

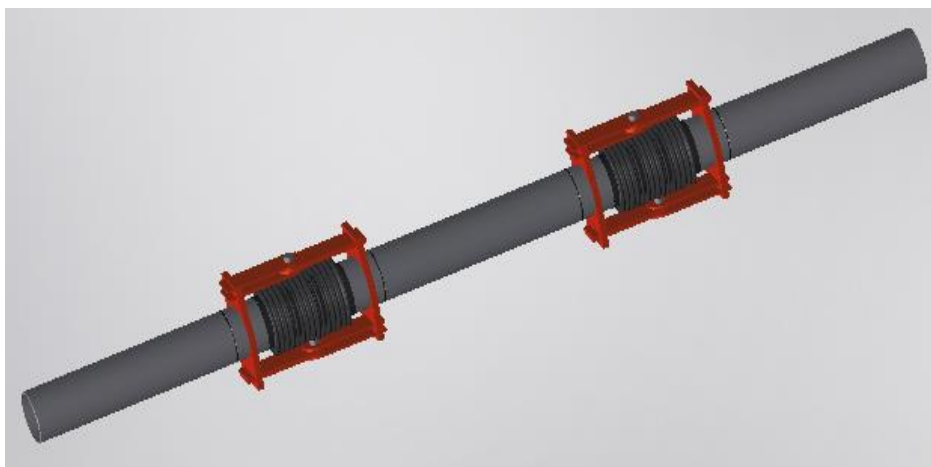


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΕΝΑΝΤΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ



Διπλωματική Εργασία

Γεώργιος Κορακίτης

ΕΜΚ ΔΕ 2015 35

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ

Συνεπιβλέπων: Βασίλειος Μελισσιανός, Υποψήφιος Διδάκτορας ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Γεώργιος Π. Κορακίτης (2015)

Προστασία υπόγειου μεταλλικού αγωγού έναντι τεκτονικής διάρρηξης οριζόντιας ολίσθησης με χρήση
εύκαμπτων κόμβων

Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2015 35

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

George P. Korakitis (2015)

Protection of buried steel pipeline against strike-slip faulting using flexible joints

Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2015 35

Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Copyright © Γεώργιος Π. Κορακίτης, 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 το 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 © George P. Korakitis, 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).

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας σηματοδοτεί το πέρας των προπτυχιακών μου σπουδών στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Σε αυτή την προσπάθεια καθοριστική υπήρξε η συμβολή, η καθοδήγηση και η στήριξη ορισμένων ανθρώπων που βρέθηκαν δίπλα μου.

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Χάρη Γαντέ, καθηγητή του τομέα Δομοστατικής του Ε.Μ.Π., που μου έδωσε τη δυνατότητα να διεκπεραιώσω την παρούσα διπλωματική εργασία υπό την επίβλεψή του δείχνοντας εμπιστοσύνη στο πρόσωπό μου. Η συστηματική καθοδήγηση και οι ποιοτικές παρατηρήσεις του διαδραμάτισαν σπουδαίο ρόλο στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω το Βασίλη Μελισσιανό, υποψήφιο Διδάκτορα του Ε.Μ.Π., για την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε καθόλη τη διάρκεια της εργασίας. Η υποδειγματική αφοσίωση στη διδακτορική του διατριβή σε συνδυασμό με τις άμεσες διορθώσεις και τις πολύτιμες συμβουλές του συνέβαλαν σε καθοριστικό βαθμό στη διαμόρφωση της παρούσας εργασίας.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Ιωάννη Βάγια, Καθηγητή του τομέα Δομοστατικής του Ε.Μ.Π., και τον κ. Εμμανουήλ Βουγιούκα, Λέκτορα του τομέα Δομοστατικής του Ε.Μ.Π., για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή της διπλωματικής μου εργασίας.

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

Για το ευχάριστο κλίμα όσο καιρό δουλέψαμε στον ίδιο χώρο και τις χρήσιμες συμβουλές τους ευχαριστώ τον Ηλία Θανάσουλα και το Στέλιο Βερνάρδο, υποψήφιους Διδάκτορες του Ε.Μ.Π.

Ολοκληρώνοντας, θα ήθελα να σταθώ και στα πρόσωπα που με στηρίζουν καθόλη τη διάρκεια των σχολικών και φοιτητικών μου χρόνων. Ευχαριστώ τους γονείς μου, Παναγιώτη και Έρση, την αδερφή μου, Άννα-Μαρία, και τους συμφοιτητές και φίλους μου για τη συμπαράσταση και την αγάπη τους.

