



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

**Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης
ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την
οικονομική αξιολόγηση**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Της Μαρίας Δ. Παπαγελοπούλου

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

**Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης
ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την
οικονομική αξιολόγηση**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Της Μαρίας Δ. Παπαγγελοπούλου

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 20η Φεβρουαρίου 2025.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ευάγγελος Μαρινάκης
Επικουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025



.....
Μαρία Δ. Παπαγγελοπούλου
Κάτοχος Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Τεχνοοικονομικά Συστήματα» της Σχολής
Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Μαρία Παπαγγελοπούλου 2025

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.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην συγκέντρωση ενός ικανού όγκου πληροφοριών όσον αφορά σε τεχνικές και μεθόδους (οικονομικής) κυρίως αξιολόγησης των εκάστοτε μέτρων αναβάθμισης κτιρίων. Η ανάγκη για μετάβαση σε μια πιο βιώσιμη διαχείριση της ενέργειας και των πόρων είναι διάχυτη σε όλη τη βιβλιογραφία, όπως επίσης είναι ξεκάθαρη και η μεγάλη συμμετοχή του κτιριακού τομέα στην κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Ενώ η επείγουσα ανάγκη για μέτρα αναβάθμισης είναι κοινώς βιωμένη από την πλειοψηφία της κοινωνίας, και η διάθεση για μια στροφή σε ενεργειακά αποδοτικές λύσεις στα κτίρια είναι παρούσα, συχνό εμπόδιο στην επιτάχυνση των πρωτοβουλιών για αναβαθμίσεις κτιρίων αποτελεί το υψηλό κόστος. Η βιβλιογραφική έρευνα που εκπονήθηκε εξετάζει αρθρογραφία και μελέτες περίπτωσης σχετικά με την αξιολόγηση ανακαινίσεων κτιρίων από οικονομική σκοπιά, σε συνδυασμό πάντα με την μέτρηση και ποσοτικοποίηση και άλλων παραμέτρων αποδοτικότητας. Παρουσιάζονται εκτενέστερα δείκτες που εντάσσονται στην ευρύτερη λογική της Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής (Life Cycle Cost Analysis), της Ανάλυσης Κόστους-Οφέλους (Cost Benefit Analysis), και της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment). Σκοπός της έρευνας είναι να αναδειχθούν τάσεις και ελλείψεις ως προς τη χρησιμοποίηση των προαναφερόμενων μεθόδων αξιολόγησης και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα που θα οδηγήσουν στη βέλτιστη χρήση τους κατά περίπτωση. Η συγκεκριμένη εργασία αποτελεί μια απόπειρα να χρησιμεύσει ως ένας συνοπτικός οδηγός για την επιλογή των καταλληλότερων μετρικών ανάλογα με τη στόχευση των εξεταζόμενων μέτρων.

Λέξεις κλειδιά: Αναβάθμιση κτιρίων, Κόστος Κύκλου Ζωής, Ανάλυση Κόστους-Οφέλους, Οικονομική αξιολόγηση

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

Abstract

This thesis focuses on gathering a significant volume of information in regards to techniques and methods employed to assess (mostly financially) various building retrofit measures. Relevant bibliography is widespread with the necessity of transitioning to a state of managing energy and resources in a more viable way; moreover, it is obvious that building sector has a significant contribution to energy consumption and carbon dioxide (CO₂) emissions. Whereas the urgent need for retrofit measures is common ground for the majority of society, and the tendency towards a shift to energy efficient solutions in buildings is evident, a common obstacle in accelerating building retrofit initiatives is the high cost. The bibliographical survey performed examines articles and case studies concerning building retrofit evaluation from a financial perspective, always in combination with measuring and quantifying other efficiency parameters as well. There is a more detailed presentation of indicators which fall under the general category of Life Cycle Cost Analysis (LCCA), Cost-Benefit Analysis (CBA), and Life Cycle Assessment (LCA). The aim of this study is to highlight tendencies and deficiencies in regards to the use of the aforementioned evaluation methods, and to reach useful conclusions leading to their optimal use depending on the case. The present study reflects the attempt of the latter to be referenced as a useful guide for choosing the most appropriate metrics depending on the aim of the examined measures.

Keywords: Building retrofit, Life Cycle Cost (LCC), Cost-Benefit Analysis, Financial evaluation

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων	9
1 Εισαγωγή	13
1.1 Σκοπός και Αντικείμενο Μελέτης	14
1.2 Δομή Εργασίας.....	14
2 Θεωρητικό υπόβαθρο	15
2.1 Αναβάθμιση κτιρίων	15
2.1.1. Βιωσιμότητα	16
2.1.2. Βιωσιμότητα και αναβάθμιση κτιρίων.....	17
2.2 Οικονομική αξιολόγηση και αναβάθμιση κτιρίων	18
2.2.1. CBA.....	19
2.2.2. LCCA.....	21
2.2.3. LCA	22
2.2.4. Risk Management	24
3 Μεθοδολογία	27
3.1 Μεθοδολογία Αναζήτησης Βιβλιογραφίας.....	27
3.1.1. Βάσεις δεδομένων και πηγές πληροφόρησης.....	28
3.1.2. Λέξεις κλειδιά και στρατηγικές αναζήτησης.....	28
3.2 Διαδικασία Επιλογής και γενικά στατιστικά μελετών	28
3.2.1. Κριτήρια Ένταξης και Αποκλεισμού	29
3.2.2. Διαδικασία Αξιολόγησης και Επιλογής	29
3.2.3. Στατιστικά επιλεγθεισών μελετών	31
3.3 Μέθοδος καταγραφής μελετών	34
4 Ανάλυση Βιβλιογραφίας	36
4.1. Στοιχεία κτιρίων.....	36
4.1.1. Λειτουργία κτιρίου	37
4.1.2. Είδος Μοντέλου.....	38
4.1.3. Έτος κατασκευής	39
4.2. Δείκτες Αξιολόγησης	40
4.2.1. Μέθοδοι Αξιολόγησης.....	40
4.2.2. Ενέργεια.....	45
4.2.3. Άνεση	46
4.2.4. Περιβαλλοντική Επίπτωση	46
4.2.5. Αντιστάθμιση	47
4.3. Στοιχεία Μεθοδολογίας και Εργαλεία.....	47
4.3.1. Μέτρα Αναβάθμισης	48
4.3.2. Εργαλεία Προσομοίωσης / Βελτιστοποίησης	49
4.3.3. Η σημαντικότητα του Επιτοκίου Προεξόφλησης (Discount Rate)	50
4.3.4. Κοινωνική και πολιτική διάσταση των μελετών	51
5 Συμπεράσματα	53
5.1. Συζήτηση	53

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

5.2. Προκλήσεις και Περιορισμοί.....	56
5.3. Μελλοντική Έρευνα	57
Παράρτημα Α: Γενικά Στοιχεία Μελετών	58
Παράρτημα Β: Στοιχεία Κτιρίων	64
Παράρτημα Γ: Δείκτες Αξιολόγησης.....	66
Παράρτημα Δ: Μέθοδοι και Εργαλεία.....	71
Βιβλιογραφία	97

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

Κατάλογος εικόνων και πινάκων

Εικόνα 1: Ιστορική αναδρομή	17
Εικόνα 2: Τμήμα από αποτύπωση του σταδίου LCIA [27]	23
Εικόνα 3: Απεικόνιση μεθοδολογίας	30
Εικόνα 4: Πλήθος δημοσιεύσεων ανά έτος	31
Εικόνα 5: Ποσοστά ανά τύπο δημοσίευσης	31
Εικόνα 6: Κατανομή άρθρων σε επιστημονικά περιοδικά	32
Εικόνα 7: Χάρτης τοποθεσίας κτιρίων	32
Εικόνα 8: Επιδόσεις χωρών G20 στη μείωση εκπομπών από τα κτίρια [57]	33
Εικόνα 9: Απεικόνιση λειτουργίας μελετώμενων κτιρίων	36
Εικόνα 10: Είδος μοντέλου που χρησιμοποιείται στη μελέτη περίπτωσης	38
Εικόνα 11: Ποσόστωση κτιρίων μελέτης ανά διάστημα έτους κατασκευής	39
Εικόνα 12: Κατανομή κύριας προσέγγισης αξιολόγησης μελετών	41
Εικόνα 13: Κατανομή μελετών που χρησιμοποιούν τους δείκτες I έως V	42
Εικόνα 14: Επιμέρους ποσοστό χρήσης δεικτών Ενέργειας	45
Εικόνα 15: Γενικές τάσεις και παρατηρήσεις	55
Εικόνα 16: Τάσεις δεικτών αξιολόγησης	56

1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με τα δεδομένα της Σύμβασης-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) [1], η συγκράτηση της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 1.5°C, ώστε να ικανοποιούνται οι δεσμεύσεις της Συμφωνίας του Παρισιού από τις χώρες που την υπέγραψαν, απαιτεί μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 43% έως το 2030. Η Ευρώπη πιο συγκεκριμένα δείχνει ισχυρή διάθεση για τήρηση των δεσμεύσεων και έχει δρομολογήσει την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal) με απώτερο στόχο την κλιματική ουδετερότητα (“net zero”) έως το 2050 [2]. Οι στόχοι αυτοί θα πρέπει να επιτευχθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα, κάτι που είναι ενδεικτικό του επείγοντος της κατάστασης. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με πρόσφατη έκθεση των **Ηνωμένων Εθνών** (United Nations Environment Programme) για το χάσμα μεταξύ των σημερινών δεσμεύσεων και της πραγματικής ανάγκης για μείωση των εκπομπών (Emissions Gap Report), έχει σημειωθεί περιορισμένη πρόοδος σε σχέση με την τελευταία αξιολόγηση των 107 χωρών που έχουν δεσμευτεί για τους στόχους [3]. Συγκεκριμένα ως προς τη συμβολή του κτιριακού τομέα στα παραπάνω, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission) παρουσιάζει μετρήσεις της **Eurostat** και του **EEA** (European Environment Agency) που περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τα κατωτέρω συμπεράσματα [4]:

- Περίπου 40% της ενέργειας που καταναλώνεται στην Ευρωπαϊκή Ένωση χρησιμοποιείται στα κτίρια
- Πάνω από το 1/3 των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου της ΕΕ που σχετίζονται με την ενέργεια προέρχονται από κτίρια
- Η ενέργεια που χρησιμοποιείται στα σπίτια της ΕΕ προορίζεται για θέρμανση, ψύξη και Ζεστό Νερό Χρήσης σε ποσοστό +/- 80%

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

Να κλείσουμε τέλος, με αναφορά και πάλι στην προηγούμενη έκθεση των Ηνωμένων Εθνών (Emissions Gap Report) [3], τονίζοντας την ποσόστωση που παρατηρείται στις εκπομπές μεταξύ των χωρών. Είναι χαρακτηριστικό όπως αποτυπώνεται στο κεφάλαιο «Συνοπτική Έκθεση» του Emissions Gap Report [3], πως «οι μέσες κατά κεφαλήν εκπομπές GHG είναι σχεδόν τρεις φορές υψηλότερες από τον παγκόσμιο μέσο όρο στις Η.Π.Α. και τη Ρωσική Ομοσπονδία, ενώ παραμένουν σημαντικά κάτω από αυτόν στην Αφρικανική Ένωση, την Ινδία και τις λιγότερο αναπτυγμένες χώρες. Οι εκπομπές με βάση την κατανάλωση παραμένουν επίσης εξαιρετικά άνισες».

1.1 Σκοπός και Αντικείμενο Μελέτης

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι να μελετήσει την πιο πρόσφατη βιβλιογραφία στον τομέα των ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων και να επικεντρωθεί σε μεθόδους αξιολογήσεων αυτών με βασικό γνώμονα την οικονομική αποδοτικότητα. Κατά τη διάρκεια της έρευνας προέκυψε βέβαια πως δεν μπορούν να αξιολογηθούν αποκλειστικά και μόνο οικονομικές επιδόσεις χωρίς να ληφθούν υπόψη και λοιπά μεγέθη στα οποία επιτυγχάνεται βελτίωση της απόδοσης.

Μέσα από την προσεκτική επιλογή των βιβλιογραφικών πηγών και την ενδελεχή μελέτη τους, σκοπός ήταν η κατανόηση του συγκεκριμένου τομέα βιώσιμης ανάπτυξης και η εύρεση τυχόν συνδέσεων και τάσεων, οι οποίες θα μπορούσαν να φανούν χρήσιμες σε μελλοντικές έρευνες και στην επιτάχυνση της κτιριακής ενεργειακής μετάβασης.

1.2 Δομή Εργασίας

Τα κεφάλαια της εργασίας αναπτύσσονται ως εξής:

Κεφάλαιο 1: Γενική ιδέα και κατεύθυνση της εργασίας. Παρουσίαση της δομής της.

Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό υπόβαθρο προς καλύτερη κατανόηση της εξέλιξης της εργασίας στα επόμενα κεφάλαια. Παρουσιάζονται βασικοί ορισμοί και έννοιες γύρω από τις οποίες περιστρέφεται η ερευνώμενη βιβλιογραφία.

Κεφάλαιο 3: Αναφορά των βημάτων που ακολουθήθηκαν για τη δόμηση της βιβλιογραφίας και την εξαγωγή συμπερασμάτων κατόπιν.

Κεφάλαιο 4: Ανάλυση της βιβλιογραφίας που συμπεριλήφθηκε. Μέσα από την προσεκτική μελέτη της, έγινε προσπάθεια για εύρεση κοινών χαρακτηριστικών, τάσεων και μοτίβων και ερμηνεία αυτών.

Κεφάλαιο 5: Σύνοψη βασικών συμπερασμάτων που προέκυψαν από την έρευνα. Παράθεση προκλήσεων και προβληματισμών για περαιτέρω εμβάθυνση μελλοντικών ερευνών στο θέμα.

Ακολουθούν στο τέλος παραρτήματα με όλους τους πίνακες που συνοψίζουν τα ευρήματα των μελετών, καθώς επίσης και η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

2 Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1 Αναβάθμιση κτιρίων

Η αναβάθμιση κτιρίων αποτελεί τη διαδικασία βελτίωσης ή προσθήκης ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών στο κτίριο, τα οποία δεν ήταν παρόντα εξ αρχής από τη φάση της κατασκευής αυτού, όπως καταγράφεται στην τεχνική έκθεση “Retrofit 2050: Critical Challenges for Urban Transitions” [5]. Οι εν λόγω βελτιώσεις ή προσθήκες μπορεί να αναφέρονται σε συστήματα θέρμανσης/ψύξης, στο περίβλημα του κτιρίου, στη μόνωση, στο φωτισμό κ.α. [6]

Σύμφωνα με δημοσίευση της εταιρείας Kerpel [7], που ασχολείται με διαχείριση ακινήτων σε παγκόσμιο επίπεδο και ειδικεύεται σε υπηρεσίες ΑΠΕ και καθαρής ενέργειας, οι στόχοι της εκάστοτε δέσμης μέτρων αναβάθμισης συνοψίζονται ως εξής:

- Περιβαλλοντικά οφέλη και διατήρηση πόρων
- Θετική επίδραση στην κοινότητα
- Μείωση δαπανών
- Εξασφάλιση διαχρονικότητας στην αξία των περιουσιακών στοιχείων

Συχνά αποδίδεται στα εφαρμοσμένα μέτρα η εκτενέστερη περιγραφή «ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίου», κι αυτό γιατί η εξοικονόμηση στην κατανάλωση ενέργειας και η μείωση των εκπομπών άνθρακα αποτελούν κύριους στόχους για το κτιριακό απόθεμα παγκοσμίως. Ειδικότερα στην Ε.Ε., στόχος είναι η σημαντική μείωση των δύο προαναφερόμενων μεγεθών έως το 2030, και η κλιματική ουδετερότητα των κτιρίων έως το 2050.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

Η αρθρογραφία που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία περιλαμβάνει μέτρα αναβάθμισης που πιάνουν ένα ευρύ φάσμα παρεμβάσεων, και οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής σύμφωνα με παγκόσμια έρευνα της εταιρείας JLL (Jones Lang LaSalle) το 2022 [8]:

- a. «ελαφριές» - “light”

Στοχεύουν στη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας [π.χ. υιοθέτηση φωτισμού LED]

- b. «μηχανικά, ηλεκτρικά & υδραυλικά» - “mechanical, electrical & plumbing”

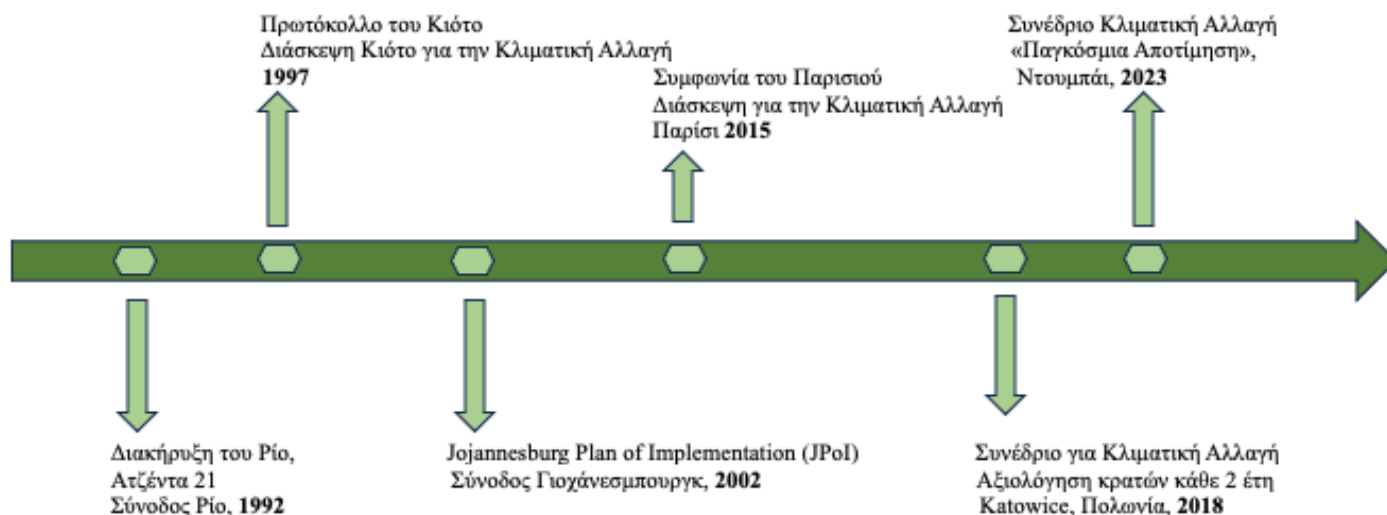
Περιλαμβάνουν ριζική αναβάθμιση του εξοπλισμού [π.χ. τοποθέτηση αντλιών θερμότητας]

- c. «εξολοκλήρου» - “whole”

Εκτεταμένη αναβάθμιση με σκοπό ενεργειακή αποδοτικότητα, μείωση εκπομπών και μείωση των λογαριασμών ενέργειας [π.χ. μόνωση τοίχων, αντικατάσταση παραθύρων κ.α.]

2.1.1. Βιωσιμότητα

Με αφετηρία την έκθεση “Our Common Future”, γνωστή και ως έκθεση Brundtland [9] της Διεθνούς Επιτροπής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη του 1987 και την ανάγνωση της Αργυρώς Κουτσικάκη σε δημοσίευση του TEDxUniversity of Macedonia για αυτήν [10], η βιωσιμότητα θα μπορούσε να οριστεί ως η «ικανοποίηση των αναγκών του παρόντος χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες». Παίρνοντας το όνομά της από την Gro Harlem Brundtland, Νορβηγή πολιτικό και πρόεδρο της τότε ομώνυμης επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών, η συγκεκριμένη έκθεση αποτέλεσε τη βάση για να ανοίξει η συζήτηση και να πάρει τη σωστή κατεύθυνση η νομολογία ως προς τη βιώσιμη ανάπτυξη [11]. Άνοιξε επίσης το δρόμο για τον παγκόσμιο διάλογο για τη βιωσιμότητα με σημαντικά σημεία αναφοράς, όπως η Σύνοδος Κορυφής για τη Γη στο Ρίο ντε Τζανέιρο το 1992, η οποία με τη σειρά της οδήγησε σε επόμενους σημαντικούς σταθμούς όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 1: Ιστορική αναδρομή

Όλα τα προτεινόμενα μέτρα και στόχοι για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη μετάβαση σε έναν βιώσιμο πλανήτη από όλες τις απόψεις, συχνά προσκρούουν στο οικονομικό κόστος, το οποίο αποτελεί πρόκληση, ιδιαίτερα για χώρες του αναπτυσσόμενου κόσμου. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η μελέτη [12], στην οποία περιγράφεται ο τρόπος που αντιστέκονται στη μετάβαση αυτή μεγάλες πετρελαϊκές εταιρείες.

Η ισορροπία για την επίτευξη των στόχων πρέπει να βρεθεί άμεσα, διότι ο χρόνος ήδη μετράει αντίστροφα. Η ανάγκη να επαναπροσδιορίσουμε τον πυρήνα της έκθεσης Brundtland [9] είναι πλέον πιο επιτακτική από ποτέ.

2.1.2. Βιωσιμότητα και αναβάθμιση κτιρίων

Συγκεκριμένα ως προς την αναβάθμιση κτιρίων που εξετάζουμε στην παρούσα εργασία, η ανάλυση στηρίζεται στους ακόλουθους τρεις πυλώνες που συναντώνται συχνά σε μελέτες βιωσιμότητας: *κοινωνικό, οικονομικό και περιβαλλοντικό*. Οι τρεις συγκεκριμένοι πυλώνες επιλέχθηκαν, διότι εκφράζουν την λογική των μεθόδων αξιολόγησης που εξετάζονται. Παρόλο που η εργασία κινείται κυρίως γύρω από τον οικονομικό άξονα και τους δείκτες αξιολόγησης που περιέχονται σε αυτόν, εξετάζεται και η περιβαλλοντική πλευρά των μέτρων αναβάθμισης και δείκτες που την εκφράζουν. Πολύ σημαντικός κρίνεται επίσης και ο κοινωνικός πυλώνας, διότι ο αντίκτυπος στους ίδιους τους ανθρώπους και οι κοινωνικές προεκτάσεις των μελετώμενων περιπτώσεων ήταν κάτι που

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

προσπάθησε να ερμηνευθεί κατά τη διάρκεια της εργασίας. Ακολουθώντας ανάλογη ταξινόμηση των μέτρων αναβάθμισης και σύνδεσής τους με τις μεθόδους με αυτή που υιοθετείται στη μελέτη [13], συμπεραίνουμε πως ο κοινωνικός πυλώνας εμπεριέχει την αύξηση του επιπέδου θερμικής άνεσης και τη μείωση του επιπέδου της ενεργειακής φτώχειας, που οδηγούν στην βελτίωση της κοινωνικής ευημερίας και τη μείωση των ανισοτήτων. Η ποσοτικοποίηση τέτοιων μεγεθών μπορεί να επιτευχθεί μέσω της Αξιολόγησης Κύκλου Κοινωνικής Ζωής (Social LCA) Ο οικονομικός πυλώνας στοχεύει μεταξύ άλλων στη μείωση του κόστους ενέργειας και συντήρησης ενός κτιρίου σε όλη τη διάρκεια ζωής του και μπορεί να ποσοτικοποιηθεί μέσω των μεθόδων LCC και CBA. Τέλος, ο περιβαλλοντικός πυλώνας εσωκλείει τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των κτιρίων και την ορθολογικότερη χρησιμοποίηση των πόρων και εκφράζεται μέσω της μεθόδου LCA. Φυσικά καταλαβαίνουμε πως υπάρχουν αλληλεξαρτήσεις μεταξύ του περιεχομένου των τριών πυλώνων, αφού για παράδειγμα μια ενδεχόμενη δέσμη μέτρων αναβάθμισης που οδηγεί σε μείωση κατανάλωσης, συμπαράσχει με τη σειρά της και το κόστος ενέργειας, το οποίο μειώνεται και επηρεάζει θετικά το περιβάλλον, ικανοποιώντας αυτόν τον ενεργειακό κύκλο. Οι αλληλεξαρτήσεις αυτές θα φανούν και σε επόμενα κεφάλαια, όπου μελετώνται οι παραπάνω μέθοδοι αξιολόγησης. Αξίζει τέλος να σημειωθεί πως μελέτες όπως η [14] τονίζουν κάποιες ελλείψεις ως προς το στέρεο θεωρητικό υπόβαθρο των τριών πυλώνων της βιωσιμότητας, αναγνωρίζοντας πως αυτοί προέκυψαν σαν έννοια κατά τα πρώιμα χρόνια, και υιοθετήθηκαν σαν κατεύθυνση από τα Ηνωμένα Έθνη στην προσπάθειά τους να συνδυάσουν την οικονομική ανάπτυξη με λύσεις σε κοινωνικά και οικολογικά προβλήματα.

Σημειώνεται πως από το 2020 κι έπειτα όλα τα νεόδμητα κτίρια στην Ε.Ε. πρέπει να ικανοποιούν τη συνθήκη για «Κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας» - “Nearly-zero energy buildings” [15]. Από το 2028 και μετά, η οδηγία αυτή θα επεκταθεί σε απαίτηση για «Κτίρια μηδενικών εκπομπών» - “Zero-emission buildings” [15]. Κεντρική πολιτική της Ε.Ε. τα τελευταία έτη αποτελεί η εφαρμογή μέτρων που θα οδηγήσουν και ήδη υπάρχοντα κτίρια σε μείωση της κατανάλωσης.

2.2 Οικονομική αξιολόγηση και αναβάθμιση κτιρίων

Η οικονομική ανάλυση είναι κομβικής σημασίας κατά τη διαδικασία της ενεργειακής αναβάθμισης ενός κτιρίου. Αν αναλογιστούμε ότι το υψηλό κόστος εγκατάστασης μπορεί να παίζει σημαντικό ρόλο στην απόφαση για υιοθέτηση μέτρων αναβάθμισης [16], καταλαβαίνουμε πως οφείλουμε να δείξουμε τη δέουσα προσοχή στην ανάπτυξη εργαλείων και μεθόδων ακριβούς καταγραφής και ερμηνείας αυτού. Σύμφωνα με τη μελέτη [17], το σημείο όπου παρατηρείται κώλυμα στις αναβαθμίσεις κτιρίων είναι η δέσμευση του ιδιοκτήτη, λόγω του υψηλού αρχικού κόστους.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

Συγκεκριμένα στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η αναθεωρημένη Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση (EPBD) αναφέρει μεταξύ άλλων πως η ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων θα πρέπει να στοχεύει «στην επίτευξη βέλτιστων επιπέδων κόστους [18]. Η παρούσα εργασία εστίασε στη μελέτη τριών προσεγγίσεων οικονομικής αξιολόγησης ως εξής:

- Ανάλυση Κόστους-Οφέλους (Cost-Benefit Analysis)
- Ανάλυση Κόστος Κύκλου Ζωής (Life Cycle Cost Analysis)
- Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment)
- Διαχείριση Κινδύνου (Risk Management)

Όλες οι παραπάνω προσεγγίσεις κινούνται στην κατεύθυνση της EPBD που αναφέρθηκε παραπάνω, έχοντας η καθεμία τα δικά της χαρακτηριστικά που θα αναλυθούν παρακάτω.

2.2.1. CBA

Με αναφορά την σύνοψη της μελέτης [19] πάνω στο βιβλίο “Cost-Benefit Analysis, Concepts and Practice, Fourth Edition”, των Anthony E. Boardman, David H. Greenberg, Aidan R. Vining, David L. Weimer, η «Ανάλυση Κόστους Οφέλους (Cost Benefit Analysis – CBA) ορίζεται ως ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων που εκφράζεται από την συστηματική καταγραφή των επιπτώσεων ως οφέλη (πλεονεκτήματα) και κόστη (μειονεκτήματα), η εκτίμηση των οποίων γίνεται σε χρηματικές μονάδες με καθορισμένα βάρη. Στη συνέχεια αξιολογείται η εκάστοτε πρόταση σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση μέσω των καθαρών οφελών (οφέλη μείον κόστη) ή μέσω του λόγου οφέλους-κόστους». Η συγκεκριμένη μεθοδολογία χρησιμοποιείται μεταξύ άλλων τομέων και για την αξιολόγηση της οικονομικής σκοπιμότητας και της αποδοτικότητας μιας συγκεκριμένης επένδυσης ή αναβάθμισης σε κτίρια. Η λογική της είναι να συγκρίνει τα συνολικά κόστη της αναβάθμισης (όπως κατασκευαστικά έξοδα, κόστος υλικών, εργασία, κ.λπ.) με τα αναμενόμενα οφέλη που θα προκύψουν (όπως εξοικονόμηση ενέργειας, αύξηση αξίας ακινήτου, βελτίωση άνεσης, μείωση λειτουργικών εξόδων, κ.λπ.).

Σύμφωνα με το Harvard Business School [20], η μεθοδολογία CBA περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

1. **Δημιουργία πλαισίου ανάλυσης.** Σε αυτό το στάδιο οριοθετείται το πλαίσιο του αναλυτή, καθορίζονται οι στόχοι της ανάλυσης και οι μετρικές που θα χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση κόστους και οφέλους.
2. **Προσδιορισμός Κόστους και Οφέλους.** Τα κόστη που λαμβάνονται υπόψη είναι άμεσα (σχετίζονται άμεσα με την παραγωγή και ανάπτυξη ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας ή την υλοποίηση ενός έργου ή επιχειρηματικής απόφασης, π.χ. κόστος εργασίας, κόστος κατασκευής, κόστος υλικών κ.α.), αλλά και έμμεσα, άυλα ή κόστη ευκαιρίας (π.χ. έξοδα δημοσίου/άδειες, σχεδιαστικά κόστη, αμοιβές αρχιτεκτόνων, αυξημένη ικανοποίηση χρηστών, βελτίωση εικόνας και φήμης σε περιπτώσεις αναβαθμίσεων επαγγελματικών κτιρίων κ.α.).

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

3. **Προσδιορισμός μιας τιμής σε κάθε Κόστος και Όφελος.** Επιλογή μετρικής μονάδας για κάθε κόστος και όφελος με σκοπό μετέπειτα ακριβείς συγκρίσεις. Τα έμμεσα και άυλα κόστη και οφέλη είναι φυσικά πολύ πιο δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν.
4. **Υπολογισμός συνολικής αξίας κάθε Κόστους και Οφέλους και Σύγκριση.** Αποτέλεσμα της σχέσης Κόστη μείον Οφέλη και λήψη απόφασης λαμβάνοντας υπόψη το πλαίσιο του βήματος 1 και κατά πόσο επιτεύχθηκαν οι στόχοι που τέθηκαν σε αυτό.

Υιοθετώντας τα βήματα που προτείνει το Harvard Business School, η διαδικασία CBA σε αναβαθμίσεις κτιρίων θα μπορούσε να συνοψιστεί ως ακολούθως:

1. Καθορισμός στόχων αξιολόγησης μέτρων αναβάθμισης και επιλογή δεικτών και μετρικών που θα χρησιμοποιηθούν.
2. Εκτίμηση όλων των οφελών και στοιχείων κόστους που αναμένονται από την αναβάθμιση, συμπεριλαμβανομένων οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών πτυχών.
3. Ποσοτικοποίηση των μεγεθών που χρησιμοποιούνται στη μελέτη (π.χ. θερμική άνεση).
4. Υπολογισμός του καθαρού οφέλους (οφέλη μείον κόστη) και σύγκριση των μεγεθών, ώστε να αξιολογηθεί η οικονομική βιωσιμότητα της αναβάθμισης. Λήψη απόφασης με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης, αλλά και το κατά πόσο επιτεύχθηκαν οι αρχικοί στόχοι (π.χ. αρχικός στόχος των εξεταζόμενων μέτρων αναβάθμισης μπορεί να ήταν η μέγιστη δυνατή μείωση εκπομπών CO₂).

Η ανάλυση αυτή βοηθά στην ορθολογική λήψη αποφάσεων και στην εκτίμηση της αξίας μιας επένδυσης σε αναβάθμιση κτιρίων, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις οικονομικές όσο και τις μη οικονομικές παραμέτρους.

Στα πλαίσια της Ανάλυσης Κόστους-Οφέλους, χρησιμοποιούνται διάφοροι δείκτες και υπό-μέθοδοι, όπως επιβεβαιώθηκε και από τη βιβλιογραφία που μελετήθηκε:

- Ανάλυση Νεκρού σημείου (Break-Even Point)
- Απόδοση Επένδυσης (Return On Investment)
- **Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return)**
- **Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Value)**
- Λόγος Κάλυψης Ζωής Δανείου (Loan Life Coverage Ratio)
- Λόγος Κόστους-Οφέλους (Cost Benefit Ratio)
- **Μέθοδος [Προεξοφλημένης] Περιόδου Επανείσπραξης ([Discounted] Pay back Period)**
- Όφελος Αύξησης μισθώματος (Rent Increase Benefit)
- Όφελος Κόστους Ενέργειας (Energy Cost Benefit)
- Όφελος Κόστους παραγωγικότητας (Productivity Cost Benefit)
- Σταθμισμένο Κόστος Ενέργειας (Levelized Cost of Energy)
- Υπολειμματική Αξία (Residual Value)

2.2.2. LCCA

Σύμφωνα με τον WBDG (Whole Building Design Guide) [21], η Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (Life Cycle Cost Analysis - LCCA) για αναβαθμίσεις κτιρίων είναι μια μεθοδολογία που εκτιμά το συνολικό κόστος ενός κτιρίου ή ενός έργου καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του, συμπεριλαμβανομένων των εξόδων απόκτησης, αρχικών επενδύσεων, των λειτουργικών εξόδων, των εξόδων συντήρησης, των αναβαθμίσεων, των οικονομικών εξόδων (π.χ. πληρωμές τόκων δανείου), των εξόδων αποσυναρμολόγησης ή απόσυρσης, καθώς επίσης και των «μη χρηματικών», άυλων ωφελειών και εξόδων, σε ανάλογη λογική με της μεθόδου CBA στο κομμάτι αυτό.

Αναλύοντας το τελευταίο σημείο, παρατηρείται πως η LCCA βοηθά στη σύγκριση διαφορετικών επιλογών αναβάθμισης, αξιολογώντας όχι μόνο το αρχικό κόστος, αλλά και τα μελλοντικά οφέλη και εξοικονομήσεις, όπως η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, η αύξηση της αξίας του κτιρίου και η βελτίωση της λειτουργικότητας. Ένα τέτοιο παράδειγμα σύμφωνα με τον WBDG [21] θα μπορούσε να είναι «το όφελος που προκύπτει από ένα αθόρυβο σύστημα HVAC ή από ένα κέρδος στην παραγωγικότητα εξαιτίας της βελτίωσης του φωτισμού. Από τη φύση τους αυτές οι επιδράσεις είναι εξωτερικές της LCCA, αλλά αν είναι σημαντικές θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στην τελική επενδυτική απόφαση».

Έτσι, η LCCA επιτρέπει στους διαχειριστές και τους επενδυτές να λάβουν πιο ενημερωμένες και βιώσιμες αποφάσεις για τις αναβαθμίσεις κτιρίων, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη οικονομική αποδοτικότητα και βιωσιμότητα.

Να σημειωθεί πως ιστορικά χρησιμοποιήθηκε αρχικά για επενδυτικούς σκοπούς στα μέσα της δεκαετίας του 1960 με τη βοήθεια του υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ, και αργότερα εφαρμόστηκε στους τομείς της αυτοκινητοβιομηχανίας και της μηχανικής [22]. Στα πλαίσια του Κόστους Κύκλου Ζωής, χρησιμοποιούνται διάφοροι δείκτες και υπό-μέθοδοι, όπως επιβεβαιώθηκε και από τη βιβλιογραφία που μελετήθηκε:

- **Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return)**
- **Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Value)**
- Μέθοδος Καθαρής Εξοικονόμησης (Net Savings Method)
- **Μέθοδος [Προεξοφλημένης] Περιόδου Επανέσπραξης ([Discounted] Pay back Period)**
- Προεξοφλημένες Ταμειακές Ροές (Discounted Cash Flow)
- Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας (Total Cost of Ownership)
- Συνολικό Κόστος (Global Cost)

Θα ακολουθήσει περαιτέρω ανάλυση του Κόστους Κύκλου Ζωής, στηριζόμενη στη βιβλιογραφία του παραρτήματος, στο κεφάλαιο 4. Παρατηρούμε επίσης πως κάποιιοι δείκτες υπολογισμού είναι **κοινοί** σε LCC και CBA, γεγονός που φανερώνει την επικάλυψη των δύο προσεγγίσεων σε κάποια σημεία. Ορισμένοι ακαδημαϊκοί θεωρούν το μοντέλο LCC ως παραλλαγή του CBA, η οποία εστιάζει αποκλειστικά στα στοιχεία κόστους [23].

