



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
“ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ”

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ
ΥΠΟ ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΑΣ ΓΕΡΟΓΙΑΝΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΧΑΡΗΣ ΓΑΝΤΕΣ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1999



**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
DIVISION OF STRUCTURAL ENGINEERING
INTERDISCIPLINARY POST-GRADUATE SPECIALIZATION PROGRAM
“STRUCTURAL ANALYSIS AND DESIGN”**

**ANALYSIS AND DESIGN OF BURIED PIPELINES
UNDER STATIC AND DYNAMIC LOADS**



POSTGRADUATE DIPLOMA THESIS OF

DIMITRA GEROGIANNI

SUPERVISOR: CHARIS GANTES, ASSISTANT PROFESSOR

ATHENS, OCTOBER 1999

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Δομοστατικής

“Ανάλυση και Σχεδιασμός Υπόγειων Αγωγών υπό Στατικές και Δυναμικές Φορτίσεις”

Μεταπτυχιακή Εργασία της Δήμητρας Γερογιάννη για

το Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών με τίτλο

“Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση Κατασκευών”

Επιβλέπων: Λέκτορας Χάρης Γαντές

Αθήνα, Οκτώβριος 1999

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς υπόγειων αγωγών υπό στατικές και δυναμικές φορτίσεις. Η γνώση της συμπεριφοράς τέτοιων συστημάτων είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι χρησιμοποιούνται ευρέως για τη μεταφορά και διανομή φυσικού αερίου και πετρελαίου, για δίκτυα ύδρευσης και αποχέτευσης, και γενικά έχουν πολλές εφαρμογές σε έργα πολιτικού μηχανικού. Τα προβλήματα ανάλυσης και σχεδιασμού υπόγειων σωλήνων παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον από στατική και γεωτεχνική άποψη λόγω των διαφόρων αβεβαιοτήτων, οι οποίες αναφέρονται στα φορτία, στο είδος του εδάφους, στη θέση του αγωγού σε σχέση με ρήγματα ή αστοχίες του εδάφους, στη μη γραμμική συμπεριφορά λόγω των λεπτότοιχων διατομών και στην ανάγκη εφαρμογής της μεμβρανικής και καμπτικής θεωρίας για την ορθή προσομοίωσή τους.

Στο πρώτο μέρος της εργασίας αντιμετωπίζονται προβλήματα ανάλυσης λυγισμού για υπόγειους αγωγούς απείρου μήκους υπό καθαρή θλίψη, καθαρή κάμψη και συνδυασμό ροπής και αξονικής δύναμης. Επιπλέον, εξετάζεται η επιρροή του πεπερασμένου μήκους και της παρουσίας εσωτερικής πίεσης για υπόγειους αγωγούς υπό καθαρή κάμψη. Εγινε προσπάθεια εξαγωγής προσεγγιστικών αναλυτικών σχέσεων για τα φορτία καθολικού λυγισμού μέσω οριακού σημείου και τοπικού λυγισμού μέσω σημείου διακλάδωσης υπόγειων αγωγών για τις παραπάνω περιπτώσεις φόρτισης. Στα προσομοιώματα αυτά τα θλιβόμενα τμήματα του περιβάλλοντος εδάφους αντιπροσωπεύονται από γραμμικά ελατήρια μετακίνησης. Οι μη γραμμικές σχέσεις ροπών καμπυλοτήτων προέκυψαν από ενεργειακές μεθόδους, λαμβάνοντας υπόψη έναν επιπλέον όρο που αντιπροσωπεύει την ενέργεια παραμόρφωσης των εδαφικών ελατηρίων. Οι σχέσεις που προέκυψαν χρησιμοποιήθηκαν για παραμετρικές μελέτες και χάραξη διαγραμμάτων για την επιρροή του τύπου εδάφους, της εσωτερικής πίεσης και του πεπερασμένου μήκους.

