

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων – μελέτη του έργου «Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων Α & Β του Πανεπιστημίου Πατρών – Υλοποίηση τεχνικών παρεμβάσεων κτιρίων»

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σπουδαστής: Καραβοκύρης Πασχαλίνος ΑΜ:6121

Επιβλέπων Καθηγητής: Σακκάς Νικόλαος

Έτος:2025



HELLENIC MEDITERRANEAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

Energy upgrade of buildings - study of the project 'Energy upgrade of buildings A & B of the University of Patras - Implementation of technical building interventions'

DIPLOMA THESIS

Student : Karavokiris Paschalinos AM:6121

Supervisor : Sakkas Nikolaos

©

Year:2025

Ευχαριστίες: *Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου οι οποίοι συνέβαλαν τα μέγιστα για να ολοκληρώσω τις σπουδές μου καθώς και τον κύριο Σακκά ο οποίος επιβλέπει την πτυχιακή μου*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία μελέτησε διεξοδικά το θέμα της ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων, εστιάζοντας στην περίπτωση των κτιρίων Α και Β του Πανεπιστημίου Πατρών. Αναλύθηκαν τόσο οι θεωρητικές βάσεις της ενεργειακής αναβάθμισης όσο και οι πρακτικές παρεμβάσεις που εφαρμόστηκαν στο πλαίσιο του έργου. Η ενεργειακή αναβάθμιση δεν περιορίζεται σε απλή ανακαίνιση, αλλά συνιστά μια ολιστική και στοχευμένη διαδικασία που συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος, την προστασία του περιβάλλοντος, την κοινωνική ευημερία και την οικονομική αποδοτικότητα. Η εργασία κατέδειξε τη σημασία του νομοθετικού πλαισίου και της χρηματοδότησης για την επιτυχή υλοποίηση τέτοιων έργων, ενώ μέσα από τη μελέτη περίπτωσης αναδείχθηκαν οι πρακτικές τεχνικές λύσεις και τα οφέλη που προκύπτουν. Τα κτίρια του Πανεπιστημίου Πατρών παρουσιάζουν πλέον βελτιωμένες ενεργειακές επιδόσεις και αναβαθμισμένη ποιότητα ζωής, επιβεβαιώνοντας τη χρησιμότητα και αναγκαιότητα της ενεργειακής αναβάθμισης για τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Λέξεις κλειδιά: ενεργειακή αναβάθμιση, ενεργειακή αποδοτικότητα, κόστος, οφέλη, κτίρια Α, Β, Πανεπιστήμιο Πατρών

ABSTRACT

The present paper studied in detail the issue of energy upgrading of buildings, focusing on the case of buildings A and B of the University of Patras. Both the theoretical basis of energy upgrading and the practical interventions implemented in the project were analysed. Energy upgrading is not limited to simple renovation, but constitutes a holistic and targeted process that contributes significantly to the reduction of the energy footprint, environmental protection, social welfare and economic efficiency. The paper demonstrated the importance of the legislative framework and financing for the successful implementation of such projects, while the case study highlighted the practical technical solutions and the resulting benefits. The buildings of the University of Patras now show improved energy performance and upgraded quality of life, confirming the usefulness and necessity of energy upgrading for sustainable development.

Key words: energy upgrade, energy efficiency, cost, benefits, buildings A, B, University of Patras

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... i

ABSTRACT ii

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ vii

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ..... vii

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....1

Σκοπός και στόχοι της εργασίας.....1

Μεθοδολογία 1

Δομή της εργασίας.....2

ΜΕΡΟΣ Α' – ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ.....3

1. Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων 3

1.1. Τι είναι η ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων.....3

1.2. Ο ρόλος της ενεργειακής αναβάθμισης στην αειφορία και την κοινωνική ευημερία 4

2. Βασικές αρχές ενεργειακής αναβάθμιση κτιρίων 8

2.1. Ενεργειακή αποδοτικότητα 8

2.2. Ολιστική προσέγγιση και αρχιτεκτονικός σχεδιασμός 9

2.3. Θερμομόνωση 10

2.4. Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) 12

2.5. Έξυπνες Τεχνολογίες και Αυτοματισμοί 14

2.6. Ανακύκλωση Θερμότητας και Ενεργειακή Επαναχρησιμοποίηση 16

2.7. Ποιότητα Ζωής και Θερμική Άνεση 17

2.8. Ανθεκτικότητα και Κλιματική Προσαρμογή 19

2.9. Συμβολή στη Μείωση Εκπομπών CO_2 20

2.10. Οικονομικά Οφέλη και Ανταγωνιστικότητα 21

3. Νομοθεσία για την ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων 24

4. Οφέλη της ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων 26

5. Κόστος ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων 30

5.1. Κόστος Επένδυσης και Μέσα Χρηματοδότησης για ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων....30

5.2. Χρηματοδότηση Ενεργειακών Παρεμβάσεων σε Κτίρια....33

5.2.1. Κρατικά Προγράμματα Επιδότησης....34

5.2.2. Πράσινα Δάνεια από Τράπεζες....35

5.2.3. Συμβάσεις Ενεργειακής Απόδοσης (EPC)....37

5.2.4. Ευρωπαϊκά προγράμματα....39

5.3. Το κόστος της ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων στην Ελλάδα....40

6. Παραδείγματα καλών πρακτικών ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων....42

ΜΕΡΟΣ Β' – ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ Α & Β ΤΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ....48

1. Υφιστάμενη Κατάσταση Κτιρίων Α και Β του Πανεπιστημίου Πατρών....48

2. Παρεμβάσεις για την ενεργειακή αναβάθμιση των Κτιρίων Α και Β του Πανεπιστημίου Πατρών....51

2.1. Κτίριο Α....51

2.1.1. Οικοδομικές εργασίες....51

2.1.2. Ηλεκτρομηχανολογικές εργασίες 53

2.2. Κτίριο Β 57

2.2.1. Οικοδομικές εργασίες 57

2.2.2. Ηλεκτρομηχανολογικές Εργασίες 60

3. Κόστος της ενεργειακής αναβάθμισης των Κτιρίων Α και Β του Πανεπιστημίου Πατρών 63

4. Η σημερινή κατάσταση του έργου 63

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 65

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 66

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Κτίριο Α πριν την ενεργειακή αναβάθμιση (Ριζογιάννη, 2023) 48

Εικόνα 2 Κτίριο Β πριν την ενεργειακή αναβάθμιση (Ριζογιάννη, 2023) 49

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Υλικά στο Κτίριο Α (Σάνης, 2021a) 51

Πίνακας 2 Υλικά θερμομόνωσης στο Κτίριο Β (Σάνης, 2021b) 57

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων αποτελεί κρίσιμο βήμα για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την προώθηση της βιωσιμότητας στον κατασκευαστικό τομέα. Μέσω τεχνικών παρεμβάσεων, όπως η θερμομόνωση, η αντικατάσταση κουφωμάτων, η αναβάθμιση συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, καθώς και η εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών διαχείρισης ενέργειας, επιτυγχάνεται η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και των συνθηκών άνεσης των χρηστών τους.

Σκοπός και στόχοι της εργασίας

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό τη μελέτη και ανάλυση των βασικών αρχών και των τεχνικών παρεμβάσεων που συνθέτουν την ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων, με έμφαση στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους. Συγκεκριμένα, εστιάζει στη μελέτη περίπτωσης των Κτιρίων Α και Β του Πανεπιστημίου Πατρών, εξετάζοντας τις εφαρμοσμένες παρεμβάσεις και τα οφέλη που προκύπτουν. Στόχος είναι η κατανόηση των τεχνικών λύσεων, των διαδικασιών υλοποίησης και της συμβολής τους στη βιώσιμη ανάπτυξη.

Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία της εργασίας βασίζεται σε δύο βασικούς άξονες. Αρχικά, πραγματοποιείται θεωρητική προσέγγιση μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης των εννοιών, των τεχνολογιών και των τεχνικών που σχετίζονται με την ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων. Στη συνέχεια, ακολουθεί η μελέτη περίπτωσης που αναλύει τα δεδομένα και τις παρεμβάσεις στα Κτίρια Α και Β του Πανεπιστημίου Πατρών. Η ανάλυση περιλαμβάνει την καταγραφή των τεχνικών εργασιών, την αξιολόγηση των ενεργειακών επιδόσεων πριν και μετά τις παρεμβάσεις, καθώς και την οικονομική και περιβαλλοντική εκτίμηση των αποτελεσμάτων.

Δομή της εργασίας

Η εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος αφορά τη θεωρητική προσέγγιση της ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων. Εξετάζονται οι βασικές αρχές, οι τεχνολογίες και οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, όπως η θερμομόνωση, τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, ο μηχανικός αερισμός με ανάκτηση θερμότητας και η χρήση έξυπνων συστημάτων διαχείρισης ενέργειας (BEMS). Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται η μελέτη περίπτωσης, με επίκεντρο την ενεργειακή αναβάθμιση των Κτιρίων Α και Β του Πανεπιστημίου Πατρών. Αναλύονται οι παρεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν, όπως η θερμομόνωση του κελύφους, η αντικατάσταση κουφωμάτων, η αναβάθμιση των συστημάτων ψύξης-θέρμανσης και φωτισμού, καθώς και η ενσωμάτωση συστημάτων διαχείρισης ενέργειας. Τέλος, αξιολογούνται τα οφέλη των παρεμβάσεων σε επίπεδο ενεργειακής εξοικονόμησης, άνεσης και βιωσιμότητας.

ΜΕΡΟΣ Α’ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

1. Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων

1.1.Τι είναι η ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων

Η ενεργειακή αναβάθμιση ενός κτιρίου αναφέρεται σε όλες τις παρεμβάσεις και βελτιώσεις που αποσκοπούν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας χωρίς να υποβαθμίζεται η άνεση των χρηστών του. Ουσιαστικά, πρόκειται για τη διαδικασία κατά την οποία το κτίριο πλησιάζει ή υπερβαίνει τα καθορισμένα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης που ισχύουν για τον συγκεκριμένο τύπο κτιρίου και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής του. Η αποδοτικότητα ενός κτιρίου αξιολογείται συγκρίνοντας την πραγματική του κατανάλωση ενέργειας (ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας ανά έτος) με τα αντίστοιχα εθνικά ή διεθνή πρότυπα – γνωστά ως «δείκτες ενεργειακής αναφοράς». Αυτοί οι δείκτες προκύπτουν από τη στατιστική επεξεργασία δεδομένων ενεργειακής χρήσης σε παρόμοια κτίρια και καθορίζουν ποια απόδοση θεωρείται μέση (τυπική) και ποια άριστη (καλή πρακτική) (UNIDO, 2009).

Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων οδηγεί σε σημαντική μείωση των λειτουργικών εξόδων, καθώς μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό. Αυτό μεταφράζεται σε χαμηλότερους λογαριασμούς ενέργειας για τους ιδιοκτήτες και τους ενοικιαστές. Επιπλέον, η επένδυση σε ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες, όπως οι αντλίες θερμότητας και τα συστήματα αυτοματισμού, μπορεί να αυξήσει την καθαρή λειτουργική απόδοση (NOI) ενός κτιρίου, ενισχύοντας την οικονομική του αξία (Leonardo, 2024).

Οι κύριοι τομείς στους οποίους εξετάζεται η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου περιλαμβάνουν τη θέρμανση, τον κλιματισμό, τον αερισμό, τον φωτισμό, καθώς και τον εξοπλισμό όπως αντλίες, ανεμιστήρες και ηλεκτρικές συσκευές. Στην αξιολόγηση περιλαμβάνεται επίσης η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για εξωτερικό φωτισμό. Κάθε χώρα ενδέχεται να υιοθετεί διαφορετικά πρότυπα και δείκτες, ανάλογα με το κτιριακό της

απόθεμα και τις ενεργειακές της ανάγκες. Ένα ακόμη κρίσιμο εργαλείο μέτρησης είναι η τιμή θερμικής διαπερατότητας ή «συντελεστής U» (U-value), η οποία δείχνει πόση θερμότητα διαφεύγει μέσω των υλικών του κτιρίου, όπως τα κουφώματα, οι τοίχοι ή οι στέγες. Όσο μικρότερη είναι αυτή η τιμή, τόσο καλύτερη είναι η θερμομονωτική ικανότητα του υλικού, συνεπώς και η ενεργειακή του απόδοση. Για τον λόγο αυτό, οι σύγχρονοι κανονισμοί θέτουν ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης για όλα τα εξωτερικά δομικά στοιχεία (UNIDO, 2009).

Συνεπώς, η ενεργειακή αναβάθμιση δεν αποτελεί μια απλή ανακαίνιση, αλλά μια στοχευμένη και τεκμηριωμένη παρέμβαση που περιλαμβάνει τόσο τεχνικά χαρακτηριστικά όσο και στρατηγικές επιλογές, με στόχο τη μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος και τη βελτίωση της βιωσιμότητας των κτιρίων.

1.2.Ο ρόλος της ενεργειακής αναβάθμισης στην αειφορία και την κοινωνική ευημερία

Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων αποτελεί κρίσιμο πυλώνα για τη βιώσιμη ανάπτυξη, τόσο σε εθνικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε έναν κόσμο όπου η ενεργειακή ζήτηση αυξάνεται συνεχώς και οι φυσικοί πόροι πιέζονται, η ανάγκη για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας γίνεται πιο επιτακτική από ποτέ. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων δεν είναι μόνο ένα περιβαλλοντικό μέτρο – είναι μια στρατηγική απόφαση με πολλαπλά οφέλη για την οικονομία, την κοινωνία και το ενεργειακό σύστημα μιας χώρας. (UNIDO, 2009).

Οι ενεργειακές παρεμβάσεις σε ένα κτίριο, όπως η βελτίωση της θερμομόνωσης, η αντικατάσταση παλαιών κουφωμάτων και η εγκατάσταση αποδοτικών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, δεν περιορίζονται μόνο στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Συνεισφέρουν ουσιαστικά στη δημιουργία ενός πιο άνετου, υγιεινού και ευχάριστου εσωτερικού περιβάλλοντος. Με την κατάλληλη θερμική μόνωση, επιτυγχάνεται σταθερότερη εσωτερική θερμοκρασία καθ’ όλη τη διάρκεια του έτους, μειώνοντας την ανάγκη για υπερβολική χρήση συστημάτων θέρμανσης ή κλιματισμού. Επιπλέον, τα αναβαθμισμένα συστήματα εξαερισμού και τα ενεργειακά αποδοτικά παράθυρα συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, μειώνοντας τη

συγκέντρωση ρύπων και την υγρασία που συχνά προκαλούν προβλήματα υγείας ή φθορές στις κατασκευές. Παράλληλα, η χρήση ηχομονωτικών υλικών και κουφωμάτων υψηλής ποιότητας μειώνει σημαντικά την εισερχόμενη εξωτερική ηχορύπανση, προσφέροντας ένα πιο ήρεμο και προστατευμένο περιβάλλον διαβίωσης και εργασίας. Η συνολική ευημερία των χρηστών του κτιρίου ενισχύεται, καθώς η ενεργειακή αναβάθμιση οδηγεί σε συνθήκες μεγαλύτερης άνεσης, ασφάλειας και ψυχολογικής ικανοποίησης (Coggins et al., 2022).

