

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΗ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗ ΚΑΙ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Πεπερασμένα στοιχεία και κανονισμοί Νηογνωνόνων

A. Θεοδουλίδης

Η Μεθοδος των ΠΣ και οι Κανονισμοί Νηογνωνμόνων

- Πριν τη θέση σε ισχύ των IACS Common Structural Rules η μέθοδος των ΠΣ χρησιμοποιείτο προαιρετικά:
 - σε θέματα τοπικής αντοχής όπου οι Κανονισμοί δεν μπορούσαν να προδιαγράψουν μια επαρκώς ικανοποιητική και λεπτομερή λύση.
 - σε περίπτωση πρωτοποριακών σχεδιαστικών λύσεων που δεν καλύπτονται από τους υφιστάμενους κανονισμούς.
 - Για λόγους επιβεβαίωσης των κανονισμών σε ειδικές περιπτώσεις.
- Για πρώτη φορά με τη θέσπιση των CSR η χρήση των ΠΣ γίνεται υποχρεωτική για την σχεδίαση Oil Tankers και Bulk Carriers.

Η Μεθοδος των ΠΣ και οι Κανονισμοί Νηογνωμόνων

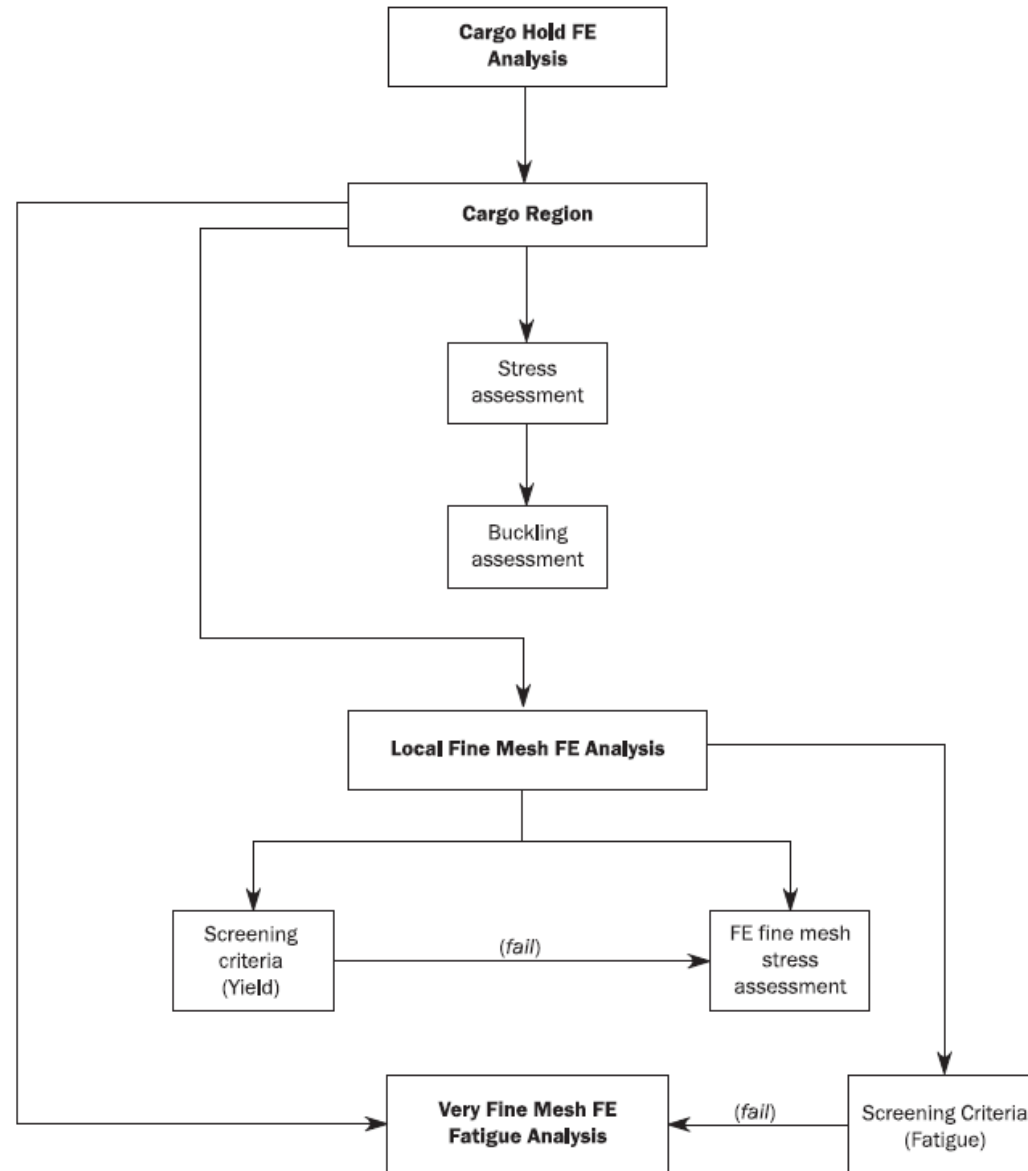
- Η χρήση των ΠΣ στους CSR προδιαγράφεται στα κεφάλαια 7, 8 και 9 του πρώτου μέρους των Κανονισμών.
- Τα ΠΣ χρησιμοποιούνται υποχρεωτικά σε Oil Tankers και Bulk Carriers με μήκος μεγαλύτερο των 150 μ.
- Τα ΠΣ χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της μεταλλικής κατασκευής σε:
 - Διαρροή
 - Λυγισμό
 - Κόπωση

Η Μεθοδος των ΠΣ και οι Κανονισμοί Νηογνωμόνων

Οι κανονισμοί CSR απαιτούν τη χρήση ΠΣ σε τρία επίπεδα:

1. Μοντελοποίηση τριών αμπαριών (coarse model).
2. Λεπτομερής ανάλυση στις περιοχές συγκέντρωσης τάσεων.
3. Πολυ λεπτομερής ανάλυση σε κατασκευαστικές λεπτομέρειες που επιβάλλονται από τους Κανονισμούς για την πρόγνωση της κώπωσης.

Η Μεθοδος των ΠΣ και οι Κανονισμοί CSR



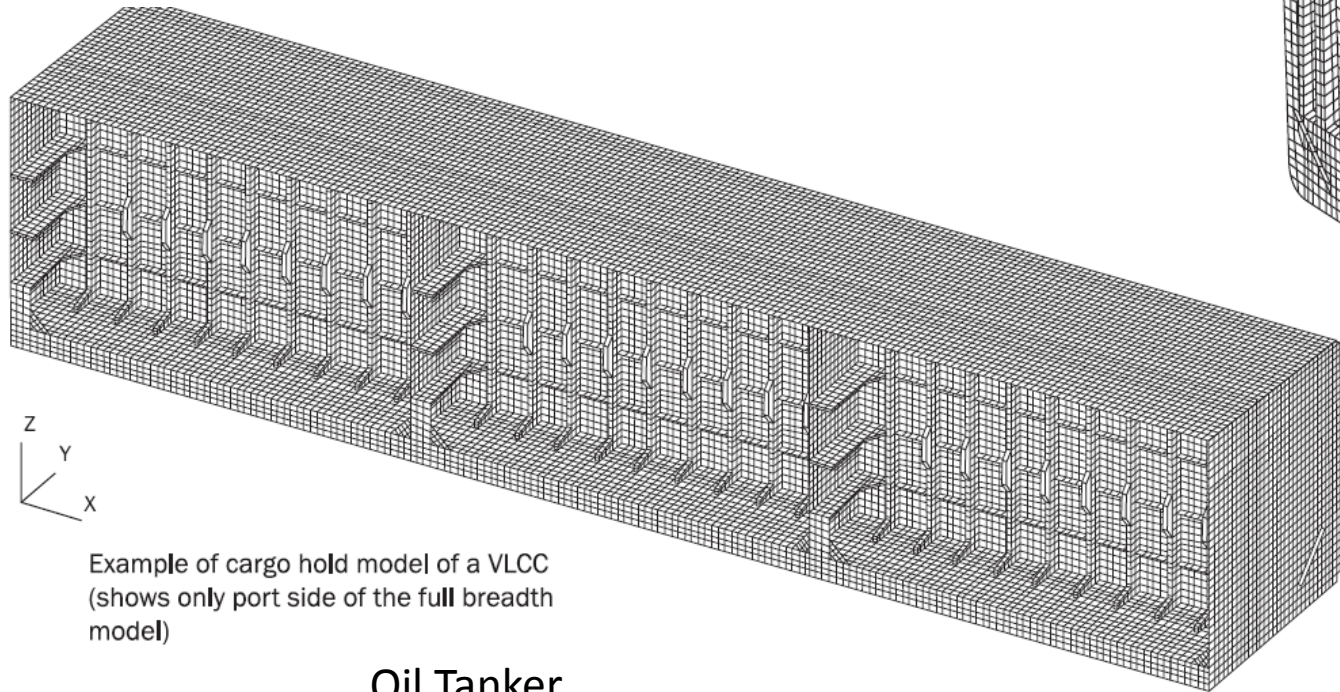
Η Μεθοδος των ΠΣ και οι Κανονισμοί CSR

- Οι κανονισμοί δεν απαιτούν μη-γραμμική ανάλυση

Τύποι πεπερασμένων στοιχείων

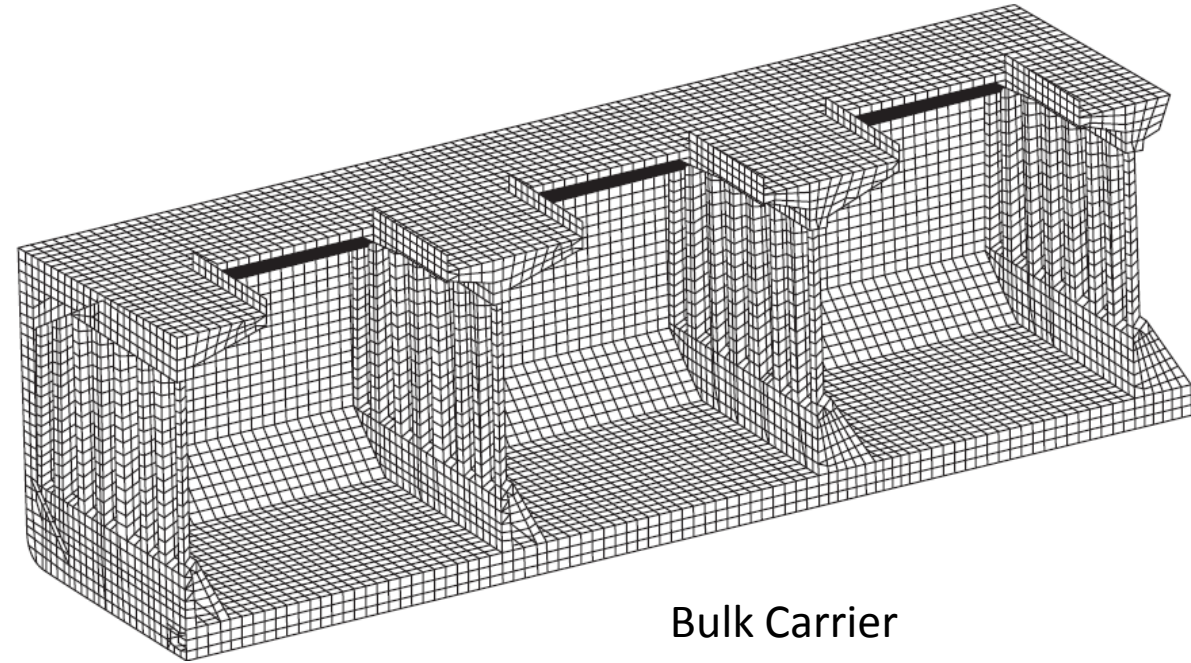
Type of finite element	Description
Rod (or truss) element	Line element with axial stiffness only and constant cross sectional area along the length of the element.
Beam element	Line element with axial, torsional and bi-directional shear and bending stiffness and with constant properties along the length of the element.
Shell (or plate) element	Shell element with in-plane stiffness and out-of-plane bending stiffness with constant thickness.

Ανάλυση τριών αμπαριών



Example of cargo hold model of a VLCC
(shows only port side of the full breadth model)

Oil Tanker



Bulk Carrier

Έκταση μοντέλου

- Το μοντέλο θα πρέπει να εκτείνεται κατά το διάμηκες σε μήκος τριών αμπαριών.
- Οι ακραίες φρακτές θα πρέπει επίσης να συμπεριλαμβάνονται στο ανωτέρω μοντέλο.
- Θα πρέπει να γίνει μια σειρά μοντέλων όπου το κάθε αμπάρι θα είναι κάθε φορά το κεντρικό αμπάρι.
- Για το πρωραίο και το πρυμναίο αμπάρι κατασκευάζονται ειδικά μοντέλα που εκτείνονται στο χώρο της πρωραίας δεξαμενής έρματος και το χώρο του μηχανοστασίου αντίστοιχα. Στην περίπτωση αυτή η επέκταση του μοντέλου πέραν του χώρου φορτίου μπορεί να γίνει θεωρώντας κάποια γεωμετρική απλοποίηση.
- Κατακόρυφα το μοντέλο εκτείνεται μέχρι το κύριο κατάστρωμα, συμπεριλαμβανομένων των κύριων κατασκευαστικών στοιχείων που βρίσκονται επ' αυτού.