2.2.3. LCA

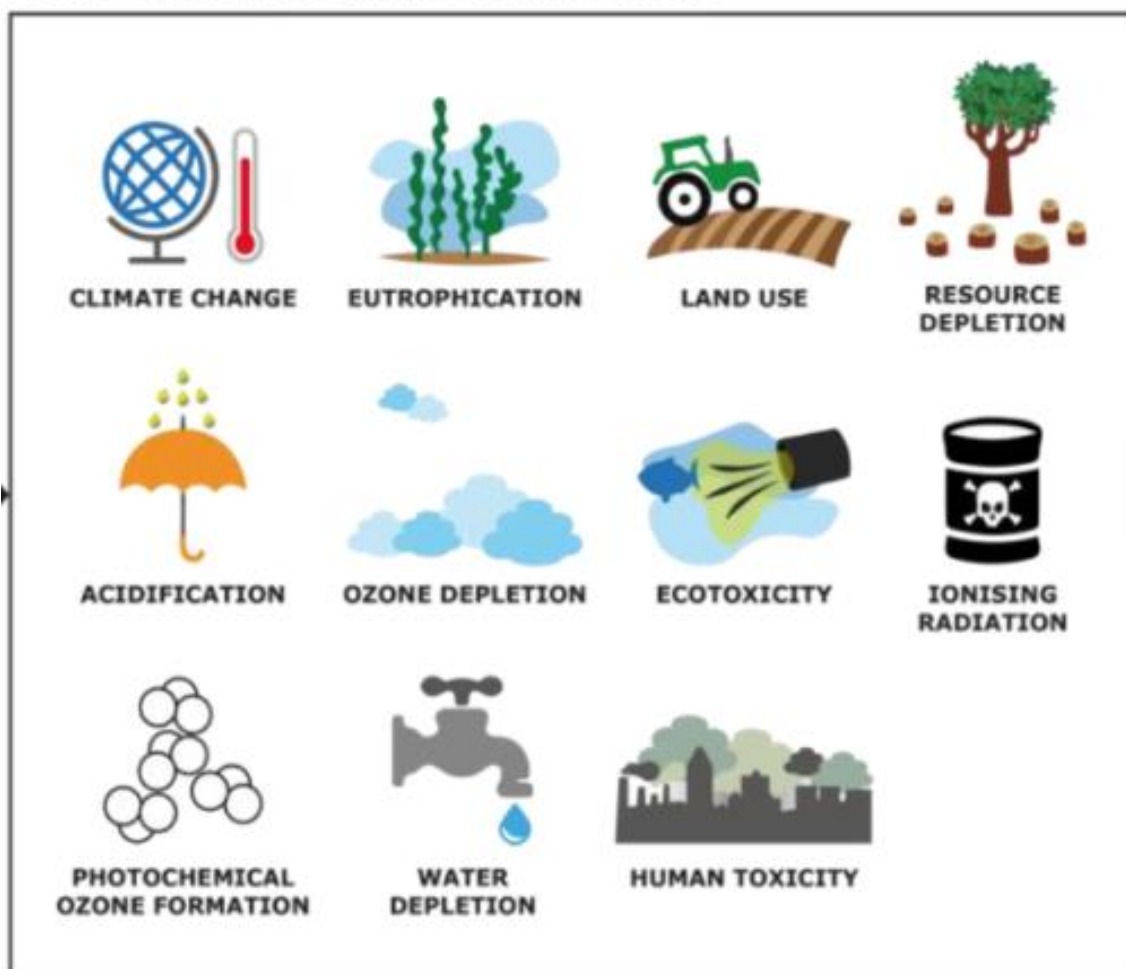
Σύμφωνα με την κατεύθυνση της διεθνούς τυποποίησης ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework [24], η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment - LCA) είναι μια μεθοδολογία που αξιολογεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός κτιρίου στις περιπτώσεις που μελετάμε καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του, από την εξόρυξη πρώτων υλών μέχρι την κατασκευή, τη λειτουργία, τη συντήρηση και τελικά την κατεδάφιση ή επαναχρησιμοποίηση των υλικών. Σκοπός της LCA είναι να προσδιορίσει και να ποσοτικοποιήσει τις επιπτώσεις που σχετίζονται με την ενεργειακή κατανάλωση, τις εκπομπές CO₂, την κατανάλωση νερού και άλλους περιβαλλοντικούς δείκτες κατά τη διάρκεια των διαφόρων φάσεων του κύκλου ζωής του κτιρίου, προκειμένου να υποστηρίξει τη λήψη αποφάσεων για βιώσιμες και αποδοτικές αναβαθμίσεις [25]. Με βάση την προαναφερόμενη τυποποίηση [24] που υιοθετείται και από την Ευρωπαϊκή πλατφόρμα για την LCA (European Platform on LCA / EPLCA) [26], η LCA βασίζεται σε τέσσερα στάδια ως εξής:

1. **Στόχος και πεδίο εφαρμογής (Goal and Scope):** σε αυτό το στάδιο ορίζεται ο σκοπός της μελέτης, επιλέγεται η μεθοδολογία, το μοντέλο, ορίζονται οι περιορισμοί του συστήματος και το ποιοτικό επίπεδο των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν.
2. **Απογραφή Κύκλου Ζωής (Life Cycle Inventory – LCI):** το στάδιο αυτό περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων και τη διαδικασία υπολογισμού για την ποσοτικοποίηση των εισροών και εκροών του μελετώμενου συστήματος. Οι εισροές και εκροές αφορούν ενέργεια, πρώτες ύλες και άλλες φυσικές εισροές, προϊόντα και παραπροϊόντα, καθώς και απόβλητα, εκπομπές σε αέρα/νερό/έδαφος και άλλες περιβαλλοντικές πτυχές.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

3. **Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment – LCIA):** σε αυτό το στάδιο τα αποτελέσματα LCI του προηγούμενου σταδίου συνδέονται με κατηγορίες και δείκτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αυτό το στάδιο αποτυπώνεται περιγραφικά στο παρακάτω σχήμα.

LCIA - Life Cycle Impact Assessment



Εικόνα 2: Τμήμα από αποτύπωση του σταδίου LCIA [27]

4. **Στάδιο Ερμηνείας Κύκλου Ζωής (Life Cycle Interpretation phase):** Τα αποτελέσματα LCI και LCIA (στάδιο 2 και 3) ερμηνεύονται με βάση τον καθορισμένο στόχο και το πεδίο εφαρμογής (στάδιο 1). Σε αυτό το βήμα περιλαμβάνονται έλεγχοι πληρότητας, ευαισθησίας και συνέπειας.

Μέσω της ανάλυσης αυτής, οι σχεδιαστές και οι επενδυτές μπορούν να εντοπίσουν ευκαιρίες για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας.

Στα πλαίσια της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, χρησιμοποιούνται διάφοροι δείκτες και υπό-μέθοδοι, όπως επιβεβαιώθηκε και από τη βιβλιογραφία που μελετήθηκε:

- Αξιολόγηση εκπομπών άνθρακα κύκλου ζωής (Life Cycle Carbon emissions assessment)

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

- Απογραφή Κύκλου Ζωής (Life Cycle Inventory)
- Δείκτης Ποσότητας (Quantity Index)
- Δυναμικό πλανητικής υπερθέρμανσης (Global Warming Potential)
- Ενσωματωμένος άνθρακας (Embodied carbon)
- Παρεχόμενη Ενέργεια (Delivered Energy)

Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι, σε σχέση με τις προηγούμενες δύο προσεγγίσεις, η LCA έχει περισσότερο περιβαλλοντική καταβολή και λιγότερο οικονομική.

2.2.4. Risk Management

Όπως περιγράφεται από το CCAE (Center for Construction & Architectural Excellence) [28], η Διαχείριση Κινδύνου (Risk Management) ενός έργου, στην παρούσα έρευνα στις αναβαθμίσεις κτιρίων, αναφέρεται στη διαδικασία εντοπισμού, αξιολόγησης και αντιμετώπισης των πιθανών κινδύνων που μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια της αναβάθμισης ενός κτιρίου. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την ανάλυση των τεχνικών, οικονομικών, περιβαλλοντικών και νομικών παραμέτρων, καθώς και την εκτίμηση της πιθανότητας και της επίδρασης κάθε κινδύνου. Σκοπός της Διαχείρισης Κινδύνου είναι η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων και η εξασφάλιση της ασφάλειας, της ποιότητας και της βιωσιμότητας του έργου αναβάθμισης.

Συγκεκριμένα ως προς την οικονομική πτυχή των έργων αναβάθμισης, η διαδικασία περιλαμβάνει την ανάλυση πιθανών κινδύνων όπως οι απρόβλεπτες δαπάνες, οι καθυστερήσεις στην ολοκλήρωση των έργων, οι μεταβολές στην αγορά και οι νομικές διαφορές, καθώς και την ανάπτυξη στρατηγικών και σχεδίων δράσης για την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων αυτών των κινδύνων [29].

Στα πλαίσια της Διαχείρισης Κινδύνου, χρησιμοποιούνται διάφοροι δείκτες και υπό-μέθοδοι, όπως επιβεβαιώθηκε και από τη βιβλιογραφία που μελετήθηκε και όπως παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

- Θεωρία του Κόστους Συναλλαγών (Transaction Cost Theory)

Όπως συνοψίζεται στην [30], η Θεωρία Κόστους Συναλλαγών εισήχθη σαν έννοια από τον Νομπελίστα οικονομολόγο Ronald Coase το 1937 και υποστηρίζει την αρχή πως οι αγορές περιλαμβάνουν κόστη πέρα από την παραγωγή αυτή καθαυτή και τα οποία ονομάζονται κόστη συναλλαγών. Αυτά είναι το κόστος αναζήτησης πληροφορίας, το κόστος διαπραγματεύσεως, σύναψης συμβάσεων και επιβολής. Ο Williamson αργότερα επεκτάθηκε στη θεωρία, προσδιορίζοντας τρεις βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος συναλλαγών: τον βαθμό εξειδίκευσης των περιουσιακών στοιχείων¹, την αβεβαιότητα, και τη συχνότητα συναλλαγών

¹ Asset Specificity: αναφέρεται στο πόσο συγκεκριμένη είναι μια επένδυση που εμπλέκεται σε μια συναλλαγή. Ένα περιουσιακό στοιχείο είναι συγκεκριμένο για μια συγκεκριμένη συναλλαγή αν η αξία του στην επόμενη καλύτερη χρήση του (δηλ. με ένα άλλο συναλλασσόμενο μέρος) είναι χαμηλότερη από αυτή της παρούσας συναλλαγής. Όσο μεγαλύτερη

[32]. Μελέτες όπως οι [33], [34] αναδεικνύουν την ενσωμάτωση της Θεωρίας Κόστους Συναλλαγών στη Διαχείριση Κινδύνου, η δεύτερη εξειδικεύοντας στη Διαχείριση Κινδύνου Αλυσίδας Εφοδιασμού (Supply Risk Management).

- Καταμέτρηση Borda του ρίσκου j (b_j)

Ο αλγόριθμος Borda, γνωστός και ως μέθοδος ψηφοφορίας Borda, χρησιμοποιήθηκε αρχικά στη θεωρία ψηφοφορίας για να κατατάξει υποψηφίους σύμφωνα με τις ψήφους τους. Η λογική είναι πως το αποτέλεσμα δεν εξαρτάται μόνο από το ποιος ψηφίζεται για την πρώτη θέση τις περισσότερες φορές, αλλά και το πώς κατατάσσονται οι διαγωνιζόμενοι συνολικά σε όλες τις κάλπες [35]. Αν και γίνονται αναφορές για εμφάνισή της νωρίτερα, πήρε το όνομά της από τον Γάλλο μαθηματικό και μηχανικό Jean Charles de Borda το 1770 [36]. Μετέπειτα ο Garvey ενσωμάτωσε τον αλγόριθμο Borda στην Μήτρα Κινδύνου (Risk Matrix)² με σκοπό τη μείωση των ισοβαθμιών, τον έλεγχο στις βαθμολογήσεις του πίνακα, και τον εντοπισμό αλλαγών στην πιθανότητα ή στην σοβαρότητα των συνεπειών οι οποίες θα περιορίσουν κρίσιμους κινδύνους [38]. Ο τύπος υπολογισμού για το Borda count του κινδύνου j είναι [38]:

$$b_j = \sum_k (N - r_{jk}),$$

όπου N : συνολικός αριθμός κινδύνων

r_{jk} : ο αριθμός των κινδύνων με υψηλότερους βαθμούς από τον κίνδυνο j υπό το κριτήριο k

$j = 1, 2, \dots, N \mid k = 1 \text{ και } 2$

- Δείκτης Ζημίας (Damage Indicator)

Είναι ένας από τους δείκτες που προτείνει το EEnvest³ για αξιολόγηση τεχνικών κινδύνων και σύμφωνα με την έκθεσή του “Recommendations for minimizing technical risks” [40], η ζημία ορίζεται ως πιθανή ενόχληση λόγω δυσλειτουργίας, βλαβών ή θραύσης δομικών μερών του κτιρίου. Υπολογίζεται ως ποσοστό επί της επένδυσης.

- Δείκτης Απόκλισης Ενεργειακού Κενού (Energy Gap Indicator)

Είναι κι αυτός τεχνικός δείκτης που προτείνει το EEnvest [39] και δείχνει την διαφορά στην ενεργειακή απόδοση μεταξύ της προγραμματισμένης κατανάλωσης ενέργειας και αυτής που καταμετρήθηκε. Υπολογίζεται ως ποσοστό της ενεργειακής απόδοσης και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων κάποιων παραγόντων ζημίας [40].

- Δείκτης Χρόνου Αποπληρωμής (Payback Time Indicator)

Πρόκειται για τον τρίτο δείκτη που προέρχεται από την πλατφόρμα EEnvest [39], ο οποίος ανήκει στην κατηγορία οικονομικών δεικτών. Εκφράζει το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να

είναι η διαφορά μεταξύ της αξίας ενός περιουσιακού στοιχείου στην καλύτερη και στην επόμενη καλύτερη χρήση του, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός εξειδίκευσής του [31].

² Η Μήτρα Κινδύνου είναι ένας εργαλείο που χρησιμοποιείται στο Risk Management για να καθορίσει το επίπεδο του κινδύνου λαμβάνοντας υπόψη την πιθανότητα σε σχέση με τη σοβαρότητα των συνεπειών. Βοηθά στον προσδιορισμό, την ιεράρχηση και τη διαχείριση των επιπέδων κινδύνου [37].

³ Συνεργατικό ερευνητικό έργο, χρηματοδοτούμενο από την ΕΕ με σκοπό τη δημιουργία ηλεκτρονικής πλατφόρμας που θα χρησιμοποιείται από τους επενδυτές για αξιολόγηση του κινδύνου σε επενδύσεις αναβαθμίσεων κτιρίων [39].

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ανακτηθεί το αρχικό κόστος μιας επένδυσης και πάντα είναι προτιμότερη στους επενδυτές μια βραχύτερη περίοδος αποπληρωμής σε σχέση με μία μακροχρόνια [41].

3 Μεθοδολογία

3.1 Μεθοδολογία Αναζήτησης Βιβλιογραφίας

Σε γενικές γραμμές, οδηγό για την εξέλιξη της εργασίας αποτέλεσε η χάραξη των παρακάτω βημάτων:

- Έρευνα της ευρύτερης θεματικής περιοχής (αναβαθμίσεις κτιρίων)
- Έρευνα εγγύτερης θεματικής περιοχής (μέθοδοι αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων)
- Προσεκτική αποτύπωση τίτλου
- Εγκυρότητα πηγών
- Στοχευμένες αναζητήσεις με λέξεις κλειδιά
- Συνεπής δόμηση και καταγραφή των δεδομένων των μελετών σε excel
- Επανελέγχος της βάσης δεδομένων

Η υπόλοιπη διαδικασία προς την εξαγωγή συμπερασμάτων πήρε το δρόμο της, καθώς χτιζόταν η βάση καταγραφής των ερευνών που μελετήθηκαν. Ιδιαίτερα κατατοπιστική ως προς τη βιβλιογραφική έρευνα είναι η πηγή [42].

3.1.1. Βάσεις δεδομένων και πηγές πληροφόρησης

Για την αναζήτηση της βιβλιογραφίας χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες βάσεις δεδομένων:

Google scholar⁴: ελεύθερα προσβάσιμη μηχανή αναζήτησης ακαδημαϊκών δημοσιεύσεων σε παγκόσμια κλίμακα

Scopus⁵: διεθνής βιβλιογραφική βάση ακαδημαϊκών δεδομένων, προσβάσιμη μέσω πανεπιστημιακού ιδρύματος ή συνδρομής

ScienceDirect⁶: ιστότοπος που παρέχει πρόσβαση σε πληθώρα επιστημονικών δημοσιεύσεων του εκδοτικού οίκου Elsevier⁷, προσβάσιμη μέσω πανεπιστημιακού ιδρύματος ή συνδρομής

3.1.2. Λέξεις κλειδιά και στρατηγικές αναζήτησης

Οι λέξεις κλειδιά κατά την αναζήτηση περιλάμβαναν τους εξής όρους:

- “Building Retrofit”
- “Life Cycle Cost”
- “Life Cycle Assessment”
- “Cost-Benefit analysis”
- “Risk Management”
- “Financial evaluation”
- “Discounted Cash flow retrofit”

Η αναζήτηση περιλάμβανε συνδυασμούς των παραπάνω λέξεων κλειδιών με την αρχική (“Building Retrofit”), και εφαρμογή των αντίστοιχων συντομογραφιών, όπου ενδείκνυτο (π.χ. “LCA”). Χρησιμοποιήθηκαν επίσης φίλτρα, μετά την εμφάνιση των αρχικών αποτελεσμάτων, κατά βάση ως προς το έτος δημοσίευσης (η παλαιότερη μελέτη που συμπεριλήφθηκε ήταν του 2016, ενώ η συντριπτική πλειοψηφία των δημοσιεύσεων που επιλέχθηκαν ήταν από το 2020 και έπειτα).

3.2 Διαδικασία Επιλογής και γενικά στατιστικά μελετών

Η επιλογή των μελετών που συμπεριλήφθηκαν στον πίνακα έγινε εφόσον καλύπτονταν συγκεκριμένα κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού τους. Αυτά τα κριτήρια διασφάλισαν την επιθυμητή κατεύθυνση της εργασίας και αναλύονται παρακάτω. Παρουσιάζονται επίσης κάποια στατιστικά χαρακτηριστικά

⁴ <https://scholar.google.com/>

⁵ <https://www.scopus.com/home.uri>

⁶ <https://www.sciencedirect.com/>

⁷ Ένας από τους τέσσερις μεγαλύτερους επιστημονικούς εκδοτικούς οίκους στον κόσμο. Ιδρύθηκε στο Άμστερνταμ, το 1880

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

των μελετών πάνω στις οποίες βασίστηκε η εργασία, όπως το έτος ή το έντυπο δημοσίευσης της μελέτης.

3.2.1. Κριτήρια Ένταξης και Αποκλεισμού

Στόχος της εργασίας ήταν να παρέχει μια επισκόπηση της βιβλιογραφίας στον τομέα της αξιολόγησης των ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων, σε σχέση με τρεις βασικές προσεγγίσεις που απαντώνται στις αξιολογήσεις, και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα μέσα από τη διαδικασία. Με αυτή τη λογική δεν συμπεριλήφθηκαν μελέτες που εστίαζαν σε διαφορετικούς τρόπους αξιολόγησης των μέτρων αναβάθμισης, όπως πολυκριτηριακές μεθόδους απόφασης [43], [44], [45]. Επίσης, δεν συμπεριλήφθηκαν στον πίνακα δεδομένων μελέτες που απομακρύνονταν γενικότερα από το στενά ορισμένο θέμα. Για παράδειγμα, η μελέτη [46] απορρίφθηκε επειδή εξειδίκευε σε αξιολόγηση συγκεκριμένα αντισεισμικών μετασκευών, και όχι ενεργειακών.

Επιπρόσθετα, προτιμήθηκαν δημοσιεύσεις που περιείχαν μελέτες περίπτωσης που συνόδευαν την ανάλυσή τους. Τα εκάστοτε κτίρια προς εξέταση και τα χαρακτηριστικά τους καταγράφηκαν στη βάση δεδομένων, όπου με μια γρήγορη ματιά μπορεί να δει κανείς πως η συντριπτική πλειοψηφία των μελετών περίπτωσης έγιναν σε πραγματικά κτίρια. Λόγω της έλλειψης λοιπόν case study, δεν συμπεριλήφθηκαν μελέτες όπως οι [47], [48], [49], [50], [51].

Ως προς τον χρονικό ορίζοντα, επιλέχθηκαν μελέτες που έχουν δημοσιευθεί εντός της τελευταίας δεκαετίας, δηλαδή από το 2014 και έπειτα.

Τέλος, υπήρξε μια προσπάθεια να υπάρξει ένας βαθμός διαφορετικότητας στις επιλεγθείσες μελέτες, ως προς τον γεωγραφικό τόπο των μελετώμενων κτιρίων, και σε έναν μικρότερο βαθμό ως προς τα μέτρα αναβάθμισης. Σε καμία περίπτωση όμως δεν αποτέλεσαν τα παραπάνω δύο καθοριστικές σημασίας παράγοντες για την τελική επιλογή σε βάρος του υπόλοιπου περιεχομένου της έρευνας.

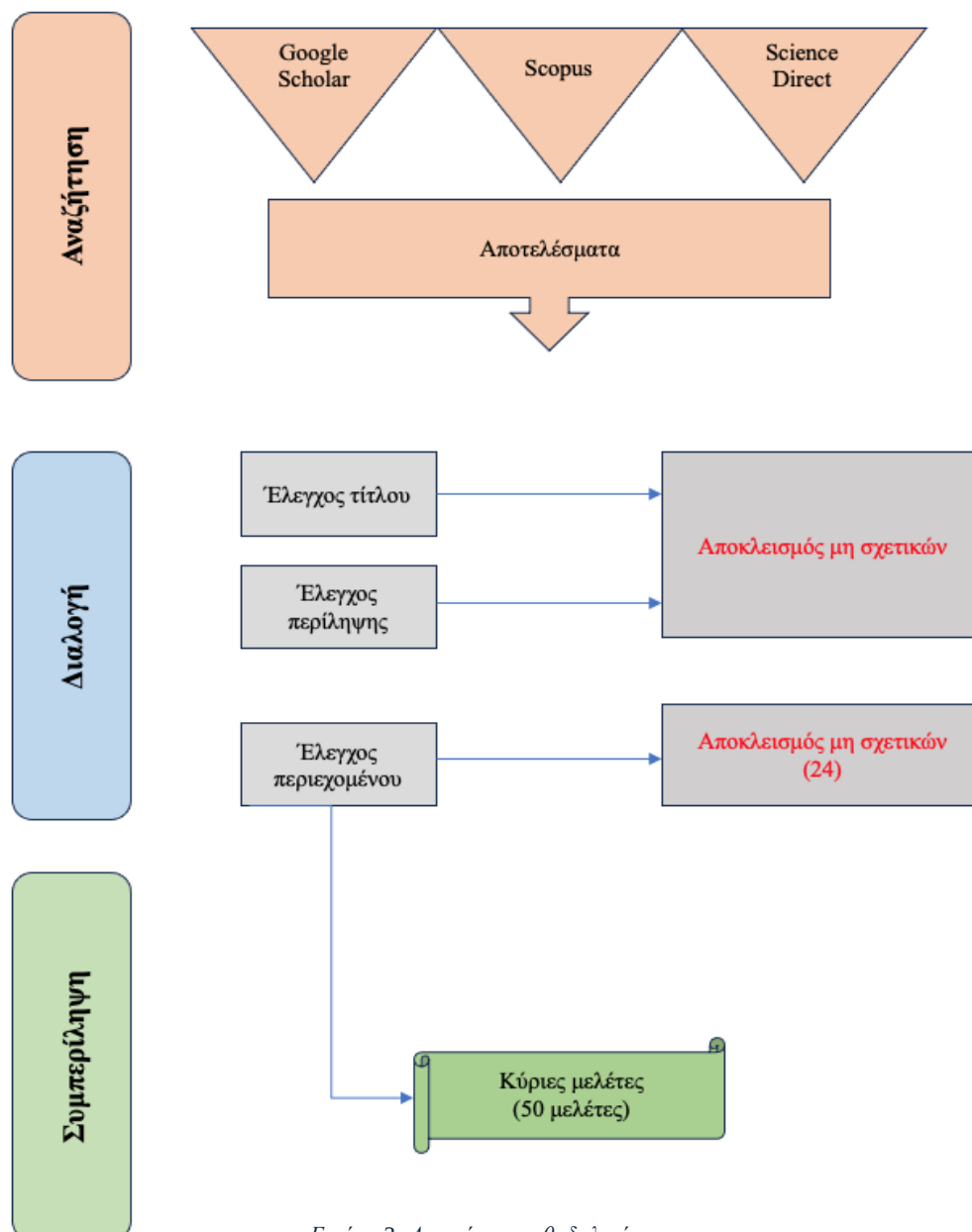
3.2.2. Διαδικασία Αξιολόγησης και Επιλογής

Η διαδικασία της μελέτης ήταν δυναμική και κυκλική, με την έννοια ότι υπήρχε μια διαρκής επαναξιολόγηση σε όλα τα στάδια. Γενικότερα ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα:

1. **Στάδιο Αναζήτησης:** Η αναζήτηση πραγματοποιήθηκε σε έγκριτες βάσεις δεδομένων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι λέξεις κλειδιά εξασφάλισαν το σαφώς καθορισμένο πλαίσιο της στόχευσης.
2. **Στάδιο Διαλογής:** Κατευθυντήριο οδηγό για την επιλογή των μελετών αποτέλεσαν τα κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού που καθορίστηκαν. Ένα μεγάλο πλήθος μελετών ήταν εύκολο να αποκλειστεί χωρίς περαιτέρω ανάγνωση, εφόσον ο τίτλος ή η περίληψη απομακρύνονταν εμφανώς από το αυστηρά ορισμένο πλαίσιο. Αυτό το πλήθος δεν

καταγράφηκε σε αριθμό. Μια δεύτερη ομάδα άρθρων μελετήθηκε παραπάνω, αλλά τελικά δεν συμπεριλήφθηκε στην τελική βάση δεδομένων, λόγω της δυναμικής που δημιουργούνταν όσο προχωρούσε η έρευνα. Για παράδειγμα, η μελέτη [52] είχε μια προσέγγιση εδραζόμενη σε ασαφή μοντέλα (fuzzy based approach), παρεκκλίνοντας από την ντετερμινιστική προσέγγιση που επικράτησε στη βιβλιογραφία που επιλέχθηκε. Η δεύτερη αυτή ομάδα καταγράφηκε σε αριθμό 24.

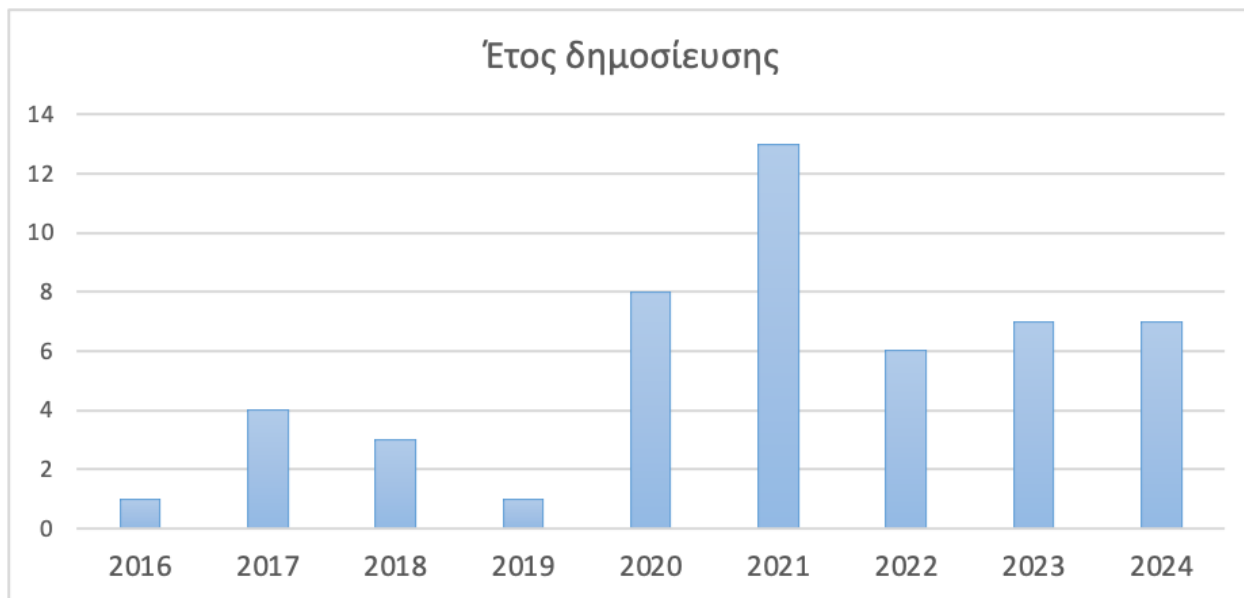
3. **Στάδιο Συμπερίληψης:** Τέλος, συμπεριλήφθηκαν στην τελική βάση δεδομένων 50 μελέτες, οι οποίες πληρούσαν τα κριτήρια που τέθηκαν. Καταγράφηκαν και συνοψίστηκαν σε excel βασικά σημεία της κάθε μελέτης, με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εύκολη η μετέπειτα επισκόπηση και ανάλυσή τους. Όσες μελέτες δεν συμπεριλήφθηκαν παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία ή αναφέρονται στο παρόν κεφάλαιο.



Εικόνα 3: Απεικόνιση μεθοδολογίας

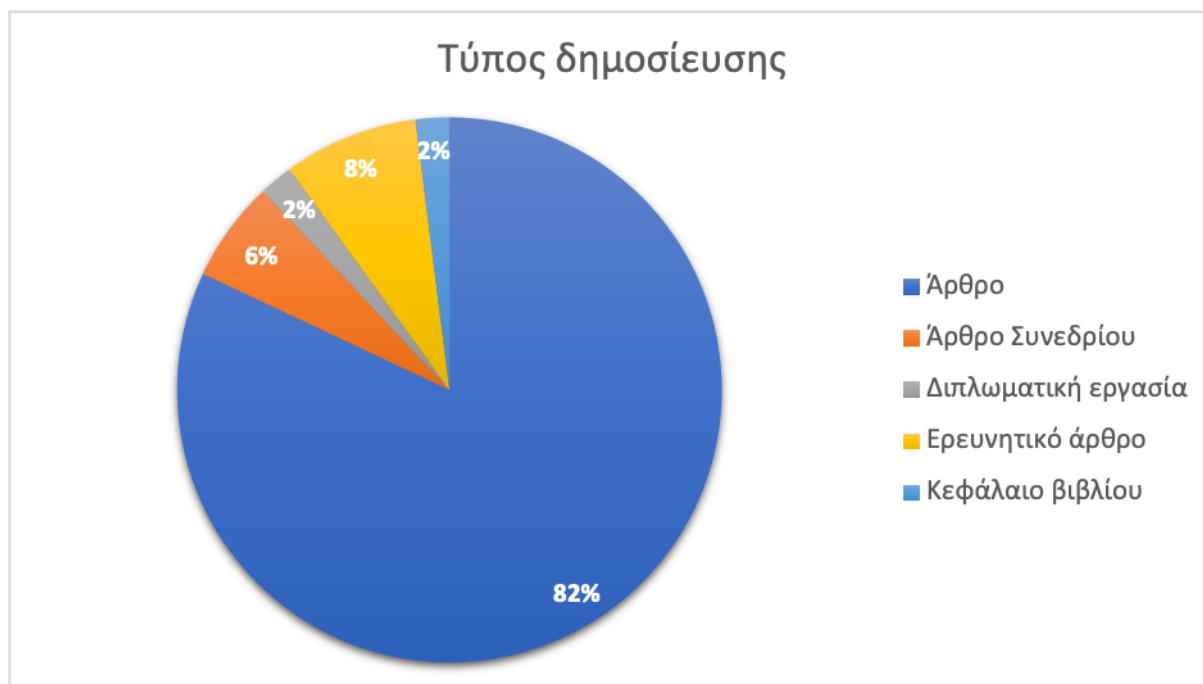
3.2.3. Στατιστικά επιλεγθεισών μελετών

Θα ξεκινήσουμε παρατηρώντας την κατανομή των μελετών στα έτη δημοσίευσης. Ιδιαίτερα από το 2020 και μετά, η βιβλιογραφία είναι πιο πλούσια στο εξεταζόμενο θέμα και στην κατεύθυνση που πάρθηκε. Αρκετές μελέτες πάνω στις προσεγγίσεις αξιολόγησης που αναλύθηκαν δημοσιεύονται το 2021.



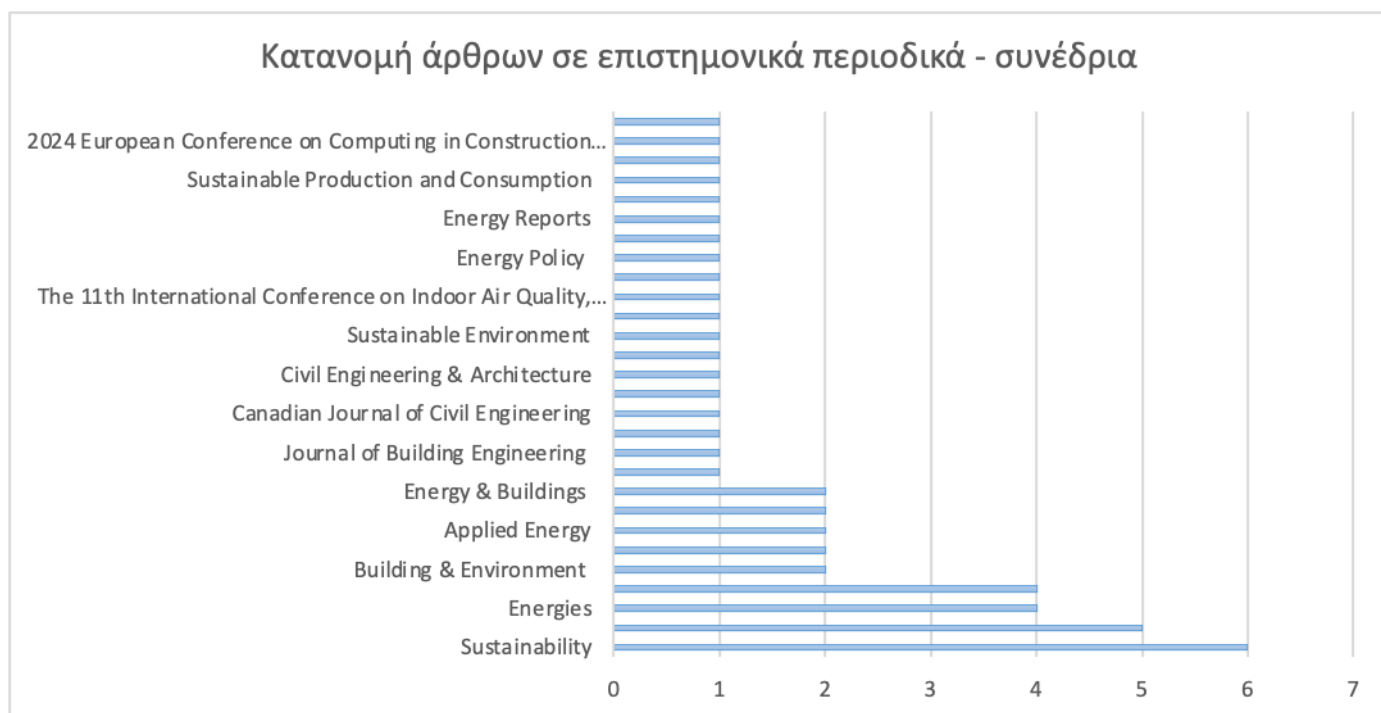
Εικόνα 4: Πλήθος δημοσιεύσεων ανά έτος

Η πλειονότητα των μελετών ήταν δημοσιευμένα άρθρα, είτε σε κάποιο επιστημονικό περιοδικό, είτε αρχικά σε κάποιο Συνέδριο. Σε πολύ μικρότερο βαθμό συμπεριλήφθηκαν άλλες κατηγορίες πηγών. Παρακάτω βλέπουμε και πιο συγκεκριμένα την κατανομή των άρθρων στα έντυπα.