Σε πολλές χώρες, κυρίως αναπτυσσόμενες, η διαφορά μεταξύ της διαθέσιμης και της απαιτούμενης ηλεκτρικής ισχύος είναι εξαιρετικά μικρή. Η αύξηση της κατανάλωσης από υφιστάμενους και νέους χρήστες πιέζει τα ενεργειακά δίκτυα, οδηγώντας σε περιορισμούς και διακοπές ρεύματος. Συχνά, η άμεση λύση είναι η εισαγωγή μονάδων παραγωγής βασισμένων στο πετρέλαιο, μια επιλογή που συνεπάγεται υψηλό κόστος και εξάρτηση από ευμετάβλητες διεθνείς τιμές καυσίμων. Αντίθετα, η επένδυση στην ενεργειακή απόδοση είναι μια οικονομικά πιο βιώσιμη προσέγγιση. Οι παρεμβάσεις σε κτίρια –όπως η βελτίωση της θερμομόνωσης, η αντικατάσταση παλαιών συστημάτων θέρμανσης ή φωτισμού, και η χρήση έξυπνων τεχνολογιών διαχείρισης ενέργειας– απαιτούν μικρότερο αρχικό κεφάλαιο από ό,τι η δημιουργία νέων ενεργειακών μονάδων. Επιπλέον, δεν επιφέρουν συνεχή λειτουργικά κόστη και έχουν πολύ μικρότερο χρόνο υλοποίησης. Αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο σε χώρες με ραγδαία αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας (UNIDO, 2009).

Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων προσφέρει, όμως, και άμεσα οφέλη στους ίδιους τους πολίτες. Η μείωση της κατανάλωσης οδηγεί σε χαμηλότερους λογαριασμούς ενέργειας, ενώ βελτιώνεται η ποιότητα ζωής μέσω καλύτερων συνθηκών θερμικής άνεσης και φωτισμού. Τα ανακαινισμένα ενεργειακά αποδοτικά κτίρια έχουν επίσης αυξημένη εμπορική αξία, μικρότερες ανάγκες συντήρησης και μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στις μεταβολές του ενεργειακού κόστους. Σε ανεπτυγμένες χώρες, η ενεργειακή απόδοση ενισχύεται και μέσω θεσμικών εργαλείων: υποχρεωτικοί ενεργειακοί έλεγχοι, φορολογικά κίνητρα, χρηματοδοτικά εργαλεία και υποχρεώσεις για «πράσινα» πιστοποιητικά αποτελούν μέρος ενός ευρύτερου σχεδιασμού που συνδέεται με τους στόχους για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής (UNIDO, 2009).

Τα κτίρια αποτελούν έναν από τους βασικότερους ενεργειακούς καταναλωτές σε παγκόσμιο επίπεδο, επηρεάζοντας άμεσα τις ενεργειακές ανάγκες και την κλιματική αλλαγή. Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, τα κτίρια είναι υπεύθυνα για περίπου το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση στην Ελλάδα για το 43%, για το 36% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Αυτό καθιστά τον κτιριακό τομέα έναν από τους πιο κρίσιμους στόχους για τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος και τη μετάβαση σε μια κλιματικά ουδέτερη οικονομία (ΥΠΕΝ, 2020a).

Παρά τη σημαντική τους επίδραση, το 75% του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος στην Ε.Ε. θεωρείται ενεργειακά μη αποδοτικό, ενώ λιγότερο από το 1% των κτιρίων ανακαινίζεται ενεργειακά κάθε χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι η πλειονότητα των κτιρίων καταναλώνει περισσότερη ενέργεια από την αναγκαία, με σημαντικό κόστος τόσο για το περιβάλλον όσο και για τους πολίτες (Fuglsang , 2022)

Η επένδυση στην ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων δεν αποφέρει μόνο άμεση εξοικονόμηση ενέργειας – αποτελεί ένα εργαλείο με πολλαπλά οικονομικά και κοινωνικά οφέλη που συχνά υπερβαίνουν τα παραδοσιακά οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης. Παρόλο που κάποια από αυτά τα οφέλη, όπως η βελτίωση της υγείας, η αύξηση της παραγωγικότητας ή η μείωση της ενεργειακής φτώχειας, είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν ή να αποτιμηθούν σε χρηματικούς όρους, σύγχρονες μελέτες επιβεβαιώνουν ότι η ενσωμάτωσή τους στην αξιολόγηση αποδοτικότητας πολλαπλασιάζει την αξία της επένδυσης. Συγκεκριμένα, αναλύσεις δείχνουν ότι όταν ληφθούν υπόψη αυτά τα παράπλευρα οφέλη, η απόδοση μπορεί να φτάσει ακόμη και τα 4 ευρώ για κάθε 1 ευρώ που επενδύεται, καθιστώντας τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης ιδιαίτερα αποδοτικά σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα (IEA, 2014).

Επιπλέον, η ενδεχόμενη ανακατεύθυνση των εξοικονομούμενων πόρων σε άλλες ενεργοβόρες δραστηριότητες –το λεγόμενο «φαινόμενο ανάκαμψης» (rebound effect)– δεν θεωρείται πλέον απαραιτήτως αρνητική, καθώς μπορεί να συμβάλει στην ενίσχυση της οικονομικής δραστηριότητας και στη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, ιδιαίτερα σε περιοχές με περιορισμένες αναπτυξιακές ευκαιρίες. Έτσι, η ενεργειακή αναβάθμιση αναδεικνύεται

όχι μόνο ως περιβαλλοντική και οικονομική πρακτική, αλλά και ως μέσο κοινωνικής ευημερίας και ανθεκτικότητας (IEA, 2014).

Η ενσωμάτωση αυτών των δεδομένων στην πολιτική και στην πράξη καθιστά την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων όχι απλώς περιβαλλοντική ή οικονομική προτεραιότητα, αλλά στρατηγικό εργαλείο εθνικής και ευρωπαϊκής σημασίας. Εν κατακλείδι, η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων δεν αποτελεί μόνο τεχνική βελτίωση. Είναι εργαλείο ενεργειακής ασφάλειας, οικονομικής εξοικονόμησης, κοινωνικής ευημερίας και περιβαλλοντικής προστασίας. Οι πολιτικές που την προωθούν, όχι μόνο μειώνουν τη ζήτηση ενέργειας, αλλά διαμορφώνουν και ένα πιο ανθεκτικό και βιώσιμο μέλλον για όλους.

2. Βασικές αρχές ενεργειακής αναβάθμιση κτιρίων

Η ενεργειακή αναβάθμιση αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα για την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης και την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Η εφαρμογή αρχών ενεργειακής αποδοτικότητας, ειδικά στον τομέα των κτιρίων που καταναλώνει περίπου το 40% της παγκόσμιας ενέργειας, είναι καίριας σημασίας τόσο για την περιβαλλοντική προστασία όσο και για την κοινωνική και οικονομική βιωσιμότητα.

2.1.Ενεργειακή αποδοτικότητα

Μία από τις βασικές αρχές της ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων είναι η ενεργειακή αποδοτικότητά τους. Η ενεργειακή αποδοτικότητα αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο κάθε στρατηγικής που στοχεύει στην επίτευξη βιώσιμων, πράσινων και χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων. Σε ένα παγκόσμιο πλαίσιο που χαρακτηρίζεται από την ανάγκη περιορισμού των εκπομπών άνθρακα και εξοικονόμησης ενεργειακών πόρων, η ενεργειακή αποδοτικότητα αναδεικνύεται ως η ταχύτερη και πιο αποδοτική λύση για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων στον δομημένο περιβάλλον (Shi et al., 2016).

Η ενεργειακή αποδοτικότητα αποτελεί κοινό παρονομαστή στις προσπάθειες μετάβασης προς τα βιώσιμα κτίρια. Η υιοθέτηση συστημάτων ενεργειακής αξιολόγησης όπως το LEED ή το BREEAM, η εφαρμογή κανονισμών ενεργειακής απόδοσης και πολιτικών κινήτρων, όπως επίσης η χρήση τεχνολογιών παθητικού σχεδιασμού, διπλών προσόψεων (DSF), φωτοβολταϊκών επιφανειών (BIPV) και συστημάτων αυτοματισμού, συμβάλλουν αποφασιστικά στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης χωρίς συμβιβασμούς στη λειτουργικότητα ή την άνεση των χρηστών (Hafez et al., 2023).

Επιπλέον, μελέτες αναδεικνύουν τη σημασία της χρήσης πολυκριτηριακών μεθόδων λήψης αποφάσεων (MCDM) για την εξισορρόπηση μεταξύ κόστους, απόδοσης, άνεσης και περιβαλλοντικού αντίκτυπου, ενισχύοντας τον ορθολογικό σχεδιασμό και τη λήψη πολιτικών αποφάσεων. Τεχνολογίες όπως η προσομοίωση ενεργειακής απόδοσης (BESO), η ανάλυση κύκλου ζωής (LCA) και τα εργαλεία μοντελοποίησης κατανάλωσης ενέργειας

έχουν συμβάλει στη δημιουργία συστηματικών προσεγγίσεων για τον εντοπισμό των βέλτιστων παρεμβάσεων (Tian et al., 2018; Pombo, Rivela & Neila, 2016).

Η ενσωμάτωση ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών τόσο σε νέα όσο και σε υφιστάμενα κτίρια είναι πλέον βασικός πυλώνας της αειφόρου ανάπτυξης. Κτίρια που στοχεύουν στη μηδενική ενεργειακή κατανάλωση (ZEB) ή ακόμη και σε αρνητικό ενεργειακό ισοζύγιο βασίζονται σε αρχές ενεργειακής αποδοτικότητας ως πρώτη προτεραιότητα σχεδιασμού (Wu & Skye, 2021). Συμπερασματικά, η ενεργειακή αποδοτικότητα δεν αποτελεί απλώς μία τεχνική βελτιστοποίηση, αλλά μια θεμελιώδη αξία που καθορίζει τη δυνατότητα των κτιρίων να ενσωματωθούν σε ένα βιώσιμο μέλλον. Είναι το σημείο εκκίνησης για κάθε συζήτηση περί πράσινης ανάπτυξης, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί καταλύτη για την προώθηση καινοτόμων πρακτικών, νομοθετικών πλαισίων και τεχνολογικών εξελίξεων στον τομέα της οικοδομής.

2.2.Ολιστική προσέγγιση και αρχιτεκτονικός σχεδιασμός

Ακολούθως, μία ακόμα σημαντική αρχή είναι η ολιστική προσέγγιση αφού η ενεργειακή αναβάθμιση απαιτεί μια συνολική προσέγγιση που ξεκινά από τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και επεκτείνεται μέχρι τη χρήση των τελικών συστημάτων. Η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου δεν είναι αποτέλεσμα μεμονωμένων τεχνικών παρεμβάσεων, αλλά καρπός μιας συντονισμένης, ολιστικής προσέγγισης στον αρχιτεκτονικό και βιοκλιματικό σχεδιασμό. Ο σχεδιασμός αυτός ξεκινά από την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο το κτίριο αλληλοεπιδρά με το φυσικό του περιβάλλον – τον ήλιο, τον άνεμο, τη θερμοκρασία και το φως – και προχωρά με την ενσωμάτωση στρατηγικών που αξιοποιούν αυτά τα στοιχεία για τη βελτίωση της ενεργειακής του συμπεριφοράς (Gil-Ozoudeh et al., 2022).

Μία βασική παράμετρος αυτής της προσέγγισης είναι ο προσανατολισμός του κτιρίου. Η κατάλληλη θέση σε σχέση με την πορεία του ήλιου και τους επικρατούντες ανέμους μπορεί να ενισχύσει τη φυσική θέρμανση κατά τους ψυχρούς μήνες και να μειώσει τη θερμική επιβάρυνση το καλοκαίρι (Kibert, 2020). Η πρόβλεψη κατακόρυφων ή οριζόντιων σκιάστρων, η χρήση κατάλληλων υαλοστασίων και η γεωμετρία των ανοιγμάτων είναι κρίσιμα στοιχεία για τη ρύθμιση του ηλιακού κέρδους (Gordon, Mitchell & Jacobs, 2020).

Η θερμική μάζα, δηλαδή η ικανότητα των δομικών υλικών να αποθηκεύουν και να αποδίδουν θερμότητα, λειτουργεί ως φυσικός ρυθμιστής της εσωτερικής θερμοκρασίας. Υλικά όπως το σκυρόδεμα, το τούβλο και η πέτρα μπορούν να απορροφούν την υπερβολική θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας και να την αποδίδουν τη νύχτα, μειώνοντας έτσι τις ανάγκες για μηχανικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης (Zhang et al., 2019).

Ο φυσικός αερισμός αποτελεί μια ακόμη κρίσιμη στρατηγική, η οποία επιτρέπει την ανανέωση του εσωτερικού αέρα και τη μείωση της θερμικής επιβάρυνσης χωρίς την ανάγκη για ενεργοβόρα συστήματα. Μέθοδοι όπως ο διαμπερής αερισμός (cross-ventilation) και η αεροκίνητη κυκλοφορία μέσω της στοίβαξης (stack ventilation) αξιοποιούν τις φυσικές πιέσεις του ανέμου και τις διαφορές θερμοκρασίας για τη δημιουργία ροής αέρα (Cole & Kernan, 2019).

Επιπλέον, ο φυσικός φωτισμός ενισχύει όχι μόνο την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου μειώνοντας τη χρήση τεχνητού φωτισμού, αλλά και την ψυχολογική και οπτική άνεση των χρηστών. Η προσεκτική τοποθέτηση των ανοιγμάτων, η χρήση ανακλαστικών επιφανειών και ειδικών υαλοπινάκων συμβάλλουν στη βέλτιστη διανομή του φυσικού φωτός στον εσωτερικό χώρο (Susca, 2021).

Η ενσωμάτωση όλων αυτών των παραμέτρων σε ένα ενιαίο σχεδιαστικό πλαίσιο επιτρέπει τη δημιουργία κτιρίων που είναι προσαρμοσμένα στις τοπικές κλιματικές συνθήκες και αξιοποιούν τα διαθέσιμα φυσικά μέσα για τη βελτίωση της ενεργειακής τους συμπεριφοράς (Zuo & Zhao, 2021). Με τον τρόπο αυτό, η ενεργειακή απόδοση παύει να είναι εξάρτηση από τεχνητά μέσα και γίνεται εγγενές χαρακτηριστικό του ίδιου του κτιριακού κελύφους.

2.3.Θερμομόνωση

Η θερμομόνωση αποτελεί μία από τις πιο ουσιαστικές παθητικές στρατηγικές στον σχεδιασμό ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων. Η συμβολή της είναι καθοριστική, καθώς λειτουργεί ως φραγμός στις απώλειες θερμότητας τον χειμώνα και περιορίζει τη διείσδυση ανεπιθύμητης θερμικής ενέργειας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται η εξάρτηση από ενεργοβόρα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, ενώ παράλληλα

διασφαλίζεται η θερμική άνεση των χρηστών και επιτυγχάνεται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας (Ali, Issa & Elshaer, 2024)

Η ανάγκη για θερμομόνωση αναδεικνύεται ακόμη πιο επιτακτική σε περιοχές με ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως ο καναδικός βορράς ή οι αραβικές χώρες με παρατεταμένα κύματα καύσωνα. Σε περιβάλλοντα όπου η εξωτερική θερμοκρασία μπορεί να πέσει κάτω από τους −40 °C ή να υπερβεί τους 45 °C, η απουσία επαρκούς θερμικής προστασίας οδηγεί σε υπερβολική ενεργειακή ζήτηση για την επίτευξη εσωτερικής θερμικής ισορροπίας. Επιπλέον, η ενισχυμένη μόνωση επιδρά θετικά στην αντιμετώπιση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (Urban Heat Island Effect), καθώς περιορίζει την υπερθέρμανση των αστικών περιοχών (Ali, Issa & Elshaer, 2024).

