	Σχέδιο Μέσης Τομής του υπό μετατροπή πλοίου. ....	35
Εικόνα 2-3:	Κύρια στοιχεία της γεωμετρίας της μέσης τομής (ABS Eagle FPSO Software).....	36
Εικόνα 2-4:	Προσδιορισμός του τύπου του χάλυβα ανάλογα με την περιοχή της μέσης τομής (ABS Eagle FPSO Software).....	36
Εικόνα 2-5:	Benign water criteria (Ref. 5) .....	39
Εικόνα 2-6:	Διάκριση των δεδομένων του περιβάλλοντος ανάλογα με την πηγή προέλευσης (Ref. 4). 40	
Εικόνα 2-7:	Περιοχές τοποθέτησης FPSO στον παγκόσμιο χάρτη. ....	42
Εικόνα 2-8:	Διάγραμμα Hs-Tr με 100 χρόνια περίοδο επανεμφάνισης σε 4 διαφορετικές περιοχές (Ref. 21) .....	44
Εικόνα 3-1:	Γενική διάταξη FPSO με σύστημα external turret που θα εγκατασταθεί στη Βόρεια Θάλασσα (Ref. 17) .....	47
Εικόνα 3-2:	Γενική διάταξη FPSO με σύστημα spread mooring που θα εγκατασταθεί στη Νιγηρία (Ref. 17) .....	47
Εικόνα 3-3:	Κατανομή του βάρους μεταλλικής κατασκευής του FPSO ύστερα από την αφαίρεση 3230 τόνων από τις υπερκατασκευές και από την μηχανολογική/προωστήρια εγκατάσταση. 49	

Εικόνα 3-4:	Διαμερισματοποίηση δεξαμενών για την περιοχή της Β. Θάλασσας (πρόγραμμα Surface & Compartments AVEVA). .....	53
Εικόνα 3-5:	Διαμερισματοποίηση δεξαμενών για την περιοχή της Νιγηρίας (πρόγραμμα Surface & Compartments AVEVA). .....	53
Εικόνα 3-6:	Σχηματική απεικόνιση της κυκλικής διαδικασίας που ακολουθείται κατά την φόρτωση/εκφόρτωση του FPSO.....	57
Εικόνα 4-1:	Κατάταξη περιβαλλοντικών συνθηκών στις περιοχές λειτουργίας των FPSOs (ABS Presentations) .....	64
Εικόνα 4-2:	Nominal design corrosion values (Ref. 1) .....	69
Εικόνα 4-3:	Steel Renewal Assessment procedure. ....	71
Εικόνα 4-4:	Απεικόνιση της γεωμετρίας της μέσης τομής από το πρόγραμμα EAGLE FPSO.....	88
Εικόνα 4-5:	Reference point for calculation of section modulus and hull girder stress for local scantling assessment (CSR Double Hull Oil Tanker, July 2012).....	115
Εικόνα 4-6:	Παράδειγμα υπολογισμού της πραγματικής ροπής αντίστασης για ένα ενισχυτικό τύπου ταυ από τη βιβλιοθήκη ενισχυτικών του ABS. ....	116
Εικόνα 4-7:	Ενισχυτικά πυθμένα και εσωτερικού πυθμένα με αρίθμηση. ....	118
Εικόνα 4-8:	Ενισχυτικά καταστρώματος με αρίθμηση .....	119
Εικόνα 4-9:	Προσδιορισμός του ενεργού πλάτους του ελάσματος, $b_e$ (Ref. 1) .....	125
Εικόνα 4-10:	Κατανομή διατμητικών τάσεων στην διαμήκη φρακτή (πρόγραμμα MARS BV) .....	151
Εικόνα 4-11:	Κατανομή διατμητικών τάσεων στην διαμήκη φρακτή (πρόγραμμα MARS BV) .....	151
Εικόνα 4-12:	Κατανομή διατμητικών τάσεων στο πλευρικό έλασμα (πρόγραμμα MARS BV) .....	152
Εικόνα 4-13:	Κατανομή διατμητικών τάσεων στη μέση τομή, βάσει των reassessed scantlings (MARS BV software). ....	152
Εικόνα 4-14:	Κριτήρια αξιολόγησης της μεταλλικής κατασκευής κατά τη φάση της μετατροπής. ....	165
Εικόνα 4-15:	Ο ρυθμός διάβρωσης 34 μελών της μεταλλικής κατασκευής (Ref. 10) .....	166
Εικόνα 5-1:	Θέση υπό θεώρηση διαμήκους ενισχυτικού καταστρώματος για μελέτη αντοχής κόπωσης.....	189
Εικόνα 5-2:	Θέση πρωραίας εγκάρσιας φρακτής για μελέτη αντοχής κόπωσης. ....	189
Εικόνα 5-3:	Basic design S-N curves .....	195
Εικόνα 5-4:	Οι υπό θεώρηση καταστάσεις φόρτωσης για τον υπολογισμό του εύρους τάσεων.....	197
Εικόνα 5-5:	Definition of Local Stress components (CSR, ABS Rules 2012, Appendix C) .....	198
Εικόνα 6-1:	Φόρτιση κατασκευής στη Β. Θάλασσα.....	213
Εικόνα 6-2:	Φόρτιση κατασκευής στη Νιγηρία .....	213
Εικόνα A-1:	Ορισμός των παραμέτρων $\xi$ , $\zeta$ , $\eta$ της δεξαμενής.....	253
Εικόνα A-2:	Vertical Distribution of Equivalent Slosh Pressure Head, $h_e$ .....	254
Εικόνα A-3:	Ορισμός της παραμέτρου $C_m$ .....	257
Εικόνα A-4:	Natural sloshing period as a function of critical tank fill level. ....	260
Εικόνα A-5:	Οι κύριες παράμετροι τις οποίες λαμβάνει υπόψη το πρόγραμμα για την εξαγωγή αποτελεσμάτων (ABS presentation).....	296
Εικόνα A-6:	Intended site for Nigeria (ABS Seas Software).....	297
Εικόνα A-7:	Intended site for N. Sea (ABS Seas Software) .....	297
Εικόνα A-8:	Transit route for N. Sea (ABS Seas Software).....	300

Εικόνα A-9:	Transit route for Nigeria (ABS Seas Software) .....	300
Εικόνα A-10:	Χάρτης με την μεταφορά στο site από το ναυπηγείο και την τοποθεσία μόνιμης λειτουργίας του FPSO στη Νιγηρία (ABS Seas Software). .....	302
Εικόνα A-11:	Χάρτης με την μεταφορά στο site από το ναυπηγείο και την τοποθεσία μόνιμης λειτουργίας του FPSO στη Β. Θάλασσα (ABS Seas Software).....	302

## Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1-1:	Βασικές διαφορές μεταξύ συστήματος Turret και Spread Mooring (Ref. 20) .....	26
Πίνακας 1-2:	Βασικές διαφορές μεταξύ δεξαμενοπλοίων και FPSO (Ref. 9).....	27
Πίνακας 1-3:	Λόγοι και κύριες διαστάσεις Tankers και FPSO (Ref. 18) .....	29
Πίνακας 2-1:	Επιτρεπόμενες Διατμητικές Δυνάμεις δεξαμενοπλοίου σε ήρεμο νερό (Allowable Shear Forces).....	37
Πίνακας 2-2:	Επιτρεπόμενες Καμπτικές Ροπές σε ήρεμο νερό (Allowable Bending Moments) .....	38
Πίνακας 2-3:	Metoccean data for the sites.....	43
Πίνακας 3-1:	Κύριες διαστάσεις και χαρακτηριστικά converted FPSO .....	46
Πίνακας 3-2:	Αναλυτική παρουσίαση υποομάδων lightship για τις 4 διαφορετικές καταστάσεις.....	50
Πίνακας 3-3:	Χωρητικότητα όγκου δεξαμενών της μονάδας στη Β. Θάλασσα. ....	54
Πίνακας 3-4:	Χωρητικότητα όγκου δεξαμενών της μονάδας στη Νιγηρία.....	54
Πίνακας 3-5:	Αποτελέσματα καταστάσεων φόρτωσης για την περιοχή της Β. Θάλασσας.....	58
Πίνακας 3-6:	Αποτελέσματα καταστάσεων φόρτωσης για την περιοχή της Νιγηρίας. ....	58
Πίνακας 4-1:	Οι 13 Δυναμικές Παράμετροι Φόρτισης ή ESFs ( $\beta_{NN}$ ) (Ref. 1).....	63
Πίνακας 4-2:	Τιμές παραμέτρων ESF για την κάθε περιοχή με βάση περίοδο επανεμφάνισης 100 χρόνων. ....	65
Πίνακας 4-3:	Τιμές παραμέτρων ESF για την κάθε διαδρομή με βάση περίοδο επανεμφάνισης 10 χρόνων. ....	66
Πίνακας 4-4:	Nominal design corrosion values (Ref. 1) .....	68
Πίνακας 4-5:	Τιμή ελάχιστης ροπής αντίστασης όπως απαιτείται από τους κανονισμούς των Steel Vessels 3-2-1/3.7.1(b) και σε αντιστοιχία με την τιμή του συντελεστή $\beta_{VBM}$ .....	73
Πίνακας 4-6:	Μέγιστη κατακόρυφη καμπτική ροπή σε ήρεμο νερό στο site και στο transit για τη Β. Θάλασσα.....	75
Πίνακας 4-7:	Μέγιστη κατακόρυφη καμπτική ροπή σε ήρεμο νερό στο site και στο transit για τη Νιγηρία. ....	75
Πίνακας 4-8:	Αποτελέσματα ιδιοτήτων μέσης τομής ύστερα από αναλυτικό υπολογισμό. ....	87
Πίνακας 4-9:	Συγκριτικός πίνακας με τα πάχη των ελασμάτων στην κάθε περιοχή, όπως διαμορφώθηκαν από την διαδικασία του reassessment και των as-built παχών του δεξαμενοπλοίου. ....	113
Πίνακας 4-10:	Properties of stiffeners with effective plating (with corrosion) and check with required section modulus on each location. ....	126
Πίνακας 4-11:	Reassessed Section Modulus for the two locations. ....	135
Πίνακας 4-12:	Individual Wastage Allowances (Ref. 1).....	137

Πίνακας 4-13:	Προσδιορισμός Renewal Scantlings.....	138
Πίνακας 4-14:	Αριθμός ημικυμάτων (Ref. 1) .....	159
Πίνακας 4-15:	Μέσος ρυθμός διάβρωσης για τα μέλη της κατασκευής (Ref. 10) .....	167
Πίνακας 4-16:	Final Renewal Table for Nigeria.....	175
Πίνακας 4-17:	Final Renewal Table for North Sea. ....	180
Πίνακας 4-18:	Γενική εικόνα της κατάστασης των στοιχείων της κατασκευής με σκοπό τις νέες συνθήκες υπηρεσίας ως FPSO.....	186
Πίνακας 5-1:	Details of basic S-N curves .....	194
Πίνακας 5-2:	Τιμές συντελεστή $f_{i,j-k}$ .....	207
Πίνακας A-1:	Αναλυτική παρουσίαση κατανομής του lightship του FPSO.....	282

# 1 Κεφάλαιο 1 – Περιγραφή των FPSO

## 1.1 Εισαγωγή

Στις μέρες μας, η ανάγκη για ανάπτυξη και εκμετάλλευση των υποθαλάσσιων περιοχών πηγών πετρελαίου και φυσικού αερίου γίνεται ολοένα και πιο σημαντική για πολλούς λόγους που αφορούν κυρίως την παγκόσμια οικονομία και τις στρατηγικές των χωρών στον χώρο της ενέργειας. Ένα από τα πιο οικονομικά συστήματα για την ανάπτυξη αυτών των υποθαλάσσιων περιοχών είναι οι εγκαταστάσεις Floating Production Storage and Offloading (FPSO).

Τα FPSOs γνωρίζουν ιδιαίτερη άνοδο, γιατί προσφέρουν την ικανότητα εκμετάλλευσης κοιτασμάτων σε περιοχές μεγάλου βάθους νερού και σε τοποθεσίες όπου δεν είναι δυνατή η κατασκευή υποδομών θαλάσσιων αγωγών μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου στη στεριά. Το βάθος νερού σε ορισμένες περιοχές εγκατάστασης φτάνει και ξεπερνά πλέον τα 3000 μέτρα. Πέρα των δύο αυτών πλεονεκτημάτων που εξυπηρετούν οι κατασκευές αυτές, αυτό που κάνει τόσο δημοφιλή τα FPSOs είναι η δυνατότητα τους να εξυπηρετούν συγχρόνως τόσες λειτουργίες, όπως είναι η παραγωγή, η αποθήκευση, η εκφόρτωση και η μεταφορά του πετρελαίου ή του φυσικού αερίου στη στεριά μέσω δεξαμενοπλοίων.

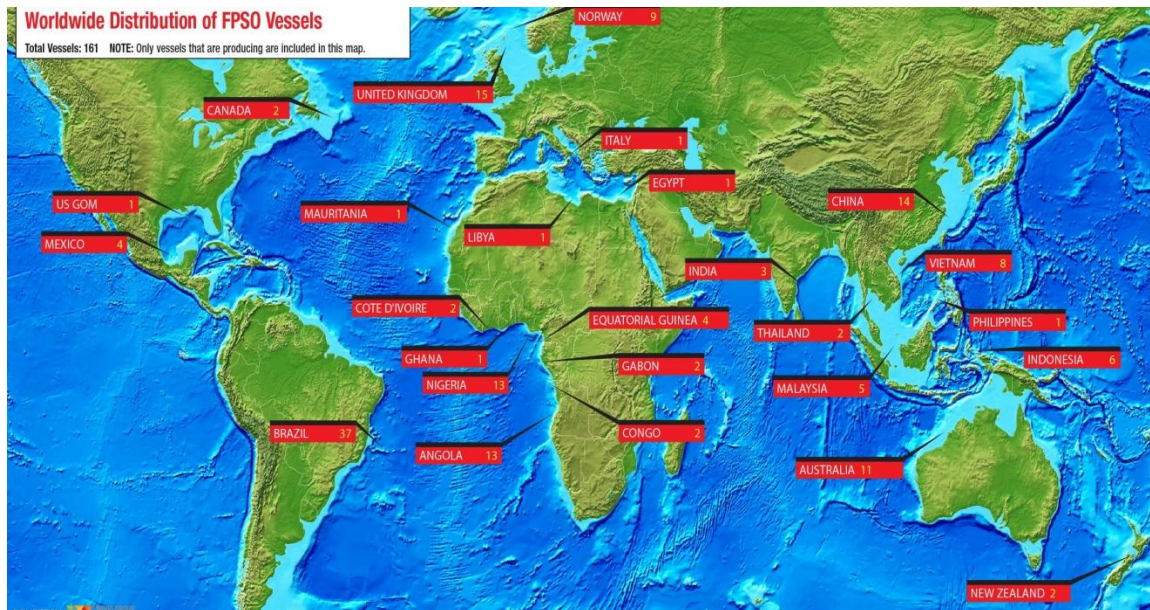
Παρόλο που τα FPSOs είναι παρόμοιας μορφολογίας με τα δεξαμενόπλοια στην κατασκευή, διαφέρουν με ποικίλους τρόπους. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι μοναδικές σε κάθε περιοχή και ο κατασκευαστικός σχεδιασμός πρέπει να είναι προσαρμοσμένος σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Τα συμβατικά δεξαμενόπλοια μπορούν να αποφύγουν την κακοκαιρία αλλάζοντας την πορεία τους, αλλά τα FPSOs πρέπει να είναι διαρκώς τοποθετημένα στην ίδια περιοχή με τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν εκεί και δεν έχουν την δυνατότητα περιοδικού δεξαμενισμού για την κατάλληλη επιθεώρηση και συντήρηση.

Σε έρευνα που έγινε τον Αύγουστο του 2015 και δημοσιεύτηκε στο *Offshore magazine*<sup>2</sup>, από τα συνολικά 161 FPSOs το 70% είναι conversions και το 30% new-builds. Τα conversions προέρχονται από single-hull ή double-hull δεξαμενόπλοια τα οποία έχουν κάποιον χρόνο λειτουργίας στο παρελθόν και επιλέγονται για μετατροπή. Συνήθως, η επιλογή των παλαιότερων δεξαμενόπλοιων προτιμάται λόγω λιγότερου χρόνου περάτωσης του έργου και για οικονομικούς λόγους. Τα new-buildings προορίζονται για αποκλειστική λειτουργία ως FPSO.

---

<sup>2</sup> Ref. <http://www.offshore-mag.com>

Η περιοχή εγκατάστασης τους ποικίλλει με τα περισσότερα από αυτά να είναι σε περιοχές όπως η Βραζιλία, η Δυτική Αφρική (κόλπος Γουινέας και ανοιχτά της Αγκόλας), η Βόρεια Θάλασσα (Ην. Βασίλειο, Νορβηγία), η Δυτική Αυστραλία και η Κίνα. Η Εικόνα 1-1 παρουσιάζει τις τοποθεσίες που βρίσκονται τα FPSOs ,τα οποία είναι ενεργά, ανά τον κόσμο.



Εικόνα 1-1: Η παγκόσμια κατανομή των FPSO (C. Jones, "2015 Worldwide Survey of Floating Production, Storage and Offloading FPSO Units", August 2015)

## 1.2 Ιστορική Αναδρομή

Τα τελευταία 25 χρόνια, οι πλωτές εγκαταστάσεις παραγωγής, αποθήκευσης και επεξεργασίας υδρογονανθράκων έχουν δείξει πως είναι ιδιαίτερα αξιόπιστες και οικονομικές λύσεις για την ανάπτυξη των υποθαλάσσιων εδαφών εξόρυξης πετρελαίου σε όλο τον κόσμο. Οι πρώτες πλωτές μονάδες, που αργότερα εξελίχθηκαν και σήμερα αποτελούν αυτό που ονομάζουμε FPSO, ήταν δεξαμενόπλοια μόνιμα αγκυρωμένα σε σημαδούρα (buoy) μέσω ενός άκαμπτου βραχίονα, τα οποία αποθήκευαν το πετρέλαιο. Το FSO Ifrikia ήταν από τα πρώτα που λειτούργησαν με τον παραπάνω τρόπο, από τις αρχές του 1970.

Η πρώτη εφαρμογή ειδικά σχεδιασμένης κατασκευής FPSO ήταν από την *Arco* στο *Ardjuba field* έξω από την Ινδονησία το 1976. Ήταν μία barge-shaped κατασκευή, η οποία χρησιμοποιήθηκε για να φυλάσσει υγροποιημένο φυσικό αέριο (LPG) αγκυροβολημένο σε 42.7 μέτρα βάθος. Η πρώτη κατασκευή αποκλειστικά για πετρέλαιο ήταν το *Castellon* από την *Shell* ανοιχτά της Ισπανίας το 1976. Ξεκίνησε την λειτουργία του το 1977 και σχεδιάστηκε για διάρκεια υπηρεσίας 10 χρόνων [Ref. 9].

Στις αρχές της δεκαετίας του 2000, περισσότερα από 90 FPSOs ήταν σε λειτουργία και περισσότερα από 20 υπό κατασκευή. Μερικά από αυτά ήταν new-builds, σχεδιασμένα για πιο ειδικές απαιτήσεις και άλλα ήταν conversions, από υπάρχοντα δεξαμενόπλοια, κυρίως Very Large Crude Oil Carriers (VLCCs). Τα FPSOs σήμερα συναντώνται σε όλον τον κόσμο σε υποθαλάσσιες περιοχές όπου υπάρχουν κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου, με την μεγαλύτερη παρουσία να υπάρχει στην Βραζιλία, την Βόρεια Θάλασσα και την δυτική Αφρική. Στην Εικόνα 1-2 παρουσιάζεται ο αριθμός των FPSOs που κατασκευάστηκαν με την πάροδο του χρόνου από το 1985 έως το 2005.



Εικόνα 1-2: Αριθμός των κατασκευασμένων FPSOs από το 1985 έως το 2005 (Ravi K., "FPSO Design – an Introduction")

### 1.3 FPSO – Δομή και Γενική διάταξη

Ένα FPSO είναι μία πλωτή μονάδα που χρησιμοποιείται για την παραγωγή, την αποθήκευση και την εκφόρτωση του πετρελαίου. Όπως δηλώνουν και τα αρχικά του :

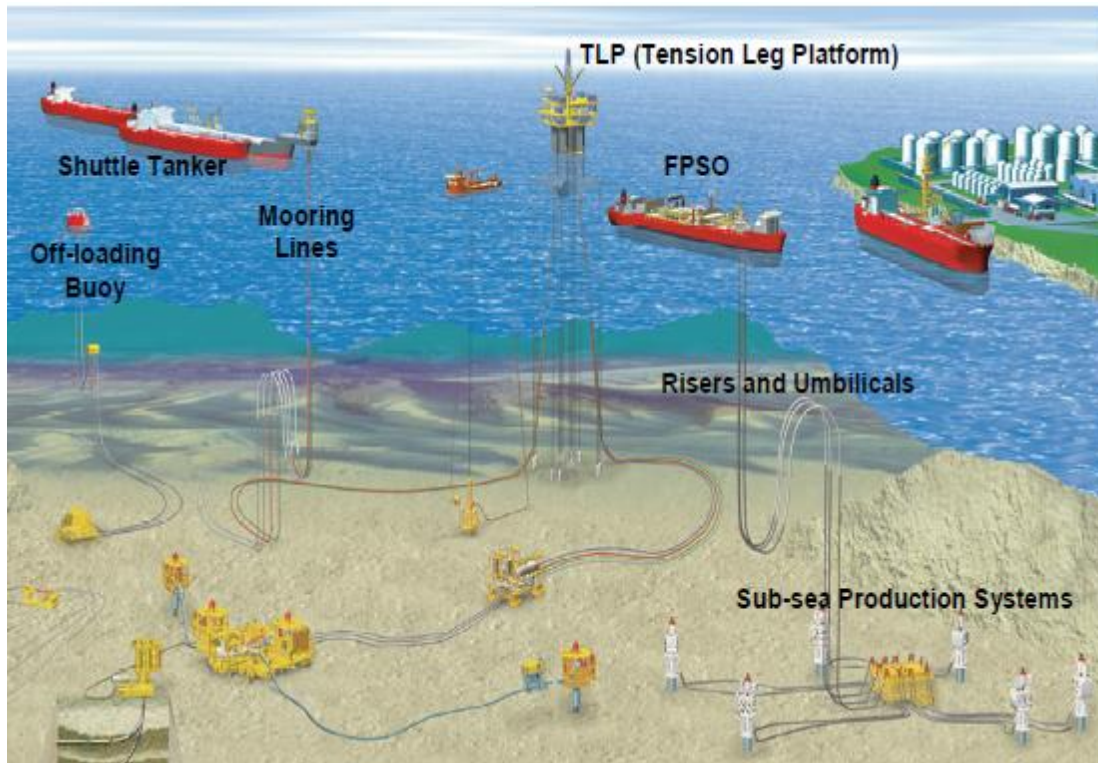
- F – FLOATING
- P – PRODUCTION
- S – STORAGE
- O – OFFLOADING

Ένα FPSO αποτελείται από δύο κύρια μέρη: τα *topsides* και το *hull*. Στα *topsides* γίνεται η επεξεργασία και η φορτο/εκφόρτωση του πετρελαίου και στο *hull*, μέσα στις δεξαμενές, αποθηκεύεται το πετρέλαιο που παράγεται. Το FPSO παράγει και επεξεργάζεται το αργό πετρέλαιο και το αέριο στα *topsides* και αποθηκεύει το επεξεργασμένο πετρέλαιο στις δεξαμενές φορτίου μέχρι να έρθει ένα δεξαμενόπλοιο (*shuttle tanker*) να ξεκινήσει η διαδικασία της εκφόρτωσης. Παρόλα αυτά, το ίδιο το FPSO δεν διαθέτει ικανότητες γεώτρησης και για να λειτουργήσει συμβάλλουν και άλλα μέσα. Τέτοια είναι:

- ✓ τα Υποθαλάσσια Συστήματα Παραγωγής (*Sub-sea Production Systems*), τα οποία περιλαμβάνουν τα *manifolds* και τα *πηγάδια* που έχουν ανοίξει γεωτρητικές μονάδες και από τα οποία εξάγεται το πετρέλαιο και το αέριο
- ✓ οι Γραμμές Αγκύρωσης (*Mooring Lines*) και η Άγκυρες (*Anchors*), οι οποίες αναλαμβάνουν τη διατήρηση της θέσης του FPSO με όσο το δυνατόν μικρότερες μετατοπίσεις
- ✓ τα Flowlines, τα Risers και τα Umbilicals, συστήματα τα οποία μεταφέρουν το παραγόμενο αργό πετρέλαιο από τα *πηγάδια* στα *topsides* του FPSO και γίνεται η επεξεργασία
- ✓ τα Δεξαμενόπλοια (*Shuttle Tankers*), που παραλαμβάνουν το επεξεργασμένο προϊόν από τις δεξαμενές του FPSO με αντλίες και το μεταφέρουν στη στεριά· αντίστοιχο ρόλο παίζουν οι αγωγοί μεταφοράς του προϊόντος στη στεριά (*pipelines*)
- ✓ η Γεωτρητική Πλατφόρμα (*Drilling Platform*), η οποία κάνει την γεώτρηση του υποθαλάσσιου χώρου για την εξόρυξη.

Στην Εικόνα 1-3 φαίνεται μια γενική εικόνα της διάταξης στο χώρο λειτουργίας.





**Εικόνα 1-3:** Γενική διάταξη μιας μονάδας μεταφοράς, παραγωγής και αποθήκευσης πετρελαίου στην περιοχή λειτουργίας (Ref.19)

Επιπροσθέτως, πέρα από τα παραπάνω συστήματα, στον χώρο άνωθεν του κύριου καταστρώματος (topsides) βρίσκονται:

- ο χώρος Ενδιαίτησης (Accommodation) και Ελικοδρομίου (Helideck)
- ο χώρος με τις μονάδες Επεξεργασίας (Process Modules), που περιλαμβάνουν τον εξοπλισμό επεξεργασίας υδρογονανθράκων, το Flare tower, τον εξοπλισμό-μονάδα συμπίεσης και διαχωρισμού αερίου και
- τα Utilities, που περιλαμβάνουν τον εξοπλισμό για την παραγωγή ενέργειας

Ο χώρος Ενδιαίτησης και Ελικοδρομίου βρίσκεται είτε στο πρωραίο τμήμα του FPSO είτε στο πρυμναίο, όπως φαίνεται και στις Εικόνες 1-4 και 1-5. Είναι σημαντικό να μεγιστοποιηθεί η ασφάλεια του προσωπικού πάνω στη μονάδα. Για τον σκοπό αυτό είναι σημαντικό να μειωθούν οι πιθανοί κίνδυνοι από τη διαδικασία επεξεργασίας και για τον λόγο αυτό ανάμεσα στο χώρο ενδιαίτησης και τις μονάδες επεξεργασίας τοποθετούνται τα utilities. Μια τυπική μονάδα με τις μονάδες επεξεργασίας και τη διάταξη αυτών πάνω στο κατάστρωμα παρουσιάζεται στην Εικόνα 1-6.

Τέλος, η περιοχή του καταστρώματος που απαιτείται για την τοποθέτηση των μονάδων επεξεργασίας καθορίζεται κυρίως από οικονομικούς παράγοντες του χώρου λειτουργίας και του πλάνου που έχει καθοριστεί εξ' αρχής. Ο κυριότερος παράγοντας που παίζει καθοριστικό ρόλο στον όλο σχεδιασμό και στον χώρο του καταστρώματος είναι ο παραγόμενος αριθμός βαρελιών, μετρούμενος σε εκατομμύρια βαρέλια την μέρα (million barrels per day-MBPD) , όπως και η ικανότητα αποθήκευσης του πετρελαίου (storage capacity).

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τον χώρο του καταστρώματος και την γενική διάταξη είναι:

- Το μέγεθος του χώρου ενδιαίτησης και η τοποθεσία του
- Η χωρητικότητα έρματος και η κατανομή αυτού
- Οι διατάξεις εκφόρτωσης
- Τα περιθώρια για μελλοντική αναβάθμιση και επέκταση των μονάδων επεξεργασίας
- Οι απαιτήσεις διπλών τοιχωμάτων και διπλού πυθμένα

Σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται προσάρτηση τμημάτων (blocks) στο παράλληλο μήκος του πλοίου, με σκοπό την αύξηση του διαθέσιμου χώρου πάνω στο κατάστρωμα ή και της ενίσχυσης από άποψη αντοχής. Τα τμήματα αυτά μπορεί να αφορούν είτε επιμήκυνση του πλοίου με κοπή στο μέσο του πλοίου και προσθήκη νέου τμήματος είτε προσθήκη μεταλλικών τμημάτων (sponsons) στο πλάι του πλοίου.



**Εικόνα 1-4:** FPSO με τα topsides στο κύριο κατάστρωμα και τον χώρο του accommodation στο πρυμναίο τμήμα ([www.sbmoffshore.com](http://www.sbmoffshore.com))



Courtesy of Aker - Tntech

Εικόνα 1-5: FPSO με τα topsides στο κύριο κατάστρωμα και τον χώρο του accommodation στο πωραίο τμήμα (Ravi K., “FPSO Design – an Introduction”)



Εικόνα 1-6: Κάτοψη των μονάδων επεξεργασίας και παραγωγής ενέργειας στο κύριο κατάστρωμα ενός FPSO ([www.sbmoftshore.com](http://www.sbmoftshore.com))

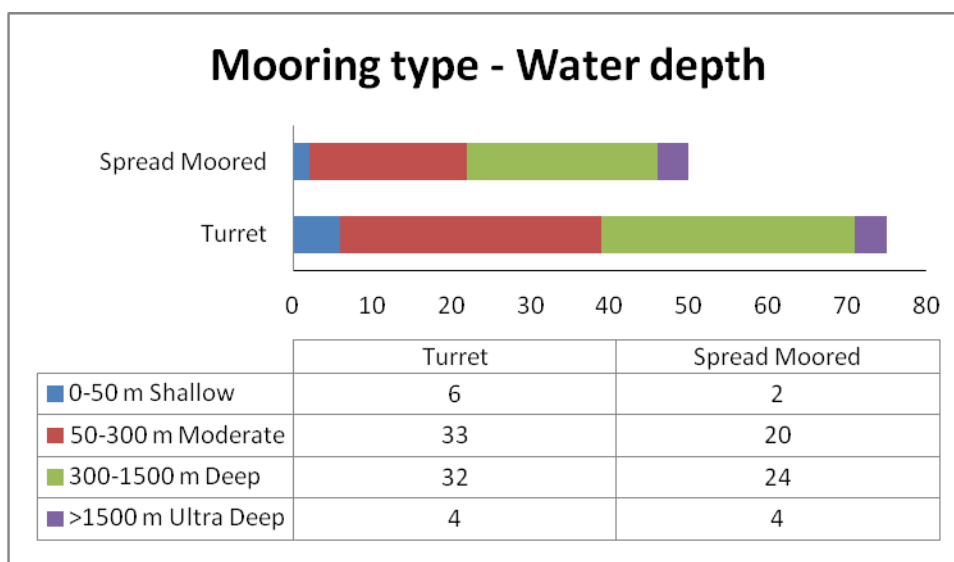
## 1.4 Συστήματα Αγκύρωσης

Οι εξωτερικές δυνάμεις οι οποίες ασκούνται στην αγκυρωμένη κατασκευή εξ' αιτίας της δράσης των κυματισμών, του ανέμου και του ρεύματος, προκαλούν μετατόπιση της κατασκευής από τη θέση ισορροπίας της. Ο σκοπός του συστήματος αγκύρωσης είναι ο περιορισμός αυτής της μετατόπισης και το κράτημα της κατασκευής όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην απαιτούμενη θέση. Για την επιλογή ενός τύπου αγκύρωσης, κατά κύριο λόγο βασιζόμαστε στις επικρατούσες συνθήκες, στην θέση όπου πρόκειται να εγκατασταθεί η κατασκευή και στο βάθος νερού.

Τα συστήματα αγκύρωσης που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στα FPSOs σήμερα και για τα οποία θα γίνει λόγος στη συνέχεια είναι τα εξής:

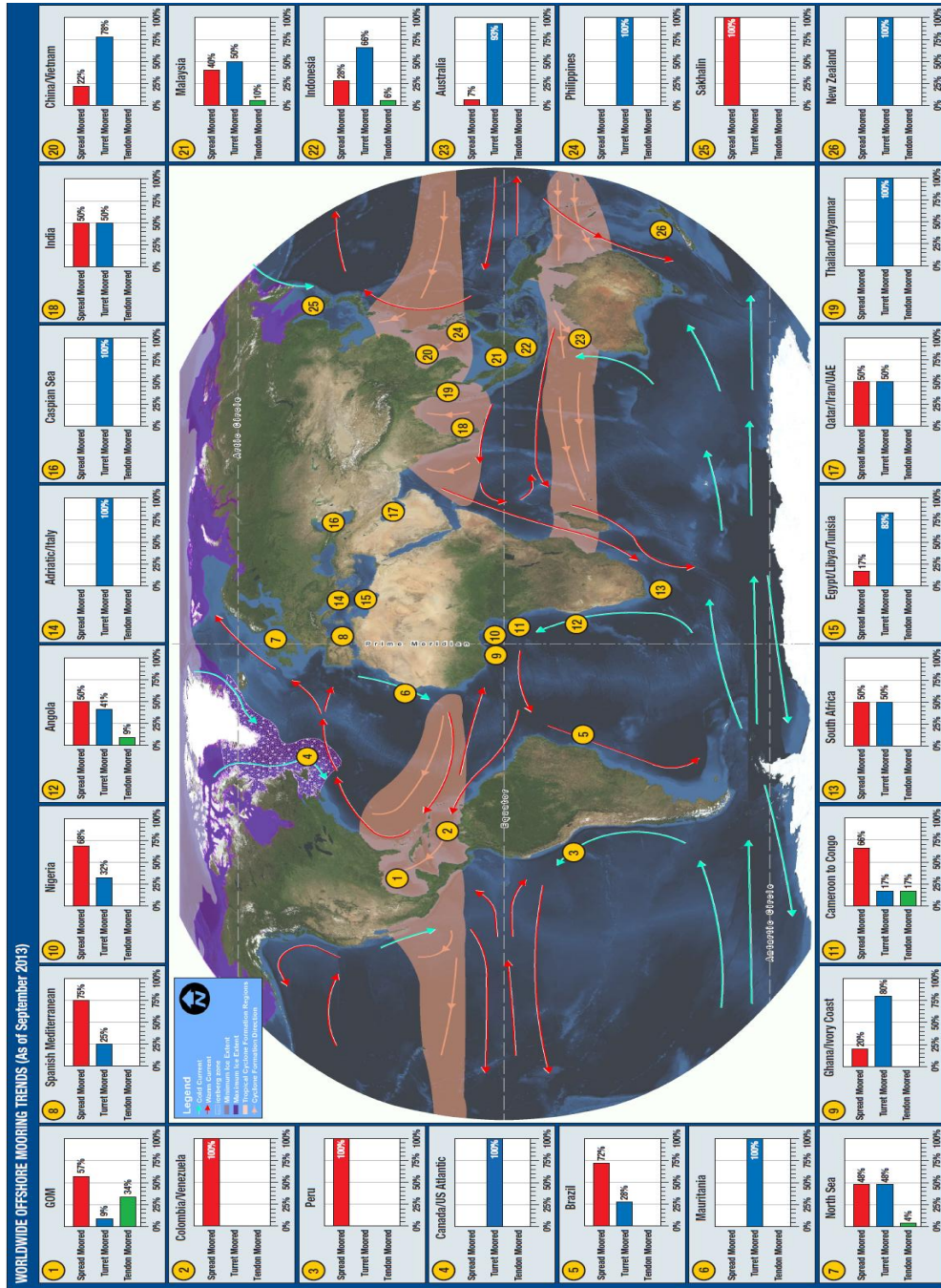
- Spread-mooring system
- Turret system

Στο γράφημα της Εικόνας 1-7 παρουσιάζεται η σχέση συστήματος αγκύρωσης - βάθος νερού. Το δείγμα που έχει ληφθεί αφορά τα FPSOs που βρίσκονταν σε λειτουργία κατά το έτος 2015, όπως παρουσιάζονται στο Offshore Magazine<sup>3</sup>. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η Εικόνα 1-8 όπου παρουσιάζονται τα συστήματα αγκύρωσης που χρησιμοποιούνται από τις offshore κατασκευές ανάλογα με την περιοχή σε όλο τον πλανήτη.



**Εικόνα 1-7: Αριθμός εγκαταστάσεων FPSO σε σχέση με το σύστημα αγκύρωσης και το βάθος νερού.**

<sup>3</sup> Ref. <http://www.offshore-mag.com>



Εικόνα 1-8: Worldwide Offshore Mooring trends (www.offshore-mag.com, September 2013)

### 1.4.1 Spread Mooring System

Το σύστημα *spread mooring* είναι ένας συνδυασμός άγκυρας και γραμμής (κλάδου) αγκύρωσης, ο οποίος κλάδος αγκύρωσης καταλήγει πάνω στη γάστρα του FPSO, σε στρατηγικά σημεία, ώστε να διατηρείται η θέση του (*stationkeeping*) με όσο το δυνατόν μικρότερες μετατοπίσεις και σε σταθερό προσανατολισμό. Επειδή το σύστημα αγκύρωσης σε αυτή την περίπτωση είναι ανεξάρτητο από τη θέση των *risers*, τα *risers* μπορούν να προσαρτηθούν σε βολικά σημεία πάνω στη γάστρα, ώστε να διευκολύνουν τη σειρά επεξεργασίας στα *topsides*.

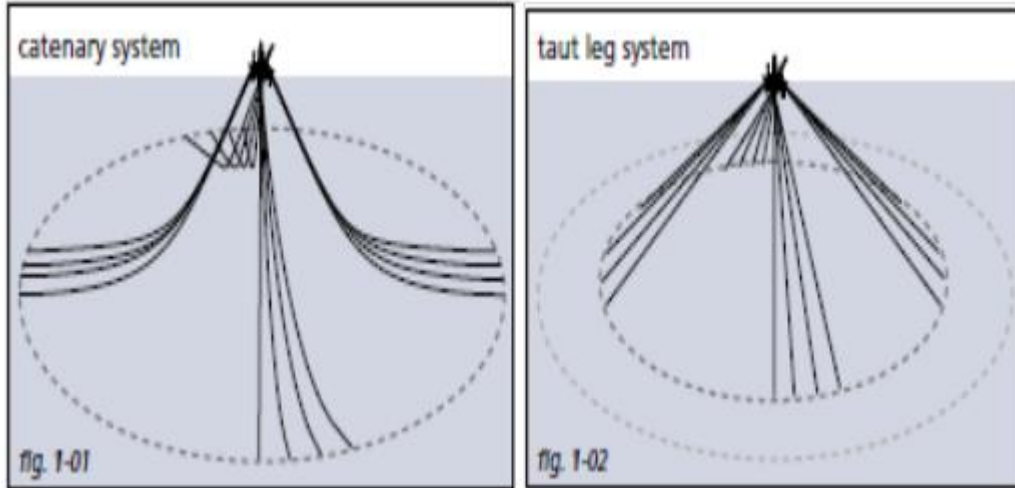
Το σύστημα αυτό προτιμάται περισσότερο σε ήπιο περιβάλλον και σε καταστάσεις θάλασσας όπου η κατεύθυνση κυματισμού είναι καθορισμένη και η μονάδα δεν χρειάζεται να περιστρέφεται γύρω από κάποιο σταθερό σημείο αγκύρωσης (*weathervaning*) ανάλογα με τις μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες. Ένα πλεονέκτημα του συστήματος *spread mooring* είναι ότι συνήθως είναι φθηνότερο από το σύστημα *turret*. Παρόλα αυτά ένας τέτοιος τύπος αγκύρωσης διαθέτει μικρότερη ευελιξία σε καταστάσεις εκφόρτωσης σε σχέση με το σύστημα *turret*. Παράδειγμα ενός συστήματος *spread mooring* φαίνεται στην Εικόνα 1-10.

Όταν η εξερεύνηση πετρελαίου και αερίου γινόταν σε ρηχά και βαθιά νερά η πιο κοινή διαμόρφωση του συστήματος ήταν αυτή του *catenary mooring* (Εικόνα 1-9). Όταν όμως άρχισε η εξερεύνηση σε μεγαλύτερα βάθη, το βάρος του κλάδου αγκύρωσης έγινε περιοριστικός παράγοντας στον σχεδιασμό. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα βρέθηκαν νέες λύσεις, όπως η κατασκευή των γραμμών αγκύρωσης από σύνθετο υλικό (λιγότερο βάρος) αλλά και το νέο σύστημα *taut leg mooring* (Εικόνα 1-9).

Η βασική διαφορά των δύο συστημάτων, *catenary* και *taut leg*, είναι ότι στο πρώτο οι γραμμές αγκύρωσης φτάνουν στον πυθμένα της θάλασσας οριζόντια, ενώ στην άλλη περίπτωση οι γραμμές έρχονται υπό γωνία. Άμεση συνέπεια του παραπάνω είναι πως στο σύστημα *taut leg* το σημείο της άγκυρας πρέπει να είναι ικανό να αντισταθεί και τις οριζόντιες και τις κατακόρυφες δυνάμεις, ενώ στο σύστημα *catenary* το σημείο της άγκυρας υπόκειται μόνο σε οριζόντιες δυνάμεις<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup>Ref. [http://www.vryhof.com/pdf\\_2010/Mk5-MooringSystem.pdf](http://www.vryhof.com/pdf_2010/Mk5-MooringSystem.pdf)



Εικόνα 1-9: Catenary and Taut leg mooring systems ([www.vryhof.com](http://www.vryhof.com))



Εικόνα 1-10: Spread-moored FPSO (<http://www.itochu.co.jp/en/news/2011/110715.html>)

## 1.4.2 Turret Mooring

Το turret είναι μια κατασκευή-μηχανισμός που προσαρτάται στο FPSO και μέσω αυτού γίνεται η σύνδεση των γραμμών αγκύρωσης με την υποθαλάσσια περιοχή. Επίσης, ευέλικτα risers ξεκινούν από το turret και κατευθύνονται στον βυθό της θάλασσας καταλήγοντας σε πηγάδια (wellheads) ή σε manifolds.

Τα turrets, μαζί με τις γραμμές αγκύρωσης και τα risers μπορούν να σχεδιαστούν με δύο τρόπους: i) μόνιμα συνδεδεμένα, ώστε να παραμένουν στην τοποθεσία για μεγάλη χρονική περίοδο και ii) αποσυνδεόμενα, ικανά, δηλαδή, για γρήγορη αποσύνδεση μέσα από μια διαδικασία που κρατά μόνο λίγες ώρες. Ο δεύτερος τρόπος σχεδιασμού απευθύνεται κυρίως σε περιοχές εγκατάστασης όπου είναι πιθανόν να συμβεί κάποιο ακραίο περιβαλλοντικό γεγονός, όπως τυφώνας ή την περίπτωση που πλησιάζει ένα παγόβουνο το FPSO και πρέπει να απομακρυνθεί από τη θέση του. Το turret βυθίζεται και μπορεί να επανασυνδεθεί αργότερα<sup>5</sup>.

Οι δύο βασικές κατηγορίες των turrets είναι το *External turret* (Εικόνα 1-11) και το *Internal turret* (Εικόνα 1-12). Το *External turret* τοποθετείται εξωτερικά, στην πλήρη ή την πρύμνη του FPSO, ενώ το *Internal Turret* είναι τοποθετημένο στο εσωτερικό του FPSO. Βασικός περιορισμός του πρώτου έναντι του δεύτερου είναι ο αριθμός των risers. Στην πρώτη περίπτωση ένας τυπικός αριθμός είναι περί τα 20 risers, ενώ στη δεύτερη ο αριθμός τους μπορεί να φτάσει ή και να ξεπεράσει τα 100. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι πως λόγω της θέσης του στο εσωτερικό του hull, το internal turret προστατεύει τα risers από τη ζημιά που μπορεί να προκαλέσουν οι κυματισμοί, ενώ στο external turret που βρίσκεται στην πλήρη τα risers είναι εκτεθειμένα.

Και τα δύο συστήματα turret χρησιμοποιούνται σε μέτριες (moderate) έως ακραίες (harsh) περιβαλλοντικές συνθήκες. Βασικό πλεονέκτημα του *External turret* έναντι του *internal* είναι ότι ο σχεδιασμός του και η ενσωμάτωση του είναι πολύ πιο εύκολη. Επίσης, η προσάρτηση του στην κατασκευή μπορεί να γίνει και όταν το σκάφος είναι στην περιοχή λειτουργίας, δηλαδή πλέει<sup>6</sup>. Η χρήση του *External turret* είναι πιο συνηθισμένη σε μετατροπές δεξαμενοπλοίων σε FPSO και σε περιοχές μεσαίας ή μικρής ανάπτυξης σε πετρέλαιο (λόγω του μειωμένου αριθμού των risers). Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων τα purpose built FPSOs που λειτουργούν σε υποθαλάσσιες περιοχές υψηλών αποθεμάτων σε πετρέλαιο χρησιμοποιούν σύστημα *internal turret*. Η ενσωμάτωση του turret μέσα στη γάστρα είναι πολύ σημαντική παράμετρος στον κατασκευαστικό σχεδιασμό του όλου σκάφους. Είναι, επίσης,

<sup>5</sup> Ref. <http://www.2b1stconsulting.com/turret/>

<sup>6</sup> Ref. <http://www.bluewater.com/>



σημαντικό σε τέτοιες περιπτώσεις να διασφαλιστεί ότι η προσθήκη ενός εσωτερικού turret δεν θα μειώσει την αντοχή του πλοίου. Σημαντικό μειονέκτημα του internal turret είναι το γεγονός ότι χάνονται κάποιες δεξαμενές για να μπει στη θέση αυτή το turret και μειώνεται η επιφάνεια των topsides πάνω στο κατάστρωμα.



Εικόνα 1-11: FPSO with External Turret mooring system (<http://www.londonmarine.co.uk/>)



Εικόνα 1-12: FPSO with Internal disconnectable Turret mooring system  
([http://www.nov.com/fps\\_landing/products/submerged-turret-production.html](http://www.nov.com/fps_landing/products/submerged-turret-production.html))

Τέλος, στον Πίνακα 1-1 συνοψίζονται οι κύριες διαφορές του συστήματος Spread mooring και Turret.

**Πίνακας 1-1: Βασικές διαφορές μεταξύ συστήματος Turret και Spread Mooring (Ref. 20)**

	<b>Σύστημα Turret</b>	<b>Σύστημα Spread-Mooring</b>
<b>Κατεύθυνση πλοίου</b>	360° weathervaning	Συγκεκριμένος προσανατολισμός
<b>Περιβάλλον</b>	Ήπιο έως ακραίο	Ήπιο έως ενδιάμεσο
<b>Αριθμός Riser &amp; Διάταξη</b>	Ο αριθμός ποικίλει ανάλογα με το σύστημα και τις ανάγκες, πάντα ενσωματωμένα στο turret	Μπορεί να σχεδιαστεί με ευελιξία και διάταξη τέτοια ώστε να ευνοεί την παραγωγή
<b>Διατήρηση Θέσης Μονάδας &amp; Απόδοση</b>	Αριθμός κλάδων αγκύρωσης, ελαχιστοποίηση μετατοπίσεων	Μεγαλύτερος αριθμός κλάδων αγκύρωσης, ποικίλες μετατοπίσεις
<b>Κινήσεις πλοίου</b>	Η ικανότητα weathervaning μειώνει τις μετατοπίσεις και τις επιταχύνσεις	Εξαρτώμενες από τη σχετική θέση του FPSO και του περιβάλλοντος
<b>Διάταξη πλοίου</b>	Το Turret παρέχει 'συμπαγή' φόρτιση και σύστημα μεταφοράς υγρών (risers)	Τα στοιχεία πρόσδεσης σε διάφορα σημεία του πλοίου απαιτώντας και μεγάλους χώρους
<b>Λειτουργία Εκφόρτωσης</b>	Το FPSO ευθυγραμμίζεται στην ηπιότερη κατεύθυνση κύματος	Εξαρτώμενο από τη θέση του FPSO σε σχέση με το περιβάλλον

## 1.5 Διαφορές μεταξύ Tanker και FPSO

Παρόλο που η κατασκευή και η δομή της γάστρας των FPSO ομοιάζει σε πολλά σημεία με αυτή των συμβατικών δεξαμενοπλοίων σημαντικό είναι κανείς να συνειδητοποιήσει τις μεγάλες διαφορές που υπάρχουν μεταξύ μιας ποικιλίας αντικειμένων, όπως αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 1-2 που ακολουθεί.

Πίνακας 1-2: Βασικές διαφορές μεταξύ δεξαμενοπλοίων και FPSO (Ref. 9)

Trading Tankers	FPSO
Σχεδιασμός βάσει κατάστασης περιβάλλοντος κυματισμού Βόρειου Ατλαντικού	Σχεδιασμός βάσει κατάστασης περιβάλλοντος κυματισμού μεταφοράς και εγκατάστασης on-site
20-25 χρόνια return period	100 χρόνια return period
Φορτίσεις: Κυρίως κυματισμοί	Ρεύματα σε συνδυασμό με άνεμο και κυματισμούς
Περιορισμένος αριθμός κύκλων φόρτωσης/εκφόρτωσης. Η φορτοεκφόρτωση γίνεται σε ήρεμες καταστάσεις θάλασσας (λιμάνι)	Αυξημένος αριθμός κύκλων φόρτωσης/εκφόρτωσης. Η φόρτωση γίνεται με παρουσία πολλών επιδράσεων του περιβάλλοντος
Περιορισμένος αριθμός καταστάσεων φόρτωσης	Μεγαλύτερος αριθμός και ποικιλία καταστάσεων φόρτωσης
Στην ανοιχτή θάλασσα για περίπου 70% του χρόνου ζωής του	Στην θάλασσα για 100% του χρόνου ζωής του
Καιρός σε κάθε κατεύθυνση· ικανότητα αποφυγής κακοκαιρίας εφικτή	Καιρός σε συγκεκριμένη κατεύθυνση· δεν υπάρχει ικανότητα αποφυγής μιας και η κατασκευή είναι on-site
Συχνός δεξαμενισμός κάθε 5 χρόνια	Συνεχής λειτουργία συνήθως χωρίς δεξαμενισμό
Χωρίς εγκατάσταση στο κατάστρωμα (topsides)	Με topsides και αλληλεπιδράσεις μεταξύ γάστρας και topsides

Μια βασική διαφορά μεταξύ δεξαμενοπλοίων και FPSOs είναι η περιβαλλοντικές συνθήκες που σχεδιάζονται και καλούνται να αντιμετωπίσουν στην διάρκεια ζωής τους. Για τα δεξαμενόπλοια ο Βόρειος Ατλαντικός θεωρείται το περιβάλλον αναφοράς για τον σχεδιασμό και την αντοχή του πλοίου, ώστε να είναι σε θέση να πλέει με ασφάλεια σε όποια θάλασσα ταξιδέψει καθ' όλη την διάρκεια ζωής του. Αντίθετα, οι αναμενόμενες φορτίσεις για ένα FPSO βασίζονται στην μόνιμη περιοχή λειτουργίας τους και σε ένα μικρό ποσοστό στην μεταφορά του (transit condition) από το ναυπηγείο στο site.

Έχει επικρατήσει στη βιομηχανία των υπεράκτιων κατασκευών, η περίοδος επανεμφάνισης (return period) των κυματισμών για τον σχεδιασμό της αντοχής της κατασκευής των FPSOs να είναι 100 χρόνια, ενώ αυτή των δεξαμενοπλοίων στα 20-25 χρόνια [Ref.9].

Οι άνεμοι και τα ρεύματα, σε άμεσο συνδυασμό με τα κύματα, μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές επιδράσεις στις offshore κατασκευές, ενώ τα κύματα είναι συνήθως η πρωταρχική πηγή επιδράσεων του περιβάλλοντος για τα συμβατικά δεξαμενόπλοια.

Η φορτοεκφόρτωση των δεξαμενοπλοίων γίνεται σε ήρεμο νερό στο λιμάνι, αλλά στα FPSOs γίνεται on-site σε δυσμενείς καταστάσεις θάλασσας. Ο αριθμός των κύκλων φόρτωσης/εκφόρτωσης στα FPSOs είναι μεγαλύτερος από τα δεξαμενόπλοια, γιατί υποβάλλονται σε μεγαλύτερη ποικιλία καταστάσεων φόρτωσης και πιο συχνή φορτοεκφόρτωση. Αυτή η ποικιλία στις καταστάσεις φόρτωσης υποδηλώνει μεγάλες διακυμάνσεις στο βύθισμα ανάμεσα στην πλήρως φορτωμένη κατάσταση, την λιγότερο φορτωμένη κατάσταση και τις καταστάσεις ballast, σε σχέση με το δεξαμενόπλοιο.

Αντίθετα με τα δεξαμενόπλοια τα FPSOs διαθέτουν topsides, turret, flare towers , risers, τα οποία είναι αντικείμενα με μεγάλο βάρος, μεγάλη επιφάνεια εκτεθειμένη στον άνεμο και συντελούν σε υψηλό κέντρο βάρους της όλης κατασκευής. Όλα αυτά επηρεάζουν τις κινήσεις της μονάδας και τις αποκρίσεις της στα περιβαλλοντικά φαινόμενα.

Επί προσθέτως, διαφορά υπάρχει στο σύστημα αγκύρωσης. Αυτό φαίνεται λογικό, διότι ένα FPSO λειτουργεί σαν μια πλατφόρμα και πρέπει να είναι σε θέση να αντέξει κάθε κακοκαιρία στην μόνιμη περιοχή εγκατάστασης του. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου το περιβάλλον χαρακτηρίζεται από δυσμενείς καταστάσεις η κατασκευή χρειάζεται να μεταβάλλει την θέση της ανάλογα με τον καιρό (ιδίως τον άνεμο).

Τέλος, σημαντική διαφορά υπάρχει στο αντιδιαβρωτικό στρώμα. Πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον αρχικό σχεδιασμό, πως το προστατευτικό επίστρωμα σε ένα FPSO πρέπει να αντέξει για πολλά χρόνια, για προφανείς λόγους, σε αντίθεση με ένα δεξαμενόπλοιο, όπου μπορεί να γίνει καλύτερη συντήρηση του και αντικατάσταση του σε επιθεωρήσεις και δεξαμενισμούς.

### Λόγοι και κύριες διαστάσεις

Στον Πίνακα 1-3 γίνεται μια σύγκριση στους λόγους των κύριων διαστάσεων ανάμεσα σε συμβατικά δεξαμενόπλοια και FPSOs. Τα δεξαμενόπλοια, ειδικά εκείνα που έχουν σχεδιαστεί νωρίτερα έχουν σχετικά μεγάλους λόγους L/B και L/D. Οι λόγοι της γάστρας για νέες κατασκευές FPSOs τείνουν να ακολουθήσουν τιμές μικρότερες εκείνων των δεξαμενοπλοίων. Ιδίως η διαφορά στον συντελεστή γάστρας  $C_B$  είναι εμφανής.

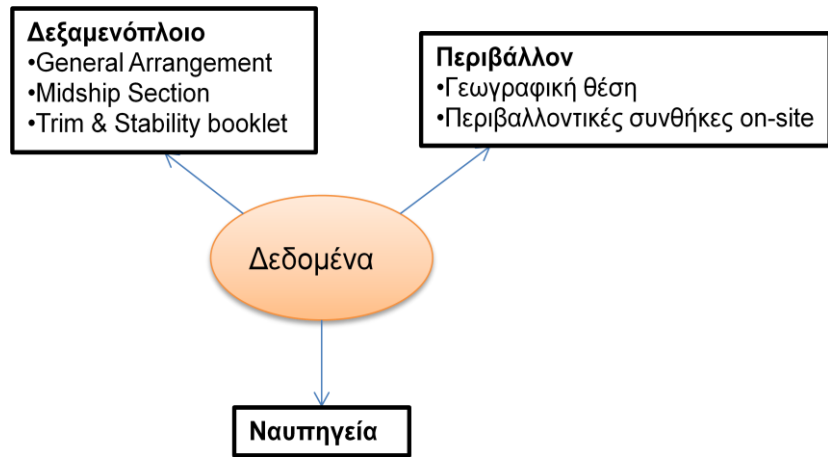
Πίνακας 1-3: Λόγοι και κύριες διαστάσεις Tankers και FPSO (Ref. 18)

	TANKER	FPSO
L/B	5.6 – 7.0	4.5 - 5.5
B/D	2.5 – 3.0	≈1.9
L/D	10.7 – 16.7	8.5 - 9.5
$C_b$	0.83-0.86	≈0.96

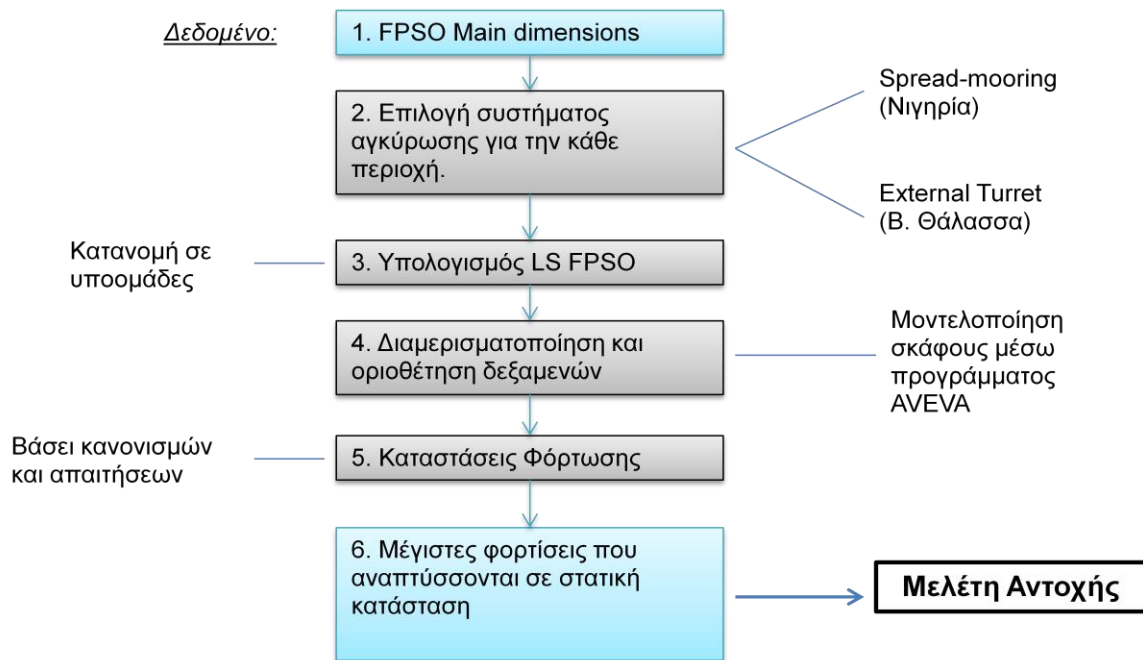
### 1.6 Δομή και ροή εργασίας- Σκοπός

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η αξιολόγηση της μετατροπής ενός δεξαμενοπλοίου σε FPSO. Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται αξιολόγηση της κατάστασης της μεταλλικής κατασκευής κατά τη μετατροπή και προσδιορισμός των τμημάτων της κατασκευής τα οποία δεν πληρούν τις νέες απαιτήσεις βάσει της συγκεκριμένης περιοχής εγκατάστασης της μονάδας. Η μετατροπή ή μη μετατροπή του δεξαμενοπλοίου, ύστερα από τα αποτελέσματα της τελικής αξιολόγησης, είναι στην ευχέρεια της εταιρείας.

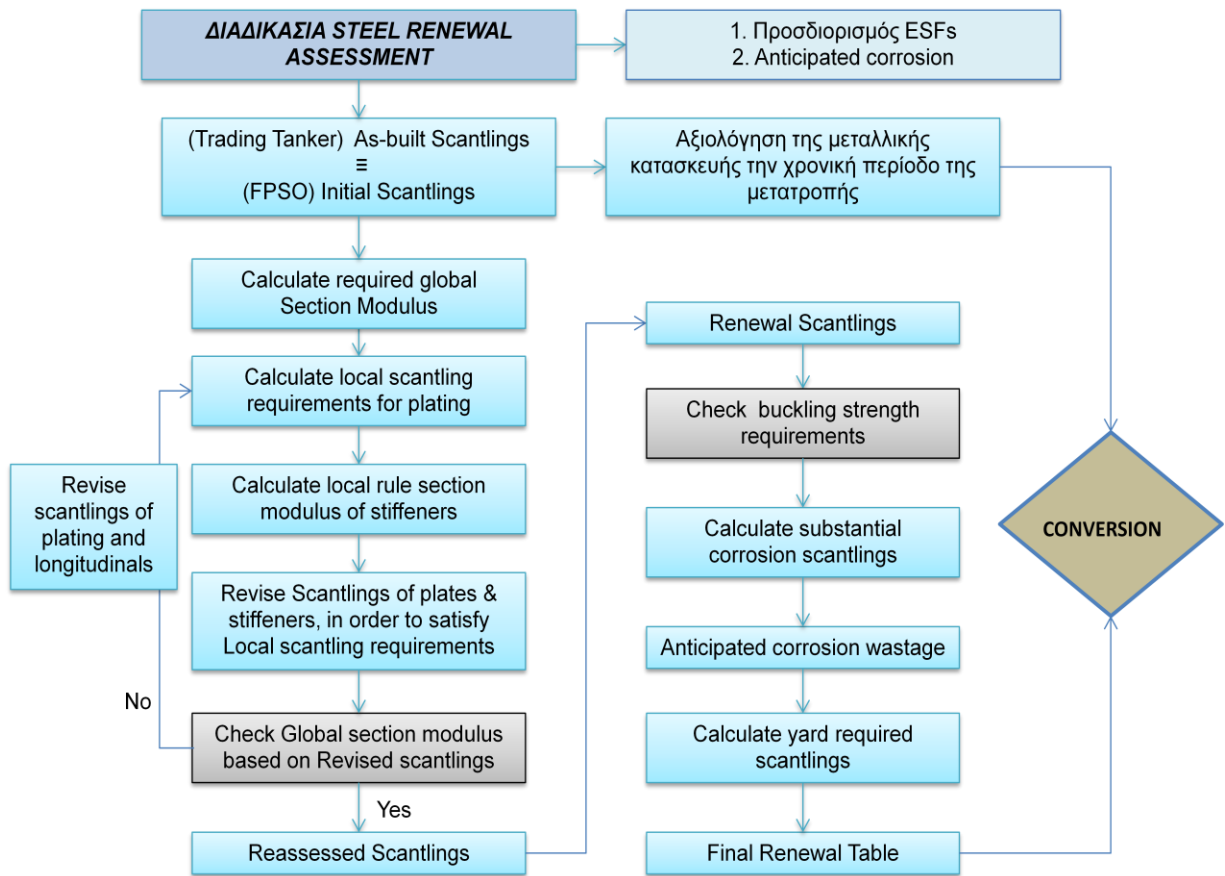
Η κύρια δομή που θα ακολουθηθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται κατά σειρά στις Εικόνες 1-13, 1-14 και 1-15. Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα τρία βασικά δεδομένα που διαθέτουμε και αυτά είναι το πλοίο προς μετατροπή, το περιβάλλον λειτουργίας του FPSO και τα ναυπηγεία. Ακολούθως, στο Κεφάλαιο 3 πραγματοποιείται η διαδικασία μετατροπής του πλοίου σε πλωτή μονάδα και τέλος, στο Κεφάλαιο 4 γίνεται η μελέτη της αντοχής και εξετάζονται οι απαιτήσεις στις νέες συνθήκες υπηρεσίας.



Εικόνα 1-13: Δομή κεφαλαίου 2 – Παρουσίαση των βασικών δεδομένων.



Εικόνα 1-14: Δομή κεφαλαίου 3 – Σχεδιασμός μετασκευασμένου FPSO.



Εικόνα 1-15: Δομή κεφαλαίου 4 – Μελέτη αντοχής & έλεγχος απαιτήσεων FPSO.

## 2 Κεφάλαιο 2 - Δεδομένα (input data)

### 2.1 Πλοίο

Το πλοίο που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία για μετατροπή (conversion) σε FPSO είναι ένα δεξαμενόπλοιο VLCC διπλής γάστρας (double hull) με κύρια στοιχεία όπως παρατίθενται παρακάτω:

#### 2.1.1 Principal Particulars

1. Classification: Det Norske Veritas (DNV)

2. Year built: August 2010

#### 3. Principal dimensions

Length Over All ( $L_{OA}$ ):	333.000 m
Length Between Perpendiculars ( $L_{BP}$ ):	320.000 m
Breadth (moulded):	60.000 m
Depth (moulded):	30.500 m
Designed draft (moulded):	21.000 m
Scantling draft (moulded):	22.500 m
Block Coefficient (moulded):	0.821

#### 4. Tonnage

##### International

Gross tonnage:	162,203
Net tonnage :	112,192



## 5. Lightweight and Displacement (Summer load draft)

Displacement:	364,076.0 t
Deadweight:	320,137.3 t
Lightweight:	43,938.7 t
Draft (ext.):	22.525 m
Freeboard:	4.637 m

## 6.Type of freeboard

Type: "A" type assigned on ICLL 1966.

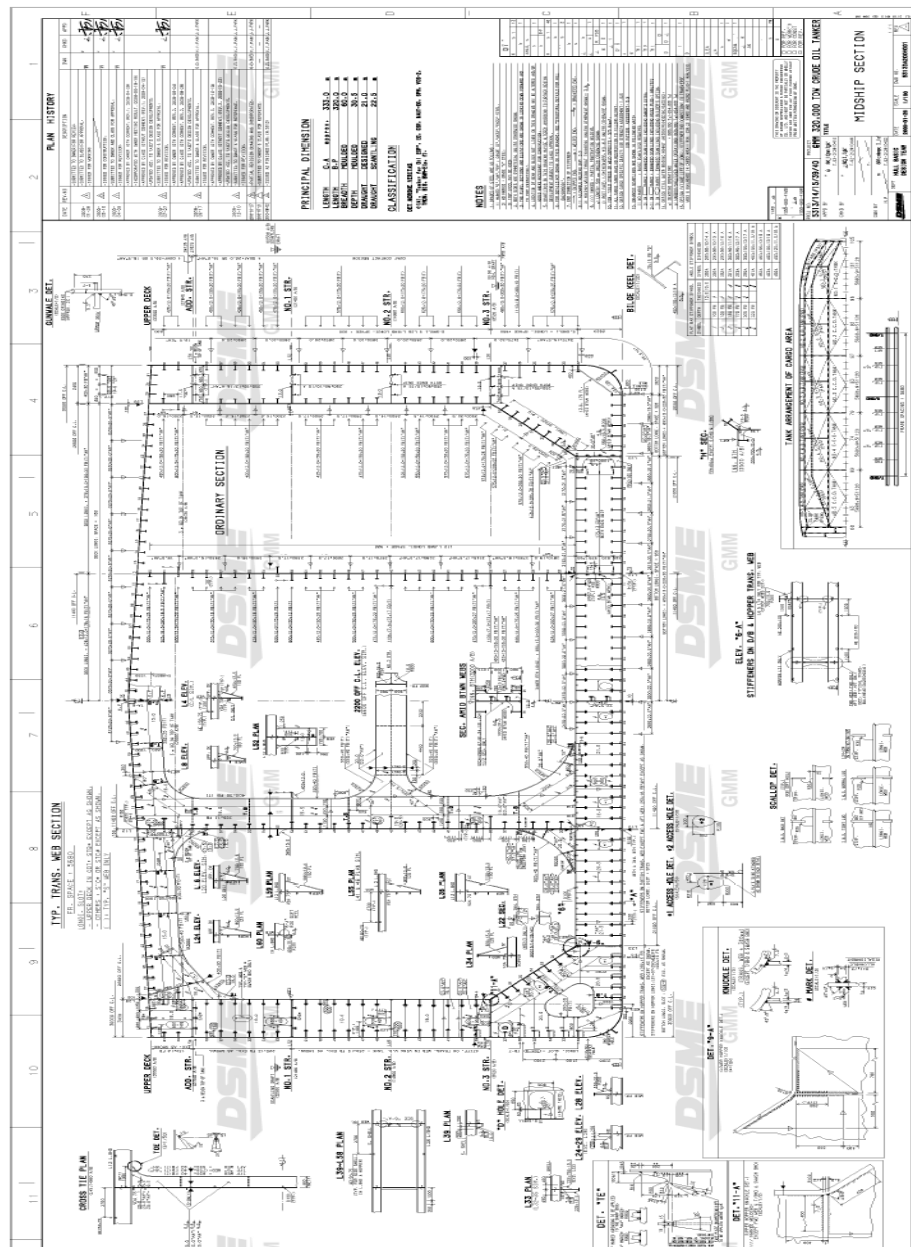
### 2.1.2 Γενική Διάταξη και Μέση Τομή

Σε συνολικό μήκος μεταξύ καθέτων ( $L_{BP}$ ) 320m το πλοίο διαθέτει 120 κατασκευαστικούς νομείς. Η ισαπόσταση των νομέων (frame spacing) ξεκινώντας από το πρυμναίο τμήμα μέχρι και τον χώρο του μηχανοστασίου είναι 850mm. Στον χώρο του φορτίου η ισαπόσταση των νομέων είναι 5680mm και στο πρωραίο τμήμα 900mm.

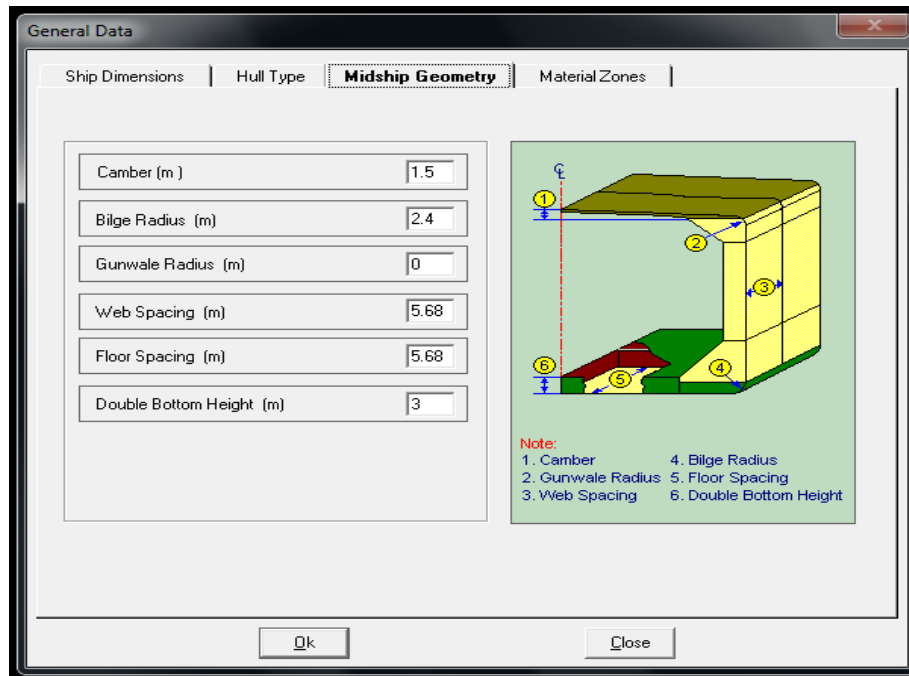
Όπως φαίνεται από το σχέδιο γενικής διάταξης που παρατίθεται παρακάτω, το πλοίο αυτό διαθέτει συνολικά 8 εγκάρσιες φρακτές. Το κύριο κατάστρωμα απέχει 30.5m από την baseline (στην εξωτερική πλευρά του περιβλήματος). Ο χώρος φορτίου έχει 15 δεξαμενές πετρελαίου συνολικού μήκους 255.6m και πλάτους 53.4m και 2 slop tanks χωρητικότητας 5000 cu.m. έκαστη. Η κάθε δεξαμενή οριοθετείται από 2 στεγανές εγκάρσιες φρακτές με την κάθε δεξαμενή να έχει μήκος 51.12m και 2 διαμήκειες φρακτές που χωρίζουν τις δεξαμενές του φορτίου σε *port*, *centre* και *starboard tanks*. Στους κατασκευαστικούς νομείς 60-63 βρίσκονται οι δεξαμενές καταλοίπων (slop tanks). Στο διπύθμενο ύψους 3m και στα πλευρικά τοιχώματα πλάτους 3.4m βρίσκονται οι δεξαμενές έρματος (*port* και *starboard*) σχήματος J. Ο χώρος του μηχανοστασίου έχει συνολικό μήκος 38.25m και βρίσκεται μεταξύ των κατασκευαστικών νομέων 15 και 60.

Η Μέση Τομή (Midship Section) του πλοίου βρίσκεται σε απόσταση 160 m από την πρυμναία κάθετο στον χώρο no.3 των δεξαμενών. Η ζώνη του πυθμένα και η ζώνη του καταστρώματος αποτελούνται από χάλυβα υψηλής αντοχής τύπου AH32, ενώ στην μεσαία

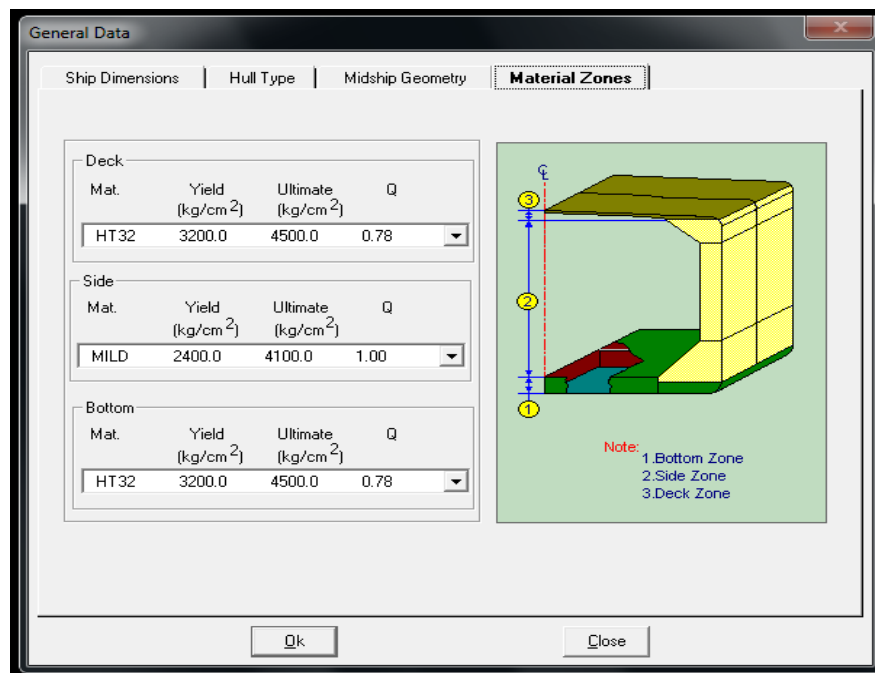




Εικόνα 2-2: Σχέδιο Μέσης Τομής του υπό μετατροπή πλοίου.



Εικόνα 2-3: Κύρια στοιχεία της γεωμετρίας της μέσης τομής (ABS Eagle FPSO Software).



Εικόνα 2-4: Προσδιορισμός του τύπου του χάλυβα ανάλογα με την περιοχή της μέσης τομής (ABS Eagle FPSO Software).

### 2.1.3 Επιτρεπόμενες Καμπτικές Ροπές και Διατμητικές Δυνάμεις

Η ασφαλής λειτουργία του δεξαμενοπλοίου από πλευρά φορτίσεων προδιαγράφεται από τις μέγιστες επιτρεπόμενες διατμητικές δυνάμεις και καμπτικές ροπές όταν το πλοίο βρίσκεται σε ήρεμο νερό. Αυτές δίνονται στους Πίνακες 2-1 και 2-2 και λήφθηκαν από το Trim & Stability booklet του δεξαμενοπλοίου. Στον Πίνακα 2-3 παρουσιάζονται οι ελάχιστες επιτρεπόμενες ιδιότητες της τομής σε κάθε δεξαμενή κατά μήκος του πλοίου, όπως αναγράφονται στο σχέδιο μέσης τομής.

**Πίνακας 2-1: Επιτρεπόμενες Διατμητικές Δυνάμεις δεξαμενοπλοίου σε ήρεμο νερό (Allowable Shear Forces)**

FR	Sea (t)	
	Positive	Negative
60	13,890	-15,189
63	13,470	-10,000
66	9,230	-5,420
69	16,840	-15,920
73-74	3,940	-8,950
78	15,920	-15,920
82-83	1,871	-10,440
87	15,920	-15,920
91-92	8,020	-8,150
96	15,920	-15,920
100-101	6,280	-8,020
105	6,501	-8,000

**Πίνακας 2-2: Επιτρεπόμενες Καμπτικές Ροπές σε ήρεμο νερό (Allowable Bending Moments)**

FR	Sea (t·m)	
	Hogging	Sagging
35	125,005	-65,005
60	280,999	-189,001
63	465,005	-366,004
66	603,996	-480,000
68	665,005	-521,998
68-69	900,000	-653,996
69	900,000	-653,996
73-74	900,000	-653,996
78	900,000	-653,996
82-83	900,000	-653,996
87	900,000	-653,996
90-91	900,000	-653,996
91	666,004	-508,002
91-92	640,000	-488,002
96	405,005	-348,002
100-101	185,005	-179,001
105	42,997	-35,005

**Πίνακας 2-3: Minimum Allowable Hull Girder Sectional Properties by CSR**

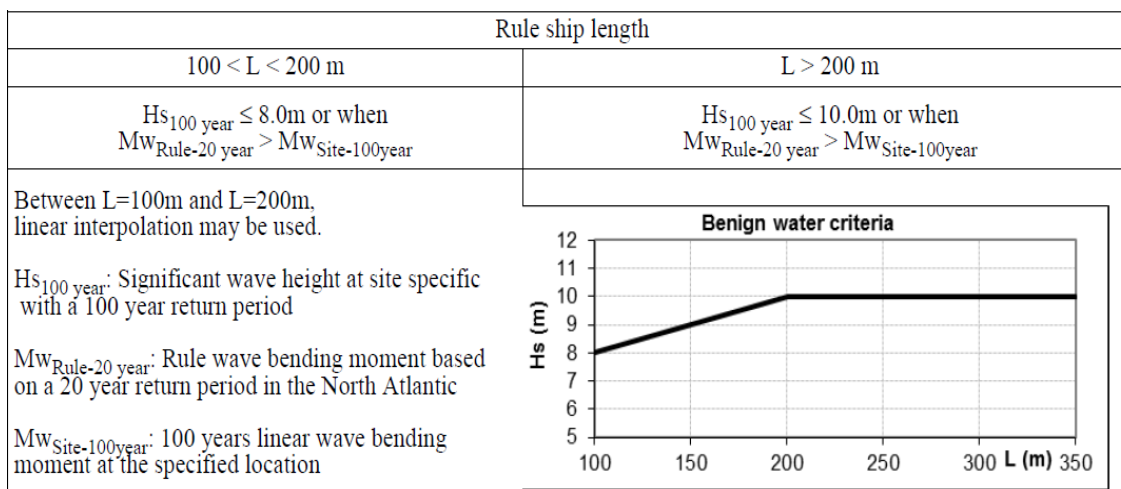
Cargo Tank No.	Frame Number	$I_v$ (m <sup>4</sup> )	$SM_{v-deck}$ (m <sup>3</sup> )	$SM_{v-bottom}$ (m <sup>3</sup> )
<b>No.1</b>	100.5	1142	63.1	92
<b>No.2</b>	91.5	1289	71.6	103.2
<b>No.3</b>	82.5	1383	79.2	106.1
<b>No.4</b>	73.5	1383	79.2	106.1
<b>No.5</b>	64.5	1107	65.2	81.8

$I_v$  : Vertical Hull Girder Moment of Inertia about the horizontal axis  
 $SM_{v-deck}$  : Hull Girder Section Modulus about the horizontal axis at deck at side  
 $SM_{v-bottom}$  : Hull Girder Section Modulus about the horizontal axis at keel at side

## 2.2 Περιβάλλον (Environment)

Το περιβάλλον καθορίζει την σχεδίαση και την λειτουργία της μονάδας. Τα θέματα που άπτονται του περιβάλλοντος και είναι συνυφασμένα με αυτό είναι διαφορετικά σε σχέση με την λειτουργία ενός δεξαμενοπλοίου. Η φύση των υπεράκτιων κατασκευών και των πλοίων και η λειτουργία τους είναι τέτοια που οι άνεμοι, τα ρεύματα και τα κύματα, ανάμεσα σε άλλους παράγοντες, μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές επιδράσεις στην κατασκευή. Στην περίπτωση των FPSOs, η γνώση των περιβαλλοντικών συνθηκών της περιοχής, όπου η μονάδα θα εγκατασταθεί, όπως και της διαδρομής που θα ακολουθηθεί την συγκεκριμένη εποχή του χρόνου είναι απαραίτητα για τον σχεδιασμό και την σωστή και ασφαλή λειτουργία αυτής.

Η κατασκευή ενός FPSO είναι συνυφασμένη με τις μετεωρολογικές - ωκεανολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή εγκατάστασης και μόνιμης λειτουργίας του (site metocean data), ιδίως όταν πρόκειται για ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η διάκριση του περιβάλλοντος σε ήπιο (benign environment) γίνεται με βάση την Εικόνα 2-5. Σε αντίθετη περίπτωση το περιβάλλον κατατάσσεται ως δυσμενές (harsh environment).

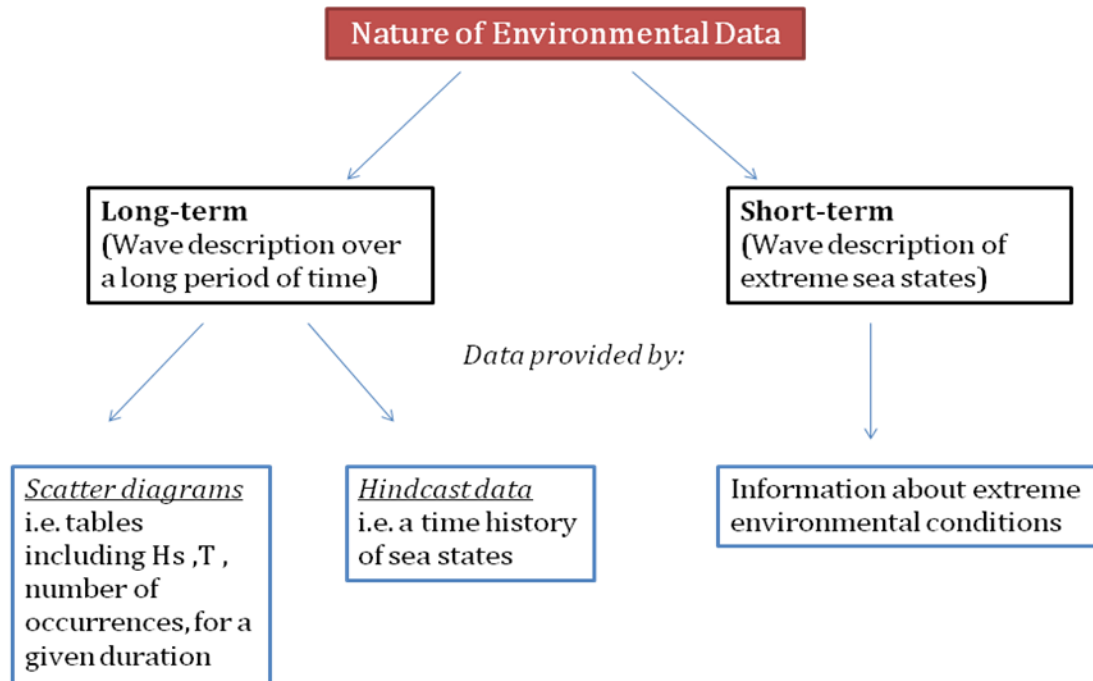


Εικόνα 2-5: Benign water criteria (Ref. 5)

Για τον σωστό σχεδιασμό και λειτουργία της γάστρας, των topsides, των συστημάτων αγκύρωσης και των risers είναι απαραίτητα αξιόπιστα δεδομένα για τα περιβαλλοντικά φαινόμενα της περιοχής. Τα απαιτούμενα δεδομένα μπορούν να προέλθουν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους και από πολλές πηγές. Για παράδειγμα, μπορεί να προέλθουν από όργανα μέτρησης στην εκάστοτε περιοχή, από οπτικές παρατηρήσεις (πλοίων και πλατφορμών), μετρήσεις από δορυφόρους ή hindcasting. Σημαντικό για την αξιοπιστία και την

επάρκεια της κατασκευής είναι πως όσο μεγαλύτερες είναι οι περιβαλλοντικές αβεβαιότητες, τόσο μεγαλύτερος ο αριθμός των συντελεστών ασφαλείας.

Στην Εικόνα 2-6 παρουσιάζεται η διάκριση των περιβαλλοντικών δεδομένων σε μακροχρόνια και βραχυχρόνια συλλογή, όπως επίσης και από πού συλλέγονται τα δεδομένα σε κάθε περίπτωση.



Εικόνα 2-6: Διάκριση των δεδομένων του περιβάλλοντος ανάλογα με την πηγή προέλευσης (Ref. 4).

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι φυσικά φαινόμενα, τα οποία συνεισφέρουν στην τάση και παραμόρφωση της κατασκευής και θέτουν λειτουργικούς περιορισμούς και κανονισμούς. Φαινόμενα που αφορούν την απόκριση ενός FPSO σε μεγάλο βαθμό είναι [Ref. 9]:

- το κύμα (wave)
- ο άνεμος (wind) και
- τα ρεύματα (currents)

Άλλα φαινόμενα τα οποία λαμβάνονται υπόψη σε μικρότερο όμως βαθμό είναι:

- η παλίρροια
- ο πάγος και το χιόνι
- η θερμοκρασία
- ο σεισμός



- η ορατότητα/ομίχλη
- η βαριά βροχή

Την μεγαλύτερη απόκριση στην κατασκευή των FPSO την προκαλούν τα κύματα. Οι παράμετροι του κύματος που χρησιμοποιούνται για τις υπεράκτιες κατασκευές περιλαμβάνουν ύψη κύματος, περιόδους και κατεύθυνση κυματισμών.

Βάση των κανονισμών τα δεξαμενόπλοια σχεδιάζονται για να αντέχουν καταστάσεις θάλασσας και κυματισμούς με return period 20-25 χρόνια. Ο σχεδιασμός γίνεται με βάση την κατάσταση περιβάλλοντος του Βόρειου Ατλαντικού. Σήμερα, για την υπεράκτια βιομηχανία έχει επικρατήσει ένα return period στα 100 χρόνια<sup>7</sup>.

Όπως προηγήθηκε, γίνεται ένας διαχωρισμός του περιβάλλοντος με βάση τις καταστάσεις που επικρατούν σε ένα συγκεκριμένο μέρος (field) σε ήπιο (benign) και σε δυσμενές (harsh). Άρα, λοιπόν, ένα FPSO που φτιάχνεται για την Βόρεια Θάλασσα (harsh environment) θα έχει υψηλότερες κατασκευαστικές απαιτήσεις και θα ληφθούν υπόψη οι παράμετροι που αφορούν την κατάσταση της θάλασσας στην περιοχή αυτή. Αντίθετα, αν ένα FPSO εγκατασταθεί στην υπεράκτια περιοχή της Δυτικής Αφρικής (benign environment), τότε οι απαιτήσεις είναι μικρότερες (μειωμένα scantlings), όμως, στον σχεδιασμό και την κατασκευή θα ληφθεί κυρίως υπόψη η μεταφορά του FPSO από το ναυπηγείο στην περιοχή λειτουργίας (transit condition). Έτσι, παρόλο που η λειτουργία on-site θα επιτρέψει μια ενδεχόμενη μείωση της ροπής αντίστασης και συνεπώς, μειούμενο κόστος κατασκευής, στην μεταφορά πιθανότατα η απαιτούμενη ροπή αντίστασης πρέπει να είναι υψηλότερη και το ναυπηγείο θα πρέπει να φτιάξει την κατασκευή, ώστε να ανταπεξέλθει στην δυσμενέστερη κατάσταση.

Κατά την μεταφορά (transit condition) του FPSO από το ναυπηγείο στην περιοχή εγκατάστασης θα πρέπει να είναι γνωστές οι χαρακτηριστικές περιβαλλοντικές συνθήκες με βάση τις εποχιακές διακυμάνσεις. Είναι σαφές πως η κατάσταση του καιρού αλλάζει με την εποχή του χρόνου και λογικό είναι να προτιμάται μια μεταφορά κατά την εποχή με τις όσο το δυνατόν πιο ήπιες περιβαλλοντικές καταστάσεις επικρατούν. Οι συνθήκες που θα εξεταστούν πρέπει να βασίζονται σε στατιστικά φαινόμενα για τους μήνα(ες) μεταφοράς και τον προηγούμενο και επόμενο μήνα. Κατά την μεταφορά το return period λαμβάνεται ίσο με 10 χρόνια.

---

<sup>7</sup> Αρχικά, στις αρχές της δεκαετίας του 1960, για μια πλατφόρμα που ήταν εγκατεστημένη στον κόλπο του Μεξικού είχε επιλεγεί σχεδιασμός κατασκευής με βάση τα 25 χρόνια return period για ύψος κυματισμού. Με αρκετές ζημιές που υπέστη η κατασκευή, μια προοδευτική αύξηση σε ένα ύψος κύματος που ανταποκρινόταν σε 50 χρόνια return period βελτίωσε την κατάσταση, αλλά όχι ολοκληρωτικά. Τότε επιλέχθηκε η return period των 100 χρόνων και έκτοτε καμία πλατφόρμα στον κόλπο του Μεξικού ή οπουδήποτε αλλού, σχεδιασμένη με το κριτήριο αυτό, δεν έχει χαθεί και δεν έχει υποστεί ζημιές λόγω των δυσμενών περιβαλλοντικών συνθηκών. Παρόλα αυτά, σήμερα αυτό αμφισβητείται λόγω κάποιων συμβάντων (τυφώνας Katrina) και στο τραπέζι έχει τεθεί η αύξηση του return period σε 1,000-10,000 χρόνια.