Έκταση μοντέλου

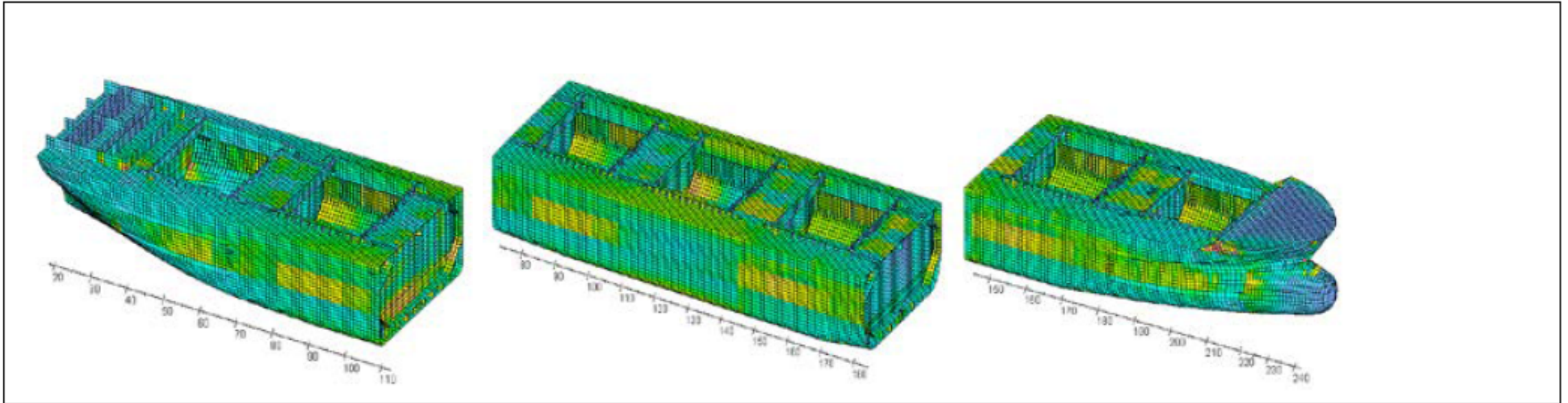
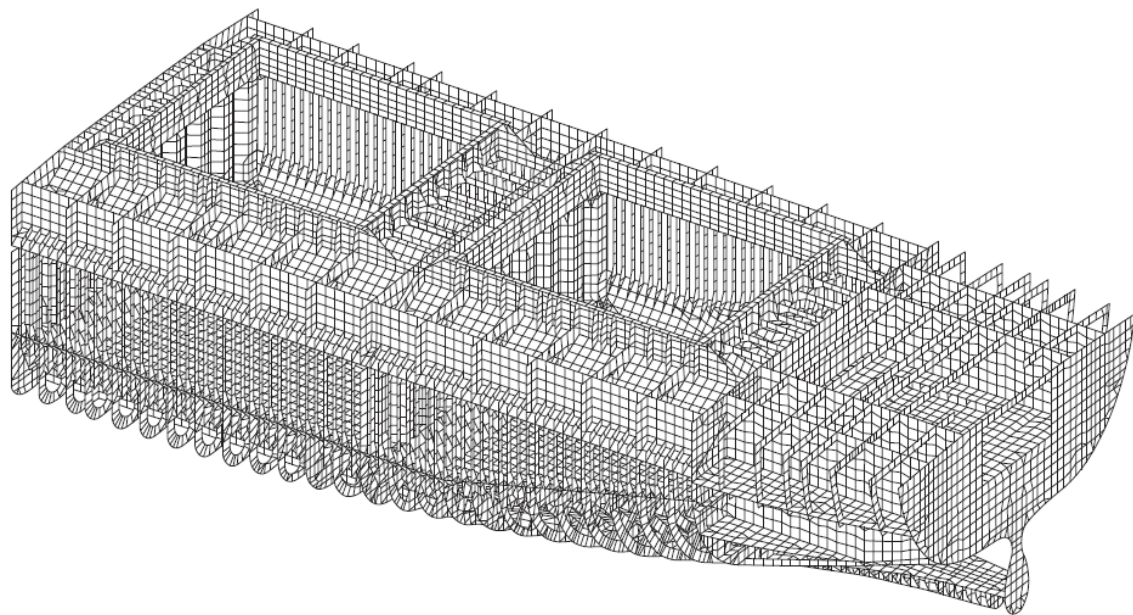
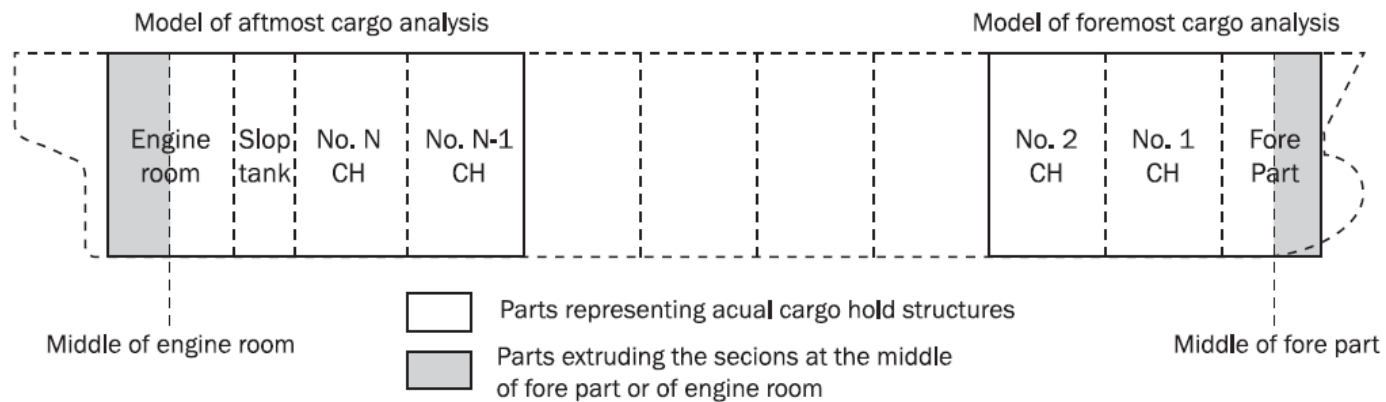
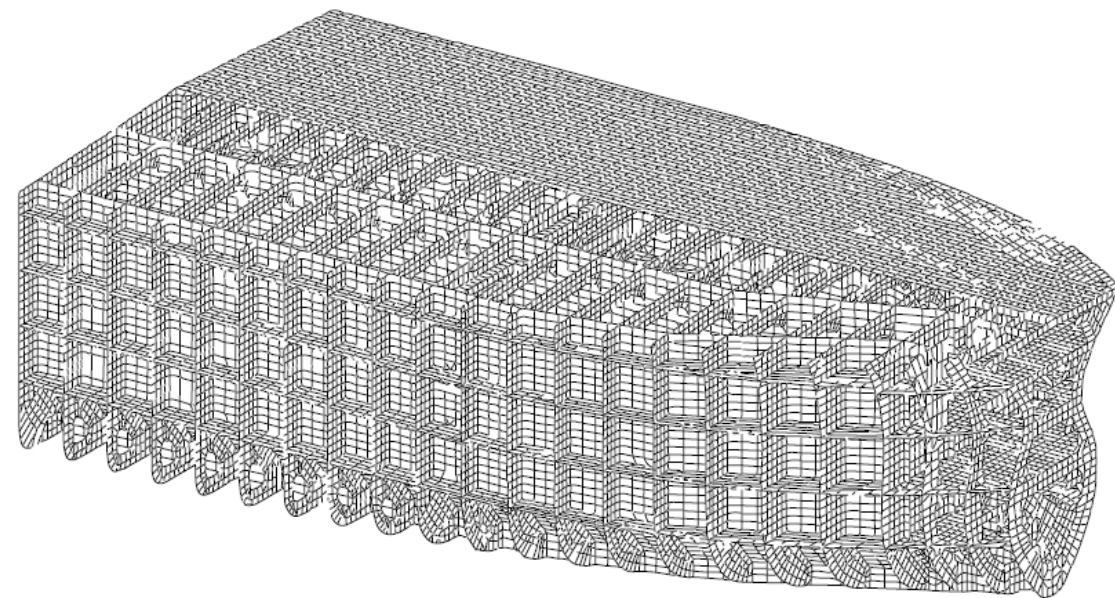


Figure 1 Example of CSR BC&OT FE model for the aftermost, midship and the foremost cargo hold structure of a bulk carrier

Έκταση πρωραίου και πρυμναίου μοντέλου



Πρυμναίο μοντέλο



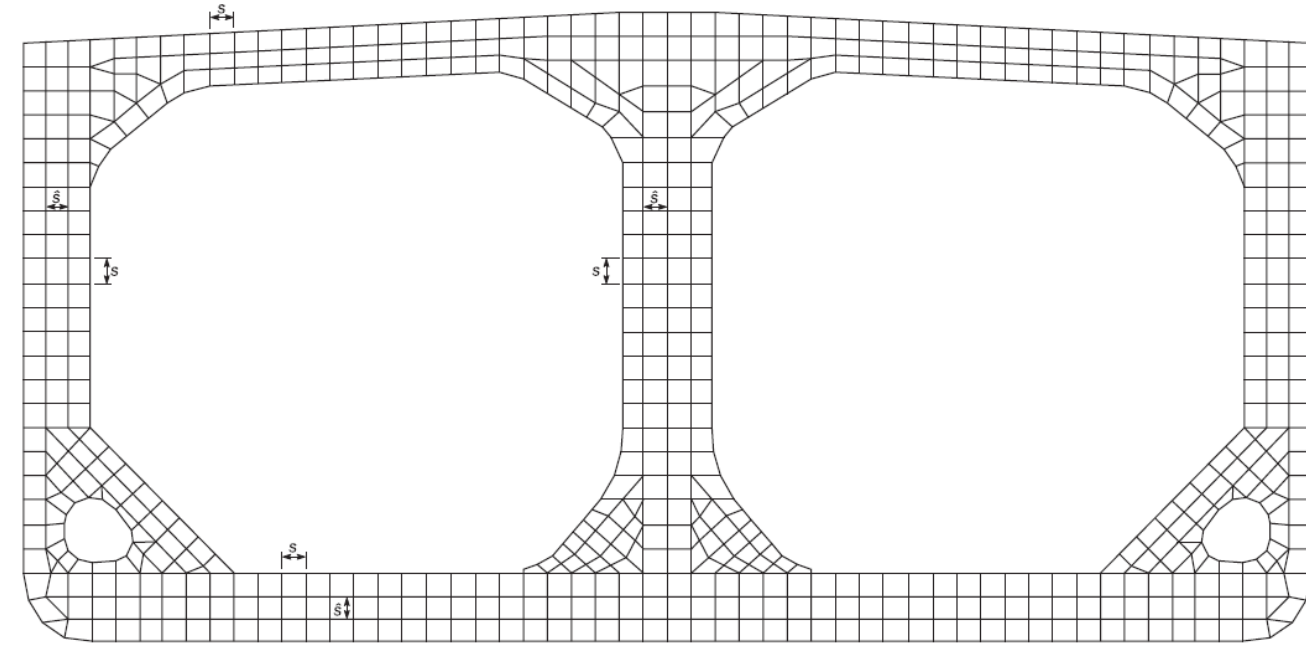
Πρωραίο μοντέλο

Ανάλυση πλέγματος

- Τα χρησιμοποιούμενα στοιχεία δεν θα πρέπει να έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από την ισαπόσταση των διαμήκων ενισχυτικών s .
- Ο λόγος πλευρών των στοιχείων δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 3.
- Σε περιοχές όπου αναμένονται υψηλές τάσεις ο λόγος των πλευρών του στοιχείου θα πρέπει να είναι ένα.
- Η χρήση τριγωνικών στοιχείων θα πρέπει να περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατόν.
- Καθ' ύψος των σταθμίδων και των εδρών του διπυθμένου θα πρέπει να χρησιμοποιούνται τουλάχιστον τρία στοιχεία.
- Στην περιοχή των ανοιγμάτων στα διαφράγματα (webs) το πλέγμα θα πρέπει να γίνεται αρκούντως πυκνό έτσι ώστε να προσεγγίζεται η πολυπλοκότητα της γεωμετρίας του ανοίγματος.
- Τα μικρότερα ανοίγματα των εδρών (ανθρωποθυρίδες) δεν είναι απαραίτητο να μοντελοποιηθούν.