Τα υλικά θερμομόνωσης διακρίνονται σε οργανικά και ανόργανα, ενώ η ραγδαία ανάπτυξη νέων τεχνολογιών έχει οδηγήσει στην εμφάνιση καινοτόμων σύνθετων μονωτικών υλικών, όπως οι αερογέλες, που προσφέρουν εξαιρετικά χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Ωστόσο, το υψηλό κόστος αυτών των υλικών περιορίζει την εφαρμογή τους, ιδίως σε αναπτυσσόμενες ή απομακρυσμένες περιοχές (Fu et al., 2022). Σε αντίθεση, φυσικά ή ανακυκλωμένα υλικά όπως ο φελλός, η κυτταρίνη, το ανακυκλωμένο βαμβάκι και οι ίνες ξύλου προσφέρουν ελκυστικές εναλλακτικές με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, συμβαδίζοντας με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας. Αν και παρουσιάζουν κάποιες προκλήσεις, όπως η υγρασία ή η ευφλεκτότητα, οι σύγχρονες τεχνολογίες επεξεργασίας και σύνθεσης επιτρέπουν τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους και την ασφαλή χρήση τους στο σύγχρονο δομημένο περιβάλλον (Violano & Cannaviello, 2023)

Η επιλογή κατάλληλου μονωτικού υλικού δεν βασίζεται μόνο στη θερμική του αντίσταση (R-value), αλλά εξαρτάται επίσης από παράγοντες όπως το κλίμα της περιοχής, η διαθεσιμότητα των υλικών, η οικονομική βιωσιμότητα, η δυνατότητα εφαρμογής στο υπάρχον δομικό σύστημα, καθώς και η περιβαλλοντική απόδοση του υλικού σε βάθος χρόνου (Ali, Issa & Elshaer, 2024).

Συνοψίζοντας, η αποτελεσματική θερμομόνωση λειτουργεί όχι μόνο ως παθητικό μέσο εξοικονόμησης ενέργειας, αλλά και ως στρατηγική ενσωμάτωσης της βιωσιμότητας στον

αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Η χρήση εξελιγμένων ή φυσικών μονωτικών υλικών μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, μειώνοντας την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα και ενισχύοντας την ανθεκτικότητα των κτιρίων στις ακραίες θερμικές συνθήκες του 21ου αιώνα.

2.4.Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)

Η υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα κτίρια αποτελεί κρίσιμο βήμα για την επίτευξη ενεργειακής αυτάρκειας, περιβαλλοντικής αειφορίας και συμμόρφωσης με τις παγκόσμιες στρατηγικές για την κλιματική αλλαγή. Οι τεχνολογίες ΑΠΕ, όπως τα φωτοβολταϊκά, οι αντλίες θερμότητας, οι ανεμογεννήτριες, τα γεωθερμικά συστήματα και η βιομάζα, ενσωματώνονται όλο και περισσότερο στον σχεδιασμό και τη λειτουργία των κτιρίων με στόχο τη μείωση της εξάρτησης από συμβατικά καύσιμα. Η αποτελεσματική εφαρμογή των ΑΠΕ προϋποθέτει ευθυγράμμιση με τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου και τις ιδιαιτερότητες κάθε μορφής ενέργειας. Αν και η αιολική, η ηλιακή, η γεωθερμική και η βιομάζα θεωρούνται ώριμες τεχνολογίες, η ηλιακή ενέργεια ξεχωρίζει λόγω της διαθεσιμότητάς της και της ευκολίας ενσωμάτωσης σε υφιστάμενες υποδομές (Chen et al., 2023).

Ηλιακή Ενέργεια

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας αποτελεί ίσως την πιο διαδεδομένη επιλογή στα κτίρια, με κύρια τεχνολογικά εργαλεία τα φωτοβολταϊκά συστήματα και τα θερμικά ηλιακά συστήματα. Ο συνδυασμός ενεργητικών και παθητικών τεχνικών—όπως ο βιοκλιματικός προσανατολισμός, ο φυσικός αερισμός και η θερμική αδράνεια—συμβάλλει στον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας και στην ενίσχυση της ενεργειακής αποδοτικότητας (Dey et al. 2022). Η οικονομική και περιβαλλοντική αξία των φωτοβολταϊκών ενισχύεται σημαντικά όταν συνδυάζονται με εργαλεία χωρικής ανάλυσης (GIS), αποδεικνύοντας ότι η εγκατάσταση σε στέγες μπορεί να αποφέρει τεράστιες εξοικονομήσεις (Asif et al. 2019).

Παράλληλα, η τεχνολογία ηλιακής υποβοήθησης σε αντλίες θερμότητας συμβάλλει στην πλήρη κάλυψη θερμικών αναγκών, μειώνοντας σημαντικά την εξάρτηση από άλλες πηγές

ενέργειας (Bilardo et al. 2020). Ωστόσο, παραμένουν προκλήσεις όπως η μεταβλητότητα της ηλιακής απόδοσης, η ανάγκη τακτικής συντήρησης, οι τεχνικοί περιορισμοί στον δομικό σχεδιασμό και το υψηλό κόστος αρχικής εγκατάστασης (Maghrabie et al. 2021).

Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια, παρότι παραδοσιακά συνδέεται με μεγάλης κλίμακας εφαρμογές, βρίσκει σταδιακά θέση και στον αστικό σχεδιασμό μέσω μικρής κλίμακας ανεμογεννητριών και φυσικού αερισμού (Kwok & Hu 2023). Τα συστήματα αυτά συμβάλλουν τόσο στη μείωση των εκπομπών όσο και στην κάλυψη ενός ποσοστού των ενεργειακών απαιτήσεων (Yousefi et al. 2019). Επιπλέον, οι φυσικοί αερισμοί ενισχύουν την ποιότητα αέρα και μειώνουν τη χρήση κλιματισμού. Ωστόσο, ζητήματα όπως η εξάρτηση από την ταχύτητα και τη σταθερότητα του ανέμου, ο ηχητικός θόρυβος και τα υψηλά κόστη συνιστούν σοβαρές τεχνικές και κοινωνικές προκλήσεις (Roga et al. 2022).

Γεωθερμική Ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια προσφέρει συνεχή παροχή θερμικής ενέργειας ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών, με εφαρμογές κυρίως στη θέρμανση και ψύξη κτιρίων μέσω γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (Shah et al. 2022). Η χαμηλή ηχητική επιβάρυνση, η ενεργειακή αποδοτικότητα και η μικρή απαίτηση σε επιφάνεια καθιστούν τη γεωθερμία κατάλληλη για αστικά περιβάλλοντα (Tester et al. 2021). Παρά τα πλεονεκτήματα αυτά, η γεωθερμία απαιτεί υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις γεωλογικές συνθήκες του τόπου (Chen & Feng 2020). Οι αβεβαιότητες στην υπόγεια γεωμορφολογία και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις γεωτρήσεις αποτελούν σοβαρούς ανασταλτικούς παράγοντες (Hu et al. 2021).

Βιομάζα

Η βιομάζα αποτελεί την αρχαιότερη μορφή ΑΠΕ, με χρήση σε θέρμανση, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και κατασκευαστικά υλικά. Οι λέβητες βιομάζας εμφανίζουν υψηλές

αποδόσεις, ενώ η καύση υπολειμμάτων όπως τα ξύλα και τα φυτικά απόβλητα οδηγεί σε σημαντικές μειώσεις εκπομπών CO_2 (Baumgarten et al. 2022). Παράλληλα, η χρήση βιοϋλικών στην κατασκευή βελτιώνει την απόδοση της θερμικής μόνωσης και μειώνει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Ωστόσο, η ευρεία χρήση της βιομάζας συνεπάγεται ζητήματα όπως η υποβάθμιση της βλάστησης, ο ανταγωνισμός με τη γεωργική γη, και η περιορισμένη διαθεσιμότητα πόρων. Επιπλέον, η μεταβλητή ποιότητα των υλικών και οι απαιτήσεις σε επεξεργασία περιορίζουν την ευρεία και βιώσιμη εφαρμογή της (Chen et al., 2023).

Συμπερασματικά, η ενσωμάτωση ΑΠΕ στα κτίρια ενισχύει την ενεργειακή αυτονομία και μειώνει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Κάθε μορφή ενέργειας διαθέτει ιδιαίτερα πλεονεκτήματα αλλά και περιορισμούς που πρέπει να ληφθούν υπόψη στον σχεδιασμό και τη διαχείριση του κτιριακού τομέα. Η βέλτιστη αξιοποίηση των ΑΠΕ απαιτεί συνδυασμένη προσέγγιση τεχνολογικής και οικονομικής φύσης, με κριτήριο τη βιωσιμότητα και την περιβαλλοντική ισορροπία.

2.5.Έξυπνες Τεχνολογίες και Αυτοματισμοί

Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων αποτελεί σήμερα αναπόσπαστο κομμάτι της παγκόσμιας στρατηγικής για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Τα κτίρια ευθύνονται για σημαντικό ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, γεγονός που επιβάλλει την άμεση εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογικών λύσεων (Sharma, Haque and Blaabjerg, 2021). Η αυξανόμενη πίεση από ρυθμιστικά πλαίσια, όπως οι ευρωπαϊκές οδηγίες για τη σχεδίαση Nearly Zero Energy Buildings (nZEB), σε συνδυασμό με τις οικονομικές επιπτώσεις από την αύξηση των τιμών ενέργειας, ενισχύουν την ανάγκη για καινοτόμα εργαλεία βελτιστοποίησης της κατανάλωσης.

Στο επίκεντρο αυτών των εργαλείων βρίσκονται τα «έξυπνα» συστήματα διαχείρισης ενέργειας (Smart Energy Management Systems – SEMS), τα οποία αξιοποιούν τεχνολογίες του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI). Μέσω της χρήσης αισθητήρων, λογισμικών παρακολούθησης, έξυπνων μετρητών και αυτοματισμών, καθίσταται δυνατή η συνεχής συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για

παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η παρουσία χρηστών και οι τάσεις στην ενεργειακή κατανάλωση. Τα δεδομένα αυτά επιτρέπουν τη δυναμική ρύθμιση των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού και εξαερισμού, εξασφαλίζοντας τη βέλτιστη λειτουργία με βάση τις πραγματικές ανάγκες και μειώνοντας τις απώλειες (Rojek et al., 2022).

Η τεχνολογική σύγκλιση IoT και AI προσφέρει πλέον όχι μόνο παθητική παρακολούθηση, αλλά και προγνωστική λειτουργία. Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να εντοπίσουν πρότυπα κατανάλωσης, να ενσωματώσουν εξωτερικά δεδομένα (π.χ. καιρικές συνθήκες) και να προβλέψουν τη μελλοντική ζήτηση ενέργειας, συμβάλλοντας σε πιο ευέλικτο και αποδοτικό ενεργειακό σχεδιασμό. Επιπλέον, η ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως το edge computing και τα ψηφιακά δίδυμα (digital twins) ενισχύει τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την αυτοματοποιημένη αναγνώριση βλαβών και την προληπτική συντήρηση εξοπλισμού (Rojek et al., 2025).

Η υιοθέτηση αυτών των συστημάτων καθιστά τα κτίρια πιο «έξυπνα» και βιώσιμα. Η χρήση αυτοματισμών μειώνει την ανθρώπινη παρέμβαση και τα λειτουργικά κόστη, ενώ ταυτόχρονα αυξάνει την άνεση των χρηστών μέσω της προσαρμογής των συνθηκών χώρου με βάση εξατομικευμένα πρότυπα (occupant-centric optimization) (Garlik, 2022). Οι εφαρμογές μη παρεμβατικής παρακολούθησης (Non-Intrusive Load Monitoring – NILM), με τεχνικές όπως η φασματική ανάλυση (Fourier Transform, Wavelet Transform) και η συμπιεστική ανίχνευση (Compressive Sensing), επιτρέπουν την ακριβή ανάλυση της ενεργειακής συμπεριφοράς συσκευών χωρίς φυσική πρόσβαση στους καταναλωτές (Rojek et al., 2023).

Παρά τις σημαντικές δυνατότητες, προκλήσεις όπως η κυβερνοασφάλεια, το κόστος εγκατάστασης και η ανάγκη διαλειτουργικότητας μεταξύ συσκευών και πλατφορμών εξακολουθούν να αποτελούν εμπόδια. Οι σύγχρονες τάσεις όμως, όπως η εφαρμογή αποκεντρωμένων τεχνολογιών (π.χ. blockchain για peer-to-peer ενεργειακές συναλλαγές) και το federated learning για κοινή εκπαίδευση αλγορίθμων χωρίς μεταφορά δεδομένων, συντελούν στην αύξηση της αξιοπιστίας και της ασφάλειας των συστημάτων (Garlik, 2022; Rojek et al., 2023).

Συνοψίζοντας, η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων μέσω έξυπνων τεχνολογιών δεν περιορίζεται πλέον στην αναβάθμιση των υλικών ή των υποδομών. Αφορά τη δημιουργία ενός ψηφιακά διασυνδεδεμένου και ευφυούς περιβάλλοντος, ικανού να προσαρμόζεται δυναμικά στις πραγματικές απαιτήσεις και να συμβάλλει ενεργά στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των κτιρίων. Η κατεύθυνση προς αυτό το μέλλον απαιτεί συντονισμένη προσπάθεια τεχνικών, θεσμικών και χρηματοδοτικών παρεμβάσεων, αλλά υπόσχεται σημαντικά οφέλη τόσο σε επίπεδο απόδοσης όσο και βιωσιμότητας.

2.6.Ανακύκλωση Θερμότητας και Ενεργειακή Επαναχρησιμοποίηση

Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη μετάβαση σε ένα πιο βιώσιμο και περιβαλλοντικά υπεύθυνο δομημένο περιβάλλον. Στοχεύει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, συμβάλλοντας καθοριστικά στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και στη μείωση του ενεργειακού κόστους.

Μία από τις βασικές τεχνολογικές αρχές που εφαρμόζονται σε αυτή τη διαδικασία είναι η ανακύκλωση θερμότητας, δηλαδή η ανάκτηση θερμικής ενέργειας που διαφορετικά θα χανόταν στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, η θερμότητα που αποβάλλεται από τον αέρα εξαγωγής, απόνερα ή εξοπλισμό μπορεί να ανακτηθεί μέσω κατάλληλων συστημάτων (όπως εναλλάκτες θερμότητας) και να επαναχρησιμοποιηθεί για την προθέρμανση αέρα, νερού ή χώρων, μειώνοντας την ανάγκη για νέα ενεργειακή εισροή. Αυτή η τεχνολογία είναι ιδιαίτερα αποδοτική σε κτίρια με υψηλή ζήτηση θέρμανσης ή ψύξης, και μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε νέες κατασκευές όσο και σε παλαιότερα κτίρια κατά την ανακαίνισή τους (Jane, 2025).

Η ενεργειακή επαναχρησιμοποίηση επεκτείνει το παραπάνω σκεπτικό και αφορά τη χρήση ενεργειακών αποθεμάτων που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί, για την κάλυψη άλλων αναγκών στο ίδιο ή σε γειτονικά κτίρια. Ενδεικτικά παραδείγματα περιλαμβάνουν τη χρήση θερμικής ενέργειας από βιομηχανικές διεργασίες για θέρμανση κατοικιών ή την αξιοποίηση θερμότητας από υποδομές μεταφορών. Η προσέγγιση αυτή ευνοεί την κυκλική χρήση ενέργειας, ελαχιστοποιώντας τις απώλειες.

Σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή αναβάθμιση διαδραματίζουν επίσης τα παθητικά συστήματα σχεδιασμού, τα οποία αξιοποιούν φυσικά φαινόμενα (όπως το ηλιακό φως, τη θερμική αδράνεια υλικών και τον φυσικό αερισμό) για την επίτευξη θερμικής και οπτικής άνεσης χωρίς τη χρήση μηχανικών μέσων. Σε πολλές περιπτώσεις, στοιχεία της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής, όπως χοντροί τοίχοι, σκίαστρα και αυλές, μπορούν να ενταχθούν στο σύγχρονο σχεδιασμό ως μέσα βελτίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου. Η ενσωμάτωση τεχνολογιών έξυπνης διαχείρισης ενέργειας, όπως αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου φωτισμού, θέρμανσης και ψύξης, προσφέρει επιπλέον δυνατότητες εξοικονόμησης μέσω της προσαρμογής της κατανάλωσης στις πραγματικές ανάγκες του χρήστη. Παράλληλα, η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, κυρίως μέσω φωτοβολταϊκών, ενισχύει την ενεργειακή αυτονομία των κτιρίων και περιορίζει την εξάρτηση από ρυπογόνες πηγές (Jane, 2025).

Η επιτυχής εφαρμογή αυτών των αρχών εξαρτάται από την ύπαρξη σαφούς θεσμικού πλαισίου, την οικονομική ενίσχυση μέσω κινήτρων και επιδοτήσεων, καθώς και την ενημέρωση και εκπαίδευση των επαγγελματιών και των πολιτών σχετικά με τα οφέλη της ενεργειακής αναβάθμισης. Συνολικά, η ενεργειακή αναβάθμιση με πυρήνα την ανακύκλωση θερμότητας και την ενεργειακή επαναχρησιμοποίηση δεν αποτελεί μόνο τεχνική πρόκληση, αλλά και στρατηγική επιλογή για τη δημιουργία ενός πιο ανθεκτικού, οικονομικά αποδοτικού και περιβαλλοντικά φιλικού δομημένου περιβάλλοντος.

2.7.Ποιότητα Ζωής και Θερμική Άνεση

Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων δεν αποτελεί μόνο τεχνικό στόχο εξοικονόμησης ενέργειας, αλλά συνδέεται άμεσα με την ποιότητα ζωής των χρηστών τους, επηρεάζοντας καθοριστικά την θερμική άνεση, την ποιότητα εσωτερικού αέρα (Indoor Air Quality – IAQ) και, τελικά, την υγεία και ευεξία των κατοίκων. Με την αυστηροποίηση των απαιτήσεων για ενεργειακή απόδοση, τα κτίρια στην Ευρώπη κατασκευάζονται πλέον με σημαντικά αυξημένη αεροστεγανότητα, ώστε να περιοριστούν οι απώλειες θερμότητας μέσω ανεξέλεγκτου αερισμού. Αυτή η προσέγγιση επιβάλλει τη χρήση μηχανικών συστημάτων αερισμού, τα οποία, όταν σχεδιάζονται και λειτουργούν σωστά, μπορούν να διασφαλίσουν ικανοποιητικά επίπεδα αερισμού και θερμικής άνεσης. Ωστόσο, η μετάβαση από τα παραδοσιακά, «διαμπερώς» αεριζόμενα κτίρια σε αεροστεγείς κατασκευές με μηχανικό

αερισμό αποτελεί σημαντική αλλαγή όχι μόνο τεχνολογικά, αλλά και σε επίπεδο πολιτισμικό και κοινωνικό (Kephalopoulos et al., 2017).

Η στεγανότητα, αν και συμβάλλει καθοριστικά στη μείωση των ενεργειακών απωλειών, μπορεί ταυτόχρονα να επιβαρύνει την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, ειδικά αν τα μηχανικά συστήματα αερισμού δεν είναι κατάλληλα σχεδιασμένα ή συντηρούνται πλημμελώς. Επιπλέον, η συμπεριφορά των χρηστών – όπως το άνοιγμα παραθύρων ή η ρύθμιση θερμοκρασιών – επηρεάζει σημαντικά τη συνολική απόδοση των συστημάτων και τις συνθήκες άνεσης στους εσωτερικούς χώρους. Αν και γενικά η ενεργειακή αναβάθμιση συνδέεται με τη βελτίωση του εσωτερικού περιβάλλοντος, η εφαρμογή των μέτρων χωρίς ολοκληρωμένο σχεδιασμό μπορεί να οδηγήσει σε αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία και την άνεση των χρηστών. Για τον λόγο αυτό, είναι κρίσιμο να υιοθετείται ολιστική προσέγγιση, που συνδυάζει την ενεργειακή απόδοση με την ποιότητα αέρα, το φωτισμό, την ηχομόνωση και την ψυχολογική ευεξία (Kephalopoulos et al., 2017).

Οι μέχρι σήμερα εμπειρικές έρευνες αναφορικά με την επίδραση των κτιρίων υψηλής ενεργειακής απόδοσης στην IAQ και τη θερμική άνεση είναι ακόμη περιορισμένες. Αν και κάποιες μελέτες αναδεικνύουν βελτιώσεις στην υγεία των χρηστών – ιδιαίτερα σε χαμηλά εισοδήματα – άλλες αναφέρουν αυξημένα περιστατικά π.χ. άσθματος σε ενεργειακά αποδοτικές κατοικίες (Sharpe et al., 2015). Μια πρόσφατη μετα-ανάλυση κατέδειξε μεν μικρή αλλά στατιστικά σημαντική βελτίωση στην υγεία των κατοίκων, αλλά υπογράμμισε και την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα στο θέμα (Maidment et al., 2014)

Αξίζει να σημειωθεί ότι, ιδιαίτερα στην Ευρώπη, τα συστηματικά δεδομένα και οι μακροχρόνιες μελέτες για την ποιότητα εσωτερικού αέρα σε ενεργειακά αποδοτικά κτίρια παραμένουν ελλιπή και αποσπασματικά (Derbez et al., 2014). Η έλλειψη συντονισμένης συλλογής δεδομένων σε ευρωπαϊκό επίπεδο καθιστά δύσκολη την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, ενώ η ποικιλομορφία σε κλιματολογικές, κοινωνικές και κατασκευαστικές συνθήκες δυσκολεύει ακόμη περισσότερο τη γενίκευση των ευρημάτων. Ωστόσο, οι προσομοιώσεις και τα μοντέλα δείχνουν ότι η επίτευξη ταυτόχρονα υψηλής ενεργειακής απόδοσης, καλής ποιότητας εσωτερικού αέρα και θερμικής άνεσης είναι τεχνικά εφικτή – αρκεί να εφαρμόζονται οι σωστές λύσεις με προσαρμογή στις τοπικές ιδιαιτερότητες. Η

επιτυχία, όμως, εξαρτάται από την εκπαίδευση επαγγελματιών, τη συμμετοχή των χρηστών, και την ενσωμάτωση των ποιοτικών δεικτών άνεσης στον σχεδιασμό και την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης (Kephalopoulos et al., 2017).

Συμπερασματικά, η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων οφείλει να υπηρετεί όχι μόνο τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας, αλλά και την αναβάθμιση της ποιότητας ζωής. Η διασφάλιση θερμικής άνεσης και υγιούς εσωτερικού περιβάλλοντος θα πρέπει να αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο κάθε στρατηγικής βιωσιμότητας στον δομημένο χώρο.

2.8.Ανθεκτικότητα και Κλιματική Προσαρμογή

Η ανάγκη για ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων συνδέεται άρρηκτα με την κλιματική προσαρμογή και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των δομημένων περιβαλλόντων. Οι ολοένα εντονότερες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής – όπως οι αυξημένες θερμοκρασίες, οι καύσωνες, οι ακραίες καιρικές συνθήκες και οι μεταβολές στα πρότυπα υγρασίας – απαιτούν προσαρμοστικές στρατηγικές όχι μόνο σε επίπεδο πολιτικής, αλλά και στον σχεδιασμό και την ανακαίνιση των κτιρίων. Η κλιματική προσαρμογή είναι η διαδικασία προσαρμογής στα τρέχοντα ή μελλοντικά κλιματικά δεδομένα και τις συνέπειές τους. Στο πεδίο των κτιρίων, αυτό σημαίνει την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων, όπως η υπερθέρμανση και οι ενεργειακές καταπονήσεις, και την αξιοποίηση θετικών ευκαιριών – όπως η χρήση της ηλιακής ενέργειας ή του φυσικού φωτισμού.

Παράλληλα, ο όρος «προσαρμοστική ικανότητα» περιγράφει τον βαθμό στον οποίο ένα σύστημα – είτε πρόκειται για ένα κτίριο είτε για τους χρήστες του – μπορεί να ανταποκριθεί αποτελεσματικά στις κλιματικές προκλήσεις και να αξιοποιήσει τις αλλαγές ως ευκαιρία. Στενά συνδεδεμένος με την προσαρμογή είναι και ο όρος «ανθεκτικότητα», ο οποίος στο πλαίσιο του κτιριακού τομέα δηλώνει την ικανότητα ενός κτιρίου να διατηρεί λειτουργικές και άνετες εσωτερικές συνθήκες, ακόμη και υπό μεταβαλλόμενες ή δυσμενείς εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Η ανθεκτικότητα μπορεί να αναλυθεί τόσο σε παθητικό επίπεδο, δηλαδή μέσω σχεδιαστικών επιλογών όπως ηλιοπροστασία, θερμική μάζα, φυσικός αερισμός, όσο και σε επίπεδο προσαρμογής των ενοίκων, οι οποίοι καλούνται να

διαχειριστούν και να ανταποκριθούν στις μεταβολές με έξυπνους και ευέλικτους τρόπους (United Nations Environment Programme , 2021).

Για παράδειγμα, ένα ανθεκτικό κτίριο μπορεί να αντιμετωπίσει την υπερθέρμανση χωρίς εξάρτηση από μηχανικά μέσα ψύξης, μέσω λύσεων όπως κατάλληλος προσανατολισμός, σκίαση, χρήση φυσικού αερισμού και πράσινων δωμάτων. Αυτές οι στρατηγικές ενισχύουν την παθητική ανθεκτικότητα του κελύφους, επιτρέποντας στο κτίριο να παραμένει λειτουργικό, ακόμη και σε περιόδους κρίσης όπως διακοπές ρεύματος ή ακραίοι καύσωνες. Η έννοια της ανθεκτικότητας στα κτίρια δεν περιορίζεται μόνο στην αντιμετώπιση των φυσικών φαινομένων, αλλά επεκτείνεται και στην εξασφάλιση συνεχούς και ασφαλούς χρήσης του χώρου, προσφέροντας σταθερές συνθήκες διαβίωσης και εργασίας στους χρήστες, ανεξάρτητα από τις εξωτερικές μεταβολές. Η σύνδεση με την ευεξία των χρηστών, την ενεργειακή αυτάρκεια, αλλά και τη μείωση της εξάρτησης από ενεργοβόρες λύσεις είναι καίριας σημασίας στο νέο πλαίσιο σχεδιασμού (United Nations Environment Programme , 2021).

Συνοψίζοντας, οι βασικές αρχές ενεργειακής αναβάθμισης δεν πρέπει να αποσκοπούν μόνο στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, αλλά να προωθούν και την κλιματική προσαρμογή και ανθεκτικότητα των κτιρίων. Αυτό απαιτεί ολοκληρωμένες προσεγγίσεις σχεδιασμού, ευαισθητοποίηση όλων των εμπλεκόμενων φορέων, και μακροπρόθεσμο σχεδιασμό που ενσωματώνει τις αρχές της βιωσιμότητας, της λειτουργικής συνέχειας και της προληπτικής προσαρμογής στις περιβαλλοντικές αλλαγές.

2.9.Συμβολή στη Μείωση Εκπομπών CO_2

Μέσω της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας και της χρήσης ανανεώσιμων πηγών, η ενεργειακή αναβάθμιση συμβάλλει άμεσα στην ελάττωση του ανθρακικού αποτυπώματος των κτιρίων. Αυτό είναι καθοριστικό για την επίτευξη των διεθνών στόχων για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και την απανθρακοποίηση του ενεργειακού τομέα.

Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων αποτελεί έναν από τους πλέον καθοριστικούς παράγοντες στη μείωση των εκπομπών CO_2, καθώς ο κατασκευαστικός τομέας ευθύνεται

για περίπου το 39% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ετησίως. Η εκπομπή αυτή προέρχεται τόσο από την κατασκευή όσο και από τη λειτουργία των κτιρίων, καθώς και από την παραγωγή και μεταφορά ενεργοβόρων υλικών, όπως το τσιμέντο και το αλουμίνιο. Η ενεργειακή αναβάθμιση επιδιώκει τον περιορισμό της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης –λειτουργικής και ενσωματωμένης– και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του κτιρίου καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του. Οι κύριες στρατηγικές περιλαμβάνουν (Min et al., 2022):

- Χρήση υλικών χαμηλών εκπομπών CO_2, με τη μέθοδο υπολογισμού του ECO_2 (Embodied CO_2), που προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της μάζας υλικού με τον αντίστοιχο συντελεστή CO_2
- Ενσωμάτωση τεχνολογιών BIM (Building Information Modeling) για τη βελτιστοποίηση σχεδιασμού, ενεργειακών αναλύσεων και διαχείρισης αποβλήτων, διευκολύνοντας την κατασκευή «πράσινων» και μηδενικής ενέργειας κτιρίων.
- Προώθηση της ηλεκτροδότησης κτιριακών φορτίων και της χρήσης ΑΠΕ, με στόχο τη μείωση των εκπομπών έως και 80% μέσω του σχεδιασμού αποδοτικών κτιρίων μηδενικής ενέργειας.

Συνεπώς, η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων αναδεικνύεται ως θεμελιώδης στρατηγική για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, καθώς συνδυάζει τη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα με την αξιοποίηση σύγχρονων τεχνολογιών, όπως τα συστήματα BIM και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μέσα από στοχευμένες παρεμβάσεις βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης και επιλογής υλικών χαμηλών εκπομπών, επιτυγχάνεται σημαντικός περιορισμός των εκπομπών CO_2, με ταυτόχρονα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη. Η μετάβαση αυτή δεν αποτελεί απλώς τεχνολογική αναβάθμιση, αλλά έναν βασικό μοχλό επίτευξης των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης.

2.10. Οικονομικά Οφέλη και Ανταγωνιστικότητα

Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων συνιστά όχι μόνο περιβαλλοντική επιταγή, αλλά και σημαντικό εργαλείο ενίσχυσης της οικονομικής ανταγωνιστικότητας στην ευρωπαϊκή κτηματαγορά. Καθώς η Ε.Ε. στοχεύει στη μείωση των εκπομπών κατά 55% έως το 2030

μέσω του πλαισίου “Fit for 55” και της εφαρμογής ελάχιστων ενεργειακών προτύπων (MEPS), η αποδοτικότητα ενός κτιρίου αποκτά αυξανόμενη σημασία για την αποτίμηση της αξίας του στην αγορά (European Commission, 2021). Τα ενεργειακά αποδοτικά ακίνητα θεωρούνται πλέον πιο ελκυστικά από δυνητικούς αγοραστές, οι οποίοι εμφανίζονται πρόθυμοι να πληρώσουν προσαύξηση στην τιμή αγοράς, αναγνωρίζοντας τα οφέλη από τη μείωση λειτουργικού κόστους και την προστιθέμενη αξία βιωσιμότητας (Gholamzadehmir et al., 2025).