## 2.2.1 Γεωγραφική Θέση (Geographic Location)

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέγονται δύο περιοχές ως μόνιμη λειτουργία και γίνεται σύγκριση αυτών. Η μία περιοχή, το Akro field, βρίσκεται 200km έξω από την ακτή της Νιγηρίας και το βάθος του νερού στην περιοχή είναι 1,200 με 1,400 μέτρα. Η ακριβής τοποθεσία δίνεται από το γεωγραφικό μήκος 3.78° Β και 5.32° Α. Το field ανακαλύφθηκε το 2000 και τα αποθέματα υπολογίζονται στα 620 εκατομμύρια βαρέλια αργού πετρελαίου. Η δεύτερη περιοχή βρίσκεται στην Βόρεια Θάλασσα, περίπου 155 km νοτιοανατολικά της πόλης Sumburgh των Shetland islands. Το βάθος της θάλασσας στην περιοχή είναι περίπου 120 μέτρα και η ακριβής τοποθεσία στον γεωγραφικό χάρτη δίνεται από τις συντεταγμένες 59.2° Β και 1.3° Α.

Η επιλογή των παραπάνω θέσεων βασίστηκε στα διαφορετικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος που χαρακτηρίζουν τις δύο αυτές περιοχές. Η μεν Δυτική Αφρική χαρακτηρίζεται από ήπιες περιβαλλοντικές καταστάσεις, (benign environment) , ενώ η Βόρεια Θάλασσα από έντονες έως ακραίες καταστάσεις θάλασσας και καιρικών συνθηκών (harsh environment). Στην Εικόνα 2-7 φαίνεται στον χάρτη η γεωγραφική θέση των δύο περιοχών.



Εικόνα 2-7: Περιοχές τοποθέτησης FPSO στον παγκόσμιο χάρτη.

## 2.2.2 Περιβαλλοντικές Συνθήκες της περιοχής (Environmental Data for the field)

Από τα κύρια φαινόμενα που αφορούν την απόκριση ενός FPSO (κύματα, άνεμος, ρεύματα), οι πηγές μας επικεντρώθηκαν στους κυματισμούς οι οποίοι παίζουν τον κυρίαρχο ρόλο στη σχεδίαση. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα τα οποία μας ενδιαφέρουν κυρίως είναι το Σημαντικό Ύψος Κύματος και η Περίοδος του κυματισμού για περίοδο επανεμφάνισης 100 χρόνων.

### Πηγές δεδομένων

Για την Β. Θάλασσα, οι συνθήκες κυματισμού στην περιοχή προήλθαν από τιμές σημαντικού ύψους κύματος μιας ώρας και μέσης περιόδου (mean zero-crossing) και ταυτόχρονα μέσης κατεύθυνσης ανέμου, όπως καταγράφηκε στο Brae Field μεταξύ Απριλίου 1984 και Μαρτίου 1989. Οι μετρήσεις των κυμάτων πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα ΕΜΙ<sup>8</sup>. Τέλος, για τη Νιγηρία τα μετεωρολογικά – ωκεανογραφικά δεδομένα προήλθαν από υπολογισμούς πλατφορμών.

Στον Πίνακα 2-3 παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά των κυμάτων που εμφανίζονται στις δύο αυτές περιοχές με 100 χρόνια περίοδο επανεμφάνισης.

Πίνακας 2-3: Metocean data for the sites.

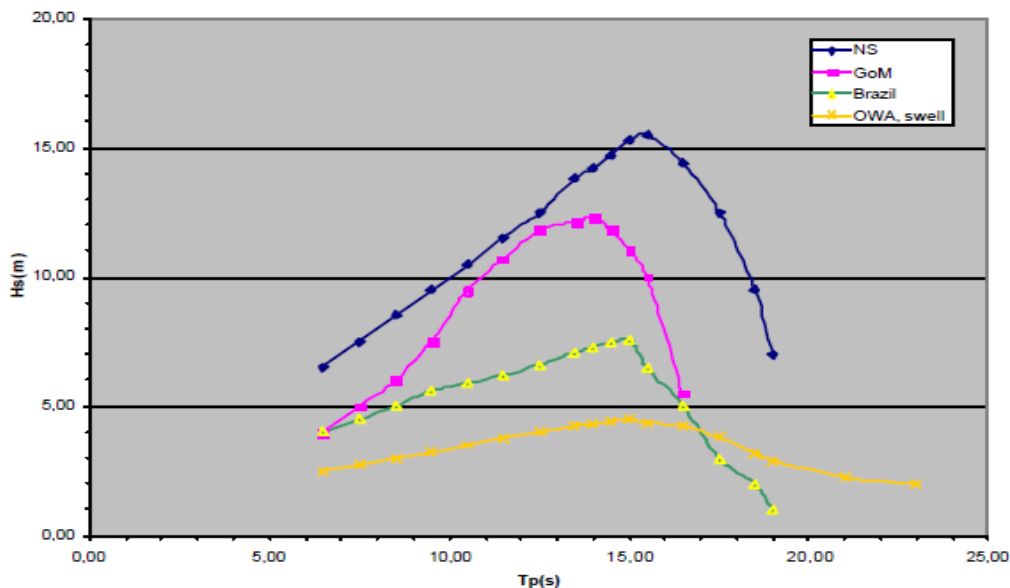
	Νιγηρία	Βόρειος Θάλασσα
Latitude / Longitude	3.78°B / 5.32°A	59.2° B / 1.3° A
<i>Κύματα</i>	<i>100-year return period</i>	
Μέγιστο ύψος κύματος (m)	7.2	26.4
Σημαντικό ύψος κύματος (m)	4.0	14.4
Κατεύθυνση (από)	ΝΔ	Ο*
Εύρος περιόδου κυματισμού (sec) <sup>9</sup>	7.2-28.0	13.7-28.0

\* Όλες οι κατευθύνσεις με ίδια πιθανότητα.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γράφημα της Εικόνας 2-8 το οποίο δείχνει μια σύγκριση του σημαντικού ύψους κύματος ( $H_s$ ) και της περιόδου κορυφής κύματος ( $T_p$ ) για 4 διαφορετικές περιοχές (North Sea, Gulf of Mexico, Brasil, West Affrica). Οι τιμές είναι με βάση περίοδο επανεμφάνισης 100 χρόνων και οι διαφορές στο μέγιστο σημαντικό ύψος κύματος ανάμεσα στις περιοχές είναι εμφανείς.

<sup>8</sup> Ref. "Environmental Conditions for the Gryphon Field", Kerr-McGee Oil (U.K.) PLC

<sup>9</sup> Σύμφωνα με την σχέση  $\sqrt{13H_s} < T_p < 28 \text{ sec}$ , όπου εκχωρούνται οι τιμές στο πρόγραμμα SEAS (Δες Παράρτημα Α.9)



Εικόνα 2-8: Διάγραμμα Hs-Tr με 100 χρόνια περίοδο επανεμφάνισης σε 4 διαφορετικές περιοχές (Ref. 21)

## 2.3 Ναυπηγεία

Σε ένα FPSO συνυπάρχουν σχεδιαστικά στοιχεία δύο διαφορετικών βιομηχανιών, αυτών του πλοίου και αυτών των υπεράκτιων κατασκευών. Ωστόσο, ένα FPSO δεν μπορεί να θεωρηθεί απλά ένα δεξαμενόπλοιο με κάποιον εξοπλισμό στο κατάστρωμα και η κατασκευή του είναι πολύ πιο απαιτητική από ότι φαίνεται από μια πρώτη ματιά.

Μια εταιρεία σε συνεργασία με το ναυπηγείο αποφασίζουν με βάση διάφορες παραμέτρους, αν το πλοίο θα είναι new-build ή conversion. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών συνοψίζονται παρακάτω:

Για την επιλογή ενός new-build

- Η διάρκεια ζωής της κόπωσης και ο σχεδιασμός για ένα χώρο λειτουργίας μπορούν να επιτευχθούν ευκολότερα.
- Ένα σύστημα μπορεί ευκολότερα να σχεδιαστεί ώστε να ανταπεξέλθει σε έντονο-δυσμενές περιβάλλον.
- Η διάρκεια ζωής του θα είναι μεγαλύτερη και το κόστος συντήρησης χαμηλότερο.
- Νέας κατασκευής πλοία επιτρέπουν την εξάλειψη μη χρήσιμου εξοπλισμού και την ευκολότερη σχεδίαση νέων χαρακτηριστικών και απαιτήσεων.

Για την επιλογή ενός conversion

- Τα συνολικά κόστη μειώνονται αισθητά αφού ένα μεγάλο μέρος της κατασκευής είναι έτοιμο.
- Το πρόγραμμα σχεδιασμού και κατασκευής είναι συντομότερο.
- Οι απαιτήσεις ως προς την συνολική επίβλεψη του έργου μπορεί να είναι λιγότερες.
- Η διαθεσιμότητα των χώρων κατασκευής είναι αυξημένη.,
- Το κομμάτι της μεταλλικής κατασκευής πρέπει να είναι σε καλή κατάσταση (μικρός βαθμός διάβρωσης).

Η κατασκευή ενός FPSO μπορεί είτε να γίνει εξ' ολοκλήρου σε ένα ναυπηγείο είτε να αναλάβει ένα ναυπηγείο το κομμάτι του *hull* και το κομμάτι του *topside* να το αναλάβει ένα άλλο. Όπως συμβαίνει και στα εμπορικά πλοία (*tankers, bulk-carriers, containerships, κ.α.*), έτσι και η πλειοψηφία των FPSOs κατασκευάζεται στην Άπω Ανατολή. Ένα από τα πιο γνωστά ναυπηγεία που αναλαμβάνει την κατασκευή εξ' ολοκλήρου ενός FPSO είναι το *Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering (DSME)*, που βρίσκεται στην Νότιο Κορέα και είναι το δεύτερο μεγαλύτερο στον κόσμο.

Όσον αφορά τις μετασκευές (*conversions*) δεξαμενοπλοίων σε FPSO, το 70% παγκοσμίως πραγματοποιείται στα ναυπηγεία της Σιγκαπούρης. Ένα από τα πιο γνωστά είναι το *Keppel*. Πρόκειται για το πρώτο ναυπηγείο στην Ασία που έκανε μετασκευή tanker σε FPSO το 1981. Μέχρι σήμερα έχει προχωρήσει στην περάτωση πάνω από 100 μετασκευών, των περισσότερων έχει επιτύχει οποιοδήποτε άλλο ναυπηγείο στον κόσμο. Σημαντικό χαρακτηριστικό του είναι ο γρήγορος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου. Διαθέτει 3 yards συνολικής έκτασης 950 m<sup>2</sup> με πάνω από 5 δεξαμενές και χώρους ελλιμενισμού (*berthing spaces*).<sup>10</sup> Άλλα πολύ γνωστά ναυπηγεία στην Σιγκαπούρη είναι το *Jurong*, το *ST Marine* και το *Sembawang*. Ακόμα, πέρα από τα ναυπηγεία που υπάρχουν στην Άπω Ανατολή, σημαντικά ναυπηγεία υπάρχουν στην Βραζιλία και στην Ευρώπη. Στην Ισπανία τα πιο γνωστά για μετασκευή FPSO είναι το *Astano (Ferrol Yard)* και το *Astilleros Espanoles SA (Puerto Real Yard)*.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα επιλεγεί ένα ναυπηγείο της Άπω Ανατολής και ένα της Ευρώπης, ώστε να φανεί πως επηρεάζει η μεταφορά από το σημείο όπου γίνεται η κατασκευή του ως την μεταφορά στην περιοχή εγκατάστασης του και με σκοπό να γίνει μια σύγκριση στο πώς αλλάζουν οι απαιτήσεις της κατασκευής και τα χαρακτηριστικά μεγέθη της αντοχής ανάλογα και με την διαδρομή μεταφοράς (*transit route*) του FPSO στον χώρο εγκατάστασης. Θεωρείται, βέβαια, δεδομένο ότι δεν θα υπάρξουν άλλες μεταφορές της κατασκευής από τον χώρο εγκατάστασης σε άλλη περιοχή ως το πέρας της λειτουργίας της και μέχρι την απόσυρση της (*decommissioning*).

---

<sup>10</sup> Ref. <http://www.offshoreenergytoday.com/>

### 3 Κεφάλαιο 3 – Σχεδιασμός Converted FPSO

#### 3.1 Γενική Διάταξη FPSO και Γενικά Χαρακτηριστικά

Οι κύριες διαστάσεις του FPSO δεν αλλάζουν σε σχέση με την αρχική κατασκευή του δεξαμενοπλοίου. Αναλυτικά, στον Πίνακα 3-1 παρουσιάζονται οι κύριες διαστάσεις και οι βασικοί συντελεστές της μονάδας.

Πίνακας 3-1: Κύριες διαστάσεις και χαρακτηριστικά converted FPSO

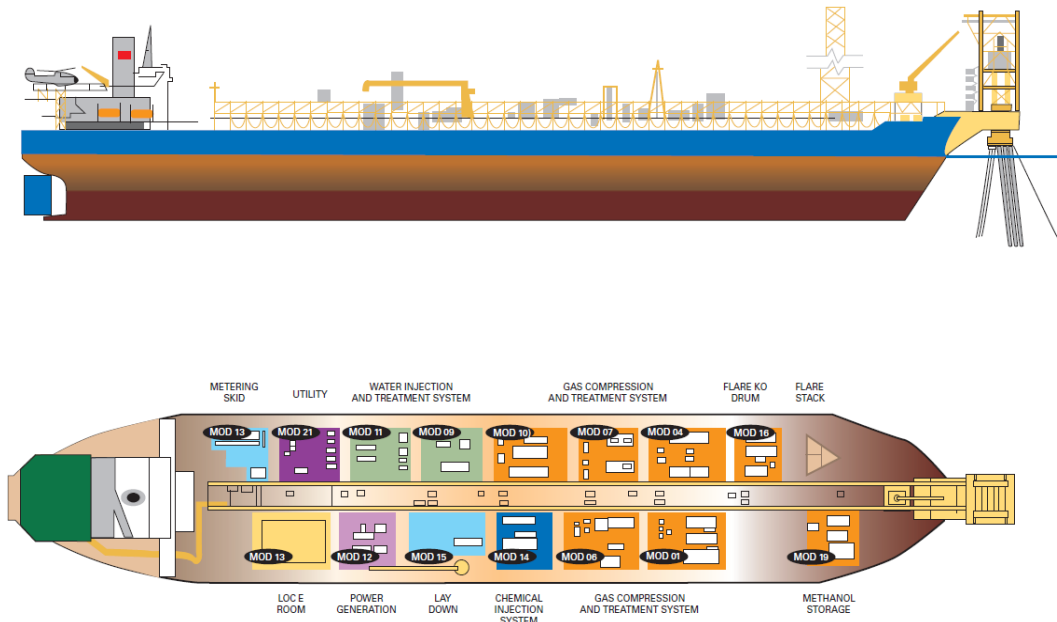
FPSO Main Particulars	
Length overall, $L_{OA}$	333.0 m
Length between perpendiculars, $L_{BP}$	320.0 m
Breadth moulded, B	60.0 m
Draft moulded, T	22.5 m
Depth moulded, D	30.5 m
Camber	1.5 m
Double Bottom Depth	3.0 m
Ballast Wing Tank Width	3.4 m
Bilge Radius	2.4 m
Block Coefficient, $C_b$	0.821

Η βασική διαφορά ανάμεσα στις δύο μονάδες που θα εγκατασταθούν, η μία στα ανοιχτά τα Νιγηρίας και η άλλη στη Βόρεια Θάλασσα, είναι το σύστημα αγκύρωσης. Η επιλογή του συστήματος αγκύρωσης βασίστηκε σε δύο βασικά κριτήρια:

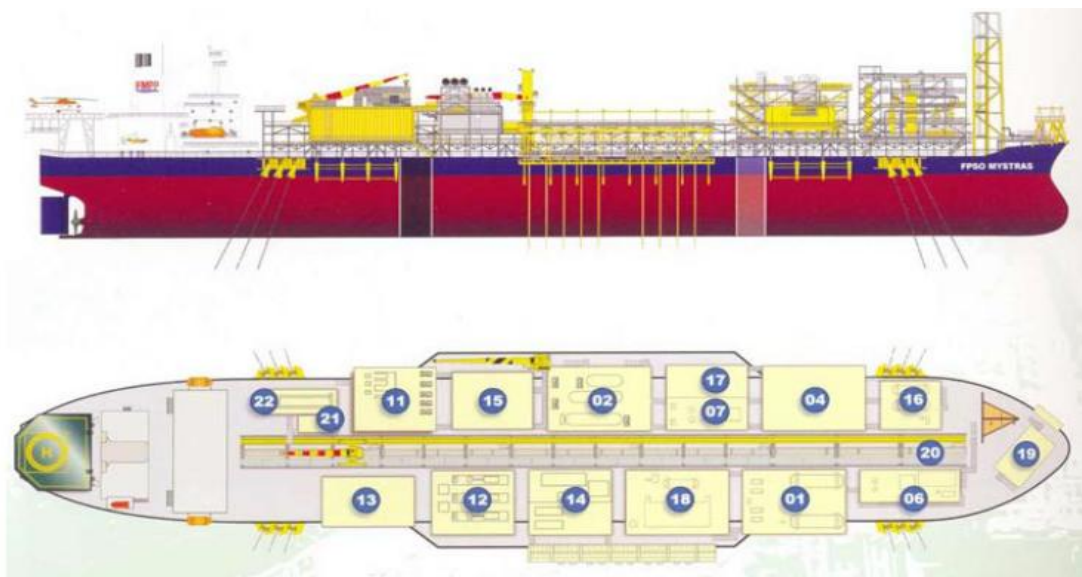
1. Στον τρόπο αγκύρωσης των FPSOs σήμερα στις περιοχές που μας αφορούν. Τα FPSOs που λειτουργούν στην περιοχή της Δυτικής Αφρικής είναι στην πλειοψηφία τους εξοπλισμένα με σύστημα spread-mooring (Εικόνα 1-8). Αντίθετα, οι περισσότερες μονάδες που υπάρχουν στην περιοχή της Βόρειας Θάλασσας έχουν σύστημα turret<sup>11</sup>, διότι η διεύθυνση των ισχυρών κυματισμών μπορεί να προέλθει από πολλές κατευθύνσεις και το σύστημα turret επιτρέπει την περιστροφή της κατασκευής έτσι ώστε να αποφεύγονται οι έντονες μετακινήσεις.
2. Σε στοιχεία που διαθέτουμε. Οι πληροφορίες που έχουμε για τα mooring & risers tensions προέρχονται από ένα FPSO συστήματος spread-mooring που βρίσκεται σε βάθος νερού 1,200-1,300 μέτρα. Το βάθος αυτό εμείς το έχουμε στη Νιγηρία. Στην περιοχή της Βόρειας Θάλασσας οι πληροφορίες για το βάρος του mooring και των risers προέρχεται από άλλη πηγή [Ref.14].

<sup>11</sup> Ref. "2015 Worldwide Survey of Floating Production, Storage and Offloading (FPSO) units", Offshore Magazine

Στις παρακάτω εικόνες παρατίθενται τα σχέδια γενικής διάταξης του FPSO στις δύο διαφορετικές περιοχές.



Εικόνα 3-1: Γενική διάταξη FPSO με σύστημα external turret που θα εγκατασταθεί στη Βόρεια Θάλασσα (Ref. 17)



Εικόνα 3-2: Γενική διάταξη FPSO με σύστημα spread mooring που θα εγκατασταθεί στη Νιγηρία (Ref. 17)

## 3.2 Κατανομή Βάρους Κενού Σκάφους

Το βάρος του lightship χωρίστηκε σε βασικές επιμέρους υποομάδες οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω και είναι:

- Hull steel
- Hull outfitting
- Accommodations & Helicopter deck
- Hull machinery
- Electric
- Miscellaneous
- Mooring & risers
- Topsides (wet & dry)

Αναλυτικά, το **βάρος της μεταλλικής κατασκευής** (hull steel) του FPSO προέκυψε από το ήδη υπάρχον βάρος του δεξαμενοπλοίου με μια απλή μέθοδο που περιγράφεται στη συνέχεια.

Από το Trim & Stability booklet του δεξαμενοπλοίου σχεδιάστηκε η αναλυτική κατανομή του βάρους κενού σκάφους, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3-3. Στη συνέχεια, έγινε η αφαίρεση του βάρους του μηχανολογικού εξοπλισμού (μηχανής και προωστήριας εγκατάστασης) και του βάρους των υπερκατασκευών (θα τοποθετηθούν νέες μεγαλύτερες υπερκατασκευές) και το βάρος της μεταλλικής κατασκευής υπολογίζεται ως:

$$W_{STEEL} = W_{LS} - W_{ACCOMODATIONS \& ENGINE} = 43,938.7 - 3,230 = 40,708.7 t$$

Η διαμήκης θέση του κέντρου βάρους της μεταλλικής κατασκευής του FPSO προκύπτει από το θεώρημα ροπών και είναι ίση με

$$LCG_{STEEL} = 161.19 m$$

Το μήκος των υπερκατασκευών για την **ενδιαίτηση** (accommodation) αυξήθηκε περίπου στο διπλάσιο, αφού οι νέες απαιτήσεις για πλήρωμα επί της μονάδας είναι κατά πολύ αυξημένες (το FPSO θα φιλοξενεί περίπου 100 άτομα). Επιπλέον, κατασκευάζεται στο χώρο πρύμνηθεν **χώρος ελικοδρομίου** (helicopter deck) που θα παρέχει έναν ασφαλή και αποδοτικό τρόπο για την αλλαγή πληρώματος και για καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης και άμεσης εκκένωσης της μονάδας π.χ. σε περίπτωση πυρκαγιάς.

Το βάρος του **μηχανολογικού εξοπλισμού** (hull machinery) και αυτό του **ηλεκτρολογικού εξοπλισμού** (electrical outfitting) επαναπροσδιορίζονται με το βάρος να επηρεάζεται κυρίως από τις λειτουργίες παραγωγής ενέργειας για την επεξεργασία και τις λειτουργίες των



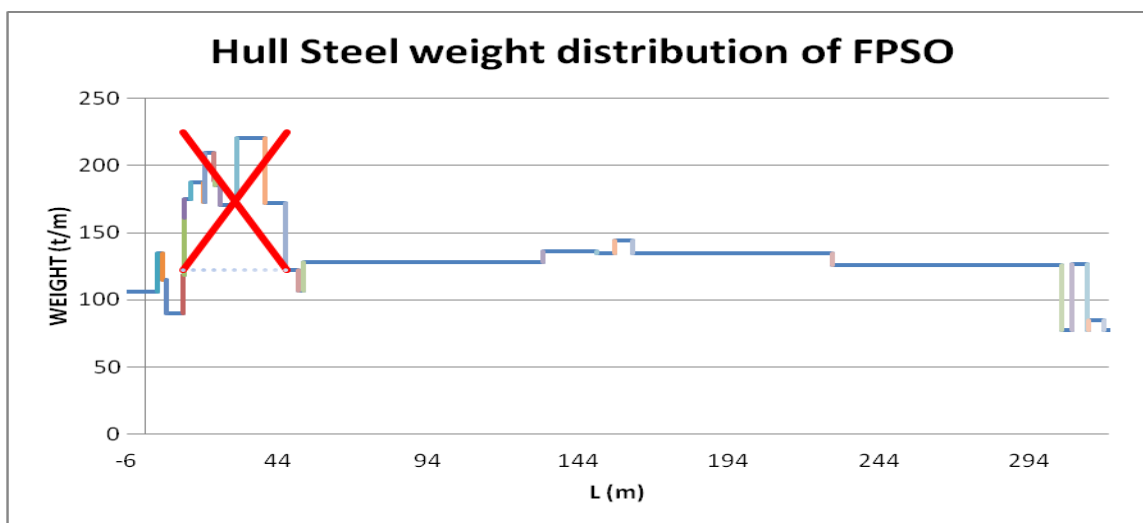
σταθμών (modules) πάνω στο κατάστρωμα, όπως και από τις αυξημένες ανάγκες του προσωπικού. Υπενθυμίζεται πως η προωστήρια εγκατάσταση αφαιρείται, όπως και το βάρος της μηχανής.

Το βάρος των **αγκυρώσεων** και των **risers** (η κάθετη συνιστώσα του βάρους που μας απασχολεί) είναι συγκεντρωμένο στο turret στην μία περίπτωση. Στην άλλη περίπτωση, τρεις κλάδοι αγκύρωσης βρίσκονται πρώραθεν port και starboard (6 στο σύνολο) και άλλοι έξι στο πίσω κομμάτι πάλι port και starboard. Συνολικά, λοιπόν, υπάρχουν 12 κλάδοι αγκύρωσης. Τα risers είναι κατανομημένα κοντά στο μέσο του πλοίου σε μία από τις δύο πλευρές.

Το βάρος των **topsides** χωρίζεται σε dry και σε wet. Η πρώτη περίπτωση αναφέρεται στην μεταφορά από το ναυπηγείο στο χώρο μόνιμης λειτουργίας, όπου οι σωληνώσεις δεν διαρρέονται από υγρά και ο σταθμός δεν λειτουργεί. Η δεύτερη περίπτωση αναφέρεται στο χώρο μόνιμης λειτουργίας του FPSO, όπου οι σωληνώσεις διαρρέονται από υγρά και η διαδικασία επεξεργασίας είναι σε λειτουργία.

Τέλος, τα **miscellaneous** περιλαμβάνουν λοιπά βάρη, όπως τη βαφή, σύστημα τηλεπικοινωνιών, εξαερισμού (ventilation), θέρμανσης (heating), και air-conditioning.

Η ομαδοποίηση των βαρών του κενού σκάφους στις παραπάνω επιμέρους ομάδες έγινε με βάση μια τυπική κατανομή lightship ενός FPSO παρόμοιου μεγέθους<sup>12</sup>, η οποία και τροποποιήθηκε κατάλληλα. Η αναλυτική κατανομή των βαρών παρουσιάζεται στον πίνακα του [Παραρτήματος Α.7](#).



**Εικόνα 3-3:** Κατανομή του βάρους μεταλλικής κατασκευής του FPSO ύστερα από την αφαίρεση 3230 τόνων από τις υπερκατασκευές και από την μηχανολογική/προωστήρια εγκατάσταση.

<sup>12</sup> Σε επόμενες αναφορές το πρότυπο FPSO θα αναγράφεται ως "PROTYPO FPSO".

Σύμφωνα και με τα παραπάνω, διακρίνονται τέσσερις καταστάσεις υπολογισμού του βάρους κενού σκάφους, ανάλογα με το σύστημα αγκύρωσης και με το αν το FPSO είναι στην περιοχή λειτουργίας (on-site) ή κατά τη μεταφορά στο χώρο λειτουργίας (transit). Οι τέσσερις καταστάσεις παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες:

**Πίνακας 3-2: Αναλυτική παρουσίαση υποομάδων lightship για τις 4 διαφορετικές καταστάσεις.**

<b>NIGERIA - ON SITE</b>					
<b>ITEMS</b>	<b>Weight (t)</b>	<b>LCG (m)</b>	<b>KG (m)</b>	<b>M<sub>L</sub> (t·m)</b>	<b>M<sub>T</sub> (t·m)</b>
HULL STEEL	40,708.7	161.19	14.00	6,561,835	569,922
OUTFITTING	3,501.0	136.36	28.63	477,394	100,228
MACHINERY	1,008.1	60.31	16.80	60,797	16,941
ELECTRIC	600.0	133.92	29.55	80,353	17,730
MISCELLANEOUS	636.0	117.68	31.13	74,845	19,798
ACCOMMODATIONS & HELI	3,313.0	25.50	39.50	84,482	130,864
TOPSIDES (wet)	11,700.0	174.00	42.69	2,035,800	499,473
MOORING & RISERS	9,833.5	143.36	14.46	1,409,733	142,145
<b>TOTAL LS</b>	<b>71,300</b>	<b>151.26</b>	<b>21.00</b>	<b>10,785,238</b>	<b>1,497,099</b>

<b>NIGERIA - TRANSIT</b>					
<b>ITEMS</b>	<b>Weight (t)</b>	<b>LCG (m)</b>	<b>KG (m)</b>	<b>M<sub>L</sub> (t·m)</b>	<b>M<sub>T</sub> (t·m)</b>
HULL STEEL	40,708.7	161.19	14.00	6,561,835	569,922
OUTFITTING	3,501.0	136.36	28.63	477,394	100,228
MACHINERY	1,008.1	60.31	16.80	60,797	16,941
ELECTRIC	600.0	133.92	29.55	80,353	17,730
MISCELLANEOUS	636.0	117.68	31.13	74,845	19,798
ACCOMMODATIONS & HELI	3,313.0	25.50	39.50	84,482	130,864
TOPSIDES (dry)	10,000.0	174.00	42.69	1,740,000	426,900
MOORING & RISERS EQ.	2,030.5	146.03	20.25	296,508	41,123
<b>TOTAL LS</b>	<b>61,797</b>	<b>151.73</b>	<b>21.42</b>	<b>9,376,214</b>	<b>1,323,504</b>

<b>N.SEA - ON SITE</b>					
<b>ITEMS</b>	<b>Weight (t)</b>	<b>LCG (m)</b>	<b>KG (m)</b>	<b>M<sub>L</sub> (t·m)</b>	<b>M<sub>T</sub> (t·m)</b>
HULL STEEL	40,708.7	161.19	14.00	6,561,835	569,922
OUTFITTING	3,501.0	136.36	28.63	477,394	100,228
MACHINERY	1,008.1	60.31	16.80	60,797	16,941
ELECTRIC	600.0	133.92	29.55	80,353	17,730
MISCELLANEOUS	636.0	117.68	31.13	74,845	19,798
ACCOMMODATIONS & HELI	3,313.0	25.50	39.50	84,482	130,864
TOPSIDES (wet)	11,700.0	174.00	42.69	2,035,800	499,473
MOORING & RISERS (Turret system)	13,000.0	320.00	30.40	4,160,000	395,200
<b>TOTAL LS</b>	<b>74,467</b>	<b>181.77</b>	<b>23.50</b>	<b>13,535,505</b>	<b>1,750,154</b>

<b>N.SEA - TRANSIT</b>					
<b>ITEMS</b>	<b>Weight (t)</b>	<b>LCG (m)</b>	<b>KG (m)</b>	<b>M<sub>L</sub> (t·m)</b>	<b>M<sub>T</sub> (t·m)</b>
HULL STEEL	40,708.7	161.19	14.00	6,561,835	569,922
OUTFITTING	3,501.0	136.36	28.63	477,394	100,228
MACHINERY	1,008.1	60.31	16.80	60,797	16,941
ELECTRIC	600.0	133.92	29.55	80,353	17,730
MISCELLANEOUS	636.0	117.68	31.13	74,845	19,798
ACCOMMODATIONS & HELI	3,313.0	25.50	39.50	84,482	130,864
TOPSIDES (dry)	10,000.0	174.00	42.69	1,740,000	426,900
TURRET STEEL	9,000.0	3,200.00	30.40	28,800,000	273,600
<b>TOTAL LS</b>	<b>68,767</b>	<b>151.92</b>	<b>21.46</b>	<b>9,079,705</b>	<b>1,282,381</b>

Σημειώνεται πως στην περίπτωση τοποθέτησης της μονάδας στην Βόρεια Θάλασσα, κατά τη μεταφορά, το external turret υπάρχει, αλλά μόνο το βάρος του steel. Τα συστήματα αγκύρωσης και των risers προσαρτώνται σε αυτό στην περιοχή μόνιμης εγκατάστασης. Στην περίπτωση της κατασκευής που θα τοποθετηθεί στα ανοιχτά της Νιγηρίας και χρησιμοποιείται σύστημα spread mooring, το FPSO κατά την μεταφορά είναι εξοπλισμένο με τις εγκαταστάσεις υποδοχής των κλάδων αγκύρωσης και των risers. Και στις δύο περιπτώσεις δεν λαμβάνεται υπόψη η (κατακόρυφη) τάση, δηλαδή η δύναμη που προσάγεται στον κλάδο αγκύρωσης στην κορυφή του, στο σημείο σύνδεσης του κλάδου με το σκάφος στην στατική κατάσταση του κλάδου αγκύρωσης, όπως και αυτή των risers. Οι δυνάμεις αυτές προσμετρούνται στην περιοχή on-site κατά τη λειτουργία.

### 3.3 Διαμερισματοποίηση και Χωρητικότητα Δεξαμενών

Για την μοντελοποίηση του πλοίου χρησιμοποιήθηκε το ναυπηγικό πρόγραμμα AVEVA. Το δεξαμενόπλοιο προσομοιάστηκε με ένα όμοιο πλοίο, ίδιων διαστάσεων και ίδιου συντελεστή γάστρας  $C_b$ . Παρόλα αυτά, οι γραμμές του πλοίου διέφεραν από το πραγματικό<sup>13</sup> και αυτό είχε ως συνέπεια, διαφορετική κατανομή της άντωσης σε όμοιες καταστάσεις φόρτωσης, όμως ίδιο συνολικό εμβαδόν, δηλαδή, ίδιο εκτόπισμα, κάτω από την καμπύλη αυτής.

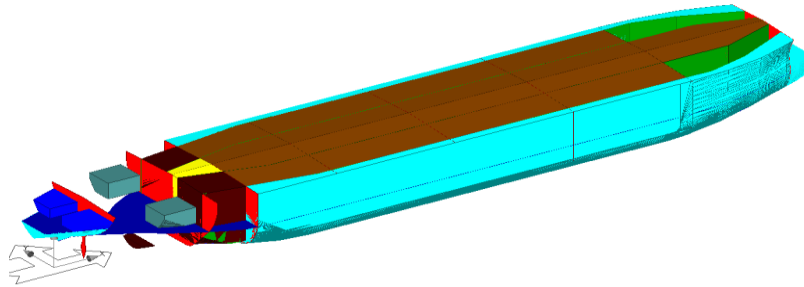
Η διαμερισματοποίηση του FPSO και ο υπολογισμός της χωρητικότητας των δεξαμενών έγινε με βάση την υπάρχουσα διάταξη του δεξαμενοπλοίου και σύμφωνα με το "PROTYPO FPSO". Στόχος ήταν αφενός, μια αντιπροσωπευτική διάταξη και χωρητικότητα των δεξαμενών σε μια πραγματική κατάσταση FPSO και αφετέρου, ο υπολογισμός των φορτίσεων, των δυνάμεων και των ροπών στις βασικές καταστάσεις φόρτωσης ενός FPSO σε στατική κατάσταση. Βασικές τροποποιήσεις που έγιναν για την επίτευξη σημαντικών απαιτήσεων, οι οποίες θα αναλυθούν στη συνέχεια, στην παρουσίαση των καταστάσεων φόρτωσης ήταν οι παρακάτω:

1. Η αύξηση των ορίων των δεξαμενών του Fresh water και του Diesel oil για να καλύψουν τις επιπλέον ανάγκες του πληρώματος και των σταθμών.
2. Η πρόσθεση δύο δεξαμενών μεθανίου (methanol tanks) για τις ανάγκες της επεξεργασίας του πετρελαίου.
3. Η προσθήκη της δεξαμενής Sludge.
4. Η αφαίρεση των δεξαμενών Heavy Fuel Oil και Lubricate Oil.

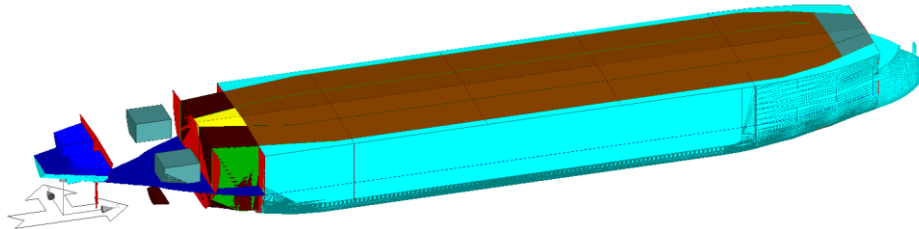
Πέρα από τις κοινές μετατροπές που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπήρχαν διαφοροποιήσεις στην οριοθέτηση των δεξαμενών έρματος και φορτίου ανάμεσα στις δύο περιοχές. Πιο συγκεκριμένα, ο διαφορετικός τύπος αγκύρωσης οδήγησε σε αλλαγές στη διάταξη. Η παρουσία του Turret στην πλώρη με όλο τον εξοπλισμό του συστήματος αγκύρωσης και τα risers προσθέτει ένα μεγάλο βάρος μπροστά που αντισταθμίζεται με την μη πλήρωση φορτίου στις δεξαμενές no.1 port & starboard (Εικόνα 3-5). Στη Νιγηρία η αύξηση των ορίων της fore peak και της προσθήκης μιας επιπλέον δεξαμενής έρματος πλώραθεν, εξασφαλίζουν επαρκές βύθισμα και μηδενική διαγωγή στην κατάσταση πλήρους ερματισμού (full ballast). Στους Πίνακες 3-3 και 3-4 παρουσιάζεται η χωρητικότητα των δεξαμενών του FPSO στις δύο περιοχές λειτουργίας, όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα AVEVA.

---

<sup>13</sup> Το Lines Plan του πλοίου δεν μας ήταν διαθέσιμο.



**Εικόνα 3-4:** Διαμερισματοποίηση δεξαμενών για την περιοχή της Β. Θάλασσας (πρόγραμμα Surface & Compartments AVEVA).



**Εικόνα 3-5:** Διαμερισματοποίηση δεξαμενών για την περιοχή της Νιγηρίας (πρόγραμμα Surface & Compartments AVEVA).

Τονίζεται πως τα παραπάνω μοντέλα ναι μεν αποτελούν μια πολύ καλή προσέγγιση της γενικής διάταξης ενός FPSO πραγματικών συνθηκών, αλλά όχι προϊόν λεπτομερούς μελέτης. Κατά την παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια συλλογής σχεδίων γενικής διάταξης FPSO για την όσο το δυνατόν λεπτομερέστερη απεικόνιση των χώρων των δεξαμενών και την πληρότητα αυτών, όμως, η λήψη τέτοιων σχεδίων δεν κατέστη δυνατή.

Πίνακας 3-3: Χωρητικότητα όγκου δεξαμενών της μονάδας στη Β. Θάλασσα.

<b>VESSEL CAPACITIES (m<sup>3</sup>) –N.SEA</b>	
Stabilized product	303,071.8
Water Ballast	96,293.7
Slop	14,874.1
Diesel oil	2,547.4
Fresh Water	1,244.3
Methanol	4,022.7
Sludge	119.3
<b>TOTAL</b>	<b>422,173.3</b>

Πίνακας 3-4: Χωρητικότητα όγκου δεξαμενών της μονάδας στη Νιγηρία.

<b>VESSEL CAPACITIES (m<sup>3</sup>) –NIGERIA</b>	
Stabilized product	324,662.7
Water Ballast	111,897.1
Slop	14,874.1
Diesel oil	2,547.4
Fresh Water	1,244.3
Methanol	4,022.7
Sludge	119.3
<b>TOTAL</b>	<b>459,367.6</b>

### 3.4 Καταστάσεις Φόρτωσης (Loading Conditions)

Μία μονάδα FPSO αφού παραλαμβάνει τους υδρογονάνθρακες από τον υποθαλάσσιο χώρο και τους επεξεργάζεται στους σταθμούς που βρίσκονται πάνω στο κύριο κατάστρωμα (topsides), στη συνέχεια, το επεξεργασμένο πετρέλαιο (stabilized product) κατανέμεται στις δεξαμενές μέχρι να γίνει η τελική εκφόρτωση αυτού σε δεξαμενόπλοια (shuttle tankers) ή να μεταφερθεί με αγωγούς (pipelines) στη στεριά. Σε άλλες περιπτώσεις το πετρέλαιο, όπως έρχεται από το υπέδαφος αποθηκεύεται προσωρινά σε κάποιες δεξαμενές, ως ακατέργαστο, μετά παραλαμβάνεται από εκεί, επεξεργάζεται και καταλήγει σε διαφορετικές δεξαμενές αποθήκευσης, όπου τέλος, εκφορτώνεται.

Όπως γίνεται κατανοητό, σε ένα FPSO κυριαρχεί η συνεχής μεταβολή των φορτίσεων και των καταστάσεων φόρτωσης. Μάλιστα, ενώ η διαδικασία παραγωγής και αποθήκευσης του πετρελαίου είναι μια μακρά και διαρκής διαδικασία, η εκφόρτωση εκτελείται σε σύντομο χρονικό διάστημα (τυπικά σε λιγότερο από 36 ώρες). Όλα αυτά σε αντίθεση με ένα δεξαμενόπλοιο, που μεταφέρει σταθερή ποσότητα φορτίου από έναν προορισμό σε έναν άλλον και δεν υποβάλλεται σε τόσο συχνές μεταβολές φόρτισης.

Στην περίπτωση όλων αυτών των διαφορετικών καταστάσεων, πρέπει να ικανοποιούνται κάποια βασικά κριτήρια, μη συμπεριλαμβανομένου αυτών των οποίων πιθανότατα έχουν επιβάλλει οι σχεδιαστές για την λειτουργία των εγκαταστάσεων επάνω στο κύριο κατάστρωμα. Τα βασικά κριτήρια [Ref. 13] αφορούν τα εξής:

- Οι τάσεις στην κατασκευή πρέπει να βρίσκονται κάτω από τα επιτρεπτά όρια, όπως ορίζουν οι κανονισμοί. Κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την κατανομή και την μεγιστοποίηση των τάσεων είναι:
  - Η κατανομή του βάρους
  - Η κατανομή της άντωσης
  - Οι περιβαλλοντικές συνθήκες
  - Η κατανομή του πετρελαίου και του θαλάσσιου έρματος στις δεξαμενές

Οι πρώτοι τρεις παράγοντες είναι έξω από τον έλεγχο του χειριστή (operator) και καθορίζονται από τον αρχικό σχεδιασμό και την γεωγραφική θέση του FPSO. Όμως, η κατανομή του πετρελαίου και του θαλάσσιου έρματος είναι στον έλεγχο του χειριστή και συνεπώς, η διαδικασία φορτο/εκφόρτωσης πρέπει να είναι προσεκτικά σχεδιασμένη, ώστε να μειώνει τις καμπτικές ροπές και τις διατμητικές δυνάμεις.

- Το βύθισμα σε κάθε κατάσταση δεν πρέπει να υπερβαίνει το μέγιστο βύθισμα σχεδίασης,  $T_{SCANTLING}$  και να μην είναι μικρότερο του ελάχιστου,  $T_{LIGHTTEST}$ , όπως αυτά

ορίζονται από το trim & stability booklet. Οι διακυμάνσεις στο βύθισμα πρέπει να διατηρούνται μικρές, με κατάλληλη αυξομείωση του φορτίου και του έρματος.

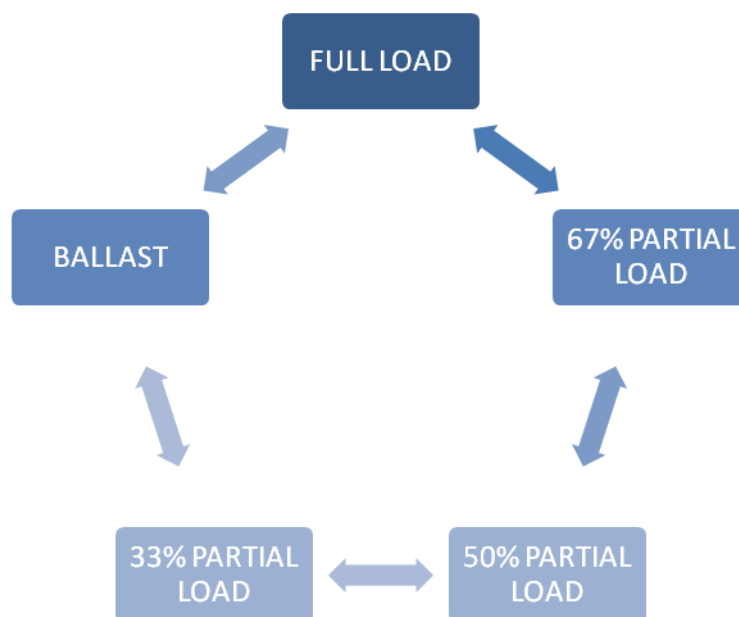
- Για την λειτουργία των σταθμών επεξεργασίας στην περιοχή λειτουργίας απαραίτητο είναι η πλωτή μονάδα να διατηρείται σε ισοβύθιστη κατάσταση (trim≈0) [Ref.13]. Κατά την διάρκεια της μεταφοράς (transit) δύναται το FPSO να έχει μικρή έμπρυμνη διαγωγή (1-1.5% του L).
- Η φόρτωση-εκφόρτωση πρέπει να είναι σχεδιασμένη ώστε να μειώνει τις ελεύθερες επιφάνειες στις δεξαμενές, πράγμα το οποίο είναι καθοριστικό στην ευστάθεια της μονάδας και στο φαινόμενο του sloshing.
- Σε κάθε κατάσταση φόρτωσης πρέπει να εξασφαλίζεται επαρκή ευστάθεια, τόσο στην άθικτη κατάσταση (intact stability), όσο και μετά από βλάβη (damaged stability). Η ευστάθεια σε άθικτη κατάσταση βασίζεται στον κανονισμό *IMO Res. A.167 Intact Stability Calculation*. Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε έλεγχος μόνο της άθικτης ευστάθειας, η οποία σε όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν ήταν επαρκής.

Οι πιο αντιπροσωπευτικές καταστάσεις φόρτωσης για την αντοχή του FPSO, σύμφωνα με τους κανονισμούς του ABS [Ref.1] και αυτές που μελετήθηκαν στο πρόγραμμα AVEVA είναι οι εξής:

- Κατάσταση πλήρους φόρτωσης (Full load), πριν την εκφόρτωση
- Μερική κατάσταση φόρτωσης (67% full)
- Μερική κατάσταση φόρτωσης (50% full)
- Μερική κατάσταση φόρτωσης (33% full)
- Κατάσταση πλήρους ερματισμού (Full ballast) , μετά από εκφόρτωση
- Κατάσταση μεταφοράς (Transit)

Στην Εικόνα 3-4 παρουσιάζεται η κυκλική διαδικασία με την οποία γίνεται η φορτο/εκφόρτωση του FPSO στην περιοχή.





**Εικόνα 3-6:** Σχηματική απεικόνιση της κυκλικής διαδικασίας που ακολουθείται κατά την φόρτωση/εκφόρτωση του FPSO

Κατά την εκφόρτωση του FPSO,

- Η διαδικασία ξεκίνησε με τις δεξαμενές πετρελαίου πλήρως γεμάτες (full 98%), στο μέγιστο επιτρεπτό βύθισμα και χωρίς την προσθήκη ballast.
- Η προσθήκη ballast έγινε με τέτοιο τρόπο και όταν ήταν απαραίτητη, ώστε να μειώσει τις υψηλά αναπτυσσόμενες τάσεις και να πετύχει βύθισμα χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις
- Οι δεξαμενές πετρελαίου δεν αποστραγγίζονται πλήρως, εκτός και αν αυτό είναι απαραίτητο σε κάποιες καταστάσεις, όπως π.χ. για καθαρισμό.
- Στην κατάσταση Full Ballast σκοπός είναι η επίτευξη ενός ικανοποιητικού βυθίσματος και η ελαχιστοποίηση των τάσεων.
- Η όλη διαδικασία φόρτωσης-εκφόρτωσης, όπως πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα είναι κυκλική και αντιπροσωπευτική των πραγματικών συνθηκών. Υπό αυτή την έννοια όταν για παράδειγμα αναφέρεται “67% μερικώς γεμάτο φορτίο” δεν εκφορτώνουμε από όλες τις δεξαμενές του φορτίου, διότι αυτό θα είχε αρνητική επίδραση στις ελεύθερες επιφάνειες. Αντιθέτως, αναφερόμαστε στην πλήρη εκφόρτωση πρώτα κάποιων δεξαμενών (συμμετρικών ως προς τον εγκάρσιο άξονα που διέρχεται από το κέντρο πλευστότητας, για την αποφυγή μεγάλης διαγωγής) και στη συνέχεια, προχωράμε στις επόμενες με συγκεκριμένη αλληλουχία. Τέλος, όταν προστίθεται θαλάσσιο έρμα σε κάποια δεξαμενή δεν αφαιρείται, αλλά συνεχίζει να αντλείται νερό

στις δεξαμενές μέχρι το τελικό στάδιο της Full Ballast Condition όπου όλες οι δεξαμενές έρματος είναι πλήρως γεμάτες και το πετρέλαιο έχει εκφορτωθεί.

Στους Πίνακες 3-3 και 3-4 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα για τις παραπάνω καταστάσεις φόρτωσης στις δύο περιοχές. Στο Παράρτημα παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα.

**Πίνακας 3-5: Αποτελέσματα καταστάσεων φόρτωσης για την περιοχή της Β. Θάλασσας.**

N.SEA						
	FULL BALLAST	33% FULL CARGO	50% FULL CARGO	67% FULL CARGO	FULL LOAD	TRANSIT
T <sub>LCF</sub> (m)	13.754	15.465	16.601	16.825	21.588	10.885
TRIM (m)	NO TRIM	NO TRIM	-0.073	-0.088	NO TRIM	-0.341
BALLAST (t)	98,701	67,225	41,652	0	0	93,913
OIL TANKS (t)	27,044	87,213	132,070	177,576	258,696	0
LIGHT SHIP (t)	74,467	74,467	74,467	74,467	74,467	68,767
TOTAL (t)	212,264	240,958	260,242	264,067	346,770	165,007

**Πίνακας 3-6: Αποτελέσματα καταστάσεων φόρτωσης για την περιοχή της Νιγηρίας.**

NIGERIA						
	FULL BALLAST	33% FULL CARGO	50% FULL CARGO	67% FULL CARGO	FULL LOAD	TRANSIT
T <sub>LCF</sub> (m)	13.874	15.900	17.414	17.332	22.364	10.972
TRIM (m)	0.049	NO TRIM	NO TRIM	-0.057	-0.28	-0.967
BALLAST (t)	114,694	71,208	49,006	0	0	102,296
OIL TANKS (t)	16,208	93,791	141,809	189,410	277,126	0
LIGHT SHIP (t)	71,300	71,300	71,300	71,300	71,300	61,797
TOTAL (t)	214,260	248,352	274,169	272,764	360,479	166,420

N.SEA				
	MAX. SHEAR FORCES		MAX. BENDING MOMENTS	
	Distance from A.P. (m)	tonnes	Distance from A.P. (m)	tonnes·m
<b>FULL BALLAST</b>	295.8	-16,495	207.8	1,116,172
<b>33% FULL CARGO</b>	300.0	-15,137	246.8	774,120
<b>50% FULL CARGO</b>	102.1	15,345	231.3	1,010,599
<b>67% FULL CARGO</b>	153.2	-15,059	126.4	708,414
<b>FULL LOAD</b>	255.5	13,096	156.9	-601,372
<b>TRANSIT</b>	45.1	11,607	167.4	997,643

NIGERIA				
	MAX. SHEAR FORCES		MAX. BENDING MOMENTS	
	Distance from A.P. (m)	tonnes	Distance from A.P. (m)	tonnes·m
<b>FULL BALLAST</b>	292.4	-19,127	198.0	1,188,774
<b>33% FULL CARGO</b>	153.2	-13,850	97.8	644,567
<b>50% FULL CARGO</b>	255.5	-14,105	115.8	576,298
<b>67% FULL CARGO</b>	153.2	-18,983	120.3	642,574
<b>FULL LOAD</b>	292.4	14,743	163.2	-976,620
<b>TRANSIT</b>	45.1	11,428	167.4	925,583

Από τις τελικές καταστάσεις φόρτωσης που παρουσιάζονται παρατηρούνται τα εξής:

1. Φαίνεται πως έχει επιτευχθεί ισοβύθιστη κατάσταση σε όλες τις καταστάσεις on-site , με την κατάλληλη εκφόρτωση δεξαμενών φορτίου και φόρτωση δεξαμενών έρματος.
2. Με την σωστή διαρρύθμιση των χώρων των δεξαμενών πετυχαίνουμε στην κατάσταση Full load ένα βύθισμα πολύ κοντά στο μέγιστο βύθισμα αντοχής  $T_{scantling}$  και μηδενική φόρτωση ballast. Αντίστοιχα, στην κατάσταση Full Ballast επιτυγχάνεται ικανοποιητικό βύθισμα, μεγαλύτερο του ελάχιστου βυθίσματος το οποίο είχε το δεξαμενόπλοιο ως shuttle tanker και παράλληλα, πλήρης φόρτωση όλων των δεξαμενών ballast. Στις ενδιάμεσες καταστάσεις και κατά τη μεταφορά τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά.
3. Παρατηρούμε πως οι δυσμενέστερες καταστάσεις σε κάμψη και διάτμηση είναι οι δύο ακραίες, δηλαδή η πλήρως φορτωμένη κατάσταση και η πλήρως ερματισμένη. Στην κατάσταση πλήρους φόρτωσης έχουμε θλίψη του καταστρώματος (sagging) και στην κατάσταση πλήρους ερματισμού, εφελκυσμό του καταστρώματος (hogging). Κάποιος επίσης μπορεί να δει πως στην Full Ballast Condition οι δεξαμενές πετρελαίου δεν είναι πλήρως άδειες, δηλ. στο 2% του συνολικού φορτίου. Ο λόγος είναι πως με την μη πλήρη εκφόρτωση όλου του προϊόντος από τις δεξαμενές πετυχαίνουμε να

κρατήσουμε τις αναπτυσσόμενες καμπτικές ροπές σε χαμηλότερα επίπεδα. Άλλωστε, η διαδικασία φόρτωσης πετρελαίου είναι συνεχής και ποτέ δεν αδειάζει όλο το φορτίο από τις δεξαμενές. Η διαφορά φαίνεται παρακάτω:

<b>B. ΘΑΛΑΣΣΑ - FULL BALLAST CONDITION</b>		
<b>Oil Tanks Capacity</b>	<b>2%</b>	<b>10%</b>
Bending Moment max	1,515,708	1,116,172
<b>Διαφορά</b>	<b>36%</b>	

<b>ΝΙΓΗΡΙΑ - FULL BALLAST CONDITION</b>		
<b>Oil Tanks Capacity</b>	<b>2%</b>	<b>6%</b>
Bending Moment max	1,475,439	1,188,774
<b>Διαφορά</b>	<b>24%</b>	

Βάσει του παραπάνω προτείνεται η χωρητικότητα των δεξαμενών πετρελαίου να μην αδειάζει πλήρως, αλλά στην περίπτωση της Β. Θάλασσας να φτάνει στο 10% του συνολικού φορτίου και στην περίπτωση της Νιγηρίας στο 6%.

Τέλος, οι υψηλά αναπτυσσόμενες τάσεις στο κατάστρωμα, για την κατάσταση Full Ballast, είναι αυτές που θα παίξουν τον κυρίαρχο ρόλο αργότερα, στην αντοχή που πρέπει να διαθέτει το FPSO.

## 4 Κεφάλαιο 4 – Μελέτη Αντοχής FPSO

### 4.1 Εισαγωγή

Η απαιτούμενη αντοχή που προβλέπεται για την κατασκευή, τόσο σε τοπικό όσο και σε ολικό επίπεδο, μπορεί να είναι σημαντικά διαφορετική από αυτή που είχε το δεξαμενόπλοιο πριν από την μετατροπή. Πολλά από τα περιβάλλοντα κυματισμών στα οποία τα FPSOs λειτουργούν είναι συνήθως πιο ήπια σε σχέση με το περιβάλλον στο οποίο γίνεται ο σχεδιασμός και η κατασκευή των δεξαμενοπλοίων, αυτό του Βόρειου Ατλαντικού. Άλλα, όμως, απαιτούν πιο συμπαγή κατασκευή και άρα, ενίσχυση της ήδη υπάρχουσας κατασκευής, ώστε να ανταπεξέλθει με ασφάλεια κατά τη διάρκεια υπηρεσίας στο χώρο μόνιμης λειτουργίας ή και κατά τη μεταφορά.

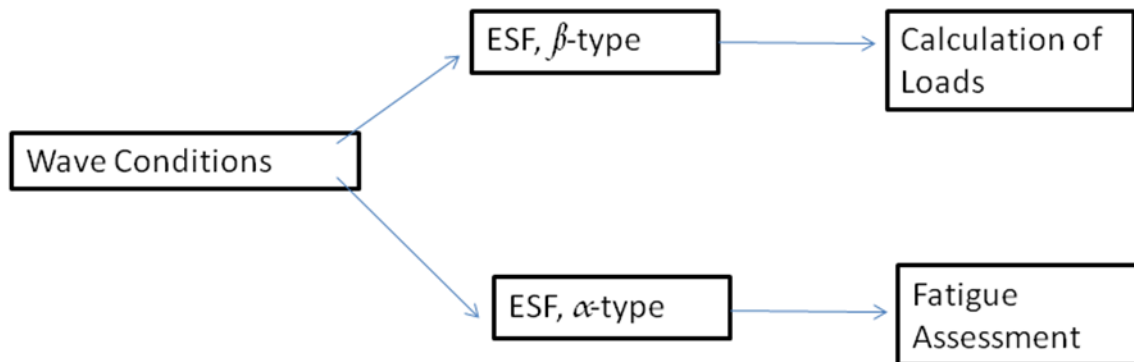
Υπάρχουν τρία βασικά αντικείμενα που πρέπει να ληφθούν υπόψη στη μελέτη της κατασκευής: η ολική αντοχή (hull girder strength), η τοπική αντοχή των κατασκευαστικών στοιχείων (local strength) και η κόπωση (fatigue). Κάθε ένα κομμάτι της μελέτης, από τα τρία παραπάνω, θα πρέπει άμεσα να ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό και να ελεγχθεί την περίοδο της μετατροπής και στο τέλος της διάρκειας ζωής της μονάδας, έχοντας κατά νου τις επιδράσεις του περιβάλλοντος και τη διάβρωση που αναμένεται να αντιμετωπίσει το FPSO. Το πρώτο βήμα για τη μελέτη της αντοχής είναι η μοντελοποίηση του περιβάλλοντος. Από την στιγμή που αυτό ολοκληρωθεί σειρά έχει η εφαρμογή των κανονισμών, όπου μέσα από μια διαδικασία αξιολόγησης και επανεκτίμησης της κατασκευής, καταλήγει στα τελικά αποτελέσματα και συμπεράσματα. Τέλος, τα αποτελέσματα αυτά σε συνδυασμό με την υπάρχουσα κατάσταση της μεταλλικής κατασκευής κατά την μετατροπή στο ναυπηγείο οδηγούν στις απαραίτητες ενέργειες για έλεγχο, επιδιόρθωση στοιχείων που έχουν φθαρεί λόγω διάβρωσης και άλλες αλλαγές, π.χ. ενίσχυση σε κάποια τμήματα της κατασκευής.

Κατά την παρούσα εργασία, μελετάται η αντοχή της κατασκευής στην περιοχή ανοιχτά της Νιγηρίας και σε αυτή της Βόρειας Θάλασσας, όπως ήδη έχει γίνει γνωστό. Η μελέτη της αντοχής γίνεται με βάση τους κανονισμούς του ABS για *Floating Production Installations (FPI)* [Ref. 1] και εφαρμόζεται σε δύο φάσεις. Η πρώτη αφορά τον βασικό σχεδιασμό του FPSO σαν δοκός (overall hull girder design) και η δεύτερη αφορά τα τοπικά κατασκευαστικά στοιχεία της μέσης τομής (local structural component strength). Οι δύο αυτές φάσεις, μαζί με την κόπωση (fatigue), αποτελούν τη διαδικασία του *Initial Scantling Evaluation (ISE)*. Για την μετατροπή δεξαμενοπλοίου σε FPSO προδιαγράφονται ειδικές απαιτήσεις, όπως αυτές παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5A-2-2 των κανονισμών [Ref.1].

## 4.2 Environmental Severity Factors (ESFs)

Η μοντελοποίηση του περιβάλλοντος πραγματοποιείται βάσει του προγράμματος *EAGLE SEAS* που χορηγήθηκε από τον *ABS*. Έτσι, λοιπόν, για τον υπολογισμό ορισμένων σχέσεων που προδιαγράφουν οι κανονισμοί για *FPI* εισάγονται κάποιες παράμετροι, οι οποίες σκοπό έχουν να κάνουν μια σύγκριση των συνθηκών μεταξύ του μόνιμου περιβάλλοντος του FPSO και του Βόρειου Ατλαντικού, που αποτελεί την βάση για συνθήκες υπηρεσίας χωρίς περιορισμούς (*unrestricted service condition*). Οι παράμετροι αυτοί ονομάζονται *Environmental Severity Factors (ESFs)* και χωρίζονται σε δύο συνιστώσες. Οι συνιστώσες πρώτου τύπου –  *$\alpha$ -type*- χρησιμοποιούνται για την σύγκριση της ζημιάς της κόπωσης που είναι ως αποτέλεσμα διαφορετικού περιβάλλοντος. Οι συνιστώσες δεύτερου τύπου –  *$\beta$ -type*- χρησιμοποιούνται για να εισάγουν μια σύγκριση των δυναμικών φορτίων υπό την επίδραση του περιβάλλοντος μεταξύ του σημείου μόνιμης λειτουργίας για το FPSO και των συνθηκών του Βόρειου Ατλαντικού.

### Environmental Severity Factors



Οι παράμετροι  *$\beta$ -type*, οι οποίες και μας ενδιαφέρουν, εφαρμόζονται μόνο στις δυναμικές συνιστώσες φόρτισης και οι συνιστώσες φόρτισης που θεωρούνται “στατικές” δεν επηρεάζονται από την εισαγωγή τους.

Ο ορισμός της παραμέτρου  $\beta$  είναι ο εξής:

$$\beta = \frac{Ls}{Lu}$$

όπου,

$Ls$  = η πιο πιθανή ακραία τιμή με βάση το περιβάλλον μόνιμης λειτουργίας (100 χρόνια περίοδο επανεμφάνισης), μεταφοράς (10 χρόνια περίοδο επανεμφάνισης), επισκευής/επιθεώρησης (1 χρόνος περίοδο επανεμφάνισης) και κόπωσης (20 χρόνια περίοδο επανεμφάνισης) για τις δυναμικές παραμέτρους που προσδιορίζονται στον Πίνακα 4-1

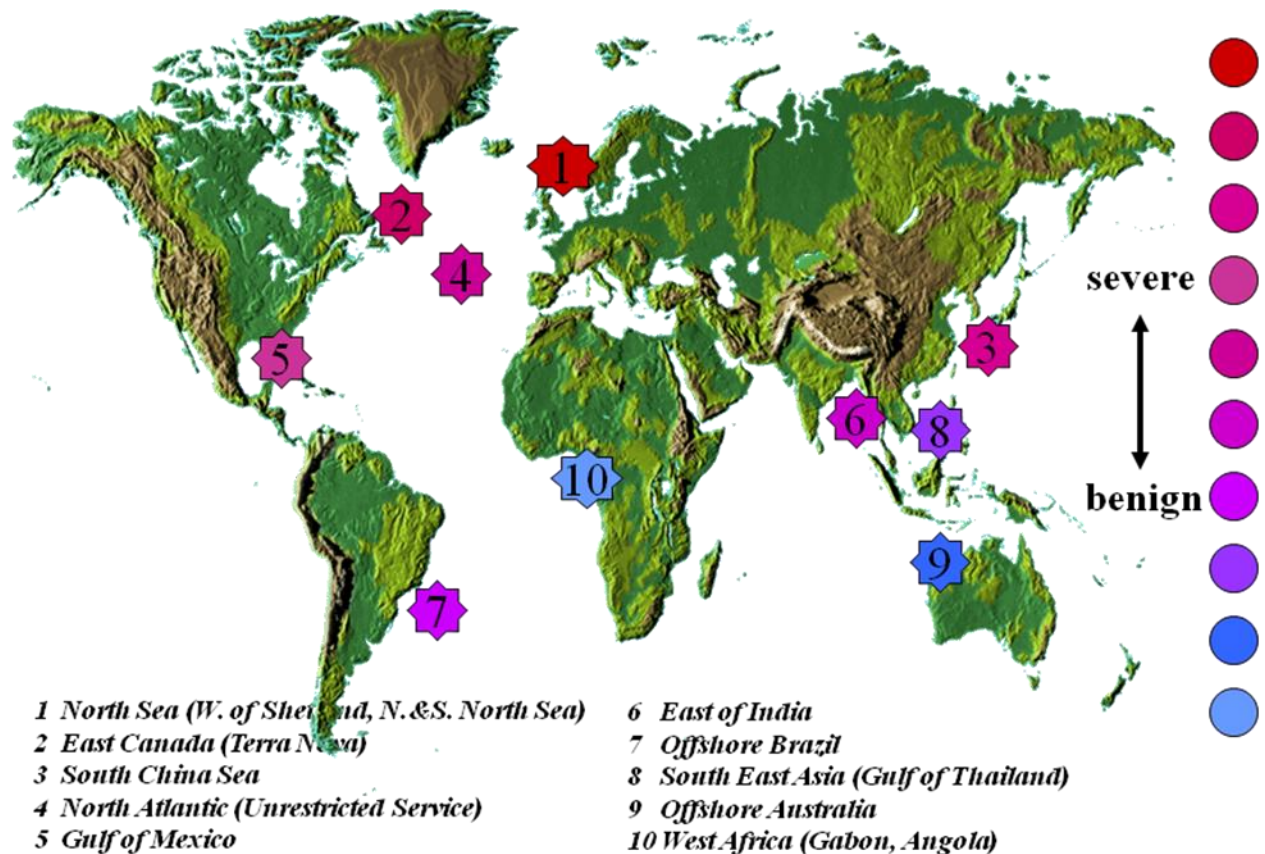
$Lu$  = η πιο πιθανή ακραία τιμή με βάση το περιβάλλον του Βόρειου Ατλαντικού για τις δυναμικές παραμέτρους που προσδιορίζονται στον Πίνακα 4-1

Αν  $\beta = 1$  τότε αυτό ανταποκρίνεται σε unrestricted service condition για seagoing vessel. Μια τιμή του  $\beta$  μικρότερη του 1 υποδεικνύει ένα λιγότερο severe περιβάλλον από την unrestricted case, ενώ μια τιμή μικρότερη του 1 ένα ήπιο περιβάλλον (benign environment).

Υπάρχουν 13 παράμετροι δυναμικής φόρτισης στους κανονισμούς του ABS οι οποίοι παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-1.

**Πίνακας 4-1: Οι 13 Δυναμικές Παράμετροι Φόρτισης ή ESFs ( $\beta_{NN}$ ) (Ref. 1)**

<i>No.</i>	<i>NN</i>	<i>Name</i>
1	VBM	Vertical Bending Moment
2	HBM	Horizontal Bending Moment
3	EPP	External Pressure Port
4	EPS	External Pressure Starboard
5	VAC	Vertical Acceleration
6	TAC	Transverse Acceleration
7	LAC	Longitudinal Acceleration
8	PMO	Pitch Motion
9	RMO	Roll Motion
10	RVM	Relative Vertical Motion at Forepeak
11	WHT	Wave Height
12	VSF	Vertical Shear Force
13	HSF	Horizontal Shear Force



Εικόνα 4-1: Κατάταξη περιβαλλοντικών συνθηκών στις περιοχές λειτουργίας των FPSOs (ABS Presentations)

Ο προσδιορισμός των παραμέτρων του Πίνακα 4-1 πραγματοποιήθηκε μέσω του προγράμματος *EAGLE SEAS*. Η αναλυτική παρουσίαση του προγράμματος γίνεται στο [Παράρτημα Α.9.](#), ωστόσο η παρουσίαση των αποτελεσμάτων εμφανίζεται στους Πίνακες 4-2 και 4-3. Τα βασικά δεδομένα που επιλέχθηκαν για την εξαγωγή των τιμών των παραμέτρων ήταν το σημαντικό ύψος κύματος,  $H_s$ , το εύρος της περιόδου των κυματισμών,  $T_p$ , και το φάσμα κυματιμού,  $S_w$  (Jonswap). Τα αποτελέσματα για τις δύο περιοχές μόνιμης εγκατάστασης και τις τέσσερις υποθέσεις για την μεταφορά από το ναυπηγείο στο χώρο λειτουργίας παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.



Πίνακας 4-2: Τιμές παραμέτρων ESF για την κάθε περιοχή με βάση περίοδο επανεμφάνισης 100 χρόνων.

<b>ON-SITE (100 year return period)</b>		
	<b>NIGERIA</b>	<b>NORTH SEA</b>
<b>Hs</b>	4.0	14.2
<b>Tp</b>	15-17	25-28
<b>Dynamic Load Parameters or ESFs (<math>\beta</math>)</b>		
1 Vertical Bending Moment	0.449	0.990
2 Horizontal Bending Moment	0.616	1.088
3 External Pressure Port	0.570	1.044
4 External Pressure Starboard	0.570	1.044
5 Vertical Acceleration	0.431	1.155
6 Transverse Acceleration	0.308	1.015
7 Longitudinal Acceleration	0.581	1.110
8 Pitch Motion	0.437	1.012
9 Roll Motion	0.315	1.048
10 Relative Vertical Motion at Forepeak	0.477	1.110
11 Wave Height	0.468	0.968
12 Vertical Shear Force	0.346	0.998
13 Horizontal Shear Force	0.616	1.084

Πίνακας 4-3: Τιμές παραμέτρων ESF για την κάθε διαδρομή με βάση περίοδο επανεμφάνισης 10 χρόνων.

		TRANSIT (10 year return period)			
		SINGAPORE-NIGERIA	SPAIN-NIGERIA	SPAIN-N. SEA	SINGAPORE-N. SEA
Dynamic Load Parameters or ESFs ( $\beta$ )		<i>duration: 60 days</i>	<i>duration: 20 days</i>	<i>duration: 15 days</i>	<i>duration: 75 days</i>
1	Vertical Bending Moment	0.606	0.593	0.845	0.637
2	Horizontal Bending Moment	0.699	0.660	0.884	0.710
3	External Pressure Port	0.651	0.611	0.883	0.672
4	External Pressure Starboard	0.654	0.612	0.847	0.672
5	Vertical Acceleration	0.622	0.550	0.886	0.634
6	Transverse Acceleration	0.470	0.493	0.850	0.523
7	Longitudinal Acceleration	0.676	0.641	0.887	0.694
8	Pitch Motion	0.603	0.585	0.863	0.632
9	Roll Motion	0.433	0.503	0.837	0.500
10	Relevant Vertical Motion Fpk	0.645	0.580	0.860	0.658
11	Wave Height	0.673	0.645	0.920	0.701
12	Vertical Shear Force	0.567	0.534	0.848	0.595
13	Horizontal Shear Force	0.704	0.655	0.882	0.713

Όπως φαίνεται από τους Πίνακες 4-2 και 4-3 στην περιοχή εγκατάστασης της μονάδας στη Β. Θάλασσα η δυσμενέστερη κατάσταση είναι on-site, ενώ στην περίπτωση εγκατάστασης ανοιχτά της Νιγηρίας, η δυσμενέστερη κατάσταση είναι αυτή της μεταφοράς από τη Σιγκαπούρη στη Νιγηρία, βάσει της οποίας θα γίνουν οι υπολογισμοί αργότερα.

### 4.3 Περί Διάβρωσης

**Γενικά.** Ο ρυθμός διάβρωσης ανάμεσα στα δεξαμενόπλοια και τα FPSOs συνήθως δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες αλλαγές. Από τη μία, ο ρυθμός φόρτωσης και εκφόρτωσης είναι πολύ πιο συχνός στα FPSOs και αυτό επιταχύνει την προχώρηση της διάβρωσης. Από την άλλη, η ακινησία της πλωτής κατασκευής σε μία περιοχή μειώνει την έκθεση νέων επιφανειών επιρρεπών στη διάβρωση λόγω του κυματισμού, και αυτό κατά ένα τρόπο κρατά σταθερό το ρυθμό της διάβρωσης.

Το καθαρό πάχος (net thickness),  $t_{net}$ , του κάθε κατασκευαστικού στοιχείου, όπως αυτό προσδιορίζεται στη συνέχεια, ανταποκρίνεται στην ελάχιστη αντοχή που πρέπει να διαθέτει η κατασκευή κατά το σχεδιασμό στη διάρκεια υπηρεσίας της. Στον Πίνακα 4-4 και στην Εικόνα 4-2 παρουσιάζονται οι τιμές σε mm που αφαιρούνται στο κάθε κατασκευαστικό στοιχείο της μεταλλικής κατασκευής από τα as-built πάχη, ώστε να προκύψουν τα net scantlings. Ισχύει, δηλαδή, η βασική σχέση:

$$t_{net} = t_{as-built} - t_{corrosion}$$

Το κάθε στοιχείο της κατασκευής ανάλογα με τη θέση του, τις αναπτυσσόμενες τάσεις και άλλους εξωτερικούς παράγοντες (περιβάλλον, θερμοκρασία, κτλ.) έχει διαφορετικό ρυθμό διάβρωσης για αυτό και οι τιμές του πάχους που προστίθενται ποικίλουν ανάλογα. Οι τιμές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-4 και στην Εικόνα 4-2 ανταποκρίνονται σε διάρκεια ζωής του σκάφους στα 20 χρόνια. Επιπλέον, συνίσταται μια αύξηση του περιθωρίου διάβρωσης από την πλευρά του ιδιοκτήτη (owner). Η αύξηση αυτή θα ληφθεί ίση με τα παρακάτω [Ref. 1] υποθέτοντας πως παρατείνεται η λειτουργία της μονάδας για 5 χρόνια ακόμα.

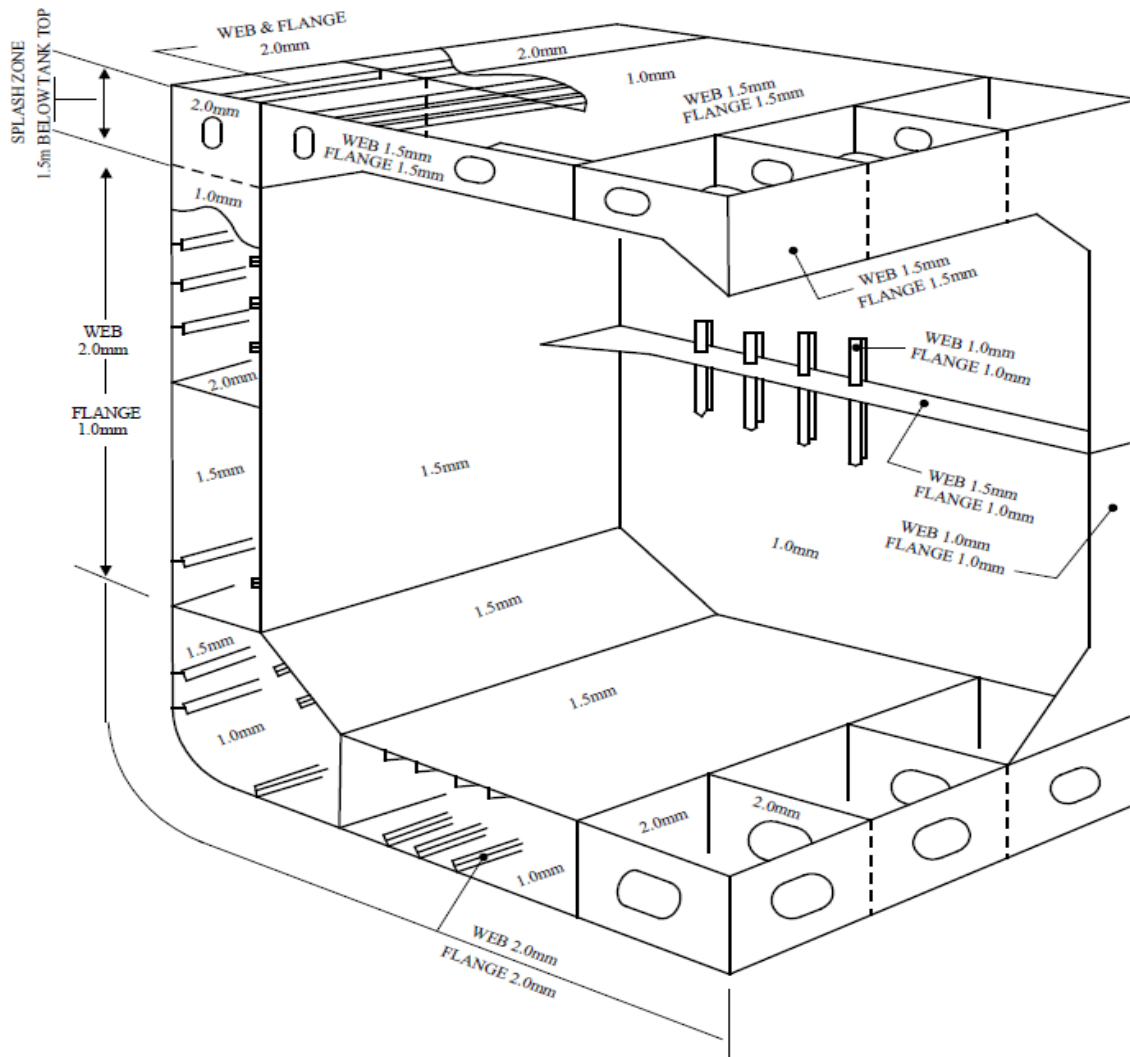
(α) Για ελάσματα και κατασκευαστικά μέλη με 2.0 mm τιμή ονομαστικού σχεδιασμού διάβρωσης, γίνεται αύξηση κατά 0.1 mm κάθε χρόνο με το πέρας των 20 χρόνων λειτουργίας του FPSO. Δηλαδή, για υπόθεση επιπλέον 5 χρόνων λειτουργίας (απαίτηση ιδιοκτήτη), η συνολική αύξηση λόγω διάβρωσης αγγίζει τα 2.5 mm (2+0.1×5=2.5).

(b) Για ελάσματα και κατασκευαστικά μέλη με 1.5 mm τιμή ονομαστικού σχεδιασμού διάβρωσης, γίνεται αύξηση κατά 0.075 mm κάθε χρόνο με το πέρας των 20 χρόνων λειτουργίας του FPSO. Δηλαδή, για υπόθεση επιπλέον 5 χρόνων λειτουργίας (απαίτηση ιδιοκτήτη), η συνολική αύξηση λόγω διάβρωσης αγγίζει τα 1.875 mm ( $1.5+0.075 \times 5=1.875$ ).

(c) Για ελάσματα και κατασκευαστικά μέλη με 1.0 mm τιμή ονομαστικού σχεδιασμού διάβρωσης, γίνεται αύξηση κατά 0.05 mm κάθε χρόνο με το πέρας των 20 χρόνων λειτουργίας του FPSO. Δηλαδή, για υπόθεση επιπλέον 5 χρόνων λειτουργίας (απαίτηση ιδιοκτήτη), η συνολική αύξηση λόγω διάβρωσης αγγίζει τα 1.25 mm ( $1.0+0.05 \times 5=1.25$ ).

**Πίνακας 4-4: Nominal design corrosion values (Ref. 1)**

<i>Structural Element/Location</i>	<i>Nominal Design Corrosion Values in mm (in.)</i>		
	<i>Cargo Tank</i>	<i>Ballast Tank Effectively Coated</i>	<i>Void Space</i>
Deck Plating	1.0 (0.04)	2.0 (0.08)	1.0 (0.04)
Side Shell Plating	NA	1.5 (0.06)	1.0 (0.04)
Bottom Plating	NA	1.0 (0.04)	1.0 (0.04)
Inner Bottom Plating	1.5 (0.06)		1.0 (0.04)
Longitudinal Bulkhead Plating	Between cargo tanks	N.A.	1.0 (0.04)
	Other Plating		1.0 (0.04)
Transverse Bulkhead Plating	Between cargo tanks	N.A.	1.0 (0.04)
	Other Plating		1.0 (0.04)
Transverse & Longitudinal Deck Supporting Members	1.5 (0.06)	2.0 (0.08)	1.0 (0.04)
Double Bottom Tanks Internals ( Floors and Girders)	N.A.	2.0 (0.08)	1.0 (0.04) <sup>(5)</sup>
Double Bottom Tanks Internals (Stiffeners)	N.A.	2.0 (0.08)	1.0 (0.06)
Vertical Stiffeners and Supporting Members Elsewhere	1.0 (0.04)	1.0 (0.04)	1.0 (0.04)
Non-vertical Longitudinals/Stiffeners and Supporting Members Elsewhere	1.5 (0.06)	2.0 (0.08)	1.0 (0.04)



Εικόνα 4-2: Nominal design corrosion values (Ref. 1)

## 4.4 Διαδικασία Steel Renewal Assessment

Με βάση τη διαδικασία του *Steel Renewal Assessment* που προδιαγράφεται στους κανονισμούς για μετασκευές δεξαμενοπλοίων σε FPSO, πραγματοποιείται έλεγχος των απαιτήσεων της ολικής και τοπικής αντοχής για την ασφαλή λειτουργία και ακεραιότητα της μονάδας στη διάρκεια υπηρεσίας της και γίνεται η διαστασιολόγηση των διαμήκων ελασμάτων και ενισχυτικών της κατασκευής την περίοδο της μετατροπής του πλοίου στο ναυπηγείο. Σκοπός της παραπάνω διαδικασίας είναι ο προσδιορισμός των Renewal scantlings κατά τη φάση της μετατροπής. Για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός προϋποτίθεται μια επανεκτίμηση-επαναξιολόγηση της διαστασιολόγησης των στοιχείων του σκάφους με βάση τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης περιοχής λειτουργίας, ο προσδιορισμός, δηλαδή, των Reassessed scantlings.

Η διαδικασία χωρίζεται σε δύο φάσεις: η πρώτη είναι η φάση του προσδιορισμού των reassessed scantlings, λόγω της αλλαγής του σκοπού της κατασκευής από πλοίο σε πλωτή μονάδα και η δεύτερη είναι η φάση του προσδιορισμού των renewal scantlings, τα οποία αποτελούν την ελάχιστη απαίτηση κατά την μετατροπή του δεξαμενοπλοίου στο ναυπηγείο, σύμφωνα με τον νηογνώμονα [Ref.1]. Η διαδικασία που ακολουθείται βασίζεται στους κανονισμούς των *Floating Production Installations* του ABS και παρουσιάζεται σχηματικά, όπως και αναλύεται παρακάτω.

### 1. Προσδιορισμός των reassessed scantlings:

- a. Υπολογισμός της απαιτούμενης ροπής αντίστασης  $SM_{req}$ .
- b. Ελάττωση του πάχους των ελασμάτων του πυθμένα και του καταστρώματος κατά 15-20%<sup>14</sup>.
- c. Υπολογισμός απαιτούμενων τοπικών παχών ελασμάτων.
- d. Υπολογισμός απαιτούμενης ροπής αντίστασης του κάθε ενισχυτικού και εκλογή παχών κορμού και πέλματος ενισχυτικού.
- e. Έλεγχος εάν η νέα ροπή αντίστασης  $SM_{Reassess}$ , η οποία υπολογίζεται με βάση τα input<sup>15</sup> scantlings, είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη ροπή αντίστασης,  $SM_{req}$ . Αν όχι, τροποποιούνται τα scantlings και εκτελείται νέα επανάληψη επιστρέφοντας στο βήμα 1c.

---

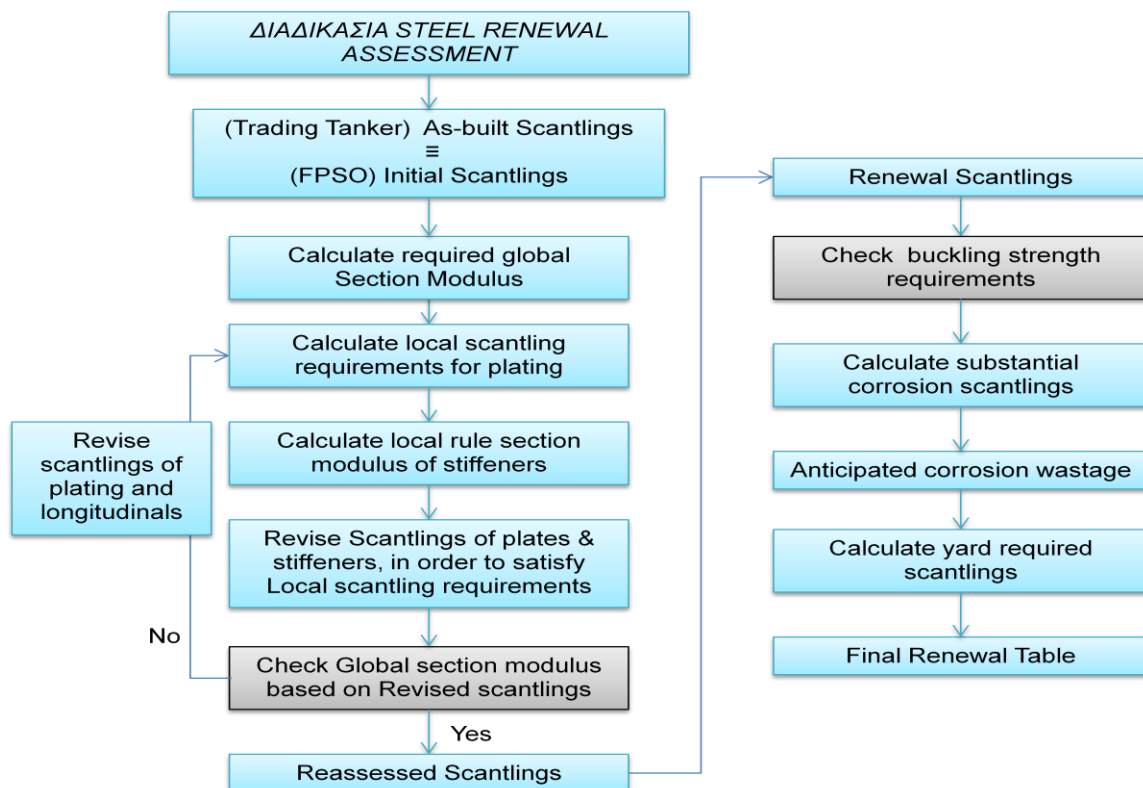
<sup>14</sup> Ο σκοπός που γίνεται αυτό είναι η ελαχιστοποίηση του βάρους της μεταλλικής κατασκευής. Για να επιτευχθεί αυτό οι τιμές πρέπει να είναι κοντά στα όρια ολικής και τοπικής αντοχής. Η ελαχιστοποίηση του βάρους γίνεται για οικονομικούς κυρίως λόγους από την πλευρά της ιδιοκτήτριας εταιρείας. Στην παρούσα εργασία δεν λάβαμε υπόψη την μείωση αυτή και κινηθήκαμε με τα as-built πάχη και στις δύο περιπτώσεις.

<sup>15</sup> Σαν input εδώ ορίζονται αυτά που προκύπτουν από την ικανοποίηση των απαιτήσεων σε τοπικό επίπεδο (βήματα b και c), με στρογγυλοποίηση στο επόμενο 0.5mm.

- f. Σε περίπτωση ικανοποίησης της συνθήκης, καταχωρούνται τα input scantlings σαν reassessed scantlings.

## 2. Προσδιορισμός των renewal scantlings:

- Υπολογισμός των renewal scantlings των ελασμάτων και των ενισχυτικών σύμφωνα με τα επιτρεπόμενα ποσοστά απώλειας που ορίζονται στον Πίνακα 4-12.
- Έλεγχος εάν τα renewal scantlings των διαμήκων στοιχείων (ελασμάτων και ενισχυτικών) ικανοποιούν τις απαιτήσεις σε λυγισμό (buckling). Αν δεν ικανοποιούνται οι συνθήκες των κρίσιμων τάσεων σε λυγισμό, τότε γίνεται νέα εκλογή των reassessed scantlings και επαναλαμβάνεται η διαδικασία.
- Υπολογισμός substantial corrosion scantlings (δηλαδή, scantlings τα οποία έχουν διαβρωθεί στο 75% της επιτρεπόμενης απώλειας)
- Εκχώρηση προσδοκώμενης τιμής διάβρωσης για κάθε στοιχείο και υπολογισμός του yard renewal value.
- Τελικός πίνακας με τα Reassessed και Renewal scantlings<sup>16</sup>.



Εικόνα 4-3: Steel Renewal Assessment procedure.

<sup>16</sup> Σε μια πλήρη μελέτη τα reassessed scantlings εξετάζονται περαιτέρω με μεθόδους πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method-FEM).

## 4.5 Προσδιορισμός Reassessed Scantlings

### 4.5.1 Απαιτούμενη Ροπή Αντίστασης

Κατά τη σχεδίαση και τον προσδιορισμό των στοιχείων της κατασκευής ενός FPSO - όπως και σε ένα πλοίο - βασική απαίτηση είναι οι διατομές του να μπορούν να φέρουν ασφαλώς τις διατμητικές δυνάμεις και καμπτικές ροπές που προβλέπεται ότι θα εμφανιστούν στη διάρκεια της ζωής του. Η συνολική κατακόρυφη καμπτική ροπή,  $M_t$ , προκύπτει από την άθροιση της ροπής σε ήρεμο νερό,  $M_{sw}$  και της ροπής σε κυματισμό,  $M_{wv}$ . Η πρώτη έχει υπολογιστεί στο κεφάλαιο 3 με βάση τις καταστάσεις φόρτωσης του σκάφους. Η δεύτερη υπολογίζεται βάσει σχέσεων των κανονισμών σε κατάσταση hogging και sagging με πιθανότητα υπέρβασης της τιμής αυτών της τάξης του  $10^{-8}$ . Στις σχέσεις για τον υπολογισμό της ροπής σε κυματισμό εισάγονται και οι δυναμικές παράμετροι  $\beta$ -type για την κατακόρυφη καμπτική ροπή, όπως υπολογίστηκαν στο προηγούμενο εδάφιο.

Η ροπή αντίστασης,  $SM$ , είναι ένα μέγεθος το οποίο συνδέει την συνολική καμπτική ροπή με τη μέγιστη καμπτική τάση, είτε στο κατάστρωμα είτε στον πυθμένα (στις ακραίες θέσεις δηλαδή από τον ουδέτερο άξονα όπου έχουμε μέγιστες τάσεις) βάσει του τύπου:

$$\sigma = \frac{M}{I} y = \frac{M}{SM}$$

όπου,

$\sigma$  = η καμπτική τάση

$M$  = η καμπτική ροπή που αναπτύσσεται στη διατομή

$I$  = η ροπή αδράνειας της διατομής περί τον ουδέτερο άξονα

$y$  = η κατακόρυφη απόσταση του σημείου που υπολογίζεται η τάση από τον ουδέτερο άξονα της διατομής

Με άλλα λόγια, η ροπή αντίστασης είναι η ποσότητα μέσω της οποίας ο σχεδιαστής μπορεί να ελέγξει την μέγιστη τάση (σε ήρεμο νερό, σε κυματισμό ή και στα δύο μαζί).



Σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-1-2/1]<sup>17</sup>, η απαιτούμενη ροπή αντίστασης στο μέσο του FPSO θα είναι η μεγαλύτερη των τιμών που προκύπτουν από τις περιπτώσεις *a)* και *b)*:

$$a) \quad SM = M_t / \sigma_{all} \quad \text{cm}^2 \cdot \text{m} \quad (4.1)$$

όπου,

$M_t$  = συνολική καμπτική ροπή, σε kN·m

$\sigma_{all}$  = ονομαστική επιτρεπόμενη καμπτική τάση, λαμβάνοντας υπόψη την χρήση χάλυβα υψηλής αντοχής

$$= f_p / k$$

$f_p$  = 17.5 kN/cm<sup>2</sup>, ονομαστική επιτρεπόμενη καμπτική τάση

$k$  = 0.78, για χρήση χάλυβα HT32

Η συνολική καμπτική ροπή,  $M_t$ , θεωρείται το μέγιστο αλγεβρικό άθροισμα της μέγιστης ροπής σε ήρεμο νερό για λειτουργία στην περιοχή εγκατάστασης ή στην μεταφορά συν το προκαλούμενο κύμα στην περιοχή ή στην μεταφορά, όπως υπολογίζεται στην παράγραφο 4.5.1.2.

*b)* Ανάλογα με την τιμή του *Environmental Severity Factor*,  $\beta_{VBM}$ , για την καμπτική ροπή λόγω κυματισμού, η ελάχιστη ροπή αντίστασης,  $SM_{min}$ , της εγκατάστασης υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 4-5: Τιμή ελάχιστης ροπής αντίστασης όπως απαιτείται από τους κανονισμούς των Steel Vessels 3-2-1/3.7.1(b) και σε αντιστοιχία με την τιμή του συντελεστή  $\beta_{VBM}$**

$\beta_{VBM}$	$SM_{min}$
< 0.7	0.85 $SM_{S.V.R.}$
0.7 < $\beta_{VBM}$ < 1	(0.5 + $\beta_{VBM}/2$ ) $SM_{S.V.R.}$
> 1	$SM_{S.V.R.}$

<sup>17</sup> Στο εξής όταν γίνεται αναφορά σε παράγραφο των κανονισμών εννοούνται οι κανονισμοί του ABS για Floating Production Installations (Ref. 1)

Σύμφωνα, λοιπόν, με τον παραπάνω πίνακα απαιτείται υπολογισμός της SM από τους κανονισμούς των *Steel Vessels*. Η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αντίστασης της μέσης τομής, σε έκταση 20% L εκατέρωθεν του μέσου του πλοίου, δίνεται από τη σχέση (*Part 3 Chapter 2 Section 3.7.1(b)*):

$$SM_{S.V.R.} = kC_1C_2L^2B(C_b + 0.7) \quad \text{cm}^2 \cdot \text{m} \quad (4.2)$$

όπου,

$$C_1 = 10.75, \text{ για } 300 < L < 350 \text{m}$$

$$C_2 = 0.01$$

$$L = 320 \text{ m}, \text{ το μήκος του σκάφους}$$

$$B = 60 \text{ m}, \text{ το πλάτος του σκάφους}$$

$$C_b = 0.821, \text{ ο συντελεστής γάστρας}$$

$$k = 0.78, \text{ για χρήση χάλυβα HT32}$$

#### 4.5.1.1 Κατακόρυφες Καμπτικές Ροπές και Διατμητικές Δυνάμεις σε ήρεμο νερό (Vertical Still water Bending Moments & Shear Forces)

Οι κατακόρυφες καμπτικές ροπές σε ήρεμο νερό για τις διάφορες καταστάσεις φόρτωσης προκύπτουν από το πρόγραμμα AVEVA και οι μέγιστες τιμές αυτών παρουσιάστηκαν στους Πίνακες 3-3 και 3-4. Στην περίπτωση μας θα λάβουμε τις ροπές στις δυσμενέστερες καταστάσεις για το on-site και τη μέγιστη ροπή για το transit. Έτσι, ο πίνακας που προκύπτει παρουσιάζεται παρακάτω.

**Πίνακας 4-6: Μέγιστη κατακόρυφη καμπτική ροπή σε ήρεμο νερό στο site και στο transit για τη Β. Θάλασσα.**

<b>N. SEA</b>		
[t·m]	Sagging (-)	Hogging (+)
M <sub>S.W./TRANSIT</sub>	-	997,643
M <sub>S.W./ON-SITE</sub>	601,372	1,116,172

**Πίνακας 4-7: Μέγιστη κατακόρυφη καμπτική ροπή σε ήρεμο νερό στο site και στο transit για τη Νιγηρία.**

<b>NIGERIA</b>		
[t·m]	Sagging (-)	Hogging (+)
M <sub>S.W./TRANSIT</sub>	-	925,583
M <sub>S.W./ON-SITE</sub>	976,620	1,188,774

**Πίνακας 4-8: Μέγιστη διατμητική δύναμη σε ήρεμο νερό στο site και στο transit για τη Β.Θάλασσα.**

<b>N. SEA</b>		
[t]	Negative (-)	Positive (+)
F <sub>S.W./TRANSIT</sub>	-	11,607
F <sub>S.W./ON-SITE</sub>	16,495	15,345

**Πίνακας 4-9: Μέγιστη διατμητική δύναμη σε ήρεμο νερό στο site και στο transit για τη Νιγηρία.**

<b>NIGERIA</b>		
[t]	Negative (-)	Positive (+)
F <sub>S.W./TRANSIT</sub>	-	11,428
F <sub>S.W./ON-SITE</sub>	19,127	14,743

#### 4.5.1.2 Κατακόρυφες Καμπτικές Ροπές και Διατμητικές Δυνάμεις λόγω κυματισμού (Vertical wave Bending Moments & Shear Forces)

##### I. ΒΟΡΕΙΟΣ ΘΑΛΑΣΣΑ

##### **Κατακόρυφες Καμπτικές ροπές σε κυματισμό**

Από τους κανονισμούς [5A-3-2/5.2.1], η καμπτική ροπή λόγω κυματισμού στο μέσο του πλοίου εκφρασμένη σε kN·m, δίνεται από τις ακόλουθες σχέσεις :

$$M_{wv-sag} = -k_1\beta_{VBM}C_1L^2B(C_b + 0.7) \times 10^{-3} \quad \text{Sagging Moment}$$

$$M_{wv-hog} = +k_2\beta_{VBM}C_1L^2BC_b \times 10^{-3} \quad \text{Hogging Moment}$$

όπου,

$$\beta_{VBM} = 0.990, \text{ για on-site} \\ 0.845, \text{ για transit}^{18}$$

$$k_1 = 110$$

$$k_2 = 190$$

$$C_1 = 10.75, \text{ για } 300 < L < 350\text{m}$$

$$L = 320\text{m}, \text{ μήκος του σκάφους}$$

$$B = 60\text{m}, \text{ πλάτος του σκάφους}$$

$$C_b = 0.821, \text{ συντελεστής γάστρας του σκάφους}$$

Αντικαθιστώντας, στις παραπάνω σχέσεις προκύπτει:

##### On-site

$$\begin{aligned} M_{wv-sag} &= -k_1\beta_{VBM}C_1L^2B(C_b + 0.7) \times 10^{-3} = \\ &= -110 \cdot 0.990 \cdot 10.75 \cdot 320^2 \cdot 60 \cdot (0.821 + 0.7) \times 10^{-3} = \\ &= -10,939,986 \text{ kN} \cdot \text{m} = 1,115,550 \text{ t} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$M_{wv-hog} = +k_2\beta_{VBM}C_1L^2BC_b \times 10^{-3} =$$

<sup>18</sup> Spain – N.Sea ως η δυσμενέστερη

$$= 190 \cdot 0.990 \cdot 10.75 \cdot 320^2 \cdot 60 \cdot 0.821 \times 10^{-3} = 10,199,799 \text{ kN} \cdot \text{m} =$$

$$= 1,040,074 \text{ t} \cdot \text{m}$$

### Transit

$$M_{wv-sag} = -9,337,665 \text{ kN} \cdot \text{m} = -952,162 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$M_{wv-hog} = 8,705,889 \text{ kN} \cdot \text{m} = -887,740 \text{ t} \cdot \text{m}$$

### **Διατμητικές Δυνάμεις σε κυματισμό**

Από τους κανονισμούς [5A-3-2/5.2.3], η διατμητική δύναμη λόγω κυματισμού στο μέσο του πλοίου, εκφρασμένη σε  $\text{kN}^{19}$ , δίνεται από τις ακόλουθες σχέσεις :

$$F_{wp} = +k\beta_{VSF}F_1C_1LB(C_b + 0.7) \times 10^{-2} \quad \text{for positive shear force}$$

$$F_{wn} = -k\beta_{VSF}F_2C_1LB(C_b + 0.7) \times 10^{-2} \quad \text{for negative shear force}$$

όπου,

$F_{wp}, F_{wn}$  = μέγιστη διατμητική δύναμη που προκαλείται από κυματισμό, σε  $\text{kN}$

$$C_1 = 10.75$$

$\beta_{VSF}$  = ESF for vertical shear force

$$k = 30$$

$F_1$  = παράγοντας κατανομής ίσος με 0.7 για το μέσο του πλοίου, όπως φαίνεται στο Figure 4

$F_2$  = παράγοντας κατανομής ίσος με 0.7 για το μέσο του πλοίου, όπως φαίνεται στο Figure 5

Αντικαθιστώντας, στις παραπάνω σχέσεις προκύπτει:

### On-site

$$F_{wp} = +k\beta_{VSF}F_1C_1LB(C_b + 0.7) \times 10^{-2} =$$

---

<sup>19</sup> Για την μετατροπή από  $\text{kN}$  σε  $\text{tones}$  λήφθηκε  $1\text{kN} = 0.10197 \text{ t}$ .

$$= 30 \cdot 0.990 \cdot 0.7 \cdot 10.75 \cdot 320 \cdot 60 \cdot (0.821 + 0.7) \times 10^{-2} =$$

$$= 65,256 \text{ kN} = 6,654 \text{ t}$$

$$F_{wn} = -k\beta_{VSF}F_2C_1LB(C_b + 0.7) \times 10^{-2} =$$

$$= -30 \cdot 0.990 \cdot 0.7 \cdot 10.75 \cdot 320 \cdot 60 \cdot (0.821 + 0.7) \times 10^{-2} =$$

$$= -65,256 \text{ kN} = -6,654 \text{ t}$$

### Transit

$$F_{wp} = 55,699 \text{ kN} = 5,680 \text{ t}$$

$$F_{wn} = -55,699 \text{ kN} = -5,680 \text{ t}$$

## II. ΝΙΓΗΡΙΑ

Οι σχέσεις που δίνουν την καμπτική ροπή σε κατάσταση hogging και sagging, αλλά και τις διατμητικές δυνάμεις που προκαλούνται από κυματισμό δεν αλλάζουν. Το μόνο που θα αλλάξει σε αυτή την περίπτωση με την αλλαγή τοποθεσίας είναι ο συντελεστής  $\beta_{VBM}$ .

όπου,

$$\beta_{VBM} = 0.449 \text{ , για on-site}$$

$$0.606 \text{ , για transit}^{20}$$

### **Κατακόρυφες Καμπτικές ροπές σε κυματισμό**

Αντικαθιστώντας, στις παραπάνω σχέσεις προκύπτει:

#### On-site

$$M_{wv-sag} = -k_1\beta_{VBM}C_1L^2B(C_b + 0.7) \times 10^{-3} =$$

$$= -110 \cdot 0.449 \cdot 10.75 \cdot 320^2 \cdot 60 \cdot (0.821 + 0.7) \times 10^{-3} =$$

$$= -4,961,670 \text{ kN} \cdot \text{m} = 505,941 \text{ t} \cdot \text{m}$$

---

<sup>20</sup> Singapore – Nigeria ως η δυσμενέστερη

$$\begin{aligned}
M_{wv-hog} &= +k_2\beta_{VBM}C_1L^2BC_b \times 10^{-3} = \\
&= 190 \cdot 0.449 \cdot 10.75 \cdot 320^2 \cdot 60 \cdot 0.821 \times 10^{-3} = \\
&= 4,625,970 \text{ kN} \cdot \text{m} = 471,710 \text{ t} \cdot \text{m}
\end{aligned}$$

### Transit

$$M_{wv-sag} = -6,696,598 \text{ kN} \cdot \text{m} = -682,852 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$M_{wv-hog} = 6,243,514 \text{ kN} \cdot \text{m} = 636,651 \text{ t} \cdot \text{m}$$

### **Διατμητικές Δυνάμεις σε κυματισμό**

Αντικαθιστώντας, στις παραπάνω σχέσεις προκύπτει:

### On-site

$$\begin{aligned}
F_{wp} &= +k\beta_{VSF}F_1C_1LB(C_b + 0.7) \times 10^{-2} = \\
&= 30 \cdot 0.449 \cdot 0.7 \cdot 10.75 \cdot 320 \cdot 60 \cdot (0.821 + 0.7) \times 10^{-2} = \\
&= 29,596 \text{ kN} = 3,018 \text{ t}
\end{aligned}$$

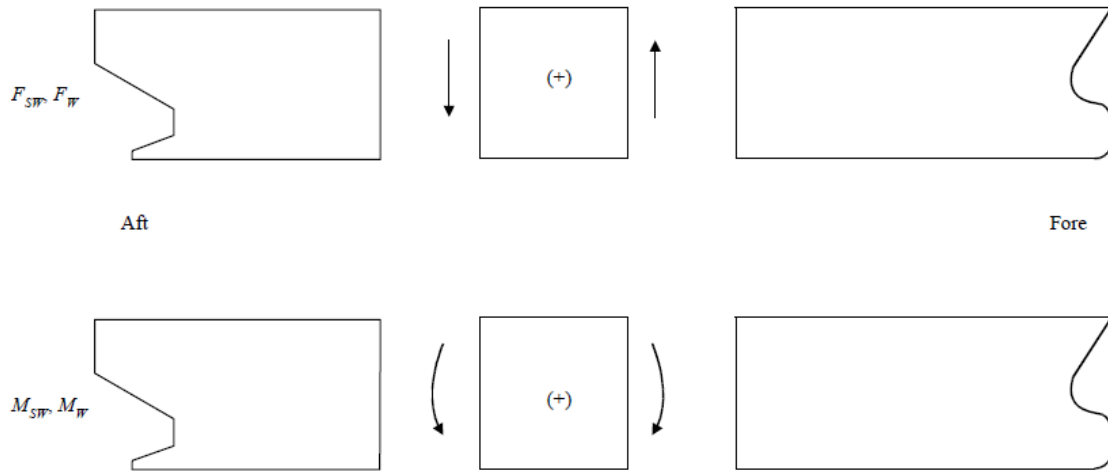
$$\begin{aligned}
F_{wn} &= -k\beta_{VSF}F_2C_1LB(C_b + 0.7) \times 10^{-2} = \\
&= -30 \cdot 0.449 \cdot 0.7 \cdot 10.75 \cdot 320 \cdot 60 \cdot (0.821 + 0.7) \times 10^{-2} = \\
&= -29,596 \text{ kN} = -3,018 \text{ t}
\end{aligned}$$

### Transit

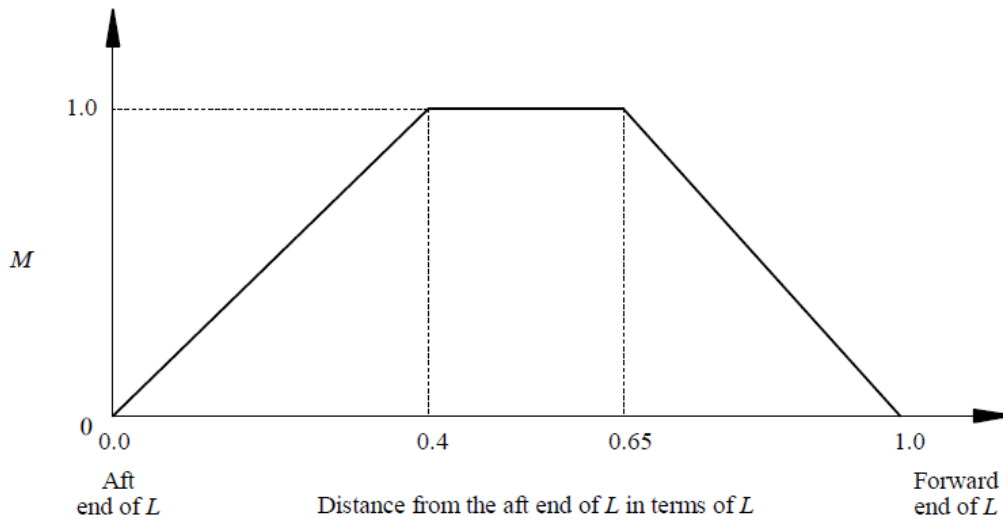
$$F_{wp} = 39,945 \text{ kN} = 4,073 \text{ t}$$

$$F_{wn} = -39,945 \text{ kN} = -4,073 \text{ t}$$

**FIGURE 2**  
**Sign Convention (1 July 2012)**

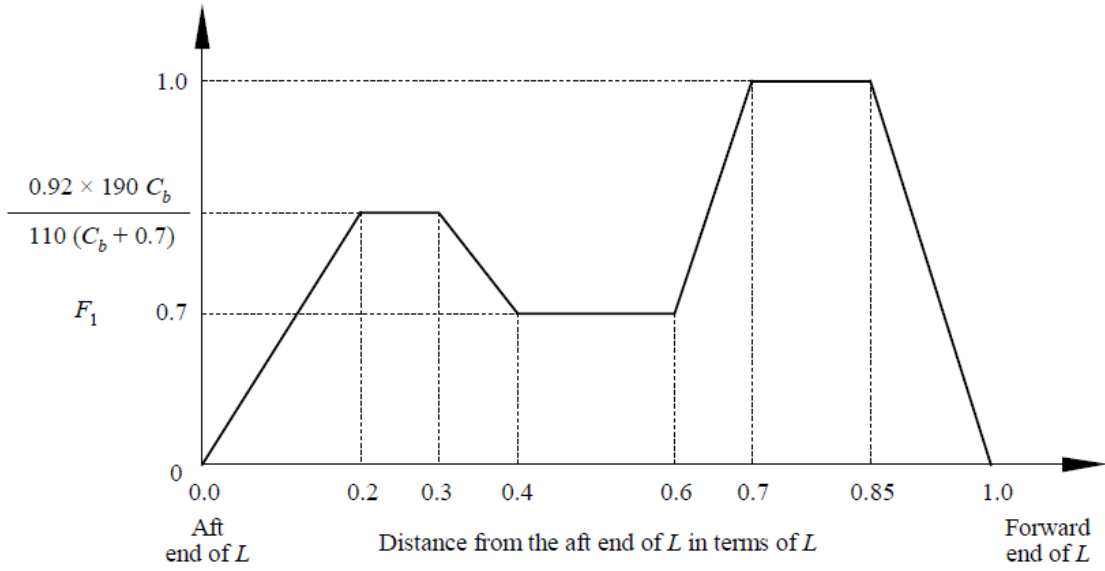


**FIGURE 3**  
**Distribution Factor  $M$  (1 July 2012)**

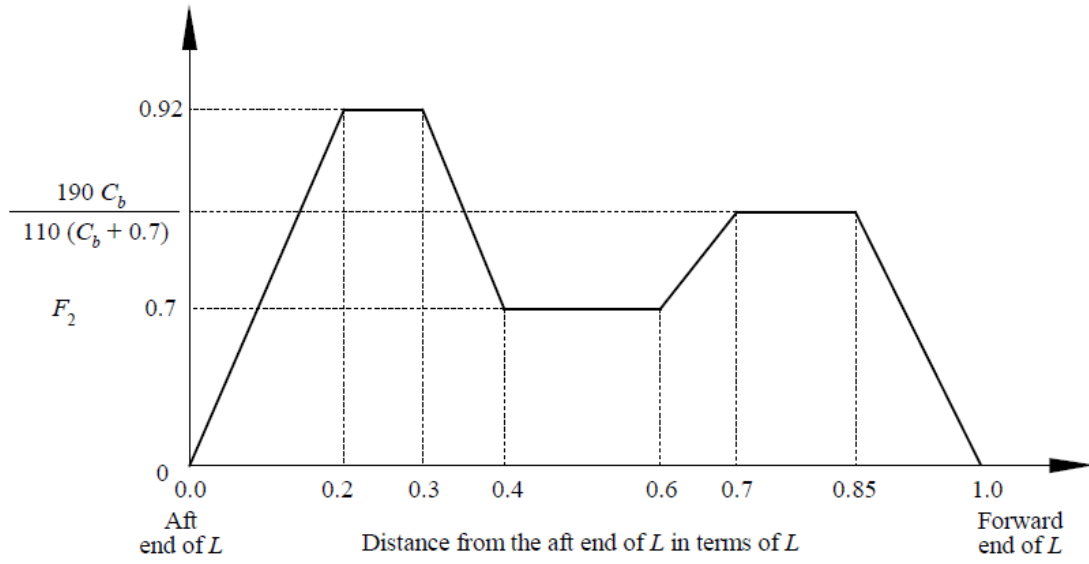




**FIGURE 4**  
**Distribution Factor  $F_1$  (1 July 2012)**



**FIGURE 5**  
**Distribution Factor  $F_2$  (1 July 2012)**



Στους Πίνακες 4-10 έως και 4-13 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των μέγιστων τιμών των κατακόρυφων καμπτικών ροπών και διατμητικών δυνάμεων σε Β. Θάλασσα και Νιγηρία.

**Πίνακας 4-10: Συνολική κατακόρυφη καμπτική ροπή στο site και στο transit για τη Β. Θάλασσα.**

	N. SEA			
	ON-SITE		TRANSIT	
	Hogging (+)	Sagging (-)	Hogging (+)	Sagging (-)
(tm)				
$M_{SW}$	1,116,172	601,372	997,634	-
$M_{WV}$	1,040,074	1,115,550	666,067	714,403
$M_T$	<u>2,156,246</u>	<u>1,716,923</u>	1,663,711	714,403

**Πίνακας 4-11: Συνολική κατακόρυφη καμπτική ροπή στο site και στο transit για τη Νιγηρία.**

	NIGERIA			
	ON-SITE		TRANSIT	
	Hogging (+)	Sagging (-)	Hogging (+)	Sagging (-)
(tm)				
$M_{SW}$	1,188,774	976,620	925,583	-
$M_{WV}$	471,710	505,942	636,651	682,852
$M_T$	<u>1,660,485</u>	<u>1,482,562</u>	1,562,234	682,852

**Πίνακας 4-12: Συνολική διατμητική δύναμη στο site και στο transit για τη Β. Θάλασσα.**

	N. SEA			
	ON-SITE		TRANSIT	
	Positive (+)	Negative (-)	Positive (+)	Negative (-)
(t)				
$F_{SW}$	15,345	16,945	11,607	-
$F_{WV}$	6,654	6,654	5,680	5,680
$F_T$	<u>21,999</u>	<u>23,599</u>	17,287	5,680

**Πίνακας 4-13: Συνολική διατμητική δύναμη στο site και στο transit για τη Νιγηρία.**

	NIGERIA			
	ON-SITE		TRANSIT	
	Positive (+)	Negative (-)	Positive (+)	Negative (-)
(t)				
$F_{SW}$	14,743	19,127	11,428	-
$F_{WV}$	3,018	3,018	4,073	4,073
$F_T$	<u>17,761</u>	<u>22,145</u>	15,501	4,073

### 4.5.1.3 Υπολογισμός Απαιτούμενης Ροπής Αντίστασης και Αδράνειας

#### I. Απαιτούμενη ροπή αντίστασης

Έχοντας υπολογίσει την τιμή των μέγιστων κατακόρυφων καμπτικών ροπών σε ήρεμο νερό και σε κυματισμό, είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε την απαιτούμενη ροπή αντίστασης στις δύο περιοχές, σύμφωνα με τις σχέσεις (a) και (b) του εδαφίου 4.3.1. Προκύπτουν, λοιπόν, τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Αντικαθιστώντας στην σχέση (a) και λαμβάνοντας ως  $M_t$  την μεγαλύτερη κατά απόλυτη τιμή καμπτική ροπή που υπολογίστηκε στους Πίνακες 4-10 και 4-11 για την Βόρεια Θάλασσα και για την Νιγηρία, προκύπτουν τα εξής:

- ✓  $SM_{N,SEA} = M_{t,N,SEA}/\sigma_{all} = 21,145,885/24.36=942,502 \text{ cm}^2\text{-m} = \mathbf{94.3 \text{ m}^3}$
- ✓  $SM_{NIG.} = M_{t,NIG.}/\sigma_{all} = 16,284,049/24.36 = 725,803 \text{ cm}^2\text{-m} = \mathbf{72.6 \text{ m}^3}$

Η σχέση 4-2 αντικαθιστώντας δίνει

$$SM_{min} = 78.4 \text{ m}^3$$

Επιστρέφοντας στον πίνακα 4-4 υπολογίζω την  $SM_{min}$  για  $\beta = 0.990$  και  $\beta = 0.606$  για τις δύο περιοχές εγκατάστασης:

- ✓  $SM_{min,N,SEA.} = (0.5+0.99/2) SM_{S.V.R.} = (0.5+0.99/2) \cdot 78.4 = \mathbf{78.0 \text{ m}^3}$
- ✓  $SM_{min,NIG.} = 0.85 SM_{S.V.R.} = 0.85 \cdot 78.4 = \mathbf{66.6 \text{ m}^3}$

Τελικά, η απαιτούμενη ροπή αντίστασης για την κατασκευή μας στην κάθε περιοχή λειτουργίας είναι η μέγιστη που προκύπτει για τις περιπτώσεις (a) και (b).

#### Βόρεια Θάλασσα

$$SM_{req.} = \max \{94.3, 78.0\} = \mathbf{94.3 \text{ m}^3}$$

#### Νιγηρία

$$SM_{req.} = \max \{72.6, 66.6\} = \mathbf{72.6 \text{ m}^3}$$

## II. Απαιτούμενη ροπή αδράνειας

Η απαιτούμενη ροπή αδράνειας  $I$ , σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-3-3/3.3], στο μέσο του πλοίου δίνεται από τη σχέση:

$$I = L \cdot SM / 33.3 \quad \text{cm}^2 \cdot \text{m}^2$$

όπου,

$L$  = 320 m , το μήκος του σκάφους

$SM$  = η ροπή αντίστασης όπως υπολογίστηκε στο εδάφιο 4.5.3.1

	<b>N. SEA</b>	<b>NIGERIA</b>
<b><math>I_{req}</math></b>	905.7 m <sup>4</sup>	697.5 m <sup>4</sup>

#### 4.5.2 Υπολογισμός πραγματικής Ροπής Αντίστασης Μέσης Τομής

Ο υπολογισμός της ροπής αντίστασης για την Μέση Τομή πραγματοποιήθηκε με δύο μεθόδους – αναλυτικά, μέσω του *Microsoft Excel* και υπολογιστικά, μέσω του λογισμικού *ABS Eagle FPSO (ISE)*. Αρχικά, υπολογίζεται η ροπή αντίστασης της διατομής και τα άλλα χαρακτηριστικά με βάση το as-built thickness των στοιχείων, όπως είναι στο σχέδιο Μέσης Τομής. Ύστερα, υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά της διατομής αφαιρώντας το περιθώριο λόγω διάβρωσης σύμφωνα με την παράγραφο 4.3, οπότε και προκύπτουν τα τελικά net scantlings.

##### **Αναλυτική Μέθοδος Υπολογισμού**

Ο υπολογισμός της ροπής αντίστασης της μέσης τομής του πλοίου προκύπτει από τον υπολογισμό της ροπής αδράνειας και την εύρεση της θέσης του ουδέτερου άξονα της διατομής. Ο υπολογισμός της ροπής αδράνειας,  $I$ , πραγματοποιείται με άθροιση όλων των ροπών αδρανείας των διαφόρων στοιχείων της μεταλλικής κατασκευής που συνεισφέρουν στην διαμήκη αντοχή του πλοίου. Αυτά τα στοιχεία είναι:

- το κύριο και ενδιάμεσα καταστρώματα
- τα ελάσματα πυθμένα και εσωτερικού πυθμένα
- το πλευρικό περίβλημα
- οι διαμήκεις φρακτές
- οι διαμήκεις ενισχύσεις

Στους υπολογισμούς που παρατίθενται παρακάτω το σημείο αναφοράς για την εύρεση του ουδέτερου άξονα είναι η βασική γραμμή αναφοράς (baseline). Επίσης, λόγω συμμετρίας οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται για την μισή διατομή και στο τέλος, υπολογίζεται η ροπή αδράνειας ολόκληρης της διατομής.

Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-8 χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω βασικοί τύποι.

Η θέση του ουδέτερου άξονα πάνω από την τρόπιδα είναι

$$h_{NA} = \frac{\sum a_i h_i}{\sum a_i}$$

όπου,

$a_i$  = η επιφάνεια του κάθε στοιχείου  $i$

$h_i$  = η κατακόρυφη απόσταση του στοιχείου  $i$  από την baseline

Το γινόμενο  $a_i h_i$  ορίζεται ως η *πρώτη ροπή επιφανείας* του στοιχείου  $i$  ως προς την baseline.

Η Ροπή αδράνειας ως προς τον ουδέτερο άξονα με βάση το θεώρημα του παράλληλου άξονα δίνεται από το τύπο:

$$I_{N.A.} = I_{yy} - Ah_{NA}^2$$

όπου,

$I_{N.A.}$  = ροπή αδράνειας περί τον ουδέτερο άξονα

$I_{yy}$  = ροπή αδράνειας από την baseline

$A$  = συνολική επιφάνεια

$h_{NA}$  = απόσταση ουδέτερου άξονα από την baseline

Για την εύρεση της ροπής αντίστασης  $SM$  ως προς τον πυθμένα  $SM_{bottom}$  και ως προς το κατάστρωμα  $SM_{deck}$  χρησιμοποιούνται οι σχέσεις:

$$SM_{deck} = \frac{I_{N.A.}}{y_a}$$

$$SM_{bottom} = \frac{I_{N.A.}}{y_b}$$

όπου,

$y_a$  = η κατακόρυφη απόσταση στην πλευρά του πλοίου από τον ουδέτερο άξονα έως το κατάστρωμα.

$y_b$  = η κατακόρυφη απόσταση στην πλευρά του πλοίου από τον ουδέτερο άξονα έως τον πυθμένα.

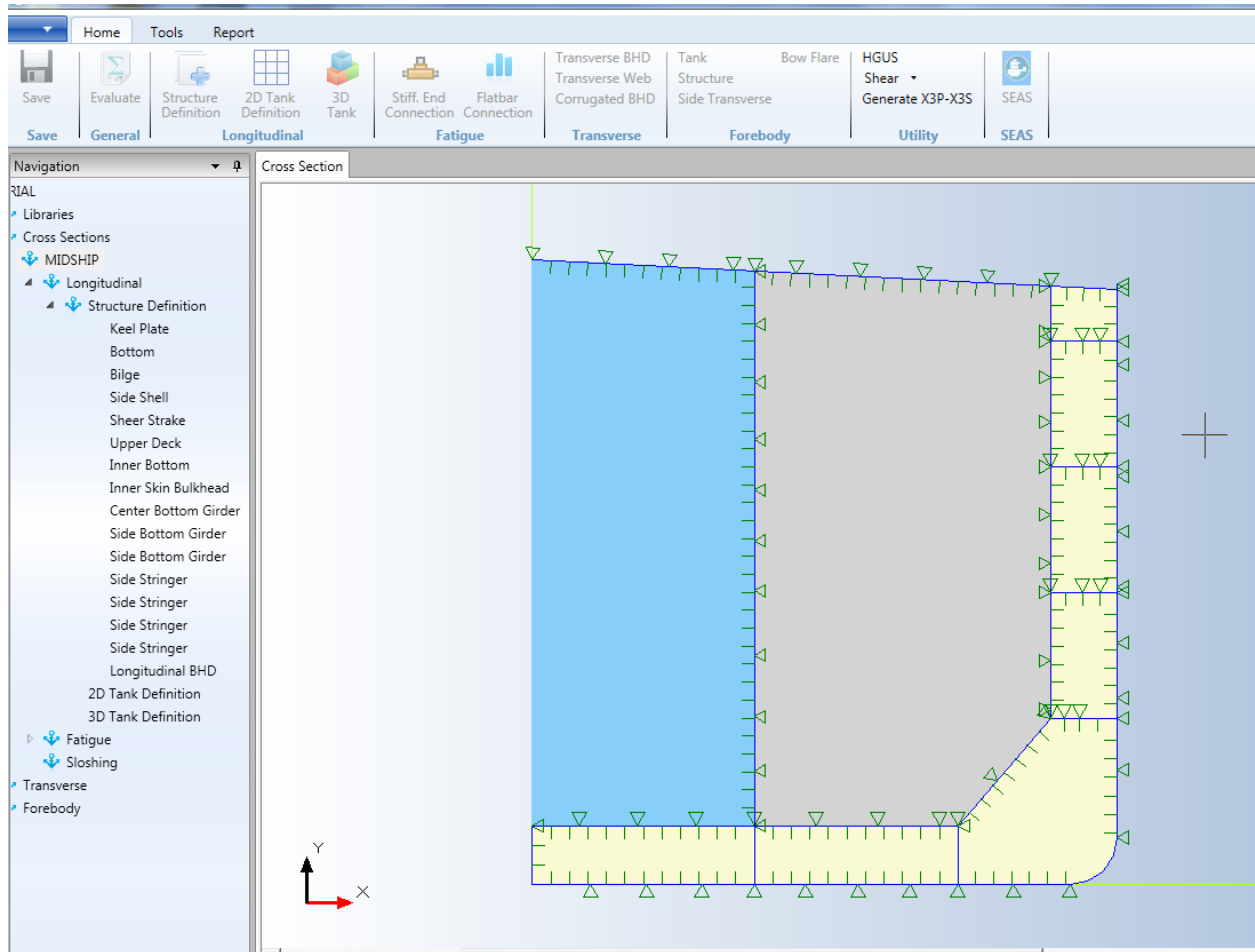
Ο αναλυτικός πίνακας με όλα τα στοιχεία των ελασμάτων και των ενισχυτικών όπως υπολογίστηκε στο φύλλο *Excel* παρατίθεται στο [Παράρτημα Α.4](#).

**Πίνακας 4-8: Αποτελέσματα ιδιοτήτων μέσης τομής ύστερα από αναλυτικό υπολογισμό.**

<b>PROPERTIES</b>	<b>AS-BUILT</b>	<b>NET</b>	
Sectional Area	10.90	9.90	m <sup>2</sup>
First Moment about N.A.	144.06	130.50	m <sup>3</sup>
N.A.bottom	13.21	13.18	m
N.A.deck	17.29	17.32	m
Moment of Inertia about N.A.	1515.84	1380.73	m <sup>4</sup>
Section Modulus at deck	87.69	79.73	m <sup>3</sup>
Section Modulus at bottom	114.71	104.73	m <sup>3</sup>

## Μέθοδος Υπολογισμού μέσω προγράμματος ABS EAGLE FPSO ISE

Για τον υπολογισμό της ροπής αντίστασης της μέσης τομής μέσω προγράμματος πρώτα πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή της γεωμετρίας αυτής. Αρχικά, έγινε ο ορισμός του κάθε κατασκευαστικού στοιχείου (πυθμένα, πλευράς, καταστρώματος, κλπ.), Στη συνέχεια, καταχωρήθηκαν οι διαστάσεις των ελασμάτων και τέλος, των ενισχυτικών. Στην τελική μορφή η εικόνα της μέσης τομής προκύπτει όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 4-4.



Εικόνα 4-4: Απεικόνιση της γεωμετρίας της μέσης τομής από το πρόγραμμα EAGLE FPSO.

Ύστερα από την ολοκλήρωση της εισαγωγής της γεωμετρίας και την εισαγωγή άλλων απαραίτητων δεδομένων, όπως τα υλικά κατασκευής της τομής στο μέσο του πλοίου και των ζωνών υλικού (material zones) σε πυθμένα, κατάστρωμα και μέση, έγινε υπολογισμός της πραγματικής ροπής αντίστασης i) Με τα as-built πάχη των στοιχείων και ii) Με τα net πάχη των στοιχείων. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται ακολούθως.



\*\*\*\*\*

24 FEBRUARY 2016 15:13:25 PAGE: 3

FPSO/SEMCALC/ ABS Eagle FPSO v3.0 [FPI Rules 2015]

SECTION MODULUS CALCULATIONS FOR HULL GIRDER

SHIP : FPSO Conversion Dimitris

**SUMMARY OF HULL GIRDER PROPERTIES --- NET, W/O SMALL OPENING ON STIFFENER**

DEPTH, MOLDED = 30.500 (m)

BEAM, MOLDED = 60.000 (m)

SECTIONAL AREA = 100169.734 (cm<sup>2</sup>)

NEUTRAL AXIS ABOVE BASELINE = 13.234 (m)

FIRST MOMENT ABOUT NEUTRAL AXIS = 1325667. (cm<sup>2</sup>-m)

MOMENT OF INERTIA ABOUT NEUTRAL AXIS, X-X = 13884052. (cm<sup>2</sup>-m<sup>2</sup>)

SECTION MODULUS AT DECK = 804137. (cm<sup>2</sup>-m)

SECTION MODULUS AT BOTTOM = 1049103. (cm<sup>2</sup>-m)

MOMENT OF INERTIA ABOUT CL = 41766392. (cm<sup>2</sup>-m<sup>2</sup>)

SECTION MODULUS AT SIDE SHELL = 1392213. (cm<sup>2</sup>-m)

**SUMMARY OF HULL GIRDER PROPERTIES --- AS BUILT, W/O SMALL OPENING ON STIFFENER**

DEPTH, MOLDED = 30.500 (m)

BEAM, MOLDED = 60.000 (m)

SECTIONAL AREA = 110175.773 (cm<sup>2</sup>)

NEUTRAL AXIS ABOVE BASELINE = 13.204 (m)

FIRST MOMENT ABOUT NEUTRAL AXIS = 1454786. (cm<sup>2</sup>-m)

MOMENT OF INERTIA ABOUT NEUTRAL AXIS, X-X = 15195288. (cm<sup>2</sup>-m<sup>2</sup>)

SECTION MODULUS AT DECK = 878555. (cm<sup>2</sup>-m)

SECTION MODULUS AT BOTTOM = 1150789. (cm<sup>2</sup>-m)

MOMENT OF INERTIA ABOUT CL = 46103852. (cm<sup>2</sup>-m<sup>2</sup>)

SECTION MODULUS AT SIDE SHELL = 1536795. (cm<sup>2</sup>-m)

\*\*\*\*\*

#### Παρατηρήσεις:

1. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το πρόγραμμα, τόσο στην as-built όσο και στη net κατάσταση, δεν απέχουν πολύ από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 4-8. Στη συνέχεια οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται με βάση τους αναλυτικούς υπολογισμούς. Ακολουθεί μια σύγκριση των αποτελεσμάτων στις δύο περιπτώσεις:

#### **As-Built**

PROPERTIES	EXCEL	ISE	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	
Sectional Area	10.90	11.02	0.12	m <sup>2</sup>
First Moment about N.A.	144.06	145.48	1.42	m <sup>3</sup>
N.A.bottom	13.21	13.20	-0.01	m
N.A.deck	17.29	17.30	0.01	m
Moment of Inertia about N.A.	1515.84	1519.53	3.69	m <sup>4</sup>
Section Modulus at deck	87.69	87.86	0.17	m <sup>3</sup>
Section Modulus at bottom	114.71	115.08	0.37	m <sup>3</sup>

**Net**

<b>PROPERTIES</b>	<b>EXCEL</b>	<b>ISE</b>	<b>ΑΠΟΚΛΙΣΗ</b>	
Sectional Area	9.90	10.02	0.12	m <sup>2</sup>
First Moment about N.A.	130.50	132.57	2.07	m <sup>3</sup>
N.A.bottom	13.18	13.23	0.05	m
N.A.deck	17.32	17.27	-0.05	m
Moment of Inertia about N.A.	1380.73	1388.45	7.72	m <sup>4</sup>
Section Modulus at deck	79.73	80.41	0.68	m <sup>3</sup>
Section Modulus at bottom	104.73	104.91	0.18	m <sup>3</sup>

2. Συνάγεται το συμπέρασμα ότι η απαιτούμενη ροπή αντίστασης καλύπτεται για την περιοχή της Νιγηρίας, όχι όμως στην περίπτωση της Β. Θάλασσας. Αυτό σημαίνει πως η κατασκευή στην δεύτερη περίπτωση θα χρειαστεί σίγουρα κάποια ενίσχυση στην περιοχή με έκταση 0.2 του L εκατέρωθεν της μέσης τομής.

### 4.5.3 Απαιτήσεις Τοπικής Αντοχής

Το δεύτερο βήμα για την μελέτη της αντοχής της κατασκευής είναι ο υπολογισμός και ο έλεγχος της τοπικής αντοχής. Στο προηγούμενο μέρος, όπου εξετάστηκε η συμπεριφορά της κατασκευής σαν δοκός, καταλήξαμε σε μία ελάχιστη τιμή (αυτής της ροπής αντίστασης) που πρέπει να διαθέτει η κατασκευή, στην κάθε τοποθεσία και με βάση το περιβάλλον, ώστε να προστατευτεί από ολική αστοχία. Η αστοχία σε ένα τοπικό τμήμα της κατασκευής δεν θα οδηγήσει απαραίτητα στην ολική κατάρρευση, αλλά μια αλληλουχία αστοχιών μπορεί να συμβάλλει σε αυτή την κατάρρευση. Συνάγεται, λοιπόν, το συμπέρασμα πως είναι κρίσιμης σημασίας το κάθε κατασκευαστικό στοιχείο που συνεισφέρει στην διαμήκη αντοχή του FPSO να μπορεί να φέρει ασφαλώς τα φορτία που προβλέπεται ότι θα εμφανιστούν, ώστε να αποτραπεί η τοπική αστοχία.

Οι φορτίσεις οι οποίες εξετάζονται για τα διαμήκη κατασκευαστικά στοιχεία της Μέσης Τομής σε θέμα τοπικής αντοχής είναι:

- Εξωτερικές πιέσεις, οφειλόμενες στη στατική και δυναμική δράση των κυματισμών
- Εσωτερικές πιέσεις, συνυπολογίζοντας αδρανειακές δυνάμεις και added pressure heads
- Sloshing pressures, οφειλόμενες στη μετακίνηση υγρού φορτίου εντός των δεξαμενών

#### 4.5.3.1 Υπολογισμός απαιτούμενου πάχους ελασμάτων

Στη φάση της επαναξιολόγησης (reassessment) των διαστάσεων του σκάφους με βάση το συγκεκριμένο χώρο λειτουργίας της εγκατάστασης πραγματοποιείται αρχικά, ο υπολογισμός του απαιτούμενου πάχους των ελασμάτων. Βάσει των κανονισμών του ABS, η διαδικασία γίνεται θεωρώντας ονομαστικές, μέγιστες φορτίσεις τις οποίες ένα στοιχείο είναι πιθανό να αντιμετωπίσει στη διάρκεια ζωής του. Η απαίτηση για το ελάχιστο πάχος εξαρτάται κυρίως από τα εξής:

- i. Την ισαπόσταση των ενισχυτικών  $s$
- ii. Την πίεση  $p$  (στατική και δυναμική πίεση, λόγω κυματισμού, λόγω υγρού φορτίου ή και λόγω sloshing)
- iii. Την επιτρεπόμενη καμπτική τάση  $f_1, f_2$  στην διαμήκη και στην εγκάρσια διεύθυνση, αντίστοιχα.

iv. Το υλικό κατασκευής

Τα  $i$  και  $iv$  είναι σε πρώτη φάση δεδομένα και σταθερά για τις δύο περιοχές, όμως, το δυναμικό κομμάτι της πίεσης  $p$  όπως και η επιτρεπόμενη καμπτική τάση  $f$  διαφέρουν με το περιβάλλον και αυτές θα είναι οι παράμετροι που θα παίξουν κυρίαρχο ρόλο στην επιλογή των απαιτούμενων παχών στις δύο περιοχές.

Αναλυτικά, τα στοιχεία που θα εξεταστούν είναι:

- Έλασμα πυθμένα (Bottom shell plating)
- Έλασμα τρόπιδας (Keel plate)
- Έλασμα διπυθμένου (Inner bottom shell plating)
- Έλασμα καταστρώματος (Deck shell plating)
- Έλασμα πλευράς περιβλήματος (Side shell plating)
- Έλασμα εσωτερικής πλευράς περιβλήματος (Inner side skin plating)
- Έλασμα διαμήκουσ φρακτής (Longitudinal Bulkhead plating)

Οι αναλυτικοί υπολογισμοί θα γίνουν για μια περιοχή - αυτή της Β. Θάλασσας - αλλά τα αποτελέσματα και οι βασικές παράμετροι που διαφέρουν παρατίθενται σε πίνακα στο τέλος των υπολογισμών και για τις δύο περιοχές.

### **Έλασμα πυθμένα (Bottom shell plating)**

Σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-3-3/7.3], το ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος του πυθμένα δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τα ακόλουθα:

$$t_1 = 0.73s(k_1p/f_1)^{1/2} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 0.73s(k_2p/f_2)^{1/2} \quad \text{mm}$$

$$t_3 = cs(S_m f_y/E)^{1/2} \quad \text{mm}$$

όπου,

$$s = 950 \text{ mm, ισαπόσταση ενισχυτικών πυθμένα από centerline έως τα 22.8 m}$$

$$= 920 \text{ mm, ισαπόσταση ενισχυτικών πυθμένα αλλού}$$

$$k_1 = 0.342$$

$$k_2 = 0.500$$

$$p = \max\{p_a - p_{uh} = 27.3 - 0.3 = 27 ; p_b = 26.17\} = 27 \text{ N/cm}^2$$

$$p_{uh} = 0.12\gamma(hl_{wt}\tan\varphi_e)^{1/2} \quad \text{όπου } l_{wt} > 0.20L$$

$$= 0 \quad \text{όπου } l_{wt} < 0.15L$$

Με γραμμική παρεμβολή λαμβάνεται  $p_{uh} = 0.26 \text{ N/cm}^2$

$\gamma = 1.005$ , ειδικό βάρος θαλασσινού νερού, σε  $\text{N/cm}^2 \cdot \text{m}$

$h = 30.5$ , ύψος δεξαμενής έρματος στα άκρα, σε m

$l_{wt} = 51.12$ , μήκος της δεξαμενής έρματος στο πάνω μέρος, σε m

$L = 320$ , μήκος του FPSO

$\varphi_e = 4^\circ$ , ενεργό πλάτος προνευτασμού

$f_1 = 11,970 \text{ N/cm}^2$ , επιτρεπόμενη καμπτική τάση στην διαμήκη κατεύθυνση, σε  $\text{N/cm}^2$

$$= (1 - 0.70a_1SM_{RB}/SM_B)S_mf_y \leq 0.40S_mf_y$$

$$a_1 = S_{m1}f_{y1}/S_mf_y = 1$$

$$SM_{RB} = 0.92 SM = 867,102 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$$

$SM = 942,502 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$ , απαιτούμενη ροπή αντίστασης (gross) στο υπό θεώρηση σημείο, σύμφωνα με τους κανονισμούς των Steel Vessels [3-2-1/3.7] και [3-2-1/5.5], και βάσει του συντελεστή υλικού του πέλματος του πυθμένα.

$SM_B = 1,047,323 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$  ροπή σχεδίασης (net) ως προς τον πυθμένα, σε  $\text{cm}^2 \cdot \text{m}$ , στο υπό θεώρηση σημείο

$f_2 = 0.80S_mf_y = 23,940 \text{ N/cm}^2$ , επιτρεπόμενη καμπτική τάση στην εγκάρσια κατεύθυνση.

$S_m = 0.95$ , συντελεστής μείωσης αντοχής για χρήση χάλυβα H32

$S_{m1} = 0.95$ , συντελεστής μείωσης αντοχής για το πέλμα του πυθμένα για χρήση χάλυβα H32

$f_y = 31,500$ , ελάχιστο όριο διαρροής για το υλικό, σε  $\text{N/cm}^2$

$f_{y1} = 31,500$ , ελάχιστο όριο διαρροής για το πέλμα του πυθμένα, σε  $\text{N/cm}^2$

$E =$  μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα, που λαμβάνεται ίσο με  $2.06 \times 10^7 \text{ N/cm}^2$

$c = 0.7N^2 - 0.2 = 0.380$ , όχι μικρότερο από  $0.4Q^{0.5} = 0.353$

$$N = R_b(Q/Q_b)^{1/2} = 0.9$$

$$R_b = (SM_{RBH}/SM_B)^{1/2} = 0.9$$

$$SM_{RBH} = 0.92 SM_H = 867,102 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$$

$SM_H = 942,502 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$ , απαιτούμενη ροπή αντίστασης (gross), σύμφωνα με τους κανονισμούς των Steel Vessels [3-2-1/3.7] και [3-2-1/5.5], για συνολική καμπτική ροπή σε hogging στο υπό θεώρηση σημείο και βάσει του συντελεστή υλικού του πέλματος του πυθμένα.

$$Q, Q_b = \text{συντελεστές μετατροπής υλικού,}$$

$$= 0.78, \text{ για χρήση χάλυβα H32}$$

Αντικαθιστώντας στις παραπάνω σχέσεις, προκύπτει:

$$t_{1,net} = 19.26 \text{ mm}$$

$$t_{2,net} = 16.47 \text{ mm}$$

$$t_{3,net} = 13.74 \text{ mm}$$

Στις τιμές αυτές προστίθεται και το περιθώριο διάβρωσης, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς και παρουσιάστηκε στο εδάφιο 4.3. Για το έλασμα του πυθμένα η συνολική προσαύξηση είναι ίση με 1.25 mm.

$$t_1 = t_{1,net} + t_{cor} = 20.51 \text{ mm, για τα ελάσματα του πυθμένα έως τα 22.8 m}$$

$$t_1 = t_{1,net} + t_{cor} = 19.90 \text{ mm, για τα ελάσματα του πυθμένα από τα 22.8 m έως το bilge.}$$

Με βάση την ίδια διαδικασία προκύπτουν τα αποτελέσματα για τη Νιγηρία.

<b>BOTTOM SHELL PLATING</b>		
	<b>N. SEA</b>	<b>NIGERIA</b>
$p [N/cm^2]$	27.0	24.3
$f_1 [N/cm^2]$	11,970	11,970
$t_{req,gross} [mm]$	<b>21.00</b>	<b>20.00</b>

Για τα ελάσματα μετά τα 22.8 m από την CL (ισαπόσταση ενισχυτικών 920 mm) το απαιτούμενο πάχος διαμορφώνεται :

<b>BOTTOM SHELL PLATING</b>		
	<b>N. SEA</b>	<b>NIGERIA</b>
$t_{req,gross}$ [mm]	<b>20.00</b>	<b>19.00</b>

Για το έλασμα της τρόπιδας (keel plate) σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-3-3/7.1.2], το πάχος του ελάσματος πρέπει να αυξηθεί κατά 1.5 m από αυτό του net bottom. Άρα,

<b>KEEL PLATING</b>		
	<b>N. SEA</b>	<b>NIGERIA</b>
$t_{req,gross}$ [mm]	<b>22.50</b>	<b>21.50</b>

### **Έλασμα εσωτερικού πυθμένα (Inner Bottom shell plating)**

Σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-3-3/7.3.2], το ελάχιστο καθαρό πάχος του εσωτερικού ελάσματος του πυθμένα δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τα ακόλουθα:

$$t_1 = 0.73s(k_1p/f_1)^{1/2} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 0.73s(k_2p/f_2)^{1/2} \quad \text{mm}$$

$$t_3 = cs(S_m f_y/E)^{1/2} \quad \text{mm}$$

όπου,

$s = 950$  mm, ισαπόσταση ενισχυτικών εσωτερικού πυθμένα

$$k_1 = 0.342$$

$$k_2 = 0.500$$

$$p = \max\{p_a - p_{uh} = 40.5 - 0.3 = 40.2 ; p_b = 40.0\} = 40.2 \text{ N/cm}^2$$

$$p_{uh} = 0.26 \text{ N/cm}^2$$

$f_1 = 15,921 \text{ N/cm}^2$ , επιτρεπόμενη καμπτική τάση στην διαμήκη κατεύθυνση

$$= (1 - 0.52a_1 SM_{RB}/SM_B) S_m f_y \leq 0.57 S_m f_y$$

$$a_1 = S_{m1} f_{y1} / S_m f_y = 1$$

$$SM_{RB} = 0.92 SM = 867,102 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$SM = 942,502 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$$



$$SM_B = 1,047,323 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$$

$f_2 = 0.85 S_m f_y = 25,436 \text{ N/cm}^2$ , επιτρεπόμενη καμπτική τάση στην εγκάρσια κατεύθυνση.

$S_m = 0.95$ , συντελεστής μείωσης αντοχής για το έλασμα του εσωτερικού πυθμένα για χρήση χάλυβα H32

$S_{m1} = 0.95$ , συντελεστής μείωσης αντοχής για το πέλμα του πυθμένα για χρήση χάλυβα H32

$f_y = 31,500$ , ελάχιστο όριο διαρροής για το υλικό του ελάσματος του εσωτερικού πυθμένα, σε  $\text{N/cm}^2$

$f_{y1} = 31,500$ , ελάχιστο όριο διαρροής για το πέλμα του πυθμένα, σε  $\text{N/cm}^2$

$$c = 0.7N^2 - 0.2 = 0.248, \text{ όχι μικρότερο από } 0.4Q^{0.5} = 0.353$$

$$N = R_b[(Q/Q_b)(y/y_n)]^{1/2} = 0.8$$

$$R_b = (SM_{RBH}/SM_B)^{1/2} = 0.9$$

$$SM_{RBH} = 0.92 SM_H = 867,102 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$SM_H = 1,047,323 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$$

$Q, Q_b =$  συντελεστές μετατροπής υλικού,  
= 0.78, για χρήση χάλυβα H32

$y = 10.18 \text{ m}$ , κατακόρυφη απόσταση μετρούμενη από τον εσωτερικό πυθμένα ως τον ουδέτερο άξονα

$y_n = 13.18 \text{ m}$ , κατακόρυφη απόσταση, σε  $\text{m}$ , μετρούμενη από τον πυθμένα ως τον ουδέτερο άξονα

Τελικά, προκύπτει

$$t_{1,net} = 20.33 \text{ mm}$$

$$t_{2,net} = 19.44 \text{ mm}$$

$$t_{3,net} = 12.79 \text{ mm}$$

Στις τιμές αυτές προστίθεται και το περιθώριο διάβρωσης όπως ορίζεται από τους κανονισμούς [5A-3-1/1.7] και για το έλασμα του εσωτερικού πυθμένα η συνολική προσαύξηση είναι ίση με 1.875 mm.

$$t_1 = t_{1,net} + t_{cor} = 22.20 \text{ mm}$$

Με βάση την ίδια διαδικασία προκύπτουν τα αποτελέσματα για τη Νιγηρία.

<b>INNER BOTTOM SHELL PLATING</b>		
	<b>N. SEA</b>	<b>NIGERIA</b>
$p [N/cm^2]$	40.0	36.7
$f_1 [N/cm^2]$	15,921	17,057
$t_{req, gross} [mm]$	<b>22.50</b>	<b>21.00</b>

### **Σταθμίδες πυθμένα (Bottom girders)**

#### **1. Κεντρική σταθμίδα (Bottom Centerline Girder)**

Σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-3-3/7.7.1], το ελάχιστο καθαρό πάχος της κεντρικής σταθμίδας του πυθμένα δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τα ακόλουθα:

$$t_1 = (0.045L + 4.5)R \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 10F_1 / (d_b f_s) \quad \text{mm}$$

$$t_3 = cs(S_m f_y / E)^{1/2} \quad \text{mm}$$

όπου,

$F_1$  είναι η μέγιστη διατμητική δύναμη στη σταθμίδα, όπως λαμβάνεται από την παρακάτω σχέση:

$$F_1 = 414k\gamma n_1 n_2 p b_s s_1 = 9,957 \quad , \text{ σε kN και για } \lambda > 1.5$$

$$k = 1$$

$$\lambda = \frac{l_s}{b_s} = 2.24$$

$$\gamma = \frac{2x}{(l_s - s_3)} = 0.825 \leq 1.0$$

$$n_1 = 0.0374(s_1/s_3)^2 - 0.326(s_1/s_3) + 1.289 = 1.00$$

$$n_2 = 1.3 - (s_3/12) = 0.83$$

$l_s = 51.12$  m, ανυποστήρικτο μήκος των υπό θεώρηση κατασκευών του εσωτερικού πυθμένα

$b_s = 22.80$  m, ανυποστήρικτο πλάτος των υπό θεώρηση κατασκευών του εσωτερικού πυθμένα

$s_1 = 5.70$  m, το ήμισυ του αθροίσματος της απόστασης των σταθμίδων σε κάθε πλευρά της κεντρικής σταθμίδας

$s_3 = 5.68$  m, απόσταση εγκάρσιων εδρών

$x = 18.74 \text{ m}$  , διαμήκης απόσταση από το μέσο του ανοίγματος  $l_s$  ως το υπό θεώρηση τμήμα της σταθμίδας

$p = 271.5 \text{ kN/m}^2$  , ονομαστική πίεση για την κεντρική σταθμίδα, όπως δίνεται στο Παράρτημα ..

$d_b = 300 \text{ cm}$ , το βάθος του διπλού πυθμένα

$f_s =$  επιτρεπόμενη διατμητική τάση, σε  $\text{N/cm}^2$

$$= 0.45 S_m f_y = 13,466$$

$c = 0.7N^2 - 0.2 = 0.38$  , όχι μικρότερο από  $0.4Q^2$

$$N = R_b(Q/Q_b)^{1/2} = 0.9$$

$$R_b = (SM_{RBH}/SM_B)^{1/2} = 0.9$$

$$SM_{RBH} = 0.92 SM_H = 867,102 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$SM_H = 942,502 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$SM_B = 1,047,323 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$$

$Q, Q_b =$  συντελεστές μετατροπής υλικού,

$$= 0.78 , \quad \text{για χρήση χάλυβα H32}$$

$s = 1000 \text{ mm}$  , απόσταση διαμήκων ενισχυτικών στη σταθμίδα

$S_m = 0.95$ , συντελεστής μείωσης αντοχής για το έλασμα της σταθμίδας για χρήση χάλυβα H32

$S_{m1} = 0.95$ , συντελεστής μείωσης αντοχής για το πέλμα του πυθμένα για χρήση χάλυβα H32

$f_y = 31,500$  , ελάχιστο όριο διαρροής για το υλικό του ελάσματος της σταθμίδας, σε  $\text{N/cm}^2$

$$R = f_{ym}/S_m f_{yh} = 0.785$$

$f_{ym} = 23,500$  , ελάχιστο όριο διαρροής για κοινό χάλυβα, σε  $\text{N/cm}^2$

$f_{yh} = 31,500$ , ελάχιστο όριο διαρροής για χάλυβα υψηλής αντοχής, σε  $\text{N/cm}^2$

Τελικά, προκύπτει

$$t_{1,net} = 14.84 \quad \text{mm}$$

$$t_{2,net} = 24.65 \quad \text{mm}$$

$$t_{3,net} = 14.47 \quad \text{mm}$$

Στις τιμές αυτές προστίθεται και το περιθώριο διάβρωσης όπως ορίζεται από τους κανονισμούς [5A-3-1/1.7] και για το έλασμα της σταθμίδας η συνολική προσαύξηση είναι ίση με 1.25 mm.

$$t_1 = t_{1,net} + t_{cor} = 25.90 \quad \text{mm}$$

Με βάση την ίδια διαδικασία προκύπτουν τα αποτελέσματα για τη Νιγηρία.

<b>CENTER GIRDER PLATING</b>		
	<b>N. SEA</b>	<b>NIGERIA</b>
$p [N/cm^2]$	27.2	24.3
$F [kN]$	9,957	8,904
$t_{req,gross} [mm]$	<b>26.00</b>	<b>23.50</b>

## 2. Πλευρική σταθμίδα (Bottom Side Girder)

Σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-3-3/7.7.2], το ελάχιστο καθαρό πάχος της κεντρικής σταθμίδας του πυθμένα δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τα ακόλουθα:

$$t_1 = (0.026L + 4.5)R \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 10F_2 / (d_b f_s) \quad \text{mm}$$

$$t_3 = cs(S_m f_y / E)^{1/2} \quad \text{mm}$$

όπου,

$F_2$  είναι η μέγιστη διατμητική δύναμη στη σταθμίδα, όπως λαμβάνεται από την παρακάτω σχέση:

$$F_2 = 285k\gamma\beta_1 n_3 n_4 p b_s s_2 = 7,054 \quad , \text{ σε kN και για } \lambda > 1.5$$

$$k = 1$$

$$\lambda = \frac{l_s}{b_s} = 2.24$$

$$\gamma = \frac{2x}{(l_s - s_3)} = 0.825 \leq 1.0$$

$$n_3 = 1.072 - 0.0715(s_2/s_3) = 0.97$$

$$n_4 = 1.2 - (s_3/18) = 0.88$$

$$l_s = 51.12 \text{ m}$$

$$b_s = 22.80 \text{ m}$$

$s_2 = 5.46 \text{ m}$ , το ήμισυ του αθροίσματος των αποστάσεων των σταθμίδων και στις δύο πλευρές των σταθμίδων.

$s_3 = 5.68 \text{ m}$ , απόσταση εγκάρσιων εδρών

$p = 271.5 \text{ kN/m}^2$ , ονομαστική πίεση

$d_b = 300 \text{ cm}$ , το βάθος του διπλού πυθμένα

$$f_s = \text{επιτρεπόμενη διατμητική τάση, σε N/cm}^2 \\ = 0.45 S_m f_y = 13,466$$

$c = 0.7N^2 - 0.2$ , όχι μικρότερο από  $0.4Q^2$

$$N = R_b(Q/Q_b)^{1/2} = 1.00$$

$$R_b = (SM_{RBH}/SM_B)^{1/2} = 1.05$$

$$SM_{RBH} = 0.92 SM_H = 0.92 \cdot 1,391,620 = 1,280,290 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$SM_H = 1,391,620 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$SM_B = 1,167,300 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$$

$S_m = 0.95$ , συντελεστής μείωσης αντοχής για το έλασμα της σταθμίδας για χρήση χάλυβα H32

$S_{m1} = 0.95$ , συντελεστής μείωσης αντοχής για το πέλμα του πυθμένα για χρήση χάλυβα H32

$f_y = 31,500$ , ελάχιστο όριο διαρροής για το υλικό του ελάσματος της σταθμίδας, σε  $\text{N/cm}^2$

$$R = f_{ym}/S_m f_{yh} = 0.785$$

$f_{ym} = 23,500$ , ελάχιστο όριο διαρροής για κοινό χάλυβα, σε  $\text{N/cm}^2$

$f_{yh} = 31,500$ , ελάχιστο όριο διαρροής για χάλυβα υψηλής αντοχής, σε  $\text{N/cm}^2$

Τελικά, προκύπτει

$$t_{1,net} = 10.07 \text{ mm}$$

$$t_{2,net} = 17.46 \text{ mm}$$

$$t_{3,net} = 14.47 \text{ mm}$$

Στις τιμές αυτές προστίθεται και το περιθώριο διάβρωσης όπως ορίζεται από τους κανονισμούς [5A-3-1/1.7] και για το έλασμα της σταθμίδας η συνολική προσαύξηση είναι ίση με 1.25 mm.

$$t_1 = t_{1,net} + t_{cor} = 18.71 \quad \text{mm}$$

Με βάση την ίδια διαδικασία προκύπτουν τα αποτελέσματα για τη Νιγηρία.

<b>SIDE GIRDERS PLATING</b>		
	<b>N. SEA</b>	<b>NIGERIA</b>
$p [N/cm^2]$	27.2	24.3
$F [kN]$	7,054	6,308
$t_{req,gross} [mm]$	<b>19.00</b>	<b>17.00</b>

### **Έλασμα καταστρώματος (Deck plating)**

Σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-3-3/9.3], το ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος του καταστρώματος δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τα ακόλουθα:

$$t_1 = 0.73s(k_1p/f_1)^{1/2} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 0.73s(k_2p/f_2)^{1/2} \quad \text{mm}$$

$$t_3 = cs(S_m f_y/E)^{1/2} \quad \text{mm}$$

όπου,

$s = 950$  mm, ισαπόσταση ενισχυτικών καταστρώματος στον χώρο του cargo tank

$= 850$  mm, ισαπόσταση ενισχυτικών καταστρώματος στον χώρο του ballast tank

$$k_1 = 0.342$$

$$k_2 = 0.500$$

$$p = p_n = 9.1 \text{ N/cm}^2 \quad , \text{ στο cargo tank}$$

$$= p_n - p_{uh} = 8.8 \text{ N/cm}^2 \quad , \text{ στο ballast tank}$$

$$p_{uh} = 0.26 \text{ N/cm}^2$$

$$f_1 = 4,489 \text{ N/cm}^2, \text{ επιτρεπόμενη καμπτική τάση στην διαμήκη κατεύθυνση}$$

$$= 0.15 S_m f_y$$

$f_2 = 23,940 \text{ N/cm}^2$ , επιτρεπόμενη καμπτική τάση στην εγκάρσια κατεύθυνση.

$$= 0.80 S_m f_y$$

$$c = 0.5 (0.6 + 0.0015L) = 0.54$$

$S_m = 0.95$ , συντελεστής μείωσης αντοχής για το έλασμα του καταστρώματος για χρήση χάλυβα H32

$S_{m1} = 0.95$ , συντελεστής μείωσης αντοχής για το πέλημα του καταστρώματος για χρήση χάλυβα H32

$f_y = 31,500$ , ελάχιστο όριο διαρροής για το υλικό του ελάσματος του καταστρώματος, σε  $\text{N/cm}^2$

$f_{y1} = 31,500$ , ελάχιστο όριο διαρροής για το πέλημα του καταστρώματος, σε  $\text{N/cm}^2$

Τελικά, προκύπτει

$$t_{1,net} = 18.26 \text{ mm}$$

$$t_{2,net} = 9.56 \text{ mm}$$

$$t_{3,net} = 19.55 \text{ mm}$$

Η απαίτηση του  $t_3$  στην περίπτωση μετατροπής πλοίου σε FPSO τροποποιείται με βάση τον παρακάτω πίνακα:

$M_r$	Adjusted $t_3$
$M_r < 0.7$	$0.85 * t_3$
$0.7 \leq M_r \leq 1.0$	Varies linearly between $0.85 * t_3$ and $t_3$
$M_r > 1.0$	$1.0 * t_3$

Όπου  $M_r$  = συνολική μέγιστη καμπτική ροπή σε sagging σαν FPSO/συνολική μέγιστη καμπτική ροπή σε sagging σαν δεξαμενόπλοιο.

$$M_r = -16,837,529 / -17,464,142 = 0.96$$

Οπότε προκύπτει βάσει του πίνακα  $t_{3,adj} = 19.20 \text{ mm}$

Αντίστοιχα, για το deck stringer αυτό που αλλάζει είναι η ισαπόσταση των ενισχυτικών οπότε έχουμε  $t_{3,adj} = 17.18 \text{ mm}$

Το  $t_{3,adj}$  είναι και ο όρος που αλλάζει στις δύο περιοχές και προκύπτει η τελική απαίτηση (στην ουσία η διαφορά στη συνολική μέγιστη καμπτική ροπή στις δύο περιοχές).

Στις τιμές αυτές προστίθεται και το περιθώριο διάβρωσης όπως ορίζεται από τους κανονισμούς [5A-3-1/1.7] και για το έλασμα του καταστρώματος στον χώρο φορτίου η συνολική προσαύξηση είναι ίση με 1.25 mm, ενώ στον χώρο έρματος ίση με 2.5 mm.

$$t_{3,cargo} = t_{3,net} + t_{cor} = 20.45 \quad \text{mm}$$

$$t_{3,ballast} = t_{3,net} + t_{cor} = 19.68 \quad \text{mm}$$

Με βάση την ίδια διαδικασία προκύπτουν τα αποτελέσματα για τη Νιγηρία.

	<b>DECK SHELL PLATING</b>		<b>DECK STRINGER PLATING</b>	
	<b>N. SEA</b>	<b>NIGERIA</b>	<b>N. SEA</b>	<b>NIGERIA</b>
$p$ [ $N/cm^2$ ]	9.1	7.4	4.0	2.3
$t_{req,gross}$ [mm]	<b>20.50</b>	<b>20.00</b>	<b>20.00</b>	<b>19.00</b>

### **Πλευρικό Έλασμα (Side shell plating)**

Σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-3-3/7.3.2], το ελάχιστο καθαρό πάχος του κάθε πλευρικού ελάσματος δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τα ακόλουθα:

$$t_1 = 0.73s(k_1p/f_1)^{1/2} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 0.73s(k_2p/f_2)^{1/2} \quad \text{mm}$$

$$t_3 = cs(S_m f_y / E)^{1/2} \quad \text{mm}$$

όπου,

$$s = 950 \text{ mm, ισαπόσταση ενισχυτικών για τα δύο ελάσματα της κάτω πλευράς}$$

$$= 920 \text{ mm, ισαπόσταση ενισχυτικών για τα υπόλοιπα ελάσματα της πλευράς}$$

$$k_1 = 0.342$$

$$k_2 = 0.500$$

$$p = \max\{p_a - p_{uo} ; p_b\} \text{ N/cm}^2$$



$$p_{uo} = 0.24\gamma(hl_{wt}b_{wt}\tan\varphi_e\tan\theta_e)^{1/3} \quad \text{όπου } l_{wt} > 0.20L$$

$$= 0 \quad \text{όπου } l_{wt} < 0.15L$$

Με γραμμική παρεμβολή λαμβάνεται  $p_{uo} = 0.20 \text{ N/cm}^2$

$\gamma = 1.005$ , ειδικό βάρος θαλασσινού νερού, σε  $\text{N/cm}^2 \cdot \text{m}$

$h = 30.5$ , ύψος δεξαμενής έρματος στα άκρα, σε m

$l_{wt} = 51.12$ , μήκος της δεξαμενής έρματος στο πάνω μέρος, σε m

$b_{wt} = 3.4$ , πλάτος της δεξαμενής έρματος στο πάνω μέρος, σε m

$\varphi_e = 3^\circ$ , ενεργό πλάτος προνευτασμού (pitch)

$\theta_e = 15^\circ$ , ενεργό πλάτος διατοιχισμού (roll)

$f_1$  = επιτρεπόμενη καμπτική τάση στην διαμήκη κατεύθυνση, σε  $\text{N/cm}^2$

$$= [0.86 - 0.50a_1(SM_{RB}/SM_B)(y/y_b)]S_m f_y \leq 0.43S_m f_y, \text{ κάτω από τον ουδέτερο άξονα}$$

$$= 0.43S_m f_y, \text{ πάνω από τον ουδέτερο άξονα}$$

$f_2$  = επιτρεπόμενη καμπτική τάση στην εγκάρσια κατεύθυνση, σε  $\text{N/cm}^2$

$$= 0.80 S_m f_y,$$

$$a_1 = S_{m1} f_{y1} / S_m f_y$$

$S_m$  = συντελεστής μείωσης αντοχής για το κάθε πλευρικό έλασμα ανάλογα το υλικό

$S_{m1} = 0.95$ , συντελεστής μείωσης αντοχής για το πέλμα του πυθμένα για χρήση χάλυβα H32

$f_y$  = ελάχιστο όριο διαρροής για το κάθε πλευρικό έλασμα ανάλογα το υλικό, σε  $\text{N/cm}^2$

$f_{y1} = 31,500$ , ελάχιστο όριο διαρροής για το πέλμα του πυθμένα, σε  $\text{N/cm}^2$

$$c = 0.7N^2 - 0.2, \text{ όχι μικρότερο από } 0.4Q^2$$

$$N = R_b[(Q/Q_b)(y/y_n)]^{1/2}, \text{ για ελάσματα κάτω από τον ουδέτερο άξονα}$$

$$= R_d[(Q/Q_d)(y/y_n)]^{1/2}, \text{ για ελάσματα πάνω από τον ουδέτερο άξονα}$$

$$= R_d(Q/Q_d)^{1/2}, \text{ για το έλασμα του ζωστήρα}$$

$$R_b = (SM_{RBH}/SM_B)^{1/2}$$

$Q, Q_b, Q_d$  = συντελεστές μετατροπής υλικού,

= 1, για χρήση κοινού χάλυβα

= 0.78, για χρήση χάλυβα H32

$y$  = κατακόρυφη απόσταση, σε m, μετρούμενη από τον εσωτερικό πυθμένα ως τον ουδέτερο άξονα

$y_n$  = κατακόρυφη απόσταση, σε m, μετρούμενη από τον πυθμένα (κατάστρωμα) ως τον ουδέτερο άξονα, όταν το υπό θεώρηση έλασμα είναι κάτω (πάνω) από τον ουδέτερο άξονα.

$y_b$  = κατακόρυφη απόσταση, σε m, μετρούμενη από τον πυθμένα ως τον ουδέτερο άξονα

Στις τιμές αυτές προστίθεται και το περιθώριο διάβρωσης όπως ορίζεται από τους κανονισμούς [5A-3-1/1.7] και για το πλευρικό έλασμα η συνολική προσαύξηση είναι ίση με 1.875 mm.

<b>SIDE SHELL PLATING</b>				
<b>N. SEA</b>				
	$p$ [ $N/cm^2$ ]	$f_1$ [ $N/cm^2$ ]	$f_2$ [ $N/cm^2$ ]	$t_{req,gross}$ [mm]
Strake 1	33.7	12,868	23,940	23.00
Strake 2	33.0	10,105	18,800	25.00
Strake 3	32.3	10,105	18,800	24.00
Strake 4	31.6	10,105	18,800	24.00
Strake 5	29.7	10,105	18,800	23.50
Strake 6	26.5	10,105	18,800	22.00
Strake 7	23.2	10,105	18,800	21.00
Strake 8	20.0	10,105	18,800	21.00
Sheerstrake	16.1	12,868	23,940	17.50

<b>SIDE SHELL PLATING</b>				
<b>NIGERIA</b>				
	$p$ [ $N/cm^2$ ]	$f_1$ [ $N/cm^2$ ]	$f_2$ [ $N/cm^2$ ]	$t_{req,gross}$ [mm]
Strake 1	25.4	12,868	23,940	20.00
Strake 2	24.9	10,105	18,800	22.00
Strake 3	24.5	10,105	18,800	21.50
Strake 4	24.0	10,105	18,800	21.00
Strake 5	22.6	10,105	18,800	20.50
Strake 6	19.5	10,105	18,800	19.50
Strake 7	16.4	10,105	18,800	18.00
Strake 8	13.3	10,105	18,800	21.00
Sheerstrake	9.6	12,868	23,940	17.50

### Έλασμα εσωτερικής διαμήκους φρακτής (Inner Longitudinal bulkhead plating)

Σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-3-3/13.1], το ελάχιστο καθαρό πάχος των ελασμάτων της διαμήκους φρακτής δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τα ακόλουθα:

$$t_1 = 0.73s(k_1p/f_1)^{1/2} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 0.73s(k_2p/f_2)^{1/2} \quad \text{mm}$$

$$t_3 = cs(S_m f_y/E)^{1/2} \quad \text{mm}$$

όπου,

$s = 920$  mm, ισαπόσταση ενισχυτικών διαμήκους φρακτής

$$k_1 = 0.342$$

$$k_2 = 0.500$$

$p =$  η πίεση στο χαμηλότερο σημείο του κάθε ελάσματος,  $p_i$ , ή η μέγιστη πίεση λόγω sloshing,  $p_s$ , όποια είναι μεγαλύτερη, σε  $\text{N/cm}^2$

$p_i = p_n$ , στη δεξαμενή φορτίου

$p_n$  η ονομαστική πίεση, σε  $\text{N/cm}^2$ , στο χαμηλότερο σημείο του κάθε ελάσματος, όπως ορίζεται στο εδάφιο 5A-3-2/Table 3.

$p_s = k_s p_{is}$ , όχι μικρότερο από  $k_s p_{is(mid)}$

$p_{is}$  = nominal slosh pressure, όπως ορίζεται στο εδάφιο 5A-3-2/11.5.1

$p_{is(mid)}$  = nominal slosh pressure στο μέσο της δεξαμενής στο ίδιο ύψος με το υπό θεώρηση σημείο.

$$k_s = b_t/l_t, 0.9 \geq k_s \geq 0.65 \quad k_s = 0.9 \text{ για } p_{is(mid)}$$

$b_t = 22.8\text{m}$  και  $l_t = 51.12\text{m}$  το πλάτος και το μήκος, αντίστοιχα, της κεντρικής δεξαμενής

$f_1 =$  επιτρεπόμενη καμπτική τάση στην διαμήκη κατεύθυνση, σε  $\text{N/cm}^2$

$$= [1 - 0.28z/B - 0.52a_1(SM_{RB}/SM_B)(y/y_n)]S_m f_y, \text{ κάτω από τον ουδέτερο άξονα}$$

$$= [1 - 0.28z/B - 0.52a_1(SM_{RD}/SM_D)(y/y_n)]S_m f_y, \text{ πάνω από τον ουδέτερο άξονα}$$

$f_2 =$  επιτρεπόμενη καμπτική τάση στην εγκάρσια κατεύθυνση, σε  $\text{N/cm}^2$

$$= 0.80 S_m f_y,$$

$$a_1 = S_{m1}f_{y1}/S_m f_y$$

$$a_2 = S_{m2}f_{y2}/S_m f_y$$

$S_m$  = συντελεστής μείωσης αντοχής για το κάθε έλασμα της φρακτής ανάλογα το υλικό

$f_y$  = ελάχιστο όριο διαρροής για το κάθε έλασμα της φρακτής ανάλογα το υλικό, σε  $N/cm^2$

$$c = 0.7N^2 - 0.2, \text{ όχι μικρότερο από } 0.4Q^2$$

$$N = R_b[(Q/Q_b)(y/y_n)]^{1/2}, \text{ για ελάσματα κάτω από τον ουδέτερο άξονα}$$

$$= R_d[(Q/Q_d)(y/y_n)]^{1/2}, \text{ για ελάσματα πάνω από τον ουδέτερο άξονα}$$

$Q$  = συντελεστής μετατροπής υλικού για το κάθε έλασμα της διαμήκους φρακτής

$y$  = κατακόρυφη απόσταση, σε m, μετρούμενη από τον εσωτερικό πυθμένα ως τον ουδέτερο άξονα

$y_n$  = κατακόρυφη απόσταση, σε m, μετρούμενη από τον πυθμένα (κατάστρωμα) ως τον ουδέτερο άξονα, όταν το υπό θεώρηση έλασμα είναι κάτω (πάνω) από τον ουδέτερο άξονα.

$y_b$  = κατακόρυφη απόσταση, σε m, μετρούμενη από τον πυθμένα ως τον ουδέτερο άξονα

$z$  = εγκάρσια απόσταση, σε m, μετρούμενη από την centerline έως το υπό θεώρηση στοιχείο

$B$  = 60 m, το πλάτος της μονάδας

Τα  $S_{m1}, f_{y1}$  και  $S_{m2}, f_{y2}$  όπως έχουν οριστεί.

Στις τιμές αυτές προστίθεται και το περιθώριο διάβρωσης όπως ορίζεται από τους κανονισμούς [5A-3-1/1.7] και για το έλασμα της διαμήκους φρακτής η συνολική προσαύξηση είναι ίση με 1.25 mm.

<b>LONGITUDINAL BHD PLATING</b>				
<b>N. SEA</b>				
	$p$ [ $N/cm^2$ ]	$f_1$ [ $N/cm^2$ ]	$f_2$ [ $N/cm^2$ ]	$t_{req,gross}$ [mm]
Strake 1	45.0	18,381	29,925	22.50
Strake 2	42.0	21,127	29,925	20.00
Strake 3	38.9	23,849	29,925	18.50
Strake 4	35.4	26,922	29,925	18.00
Strake 5	31.7	21,259	23,500	19.00
Strake 6	28.8	18,943	23,500	18.00
Strake 7	25.8	16,628	23,500	17.50
Strake 8	22.8	14,312	23,500	18.00
Strake 9	19.4	18,080	29,925	19.50
Top strake	15.9	15,764	29,925	22.50

<b>LONGITUDINAL BHD PLATING</b>				
<b>NIGERIA</b>				
	$p$ [ $N/cm^2$ ]	$f_1$ [ $N/cm^2$ ]	$f_2$ [ $N/cm^2$ ]	$t_{req,gross}$ [ $mm$ ]
Strake 1	39.1	19,747	29,925	19.00
Strake 2	36.1	22,116	29,925	18.00
Strake 3	33.1	24,605	29,925	17.50
Strake 4	29.7	27,160	29,925	16.50
Strake 5	26.2	21,259	23,500	17.50
Strake 6	23.4	18,943	23,500	16.50
Strake 7	20.6	16,628	23,500	15.50
Strake 8	17.7	14,312	23,500	15.50
Strake 9	14.5	18,080	29,925	14.50
Top strake	11.2	15,764	29,925	17.50

### **Έλασμα εξωτερικής διαμήκουσ φρακτής (Outer Longitudinal bulkhead plating-Inner skin)**

Σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-3-3/13.1], το ελάχιστο καθαρό πάχος των ελασμάτων της διαμήκουσ φρακτής δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τα ακόλουθα:

$$t_1 = 0.73s(k_1p/f_1)^{1/2} \quad \text{mm}$$

$$t_2 = 0.73s(k_2p/f_2)^{1/2} \quad \text{mm}$$

$$t_3 = cs(S_m f_y / E)^{1/2} \quad \text{mm}$$

όπου,

$s = 920$  mm, ισαπόσταση ενισχυτικών διαμήκουσ φρακτής

$$k_1 = 0.342$$

$$k_2 = 0.500$$

$p$  = η πίεση στο χαμηλότερο σημείο του κάθε ελάσματος,  $p_i$ , ή η μέγιστη πίεση λόγω sloshing,  $p_s$ , όποια είναι μεγαλύτερη, σε  $N/cm^2$

$p_i = p_n$ , στη δεξαμενή φορτίου

$p_n$  η ονομαστική πίεση, σε  $N/cm^2$ , στο χαμηλότερο σημείο του κάθε ελάσματος, όπως ορίζεται στο εδάφιο 5A-3-2/Table 3.

$p_s = k_s p_{is}$ , όχι μικρότερο από  $k_s p_{is(mid)}$

$p_{is}$  = nominal slosh pressure, όπως ορίζεται στο εδάφιο 5A-3-2/11.5.1

$p_{is(mid)}$  = nominal slosh pressure στο μέσο της δεξαμενής στο ίδιο ύψος με το υπό θεώρηση σημείο.

$$k_s = b_t/l_t, 0.9 \geq k_s \geq 0.65 \quad k_s = 0.9 \text{ για } p_{is(mid)}$$

$b_t = 22.8\text{m}$  και  $l_t = 51.12\text{m}$  το πλάτος και το μήκος, αντίστοιχα, της κεντρικής δεξαμενής

$f_1$  = επιτρεπόμενη καμπτική τάση στην διαμήκη κατεύθυνση, σε  $\text{N/cm}^2$

$$= [1 - 0.28z/B - 0.52a_1(SM_{RB}/SM_B)(y/y_n)]S_m f_y, \text{ κάτω από τον ουδέτερο άξονα}$$

$$= [1 - 0.28z/B - 0.52a_1(SM_{RD}/SM_D)(y/y_n)]S_m f_y, \text{ πάνω από τον ουδέτερο άξονα}$$

$f_2$  = επιτρεπόμενη καμπτική τάση στην εγκάρσια κατεύθυνση, σε  $\text{N/cm}^2$

$$= S_m f_y,$$

$$a_1 = S_{m1} f_{y1} / S_m f_y$$

$$a_2 = S_{m2} f_{y2} / S_m f_y$$

$S_m$  = συντελεστής μείωσης αντοχής για το κάθε έλασμα της φρακτής ανάλογα το υλικό

$f_y$  = ελάχιστο όριο διαρροής για το κάθε έλασμα της φρακτής ανάλογα το υλικό, σε  $\text{N/cm}^2$

$$c = 0.7N^2 - 0.2, \text{ όχι μικρότερο από } 0.4Q^2$$

$$N = R_b[(Q/Q_b)(y/y_n)]^{1/2}, \text{ για ελάσματα κάτω από τον ουδέτερο άξονα}$$

$$= R_d[(Q/Q_d)(y/y_n)]^{1/2}, \text{ για ελάσματα πάνω από τον ουδέτερο άξονα}$$

$Q$  = συντελεστής μετατροπής υλικού για το κάθε έλασμα της διαμήκου φρακτής

$y$  = κατακόρυφη απόσταση, σε  $\text{m}$ , μετρούμενη από τον εσωτερικό πυθμένα ως τον ουδέτερο άξονα

$y_n$  = κατακόρυφη απόσταση, σε  $\text{m}$ , μετρούμενη από τον πυθμένα (κατάστρωμα) ως τον ουδέτερο άξονα, όταν το υπό θεώρηση έλασμα είναι κάτω (πάνω) από τον ουδέτερο άξονα.

$y_b$  = κατακόρυφη απόσταση, σε  $\text{m}$ , μετρούμενη από τον πυθμένα ως τον ουδέτερο άξονα

Τα  $S_{m1}, f_{y1}$  και  $S_{m2}, f_{y2}$  όπως έχουν οριστεί.

<b>INNER SKIN BHD SHELL PLATING</b>				
<b>N. SEA</b>				
	$p$ [ $N/cm^2$ ]	$f_1$ [ $N/cm^2$ ]	$f_2$ [ $N/cm^2$ ]	$t_{req,gross}$ [mm]
Strake 1	42.5	11,152	23,500	30.50
Strake 2	39.5	13,870	23,500	25.00
Strake 3	36.9	16,197	23,500	22.00
Strake 4	34.0	19,270	23,500	20.50
Strake 5	31.1	19,980	23,500	19.50
Strake 6	28.2	17,537	23,500	19.00
Strake 7	25.2	15,094	23,500	18.50
Strake 8	22.5	12,651	23,500	19.00
Strake 9	19.7	10,403	23,500	20.00
Top strake	17.0	13,783	29,925	17.50

<b>INNER SKIN BHD SHELL PLATING</b>				
<b>NIGERIA</b>				
	$p$ [ $N/cm^2$ ]	$f_1$ [ $N/cm^2$ ]	$f_2$ [ $N/cm^2$ ]	$t_{req,gross}$ [mm]
Strake 1	37.9	12,518	23,500	23.00
Strake 2	34.7	14,845	23,500	20.50
Strake 3	31.9	16,799	23,500	19.00
Strake 4	29.2	19,450	23,500	18.00
Strake 5	26.4	20,082	23,500	17.50
Strake 6	23.6	18,051	23,500	16.50
Strake 7	20.9	16,020	23,500	15.50
Strake 8	18.3	13,989	23,500	15.50
Strake 9	15.7	12,120	23,500	15.50
Strake 10	13.2	15,879	29,925	13.50
Top strake	10.6	14,010	29,925	16.50

### **Έλασμα οριζόντιας σταθμίδας πλευρικής δεξαμενής έρματος (side stringer plating)**

Σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-3-3/11.9], το ελάχιστο καθαρό πάχος των ελασμάτων της οριζόντιων σταθμίδων δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τα ακόλουθα:

$$t_1 = 0.012L + 6.7 \quad \text{mm} \quad , \text{ αλλά όχι μεγαλύτερο από } 10 \text{ mm}$$

$$t_2 = cs(S_m f_y / E)^{1/2} \quad \text{mm}$$

όπου,

$$s = 850 \text{ mm}, \text{ ισαπόσταση ενισχυτικών οριζόντιας σταθμίδας}$$

$$c = 0.7N^2 - 0.2, \text{ \acute{o}\chi\iota \mu\iota\kappa\rho\acute{o}\tau\epsilon\rho\omicron \alpha\pi\acute{o} 0.33}$$

$S_m$  = συντελεστής μείωσης αντοχής για το \acute{\epsilon}\lambda\alpha\sigma\mu\alpha \tau\eta\varsigma \omicron\rho\iota\zeta\acute{o}\nu\tau\iota\alpha\varsigma \sigma\tau\alpha\theta\mu\acute{\iota}\delta\alpha\varsigma

$f_y$  = \acute{\epsilon}\lambda\acute{\alpha}\chi\iota\sigma\tau\omicron \acute{o}\rho\iota\omicron \delta\iota\alpha\rho\rho\acute{\eta}\varsigma \gamma\iota\alpha \tau\omicron \acute{\epsilon}\lambda\alpha\sigma\mu\alpha \tau\eta\varsigma \omicron\rho\iota\zeta\acute{o}\nu\tau\iota\alpha\varsigma \sigma\tau\alpha\theta\mu\acute{\iota}\delta\alpha\varsigma, \sigma\epsilon \text{ N/cm}^2

$$N = R_b[(Q/Q_b)(y/y_n)]^{1/2}, \text{ \gamma\iota\alpha \acute{\epsilon}\lambda\alpha\sigma\mu\alpha\tau\alpha \k\alpha\tau\omega \alpha\pi\acute{o} \tau\omicron\nu \omicron\upsilon\delta\acute{\epsilon}\tau\epsilon\rho\omicron \acute{\alpha}\xi\omicron\nu\alpha}$$

$$= R_d[(Q/Q_d)(y/y_n)]^{1/2}, \text{ \gamma\iota\alpha \acute{\epsilon}\lambda\alpha\sigma\mu\alpha\tau\alpha \pi\acute{\alpha}\nu\omega \alpha\pi\acute{o} \tau\omicron\nu \omicron\upsilon\delta\acute{\epsilon}\tau\epsilon\rho\omicron \acute{\alpha}\xi\omicron\nu\alpha}$$

$Q$  = συντελεστής μετατροπής υλικού για το \acute{\kappa}\acute{\alpha}\theta\epsilon \acute{\epsilon}\lambda\alpha\sigma\mu\alpha \tau\eta\varsigma \omicron\rho\iota\zeta\acute{o}\nu\tau\iota\alpha\varsigma \sigma\tau\alpha\theta\mu\acute{\iota}\delta\alpha\varsigma

$y$  = \k\alpha\tau\alpha\kappa\acute{o}\rho\upsilon\phi\eta \acute{\alpha}\pi\acute{o}\sigma\tau\alpha\sigma\eta, \sigma\epsilon \text{ m}, \mu\epsilon\tau\rho\acute{o}\upsilon\mu\epsilon\eta \alpha\pi\acute{o} \tau\omicron\nu \omicron\upsilon\delta\acute{\epsilon}\tau\epsilon\rho\omicron \acute{\alpha}\xi\omicron\nu\alpha \tau\eta\varsigma \acute{o}\lambda\eta\varsigma \delta\iota\alpha\tau\omicron\mu\acute{\eta}\varsigma \acute{\epsilon}\omega\varsigma \tau\omicron \text{ \u03c5}\acute{o} \theta\epsilon\acute{\omega}\rho\eta\sigma\eta \acute{\epsilon}\lambda\alpha\sigma\mu\alpha \tau\eta\varsigma \omicron\rho\iota\zeta\acute{o}\nu\tau\iota\alpha\varsigma \sigma\tau\alpha\theta\mu\acute{\iota}\delta\alpha\varsigma

Τελικά, προκύπτει για τις σταθμίδες no.1, no.2, no.3

$$t_{1,net} = 10.00 \text{ mm}$$

$$t_{2,net} = 9.47 \text{ mm}$$

Και για την σταθμίδα add.

$$t_{1,net} = 10.00 \text{ mm}$$

$$t_{2,net} = 10.87 \text{ mm}$$

Στις τιμές αυτές προστίθεται και το περιθώριο διάβρωσης \acute{o}\pi\omega\varsigma \omicron\rho\iota\zeta\acute{\epsilon}\tau\alpha\iota \alpha\pi\acute{o} \tau\omicron\upsilon\varsigma \k\alpha\nu\omicron\nu\iota\sigma\mu\acute{o}\upsilon\varsigma [5A-3-1/1.7] και για το \acute{\epsilon}\lambda\alpha\sigma\mu\alpha \tau\eta\varsigma \omicron\rho\iota\zeta\acute{o}\nu\tau\iota\alpha\varsigma \sigma\tau\alpha\theta\mu\acute{\iota}\delta\alpha\varsigma \eta \sigma\upsilon\nu\omicron\nu\omicron\lambda\iota\kappa\acute{\eta} \pi\rho\omicron\sigma\alpha\acute{\upsilon}\xi\eta\sigma\eta \acute{\epsilon}\acute{\iota}\nu\alpha\iota \acute{\iota}\sigma\eta \mu\epsilon 2.50 mm.

$$t_1 = t_{1,net} + t_{cor} = 12.50 \text{ mm}$$

$$t_1 = t_{1,net} + t_{cor} = 13.37 \text{ mm}$$

Με βάση την ίδια διαδικασία προκύπτουν τα αποτελέσματα για τη Νιγηρία.