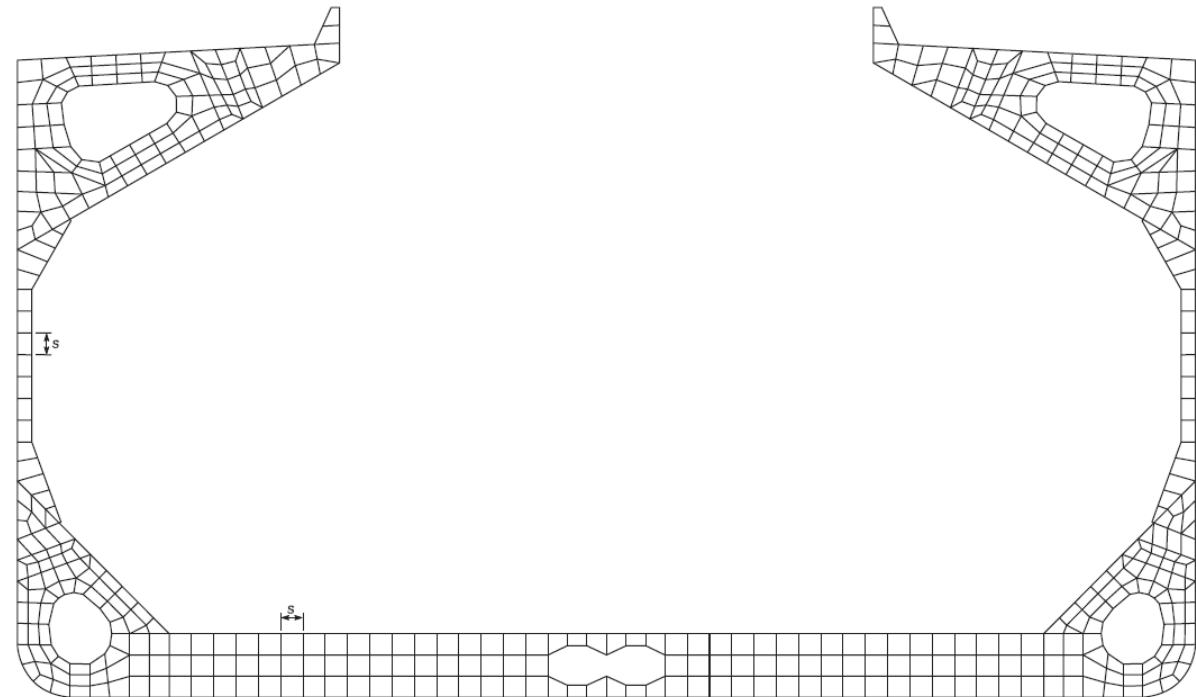
Ανάλυση πλέγματος

- Τα χρησιμοποιούμενα στοιχεία δεν θα πρέπει να έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από την ισαπόσταση των διαμήκων ενισχυτικών s .



Oil Tanker

Bulk Carrier



Μοντελοποίηση ανοιγμάτων

Criteria	Modelling decision	Analysis
$h_o/h < 0.5$ and $g_o < 2.0$	Openings do not need to be modelled	To be evaluated by the screening procedure as given in Ch 7, Sec 3, [3.1.1]
Manholes	The geometry of the opening is to be modelled by removing the adequate elements	To be evaluated by the screening procedure as given in Ch 7, Sec 3, [3.1.1]
$h_o/h \geq 0.5$ or $g_o \geq 2.0$	The geometry of the opening is to be modelled	To be evaluated by fine mesh as given in Ch 7, Sec 3, [2.1.1]

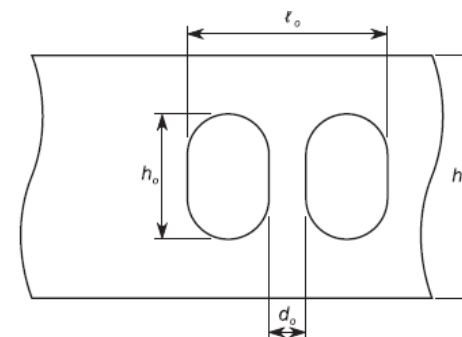
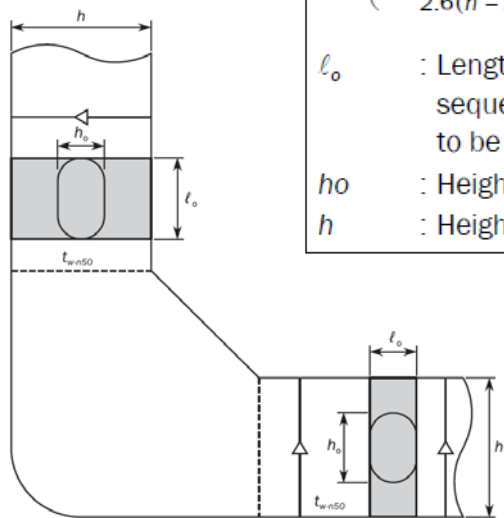
where:

$$g_o = \left(1 + \frac{\ell_o^2}{2.6(h - h_o)^2} \right)$$

ℓ_o : Length of opening parallel to primary supporting member web direction, in m, see Figure 15. For sequential openings where the distance, d_o between openings is less than $0.25 h$, the length ℓ_o is to be taken as the length across openings as shown in Figure 16.

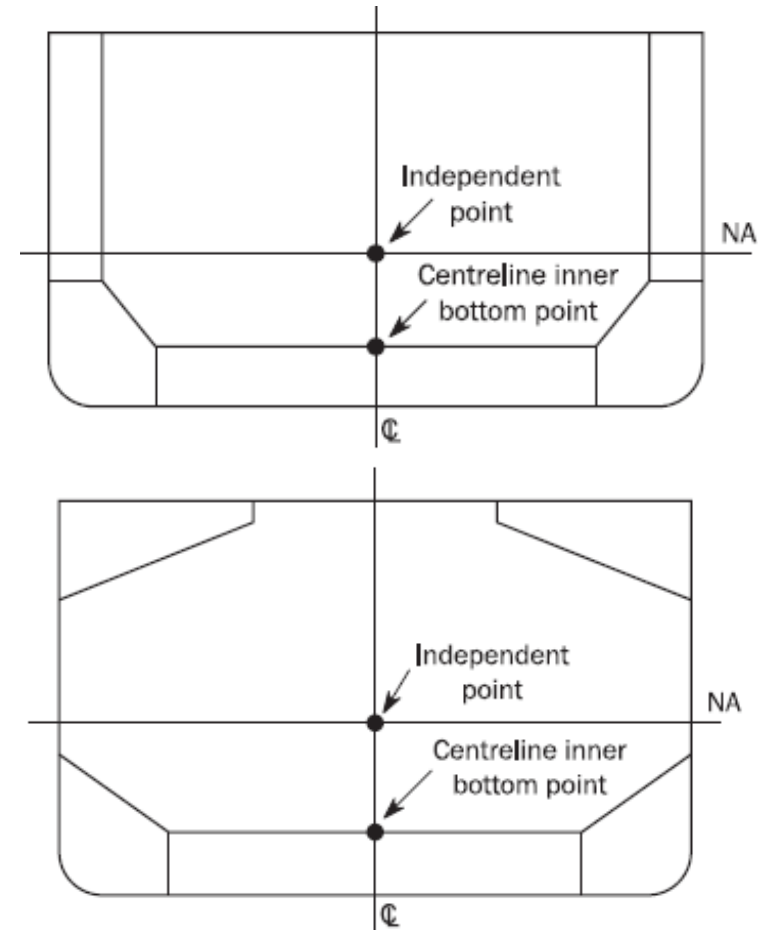
h_o : Height of opening parallel to depth of web, in m, see Figure 15 and Figure 16.

h : Height of web of primary supporting member in way of opening, in m, see Figure 15 and Figure 16.



Οριακές συνθήκες (εκτός του πρωταίου μοντέλου)

Location	Translation			Rotation		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
Aft End						
Independent point	-	Fix	Fix	M_{T-end}	-	-
Cross section	-	Rigid link	Rigid link	Rigid link	-	-
	End beam, see [2.5.4]					
Fore End						
Independent point	-	Fix	Fix	Fix	-	-
Intersection of centreline and inner bottom	Fix	-	-	-	-	-
Cross section	-	Rigid link	Rigid link	Rigid link	-	-
	End beam, see [2.5.4]					
Note 1: [-] means no constraint applied (free).						
Note 2: See Figure 17.						



Οριακές συνθήκες πρωραίου μοντέλου

Location	Translation			Rotation		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
Aft End						
Independent point	-	Fix	Fix	Fix	-	-
Intersection of centreline and inner bottom	Fix	-	-	-	-	-
Cross section	-	Rigid link	Rigid link	Rigid link	-	-
	End beam, see [2.5.4]					
Fore End						
Independent point	-	Fix	Fix	M_{T-end}	-	-
Cross section	-	Rigid link	Rigid link	Rigid link	-	-
<p>Note 1: [-] means no constraint applied (free).</p> <p>Note 2: See Figure 17.</p> <p>Note 3: Boundary constraints in fore end are to be located at the most forward reinforced ring or web frame which remains continuous from the base line to the strength deck.</p>						

Φορτίσεις

- Στα μοντέλα ασκούνται (ταυτόχρονα) οι ακόλουθες κατηγορίες φορτίσεων:
 - Βάρος μεταλλικής κατασκευής (αφού αφαιρεθεί το 50% της προβλεπόμενης φθοράς ελασμάτων και ενισχυτικών) (στατική φόρτιση)
 - Βάρος φορτίου και έρματος (στατική φόρτιση)
 - Εξωτερικές υδροστατικές πιέσεις λόγω θάλασσας (στατική φόρτιση)
 - Εξωτερικές δυναμικές πιέσεις λόγω κυματισμών (δυναμική φόρτιση)
 - Δυναμικά φορτία λόγω της θάλασσας στο κατάστρωμα – green seas (δυναμική φόρτιση)
 - Δυναμικές φορτίσεις λόγω του φορτίου (δυναμική φόρτιση)
 - Δυναμικές φορτίσεις λόγω του έρματος (δυναμική φόρτιση)
- Όλες οι παραπάνω φορτίσεις υπολογίζονται με βάση αντίστοιχες σχέσεις που συμπεριλαμβάνονται στους κανονισμούς.
- Εξετάζονται διάφορες καταστάσεις φόρτωσης που προβλέπονται από τους Κανονισμούς.

Παραδείγματα φορτίσεων

Figure 1 : Hydrostatic pressure, P_s

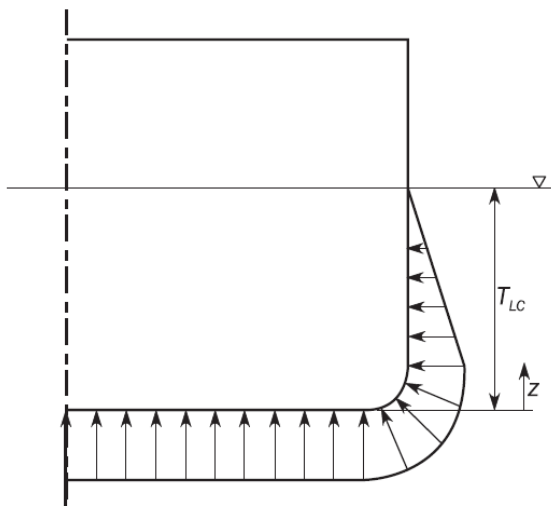
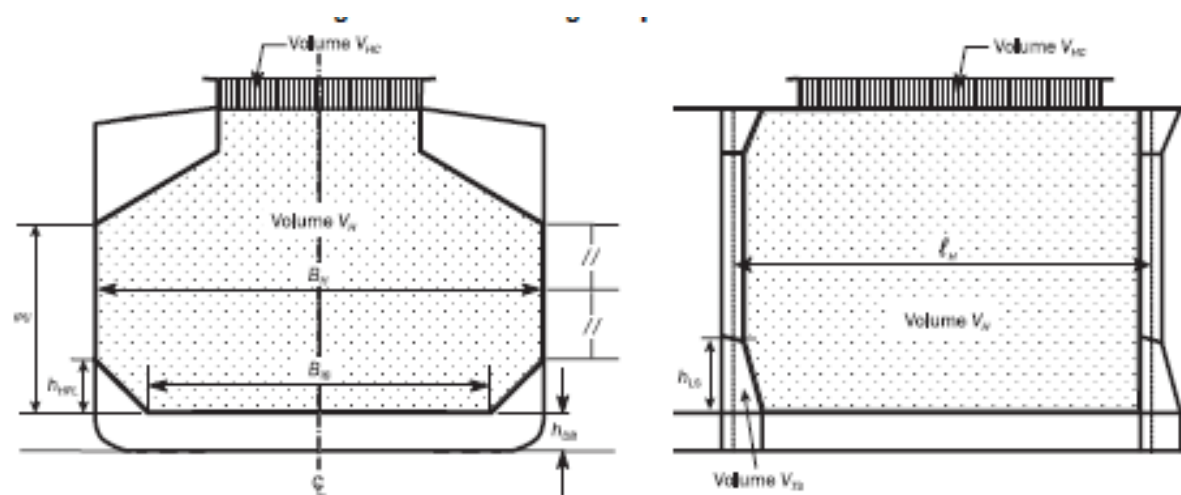
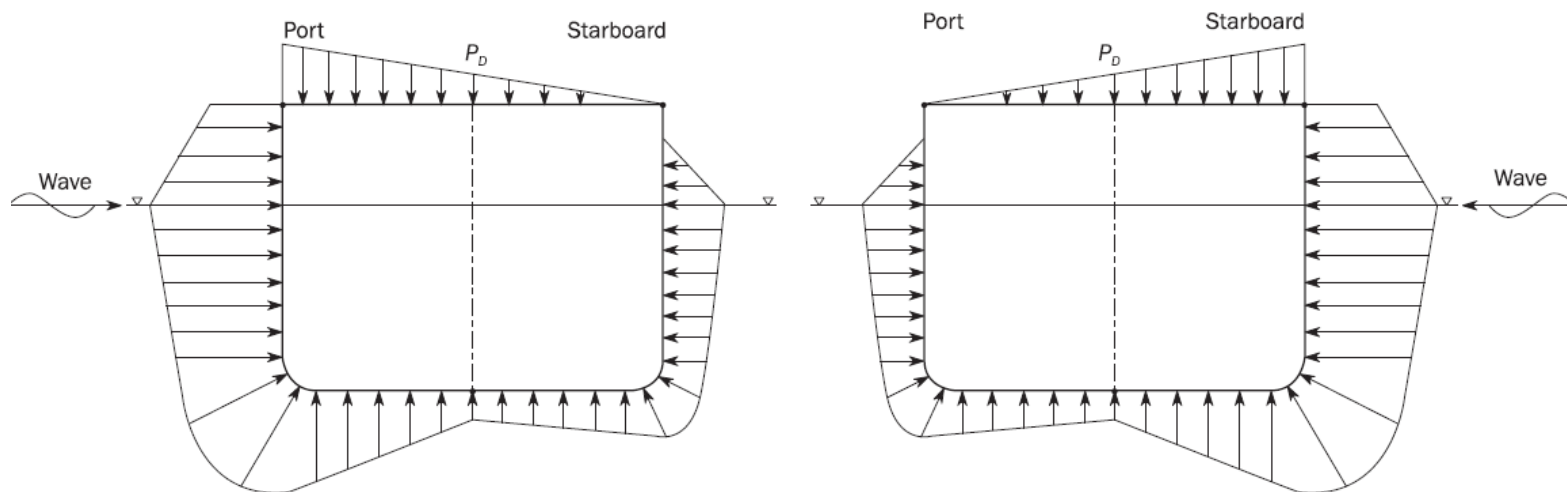