Η αναβαθμισμένη ενεργειακή απόδοση, μέσω επιμέρους ή εκτεταμένων παρεμβάσεων, μπορεί να επιφέρει αύξηση της εμπορικής αξίας ενός κτιρίου από 1,5% έως και 13,5%, όπως δείχνουν μελέτες με εφαρμογή μεθοδολογιών όπως το Cost Approach και το Contingent Valuation Method (CVM) (Gholamzadehmir et al., 2025).. Σε συγκεκριμένα παραδείγματα μελετών περίπτωσης σε Ιταλία και Γαλλία, διαπιστώθηκε ότι τα κτίρια που υπέστησαν "βαθιά" ανακαίνιση (deep retrofitting) εμφάνισαν σαφώς υψηλότερες τιμές μεταπώλησης σε σχέση με τα προ-ανακαινισμένα ακίνητα, τεκμηριώνοντας την οικονομική βιωσιμότητα των επενδύσεων αυτών. Παράλληλα, η χρήση ενεργειακής πιστοποίησης (EPC), ιδίως όταν αυτή φέρει υψηλό ενεργειακό βαθμό (A–B), συσχετίζεται με τιμολογιακή προσαύξηση που μπορεί να φτάσει έως και το 39,8%, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κτιρίου και τις τοπικές συνθήκες αγοράς (Copiello, 2021).

Η διακύμανση της προστιθέμενης αξίας εξαρτάται από πολλαπλούς παράγοντες, όπως η γεωγραφική θέση, το έτος κατασκευής, οι τεχνικές ιδιότητες και το βάθος των επεμβάσεων. Παρά την πολυπλοκότητα αυτών των μεταβλητών, οι οικονομικές αποδόσεις είναι σημαντικές: μείωση εξαρτήσεων από εισαγωγές ενέργειας, τόνωση της απασχόλησης, αύξηση φορολογικών εσόδων και βελτίωση της ανταγωνιστικότητας στην αγορά ακινήτων. Εξίσου σημαντική είναι η διαφάνεια της πληροφορίας μέσω ενεργειακών σημάτων και πιστοποιήσεων, που ενισχύουν τη βούληση πληρωμής (willingness-to-pay) και μειώνουν την ασυμμετρία πληροφόρησης μεταξύ αγοραστών και πωλητών (Gholamzadehmir et al., 2025).

Συνεπώς, η ενεργειακή αναβάθμιση δεν αποτελεί απλώς τεχνική ή περιβαλλοντική παρέμβαση, αλλά και στρατηγικό μέσο οικονομικής ενδυνάμωσης και διαφοροποίησης

στην κτηματαγορά. Μέσα από μεθοδολογίες βασισμένες σε εμπειρικά δεδομένα, όπως το CVM και οι αναλύσεις περιθωριακών τιμών, διαμορφώνονται πλέον σαφή εργαλεία για την τεκμηρίωση της αξίας των ενεργειακών επενδύσεων, δίνοντας ουσιαστικά κίνητρα στους ιδιοκτήτες και στους επενδυτές να υιοθετήσουν πρακτικές ανακαίνισης με θετικό αποτύπωμα στην αγορά

Κλείνοντας το κεφάλαιο, η ενεργειακή αναβάθμιση αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο της βιώσιμης δόμησης και της οικολογικά συνειδητής αρχιτεκτονικής. Με την ενσωμάτωση σύγχρονων τεχνολογιών, την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών και την εφαρμογή ολιστικών στρατηγικών, τα κτίρια μπορούν να μετατραπούν σε έξυπνα, ανθεκτικά και ενεργειακά αποδοτικά περιβάλλοντα διαβίωσης. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, προωθείται η προστασία του περιβάλλοντος, η βελτίωση της ποιότητας ζωής και η επίτευξη των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης.

3. Νομοθεσία για την ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων

Η ύπαρξη ενός συνεκτικού και ολοκληρωμένου νομικού πλαισίου αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση για την προώθηση και την αποτελεσματική εφαρμογή των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης στα κτίρια. Ένα σαφές και σταθερό ρυθμιστικό πλαίσιο δημιουργεί τις απαραίτητες συνθήκες εμπιστοσύνης και προβλεψιμότητας, που ενθαρρύνουν τις επενδύσεις σε τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον και ενισχύουν τη συνεργασία μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού τομέα. Η εις βάθος γνώση και συνεχής ενημέρωση σχετικά με τις ισχύουσες νομοθετικές απαιτήσεις είναι κρίσιμη για τους επαγγελματίες, ώστε να υλοποιούνται οι βέλτιστες πρακτικές και να βελτιώνονται διαρκώς τα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης (Κίτσιος, 2025).

Οι πολιτικές και κανονισμοί που υιοθετούνται σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο όχι μόνο προάγουν τη βιώσιμη ανάπτυξη, αλλά αποτελούν και σημαντικά εργαλεία για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την ενίσχυση της ενεργειακής αυτονομίας. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, μέσω οδηγιών και νομοθετημάτων, όπως η Οδηγία 2010/31/ΕΕ για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων, θέτει αυστηρές προδιαγραφές για την κατασκευή νέων κτιρίων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB). Παράλληλα, προωθεί την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι αντλίες θερμότητας, με στόχο την ενεργειακή βελτιστοποίηση και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα (European Commission, 2023).

Η έκδοση ενεργειακών πιστοποιητικών καθιστά δυνατή την ενημέρωση των καταναλωτών για την ενεργειακή απόδοση των ακινήτων, ενισχύοντας τη διαφάνεια στην αγορά και διευκολύνοντας τεκμηριωμένες επιλογές. Επιπρόσθετα, η Ευρωπαϊκή Ένωση στηρίζει οικονομικά τις ενεργειακές αναβαθμίσεις μέσω εργαλείων, όπως το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ERDF), που χρηματοδοτεί έργα με οικολογικό και οικονομικό αντίκτυπο. Τα χρηματοδοτικά μέσα αυτά λειτουργούν ως καταλύτες, επιταχύνοντας την υιοθέτηση πράσινων τεχνολογιών και ενισχύοντας τις πράσινες επενδύσεις σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο (Economidou et al., 2020).

Σημαντικό παράδειγμα εφαρμογής τέτοιων πολιτικών αποτελεί το ιταλικό πρόγραμμα «Superbonus 110%», το οποίο προσφέρει σημαντικές φορολογικές ελαφρύνσεις για παρεμβάσεις θερμομόνωσης, αναβάθμισης συστημάτων θέρμανσης και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών. Αυτή η πολιτική ενίσχυσε τη συμμετοχή των ιδιωτών στην ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων, επιτυγχάνοντας ευρεία αποδοχή και σημαντική ανάπτυξη του τομέα των πράσινων τεχνολογιών (Raut, Marchi and Gaspari, 2025).

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η Συμφωνία του Παρισιού υπογραμμίζει τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων ως βασικό άξονα για την αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης. Οι δεσμεύσεις των χωρών για τη μείωση των εκπομπών CO2 και η προώθηση βιώσιμων πρακτικών στον κατασκευαστικό κλάδο ενισχύουν τη σημασία της νομοθεσίας και των διεθνών πρωτοβουλιών που προωθούν την ενεργειακή αναβάθμιση και τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παράλληλα, πρωτοβουλίες όπως το Sustainable Energy for All (SEforALL) υποστηρίζουν τεχνικά και θεσμικά τις κυβερνήσεις στην ανάπτυξη στρατηγικών για βιώσιμη ενεργειακή μετάβαση, εστιάζοντας στην ισότιμη πρόσβαση στην καθαρή ενέργεια.

Η υλοποίηση των πολιτικών ενεργειακής αναβάθμισης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ύπαρξη χρηματοδοτικών εργαλείων, όπως τα πράσινα δάνεια και οι δημόσιες-ιδιωτικές συμπράξεις (PPPs), που εξασφαλίζουν τη βιωσιμότητα και τη μακροπρόθεσμη απόδοση των επενδύσεων. Επιπλέον, η υποστήριξη της τοπικής αυτοδιοίκησης μέσω τοπικών σχεδίων δράσης για την ενέργεια και το κλίμα (SECAPs) ενισχύει τη συμμετοχή της κοινωνίας και διασφαλίζει την εφαρμογή πολιτικών σε τοπικό επίπεδο, προωθώντας την ενεργειακή αποδοτικότητα και τη βιώσιμη ανάπτυξη (Κίτσιος, 2025).

Συνολικά, το νομοθετικό και κανονιστικό πλαίσιο αποτελεί το βασικό εργαλείο για την επίτευξη των στόχων της ενεργειακής μετάβασης. Μέσω της καθιέρωσης σαφών κανόνων, της παροχής οικονομικών κινήτρων και της ενίσχυσης της συνεργασίας σε διεθνές και τοπικό επίπεδο, οι κυβερνήσεις μπορούν να προωθήσουν αποτελεσματικά την ενεργειακή αποδοτικότητα, μειώνοντας τις εκπομπές και βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής των πολιτών. Η συνεχής αξιολόγηση και προσαρμογή των πολιτικών αυτών εξασφαλίζει τη βιωσιμότητα και την ευελιξία του ενεργειακού συστήματος σε έναν διαρκώς μεταβαλλόμενο κόσμο.

4. Οφέλη της ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων

Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων αποτελεί κρίσιμο εργαλείο για την επίτευξη των εθνικών και ευρωπαϊκών στόχων για την κλιματική ουδετερότητα και τη βιώσιμη ανάπτυξη. Τα οφέλη από τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των υφιστάμενων κτιρίων είναι πολλαπλά και επηρεάζουν θετικά τόσο τους ιδιοκτήτες όσο και τους ενοικιαστές, δημιουργώντας ένα αμοιβαία ωφέλιμο πλαίσιο.

Από την πλευρά των ιδιοκτητών, η ενεργειακή αναβάθμιση αυξάνει την αξία του ακινήτου, μειώνει τους λειτουργικούς κινδύνους και βελτιώνει τη φήμη τους στην αγορά. Τα κτίρια που αναβαθμίζονται ενεργειακά έχουν καλύτερη απόδοση ενοικίασης και μεγαλύτερη ανταγωνιστικότητα, καθώς οι αγοραστές και οι ενοικιαστές δίνουν πλέον αυξανόμενη προσοχή στα χαρακτηριστικά της ενεργειακής απόδοσης και της άνεσης. Παράλληλα, η τήρηση των νέων νομοθετικών και περιβαλλοντικών απαιτήσεων ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο μελλοντικών προστίμων ή δυσμενών ρυθμιστικών αλλαγών, καθιστώντας τα ακίνητα πιο ανθεκτικά στις κλιματικές προκλήσεις και στις αυξανόμενες απαιτήσεις για μείωση του αποτυπώματος άνθρακα (BPIE, 2020).

Οι ενοικιαστές επωφελούνται σημαντικά από τις αναβαθμίσεις, καθώς βελτιώνεται το επίπεδο άνεσης των κατοικιών τους, με μείωση των ενεργειακών δαπανών, βελτιωμένη θερμική και ακουστική άνεση, καθώς και καλύτερη ποιότητα εσωτερικού αέρα, που επιδρά θετικά στην υγεία τους. Η βελτιωμένη διαβίωση συμβάλλει στην αύξηση της ικανοποίησης των κατοίκων και μειώνει τα προβλήματα που σχετίζονται με τη φθορά και τις συχνές επισκευές, μειώνοντας την όχληση στην καθημερινή ζωή τους. Η συμμετοχή των ενοικιαστών στη διαδικασία αναβάθμισης και η διαφάνεια σχετικά με τα οφέλη αυξάνει την αποδοχή των έργων και την πρόθεση διατήρησης της κατοικίας τους μακροπρόθεσμα (BPIE, 2020).

Η ενεργειακή αναβάθμιση πρέπει να σχεδιάζεται και να υλοποιείται με υψηλή ποιότητα, ώστε να επιτυγχάνονται σημαντικά ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη (π.χ. μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά τουλάχιστον 60%) χωρίς να θίγεται η άνεση και η υγεία των κατοίκων. Είναι απαραίτητη η συντονισμένη υλοποίηση των διαφόρων παρεμβάσεων ώστε

να μεγιστοποιείται το ενεργειακό όφελος, χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στη θερμοκρασία, την υγρασία ή τη φυσική φωτεινότητα του χώρου (BPIE, 2020).

Επιπλέον, η χρήση ψηφιακών εργαλείων παρακολούθησης από το στάδιο του σχεδιασμού έως και την παράδοση των έργων, επιτρέπει την ακριβή καταγραφή των επιτευγμάτων και την αξιολόγηση των οφελών σε πραγματικό χρόνο, συμβάλλοντας στην αύξηση της εμπιστοσύνης όλων των εμπλεκομένων μερών. Παράλληλα, τα προγράμματα δημόσιας χρηματοδότησης και τα κίνητρα που βασίζονται στα πολλαπλά οφέλη της ενεργειακής αναβάθμισης ενισχύουν την ευρύτερη υιοθέτηση των βέλτιστων πρακτικών και την προώθηση υγιών και βιώσιμων κατοικιών (BPIE, 2020).

Ένα σημαντικό στοιχείο που δεν έχει ενσωματωθεί στις παρούσες εκτιμήσεις είναι το φαινόμενο της «επανόδου» (rebound effect). Το rebound effect αναφέρεται στη μερική αντιστάθμιση της εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης μετά την υιοθέτηση ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών, είτε λόγω χαμηλότερου κόστους χρήσης είτε λόγω αλλαγής συμπεριφοράς. Για παράδειγμα, μετά την εγκατάσταση θερμομόνωσης ή αποδοτικότερου συστήματος θέρμανσης, οι χρήστες μπορεί να επιλέξουν να αυξήσουν τη θέρμανση ή να χρησιμοποιούν περισσότερο τις ηλεκτρικές συσκευές τους. Έτσι, το πραγματικό όφελος σε όρους μείωσης κατανάλωσης ενέργειας και κόστους μπορεί να είναι χαμηλότερο από το θεωρητικό δυναμικό που παρουσιάζεται στις εκτιμήσεις. Είναι συνεπώς σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη το rebound effect κατά τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση πολιτικών ενεργειακής απόδοσης για να διασφαλιστεί η πραγματική επίτευξη των οικονομικών και περιβαλλοντικών στόχων (Næss-Schmidt, Hansen and Danielsson, 2012).

Παρά το γεγονός ότι η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης οδηγεί σε σημαντική απώλεια εσόδων από φόρους και δασμούς στην ενέργεια, αυτή η εξέλιξη μπορεί να έχει και θετικές επιπτώσεις για τις δημόσιες οικονομίες μακροπρόθεσμα. Η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας μειώνει τη συνολική ζήτηση ενέργειας και τις εκπομπές ρύπων, γεγονός που μπορεί να μειώσει το κόστος δημόσιων δαπανών για υγεία, περιβάλλον και κλιματική αλλαγή. Επιπλέον, οι κυβερνήσεις μπορούν να αναπροσαρμόσουν τη φορολογική τους πολιτική, ενισχύοντας τη φορολόγηση άλλων τομέων, όπως οι εκπομπές άνθρακα ή η

κατανάλωση μη ενεργειακών προϊόντων, ώστε να αντισταθμίσουν τα απωλεσθέντα έσοδα. Τέλος, η στροφή προς μια πιο ενεργειακά αποδοτική οικονομία μπορεί να δημιουργήσει νέες ευκαιρίες απασχόλησης και να ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων (Næss-Schmidt, Hansen and Danielsson, 2012).

