



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΑΡΤΩΜΕΝΟΥ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ LNG



Διπλωματική Εργασία
Αλεξανδρή Παρασκευή

ΕΜΚ ΔΕ 2017 33

Επιβλέπων : Καθηγητής Χάρης Γαντές
Αθήνα, Νοέμβριος 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΑΡΤΩΜΕΝΟΥ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ LNG



Διπλωματική Εργασία
Αλεξανδρή Παρασκευή

ΕΜΚ ΔΕ 2017 33

Επιβλέπων : Καθηγητής Χάρης Γαντές
Αθήνα, Νοέμβριος 2017

Copyright © Αλεξανδρή Παρασκευή, 2017
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια της συγγραφέως. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τη συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων της συγγραφέως (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Alexandri Paraskevi, 2017
All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

Αλεξανδρή Παρασκευή (2017)
Σχεδιασμός Αναρτώμενου Καταστρώματος Δεξαμενής LNG
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2017 33
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Alexandri Paraskevi (2017)
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2017 33
Design of Suspended Deck of LNG Tank
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Ευχαριστίες

Με τη διπλωματική αυτή ολοκληρώνω επίσημα τον κύκλο των προπτυχιακών σπουδών μου. Ως εκ τούτου θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη αγάπη και υπομονή που μου προσέφεραν καθ' όλα τα χρόνια της φοίτησης μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή του Ε.Μ.Π. κύριο Χάρη Γαντέ για τη συνεχή υποστήριξη και καθοδήγηση του σε όλη την πορεία της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες Στέλιο Βερνάρδο και Ηλία Θανάσουλα που με διευκόλυναν με τις γνώσεις τους με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ADINA καθώς και τους συμφοιτητές μου για την άριστη συνεργασία μου μαζί τους καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου.

Αλεξανδρή Παρασκευή

Αθήνα

Νοέμβριος 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2017 33

Σχεδιασμός Αναρτώμενου Καταστώματος Δεξαμενής LNG

ΑΛΕΞΑΝΔΡΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

Επιβλέπων: Καθηγητής Χάρης Γαντές

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2017

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τη μελέτη και διαστασιολόγηση του αναρτώμενου καταστώματος της δεξαμενής Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (ΥΦΑ). Το αναρτώμενο κατάστρωμα είναι η οροφή της εσωτερικής δεξαμενής ΥΦΑ. Παρουσιάζεται η διαδικασία μελέτης και σχεδιασμού με βάση τους Ευρωκώδικες και τα αποτελέσματα που προκύπτουν μέσω του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων ADINA.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο φυσικό αέριο και τις ιδιότητες του, στο υγροποιημένο φυσικό αέριο, το λόγο υγροποίησης του, τις εγκαταστάσεις μεταφοράς και αποθήκευσης του. Ακόμη, αναφέρονται τα είδη των δεξαμενών αποθήκευσης και αναλύονται τα μέρη της δεξαμενής λεπτομερειακά καθώς και ο τρόπος σύνδεσής τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στους κανονισμούς που υπάρχουν για την περιοχή εγκατάστασης, την κλιματολογία, τα σεισμικά χαρακτηριστικά και γενικά το περιβάλλον. Αναφέρονται οι πιθανοί κίνδυνοι που μπορεί να αντιμετωπιστούν, οι συνέπειες και τα μέτρα προστασίας που πρέπει να ληφθούν πριν και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της δεξαμενής.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται με λεπτομέρεια τα χαρακτηριστικά του αναρτώμενου καταστώματος σύμφωνα με τους κανονισμούς, τα δοκάρια, οι διατομές, οι συνδέσεις το χαλυβδόφυλλο, οι φορτίσεις που θα γίνουν, οι συνδυασμοί φόρτισης, ο τρόπος φόρτισης του φορέα καθώς και οι έλεγχοι που θα γίνουν. Ακόμη αναφέρεται η διαφραγματική συμπεριφορά του καταστώματος στο σεισμό και η συστολή που υφίσταται λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής που δε λαμβάνεται υπόψιν στους συνδυασμούς φόρτισης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την ανάλυση για κάθε συνδυασμό φόρτισης. Αρχικά παρατίθενται τα αποτελέσματα από τη φάση κατασκευής των συνδυασμών Οριακής Κατάστασης Αστοχίας (ΟΚΑ). Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μέσω διαγραμμάτων στη φάση λειτουργίας από τους συνδυασμούς ΟΚΑ και ΟΚΛ (Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας). Διεξάγονται αναλύσεις για το σεισμό ΟΒΕ και SSE αρχικά στατικά και στη συνέχεια με φασματική ανάλυση και γίνεται σύγκριση των

αποτελεσμάτων. Οι αναλύσεις για το σεισμό, λαμβάνουν υπόψιν τους και τις τρεις διευθύνσεις, δηλαδή οι συνδυασμοί είναι αρχικά με κύρια διεύθυνση τη Χ, στη συνέχεια την Υ και τέλος τη Ζ. Οι έλεγχοι διεξάγονται για το δυσμενέστερο συνδυασμό. Στη συνέχεια αφού το καταστρώμα υποβάλλεται σε θερμοκρασιακή μεταβολή, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μόνο από αυτή τη διαφορά θερμοκρασίας για να γίνει φανερό το μέγεθος των εντατικών μεγεθών στο φορέα.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES

DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2017 33

Design of Suspended Deck of LNG tank

Alexandri Paraskevi

Supervisor: Professor Charis Gantes
November, 2017

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the study and the dimensions of the suspended deck of the tank which stores the Liquefied Natural Gas (LNG). Essentially, the suspended deck is the roof of the internal tank of LNG. The process of study and design is presented which is based on Eurocodes and the results which are arised of the program of finite elements which is called ADINA.

In the first chapter, the study is refered to the natural gas and its qualities, to the liquefied natural gas, the reason of liquafaction, the facilities of transport and storage. Also, in the study the types of the storage tank is included and the different components of the tank and their connection is analysed with details.

In the second chapter, the study is refered to the rules that exist in the location of installation, the climatology of the location, the seismic characteristics and generally information about the environment. In the text are presented the contingent dangers that may be faced, the consequences and the steps of protection that should be taken in order to face these difficulties before or during the operation of the tank.

In the third chapter the characteristics of the suspended deck are described with details, the characteristics of the rafters, the tee section, the connections with frame and sheeting, the loading that the deck is carried, the combinations of loading, the way that loads are allocated to the frame and the cheque that should be taken according to the rules. Also, the diaphragm action of the suspended deck in seismic conditions is refered, the contraction that the deck faces during cooling and the difference of temperature that provoke this contraction which has no stress and strain as results.

In the forth chapter, the results of the analysis of each combination of loading are presented. Initially, the results of the phase of construction of the combination of Ultimate Limit States (ULS) are presented. Afterwards, the results of the phase of operation via diagrams are presented for the combination of Ultimate

Limit States (ULS) and Serviceability Limit States (SLS). Analysis are conducted for the seismic phenomena of OBE and SSE with the two ways. Initially with statics method and afterwards via modes and the results are compared. In the seismic analysis, the three directions are taken into account which means that the combinations are initially taken into account the X direction, subsequently the Y and in the end the Z direction. The cheque for the sections is conducted for the combination with the greatest results. Considering that the deck undergoes differential temperature, the forces of this difference are presented in order to demonstrate that the results in this condition are negligible and is not taken into account in the combinations of loading.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά περί φυσικού αερίου

1.1.1 Ορισμός.....	1
1.1.2 Χημική σύσταση.....	1
1.1.3 Φυσικές Ιδιότητες.....	2
1.1.4 Χρήσεις φυσικού αερίου.....	2
1.1.5 Εξόρυξη και Μεταφορά.....	2

1.2 Γενικά περί Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (ΥΦΑ)

1.2.1 Λόγος υγροποίησης φυσικού αερίου.....	3
1.2.2 Φυσικές ιδιότητες του ΥΦΑ.....	3
1.2.3 Παραγωγή και Αποθήκευση του ΥΦΑ.....	4
1.2.4 Μεταφορά του ΥΦΑ.....	5
1.2.5 Γενική περιγραφή του σταθμού υποδοχής-αποθήκευσης-αεριοποίησης του ΥΦΑ.....	7

1.3 Τύποι δεξαμενών Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου

1.3.1 Δεξαμενή μονής συγκράτησης.....	8
1.3.2 Δεξαμενή διπλής συγκράτησης.....	10
1.3.3 Δεξαμενή πλήρους συγκράτησης.....	11
1.3.4 Κυλινδρική δεξαμενή με μεμβράνη.....	13
1.3.5 Κρυσταλλική δεξαμενή από σκυρόδεμα.....	14
1.3.6 Σφαιρική δεξαμενή αποθήκευσης.....	16

1.4 Επιμέρους τμήματα δεξαμενής υγροποιημένου φυσικού αερίου

1.4.1 Σεισμικοί μονωτήρες και βάθρα από σκυρόδεμα.....	19
1.4.2 Βάση δεξαμενής.....	19
1.4.3 Εξωτερικός τοίχος δεξαμενής.....	20
1.4.4 Εξωτερική θολωτή οροφή δεξαμενής.....	21
1.4.5 Αναρτώμενο κατάστρωμα.....	22
1.4.6 Εσωτερικοί διάδρομοι.....	23
1.4.7 Εσωτερική κλίμακα δεξαμενής.....	23
1.4.8 Χαλύβδινη υποστήριξη ανέγερσης της οροφής της δεξαμενής.....	24

1.4.9 Παράδειγμα σταδίων κατασκευής-ανέγερσης ΥΦΑ.....	24
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

2.1 Ασφάλεια και Περιβάλλον

2.1.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	29
2.1.2 Ασφάλεια εγκατάστασης δεξαμενής ΥΦΑ.....	30
2.1.2.1 Περιγραφή της εγκατάστασης.....	30
2.1.2.2 Μελέτη περιοχής.....	30
2.1.2.3 Κλιματολογία.....	31
2.1.2.4 Σεισμολογία.....	31
2.1.2.5 Τοποθεσία.....	32
2.1.3 Αξιολόγηση πιθανών κινδύνων.....	32
2.1.3.1 Κίνδυνοι εξωτερικής προέλευσης.....	32
2.1.3.2 Κίνδυνοι προερχόμενοι από το ΥΦΑ.....	33
2.1.3.3 Άλλοι κίνδυνοι.....	33
2.1.4 Εκτίμηση συνεπειών.....	34
2.1.4.1 Εξάτμιση του ΥΦΑ που διέρρευσε.....	34
2.1.4.2 Ατμοσφαιρική διασπορά ΥΦΑ.....	34
2.1.4.3 Υπερπίεση.....	34
2.1.4.4 Ακτινοβολία.....	34
2.1.5 Ασφαλής επίβλεψη κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή.....	35
2.1.5.1 Χρήση εξοπλισμού για χαμηλές θερμοκρασίες.....	35
2.1.5.2 Παθητική προστασία από πυρκαγιά και ευθραυστότητα.....	35
2.1.5.3 Ενεργή προστασία.....	36
2.1.5.4 Έκτακτη αποσυμπίεση.....	38
2.1.5.5 Προστασία από εσωτερική υπερπίεση.....	38
2.1.5.6 Σύστημα ελέγχου ασφαλείας.....	38
2.1.5.7 Λεκάνη απορροής.....	39
2.1.5.8 Σεισμική προστασία.....	39
2.1.6 Ασφάλεια κατά τη λειτουργία.....	40
2.1.6.1 Προετοιμασία για τη λειτουργία της κατασκευής.....	40

2.1.6.2	Ασφάλεια κατά τη λειτουργία.....	41
2.1.6.3	Διακοπή λειτουργίας έκτακτης ανάγκης.....	41
2.1.6.4	Έκτακτη παροχή ρεύματος (EPS).....	42
2.1.6.5	Ανίχνευση και σηματοδότηση συμβάντων.....	42
2.2	Θαλάσσιες εγκαταστάσεις	
2.2.1	Θέση και σχεδιασμός προβλήτας σε σταθμό ΥΦΑ.....	43
2.2.2	Ασφάλεια.....	43
2.2.3	Παρακολούθηση και έλεγχος του κρηπιδοτόιχου.....	44
2.3	Συστήματα αποθήκευσης και συγκράτησης ΥΦΑ	
2.3.1	Γενικές απαιτήσεις σχεδιασμού.....	44
2.3.1.1	Στεγανότητα δεξαμενής.....	44
2.3.1.2	Θερμική μόνωση.....	45
2.3.1.3	Δράσεις κατά τη λειτουργία.....	46
2.3.2	Άλλοι κανόνες σχεδιασμού.....	46
2.3.3	Θεμελιώσεις.....	46
2.3.4	Εξοπλισμός ασφαλείας.....	47
2.3.4.1	Συσκευές προστασίας από ανατροπή.....	47
2.3.4.2	Αισθητήρες θερμοκρασίας.....	47
2.3.4.3	Ανίχνευση διαρροής κύριας δεξαμενής.....	47
2.3.5	Όργανα για τη λειτουργία της δεξαμενής.....	47
2.3.6	Λεκάνη απορροής για δεξαμενή απλής και διπλής συγκράτησης.....	48
2.3.7	Συντήρηση δεξαμενής και προστασία από διάβρωση.....	48
2.4	Προδιαγραφές κατασκευαστικών υλικών	
2.4.1	Προδιαγραφές για σκυρόδεμα.....	49
2.4.1.1	Σκυρόδεμα Βραχυπρόθεσμα.....	49
2.4.1.2	Σκυρόδεμα Μακροπρόθεσμα.....	49
2.4.2	Προδιαγραφές για χάλυβα οπλισμού.....	50
2.4.3	Προδιαγραφές για προένταση.....	51
2.4.4	Γωνιακό σύστημα προστασίας.....	51
2.4.5	Ιδιότητες ΥΦΑ.....	52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΝΑΡΤΩΜΕΝΟ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΥΦΑ

3.1 Περιγραφή της κατασκευής.....	53
3.2 Κριτήρια σχεδιασμού.....	54
3.3 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες.....	55
3.3.1 Διαστάσεις δεξαμενής.....	55
3.3.2 Τυπικά μέρη του αναρτώμενου καταστρώματος.....	56
3.3.3 Χαρακτηριστικά διατομών του πλαισίου του καταστρώματος.....	56
3.4 Υπολογισμός φορτίων.....	57
3.4.1 Μόνιμα και κινητά.....	58
3.4.2 Σεισμική φόρτιση OBE.....	58
3.4.3 Σεισμική φόρτιση SSE.....	59
3.4.4 Τρόπος φόρτισης δοκών.....	61
3.5 Υπολογισμός συνδυασμών φόρτισης.....	63
3.5.1 Οριακή κατάσταση αστοχίας.....	64
3.5.2 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.....	64
3.5.3 Σεισμικοί συνδυασμοί.....	65
3.6 Θερμική μετακίνηση καταστρώματος.....	66
3.7 Προστασία δεξαμενής από σεισμικά φορτία.....	68
3.8 Εξασφάλιση διαφραγματικής λειτουργίας καταστρώματος.....	70
3.8.1 Αλληλεπίδραση της εξωτερικής επένδυσης με το σκελετό.....	72
3.9 Σχεδιασμός πλατφόρμας πρόσβασης.....	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΄ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΡΤΩΜΕΝΟΥ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΔΙΝΑ

4.1 Περιγραφή του προσομοιώματος.....	77
4.2 Στατικές φορτίσεις σε φάση κατασκευής.....	81
4.2.1 Οριακή κατάσταση αστοχίας με φορτίο 1KPa.....	81
4.2.2 Οριακή κατάσταση αστοχίας με φορτίο 0.5KPa και μια ράβδο ανενεργή.....	90
4.3 Στατικές φορτίσεις σε φάση λειτουργίας.....	94
4.3.1 Οριακή κατάσταση αστοχίας με διαφορά πίεσης 0.2KPa και μια ράβδο ανενεργή.....	94
4.3.2 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.....	97
4.4 Σεισμικές φορτίσεις σε φάση λειτουργίας.....	100

4.4.1	Σεισμός OBE με στατική ανάλυση.....	100
4.4.2	Σεισμός SSE με στατική ανάλυση.....	111
4.4.3	Σεισμός με φασματική ανάλυση.....	119
4.4.3.1	Σεισμός OBE.....	120
4.4.3.2	Σεισμός SSE.....	121
4.5	Υπολογισμός μετατοπίσεων λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής.....	122
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	128

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά περί φυσικού αερίου

1.1.1 Ορισμός

Το φυσικό αέριο είναι ένα αέριο μείγμα υδρογονανθράκων που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4), σε περιεκτικότητα συνήθως άνω του 80% και σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις από αιθάνιο (C_2H_6), προπάνιο (C_3H_8), βουτάνιο (C_4H_{10}) και πεντάνιο (C_5H_{12}) ενώ στη χημική του σύσταση περιλαμβάνονται και μικρές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), υδρόθειου (H_2S) και αζώτου (N_2). Πριν διατεθεί για χρήση υφίσταται μια επεξεργασία κατά την οποία διαχωρίζονται και κατακρατούνται ποικίλα ανεπιθύμητα συστατικά και ενώσεις από τη μάζα του.

Το φυσικό αέριο είναι ελαφρύ, άχρωμο, άοσμο και μη τοξικό. Μετά την παραγωγή του εμπλουτίζεται με οσμητικές ουσίες ώστε να αποκτήσει χαρακτηριστική οσμή και να είναι εντοπίσιμο σε περίπτωση διαρροής. Επίσης επειδή είναι ελαφρύτερο από τον αέρα σε περίπτωση διαφυγής, ανέρχεται σε μεγάλο ύψος, αραιώνεται και καθίσταται μη επικίνδυνο. Κάθε υπόγεια πηγή φυσικού αερίου δεν παράγει το ίδιο σε σύσταση αέριο με κάποια άλλη, αφού η σύνθεση του εξαρτάται από την προέλευση και το είδος της οργανικής ύλης από την οποία σχηματίστηκε.

Το φυσικό αέριο σχηματίζεται από τη θερμική αποικοδόμηση της πρωταρχικής οργανικής ύλης μεγάλου μοριακού βάρους που προέρχεται από οργανικά ιζήματα (χερσαία ή θαλάσσια) σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας σε βάθος αρκετών χιλιομέτρων στο υπέδαφος. Το παραγόμενο μεθάνιο παγιδεύεται σε αδιαπέρατους γεωλογικούς σχηματισμούς δημιουργώντας κοιτάσματα, στη βάση των οποίων συνήθως παγιδεύεται και πετρέλαιο.

1.1.2 Χημική σύσταση

Βασικό συστατικό του φυσικού αερίου είναι το μεθάνιο, συνυπάρχουν όμως σε αυτό και μικρότερες ποσότητες αιθανίου, προπανίου και βουτανίου, καθώς και διοξείδιο του άνθρακα, άζωτο, ήλιο και υδρόθειο. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται μια τυπική κατ' όγκο σύσταση φυσικού αερίου. Η σύσταση του φυσικού αερίου διαφέρει από περιοχή σε περιοχή.

Πίνακας 1.1: Χημική σύσταση του Φυσικού Αερίου

Συστατικά	% Κατά όγκο σύσταση
Μεθάνιο (CH_4)	70-90
Αιθάνιο (C_2H_6)	5-15
Προπάνιο (C_3H_8) και Βουτάνιο (C_4H_{10})	<5
CO_2 , N_2 , H_2S κλπ	Μικρότερες ποσότητες

Το φυσικό αέριο που είναι απαλλαγμένο από τους υδρογονάνθρακες πέραν του μεθανίου, δηλαδή το καθαρό μεθάνιο, συχνά αποκαλείται και ξηρό φυσικό αέριο. Αντίστοιχα, το φυσικό αέριο που συμπεριλαμβάνει και άλλους υδρογονάνθρακες εκτός από το μεθάνιο, αποκαλείται και υγρό φυσικό αέριο.

1.1.3 Φυσικές Ιδιότητες

Το φυσικό αέριο είναι άχρωμο και άοσμο. Η χαρακτηριστική του οσμή δίνεται τεχνικά για σκοπούς ασφαλείας, ώστε να γίνεται αντιληπτό σε περιπτώσεις διαρροής. Ανήκει στη δεύτερη οικογένεια των αέριων καυσίμων, το ειδικό του βάρος είναι ίσο με $0,79 \text{ kg/m}^3$ και είναι ελαφρύτερο από τον αέρα ($\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$). Η καύση του σε σχέση με αυτή άλλων καυσίμων έχει λιγότερο επιβλαβείς συνέπειες για το περιβάλλον αφού παράγει μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας.

Αποτελεί την καθαρότερη πηγή πρωτογενούς ενέργειας μετά τις ανανεώσιμες μορφές. Τα μεγέθη των εκπεμπόμενων ρύπων είναι μικρότερα σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, ενώ η βελτίωση του βαθμού απόδοσης μειώνει τη συνολική κατανάλωση καυσίμου περιορίζοντας την ατμοσφαιρική ρύπανση.

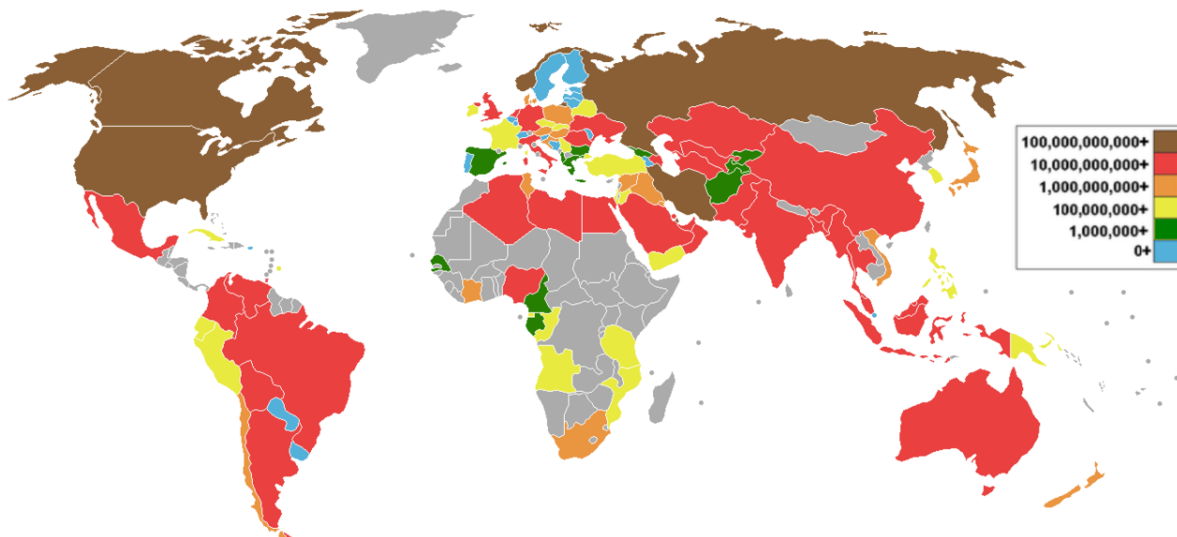
1.1.4 Χρήσεις Φυσικού Αερίου

- Βασική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας,
- Χρήση στην παραγωγή υδρογόνου,
- Χρήση ως καύσιμο οχημάτων (οικολογικά οχήματα) ενώ γίνονται προσπάθειες για χρήση του και στην αεροπορία,
- Οικιακή χρήση (μαγειρική, θέρμανση κ.α.),
- Άλλες χρήσεις (παραγωγή γυαλιού, υφασμάτων, ατσαλιού, πλαστικών, και άλλων προϊόντων),
- Βιομηχανία: Κάλυψη θερμικών αναγκών για όλες τις παραγωγικές διαδικασίες (παραγωγή ατμού, ξήρανση) , κλιματισμό , συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

1.1.5 Εξόρυξη και Μεταφορά

Το φυσικό αέριο είναι καύσιμο και πρώτη ύλη της χημικής βιομηχανίας. Εξορύσσεται από υπόγειες κοιλότητες στις οποίες βρίσκεται υπό υψηλή πίεση. Σε αυτές τις κοιλότητες το φυσικό αέριο σχηματίστηκε με τρόπο παρόμοιο με τον τρόπο σχηματισμού του πετρελαίου. Μεταφέρεται προς τους τόπους όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθεί όπως είναι, χωρίς την ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας. Τα κοιτάσματα φυσικού αερίου βρίσκονται συνήθως μακριά από τα κύρια κέντρα καταναλώσεως· συνεπώς πρέπει να μεταφερθεί, αν και οι βιομηχανίες χημικής επεξεργασίας είναι συχνά εγκατεστημένες στην περιοχή της παραγωγής. Η μεταφορά του φυσικού αερίου εξαρτάται από την κατάστασή του. Σε αέρια κατάσταση μεταφέρεται με αγωγούς υπό υψηλή πίεση, ενώ σε υγρή κατάσταση μεταφέρεται με πλοία.

Οι μεγάλοι αγωγοί υψηλής πίεσης καθιστούν δυνατή τη μεταφορά του αερίου σε απόσταση χιλιάδων χιλιομέτρων. Παραδείγματα τέτοιων αγωγών είναι οι αγωγοί της Βόρειας Αμερικής, που εκτείνονται από το Τέξας και τη Λουιζιάνα μέχρι τη βορειοανατολική ακτή και από την Αλμπέρτα ως τον Ατλαντικό. Αγωγοί επίσης εκτείνονται από τη Σιβηρία μέχρι την Κεντρική και Δυτική Ευρώπη. Οι έρευνες για πετρέλαιο έχουν αποκαλύψει την ύπαρξη μεγάλων κοιτασμάτων αερίου στην Αφρική, Μέση Ανατολή, Αλάσκα και αλλού. Η μεταφορά από τέτοιες περιοχές γίνεται με πλοία. Το αέριο υγροποιείται στους $-170 \text{ }^\circ\text{C}$ και μεταφέρεται, όπως το πετρέλαιο, με **δεξαμενόπλοια** ειδικά κατασκευασμένα για τον σκοπό αυτό. Ένα κυβικό μέτρο υγρού φυσικού αερίου αντιστοιχεί σε 600 m^3 αερίου σε ατμοσφαιρική πίεση. Το ειδικό βάρος του υγρού αερίου είναι σχετικά χαμηλό (περίπου 467 kg/m^3).



Εικόνα 1.1: Χάρτης που απεικονίζει την παραγωγή ανά χώρα ανά το παγκόσμιο (με καφέ χρώμα διακρίνονται οι χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή, ακολουθούν αυτές που σημειώνονται με κόκκινο χρώμα).

1.2 Γενικά περί Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου

1.2.1 Λόγος Υγροποίησης Φυσικού Αερίου

Ο κύριος λόγος για την υγροποίηση του φυσικού αερίου είναι η κατά 600 φορές μείωση του όγκου λόγω της αλλαγής φάσης (από αέριο σε υγρό). Στη φυσικά επικρατούσα αέρια φάση, το φυσικό αέριο είναι μια ογκώδης πηγή ενέργειας, η οποία είναι ορισμένες φορές δύσκολη στο χειρισμό. Η αποθήκευση του αερίου απαιτεί τεράστια υπόγεια σπήλαια ή μεγάλες συμπτυσσόμενες δεξαμενές αποθήκευσης. Η μεταφορά του φυσικού αερίου από τις πηγές παραγωγής στα σημεία κατανάλωσης απαιτεί μεγάλα δίκτυα αγωγών. Κατά συνέπεια, μπορούν να εξεταστούν μονο χερσαίες ή σχετικά μικρές υποθαλάσσιες διαδρομές. Τέλος, το φυσικό αέριο σε ατμοσφαιρική πίεση είναι πάρα πολύ ογκώδες για να θεωρηθεί ως καύσιμο για λόγους μεταφορών και πρέπει, κατ' ελάχιστον να συμπιεστεί.

Η υγροποίηση του φυσικού αερίου χρησιμοποιείται για να υπερνικήσει τα συγκεκριμένα εμπόδια, και επιτρέπει τη μεταφορά του σε μεγαλύτερες αποστάσεις και εφαρμογή του υγροποιημένου φυσικού αερίου (ΥΦΑ) ως πηγή ενέργειας. Η αποθήκευση του ΥΦΑ κοντά σε αστικές περιοχές επιτρέπει την κάλυψη των αναγκών αιχμής σε φυσικό αέριο χωρίς να απαιτηθεί η κατασκευή πρόσθετων αγωγών που τις περισσότερες φορές θα ήταν υποχρησιμοποιημένες.

1.2.2 Φυσικές Ιδιότητες του ΥΦΑ

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (ΥΦΑ) είναι άοσμο και άχρωμο. Ίχνη μολυσματικών ουσιών ειδικά υδραργύρου, μπορούν να καταστήσουν το ΥΦΑ διαβρωτικό εάν δεν αφαιρούνται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα κατά τη διάρκεια του προκαθαρισμού και των διεργασιών υγροποίησης. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι ένα εμπορικό προϊόν, έτσι η ανάγκη να αποφευχθεί η στερεοποίηση των μολυσματικών ουσιών είναι απαίτηση των προδιαγραφών για περιβαλλοντικά αποδεκτά καύσιμα. Επομένως, οι μολυσματικοί παράγοντες όπως υδρατμός, διοξείδιο του άνθρακα και ενώσεις θείου, που μπορεί να υπάρχουν στο φυσικό αέριο, δεν υπάρχουν στο ΥΦΑ. Ομοίως, το σχετικά χαμηλό σημείο βρασμού του ΥΦΑ (-160 °C) περιορίζει τη μέγιστη συγκέντρωση πεντάνιου και βαρύτερων υδρογονανθράκων που μπορεί να υπάρξει στην υγρή φύση.

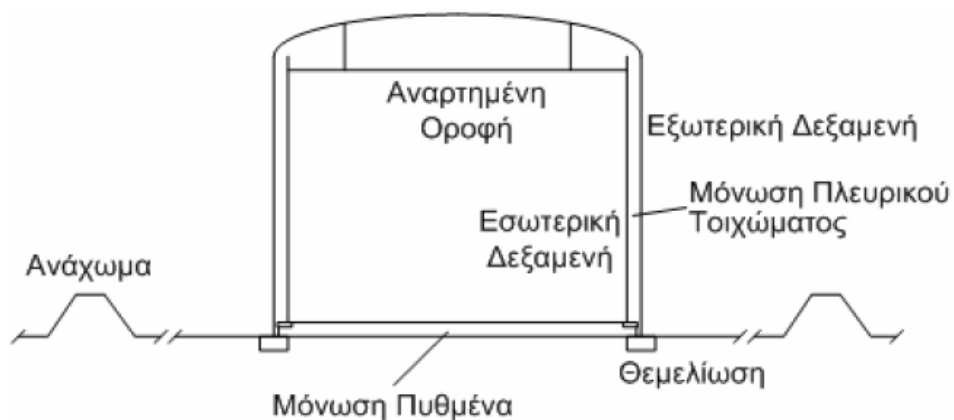
1.2.3 Παραγωγή και Αποθήκευση ΥΦΑ

Λόγω της υψηλής κρίσιμης πίεσης του μεθανίου, το ΥΦΑ παράγεται οικονομικά με ψύξη και όχι με συμπίεση. Κοινή για όλες τις διεργασίες υγροποίησης φυσικού αερίου είναι η ανάγκη για προκατεργασία του αερίου τροφοδοσίας για την αφαίρεση των συστατικών που είτε θα πάγωναν εμποδίζοντας έτσι τη ροή της διεργασίας, είτε θα προκαλούσαν ρύπανση κατά την καύση του εξαμιζόμενου ΥΦΑ.

Οι δεξαμενές αποθήκευσης είναι ένα σημαντικό μέρος για τις εγκαταστάσεις βασικού φορτίου και τις εγκαταστάσεις αναγκών αιχμής. Επιπλέον αποτελούν σημαντικό μέρος της επένδυσης των τερματικών εγκαταστάσεων παραλαβής ΥΦΑ. Λόγω του υψηλού κόστους αυτών των μονάδων και σπουδαιότητας τους στη συνολική ασφάλεια των εγκαταστάσεων ΥΦΑ, έχει δοθεί μεγάλη προσοχή στο σχεδιασμό των εγκαταστάσεων ΥΦΑ.

Ένα από τα πρώτα θέματα που τέθηκαν στο σχεδιασμό των δεξαμενών ΥΦΑ ήταν η επιλογή κατάλληλων υλικών. Η αστοχία της δεξαμενής στο Cleland, Ohio το 1944 αποδόθηκε στη χρήση χάλυβα με 3.5% νικέλιο που έγινε εύθραυστος στη θερμοκρασία του ΥΦΑ. Μετά από αυτό το συμβάν, μεγάλης κλίμακας προγράμματα έχουν αποδείξει την καταλληλότητα του χάλυβα με 9% νικέλιο, των ανοξειδωτων χαλύβων και ορισμένων κραμάτων αργίλου για κατασκευή δεξαμενών ΥΦΑ. Οι κατασκευές από κράματα αργίλου είναι συνήθως περιορισμένου μεγέθους, επειδή ο συντελεστής θερμικής διαστολής του αργίλου είναι περίπου διπλάσιος από αυτόν του χάλυβα. Σε μεγάλες δεξαμενές, τέτοια θερμική μετακίνηση κατά τη διάρκεια της ψύξης θα μπορούσε να οδηγήσει σε αστοχία δεξαμενών.

Τα σχέδια των δεξαμενών έχουν εξελιχθεί δεδομένου ότι έχουν εφαρμοστεί περισσότερο περίπλοκες αναλύσεις δεδομένων ασφαλείας στις εγκαταστάσεις ΥΦΑ. Οι αρχικοί σχεδιασμοί προέβλεπαν μια εσωτερική κρυογενική δεξαμενή υγρού εντός μιας εξωτερικής δεξαμενής που περιέχει το σύστημα θερμικής μόνωσης της εσωτερικής. Σε όλα τα σχέδια, οι εξωτερικές δεξαμενές κατασκευάζονται από ανθρακικό χάλυβα και περιβάλλονται από ένα χαμηλό ανάχωμα για να συγκρατήσει τις όποιες διαρροές ΥΦΑ. Αναλυτικές μελέτες έδειξαν ότι ο πρωτεύων κίνδυνος ασφαλείας με μια διαρροή ΥΦΑ είναι ο σχηματισμός ενός μεγάλου νέφους ατμών του προϊόντος που μπορεί να παρασυρθεί, να αναφλεγεί και να προκαλέσει εκτεταμένη ζημιά. Τα επόμενα σχέδια ενσωμάτωσαν υλικά εξωτερικής δεξαμενής που ήταν λιγότερο επιρρεπή σε αστοχία στις κρυογενικές θερμοκρασίες και υψηλότερα αναχώματα που χτίστηκαν πιο κοντά στις δεξαμενές. Αυτά τα μέτρα οδηγούν σε μικρότερη ελεύθερη επιφάνεια για οποιαδήποτε διαρροή ΥΦΑ από μια αστοχία δεξαμενών και επομένως ένα χαμηλότερο βαθμό τροφοδοσίας του επακόλουθου νέφους ατμών.



Εικόνα 1.2: Σχηματικά απλοποιημένη διατομή μιας απλής δεξαμενής αποθήκευσης ΥΦΑ

Επιπρόσθετες μελέτες αναθεώρησαν τις συνέπειες μιας εξωτερικής προσβολής, όπως συντριβής αεροσκάφους, που οδηγεί σε αποτυχία της δεξαμενής και στην επίδραση μιας καταστροφικής αστοχίας της εσωτερικής δεξαμενής. Όλες αυτές οι μελέτες εστίασαν στην ανάγκη για ασφαλέστερη συγκράτηση της εξωτερικής δεξαμενής. Τα προκύψαντα σχέδια δεξαμενών περιλαμβάνουν δεξαμενές διπλής ακεραιότητας δηλαδή, μια διαρροή υγρού από μια αστοχία της εσωτερικής δεξαμενής παραλαμβάνεται από μια δεύτερη ομόκεντρη δεξαμενή που είναι δομικά ανεξάρτητη από την πρώτη. Οι εξωτερικές δεξαμενές κατασκευάζονται από **οπλισμένο σκυρόδεμα** με περίβλημα από **ανοξειδωτο χάλυβα**. Τέλος, κατασκευάζονται **αναχώματα ύψους όσο και η δεξαμενή** για να προστατεύσουν τη δεξαμενή από εξωτερική ζημιά και για να βοηθήσουν στην υποθετική ασύμμετρη φόρτιση της εξωτερικής δεξαμενής ως αποτέλεσμα της καταστροφικής αστοχίας της εσωτερικής δεξαμενής. Όπου η περιοχή είναι πολύ μικρή για να επιτρέψει τη πλήρη ανάπτυξη των αναχωμάτων, χρησιμοποιείται είτε κατασκευή δεξαμενής μέσα στο έδαφος, είτε πρόσθετη ενίσχυση της εξωτερικής δεξαμενής.

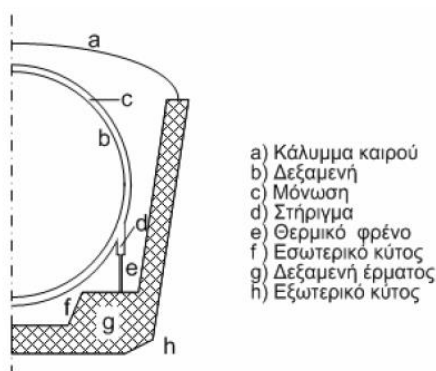
1.2.4 Μεταφορά ΥΦΑ

α) Κάλυψη Αναγκών Αιχμής

Οι εγκαταστάσεις ΥΦΑ κάλυψης αναγκών αιχμής συνήθως ατμοποιούν το ΥΦΑ από τις δεξαμενές και το διοχετεύουν στο δίκτυο διανομής. Σε μερικές εγκαταστάσεις το ΥΦΑ αποθηκεύεται μερικώς και ατμοποιείται για να διοχετευθεί στο δίκτυο. Αυτές οι δορυφορικές εγκαταστάσεις παραλαμβάνουν ΥΦΑ από άλλες περιοχές παραγωγής, το οποίο μεταφέρεται με κατάλληλα οχήματα. Τα οχήματα αυτά είναι παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά αζώτου και οξυγόνου και αποτελούνται από μια εσωτερική κρουγενική δεξαμενή και μια εξωτερική προστατευτική δεξαμενή από μη κρουγενικό υλικό. Το κενό μεταξύ των δεξαμενών τυπικά γεμίζει με μόνωση από διογκωμένο περλίτη και εκκενώνεται σε υποατμοσφαιρική πίεση ώστε να μειωθεί περαιτέρω η διαρροή θερμότητας.

β) Εγκαταστάσεις Βασικού Φορτίου

Οι εγκαταστάσεις ΥΦΑ βασικού φορτίου συνδέονται με τις αντίστοιχες τερματικές εγκαταστάσεις τροφοδοσίας με στόλους ειδικών δεξαμενοπλοίων. Τα σύγχρονα δεξαμενόπλοια έχουν μεταφορική ικανότητα έως 125000 m³ ΥΦΑ. Κάθε δεξαμενόπλοιο χρησιμοποιεί ένα από τα διάφορα συστήματα αποθήκευσης, τα οποία μπορούν να διαιρεθούν σε τρεις κύριους τύπους. Ο πρώτος χρησιμοποιεί **μη σταθερές σφαιρικές δεξαμενές** που υποστηρίζονται σε κυλινδρικά στηρίγματα. Κάθε δεξαμενή είναι μονωμένη και τοποθετημένη σε ένα ξεχωριστό τμήμα του πλοίου. Αυτά τα διαμερίσματα καλύπτονται με αδρανές αέριο άζωτο, το οποίο δειγματίζεται περιοδικά για να ανιχνευτεί οποιαδήποτε διαρροή ΥΦΑ.

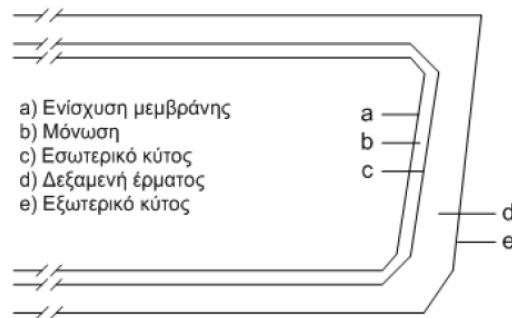


- a) Κάλυμμα καιρού
- b) Δεξαμενή
- c) Μόνωση
- d) Στηρίγμα
- e) Θερμικό φρένο
- f) Εσωτερικό κύτος
- g) Δεξαμενή έρματος
- h) Εξωτερικό κύτος

Εικόνα 1.3: Σφαιρική δεξαμενή πλοίου

Δεύτερος τύπος αποθήκευσης είναι οι **δεξαμενές με μεμβράνες**. Στα πλοία που χρησιμοποιούν αυτόν τον τύπο, εφαρμόζονται στο κύτος του πλοίου η μόνωση και η δευτερογενής φραγή. Η μόνωση μεταβιβάζει επίσης το φορτίο ΥΦΑ στο κύτος και στη δομή του πλοίου. Μια μεταλλική μεμβράνη συγκράτησης εγκαθίσταται πάνω από την επιφάνεια της μόνωσης. Οι δεξαμενές με μεμβράνες χωρίζονται επίσης σε διαμερίσματα και επιτρέπουν αποδοτικότερη χρήση του όγκου αποθήκευσης του κύτους. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι το χαμηλό κέντρο βάρους τους, ενώ οι σφαιρικές δεξαμενές επεκτείνονται επάνω στο κατάστρωμα και απαιτούν θολωτά καλύμματα.

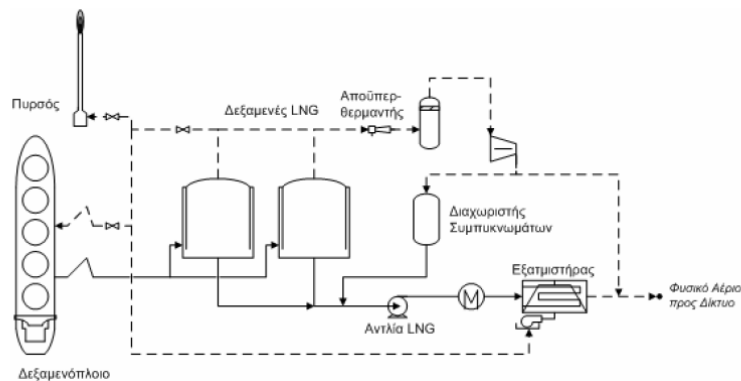
Ένας τρίτος τύπος δεξαμενοπλοίων ΥΦΑ χρησιμοποιεί **μη μόνιμες πρισματικές δεξαμενές**. Αυτός ο σχεδιασμός επιδιώκει να συνδυάσει την αποδοτική χρήση του κενού μεταξύ των κυτών με τη δομική ανεξαρτησία μιας αυτοστηριζόμενης δομής. Διάφορα σκάφη στο παρελθόν ναυπηγήθηκαν με αυτόν τον τύπο σχεδιασμού, αλλά είναι σχετικά ακριβά και έτσι δεν υιοθετήθηκε στα νεότερα δεξαμενόπλοια.



Εικόνα 1.4 : Δεξαμενή πλοίου με μεμβράνη

γ) Εγκαταστάσεις Παραλαβής ΥΦΑ

Οι εγκαταστάσεις παραλαβής ΥΦΑ κατασκευάζονται για να παραλάβουν τις ποσότητες ΥΦΑ που αποστέλλονται από τις εγκαταστάσεις υγροποίησης φυσικού αερίου. Περιλαμβάνουν τις απαραίτητες λιμενικές εγκαταστάσεις, σωληνώσεις μεταφοράς, αποθήκες ΥΦΑ και όλον τον απαραίτητο εξοπλισμό για την εξάτμιση και συμπίεση του φυσικού αερίου, πριν αυτό αποσταλλεί στον κεντρικό αγωγό φυσικού αερίου ή στους τελικούς καταναλωτές (μονάδες βασικού φορτίου). Μια τυπική εγκατάσταση παραλαβής ΥΦΑ φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 1.5: Διάγραμμα εγκατάστασης παραλαβής ΥΦΑ

Οι γραμμές μεταφοράς ΥΦΑ διατηρούνται σε χαμηλή θερμοκρασία με ανακυκλοφορία ποσότητας ΥΦΑ από τις δεξαμενές αποθήκευσης. Έτσι απάγεται η θερμότητα που εισέρχεται από το περιβάλλον στις γραμμές μεταφοράς. Η αέρια φάση που εξατμίζεται μέσα στη δεξαμενή βρίσκεται σε ισορροπία με την υγρή φάση. Η περίσσεια οδηγείται μέσω του αποϋπερθερμαντή στο συμπιεστή, όπου και συμπιέζεται και οδηγείται στον αγωγό διασύνδεσης με τον κεντρικό αγωγό ή τους καταναλωτές. Η εξάτμιση του ΥΦΑ πραγματοποιείται σε εναλλάκτες θερμότητας που λειτουργούν με θαλασσινό νερό ως θερμαντικό μέσο, καθώς και σε εξατμιστήρες, όπου καίγεται μέρος της αέριας φάσης από τις δεξαμενές αποθήκευσης, και από την παραγόμενη θερμότητα θερμαίνεται το ενδιάμεσο ρευστό που χρησιμοποιείται τελικά για την εξάτμιση. Οι εναλλάκτες θερμότητας με θαλασσινό νερό έχουν πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας, αλλά υψηλό κόστος εγκατάστασης και έχουν σχετικά περιορισμένη δυναμικότητα σε σχέση με τους κλασσικούς εξατμιστήρες.

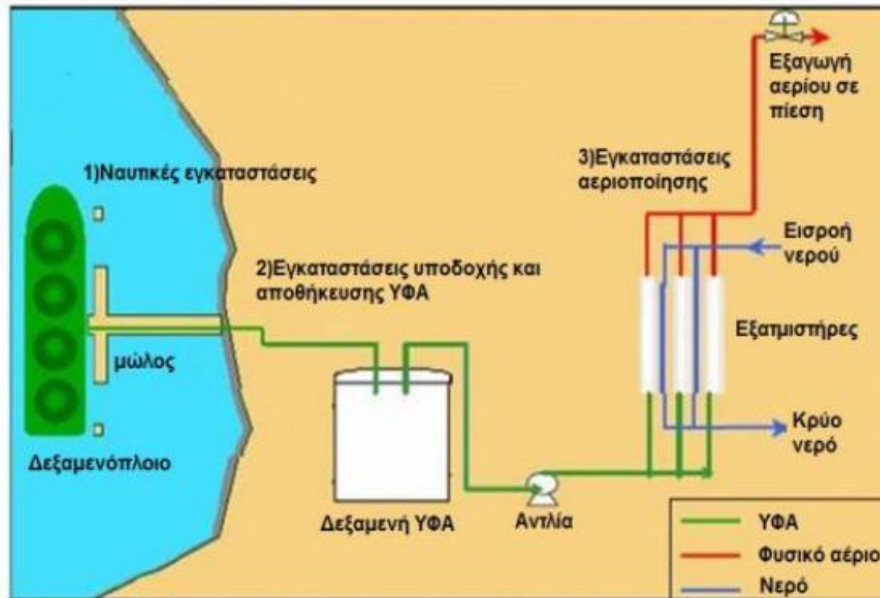
1.2.5 Γενική Περιγραφή του Σταθμού Υποδοχής-Αποθήκευσης-Αεριοποίησης του ΥΦΑ

Γίνεται περιγραφή των εγκαταστάσεων που πρόκειται να τοποθετηθούν καθώς και των υλικών που απαιτούνται. Το έργο που πρόκειται να χωροθετηθεί θα χρησιμοποιηθεί για υγροποίηση του φυσικού αερίου, αποθήκευση του ΥΦΑ, αεριοποίηση και αποστολή στο δίκτυο μεταφοράς. Για τους σκοπούς αυτούς απαιτούνται οι ακόλουθες εγκαταστάσεις:

- Εγκαταστάσεις υγροποίησης για τις οποίες απαιτούνται ειδικά κράματα που να αντέχουν τις υψηλές τάσεις που αναπτύσσονται από τις έντονες μεταβολές της θερμοκρασίας. Τέτοια κράματα είναι ο χάλυβας, χάλυβας με 9%, 18% και 36% νικέλιο, κράμα Al-Mg (αργίλιο -μαγνήσιο), κράμα Al-Mn (αργίλιο - μαγγάνιο), κράμα Al-Si (αργίλιο -πυρίτιο).
- Υπέργειες ή υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης ΥΦΑ (συνήθως χρησιμοποιούνται υπέργειες λόγω του ότι έχουν μικρότερο κόστος) οι οποίες προσφέρουν ισχυρή θερμική μόνωση και ισχυρή προστασία από διαρροές λόγω σεισμών, ρωγμών κλπ. Έχουν κυλινδρικό σχήμα, η χωρητικότητά τους κυμαίνεται από 50m³ έως 250m³ με συνθηχέστερες τιμές σήμερα περίπου στα 150m³. Ο λόγος ύψους προς ακτίνα (H/R) ισούται περίπου 0,5-1,5. Είναι κατασκευασμένες από υλικά όπως σκυρόδεμα, χάλυβα, γυαλί ενώ ένα μέρος τους τοποθετείται με πασσάλους από χάλυβα μέσα στο έδαφος (Εικόνα1.7). Εντός των δεξαμενών αποθήκευσης δημιουργούνται αέρια αζώτου και μεθανίου λόγω της φυσικής εξάτμισης του ΥΦΑ. Για τη βελτίωση της απόδοσης του σταθμού και την προστασία της ρύπανσης του περιβάλλοντος δημιουργείται το σύστημα επανάκτησης αερίων που αποτελείται από συμπιεστές ανάκτησης αερίου, τον επανασυμπυκνωτή αερίου και το κατάλληλο δίκτυο σωληνώσεων. Οι δεξαμενές περιέχουν αντλίες χαμηλής πίεσης που οδηγούν το ΥΦΑ στον επανασυμπυκνωτή ή στις αντλίες υψηλής πίεσης. Οι αντλίες υψηλής πίεσης ανεβάζουν την πίεση του ΥΦΑ και το στέλλουν στους αεριοποιητές για αεριοποίηση.
- Εγκαταστάσεις αεριοποίησης τις οποίες αποτελούν οι αεριοποιητές ή εξαεριστήρες κατασκευασμένοι από ελαφρά κράματα όπως αλουμίνιο και δίνουν στο ΥΦΑ την απαιτούμενη θερμότητα ώστε να αεριοποιηθεί.
- Προβλήτα εκφόρτωσης και μεταφοράς του ΥΦΑ από τα δεξαμενόπλοια για σκοπούς εξαγωγής και βραχίονες (από χάλυβα) με σύστημα ανάκτησης αερίου για εκφόρτωση του ΥΦΑ στα δεξαμενόπλοια. Οι συγκεκριμένοι βραχίονες επιτρέπουν στο φυσικό αέριο που εξατμίζεται να ανακτηθεί με αποτέλεσμα από τη μία η βελτίωση της απόδοσης του σταθμού και από την άλλη η προστασία της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Το βάθος της θάλασσας στην περιοχή χωροθέτησης είναι 10m μέχρι απόσταση περίπου 1km από την ακτογραμμή ενώ τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς ΥΦΑ απαιτούν ένα ελάχιστο βάθος υδάτων 12m όταν είναι πλήρως φορτωμένα, επομένως απαιτείται εκσκαφή τουλάχιστον 2m εντός του θαλάσσιου τμήματος της περιοχής. Οι παρεμβάσεις

αυτές στο θαλάσσιο τμήμα έχουν ιδιαίτερες τεχνικές δυσκολίες ενώ αναμένεται να επιβαρύνουν σημαντικά το θαλάσσιο περιβάλλον.

- Βοηθητικές εγκαταστάσεις (Κτηριακές εγκαταστάσεις, βοηθητικοί δρόμοι κλπ).
- Θαλάσσιος αγωγός για μεταφορά του φυσικού αερίου από το σημείο εξόρυξης στο σημείο κατασκευής.



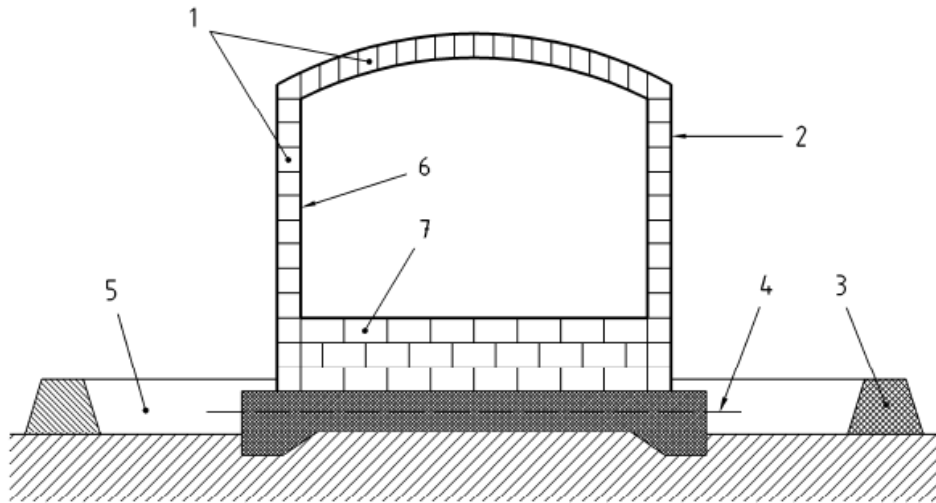
Εικόνα 1.6: Τυπικός σταθμός υποδοχής/αποθήκευσης/αεριοποίησης ΥΦΑ

1.3 Τύπος Δεξαμενών ΥΦΑ

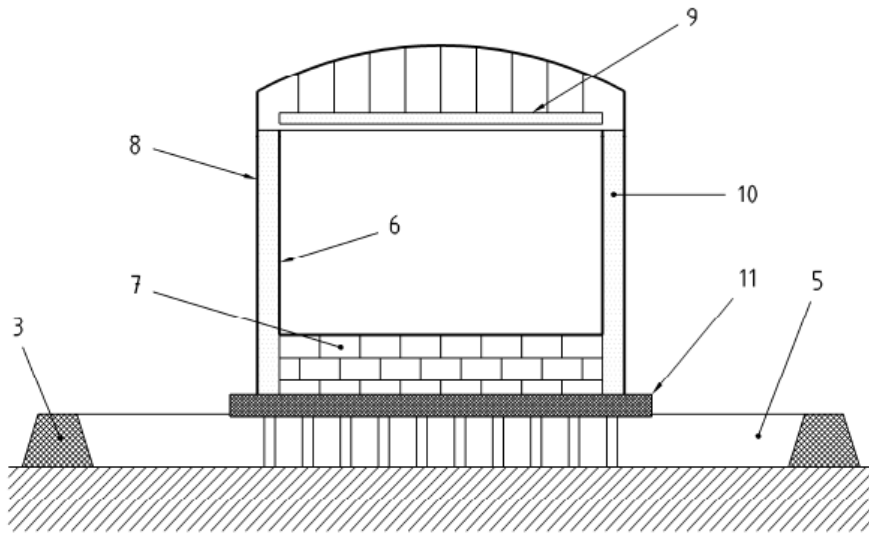
1.3.1 Δεξαμενή Μονής Συγκράτησης

Μια δεξαμενή μονής συγκράτησης αποτελείται μόνο από ένα περίβλημα ώστε να αποθηκεύεται το υγρό προϊόν. Το κύριο περίβλημα της δεξαμενής είναι μια αυτοϋποστηριζόμενη χαλύβδινη κυλινδρική κατασκευή. Ακολουθούν εικόνες τομής δεξαμενής μονής συγκράτησης.

α)



β)



Εικόνα 1.7: Παραδείγματα δεξαμενής μόνης συγκράτησης

Περιγραφή:

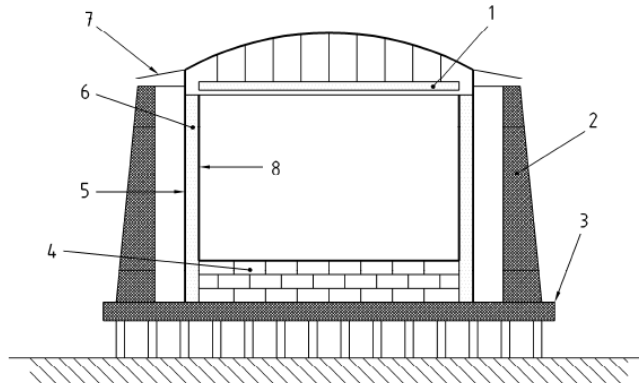
- 1) Εξωτερική μόνωση
- 2) Εξωτερικό κέλυφος (όριο νερού)
- 3) Ανάχωμα (bund wall)
- 4) Σύστημα θέρμανσης θεμελίου
- 5) Περικλειόμενη περιοχή
- 6) Κύριο δοχείο

- 7) Μόνωση βάσης
- 8) Εξωτερικό κέλυφος (που δε μπορεί να περιβάλλει το υγρό)
- 9) Αναστώμενο κατάστρωμα
- 10) Χαλαρή πλήρωση μόνωσης
- 11) Ανυψωμένη βάση

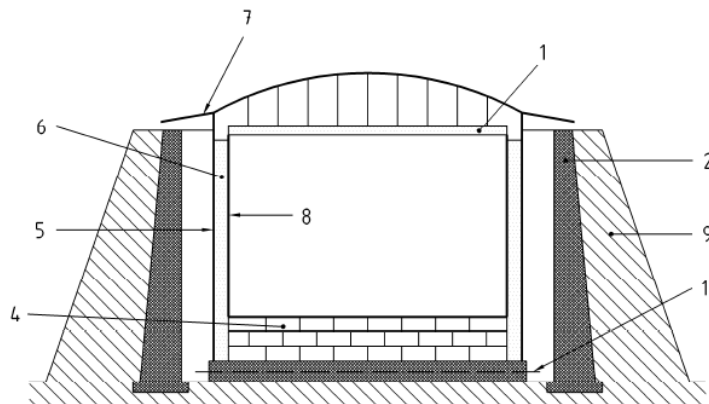
1.3.2 Δεξαμενή Διπλής Συγκράτησης

Μια δεξαμενή διπλής συγκράτησης αποτελείται από ένα κύριο περιβλήμα υγρού και ατμών, το οποίο το ίδιο αποτελεί δεξαμενή μονής συγκράτησης, χτισμένο μέσα σε ένα δευτερεύον περιβλήμα. Το δευτερεύον περιβλήμα πρέπει να είναι σχεδιασμένο για να κρατήσει όλα τα υγρά περιεχόμενα του κύριου περιβλήματος σε περίπτωση διαρροών. Ο δακτυλιοειδής χώρος μεταξύ του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος περιβλήματος, δεν πρέπει να είναι περισσότερο από 6 m. Ακολουθούν παραδείγματα δεξαμενών διπλής συγκράτησης.

α)



β)



Εικόνα 1.8: Παραδείγματα δεξαμενής διπλής συγκράτησης

Περιγραφή:

- 1) Αναρτώμενο κατάστρωμα (μονωμένο)
- 2) Δεύτερο περίβλημα από προεντεταμένο σκυρόδεμα
- 3) Ανυψωμένη βάση
- 4) Μόνωση βάσης
- 5) Εξωτερικό κέλυφος εσωτερικής δεξαμενής (που δε περιλαμβάνει ΥΦΑ)
- 6) Χαλαρή πλήρωσης μόνωσης
- 7) Οροφή αν απαιτείται
- 8) Κυρίως περιεχόμενο
- 9) Επίχωση
- 10) Σύστημα θέρμανσης θεμελίου

1.3.3 Δεξαμενή Πλήρους Συγκράτησης

Μια δεξαμενή πλήρους συγκράτησης αποτελείται από ένα κύριο και ένα δευτερεύον περίβλημα, τα οποία μαζί σχηματίζουν μια δεξαμενή αποθήκευσης. Το κύριο περίβλημα θα πρέπει να είναι μια αυτοτελής χαλύβδινη ενιαία δεξαμενή, συγκρατώντας το υγρό προϊόν.

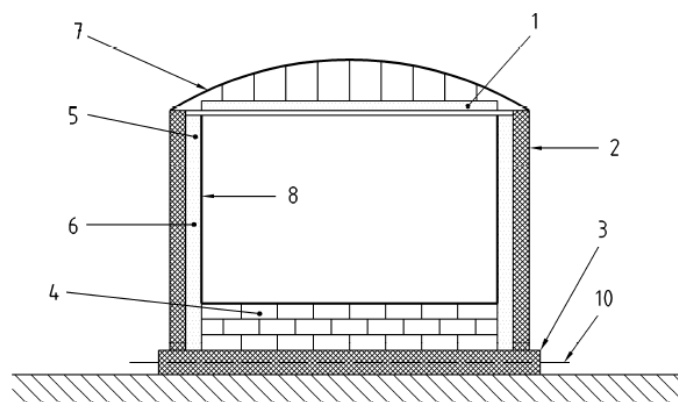
Το κύριο περίβλημα θα πρέπει:

- είτε να είναι ανοικτό στην κορυφή, στην οποία περίπτωση δεν περιέχει τους ατμούς του προϊόντος
- εξοπλισμένο με οροφή για στέγη έτσι ώστε να περιέχονται οι ατμοί του προϊόντος.

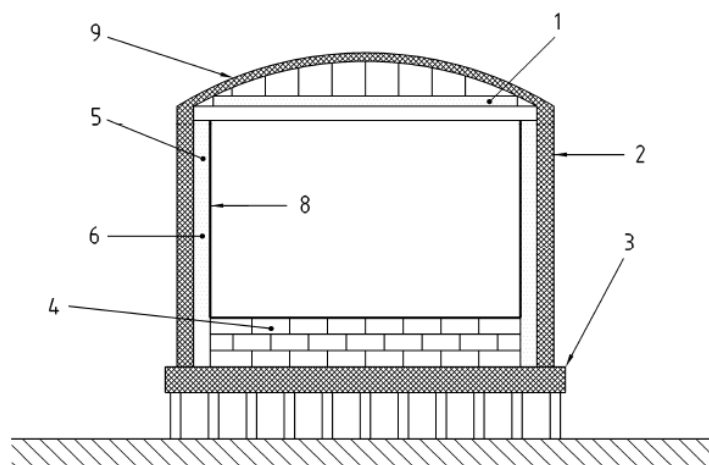
Το δευτερεύον περίβλημα θα πρέπει να είναι μια αυτοϋποστηριζόμενη χαλύβδινη ή από σκυρόδεμα δεξαμενή εξοπλισμένη με τρούλο για στέγη και να έχει σχεδιαστεί για να συνδυάσει τις ακόλουθες λειτουργίες:

- σε κανονική υπηρεσία δεξαμενής: να παρέχει την βασική συγκράτηση των ατμών της δεξαμενής (αυτό σε περίπτωση που ανοίξει η οροφή του πρωτεύοντος περιβλήματος) και να συγκρατεί την θερμική μόνωση του πρωτεύοντος περιβλήματος
- σε περίπτωση διαρροής του πρωτεύοντος περιβλήματος: να συγκρατήσει το υγρό. Είναι αποδεκτή η εξαέρωση, αλλά θα πρέπει να ελέγχεται (πίεση του συστήματος ανακούφισης).