Figure 6 : Transverse distribution of dynamic pressure for BSP-1P (left) and BSP-1S (right) load cases



Παραδείγματα εξεταζομένων καταστάσεων φόρτωσης





Table 2 : Load combinations for FE analysis for two oil-tight bulkheads oil tankers applicable to midship cargo hold region

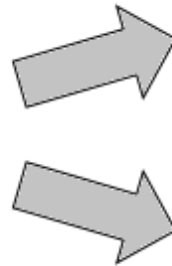
No.	Loading pattern	Still water loads			Dynamic load cases		
		Draught	C_{BM-LC} : % of perm. SWBM	C_{SF-LC} : % of perm. SWSF	Midship cargo region		
Seagoing conditions							
A1		0.9T _{sc}	100% (sagging)	100%	HSM-1	BSP-1P/S	N/A
			100% (hogging)	100%	HSM-2 FSM-2	BSP-1P/S	OST-2P/S OSA-1P/S
A2		0.9T _{sc}	100% (sagging)	100%	HSM-1	BSR-1P/S BSP-1P/S	N/A
			100% (hogging)	100%	HSM-2 FSM-2	BSR-1P/S BSP-1P/S	N/A
A3		0.65T _{sc}	100% (hogging)	100% ⁽⁴⁾ Max SFLC	HSM-2	N/A	N/A
				100% ⁽⁵⁾ Max SFLC	HSM-2	N/A	N/A
				100%	N/A	BSP-1P/S	N/A
			0%	100% ⁽⁶⁾ Max SFLC	HSM-1	N/A	N/A
			100%	N/A	BSP-1P/S	N/A	
A4		0.6T _{sc}	100% (sagging)	100%	HSM-1	BSR-1P/S BSP-1P/S	OSA-2P/S

No.	Description Req ¹ ref	Loading pattern	Aft	Mid	Fore	Draught	C_{BM-LC} : % of perm. SWBM	C_{SF-LC} : % of perm. SWSF	Dynamic load case
11	Alternate load full [4.2.3] items a and c					T _{sc}	100% (hog.)	100% ⁽⁸⁾ Max SFLC	FSM-2 HSM-2
								100% ⁽⁹⁾ Max SFLC	FSM-2 HSM-2
								100%	OST-2P/S
							0%	100%	BSP-1P/S
							100% ⁽¹⁰⁾ Max SFLC	HSM-1	
12 ⁽²⁾ (5) ⁽⁶⁾ (13)	Alt-block load [4.2.3] item d					T _{sc}	100% (hog.)	100%	FSM-2 OST-2P/S
							100% (sag.)	100%	HSM-1 BSP-1P/S OST-1P/S
13 ⁽²⁾ (5) ⁽⁶⁾ (13)	Alt-block load [4.2.3] item d					T _{sc}	100% (hog.)	100%	FSM-2 OST-2P/S
							100% (sag.)	100%	HSM-1 BSP-1P/S OST-1P/S
14 ⁽⁷⁾	Heavy ballast [4.2.4]					T _{BAL-H}	0%	100% ⁽¹⁰⁾ Max SFLC	FSM-2 HSM-2
								100%	BSR-1P/S
							100% (sag.)	100% ⁽⁹⁾ Max SFLC	HSM-1
								100% ⁽⁹⁾ Max SFLC	HSM-1
							100%	BSR-1P/S	
15 ⁽⁷⁾	Heavy ballast [4.2.4]					T _{BAL-H}	0%	100%	BSR-1P/S
							100% (sag.)	100%	BSR-1P/S

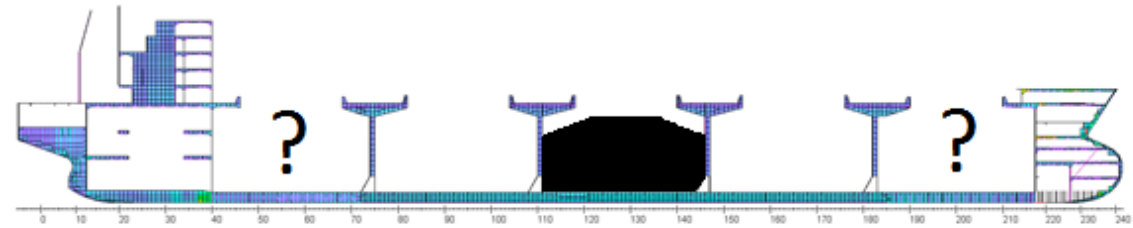
Παράδειγμα φόρτωσης σύμφωνα με τους κανονισμούς

Rule required loading condition

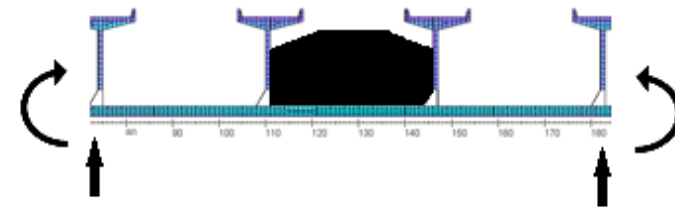
Loading pattern	Aft	Mid	Fore	Draught	$C_{BM\&C}$: % of perm. SWBM
				T_{sc}	100% (hog.)
					0%



Global analysis



Cargo hold analysis



Διορθώσεις Φορτίσεων

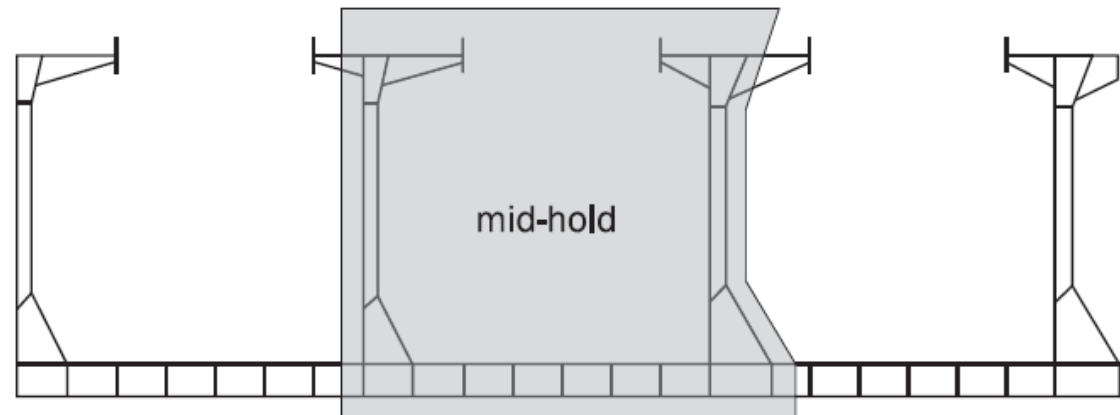
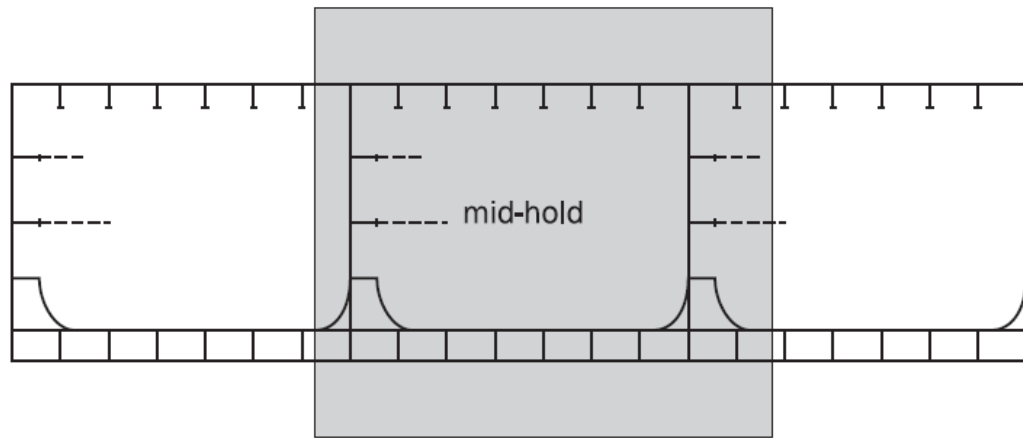
- Επειδή το σύνολο των φορτίσεων που ασκούνται στο μοντέλο δεν ισοδυναμεί απολύτως με τις πραγματικές φορτίσεις που δέχεται το πλοίο ως δοκός (Hull Girder Loads), οι ανωτέρω φορτίσεις που ασκούνται στο μοντέλλο πρέπει να τροποποιηθούν έτσι ώστε να συμπίπτουν με τις φορτίσεις του πλοίου –δοκός.
- Ο έλεγχος γίνεται σε συγκεκριμένες θέσεις κατά το διάμηκες, που ορίζονται από τους κανονισμούς.
- Η διαδικασία διόρθωσης των φορτίσεων προβλέπεται επίσης από τους κανονισμούς.

Διορθώσεις φορτίσεων

- Στο τέλος, μετά την ολοκλήρωση των διορθώσεων οι κάτωθι φορτίσεις πρέπει να ταυτίζονται σε πλοίο και μοντέλο:
 - Κατακόρυφη καμπτική ροπή
 - Διατμητική δύναμη
 - Οριζόντια καμπτική ροπή
 - Στρεπτική ροπή.

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

- Σε κάθε μοντέλο τριών αμπαριών εμπιστευόμαστε και αξιολογούμε τα απότέλεσματα στην κεντρική περιοχή (βλ. Σχήμα)



Κατασκευαστικά στοιχεία που ελέγχονται

- All hull girder longitudinal structural members,
- All primary supporting structural members and bulkheads within the mid-hold,
- All structural members being part of the transverse bulkheads, such as:
 - For oil tanker: stringer, buttress structure, stool tanks, partial girders together with attached transverse structures,
 - For bulk carrier: stool tanks together with connected longitudinal girders and double bottom floors,
- All structural members being part of the collision bulkhead, and extending to one web frame spacing forward of the collision bulkhead,
- All structural members being part of the forward transverse bulkhead of the machinery space and all hull girder longitudinal structural members aft of this transverse bulkhead within the extent of 15% of the aftmost cargo hold length excluding slop tanks.

Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έναντι διαρροής

Συντελεστής χρήσης έναντι διαρροής (Yield Usage Factor)

$$\lambda_y \leq \lambda_{yperm}$$

Table 10 : Coarse mesh permissible yield utilisation factor

Structural component	Coarse mesh permissible yield utilisation factor, λ_{yperm}
Plating of all longitudinal hull girder structural members, primary supporting structural members and bulkheads.	1.0 (load combination S+D)
Face plate of primary supporting members modelled using shell or rod elements.	0.8 (load combination S)
Dummy rod of corrugated bulkhead	
Corrugation of vertically corrugated bulkheads with lower stool and horizontally corrugated bulkhead, under lateral pressure from liquid loads, for shell elements only.	0.90 (load combination S+D)
Supporting structure in way of lower end of corrugated bulkheads without lower stool ⁽¹⁾ .	0.72 (load combination S)
Corrugation of vertically corrugated bulkheads without lower stool under lateral pressure from liquid loads and without lower stool, for shell elements only.	0.81 (load combination S+D) 0.65 (load combination S)
(1) Supporting structure for a transverse corrugated bulkhead refers to the structure in the longitudinal direction within half a web frame space forward and aft of the bulkhead, and within a vertical extent equal to the corrugation depth. Supporting structure for a longitudinal corrugated bulkhead refers to the structure in transverse direction within 3 longitudinal stiffener spacings from each side of the bulkhead, and within a vertical extent equal to the corrugation depth.	

$$\lambda_y = \frac{\sigma_{vm}}{R_Y} \text{ for shell elements in general.}$$

$$\lambda_y = \frac{|\sigma_{axial}|}{R_Y} \text{ for rod or beam elements in general.}$$

σ_{vm} : Von Mises stress, in N/mm².

σ_{axial} : Axial stress in rod or beam element, in N/mm².

λ_{yperm} : Coarse mesh permissible yield utilisation factors defined in Table 10.

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

where:

σ_x, σ_y : Element normal membrane stresses, in N/mm².

τ_{xy} : Element shear stress, in N/mm².