<b>SIDE STRINGERS PLATING</b>		
$t_{req,gross}$ [mm]	<b>N. SEA</b>	<b>NIGERIA</b>
<b>Add. Stringer</b>	13.50	13.50
<b>No.1 stringer</b>	12.50	12.50
<b>No.2 stringer</b>	12.50	12.50
<b>No.2 stringer</b>	12.50	12.50



## Συνοπτική παρουσίαση αποτελεσμάτων

Πίνακας 4-9: Συγκριτικός πίνακας με τα πάχη των ελασμάτων στην κάθε περιοχή, όπως διαμορφώθηκαν από την διαδικασία του reassessment και των as-built παχών του δεξαμενοπλοίου.

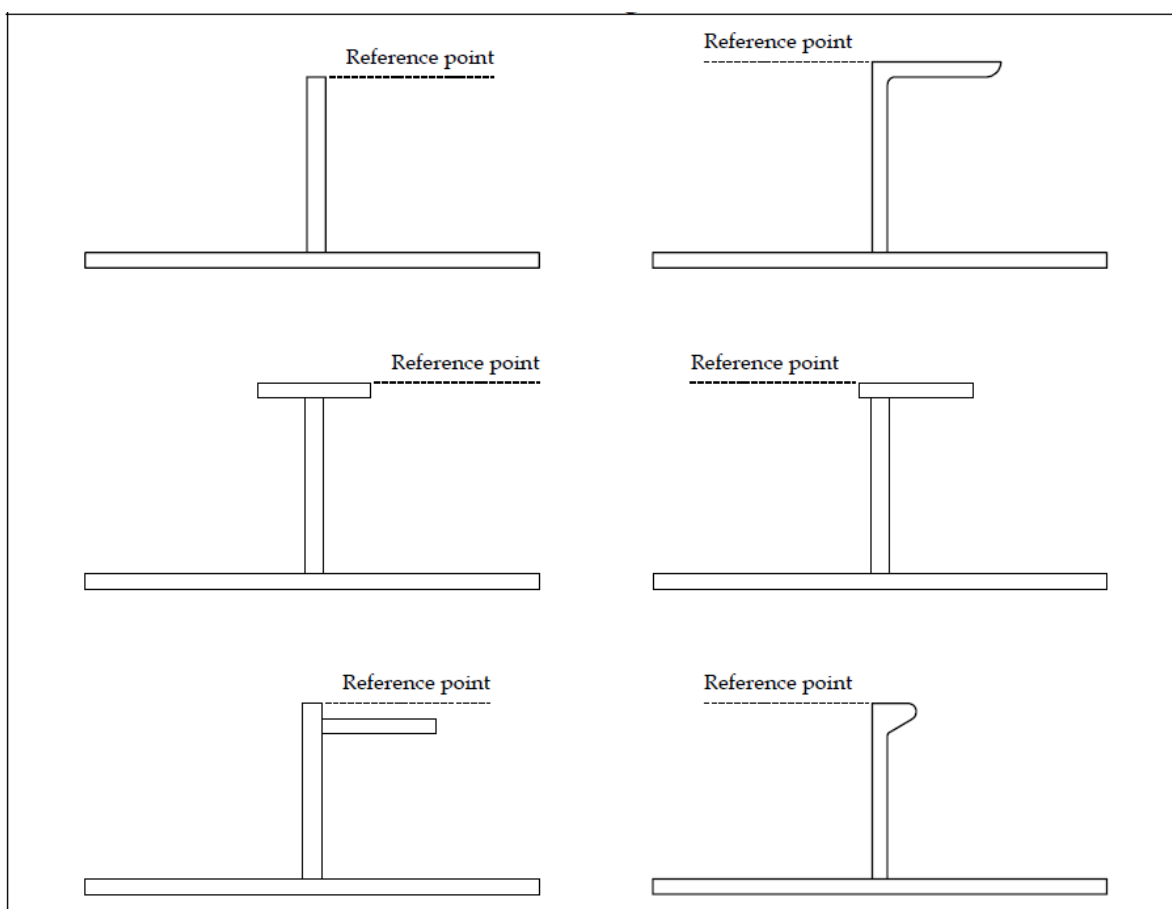
ΕΛΑΣΜΑ	AS-BUILT	N. SEA		NIGERIA	
	t (mm)	t (mm)	Διαφορά (mm)	t (mm)	Διαφορά (mm)
<b>KEEL</b>					
Strake 1	22.00	22.50	-0.50	21.50	-0.50
<b>BOTTOM</b>					
Strake 1	22.00	21.00	1.00	20.00	-2.00
Strake 2	20.50	21.00	-0.50	20.00	-0.50
Strake 3	20.50	21.00	-0.50	20.00	-0.50
Strake 4	20.50	21.00	-0.50	20.00	-0.50
Strake 5	20.50	21.00	-0.50	20.00	-0.50
Strake 6	21.00	21.00	0.00	20.00	-1.00
Strake 7	20.50	21.00	-0.50	20.00	-0.50
Strake 8	19.50	20.00	-0.50	19.00	-0.50
Strake 9	19.50	20.00	-0.50	19.00	-0.50
<b>INNER BOTTOM</b>					
Strake 1	22.00	22.50	-0.50	21.00	-1.00
Strake 2	22.00	22.50	-0.50	21.00	-1.00
Strake 3	22.00	22.50	-0.50	21.00	-1.00
Strake 4	21.50	22.50	-1.00	21.00	-0.50
Strake 5	21.50	22.50	-1.00	21.00	-0.50
Strake 6	21.50	22.50	-1.00	21.00	-0.50
Strake 7	21.50	22.50	-1.00	21.00	-0.50
<b>BILGE</b>					
Strake 1	23.50	23.50	0.00	22.50	-1.00
<b>SIDE SHELL</b>					
Strake 1	19.50	23.00	-3.50	20.00	0.50
Strake 2	22.00	25.00	-3.00	22.00	0.00
Strake 3	20.00	24.00	-4.00	21.50	1.50
Strake 4	20.00	24.00	-4.00	21.00	1.00
Strake 5	20.00	23.50	-3.50	20.50	0.50
Strake 6	20.00	22.00	-2.00	19.50	-0.50
Strake 7	20.00	21.00	-1.00	18.00	-2.00
Strake 8	20.00	21.00	-1.00	21.00	1.00
<b>SHEERSTRAKE</b>					
Strake 1	18.50	17.50	1.00	17.50	-1.00
<b>MAIN DECK STRINGER</b>					
Strake 1	19.00	20.00	-1.00	19.00	0.00

<b>MAIN DECK</b>					
Strake 1	20.00	20.50	-0.50	20.00	0.00
Strake 2	20.00	20.50	-0.50	20.00	0.00
Strake 3	20.00	20.50	-0.50	20.00	0.00
Strake 4	20.00	20.50	-0.50	20.00	0.00
Strake 5	20.00	20.50	-0.50	20.00	0.00
Strake 6	20.00	20.50	-0.50	20.00	0.00
Strake 7	20.00	20.50	-0.50	20.00	0.00
Strake 8	20.00	20.50	-0.50	20.00	0.00
<b>BOTTOM CENTER</b>					
Strake 1	22.50	26.00	-3.50	23.50	1.00
<b>BOTTOM SIDE GIRDERS</b>					
Strake 1	16.00	19.00	-3.00	17.00	1.00
Strake 2	16.00	19.00	-3.00	17.00	1.00
<b>LONG. BULKHEAD</b>					
Strake 1	19.00	21.00	-2.00	19.00	0.00
Strake 2	18.50	19.50	-1.00	18.00	-0.50
Strake 3	17.50	18.50	-1.00	17.50	0.00
Strake 4	17.00	18.00	-1.00	16.50	-0.50
Strake 5	17.50	19.00	-1.50	17.50	0.00
Strake 6	17.50	18.00	-0.50	16.50	-1.00
Strake 7	17.50	17.00	0.50	15.50	-2.00
Strake 8	16.00	17.00	-1.00	15.50	-0.50
Strake 9	16.00	14.50	1.50	14.50	-1.50
Strake 10	18.00	17.50	0.50	17.50	-0.50
<b>INNER SKIN BULKHEAD</b>					
Strake 1	23.00	25.50	-2.50	23.00	0.00
Strake 2	21.00	22.00	-1.00	20.50	-0.50
Strake 3	20.50	20.50	0.00	19.00	-1.50
Strake 4	19.50	19.50	0.00	18.00	-1.50
Strake 5	19.00	19.00	0.00	17.50	-1.50
Strake 6	17.50	18.00	-0.50	16.50	-1.00
Strake 7	17.00	17.50	-0.50	15.50	-1.50
Strake 8	16.00	18.00	-2.00	15.50	-0.50
Strake 9	16.00	18.50	-2.50	15.50	-0.50
Strake 10	15.50	17.50	-2.00	13.50	-2.00
Strake 11	18.00	17.50	0.50	16.50	-1.50
<b>SIDE STRINGERS</b>					
Strake Add.	17.50	13.50	4.00	13.50	-4.00
Strake 1	13.00	12.50	0.50	12.50	-0.50
Strake 2	13.00	12.50	0.50	12.50	-0.50
Strake 3	15.50	12.50	3.00	12.50	-3.00

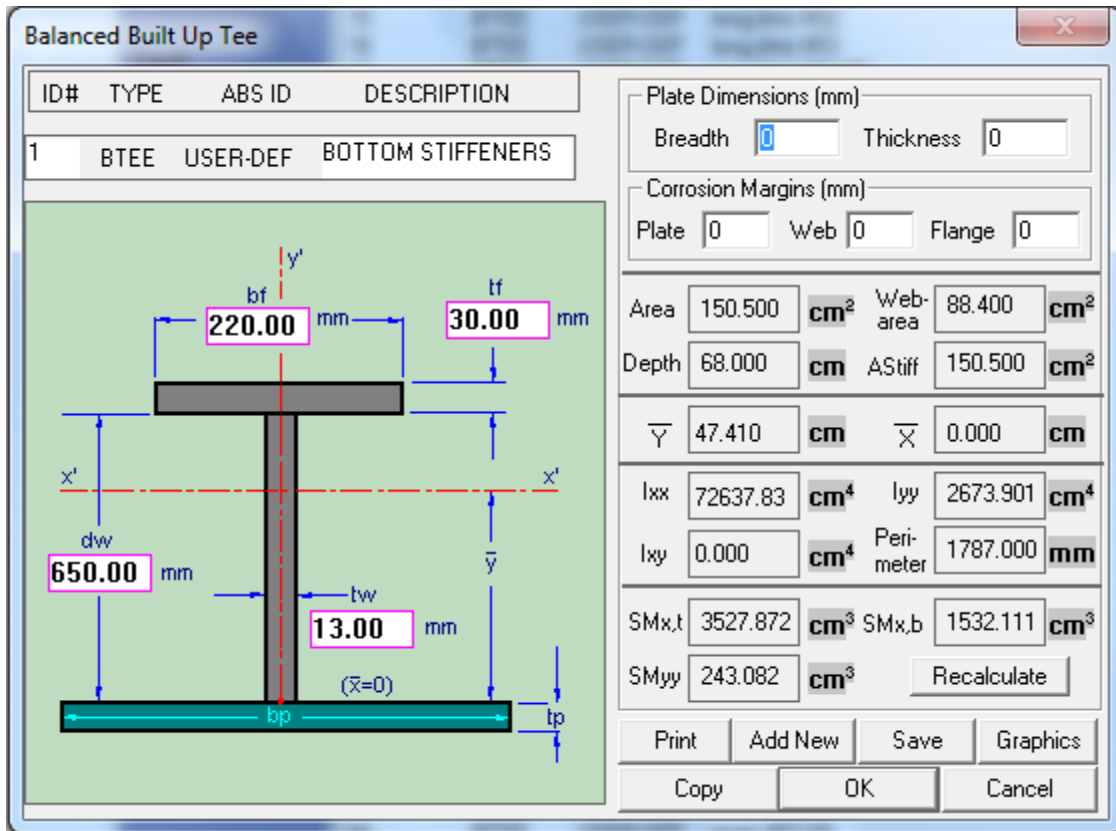
#### 4.5.3.2 Υπολογισμός απαιτούμενης ροπής αντίστασης και πάχους ενισχυτικών

Το επόμενο βήμα για τον έλεγχο της τοπικής αντοχής είναι ο προσδιορισμός της απαιτούμενης ροπής αντίστασης του κάθε ενισχυτικού και ο έλεγχος με τη πραγματική ροπή αντίστασης, όπως και ο προσδιορισμός του απαιτούμενου πάχους του κορμού και του πέλματος των ενισχυτικών. Ο υπολογισμός της απαιτούμενης ροπής αντίστασης θα γίνει με βάση τους κανονισμούς του ABS για *Floating Production Installations*, ενώ ο υπολογισμός της πραγματικής ροπής αντίστασης γίνεται βάσει υπολογιστικού φύλλου excel (βλ. [Παράρτημα A.5.](#)) και επαληθεύεται μέσω της βιβλιοθήκης ενισχυτικών (stiffener library) του ABS.

Οι απαιτήσεις για προσδιορισμό της ροπής αντίστασης των ενισχυτικών σχετίζονται με ένα σημείο αναφοράς (reference point) που δίνει την ελάχιστη ροπή αντίστασης. Το σημείο αναφοράς βρίσκεται στα σημεία που δίνονται στην Εικόνα 4-5 ανάλογα με τον τύπο του ενισχυτικού.



**Εικόνα 4-5: Reference point for calculation of section modulus and hull girder stress for local scantling assessment (CSR Double Hull Oil Tanker, July 2012)**



Εικόνα 4-6: Παράδειγμα υπολογισμού της πραγματικής ροπής αντίστασης για ένα ενισχυτικό τύπου ταυ από τη βιβλιοθήκη ενισχυτικών του ABS.

Γενικά, η τιμή της απαιτούμενης ροπής αντίστασης σε κάθε θέση του ενισχυτικού καθορίζεται από τη επιτρεπόμενη τάση  $f_b$  στη θέση αυτή (έμμεσα δηλαδή από την απαιτούμενη ροπή αντίστασης της διατομής) και την εφαρμοζόμενη ροπή  $M$  λόγω της μέγιστης ονομαστικής πίεσης στο μέσο του ανοίγματος μεταξύ των στηρίξεων. Εξού και ότι για τον προσδιορισμό της χρησιμοποιείται, όπως παρουσιάζεται ακολούθως, η σχέση:

$$SM = M/f_b$$

Τα ενισχυτικά που θα εξεταστούν είναι τα παρακάτω:

- Ενισχυτικά πυθμένα
- Ενισχυτικά εσωτερικού πυθμένα
- Ενισχυτικά πλευράς περιβλήματος
- Ενισχυτικά εσωτερικής διαμήκους φρακτής
- Ενισχυτικά εξωτερικής διαμήκους φρακτής
- Ενισχυτικά καταστρώματος

### Ενισχυτικά πυθμένα και εσωτερικού πυθμένα

Σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-3-3/7.5], η καθαρή ροπή αντίστασης (net section modulus) του κάθε ενισχυτικού του πυθμένα ή του εσωτερικού πυθμένα, σε συνεργασία με το ενεργό πλάτος του ελάσματος  $b_e$ , στο οποίο είναι συνδεδεμένο, δεν πρέπει να είναι μικρότερο από αυτό που δίνει η παρακάτω σχέση:

$$SM = M/f_b \quad \text{cm}^3$$

όπου,

$$M = 1000psl^2/k \quad \text{N}\cdot\text{cm}$$

$$k = 12$$

$s$  = ισαπόσταση ενισχυτικών πυθμένα και εσωτερικού πυθμένα, σε mm

$l$  = 5.68 m, άνοιγμα του ενισχυτικού ανάμεσα στις ενεργές στηρίξεις

$p$  = ονομαστική πίεση, όπως ορίζεται στο Παράρτημα Α.2, για τα ενισχυτικά πυθμένα και εσωτερικού πυθμένα, σε  $\text{N}/\text{cm}^2$

$f_b$  = επιτρεπόμενη καμπτική τάση στην διαμήκη κατεύθυνση, σε  $\text{N}/\text{cm}^2$

$$= (1 - 0.65 a_1 SM_{RB}/SM_B) S_m f_y \leq 0.55 S_m f_y \quad \text{για τα ενισχυτικά πυθμένα}$$

$$= (1 - 0.50 a_1 SM_{RB}/SM_B) S_m f_y \leq 0.65 S_m f_y \quad \text{για τα ενισχυτικά εσωτερικού πυθμένα}$$

$$a_1 = S_{m1} f_{y1} / S_m f_y$$

$S_m$  = συντελεστής μείωσης αντοχής για το υλικό των ενισχυτικών

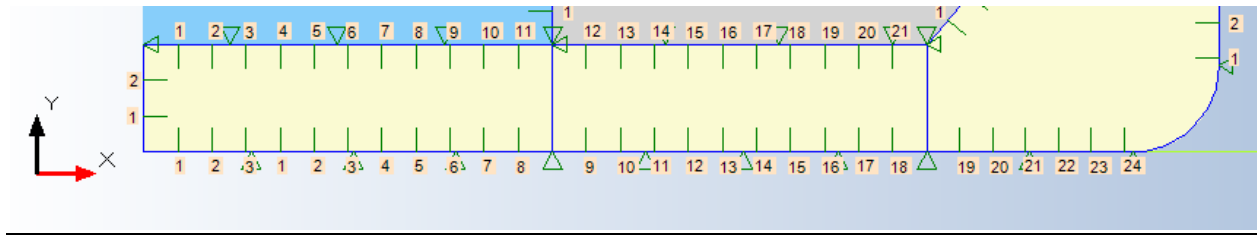
$S_{m1}$  = συντελεστής μείωσης αντοχής για το υλικό της φλάντζας του πυθμένα

$f_y$  = ελάχιστο όριο διαρροής για το υλικό των ενισχυτικών, σε  $\text{N}/\text{cm}^2$

$f_{y1}$  = ελάχιστο όριο διαρροής για το υλικό της φλάντζας του πυθμένα, σε  $\text{N}/\text{cm}^2$

Τα  $SM_{RB}$  και  $SM_B$  όπως ορίστηκαν στο εδάφιο 4.5.3.1.

Για πλήρη αντιστοιχία με τα παραπάνω, στον υπολογισμό της πραγματικής τοπικής ροπής αντίστασης των ενισχυτικών, πρέπει να χρησιμοποιηθεί το ενεργό πλάτος του ελάσματος το οποίο είναι συνδεδεμένο μαζί. Ο ορισμός του ενεργού πλάτους ελάσματος προκύπτει από την Εικόνα 4-9.



Εικόνα 4-7: Ενισχυτικά πυθμένα και εσωτερικού πυθμένα με αρίθμηση.

BOTTOM LONGITUDINALS							
		N. SEA			NIGERIA		
ID	$s$	$p$	$f_b$	$SM_{req}$	$p$	$f_b$	$SM_{req}$
	[mm]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]
# 1-18	950	27.3	13,821	5,036	24.3	16,459	3,767
# 19-24	920	27.3	13,821	4,877	24.3	16,459	3,648

INNER BOTTOM LONGITUDINALS							
		N. SEA			NIGERIA		
ID	$s$	$p$	$f_b$	$SM_{req}$	$p$	$f_b$	$SM_{req}$
	[mm]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]
# 1-21	950	40.0	16,460	6,206	36.7	18,730	5,001

### Ενισχυτικά καταστρώματος και πλευράς

Σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-3-3/9.5], η καθαρή ροπή αντίστασης (net section modulus) του κάθε ενισχυτικού του καταστρώματος ή της πλευράς, σε συνεργασία με το ενεργό πλάτος του ελάσματος στο οποίο είναι συνδεδεμένο, δεν πρέπει να είναι μικρότερο από αυτό που δίνει η παρακάτω σχέση:

$$SM = M/f_b \quad \text{cm}^3$$

όπου,

$$M = 1000psl^2/k \quad \text{N}\cdot\text{cm}$$

$$k = 12$$

$s$  = ισαπόσταση ενισχυτικών καταστρώματος, σε mm

$l$  = άνοιγμα του ενισχυτικού ανάμεσα στις ενεργές στηρίξεις, σε m

$p$  = ονομαστική πίεση, όπως ορίζεται για τα ενισχυτικά καταστρώματος και πλευράς<sup>21</sup>, σε N/cm<sup>2</sup>

$f_b$  = επιτρεπόμενη καμπτική τάση στην διαμήκη κατεύθυνση, σε N/cm<sup>2</sup>

$$= (1 - 0.60 a_2 SM_{RD}/SM_D) S_m f_y \quad \text{για τα ενισχυτικά καταστρώματος}$$

$$= [0.86 - 0.52 a_1 (SM_{RB}/SM_B)(\gamma/\gamma_n)] S_m f_y \leq 0.75 S_m f_y \quad \text{για τα ενισχυτικά πλευράς} \\ \text{κάτω του ουδέτερου άξονα}$$

$$= 2[0.86 - 0.52 a_2 (SM_{RD}/SM_D)(\gamma/\gamma_n)] S_m f_y \leq 0.75 S_m f_y \quad \text{για τα ενισχυτικά πλευράς} \\ \text{άνω του ουδέτερου άξονα}$$

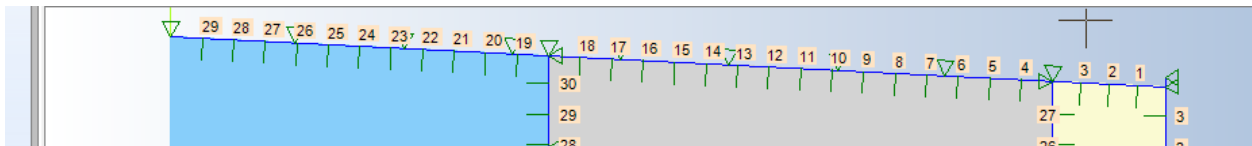
$$a_2 = S_{m2} f_{y2} / S_m f_y$$

$S_m$  = συντελεστής μείωσης αντοχής για το υλικό των ενισχυτικών πλευράς ή καταστρώματος

$S_{m2}$  = 0.95, συντελεστής μείωσης αντοχής για το υλικό της φλάντζας του καταστρώματος

$f_y$  = ελάχιστο όριο διαρροής για το υλικό των ενισχυτικών, σε N/cm<sup>2</sup>

$f_{y2}$  = 31500 σε N/cm<sup>2</sup>, ελάχιστο όριο διαρροής για το υλικό της φλάντζας του καταστρώματος



Εικόνα 4-8: Ενισχυτικά καταστρώματος με αρίθμηση

<sup>21</sup> Η πίεση έχει οριστεί στην κάτω ακμή του κάθε ελάσματος. Για εφαρμογή στα ενισχυτικά χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή.

DECK LONGITUDINALS							
		N. SEA			NIGERIA		
ID	<i>s</i>	<i>p</i>	<i>f<sub>b</sub></i>	<i>SM<sub>req</sub></i>	<i>p</i>	<i>f<sub>b</sub></i>	<i>SM<sub>req</sub></i>
	[mm]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]
# 1-3	850	4.0	10,399	880	2.3	13,692	391
# 4-29	950	9.1	10,399	2,234	7.4	13,692	1,376

SIDE LONGITUDINALS							
		N. SEA			NIGERIA		
ID <sup>22</sup>	<i>s</i>	<i>p</i>	<i>f<sub>b</sub></i>	<i>SM<sub>req</sub></i>	<i>p</i>	<i>f<sub>b</sub></i>	<i>SM<sub>req</sub></i>
	[mm]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]
32	950	33.5	15 608	5 486	25.3	17 316	3 734
33	950	33.3	16 536	5 149	25.2	18 088	3 557
34	950	33.2	17 465	4 848	25.1	18 859	3 395
35	950	33.0	18 393	4 578	24.9	19 631	3 245
36	950	32.8	13 796	6 068	24.8	14 878	4 260
37	950	32.4	20 250	4 089	24.6	21 175	2 965
39	920	32.1	16 581	4 781	24.3	17 193	3 502
40	920	31.9	17 625	4 504	24.2	17 625	3 401
41	920	31.7	17 625	4 451	24.1	17 625	3 386
42	920	31.5	17 625	4 428	24.0	17 625	3 370
43	920	31.4	17 625	4 404	23.9	17 625	3 355
44	920	30.4	17 625	4 269	23.2	17 625	3 253
46	920	29.5	17 625	4 133	22.5	17 625	3 151
47	920	28.4	17 625	3 984	21.4	17 625	3 007
48	920	27.3	17 625	3 834	20.4	17 625	2 863
49	920	26.3	17 625	3 684	19.4	17 625	2 719
50	920	25.2	17 625	3 533	18.3	17 625	2 574
51	920	24.1	17 625	3 383	17.3	17 625	2 429
53	920	23.0	22 444	2 538	16.3	22 444	1 794
54	920	21.4	22 444	2 359	14.7	22 444	1 623
55	920	19.8	22 444	2 180	13.2	22 444	1 452
56	920	18.5	22 444	2 039	12.0	22 444	1 318
57	920	17.2	22 444	1 898	10.7	22 444	1 184
58	920	15.9	22 444	1 757	9.5	22 444	1 050
60	920	14.5	22 444	1 598	8.4	22 444	926
61	920	13.0	22 444	1 433	7.4	22 444	816

<sup>22</sup> Αρίθμηση σύμφωνα με το σχέδιο Μέσης Τομής.



### Ενισχυτικά διαμήκων φρακτών

Σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-3-3/13.5], η καθαρή ροπή αντίστασης (net section modulus) του κάθε ενισχυτικού της διαμήκους φρακτής, σε συνεργασία με το ενεργό πλάτος του ελάσματος στο οποίο είναι συνδεδεμένο, δεν πρέπει να είναι μικρότερο από αυτό που δίνει η παρακάτω σχέση:

$$SM = M/f_b \quad \text{cm}^3$$

όπου,

$$M = 1000c_1psl^2/k \quad \text{N}\cdot\text{cm}$$

$$k = 12$$

$$c_1 = 1, \text{ για διαμήκη ενισχυτικά}$$

$$s = \text{ισαπόσταση ενισχυτικών διαμήκους φρακτής, σε mm}$$

$$l = \text{άνοιγμα του ενισχυτικού ανάμεσα στις ενεργές στηρίξεις, 5.68 m}$$

$$p = \text{ονομαστική πίεση, όπως ορίζεται για τα ενισχυτικά διαμήκους φρακτής, σε N/cm}^2$$

$$f_b = \text{επιτρεπόμενη καμπτική τάση στην διαμήκη κατεύθυνση, σε N/cm}^2$$

$$= 1.4 [1 - 0.28(z/B) - 0.52 a_1(SM_{RB}/SM_B)(y/\gamma_n)]S_m f_y \leq 0.90S_m f_y \quad \text{για τα ενισχυτικά κάτω του ουδέτερου άξονα}$$

$$= 2.2 [1 - 0.28(z/B) - 0.52 a_2(SM_{RD}/SM_D)(y/\gamma_n)]S_m f_y \leq 0.90S_m f_y \quad \text{για τα ενισχυτικά άνω του ουδέτερου άξονα}$$

$$z = \text{εγκάρσια απόσταση, σε m, από την centerline έως το υπό θεώρηση ενισχυτικό στη σύνδεση του με το έλασμα.}$$

Τα υπόλοιπα όπως ορίστηκαν.

INNER SKIN LONGITUDINALS							
		N. SEA			NIGERIA		
ID <sup>23</sup>	<i>s</i>	<i>p</i>	<i>f<sub>b</sub></i>	<i>SM<sub>req</sub></i>	<i>p</i>	<i>f<sub>b</sub></i>	<i>SM<sub>req</sub></i>
	[mm]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]
31	910	42.5	23 986	4 335	37.9	26 266	3 533
32	910	41.7	24 910	4 100	37.1	27 015	3 372
33	910	41.0	25 835	3 882	36.3	27 764	3 299
34	910	40.2	26 759	3 679	35.5	28 513	3 225
35	910	39.5	27 684	3 587	34.7	29 262	3 151
36	910	38.6	28 608	3 509	33.8	30 011	3 067
37	910	37.8	29 533	3 431	32.8	30 761	2 983
39	920	36.9	26 933	3 390	31.9	26 933	2 930
40	920	36.0	26 933	3 302	31.0	26 933	2 846
41	920	35.0	26 933	3 213	30.1	26 933	2 762
42	920	34.0	26 933	3 124	29.2	26 933	2 678
43	920	32.6	26 933	2 990	27.8	26 933	2 551
44	920	31.1	26 933	2 856	26.4	26 933	2 424
46	920	29.6	26 933	2 721	25.0	26 933	2 297
47	920	28.2	26 933	2 587	23.6	26 933	2 170
48	920	27.2	26 933	2 496	22.7	26 933	2 085
49	920	26.2	26 933	2 406	21.8	26 933	2 001
50	920	25.2	26 933	2 315	20.9	26 933	1 916
51	920	23.8	26 933	2 190	19.6	26 933	1 798
53	920	22.5	26 933	2 064	18.3	26 933	1 680
54	920	21.1	26 933	1 938	17.0	26 933	1 562
55	920	19.7	26 933	1 812	15.7	26 933	1 445
56	920	18.8	26 933	1 727	14.9	26 933	1 366
57	920	17.9	26 933	1 642	14.0	26 933	1 287
58	920	17.0	26 933	1 558	13.2	26 933	1 208
60	920	15.6	26 933	1 433	15.6	26 933	1 433
61	920	14.5	26 933	1 332	14.5	26 933	1 332

<sup>23</sup> Αρίθμηση σύμφωνα με το σχέδιο Μέσης Τομής.

INNER BULKHEAD LONGITUDINALS							
ID <sup>24</sup>	N. SEA				NIGERIA		
	<i>s</i> [mm]	<i>p</i> [N/cm <sup>2</sup> ]	<i>f<sub>b</sub></i> [N/cm <sup>2</sup> ]	<i>SM<sub>req</sub></i> [cm <sup>3</sup> ]	<i>p</i> [N/cm <sup>2</sup> ]	<i>f<sub>b</sub></i> [N/cm <sup>2</sup> ]	<i>SM<sub>req</sub></i> [cm <sup>3</sup> ]
33	920	45.0	25 734	4 327	39.1	28 083	3 588
34	920	44.0	26 993	4 040	38.1	29 130	3 497
35	920	43.0	28 251	3 946	37.1	30 176	3 405
36	920	42.0	29 510	3 853	36.1	31 222	3 314
37	920	40.9	30 769	3 759	35.1	32 269	3 222
38	920	39.9	23 511	4 667	34.1	24 799	3 988
39	920	38.9	33 286	3 571	33.1	34 362	3 040
40	920	37.7	26 933	3 464	32.0	26 933	2 937
41	920	36.6	26 933	3 357	30.9	26 933	2 834
42	920	35.4	26 933	3 250	29.7	26 933	2 730
43	920	34.5	26 933	3 165	28.8	26 933	2 648
44	920	33.5	26 933	3 080	27.9	26 933	2 567
45	920	32.6	26 933	3 814	27.1	26 933	3 165
46	920	31.7	26 933	2 910	26.2	26 933	2 403
47	920	30.2	26 933	2 776	24.8	26 933	2 275
48	920	28.8	26 933	2 642	23.4	26 933	2 147
49	920	27.8	26 933	2 551	22.4	26 933	2 060
50	920	26.8	26 933	2 460	21.5	26 933	1 973
51	920	25.8	26 933	2 369	20.5	26 933	1 887
52	920	24.8	21 150	2 900	19.6	21 150	2 292
53	920	23.8	21 150	2 783	18.7	21 150	2 182
54	920	22.8	26 933	2 094	17.7	26 933	1 626
55	920	21.7	26 933	1 989	16.6	26 933	1 527
56	920	20.5	26 933	1 884	15.5	26 933	1 428
57	920	19.4	26 933	1 778	14.5	26 933	1 329
58	920	18.2	26 933	1 672	13.4	26 933	1 229
59	920	17.1	26 933	1 566	12.3	26 933	1 129
60	920	15.9	26 933	1 460	11.2	26 933	1 029
61	920	14.2	26 933	1 304	10.0	26 933	920
62	920	12.9	26 933	1 185	8.8	26 933	812

<sup>24</sup> Αρίθμηση σύμφωνα με το σχέδιο Μέσης Τομής.

### 4.5.3.3 Υπολογισμός πραγματικής ροπής αντίστασης ενισχυτικών

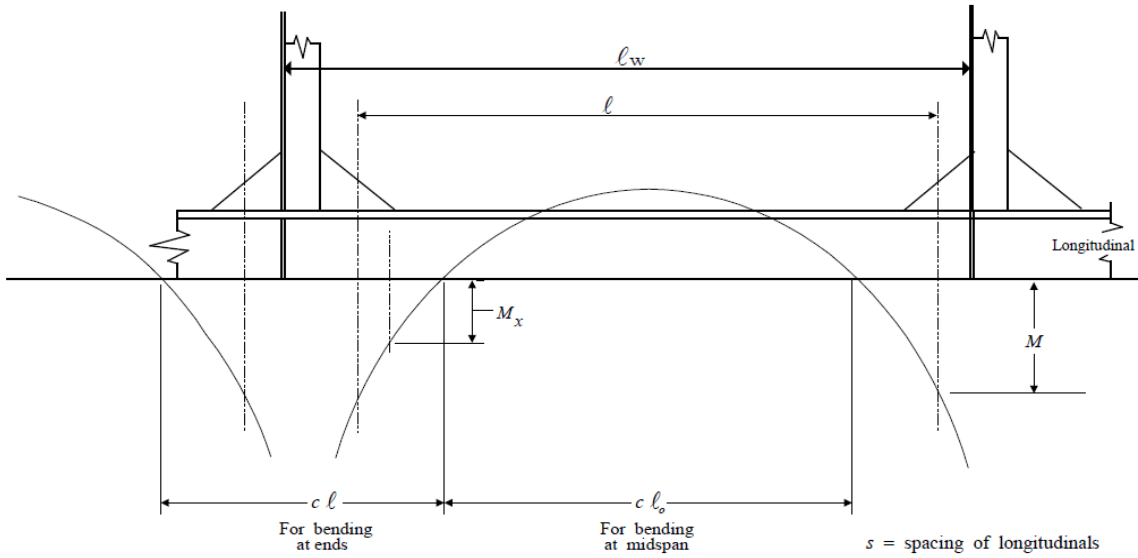
Για τα διαμήκη ενισχυτικά της Μέσης Τομής, όπως αυτά περιγράφονται στο σχέδιο και αφορούν τα as-built scantlings, γίνεται υπολογισμός της ροπής αντίστασης αυτών ως προς το σημείο αναφοράς (reference point) σε σύνδεση με το ενεργό πλάτος του ελάσματος που είναι προσαρτημένο σε αυτά. Στον Πίνακα 4-10 παρουσιάζονται όλα τα ενισχυτικά στην κάθε τοποθεσία, ο τύπος τους, η ισαπόσταση των ενισχυτικών, το ενεργό πλάτος του ελάσματος με το οποίο είναι συνδεδεμένα, η επιφάνεια του ενισχυτικού μαζί με το ενεργό έλασμα και η ροπή αντίστασης του ενισχυτικού σε σύνδεση με το ενεργό έλασμα ως προς το σημείο αναφοράς, σε συνθήκες διάβρωσης. Στις επόμενες στήλες παρουσιάζεται και η απαιτούμενη ροπή αντίστασης του κάθε ενισχυτικού σε σύνδεση με το έλασμα, όπως υπολογίστηκε στο εδάφιο 4.5.3.2. για την κάθε τοποθεσία. Αν η απαίτηση ικανοποιείται, δηλαδή,

$$SM_{actual} > SM_{required} ,$$

τότε οι διαστάσεις των ενισχυτικών δεν αλλάζουν και η διαδικασία συνεχίζεται προχωρώντας στο επόμενο βήμα. Αν όχι, τότε γίνεται κατάλληλη αλλαγή των διαστάσεων του ενισχυτικού, ώστε να ικανοποιείται η τοπική απαίτηση της ροπής αντίστασης σε κάθε περίπτωση.

Στην Εικόνα 4-9 δίνεται ο ορισμός του ενεργού πλάτους του ελάσματος για κάμψη στο μέσο του ανοίγματος μεταξύ των ενεργών στηρίξεων των ενισχυτικών, όπως προδιαγράφουν οι κανονισμοί του ABS.

Effective Breadth of Plating  $b_e$  (1 July 2009)



- a) For bending at midspan  
 $b_e/s = 1.219 - 0.965/(c l_o/s)$ , when  $c l_o/s < 4.5$   
 otherwise  
 $b_e/s = 1.0$

$c l_o/s$	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5 and greater
$b_e/s$	0.58	0.73	0.83	0.90	0.95	0.98	1.0

Εικόνα 4-9: Προσδιορισμός του ενεργού πλάτους του ελάσματος,  $b_e$  (Ref. 1)

Πίνακας 4-10: Properties of stiffeners with effective plating (with corrosion) and check with required section modulus on each location.

Location	ID	Type	Spacing [cm]	Effective breadth [cm]	Total Area [cm <sup>2</sup> ]	Actual SM [cm <sup>3</sup> ]	Required SM <sub>NIGERIA</sub> [cm <sup>3</sup> ]	Check	Required SM <sub>N,SEA</sub> [cm <sup>3</sup> ]	Check
<b>Bottom</b>	# 1	<i>T 650 x 13 / 220 x 30</i>	95.00	89.28	320.6	5,091	3,767	OK	5,036	OK
	# 2		95.00	89.28	320.6	5,091	3,767	OK	5,036	OK
	# 3		95.00	89.28	320.6	5,091	3,767	OK	5,036	OK
	# 4		95.00	89.28	320.6	5,091	3,767	OK	5,036	OK
	# 5		95.00	89.28	320.6	5,091	3,767	OK	5,036	OK
	# 6		95.00	89.28	320.6	5,091	3,767	OK	5,036	OK
	# 7		95.00	89.28	307.2	5,060	3,767	OK	5,036	OK
	# 8		95.00	89.28	307.2	5,060	3,767	OK	5,036	OK
	# 9		95.00	89.28	307.2	5,060	3,767	OK	5,036	OK
	# 10		95.00	89.28	307.2	5,060	3,767	OK	5,036	OK
	# 11		95.00	89.28	307.2	5,060	3,767	OK	5,036	OK
	# 12		95.00	89.28	307.2	5,060	3,767	OK	5,036	OK
	# 13		95.00	89.28	307.2	5,060	3,767	OK	5,036	OK
	# 14		95.00	89.28	307.2	5,060	3,767	OK	5,036	OK
	# 15		95.00	89.28	307.2	5,060	3,767	OK	5,036	OK
	# 16		95.00	89.28	307.2	5,060	3,767	OK	5,036	OK
	# 17		95.00	89.28	307.2	5,060	3,767	OK	5,036	OK
	# 18		95.00	89.28	307.2	5,060	3,767	OK	5,036	OK
	# 19		95.00	89.28	307.2	5,060	3,767	OK	5,036	OK
	# 20		95.00	89.28	307.2	5,060	3,767	OK	5,036	OK
	# 21		95.00	89.28	307.2	5,060	3,767	OK	5,036	OK
	# 22		92.00	87.27	294.6	5,030	3,648	OK	4,877	OK
	# 23		92.00	87.27	294.6	5,030	3,648	OK	4,877	OK
	# 24		92.00	87.27	294.6	5,030	3,648	OK	4,877	OK
	# 25		92.00	87.27	294.6	5,030	3,648	OK	4,877	OK
	# 26		92.00	87.27	294.6	5,030	3,648	OK	4,877	OK

	# 27		92.00	87.27	294.6	5,030	3,648	OK	4,877	OK
<b>Inner Bottom</b>	# 1	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	319.0	5,016	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 2	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	319.0	5,016	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 3	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	319.0	5,016	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 4	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	319.0	5,016	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 5	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	319.0	5,016	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 6	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	319.0	5,016	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 7	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	319.0	5,016	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 8	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	319.0	5,016	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 9	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	314.6	5,005	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 10	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	314.6	5,005	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 11	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	314.6	5,005	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 12	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	314.6	5,005	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 13	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	314.6	5,005	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 14	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	314.6	5,005	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 15	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	314.6	5,005	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 16	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	314.6	5,005	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 17	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	314.6	5,005	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 18	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	314.6	5,005	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 19	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	314.6	5,005	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 20	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	314.6	5,005	5,001	OK	6,206	NOT OK
	# 21	T 650 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	314.6	5,005	5,001	OK	6,206	NOT OK
<b>Side Shell</b>	# 32	T 575 x 12 / 200 x 25	95.00	89.28	266.2	3,562	3,734	NOT OK	5,486	NOT OK
	# 33	T 575 x 12 / 200 x 25	95.00	89.28	266.2	3,562	3,557	OK	5,149	NOT OK
	# 34	T 575 x 12 / 200 x 25	95.00	89.28	266.2	3,562	3,395	OK	4,848	NOT OK
	# 35	T 575 x 12 / 200 x 25	95.00	89.28	266.2	3,562	3,245	OK	4,578	NOT OK
	# 36	T 1110 x 18 / 280 x 18	95.00	89.28	406.6	9,969	4,260	OK	6,068	OK
	# 37	T 480 x 13 / 200 x 30	95.00	89.28	293.8	3,401	2,965	OK	4,089	NOT OK
	# 39	T 650 x 12 / 175 x 22	92.00	87.27	280.1	3,491	3,502	NOT OK	4,781	NOT OK
	# 40	T 650 x 12 / 175 x 22	92.00	87.27	263.2	3,462	3,401	OK	4,504	NOT OK
	# 41	T 650 x 12 / 175 x 22	92.00	87.27	263.2	3,462	3,386	OK	4,451	NOT OK
	# 42	T 625 x 12 / 175 x 20	92.00	87.27	257.2	3,089	3,370	NOT OK	4,428	NOT OK

	# 43	T 625 x 12 / 175 x 20	92.00	87.27	257.2	3,089	3,355	NOT OK	4,404	NOT OK
	# 44	T 600 x 12 / 175 x 20	92.00	87.27	254.7	2,930	3,253	NOT OK	4,269	NOT OK
	# 46	T 575 x 12 / 175 x 20	92.00	87.27	252.2	2,773	3,151	NOT OK	4,133	NOT OK
	# 47	T 575 x 12 / 175 x 20	92.00	87.27	252.2	2,773	3,007	NOT OK	3,984	NOT OK
	# 48	T 575 x 12 / 175 x 20	92.00	87.27	252.2	2,773	2,863	NOT OK	3,834	NOT OK
	# 49	T 575 x 12 / 175 x 20	92.00	87.27	252.2	2,773	2,719	OK	3,684	NOT OK
	# 50	T 575 x 12 / 175 x 20	92.00	87.27	252.2	2,773	2,574	OK	3,533	NOT OK
	# 51	T 575 x 12 / 175 x 20	92.00	87.27	252.2	2,773	2,429	OK	3,383	NOT OK
	# 53	T 475 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	237.5	1,961	1,794	OK	2,538	NOT OK
	# 54	T 450 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	235.0	1,831	1,623	OK	2,359	NOT OK
	# 55	T 425 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	232.5	1,703	1,452	OK	2,180	NOT OK
	# 56	T 425 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	232.5	1,703	1,318	OK	2,039	NOT OK
	# 57	T 400 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	229.5	1,578	1,184	OK	1,898	NOT OK
	# 58	T 400 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	216.8	1,493	1,050	OK	1,757	NOT OK
	# 60	T 425 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	219.2	1,612	926	OK	1,598	OK
	# 61	T 425 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	219.2	1,612	816	OK	1,433	OK
<b>Deck</b>	# 1	<i>T 425 x 12 / 175 x 18</i>	95.00	89.28	243.1	1,795	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 2		95.00	89.28	243.1	1,795	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 3		95.00	89.28	243.1	1,795	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 4		95.00	89.28	243.1	1,795	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 5		95.00	89.28	243.1	1,795	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 6		95.00	89.28	243.1	1,795	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 7		95.00	89.28	243.1	1,795	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 8		95.00	89.28	243.1	1,795	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 9		95.00	89.28	243.1	1,795	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 10		95.00	89.28	243.1	1,795	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 11	95.00	89.28	243.1	1,795	1,376	OK	2,234	NOT OK	
	# 13	<i>T 375 x 15 / 150 x 20</i>	95.00	89.28	248.0	1,602	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 14		95.00	89.28	248.0	1,602	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 15		95.00	89.28	248.0	1,602	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 16		95.00	89.28	248.0	1,602	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 17		95.00	89.28	248.0	1,602	1,376	OK	2,234	NOT OK



	# 18		95.00	89.28	248.0	1,602	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 19		95.00	89.28	248.0	1,602	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 20		95.00	89.28	248.0	1,602	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 21		95.00	89.28	248.0	1,602	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 22		95.00	89.28	248.0	1,602	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 23		95.00	89.28	248.0	1,602	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 24		95.00	89.28	248.0	1,602	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 25		95.00	89.28	248.0	1,602	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 26		95.00	89.28	248.0	1,602	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 27		95.00	89.28	248.0	1,602	1,376	OK	2,234	NOT OK
	# 29		85.00	82.38	252.0	1,330	391	OK	879	OK
	# 30	<i>FB 400 x 30</i>	85.00	82.38	252.0	1,330	391	OK	879	OK
	# 31		85.00	82.38	252.0	1,330	391	OK	879	OK
<b>Inner skin bhd</b>	# 31	T 450 x 12 / 200 x 30	91.00	86.59	298.0	3,189	3,533	NOT OK	4,335	NOT OK
	# 32	T 575 x 12 / 200 x 30	91.00	86.59	311.7	4,257	3,372	OK	4,100	OK
	# 33	T 575 x 12 / 200 x 30	91.00	86.59	311.7	4,257	3,299	OK	3,882	OK
	# 34	T 575 x 12 / 200 x 30	91.00	86.59	294.4	4,223	3,225	OK	3,679	OK
	# 35	T 575 x 12 / 200 x 25	91.00	86.59	284.4	3,693	3,151	OK	3,587	OK
	# 36	T 575 x 12 / 200 x 25	91.00	86.59	284.4	3,693	3,067	OK	3,509	OK
	# 37	T 575 x 12 / 175 x 25	91.13	86.68	278.6	3,368	2,983	OK	3,431	NOT OK
	# 39	T 575 x 12 / 175 x 20	92.00	87.27	270.9	2,902	2,930	NOT OK	3,390	NOT OK
	# 40	T 575 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	264.9	2,645	2,846	NOT OK	3,302	NOT OK
	# 41	T 575 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	264.9	2,645	2,762	NOT OK	3,213	NOT OK
	# 42	T 575 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	261.9	2,639	2,678	NOT OK	3,124	NOT OK
	# 43	T 550 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	250.5	2,514	2,551	NOT OK	2,990	NOT OK
	# 44	T 525 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	240.7	2,445	2,424	NOT OK	2,856	NOT OK
	# 46	T 475 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	237.7	2,034	2,297	NOT OK	2,721	NOT OK
	# 47	T 475 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	237.7	2,034	2,170	NOT OK	2,587	NOT OK
	# 48	T 475 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	237.7	2,034	2,085	NOT OK	2,496	NOT OK
# 49	T 425 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	235.7	2,023	2,001	NOT OK	2,406	NOT OK	
# 50	T 425 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	235.7	2,023	1,916	NOT OK	2,315	NOT OK	
# 51	T 425 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	235.7	2,023	1,798	NOT OK	2,190	NOT OK	

	# 53	T 400 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	203.4	1,606	1,680	NOT OK	2,064	NOT OK
	# 54	T 400 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	203.4	1,606	1,562	OK	1,938	NOT OK
	# 55	T 400 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	203.4	1,606	1,445	OK	1,812	NOT OK
	# 56	T 400 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	203.4	1,606	1,366	OK	1,727	NOT OK
	# 57	T 400 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	203.4	1,606	1,287	OK	1,642	NOT OK
	# 58	T 400 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	203.4	1,606	1,208	OK	1,558	OK
	# 60	T 600 x 13.5 / 175 x 20	92.00	87.27	256.6	3,205	1,433	OK	1,433	OK
	# 61	T 450 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	226.4	1,916	1,332	OK	1,332	OK
<b>Inner Long. bhd</b>	# 33	T 625 x 12 / 200 x 27	92.00	87.27	274.7	4,232	3,588	OK	4,327	NOT OK
	# 34	T 625 x 12 / 200 x 27	92.00	87.27	274.7	4,232	3,497	OK	4,040	OK
	# 35	T 600 x 12 / 175 x 25	92.00	87.27	262.1	3,469	3,405	OK	3,946	NOT OK
	# 36	T 600 x 12 / 175 x 25	92.00	87.27	257.7	3,461	3,314	OK	3,853	NOT OK
	# 37	T 600 x 12 / 175 x 25	92.00	87.27	257.7	3,461	3,222	OK	3,759	NOT OK
	# 38	T 1100 x 17 / 275 x 17	92.00	87.27	367.2	9,205	3,988	OK	4,667	OK
	# 39	T 470 x 12 / 200 x 27	92.00	87.27	245.3	2,988	3,040	NOT OK	3,571	NOT OK
	# 40	T 800 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	235.5	2,698	2,937	OK	3,464	OK
	# 41	T 800 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	235.5	2,698	2,834	OK	3,357	OK
	# 42	T 800 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	231.1	2,690	2,730	OK	3,250	OK
	# 43	T 800 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	231.1	2,690	2,648	OK	3,165	OK
	# 44	T 800 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	231.1	2,690	2,567	OK	3,080	OK
	# 45	T 1100 x 17 / 275 x 17	92.00	87.27	354.1	9,097	3,165	OK	3,814	OK
	# 46	T 475 x 12 / 175 x 22	92.00	87.27	230.6	2,351	2,403	NOT OK	2,910	NOT OK
	# 47	T 500 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	225.0	2,120	2,275	NOT OK	2,776	NOT OK
	# 48	T 500 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	225.0	2,120	2,147	OK	2,642	NOT OK
	# 49	T 450 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	219.7	1,850	2,060	NOT OK	2,551	NOT OK
	# 50	T 450 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	219.7	1,850	1,973	NOT OK	2,460	NOT OK
	# 51	T 450 x 12 / 150 x 20	92.00	87.27	219.7	1,850	1,887	NOT OK	2,369	NOT OK
	# 52	T 600 x 12 / 150 x 12	92.00	87.27	223.5	2,035	2,292	NOT OK	2,900	NOT OK
# 53	T 600 x 12 / 175 x 20	92.00	87.27	240.2	2,963	2,182	OK	2,783	OK	
# 54	T 425 x 12 / 150 x 18	92.00	87.27	201.0	1,588	1,626	NOT OK	2,094	NOT OK	
# 55	T 425 x 12 / 150 x 18	92.00	87.27	201.0	1,588	1,527	OK	1,989	NOT OK	
# 56	T 375 x 12 / 150 x 18	92.00	87.27	195.8	1,353	1,428	NOT OK	1,884	NOT OK	

# 57	T 375 x 12 / 150 x 18	92.00	87.27	195.8	1,353	1,329	OK	1,778	NOT OK
# 58	T 375 x 12 / 150 x 18	92.00	87.27	195.8	1,353	1,229	OK	1,672	NOT OK
# 59	T 375 x 12 / 150 x 18	92.00	87.27	195.8	1,353	1,129	OK	1,566	NOT OK
# 60	T 600 x 13.5 / 175 x 20	92.00	87.27	253.6	3,104	1,029	OK	1,460	OK
# 61	T 925 x 18.5 / 260 x 18.5	92.00	87.27	351.1	7,576	920	OK	1,304	OK
# 62	T 300 x 12 / 175 x 25	92.00	87.27	216.6	1,506	812	OK	1,185	OK

Ο πίνακας με τα διαμήκη ενισχυτικά που χρειάζονται αλλαγή και οι νέες διαστάσεις τους έτσι ώστε να καλύπτεται η απαίτηση, παρουσιάζεται ακολούθως.

ΝΙΓΗΡΙΑ - ΑΛΛΑΓΕΣ				
Location	ID	Type	t <sub>web,new</sub> [mm]	t <sub>flange,new</sub> [mm]
<b>Side Shell</b>	# 32	T 575 x 12 / 200 x 25	12	27
	# 39	T 650 x 12 / 175 x 22	12	23
	# 42	T 625 x 12 / 175 x 20	13	22
	# 43	T 625 x 12 / 175 x 20	13	22
	# 44	T 600 x 12 / 175 x 20	14	22
	# 46	T 575 x 12 / 175 x 20	14	23
	# 47	T 575 x 12 / 175 x 20	13	22
	# 48	T 575 x 12 / 175 x 20	12	21
<b>Inner skin bhd</b>	# 31	T 450 x 12 / 200 x 30	15	33
	# 39	T 575 x 12 / 175 x 20	12	21
	# 40	T 575 x 12 / 150 x 20	13	22
	# 41	T 575 x 12 / 150 x 20	13	21
	# 42	T 575 x 12 / 150 x 20	13	20
	# 43	T 550 x 12 / 150 x 20	13	20
	# 44	T 525 x 12 / 150 x 20	13	20
	# 46	T 475 x 12 / 150 x 20	14	22
	# 47	T 475 x 12 / 150 x 20	13	22
	# 48	T 475 x 12 / 150 x 20	12	21
	# 49	T 425 x 12 / 150 x 20	14	23
	# 50	T 425 x 12 / 150 x 20	14	22
	# 51	T 425 x 12 / 150 x 20	12	21
	# 53	T 400 x 12 / 150 x 20	13	21
<b>Inner Long bhd</b>	# 39	T 470 x 12 / 200 x 27	13	27
	# 46	T 475 x 12 / 175 x 22	13	22
	# 47	T 500 x 12 / 150 x 20	13	21
	# 49	T 450 x 12 / 150 x 20	14	22
	# 50	T 450 x 12 / 150 x 20	13	21
	# 51	T 450 x 12 / 150 x 20	13	20
	# 52	T 600 x 12 / 150 x 12	13	14
	# 54	T 425 x 12 / 150 x 18	13	18
	# 56	T 375 x 12 / 150 x 18	13	19

<b>B. ΘΑΛΑΣΣΑ - ΑΛΛΑΓΕΣ</b>				
<b>Location</b>	<b>ID</b>	<b>Type</b>	<b>t<sub>web,new</sub> [mm]</b>	<b>t<sub>flange,new</sub> [mm]</b>
<b>Inner Bottom</b>	# 1	T 650 x 13 / 200 x 30	19	36
<b>Side Shell</b>	# 32	T 575 x 12 / 200 x 25	20	39
	# 33	T 575 x 12 / 200 x 25	20	35
	# 34	T 575 x 12 / 200 x 25	20	32
	# 35	T 575 x 12 / 200 x 25	20	30
	# 37	T 480 x 13 / 200 x 30	20	34
	# 39	T 650 x 12 / 175 x 22	20	27
	# 40	T 650 x 12 / 175 x 22	20	25
	# 41	T 650 x 12 / 175 x 22	20	25
	# 42	T 625 x 12 / 175 x 20	21	26
	# 43	T 625 x 12 / 175 x 20	20	26
	# 44	T 600 x 12 / 175 x 20	20	27
	# 46	T 575 x 12 / 175 x 20	20	29
	# 47	T 575 x 12 / 175 x 20	21	26
	# 48	T 575 x 12 / 175 x 20	20	25
	# 49	T 575 x 12 / 175 x 20	19	24
	# 50	T 575 x 12 / 175 x 20	20	22
	# 51	T 575 x 12 / 175 x 20	20	23
	# 53	T 475 x 12 / 150 x 20	16	26
	# 54	T 450 x 12 / 150 x 20	17	25
	# 55	T 425 x 12 / 150 x 20	16	25
# 56	T 425 x 12 / 150 x 20	16	23	
# 57	T 400 x 12 / 150 x 20	15	24	
# 58	T 400 x 12 / 150 x 20	15	23	
<b>Deck</b>	# 1-11	T 425 x 12 / 175 x 18	15	22
	# 13-27	T 375 x 15 / 150 x 20	20	29
<b>Inner skin bhd</b>	# 31	T 450 x 12 / 200 x 30	20	40
	# 37	T 575 x 12 / 175 x 25	13	25
	# 39	T 575 x 12 / 175 x 20	16	22
	# 40	T 575 x 12 / 150 x 20	17	24
	# 41	T 575 x 12 / 150 x 20	17	23
	# 42	T 575 x 12 / 150 x 20	17	22
	# 43	T 550 x 12 / 150 x 20	16	23
	# 44	T 525 x 12 / 150 x 20	17	23
	# 46	T 475 x 12 / 150 x 20	17	27
	# 47	T 475 x 12 / 150 x 20	17	25
	# 48	T 475 x 12 / 150 x 20	18	23
	# 49	T 425 x 12 / 150 x 20	20	26
	# 50	T 425 x 12 / 150 x 20	19	25
# 51	T 425 x 12 / 150 x 20	16	25	

	# 53	T 400 x 12 / 150 x 20	16	26
	# 54	T 400 x 12 / 150 x 20	15	24
	# 55	T 400 x 12 / 150 x 20	15	22
	# 56	T 400 x 12 / 150 x 20	14	21
	# 57	T 400 x 12 / 150 x 20	13	20
<b><i>Inner Long. bhd</i></b>	# 33	T 625 x 12 / 200 x 27	12	28
	# 35	T 600 x 12 / 175 x 25	14	28
	# 36	T 600 x 12 / 175 x 25	14	27
	# 37	T 600 x 12 / 175 x 25	14	26
	# 39	T 470 x 12 / 200 x 27	15	32
	# 46	T 475 x 12 / 175 x 22	15	27
	# 47	T 500 x 12 / 150 x 20	14	27
	# 48	T 500 x 12 / 150 x 20	15	25
	# 49	T 450 x 12 / 150 x 20	15	29
	# 50	T 450 x 12 / 150 x 20	15	27
	# 51	T 450 x 12 / 150 x 20	15	26
	# 52	T 600 x 12 / 150 x 12	15	19
	# 54	T 425 x 12 / 150 x 18	14	25
	# 55	T 425 x 12 / 150 x 18	14	24
	# 56	T 375 x 12 / 150 x 18	15	26
	# 57	T 375 x 12 / 150 x 18	15	24
# 58	T 375 x 12 / 150 x 18	15	22	
# 59	T 375 x 12 / 150 x 18	15	20	

#### 4.5.4 Έλεγχος Απαιτήσεων Ολικής και Τοπικής Αντοχής

Ο προσδιορισμός της νέας ροπής αντίστασης για τη Μέση Τομή γίνεται βάσει των νέων gross scantlings, σε ελάσματα και ενισχυτικά, όπως προέκυψαν από τις τοπικές απαιτήσεις των στοιχείων.

Πίνακας 4-11: Reassessed Section Modulus for the two locations.

PROPERTIES	AS-BUILT	REASSESSED <sub>N,SEA</sub>	REASSESSED <sub>NIGERIA</sub>	
Sectional Area	10.9	12.0	10.8	m <sup>2</sup>
First Moment about N.A.	144.1	157.4	141.9	m <sup>3</sup>
N.A.bottom	13.21	13.09	13.19	m
N.A.deck	17.29	17.41	17.31	m
Moment of Inertia about N.A.	1 515.8	1 653.1	1 493.1	m <sup>4</sup>
Section Modulus at deck	87.69	94.93	86.26	m <sup>3</sup>
Section Modulus at bottom	114.71	126.32	113.20	m <sup>3</sup>

Παρατηρούμε ότι βάσει των νέων scantlings ικανοποιείται η απαίτηση της ροπής αντίστασης της Μέσης Τομής και στις δύο περιοχές,

$$SM_{reassessed,N.Sea} > SM_{required,N.Sea}$$

$$SM_{reassessed,Nigeria} > SM_{required,Nigeria}$$

όπως και όλες οι απαιτήσεις τοπικής αντοχής ελασμάτων και ενισχυτικών. Άρα, η διαδικασία συνεχίζεται με τον προσδιορισμό και τον προσδιορισμό των renewal scantlings.

## 4.6 Προσδιορισμός Renewal Scantlings

Το επόμενο βήμα, ύστερα από τον προσδιορισμό των reassessed scantlings είναι ο προσδιορισμός των renewal scantlings για τα ελάσματα και τα ενισχυτικά. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το στοιχείο πρέπει να ανανεωθεί ύστερα από μείωση 25%, όμως, υπάρχουν άλλα μέλη που επιτρέπεται να υποστούν μεγαλύτερη απώλεια και άλλα μικρότερη πριν απαιτηθεί ανανέωσή τους. Για τον υπολογισμό των renewal thicknesses ελασμάτων και ενισχυτικών χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$t_{renewal} = t_{reassess} \times (1 - \text{wastage allowance})$$

Η τιμή για την επιτρεπόμενη απώλεια υλικού (individual wastage allowance) ανάλογα με τη θέση του, για πλοία που μετατράπηκαν σε FPSO, το έτος 2009 και μετά, άνω των 90 μέτρων και διπλού πυθμένα δίδεται στον Πίνακα 4-12.

Έπειτα από τον προσδιορισμό των renewal scantlings για όλα τα στοιχεία πραγματοποιείται έλεγχος σε λυγισμό. Έφ' όσον ικανοποιούνται όλα τα κριτήρια σε λυγισμό, στη συνέχεια, γίνεται υπολογισμός της ουσιαστικής διάβρωσης (substantial corrosion) των στοιχείων και σε συνδυασμό με την αναμενόμενη διάβρωση που θα αντιμετωπίσει το FPSO στη διάρκεια ζωής του, όπως αυτή έχει ήδη υπολογιστεί, προκύπτουν οι τελικές απαιτήσεις κατά την περίοδο της μετατροπής και εκτελούνται οι απαραίτητες ενέργειες. Παράλληλα, βέβαια, πραγματοποιείται αξιολόγηση της κατάστασης της κατασκευής μεσα από παχυμετρήσεις.



**Πίνακας 4-12: Individual Wastage Allowances (Ref. 1)**

<i>Ordinary and High Strength Steel</i>	<i>Newbuilds or Vessels Converted 2009 or Later</i>		<i>Vessels Converted before 2009</i>	
	<i>Double Bottom</i>	<i>Single Bottom with Single Side or Double Side</i>	<i>Double Bottom</i>	<i>Single Bottom with Single Side or Double Side</i>
Strength Deck Plating	20%	20%	20%	20%
Continuous Long'l Hatch Coamings & Above Deck Box-Girders	20%	----	20%	----
Deck Plates within Line of Hatches and at Ends.	30%	30%	30%	30%
Forecastle, Poop and Bridge Deck Plates; Superstructure End Bulkheads	30%	30%	30%	30%
<i>(December 2008)</i> Tween Deck Plates	----	----	----	----
Sheer Strake Plates	20%	20%	20%	20%
Side Shell Plates	20%	25%	25%	25%
Bilge Strake Plates	20%	20%	25%	20%
Bottom Plates	20%	20%	25%	20%
Keel Plates <sup>(4)</sup>				
Outermost Strake of Inner Bottom	20%	----	20%	----
Other Plates of Inner Bottom	20%	----	25%	----
Top Strake of Longitudinal Bulkheads and Top Strake of Topside Tank Sloping Plating	20%	20%	20%	20%
Bottom Strake of Longitudinal Bulkheads	20%	20%	25%	20%
Other Plates of Longitudinal Bulkheads, Topside Tank Sloping Plating, Hopper Tank Sloping Plating and Transverse Bulkheads	20%	25%, 20% for transverse bulkheads only	25%	25%
Internals including Longitudinals, Girders, Transverses, Struts, Bulkhead Webs and Stringers, Brackets and Hatch Side Girders	20%	25%	25%	25%
Plates in way of Top of Tanks	25%	30%	30%	30%
Underdeck Box Girders (Long'l or Transverse)	20%	----	20%	----
Hatch Covers, Hatch coamings and brackets	30%	30%	30%	30%

Πίνακας 4-13: Προσδιορισμός Renewal Scantlings.

<b>PLATING</b>	<b>t<sub>AS-BUILT</sub></b>	<b>Wast. All.</b>	<b>t<sub>RENEWAL,NIGERIA</sub></b>	<b>t<sub>RENEWAL,N.SEA</sub></b>
<b>KEEL</b>	[mm]		[mm]	[mm]
Strake 1	22.00	20 %	17.20	18.00
<b>BOTTOM</b>				
Strake 1	22.00	20 %	16.00	16.80
Strake 2	20.50	20 %	16.00	16.80
Strake 3	20.50	20 %	16.00	16.80
Strake 4	20.50	20 %	16.00	16.80
Strake 5	20.50	20 %	16.00	16.80
Strake 6	21.00	20 %	16.00	16.80
Strake 7	20.50	20 %	16.00	16.80
Strake 8	19.50	20 %	15.20	16.00
Strake 9	19.50	20 %	15.20	16.00
<b>INNER BOTTOM</b>				
Strake 1	22.00	20 %	16.80	18.00
Strake 2	22.00	20 %	16.80	18.00
Strake 3	22.00	20 %	16.80	18.00
Strake 4	21.50	20 %	16.80	18.00
Strake 5	21.50	20 %	16.80	18.00
Strake 6	21.50	20 %	16.80	18.00
Strake 7	21.50	20 %	16.80	18.00
<b>BILGE</b>				
Strake 1	23.50	20 %	18.00	18.80
<b>SIDE SHELL</b>				
Strake 1	19.50	20 %	16.00	18.40
Strake 2	22.00	20 %	17.60	20.00
Strake 3	20.00	20 %	17.20	19.20
Strake 4	20.00	20 %	16.80	19.20
Strake 5	20.00	20 %	16.40	18.80
Strake 6	20.00	20 %	15.60	17.60
Strake 7	20.00	20 %	14.40	16.80
Strake 8	20.00	20 %	16.80	16.80
<b>SHEERSTRAKE</b>				0.00
Strake 1	18.50	20 %	14.00	14.00
<b>MAIN DECK STRINGER</b>				
Strake 1	19.00	20 %	15.20	16.00
<b>MAIN DECK</b>				
Strake 1	20.00	20 %	16.00	16.40
Strake 2	20.00	20 %	16.00	16.40
Strake 3	20.00	20 %	16.00	16.40
Strake 4	20.00	20 %	16.00	16.40
Strake 5	20.00	20 %	16.00	16.40
Strake 6	20.00	20 %	16.00	16.40

Strake 7	20.00	20 %	16.00	16.40
Strake 8	20.00	20 %	16.00	16.40
<b>BOTTOM CENTER GIRDER</b>				
Strake 1	22.50	20 %	18.80	20.80
<b>BOTTOM SIDE GIRDERS</b>				
Strake 1	16.00	20 %	13.60	15.20
Strake 2	16.00	20 %	13.60	15.20
<b>LONG. BULKHEAD</b>				
Strake 1	19.00	20 %	15.20	16.80
Strake 2	18.50	20 %	14.40	15.60
Strake 3	17.50	20 %	14.00	14.80
Strake 4	17.00	20 %	13.20	14.40
Strake 5	17.50	20 %	14.00	15.20
Strake 6	17.50	20 %	13.20	14.40
Strake 7	17.50	20 %	12.40	13.60
Strake 8	16.00	20 %	12.40	13.60
Strake 9	16.00	20 %	11.60	11.60
Strake 10	18.00	20 %	14.00	14.00
<b>INNER SKIN BULKHEAD</b>				
Strake 1	23.00	20 %	18.40	20.40
Strake 2	21.00	20 %	16.40	17.60
Strake 3	20.50	20 %	15.20	16.40
Strake 4	19.50	20 %	14.40	15.60
Strake 5	19.00	20 %	14.00	15.20
Strake 6	17.50	20 %	13.20	14.40
Strake 7	17.00	20 %	12.40	14.00
Strake 8	16.00	20 %	12.40	14.40
Strake 9	16.00	20 %	12.40	14.80
Strake 10	15.50	20 %	10.80	14.00
Strake 11	18.00	20 %	13.20	14.00
<b>SIDE STRINGERS</b>				
Strake Add.	17.50	20 %	10.80	10.80
Strake 1	13.00	20 %	10.00	10.00
Strake 2	13.00	20 %	10.00	10.00
Strake 3	15.50	20 %	10.00	10.00
<b>LONGITUDINALS</b>				
<b>BOTTOM</b>				
Web	13.00	20 %	10.40	10.40
Flange	30.00	20 %	24.00	24.00
<b>INNER BOTTOM</b>				
Web	13.00	20 %	10.40	15.20
Flange	30.00	20 %	24.00	28.80
<b>SIDE SHELL</b>				
<i>side #1 (32)</i>				
Web	12.00	20 %	9.60	16.00

Flange	25.00	20 %	21.60	31.20
side #1 (33)				
Web	12.00	20 %	9.60	16.00
Flange	25.00	20 %	20.00	28.00
side #1 (34)				
Web	12.00	20 %	9.60	16.00
Flange	25.00	20 %	20.00	25.60
side #1 (35)				
Web	12.00	20 %	9.60	16.00
Flange	25.00	20 %	20.00	24.00
side #2 (36)				
Web	18.00	20 %	14.40	14.40
Flange	18.00	20 %	14.40	14.40
side #3 (37)				
Web	13.00	20 %	10.40	16.00
Flange	30.00	20 %	24.00	27.20
side #4 (39)				
Web	12.00	20 %	9.60	16.00
Flange	22.00	20 %	18.40	21.60
side #4 (40)				
Web	12.00	20 %	9.60	16.00
Flange	22.00	20 %	17.60	20.00
side #4 (41)				
Web	12.00	20 %	9.60	16.00
Flange	22.00	20 %	17.60	20.00
side #5 (42)				
Web	12.00	20 %	10.40	16.80
Flange	20.00	20 %	17.60	20.80
side #5 (43)				
Web	12.00	20 %	10.40	16.00
Flange	20.00	20 %	17.60	20.80
side #6 (44)				
Web	12.00	20 %	11.20	16.00
Flange	20.00	20 %	17.60	21.60
side #7 (46)				
Web	12.00	20 %	11.20	16.00
Flange	20.00	20 %	18.40	23.20
side #7 (47)				
Web	12.00	20 %	10.40	16.80
Flange	20.00	20 %	17.60	20.80
side #7 (48)				
Web	12.00	20 %	9.60	16.00
Flange	20.00	20 %	16.80	20.00
side #7 (49)				
Web	12.00	20 %	9.60	15.20

Flange	20.00	20 %	16.00	19.20
side #7 (50)				
Web	12.00	20 %	9.60	16.00
Flange	20.00	20 %	16.00	17.60
side #7 (51)				
Web	12.00	20 %	9.60	16.00
Flange	20.00	20 %	16.00	18.40
side #8 (53)				
Web	12.00	20 %	9.60	12.80
Flange	20.00	20 %	16.00	20.80
side #9 (54)				
Web	12.00	20 %	9.60	13.60
Flange	20.00	20 %	16.00	20.00
side #10 (55)				
Web	12.00	20 %	9.60	12.80
Flange	20.00	20 %	16.00	20.00
side #10 (56)				
Web	12.00	20 %	9.60	12.80
Flange	20.00	20 %	16.00	18.40
side #11 (57)				
Web	12.00	20 %	9.60	12.00
Flange	20.00	20 %	16.00	19.20
side #11 (58)				
Web	12.00	20 %	9.60	12.00
Flange	20.00	20 %	16.00	18.40
side #12 (60)				
Web	12.00	20 %	9.60	9.60
Flange	20.00	20 %	16.00	16.00
side #12 (61)				
Web	12.00	20 %	9.60	9.60
Flange	20.00	20 %	16.00	16.00
<b>INNER SKIN</b>				
inner hull #1 (31)				
Web	12.00	20 %	12.00	16.00
Flange	30.00	20 %	26.40	32.00
inner hull #2 (32)				
Web	12.00	20 %	9.60	9.60
Flange	30.00	20 %	24.00	24.00
inner hull #2 (33)				
Web	12.00	20 %	9.60	9.60
Flange	30.00	20 %	24.00	24.00
inner hull #2 (34)				
Web	12.00	20 %	9.60	9.60
Flange	30.00	20 %	24.00	24.00
inner hull#3 (35)				

Web	12.00	20 %	9.60	9.60
Flange	25.00	20 %	20.00	20.00
<i>inner hull#3 (36)</i>				
Web	12.00	20 %	9.60	9.60
Flange	25.00	20 %	20.00	20.00
<i>inner hull #4 (37)</i>				
Web	12.00	20 %	9.60	11.20
Flange	25.00	20 %	20.00	19.20
<i>inner hull #5 (39)</i>				
Web	12.00	20 %	9.60	12.80
Flange	20.00	20 %	16.80	17.60
<i>inner hull #6 (40)</i>				
Web	12.00	20 %	10.40	13.60
Flange	20.00	20 %	17.60	19.20
<i>inner hull #6 (41)</i>				
Web	12.00	20 %	10.40	13.60
Flange	20.00	20 %	16.80	18.40
<i>inner hull #6 (42)</i>				
Web	12.00	20 %	10.40	13.60
Flange	20.00	20 %	16.00	17.60
<i>inner hull #7(43)</i>				
Web	12.00	20 %	10.40	12.80
Flange	20.00	20 %	16.00	18.40
<i>inner hull #8 (44)</i>				
Web	12.00	20 %	10.40	13.60
Flange	20.00	20 %	16.00	18.40
<i>inner hull#9 (46)</i>				
Web	12.00	20 %	11.20	13.60
Flange	20.00	20 %	17.60	21.60
<i>inner hull#9 (47)</i>				
Web	12.00	20 %	10.40	13.60
Flange	20.00	20 %	17.60	20.00
<i>inner hull#9 (48)</i>				
Web	12.00	20 %	9.60	14.40
Flange	20.00	20 %	16.80	18.40
<i>inner hull #10 (49)</i>				
Web	12.00	20 %	11.20	16.00
Flange	20.00	20 %	18.40	20.80
<i>inner hull #10 (50)</i>				
Web	12.00	20 %	11.20	15.20
Flange	20.00	20 %	17.60	20.00
<i>inner hull #10 (51)</i>				
Web	12.00	20 %	9.60	12.80
Flange	20.00	20 %	16.80	20.00
<i>inner hull #11 (53)</i>				

Web	12.00	20 %	10.40	12.80
Flange	20.00	20 %	16.80	20.80
<i>inner hull #11 (54)</i>				
Web	12.00	20 %	9.60	12.00
Flange	20.00	20 %	16.00	19.20
<i>inner hull #11 (55)</i>				
Web	12.00	20 %	9.60	12.00
Flange	20.00	20 %	16.00	17.60
<i>inner hull #11 (56)</i>				
Web	12.00	20 %	9.60	11.20
Flange	20.00	20 %	16.00	16.80
<i>inner hull #11 (57)</i>				
Web	12.00	20 %	9.60	10.40
Flange	20.00	20 %	16.00	16.00
<i>inner hull #11 (58)</i>				
Web	12.00	20 %	9.60	9.60
Flange	20.00	20 %	16.00	16.00
<i>inner hull #12 (60)</i>				
Web	13.50	20 %	10.80	10.80
Flange	20.00	20 %	16.00	16.00
<i>inner hull #13 (61)</i>				
Web	12.00	20 %	9.60	9.60
Flange	20.00	20 %	16.00	16.00
<b>LONGITUDINAL</b>				
<i>long bulk. #1 (33)</i>				
Web	12.00	20 %	9.60	9.60
Flange	27.00	20 %	21.60	22.40
<i>long bulk. #1 (34)</i>				
Web	12.00	20 %	9.60	9.60
Flange	27.00	20 %	21.60	21.60
<i>long bulk. #2 (35)</i>				
Web	12.00	20 %	9.60	11.20
Flange	25.00	20 %	20.00	22.40
<i>long bulk. #2 (36)</i>				
Web	12.00	20 %	9.60	11.20
Flange	25.00	20 %	20.00	21.60
<i>long bulk. #2 (37)</i>				
Web	12.00	20 %	9.60	11.20
Flange	25.00	20 %	20.00	20.80
<i>long bulk. #3 (38)</i>				
Web	17.00	20 %	13.60	13.60
Flange	17.00	20 %	13.60	13.60
<i>long bulk. #4 (39)</i>				
Web	12.00	20 %	10.40	12.00
Flange	27.00	20 %	21.60	25.60

<i>long bulk. #5 (40)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	9.60	9.60
<i>Flange</i>	20.00	20 %	16.00	16.00
<i>long bulk. #5 (41)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	9.60	9.60
<i>Flange</i>	20.00	20 %	16.00	16.00
<i>long bulk. #5 (42)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	9.60	9.60
<i>Flange</i>	20.00	20 %	16.00	16.00
<i>long bulk. #5 (43)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	9.60	9.60
<i>Flange</i>	20.00	20 %	16.00	16.00
<i>long bulk. #5 (44)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	9.60	9.60
<i>Flange</i>	20.00	20 %	16.00	16.00
<i>long bulk. #6 (45)</i>				
<i>Web</i>	17.00	20 %	13.60	13.60
<i>Flange</i>	17.00	20 %	13.60	13.60
<i>long bulk. #7 (46)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	10.40	12.00
<i>Flange</i>	22.00	20 %	17.60	21.60
<i>long bulk. #8 (47)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	10.40	11.20
<i>Flange</i>	20.00	20 %	16.80	21.60
<i>long bulk. #8 (48)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	9.60	12.00
<i>Flange</i>	20.00	20 %	16.00	20.00
<i>long bulk. #9 (49)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	11.20	12.00
<i>Flange</i>	20.00	20 %	17.60	23.20
<i>long bulk. #9 (50)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	10.40	12.00
<i>Flange</i>	20.00	20 %	16.80	21.60
<i>long bulk. #9 (51)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	10.40	12.00
<i>Flange</i>	20.00	20 %	16.00	20.80
<i>long bulk. #10 (52)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	10.40	12.00
<i>Flange</i>	12.00	20 %	11.20	15.20
<i>long bulk. #11 (53)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	9.60	9.60
<i>Flange</i>	20.00	20 %	16.00	16.00
<i>long bulk. #12 (54)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	10.40	11.20
<i>Flange</i>	18.00	20 %	14.40	20.00



<i>long bulk. #12 (55)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	9.60	11.20
<i>Flange</i>	18.00	20 %	14.40	19.20
<i>long bulk. #12 (56)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	10.40	12.00
<i>Flange</i>	18.00	20 %	15.20	20.80
<i>long bulk. #12 (57)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	9.60	12.00
<i>Flange</i>	18.00	20 %	14.40	19.20
<i>long bulk. #12 (58)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	9.60	12.00
<i>Flange</i>	18.00	20 %	14.40	17.60
<i>long bulk. #12 (59)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	9.60	12.00
<i>Flange</i>	18.00	20 %	14.40	16.00
<i>long bulk. #12 (60)</i>				
<i>Web</i>	13.50	20 %	10.80	10.80
<i>Flange</i>	20.00	20 %	16.00	16.00
<i>long bulk. #12 (61)</i>				
<i>Web</i>	18.50	20 %	14.80	14.80
<i>Flange</i>	18.50	20 %	14.80	14.80
<i>long bulk. #12 (62)</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	9.60	9.60
<i>Flange</i>	25.00	20 %	20.00	20.00
<b>SIDE STRINGERS</b>				
<i>stringer no.3</i>				
<i>Web</i>	10.00	20 %	8.00	8.00
<i>Flange</i>	15.00	20 %	12.00	12.00
<i>stringer no.2</i>				
<i>Web</i>	10.00	20 %	8.00	8.00
<i>Flange</i>	15.00	20 %	12.00	12.00
<i>stringer no.1</i>				
<i>Web</i>	10.00	20 %	8.00	8.00
<i>Flange</i>	15.00	20 %	12.00	12.00
<i>stringer add.</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	9.60	9.60
<i>Flange</i>	15.00	20 %	12.00	12.00
<b>MAIN DECK</b>				
<i>deck # 1-11</i>				
<i>Web</i>	12.00	20 %	9.60	12.00
<i>Flange</i>	18.00	20 %	14.40	17.60
<i>deck # 13-27</i>				
<i>Web</i>	15.00	20 %	12.00	16.00
<i>Flange</i>	20.00	20 %	16.00	23.20
<i>deck # 29-31</i>				
<i>Web</i>	30.00	20 %	24.00	24.00

#### 4.6.1 Έλεγχος σε Λυγισμό

Το θέμα του λυγισμού έχει εξέχουσα σημασία καθόσον η κατανόηση της συμπεριφοράς υπό συνθήκες φόρτισης σε θλίψη και διάτμηση συμβάλλει στη σωστή πρόβλεψη των μέγιστων επιτρεπόμενων φορτίσεων που μπορεί να παραλάβει η κατασκευή, καθώς και στην αποφυγή κατάρρευσης, που θα μπορούσε να έχει καταστροφικά αποτελέσματα όχι μόνο σε τοπικό αλλά και σε ολικό επίπεδο.

Από την στιγμή που οι renewal τιμές έχουν προσδιοριστεί πρέπει να πραγματοποιηθεί έλεγχος για την ασφάλεια της κατασκευής σε τοπικό επίπεδο έναντι σε λυγισμό. Αυτός θα γίνει βασιζόμενος στα renewal scantlings, όπως προέκυψαν παραπάνω, και σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-2-A1]. Ο έλεγχος θα γίνει για λυγισμό υπό θλίψη και διάτμηση με την σύγκριση να γίνεται μεταξύ των πραγματικών τιμών των φορτίσεων που πρόκειται να επέλθουν στην κατασκευή, στην εκάστοτε θέση του υπό θεώρηση στοιχείου και των ιδανικών τιμών σε ελαστικό λυγισμό, από εμπειρικές σχέσεις. Όσον αφορά τα ενισχυτικά θα εξεταστούν οι μορφές αστοχίας κάτω από λυγισμό ως κολόνα, στρέψη και λυγισμού κορμού και πέλματος ενισχυτικού.

Οι θλιπτικές τάσεις που εξετάζονται οφείλονται στο φαινόμενο της κάμψης του πλοίου ως δοκός. Για τον λόγο αυτό οι μέγιστες καταπονήσεις αναπτύσσονται στις ακραίες ίνες της διατομής, δηλαδή στον πυθμένα, όταν έχουμε εφελκυσμό του καταστρώματος και θλίψη του πυθμένα (hogging) λόγω κατακόρυφης κάμψης και στο κατάστρωμα, όταν έχουμε εφελκυσμό του πυθμένα και θλίψη του καταστρώματος (sagging). Όσον αφορά τον λυγισμό λόγω διάτμησης, αυτός αποκτά μέγιστες τιμές φόρτισης σε περιοχές κοντά στον ουδέτερο άξονα της διατομής, σε τμήματα της κατασκευής που φέρουν διατμητική φόρτιση, όπως είναι οι διαμήκεις φρακτές. Άρα, λοιπόν, σε συμφωνία με τα παραπάνω, σε λυγισμό υπό θλίψη θα εξεταστούν τα ελάσματα και τα ενισχυτικά του πυθμένα και του καταστρώματος, ενώ σε λυγισμό υπό διάτμηση θα εξεταστούν τα στοιχεία της πλευράς και των διαμήκων φρακτών.

Σε πρώτο βήμα, υπολογίζονται οι θλιπτικές τάσεις λόγω κάμψης στα στοιχεία του πυθμένα και του καταστρώματος και οι διατμητικές τάσεις των στοιχείων της πλευράς και των διαμήκων φρακτών κοντά στον ουδέτερο άξονα. Στη συνέχεια, λαμβάνονται οι τιμές των ιδανικών τιμών τάσεων που πρέπει να έχουν τα στοιχεία σε θλίψη και διάτμηση μέσα από εμπειρικές σχέσεις. Τέλος, πραγματοποιείται ο τελικός έλεγχος.

## Working stresses

### (α) Longitudinal compressive stresses

Οι θλιπτικές τάσεις δίνονται από τον παρακάτω τύπο:

$$\sigma_{\alpha} = c_5 \frac{\beta_{VBM} M_w + M_{sw}}{I_n} y \quad , \sigma \text{ σε } N/mm^2$$
$$= 30/Q \text{ minimum}$$

όπου,

$M_{sw}$  = μέγιστη καμπτική ροπή σε ήρεμο νερό στην περιοχή λειτουργίας, σε kN·m

$M_w$  = μέγιστη καμπτική ροπή σε κυματισμό στην περιοχή λειτουργίας, σε kN·m

$I_n$  = ροπή αδράνειας της μέσης τομής βάσει των reassessed gross scantlings, σε cm<sup>4</sup>

$y$  = κατακόρυφη απόσταση από τον ουδέτερο άξονα ως το υπό θεώρηση σημείο, σε m

$Q$  = συντελεστής μετατροπής υλικού

$c_5$  = 10<sup>5</sup>

$\beta_{VBM}$  = ESF για την κατακόρυφη καμπτική ροπή

$M_w$  και  $M_{sw}$  λαμβάνονται σαν hogging και sagging, αντίστοιχα, για μέλη πάνω ή κάτω από τον ουδέτερο άξονα.

Εφαρμόζοντας την παραπάνω σχέση για τον πυθμένα και το κατάστρωμα προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

	NIGERIA		N. SEA	
	$\sigma_{\alpha}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		$\sigma_{\alpha}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
	max	min	max	min
<i>Bottom plating</i>	143.9	38.5	167.4	38.5
<i>Deck plating</i>	168.6	38.5	177.4	38.5

### (b) Shear stresses

Ο προσδιορισμός των διατμητικών τάσεων μιας διατομής πλοίου, όπως αυτής που διαθέτουμε δεν είναι απλός. Στην περίπτωση μας, όπου η διάταξη στη διατομή έχει και διαμήκεις φρακτές, οι οποίες δημιουργούν κλειστές κυψέλες, το πρόβλημα θεωρείται υπερστατικό. Για την επίλυση αυτού, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία [Ref. 3].

#### **Μέθοδος αναλυτικού υπολογισμού**

Η συνολική ονομαστική διατμητική τάση  $\tau$  στο πλευρικό έλασμα ή στην διαμήκη φρακτή σχετίζεται με τη διατμητική ροή  $q$  στο υπό θεώρηση σημείο, βάσει της επόμενης σχέσης:

$$q = \tau \times t$$

όπου,

$q$  = η διατμητική ροή, σε  $kN/cm$

$\tau$  = η διατμητική τάση, σε  $kN/cm^2$

$t$  = το πάχος του ελάσματος, σε  $cm$

Η διατμητική ροή μιας κλειστής πρισματικής διατομής εκφράζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$q = \frac{F}{I} \cdot m + q_c$$

όπου,

$F$  = η συνολική διατμητική δύναμη που εφαρμόζεται στη διατομή

$I$  = η ροπή αδράνειας της διατομής ως προς τον ουδέτερο άξονα αυτής

$m$  = η πρώτη ροπή επιφανείας ως προς τον ουδέτερο άξονα της διατομής της ακμής της διατομής μεταξύ του σημείου που έχουμε θεωρήσει μηδέν την διατμητική ροή  $s = 0$  και του σημείου  $s$  όπου υπολογίζεται η διατμητική ροή

$$m = \int_0^s Z t ds + \sum_{i=0}^n \alpha_i z_i$$

$Z$  = απόσταση από τον ουδέτερο άξονα της διατομής ως το σημείο του τόξου της περιφέρειας  $s$

$\alpha$  = ισοδύναμη επιφάνεια του ενισχυτικού ή της σταθμίδας που συνδέεται με το έλασμα του καταστρώματος, της πλευράς και της διαμήκουσ φρακτής

Το  $q_c$  προσδιορίζεται από την σχέση του *Bredt*, χρησιμοποιώντας την υπόθεση ότι δεν υπάρχει στροφή στην κυψέλη, δηλαδή, η ροπή στρέψης ως αποτέλεσμα της διατμητικής ροής γύρω από μία κλειστή κυψέλη πρέπει να ισούται με μηδέν, ή

$$\oint q_s \frac{ds}{t} = 0$$

Για μια διατομή με πολλές κυψέλες, όπως στην περίπτωση μας, η στον αριθμό, η σχέση μπορεί να γραφεί για την  $i$ -οστή κυψέλη ως ακολούθως:

$$\oint_i q_s \frac{ds}{t} = \frac{F}{I} \oint_i m_i \frac{ds}{t} + q_{c-1} \int_{Div} \frac{ds}{t} + q_c \oint \frac{ds}{t} + q_{c+1} \int_{Div} \frac{ds}{t} = 0$$

*Div* = το κοινό τμήμα μεταξύ της κυψέλης  $i$  και των γειτονικών κυψελών  $i - 1$  και  $i + 1$

Ο πρώτος όρος αντιπροσωπεύει τη ροπή στρέψης γύρω από την κυψέλη  $i$  στο υποτιθέμενο στατικό πρόβλημα. Οι τιμές των  $m$  υπολογίζονται θεωρώντας αυθαίρετα μηδενικά σημεία διατμητικής ροής στην κυψέλη  $i$  και στις γειτονικές κυψέλες. Οι εναπομείναντες όροι στις εξισώσεις αντιπροσωπεύουν τις στρεπτικές ροπές που επαναφέρουν - ισορροπούν την κυψέλη  $i$  και εκείνων που προκύπτουν από τα κοινά τμήματα των γειτονικών κυψελών  $i - 1$  και  $i + 1$

Τέλος, για τον προσδιορισμό της σταθερής ροής στις κυψέλες  $q_{c1}, q_{c2}, \dots, q_{ci}, q_{cn}$ , η αριθμός εξισώσεων πρέπει να λυθεί ταυτόχρονα ως σύστημα, μία για κάθε κυψέλη.

