

CYPRUS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY



Master Thesis

SEISMIC RETROFITTING & ENERGY
IMPROVEMENT OF AN EXISTING BUILDING

Ilia Georgios

Limassol 2013

CYPRUS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY
DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING AND GEOMATICS

SEISMIC RETROFITTING & ENERGY
IMPROVEMENT OF AN EXISTING BUILDING

Ilia Georgios

**A dissertation submitted in partial fulfillment of the
requirements for the degree of
MSc Civil Engineering and Sustainable Design**

Limassol 2013

APPROVAL FORM

Master Thesis

**SEISMIC RETROFITTING & ENERGY
IMPROVEMENT OF AN EXISTING BUILDING**

Represented from

Ilia Georgios

Dissertation Supervisor: Associate Professor Christis Chrysostomou

Committee Member _____

Committee Member _____

Cyprus University of Technology

September, 2013

Declaration

Copyright © Iliia Georgios, 2013

All rights reserved.

The approval of the thesis from the Department of Civil Engineering and Geomatics does not necessarily imply acceptance of the opinions of the author, on behalf of the Department.

I *Iliia Georgios*, confirm that this work submitted for assessment is my own and is expressed in my own words. Any uses made within it of the works of other authors in any form (e.g. ideas, equations, figures, text, tables, programs) are properly acknowledged at the point of their use. A full list of the references employed has been included.

Signed

Date

PREFACE

One of the most productive and enjoyable periods of my life just ended. I want to thank everyone who supported me during this period and became an inspiration to me.

Carrying out my Master Thesis was a lengthy and intensive task, which could have not been completed without the involvement and help of variety of people and institutions.

Firstly, I would like to thank the supervisor of the thesis **Dr. Christis Chrysostomou** for offering me the opportunity to prepare this thesis, for his trust in me, for his continuous scientific guidance and for his invaluable support to achieve my academic goals. His contribution was continuous throughout the course of processing the thesis. I would also like to thank him for the confidence he showed me both in the selection of the dissertation topic, but also in the award of the subject.

I would also like to thank **Mrs Maria Chrysostomou** for her valuable scientific guidance and support in the use of software 3DR STRAD used for academic purposes.

I also express special thanks to my friends Andreas, Giannos and Demosthenis for their moral support.

In conclusion, I would like to thank my family and especially my father **Ilias** and my mother **Iliada** for their unparalleled moral and psychological support throughout the duration of my studies all those years. Without their support this thesis would have not have the expected results.

“I am indebted to my father for living, but to my teacher for living well”

Alexander the Great

Ilia Georgios

Limassol, September 2013

ABSTRACT

Many existing reinforced concrete frame buildings designed before the introduction of modern seismic codes are highly vulnerable to seismic actions due to their reduced ductility capacity. Passive control systems have emerged to be efficient tools for the seismic retrofit of low ductility RC frames and help to reduce economical losses in consequence of seismic events. Since funds to investment for seismic vulnerability reduction may be limited, a risk-based life cycle cost analysis approach is required to evaluate and compare the cost effectiveness of different mitigation strategies.

In this work, an existing four-storey building will be examined using two different retrofitting methods, with different remaining life and seismic return period, and conclusions will be drawn regarding the efficiency of each method in economic terms. The frame is designed for gravity-loads only and does not comply with modern seismic code requirements.

Also in combination with seismic retrofitting thermal improvement of the outer shell of the building will be performed, using the regulations for thermal performance of buildings of Cyprus. Energy consumption and thermal improvement cost is a very important parameter of the whole life cost of a building.

Of course it's clear that if we want to evaluate in an appropriate way the effectiveness of seismic retrofitting and thermal improvement on existing buildings, many studies should be performed to give a definitive answer to this question.

In chapter one the problem is briefly stated and the most important parameters associated with that, which make the decisions for solving the problem very difficult, are presented.

In chapters two and three the objectives and briefly the regulations and standardizations associated with the problem in European Union and in Cyprus are stated.

In chapter four the Whole Life Cost cycle analysis (WLCCA) is briefly described, stating what is WLCCA and why it is important to be used, which data are taken into account, which are the formulas to determine the WLCCA values etc.

In chapter five the methods for thermal improvement and seismic retrofitting are described, while in chapter six the methodology of seismic assessment is described.

In chapter seven the results of the case-study and some calculations about the thermal improvement of the building, the seismic retrofitting using the software 3DR STRAD and the calculations for the WLCCA are presented.

Finally, the results along with the conclusions and some discussion about the topic are represented in chapter eight.

This study is a first approach on the topic and will give some results, taking into account only the most important parameters of retrofitting and thermal improvement such as commonly used materials and common working hours. More extensive work can be done if more detailed parameters are taken into account in the analysis.