Το δακτυλιοειδές διάστημα μεταξύ του κύριου και δευτερεύον περιβλήματος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2 m. Ακολουθούν παραδείγματα από δεξαμενή πλήρους συγκράτησης



A)



B)

Εικόνα 1.9 : Παραδείγματα δεξαμενής πλήρους συγκράτησης

Περιγραφή:

- 1) Αναρτώμενο κατάστρωμα (μονωμένο)
- 2) Δευτερεύουσα δεξαμενή από προεντεταμένο σκυρόδεμα (εξωτερική)
- 3) Βάση από μπετόν
- 4) Βάση μόνωσης
- 5) Μόνωση στο εσωτερικό της εξωτερικής δεξαμενής
- 6) Χαλαρή πλήρωση μόνωσης
- 7) Εξωτερική οροφή από χάλυβα
- 8) Κύρια δεξαμενή (εσωτερική)

9) Οροφή από οπλισμένο σκυρόδεμα

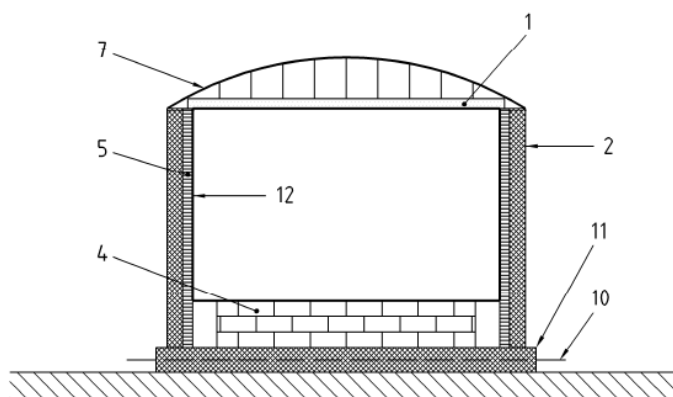
10) Σύστημα θέρμανσης θεμελίου



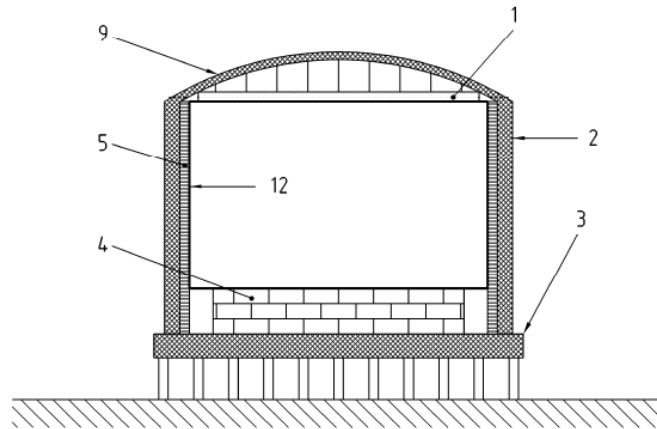
Εικόνα 1.10 : Δεξαμενή πλήρους συγκράτησης ΥΦΑ

1.3.4 Κυλινδρική Δεξαμενή με Μembrάνη

Μια δεξαμενή μεμβράνης αποτελείται από ένα λεπτό κύριο χαλύβδινο περίβλημα (μεμβράνη) σε συνδυασμό με θερμική μόνωση και μια τσιμεντένια δεξαμενή, έτσι αποτελούν από κοινού μια ολοκληρωμένη σύνθετη κατασκευή. Αυτή η σύνθετη κατασκευή θα πρέπει να παρέχει τη συγκράτηση των υγρών. Όλα τα υδροστατικά φορτία και άλλες φορτίσεις επί της μεμβράνης θα πρέπει να μεταφέρονται μέσω της μόνωσης πάνω στην τσιμεντένια δεξαμενή. Η οροφή της δεξαμενής θα πρέπει να περιορίζει τους ατμούς, η οποία μπορεί να είναι είτε μια παρόμοια ή σύνθετη κατασκευή με μια αεροστεγή οροφή μορφής θόλου και με μόνωση σε αναρτώμενη οροφή. Σε περίπτωση διαρροής του ΥΦΑ από τη μεμβράνη, η δεξαμενή από σκυρόδεμα, σε συνδυασμό με το σύστημα μόνωσης, θα πρέπει να είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να μπορεί να συγκρατήσει το υγρό. Ακολουθούν παραδείγματα δεξαμενής με μεμβράνη.



a)



β)

Εικόνα 1.11 : Παραδείγματα κυλινδρικής δεξαμενής με μεμβράνη

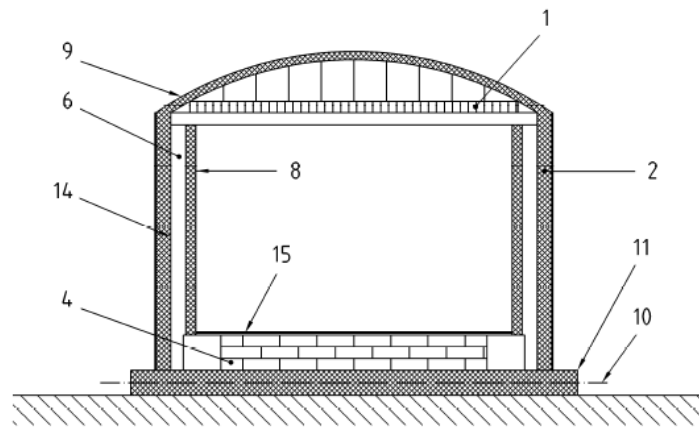
Περιγραφή:

- 1) Ανηρτημένο κατάστρωμα (μονωμένο)
- 2) Δευτερεύουσα δεξαμενή από προεντεταμένο σκυρόδεμα
- 3) Ανυψωμένη βάση από σκυρόδεμα
- 4) Μόνωση βάσης
- 5) Μόνωση στο εσωτερικό της δεξαμενής
- 7) Εξωτερική οροφή από δευτερεύουσα δεξαμενή
- 9) Οροφή από οπλισμένο σκυρόδεμα
- 10) Σύστημα θέρμανσης θεμελίου
- 11) Βάση σκυροδέματος
- 12) Κύρια δεξαμενή από μεμβράνη

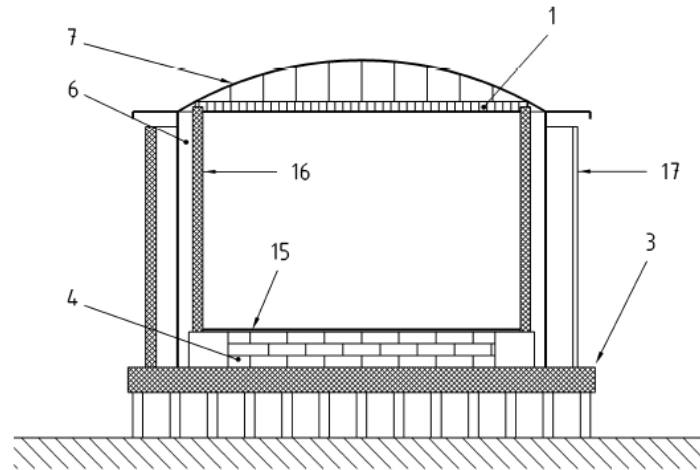
Εκτός από αυτούς τους τύπους δεξαμενών, υπάρχουν και άλλοι τύποι που γίνονται δεκτοί καθώς εξασφαλίζουν ασφάλεια κατά τη λειτουργία τους.

1.3.5 Κρυσταλλική Δεξαμενή από Σκυρόδεμα

Μια κρυσταλλική δεξαμενή από σκυρόδεμα είναι είτε σε μια δεξαμενή διπλής συγκράτησης, είτε σε μια δεξαμενή πλήρους συγκράτησης. Για αυτόν τον τύπο των δεξαμενών, τα τοιχώματα του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος περιβλήματος αποτελούνται από προεντεταμένο σκυρόδεμα. Ακολουθούν παραδείγματα κρυσταλλικής δεξαμενής από σκυρόδεμα.



α)



β)

Εικόνα 1.12 : Παραδείγματα κρυογενικής δεξαμενής από σκυρόδεμα

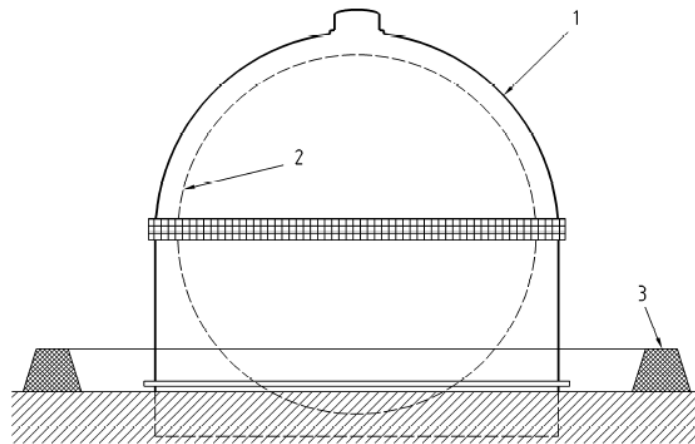
Περιγραφή:

- 1) Ανηρτημένο κατάστρωμα (κατάστρωμα αλουμινίου)
- 2) Δευτερεύουσα δεξαμενή από προεντεταμένο σκυρόδεμα (εξωτερική)
- 3) Ανυψωμένη βάση
- 4) Βάση μόνωσης
- 6) Χαλαρή πλήρωση μόνωσης
- 7) Εξωτερική οροφή από χάλυβα
- 8) Κύρια δεξαμενή
- 9) Οροφή από οπλισμένο σκυρόδεμα

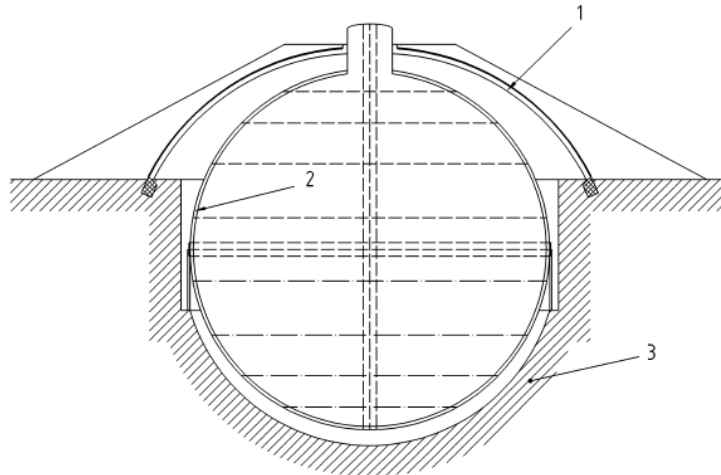
- 10) Σύστημα θέρμανσης θεμελίου
- 11) Εξωτερική βάση από σκυρόδεμα
- 14) Στρώση ανθρακούχου χάλυβα
- 15) Βάση από χάλυβα με 9% νικέλιο
- 16) Κύρια δεξαμενή από κρυσταλλικό προεντεταμένο σκυρόδεμα
- 17) Δευτερεύουσα δεξαμενή από κρυσταλλικό προεντεταμένο σκυρόδεμα

1.3.6 Σφαιρική Δεξαμενή Αποθήκευσης

Η σφαιρική δεξαμενή από σύστημα μονής συγκράτησης αποτελείται από μία μη ενισχυμένη σφαίρα που υποστηρίζεται από έναν κατακόρυφο κύλινδρο στον ισημερινό του. Η δεξαμενή έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί σύμφωνα με τον κώδικα αεριοφόρων του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO τύπου Β δεξαμενή). Η γεωμετρία της σφαιρικής δεξαμενής επιτρέπει ακριβή πρόβλεψη της κατασκευαστικής ακεραιότητας. Μπορεί να σχεδιαστεί για υψηλές επιταχύνσεις σεισμού. Μία σφαιρική δεξαμενή πάνω από το έδαφος πρέπει να περιβάλλεται από ένα ανάχωμα (bund wall), για να συγκρατεί κάθε διαρροή. Ακολουθούν παραδείγματα σφαιρικής δεξαμενής.



a)



β)

Εικόνα 1.13 : Παραδείγματα σφαιρικής δεξαμενής αποθήκευσης

Περιγραφή:

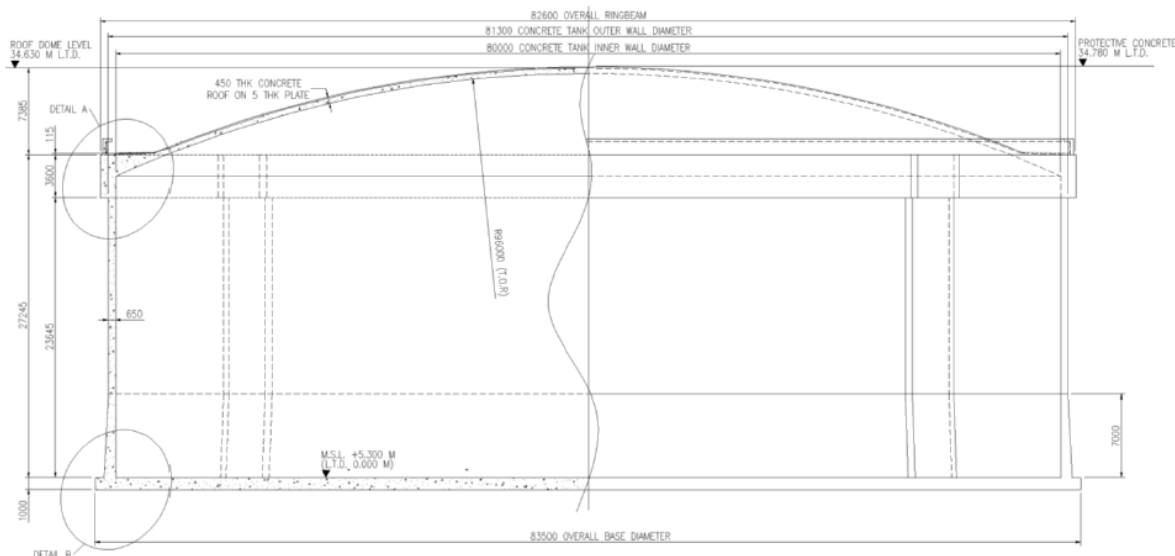
- 1) Εξωτερικό κέλυφος
- 2) Κύρια δεξαμενή συγκράτησης
- 3) Δευτερεύουσα δεξαμενή συγκράτησης



Εικόνα 1.14 : Σφαιρική δεξαμενή αποθήκευσης ΥΦΑ

1.4 Επιμέρους Τμήματα Δεξαμενής

Η δεξαμενή αποτελείται από μια ανυψωμένη βάση (μέσω σεισμικών μονωτήρων) μονολιθικά συνδεδεμένη με τον κυλινδρικό τοίχο της δεξαμενής που είναι οπλισμένος και προεντεταμένος και από τις δύο διευθύνσεις (περιφερειακές και κατακόρυφες). Τοποθετούνται τέσσερα αντιστηρίγματα με ίσα διαστήματα μεταξύ τους εκ διαμέτρου αντίθετα παρέχοντας αντιστήριξη για τους περιφερειακούς τένοντες. Ακολουθεί εικόνα τομής της εξωτερικής δεξαμενής με διαστάσεις.



Εικόνα 1.15 : Τομή δεξαμενής ΥΦΑ με προβλεπόμενες διαστάσεις

Η εξωτερική δεξαμενή από σκυρόδεμα έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά κατά τη διάρκεια κανονικών συνθηκών λειτουργίας.

- Παρέχει κατακόρυφη υποστήριξη στην εσωτερική δεξαμενή και στο ΥΦΑ
- Υποστηρίζει τη λειτουργία και ελέγχους πίεσης στην εξωτερική δεξαμενή
- Υποστηρίζει την οροφή και βοηθητικές πλατφόρμες, αντλίες δεξαμενής, σωλήνες, ανακουφιστικές βαλβίδες και άλλος εξοπλισμός
- Παρέχει προστασία στην εσωτερική δεξαμενή από μεγάλα επιβαλλόμενα φορτία όπως άνεμος, πιέσεις, επίδραση πυραύλου και ελικοπτέρου

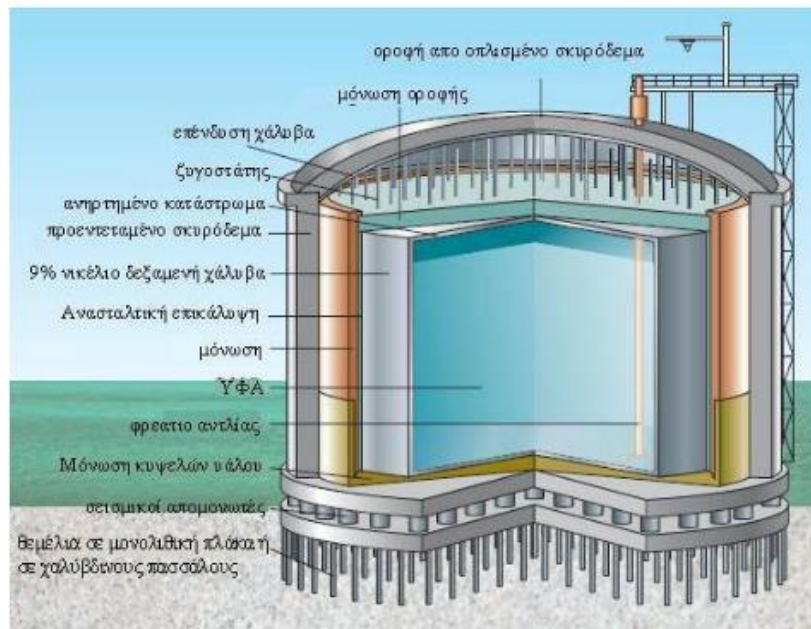
Επιπλέον, η εξωτερική δεξαμενή από σκυρόδεμα αποτελεί μια δεύτερη δεξαμενή σε περίπτωση τυχαίας διαρροής της εσωτερικής δεξαμενής. Κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας το ΥΦΑ είναι αποθηκευμένο στην εσωτερική δεξαμενή. Ο τοίχος της εξωτερικής δεξαμενής προβλέπεται να περιέχει την τυχαία διαρροή του προϊόντος από την εσωτερική δεξαμενή.

Αν συμβεί το δυσάρεστο γεγονός της διαρροής του προϊόντος από την εσωτερική δεξαμενή, ο τοίχος της δεξαμενής του σκυροδέματος πάνω από τη θερμική γωνία προστασίας στην ένωση τοίχου/βάσης, θα εκτεθεί σε χαμηλές θερμοκρασίες (-170 C). Οι συνέπειες της έκθεσης του σκυροδέματος, του οπλισμένου και των προεντεταμένων συρματοσχοίων σε τέτοιες θερμοκρασίες λαμβάνονται υπόψιν στο σχεδιασμό.

Η βάση της εξωτερικής δεξαμενής και η ένωση τοίχου/βάσης είναι θερμικά μονωμένα και αποφεύγεται η απευθείας έκθεση τους σε τέτοιες χαμηλές θερμοκρασίες.

Πέρα από τη θερμική προστασία στη βάση και στην ένωση τοίχου/βάσης, ολόκληρη η εσωτερική επιφάνεια της εξωτερικής δεξαμενής σκυροδέματος είναι περασμένη με φράγμα ατμού από ανθρακούχο χάλυβα.

***φράγμα ατμού:** Η λειτουργία του φράγματος ατμού είναι να επιβραδύνει τη μετακίνηση των υδρατμών. Το φράγμα ατμού δεν επιβραδύνει όμως τη μετακίνηση του αέρα.



Εικόνα 1.16 : Τομή δεξαμενής ΥΦΑ και απεικόνιση των επιμέρους τμημάτων της

1.4.1 Σεισμικοί Μονωτήρες και Βάθρα από Σκυρόδεμα

Υπάρχουν 308 βάθρα από οπλισμένο σκυρόδεμα που τοποθετούνται στη βάση θεμελίωσης και απαιτείται να υποστηρίζουν τους σεισμικούς μονωτήρες. Οι σεισμικοί μονωτήρες μεταφέρουν το βάρος από την εσωτερική και εξωτερική δεξαμενή συμπεριλαμβάνοντας και το περιεχόμενο της εσωτερικής δεξαμενής, πάνω στη βάση θεμελίωσης.

Τα εσωτερικά βάθρα ισαπέχουν πάνω σε ένα 4.5 m πλέγμα και είναι σχεδιασμένα να μεταφέρουν το βάρος του υγρού περιεχομένου πάνω στην εξωτερική βάση. Στην άκρη της δεξαμενής τα βάθρα οργανώνονται σε δύο ακτινικούς δακτυλίους, σχεδιασμένους να μεταφέρουν το βάρος της εξωτερικής δεξαμενής συμπεριλαμβανομένων και άλλων επιδράσεων πάνω στη εξωτερική βάση θεμελίωσης.

Οι σεισμικοί μονωτήρες (εξομειωτές τριβής) που βρίσκονται κάτω από τη βάση δεξαμενής από σκυρόδεμα, προορίζονται να μειώνουν τις οριζόντιες φορτίσεις στην δεξαμενή σε περίπτωση σεισμού. Οι μονωτήρες μειώνουν τις φορτίσεις σε σημείο όπου η εσωτερική δεξαμενή δεν απαιτεί περιορισμό ενάντια στο ανασήκωμα ή σε οριζόντια μετατόπιση σε σχέση με την εξωτερική δεξαμενή. Η αποφυγή τέτοιων περιορισμών λαμβάνεται να παρέχεται μια ασφαλής εγκατάσταση αποθήκευσης. Ο σχεδιασμός των σεισμικών μονωτήρων, των βάθρων από σκυρόδεμα και την εξωτερικής εκσκαφής που θα τοποθετηθεί η δεξαμενή είναι αρμοδιότητα του εργολάβου.

1.4.2 Βάση Δεξαμενής

Μια κυκλική επίπεδη βάση θεμελίωσης από οπλισμένο σκυρόδεμα συνηθίζεται να υποστηρίζει την εξωτερική δεξαμενή από σκυρόδεμα και την εσωτερική χαλύβδινη δεξαμενή. Η βάση της δεξαμενής ανυψώνεται και υποστηρίζεται από σεισμικούς μονωτήρες.

Η βάση της δεξαμενής είναι μια κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα που έχει ένα ομοιόμορφο πάχος του 1m που συμπίπτει με το πάχος του τοίχου στην ένωση τοίχου/βάσης. Η κύρια λειτουργία της βάσης είναι να μεταφέρει τις δυνάμεις που φτάνουν από το εσωτερικό της δεξαμενής στους σεισμικούς μονωτήρες, οι οποίοι μεταφέρουν τα φορτία στα βάρθρα και στα υποκείμενα στρώματα.

Η κατασκευή της βάσης ολοκληρώνεται σε τέσσερα στάδια για να περιορίσει τις θλιπτικές τάσεις. Η δεξαμενή ανυψώνεται συνήθως 5.3 m πάνω από τη μέση στάθμη θάλασσας (ΜΣΘ) και 1.8 m πάνω από το τελειωμένο επίπεδο της τρύπας για να επιτρέπει τον αέρα να κυκλοφορεί μέσα από τη βάση της δεξαμενής και να επιτρέπει την εγκατάσταση και συντήρηση των μονωτήρων.

1.4.3 Εξωτερικός Τοίχος Δεξαμενής

Η εσωτερική διάμετρος της δεξαμενής του τοίχου είναι 80m. Το ύψος του τοίχου από την κορυφή της πλάκας βάσης μέχρι την κορυφή του περιφερειακού δακτυλίου είναι 27.25m. Ο τοίχος με τη βάση συνδέονται μονολιθικά. Ο τοίχος της δεξαμενής από προεντεταμένο σκυρόδεμα στενεύει από 1m στην ένωση βάσης τοίχου σε 650mm πάνω από ένα κατακόρυφο ύψος των 7m. Το πάχος του τοίχου χαμηλά είναι πιο μεγάλο για να αντιστέκεται στα υψηλά φαινόμενα λυγισμού και διάτμησης. Για την ευκολία της κατασκευής, η δεξαμενή έχει πάχος τοίχου 650mm από τα 7m έως τα 27.25m. Το περιφερειακό δοκάρι (ringbeam) έχει ύψος 3.6m, 1.3m πάχος και τοποθετείται στο πιο ψηλό σημείο του τοίχου που περιλαμβάνει ένα κανάλι διαρροής και δρόμο πρόσβασης.

Οι τοίχοι της δεξαμενής είναι από προεντεταμένο σκυρόδεμα και υπάρχουν κάθετα και περιφερειακά δεσμοί τενόντων. Οι τένοντες περικλείονται μέσα στον τοίχο. Ένα μονό επίπεδο προέντασης αποτελείται από τένοντες γωνίας 180 μοιρών. Οι τένοντες είναι αγκυρωμένοι σε δύο αντιστηρίξεις που τοποθετούνται 180 μοίρες μακριά. Υπάρχουν τέσσερα αντιστηρίγματα διασκορπισμένα γύρω από τη δεξαμενή με 90 μοίρες προσαύξηση το κάθετα. Το επόμενο σετ τενόντων αγκυρώνεται στο αντίθετο σετ αγκυρώσεων 90 μοίρες μακριά από το προηγούμενο σετ τενόντων. Τα υπόλοιπα ζευγάρια τενόντων μοιράζονται με αυτόν τον τρόπο στη δεξαμενή. Αυτό το σύστημα διασφαλίζει μια προεντεταμένη δύναμη γύρω από τη δεξαμενή.

Οι αγωγοί των τενόντων είναι πλήρως σοβατισμένοι μετά από προένταση για να παρέχουν ένωση και προστασία από διάβρωση. Υψηλή δύναμη διαρροής παραμορφώνει τις ράβδους χάλυβα, οι οποίες χρησιμοποιούνται επιπλέον με τους προεντεταμένους τένοντες για να ενισχύσουν τον τοίχο.

Στα 650mm πάχος τοίχου φιλοξενούνται 4 στρώματα από χάλυβα οπλισμού, οριζόντιοι και κατακόρυφοι προεντεταμένοι τένοντες. Κατακόρυφες εφελκυστικές δυνάμεις στον τοίχο που προκαλούνται από εσωτερική πίεση, προέρχονται από το βάρος της εξωτερικής δεξαμενής, κατακόρυφη ενίσχυση και κατακόρυφη προένταση. Η απομένουσα θλιπτική ζώνη που απαιτείται κατά τη διάρκεια μεγάλης διαρροής παρέχεται από οριζόντια προένταση και εσωτερική ενίσχυση χαμηλής θερμοκρασίας όπου απαιτείται στην οριζόντια διεύθυνση.

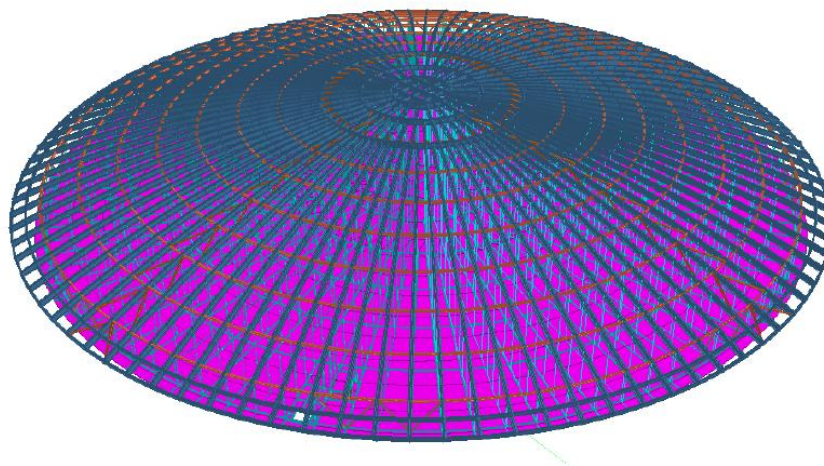
Η όπλιση παρέχεται για να ελέγξει τις θερμικές εντάσεις, να διατηρήσει τις εφελκυστικές πιέσεις και να διατηρήσει τις ρωγμές εντός ορίων. Για κατασκευαστικούς λόγους, θα κατασκευαστούν δύο προσωρινά ανοίγματα πρόσβασης κοντά στον πυθμένα του τοίχου. Το καθαρό άνοιγμα του κύριου ανοίγματος πρόσβασης είναι 4m ύψος και 4m πλάτος και το άνοιγμα για ατομική πρόσβαση είναι 2.5m ύψος και 1.5m πλάτος.

1.4.4 Εξωτερική Θολωτή Οροφή Δεξαμενής

Ένα χαλύβδινο θολωτό πλαίσιο απαιτείται να υποστηρίξει την εξωτερική χαλύβδουνη πλάκα οροφής της δεξαμενής και να παρέχει μόνιμο ξυλότυπο για την οροφή από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η οροφή από μεταλλική πλάκα είναι για να εγκατασταθεί χρησιμοποιώντας τη μέθοδο κατασκευής 'ψαροκόκκαλο', ωστόσο οι μεταλλικές πλάκες δεν είναι συγκολλημένες με το πλαίσιο της οροφής.

Το πλαίσιο θολωτής οροφής αποτελείται από 24 κύρια καμπυλωμένα δοκάρια, 24 δευτερεύοντα και 48 τριτεύοντα τα οποία εκτείνονται από την περίμετρο της δεξαμενής μέχρι τον κεντρικό δακτύλιο, δευτερεύοντα και τριτεύοντα δακτύλιο αντίστοιχα. Ανάμεσα τα δοκάρια αυτά είναι μια σειρά από ομόκεντρες τεγίδες σε σχήμα δακτυλίου και διαγώνια στηρίγματα τα οποία παρέχουν πλευρικό περιορισμό στην οροφή. Μαζί με τον κεντρικό δακτύλιο, η οροφή είναι σε μια χαλύβδινη σχάρα που υποστηρίζει την πλάκα της οροφής.

Ο κεντρικός δακτύλιος είναι ένας ολόκληρος δακτύλιος διαμορφωμένος από συγκολλημένα καμπυλωμένα τμήματα ή μεταλλικά δοκάρια, τα οποία υποστηρίζονται σε 3 κεντρικά δοκαράκια. Ο δευτερεύων και τριτεύων δακτύλιος εκτείνονται σε τμήματα ανάμεσα στα πρωτεύοντα και δευτερεύοντα δοκάρια.



Εικόνα 1.17 : Θολωτή οροφή δεξαμενής από χαλύβδινο καμπυλωτό πλαίσιο

Ο σχεδιασμός της θολωτής οροφής της κατασκευής διαστασιολογείται για φορτία που αντιμετωπίζονται κατά τη διάρκεια της κατασκευής επειδή, σε μόνιμη κατάσταση, η θολωτή οροφή από σκυρόδεμα δέχεται όλα τα φορτία από τις πιο ψηλές κατασκευές καθώς και φορτία σεισμού.

Κατά τη διάρκεια της ανέγερσης της θολωτής οροφής, η οροφή υποστηρίζεται σε μια προσωρινή κατασκευή υποστήριξης. Και η οροφή και η υποστηρικτική κατασκευή θα σχεδιαστούν για δυνάμεις εκτός ισορροπίας που προκαλούνται από την ακολουθία ανέγερσης. Μόλις η θολωτή οροφή είναι ολοκληρωμένη και απομακρυνθεί η προσωρινή κεντρική υποστήριξη, το αναρτώμενο κατάστρωμα ανεγείρεται πριν η οροφή τοποθετηθεί στην μόνιμη θέση της.

Η κατασκευή της θολωτής οροφής σχεδιάζεται για φόρτιση κατά τη φάση της κατασκευής λαμβάνοντας υπόψιν το κινητό φορτίο ατόμων και το ίδιο βάρος της ενίσχυσης πριν τη σκυροδέτηση. Η πλάκα σκυροδέματος με πάχος 450mm κατασκευάζεται σε 2 ίσα στρώματα με τέτοια ακολουθία έτσι ώστε να αποφεύγεται η ισορροπημένη φόρτιση στην οροφή. Αυτό θα επιτευχθεί στρώνοντας το σκυρόδεμα σε

ομόκεντρους κύκλους δουλεύοντας περιφερειακά της δεξαμενής μέχρι το κέντρο. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής της πρώτης στρώσης του σκυροδέματος, στην εσωτερική δεξαμενή ασκείται πίεση με σκοπό η πίεση να ενατιωθεί στο ίδιο βάρος του νωπού σκυροδέματος. Μόλις η πρώτη στρώση έχει επαρκώς αναπτύξει αντοχή, το σκυροδέμα θεωρείται ότι έχει αποκτήσει επαρκή δύναμη για να υποστηρίξει τα φορτία που σχετίζονται με την κατασκευή της δεύτερης στρώσης.

1.4.5 Αναρτώμενο Κατάστρωμα

Η εσωτερική δεξαμενή πρέπει να έχει ένα αναρτώμενο κατάστρωμα που κατασκευάζεται από κυματοειδές φύλλο αλουμινίου (χαλυβδόφυλλο), ένα υποστηρικτικό πλαίσιο από διατομές τύπου ταυ (υλικού αλουμινίου) και ράβδους ανοξείδωτου χάλυβα.

Το υποστηρικτικό πλαίσιο από αλουμίνιο αποτελείται από διατομές ταυ ενωμένες μεταξύ τους για να σχηματίσουν μια σειρά από ακτινικά δοκάρια τα οποία κρέμονται από τη θολωτή εξωτερική οροφή της δεξαμενής από ράβδους ανοξείδωτου χάλυβα, ανά 3m περίπου. Οι επιπτώσεις από την ελευθέρωση μιας ράβδου λαμβάνονται υπόψιν στο σχεδιασμό για την περίπτωση φορτίων λειτουργίας.

Ο σχεδιασμός του κυματοειδούς καταστρώματος θεωρεί ότι το κατάστρωμα δρά σαν ένα μονό, ή ένα διπλό γεφυρωτό μέλος που συμπληρώνει το κενό μεταξύ των δοκαριών του πλαισίου. Οι ράβδοι που συνδέουν το κατάστρωμα με τη θολωτή οροφή, περιλαμβάνουν ένα έλασμα ή άλλα μέσα που εξασφαλίζουν την ελάχιστη κατακόρυφη προσαρμογή στο επίπεδο του ανηρτημένου καταστρώματος.

Στην ανάλυση του αναρτώμενου καταστρώματος λαμβάνεται υπόψιν το ίδιο βάρος του αναρτώμενου καταστρώματος, το βάρος της μόνωσης (πάπλωμα ή περλίτης) και ένα κινητό φορτίο κατασκευής. Λαμβάνεται ακόμη υπόψιν μια διαφορά πίεσης ανάμεσα στην εσωτερική δεξαμενή και στο κενό της οροφής της δεξαμενής μαζί με τη θερμική συστολή και τις σεισμικές δυνάμεις. **Το αναρτώμενο κατάστρωμα περιλαμβάνει ανοίγματα εξαερισμού για να διασφαλίσει ότι η διαφορά πίεσης δεν είναι περισσότερη από το ίδιο βάρος του αναρτώμενου καταστρώματος έτσι ώστε να εμφανιστεί ανασήκωμα.**

Επειδή το κατάστρωμα θλίβεται δραστικά κατά τη διάρκεια της ψύξης της δεξαμενής, οι συνδέσεις ανάμεσα στις ράβδους που στηρίζουν το πλαίσιο του καταστρώματος και τα δοκάρια της οροφής πρέπει να επιτρέπουν περιστροφή στις συνδέσεις. Το κατάστρωμα πρέπει να απομονώνεται από το κέλυφος της εσωτερικής δεξαμενής καθώς και όλα τα ανοίγματα του καταστρώματος για να διασφαλίζεται ότι κατά τη διάρκεια της ψύξης το κατάστρωμα επιτρέπεται να κάνει ελεύθερη κίνηση.

Το αναρτώμενο κατάστρωμα θεωρείται ότι δρά σαν μια διαφραγματική πλάκα όταν αντιστέκεται σε οριζόντια σεισμικά φορτία και δεν υποβάλλεται σε επιπλέον δυνάμεις. Η οριζόντια μετακίνηση του καταστρώματος είναι περιορισμένη από την παρουσία των κατακόρυφων υποστηρικτικών μελών που βρίσκονται γύρω από την περίμετρο του καταστρώματος. Το κατάστρωμα απομονώνεται από το κέλυφος της εσωτερικής δεξαμενής καθώς και κάθε άνοιγμα του, έτσι ώστε σε περίπτωση σεισμικού γεγονότος, να μην υπάρχει καμία επίδραση ανάμεσα στο κατάστρωμα και σε άλλο μέλος της δεξαμενής.

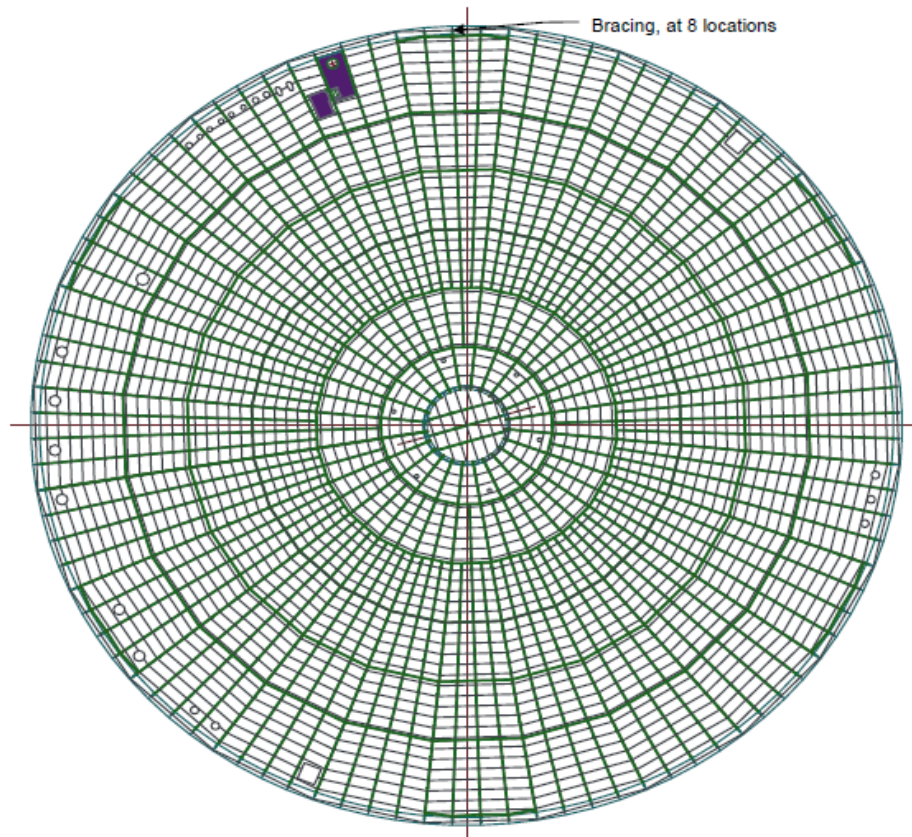


Figure 21 - Plan of Suspended Deck

Εικόνα 1.18 : Κάτοψη αναρτώμενου καταστρώματος με 6 κατακόρυφα στηρίγματα σε μορφή W

1.4.6 Εσωτερικοί Διάδρομοι

Παρέχονται 2 περιφερειακοί διάδρομοι πάνω σε δοκάρια για να διευκολύνουν την κατασκευή του εσωτερικού τοίχου της δεξαμενής και την εγκατάσταση της εσωτερικής μόνωσης του τοίχου της δεξαμενής. Τα δοκάρια που λειτουργούν ως διάδρομοι πρέπει να κρέμονται από τα δοκάρια οροφής και να σχεδιάζονται ώστε να ταιριάζουν με τις προοπτικές διαστάσεων υπερυψωμένων κατασκευών και να έχουν ασφαλές φορτίο λειτουργίας. Οι διάδρομοι αυτοί αποτελούνται από καμπυλωμένες στρεφόμενες διατομές με λεπίδες ένωσης οι οποίες επιτρέπουν την απεριόριστη μετακίνηση των υπερυψωμένων οχημάτων κατά την διάρκεια της λειτουργίας.

1.4.7 Εσωτερική Κλίμακα Δεξαμενής

Η εσωτερική κλίμακα στην εσωτερική δεξαμενή θα πρέπει να κατασκευάζεται από αλουμίνιο, να υποστηρίζεται και να περιορίζεται πλευρικά από υποστηρίγματα προσκολούμενα στον τοίχο της εσωτερικής δεξαμενής. Η κλίμακα κατασκευάζεται από μια σειρά από κλίμακες, με πλατίσκαλα, με διάστημα ανά 6m ονομαστικά κατακόρυφα κέντρα από το πλήρες ύψος της δεξαμενής. Παρέχονται επίσης ασφαλείς πύλες στην κορυφή κάθε τμήματος κλίμακα.

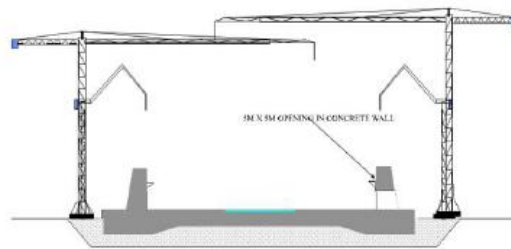
1.4.8 Χαλύβδινη Υποστήριξη Ανέγερσης της Οροφής της Δεξαμενής

Απαιτούνται προσωρινές κατασκευές υποστήριξης για να επιτρέπουν την συνένωση του πλαισίου της θολωτής οροφής, των πλακών της οροφής και του αναρτώμενου καταστρώματος πριν τοποθετηθούν στο τελικό υψόμετρο. Το πλαίσιο της θολωτής οροφής και η υποστηρικτική κατασκευή από χάλυβα ελέγχονται για εκτός ισορροπίας πιέσεις που προκαλούνται από την ακολουθία ανέγερσης των διάφορων στοιχείων της οροφής.

Η προσωρινή κατασκευή υποστήριξης αποτελείται από ένα κεντρικό υποστηριζόμενο πύργο, περιορισμένο από προεντεταμένα συρματόσχοινα. Αυτός ο πύργος υποστηρίζει τον κεντρικό δακτύλιο και τα εσωτερικά τελειώματα των δοκαριών, με τα εξωτερικά τελειώματα των δοκαριών να υποστηρίζονται από χαλύβδινα στηρίγματα, που υπάρχουν μέσα στον εξωτερικό τοίχο. Αν κρίνεται απαραίτητο, στα ανοίγματα πρόσβασης της δεξαμενής που είναι υπερυψωμένα σε σχέση με το δάπεδο παρέχονται υποστηρικτικά πλαίσια. Παρέχονται άμεσα υποστηρικτικά δοκάρια μέχρι τη μέση της διαδρομής μεταξύ του πύργου και του περιμετρικού τοίχου, αν απαιτείται από τον σχεδιασμό. Ο κεντρικός πύργος, τα συρματόσχοινα, τα περιφερειακά πλαίσια υποστήριξης και τα άμεσα υποστηρίγματα αγκυρώνονται στη βάση με ήλους ή πλάκες που μπαίνουν μέσα στη γη.

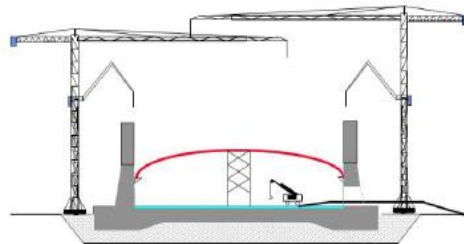
1.4.9 Παράδειγμα Σταδίων Κατασκευής – Ανέγερσης Δεξαμενής ΥΦΑ

- Ανασκαφή και προετοιμασία της βάσης της δεξαμενής
- Τοποθέτηση μανδύα σκυροδέματος και βάσης πλάκας
- Κατασκευή εξωτερικού τοίχου και τοποθέτηση γερανών



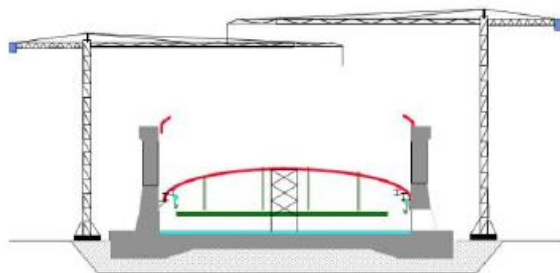
Εικόνα 1.19 : Κατασκευή εξωτερικού τοίχου και τοποθέτηση γερανών

- Ανέγερση οροφής και τοποθέτηση βασικού φράγματος υδρατμών στη βάση



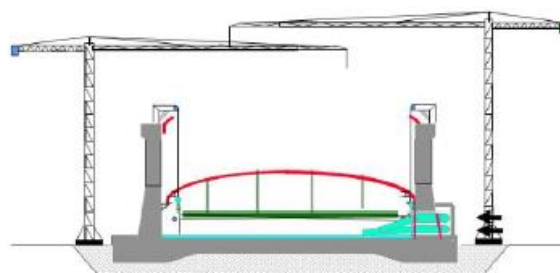
Εικόνα 1.20 : Ανέγερση οροφής και τοποθέτηση βασικού φράγματος υδρατμών στη βάση

- Ανέγερση οροφής αναρτώμενου καταστρώματος



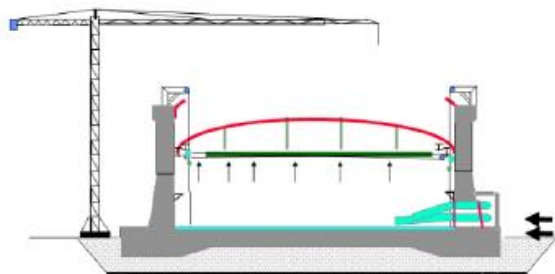
Εικόνα 1.21 : Ανέγερση οροφής αναρτώμενου καταστρώματος

- Κλείσιμο του ανοίγματος πρόσβασης



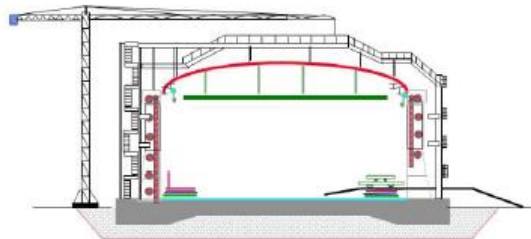
Εικόνα 1.22 : Κλείσιμο του ανοίγματος πρόσβασης

- Ανύψωση οροφής



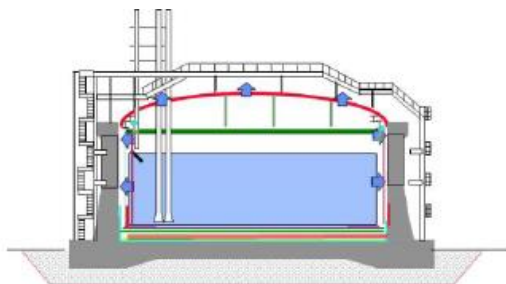
Εικόνα 1.23 : Ανύψωση οροφής

- Τοποθέτηση στο δακτυλοειδές διάστημα μεταξύ του κύριο και του δευτερεύοντος περιβλήματος μονωτικού υλικού, εγκατάσταση αφρώδους γυαλιού σε τοίχους και 9% νικέλιο.



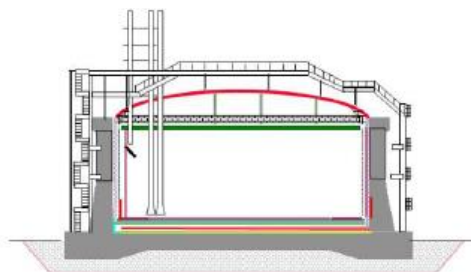
Εικόνα 1.24 : Εγκατάσταση μονωτικών υλικών

- Εγκατάσταση σωληνώσεων, οργάνων και ηλεκτρονικοί έλεγχοι. Εκτέλεση υδροστατικών ελέγχων με υγρό.



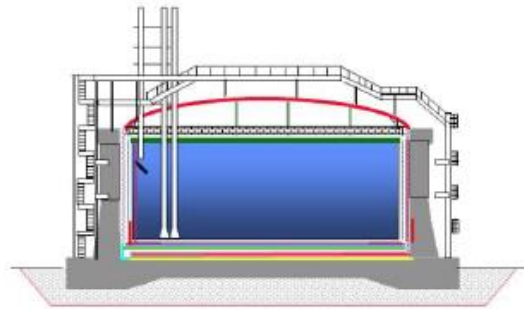
Εικόνα 1.25 : Εκτέλεση υδροστατικών ελέγχων

- Άδεισμα και καθάρισμα του εσωτερικού της δεξαμενής από το υγρό που έγινε έλεγχος, μόνωση του κελύφους της εσωτερικής δεξαμενής και του αναρτώμενου καταστρώματος. Συμπλήρωση του διάκενου μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής δεξαμενής με περλίτη.



Εικόνα 1.26 : Μόνωση εσωτερικής δεξαμενής και καταστρώματος

- Γέμισμα της δεξαμενής με ΥΦΑ



Εικόνα 1.27 : Γέμισμα της δεξαμενής με ΥΦΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

2.1 Ασφάλεια και Περιβάλλον

2.1.1 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής της μελέτης, πρέπει να διεξαχθεί μια Αξιολόγηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΕΙΑ) για την προτεινόμενη τοποθεσία σύμφωνα με τους τοπικούς κανονισμούς. Πρέπει να δοθεί μεγάλη σημασία στα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης τοποθεσίας. Μόλις επιλεγεί το συγκεκριμένο σημείο τοποθέτησης της δεξαμενής ΥΦΑ, διεξάγεται αυτή η αξιολόγηση.

Όλες οι εκπομπές από την εγκατάσταση όπως στερεό, υγρό (περιλαμβανομένου και του νερού), και καύσιμα (περιλαμβανομένων βλαβερών ουσιών) πρέπει να εντοπίζονται, να λαμβάνονται μέτρα που να βεβαιώνουν ότι δεν είναι επιβλαβείς για τους ανθρώπους, τη γη, την χλωρίδα και την πανίδα. Αυτό αφορά τυχαίες και μη εκπομπές.

Κατά τη διάρκεια ή πριν τη λειτουργία της δεξαμενής, πρέπει να ορισθεί μια διαδικασία διαχείρισης των υγρών αποβλήτων. Οι προειδοποιήσεις για τον χειρισμό των τοξικών υλικών πρέπει να ανανεώνονται σύμφωνα με τους κανονισμούς από το χειριστή. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις εξαιτίας της κατασκευής και της λειτουργίας της δεξαμενής πρέπει να γνωστοποιούνται και να ελαχιστοποιούνται ή να εκμηδενίζονται και να περιορίζονται τα ανεπιθύμητα επίπεδα των δραστηριοτήτων. Τα παρακάτω αφορούν τις κυριότερες δραστηριότητες που δημιουργούνται από την κατασκευή μιας δεξαμενής ΥΦΑ :

- Αύξηση πληθυσμού, μόνιμη ή προσωρινή
- Αύξηση των οδικών δικτύων, γραμμές τρένων και πλοίων
- Αύξηση επιπέδων θορύβου, ξαφνικός και διακοπτόμενος θόρυβος
- Αύξηση την νυχτερινής εργασίας, επιπτώσεις του φωτός και διακοπτόμενη χρήση τους
- Ανάφλεξη, διακοπτόμενη ή συνεχής
- Θέρμανση ή ψύξη του νερού

Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού πρέπει να αναπτύσσονται σχέδια για την ελαχιστοποίηση, μείωση και ελάττωση των βλαβερών εκπομπών που προέρχονται από ελέγχους λειτουργίας, δραστηριότητες λειτουργίας και συντήρησης και πρέπει να τεθούν στόχοι για συγκεντρώσεις ρύπων στις εκπομπές αυτές. Πρέπει να ελέγχονται ασφαλώς τα ακόλουθα:

- Προϊόντα καύσης
- Κανονικός ή τυχαίος εξαερισμός αερίου
- Κανονική ή τυχαία καύση αερίου
- Έκθεση απορριμάτων (περιλαμβανομένων των λαδιών και των χλωριούχων οργανικών συστατικών)
- Εξατμιζόμενο νερό

Ακόμη, θα πρέπει να περιλαμβάνεται στη Αξιολόγηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΕΙΑ) η εξωτερική συμμόρφωση κοντά στη δεξαμενή ΥΦΑ, αναφέροντας την ένταση και τη φύση της κίνησης καθώς και κάθε προβλεπόμενη ανάπτυξη που θα επέλθει εξαιτίας της κατασκευής. Για την ακρίβεια πρέπει να αναφέρονται τα ακόλουθα :

- Χερσαία δρομολόγια (δρόμοι, σιδηροδρομικές γραμμές)
- Πλωτά δρομολόγια (δρομολόγια σε θάλασσες και ποτάμια, κανάλια)
- Αεροπορικά δρομολόγια και η απόσταση αεροδρομίων και αεροδιαδρόμων

2.1.2 Ασφάλεια Εγκατάστασης Δεξαμενής ΥΦΑ

Οι εγκαταστάσεις ΥΦΑ πρέπει να σχεδιάζονται για να παρέχουν υψηλά επίπεδα ασφάλειας για τη ζωή και για το περιβάλλον τόσο εξωτερικά της δεξαμενής όσο και εσωτερικά. Για να διασφαλιστεί το υψηλό επίπεδο ασφάλειας στις εγκαταστάσεις ΥΦΑ και στα περίχωρα, η ασφάλεια πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν κατά τη διάρκεια όλων των φάσεων της μελέτης και υλοποίησης : στις εργασίες του μηχανικού, στην κατασκευή, στην εκκίνηση, στη λειτουργία και στην παύση λειτουργίας. Πρέπει να διεξάγονται προειδοποιήσεις πιθανών κινδύνων (που αναφέρθηκαν παραπάνω).

2.1.2.1 Περιγραφή της εγκατάστασης

Μια λειτουργική περιγραφή της εγκατάστασης αναφέρεται στη Αξιολόγηση Ασφάλειας της δεξαμενής ΥΦΑ. Πριν την εγκατάσταση διεξάγεται η μελέτη της περιοχής. Η μελέτη περιλαμβάνει:

- Έρευνα του εδάφους
- Μελέτη του εδάφους για την πιθανότητα διάσπασης του υγρού
- Μελέτη της βλάστησης ιδιαίτερα για τον κίνδυνο πυρκαγιάς
- Μελέτη για τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες
- Μελέτη για την αναγνώριση των απομακρυσμένων πηγών ηλεκτρικού ρεύματος
- Μελέτη για το θαλάσσιο υδρόβιο περιβάλλον και τη θαλάσσια πρόσβαση
- Μελέτη για την ποιότητα του θαλασσινού νερού και τη θερμοκρασία
- Μελέτη για τις συνθήκες παλίρροιας
- Μελέτη για ακραία ύψη κυμάτων και πλημμύρας (τσουνάμι, αστοχία φραγμάτων κλπ)
- Έρευνα για τις τριγύρο υποδομές (πχ. Εργοστάσια, κατοικίσιμες περιοχές, επικοινωνίες)
- Περιοχές με ελιγμούς και ασφαλείς αποστάσεις που διανύουν τα πλοία μεταφοράς ΥΦΑ μέχρι να αγκυροβολίσουν

2.1.2.2 Μελέτη Περιοχής

Η μελέτη περιοχής περιλαμβάνει όπου κρίνεται κατάλληλα :

- τη γεωτεχνική μελέτη που καθιστά εφικτά να ορισθούν τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά του υπεδάφους
- τη γεωτεχνική και τεκτονική έρευνα

Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής πρέπει να ερευνώνται επαρκώς προκειμένου να προβλέπεται για παράδειγμα η πιθανότητα σεισμικών γεγονότων. Μια πιο ειδική έρευνα πρέπει να γίνει στην περιοχή και στα περίχωρα για να εντοπιστεί η παρουσία τυχόν καρστικού σχεδιασμού, γύψου, διογκωμένου αργίλου, διαλυτά αποθέματα αλάτων, υγροποίηση εδάφους, κινούμενη μάζα κλπ και να εκτιμηθούν οι σχετικές επιδράσεις τους. Τέτοια φαινόμενα δεν επιτρέπονται κάτω από τη δεξαμενή ή από τα θεμέλια, εκτός και να αποδειχθεί ότι θα ληφθούν κατάλληλα μέτρα για να ξεπεραστούν τα πιθανά προβλήματα.

2.1.2.3 Κλιματολογία

Η κλιματολογική μελέτη περιλαμβάνει τα ακόλουθα σημεία:

- Δύναμη ανέμου και κατεύθυνση περιλαμβάνοντας συχνότητα και δύναμη των δυνατών καταιγίδων
- Θερμοκρασίες
- Ατμοσφαιρική σταθερότητα
- Φάσμα και ρυθμός αλλαγής της βαρομετρικής πίεσης
- Βροχόπτωση, χιόνι, παγετός
- Διαβρωτικά χαρακτηριστικά του αέρα
- Πιθανότητες πλημμύρας
- Συχνότητα αστραπών
- Σχετική υγρασία

Τοπικές συνθήκες μπορεί να απαιτούν άλλες έρευνες.

2.1.2.4 Σεισμολογία

Ένας σεισμός χαρακτηρίζεται από οριζόντιες και κατακόρυφες επιταχύνσεις στο έδαφος. Αυτές οι επιταχύνσεις περιγράφονται από:

- το φάσμα συχνότητας τους
- το εύρος τους

Πρέπει να διεξαχθεί μια ειδική ανάλυση σεισμού. Αυτή πρέπει να περιλαμβάνει εκτιμήσεις για τους κινδύνους σεισμού, τσουνάμια, κατολισθήσεων και ηφαιστειακών δραστηριοτήτων. Αυτή η ανάλυση πρέπει να παρουσιάζεται σε ένα άρθρο για το σεισμό, όπου λαμβάνονται υπόψη γεωλογικά και σεισμικά χαρακτηριστικά της περιοχής εγκατάστασης καθώς και γεωτεκτονικές πληροφορίες. Αυτό το άρθρο θα ορίζει όλες τις σεισμικές παραμέτρους για το σχεδιασμό. Το μέγεθος της περιοχής που προβλέπεται να ερευνηθεί εξαρτάται από τη φύση της περιοχής γύρω από το σημείο εγκατάστασης της δεξαμενής και τις γεωλογικές και τεκτονικές συνθήκες που προέκυψαν από την έρευνα του εδάφους. Ένα δεύτερο επίπεδο ανάλυσης είναι αυτό που γίνεται σε ακτίνα 80 χιλιομέτρων μακριά από το σημείο εγκατάστασης (τοπική σεισμοτεκτονική έρευνα) με σκοπό να εντοπιστεί η παρουσία ενεργών γεωλογικών σφαλμάτων. Αυτές οι έρευνες περιλαμβάνουν μέσω αναζήτησης, έλεγχο και εκτίμηση όλων των ιστορικών σεισμικών γεγονότων που επηρέασαν ή υπάρχει πιθανότητα να επηρεάσουν τη συγκεκριμένη τοποθεσία.

Σε περίπτωση σεισμικών σφαλμάτων στην άμεσα κοντινή περιοχή του σημείου εγκατάστασης, πρέπει να διεξαχθούν περαιτέρω έρευνες για να εκτιμηθεί η πιθανή δραστηριότητα.

Οι γεωλογικές, τεκτονικές και σεισμολογικές μελέτες συμβάλλουν αν προσδιοριστεί:

- Ο Ασφαλής Αποστασιοποιημένος Σεισμός (SSE)
- Ο Βασικός Σεισμός Λειτουργίας (OBE)

Συγκεκριμένα αυτοί οι σεισμοί :

- Είναι αυτοί που παράγουν κίνηση του εδάφους με επανάληψη με μικρότερο διάστημα επαναφοράς τα 5000 χρόνια για τον SSE και τα 475 χρόνια για τον OBE.
- Θεωρητικά, υποτίθεται ότι οι σεισμοί που είναι ανάλογοι με το μέγιστο ιστορικά γνωστό, είναι πιθανό να συμβούν στο μέλλον με μια θέση επικέντρου που είναι η πιο σοβαρή όσον αφορά στα αποτελέσματα τους από την ένταση τους στο συγκεκριμένο σημείο, ενώ παραμένουν συμβατοί με τα γεωλογικά και σεισμικά δεδομένα.

Και ο OBE αλλά και ο SSE ορίζουν συγκεκριμένα όρια για τα σεισμικά γεγονότα αυξανόμενης σοβαρότητας.

2.1.2.5 Τοποθεσία

Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής της μελέτης πρέπει να διεξαχθούν εκτιμήσεις για τη συγκεκριμένη τοποθεσία για να επιβιβαιωθεί η καταλληλότητα του συγκεκριμένου σημείου και λόγω της γειτονικής ανάπτυξης. Η αξιολόγηση πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής:

- Γειτονική ανάπτυξη
- Εγκαταστάσεις για λιανικό εμπόριο και ενασχόληση σε ελεύθερο χρόνο
- Σημαντικές εγκαταστάσεις όπως σχολεία, νοσοκομεία, γηροκομεία, αθλητικά κέντρα κλπ
- Βιομηχανική ανάπτυξη
- Υποδομές μεταφορών

Όταν επιλεγεί το συγκεκριμένο σημείο, διεξάγεται μια λεπτομερής αναφορά για την τοποθεσία. Η μεθοδολογία τοπικής αναφοράς και η εμβέλεια που λαμβάνει σέβεται τα επικίνδυνα υλικά που περιέχονται στην κατασκευή και την παρουσία των όσων κατασκευών υπάρχουν γειτονικά και αναγνωρίζουν μελλοντικά στοιχεία ανάπτυξης σε συμμόρφωση με τους τοπικούς και εθνικούς κανονισμούς. Συγκεκριμένα:

- Η αναφορά θα ανανεώνεται σε νέα βάση όταν υπάρχουν νέες αλλαγές ή κύριες τροποποιήσεις
- Η ανάπτυξη γύρω από την κατασκευή ελέγχεται να ελαχιστοποιεί την επακόλουθη ασύμβατη ανάπτυξη

2.1.3 Αξιολόγηση Πιθανών Κινδύνων

Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού θα πρέπει να διεξαχθεί μια εκτίμηση των κινδύνων και ακόμη θα πρέπει να αναφέρεται αν υπάρχει κάποια μεγάλη τροποποίηση ή αλλαγή στο σχεδιασμό και την υλοποίηση.

2.1.3.1 Κίνδυνοι Εξωτερικής Προέλευσης

Πρέπει να διεξαχθούν μελέτες για να αναγνωριστούν οι κίνδυνοι που εμφανίζονται εξωτερικά της κατασκευής. Τέτοιοι κίνδυνοι προκαλούνται από:

- Πλοία που μεταφέρουν ΥΦΑ πλησιάζοντας τη θέση αγκυροβόλισης με υπερβολική ταχύτητα ή γωνία
- Την πιθανότητα σύγκρουσης του πλοίου που μεταφέρει ΥΦΑ με την προβλήτα εξαιτίας των μεγάλων μετατοπίσεων που έχουν τα σκάφη που αγκυροβολούν
- Φυσικά γεγονότα όπως αστραπές, πλημμύρες, σεισμοί, τσουνάμια, παγόβουνα
- Ανάφλεξη από υψηλής ενέργειας ραδιοκύματα
- Επίδραση που δέχεται το πλοίο μεταφοράς ΥΦΑ από ιπτάμενα αντικείμενα όπως αεροπλάνα
- Μια 'ντόμινο επίδραση' ως αποτέλεσμα από φωτιές και εκρήξεις σε διπλανές κατασκευές
- Εύφλεκτα, τοξικά και ασφυκτικά νέφη καυσίμου
- Μόνιμες πηγές καύσης, όπως γραμμές ενέργειας με υψηλή τάση
- Προσέγγιση ανεξέλεγκτων πηγών καύσης στο σημείο τοποθέτησης της δεξαμενής

2.1.3.2 Κίνδυνοι Προερχόμενοι από το ΥΦΑ

Πρέπει να ληφθεί υπόψιν για όλα τα αντικείμενα του εξοπλισμού συμπεριλαμβανομένων της διαδικασίας φόρτωσης και εκφόρτωσης των δεξαμενοπλοίων ή των πλοίων που μεταφέρουν ΥΦΑ ότι υπάρχει απώλεια του περιεχομένου του ΥΦΑ και του φυσικού καυσίμου. Για να απλοποιηθεί η μελέτη, πρέπει να ορισθούν ορισμένα σενάρια. Αυτά τα σενάρια καθορίζονται από:

- την πιθανότητα ή τη συχνότητα του κινδύνου
- την τοποθεσία της διαρροής
- τη φύση της ροής (ΥΦΑ ή καύσιμο, διευκρινίζοντας τη θερμοκρασία)
- το ρυθμό και τη διάρκεια της διαρροής
- τις καιρικές συνθήκες (ταχύτητα ανέμου και κατεύθυνση, ατμοσφαιρική σταθερότητα, θερμοκρασία περιβάλλοντος, σχετική υγρασία)
- τις θερμικές προοπτικές και την τοπογραφία του εδάφους
- την εγγύτητα του ξυλοτύπου που μπορεί να είναι ευπαθής στη θραύση εξαιτίας των χαμηλών και κρυογενικών θερμοκρασιών. Κάτω από τέτοιες θερμοκρασίες όταν οι ποσότητες του ΥΦΑ έχουν εισαχθεί στο νερό, μπορεί να εμφανιστεί υπερπίεση χωρίς καύση.

Τα σενάρια που λαμβάνονται υπόψιν για τους διάφορους τύπους δεξαμενών ΥΦΑ αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2.1 : Σενάρια που λαμβάνονται υπόψιν για την αξιολόγηση κινδύνων για τους διάφορους τύπους δεξαμενών

Τύποι δεξαμενής	Όλη μεταλλική ή με μεταλλική οροφή	Προεντεταμένο σκυρόδεμα (περιλαμβάνοντας οροφή με οπλισμένο σκυρόδεμα)
Μονής συγκράτησης	a	-
Διπλής συγκράτησης	b	-
Πλήρους συγκράτησης	b	c
Με μεμβράνη	b	c
Κρυογενική από σκυρόδεμα	b	c
Σφαιρική	a	-
Μέσα στο έδαφος	b	c

Περιγραφή σεναρίων:

a : Σε περίπτωση κατάρρευσης της κύριας δεξαμενής συγκράτησης, η περιοχή συγκράτησης γεμίζει με νερό πυροσβεστήρα

b : Σε περίπτωση κατάρρευσης της οροφής δεξαμενής, η δεύτερη περιοχή συγκράτησης θα γεμίσει με νερό πυροσβεστήρα

c : Η κατάρρευση οροφής δε λαμβάνεται υπόψιν για αυτούς τους τύπους δεξαμενών εκτός και αν αναφέρεται στις αναλύσεις κινδύνου

2.1.3.3 Άλλοι Κίνδυνοι

Αυτοί οι κίνδυνοι αναφέρονται σε:

- Ταυτόχρονες φορτίσεις σε πλωτές υποδομές
- Αδυναμία επικοινωνίας δεξαμενοπλοίου ΥΦΑ με την ακτή
- Συνεχής κίνηση κατά τη διάρκεια της κατασκευής και λειτουργίας
- Διαρροή άλλων επικίνδυνων ουσιών πχ εύφλεκτων ψυκτικών μέσων
- Πυραύλους προερχόμενους από έκρηξη
- Βοηθητικά μέσα, καταλύτες και χημικά προϊόντα

- Λιμενικές εγκαταστάσεις
- Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις
- Ατυχήματα κατά τη διάρκεια κατασκευής και συντήρησης

2.1.4 Εκτίμηση Συνεπειών

Οι συνέπειες για κάθε σενάριο από αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του ΥΦΑ και άλλων φαινομένων.

2.1.4.1 Εξάτμιση του ΥΦΑ που διέρρευσε

Το φαινόμενο της στιγμιαίας εξάτμισης πρέπει να ληφθεί υπόψιν. Ο υπολογισμός της εξάτμισης εξαιτίας της μεταφοράς θερμότητας θα διεξαχθεί χρησιμοποιώντας κατάλληλα έγκυρα μοντέλα. Στο μοντέλο θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν:

- Ο βαθμός ροής ΥΦΑ και η διάρκεια
- Η σύνθεση του ΥΦΑ
- Η φύση του εδάφους (συντελεστής θερμικής συστολής, πυκνότητα)
- Η θερμοκρασία του εδάφους ή του νερού
- Ατμοσφαιρικές συνθήκες (θερμοκρασία περιβάλλοντος, υγρασία, ταχύτητα ανέμου)
- Ατμοσφαιρική σταθερότητα και θερμοκρασιακή κλίση

2.1.4.2 Ατμοσφαιρική Διασπορά του ΥΦΑ

Πρέπει να ληφθεί υπόψιν η ατμοσφαιρική διασπορά του νέφους που δημιουργείται από την εξάτμιση του ΥΦΑ και έρχεται σε επαφή με το έδαφος ή το νερό μέσω κατάλληλων μοντέλων. Για το μοντέλο λαμβάνονται υπόψιν τα παραπάνω με προσθήκη την τοπογραφία του εδάφους.