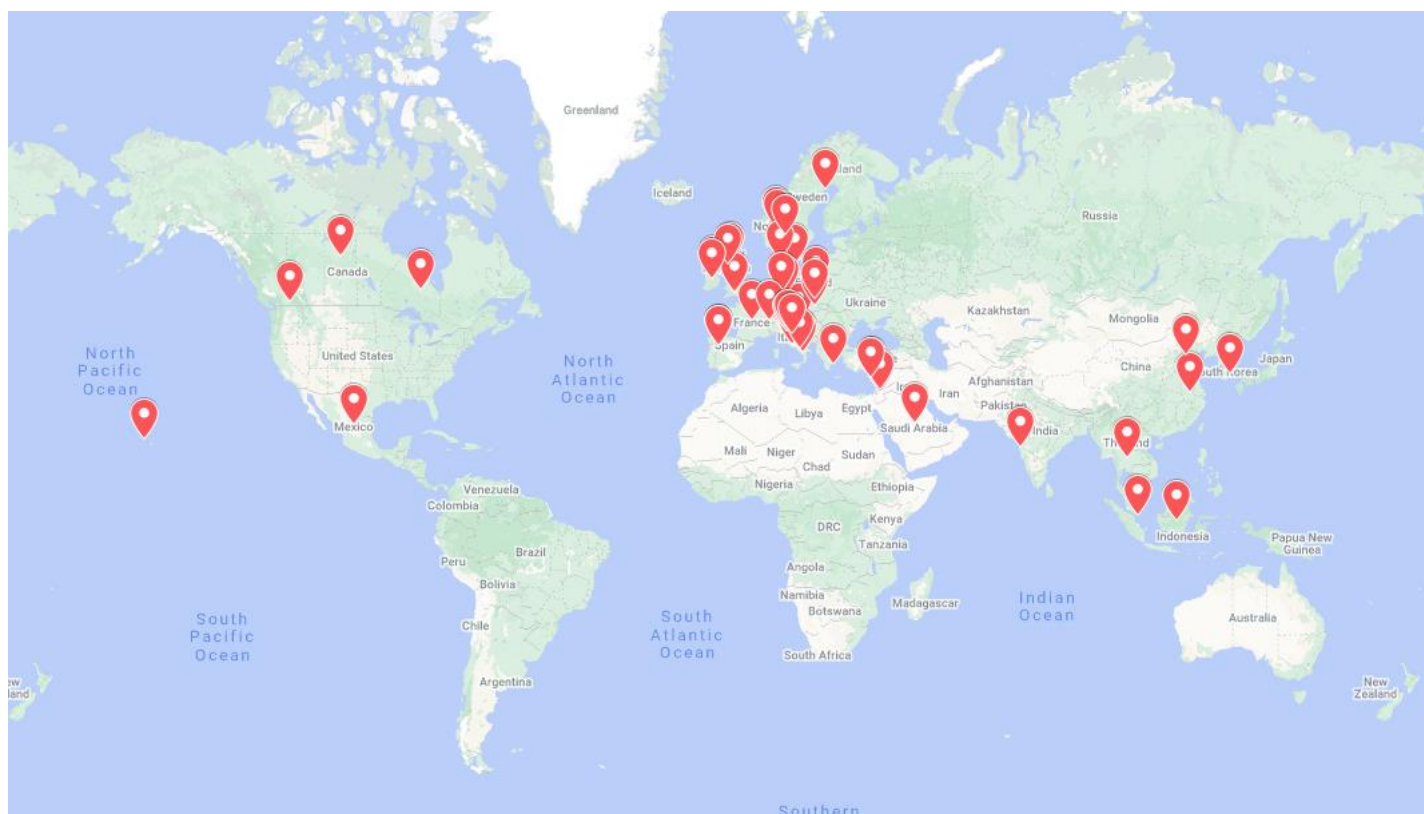
Εικόνα 5: Ποσοστά ανά τύπο δημοσίευσης

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση



Εικόνα 6: Κατανομή άρθρων σε επιστημονικά περιοδικά

Παρουσιάζεται τέλος ένα γράφημα της κατανομής της γεωγραφικής περιοχής του case-study κάθε μελέτης.



Εικόνα 7: Χάρτης τοποθεσίας κτιρίων

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

Το μεγαλύτερο μέρος των μελετώμενων περιπτώσεων βρίσκεται στην Ευρώπη, και μάλιστα κάποιες αφορούν στην ίδια πόλη. Η μεγάλη συμμετοχή ευρωπαϊκών χωρών οφείλεται στην ιδιαίτερη βαρύτητα που έχει δοθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση στις αναβαθμίσεις κτιρίων, όπως φαίνεται από μια σειρά οδηγιών και νομολογιών προς αυτή την κατεύθυνση την τελευταία δεκαετία [53], [54]. Υπάρχει ωστόσο και αξιοσημείωτη παρουσία μελετών από χώρες της Μέσης Ανατολής και της Ασίας. Ειδικότερα στη Μέση Ανατολή υπάρχει άνθηση στον τομέα των αναβαθμίσεων κτιρίων και τίθενται τα τελευταία χρόνια υψηλοί στόχοι από χώρες όπως τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα και η Σαουδική Αραβία [55], [56]. Συμπεριλαμβάνονται σε μικρότερο ποσοστό μελέτες προερχόμενες από ΗΠΑ και Καναδά. Είναι χαρακτηριστική επίσης η απουσία μελετώμενων περιπτώσεων στην αφρικανική ήπειρο. Γενικότερα η παρουσία των μελετών είναι συμβατή με την κυβερνητική πολιτική των χωρών και κατά πόσο αυτή έχει οικολογικούς στόχους στην ατζέντα της, αλλά και τη γενικότερη πολιτικοοικονομική κατάσταση της χώρας. Παραθέτοντας παρακάτω την έκθεση αξιολόγησης “Global Retrofit Index”, 2022 της συμβουλευτικής εταιρείας για τη βιωσιμότητα 3keel σχετικά με τις επιδόσεις των χωρών G20 όσον αφορά στη μείωση εκπομπών από τα κτίρια [57], παρατηρούμε ανάλογη παρουσία όπως και στις μελέτες.

League table showing scores of all G20 members assessed in this index							
Rank	Country	Existing stock (/25)	Retrofit performance (/25)	Retrofit policy (/50)	Total score (/100)		
1	Germany	6.0	18.8	36.8	61.5		
2	Netherlands*	8.0	20.0	28.3	56.3		
3	France	9.0	16.3	30.3	55.5		
4	UK	8.0	16.3	28.5	52.8		
5	Croatia*	6.0	20.0	26.0	52.0		
6	Italy	8.0	12.5	31.3	51.8		
7	Australia	11.5	7.5	13.5	32.5		
8	Mexico	8.5	8.8	5.0	32.3		
=9	Brazil	14.0	11.3	3.8	29.0		
=9	Canada	6.0	5.0	18.0	29.0		
=9	Republic of Korea	7.0	5.0	17.0	29.0		
=12	Japan	8.0	7.5	13.3	28.8		
=12	United States	7.0	7.5	14.3	28.8		
14	Turkey	9.0	0.0	17.0	26.0		
15	Saudi Arabia	6.5	12.5	4.0	23.0		
16	China	9.0	0.0	12.5	21.5		
	South Africa	Insufficient data					
	Argentina	Insufficient data					
	Indonesia	Insufficient data					
	India	Insufficient data					
	Russia	Insufficient data					

Εικόνα 8: Επιδόσεις χωρών G20 στη μείωση εκπομπών από τα κτίρια [57]

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

Σε σχέση με το παραπάνω σχήμα να σχολιαστεί επίσης πως η επαρκής επίδοση αξιολογείται με συνολική βαθμολογία 80-100, στόχος που δεν έπιασε ούτε η πρώτη χώρα του πίνακα.

Η τοποθεσία αναφέρεται εδώ, και όχι στο τμήμα των στοιχείων των κτιρίων, με την έννοια πως είναι και ένα γενικό στοιχείο του τόπου διεξαγωγής της έρευνας.

3.3 Μέθοδος καταγραφής μελετών

Η συνολική καταγραφή των αποτελεσμάτων έγινε σε excel, το οποίο οργανώθηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε να διευκολύνει την εξαγωγή συμπερασμάτων και γραφικών αποτυπώσεων που τα συνοδεύουν. Θα μπορούσαμε να χωρίσουμε τον πίνακα σε 4 τμήματα, τα οποία παρουσιάζονται αυτούσια στα παραρτήματα της εργασίας. Οι πίνακες είναι οργανωμένοι ως εξής:

Πίνακας «Γενικά στοιχεία μελετών»

<i>ID</i>	<i>Τίτλος</i>	<i>Τύπος</i>	<i>Περιοδικό</i>	<i>Συγγραφέας</i>	<i>Έτος</i>

- **ID:** Αύξων Αριθμός της Μελέτης.
- **Τίτλος:** Ο τίτλος της μελέτης
- **Τύπος:** Το είδος της πηγής (π.χ. άρθρο, κεφάλαιο βιβλίου κτλ.)
- **Περιοδικό:** Το έντυπο ή εναλλακτικά το βιβλίο ή συνέδριο, όπου δημοσιεύθηκε η μελέτη. Για λόγους απλοποίησης η κατηγορία πήρε τον γενικό τίτλο «Περιοδικό»
- **Συγγραφέας:** Τα ονόματα των συγγραφέων της μελέτης
- **Έτος:** Το έτος δημοσίευσης της μελέτης

Πίνακας «Στοιχεία κτιρίων»

<i>ID</i>	<i>Λειτουργία κτιρίου</i>	<i>Είδος μοντέλου</i>	<i>Τοποθεσία</i>	<i>Έτος κατασκευής</i>

- **ID:** Αύξων Αριθμός της Μελέτης
- **Λειτουργία κτιρίου:** Ο τρόπος χρήσης του κτιρίου
- **Είδος μοντέλου:** Το είδος του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη περίπτωσης
- **Τοποθεσία:** Ο τόπος που εδράζεται το μελετώμενο/α κτίριο/α
- **Έτος κατασκευής:** Το έτος κατασκευής του μελετώμενου κτιρίου/ων

Πίνακας «Δείκτες Αξιολόγησης»

<i>ID</i>	<i>Μέθοδος Αξιολόγησης</i>	<i>Ενέργεια</i>	<i>Άνεση</i>	<i>Περιβαλλοντική επίπτωση</i>	<i>Αντιστάθμιση</i>
	○ (LC)CBA ○ LCCA ○ LCA ○ Risk Mgmt				

- **ID:** Αύξων Αριθμός της Μελέτης
- **Μέθοδος Αξιολόγησης:** χρησιμοποιούμενοι δείκτες και αντικειμενικές συναρτήσεις που αναφέρονται στην μέθοδο αξιολόγησης που ακολουθείται σε κάθε μελέτη. Σπάει στις τέσσερις μεθόδους που αναφέρονται στον παραπάνω πίνακα με τους δείκτες που κατατάσσονται στην κάθε μέθοδο.
- **Ενέργεια:** Μετρικές που σχετίζονται με την ενέργεια
- **Άνεση:** Μετρικές που σχετίζονται με την (θερμική) άνεση
- **Περιβαλλοντική επίπτωση:** Μετρικές που σχετίζονται με τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο
- **Αντιστάθμιση:** Δείκτες που σχετίζονται με το αντιστάθμισμα μεταξύ εξεταζόμενων συσχετισμών. (Καταγραφή αυτής της στήλης συγκεκριμένα στην μελέτη [58] που εξειδικεύεται στο θέμα)

Πίνακας «Μέθοδοι & Εργαλεία»

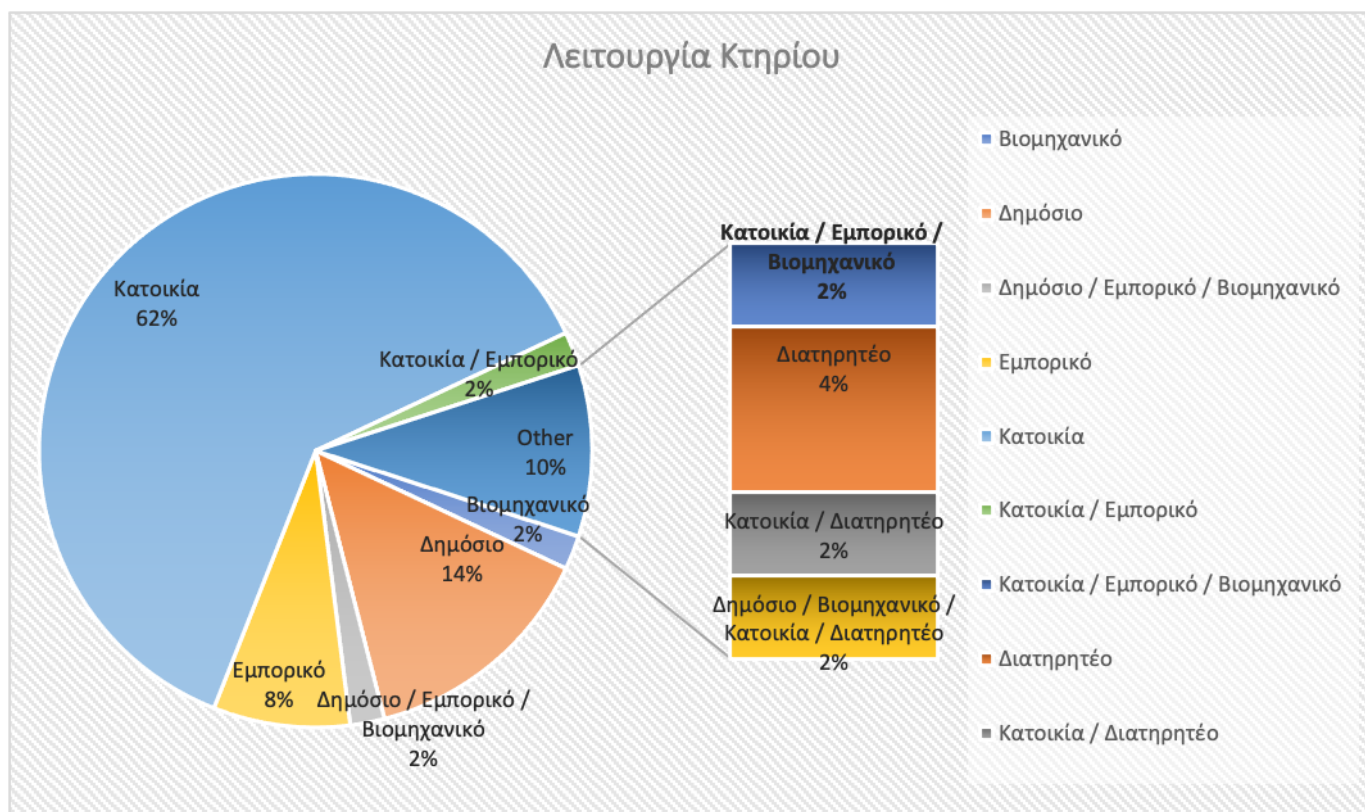
<i>ID</i>	<i>Μεθοδολογία</i>	<i>Αντικειμενική συνάρτηση</i>	<i>Μέτρα Αναβάθμισης</i>	<i>Περιορισμοί</i>	<i>Εργαλεία</i>

- **ID:** Αύξων Αριθμός της Μελέτης
- **Μεθοδολογία:** Βήματα που ακολουθούνται στην κάθε μελέτη
- **Αντικειμενική συνάρτηση:** Βασική μέθοδος αξιολόγησης που χρησιμοποιείται στην κάθε μελέτη
- **Μέτρα Αναβάθμισης:** Εξεταζόμενα μέτρα αναβάθμισης στην κάθε μελέτη περίπτωσης
- **Περιορισμοί:** Περιορισμοί στα χρησιμοποιούμενα μοντέλα
- **Εργαλεία:** Λογισμικό και εργαλεία μοντελοποίησης, προσομοίωσης, βελτιστοποίησης

4 Ανάλυση Βιβλιογραφίας

4.1. Στοιχεία κτιρίων

Παρατίθενται συγκεντρωτικά τα χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων κτιρίων.



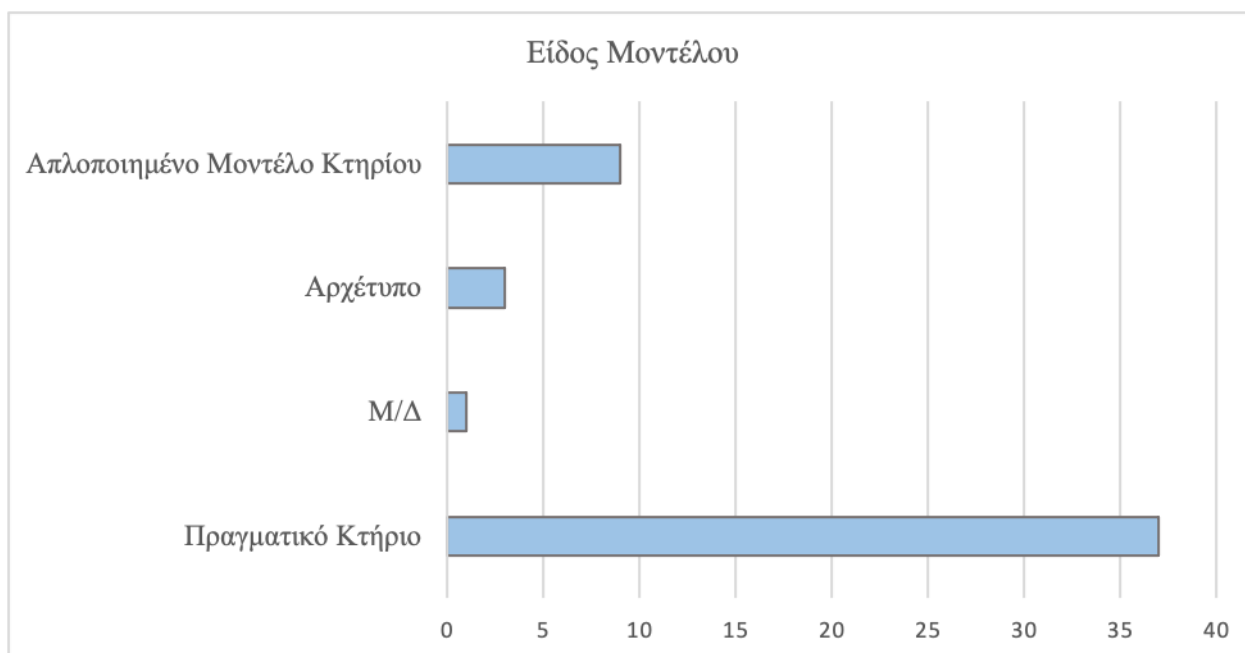
Εικόνα 9: Απεικόνιση λειτουργίας μελετώμενων κτιρίων

4.1.1. Λειτουργία κτιρίου

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, η συντριπτική πλειοψηφία των μελετών πραγματοποιείται σε κατοικίες, είτε μονοκατοικίες είτε σε διαμερίσματα, και ακολουθούν τα δημόσια κτήρια (συνήθως εκπαιδευτικά ιδρύματα). Η ισχυρή παρουσία των κτιρίων που είναι κατοικίες είναι αποτέλεσμα του γεγονότος πως οι κατοικίες αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο κομμάτι του κτιριακού τομέα [59]. Είναι λογικό να πραγματοποιείται εκτενέστερη έρευνα στην κατηγορία κτιρίου που συμβάλλει περισσότερο λόγω μεγέθους στις εκπομπές αερίων και στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος, διότι η μαζική αναβάθμιση κατοικιών θα αποφέρει με τη σειρά της και υψηλότερα επίπεδα μείωσης εκπομπών, ειδικότερα αν λάβουμε υπόψη την προβλεπόμενη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και τη γήρανση του υπάρχοντος, που θα εκτοξεύσει κι άλλο αυτά τα μεγέθη [60]. Εκτός όμως από την ποσοστιαία υπεροχή τους, υπάρχει και η κοινωνική πλευρά στις αναβαθμίσεις σε κατοικίες. Η αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των σπιτιών θα συμβάλλει σε μείωση της ενεργειακής φτώχειας και αύξηση του επιπέδου ικανοποίησης των πολιτών οδηγώντας σε μεγαλύτερα επίπεδα κοινωνικής ευημερίας, όπως συμπεραίνεται από τις μελέτες [61], [62]. Τα δημόσια κτίρια έχουν κι αυτά αξιοσημείωτη παρουσία στις μελέτες, κάτι που συνάδει και με την πολιτική που ακολουθεί η Ευρωπαϊκή Ένωση στις οδηγίες αναβάθμισης κτιρίων δημοσίου [53]. Μπορεί να αντιπροσωπεύουν μικρότερο ποσοστό από τις κατοικίες, αλλά η δρομολόγηση της αναβάθμισής τους επιβάλλεται για κυβερνήσεις που υιοθετούν τις βιώσιμες πολιτικές και τάσσονται υπέρ της Συμφωνίας του Παρισιού. Στα δημόσια κτίρια εντάσσονται και τα εκπαιδευτικά ιδρύματα στα οποία παρατηρούνται αρκετές μελέτες περίπτωσης και αυτό πιθανώς να συμβαίνει για δύο λόγους. Αφενός τα πανεπιστημιακά κτίρια καταναλώνουν υψηλά ποσοστά ενέργειας λόγω της ολόημερης λειτουργίας τους και των μεγάλων εγκαταστάσεων, και αφετέρου αποτελούν τα ίδια χώρους έρευνας στο κομμάτι αυτό. Υπάρχουν μελέτες που πραγματοποιούνται σε πιο μεγάλη κλίμακα και περιλαμβάνουν πολλά κτίρια, όπου παρατηρείται συνδυασμός από κτίρια διαφόρων κατηγοριών. Κι εκεί όμως είναι σταθερή η παρουσία των κτιρίων που χρησιμοποιούνται ως κατοικίες. Σε αρκετά μικρό ποσοστό μελετώνται παραδοσιακά, διατηρητέα ή κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς, όπως για παράδειγμα στις μελέτες [63], [64], [65].

4.1.2. Είδος Μοντέλου

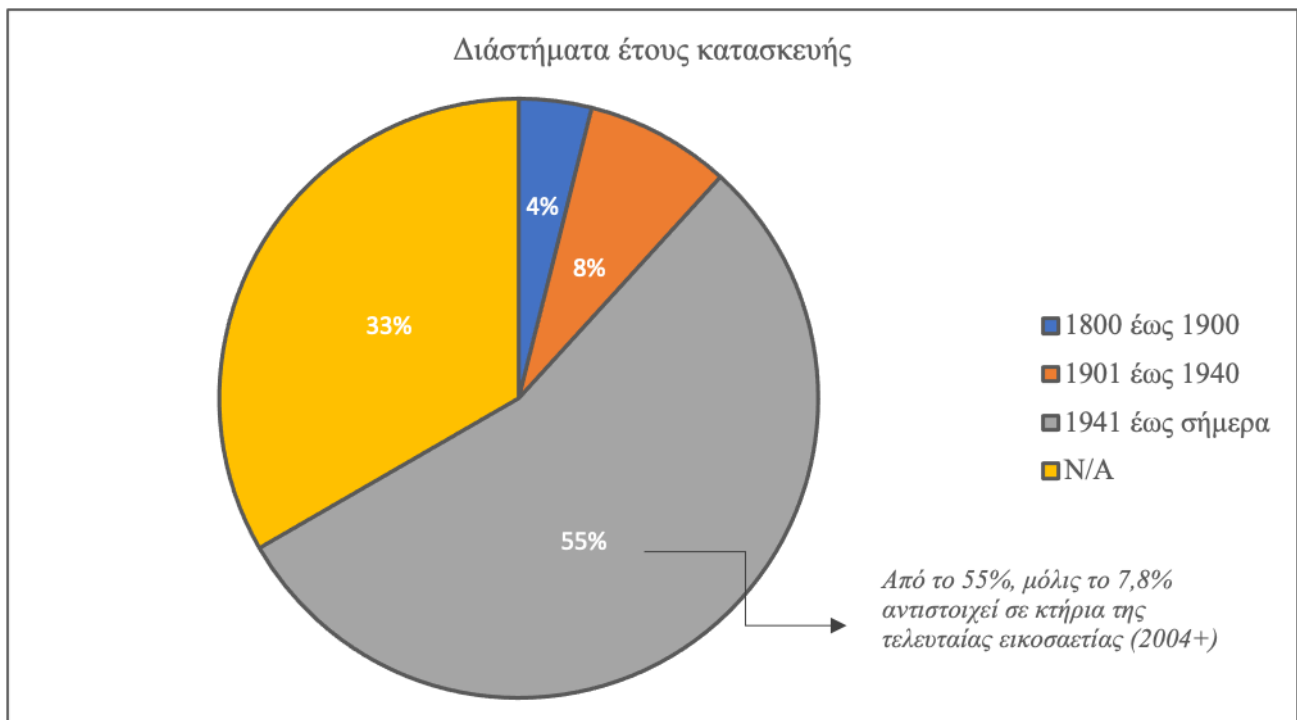
Όπως ήδη έχει αναφερθεί, το περιεχόμενο του πίνακα περιέχει εφαρμογή σε μελέτες περίπτωσης ενός ή περισσότερων κτιρίων. Οι μέθοδοι αξιολόγησης κάθε μελέτης εφαρμόζονται είτε σε δεδομένα που αφορούν πραγματικό κτίριο(α), είτε σε ένα απλοποιημένο μοντέλο κτιρίου(ων), είτε σε αρχέτυπο. Παρατηρούμε από το παρακάτω γράφημα πως η εφαρμογή σε πραγματικά κτίρια καταλαμβάνει την πρώτη θέση με διαφορά μεταξύ των μελετών περίπτωσης, ενώ αρκετές μελέτες βασίστηκαν και σε ένα απλοποιημένο μοντέλο. Τα πραγματικά κτίρια προσφέρουν δεδομένα που είναι ρεαλιστικά και ενδεχομένως προτιμώνται από τους ερευνητές για ενίσχυση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων τους. Σε αρκετές περιπτώσεις επίσης ο στόχος είναι η αξιολόγηση μέτρων αναβάθμισης για συγκεκριμένες περιπτώσεις που αφορούν υπαρκτά κτίρια. Η λήψη απτών και αντικειμενικών δεδομένων είναι καίριας σημασίας για τη σωστή αξιολόγηση. Η εφαρμογή σε αρχέτυπο κτίριο έχει περιορισμένο αριθμό εφαρμογών στις μελετώμενες περιπτώσεις, μόνο σε τρεις μελέτες [66], [67], [68].



Εικόνα 10: Είδος μοντέλου που χρησιμοποιείται στη μελέτη περίπτωσης

4.1.3. Έτος κατασκευής

Όσον αφορά, το έτος κατασκευής των μελετώμενων κτιρίων, το μεγαλύτερο ποσοστό αντιστοιχεί στο διάστημα από το 1941 έως και σήμερα. Από αυτά, μόλις το 7,8% αντιστοιχεί σε κτίρια της τελευταίας εικοσαετίας. Είναι επίσης αξιοσημείωτο πως σε ένα μεγάλο ποσοστό των περιπτώσεων (33%) δεν γινόταν αναφορά για το έτος κατασκευής του προς μελέτη κτιρίου. Κτίρια παλαιότερης κατασκευής καταλαμβάνουν ακόμα μικρότερα ποσοστά. Το παλιότερο κτίριο που μελετήθηκε [65] ήταν κατασκευής 1879, και ανήκει στην κατηγορία των ιστορικών/διατηρητέων κτιρίων.



Εικόνα 11: Ποσόστωση κτιρίων μελέτης ανά διάστημα έτους κατασκευής

4.2. Δείκτες Αξιολόγησης

Παρουσιάζονται δείκτες και μετρικές που χρησιμοποιήθηκαν στις μελέτες του πίνακα, χωρισμένες σε τέσσερις βασικές κατηγορίες ως εξής: Μέθοδοι Αξιολόγησης, Ενέργεια, Άνεση, Περιβαλλοντική Επίπτωση, Αντιστάθμιση. Η Αντιστάθμιση μπήκε σαν ξεχωριστή κατηγορία, διότι οι μελέτες [66] και [58], και ειδικά η τελευταία, βασίζουν την ανάλυσή τους στον παράγοντα των αντισταθμίσεων μεταξύ μετρούμενων μεγεθών.

4.2.1. Μέθοδοι Αξιολόγησης

Κάθε μία από τις μελέτες που συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση εστιάζει κυρίως σε μία εκ των τεσσάρων αναφερόμενων προσεγγίσεων (CBA, LCCA, LCA, Risk Mgmt) και τους επιμέρους δείκτες υπολογισμού που χρησιμοποιούνται. Όπως ήδη έχει αναφερθεί βέβαια, και όπως παρατηρήθηκε και από τη βιβλιογραφία, οι δύο πρώτες προσεγγίσεις παρουσιάζουν επικαλυπτόμενους τρόπους μέτρησης ως προς το κομμάτι του κόστους. Πιο συγκεκριμένα, οι δείκτες:

- I. Περίοδος Επανείσπραξης (Payback Period)
- II. Προεξοφλημένη Περίοδος Επανείσπραξης (Discounted Payback Period)
- III. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return)
- IV. Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Value)
- V. Προεξοφλημένες Ταμειακές Ροές (Discounted Cash Flow)

χρησιμοποιούνται τόσο στην CBA, όσο και στην LCC. Παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω κάποιες ομοιότητες και διαφορές των δεικτών I έως V:

Ομοιότητες:

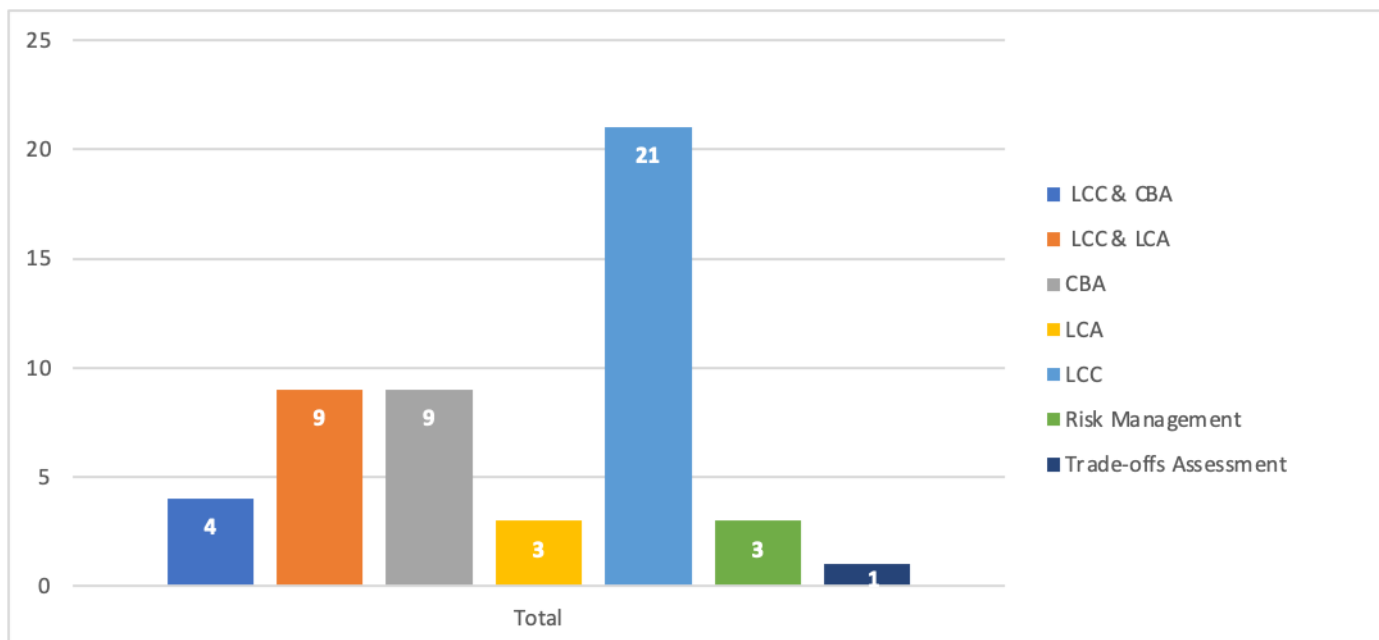
- όλοι βασίζονται σε χρηματοοικονομικά στοιχεία και ταμειακές ροές για να καταλήξουν σε συμπεράσματα
- όλοι οι δείκτες απαιτούν ανάλυση των ταμειακών ροών που αναμένονται από την επένδυση

Διαφορές:

- Οι δείκτες PBP, DPBP επικεντρώνονται περισσότερο στον χρόνο αποπληρωμής, ενώ οι δείκτες IRR, NPV, DCF εξετάζουν την αποδοτικότητα και την αξία των ταμειακών ροών.
- Η DPBP είναι πιο ακριβής από την PBP, καθώς υπολογίζει την αξία του χρήματος στο χρόνο. Οι ταμειακές ροές προεξοφλούνται στον απαιτούμενο συντελεστή απόδοσης, προτού να υπολογιστεί η περίοδος αποπληρωμής.
- Η επιλογή του κατάλληλου δείκτη εξαρτάται από τους στόχους της ανάλυσης και τις συνθήκες της επένδυσης προς εξέταση.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

Ας δούμε παρακάτω την κατανομή της κύριας προσέγγισης που επιλέχθηκε σε κάθε συμπεριληφθείσα μελέτη. Σε δεύτερο επίπεδο, παρουσίαση γραφήματος που δείχνει ποια προσέγγιση υιοθετούν οι μελέτες που χρησιμοποίησαν έναν ή συνδυασμό εκ των δεικτών I έως V.



Εικόνα 12: Κατανομή κύριας προσέγγισης αξιολόγησης μελετών

LCC: Κόστος Κύκλου Ζωής, CBA: Ανάλυση Κόστους Οφέλους, LCA: Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Risk Management: Διαχείριση Κινδύνου, Trade-offs Assessment: Αξιολόγηση Αντιστάθμισης

Θα μπορούσαμε να εξάγουμε τα εξής συμπεράσματα:

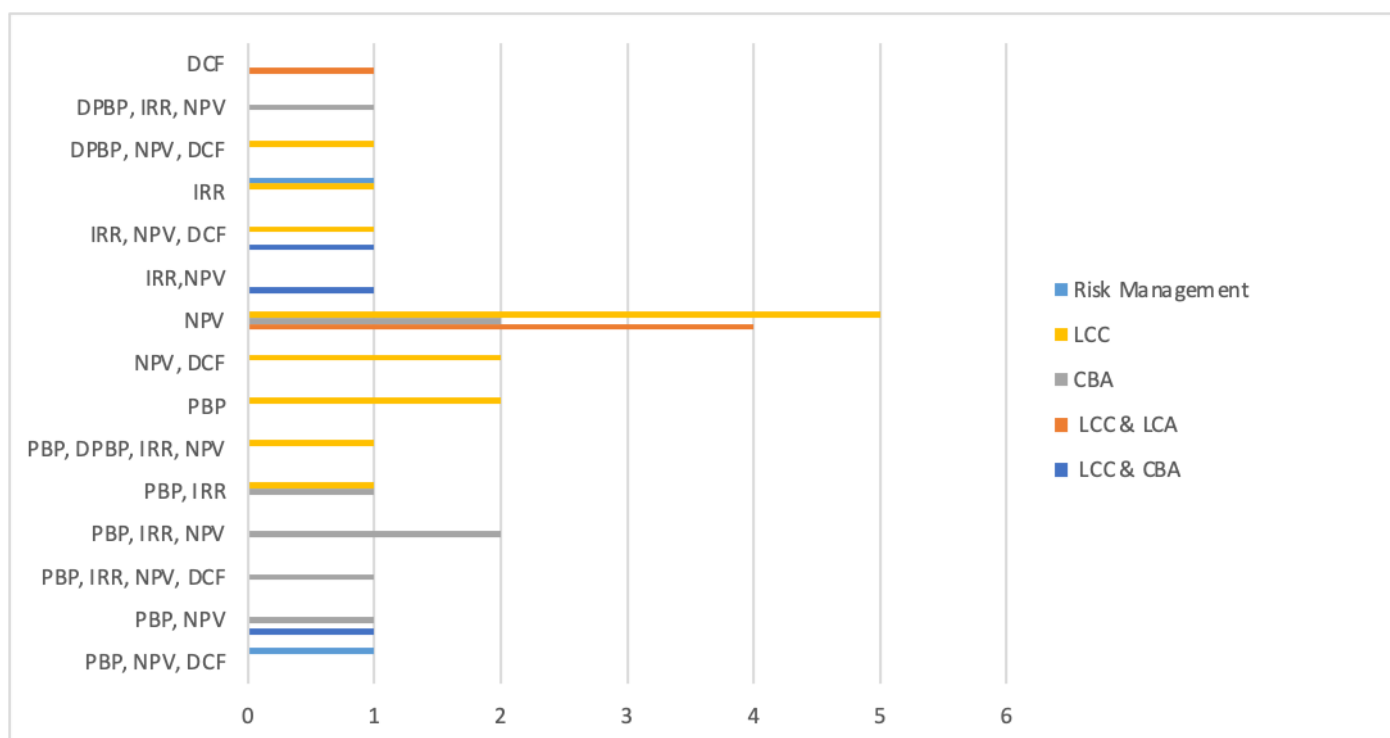
- Η πλειοψηφία των μελετώμενων περιπτώσεων χρησιμοποίησε την LCC ως βασική προσέγγιση. Το γεγονός ότι χρησιμοποιείται σε τόσο μεγάλο βαθμό ως αποκλειστική μέθοδος αξιολόγησης δείχνει πως είναι μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που μπορεί να οδηγήσει σε αξιόπιστα αποτελέσματα. Επιπλέον, οι περισσότερες μελέτες πραγματοποιήθηκαν στην Ευρώπη, όπου οι σχετικές οδηγίες συνιστούν και προωθούν τη χρήση της LCC [69]. Να σημειωθεί επίσης εδώ πως όλες οι μελέτες σε βιομηχανικά κτίρια εφάρμοσαν την LCC. Εξαιτίας του μακροπρόθεσμου ορίζοντα που αποτυπώνει η συγκεκριμένη μέθοδος, ενδείκνυται η χρησιμοποίησή της σε big assets με μεγάλους κύκλους ζωής-αξιολόγησης [70].
- Οι μέθοδοι LCC και CBA, παρόλο που παρουσιάζουν ορισμένες ομοιότητες [70], δεν χρησιμοποιούνται πολύ συχνά μαζί. Οι περισσότερες μελέτες χρησιμοποιούν αποκλειστικά τη μία ή την άλλη μέθοδο, ενώ λίγες τις χρησιμοποιούν συνδυαστικά. Ο συνδυασμός τους παρατηρείται σε μικρό ποσοστό, κι αυτό γιατί η LCC μπορεί να ενσωματώσει στοιχεία

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

άυλων ωφελειών, αλλά και η CBA μπορεί να προσφέρει μια εξίσου άρτια προσέγγιση από μόνη της.

