

Διδακτορική διατριβή

**ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΕΩΝ ΣΕ  
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ  
ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ  
ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕ  
ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΙ  
ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ**

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ Δ. ΠΑΜΠΟΡΗΣ**

Λεμεσός, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2022

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Διδακτορική διατριβή

ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΕΩΝ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ  
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ  
ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Δ. ΠΑΜΠΟΡΗΣ

Λεμεσός, Οκτώβριος 2022

## Έντυπο έγκρισης

Διδακτορική διατριβή

# ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΕΩΝ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ

Παρουσιάστηκε από

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Δ. ΠΑΜΠΟΡΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Κρίστης Χρυσοστόμου, Καθηγητής

Υπογραφή



Μέλος επιτροπής: Πέτρος Χρίστου, Αναπληρωτής Καθηγητής

Υπογραφή



Μέλος επιτροπής: Διόφαντος Γλ. Χατζημιτσής, Καθηγητής

Υπογραφή



Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Λεμεσός, Οκτώβριος 2022

Διδακτορική διατριβή

**ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΕΩΝ ΣΕ  
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ  
ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ  
ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕ ΕΞΕΤΑΣΗ  
ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ  
ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ**

Παρουσιάστηκε από

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Δ. ΠΑΜΠΟΡΗΣ

Επιτροπή Παρακολούθησης:

Επιβλέπων Καθηγητής: Κρίστης Χρυσοστόμου, Καθηγητής

Μέλος Επιτροπής: Σωτήρης Καλογήρου, Καθηγητής

Μέλος Επιτροπής: Παύλος Χριστοδουλίδης, Επίκουρος Καθηγητής

Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Λεμεσός, Οκτώβριος 2022

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Γεώργιος Δ. Παμπόρης, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Από αυτή τη θέση θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους βοήθησαν στην πραγματοποίηση της παρούσας διατριβής, ξεκινώντας από τον επιβλέποντα μου Καθηγητή Κρίστη Χρυσοστόμου, και τα μέλη της επιτροπής παρακολούθησης Καθηγητή Σωτήρη Καλογήρου και Επίκουρο Καθηγητή Παύλο Χριστοδουλίδη, για την καθοδήγηση και την εμπιστοσύνη που έδειξαν στο πρόσωπό μου. Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής Αναπληρωτή Καθηγητή Πέτρο Χρίστου και Καθηγητή Διόφαντο Χατζημιτσή.

Ολόθερμες ευχαριστίες θέλω, επίσης, να εκφράσω στην οικογένειά μου που χωρίς την αμέριστη αγάπη και υποστήριξη τους δεν θα μπορούσα να ανταπεξέλθω καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου. Η υπομονή και η ψυχολογική συμπαράσταση που μου προσέφερε ήταν καταλυτική για την επιτυχής περάτωση της διατριβής μου.

Τέλος, ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην γυναίκα μου για την κατανόηση και τη στήριξη της που μου προσέφερε κατά τη συγγραφή του πονήματός μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με βάση τα τρέχοντα δεδομένα της ενεργειακής και οικονομικής κρίσης είναι αναμφίβολο ότι υπάρχει η ανάγκη να μελετηθεί και να προσδιοριστεί μια μεθοδολογία, η οποία θα υποδεικνύει κατά πόσο μια επέμβαση αναβάθμισης σε υφιστάμενο κτίριο, είναι η βέλτιστη επέμβαση αναβάθμισης ως προς το οικονομικό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Στην εισαγωγή της παρούσας διατριβής γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση και παρουσιάζεται η βασική αντίληψη της διεθνούς ακαδημαϊκής κοινότητας ως προς την εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης στον πλανήτη, επισημαίνοντας τους τομείς που αφορά. Επιπρόσθετα γίνεται μια επισκόπηση των διαφόρων προτεινόμενων προτύπων κατασκευής σύγχρονων ενεργειακών κτιρίων και του κτιριακού αποθέματος κρατών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σε αυτή τη βάση ερευνώνται οι πρακτικές επεμβάσεις υφιστάμενων κτιρίων, δηλαδή η μείωση του περιβαλλοντικού και οικονομικού αποτυπώματος, που αποτελεί το αντικείμενο της παρούσας έρευνας. Με την ολοκλήρωση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, εξετάζονται οι μέθοδοι για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος με βάση την ανάλυση του κύκλου ζωής του υφιστάμενου κτιρίου, και αναλύονται οι πολυκριτηριακές μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των επεμβάσεων.

Συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 2 γίνεται αναλυτική παρουσίαση των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση και την υποστήριξη του μοντέλου αξιολόγησης της μεθοδολογίας. Στο ίδιο κεφάλαιο επεξηγούνται όλοι οι ορισμοί των ενεργειών, κριτηρίων, σεναρίων και όλων των σχετικών παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο αξιολόγησης, με την πλήρη ανάπτυξη και περιγραφή του λογικού διαγράμματος του μοντέλου αξιολόγησης. Στα υποκεφάλαια γίνεται η περιγραφή του κάθε σταδίου, με αναφορά σε κάθε τμήμα της μεθοδολογίας, στις βάσεις δεδομένων και στο λογισμικό που εφαρμόστηκε.

Στο κεφάλαιο 3 ακολουθούν παραμετρικές αναλύσεις υφιστάμενων κτιρίων, και η εξήγηση των αποτελεσμάτων τους με βάση τους δείκτες κατάταξης της μεθοδολογίας, και υποδεικνύεται ο βέλτιστος συνασπισμός επεμβάσεων για την κάθε περίπτωση υφιστάμενου κτιρίου ξεχωριστά. Στη συνέχεια στο κεφάλαιο 4 γίνεται σχολιασμός των κύριων αποτελεσμάτων και τέλος στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα τελικά

συμπεράσματα της μεθοδολογίας, με αναφορά στον τελικό σκοπό του επικείμενου ελέγχου, δηλαδή την επίτευξη ελεγχόμενων ολοκληρωμένων επεμβάσεων ανακαινίσεων σε υφιστάμενα κτίρια, με απώτερο στόχο τον εντοπισμό της βέλτιστης πρακτικής όσον αφορά στο περιβαλλοντικό και οικονομικό αποτύπωμα.

Με βάση τα πιο πάνω, η μεθοδολογία της παρούσας διατριβής στοχεύει στην αξιολόγηση κάθε πιθανής επέμβασης σε υφιστάμενο κτίριο στη βάση ενός προτεινόμενου πλαισίου, με στόχο το βέλτιστο σχεδιασμό της κάθε επέμβασης αναβάθμισης, και τελικό σκοπό την μείωση του περιβαλλοντικού και οικονομικού αποτυπώματος του κτιρίου.

**Λέξεις κλειδιά:** NZEB, Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Στατική/Αντισεισμική και Ενεργειακή Αναβάθμιση, Πολυκριτηριακή Ανάλυση



## **ABSTRACT**

Based on the recent data of the energy and financial crisis, there is no doubt that there is a need to study and determine a methodology, which will indicate whether a proposed upgrading technique for an existing building is the optimal solution in terms of economic and environmental footprint.

In the introduction of this thesis, a bibliographic review is carried out and the basic knowledge of the international academic community regarding the estimation of energy consumption on the planet is presented, highlighting the sectors it concerns. In addition, there is an overview of the various proposed construction standards for modern energy buildings and the building stock of the European Union Member States.

On this basis, the intervention practices of existing buildings are investigated, i.e., the reduction of the environmental and economic footprint, which is the subject of this research. With the completion of the bibliographic review, the methods for calculating the environmental footprint are examined, based on the analysis of the life cycle of the existing building and the multi-criteria methods that will be used to evaluate the interventions are analyzed.

Chapter 2 provides a detailed presentation of the methods used to implement and support the methodology evaluation model. In the same chapter, with the full development and description of the logic diagram of the evaluation model, all definitions of actions, criteria, scenarios, and all relevant parameters considered in the evaluation model are explained. The subsections describe each stage, with reference to each part of the methodology, the databases and the software that was applied.

In chapter 3, parametric analyses of existing buildings are presented, and their results are explained based on the ranking indicators of the methodology. Additionally, the optimal intervention coalition is indicated for each case of an existing building separately. Then in chapter 4 there is a report on the main results, and finally in chapter 5 the final conclusions of the methodology are presented, with reference to the final objective of the examination, i.e., the achievement of controlled integrated renovation interventions in existing buildings, with the optimum aim of identifying the best practice in terms of environmental and economic footprint.

Based on the above, the methodology of this thesis aims to evaluate every possible intervention in an existing building based on a proposed framework, with the aim of optimal planning of each upgrade intervention, and the goal is to reduce the environmental and economic footprint of the building.

**Keywords:** NZEB, Life cycle Analysis, Earthquake Resistance and Energy Upgrade  
Multi criteria decision analysis