

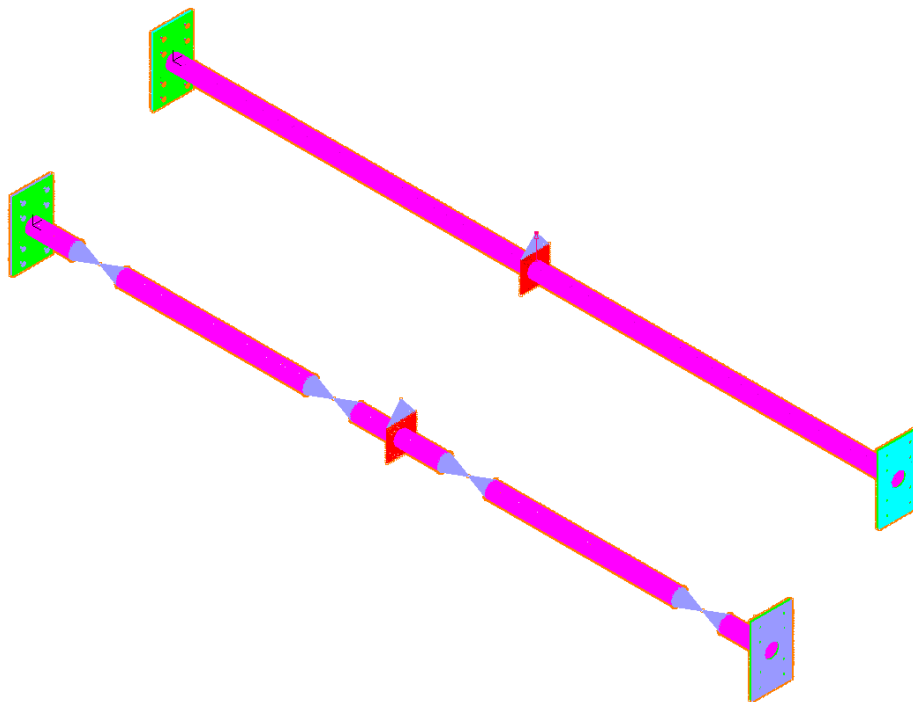


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Σχεδιασμός πειραματικής διάταξης καμπτόμενου μεταλλικού κυλινδρικού κελύφους με εύκαμπτους κόμβους



Διπλωματική Εργασία
Γεωργία Παπαδάτου

ΕΜΚ ΔΕ 2015 39

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ
Συνεπιβλέπων : Βασίλης Μελισσιανός, Υπ. Διδάκτωρ ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2015

Copyright © Γεωργία Παπαδάτου, 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 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 την 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 © Georgia Papadatou, 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).

Γεωργία Παπαδάτου (2015)
Προσομοίωση πειραματικής διάταξης αγωγού με εύκαμπτους κόμβους
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2015 39
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Georgia Papadatou (2015)
Design of experimental set-up of steel cylindrical shell under bending with flexible joints
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2015 39
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Ευχαριστίες

Με την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας φτάνει στο τέλος του ο κύκλος σπουδών μου στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Με αφορμή αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλαν στην προσπάθειά μου αυτή με άμεσο ή έμμεσο τρόπο.

Πρώτο από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω το καθηγητή μου κ. Χάρη Γαντέ που με τίμησε με την εμπιστοσύνη του και μου έδωσε την ευκαιρία να εκπονήσω αυτή την διπλωματική υπό την επίβλεψη του. Η διαρκής και υποδειγματική καθοδήγηση του μαζί με την άριστη επιστημονική του κατάρτιση συνέβαλαν καταλυτικά στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Εκτός από τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέφερε, οι συμβουλές του με βοήθησαν να αποκτήσω ορθή σκέψη μηχανικού.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς και θερμότερες ευχαριστίες μου στον υποψήφιο διδάκτορα του Ε.Μ.Π. Βασίλη Μελισσιανό για την παροχή του απαραίτητου εκπαιδευτικού υλικού, την καθοδήγηση για την χρήση του λογισμικού και τον έλεγχο των εξαγόμενων αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων σε κάθε στάδιο. Η συνεχής και άμεση υποστήριξη του συνετέλεσαν στην επιστημονική αρτιότητα και περάτωση της εργασίας. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Ηλία Θανάσουλα για την πρόθυμη βοήθειά του στην χρήση του λογισμικού.