- Η LCC συνδυάζεται με την LCA σε αρκετές περιπτώσεις κάποιες από τις οποίες έχουν περίοδο αξιολόγησης πάνω από 25 έτη. Και οι δύο αυτές μέθοδοι από τη φύση τους έχουν τον κύκλο ζωής στον πυρήνα τους και αξιολογούν το έργο σε όλη τη διάρκεια της ζωής του, η πρώτη με βαρύτητα στα κόστη και η δεύτερη με βαρύτητα στον περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Επομένως, η παράλληλη χρησιμοποίησή τους είναι κατάλληλη για μακροπρόθεσμα έργα με μεγάλο κύκλο ζωής, όπου σκοπός του αναλυτή πέρα από την αξιολόγηση από πλευράς κόστους είναι και ο περιορισμός του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.
- Το Risk Management απαντάται σε λίγες περιπτώσεις ως βασική μέθοδος προσέγγισης. Αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι οι περισσότερες αναλύσεις LCC και CBA ενσωματώνουν ήδη τη διαχείριση κινδύνου στη δόμησή τους, μέσα από ανάλυση ευαισθησίας πολλών μετρώμενων μεγεθών. Επιπλέον, ο περιορισμός του ρίσκου δεν αποτελεί συνήθως τον πρωταρχικό στόχο όταν εξετάζονται μέτρα αναβάθμισης, αλλά η προτεραιότητα δίνεται στη βελτιστοποίηση στοιχείων κόστους και αποδοτικότητας.

Εστιάζοντας στο δεύτερο γράφημα σε όσες μελέτες χρησιμοποίησαν έναν ή περισσότερους από τους δείκτες Ι έως V, συμπεραίνουμε τα εξής:



Εικόνα 13: Κατανομή μελετών που χρησιμοποιούν τους δείκτες Ι έως V

DCF: Προεξοφλημένες Ταμειακές Ροές, DPBP: Προεξοφλημένη Περίοδος Επανεξοφής, IRR: Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης, NPV: Καθαρή Παρούσα Αξία, PBP: Περίοδος Επανεξοφής

- Η μέθοδος Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) απαντάται συχνά, ανήκοντας σε όλες τις ευρύτερες κατηγορίες ανά περίπτωση. Η ισχυρή παρουσία της οφείλεται στο γεγονός πως είναι ένας αξιόπιστος δείκτης που μπορεί να ενσωματώσει την διαχρονική αξία του χρήματος. Σε μια άρτια ανάλυση μέτρων αναβάθμισης, οι μελλοντικές χρηματικές αξίες θα πρέπει να μετατραπούν σε σημερινές, προκειμένου να αποτιμηθεί σωστά η επίδραση των εξεταζόμενων μέτρων και να αποτυπωθεί με ακρίβεια αν ένα μέτρο είναι συμφέρον οικονομικά. Όπως και με τη μέθοδο LCC, έτσι και με τη μέθοδο NPV, η ευρεία χρήση της οφείλεται στο γεγονός ότι συνίσταται από σχετικές Οδηγίες και Πρότυπα, όπως από το ISO 15686-5 [71].
- Η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) συνδυάζεται σχεδόν πάντα είτε με τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης (IRR), είτε με την περίοδο επανείσπραξης (PBP), είτε και με τα δύο. Αυτό συμβαίνει για να καλυφθούν τυχόν αδυναμίες της NPV, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν συγκρίσεις μεταξύ εναλλακτικών μέτρων/σεναρίων αναβάθμισης. NPV και IRR πολλές φορές οδηγούν σε αντικρουόμενα αποτελέσματα όσον αφορά την τελική επιλογή, οπότε είναι χρήσιμος ο υπολογισμός και των δύο, ώστε να γίνει σωστή αξιολόγηση και επιλογή μεταξύ διαφορετικών μέτρων. Όσον αφορά στην PBP, απλή ή προεξοφλημένη, είναι μια πολύ άμεση μέθοδος που απαντά στο ερώτημα «σε πόσο χρονικό διάστημα θα καλυφθεί το κόστος που χρειάζεται να επωμιστώ τώρα». Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα είναι πολύ σημαντικό δεδομένο που πρέπει να ληφθεί υπόψη για τον αποφασίζοντα και δίνει μια επιπλέον πληροφόρηση στην ανάλυση ο υπολογισμός της.
- Οι μελέτες που περιλαμβάνουν έναν ή περισσότερους εκ των δεικτών I έως V και ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία Ανάλυσης Κόστους Οφέλους, έχουν πάντα ως μετρική μεταξύ άλλων την περίοδο επανείσπραξης (απλή ή προεξοφλημένη / PBP, DPBP). Αυτό είναι λογικό, εφόσον εντοπίζεται η χρονική στιγμή, όπου καλύπτεται το αρχικό κόστος και αρχίζει η περίοδος του οφέλους. Η τάση αυτή μας δείχνει πως είναι σημαντικό για μια ανάλυση που περιλαμβάνει τα οφέλη να προσδιορίζει και σε ποιο χρονικό σημείο αυτά θα αρχίσουν να ισχύουν.

Κατά τα υπόλοιπα, πέρα από τους δείκτες I έως V, που συναντώνται σε παραπάνω από μία μεθόδους, παρατηρήθηκαν τα εξής:

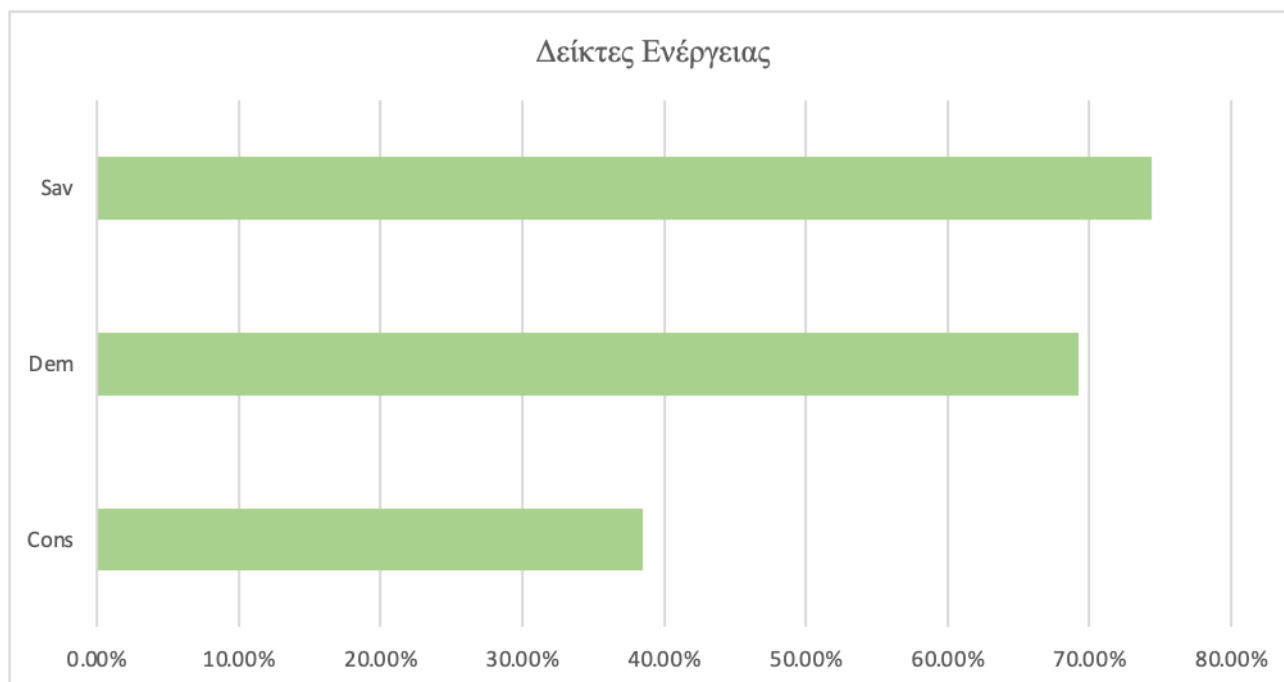
- Ο δείκτης Αναλογία Κόστους Οφέλους (Cost Benefit Ratio) ήταν ο πιο συχνός στη χρήση στην προσέγγιση CBA. Ο παραπάνω δείκτης μπορεί να ενσωματώσει και αυτός στον υπολογισμό του τη διαχρονικότητα του χρήματος η οποία θα πρέπει να ληφθεί υπόψη προκειμένου να αξιολογηθεί σωστά μια επένδυση. Το γεγονός αυτό τον καθιστά αρκετά στιβαρό ώστε να χρησιμοποιηθεί και από μόνος του και για αυτό παρατηρείται συχνά ως κυρίαρχος στην CBA.

- Οι δείκτες Συνολικό Κόστος Κύκλου Ζωής (Total Life Cycle Cost) και το Συνολικό Κόστος (Global Cost) ήταν οι δύο πιο κυρίαρχοι στη μέθοδο LCC. Οι δύο αυτοί δείκτες μοιάζουν μεταξύ τους, οπότε σε μελέτες που χρησιμοποιήθηκε ο ένας δεν χρησιμοποιήθηκε ο άλλος. Και οι δύο συνοψίζουν την έννοια της πρόσθεσης πολλών επιμέρους στοιχείων κόστους για να αποτυπωθεί σωστά το συνολικό κόστος, κάτι που είναι σε συνάφεια με την LCC σαν μεθοδολογία.
- Ο δείκτης Δυναμικό πλανητικής υπερθέρμανσης (Global Warming Potential) ήταν ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος στη μέθοδο LCA, καθώς είναι η βασική μετρική εκπομπών παγκόσμια (χρησιμοποιώντας σαν αέριο αναφοράς και σύγκρισης τον άνθρακα). Αποτελεί μια διεθνή κοινή γλώσσα όσον αφορά την επιβάρυνση διάφορων αερίων στην ατμόσφαιρα, οπότε είναι λογικό να μην παρατηρούνται πολλές διαφοροποιήσεις ως προς τη μέτρηση αυτού του μεγέθους.

Συμπερασματικά, όταν η βασική στόχευση είναι η αξιολόγηση μέτρων αναβάθμισης από τη σκοπιά του κόστους και μόνο, η NPV από μόνη της δεν μπορεί να παράγει αξιόπιστα και σφαιρικά αποτελέσματα αν δεν συνδυαστεί με κάποιον από τους υπόλοιπους δείκτες της ομάδας I έως V. Ο κατάλληλος συνδυασμός από εκεί και πέρα εξαρτάται από την εστίαση που έχει η μελέτη. Η NPV μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μόνη της και να συνδυαστεί με άλλες περιβαλλοντικές μετρικές (π.χ. GWP), όταν η στόχευση περιλαμβάνει και βέλτιστες περιβαλλοντικές λύσεις, εκτός από βέλτιστες λύσεις κόστους.

4.2.2. Ενέργεια

Οι δείκτες που αφορούν την ενέργεια, όπως για παράδειγμα η κατανάλωση, απαντώνται σε μεγάλο ποσοστό των περιπτώσεων (78%), κι αυτό γιατί είναι απαραίτητοι για να προσδιορίσουν στοιχεία κόστους και εξοικονομήσεων. Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος συνδυασμός δεικτών ήταν αυτός της



Εικόνα 14: Επιμέρους ποσοστό χρήσης δεικτών Ενέργειας

Κατανάλωσης (Consumption) και της Εξοικονόμησης (Savings), ενώ συχνά είχαμε τον συνδυασμό των δεικτών Κατανάλωσης (Consumption), Εξοικονόμησης (Savings) και Ζήτησης (Demand). Αν εξετάσουμε το ποσοστό χρησιμοποίησης του κάθε δείκτη επιμέρους σε όσες μελέτες αυτοί χρησιμοποιήθηκαν, παρατηρούμε πως η Εξοικονόμηση και η Ζήτηση είχαν τα μεγαλύτερα ποσοστά. Και τα δύο αυτά μεγέθη είναι σημαντικά για να υπολογίσουν ή να προβλέψουν επίπεδα μείωσης τόσο σε χρήματα, όσο και σε ενέργεια και επομένως περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Το γεγονός πως η μετρική της Κατανάλωσης υπολείπεται σε σχέση με αυτή της Ζήτησης αντικατοπτρίζει την ενσωμάτωση ενός παράγοντα αβεβαιότητας. Τα δεδομένα της Κατανάλωσης είναι πραγματικά και μετρήσιμα ενώ αυτά της Ζήτησης δείχνουν τα απαιτητά επίπεδα ενέργειας που μπορεί να προκύψουν σε μια χρονική περίοδο, αφού ληφθούν υπόψη παράγοντες που τα επηρεάζουν (π.χ. προβλέψεις καιρικών συνθηκών). Επομένως η προτίμησή τους στις μετρήσεις σε σχέση με τα πραγματικά

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

επίπεδα κατανάλωσης θέλει να προσδώσει ένα επίπεδο «ασφάλειας», με την έννοια ότι λαμβάνονται υπόψη παράγοντες που μπορεί να επιδράσουν και να οδηγήσουν σε διαφορές των μετρήσεων σε σχέση με τις μετρήσεις Κατανάλωσης. Θα λέγαμε ότι εφαρμόζεται ένα είδος «risk management» σε αυτή την επιλογή.

4.2.3. Άνεση

Δείκτες που συνδέονται με την άνεση χρησιμοποιήθηκαν σε πολύ μικρότερο ποσοστό (12%), και σχεδόν πάντα ταυτίζονταν με την Θερμική Άνεση (Thermal Comfort), που ήταν και η αντίστοιχη μετρική. Σύμφωνα με τον David H.C. Chow στην εισαγωγή του βιβλίου του “Encyclopedia of Sustainable Technologies (Second Edition) [72], η Θερμική Άνεση εκφράζει την κατάσταση κατά την οποία ένα άτομο αισθάνεται άνετα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, χωρίς να αισθάνεται ούτε ζέστη ούτε κρύο. Αυτή η αίσθηση επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία, η ταχύτητα του αέρα, η θερμοκρασία των επιφανειών, ο ρουχισμός. Η Θερμική Άνεση είναι ιδιαίτερα σημαντική για την ευημερία και την παραγωγικότητα των ατόμων σε χώρους εργασίας και κατοικίας, και η όποια βελτίωσή τους συμβάλλει στη γενικότερη βελτίωση της ποιότητας ζωής. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο κομμάτι της εξέλιξης της έρευνας περί Θερμικής Άνεσης παρουσιάζει η μελέτη [73]. Ειδικά στη μελέτη [74], χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης Αναλογία Παραθύρου προς Τοίχο (Window to Wall Ratio), ο οποίος επηρεάζει διάφορους παράγοντες, όπως η φυσική φωτεινότητα των εσωτερικών χώρων, η θερμική απόδοση του κτιρίου, η ενεργειακή κατανάλωση, και φυσικά η άνεση των χρηστών.

4.2.4. Περιβαλλοντική Επίπτωση

Δείκτες που συνδέονται με την περιβαλλοντική επίπτωση χρησιμοποιήθηκαν σε ποσοστό 28% των περιπτώσεων, με δύο κυρίαρχες μετρικές σε αυτή την κατηγορία τις Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου (GreenHouse Gases Emissions) και τις Εκπομπές Διοξειδίου του Άνθρακα (CO₂ Emissions). Ο έλεγχος των εκπομπών είναι πολύ σημαντική παράμετρος για την απανθρακοποίηση του κτιριακού τομέα, έχοντας υπόψη μάλιστα πως στον τελευταίο αποδίδεται το 1/5 των παγκόσμιων εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου [75]. Να σημειωθεί πως δείκτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων συναντώνται σε μελέτες που προσεγγίζουν με LCC, CBA και LCA. Ειδικότερα η τελευταία μέθοδος εστιάζει και η ίδια στον αντίκτυπο που έχουν στο περιβάλλον τα προτεινόμενα μέτρα αναβάθμισης, οπότε είναι λογικό να χρησιμοποιεί κάποιες μετρικές αυτής της κατηγορίας. Η μελέτη [76] είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα μελέτης με περιβαλλοντική κατεύθυνση, αφού εστιάζει στο δίπολο «κατεδάφιση» ή

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

«ριζική ανακαίνιση», και το εξετάζει υπό το πρίσμα της μεθόδου LCA και των δεικτών GHG και CO₂ Emissions που αναφέρθηκαν παραπάνω.

4.2.5. Αντιστάθμιση

Η έννοια της αντιστάθμισης προέρχεται από την οικονομική θεωρία και συνιστά το σύνολο των επιλογών (ατομικών ή συλλογικών) όπου προηγείται αποδοχή του γεγονότος πως θυσιάζεται ένα μέρος από κάτι προκειμένου να αποκτηθεί μεγαλύτερο μέρος από κάτι άλλο [77]. Τα αποτελέσματα τέτοιων επιλογών είναι τα trade-offs. Οι αντισταθμίσεις σαν έννοια δεν εφαρμόζονται μόνο σε μεγέθη εκφρασμένα σε χρηματικές μονάδες, αλλά μπορούν να επεκταθούν και σε άλλα μεγέθη [78]. Η συγκεκριμένη κατηγορία καταγράφεται μόνο στις μελέτες [66] και [58]. Στο εξεταζόμενο κτίριο της τελευταίας πραγματοποιείται βελτιστοποίηση των αντισταθμίσεων, ώστε να προκύψει το βέλτιστο μέτωπο λύσεων αναβάθμισης. Το βασικό δίδυμο που εξετάζεται είναι η ενέργεια λειτουργίας (operational energy) και η ενσωματωμένη ενέργεια (embodied energy). Η ενέργεια λειτουργίας είναι η ενέργεια εκείνη που απαιτείται για τις καθημερινές διαδικασίες ενός κτιρίου, όπως η θέρμανση, η ψύξη και ο εξαερισμός, ο φωτισμός και οι συσκευές, ενώ η ενσωματωμένη ενέργεια αναφέρεται στην συνολική ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή, τη λειτουργία, τη συντήρηση και την κατεδάφιση ενός κτιρίου καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του, όπως π.χ. η ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια της κατασκευαστικής διαδικασίας, συμπεριλαμβανομένων των μηχανημάτων και του εργατικού δυναμικού. Σύμφωνα με τα ευρήματα της [58], υπάρχει ένα όριο στην υιοθέτηση μέτρων αναβάθμισης με στόχο τη μείωση της ενέργειας λειτουργίας. Πέρα από αυτό το όριο, οι όποιες μειώσεις μπορεί να είναι δυσμενείς από την άποψη του Κύκλου Ζωής Ενέργειας (Life Cycle Energy) λόγω των αυξήσεων σε χρήση ενσωματωμένης ενέργειας. Όσο πιο βαθιά είναι τα μέτρα ανακαίνισης που χρειάζονται και οι αντίστοιχες εργασίες στο κτίριο, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενσωματωμένη ενέργεια. Πολύ μεγάλο ρόλο μπορούν να παίξουν οι καιρικές συνθήκες, οι οποίες μπορούν να επιταχύνουν την ανάγκη για αναβάθμιση στοιχείων του σπιτιού (π.χ. κέλυφος). Η [79] τονίζει βέβαια και την πολυπλοκότητα της ποσοτικοποίησης της ενσωματωμένης ενέργειας αλλά και την ανάγκη για τυποποίηση των παραμέτρων που τη διαφοροποιούν ανά γεωγραφική περιοχή.

4.3. Στοιχεία Μεθοδολογίας και Εργαλεία

Στην παρούσα ενότητα αναλύονται μεθοδολογίες και τάσεις που παρατηρήθηκαν στις εξεταζόμενες μελέτες. Οι τάσεις αυτές μπορεί να αφορούν σε στοιχεία μεθοδολογίας, σε συνδυασμούς μέτρων αναβάθμισης ή περιορισμούς και παρουσιάζονται παρακάτω ανά κατηγορία

4.3.1. Μέτρα Αναβάθμισης

Η πλειοψηφία των μελετών περιλάμβαναν έναν συνδυασμό μέτρων αναβάθμισης που σχετίζονταν με διάφορα χαρακτηριστικά των κτιρίων. Πιο μονοδιάστατες σε αυτό τον τομέα ήταν οι μελέτες [80] και [81], οι οποίες εστίασαν σε ένα μόνο μέτρο αναβάθμισης έκαστη. Η [80] ασχολήθηκε με τις πράσινες στέγες και η [81] με τον φωτισμό.

Κατά τα υπόλοιπα, πολύ συχνά παρατηρείται στα μελετώμενα κτίρια ο συνδυασμός μέτρων αναβάθμισης που αφορούν στο τρίπτυχο **περίβλημα** του κτιρίου, **μονώσεις** (τοιχών, παραθύρων και οροφής) και συστήματα **HVAC**. Κάτι τέτοιο είναι επόμενο, εφόσον η ψύξη και η θέρμανση αντιπροσωπεύουν μεγάλο κομμάτι της ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων (38% σύμφωνα με τη μελέτη [82]) και επιδέχονται βελτιστοποίησης σε οικονομικό αλλά και περιβαλλοντικό επίπεδο. Τη μεγάλη συμμετοχή των προηγούμενων μέτρων αναβάθμισης στην μετέπειτα μείωση της ζήτησης ενέργειας των κτιρίων υπογραμμίζουν οι μελέτες [83], [84], [85], [86], [87], [88].

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη [89], όπου αξιολογούνται μέτρα αναβάθμισης στα πρότυπα του ProGETonE. Το τελευταίο αποτελεί ένα ερευνητικό έργο του European Horizon 2020 που στοχεύει στην ενσωμάτωση διάφορων τεχνολογιών για την επίτευξη πολλαπλών οφελών σε υπάρχοντα κτίρια. Αυτά περιλαμβάνουν βελτίωση των μέτρων σεισμικής ασφάλειας για την αντιμετώπιση μελλοντικών σεισμών και την επίτευξη σχεδόν μηδενικής ενεργειακής απόδοσης [90]. Ο συνδυασμός των μέτρων αναβάθμισης της μελέτης είναι ο ακόλουθος: ενσωμάτωση εξωσκελετού⁸, μόνωση πρόσοψης, αντλίες θερμότητας για θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό χρήσης, ελεγχόμενος μηχανικός εξαερισμός, ευφυή συστήματα ελέγχου κτιρίου, φωτοβολταϊκά πάνελ οροφής. Ο συγκεκριμένος συνδυασμός μέτρων θα μειώσει τις εκπομπές κατά περίπου 30%, και την κατανάλωση ενέργειας κατά 50%.

Εξεταζόμενα μέτρα που περιλαμβάνουν φωτοβολταϊκά πάνελ συναντώνται σε ποσοστό 22% των περιπτώσεων. Ανάμεσά τους, στη μελέτη [91] εξετάζονται τρεις εναλλακτικές λύσεις αντικατάστασης του λέβητα φυσικού αερίου στο υπό μελέτη κτίριο με τις μεθόδους αξιολόγησης LCC και LCA. Οι τρεις εναλλακτικές περιλαμβάνουν ηλεκτρικό λέβητα, αντλίες θερμότητας πηγής αέρα (**Air Source Heat Pumps**), και φωτοβολταϊκά. Η μελέτη καταλήγει πως ο συνδυασμός αντλιών θερμότητας και φωτοβολταϊκών είναι ο βέλτιστος, αφού είναι ο πιο αποδοτικός και οδηγεί σε μείωση των εκπομπών kgCO₂e κατά 77%. Ωστόσο, όσον αφορά το κόστος κύκλου ζωής, είναι 2,1% υψηλότερο σε σύγκριση με τον κλασικό λέβητα αερίου. Το υψηλότερο κόστος κύκλου ζωής των φωτοβολταϊκών οφείλεται στο υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασής τους (περιλαμβανομένου εξοπλισμού, εργατικού κόστους κτλ.). Το κόστος συντήρησης στη διάρκεια ζωής τους δεν είναι αρκετά μεγάλο ώστε να συμβάλλει στην αύξηση του κόστους κύκλου ζωής, οπότε συμπεραίνουμε πως αυτό συνδέεται με το

⁸ Αντισεισμικός σκελετός από χάλυβα που διευκολύνει την προσθήκη επιπλέον χώρων σε κάθε επίπεδο

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

αρχικό κόστος. Γενικότερα, σε όλες οι μελέτες που είχαν στο εξεταζόμενο μίγμα μέτρων τα φωτοβολταϊκά, παρατηρήθηκε θετική επίδραση σε περιβαλλοντικούς δείκτες και δείκτες κατανάλωσης, αλλά η αποδοτικότητα στο κόστος δεν ήταν η βέλτιστη σε όλες τις περιπτώσεις.

4.3.2. Εργαλεία Προσομοίωσης / Βελτιστοποίησης

Παρακάτω βλέπουμε ορισμένα στατιστικά των εργαλείων λογισμικού ή μαθηματικών τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε μελέτη περίπτωσης προκειμένου να εξαχθούν αποτελέσματα. Υπό το γενικότερο πρίσμα της μεθόδου (ή μεθόδων) αξιολόγησης που υιοθετήθηκε, αξιοποιήθηκαν τα κατάλληλα τεχνολογικά-μαθηματικά μέσα που οδηγούν στη σύνθεση των στοιχείων.

- Η μέθοδος **Monte-Carlo** εφαρμόστηκε στο 22% των συνολικών περιπτώσεων. Στο 14,29% αυτών εφαρμόστηκε συνδυαστικά με το **EnergyPlus** ως εργαλείο προσομοίωσης. Πιο συγκεκριμένα, ο συνδυασμός αυτός καταγράφηκε στις μελέτες [64] και [92].
- Στο 28% των συνολικών περιπτώσεων χρησιμοποιείται το πρόγραμμα προσομοίωσης EnergyPlus. Μάλιστα, το 57,14% αυτών, συνδυάζουν το EnergyPlus με το **Design Builder**, το οποίο αποτελεί ένα φιλικότερο στο χρήστη εργαλείο, με γραφικά, βασισμένο στο EnergyPlus.
- Το υπόλοιπο 50% των συνολικών μελετών αναφέρθηκαν στη χρησιμοποίηση μιας πληθώρας άλλων εργαλείων και τεχνικών, με κάποια να συναντώνται σε περισσότερες από μία μελέτες. Για παράδειγμα στις μελέτες [93] και [94] χρησιμοποιήθηκε το **GenOpt**. Το **One Click LCA** χρησιμοποιήθηκε στις μελέτες [76], [91], [89]. Συναντώνται ακόμα κι άλλα εργαλεία όπως το TRNSYS, Autodesk Revit και φυσικά εφαρμογές όπως Microsoft Excel και Power BI.

Εργαλεία που δεν αναφέρονται εδώ μπορούν να αναζητηθούν στον πίνακα του παραρτήματος. Ας αναλύσουμε όμως σε αυτό το σημείο λίγο παραπάνω τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα.

Monte-Carlo: Οι μέθοδοι Monte Carlo αποτελούν μία σημαντική κατηγορία εντατικών υπολογιστικών μεθόδων της Στατιστικής που έχουν ως βασικό στόχο την προσέγγιση πολύπλοκων ολοκληρωμάτων και την εύρεση βέλτιστων λύσεων σε προβλήματα βελτιστοποίησης με τη βοήθεια προσομοιώσεων [95]. Αποτελεί στοχαστική διαδικασία που στοχεύει στις μεταβλητές του προβλήματος, οι οποίες εμπεριέχουν αβεβαιότητα. Χρησιμοποιώντας κάθε φορά διαφορετικό σύνολο τυχαίων αριθμών μεταξύ μέγιστων και ελάχιστων τιμών, παράγονται σύνολα πιθανών αποτελεσμάτων μετά από αλληπάλληλες επαναλήψεις [96].

Βασικό λοιπόν χαρακτηριστικό της Monte Carlo είναι ότι ενσωματώνει την αβεβαιότητα. Σε όλες τις παρούσες μελέτες που χρησιμοποίησαν τη συγκεκριμένη μέθοδο, εκτός από μία [97], είναι χαρακτηριστικό πως πραγματοποιήθηκε συνδυαστικά ανάλυση ευαισθησίας κατά την μεθοδολογία.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

Είναι επίσης χαρακτηριστικό πως οι μελέτες [97] και [64], οι οποίες αμφότερες χρησιμοποιούν την προσέγγιση του Risk Management, εφαρμόζουν προσομοίωση Monte Carlo στο μοντέλο τους.

Energy Plus: Το Energy Plus είναι ένα δωρεάν διαθέσιμο λογισμικό προσομοίωσης της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων, το οποίο αναπτύχθηκε από το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α. και κυκλοφόρησε πρώτη φορά επίσημα το 2001 [98]. Το χρησιμοποιούν μηχανικοί, αρχιτέκτονες και ερευνητές από όλο τον κόσμο, και τους δίνει τη δυνατότητα να προσομοιώσουν διάφορες λειτουργίες του κτιρίου όπως:

- Θερμική συμπεριφορά
- Συστήματα θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού (HVAC)
- Φωτισμός
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως ηλιακή ενέργεια
- Επιπτώσεις του κλίματος

Design Builder: Το Design Builder είναι ένα εμπορικά διαθέσιμο λογισμικό υπολογιστικού σχεδιασμού για τρισδιάστατη μοντελοποίηση κτιρίων. Αναπτύχθηκε επιτρέποντας την εισαγωγή δεδομένων ΜΔΠ (Μοντέλο Δομικών Πληροφοριών – **B**uilding **I**nformation **M**odel) από άλλο υπολογιστικό περιβάλλον, πιθανώς έτσι ώστε να χρησιμοποιούνται μόνο παράμετροι ΜΔΠ σχετικές με την ενέργεια [99]. Και πάλι, το Energy Plus είναι η μηχανή προσομοίωσης που χρησιμοποιείται ώστε να αξιοποιηθούν στοιχεία για θερμικές ζώνες και συστήματα HVAC.

4.3.3. Η σημαντικότητα του Επιτοκίου Προεξόφλησης (Discount Rate)

Στα πλαίσια μιας επένδυσης, το επιτόκιο προεξόφλησης (Discount Rate) αναφέρεται στο επιτόκιο που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η παρούσα αξία μελλοντικών ταμειακών ροών. Η έννοια του βασίζεται στην αρχή ότι το χρήμα που έχουμε σήμερα αξίζει περισσότερο από το χρήμα που θα έχουμε στο μέλλον, λόγω παραγόντων όπως η ευκαιρία επένδυσης, ο πληθωρισμός, ο κίνδυνος κ.α. [100]. Στο πλαίσιο των κτιριακών αναβαθμίσεων που εξετάζουμε, συναντάται στις προσεγγίσεις LCC και CBA και σε ορισμένους δείκτες που ανήκουν σε αυτές. Δεν συναντάται επιτόκιο προεξόφλησης σε μεθόδους υπολογισμού LCA.

Η τάση στις μελέτες όπου χρησιμοποιήθηκε επιτόκιο προεξόφλησης ήταν να τονίζεται επίσης ο σημαντικός ρόλος που αυτό μπορεί να παίζει στην αποδοτικότητα των εξεταζόμενων μέτρων. Ειδικά οι μελέτες [101] και [102] αναφέρουν στα συμπεράσματά τους πως η αποδοτικότητα των μέτρων που εξετάστηκαν επηρεάζεται σημαντικά από το ύψος του επιτοκίου. Αμφότερες οι προαναφερθείσες μελέτες εφάρμοσαν επιτόκιο προεξόφλησης 4% στους υπολογισμούς τους, η πρώτη στα πλαίσια της μεθόδου CBA και η δεύτερη στα πλαίσια της LCC. Το μοντέλο της μελέτης [103] αντιμετωπίζει το

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

προεξοφλητικό επιτόκιο σαν μια σημαντική πηγή πρόσθετης αβεβαιότητας και φτάνει στη διαπίστωση ότι αυτό επηρεάζει τα αποτελέσματα τέσσερις φορές περισσότερο από την τιμή της ενέργειας. Η μελέτη [104] εισάγει την έννοια του Κοινωνικού Προεξοφλητικού Επιτοκίου (**Social Discount Rate – SDR**), το οποίο χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της αντιστάθμισης μεταξύ των βραχυπρόθεσμων και των μακροπρόθεσμων πολιτικών σε επενδυτικές αποφάσεις ή δημοσιονομικές πολιτικές. Στην ουσία του εκφράζει την αποτίμηση που κάνει η κοινωνία για την κατανάλωση που θυσιάζεται σήμερα. Σε σταθερές και ειρηνικές χώρες, το SDR είναι γενικά χαμηλότερο, ενώ οι ταραγμένες και ασταθείς χώρες τείνουν να έχουν σημαντικά υψηλότερα SDR. Στην [104] επομένως, χρησιμοποιήθηκε SDR στους υπολογισμούς, καθώς θεωρήθηκε ότι οι ιδιοκτήτες θα κάνουν χρήση των προγραμμάτων κρατικής χρηματοδότησης (μελέτη περίπτωσης σε εργατικές κατοικίες στο βορειοδυτικό Μεξικό), και το SDR είναι αυτό που αντανάκλα το κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου για την κοινωνία στο σύνολό της. Στη συγκεκριμένη μελέτη ήταν 10%.

Αναγνωρίζοντας από τα παραπάνω τη σημασία του επιτοκίου προεξόφλησης ως προς τη λήψη μιας απόφασης για μέτρα αναβάθμισης, καταλαβαίνουμε πως αναπτυσσόμενες χώρες ή χώρες που βρίσκονται σε μια ταραγμένη περίοδο δυσκολεύονται και ως προς αυτό το κομμάτι, αφού σε περιόδους αβεβαιότητας και αστάθειας το επιτόκιο εκτοξεύονται. Για να αναφέρουμε κάποια ενδεικτικά μεγέθη, το προεξοφλητικό επιτόκιο στις ευρωπαϊκές χώρες κυμαίνεται μεταξύ 2%-4%, αλλά στην Ουκρανία είναι στο 14,5%. Το προεξοφλητικό επιτόκιο στη Γκάνα είναι 27% [105]. Εφόσον η έρευνα επιβεβαιώνει τη σημασία του επιτοκίου, οφείλουν να βρεθούν λύσεις παγκόσμια, ώστε αυτό να μην αποτελέσει ένα επιπλέον εμπόδιο στην ενεργειακή μετάβαση πολλών κρατών.

Ως προς τα ποσοστά, να σημειωθεί πως στην εργασία που τους ανέθεσε το Building Performance Institute Europe (BPIE) το 2015, οι Steinbach και Staniaszek επεσήμαναν ότι τα κοινωνικά προεξοφλητικά επιτόκια στις εθνικές εκθέσεις των κρατών μελών ορίζονται σε ένα εύρος μεταξύ 1% και 7%. Για τους ιδιώτες επενδυτές (μη εμπορικούς και μη βιομηχανικούς επενδυτές, συμπεριλαμβανομένων των νοικοκυριών) συνέστησαν πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο μεταξύ 3% και 6% [106].

