



# 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 Καταστρώματος Δεξαμενής LNG**

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ**

Επιβλέπων: Καθηγητής Χάρης Γαντές  
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2017

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τη μελέτη και διαστασιολόγηση του αναρτώμενου καταστρώματος 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 καταστρώματος 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 καταστρώματος 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.