Ακόμη, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Ιωάννη Ραυτογιάννη, Αναπληρωτή Καθηγητή του τομέα Δομοστατικής του Ε.Μ.Π. και τον κ. Τάσο Αβραάμ, λέκτορα του τομέα Δομοστατικής για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή της διπλωματικής μου εργασίας.

Για τη βοήθειά της στη μορφοποίηση του κειμένου θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Ισαβέλλα Βασιλοπούλου, Δρ. Πολιτικό Μηχανικό Ε.Μ.Π.

Εκτός των παραπάνω οφείλω να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές που είχα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέφεραν, την καθοδήγηση που μου παρείχαν και που με μύησαν στον κόσμο του Πολιτικού Μηχανικού.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την διαρκή στήριξη που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια των σχολικών και φοιτητικών μου χρόνων και τους συμφοιτητές και φίλους για την συμπαράσταση και ενθάρρυνση σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Γεωργία Παπαδάτου

Οκτώβριος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2015 39

Σχεδιασμός πειραματικής διάταξης καμπτόμενου μεταλλικού κυλινδρικού κελύφους με εύκαμπτους κόμβους

Γεωργία Παπαδάτου

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ
Συνεπιβλέπων: Βασίλης Μελισσιανός, Υπ. Διδάκτωρ ΕΜΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται ο σχεδιασμός πειραματικής διάταξης υπόγειου μεταλλικού αγωγού που διασταυρώνεται με σεισμικό ρήγμα. Διερευνάται η αποτελεσματικότητα τοποθέτησης εύκαμπτων κόμβων, οι οποίοι μέσω της συγκέντρωσης των παραμορφώσεων σε συγκεκριμένα σημεία, απομειώνουν τις υψηλές τάσεις και παραμορφώσεις που θα αναπτύσσονταν αν ο αγωγός ήταν συνεχής.

Στο πρώτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η εισαγωγή στους υπόγειους μεταλλικούς αγωγούς και στις δράσεις που ασκούνται σε αυτούς (σεισμικά και μη σεισμικά φορτία), τα είδη των ρηγμάτων καθώς και τα κριτήρια αστοχίας με βάση τις παραμορφώσεις. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται ανασκόπηση των αστοχιών αγωγών που προκλήθηκαν κατά την διάρκεια μεγάλων σεισμών. Τα συνήθη μέτρα προστασίας των υπόγειων αγωγών έναντι διάρρηξης ρήγματος συγκρίνονται με την καινούργια μέθοδος προστασίας με εύκαμπτους κόμβους, των οποίων ο μηχανισμός και η λειτουργία τους αναλύεται.

Στο δεύτερο κεφάλαιο δίδονται αναλυτικά στοιχεία και σχέδια για τη γεωμετρία της πειραματικής διάταξης. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες του αγωγού, των μετωπικών πλακών μέσω των οποίων γίνεται η σύνδεση στο πλαίσιο δοκιμών του εργαστηρίου, των εύκαμπτων κόμβων, των κοχλιών και του ελάσματος επιβολής της μετακίνησης.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η προμελέτη της πειραματικής διάταξης με δισδιάστατα μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων με σκοπό να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα της τοποθέτησης εύκαμπτων κόμβων σε όρους μείωσης των παραμορφώσεων συγκριτικά με τον συνεχή αγωγό. Πρώτα μελετάται το συνεχές δοκίμιο και στη συνέχεια στις θέσεις όπου αναπτύσσονται οι μέγιστες ροπές τοποθετούνται εύκαμπτοι κόμβοι. Εξετάζονται τέσσερις διαφορετικές θέσεις τοποθέτησης των κόμβων, ώστε να επιλεχθεί η βέλτιστη βάση των γεωμετρικών περιορισμών της πειραματικής διάταξης και των διαθέσιμων μετρητικών οργάνων. Συγκρίνονται τα αναπτυσσόμενα εντατικά και παραμορφωσιακά μεγέθη μεταξύ όλων των περιπτώσεων και προσδιορίζεται η τελική θέση τοποθέτησης των εύκαμπτων κόμβων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο υλοποιείται η ακριβέστερη προσομοίωση του πειράματος σε τρεις διαστάσεις. Μελετώνται το συνεχές δοκίμιο και το δοκίμιο με κόμβους, οι οποίοι τοποθετούνται στις αποστάσεις

