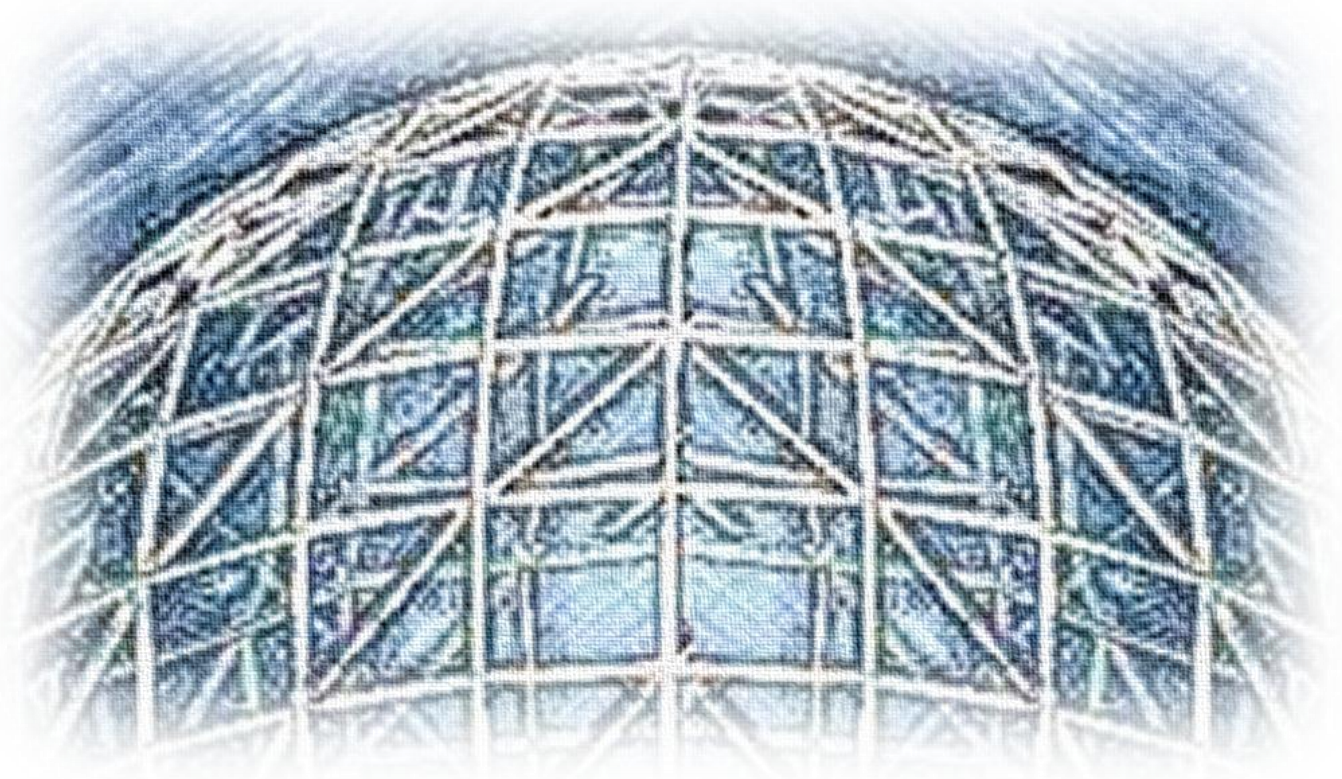




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΛΥΓΙΣΜΟΥ ΜΟΝΟΣΤΡΩΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΤΩΝ ΘΟΛΩΝ



Διπλωματική Εργασία
Στέφανος Κουταλιανός

ΕΜΚ ΔΕ 2015 40

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ
Συνεπιβλέπουσα: Μαρία Λιβανού, ΥΔ Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Copyright © Στέφανος Κουταλιανός, 2015
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 του συγγραφέα. 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 τον συγγραφέα.

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

Copyright © Stefanos Koutalios, 2015
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).