Η προσομοίωση της ατμοσφαιρικής διασποράς πρέπει να βασίζεται στο συνδυασμό της ταχύτητας του ανέμου και της ατμοσφαιρικής σταθερότητας και μπορεί να εμφανιστούν ταυτόχρονα. Μέσω του μοντέλου αυτού προσδιορίζεται η συγκέντρωση των ισοϋψών και η απόσταση από το όριο ευφλεκτότητας.

2.1.4.3 Υπερπίεση

Η καύση του φυσικού αερίου μπορεί να δημιουργήσει έκρηξη προερχόμενη από ένα κύμα υπερπίεσης. Αναγνωρισμένες μέθοδοι και μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογισθεί η υπερπίεση. Αυτή η υπερπίεση πρέπει να καθοριστεί που είναι εφαρμόσιμη στον εξοπλισμό, στα κτίρια και τις κατασκευές. Όπου αναγνωρίζεται ότι υπάρχει υπερπίεση σε δεξαμενή, εξοπλισμό, κτίρια ή γενικά κατασκευή, επακολουθούν και τα χαρακτηριστικά του κύματος υπερπίεσης. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να θεωρηθεί ότι μια έκρηξη από καύση κόντα στη δεξαμενή αυξάνει τις πιθανότητες εμφάνισης υπερπίεσης στη μίση περίμετρο της δεξαμενής. Οι πιέσεις που προκαλούνται στη δεξαμενή από την υπερπίεση προσδιορίζονται με δυναμικές αναλύσεις. Για άλλες κατασκευές οι πιέσεις μπορούν να υπολογιστούν και με στατικές αναλύσεις. Συνεπώς, η επίδραση της υπερπίεσης κάτω από τη βάση της δεξαμενής εξαιτίας της καύσης των εύφλεκτων υλικών, λαμβάνεται υπόψιν.

2.1.4.4 Ακτινοβολία

Ο υπολογισμός της ακτινοβολίας που προκαλείται από την ανάφλεξη του ατμού από τη δεξαμενή ΥΦΑ ή την ελευθέρωση του φυσικού αερίου πρέπει να διεξάγεται χρησιμοποιώντας κατάλληλα έγκυρα μοντέλα. Τα μοντέλα αυτά πρέπει να λαμβάνουν υπόψιν:

- Την περιοχή που καταλαμβάνει η πυρκαγιά και τις διαστάσεις της
- Την περιοχή που εκπέμπεται ενέργεια από την πυρκαγιά
- Τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, την ταχύτητα του ανέμου και τη σχετική υγρασία

2.1.5 Ασφαλής επίβλεψη κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή

Από τους κινδύνους και τις συνέπειες που αναφέρθηκαν παραπάνω, γίνεται αντιληπτό ότι πρέπει να ληφθούν κάποια μέτρα για να μην υπερβούν τα επίπεδα κινδύνου. Αναφέρονται ορισμένα παραδείγματα:

- Εκκίνηση ενός συστήματος ασφαλείας που θα επιτρέπει τον έγκυρο εντοπισμό της διαρροής και θα περιορίζει τις συνέπειες της καύσης
- Αύξηση της διάλυσης του εύφλεκτου νέφους
- Μείωση των πιθανών πηγών ανάφλεξης στο εύφλεκτο νέφος
- Μείωση του βαθμού εξάτμισης μέσω ελαχιστοποίησης της μεταφοράς θερμότητας
- Μείωση της ραδιενέργειας μέσω καλύμματος νερού, συστημάτων κατακλεισμού, αφρό ή μόνωση
- Μείωση της διασποράς ατμών σε μεγάλες αποστάσεις θερμαίνοντας το νέφος με τη χρήση αφρού ή σπρέυ
- Αύξηση κενού μεταξύ του εξοπλισμού
- Προστασία της εγκατάστασης έναντι έκρηξης
- Συστήματα έκτακτης ανάγκης όπως εξοπλισμός σπασίματος παραθύρου, τηλέφωνα, συστήματα τηλεειδοποίησης, κλειστό κύκλωμα παρακολούθησης και σειρήνες.

Γενικά, κατά τη διάρκεια της μελέτης και κατασκευής πρέπει να εξασφαλίζεται πάντα το κατάλληλο επίπεδο ασφαλείας με γνώμονα την εκτίμηση κινδύνων που αναφέρθηκε παραπάνω.

2.1.5.1 Χρήση Εξοπλισμού για Χαμηλές Θερμοκρασίες

Οι πιέσεις σχεδιασμού και οι θερμοκρασίες των σωλήνων και του εξοπλισμού πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να καλύπτουν τις αναμενόμενες λειτουργίες και τις δύσκολες καταστάσεις. Οι πιέσεις στους σωλήνες και ο εξοπλισμός επηρεάζονται από τα φαινόμενα συστολής/διαστολής εξαιτίας των αλλαγών θερμοκρασίας, της πιθανότητας θερμικού πλήγματος και της μεθόδου μόνωσης. Φυσικά φαινόμενα όπως: σπηλαίωση, ανάφλεξη πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν. Προτείνεται οι κύριοι σωλήνες στις οποίες κυκλοφορεί το ΥΦΑ να διατηρούνται σε κρύες συνθήκες.

2.1.5.2 Παθητική Προστασία από Πυρκαγιά και Ευθραυστότητα

Η πυρανίχνευση πρέπει να υπάρχει για να προστατεύει τον εξοπλισμό, τυπικά είναι: ESD βαλβίδες, εξοπλισμός ασφάλειας ελέγχου, δοχεία που περιέχουν ποσότητες υγρού υδρογονάνθρακα και υποστηρίγματα για κατασκευές τα οποία σε περίπτωση αποτυχίας κλιμακώνουν το περιστατικό και θέτουν σε κίνδυνο έκτακτης ανάγκης τις δραστηριότητες του προσωπικού. Ο εξοπλισμός που μπορεί να λάβει θερμική ακτινοβολία και μπορεί να προκαλέσει κίνδυνο, προμηθεύεται με πυρανίχνευση για προστασία. Η πυρανίχνευση πρέπει να παρέχει προστασία κατά τη διάρκεια ενός επικίνδυνου γεγονότος κατ' ελάχιστον για 90λεπτά.

Η πυροπροστασία πρέπει να παρέχεται είτε σε μορφή μόνωσης είτε με κατακρήμνυση νερού για τα δοχεία πίεσης, τα οποία μπορούν να λάβουν θερμικές ροές ακτινοβολίας, ώστε να αποφευχθεί η απελευθέρωση υπερθερμαινόμενου υγρού. Αναγνωρίζεται ότι αυτά τα δοχεία πίεσης υποβάλλονται σε ακτινοβολία από ένα σημαντικό περιστατικό όπως πυρκαγιά στη δεξαμενή ΥΦΑ και γι αυτό και απαιτούν προστασία για πάνω από 90λεπτά. Η προστασία για μεγάλης διάρκειας περιστατικά επιτυγχάνεται με τη μόνωση και με σύστημα κατακρήμνισης νερού όπου και απαιτούνται.

Η πυροπροστασία παρέχεται από:

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
- Μονωτικά υλικά από ορυκτές ίνες, κεραμικό, πυριτικό ασβέστιο ή κυψελωτό γυαλί
- Διογκωτικές επικαλύψεις

Η επίδραση της διαρροής υγρών χαμηλής θερμοκρασίας (ΥΦΑ) σε γειτονικά τμήματα, εξοπλισμό και δομικό χάλυβα πρέπει να αξιολογείται και να λαμβάνονται μέτρα ώστε να αποφεύγονται τέτοια περιστατικά και να μη τίθεται σε κίνδυνο το προσωπικό. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλης επιλογής υλικών κατασκευής ή μέσω προστασίας από τη θραύση. Τα κυριότερα από αυτά τα υλικά που προσφέρουν προστασία είναι το σκυρόδεμα και ο ανοξειδωτος χάλυβας. Προστασία επίσης παρέχεται μέσω μόνωσης από υλικό που προστατεύει τον εξοπλισμό και τις κατασκευές υποστήριξης από παγωμένες συνθήκες. Η μόνωση πρέπει να σχεδιάζεται και να εγκαθίσταται σύμφωνα με κατάλληλους κανονισμούς και γίνεται πρόβλεψη για την προστασία της εξωτερικής επιφάνειας από νερό και σχισμές. Ο εξοπλισμός και τα στοιχεία υποστήριξης πρέπει να προστατεύονται με τέτοιο τρόπο ώστε η λειτουργία τους να μην επηρεάζεται από τη λειτουργία της δεξαμενής.

2.1.5.3 Ενεργή Προστασία

Η ενεργή προστασία περιλαμβάνει:

- Σύστημα πυρόσβεσης με κρουούς και μόνιτορ
- Συστήματα ψεκασμού
- Φράγμα νερού
- Πυροσβεστήρες με ξηρή σκόνη
- Οχήματα πυρόσβεσης

α) Σύστημα πυρόσβεσης

Το νερό χρησιμοποιείται σε πολλά συστήματα πυρόσβεσης και έχει συγκεκριμένες χρήσεις και στη λειτουργία δεξαμενής ΥΦΑ. Παρόλα αυτά, η πυρκαγιά στη δεξαμενή ΥΦΑ δεν ελέγχεται ούτε εξαλείφεται με το νερό. Η χρήση του νερού σε μια επιφάνεια υγρού θα αυξήσει το ρυθμό σχηματισμού ατμού με αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού καύσης με αρνητικές συνέπειες στον έλεγχο της πυρκαγιάς. Σε μια κατασκευή ΥΦΑ, κάτω από συνθήκες πυρκαγιάς, το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλες ποσότητες για την ψύξη της δεξαμενής αποθήκευσης, του εξοπλισμού και των κατασκευών που υποβάλλονται σε καύση ή θερμική ακτινοβολία λόγω πυρκαγιάς. Σαν αποτέλεσμα αυτού, ο κίνδυνος της κλιμάκωσης της πυρκαγιάς και της φθοράς του εξοπλισμού μπορεί να περιορισθεί από τη χρήση του νερού για ψύξη.

Η επιφάνεια νερού της κατασκευής, τα συστήματα αποστράγγισης και τα συστήματα συλλογής διαρροών ΥΦΑ πρέπει να σχεδιάζονται για να ελαχιστοποιήσουν την πιθανότητα το νερό πυρόσβεσης να αυξήσει το ρυθμό εξάτμισης του ΥΦΑ. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί το διαχωρισμό της κατασκευής της δεξαμενής ΥΦΑ από τα συστήματα πυρόσβεσης. Στο ελάχιστο, θα εγκατασταθούν δύο αντλίες νερού πυρόσβεσης.

Τα δίκτυα πυρόσβεσης θα παρέχονται γύρο από όλα τα μέρη της κατασκευής. Τα συστήματα παροχής νερού θα σχεδιάζονται σε ανεξάρτητα τμήματα έτσι ώστε σε περίπτωση συντήρησης ή φθοράς ενός τμήματος η παροχή νερού στα άλλα τμήματα να μη διακοπεί.

Τα συστήματα παροχής νερού πρέπει να παρέχουν στο σύστημα πυρόσβεσης μια ροή νερού που να μην είναι λιγότερη από την επιτρεπόμενη. Το σύστημα πυρόσβεσης πρέπει να καλύπτει επαρκώς ένα περιστατικό που να μην διαρκεί λιγότερο από 2 ώρες. Συνεπώς μια κατασκευή ΥΦΑ πρέπει να εξοπλίζεται με συστήματα αποστράγγισης ικανά να αποστραγγίσουν τους όγκους του νερού που προέρχονται από αυτά τα συστήματα.

β) Συστήματα Ψεκασμού

Όπου απαιτείται, τα συστήματα ψεκασμού θα διανέμουν το νερό πάνω στις επιφάνειες. Με αυτόν τον τρόπο ο εξοπλισμός που υποβάλλεται σε ακτινοβολία δε θα αγγίζει τοπικά απρόσμενες υψηλές θερμοκρασίες. Η επανακυκλοφορία του χρησιμοποιημένου νερού μπορεί να θεωρηθεί όπου είναι πρακτικό και εξαρτάται από την ικανότητα του να απομακρύνει τη μεταφερόμενη θερμότητα, που μπορεί να προκαλέσει πυρκαγιά μεγάλης διάρκειας, ενώ διατηρεί την ακεραιότητα και την ικανότητα λειτουργίας της μονάδας.

γ) Φράγμα νερού

Τα φράγματα νερού μετριάζουν τις εκλύσεις αερίου και προστατεύουν έναντι της ακτινοβολούμενης θερμότητας. Ο σκοπός του φράγματος νερού είναι να μειώνει δραστικά τη συγκέντρωση του νέφους από εξατμιζόμενο ΥΦΑ με σκοπό να επιτύχει το χαμηλό όριο ευφλεκτότητας του καυσίμου στον αέρα.

Τα φράγματα νερού μεταφέρουν θερμότητα στο κρύο φυσικό αέριο μέσω επαφής μεταξύ των ατμών ΥΦΑ και των σταγονιδίων του νερού. Επιπλέον, τα φράγματα νερού εισέρχονται σε μεγάλους όγκους αέρα που μεταφέρουν επιπλέον θερμότητα, αραιώνουν το εξατμιζόμενο νέφος ΥΦΑ με αποτέλεσμα να ενισχύουν την πλευστότητα και να διευκολύνουν τη διασπορά.

Η αποτελεσματικότητα του φράγματος νερού μειώνεται όσο αυξάνει η ταχύτητα του ανέμου, αλλά η φυσική διασπορά αυξάνεται με υψηλές ταχύτητας ανέμου. Η αποτελεσματικότητα του φράγματος νερού εξαρτάται από διάφορες συνθήκες όπως: τύπος ακροφύσιου, πίεση νερού, τοποθεσία ακροφύσιου.

δ) Πυροσβεστήρες με ξηρή σκόνη

Για να εξαληφθεί μια πυρκαγιά σε κατασκευή ΥΦΑ, χρησιμοποιείται ξηρή σκόνη πάνω από την επιφάνεια του υγρού, χωρίς η σκόνη να φθείρει ή να ανακινεί την επιφάνεια. Η ανακίνηση του υγρού της επιφάνειας θα αυξήσει το βαθμό καύσης εξαιτίας της αύξησης του σχηματισμού ατμού αντί της εξάλειψης της πυρκαγιάς. Για να επιτευχθούν τα βέλτιστα αποτελέσματα στην εξάλειψη της πυρκαγιάς σε μια κατασκευή ΥΦΑ, η όλη περιοχή της φωτιάς πρέπει να καλυφθεί άμεσα και γρήγορα. Αλλιώς, οι απομένουσες εστίες πυρκαγιάς των διάφορων τμημάτων της κατασκευής ΥΦΑ μπορούν να ξανακαύσουν το αέριο που προέρχεται από τα ήδη σβησμένα τμήματα της κατασκευής. Επιπλέον και κυριότερον, θα πρέπει να υπάρχουν παροχές που να ψύχουν τις επιφάνειες της κατασκευής οι οποίες μπορούν να ξανακαύσουν το αέριο.

Η ξηρή σκόνη πρέπει να είναι μια από τους ακόλουθους τύπους:

- Βασισμένη σε διττανθρακικό νάτριο
- Βασισμένη σε διττανθρακικό κάλιο

ε) Οχήματα Πυρόσβεσης

Όπου η εξωτερική βοήθεια δεν είναι εφικτή για την κατασκευή ΥΦΑ σε περίπτωση έκτακτου γεγονότος, η κατασκευή πρέπει να οπλίζεται με τουλάχιστον ένα όχημα πυρόσβεσης για να παρέχει την απαραίτητη αρωγή σε περίπτωση έκτακτου γεγονότος. Το όχημα πυρόσβεσης είναι συνήθως εφοδιασμένο με:

- Σύστημα που παρέχει αφρό για κάθε τύπο πυρκαγιάς
- Ξηρή χημική σκόνη, τύπου A-B-C ως ελάχιστο

Παρέχεται ακόμη, κατάλληλος ρουχισμός για τους πυροσβέστες. Το όχημα είναι επίσης εξοπλισμένο για να παρέχει άμεση προστασία σε έκτακτο γεγονός και εκτός των ορίων της περιοχής.

2.1.5.4 Έκτακτη Αποσυμπίεση

Στη κατασκευή παρέχεται ένα σύστημα αποσυμπίεσης. Ο σκοπός αυτού του μέτρου είναι για να :

- Μειωθεί η εσωτερική πίεση
- Μειωθεί η επίδραση της διαρροής
- Αποφευχθεί ο κίνδυνος αποτυχίας του ΥΦΑ, του ψυκτικού μέσου υδρογονανθράκων ή των δοχείων πίεσης με αέριο και των σωληνώσεων από εξωτερική ακτινοβολία.

Οι συσκευές αποσυμπίεσης εξοπλισμού υψηλής πίεσης πρέπει να επιτρέπουν την άμεση μείωση της πίεσης ενός ή περισσότερων αντικειμένων του εξοπλισμού. Αυτά τα αέρια πρέπει να στέλνονται στο σύστημα καύσης το οποίο είναι ικανό να χειριστεί τις χαμηλές θερμοκρασίες που προέρχονται από την αποσυμπίεση.

Βαλβίδες απομόνωσης ενεργοποιούνται από ένα δωμάτιο ελέγχου ή μια απομακρυσμένη τοποθεσία ή παρέχονται αυτόματα έτσι ώστε η μονάδα να μπορεί να απομονωθεί σε διάφορα υποσυστήματα και όπου είναι απαραίτητο να απομονώσουν τον ευαίσθητο εξοπλισμό. Αυτό καθιστά εφικτό να μπορεί να απομονωθεί μόνο ένα μέρος της κατασκευής.

2.1.5.5 Προστασία από Εσωτερική Υπερπίεση

Πρέπει να παρέχονται συσκευές ασφαλείας που καλύπτουν όλα τα επίπεδα εσωτερικής υπερπίεσης περιλαμβανομένων και αυτά εξαιτίας της πυρκαγιάς. Θεωρείται ότι οι αποφορτίσεις των συμβατικών συσκευών λειτουργίας (βαλβίδες ασφαλείας, βαλβίδες ανακούφισης) κατευθύνονται προς το σύστημα καύσης/εξαερισμού της δεξαμενής αποθήκευσης. Η βαλβίδα ασφαλείας της δεξαμενής και του εξαμιστήρα, αν δεν κατευθυνθεί προς το σύστημα καύσης/εξαερισμού, θα πρέπει να κατευθυνθεί σε μια ασφαλή τοποθεσία όπως ορίζεται από την αξιολόγηση κινδύνου. Αν οι ελευθερώσεις χαμηλής και υψηλής πίεσης οδηγούνται στο ίδιο σύστημα ο κίνδυνος για υπερβολική αντίθλιψη θα αποφευχθεί. Αν η υπερβολική αντίθλιψη μπορούσε να εμφανιστεί σε ένα σύστημα χαμηλής πίεσης εξαιτίας της ελευθέρωσης υψηλής πίεσης, τότε πρέπει να εφαρμοστούν ξεχωριστά συστήματα καύσης/ανάφλεξης για ελευθερώσεις χαμηλής και υψηλής πίεσης.

2.1.5.6 Σύστημα Ελέγχου Ασφαλείας

Πρέπει να παρέχεται ένα σύστημα ασφαλείας για να υπάρχει άμεση γνωστοποίηση, πληροφόριση και ανταπόκριση σε επικίνδυνα γεγονότα. Το σύστημα ασφαλείας ελέγχου πρέπει να είναι ανεξάρτητο από τη διαδικασία συστήματος ελέγχου, να γνωστοποιεί τον κίνδυνο και όπου είναι απαραίτητο, να φέρνει την κατασκευή σε ασφαλείς συνθήκες. Ο έλεγχος της κατασκευής ΥΦΑ και τα συστήματα παρακολούθησης πρέπει να είναι ικανά :

- Να παρακολουθούν και να ελέγχουν την επεξεργασία του αερίου και τα σημαντικά βοηθητικά συστήματα
- Να πληροφορούνται δραστικά και με ακρίβεια για κάθε γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε δύσκολη κατάσταση
- Να παρακολουθεί και να ελέγχει την ασφάλεια της κατασκευής
- Να παρακολουθεί και να ελέγχει την είσοδο και την έξοδο στο συγκεκριμένο μέρος
- Να ανταλλάσει πληροφορίες εσωτερικά και εξωτερικά υπό κανονικές και έκτακτης ανάγκης συνθήκες

Γενικά, οι κύριες λειτουργίες της κατασκευής χαρακτηρίζονται από:

- Σύστημα ελέγχου της διαδικασίας
- Σύστημα ελέγχου ασφαλείας

- Την πρόσβαση στο σύστημα ελέγχου και το σύστημα κατά της εισβολής
- Τα δίκτυα εσωτερικής και εξωτερικής επικοινωνίας

Το σύστημα ελέγχου ασφαλείας λειτουργεί ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα συστήματα. Πρέπει να είναι υψηλής αξιοπιστίας και να είναι διαρρυθμισμένο ώστε να είναι ασφαλές. Η αποτυχία ενός μέρους ή όλης της διαδικασίας συστήματος ελέγχου μπορεί να προκαλέσει επικίνδυνες καταστάσεις. Καλό είναι να προσφέρονται παροχές για τη μείωση των συνεπειών της βλάβης ενός εξαρτήματος όπως:

- Εξοπλισμός της ίδιας λειτουργίας που θα πρέπει να χωριστεί σε διάφορες μονάδες επεξεργασίας
- Μελέτη των συνεπειών αποτυχίας λειτουργίας ευρείας ή τοπικής
- Οι διαδρομές μεταφοράς δεδομένων πρέπει να σχεδιάζονται με τη μεγαλύτερη αξιοπιστία
- Πρέπει να υπάρχει εφεδρική δυναμικότητα επεξεργασίας με κατάλληλα μοντέλα με την κατασκευή σε πλήρη λειτουργία

Οι διαδικασίες αποδοχής πρέπει να περιλαμβάνουν επιβεβαίωση για την ασφαλή λειτουργία κατά τη διάρκεια δυσλειτουργίας και αποτυχίας λειτουργίας του συστήματος. Ο εξοπλισμός πρέπει σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης ή δυσλειτουργίας να είναι ικανός να σταματήσει τοπικά. Η διαδικασία συστήματος ελέγχου υποδεικνύει, αποθηκεύει και εκτυπώνει όλη την πληροφορία που προκύπτει από τις συσκευές για την ασφαλή και επαρκή λειτουργία της κατασκευής. Για να αναλύσει το σύστημα ένα γεγονός, πρέπει να διακρίνει χρονικά και να αποθηκεύει τις πληροφορίες που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια μια χρονικής περιόδου και τις δράσεις που συμβαίνουν πριν και μετά το γεγονός.

Το σύστημα ελέγχου ασφαλείας σχεδιάζεται για να εντοπίζει επικίνδυνες καταστάσεις και να μειώνει τις συνέπειες. Πρέπει να διαθέτει τις παρακάτω λειτουργίες κατ'ελάχιστον.

- Εντοπισμός αερίου (ΥΦΑ, ψυκτικό αέριο, φυσικό αέριο)
- Εντοπισμός διαρροής
- Εντοπισμός πυρκαγιάς
- Παύση λειτουργίας σε μια έκτακτη ανάγκη
- Παρακολούθηση, δραστηριότητα και έλεγχος των συσκευών ασφαλείας
- Παρακολούθηση και έλεγχος σημαντικών παραμέτρων για να διατηρηθεί η εγκατάσταση σε ασφαλή κατάσταση

2.1.5.7 Λεκάνη Απορροής

Η έκταση των λεκανών απορροής και το κανάλι συλλογής διαρροών ΥΦΑ, οι σωλήνες υδρογονανθράκων και ο εξοπλισμός πρέπει να εκτιμηθούν σαν ένα μέρος της αξιολόγησης κινδύνου. Γενικά, έχει θεωρηθεί ότι η συλλογή διαρροής από τη διασύνδεση σωληνών ΥΦΑ και υδρογονανθράκων δεν δικαιολογείται από την αξιολόγηση κινδύνου. Αν απαιτείται, μπορεί να σχεδιαστεί μια λεκάνη απορροής για να φιλοξενήσει πιθανές ροές που θα εντοπιστούν στην αξιολόγηση κινδύνου.

Πιθανές ροές ΥΦΑ μπορεί να καταλήγουν μέσα σε λεκάνες απορροής, με γεννήτριες αφρού ή με άλλα μέτρα για τη βελτιωμένο έλεγχο της εξάτμισης.

Οι λεκάνες απορροής του ΥΦΑ μέσα στις οποίες καταλήγει νερό από βροχή ή πυροσβαστήρα, περιλαμβάνουν ένα μέσο για την απομάκρυνση του νερού αυτού για να εξασφαλίσουν ότι ο απαιτούμενος όγκος διατηρείται και για να αποφευχθεί η επίπλευση της δεξαμενής. Το νερό που καταλήγει μέσα στη λεκάνη απορροής απομακρύνεται με αντλίες. Αν εντοπιστεί διαρροή ΥΦΑ, η αντλία απαγορεύεται να τεθεί σε λειτουργία.

2.1.5.8 Σεισμική Προστασία

Υπάρχουν δύο είδη σεισμών για τους οποίους η δεξαμενή διαστασιολογείται και μελετάται. Είναι ο ΟΒΕ και ο SSE που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Η δεξαμενή πρέπει να παύει τη λειτουργία της μετά από οποιονδήποτε σεισμό το μέγεθος του οποίου ξεπερνά μία τιμή μικρότερη από την τιμή της επιτάχυνσης του OBE. Η απόφαση για παύση της λειτουργίας τίθεται από το χειριστή, ή αυτόματα από αισθητήρες σεισμού για να διευκολύνουν ένα τακτικό κλείσιμο από ένα τυχαίο κλείσιμο μηχανημάτων που προκαλείται από ατομικές συσκευές εντοπισμού κραδασμών.

Μια επιθεώρηση ασφαλείας διεξάγει μια επανάληψη στη λειτουργία έτσι ώστε να ελέγξει:

- Λειτουργικότητα
- Ακεραιότητα
- Σταθερότητα

Μετά τον OBE όλος ο εξοπλισμός και τα συστήματα παραμένουν λειτουργικά εκτός και αν συμφωνηθεί από το χειριστή να παραμείνουν εκτός λειτουργίας για οποιοδήποτε λόγο. Μετά τον SSE η κατασκευή είναι σε ασφαλής κατάσταση. Η περίοδος που ακολουθεί το γεγονός ίσως χρειαστεί να ληφθούν επιπλέον μέτρα για να βεβαιωθεί ότι υπάρχει ασφάλεια στην κατασκευή.

Η δεξαμενή σχεδιάζεται έτσι ώστε να μπορεί να τεθεί σε συνέχιση της λειτουργίας της μετά από ένα σεισμό OBE για παράδειγμα. Τα ακόλουθα συστήματα αντιστέκονται σε δράσεις που είναι αποτέλεσμα υψηλών σεισμικών επιπέδων (από τον OBE στον SSE):

- Συστήματα για τα οποία η ρήξη μπορεί να δημιουργήσει κίνδυνο στην κατασκευή
- Συστήματα προστασίας για τα οποία η λειτουργία απαιτείται να διατηρεί έστω ένα χαμηλό επίπεδο ασφαλείας

Για το σκοπό αυτό, τα συστήματα της κατασκευής και τα εξαρτήματά της, κατηγοριοποιούνται με βάση τη σπουδαιότητά τους. Η κατηγοριοποίηση αναλύεται κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης κινδύνου:

- **Τάξη Α:** Συστήματα τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για την ασφάλεια της δεξαμενής ή συστήματα προστασίας για τα οποία η λειτουργία απαιτείται να διατηρεί ένα ελάχιστο επίπεδο ασφαλείας. Αυτά τα συστήματα παραμένουν λειτουργικά και για τον OBE και για τον SSE. Το σύστημα έκτακτης παύσης λειτουργίας και η εσωτερική δεξαμενή (δευτερεύουσα) ΥΦΑ βρίσκονται στην τάξη Α.
- **Τάξη Β:** Συστήματα που εκτελούν ζωτικές λειτουργίες για τη λειτουργία της δεξαμενής ή συστήματα για τα οποία η ρήξη μπορεί να δημιουργήσει κίνδυνο για την κατασκευή για τη οποία η κατάρρευση μπορεί να προκαλέσει μια μεγάλη επίδραση στο περιβάλλον ή να οδηγήσει και σε επιπλέον κίνδυνο. Αυτά τα συστήματα παραμένουν σε λειτουργία μετά τον OBE και διατηρούν την ακεραιότητά τους μετά τον SSE. Το κύριο δοχείο της δεξαμενής ΥΦΑ βρίσκεται στην τάξη Β.
- **Τάξη Γ :** Άλλα συστήματα. Αυτά τα συστήματα παραμένουν σε λειτουργία μετά τον OBE αλλά δεν πέφτουν και δε προκαλούν κάποια επίδραση σε άλλα εξαρτήματα μετά τον SSE.

Αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν το σχετικό εξοπλισμό, σωλήνες, βαλβίδες, όργανα, παροχή ρεύματος και τις υποστηρίξεις τους. Οι κατασκευές σχεδιάζονται να είναι σε τάξη του πιο αυστηρού συστήματος εξαρτημάτων για λόγους ασφαλείας. Τα κτίρια τα οποία έχουν μια ασφαλή λειτουργία, ή τα οποία είναι κανονικά επανδρωμένα, σχεδιάζονται για να διατηρούν την ακεραιότητά τους σε περίπτωση σεισμού SSE. Θέρμανση, εξαερισμός και κλιματισμός σχεδιάζονται με σκοπό να ολοκληρώσουν τα κριτήρια των ταξινομημένων συστημάτων τα οποία τοποθετούνται στα κτίρια.

2.1.6 Ασφάλεια κατά τη Λειτουργία

2.1.6.1 Προετοιμασία για τη Λειτουργία της Κατασκευής

Η προετοιμασία για τη λειτουργία της δεξαμενής περιλαμβάνει:

- Εκπαιδευτικό προσωπικό

- Ανάπτυξη των εγκαταστάσεων, συντήρηση και διαδικασίες επιθεώρησης
- Ανάπτυξη των διαδικασιών ασφαλείας, οι οποίες είναι ενσωματωμένες με διαδικασίες που αφορούν ολόκληρο το λιμένα και τον εθνικό κώδικα ασφαλείας που αφορά τις εγκαταστάσεις των πλοίων και τον λιμένων.

2.1.6.2 Ασφάλεια κατά τη λειτουργία

Η ασφάλεια κατά τη διάρκεια της φάσης λειτουργίας επιτυγχάνεται από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά και μέτρα:

- Έλεγχος λειτουργίας, παρακολούθησης και συστήματα διασφάλισης
- Μείωση των μη ελεγχόμενων πηγών καύσης
- Τοπικός και μακρινός έλεγχος του συστήματος πυρασφάλειας

2.1.6.3 Διακοπή Λειτουργίας Έκτακτης Ανάγκης

Η διαδικασία της διακοπής λειτουργίας έκτακτης ανάγκης συμβολίζεται με τα αρχικά ESD. Η δράση του ESD προκαλεί διακοπή λειτουργίας στον εξοπλισμό και στις βαλβίδες ESD με σκοπό να υπάρξουν αποθέματα. Όλος ο εξοπλισμός ESD δραστηριοποιείται από το σύστημα ελέγχου ασφαλείας. Η ενεργοποίηση του ESD πρέπει να είναι αυτόματη από την πυρκαγιά και το σύστημα αερίου με συμπληρωματική ενεργοποίηση από τοπικό σταθμό ESD ή κεντρικό πάνελ. Η ενεργοποίηση του ESD δεν πρέπει να προκαλεί νέες επικίνδυνες καταστάσεις ούτε να προκαλεί φθορά κάποιας μηχανής ή εξοπλισμού. Η ενεργοποίηση αυτή μεταβιβάζεται στο σύστημα ελέγχου διαδικασίας το οποίο σύστημα λειτουργεί με τρόπο θετικό ως προς τη δράση του ESD. Το σύστημα ελέγχου διαδικασίας θέτει αυτόματες ακολουθίες με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφευχθεί η λειτουργία μη αναμενόμενου εξοπλισμού και βαλβίδων την ώρα που τίθεται σε λειτουργία ο εξοπλισμός ESD.

Τα συμπεράσματα της αξιολόγησης κινδύνου πρέπει να εφαρμόζονται στο σχεδιασμό του συστήματος ελέγχου ασφαλείας. Ο τύπος, ο πλεονασμός, ο αριθμός και η τοποθεσία των ανιχνευτών και των αισθητήρων πρέπει να μελετάται για να διαβεβαιωθεί ο γρήγορος και αξιόπιστος εντοπισμός μιας επικίνδυνης κατάστασης. Οι προδιαγραφές του συστήματος προέρχονται από τις απαιτήσεις της αξιολόγησης κινδύνου που αναφέρονται παραπάνω. Η αρχή της λειτουργίας του εξοπλισμού ESD είναι η ελαχιστοποίηση της απελευθέρωσης υδρογονανθράκων και η ελαχιστοποίηση της κλιμάκωσης κάθε επικίνδυνου γεγονότος σε γειτονικές περιοχές. Οι κατασκευές χωρίζονται συνήθως σε πέντε πυληγενείς ζώνες και υποχωρίζονται σε υπο-ζώνες για να μπορέσει ο εξοπλισμός ESD να δράσει αποτελεσματικά. Οι κίνδυνοι πυρκαγιάς σε υποζώνη ελέγχονται από τη λειτουργία των βαλβίδων ESD. Ο εξοπλισμός ESD πρέπει να απομονώνει την πυρκαγιά στην υποζώνη για να ελαχιστοποιήσει την ελευθέρωση υδρογονάνθρακα από την υποζώνη καθώς και να ελαχιστοποιεί τη ροή του υδρογονάνθρακα στην περιοχή της πυρκαγιάς. Μια υποζώνη πυρκαγιάς πρέπει να αποσυμπιέζεται μετά την απομόνωση από βαλβίδα λειτουργίας ESD για να μειωθούν τα αποθέματα υδρογονανθράκων και να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα αποτυχίας του δοχείου ή η κατάρρευση της κατασκευής εξαιτίας της έντασης και της διάρκειας της φωτιάς. Οι βαλβίδες ESD χρησιμοποιούνται επιπλέον για να περιορίσουν την ελευθέρωση επικίνδυνων υλικών από τα δοχεία εξαιτίας του σφάλματος του εξοπλισμού ή των σωληνώσεων.

Η λειτουργία του εξοπλισμού ESD συνήθως παρέχεται σαν δομική απόκριση σε επικίνδυνο γεγονός. Τυπικά επίπεδα ESD είναι:

- ESD1 : Διακοπή της λειτουργίας της δεξαμενής με εξαίρεση ορισμένα στοιχεία ασφαλείας που λειτουργούν κανονικά από γεννήτρια σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης ή με UPS
- ESD2 : Διακοπή όλων των διεργασιών επεξεργασίας και μεταφοράς υδρογονανθράκων
- ESD3 : Διακοπή λειτουργίας του εξοπλισμού τοπικά

2.1.6.4 Έκτακτη Παροχή Ρεύματος (EPS)

Καλό είναι να μπορέσει να εφαρμοστεί μια έκτακτη παροχή ρεύματος για να διασφαλιστεί ότι σε περίπτωση αποτυχίας της κύριας παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, θα διατηρηθούν όλες οι λειτουργίες ζωτικής σημασίας για την ασφάλεια των εγκαταστάσεων. Το περιεχόμενο της ηλεκτρικής ενέργειας έκτακτης ανάγκης πρέπει να είναι επαρκές για να οδηγήσει την κατασκευή σε ελεγχόμενη παύση σε γεγονός πλήρους απώλειας ηλεκτρικού ρεύματος. Ο σχεδιαστής πρέπει να προσδιορίσει όλα τα φορτία στη γεννήτρια έκτακτης ανάγκης. Κατ'ελάχιστον θα πρέπει:

- Να παρέχεται ενέργεια από μια αντλία εντός δεξαμενής
- Να διασφαλίσει ότι ο φορέας ΥΦΑ μπορεί να σταματήσει τη λειτουργία του αν απαιτείται
- Να διατηρήσει όλα τα κρίσιμα φορτία (όργανα επεξεργασίας, πυρκαγιά, ασφαλής εξοπλισμός και σχετικά συστήματα, μηχανικές βαλβίδες λειτουργίας, προειδοποιητικά φώτα, σημαντικά φώτα κλπ)
- Να διατηρεί επαρκή ισχύ στην ηλεκτρική βάση των δεξαμενών αποθήκευσης ΥΦΑ

Η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης πρέπει να έχει στο ελάχιστο 24 ώρες παροχή καυσίμου μέσα στη μέρα που λειτουργεί η δεξαμενή να γεμίζει καύσιμο όποτε ξεμένει.

2.1.6.5 Ανίχνευση και Σηματοδότηση Συμβάντων

Πρέπει να παρέχονται συστήματα που να μπορούν να εντοπίσουν τυχαία γεγονότα που μπορεί να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια λειτουργίας της δεξαμενής. Η διάταξη των ανιχνευτών πρέπει να είναι τέτοια ώστε να παρέχεται πάντα πλεονασμός και να αποφεύγονται λάθη και ψευδείς συναγερμοί. Τα γεγονότα που χρειάζονται παρακολούθηση περιλαμβάνουν:

- Σεισμό

Κατά περίπτωση πρέπει να παρέχεται παρακολούθηση σεισμικής επιτάχυνσης, δίνοντας σημάδια για αυτόματη έναρξη της διακοπής λειτουργίας όταν ο σεισμός φτάνει σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο. Αυτό το επίπεδο επιλέγεται από το σχεδιαστή.

- Διαρροή ΥΦΑ, διαρροή καυσίμου, καύση και καπνός

Αυτά τα συστήματα εντοπισμού έχουν σκοπό να εντοπίζουν δραστικά και με αξιοπιστία κάθε διαρροή ΥΦΑ ή διαρροή εύφλεκτου αερίου και κάθε κατάσταση που προκαλεί πυρκαγιά στη δεξαμενή. Τα συστήματα επίβλεψης συνεχούς λειτουργίας πρέπει να εγκαθίστανται σε κάθε τοποθεσία μέσα και έξω από τη δεξαμενή και όπου η διαρροή είναι εφικτή.

Οι συσκευές εντοπισμού παρέχουν τα ακόλουθα:

- Εντοπισμός διαρροής ΥΦΑ

Οι διαρροές ΥΦΑ πρέπει να εντοπίζονται από αισθητήρες χαμηλής θερμοκρασίας. Οι αισθητήρες πρέπει να προστατεύονται από τυχόν φθορές.

- Εντοπισμός εύφλεκτου αερίου

Οι συσκευές επίβλεψης εύφλεκτου αερίου πρέπει να είναι τύπου υπερύθρων ή ισοδύναμης απόδοσης

- Εντοπισμός θέρμανσης

Οι ανιχνευτές υψηλής θερμοκρασίας πρέπει να παρέχονται για προστασία των βαλβίδων εκτόνωσης από φωτιά και ενεργοποίηση των σωλήνων εξαγωγής για εξάλειψη της.

- Σύστημα επικοινωνίας

Οι χειριστές του δωματίου ελέγχου πρέπει να είναι ικανοί να επικοινωνήσουν με τους χειριστές του πεδίου μέσω τερματικών συστημάτων επικοινωνίας (ιδιαίτερα κινητά τηλέφωνα). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στα κτίρια με υψηλά επίπεδα θορύβων όπου καλό είναι να εγκατασταθούν οπτικοί συναγερμοί. Προτείνεται γενικά σε όλα τα σημεία η εγκατάσταση οπτικών και ακουστικών συναγερμών.

2.2 Θαλάσσιες Εγκαταστάσεις

2.2.1 Θέση και Σχεδιασμός Προβλήτας σε Σταθμό ΥΦΑ

Η θέση του κρηπιδότοιχου σε ένα τερματικό σταθμό ΥΦΑ είναι ένας κύριος παράγοντας στον προσδιορισμό του κινδύνου του πλοίου μεταφοράς και γι αυτό χρειάζεται μια λεπτομερής μελέτη για να προσδιοριστεί η πιο κατάλληλη θέση γι' αυτή τη χρήση. Ο προσδιορισμός του τι είναι αποδεκτό σε συγκεκριμένες συνθήκες θα προκύψει από μια αξιολόγηση των σίγουρων κινδύνων που τίθενται από τη λειτουργία των γειτονικών τμημάτων και της κίνησης του λιμανιού.

Θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα κατάλληλο πρότυπο για τις θαλάσσιες κατασκευές για να προσδιοριστεί η επιλογή των σχετικών παραμέτρων σχεδιασμού και μέθοδοι υπολογισμού για να προκύψουν οι τελικές δυνάμεις που θα ασκούνται πάνω στον κρηπιδότοιχο. Αυτό ισχύει για τις συνθήκες εδάφους καθώς και για τα φορτία που επιβάλλονται στον κρηπιδότοιχο ενός τερματικού σταθμού ΥΦΑ που προκύπτουν από φυσικά φαινόμενα όπως άνεμοι, παλίρροιες, ρεύματα κυμάτων, ποικιλομορφία θερμοκρασίας, πάγος και σεισμοί. Ακόμη, ασκούνται φορτία από διάφορες δραστηριότητες όπως πρόσδεση πλοίων, διακίνηση φορτίου και οχήματα που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή, τη λειτουργία και τη συντήρηση.

Πρέπει να διεξαχθεί μια μελέτη για να ελεγχθεί η ποικιλία των δεξαμενοπλοίων που πρόκειται να προσδέσει στον κρηπιδότοιχο με ασφάλεια. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν στο πλαίσιο του σχεδιασμού η πιθανότητα διαρροής του ΥΦΑ ειδικά σε περιοχή όπου βρίσκεται ανθρώπινο δυναμικό. Αυτό μπορεί να γίνει με διατάξεις που αφορούν τη συγκράτηση του ΥΦΑ που διαρρέει και την προστασία από τη θραύση των μελών δόμησης από ανθρακικό χάλυβα, ή με άλλα κατάλληλα μέτρα.

Παρέχεται ένας χώρος χειρισμού του λιμένα, από τον οποίο υπάρχει επικοινωνία και με το πλοίο και με τους χώρους τερματικού ελέγχου. Ο χώρος αυτός περιλαμβάνει ελέγχους για έκτακτη διακοπή της λειτουργίας, ελέγχους για την απελευθέρωση εξοπλισμού από το σύστημα μεταφοράς ΥΦΑ και έλεγχο εξάτμισης εξοπλισμού. Παρέχεται ακόμη εξοπλισμός για την παρακολούθηση της θάλασσας και των καιρικών συνθηκών καθώς επίσης και για την θέση και ένταση του πλοίου στις γραμμές πρόσδεσης.

Παρέχεται ένα σύστημα ανίχνευσης το οποίο προσφέρει προειδοποίηση για κάθε διαρροή ΥΦΑ ή φυσικού αερίου και επιπλέον για να προσφέρει προειδοποίηση σε περίπτωση πυρκαγιάς. Η δραστηριότητα αυτού του συστήματος είναι να θέσει σε εκκίνηση τον εξοπλισμό του ESD του συστήματος μεταφοράς του πλοίου στην ακτή και να στείλει προειδοποιήσεις στο δωμάτιο ελέγχου του λιμένα, στο δωμάτιο ελέγχου του τερματικού σταθμού και να επικοινωνήσει με το πλοίο μέσω οπτικών ινών για παράδειγμα σε περίπτωση έκτακτου γεγονότος. Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται ανθρώπινο δυναμικό για τη μεταφορά του ΥΦΑ μεταξύ του πλοίου και της ακτής.

2.2.2 Ασφάλεια

Πρέπει να υπάρχει παροχή για δραστική είσοδο και έξοδο στον ελλιμενισμό από οχήματα έκτακτης ανάγκης ή από σκάφη πυρόσβεσης, ιατρικής εκκένωσης ή ελέγχου ρύπανσης. Πρέπει επίσης να προβλέπεται παροχή δρόμων για έκτακτη φυγή σε περίπτωση φωτιάς ή διαρροής ΥΦΑ. Από κάθε σημείο από τη θέση αγκυροβόλησης θα πρέπει να είναι εφικτή η φυγή προς ασφαλές μέρος. Αυτό επιτυγχάνεται παρέχοντας δύο ανεξάρτητες διαδρομές προς την ασφάλεια από τη θέση αγκυροβόλησης. Έτσι προβλέπονται:

- Επιπλέον μονοπάτια

- Παροχή επανδρωμένης βάρκας σε αναμονή

Δε είναι εφικτό άτομα που δεν είναι εξουσιοδοτημένα να έχουν πρόσβαση στην περιοχή αγκυροβόλισης, χωρίς να ελεγχθούν. Αυτοί οι φραγμοί ασφαλείας χρησιμοποιούνται και στους γενικούς κανόνες της κατασκευής δεξαμενής ΥΦΑ.

2.2.3 Παρακολούθηση και Έλεγχος του Κρηπιδότοιχου

Οι παρακάτω λειτουργίες εφαρμόζονται από το σύστημα ελέγχου:

- Παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών (άνεμος, κατάσταση της θάλασσας κλπ)
- Παρακολούθηση της διαδικασίας ελλιμενισμού (ταχύτητα, απόσταση κλπ)
- Παρακολούθηση της αγκυροβόλισης (φορτία αγκυροβόλισης κλπ)
- Παρακολούθηση και έλεγχος του ανθρώπινου θαλάσσιου δυναμικού

2.3 Συστήματα Αποθήκευσης και Συγκράτησης ΥΦΑ

2.3.1 Γενικές Απαιτήσεις Σχεδιασμού

Ο εξοπλισμός για τον οποίο η πίεση σχεδιασμού είναι πάνω από 500 μιλιμπάρες πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των εφαρμοζόμενων κανονισμών που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό του κάθε δοχείου πίεσης. Πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις όλοι οι τύποι μεταλλικών δεξαμενών όπως κατακόρυφων, κυλινδρικών, με ευθύ πάτωμα.

Οι κυλινδρικές κρουγενικές από σκυρόδεμα δεξαμενές και οι σφαιρικές δεξαμενές ΥΦΑ πρέπει να σχεδιάζονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις των κανονισμών και όλες τις απαιτήσεις που σχετίζονται με την αποθήκευση ΥΦΑ και περιλαμβάνονται στα Ευρωπαϊκά Πρότυπα.

Οι σφαιρικές δεξαμενές ΥΦΑ είναι αυτές που χρησιμοποιούνται κατ'εξοχήν από τα δεξαμενόπλοια που μεταφέρουν το ΥΦΑ και ισχύουν οι ίδιοι κανονισμοί με αυτούς που ισχύουν για τις σφαιρικές δεξαμενές στη στεριά. Οι δεξαμενές ΥΦΑ σχεδιάζονται με σκοπό:

- Την ασφαλή αποθήκευση του ΥΦΑ σε κρουγενική θερμοκρασία
- Να επιτρέπεται η ελεύθερη φόρτωση και εκφόρτωση του ΥΦΑ
- Να επιτρέπεται η απομάκρυνση του αερίου που έχει υποστεί εξάτμιση
- Να αποφεύγεται η είσοδος αέρα και υγρασίας εκτός και αν υπάρχουν συνθήκες κενού αέρος σε μεγάλο χώρο μέσα στη δεξαμενή
- Να ελαχιστοποιηθεί ο ρυθμός θέρμανσης της διαρροής, καθώς και η αύξηση της ψύξης σύμφωνα με τις απαιτήσεις λειτουργίας
- Να υπάρχει αντίσταση στη ζημιά της δεξαμενής που οδηγεί σε απώλεια του περιεχομένου εξαιτίας εσωτερικών και εξωτερικών παραγόντων
- Να λειτουργούν με ασφάλεια ανάμεσα στο εύρος της ελάχιστης και μέγιστης πίεσης σχεδιασμού
- Να υπάρχει μέτρο στον αριθμό των κύκλων φόρτωσης και εκφόρτωσης της δεξαμενής και στον αριθμό λειτουργιών ψύξης και θέρμανσης, τα οποία μελετώνται κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού

2.3.1.1 Στεγανότητα Δεξαμενής

Η δεξαμενή πρέπει να είναι στεγανή για καύσιμο και υγρό υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Ο βαθμός αντίστασης στη διαρροή που απαιτείται να υπάρχει σε περίπτωση εξωτερικής υπερφόρτισης (επίδραση φθοράς, θερμική ακτινοβολία και εκρήξεις), ορίζεται στην αξιολόγηση κινδύνων.

Η στεγανότητα της κύριας δεξαμενής ΥΦΑ διασφαλίζεται από μια συνεχή συγκολλημένη πλάκα, μεμβράνη ή προεντεταμένο κρουογενικό σκυρόδεμα με κρουογενική όπλιση. Η στεγανότητα της δευτερεύουσας δεξαμενής διασφαλίζεται από:

- Μια συνεχή συγκολλημένη πλάκα
- Σκυρόδεμα
- Συμπαγές χώμα ή άμμος που διασφαλίζει τη στεγανότητα
- Άλλο αποδεδειγμένο κατάλληλο υλικό

Ο εξωτερικός μανδύας της δεξαμενής (μεταλλικός ή από σκυρόδεμα) ο οποίος εκτείνεται στην ατμόσφαιρα πρέπει να σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιεί τη διείσδυση νερού, όπου υπάρχει επιφάνεια νερού, το νερό πυρόσβεσης, το νερό βροχής ή την ατμοσφαιρική υγρασία. Η υγρασία μπορεί να εισάγει προβλήματα διάβρωσης, επιδείνωση της μόνωσης και του σκυροδέματος. Για τη συγκράτηση του υγρού σε περίπτωση διαρροής από δεξαμενές διπλής και πλήρους συγκράτησης απαιτούνται να εφαρμοστούν οι ακόλουθες απαιτήσεις για την δευτερεύουσα δεξαμενή συγκράτησης:

- Αν είναι μεταλλική η δεξαμενή, πρέπει να είναι κρουογενικού βαθμού
- Αν είναι από προεντεταμένο σκυρόδεμα, η θερμοκρασία των προεντεταμένων καλωδίων πρέπει να είναι συμβατή με τη δύναμη της μέγιστης υδροστατικής κεφαλής. Θεωρείται ότι η θερμοκρασία του ΥΦΑ εφαρμόζεται στο εσωτερικό της δεξαμενής συμπεριλαμβανομένης και της μόνωσης αν υπάρχει.

Για τη δευτερεύουσα δεξαμενή συγκράτησης, όπου υπάρχει επαφή της άκαμπτης βάσης και του τοίχου, προβλέπεται ένα σύστημα θερμικής προστασίας για την αποφυγή ανεξέλεγκτων ρωγμών στην επιφάνεια επαφής.

2.3.1.2 Θερμική Μόνωση

Για τη θερμική μόνωση χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα υλικά. Τα εγκατεστημένα συστήματα μόνωσης πρέπει να είναι απαλλαγμένα από ρύπους οι οποίοι μπορεί να προκαλέσουν διάβρωση ή φθορά των συστατικών που περιέχουν πίεση. Η βάση της μόνωσης εγκαθίσταται κάτω από τη βάση της κύριας δεξαμενής για να μειώσει τη μεταφορά θερμότητας από τα θεμέλια και από το έδαφος. Η μόνωση της βάσης σχεδιάζεται έτσι ώστε να αντιστέκεται σε κάθε είδος συνδυαστικών δράσεων.

Η θερμική επέκταση των εξαρτημάτων πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν. Η μόνωση που εγκαθίσταται έξω από την κύρια δεξαμενή, όταν είναι κατασκευασμένη από εκτεταμένο περλίτη, μπορεί να προστατευθεί από καθίζηση, για παράδειγμα, από φούσκωμα υαλοβάμβακα ο οποίος απορροφά διακυμάνσεις στη διάμετρο της κύριας δεξαμενής. Η θερμική μόνωση της δεξαμενής από μεμβράνη αντιστέκεται στα υδροστατικά φορτία. Η μόνωση της σφαιρικής δεξαμενής πρέπει να βρίσκεται έξω από τη σφαίρα και να μην εκτείνεται σε εσωτερικές υδραυλικές ή μηχανικές δράσεις. Η εξωτερική μόνωση πρέπει να προστατεύεται από υγρασία με χρήση επένδυσης και εγκατάσταση φράγματος ατμού. Η εκτεθειμένη μόνωση δεν πρέπει να είναι εύφλεκτη.

Η ποιότητα της μόνωσης πρέπει να είναι τέτοια ώστε κανένα σημείο του εξωτερικού μανδύα (εξαιρώντας τον εξοπλισμό διείσδυσης) της δεξαμενής να μην παραμένει κάτω από τους 0 °C με θερμοκρασία αέρα πάνω ή ίση με 5 °C. Οι σχετικές συνθήκες (ατμόσφαιρα, έδαφος, σχεδιασμός κλπ) πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν για τον υπολογισμό του πάχους μόνωσης. Σε περίπτωση δεξαμενών αποθήκευσης πάνω από το έδαφος, η ελάχιστη ταχύτητα του ανέμου είναι 1,5m/s.

2.3.1.3 Δράσεις κατά τη Λειτουργία

Οι δεξαμενές ΥΦΑ πρέπει να μπορούν να αντιστέκονται στους συνδυασμούς των δράσεων και σε αυτούς που είναι αποτέλεσμα αλλαγών στη θερμοκρασία και στη πίεση κατά τη διάρκεια:

- Αρχικής ψύξης και θέρμανσης στη θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Κύκλων γεμίσματος και αδειάσματος

Ο κατασκευαστής θα πρέπει να υποδεικνύει το μέγιστο βαθμό θερμοκρασιακής αλλαγής που μπορεί να αντέξει η δεξαμενή κατά τη διάρκεια των λειτουργιών ψύξης και θέρμανσης.

Για αυτοϋποστηριζόμενες δεξαμενές από χάλυβα, η κύρια δεξαμενή πρέπει να σχεδιάζεται για να αντέχει τη μέγιστη διαφορική πίεση η οποία μπορεί να εμφανιστεί καθ' όλη τη διάρκεια των φάσεων λειτουργίας. Γι αυτό πρέπει να παρέχεται ένα σύστημα αποφυγής της ανύψωσης του πατώματος, αν απαιτείται.

2.3.2 Άλλοι Κανόνες Σχεδιασμού

Εκτός από τις παραπάνω αναφορές, η κατασκευή της δεξαμενής θα πρέπει:

- Να διατηρεί τα χαρακτηριστικά της κατά τη διάρκεια των κανονικών συνθηκών λειτουργίας, όσον αφορά στις μετατοπίσεις, την καθίζηση και τις δονήσεις
- Να διατηρεί επαρκές περιθώριο ασφαλείας όσον αφορά στην αντίσταση αποτυχίας κόπωσης
- Να έχει επαρκείς ελατές ιδιότητες και μικρή ευαισθησία στις τοπικές φθορές
- Να είναι κατάλληλη για συνθήκες παρακολούθησης, συντήρησης και επισκευής

Στο σχεδιασμό πρέπει να ληφθεί υπόψιν η ελαχιστοποίηση κάθε περίπτωσης υποβάθμισης του σκυροδέματος για να αποφευχθεί η μείωση της δομικής ακεραιότητας της κατασκευής κατά τη διάρκεια της ζωής του έργου.

2.3.3 Θεμελιώσεις

Οι θεμελιώσεις κατασκευάζονται έτσι ώστε να αποφεύγονται μεγαλύτερες διαφορικές καθιζήσεις από το όριο των κανονισμών. Ο σχεδιασμός του θεμελίου πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να αποφεύγεται η ανύψωση της ψύξης είτε από τη θέση της βάσης είτε από τα συστήματα θέρμανσης. Οι σεισμολογικές και γεωλογικές αναλύσεις ορίζουν τα κριτήρια του σχεδιασμού του θεμελίου. Μπορεί να απαιτούνται σεισμικοί μονωτήρες για να μειώσουν τις συνέπειες ενός σεισμού. Οι σεισμικοί μονωτήρες πρέπει επίσης να μπορούν να αντικατασταθούν χωρίς να τίθεται η δεξαμενή εκτός λειτουργίας. Η βάση θεμελίωσης πρέπει να μπορεί να ανυψωθεί, να τοποθετηθεί στο έδαφος, να είναι ημι-θαμμένη ή μέσα στο έδαφος.

Όταν ανυψώνεται η βάση θεμελίωσης, ο χώρος που απομένει πρέπει να είναι μεγάλος για να επιτρέπει τη φυσική κυκλοφορία του αέρα η οποία θα διατηρήσει το κατώτερο μέρος της βάσης θεμελίωσης σε θερμοκρασία το πολύ 5°C κάτω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Οι ανιχνευτές αερίου μπορούν να αντικατασταθούν σε αυτό το χώρο κάτω από τη βάση για να παρακολουθούν την παρουσία ή τη συσσώρευση αερίου σε περίπτωση διαρροής. Η επίδραση της υπερπίεσης εξαιτίας της καύσης των εύφλεκτων υλικών πρέπει να υπολογίζεται και να αμβλύνεται.

Οι σφαιρικές δεξαμενές που θεμελιώνονται πάνω σε στερεό βράχο δε χρειάζονται καμιά συσκευή θέρμανσης όταν το έδαφος είναι στραγγισμένο και ο χώρος μεταξύ της μόνωσης και του βράχου είναι επαρκώς αεριζόμενος και καθαρός.

2.3.4 Εξοπλισμός Ασφαλείας

2.3.4.1 Συσσκευές Προστασίας από Ανατροπή

Με σκοπό να αποφευχθεί η ανατροπή πρέπει να ληφθούν τουλάχιστον τα παρακάτω μέτρα:

- Ένα σύστημα ανακύκλωσης
- Μετρήσεις θερμοκρασίας/πυκνότητας σε όλο το βάθος του ΥΦΑ
- Αποφυγή αποθήκευσης ΥΦΑ διαφορετικών ποιοτήτων
- Κατάλληλη διαδικασία γεμίματος λαμβάνοντας υπόψιν τις σχετικές πυκνότητες ΥΦΑ
- Ειδικές διαδικασίες για το ΥΦΑ που περιλαμβάνουν μοριακό κλάσμα αζώτου πάνω από 1%
- Συνεχής χρήση δεξαμενής για την αποφυγή στασιμότητας των αποθεμάτων ΥΦΑ

2.3.4.2 Αισθητήρες Θερμοκρασίας

Απαιτούνται τρεις τύποι αισθητήρων θερμοκρασίας:

- Στο εξωτερικό περιβλήμα της κύριας δεξαμενής, στον τοίχο και το πάτωμα, για να ελέγχονται η ψύξη και η θέρμανση, σε όλες τις δεξαμενές εκτός από δεξαμενές με μεμβράνη
- Στη θερμή πλευρά της μόνωσης (τοίχος και πάτωμα) για να εντοπίζεται κάθε διαρροή και να παρακολουθείται κάθε επιδείνωση της μόνωσης εξαιτίας της καθίζησης για παράδειγμα
- Στην εξωτερική επιφάνεια της επιφάνειας θεμελίωσης από σκυρόδεμα για όλους τους τύπους δεξαμενής για να ελέγχεται η θερμοκρασιακή μεταβολή

Η εξωτερική επιφάνεια των τοίχων από σκυρόδεμα των δεξαμενών πλήρους συγκράτησης και των δεξαμενών με μεμβράνη πρέπει να προμηθεύεται με συσκευή παρακολούθησης θερμοκρασίας. Τα αποτελέσματα από όλους τους αισθητήρες καταγράφονται σε ένα δωμάτιο ελέγχου και κάθε υποψία για διαρροή γίνεται αντιληπτή με ήχο συναγερμού. Η κάλυψη των αισθητήρων πρέπει να είναι επαρκής για να διασφαλίζει ότι κάθε διαρροή θα εντοπίζεται και κάθε μεταβολή της θερμοκρασίας θα παρακολουθείται.

2.3.4.3 Ανίχνευση Διαρροής Κύριας Δεξαμενής

Για όλες τις δεξαμενές, όπου ο χώρος της μόνωσης δεν είναι σε επαφή με την κύρια δεξαμενή, παρέχεται ένα σύστημα για κυκλοφορία αζώτου εντός του μονωτικού χώρου. Παρακολουθώντας τη στεγανότητα της κύριας δεξαμενής είναι δυνατή η ανίχνευση των υδρογονανθράκων στον καθαρισμό του αζώτου άρα και η ανίχνευση της διαρροής.

2.3.5 Όργανα για τη Λειτουργία της Δεξαμενής

Απαιτούνται επαρκή όργανα για να μπορεί η δεξαμενή να τεθεί σε λειτουργία, να λειτουργεί και να τεθεί σε παύση με ασφαλή τρόπο. Ο εξοπλισμός που απαιτείται είναι ο ακόλουθος:

- Δείκτες στάθμης υγρού και διακόπτες
- Δείκτες πίεσης και διακόπτες
- Δείκτες θερμοκρασίας και διακόπτες
- Δείκτες πυκνότητας

Γενικά, η αξιοπιστία αυτών των μετρήσεων πρέπει να διασφαλίζεται από τις ακόλουθες ελάχιστες ρυθμίσεις:

- Ο εξοπλισμός πρέπει να διατηρείται σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας της δεξαμενής
- Ο εξοπλισμός που σχετίζεται με την ασφάλεια και τη λειτουργία και η συντήρηση του απαιτεί αποσυναρμολόγηση, πρέπει να έχει επαρκές πλεόνασμα

- Οι μετρήσεις και οι συναγερμοί πρέπει να μεταφέρονται σε κατάλληλα δωμάτια ελέγχου

2.3.6 Λεκάνη Απορροής για Δεξαμενή Απλής και Διπλής Συγκράτησης

Για τις κυλινδρικές δεξαμενές μονής συγκράτησης και τις σφαιρικές δεξαμενές, απαιτείται μια περιοχή απορροής για να συλλέγει κάθε διαρροή ΥΦΑ. Για αυτές τις δεξαμενές, αν εγκατασταθούν σε ανασκαφή, το έδαφος λαμβάνει το ρόλο της λεκάνης απορροής. Οι λεκάνες απορροής δύο δεξαμενών συνδυάζονται. Ο σχεδιασμός της λεκάνης απορροής διασφαλίζει ότι ένα ατύχημα δε θα προκαλέσει καταστροφή στη γειτονική δεξαμενή.

Για δεξαμενή διπλής συγκράτησης οι τοίχοι συγκράτησης πρέπει να τοποθετούνται μέσα σε 6 μέτρα από το εξωτερικό κέλυφος της κύριας δεξαμενής.

Οι λεκάνες απορροής του ΥΦΑ μέσα στις οποίες συγκεντρώνεται νερό από βροχή ή πυρόσβεση μπορεί να απομακρυνθεί από εκεί για να αποφευχθεί η επίπλευση της δεξαμενής. Η απομάκρυνση του νερού γίνεται με αντλίες στις οποίες απαγορεύεται η εκκίνηση λειτουργίας όταν εντοπιστεί διαρροή ΥΦΑ.

Η λεκάνη απορροής που περικλείεται από τους τοίχους συγκράτησης είναι αρκετά μεγάλη για να περιλαμβάνει τουλάχιστον το 110% όλου του υγρού της μεγαλύτερης δεξαμενής. Ο χειριστής θα πρέπει να διασφαλίσει ότι δε θα συμβεί υπερπήδηση του τοίχου αυτού ακόμα και στην πιο μεγάλη αποτυχία. Όταν οι άκρες του τοίχου είναι πάνω από 15m μακριά από τη δεξαμενή, πρέπει να δοθεί σημασία στην εγκατάσταση της βάσης της επιφάνειας απορροής. Η βάση της περιοχής αυτής πρέπει να είναι ικανή να συλλέγει διαρροές από σωλήνες ΥΦΑ περιλαμβανομένου και του σωλήνα υπερχειλίσης (αν υπάρχει) μέσα στη λεκάνη απορροής. Οι αρχές σχεδιασμού περιλαμβάνουν:

- Η χωρητικότητα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ποσότητα του υγρού που μπορεί να διαρρεύσει από το σπάσιμο ενός σωλήνα με τον υψηλότερο ρυθμό διαρροής
- Μια λεκάνη απορροής πρέπει να είναι ανοιχτή στην ατμόσφαιρα

Η τοποθεσία της λεκάνης απορροής σεβόμενη το γειτονικό εξοπλισμό, πρέπει να συμβαδίζει με τους κανονισμούς της αξιολόγησης κινδύνου. Επιπλέον, απαιτείται μέσο για τον περιορισμό της εξάτμισης και τη μείωση του βαθμού ανάφλεξης των διαρροών και των συνεπειών που ακολουθούν.

2.3.7 Συντήρηση Δεξαμενής και Προστασία από Διάβρωση

Απαιτείται η προστασία από τη διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών του εξοπλισμού, του δικτύου των σωλήνων και των μεταλλικών κατασκευών σε μια εγκατάσταση ΥΦΑ. Οι κατασκευές από σκυρόδεμα μπορούν να βλάφονται για να προστατευθούν από τη φθορά. Κατά την επιλογή των συστημάτων επιστρώσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν οι κακές καιρικές συνθήκες και οι συνθήκες λειτουργίας.