Yield usage factor on bulkheads-Example

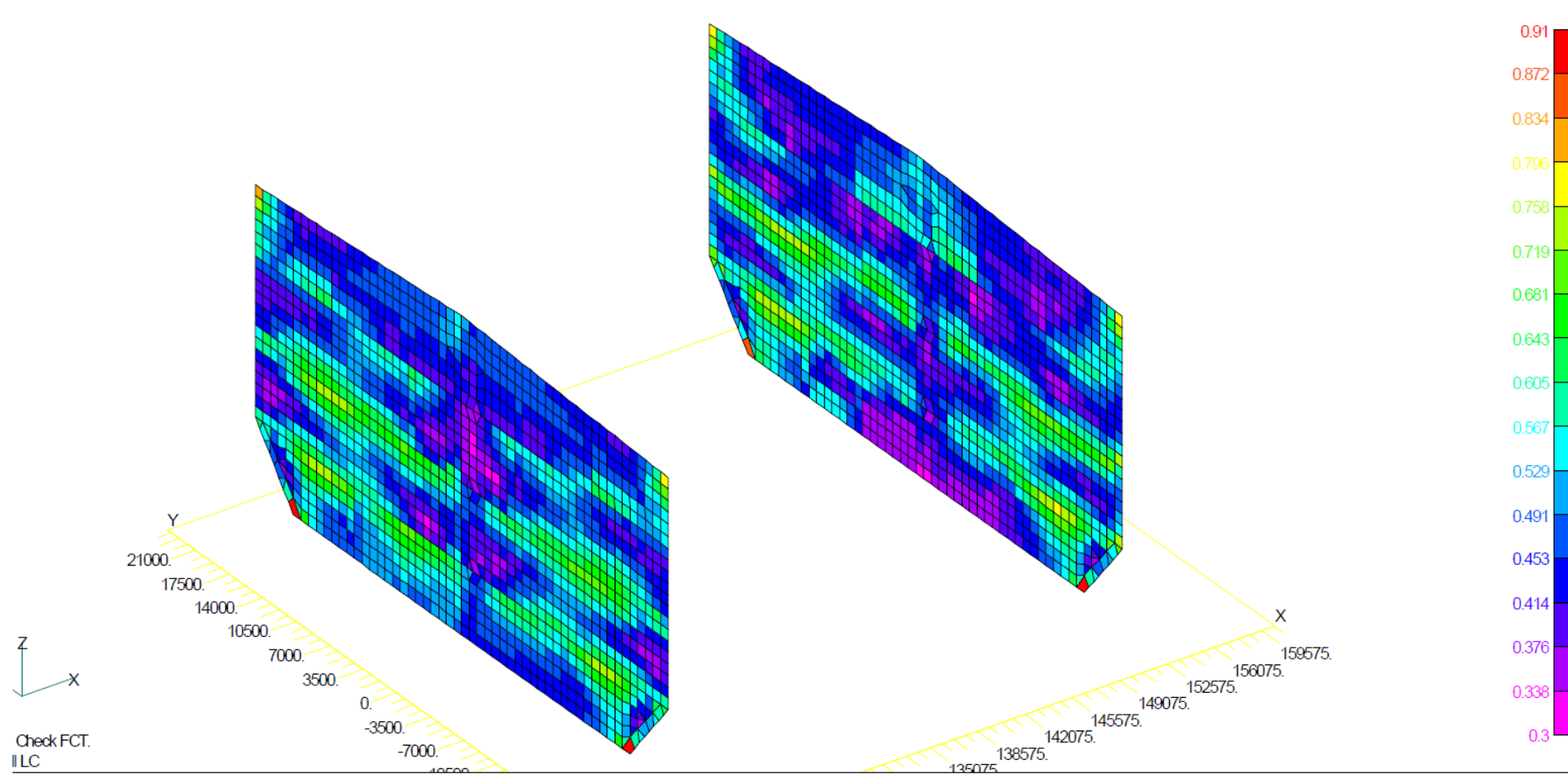


Figure B.6.1.2 Global FE results – Bulkhead Yielding Utilisation

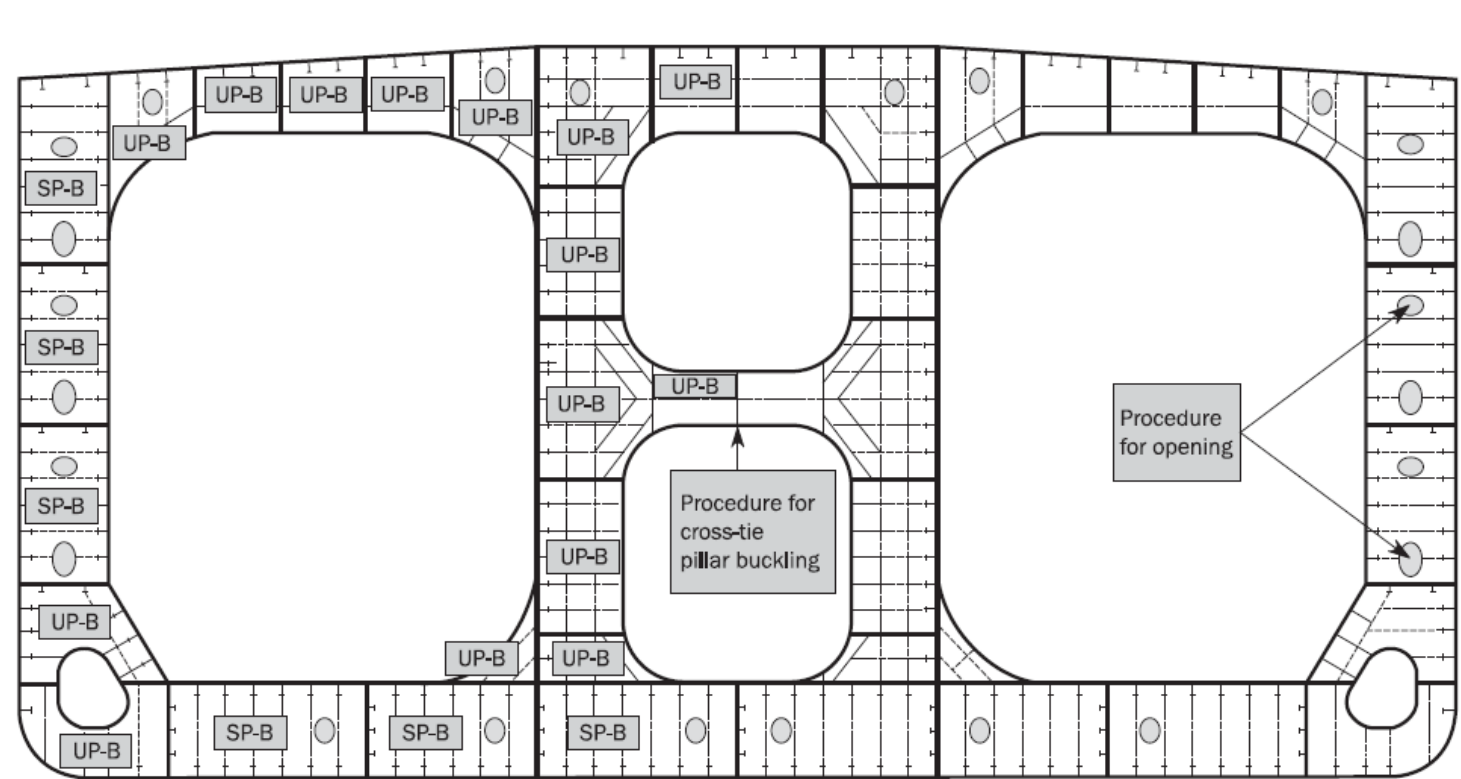
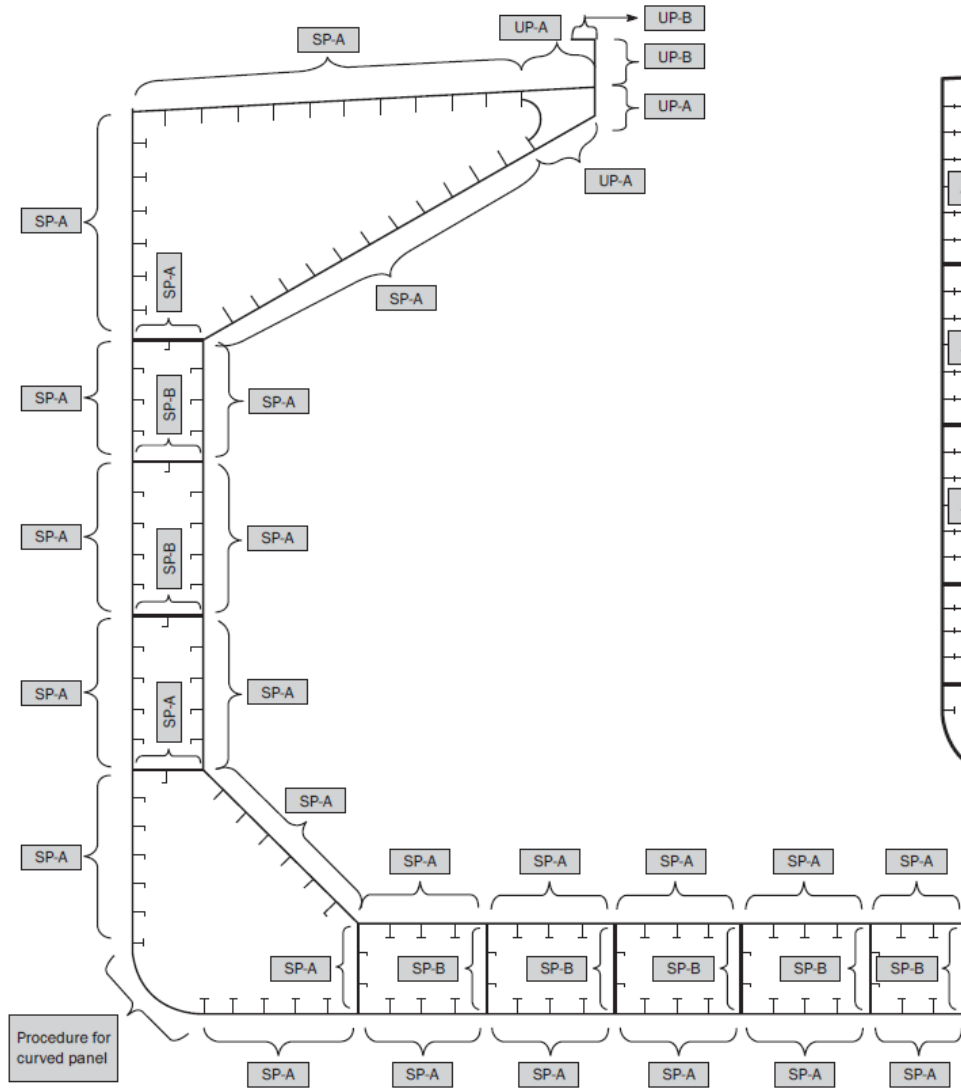
Έλεγχος σε λυγισμό

- Το μοντέλο των πεπερασμένων στοιχείων και τα αποτελέσματα που προέκυψαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τον έλεγχο της μεταλλικής κατασκευής σε λυγισμό.
- Σύμφωνα με τους Κανονισμούς τα ακόλουθα κατασκευαστικά στοιχεία πρέπει να ελέγχονται σε λυγισμό:
 - Ενισχυμένα και μη ενισχυμένα ελάσματα
 - Ενισχυτικά
 - Κολώνες
 - Πτυχωτές φρακτες
- Κάθε κατηγορία στοιχείο ελέγχεται με διαφορετικά κριτήρια π.χ. SP-A, SP-B, UP-A, UP-B κλπ
- Όλα τα κριτήρια διατυπώνονται στη μορφή:

$$\eta < \eta_{\text{επιτρ.}}$$

Όπου η ο συντελεστής χρήσης έναντι λυγισμού (buckling usage factor)