Στέφανος Κουταλιανός (2015)
Διερεύνηση προβλημάτων λυγισμού μονόστρωτων δικτυωτών θόλων
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2015 40
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Stefanos Koutalios (2015)
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2015 40
Research on buckling load of single layer reticulated dome
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το καθηγητή μου κ. Γαντέ Χάρη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την ευκαιρία που μου έδωσε να μπορέσω να συνεργαστώ μαζί του σε ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα για τις μεταλλικές κατασκευές και το οποίο δεν είχα ασχοληθεί ποτέ στο παρελθόν. Επίσης τον ευχαριστώ διότι κατανόησε πλήρως ότι εργαζόμουν παράλληλα με τη διπλωματική αυτή εργασία και στήριξε με τον τρόπο του τις αποφάσεις μου για τη συνέχεια της ακαδημαϊκής μου πορείας. Ήταν πάντα πρόθυμος να με καθοδηγήσει, μεταφέροντας σε εμένα την εμπειρία και την γνώση του πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο, δίνοντας οπτική και επίπεδο σε αυτή την εργασία. Επιπλέον θέλω να τον ευχαριστήσω διότι ως καθηγητής τα τελευταία δύο χρόνια με ενέπνευσε για να μπορέσω να συλλάβω με τον καλύτερο τρόπο τη γνώση μέσα από τα μαθήματά του, και του εύχομαι να συνεχίσει να παράγει έργο εξίσου υψηλής ποιότητας καθώς και κάθε ακαδημαϊκή και επαγγελματική καταξίωση.

Παράλληλα τον ευχαριστώ για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ με την Μαρία Λιβανού, μία λαμπρή και πανέξυπνη μηχανικό. Θέλω να την ευχαριστήσω γιατί χωρίς τη συμβολή της, η εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας θα ήταν αδύνατη. Την ευχαριστώ για την πολύτιμη βοήθεια της, τις γνώσεις, την καθοδήγηση, τη στήριξη και τις ιδέες της που μου πρόσφερε το χρονικό διάστημα που συνεργαστήκαμε. Δεν ξέρω αν μπορώ να την ευχαριστήσω αρκετά για την πολύτιμη βοήθεια της, η οποία ήταν τεράστια. Της εύχομαι να συνεχίσει με το ίδιο πάθος και ότι καλύτερο στην ακαδημαϊκή και επαγγελματική της σταδιοδρομία.

Ευχαριστώ ακόμη τους καθηγητές κ. Αβραάμ Τάσο και κ. Ραυτογιάννη Ιωάννη για τη συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη στήριξη και την ενθάρρυνση που μου παρείχαν. Τους ευχαριστώ που πάντα με υποστηρίζουν στις επιλογές και τους στόχους μου σε τέτοιες δύσκολες στιγμές που αντιμετωπίζουμε. Τους ευχαριστώ ιδιαίτερα που προσπαθούν συνεχώς και κάνουν ότι μπορούν για να ολοκληρώσω όλα μου τα όνειρα, και επιπλέον με βοηθούν και μου δίνουν δύναμη για να μπορέσω να αντιμετωπίσω όλες τις δυσκολίες.

Τέλος να ευχαριστήσω τους φίλους μου Μαρία, Μιχάλη και Δημήτρη για την υπομονή και την αντοχή σε μία περίοδο με μεγάλη πίεση και άγχους για μένα. Ακόμη ένα μεγάλο ευχαριστώ στον φίλο μου Αντώνη για την βοήθεια του στην εικόνα του εξωφύλλου της διπλωματικής μου.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2015 40

Διερεύνηση προβλημάτων λυγισμού μονόστρωτων δικτυωτών θόλων Στέφανος Κουταλιανός

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ
Συνεπιβλέπουσα: Μαρία Λιβανού, ΥΔ Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένας μελετητής που σχεδιάζει ένα δικτυωτό κέλυφος και στη συνέχεια καλείται να υπολογίσει την αντοχή του βασίζεται σε μία μεθοδολογία βήμα προς βήμα. Στο σχεδιασμό πρέπει να ληφθούν υπόψη σημαντικοί συντελεστές που έχουν να κάνουν με τη γεωμετρία και την εμφάνιση του τελικού αποτελέσματος. Για παράδειγμα, κατά το σχεδιασμό ορίζεται ο τύπος του κελύφους, οι συννοριακές συνθήκες, ο τρόπος κατανομής των φορτίων, ο τρόπος σύνδεσης και άλλοι επιμέρους συντελεστές, ώστε να γίνει σωστά η μοντελοποίηση του φορέα και η ανάλυση που ακολουθεί να μπορεί να παρουσιάσει τα επακριβή αποτελέσματα για το κέλυφος που μελετάται.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ελέγχεται η απόκριση του σφαιρικού δικτυωτού κελύφους για ομοιόμορφη κατανομή της φόρτισης στους κόμβους του κελύφους, χωρίς να γίνεται η τήρηση των ορίων ασφαλείας που θέτει ο Ευρωκώδικας 1 για στατικά (ανομοιόμορφη κατανομή φόρτισης, θερμικά φορτία και φορτία ανέμου) και δυναμικά (σεισμός) φορτία που δρουν στο κέλυφος. Κυρίως γίνεται μία αναλυτική παρουσίαση και επεξήγηση των παραμέτρων που αφορούν τη γεωμετρία του σφαιρικού κελύφους και των σχέσεων που επηρεάζουν το φορτίο λυγισμού. Έτσι, επιλέγονται κατάλληλα οι παράμετροι που είναι απαραίτητοι για την ανάλυση.