Απαιτείται υψηλής ποιότητας γαλβάνισμα σε όλες τις πλατφόρμες και στην χαλύβδινη υποστήριξη των πλατφορμών, στις σκάλες και στις χειρολαβές εκτός και αν δεν είναι πρακτικό. Σωληνωτά τμήματα πρέπει να γαλβανίζονται εσωτερικά και εξωτερικά. Οι γαλβανισμένες επιφάνειες πρέπει κανονικά να παραμένουν άβαφτες εκτός από εγκαταστάσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον για τις οποίες προτείνεται επιπλέον βάψιμο. Γαλβανισμένα μεταλλικά καλύμματα που χρησιμοποιούνται για να καλύψουν τη μόνωση του αγωγού ή του εξοπλισμού, μπορούν να λάβουν επιπλέον αντιδιαβρωτική κάλυψη. Για τη μόλυνση από ψευδάργυρο του ωστενιτικού ανοξείδωτου χάλυβα, η αντιδιαβρωτική κάλυψη θεωρείται σημαντική.

Για λόγους ασφαλείας όλος ο εξοπλισμός και οι σωλήνες σε μια κατασκευή ΥΦΑ πρέπει να έχουν ένα συγκεκριμένο χρώμα ή σήμανση για προσδιορισμό του περιεχομένου. Το βάψιμο, το γαλβάνισμα, το χρώμα και η σήμανση σχεδιάζονται και εκτελούνται σύμφωνα με τους τοπικούς κανόνες.

Όλα τα συστήματα σχεδιάζονται έτσι ώστε να αποφεύγεται κάθε διαρροή εξαιτίας της διάβρωσης ή πιθανών τρυπών κατά τη διάρκεια της ζωής της κατασκευής. Η επιλογή των υλικών γίνεται σύμφωνα με τις λειτουργικές και περιβαλλοντικές συνθήκες (παρουσία χλωριδίων, θειούχων ή αζωτούχων ενώσεων). Ειδικά μέτρα λαμβάνονται υπόψιν όπως καθοδική προστασία και εφαρμογή αντιδιαβρωτικών επικαλύψεων που προσαρμόζονται σύμφωνα με τον κίνδυνο. Γενικά, όλες οι υποθαλάσσιες μεταλλικές κατασκευές πρέπει να προστατεύονται όπου είναι απαραίτητο ενάντια στη διάβρωση χρησιμοποιώντας κατάλληλη επικάλυψη ή και καθοδική προστασία σύμφωνα με σχετικούς κανόνες και κανονισμούς.

2.4 Προδιαγραφές Κατασκευαστικών Υλικών

2.4.1 Προδιαγραφές για Σκυρόδεμα

Οι βαθμοί σκυροδέματος που παρουσιάζονται παρακάτω είναι οι ελάχιστες θλιπτικές δυνάμεις σε κύβο που εφαρμόζονται στην κατασκευή της εξωτερικής δεξαμενής.

Πίνακας 2.2 : Βαθμοί Σκυροδέματος

	Ελάχιστη δύναμη σε κύβο	Ελάχιστη δύναμη σε κύλινδρο
Βάση από χάλυβα οπλισμού	50N/mm ²	40N/mm ²
Προεντεταμένος τοίχος	50N/mm ²	40N/mm ²
Οροφή από χάλυβα οπλισμού	50N/mm ²	40N/mm ²

Ο εργολάβος είναι υπεύθυνος για την μίξη του σκυροδέματος που χρησιμοποιείται στην κατασκευή της εξωτερικής δεξαμενής ΥΦΑ. Η θλιπτική δύναμη χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί ένα κατάλληλο μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος για τις γραμμικές ελαστικές αναλύσεις. Η κάλυψη σκυροδέματος έχει προσδιοριστεί ότι βασίζεται σε δομική τάξη S4, τάξη έκθεσης XS1 και XS2 και για χάλυβα και για προένταση. Η κάλυψη σκυροδέματος είναι 40mm για χάλυβα οπλισμού και 50mm για προένταση. Για τη βάση σχεδιασμού της εξωτερικής δεξαμενής από σκυρόδεμα χρησιμοποιείται κάλυψη 50mm και για τα μέλη από οπλισμένο χάλυβα και για αυτά από προεντεταμένο. Στον πίνακα 2.2 ορίζεται η ελάχιστη καθαρή κάλυψη σκυροδέματος.

Πίνακας 2.3 : Ελάχιστη Κάλυψη Σκυροδέματος

Κατασκευή σκυροδέματος	Ελάχιστη κάλυψη (mm)
Βάση, τοίχοι και οροφή	50mm

Το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος αποτελεί μια λειτουργία της θερμοκρασίας. Η πυκνότητα του οπλισμένου και προεντεταμένου σκυροδέματος είναι 2500kg/m³.

2.4.1.1 Σκυρόδεμα Βραχυπρόθεσμα

Για τις γραμμικές αναλύσεις της κατασκευής χρησιμοποιείται ένα σταθερό μέτρο ελαστικότητας. Το μέτρο ελαστικότητας των 28 ημερών χρησιμοποιείται για βραχυπρόθεσμες γραμμικές αναλύσεις. Για βάση δεξαμενής, τοίχο και οροφή ισχύει $E_{cm,28} = 35 \text{ kN/mm}^2$.

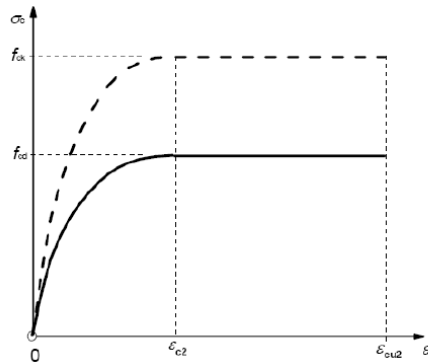
2.4.1.2 Σκυρόδεμα Μακροπρόθεσμα

Η λεπτομερειακή ανάλυση και ο σχεδιασμός της εξωτερικής δεξαμενής από σκυρόδεμα έχει αγνοήσει τις ωφέλιμες μακροπρόθεσμες ιδιότητες του σκυροδέματος με προτήμιση στη χρήση των βραχυπρόθεσμων ιδιοτήτων του σκυροδέματος. Ο ερπυσμός και η συστολή επηρεάζονται από τη σχετική υγρασία σύμφωνα με τον πίνακα:

Πίνακας 2.4 : Σχετική υγρασία

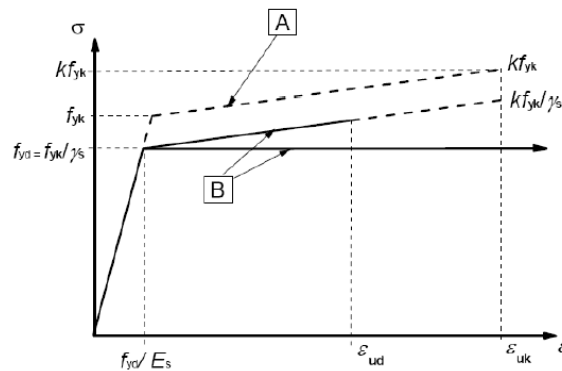
	Σχετική υγρασία
Μέση	62%
Ελάχιστη	25%
Μέγιστη	99%

Ο ερπυσμός και η συστολή μετελώνται και στους ελέγχους ΟΚΑ και στους ελέγχους ΟΚΛ.

**Εικόνα 2.1 :** Καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος

2.4.2 Προδιαγραφές για Χάλυβα Οπλισμού

Ο χάλυβας οπλισμού πρέπει να είναι ακάλυπτες παραμορφωμένες ράβδοι που να ικανοποιούν τις απαιτήσεις εκτός και αν ορίζονται από το σχέδιο σαν χάλυβας οπλισμού χαμηλής θερμοκρασίας. Για τα μέτωπα σκυροδέματος που εκτίθενται σε χαμηλές θερμοκρασίες ο χάλυβας οπλισμού που χρησιμοποιείται είναι B500. Αυτό το υλικό θα ικανοποιήσει τις απαιτήσεις ανθεκτικότητας και ολκιμότητας του ΥΦΑ (που διατηρείται σε θερμοκρασία $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$). Αυτό το υλικό θα χρησιμοποιείται στην εσωτερική πλευρά του τοίχου σκυροδέματος σε ύψη όπου η θερμοκρασία θα είναι χαμηλότερη από $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ εξαιτίας της κύριας διαρροής. Ο χάλυβας οπλισμού θεωρείται ότι είναι ελαστικός-πλαστικός. Οι πραγματικές καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων παρουσιάζεται παρακάτω.

**Εικόνα 2.2 :** Καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων χάλυβα οπλισμού

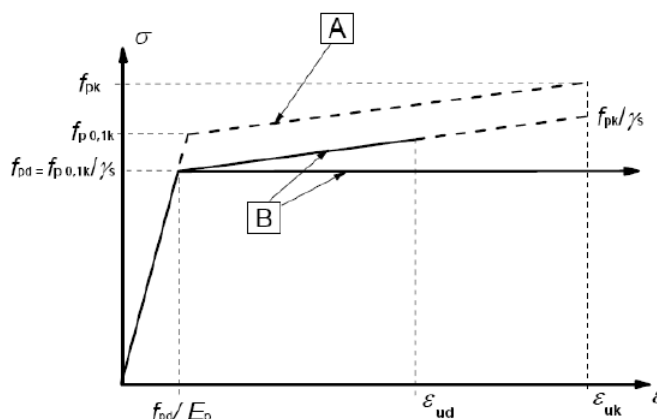
A : Πραγματική καμπύλη

B : Καμπύλη σχεδιασμού

Το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα οπλισμού είναι $200,000\text{N/mm}^2$ και το μέτρο Poisson 0.3 .

2.4.3 Προδιαγραφές για Προένταση

Η προένταση της κατασκευής επιτυγχάνεται με τη χρήση προεντεταμένων συρματοσχοίων. Τα συρματοσχοία διαμορφώνονται σε τένοντες και εγκαθίστανται μέσα σε αγωγούς οι οποίοι ρίχνονται μέσα στο σκυρόδεμα. Αφού τανιστούν τα συρματοσχοία, οι αγωγοί γεμίζουν με ενέματα. Τα άκρα των τενόντων είναι αγκυροβολημένα στις αντηρίδες (4 συνολικά) οι οποίες κατανέμονται σε ίσα διαστήματα γύρω από την περίμετρο του τοίχου. Κάθε τένοντας τρέχει από μια αντιστήριξη στην αντιδιαμετρικά αντίθετη σε γωνία 180°. Τα άκρα των κάθετων τενόντων αγκυρώνονται μέσα στο δακτύλιο οροφής της δεξαμενής και κάτω από τη βάση της. Κάθε κατακόρυφος τένοντας τρέχει κατά μήκος του εξωτερικού τοίχου από σκυρόδεμα. Ο τανυόμενος χάλυβας δε διαμορφώνεται διακριτικά στις θερμικές αναλύσεις. Εφαρμόζεται στον τοίχο του μοντέλου μια ισοδύναμη εξωτερική θλιπτική πίεση στην ανάλυση πιέσεων για να προσομοιωθούν οι επιπτώσεις της προέντασης.

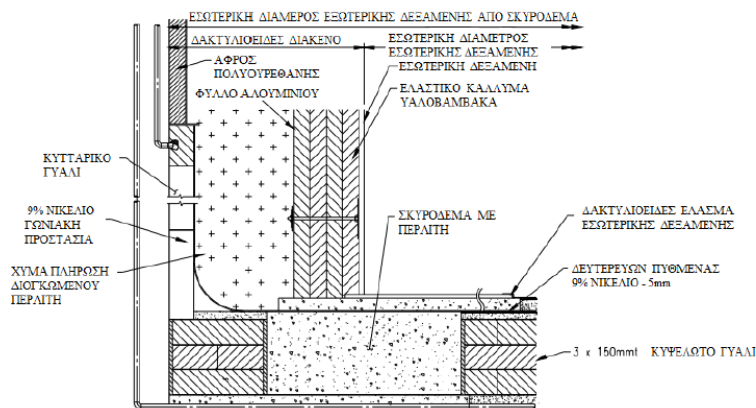


Εικόνα 2.3 : Καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων προεντεταμένου χάλυβα

Για την προένταση πρέπει να χρησιμοποιείται χαμηλής χαλάρωσης συρματοσχοίνο με εφελκυστική δύναμη 1860N/mm² και διάμετρο 15.7mm.

2.4.4 Γωνιακό Σύστημα Προστασίας

Σε περίπτωση διαρροής από την εσωτερική δεξαμενή, μπορεί να συσσωρευτεί ΥΦΑ στο δακτυλιοειδή χώρο μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής δεξαμενής με αποτέλεσμα να ψύξει το γωνιακό τοίχο του πυθμένα. Προκειμένου να αποφευχθεί ράγισμα από το ΥΦΑ, του κάτω τμήματος του τοίχου από σκυρόδεμα, θα τοποθετείται ένα στεγανό σύστημα προστασίας θερμικά απομονωμένο, με κυψελωτό μονωτικό γυαλί και θωρακισμένο με χαλύβδινα 9% νικέλιο ελάσματα. Ο σχεδιασμός θα πρέπει να διεξάγεται με τη χρήση ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων, λαμβάνοντας υπόψη τα φορτία λόγω πίεσης και τις θερμικές τάσεις / μετατοπίσεις. Η εξωτερική δεξαμενή πρέπει να είναι σε θέση να περιέχει το πλήρες περιεχόμενο της εσωτερικής δεξαμενής. Μικρές και μεγάλες περιπτώσεις διαρροής πρέπει να ελέγχονται με ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων και συνδυασμένες με τη μέγιστη πίεση στην ανάλυση.



Εικόνα 2.4 : Μόνωση και γωνιακό σύστημα προστασίας

2.4.5 Ιδιότητες ΥΦΑ

Οι ιδιότητες του ΥΦΑ απαιτούνται για τη θερμική ανάλυση της εξωτερικής δεξαμενής.

Πίνακας 2.5 : Τυπικές ιδιότητες ΥΦΑ

	Μονάδες	ΥΦΑ
Πυκνότητα υγρού σχεδιασμού	Kg/m ³	500
Θερμοκρασία σχεδιασμού	°C	-170

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΝΑΡΤΩΜΕΝΟ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΥΦΑ

3.1 Περιγραφή της Κατασκευής

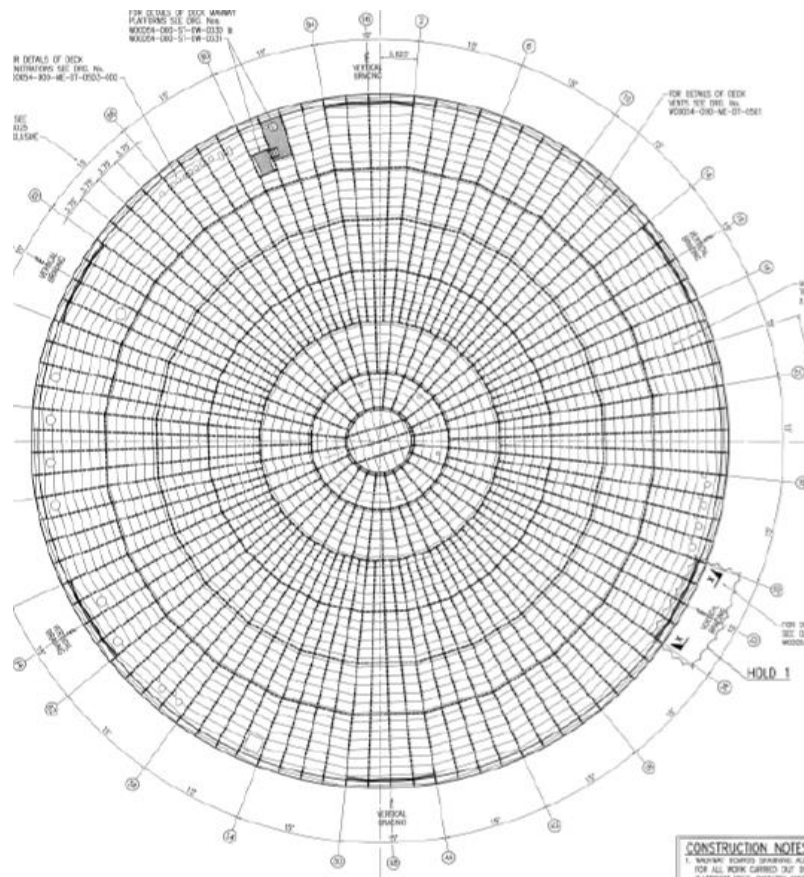
Η παρούσα μελέτη έχει προκύψει από κανονισμούς για την κατασκευή μιας δεξαμενής αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου (ΥΦΑ). Το θέμα της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη του αναρτώμενου καταστρώματος αυτής της δεξαμενής ΥΦΑ.

Η εσωτερική δεξαμενή έχει για οροφή ένα αναρτώμενο κατάστρωμα που αποτελείται από τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο αλουμινίου, ένα πλαίσιο διατομών ταυ από αλουμίνιο και ράβδους από ανοξείδωτο χάλυβα. Το υποστηρικτικό πλαίσιο από αλουμίνιο αποτελείται από διατομές ταυ ενωμένες μεταξύ τους για να σχηματίζουν μια σειρά από ακτινικές δοκούς οι οποίες κρέμονται από εξωτερική θολωτή οροφή της δεξαμενής μέσω ράβδων ανοξείδωτου χάλυβα, ανά περίπου 3m από το κέντρο του κύκλου. Οι επιδράσεις μιας ανενεργού ράβδου λαμβάνονται υπόψιν στο σχεδιασμό.

Ο σχεδιασμός του καταστρώματος με κοιλώματα λόγω του χαλυβδόφυλλου προϋποθέτει ότι το κατάστρωμα δρά είτε ως ένα μέλος με μονό άνοιγμα, είτε ως ένα μέλος με διπλό άνοιγμα μεταξύ των δοκαριών του υποστηρικτικού πλαισίου. Οι ράβδοι αναρτήσεως πρέπει να περιλαμβάνουν ένα σφικτήρα ή άλλο μέσο για την επίτευξη της κάθετης προσαρμογής στο επίπεδο του αναρτώμενου καταστρώματος. Στην ανάλυση του αναρτώμενου καταστρώματος λαμβάνεται υπόψιν το ίδιο βάρος του καταστρώματος, το ίδιο βάρος της μόνωσης (πάπλωμα υαλοβάμβακα ή περλίτης) και το κινητό φορτίο της κατασκευής. Λαμβάνεται υπόψιν επίσης μια διαφορά πίεσης μεταξύ της εσωτερικής δεξαμενής και της οροφής της δεξαμενής, μαζί με τη συστολή λόγω θέρμανσης και μαζί με τα σεισμικά φορτία.

Επειδή το κατάστρωμα συστέλλεται δραστικά κατά τη διάρκεια της ψύξης της δεξαμενής, οι συνδέσεις μεταξύ των ράβδων του καταστρώματος και των δοκαριών της οροφής είναι έτσι σχεδιασμένες που επιτρέπουν τη στροφή στις αρθρώσεις. Το κατάστρωμα είναι απομονωμένο από το κέλυφος της εσωτερικής δεξαμενής και όλες οι ενέργειες που δέχεται επιβεβαιώνουν ότι κατά τη διάρκεια της ψύξης στο κατάστρωμα υπάρχει ελευθερία κίνησης.

Το αναρτώμενο κατάστρωμα θεωρείται ότι δρά σα μια διαφραγματική πλάκα λόγω του χαλυβδόφυλλου όταν αντιστέκεται στα οριζόντια σεισμικά φορτία και δεν υποβάλλεται σε επιπλέον φορτίσεις. Αυτό κάνει την κατασκευή στο να μην παραμορφώνεται στο επίπεδο της αλλά να μπορεί να κινείται στο χώρο ως απαραμόρφωτος δίσκος. Η οριζόντια μετακίνηση του καταστρώματος περιορίζεται από την παροχή 8 κατακόρυφων υποστηρικτικών στοιχείων (vertical bracing) σε μια σειρά με σταθερό διάστημα γύρω από τη περίμετρο του καταστρώματος. Το κατάστρωμα είναι απομονωμένο σε σχέση με το εσωτερικό κέλυφος της δεξαμενής και διεισδύσεις στο κατάστρωμα πχ σε περίπτωση σεισμού επιβεβαιώνουν ότι δεν υπάρχει καμία επίδραση ανάμεσα στο κατάστρωμα και στα υπόλοιπα μέλη της δεξαμενής.



Εικόνα 3.1 : Κάτοψη αναρτώμενου καταστρώματος δεξαμενής ΥΦΑ

3.2 Κριτήρια Σχεδιασμού

Το αναρτώμενο κατάστρωμα έχει σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας τους Ευρωκώδικες και τα Ελληνικά Εθνικά Παραρτήματα. Ο σχεδιασμός ολοκληρώνεται χρησιμοποιώντας τις αρχές σχεδιασμού, λαμβάνοντας υπόψιν τα παρακάτω φορτία:

- Ίδιο βάρος του αναρτώμενου καταστρώματος
- Ίδιο βάρος της μόνωσης
- Μια μέγιστη διαφορά πίεσης μεταξύ της δεξαμενής και της οροφής
- Θερμική συστολή
- Σεισμικές φορτίσεις
- Κινητά φορτία στη φάση κατασκευής, που λαμβάνεται 0.5 KPa και συγκεντρωμένο 1.5KN
- Ένα μεγαλύτερο φορτίο κατασκευής που ισούται με 1 KPa και συγκεντρωμένο 1.5KN

Τα δοκάρια από αλουμίνιο διατομής του σχεδιάζονται σαν συνεχείς δοκοί, υποστηριζόμενες ανά 2 με 3m περίπου από ράβδους ανοξείδωτου χάλυβα. Οι κύριες δοκοί είναι σχήματος του με τον κορμό προς τα πάνω (ανάποδο του), ενώ οι δευτερεύοντες και τριτεύοντες δοκοί είναι με τον κορμό κάτω (κανονικό του). Το τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο του καταστρώματος στερεώνεται στο πέλμα των διατομών του ανά κάθε κοίλωμα (143mm), γι αυτό και τα πέλματα των δοκαριών θεωρείται ότι είναι πλευρικά εξασφαλισμένα.

Παρόλα αυτά, ο κορμός των διατομών του δεν εξασφαλίζεται πλευρικά, έτσι η διατομή πρέπει να ελεγχθεί για στρεπτοκαμπτικό λυγισμό όταν ο κορμός είναι σε θλίψη. Ακολουθούν χαρακτηριστικά του αλουμινίου και του ανοξείδωτου χάλυβα που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή του καταστρώματος.

Πίνακας 3.1 : Ιδιότητες Αλουμινίου

Μέτρο Ελαστικότητας (MPa)	E	70000
Μέτρο Διάτμησης (MPa)	G	27000
Λόγος Poisson	ν	0.3
Συντελεστής Θερμικής Διαστολής (per °C)	α	0.000023
Πυκνότητα (kg/m³)	ρ	2700

0.2% Δοκιμαστική Πίεση (MPa)	f_o	255
Μέγιστη Αντοχή σε Εφελκυσμό (MPa)	f_u	300
Διατμητική Πίεση (MPa)	f_v	134
Τάξη Λυγισμού	BC	A

Πίνακας 3.2 : Γενικές ιδιότητες ανοξείδωτου χάλυβα

Μέτρο Ελαστικότητας (MPa)	E	200000
Μέτρο Διάτμησης (MPa)	G	77000
Λόγος Poisson	ν	0.30
Συντελεστής Θερμικής Διαστολής (per °C)	α	0.0000165
Πυκνότητα (kg/m³)	ρ	7900

Πίνακας 3.3 : Χαρακτηριστικά σωλήνων ανοξείδωτου χάλυβα

Τάση Διαρροής (MPa)	f_y	200
Μέγιστη Αντοχή σε Εφελκυσμό (MPa)	f_u	500

Πίνακας 3.4 : Χαρακτηριστικά ηλών από ανοξείδωτο χάλυβα

Τάση Διαρροής (MPa)	f_y	450
Μέγιστη Αντοχή σε Εφελκυσμό (MPa)	f_u	700

3.3 Κατασκευαστικές Λεπτομέρειες

3.3.1 Διαστάσεις Δεξαμενής

- Διάμετρος εξωτερικής δεξαμενής 80m
- Ακτίνα οροφής 96m
- Ύψος δεξαμενής 25.45m
- Σχέδιο επιφάνειας στέγης 5027m²
- Θολωτή επιφάνεια στέγης 5266m²

3.3.2 Τυπικά Μέρη του Αναρτώμενου Καταστρώματος

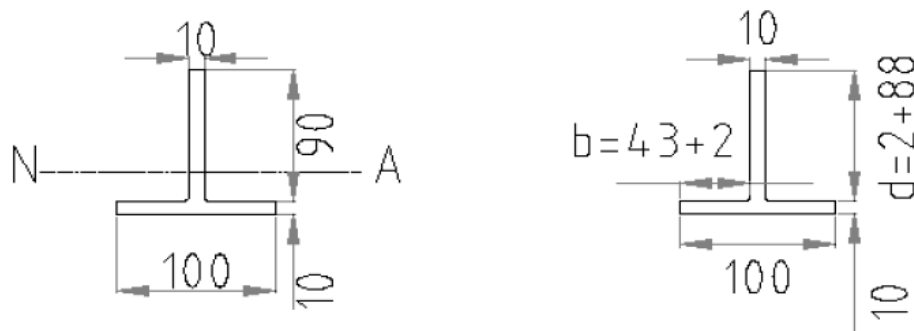
Το αναρτώμενο κατάστρωμα αποτελείται από τα μέλη που σχηματίζουν το πλαίσιο από αλουμίνιο (πρωτεύοντα δοκάρια, δευτερεύοντα και τριτεύοντα, περιφερειακά βοηθικά ελάσματα – 7 δακτύλιοι και μια κεντρική εσχάρα). Πάνω σε αυτό το πλαίσιο υπάρχει ένα φύλλο από αλουμίνιο με το οποίο εξασφαλίζεται η διαφραγματική λειτουργία του καταστρώματος διαστάσεων (Rigidal 40/143/1000), λεπίδες σύνδεσης από αλουμίνιο πάχους 10mm, ράβδους από ανοξείδωτο χάλυβα διαμέτρου 12mm, βοηθητικά ελάσματα στις ράβδους πάχους 8mm και κατακόρυφα στοιχεία σχήματος W διατομής 139.7*6.3CHS.

3.3.3 Χαρακτηριστικά Διατομών του Καταστρώματος

Τα δοκάρια διατομής ταυ από αλουμίνιο σχεδιάζονται σαν συνεχείς δοκοί, υποστηριζόμενοι το πολύ ανά 2 με 3m από ράβδους ανοξείδωτου χάλυβα. Τα κύρια δοκάρια (πρωτεύοντα) τίθενται με τον κορμό πάνω (ανάποδο ταυ), ενώ τα δευτερεύοντα και τριτεύοντα με τον κορμό κάτω (κανονικό ταυ). Οι διατομές αλουμινίου ταυ που βοηθούν στην υποστήριξη των κύριων δοκαριών σχεδιάζονται σε διακοπτόμενα μέλη καθώς διακόπτεται η συνέχεια τους κάθε φορά που συναντούν κύριο δοκάρι. Αυτά τα υποστηρικτικά βοηθικά ελάσματα σχηματίζουν 7 ομόκεντρους κύκλους και ονομάζονται και περιφερειακά βοηθητικά ελάσματα που υποστηρίζουν τα κύρια δοκάρια. Η κεντρική εσχάρα από διατομές αλουμινίου ταυ σχεδιάζονται σε συνεχή δοκάρια, υποστηριζόμενα το πολύ ανά 2m από ράβδους ανοξείδωτου χάλυβα που συνδέουν την οροφή της εξωτερικής δεξαμενής με το κατάστρωμα. Στην κεντρική εσχάρα οι διατομές ταυ είναι με τον κορμό κάτω.

Το χαλυβδόφυλλο από αλουμίνιο που τοποθετείται πάνω από το κατάστρωμα συνδέεται με τα πέλματα των διατομών ταυ του πλαισίου του καταστρώματος σε κάθε κοίλωμα του (143mm), γι αυτό και τα πέλματα των δοκαριών θεωρούνται ότι είναι πλευρικά εξασφαλισμένα. Παρόλα αυτά, ο κορμός των δοκαριών δεν είναι πλευρικά εξασφαλισμένος και έτσι η διατομή πρέπει να ελέγχεται σε στρεπτοτοκαμπτικό λυγισμό όταν ο κορμός είναι σε θλίψη (κύρια δοκάρια-primary rafters).

Το κεντρικό κυκλικό έλασμα (πρώτος δακτύλιος στην περιοχή της εσχάρας) σχηματίζεται χρησιμοποιώντας διατομές ταυ σε δοκάρια που είναι διακοπτόμενα ανάμεσα στις ράβδους, με τον κορμό να βρίσκεται από κάτω. Στον πρώτο δακτύλιο υπάρχει ένα βοηθικό έλασμα διαστάσεων (300*35*3) για αύξηση δυσκαμψίας. Για να υπολογιστεί η αντίσταση στον λυγισμό των διατομών ταυ είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί το ελεύθερο μήκος του στοιχείου που βρίσκεται σε θλίψη. Το μέγιστο ελεύθερο μήκος εμφανίζεται εκεί όπου μια από τις ράβδους γίνεται ανενεργή έτσι ώστε το μήκος του δοκαριού διατομής ταυ να γίνεται 6m (2*3m). Άρα το κρίσιμο μήκος λυγισμού είναι $0.7 * L = 4.2m$. Οι ροπές αντίστασης στο λυγισμό υπολογίζονται με βάση αυτό το κριτήριο και συγκρίνονται με τη μέγιστη ροπή αντοχής, κριτήριο όπου καθορίζει την αποδοχή ή μη της διατομής. Ο σχεδιασμός της υπάρχουσας κατασκευής διεξάγεται με τη χρήση της δυσμενέστερης περίπτωσης ροπών για το σενάριο του μεγαλύτερου ελεύθερου μήκους (6m) της κύριας δοκού. Αυτή η διατομή ταυ που προκύπτει από το παραπάνω σενάριο, εφασμόζεται σύμφωνα με τη μελέτη σε όλες τις δοκούς.



Εικόνα 3.2 : Διατομή ταυ που χρησιμοποιείται σε όλο το κατάστρωμα

Συγκεκριμένα, η διατομή ταυ είναι κατηγορίας 3 αφού θεωρήθηκε διατομή που προσεγγίζει το γωνιακό έλασμα. Αυτή η κατηγορία διατηρήθηκε για όλα τα δοκάρια με τον κορμό κάτω (δευτερεύουσες, τριτεύουσες, περιφερειακά ελάσματα) αλλά και για την πρωτεύουσα δοκό (primary rafter) που έχει τον κορμό πάνω που θλίβεται. Παρουσιάζονται παρακάτω τα στοιχεία της πλήρους διατομής των διατομών.

Πίνακας 3.5 : Ελαστικές ιδιότητες ολόκληρης της διατομής

Πλάτος πέλματος	b	100	mm
Πάχος πέλματος	tf	10	mm
Καθαρό ύψος κορμού	hw	90	mm
Πάχος κορμού	tw	10	mm
Συνολικό εμβαδόν διατομής	Ag	1900	mm ²
Ροπή αδράνειας κατά τον ισχυρό άξονα	Iyy	1800000	mm ⁴
Ροπή αδράνειας κατά τον ασθενή άξονα	Izz	840800	mm ⁴
Ροπή αντίστασης μέχρι την κορυφή	Wtop	25240	mm ³
Ροπή αντίστασης μέχρι το πέλμα	Wbot	62750	mm ³
Ουδέτερος άξονας από το κάτω μέρος του τμήματος	zs	28.7	mm
Ακτίνα περιστροφής	izz	21	mm
Στρεπτική ροπή αδράνειας	It	63333	mm ⁴

Οι έλεγχοι που έγιναν για την κατάλληλη επιλογή διατομής όσον αφορά στους ελέγχους διατομής είναι ο υπολογισμός της αντοχής σε αξονική, σε διάτμηση, της καμπτικής αντοχής και όσον αφορά στον έλεγχο μέλους, ο έλεγχος σε καμπτικό λυγισμό για τα κατακόρυφα στοιχεία σχήματος W και στρεπτοκαμπτικό για τα δοκάρια όλου του πλαισίου. Ακολούθησε έλεγχος όσον αφορά στα βέλη (ΟΚΛ) με όριο το L/250 σε φάση λειτουργίας.

3.4 Υπολογισμός Φορτίων

Σύμφωνα με τους κανονισμούς, τα φορτία που λαμβάνονται υπόψη στη δεξαμενή χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Μόνιμα φορτία
- Κινητά φορτία
- Τυχηματικά φορτία

3.4.1 Μόνιμα και Κινητα Φορτία

α) ΜΟΝΙΜΑ :Για το κατ'απόψιν καταστρώμα λήφθηκαν υπόψιν το ίδιο βάρος των δοκαριών του πλαισίου από αλουμίνιο (περίπου 0.048ΚΡα), το ίδιο βάρος του χαλυβδόφυλλου (0.03ΚΡα) και το ίδιο βάρος της μόνωσης (0.11ΚΡα μόνο στη φάση λειτουργίας).

β) ΚΙΝΗΤΑ: Κινητά φορτία υπάρχουν μόνο στη φάση κατασκευής. Γενικά δεν προβλέπεται η οροφή να καταπατάται από ανθρώπινο δυναμικό κατά τη φάση λειτουργίας της. Το κινητό φορτίο που επιβάλλεται κατανέμεται ανομοιόμορφα κατανεμημένα πάνω στις δοκούς και αυτό γιατί όσο η κάθε δοκός εκτείνεται προς τον τελευταίο δακτύλιο, τόσο το πλάτος επιρροής της μεγαλώνει αφού μεγαλώνει η απόσταση μεταξύ των δοκαριών. Σημαντικό ρόλο ωστόσο παίζει και το πόσα δοκάρια ξεκινούν τη διαδρομή μέχρι τον τελευταίο δακτύλιο καθώς το πλάτος επιρροής μικραίνει όταν απέχουν μικρή απόσταση μεταξύ τους. Υπάρχουν δύο σενάρια φόρτισης από τα οποία προκύπτει και η κατάλληλη διατομή:

- Το πρώτο είναι για κινητό φορτίο 0.5ΚΡα σε φάση κατασκευής με συγκεντρωμένο 1.5ΚΝ και μια ράβδος ανενεργή
- Το δεύτερο είναι για κινητό φορτίο 1ΚΡα σε φάση κατασκευής με συγκεντρωμένο 1.5ΚΝ και όλες οι ράβδοι ενεργές

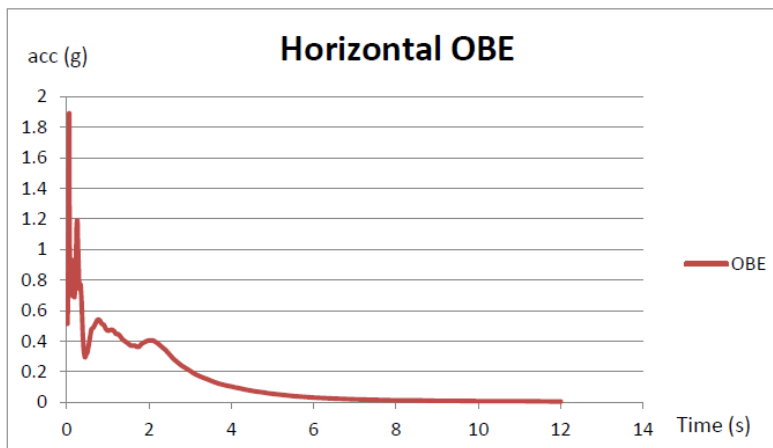
Σύμφωνα με τη μελέτη της κατασκευής, υπάρχει μια διαφορά πίεσης 0.2ΚΡα πάνω και κάτω από το κατ'απόψιν καταστρώμα που λαμβάνεται υπόψιν σε κινητό φορτίο σε φάση λειτουργίας. Αυτή η πίεση πρέπει να περιορίζεται στο βάρος του καταστρώματος προκειμένου να αποφευχθεί το ανασήκωμα του. Η διαφορά πίεσης ελέγχεται αλλάζοντας κατάλληλα το μέγεθος των αεραγωγών που υπάρχουν περιμετρικά του καταστρώματος.

3.4.2 Σεισμική Φόρτιση ΟΒΕ

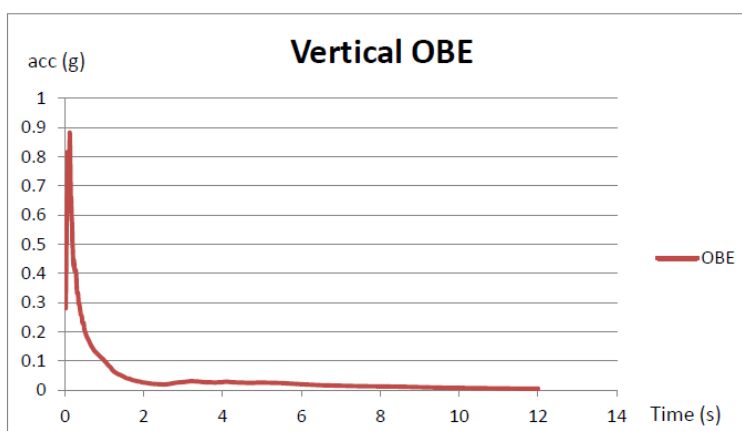
Ο σεισμός ΟΒΕ αντιπροσωπεύει τη μέγιστη σεισμική ένταση που μπορεί να συμβεί κατά τη διάρκεια της ζωής των κατασκευών, όπου κατά τη διάρκεια και μετά του σεισμού οι κατασκευές πρέπει να παραμένουν έτοιμες για πλήρη λειτουργία χωρίς επισκευή. Έχει περίοδο επαναφοράς 475 χρόνια που σημαίνει ότι ανά 475 χρόνια εμφανίζεται ο μέγιστος σεισμός για τον οποίο δε διατηρείται καμία ζημιά αλλά εξασφαλίζεται η επανεκκίνηση και η ασφαλής λειτουργία. Η μεγαλύτερη πιθανότητα ενός τέτοιου γεγονότος είναι ότι δε θα υπάρξει καμία εμπορική απώλεια στην εγκατάσταση και διασφαλίζεται η ανθρώπινη ασφάλεια.

Οι σεισμικές επιταχύνσεις που λήφθηκαν υπόψιν για τον ΟΒΕ λήφθηκαν από κάποια φάσματα απόκρισης. Ο σεισμός που λήφθηκε υπόψιν είναι οριζόντιος και κατά τις δυο διευθύνσεις (X,Y) και κατακόρυφος (κατά τον άξονα Z) λόγω του κινδύνου ανασήκωματος του καταστρώματος. Τα φάσματα αυτά, θεωρούνται ότι αναφέρονται στο σημείο με υψόμετρο 40.33m όπου είναι το σημείο μεταξύ του δακτυλίου και της εξωτερικής οροφής. Στη μελέτη ο συνδυασμός των ιδιομορφών έγινε με τη μέθοδο CQC. Αποτελέσματα του σεισμού προέκυψαν από δυναμική ανάλυση αλλά και από ισοδύναμη στατική φόρτιση του φορέα με τη χρήση όμως των μέγιστων επιταχύνσεων. Με τη χρήση των μέγιστων επιταχύνσεων προέκυψαν σαφώς τα δυσμενέστερα αποτελέσματα με τα οποία και ο κανονισμός έχει διαστασιολογήσει το φορέα. Οι μέγιστες επιταχύνσεις προκύπτουν από τα διαγράμματα για τις οποίες έγινε η διαστασιολόγηση που είναι:

- Οριζόντια επιτάχυνση κατά X, Y : 1.89g
- Κατακόρυφη επιτάχυνση κατά Z : 0.882g



Εικόνα 3.3 : Φάσμα για σεισμό OBE στις οριζόντιες διευθύνσεις



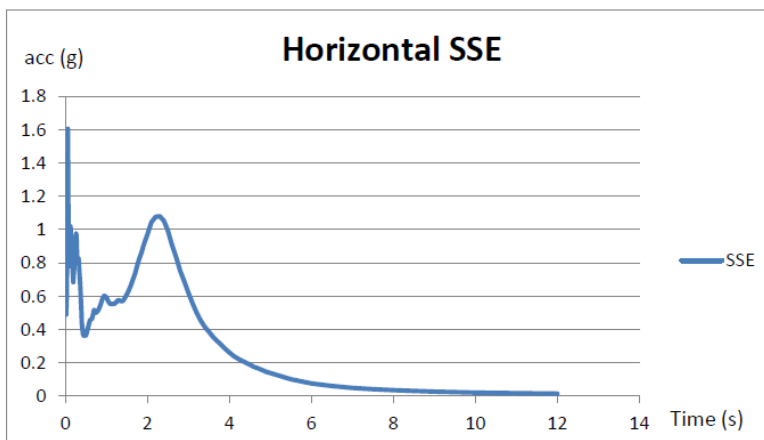
Εικόνα 3.4 : Φάσμα για σεισμό OBE στην κατακόρυφη διεύθυνση

Γενικά, σε μελέτες κατασκευής κτιρίων δε λαμβάνεται υπόψιν η κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού. Λόγω του ότι εδώ πρόκειται για μια σύνθετη κατασκευή, ο σεισμός κατά Z λαμβάνεται υπόψιν. Στην αρχική μελέτη του καταστρώματος σύμφωνα με τους κανονισμούς επειδή το μέτρο της κατακόρυφης επιτάχυνσης είναι μικρότερο του 1g δε λήφθηκε υπόψιν η κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού, πράγμα που στην πορεία διαψεύστηκε και προέκυψε η πιθανότητα ανασηκώματος του καταστρώματος. Για τον σεισμό OBE όταν εφαρμόζεται στατικά, τα δυσμενέστερα αποτελέσματα προκύπτουν από την αφαίρεση μιας ράβδου για κάθε υπό μελέτη δοκό.

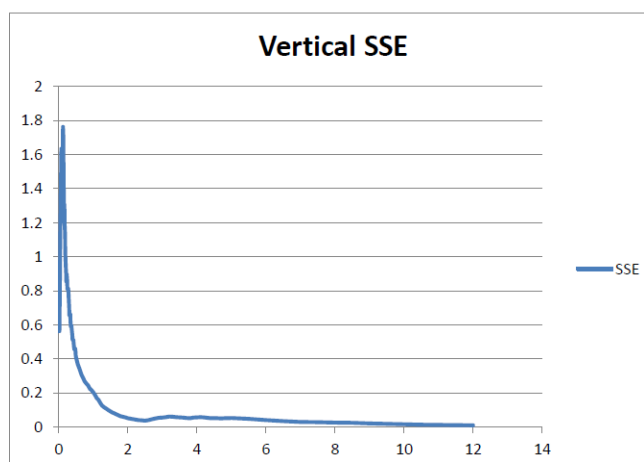
3.4.3 Σεισμική Φόρτιση SSE

Ο σεισμός SSE είναι μια ακραία κατάσταση που περιλαμβάνει τις πιο σκληρές συνθήκες για τις οποίες καλό είναι να υπάρχει ειδική μέριμνα. Ο SSE έχει περίοδο επαναφοράς 5000 χρόνια. Οι κατασκευές πρέπει να μπορούν να αποδέχονται τη ζημιά και να απαιτείται να εκπληρώνουν τη λειτουργία τους κατά τη διάρκεια ή μετά τον SSE. Είναι αναμενόμενο να υπάρχουν μόνιμες φθορές μετά από αυτό το μικρής πιθανότητας γεγονός, αλλά χωρίς την εξολοκλήρου απώλεια της ακεραιότητας και του περιεχομένου της δεξαμενής.

Οι σεισμικές επιταχύνσεις λήφθηκαν από δυο φάσματα. Θεωρείται σεισμός για την οριζόντια διεύθυνση (κατά X και Y) καθώς και για την κατακόρυφη (κατά Z) όπως ακριβώς και στον ΟΒΕ. Τα φάσματα αυτά, θεωρούνται ότι αναφέρονται στο σημείο με υψόμετρο 40.33m όπου είναι το σημείο μεταξύ του δακτυλίου (ringbeam) και της οροφής.



Εικόνα 3.5 : Φάσμα για σεισμό SSE στην οριζόντια διεύθυνση



Εικόνα 3.6 : Φάσμα για σεισμό SSE στην κατακόρυφη διεύθυνση

Στη μελέτη ο συνδυασμός των ιδιομορφών έγινε με τη μέθοδο CQC. Άρα αποτελέσματα του σεισμού προέκυψαν από δυναμική ανάλυση αλλά και από ισοδύναμη στατική φόρτιση του φορέα με τη χρήση όμως των μέγιστων επιταχύνσεων. Με τη χρήση των μέγιστων επιταχύνσεων προέκυψαν σαφώς τα δασαμενέστερα αποτελέσματα. Οι μέγιστες επιταχύνσεις που προκύπτουν από τα διαγράμματα είναι:

- Οριζόντια επιτάχυνση κατά X, Y : 1.604g
- Κατακόρυφη επιτάχυνση κατά Z : 1.763g

Στην αρχική μελέτη του καταστρώματος σύμφωνα με τους κανονισμούς επειδή το μέτρο της κατακόρυφης επιτάχυνσης είναι μικρότερο του 1g δε λήφθηκε υπόψιν η κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού, πράγμα που στην πορεία διαψεύστηκε και προέκυψε η πιθανότητα ανασηκώματος του καταστρώματος.

Για το σεισμό SSE όλες οι ράβδοι που συγκρατούν το αναρτώμενο κατάστρωμα από τη θολωτή οροφή της εξωτερικής δεξαμενής, παραμένουν ενεργές. Αυτό ισχύει καθώς το σενάριο του να υπάρξει μια ράβδος ανενεργή αποτελεί ένα ασυνήθιστο γεγονός όπως και ο σεισμός SSE δηλαδή μια δυσμενής κατάσταση. Άρα το να συμπέσουν δυο δυσμενείς καταστάσεις μαζί αποτελεί ένα απίθανο γεγονός γι αυτό και απορρίπτεται.

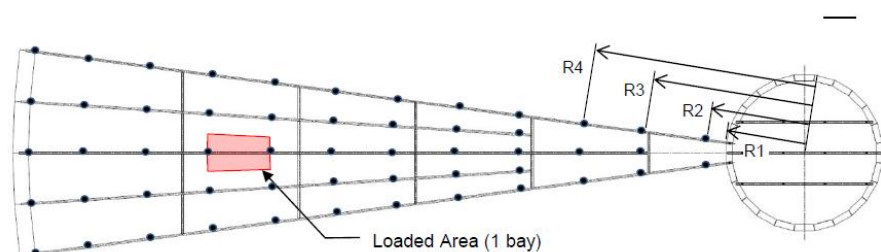
Γενικά στην περίπτωση του σεισμού, πέρα από τα σεισμικά φορτία λαμβάνονται υπόψιν και οι μάζες της κατασκευής που πολλαπλασιάζονται με την επιτάχυνση του σεισμού με κατεύθυνση προς όλες τις διευθύνσεις X, Y, Z. Από τους συνδυασμούς φόρτισης λαμβάνεται υπόψιν το 100% της μάζας των μόνιμων φορτίων (ίδιο βάρος κατασκευής, μόνωση) και το 30% της μάζας των κινητών.

3.4.4 Τρόπος Φόρτισης Δοκών

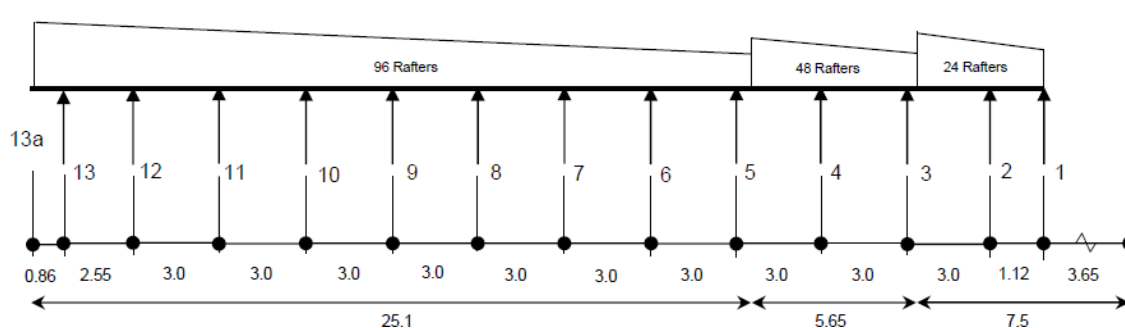
Ο τρόπος με τον οποίο φορτίζεται η παρούσα κατασκευή είναι κάπως σύνθετος. Μόνο τα πρωτεύοντα, δευτερεύοντα και τριτεύοντα δοκάρια φορτίζονται καθώς και η εσχάρα στο κέντρο του καταστρώματος. Τα περιφερειακά βοηθητικά ελάσματα μόνο το ίδιο βάρος τους αναλαμβάνουν. Ακολουθεί η μέθοδος φόρτισης.

Επειδή τα στοιχεία πλάκας έχουν παραληφθεί στο μοντέλο (το χαλυβδόφυλλο), όλα τα φορτία τα αναλαμβάνουν τα δοκάρια που πλαισιώνουν το κατάστρωμα. Αν υπήρχε το χαλυβδόφυλλο από πάνω τότε η φόρτιση θα ήταν ομοιόμορφα κατανεμημένη σε επιφάνεια διότι θα τη λάμβανε το χαλυβδόφυλλο.

Λαμβάνοντας υπόψιν μια τυπική κύρια δοκό, όσο η απόσταση μεγαλώνει από το κέντρο του καταστρώματος προς το άκρο, το φορτίο που εφαρμόζεται πάνω στη δοκό είναι ανομοιόμορφο κατανεμημένο. Η τιμή του ανομοιόμορφου φορτίου υπολογίζεται σε θέση κάθε ράβδου, ή αλλάζει με τους αριθμούς των ράβδων, θεωρώντας ότι το φορτίο μεταφέρεται από κάθε ράβδο. Αυτό το φορτίο είναι ανάλογο της περιφέρειας του κύκλου για κάθε ακτίνα, χωριζόμενο από τον αριθμό των δοκών για κάθε συγκεκριμένη ακτίνα. Το ανομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο υπολογίζεται παρακάτω χρησιμοποιώντας το 1KPa. Τα πραγματικά φορτία στα δοκάρια μπορούν στη συνέχεια να κατανεμηθούν σε αναλογία των φορτίων σχεδιασμού για κάθε φόρτιση. Το φορτίο που μεταφέρεται από κάθε ράβδο μπορεί επίσης να προσεγγιστεί με την επιφάνεια του καταστρώματος που υποστηρίζεται από τη ράβδο. Άρα από αυτή τη μέθοδο συμπεραίνεται ότι η επιφάνεια του καταστρώματος καλύπτεται με τη φόρτιση των κύριων δοκαριών, συνεπώς η κατανομή φορτίου πάνω στα περιφερειακά δοκάρια είναι περιττή και θα επιβαρύνει το φορέα.



Εικόνα 3.7 : Πλάτος επιρροής δοκών



Εικόνα 3.8 : Τομή κατά μήκος μιας κύριας δοκού

Πίνακας 3.6 : Φόρτιση πρωτεύουσών δοκών

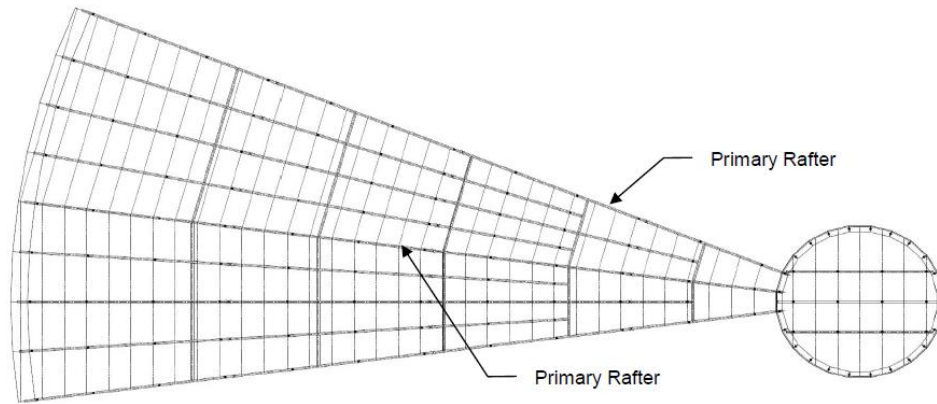
Μόνο πρωτεύουσες δοκοί	Ακτίνα = R	Αριθμός ράβδων=24	1KPa UDL
Ράβδος 1	3.65	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot w / N$	0.96w
Ράβδος 2	4.77	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot w / N$	1.25w
Διακοπή δεδομένων δοκαριών 2α	7.5	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot w / N$	1.96w

Πίνακας 3.7 : Φόρτιση πρωτεύουσών και δευτερευουσών δοκών

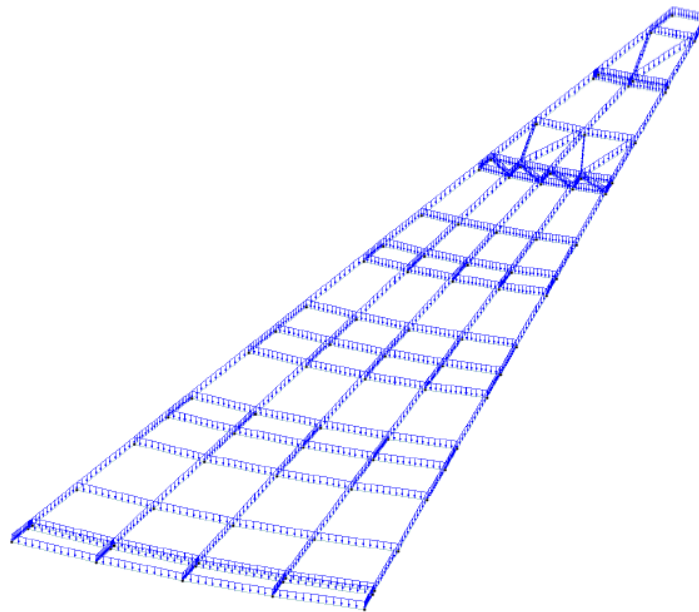
Πρωτεύουσες και δευτερεύουσες δοκοί	Ακτίνα = R	Αριθμός ράβδων=48	1KPa UDL
Διακοπή δεδομένων δοκαριών 2α	7.5	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot w / N$	0.98w
Ράβδος 3	7.77	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot w / N$	1.02w
Ράβδος 4	10.77	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot w / N$	1.41w
Διακοπή δεδομένων δοκαριών 4α	13.15	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot w / N$	1.72w

Πίνακας 3.8 : Φόρτιση πρωτεύουσών δευτερευουσών και τριτεύουσών δοκών

Πρωτεύουσες δευτερεύουσες και τριτεύουσες δοκοί	Ακτίνα = R	Αριθμός ράβδων=96	1KPa UDL
Διακοπή δεδομένων δοκαριών 4α	13.15	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot w / N$	0.86w
Ράβδος 5	13.77	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot w / N$	0.90w
Ράβδος 6	16.77	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot w / N$	1.10w
Ράβδος 7	19.77	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot w / N$	1.29w
Ράβδος 8	22.77	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot w / N$	1.49w
Ράβδος 9	25.77	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot w / N$	1.69w
Ράβδος 10	28.77	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot w / N$	1.88w
Ράβδος 11	31.77	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot w / N$	2.08w
Ράβδος 12	34.77	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot w / N$	2.28w
Ράβδος 13	37.32	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot w / N$	2.44w
Εξωτερική άκρη 13α	38.18	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot w / N$	2.50w



Εικόνα 3.9 : Απεικόνιση των 2 πρώτων φατνωμάτων του καταστρώματος



Εικόνα 3.10 : Απεικόνιση φόρτισης του πλαισίου του καταστρώματος

3.5 Υπολογισμός Συνδυασμών Φόρτισης

Προκειμένου να διεξαχθούν οι αναλύσεις και να ελεγχθεί ο σχεδιασμός του αναρτώμενου καταστρώματος, οι φορτίσεις πρέπει να συνδυάζονται με τις κατάλληλες συνθήκες φόρτισης. Άρα:

- **Φόρτιση κατά τη φάση κατασκευής:** το αναρτώμενο κατάστρωμα σχεδιάζεται για φορτία που συναντά κατά τη φάση κατασκευής. **Σε αυτό το σενάριο φόρτισης θεωρείται ότι μία ράβδος είναι ανενεργή** για τον προσδιορισμό της δυσμενέστερης περίπτωσης
- **Φόρτιση κατά τη φάση λειτουργίας:** το αναρτώμενο κατάστρωμα σχεδιάζεται για φορτία που κατά τη φάση λειτουργίας συμπεριλαμβανομένης και της διαφορικής πίεσης. **Σε αυτό το σενάριο φόρτισης μια ράβδος θεωρείται ανενεργή**

3.5.1 Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

Οι μεμονωμένες περιπτώσεις φορτίου συνδυάζονται σύμφωνα με τον τύπο:

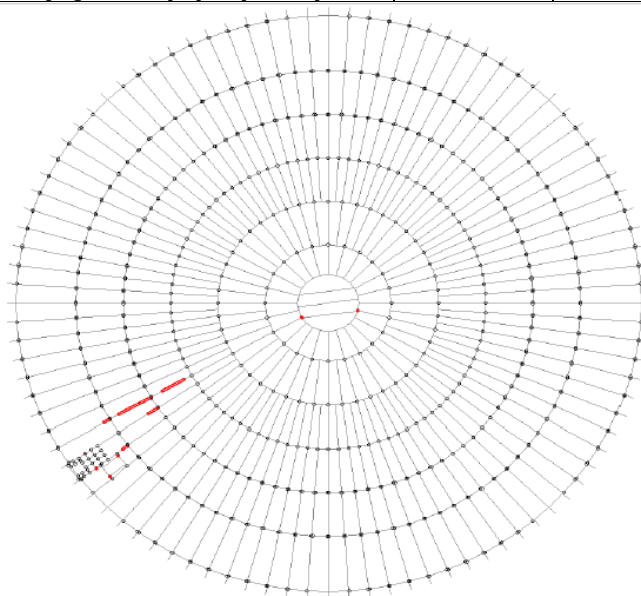
$$(γ_{Gk} * G_k) + (γ_{Qk} * Q_k) + (γ_{Qk,i} * ψ_0 * Q_{k,i}) \quad (3.1)$$

Όπου $γ_{Gk}$ και $γ_{Qk}$ είναι συντελεστές των μόνιμων και κινητών φορτίων αντίστοιχα

$ψ_0 = 1$ για τα φορτία κατασκευής

Πίνακας 3.9 : Συνδυασμοί ΟΚΑ

Περίπτωση φόρτισης	Συνδυασμοί φόρτισης	
	1	2
1) Gk - Αναρτώμενο κατάστρωμα	1.35	1.35
2) Qk - Κινητό φορτίο	1.5	
3) Qk - Διαφορική πίεση		1.5



Εικόνα 3.11 : Απεικόνιση του σημείου με την ανάπτυξη μεγαλύτερων εντατικών μεγεθών από τη φόρτιση ΟΚΑ

Από την εικόνα προκύπτει ότι τα σημεία που καταπονούνται περισσότερο βρίσκονται στην επαφή της εσχάρας με τον πρώτο ομόκεντρο κύκλο (από εκεί ξεκινάνε οι κύριες δοκοί), καθώς και οι κύριες δοκοί (πρωτεύουσες, δευτερεύουσες, τριτεύουσες).

3.5.2 Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας

Ο ίδιος συνδυασμός φορτίων υπάρχει και για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (ΟΚΛ) με μόνη αλλαγή τους συντελεστές των φορτίων. Σημειώνεται ότι στην ΟΚΛ θεωρούνται όλες οι ράβδοι ενεργοί. Το όριο στην ΟΚΛ είναι το $L/250$ για κάθε μέλος του φορέα.

Πίνακας 3.10 : Συνδυασμοί ΟΚΛ

Περίπτωση φόρτισης	Συνδυασμοί φόρτισης	
	1	2
1) Gk - Αναρτώμενο κατάστρωμα	1	1
2) Qk - Κινητό φορτίο	1	
3) Qk - Διαφορική πίεση		1

3.5.3 Σεισμικοί Συνδυασμοί

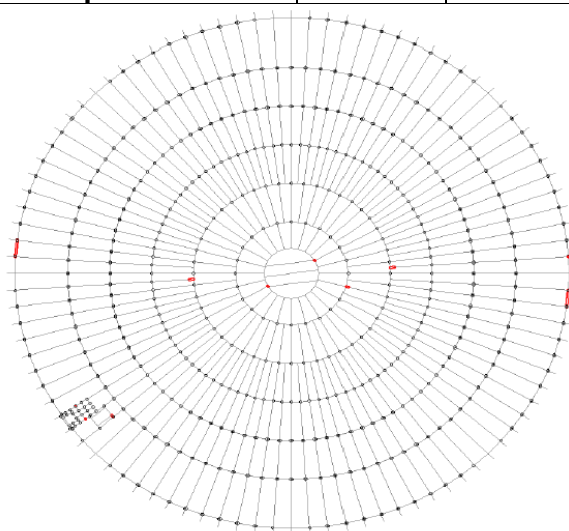
Οι σεισμικοί συνδυασμοί προκύπτουν με βάση το γενικό τύπο

$G_k + (\Psi_2 * Q_k) + A_{Ed}$	(3.2)
---------------------------------	-------

Όπου $\Psi_2=0.3$ για φορτία κατασκευής

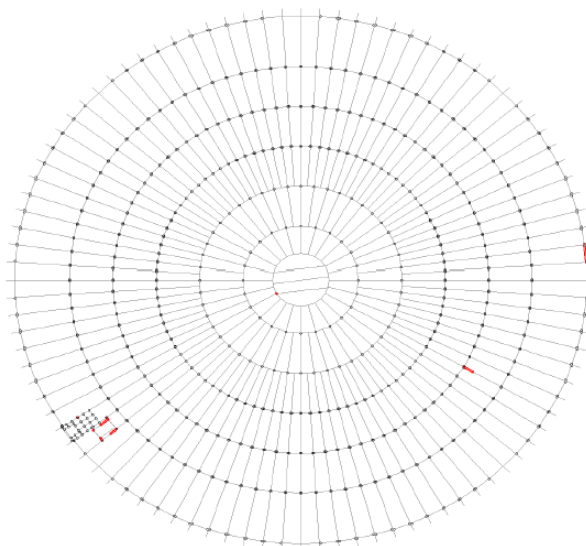
Πίνακας 3.11 : Σεισμικοί συνδυασμοί

Περίπτωση φόρτισης	Συνδυασμοί φόρτισης		
	1	2	3
1) Gk - Αναρτώμενο κατάστρωμα	1	1	1
2) Gk - Μόνωση	1	1	1
3) Qk - Κινητό φορτίο			
4) Qk - Διαφορική πίεση			
5) AedX μάζας καταστρώματος X	1	0.4	0.4
6) AedY μάζας καταστρώματος Y	0.4	1	0.4
7) AedZ μάζας καταστρώματος Z	0.4	0.4	1
8) AedX Μόνωση κατά X	1	0.4	0.4
9) AedY Μόνωση κατά Y	0.4	1	0.4
10) AedZ Μόνωση κατά Z	0.4	0.4	1



Εικόνα 3.12 : Απεικόνιση των σημείων των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών από σεισμικό συνδυασμό ΟΒΕ

Από το σχήμα προκύπτει ότι τα σημεία που καταπονούνται περισσότερο από το σεισμό ΟΒΕ είναι στον πρώτο ομόκεντρο κύκλο, στο δεύτερο και στον τρίτο (είναι οι κύκλοι από τους οποίους ξεκινούν τα δοκάρια, πρωτεύοντα, δευτερεύοντα και τριτεύοντα αντίστοιχα), καθώς και στον τελευταίο κύκλο όπου είναι και λογικό μιας και καταλήγει στη δεξαμενή, άρα θα φέρει και μεγαλύτερα εντατικά μεγέθη.



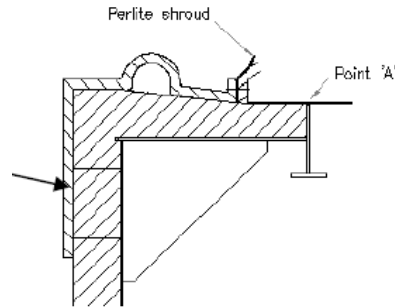
Εικόνα 3.13 : Απεικόνιση των σημείων των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών από σεισμικό συνδυασμό SSE

Από το σχήμα προκύπτει ότι τα σημεία που καταπονούνται περισσότερο είναι στην επαφή της εσχάρας με τον πρώτο ομόκεντρο κύκλο καθώς και στον εξωτερικό κύκλο που είναι λογικό μιας και από εκείνον γίνεται η σύνδεση με τον υπόλοιπο φορέα (δεξαμενή).

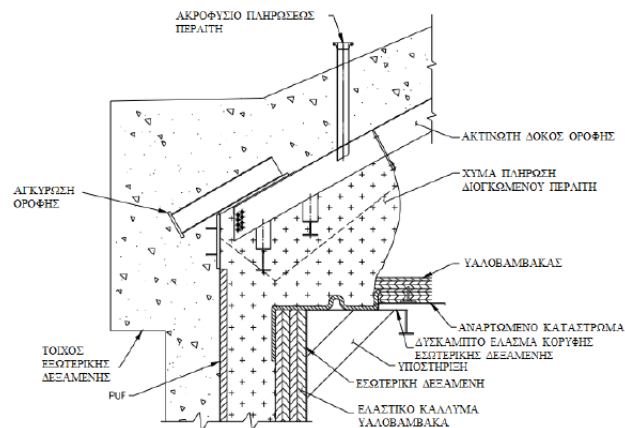
Οι ράβδοι με τη βοήθεια των οποίων κρέμεται το αναρτώμενο κατάστρωμα από την εξωτερική θολωτή οροφή, διαστασιολογούνται με βάση το σεισμό. Παρατηρήθηκε ότι κατά τη διάρκεια του σεισμού SSE μια μεγάλη ποσότητα ράβδων παραμένει σε εφελκυσμό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το κατάστρωμα να μην υφίσταται ανασήκωμα.