Έλεγχος σε λυγισμό



Έλεγχος σε λυγισμό της φρακτής

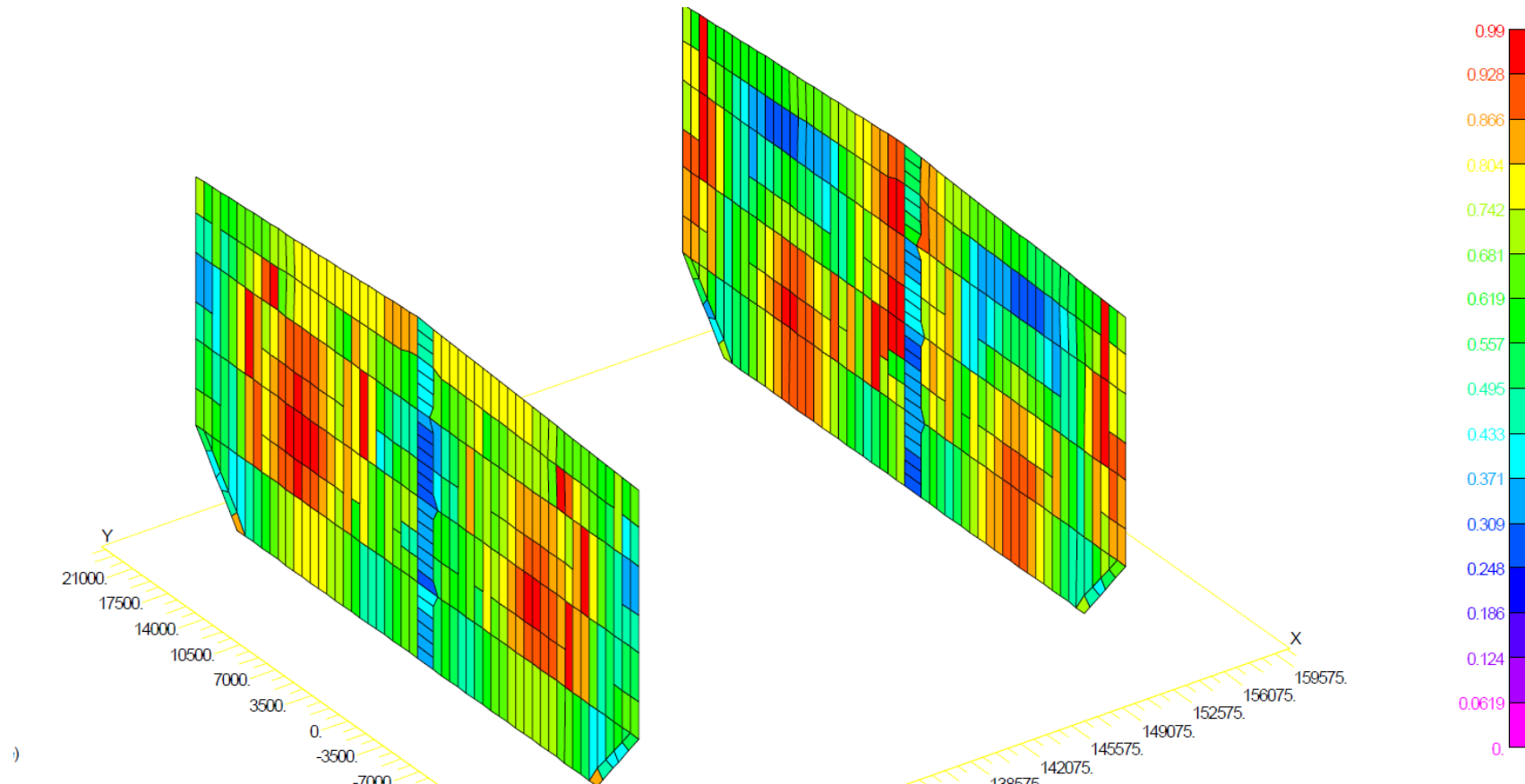
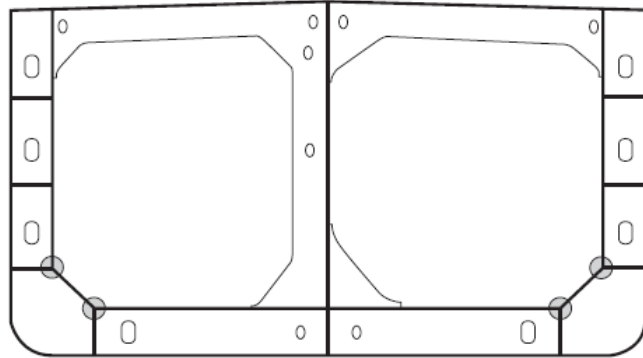
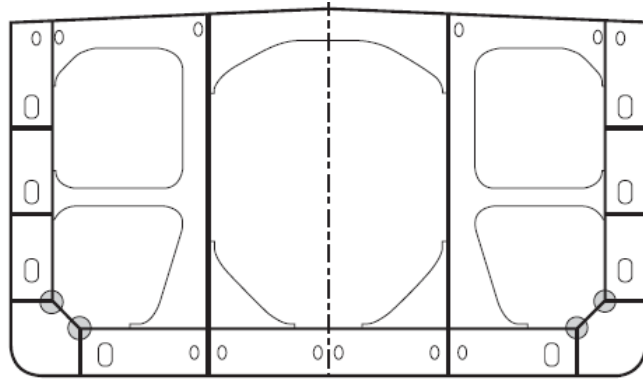


Figure B.6.1.4 Global FE results – Bulkhead Buckling Utilisation

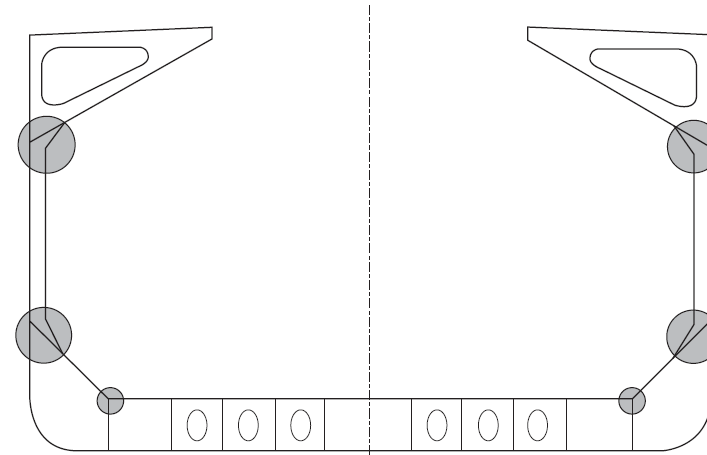
Στοιχεία που υποβάλλονται στον Νηογνώμονα

- a) List of plans used including dates and versions.
- b) Detailed description of structural modelling including all modelling assumptions and any deviations in geometry and arrangement of structure compared with plans.
- c) Plots to demonstrate correct structural modelling and assigned properties.
- d) Details of material properties, plate thickness, beam properties used in the model.
- e) Details of boundary conditions.
- f) Details of all loading conditions reviewed with calculated hull girder shear force, bending moment and torsional moment distributions.
- g) Details of applied loads and confirmation that individual and total applied loads are correct.
- h) Plots and results that demonstrate the correct behaviour of the structural model under the applied loads.
- i) Summaries and plots of global and local deflections.
- j) Summaries and sufficient plots of stresses to demonstrate that the design criteria are not exceeded in any member.
- k) Plate and stiffened panel buckling analysis and results.
- l) Tabulated results showing compliance, or otherwise, with the design criteria.
- m) Proposed amendments to structure where necessary, including revised assessment of stresses, buckling and fatigue properties showing compliance with design criteria.
- n) Reference of the finite element computer program, including its version and date.

Λεπτομερής ανάλυση με ΠΣ – Περιοχές υποχρεωτικής εφαρμογής

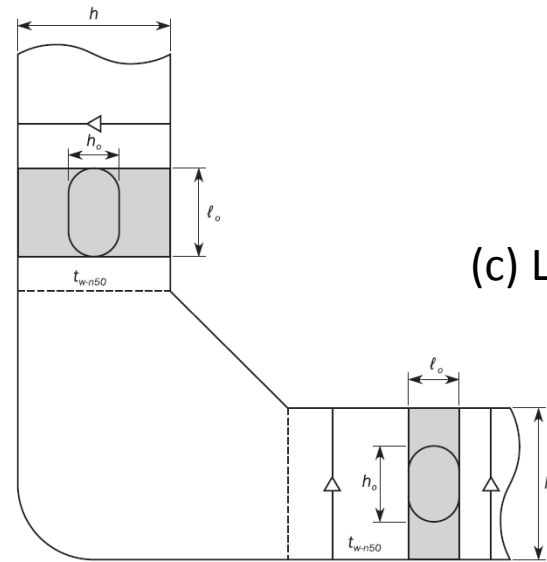


(a) Hopper knuckles



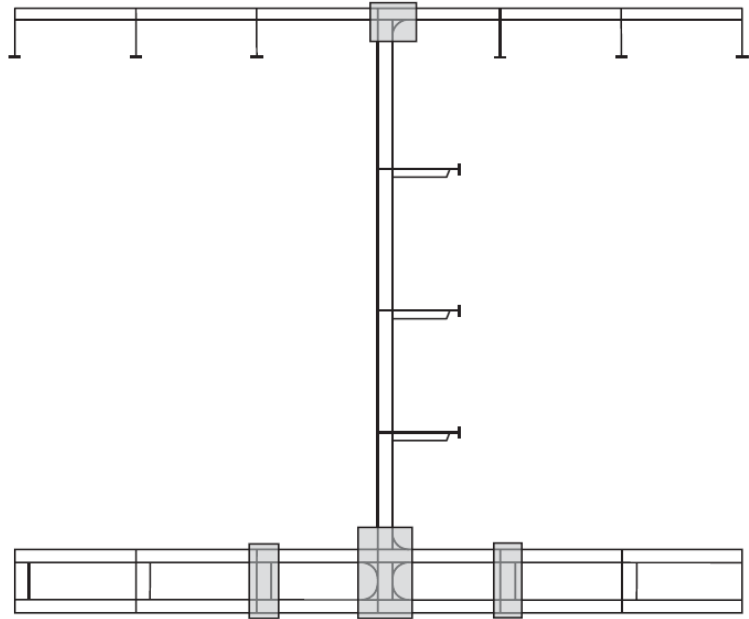
● Fine mesh analyses of lower hopper knuckle, lower and upper end bracket of side frame are required for typical web frame of single side skin bulk carrier.

(b) Side frame end brackets

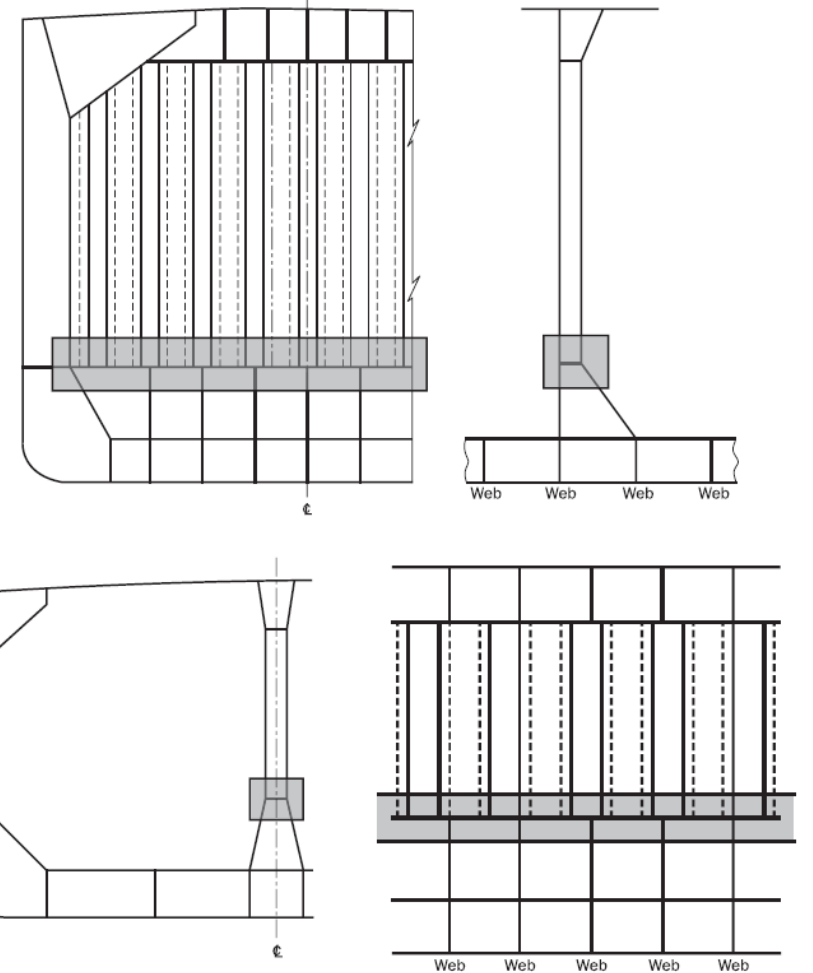


(c) Large openings

Λεπτομερής ανάλυση με ΠΣ – Περιοχές υποχρεωτικής εφαρμογής



(d) Connections of deck and double bottom longitudinal stiffeners to transverse bulkhead



(e) Connections of corrugated bulkhead to adjoining structure

Λεπτομερής ανάλυση με ΠΣ – Περιοχές υποχρεωτικής εφαρμογής

Για κάθε μια από τις αναφερθείσες κατασκευαστικές λεπτομέρειες απαιτείται η κατασκευή ενός λεπτομερούς μοντέλου σε κάθε ένα από τα μοντέλα τριών αμπαριών. Η ακριβής θέση του λεπτομερούς μοντέλου εντός του μεγαλύτερου μοντέλου γίνεται με κριτήρια που εμπεριέχονται στους Κανονισμούς. Συνήθως επιλέγονται περιοχές όπου το μεγάλο μοντέλο έδειξε ότι αναπτύσσονται μεγάλες τάσεις.

Επιπλέον των ανωτέρω λεπτομερών μοντέλων οι Κανονισμοί απαιτούν και την κατασκευή λεπτομερούς μοντέλου και σε εκείνες τις περιοχές όπου δεν ικανοποιούνται τα screening criteria.

