



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Διπλωματική Εργασία

**«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ
ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΓΩΓΩΝ»**



Παύλος Καλφαντής

Επιβλέποντες:

Χάρης Γαντές, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Βασίλης Μελισσιανός, υπ. Διδάκτορας Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2014

ΕΜΚ ΔΕ 2014/14

Πάυλος Π. Καλφαντής (2014)

Διερεύνηση καθολικού λυγισμού υπόγειων μεταλλικών αγωγών

Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2014/14

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Pavlos P. Kalfantis (2014)

An investigation into upheaval buckling of buried steel pipelines

Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2014/14

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

Copyright © Pavlos P. Kalfantis, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, 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 τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

No part of these pages, either text or image may be used for any purpose other than personal use. Therefore, reproduction, modification, storage in a retrieval system or retransmission, in any forms or by any mean, electronic, mechanical or otherwise, for reasons other than personal use, is strictly prohibited without prion written permission.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Διπλωματική Εργασία
ΕΜΚ ΔΕ 2014/14

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΓΩΓΩΝ
Παύλος Καλφαντής

Επιβλέποντες:

Χάρης Γαντές, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Βασίλης Μελισσιανός, Υπ. Διδάκτορας Ε.Μ.Π.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνάται το φαινόμενο του καθολικού λυγισμού υπόγειων μεταλλικών αγωγών ως αποτέλεσμα της ενεργοποίησης σεισμικών ρηγμάτων από τα οποία διέρχονται. Στο πρώτο κεφάλαιο εισάγεται το πρόβλημα των υπόγειων μεταλλικών αγωγών διερχόμενων από σεισμικά ρήγματα και παρουσιάζεται μία συνοπτική βιβλιογραφική ανασκόπηση του φαινομένου του καθολικού λυγισμού αγωγών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο μελετάται η συμπεριφορά ελαστικής δοκού επί ελαστικού εδάφους ως μία πρώτη προσέγγιση για την προσομοίωση του καθολικού λυγισμού υπόγειων αγωγών. Εξετάζεται η λυγισμική συμπεριφορά αμφιέριστων και αμφίπακτων δοκών πεπερασμένου μήκους επί εύκαμπτης θεμελίωσης υπό σταθερή αξονική θλιπτική δύναμη. Εξάγονται αναλυτικές σχέσεις περιγραφής του φαινομένου και ειδικότερα οι ιδιομορφές λυγισμού, οι τιμές των κρίσιμων φορτίων και τα όρια μετάθεσης των ιδιομορφών συναρτήσει της ελαστικής εδαφικής δυσκαμψίας. Ακολούθως τα αναλυτικά αποτελέσματα συγκρίνονται με αποτελέσματα αριθμητικών αναλύσεων. Στο τρίτο κεφάλαιο ερευνάται αριθμητικά η μεταλυγισμική απόκριση της δοκού μέσω μη-γραμμικών αναλύσεων γεωμετρίας με αρχικές ατέλειες.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η προσομοίωση του αγωγού που υπόκειται σε ενεργοποίηση σεισμικού ρήγματος, μέσω δύο παραδειγμάτων, ενός κανονικού και ενός ανάστροφου ρήγματος. Η αλληλεπίδραση αγωγού – περιβάλλοντος εδάφους προσομοιώνεται με μη-γραμμικά ελατήρια σε τρεις διευθύνσεις και εξάγονται όλα τα αναπτυσσόμενα εντατικά μεγέθη. Η αναπτυσσόμενη ένταση συναρτάται με τον τύπο του ρήγματος που ενεργοποιείται.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αποτίμηση του κινδύνου εκδήλωσης καθολικού λυγισμού υπόγειων μεταλλικών αγωγών λόγω ενεργοποίησης ανάστροφων σεισμικών ρηγμάτων που καταπονούν κυρίως θλιπτικά τον αγωγό και θέτουν σε κίνδυνο την ακεραιότητά του. Ο κίνδυνος του καθολικού λυγισμού αξιολογείται αριθμητικά έναντι των άλλων μορφών αστοχίας, λαμβάνοντας υπόψιν τόσο τη γεωμετρική μη-γραμμικότητα, όσο και τη μη-γραμμικότητα του χάλυβα και του εδάφους. Τέλος, διερευνάται παραμετρικά ο κίνδυνος εκδήλωσης καθολικού λυγισμού αρχικά σε σχέση με τη γωνία του ρήγματος, και στη συνέχεια σε σχέση με το λόγο της διαμέτρου του αγωγού προς το πάχος του τοιχώματός του.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα της εργασίας και γίνονται προτάσεις για την περαιτέρω διερεύνηση του φαινομένου.