3.6 Θερμική Μετακίνηση Καταστρώματος

Το κατάστρωμα υποβάλλεται σε μετακίνηση (συστολή) λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής που υφίσταται. Η μέγιστη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης είναι 40 °C. Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της δεξαμενής είναι -170 °C λόγω του ΥΦΑ που αποθηκεύεται μέσα στη δεξαμενή. Υπάρχει λοιπόν μια θερμοκρασιακή μεταβολή από το θερμό στο ψυχρό. Έτσι προκαλείται μετακίνηση στο φορέα. Άρα για την εύρεση της μετακίνησης εφαρμόζεται σε όλο το φορέα μια διαφορά θερμοκρασίας (40 °C - (-170 °C)) = 210 °C. Παρουσιάζεται μια μετακίνηση – συστολή λόγω θερμοκρασίας στο σημείο Α που είναι στο άκρο του φορέα και απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 3.14 : Λεπτομέρεια της γωνίας κορυφής της εσωτερικής δεξαμενής



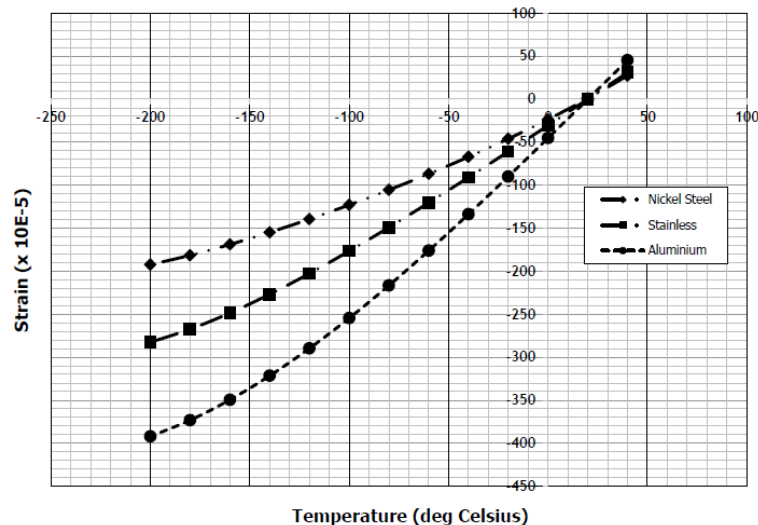
Εικόνα 3.15 : Διάταξη των υλικών της γωνίας στην κορυφή της εσωτερικής δεξαμενής

Το κατάστρωμα στο πάνω μέρος του απομονώνεται θερμικά με έξι στρώσεις υαλοβάμβακα. Ο υαλοβάμβακας προέρχεται από ορυκτές πρώτες ύλες, ανήκει στα ανόργανα ινώδη υλικά και τα βασικά συστατικά του είναι το διοξείδιο του πυριτίου, ο δολομίτης, ο ασβεστόλιθος, η ανθρακική σόδα και αλουμίνα. Ο υαλοβάμβακας στη συγκεκριμένη μελέτη συναντάται σε μορφή παπλώματος. Αποτελεί μία καλή θερμομονωτική λύση υπό την προϋπόθεση ότι προστατεύεται από τη διείσδυση της υγρασίας. Όσο μικρότερο είναι το πάχος των ινών και όσο μεγαλύτερο το μήκος τους τόσο υψηλότερη θερμική προστασία προσφέρει αλλά και μεγαλύτερο κόστος αποκτά. Η προσβολή από την υγρασία έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ. Για αυτό το λόγο, όταν χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό στα κτίρια, κρίνεται απαραίτητη η προστασία του με φράγμα υδρατμών στη θερμή όψη. Αξίζει να σημειωθεί πως λόγω της ινώδους μορφής του, ο υαλοβάμβακας σε ελεύθερη κατάσταση δεν απορροφά υγρασία. Επειδή όμως συχνά βρίσκεται κλεισμένος στα άλλα δομικά υλικά, η υγρασία που εγκλωβίζεται στα τελευταία τον προσβάλλει και εξαπλώνεται σε όλη την έκτασή του. Ο υαλοβάμβακας διαθέτει επίσης ανθεκτικότητα στη θερμοκρασία για ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών από $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η αντοχή στον εφελκυσμό ($0,005\text{ N/mm}^2$) και το όριο θραύσης ($0,005\text{-}0,015\text{ N/mm}^2$) κρίνονται ικανοποιητικές. Ωστόσο, εμφανίζει μικρή αντοχή σε συμπίεση και ως εκ τούτου δεν προσφέρεται η χρήση του για δάπεδα και δώματα με ισχυρές φορτίσεις. Η απόδοσή του ως ηχομονωτικό υλικό θεωρείται ιδιαίτερα καλή σε σύγκριση με άλλα ως προς αυτήν την ιδιότητα υλικά.

Επειδή το κατάστρωμα συστέλλεται όσο η θερμοκρασία μειώνεται, η θερμική αυτή συστολή δεν προκαλεί επιπλέον δυνάμεις στα μέλη του καταστρώματος όπως προκύπτει στη συνέχεια και από αναλύσεις. Παρόλα αυτά, τα διαγώνια στοιχεία υποστήριξης (σχήματος W) τα οποία εξασφαλίζουν πλευρικά το κατάστρωμα,

το συγκρατούν και από τη συστολή λόγω θερμοκρασίας περιφερειακά. Αυτή η αντίσταση προκαλεί επιπλέον δυνάμεις στα στοιχεία αυτά. Αυτές οι δυνάμεις προέκυψε ότι είναι αμελητέες και δε λαμβάνονται υπόψιν στους συνδυασμούς φόρτισης.

Στην πραγματικότητα, οι ράβδοι με τη βοήθεια των οποίων κρέμεται το κατάστρωμα από τη θολωτή οροφή, δεν κατασκευάζονται κάθετα στο κατάστρωμα, αλλά όσο το κατάστρωμα συστέλλεται, τόσο οι ράβδοι πέρνουν κατακόρυφη θέση. Σημειώνεται ότι μόνο το 50% του μήκους των ράβδων επηρεάζεται από τη θερμοκρασία αφού η πλειοψηφία του μήκους μιας ράβδου βρίσκεται πάνω από τη μόνωση άρα είναι κοντά στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Παρουσιάζεται το διάγραμμα συνολικής θερμικής καταπόνησης.

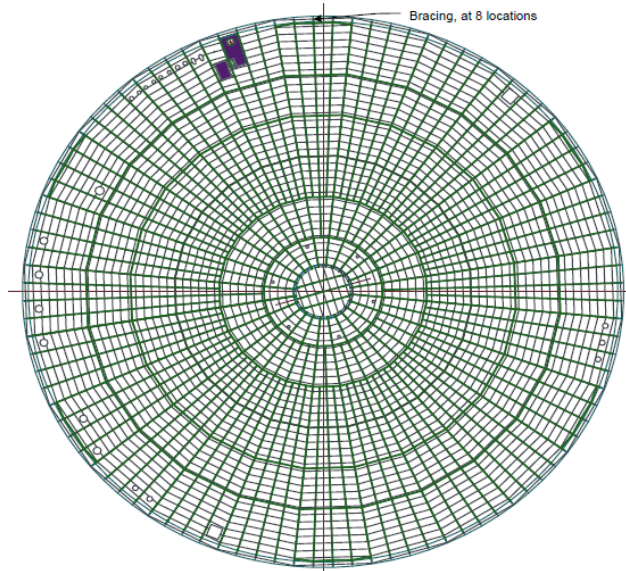


Εικόνα 3.16 : Διάγραμμα συνολικής θερμικής καταπόνησης

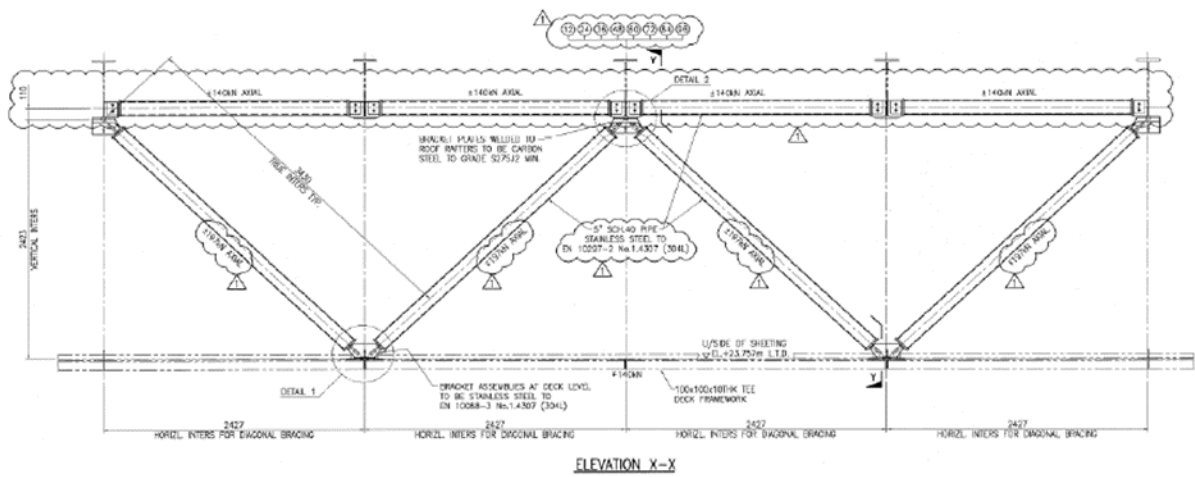
3.7 Προστασία Δεξαμενής από Σεισμικά Φορτία

Το αναρτώμενο κατάστρωμα ενισχύεται σε 8 σημεία περιφερειακά με υποστηρικτικά στοιχεία σχήματος W. Τα υποστηρικτικά αυτά στοιχεία συνδέονται με τα δοκάρια της οροφής από ανθρακικό χάλυβα χρησιμοποιώντας αρθρώσεις στους κόμβους για να επιτρέπεται η στροφή στις αρθρώσεις όσο το κατάστρωμα συστέλλεται κατά τη διάρκεια της ψύξης του εσωτερικού της δεξαμενής. Για σεισμικούς σκοπούς, θεωρείται ότι το κατάστρωμα δρα σαν ένα δύσκαμπτο σώμα κατά τη διάρκεια της οριζόντιας φόρτισης, δηλαδή σα διαφραγματικός δίσκος. Δεν παραμορφώνεται στο επίπεδο του το κατάστρωμα, αλλά μετακινείται σα διαφραγματική πλάκα στο χώρο.

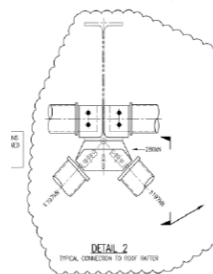
Η διαστασιολόγηση των κατακόρυφων στοιχείων σχήματος W προκύπτει από σεισμικούς συνδυασμούς προσθέτοντας και τη δύναμη που προκαλεί η διαφορά θερμοκρασίας στα στοιχεία αυτά, αφού αυτά βοηθούν το φορέα να αντισταθεί στη συστολή. Όμως λόγω του ότι αυτή η δύναμη προκύπτει πολύ μικρή από τις αναλύσεις, δε λαμβάνεται υπόψιν.



Εικόνα 3.17 : Κάτοψη καταστρώματος με 8 στοιχεία υποστήριξης περιφερειακά



Εικόνα 3.18 : Κατακόρυφα στοιχεία σχήματος W τοποθετούμενα σε 8 σημεία του φορέα



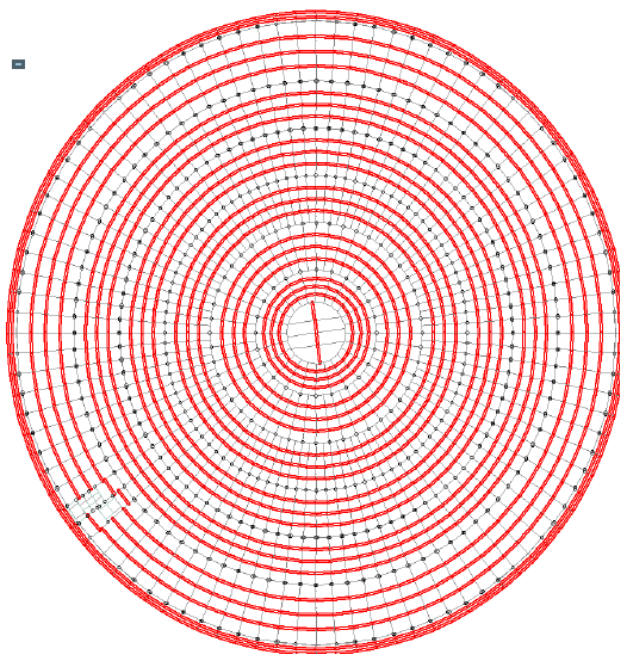
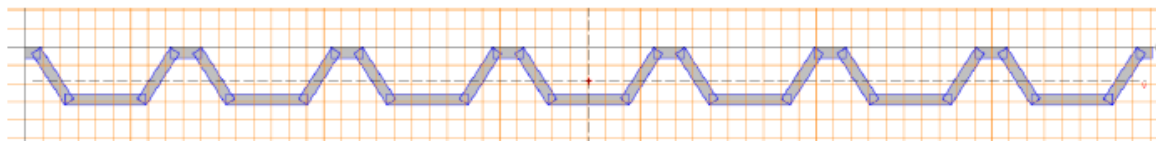
Εικόνα 3.19 : Λεπτομέρεια σύνδεσης κατακόρυφων στοιχείων W με τα δοκάρια θολωτής οροφής από ανθρακικό χάλυβα

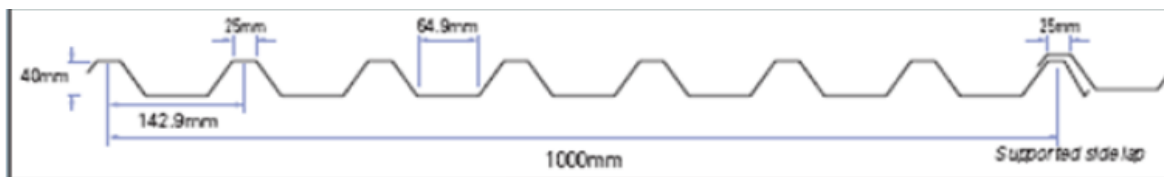
Πίνακας 3.12 : Χαρακτηριστικά διατομής στοιχείων W

Χαρακτηριστικά στοιχείων W		Τιμές
Εμβαδόν (mm ²)	139x6.3 CHS	2640
τάση διαρροής (MPa)	f_y	200
Μήκος λυγισμού (mm)	L_{cr}	3430
Ακτίνα περιστροφής (mm)	i	47.2

3.8 Εξασφάλιση Διαφραγματικής Λειτουργίας Καταστρώματος

Προκειμένου να δικαιολογηθεί η διαφραγματική λειτουργία του αλουμινένιου καταστρώματος, τα στοιχεία πλάκας που χρησιμοποιούνταν γι αυτή τη λειτουργία έχουν αντικατασταθεί από στοιχεία πλάκας με ιδιότητες διατομών που να ταιριάζουν στο χαλυβδόφυλλο από αλουμίνιο. Τα επιπλέον στοιχεία δοκών που αντιπροσωπεύουν τη λειτουργία του χαλυβδόφυλλου παρουσιάζονται στο επόμενο σχήμα και είναι διαγραμμισμένα με κόκκινο χρώμα.

**Εικόνα 3.20** : Απεικόνιση διαφραγματικής λειτουργίας του καταστρώματος**Εικόνα 3.21** : Τυπική διατομή χαλυβδόφυλλου που εξασφαλίζει διαφραγματική λειτουργία



Εικόνα 3.22 : Απεικόνιση χαρακτηριστικών χαλυβδοφύλλου

Πίνακας 3.13 : Χαρακτηριστικά άνω πέλματος χαλυβδοφυλλού

Άνω πέλμα		
Πλάτος πέλματος (mm)	b	25
Πάχος πέλματος (mm)	tf	1.2
Μέτρο ελαστικότητας (MPa)	E	70000
0.2% Δοκιμαστική τάση (MPa)	fo	180
Παράγοντας λυγισμού	κσ	4
Λεπτότητα πλάκας	λρ	0.556
Όριο λεπτότητας	λlim	0.517
Μειωτικός παράγοντας	ρ	0.98
Ενεργό πάχος (mm)	teff	1.17

Πίνακας 3.14 : Χαρακτηριστικά κορμού χαλυβδοφυλλού

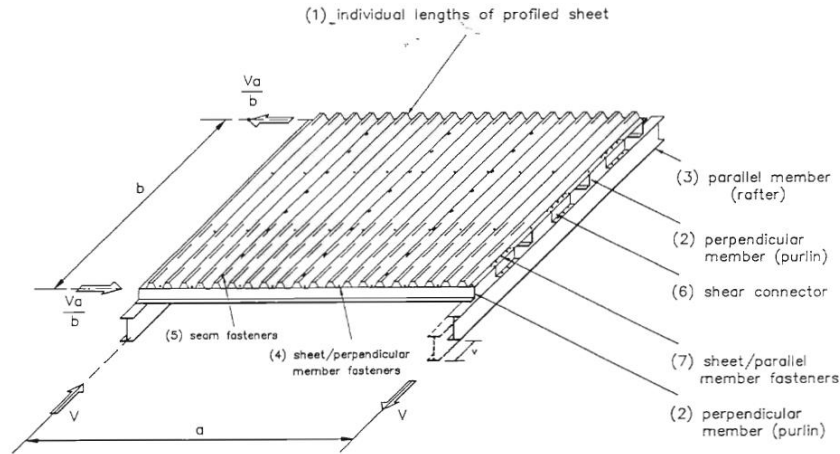
Κορμός		
Πλάτος πέλματος (mm)	b	48
Πάχος πέλματος (mm)	tf	1.2
Μέτρο ελαστικότητας (MPa)	E	70000
0.2% Δοκιμαστική τάση (MPa)	fo	180
Παράγοντας λυγισμού	κσ	4
Λεπτότητα πλάκας	λρ	1.065
Όριο λεπτότητας	λlim	0.517
Μειωτικός παράγοντας	ρ	0.67
Ενεργό πάχος (mm)	teff	0.8

Πίνακας 3.15 : Χαρακτηριστικά πέλματος βάσης χαλυβδοφυλλού

Πέλμα βάσης		
Πλάτος πέλματος (mm)	b	65
Πάχος πέλματος (mm)	tf	1.2
Μέτρο ελαστικότητας (MPa)	E	70000
0.2% Δοκιμαστική τάση (MPa)	fo	180
Παράγοντας λυγισμού	κσ	4
Λεπτότητα πλάκας	λρ	1.443
Όριο λεπτότητας	λlim	0.517
Μειωτικός παράγοντας	ρ	0.53
Ενεργό πάχος (mm)	teff	0.6

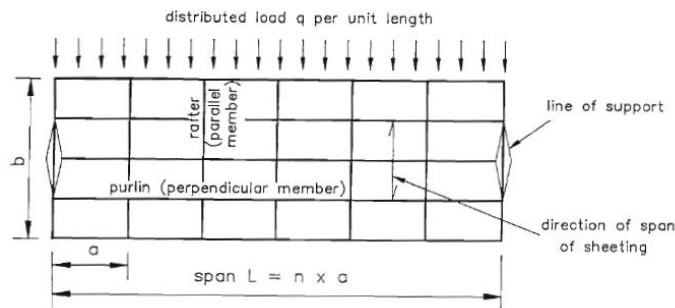
3.8.1 Αλληλεπίδραση της Εξωτερικής Επένδυσης με το Σκελετό (Stressed Skin Design)

Σε κτίρια όπου δε λαμβάνεται υπόψιν η αλληλεπίδραση της εξωτερικής επένδυσης με το σκελετό, το κατάστρωμα, η οροφή ή η επένδυση μπορεί να υποβάλλονται σε μεγάλες διαφραγματικές δυνάμεις. Αυτό συμβαίνει κυρίως επειδή η επένδυση είναι τόσο δύσκαμπτη στη διάτμηση που ελκύει μεγάλη διατμητική δύναμη. Αυτό μπορεί να προκαλέσει μια πρόωρη αποτυχία κάθε τύπου κατασκευής. Η αλληλεπίδραση της εξωτερικής επένδυσης και του σκελετού της κατασκευής ποσοτικοποιεί τις πιέσεις και τις εκτροπές που μπορεί να εμφανιστούν και οδηγεί σε αξιόπιστο σχεδιασμό. Η διαφραγματική λειτουργία προκαλείται συνήθως από φορτία που εφαρμόζονται στην επένδυση (χαλυβδόφυλλο) όπως φορτία ανέμου και χιονιού.

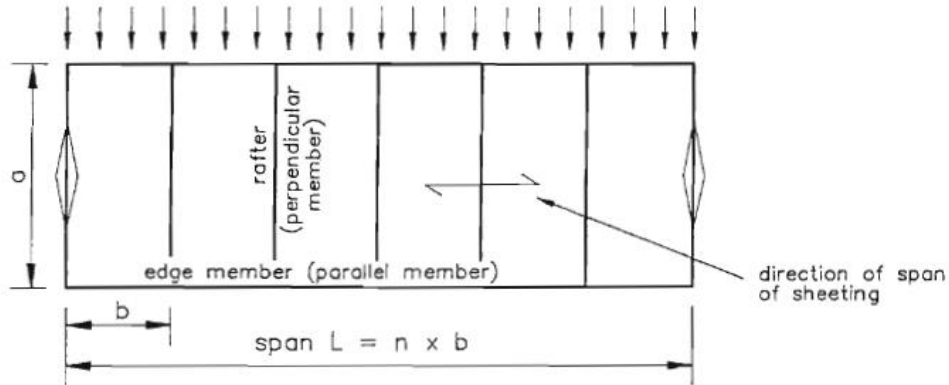


Εικόνα 3.23 : Τυπικό πάνελ διάτμησης

Ο σχεδιασμός της κατασκευής του καταστρώματος πρέπει να περιλαμβάνει τη μέθοδο αλληλεπίδρασης της εξωτερικής επένδυσης και του σκελετού. Η επένδυση, δηλαδή για την παρούσα κατασκευή το χαλυβδόφυλλο, συμπεριφέρεται σαν ένας παράγοντας ζωτικής σημασίας της κατασκευής και παρέχει διαφράγματα διάτμησης τα οποία χρησιμεύουν στο να υπάρχει αντίσταση στις δομικές μετατοπίσεις στο επίπεδο της επένδυσης.



Εικόνα 3.24 : Χαλυβδόφυλλο (που εξασφαλίζει διαφραγματική λειτουργία) κάθετα κατά μήκος του κτιρίου



Εικόνα 3.25 : Χαλυβδόφυλλο (που εξασφαλίζει διαφραγματική λειτουργία) παράλληλα στο μήκος του κτιρίου

Το χαλυβδόφυλλο προσκαλλάται στο σκελετό της κατασκευής (πλάισιο διατομών ταυ) με συνδετήρες που μεταφέρουν τις διατμητικές δυνάμεις χωρίς να εξαρτάται από την τριβή ή την κάμψη των ίδιων των συνδετήρων. Οι συνδετήρες αυτοί θα πρέπει να είναι ενός συγκεκριμένου τύπου και δε θα πρέπει να δουλεύουν χαλαρά σε λειτουργία ούτε να επιτρέπουν αποτυχία σε διάτμηση επειδή θα προκληθεί σκίσιμο του χαλυβδόφυλλου. Για τη σωστή λειτουργία του διαφράγματος απαιτείται να ικανοποιούνται κάποιοι κανονισμοί κατασκευής:

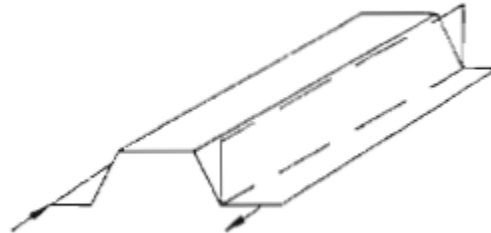
- Σε πλαίσια οροφής όπου έχουν μικρή κλίση, όσο πιο επίπεδη είναι η κλίση οροφής τόσο λιγότερο αποτελεσματική είναι η αντίσταση στο κατακόρυφο φορτίο, αλλά τόσο αποτελεσματική είναι η αντίσταση στο πλευρικό φορτίο
- Εάν η οροφή έχει κλίση μικρότερη από 10° είναι απίθανο τα διαφράγματα να έχουν σημαντική επίδραση στο κατακόρυφο φορτίο
- Η δράση της διαφραγματικής λειτουργίας είναι αποτελεσματική σε κατασκευές σπιτιών όπου η οριζόντια φόρτιση εφαρμόζεται σε ένα ή δυο πλαίσια το πολύ και σε αυτή την περίπτωση η διανομή του φορτίου δεν επηρεάζεται από την αναλογία μήκους/πλάτους
- Η διαφραγματική λειτουργία είναι επιπλέον αποτελεσματική στο να παρέχει πλευρική εξασφάλιση στα δοκάρια και στα δικτυώματα
- Η χρήση των χαλυβδόφυλλων εκτός από τον κύριο σκοπό τους, πρέπει να περιοριστεί στο σχηματισμό διατμητικών διαφραγμάτων για να υπάρχει αντίσταση στις δομικές μετατοπίσεις
- Θα πρέπει να εξετάζεται ότι η μέγιστη διατμητική πίεση του χαλυβδόφυλλου εξαιτίας της διαφραγματικής λειτουργίας δεν υπερβαίνει το 25% της τάσης διαρροής
- Θα πρέπει να εξασφαλίζεται στο σχεδιασμό ότι το πλευρικό φορτίο στο κατάστρωμα δεν επηρεάζει τη δύναμη και την ευκαμψία του ως μέσο διαφράγματος
- Για τη μεταφορά των διαφραγματικών δυνάμεων στο κύριο χαλύβδινο πλαίσιο χρειάζονται δονικές συνδέσεις κατάλληλης αντοχής και δυσκαμψίας

Η μέθοδος αλληλεπίδρασης του χαλυβδόφυλλου με το χαλύβδινο πλαίσιο, ακολουθεί και περιορισμούς.

- Τα διαφράγματα δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για να αντιστέκονται σε μόνιμα εξωτερικά φορτία αλλά θα πρέπει να περιορίζουν κατά κύριο λόγο τα φορτία που εφαρμόζονται πάνω στην επένδυση όπως σεισμός και χιόνι, σεισμικά φορτία και παρόμοια πλευρικά φορτία καθώς και δυνάμεις από γερανούς και μηχανήματα
- Τα διαφράγματα που αλληλεπιδρούν με το χαλύβδινο πλαίσιο πρέπει να συμπεριφέρονται σα δομικά στοιχεία και όχι να απομακρύνονται χωρίς να λαμβάνουν υπόψιν τους την επίδραση της σταθερότητας του κτιρίου. Η θεώρηση αυτή δε θα πρέπει να ακυρώνει προγραμματισμένη

απομάκρυνση ορισμένων φύλλων για λόγους συντήρησης, με την προϋπόθεση ότι οι περιοχές αυτές θα λειτουργούν ως διάφραγμα με προσωρινή υποστήριξη

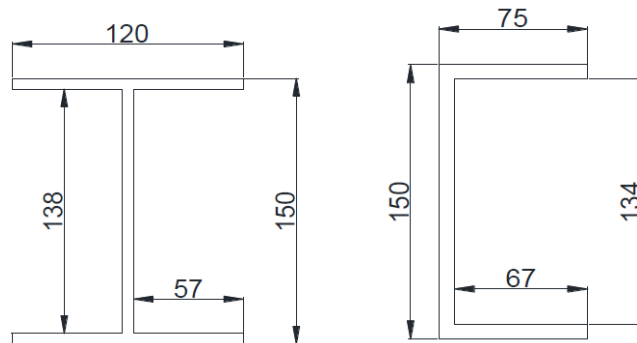
- Τα διαφράγματα θα πρέπει να σχεδιάζονται κατά κύριο λόγο για φορτία σε βραχυπρόθεσμο χρονικό διάστημα εκτός αν ληφθούν μακροχρόνια φαινόμενα όπως ο ερπυσμός



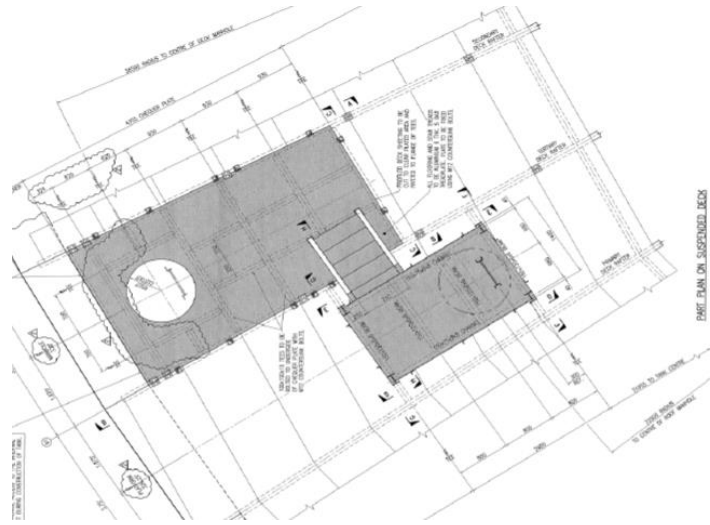
Εικόνα 3.26 : Χαλυβδόφυλλο υποβαλλόμενο σε διάτμηση

3.9 Σχεδιασμός Πλατφόρμας Πρόσβασης

Μέρος της κατασκευής του αναρτώμενου καταστρώματος αποτελεί και μια πλατφόρμα πρόσβασης. Αυτή χρησιμοποιείται για να διευκολύνει την πρόσβαση στο αναρτώμενο κατάστρωμα στη φάση κατασκευής και για λόγους συντήρησης. Οι διατομές που χρησιμοποιούνται είναι:



Εικόνα 3.27 : Διατομές πλατφόρμας πρόσβασης στο κατάστρωμα



Εικόνα 3.28 : Κάτοψη πλατφόρμας πρόσβασης στο κατάστρωμα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : 'ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΡΤΩΜΕΝΟΥ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΔΙΝΑ

4.1 Περιγραφή του Προσομοιώματος

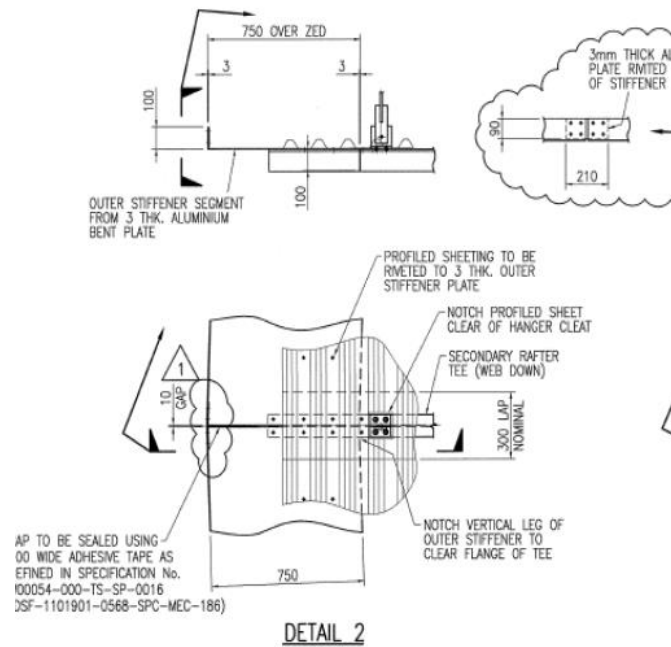
Ο φορέας αποτελείται από 24 φατνώματα. Οι κύριες δοκοί (primary, secondary, tertiary rafters) καθώς και τα δακτυλιοειδή ελάσματα (circumferencial members) όπως και η εσχάρα (grillage) στο κέντρο του καταστρώματος έχουν προσομοιωθεί με στοιχεία δοκού (beam elements), ενώ τα κατακόρυφα στοιχεία περιφερειακά του καταστρώματος σχήματος W (vertical bracing) έχουν προσομοιωθεί με στοιχεία δικτυώματος (truss element). Η γωνία που σχηματίζουν τα δοκάρια μεταξύ τους είναι 3.75° και τα κύρια δοκάρια μεταξύ τους (primary rafters) είναι 15° . Οι διατομές που δόθηκαν αρχικά στο φορέα ήταν αυτές του κανονισμού για δεξαμενές ΥΦΑ, για την πρωτεύουσα δοκό (primary) η διατομή είναι ανάποδο ταυ διατάσεων $100*100*10$, και όλες τις υπόλοιπες δοκούς είναι ταυ κανονικό $100*100*10$. Για τα κατακόρυφα στοιχεία είναι CHS $139.6*6.3$. Στην πορεία όμως αλλάζουν οι διατομές αφού προκύπτει ότι δεν ικανοποιούνται οι δεδομένες. Έχουν οριστεί 12 ομάδες στοιχείων (element groups) θεωρώντας ξεχωριστά και καθένα από τους 7 δακτυλίους του φορέα. Πάνω στο φορέα θεωρείται σα μάζα το χαλυβδόφυλλο (το οποίο δε σχεδιάζεται) με ίδιο βάρος 0.03KPa . Το βάρος του χαλυβδόφυλλου κατανέμεται με τον ίδιο τρόπο πάνω στο αλουμινένιο πλαίσιο που κατανέμεται και το κινητό φορτίο. Στη φάση λειτουργίας προστίθεται πάνω από το χαλυβδόφυλλο η μόνωση από 6 στρώσεις υαλοβάμβακα που απομονώνει θερμικά το κατάστρωμα.

Όσον αφορά στις συνοριακές συνθήκες, στα άνω άκρα των κατακόρυφων στοιχείων σχήματος W χρησιμοποιήθηκαν αρθρώσεις. Με τις αρθρώσεις (περιορισμός κατά X, Y, Z άξονα) τα κατακόρυφα στοιχεία έρχονται σε επαφή με τα δοκάρια από ανθρακικό χάλυβα της εξωτερικής θολωτής οροφής. Οι συνδέσεις αυτές επιτρέπουν τη στροφή όσο το κατάστρωμα συστέλλεται κατά τη διάρκεια της ψύξης της εσωτερικής δεξαμενής. Οι ράβδοι από τους οποίους κρέμεται το κατάστρωμα από την εξωτερική θολωτή οροφή της δεξαμενής προσομοιώθηκαν με κύλισεις (περιορισμός μόνο κατά τον άξονα Z) και δε σχεδιάστηκαν σα δικτυώματα.

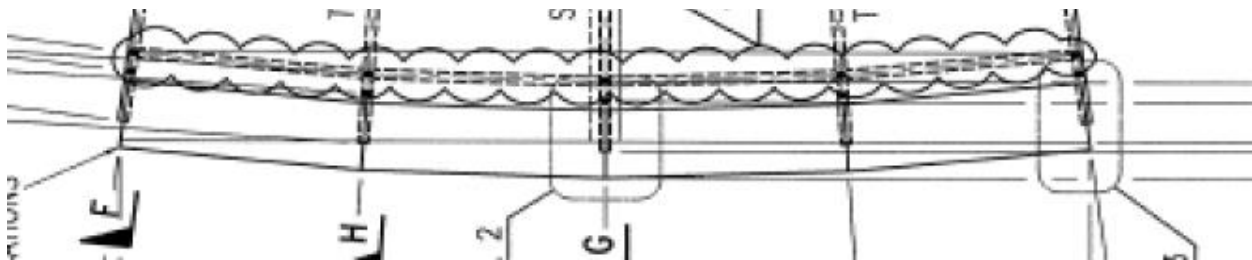
Το χαλυβδόφυλλο που τοποθετείται πάνω από το αλουμινένιο πλαίσιο, στερεώνεται με ήλους σε κάθε κοίλωμα του που βρίσκεται πάνω σε πέλαμα δοκών ή ελάσματα του πλαισίου. Στον πρώτο δακτύλιο στο κέντρο του φορέα, πάνω από τη διατομή ταυ τοποθετείται ένα έλασμα $300*35*3$ (3mm είναι το πάχος και 300mm το πλάτος) για αύξηση της δυσκαμψίας. Στον τελευταίο δακτύλιο υπάρχει ένα έλασμα που προεξέχει από τις κύριες δοκούς διαστάσεων $750*100*100*3$ (όπου πάχος 3mm και πλάτος 750mm). Ακόμη πάνω από τη δευτερεύουσα δοκό (secondary rafter) υπάρχει έλασμα με πλάτος 300mm. Τα ελάσματα αυτά δεν έχουν σχεδιαστεί και μελετηθεί καθώς ο μόνος σκοπός τους είναι η αύξηση της δυσκαμψίας.



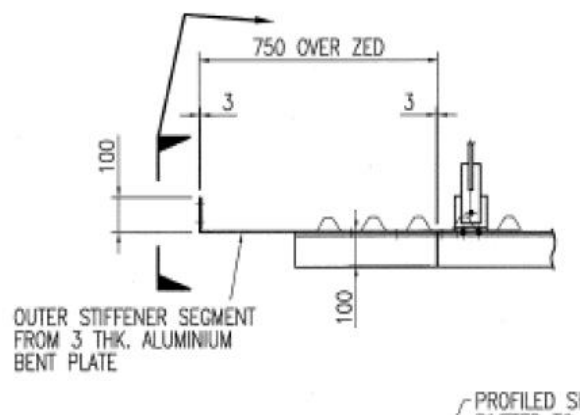
Εικόνα 4.1 : Το χαλυβδόφυλλο του φορέα από αλουμίνιο



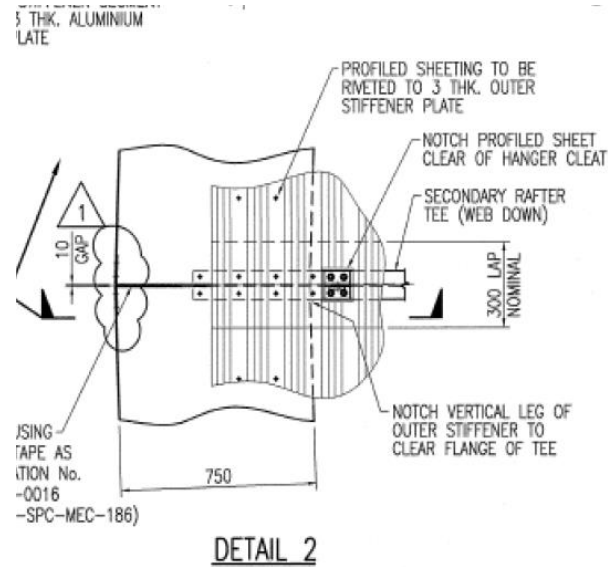
Εικόνα 4.2 : Το έλασμα στον πρώτο ομόκεντρο κύκλο και η σύνδεση του χαλυβδόφυλλου με το αλουμινένιο πλαίσιο



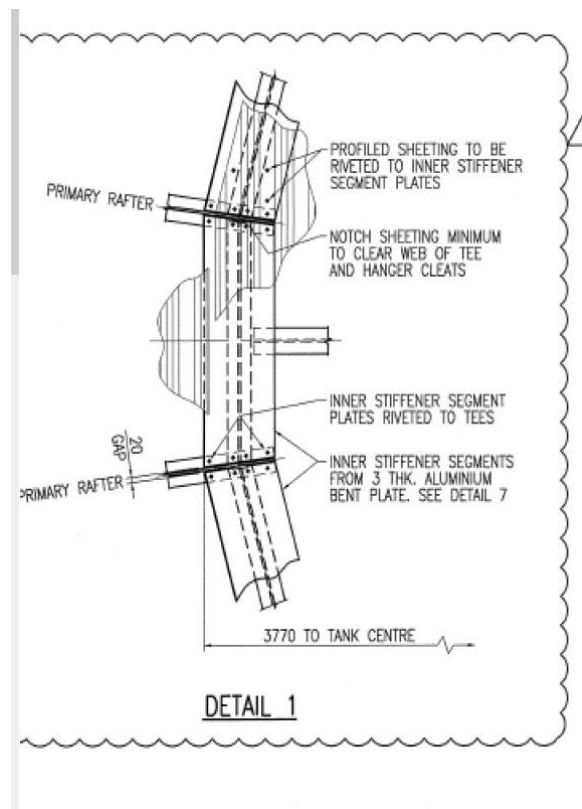
Εικόνα 4.3 : Έλασμα διαστάσεων 750*100*100*3 στον τελευταίο ομόκεντρο κύκλο του φορέα



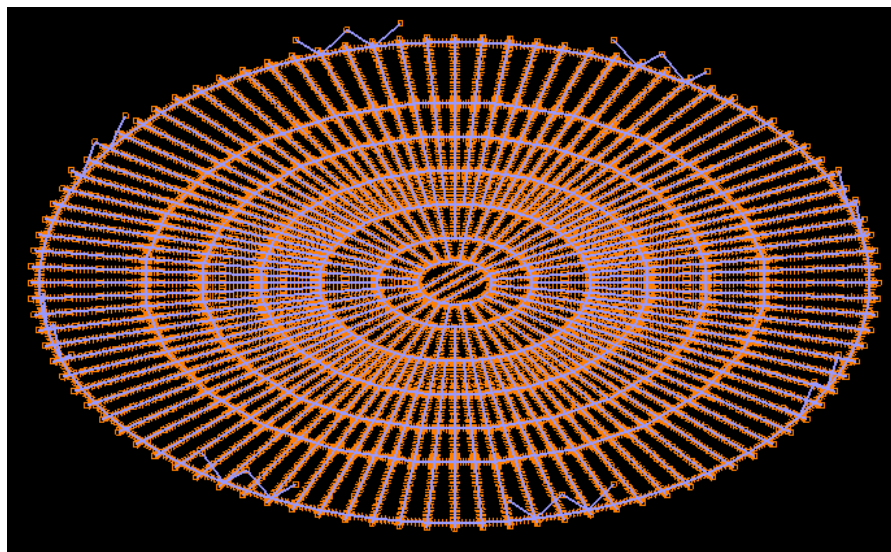
Εικόνα 4.4 : Το έλασμα από αλουμίνιο στα άκρα του φορέα



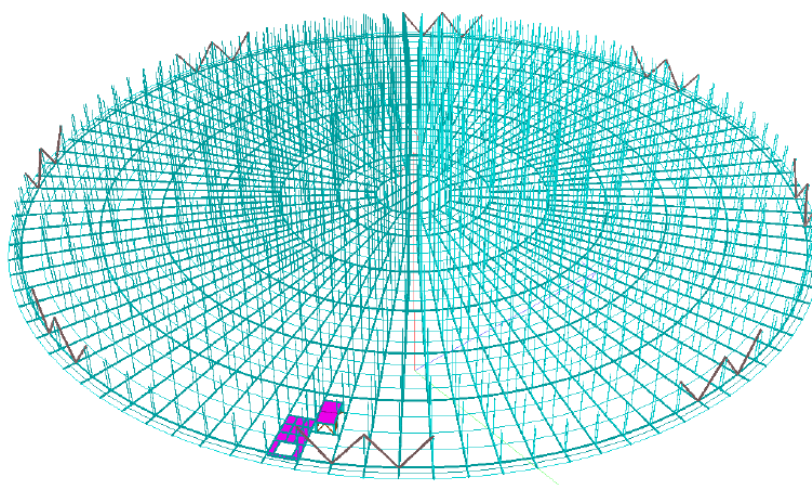
Εικόνα 4.5 : Κάτοψη του ελάσματος του φορέα μαζί με το χαλυβδόφυλλο, τη δευτερεύουσα δοκό και το έλασμα στη δευτερεύουσα πλάτους 300mm



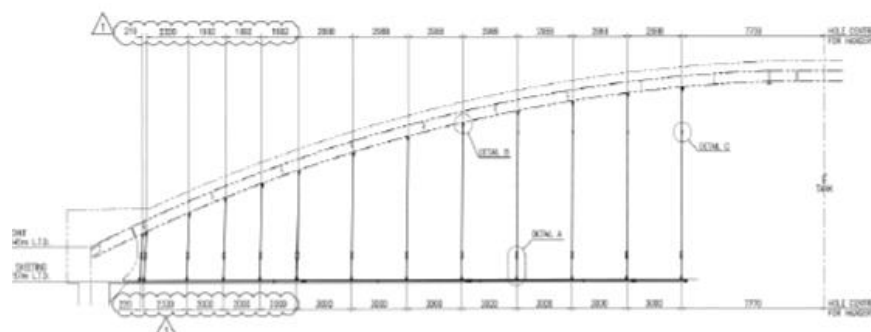
Εικόνα 4.6 : Κάτοψη πρώτου ομόκεντρου κύκλου με το έλασμα διαστάσεων 300*35*3 και την αρχή της εσχάρας. Από το σχήμα παρατηρούμε ότι ελευθέρωση καμπτικών ροών κατά Y και Z θα πάρει πιθανόν η αρχή της πρωτεύουσας δοκού, ενώ το πολυγωνικό πλαίσιο παραμένει συνεχές. Ακόμη την ίδια ελευθέρωση θα πάρει η εσχάρα στο άκρο της.



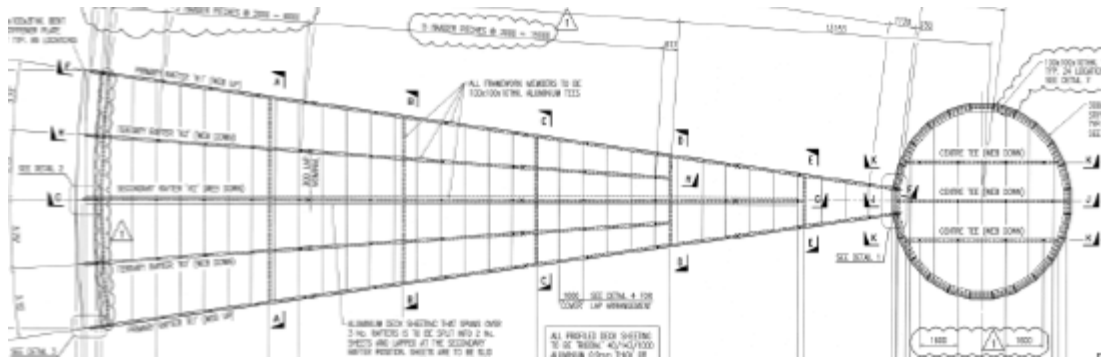
Εικόνα 4.7 : Ο φορέας του αναρτώμενου καταστρώματος στο πρόγραμμα ADINA



Εικόνα 4.8 : Ο φορέας αναρτώμενου καταστρώματος με τις ράβδους

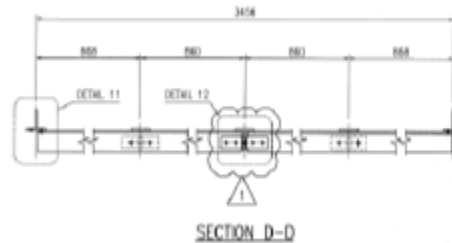


Εικόνα 4.9 : Τομή καταστρώματος με έμφαση στις ράβδους



Εικόνα 4.10 : Απεικόνιση πρώτου φάτνωματος

Τα περιφερειακά βοηθητικά ελάσματα όταν συναντούν τις κύριες δοκούς από το 3^ο φάτνωμα και μετά (πρωτεύουσες, δευτερεύουσες, τριτεύουσες) διακόπτονται, υπάρχει δηλαδή κανονικά στα άκρα των περιφερειακών μελών (πριν συναντήσουν κύρια δοκό) ελευθερία καμπτικών ροπών κατά Y και Z. Αυτό φαίνεται από τα ελάσματα με τους ήλους που υπάρχουν από τις εικόνες που ακολουθούν.



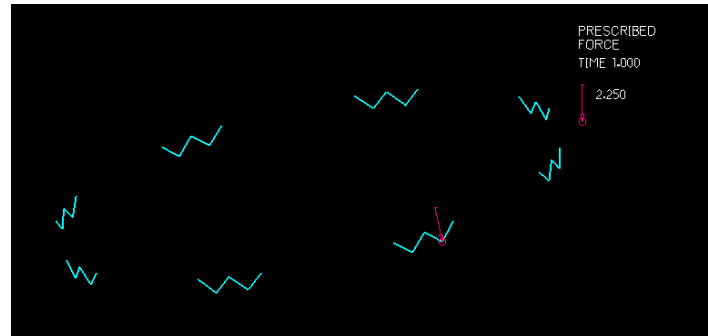
Εικόνα 4.11 : Τομή D-D από την απεικόνιση του σχήματος 4.3 όπου απεικονίζεται η συνέχεια των κύριων δοκαριών και η διακοπή των περιφερειακών μελών

Από την τομή D-D φαίνεται ότι το περιφερειακό έλασμα διακόπτεται στη μέση, ενώ στα δύο άκρα είναι συνεχές αφού από εκεί ξεκινούν τα τριτεύοντα δοκάρια να τρέχουν μέχρι το άκρο του φορέα.

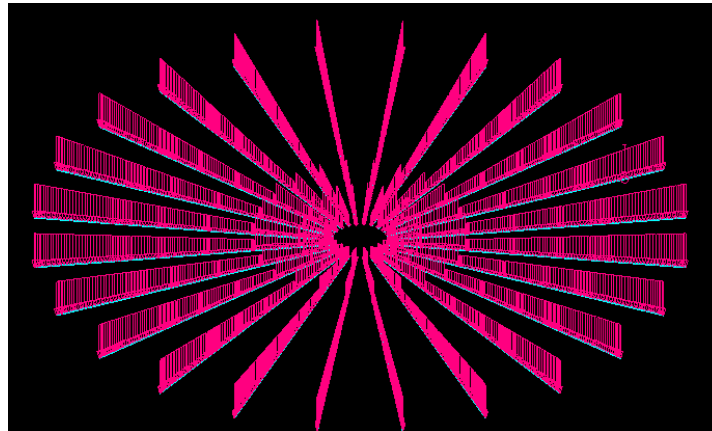
4.2 Στατικές Φορτίσεις σε Φάση Κατασκευής

4.2.1 Οριακή Κατάσταση Αστοχίας με φορτίο 1KPa

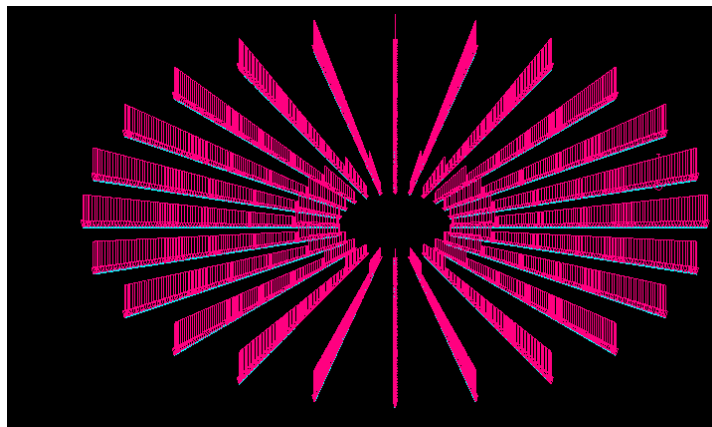
Για το συνδυασμό αυτό εφαρμόζεται ο τύπος : $1.35GK+1.5*QK$ με ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο 1KPa, με όλες τις ράβδους ενεργές και με συγκεντρωμένο κινητό 1.5KN. Ο φορέας σε αυτή τη φάση είναι φορτισμένος με το ίδιο βάρος του (του πλαισίου και του χαλυβδόφυλλου) μαζί με το κινητό. Το συγκεντρωμένο κινητό τοποθετείται κάθε φορά στη δυσμενέστερη θέση κάθε δοκού που μελετάται για την παραλαβή των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών. Ο έλεγχος ξεκινάει με την πρωτεύουσα δοκό (primary rafter) άρα το συγκεντρωμένο τοποθετείται στο 6^ο φάτνωμα αφού έχει πραγματοποιηθεί τρέξιμο του κινητού πάνω στη δοκό για τα δυσμενέστερα αποτελέσματα. Για τη μελέτη της δευτερεύουσας δοκού, το συγκεντρωμένο τοποθετείται στο 6^ο φάτνωμα της δοκού (το τελευταίο και μεγαλύτερο σε έκταση) αυτής και για τη μελέτη του δικτυώματος το συγκεντρωμένο τοποθετείται σε σημείο επαφής του δικτυώματος με το κατάστρωμα. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για τα περιφερειακά βοηθητικά δοκάρια, όπου τρέχει το φορτίο πάνω τους μέχρι να βρεθεί η θέση με τα δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη για τη διαστασιολόγηση τους.



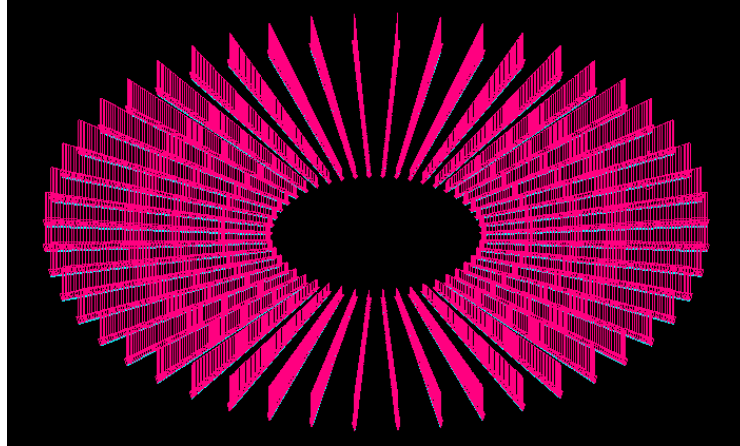
Εικόνα 4.12 : Φόρτιση με συγκεντρωμένο των κατακόρυφων στοιχείων σχήματος W (vertical bracing)



Εικόνα 4.13 : Φόρτιση των πρωτευουσών δοκών (primary rafters)

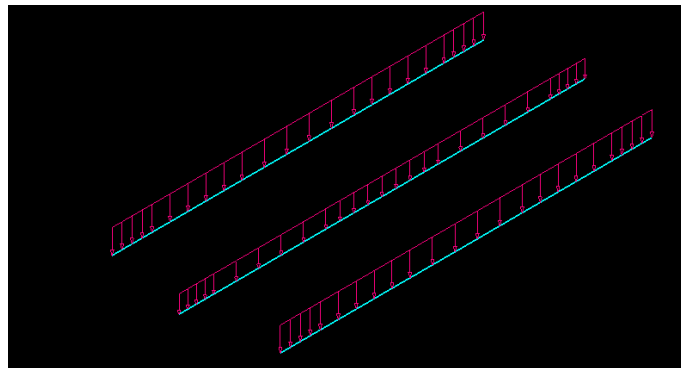


Εικόνα 4.14 : Φόρτιση δευτερευουσών δοκών (secondary rafters)



Εικόνα 4.15 :Φόρτιση τριτευσουσών δοκών (tertiary rafters)

Παρατηρείται ότι η φόρτιση έχει 3 διαφορετικά επίπεδα ανομοιόμορφου κατανεμημένου φορτίου για τη φόρτιση των πρωτευσουσών δοκών (primary rafters), 2 διαφορετικά επίπεδα φόρτισης για τη φόρτιση των δευτερευόντων δοκών (secondary rafters) και 1 για την φόρτιση των τριτευσουσών δοκών (tertiary rafter). Αυτό γιατί στο πρώτο φάτνωμα υπάρχουν μόνο οι πρωτεύουσες δοκοί, στο δεύτερο ξεκινάνε οι δευτερεύουσες και στο τρίτο ξεκινάνε οι τριτεύουσες και τρέχουν όλες μαζί μέχρι το εξωτερικό περιφερειακό έλασμα.

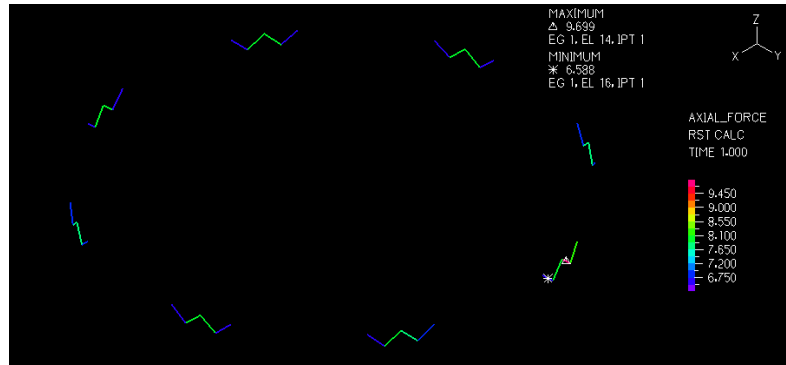


Εικόνα 4.16 : Φόρτιση εσχάρας στο κέντρο

Η εσχάρα φορτίζεται με ορθογώνιο πλάτος επιρροής πάνω και κάτω από κάθε δοκό. Για την πρώτη και τρίτη δοκό το πλάτος επιρροής είναι 2.17m (πάνω και κάτω από τη δοκό) ενώ για τη μεσαία δοκό είναι 1.58m. Προφανώς έγινε ομοιομορφοποίηση του πλάτους επιρροής των δοκών της εσχάρας καθώς στις 2 ακραίες το πλάτος επιρροής από τη μία πλευρά είναι σχήματος πολύγωνου.

Για τα περιφερειακά βοηθητικά ελάσματα (circumferencial members) από το 1^ο έως το 7^ο, σαν φορτίσεις δέχονται μόνο το ίδιο βάρος τους. Δε δέχονται το βάρος χαλυβδόφυλλου και κινητού, καθώς το φορτίο αυτό κατανέμεται στις κύριες δοκούς και στην εσχάρα με μέθοδο που προαναφέρθηκε όπου έτσι καλύπτεται όλη η επιφάνεια επιρροής του καταστρώματος. Άλλωστε αποτελούν βοηθικά υποστηρικτικά μέλη των δοκών. Αν φορτιζόνταν κανονικά και τα περιφερειακά μέλη τότε θα συνέβαινε υπερφόρτιση του φορέα.

Οι διατομές υποβάλλονται σε έλεγχο αξονικής δύναμης, ελαστικό έλεγχο σε τέμνουσα, έλεγχο τάσεων αντί για διαξονικής κάμψης και έλεγχο σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό (έλεγχος μέλους). Από τον συνδυασμό αυτό προέκυψε ότι οι δεδομένες διατομές από τον κανονισμό επαρκούν. Παρακάτω παρουσιάζεται ενδεικτικά τα διαγράμματα των δοκών.



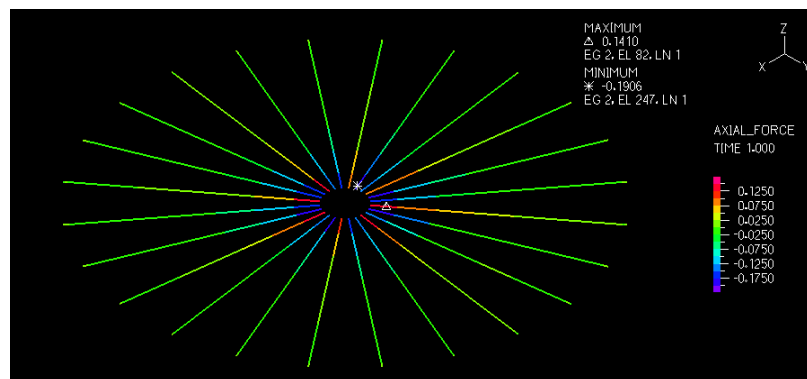
Εικόνα 4.17 : Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N των κατακόρυφων στοιχείων σχήματος W (vertical bracing)

Από το πρόγραμμα προκύπτει ότι τα κατακόρυφα στοιχεία σχήματος W εφελκύνονται, άρα γίνεται έλεγχος μόνο σε εφελκυσμό. Εφασρμόζεται ο παρακάτω τύπος:

$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$	(4.1)
---	-------

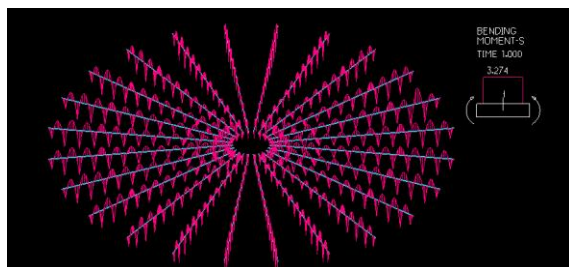
Πίνακας 4.1 : Έλεγχος δικτυωμάτων σε εφελκυσμό

Χαρακτηριστικά διατομών	Τιμές
A(m ²)	0.00264
f _y (KPa)	200000
γ _{M0}	1
N _{pl,Rd} (KN)=A*f _y /γ _{M0}	528
N _{ed} (KN)	9.70

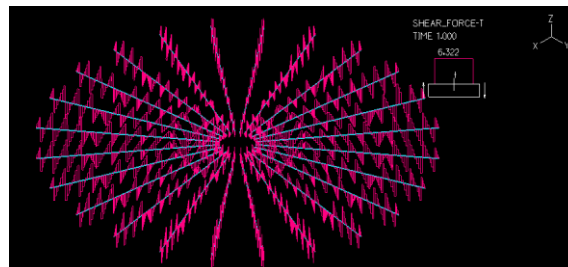


Εικόνα 4.18 : Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N των primary rafters

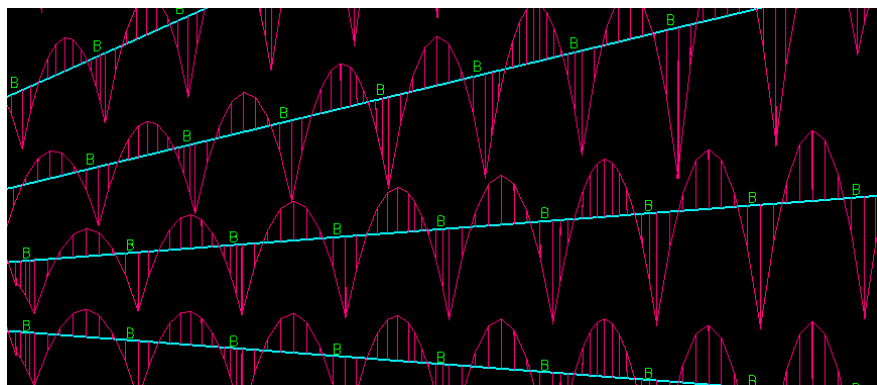
Παρατηρείται συγκέντρωση αξονικών δυνάμεων στο κέντρο του φορέα (1^ο και 2^ο φάτνωμα) και λιγότερο προς τα άκρα στο συνδυασμό αυτό.



Εικόνα 4.19 : Διάγραμμα M_y των primary rafters

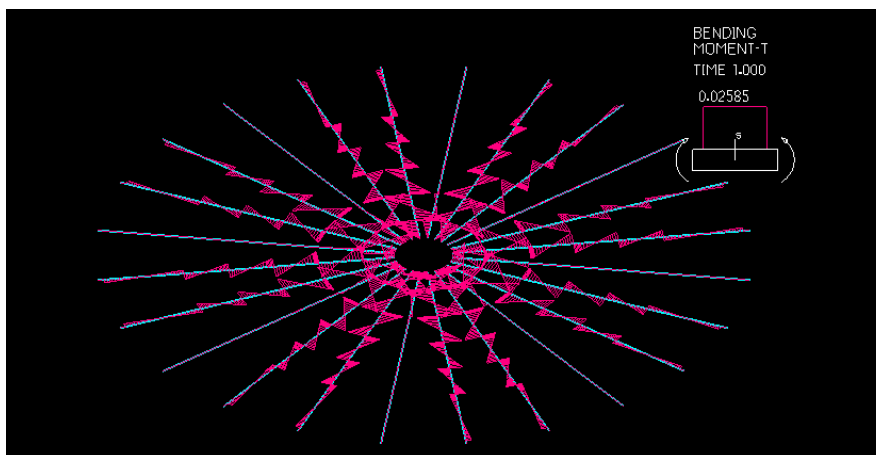


Εικόνα 4.20 : Διάγραμμα Q_z των primary rafters



Εικόνα 4.21 : Διάγραμμα καμπτικών ροπών M_y των primary rafters με απεικόνιση συνοριακών στοιχείων

Είναι: $M_{Rdy}=6.56\text{KNm} > M_{ed}=3.27\text{KNm}$



Εικόνα 4.22 : Διάγραμμα καμπτικών ροπών M_z των primary rafters

Παρατηρείται από τα διαγράμματα ότι το μήκος λυγισμού που χρησιμοποιείται είναι ανά φάτνωμα. Είναι: $M_{Rdz}=4.37\text{KNm} \gg M_{ed}=0.026\text{KNm}$. Ακολουθεί ο έλεγχος των πρωτεύουσών δοκών για την επάρκεια διατομής και στην πορεία οι έλεγχοι μέλους. Η κατηγορία διατομής προσδιορίστηκε με βάση ότι βρίσκεται πιο κοντά σε διατομή ταυ δηλαδή το γωνιακό έλασμα.