Screening criteria



$$\lambda_{sc} \leq \lambda_{scperm}$$

where:

λ_{sc} : Screening factor defined in [3.3.1]

λ_{scperm} : Permissible screening factor defined in [3.3.1]

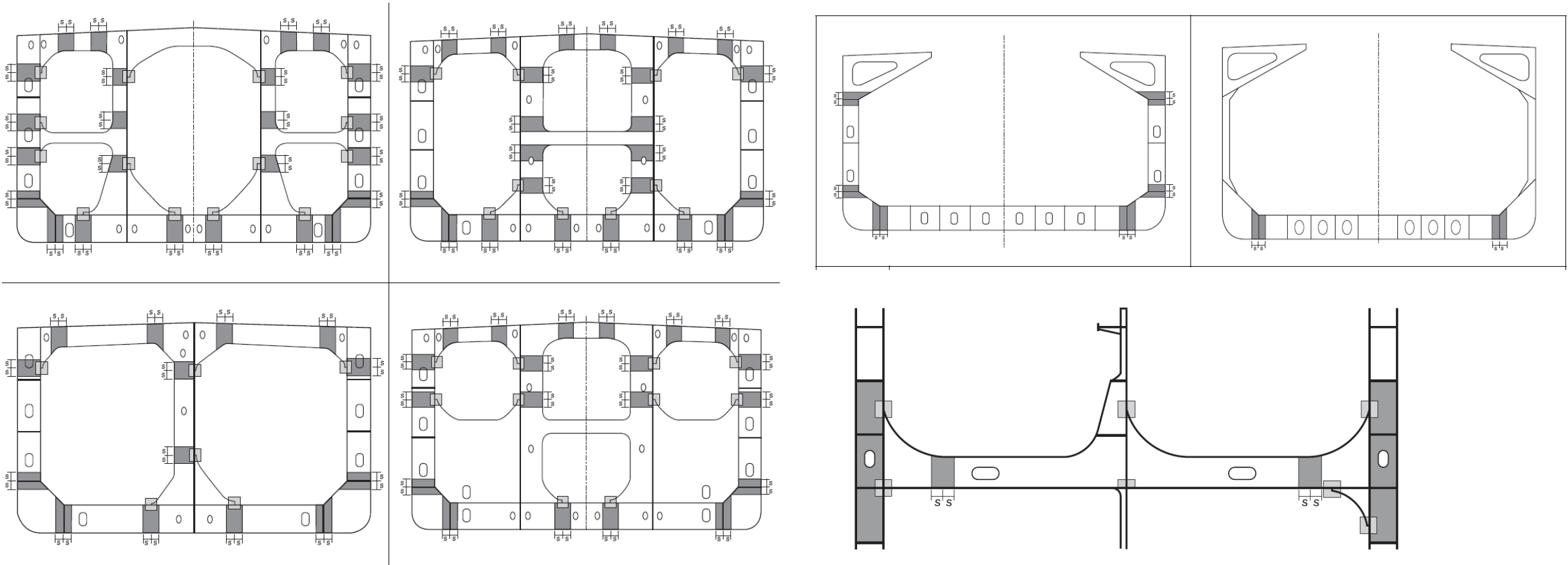


(υπολογίζεται συναρτήσει των τάσεων που υπολογίσθηκαν στο μεγάλο μοντέλο)

(η τιμή του ορίζεται για την κάθε περίπτωση στους κανονισμούς)

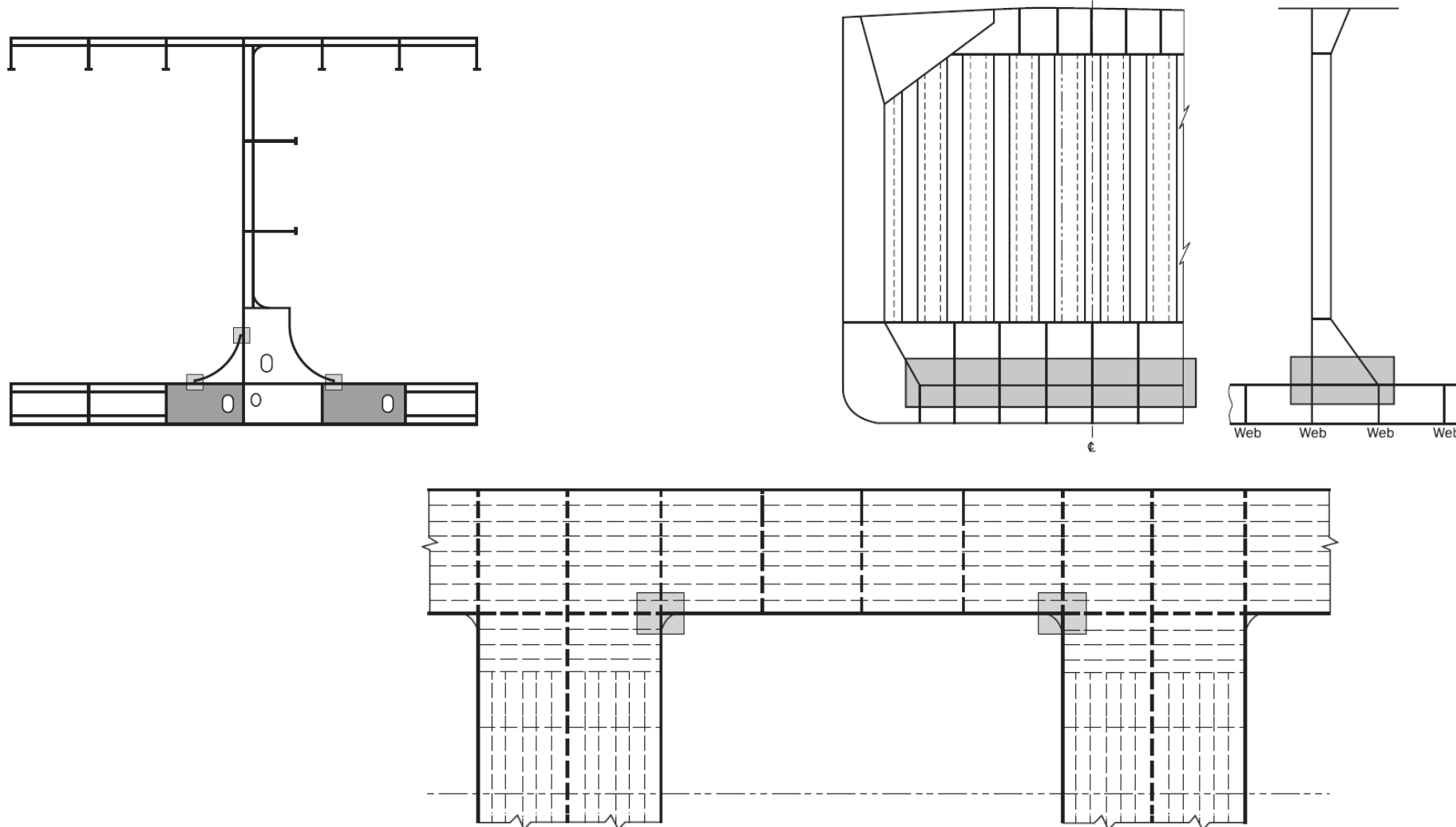
Λεπτομερής ανάλυση με ΠΣ – Περιοχές υποχρεωτικής εφαρμογής

- Περιοχές όπου εφαρμόζονται τα screening criteria



Λεπτομερής ανάλυση με ΠΣ – Περιοχές υποχρεωτικής εφαρμογής

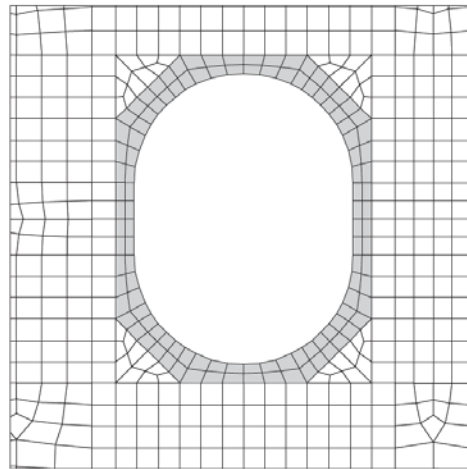
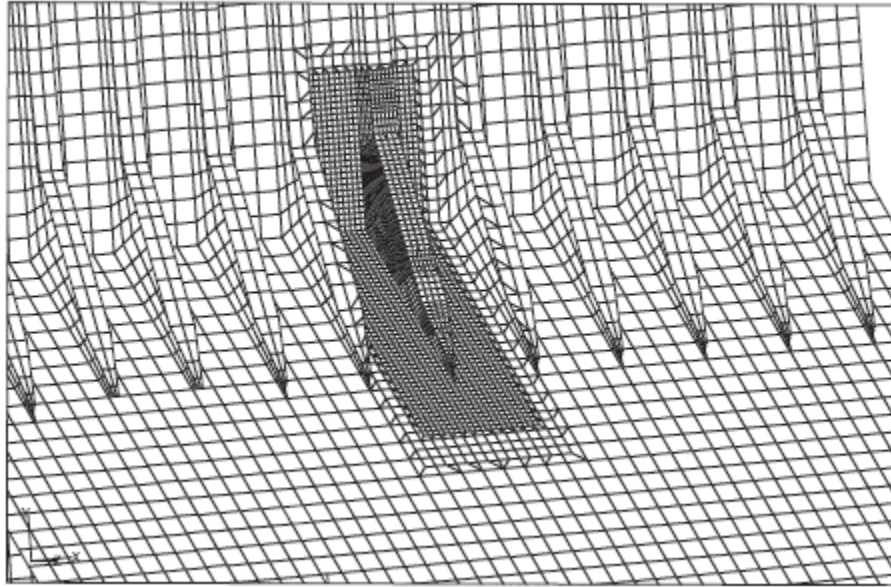
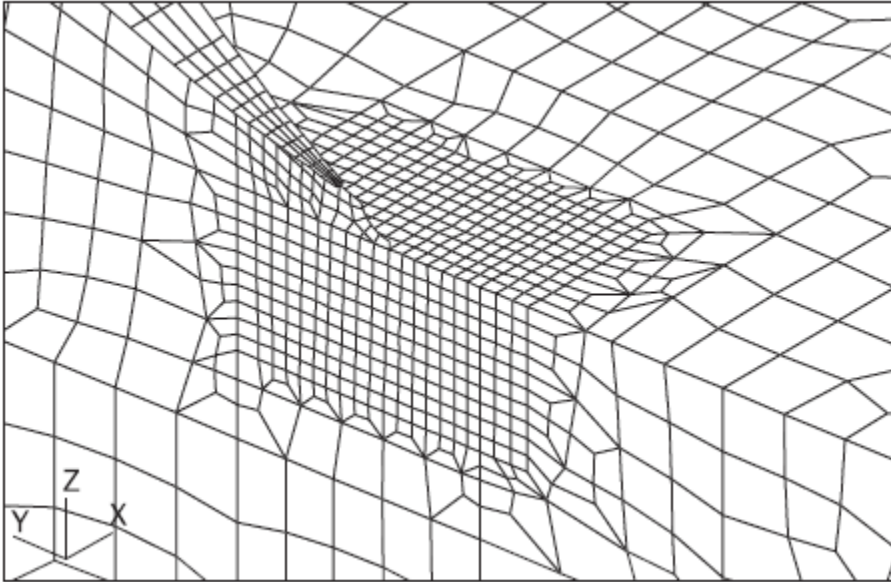
- Περιοχές όπου εφαρμόζονται τα screening criteria



Λεπτομερής ανάλυση με ΠΣ – Κατασκευή μοντέλου

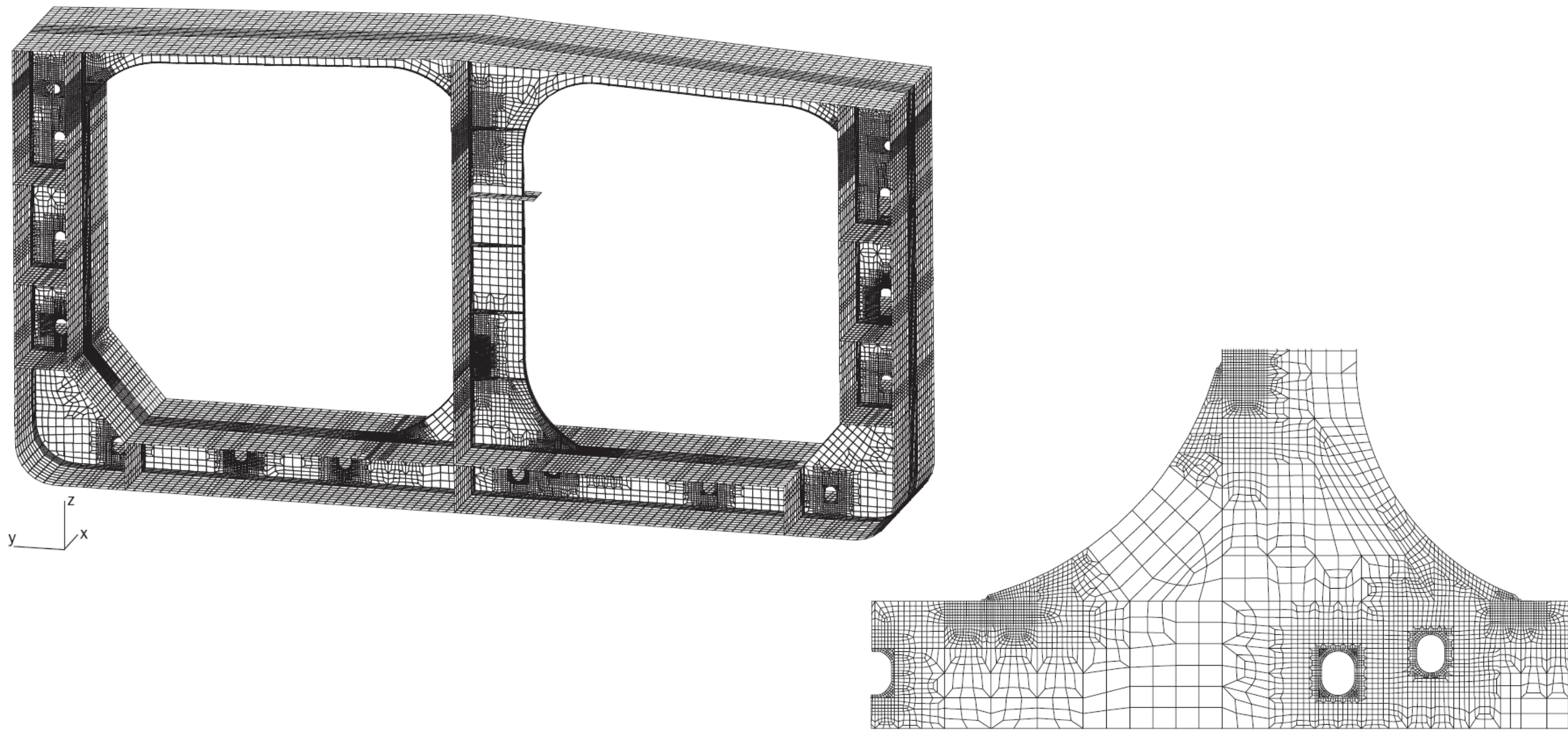
- Για κάθε κατασκευαστική λεπτομέρεια μπορεί είτε να κατασκευαστεί ξεχωριστό μοντέλο ή να επιλεγεί η αντίστοιχη περιοχή από το μεγάλο μοντέλο όπου γίνεται η απαραίτητη τοπική πύκνωση του πλέγματος.
- Η μέγιστη ανάλυση του πλέγματος στα λεπτομερή μοντέλα θα πρέπει να είναι 50mm x 50mm.
- Το λεπτομερές μοντέλο θα πρέπει να έχει τουλάχιστον 10 στοιχεία προς κάθε κατεύθυνση.
- Η μετάβαση από το αραιό πλέγμα στο πυκνό θα πρέπει να γίνεται ομαλά (transition zone).
- Εντός της περιοχής πυκνού πλέγματος θα πρέπει να χρησιμοποιούνται διδιάστατα στοιχεία (shell elements).
- Εντός της περιοχής πυκνού πλέγματος θα πρέπει να χρησιμοποιούνται στοιχεία με λόγο διαστάσεων μικρότερο από 3, και κατά προτίμηση 1. Η χρήση τριγωνικών στοιχείων θα πρέπει να αποφεύγεται.