4.3.4. Κοινωνική και πολιτική διάσταση των μελετών

Δεδομένου ότι η παρούσα βιβλιογραφική έρευνα εστιάζει σε μεθόδους οικονομικής κυρίως αξιολόγησης των μέτρων αναβάθμισης, είναι επόμενο να τονίζεται το οικονομικό κόστος που συνεπάγονται οι αναβαθμίσεις και κατά πόσο αυτό μπορεί να ξεπεραστεί για τα εμπλεκόμενα μέρη (ιδιοκτήτες κατοικιών, ένοικοι, εταιρείες κ.α.).

Ενδεικτικά, στα συμπεράσματα των μελετών [66], [107], [101], [86], [88], [108] τονίζεται η ανάγκη για κυβερνητικές παρεμβάσεις και χρηματοδοτήσεις προκειμένου τα εξετασθέντα μέτρα είτε να καταστούν οικονομικά συμφέροντα, είτε να έχουν μεγαλύτερο βαθμό αποδοτικότητας. Οι μελέτες [107] και [88] εκ των ανωτέρω αναφέρονται σε εμπορικά κτίρια και οι υπόλοιπες σε κατοικίες. Όλες

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

περιλαμβάνουν κάποιο μέτρο σε σχέση με τη θέρμανση, ενώ παρατηρούμε επίσης πως οι μελέτες [66], [107], [101], [86] περιλαμβάνουν την δέσμη μέτρων «μόνωση τοίχων, μόνωση οροφής, αντικατάσταση (πόρτας) και παραθύρων». Η δέσμη αυτή είναι αναγκαία για την ενεργειακή μετάβαση των κτιρίων, αφού αυτά είναι παλαιότερης κατασκευής. Το εξεταζόμενο κτήριο της μελέτης [107] για παράδειγμα είναι του 1960. Κατανοώντας πως η ενεργειακή μετάβαση των παλαιότερων κατασκευών οδεύει προς την υποχρεωτικότητα, οι κυβερνήσεις οφείλουν να εντάξουν σταθερά και σε μεγαλύτερη έκταση τις χρηματοδοτήσεις ανακαίνισης κτιρίων στην πολιτική τους, και να προχωρούν σε παρεμβάσεις ρύθμισης ιδιαίτερα επιδραστικών παραγόντων, όπως είναι η τιμή της ενέργειας και το προεξοφλητικό επιτόκιο. Φυσικά σε περιπτώσεις κρατικών παρεμβάσεων τέτοιου είδους το μακροοικονομικό περιβάλλον παίζει το δικό του σημαντικό ρόλο και υπεισέρχονται παράγοντες πολυπλοκότητας σε σχέση με τις ισορροπίες στις παρεμβάσεις.

Να σταθούμε λίγο ακόμα στην κοινωνική προέκταση των μελετών και συγκεκριμένα στην μελέτη [109], όπου εξετάζεται πόσο οικονομικά προσιτά είναι συγκεκριμένα μέτρα αναβάθμισης σε κατοικία στην Ιορδανία υπό τις μεθόδους LCC και LCA. Παρόλο που στη μελέτη αναφέρεται πως δεν γίνεται κοινωνική αξιολόγηση στην LCA, το ίδιο το θέμα και ο σκοπός της είναι βαθιά κοινωνικοί. Η μελέτη καταλήγει πως ενώ τα μέτρα είναι προσιτά σε ποσοστό 73-78% των ιορδανικών νοικοκυριών, και τα μελλοντικά οφέλη από αναβαθμίσεις είναι υπολογίσιμα, το αρχικό κόστος εγκατάστασης/επένδυσης είναι ο κύριος αποθαρρυντικός παράγοντας για την υλοποίησή τους, ιδιαίτερα για νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος.

Κοινωνικά χαρακτηριστικά εντοπίζονται και στις μελέτες [74], [80], [85], όπου εξετάζεται η έννοια της κοινότητας και της εφαρμογής μέτρων αναβάθμισης σε μεγάλη κλίμακα. Στη μελέτη [74], η εναλλακτική φωτοβολταϊκών συστημάτων οροφής σε επίπεδο κοινότητας (community rooftop solar PV) αποδεικνύεται πολύ πιο αποδοτική σε σχέση με εξατομικευμένες επεμβάσεις στο κέλυφος κάθε κατοικίας ξεχωριστά, και εξετάζεται σαν επιλογή για αναπτυσσόμενες χώρες. Η κατεύθυνση αυτή στις παραπάνω μελέτες δείχνει την τάση να εξετάζονται πολλές εναλλακτικές προκειμένου να επέλθουν βέλτιστες λύσεις που να ικανοποιούν κοινωνικές ανάγκες πέρα από την οικονομική αποδοτικότητα.

5

Συμπεράσματα

5.1. Συζήτηση

Ένα από τα βασικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν στον αιώνα που διανύουμε είναι η ενεργειακή μετάβαση σε ένα πιο βιώσιμο μοντέλο σε παγκόσμιο επίπεδο. Η ενεργειακή αναβάθμιση του κτιριακού αποθέματος είναι ένα από τα πεδία τα οποία θα συμβάλλουν σε μείωση των εκπομπών αερίων και περιορισμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Παρόλο που η προστασία του περιβάλλοντος είναι το πρωταρχικό κίνητρο, η γενικότερη βελτίωση της ποιότητας ζωής και η ικανοποίηση των πολιτών είναι εξίσου ισχυρά κίνητρα για να επιταχυνθούν διαδικασίες αναβάθμισης σε μαζικό επίπεδο σε κτίρια.

Να τονιστεί καταρχάς πως η παρούσα βιβλιογραφική αναζήτηση αποτέλεσε μια προσωπική διάνοιξη οριζόντων όσον αφορά στο εξεταζόμενο θέμα. Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν να συνοψίσει τις βασικές προσεγγίσεις όσον αφορά την οικονομική και σε δεύτερο επίπεδο την περιβαλλοντική αξιολόγηση μέτρων αναβάθμισης, και να αναδείξει την καταλληλότητα της καθεμίας ανά περίπτωση. Πραγματοποιήθηκε λεπτομερής ανάλυση 50 μελετών στα πλαίσια των οποίων ερευνήθηκαν οι μέθοδοι CBA, LCC, LCA, Risk Management. Η βιβλιογραφία στο κομμάτι που εξετάστηκε τείνει να αυξάνεται σε όγκο κατά την τελευταία πενταετία, γεγονός που φανερώνει πως έχει δοθεί βαρύτητα στη δρομολόγηση της αναβάθμισης του κτιριακού αποθέματος με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο. Η πλειοψηφία των μελετών πραγματοποιήθηκε σε χώρες της ΕΕ, με ΗΠΑ, Καναδά και κάποιες ασιατικές χώρες να ακολουθούν. Είναι χαρακτηριστική εδώ η απουσία μελετών που αφορούν σε κτίρια αφρικανικών χωρών. Η μεγάλη συμμετοχή ευρωπαϊκών μελετών συνάδει και με την γενικότερη ενεργή προσπάθεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης για ενεργειακή μετάβαση και συμμόρφωση με τους στόχους της Συμφωνίας του Παρισιού. Σε αυτή την κατεύθυνση, κινούνται οι στόχοι για κλιματική ουδετερότητα έως το 2050 που έχουν αναφερθεί παραπάνω στην εργασία, αλλά και διάφορες οδηγίες και υπολογιστικά εργαλεία που παρέχονται για αξιολογήσεις των μέτρων, όπως τα παρακάτω:

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

- <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/>
- https://green-business.ec.europa.eu/green-public-procurement/life-cycle-costing_en

Όπως είναι αναμενόμενο, οι μελέτες περίπτωσης πραγματοποιούνται ως επί το πλείστο σε κτίρια κατασκευής από το 2004 και προηγουμένως, με τα μεταπολεμικής κατασκευής κτίρια να αποτελούν σημαντικό ποσοστό εκ των μελετώμενων. Οι περισσότερες εφαρμογές και οι μοντελοποιήσεις έγιναν σε πραγματικά κτίρια, ενώ η χρήση αρχέτυπων και απλοποιημένων μοντέλων κτιρίων ήταν πιο περιορισμένη. Το μεγαλύτερο ποσοστό από αυτά ήταν κατοικίες και σε μικρότερα ποσοστά δημόσια και εμπορικά κτίρια. Ως προς τα μέτρα που περιείχαν οι μελέτες, η μόνωση του κελύφους των κτιρίων και τα συστήματα Θέρμανσης-Ψύξης-Ζεστού Νερού Χρήσης βρίσκονται σταθερά στην κατηγορία στοιχείων κτιρίου όπου εξετάζεται αναβάθμιση.

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη προσέγγιση αξιολόγησης στην βιβλιογραφία που μελετήθηκε ήταν η LCC (Κόστος Κύκλου Ζωής). Αρκετά συχνές ήταν οι συνδυαστικές προσεγγίσεις (π.χ. LCC και Ανάλυση Κόστους Οφέλους [CBA]). Να σημειωθεί πως οι μέθοδοι LCC και CBA έχουν εξίσου αξιόπιστα αποτελέσματα και βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε κοινούς δείκτες ως προς το κομμάτι του κόστους. Οι κοινοί αυτοί δείκτες που καταγράφηκαν κατά τη διαδικασία της έρευνας ήταν οι Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV), ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR), η Περίοδος Επανεξίσπραξης (PBP), προεξοφλημένη ή όχι, και οι Προεξοφλημένες Ταμειακές Ροές (DCF). Η χρησιμοποίηση όλων των τελευταίων δεικτών εισάγει την έννοια της αξίας των μελλοντικών ταμειακών ροών στο σήμερα, ώστε να αξιολογηθούν σωστά τα εξεταζόμενα μέτρα. Παρατηρούμε πως η CBA είναι πιο «υποτιμημένη» και δεν χρησιμοποιείται τόσο συχνά όσο η LCC, παρόλο που είναι εξίσου άρτια και αξιόπιστη μέθοδος. Αυτό μπορεί να οφείλεται αφενός σε μια αγκύλωση να ακολουθείται η οδηγία της ΕΕ που συστήνει το Κόστος Κύκλου Ζωής, αλλά και στο γεγονός ότι η LCC είναι καταλληλότερη σε έργα με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Το κομμάτι της LCC που έχει να κάνει με τον Κύκλο Ζωής επικαλύπτεται και με τον δείκτη Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA), ο οποίος έχει περιβαλλοντικό προσανατολισμό και συνδυάζεται πολλές φορές με την LCC.

Γενικότερα, οι συνδυασμοί μεθόδων αξιολόγησης, είτε πρόκειται για LCC& CBA, είτε για LCC& LCA, οδηγούν σε πιο σφαιρική προσέγγιση και σε αποτελέσματα βέλτιστων λύσεων που λαμβάνουν υπόψη περισσότερες παραμέτρους.

Δείκτες σε σχέση με την ενέργεια, την άνεση και την περιβαλλοντική επίπτωση των μέτρων αναβάθμισης είναι απαραίτητοι για την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων αξιολόγησης, και για αυτό συναντώνται σε όλες τις μελέτες. Η Εξοικονόμηση Ενέργειας είναι ένας από τους βασικούς δείκτες που πρέπει να καταγραφούν.

Η Διαχείριση Κινδύνου (Risk Management) εξετάζεται στην παρούσα εργασία, αλλά δεν δείχνει να καταλαμβάνει μεγάλο μέρος της βιβλιογραφίας ως αποκλειστική μέθοδος αξιολόγησης. Αυτό συμβαίνει επειδή συντελείται ανάλυση κινδύνου σε διάφορα στάδια της διαδικασίας των υπόλοιπων μεθόδων. Επίσης, σημαντικό μέρος των μελετών ενσωματώνουν την αβεβαιότητα (π.χ. μέσω προσομοίωσης Monte-Carlo, ανάλυση ευαισθησίας).

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

Η βιβλιογραφική έρευνα ανέδειξε το προεξοφλητικό επιτόκιο ως ιδιαίτερα επιδραστικό παράγοντα στα αποτελέσματα των αξιολογήσεων, υπάρχουν ωστόσο και πολλά άλλα στοιχεία που μπορεί να επιδράσουν στις αξιολογήσεις, όπως οι τιμές στο ηλεκτρικό ρεύμα. Όπου είναι δυνατόν και με στοχευμένα μέτρα, οι κυβερνήσεις οφείλουν να λειτουργήσουν ως ρυθμιστικός παράγοντας για την επιτάχυνση της πράσινης κτιριακής μετάβασης και για την συμπερίληψη σε αυτή τη μετάβαση όλης της κοινωνίας.

Παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω οι κυριότερες τάσεις που αναδείχθηκαν μέσα από την έρευνα:

Πεδίο	Τάσεις
Χρόνος	Αύξηση όγκου δεδομένων από το 2020 και μετά
Τόπος	Η Ευρώπη πιο δραστήρια στις αναβαθμίσεις κτιρίων / Πρόκληση η μεγαλύτερη συμμετοχή αναπτυσσόμενων χωρών
Λειτουργία	Μελέτες περίπτωσης κυρίως σε πραγματικά κτίρια που χρησιμοποιούνται ως κατοικίες
Εργαλεία	Πιο διαδεδομένα στη χρήση Energy Plus, Design Builder, Gen Opt
Μεθοδολογία	Υιοθέτηση εναλλακτικών προσεγγίσεων για βελτιστοποιήσεις [trade-offs, προσεγγίσεις σε επίπεδο κοινότητας, συνδυασμός μέτρων αναβάθμισης με αντισεισμικά μέτρα]
Ενέργεια	Υπολογισμός εξοικονομήσεων στα μοντέλα / Δεδομένα Ζήτησης προτιμώνται από δεδομένα Κατανάλωσης
Περιβάλλον	Ενσωμάτωση στα μοντέλα σε όλες τις μεθόδους / Αποτελεί βασικό προσανατολισμό της LCA
Μέτρα	HVAC και μόνωση εκ των βασικών μέτρων αναβάθμισης που εξετάζονται / Η συμμετοχή φωτοβολταϊκών θα μπορούσε να είναι μεγαλύτερη
Ρίσκο	Ενσωμάτωση της αβεβαιότητας με προσομοίωση Monte-Carlo και αναλύσεις ευαισθησίας
Παράγοντες επίδρασης	Προεξοφλητικό επιτόκιο, τιμή ηλεκτρικού ρεύματος, κλιματικές συνθήκες Ιδιαίτερα σημαντική η επίδραση του προεξοφλητικού επιτοκίου στην αξιολόγηση και τη λήψη αποφάσεων
Κοινωνία	Όλες οι μέθοδοι αξιολόγησης έχουν κοινωνικές προεκτάσεις και μπορούν να ενσωματώσουν κοινωνικά οφέλη

Εικόνα 15: Γενικές τάσεις και παρατηρήσεις

Μέθοδος Προσέγγισης	Τάση
LCC	Πιο συχνή στη χρήση / Συνδυασμός με LCA (συχνά) και με CBA (σπάνια)
LCA	Συνδυασμός με LCC (συχνά) / Και οι δύο ενδείκνυνται για μεγάλους κύκλους ζωής (25 έτη+)
CBA	Πολλοί κοινοί δείκτες με LCC / σπάνια συνδυάζονται / CBA πιο περιορισμένη στη βιβλιογραφία / εργαλείο λήψης αποφάσεων
Risk Mgmt	Χρησιμοποιείται συνήθως συμπληρωματικά με τις παραπάνω μεθόδους / Η Ανάλυση Ευαισθησίας κυρίαρχη στα μοντέλα

Εικόνα 16: Τάσεις δεικτών αξιολόγησης

5.2. Προκλήσεις και Περιορισμοί

Οι βασικές προκλήσεις και περιορισμοί που εντοπίστηκαν στις μελέτες ήταν οι ακόλουθοι:

- Η ακριβής καταγραφή όλων των παραμέτρων και μεγεθών που μπορεί να χρησιμεύσουν στους υπολογισμούς είναι μια δύσκολη διαδικασία και αρκετές φορές κάποια δεδομένα δεν μπορούν να αποκτηθούν και να περιληφθούν στη μελέτη. Πολλές παράμετροι επίσης αγνοούνται για τον ίδιο λόγο ή προς απλοποίηση της διαδικασίας. Για παράδειγμα στη μελέτη [94] που ακολουθεί LCC δεν λαμβάνονται υπόψη τα κόστη συντήρησης. Στη μελέτη [107] που ακολουθεί συνδυασμό LCC και CBA, δεν διερευνώνται λεπτομερώς τα οφέλη που αφορούν τη συνολική χρησιμότητα και την κοινωνία. Απαιτείται προσεκτική εξέταση των περιορισμών, ώστε να μην επηρεάζονται σημαντικά τα τελικά αποτελέσματα.
- Το γεγονός ότι οι μελέτες περίπτωσης περιορίζονται σε ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο και την κλιματική ζώνη που αυτό ανήκει θέτει περιορισμό και ένα ερώτημα ως προς το αν θα έχουν ανάλογα αποτελέσματα αν εφαρμοστούν σε διαφορετικές περιοχές.
- Η επίτευξη της βέλτιστης λύσης που να ικανοποιεί το κομμάτι του cost-optimality, αλλά και να είναι εξίσου αποδοτική και σε άλλες κατηγορίες (εκπομπές αερίων, αντισεισμική προστασία κ.α.) αποτελεί πρόκληση. Οι επιλογές και αντισταθμίσεις που γίνονται θα πρέπει να οδηγούν σε ένα ισορροπημένο αποτέλεσμα.
- Πολλές φορές η οικονομική αξιολόγηση καταλήγει σε μη συμφέροντα αποτελέσματα, εάν δεν υπάρξει συμπληρωματική πολιτική δράση με μέτρα ενίσχυσης, ώστε να εφαρμοστούν ενεργειακές αναβαθμίσεις στα κτίρια. Για να μπορέσει να εφαρμοστεί σε μαζικό επίπεδο, η αναβάθμιση κτιρίων χρειάζεται να επιχορηγηθεί από την πολιτεία.

5.3. Μελλοντική Έρευνα

Μερικές κατευθύνσεις που θα μπορούσε να πάρει η μελλοντική έρευνα πάνω στο εξεταζόμενο θέμα είναι οι εξής:

- Ένα πεδίο που θα ήταν πολύ ενδιαφέρον να εξερευνηθεί περαιτέρω στο μέλλον συνιστά το περιεχόμενο της μελέτης [110], όπου εξετάζεται κατά πόσο μπορεί να καλυφθεί το κενό μεταξύ βέλτιστης από πλευράς κόστους και βέλτιστης από πλευράς netZero λύσης, δεδομένου ότι τις περισσότερες φορές η cost-optimal λύση επισκιάζει την netZero λύση. Το μακροοικονομικό περιβάλλον παίζει σημαντικό ρόλο σε αυτή την εξίσωση και θα ήταν χρήσιμο να διερευνηθεί παραπάνω.
- Η μεγαλύτερη συμμετοχή κτιρίων της αφρικανικής ηπείρου, αλλά και πολλών άλλων περιοχών ανά τον κόσμο (εκτός Ευρώπης) σε μελέτες περίπτωσης είναι απαραίτητη στα επόμενα χρόνια προκειμένου να είναι πιο συντονισμένη παγκόσμια η προσπάθεια για ενεργειακή μετάβαση, αλλά και για να αναδειχθούν μέσα από τα μοντέλα οι κατάλληλες λύσεις για χώρες που αυτή τη στιγμή υπολείπονται στην έρευνα.
- Η εισαγωγή έξυπνων συστημάτων και αυτοματισμών θα μπορούσε να επεκταθεί ακόμα παραπάνω στο μέλλον και να συνοδεύει κάθε άλλο πακέτο μέτρων αναβάθμισης που αξιολογούνται.
- Τέλος, το κομμάτι των κοινωνικών ωφελειών θα πρέπει να διερευνηθεί παραπάνω στο μέλλον, καθώς επίσης και η δυνατότητα αντιστάθμισής τους με στοιχία κόστους.

Παράρτημα Α: Γενικά Στοιχεία Μελετών

<i>ID</i>	<i>Τίτλος</i>	<i>Τύπος</i>	<i>Περιοδικό</i>	<i>Συγγραφέας</i>	<i>Έτος</i>
[111]	Quantifying the benefits of a building retrofit using an integrated system approach: A case study	Άρθρο	Energy & Buildings	Cynthia Regnier, Kaiyu Sun, Tianzhen Hong, Mary Ann Piette	2018
[112]	Evaluation of Investment in Renovation to Increase the Quality of Buildings: A Specific Discounted Cash Flow (DCF) Approach of Appraisal	Άρθρο	Sustainability	Giuseppe Bonazzi and Mattia Iott	2016
[113]	Financial feasibility analysis for different retrofit strategies on an institutional building	Άρθρο	Sustainable Energy Technologies & Assessments	Iman Youssefi, Tolga Celik, Asil Azimli	2022
[93]	Minimizing delivered energy and life cycle cost using Graphical script: An office building retrofitting case	Άρθρο	Applied Energy	Mehrdad Rabania, Habtamu Bayera Madessaa, Omid Mohsenib, Natasa Nord	2020
[83]	Energy Performance, LCC and LCA Analysis of Renovation of Residential Buildings	Διπλωματική εργασία	Faculty of Engineering, Lund University	Han Wang	2021
[80]	Life Cycle Cost Assessment and Retrofit in Community Scale: a Case Study of Jordan	Άρθρο Συνεδρίου	The 11th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings	Mohammad Hamdan, Parham Mirzaei, Mark Gillott	2023
[114]	A Staged Approach for Energy Retrofitting an Old Service Building: A Cost-Optimal Assessment	Άρθρο	Energies	Jorge Lopes, Rui A. F. Oliveira, Nerija Banaitiene, Audrius Banaitis	2021
[115]	Evaluation of Energy Efficiency of Buildings Based on LCA and LCC Assessment: Method, Computer Tool, and Case	Κεφάλαιο Βιβλίου	Nearly Zero Energy Building (NZEB): Materials, Design and New	Suzana Domjan, Ciril Arkar, Rok Fink, Sašo Medved	2022

ID	Τίτλος	Τύπος	Περιοδικό	Συγγραφέας	Έτος
	Studies		Approaches		
[116]	Comparative cost analysis of traditional and industrialised deep retrofit scenarios for a residential building	Άρθρο	Journal of Facade Design & Engineering	Martino Gubert, Jamal Abdul Ngoyaro, Miren Juaristi Gutierrez, Riccardo Pinotti, Davide Brandolini, Stefano Avesani	2023
[94]	Upgrading the Smartness of Retrofitting Packages towards Energy - Efficient Residential Buildings in Cold Climate Countries: Two Case Studies	Άρθρο	Buildings	Laurina C. Felius, Mohamed Hamdy, Fredrik Dessen, Bozena Dorota Hrynyszyn	2020
[66]	Sustainable energy efficiency retrofits as residential buildings move towards nearly zero energy building (NZEB) standards	Άρθρο	Energy & Buildings	Paul Moran, John O'Connell, Jamie Goggins	2020
[117]	Investigations of Building-Related LCC Sensitivity of a Cost-Effective Renovation Package by One-at-a-Time and Monte Carlo Parameter Variation Methods	Άρθρο	Applied Sciences	Yovko Ivanov Antonov, Kim Trangbæk Jønsson, Per Heiselberg, Michal Zbigniew Pomianowski	2022
[110]	From cost-optimal to nearly Zero Energy Buildings' renovation: Life Cycle Cost comparisons under alternative macroeconomic scenarios	Άρθρο	Journal of Cleaner Production	Edoardo Baldoni, Silvia Coderoni, Marco D'Orazio, Elisa Di Giuseppe, Roberto Esposti	2020
[109]	Affordability assessment of passive retrofitting measures for residential buildings using life cycle assessment	Ερευνητικό Άρθρο	Heliyon	Shouib Nouh Ma'bdeh, Yasmeen Abdull Ghani, Laith Obeidat, Mohammed Alosan	2023
[107]	Office building deep energy retrofit: life cycle cost benefit analyses using cash flow analysis and multiple benefits on project level	Άρθρο	Energy Efficiency	Jan W. Bleyl, Markus Bareit, Miguel A. Casas, Souran Chatterjee, Johan Coolen, Albert Hulshoff, Rüdiger Lohse, Sarah Mitchell, Mark Robertson, Diana Ürge-Vorsatz	2018
[118]	Retrofitting post-war office buildings: Interventions for energy	Άρθρο	Journal of Building Engineering	Özlem Durana, Kevin J. Lomas	2021

<i>ID</i>	<i>Τίτλος</i>	<i>Τύπος</i>	<i>Περιοδικό</i>	<i>Συγγραφέας</i>	<i>Έτος</i>
	efficiency, improved comfort, productivity and cost reduction				
[81]	Combination of lighting retrofit and life cycle cost analysis for energy efficiency improvement in buildings	Ερευνητικό Άρθρο	Energy Reports	Pavol Belany, Peter Hrabovsky, Zuzana Kolkova	2021
[84]	Residential building stock model for evaluating energy retrofit programs in Saudi Arabia	Άρθρο	Energy	Moncef Krarti, Mohammad Aldubyan, Eric Williams	2020
[85]	Building Retrofit and Energy Conservation/Efficiency Review: A Techno-Environ-Economic Assessment of Heat Pump System Retrofit in Housing Stock	Άρθρο	Sustainability	Mustapha Mukhtar, Bismark Ameyaw, Nasser Yimen, Quixin Zhang, Olusola Bamisile, Humphrey Adun, Mustafa Dagbasi	2021
[101]	Exploring the cost-effectiveness of energy efficiency implementation measures in the residential sector	Ερευνητικό Άρθρο	Energy Policy	Fateh Belaïd, Zeinab Ranjbar, Camille Massié	2021
[119]	Exploring key risks of energy retrofit of residential buildings in China with transaction cost considerations	Άρθρο	Journal of Cleaner Production	Ling Jia, Queena K. Qian, Frits Meijer, Henk Visscher	2021
[97]	De-Risking the Energy Efficient Renovation of Commercial Office Buildings through Technical-Financial Risk Assessment	Άρθρο	Sustainability	Annalisa Andaloro, Graziano Salvalai, Gabriele Fregonese, Linda Tso, Giulia Paoletti	2022
[67]	Economic and Energy Analysis of Building Retrofitting Using Internal Insulations	Άρθρο	Energies	Małgorzata Basińska, Dobrosława Kaczorek, Halina Koczyk	2021
[68]	Life cycle thinking-based energy retrofits evaluation framework for Canadian residences: A Pareto optimization approach	Άρθρο	Building & Environment	Haonan Zhang, Kasun Hewage, Tharindu Prabatha, Rehan Sadiq	2021
[86]	Analysis of financial benefits for energy retrofits of owner-occupied single-family houses in Germany	Άρθρο	Building & Environment	Zoe Mayer, Rebekka Volk, Frank Schultmann	2022

<i>ID</i>	<i>Τίτλος</i>	<i>Τύπος</i>	<i>Περιοδικό</i>	<i>Συγγραφέας</i>	<i>Έτος</i>
[120]	A real industrial building: Modeling, calibration and Pareto optimization of energy retrofit	Άρθρο	Journal of Building Engineering	Fabrizio Ascione, Nicola Bianco, Teresa Iovane, Gerardo Maria Mauro, Davide Ferdinando Napolitano, Antonio Ruggiano, Lucio Viscido	2020
[102]	Evaluation of cost-optimal retrofit investment in buildings: the case of Bragança Fire Station, Portugal	Άρθρο	International Journal of Strategic Property Management	Sónia Cova, Carlos Andrade, Orlando Soares, Jorge Lopes	2021
[121]	A heuristic solution and multi-objective optimization model for life-cycle cost analysis of solar PV/GSHP system: A case study of campus residential building in Korea	Άρθρο	Sustainable Energy Technologies & Assessments	Minjeong Sim, Dongjun Suh	2021
[58]	Exploring the trade-off in life cycle energy of building retrofit through optimization	Άρθρο	Applied Energy	Farshid Shadrama, Shimantika Bhattacharjeea, Sofia Lidelöwa, Jani Mukkavaaraa, Thomas Olofsson	2020
[122]	The economics of green buildings: A life cycle cost analysis of nonresidential buildings in tropic climates	Άρθρο	Journal of Cleaner Production	Shengping Li, Yujie Lu, Harn Wei Kua, Ruidong Chang	2020
[123]	Unified life-cycle cost–benefit analysis framework and critical review for sustainable retrofit of Canada's existing buildings using mass timber	Άρθρο	Canadian Journal of Civil Engineering	D. Malomo, Y. Xie, G. Doudak	2023
[63]	The Application of Life Cycle Cost Analysis Method for Green Retrofitting of Mosque Building to Improve Investment Performance	Άρθρο	Civil Engineering & Architecture	Agnes Purba, Yusuf Latief, Bernadette Detty Kusumardianadewi, Bambang Trigunarsyah	2024
[76]	LCA-based strategic evaluation for building renovation construction projects	Άρθρο Συνεδρίου	IOP Conference Series: Earth & Environmental Science	Marco Alvise Bragadin, Mattia Calistri, Giorgia Predari	2024
[124]	Integrating Building Information Modeling (BIM) and Life Cycle Cost Analysis (LCCA) to	Άρθρο	Sustainability	Vafa Rostamiasl, Ahmad Jrade	2024

<i>ID</i>	<i>Τίτλος</i>	<i>Τύπος</i>	<i>Περιοδικό</i>	<i>Συγγραφέας</i>	<i>Έτος</i>
	Evaluate the Economic Benefits of Designing Aging-In-Place Homes at the Conceptual Stage				
[91]	Integration of LCA and LCCA through BIM for optimized decision-making when switching from gas to electricity services in dwellings	Άρθρο	Energy & Buildings	Nao Shibata, Francisco Sierra, Ahmed Hagra	2023
[87]	What is the optimal robust environmental and cost-effective solution for building renovation? Not the usual one	Άρθρο	Energy & Buildings	Alina Galimshinaa, Maliki Moustaphab, Alexander Hollbergc, Pierryves Padeyd, Sébastien Lasvauxd, Bruno Sudretb, Guillaume Habert	2021
[125]	Usability of the EPC Tools for the Profitability Calculation of a Retrofitting in a Residential Building	Άρθρο	Sustainability	Alex Gonzalez Caceres, Muriel Diaz	2018
[88]	Energy Efficiency Retrofits in Commercial Buildings: An Environmental, Financial, and Technical Analysis of Case Studies in Thailand	Άρθρο	Energies	Christopher Charles Seeley, Shobhakar Dhakal	2021
[108]	Financial Impacts of the Energy Transition in Housing	Άρθρο	Sustainability	Luigi Dolores, Maria Macchiaroli, Gianluigi De Mare	2022
[103]	Evaluation of energy retrofit in buildings under conditions of uncertainty: The prominence of the discount rate	Άρθρο	Energy	Sergio Copiello, Laura Gabrielli, Pietro Bonifaci	2017
[89]	Environmental and Economic Assessment of Energy Renovation in Buildings, a Case Study in Greece	Άρθρο	Buildings	Lorna Dragonetti, Dimitra Papadaki, Margarita-Niki Assimakopoulos, Annarita Ferrante, Marco Iannantuono	2024
[126]	Net zero retrofit of older tenement housing – The contribution of cost benefit analysis to wider evaluation of a demonstration project	Άρθρο	Energy Policy	Anthony Higney, Kenneth Gibb	2024
[74]	A Community Building Energy Modelling – Life Cycle Cost Analysis	Άρθρο	Sustainable Production and Consumption	Omprakash Ramalingam Rethnam, Albert	2023

<i>ID</i>	<i>Τίτλος</i>	<i>Τύπος</i>	<i>Περιοδικό</i>	<i>Συγγραφέας</i>	<i>Έτος</i>
	framework to design and operate net zero energy communities			Thomas	
[104]	Comprehensive cost-benefit analysis of energy efficiency in social housing. Case study: Northwest Mexico	Άρθρο	Energy & Buildings	Oscar A. Preciado-Pérez, Steve Fotios	2017
[64]	Roadmap to a Sustainable Energy System: Is Uncertainty a Major Barrier to Investments for Building Energy Retrofit Projects in Wide City Compartments?	Άρθρο	Energies	Laura Gabrielli, Aurora Greta Ruggeri, Massimiliano Scarpa	2023
[127]	Intelligent retrofits in residential buildings: A knowledge-based approach	Άρθρο Συνεδρίου	2024 European Conference on Computing in Construction Chania, Crete, Greece	Sobia Bano, Usman Ali, Divyanshu Sood, James O'Donnell	2024
[92]	Developing a model for energy retrofit in large building portfolios: Energy assessment, optimization and uncertainty	Άρθρο	Energy & Buildings	Laura Gabrielli, Aurora Greta Ruggeri	2019
[128]	Probabilistic life cycle costing of existing buildings retrofit interventions towards nZE target: Methodology and application example	Άρθρο	Energy & Buildings	Elisa Di Giuseppe, Monica Iannaccone, Martina Tellonia, Marco D'Orazio, Costanzo Di Perna	2017
[129]	Cost-benefit analysis for Energy Efficiency Retrofit of existing buildings: A case study in China	Άρθρο	Journal of Cleaner Production	Yuming Liu, Tingting Liu, Sudong Ye, Yisheng Liu	2017
[65]	Assessing the environmental benefits of adaptive reuse in historical buildings. A case study of a life cycle assessment approach	Ερευνητικό Άρθρο	Sustainable Environment	Ming Hu, Jakub Świerczawski	2024

Παράρτημα Β: Στοιχεία Κτιρίων

ID	Λειτουργία κτιρίου							Είδος μοντέλου			Τοποθεσία	Έτος Κατασκευής
	K	A	E	B	ΔK	A	M/A	ΠK	AK	AMK		
[111]		X						X			Χαβάη, ΗΠΑ	M/Δ
[112]	X							X			Πάρμα, Ιταλία	1962
[113]		X						X			Βόρεια Κύπρος	1998
[93]			X					X			Νορβηγία	1980s
[83]	X							X			Λουντ, Σουηδία	M/Δ
[80]	X							X			Αμμάν, Ιοαρδανία	Πριν το 1990
[114]		X						X			Μπραγκάντσα, Πορτογαλία	1933
[115]		X						X			Λιουμπλιάνα, Σλοβενία	M/Δ
[116]	X							X			Φλωρεντία, Ιταλία	1979
[94]	X									X	Νορβηγία	1960s - 1990s
[66]	X								X		Ιρλανδία	1991-2002
[117]	X									X	Δανία	1949
[110]	X							X			Κατόλικά, Ιταλία	1935
[109]	X							X			Τρμπιντ, Ιορδανία	M/Δ
[107]			X					X			Νότια Γερμανία	1960
[118]			X							X	Ηνωμένο Βασίλειο	1940s - 1980s
[81]		X						X			Πανεπιστήμιο Ζίλινα, Σλοβακία	M/Δ
[84]	X									X	Σαουδική Αραβία	Τελευταίες 3 δεκαετίες
[85]	X		X					X			Κύπρος	M/Δ

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Λειτουργία κτιρίου							Είδος μοντέλου			Τοποθεσία	Έτος Κατασκευής
	K	A	E	B	ΔK	A	M/A	ΠK	AK	AMK		
[101]	X							X			Γαλλία	1948 έως 2000+
[119]	X							X			Ανχουέι, Κίνα	1987, 1990s & 1998
[97]	X							X			Ρώμη, Ιταλία	2001
[67]	X								X		Πολωνία	M/Δ
[68]	X								X		Κελόουνα, Καναδάς	3 ομάδες: πριν το 1970, 1970–1979, και 1980–1999
[86]	X							X			Γερμανία	1958–1968 & 1969–1978
[120]				X						X	Νότια Ιταλία	2014
[102]		X						X			Μπραγκάντσα, Πορτογαλία	1991
[121]		X								X	Κορέα	M/Δ
[58]	X							X			Ριτεά, Σουηδία	1980s
[122]		X	X	X				X			Σιγκαπούρη	1987 έως 2013
[123]	X		X	X				X			Καναδάς	προ-1941 έως 2005
[63]					X			X			Ινδονησία	M/Δ
[76]	X										Νότια Ιταλία	M/Δ
[124]	X									X	Οντάριο, Καναδάς	M/Δ
[91]	X									X	Μπρίστολ, Ηνωμένο Βασίλειο	M/Δ
[87]	X									X	Δυτική Ελβετία	1911 & 1972
[125]	X							X			Όσλο, Νορβηγία	1987
[88]			X					X			Ταϊλάνδη	M/Δ