Επιπλέον, η αναβάθμιση των κτιρίων συμβάλλει και στη μείωση του άγχους και των ψυχολογικών προβλημάτων, καθώς η βελτίωση του εσωτερικού κλίματος και η καλύτερη πρόσβαση στο φυσικό φως επιδρούν θετικά στη διάθεση και στην ψυχική υγεία των ενοίκων. Μελέτες δείχνουν ότι η επαρκής θέρμανση και ο καλός αερισμός μειώνουν τα συμπτώματα της κατάθλιψης και του στρες, ειδικά σε ευάλωτες κοινωνικές ομάδες όπως ηλικιωμένοι και παιδιά. Επίσης, η χρήση υλικών φιλικών προς το περιβάλλον και η αποφυγή τοξικών υλικών κατά τις ανακαινίσεις έχουν επιπρόσθετα οφέλη για την υγεία, μειώνοντας την έκθεση σε βλαβερές ουσίες που μπορεί να προκαλέσουν αλλεργίες και αναπνευστικά προβλήματα (Næss-Schmidt, Hansen and Danielsson, 2012).

Ακόμη, πέρα από τα άμεσα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από την τόνωση της οικονομικής δραστηριότητας και τη δημιουργία θέσεων εργασίας, οι επενδύσεις στην ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας οδηγεί σε μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, συμβάλλοντας στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και στην επίτευξη των στόχων της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας. Επιπλέον, η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας ενισχύει τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα του κτιριακού αποθέματος, μειώνοντας τα λειτουργικά κόστη και βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής των κατοίκων, κάτι που μπορεί να έχει θετικές επιπτώσεις και στην κοινωνική συνοχή (Næss-Schmidt, Hansen and Danielsson, 2012).

Τέλος, τα οφέλη από την ενεργειακή αποδοτικότητα έχουν σημαντική κοινωνική διάσταση. Η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης συμβάλλει στη βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας και στη μείωση της ενεργειακής φτώχειας, επιτρέποντας σε ευάλωτες κοινωνικές ομάδες να μειώσουν τα έξοδα θέρμανσης και ψύξης. Παράλληλα, η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης βελτιώνει την υγεία του πληθυσμού, μειώνοντας την πίεση στο σύστημα υγείας και αυξάνοντας τη γενική ευημερία. Αυτές οι παράπλευρες ωφέλειες, αν

και δύσκολα ποσοτικοποιήσιμες, ενισχύουν τη συνολική αξία των επενδύσεων στην ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων (Næss-Schmidt, Hansen and Danielsson, 2012).

Πέρα από τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη που αναλύθηκαν, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί η πολύπλευρη κοινωνική αξία των ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων. Η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας μπορεί να μειώσει την ενεργειακή φτώχεια, βελτιώνοντας την πρόσβαση σε επαρκή θέρμανση και ψύξη για ευάλωτες κοινωνικές ομάδες, ενώ παράλληλα συμβάλλει στη μείωση της επιβάρυνσης στα συστήματα υγείας μέσω της προληπτικής αντιμετώπισης ασθενειών που σχετίζονται με την έκθεση σε ακραίες θερμοκρασίες. Η πολυπλοκότητα των ωφελειών και το γεγονός ότι οι επιπτώσεις και τα οφέλη καταμερίζονται σε πολλαπλούς φορείς υποδεικνύουν την ανάγκη για ισχυρές πολιτικές και ρυθμιστικά πλαίσια που θα προωθήσουν αυτές τις επενδύσεις, ειδικά σε κοινωνικά ευάλωτα στρώματα. Τέλος, η ενσωμάτωση ολοκληρωμένων μοντέλων που λαμβάνουν υπόψη και τους περιβαλλοντικούς, κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες θα βελτιώσει την αξιολόγηση και θα διευκολύνει τις αποφάσεις σε όλα τα επίπεδα (Baniassadi et al., 2022).

5. Κόστος ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων

5.1. Κόστος Επένδυσης και Μέσα Χρηματοδότησης για ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων

Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων αποτελεί μια επένδυση που στοχεύει στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών ρύπων, βελτιώνοντας παράλληλα την άνεση και την ποιότητα ζωής των ενοίκων. Ωστόσο, η εφαρμογή τέτοιων παρεμβάσεων συνοδεύεται από σημαντικό αρχικό κόστος, το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη πριν την υλοποίηση. Το επενδυτικό κόστος διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος και το εύρος των παρεμβάσεων, το μέγεθος και τη χρήση του κτιρίου, καθώς και το επίπεδο ενεργειακής απόδοσης που επιδιώκεται.

Η ενεργειακή αναβάθμιση ενός κτιρίου είναι μια σημαντική επένδυση που απαιτεί προσεκτική εκτίμηση των χρημάτων που θα ξοδευτούν και την εξασφάλιση των κατάλληλων πόρων. Πριν ξεκινήσει το έργο, πρέπει να γίνουν αναλυτικές μελέτες που θα λάβουν υπόψη όχι μόνο το αρχικό κόστος, αλλά και τα οφέλη που θα προκύψουν μακροπρόθεσμα από τη μείωση των λειτουργικών εξόδων. Το συνολικό κόστος εξαρτάται από την έκταση των εργασιών, τα χαρακτηριστικά του κτιρίου και τις τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν. Επειδή κάθε κτίριο και έργο είναι διαφορετικό, η οικονομική ανάλυση πρέπει να προσαρμόζεται στις ειδικές ανάγκες και στόχους του κάθε έργου (Κίτσιος, 2025).

Αρχικά, το κόστος μιας ενεργειακής αναβάθμισης περιλαμβάνει τα έξοδα για τη διεξαγωγή ενεργειακών επιθεωρήσεων και μελετών. Οι μελέτες αυτές είναι απαραίτητες για να εντοπιστούν τα σημεία όπου το κτίριο παρουσιάζει σημαντικές ενεργειακές απώλειες και να καθοριστεί ένα βέλτιστο σχέδιο αναβάθμισης. Η ακρίβεια και η ποιότητα των μελετών αυτών καθορίζουν το τελικό αποτέλεσμα της επένδυσης και συμβάλλουν στην αποφυγή περιττών δαπανών (ΥΠΕΝ, 2024).

Το επενδυτικό κόστος χωρίζεται σε άμεσα έξοδα, όπως τα υλικά και την εγκατάσταση, και σε έμμεσα έξοδα, όπως η μελέτη και ο σχεδιασμός. Για παράδειγμα, η τοποθέτηση θερμομονωτικών υλικών έχει μεγάλο αρχικό κόστος, όμως με τον καιρό μειώνει σημαντικά

την κατανάλωση ενέργειας και τα έξοδα λειτουργίας. Η επένδυση αυτή είναι ωφέλιμη γιατί βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση και μειώνει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του κτιρίου (Κίτσιος, 2025).

Ένα σημαντικό μέρος του συνολικού κόστους αφορά την προμήθεια και εγκατάσταση νέων υλικών και τεχνολογιών, όπως μονωτικά υλικά, ενεργειακά αποδοτικά κουφώματα, σύγχρονα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού, καθώς και συστήματα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας (π.χ. φωτοβολταϊκά, ηλιακοί συλλέκτες). Αυτά τα υλικά και συστήματα συνήθως έχουν υψηλό αρχικό κόστος, αλλά μακροπρόθεσμα εξοικονομούν ενέργεια και μειώνουν τα λειτουργικά έξοδα του κτιρίου (Βαχαβιώλος, 2023).

Η αντικατάσταση παλιών συστημάτων θέρμανσης με πιο σύγχρονα, όπως αντλίες θερμότητας ή φωτοβολταϊκά, απαιτεί σημαντικό αρχικό κεφάλαιο. Το κόστος εξαρτάται από το μέγεθος και την ποιότητα του εξοπλισμού και την εγκατάσταση, αλλά συνήθως αποσβένεται μέσα σε λίγα χρόνια χάρη στις οικονομίες στην κατανάλωση ενέργειας. Αυτή η αποπληρωμή είναι βασικός παράγοντας που πρέπει να εξεταστεί για να εκτιμηθεί αν η επένδυση αξίζει μακροπρόθεσμα (Κίτσιος, 2025).

Επιπλέον, το κόστος περιλαμβάνει τις αμοιβές για τους τεχνίτες, τους μηχανικούς και τις εταιρείες που αναλαμβάνουν την εγκατάσταση και την υλοποίηση των παρεμβάσεων. Σε πολλές περιπτώσεις, οι εργασίες αυτές απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό και χρήση ειδικού εξοπλισμού, γεγονός που μπορεί να αυξήσει το κόστος, ειδικά σε κτίρια με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ή δυσκολίες πρόσβασης.

Τα έμμεσα έξοδα περιλαμβάνουν το σχεδιασμό, τις μελέτες βιωσιμότητας και τις διοικητικές διαδικασίες που είναι απαραίτητες για την υλοποίηση του έργου. Αυτές οι δαπάνες μπορεί να είναι υψηλές, ειδικά σε μεγάλα έργα, αλλά είναι απαραίτητες γιατί συμβάλλουν στο να επιτευχθούν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα και να εξασφαλιστεί η μακροχρόνια επιτυχία της επένδυσης. Η προσεκτική διαχείριση και ανάλυση όλων αυτών των στοιχείων είναι κρίσιμη για να πετύχει το έργο. Στο επενδυτικό κόστος πρέπει να συνυπολογιστούν και τα λειτουργικά έξοδα που αφορούν διοικητικές διαδικασίες,

αδειοδοτήσεις, συμβουλευτικές υπηρεσίες και άλλες δευτερεύουσες δαπάνες που είναι απαραίτητες για την ολοκλήρωση του έργου.

Η υλοποίηση ενεργειακών αναβαθμίσεων χρειάζεται οικονομική στήριξη μέσω χρηματοδοτικών εργαλείων, ώστε να γίνει πιο προσιτή στους ιδιοκτήτες. Τα χρηματοδοτικά μέσα που προσφέρονται από κυβερνήσεις και τράπεζες παίζουν σημαντικό ρόλο, καθώς καλύπτουν διαφορετικές ανάγκες και βοηθούν τόσο μικρά όσο και μεγάλα έργα να υλοποιηθούν πιο εύκολα. Έτσι ενισχύεται συνολικά ο τομέας των κατασκευών και προωθείται η ενεργειακή αποδοτικότητα. Τα κρατικά προγράμματα επιδότησης είναι πολύ σημαντικά κίνητρα, καθώς μειώνουν το αρχικό κόστος μέσω φοροαπαλλαγών ή άμεσων επιδοτήσεων. Παραδείγματα όπως το ιταλικό Superbonus 110% δείχνουν πώς τέτοιες πολιτικές αυξάνουν τη ζήτηση για πράσινες τεχνολογίες και βοηθούν στην επίτευξη περιβαλλοντικών στόχων. Με αυτά τα μέτρα, οι ιδιοκτήτες φορτώνονται λιγότερο οικονομικά, ενώ επιταχύνεται η χρήση νέων, φιλικών προς το περιβάλλον λύσεων (Κίτσιος, 2025).

Σε ορισμένες χώρες, υπάρχουν προγράμματα που προσφέρουν άτοκα ή χαμηλότοκα δάνεια για ενεργειακές επενδύσεις, κάνοντας την αναβάθμιση πιο εφικτή. Επιπλέον, οι συμβάσεις ενεργειακής απόδοσης δίνουν τη δυνατότητα σε ειδικές εταιρείες να αναλάβουν το έργο και να πληρώνονται σταδιακά από τα οφέλη που προκύπτουν, μειώνοντας το αρχικό κόστος για τον ιδιοκτήτη. Τέλος, οι συνεργασίες μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού τομέα είναι σημαντικές για τη χρηματοδότηση και υλοποίηση μεγάλων έργων ενεργειακής αναβάθμισης. Με κοινή δράση, εξασφαλίζεται η βιωσιμότητα και η κερδοφορία των επενδύσεων, ενώ παράλληλα προωθείται η καινοτομία και η βιώσιμη ανάπτυξη στον κατασκευαστικό τομέα (Κίτσιος, 2025).

Συνοψίζοντας, το κόστος της ενεργειακής αναβάθμισης αποτελεί ένα πολύπλοκο οικονομικό μέγεθος που περιλαμβάνει πολλές παραμέτρους. Η επιτυχής υλοποίηση απαιτεί λεπτομερή προγραμματισμό, σωστή εκτίμηση κόστους και την επιλογή κατάλληλων χρηματοδοτικών εργαλείων που θα επιτρέψουν την οικονομικά βιώσιμη και περιβαλλοντικά ωφέλιμη αναβάθμιση των κτιρίων.

5.2.Χρηματοδότηση Ενεργειακών Παρεμβάσεων σε Κτίρια

Η χρηματοδότηση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για την επιτυχή υλοποίηση έργων ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων. Η ανάγκη για επεμβάσεις που περιλαμβάνουν την εγκατάσταση νέων, ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων – όπως μονώσεις, κουφώματα, φωτοβολταϊκά, αντλίες θερμότητας ή έξυπνα συστήματα διαχείρισης ενέργειας – προϋποθέτει σε πολλές περιπτώσεις ένα υψηλό αρχικό επενδυτικό κόστος. Αυτό το οικονομικό εμπόδιο αποτελεί έναν από τους βασικούς λόγους για τους οποίους πολλοί ιδιοκτήτες ή επιχειρήσεις διστάζουν να προχωρήσουν σε τέτοιες παρεμβάσεις, παρά τα μακροπρόθεσμα οφέλη.

Σε αυτό το πλαίσιο, οι διαθέσιμες μορφές χρηματοδότησης, είτε πρόκειται για επιδοτούμενα δάνεια, είτε για φορολογικά κίνητρα ή άμεσες επιχορηγήσεις, αναδεικνύονται σε κρίσιμα εργαλεία στήριξης. Η ύπαρξη τέτοιων μηχανισμών χρηματοδοτικής ενίσχυσης επιτρέπει την υπέρβαση των αρχικών οικονομικών φραγμών και καθιστά δυνατή την πρόσβαση σε κεφάλαια, ιδιαίτερα για τα νοικοκυριά με χαμηλότερο εισόδημα ή τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις.

Παράλληλα, οι κρατικές επιδοτήσεις παίζουν στρατηγικό ρόλο στην ενεργοποίηση της αγοράς ενεργειακών υπηρεσιών, δημιουργώντας ένα θετικό οικονομικό περιβάλλον για επενδύσεις σε βιώσιμες τεχνολογίες. Μέσω προγραμμάτων όπως το «Εξοικονομώ», οι ιδιοκτήτες κτιρίων ενθαρρύνονται να υιοθετήσουν λύσεις που μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας και συνεπώς το λειτουργικό τους κόστος.

Σε ευρύτερο επίπεδο, η διευκόλυνση της χρηματοδότησης αυτών των έργων δεν εξυπηρετεί μόνο τους μεμονωμένους ωφελούμενους, αλλά συμβάλλει και στη συλλογική πρόοδο προς έναν πιο βιώσιμο και ενεργειακά αποδοτικό κτιριακό τομέα. Η αναβάθμιση του κτιριακού αποθέματος επιφέρει σημαντική μείωση των εκπομπών ρύπων, ενισχύει την ενεργειακή ασφάλεια της χώρας και υποστηρίζει την επίτευξη των στόχων για την κλιματική ουδετερότητα. Με άλλα λόγια, η χρηματοδότηση δεν είναι απλώς ένα τεχνικό εργαλείο, αλλά ένας στρατηγικός μοχλός ενεργειακής και περιβαλλοντικής πολιτικής, που μπορεί να μετατρέψει το όραμα της βιωσιμότητας σε εφαρμόσιμη πραγματικότητα.