Λεπτομερής ανάλυση με ΠΣ – Κατασκευή μοντέλου

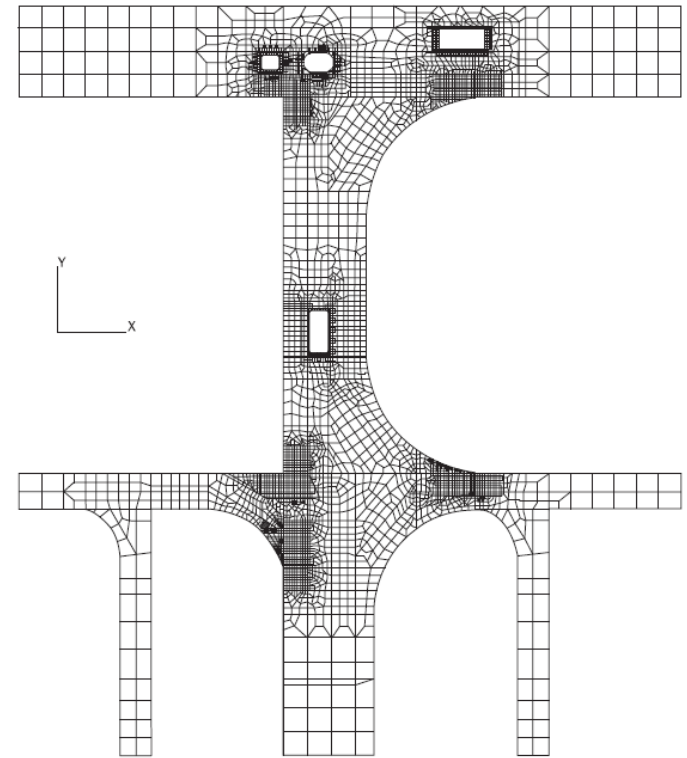
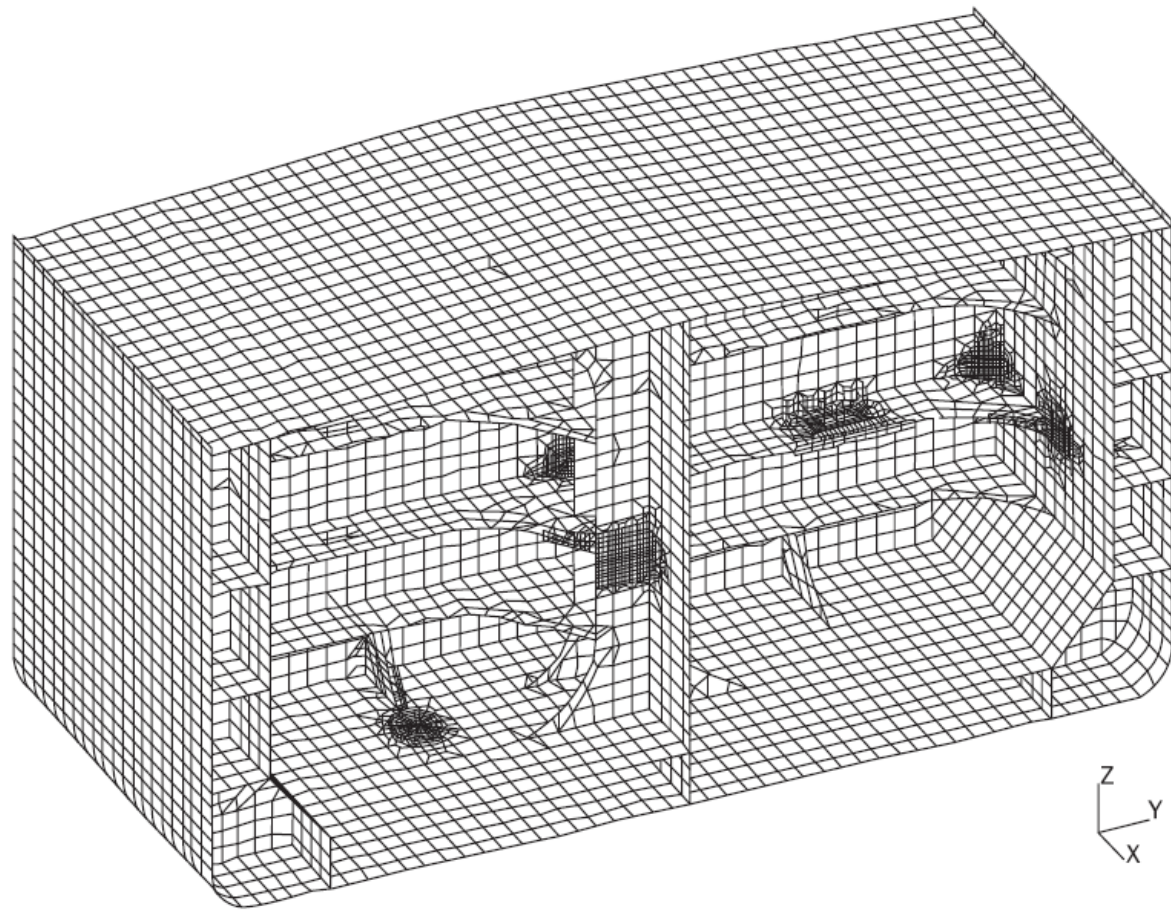


Fine mesh zone:
Element size $\leq 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$

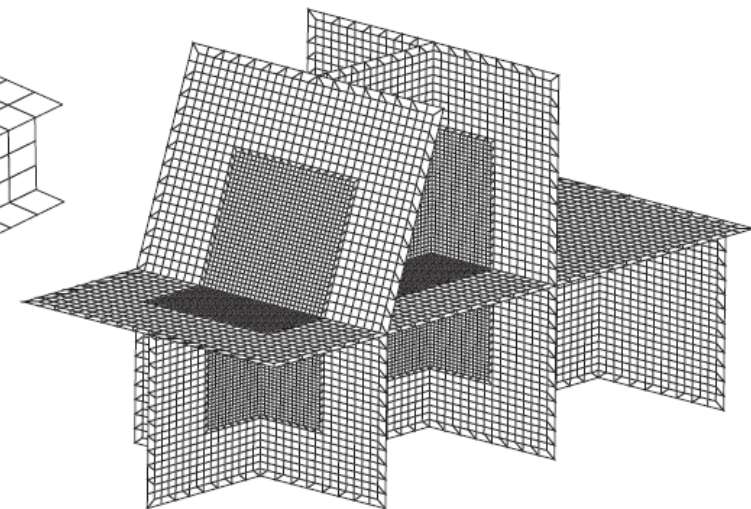
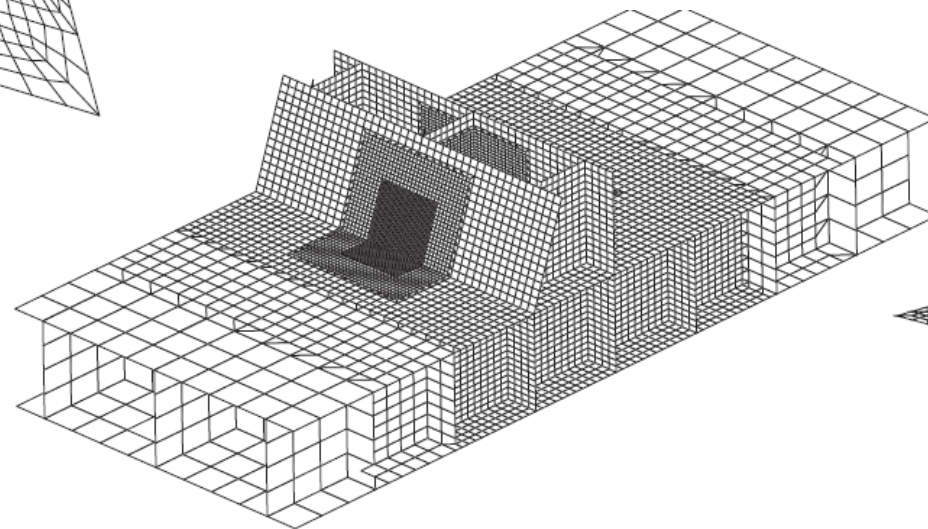
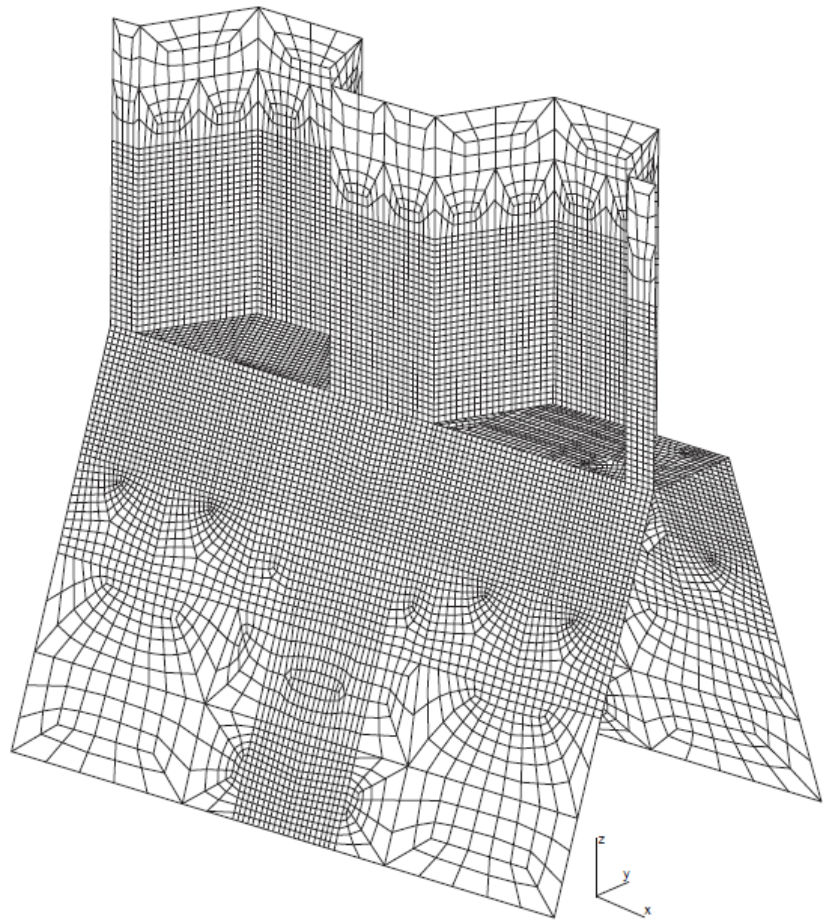
Λεπτομερής ανάλυση με ΠΣ – Κατασκευή μοντέλου



Λεπτομερής ανάλυση με ΠΣ – Κατασκευή μοντέλου



Λεπτομερής ανάλυση με ΠΣ – Κατασκευή μοντέλου



Λεπτομερής ανάλυση με ΠΣ – Κριτήρια αποδοχής

$$\lambda_f \leq \lambda_{fperm}$$

$$\lambda_f = \frac{\sigma_{vm}}{R_Y} \quad (\text{utilization factor})$$

λ_{fperm} : Permissible fine mesh utilisation factor, taken as:

Σε περίπτωση πολύ λεπτού πλέγματος ο Κανονισμός επιτρέπει τη θεώρηση του μέσου όρου της τάσης Von-Mises σε περισσότερα στοιχεία.

$$\sigma_{vm-av} = \frac{\sum_1^n A_i \sigma_{vm-i}}{\sum_1^n A_i}$$

f_f : Fatigue factor, taken as:

- $f_f = 1.0$ in general,
- $f_f = 1.2$ for details assessed by very fine mesh analysis complying with the fatigue assessment criteria given in Ch 9, Sec 2.

• Element not adjacent to weld:

- $\lambda_{fperm} = 1.70 f_f$ for S+D
- $\lambda_{fperm} = 1.36 f_f$ for S

• Element adjacent to weld:

- $\lambda_{fperm} = 1.50 f_f$ for S+D
- $\lambda_{fperm} = 1.20 f_f$ for S