που επιλέχθηκαν κατά την προκαταρκτική αριθμητική διερεύνηση. Ο αγωγός, οι μετωπικές πλάκες και το έλασμα επιβολής της μετακίνησης προσομοιώνονται με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία. Το υποστύλωμα του πλαισίου δοκιμών δεν προσομοιώνεται. Για την εφαρμογή των συνοριακών συνθηκών, οι εφελκούμενοι κοχλίες προσομοιώνονται με ελατήρια και το θλιβόμενο μέρος των μετωπικών πλακών αρθρώνεται. Στο συνεχές δοκίμιο στα σημεία μεγίστων ροπών, δηλαδή κοντά στις στηρίξεις και στο μέσον, εμφανίζονται τοπικοί λυγισμοί ενώ στα δοκίμιο με τους κόμβους όχι. Οι δρόμοι ισορροπίας και στις δύο περιπτώσεις είναι ανοδικοί και ευσταθείς. Στο δοκίμιο με τους εύκαμπτους κόμβους οι αναπτυσσόμενες ανηγμένες παραμορφώσεις προκύπτουν έως και 90% μικρότερες από τις παραμορφώσεις στο συνεχές δοκίμιο. Αντιθέτως, διαπιστώνεται ότι οι αναπτυσσόμενες τάσεις δεν παρουσιάζουν αξιοσημείωτη διαφορά. Συγκρίνοντας τις δύο περιπτώσεις δοκιμών προκύπτει ότι στις περιοχές πλησίον των στηρίξεων, όπως και στο μέσον αναπτύσσεται πλαστικοποίηση, όμως στην περίπτωση του δοκιμίου με τους κόμβους οι πλαστικοποιημένες περιοχές έχουν μικρότερο μήκος.



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

DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2015 39

Design of experimental set-up of steel cylindrical shell under bending with flexible joints

Georgia Papadatou

Supervisor: Charis Gantes, Dr. Civil Engineer, Professor N.T.U.A.
Co-supervisor: Vasilis Melissianos, PhD candidate N.T.U.A.

ABSTRACT

The present diploma thesis deals with the design of experimental set-up of a steel cylinder shell under bending with flexible joints. The aim of the experiment is to investigate the efficiency of introducing flexible joints in a continuous cylinder in order to reduce the developing longitudinal strains. The experimental set-up models the deformation of a buried pipeline subjected to faulting.

An introduction to buried steel pipelines is presented in the first chapter. The commonly considered seismic and non-seismic loads on pipes and the pipe strain-based design against permanent ground deformations are presented. The fault-type classification is also discussed. Then, the potential pipe failure modes due to faulting are presented and the currently used mitigating measures against the consequences of fault movements on the pipelines are discussed. A new seismic countermeasure is then presented, consisting of the introduction of flexible joints in buried continuous pipelines. The characteristics of these joints are described.

In the second chapter, the geometry of the experimental set-up is shown. The geometry and the properties of the pipe, the faceplates for the bolted connection of the specimen to the test frame, the flexible joints and the flange for displacement application are presented.

The third chapter includes the preliminary study of the experimental set up using two-dimensional finite element models. The aim is to investigate the effectiveness of the flexible joints introduction in terms of strain reduction compared to the continuous pipe/specimen. The continuous pipe is examined at first and then flexible joints are integrated where the maximum moment on the continuous pipe is developed. Four different cases regarding the flexible joints location are investigated, in order to select the optimal with respect to the geometrical constraints of the experimental setup and the available measuring instruments. The developing strains and stresses among all cases are compared and the final positions of the flexible joints are selected.

In the fourth chapter, a more rigorous three-dimensional FEM modeling is presented. The continuous pipe specimen and the pipe specimen with flexible joints are both numerically analyzed. The pipeline specimen, the faceplates and the flange for displacement application modeled using shell elements. Concerning the boundary conditions, the column is not modeled and bolts under tension are modeled with translational springs, while the faceplate part under compression is hinged. Results from the continuous pipeline indicate local buckling development where the maximum moment is developed

and specifically close to the supports and in the middle. On the other hand, local buckling does not occur in the specimen with joints due to the strain reduction caused by the joints. The equilibrium paths in both cases are ascending. The introduction of flexible joints leads to compressive strain reduction up to 90% in comparison with the continuous specimen. Regarding the developing stresses, not a significant difference is reported. In both cases, specimen areas near the supports and in the middle are plasticized but in the case of the specimen with joints plastification takes place in a shorter length.