Γιώργος Κορακίτης

Οκτώβριος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2015 35

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΕΝΑΝΤΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ

Γιώργος Κορακίτης

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Συνεπιβλέπων: Βασίλειος Μελισσιανός, Υποψήφιος Διδάκτορας Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη χρήση εύκαμπτων κόμβων σε υπόγειους μεταλλικούς αγωγούς που διασταυρώνονται με ενεργά σεισμικά ρήγματα. Η διάρρηξη σεισμικού ρήγματος επιβάλλει μεγάλες εδαφικές παραμορφώσεις στο χαλύβδινο αγωγό, ο οποίος τις παραλαμβάνει αναπτύσσοντας μεγάλη ένταση σε όρους ανηγμένων παραμορφώσεων. Η προσθήκη εύκαμπτων κόμβων αποτελεί μια νέα προτεινόμενη μέθοδο για την πρόληψη ενδεχόμενων αστοχιών.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στο υπό μελέτη πρόβλημα της διέλευσης αγωγών καυσίμων από σεισμικά ρήγματα και τονίζεται η σημασία διαφύλαξης της ακεραιότητάς τους έναντι σεισμικών και μη κινδύνων, ενώ παρατίθενται τα συνήθη μέτρα προστασίας που εφαρμόζονται. Ακολούθως περιγράφεται το νέο προτεινόμενο μέτρο προστασίας των αγωγών, το οποίο είναι η εισαγωγή εύκαμπτων κόμβων μεταξύ των διαδοχικών χαλύβδινων τμημάτων του αγωγού. Περιγράφεται αναλυτικά ο κατάλληλος τύπος των εύκαμπτων κόμβων για χρήση σε υπόγειους αγωγούς, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο προσομοιώνονται αριθμητικά η αλληλεπίδραση αγωγού – εδάφους και η σεισμική διάρρηξη.

Στο δεύτερο και στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραμετρικής διερεύνησης μέσω μη-γραμμικών αναλύσεων γεωμετρίας και υλικού. Η βασική παράμετρος επιρροής της απόκρισης του αγωγού είναι η γωνία διασταύρωσης αγωγού – ρήγματος (β). Στο δεύτερο κεφάλαιο διερευνάται η περίπτωση $\beta \leq 90^\circ$ (επιβολή κάμψης και εφελκυσμού) ενώ στο τρίτο η περίπτωση $\beta > 90^\circ$ (επιβολή κάμψης και θλίψης). Σε κάθε κεφάλαιο εξετάζεται αρχικά ο συνεχής αγωγός και η επιρροή που ασκούν στην απόκρισή του η μετακίνηση του ρήγματος και η γωνία διασταύρωσης. Ακολούθως, με βάση το διάγραμμα καμπτικών ροπών του εκάστοτε συνεχούς αγωγού, εξετάζονται διάφοροι συνδυασμοί εύκαμπτων κόμβων ως προς το πλήθος και τη θέση τους και συγκρίνονται ως προς την αποτελεσματικότητά τους στην απομείωση των ανηγμένων παραμορφώσεων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο μελετάται η επιρροή της διαμέτρου, του πάχους τοιχώματος και του βάθους ταφής του μεταλλικού αγωγού στην αποδοτικότητα των εύκαμπτων κόμβων. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής του αγωγού καθορίζονται συνήθως από μη-σεισμικές παραμέτρους λειτουργικότητας, ωστόσο ο λόγος της διαμέτρου προς το πάχος τοιχώματος καθορίζει τη λυγρηρότητά του και κατά συνέπεια διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην τοπική και καθολική ευστάθεια του

αγωγού. Επιπλέον, το βάθος ταφής καθορίζει την αναπτυσσόμενη τριβή στη διεπιφάνεια αγωγού – εδάφους και έτσι αποτελεί σημαντική παράμετρο για τη μηχανική συμπεριφορά του αγωγού όταν υπόκειται σε μεγάλες μετακινήσεις λόγω της ενεργοποίησης ρήγματος.