### **Υπολογισμός μέσω προγράμματος**

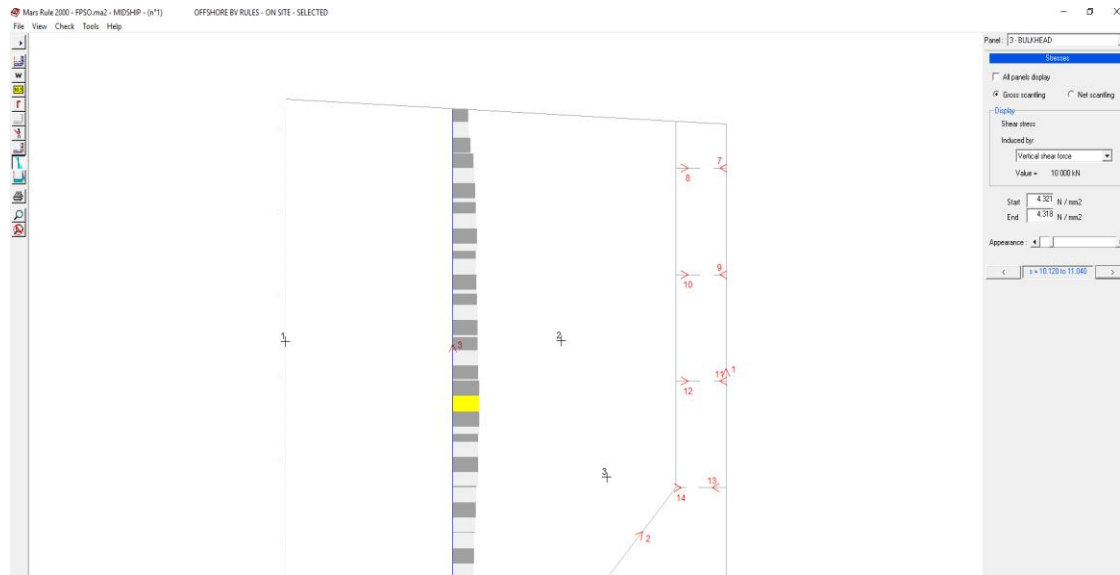
Με βάση το παραπάνω θεωρητικό υπόβαθρο υπολογισμών υπολογίστηκαν οι διατμητικές τάσεις στο πρόγραμμα *MARS BV* για τη διατομή της μέσης τομής του πλοίου. Τα πάχη των ελασμάτων που εισάγονται είναι τα reassessed gross. Πέρα από την εισαγωγή της γεωμετρίας καταχωρήθηκε η συνολική καμπτική ροπή και η συνολική διατμητική δύναμη που ασκείται στην κατασκευή, όπως υπολογίστηκαν στην παράγραφο 4.5.1.2, για τις δύο περιοχές.

<b>N. SEA – ON-SITE</b>				
	Positive (t)	Negative (t)	Positive (kN)	Negative (kN)
<b>F<sub>T</sub></b>	<u>21,999</u>	<u>-23,599</u>	215,740	-231,431

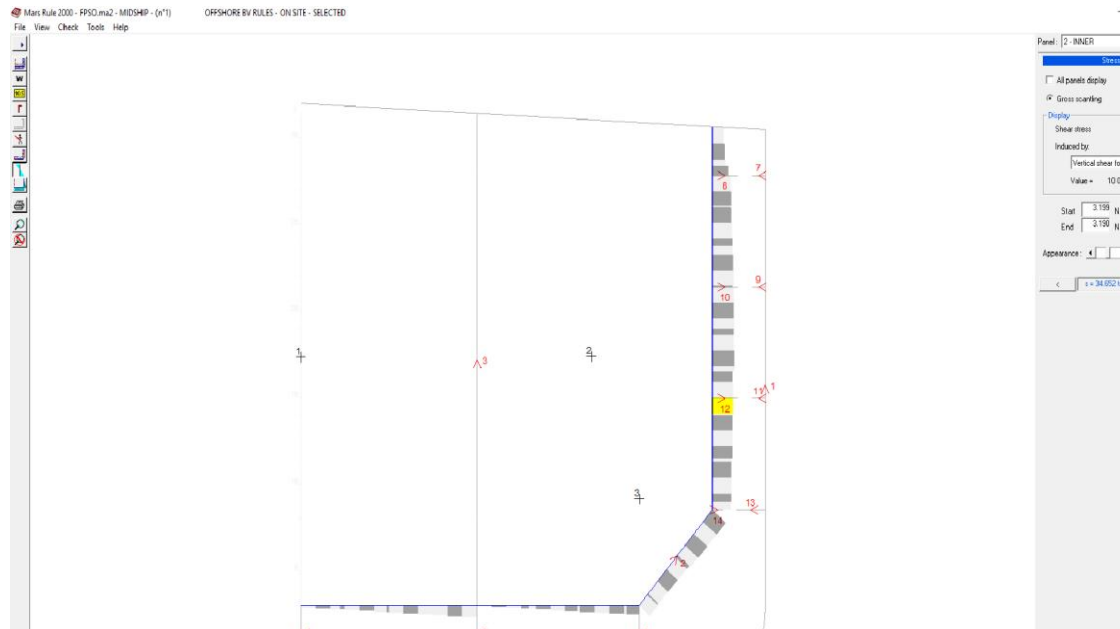
<b>NIGERIA - ON-SITE</b>				
	Positive (t)	Negative (t)	Positive (kN)	Negative (kN)
<b>F<sub>T</sub></b>	<u>17,761</u>	<u>-22,145</u>	174,179	-217,172

Οι μέγιστες διατμητικές τάσεις αναπτύσσονται κοντά στον ουδέτερο άξονα της διατομής και οι τιμές αυτών, όπως προήλθαν από το πρόγραμμα για το εξωτερικό πλευρικό έλασμα και τις δύο διαμήκεις φρακτές, έχουν ως εξής:

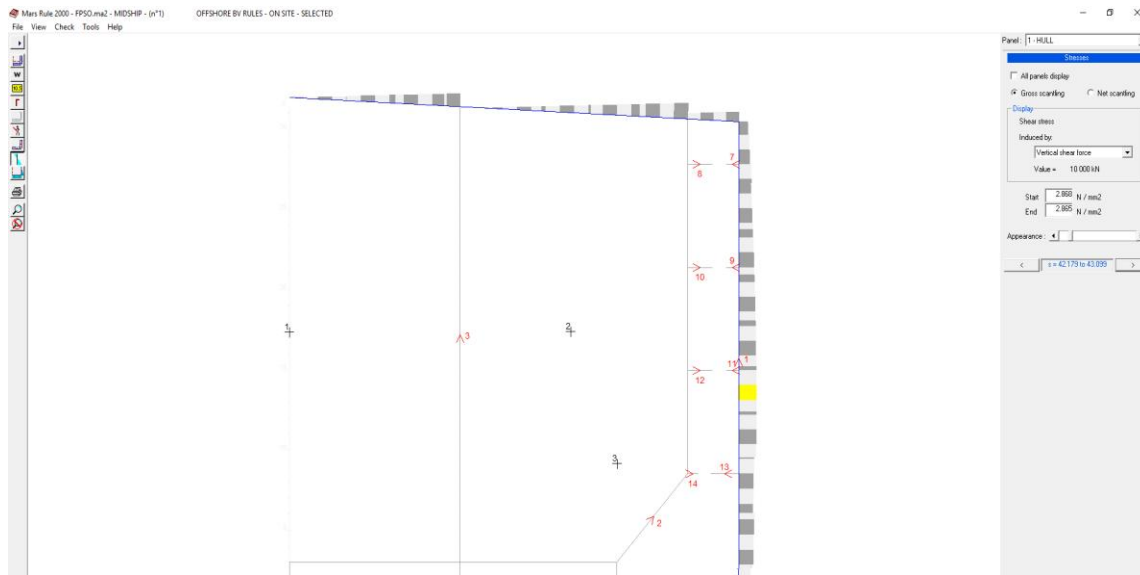
		<b>NIGERIA</b>	<b>N. SEA</b>
	Strake No.	$\tau_{\alpha, \max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\tau_{\alpha, \max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<i>Side shell plating</i>	4	62.3	66.4
<i>Inner skin bhd plating</i>	4	72.9	75.7
<i>Longitudinal bhd</i>	4	95.2	99.9



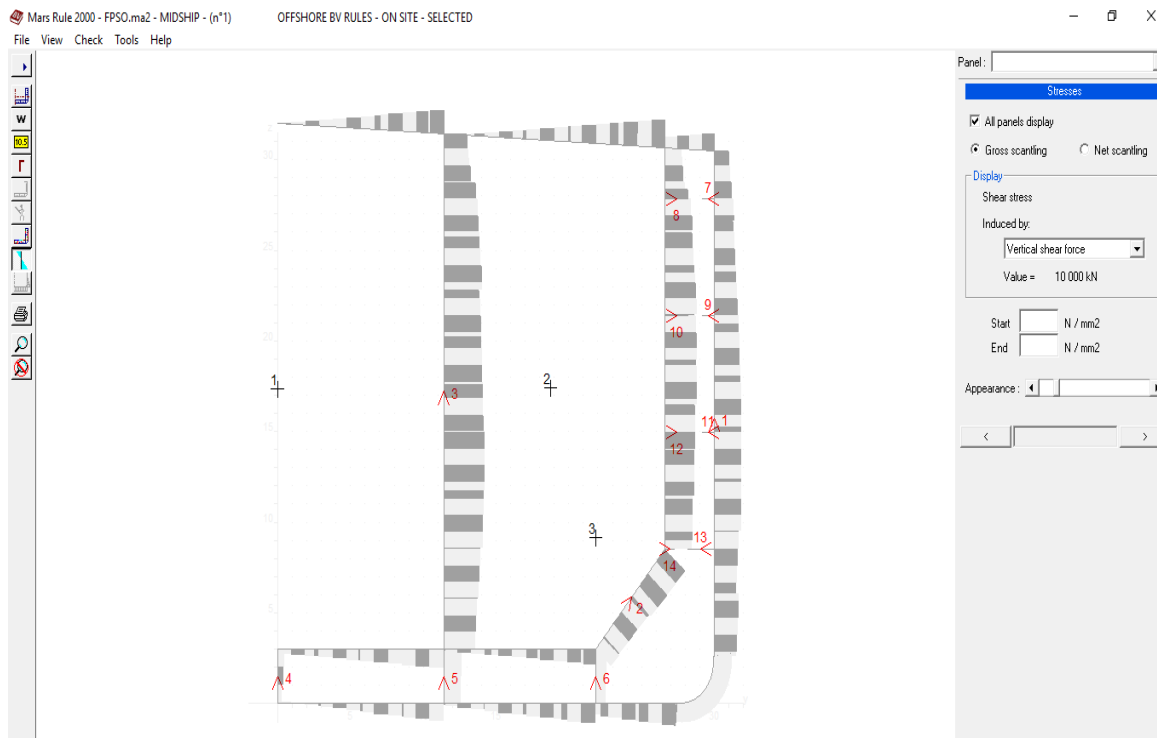
Εικόνα 4-10: Κατανομή διατμητικών τάσεων στην διαμήκη φρακτή (πρόγραμμα MARS BV)



Εικόνα 4-11: Κατανομή διατμητικών τάσεων στην διαμήκη φρακτή (πρόγραμμα MARS BV)



**Εικόνα 4-12: Κατανομή διατμητικών τάσεων στο πλευρικό έλασμα (πρόγραμμα MARS BV)**



**Εικόνα 4-13: Κατανομή διατμητικών τάσεων στη μέση τομή, βάσει των reassessed scantlings (MARS BV software).**



#### 4.6.1.1 Λυγισμός Ελασμάτων

##### (a) Θλίψη

Η ιδανική τάση ελαστικού λυγισμού δίνεται από την σχέση:

$$\sigma_E = 0.9mE \left(\frac{t_b}{s}\right)^2 \quad \text{N/mm}^2$$

Για ελάσματα με διαμήκη ενισχυτικά:

$$m = \frac{8.4}{\psi+1.1} \quad \text{για } 0 \leq \psi \leq 1$$

όπου,

$$E = 2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$t_b$  = renewal thickness of plating, σε mm

$s$  = shorter side of plate panel, σε mm

$l$  = longer side of plate panel, σε mm

$\psi$  = ο λόγος της μικρότερης προς την μεγαλύτερη θλιπτική τάση,  $\sigma_a$ , η οποία μεταβάλλεται γραμμικά κατά μήκος του panel

Εφαρμόζοντας την παραπάνω σχέση προκύπτουν τα εξής:

<b>NIGERIA</b>			
	$\psi$	m	$\sigma_E$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<i>Bottom plating (s=950mm)</i>	0.27	6.14	323.1
<i>Deck plating (s=950mm)</i>	0.23	6.32	332.6

<b>N. SEA</b>			
	$\psi$	m	$\sigma_E$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<i>Bottom plating (s=950mm)</i>	0.23	6.32	366.3
<i>Deck plating (s=950mm)</i>	0.22	6.38	352.5

**(b) Διάτμηση**

Η ιδανική τάση ελαστικού λυγισμού δίνεται από την σχέση:

$$\tau_E = 0.9k_t E \left(\frac{t_b}{s}\right)^2 \quad \text{N/mm}^2$$

όπου,

$$k_t = 5.34 + 4 \left(\frac{s}{l}\right)^2$$

$E$ ,  $t_b$ ,  $s$  και  $l$  όπως ορίζονται στο 4.6.1.1/a

<b>NIGERIA</b>		
	$k_t$	$\tau_E$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<i>Side shell plating</i>	5.44	336.6
<i>Inner skin bhd plating</i>	5.44	247.3
<i>Longitudinal bhd</i>	5.44	207.8

<b>N. SEA</b>		
	$k_t$	$\tau_E$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<i>Side shell plating</i>	5.44	439,7
<i>Inner skin bhd plating</i>	5.44	290.3
<i>Longitudinal bhd</i>	5.44	247.3

#### 4.6.1.2 Λυγισμός Ενισχυτικών

##### (α) Λυγισμός ως Κολόνα χωρίς Περιστροφή της Διατομής

Για τον λυγισμό ως κολόνα (κάθετο στο επίπεδο του ελάσματος), η ιδανική τάση ελαστικού λυγισμού δίνεται από την σχέση:

$$\sigma_E = \frac{EI_\alpha}{c_1 A l^2}$$

όπου,

$I_\alpha$  = ροπή αδράνειας, σε  $\text{cm}^4$ , του ενισχυτικού μαζί με το συνεργαζόμενο έλασμα και υπολογιζόμενο με το renewal thickness

$A$  = το εμβαδόν της διατομής, σε  $\text{cm}^2$ , του ενισχυτικού μαζί με το συνεργαζόμενο έλασμα και υπολογιζόμενο με το renewal thickness

$l$  = 5.68, μη υποστηριζόμενο άνοιγμα, σε m, του ενισχυτικού

$c_1$  = 1000

$E$  =  $2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

<b>NIGERIA</b>				
	Type	$I_\alpha$ [ $\text{cm}^4$ ]	$A$ [ $\text{cm}^2$ ]	$\sigma_{E\alpha}$ [ $\text{N/mm}^2$ ]
<i>Bottom stiffeners</i>	T 650 x 13 / 220 x 30	208,547	263.3	5,058
<i>Deck stiffeners</i>	T 425 x 12 / 175 x 18	57,076	225.6	1,615
	T 375 x 15 / 150 x 20	47,004	259.0	1,158
	FB 400 x 30	37,766	238.8	1,009

<b>N.SEA</b>				
	Type	$I_\alpha$ [ $\text{cm}^4$ ]	$A$ [ $\text{cm}^2$ ]	$\sigma_{E\alpha}$ [ $\text{N/mm}^2$ ]
<i>Bottom stiffeners</i>	T 650 x 13 / 220 x 30	212,171	270.4	5,010
<i>Deck stiffeners</i>	T 425 x 15 / 175 x 22	65,134	224.6	1,852
	T 375 x 20 / 150 x 29	56,916	237.7	1,529
	FB 400 x 30	41,065	227.8	1,151

(b) Λυγισμός υπό στρέψη

Για τον λυγισμό υπό στρέψη, η ιδανική τάση ελαστικού λυγισμού δίνεται από την σχέση:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E I_w}{10 c_1 I_p l^2} \left( m^2 + \frac{K}{m^2} \right) + 0.385 E \frac{I_t}{I_p} \quad \text{σε } N/mm^2$$

όπου,

$$K = c_2 \frac{c l^4}{\pi^4 E I_w}$$

m = ο αριθμός ημικυμάτων όπως δίνεται στον πίνακα 4-14

$$c_2 = 10^6$$

$I_t$  = ροπή αδράνειας St. Venant's, σε  $cm^4$ , του ενισχυτικού

$$= c_3 \frac{h_w t_w^3}{3} \quad \text{για flat bars}$$

$$= c_3 \frac{1}{3} \left[ h_w t_w^3 + b_f t_f^3 \left( 1 - 0.63 \frac{t_f}{b_f} \right) \right] \quad \text{για flanged profiles}$$

$$c_3 = 10^{-4}$$

$I_p$  = πολική ροπή αδράνειας, σε  $cm^4$ , του ενισχυτικού ως προς την σύνδεση  
του ενισχυτικού στο έλασμα

$$= c_3 \frac{t_w h_w^3}{3} \quad \text{για flat bars}$$

$$= c_3 \left( \frac{t_w h_w^3}{3} + h_w^2 b_f t_f \right) \quad \text{για flanged profiles}$$

$I_w$  = σταθερά στρέβλωσης, σε  $cm^6$ , του ενισχυτικού ως προς την σύνδεση  
του ενισχυτικού στο έλασμα

$$= c_4 \frac{h_w^3 t_w^3}{36} \quad \text{για flat bars}$$

$$= c_4 \left( \frac{t_f b_f^3 h_w^2}{12} \right) \quad \text{για "Tee" profiles}$$

$$c_4 = 10^{-6}$$

$h_w$  = ύψος κορμού, σε mm

$t_w$  = πάχος κορμού, σε mm

$b_f$  = πλάτος πέλματος, σε mm

$t_f$  = πάχος πέλματος, σε mm

$l$  = άνοιγμα ενισχυτικού, σε m

$s$  = απόσταση ενισχυτικών, σε mm

$C$  = σταθερά στρέψης ελατηρίου

$$= \frac{k_p E t_p^3}{3s \left( 1 + \frac{1.33 k_p h_w t_p^3}{s t_w^3} \right)}$$

$$k_p = 1 - n_p, >0$$

$t_p$  = plate renewal thickness, σε mm

$$n_p = \frac{\sigma_a}{\sigma_{Ep}}$$

$\sigma_a$  = θλιπτική τάση που υπολογίστηκε

$\sigma_{Ep}$  = ελαστική τάση λυγισμού του υποστηριζόμενου ελάσματος

Αντικαθιστώντας και εφαρμόζοντας τις παραπάνω σχέσεις για τη Νιγηρία, ενισχυτικά πυθμένα:

$$K = c_2 \frac{Cl^4}{\pi^4 E I_w} = 0.3$$

$$m = 1$$

$$c_2 = 10^6$$

$$I_t = 125 \text{ cm}^4$$

$$c_3 = 10^{-4}$$

$$I_p = 325,607 \text{ cm}^4$$

$$I_w = 8,997,560 \text{ cm}^6$$

$$c_4 = 10^{-6}$$

$$h_w = 650 \text{ mm}$$

$$t_w = 11.2 \text{ mm}$$

$$b_f = 220 \text{ mm}$$

$$t_f = 24 \text{ mm}$$

$$l = 5.68 \text{ m}$$

$$s = 950 \text{ mm}$$

$$C = 57,867 \text{ N}$$

$$k_p = 0.55$$

$$t_p = 16.00 \text{ mm}$$

$$n_p = \frac{\sigma_a}{\sigma_{Ep}} = 0.45$$

$$\sigma_a = 143.9 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ep} = 323.1 \text{ N/mm}^2$$

Άρα,

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E I_w}{10 c_1 I_p l^2} \left( m^2 + \frac{K}{m^2} \right) + 0.385 E \frac{I_t}{I_p} = 267.2 \text{ N/mm}^2$$

<b>NIGERIA</b>		
	Type	$\sigma_E$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<i>Bottom stiffeners</i>	T 650 x 13 / 220 x 30	267.2
<i>Deck stiffeners</i>	T 425 x 12 / 175 x 18	426.1
	T 375 x 15 / 150 x 20	469.6
	FB 400 x 30	384.6

<b>N. SEA</b>		
	Type	$\sigma_E$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<i>Bottom stiffeners</i>	T 650 x 13 / 220 x 30	269.7
<i>Deck stiffeners</i>	T 425 x 15 / 175 x 22	495.3
	T 375 x 20 / 150 x 29	542.0
	FB 400 x 30	394.0

(c) Λυγισμός κορμού και πέλματος ενισχυτικού

Για τον κορμό του ενισχυτικού, η ιδανική τάση ελαστικού λυγισμού δίνεται από την σχέση:

$$\sigma_E = 3.8CE \left( \frac{t_w}{h_w} \right)^2$$

όπου,

$$C = 1 \quad \text{για τα ενισχυτικά}$$

= 0.11 για flat bars

Για πέλματα T-διατομών , η επόμενη συνθήκη πρέπει να ικανοποιείται:

$$\frac{b_f}{t_f} \leq 15$$

Αντικαθιστώντας και εφαρμόζοντας τις παραπάνω σχέσεις για τη Νιγηρία, ενισχυτικά πυθμένα:

<b>NIGERIA</b>			
	Type	$\sigma_E [N/mm^2]$	$b_f / t_t$
<i>Bottom stiffeners</i>	T 650 x 13 / 220 x 30	200.4	4.6
<i>Deck stiffeners</i>	T 425 x 12 / 175 x 18	399.4	6.1
	T 375 x 15 / 150 x 20	801.6	4.7
	FB 400 x 30	310.0	-

<b>N. SEA</b>			
	Type	$\sigma_E [N/mm^2]$	$b_f / t_t$
<i>Bottom stiffeners</i>	T 650 x 13 / 220 x 30	200.4	4.6
<i>Deck stiffeners</i>	T 425 x 15 / 175 x 22	624.1	5.0
	T 375 x 20 / 150 x 29	1,425.0	3.2
	FB 400 x 30	310.0	-

**Πίνακας 4-14: Αριθμός ημικυμάτων (Ref. 1)**

	$0 < K \leq 4$	$4 < K \leq 36$	$36 < K \leq 144$	$144 < K \leq 400$	$(m - 1)^2 m^2 < K \leq m^2 (m + 1)^2$
<i>m</i>	1	2	3	4	<i>m</i>

### 4.6.1.3 Κρίσιμες τάσεις σε λυγισμό

#### (α) Θλίψη

Η κρίσιμη τιμή τάσης λυγισμού σε θλίψη,  $\sigma_c$ , προσδιορίζεται όπως παρακάτω:

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \sigma_E && \text{όταν } \sigma_E \leq \frac{\sigma_F}{2} \\ &= \sigma_F \left(1 - \frac{\sigma_F}{4\sigma_E}\right) && \text{όταν } \sigma_E > \frac{\sigma_F}{2}\end{aligned}$$

όπου,

$\sigma_F$  = όριο διαρροής του υλικού, σε N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_E$  = ιδανική τάση ελαστικού λυγισμού σε θλίψη, όπως υπολογίστηκε

#### (β) Διάτμηση

Η κρίσιμη τιμή τάσης λυγισμού σε διάτμηση,  $\tau_c$ , προσδιορίζεται όπως παρακάτω:

$$\begin{aligned}\tau_c &= \tau_E && \text{όταν } \tau_E \leq \frac{\tau_F}{2} \\ &= \tau_F \left(1 - \frac{\tau_F}{4\tau_E}\right) && \text{όταν } \tau_E > \frac{\tau_F}{2}\end{aligned}$$

όπου,

$$\tau_F = \frac{\sigma_F}{\sqrt{3}}$$

$\sigma_F$  = όριο διαρροής του υλικού, σε N/mm<sup>2</sup>

$\tau_E$  = ιδανική τάση ελαστικού λυγισμού σε διάτμηση, όπως υπολογίστηκε



<b>NIGERIA</b>				
		$\sigma_E$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_F$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<i>Bottom plating</i>		323.1	315.0	238.2
<i>Deck plating</i>		332.6	315.0	240.4
	Type	$\sigma_{Ea}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_F$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<i>Bottom stiffeners</i>	T 650 x 13 / 220 x 30	5,058	315.0	310.1
<i>Deck stiffeners</i>	T 425 x 12 / 175 x 18	1,615	315.0	299.6
	T 375 x 15 / 150 x 20	1,158	315.0	293.6
	FB 400 x 30	1,009	315.0	290.4
		$\sigma_{Eb}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		
<i>Bottom stiffeners</i>	T 650 x 13 / 220 x 30	267.2	315.0	222.2
<i>Deck stiffeners</i>	T 425 x 12 / 175 x 18	426.1	315.0	256.8
	T 375 x 15 / 150 x 20	469.6	315.0	263.8
	FB 400 x 30	384.6	315.0	250.5
		$\sigma_{Ec}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		
<i>Bottom stiffeners</i>	T 650 x 13 / 220 x 30	200.4	315.0	191.2
<i>Deck stiffeners</i>	T 425 x 12 / 175 x 18	399.4	315.0	252.9
	T 375 x 15 / 150 x 20	801.6	315.0	284.1
	FB 400 x 30	310.0	315.0	235.0

<b>N.SEA</b>				
		$\sigma_E$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_F$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<i>Bottom plating</i>		366.3	315.0	247.3
<i>Deck plating</i>		352.5	315.0	244.6
	Type	$\sigma_{Ea}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_F$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<i>Bottom stiffeners</i>	T 650 x 13 / 220 x 30	5,010	315.0	310.1
<i>Deck stiffeners</i>	T 425 x 12 / 175 x 18	1,852	315.0	301.6
	T 375 x 15 / 150 x 20	1,529	315.0	298.8
	FB 400 x 30	1,151	315.0	293.5
		$\sigma_{Eb}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		
<i>Bottom stiffeners</i>	T 650 x 13 / 220 x 30	269.7	315.0	223.0
<i>Deck stiffeners</i>	T 425 x 12 / 175 x 18	495.3	315.0	269.9
	T 375 x 15 / 150 x 20	542.0	315.0	269.2
	FB 400 x 30	394.0	315.0	252.0
		$\sigma_{Ec}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		
<i>Bottom stiffeners</i>	T 650 x 13 / 220 x 30	200.4	315.0	191.2
<i>Deck stiffeners</i>	T 425 x 12 / 175 x 18	624.1	315.0	264.9
	T 375 x 15 / 150 x 20	1,425.0	315.0	297.6
	FB 400 x 30	310.0	315.0	235.0

<b>NIGERIA</b>			
	$\tau_E$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\tau_F$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\tau_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<i>Side shell plating</i>	336.6	135.7	122.0
<i>Inner skin bhd plating</i>	247.3	135.7	117.1
<i>Longitudinal bhd</i>	207.8	181.9	142.1

<b>N. SEA</b>			
	$\tau_E$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\tau_F$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\tau_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<i>Side shell plating</i>	336.6	135.7	125.2
<i>Inner skin bhd plating</i>	247.3	135.7	119.8
<i>Longitudinal bhd</i>	207.8	181.9	148.4

#### 4.6.1.4 Έλεγχος λυγισμού

Η τάση λυγισμού σχεδίασης,  $\sigma_c$ , των panels των ελασμάτων και των ενισχυτικών πρέπει να ικανοποιεί την σχέση:

$$\sigma_c \geq \beta \sigma_\alpha$$

όπου,

$$\beta = 1 \quad \text{για ελάσματα}$$

$$\beta = 1.1 \quad \text{για ενισχυτικά}$$

Η κρίσιμη τάση σχεδιασμού για λυγισμό,  $\tau_c$ , για τα ελάσματα δίνεται από τη σχέση:

$$\tau_c \geq \tau_\alpha$$

όπου,

$$\tau_\alpha = \text{working shear stress στο υπό θεώρηση πάνελ ελασμάτων, σε N/mm}^2$$

Ακολουθούν τα τελικά αποτελέσματα στους Πίνακες που παρουσιάζονται.

<b>NIGERIA</b>				
		$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\beta\sigma_\alpha$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_c \geq \beta\sigma_\alpha$
<i>Bottom plating</i>		238.2	143.9	OK
<i>Deck plating</i>		240.4	168.6	OK
	Type	$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\beta\sigma_\alpha$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_c \geq \beta\sigma_\alpha$
<i>Bottom stiffeners</i>	T 650 x 13 / 220 x 30	310.1	158.2	OK
<i>Deck stiffeners</i>	T 425 x 12 / 175 x 18	299.6	185.4	OK
	T 375 x 15 / 150 x 20	293.6	185.4	OK
	FB 400 x 30	290.4	185.4	OK
<i>Bottom stiffeners</i>	T 650 x 13 / 220 x 30	222.2	158.2	OK
<i>Deck stiffeners</i>	T 425 x 12 / 175 x 18	256.8	185.4	OK
	T 375 x 15 / 150 x 20	263.8	185.4	OK
	FB 400 x 30	250.5	185.4	OK
<i>Bottom stiffeners</i>	T 650 x 13 / 220 x 30	191.2	158.2	OK
<i>Deck stiffeners</i>	T 425 x 12 / 175 x 18	252.9	185.4	OK
	T 375 x 15 / 150 x 20	284.1	185.4	OK
	FB 400 x 30	235.0	185.4	OK

<b>N. SEA</b>				
		$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\beta\sigma_\alpha$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_c \geq \beta\sigma_\alpha$
<i>Bottom plating</i>		247.3	167.4	OK
<i>Deck plating</i>		244.6	177.4	OK
	Type	$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\beta\sigma_\alpha$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_c \geq \beta\sigma_\alpha$
<i>Bottom stiffeners</i>	T 650 x 13 / 220 x 30	310.1	184.1	OK
<i>Deck stiffeners</i>	T 425 x 12 / 175 x 18	301.6	195.1	OK
	T 375 x 15 / 150 x 20	298.8	195.1	OK
	FB 400 x 30	293.5	195.1	OK
<i>Bottom stiffeners</i>	T 650 x 13 / 220 x 30	223.0	184.1	OK
<i>Deck stiffeners</i>	T 425 x 12 / 175 x 18	269.9	195.1	OK
	T 375 x 15 / 150 x 20	269.2	195.1	OK
	FB 400 x 30	252.0	195.1	OK
<i>Bottom stiffeners</i>	T 650 x 13 / 220 x 30	191.2	184.1	OK
<i>Deck stiffeners</i>	T 425 x 12 / 175 x 18	264.9	195.1	OK
	T 375 x 15 / 150 x 20	297.6	195.1	OK
	FB 400 x 30	235.0	195.1	OK

<b>NIGERIA</b>			
	$\tau_c [N/mm^2]$	$\tau_\alpha [N/mm^2]$	$\tau_c \geq \tau_\alpha$
<i>Side shell plating</i>	122.0	62.3	OK
<i>Inner skin bhd plating</i>	117.1	72.9	OK
<i>Longitudinal bhd</i>	142.1	95.2	OK

<b>N. SEA</b>			
	$\tau_c [N/mm^2]$	$\tau_\alpha [N/mm^2]$	$\tau_c \geq \tau_\alpha$
<i>Side shell plating</i>	125.2	62.3	OK
<i>Inner skin bhd plating</i>	119.8	72.9	OK
<i>Longitudinal bhd</i>	148.4	95.2	OK

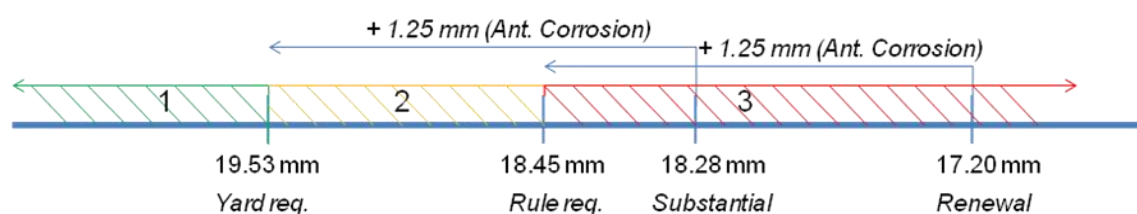
Άρα, από άποψη λυγισμού όλες οι απαιτήσεις καλύπτονται.

## 4.7 Κριτήρια Αξιολόγησης και Εκτίμησης της Μεταλλικής Κατασκευής

Η μεταλλική κατασκευή η οποία μετατρέπεται πρέπει να ικανοποιεί τα κριτήρια ανανέωσης (renewal criteria) τα οποία προσδιορίζονται και προκύπτουν από τη μέθοδο της επαναξιολόγησης-επανεκτίμησης (reassessment method) που προηγήθηκε. Σύμφωνα με τους κανονισμούς, κατά την μετατροπή, τα απαιτούμενα πάχη είναι τα renewal όπως έχουν προσδιοριστεί από την μέθοδο της επανεκτίμησης (reassessment procedure) συν τα ελάχιστα προσδωκόμενα περιθώρια διάβρωσης, όπως αυτά έχουν οριστεί στο εδάφιο 4-3, για 20 χρόνια λειτουργίας στο field [Ref. 1]. Τα απαιτούμενα πάχη από πλευράς ναυπηγείου (yard required scantlings), προκύπτουν από το άθροισμα των substantial corrosion scantlings και των ελάχιστων προσδοκώμενων περιθωρίων διάβρωσης. Όσο για την κάλυψη αυτού του κενού – μεταξύ Rule required scantlings και Yard required scantlings – επισημαίνεται στους κανονισμούς [5A-2-1/5.3], ότι σε επιθεωρήσεις κατά τη διάρκεια υπηρεσίας, εάν το μετρούμενο πάχος ενός στοιχείου βρίσκεται στη ζώνη μεταξύ renewal και substantial thickness, είτε το συγκεκριμένο στοιχείο πρέπει να αντικατασταθεί και να επισκευαστεί είτε εναλλακτικά, απαιτούνται συνεχείς ετήσιες επιθεωρήσεις για τον έλεγχο της κατάστασης.

Γενικά. Με τον όρο *substantial corrosion* εννοούμε την απώλεια του κάθε ελάσματος και ενισχυτικού σε ποσοστό πάνω από 75% του επιτρεπόμενου περιθωρίου, άλλα μέσα σε επιτρεπτά πλαίσια [Ref. 7].

Στη συνέχεια, δίνεται ένα παράδειγμα εφαρμογής όσων προαναφέρθηκαν, για το έλασμα της τρόπιδας στην περιοχή της Νιγηρίας. Προέκυψε από τη μέθοδο επανεκτίμησης για την συγκεκριμένη περιοχή, ότι το πάχος του ελάσματος είναι 21.50 mm.



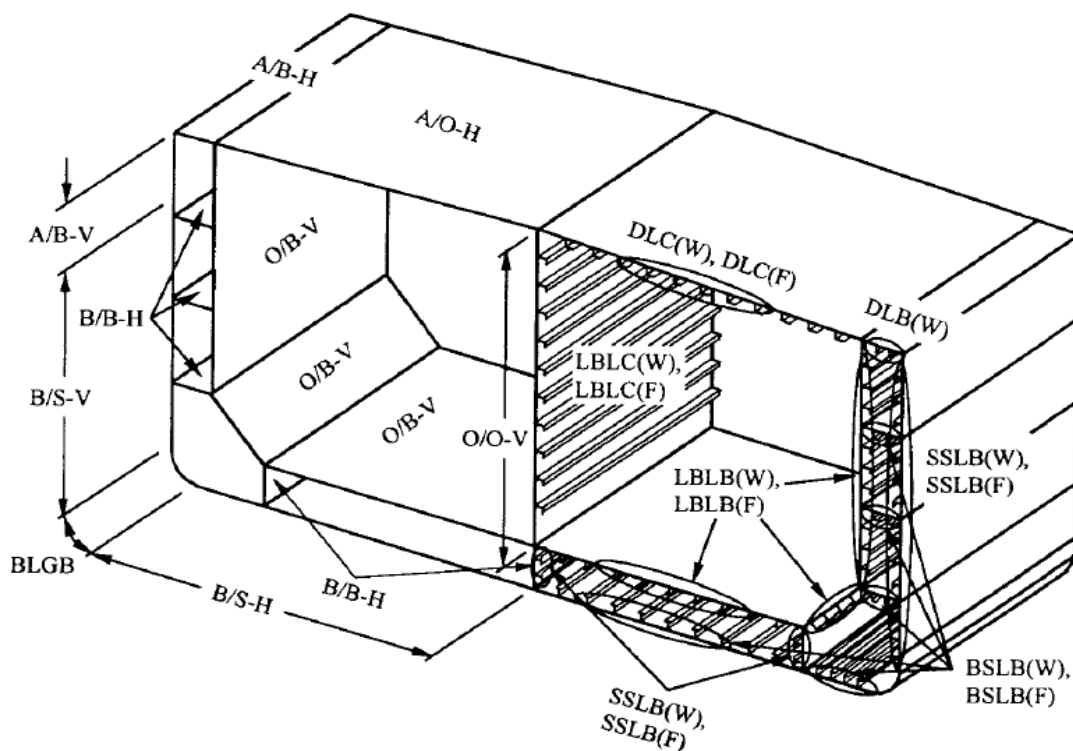
Ζώνες	Συνθήκη	Κατάσταση	Ενέργειες
1	$t \geq t_{Yard\ req}$	Αποδεκτή	-
2	$t_{Yard\ req} < t \leq t_{Rule\ req}$	Αποδεκτή	Αν το πάχος μετρηθεί μεταξύ <i>substantial</i> και <i>renewal</i> , κατά την υπηρεσία, είτε το στοιχείο πρέπει να επισκευαστεί ή εναλλακτικά απαιτούνται συνεχείς ετήσιες επιθεωρήσεις
3	$t < t_{Rule\ req}$	Μη αποδεκτή	Επισκευή και ανανέωση στο ναυπηγείο

Εικόνα 4-14: Κριτήρια αξιολόγησης της μεταλλικής κατασκευής κατά τη φάση της μετατροπής.

## 4.8 Εκτίμηση βαθμού διάβρωσης της μεταλλικής κατασκευής κατά την μετατροπή στο ναυπηγείο

Κατά την στιγμή που το δεξαμενόπλοιο μεταβαίνει στο ναυπηγείο για να αρχίσει η διαδικασία της μετατροπής του σε FPSO, έχει υποστεί ένα βαθμό διάβρωσης. Αυτός εξαρτάται από πολλές συνιστώσες, όπως η στρατηγική συντήρησης που ακολουθήθηκε από την πλοιοκτήτρια εταιρεία κατά τη διάρκεια υπηρεσίας του, οι θαλάσσιες διαδρομές που ακολουθούσε, η διάρκεια και η αποτελεσματικότητα του προστατευτικού επιστρώματος, η θερμοκρασία στον χώρο του φορτίου και των δεξαμενών έρματος, κ.α. Μια λεπτομερή αναφορά παχυμέτρησης των στοιχείων μπορεί να δώσει ακριβή εικόνα της κατάστασης.

Στην παρούσα εργασία κάνουμε τις εξής υποθέσεις. Πρώτα από όλα, το δεξαμενόπλοιο μπαίνει στο ναυπηγείο κατά το δέκατο έτος της υπηρεσίας του. Δεύτερον, το προστατευτικό επιστρώμα ήταν αποτελεσματικό και δεν άφησε να εμφανιστούν φαινόμενα διάβρωσης πριν από το έκτο έτος λειτουργίας του πλοίου. Μετά το πέρας των 5 χρόνων, το δεξαμενόπλοιο άρχισε να εμφανίζει γενική ομοιόμορφη διάβρωση στις διάφορες περιοχές της μεταλλικής κατασκευής. Η πρόβλεψη του ρυθμού διάβρωσης βασίζεται στον Πίνακα 4-15 ο οποίος προκύπτει από μετρήσεις παχών σε στοιχεία της μεταλλικής κατασκευής και ανεπτυγμένα μαθηματικά μοντέλα.



Εικόνα 4-15: Ο ρυθμός διάβρωσης 34 μελών της μεταλλικής κατασκευής (Ref. 10)

Πίνακας 4-15: Μέσος ρυθμός διάβρωσης για τα μέλη της κατασκευής (Ref. 10)

ID No.	Member Type	Proposed "Average" Corrosion Rate (mm/year)	Corrosion Rate by TSCF (mm/year)
1	B/S-H	0.0597	0.04–0.10
2	A/B-H	0.1084	0.10–0.50
3	A/B-V	0.0661	0.06–0.10
4	B/S-V	0.0622	0.06–0.10
5	BLGB	0.0619	—
6	O/B-V	0.1012	0.10–0.30
7	B/B-H	0.1408	—
8	O/S-H	0.0607	0.04–0.10
9	A/O-H	0.0581	0.03–0.10
10	A/O-V	0.0523	0.03
11	O/S-V	0.0423	0.03
12	BLGC	0.0414	—
13	O/O-V	0.0577	0.03
14	O/O-H	0.0405	—
15	BSLB(W)	0.1367	—
16	BSLB(F)	0.1127	—
17	DLB(W)	0.2403	0.25–1.00
18	SSLB(W)	0.1413	0.10–0.25
19	SSLB(F)	0.0882	—
20	LBLB(W)	0.1960	0.20–1.20
21	LBLB(F)	0.1782	0.20–0.60
22	BSLC(W)	0.0466	0.03
23	BSLC(F)	0.0437	—
24	DLC(W)	0.0716	0.03–0.10
25	DLC(F)	0.0588	—
26	SSLC(W)	0.0420	0.03
27	SSLC(F)	0.0397	—
28	LBLC(W)	0.0550	0.03
29	LBLC(F)	0.0508	—
30	BGLC(W)	0.0377	—
31	BGLC(F)	0.0319	—
32	DGLC(W)	0.0477	—
33	DGLC(F)	0.0449	—
34	SSTLC(W)	0.0261	—

Κάνοντας χρήση του Πίνακα 4-15 ο οποίος μας δίνει τον προτεινόμενο ρυθμό διάβρωσης ανά χρόνο λειτουργίας του πλοίου ανάλογα με τη θέση κάθε στοιχείου, μπορούμε να προβλέψουμε τα ακριβή πάχη των στοιχείων της μέσης τομής του πλοίου μας όταν είναι στο ναυπηγείο και τέλος, να τα συγκρίνουμε με τα απαιτούμενα πάχη που ορίζει ο νηογνώμονας κατά τη μετατροπή. Στον επόμενο πίνακα παρατίθενται τα διαμήκη στοιχεία της μέσης τομής με το πάχος που προκύπτει την περίοδο της μετατροπής και παρακάτω, οι ιδιότητες της διατομής και η ροπή αντίστασης ως προς τον πυθμένα και το κατάστρωμα.

<b>PLATING</b>	<b>t<sub>AS-BUILT</sub></b>	<b>Corrosion/Year</b>	<b>Years</b>	<b>t<sub>ACTUAL</sub></b>
<b>KEEL</b>	[mm]	[mm/year]		[mm]
Strake 1	22.00	0.0597	10	21.70
<b>BOTTOM</b>				
Strake 1	22.00	0.0597	10	21.70
Strake 2	20.50	0.0597	10	20.20
Strake 3	20.50	0.0597	10	20.20
Strake 4	20.50	0.0597	10	20.20
Strake 5	20.50	0.0597	10	20.20
Strake 6	21.00	0.0597	10	20.70
Strake 7	20.50	0.0597	10	20.20
Strake 8	19.50	0.0597	10	19.20
Strake 9	19.50	0.0597	10	19.20
<b>INNER BOTTOM</b>				
Strake 1	22.00	0.1012	10	21.49
Strake 2	22.00	0.1012	10	21.49
Strake 3	22.00	0.1012	10	21.49
Strake 4	21.50	0.1012	10	20.99
Strake 5	21.50	0.1012	10	20.99
Strake 6	21.50	0.1012	10	20.99
Strake 7	21.50	0.1012	10	20.99
<b>BILGE</b>				
Strake 1	23.50	0.0619	10	23.19
<b>SIDE SHELL</b>				
Strake 1	19.50	0.0622	10	19.19
Strake 2	22.00	0.0622	10	21.69
Strake 3	20.00	0.0622	10	19.69
Strake 4	20.00	0.0622	10	19.69
Strake 5	20.00	0.0622	10	19.69
Strake 6	20.00	0.0622	10	19.69
Strake 7	20.00	0.0661	10	19.67
Strake 8	20.00	0.0661	10	19.67
<b>SHEERSTRAKE</b>				
Strake 1	18.50	0.0661	10	18.17
<b>MAIN DECK STRINGER</b>				
Strake 1	19.00	0.1084	10	18.46
<b>MAIN DECK</b>				0.00
Strake 1	20.00	0.0581	10	19.71
Strake 2	20.00	0.0581	10	19.71
Strake 3	20.00	0.0581	10	19.71
Strake 4	20.00	0.0581	10	19.71
Strake 5	20.00	0.0581	10	19.71
Strake 6	20.00	0.0581	10	19.71
Strake 7	20.00	0.0581	10	19.71
Strake 8	20.00	0.0581	10	19.71



<b>BOTTOM CENTER GIRDER</b>				
Strake 1	22.50	0.1408	10	21.80
<b>BOTTOM SIDE GIRDERS</b>				
Strake 1	16.00	0.1408	10	15.30
Strake 2	16.00	0.1408	10	15.30
<b>LONG. BULKHEAD</b>				
Strake 1	19.00	0.0577	10	18.71
Strake 2	18.50	0.0577	10	18.21
Strake 3	17.50	0.0577	10	17.21
Strake 4	17.00	0.0577	10	16.71
Strake 5	17.50	0.0577	10	17.21
Strake 6	17.50	0.0577	10	17.21
Strake 7	17.50	0.0577	10	17.21
Strake 8	16.00	0.0577	10	15.71
Strake 9	16.00	0.0577	10	15.71
Strake 10	18.00	0.0577	10	17.71
<b>INNER SKIN BULKHEAD</b>				
Strake 1	23.00	0.1012	10	22.49
Strake 2	21.00	0.1012	10	20.49
Strake 3	20.50	0.1012	10	19.99
Strake 4	19.50	0.1012	10	18.99
Strake 5	19.00	0.1012	10	18.49
Strake 6	17.50	0.1012	10	16.99
Strake 7	17.00	0.1012	10	16.49
Strake 8	16.00	0.1012	10	15.49
Strake 9	16.00	0.1012	10	15.49
Strake 10	15.50	0.1012	10	14.99
Strake 11	18.00	0.1012	10	17.49
<b>SIDE STRINGERS</b>				
Strake Add.	17.50	0.1408	10	16.80
Strake 1	13.00	0.1408	10	12.30
Strake 2	13.00	0.1408	10	12.30
Strake 3	15.50	0.1408	10	14.80
<b>LONGITUDINALS</b>				
<b>BOTTOM</b>				
<i>Web</i>	13.00	0.1367	10	12.32
<i>Flange</i>	30.00	0.1127	10	29.44
<b>INNER BOTTOM</b>				
<i>Web</i>	13.00	0.1960	10	12.02
<i>Flange</i>	30.00	0.1782	10	29.11
<b>SIDE SHELL</b>				
<i>side # 32-35</i>				
<i>Web</i>	12.00	0.1413	10	11.29

Flange	25.00	0.0882	10	24.56
<i>side # 36</i>				
Web	18.00	0.1413	10	17.29
Flange	18.00	0.0882	10	17.56
<i>side # 37</i>				
Web	13.00	0.1413	10	12.29
Flange	30.00	0.0882	10	29.56
<i>side # 39-41</i>				
Web	12.00	0.1413	10	11.29
Flange	22.00	0.0882	10	21.56
<i>side # 42-43</i>				
Web	12.00	0.1413	10	11.29
Flange	20.00	0.0882	10	19.56
<i>side # 44</i>				
Web	12.00	0.1413	10	11.29
Flange	20.00	0.0882	10	19.56
<i>side # 46-51</i>				
Web	12.00	0.1413	10	11.29
Flange	20.00	0.0882	10	19.56
<i>side # 53</i>				
Web	12.00	0.1413	10	11.29
Flange	20.00	0.0882	10	19.56
<i>side # 54</i>				
Web	12.00	0.1413	10	11.29
Flange	20.00	0.0882	10	19.56
<i>side # 55-56</i>				
Web	12.00	0.1413	10	11.29
Flange	20.00	0.0882	10	19.56
<i>side # 57-58</i>				
Web	12.00	0.1413	10	11.29
Flange	20.00	0.0882	10	19.56
<i>side # 60-61</i>				
Web	12.00	0.1413	10	11.29
Flange	20.00	0.0882	10	19.56
<b>INNER SKIN</b>				
<i>inner skin # 31</i>				
Web	12.00	0.1960	10	11.02
Flange	30.00	0.1782	10	29.11
<i>inner skin # 32-34</i>				
Web	12.00	0.1960	10	11.02
Flange	30.00	0.1782	10	29.11
<i>inner skin # 35-36</i>				
Web	12.00	0.1960	10	11.02
Flange	25.00	0.1782	10	24.11
<i>inner skin # 37</i>				

Web	12.00	0.1960	10	11.02
Flange	25.00	0.1782	10	24.11
<i>inner skin # 39</i>				
Web	12.00	0.1960	10	11.02
Flange	20.00	0.1782	10	19.11
<i>inner skin # 40-42</i>				
Web	12.00	0.1960	10	11.02
Flange	20.00	0.1782	10	19.11
<i>inner skin # 43</i>				
Web	12.00	0.1960	10	11.02
Flange	20.00	0.1782	10	19.11
<i>inner skin # 44</i>				
Web	12.00	0.1960	10	11.02
Flange	20.00	0.1782	10	19.11
<i>inner skin # 46-48</i>				
Web	12.00	0.1960	10	11.02
Flange	20.00	0.1782	10	19.11
<i>inner skin # 49-51</i>				
Web	12.00	0.1960	10	11.02
Flange	20.00	0.1782	10	19.11
<i>inner skin # 53-58</i>				
Web	12.00	0.1960	10	11.02
Flange	20.00	0.1782	10	19.11
<i>inner skin # 60</i>				
Web	13.50	0.1960	10	12.52
Flange	20.00	0.1782	10	19.11
<i>inner skin # 61</i>				
Web	12.00	0.1960	10	11.02
Flange	20.00	0.1782	10	19.11
<b>LONGITUDINAL</b>				
<i>long bulk. # 33-34</i>				
Web	12.00	0.0550	10	11.73
Flange	27.00	0.0508	10	26.75
<i>long bulk. # 35-37</i>				
Web	12.00	0.0550	10	11.73
Flange	25.00	0.0508	10	24.75
<i>long bulk. # 38</i>				
Web	17.00	0.0550	10	16.73
Flange	17.00	0.0508	10	16.75
<i>long bulk. # 39</i>				
Web	12.00	0.0550	10	11.73
Flange	27.00	0.0508	10	26.75
<i>long bulk. # 40-44</i>				
Web	12.00	0.0550	10	11.73
Flange	20.00	0.0508	10	19.75

<i>long bulk. # 45</i>				
<i>Web</i>	17.00	0.0550	10	16.73
<i>Flange</i>	17.00	0.0508	10	16.75
<i>long bulk. # 46</i>				
<i>Web</i>	12.00	0.0550	10	11.73
<i>Flange</i>	22.00	0.0508	10	21.75
<i>long bulk. # 47-48</i>				
<i>Web</i>	12.00	0.0550	10	11.73
<i>Flange</i>	20.00	0.0508	10	19.75
<i>long bulk. # 49-51</i>				
<i>Web</i>	12.00	0.0550	10	11.73
<i>Flange</i>	20.00	0.0508	10	19.75
<i>long bulk. # 52</i>				
<i>Web</i>	12.00	0.0550	10	11.73
<i>Flange</i>	12.00	0.0508	10	11.75
<i>long bulk. # 53</i>				
<i>Web</i>	12.00	0.0550	10	11.73
<i>Flange</i>	20.00	0.0508	10	19.75
<i>long bulk. # 54-55</i>				
<i>Web</i>	12.00	0.0550	10	11.73
<i>Flange</i>	18.00	0.0508	10	17.75
<i>long bulk. # 56-59</i>				
<i>Web</i>	12.00	0.0550	10	11.73
<i>Flange</i>	18.00	0.0508	10	17.75
<i>long bulk. # 60</i>				
<i>Web</i>	13.50	0.0550	10	13.23
<i>Flange</i>	20.00	0.0508	10	19.75
<i>long bulk. # 61</i>				
<i>Web</i>	18.50	0.0550	10	18.23
<i>Flange</i>	18.50	0.0508	10	18.25
<i>long bulk. # 62</i>				
<i>Web</i>	12.00	0.0550	10	11.73
<i>Flange</i>	25.00	0.0508	10	24.75
<b>SIDE STRINGERS</b>				
<i>No.3</i>				
<i>Web</i>	10.00	0.1367	10	9.32
<i>Flange</i>	15.00	0.1127	10	14.44
<i>No.2</i>				
<i>Web</i>	10.00	0.1367	10	9.32
<i>Flange</i>	15.00	0.1127	10	14.44
<i>No.1</i>				
<i>Web</i>	10.00	0.1367	10	9.32
<i>Flange</i>	15.00	0.1127	10	14.44
<i>Add.</i>				
<i>Web</i>	12.00	0.1367	10	11.32

<i>Flange</i>	15.00	0.1127	10	14.44
<b>MAIN DECK</b>				
<i>deck # 0-11</i>				
<i>Web</i>	12.00	0.0716	10	11.64
<i>Flange</i>	18.00	0.0588	10	17.71
<i>deck # 13-27</i>				
<i>Web</i>	15.00	0.0716	10	14.64
<i>Flange</i>	20.00	0.0588	10	19.71
<i>deck # 29-31</i>				
<i>Web</i>	30.00	0.2403	10	28.80

<b>PROPERTIES OF CROSS-SECTION</b>	<b>ACTUAL</b>	
Sectional Area	10.6	m <sup>2</sup>
First Moment about N.A.	140.4	m <sup>3</sup>
N.A.bottom	13.24	m
N.A.deck	17.26	m
Moment of Inertia about N.A.	1 478.4	m <sup>4</sup>
Section Modulus at deck	85.67	m <sup>3</sup>
Section Modulus at bottom	111.63	m <sup>3</sup>

## 4.9 Final Renewal Table

Ο τελικός πίνακας (Final renewal table) θα πρέπει να περιέχει βάσει των κανονισμών τα εξής απαραίτητα στοιχεία:

*Reassessed SM, Renewal SM (ως προς πυθμένα και κατάστρωμα), member identification, As-Built Scantlings, Reassessed Scantlings (στρογγυλοποιημένα στο πλησιέστερο 0.5mm), Renewal Scantlings, Substantial Scantlings, Anticipated Corrosion, Yard Required Scantlings.*

Τέλος, γίνεται σύγκριση των Actual Scantlings την περίοδο της μετατροπής με τα Rule & Yard Required Scantlings. Τα χρώματα και οι ενέργειες που προτείνονται σε κάθε περίπτωση είναι σε συμφωνία με την Εικόνα 4-13. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τους τελικούς πίνακες, για τις δύο περιοχές, παρατίθενται στην παράγραφο 4.8.

<b>NIGERIA</b>			
<b>PROPERTIES OF CROSS-SECTION</b>	<b>REASSESSED</b>	<b>RENEWAL</b>	
Sectional Area	10.8	8.6	m <sup>2</sup>
First Moment about N.A.	141.9	113.5	m <sup>3</sup>
N.A.bottom	13.19	13.19	m
N.A.deck	17.31	17.31	m
Moment of Inertia about N.A.	1 493.1	1 194.5	m <sup>4</sup>
Section Modulus at deck	86.26	69.01	m <sup>3</sup>
Section Modulus at bottom	113.20	90.57	m <sup>3</sup>

<b>NORTH SEA</b>			
<b>PROPERTIES OF CROSS-SECTION</b>	<b>REASSESSED</b>	<b>RENEWAL</b>	
Sectional Area	12.0	9.6	m <sup>2</sup>
First Moment about N.A.	157.4	126.2	m <sup>3</sup>
N.A.bottom	13.09	13.20	m
N.A.deck	17.41	17.30	m
Moment of Inertia about N.A.	1 653.1	1 305.2	m <sup>4</sup>
Section Modulus at deck	94.93	75.43	m <sup>3</sup>
Section Modulus at bottom	126.32	98.90	m <sup>3</sup>

Πίνακας 4-16: Final Renewal Table for Nigeria.

<b>PLATING</b>	<b>t<sub>AS-BUILT</sub></b>	<b>t<sub>REASSESSED</sub></b>	<b>t<sub>RENEWAL</sub></b>	<b>t<sub>SUBSTANTIAL</sub></b>	<b>Anticipated Corrosion</b>	<b>t<sub>RULE REQ.</sub></b>	<b>t<sub>YARD REQ.</sub></b>	<b>t<sub>ACTUAL</sub></b>
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
<b>KEEL</b>								
Strake 1	22.00	21.50	17.20	18.28	1.250	18.45	19.53	21.70
<b>BOTTOM</b>								
Strake 1	22.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	21.70
Strake 2	20.50	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	20.20
Strake 3	20.50	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	20.20
Strake 4	20.50	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	20.20
Strake 5	20.50	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	20.20
Strake 6	21.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	20.70
Strake 7	20.50	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	20.20
Strake 8	19.50	19.00	15.20	16.15	1.250	16.45	17.40	19.20
Strake 9	19.50	19.00	15.20	16.15	1.250	16.45	17.40	19.20
<b>INNER BOTTOM</b>								
Strake 1	22.00	21.00	16.80	17.85	1.875	18.68	19.73	21.49
Strake 2	22.00	21.00	16.80	17.85	1.875	18.68	19.73	21.49
Strake 3	22.00	21.00	16.80	17.85	1.875	18.68	19.73	21.49
Strake 4	21.50	21.00	16.80	17.85	1.875	18.68	19.73	20.99
Strake 5	21.50	21.00	16.80	17.85	1.875	18.68	19.73	20.99
Strake 6	21.50	21.00	16.80	17.85	1.875	18.68	19.73	20.99
Strake 7	21.50	21.00	16.80	17.85	1.875	18.68	19.73	20.99
<b>BILGE</b>								
Strake 1	23.50	22.50	18.00	19.13	1.250	19.25	20.38	23.19
<b>SIDE SHELL</b>								
Strake 1	19.50	20.00	16.00	17.00	1.875	17.88	18.88	19.19
Strake 2	22.00	22.00	17.60	18.70	1.875	19.48	20.58	21.69
Strake 3	20.00	21.50	17.20	18.28	1.875	19.08	20.15	19.69
Strake 4	20.00	21.00	16.80	17.85	1.875	18.68	19.73	19.69
Strake 5	20.00	20.50	16.40	17.43	1.875	18.28	19.30	19.69
Strake 6	20.00	19.50	15.60	16.58	1.875	17.48	18.45	19.69
Strake 7	20.00	18.00	14.40	15.30	1.875	16.28	17.18	19.67
Strake 8	20.00	21.00	16.80	17.85	1.875	18.68	19.73	19.67
<b>SHEERSTRAKE</b>								
Strake 1	18.50	17.50	14.00	14.88	2.500	16.50	17.38	18.17
<b>MAIN DECK STRINGER</b>								
Strake 1	19.00	19.00	15.20	16.15	2.500	17.70	18.65	18.46
<b>MAIN DECK</b>								
Strake 1	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.71
Strake 2	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.71
Strake 3	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.71
Strake 4	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.71
Strake 5	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.71
Strake 6	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.71
Strake 7	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.71
Strake 8	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.71
<b>BOTTOM CENTER GIRDER</b>								
Strake 1	22.50	23.50	18.80	19.98	1.250	20.05	21.23	21.80
<b>BOTTOM SIDE GIRDERS</b>								
Strake 1	16.00	17.00	13.60	14.45	1.250	14.85	15.70	15.30
Strake 2	16.00	17.00	13.60	14.45	1.250	14.85	15.70	15.30
<b>LONG. BULKHEAD</b>								
Strake 1	19.00	19.00	15.20	16.15	1.250	16.45	17.40	18.71
Strake 2	18.50	18.00	14.40	15.30	1.250	15.65	16.55	18.21
Strake 3	17.50	17.50	14.00	14.88	1.250	15.25	16.13	17.21
Strake 4	17.00	16.50	13.20	14.03	1.250	14.45	15.28	16.71
Strake 5	17.50	17.50	14.00	14.88	1.250	15.25	16.13	17.21
Strake 6	17.50	16.50	13.20	14.03	1.250	14.45	15.28	17.21
Strake 7	17.50	15.50	12.40	13.18	1.250	13.65	14.43	17.21
Strake 8	16.00	15.50	12.40	13.18	1.250	13.65	14.43	15.71
Strake 9	16.00	14.50	11.60	12.33	1.250	12.85	13.58	15.71
Strake 10	18.00	17.50	14.00	14.88	1.250	15.25	16.13	17.71
<b>INNER SKIN BULKHEAD</b>								
Strake 1	23.00	23.00	18.40	19.55	1.250	19.65	20.80	22.49
Strake 2	21.00	20.50	16.40	17.43	1.250	17.65	18.68	20.49
Strake 3	20.50	19.00	15.20	16.15	1.250	16.45	17.40	19.99
Strake 4	19.50	18.00	14.40	15.30	1.250	15.65	16.55	18.99
Strake 5	19.00	17.50	14.00	14.88	1.250	15.25	16.13	18.49
Strake 6	17.50	16.50	13.20	14.03	1.250	14.45	15.28	16.99
Strake 7	17.00	15.50	12.40	13.18	1.250	13.65	14.43	16.49
Strake 8	16.00	15.50	12.40	13.18	1.250	13.65	14.43	15.49

Strake 9	16.00	15.50	12.40	13.18	1.250	13.65	14.43	15.49
Strake 10	15.50	13.50	10.80	11.48	1.250	12.05	12.73	14.99
Strake 11	18.00	16.50	13.20	14.03	1.250	14.45	15.28	17.49
<b>SIDE STRINGERS</b>								
Strake Add.	17.50	13.50	10.80	11.48	2.500	13.30	13.98	16.80
Strake 1	13.00	12.50	10.00	10.63	2.500	12.50	13.13	12.30
Strake 2	13.00	12.50	10.00	10.63	2.500	12.50	13.13	12.30
Strake 3	15.50	12.50	10.00	10.63	2.500	12.50	13.13	14.80
<b>LONGITUDINALS</b>								
<b>BOTTOM</b>								
Web	13.00	13.00	10.40	11.05	2.500	12.90	13.55	12.32
Flange	30.00	30.00	24.00	25.50	2.500	26.50	28.00	29.44
<b>INNER BOTTOM</b>								
Web	13.00	13.00	10.40	11.05	1.250	11.65	12.30	12.02
Flange	30.00	30.00	24.00	25.50	1.250	25.25	26.75	29.11
<b>SIDE SHELL</b>								
side #1 (32)								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	25.00	27.00	21.60	22.95	1.250	22.85	24.20	24.56
side #1 (33)								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	25.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	24.56
side #1 (34)								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	25.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	24.56
side #1 (35)								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	25.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	24.56
side #2 (36)								
Web	18.00	18.00	14.40	15.30	2.500	16.90	17.80	17.29
Flange	18.00	18.00	14.40	15.30	1.250	15.65	16.55	17.56
side #3 (37)								
Web	13.00	13.00	10.40	11.05	2.500	12.90	13.55	12.29
Flange	30.00	30.00	24.00	25.50	1.250	25.25	26.75	29.56
side #4 (39)								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	22.00	23.00	18.40	19.55	1.250	19.65	20.80	21.56
side #4 (40)								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	22.00	22.00	17.60	18.70	1.250	18.85	19.95	21.56
side #4 (41)								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	22.00	22.00	17.60	18.70	1.250	18.85	19.95	21.56
side #5 (42)								
Web	12.00	13.00	10.40	11.05	2.500	12.90	13.55	11.29
Flange	20.00	22.00	17.60	18.70	1.250	18.85	19.95	19.56
side #5 (43)								
Web	12.00	13.00	10.40	11.05	2.500	12.90	13.55	11.29
Flange	20.00	22.00	17.60	18.70	1.250	18.85	19.95	19.56
side #6 (44)								
Web	12.00	14.00	11.20	11.90	2.500	13.70	14.40	11.29
Flange	20.00	22.00	17.60	18.70	1.250	18.85	19.95	19.56
side #7 (46)								
Web	12.00	14.00	11.20	11.90	2.500	13.70	14.40	11.29
Flange	20.00	23.00	18.40	19.55	1.250	19.65	20.80	19.56
side #7 (47)								
Web	12.00	13.00	10.40	11.05	2.500	12.90	13.55	11.29
Flange	20.00	22.00	17.60	18.70	1.250	18.85	19.95	19.56
side #7 (48)								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	20.00	21.00	16.80	17.85	1.250	18.05	19.10	19.56
side #7 (49)								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.56
side #7 (50)								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.56
side #7 (51)								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.56
side #8 (53)								



Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.56
<i>side #9 (54)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.56
<i>side #10 (55)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.56
<i>side #10 (56)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.56
<i>side #11 (57)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.56
<i>side #11 (58)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.56
<i>side #12 (60)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.56
<i>side #12 (61)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.56
<b>INNER SKIN</b>								
<i>inner hull #1 (31)</i>								
Web	12.00	15.00	12.00	12.75	1.250	13.25	14.00	11.02
Flange	30.00	33.00	26.40	28.05	1.250	27.65	29.30	29.11
<i>inner hull #2 (32)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	30.00	30.00	24.00	25.50	1.250	25.25	26.75	29.11
<i>inner hull #2 (33)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	30.00	30.00	24.00	25.50	1.250	25.25	26.75	29.11
<i>inner hull #2 (34)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	30.00	30.00	24.00	25.50	1.250	25.25	26.75	29.11
<i>inner hull#3 (35)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	25.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	24.11
<i>inner hull#3 (36)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	25.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	24.11
<i>inner hull #4 (37)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	25.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	24.11
<i>inner hull #5 (39)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	20.00	21.00	16.80	17.85	1.250	18.05	19.10	19.11
<i>inner hull #6 (40)</i>								
Web	12.00	13.00	10.40	11.05	1.250	11.65	12.30	11.02
Flange	20.00	22.00	17.60	18.70	1.250	18.85	19.95	19.11
<i>inner hull #6 (41)</i>								
Web	12.00	13.00	10.40	11.05	1.250	11.65	12.30	11.02
Flange	20.00	21.00	16.80	17.85	1.250	18.05	19.10	19.11
<i>inner hull #6 (42)</i>								
Web	12.00	13.00	10.40	11.05	1.250	11.65	12.30	11.02
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.11
<i>inner hull #7(43)</i>								
Web	12.00	13.00	10.40	11.05	1.250	11.65	12.30	11.02
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.11
<i>inner hull #8 (44)</i>								
Web	12.00	13.00	10.40	11.05	1.250	11.65	12.30	11.02
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.11
<i>inner hull#9 (46)</i>								
Web	12.00	14.00	11.20	11.90	1.250	12.45	13.15	11.02
Flange	20.00	22.00	17.60	18.70	1.250	18.85	19.95	19.11
<i>inner hull#9 (47)</i>								
Web	12.00	13.00	10.40	11.05	1.250	11.65	12.30	11.02
Flange	20.00	22.00	17.60	18.70	1.250	18.85	19.95	19.11
<i>inner hull#9 (48)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	20.00	21.00	16.80	17.85	1.250	18.05	19.10	19.11
<i>inner hull #10 (49)</i>								

Web	12.00	14.00	11.20	11.90	1.250	12.45	13.15	11.02
Flange	20.00	23.00	18.40	19.55	1.250	19.65	20.80	19.11
<i>inner hull #10 (50)</i>								
Web	12.00	14.00	11.20	11.90	1.250	12.45	13.15	11.02
Flange	20.00	22.00	17.60	18.70	1.250	18.85	19.95	19.11
<i>inner hull #10 (51)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	20.00	21.00	16.80	17.85	1.250	18.05	19.10	19.11
<i>inner hull #11 (53)</i>								
Web	12.00	13.00	10.40	11.05	1.250	11.65	12.30	11.02
Flange	20.00	21.00	16.80	17.85	1.250	18.05	19.10	19.11
<i>inner hull #11 (54)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.11
<i>inner hull #11 (55)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.11
<i>inner hull #11 (56)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.11
<i>inner hull #11 (57)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.11
<i>inner hull #11 (58)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.11
<i>inner hull #12 (60)</i>								
Web	13.50	13.50	10.80	11.48	1.250	12.05	12.73	12.52
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.11
<i>inner hull #13 (61)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.11
<b>LONGITUDINAL BHD</b>								
<i>long bulk. #1 (33)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	27.00	27.00	21.60	22.95	1.250	22.85	24.20	26.75
<i>long bulk. #1 (34)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	27.00	27.00	21.60	22.95	1.250	22.85	24.20	26.75
<i>long bulk. #2 (35)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	25.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	24.75
<i>long bulk. #2 (36)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	25.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	24.75
<i>long bulk. #2 (37)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	25.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	24.75
<i>long bulk. #3 (38)</i>								
Web	17.00	17.00	13.60	14.45	1.875	15.48	16.33	16.73
Flange	17.00	17.00	13.60	14.45	1.250	14.85	15.70	16.75
<i>long bulk. #4 (39)</i>								
Web	12.00	13.00	10.40	11.05	1.875	12.28	12.93	11.73
Flange	27.00	27.00	21.60	22.95	1.250	22.85	24.20	26.75
<i>long bulk. #5 (40)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.75
<i>long bulk. #5 (41)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.75
<i>long bulk. #5 (42)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.75
<i>long bulk. #5 (43)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.75
<i>long bulk. #5 (44)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.75
<i>long bulk. #6 (45)</i>								
Web	17.00	17.00	13.60	14.45	1.875	15.48	16.33	16.73
Flange	17.00	17.00	13.60	14.45	1.250	14.85	15.70	16.75
<i>long bulk. #7 (46)</i>								

Web	12.00	13.00	10.40	11.05	1.875	12.28	12.93	11.73
Flange	22.00	22.00	17.60	18.70	1.250	18.85	19.95	21.75
<i>long bulk. #8 (47)</i>								
Web	12.00	13.00	10.40	11.05	1.875	12.28	12.93	11.73
Flange	20.00	21.00	16.80	17.85	1.250	18.05	19.10	19.75
<i>long bulk. #8 (48)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.75
<i>long bulk. #9 (49)</i>								
Web	12.00	14.00	11.20	11.90	1.875	13.08	13.78	11.73
Flange	20.00	22.00	17.60	18.70	1.250	18.85	19.95	19.75
<i>long bulk. #9 (50)</i>								
Web	12.00	13.00	10.40	11.05	1.875	12.28	12.93	11.73
Flange	20.00	21.00	16.80	17.85	1.250	18.05	19.10	19.75
<i>long bulk. #9 (51)</i>								
Web	12.00	13.00	10.40	11.05	1.875	12.28	12.93	11.73
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.75
<i>long bulk. #10 (52)</i>								
Web	12.00	13.00	10.40	11.05	1.875	12.28	12.93	11.73
Flange	12.00	14.00	11.20	11.90	1.250	12.45	13.15	11.75
<i>long bulk. #11 (53)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.75
<i>long bulk. #12 (54)</i>								
Web	12.00	13.00	10.40	11.05	1.875	12.28	12.93	11.73
Flange	18.00	18.00	14.40	15.30	1.250	15.65	16.55	17.75
<i>long bulk. #12 (55)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	18.00	18.00	14.40	15.30	1.250	15.65	16.55	17.75
<i>long bulk. #12 (56)</i>								
Web	12.00	13.00	10.40	11.05	1.875	12.28	12.93	11.73
Flange	18.00	19.00	15.20	16.15	1.250	16.45	17.40	17.75
<i>long bulk. #12 (57)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	18.00	18.00	14.40	15.30	1.250	15.65	16.55	17.75
<i>long bulk. #12 (58)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	18.00	18.00	14.40	15.30	1.250	15.65	16.55	17.75
<i>long bulk. #12 (59)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	18.00	18.00	14.40	15.30	1.250	15.65	16.55	17.75
<i>long bulk. #12 (60)</i>								
Web	13.50	13.50	10.80	11.48	1.875	12.68	13.35	13.23
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.75
<i>long bulk. #12 (61)</i>								
Web	18.50	18.50	14.80	15.73	1.875	16.68	17.60	18.23
Flange	18.50	18.50	14.80	15.73	1.250	16.05	16.98	18.25
<i>long bulk. #12 (62)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	25.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	24.75
<b>SIDE STRINGERS</b>								
<i>stringer no.3</i>								
Web	10.00	10.00	8.00	8.50	1.875	9.88	10.38	9.32
Flange	15.00	15.00	12.00	12.75	1.250	13.25	14.00	14.44
<i>stringer no.2</i>								
Web	10.00	10.00	8.00	8.50	1.875	9.88	10.38	9.32
Flange	15.00	15.00	12.00	12.75	1.250	13.25	14.00	14.44
<i>stringer no.1</i>								
Web	10.00	10.00	8.00	8.50	1.875	9.88	10.38	9.32
Flange	15.00	15.00	12.00	12.75	1.250	13.25	14.00	14.44
<i>stringer add.</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.32
Flange	15.00	15.00	12.00	12.75	1.250	13.25	14.00	14.44
<b>MAIN DECK</b>								
<i>deck # 1-11</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.64
Flange	18.00	18.00	14.40	15.30	1.875	16.28	17.18	17.71
<i>deck # 13-27</i>								
Web	15.00	15.00	12.00	12.75	1.875	13.88	14.63	14.64
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.875	17.88	18.88	19.71
<i>deck # 29-31</i>								
Web	30.00	30.00	24.00	25.50	2.500	26.50	28.00	28.80

Πίνακας 4-17: Final Renewal Table for North Sea.

<b>PLATING</b>	<b>t<sub>AS-BUILT</sub></b>	<b>t<sub>REASSESSED</sub></b>	<b>t<sub>RENEWAL</sub></b>	<b>t<sub>SUBSTANTIAL</sub></b>	<b>Anticipated Corrosion</b>	<b>t<sub>RULE REQ.</sub></b>	<b>t<sub>YARD REQ.</sub></b>	<b>t<sub>ACTUAL</sub></b>
<b>KEEL</b>	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Strake 1	22.00	22.50	18.00	19.13	1.250	19.25	20.38	21.70
<b>BOTTOM</b>								
Strake 1	22.00	21.00	16.80	17.85	1.250	18.05	19.10	21.70
Strake 2	20.50	21.00	16.80	17.85	1.250	18.05	19.10	20.20
Strake 3	20.50	21.00	16.80	17.85	1.250	18.05	19.10	20.20
Strake 4	20.50	21.00	16.80	17.85	1.250	18.05	19.10	20.20
Strake 5	20.50	21.00	16.80	17.85	1.250	18.05	19.10	20.20
Strake 6	21.00	21.00	16.80	17.85	1.250	18.05	19.10	20.70
Strake 7	20.50	21.00	16.80	17.85	1.250	18.05	19.10	20.20
Strake 8	19.50	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.20
Strake 9	19.50	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.20
<b>INNER BOTTOM</b>								
Strake 1	22.00	22.50	18.00	19.13	1.875	19.88	21.00	21.49
Strake 2	22.00	22.50	18.00	19.13	1.875	19.88	21.00	21.49
Strake 3	22.00	22.50	18.00	19.13	1.875	19.88	21.00	21.49
Strake 4	21.50	22.50	18.00	19.13	1.875	19.88	21.00	20.99
Strake 5	21.50	22.50	18.00	19.13	1.875	19.88	21.00	20.99
Strake 6	21.50	22.50	18.00	19.13	1.875	19.88	21.00	20.99
Strake 7	21.50	22.50	18.00	19.13	1.875	19.88	21.00	20.99
<b>BILGE</b>								
Strake 1	23.50	23.50	18.80	19.98	1.250	20.05	21.23	23.19
<b>SIDE SHELL</b>								
Strake 1	19.50	23.00	18.40	19.55	1.875	20.28	21.43	19.19
Strake 2	22.00	25.00	20.00	21.25	1.875	21.88	23.13	21.69
Strake 3	20.00	24.00	19.20	20.40	1.875	21.08	22.28	19.69
Strake 4	20.00	24.00	19.20	20.40	1.875	21.08	22.28	19.69
Strake 5	20.00	23.50	18.80	19.98	1.875	20.68	21.85	19.69
Strake 6	20.00	22.00	17.60	18.70	1.875	19.48	20.58	19.69
Strake 7	20.00	21.00	16.80	17.85	1.875	18.68	19.73	19.67
Strake 8	20.00	21.00	16.80	17.85	1.875	18.68	19.73	19.67
<b>SHEERSTRAKE</b>								
Strake 1	18.50	17.50	14.00	14.88	2.500	16.50	17.38	18.17
<b>MAIN DECK STRINGER</b>								
Strake 1	19.00	20.00	16.00	17.00	2.500	18.50	19.50	18.46
<b>MAIN DECK</b>								
Strake 1	20.00	20.50	16.40	17.43	1.250	17.65	18.68	19.71
Strake 2	20.00	20.50	16.40	17.43	1.250	17.65	18.68	19.71
Strake 3	20.00	20.50	16.40	17.43	1.250	17.65	18.68	19.71
Strake 4	20.00	20.50	16.40	17.43	1.250	17.65	18.68	19.71
Strake 5	20.00	20.50	16.40	17.43	1.250	17.65	18.68	19.71
Strake 6	20.00	20.50	16.40	17.43	1.250	17.65	18.68	19.71
Strake 7	20.00	20.50	16.40	17.43	1.250	17.65	18.68	19.71
Strake 8	20.00	20.50	16.40	17.43	1.250	17.65	18.68	19.71
<b>BOTTOM CENTER GIRDER</b>								
Strake 1	22.50	26.00	20.80	22.10	1.250	22.05	23.35	21.80
<b>BOTTOM SIDE GIRDERS</b>								
Strake 1	16.00	19.00	15.20	16.15	1.250	16.45	17.40	15.30
Strake 2	16.00	19.00	15.20	16.15	1.250	16.45	17.40	15.30
<b>LONG. BULKHEAD</b>								
Strake 1	19.00	21.00	16.80	17.85	1.250	18.05	19.10	18.71
Strake 2	18.50	19.50	15.60	16.58	1.250	16.85	17.83	18.21
Strake 3	17.50	18.50	14.80	15.73	1.250	16.05	16.98	17.21
Strake 4	17.00	18.00	14.40	15.30	1.250	15.65	16.55	16.71
Strake 5	17.50	19.00	15.20	16.15	1.250	16.45	17.40	17.21
Strake 6	17.50	18.00	14.40	15.30	1.250	15.65	16.55	17.21
Strake 7	17.50	17.00	13.60	14.45	1.250	14.85	15.70	17.21
Strake 8	16.00	17.00	13.60	14.45	1.250	14.85	15.70	15.71
Strake 9	16.00	14.50	11.60	12.33	1.250	12.85	13.58	15.71
Strake 10	18.00	17.50	14.00	14.88	1.250	15.25	16.13	17.71
<b>INNER SKIN BULKHEAD</b>								
Strake 1	23.00	25.50	20.40	21.68	1.250	21.65	22.93	22.49
Strake 2	21.00	22.00	17.60	18.70	1.250	18.85	19.95	20.49
Strake 3	20.50	20.50	16.40	17.43	1.250	17.65	18.68	19.99
Strake 4	19.50	19.50	15.60	16.58	1.250	16.85	17.83	18.99
Strake 5	19.00	19.00	15.20	16.15	1.250	16.45	17.40	18.49
Strake 6	17.50	18.00	14.40	15.30	1.250	15.65	16.55	16.99
Strake 7	17.00	17.50	14.00	14.88	1.250	15.25	16.13	16.49
Strake 8	16.00	18.00	14.40	15.30	1.250	15.65	16.55	15.49

Strake 9	16.00	18.50	14.80	15.73	1.250	16.05	16.98	15.49
Strake 10	15.50	17.50	14.00	14.88	1.250	15.25	16.13	14.99
Strake 11	18.00	17.50	14.00	14.88	1.250	15.25	16.13	17.49
<b>SIDE STRINGERS</b>								
Strake Add.	17.50	13.50	10.80	11.48	2.500	13.30	13.98	16.80
Strake 1	13.00	12.50	10.00	10.63	2.500	12.50	13.13	12.30
Strake 2	13.00	12.50	10.00	10.63	2.500	12.50	13.13	12.30
Strake 3	15.50	12.50	10.00	10.63	2.500	12.50	13.13	14.80
<b>LONGITUDINALS</b>								
<b>BOTTOM</b>								
Web	13.00	13.00	10.40	11.05	2.500	12.90	13.55	12.32
Flange	30.00	30.00	24.00	25.50	2.500	26.50	28.00	29.44
<b>INNER BOTTOM</b>								
Web	13.00	19.00	15.20	16.15	1.250	16.45	17.40	12.02
Flange	30.00	36.00	28.80	30.60	1.250	30.05	31.85	29.11
<b>SIDE SHELL</b>								
side #1 (32)								
Web	12.00	20.00	16.00	17.00	2.500	18.50	19.50	11.29
Flange	25.00	39.00	31.20	33.15	1.250	32.45	34.40	24.56
side #1 (33)						0.00		
Web	12.00	20.00	16.00	17.00	2.500	18.50	19.50	11.29
Flange	25.00	35.00	28.00	29.75	1.250	29.25	31.00	24.56
side #1 (34)								
Web	12.00	20.00	16.00	17.00	2.500	18.50	19.50	11.29
Flange	25.00	32.00	25.60	27.20	1.250	26.85	28.45	24.56
side #1 (35)								
Web	12.00	20.00	16.00	17.00	2.500	18.50	19.50	11.29
Flange	25.00	30.00	24.00	25.50	1.250	25.25	26.75	24.56
side #2 (36)								
Web	18.00	18.00	14.40	15.30	2.500	16.90	17.80	17.29
Flange	18.00	18.00	14.40	15.30	1.250	15.65	16.55	17.56
side #3 (37)								
Web	13.00	20.00	16.00	17.00	2.500	18.50	19.50	12.29
Flange	30.00	34.00	27.20	28.90	1.250	28.45	30.15	29.56
side #4 (39)								
Web	12.00	20.00	16.00	17.00	2.500	18.50	19.50	11.29
Flange	22.00	27.00	21.60	22.95	1.250	22.85	24.20	21.56
side #4 (40)								
Web	12.00	20.00	16.00	17.00	2.500	18.50	19.50	11.29
Flange	22.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	21.56
side #4 (41)								
Web	12.00	20.00	16.00	17.00	2.500	18.50	19.50	11.29
Flange	22.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	21.56
side #5 (42)								
Web	12.00	21.00	16.80	17.85	2.500	19.30	20.35	11.29
Flange	20.00	26.00	20.80	22.10	1.250	22.05	23.35	19.56
side #5 (43)								
Web	12.00	20.00	16.00	17.00	2.500	18.50	19.50	11.29
Flange	20.00	26.00	20.80	22.10	1.250	22.05	23.35	19.56
side #6 (44)								
Web	12.00	20.00	16.00	17.00	2.500	18.50	19.50	11.29
Flange	20.00	27.00	21.60	22.95	1.250	22.85	24.20	19.56
side #7 (46)								
Web	12.00	20.00	16.00	17.00	2.500	18.50	19.50	11.29
Flange	20.00	29.00	23.20	24.65	1.250	24.45	25.90	19.56
side #7 (47)								
Web	12.00	21.00	16.80	17.85	2.500	19.30	20.35	11.29
Flange	20.00	26.00	20.80	22.10	1.250	22.05	23.35	19.56
side #7 (48)								
Web	12.00	20.00	16.00	17.00	2.500	18.50	19.50	11.29
Flange	20.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	19.56
side #7 (49)								
Web	12.00	19.00	15.20	16.15	2.500	17.70	18.65	11.29
Flange	20.00	24.00	19.20	20.40	1.250	20.45	21.65	19.56
side #7 (50)								
Web	12.00	20.00	16.00	17.00	2.500	18.50	19.50	11.29
Flange	20.00	22.00	17.60	18.70	1.250	18.85	19.95	19.56
side #7 (51)								
Web	12.00	20.00	16.00	17.00	2.500	18.50	19.50	11.29
Flange	20.00	23.00	18.40	19.55	1.250	19.65	20.80	19.56
side #8 (53)								

Web	12.00	16.00	12.80	13.60	2.500	15.30	16.10	11.29
Flange	20.00	26.00	20.80	22.10	1.250	22.05	23.35	19.56
<i>side #9 (54)</i>								
Web	12.00	17.00	13.60	14.45	2.500	16.10	16.95	11.29
Flange	20.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	19.56
<i>side #10 (55)</i>								
Web	12.00	16.00	12.80	13.60	2.500	15.30	16.10	11.29
Flange	20.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	19.56
<i>side #10 (56)</i>								
Web	12.00	16.00	12.80	13.60	2.500	15.30	16.10	11.29
Flange	20.00	23.00	18.40	19.55	1.250	19.65	20.80	19.56
<i>side #11 (57)</i>								
Web	12.00	15.00	12.00	12.75	2.500	14.50	15.25	11.29
Flange	20.00	24.00	19.20	20.40	1.250	20.45	21.65	19.56
<i>side #11 (58)</i>								
Web	12.00	15.00	12.00	12.75	2.500	14.50	15.25	11.29
Flange	20.00	23.00	18.40	19.55	1.250	19.65	20.80	19.56
<i>side #12 (60)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.56
<i>side #12 (61)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	2.500	12.10	12.70	11.29
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.56
<b>INNER SKIN</b>								
<i>inner hull #1 (31)</i>								
Web	12.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	11.02
Flange	30.00	40.00	32.00	34.00	1.250	33.25	35.25	29.11
<i>inner hull #2 (32)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	30.00	30.00	24.00	25.50	1.250	25.25	26.75	29.11
<i>inner hull #2 (33)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	30.00	30.00	24.00	25.50	1.250	25.25	26.75	29.11
<i>inner hull #2 (34)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	30.00	30.00	24.00	25.50	1.250	25.25	26.75	29.11
<i>inner hull#3 (35)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	25.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	24.11
<i>inner hull#3 (36)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	25.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	24.11
<i>inner hull #4 (37)</i>								
Web	12.00	14.00	11.20	11.90	1.250	12.45	13.15	11.02
Flange	25.00	24.00	19.20	20.40	1.250	20.45	21.65	24.11
<i>inner hull #5 (39)</i>								
Web	12.00	16.00	12.80	13.60	1.250	14.05	14.85	11.02
Flange	20.00	22.00	17.60	18.70	1.250	18.85	19.95	19.11
<i>inner hull #6 (40)</i>								
Web	12.00	17.00	13.60	14.45	1.250	14.85	15.70	11.02
Flange	20.00	24.00	19.20	20.40	1.250	20.45	21.65	19.11
<i>inner hull #6 (41)</i>								
Web	12.00	17.00	13.60	14.45	1.250	14.85	15.70	11.02
Flange	20.00	23.00	18.40	19.55	1.250	19.65	20.80	19.11
<i>inner hull #6 (42)</i>								
Web	12.00	17.00	13.60	14.45	1.250	14.85	15.70	11.02
Flange	20.00	22.00	17.60	18.70	1.250	18.85	19.95	19.11
<i>inner hull #7(43)</i>								
Web	12.00	16.00	12.80	13.60	1.250	14.05	14.85	11.02
Flange	20.00	23.00	18.40	19.55	1.250	19.65	20.80	19.11
<i>inner hull #8 (44)</i>								
Web	12.00	17.00	13.60	14.45	1.250	14.85	15.70	11.02
Flange	20.00	23.00	18.40	19.55	1.250	19.65	20.80	19.11
<i>inner hull#9 (46)</i>								
Web	12.00	17.00	13.60	14.45	1.250	14.85	15.70	11.02
Flange	20.00	27.00	21.60	22.95	1.250	22.85	24.20	19.11
<i>inner hull#9 (47)</i>								
Web	12.00	17.00	13.60	14.45	1.250	14.85	15.70	11.02
Flange	20.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	19.11
<i>inner hull#9 (48)</i>								
Web	12.00	18.00	14.40	15.30	1.250	15.65	16.55	11.02
Flange	20.00	23.00	18.40	19.55	1.250	19.65	20.80	19.11
<i>inner hull #10 (49)</i>								

Web	12.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	11.02
Flange	20.00	26.00	20.80	22.10	1.250	22.05	23.35	19.11
<i>inner hull #10 (50)</i>								
Web	12.00	19.00	15.20	16.15	1.250	16.45	17.40	11.02
Flange	20.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	19.11
<i>inner hull #10 (51)</i>								
Web	12.00	16.00	12.80	13.60	1.250	14.05	14.85	11.02
Flange	20.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	19.11
<i>inner hull #11 (53)</i>								
Web	12.00	16.00	12.80	13.60	1.250	14.05	14.85	11.02
Flange	20.00	26.00	20.80	22.10	1.250	22.05	23.35	19.11
<i>inner hull #11 (54)</i>								
Web	12.00	15.00	12.00	12.75	1.250	13.25	14.00	11.02
Flange	20.00	24.00	19.20	20.40	1.250	20.45	21.65	19.11
<i>inner hull #11 (55)</i>								
Web	12.00	15.00	12.00	12.75	1.250	13.25	14.00	11.02
Flange	20.00	22.00	17.60	18.70	1.250	18.85	19.95	19.11
<i>inner hull #11 (56)</i>								
Web	12.00	14.00	11.20	11.90	1.250	12.45	13.15	11.02
Flange	20.00	21.00	16.80	17.85	1.250	18.05	19.10	19.11
<i>inner hull #11 (57)</i>								
Web	12.00	13.00	10.40	11.05	1.250	11.65	12.30	11.02
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.11
<i>inner hull #11 (58)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.11
<i>inner hull #12 (60)</i>								
Web	13.50	13.50	10.80	11.48	1.250	12.05	12.73	12.52
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.11
<i>inner hull #13 (61)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.250	10.85	11.45	11.02
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.11
<b>LONGITUDINAL BHD</b>								
<i>long bulk. #1 (33)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	27.00	28.00	22.40	23.80	1.250	23.65	25.05	26.75
<i>long bulk. #1 (34)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	27.00	27.00	21.60	22.95	1.250	22.85	24.20	26.75
<i>long bulk. #2 (35)</i>								
Web	12.00	14.00	11.20	11.90	1.875	13.08	13.78	11.73
Flange	25.00	28.00	22.40	23.80	1.250	23.65	25.05	24.75
<i>long bulk. #2 (36)</i>								
Web	12.00	14.00	11.20	11.90	1.875	13.08	13.78	11.73
Flange	25.00	27.00	21.60	22.95	1.250	22.85	24.20	24.75
<i>long bulk. #2 (37)</i>								
Web	12.00	14.00	11.20	11.90	1.875	13.08	13.78	11.73
Flange	25.00	26.00	20.80	22.10	1.250	22.05	23.35	24.75
<i>long bulk. #3 (38)</i>								
Web	17.00	17.00	13.60	14.45	1.875	15.48	16.33	16.73
Flange	17.00	17.00	13.60	14.45	1.250	14.85	15.70	16.75
<i>long bulk. #4 (39)</i>								
Web	12.00	15.00	12.00	12.75	1.875	13.88	14.63	11.73
Flange	27.00	32.00	25.60	27.20	1.250	26.85	28.45	26.75
<i>long bulk. #5 (40)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.75
<i>long bulk. #5 (41)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.75
<i>long bulk. #5 (42)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.75
<i>long bulk. #5 (43)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.75
<i>long bulk. #5 (44)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.75
<i>long bulk. #6 (45)</i>								
Web	17.00	17.00	13.60	14.45	1.875	15.48	16.33	16.73
Flange	17.00	17.00	13.60	14.45	1.250	14.85	15.70	16.75
<i>long bulk. #7 (46)</i>								

Web	12.00	15.00	12.00	12.75	1.875	13.88	14.63	11.73
Flange	22.00	27.00	21.60	22.95	1.250	22.85	24.20	21.75
<i>long bulk. #8 (47)</i>								
Web	12.00	14.00	11.20	11.90	1.875	13.08	13.78	11.73
Flange	20.00	27.00	21.60	22.95	1.250	22.85	24.20	19.75
<i>long bulk. #8 (48)</i>								
Web	12.00	15.00	12.00	12.75	1.875	13.88	14.63	11.73
Flange	20.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	19.75
<i>long bulk. #9 (49)</i>								
Web	12.00	15.00	12.00	12.75	1.875	13.88	14.63	11.73
Flange	20.00	29.00	23.20	24.65	1.250	24.45	25.90	19.75
<i>long bulk. #9 (50)</i>								
Web	12.00	15.00	12.00	12.75	1.875	13.88	14.63	11.73
Flange	20.00	27.00	21.60	22.95	1.250	22.85	24.20	19.75
<i>long bulk. #9 (51)</i>								
Web	12.00	15.00	12.00	12.75	1.875	13.88	14.63	11.73
Flange	20.00	26.00	20.80	22.10	1.250	22.05	23.35	19.75
<i>long bulk. #10 (52)</i>								
Web	12.00	15.00	12.00	12.75	1.875	13.88	14.63	11.73
Flange	12.00	19.00	15.20	16.15	1.250	16.45	17.40	11.75
<i>long bulk. #11 (53)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.75
<i>long bulk. #12 (54)</i>								
Web	12.00	14.00	11.20	11.90	1.875	13.08	13.78	11.73
Flange	18.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	17.75
<i>long bulk. #12 (55)</i>								
Web	12.00	14.00	11.20	11.90	1.875	13.08	13.78	11.73
Flange	18.00	24.00	19.20	20.40	1.250	20.45	21.65	17.75
<i>long bulk. #12 (56)</i>								
Web	12.00	15.00	12.00	12.75	1.875	13.88	14.63	11.73
Flange	18.00	26.00	20.80	22.10	1.250	22.05	23.35	17.75
<i>long bulk. #12 (57)</i>								
Web	12.00	15.00	12.00	12.75	1.875	13.88	14.63	11.73
Flange	18.00	24.00	19.20	20.40	1.250	20.45	21.65	17.75
<i>long bulk. #12 (58)</i>								
Web	12.00	15.00	12.00	12.75	1.875	13.88	14.63	11.73
Flange	18.00	22.00	17.60	18.70	1.250	18.85	19.95	17.75
<i>long bulk. #12 (59)</i>								
Web	12.00	15.00	12.00	12.75	1.875	13.88	14.63	11.73
Flange	18.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	17.75
<i>long bulk. #12 (60)</i>								
Web	13.50	13.50	10.80	11.48	1.875	12.68	13.35	13.23
Flange	20.00	20.00	16.00	17.00	1.250	17.25	18.25	19.75
<i>long bulk. #12 (61)</i>								
Web	18.50	18.50	14.80	15.73	1.875	16.68	17.60	18.23
Flange	18.50	18.50	14.80	15.73	1.250	16.05	16.98	18.25
<i>long bulk. #12 (62)</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.73
Flange	25.00	25.00	20.00	21.25	1.250	21.25	22.50	24.75
<b>SIDE STRINGERS</b>								
<i>stringer no.3</i>								
Web	10.00	10.00	8.00	8.50	1.875	9.88	10.38	9.32
Flange	15.00	15.00	12.00	12.75	1.250	13.25	14.00	14.44
<i>stringer no.2</i>								
Web	10.00	10.00	8.00	8.50	1.875	9.88	10.38	9.32
Flange	15.00	15.00	12.00	12.75	1.250	13.25	14.00	14.44
<i>stringer no.1</i>								
Web	10.00	10.00	8.00	8.50	1.875	9.88	10.38	9.32
Flange	15.00	15.00	12.00	12.75	1.250	13.25	14.00	14.44
<i>stringer add.</i>								
Web	12.00	12.00	9.60	10.20	1.875	11.48	12.08	11.32
Flange	15.00	15.00	12.00	12.75	1.250	13.25	14.00	14.44
<b>MAIN DECK</b>								
<i>deck # 1-11</i>								
Web	12.00	15.00	12.00	12.75	1.875	13.88	14.63	11.64
Flange	18.00	22.00	17.60	18.70	1.875	19.48	20.58	17.71
<i>deck # 13-27</i>								
Web	15.00	20.00	16.00	17.00	1.875	17.88	18.88	14.64
Flange	20.00	29.00	23.20	24.65	1.875	25.08	26.53	19.71
<i>deck # 29-31</i>								
Web	30.00	30.00	24.00	25.50	2.500	26.50	28.00	28.80



#### 4.10 Αξιολόγηση κατάστασης - Αποφάσεις

Με βάση τον Πίνακα 4-16 που αφορά την περιοχή της Νιγηρίας συμπεραίνουμε πως σε γεννικές γραμμές η μεταλλική κατασκευή είναι σε καλή κατάσταση και δεν χρειάζονται πολλές επισκευές. Τα ελάσματα σε ποσοστό 87% τηρούν τις απαιτήσεις των κανονισμών όσον αφορά το απαιτούμενο πάχος, ενώ ένα ποσοστό 9% χρειάζεται τακτική επιθεώρηση κατά τα τελευταία χρόνια της διάρκειας υπηρεσίας του FPSO. Στα ενισχυτικά η κατάσταση δεν αλλάζει πολύ. Οι επισκευές περιορίζονται σε στοιχεία της πλευράς και σε μικρότερο βαθμό στις διαμήκεις φρακτές και οριζόντιες σταθμίδες. Επίσης, τα αποτελέσματα έδειξαν πως η απόκλιση από τα αποδεκτά όρια δεν ξεπερνά το 1.0-1.5 mm, εκτός από ελάχιστες περιπτώσεις που φτάνει τα 2.5 mm.