Πίνακας 4.2 : Κατηγορία διατομής

Χαρακτηριστικά διατομών	Τιμές
h(m)	0.1
b(m)	0.1
t _w (m)	0.01
t _f (m)	0.01
ε	0.98
h/t	10 ≤ 15*ε = 14.71

Πίνακας 4.3 : Έλεγχος διατομής σε θλίψη

Χαρακτηριστικά διατομών	Τιμές
A(m ²)	0.0019
f _y (KPa)	260000
γ _{M0}	1
N _{pl,Rd} (KN)=A*f _y /γ _{M0}	494
N _{ed} (KN)	0.2 ≤ N _{pl,Rd}

Επειδή η διατομή είναι κατηγορίας 3 γίνεται ελαστικός σχεδιασμός. Άρα ο έλεγχος σε τέμνουσα γίνεται μέσω τάσεων. Για την επάρκεια της διατομής θα πρέπει να ισχύει:

$\tau_{ed}/f_y/(\sqrt{3} * \gamma_{M0}) \leq 1$	(4.2)
---	-------

Όπου :

$\tau_{ed} = V_{ed} * S / I * t$	(4.3)
----------------------------------	-------

Πίνακας 4.4 : Έλεγχος σε τέμνουσα (ελαστικός) κατά τον ισχυρό άξονα

Χαρακτηριστικά διατομών	Τιμές
S(m ³)	2.54*10 ⁻⁵
t _w (m)	0.01
I _{yy} (m ⁴)	1.8*10 ⁻⁶
T _{ed}	8928.44
$\tau_{ed}/f_y/(\sqrt{3} * \gamma_{M0})$	0.0198 ≤ 1

Πίνακας 4.5 : Έλεγχος σε ροπή κάμψης κατά τον ισχυρό άξονα

Χαρακτηριστικά διατομών	Τιμές
Κ.Β. από τη βάση του πέλματος	0.0287
I _{yy} (m ⁴)	1.8*10 ⁻⁶
W _{ely} (m ³)	2.54*10 ⁻⁶
M _{c,Rdy} (KNm)	6.56
M _{edy} (KNm)	3.27 ≤ M _{c,Rdy}

Όπου:

$W_{ely}(m^3) = I_{yy} / (h - K.B.)$	(4.4)
--------------------------------------	-------

*Το W_{ely}(m³) αντιστοιχεί στην ίνα με τη μεγαλύτερη ελαστική τάση

Πίνακας 4.6 : Έλεγχος σε τέμνουσα (ελαστικός) κατά τον ασθενή άξονα

Χαρακτηριστικά διατομών	Τιμές
S(m ³)	0.000014
t _w (m)	0.01
I _{zz} (m ⁴)	8.408*10 ⁻⁷
T _{ed}	19.44
T _{ed} /f _y /(√3 * γ _{M0})	4.32*10 ⁻⁵ ≤ 1

Πίνακας 4.7 : Έλεγχος σε ροπή κάμψης κατά τον ασθενή άξονα

Χαρακτηριστικά διατομών	Τιμές
h _{el} (m)	0.05
I _{zz} (m ⁴)	8.408*10 ⁻⁷
W _{elz} (m ³)	1.682*10 ⁻⁵
M _{c,Rdz} (KNm)	4.37
M _{edz} (KNm)	0.026 ≤ M _{c,Rdz}

Όταν υπάρχει και κάμψη και αξονική δύναμη μπορεί να χρειαστεί απομείωση της ροπής αντοχής λόγω της αξονικής καθώς μέρος της διατομής αναλίσκεται στην αντιμετώπιση της αξονικής δύναμης άρα και η αντοχή σε κάμψη περιορίζεται. Η **μέγιστη διαμήκης ορθή τάση** πρέπει να ικανοποιεί το κριτήριο :

$\sigma_{x,Ed}(\text{KPa}) = N/A + M_y/W_{ely} + M_z/W_{elz} \leq f_y / \gamma_{M0}$	(4.5)
--	-------

Ακόμη, γίνεται ελαστικός **έλεγχος σε διαξονική κάμψη**:

$M_{edy}/M_{ely} + M_{edz}/M_{elz} \leq 1$	(4.6)
--	-------

Για τον ελαστικό σχεδιασμό χρησιμοποιείται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 το κριτήριο διαρροής **von Mises**:

$(\sigma_{x,ed}/f_y/\gamma_{M0})^2 + 3*(\tau_{ed}/f_y/\gamma_{M0})^2 \leq 1$	(4.7)
--	-------

Ο έλεγχος μέλους που γίνεται, είναι ο έλεγχος σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό με τη δεύτερη μέθοδο. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχουν ροπές και αξονικές έστω και σε μικρά εντατικά μεγέθη. Γενικά αυτός ο έλεγχος καλύπτει κάθε περίπτωση πχ καμπτικό και πλευρικό λυγισμό.

Πίνακας 4.8 : Χαρακτηριστικές τιμές για στρεπτοκαμπτικό λυγισμό

Χαρακτηριστικά διατομών	Τιμές
E(KN/m ²)	70000000
v	0.33
G(KN/m ²)	26315789.47
k	1
k _w	1
I _w	0
I _{zz} (m ⁴)	8.408*10 ⁻⁷
L(m)	3
I _t (m ⁴)	6.33*10 ⁻⁸
C ₁	1.285
C ₂	1.562
C ₃	0.753
z _g (m)	0.005
z _s (m)	-0.0217
z _a (m)	-0.0166

$z_i(m)$	-0.03
$M_{cr}(KNm)$	11.01
λ_{LT}	$0.77 \geq 0.2$
Κατηγορία	d
a_{LT}	0.76
Φ_{LT}	1.016
χ_{LT}	$0.597 \leq 1$

Όπου:

$G=E/2*(1+\nu)$	(4.8)
$I_t(m^4)=b*t_f^3/3+h_w*t_w^3/3$	(4.9)
$z_q(m)=z_a-z_s$	(4.10)
$z_i(m)=z_s-(0.5/I_{yy})*j$	(4.11)
$j=2*\Sigma[b*t_f*z_E*(\gamma_E^2+z_E^2+C)]$	(4.12)
$C(m^2)=b^2/12$ (για πέλαμα)	(4.13)
$C(m^2)=b^2/4$ (για κορμύ)	(4.14)
$M_{cr}(KNm)=C_1*\pi^2*E*I_z/(k*L)^2*\{[k/k_w]^2*I_w/I_z+(k*L)^2*G*I_t/(\pi^2*E*I_z)+(C_2*z_g-C_3*z_j)^{0.5}*(C_2*z_g-C_3*z_j)\}$	(4.15)
$\lambda_{LT}=\sqrt{W_y * f_y / M_{cr}}$	(4.16)
$\Phi_{LT}=0.5*[1+a_{LT}*(\lambda_{LT}-0.2)+\lambda_{LT}^2]$	(4.17)
$\chi_{LT}=1/[\Phi_{LT}+\sqrt{\Phi_{LT}^2-\lambda_{LT}^2}]$	(4.18)

Πίνακας 4.9 : Εύρεση του χ_y

Χαρακτηριστικά	Τιμές
K	0.7
L(m)	3
$L_{cr}(m)$	2.1
$i_y(m)$	0.031
ϵ	0.98
λ_1	92.08
$I_{yy}(m^4)$	$1.8*10^{-6}$
$N_{cr}(KN)$	282
λ_y	0.74
Καμπύλη λυγισμού	c
a	0.49
Φ	0.91
χ_y	0.699

Πίνακας 4.10 : Εύρεση του χ_z

Χαρακτηριστικά	Τιμές
K	0.5
L(m)	10.06
$L_{cr}(m)$	5.03
$i_z(m)$	0.021
ϵ	0.981
λ_1	92.08
$I_{zz}(m^4)$	$8.408*10^{-7}$
$N_{cr}(KN)$	22.96
λ_z	2.6
Χαρακτηριστικά	Τιμές
Καμπύλη λυγισμού	c
a	0.49

Φ	4.46
χ_z	0.124

Όπου:

$i(m)=\sqrt{I_{yy}/A}$	(4.19)
$\varepsilon=\sqrt{250000/f_y}$	(4.20)
$\lambda_1=93.9*\varepsilon$	(4.21)
$N_{cr}(KN)=\pi^2*E*I/L_{cr}^2$	(4.22)
$\Phi=0.5*[1+a*(\lambda-0.2)+\lambda^2]$	(4.23)
$\chi=1/[\Phi+\sqrt{\Phi^2-\lambda^2}]$	(4.24)

Πίνακας 4.11 : Στοιχεία στρεπτοκαμπτικού λυγισμού

Χαρακτηριστικά	Τιμές
a_{sy}	-0.65
C_{my}	0.62
γ	-1
C_{mz}	0.2
C_{mLT}	0.9
k_{yy}	0.62
k_{yz}	0.1
k_{zy}	0.999
k_{zz}	0.2

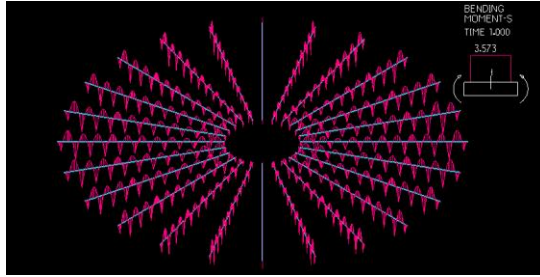
Όπου:

$C_{my}=0.1-0.8*a_{sy}$	(4.25)
$C_{mz}=0.6+0.4*\gamma$	(4.26)
$k_{yy}=C_{my}*(1+0.6*\lambda_y*(N_{ed}/X_y*N_{Rd}/\gamma_{M1}))$	(4.27)
$k_{yz}=k_{zy}$	(4.28)
$k_{zy}=[1-0.05*\lambda_z/(C_{mLT}-0.25)*N_{ed}/(X_z*N_{Rd}/\gamma_{M1})]$	(4.29)
$k_{zz}=C_{mz}*(1+0.6*\lambda_z*N_{ed}/(X_z*N_{Rd}/\gamma_{M1}))$	(4.30)

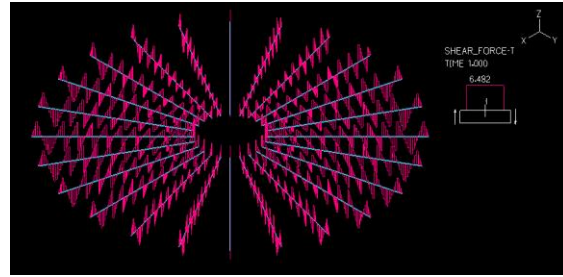
Ακολουθούν οι τύποι αντοχής μελών υπό κάμψη και θλίψη:

$N_{ed}/(X_y*N_{Rd}/\gamma_{M1})+k_{yy}*(M_{y,Ed}+\Delta M_{y,Ed})/(X_{LT}*M_{y,Rd}/\gamma_{M1})+k_{yz}*(M_{z,Ed}+\Delta M_{z,Ed})/(M_{z,Rd}/\gamma_{M1})\leq 1$	(4.31)
$N_{ed}/(X_z*N_{Rd}/\gamma_{M1})+k_{zy}*(M_{y,Ed}+\Delta M_{y,Ed})/(X_{LT}*M_{y,Rd}/\gamma_{M1})+k_{zz}*(M_{z,Ed}+\Delta M_{z,Ed})/(M_{z,Rd}/\gamma_{M1})\leq 1$	(4.32)

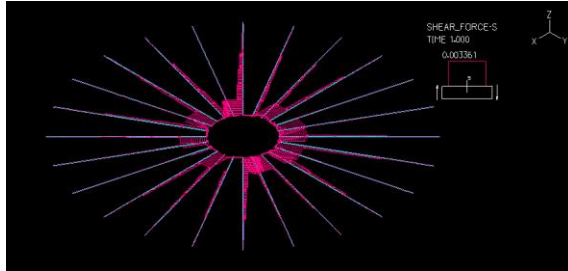
Για τις πρωτεύουσες δοκούς προέκυψε από τον πρώτο έλεγχο $0.52\leq 1$ και από τον δεύτερο $0.84\leq 1$. Ακριβώς η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για όλα τα άλλα δοκάρια (δευτερεύοντα, τριτεύοντα, περιφερειακά και εσχάρα).



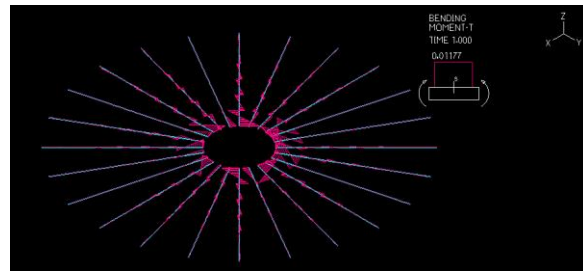
Εικόνα 4.23 : Διάγραμμα M_y των secondary rafters



Εικόνα 4.24 : Διάγραμμα Q_z των secondary rafters

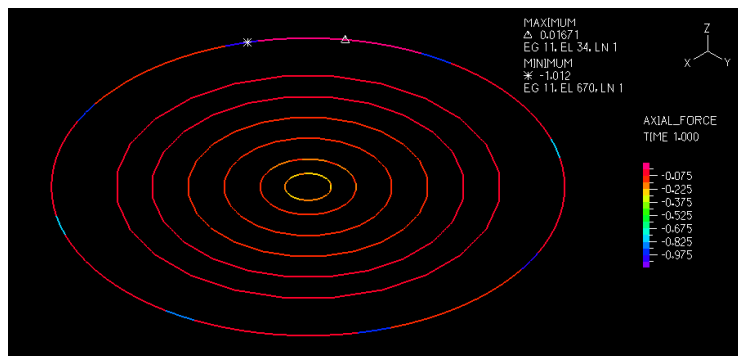


Εικόνα 4.25 : Διάγραμμα Q_y των secondary rafters



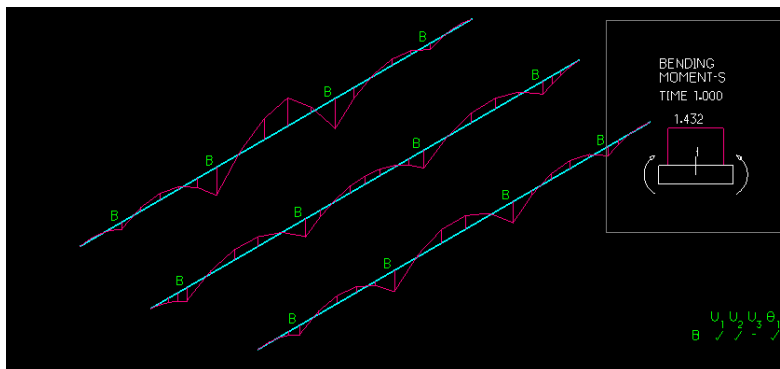
Εικόνα 4.26 : Διάγραμμα M_z των secondary rafters

Τα διαγράμματα καμπτικών ροπών εμφανίζουν ένταση εκεί που εμφανίζονται και τα διαγράμματα τεμνουσών.



Εικόνα 4.27 : Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N του εξωτερικού βοηθητικού ελάσματος

Παρατηρείται ότι τη μέγιστη αξονική δύναμη τη σημειώνει στα 8 σημεία που έρχεται σε επαφή με τα κατακόρυφα στοιχεία σχήματος W . Είναι $M_{Rdy}=6.56\text{KMm} > M_{ed}=3.57\text{KNm}$ και $N_{Rd}=494\text{KN} \gg N_{ed}=1.01\text{KN}$. Ικανοποιείται και ο έλεγχος για στρεπτοκαμπτικό λυγισμό οπότε η διατομή επαρκεί.



Εικόνα 4.28 : Διάγραμμα καμπικών ροπών M_y της εσχάρας μαζί με τις κυλίσεις

Εκεί που παρατηρείται η μέγιστη ροπή τοποθετείται το συγκεντρωμένο φορτίο 1.5KN. Ισχύει ότι $M_{Rdy}=6.56KNm > M_{ed}=1.43KNm$. Άρα η διατομή επαρκεί και εδώ αφού ικανοποιείται και ο έλεγχος σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

4.2.2 Οριακή Κατάσταση Αστοχίας με Φορτίο 0.5KPa και μια Ράβδο ανενεργή

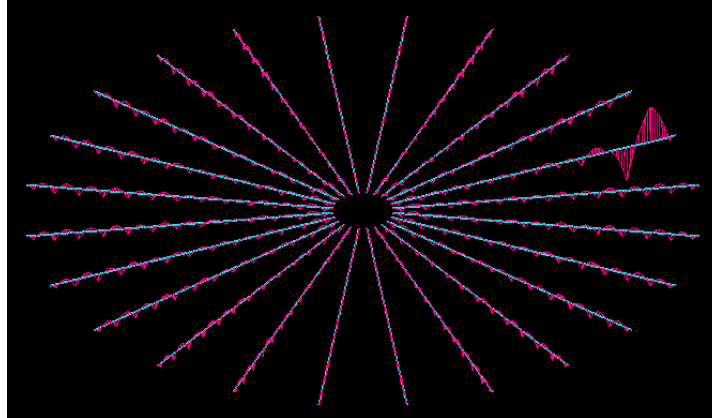
Σε αυτό το συνδυασμό φόρτισης, το πλαίσιο δηλαδή οι κύριες ράβδοι (πρωτεύουσες, δευτερεύουσες, τριτεύουσες δοκοί) φορτίζονται με το ίδιο βάρος τους, το βάρος του χαλυβδόφυλλου και κινητό 0.5KPa ανομοιόμορφα κατανεμημένο όπως και στη φόρτιση για 1KPa και με συγκεντρωμένο 1.5KN το οποίο τοποθετείται πάνω στη θέση της ράβδου η οποία καθίσταται ανενεργή. Αυτό συμβαίνει για όλες τις δοκούς που μελετώνται, δηλαδή για κάθε δοκό έχουμε μια ανενεργή ράβδο και στη θέση της ράβδου το συγκεντρωμένο για την παραλαβή των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών.

Οι διατομές που προέκυψαν από τους ελέγχους αλλάζουν για τις πρωτεύουσες, δευτερεύουσες και τριτεύουσες δοκούς καθώς και για το εξωτερικό περιφερειακό έλασμα αλλά όχι για τα υπόλοιπα περιφερειακά μέλη και την εσχάρα στο κέντρο.

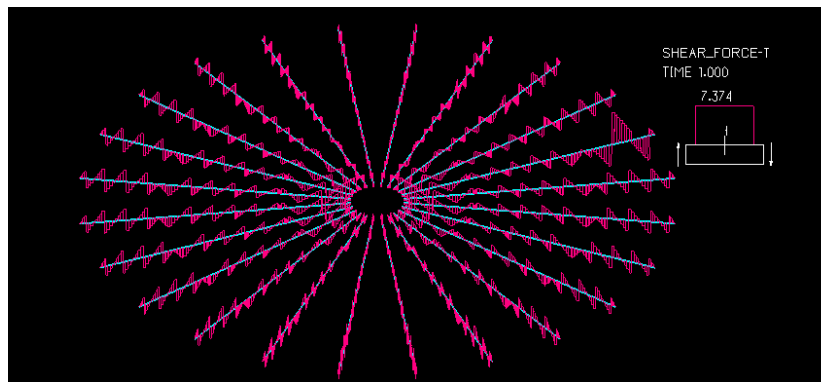
Πίνακας 4.12 : Χαρακτηριστικά νέων διατομών του καταστρώματος

	b(m)	h(m)	t_w(m)	t_r(m)
Primary rafter	0.13	0.13	0.013	0.0135
Secondary rafter	0.13	0.13	0.013	0.013
Tertiary rafter	0.13	0.13	0.013	0.013
Circumferencial 1	0.1	0.1	0.01	0.01
Circumferencial 2	0.1	0.1	0.01	0.01
Circumferencial 3	0.1	0.1	0.01	0.01
Circumferencial 4	0.1	0.1	0.01	0.01
Circumferencial 5	0.1	0.1	0.01	0.01
Circumferencial 6	0.1	0.1	0.01	0.01
Circumferencial 7	0.11	0.1	0.01	0.01
grillage	0.1	0.1	0.01	0.01

Σημειώνεται ότι οι διατομές διατηρούν τον τύπο διατομής τους, δηλαδή οι πρωτεύουσες δοκοί ανάποδο ταυ και οι υπόλοιπες διατομές κανονικό ταυ με τα χαρακτηριστικά του παραπάνω πίνακα. Σε ορισμένες διατομές, ενώ ικανοποιούταν το ότι η δρώσα ροπή είναι πολύ μικρότερη της ροπής αντοχής, δεν ικανοποιούταν ο έλεγχος του στρεπτοκαμπτικού λυγισμού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την όχι και τόσο μικρή αύξηση των διατομών μιας και για τον στρεπτοκαμπτικό παίζει ρόλο το σημείο που ασκώ το φορτίο, το κέντρο διάτμησης κλπ, πράγματα που δεν απασχολούσαν σε άλλου είδους διατομές πχ IPE, HEA, HEB λόγω διπλής συμμετρίας της διατομής. Με αυτές τις διατομές συνεχίζουν οι επόμενοι έλεγχοι μέχρι να βρεθεί κάποιος άλλος έλεγχος που μεγαλώνει κάποια διατομή. Τα διαγράμματα φορτίσεων των δικών παραμένουν ίδια με τον παραπάνω έλεγχο γι' αυτό και παραλείπονται.

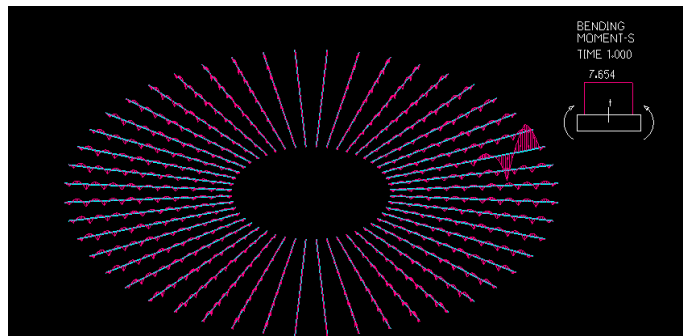


Εικόνα 4.29 : Διάγραμμα καμπτικών ροπών M_y για την κύρια δοκό με φόρτιση 0.5KPa και μια ράβδο ανενεργή



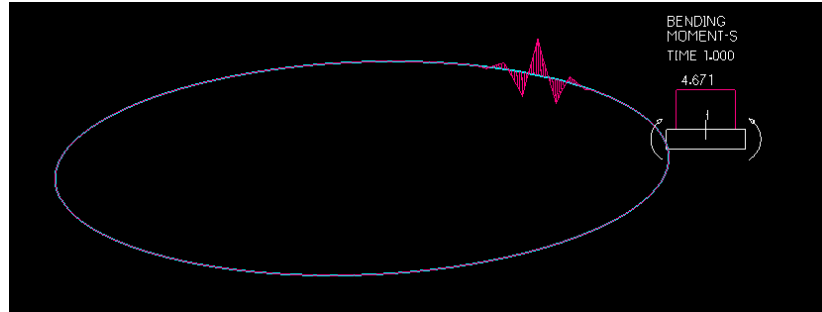
Εικόνα 4.30 : Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων Q_z για την κύρια δοκό με φόρτιση 0.5KPa και μια ράβδο ανενεργή

Από το πρόγραμμα προκύπτει ότι $M_{edy}=7.14\text{KNm}$. Όμως $M_{Rdy}=6.56\text{KNm}$. Άρα αλλάζει η διατομή με $M_{Rdy}=14.44\text{KNm}$. Ουσιαστικά, χρησιμοποιήθηκε διατομή με τέτοια ροπή αντοχής λόγω του ότι δεν ικανοποιούταν ο έλεγχος σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό. Παρόμοιο διάγραμμα προκύπτει από τη δευτερεύουσα δοκό, με $M_{edy}=7.69\text{KNm}$. Άρα η διατομή αντικαθίσταται με μια διατομή με $M_{Rdy}=14.42\text{KNm}$ κι αυτό γιατί κι εδώ δυσμενέστερος είναι ο έλεγχος σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.



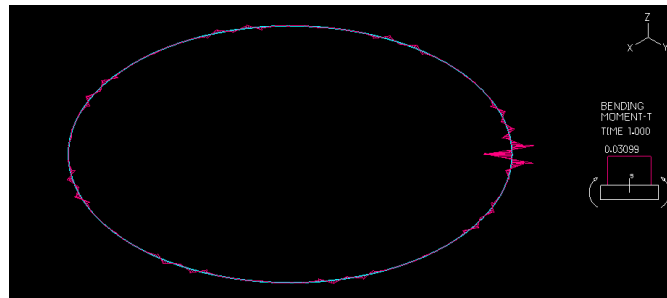
Εικόνα 4.31 : Διάγραμμα καμπτικών ροπών M_y για την τριτεύουσα δοκό με φόρτιση 0.5KPa και μια ράβδο ανενεργή

Από το πρόγραμμα προκύπτει ότι $M_{ed}=7.65\text{KNm}$. Άρα η διατομή αντικαθίσταται κι εδώ με διατομή ταυ με αντοχή $M_{Rdy}=14.42\text{KNm}$. Γενικά, η διατομή αυτού του είδους (ταυ) διαθέτει μικρή δυστρεψία σε σχέση με τις κυβωτισειδείς διατομές, άρα το φορτίο είναι καλό να ασκείται στο κέντρο διάτμησης. Ομως από τους κανονισμούς το φορτίο ασκείται σε άλλη θέση άρα η στρεπτική καταπόνηση δεν αποφεύγεται.



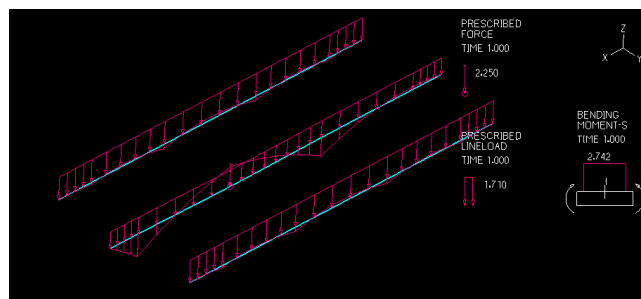
Εικόνα 4.32 : Διάγραμμα καμπτικών ροπών M_y για το εξωτερικό βοηθητικό έλασμα με φόρτιση 0.5KPa και μια ράβδο ανενεργή

Εδώ είναι $M_{Rdy}=6.56\text{KNm}$ και $M_{ed}=4.67\text{KNm}$. Όμως, ο στρεπτοκαμπτικός δεν ικανοποιείται, άρα μεγαλώνει λίγο το πλάτος του πέλματος από 0.1m σε 0.11m. Δηλαδή, ο στρεπτοκαμπτικός είναι ο δυσμενέστερος έλεγχος για ΟΚΑ σε αυτή τη διατομή, κάτι που είναι λογικό λόγω της απλής συμμετρίας της διατομής.



Εικόνα 4.33 : Διάγραμμα καμπτικών ροπών M_z για το εξωτερικό βοηθητικό έλασμα με φόρτιση 0.5KPa και μια ράβδο ανενεργή

Παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη ένταση είναι στο σημείο που λείπει η κύλιση και τοποθετείται το συγκεντρωμένο καθώς και στα σημεία όπου βρίσκονται τα κατακόρυφα στοιχεία W. Εδώ ισχύει ότι $M_{Rdz}=4.37\text{KNm} \gg M_{ed}=0.031\text{KNm}$. Γενικά, σε αυτούς τους συνδυασμούς δεν απασχολούν τα εντατικά μεγέθη κατά τον ασθενή άξονα.



Εικόνα 4.34 : Διάγραμμα καμπτικών ροπών M_y για την εσχάρα με φόρτιση 0.5KPa και μια ράβδο ανενεργή

Στην εσχάρα η διατομή παραμένει ως έχει καθώς ικανοποιούνται όλοι οι έλεγχοι. $M_{Rdy}=6.56\text{KNm} \gg M_{ed}=2.74\text{KNm}$.

Πίνακας 4.13 : Αντοχές νέων διατομών

	Primary rafter	Secondary rafter	Tertiary rafter
N(KN)	850.07	834.86	834.86

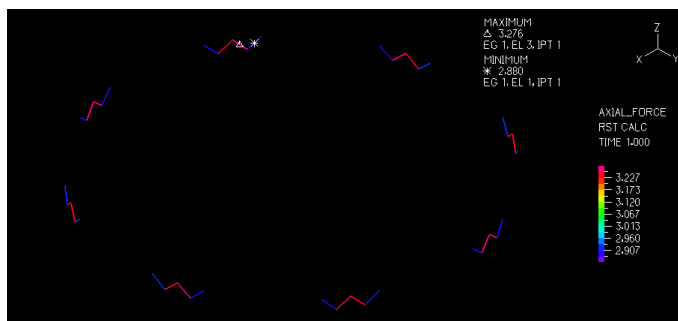
Q_z(KN)	204.61	205.49	205.49
M_y(KNm)	14.44	14.42	14.42
Q_y(KN)	237.10	228.32	228.32
M_z(KNm)	9.97	9.61	9.61
	Circumferencial 1	Circumferencial 2	Circumferencial 3
N(KN)	494	494	494
Q_z(KN)	121.6	121.6	121.6
M_y(KNm)	6.56	6.56	6.56
Q_y(KN)	135.10	135.10	135.10
M_z(KNm)	4.37	4.37	4.37
	Circumferencial 4	Circumferencial 5	Circumferencial 6
N(KN)	494	494	494
Q_z(KN)	121.6	121.6	121.6
M_y(KNm)	6.56	6.56	6.56
Q_y(KN)	135.10	135.10	135.10
M_z(KNm)	4.37	4.37	4.37
	Circumferencial 7	grillage	Vertical bracing
N(KN)	520	494	528
Q_z(KN)	121.60	121.6	
M_y(KNm)	6.65	6.56	
Q_y(KN)	148.61	135.10	
M_z(KNm)	5.28	4.37	

4.3 Στατικές Φορτίσεις σε Φάση Λειτουργίας

4.3.1 Οριακή Κατάσταση Αστοχίας με Διαφορά Πίεσης 0.2KPa και μια Ράβδο Ανενεργή

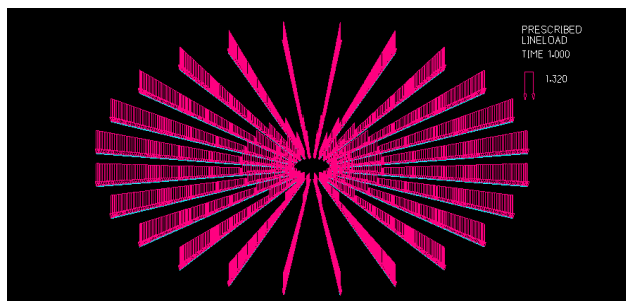
Ο συνδυασμός που εφαρμόζεται είναι **1.35*GK+1.5*QK**. Στη φάση λειτουργίας ο φορέας δεν καταπονείται από φορτία κατασκευής. Τα φορτία που λαμβάνονται υπόψιν είναι το ίδιο βάρος του πλαισίου, το ίδιο βάρος του χαλυβδόφυλλου, η μόνωση (0.11KPa) που υπάρχει πάνω από το χαλυβδόφυλλο και η διαφορά πίεσης που υπάρχει ανάμεσα στο άνω και κάτω μέρος του καταστρώματος (0.2KPa). Αυτή η πίεση περιορίζεται στο βάρος του καταστρώματος προκειμένου να αποφευχθεί η ανύψωση και ρυθμίζεται από το μέγεθος των αεραγωγών στο κατάρωμα.

Η ανάλυση έγινε με μια ράβδο ανενεργή για κάθε δοκό που μελετάται για τα δυσμενέστερα αποτελέσματα (πχ άλλη ράβδος ανενεργή για διαστασιολόγηση της πρωτεύουσας δοκού, άλλη για τη δευτερεύουσα, άλλη για τα περιφερειακά μέλη και άλλη για την εσχάρα). Οι διατομές που προέκυψαν από τη φόρτιση με το 0.5KPa επαρκούν κι εδώ.

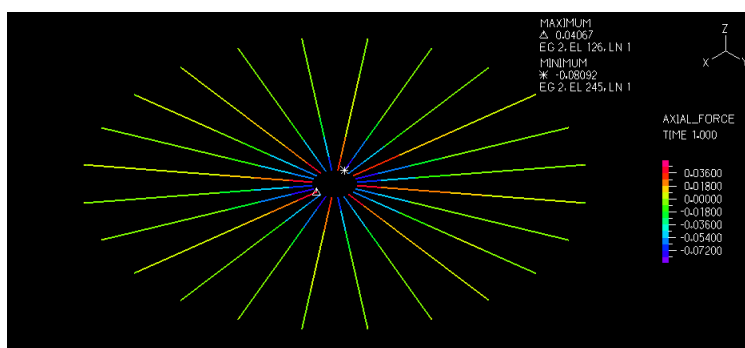


Εικόνα 4.35 : Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N κατακόρυφων στοιχείων σχήματος W

Παρατηρείται ότι τα κατακόρυφα στοιχεία σχήματος W εφελκύνονται, γι' αυτό και ελέγχονται μόνο σε εφελκυσμό. $NRd=528KN > Ned=3.28KN$.

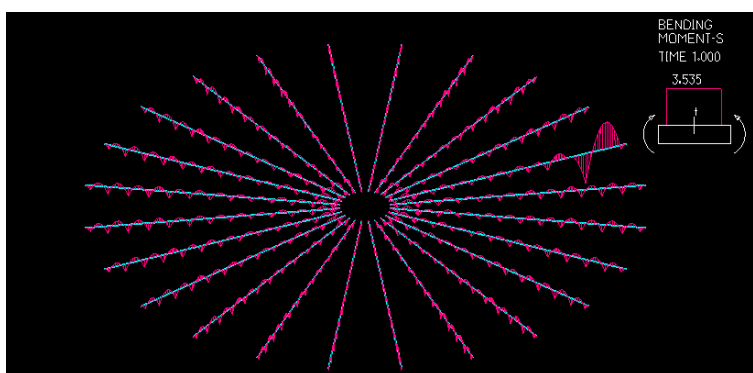


Εικόνα 4.36 : Φόρτιση κύριων δοκών σε φάση λειτουργίας



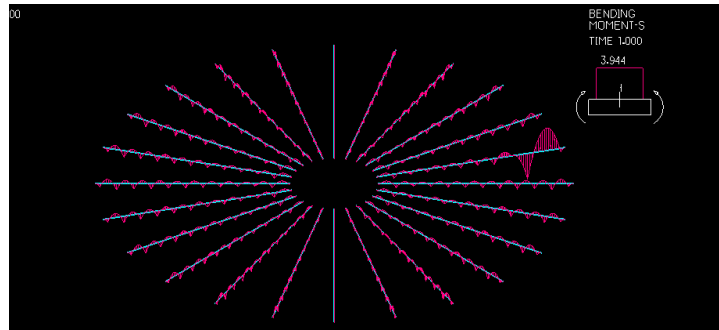
Εικόνα 4.37 : Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N των πρωτεύουσών δοκών σε φάση λειτουργίας

Τα διαγράμματα είναι ίδια σχηματικά με αυτά της φάσης κατασκευής ως προς τη μορφή τους. Οι έλεγχοι που γίνονται είναι επίσης οι ίδιοι με των προηγούμενων συνδυασμών.

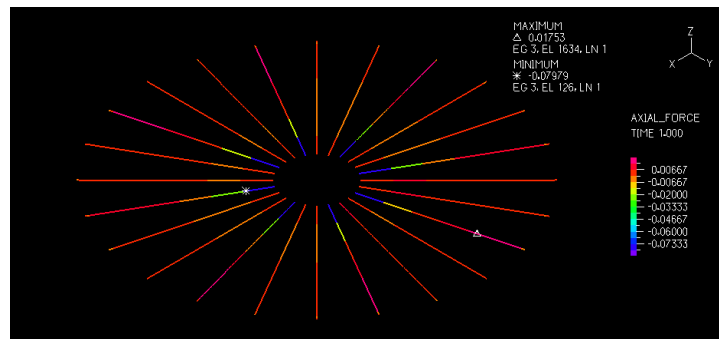


Εικόνα 4.38 : Διάγραμμα καμπτικών ροπών M_y πρωτεύουσών δοκών με μια ράβδο ανενεργή

Η πρωτεύουσα δοκός από τα διαγράμματα που προκύπτουν δέχεται πολύ μικρή αξονική δύναμη, παρόλα αυτά ελέγχεται σε αξονική, τέμνουσα (ελαστικός έλεγχος), βρίσκεται η καμπτική αντοχή, γίνεται έλεγχος τάσεων (όλοι οι προηγούμενοι είναι έλεγχοι διατομής) και από έλεγχο μέλους ελέγχεται σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό. Παρατηρείται ότι έχουμε τις μεγαλύτερες αξονικές δυνάμεις στο πρώτο και μετά στο δεύτερο φάτνωμα, εκεί δηλαδή που δεν έχουν ξεκινήσει να τρέχουν προς τα άκρα όλες οι δοκοί.

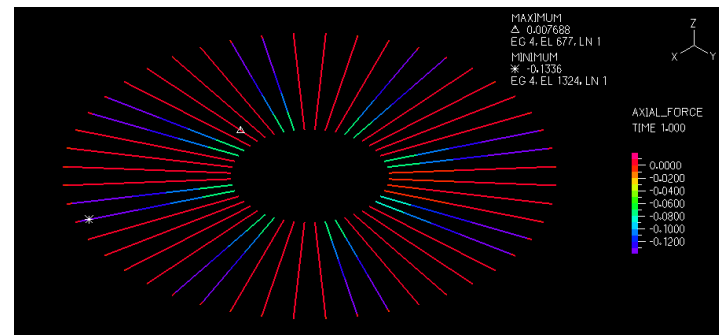


Εικόνα 4.39 : Διάγραμμα καμπτικών ροπών M_y δευτερευουσών δοκών με ράβδο ανεργή

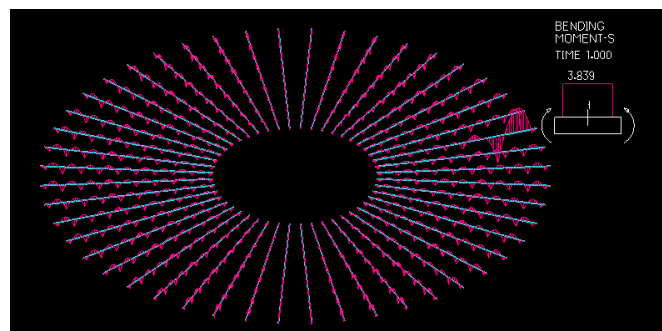


Εικόνα 4.40 : Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N δευτερευουσών δοκών με ράβδο ανεργή

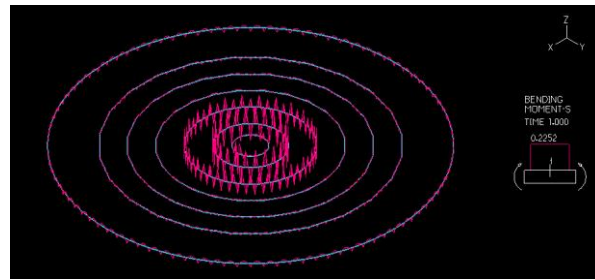
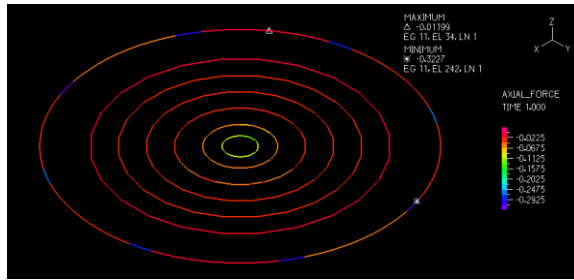
Η ίδια λογική για διαγράμματα αξονικών δυνάμεων σε σχέση με τις πρωτεύουσες δοκούς υπάρχει και στις δευτερεύουσες.



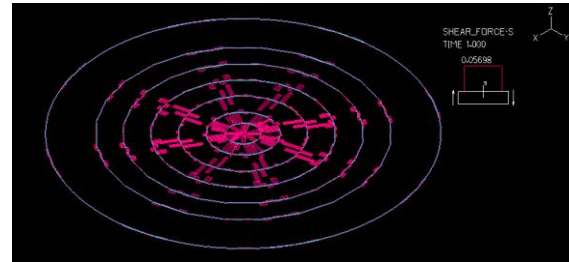
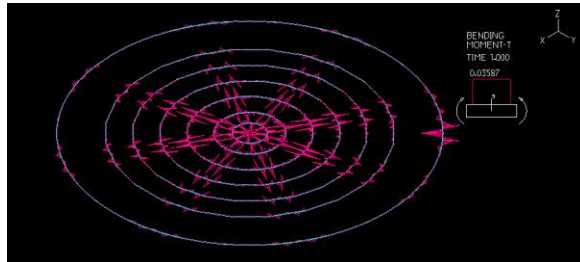
Εικόνα 4.41 : Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N τριτευσουσών δοκών με μια ράβδο ανεργή



Εικόνα 4.42 : Διάγραμμα καμπτικών ροπών τριτευσουσών δοκών με ράβδο ανεργή

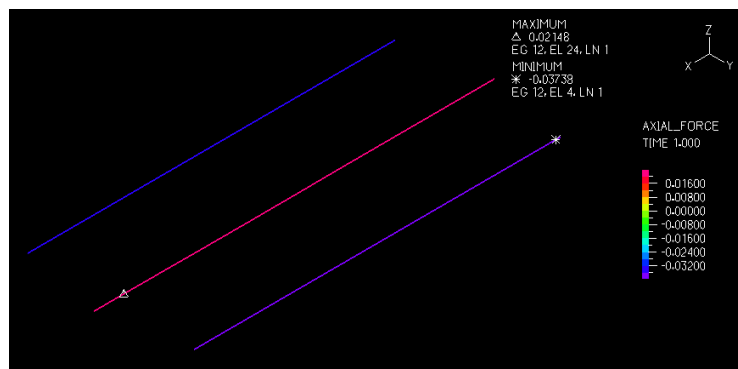


Εικόνα 4.43 : Διάγραμμα N περιφερειακών ελασμάτων **Εικόνα 4.44 :** Διάγραμμα M_γ περιφερειακών ελασμάτων

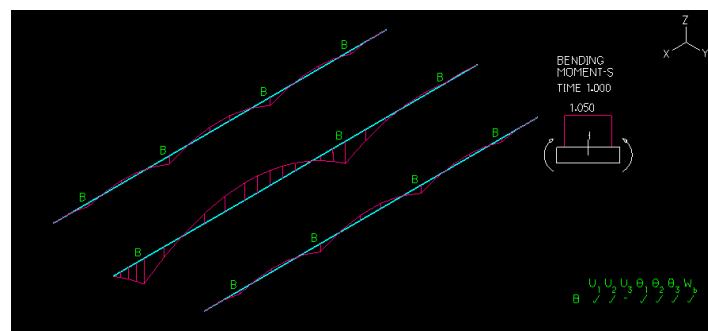


Εικόνα 4.45 : Διάγραμμα M_z περιφερειακών ελασμάτων **Εικόνα 4.46 :** Διάγραμμα Q_γ περιφερειακών ελασμάτων

Παρατηρείται ότι θλίβονται όλα τα περιφερειακά ελάσματα. Ακόμη, οι μεγαλύτερες τέμνουσες και ροπές κατά τον ασθενή άξονα παρουσιάζονται στα εσωτερικά ελάσματα (1°, 2°, 3°) ενώ τα εξωτερικά παρουσιάζουν μεγαλύτερες αξονικές δυνάμεις. Στα εσωτερικά ελάσματα εντοπίζονται τα μεγαλύτερα εντατικά μεγέθη και κατά τον ισχυρό άξονα.



Εικόνα 4.47 : Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N εσχάρας με μια ράβδο ανενεργή



Εικόνα 4.48 : Διάγραμμα καμπτικών ροπών M_γ εσχάρας με μια ράβδο ανενεργή

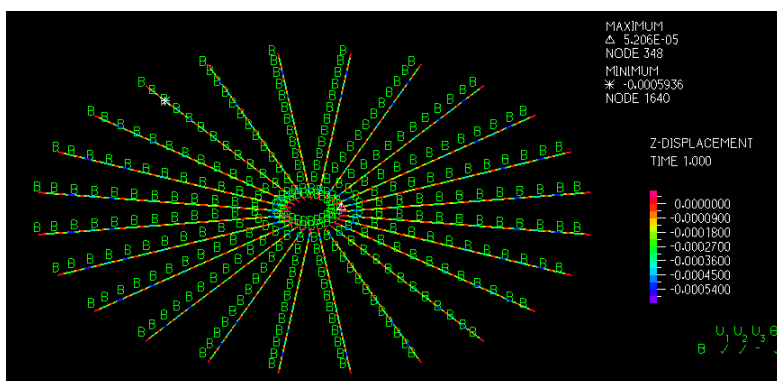
Παρατηρείται ότι η μεσαία δοκός της εσχάρας βρίσκεται υπό εφελκυσμό και οι 2 ακραίες υπό θλίψη. Από το διάγραμμα ρομών της εσχάρας φαίνεται ότι η μέγιστη καμπτική ροπή είναι στο σημείο όπου η μια ράβδος είναι ανενεργή.

4.3.2 Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας

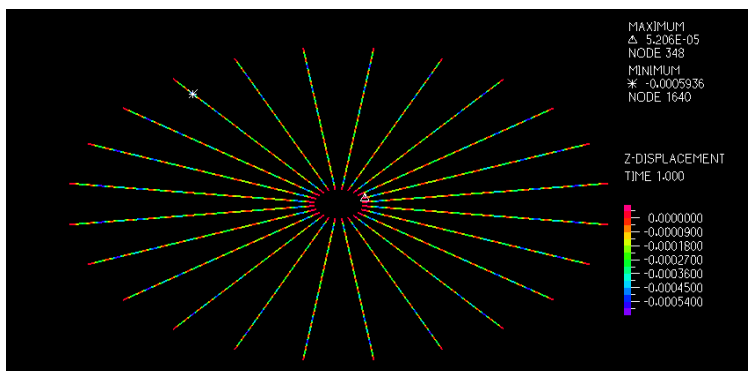
Ο συνδυασμός που χρησιμοποιήθηκε για την ΟΚΛ σε φάση λειτουργίας είναι **1*GK+1*QK**, όπου το QK αναφέρεται στη διαφορά πίεσης (0.2KPa). Από τους ελέγχους που έγιναν για κάθε ράβδο, καμία δοκός δε καθίσταται ανενεργή αφού οι έλεγχοι της ΟΚΛ θεωρούν όλες τις ράβδους ενεργές. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 4.14 : Έλεγχος βελών σε φάση λειτουργίας

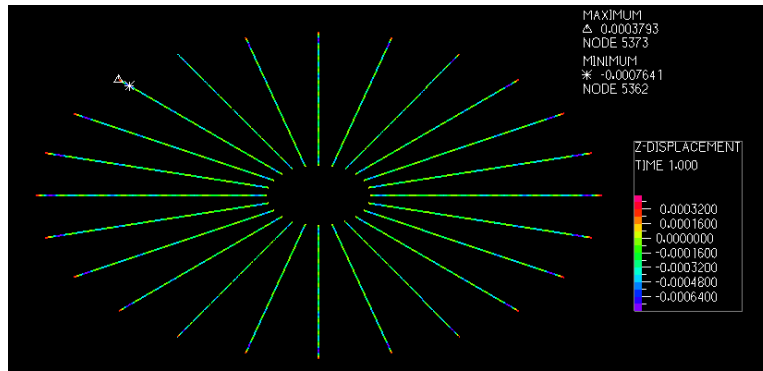
	Primary rafter	Secondary rafter	Tertiary rafter
Μετατόπιση κατά Z	0.0006	0.00076	0.00065
Όριο	0.012	0.0012	0.012
	Circumferencial 1	Circumferencial 2	Circumferencial 3
Μετατόπιση κατά Z	0	0.00015	0.00018
Όριο	0.0038	0.004	0.0035
	Circumferencial 4	Circumferencial 5	Circumferencial 6
Μετατόπιση κατά Z	0.00041	0.00073	0.000985
Όριο	0.0049	0.0064	0.0078
	Circumferencial 7	Grillage	
Μετατόπιση κατά Z	0.00008	0.0003	
Όριο	0.0106	0.008	



Εικόνα 4.49 : Διάγραμμα μετατοπίσεων πρωτεύοντων δοκών σε φάση λειτουργίας με κυλίσεις

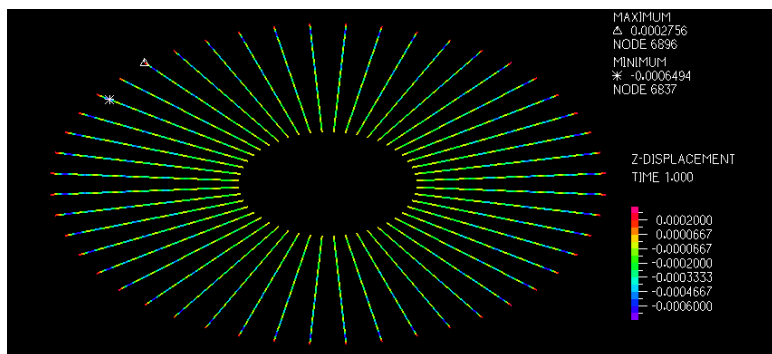


Εικόνα 4.50 : Διάγραμμα μετατοπίσεων πρωτεύοντων δοκών σε φάση λειτουργίας

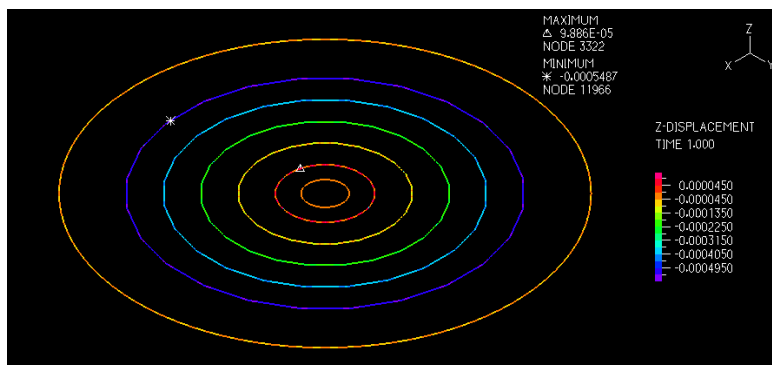


Εικόνα 4.51 : Διάγραμμα μετατοπίσεων δευτερευουσών δοκών σε φάση λειτουργίας

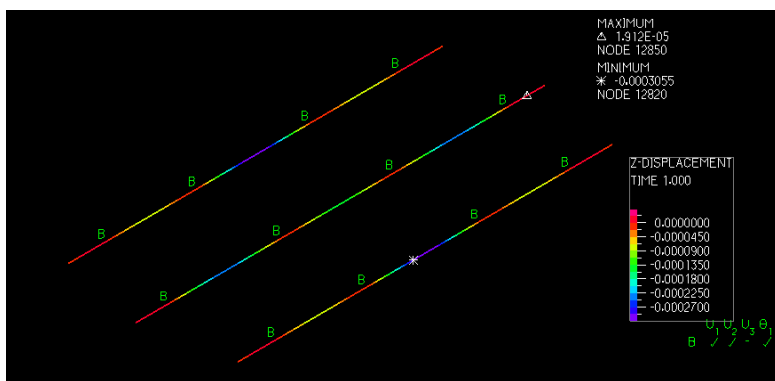
Παρατηρείται ότι στα σημεία που υπάρχουν ράβδοι, η μετατόπιση είναι μηδέν (κόκκινο χρώμα). Αυτό ισχύει για όλες τις κατηγορίες δοκών.



Εικόνα 4.52 : Διάγραμμα μετατοπίσεων τριτευουσών δοκών σε φάση λειτουργίας



Εικόνα 4.53 : Διάγραμμα μετατοπίσεων περιφερειακών ελασμάτων σε φάση λειτουργίας



Εικόνα 4.54 : Διάγραμμα μετατοπίσεων εσχάρας σε φάση λειτουργίας

Παρατηρείται ότι τα εσωτερικά περιφερειακά ελάσματα έχουν πολύ μικρές μετατοπίσεις (1°, 2°, 3°). Το 4°, 5°, και 6° έχουν πιο μεγάλες και το 7° πάλι μικρές.

4.4 Σεισμικές Φορτίσεις σε Φάση Λειτουργίας

4.4.1 Σεισμός ΟΒΕ με Στατική Ανάλυση

Ο σεισμός αυτός λήφθηκε υπόψιν σε φάση λειτουργίας σύμφωνα με τους κανονισμούς καθώς έχει μεγάλη περίοδο επαναφοράς (συγκεκριμένα 475 χρόνια για τον ΟΒΕ) άρα υπάρχει μικρή πιθανότητα να συμβεί στη φάση κατασκευής που διαρκεί περίπου 1 χρόνο. Στη φάση λειτουργίας λαμβάνονται υπόψιν το ίδιο βάρος του αλουμινένιου πλαισίου, το ίδιο βάρος του χαλυβδόφυλλου και το ίδιο βάρος μόνωσης. Δε λαμβάνεται υπόψιν η διαφορά πίεσης (0.2KPa) αφού δεν έχει μάζα. Κατά το σεισμό θεωρείται ότι συμμετέχει το 100% της μάζας των μόνιμων φορτίων και το 30% των κινητών (όμως εδώ δεν υπάρχει κινητό με μάζα). Δηλαδή, πέρα από το μόνιμο φορτίο GK και το ίδιο βάρος μόνωσης και καταστρώματος, οι σεισμικές δυνάμεις AedX, AedY, AedZ προκύπτουν από τη μάζα που ασκείται σε κάθε δοκό (KN*s²/m²) πολλαπλασιασμένη με την επιτάχυνση που βρίσκεται από τα φάσματα. Από αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης προέκυψε ότι η πρώτη ιδιομορφή δε συμμετέχει στη σεισμική απόκριση καθώς έχει μηδενικό ποσοστό ιδιομορφικής μάζας για όλες τις διευθύνσεις. Η δεσπόζουσα ιδιομορφή για τη διεύθυνση X είναι η 7^η ενώ για την Y η 8^η. Άρα για τη στατική λήφθηκε υπόψιν η ιδιομορφή που θα έχει τα πιο κοντινά αποτελέσματα με τη φασματική ανάλυση γι αυτό και οι επιταχύνσεις που χρησιμοποιήθηκαν αντιστοιχούν στην 8^η ιδιομορφή. Όσον αφορά στη στατική επιβολή του σεισμού, αφού βρεθεί η δύναμη που ασκείται σε μια δοκό μέσω μεθόδου που αναφέρθηκε παραπάνω (δύναμη από το ίδιο βάρος χαλυβδόφυλλου - 0.03KPa και μόνωσης - 0.11 KPa σε KN/m) αυτή η δύναμη διαιρείται με $g=10\text{m/s}^2$ και βρίσκεται η μάζα σε KN*s²/m² που αντιστοιχεί στη δοκό (ανά γραμμή). Αυτή η μάζα πολλαπλασιάζεται με επιτάχυνση σεισμού κατά X, Y και Z. Οι σεισμικές δυνάμεις που προκύπτουν είναι κι αυτές ανομοιόμορφες κατανομημένες σε κάθε διεύθυνση όπως ακριβώς και οι κατακόρυφες των ιδίων βαρών.

Για τον συνδυασμό ΟΒΕ λήφθηκαν υπόψιν 3 συνδυασμοί σεισμών :

- Συνδυασμός με κύριο το σεισμό κατά X : $1*GK+1*AedX+0.4*AedY+0.4*AedZ$
- Συνδυασμός με κύριο το σεισμό κατά Y : $1*GK+0.4*AedX+1*AedY+0.4*AedZ$
- Συνδυασμός με κύριο το σεισμό κατά Z : $1*GK+0.4*AedX+0.4*AedY+1*AedZ$

Και για τις 3 περιπτώσεις σεισμών θεωρήθηκε ότι για κάθε δοκό που γινόταν μελέτη μια ράβδος θεωρούταν ανενεργή. Για τη στατική ανάλυση, βρέθηκαν από το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ADINA ορισμένες ιδιομορφές μαζί με τις ιδιοσυχνότητες. Τα φάσματα του σεισμού ΟΒΕ δόθηκαν από τους κανονισμούς για το σχεδιασμό δεξαμενών ΥΦΑ. Η επιτάχυνση που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των σεισμικών

δυνάμεων με στατική επιβολή αντιστοιχεί στην πρώτη ιδιοπερίοδο που είναι και η μεγαλύτερη. Από την ανάλυση για εύρεση ιδιομορφών και ιδιοπεριόδων προέκυψαν τα παρακάτω:

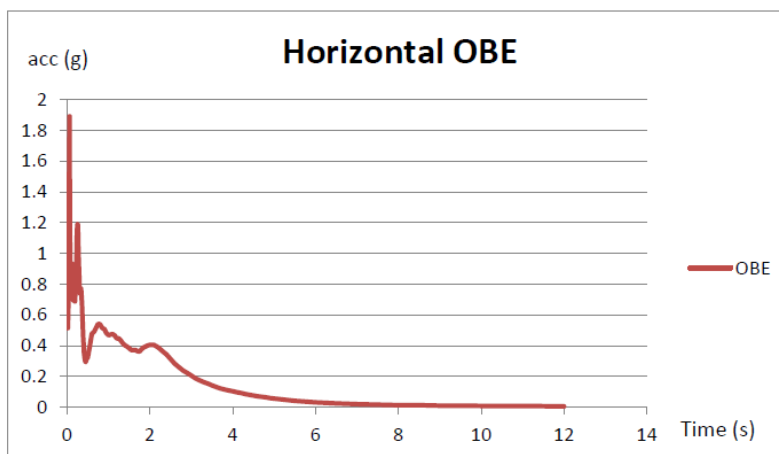
Πίνακας 4.15 : Ιδιοσυχνότητες και ιδιοπερίοδοι

F(Hz)	T(sec)
0.3925	2.548
1.156	0.865
1.232	0.81
1.484	0.67
1.507	0.66
1.886	0.53
1.995	0.5
2.065	0.49

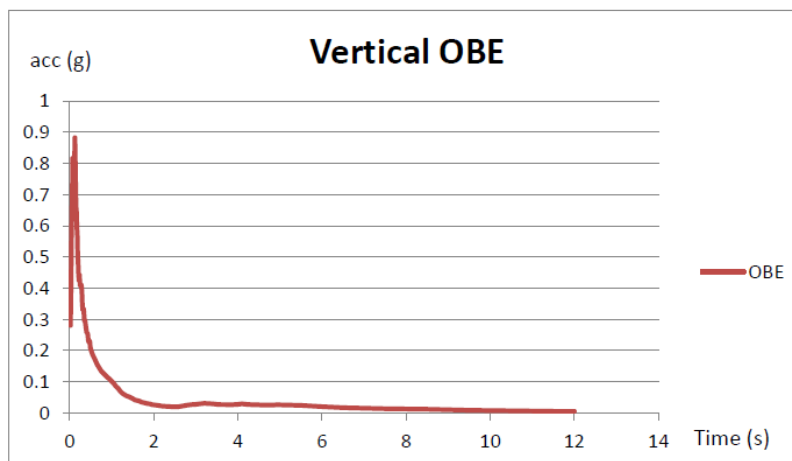
Η επιτάχυνση για κάθε διεύθυνση σεισμού αντιστοιχεί στη μέγιστη ιδιοπερίοδο $T=0.49\text{sec}$. Ακολουθεί πίνακας με τις επιταχύνσεις σε κάθε διεύθυνση σεισμού.

Πίνακας 4.16 : Σεισμός και επιταχύνσεις που αντιστοιχούν στην πρῶη ιδιοπερίοδο

Σεισμός	Επιτάχυνση (m/s^2)
OBE οριζόντια διεύθυνση	2.95
OBE κατακόρυφη διεύθυνση	2.24
SSE οριζόντια διεύθυνση	3.66
SSE κατακόρυφη διεύθυνση	3.77



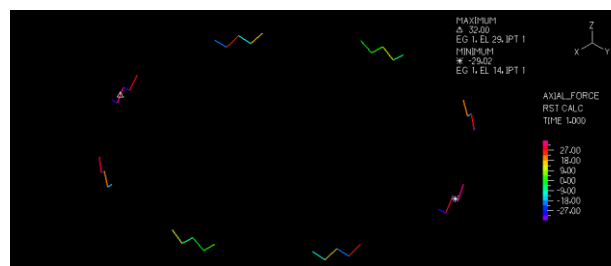
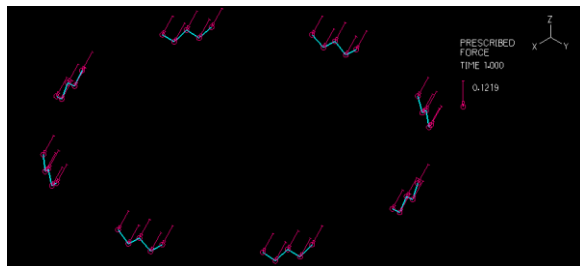
Εικόνα 4.55 : Φάσμα για σεισμό OBE οριζόντιας διεύθυνσης



Εικόνα 4.56 : Φάσμα για σεισμό OBE κατακόρυφης διεύθυνσης

Συνδυασμός : $1*GK+1*AedX+0.4*AedY+0.4*AedZ$ (με κύριο σεισμό αυτόν της διεύθυνσης X)

Χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες διατομές με αυτές που προέκυψαν από τον έλεγχο για φάση κατασκευής με ομοιόμορφο κατανεμημένο $0.5KPa$ και ικανοποιούνται και εδώ. Παρουσιάζονται παρακάτω τα εντατικά μεγέθη που προέκυψαν καθώς και εικόνες από τη φόρτιση του φορέα για σεισμό κατά X, Y και Z.



Εικόνα 4.57 : Φόρτιση δικτυωμάτων για σεισμό OBE κατά X **Εικόνα 4.58** : Διάγραμμα N για σεισμό OBE κατά X

Λόγω σεισμού τα δικτυώματα μία εφελκύνονται και μία θλίβονται. Ακόμη, τα δικτυώματα που θλίβονται και εφελκύνονται με τις μέγιστες αξονικές είναι αυτά που δεν είναι πάνω στη διεύθυνση X. Άρα πέρα από τον έλεγχο σε εφελκυσμό (όπως αναφέρθηκε παραπάνω) γίνεται και έλεγχος σε θλίψη και καμπτικό λυγισμό.

Πίνακας 4.17 : Έλεγχος σε καμπτικό λυγισμό δικτυωμάτων

Χαρακτηριστικές μεγέθη	Τιμές
L(m)	3.57
Lcr(m)	3.57
Καμπύλη λυγισμού	c
ϵ	1.084
I(m ⁴)	$5.89 \cdot 10^{-7}$
i(m)	0.0472
λ_1	101.785
E(KPa)	200000000
Ncr(KN)	908.67
λ	0.7445
α	0.49
Φ	0.911

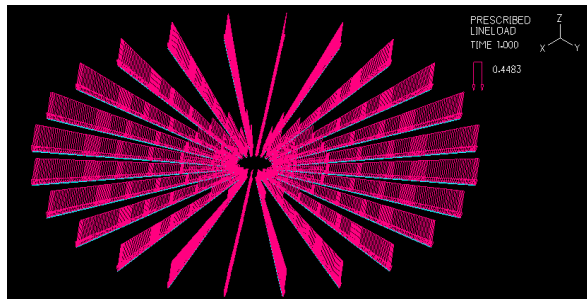
X	0.697
$N_{b,Rd}(KN)$	368

Όπου

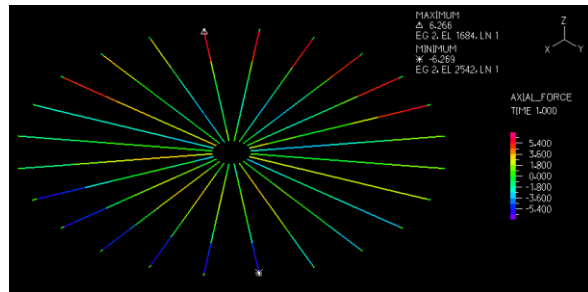
$N_{b,Rd}(KN) = X \cdot f_y \cdot A / \gamma_{M1}$ (για κατηγορίες 1,2,3)	(4.33)
---	--------

$N_{Rd} = 368KN$ (αντοχή σε καμπτικό λυγισμό) $> N_{ed} = 32KN$

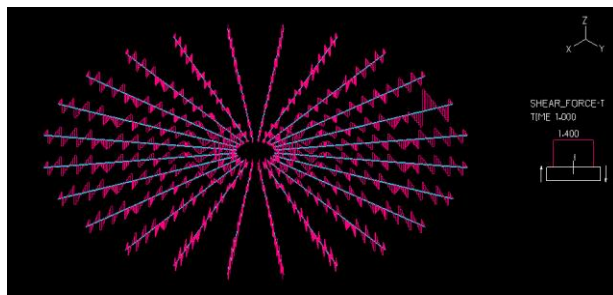
$N_{Rd} = 528KN$ (αντοχή σε εφελκυσμό) $> N_{ed} = 32KN$



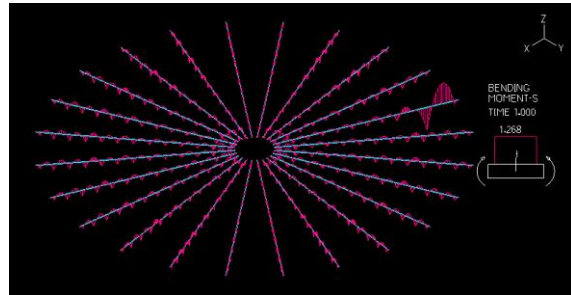
Εικόνα 4.59 : Φόρτιση των πρωτευουσών δοκών



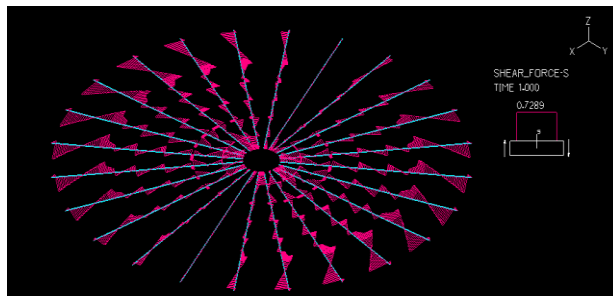
Εικόνα 4.60 : Διάγραμμα N των πρωτευουσών δοκών



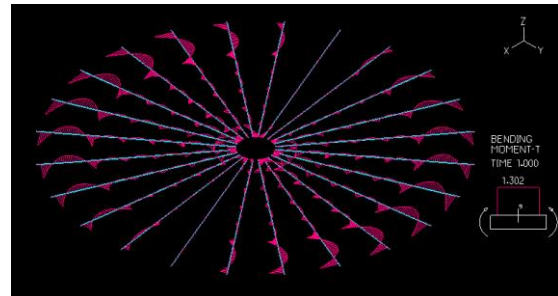
Εικόνα 4.61 : Διάγραμμα Qz των πρωτευουσών δοκών



Εικόνα 4.62 : Διάγραμμα My των πρωτευουσών δοκών

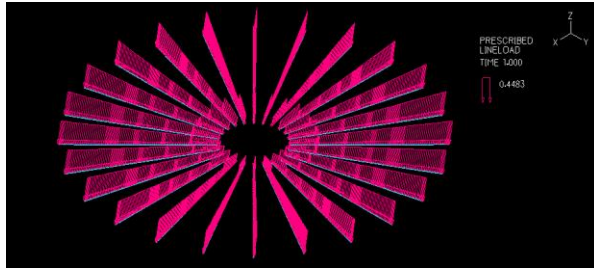


Εικόνα 4.63 : Διάγραμμα Qy των πρωτευουσών δοκών

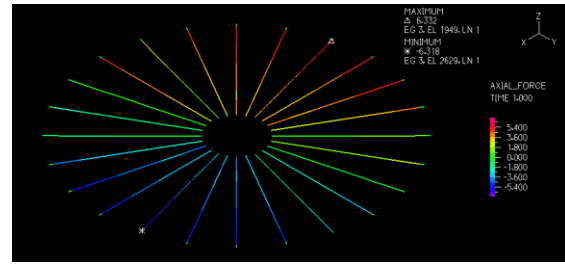


Εικόνα 4.64 : Διάγραμμα Mz των πρωτευουσών δοκών

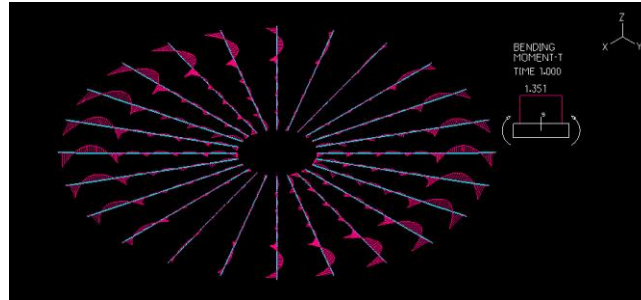
Για το σεισμό ενδιαφέρει περισσότερο ο ασθενής άξονας καθώς σε εκείνον υπάρχει η μεγαλύτερη φόρτιση. Οι αντοχές είναι: $N_{Rd} = 820.07KN >> N_{ed} = 6.38KN$, $M_{Rdz} = 9.97KNm > M_{ed} = 1.33KN$, $M_{Rdy} = 14.44KNm > M_{ed} = 1.27KN$. Ικανοποιείται και η ελαστική διατμητική αντοχή που προαναφέρθηκε. Δεν ορίζεται η πλαστική διατμητική αντοχή V_{crd} αφού η διατομή είναι κατηγορίας 3.