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Λειτουργία κτιρίου							Είδος μοντέλου			Τοποθεσία	Έτος Κατασκευής
	K	Δ	E	B	ΔK	A	M/Δ	ΠK	AK	AMK		
[108]	X							X			Καμπανία, Ιταλία	1960-1970
[103]	X							X			Μπολόνια, Ιταλία	M/Δ
[89]	X							X			Αθήνα, Ελλάδα	1986
[126]	X							X			Γλασκώβη, Σκωτία	1890s
[74]	X							X			Βομβάη, Ινδία	M/Δ
[104]	X							X			Βορειοδυτικό Μεξικό	M/Δ
[64]	X				X			X			Μπολόνια, Ιταλία	1950 - 1990
[127]	X							X			Ιρλανδία	1983 - 1993
[92]		X		X	X			X			Φεράρα, Ιταλία	M/Δ
[128]	X							X			Κατόλικά, Ιταλία	1935
[129]	X							X			Πεκίνο, Κίνα	1988
[65]					X			X			Ζάμπζε, Πολωνία	1879

K: Κατοικία, **Δ:** Δημόσιο, **E:** Εμπορικό, **B:** Βιομηχανικό, **ΔK:** Διατηρητέο Κτίριο, **A:** Άλλο, **M/Δ:** Μη Διαθέσιμο, **ΠK:** Πραγματικό Κτίριο, **AK:** Αρχέτυπο Κτίριο, **AMK:** Απλοποιημένο Μοντέλο Κτιρίου

Παράρτημα Γ: Δείκτες Αξιολόγησης

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

Ref.	Evaluation Methods																																		
ID		(LC)CBA																	LCCA						LCA						Risk Mgmt				
		ROI	LCoE	CFADS	LLCR	ECB	RIB	PCB	PWV	CBR	BEP	RV	PBP	DPBP	IRR	NPV	DCF	TCO	TLOC	dLCC	GC	CI	NSM	DE	Qi	Emb Carbon	GWP	LCI	LCCO2	TCT	bj	DI	EGI	PBTI	
111	X															X	X																		
112	X														X	X	X																		
113	X									X				X	X	X																			
93	X																		X	X				X											
83	X															X											X								
80	X								X				X			X												X							
114	X																						X												
115	X																X							X											
116	X															X	X	X																	
94	X																				X														
66	X															X																			
117	X															X																			
110	X																				X														
109	X															X														X					
107	X		X	X	X										X	X	X																		
118	X			X		X	X	X								X																			
81	X																		X			X													
84	X																		X																
85	X												X		X	X																			
101	X												X		X	X																			
119	X																													X	X				
97	X														X																	X	X		
67	X												X								X											X	X	X	
68	X															X															X				
86	X	X								X																									
120	X																				X														
102	X												X		X								X												
121	X															X																			
58																																			
122	X															X			X																
123	X									X																									
63	X									X	X				X	X																			
76	X																								X		X								
124	X															X										X									
91	X																										X								
87	X																											X							
125	X														X																				
88	X												X																						
108	X												X		X	X	X																		
103	X															X																			
89	X																																		
126	X									X						X												X							
74	X												X	X	X	X																			
104	X										X	X	X			X																			
64	X												X			X	X																		
127	X																																		
92	X													X		X	X										X		X						
128	X																				X														
129	X												X		X																				
65	X																											X	X						

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

Ref.	Ενέργεια				Άνεση			Περιβαλλοντική Επίπτωσηση						Αντιστάθμιση			
ID																	
		Cons	Sav	Dem		TC	WWR		Emb	fuel oil emission factor	Fossil fuel reductions	GHG	CO2 emissions		SIF	ΔOE	ΔΕΕ
111	X		X		X	X											
112	X	X	X														
113	X	X															
93																	
83																	
80	X		X														
114	X	X															
115	X	X	X					X				X	X				
116																	
94	X	X	X		X	X											
66	X	X	X	X				X	X					X	X		
117	X		X	X													
110	X	X	X														
109				X													
107	X		X														
118	X	X		X	X	X											
81	X	X															
84	X	X	X														
85	X	X		X	X	X		X		X	X						
101	X	X	X					X					X				
119																	
97	X	X	X	X													
67	X	X	X	X													
68								X				X	X				
86	X		X	X				X					X				
120	X	X		X	X	X											
102	X	X															
121	X	X	X														
58														X		X	X
122																	
123	X	X	X					X					X				
63	X	X	X														
76								X				X	X				
124	X	X						X					X				
91	X	X						X					X				
87	X			X				X	X			X					
125	X		X	X													
88	X	X	X					X				X					
108	X		X														
103	X	X	X														
89	X			X													
126	X	X	X					X					X				
74	X	X	X		X		X										
104	X	X	X														
64	X	X	X	X													
127								X	X				X				
92	X	X	X	X													
128	X	X		X													
129	X		X														
65																	

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

Δείκτες / Αντικειμενικές Συναρτήσεις		
ROI	Return on Investment	Απόδοση Επένδυσης
LCoE	Levelized Cost of Energy	Σταθμισμένο Κόστος Ενέργειας
CFADS	Cash Flow Available for Debt Service	Ταμειακές Ροές για Εξυπηρέτηση Χρέους
LLCR	Loan Life Coverage Ratio	Λόγος Κάλυψης Ζωής Δανείου
ECB	Energy cost benefit	Όφελος Κόστους Ενέργειας
RIB	Rent increase benefit	Όφελος Αύξησης μισθώματος
PCB	Productivity cost benefits	Όφελος Κόστους παραγωγικότητας
PWV	Present Worth Value	Παρούσα Αξία
CBR	Cost Benefit Ratio	Αναλογία Κόστους Οφέλους
RV	Residual value	Υπολειμματική Αξία
BEP	Break Even Point	Νεκρό Σημείο
PBP	Payback Period	Περίοδος Επανεξίσπραξης
DPBP	Discounted Payback Period	Προεξοφλημένη Περίοδος Επανεξίσπραξης
IRR	Internal Rate of Return	Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης
NPV	Net Present Value	Καθαρή Παρούσα Αξία
DCF	Discounted Cash Flow	Προεξοφλημένες Ταμειακές Ροές
TCO	Total Cost of Ownership	Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας
TLCC	Total Life Cycle Cost	Συνολικό Κόστος Κύκλου Ζωής
dLCC	Difference in life cycle cost	Διαφορά Κόστους Κύκλου Ζωής
GC	Global Cost	Συνολικό Κόστος
CI	Climate Impact	Κλιματική Επίπτωση
NSM	Net Savings Method	Μέθοδος Καθαρής Εξοικονόμησης
De	Delivered Energy	Παρεχόμενη Ενέργεια
Qi	Quantity Index	Δείκτης Ποσότητας
GWP	Global Warming Potential	Δυναμικό Πλανητικής Υπερθέρμανσης
LCI	Life Cycle Inventory	Απογραφή Κύκλου Ζωής
LCCO2	Life Cycle Carbon emissions assessment	Αξιολόγηση εκπομπών άνθρακα κύκλου ζωής
TCT	Transaction cost theory	Θεωρία του Κόστους Συναλλαγών
bj	Borda count for the risk j	Καταμέτρηση Borda του ρίσκου j
DI	Damage Indicator	Δείκτης Ζημίας

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

EGI	Energy Gap Indicator	Δείκτης Απόκλισης Ενεργειακού Κενού
PBTI	Payback Time Indicator	Δείκτης Χρόνου Αποπληρωμής
Cons	Consumption	Κατανάλωση
Sav	Savings	Εξοικονόμηση
Dem	Demand	Ζήτηση
TC	Thermal Comfort	Θερμική Άνεση
WWR	Window-to-wall ratio	Αναλογία Παραθύρου προς Τοίχο
Emb	Embodied	Ενσωματωμένη
GHG	Greenhouse gases emissions	Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου
SIF	Sustainability Index Facto	Δείκτης Βιωσιμότητας
ΔOE	Δ operational energy	Δ λειτουργικής ενέργειας

Παράρτημα Δ: Μέθοδοι και Εργαλεία

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
[111]	Μια μελέτη περίπτωσης στη Χαβάη που ποσοτικοποιεί τα οφέλη μιας προσέγγισης αναβάθμισης IS σε σύγκριση με δύο παραδοσιακές προσεγγίσεις αναβάθμισης	Μελέτη προσομοίωσης για τον υπολογισμό και την ανάλυση των οφελών εξοικονόμησης ενέργειας της προσέγγισης IS σε σύγκριση με τις προσεγγίσεις Standard Practice και Improved Practice (3 σενάρια αναβάθμισης) / Οικονομική ανάλυση	- LCC - Ενέργεια - Άνεση	- συστήματα φωτισμού και φόρτωσης βύσματος - κέλυφος κτιρίου - σύστημα HVAC	Το ενσωματωμένο ενεργειακό κόστος από τις φάσεις παραγωγής και μεταφοράς των υλικών και τεχνολογιών ECM δεν λαμβάνεται υπόψη / Το κόστος που σχετίζεται με τη χρήση νερού πύργου ψύξης δεν λαμβάνεται υπόψη	EnergyPlus Έκδοση 6.0	84% εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται με τη χρήση της προσέγγισης αναβάθμισης IS / Η προσέγγιση IS καταδεικνύει σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των δύο παραδοσιακών σεναρίων αναβάθμισης
[112]	Ειδική προσέγγιση DCF για τον ποσοτικό προσδιορισμό της αξίας που δημιουργείται για τους ιδιοκτήτες του κτιρίου από τις επενδύσεις στην ανακαίνιση μέσω επενδύσεων εξοικονόμησης ενέργειας	Μελέτη περίπτωσης κτιρίου 16 διαμερισμάτων / Μοντέλο DCF για την ποσοτικοποίηση της αξίας που δημιουργείται από την επένδυση αναβάθμισης (3 προσεγγίσεις & σύγκριση)	- LCC - Ενέργεια	Αρχικό επενδυτικό κεφάλαιο, ποσοτικοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας μετά την ανακαίνιση, εξοικονόμηση φόρων, τελική αξία κτιρίου	Δεν λαμβάνονται υπόψη: 1) οποιαδήποτε διαφορά στο κόστος χρήσης κεφαλαίου (προεξοφλητικό επιτόκιο) για κάθε κάτοικο του κτιρίου 2) η ύπαρξη περιορισμού ηλικίας για τους κατοίκους για τη διεξαγωγή επενδύσεων 3) ο προσδιορισμός του χρονικού ορίζοντα και η έλλειψη συνεκτίμησης	IRR > k (προεξοφλητικό επιτόκιο) / περίοδος: 20 έτη (απαιτείται ανάλυση ευαισθησίας) - Monte Carlo	Οι επενδύσεις που βελτιώνουν την ποιότητα των κτιρίων έχουν IRR από ελάχιστο 4,907% έως μέγιστο 12,980%

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

<i>ID</i>	<i>Κύρια ιδέα</i>	<i>Μεθοδολογία</i>	<i>ΑΣ</i>	<i>Μέτρα</i>	<i>Περιορισμοί</i>	<i>Εργαλεία</i>	<i>Βασικά συμπεράσματα</i>
					ς τυχόν εκροών έναντι του χρονικού ορίζοντα 4) το κόστος συναλλαγής που σχετίζεται με επενδύσεις σε ακίνητα 5) η παρουσία τυχόν απροσδόκητων χρεώσεων λόγω της εφαρμογής τεχνολογιών 6) η παρουσία πιθανών αξιώσεων από φορολογικές υπηρεσίες που σχετίζονται με φορολογικές απαιτήσεις		
[113]	Επενδυτική ή ανάλυση διαφορετικών στρατηγικών αναβάθμισης μέσω ντετερμινιστικών και στοχαστικών χρηματοοικονομικών μοντέλων	Ανάλυση κατανάλωσης ενέργειας για 5 σενάρια μετασκευής κελύφους κτιρίου & σύγκριση με βασικό σενάριο / Ντετερμινιστική χρηματοοικονομική ανάλυση για τη μέτρηση της αποτελεσματικότητας κάθε σεναρίου / Ανάλυση ευαισθησίας & προσομοίωση Monte-Carlo για στοχαστική οικονομική αξιολόγηση	• CBA • Ενέργεια	• Συστατικό κελύφους • Υλικό κελύφους • Πάχος • Υπάρχουσα τιμή U • Μέγιστη αποδεκτή τιμή U	M / Δ	Monte-Carlo, λογισμικό Design-Builders	Οικονομική υπεροχή της μόνωσης ταρατσών / πιθανά οφέλη τόσο για τους ιδιοκτήτες όσο και για τα ενδιαφερόμενα μέρη

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
[93]	2 σενάρια ως εξής: 1) βέλτιστος σχεδιασμός ελαχιστοποιώντας το LCC των μέτρων αναβάθμισης σε διάστημα 60 ετών, 2) ελαχιστοποίηση της παρεχόμενης ενέργειας στο κτίριο & LCC που περιορίζεται σε μια προκαθορισμένη τιμή	Επιλογή κτιρίου / παραδοχή ότι το επιλεγμένο κτίριο πληροί τον νορβηγικό οικοδομικό κώδικα TEK 10 (επίπεδο κτιρίου χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας) / προσομοίωση ενεργειακής απόδοσης κτιρίου / εφαρμογή 2 σεναρίων / παράμετροι εισόδου με βάση τις πιο συχνά επιλεγμένες στη βιβλιογραφία / ελάχιστες συναρτήσεις / GS module	- LCC - LCA	1) Ιδιότητες κελύφους κτιρίου / 2) Συστήματα HVAC	1ο σενάριο: χρήση ενέργειας κτιρίου για θέρμανση και ψύξη χώρων ώστε να ικανοποιείται το πρότυπο επίπεδο του νορβηγικού παθητικού κτιρίου	IDA-ICE έκδοση 4.8, GenOpt, προσέγγιση μονάδας γραφικού σεναρίου	Διευκόλυνση στην επιλογή οικονομικά αποδοτικών μέτρων αναβάθμισης κτιρίων, το LCC θα μπορούσε να μειωθεί έως και 11%, η παρεχόμενη ενέργεια στο κτίριο θα μπορούσε να μειωθεί έως και 55%
[83]	Αξιολόγηση 5 στρατηγικών/μέτρων ανακαίνισης	Προσομοίωση των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου με τα μέτρα ανακαίνισης / κόστος των μέτρων ανακαίνισης σε διάστημα 35 ετών / εκτιμώμενο δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη κάθε μέτρου / ανάλυση απόδοσης Pareto για την ανίχνευση του πιο αποδοτικού σεναρίου από κάθε άποψη	- LCC - LCA	- Βελτίωση τοίχου - Βελτιωμένα παράθυρα - Βελτίωση αερισμού με ανάκτηση θερμότητας - Αντικατάσταση τηλεθέρμανσης με αντλίες θερμότητας εδάφους - Προσθήκη φωτοβολταϊκών πάνελ στην οροφή	Δεν υπάρχουν μέτρα ανακαίνισης για υπόγεια στην παρούσα μελέτη	Βάση δεδομένων Wikells, SketchUp, Rhino 6, Sefaira, System Advisor Model (SAM), Microsoft Power BI	Και οι 5 στρατηγικές μείωσαν τη ζήτηση ενέργειας του κτιριακού συγκροτήματος / Smart1, GSHP και Large PV είναι επωφελείς σε όλες τις καταστάσεις / αντίθετα συμπεράσματα ανάλογα με την προοπτική [πρωτογενής ενέργεια και LCC ή LCA και LCC]
[80]	Επιπτώσεις του μικροκλίματος στην αναβάθμιση και LCC μιας	Συλλογή δεδομένων (από σχέδια γειτονιάς, λογαριασμούς ενέργειας κ.λπ.) / συνδυασμός με	- LCC - CBA - Ενέργεια	πράσινες στέγες	M / Δ	Envi-met v4.0, DesignBuilder, Weather Converter EnergyPlus	Μετά την εφαρμογή πράσινων οροφών: η ετήσια κατανάλωση ενέργειας θα μειωθεί κατά 11%, η περίοδος

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
	κοινότητας κτιρίων και όχι ενός μεμονωμένου κτιρίου	δεδομένα καιρού / σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας πριν και μετά την αναβάθμιση / υπολογισμός LCC της εφαρμοζόμενης στρατηγικής					απόσβεσης θα είναι μετά από 9,5 χρόνια και το κόστος-όφελος κατά τη διάρκεια ζωής των πράσινων οροφών θα είναι 150
[114]	Μέτρα/πακέτα βελτιστής απόδοσης για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας του κτιρίου / Στη χρηματοοικονομική αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά προεξοφλητικά επιτόκια 3% και 1%	Μεθοδολογία σύμφωνα με τις οδηγίες της ΕΕ / μέθοδος NS σε συνδυασμό με δυναμική ενεργειακή προσομοίωση / ενεργειακή απόδοση «κτιρίου βάσης» & «κτιρίου μετά τα μέτρα»	- LCC - Ενέργεια	1) εγκατάσταση εσωτερικής μόνωσης ταράτσας 2) εγκατάσταση εσωτερικής μόνωσης κατακόρυφου κελύφους 3) εγκατάσταση αεροθερμικής αντλίας θερμότητας για το σύστημα ζεστού νερού χρήσης	1) η ανάλυση ευαισθησίας που αναπτύχθηκε στην παρούσα μελέτη περιελάμβανε την επιλογή μόνο των επιτοκίων 2) καλύπτεται μόνο μία από τις έξι κλιματικές ζώνες της ηπειρωτικής Πορτογαλίας και εξετάζονται μόνο κτίρια της προ του 1960 3) η ανάλυση αξιολόγησε την οικονομική και ενεργειακή απόδοση επιλεγμένων μέτρων/δεσμών μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης	EnergyPlus (DesignBuilder), AutoCAD	Η προσέγγιση σταδιακής ανακαίνισης που χρησιμοποιείται στην ανάλυση είναι οικονομικά εφικτή / οι λύσεις μετασκευής που δεν περιλαμβάνουν βελτιώσεις στο κέλυφος του κτιρίου είναι γενικά οι πιο οικονομικά αποδοτικές
[115]	Υπολογιστικό εργαλείο για τον προσδιορισμό του nZEB	Υπολογιστικό εργαλείο χωρισμένο σε δύο ενότητες υπολογισμού: 1) BDU και 2) Εργαλείο LCA / αποτελέσματα BDU για μελέτη	- LCC - LCA - Ενέργεια - Περιβάλλον	- Αντικατάσταση κουφωμάτων - θερμομόνωση πρόσοψης	M / Δ	BDU module, A^tool	Η LCA βοηθά σημαντικά στη διαδικασία λήψης αποφάσεων / διαφορετικές προσεγγίσεις οδηγούν σε διαφορετικές βέλτιστες λύσεις

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
		περίπτωσης στο νοσοκομείο / πριν και μετά τα μέτρα αναβάθμισης	τική Επίπτωση	θερμομόνωση οροφής			
[116]	Αξιολόγηση μιας προσέγγισης της αναβάθμισης βιομηχανοποιημένων κτιρίων σε βάθος από την άποψη του κόστους, για την καλύτερη κατανόηση της ανταγωνιστικότητας της έναντι των παραδοσιακών αναβαθμίσεων	Συγκριτική οικονομική ανάλυση 3 διαφορετικών σεναρίων αναβάθμισης [1. Παραδοσιακή ελαφριά αναβάθμιση, 2. Παραδοσιακή ριζική αναβάθμιση, 3. Βιομηχανοποιημένη ριζική αναβάθμιση] / LCC	• LCC	1) Θερμομονωτικός τοίχος 2) Θερμομονωτική οροφή 3) Παράθυρα 4) Εξαερισμός 5) Θέρμανση & Ψύξη 6) Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	Η κατασκευή και εγκατάσταση όλων των δομικών στοιχείων στην παρούσα κατάσταση εξαιρέθηκε από τα όρια της μελέτης / δεν πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας αλλά υπογραμμίστηκε ο κρίσιμος ρόλος της	TRNSYS, H2020 CRAVE zero	Οι δύο προσεγγίσεις ριζικής αναβάθμισης (παραδοσιακή και βιομηχανοποιημένη) είναι συγκρίσιμες όσον αφορά το επενδυτικό κόστος / η φάση λειτουργίας και συντήρησης έχει αποδειχθεί ότι είναι ζωτικής σημασίας για την αύξηση της ανταγωνιστικότητας της βιομηχανοποιημένης αναβάθμισης
[94]	Διερεύνηση οικονομικά αποδοτικών συνδυασμών μετασκευής κελύφους κτιρίου, ενεργειακών συστημάτων και μέτρων BACS σύμφωνα με το πρότυπο αυτοματισμού EN 15232 [2 μελέτες περίπτωσης]	Μοντελοποίηση μελέτης περίπτωσης / καθορισμός μέτρων αναβάθμισης / αντικειμενικές συναρτήσεις / αλγόριθμος βελτιστοποίησης για ελάχιστο Of / σύγκριση μεταξύ του μοντέλου αναφοράς και κάθε αναβαθμισμένου μοντέλου / αξιολόγηση κόστους & άνεσης / βέλτιστοι συνδυασμοί Pareto	• LCC • Ενέργεια • Άνεση	Περίβλημα κτιρίων, ενεργειακά συστήματα & BACS: 1) Έλεγχος θέρμανσης 2) Έλεγχος εξαερισμού 3) Έλεγχος φωτισμού 4) Έλεγχος περσίδων	1) το κόστος συντήρησης δεν λαμβάνεται υπόψη στο LCC 2) σταθερή τιμή ενέργειας 3) 30ετής περίοδος υπολογισμού 4) τα αποτελέσματα ισχύουν μόνο για τα δύο μοντελοποιημένα διαμερίσματα 5) δεν λαμβάνεται υπόψη η αναβάθμιση ισογείου	IDA-ICE, GenOpt	Η εφαρμογή BACS πέτυχε οικονομικά αποδοτική εξοικονόμηση ενέργειας έως και 24% / Εξοικονόμηση ενέργειας έως 57% εκτιμήθηκε όταν τα BACS συνδυάστηκαν με τα άλλα μέτρα αναβάθμισης
[66]	Αξιολόγηση των	Αξιολόγηση δομικών	• LCC	• Μόνωση ταράτσας •	Τα μέτρα εξοικονόμησης	DEAP	Χωρίς τη χρήση φορολογικών

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
	βέλτιστων πακέτων ανακαίνισης ενεργειακής απόδοσης κτιρίων για κατοικίες που κατασκευάστηκαν στην Ιρλανδία μεταξύ 1991 και 2000 / σύγκριση με στρατηγικές βέλτιστου κόστους σύμφωνα με τους κανονισμούς nZEB	στοιχείων για τη λειτουργική χρήση ενέργειας του κτιρίου [Στάδιο παραγωγής υλικών, Στάδιο χρήσης: λειτουργία κτιρίου, Καθαρό κόστος κατασκευής, Λειτουργικό οικονομικό κόστος, Πλαίσιο μεθοδολογίας βέλτιστου κόστους, SIF) / 5 κτίρια μελέτης περίπτωσης / Ανάλυση ευαισθησίας σχετικά με τις επιπτώσεις της προ- και μετα-αναβάθμισης στο Ενεργειακό Κενό Απόδοσης (EPG)	- Ενέργεια - Περιβαλλοντική Επίπτωση - Αντιστάθμιση	Αντικατάσταση παραθύρων & πορτών • Τεχνολογία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	ης ενέργειας για το πάτωμα του σπιτιού δεν ελήφθησαν υπόψη σε αυτή την ανάλυση		ελαφρύνσεων και/ή επιχορηγήσεων, μόνο αβαθείς μετασκευές (μόνωση σοφίτας) ήταν οικονομικά αποδοτικές για την αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης στα σπίτια της Ιρλανδίας
[117]	Προσδιορισμός των σημαντικών παραμέτρων στους υπολογισμούς LCC	Προσέγγιση OAT για τον προσδιορισμό των πιο σημαντικών παραμέτρων στα αποτελέσματα εξόδου / τα αποτελέσματα OAT χρησιμοποιούνται περαιτέρω για την κατάταξη των επόμενων πέντε πιο ευαίσθητων παραμέτρων (Ανάλυση ευαισθησίας Monte Carlo)	- LCC - Ενέργεια	Παράμετροι με τη μεγαλύτερη επιρροή: 1) Μοναδιαίο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας 2) Κόστος μονάδας μόνωσης σοφίτας 3) Κόστος μονάδας φωτοβολταϊκών 4) Ποσό μόνωσης σοφίτας (πρώτα 4 σε όλα τα μοντέλα) 5) Νέο μοναδιαίο κόστος	1) Περίοδος υπολογισμού 2) Προεξοφλητικά επιτόκια και εξέλιξη τιμών	Monte Carlo, LCCByg (έκδοση 3.2.14), Sobol sampling	Η ανάλυση ευαισθησίας καθόρισε τη μοναδιαία τιμή μόνωσης σοφίτας, την τιμή φυσικού αερίου και τη διάρκεια ζωής της αντλίας θερμότητας (HP) ως τις πιο ευαίσθητες παραμέτρους στα τρία μοντέλα που ερευνήθηκαν

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
				παραθύρων (μοντέλο τηλεθέρμανσης) 6) Μοναδιαίο κόστος αερίου (μοντέλο αερίου) 7) διάρκεια ζωής της αντλίας θερμότητας (μοντέλο HP)			
[110]	«Στοχαστική» προσέγγιση LCC, ώστε να αξιολογηθεί εάν και κατά πόσο το μελλοντικό μακροοικονομικό σενάριο θα μπορούσε να επηρεάσει το επενδυτικό κενό μεταξύ μιας λύσης ανακαίνισης βέλτιστου κόστους (CO) και μιας λύσης ανακαίνισης σχεδόν μηδενικής ενέργειας (nZE)	(VAR) μοντέλα τεσσάρων εναλλακτικών μακροοικονομικών σεναρίων [τακτική ανάπτυξη, έντονη ανάπτυξη, στασιμότητα, αποπληθωρισμός] / αποτελέσματα LCC που λαμβάνονται και συγκρίνονται στο πλαίσιο αυτών των τεσσάρων εναλλακτικών περιπτώσεων / μελέτη περίπτωσης υπάρχοντος κτιρίου / ανάλυση ευαισθησίας με Sobol Method (STi)	- LCC - Ενέργεια	- αδιαφανές κέλυφος κτιρίου - διαφανές κέλυφος κτιρίου - εξοπλισμός θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης	M / Δ	Monte Carlo	Συχνά η λύση βέλτιστου κόστους τείνει να κυριαρχεί στη λύση μηδενικής ενέργειας ΑΛΛΑ 1) η λύση βέλτιστου κόστους μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το μακροοικονομικό περιβάλλον και 2) μπορεί να υπάρχουν ιδιαίτερες μακροοικονομικές συνθήκες που μπορούν να καταστήσουν τη λύση nZE ανταγωνιστική με τη λύση CO για επενδυτές που αποστρέφονται τον κίνδυνο
[109]	Εξέταση του κατά πόσο οικονομικά προσιτά είναι τα μέτρα και η ενέργεια	4 κύρια στάδια: 1) επιλογή βασικού σεναρίου & διερεύνηση 2) προσδιορισμός των παθητικών μέτρων μετασκευής 3) εφαρμογή	- LCC - LCA - Ενέργεια	- μόνωση τοίχου - μόνωση ταράτσας - μετασκευή παραθύρων - ηλιακή σκίαση - ρυθμός διεύθυνσης	διάρκεια ζωής: 50 χρόνια	IES-VE/ApacheSim	Πολλά μέτρα αναβάθμισης κατάλληλα για κτίρια κατοικιών θα ήταν οικονομικά προσιτά για μεγάλο μέρος της ιορδανικής κοινότητας ΑΛΛΑ το αρχικό

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
		μέτρων μετασκευής στο βασικό μοντέλο σεναρίου & αξιολόγηση οικονομικής προσβασιμότητας 4) LCA		• χρώματα φινιρίσματος			επενδυτικό κόστος είναι το κύριο εμπόδιο για την εφαρμογή μέτρων
[107]	Ανάλυση των οικονομικών και χρηματοοικονομικών επιπτώσεων για την ανακαίνιση ενός κτιρίου γραφείων σύμφωνα με την έννοια του προτύπου / (MPB) του «Παθητικού Κτιρίου» για τον προσδιορισμό των παράλληλων οφελών του DER βάσει έργου	Μελέτη περίπτωσης DER και δυναμική ανάλυση κόστους-οφέλους κύκλου ζωής / πολυπαραμετρική ή ανάλυση ευαισθησίας του IRR και της NPV / συμπερίληψη πιθανών σεναρίων ενδιαφερομένων & MPBs (υψηλότερη παραγωγικότητα εργασίας, υψηλότερα έσοδα από ενοίκια ή πωλήσεις, αποτίμηση αποφευχθέντων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, εξοικονόμηση κόστους συντήρησης)	• LCC • CBA • Ενέργεια	Έργο DER (κυρίως μόνωση κελύφους κτιρίου σύμφωνα με το πρότυπο "Παθητικό Κτίριο")	Οι φορολογικές επιπτώσεις δεν λαμβάνονται υπόψη / Τα οφέλη για τη χρησιμότητα και την κοινωνία δεν διερευνώνται λεπτομερώς / Μη ποσοτικοποιημένα MPB συμμετεχόντων που ωστόσο παρουσιάστηκαν στους ενδιαφερόμενους φορείς για συζήτηση (Βιώσιμη εικόνα και περιβαλλοντικοί προσδιορισμοί, αφαίρεση αμιάντου, αισθητική κτιρίου)	Comfortmeter	Η επιχειρηματική περίπτωση δεν είναι ελκυστική για τους επενδυτές / Απαιτείται δυναμική μοντελοποίηση, καθώς και ταξινόμηση MPB, ποσοτικοποίηση και συνάφεια με διαφορετικούς ενδιαφερόμενους / οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής πρέπει να καθορίσουν σαφείς και υποχρεωτικούς στόχους
[118]	Αναζήτηση βέλτιστων, γενικών στρατηγικών αναβάθμισης για μεταπολεμικά κτίρια γραφείων στο Ηνωμένο Βασίλειο όταν	Δημιουργία υποδειγματικού κτιρίου & των βασικών μοντέλων του & προσομοίωση / Εξέταση κόστους & οφέλους για κτίρια που χρησιμοποιούνται από τον ιδιοκτήτη (CBO) και κόστους &	• CBA • Ενέργεια • Άνεση	Σειρά μέτρων αναβάθμισης όπως: • αναβάθμιση κελύφους • στρατηγικές παθητικής και ενεργητικής ψύξης	M / Δ	EnergyPlus(E+), DesignBuilder, JEPPlus	Τόσο οι υπολογισμοί CBO όσο και CBT έδειξαν ότι το κόστος αναβάθμισης του EnerPHit είναι υψηλότερο από το κόστος αναβάθμισης του PartL2B / Η αναβάθμιση του PartL2B με παθητικές παρεμβάσεις

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

<i>ID</i>	<i>Κύρια ιδέα</i>	<i>Μεθοδολογία</i>	<i>ΑΣ</i>	<i>Μέτρα</i>	<i>Περιορισμοί</i>	<i>Εργαλεία</i>	<i>Βασικά συμπεράσματα</i>
	χρησιμοποιείται είτε το PartL2B είτε το πρότυπο EnerPHit / καθοδήγηση προς ιδιοκτήτες κτιρίων, ενοίκους και άλλους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων / τοποθεσία, προσανατολισμός και καιρικές συνθήκες λαμβάνονται υπόψη	οφέλους για κτίρια που εκμισθώνονται σε ενοικιαστή (CBT) / Πραγματοποιήθηκαν αρχικές προσομοιώσεις βελτιστοποίησης για τον προσδιορισμό των καλύτερων μεμονωμένων μέτρων αναβάθμισης					υπερθέρμανσης κατά τη θερινή ώρα είναι βέλτιστη υπό την προϋπόθεση ότι έχουν εγκατασταθεί έλεγχοι υπερθέρμανσης / Οι οικοδομικοί κανονισμοί του Ηνωμένου Βασιλείου θα πρέπει να απαιτούν ανάλυση υπερθέρμανσης
[81]	Σύγκριση & αξιολόγηση αποτελεσμάτων για το σύστημα LED1 και LED2 σε μελέτη περίπτωσης κτιρίου	Υπολογισμός συνολικού κόστους κύκλου ζωής / υπολογισμός αριθμού LENI / Μελέτη περίπτωσης κτιρίου / σύγκριση αποτελεσμάτων / ανάλυση ευαισθησίας	- LCC - Ενέργεια	Φωτισμός	M / Δ	Microsoft Excel	Δυνατότητα χρήσης LCCA στο σχεδιασμό ή μετασκευή συστημάτων φωτισμού κτιρίων / η LCCA είναι ένα εξαιρετικό εργαλείο για την εκτίμηση της μελλοντικής εξέλιξης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και μπορεί να παρέχει επαρκώς ακριβή αποτελέσματα
[84]	Μοντέλο από τη βάση προς την κορυφή για την αξιολόγηση των ενεργειακών και μη ενεργειακών οφελών από την επένδυση για την αναβάθμιση	54 αντιπροσωπευτικά πρωτότυπα κτιρίων για την πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας για το απόθεμα κατοικιών της Σαουδικής Αραβίας / μοντέλο από κάτω προς τα πάνω καθορίζει στη συνέχεια τα οφέλη ενός ευρέος	- LCC - Ενέργεια	- Στοιχεία κελύφους κτιρίου - Συστήματα φωτισμού - Συσκευές - Συστήματα κλιματισμού - Ρυθμίσεις θερμοκρασίας ψύξης - Δροσερές στέγες	Προεξοφλητικό επιτόκιο: 5%, κύκλος ζωής: 30 έτη	DOE-2.2	ο κλιματισμός είναι υπεύθυνος για σημαντικό ποσοστό ζήτησης ενέργειας για το απόθεμα κατοικιών στο Βασίλειο της Σαουδικής Αραβίας (65%) / προγράμματα αναβάθμισης για το υπάρχον απόθεμα κατοικιών, για να είναι αποτελεσματικά, θα πρέπει να προσαρμόζονται όχι

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
	υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος κατοικιών στο Βασίλειο της Σαουδικής Αραβίας	φάσματος μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης					μόνο στον τύπο των οικιστικών μονάδων αλλά και στην εσοδεία τους και τη θέση τους / θα πρέπει να αναπτυχθούν στοχευμένα προγράμματα αναβάθμισης
[85]	Παρουσίαση της αναβάθμισης του συστήματος θέρμανσης /ψύξης και ζεστού νερού χρήσης ολόκληρης κοινότητας στην Κύπρο και τα οφέλη της	Οικονομικό μοντέλο / Συλλογή δεδομένων από κοινότητα της Κύπρου (οικιστικά & εμπορικά κτίρια) / Διάγραμμα ροής διαδικασίας μετασκευής / Ανάλυση κόστους - οφέλους	• CBA • Ενέργεια • Άνεση • Περιβαλλοντική Επίπτωση	• Θέρμανση • Ψύξη • Σύστημα ζεστού νερού	M / Δ	M / Δ	Ζεστό νερό & συστήματα θέρμανσης / ψύξης τα δύο κύρια ενεργοβόρα στοιχεία / προτεινόμενη αναβάθμιση θα μειώσει τη συνολική ζήτηση ενέργειας και θα έχει θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο / το προτεινόμενο έργο αναβάθμισης είναι βιώσιμο
[101]	Ανάλυση κόστους-οφέλους για την αξιολόγηση των μέτρων ενεργειακής απόδοσης σε γαλλικά κτίρια κατοικιών / μεγάλη συγχρονική βάση δεδομένων	Βάση δεδομένων κτιρίων για περισσότερες από 1.400 κατοικίες από το 2013 έως το 2019 / σχεδιασμός τυπολογίας κατοικιών (ανάλυση πολλαπλής αντιστοιχίας, αύξουσα ιεραρχική ταξινόμηση) / υπολογίζεται η μέση σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας κάθε μέτρου ενεργειακής αναβάθμισης / κατάταξη / ανάλυση ευαισθησίας μέσω	• CBA • Ενέργεια • Περιβαλλοντική Επίπτωση	• Bowler χαμηλής θερμοκρασίας • Λέβητας συμπίκνωσης • Ζεστό νερό χρήσης • Ηλιακός θερμοσίφωνας νερού χρήσης • Εξοπλισμός ξύλου • Αντικατάσταση παραθύρων • Μόνωση τοίχων • Μόνωση εσωτερικών τοίχων • Μόνωση δαπέδου • Μόνωση ταράτσας	CBA με προεξοφλητικό επιτόκιο 4%	Monte Carlo, Tornado charts	Εντοπίστηκαν τέσσερις κατηγορίες κατοικιών / οι περισσότερες από τις εργασίες ανακαίνισης είναι οικονομικά βιώσιμες / η τιμή ενέργειας και το προεξοφλητικό επιτόκιο μπορούν να επηρεάσουν την κερδοφορία των ενεργειακών αναβαθμίσεων / ανάγκη για κυβερνητικές πολιτικές προς αυτή την κατεύθυνση