Αντίθετα, για την εγκατάσταση του FPSO στην περιοχή της Β. Θάλασσας, η επισκευή και η ενίσχυση της μεταλλικής κατασκευής κατά τη μετατροπή είναι απαραίτητη σε πολλά τμήματα. Ως επί το πλείστον, τα πάχη των ελασμάτων ικανοποιούν τα κριτήρια αποδοχής της μεταλλικής κατασκευής, σε αντίθεση με τα ενισχυτικά. Συγκεκριμένα, ανεπαρκή για τις απαιτήσεις της νέας λειτουργίας ως FPSO εμφανίζονται κυρίως κάποια από τα ελάσματα της πλευράς και οι σταθμίδες του πυθμένα. Τα ενισχυτικά που δεν ικανοποιούν την απαίτηση των κανονισμών είναι πολλά και μια γενικότερη άποψη παρουσιάζεται στον Πίνακα 4-18. Τέλος, τονίζεται πως η απόκλιση από τις αποδεκτές τιμές σε πολλά στοιχεία φτάνει τα 7-8 mm.

Η τελική απόφαση για το αν θα γίνει η μετατροπή είναι της εταιρείας που θα αναλάβει το έργο. Πάντως, φαίνεται πως για την περιοχή της Β. Θάλασσας η μετασκευή θα χρειαστεί μεγάλο κόστος επισκευών. Αντίθετα, για την Νιγηρία η πραγματοποίηση του έργου δεν συναντά ιδιαίτερες δυσκολίες.

Πίνακας 4-18: Γενική εικόνα της κατάστασης των στοιχείων της κατασκευής με σκοπό τις νέες συνθήκες υπηρεσίας ως FPSO.

<b>PLATING</b>	<b>ΝΙΓΗΡΙΑ</b>		<b>Β. ΘΑΛΑΣΣΑ</b>	
	Κατάσταση	Απόκλιση [mm]	Κατάσταση	Απόκλιση [mm]
KEEL	✓	+3.25	✓	+2.45
BOTTOM	✓	+3.13	✓	+2.33
INNER BOTTOM	✓	+2.53	✓	+1.33
BILGE	✓	+3.94	✓	+3.14
SIDE SHELL	✓	+1.65	✗	-1.00
SHEERSTRAKE	✓	+1.67	✓	+1.67
MAIN DECK STRINGER	✓	+0.76	✓	0.00
MAIN DECK	✓	+2.46	✓	+2.06
BOTTOM CENTER GIRDER	✓	+1.75	✗	-0.25
BOTTOM SIDE GIRDERS	✓	+0.45	✗	-1.15
LONG. BULKHEAD	✓	+2.47	✓	+1.51
INNER SKIN BULKHEAD	✓	+2.81	✓	+1.17
SIDE STRINGERS	✓	+1.35	✓	+1.35
<b>LONGITUDINALS</b>				
<b>BOTTOM</b>				
Web	✗	-0.58	✗	-0.58
Flange	✓	+2.94	✓	+2.94
<b>INNER BOTTOM</b>				
Web	✓	+0.37	✗	-4.43
Flange	✓	+3.86	✗	-0.94
<b>SIDE SHELL</b>				
Web	✗	-0.97	✗	-5.89
Flange	✓	+2.11	✗	-1.73
<b>INNER SKIN</b>				
Web	✓	0.00	✗	-3.45
Flange	✓	+1.70	✗	-1.93
<b>LONGITUDINAL BULKHEAD</b>				
Web	✓	+0.10	✗	-1.87
Flange	✓	+2.41	✗	-2.69
<b>SIDE STRINGERS</b>				
Web	✗	-0.46	✗	-0.46
Flange	✓	+1.19	✓	+1.19
<b>MAIN DECK (cargo tank)</b>				
Web	✓	+0.47	✗	-2.73
Flange	✓	+1.63	✗	-3.57
<b>MAIN DECK (ballast tank)</b>				
Web	✓	+2.30	✓	+2.30

**Σημειώσεις:**

1. Απόκλιση [mm]: αφορά την απόκλιση σε mm του Actual από το Rule required scantling. Με (+) η απαίτηση ικανοποιείται, με (-) η απαίτηση δεν ικανοποιείται. Όταν αναφερόμαστε σε ομάδα στοιχείων ελασμάτων ή ενισχυτικών αναγράφεται ο μέσος όρος της απόκλισης.

2. Κατάσταση: Η κατάσταση αναφέρεται σε γενική πλειοψηφία για την κάθε ομάδα ως καλή-αποδεκτή (✓) ή κακή-μη αποδεκτή (\*). Σε περίπτωση που είναι κακή αναγράφεται η απόκλιση των στοιχείων που δεν ικανοποιούν την απαίτηση  $t_{actual} \geq t_{Rule\ req.}$ .

## 5 Κεφάλαιο 5 - Κόπωση

### 5.1 Εισαγωγή

*Κόπωση (fatigue)* καλείται το φαινόμενο της αστοχίας που συντελείται στο υλικό της μεταλλικής κατασκευής όταν αυτό υπόκειται σε εναλλασσόμενες φορτίσεις για σχετικά μακρό χρονικό διάστημα.

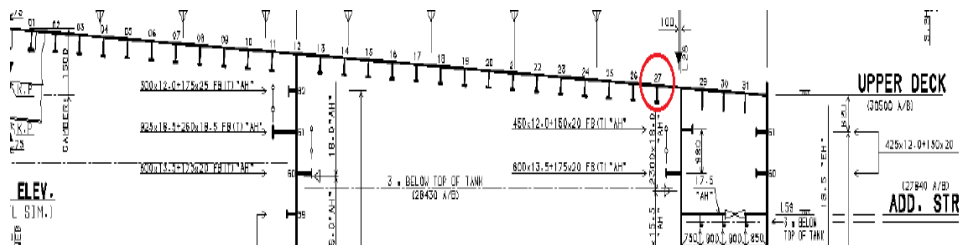
Είναι γνωστό ότι όλες οι υπεράκτιες εγκαταστάσεις που είναι μόνιμα τοποθετημένες σε μία θαλάσσια περιοχή συνεχώς δέχονται φορτίσεις από τους κυματισμούς. Παρόλα αυτά, η γνώση των συνθηκών αυτών στην περιοχή δεν απέτρεψε τα FPSOs να υπόκεινται σε ζημιές λόγω κόπωσης, οι οποίες πέρα από την απειλή της ακεραιότητας της κατασκευής επέφερε και έξοδα λόγω επισκευών. Οι ζημιές αυτές έκαναν τις πετρελαϊκές εταιρίες να ζητήσουν πιο συντηρητικό σχεδιασμό της κατασκευής και υψηλότερους συντελεστές ασφαλείας. Οι ρωγμές λόγω κόπωσης είναι αποτέλεσμα αρκετών παραμέτρων για τα FPSOs. Η προηγούμενη λειτουργία ως δεξαμενόπλοιο, η μεταφορά από το ναυπηγείο στην περιοχή λειτουργίας, τα υψηλά εύρη των τάσεων που αναπτύσσονται από τους κυματισμούς (σε δυσμενή περιβάλλοντα) και την φορτο/εκφόρτωση κατά τη λειτουργία, αποτελούν τους κύριους λόγους ζημιάς.

Πέρα από τους προαναφερθέντες λόγους, γενικά, οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά της κόπωσης στις λεπτομέρειες της μεταλλικής κατασκευής όπου ασκούνται εναλλασσόμενες φορτίσεις είναι [Ref. 9]:

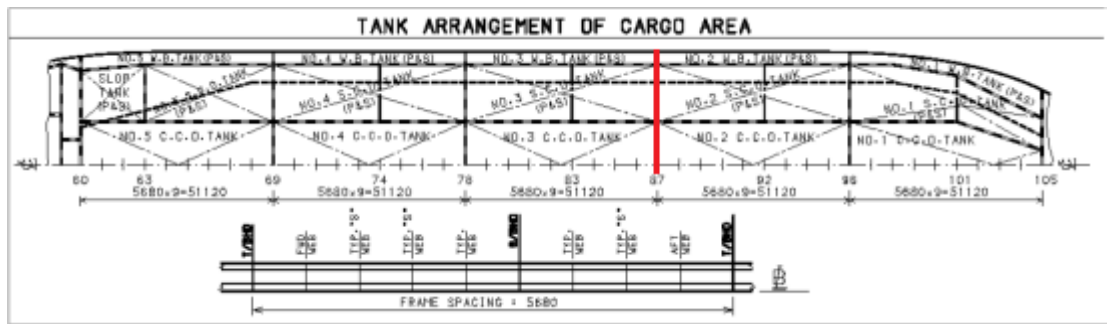
1. Η γεωμετρία των κατασκευαστικών λεπτομερειών μπορεί να οδηγήσει σε ασυνέχειες της κατασκευής και κατά συνέπεια σε συγκέντρωση τάσεων.
2. Η τοπική διαμόρφωση και γεωμετρία της λεπτομέρειας της συγκόλλησης (π.χ. πάχος λαιμού, γωνία συγκόλλησης) επίσης προκαλεί μια τοπική αύξηση των τάσεων.
3. Ελαττώματα στο υλικό συγκόλλησης και εσωτερικές ασυνέχειες, όπως πορώδες, έλλειψη διείσδυσης, κ.α. μειώνουν την κοπωτική ζωή.
4. Η χρήση χάλυβα υψηλής αντοχής, παρόλο που αυξάνει τις επιτρεπόμενες τάσεις, έδειξε πως έχει δυσμενέστερα αποτελέσματα στο κομμάτι της κόπωσης σε σχέση με τη χρήση κοινού χάλυβα.
5. Οι κυκλικές φορτίσεις που ασκούνται, κυρίως από τον κυματισμό.
6. Το διαβρωτικό περιβάλλον (η σταδιακή μείωση του πάχους των στοιχείων επιφέρει μεγαλύτερο εύρος τάσεων).

Αντικείμενο του κεφαλαίου αυτού είναι η εκτίμηση της κοπωτικής ζωής (fatigue life) για το διάμηκες ενισχυτικό του καταστρώματος (Long. no. 27) στη σύνδεσή του

με την πρωραία φρακτή, για την περιοχή της Β. Θάλασσας (Εικόνα 5-1 και 5-2). Η αξιολόγηση της κόπωσης βασίζεται στην θεώρηση ότι η συνολική βλάβη είναι το άθροισμα της ζημιάς που έχει υποστεί το σκάφος ως δεξαμενόπλοιο και της ζημιάς που προβλέπεται να υποστεί η κατασκευή κατά τα χρόνια υπηρεσίας ως FPSO.



**Εικόνα 5-1:** Θέση υπό θεώρηση διαμήκου ενισχυτικού καταστρώματος για μελέτη αντοχής κόπωσης.



**Εικόνα 5-2:** Θέση πρωραίας εγκάρσιας φρακτής για μελέτη αντοχής κόπωσης.

## 5.2 Εκτίμηση Κόπωσης για Μετατροπή Δεξαμενοπλοίου σε FPSO

Η αντοχή σε κόπωση βασίζεται σε μία υπόθεση συσσωρευμένης ζημιάς, η οποία καταλήγει ότι η κατασκευή είναι πιθανό να αστοχήσει από πλευρά κόπωσης ύστερα από έναν πεπερασμένο αριθμό κύκλων φόρτισης. Αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό όταν κοιτάμε μια μετατροπή, όπου το πλοίο κατά τα προηγούμενα χρόνια της διάρκειας υπηρεσίας του έχει αντιμετωπίσει έναν αριθμό κύκλων φόρτισης και έχει υποστεί ήδη μια ζημιά. Το βασικό ζητούμενο είναι να διατηρηθεί ο συνολικός αριθμός των κύκλων φόρτισης κάτω από τον αριθμό των κύκλων που θα οδηγήσουν στην αστοχία.

Με βάση την εφαρμογή του νόμου *Palmgren-Miner*, όταν ο λόγος συσσωρευμένης βλάβης γίνει ίσος με 1, η λεπτομέρεια της σύνδεσης αστοχεί. Θεωρώντας τους λόγους της βλάβης για την κοπωτική ζωή πριν τη μετατροπή και τη φάση μετά τη μετατροπή, αυτό μπορεί να εκφραστεί βάση της παρακάτω σχέσης [Ref. 1]:

$$\frac{S_{PriorConv}}{L_{P,PriorConv}} + \frac{L_{R,PostConv}}{L_{P,PostConv}} = 1$$

ή

$$L_{R,PostConv} = L_{P,PostConv} \times (1 - S_{PriorConv}/L_{P,PriorConv}) \quad (5.1)$$

όπου,

$S_{PriorConv}$  = διάρκεια υπηρεσίας πριν την μετατροπή

$L_{P,PriorConv}$  = προβλεπόμενη διάρκεια κοπωτικής ζωής πριν την μετατροπή

$L_{P,PostConv}$  = προβλεπόμενη διάρκεια κοπωτικής ζωής on-site μετά την μετατροπή

$L_{R,PostConv}$  = εναπομένουσα κοπωτική ζωή για λειτουργία on-site

Η εναπομένουσα κοπωτική ζωή για λειτουργία on-site,  $L_{R,PostConv}$ , για συνδέσεις διαμήκων ενισχυτικών, μπορεί αναλυτικότερα να προσδιοριστεί μέσω της παρακάτω σχέσης [FPI Rules, 5A-2-3/A5]:

$$L_{R,PostConv} = \frac{20}{DM} \times \left[ \frac{1 - \frac{\sum (S_{Route-i}/a_{Route-i})}{L_{P,Tanker}}}{\frac{\sum (S_{His Site-i}/a_{His Site-i})}{L_{P,Site}} - \frac{(S_{Transit}/a_{Transit})}{L_{P,Transit}}} \right] \quad (5.2)$$

Η σχέση (5.2) είναι ισοδύναμη με την (5.1). Στη σχέση 5.2 ο αριθμός 20 είναι τα χρόνια ζωής του FPSO (design life). Το  $DM$  είναι ο συντελεστής συσσωρευμένης βλάβης, ο οποίος είναι συνισταμένη της κόπωσης υψηλής (high cycle) και χαμηλής (low cycle) συχνότητας. Στην παρούσα εργασία θα αναλύσουμε μόνο το κομμάτι της υψηλής συχνότητας. Οι όροι μέσα στην αγκύλη αφορούν τη ζημιά λόγω κόπωσης που αντιμετώπισε το δεξαμενόπλοιο στις διαδρομές που ακολούθησε στα χρόνια υπηρεσίας του (*service routes*) και τη ζημιά που αντιμετώπισε η κατασκευή κατά τη μεταφορά από το ναυπηγείο μέχρι την τοποθέτηση on-site (*transit*). Οι όροι που αφορούν το *Historical Site* αγνοούνται καθώς αφορά την προηγούμενη περιοχή του FPSO, η οποία δεν υφίσταται. Ο συντελεστής  $\alpha$  χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της συσσωρευμένης ζημιάς λόγω κόπωσης κατά τη μεταφορά (*transit*) και κατά τις διαδρομές που ακολούθησε το δεξαμενόπλοιο κατά την υπηρεσία του (*service routes*). Όταν ο συντελεστής  $\alpha$  είναι μεγαλύτερος της μονάδας (1.0), περιγράφει μια αύξηση της κοπωτικής ζωής εξαιτίας ηπιότερων περιβαλλοντικών συνθηκών εν συγκρίσει αυτών του Βόρειου Ατλαντικού (όπου το  $\alpha$  ισούται με 1.0). Οι υπόλοιποι όροι ορίζονται ως εξής:

$S_{Route-i}$  = αριθμός χρόνου υπηρεσίας για το  $i$ -historical route

$S_{Transit}$  = αριθμός χρόνου υπηρεσίας για την μεταφορά από το ναυπηγείο στο site

$L_{P,Tanker}$  = προβλεπόμενη κοπωτική ζωή για τη φάση δεξαμενοπλοίου βάσει του περιβάλλοντος του Βόρειου Ατλαντικού

$L_{P,Transit}$  = προβλεπόμενη κοπωτική ζωή για τη φάση μεταφοράς βάσει του περιβάλλοντος του Βόρειου Ατλαντικού

Λόγω έλλειψης πληροφοριών, τόσο για τα historical routes όσο και για το transit, θεωρούμε πως  $\frac{\sum (S_{Route-i}/a_{Route-i})}{L_{P,Tanker}} - \frac{(S_{Transit}/a_{Transit})}{L_{P,Transit}} = 0.5$ , δηλαδή το σκάφος στην προηγούμενη του ζωή ως δεξαμενόπλοιο και κατά τη μεταφορά στο site, έχει υποστεί ζημιά 0.5 της συνολικής. Άρα, η σχέση (5.2) γίνεται:

$$L_{R,PostConv} = \frac{20}{DM} \times [1 - 0.5] \quad (5.3)$$

Αρκεί ο υπολογισμός του συντελεστή συσσωρευμένης βλάβης,  $DM$ , για τον προσδιορισμό της εναπομένουσας κοπωτικής ζωής του FPSO.

## 5.3 Ανάλυση - Υπολογισμός Κόπωσης

### 5.3.1 Συσσωρευμένη βλάβη

Η εκτίμηση και ο υπολογισμός της κόπωσης της κατασκευής βασίζεται στην εφαρμογή του νόμου *Palmgren-Miner* που δίνεται παρακάτω. Όταν ο συντελεστής συσσωρευμένης βλάβης, DM, είναι μεγαλύτερος του 1, η αντοχή σε κόπωση της κατασκευής δεν είναι αποδεκτή. Ο συντελεστής DM ορίζεται ως:

$$DM = \sum_{i=1}^{n_{tot}} \frac{n_i}{N_i}$$

όπου,

$n_i$  = αριθμός κύκλων του εύρους τάσης  $S_i$

$N_i$  = αριθμός κύκλων ως την αστοχία υπό εύρος τάσης  $S_i$

$n_{tot}$  = συνολικός αριθμός διαφορετικών επιπέδων εύρους τάσης

$i$  = επίπεδο εύρους τάσης υπ' αριθμόν  $i$

### 5.3.2 Αξιολόγηση αντοχής κόπωσης

Η αξιολόγηση της κόπωσης για συγκολλημένα μέλη περιλαμβάνουν τις τρεις ακόλουθες φάσεις:

- Υπολογισμός του εύρους των τάσεων
- Επιλογή της S-N curve
- Υπολογισμός της συσσωρευμένης βλάβης και της κοπωτικής ζωής

### 5.3.3 Υπο θεώρηση τάσεις για τον υπολογισμό της κόπωσης

Σύμφωνα με τους κανονισμούς [FPI 5A-3-A2/5.1], ο υπολογισμός της κόπωσης βασίζεται στις *ονομαστικές τάσεις (nominal stresses)*. Οι ονομαστικές καμπύλες S-N της Εικόνας 5-3 προέκυψαν από τεστ κόπωσης σε δοκίμια τα οποία υποβλήθηκαν σε αξονικές και καμπτικές φορτίσεις. Για λόγους πληρότητας δίνονται παρακάτω οι ορισμοί των *nominal* και *hot spot stresses* [Ref. 9]:



Nominal stresses: Οι ονομαστική τάση είναι μια γενική τάση σε ένα στοιχείο η οποία λαμβάνει υπόψη τις μακρο-γεωμετρικές επιδράσεις, αλλά αγνοώντας την αύξηση τάσεων λόγω ασυνεχειών στην κατασκευή και την παρουσία συγκολλήσεων. Για στοιχεία όμοια με δοκό, όπως τα διαμήκη ενισχυτικά η ονομαστική τάση δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_n = \frac{P}{A} + \frac{M}{I}y = \sigma_a + \sigma_b$$

όπου,

$\sigma_a$  = η αξονική τάση

$\sigma_b$  = η τοπική καμπτική τάση

Hot spot stresses: Η τάση αυτή αναπτύσσεται στα hot spots<sup>25</sup> και λαμβάνει υπόψη της την επίδραση των κατασκευαστικών ατελειών λόγω της γεωμετρίας της σύνδεσης αλλά αποκλείοντας συγκεντρώσεις τάσεων λόγω του συγκολλημένου προφίλ. Οι hot spot τάσεις εκφράζονται ως ακολούθως:

$$\sigma_G = K_G \sigma_n$$

όπου,

$\sigma_G$  = η τάση στο hot spot

$\sigma_n$  = η ονομαστική τάση

$K_G$  = συν/της συγκέντρωσης τάσεων λόγω της γεωμετρικής διάταξης της σύνδεσης.

### 5.3.4 S-N Curves

Η μαθηματική ανάλυση του φαινομένου της κόπωσης θα γίνει με βάση την προσέγγιση των καμπυλών Τάσεων - Επαναλήψεων (S-N Curves).

Η αντοχή των συγκολλημένων μεταλλικών αρθρώσεων όσον αφορά την κόπωση χαρακτηρίζεται από τις S-N curves, οι οποίες δίνουν την σχέση μεταξύ του εύρους

---

<sup>25</sup> Τα Hot Spots είναι είναι περιοχές στην κατασκευή όπου οι ρωγμές λόγω κόπωσης είναι πιθανό να ξεκινήσουν λόγω της συνδυασμένης επίδρασης της διακύμανσης των ονομαστικών τάσεων και της αύξησης τάσης λόγω της γεωμετρίας συγκόλλησης ή παρόμοιων επιδράσεων λόγω εγκοπής (notch) στο βασικό υλικό.

τάσης που εφαρμόζεται σε μια δεδομένη λεπτομέρεια και του αριθμού (σταθερού πλάτους) κύκλων φόρτισης που οδηγούν στην αστοχία.

Οι *S-N curves* αντιπροσωπεύονται σε γραμμική μορφή από την ακόλουθη σχέση [Ref.1]:

$$\log(N) = \log(K_2) - m \log(S_B)$$

όπου,

$$\log(K_2) = \log(K_1) - 2\sigma$$

$N$  = προβλεπόμενος αριθμός κύκλων για αστοχία υπό το εύρος τάσης  $S_B$

$K_1$  = σταθερά που σχετίζεται με τη μέση S-N curve

$\sigma$  = σταθερή απόκλιση του  $\log(N)$

$m$  = αντίστροφη αλλαγή της S-N curve

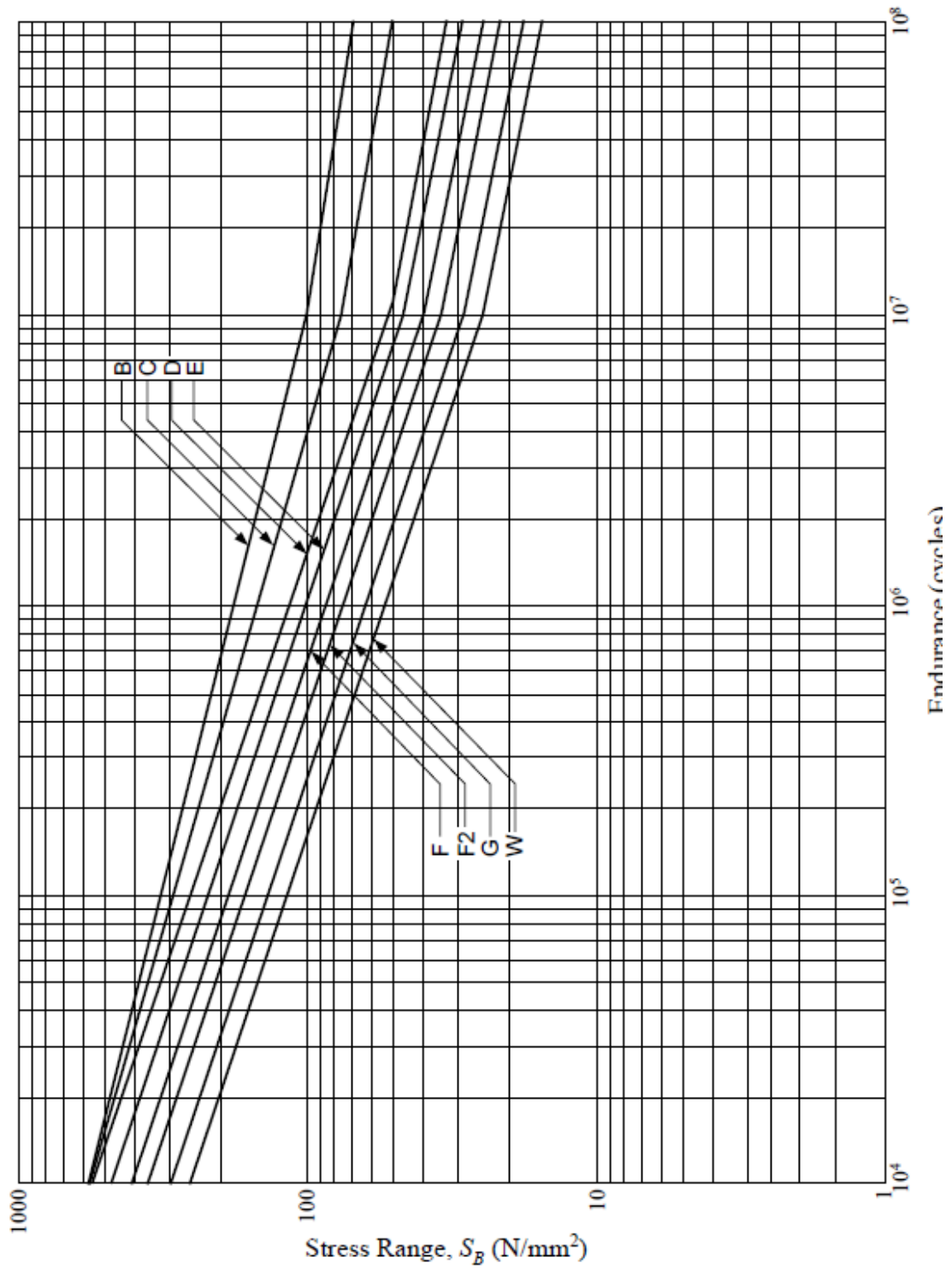
Οι S-N curves παρουσιάζουν μια αντίστροφη αλλαγή της κλίσης από το  $m$  έως το  $m+2$  στις  $N=10^7$  κύκλους (η οποία αντιστοιχείται σε εύρος τάσης  $f_q$ ).

Στην περίπτωση μας όπου μελετάται η σύνδεση του διαμήκους ενισχυτικού του καταστρώματος με την εγκάρσια φρακτή [περίπτωση 5A-3-A2/3.3.1 των κανονισμών], έχουμε Class F ή  $F_2$ . Από την στιγμή που δεν γνωρίζουμε με λεπτομέρεια τον τρόπο σύνδεσης υποθέτουμε πως έχουμε μία από τις δύο λεπτομέρειες, έστω Class F. Γενικά, η συγκέντρωση τάσεων που αναπτύσσεται στην περίπτωση αυτή είναι μικρότερη από την  $F_2$ .

**Πίνακας 5-1: Details of basic S-N curves**

*Details of basic S-N curves (December 2008)*

Class	$K_1$	$K_1$		$m$	Standard deviation		$K_2$	$f_q$ N/mm <sup>2</sup>
		$\log_{10}$	$\log_e$		$\log_{10}$	$\log_e$		
B	$2.343 \times 10^{15}$	15.3697	35.3900	4.0	0.1821	0.4194	$1.01 \times 10^{15}$	100.2
C	$1.082 \times 10^{14}$	14.0342	32.3153	3.5	0.2041	0.4700	$4.23 \times 10^{13}$	78.2
D	$3.988 \times 10^{12}$	12.6007	29.0144	3.0	0.2095	0.4824	$1.52 \times 10^{12}$	53.4
E	$3.289 \times 10^{12}$	12.5169	28.8216	3.0	0.2509	0.5777	$1.04 \times 10^{12}$	47.0
F	$1.726 \times 10^{12}$	12.2370	28.1770	3.0	0.2183	0.5027	$0.63 \times 10^{12}$	39.8
$F_2$	$1.231 \times 10^{12}$	12.0900	27.8387	3.0	0.2279	0.5248	$0.43 \times 10^{12}$	35.0
G	$0.566 \times 10^{12}$	11.7525	27.0614	3.0	0.1793	0.4129	$0.25 \times 10^{12}$	29.2
W	$0.368 \times 10^{12}$	11.5662	26.6324	3.0	0.1846	0.4251	$0.16 \times 10^{12}$	25.2



Εικόνα 5-3: Basic design S-N curves

### 5.3.5 Υπολογισμός εύρους τάσεων

Η ανάλυση της κόπωσης θεωρεί τις ακόλουθες φορτίσεις για τον προσδιορισμό του εύρους τάσεων οι οποίες προκαλούνται από το κύμα και χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες [FPI Rules 5A-3-A2/7]:

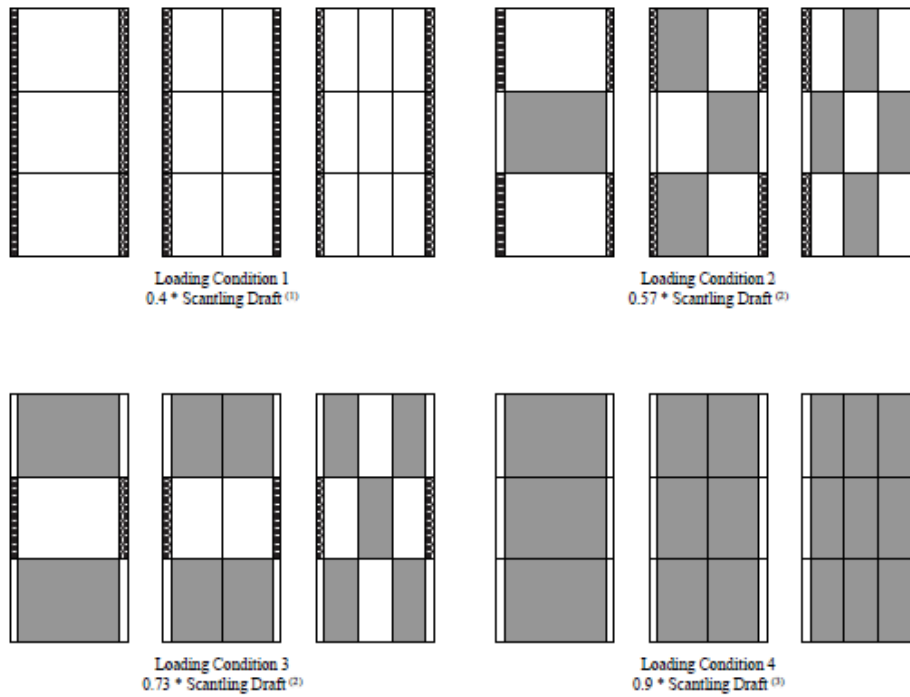
- (a) Καμπτικές ροπές από το κύμα θεωρώντας το πλοίο σαν δοκό (κατακόρυφες και οριζόντιες)
- (b) Εξωτερικές υδροδυναμικές πιέσεις
- (c) Εσωτερικές φορτίσεις στις δεξαμενές (αδρανειακές δυνάμεις ρευστού και πρόσθετες λόγω κίνησης του πλοίου)

Για τον υπολογισμό του εύρους τάσεων θεωρούνται τέσσερις (4) καταστάσεις φόρτωσης (Full Ballast, Full Load και δύο ενδιάμεσες καταστάσεις), όπως φαίνεται στην Εικόνα 5-1. Για την κάθε κατάσταση φόρτωσης λαμβάνονται οκτώ (8) υποπεριπτώσεις φόρτισης και ορίζονται τέσσερα ζεύγη (FLC1 και FLC2, FLC3 και FLC4, FLC5 και FLC6, FLC7 και FLC8), όπως παρουσιάζονται στο [Παράρτημα Α.6](#). Ο συνδυασμός των υποπεριπτώσεων αυτών χρησιμοποιείται ώστε τελικά να προκύψει το ζητούμενο εύρος τάσεων το οποίο ανταποκρίνεται σε πιθανότητα υπέρβασης  $10^{-4}$ .

Οι τάσεις που λαμβάνονται υπόψη είναι συνδυασμός ολικών (global) και τοπικών (local) φορτίσεων. Οι τάσεις που χρησιμοποιούνται σε ολικό επίπεδο – *πρωτεύουσες τάσεις* – προκύπτουν από απλή θεώρηση του πλοίου σαν δοκός. Οι τοπικές φορτίσεις – *δευτερεύουσες τάσεις* - θεωρούν τις τάσεις που ασκούνται στη φλάντζα του διαμήκους ενισχυτικού. Στην Εικόνα 5-5 είναι κυκλωμένες οι τάσεις που λαμβάνονται υπόψη.

Πρέπει να επισημανθεί ότι σημαντικό ρόλο παίζει η εγκάρσια θέση του διαμήκους ενισχυτικού του καταστρώματος (κοντά στο side shell), αφού πέρα από τις πρωτεύουσες τάσεις λόγω κατακόρυφης διαμήκους κάμψης, αναπτύσσονται αρκετά ισχυρές τάσεις λόγω οριζόντιας κάμψης, οι οποίες θα ήταν αμελητέες σε περίπτωση που επιλέγαμε για εξέταση ένα διάμηκες ενισχυτικό καταστρώματος κοντά στη centerline.

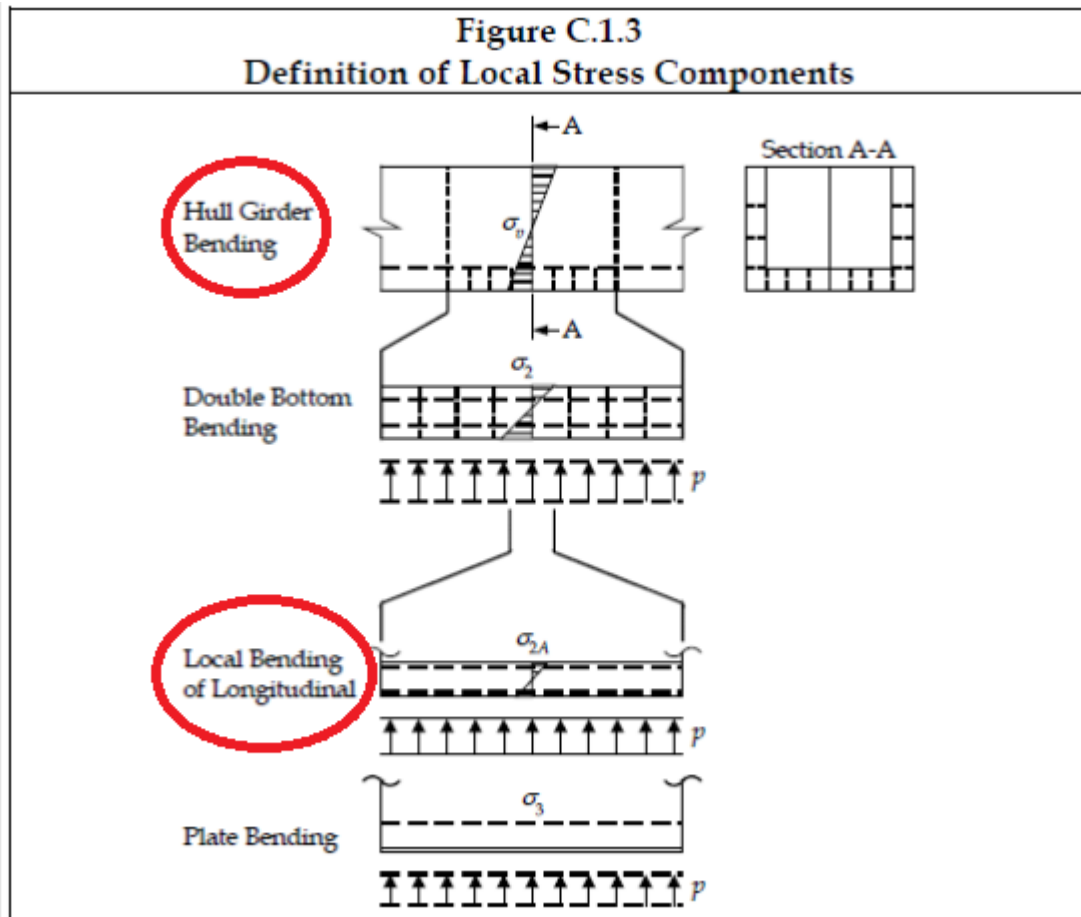
Τέλος, τονίζεται ότι το πλοίο θα έχει υποστεί ένα βαθμό διάβρωσης και απώλειας υλικού, οπότε προσοχή πρέπει να δοθεί ώστε η αξιολόγηση της εναπομένουσας κοπωτικής ζωής να γίνει με βάση τα καθαρά πάχη (net scantlings) [FPI Rules, 5A-3-A2/9.1].



*Notes:*

- |   |                             |   |
|---|-----------------------------|---|
| 1 | Ballast condition draft –   | if actual minimum on-site operating ballast draft is greater than $0.4 \times$ scantling draft, actual draft can be used (but not to exceed $0.6 \times$ scantling draft) |
|   |                             | This condition is also used for transit condition with actual transit draft between $0.1 \times$ scantling draft and $0.6 \times$ scantling draft                         |
| 2 | Intermediate drafts –       | draft equally divided between Loading Conditions 1 and 4 drafts   |
| 3 | Full load condition draft – | if actual maximum on-site operating full load draft is greater than $0.9 \times$ scantling draft, actual draft can be used  |

**Εικόνα 5-4: Οι υπό θεώρηση καταστάσεις φόρτωσης για τον υπολογισμό του εύρους τάσεων.**



Εικόνα 5-5: Definition of Local Stress components (CSR, ABS Rules 2012, Appendix C)

## A. ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

### I. Κατακόρυφες καμπτικές φορτίσεις

Το εύρος της τάσης,  $S_{RG,v}$ , που προκαλούν οι κατακόρυφες καμπτικές φορτίσεις σε κυματισμό για την κάθε κατάσταση φόρτωσης  $i$ , με πιθανότητα υπέρβασης  $10^{-8}$ , δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$S_{RG,v(i)} = \frac{|M_{ws} - M_{wh}|}{I_v} \cdot (z - z_n) \quad \text{σε N/cm}^2$$

όπου,

$M_{ws} = 10,939,986 \text{ kN}\cdot\text{m}$ , καμπτική ροπή sagging σε κυματισμό όπως προκύπτει από τον Πίνακα 4-10, για την περιοχή της Β. Θάλασσας

$M_{wh} = 10,199,799 \text{ kN}\cdot\text{m}$ , καμπτική ροπή hogging σε κυματισμό όπως προκύπτει από τον Πίνακα 4-10, για την περιοχή της Β. Θάλασσας

$I_v = 1,380.7 \text{ m}^4$ , κατακόρυφη ροπή αδράνειας διατομής περί τον ουδέτερο άξονα θεωρώντας τα net scantlings

$z = 30.5 \text{ m}$ , κατακόρυφη απόσταση από την baseline έως το ενισχυτικό του καταστρώματος

$z_n = 13.18 \text{ m}$ , κατακόρυφη απόσταση ουδέτερου άξονα από την baseline

Αντικαθιστώντας στην παραπάνω σχέση προκύπτει,

$$S_{RG,v(i)} = 26,513 \text{ N/cm}^2 = 265 \text{ MPa}$$

Ανάλογα με την κάθε υποπερίπτωση (L.C. 1-8) αλλάζει και η παραπάνω τιμή, λόγω του διαφορετικού συντελεστή βαρύτητας.

## II. Οριζόντιες καμπτικές φορτίσεις

Το εύρος της τάσης,  $S_{RG,h}$ , που προκαλούν οι οριζόντιες καμπτικές φορτίσεις σε κυματισμό για την κάθε κατάσταση φόρτωσης  $i$ , με πιθανότητα υπέρβασης  $10^{-8}$ , δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$S_{RG,h(i)} = \frac{2 \cdot M_h}{I_h} \cdot y \quad \text{σε N/cm}^2$$

όπου,

$M_h = 5,398,248 \text{ kN}\cdot\text{m}$ , οριζόντια καμπτική ροπή σε κυματισμό, όπως υπολογίζεται παρακάτω, για την περιοχή της Β. Θάλασσας

$I_h = 4,176.6 \text{ m}^4$ , οριζόντια ροπή αδράνειας διατομής περί τον κατακόρυφο άξονα θεωρώντας τα net scantlings

$y = 25.6 \text{ m}$ , απόσταση από τον κατακόρυφο ουδέτερο άξονα της διατομής ως το υπό θεώρηση σημείο

Αντικαθιστώντας στην παραπάνω σχέση προκύπτει,

$$S_{RG,h(i)} = 6,618 \text{ N/cm}^2 = 66 \text{ MPa}$$

Ανάλογα με την κάθε υποπερίπτωση (L.C. 1-8) αλλάζει και η παραπάνω τιμή, λόγω του διαφορετικού συντελεστή βαρύτητας.

Η οριζόντια καμπτική ροπή, θετική (εφελκυστική port) ή αρνητική (εφελκυστική starboard), σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-3-2/5.3.1], δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$M_H = \pm m_h \beta_{HBM} K_3 C_1 L^2 D C_b \times 10^{-3} = \pm 5,398,248 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

όπου,

$m_h$  = συντελεστής κατανομής ίσος με μονάδα για το μέσο του πλοίου

$\beta_{HBM} = 1.088$ , ESF για την οριζόντια καμπτική ροπή στη Β. Θάλασσα

$K_3 = 180$

$D = 30.5 \text{ m}$ , το κοίλο του σκάφους



## Β. ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

Οι δευτερεύουσες τάσεις που ασκούνται στην φλάντζα του διαμήκους ενισχυτικού, σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-3-A2/7.11.1], υπολογίζονται με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$\sigma_2 = C_t C_y M / SM \quad \text{σε N/cm}^2$$

όπου,

$$M = C_d p s l^2 / 12$$

$$C_d = 1.15$$

$p$  = πίεση προκαλούμενη από κυματισμό, για την συγκεκριμένη θέση και σε κάθε υποπερίπτωση (L.C. 1-8), στο μέσο του ανοίγματος του ενισχυτικού

$s$  = 95 cm, ισαπόσταση διαμήκους ενισχυτικού

$l$  = 568 cm, ανυποστήρικτο άνοιγμα διαμήκους ενισχυτικού

$SM$  = 1,617 cm<sup>3</sup>, καθαρή (net) ροπή αντίστασης του ενισχυτικού μαζί με το έλασμα που συνδέεται, ως προς το σημείο αναφοράς (Εικόνα 4-4)

$$C_y = 1$$

$C_t$  = συντελεστής διόρθωσης για συνδυασμό καμπτικής και στρεπτικής τάσης που προκαλείται από στατικές και δυναμικές φορτίσεις στη συγκόλληση του flat bar stiffener ή του μπρακέτου στην φλάντζα του ενισχυτικού

$$= 1.0, \text{ για ταυ-προφίλ}$$

## Γ. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΤΑΣΗΣ

Σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-3-A2/9.1.1], το συνολικό εύρος τάσης, με πιθανότητα υπέρβασης  $10^{-4}$ , υπολογίζεται σαν το άθροισμα δύο επιμέρους τάσεων, ως ακολούθως:

$$S_R = k_p c_f (S_{RG} + S_{RL}) \quad \text{σε N/cm}^2$$

όπου,

$k_p$  = 0.5, συν/της φόρτισης που ρυθμίζει την πιθανότητα της υπέρβασης

$$c_f = 0.95,$$

$S_{RG}$  = εύρος τάσης σε ολικό επίπεδο, σε N/cm<sup>2</sup>

$$= |(\sigma_{d1vi} - \sigma_{d1vj}) + (\sigma_{d1hi} - \sigma_{d1hj})|$$

$S_{RL}$  = εύρος τάσης σε τοπικό επίπεδο, σε N/cm<sup>2</sup>

$$= |(\sigma_{d2i} - \sigma_{d2j})|$$

$\sigma_{d1vi}, \sigma_{d1vj}$  = πρωτεύουσες τάσεις σε κυματισμό προκαλούμενες από την κατακόρυφη κάμψη, για τις περιπτώσεις φόρτισης  $i$  και  $j$  των επιλεγμένων ζευγών

$\sigma_{d1hi}, \sigma_{d1hj}$  = πρωτεύουσες τάσεις σε κυματισμό προκαλούμενες από την οριζόντια κάμψη, για τις περιπτώσεις φόρτισης  $i$  και  $j$  των επιλεγμένων ζευγών

$\sigma_{d2i}, \sigma_{d2j}$  = δευτερεύουσες τάσεις σε κυματισμό που προκαλούνται από την τοπική κάμψη του διαμήκους ενισχυτικού μεταξύ των στηρίξεων, για τις περιπτώσεις φόρτισης  $i$  και  $j$  των επιλεγμένων ζευγών

LOADING CONDITION 1 – FULL BALLAST								
$T= 22.5\ m$	FLC1	FLC2	FLC3	FLC4	FLC5	FLC6	FLC7	FLC8
<b>A. Hull Girder Loads</b>								
<b>Vertical BM</b>	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)
weight coefficient	1.00	1.00	0.30	0.30	0.75	0.75	0.70	0.70
V.B.M. [kN·m]	-10 939 986	10 199 799	-3 281 996	3 059 940	-8 204 989	7 649 849	-7 657 990	7 139 859
$S_{RG,v}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>25 993.7</b>		<b>7 798.1</b>		<b>19 495.3</b>		<b>18 195.6</b>	
<b>Horizontal BM</b>	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
weight coefficient	0.00	0.00	0.10	0.10	1.00	1.00	1.00	1.00
H.B.M. [kN·m]	0	0	539 825	539 825	5 398 248	5 398 248	5 398 248	5 398 248
$S_{RG,h}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>0.0</b>		<b>661.8</b>		<b>6 617.5</b>		<b>6 617.5</b>	
$S_{RG}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>25 993.7</b>		<b>8 459.9</b>		<b>26 112.8</b>		<b>24 813.1</b>	
<b>B. External pressure</b>								
$p_e$ [N/cm <sup>2</sup> ]	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>C. Internal tank pressure</b>								
weight coefficient	0.40	0.40	1.00	1.00	0.75	0.75	0.40	0.40
$p_i$ [N/cm <sup>2</sup> ]	0.22	0.01	4.38	0.29	0.98	0.06	0.74	0.04
M [N·cm]	646 189	29 372	12 865 035	851 795	2 878 478	176 233	2 173 545	117 489
$S_{RL}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>381.4</b>		<b>7 429.1</b>		<b>1 671.1</b>		<b>1 271.5</b>	
<b>Total <math>S_R</math></b> [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>12 528.2</b>		<b>7 547.2</b>		<b>13 197.3</b>		<b>12 390.2</b>	

LOADING CONDITION 2 – INTERMEDIATE								
$T= 22.5\ m$	FLC1	FLC2	FLC3	FLC4	FLC5	FLC6	FLC7	FLC8
<b>A. Hull Girder Loads</b>								
<b>Vertical BM</b>	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)
weight coefficient	1.00	1.00	0.25	0.25	0.95	0.95	0.75	0.75
V.B.M. [kN·m]	<b>-5 469 993</b>	<b>5 099 900</b>	<b>-1 367 498</b>	<b>1 274 975</b>	<b>-5 196 493</b>	<b>4 844 905</b>	<b>-4 102 495</b>	<b>3 824 925</b>
$S_{RG,v}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>12 996.8</b>		<b>3 249.2</b>		<b>12 347.0</b>		<b>9 747.6</b>	
<b>Horizontal BM</b>	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
weight coefficient	0.00	0.00	0.10	0.10	1.00	1.00	1.00	1.00
H.B.M. [kN·m]	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>539 825</b>	<b>539 825</b>	<b>5 398 248</b>	<b>5 398 248</b>	<b>5 398 248</b>	<b>5 398 248</b>
$S_{RG,h}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>0.0</b>		<b>661.8</b>		<b>6 617.5</b>		<b>6 617.5</b>	
$S_{RG}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>12 996.8</b>		<b>3 911.0</b>		<b>18 964.5</b>		<b>16 365.2</b>	
<b>B. External pressure</b>								
$p_e$ [N/cm <sup>2</sup> ]	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>C. Internal tank pressure</b>								
weight coefficient	0.55	0.55	0.70	0.70	0.20	0.20	0.40	0.40
$p_i$ [N/cm <sup>2</sup> ]	0.40	0.02	2.85	0.19	0.11	0.01	0.59	0.04
M [N·cm]	1 174 889	58 744	8 371 085	558 072	323 094	29 372	1 732 961	117 489
$S_{RL}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>690.2</b>		<b>4 831.6</b>		<b>181.6</b>		<b>999.0</b>	
<b>Total <math>S_R</math></b> [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>6 501.4</b>		<b>4 152.7</b>		<b>9 094.4</b>		<b>8 248.0</b>	

LOADING CONDITION 3 – INTERMEDIATE								
$T= 22.5\ m$	<i>FLC1</i>	<i>FLC2</i>	<i>FLC3</i>	<i>FLC4</i>	<i>FLC5</i>	<i>FLC6</i>	<i>FLC7</i>	<i>FLC8</i>
<b>A. Hull Girder Loads</b>								
<b>Vertical BM</b>	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)
weight coefficient	1.00	1.00	0.25	0.25	0.90	0.90	0.70	0.70
V.B.M. [kN·m]	-10 939 986	10 199 799	-2 734 996	2 549 950	-9 845 987	9 179 819	-7 657 990	7 139 859
$S_{RG,v}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>25 993.7</b>		<b>6 498.4</b>		<b>23 394.3</b>		<b>18 195.6</b>	
<b>Horizontal BM</b>	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
weight coefficient	0.00	0.00	0.10	0.10	1.00	1.00	1.00	1.00
H.B.M. [kN·m]	0	0	539 825	539 825	5 398 248	5 398 248	5 398 248	5 398 248
$S_{RG,h}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>0.0</b>		<b>661.8</b>		<b>6 617.5</b>		<b>6 617.5</b>	
$S_{RG}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>25 993.7</b>		<b>7 160.2</b>		<b>30 011.8</b>		<b>24 813.1</b>	
<b>B. External pressure</b>								
$p_e$ [N/cm <sup>2</sup> ]	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>C. Internal tank pressure</b>								
weight coefficient	0.55	0.55	0.75	0.75	0.10	0.10	0.40	0.40
$p_i$ [N/cm <sup>2</sup> ]	0.30	0.02	3.31	0.22	0.09	0.01	0.81	0.05
M [N·cm]	881 167	58 744	9 722 207	646 189	264 350	29 372	2 379 150	146 861
$S_{RL}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>508.6</b>		<b>5 612.7</b>		<b>145.3</b>		<b>1 380.5</b>	
<b>Total <math>S_R</math></b> [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>12 588.6</b>		<b>6 067.1</b>		<b>14 324.7</b>		<b>12 441.9</b>	

LOADING CONDITION 4 – FULL LOAD								
$T= 22.5\ m$	<i>FLC1</i>	<i>FLC2</i>	<i>FLC3</i>	<i>FLC4</i>	<i>FLC5</i>	<i>FLC6</i>	<i>FLC7</i>	<i>FLC8</i>
<b>A. Hull Girder Loads</b>								
<b>Vertical BM</b>	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)
weight coefficient	1.00	1.00	0.15	0.15	0.80	0.80	0.70	0.70
V.B.M. [kN·m]	-10 939 986	10 199 799	-1 640 998	1 529 970	-8 751 989	8 159 839	-7 657 990	7 139 859
$S_{RG,v}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>25 993.7</b>		<b>3 899.1</b>		<b>20 794.9</b>		<b>18 195.6</b>	
<b>Horizontal BM</b>	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
weight coefficient	0.00	0.00	0.25	0.25	1.00	1.00	1.00	1.00
H.B.M. [kN·m]	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1 349 562</b>	<b>1 349 562</b>	<b>5 398 248</b>	<b>5 398 248</b>	<b>5 398 248</b>	<b>5 398 248</b>
$S_{RG,h}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>0.0</b>		<b>1 654.4</b>		<b>6 617.5</b>		<b>6 617.5</b>	
$S_{RG}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>25 993.7</b>		<b>5 553.4</b>		<b>27 412.5</b>		<b>24 813.1</b>	
<b>B. External pressure</b>								
$p_e$ [N/cm <sup>2</sup> ]	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>C. Internal tank pressure</b>								
weight coefficient	0.75	0.75	0.80	0.80	0.10	0.10	0.50	0.50
$p_i$ [N/cm <sup>2</sup> ]	0.82	0.05	3.48	0.23	0.06	0	1.75	0.11
M [N·cm]	2 408 523	146 861	10 221 535	675 561	176 233	0	5 140 140	323 094
$S_{RL}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>1 398.6</b>		<b>5 903.3</b>		<b>109.0</b>		<b>2 978.9</b>	
<b>Total <math>S_R</math></b> [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>13 011.4</b>		<b>5 442.0</b>		<b>13 072.7</b>		<b>13 201.2</b>	

### 5.3.6 Υπολογισμός Συντελεστή Συσσωρευμένης Βλάβης $DM$

Σύμφωνα με τους κανονισμούς [5A-3-A2/5.7], η συνολική συσσωρευμένη ζημιά που προβλέπεται να εμφανιστεί στο FPSO κατά τη λειτουργία του on-site, υπολογίζεται ως:

$$DM = 0.15DM_1 + 0.35DM_2 + 0.35DM_3 + 0.15DM_4 \quad (5.4)$$

όπου,

$DM_i$  = συντελεστής κόπωσης συσσωρευμένης βλάβης για την εκάστοτε κατάσταση φόρτωσης  $i$ , όπου  $i=1-4$  και περιλαμβάνει οκτώ υποπεριπτώσεις φόρτισης.

$$= f_{i,1-2}DM_{i,1-2} + f_{i,3-4}DM_{i,3-4} + f_{i,5-6}DM_{i,5-6} + f_{i,7-8}DM_{i,7-8} \quad (5.5)$$

$f_{i,j-k}$  = πιθανότητα προσανατολισμού κύματος για την κατάσταση φόρτωσης  $i$ , με βάση τον παρακάτω πίνακα. Στην περίπτωση external turret εξετάζονται οι περιπτώσεις B και C του πίνακα.

Πίνακας 5-2: Τιμές συντελεστή  $f_{i,j-k}$

$f_{i,j-k}$  Factors (1,2,3)

Loading Pair, $j-k$	1-2	3-4	5-6	7-8
Direction	0	90	60	30
A	0.40	0.10	0.20	0.30
B	0.60	0.00	0.10	0.30
C	1.00	0.00	0.00	0.00

Notes:

- 1 When an installation's mooring system type and arrangement, and heading orientation have not been determined prior to application of these requirements, cases A, B and C are to be investigated and more onerous results are to be used.
- 2 If an installation's mooring system type and arrangement have been determined, but the actual heading information is not available, case A and B are to be used for installations with spread mooring, or, installations with turrets located more than 25% of the installation length aft of the bow, or for locations with non-colinear wind, wave and current conditions regardless of the mooring system. More onerous results of these two cases are to be used.
- 3 If an installation's mooring system type and arrangement has been determined, but the actual heading information is not available, Case B and C are to be applied for installations with turrets located less than 25% of the installation length aft of the bow. More onerous results of these two cases are to be used.

Ο συντελεστής συσσωρευμένης βλάβης  $DM_i$  για την κάθε μία από τις τέσσερις καταστάσεις λαμβάνεται από την παρακάτω διπαραμετρική σχέση:

$$DM_{i,j-k} = \frac{N_L}{K_2} \cdot \frac{(0.01 \cdot S_{Ri})^m}{(\ln N_R)^{n/\gamma}} \cdot \mu_i \cdot \Gamma\left(1 + \frac{m}{\gamma}\right) \quad (5.6)$$

όπου,

$N_L$  = αριθμός των κύκλων για τον προσδοκώμενο χρόνο ζωής

$$= \frac{U}{4 \log_{10} L}$$

$U$  = χρόνος ζωής, σε sec

$$= 6.31 \times 10^8 \text{ για διάρκεια ζωής 20 χρόνων}$$

$m = 3.0$ , παράμετρος της S-N curve, όπως ορίζεται στον Πίνακα 5-1

$K_2 = 0.63 \times 10^{12}$ , παράμετρος της S-N curve, όπως ορίζεται στον Πίνακα 5-1

$S_{Ri}$  = εύρος τάσης με βάση πιθανότητα υπέρβασης  $10^{-4}$ , όπως υπολογίζεται από τους Πίνακες του Παραρτήματος Α.6.

$N_R = 10,000$ , αριθμός των κύκλων για πιθανότητα υπέρβασης  $10^{-4}$

$\gamma$  = μακροπρόθεσμη παράμετρος κατανομής τάσης

$$\gamma = 1.54 - 0.245a^{0.8}L^{0.2} = 0.763 \text{ για } L > 305\text{m}$$

όπου,

$$a = 1.0, \text{ for deck structures}$$

$\Gamma$  = συνάρτηση Γάμμα

$\mu_i$  = συντελεστής τάσης ο οποίος λαμβάνει υπόψη του την αλλαγή της κλίσης της S-N curve

$$= 1 - \frac{\left\{ \Gamma_0(\alpha, \nu_i) - \nu_i^{-\frac{\Delta m}{\gamma}} \Gamma_0(\beta, \nu_i) \right\}}{\Gamma(\alpha)}$$

όπου,

$$\alpha = 1 + \frac{m}{\gamma}, \beta = 1 + \frac{m + \Delta m}{\gamma}$$

$$\nu_i = \left( \frac{f_q}{0.01 S_{Ri}} \right)^\gamma \ln N_R$$



$f_q = 39.8 \text{ N/mm}^2$ , εύρος τάσης στη σύνδεση των δύο δοκιμών της S-N curve, όπως ορίζεται στον Πίνακα 5-1

$\Delta m = 2$ , αλλαγή κλίσης της S-N curve

$\Gamma_0(a, x)$  = μη ολοκληρωμένη συνάρτηση Γάμμα, Legendre form

	L.C. i = 1				L.C. i = 2				L.C. i = 3				L.C. i = 4			
$S_{Ri}$ (Mpa)	128	76	134	126	66	42	92	83	128	61	146	126	133	55	133	134
$\Gamma(\alpha, \nu_1)$	8	15	8	8	16.5	21	12	12.5	8	17.5	6.2	8	8	18.5	8	8
$\Gamma(\beta, \nu_1)$	75	640	75	75	750	1200	350	470	75	950	83	75	75	1100	75	75
$\Gamma(\alpha)$	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6
$\mu_1$	0.74	0.63	0.75	0.73	0.52	0.21	0.70	0.71	0.74	0.50	0.87	0.73	0.74	0.43	0.74	0.75
<b>DM<sub>i,j-k</sub></b>	<b>0.54</b>	<b>0.10</b>	<b>0.63</b>	<b>0.51</b>	<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	<b>0.19</b>	<b>0.14</b>	<b>0.55</b>	<b>0.04</b>	<b>0.93</b>	<b>0.52</b>	<b>0.61</b>	<b>0.02</b>	<b>0.61</b>	<b>0.63</b>

Βάσει της σχέσης (5.5) και των τιμών του Πίνακα 5-2 για τις περιπτώσεις B και C , όπου έχουμε External turret, προκύπτουν τα εξής.

	<i>B case</i>	<i>C case</i>
<b>DM<sub>1</sub> =</b>	<b>0.51</b>	<b>0.51</b>
<b>DM<sub>2</sub> =</b>	<b>0.09</b>	<b>0.05</b>
<b>DM<sub>3</sub> =</b>	<b>0.54</b>	<b>0.51</b>
<b>DM<sub>4</sub> =</b>	<b>0.58</b>	<b>0.57</b>

Η περίπτωση B βάσει της σχέσης (5.4) δίνει:

$$DM = 0.15DM_1 + 0.35DM_2 + 0.35DM_3 + 0.15DM_4 = 0.41$$

Η περίπτωση C βάσει της σχέσης (5.4) δίνει:

$$DM = 0.15DM_1 + 0.35DM_2 + 0.35DM_3 + 0.15DM_4 = 0.38$$

Επιλέγεται η δυσμενέστερη κατάσταση συσσωρευμένης ζημιάς, άρα τελικά:

$$DM = 0.41$$

Άρα, η σχέση (5.3) γίνεται:

$$L_{R,PostConv} = \frac{20}{DM} \times [1 - 0.5] = 25 \text{ years}$$

Η εναπομένουσα κοπωτική ζωή της κατασκευής on-site υπολογίστηκε στα 25 χρόνια. Σε συνδυασμό με το ότι η διάρκεια υπηρεσίας είναι τα 20 χρόνια, η σύνδεση που εξετάστηκε αντέχει από άποψη αντοχής σε κόπωση.

## 6 Κεφάλαιο 6 – Συμπεράσματα-Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

### 6.1 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε η μετατροπή ενός δεξαμενοπλοίου VLCC σε FPSO και με βάση τον έλεγχο σε θέματα ολικής και τοπικής αντοχής, πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση της μεταλλικής κατασκευής, που στόχο είχε τον προσδιορισμό των απαραίτητων ενεργειών, ώστε η πλωτή κατασκευή καθ' όλη την περίοδο υπηρεσίας της και μέχρι το πέρας της λειτουργίας της ως FPSO να εξασφαλίζει την ακεραιότητα της.

Πρώτο βήμα της αξιολόγησης της μεταλλικής κατασκευής ήταν η επάρκεια της ολικής αντοχής του FPSO. Οι υπολογισμοί που έγιναν έδειξαν πως στην περιοχή της Νιγηρίας και κατ' επέκταση σε ήπιο περιβάλλον, οι επιτρεπόμενες καμπτικές ροπές και οι διατμητικές δυνάμεις σε ήρεμο νερό μπορούν να αυξηθούν σε σχέση με αυτές του δεξαμενοπλοίου λόγω του ότι οι αντίστοιχες ροπές και δυνάμεις λόγω κυματισμού παίρνουν τιμές 0.3 με 0.6 των τιμών βάσει του Β. Ατλαντικού. Αντιθέτως, στην περιοχή της Β. Θάλασσας και κατ' επέκταση σε δυσμενές περιβάλλον, οι καμπτικές ροπές και οι διατμητικές δυνάμεις σε κυματισμό παίρνουν τιμές 1.0 με 1.1 των τιμών βάσει του Β. Ατλαντικού. Άμεση συνέπεια του παραπάνω είναι πως αύξηση στις επιτρεπόμενες καμπτικές ροπές και διατμητικές δυνάμεις σε ήρεμο νερό θέτει την αντοχή της κατασκευής εκτός επιτρεπτών ορίων. Όπως φάνηκε στο κεφάλαιο 3.5, οι μέγιστες ροπές παρουσιάζονται στην κατάσταση πλήρους ερματισμού. Οι ροπές αυτές μπορούν να μειωθούν περαιτέρω σε περίπτωση που συμφωνηθεί εξ' αρχής από την ιδιοκτήτρια εταιρεία να παραμένει πάντα ένα ποσοστό πετρελαίου στις δεξαμενές.

Δεύτερο βήμα της αξιολόγησης της μεταλλικής κατασκευής ήταν η διαστασιολόγηση των ελασμάτων και των ενισχυτικών. Σε κάθε περίπτωση τα στοιχεία ελέγχθηκαν υπό τοπικές φορτίσεις στις δυσμενέστερες καταστάσεις και προέκυψαν τα απαιτούμενα πάχη σε κάθε στοιχείο. Στην περίπτωση της Νιγηρίας, οι τοπικές φορτίσεις που ασκούνται από τον κυματισμό είναι χαμηλές και κύριο παράγοντα στην εκλογή των απαιτούμενων παχών παίζουν οι εσωτερικές πιέσεις στις δεξαμενές. Οι περισσότερες απαιτήσεις των κανονισμών πληρούνταν και τα πάχη των στοιχείων ήταν επαρκή για την συγκεκριμένη κατάσταση θάλασσας. Στην περίπτωση της Β. Θάλασσας, οι τοπικές φορτίσεις λόγω κυματισμού είναι υψηλές και σε συνδυασμό με τις εσωτερικές πιέσεις και την μειωμένη επιτρεπόμενη καμπτική τάση που αναπτυσσόταν στην διαμήκη και εγκάρσια κατεύθυνση, οι απαιτήσεις οδήγησαν σε

αύξηση των παχών στα στοιχεία. Τα στοιχεία ελέγχθηκαν από θέμα διαρροής (yielding) και λυγισμού (buckling).

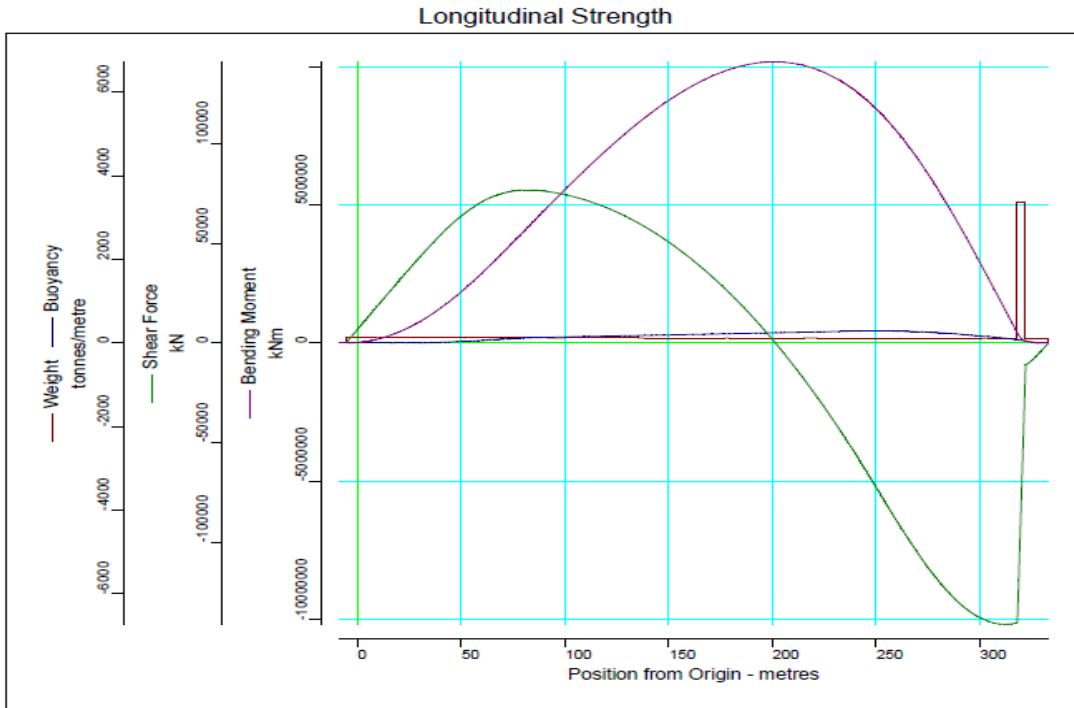
Η διαδικασία των υπολογισμών ήταν η ίδια για τις δύο περιοχές που επιλέχτηκαν, αλλά τα αποτελέσματα που προέκυψαν διαφέρουν. Στη μεν πρώτη περίπτωση, της επιλογής της Νιγηρίας ως περιοχή τοποθέτησης της κατασκευής, τα αποτελέσματα δείχνουν πως η κατάσταση της μεταλλικής κατασκευής κατά ένα μεγάλο ποσοστό είναι ικανοποιητική και πληροί τα κριτήρια που θέτουν οι κανονισμοί του ABS. Διαφορετικά συμπεράσματα προέκυψαν από τη διαδικασία υπολογισμών για την περιοχή της Β. Θάλασσας, όπου τα τελικά αποτελέσματα έδειξαν πως η ενίσχυση της μεταλλικής κατασκευής και η επισκευή είναι απαραίτητη σε πολλά τμήματα.

Όσον αφορά το θέμα της κόπωσης, σε ένα ήπιο περιβάλλον, η συσσωρευμένη κόπωση λόγω του εύρους τάσεων από τους κυματισμούς για ένα FPSO είναι σαφώς μικρότερη σε σχέση με τις συνθήκες του Β. Ατλαντικού (όπου λειτουργούσε το σκάφος ως δεξαμενόπλοιο) και κατ' επέκταση με ένα δυσμενές περιβάλλον. Σύμφωνα με τις υποθέσεις που έγιναν σε αυτή την εργασία, στην περιοχή της Β. Θάλασσας προέκυψε πως στην περίπτωση σύνδεσης διαμήκους ενισχυτικού καταστρώματος (κοντά στο πλευρικό έλασμα) με την εγκάρσια φρακτή, η αντοχή σε κόπωση για διάρκεια ζωής 20 χρόνων είναι επαρκής.

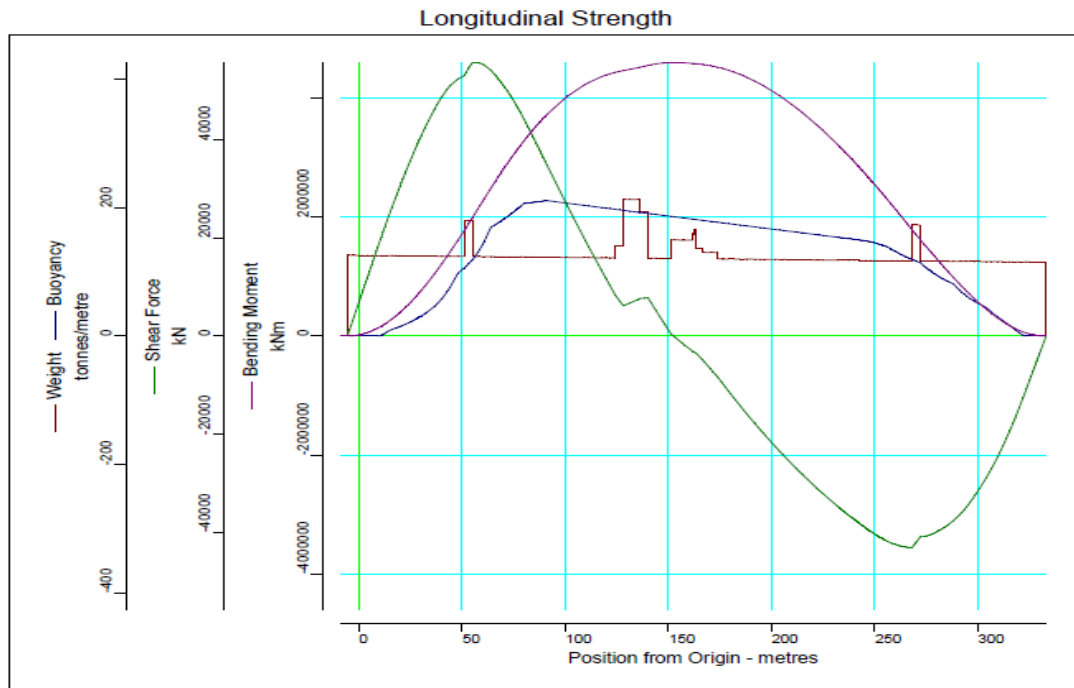
Φάνηκε πως ο χαμηλός συντελεστής γάστρας ( $C_b = 0.821$ ) δεν επηρεάζει την μετατροπή του δεξαμενοπλοίου από θέμα αντοχής. Ο υψηλός συντελεστής γάστρας που επιλέγεται για τα *purpose built FPSOs* είναι για λόγους αύξησης χωρητικότητας των δεξαμενών πετυχαίνοντας μια πιο *barge-shaped* κατασκευή.

Τα δύο συστήματα αγκύρωσης, *spread mooring* και *external turret*, προκαλούν σημαντικές διαφορές στην φόρτιση της κατασκευής, όπως φαίνεται και στις Εικόνες 6-1 και 6-2, όπου τα βάρη που ασκούνται είναι το βάρος της μεταλλικής κατασκευής και το βάρος του συστήματος αγκύρωσης *on-site*. Το σύστημα του *turret* προκαλεί μέγιστη καμπτική ροπή περίπου 10,200,000 kNm (*hogging*), 55% μεγαλύτερη από τη ροπή που προκαλείται στη Νιγηρία.

Τέλος, είναι γεγονός πως στα χέρια μας διαθέτουμε αρκετά εργαλεία για τον πλήρη σχεδιασμό ενός FPSO conversion μέσω των λογισμικών πακέτων πάνω σε FPSOs που κυκλοφορούν στον ABS αλλά και σε άλλους νηογνώμονες. Επίσης, είναι σαφές πως η αναλυτική διαδικασία υπολογισμών που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί πολύ πιο γρήγορα και εύκολα μέσω των παραπάνω πακέτων. Πάντα, όμως, η κατανόηση και η άμεση εφαρμογή των σχέσεων που διέπουν το φυσικό πρόβλημα είναι απαραίτητη ώστε να αξιολογούνται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις υπολογιστικές εφαρμογές και να δίνονται σωστές λύσεις.



Εικόνα 6-1: Φόρτιση κατασκευής στη Β. Θάλασσα

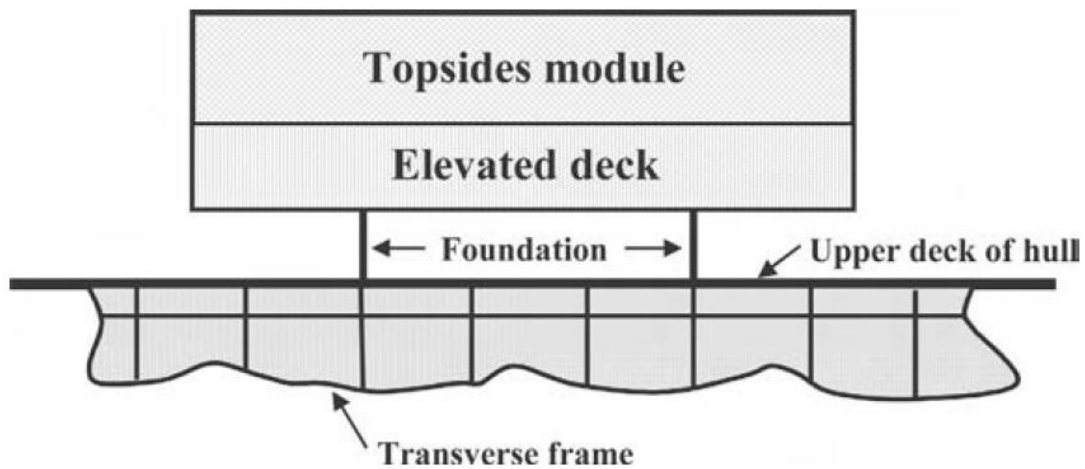


Εικόνα 6-2: Φόρτιση κατασκευής στη Νιγηρία

## 6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Ως επακόλουθο της παρούσας εργασίας προκύπτουν μερικά ζητήματα για περαιτέρω διερεύνηση στο μέλλον. Αυτά είναι:

1. Η λεπτομερής μελέτη και σχεδιασμός για τα Topsides. Η αλληλεπίδραση τους με το κομμάτι της γάστρας (Hull) και οι φορτίσεις που μεταφέρονται από τις στηρίξεις των σταθμών (modules) στο κύριο κατάστρωμα. Σημειώνεται, [Ref. 9], πώς οι σταθμοί βρίσκονται πάνω σε ένα ανυψωμένο επίπεδο καταστρώματος λίγα μέτρα (3-4 μέτρα) πάνω από το κύριο κατάστρωμα. Ανάμεσα στο ανυψωμένο κατάστρωμα και το κύριο κατάστρωμα υπάρχουν στηρίξεις (module support structures), όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



2. Ο ακριβής προσδιορισμός των δυνάμεων και των ροπών που προκαλούνται από τους κλάδους αγκύρωσης, spread mooring ή/και turret, και τα risers και η αλληλεπίδραση των συστημάτων αυτών με το κομμάτι της γάστρας όπου συνδέονται, για συγκεκριμένη περιοχή εγκατάστασης και βάθος νερού.
3. Η χρήση Μεθόδου Πεπερασμένων Στοιχείων (Finite Element Method-FEM) για τον προσδιορισμό της αντοχής και της κατανομής των τάσεων σε primary supporting structures (cross-ties, double bottom floors, etc.) και primary supporting members (plates & stiffeners). Έλεγχος σε διαρροή και λυγισμό των διαφόρων στοιχείων.
4. Η μελέτη και ο υπολογισμός της ζημιάς λόγω κόπωσης για χαμηλή συχνότητα (Low-cycle fatigue damage) κατά την φόρτωση και εκφόρτωση του FPSO στην περιοχή

λειτουργίας και η συνεισφορά αυτής στον συντελεστή συσσωρευμένης βλάβης, *DM*, για την εκτίμηση της κοπωτικής ζωής on-site.

5. Ο υπολογισμός της αντοχής σε κόπωση σε συνδέσεις όπου εμφανίζουν συχνές ρωγμές κατά τη λειτουργία των FPSOs με χρήση μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων και λαμβάνοντας υπόψη hot spot stresses.
6. Ανάπτυξη μοντέλου για τον προσδιορισμό του ρυθμού διάβρωσης στα διάφορα στοιχεία της μεταλλικής κατασκευής, σε μία συγκεκριμένη περιοχή λειτουργίας (κατά κύριο λόγο σε ένα δυσμενές περιβάλλον) και εστιάζοντας στις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ ενός δεξαμενοπλοίου και ενός FPSO.
7. Ανάλυση κόστους επισκευών και ενίσχυσης μεταλλικής κατασκευής στο ναυπηγείο (τεχνο-οικονομική μελέτη).

## 7 Κεφάλαιο 7 - Βιβλιογραφία

1. American Bureau of Shipping (ABS), "Rules for Building and Classing Floating Production Installations", Part 5A-Ship type installations, 2015
2. American Bureau of Shipping (ABS), Guide for: "Dynamic Loading Approach for Floating Production, Storage and Offloading (FPSO) Installations", February 2014
3. American Bureau of Shipping (ABS), "Rules for Building and Classing Steel Vessels", Part 3-Hull Construction and Equipment, January 2015
4. Bureau Veritas (BV), "Rules for the Classification of Offshore Units", Part D, April 2010
5. Det Norske Veritas (DNV), "Rules for planning and execution of Marine Operations", Part 1-General Requirements
6. Det Norske Veritas (DNV), "Structural Design of Offshore Ships", October 2014
7. Lloyd's Register (LR), "Rules and Regulations for the Classifications of Mobile Offshore Units", July 2014
8. International Association of Classification Societies (IACS), "Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers", July 2012
9. J.K. Paik, A.K. Thayamballi, "Ship-Shaped Offshore Installations, Design, Building and Operation", Cambridge University Press 2007
10. J.K. Paik, J.M. Lee, J.S. Hwang, Y.I. Park, "A Time –Dependent Corrosion Wastage Model for the Structures of Single and Double-Hull Tankers and FSOs and FPSOs", Marine Technology, Vol. 40, No. 3, pp. 201-217, July 2003
11. O. Hughes, J.K. Paik, "Ship Structural Analysis and Design", published by The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2010
12. M. Johnson, Senior Engineer, American Bureau of Shipping, "Complete planning of a FPSO conversion taking into account strength and fatigue aspects", Transactions on the Built Environment vol. 29, 1997 WIT Press
13. International Association of Oil & Gas Producers, "Guidelines for managing risks associated with FPSOs", Report No. 377, April 2006
14. E. Allen, D. Dees, S. Hicks, R. Hollibaugh, T. Martin, T. Starling, "Design of a Floating Production and Offloading Vessel for Offshore Indonesia", OCEN 407 Design of Ocean Engineering Facilities, Ocean Engineering Program, Texas A&M University, May 2006
15. F. Hamdan, "Margins of Safety in FPSO Hull Strength", Research report 083, Health and Safety Executive 2003
16. O. Oakley, G. Adhia, T. Sasaki, T. Suzuki, "Design and Construction of the FPSO *Anoa Natuna*", SNAME Transactions, Vol. 98, 1990, pp.113-141
17. T. Terpstra, G. Schouten, L. Ursini, "Design and Conversion of FPSO Mystras", Offshore Technology Conference, OTC 16198, Houston, Texas, USA, 3-6 May 2004.
18. T. Terpstra, B. D' Hautefeuille, A. MacMillan, "FPSO Design and Conversion: A Designer's Approach", Offshore Technology Conference, OTC 13210, Houston, Texas, USA, 30 April-3 May 2001.
19. J. Hwang, G. Bang, M. Roh, K. Lee, "Detailed Design and Construction of the Hull of an FPSO", Proceedings of the Nineteenth (2009) International Offshore and Polar Engineering Conference, Osaka, Japan, 21-26 June 2009



20. G. B. Howell, A. S. Duggal, C. Heyl, O. Ihonde, "Spread Moored or Turret Moored FPSO's for Deepwater Field Developments", Offshore West Africa 2006
21. V. L. Hansen, A. Duggal, A. MacMillan, L. Wang, O. Sado, "Hydrodynamic and Structural Design Challenges in Benign Areas", Paper Offshore West Africa 2004, DNV-FMC Energy Systems
22. Μ. Σαμουηλίδης, "Αντοχή Πλοίου", Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2011
23. Π. Καρύδης, "Η μεταλλική κατασκευή του πλοίου. Θέματα τοπικής αντοχής", Αθήνα 2000

## **A. Παραρτήματα**

## A.1. Υπολογισμός κινήσεων πλοίου και επιταχύνσεων

Για τον υπολογισμό των αδρανειακών δυνάμεων και των πρόσθετων πιέσεων για μια πλήρως γεμάτη δεξαμενή, απαιτούνται οι κυρίαρχες κινήσεις του πλοίου, pitch και roll, όπως και οι προκύπτουσες επιταχύνσεις που προκαλούνται από το κύμα. Οι παρακάτω σχέσεις δίνουν το pitch, το roll και τα accelerations για κάθε περιοχή.

### (a) Pitch

Το πλάτος του pitch (θετικό πλώρη πάνω) δίνεται:

$$\varphi = \beta_{PMO} k_1 (10/C_b)^{1/4} / L \quad \text{σε degrees, αλλά δεν χρειάζεται να είναι πάνω από } 10^\circ$$

Η φυσική περίοδος δίνεται από τη σχέση:

$$T_p = k_2 \sqrt{C_b d_i} \quad \text{σε seconds}$$

όπου,

$$\beta_{PMO} = \text{ESF για την κίνηση του pitch}$$

$$k_1 = 1030$$

$$k_2 = 3.5$$

$$d_i = \text{το βύθισμα στο μέσο για την υπό θεώρηση κατάσταση φόρτωσης}$$

### (b) Roll

Το πλάτος του roll (θετικό από την πλευρά του starboard) δίνεται:

$$\theta = C_R \beta_{RMO} (35 - k_\theta C_{di} \Delta / 1000) \quad \text{εάν } T_r > 20 \text{ sec}$$

$$\theta = C_R \beta_{RMO} (35 - k_\theta C_{di} \Delta / 1000) (1.5375 - 0.027 T_r) \quad \text{εάν } 12.5 \leq T_r \leq 20 \text{ sec}$$

$$\theta = C_R \beta_{RMO} (35 - k_\theta C_{di} \Delta / 1000) (0.8625 + 0.027 T_r) \quad \text{εάν } T_r \leq 12.5 \text{ sec}$$

όπου,

$$\theta \text{ σε μοίρες αλλά δεν χρειάζεται να ξεπερνά τις } 30^\circ.$$

$$k_\theta = 0.005$$

$$C_R = 1.05$$

$$\beta_{RMO} = \text{ESF για την κίνηση του roll}$$

$$C_{di} = 1.06 - (d_i/d_f) - 0.06$$

$d_i$  = το βύθισμα στο μέσο για την υπό θεώρηση κατάσταση φόρτωσης

$d_f$  = το βύθισμα αντοχής (scantling draft)

$$\Delta = k_d L B d_f C_b \quad \text{kN}$$

$$k_d = 10.05$$

Η φυσική περίοδος δίνεται από τη σχέση:

$$T_r = k_4 k_r / GM^{0.5} \quad \text{σε seconds}$$

όπου,

$$k_4 = 2$$

$k_r$  = roll radius of gyration, σε m, ίσο με 0.35B για full load conditions και 0.45B για ballast conditions.