Εικόνα 4.65 : Φόρτιση δευτερευουσών δοκών

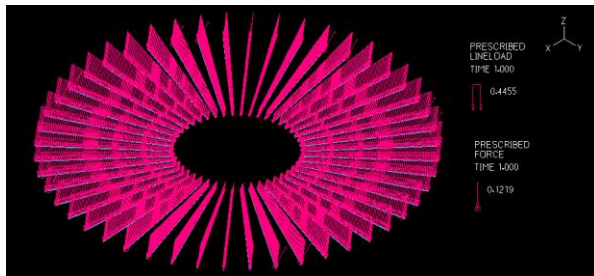


Εικόνα 4.66 : Διάγραμμα N των δευτερευουσών δοκών

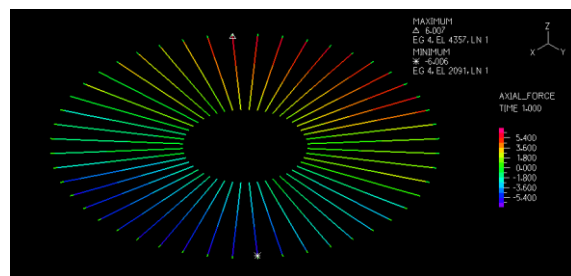


Εικόνα 4.67 : Διάγραμμα Mz των δευτερευουσών δοκών

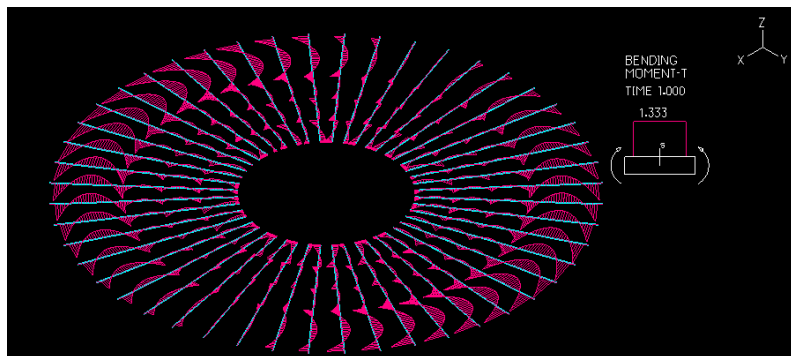
Για τη δευτερεύουσα δοκό ισχύει $N_{Rd}=834.5\text{KN} \gg N_{ed}=6.33\text{KN}$, $M_{Rdz}=9.61\text{KNm} > M_{ed}=1.35\text{KNm}$. Παρατηρείται ότι οι μισές δοκοί θλίβονται και οι μισές εφελκύνονται.



Εικόνα 4.68 : Φόρτιση τριτευουσών δοκών

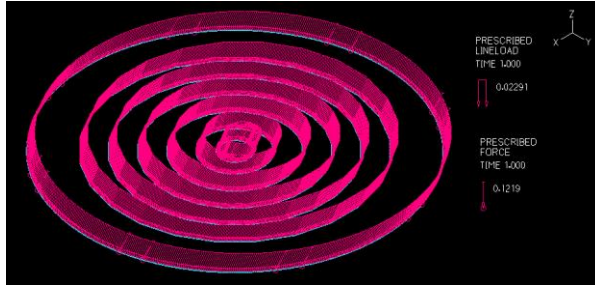


Εικόνα 4.69 : Διάγραμμα N των τριτευουσών δοκών

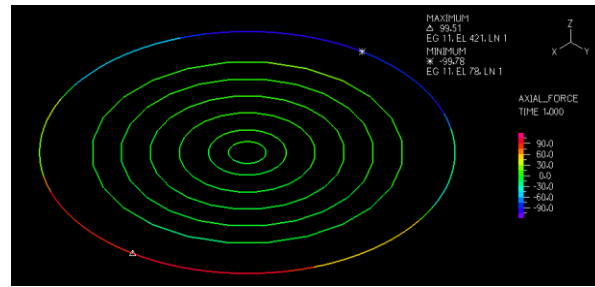


Εικόνα 4.70 : Διάγραμμα Mz των τριτευουσών δοκών

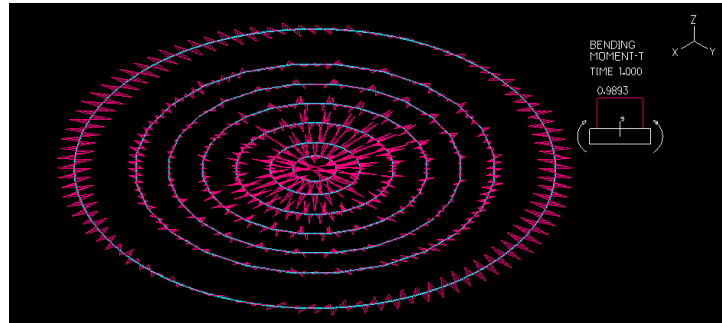
$N_{Rd}=834.5\text{KN} \gg N_{ed}=6\text{KN}$, $M_{Rdz}=9.61\text{KNm} > M_{ed}=1.33\text{KNm}$. Και πάλι οι μισές δοκοί θλίβονται και οι μισές εφελκύνονται.



Εικόνα 4.71 : Φόρτιση περιφερειακών ελασμάτων



Εικόνα 4.72 : Διάγραμμα N των περιφερειακών ελασμάτων

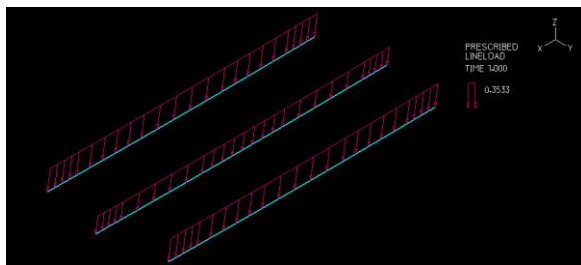


Εικόνα 4.73 : Διάγραμμα Mz των περιφερειακών ελασμάτων

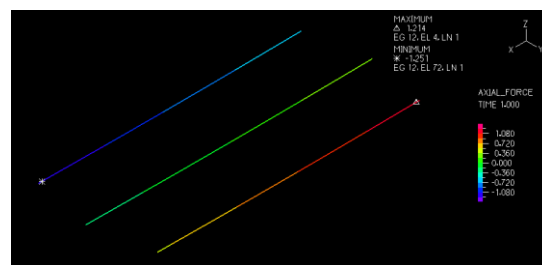
Έχει προαναφερθεί ότι τα περιφερειακά ελάσματα δεν φορτίζονται με το βάρος του χαλυβδόφυλλου και τη μόνωση. Η φόρτιση που λαμβάνουν εδώ προκύπτει από τη μάζα τους πολλαπλασιασμένη με την επιτάχυνση του σεισμού σε κάθε διεύθυνση (X, Y, Z). Τα συγκεντρωμένα που απεικονίζονται είναι οι φορτίσεις από τη μάζα των δικτυωμάτων πολλαπλασιασμένη με την επιτάχυνση του σεισμού.

Το μισό εξωτερικό έλασμα από τη διεύθυνση X του σεισμού θλιβεται και το μισό από την αντίθετη εφελκείται. Τα εσωτερικά ελάσματα παρουσιάζουν πολύ μικρές αξονικές, άλλες θλιπτικές και άλλες εφελκυστικές. Η μεγαλύτερη αξονική παρουσιάζεται στο εξωτερικό έλασμα τιμής 99.78KN.

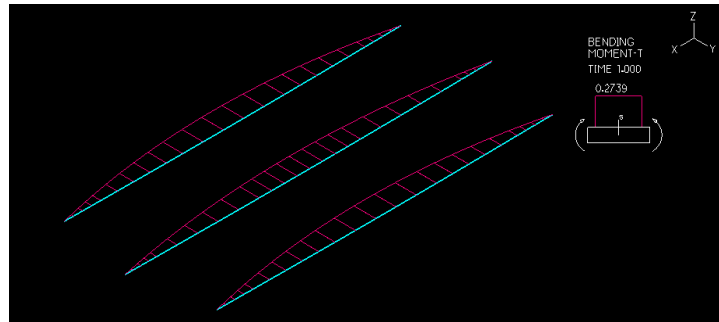
Γενικά, το πρώτο δεύτερο και τρίτο παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες καμπτικές ροπές ως προς τον ασθενή άξονα σε σχέση με τα εξωτερικά ελάσματα, ενώ τα εξωτερικά (5°, 6°, 7°) παρουσιάζουν μεγάλες αξονικές.



Εικόνα 4.74 : Φόρτιση εσχάρας



Εικόνα 4.75 : Διάγραμμα N εσχάρας

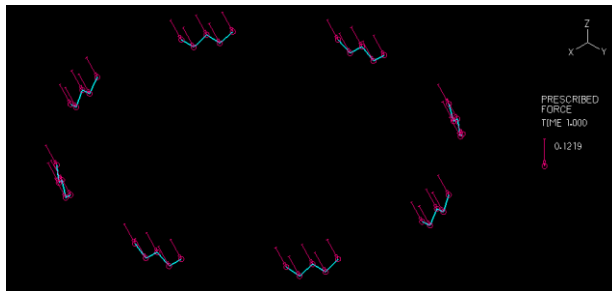


Εικόνα 4.76 : Διάγραμμα M_z εσχάρας

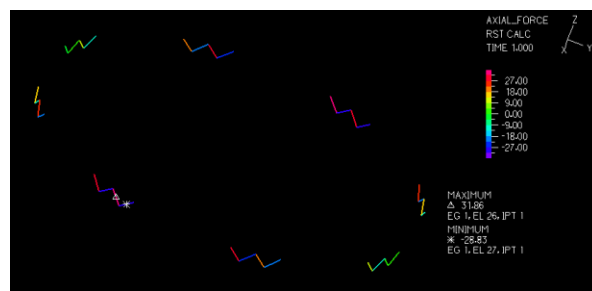
$N_{Rd}=494\text{KN} > N_{ed}=1.25\text{KN}$, $M_{Rdz}=4.37\text{KNm} > M_{ed}=0.27\text{KNm}$. Το διάγραμμα καμπτικών ρομών είναι σαν αμφιέριστης δοκού καθώς έχουν προσθεθεί ελευθερώσεις καμπτικών ρομών κατά Y και Z στα άκρα της εσχάρας. Το ένα ακραίο δοκάρι θλίβεται, το άλλο ακραίο εφελκύεται και το μεσαίο θλίβεται και εφελκύεται.

Συνδυασμός : $1*GK+0.4*AedX+1*AedY+0.4*AedZ$ (με κύριο σεισμό αυτόν της διεύθυνσης Y)

Και σε αυτόν τον συνδυασμό χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες διατομές με πριν και προέκυψε ότι επαρκούν. Παρουσιάζονται παρακάτω εντατικά μεγέθη και εικόνες φόρτισης που προκύπτουν από αυτόν τον συνδυασμό. Παρατηρείται ότι η φόρτιση είναι σε αντίθετη διεύθυνση από τη διεύθυνση κατά X .

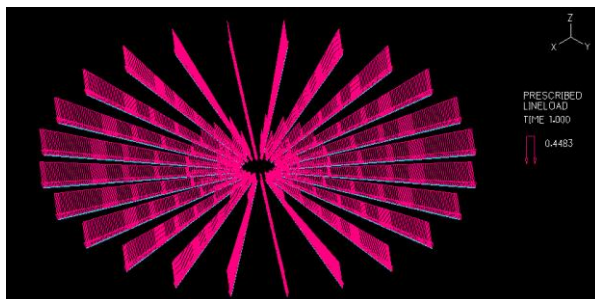


Εικόνα 4.77 : Φόρτιση δικτυωμάτων

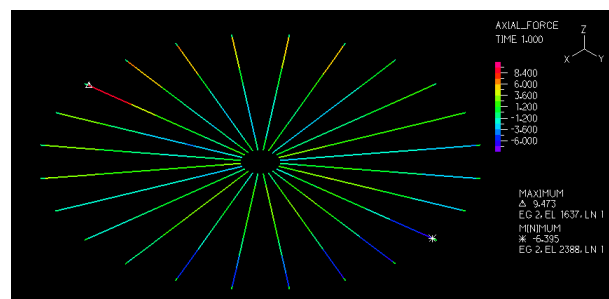


Εικόνα 4.78 : Διάγραμμα N δικτυωμάτων

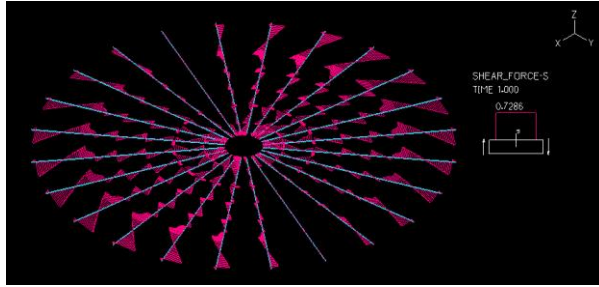
Εδώ $N_{ed}=31.86\text{KN}$, ενώ για σεισμό ΟΒΕ με κύρια τη διεύθυνση X είναι $N_{ed}=32\text{KN}$. Υπάρχει σωστή ομοιότητα καθώς σε συμμετρικά δοκάρια ως προς X και Y τα εντατικά μεγέθη για κύριο το σεισμό κατά X και Y θα πρέπει να βγαίνουν ίδια σχεδόν. Τα δικτυώματα που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες αξονικές δεν είναι αυτά που είναι πάνω στη διεύθυνση Y .



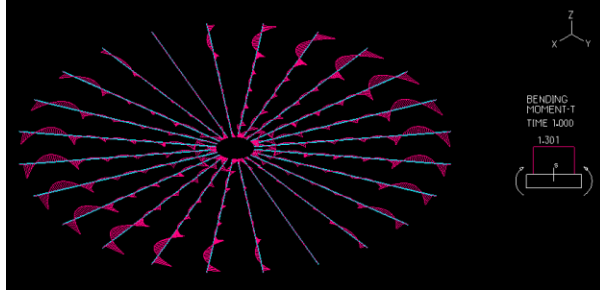
Εικόνα 4.79 : Φόρτιση πρωτεύουσών δοκών



Εικόνα 4.80 : Διάγραμμα N πρωτεύουσών δοκών

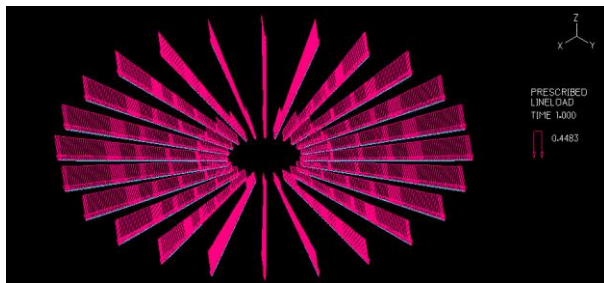


Εικόνα 4.81 : Διάγραμμα Q_y πρωτεύουσών δοκών

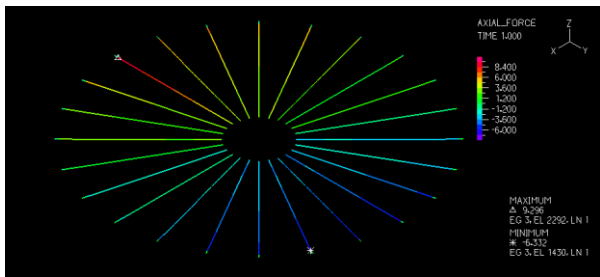


Εικόνα 4.82 : Διάγραμμα M_z πρωτεύουσών δοκών

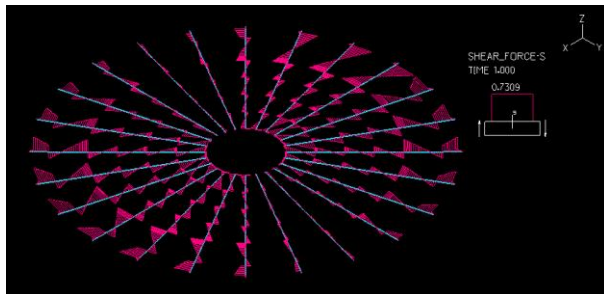
Για τις πρωτεύουσες δοκούς από το διάγραμμα των αξονικών δυνάμεων προκύπτει ότι η μεγαλύτερη αξονική βρίσκεται στο 6^ο φάνωμα όπως και η μεγαλύτερη καμπτική ροπή και τέμνουσα δύναμη κατά τον ασθενή άξονα. Τα δοκάρια που είναι παράλληλα με τη διεύθυνση Y, ένα κομμάτι τους θλίβεται και ένα εφελκύεται. Τα ακραία δοκάρια θλίβονται πιθανώς λόγω του ότι ο σεισμός έρχεται από τον Y και υπάρχει το εξωτερικό περιφερειακό έλασμα που τα συγκρατεί.



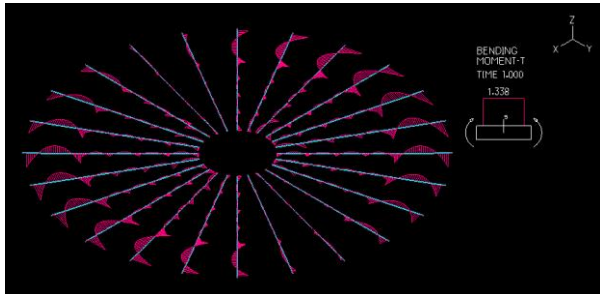
Εικόνα 4.83 : Φόρτιση δευτερευουσών δοκών



Εικόνα 4.84 : Διάγραμμα N δευτερευουσών δοκών

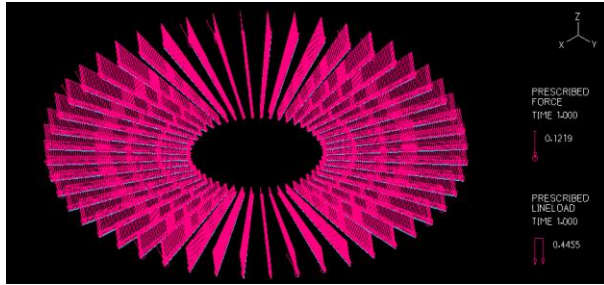


Εικόνα 4.85 : Διάγραμμα Q_y δευτερευουσών δοκών

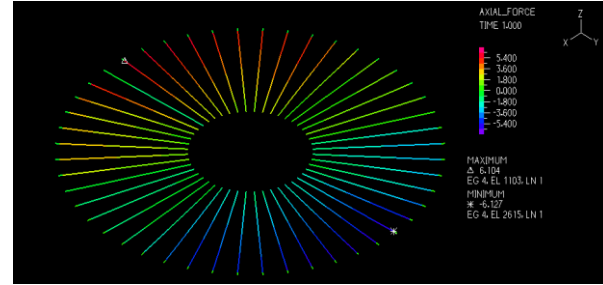


Εικόνα 4.86 : Διάγραμμα M_z δευτερευουσών δοκών

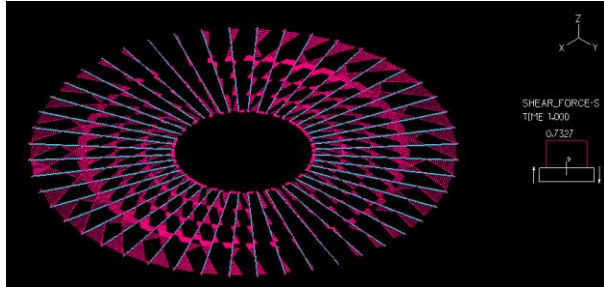
Προφανώς, οι μεγάλες τέμνουσες υπάρχουν εκεί στα σημεία όπου δεν είναι τα δοκάρια παράλληλα με τον άξονα Y αφού την δύναμη του σεισμού τη λαμβάνουν σαν τέμνουσα. Το ίδιο συμβαίνει και με τις καμπτικές ροπές M_z όπου έχουν μέγιστα μεγέθη εκεί όπου είναι μεγάλες και οι τέμνουσες.



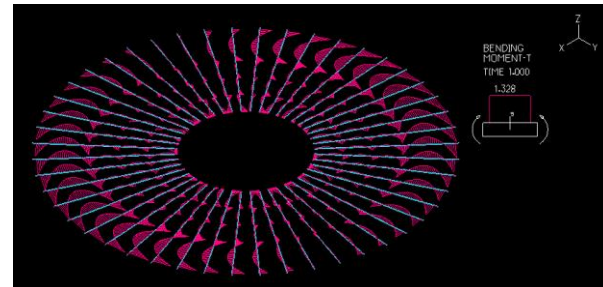
Εικόνα 4.87 : Φόρτιση τριτευσών δοκών



Εικόνα 4.88 : Διάγραμμα N τριτευσών δοκών



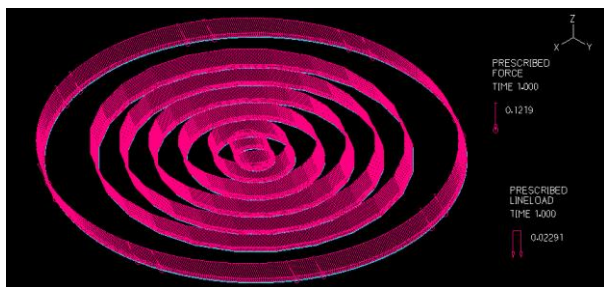
Εικόνα 4.89 : Διάγραμμα Q_y τριτευσών δοκών



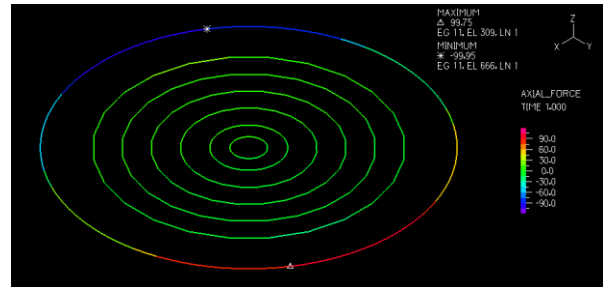
Εικόνα 4.90 : Διάγραμμα M_z τριτευσών δοκών

Το συγκεντρωμένο φορτίο που φαίνεται από τη φόρτιση της τριτεύουσας δοκού είναι λόγω των δικτυωμάτων. Παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες αξονικές βρίσκονται προς τα άκρα του φορέα και σε αντίθετη διεύθυνση από τον άξονα Y καθώς τα τριτεύοντα δοκάρια συγκρατούνται από το εφελκυσμένο περιφερειακό έλασμα.

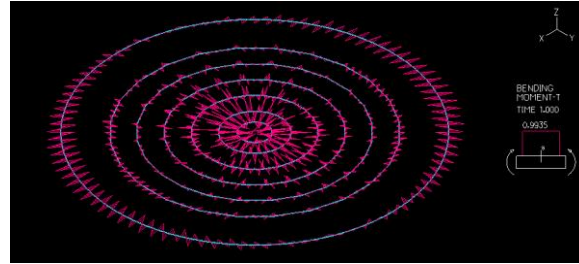
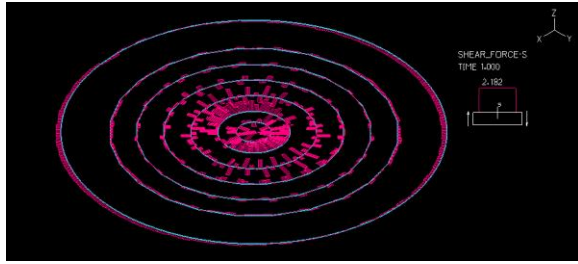
Οι καμπτικές ροπές M_z και οι τέμνουσες δυνάμεις Q_y είναι μεγαλύτερες στο 6° φάτνωμα ενώ μειώνονται όσο η κάθε δοκός πλησιάζει προς το κέντρο. Αυτό συμβαίνει γιατί όσο η κάθε δοκός απομακρύνεται από το κέντρο, τόσο πιο πολύ μεγαλώνει το πλάτος επιρροής της άρα και το φορτίο που της επιβάλλεται. Έτσι, από τις φορτίσεις αυτές (σε KN/m) βρίσκεται η μάζα (η οποία μεγαλώνει όσο αυξάνει η απόσταση της δοκού από το κέντρο) και πολλαπλασιασμένη με την επιτάχυνση προκύπτει η σεισμική δύναμη (ανομοιόμορφα κατανομημένη).



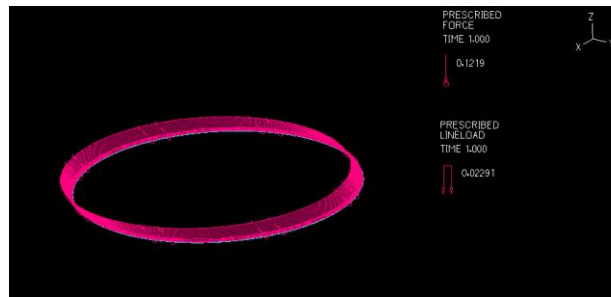
Εικόνα 4.91 : Φόρτιση περιφερειακών ελασμάτων



Εικόνα 4.92 : Διάγραμμα N περιφερειακών ελασμάτων



Εικόνα 4.93 : Διάγραμμα Q_y περιφερειακών ελασμάτων **Εικόνα 4.94 :** Διάγραμμα M_z περιφερειακών ελασμάτων



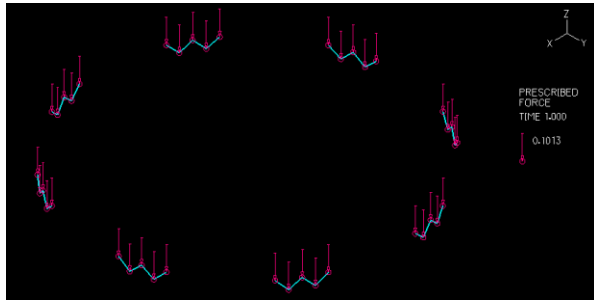
Εικόνα 4.95 : Φόρτιση εξωτερικού περιφερειακού ελάσματος

Παρατηρείται στο εξωτερικό περιφερειακό έλασμα που βρίσκεται πρώτο ο σεισμός ότι θλίβεται, τα ενδιάμεσα ελάσματα εφελκύνονται και θλίβονται με πολύ μικρές αξονικές και το αντιδιαμετρικό του αρχικού εξωτερικό έλασμα εφελκύεται. Η μέγιστη αξονική είναι 99.95KN (που αντιστοιχεί στο εξωτερικό έλασμα). Η μέγιστη τέμνουσα δύναμη κατά τον ασθενή άξονα αντιστοιχεί στο πρώτο περιφερειακό έλασμα με $V_{ed}=2.18\text{KN}$ και η μέγιστη καμπτική ροπή $M_z=0.99\text{KNm}$ αντιστοιχεί στο δεύτερο περιφερειακό έλασμα. Από την τελευταία εικόνα φαίνεται ότι κατά τη διεύθυνση που αναπτύσσεται ο σεισμός σε εκείνη τη διεύθυνση αναπτύσσονται μεγάλες αξονικές στο εξωτερικό έλασμα αφού από την ανάλυση δυνάμεων μεγάλο τμήμα γίνεται αξονική, λιγότερο τέμνουσα συνεπώς καμπτική ροπή. Τα εσωτερικά ελάσματα φαίνεται να μην επηρεάζονται πολύ από το σεισμό καθώς βρίσκονται προς τον πυρήνα του φορέα όπου και εμφανίζουν μεγαλύτερες τέμνουσες και ροπές και λιγότερο αξονικές.

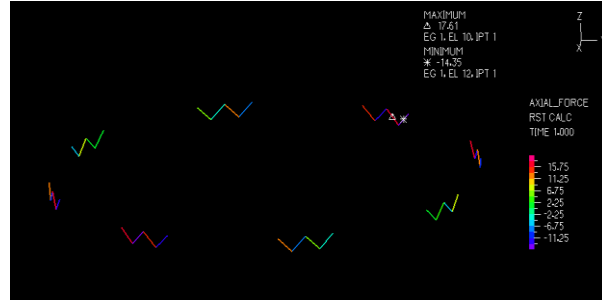
Κανονικά οι σεισμοί, ο κατά X και ο κατά Y λόγω συμμετρίας του φορέα θα πρέπει να έχουν σαν αποτέλεσμα ίδιας τάξης μεγέθους εντατικά μεγέθη. Παρατηρείται ότι κατά X και Y υπάρχουν ελάχιστες διαφορές. Διαφορά παρουσιάζει στα εντατικά μεγέθη η εσχάρα δηλαδή κατά X έχει μεγαλύτερη αξονική δύναμη αλλά κατά Y έχει μεγαλύτερη τέμνουσα και ροπή κάμψης κατά τον ασθενή άξονα (δε μπορεί να εμφανίζει γενικά και πολύ μεγάλη ροπή και πολύ μεγάλη αξονική). Αυτό συμβαίνει καθώς η εσχάρα είναι το μοναδικό τμήμα του καταστρώματος που δεν παρουσιάζει συμμετρία και ως προς τους 2 άξονες (X και Y). **Παρατηρείται ακόμα μια διαφορά στις αξονικές μεταξύ των πρωτεύουσών και δευτερευουσών δοκών.** Κατά το σεισμό OBE με κύρια διεύθυνση το Y οι αξονικές στις πρωτεύουσες και δευτερεύουσες δοκούς είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τον σεισμό με κύρια διεύθυνση τον X .

Συνδυασμός : $1*GK+0.4*A_{edX}+0.4*A_{edY}+1*A_{edZ}$ (με κύριο σεισμό αυτόν της διεύθυνσης Z)

Από αυτόν το συνδυασμό προέκυψαν ευμενέστερα εντατικά μεγέθη σε σχέση με τους 2 άλλους συνδυασμούς. Τα διαγράμματα σε δομή δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες διαφορές καθώς αποτελούν κάτι ενδιάμεσο με τις σεισμικές φορτίσεις με κύριο σεισμό τον κατά X και κατά Y .



Εικόνα 4.96 : Φόρτιση δικτυωμάτων

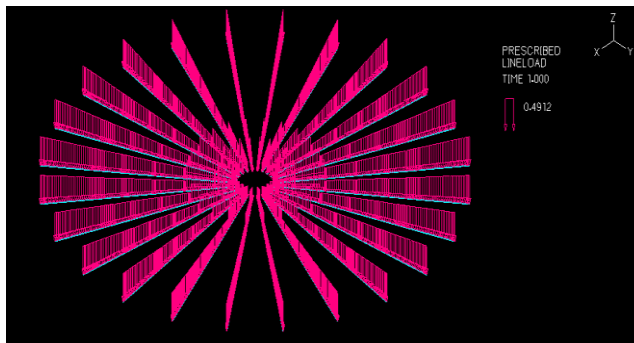


Εικόνα 4.97 : Διάγραμμα N δικτυωμάτων

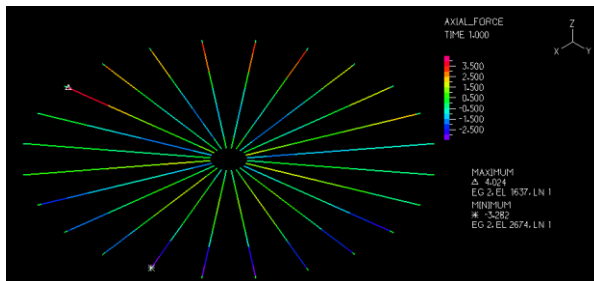
Παρατηρείται ότι η αξονική δύναμη είναι πολύ μικρότερη από τους σεισμούς με κύριες τις άλλες 2 διευθύνσεις (X και Y). Αυτό ισχύει και για όλα τα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν για τα άλλα μέλη του καταστρώματος.



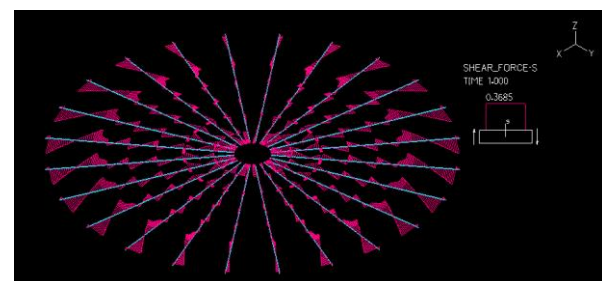
Εικόνα 4.98 : Κάτοψη φόρτισης πρωτεύουσών δοκών



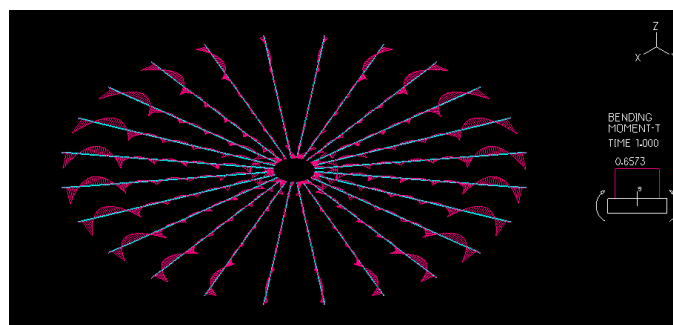
Εικόνα 4.99 : Φόρτιση πρωτεύουσών δοκών



Εικόνα 4.100 : Διάγραμμα N πρωτεύουσών δοκών

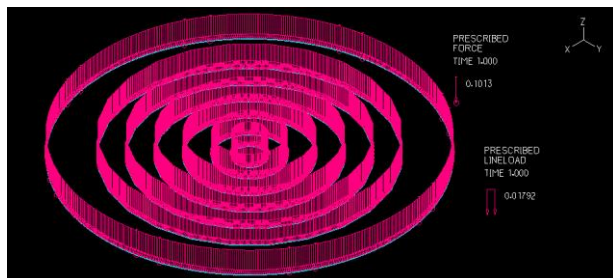


Εικόνα 4.101 : Διάγραμμα Qy πρωτεύουσών δοκών

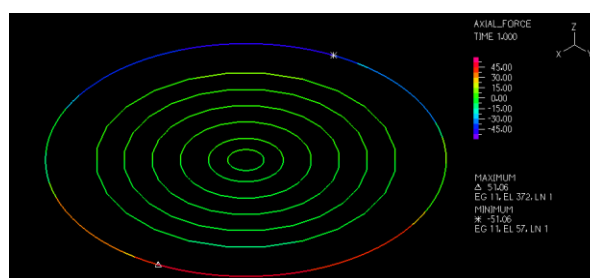


Εικόνα 4.102 : Διάγραμμα Mz πρωτεύουσών δοκών

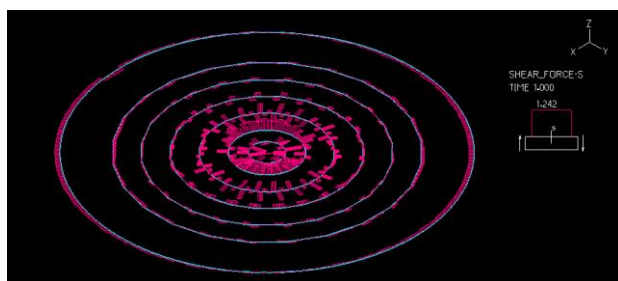
Τα εντατικά μεγέθη είναι πολύ μικρότερα απ' ό τι οι άλλοι συνδυασμοί και τα διαγράμματα παρόμοια γι' αυτό και δεν αναφέρονται. Μπορεί να υποθεθεί ότι σε οριζόντια διεύθυνση ο σεισμός έρχεται στη μεσοκάθετο των αξόνων X και Y για τη σωστή ερμηνεία των διαγραμμάτων. Από το διάγραμμα των αξονικών προκύπτει ότι οι ακραίες τιμές εφελκυσμού και θλίψης βρίσκονται στις δοκούς που διέρχονται από τη μεσοκάθετο των X, Y. Ακόμη, από το διάγραμμα τεμνουσών και ροπών προκύπτει ότι τα μέγιστα μεγέθη βρίσκονται σε δοκάρια που δε διέρχονται από τη μεσοκάθετο. Αυτά που διέρχονται από τη μεσοκάθετο έχουν τα ελάχιστα εντατικά μεγέθη.



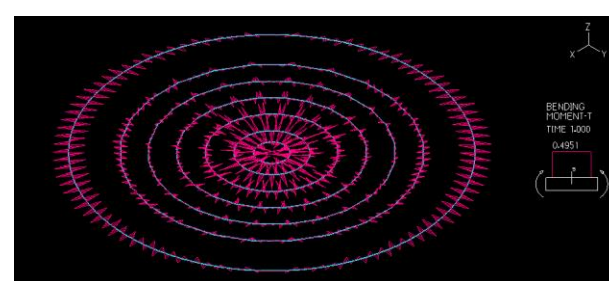
Εικόνα 4.103 : Φόρτιση περιφερειακών ελασμάτων



Εικόνα 4.104 : Διάγραμμα N περιφερειακών ελασμάτων



Εικόνα 4.105 : Διάγραμμα Qy περιφερειακών ελασμάτων

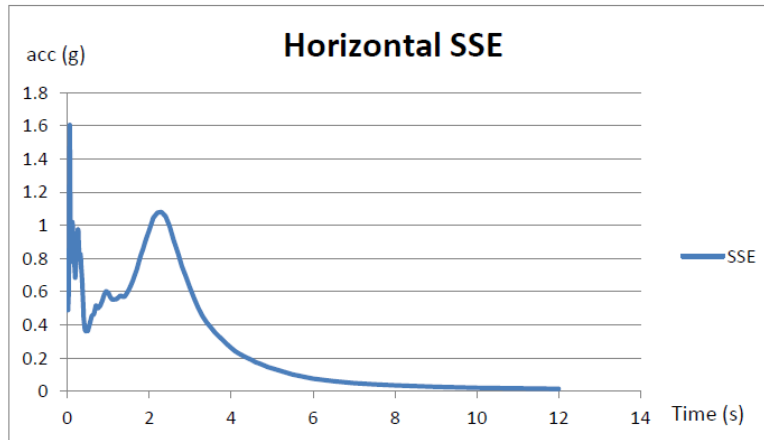


Εικόνα 4.106 : Διάγραμμα Mz περιφερειακών ελασμάτων

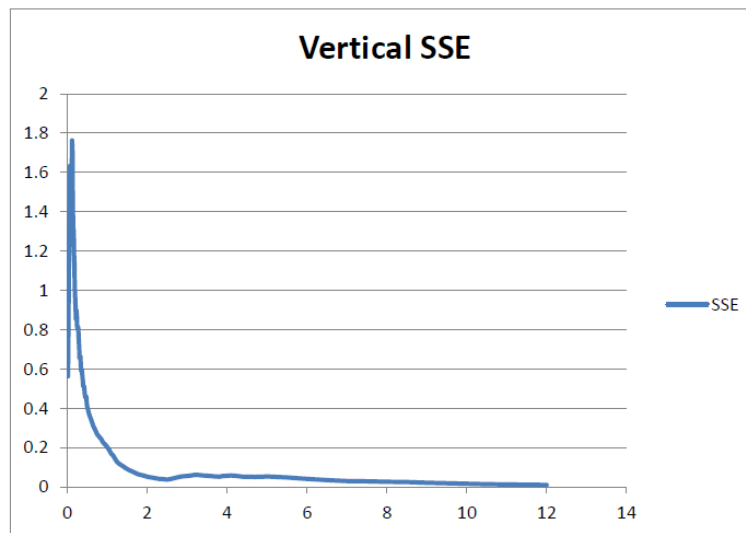
Φαίνεται ότι οι μέγιστες αξονικές παρουσιάζονται στο εξωτερικό περιφερειακό έλασμα σε σημεία που βρίσκονται πάνω στη διεύθυνση του σεισμού (στο επίπεδο ανάμεσα στους άξονες X και Y) λόγω ανάλυσης των συνιστωσών ενώ για τις τέμνουσες και τις ροπές τα μέγιστα εντατικά στο εξωτερικό περιφερειακό έλασμα εντοπίζονται σε σημεία εκτός αυτής της μεσοκαθέτου επίσης λόγω ανάλυσης των συνιστωσών. Στα υπόλοιπα εσωτερικά ελάσματα οι τέμνουσες και ροπές είναι μεγαλύτερες όσο πλησιάζουν τα ελάσματα στον πυρήνα (προς το κέντρο) όπως και στους άλλους συνδυασμούς ΟΚΑ.

4.4.2 Σεισμός SSE με Στατική Ανάλυση

Η μεθοδολογία εύρεσης των σεισμικών δυνάμεων είναι ίδια και για το σεισμό SSE. Συμμετέχει το 100% της μάζας των μόνιμων φορτίων και το 30% της μάζας των κινητών. Οι επιταχύνσεις για την όγδοη ιδιοπερίοδο του σεισμού είναι για οριζόντιο σεισμό 3.66m/s^2 και για κατακόρυφο 3.77m/s^2 . Υπενθυμίζεται ότι δε θεωρείται καμία ράβδος ανενεργή καθώς ο συνδυασμός ανενεργού ράβδου και σεισμού SSE καθίσταται αδύνατος. Τα φάσματα από τα οποία προέκυψαν οι επιταχύνσεις παρουσιάζονται παρακάτω.



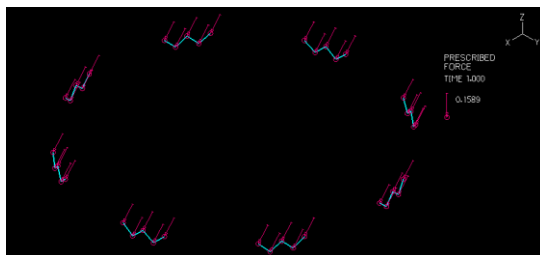
Εικόνα 4.107 : Φάσμα σεισμού SSE για οριζόντια διεύθυνση (X,Y)



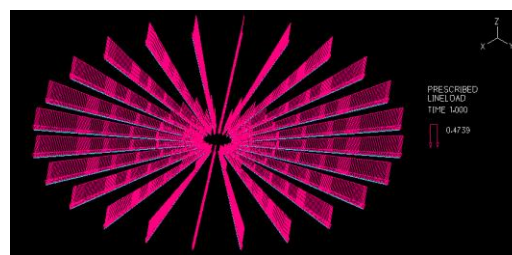
Εικόνα 4.108 : Φάσμα σεισμού SSE για κατακόρυφη διεύθυνση (Z)

Συνδυασμός : $1*GK+1*AedX+0.4*AedY+0.4*AedZ$ (με κύριο σεισμό αυτόν της διεύθυνσης X)

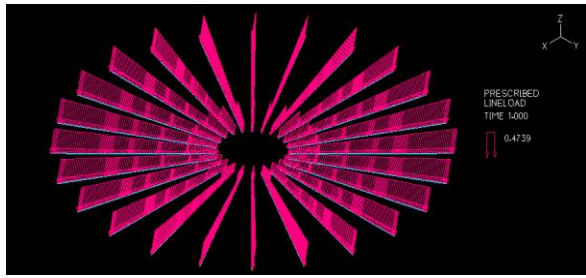
Για το συνδυασμό αυτό χρησιμοποιήθηκαν πάλι οι ίδιες διατομές με αυτές που προέκυψαν από την ΟΚΑ με ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο 0.5ΚΡα και ικανοποιούνταν οι έλεγχοι. Ακολουθούν οι φορτίσεις όλων των μελών του καταστρώματος και στη συνέχεια τα διαγράμματα εντατικών μεγεθών.



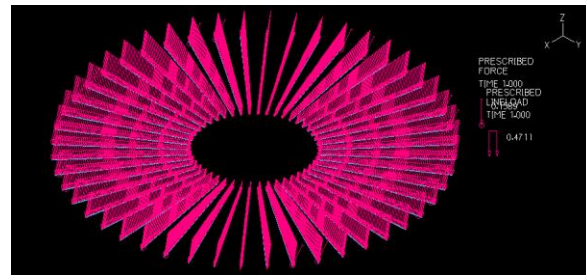
Εικόνα 4.109 : Φόρτιση δικτυωμάτων



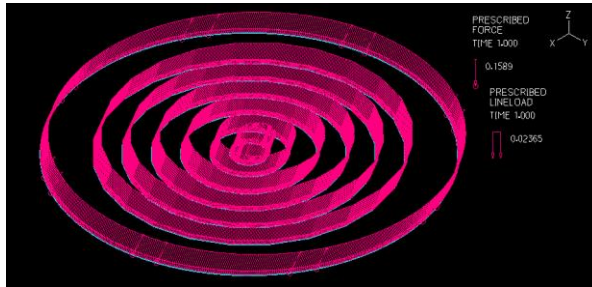
Εικόνα 4.110 : Φόρτιση πρωτεύουσών δοκών



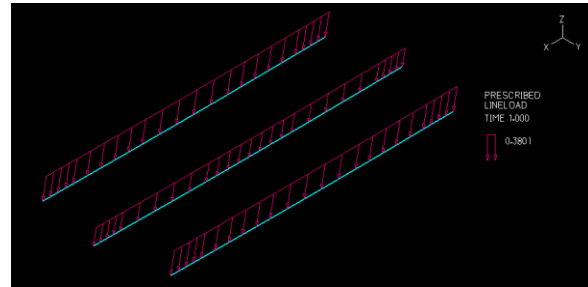
Εικόνα 4.111 : Φόρτιση δευτερευουσών δοκών



Εικόνα 4.112 : Φόρτιση τριτευουσών δοκών

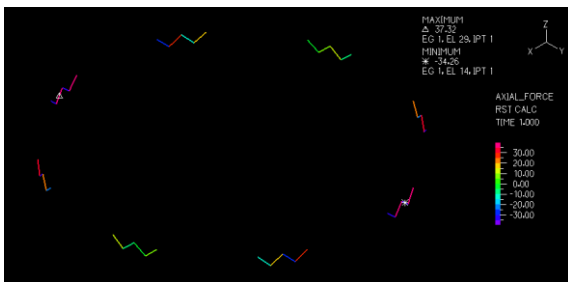


Εικόνα 4.113 : Φόρτιση περιφερειακών ελασμάτων

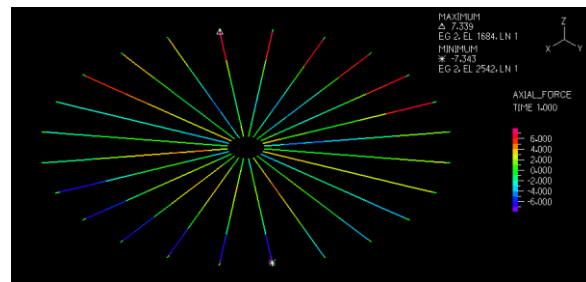


Εικόνα 4.114 : Φόρτιση εσχάρας

Παρουσιάζονται τα διαγράμματα αξονικών N δυνάμεων για όλα τα μέλη του φορέα.

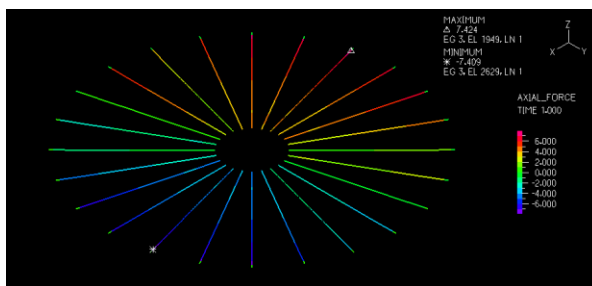


Εικόνα 4.115 : Διάγραμμα αξονικών δικτύωματος

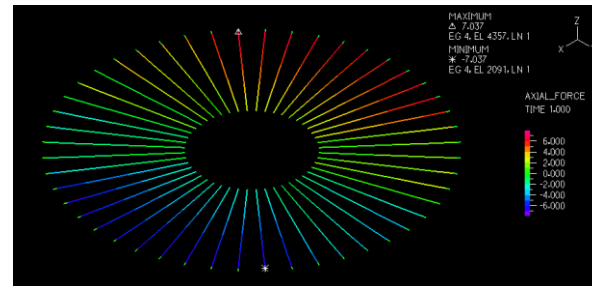


Εικόνα 4.116 : Διάγραμμα αξονικών πρωτευουσών δοκών

Για δικτύωμα είναι $N_{ed}=37.32\text{KN}$ και για πρωτεύουσες δοκούς $N_{ed}=7.34\text{KN}$. Στα δικτύωματα οι μέγιστες αξονικές αναπτύσσονται σε ράβδους που δε βρίσκονται πάνω στην ίδια ευθεία με τη διεύθυνση X (διεύθυνση σεισμού). Ενώ για τις πρωτεύουσες δοκούς οι μέγιστες αξονικές είναι κατά τη διεύθυνση X.



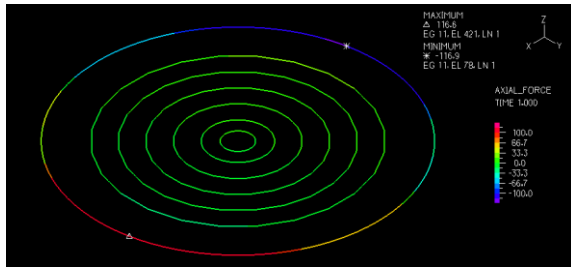
Εικόνα 4.117 : Διάγραμμα αξονικών δευτερευουσών δοκών



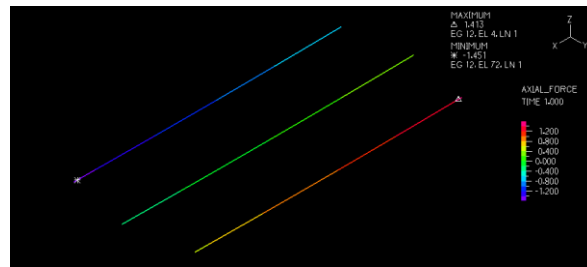
Εικόνα 4.118 : Διάγραμμα αξονικών τριτευουσών δοκών

Για δευτερεύουσες δοκούς είναι $N_{ed}=7.42\text{KN}$ και για τριτεύουσες δοκούς $N_{ed}=7.04\text{KN}$. Για τις δοκούς αυτές οι μέγιστες αξονικές είναι κατά τη διεύθυνση X. Στην αρχή τα δοκάρια εφελκύνονται, στη συνέχεια

αναπτύσσουν πολύ μικρές θλιπτικές ή εφελκυστικές αξονικές και στη συνέχεια θλίβονται λόγω του περιφερειακού ελάσματος που τις συγκρατεί.



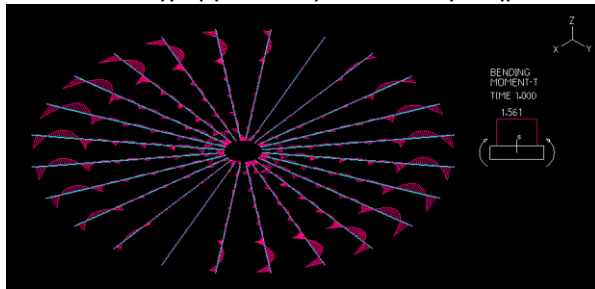
Εικόνα 4.119 : Διάγραμμα N εξωτερικών ελασμάτων



Εικόνα 4.120 : Διάγραμμα αξονικών εσχάρων

Η μέγιστη αξονική για περιφερειακά ελάσματα είναι στο εξωτερικό έλασμα με $N_{ed}=116.9\text{KN}$ και για εσχάρα $N_{ed}=1.45\text{KN}$. Οι μέγιστες αξονικές εμφανίζονται στον εξωτερικό κύκλο όπου στο μπλε κομμάτι του θλίβεται και στο κόκκινο εφελκύεται. Ενδιάμεσα οι δυνάμεις είναι μηδανιές. Στην εσχάρα σύμφωνα με τη διεύθυνση του σεισμού το μπλε δοκάρι θλίβεται το άλλο εφελκύεται και το ενδιάμεσο αναπτύσσει μηδενικές δυνάμεις,

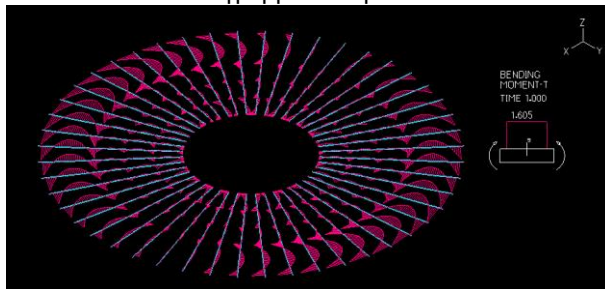
Από τα διαγράμματα αξονικών παρατηρείται ότι είναι ίδιου σχηματισμού με του σεισμού ΟΒΕ.



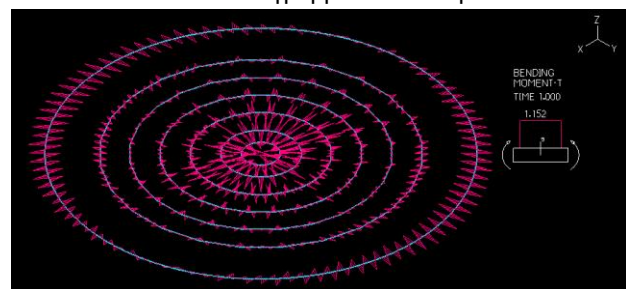
Εικόνα 4.121 : Διάγραμμα M_z πρωτεύουσών δοκών



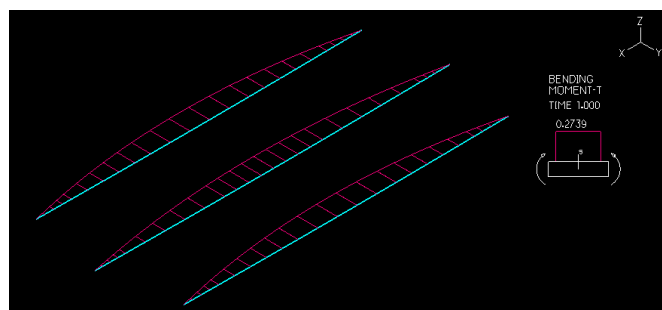
Εικόνα 4.122 : Διάγραμμα M_z δευτερευουσών δοκών



Εικόνα 4.123 : Διάγραμμα M_z τριτεύουσών δοκών



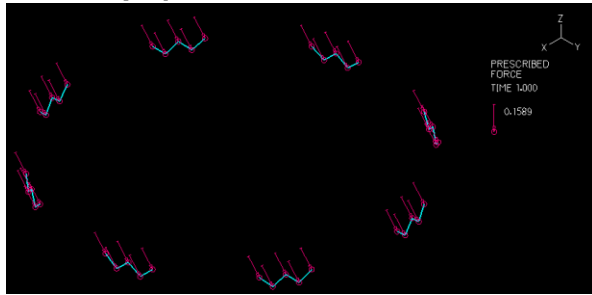
Εικόνα 4.124 : Διάγραμμα M_z εξωτερικών ελασμάτων



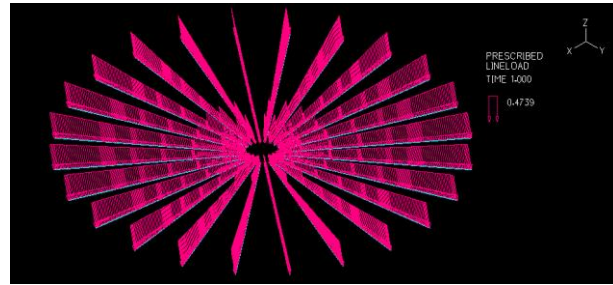
Εικόνα 4.125 : Διάγραμμα M_z εσχάρων

Τα διαγράμματα είναι παρόμοιας λογικής με αυτά του σεισμού ΟΒΕ με κύρια τη διεύθυνση Χ. Οι αντοχές καμπτικών ρομών ικανοποιούνται. Γενικά, προκύπτουν μέγιστες καμπτικές ροές Mz εκεί όπου υπάρχουν μικρές αξονικές. Εκεί που προκύπτουν μεγάλες ροές υπάρχουν και μεγάλες τέμνουσες.

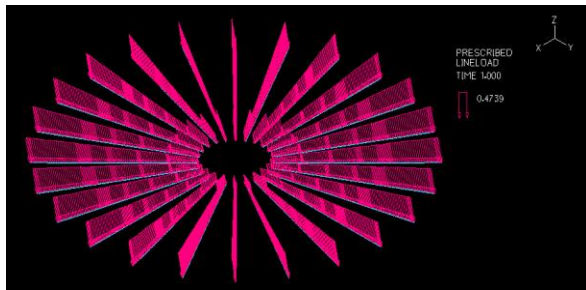
Συνδυασμός : $1*GK+0.4*AedX+1*AedY+0.4*AedZ$ (με κύριο σεισμό αυτόν της διεύθυνσης Y)



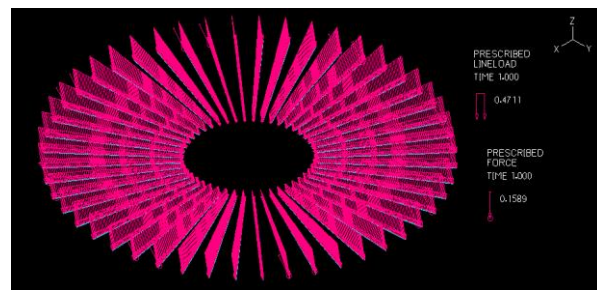
Εικόνα 4.126 : Φόρτιση δικτυωμάτων



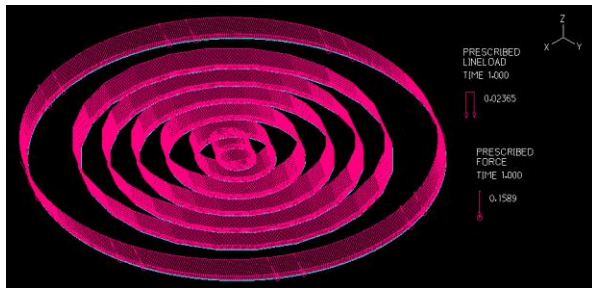
Εικόνα 4.127 : Φόρτιση πρωτεύουσών δοκών



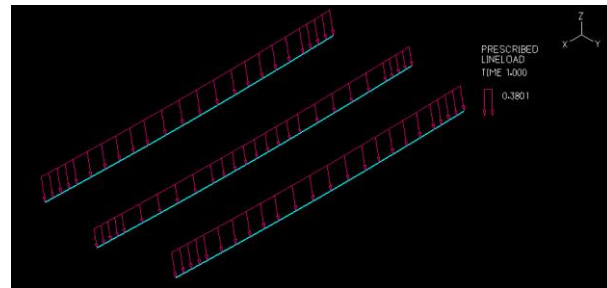
Εικόνα 4.128 : Φόρτιση δευτερευουσών δοκών



Εικόνα 4.129 : Φόρτιση τριτερευουσών δοκών

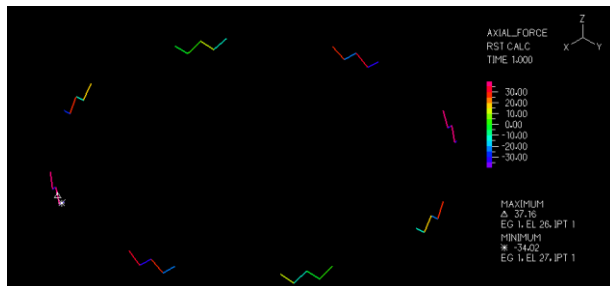


Εικόνα 4.130 : Φόρτιση περιφερειακών δοκών

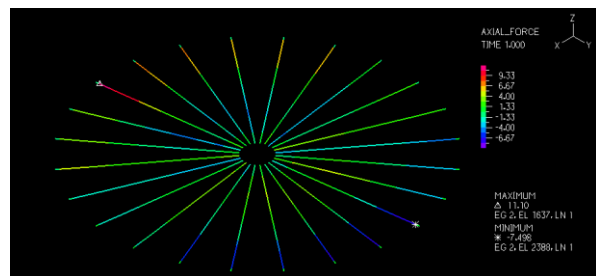


Εικόνα 4.131 : Φόρτιση εσχάρας

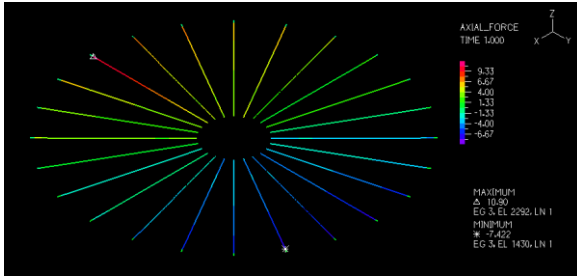
Παρατηρείται ότι οι φορτίσεις είναι ίδιας λογικής με του SSE για σεισμό με κύρια διεύθυνση τον Χ αλλά με άλλο προσανατολισμό μιας και έχει κύρια διεύθυνση τη Y.



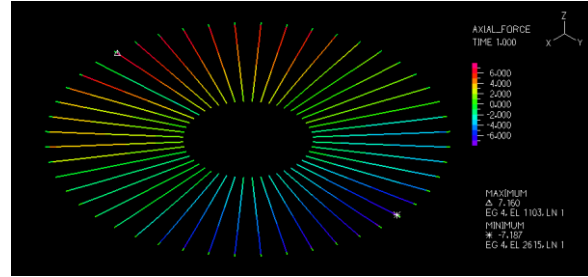
Εικόνα 4.132 : Διάγραμμα αξονικών δικτυώματος



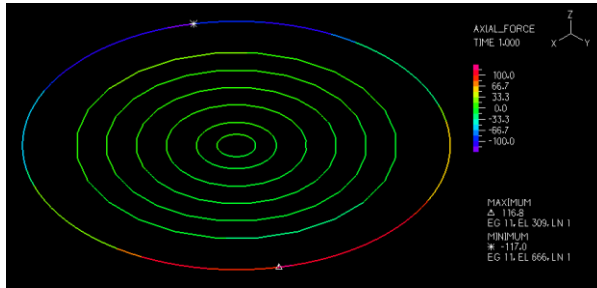
Εικόνα 4.133 : Διάγραμμα αξονικών πρωτεύουσών δοκών



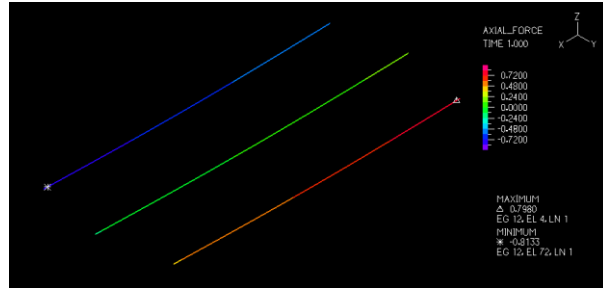
Εικόνα 4.134 : Διάγραμμα N δευτερευουσών δοκών



Εικόνα 4.135 : Διάγραμμα N τριτευουσών δοκών

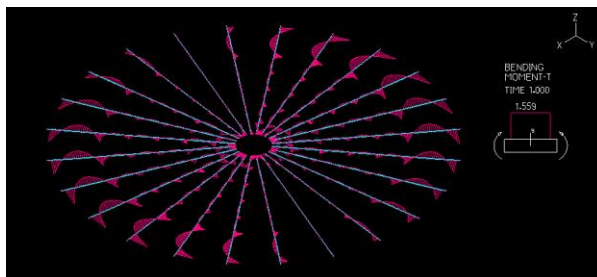


Εικόνα 4.136 : Διάγραμμα N εξωτερικών ελασμάτων

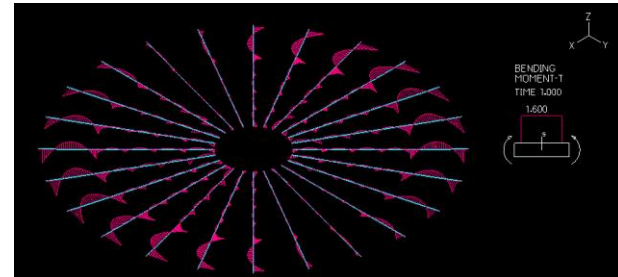


Εικόνα 4.137 : Διάγραμμα αξονικών εσχάρων

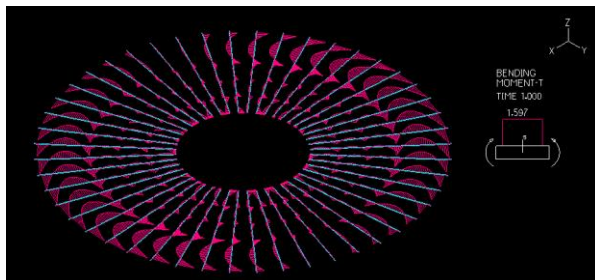
Σε σύγκριση με το σεισμό με κύρια διεύθυνση τη Χ παρατηρείται ότι οι αξονικές στις πρωτεύουσες και στις δευτερεύουσες δοκούς είναι πιο μεγάλες για σεισμό με κύριο τον άξονα Y απ' ό τι με το σεισμό με κύριο άξονα τον Χ. Όπως και στο σεισμό ΟΒΕ υπάρχει διαφορά των αξονικών αυτών των δοκών έτσι υπάρχει κι εδώ με την ίδια αναλογία. Για την εσχάρα εντοπίζονται διαφορές στα εντατικά μεγέθη που δεν ξαφνιάζουν μιας και είναι μονοσυμμετρική. Άρα για σεισμό με κύριο άξονα τον Y αναμένεται να έχει μεγαλύτερα εντατικά μεγέθη ως προς τον ασθενή άξονα, ενώ για σεισμό με κύρια διεύθυνση τον Χ μεγαλύτερη αξονική.