Keywords:

Thermal improvement, seismic assessment and retrofitting, life cost cycle analysis..

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πολλά από τα υφιστάμενα πλαισιωτά κτήρια από οπλισμένο σκυρόδεμα σχεδιάστηκαν πριν από την εισαγωγή των σύγχρονων σεισμικών κωδίκων και είναι ιδιαίτερα ευάλωτα σε σεισμικές δράσεις λόγω μειωμένης φέρουσας ικανότητας και μειωμένης πλαστιμότητας. Πολλά παθητικά συστήματα ελέγχου και μέθοδοι ενίσχυσης έχουν προκύψει με τον καιρό τα οποία είναι αποτελεσματικά εργαλεία για τη σεισμική αναβάθμιση των χαμηλής αντοχής πλαισιωτών φορέων οπλισμένου σκυροδέματος . Δεδομένου ότι τα κεφάλαια για επένδυση στην αντισεισμική αναβάθμιση των κτηρίων είναι μειωμένα, απαιτείται να γίνεται ανάλυση κόστους κύκλου ζωής για αξιολόγηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων του κόστους των διαφορών στρατηγικών σχεδιασμού αντισεισμικής αναβάθμισης.

Σε αυτή την εργασία, θα εξετάσουμε ένα υφιστάμενο τετραώροφο κτίριο και χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές μεθόδους αντισεισμικής αναβάθμισης , με διαφορετικό χρόνο εναπομένουσας ζωής και περίοδο επαναφοράς του σεισμού θα προσπαθήσουμε να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα κάθε μεθόδου σε όρους οικονομικού κόστους. Το πλαίσιο έχει σχεδιαστεί για φορτία βαρύτητας μόνο και δεν συμμορφώνεται με τις σύγχρονες αντισεισμικές απαιτήσεις.

Επίσης, σε συνδυασμό με την σεισμική αναβάθμιση θα πραγματοποιηθεί βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου στο εξωτερικό κέλυφος , σύμφωνα με τους κανονισμούς για την θερμική απόδοση των κτιρίων της Κύπρου . Η κατανάλωση ενέργειας και το κόστος για την ενεργειακή αναβάθμιση είναι πολύ σημαντική παράμετρος του συνολικού κόστους ζωής ενός κτιρίου.

Φυσικά είναι σαφές ότι, αν θέλουμε να αξιολογήσουμε με τον κατάλληλο τρόπο την αποτελεσματικότητα της σεισμικής μετασκευής και θερμική βελτίωση στα υφιστάμενα κτίρια θα πρέπει να γίνουν πολλές μελέτες για να δοθεί μια σαφής άποψη για το θέμα.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται σε συντομία πιο είναι το πρόβλημα και ποιες είναι οι πιο σημαντικές παράμετροι που συνδέονται με αυτό και κάνουν πολύ δύσκολη την λήψη αποφάσεων για επίλυση του προβλήματος.

Στα κεφάλαια δύο και τρία παρουσιάζονται ο σκοπός της μελέτης και σε συντομία οι κανονισμοί και οι τυποποιήσεις που σχετίζονται με το πρόβλημα όπως αυτοί διατυπώνονται στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στην Κύπρο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται συνοπτικά η μέθοδος του συνολικού κόστους κύκλου ζωής (WLCCA) , και αναφέρεται τι είναι η WLCCA, γιατί είναι σημαντική και γιατί πρέπει να γίνεται, ποιά δεδομένα πρέπει να συνυπολογιστούν, ποιοι είναι οι τύποι για τον προσδιορισμό των τιμών WLCCA κλπ.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των μεθόδων θερμικής βελτίωσης και σεισμικής αναβάθμισης, ενώ στο κεφάλαιο έξι περιγράφεται σε συντομία η μεθοδολογία της σεισμική αποτίμησης .

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και κάποιοι υπολογισμοί σχετικά με την θερμική βελτίωση του κτιρίου, η σεισμική αναβάθμιση με την χρήση του λογισμικού 3DR STRAD και οι υπολογισμοί με τα αποτελέσματα για την ανάλυση κόστους κύκλου ζωής (WLCCA) .

Τέλος, στο όγδοο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και κάποια συζήτηση για το θέμα.

Αυτή η μελέτη είναι μια πρώτη προσέγγιση για το θέμα και θα δώσει κάποια αποτελέσματα, λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις πιο σημαντικές παραμέτρους της αντισεισμικής ενίσχυσης και θερμικής βελτίωσης, όπως τα υλικά που χρησιμοποιούνται γενικά. Πιο εκτεταμένη εργασία μπορεί να γίνει, εάν στην ανάλυση ληφθούν υπόψη πιο λεπτομερείς παράμετροι.