$GM$  = μετακεντρικό ύψος

$$= GM(full) \quad \text{για full draft}$$

$$= 1.1 GM(full) \quad \text{για } 9/10 d_f$$

$$= 1.5 GM(full) \quad \text{για } 2/3 d_f$$

$$= 2.0 GM(full) \quad \text{για } 1/2 d_f$$

$GM(full)$  = μετακεντρικό ύψος για πλήρως φορτωμένη κατάσταση

$$= 0.12B = 7.2\text{m}$$

### (c) Accelerations

Οι κατακόρυφες, διαμήκεις και εγκάρσιες επιταχύνσεις των περιεχομένων των δεξαμενών (cargo ή ballast) λαμβάνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$a_v = C_v \beta_{VAC} k_v a_o g \quad \text{m/sec}^2 \quad \text{θετικά προς τα κάτω}$$

$$a_l = C_l \beta_{LAC} k_l a_o g \quad \text{m/sec}^2 \quad \text{θετικά προς τα εμπρός}$$

$$a_t = C_t \beta_{TAC} k_t a_o g \quad \text{m/sec}^2 \quad \text{θετικά starboard}$$

όπου,

$$a_o = k_o(2.4/L^{0.5} + 34/L - 600/L^2)$$

$$k_o = 1.34 - 0.47C_b$$

$$C_v = \cos \mu + (1 + 2.4 z/B) \sin \mu / k_v$$

$$C_l = 0.35 - 0.0005(L - 200)$$

$$C_t = 1.27[1 + 1.52(x/L - 0.45)^2]^{0.5}$$

$\mu$  = wave heading angle

$\beta_{VAC}$  = ESF for vertical acceleration

$\beta_{LAC}$  = ESF for longitudinal acceleration

$\beta_{TAC}$  = ESF for transverse acceleration

$$k_v = [1 + 0.65(5.3 - 45/L)^2(x/L - 0.45)^2]^{0.5}$$

$$k_l = 0.5 + 8y/L$$

$$k_t = 0.35 + y/B$$

$x$  = διαμήκης απόσταση από την Α.Ρ. έως την Μέση Τομή, σε m

$y$  = κατακόρυφη απόσταση από την ίσαλο έως το υπό θεώρηση σημείο, σε m, θετικά προς τα πάνω

$z$  = εγκάρσια απόσταση από την centerline έως το υπό θεώρηση σημείο, σε m, θετικά προς starboard

$g$  = 9.8 m/sec<sup>2</sup>, επιτάχυνση βαρύτητας

## A.2. Υπολογισμός ονομαστικών πιέσεων

Η ονομαστική πίεση,  $p = |p_i - p_e|$ , δίνεται από δύο περιπτώσεις φόρτισης, a και b, όποια είναι μεγαλύτερη, με  $k_u = 1.1$  και  $k_c = 1$ , εκτός αν ορίζονται διαφορετικά παρακάτω (ABS FPI Rules, ρ.194).

### A. Plating & Longitudinals/Stiffeners

The nominal pressure,  $p = |p_i - p_e|$ , is to be determined from load cases "a" & "b" below, whichever is greater, with  $k_u = 1.10$  and  $k_c = 1.0$  unless otherwise specified in the table

Structural Members/ Components	Case "a" – At fwd end of the tank				Case "b" – At mid tank/fwd end of tank			
	Draft/Wave Heading Angle	Location and Loading Pattern	Coefficients		Draft/Wave Heading Angle	Location and Loading Pattern	Coefficients	
			$p_i$	$p_e$			$p_i$	$p_e$
1. Bottom Plating & Long'l	2/3 design draft/0°	Full ballast tank	$A_i$	$A_e$	design draft/0°	Midtank of empty ballast tanks	—	$B_e$
2. Inner Bottom Plating & Long'l	2/3 design draft/0°	Full ballast tank, cargo tanks empty	$A_i$	—	design draft/0°	Fwd end of full cargo tank, ballast tanks empty	$A_i$	—
3. Side Shell Plating & Long'l	2/3 design draft/60°	Starboard side of full ballast tank	$B_i$	$A_e$	design draft/60°	Midtank of empty ballast tanks	—	$B_e$
4. * Deck Plating & Long'l (Cargo Tank)	design draft/0°	Full cargo tank	$D_i$	—				
5. Deck Plating & Long'l (Ballast Tank)	2/3 design draft/0°	Full ballast tank	$D_i$	—				
6. * Inner Skin Long'l Bhd. Plating & Long'l	design draft/60°	Starboard side of full cargo tank, ballast tank empty	$B_i$	—	2/3 design draft/60°	Fwd. end and starboard side of full ballast tank, cargo tank empty	$B_i$	—
7. * Centerline Long'l Bhd. Plating & Long'l	design draft/60°	Full starboard cargo and ballast tanks, adjacent tank empty	$E_i$	—				
8. * Other Long'l Bhd. Plating & Long'l	design draft/60°	Starboard side of full inward cargo tanks, adjacent tank empty	$B_i$	—	design draft/60° (1997)	Fwd. end and starboard side of full outboard cargo tanks, adjacent tank empty	$B_i$	—
9. * Trans. Bhd. Plating & Stiffener (Cargo Tank)	design draft/0°	Fwd. bhd. of full cargo tank, adjacent tanks empty	$A_i$	—				
10. * Trans. Bhd. Plating & Stiffener (Ballast Tank)	2/3 design draft/0°	Fwd. bhd. of full ballast tank, adjacent tanks empty	$A_i$	—				

B. Main Supporting Members

The nominal pressure,  $p = |p_i - p_e|$ , is to be determined at the mid-span of the structural member at starboard side of installation from load cases "a" & "b" below, whichever is greater, with  $k_u = 1.0$  and  $k_c = 1.0$  unless otherwise specified in the table

Structural Members/ Components	Case "a" – Mid-tank for Transverses				Case "b" – Mid-tank for Transverses			
	Draft/Wave Heading Angle	Location and Loading Pattern	Coefficients		Draft/Wave Heading Angle	Location and Loading Pattern	Coefficients	
			$p_i$	$p_e$			$p_i$	$p_e$
11. Double Bottom Floor & Girder	2/3 design draft/0°	Full cargo tank, ballast tanks empty	$A_i$	$A_e$	design draft/0°	Mid-tank, cargo and ballast tanks empty	—	$B_e$

Notes

- For calculating  $p_i$  and  $p_e$ , the necessary coefficients are to be determined based on the following designated groups:

a) For  $p_i$

$$A_i: w_v = 0.75, w_\ell(\text{fwd bhd}) = 0.25, w_\ell(\text{aft bhd}) = -0.25, w_t = 0.0, c_\phi = -1.0, c_\theta = 0.0$$

$$B_i: w_v = 0.4, w_\ell(\text{fwd bhd}) = 0.2, w_\ell(\text{aft bhd}) = -0.2, w_t(\text{starboard}) = 0.4, w_t(\text{port}) = -0.4, c_\phi = -0.7, c_\theta = 0.7$$

$$C_i: w_v = 0.25, w_\ell = 0, w_t(\text{starboard}) = 0.75, w_t(\text{port}) = -0.75, c_\phi = 0.0, c_\theta = 1.0$$

$$D_i: w_v = -0.75, w_\ell(\text{fwd bhd}) = 0.25, w_t = 0.0, c_\phi = -1.0, c_\theta = 0.0$$

$$E_i: w_v = 0.4, w_\ell(\text{fwd bhd}) = 0.2, w_t(\text{centerline}) = 0.4, c_\phi = -0.7, c_\theta = -0.7$$

$$F_i: w_v = 0.4, w_\ell(\text{fwd bhd}) = 0.2, w_\ell(\text{aft bhd}) = -0.2, w_t(\text{starboard}) = -0.4, w_t(\text{port}) = 0.4, c_\phi = -0.7, c_\theta = -0.7$$

$$G_i: w_v = 0.25, w_\ell = 0, w_t(\text{starboard}) = -0.75, w_t(\text{port}) = 0.75, c_\phi = 0.0, c_\theta = -1.0$$

b) For  $p_e$

$$A_e: k_{to} = 1.0, k_u = 1.0, k_c = -0.5$$

$$B_e: k_{to} = 1.0$$

- (1997) For structures within  $0.4L$  amidships, the nominal pressure is to be calculated for a tank located amidships. Each cargo tank or ballast tank in the region should be considered as located amidships, as shown in 5A-3-2/Figure 12.
- (1 July 2000) In calculation of the nominal pressure,  $\rho g$  of the fluid cargoes is not to be taken less than  $1.005 \text{ N/cm}^2\text{-m}$  ( $0.1025 \text{ kgf/cm}^2\text{-m}$ ,  $0.4444 \text{ lbf/in}^2\text{-ft}$ ).
- For structural members 4 and 6 to 10, sloshing pressures are to be considered in accordance with 5A-3-2/11.3. For calculation of sloshing pressures, refer to 5A-3-2/11.5 with  $\rho g$  not less than  $1.005 \text{ N/cm}^2\text{-m}$  ( $0.1025 \text{ kgf/cm}^2\text{-m}$ ,  $0.4444 \text{ lbf/in}^2\text{-ft}$ ).

## 1. Έλασμα πυθμένα

$p$ (N/cm <sup>2</sup> )	Case a	Case b
N. Sea	<b>27.3</b>	<b>26.2</b>
Nigeria	<b>22.8</b>	<b>24.3</b>

### Εφαρμογή για Β. Θάλασσα

#### Case a

#### Εξωτερικές πιέσεις

Η κατανομή των εξωτερικών πιέσεων,  $p_e$ , (θετικές προς τα μέσα), που ασκούνται στη γάστρα από τη θάλασσα μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση για δεδομένη θέση:

$$p_e = \rho g (h_s + \beta_{EPS/EPP} k_u h_{de}) \geq 0 \quad N/cm^2$$

όπου,

$$\rho g = \text{ειδικό βάρος θαλασσινού νερού, } 1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$h_s = 14 \text{ m, υδροστατική πίεση σε ύψος στήλης υγρού}$$

$$\beta_{EPS/EPP} = \text{ESF for external pressure starboard/port, βλ. Πίνακα 4-2 και 4-3}$$

$$k_u = 1$$

$$h_{de} = \text{υδροδυναμική πίεση σε ύψος στήλης υγρού από το κύμα, σε m}$$

$$= k_c h_{di} = -2.19$$

$$k_c = -0.5$$

$$h_{di} = \text{υδροδυναμική πίεση σε ύψος στήλης υγρού, σε m, στη θέση}$$

$$= k_l \alpha_i h_{do} = 4.39$$

$$k_l = 1$$

$$h_{do} = 1.36 k C_1 = 14.62, \text{ σε m}$$

$$C_1 = 10.75$$

$$k = 1$$

$$\alpha_i = 0.30 - 0.20 \sin \mu = 0.30 \quad \text{για } i=3$$

$$\mu = \text{γωνία πρόσπτωσης κυματισμού, } 0^\circ$$



Άρα, προκύπτει

$$p_e = 11.7 \text{ N/cm}^2$$

Εσωτερικές πιέσεις [5A-3-2/5.7.2]

Η κατανομή των εσωτερικών πιέσεων,  $p_i$ , (θετικές προς τα όρια των δεξαμενών), για μια **πλήρως γεμάτη δεξαμενή** μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$p_i = k_s \rho g (\eta + k_u h_d) + p_o \geq 0 \quad \text{N/cm}^2$$

$$p_o = (p_{vp} - p_n) \geq 0 \quad \text{N/cm}^2$$

όπου,

$$p_{vp} = \text{η πίεση στη βαλβίδα ανακούφισης, N/cm}^2$$

$$p_o = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\rho g = \text{ειδικό βάρος υγρού}$$

$$= 1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$\eta = 30.5 \text{ m, βλ. Εικόνα A-1}$$

$$k_s = 1, \text{ συντελεστής φόρτισης}$$

$$k_u = 1.1, \text{ συντελεστής φόρτισης}$$

$$h_d = \text{υδροδυναμική πίεση σε στήλη ύδατος προκαλούμενη από το κύμα}$$

$$= k_c \left( \eta \frac{\alpha_i}{g} + \Delta h_i \right) = 5.64 \text{ m}$$

$$k_c = 1$$

$$\alpha_i = \text{ενεργή επιτάχυνση, στο υπό θεώρηση σημείο}$$

$$= 0.71 C_{dp} [w_v \alpha_v + w_l (l/h) \alpha_l + w_t (b/h) \alpha_t] = 1.224 \text{ m/sec}^2$$

$$C_{dp} = \text{συντελεστής που σχετίζεται με το σχήμα της δεξαμενής}$$

$$= 0.7$$

$$\alpha_v = \text{επιτάχυνση στον κατακόρυφο άξονα}$$

$\alpha_l$  = επιτάχυνση στον διαμήκη άξονα

$\alpha_t$  = επιτάχυνση στον εγκάρσιο άξονα

$$w_v = 0.75$$

$$w_l = 0.25$$

$$w_t = 0$$

$\Delta h_i$  = πρόσθετη πίεση εξαιτίας των κινήσεων pitch και roll

- Για  $\varphi_e < 0, \theta_e > 0$  :

$$\Delta h_i = \xi \sin(-\varphi_e) + C_{ru} (\zeta_e \sin\theta_e \cos\varphi_e + \eta_e \cos\theta_e \cos\varphi_e - \eta)$$

$$\zeta_e = b - \zeta = 0$$

$$\eta_e = \eta$$

$\xi, \zeta, \eta$  είναι τοπικές συντεταγμένες όπως προσδιορίζονται στο σχήμα , για το υπό θεώρηση σημείο ίσες με  $\xi = 25.56 \text{ m}, \zeta = 30 \text{ m}, \eta = 30.5 \text{ m}$

$$\theta_e = 0.71 C_\theta \theta = 0^\circ$$

$$\varphi_e = 0.71 C_\varphi \varphi = -4^\circ$$

$l = 51.12 \text{ m}$  , μήκος της δεξαμενής

$h = 30.5 \text{ m}$  , βάθος της δεξαμενής

$b = 30 \text{ m}$  , πλάτος της δεξαμενής

$\varphi, \theta$  είναι τα πλάτη του Pitch και του Roll ίσα με  $\varphi = 6^\circ$  και  $\theta = 30^\circ$

Άρα, προκύπτει

$$p_i = 39.0 \text{ N/cm}^2$$

Η ονομαστική πίεση στην περίπτωση α είναι λοιπόν

$$p = |p_i - p_e| = 27.3 \text{ N/cm}^2$$

### Case b

#### Εξωτερικές πιέσεις

Η κατανομή των εξωτερικών πιέσεων,  $p_e$ , (θετικές προς τα μέσα), που ασκούνται στη γάστρα από τη θάλασσα μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση για δεδομένη θέση:

$$p_e = \rho g (h_s + \beta_{EPS/EPP} k_u h_{de}) \geq 0 \quad N/cm^2$$

όπου,

$$\rho g = 1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$h_s = 21 \text{ m}$$

$$\beta_{EPS/EPP} = 1.044$$

$$k_u = 1$$

$$h_{de} = 4.39$$

$$k_c = 1$$

$$h_{di} = 4.39$$

$$k_l = 1$$

$$h_{do} = 1.36 k C_1 = 14.62, \text{ σε m}$$

$$C_1 = 10.75$$

$$k = 1$$

$$\alpha_i = 0.30 - 0.20 \sin \mu = 0.30 \quad \text{για } i=3$$

$$\mu = 0^\circ$$

Άρα, προκύπτει

$$p_e = 26.2 \text{ N/cm}^2$$

Η ονομαστική πίεση στην περίπτωση b είναι λοιπόν

$$p = |p_i - p_e| = 26.2 \text{ N/cm}^2$$

## 2. Έλασμα εσωτερικού πυθμένα

$p$ (N/cm <sup>2</sup> )	Case a	Case b
N. Sea	<b>35.6</b>	<b>40.0</b>
Nigeria	<b>32.2</b>	<b>36.7</b>

### Εφαρμογή για Β. Θάλασσα

#### Case a

#### Εσωτερικές πιέσεις

Η κατανομή των εσωτερικών πιέσεων,  $p_i$ , (θετικές προς τα όρια των δεξαμενών), για μια **πλήρως γεμάτη δεξαμενή** μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$p_i = k_s \rho g (\eta + k_u h_d) + p_o \geq 0 \quad N/cm^2$$

$$p_o = (p_{vp} - p_n) \geq 0 \quad N/cm^2$$

όπου,

$$p_o = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\rho g = 1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$\eta = 27.5 \text{ m}$$

$$k_s = 1$$

$$k_u = 1.1$$

$$h_d = k_c \left( \eta \frac{\alpha_i}{g} + \Delta h_i \right) = 4.65 \text{ m}$$

$$k_c = 1$$

$$\alpha_i = 0.71 C_{dp} [w_v \alpha_v + w_l (l/h) \alpha_l + w_t (b/h) \alpha_t] = 1.235 \text{ m/sec}^2$$

$$C_{dp} = 0.7 \text{ (J-Shaped tank)}$$

$$\alpha_v = 3.223 \text{ m/sec}^2$$

$$\alpha_l = 0.159 \text{ m/sec}^2$$

$$\alpha_t = 0.525 \text{ m/sec}^2$$

$$w_v = 0.75$$

$$w_l = 0.25$$

$$w_t = 0$$

$$\Delta h_i = 1.85 \text{ m}$$

- Για  $\varphi_e < 0, \theta_e > 0$  :

$$\Delta h_i = \xi \sin(-\varphi_e) + C_{ru} (\zeta_e \sin\theta_e \cos\varphi_e + \eta_e \cos\theta_e \cos\varphi_e - \eta)$$

$$\zeta_e = b - \zeta = 0$$

$$\eta_e = \eta$$

$\xi, \zeta, \eta$  είναι τοπικές συντεταγμένες όπως προσδιορίζονται στο σχήμα , για το υπό θεώρηση σημείο ίσες με  $\xi = 25.56 \text{ m}, \zeta = 30 \text{ m}, \eta = 27.5 \text{ m}$

$$\theta_e = 0.71 C_\theta \theta = 0^\circ$$

$$\varphi_e = 0.71 C_\varphi \varphi = -4^\circ$$

$l = 51.12 \text{ m}$  , μήκος της δεξαμενής

$h = 30.5 \text{ m}$  , βάθος της δεξαμενής

$b = 30 \text{ m}$  , πλάτος της δεξαμενής

$\varphi, \theta$  είναι τα πλάτη του Pitch και του Roll ίσα με  $\varphi = 6^\circ$  και  $\theta = 30^\circ$

Άρα, προκύπτει

$$p_i = 35.6 \text{ N/cm}^2$$

Η ονομαστική πίεση στην περίπτωση α είναι λοιπόν

$$p = |p_i - p_e| = 35.6 \text{ N/cm}^2$$

### **Case b**

#### Εσωτερικές πιέσεις

Η κατανομή των εσωτερικών πιέσεων,  $p_i$  , (θετικές προς τα όρια των δεξαμενών), για μια **πλήρως γεμάτη δεξαμενή** μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$p_i = k_s \rho g (\eta + k_u h_d) + p_o \geq 0 \quad N/cm^2$$

$$p_o = (p_{vp} - p_n) \geq 0 \quad N/cm^2$$

όπου,

$$p_{vp} = 6.90 \text{ N/cm}^2$$

$$p_n = 2.06 \text{ N/cm}^2$$

$$\rho g = 1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$\eta = 27.5 \text{ m}$$

$$k_s = 1$$

$$k_u = 1.1$$

$$h_d = k_c \left( \eta \frac{\alpha_i}{g} + \Delta h_i \right) = 4.95 \text{ m}$$

$$k_c = 1$$

$$\alpha_i = 0.71 C_{dp} [w_v \alpha_v + w_l (l/h) \alpha_l + w_t (b/h) \alpha_t] = 1.766 \text{ m/sec}^2$$

$$C_{dp} = 1 \text{ ( Rectangular tank)}$$

$$\alpha_v = 3.223 \text{ m/sec}^2$$

$$\alpha_l = 0.159 \text{ m/sec}^2$$

$$\alpha_t = 0.525 \text{ m/sec}^2$$

$$w_v = 0.75$$

$$w_l = 0.25$$

$$w_t = 0$$

$$\Delta h_i = 1.85 \text{ m}$$

- Για  $\varphi_e < 0, \theta_e > 0$  :

$$\Delta h_i = \xi \sin(-\varphi_e) + C_{ru} (\zeta_e \sin \theta_e \cos \varphi_e + \eta_e \cos \theta_e \cos \varphi_e - \eta)$$

$$\zeta_e = b - \zeta = 11.4$$

$$\eta_e = \eta = 27.5$$

$\xi, \zeta, \eta$  είναι τοπικές συντεταγμένες όπως προσδιορίζονται στο σχήμα , για το υπό θεώρηση σημείο ίσες με  $\xi = 25.56 \text{ m}$  ,  $\zeta = 30 \text{ m}$  ,  $\eta = 27.5 \text{ m}$

$$\theta_e = 0.71 C_\theta \theta = 0^\circ$$

$$\varphi_e = 0.71 C_\varphi \varphi = -4^\circ$$

$l = 51.12 \text{ m}$  , μήκος της δεξαμενής

$h = 30.5 \text{ m}$  , βάθος της δεξαμενής

$b = 30 \text{ m}$  , πλάτος της δεξαμενής

$\varphi, \theta$  είναι τα πλάτη του Pitch και του Roll ίσα με  $\varphi = 6^\circ$  και  $\theta = 30^\circ$

Άρα, προκύπτει

$$p_i = 40.0 \text{ N/cm}^2$$

Η ονομαστική πίεση στην περίπτωση b είναι λοιπόν

$$p = |p_i - p_e| = 40.0 \text{ N/cm}^2$$

### 3. Πλευρικό έλασμα

<b>N.SEA</b>		
<b><math>p</math> (N/cm<sup>2</sup>)</b>	<i>Case a</i>	<i>Case b</i>
Strake 1 (lower)	<b>33.7</b>	<b>23.6</b>
Strake 2	<b>33.0</b>	<b>19.6</b>
Strake 3	<b>32.3</b>	<b>16.3</b>
Strake 4	<b>31.6</b>	<b>12.9</b>
Strake 5	<b>29.7</b>	<b>9.6</b>
Strake 6	<b>26.5</b>	<b>6.2</b>
Strake 7	<b>23.2</b>	<b>2.9</b>
Strake 8	<b>20.0</b>	<b>0.0</b>
Sheerstrake	<b>16.1</b>	<b>0.0</b>

NIGERIA		
$p$ (N/cm <sup>2</sup> )	Case a	Case b
Strake 1 (lower)	25.4	21.7
Strake 2	24.9	17.9
Strake 3	24.5	14.7
Strake 4	24.0	11.6
Strake 5	22.6	8.4
Strake 6	19.5	5.2
Strake 7	16.4	2.1
Strake 8	13.3	0.0
Sheerstrake	9.6	0.0

### Εφαρμογή για Β. Θάλασσα – Strake 1

#### Case a

#### Εξωτερικές πιέσεις

Η κατανομή των εξωτερικών πιέσεων,  $p_e$ , (θετικές προς τα μέσα), που ασκούνται στη γάστρα από τη θάλασσα μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση για δεδομένη θέση:

$$p_e = \rho g (h_s + \beta_{EPS/EPP} k_u h_{de}) \geq 0 \quad \text{N/cm}^2$$

όπου,

$$\rho g = 1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$h_s = T - z \quad , \text{για } z \leq T$$

$$= 0 \quad , \text{για } z \geq T$$

όπου,  $T$  το βύθισμα αναφοράς και  $z$  η κατακόρυφη απόσταση από τη baseline έως το κατώτατο άκρο του εκάστοτε ελάσματος της πλευράς

$$\beta_{EPS/EPP} = 1.044$$

$$k_u = 1$$

$$h_{de} = -6.40$$

$$k_c = -0.5$$

$$h_{di} = 12.79$$

$$k_l = 1$$

$$h_{do} = 1.36kC_1 = 14.62, \text{ σε m}$$



$$C_1 = 10.75$$

$$k = 1$$

$$\alpha_i = 0.3 \quad (\text{Με γραμμική παρεμβολή})$$

$$\mu = 60^\circ$$

Άρα, προκύπτει

$$p_e = 9.2 \text{ N/cm}^2$$

### Εσωτερικές πιέσεις

Η κατανομή των εσωτερικών πιέσεων,  $p_i$ , (θετικές προς τα όρια των δεξαμενών), για μια **πλήρως γεμάτη δεξαμενή** μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$p_i = k_s \rho g (\eta + k_u h_d) + p_o \geq 0 \quad \text{N/cm}^2$$

$$p_o = (p_{vp} - p_n) \geq 0 \quad \text{N/cm}^2$$

όπου,

$$p_o = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\rho g = 1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$\eta = 27.91 \text{ m}$$

$$k_s = 1$$

$$k_u = 1.1$$

$$h_d = k_c \left( \eta \frac{\alpha_i}{g} + \Delta h_i \right) = 12.08 \text{ m}$$

$$k_c = 1$$

$$\alpha_i = 0.71 C_{dp} [w_v \alpha_v + w_l (l/h) \alpha_l + w_t (b/h) \alpha_t] = 1.405 \text{ m/sec}^2$$

$$C_{dp} = 0.7 \text{ (J-Shaped tank)}$$

$$\alpha_v = 6.444 \text{ m/sec}^2$$

$$\alpha_l = 0.152 \text{ m/sec}^2$$

$$\alpha_t = 0.503 \text{ m/sec}^2$$

$$w_v = 0.40$$

$$w_l = 0.20$$

$$w_t = 0.40$$

$$\Delta h_i = 8.08 \text{ m}$$

- Για  $\varphi_e < 0, \theta_e > 0$  :

$$\Delta h_i = \xi \sin(-\varphi_e) + C_{ru} (\zeta_e \sin\theta_e \cos\varphi_e + \eta_e \cos\theta_e \cos\varphi_e - \eta)$$

$$\zeta_e = b - \zeta$$

$$\eta_e = \eta$$

$\xi, \zeta, \eta$  είναι τοπικές συντεταγμένες όπως προσδιορίζονται στο σχήμα , για το υπό θεώρηση σημείο ίσες με  $\xi = 30.5 \text{ m}, \zeta = 0 \text{ m}, \eta = 27.91 \text{ m}$

$$\theta_e = 0.71 C_\theta \theta = 0.71 \cdot 0.7 \cdot 30 = 15^\circ$$

$$\varphi_e = 0.71 C_\varphi \varphi = 0.71 \cdot (-0.7) \cdot 6.09 = -3^\circ$$

$l = 51.12 \text{ m}$  , μήκος της δεξαμενής

$h = 30.5 \text{ m}$  , βάθος της δεξαμενής

$b = 30 \text{ m}$  , πλάτος της δεξαμενής

Άρα, προκύπτει

$$p_i = 42.9 \text{ N/cm}^2$$

Η ονομαστική πίεση στην περίπτωση α είναι λοιπόν

$$p = |p_i - p_e| = 33.7 \text{ N/cm}^2$$

### Case b

#### Εξωτερικές πιέσεις

Η κατανομή των εξωτερικών πιέσεων,  $p_e$ , (θετικές προς τα μέσα), που ασκούνται στη γάστρα από τη θάλασσα μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση για δεδομένη θέση:

$$p_e = \rho g (h_s + \beta_{EPS/EPP} k_u h_{de}) \geq 0 \quad N/cm^2$$

όπου,

$$\rho g = 1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$h_s = 18.41 \text{ m}$$

$$\beta_{EPS/EPP} = 1.044$$

$$k_u = 1.1$$

$$h_{de} = 12.79$$

$$k_c = 1$$

$$h_{di} = 12.79$$

$$k_l = 1$$

$$h_{do} = 1.36 k C_1 = 14.62, \text{ σε m}$$

$$C_1 = 10.75$$

$$k = 1$$

$$\alpha_i = 0.3$$

$$\mu = 60^\circ$$

Άρα, προκύπτει

$$p_e = 23.6 \text{ N/cm}^2$$

Η ονομαστική πίεση στην περίπτωση b είναι λοιπόν

$$p = |p_i - p_e| = 23.6 \text{ N/cm}^2$$

## 5. Έλασμα καταστρώματος

$p$ (N/cm <sup>2</sup> )	Case a (cargo tank)	Case b (ballast tank)
N. Sea	9.1	4.3
Nigeria	7.4	2.5

### Εφαρμογή για Β. Θάλασσα

#### Case a

#### Εσωτερικές πιέσεις

Η κατανομή των εσωτερικών πιέσεων,  $p_i$ , (θετικές προς τα όρια των δεξαμενών), για μια **πλήρως γεμάτη δεξαμενή** μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$p_i = k_s \rho g (\eta + k_u h_d) + p_o \geq 0 \quad N/cm^2$$

$$p_o = (p_{vp} - p_n) \geq 0 \quad N/cm^2$$

όπου,

$$p_{vp} = 6.90 \text{ N/cm}^2$$

$$p_n = 2.06 \text{ N/cm}^2$$

$$\rho g = 1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$\eta = 0 \text{ m}$$

$$k_s = 1$$

$$k_u = 1.1$$

$$h_d = k_c \left( \eta \frac{\alpha_i}{g} + \Delta h_i \right) = 1.93 \text{ m}$$

$$k_c = 1$$

$$\alpha_i = 0.71 C_{dp} [w_v \alpha_v + w_l (l/h) \alpha_l + w_t (b/h) \alpha_t] = -1.551 \text{ m/sec}^2$$

$$C_{dp} = 1 \text{ ( Rectangular tank)}$$

$$\alpha_v = 3.223 \text{ m/sec}^2$$

$$\alpha_l = 0.521 \text{ m/sec}^2$$

$$\alpha_t = 1.601 \text{ m/sec}^2$$

$$w_v = -0.75$$

$$w_l = 0.25$$

$$w_t = 0$$

$$\Delta h_i = 1.93 \text{ m}$$

- Για  $\varphi_e < 0, \theta_e > 0$  :

$$\Delta h_i = \xi \sin(-\varphi_e) + C_{ru} (\zeta_e \sin\theta_e \cos\varphi_e + \eta_e \cos\theta_e \cos\varphi_e - \eta)$$

$$\zeta_e = b - \zeta$$

$$\eta_e = \eta$$

$\xi, \zeta, \eta$  είναι τοπικές συντεταγμένες όπως προσδιορίζονται στο σχήμα , για το υπό θεώρηση σημείο ίσες με  $\xi = 25.56 \text{ m}, \zeta = 11.4 \text{ m}, \eta = 0 \text{ m}$

$$\theta_e = 0.71 C_\theta \theta = 0^\circ$$

$$\varphi_e = 0.71 C_\varphi \varphi = -4^\circ$$

$l = 51.12 \text{ m}$  , μήκος της δεξαμενής

$h = 28.5 \text{ m}$  , βάθος της δεξαμενής

$b = 22.8 \text{ m}$  , πλάτος της δεξαμενής

$\varphi, \theta$  είναι τα πλάτη του Pitch και του Roll ίσα με  $\varphi = 6^\circ$  και  $\theta = 30^\circ$

Άρα, προκύπτει

$$p_i = 9.1 \text{ N/cm}^2$$

Η ονομαστική πίεση στην περίπτωση α είναι λοιπόν

$$p = |p_i - p_e| = 9.1 \text{ N/cm}^2$$

### Case b

#### Εσωτερικές πιέσεις

Η κατανομή των εσωτερικών πιέσεων,  $p_i$ , (θετικές προς τα όρια των δεξαμενών), για μια **πλήρως γεμάτη δεξαμενή** μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$p_i = k_s \rho g (\eta + k_u h_d) + p_o \geq 0 \quad N/cm^2$$

$$p_o = (p_{vp} - p_n) \geq 0 \quad N/cm^2$$

όπου,

$$p_o = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\rho g = 1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$\eta = 0 \text{ m}$$

$$k_s = 1$$

$$k_u = 1.1$$

$$h_d = k_c \left( \eta \frac{\alpha_i}{g} + \Delta h_i \right) = 1.93 \text{ m}$$

$$k_c = 1$$

$$\alpha_i = 0.71 C_{dp} [w_v \alpha_v + w_l (l/h) \alpha_l + w_t (b/h) \alpha_t] = -0.831 \text{ m/sec}^2$$

$$C_{dp} = 0.7 \text{ (J-Shaped tank)}$$

$$\alpha_v = 2.591 \text{ m/sec}^2$$

$$\alpha_l = 0.645 \text{ m/sec}^2$$

$$\alpha_t = 1.921 \text{ m/sec}^2$$

$$w_v = -0.75$$

$$w_l = 0.25$$

$$w_t = 0$$

$$\Delta h_i = 1.93 \text{ m}$$

- Για  $\varphi_e < 0, \theta_e > 0$  :

$$\Delta h_i = \xi \sin(-\varphi_e) + C_{ru} (\zeta_e \sin\theta_e \cos\varphi_e + \eta_e \cos\theta_e \cos\varphi_e - \eta)$$

$$\zeta_e = b - \zeta$$

$$\eta_e = \eta$$

$\xi, \zeta, \eta$  είναι τοπικές συντεταγμένες όπως προσδιορίζονται στο σχήμα , για το υπό θεώρηση σημείο ίσες με  $\xi = 25.56 \text{ m}, \zeta = 1.7 \text{ m}, \eta = 0 \text{ m}$

$$\theta_e = 0.71 C_\theta \theta = 0^\circ$$

$$\varphi_e = 0.71 C_\varphi \varphi = -4^\circ$$

$l = 51.12 \text{ m}$  , μήκος της δεξαμενής

$h = 30.50 \text{ m}$  , βάθος της δεξαμενής

$b = 30.00 \text{ m}$  , πλάτος της δεξαμενής

$\varphi, \theta$  είναι τα πλάτη του Pitch και του Roll ίσα με  $\varphi = 6^\circ$  και  $\theta = 30^\circ$

Άρα, προκύπτει

$$p_i = 4.3 \text{ N/cm}^2$$

Η ονομαστική πίεση στην περίπτωση α είναι λοιπόν

$$p = |p_i - p_e| = 4.3 \text{ N/cm}^2$$

## 6. Inner skin longitudinal bulkhead

<b>NIGERIA</b>		
<b><math>p</math> (N/cm<sup>2</sup>)</b>	<i>Case a</i>	<i>Case b</i>
Strake 1 (lower)	<b>37.9</b>	<b>33.9</b>
Strake 2	<b>34.7</b>	<b>30.8</b>
Strake 3	<b>31.9</b>	<b>28.1</b>
Strake 4	<b>29.2</b>	<b>25.4</b>
Strake 5	<b>26.4</b>	<b>22.8</b>
Strake 6	<b>23.6</b>	<b>20.1</b>
Strake 7	<b>20.9</b>	<b>17.4</b>
Strake 8	<b>18.3</b>	<b>14.9</b>
Strake 9	<b>15.7</b>	<b>12.4</b>
Strake 10	<b>13.2</b>	<b>9.9</b>
Strake 11 (upper)	<b>10.6</b>	<b>7.4</b>

<b>N.SEA</b>		
<b><math>p</math> (N/cm<sup>2</sup>)</b>	<i>Case a</i>	<i>Case b</i>
Strake 1 (lower)	<b>42.5</b>	<b>39.8</b>
Strake 2	<b>39.5</b>	<b>37.0</b>
Strake 3	<b>36.9</b>	<b>34.8</b>
Strake 4	<b>34.0</b>	<b>32.0</b>
Strake 5	<b>31.1</b>	<b>29.2</b>
Strake 6	<b>28.2</b>	<b>26.4</b>
Strake 7	<b>25.2</b>	<b>23.6</b>
Strake 8	<b>22.5</b>	<b>21.0</b>
Strake 9	<b>19.7</b>	<b>18.4</b>
Strake 10	<b>17.0</b>	<b>15.8</b>
Strake 11 (upper)	<b>14.2</b>	<b>13.2</b>

### **Εφαρμογή για Β. Θάλασσα – Strake 1**

#### ***Case a***

#### Εσωτερικές πιέσεις

Η κατανομή των εσωτερικών πιέσεων,  $p_i$ , (θετικές προς τα όρια των δεξαμενών), για μια **πλήρως γεμάτη δεξαμενή** μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$p_i = k_s \rho g (\eta + k_u h_d) + p_o \geq 0 \quad \text{N/cm}^2$$



$$p_o = (p_{vp} - p_n) \geq 0 \quad N/cm^2$$

όπου,

$$p_{vp} = 6.90 \text{ N/cm}^2$$

$$p_n = 2.06 \text{ N/cm}^2$$

$$\rho g = 1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$\eta = 27.5 \text{ m}$$

$$k_s = 1$$

$$k_u = 1.1$$

$$h_d = k_c \left( \eta \frac{\alpha_i}{g} + \Delta h_i \right) = 7.8 \text{ m}$$

$$k_c = 1$$

$$\alpha_i = 0.71 C_{dp} [w_v \alpha_v + w_l (l/h) \alpha_l + w_t (b/h) \alpha_t] = 1.717 \text{ m/sec}^2$$

$$C_{dp} = 1 \text{ ( Rectangular-Shaped tank)}$$

$$\alpha_v = 5.903 \text{ m/sec}^2$$

$$\alpha_l = 0.044 \text{ m/sec}^2$$

$$\alpha_t = 0.184 \text{ m/sec}^2$$

$$w_v = 0.40$$

$$w_l = 0.20$$

$$w_t = 0.40$$

$$\Delta h_i = 3.07 \text{ m}$$

- Για  $\varphi_e < 0, \theta_e > 0$  :

$$\Delta h_i = \xi \sin(-\varphi_e) + C_{ru} (\zeta_e \sin \theta_e \cos \varphi_e + \eta_e \cos \theta_e \cos \varphi_e - \eta)$$

$$\zeta_e = b - \zeta$$

$$\eta_e = \eta$$

$\xi, \zeta, \eta$  είναι τοπικές συντεταγμένες όπως προσδιορίζονται στο σχήμα , για το υπό θεώρηση σημείο ίσες με  $\xi = 25.56 \text{ m}$  ,  $\zeta = 4 \text{ m}$  ,  $\eta = 27 \text{ m}$

$$\theta_e = 0.71 C_\theta \theta = 0.71 \cdot 0.7 \cdot 24.68 = 12^\circ$$

$$\varphi_e = 0.71 C_\varphi \varphi = 0.71 \cdot (-0.7) \cdot 6.09 = -3^\circ$$

$l = 51.12 \text{ m}$  , μήκος της δεξαμενής

$h = 27.5 \text{ m}$  , βάθος της δεξαμενής

$b = 15.2 \text{ m}$  , πλάτος της δεξαμενής

$\varphi, \theta$  είναι τα πλάτη του Pitch και του Roll ίσα με  $\varphi = 6^\circ$  και  $\theta = 25^\circ$

Άρα, προκύπτει

$$p_i = 42.5 \text{ N/cm}^2$$

Η ονομαστική πίεση στην περίπτωση α είναι λοιπόν

$$p = |p_i - p_e| = 42.5 \text{ N/cm}^2$$

### Case b

#### Εσωτερικές πιέσεις

Η κατανομή των εσωτερικών πιέσεων,  $p_i$  , (θετικές προς τα όρια των δεξαμενών), για μια **πλήρως γεμάτη δεξαμενή** μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$p_i = k_s \rho g (\eta + k_u h_d) + p_o \geq 0 \text{ N/cm}^2$$

$$p_o = (p_{vp} - p_n) \geq 0 \text{ N/cm}^2$$

όπου,

$$p_o = 0 \text{ N/cm}^2$$

$$\rho g = 1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$\eta = 27 \text{ m}$$

$$k_s = 1$$

$$k_u = 1.1$$

$$h_d = k_c \left( \eta \frac{\alpha_i}{g} + \Delta h_i \right) = 11.38 \text{ m}$$

$$k_c = 1$$

$$\alpha_i = 0.71 C_{dp} [w_v \alpha_v + w_l (l/h) \alpha_l + w_t (b/h) \alpha_t] = 1.316 \text{ m/sec}^2$$

$$C_{dp} = 0.7 \text{ ( J-Shaped tank)}$$

$$\alpha_v = 5.903 \text{ m/sec}^2$$

$$\alpha_l = 0.177 \text{ m/sec}^2$$

$$\alpha_t = 0.577 \text{ m/sec}^2$$

$$w_v = 0.40$$

$$w_l = 0.20$$

$$w_t = 0.40$$

$$\Delta h_i = 7.76 \text{ m}$$

- Για  $\varphi_e < 0, \theta_e > 0$  :

$$\Delta h_i = \xi \sin(-\varphi_e) + C_{ru} (\zeta_e \sin\theta_e \cos\varphi_e + \eta_e \cos\theta_e \cos\varphi_e - \eta)$$

$$\zeta_e = b - \zeta = 23.38$$

$$\eta_e = \eta = 27$$

$\xi, \zeta, \eta$  είναι τοπικές συντεταγμένες όπως προσδιορίζονται στο σχήμα , για το υπό θεώρηση σημείο ίσως με  $\xi = 51.12 \text{ m}$  ,  $\zeta = 6.62 \text{ m}$  ,  $\eta = 27 \text{ m}$

$$\theta_e = 0.71 C_\theta \theta = 0.71 \cdot 0.7 \cdot 30 = 15^\circ$$

$$\varphi_e = 0.71 C_\varphi \varphi = 0.71 \cdot (-0.7) \cdot 6.09 = -3^\circ$$

$l = 51.12 \text{ m}$  , μήκος της δεξαμενής

$h = 30.5 \text{ m}$  , βάθος της δεξαμενής

$b = 30 \text{ m}$  , πλάτος της δεξαμενής

$\varphi, \theta$  είναι τα πλάτη του Pitch και του Roll ίσα με  $\varphi = 6^\circ$  και  $\theta = 30^\circ$

Άρα, προκύπτει

$$p_i = 39.8 \text{ N/cm}^2$$

Η ονομαστική πίεση στην περίπτωση b είναι λοιπόν

$$p = |p_i - p_e| = 39.8 \text{ N/cm}^2$$

### 7. Longitudinal bulkhead

<b>NIGERIA</b>		
<b><math>p</math> (N/cm<sup>2</sup>)</b>	<i>Case a</i>	<i>Case b</i>
Strake 1 (lower)	<b>39.1</b>	<b>37.2</b>
Strake 2	<b>36.1</b>	<b>34.2</b>
Strake 3	<b>33.1</b>	<b>31.3</b>
Strake 4	<b>29.7</b>	<b>28.0</b>
Strake 5	<b>26.2</b>	<b>24.6</b>
Strake 6	<b>23.4</b>	<b>21.8</b>
Strake 7	<b>20.5</b>	<b>19.1</b>
Strake 8	<b>17.7</b>	<b>16.3</b>
Strake 9	<b>14.5</b>	<b>13.2</b>
Strake 10 (upper)	<b>11.2</b>	<b>10.0</b>

<b>N. SEA</b>		
<b><math>p</math> (N/cm<sup>2</sup>)</b>	<i>Case a</i>	<i>Case b</i>
Strake 1 (lower)	<b>45.0</b>	<b>40.6</b>
Strake 2	<b>42.0</b>	<b>37.7</b>
Strake 3	<b>38.9</b>	<b>34.7</b>
Strake 4	<b>35.4</b>	<b>31.4</b>
Strake 5	<b>31.7</b>	<b>27.8</b>
Strake 6	<b>28.8</b>	<b>25.0</b>
Strake 7	<b>25.8</b>	<b>22.2</b>
Strake 8	<b>22.8</b>	<b>19.4</b>
Strake 9	<b>19.4</b>	<b>16.1</b>
Strake 10 (upper)	<b>15.9</b>	<b>12.8</b>

## Εφαρμογή για Β. Θάλασσα – Strake 1

### Case a

#### Εσωτερικές πιέσεις

Η κατανομή των εσωτερικών πιέσεων,  $p_i$ , (θετικές προς τα όρια των δεξαμενών), για μια **πλήρως γεμάτη δεξαμενή** μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$p_i = k_s \rho g (\eta + k_u h_d) + p_o \geq 0 \quad N/cm^2$$

$$p_o = (p_{vp} - p_n) \geq 0 \quad N/cm^2$$

όπου,

$$p_{vp} = 6.90 \text{ N/cm}^2$$

$$p_n = 2.06 \text{ N/cm}^2$$

$$\rho g = 1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$\eta = 28 \text{ m}$$

$$k_s = 1$$

$$k_u = 1.1$$

$$h_d = k_c \left( \eta \frac{\alpha_i}{g} + \Delta h_i \right) = 10.26 \text{ m}$$

$$k_c = 1$$

$$\alpha_i = 0.71 C_{dp} [w_v \alpha_v + w_l (l/h) \alpha_l + w_t (b/h) \alpha_t] = 1.411 \text{ m/sec}^2$$

$$C_{dp} = 1 \text{ ( Rectangular tank)}$$

$$\alpha_v = 4.810 \text{ m/sec}^2$$

$$\alpha_l = 0.035 \text{ m/sec}^2$$

$$\alpha_t = 0.157 \text{ m/sec}^2$$

$$w_v = 0.40$$

$$w_l = 0.20$$

$$w_t = 0.40$$

$$\Delta h_i = 6.23 \text{ m}$$

- Για  $\varphi_e < 0, \theta_e > 0$  :

$$\Delta h_i = \xi \sin(-\varphi_e) + C_{ru} (\zeta_e \sin\theta_e \cos\varphi_e + \eta_e \cos\theta_e \cos\varphi_e - \eta)$$

$$\zeta_e = b - \zeta = 22.8$$

$$\eta_e = \eta$$

$\xi, \zeta, \eta$  είναι τοπικές συντεταγμένες όπως προσδιορίζονται στο σχήμα , για το υπό θεώρηση σημείο ίσως με  $\xi = 25.56 \text{ m}, \zeta = 0 \text{ m}, \eta = 28 \text{ m}$

$$\theta_e = 0.71 C_\theta \theta = 0.71 \cdot 0.7 \cdot 30 = 15^\circ$$

$$\varphi_e = 0.71 C_\varphi \varphi = 0.71 \cdot (-0.7) \cdot 6.09 = -3^\circ$$

$l = 51.12 \text{ m}$  , μήκος της δεξαμενής

$h = 28 \text{ m}$  , βάθος της δεξαμενής

$b = 22.8 \text{ m}$  , πλάτος της δεξαμενής

$\varphi, \theta$  είναι τα πλάτη του Pitch και του Roll ίσα με  $\varphi = 6^\circ$  και  $\theta = 30^\circ$

Άρα, προκύπτει

$$p_i = 45.0 \text{ N/cm}^2$$

Η ονομαστική πίεση στην περίπτωση α είναι λοιπόν

$$p = |p_i - p_e| = 45.0 \text{ N/cm}^2$$

### Case b

#### Εσωτερικές πιέσεις

Η κατανομή των εσωτερικών πιέσεων,  $p_i$  , (θετικές προς τα όρια των δεξαμενών), για μια **πλήρως γεμάτη δεξαμενή** μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$p_i = k_s \rho g (\eta + k_u h_d) + p_o \geq 0 \text{ N/cm}^2$$

$$p_o = (p_{vp} - p_n) \geq 0 \quad N/cm^2$$

όπου,

$$p_{vp} = 6.90 \text{ N/cm}^2$$

$$p_n = 2.06 \text{ N/cm}^2$$

$$\rho g = 1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$\eta = 28 \text{ m}$$

$$k_s = 1$$

$$k_u = 1.1$$

$$h_d = k_c \left( \eta \frac{\alpha_i}{g} + \Delta h_i \right) = 7.09 \text{ m}$$

$$k_c = 1$$

$$\alpha_i = 0.71 C_{dp} [w_v \alpha_v + w_l (l/h) \alpha_l + w_t (b/h) \alpha_t] = 0.942 \text{ m/sec}^2$$

$$C_{dp} = 1 \text{ ( Rectangular tank)}$$

$$\alpha_v = 3.223 \text{ m/sec}^2$$

$$\alpha_l = 0.035 \text{ m/sec}^2$$

$$\alpha_t = 0.157 \text{ m/sec}^2$$

$$w_v = 0.40$$

$$w_l = 0.20$$

$$w_t = 0.40$$

$$\Delta h_i = 4.40 \text{ m}$$

- Για  $\varphi_e < 0, \theta_e > 0$  :

$$\Delta h_i = \xi \sin(-\varphi_e) + C_{ru} (\zeta_e \sin \theta_e \cos \varphi_e + \eta_e \cos \theta_e \cos \varphi_e - \eta)$$

$$\zeta_e = b - \zeta = 10.45$$

$$\eta_e = \eta = 28$$

$\xi, \zeta, \eta$  είναι τοπικές συντεταγμένες όπως προσδιορίζονται στο σχήμα , για το υπό θεώρηση σημείο ίσες με  $\xi = 25.56 \text{ m}$  ,  $\zeta = 30 \text{ m}$  ,  $\eta = 27.5 \text{ m}$

$$\theta_e = 0.71 C_\theta \theta = 0.71 \cdot 0.7 \cdot 30 = 15^\circ$$

$$\varphi_e = 0.71 C_\varphi \varphi = 0.71 \cdot (-0.7) \cdot 6.09 = -3^\circ$$

$l = 51.12 \text{ m}$  , μήκος της δεξαμενής

$h = 27.5 \text{ m}$  , βάθος της δεξαμενής

$b = 10.45 \text{ m}$  , πλάτος της δεξαμενής

$\varphi, \theta$  είναι τα πλάτη του Pitch και του Roll ίσα με  $\varphi = 6^\circ$  και  $\theta = 30^\circ$

Άρα, προκύπτει

$$p_i = 40.6 \text{ N/cm}^2$$

Η ονομαστική πίεση στην περίπτωση b είναι λοιπόν

$$p = |p_i - p_e| = 40.6 \text{ N/cm}^2$$

## 8. Girders

NIGERIA		
$p \text{ (N/cm}^2\text{)}$	Case a	Case b
Center girder	23.5	24.3
Side girders	23.1	24.3

N. SEA		
$p \text{ (N/cm}^2\text{)}$	Case a	Case b
Center girder	27.2	26.2
Side girders	26.6	26.2



## Εφαρμογή για Β. Θάλασσα

### Case a

#### Εξωτερικές πιέσεις

Η κατανομή των εξωτερικών πιέσεων,  $p_e$ , (θετικές προς τα μέσα), που ασκούνται στη γάστρα από τη θάλασσα μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση για δεδομένη θέση:

$$p_e = \rho g (h_s + \beta_{EPS/EPP} k_u h_{de}) \geq 0 \quad N/cm^2$$

όπου,

$$\rho g = 1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$h_s = 14 \text{ m}$$

$$\beta_{EPS/EPP} = 1.044$$

$$k_u = 1$$

$$h_{de} = -2.19$$

$$k_c = -0.5$$

$$h_{di} = 4.39$$

$$k_l = 1$$

$$h_{do} = 1.36 k C_1 = 14.62, \text{ σε m}$$

$$C_1 = 10.75$$

$$k = 1$$

$$\alpha_i = 0.30 - 0.20 \sin \mu = 0.30 \quad \text{για } i=3$$

$$\mu = 0^\circ$$

Άρα, προκύπτει

$$p_e = 11.8 \text{ N/cm}^2$$

#### Εσωτερικές πιέσεις [5A-3-2/5.7.2]

Η κατανομή των εσωτερικών πιέσεων,  $p_i$ , (θετικές προς τα όρια των δεξαμενών), για μια **πλήρως γεμάτη δεξαμενή** μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$p_i = k_s \rho g (\eta + k_u h_d) + p_o \geq 0 \quad N/cm^2$$

$$p_o = (p_{vp} - p_n) \geq 0 \quad N/cm^2$$

όπου,

$$p_{vp} = \eta \text{ πίεση στη βαλβίδα ανακούφισης, } 6.90 \text{ N/cm}^2$$

$$p_n = 2.06 \text{ N/cm}^2$$

$\rho g$  = ειδικό βάρος υγρού

$$= 1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$\eta = 29 \text{ m}$$

$k_s = 1$ , συντελεστής φόρτισης

$k_u = 1.1$ , συντελεστής φόρτισης

$h_d$  = υδροδυναμική πίεση σε στήλη ύδατος προκαλούμενη από το κύμα

$$= k_c \left( \eta \frac{\alpha_i}{g} + \Delta h_i \right) = 6.04 \text{ m}$$

$$k_c = 1$$

$\alpha_i$  = ενεργή επιτάχυνση, στο υπό θεώρηση σημείο

$$= 0.71 C_{dp} [w_v \alpha_v + w_l (l/h) \alpha_l + w_t (b/h) \alpha_t] = 1.419 \text{ m/sec}^2$$

$C_{dp}$  = συντελεστής που σχετίζεται με το σχήμα της δεξαμενής

$$= 1$$

$$\alpha_v = 2.591$$

$$\alpha_l = 0.133$$

$$\alpha_t = 0.435$$

$$w_v = 0.75$$

$$w_l = 0.25$$

$$w_t = 0$$

$$\Delta h_i = 1.84$$

- Για  $\varphi_e < 0, \theta_e > 0$  :

$$\Delta h_i = \xi \sin(-\varphi_e) + C_{ru} (\zeta_e \sin\theta_e \cos\varphi_e + \eta_e \cos\theta_e \cos\varphi_e - \eta)$$

$$\zeta_e = b - \zeta = 11.4$$

$$\eta_e = \eta$$

$\xi, \zeta, \eta$  είναι τοπικές συντεταγμένες όπως προσδιορίζονται στο σχήμα , για το υπό θεώρηση σημείο ίσως με  $\xi = 25.56 \text{ m}$  ,  $\zeta = 11.4 \text{ m}$  ,  $\eta = 29 \text{ m}$

$$\theta_e = 0.71 C_\theta \theta = 0^\circ$$

$$\varphi_e = 0.71 C_\varphi \varphi = -4^\circ$$

$l = 51.12 \text{ m}$  , μήκος της δεξαμενής

$h = 30.5 \text{ m}$  , βάθος της δεξαμενής

$b = 22.8 \text{ m}$  , πλάτος της δεξαμενής

$\varphi, \theta$  είναι τα πλάτη του Pitch και του Roll ίσα με  $\varphi = 6^\circ$  και  $\theta = 30^\circ$

Άρα, προκύπτει

$$p_i = 38.9 \text{ N/cm}^2$$

Η ονομαστική πίεση στην περίπτωση α είναι λοιπόν

$$p = |p_i - p_e| = 27.2 \text{ N/cm}^2$$

### Case b

#### Εξωτερικές πιέσεις

Η κατανομή των εξωτερικών πιέσεων,  $p_e$  , (θετικές προς τα μέσα), που ασκούνται στη γάστρα από τη θάλασσα μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση για δεδομένη θέση:

$$p_e = \rho g (h_s + \beta_{EPS/EPP} k_u h_{de}) \geq 0 \text{ N/cm}^2$$

όπου,

$$\rho g = 1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$$

$$h_s = 21 \text{ m}$$

$$\beta_{EPS/EPP} = 1.044$$

$$k_u = 1$$

$$h_{de} = 4.39$$

$$k_c = 1$$

$$h_{di} = 4.39$$

$$k_l = 1$$

$$h_{do} = 1.36kC_1 = 14.62, \text{ σε m}$$

$$C_1 = 10.75$$

$$k = 1$$

$$\alpha_i = 0.30 - 0.20 \sin \mu = 0.30 \quad \text{για } i=3$$

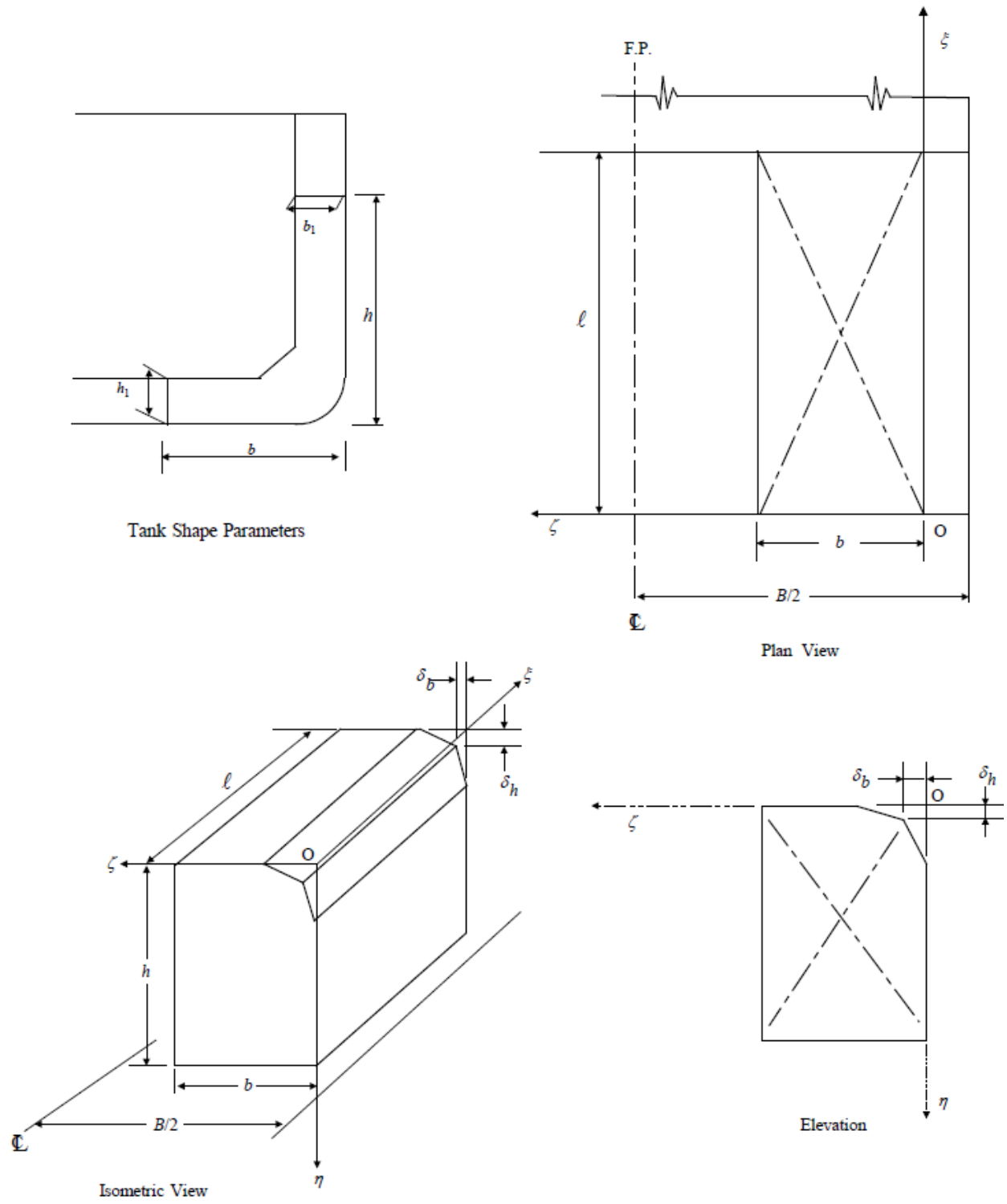
$$\mu = 0^\circ$$

Άρα, προκύπτει

$$p_e = 26.2 \text{ N/cm}^2$$

Η ονομαστική πίεση στην περίπτωση b είναι λοιπόν

$$p = |p_i - p_e| = 26.2 \text{ N/cm}^2$$



Εικόνα Α-1: Ορισμός των παραμέτρων  $\xi$ ,  $\zeta$ ,  $\eta$  της δεξαμενής.

### A.3. Υπολογισμός nominal sloshing pressures

Σύμφωνα με το εδάφιο [5A-3-2/11.5.1] των κανονισμών, για δεξαμενές φορτίου γεμάτες στο κρίσιμο ύψος - 20% έως 90% - οι εσωτερικές πιέσεις  $p_{is}$ , που περιλαμβάνουν static και sloshing pressures, θετικές προς τα όρια της δεξαμενής, μπορούν να εκφραστούν με όρους ισοδύναμης πίεσης στήλης υγρού  $h_e$ , όπως παρακάτω:

$$p_{is} = k_s \rho g h_e \geq 0 \quad \text{σε } N/cm^2$$

όπου,

$k_s$  = συντελεστής φόρτισης ίσος με μονάδα.

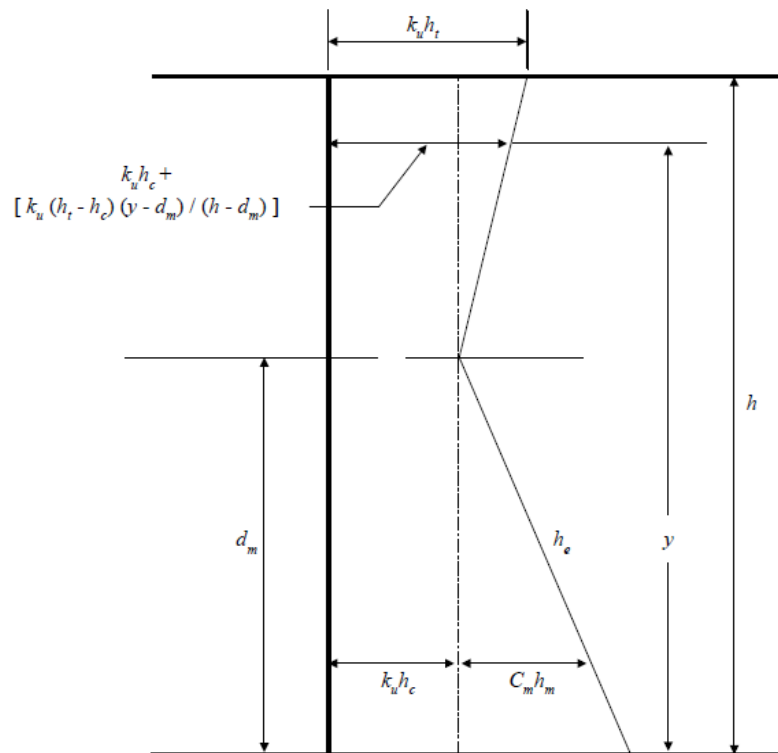
$\rho g$  = ειδικό βάρος υγρού ίσο με  $1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$

$h_e = k_u [h_c + (h_t - h_c)(y - d_m)/(h - d_m)]$  for  $y > d_m$

=  $c_m h_m + k_u h_c$  for  $0.15 \leq y \leq d_m$  (με  $c_m h_m \leq h$ )

Για  $y < 0.15h$  το  $h_e$  υπολογίζεται για  $y = 0.15h$ , αλλά πρέπει  $h_e \geq c_m h_m$ .

Ο υπολογισμός του  $h_e$  φαίνεται σχηματικά παρακάτω.



Εικόνα A-2: Vertical Distribution of Equivalent Slosh Pressure Head,  $h_e$ .

$c_m$  = συντελεστής όπως δίνεται στην Εικόνα A-3. Λαμβάνεται ίσος με 1.25 στο mid-tank, ενώ για την fwd bulkhead 1.5 και 1.25, ανάλογα με την καθ' ύψος θέση του υπό θεώρηση ελάσματος..

$h_m$  = στατική πίεση, σε m, ίση με την κατακόρυφη απόσταση μετρούμενη από το επίπεδο της στάθμης του υγρού,  $d_m$ , έως το υπό θεώρηση σημείο.

$d_m$  = στάθμη του υγρού, σε m. Η στάθμη θα μετρηθεί στο 30% , 55% και 70% του βάθους της δεξαμενής.

$k_u$  = συντελεστής φόρτισης ίσος με μονάδα

$h_c$  = maximum average sloshing pressure heads, in m.

$h_t$  = sloshing pressure heads for upper bulkhead, in m.

$h$  = 29 m, βάθος της δεξαμενής.

$y$  = κατακόρυφη απόσταση, σε m, από τον πυθμένα της δεξαμενής έως το υπό θεώρηση σημείο.

$$\rho g = 1.005 \text{ N/cm}^2 \cdot \text{m}$$

Οι τιμές των  $h_c$  και  $h_t$  λαμβάνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$h_c = k_c (C_{\varphi_s} h_l^2 + C_{\theta_s} h_b^2)^{0.5} \text{ σε m}$$

$$h_t = k_c (C_{\varphi_s} h_{tl}^2 + C_{\theta_s} h_{tb}^2)^{0.5} \text{ σε m}$$

όπου,

$k_c$  = συντελεστής συσχέτισης για συνδυασμένες καταστάσεις φόρτωσης, ίσος με 1.

$$h_l = \varphi_{es} l_e C_{tl} \beta_T [0.018 + C_{fl} (1 - d_l/H_l) / \varphi_{es}] d_l/H_l \text{ m}$$

$$h_b = \theta_{es} b_e C_{tb} \beta_L [0.016 + C_{fb} (1 - d_b/H_b) / \theta_{es}] d_b/H_b \text{ m}$$

όπου,

$C_{\varphi_s}$  και  $C_{\theta_s}$  συντελεστές ίσοι με 1.

$\beta_T$  αντιπροσωπεύει το  $\beta$  για εγκάρσιες φρακτές και  $\beta_L$  αντιπροσωπεύει το  $\beta$  για διαμήκεις φρακτές.

$$\varphi_{es} = 0.71\varphi$$

$$\theta_{es} = 0.71\theta$$

Το roll και το pitch όπως προσδιορίζεται στο παράρτημα .. με  $d_i = 2/3d_f$

$l_e$  = ενεργό μήκος δεξαμενής που λαμβάνει υπόψη την επίδραση των deep ring-web frames

$$= l = 51.12 \text{ m}$$

$b_e$  = ενεργό πλάτος δεξαμενής που λαμβάνει υπόψη την επίδραση των deep ring-web frames

$$= b = 22.8 \text{ m}$$

$\beta = \beta_o \beta_u \beta_s = 1$  για δεξαμενή χωρίς swash bulkhead, χωρίς deep bottom transverse και deep bottom longitudinal girder και που δεν έχει κανένα deep horizontal girder.

$$C_{fl} = 0.792[d_l/(\beta_T l_e)]^{0.5} + 1.98$$

$$C_{fb} = 0.792[d_b/(\beta_L b_e)]^{0.5} + 1.76$$

$$C_{tl} = 0.9x_{o1}/[1 + 9(1 - x_o)^2] \geq 0.25$$

$$x_o = T_x/T_p$$

$$x_{o1} = x_o \quad \text{εάν } x_o \leq 1$$

$$= 1/x_o \quad \text{εάν } x_o > 1$$

$$C_{tb} = 0.9y_{o1}/[1 + 9(1 - y_o)^2] \geq 0.25$$

$y_o = T_y/T_r$  ,για τον υπολογισμό του  $T_r$  χρησιμοποιείται το 0.35B

$$y_{o1} = y_o \quad \text{εάν } y_o \leq 1$$

$$= 1/y_o \quad \text{εάν } y_o > 1$$

$d_o$  = filling depth , σε m

$$d_l = d_b = d_o$$

$$H_l = H_b = h$$

$$h_{tl} = 0.0068\beta'_T l_e C'_{tl} (\varphi_{es} + 40) \varphi_{es}^{0.5} \text{ m}$$

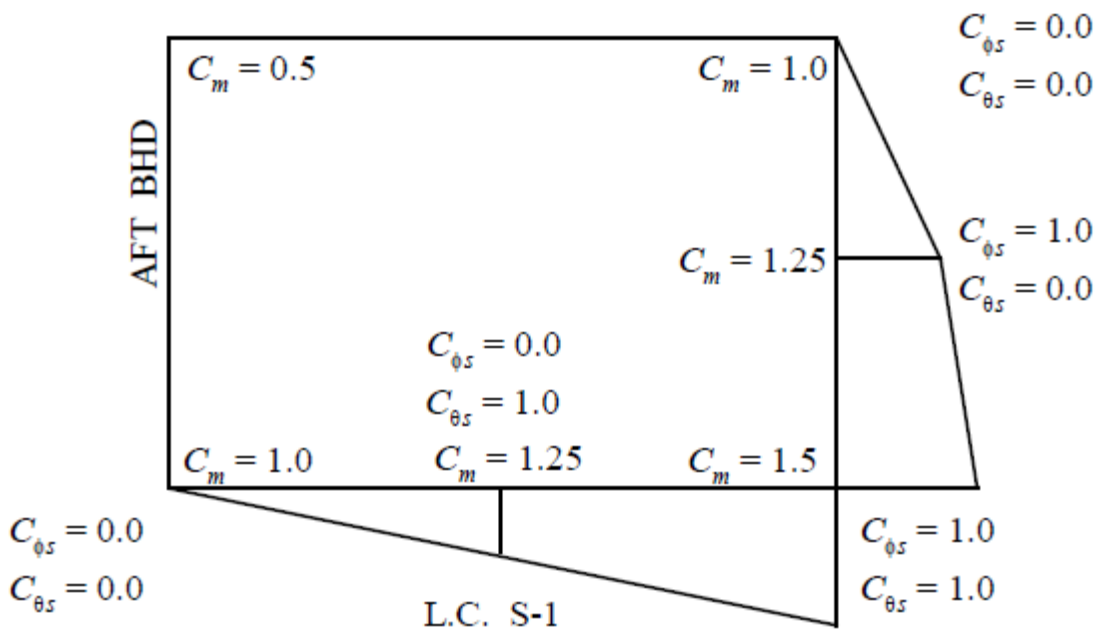
$$h_{tb} = 0.0055\beta'_L b_e C'_{tb} (\theta_{es} + 40) \theta_{es}^{0.5} \text{ m}$$

όπου,

$C'_{tl}$  και  $C'_{tb}$  είναι τα  $C_{tl}$  και  $C_{tb}$  για  $h_m = 0.70h$ ;



$\beta'_T$  και  $\beta'_L$  είναι για  $\beta$  με  $d_o = 0.70h$



Εικόνα Α-3: Ορισμός της παραμέτρου  $C_m$  .

## **ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ Β. ΘΑΛΑΣΣΑ**

Πρώτα, θα γίνει ο υπολογισμός της περιόδου της εγκατάστασης και αυτής της κίνησης του υγρού μέσα στη δεξαμενή, ώστε να βρεθεί ποιο filling level είναι πιο κοντά στην περίοδο συντονισμού της κινήσεως του πλοίου.

### ***Natural periods of installation***

#### **(a) Pitch**

Η φυσική περίοδος δίνεται από τη σχέση:

$$T_p = k_2 \sqrt{C_b d_i} = 11.87 \text{ sec}$$

όπου,

$$k_2 = 3.5$$

$$d_i = 14\text{m, το βύθισμα στο μέσο για την υπό θεώρηση κατάσταση φόρτωσης}$$

$$C_b = 0.821$$

#### **(b) Roll**

Η φυσική περίοδος δίνεται από τη σχέση:

$$T_r = k_4 k_r / GM^{0.5} = 15.3 \text{ sec}$$

όπου,

$$k_4 = 2$$

$$k_r = 0.42 B = 25.2 \text{ m}$$

$$GM = 1.5 GM(full) = 10.8 \text{ m} \quad \text{για } 2/3 d_i$$

$$GM(full) = 0.12B = 7.2\text{m}$$

Το πλάτος του roll (θετικό από την πλευρά του starboard) δίνεται:

$$\theta = C_R \beta_{RMO} (35 - k_\theta C_{di} \Delta / 1000) (1.5375 - 0.027 T_r) = 30^\circ \quad \text{εάν } 12.5 \leq T_r \leq 20 \text{ sec}$$

όπου,

$\theta$  σε μοίρες αλλά δεν χρειάζεται να ξεπερνά τις  $30^\circ$ .

$$k_\theta = 0.005$$

$$C_R = 1.05$$

$$\beta_{RMO} = 1.143$$

$$C_{di} = 1.06 - (d_i/d_f) - 0.06 = 0.576$$

$d_i = 14.0$  m, το βύθισμα στο μέσο για την υπό θεώρηση κατάσταση φόρτωσης

$d_f = 22.5$  m, το βύθισμα αντοχής (scantling draft)

$$\Delta = k_d L B d_f C_b = 3,564,454 \quad \text{kN}$$

$$k_d = 10.05$$

### **Natural periods of the fluid motion**

Οι φυσικές περίοδοι της κίνησης του ρευστού, σε seconds, υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$T_x = (\beta_T l_e)^{0.5} / k \quad \text{στην διαμήκη κατεύθυνση}$$

$$T_y = (\beta_L b_e)^{0.5} / k \quad \text{στην εγκάρσια κατεύθυνση}$$

όπου,

$$k = [(\tanh H_1) / (4\pi/g)]^{0.5}$$

$$H_1 = \pi d_l / l_e \text{ ή } \pi d_b / b_e$$

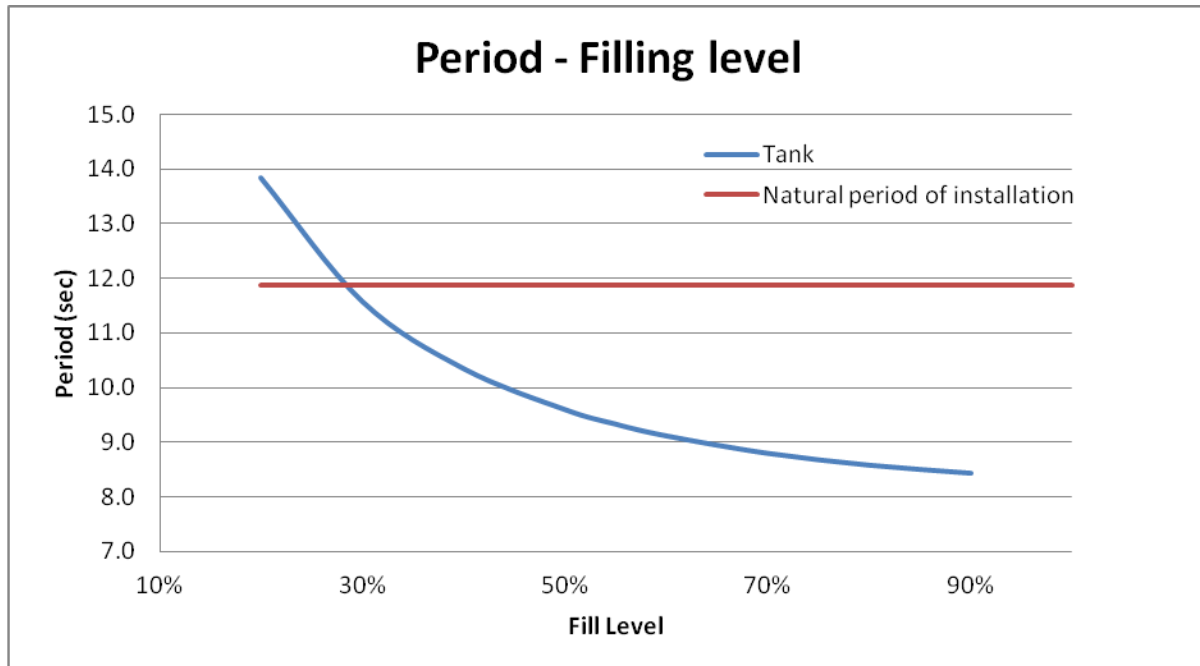
$$\beta_T, \beta_L = 1$$

$$d_l = d_b = d_o \text{ filling level (m)}$$

Για filling levels από 20% έως 90% μέσω των παραπάνω εξισώσεων δημιουργείται ο επόμενος πίνακας και το διάγραμμα.

Στην διαμήκη κατεύθυνση:

Filling level (%)	$d_o$ (m)	$H_1$	$k$	$T_x$ (sec)
20	5.8	0.36	0.52	<b>13.8</b>
30	8.7	0.53	0.62	<b>11.6</b>
40	11.6	0.71	0.69	<b>10.3</b>
50	14.5	0.89	0.75	<b>9.6</b>
55	16.0	0.98	0.77	<b>9.3</b>
60	17.4	1.07	0.78	<b>9.1</b>
70	20.3	1.25	0.81	<b>8.8</b>
80	23.2	1.43	0.83	<b>8.6</b>
90	26.1	1.60	0.85	<b>8.4</b>



Εικόνα A-4: Natural sloshing period as a function of critical tank fill level.

Οι υπολογισμοί έγιναν στο EXCEL για τα filling levels 30% , 55% και 70% και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω:

<b>RESULTS</b>				
	<b>p<sub>1</sub> (30%)</b>	<b>p<sub>2</sub> (55%)</b>	<b>p<sub>3</sub> (70%)</b>	<b>p<sub>max</sub></b>
<b>STRAKE 1</b>	29.6	34.6	39.4	39.4
<b>STRAKE 2</b>	29.6	34.6	39.4	39.4
<b>STRAKE 3</b>	18.1	32.7	37.6	37.6
<b>STRAKE 4</b>	13.5	28.0	32.8	32.8
<b>STRAKE 5</b>	13.9	22.0	25.8	25.8
<b>STRAKE 6</b>	14.2	18.8	22.5	22.5
<b>STRAKE 7</b>	14.5	17.0	19.3	19.3
<b>STRAKE 8</b>	14.9	16.8	16.0	16.8
<b>STRAKE 9</b>	15.3	16.6	15.6	16.6
<b>STRAKE 10</b>	15.6	16.3	15.8	16.3

#### A.4. Αναλυτικός υπολογισμός πραγματικής ροπής αδράνειας και ροπής αντίστασης μέσης τομής

<b>PLATING</b>	<b>N</b>	<b>b<sub>AS-BUILT</sub></b>	<b>t<sub>AS-BUILT</sub></b>	<b>A</b>	<b>h</b>	<b>A·h</b>	<b>A·h<sup>2</sup></b>	<b>dy</b>	<b>i</b>
		[mm]	[mm]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>4</sup> ]	[m]	[m <sup>4</sup> ]
<b>KEEL</b>									
Strake 1	1	3000	22.00	0.066	0.011	0.001	0.000	0.022	0.000
<b>BOTTOM</b>									
Strake 1	1	2850	22.00	0.063	0.011	0.001	0.000	0.022	0.000
Strake 2	1	2850	20.50	0.058	0.010	0.001	0.000	0.021	0.000
Strake 3	1	2850	20.50	0.058	0.010	0.001	0.000	0.021	0.000
Strake 4	1	2615	20.50	0.054	0.010	0.001	0.000	0.021	0.000
Strake 5	1	2700	20.50	0.055	0.010	0.001	0.000	0.021	0.000
Strake 6	1	2660	21.00	0.056	0.011	0.001	0.000	0.021	0.000
Strake 7	1	2660	20.50	0.055	0.010	0.001	0.000	0.021	0.000
Strake 8	1	2660	19.50	0.052	0.010	0.001	0.000	0.020	0.000
Strake 9	1	2660	19.50	0.052	0.010	0.001	0.000	0.020	0.000
<b>INNER BOTTOM</b>									
Strake 1	1	2550	22.00	0.056	3.000	0.168	0.505	0.022	0.000
Strake 2	1	3000	22.00	0.066	3.000	0.198	0.594	0.022	0.000
Strake 3	1	3000	22.00	0.066	3.000	0.198	0.594	0.022	0.000
Strake 4	1	3000	21.50	0.065	3.000	0.194	0.581	0.022	0.000
Strake 5	1	3160	21.50	0.068	3.000	0.204	0.611	0.022	0.000
Strake 6	1	3170	21.50	0.068	3.000	0.204	0.613	0.022	0.000
Strake 7	1	3170	21.50	0.068	3.000	0.204	0.613	0.022	0.000
<b>BILGE</b>									
Strake 1	1	3770	23.50	0.089	0.872	0.077	0.067	-	0.048
<b>SIDE SHELL</b>									
Strake 1	1	3475	19.50	0.068	4.328	0.293	1.269	3.475	0.068
Strake 2	1	3475	22.00	0.076	7.803	0.597	4.654	3.475	0.077

Strake 3	1	2850	20.00	0.057	10.965	0.625	6.853	2.850	0.039
Strake 4	1	2850	20.00	0.057	13.815	0.787	10.879	2.850	0.039
Strake 5	1	2850	20.00	0.057	16.665	0.950	15.830	2.850	0.039
Strake 6	1	2850	20.00	0.057	19.515	1.112	21.708	2.850	0.039
Strake 7	1	2850	20.00	0.057	22.365	1.275	28.511	2.850	0.039
Strake 8	1	2850	20.00	0.057	25.215	1.437	36.240	2.850	0.039
<b>SHEERSTRAKE</b>									
Strake 1	1	3860	18.50	0.071	28.570	2.040	58.288	3.860	0.089
<b>MAIN DECK STRINGER</b>									
Strake 1	1	3400	19.00	0.065	30.600	1.977	60.489	0.150	0.000
<b>MAIN DECK</b>									
Strake 1	1	3575	20.00	0.072	31.900	2.281	72.759	0.169	0.000
Strake 2	1	3275	20.00	0.066	31.800	2.083	66.236	0.169	0.000
Strake 3	1	3275	20.00	0.066	31.700	2.076	65.820	0.169	0.000
Strake 4	1	3250	20.00	0.065	31.600	2.054	64.906	0.169	0.000
Strake 5	1	3275	20.00	0.066	31.500	2.063	64.992	0.169	0.000
Strake 6	1	3275	20.00	0.066	31.300	2.050	64.170	0.169	0.000
Strake 7	1	3250	20.00	0.065	31.100	2.022	62.869	0.169	0.000
Strake 8	1	3250	20.00	0.065	30.900	2.009	62.063	0.169	0.000
<b>BOTTOM CENTER GIRDER</b>									
Strake 1	0.5	3000	22.50	0.034	1.500	0.051	0.076	3.000	0.025
<b>BOTTOM SIDE GIRDERS</b>									
Strake 1	1	3000	16.00	0.048	1.500	0.072	0.108	3.000	0.036
Strake 2	1	3000	16.00	0.048	1.500	0.072	0.108	3.000	0.036
<b>LONG. BULKHEAD</b>									
Strake 1	1	2810	19.00	0.053	4.405	0.235	1.036	2.810	0.035
Strake 2	1	2785	18.50	0.052	7.203	0.371	2.673	2.785	0.033
Strake 3	1	3145	17.50	0.055	10.168	0.560	5.690	3.145	0.045
Strake 4	1	3295	17.00	0.056	13.388	0.750	10.039	3.295	0.051
Strake 5	1	2575	17.50	0.045	16.323	0.736	12.006	2.575	0.025
Strake 6	1	2600	17.50	0.046	18.910	0.860	16.270	2.600	0.026
Strake 7	1	2590	17.50	0.045	21.505	0.975	20.961	2.590	0.025

Strake 8	1	2950	16.00	0.047	24.275	1.146	27.814	2.950	0.034
Strake 9	1	2950	16.00	0.047	27.225	1.285	34.985	2.950	0.034
Strake 10	1	3000	18.00	0.054	30.200	1.631	49.250	3.000	0.041
<b>INNER SKIN BULKHEAD</b>									
Strake 1	1	3050	23.00	0.070	4.720	0.331	1.563	2.800	0.046
Strake 2	1	3320	21.00	0.070	6.620	0.462	3.055	2.900	0.049
Strake 3	1	2500	20.50	0.051	10.220	0.524	5.353	2.500	0.027
Strake 4	1	2500	19.50	0.049	12.720	0.620	7.888	2.500	0.025
Strake 5	1	2500	19.00	0.048	15.220	0.723	11.003	2.500	0.025
Strake 6	1	2500	17.50	0.044	17.720	0.775	13.737	2.500	0.023
Strake 7	1	2500	17.00	0.043	20.220	0.859	17.376	2.500	0.022
Strake 8	1	2300	16.00	0.037	22.620	0.832	18.829	2.300	0.016
Strake 9	1	2300	16.00	0.037	24.920	0.917	22.853	2.300	0.016
Strake 10	1	2300	15.50	0.036	27.220	0.970	26.414	2.300	0.016
Strake 11	1	2300	18.00	0.041	29.520	1.222	36.077	2.300	0.018
<b>SIDE STRINGERS</b>									
Strake Add.	1	2500	17.50	0.044	28.125	1.230	34.607	0.018	0.000
Strake 1	1	2500	13.00	0.033	21.400	0.696	14.884	0.013	0.000
Strake 2	1	2500	13.00	0.033	14.960	0.486	7.274	0.013	0.000
Strake 3	1	2600	15.50	0.040	8.520	0.343	2.925	0.016	0.000
<b>LONGITUDINALS</b>									
<b>BOTTOM</b>									
Web	27	650	13.00	0.228	0.345	0.079	0.027	0.650	0.008
Flange	27	220	30.00	0.178	0.685	0.122	0.084	0.030	0.000
<b>INNER BOTTOM</b>									
Web	21	650	13.00	0.177	2.675	0.475	1.270	0.650	0.006
Flange	21	200	30.00	0.126	2.335	0.294	0.687	0.030	0.000
<b>SIDE SHELL</b>									
side # 32-35									
Web	4	575	12.00	0.028	4.245	0.117	0.497	0.012	0.000



Flange	4	200	25.00	0.020	4.245	0.085	0.360	0.200	0.000
side # 36									
Web	1	1110	18.00	0.020	6.620	0.132	0.876	0.018	0.000
Flange	1	280	18.00	0.005	6.620	0.033	0.221	0.280	0.000
side # 37									
Web	1	480	13.00	0.006	7.570	0.047	0.358	0.013	0.000
Flange	1	200	30.00	0.006	7.570	0.045	0.344	0.200	0.000
side # 39-41									
Web	3	650	12.00	0.023	10.360	0.242	2.512	0.012	0.000
Flange	3	175	22.00	0.012	10.360	0.120	1.240	0.175	0.000
side # 42-43									
Web	2	625	12.00	0.015	12.660	0.190	2.404	0.012	0.000
Flange	2	175	20.00	0.007	12.660	0.089	1.122	0.175	0.000
side # 44									
Web	1	600	12.00	0.007	14.040	0.101	1.419	0.012	0.000
Flange	1	175	20.00	0.004	14.040	0.049	0.690	0.175	0.000
side # 46-51									
Web	6	575	12.00	0.041	18.180	0.753	13.683	0.012	0.000
Flange	6	175	20.00	0.021	18.180	0.382	6.941	0.175	0.000
side # 53									
Web	1	475	12.00	0.006	22.320	0.127	2.840	0.012	0.000
Flange	1	150	20.00	0.003	22.320	0.067	1.495	0.150	0.000
side # 54									
Web	1	450	12.00	0.005	23.240	0.125	2.917	0.012	0.000
Flange	1	150	20.00	0.003	23.240	0.070	1.620	0.150	0.000
side # 55-56									
Web	2	425	12.00	0.010	24.620	0.251	6.183	0.012	0.000
Flange	2	150	20.00	0.006	24.620	0.148	3.637	0.150	0.000
side # 57-58									
Web	2	400	12.00	0.010	26.460	0.254	6.721	0.012	0.000
Flange	2	150	20.00	0.006	26.460	0.159	4.201	0.150	0.000
side # 60-61									

Web	2	425	12.00	0.010	29.220	0.298	8.709	0.012	0.000
Flange	2	150	20.00	0.006	29.220	0.175	5.123	0.150	0.000
<b>INNER SKIN</b>									
inner skin # 31									
Web	1	450	12.00	0.005	3.570	0.019	0.069	0.012	0.000
Flange	1	200	30.00	0.006	3.570	0.021	0.076	0.200	0.000
inner skin # 32-34									
Web	3	575	12.00	0.021	4.880	0.101	0.493	0.012	0.000
Flange	3	200	30.00	0.018	4.880	0.088	0.429	0.200	0.000
inner skin # 35-36									
Web	2	575	12.00	0.014	6.590	0.091	0.599	0.012	0.000
Flange	2	200	25.00	0.010	6.590	0.066	0.434	0.200	0.000
inner skin # 37									
Web	1	575	12.00	0.007	7.630	0.053	0.402	0.012	0.000
Flange	1	175	25.00	0.004	7.630	0.033	0.255	0.175	0.000
inner skin # 39									
Web	1	575	12.00	0.007	9.440	0.065	0.615	0.012	0.000
Flange	1	175	20.00	0.004	9.440	0.033	0.312	0.175	0.000
inner skin # 40-42									
Web	3	575	12.00	0.021	11.280	0.233	2.634	0.012	0.000
Flange	3	150	20.00	0.009	11.280	0.102	1.145	0.150	0.000
inner skin # 43									
Web	1	550	12.00	0.007	13.120	0.087	1.136	0.012	0.000
Flange	1	150	20.00	0.003	13.120	0.039	0.516	0.150	0.000
inner skin # 44									
Web	1	525	12.00	0.006	14.040	0.088	1.242	0.012	0.000
Flange	1	150	20.00	0.003	14.040	0.042	0.591	0.150	0.000
inner skin # 46-48									
Web	3	475	12.00	0.017	16.800	0.287	4.826	0.012	0.000
Flange	3	150	20.00	0.009	16.800	0.151	2.540	0.150	0.000
inner skin # 49-51									
Web	3	425	12.00	0.015	19.560	0.299	5.854	0.012	0.000

Flange	3	150	20.00	0.009	19.560	0.176	3.443	0.150	0.000
inner skin # 53-58									
Web	6	400	12.00	0.029	24.620	0.709	17.457	0.012	0.000
Flange	6	150	20.00	0.018	24.620	0.443	10.911	0.150	0.000
inner skin # 60									
Web	1	600	13.50	0.008	29.045	0.235	6.833	0.014	0.000
Flange	1	175	20.00	0.004	29.045	0.102	2.953	0.175	0.000
inner skin # 61									
Web	1	450	12.00	0.005	29.965	0.162	4.849	0.012	0.000
Flange	1	150	20.00	0.003	29.965	0.090	2.694	0.150	0.000
<b>LONGITUDINAL</b>									
long bulk. # 33-34									
Web	2	625	12.00	0.015	4.380	0.066	0.288	0.012	0.000
Flange	2	200	27.00	0.011	4.380	0.047	0.207	0.200	0.000
long bulk. # 35-37									
Web	3	600	12.00	0.022	6.680	0.144	0.964	0.012	0.000
Flange	3	175	25.00	0.013	6.680	0.088	0.586	0.175	0.000
long bulk. # 38									
Web	1	1100	17.00	0.019	8.520	0.159	1.357	0.017	0.000
Flange	1	275	17.00	0.005	8.520	0.040	0.339	0.275	0.000
long bulk. # 39									
Web	1	470	12.00	0.006	9.440	0.053	0.503	0.012	0.000
Flange	1	200	27.00	0.005	9.440	0.051	0.481	0.200	0.000
long bulk. # 40-44									
Web	5	600	12.00	0.036	12.200	0.439	5.358	0.012	0.000
Flange	5	150	20.00	0.015	12.200	0.183	2.233	0.150	0.000
long bulk. # 45									
Web	1	1100	17.00	0.019	14.960	0.280	4.185	0.017	0.000
Flange	1	275	17.00	0.005	14.960	0.070	1.046	0.275	0.000
long bulk. # 46									
Web	1	475	12.00	0.006	15.880	0.091	1.437	0.012	0.000
Flange	1	175	22.00	0.004	15.880	0.061	0.971	0.175	0.000

long bulk. # 47-48									
Web	2	500	12.00	0.012	17.260	0.207	3.575	0.012	0.000
Flange	2	150	20.00	0.006	17.260	0.104	1.787	0.150	0.000
long bulk. # 49-51									
Web	3	450	12.00	0.016	19.560	0.317	6.198	0.012	0.000
Flange	3	150	20.00	0.009	19.560	0.176	3.443	0.150	0.000
long bulk. # 52									
Web	1	600	12.00	0.007	21.400	0.154	3.297	0.012	0.000
Flange	1	150	12.00	0.002	21.400	0.039	0.824	0.150	0.000
long bulk. # 53									
Web	1	600	12.00	0.007	22.320	0.161	3.587	0.012	0.000
Flange	1	175	20.00	0.004	22.320	0.078	1.744	0.175	0.000
long bulk. # 54-55									
Web	2	425	12.00	0.010	23.700	0.242	5.729	0.012	0.000
Flange	2	150	18.00	0.005	23.700	0.128	3.033	0.150	0.000
long bulk. # 56-59									
Web	4	375	12.00	0.018	26.460	0.476	12.602	0.012	0.000
Flange	4	150	18.00	0.011	26.460	0.286	7.561	0.150	0.000
long bulk. # 60									
Web	1	600	13.50	0.008	28.760	0.233	6.700	0.014	0.000
Flange	1	175	20.00	0.004	28.760	0.101	2.895	0.175	0.000
long bulk. # 61									
Web	1	925	18.50	0.017	29.680	0.508	15.074	0.019	0.000
Flange	1	260	18.50	0.005	29.680	0.143	4.237	0.260	0.000
long bulk. # 62									
Web	1	300	12.00	0.004	30.600	0.110	3.371	0.012	0.000
Flange	1	175	25.00	0.004	30.600	0.134	4.097	0.175	0.000
<b>SIDE STRINGERS</b>									
No.3									
Web	3	250	10.00	0.008	8.520	0.064	0.544	0.250	0.000
Flange	3	90	15.00	0.004	8.520	0.035	0.294	0.015	0.000
No.2									

Web	3	250	10.00	0.008	14.960	0.112	1.679	0.250	0.000
Flange	3	90	15.00	0.004	14.960	0.061	0.906	0.015	0.000
No.1									
Web	3	250	10.00	0.008	21.275	0.160	3.395	0.250	0.000
Flange	3	90	15.00	0.004	21.275	0.086	1.833	0.015	0.000
Add.									
Web	3	250	12.00	0.009	27.670	0.249	6.891	0.250	0.000
Flange	3	90	15.00	0.004	27.670	0.112	3.101	0.015	0.000
<b>MAIN DECK</b>									
deck # 0-11									
Web	11	425	12.00	0.056	31.700	1.778	56.374	0.425	0.001
Flange	11	175	18.00	0.035	31.700	1.098	34.819	0.018	0.000
deck # 13-27									
Web	15	375	15.00	0.084	31.200	2.633	82.134	0.375	0.001
Flange	15	150	20.00	0.045	31.200	1.404	43.805	0.020	0.000
deck # 29-31									
Web	3	400	30.00	0.036	30.700	1.105	33.930	0.400	0.000
<b>TOTAL</b>				<b>5.451</b>		<b>72.03</b>	<b>1708.47</b>		<b>1.262</b>

### Επεξηγήσεις:

N = ο συνολικός αριθμός των στοιχείων

A = η επιφάνεια του στοιχείου,  $A = N \times b \times t$

h = κατακόρυφη απόσταση στοιχείου από baseline (ως σημείο αναφοράς λαμβάνεται κάτωθεν του ελάσματος του πυθμένα)

$A \cdot h$  = πρώτη ροπή επιφανείας στοιχείου ως προς την baseline

$A \cdot h^2$  = πρώτη ροπή επιφανείας στοιχείου ως προς την baseline

dy = η κατακόρυφη προβολή του στοιχείου (dy=0, για οριζόντιο στοιχείο)

$i = \eta$  ροπή αδρανείας του εκάστοτε στοιχείου ως προς άξονα που περνά από το κέντρο βάρους του,  $i = A \times dy^2 / 12$

- Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται για την μισή διατομή και πολλαπλασιάζοντας επί 2 παίρνουμε τα αποτελέσματα για όλη τη διατομή.