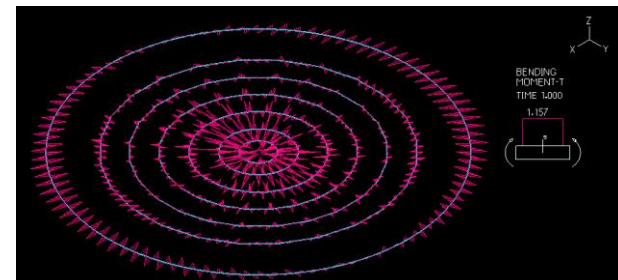
Εικόνα 4.138 : Διάγραμμα Mz πρωτευουσών δοκών



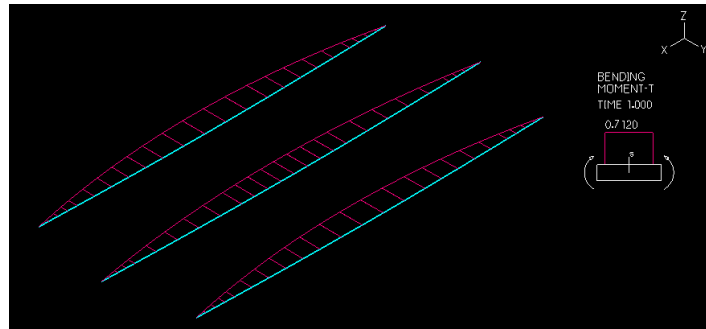
Εικόνα 4.139 : Διάγραμμα Mz δευτερευουσών δοκών



Εικόνα 4.140 : Διάγραμμα Mz τριτευουσών δοκών



Εικόνα 4.141 : Διάγραμμα Mz εξωτερικών ελασμάτων

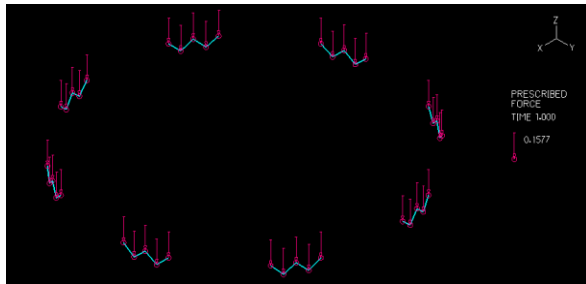


Εικόνα 4.142 : Διάγραμμα Mz εσχάρας

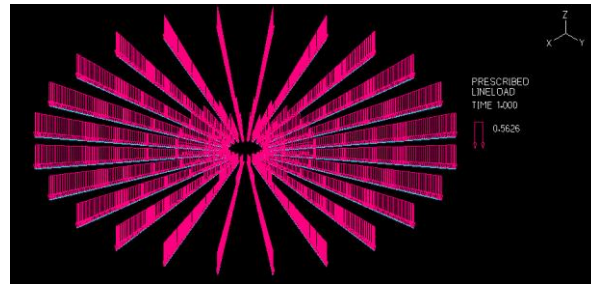
Κι εδώ παρατηρούμε ότι ικανοποιούνται οι έλεγχοι άρα δεν αλλάζουν οι διατομές. Οι τιμές των καμπτικών ροπών είναι ίδιες με του σεισμού Y με κύρια διεύθυνση τον άξονα X.

Συνδυασμός : $1*GK+0.4*AedX+0.4*AedY+1*AedZ$ (με κύριο σεισμό αυτόν της διεύθυνσης Z)

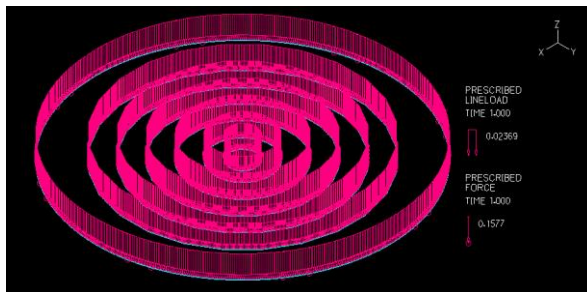
Αποτελεί τον ευμενέστερο από τους συνδυασμούς που προηγήθηκαν. Οι φορτίσεις στις δοκούς είναι εικονικά ίδιες με αυτές των ΟΚΑ και ΟΚΛ. Πασουσιάζονται ενδεικτικά.



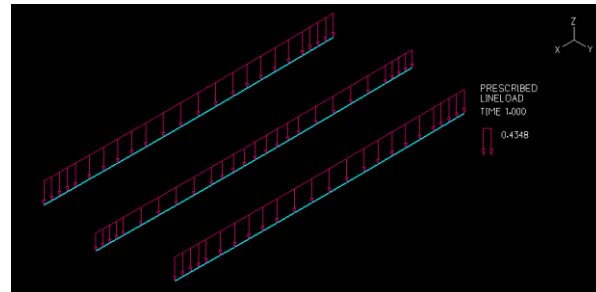
Εικόνα 4.143 : Φόρτιση δικτυωμάτων



Εικόνα 4.144 : Φόρτιση πρωτευουσών δοκών

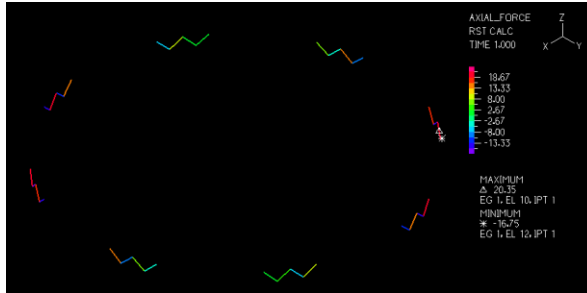


Εικόνα 4.145 : Φόρτιση βοηθητικών περιφερειακών ελασμάτων

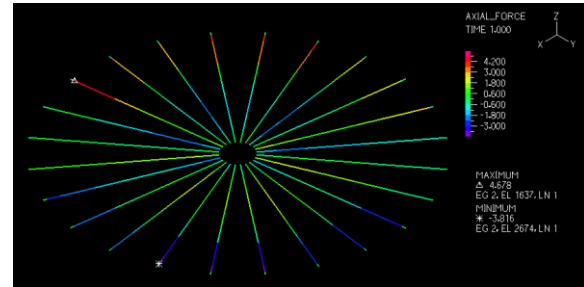


Εικόνα 4.146 : Φόρτιση εσχάρας

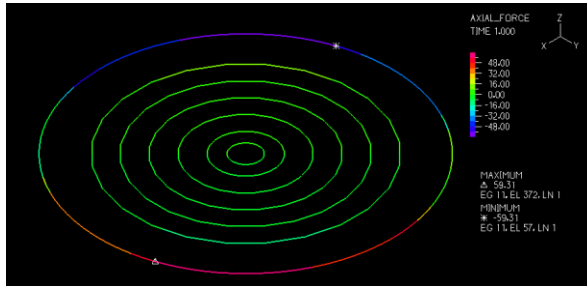
Η φόρτιση είναι ίδιας λογικής με το σεισμό ΟΒΕ με κύρια τη διεύθυνση Z. Τα φορτία φαίνονται κατακόρυφα αλλά έχουν και μια κλίση κατά X και Y χωρίς να γίνεται ορατή.



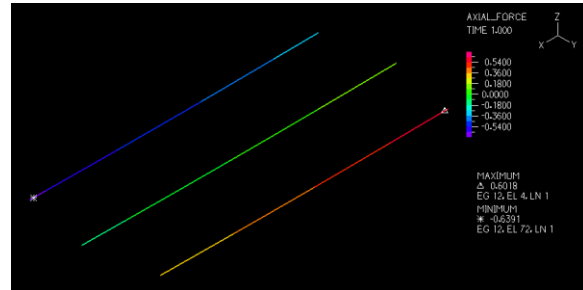
Εικόνα 4.147 : Διάγραμμα N δικτυωμάτων



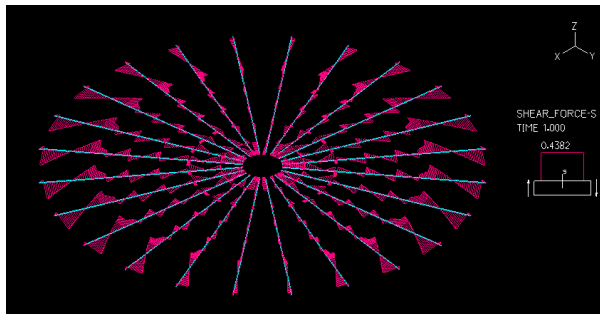
Εικόνα 4.148 : Διάγραμμα N πρωτεύουσών δοκών



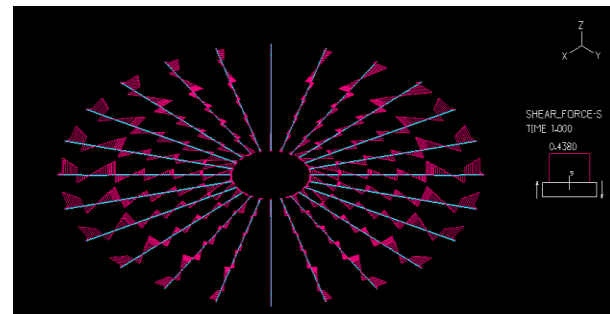
Εικόνα 4.149 : Διάγραμμα N περιφερειακών ελασμάτων



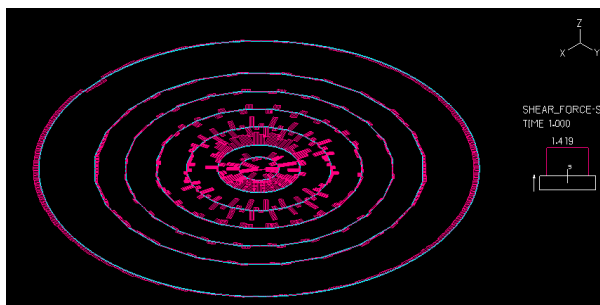
Εικόνα 4.150 : Διάγραμμα N εσχάρas



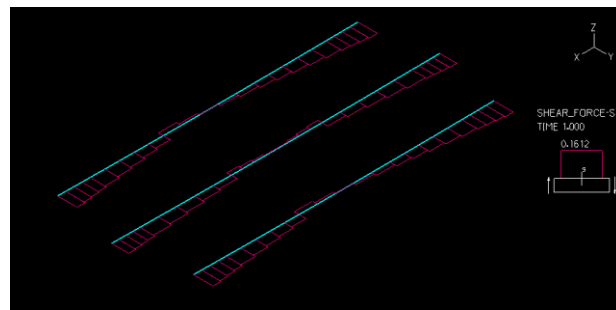
Εικόνα 4.151 : Διάγραμμα Qy πρωτεύουσών δοκών



Εικόνα 4.152 : Διάγραμμα Qy δευτερευουσών δοκών



Εικόνα 4.153 : Διάγραμμα Qy περιφερειακών ελασμάτων



Εικόνα 4.154 : Διάγραμμα Qy εσχάρas

Συμπερασματικά, χωρίς τη προσθήκη φασματικής ανάλυσης, υπάρχει επάρκεια διατομών και από τους δύο σεισμούς, άρα χρησιμοποιούνται οι διατομές που προέκυψαν από τον έλεγχο ΟΚΑ με ομοιόμορφο φορτίο 0.5ΚΡα και μια ράβδος ανενεργή.

4.4.3 Σεισμός με Φασματική Ανάλυση

Για το φορέα του αναρτώμενου καταστρώματος εφαρμόστηκε φασματική ανάλυση για τον σεισμό ΟΒΕ και τον SSE και για τις 3 διευθύνσεις (X, Y, Z). Ο συνδυασμός των ιδιομορφικών αποκρίσεων έγινε με τη μέθοδο CQC όπου εφαρμόζεται γενικά και χρησιμοποιείται σε όλες τις περιπτώσεις ακόμα και όταν οι ιδιομορφές είναι ανεξάρτητες και απαιτούνται ακριβέστερες μέθοδοι συνδυασμού τους. Η μέθοδος CQC λέγεται και αλλιώς πλήρης τετραγωνικός συνδυασμός (Complete Quadratic Combination). Σύμφωνα με τον αντισεισμικό κανονισμό για τον υπολογισμό της μέγιστης έντασης χρησιμοποιούνται φάσματα σχεδιασμού αυτά δηλαδή που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Για κάθε διεύθυνση σεισμικής δράσης γίνεται ξεχωριστή ανάλυση. Αφού γίνει η ιδιομορφική ανάλυση για κάθε διεύθυνση σεισμού, τα τελικά εντατικά μεγέθη που λαμβάνονται υπόψιν στο σχεδιασμό της κατασκευής προκύπτουν από τους ακόλουθους τύπους.

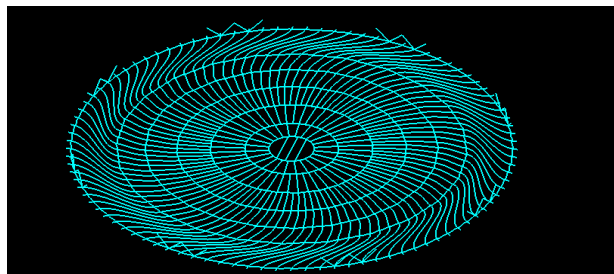
$$exE = \pm \sqrt{(exE^{(x)})^2 + (exE^{(y)})^2 + (exE^{(z)})^2} \quad (4.34)$$

$$exE = \pm exE^{(x)} \pm 0.30 * exE^{(y)} \pm 0.30 * exE^{(z)} \quad (4.35)$$

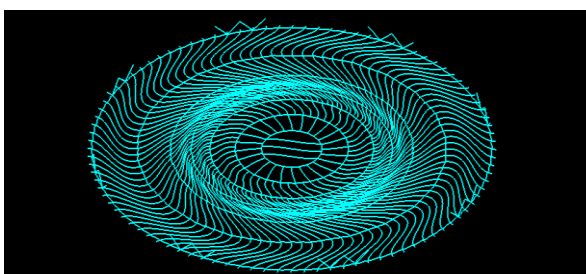
$$exE = \pm 0.30 * exE^{(x)} \pm exE^{(y)} \pm 0.30 * exE^{(z)} \quad (4.36)$$

$$exE = \pm 0.30 * exE^{(x)} \pm 0.30 * exE^{(y)} \pm exE^{(z)} \quad (4.37)$$

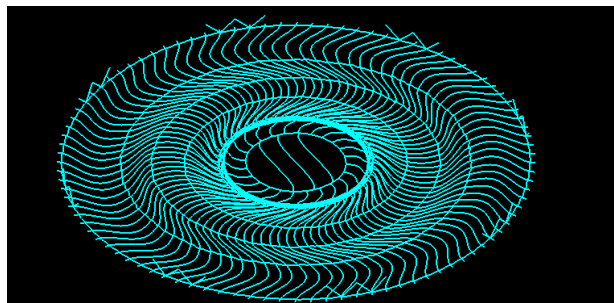
Γενικά, από το 2^ο τύπο χρησιμοποιείται ο δυσμενέστερος συνδυασμός, αλλά στη μελέτη αφού χρησιμοποιήθηκαν αποτελέσματα κατά τη στατική φόρτιση με κύριο σεισμό διαφορετικής διεύθυνσης κάθε φορά, έτσι γίνεται και κατά τη φασματική ανάλυση. Η απόσβεση που χρησιμοποιήθηκε είναι 3% για κάθε διεύθυνση σεισμού (X, Y, Z). Για τη φασματική ανάλυση, χρησιμοποιήθηκαν οι 90 πρώτες ιδιομορφές καθώς σε εκείνον τον αριθμό περίπου το άθροισμα των ιδιομορφικών μαζών συμπληρώνει τουλάχιστον το 90% της συνολικής μάζας κατά τη διεύθυνση X και Y. Είναι γενικά λίγο δύσκολο το άθροισμα των ιδιομορφικών μαζών να συμπληρώνει το 90% της συνολικής μάζας κατά την κατακόρυφη διεύθυνση Z γι' αυτό και αμελήθηκε αυτό το κριτήριο λαμβάνοντας τον όμως υπόψιν. Η πρώτη ιδιοσυχνότητα με ιδιοπερίοδο που χρησιμοποιήθηκαν είναι $f_1=0.3925\text{Hz}$ και $T_1=2.548\text{sec}$ και η τελευταία είναι $f_{90}=2.85\text{Hz}$ με $T_{90}=0.35\text{sec}$. Θα γινόταν να ληφθούν λιγότερες ιδιομορφές πχ 8, διότι το 90% της ιδιομορφικής μάζας συμπληρώνεται στην 7^η ιδιομορφή για σεισμό κατά X και για σεισμό κατά Y το 90% της ιδιομορφικής μάζας συμπληρώνεται στην 8^η ιδιομορφή. Πιο συγκεκριμένα, συμπληρώνεται το 99% της ιδιομορφικής μάζας στην 7^η ιδιομορφή για σεισμό κατά X και το 92.7% στην 8^η ιδιομορφή για σεισμό κατά Y. Τα φάσματα απόκρισης που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρθηκαν παραπάνω για σεισμό ΟΒΕ και SSE σε κάθε διεύθυνση. Κάποιες από τις πιο αξιοσημείωτες ιδιομορφές που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω:



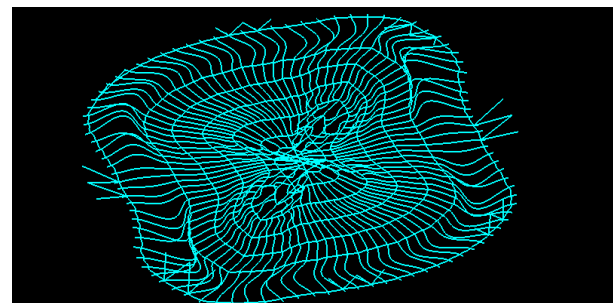
Εικόνα 4.155 : 1^η ιδιομορφή ταλάντωσης



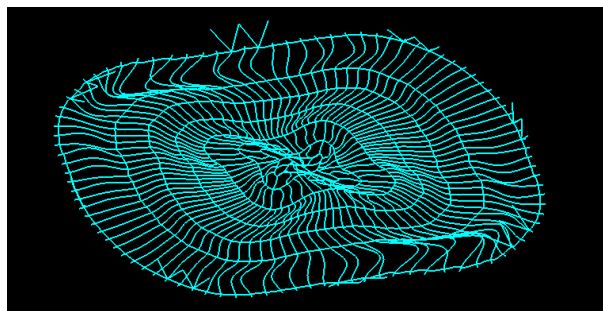
Εικόνα 4.156 : 5^η ιδιομορφή ταλάντωσης



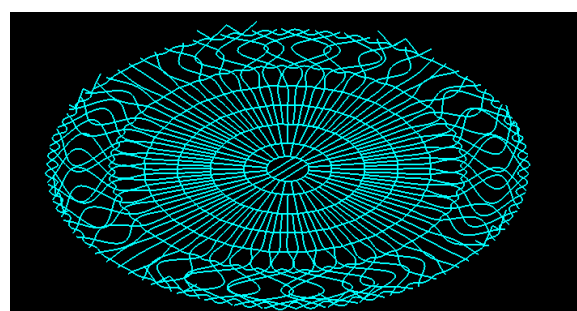
Εικόνα 4.157 : 6^η ιδιομορφή ταλάντωσης



Εικόνα 4.158 : 9^η ιδιομορφή ταλάντωσης



Εικόνα 4.159 : 10^η ιδιομορφή ταλάντωσης



Εικόνα 4.160 : 15^η ιδιομορφή ταλάντωσης

Αναφέρεται ότι από την 15^η μέχρι και την 90^η οι ιδιομορφές έχουν ίδια παραμόρφωση περίπου. Γι' αυτό και παραλείπονται.

4.4.3.1 Σεισμός ΟΒΕ

Όπως προαναφέρθηκε, η φασματική ανάλυση θα έχει περίπου ίσα αποτελέσματα με τη στατική ανάλυση αν η ιδιομορφή που χρησιμοποιηθεί για τη στατική συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ποσοστό ιδιομορφικής μάζας σε σχέση με τις υπόλοιπες ιδιομορφές. Αυτό θα σημαίνει αυτή η ιδιομορφή θα είναι κυρίαρχη και θα συγκλίνουν τα αποτελέσματα. Από τη φασματική ανάλυση προκύπτει ότι η πρώτη ιδιομορφή με ιδιοπερίοδο $T_1=2.548\text{sec}$ συμμετέχει στο 0% δηλαδή καλύπτει το 0% της συνολικής μάζας άρα δεν έχει συμμετοχή στη σεισμική απόκριση. Από αυτό συμπεραίνεται ότι τα αποτελέσματα της φασματικής ανάλυσης θα διαφέρουν από αυτά της ισοδύναμης στατικής αν ληφθεί υπόψιν η πρώτη ιδιομορφή. Για σεισμό κατά Χ η 7^η ιδιομορφή καλύπτει το 90% ενώ για κατά Υ η 8^η ιδιομορφή. Για σεισμό κατά Χ η κυρίαρχη ιδιομορφή είναι η 7^η με ιδιοπερίοδο $T_7=0.5\text{sec}$ και οριζόντια επιτάχυνση $a=3.72\text{m/s}^2$ και κατακόρυφη $a=2.17\text{m/s}^2$, ενώ για σεισμό κατά Υ η κυρίαρχη ιδιομορφή είναι η 8^η με ιδιοπερίοδο $T_8=0.49\text{sec}$ οριζόντια επιτάχυνση $a=2.89\text{m/s}^2$ και κατακόρυφη $a=3.72\text{m/s}^2$. Συνεπώς για σεισμό με συνιστώσες Χ, Υ, Ζ χρησιμοποιήθηκε η 8^η ιδιομορφή. Για την οριζόντια διεύθυνση είναι $a=2.95\text{m/s}^2$ και για την κατακόρυφη $a=2.24\text{m/s}^2$.

Πίνακας 4.18 : Σύγκριση αξονικών δυνάμεων αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων για σεισμό ΟΒΕ με κύρια τη διεύθυνση κατά Χ

Ισοδύναμη στατική ανάλυση	Φασματική ανάλυση
Primary rafter	Primary rafter
6.27	7.40
Secondary rafter	Secondary rafter
6.33	7.31
Circumferencial 7	Circumferencial 7
99.78	101.82
Vertical bracing	Vertical bracing

32	26.86
----	-------

Πίνακας 4.19 : Σύγκριση αποτελεσμάτων αξονικών δυνάμεων των δύο μεθόδων για σεισμό OBE με κύρια τη διεύθυνση κατά Y

Ισοδύναμη στατική ανάλυση	Φασματική ανάλυση
Primary rafter	Primary rafter
9.47	8.7
Secondary rafter	Secondary rafter
9.3	8.62
Circumferencial 7	Circumferencial 7
99.95	101.68
Vertical bracing	Vertical bracing
31.86	28.09

Από το σεισμό OBE για κάθε συνδυασμό ικανοποιούνταν οι έλεγχοι των διατομών και διατηρήθηκαν αυτές που προϋπήρχαν. Δυσμενέστεροι έλεγχοι ήταν για κύριο σεισμό σε κατά τη διεύθυνση X και Y. Προκύπτουν παρόμοια αποτελέσματα για τις 2 διευθύνσεις όπως και θα έπρεπε καθώς ο φορέας είναι συμμετρικός. Μόνο η εσχάρα στο κέντρο του φορέα δεν είναι συμμετρική γι αυτό και τα αποτελέσματα της έχουν αποκλίσεις για κάθε διεύθυνση. Κατά τη διεύθυνση Y προκύπτει μεγάλη τέμνουσα και καμπτική ροπή κατά τον ασθενή άξονα (Qy, Mz) για την εσχάρα καθώς και μεγαλύτερη αξονική για τις πρωτεύουσες και δευτερεύουσες δοκούς σε σύγκριση με το σεισμό με κύρια διεύθυνση τη X. Αυτό εντοπίζεται και για τις 2 αναλύσεις.

4.4.3.2 Σεισμός SSE με Φασματική Ανάλυση

Όπως προαναφέρθηκε, η φασματική ανάλυση θα έχει περίπου ίσα αποτελέσματα με τη στατική ανάλυση αν η ιδιομορφή που χρησιμοποιηθεί για τη στατική συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ποσοστό ιδιομορφικής μάζας σε σχέση με τις υπόλοιπες ιδιομορφές. Αυτό θα σημαίνει αυτή η ιδιομορφή θα είναι κυρίαρχη και θα συγκλίνουν τα αποτελέσματα. Από τη φασματική ανάλυση προκύπτει ότι η πρώτη ιδιομορφή με ιδιοπερίοδο $T_1=2.548\text{sec}$ συμμετέχει στο 0% δηλαδή καλύπτει το 0% της συνολικής μάζας άρα δεν έχει συμμετοχή στη σεισμική απόκριση. Από αυτό συμπεραίνεται ότι τα αποτελέσματα της φασματικής ανάλυσης θα διαφέρουν από αυτά της ισοδύναμης στατικής αν ληφθεί υπόψιν η πρώτη ιδιομορφή. Για σεισμό κατά X η 7^η ιδιομορφή καλύπτει το 90% ενώ για κατά Y η 8^η ιδιομορφή. Για σεισμό κατά X η κυρίαρχη ιδιομορφή είναι η 7^η με ιδιοπερίοδο $T_7=0.5\text{sec}$ και οριζόντια επιτάχυνση $a=3.7\text{m/s}^2$ και κατακόρυφη $a=3.68\text{ m/s}^2$, ενώ για σεισμό κατά Y η κυρίαρχη ιδιομορφή είναι η 8^η με ιδιοπερίοδο $T_8=0.49\text{sec}$ και οριζόντια επιτάχυνση $a=3.7\text{m/s}^2$ και κατακόρυφη $a=3.68\text{m/s}^2$. Συνεπώς για σεισμό με συνιστώσες X, Y, Z χρησιμοποιήθηκε η 8^η ιδιομορφή. Για οριζόντια διεύθυνση είναι $a=3.66\text{m/s}^2$ και για κατακόρυφη $a=3.77\text{m/s}^2$.

Πίνακας 4.20 : Σύγκριση αποτελεσμάτων αξονικών δυνάμεων των δύο μεθόδων για σεισμό SSE με κύρια τη διεύθυνση κατά X

Ισοδύναμη στατική ανάλυση	Φασματική ανάλυση
Primary rafter	Primary rafter
7.34	9.02
Secondary rafter	Secondary rafter
7.42	8.94
Circumferencial 7	Circumferencial 7
116.9	124.99
Vertical bracing	Vertical bracing
37.32	32.81

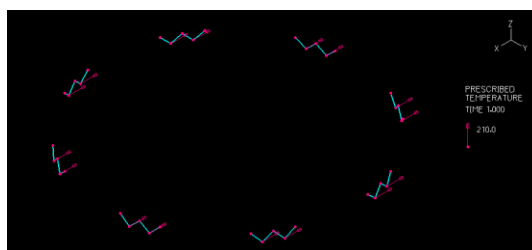
Πίνακας 4.21 : Σύγκριση αποτελεσμάτων αξονικών δυνάμεων των δύο μεθόδων για σεισμό SSE με κύρια τη διεύθυνση κατά Y

Ισοδύναμη στατική ανάλυση	Φασματική ανάλυση
Primary rafter	Primary rafter
11.1	10.38
Secondary rafter	Secondary rafter
10.9	10.30
Circumferencial 7	Circumferencial 7
117	121.9
Vertical bracing	Vertical bracing
37.16	33.57

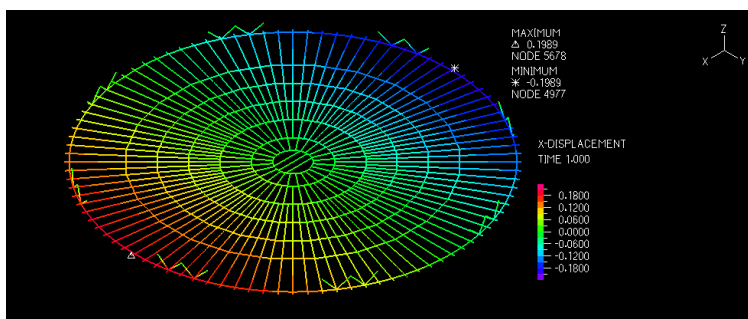
Για το σεισμό SSE ενώ ικανοποιούνται οι έλεγχοι για όλα τα συμμετρικά τμήματα του φορέα, στο τμήμα της εσχάρας που είναι μη συμμετρικό ως προς και τους 2 άξονες, η δρώσα ροπή κατά τον ασθενή άξονα ξεπερνούσε τις αντοχές της υπάρχουσας διατομής (100*100*10). Έτσι η διατομή της εσχάρας άλλαξε σε διατομή ταυ με πλάτος 0.12m πάχος πέλματος 0.011m , ύψος διατομής 0.1m και πάχος κορμού 0.1m. Συνεπώς εδώ δυσμενέστερος είναι ο έλεγχος ροπής αντοχής σε συνδυασμό με τον έλεγχο τάσεων.

4.5 Υπολογισμός Μετατοπίσεων λόγω Θερμοκρασιακής Μεταβολής

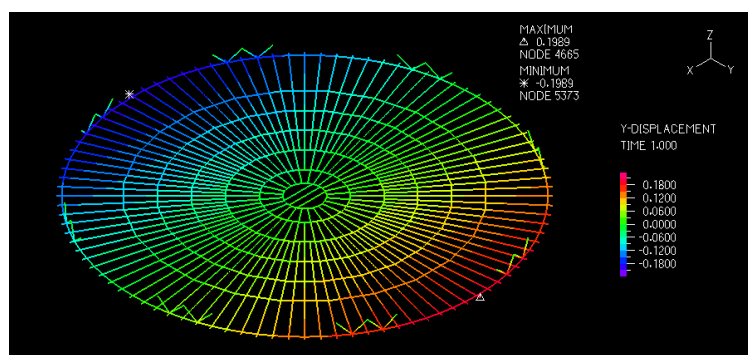
Σύμφωνα με τους κανονισμούς η μέγιστη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης είναι 40 °C. Όμως η θερμοκρασία λειτουργίας της δεξαμενής είναι -170 °C λόγω αποθήκευσης και συντήρησης του ΥΦΑ. Άρα το κατάστρωμα υποβάλλεται σε μια διαφορά θερμοκρασίας $\Delta T = 40 \text{ }^\circ\text{C} - (-170 \text{ }^\circ\text{C}) = 210 \text{ }^\circ\text{C}$. Αυτή η θερμοκρασιακή μεταβολή δηλαδή η μείωση θερμοκρασίας θα προκαλέσει τη συστολή του καταστρώματος (με ΔT που εφαρμόζεται στο top and bottom μιας και όλη η διατομή υφίσταται αυτή την αλλαγή). Στα κατακόρυφα στοιχεία σχήματος W δεν λήφθηκε υπόψιν αυτή η διαφορά θερμοκρασίας αφού σύμφωνα με τους κανονισμούς τα κατακόρυφα αυτά στοιχεία παρουσιάζουν κάποια μικρή αξονική δύναμη λόγω της συστολής του καταστρώματος και όχι λόγω του ότι λαμβάνουν κι αυτά θερμοκρασιακή μεταβολή (ΔT). Εξάλλου, η χαμηλότερη ποιότητα ανοξείδωτου χάλυβα έχει αντοχή από θερμοκρασία περιβάλλοντος μέχρι και 300 °C. Εδώ η μέγιστη θερμοκρασιακή μεταβολή είναι 210 °C, που σημαίνει ότι δεν φτάνει στο όριο διαρροής (f_y), αλλά παραμένει στην ελαστική περιοχή. Ακόμη, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της δεξαμενής, πάνω από το κατάστρωμα πέφτει το πάπλωμα της μόνωσης γεγονός που σημαίνει ότι τα κατακόρυφα αυτά στοιχεία εκτίθενται στο ΔT μόνο εκεί που εφάπντονται στο κατάστρωμα. Το υπόλοιπο τμήμα τους βρίσκεται μέσα στη μόνωση.



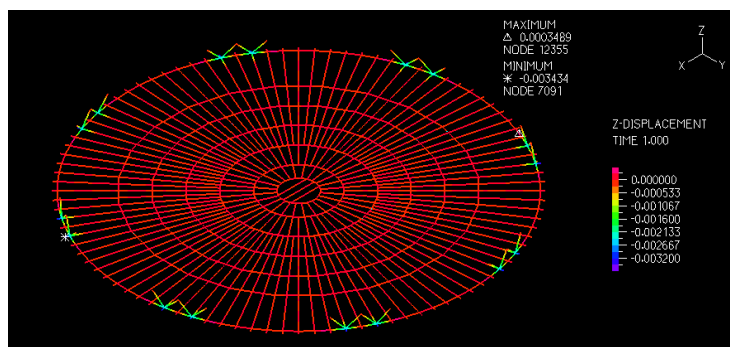
Εικόνα 4.161 : Η θερμοκρασιακή μεταβολή στα δικτυώματα



Εικόνα 4.162 : Μετατοπίσεις κατά X λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής – μέγιστη μετατόπιση στο άκρο του φορέα



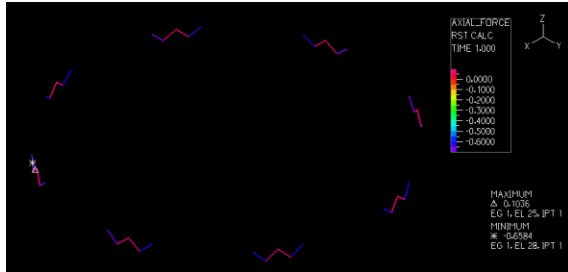
Εικόνα 4.163 : Μετατοπίσεις κατά Y λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής – μέγιστη μετατόπιση στο άκρο του φορέα



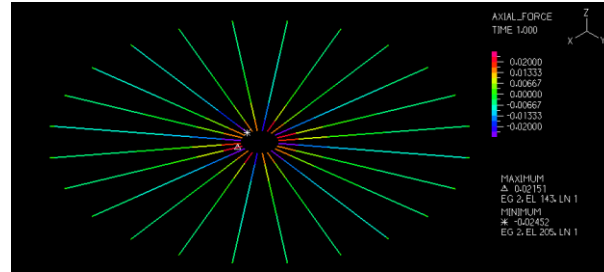
Εικόνα 4.164 : Μετατοπίσεις κατά Z λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής – μέγιστη μετατόπιση στο άκρο του φορέα

Παρατηρείται ότι η μέγιστη μετατόπιση παρουσιάζεται στο άκρο A του φορέα που είχε αναφερθεί και παραπάνω. Η μέγιστη μετατόπιση κατά τη διεύθυνση X εντοπίστηκε στο άκρο τριτεύοντος δοκαριού (tertiary rafter) ενώ η μέγιστη μετατόπιση κατά τη διεύθυνση Y εντοπίστηκε σε άκρο δευτεύουσας δοκού (secondary rafter). Για κατακόρυφη μετατόπιση δεν υπάρχουν ιδιαίτερες τιμές. Προέκυψε μέγιστη μετατόπιση στο άκρο τριτεύοντος δοκαριού καθώς και σε σημείο περιφερειακά του φορέα. Η μετατόπιση προς τη διεύθυνση X και Y είναι ίδια (-0.199m) ενώ για Z είναι -0.0034m.

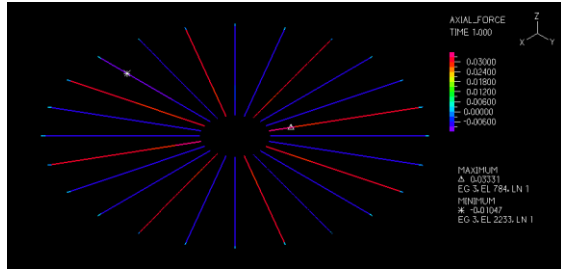
Η θερμοκρασία δε λήφθηκε υπόψιν στους συνδυασμούς ΟΚΑ, ΟΚΛ καθώς και στους σεισμικούς αφού το αναφέρουν οι κανονισμοί. Έγινε και μελέτη επ' αυτού και διαπιστώθηκε ότι όντως τα εντατικά μεγέθη που προσφέρει είναι μηδαμινά. Στη μελέτη έγινε εστίαση στα μέλη του καταστρώματος που καταλαμβάνουν τη μάζα και όχι στα στοιχεία δικτυώματος.



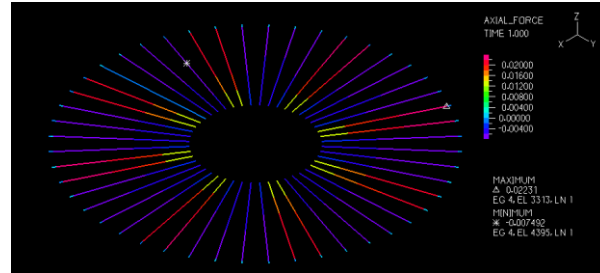
Εικόνα 4.165 : Διάγραμμα αξονικών δικτυωμάτων



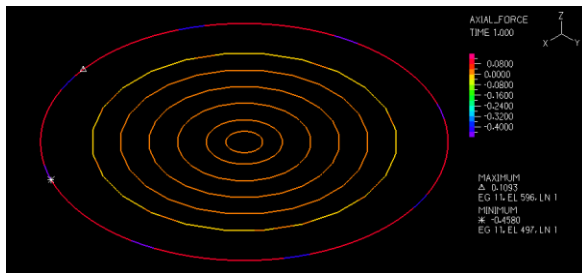
Εικόνα 4.166 : Διάγραμμα αξονικών πρωτεύουσών δοκών



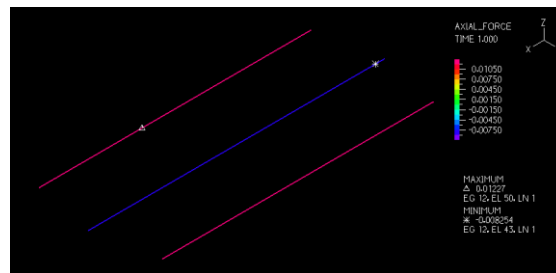
Εικόνα 4.167 : Διάγραμμα N δευτερευουσών δοκών



Εικόνα 4.168 : Διάγραμμα N τριτευσουσών δοκών

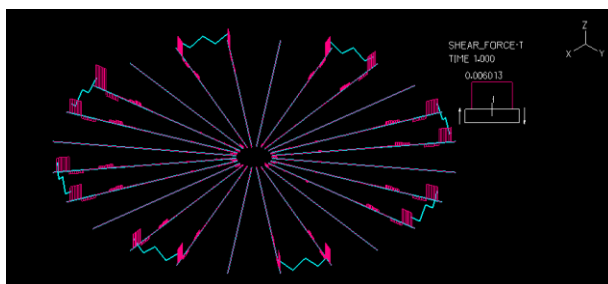


Εικόνα 4.169 : Διάγραμμα N περιφερειακών ελασμάτων

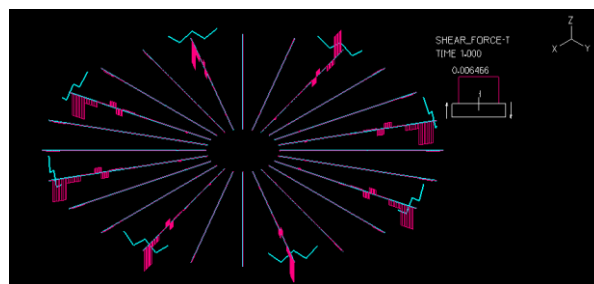


Εικόνα 4.170 : Διάγραμμα αξονικών εσχάρas

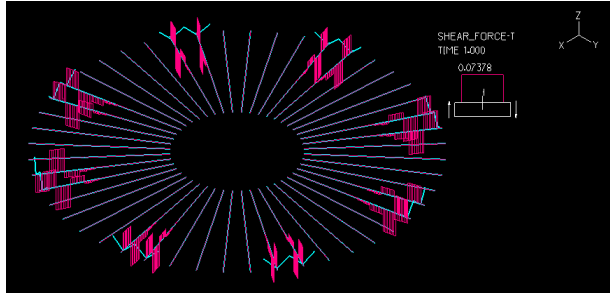
Παρατηρείται ότι τα δικτυώματα κατά κόρον θλίβονται και είναι λογικό καθώς το κατάστρωμα συστέλλεται και τα δικτυώματα προσπαθούν να το επαναφέρουν στη θέση του. Τα πρωτεύοντα δοκάρια κι αυτά στο μεγαλύτερο μέρος τους θλίβονται, στα δευτερεύοντα και τριτεύοντα ορισμένα δοκάρια θλίβονται και ορισμένα εφελκύνονται (στα δευτεύοντα ανά 2 θλίβονται ενώ στα τριτεύοντα εφελκύνονται όσα εφάπτονται με τα δικτυώματα), τα περιφερειακά ελάσματα εφελκύνονται όλα εκτός από το 6^ο και το 7^ο που η θλίψη και ο εφελκυσμός συνυπάρχουν και στην εσχάρα το μεσαίο δοκάρι θλίβεται και τα 2 ακραία εφελκύνονται.



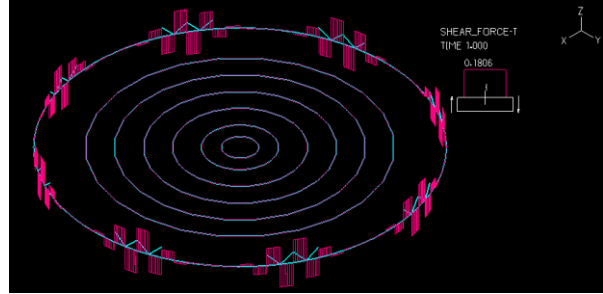
Εικόνα 4.171 : Διάγραμμα Qz πρωτεύουσών δοκών



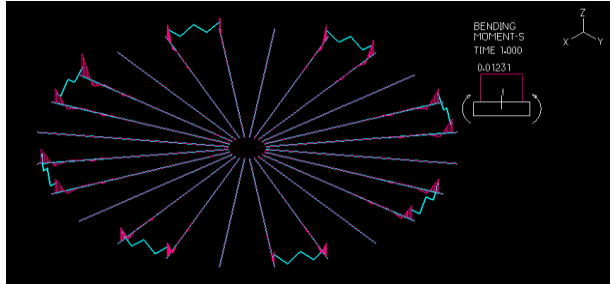
Εικόνα 4.172 : Διάγραμμα Qz δευτερευουσών δοκών



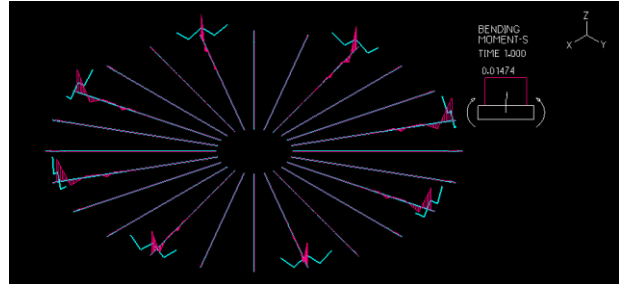
Εικόνα 4.173 : Διάγραμμα Qz τριτευσουσών δοκών



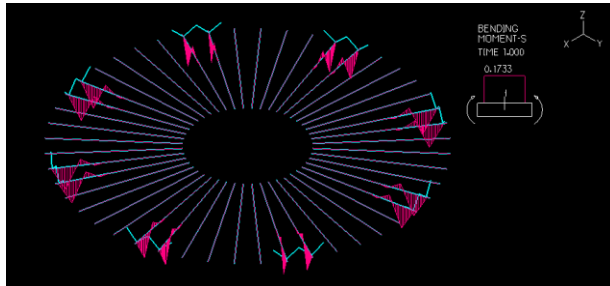
Εικόνα 4.174 : Διάγραμμα Qz περιφερειακών ελασμάτων



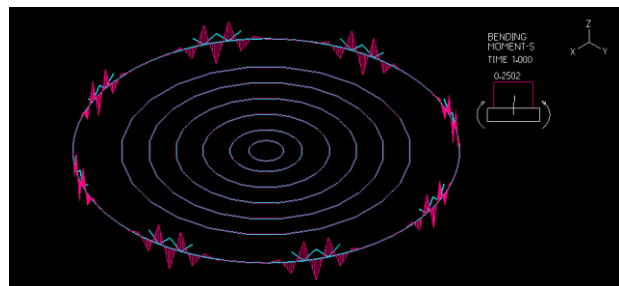
Εικόνα 4.175 : Διάγραμμα My πρωτευσουσών δοκών



Εικόνα 4.176 : Διάγραμμα My δευτερευουσών δοκών

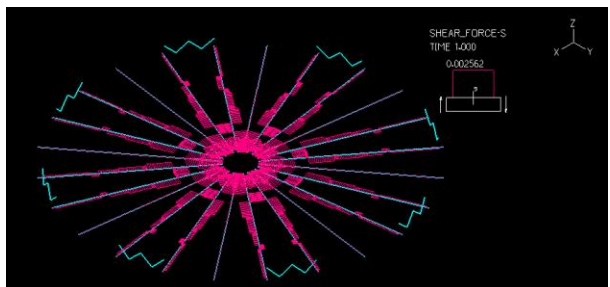


Εικόνα 4.177 : Διάγραμμα My τριτευσουσών δοκών

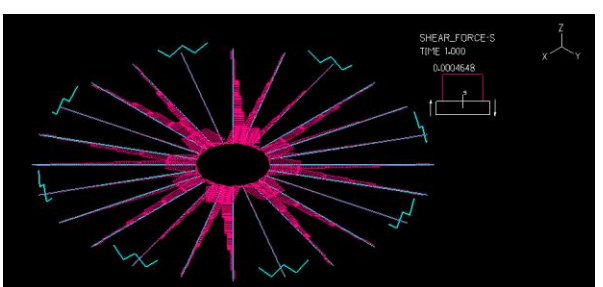


Εικόνα 4.178 : Διάγραμμα My περιφερειακών ελασμάτων

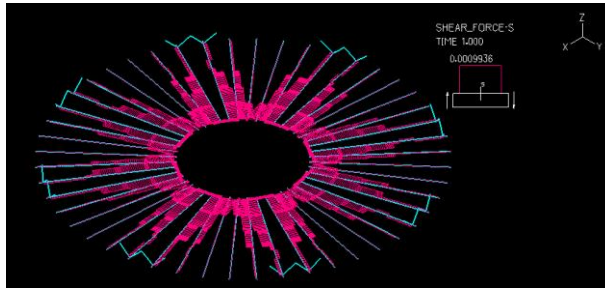
Παρατηρείται ότι τα μέγιστα εντατικά μεγέθη στα διαγράμματα είναι στα άκρα των δοκών (τέμνουσες και κατ' επέκταση ροπές). Στα περιφερειακά δοκάρια συγκεντρώνονται στα δικτυώματα και στα υπόλοιπα δοκάρια (πρωτεύοντα, δευτερεύοντα, τριτεύοντα) κοντά στα δικτυώματα. Άλλωστε, στα άκρα των δοκών (σημείο A) προκύπτουν οι μέγιστες μετατοπίσεις στις διευθύνσεις X και Y άρα και εκεί θα αναπτύσσονται τα μέγιστα εντατικά μεγέθη. Για την εσχάρα είναι μηδενική η ροπή κάμψης κατά τον ισχυρό άξονα.



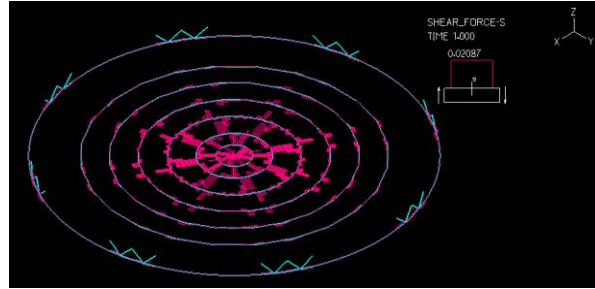
Εικόνα 4.179 : Διάγραμμα Qy πρωτευσουσών δοκών



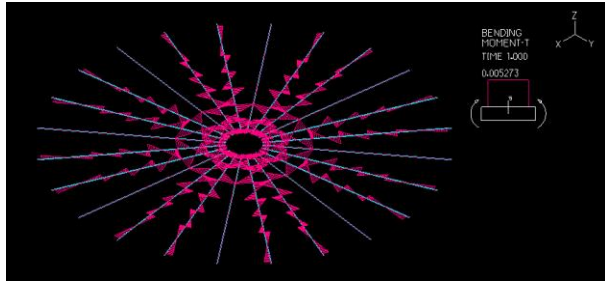
Εικόνα 4.180 : Διάγραμμα Qy δευτερευουσών δοκών



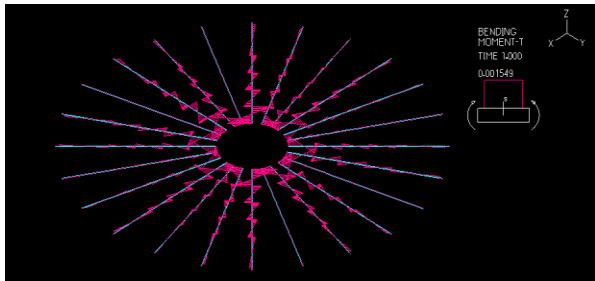
Εικόνα 4.181 : Διάγραμμα Q_y τριτευσών δοκών



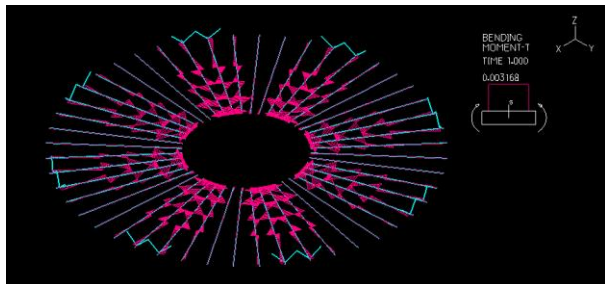
Εικόνα 4.182 : Διάγραμμα Q_y περιφερειακών ελασμάτων



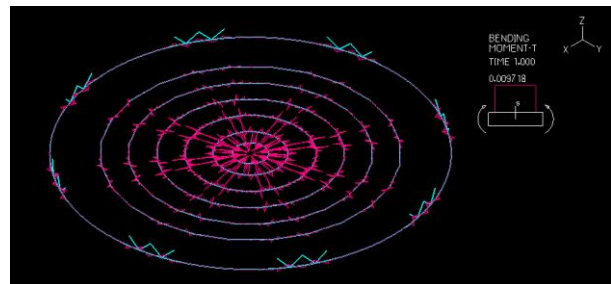
Εικόνα 4.183 : Διάγραμμα M_z πρωτεύουσών δοκών



Εικόνα 4.184 : Διάγραμμα M_z δευτερευουσών δοκών

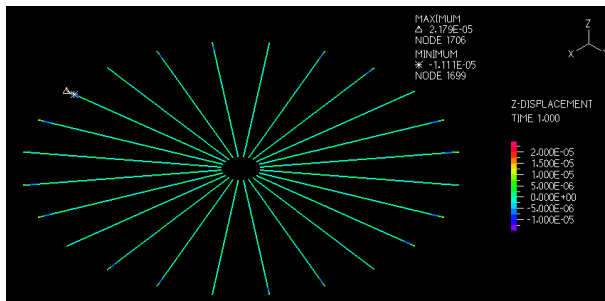


Εικόνα 4.185 : Διάγραμμα M_z τριτευσών δοκών

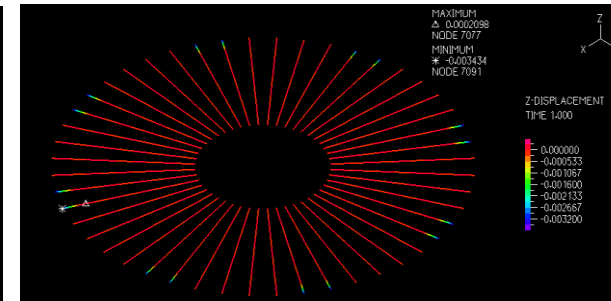


Εικόνα 4.186 : Διάγραμμα M_z περιφερειακών ελασμάτων

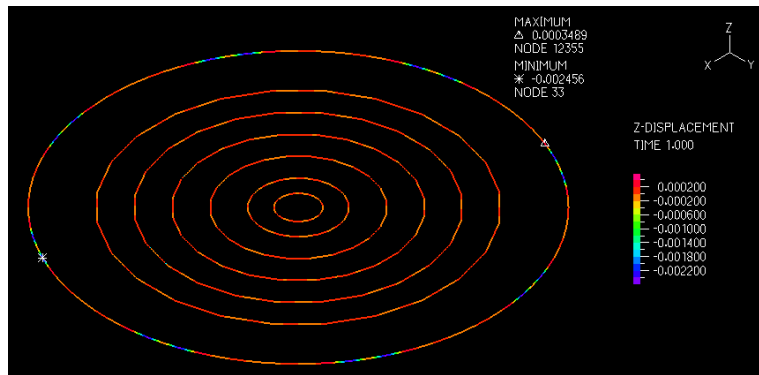
Από τα διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων και ροπών κάμψης κατά τον ασθενή άξονα, προκύπτει ότι αυτά τα εντατικά μεγέθη εμφανίζονται προς το κέντρο του καταστρώματος και όχι προς τα έξω όπως τα εντατικά μεγέθη κατά τον ισχυρό άξονα. Ειδικά στα πρώτα 3 φατνώματα που ξεκινούν τα δοκάρια έχω τα μεγαλύτερα εντατικά κι αυτό λόγω των πλευρικών στηρίξεων (πακτώσεις) που καταλαβαίνουν τα δοκάρια. Δηλαδή, οι μεγαλύτερες τέμνουσες κατά τον ασθενή άξονα εμφανίζονται εκεί που το κάθε δοκάρι ξεκινάει. Έτσι και οι ροπές κάμψης. Για την εσχάρα και εδώ τα εντατικά μεγέθη είναι μηδενικά. Γενικά τα εντατικά μεγέθη δεν είναι τέτοια ώστε να ληφθούν υπόψιν στους συνδυασμούς φόρτισης. Τα βέλη επίσης είναι πολύ μικρά.



Εικόνα 4.187 : Μετατοπίσεις κατά Z πρωτεύοντων δοκών



Εικόνα 4.188 : Μετατοπίσεις κατά Z δευτερευουσών δοκών



Εικόνα 4.189 : Μετατοπίσεις κατά Z εξωτερικών ελασμάτων

Γενικά τα βέλη είναι πολύ μικρά. Επιβεβαιώνεται πως η μεταβολή της θερμοκρασίας δε χρειάζεται να ληφθεί υπόψιν στους συνδυασμούς. Τα βέλη στα σημεία που είναι τα δικτυώματα είναι πιο μεγάλα απ'ότι στον υπόλοιπο φορέα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το φυσικό αέριο αποτελεί ένα πολύ σημαντικό αγαθό καθώς είναι φιλικό προς το περιβάλλον αφού είναι πιο ελαφρύ από τον αέρα και διαλύεται στην ατμόσφαιρα. Η μεταφορά του από πολύ μακρινά μέρη όπου και εντοπίζεται (Αλάσκα, Μέση Ανατολή, Αφρική) είναι δύσκολη με αγωγούς μόνο καθώς δε μπορεί να φτάσει παντού όπου μπορεί να καταναλωθεί. Έτσι, υγροποιείται προκειμένου να μειωθεί κατά 600 φορές ο όγκος του και να είναι εύκολο στη μεταφορά μέσω ειδικών δεξαμενοπλοίων. Τα δεξαμενόπλοια αυτά μεταφέρουν το ΥΦΑ σε τερματικούς σταθμούς, αυτό αποθηκεύεται σε δεξαμενές και οδηγείται σε εξατμιστές ή αεριοποιητές πριν οδηγηθεί στο δίκτυο προς χρήση προκειμένου να πάρει άερια μορφή.

Προκειμένου να μη συμβεί κάποιο ατύχημα από την αποθήκευση του ΥΦΑ, οι δεξαμενές αυτές έχουν αρκετά πολύπλοκη μορφή και κατασκευή. Είναι συνήθως υπέργειες καθώς οι υπόγειες είναι πιο αντισεισμικές. Συνήθως μορφή δεξαμενής είναι αυτή της πλήρους συγκράτησης. Αυτή αποτελείται από μια εσωτερική (κυρίως) και μια εξωτερική δεξαμενή (δευτερεύουσα). Αρχικά, τοποθετούνται τα θεμέλια (κυρίως βάθρα από οπλισμένο σκυρόδεμα) και από πάνω τους μια πλάκα με τους σεισμικούς μονωτήρες. Πάνω από τους σεισμικούς μονωτήρες τοποθετείται η βάση της δεξαμενής από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η εσωτερική δεξαμενή είναι μεταλλική και έχει για οροφή ένα μονωμένο αναρτώμενο κατάστρωμα που κρέμεται μέσω ράβδων από την εξωτερική θολωτή οροφή της δεξαμενής. Η οροφή έχει ρόλο να συγκρατεί το νέφος ατμών που μπορεί να υπάρξει από την εξάτμιση του ΥΦΑ. Η εξωτερική δεξαμενή κατασκευάζεται από προεντεταμένο σκυρόδεμα και ο ρόλος της είναι να συγκρατεί όποια διαρροή προκύψει από την εσωτερική δεξαμενή. Η εξωτερική δεξαμενή έχει για οροφή ένα θολωτό πλαίσιο από ανθρακικό χάλυβα που καλύπτεται με σκυρόδεμα. Ανάμεσα στο διάκενο μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής δεξαμενής υπάρχει μόνωση και συγκεκριμένα πάπλωμα περλίτη. Το δακτυλοειδές διάστημα μεταξύ της εξωτερικής και εσωτερικής δεξαμενής δε πρέπει να υπερβαίνει τα 2m.

Αφού η κατασκευή πρέπει να μην έχει περιθώρια λάθους, αυτό σημαίνει ότι οι κανονισμοί είναι αρκετοί. Συγκεκριμένα, για την εγκατάσταση θα πρέπει να μελετηθεί εξονυχιστικά η τοποθεσία αυτή και να ληφθούν υπόψιν οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες, το σεισμικό ιστορικό, αν η περιοχή είναι από κάποια ακτίνα και μετά κατοικήσιμη. Θα πρέπει να προβλεφθούν οι πιθανοί κίνδυνοι και οι συνέπειες αυτών και να ληφθούν μέτρα για την αντιμετώπιση τους. Πιθανοί κίνδυνοι αποτελεί η διαρροή ΥΦΑ, η πιθανότητα πυρκαγιάς που μπορεί να προκληθεί και από τη διαρροή ΥΦΑ, υπερπίεση. Θα πρέπει να τεθούν σε λειτουργία τα συστήματα ασφαλείας κατά τη λειτουργία της δεξαμενής πχ έκτακτη διακοπή λειτουργίας για προστασία του ανθρώπινου δυναμικού.

Η μελέτη εστίασε στη φόρτιση και διαστασιολόγηση του αναρτώμενου καταστρώματος της δεξαμενής. Πρόκειται για ένα πλαίσιο από αλουμίνιο με διατομές ταυ, με ακτινικά και βοηθητικά περιφερειακά δοκάρια. Από πάνω υπάρχει χαλυβδόφυλλο από αλουμίνιο που εξασφαλίζει διαφραγματική συμπεριφορά στο κατάστρωμα για τις σεισμικές δυνάμεις. Στη φάση κατασκευής λήφθηκαν υπόψιν το ίδιο βάρος του καταστρώματος (πλαίσιο και χαλυβδόφυλλο) και ένα κινητό φορτίο. Τα σενάρια φόρτισης εδώ είναι 2. Το πρώτο είναι κινητό φορτίο 1KPa ομοιόμορφα κατανεμημένο και 1.5KN το συγκεντρωμένο με όλες τις ράβδους ενεργές και το δεύτερο είναι 0.5KPa ομοιόμορφα κατανεμημένο με το ίδιο συγκεντρωμένο και με μία ράβδο ανενεργή. Το δυσμενέστερο σενάριο αποδείχθηκε το δεύτερο. Διεξάχθηκαν έλεγχοι σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα και με τους κανονισμούς της δεξαμενής και οι διατομές μεγάλωσαν αφού δεν επαρκούσαν. Στη φάση λειτουργίας δεν υπάρχει κινητό φορτίο παρά μόνο η διαφορά πίεσης (0.2KPa) μεταξύ της δεξαμενής και του άνω τμήματος του καταστρώματος. Στη συνέχεια το κατάστρωμα φορτίστηκε με σεισμό όπου η ανάλυση μέσω του προγράμματος ADINA έγινε στατικά και φασματικά για τους σεισμούς OBE και SSE όπου λήφθηκαν υπόψιν μόνο στη φάση λειτουργίας. Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων δε συνάδουν καθώς η στατική ανάλυση έγινε σύμφωνα με την 1^η ιδιομορφή όπου από τη φασματική ανάλυση προέκυψε ότι η 1^η ιδιομορφή είναι ασήμαντη ως προς την ιδιομορφική μάζα που συμμετέχει. Εξάλλου τα αποτελέσματα

δε θα μπορούσαν να ταυτίζονται καθώς η κατασκευή είναι σύνθετη. Τέλος, το κατάστρωμα υποβλήθηκε και σε θερμοκρασιακή μεταβολή όπου και προέκυψαν ικανές μετατοπίσεις κατά X και Y, όμως τα εντατικά μεγέθη ήταν πολύ μικρά και έτσι δε λήφθηκε υπόψιν στους συνδυασμούς φόρτισης.

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα :

- Για τη μελέτη του καταστρώματος θα μπορούσαν να δοθούν οι κατάλληλες ελευθερώσεις στα δοκάρια για την ακριβή διαστασιολόγηση τους
- Πιο ακριβής ίσως είναι η τοποθέτηση ελατηριών αντί για ελευθερώσεις με κατάλληλο μέτρο ελαστικότητας που θα καθορίζεται από τη δυσκαμψία των δοκαριών
- Θα μπορούσαν να προσομοιωθούν κάποια βοηθητικά ελάσματα που υπάρχουν στο πρώτο περιφερειακό έλασμα, στο εξωτερικό καθώς και στη δευτερεύουσα δοκό για αύξηση δυσκαμψίας
- Οι ράβδοι αντί να προσομοιωθούν με κυλίσεις (με περιορισμό τον άξονα Z) θα μπορούσαν να προσομοιωθούν σα κατακόρυφοι ράβδοι δικτυωμάτων και να διαστασιολογηθούν ανάλογα με τις δυνάμεις που δέχονται από σεισμό και την Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (ΟΚΑ).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Eurocode 3 EN1993-1-1
2. Eurocode 3 EN1993-1-8
3. ELOT EN 14620 Design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed, steel tanks for the storage of refrigerated liquefied gases with operating temperatures between 0 °C till -165 °C .
4. ELOT EN 1990 Eurocode 0 – Basis of Structural Design
5. ELOT EN 1991 Eurocode 1 – Actions of Structures
6. ELOT EN 1998 Eurocode 8 – Design of Structures for Earthquake Resistance
7. ELOT EN 1999 Eurocode 9 – Design of Aluminium Structures
8. EN 1991-1-2 : Eurocode 1 – Actions of Structures
9. EN 1992-1-1 : Eurocode 2 – Design of Concrete Structures – General rules and rules for building
10. EN 1992-1-2 : Eurocode 2 – Design of Concrete Structures – General rules – Structure fire design
11. EN 1993-1-1 : Eurocode 3 – Design of steel Structures – General rules and rules for building
12. EN 1993-1-2 : Eurocode 3 – Design of steel structures – Structural fire design
13. EN 1994-1-1 : Eurocode 4 – Design of composite steel and concrete structures
14. EN 1994-1-2 : Eurocode 4 - Design of composite steel and concrete structures – Structural fire design
15. EN 1998-1 : Eurocode 8 – Design of structures of earthquake resistance – General rules, seismic actions and rules for buildings
16. EN 1998-5 : Eurocode 8 – Design of structures of earthquake resistance – foundations, retaining structures and geotechnical aspects