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
		προσομοίωσης MC		Αντλία θερμότητας			
[119]	Εντοπισμός κρίσιμων κινδύνων που εμποδίζουν την υλοποίηση έργων ενεργειακής αναβάθμισης κατοικιών στη ζώνη HSCW της Κίνας από διαφορετικά στάδια και ενδιαφερόμενους φορείς με εκτιμήσεις TC	3 περιπτώσιολογικές μελέτες, επιλεγμένες από ήδη εφαρμοσμένα έργα ενεργειακής αναβάθμισης στην επαρχία Anhui / Συνεντεύξεις με βασικούς ενδιαφερόμενους / Έρευνα ερωτηματολογίου στους επαγγελματίες που έχουν εμπλακεί στα τοπικά έργα μετασκευής / Ανάλυση δεδομένων / Πίνακας κινδύνου	• Διαχείριση Κινδύνου	• εξωτερικά παράθυρα • στέγη • εξωτερικοί τοίχοι	M / Δ	SPSS, Q-Q plot	Τρεις από τους τέσσερις πιο κρίσιμους κινδύνους που εμποδίζουν την υλοποίηση έργων ενεργειακής αναβάθμισης στην Κίνα συνδέονται με τους ιδιοκτήτες κατοικιών / οι περισσότεροι από τους βασικούς κινδύνους συγκεντρώνονται στο στάδιο της επιτόπιας κατασκευής
[97]	Υπολογισμός του επενδυτικού κινδύνου του έργου ανακαίνισης για δύο διαφορετικά σενάρια: με και χωρίς μετριασμό κινδύνου / Τεχνικοί & οικονομικοί κίνδυνοι - συσχέτιση μεταξύ τους & οι παράγοντες προέλευσής τους ή τα βαθύτερα αίτιά τους	Υπολογισμός τεχνικού & χρηματοοικονομικού κινδύνου μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας EEnvest / Εκφρασμένοι & αξιολογημένοι KPIs τεχνικού και χρηματοοικονομικού κινδύνου / EEnvest Radar graph	• Διαχείριση Κινδύνου • Ενέργεια	• Σύστημα θέρμανσης • Σύστημα διανομής • VMC • Τύπος φωτισμού • BEMS • Φωτοβολταϊκό σύστημα	Στον υπολογισμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου: 1) η κατανομή πιθανότητας της τυχαίας μεταβλητής ζημίας εφαρμόζεται στο κόστος επένδυσης και θεωρείται αρνητική οικονομική συνιστώσα για τον υπολογισμό των χρηματοοικονομικών δεικτών 2) η κατανομή πιθανότητας της τυχαίας	EEnvest tool, Monte Carlo	Το τρέχον μοντέλο αναπτύσσεται για να εμπλουτίσει την τρέχουσα μεθοδολογία αξιολόγησης κινδύνου με τον αντίκτυπο των λεγόμενων μη ενεργειακών οφελών

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
					μεταβλητής ενεργειακού χάσματος εφαρμόζεται στην αναμενόμενη τιμή εξοικονόμησης ενέργειας και θεωρείται αρνητική οικονομική συνιστώσα για τον υπολογισμό των χρηματοοικονομικών δεικτών		
[67]	Επίδραση της πρόσθετης εσωτερικής μόνωσης στην κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε κτίριο κατοικίας	Προσομοίωση διαφόρων διαμορφώσεων μετασκευής για την εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου / Οικονομική ανάλυση μέσω της μεθόδου Global Cost & Simply Pay Back Time	- LCC - Ενέργεια	• άκαμπτη ινσανίδα ξύλου • εύκαμπτη ινσανίδα ξύλου • μικροπορώδης CaSi • σανίδα περλίτη	Οι φόροι δεν περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς GC	WUFI Plus	Μεταξύ όλων των περιπτώσεων που αναλύθηκαν, η εύκαμπτη ινσανίδα ξύλου πάχους 12 cm, παρουσίασε την υψηλότερη συνολική εξοικονόμηση ενέργειας / Η μετασκευή κτιρίων χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης με εσωτερική μόνωση τοίχων δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με οικονομικά κριτήρια
[68]	Διερεύνηση των συμβιβασμών μεταξύ περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων της αναβάθμισης	Πλαίσιο βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων για τον εντοπισμό βέλτιστων λύσεων αναβάθμισης για υπάρχοντα SDH σε μια δεδομένη κοινότητα / Συλλογή δεδομένων / Οι LCCE & LCC είναι αντικειμενικές	- LCC - LCA - Περιβαλλοντική Επίπτωση	• Σύστημα θέρμανσης χώρου • Σύστημα θέρμανσης νερού • Αεροστεγανότητα • Παράθυρα • Τοίχος κάτω από το επίπεδο • Οροφή • Εξωτερική πόρτα	Τα κόστη επένδυσης ορίζονται ως περιορισμοί για τη βελτιστοποίηση	Λογισμικό LCA SimaPro 8.3, HOT2000, HTAP	Πίνακας που συνοψίζει τα πακέτα αναβάθμισης βέλτιστου κόστους ανά αρχέτυπο κτιρίου

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
		συναρτήσεις / Προσέγγιση βελτιστοποίησης Pareto / Μελέτη περίπτωσης					
[86]	Μοντέλο βελτιστοποίησης για τον προσδιορισμό της οικονομικά βέλτιστης διαμόρφωσης ενεργειακής αναβάθμισης για ιδιοκατοικίες SFH / επίδραση κινήτρου του γερμανικού συστήματος χρηματοδότησης στις αναβαθμίσεις	TF [μέγ.: εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους & οικονομικά οφέλη MEION αρχική επένδυση & πιστωτικό κόστος αναβάθμισης εντός ορισμένης χρονικής περιόδου προγραμματισμού / Εφαρμογή του μοντέλου σε 2 κτίρια μελέτης περίπτωσης / 48 διαφορετικά σενάρια αναβάθμισης / Ανάλυση ευαισθησίας στις τιμές ενέργειας	• CBA • Ενέργεια • Περιβαλλοντική Επίπτωση	• Πρόσοψη • Σύστημα θέρμανσης • Άλλα	Υπολογισμοί για: 1) το κόστος επένδυσης 2) τα οικονομικά οφέλη 3) τις τιμές απόδοσης, ανάλογα με κάθε πιθανό συνδυασμό των μέτρων αναβάθμισης	GAMS	Παρόμοια αποτελέσματα και μοτίβα μεταξύ των 2 κτιρίων / Οι αναβαθμίσεις SFH στη Γερμανία μπορούν να μειώσουν σημαντικά την ενεργειακή ζήτηση των κτιρίων / Το οικονομικό κίνητρο των γερμανικών χρηματοδοτικών μέσων μπορεί να οδηγήσει σε οικονομικά βέλτιστες ετήσιες εκπομπές CO2 ύψους 7-18% των αρχικών ετήσιων εκπομπών
[120]	Εξεύρεση βέλτιστων λύσεων αναβάθμισης με στόχο την ενεργειακή απόδοση, την οικονομική αποδοτικότητα και τη θερμική άνεση	Μοντέλο, βαθμονόμηση μοντέλου & προσομοίωση υφιστάμενου βιομηχανικού κτιρίου / Διερευνώνται διαφορετικά μέτρα αναβάθμισης / Σημειώθηκε κριτήριο Utopia - λύση αναβάθμισης από μέτωπο pareto / Ανάλυση ευαισθησίας	• LCC • Ενέργεια • Άνεση	• κέλυφος κτιρίου • σύστημα κλιματισμού • εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος • βελτιστοποίηση των ρυθμών ροής αέρα HVAC • μεταβολή του χρονοδιαγράμματος σημείου ρύθμισης θέρμανσης	M / Δ	EnergyPlus, DesignBuilder, MATLAB	Σε σύγκριση με το βασικό σενάριο, και οι δύο βέλτιστες λύσεις έχουν θετικά αποτελέσματα από άποψη ενεργειακής, οικονομικής και θερμικής άνεσης / Τα αποτελέσματα μπορούν να δώσουν πολύτιμες και πρωτότυπες κατευθυντήριες γραμμές για την ανακαίνιση γραφείων/βιομηχανικών κτιρίων στην περιοχή της Μεσογείου με στόχο την ενεργειακή απόδοση και την οικονομική

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
							αποδοτικότητα
[102]	Αξιολόγηση των ενεργειακών μετασκευών κτιρίων από μια προσέγγιση κόστους-αποτελεσματικότητας, με αναφορά σε μία μόνο μελέτη περίπτωσης που είναι αντιπροσωπευτική ενός συγκεκριμένου κτιριακού συμπλέγματος	Επανεξέταση πολιτικών ΕΕ & Πορτογαλίας / χρηματοοικονομική ανάλυση & δυναμική προσομοίωση για 2 εναλλακτικές λύσεις («με» & «χωρίς» το έργο) / Ανάλυση ευαισθησίας στα προεξοφλητικά επιτόκια	- LCC - Ενέργεια	- EM1 - EM2 - EM3 - EM4	Προεξοφλητικό επιτόκιο: 4%	EnergyPlus, AutoCAD, DesignBuilder	Η καλύτερη επιλογή λύσεων ενεργειακής αναβάθμισης ήταν ένα πακέτο που αποτελείται από μόνωση ταράτσας και εγκατάσταση ενεργειακά αποδοτικού εξοπλισμού για το σύστημα ζεστού νερού χρήσης / Η οικονομική απόδοση μιας λύσης αναβάθμισης μπορεί να επηρεαστεί έντονα από την αξία του επιλεγμένου προεξοφλητικού επιτοκίου
[121]	Παρουσίαση μοντέλου που μεγιστοποιεί το συνολικό κόστος κύκλου ζωής (LCC) του κτιρίου μελέτης περίπτωσης	Ενεργειακή προσομοίωση κτιρίου / Οικονομική ανάλυση βασισμένη σε LCC / Μοντέλο βελτιστοποίησης [Ευρετική λύση & Πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση με χρήση γενετικού αλγορίθμου]	- LCC - Ενέργεια	- Φ/B - Συστήματα GSHP	M / Δ	EnergyPlus, DesignBuilder	Βέλτιστες λύσεις ανά σενάριο αναβάθμισης / Στη μελέτη περίπτωσης, το αποτέλεσμα εγκατάστασης του συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ποικίλλει ανάλογα με τις πολιτικές τιμών ενέργειας και ηλεκτρικής ενέργειας, τους τύπους κτιρίων και τις συνθήκες ανανεώσιμης ενέργειας
[58]	Διερεύνηση και σύγκριση των βέλτιστων λύσεων αναβάθμισης για το κτίριο, με στόχο την επίτευξη συνηθισμένων	1) Προσδιορισμός μέτρων αναβάθμισης 2) Στήσιμο περίπτωσης αναβάθμισης 3) Εκτέλεση δυναμικής ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίου 4)	Αντιστάθμιση	- τύποι υλικών - ποσότητες υλικών - τύποι παραθύρων - συστήματα HVAC	- Περιορισμοί του συνηθισμένου οικοδομικού κώδικα - Περιορισμός συνηθισμένου ενεργειακού προτύπου κτιρίων	EnergyPlus	Υψηλότερη εξοικονόμηση LCE ----> βέλτιστη λύση Pareto / Όλες οι βέλτιστες λύσεις Pareto έχουν υιοθετήσει συνήθως ένα σύστημα εξαιρισμού ανάκτησης θερμότητας / υπάρχει όριο για

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
	προτύπων ενεργειακά αποδοτικό ύ κτιρίου / εξέταση συμβιβασμών μεταξύ ενσωματωμένης και λειτουργικής χρήσης ενέργειας	Εκτέλεση βελτιστοποίησης συμβιβασμού 5) Εύρεση βέλτιστης λύσης					την υιοθέτηση μέτρων αναβάθμισης για την ελαχιστοποίηση της χρήσης λειτουργικής ενέργειας, όπου περαιτέρω μειώσεις μπορεί να είναι δυσμενείς από την άποψη της LCE λόγω αυξήσεων στην ενσωματωμένη χρήση ενέργειας
[122]	Ανάλυση κύκλου ζωής 44 μη οικιστικών πράσινων κτιρίων στη Σγκαπούρη / Σύγκριση του κόστους σε διαφορετικά επίπεδα Green Mark	1) Καθορισμός σχετικών παραμέτρων σχετικά με το LCC 2) συλλογή δεδομένων 3) δείκτης κόστους ολικής ζωής (WLC) & ανάλυση ευαισθησίας	• LCC	Πράσινα κτίρια	Προεξοφλητικό επιτόκιο: 2,65%	M / Δ	Οι τιμές των δεικτών WLC ήταν σχετικά σταθερές πριν από το 2008, αλλά παρουσίασαν σημαντικές διακυμάνσεις από το 2008 έως το 2013 / Οι ALCC και ACC συσχετίζονται σημαντικά με το επίπεδο Green Mark
[123]	Διερεύνηση των δυνατοτήτων και των προκλήσεων της χρήσης μαζικής ξυλείας ως βιώσιμης εναλλακτικής λύσης για τη μετασκευή υφιστάμενων κτιρίων στον Καναδά	Λεπτομερής τυπολογία κτιρίων του Καναδά / εξέταση προηγούμενων μετασκευών ξυλείας / λεπτομερής LCCBA	• LCC • CBA • Ενέργεια • Περιβαλλοντική Επίπτωση	• Διαρθρωτικές μετασκευές • Ενεργειακές μετασκευές • Συνδυασμένες μετασκευές δομικής ενέργειας	TCF & TDF: 10%	M / Δ	Η χρήση μαζικής ξυλείας για συνδυασμένες μετασκευές παρείχε καλά αποτελέσματα σε ευρωπαϊκές μελέτες / Αυτή η μελέτη εξετάζει δεδομένα σχετικά με την ενεργειακή και δομική απόδοση σε ψυχρά κλίματα και τοπική σεισμικότητα, έτσι ώστε να προσαρμοστούν αυτές οι λύσεις στο καναδικό πλαίσιο
[63]	Εξέταση της εφαρμογής πράσινων αναβαθμίσεων σε κτίριο τζαμί	1) Συλλογή δεδομένων 2) μέσα ερωτηματολογίου που διανεμήθηκαν σε 5 εμπειρογνώμονες	• LCC • CBA • Ενέργεια	• 504 φωτοβολταϊκοί συλλέκτες • 588 βρύσες έκπλυσης, τουαλέτες	Προεξοφλητικό επιτόκιο: 10%	M / Δ	Η επένδυση θεωρήθηκε εφικτή κατά το 17ο έτος, σύμφωνα με την 50ετή διάρκεια ζωής του κτιρίου / το μεγαλύτερο ποσό κινδύνου

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
		ς και 51 ερωτηθέντες		έκπλυσης και άλλος εξοπλισμός τουαλέτας με πράσινα χαρακτηριστικά			προέκυψε στο στάδιο της κατασκευής
[76]	Αντιμετωπίζοντας το δίλημμα: "Κατεδάφιση vs Βαθιά ανακαίνιση" μέσω LCA	Χρήση παραμετρικού κόστους κτιρίου από τη βιβλιογραφία για τη δημιουργία ενός συνόλου δεδομένων τυπικών επιπτώσεων LCA σε περίπτωση ανακατασκευής ή ριζικής ανακαίνισης / ανάλυση LCA για τις δύο εναλλακτικές στρατηγικές	- LCA - Περιβαλλοντική Επίπτωση	- Σύστημα Εξωτερικών Θερμομόνωσης ETICS - Λοφίδες πολυμερών ενίσχυσης ανθρακονημάτων (CFRP)	Ο αντίκτυπος της πλήρους διαδικασίας κατεδάφισης του υφιστάμενου κτιρίου δεν ελήφθη υπόψη	One Click LCA	Η κατεδάφιση του υφιστάμενου κτιρίου αναμένεται να έχει μεγαλύτερο αντίκτυπο στη στρατηγική ανακατασκευής, αλλά πρέπει να αξιολογηθεί η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης κατεδαφισμένων δομικών υλικών και κατασκευαστικών στοιχείων, καθώς μπορεί να έχει σημασία για την τελική στάθμιση των επιπτώσεων / κοινωνικές επιπτώσεις της κατεδάφισης που πρέπει να ληφθούν υπόψη
[124]	Αυξανόμενη ζήτηση για στέγαση προσαρμοσμένη στις ανάγκες των ηλικιωμένων / Παροχή πολύτιμων πληροφοριών στους αρχιτέκτονες και τους ενδιαφερόμενους σχετικά με τις οικονομικές επιπτώσεις του σχεδιασμού	Φάση 1) Συλλογή & ολοκλήρωση δεδομένων, Φάση 2) Δημιουργία μοντέλου BIM 3D, Φάση 3) Ενεργειακή Ανάλυση & Προσομοίωση LCA, Φάση 4) Ολοκλήρωση LCCA & Ανάλυση ευαισθησίας	- LCC - LCA - Ενέργεια - Περιβαλλοντική Επίπτωση	- Καμπίνα μπανιέρας ή ντους - Εγκατάσταση ράμπας στην είσοδο - Διεύρυνση πόρτας εισόδου - Ανελκυστήρας σκάλας - Χειρολισθήρες εισόδου - Ασανσέρ - Βρύσες μοχλού - Διεύρυνση διαδρόμων - Αντικατάσταση 10 παραθύρων	Περίοδος μελέτης: 25 έτη / ποσοστό MARR: 5%	Autodesk Revit, DesignBuilder, Microsoft Excel, MySQL	Αντιμετωπίζοντας τις μοναδικές απαιτήσεις του σχεδιασμού AIP στο εννοιολογικό στάδιο, αυτή η μεθοδολογία όχι μόνο ενισχύει τη λειτουργικότητα και την προσαρμοστικότητα των σπιτιών, αλλά παρέχει επίσης μια οικονομικά αποδοτική και βιώσιμη προσέγγιση για την κάλυψη των εξελισσόμενων αναγκών ενός γηράσκοντος πληθυσμού

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
	ύ κατοικιών AIP			• Ανακαίνισ η μπάνιου • Ρύθμιση ύψους πάγκου κουζίνας • Αντικατάσταση δαπέδου μπάνιου με αντιολισθητική επιφάνεια • Ενδοδαπέδιος ανελκυστήρας • Ανελκυστήρας βεράντας • Ανακαίνισ η κουζίνας			
[91]	Αξιολόγηση των επιλογών αναβάθμισης του ηλεκτρικού ύ συστήματος θέρμανσης και προσδιορισμός της βέλτιστης λύσης εφαρμόζοντας μια συνδυασμένη προσέγγιση LCA και LCCA χρησιμοποιώντας BIM για υπάρχοντα σπίτια στο Ηνωμένο Βασίλειο	1) Βιβλιογραφική ανασκόπηση [2012-2022] 2) Μελέτη περίπτωσης BIM	• LCC • LCA • Ενέργεια • Περιβαλλοντική Επίπτωση	• ηλεκτρικοί λέβητες • Η αντλίες θερμότητας αέρα • Η PV	M / Δ	Revit, SAP, One Click LCA	Η βέλτιστη επιλογή αυτών που αξιολογήθηκαν είναι ο συνδυασμός ASHP συν φωτοβολταϊκών πάνελ, καθώς είναι ο πιο αποδοτικός, μειώνοντας τα κιλά CO ₂ e που εκπέμπονται κατά 77%. Ωστόσο, όσον αφορά το κόστος κύκλου ζωής, είναι 2,1% υψηλότερο σε σύγκριση με τον κλασικό λέβητα αερίου
[87]	Ανάπτυξη μεθόδου για τον εντοπισμό ισχυρής,	1) Ντετερμινιστικό μοντέλο προσομοίωσης LCA & LCCA	• LCC • LCA	Για Κτίριο 1: Παράθυρα, Εξωτερικός τοίχος	Χρήση απλουστευμένου υπολογισμού της ζήτησης	Python, Monde Carlo, NSGA-II	Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το σύστημα θέρμανσης

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

<i>ID</i>	<i>Κύρια ιδέα</i>	<i>Μεθοδολογία</i>	<i>ΑΣ</i>	<i>Μέτρα</i>	<i>Περιορισμοί</i>	<i>Εργαλεία</i>	<i>Βασικά συμπεράσματα</i>
	οικονομικά αποδοτικές και φιλικές προς το κλίμα λύσεις ανακαίνισης για την ανακαίνιση κτιρίων στην Ελβετία	2) σενάρια ανακαίνισης 3) πηγές αβεβαιότητας 4) ισχυρή βελτιστοποίηση 5) ανάλυση ευαισθησίας Sobol 6) σύγκριση βέλτιστων λύσεων	Ενέργεια • Περιβαλλοντική Επίπτωση	(ισόγειο), Εξωτερικοί τοίχοι (επάνω επίπεδα), Οροφή (έναντι σοφίτας), Δάπεδο (έναντι κελαριών) / Για Κτίριο 2: Παράθυρα, Εξωτερικοί τοίχοι όροφοι, Εξωτερικοί τοίχοι καταστήματος, Θυρίδες, Εσωτερικοί τοίχοι. Κελάρι, οροφή, Δάπεδο (έναντι κελαριών)	οιονεί σταθερής θέρμανσης / Για την ανάλυση κόστους-οφέλους, μόνο το GWP χρησιμοποιείται ως δείκτης/δεν λαμβάνεται υπόψη η τηλεθέρμανση		αποτελεί σημαντικό μέτρο αναβάθμισης που πρέπει να ληφθεί υπόψη, καθώς συμβάλλει στη δραστηκή μείωση της ποσότητας των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του κτιρίου
[125]	Αξιολόγηση της χρηστικότητας των RLM που περιλαμβάνονται στο EPC για την εκτέλεση ανακαίνισης	1) Υπολογισμός της ζήτησης ενέργειας θέρμανσης 2) εφαρμογή διαφόρων επιλογών ανακαίνισης 3) LCCA για κάθε σενάριο αναβάθμισης 4) Αξιολόγηση της απαιτούμενης προσπάθειας για κάθε μέθοδο	• LCC • Ενέργεια	• Στεγανοποίηση διαρροών αέρα • Μόνωση ψυχρών οροφών • Μόνωση οροφής ή οροφής • Μόνωση δαπέδου στο έδαφος • Μόνωση εκτεθειμένων δαπέδων • Μόνωση εξωτερικού τοίχου • Μόνωση τοίχου υπογείου • Αντικατάσταση τζαμιών • Εγκατάστα	M / Δ	Energimerke Kalkulator, Simien, Design builder, Total Tool	Παρατηρείται ασυμφωνία μεταξύ των εργαλείων / τα εργαλεία πιστοποίησης στην τρέχουσα κατάστασή τους δεν είναι σε θέση να αξιολογήσουν τα RLM που περιλαμβάνονται στο πιστοποιητικό

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
				ση αντλίας θερμότητας			
[88]	Παροχή βαθύτερης κατανόησης των βασικών δεικτών απόδοσης των περιπτώσεων μετασκευής ενεργειακής απόδοσης σε εμπορικά κτίρια στην Ταϊλάνδη μέσω ενός πραγματικού συνόλου αναλύσεων περιπτώσεων λογικών μελετών	1) Συλλογή δεδομένων & διαμόρφωση περιπτώσεων μελετών 2) προσδιορισμός βασικών δεικτών επιδόσεων 3) ανάλυση των βασικών αποτελεσμάτων επιδόσεων 4) αξιολόγηση του κόστους vrs της μείωσης	- LCC - Ενέργεια - Περιβαλλοντική Επίπτωση	- HVAC - Φωτισμός - ζεστό νερό - BEMS - άλλα	Τα νοσοκομεία αποκλείστηκαν από αυτή την ανάλυση	MS-EXCEL, MACTool	Εμπορικά κτίρια στην Ταϊλάνδη μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας τους από περίπου 15%-20% / Κατά μέσο όρο, ένα έργο αναβάθμισης μπορεί να αποφέρει περίοδο αποπληρωμής περίπου 3 έως 4 ετών / απαιτείται μεγαλύτερη δημόσια πολιτική και ηγεσία για την τόνωση της ανάπτυξης στον τομέα της αναβάθμισης κτιρίων
[108]	Ανάλυση των οικονομικών συνεπειών της ενεργειακής μετάβασης στη στέγαση για τους ιδιοκτήτες διαμερισμάτων που βρίσκονται στην περιοχή της Καμπανίας (Ιταλία)	1) Ταξινόμηση 2) Μέτρηση 3) Εκτίμηση μοναδιαίων τιμών 4) CRA / Ανάλυση ευαισθησίας & ανάλυση κινδύνου	- CBA - Ενέργεια	- Θερμομονωτικές παρεμβάσεις - κελύφους κτιρίου - Φωτιστικά - Ηλιακές οθόνες - Αυτόνομοι λέβητες - Φωτοβολταϊκό σύστημα - Ασφάλεια	μικρό στατιστικό δείγμα / επικεντρώνεται αποκλειστικά στην οικονομική ευκολία των παρεμβάσεων	Monte Carlo	Οι παρεμβάσεις χωρίς φωτοβολταϊκά είναι απίθανο να είναι οικονομικά βιώσιμες / το PP παραμένει αρκετά υψηλό / ανάγκη για μπόνους οικοδόμησης από την κυβέρνηση
[103]	Εφαρμογή LCC και αναλυτικό υ μοντέλου βασισμένο	Υπολογισμός LCC (ωφέλιμη ζωή = 30 έτη) / Προσομοίωση Monte Carlo για	- LCC - Ενέργεια	7 σενάρια αναβάθμισης	Παραδοχή ότι όλα τα σενάρια έχουν την ίδια περίοδο	Monte Carlo	Πολλαπλές διασταυρώσεις που σχετίζονται αυστηρά με τις αλλαγές στο

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
	υ σε MC σε μελέτη περίπτωσης / προεξοφλητικό επιτόκιο ως αξιοσημείωτη πηγή πρόσθετης αβεβαιότητας	σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης της μελέτης περίπτωσης / Ανάλυση ευαισθησίας			κύκλου ζωής / δεν λαμβάνονται υπόψη έξοδα συντήρησης / $r > e / 0,5$ €/kWh < τιμή ενέργειας < 14,6 €/kWh / μέση τιμή φυσικού αερίου $\approx 0,0539$ Euro/kWh χωρίς φόρους, εισφορές / $0\% <$ δείκτης πληθωρισμού ενέργειας < 4,5% / $0\% <$ προεξοφλητικό επιτόκιο < 15%		προεξοφλητικό επιτόκιο / Οι δράσεις πολιτικής στον τομέα θα πρέπει να επικεντρώνονται στον έλεγχο της απροθυμίας των καταναλωτών και των επενδυτών να αναλάβουν κινδύνους και στη μείωση των φραγμών που εκφράζονται μέσω της αντίληψης για μελλοντικών αβεβαιοτήτων από τα ενδιαφερόμενα μέρη
[89]	Περιβαλλοντική & οικονομική αξιολόγηση της στρατηγικής που προτείνει η ProGETonE για την ανακαίνιση και αντισεισμική ενίσχυση κτιρίων	1) Αρχική ανάλυση στο σπίτι μελέτης περίπτωσης: Ανασκόπηση ProGETonE 2) Απογραφή δομικών υλικών 3) Ανάλυση βασισμένη σε σύννεφο 4) LCA & LCC Αναλύσεις κατάστασης πριν και μετά την ανακαίνιση 5) Σύγκριση αποτελεσμάτων 6) Συμπεράσματα	- LCC - LCA - Ενέργεια	Ενσωμάτωση εξωσκελετού • plug-and-play μονωμένο σύστημα πρόσοψης • αντλίες θερμότητας για θέρμανση, ψύξη & ζεστό νερό χρήσης • ελεγχόμενος μηχανικός αερισμός • έξυπνοι έλεγχοι κτιρίων • φωτοβολταϊκά στέγης	Προεξοφλητικό επιτόκιο: 7% / Περίοδος αξιολόγησης : 25 έτη	One Click LCA, BIM, EnergyPlus	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις: Η ανακαίνιση θα μειώσει τις εκπομπές κατά περίπου 30% και τη χρήση ενέργειας κατά 50%, ο εξωσκελετός αποτελεί βασικό μέρος / Οικονομικός αντίκτυπος: Το σχέδιο αναβάθμισης ProGETonE φαίνεται να μην είναι οικονομικά συμφέρον, ΑΛΛΑ έχει θετικό αντίκτυπο στην εξοικονόμηση κόστους ενέργειας και υπογραμμίζει τα οφέλη της σεισμικής ενοποίησης
[126]	Ανάλυση Κόστους-Οφέλους	Κοινωνική ανάλυση κόστους-	CBA	μόνωση εξωτερικών &	Προεξοφλητικό επιτόκιο: 3,5%	PHPP	Και στα τρία σενάρια, η Νέα Κατασκευή New

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

<i>ID</i>	<i>Κύρια ιδέα</i>	<i>Μεθοδολογία</i>	<i>ΑΣ</i>	<i>Μέτρα</i>	<i>Περιορισμοί</i>	<i>Εργαλεία</i>	<i>Βασικά συμπεράσματα</i>
	στο έργο Niddrie Road [πρότυπο EnerPHit (ισοδύναμο PassivHaus) για τη μετασκευή συγκροτήματος οκτώ διαμερισμάτων ενός κρεβατιού στη Γλασκώβη]	οφέλους / σύγκριση κύριου σεναρίου [EnerPHit] με δύο αντιπαραδείγματα [New Build & EESSH2] / Δεδομένα κόστους / Δεδομένα οφέλους / Ανάλυση ευαισθησίας	Ενέργεια • Περιβαλλοντική Επίπτωση	εσωτερικών τοίχων • εσωτερική αναδιαμόρφωση • μηχανικός αερισμός και ανάκτηση θερμότητας λυμάτων • ταράτσα • αεροστεγές σοβάτισμα			Build έχει τη χαμηλότερη NPV και BCR / Η αναβάθμιση αυτής της κατοικίας παρέχει καλύτερη αξιοποίηση του χρήματος σε σύγκριση με την κατεδάφιση και το νέο κτίριο ΑΛΛΑ το βέλτιστο επίπεδο αναβάθμισης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες
[74]	Πρόταση για ένα πλαίσιο λήψης αποφάσεων κοινοτικής ενεργειακής μοντελοποίησης κτιρίων – Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (CBEM - LCCA) / συμβολή στην οικοδόμηση κοινοτικής ενεργειακής μοντελοποίησης, ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες, στο πλαίσιο της επίτευξης στόχων καθαρής μηδενικής κατανάλωσης	1) Οριοθέτηση ορίων κοινότητας 2) Ανάπτυξη ενεργειακού μοντέλου κοινοτικού κτιρίου 3) Πλαίσιο αξιολόγησης και επικύρωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας του ενεργειακού μοντέλου κοινοτικού κτιρίου 4) LCCA ηλιακών φωτοβολταϊκών πάνελ στέγης / Ανάλυση ευαισθησίας κλάσματος χώρου ψύξης	• LCC • Ενέργεια • Άνεση	Κοινοτική προσέγγιση: φωτοβολταϊκά στέγης / ECBC : κέλυφος κτιρίου (7 πιθανοί συνδυασμοί αναβάθμισης)	Προεξοφλητικό επιτόκιο: 13%	QGIS διάγραμμα, IES-ICL, IES-VE thermal engine	Παρατηρείται ότι οι κοινότητες είναι σε θέση να επιτύχουν σχεδόν μηδενική καθαρή ενέργεια μετά την υιοθέτηση μιας ηλιακής φωτοβολταϊκής εγκατάστασης στέγης σε ολόκληρη την κοινότητα / Η κοινοτική στρατηγική ηλιακής ενέργειας στον τελευταίο όροφο αποδεικνύεται οικονομικά πολύ ανώτερη από τη συμμόρφωση του ECBC με μεμονωμένα κελύφη κτιρίων

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
	ενέργειας						
[104]	Πρόταση μεθοδολογίας για την αντιμετώπιση των αρχών της ανάλυσης κόστους-οφέλους (CBA), που εφαρμόζεται στην ενεργειακή απόδοση στην κοινωνική στέγαση και στα κλιματικά χαρακτηριστικά του βορειοδυτικού Μεξικού	Η NPV εκτιμάται σε δύο περιπτώσεις (νέα κατασκευή και μετασκευή), δύο τύπους συσκευών ψύξης (κλιματισμός με βάση την ψύξη και ψύξη με εξάτμιση) και δύο σενάρια χρηματοδότησης για το κτίριο βάσης	• CBA • Ενέργεια	• Θερμική μάζα • Μόνωση • Σκίαση • παραθύρων / 4 εναλλακτικά έργα / 3 επιλογές μηχανικής ψύξης	Κοινωνικό προεξοφλητικό επιτόκιο: 10% / Περίοδος αξιολόγησης : 20 έτη	EnergyPlus, Microsoft Excel	Η επένδυση σε σχεδιασμό χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας ή η αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης είναι πάντα κερδοφόρα όσον αφορά τη μειωμένη κατανάλωση ενέργειας, αλλά η περίοδος απόσβεσης ποικίλλει ανάλογα με το είδος και την πηγή χρηματοδότησης / Τα μη μετρήσιμα οφέλη θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη λήψη αποφάσεων
[64]	Συζήτηση σχετικά με το πώς οι τεχνικές διαχείρισης κινδύνου μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση προγραμματισμένων ενεργειακών απόδοσης σε επίπεδο πόλης	Ανάλυση ευαισθησίας & προσομοίωση MC σε κτίρια μελέτης περίπτωσης : 1) Τεχνικές διαχείρισης κινδύνου τόσο για ενεργειακά όσο και για χρηματοοικονομικά μοντέλα 2) ορισμός αβέβαιων παραμέτρων της NPV 3) Σε κάθε εισροή αβεβαιότητας αντιστοιχίστηκε μια κατανομή πιθανότητας 4) Προσομοίωση MC στην NPV [*3] 5) ανάλυση ευαισθησίας για τον καθορισμό εισροών με τη μεγαλύτερη επίδραση στην NPV [*2	• Διαχείριση Κινδύνου • Ενέργεια	• Θερμοστατικές βαλβίδες • Μηχανικός αερισμός με σύστημα ανάκτησης θερμότητας • Λέβητας συμπύκνωσης με $\eta > 1.06$ • Κλιματιστικά • Μεμβράνες χαμηλής εκπομπής παραθύρων • Παράθυρα με τριπλά τζάμια και επίστρωση χαμηλής εκπομπής • Λαμπτήρες LED • Θερμοσφ	M / Δ	Monte Carlo, Energy Plus, Crystal Ball	Αμφότερες οι αναλύσεις ευαισθησίας προσδιορίζουν την εξοικονόμηση αερίου ως τη σημαντικότερη μεταβλητή που επηρεάζει το αποτέλεσμα και η χρηματοδοτική επιδότηση αναγνωρίζεται επίσης ως μία από τις εισροές με τη μεγαλύτερη επίδραση στην NPV / Είναι σημαντικό να συμπεριληφθούν αναλύσεις κινδύνου στις μελέτες ενεργειακής αναβάθμισης για τον εντοπισμό και τον «ποσοτικό προσδιορισμό» των πηγών πρωτογενούς κινδύνου και, ως εκ τούτου, να γίνει προσπάθεια να