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

Diploma Thesis
EMK ΔΕ 2014/14

AN INVESTIGATION INTO UPHEAVAL BUCKLING OF BURIED STEEL PIPELINES
Pavlos Kalfantis

Supervisors:

Charis Gantes, Professor N.T.U.A.
Vasileios Melissianos, PhD Candidate N.T.U.A.

Abstract

In the present diploma thesis, upheaval buckling of buried steel pipelines due to seismic fault activation is investigated. In the first chapter, pipeline – fault crossing and a literature review on upheaval buckling are presented.

In the second chapter, the behavior of an elastic beam resting on elastic foundation is addressed, as an approach to simulate upheaval buckling of buried pipelines. The behavior of a simply supported and a fixed-fixed beam of finite length resting on elastic foundation under compression is investigated. Analytical solutions for beam linear buckling analysis, eigenmode shapes, critical buckling loads and eigenmode transition limits in relation to soil stiffness are extracted. Furthermore, the results are compared to numerical analyses' results. In the third chapter, the post-buckling behavior of the simply-supported and fixed-fixed beam is investigated via geometrically nonlinear analyses with imperfections (GNIA).

In the fourth chapter, a numerical simulation of a pipeline crossing an activated seismic fault is presented, via two examples of a normal and a reverse fault. The pipeline – soil interaction is simulated using nonlinear springs in three dimensions and the pipeline internal forces due to the fault activation are calculated. The developing pipeline forces depend on the fault type.

In the fifth chapter the risk of upheaval buckling of buried steel pipelines under acting compressive forces due to reverse fault activation is numerically investigated. The risk of upheaval buckling is assessed against other failure modes, such as pipeline local buckling, by also accounting for geometrical, pipeline steel and soil nonlinearities. Finally, parametric analyses are conducted in order to assess the risk of upheaval buckling in relation to the fault's angle and to the pipeline's diameter to thickness ratio.

In the sixth and last chapter, conclusions of the diploma thesis are presented and proposals for the further investigation of this phenomenon are suggested.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με τη διπλωματική αυτή εργασία ολοκληρώνεται ο κύκλος φοίτησης μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Με την αφορμή αυτή θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους έπαιξαν σημαντικό ρόλο κατά τη διάρκεια της 5ετούς φοίτησης μου στο Ίδρυμα.

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. κ. Χάρη Γαντέ που ήταν και ο επιβλέπων της διπλωματικής μου εργασίας. Η διαρκής και υποδειγματική καθοδήγησή μαζί με την άριστη επιστημονική του κατάρτιση συνέβαλαν καταλυτικά στην ολοκλήρωση της προσπάθειας μου αυτής.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Γιώργο Μπουκοβάλα, Καθηγητή του τομέα Γεωτεχνικής του Ε.Μ.Π και τον κ. Τάσο Αβραάμ, Λέκτορα του τομέα Δομοστατικής του Ε.Μ.Π. για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή της διπλωματικής μου εργασίας.

Για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο Διδάκτορα Ε.Μ.Π. Βασίλη Μελισσιανό.

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

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη συμπαράσταση της σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Πάυλος Καλφαντής

Ιούλιος 2014