### A.5. Αναλυτικός υπολογισμός ροπής αντίστασης ενισχυτικών

		ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΟΥ												
		web		flange		plate		corrosion			properties			
ID		d (mm)	t (mm)	b (mm)	t (mm)	t (mm)	be (mm)	plate	web	flange	area (cm <sup>2</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )	y <sub>ref</sub> (cm)	SM <sub>actual</sub>
		<b>BOTTOM</b>	1	650	13	220	30	22	892.8	1.25	2.5	2.5	314.01	246721
2	650		13	220	30	22	892.8	1.25	2.5	2.5	314.01	246721	48.51	<b>5 086</b>
3	650		13	220	30	22	892.8	1.25	2.5	2.5	314.01	246721	48.51	<b>5 086</b>
4	650		13	220	30	22	892.8	1.25	2.5	2.5	314.01	246721	48.51	<b>5 086</b>
5	650		13	220	30	22	892.8	1.25	2.5	2.5	314.01	246721	48.51	<b>5 086</b>
6	650		13	220	30	22	892.8	1.25	2.5	2.5	314.01	246721	48.51	<b>5 086</b>
7	650		13	220	30	20.5	892.8	1.25	2.5	2.5	300.61	240410	47.56	<b>5 055</b>
8	650		13	220	30	20.5	892.8	1.25	2.5	2.5	300.61	240410	47.56	<b>5 055</b>
9	650		13	220	30	20.5	892.8	1.25	2.5	2.5	300.61	240410	47.56	<b>5 055</b>
10	650		13	220	30	20.5	892.8	1.25	2.5	2.5	300.61	240410	47.56	<b>5 055</b>
11	650		13	220	30	20.5	892.8	1.25	2.5	2.5	300.61	240410	47.56	<b>5 055</b>
13	650		13	220	30	20.5	892.8	1.25	2.5	2.5	300.61	240410	47.56	<b>5 055</b>
14	650		13	220	30	20.5	892.8	1.25	2.5	2.5	300.61	240410	47.56	<b>5 055</b>
15	650		13	220	30	20.5	892.8	1.25	2.5	2.5	300.61	240410	47.56	<b>5 055</b>
16	650		13	220	30	20.5	892.8	1.25	2.5	2.5	300.61	240410	47.56	<b>5 055</b>
17	650		13	220	30	20.5	892.8	1.25	2.5	2.5	300.61	240410	47.56	<b>5 055</b>
18	650		13	220	30	20.5	892.8	1.25	2.5	2.5	300.61	240410	47.56	<b>5 055</b>
19	650		13	220	30	20.5	892.8	1.25	2.5	2.5	300.61	240410	47.56	<b>5 055</b>
20	650		13	220	30	20.5	892.8	1.25	2.5	2.5	300.61	240410	47.56	<b>5 055</b>
21	650		13	220	30	20.5	892.8	1.25	2.5	2.5	300.61	240410	47.56	<b>5 055</b>

	22	650	13	220	30	20.5	892.8	1.25	2.5	2.5	300.61	240410	47.56	<b>5 055</b>
	24	650	13	220	30	19.5	872.7	1.25	2.5	2.5	288.02	234169	46.61	<b>5 024</b>
	25	650	13	220	30	19.5	872.7	1.25	2.5	2.5	288.02	234169	46.61	<b>5 024</b>
	26	650	13	220	30	19.5	872.7	1.25	2.5	2.5	288.02	234169	46.61	<b>5 024</b>
	27	650	13	220	30	19.5	872.7	1.25	2.5	2.5	288.02	234169	46.61	<b>5 024</b>
	28	650	13	220	30	19.5	872.7	1.25	2.5	2.5	288.02	234169	46.61	<b>5 024</b>
	29	650	13	220	30	19.5	872.7	1.25	2.5	2.5	288.02	234169	46.61	<b>5 024</b>
<b>INNER BOTTOM</b>	1	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	2	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	3	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	4	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	5	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	6	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	7	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	8	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	9	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	10	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	11	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	12	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	13	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	14	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	15	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	16	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	17	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	18	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	19	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
	20	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>



	21	650	13	200	30	22	892.8	1.875	1.25	1.25	313.55	242133	48.35	<b>5 008</b>
<b>SIDE SHELL</b>	32	575	12	200	25	19.5	892.8	1.875	2.5	1.25	259.48	155374	43.61	<b>3 562</b>
	33	575	12	200	25	19.5	892.8	1.875	2.5	1.25	259.48	155374	43.61	<b>3 562</b>
	34	575	12	200	25	19.5	892.8	1.875	2.5	1.25	259.48	155374	43.61	<b>3 562</b>
	35	575	12	200	25	19.5	892.8	1.875	2.5	1.25	259.48	155374	43.61	<b>3 562</b>
	36	1110	18	280	18	22	892.8	1.875	2.5	1.25	398.63	757770	76.02	<b>9 969</b>
	37	480	13	200	30	22	872.7	1.875	2.5	1.25	283.53	126544	37.21	<b>3 401</b>
	39	650	12	175	22	22	872.7	1.875	2.5	1.25	273.69	180254	51.63	<b>3 491</b>
	40	650	12	175	22	20	872.7	1.875	2.5	1.25	256.24	174635	50.44	<b>3 462</b>
	41	650	12	175	22	20	872.7	1.875	2.5	1.25	256.24	174635	50.44	<b>3 462</b>
	42	625	12	175	20	20	872.7	1.875	2.5	1.25	250.36	152058	49.22	<b>3 089</b>
	43	625	12	175	20	20	872.7	1.875	2.5	1.25	250.36	152058	49.22	<b>3 089</b>
	44	600	12	175	20	20	872.7	1.875	2.5	1.25	247.99	139146	47.49	<b>2 930</b>
	46	575	12	175	20	20	872.7	1.875	2.5	1.25	245.61	126892	45.76	<b>2 773</b>
	47	575	12	175	20	20	872.7	1.875	2.5	1.25	245.61	126892	45.76	<b>2 773</b>
	48	575	12	175	20	20	872.7	1.875	2.5	1.25	245.61	126892	45.76	<b>2 773</b>
	49	575	12	175	20	20	872.7	1.875	2.5	1.25	245.61	126892	45.76	<b>2 773</b>
	50	575	12	175	20	20	872.7	1.875	2.5	1.25	245.61	126892	45.76	<b>2 773</b>
	51	575	12	175	20	20	872.7	1.875	2.5	1.25	245.61	126892	45.76	<b>2 773</b>
	53	475	12	150	20	20	872.7	1.875	2.5	1.25	231.43	77433	39.48	<b>1 961</b>
	54	450	12	150	20	20	872.7	1.875	2.5	1.25	229.05	68942	37.66	<b>1 831</b>
55	425	12	150	20	20	872.7	1.875	2.5	1.25	226.68	61017	35.83	<b>1 703</b>	
56	425	12	150	20	20	872.7	1.875	2.5	1.25	226.68	61017	35.83	<b>1 703</b>	
57	400	12	150	20	20	872.7	1.875	2.5	1.25	224.30	53646	33.99	<b>1 578</b>	
58	400	12	150	20	18.5	872.7	2.5	2.5	2.5	203.88	49718	33.31	<b>1 493</b>	
60	425	12	150	20	18.5	872.7	2.5	2.5	2.5	206.26	56597	35.11	<b>1 612</b>	
61	425	12	150	20	18.5	872.7	2.5	2.5	2.5	206.26	56597	35.11	<b>1 612</b>	

DECK														
1	425	12	175	18	20	892.8	1.875	1.25	1.25	236.82	64220	35.33	<b>1 818</b>	
2	425	12	175	18	20	892.8	1.875	1.25	1.25	236.82	64220	35.33	<b>1 818</b>	
3	425	12	175	18	20	892.8	1.875	1.25	1.25	236.82	64220	35.33	<b>1 818</b>	
4	425	12	175	18	20	892.8	1.875	1.25	1.25	236.82	64220	35.33	<b>1 818</b>	
5	425	12	175	18	20	892.8	1.875	1.25	1.25	236.82	64220	35.33	<b>1 818</b>	
6	425	12	175	18	20	892.8	1.875	1.25	1.25	236.82	64220	35.33	<b>1 818</b>	
7	425	12	175	18	20	892.8	1.875	1.25	1.25	236.82	64220	35.33	<b>1 818</b>	
8	425	12	175	18	20	892.8	1.875	1.25	1.25	236.82	64220	35.33	<b>1 818</b>	
9	425	12	175	18	20	892.8	1.875	1.25	1.25	236.82	64220	35.33	<b>1 818</b>	
10	425	12	175	18	20	892.8	1.875	1.25	1.25	236.82	64220	35.33	<b>1 818</b>	
11	425	12	175	18	20	892.8	1.875	1.25	1.25	236.82	64220	35.33	<b>1 818</b>	
13	375	15	150	20	20	892.8	1.875	1.25	1.25	241.51	50942	31.50	<b>1 617</b>	
14	375	15	150	20	20	892.8	1.875	1.25	1.25	241.51	50942	31.50	<b>1 617</b>	
15	375	15	150	20	20	892.8	1.875	1.25	1.25	241.51	50942	31.50	<b>1 617</b>	
16	375	15	150	20	20	892.8	1.875	1.25	1.25	241.51	50942	31.50	<b>1 617</b>	
17	375	15	150	20	20	892.8	1.875	1.25	1.25	241.51	50942	31.50	<b>1 617</b>	
18	375	15	150	20	20	892.8	1.875	1.25	1.25	241.51	50942	31.50	<b>1 617</b>	
19	375	15	150	20	20	892.8	1.875	1.25	1.25	241.51	50942	31.50	<b>1 617</b>	
20	375	15	150	20	20	892.8	1.875	1.25	1.25	241.51	50942	31.50	<b>1 617</b>	
21	375	15	150	20	20	892.8	1.875	1.25	1.25	241.51	50942	31.50	<b>1 617</b>	
22	375	15	150	20	20	892.8	1.875	1.25	1.25	241.51	50942	31.50	<b>1 617</b>	
23	375	15	150	20	20	892.8	1.875	1.25	1.25	241.51	50942	31.50	<b>1 617</b>	
24	375	15	150	20	20	892.8	1.875	1.25	1.25	241.51	50942	31.50	<b>1 617</b>	
25	375	15	150	20	20	892.8	1.875	1.25	1.25	241.51	50942	31.50	<b>1 617</b>	
26	375	15	150	20	20	892.8	1.875	1.25	1.25	241.51	50942	31.50	<b>1 617</b>	
27	375	15	150	20	20	892.8	1.875	1.25	1.25	241.51	50942	31.50	<b>1 617</b>	
29	400	30	0	0	19	823.8	2.5	2.5	0	245.93	41065	31.51	<b>1 303</b>	

	30	400	30	0	0	19	823.8	2.5	2.5	0	245.93	41065	31.51	<b>1 303</b>
	31	400	30	0	0	19	823.8	2.5	2.5	0	245.93	41065	31.51	<b>1 303</b>
<b>INNER SKIN BHD</b>	31	450	12	200	30	23	865.9	1.25	1.25	1.25	294.21	114058	35.80	<b>3 186</b>
	32	575	12	200	30	23	865.9	1.25	1.25	1.25	307.65	188187	44.25	<b>4 253</b>
	33	575	12	200	30	23	865.9	1.25	1.25	1.25	307.65	188187	44.25	<b>4 253</b>
	34	575	12	200	30	23	865.9	1.25	1.25	1.25	307.65	188187	44.25	<b>4 253</b>
	35	575	12	200	25	21	865.9	1.25	1.25	1.25	280.33	163035	44.19	<b>3 689</b>
	36	575	12	200	25	21	865.9	1.25	1.25	1.25	280.33	163035	44.19	<b>3 689</b>
	37	575	12	175	25	21	865.9	1.25	1.25	1.25	274.39	151813	45.12	<b>3 364</b>
	39	575	12	175	20	20.5	872.7	1.25	1.25	1.25	262.62	132866	45.92	<b>2 893</b>
	40	575	12	150	20	20.5	872.7	1.25	1.25	1.25	257.93	123206	46.74	<b>2 636</b>
	41	575	12	150	20	20.5	872.7	1.25	1.25	1.25	257.93	123206	46.74	<b>2 636</b>
	42	575	12	150	20	19.5	872.7	1.25	1.25	1.25	249.21	121305	46.23	<b>2 624</b>
	43	550	12	150	20	19.5	872.7	1.25	1.25	1.25	246.52	109975	44.49	<b>2 472</b>
	44	525	12	150	20	19	872.7	1.25	1.25	1.25	239.47	98489	42.49	<b>2 318</b>
	46	475	12	150	20	19	872.7	1.25	1.25	1.25	234.09	79179	38.96	<b>2 032</b>
	47	475	12	150	20	17.5	872.7	1.25	1.25	1.25	221.00	77144	38.24	<b>2 017</b>
	48	475	12	150	20	17.5	872.7	1.25	1.25	1.25	221.00	77144	38.24	<b>2 017</b>
	49	425	12	150	20	17	872.7	1.25	1.25	1.25	211.26	60133	34.51	<b>1 743</b>
	50	425	12	150	20	17	872.7	1.25	1.25	1.25	211.26	60133	34.51	<b>1 743</b>
	51	425	12	150	20	16	872.7	1.25	1.25	1.25	202.54	58952	34.02	<b>1 733</b>
	53	400	12	150	20	16	872.7	1.25	1.25	1.25	199.85	51791	32.29	<b>1 604</b>
54	400	12	150	20	16	872.7	1.25	1.25	1.25	199.85	51791	32.29	<b>1 604</b>	
55	400	12	150	20	16	872.7	1.25	1.25	1.25	199.85	51791	32.29	<b>1 604</b>	
56	400	12	150	20	16	872.7	1.25	1.25	1.25	199.85	51791	32.29	<b>1 604</b>	
57	400	12	150	20	16	872.7	1.25	1.25	1.25	199.85	51791	32.29	<b>1 604</b>	
58	400	12	150	20	15.5	872.7	1.25	1.25	1.25	195.48	51248	32.04	<b>1 600</b>	

	60	600	13.5	175	20	18	872.7	1.25	1.25	1.25	252.49	144195	45.71	<b>3 155</b>
	61	450	12	150	20	18	872.7	1.25	1.25	1.25	222.68	69252	36.73	<b>1 885</b>
<b>INNER LONG. BHD</b>	33	625	12	200	27	19	872.7	1.25	1.25	1.25	273.59	196585	45.90	<b>4 283</b>
	34	625	12	200	27	19	872.7	1.25	1.25	1.25	273.59	196585	45.90	<b>4 283</b>
	35	600	12	175	25	19	872.7	1.25	1.25	1.25	260.97	160991	45.74	<b>3 520</b>
	36	600	12	175	25	18.5	872.7	1.25	1.25	1.25	256.60	159492	45.43	<b>3 511</b>
	37	600	12	175	25	18.5	872.7	1.25	1.25	1.25	256.60	159492	45.43	<b>3 511</b>
	38	1100	17	275	17	18.5	872.7	1.25	1.25	1.25	367.10	681474	72.90	<b>9 348</b>
	39	470	12	200	27	17.5	872.7	1.25	1.25	1.25	243.84	105494	34.98	<b>3 016</b>
	40	800	12	150	20	17.5	872.7	1.25	1.25	1.25	255.94	245264	59.99	<b>4 088</b>
	41	800	12	150	20	17.5	872.7	1.25	1.25	1.25	255.94	245264	59.99	<b>4 088</b>
	42	800	12	150	20	17	872.7	1.25	1.25	1.25	251.58	242815	59.58	<b>4 075</b>
	43	800	12	150	20	17	872.7	1.25	1.25	1.25	251.58	242815	59.58	<b>4 075</b>
	44	800	12	150	20	17	872.7	1.25	1.25	1.25	251.58	242815	59.58	<b>4 075</b>
	45	1100	17	275	17	17	872.7	1.25	1.25	1.25	354.01	659401	71.41	<b>9 234</b>
	46	475	12	175	22	17.5	872.7	1.25	1.25	1.25	229.19	88399	37.10	<b>2 383</b>
	47	500	12	150	20	17.5	872.7	1.25	1.25	1.25	223.69	86240	39.98	<b>2 157</b>
	48	500	12	150	20	17.5	872.7	1.25	1.25	1.25	223.69	86240	39.98	<b>2 157</b>
	49	450	12	150	20	17.5	872.7	1.25	1.25	1.25	218.31	68633	36.50	<b>1 880</b>
	50	450	12	150	20	17.5	872.7	1.25	1.25	1.25	218.31	68633	36.50	<b>1 880</b>
	51	450	12	150	20	17.5	872.7	1.25	1.25	1.25	218.31	68633	36.50	<b>1 880</b>
	52	600	12	150	12	17.5	872.7	1.25	1.25	1.25	222.44	101477	48.51	<b>2 092</b>
53	600	12	175	20	17.5	872.7	1.25	1.25	1.25	239.13	138379	45.90	<b>3 015</b>	
54	425	12	150	18	16	872.7	1.25	1.25	1.25	199.54	55448	34.33	<b>1 615</b>	
55	425	12	150	18	16	872.7	1.25	1.25	1.25	199.54	55448	34.33	<b>1 615</b>	
56	375	12	150	18	16	872.7	1.25	1.25	1.25	194.16	42337	30.81	<b>1 374</b>	
57	375	12	150	18	16	872.7	1.25	1.25	1.25	194.16	42337	30.81	<b>1 374</b>	

58	375	12	150	18	16	872.7	1.25	1.25	1.25	194.16	42337	30.81	<b>1 374</b>
59	375	12	150	18	16	872.7	1.25	1.25	1.25	194.16	42337	30.81	<b>1 374</b>
60	600	13.5	175	20	18	872.7	1.25	1.25	1.25	252.49	144195	45.71	<b>3 155</b>
61	925	18.5	260	18.5	18	872.7	1.25	1.25	1.25	350.59	472572	61.58	<b>7 674</b>
62	300	12	175	25	18	872.7	1.25	1.25	1.25	219.99	37768	24.84	<b>1 520</b>

## A.6. Design Fatigue Load Cases for Fatigue Strength Assessment

**TABLE 2A**  
**Design Fatigue Load Cases for Fatigue Strength Assessment (1 July 2009)**

(Load Combination Factors for Dynamic Load Components for Loading Condition 1)

	FLC1	FLC2	FLC3	FLC4	FLC5	FLC6	FLC7	FLC8
<b>A. Hull Girder Loads</b>								
Vertical B.M.	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)
$k_c$	1.00	1.00	0.30	0.30	0.75	0.75	0.70	0.70
Vertical S.F.	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
$k_c$	0.60	0.60	0.30	0.30	0.55	0.55	0.10	0.10
Horizontal B.M.					(-)	(+)	(-)	(+)
$k_c$	0.00	0.00	0.10	0.10	1.00	1.00	1.00	1.00
Horizontal S.F.					(+)	(-)	(+)	(-)
$k_c$	0.00	0.00	0.10	0.10	0.85	0.85	0.85	0.85
<b>B. External Pressure</b>								
$k_c$	0.80	0.80	1.00	1.00	0.70	0.70	0.45	0.45
$k_{\theta}$	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00
<b>C. Internal Tank Pressure</b>								
$k_c$	0.40	0.40	1.00	1.00	0.75	0.75	0.40	0.40
$w_v$	0.40	-0.40	0.75	-0.75	0.10	-0.10	0.25	-0.25
$w_t$	Fwd Bhd 0.20	Fwd Bhd -0.20	—	—	Fwd Bhd 0.50	Fwd Bhd -0.50	Fwd Bhd 0.80	Fwd Bhd -0.80
	Aft Bhd -0.20	Aft Bhd 0.20	—	—	Aft Bhd -0.50	Aft Bhd 0.50	Aft Bhd -0.80	Aft Bhd 0.80
$w_t$	—	—	Port Bhd -0.85	Port Bhd 0.85	Port Bhd -0.05	Port Bhd 0.05	Port Bhd -0.05	Port Bhd 0.05
	—	—	Stbd Bhd 0.85	Stbd Bhd -0.85	Stbd Bhd 0.05	Stbd Bhd -0.05	Stbd Bhd 0.05	Stbd Bhd -0.05
$c_{\phi}$ , Pitch	-0.15	0.15	-0.10	0.10	-0.30	0.30	-0.45	0.45
$c_{\theta}$ , Roll	0.00	0.00	1.00	-1.00	0.05	-0.05	0.05	-0.05
<b>D. Reference Wave Heading and Motion of Installation</b>								
Heading Angle	0	0	90	90	60	60	30	30
Heave	Down	Up	Down	Up	Down	Up	Down	Up
Pitch	Bow Down	Bow Up	Bow Down	Bow Up	Bow Down	Bow Up	Bow Down	Bow Up
Roll	—	—	Stbd Down	Stbd Up	Stbd Down	Stbd Up	Stbd Down	Stbd Up

**Notes**

- 1 Rule vertical bending moment range =  $|M_{sw} - M_{sh}|$  (see 5A-3-2/5.2 for  $M_{sw}$  and  $M_{sh}$ )
- 2 Rule horizontal bending moment range =  $2 \times M_h$  (see 5A-3-2/5.3 for  $M_h$ )
- 3 For each load condition pair, the stress range due to local pressure is the difference between the stress values for Local Pressure Load Conditions. For example, for Load Condition Pair *FLC1* & *FLC2*, the stress range due to local pressure is the difference between the stress values for *FLC1* and *FLC2*.
- 4 For each load condition pair, the stress range is the sum of the absolute stress range values due to Vertical BM, Horizontal BM and Local Pressure Load Conditions.

**TABLE 2B**  
**Design Fatigue Load Cases for Fatigue Strength Assessment (1 July 2009)**  
(Load Combination Factors for Dynamic Load Components for Loading Condition 2)

	<i>FLC1</i>	<i>FLC2</i>	<i>FLC3</i>	<i>FLC4</i>	<i>FLC5</i>	<i>FLC6</i>	<i>FLC7</i>	<i>FLC8</i>
<b>A. Hull Girder Loads</b>								
Vertical B.M.	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)
$k_c$	1.00	1.00	0.25	0.25	0.95	0.95	0.75	0.75
Vertical S.F.	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
$k_c$	0.55	0.55	0.15	0.15	0.70	0.70	0.25	0.25
Horizontal B.M.					(-)	(+)	(-)	(+)
$k_c$	0.00	0.00	0.10	0.10	1.00	1.00	1.00	1.00
Horizontal S.F.					(+)	(-)	(+)	(-)
$k_c$	0.00	0.00	0.15	0.15	0.80	0.80	0.80	0.80
<b>B. External Pressure</b>								
$k_c$	0.85	0.85	0.90	0.90	0.90	0.90	0.55	0.55
$k_D$	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00
<b>C. Internal Tank Pressure</b>								
$k_c$	0.55	0.55	0.70	0.70	0.20	0.20	0.40	0.40
$w_v$	0.60	-0.60	0.55	-0.55	0.15	-0.15	0.25	-0.25
$w_t$	Fwd Bhd 0.20	Fwd Bhd -0.20	—	—	Fwd Bhd 0.45	Fwd Bhd -0.45	Fwd Bhd 0.75	Fwd Bhd -0.75
	Aft Bhd -0.20	Aft Bhd 0.20	—	—	Aft Bhd -0.45	Aft Bhd 0.45	Aft Bhd -0.75	Aft Bhd 0.75
$w_t$	—	—	Port Bhd -0.95	Port Bhd 0.95	Port Bhd -0.05	Port Bhd 0.05	Port Bhd -0.10	Port Bhd 0.10
	—	—	Stbd Bhd 0.95	Stbd Bhd -0.95	Stbd Bhd 0.05	Stbd Bhd -0.05	Stbd Bhd 0.10	Stbd Bhd -0.10
$c_\phi$ , Pitch	-0.20	0.20	-0.05	0.05	-0.10	0.10	-0.35	0.35
$c_\theta$ , Roll	0.00	0.00	1.00	-1.00	0.05	-0.05	0.05	-0.05
<b>D. Reference Wave Heading and Motion of Installation</b>								
Heading Angle	0	0	90	90	60	60	30	30
Heave	Down	Up	Down	Up	Down	Up	Down	Up
Pitch	Bow Down	Bow Up	Bow Down	Bow Up	Bow Down	Bow Up	Bow Down	Bow Up
Roll	—	—	Stbd Down	Stbd Up	Stbd Down	Stbd Up	Stbd Down	Stbd Up

**Notes**

- 1 Rule vertical bending moment range =  $|M_{sw} - M_{wh}|$  (see 5A-3-2/5.2 for  $M_{sw}$  and  $M_{wh}$ )
- 2 Rule horizontal bending moment range =  $2 \times M_h$  (see 5A-3-2/5.3 for  $M_h$ )
- 3 For each load condition pair, the stress range due to local pressure is the difference between the stress values for Local Pressure Load Conditions. For example, for Load Condition Pair *FLC1* & *FLC2*, the stress range due to local pressure is the difference between the stress values for *FLC1* and *FLC2*.
- 4 For each load condition pair, the stress range is the sum of the absolute stress range values due to Vertical BM, Horizontal BM and Local Pressure Load Conditions.

**TABLE 2C**  
**Design Fatigue Load Cases for Fatigue Strength Assessment (1 July 2009)**

(Load Combination Factors for Dynamic Load Components for Loading Condition 3)

	<i>FLC1</i>	<i>FLC2</i>	<i>FLC3</i>	<i>FLC4</i>	<i>FLC5</i>	<i>FLC6</i>	<i>FLC7</i>	<i>FLC8</i>
<b>A. Hull Girder Loads</b>								
Vertical B.M.	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)
$k_c$	1.00	1.00	0.25	0.25	0.90	0.90	0.70	0.70
Vertical S.F.	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
$k_c$	0.55	0.55	0.10	0.10	0.65	0.65	0.30	0.30
Horizontal B.M.					(-)	(+)	(-)	(+)
$k_c$	0.00	0.00	0.10	0.10	1.00	1.00	1.00	1.00
Horizontal S.F.					(+)	(-)	(+)	(-)
$k_c$	0.00	0.00	0.30	0.30	0.85	0.85	0.80	0.80
<b>B. External Pressure</b>								
$k_c$	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.75	0.75
$k_{\theta}$	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00
<b>C. Internal Tank Pressure</b>								
$k_c$	0.55	0.55	0.75	0.75	0.10	0.10	0.40	0.40
$w_v$	0.55	-0.55	0.55	-0.55	0.15	-0.15	0.30	-0.30
$w_t$	Fwd Bhd 0.20	Fwd Bhd -0.20	—	—	Fwd Bhd 0.40	Fwd Bhd -0.40	Fwd Bhd 0.80	Fwd Bhd -0.80
	Aft Bhd -0.20	Aft Bhd 0.20	—	—	Aft Bhd -0.40	Aft Bhd 0.40	Aft Bhd -0.80	Aft Bhd 0.80
$w_l$	—	—	Port Bhd -1.00	Port Bhd 1.00	Port Bhd -0.05	Port Bhd 0.05	Port Bhd -0.15	Port Bhd 0.15
	—	—	Stbd Bhd 1.00	Stbd Bhd -1.00	Stbd Bhd 0.05	Stbd Bhd -0.05	Stbd Bhd 0.15	Stbd Bhd -0.15
$c_{\phi}$ , Pitch	-0.15	0.15	-0.15	0.15	-0.20	0.20	-0.45	0.45
$c_{\theta}$ , Roll	0.00	0.00	1.00	-1.00	0.05	-0.05	0.10	-0.10
<b>D. Reference Wave Heading and Motion of Installation</b>								
Heading Angle	0	0	90	90	60	60	30	30
Heave	Down	Up	Down	Up	Down	Up	Down	Up
Pitch	Bow Down	Bow Up	Bow Down	Bow Up	Bow Down	Bow Up	Bow Down	Bow Up
Roll	—	—	Stbd Down	Stbd Up	Stbd Down	Stbd Up	Stbd Down	Stbd Up

*Notes*

- 1 Rule vertical bending moment range =  $|M_{max} - M_{min}|$  (see 5A-3-2/5.2 for  $M_{max}$  and  $M_{min}$ )
- 2 Rule horizontal bending moment range =  $2 \times M_h$  (see 5A-3-2/5.3 for  $M_h$ )
- 3 For each load condition pair, the stress range due to local pressure is the difference between the stress values for Local Pressure Load Conditions. For example, for Load Condition Pair *FLC1* & *FLC2*, the stress range due to local pressure is the difference between the stress values for *FLC1* and *FLC2*.
- 4 For each load condition pair, the stress range is the sum of the absolute stress range values due to Vertical BM, Horizontal BM and Local Pressure Load Conditions.



**TABLE 2D**  
**Design Fatigue Load Cases for Fatigue Strength Assessment (1 July 2009)**

(Load Combination Factors for Dynamic Load Components for Loading Condition 4)

	<i>FLC1</i>	<i>FLC2</i>	<i>FLC3</i>	<i>FLC4</i>	<i>FLC5</i>	<i>FLC6</i>	<i>FLC7</i>	<i>FLC8</i>
<b>A. Hull Girder Loads</b>								
Vertical B.M.	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)	Sag (-)	Hog (+)
$k_c$	1.00	1.00	0.15	0.15	0.80	0.80	0.70	0.70
Vertical S.F.	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
$k_c$	0.55	0.55	0.20	0.20	0.50	0.50	0.40	0.40
Horizontal B.M.					(-)	(+)	(-)	(+)
$k_c$	0.00	0.00	0.25	0.25	1.00	1.00	1.00	1.00
Horizontal S.F.					(+)	(-)	(+)	(-)
$k_c$	0.00	0.00	0.25	0.25	0.85	0.85	0.80	0.80
<b>B. External Pressure</b>								
$k_c$	0.85	0.85	0.90	0.90	0.80	0.80	0.95	0.95
$k_{r0}$	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00
<b>C. Internal Tank Pressure</b>								
$k_c$	0.75	0.75	0.80	0.80	0.10	0.10	0.50	0.50
$w_v$	0.85	-0.85	0.60	-0.60	0.10	-0.10	0.30	-0.30
$w_t$	Fwd Bhd 0.20	Fwd Bhd -0.20	—	—	Fwd Bhd 0.30	Fwd Bhd -0.30	Fwd Bhd 1.00	Fwd Bhd -1.00
	Aft Bhd -0.20	Aft Bhd 0.20	—	—	Aft Bhd -0.30	Aft Bhd 0.30	Aft Bhd -1.00	Aft Bhd 1.00
$w_t$	—	—	Port Bhd -1.00	Port Bhd 1.00	Port Bhd -0.05	Port Bhd 0.05	Port Bhd -0.10	Port Bhd 0.10
	—	—	Stbd Bhd 1.00	Stbd Bhd -1.00	Stbd Bhd 0.05	Stbd Bhd -0.05	Stbd Bhd 0.10	Stbd Bhd -0.10
$C_{\phi}$ , Pitch	-0.30	0.30	-0.15	0.15	-0.10	0.10	-0.80	0.80
$C_{\theta}$ , Roll	0.00	0.00	1.00	-1.00	0.05	-0.05	0.15	-0.15
<b>D. Reference Wave Heading and Motion of Installation</b>								
Heading Angle	0	0	90	90	60	60	30	30
Heave	Down	Up	Down	Up	Down	Up	Down	Up
Pitch	Bow Down	Bow Up	Bow Down	Bow Up	Bow Down	Bow Up	Bow Down	Bow Up
Roll	—	—	Stbd Down	Stbd Up	Stbd Down	Stbd Up	Stbd Down	Stbd Up

Notes:

- 1 Rule vertical bending moment range =  $|M_{max} - M_{min}|$  (see 5A-3-2/5.2 for  $M_{max}$  and  $M_{min}$ )
- 2 Rule horizontal bending moment range =  $2 \times M_h$  (see 5A-3-2/5.3 for  $M_h$ )
- 3 For each load condition pair, the stress range due to local pressure is the difference between the stress values for Local Pressure Load Conditions. For example, for Load Condition Pair *FLC1* & *FLC2*, the stress range due to local pressure is the difference between the stress values for *FLC1* and *FLC2*.
- 4 For each load condition pair, the stress range is the sum of the absolute stress range values due to Vertical BM, Horizontal BM and Local Pressure Load Conditions.

## A.7. Lightship weight summary

Πίνακας A-1: Αναλυτική παρουσίαση κατανομής του lightship του FPSO

ITEM	Weight (t)	LCG (m)	KG (m)
Hull steel	40708.7	161.19	14.00
Accommodations + heli + CCR	3313.0	25.50	39.50
Topsides (dry)	10000.0	174.00	42.69
Topsides (wet)	11700.0	174.00	42.69
Bulwark	300.0	25.00	43.50
Weldings	50.0	30.00	15.75
Paint	100.0	30.00	15.75
Module supports	725.0	174.00	32.50
Crane / Pedest. F	96.2	237.42	30.10
Crane stools	8.0	180.65	32.00
Riser Balcony	227.0	130.45	29.67
Riser Porch	346.0	157.22	6.02
Riser Protect. F	868.0	134.19	15.84
Riser Pull-in E	118.0	167.74	30.83
Offloading support	10.0	3.83	32.28
Flare / T. suppt.	53.3	304.00	30.05
Mooring Found.	24.5	164.65	26.52
SB fenders	53.0	254.76	17.00
Mooring equip.	223.5	270.00	31.92
Mooring equip.	223.5	53.00	31.92
Cargo pumps	308.1	49.00	5.00
Fwd Hull Machinery	100.0	304.00	22.00
Aft Hull Machinery	600.0	25.50	22.00
Electric equip. fwd	60.0	304.00	20.50
Electric equip. aft	100.0	25.00	22.00
Telecome cable +	85.0	38.68	40.00
Piping / main deck	875.0	135.48	32.50
Piping / A / mach.	220.0	25.50	20.20
Piping / main b.	200.0	135.48	2.00
Tops / eq. on deck	265.5	135.48	35.00
Ladders / hatches	570.0	154.84	20.89
Stairs-F-MS (PS)	50.0	270.97	15.75

Stairs-A-MS (PS)	30.0	7.74	15.75
Liferafts / davit	45.0	10.00	42.15
HVAC eq. +bulk	401.0	167.23	35.00
Elect / C / on dk	440.0	135.48	32.50
Mooring tens.*	1423.0	270.00	10.00
Mooring tens.*	1423.0	53.00	10.00
Riser tens. (P)*	2157.0	126.26	17.31
Riser tens. (S)*	2800.0	136.17	12.58
Mooring (external Turret system + Risers)*	13000.0	320.00	30.40

\* Μόνο για την περιοχή της Νιγηρίας.

\*\*Μόνο για την περιοχή της Β. Θάλασσας. Λήφθηκε από το paper "Design of a floating production storage and offloading vessel for offshore Indonesia, Ocean Engineering program, Texas A&M University"

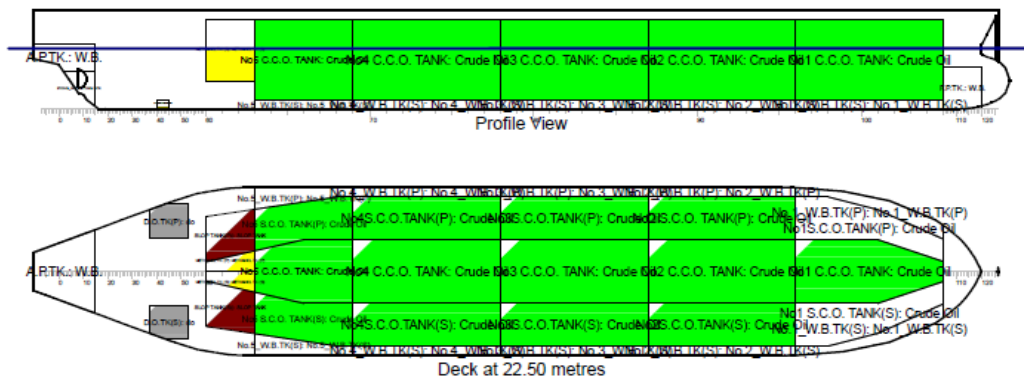
Ο παρακάτω πίνακας προκύπτει κατά βάση από το "PROTYPO FPSO".

## A.8. Καταστάσεις φόρτωσης (loading conditions) - Αποτελέσματα Aveva

Στο παράρτημα αυτό περιγράφονται αναλυτικά οι καταστάσεις φόρτωσης, όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα *Hydrostatics AVEVA* για τις δύο περιοχές που μας ενδιαφέρουν. Τα βασικά τους αποτελέσματα παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 3.4 και στους Πίνακες 3-5 και 3-6.

### B. ΘΑΛΑΣΣΑ

#### 1. Full Load Condition – on site



#### Key

Key	Name	Density (t/m <sup>3</sup> )
Blue	FW	1.0000
Grey	DO	0.8500
Green	CARGO	0.8710
Red	SLOPS	0.9500
Yellow	METHANOL	0.7920
Brown	SLUDGE	2.3800

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)	S M
<i>FRESH WATER</i>										
F. W.TK.(P)	1-15	FW	100.0	1.000	622.1	7.20	-9.68	25.77	0.0	
F. W.TK.(P)										
F.W.TK.(S F.	1-15	FW	100.0	1.000	622.1	7.20	9.68	25.77	0.0	
<b>Total FRESH WATER</b>					<b>1244.2</b>	<b>7.20</b>	<b>0.00</b>	<b>25.77</b>	<b>0.0</b>	
<i>DIESEL OIL</i>										
D.O.TK(F do	37-53	DO	98.0	0.850	1061.0	38.37	-17.87	23.99	1664.6	
D.O.TK(S do	37-53	DO	98.0	0.850	1061.0	38.37	17.87	23.99	1664.6	
<b>Total DIESEL OIL</b>					<b>2122.0</b>	<b>38.37</b>	<b>0.00</b>	<b>23.99</b>	<b>3329.2</b>	
<i>CARGO</i>										
No1 C.C.O. TANK: Crude Oil	96-105	CARGO	98.0	0.871	24247.7	277.81	0.00	17.08	31502.7	
No2 C.C.O. TANK: Crude Oil	87-96	CARGO	98.0	0.871	28567.9	229.92	0.00	17.07	43977.7	
No2 S.C.O. TANK(P) Crude	87-96	CARGO	98.0	0.871	18032.2	229.92	-18.81	17.14	13030.4	
No2S.C.C Crude	87-96	CARGO	98.0	0.871	18032.2	229.92	18.81	17.14	13030.4	
No3 C.C.O. TANK: Crude Oil	78-87	CARGO	98.0	0.871	28567.9	178.80	0.00	17.07	43977.7	
No3S.C.C Crude	78-87	CARGO	98.0	0.871	18032.2	178.80	-18.81	17.14	13030.4	
No3S.C.C Crude	78-87	CARGO	98.0	0.871	18032.2	178.80	18.81	17.14	13030.4	
No4 C.C.O. TANK: Crude Oil	69-78	CARGO	98.0	0.871	28567.9	127.68	0.00	17.07	43977.7	
No4S.C.C Crude	69-78	CARGO	98.0	0.871	18032.2	127.68	-18.81	17.14	13030.4	
No4S.C.C Crude	69-78	CARGO	98.0	0.871	18032.2	127.68	18.81	17.14	13030.4	

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m <sup>3</sup> )	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)	S M
No5 C.C.O. TANK: Crude Oil	63-69	CARGO	98.0	0.871	17387.3	86.17	0.00	17.08	23249.5	
No5 S.C.O. TANK(P) Crude	63-69	CARGO	98.0	0.871	11582.1	85.14	-17.49	16.98	8147.1	
No5 S.C.O. TANK(S) Crude	63-69	CARGO	98.0	0.871	11582.1	85.14	17.49	16.98	8147.1	
<b>Total CARGO</b>					<b>258696.1</b>	<b>173.47</b>	<b>0.00</b>	<b>17.09</b>	<b>281161.9</b>	
<i>SLOPS</i>										
SLOP TANK(P) SLOP TANK	60-63	SLOPS	61.0	0.950	4309.8	59.46	-13.06	11.77	5275.0	
SLOP TANK(S) SLOP TANK	60-63	SLOPS	61.0	0.950	4309.8	59.46	13.06	11.77	5275.0	
<b>Total SLOPS</b>					<b>8619.6</b>	<b>59.46</b>	<b>0.00</b>	<b>11.77</b>	<b>10550.0</b>	
<i>METHAN</i>										
METHAN TK. (P): METHAN TK. (P)	60-63	METHANOL	50.0	0.792	796.5	60.57	-2.82	15.46	224.6	
METHAN TK. (S): METHAN TK. (S)	60-63	METHANOL	50.0	0.792	796.5	60.57	2.82	15.46	224.6	
<b>Total METHAN</b>					<b>1593.0</b>	<b>60.57</b>	<b>0.00</b>	<b>15.46</b>	<b>449.2</b>	
<i>SLUDGE</i>										
SLUDGE H.F.O.OV	40-45	SLUDGE	10.0	2.380	28.4	36.32	0.00	0.32	252.4	
<b>Total SLUDGE</b>					<b>28.4</b>	<b>36.32</b>	<b>0.00</b>	<b>0.32</b>	<b>252.4</b>	
<b>Lightwei</b>					<b>74466.8</b>	<b>181.76</b>	<b>0.00</b>	<b>23.47</b>	<b>0.0</b>	
<b>Deadweig</b>					<b>272303.3</b>	<b>167.37</b>	<b>0.00</b>	<b>17.01</b>	<b>295742.7</b>	
<b>Total Displacer</b>					<b>346770.1</b>	<b>170.46</b>	<b>0.00</b>	<b>18.39</b>	<b>295742.7</b>	
<b>Buoyanc</b>					<b>346770.1</b>	<b>170.46</b>	<b>0.00</b>	<b>11.24</b>	<b>4693218.8</b>	
<b>Total Buoyanc</b>					<b>346770.1</b>	<b>170.46</b>	<b>0.00</b>	<b>11.24</b>	<b>4693218.8</b>	

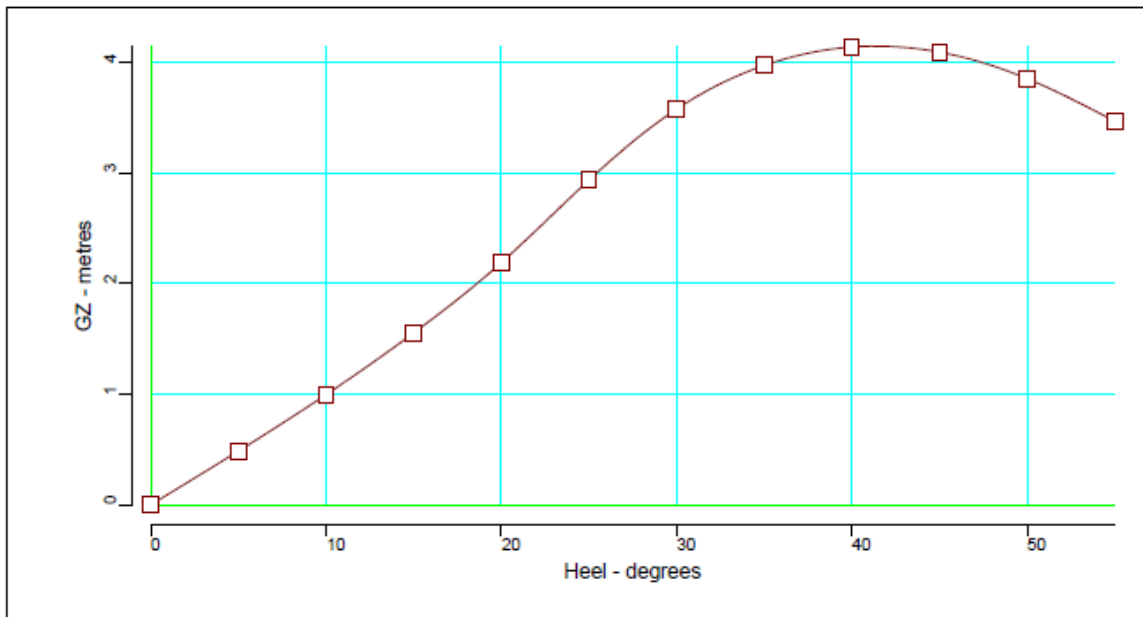
### Drafts at equilibrium angle

Draft at LCF	21.588	metres
Draft aft at marks	21.580	metres
Draft fwd at marks	21.596	metres
Draft at AP	21.580	metres
Draft at FP	21.596	metres
Mean draft at midships	21.588	metres

### Hydrostatics at equilibrium angle

Density of water	1.0250	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim	No trim	
KG	18.395	metres
FSC	0.853	metres
KGf	19.248	metres
GMt	5.529	metres
BMt	13.534	metres
BMI	364.441	metres
Waterplane area	17190.88	sq.metres
LCG	170.463	metres
LCB	170.463	metres
TCB	0.000	metres
LCF	159.685	metres
TCF	0.000	metres
TPC	176.206	tonnes/cm
MTC	3949.289	tonnes-m/cm
Shell thickness	0.000	mm

### N.SEA FULL LOAD: Intact State



Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)
0.00	0.0000	5.5293	0.016	21.588	8.91[0]
5.00	0.4863	5.6641	0.052	21.498	6.27[0]
10.00	0.9961	6.0767	0.158	21.230	3.60[0]
15.00	1.5544	6.7990	0.328	20.785	0.91[0]
20.00	2.1903	7.8993	0.561	20.163	-1.76[0]
25.00	2.9368	8.9102	0.855	19.369	-4.41[0]
30.00	3.5795	6.0089	1.262	18.547	-7.13[0]
35.00	3.9744	3.3070	1.746	17.757	-9.98[0]
40.00	4.1414	0.8110	2.285	16.952	-12.87[0]
45.00	4.0945	-1.5820	2.859	16.081	-15.73[0]
50.00	3.8551	-3.5354	3.435	15.111	-18.49[0]
55.00	3.4701	-4.9819	3.988	14.039	-21.12[0]

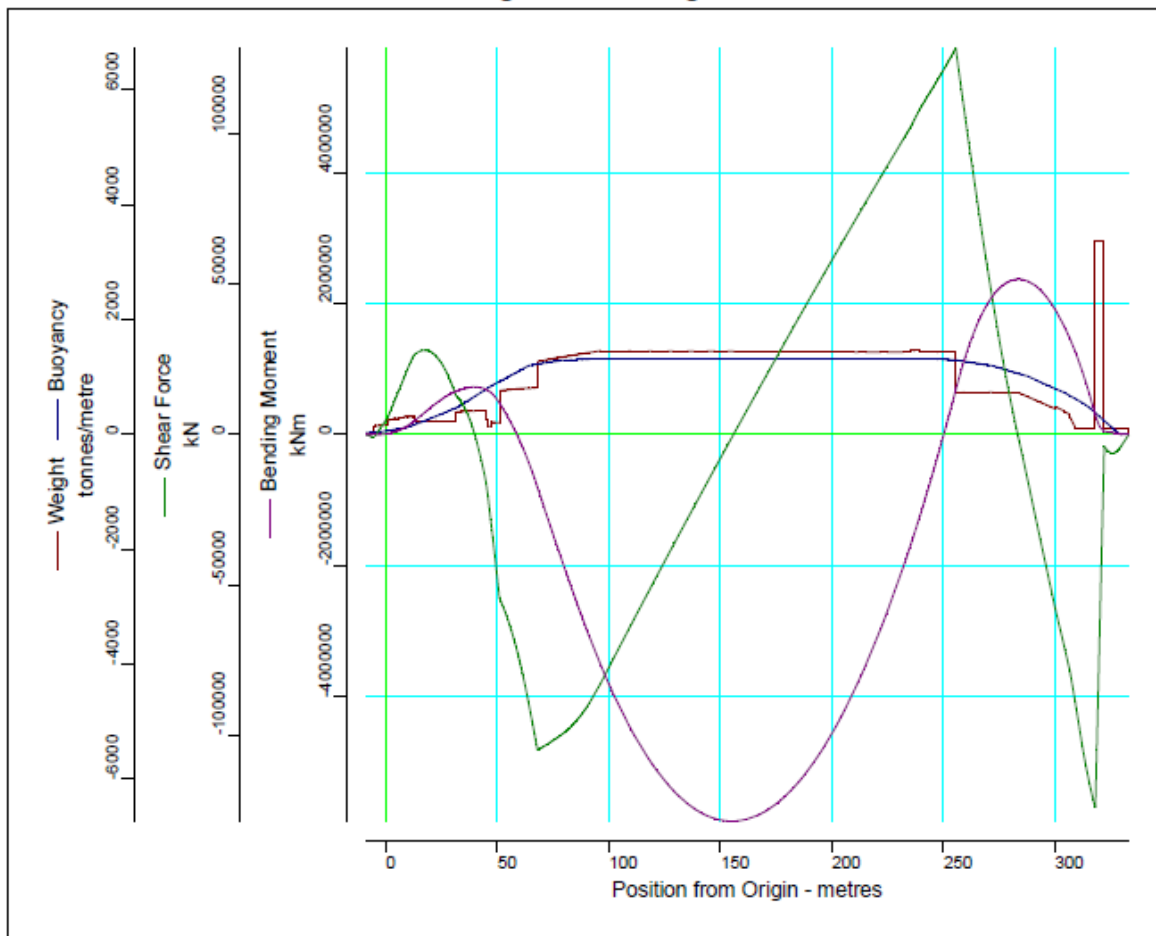


### IMO A167 Intact Stability criteria

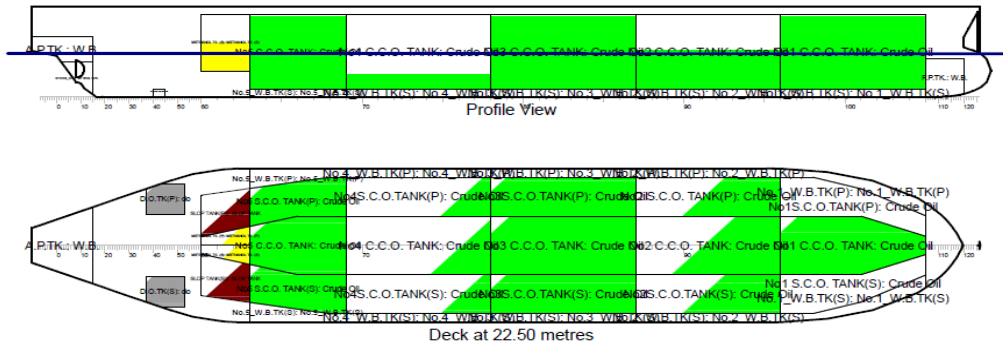
#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.868	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.687	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	1.555	0.090
4	Maximum GZ to be at least 0.20 metre at 30 degrees or above	4.151	0.200
5	Maximum GZ to be at an angle > 25 degrees	41.323	25.000
6	Initial GM to be at least 0.15 metres	5.529	0.150

**Condition complies with the regulations**

### Longitudinal Strength



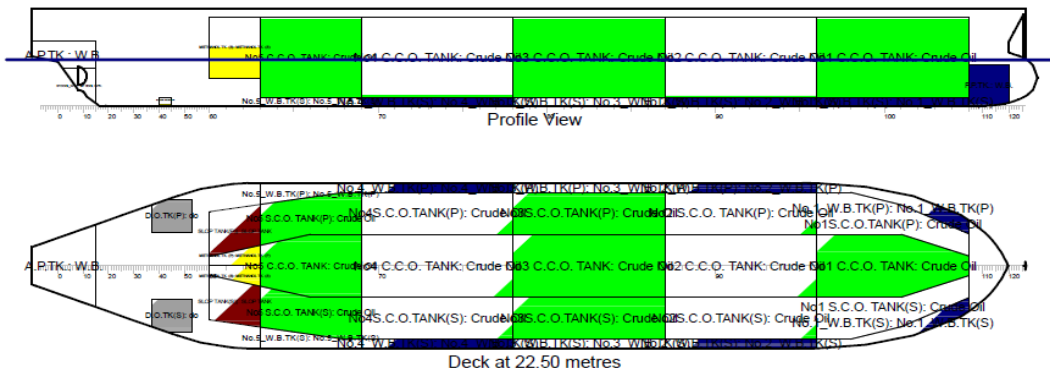
## 2. Partial Load Condition 67% – on site



### Key

Key	Name	Density (t/m3)
Blue	FW	1.0000
Grey	DO	0.8500
Green	CARGO	0.8710
Brown	SLOPS	0.9500
Yellow	METHANOL	0.7920

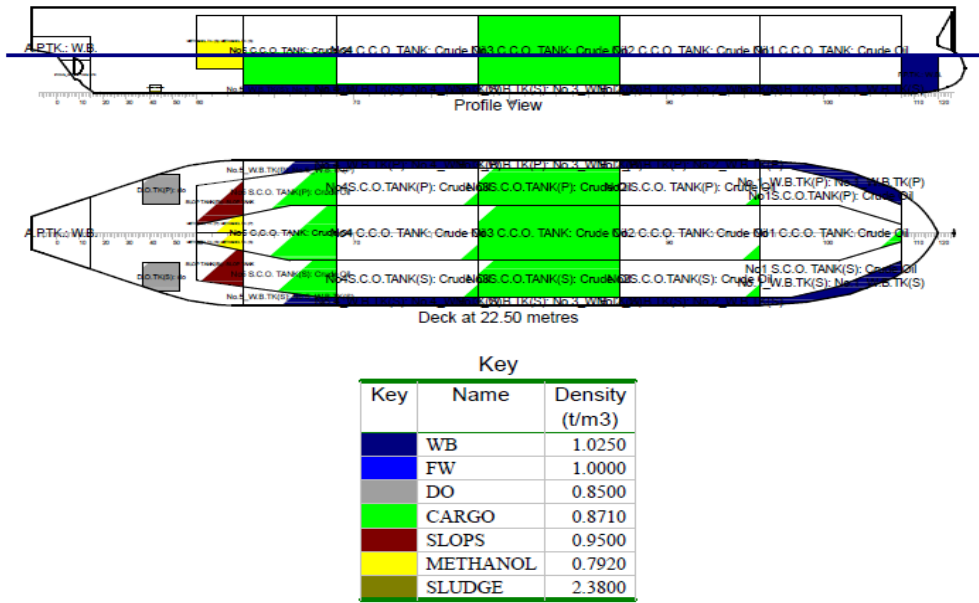
## 3. Partial Load Condition 50% – on site



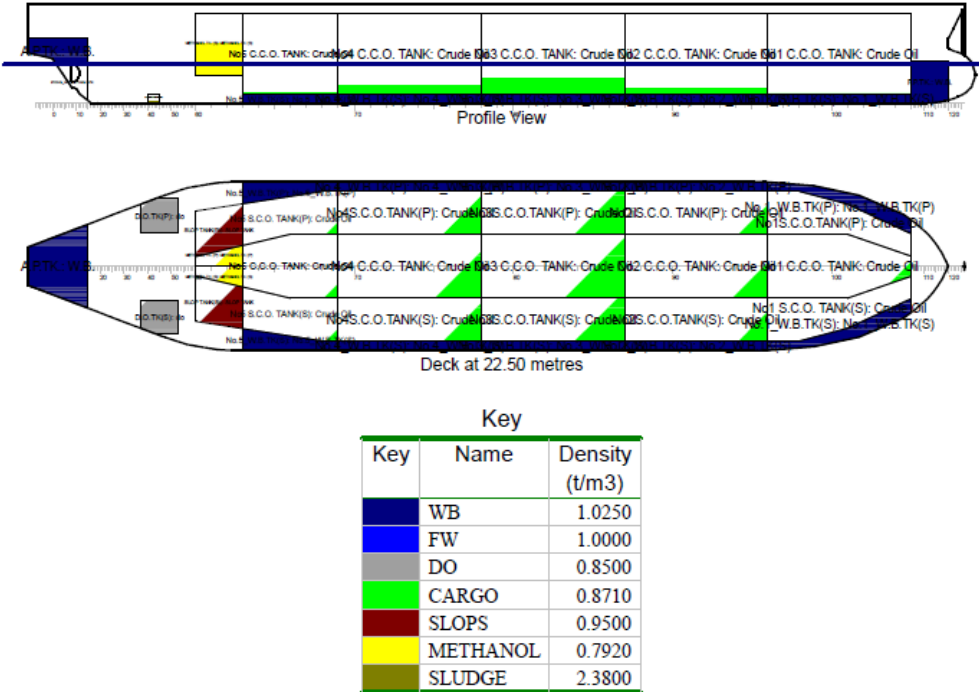
### Key

Key	Name	Density (t/m3)
Dark Blue	WB	1.0250
Blue	FW	1.0000
Grey	DO	0.8500
Green	CARGO	0.8710
Brown	SLOPS	0.9500
Yellow	METHANOL	0.7920
Olive	SLUDGE	2.3800

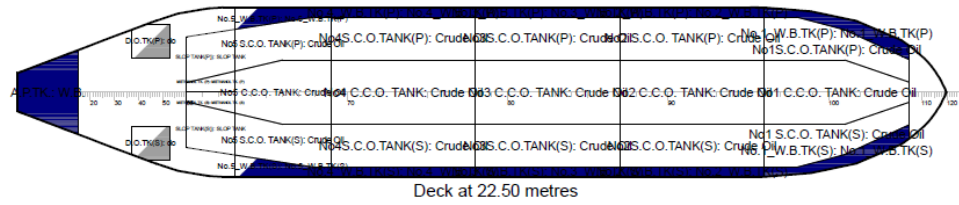
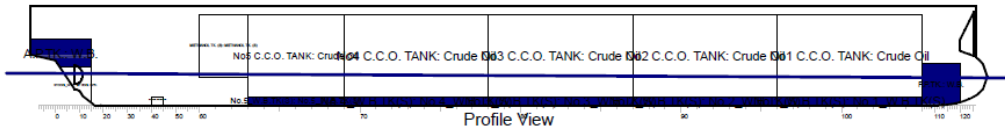
#### 4. Partial Load Condition 33% – on site



#### 5. Full Ballast Condition – on site



## 6. Transit Condition

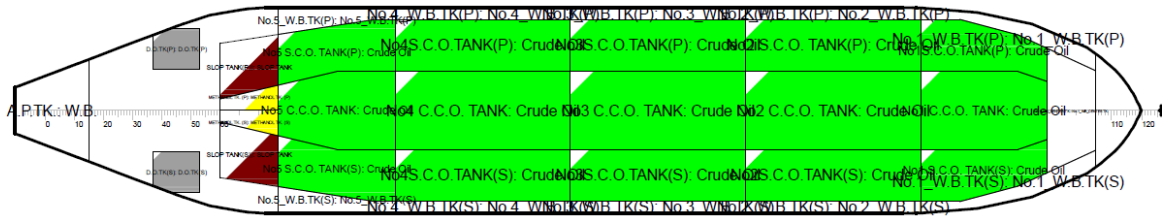
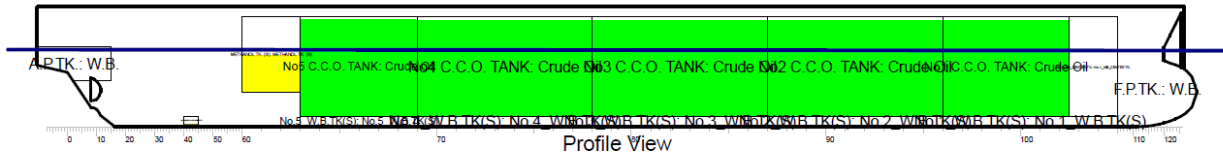


### Key

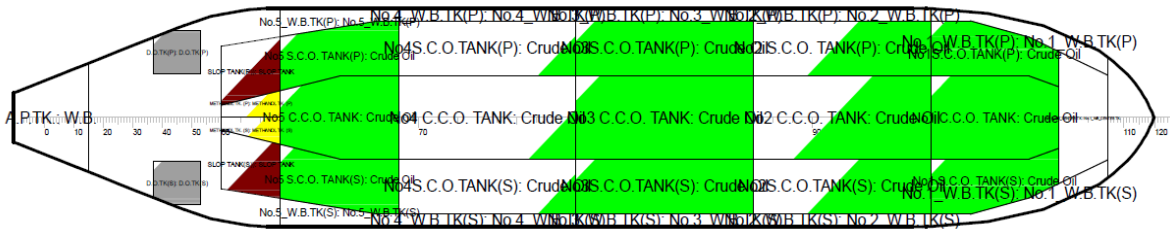
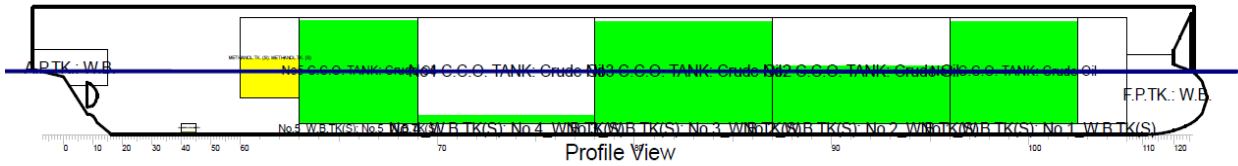
Key	Name	Density (t/m <sup>3</sup> )
WB	WB	1.0250
FW	FW	1.0000
DO	DO	0.8500

# NIGHPIA

## 1. Full Load Condition – on site

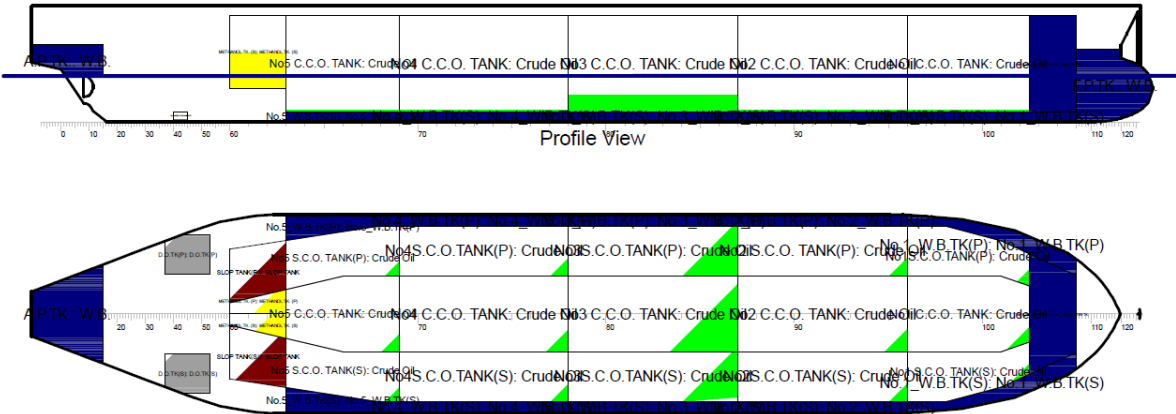


## 2. Partial Load Condition 67% – on site

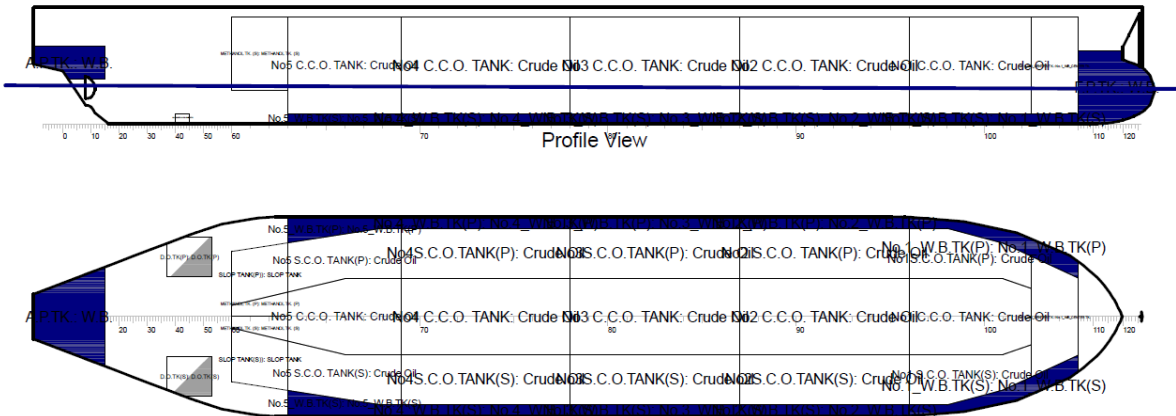




### 5. Full Ballast Condition – on site

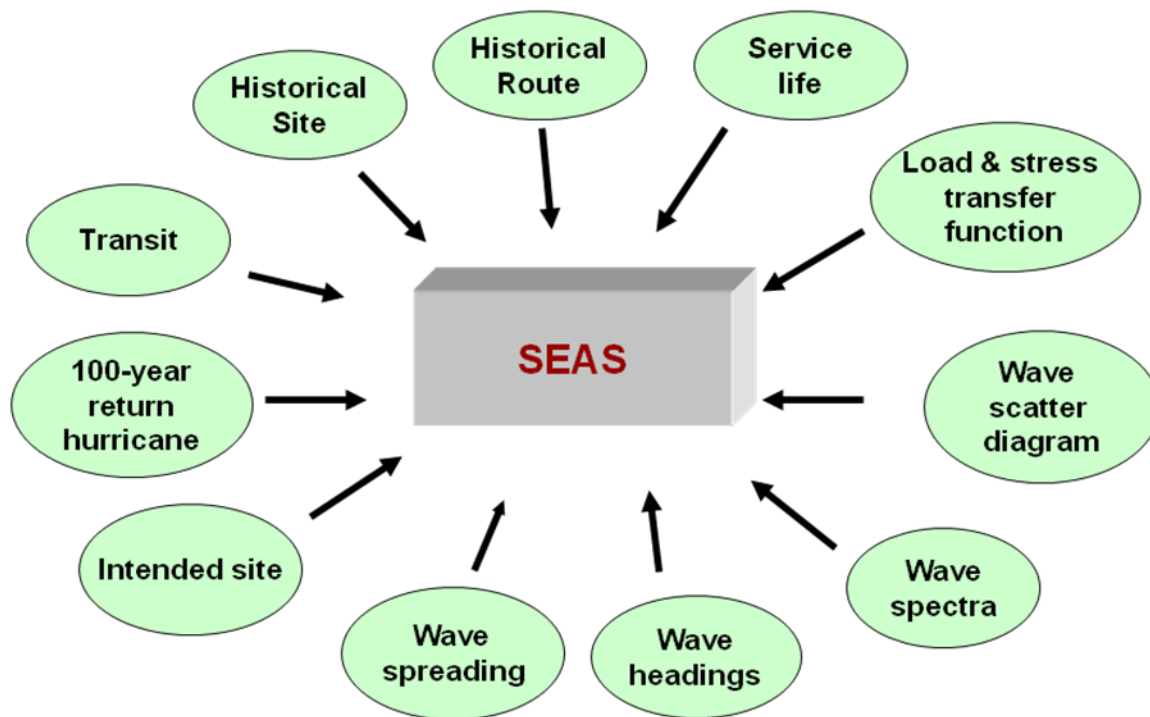


### 6. Transit Condition



## A.9. Παρουσίαση προγράμματος *EAGLE FPSO SEAS*

Για την μοντελοποίηση των περιβαλλοντικών φορτίσεων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό *Sea Environment Assessment System (SEAS)* του ABS. Το πρόγραμμα αυτό μετατρέπει τα στοιχεία για το περιβάλλον, όπως το φάσμα κυματισμού, το σημαντικό ύψος κύματος και την περίοδο κύματος σε δυναμικές παραμέτρους – τις ονομαζόμενες  $\beta$ -Type ESF. Στην Εικόνα A-5 παρουσιάζονται οι παράμετροι που λαμβάνει υπόψη του το πρόγραμμα για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.



Εικόνα A-5: Οι κύριες παράμετροι τις οποίες λαμβάνει υπόψη το πρόγραμμα για την εξαγωγή αποτελεσμάτων (ABS presentation)

Παρακάτω γίνεται η διαδικασία παρουσίασης των κύριων δεδομένων που εισήχθησαν ώστε τελικά να προκύψουν οι ορθές παράμετροι  $\beta$ -type κατά τη μεταφορά και on site, όπως παρουσιάζονται στους Πίνακες 4-2 και 4-3, οι οποίες και τελικά χρησιμοποιήθηκαν στους κύριους υπολογισμούς της αντοχής του FPSO.



Intended Site

General Information

Site Name: Nigeria  
Description: Installation site offshore Nigeria

Latitude	N/S	Longitude	E/W
3.78	N	5.32	E

Vessel Orientation: \_\_\_\_\_ deg

Extreme Event of 100 (or 50) years return period (for strength only)

Sea States defined by:  Wave Period Range  
 Wave Height, Period [Define]

Duration of Extreme Event: 3 hour  
No. of Spectral Peak: 1

Wave Period Definition, unit in second  
Minimum: 8 Maximum: 28 Interval: 1

Bandwidth Correction:  Yes  No

Wave Directionality

Head Sea  
 Following Sea  
 Specific Heading  
 Equal Probability  
 User Defined Rosette [Define User Rosette]

Significant Wave1 Height: 4 m  
Wave1 Period Type:  Peak  
 Average  
 Zero Crossing

Significant Wave2 Height: \_\_\_\_\_ m  
Wave2 Period Type:  Peak  
 Average  
 Zero Crossing

Significant Wave3 Height: \_\_\_\_\_ m  
Wave3 Period Type:  Peak  
 Average  
 Zero Crossing

Wave1 Spectrum:  JONSWAP  Bretschneider  Gaussian Swell  
Gamma1: 3.3

Wave2 Spectrum:  JONSWAP  Bretschneider  Gaussian Swell  
Gamma2: \_\_\_\_\_

Wave3 Spectrum:  JONSWAP  Bretschneider  Gaussian Swell  
Gamma3: \_\_\_\_\_

Wave1 Spreading:  Yes -> Cos^2  No  
Wave1 Heading: \_\_\_\_\_ deg

Wave2 Spreading:  Yes -> Cos^2  No  
Wave2 Heading: \_\_\_\_\_ deg

Wave3 Spreading:  Yes -> Cos^2  No  
Wave3 Heading: \_\_\_\_\_ deg

Wave Statistics (for fatigue and strength)

Wave Directionality

Head Sea  
 Following Sea  
 Specific Heading  
 Equal Probability  
 User Defined Rosette [Define User Rosette]

Return Period of Maximum Response (year): 100  
Wave Heading: \_\_\_\_\_ deg

Wave Scatter Diagram  
 User Defined (Standard Type) [Define User Wave Scatter Diagram]  
 User Defined (Column Type) [Define User Wave Scatter Diagram]  System Default

Rainflow Correction:  Yes  No

Wave Period Type:  Peak  Average  Zero Crossing

Wave Spectrum:  JONSWAP  Bretschneider  Gaussian Swell  
Gamma: 3.3

Wave Spreading:  Yes -> Cos^2  No

OK Cancel Save Reset Import

Εικόνα A-6: Intended site for Nigeria (ABS Seas Software)

Intended Site

General Information

Site Name: N.SEA  
Description: Installation at Gyphon oil field

Latitude	N/S	Longitude	E/W
59.80	N	1.30	E

Vessel Orientation: \_\_\_\_\_ deg

Extreme Event of 100 (or 50) years return period (for strength only)

Sea States defined by:  Wave Period Range  
 Wave Height, Period [Define]

Duration of Extreme Event: 3 hour  
No. of Spectral Peak: 1

Wave Period Definition, unit in second  
Minimum: 14 Maximum: 28 Interval: 1

Bandwidth Correction:  Yes  No

Wave Directionality

Head Sea  
 Following Sea  
 Specific Heading  
 Equal Probability  
 User Defined Rosette [Define User Rosette]

Significant Wave1 Height: 14.4 m  
Wave1 Period Type:  Peak  
 Average  
 Zero Crossing

Significant Wave2 Height: \_\_\_\_\_ m  
Wave2 Period Type:  Peak  
 Average  
 Zero Crossing

Significant Wave3 Height: \_\_\_\_\_ m  
Wave3 Period Type:  Peak  
 Average  
 Zero Crossing

Wave1 Spectrum:  JONSWAP  Bretschneider  Gaussian Swell  
Gamma1: 3.3

Wave2 Spectrum:  JONSWAP  Bretschneider  Gaussian Swell  
Gamma2: \_\_\_\_\_

Wave3 Spectrum:  JONSWAP  Bretschneider  Gaussian Swell  
Gamma3: \_\_\_\_\_

Wave1 Spreading:  Yes -> Cos^2  No  
Wave1 Heading: \_\_\_\_\_ deg

Wave2 Spreading:  Yes -> Cos^2  No  
Wave2 Heading: \_\_\_\_\_ deg

Wave3 Spreading:  Yes -> Cos^2  No  
Wave3 Heading: \_\_\_\_\_ deg

Wave Statistics (for fatigue and strength)

Wave Directionality

Head Sea  
 Following Sea  
 Specific Heading  
 Equal Probability  
 User Defined Rosette [Define User Rosette]

Return Period of Maximum Response (year): 100  
Wave Heading: \_\_\_\_\_ deg

Wave Scatter Diagram  
 User Defined (Standard Type) [Define User Wave Scatter Diagram]  
 User Defined (Column Type) [Define User Wave Scatter Diagram]  System Default

Rainflow Correction:  Yes  No

Wave Period Type:  Peak  Average  Zero Crossing

Wave Spectrum:  JONSWAP  Bretschneider  Gaussian Swell  
Gamma: 3.3

Wave Spreading:  Yes -> Cos^2  No

OK Cancel Save Reset Import

Εικόνα A-7: Intended site for N. Sea (ABS Seas Software)

## INTENDED SITE

- **General information**
  - **Site Name** – συμπληρώνεται το όνομα της περιοχής εγκατάστασης του FPSO.
  - **Description** – γίνεται μια σύντομη περιγραφή για το site.
- **Extreme Event of 100 years return period** – στο τμήμα αυτό οι υπολογισμοί γίνονται για βραχυχρόνια (short-term) απόκριση ενός ακραίου γεγονότος με return period 100 χρόνια. Η προκαθορισμένη τιμή για την διάρκεια των 100 χρόνων ακραίου γεγονότος είναι 3 ώρες.
  - **Sea States defined by** – επιλέγεται μια από τις παρακάτω επιλογές για να οριστεί η κατάσταση θάλασσας σε καταιγίδα
    - **Wave period range** – ορίζονται οι περίοδοι κυματισμού με βάση το εύρος και το διάστημα (το σημαντικό ύψος κύματος είναι σταθερό). Αυτό επιλέγεται από τον χρήστη.
    - **Wave Height, Period** – ορίζονται οι περίοδοι κυματισμού από ποικίλα ύψη κύματος και συνδυασμούς περιόδων.
  - **Wave Directionality** – επιλέγεται η κατεύθυνση των κυματισμών ως προς την πλώρη του FPSO.
    - **Head Sea** – το κύμα ταξιδεύει προς την πλώρη του FPSO.
    - **Following Sea** – το κύμα ταξιδεύει προς την πρύμνη του FPSO.
    - **Specific Heading** – το κύμα ταξιδεύει προς συγκεκριμένη γωνία ως προς το FPSO.
    - **Equal Probability** – η πιθανότητα του κυματισμού που ταξιδεύει προς όλες τις κατευθύνσεις είναι ίση. Αυτό επιλέγεται από τον χρήστη.
  - **Duration of Extreme Event** – 3 ώρες (προκαθορισμένη τιμή).
  - **No. of Spectral Peak** – επιλέγεται ο αριθμός των κορυφών του φάσματος του κύματος.
  - **Wave Period Definition, unit in second** – ορίζεται η περίοδος κυματισμού που χρησιμοποιείται στον προσδιορισμό του φάσματος κυματισμού με βάση το εύρος και το διάστημα. Για το διάστημα η τιμή του 1 δευτερολέπτου είναι η προκαθορισμένη. Όσον αφορά το εύρος γίνεται μια υπόθεση με βάση το σημαντικό ύψος κύματος και η σχέση δίνεται από τον τύπο:

$$\sqrt{13H_s} \leq T_p \leq 28 \text{ ,σε δευτερόλεπτα}$$

- **Bandwidth Correction** – γίνεται μια διόρθωση του extreme event των 100 χρόνων (by default-Yes)
- **Significant Wave1 Height** – συμπληρώνεται με βάση τα δεδομένα που υπάρχουν για την περιοχή το σημαντικό ύψος κύματος σε μέτρα από τον χρήστη.
- **Wave1 Period Type** – επιλέγεται μία από τις ακόλουθες επιλογές για να προσδιοριστεί ο χαρακτηριστικός τύπος της περιόδου κυματισμού για τα 100 χρόνια return period
  - **Peak** – φασματική κορυφή του φάσματος κυματισμού
  - **Average** – μέση περίοδος κυματισμού
  - **Zero crossing** – zero-crossing period
- **Wave1 Spectrum** – επιλέγεται το φάσμα του κυματισμού που θα χρησιμοποιηθεί και η αντίστοιχη παράμετρος. Το φάσμα που χρησιμοποιήθηκε για την περίπτωση μας είναι του JONSWAP με συντελεστή *γάμμα*  $n=0.33$  (mean value). Το φάσμα αυτό προτιμάται για αποθάλασσες (όπως είναι η Δυτική Αφρική) και κύματα από χειμωνιάτικη καταιγίδα (όπως είναι στην Βόρεια Θάλασσα).
- **Wave1 Spreading** – επιλέγεται μία από τις παρακάτω εντολές για να οριστεί αν η θάλασσα είναι short-crested ή long-crested. Για ανάλυση αντοχής ώστε να προκύψουν οι συντελεστές β-type χρησιμοποιείται η επιλογή *NO* για long-crest sea case.
- **Wave1 Heading** – η κατεύθυνση των κυματισμών σε παγκόσμια κλίμακα συντεταγμένων (equal probability).

**Transit**

General Information  
 Return Period of Maximum Response: 10 year  
 Wave Grid Weighting:  Yes  No

Transit Route Information  
 Transit Route No.: 1  
 Duration (year): 0.500  
 Time in Port (%): 0.000  
 Wave Directionality:  Yes  No

Name: NS\_Sing  
 Description: N Sea to Singapore

Transit Route Position

	Latitude	N/S	Longitude	E/W
1	57.900	N	0.040	E
2	51.312	N	2.434	E
3	48.980	N	5.470	W
4	44.840	N	11.690	W
5	27.990	N	19.770	W
6	7.537	N	19.248	W
7	23.450	S	0.970	E
8	36.000	S	17.000	E
9	37.000	S	25.000	E
10	35.000	S	46.000	E

Buttons: OK, Cancel, Save, Add, Delete, Import, System

**Εικόνα A-8: Transit route for N. Sea (ABS Seas Software)**

**Transit**

General Information  
 Return Period of Maximum Response: 10 year  
 Wave Grid Weighting:  Yes  No

Transit Route Information  
 Transit Route No.: 2  
 Duration (year): 0.205  
 Time in Port (%): 0.000  
 Wave Directionality:  Yes  No

Name: WAF\_Sing  
 Description: West Africa to Singapore

Transit Route Position

	Latitude	N/S	Longitude	E/W
1	5.000	N	5.000	E
2	9.000	S	6.000	E
3	21.000	S	10.000	E
4	36.000	S	17.000	E
5	37.000	S	25.000	E
6	35.000	S	46.000	E
7	29.000	S	68.000	E
8	20.000	S	87.000	E
9	9.000	S	104.000	E
10	3.000	S	107.000	E

Buttons: OK, Cancel, Save, Add, Delete, Import, System

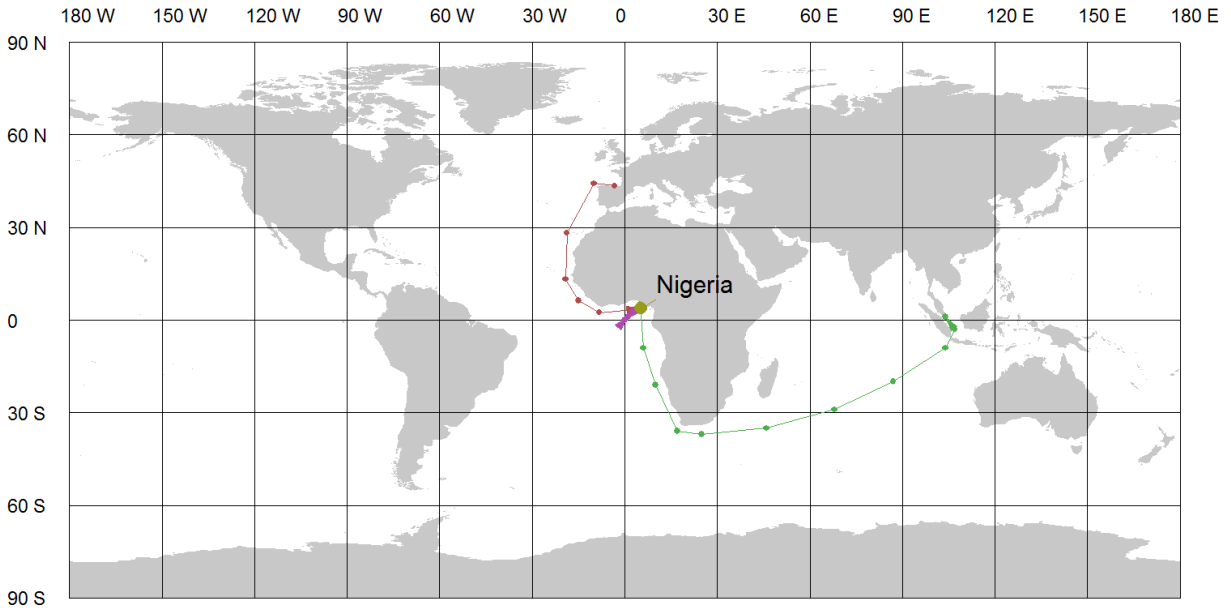
**Εικόνα A-9: Transit route for Nigeria (ABS Seas Software)**

## TRANSIT

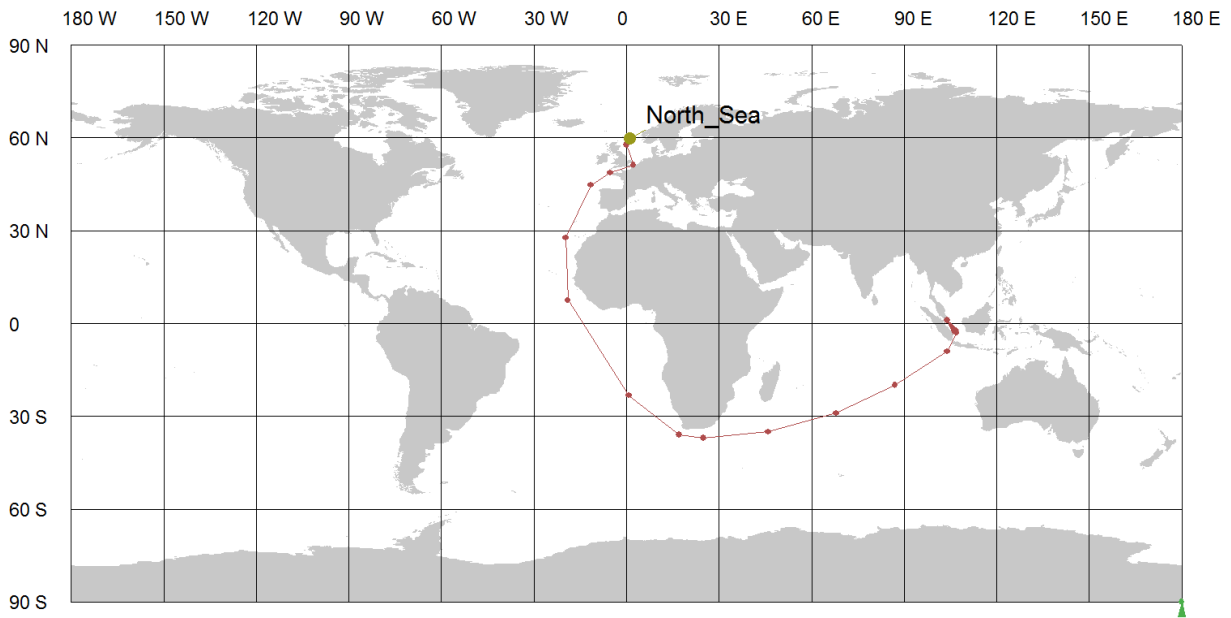
- **General information**
  - **Return Period of Maximum Response** – συμπληρώνεται η χρονική περίοδος κατά την οποία το στατιστικό μέγιστο των αποκρίσεων προσμένεται να υπερβεί μόνο μια φορά και φαίνεται σε χρόνια. Συνήθως, 10 χρόνια επιλέγεται για την κατάσταση μεταφοράς του FPSO στην περιοχή εγκατάστασης.
  - **Wave Grid Weighting** – επιλέγεται μια από τις παρακάτω επιλογές για τον προσδιορισμό της βαρύτητας που θα έχει ο συντελεστής β στον υπολογισμό :
    - **Yes** – οι συντ/τές β υπολογίζονται με βάση τον μέσο όρο των πιθανότερων ακραίων τιμών από τους κυματισμούς που θα συναντήσει το FPSO κατά την μεταφορά (αυτό επιλέγεται δεδομένου ότι η μεταφορά θα γίνει σε ήπια περίοδο).
    - **No** – οι συντ/τές β υπολογίζονται με βάση την χειρότερη κατάσταση, δηλαδή, την πιο ακραία κατάσταση κυματισμού κατά την μεταφορά.
- **Transit Route Information**
  - **Transit Route No.** – επιλέγεται ο αριθμός της διαδρομής.
  - **Duration (year)** – συμπληρώνεται ο αριθμός του χρόνου του FPSO για την επιλεγμένη διαδρομή. Αυτός περιλαμβάνει τον χρόνο στο λιμάνι όσο είναι σε λειτουργία.
  - **Time in port (%)** – εισάγεται το ποσοστό επί της διάρκειας μεταφοράς στον οποίο το FPSO ήταν στο λιμάνι.
  - **Wave directionality** - επιλέγεται μια από τις ακόλουθες επιλογές ώστε να υποδειχθεί εάν η επίδραση της κατεύθυνσης των κυματισμών θα ληφθεί υπόψη ή όχι.
    - **Yes** – λαμβάνεται υπόψη η κατεύθυνση του κυματισμού.
    - **No** – δεν λαμβάνεται η κατεύθυνση του κυματισμού.
  - **Name** – επιλέγεται ένα όνομα για την διαδρομή.
  - **Description** – εισάγεται μια περιγραφή για την επιλεγμένη διαδρομή.
- **Transit Route Position** – στον πίνακα αυτόν συμπληρώνεται η διαδρομή που θα ακολουθήσει το FPSO σε συντεταγμένες. Συνήθως η διαδρομή αυτή αφορά την διαδρομή από το ναυπηγείο μέχρι τον χώρο λειτουργίας του FPSO.

## HISTORICAL ROUTE

Στην καρτέλα αυτή επιλέγεται η διαδρομή ή οι διαδρομές που ακολούθησε το πλοίο πριν την μετασκευή του σε FPSO καθ' όλη τη διάρκεια της υπηρεσίας του.



**Εικόνα A-10:** Χάρτης με την μεταφορά στο site από το ναυπηγείο και την τοποθεσία μόνιμης λειτουργίας του FPSO στη Νιγηρία (ABS Seas Software).



**Εικόνα A-11:** Χάρτης με την μεταφορά στο site από το ναυπηγείο και την τοποθεσία μόνιμης λειτουργίας του FPSO στη Β. Θάλασσα (ABS Seas Software).