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
		εκδόσεις]		• άς περιλίτη • Μόνωση πετροβάμβακα • Μόνωση αερογέλης			ξεπεραστεί το πρόβλημα της αβεβαιότητας ως σημαντικό εμπόδιο στις επενδύσεις
[127]	Σύστημα Γνωσιακής Βάσης (iKBS) για LCA κτιρίου κατοικίας, το οποίο ενσωματώνει και αναλύει πολύπλοκες, διάφορες πηγές δεδομένων χρησιμοποιώντας την απόκτηση γνώσης, την προεπεξεργασία γνώσης (μετατροπή ή μη δομημένων δεδομένων σε δομημένα δεδομένα) και τη διαχείριση γνώσης	1) Ορισμός στόχου και πεδίου εφαρμογής 2) Απογραφή κύκλου ζωής (LCI) 3) Εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής 4) Ερμηνεία / Η μελέτη περίπτωσης στοχεύει στην αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της υπάρχουσας ιρλανδικής ημι-ανεξάρτητης τυπολογίας και στη σύσταση των καλύτερων υλικών και εξαρτημάτων για μετασκευές	• LCA • Περιβαλλοντική Επίπτωση	Δύο σενάρια συστήματος θέρμανσης : 1) λέβητας συμπίκνωσης 2) αντλία θερμότητας πηγής αέρα	60ετής διάρκεια ζωής	iKBS, fuzzy-based method, EnergyPlus	Πρόοδος της κατανόησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ανακαινίσεων κατοικιών / Η συγκριτική ανάλυση των διαφορών προσεγγίσεων KBS έχει παράσχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τις λειτουργικές και ενσωματωμένες ενεργειακές πτυχές
[92]	Η ενεργειακή βελτίωση αντιμετωπίζεται ως διαδικασία βελτιστοποίησης / συνδυασμός τεχνικών για να έχει το μεγαλύτερο δυνατό όφελος [π.χ. ευρύ χαρτοφυλάκιο	1) Ενεργειακή αξιολόγηση 2) Βέλτιστη κατανομή πόρων [μέγιστο όφελος] 3) Ποσοτικοποίηση κινδύνου 4) Μοντέλο λήψης αποφάσεων 5) Ανάλυση ευαισθησίας στο μοντέλο 6) Εφαρμογή μοντέλου σε μελέτη περίπτωσης	• LCC • Ενέργεια	• θερμοστατικές βαλβίδες • μηχανικός αερισμός • διπλά τζάμια • Εσωτερική μόνωση ταράσας • Εξωτερική μόνωση ταράσας • Μόνωση εσωτερικών τοίχων (2 τύποι)	Κατασκευή μοντέλου.: Σε κάθε κτίριο, δεν πρέπει να επιλεγεί περισσότερο από 1 σενάριο τη φορά μεταξύ των προτεινόμενων επιλογών (συμπεριλαμβανομένου του σεναρίου do-nothing) /	Monte Carlo [9 αβέβαιοι παράγοντες εισόδου], Design Builder, EnergyPlus	Ευελιξία του μοντέλου που αναπτύχθηκε / Συνδυασμένη χρήση παραδοσιακών χρηματοοικονομικών τεχνικών με γραμμικό προγραμματισμό πολλαπλών χαρακτηριστικών ως ένας απλός τρόπος επίλυσης ενός σύνθετου προβλήματος βελτιστοποίησης

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
	κτιρίων]			Εξωτερική μόνωση τοίχων • Μόνωση ισογείου	περιορισμός προϋπολογισμού / LCC: $r = 3,58\%$, $n = 30$ έτη		
[128]	Πιθανοτικό LCC για να ξεπεραστεί το εμπόδιο των απλοποιήσεων των παραμέτρων εισόδου / Ανάλυση ευαισθησίας	1) Ορισμός της κύριας υπόθεσης και των ορίων συστήματος για τη μέθοδο υπολογισμού του Συνολικού Κόστους με βάση το EN 15459 2) Προσδιορισμός και χαρακτηρισμός των PDF των στοχαστικών εισόδων για τον υπολογισμό του Συνολικού Κόστους 3) Διάδοση και ανάλυση αβεβαιότητας μέσω μεθόδων Monte Carlo 4) Ανάλυση ευαισθησίας μέσω τεχνικών αποσύνθεσης με βάση τη διακύμανση 5) Μελέτη περίπτωσης	• LCC • Ενέργεια	• κέλυφος κτιρίου • αντλίες θερμότητας ή/και λέβητα • φωτοβολταϊκά πάνελ & ηλιακοί συλλέκτες • συστήματα διανομής, εκπομπών και ελέγχου υψηλής απόδοσης για θέρμανση • MEV	Τα μόνα στοιχεία κόστους επένδυσης που περιλαμβάνονται στον υπολογισμό LCC είναι αυτά που σχετίζονται με τα EEMs / το κόστος των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου αγνοείται / $n = 30$ έτη - διακύμανση από 5 έως 50 έτη	Monte Carlo	Όλα τα RC παρέχουν υψηλή μείωση της πρωτογενούς ενέργειας / Η αβεβαιότητα που σχετίζεται με το παγκόσμιο κόστος αυξάνει προχωρώντας προς τα πιο αποδοτικά σενάρια / Σημασία του επενδυτικού κόστους
[129]	Κάλυψη του κενού της έλλειψης εμπειρικών στοιχείων για την επικύρωση των αποτελεσμάτων της οικονομικής αποδοτικότητας των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων αναβάθμισης	1) Προσδιορισμός κόστους και οφέλους 2) υπολογισμός κόστους και οφέλους με και χωρίς το έργο EER 3) Ανάλυση ευαισθησίας	• CBA • Ενέργεια	• Αναβάθμιση OHPN • Εξωτερική θερμομόνωση • Αναβάθμιση πηγής θερμότητας • Αναβάθμιση δικτύων σωληνώσεων εσωτερικής θέρμανσης • Εγκατάσταση	Τεχνική διάρκεια ζωής: 20 χρόνια	M / Δ	Η μετασκευή των δικτύων σωληνώσεων πηγής θερμότητας και εξωτερικής θέρμανσης είναι οικονομικά αποδοτική / η μετασκευή των κελυφών των κτιρίων δεν είναι οικονομικά επωφελής / Η τιμή της ενέργειας αποτελεί ευαίσθητο παράγοντα που επηρεάζει την οικονομική βιωσιμότητα των

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

ID	Κύρια ιδέα	Μεθοδολογία	ΑΣ	Μέτρα	Περιορισμοί	Εργαλεία	Βασικά συμπεράσματα
	ης κατά τη διάρκεια της CBA			ση εσωτερικού συστήματος καθαρού αέρα			έργων EER
[65]	Εξέταση της επαναχρησιμοποίησης ιστορικών κτιρίων έναντι των παραδοσιακών προσεγγίσεων των κατεδάφισης και κατασκευής	1) Δημιουργία 2 μοντέλων BIM 2) Υπολογισμός LCA & ανάλυση ευαισθησίας 3) Αποτελέσματα βήματος 2 για τον υπολογισμό της αποφυγής περιβαλλοντικών επιπτώσεων (= επιπτώσεις από επαναχρησιμοποιημένα ιστορικά δομικά στοιχεία)	• LCA	ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ: • θεμέλια, φέροντες τοίχοι & δομή οροφής • δάπεδα, εσωτερικοί τοίχοι, οροφή & σκάλες • εξωτερικοί τοίχοι, οροφή, παράθυρα και πόρτες	1) Το μείγμα ενεργειακού εφοδιασμού είναι σταθερό 2) παραδοχές λόγω έλλειψης πληροφοριών 3) C1 (κατεδάφιση) που εξαιρείται από τον προσαρμοστικό ορισμό επαναχρησιμοποίησης	Autodesk Revit (Taly)	Η διατήρηση των υπαρχόντων υλικών οδηγεί σε μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Ονοματολογία		
IS	Integrated System	Ολοκληρωμένο Σύστημα
nZEB	nearly Zero Energy Buildings	Κτίρια Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας
BACS	Building Automation Control Systems	Συστήματα Αυτοματισμού και Ελέγχου Κτιρίων
MBP	Multiple Project Benefits	Πολλαπλά Οφέλη του Έργου
DER	Deep Energy Retrofit	Ριζική Ενεργειακή Αναβάθμιση
PartL2B	current building standards	Τρέχοντα πρότυπα κτιρίων
EnerPHit	high / passive hours standard	Πρότυπο Παθητικού Κτιρίου
HSCW	Hot Summer and Cold Winter	Θερμό Καλοκαίρι και Ψυχρός Χειμώνας
TC	Transaction Cost	Κόστος Συναλλαγής
SFH	Single-family house	Οικογενειακή Κατοικία
AIP	Aging in-Place	Γήρανση
RLM	Recommendation List of Measures	Κατάλογος συνιστώμενων μέτρων
EPC	Energy Performance Certificate	Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης
ProGETonE	Proactive synergy of inteGrated Efficient Technologies on buildings' Envelopes	Προληπτική συνέργεια ολοκληρωμένων αποδοτικών τεχνολογιών για τα κελύφη κτιρίων
SIF	Sustainability Index Factor	Δείκτης Παράγοντα Βιωσιμότητας

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

EPG	Energy Performance Gap	Διαφορά Ενεργειακής Απόδοσης
OAT	One-at-a-time	Ένα τη φορά
VAR	Vector AutoRegressive	Διανυσματικά Αυτοπαλινδρομούμενα μοντέλα
STi	Total Order Sensitivity index	Δείκτης Συνολικής Ευαισθησίας
SDH	Single-detached houses	Μονοκατοικίες
LCCE	Life cycle CO ₂ emissions	Εκπομπές CO ₂ κύκλου ζωής
BIM	Building Information Modelin	Πληροφοριακό Μοντέλο Κτιρίου
CRA	Cost-Revenue Analysis	Ανάλυση Κόστους-Εσόδων
PDFs	Probability Density Functions	Συναρτήσεις Πυκνότητας Πιθανότητας
EER	Energy Efficiency Retrofit	Αναβάθμιση Ενεργειακής Απόδοσης
dLCC	Difference in life cycle cost	Διαφορά στο Κόστος Κύκλου Ζωής
LCCBA	Life Cycle Cost & Benefit Analysis	Ανάλυση Κόστους-Οφέλους Κύκλου Ζωής
TF	Target Function	Συνάρτηση στόχος
MAC	Marginal Abatement Cost	Οριακό Κόστος Μείωσης
Bc	Building cost	Κόστος Κατασκευής
MC	Maintenance Cost	Κόστος Συντήρησης
Oc	Operating Cost	Λειτουργικό Κόστος
HVAC	Heating, Ventilation, Airconditioning System	Σύστημα Θέρμανσης, Εξαερισμού, Κλιματισμού
DHW	Domestic Hot Water	Ζεστό Νερό Χρήσης
VMC	Mechanical Ventilation System	Μηχανικό Σύστημα Εξαερισμού
BEMS	Building Energy Management Systems	Συστήματα Ενεργειακής Διαχείρισης Κτιρίου
MEV	Mechanical Extraction Ventilation systems	Συστήματα Αερισμού Μηχανικής Εξαγωγής
OHPN	Outdoor Heating Pipe Networks	Δίκτυα Αγωγών Εξωτερικής Θέρμανσης
ECMs	Energy Conservation Measures	Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας
TCF	Extra energy consumption and carbon emissions for transporting and constructing building retrofits	Επιπλέον κατανάλωση ενέργειας και εκπομπές άνθρακα για τη μεταφορά και κατασκευή μέτρων αναβάθμισης
TDF	Extra percentage in energy consumption for transporting and demolishing building retrofits	Επιπλέον ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας για τη μεταφορά και κατεδάφιση μετασκευών κτιρίου
MARR	Minimum Attractive Rate of Return	Ελάχιστο Απαιτούμενο Ποσοστό Απόδοσης
EEMs	Energy Efficiency Measures	Μέτρα Ενεργειακής Αποδοτικότητας
GSHP	Ground Source Heat Pump	Αντλία Θερμότητας πηγής εδάφους
PV	Photovoltaic	Φωτοβολταϊκά
ALCC	Annualized LCC	Ετήσια LCC
ACC	Annualized Construction Costs	Ετήσιες Δαπάνες Κατασκευής
ECBC	Energy Conservation Building Code	Κώδικας οικοδομής για Εξοικονόμηση Ενέργειας

Βιβλιογραφία

- [1] «UNFCCC,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>.
- [2] «European Council,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/paris-agreement-climate/>.
- [3] «United Nations Environment Programme,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2024>.
- [4] «European Commission,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en.
- [5] E. Malcolm, D. Tim, L. S. Charles, H. Miriam, D. L. Carla, M. Simon, H. Mike, G. Peter και G. M. Christina. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://uwe-repository.worktribe.com/output/9642548>.
- [6] [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Definitions_of_retrofitting.
- [7] «KEPPEL,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.keppel.com/realestate/Special-Features-Library/Building-Sustainable-Cities---The-Benefits-of-Retrofitting-Existing-Buildings>.
- [8] «JLL,» 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.jll.co.uk/content/dam/jll-com/documents/pdf/research/jll-retrofitting-buildings-to-be-future-fit.pdf>.
- [9] «BRUNDTLAND,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>.
- [10] K. Argyro, «TEDxUniversityofMacedonia,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://tedxuniversityofmacedonia.com/βιωσιμότητα-πράξεις-για-το-μέλλον/>.
- [11] G. Mondini, «Sustainability Assessment: from Brundtland Report to Sustainable Development Goals,» *Journal Valori e valutazioni*, 2019.
- [12] F. P. C., H. Richard και O. Naomi, «The climate responsibilities of industrial carbon producers,» *Climatic Change*, 2015.
- [13] P. Chiara, C. Martina, F. Licia και N. Paolo, «The evolution of sustainable renovation of existing buildings: from integrated seismic and environmental retrofitting strategies to a life cycle thinking approach,» *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2024.
- [14] P. Ben, M. Yong και R. Darren, «Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins,» *Sustainability Science*, 2019.
- [15] «European Commission,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-and-zero-emission-buildings_en.
- [16] D. Brown, S. Sorrell και P. Kivimaa, «Worth the risk? An evaluation of alternative finance mechanisms for residential retrofitWorth the risk? An evaluation of alternative finance mechanisms for residential retrofit,» *Energy Policy*, 2019.
- [17] F. Pardo-Bosch, C. Cervera και T. Ysa, «Key aspects of building retrofitting: Strategizing sustainable cities,» *Journal of Environmental Management*, 2019.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

- [18] «European Commission,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en.
- [19] W. Jiang και R. Marggraf, «The origin of cost–benefit analysis: a comparative view of France and the United States,» *Cost Effectiveness and Resource Allocation*, 2021.
- [20] T. Stobierski, «Harvard Business School Online,» 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://online.hbs.edu/blog/post/cost-benefit-analysis>.
- [21] «WBDG,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.wbdg.org/resources/life-cycle-cost-analysis-lcca>.
- [22] V. Gopanagoni και S. L. Velpula, «An analytical approach on life cycle cost analysis of a green building,» *Materials Today: Proceedings*, 2020.
- [23] Z. Donglin, Y. Lijun, W. Lizhen και T. Jiangang, «A screening methodology for building multiple energy retrofit measures package considering economic and risk aspects,» *Journal of Cleaner Production*, 2018.
- [24] «ISO,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>.
- [25] G. Rebitzer, T. Ekvall, R. Frischknecht, D. Hunkeler, G. Norris, T. Rydberg, W.-P. Schmidt, S. Suh, B. Weidema και D. Pennington, «Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications,» *Environmental International*, 2004.
- [26] «EPLCA,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/lifecycleassessment.html>.
- [27] C.-G. J, P. R, R. F και S. S, «Life cycle assessment for the impact assessment of policies,» Publications Office of the European Union, 2016.
- [28] «CCAE,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://architecture.celnet.in/project-risk-management-a-practical-implementation-approach/>.
- [29] S. Pawar, «Risk Management in Retrofitting Projects,» *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2022.
- [30] Z. Zimeng, «The Application of Transaction Cost Theory in Supply Chain Management,» *Open Journal of Applied Sciences*, 2024.
- [31] C. I. R. P., H. JEAN-FRANÇOIS και S. G. B. S, «TRANSACTION COST THEORY:PAST PROGRESS, CURRENT CHALLENGES, AND SUGGESTIONS FOR THE FUTURE,» *Academy of Management Annals*, 2021.
- [32] O. E. Williamson, «JSTOR,» 1986. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.jstor.org/stable/2555390>.
- [33] N. V. Usmanova και N. A. Orlova, «The Role of Transaction Costs in Risk Management of Investment Projects,» *Journal of Advanced Research in Law and Economics*, 2016.
- [34] Petra Hoffmann, H. Schiele και K. Krabbendam, «Uncertainty, supply risk management and their impact on performance,» *Journal of Purchasing and Supply Management*, 2013.
- [35] «Competition Suite,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://help.competitionsuite.com/article/158-borda-count-method>.
- [36] «Study.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://study.com/academy/lesson/the-borda-count-method-in-elections.html#section---WhatIsTheBordaCountMethod>.
- [37] S. Basu, «Basics of Hazard, Risk Ranking, and Safety Systems,» σε *Plant Hazard Analysis and Safety Instrumentation Systems*, Academic Press, 2017.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

- [38] S. T. Demir, D. J. Bryde, D. J. Fearon και E. G. Ochieng, «A tool for integrating time, cost and quality perspectives in Probability Impact (P-I) Tables,» *Int. J. Project Organisation and Management*, 2014.
- [39] «EEnvest,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.eenvest.eu/>.
- [40] E. G. Paoletti, «Recommendations for minimizing technical risks,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.eenvest.eu/wp-content/uploads/2022/06/EEnvest_Deliverable_D2.2.pdf.
- [41] L. Gang, «Development of a general sustainability indicator for renewable energy systems: A review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014.
- [42] Y. Ocaña-Fernández και D. Fuster-Guillén, «The bibliographical review as a research methodology,» *Revista Tempos e Espaços em Educação*, 2021.
- [43] J. M. C. Ongpeng, B. I. B. Rabe, L. F. Razon, K. B. Aviso και R. R. Tan, «A multi-criterion decision analysis framework for sustainable energy retrofit in buildings,» *Energy*, 2022.
- [44] Xiangjie Chen, K. Qu, J. Calautit, A. Ekambaram, W. Lu, C. Fox, G. Gan και S. Riffat, «Multi-criteria assessment approach for a residential building retrofit in Norway,» *Energy and Buildings*, 2020.
- [45] Mohamed Marzouk, M. El-Maraghy και M. Metawie, «Assessing retrofit strategies for mosque buildings using TOPSIS,» *Energy Reports*, 2023.
- [46] C. K. Chiu, M. R. Chen και C. H. Chiu, «Financial and Environmental Payback Periods of Seismic Retrofit Investments for Reinforced Concrete Buildings Estimated Using a Novel Method,» *Journal of Architectural Engineering*, 2013.
- [47] E. Witt, I. Lill και T. Nuuter, «Comparative Analysis of Current Guidance for the Evaluation of Building Retrofit Investments,» σε *8th Nordic Conference on Construction Economics and Organization*, 2015.
- [48] A. G. Ruggeri, L. Gabrielli και M. Scarpa, «Energy Retrofit in European Building Portfolios: A Review of Five Key Aspects,» *Sustainability*, 2020.
- [49] A. Carratt, G. Kokogiannakis και D. Daly, «A critical review of methods for the performance evaluation of passive thermal retrofits in residential buildings,» *Journal of Cleaner Production*, 2020.
- [50] M. Zhenjun, C. Paul, D. Daniel και L. Laia, «Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art,» *Energy and Buildings*, 2012.
- [51] S. Pei, W. Lingyu, Z. Wenbo, M. Wenting και H. Jianli, «Life Cycle Sustainability Assessment: An Index System for Building Energy Retrofit Projects,» *Buildings*, 2024.
- [52] Rajeev Ruparathna, Kasun Hewage και Rehan Sadiq, «Economic evaluation of building energy retrofits: A fuzzy based approach,» *Energy and Buildings*, 2017.
- [53] «International Energy Agency,» 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.iea.org/policies/1118-the-eu-energy-efficiency-directive-201227eu>.
- [54] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023L2413&qid=1699364355105>.
- [55] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.zawya.com/en/business/energy/dubai-to-retrofit-30-000-buildings-over-next-seven-years-ksknvr5>.
- [56] «RetrofitTech& Sustainable Buildings Saudi,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://retrofittechksa.com/Overview-674>.

- [57] «3keel,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.3keel.com/wp-content/uploads/2022/10/Global_Retrofit_Index.pdf.
- [58] S. Farshid, B. Shimantika, L. Sofia, M. Jani και O. Thomas, «Exploring the trade-off in life cycle energy of building retrofit through optimization,» *Applied Energy*, 2020.
- [59] «GLOBAL STATUS REPORT FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION,» 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://globalabc.org/sites/default/files/2021-10/GABC_Buildings-GSR-2021_BOOK.pdf.
- [60] «The Business Research Company,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/residential-building-construction-global-market-report>.
- [61] L. Shwashreh, A. Taki και M. Kagioglou, «Retrofit Strategies for Alleviating Fuel Poverty and Improving Subjective Well-Being in the UK's Social Housing,» *Buildings*, 2024.
- [62] Amirhosein Jafari, Vanessa Valentin και M. Susan, «Assessment of Social Indicators in Energy Housing Retrofits,» *Construction Research Congress*, 2016.
- [63] P. Agnes, L. Yusuf, K. B. Detty και T. Bambang, «The Application of Life Cycle Cost Analysis Method for Green Retrofitting of Mosque Building to Improve Investment Performance,» *Civil Engineering and Architecture*, 2024.
- [64] G. Laura, R. A. Greta και S. Massimiliano, «Roadmap to a Sustainable Energy System: Is Uncertainty a Major Barrier to Investments for Building Energy Retrofit Projects in Wide City Compartments?,» *Energies*, 2023.
- [65] H. Ming και Ś. Jakub, «Assessing the environmental benefits of adaptive reuse in historical buildings. A case study of a life cycle assessment approach,» *Sustainable Environment*, 2024.
- [66] M. Paul, O. John και G. Jamie, «Sustainable energy efficiency retrofits as residential buildings move towards nearly zero energy building (NZEB) standards,» *Energy and Buildings*, 2020.
- [67] B. Małgorzata, K. Dobrosława και K. Halina, «Economic and Energy Analysis of Building Retrofitting Using Internal Insulations,» *Energies*, 2021.
- [68] Z. Haonan, H. Kasun, P. Tharindu και S. Rehan, «Life cycle thinking-based energy retrofits evaluation framework for Canadian residences: A Pareto optimization approach,» *Building and Environment*, 2021.
- [69] «European Commission,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://green-business.ec.europa.eu/green-public-procurement/life-cycle-costing_en.
- [70] R. Hoogmartensa, S. V. Passela, K. V. Ackerb και M. Dubois, «Bridging the gap between LCA, LCC and CBA as sustainability assessment tools,» *Environmental Impact Assessment Review*, 2014.
- [71] X. Hao, C. Qiao και L. Yang, «Net Present Value Method: A Method Recommended by ISO 15686-5 for Economic Evaluation of Building Life Cycle Costs,» *World Journal of Engineering and Technology*, 2022.
- [72] D. H. Chow, «Indoor Environmental Quality: Thermal Comfort,» *Encyclopedia of Sustainable Technologies (Second Edition)*, 2024.
- [73] R. d. Dear, T. Akimoto, E. Arens, G. Brager, C. Candido, K. Cheong, B. Li, N. Nishihara, S. Sekhar, S. Tanabe, J. Toftum, H. Zhang και Y. Zhu, «Progress in thermal comfort research over the last twenty years,» *Indoor Air*, 2013.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

- [74] R. R. Omprakash και T. Albert, «A Community Building Energy Modelling – Life Cycle Cost Analysis framework to design and operate net zero energy communities,» *Sustainable Production and Consumption*, 2023.
- [75] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://sdg.iisd.org/news/global-report-calls-for-accelerated-decarbonization-of-buildings-sector/>.
- [76] B. M. Alvise, C. Mattia και P. Giorgia, «LCA-based strategic evaluation for building renovation construction projects,» *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2024.
- [77] J. D. P. M, «Auburn University,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://webhome.auburn.edu/~johnspm/gloss/trade-off.phtml>.
- [78] D. Lindermüller, M. Sohn και B. Hirsch, «Trading off financial and non-financial performance information to evaluate state-owned enterprise performance – a process tracing-experiment,» *International Public Management Journal*, 2020.
- [79] M. K. Dixit, «Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017.
- [80] H. Mohammad, M. Parham και G. Mark, «Life Cycle Cost Assessment and Retrofit in Community Scale: A Case Study of Jordan,» σε *The 11th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings*, 2023.
- [81] B. Pavol, H. Peter και K. Zuzana, «Combination of lighting retrofit and life cycle cost analysis for energy efficiency improvement in buildings,» *Energy Reports*, 2021.
- [82] M. González-Torres, L. Pérez-Lombard, C. J. F., M. I. R. και Y. Da, «A review on buildings energy information: Trends, end-uses, fuels and drivers,» *Energy Reports*, 2022.
- [83] W. Han, *Energy Performance, LCC and LCA Analysis of Renovation of Residential Buildings*, Lund University: Master Thesis, 2021.
- [84] K. Moncef, A. Mohammad και W. Eric, «Residential building stock model for evaluating energy retrofit programs in Saudi Arabia,» *Energy*, 2020.
- [85] M. Mustapha, A. Bismark, Y. Nasser, Z. Quixin, B. Olusola, A. Humphrey και D. Mustafa, «Building Retrofit and Energy Conservation/Efficiency Review: A Techno-Environ-Economic Assessment of Heat Pump System Retrofit in Housing Stock,» *Sustainability*, 2021.
- [86] M. Zoe, V. Rebekka και S. Frank, «Analysis of financial benefits for energy retrofits of owner-occupied single-family houses in Germany,» *Building and Environment*, 2022.
- [87] G. Alina, M. Maliki, H. Alexander, P. Pierryves, L. Sébastien, S. Bruno και H. Guillaume, «What is the optimal robust environmental and cost-effective solution for building renovation? Not the usual one,» *Energy and Buildings*, 2021.
- [88] S. Christopher-Charles και D. Shobhakar, «Energy Efficiency Retrofits in Commercial Buildings: An Environmental, Financial, and Technical Analysis of Case Studies in Thailand,» *Energies*, 2021.
- [89] D. Lorna, P. Dimitra, A. Margarita-Niki, F. Annarita και I. Marco, «Environmental and Economic Assessment of Energy Renovation in Buildings, a Case Study in Greece,» *Buildings*, 2024.
- [90] «ProGetone,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.progetone.eu/project/>.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

- [91] S. Nao, S. Francisco και H. Ahmed, «Integration of LCA and LCCA through BIM for optimized decision-making when switching from gas to electricity services in dwellings Author links open overlay panel,» *Energy and Buildings*, 2023.
- [92] G. Laura και R. Aurora-Greta, «Developing a model for energy retrofit in large building portfolios: Energy assessment, optimization and uncertainty,» *Energy and Buildings*, 2019.
- [93] R. Mehrdad, M. Habtamu-Bayera, M. Omid και N. Natasa, «Minimizing delivered energy and life cycle cost using Graphical script: An office building retrofitting case,» *Applied Energy*, 2020.
- [94] F. L. C., H. Mohamed, D. Fredrik και H. Bozena-Dorota, «Upgrading the Smartness of Retrofitting Packages towards Energy-Efficient Residential Buildings in Cold Climate Countries: Two Case Studies,» *Buildings*, 2020.
- [95] S. Trevezas, «Monte Carlo Statistical Methods,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://users.uoa.gr/~strevezas/MCSMebook/mcintegration.html#%CE%B5%CE%B9%CF%83%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AE>.
- [96] C. Giorgos, «Strategic Financial Management,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.strategic-finance.gr/news-and-events/149-h-xrisi-tis-methodou-monte-carlo-simulation-gia-tin-epilysi-epixeirimatikon-provlimaton-me-avevaiotita>.
- [97] A. Annalisa, S. Graziano, F. Gabriele, T. Linda και P. Giulia, «De-Risking the Energy Efficient Renovation of Commercial Office Buildings through Technical-Financial Risk Assessment,» *Sustainability*, 2022.
- [98] «EnergyPlus,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://energyplus.net/>.
- [99] «Design Builder,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://designbuilder.co.uk/22-training/certification-training/139-designbuilder-eps-and-part-l>.
- [100] H. Adam, «Investopedia,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/d/discount-rate.asp>.
- [101] F. B., Z. R. και C. M., «Exploring the cost-effectiveness of energy efficiency implementation measures in the residential sector,» *Energy Policy*, 2021.
- [102] C. Sónia, A. Carlos, S. Orlando και L. Jorge, «Evaluation of cost-optimal retrofit investment in buildings: the case of Bragança fire station, Portugal,» *International Journal of Strategic Property Management*, 2021.
- [103] C. Sergio, G. Laura και B. Pietro, «Evaluation of energy retrofit in buildings under conditions of uncertainty: The prominence of the discount rate,» *Energy*, 2017.
- [104] P.-P. O. A. και F. Steve, «Comprehensive cost-benefit analysis of energy efficiency in social housing. Case study: Northwest Mexico,» *Energy and Buildings*, 2017.
- [105] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://tradingeconomics.com/country-list/interest-rate>.
- [106] J. Steinbach και D. Staniaszek, «Discount rates in energy system analysis,» Buildings Performance Institute Europe (BPIE), 2015.
- [107] J. W. Bleyl, M. Bareit, M. A. Casas, S. Chatterjee, J. Coolen, A. Hulshoff, R. Lohse, S. Mitchell, M. Robertson και D. Ürge-Vorsatz, «Office building deep energy retrofit: life cycle cost benefit analyses using cash flow analysis and multiple benefits on project level,» *Energy Efficiency*, 2018.

- [108] D. Luigi, M. Maria και D. M. Gianluigi, «Financial Impacts of the Energy Transition in Housing,» *Sustainability*, 2022.
- [109] M. S. Nouh, G. Y. Abdull, O. Laith και A. Mohammed, «Affordability assessment of passive retrofitting measures for residential buildings using life cycle assessment,» *Heliyon*, 2023.
- [110] B. Edoardo, C. Silvia, D. Marco, D. G. Elisa και E. Roberto, «From cost-optimal to nearly Zero Energy Buildings' renovation: Life Cycle Cost comparisons under alternative macroeconomic scenarios,» *Journal of Cleaner Production*, 2021.
- [111] R. Cynthia, S. Kaiyu, H. Tianzhen και P. M. Ann, «Quantifying the benefits of a building retrofit using an integrated system approach: A case study,» *Energy and Buildings*, 2018.
- [112] B. Giuseppe και I. Mattia, «Evaluation of Investment in Renovation to Increase the Quality of Buildings: A Specific Discounted Cash Flow (DCF) Approach of Appraisal,» *Sustainability*, 2016.
- [113] Y. Iman, C. Tolga και A. Asil, «Financial feasibility analysis for different retrofit strategies on an institutional building,» *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2022.
- [114] L. Jorge, O. R. A.F., B. Nerija και B. Audrius, «A Staged Approach for Energy Retrofitting an Old Service Building: A Cost-Optimal Assessment,» *Energies*, 2021.
- [115] D. Suzana, A. Ciril, F. Rok και M. Sašo, «Evaluation of Energy Efficiency of Buildings Based on LCA and LCC Assessment: Method, Computer Tool, and Case Studies,» *Nearly Zero Energy Building (NZEB): Materials, Design and New Approaches*, 2022.
- [116] G. Martino, N. J. Abdul, G. M. Juaristi, P. Riccardo, B. Davide και A. Stefano, «Comparative cost analysis of traditional and industrialised deep retrofit scenarios for a residential building,» *Journal of Facade Design & Engineering*, 2023.
- [117] A. Y. Ivanov, J. K. Trangbæk, H. Per και P. M. Zbigniew, «Investigations of Building-Related LCC Sensitivity of a Cost-Effective Renovation Package by One-at-a-Time and Monte Carlo Parameter Variation Methods,» *Applied Sciences*, 2022.
- [118] D. Özlem και L. K. J, «Retrofitting post-war office buildings: Interventions for energy efficiency, improved comfort, productivity and cost reduction,» *Journal of Building Engineering*, 2021.
- [119] J. Ling, Q. Q. K., M. Frits και V. Henk, «Exploring key risks of energy retrofit of residential buildings in China with transaction cost considerations,» *Journal of Cleaner Production*, 2021.
- [120] A. Fabrizio, B. Nicola, I. Teresa, M. G. Maria, N. D. Ferdinando, R. Antonio και V. Lucio, «A real industrial building: Modeling, calibration and Pareto optimization of energy retrofit,» *Journal of Building Engineering*, 2020.
- [121] S. Minjeong και S. Dongjun, «A heuristic solution and multi-objective optimization model for life-cycle cost analysis of solar PV/GSHP system: A case study of campus residential building in Korea,» *Sustainable Energy Technologies & Assessments*, 2021.
- [122] L. Shengping, L. Yujie, K. H. Wei και C. Ruidong, «The economics of green buildings: A life cycle cost analysis of nonresidential buildings in tropic climates,» *Journal of Cleaner Production*, 2020.
- [123] D. Malomo, Y. Xie και G. Doudak, «Unified life-cycle cost-benefit analysis framework and critical review for sustainable retrofit of Canada's existing buildings using mass timber,» *Canadian Journal of Civil Engineering*, 2023.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

- [124] R. Vafa και J. Ahmad, «Integrating Building Information Modeling (BIM) and Life Cycle Cost Analysis (LCCA) to Evaluate the Economic Benefits of Designing Aging-In-Place Homes at the Conceptual Stage,» *Sustainability*, 2024.
- [125] A. G. Caceres και M. Diaz, «Usability of the EPC Tools for the Profitability Calculation of a Retrofitting in a Residential Building,» *Sustainability*, 2018.
- [126] Anthony Higney και Kenneth Gibb, «Net zero retrofit of older tenement housing – The contribution of cost benefit analysis to wider evaluation of a demonstration project,» *Energy Policy*, 2024.
- [127] B. Sobia, A. Usman, S. Divyanshu και O. James, «Intelligent retrofit in residential buildings: A knowledge-based approach,» σε *2024 European Conference on Computing in Construction* , Chania, Crete, Greece, 2024.
- [128] E. D. Giuseppe, M. Iannaccone, M. Telloni, M. D’Orazio και C. D. Perna, «Probabilistic life cycle costing of existing buildings retrofit interventions towards nZE target: Methodology and application example,» *Energy & Buildings*, 2017.
- [129] L. Yuming, L. Tingting, Y. Sudong και L. Yisheng, «Cost-benefit analysis for Energy Efficiency Retrofit of existing buildings: A case study in China,» *Journal of Cleaner Production*, 2017.
- [130] J. McArthur και C. Jofeh, «Portfolio retrofit evaluation: A methodology for optimizing a large number of building retrofits to achieve triple-bottom-line objectives,» *Sustainable Cities and Society*, 2016.
- [131] K. Gürkan και M. Reinhard, «Evaluation of economically optimal retrofit investment options for energy savings in buildings,» *Energy and Buildings*, 2012.
- [132] O. Pedram, K. Naser και A. A. Akbar, «An integrated decision-making approach to resilience–LCC Bridge network retrofitting using a genetic algorithm-based framework,» *Resilient Cities and Structures*, 2025.
- [133] S. Cozza, M. K. Patel και J. Chambers, «Uncertainty in potential savings from improving energy label: A Monte Carlo study of the Swiss residential buildings,» *Energy & Buildings*, 2022.
- [134] M. Tiberia και E. Carbonara, «Comparing energy improvements and financial costs of retrofitting interventions in a historical building,» σε *71st Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association*, Turin, Italy , 2016.
- [135] C. Ikbal και E. Ecem, «An environmental and economic sustainability assessment method for the retrofitting of residential buildings,» *Energy and Buildings*, 2014.
- [136] F. Asdrubali, I. Ballarini, V. Corrado, L. Evangelisti, G. Grazieschi και C. Guattari, «Energy and environmental payback times for an NZEB retrofit,» *Building and Environment*, 2019.
- [137] W.O. Collinge, C. Thiel, N. Champion, S. Al-Ghamdi, C. Woloschin, K. Soratana, A. Landis και M. Bilec, «Integrating life cycle assessment with green building and product rating systems: North American perspective,» σε *International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction* , 2015.
- [138] O. Oluwayemi, P. David και X. Hong, «Retrofitting Sustainable Urban Drainage Systems (SuDS): A Cost-Benefit Analysis Appraisal,» *Water*, 2022.
- [139] M. N. Jim, «OPEN CANADA,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://opencanada.org/brundtland-revisited/>.
- [140] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.mfa.gr/missionsabroad/un/greece-in-organization/oikonomike-kai-koinonike-anaptuxe.html?page=1>.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση

- [141] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://youmatter.world/en/definition/definitions-world-conferences-sustainable-development/>.
- [142] «EUR-lex,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=LEGISSUM:kyoto_protocol.
- [143] «UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://unfccc.int/topics/global-stocktake/about-the-global-stocktake/why-the-global-stocktake-is-important-for-climate-action-this-decade>.
- [144] G. Stig-Inge και K. B. G., «Why is life-cycle costing important when retrofitting buildings,» *International Journal of Energy Research*, 1988.
- [145] T. Panagiotis, σε *Χρηματοοικονομική Ανάλυση και Εφαρμογές*, Εκδόσεις ΣΟΦΙΑ, 2019.
- [146] G. T. Lloyd, H. B. Richard, O. M. R., O. Dominic και H. Ruby, «A review of energy simulation tools for the manufacturing sector,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018.
- [147] P. Colin, S. H. Kathrine, C. Sylvain, Y. Rasoul και M. Henrik, «Optimal rotations with declining discount rate: incorporating thinning revenues and crop formation costs in a cross-European comparison,» *Forest Policy and Economics*, 2020.
- [148] A. Gonzalez-Caceres, M. Rabani και P. A. W. Martínez, «A systematic review of retrofitting tools for residential buildings,» *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών αναβαθμίσεων κτιρίων με βασική κατεύθυνση την οικονομική αξιολόγηση