5.2.1. Κρατικά Προγράμματα Επιδότησης

Η υλοποίηση έργων ενεργειακής αναβάθμισης σε κτίρια συνοδεύεται συχνά από υψηλό αρχικό κόστος, γεγονός που αποτελεί σημαντικό ανασταλτικό παράγοντα για πολλά νοικοκυριά και επιχειρήσεις. Αναγνωρίζοντας αυτή τη δυσκολία, η ελληνική Πολιτεία έχει αναπτύξει κρατικά χρηματοδοτικά προγράμματα επιδότησης, με στόχο την ενίσχυση της ενεργειακής αναβάθμισης του κτιριακού αποθέματος και την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης.

Το πλέον εμβληματικό παράδειγμα αυτών των προσπαθειών είναι το πρόγραμμα «Εξοικονομώ», το οποίο αποτελεί την κύρια πλατφόρμα κρατικής παρέμβασης για την προώθηση της ενεργειακής αποδοτικότητας σε κατοικίες. Το πρόγραμμα αυτό επιδοτεί σημαντικό ποσοστό του συνολικού κόστους των ενεργειακών παρεμβάσεων, το οποίο μπορεί να φτάσει ή και να ξεπεράσει το 80%, ανάλογα με συγκεκριμένα εισοδηματικά, κοινωνικά και γεωγραφικά κριτήρια. Η επιλεξιμότητα των δικαιούχων εξαρτάται από παράγοντες όπως το οικογενειακό εισόδημα, η οικογενειακή κατάσταση (π.χ. πολύτεκνοι), η ύπαρξη αναπηρίας ή η μόνιμη κατοικία σε απομακρυσμένες περιοχές (ΥΠΕΝ, 2020b).

Μέσω αυτών των κρατικών προγραμμάτων καλύπτονται πολλαπλές κατηγορίες δαπανών, όπως:

- το κόστος των υλικών (π.χ. θερμομόνωση, κουφώματα, συστήματα θέρμανσης/ψύξης υψηλής απόδοσης),
- οι δαπάνες για τις απαραίτητες τεχνικές μελέτες και την ενεργειακή επιθεώρηση,
- οι εργασίες εγκατάστασης,
- καθώς και το κόστος διαχείρισης του έργου.

Παράλληλα, τα προγράμματα συνοδεύονται συχνά από φορολογικά κίνητρα – όπως έκπτωση φόρου εισοδήματος για ενεργειακές δαπάνες, ή επιτάχυνση της απόσβεσης για επιχειρηματικά ακίνητα – τα οποία ενισχύουν τη συνολική ελκυστικότητα των επενδύσεων σε πράσινες τεχνολογίες.

Ιδιαίτερη βαρύτητα δίδεται στις ευάλωτες κοινωνικές ομάδες, οι οποίες λόγω οικονομικής αδυναμίας έχουν συχνά περιορισμένη πρόσβαση σε ενεργειακές αναβαθμίσεις. Η στοχευμένη επιδότηση αυτών των ομάδων συμβάλλει στη μείωση της ενεργειακής φτώχειας, στη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης και στην ενίσχυση της κοινωνικής συνοχής. Εξασφαλίζεται έτσι μια πιο δίκαιη μετάβαση σε ένα βιώσιμο ενεργειακό μοντέλο, χωρίς αποκλεισμούς.

Πέρα από τον χαρακτήρα της οικονομικής ενίσχυσης, τα κρατικά προγράμματα επιδότησης λειτουργούν και ως στρατηγικά εργαλεία χάραξης δημόσιας πολιτικής. Μέσω της ενεργοποίησης ιδιωτικών κεφαλαίων, ενισχύουν τη συμμετοχή των πολιτών και των επιχειρήσεων στην προσπάθεια μετάβασης σε ένα μοντέλο πράσινης ανάπτυξης. Ταυτόχρονα, η ύπαρξη τέτοιων προγραμμάτων δημιουργεί ένα ευνοϊκό επενδυτικό περιβάλλον, προσελκύοντας κεφάλαια στον τομέα της ενεργειακής αποδοτικότητας και συμβάλλοντας στην τόνωση της οικονομικής δραστηριότητας, κυρίως στους τομείς των κατασκευών, των τεχνικών υπηρεσιών και της πράσινης τεχνολογίας.

Η αποτελεσματικότητα των κρατικών επιδοτήσεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από:

- τον σχεδιασμό των επιμέρους προγραμμάτων,
- τη διαφάνεια και ταχύτητα των διαδικασιών,
- και τη δυνατότητά τους να κινητοποιούν πρόσθετα ιδιωτικά κεφάλαια.

Η πολιτική βούληση και η συνέπεια στην εφαρμογή τέτοιων πολιτικών παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση του ενδιαφέροντος του κοινού και στην επίτευξη των εθνικών και ευρωπαϊκών στόχων για την ενεργειακή μετάβαση και την κλιματική ουδετερότητα (ΥΠΕΝ, 2020b).

5.2.2. Πράσινα Δάνεια από Τράπεζες

Εκτός από τις κρατικές επιδοτήσεις, ένας από τους βασικούς πυλώνες χρηματοδότησης έργων ενεργειακής αναβάθμισης και βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων

είναι τα πράσινα δάνεια. Αυτά τα δάνεια παρέχονται από εμπορικές τράπεζες και άλλους χρηματοπιστωτικούς οργανισμούς, και χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα ευνοϊκούς όρους χρηματοδότησης, οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να υποστηρίξουν επενδύσεις φιλικές προς το περιβάλλον και τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Τα πράσινα δάνεια προσφέρουν συνήθως χαμηλότερα επιτόκια σε σύγκριση με τα παραδοσιακά δάνεια, γεγονός που μειώνει το κόστος χρηματοδότησης για τους δανειολήπτες. Επιπλέον, παρέχουν ευέλικτες επιλογές αποπληρωμής, με περιόδους αποπληρωμής προσαρμοσμένες στις δυνατότητες και τις ανάγκες των δανειοληπτών, κάτι που κάνει τις επενδύσεις πιο προσιτές και βιώσιμες οικονομικά. Μέσω αυτών των δανείων, ιδιώτες, νοικοκυριά αλλά και επιχειρήσεις έχουν την ευκαιρία να υλοποιήσουν έργα ενεργειακής αναβάθμισης χωρίς να δεσμεύονται από το υψηλό αρχικό κόστος που απαιτούν τα έργα αυτά (HDB, 2023).

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των πράσινων δανείων είναι η συνεργασία πολλών τραπεζών με ευρωπαϊκούς χρηματοδοτικούς μηχανισμούς, όπως το European Energy Efficiency Fund (EEEF). Το EEEF έχει ως στόχο να παρέχει στοχευμένη οικονομική στήριξη για επενδύσεις που αφορούν έργα βιώσιμης ενέργειας, τόσο στον δημόσιο όσο και στον ιδιωτικό τομέα. Η συνεργασία αυτή επιτρέπει τη μείωση του χρηματοδοτικού κινδύνου για τις τράπεζες, καθώς και τη δυνατότητα παροχής επιδοτήσεων τόκων ή άλλων μορφών οικονομικής ενίσχυσης προς τους δανειολήπτες. Έτσι, τα πράσινα δάνεια γίνονται ακόμη πιο ελκυστικά και εύκολα προσβάσιμα, ειδικά για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις και τους ιδιώτες, που συχνά αντιμετωπίζουν δυσκολίες στη χρηματοδότηση τέτοιων επενδύσεων μέσω των παραδοσιακών τραπεζικών προϊόντων.

Η βασική φιλοσοφία πίσω από τη σύλληψη και προώθηση των πράσινων δανείων είναι ότι η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται από τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή χρηματοδότησης για την αποπληρωμή του δανείου. Με άλλα λόγια, οι ιδιοκτήτες ή οι επιχειρήσεις που επενδύουν σε ενεργειακές αναβαθμίσεις μπορούν να καλύψουν τις δόσεις του δανείου από τα χρήματα που εξοικονομούν στον λογαριασμό ενέργειας. Αυτό καθιστά

την επένδυση οικονομικά αποδοτική, ακόμα και για όσους έχουν περιορισμένη ρευστότητα ή δεν διαθέτουν άμεσα το απαιτούμενο κεφάλαιο για την αρχική επένδυση.

Επιπλέον, τα πράσινα δάνεια συχνά συνδυάζονται με συμβουλευτικές υπηρεσίες και τεχνική υποστήριξη, που παρέχονται είτε από τις ίδιες τις τράπεζες είτε από συνεργαζόμενους φορείς. Αυτές οι υπηρεσίες βοηθούν τους δανειολήπτες να επιλέξουν τις κατάλληλες τεχνολογίες και να σχεδιάσουν τα έργα τους με τρόπο που να μεγιστοποιεί τα οφέλη από πλευράς ενεργειακής αποδοτικότητας και οικονομίας. Έτσι, αυξάνεται η επιτυχία και η βιωσιμότητα των ενεργειακών επενδύσεων.

Τέλος, τα πράσινα δάνεια συμβάλλουν καθοριστικά στη σταθεροποίηση και ανάπτυξη του «πράσινου» χρηματοδοτικού τομέα. Με την προώθηση τέτοιων χρηματοδοτικών εργαλείων, ενισχύεται η αγορά και η ζήτηση για πράσινες τεχνολογίες, δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας στον τομέα της ενέργειας και της κατασκευής, ενώ παράλληλα προωθείται η μετάβαση σε ένα ενεργειακό μοντέλο χαμηλών εκπομπών άνθρακα, συμβάλλοντας στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής (HDB, 2023).

5.2.3. Συμβάσεις Ενεργειακής Απόδοσης (EPC)

Οι Συμβάσεις Ενεργειακής Απόδοσης (Energy Performance Contracts - EPC) αποτελούν μία καινοτόμο και ιδιαίτερα αποδοτική μέθοδο χρηματοδότησης έργων ενεργειακής αναβάθμισης, η οποία διαφοροποιείται σημαντικά από τις παραδοσιακές μορφές επενδύσεων. Το βασικό χαρακτηριστικό αυτής της προσέγγισης είναι ότι η υλοποίηση των έργων και το αρχικό επενδυτικό κόστος αναλαμβάνονται εξ ολοκλήρου από μια εξειδικευμένη εταιρεία ενεργειακών υπηρεσιών, γνωστή ως ESCO (Energy Service Company).

Στην πράξη, η ESCO σχεδιάζει, χρηματοδοτεί, εγκαθιστά και διαχειρίζεται τις τεχνικές παρεμβάσεις που στοχεύουν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου ή ενός συνόλου κτιρίων. Οι παρεμβάσεις αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, τη βελτίωση της μόνωσης, την αντικατάσταση παλαιών συστημάτων θέρμανσης, ψύξης ή φωτισμού με πιο αποδοτικά, την ενσωμάτωση συστημάτων ανανεώσιμης ενέργειας, καθώς

και την εγκατάσταση συστημάτων αυτοματισμού και διαχείρισης ενέργειας (Φελώνης, 2015).

Η αποπληρωμή της ESCO δεν γίνεται με την παραδοσιακή μορφή δανείου ή άμεσης αγοράς, αλλά βασίζεται στις εξοικονομήσεις που προκύπτουν από τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Συγκεκριμένα, το συμφωνημένο ποσό αποπληρωμής αντιστοιχεί σε ένα μέρος των χρημάτων που ο ιδιοκτήτης κερδίζει από τη μειωμένη κατανάλωση ενέργειας μετά την εφαρμογή των παρεμβάσεων. Με αυτόν τον τρόπο, η αποπληρωμή του κόστους γίνεται σταδιακά και μόνο όσο διαρκεί η εξοικονόμηση.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του μοντέλου EPC είναι ότι το αρχικό οικονομικό βάρος μεταφέρεται στην ESCO, η οποία αναλαμβάνει τόσο το χρηματοδοτικό ρίσκο όσο και το επιχειρησιακό, δηλαδή τη διασφάλιση της απόδοσης των παρεμβάσεων. Η εταιρεία είναι λοιπόν εξαιρετικά κινδυνολογικά ευαίσθητη, αφού το κέρδος της εξαρτάται άμεσα από την επίτευξη των προβλεπόμενων ενεργειακών εξοικονομήσεων. Αν οι παρεμβάσεις δεν πετύχουν τα προσδοκώμενα αποτελέσματα, η ESCO δεν εισπράττει το συμφωνημένο ποσό ή το εισπράττει μειωμένο, κάτι που λειτουργεί ως κίνητρο για την παροχή ποιοτικών και αποδοτικών λύσεων.

Αυτή η μορφή χρηματοδότησης είναι ιδιαίτερα δημοφιλής και αποτελεσματική στον δημόσιο τομέα, όπου συχνά η έλλειψη άμεσων κεφαλαίων και η ανάγκη για ενεργειακές βελτιώσεις είναι έντονες. Δημόσια κτίρια, όπως σχολεία, νοσοκομεία, διοικητικά κτίρια, αλλά και μεγάλες επιχειρήσεις επωφελούνται από το EPC καθώς μπορούν να προχωρήσουν σε σημαντικές ενεργειακές αναβαθμίσεις χωρίς να επιβαρύνουν άμεσα τον προϋπολογισμό τους. Επιπλέον, το μοντέλο αυτό μειώνει τη γραφειοκρατία και επιταχύνει την υλοποίηση έργων, καθώς η ευθύνη και η διαχείριση ανατίθενται σε έναν εξειδικευμένο και υπεύθυνο φορέα.

Τέλος, οι Συμβάσεις Ενεργειακής Απόδοσης συμβάλλουν στην ευρύτερη ενεργειακή στρατηγική των οργανισμών και των δημόσιων φορέων, καθώς συνδέουν την επένδυση άμεσα με αποτελέσματα και μετρήσιμες βελτιώσεις. Αυτό το μοντέλο χρηματοδότησης προωθεί την ενεργειακή αυτονομία, μειώνει το λειτουργικό κόστος και συνεισφέρει στην

επίτευξη περιβαλλοντικών στόχων, καθιστώντας το ένα πολύτιμο εργαλείο για τη βιώσιμη ανάπτυξη (Φελώνης, 2015).

5.2.4. Ευρωπαϊκά προγράμματα

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) διαδραματίζει καταλυτικό ρόλο στην προώθηση της ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων, προσφέροντας ένα ευρύ φάσμα χρηματοδοτικών εργαλείων και προγραμμάτων στήριξης. Μέσα από στρατηγικά σχεδιασμένες πολιτικές και πρωτοβουλίες, στοχεύει στη μετάβαση όλων των κρατών-μελών προς μια βιώσιμη, "πράσινη" και ενεργειακά αποδοτική οικονομία**.** Στο πλαίσιο αυτό, η ενεργειακή αναβάθμιση του κτιριακού αποθέματος εντάσσεται ως προτεραιότητα, με επίκεντρο τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και την αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Ένα από τα σημαντικότερα ευρωπαϊκά χρηματοδοτικά εργαλεία είναι **το** Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (European Regional Development Fund – ERDF)**.** Το ERDF χρηματοδοτεί έργα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης τόσο σε δημόσια όσο και σε ιδιωτικά κτίρια, με στόχο τη στήριξη των τοπικών οικονομιών και τη μείωση των ανισοτήτων ανάμεσα στις ευρωπαϊκές περιφέρειες. Η δράση του επικεντρώνεται στην ανακαίνιση και ενεργειακή αναβάθμιση υφιστάμενων κτιρίων, στην ενίσχυση της ενεργειακής αυτονομίας, αλλά και στην κατασκευή νέων, βιώσιμων υποδομών με χαμηλό ενεργειακό αποτύπωμα. Το Ταμείο αυτό αποτελεί κρίσιμο μηχανισμό για τη χρηματοδότηση μικρομεσαίων επιχειρήσεων, δημόσιων φορέων και δημοτικών δομών**,** ιδίως σε λιγότερο ανεπτυγμένες περιοχές (Υπουργείο Οικονομικών, 2022).