Στο δεύτερο μέρος εξετάζεται η μηχανική συμπεριφορά υπόγειων αγωγών υπό φορτία εκρήξεων που πραγματοποιούνται στην επιφάνεια του εδάφους, διατυπώνοντας προσεγγιστικές αναλυτικές σχέσεις για τον υπολογισμό της ασφαλούς απόστασης ανάμεσα στον αγωγό και την έκρηξη για την περίπτωση έκρηξης δεδομένης έντασης και αντίστροφα. Γίνεται η παραδοχή ότι ο αγωγός ακολουθεί την παραμόρφωση του εδάφους. Επίσης η σφαιρική μορφή του μετώπου του κύματος λόγω έκρηξης και οι τάσεις λόγω εσωτερικής πίεσης λαμβάνονται υπόψη. Προτείνονται διαγράμματα σχεδιασμού και πίνακες για διάφορα υλικά αγωγών και εντάσεις εσωτερικής πίεσης. Τέλος, παρουσιάζεται μια βελτιωμένη μεθοδολογία που λαμβάνει υπόψη τη δυναμική μεταβολή του φαινομένου θεωρώντας αρμονικό κύμα. Αυτή η προσέγγιση έχει το πλεονέκτημα ότι η επαλληλία των επιμέρους συνιστωσών των τάσεων για τον υπολογισμό της ισοδύναμης τάσης von Mises, που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο αντοχής, πραγματοποιείται σε κάθε θέση και κάθε χρονική στιγμή, επομένως τα αποτελέσματα είναι ορθότερα και οικονομικότερα. Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε μέσω του λογισμικού συμβολικών αλγεβρικών μετασχηματισμών Mathematica.

National Technical University of Athens

Department of Civil Engineering

Division of Structural Engineering

“Analysis and Design of Buried Pipelines under Static and Dynamic Loads”

Postgraduate Diploma Thesis of Dimitra Gerogianni

for the Interdisciplinary Post-Graduate Specialization Diploma in

“Structural Analysis and Design”

Supervisor: Charis Gantes, Assistant Professor

Athens, Greece, October 1999

Abstract

The purpose of this work is the investigation of the mechanical behavior of buried pipelines under static and dynamic loads. Knowledge of the behavior of such systems is of great importance because they are broadly used for transfer and distribution of oil and gas, as well as for water supply and drainage systems. In general, underground pipeline systems have many applications in civil engineering and many other infrastructure projects. Problems associated with the analysis and design of buried pipes are very interesting from a structural and geotechnical aspect, especially because of the various uncertainties involving loading conditions, soil type, earthquake magnitude, depth of burial, non-linear behavior due to thin-walled cross-sections and the need to combine membrane and bending theory for structural modeling.

The first part of this study is dealing with critical failure modes and critical buckling loads for buried pipelines of infinite length under axial compression, pure bending, and combined moment and axial force. Furthermore, the effects of finite length and internal pressure are examined for buried pipelines under pure bending. It is attempted to derive and propose approximate analytical expressions for the critical load corresponding to axial compression, as well as for the global limit point moment and the local bifurcation buckling moment corresponding to pure bending or combined bending and axial force, depending on the stiffness of the surrounding soil. The soil is modeled with linear radial translational springs. Only springs in compression are accounted for, as soil cannot resist tension. The nonlinear moment-curvature relation is obtained through energy considerations, with a term representing the strain energy of the soil springs. Parametric studies are presented to describe the effects of different soil types, internal pressure and finite length.

The second part is dealing with the investigation of the mechanical behavior of buried pipelines subjected to explosions taking place on the ground surface. Approximate analytical expressions are proposed in order to calculate safe distances between source of explosion and pipeline for given quantity and type of explosives and vice-versa. The proposed approach is based on the assumption that the pipeline is flexible enough to follow the soil movement. The spherical shape of the wave front is accounted for. Pipelines operating under internal pressure are considered. A series of design aids for use in every day practice have been developed for different materials and location classes. A more refined methodology is finally proposed, taking dynamic variation into account by assuming a harmonic wave. Thus, superposition of individual stress components takes place at every location and every time step. Successive iterations are carried out for different values of horizontal distance between explosion and pipeline, and the corresponding maximum von Mises stresses are calculated, in order to obtain safe distances by applying this methodology within the symbolic manipulation software Mathematica.