Μέσω των αναλύσεων παρατηρείται ότι ο βαθμός επιρροής του μέτρου της καθολικής ατέλειας είναι πιο σημαντικός για κελύφη με άκαμπτες παρά για κελύφη με αρθρωτές συνδέσεις. Επιπλέον διατυπώνεται ξεκάθαρα πως οι άκαμπτες συνδέσεις δημιουργούν ένα πιο δύσκαμπτο φορέα και η δυσκαμψία αυτή απεικονίζεται στα φορτία λυγισμού, καθώς είναι αρκετά μεγαλύτερα σε σχέση με τον άλλο τύπο σύνδεσης. Ο τρόπος σύνδεσης μεταβάλλει και το μηχανισμό αστοχίας, αφού στις δύο περιπτώσεις το σφαιρικό κέλυφος με τα ίδια χαρακτηριστικά, αποκρίνεται διαφορετικά. Στις αναλύσεις φαίνεται ότι για ρηχά αρθρωτά κελύφη, αποτελούμενα από μέλη με μικρή λυγηρότητα, η ποιότητα του χάλυβα δε διαδραματίζει σημαντικό ρόλο γιατί δεν εκδηλώνεται διαρροή του υλικού.

Οι μηχανισμοί αστοχίας που είναι εφικτοί να παρουσιαστούν από ένα μονόστρωτο σφαιρικό κέλυφος είναι ο ακαριαίος λυγισμός (καθολικός ή τοπικός), ο λυγισμός Euler σε ένα μεμονωμένο μέλος του κελύφους και η αστοχία του υλικού. Τέλος, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας διενεργείται προσπάθεια για να εκδηλωθούν όλοι οι μηχανισμοί αστοχίας για μία διατομή, έτσι ώστε να φανεί η αλληλεπίδρασή τους.



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

DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2015 40

**Research on buckling load of single layer reticulated dome
Stefanos Koutalianos**

Supervisor: Charis Gantes, Dr. Civil Engineer, Professor N.T.U.A.
Co-supervisor: Maria Livanou, PhD Civil Engineer N.T.U.A.

ABSTRACT

The calculation of buckling strength of a reticulated shell is based on a step-by-step methodology. In the design process, important factors related to the geometry and the final aesthetic result should be considered. For instance, during the design process, the type of the shell, the boundary conditions, the loads distribution, the connection type and other factors are defined in order to model the structure properly, and so that the following analysis will be able to present the exact results of the shell.

This thesis examines the response of the spherical reticulated shell under uniform loads, without following the safety limits of the Eurocode 1 for static (asymmetric load distribution, thermal loads and wind loads) and dynamic (earthquake) loads acting on the shell. Most importantly, the project includes a detailed presentation and explanation of the parameters related to the geometry of the spherical shell and which affect the critical buckling load. In this way, the parameters are appropriately chosen for the analysis.

Through these analyses, it is observed that the influence of the global geometric imperfection is quite more important for shells with rigid connections rather than for shells with pin connections. Moreover, it is clearly stated that rigid connections create a stiffer structure with higher buckling loads, than the ones derived from other connection types. The way of connection also changes the collapse mechanism, since the spherical shell with the same characteristics responds differently for the two connection types. Through the analyses, it is clearly presented that for shallow reticulated shells consisted of members with small slenderness, the quality of the steel does not play an important role on the buckling strength.