Στο πέμπτο κεφάλαιο εξετάζεται η αποδοτικότητα των εύκαμπτων κόμβων συναρτήσει της αβεβαιότητας ως προς τη θέση εμφάνισης της σεισμικής διάρρηξης. Τα διαθέσιμα σεισμολογικά και γεωτεχνικά δεδομένα και η επεξεργασία τους πολλές φορές δεν επιτρέπουν τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης του ρήγματος. Η διάδοση της σεισμικής διάρρηξης μέχρι την επιφάνεια του εδάφους δεν είναι πάντα προβλέψιμη, για αυτό και είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη η αβεβαιότητα κατά το σχεδιασμό και τη μελέτη ενός υπόγειου μεταλλικού αγωγού. Για το λόγο αυτό εξετάζεται η αποδοτικότητα των εύκαμπτων κόμβων ως προς τη μείωση των αναπτυσσόμενων παραμορφώσεων σε περιπτώσεις όπου το ίχνος του ρήγματος βρίσκεται σε διαφορετική θέση από την αναμενόμενη. Τέλος, στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και διατυπώνονται ορισμένες προτάσεις για την περαιτέρω διερεύνηση της αποτελεσματικότητας των εύκαμπτων κόμβων.

Η διπλωματική αυτή πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «Πρωτότυπες έννοιες σχεδιασμού μεταλλικών κατασκευών για τον ενεργειακό τομέα με χρήση σύγχρονων υλικών (ENSSTRAM)» της Δράσης «Αριστεία II» (ΕΣΠΑ 2007-2013).



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

DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2015 35

PROTECTION OF BURIED STEEL PIPELINE AGAINST STRIKE-SLIP FAULTING USING FLEXIBLE JOINTS

George Korakitis

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

ABSTRACT

The present diploma thesis deals with the use of flexible joints in buried pipelines crossing active seismic faults. The activation of the seismic fault imposes large ground displacements and as a result the pipeline develops high strains. The use of flexible joints constitutes an innovative mitigating measure against the consequences of faulting on pipelines.

In the first chapter, an introduction in pipelines and pipeline – fault crossing is presented. The significance of protecting pipelines' integrity against seismic and non-seismic hazards is highlighted. At the same time, the most common mitigating methods are briefly mentioned, while the appropriate type of flexible joints for buried pipelines and their characteristics are described. The numerical modeling of the pipeline – soil interaction is also introduced.

In the second and the third chapter, the results of an extensive parametric investigation based on nonlinear analyses are presented. Pipeline – fault crossing angle (β) is a dominant parameter of the pipeline mechanical behavior due to strike-slip faulting. In the second chapter the crossing angle is considered $\beta \leq 90^\circ$ (pipeline develops tension and bending), while in the third chapter the angle is assumed $\beta > 90^\circ$ (pipeline under compression and bending). In each chapter the continuous pipeline is examined at first and the impact of fault offset magnitude and pipeline – fault crossing angle on its response is investigated. The introduction of flexible joints is based on the bending moment distribution of the continuous pipeline. Alternative cases regarding the number and the location of flexible joints are examined and their efficiency towards strain reduction is evaluated.

In the fourth chapter, the influence of the diameter, the wall thickness and the burial depth on the effectiveness of flexible joints is investigated. The geometrical characteristics of the pipeline cross-section are typically defined by non-seismic parameters. However, the diameter over thickness ratio plays a dominant role in the pipeline response and especially on buckling behavior, as it defines the pipe slenderness. Moreover, soil response to any pipeline movement in the trench is directly associated to the burial depth, as the amount of overburden soil determines the imposed soil pressure on the pipeline. It is therefore meaningful to investigate the effect of burial depth on the strain reduction efficiency of flexible joints.

In the fifth chapter, the effectiveness of flexible joints is estimated regarding the uncertainty on fault trace. The available seismological and geotechnical data and the existing methods to analyze them do not always allow the accurate determination of the fault trace. Rupture propagation to the ground surface is not always predictable and uncertainty on fault trace must be taken into consideration in the pipeline – fault crossing analysis. For that reason, the efficiency of flexible joints in reducing tensile and compressive strains, in case the fault trace appears on a different location from the one expected, is evaluated. In the sixth and final chapter, conclusions of the diploma thesis are presented and proposals for the further investigation of flexible joints' efficiency are suggested.

The present diploma thesis is part of the research program "Novel design concepts for Energy related Steel STRuctures using Advanced Materials – ENSSTRAM" of the project "Aristeia II" (NSRF 2007-2013).