Παράλληλα, ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το πρόγραμμα Horizon Europe, το οποίο αποτελεί τη ναυαρχίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την έρευνα και την καινοτομία την περίοδο 2021–2027. Μέσα από αυτό, χρηματοδοτούνται έργα ανάπτυξης και εφαρμογής καινοτόμων τεχνολογιών στον τομέα της ενέργειας**,** με ιδιαίτερη έμφαση στην ενεργειακή αποδοτικότητα, τις "έξυπνες" λύσεις διαχείρισης ενέργειας και τις καθαρές μορφές παραγωγής. Το πρόγραμμα στοχεύει στην ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της ευρωπαϊκής οικονομίας**,** ενώ ταυτόχρονα συμβάλλει ουσιαστικά στην επίτευξη των στόχων

για κλιματική ουδετερότητα έως το 2050**,** σύμφωνα με τη στρατηγική της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας (Green Deal) (Horizon Europe, 2020).

Τα ευρωπαϊκά προγράμματα, όπως το ERDF και το Horizon Europe, δεν παρέχουν μόνο χρηματοδότηση, αλλά καλλιεργούν επίσης την τεχνογνωσία και τη διακρατική συνεργασία**.** Μέσω της ανταλλαγής βέλτιστων πρακτικών, της τεχνικής υποστήριξης και της δημιουργίας δικτύων, ενισχύεται η δυνατότητα των κρατών-μελών να σχεδιάσουν και να υλοποιήσουν αποτελεσματικές ενεργειακές πολιτικές σε τοπικό και εθνικό επίπεδο.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η πρόσβαση σε αυτά τα χρηματοδοτικά εργαλεία συνοδεύεται από αυστηρά κριτήρια αξιολόγησης, που διασφαλίζουν την αποτελεσματικότητα, τη βιωσιμότητα και τη διαφάνεια των επενδύσεων. Κατά συνέπεια, η ενσωμάτωση των ευρωπαϊκών προγραμμάτων στον σχεδιασμό ενεργειακών παρεμβάσεων αποτελεί καίριο παράγοντα επιτυχίας για κάθε στρατηγική ενεργειακής αναβάθμισης, προσφέροντας πόρους, τεχνογνωσία και κοινό όραμα για ένα πράσινο μέλλον.

Συμπερασματικά, η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων είναι μια απαραίτητη επένδυση για το μέλλον, τόσο από περιβαλλοντική όσο και από οικονομική σκοπιά. Το αρχικό κόστος της, αν και υψηλό, μπορεί να καλυφθεί μέσα από ένα ευρύ φάσμα χρηματοδοτικών εργαλείων, κρατικών ενισχύσεων και συνεργασιών. Με τον σωστό προγραμματισμό, τις κατάλληλες επιλογές και την αξιοποίηση των διαθέσιμων μηχανισμών, η ενεργειακή αναβάθμιση μπορεί να γίνει εφικτή, προσιτή και ιδιαίτερα ωφέλιμη για όλους τους εμπλεκόμενους – ιδιοκτήτες, ενοίκους, αλλά και την κοινωνία στο σύνολό της.

5.3.Το κόστος της ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων στην Ελλάδα

Το κόστος για τις ενεργειακές αναβαθμίσεις των κτιρίων στην Ελλάδα εκτιμάται μεταξύ 300 και 500 ευρώ ανά τετραγωνικό μέτρο, με την απόσβεση να αναμένεται μέσα σε 6 έως 8 χρόνια. Στα νέα κτίρια ενεργειακής κλάσης Α+ προβλέπεται αύξηση κόστους κατασκευής περίπου 10%, όμως η απόσβεση αυτού του επιπλέον κόστους υπολογίζεται σε 3 έως 5 χρόνια λόγω της σημαντικής μείωσης στην κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον, για την εφαρμογή των μέτρων θα δοθούν κίνητρα και αντικίνητρα, ενώ η ενεργειακή αναβάθμιση

των υφιστάμενων κτιρίων, ιδιαίτερα εκείνων με κακή ενεργειακή συμπεριφορά, θα γίνει σταδιακά, ώστε να επιτευχθούν οι νέοι στόχοι εξοικονόμησης ενέργειας (ecopress, 2024).

Σε έρευνα του Ρουσάνογλου, (2023), υπολογίζεται ότι το κόστος της ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων εκτιμάται περίπου στα 312,5 ευρώ ανά τετραγωνικό μέτρο, δηλαδή γύρω στα 25.000 ευρώ για ένα τυπικό διαμέρισμα 80 τ.μ., προκειμένου να βελτιωθεί η ενεργειακή του κατηγορία κατά δύο ή περισσότερες θέσεις. Το ποσό αυτό έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω της ανόδου των τιμών των υλικών κατασκευής, και πριν από μερικά χρόνια κυμαινόταν μεταξύ 15.000 και 20.000 ευρώ. Μέσω προγραμμάτων όπως το «Εξοικονομώ Κατ' Οίκον», παρέχεται επιδότηση έως και 75%, ανάλογα με το εισόδημα του δικαιούχου, γεγονός που καθιστά πιο προσιτή την αναβάθμιση. Ωστόσο, το συνολικό μέγεθος των επενδύσεων που απαιτούνται για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιριακού αποθέματος της χώρας εκτιμάται σε δεκάδες δισεκατομμύρια ευρώ, γεγονός που καθιστά το εγχείρημα ιδιαίτερα απαιτητικό σε επίπεδο χρηματοδότησης και υποδομών.

6. Παραδείγματα καλών πρακτικών ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων

Η ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων αποτελεί κρίσιμο βήμα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, την προστασία του περιβάλλοντος και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των χρηστών. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά επιλεγμένα παραδείγματα καλών πρακτικών που καλύπτουν διάφορους τύπους κτιρίων και γεωγραφικά περιβάλλοντα, επισημαίνοντας καινοτόμες μεθόδους, ολοκληρωμένες προσεγγίσεις και τεχνολογικές λύσεις που έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητά τους.

Ενεργειακή αναβάθμιση και βελτίωση άνεσης σε σχολική βιβλιοθήκη στην Αυστραλία – Προσέγγιση Net-Zero Energy Building

Μια σημαντική περίπτωση ενεργειακής αναβάθμισης που εστιάζει τόσο στην εξοικονόμηση ενέργειας όσο και στη διασφάλιση της άνεσης παρουσιάζεται σε ένα έργο αναβάθμισης της βιβλιοθήκης ενός γυμνασίου στο Essendon, κοντά στη Μελβούρνη της Αυστραλίας. Το κτίριο υποβλήθηκε σε παρεμβάσεις που περιλάμβαναν τη βελτίωση του κτιριακού κελύφους με διπλά τζάμια και αεροστεγανότητα σύμφωνα με διεθνή πρότυπα, την εφαρμογή ενός εξελιγμένου μηχανολογικού συστήματος με ελεγχόμενη ζώνη αερισμού και τη χρήση LED φωτισμού με αισθητήρες κίνησης και φυσικού φωτισμού. Η αξιολόγηση πριν και μετά την αναβάθμιση περιλάμβανε μετρήσεις πίεσης, ρυθμών αερισμού, θερμοκρασιακής στρωμάτωσης, ποιότητας εσωτερικού αέρα και συνεχείς έρευνες άνεσης των χρηστών.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, χάρη στην αναβάθμιση του κελύφους και την αποδοτικότητα του συστήματος κλιματισμού, η ισχύς του τελευταίου μπορούσε να μειωθεί σχεδόν στο μισό, ενώ η βελτίωση του φωτισμού μείωσε σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας του χώρου. Επίσης, αναδείχθηκε η ανάγκη ελέγχου των φορτίων από τις συσκευές (plug loads) για την επίτευξη στόχων Net-Zero Energy Building. Η μελέτη τονίζει τη σημασία της ολιστικής προσέγγισης στην ενεργειακή αναβάθμιση, όπου η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών και η συνεχής μέτρηση της απόδοσης εξασφαλίζουν ενεργειακή αποδοτικότητα χωρίς να θυσιάζεται η άνεση των χρηστών (Luther, Horan and Tokede, 2018).

Ολιστική ενεργειακή και περιβαλλοντική αναβάθμιση δημοσίων κτιρίων στο πλαίσιο του έργου BRITA in PuBs

Ένα αξιόλογο παράδειγμα εφαρμογής ενεργειακής αναβάθμισης αποτελεί το ευρωπαϊκό έργο "BRITA in PuBs", το οποίο επικεντρώνεται στην καινοτόμο αναβάθμιση δημοσίων κτιρίων. Η μελέτη του Ardente και συνεργατών (έτος) παρουσίασε μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση ενέργειας και περιβαλλοντικών επιπτώσεων με βάση την προσέγγιση κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment – LCA).Η ανάλυση κάλυψε βασικά στοιχεία όπως: τα υλικά και τα δομικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις αναβαθμίσεις, τα συστήματα ενέργειας (συμβατικά και ανανεώσιμα), καθώς και τις επιπτώσεις από την κατασκευή σε επίπεδο στοιχείων και συνολικού κτιρίου.

Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων, αναπτύχθηκαν σύνθετοι δείκτες όπως οι χρόνοι απόσβεσης ενέργειας και περιβαλλοντικών επιπτώσεων (GWP payback times) και ο λόγος απόδοσης ενέργειας (energy return ratio). Η μελέτη υπογραμμίζει τη σημασία της χρήσης της προσέγγισης κύκλου ζωής στην επιλογή των πιο αποτελεσματικών λύσεων κατά το σχεδιασμό και την υλοποίηση ενεργειακών αναβαθμίσεων, εξασφαλίζοντας όχι μόνο μείωση της κατανάλωσης ενέργειας αλλά και περιβαλλοντική βιωσιμότητα σε όλη τη διάρκεια ζωής των κτιρίων (Ardente et al., 2011).

Αυτή η προσέγγιση υπογραμμίζει τη σημασία της ανάλυσης του κύκλου ζωής ως βασικό εργαλείο στην επιλογή των πιο αποδοτικών και βιώσιμων λύσεων κατά το σχεδιασμό και την υλοποίηση ενεργειακών αναβαθμίσεων, προωθώντας τόσο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας όσο και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα σε βάθος χρόνου.

Ενεργειακή αναβάθμιση στη βιομηχανία αλουμινίου μέσω καινοτόμων τεχνολογιών επανατοποθέτησης

Εκτός από τις κατοικίες και τα εμπορικά κτίρια, η ενεργειακή αναβάθμιση αποκτά κρίσιμη σημασία και στον βιομηχανικό τομέα, όπου η κατανάλωση ενέργειας είναι ιδιαίτερα υψηλή. Μια πρόσφατη μελέτη εξέτασε τον κλάδο της παραγωγής αλουμινίου, ο οποίος θεωρείται από τους πιο ενεργοβόρους στη βιομηχανία της Ευρώπης. Η μελέτη αυτή εστιάζει σε καινοτόμες στρατηγικές αναβάθμισης, όπως η εφαρμογή της τεχνολογίας επαγωγής συνεχούς ρεύματος (DC induction), που αναμένεται να αυξήσει την ενεργειακή απόδοση κατά 50% σε σύγκριση με τις παραδοσιακές τεχνικές επαγωγής εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) και την καύση φυσικού αερίου. Η ανάλυση περιβαλλοντικού κύκλου ζωής (LCA) σε τέσσερα διαφορετικά ενεργειακά μείγματα χωρών της Ευρώπης έδειξε μειώσεις έως και 8% στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, με τη Γαλλία να παρουσιάζει το καλύτερο σενάριο.

Αντίθετα, στην Ελλάδα παρατηρήθηκε αύξηση των εκπομπών κατά περίπου 150%, γεγονός που υπογραμμίζει τη σημασία της προσαρμογής της τεχνολογίας στο τοπικό ενεργειακό μείγμα. Η μελέτη αναδεικνύει επίσης την ανάγκη αξιολόγησης των περιβαλλοντικών εξωτερικών κόστους, τονίζοντας την προστιθέμενη αξία της ενεργειακής και περιβαλλοντικής αποδοτικότητας σε υφιστάμενους βιομηχανικούς φούρνους προθέρμανσης και τήξης που λειτουργούν με φυσικό αέριο. Αυτό το παράδειγμα δείχνει πως η ενεργειακή αναβάθμιση, συνδυάζοντας καινοτόμες τεχνολογίες και περιβαλλοντική ανάλυση, μπορεί να συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος σε πολύπλοκους βιομηχανικούς τομείς (Royo et al., 2018).

Η μελέτη τονίζει τη σημασία της ολοκληρωμένης αξιολόγησης περιβαλλοντικών εξωτερικών κόστους και προβάλλει την προστιθέμενη αξία της ενεργειακής και περιβαλλοντικής αποδοτικότητας για βιομηχανικές μονάδες, υπογραμμίζοντας τη δυνατότητα ουσιαστικής μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μέσω καινοτόμων τεχνολογικών παρεμβάσεων.

Βελτιστοποίηση ενεργειακών συστημάτων για την αναβάθμιση κτιρίων σε αστικό περιβάλλον – Μια μελέτη περίπτωσης από την Κίνα

Η αναβάθμιση κτιρίων σε αστικά κέντρα απαιτεί πολύπλοκες αποφάσεις σχετικά με την επιλογή και το συνδυασμό τεχνολογιών, την τοποθεσία τους και τα χρησιμοποιούμενα

καύσιμα. Σε αυτό το πλαίσιο, μια μελέτη από την Κίνα εφαρμόζει ένα μαθηματικό μοντέλο μεικτής ακέραιας μη γραμμικής βελτιστοποίησης για τον σχεδιασμό και τη λειτουργία ενός ολοκληρωμένου αστικού ενεργειακού συστήματος, που περιλαμβάνει τεχνολογίες από την πλευρά της προσφοράς και της ζήτησης. Η ανάλυση τριών σεναρίων έδειξε ότι η αναβάθμιση του κελύφους των κτιρίων σε συνδυασμό με την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών, γεωθερμικών αντλιών θερμότητας και συστημάτων συμπαραγωγής φυσικού αερίου μπορεί να μειώσει έως και 57,7% την ανάγκη για θέρμανση χώρου και 50% τις εκπομπές CO2. Η ευαισθητοποίηση και η πολυ-κριτηριακή βελτιστοποίηση υπογραμμίζουν τη σημαντική επιρροή των εκπομπών CO2 στις αποφάσεις σχεδιασμού. Αυτή η μεθοδολογία επιτρέπει την κατανόηση των συμβιβασμών μεταξύ διαφόρων τεχνολογιών και την αξιολόγηση του δυναμικού τους για μια πιο βιώσιμη και αποδοτική ενεργειακή αναβάθμιση αστικών κτιρίων (Zheng et al., 2017). Αυτή η μεθοδολογία αναδεικνύει τους σχεδιαστικούς συμβιβασμούς και επιτρέπει την επιλογή βέλτιστων συνδυασμών τεχνολογιών για βιώσιμη ενεργειακή αναβάθμιση αστικών κτιρίων.

Χρήση Φασματικών Υλικών Αλλαγής Φάσης (PCMs) στην ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων

Η αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων αποτελεί κρίσιμο βήμα για την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Μια καινοτόμος πρακτική που έχει μελετηθεί είναι η ενσωμάτωση υλικών αλλαγής φάσης (Phase Change Materials - PCMs) σε αδιαφανή στοιχεία του κτιριακού κελύφους. Η αποτελεσματική χρήση των PCMs εξαρτάται από την επιλογή κατάλληλων θερμοφυσικών ιδιοτήτων, την ποσότητα και τη θέση τους μέσα στη δομή του τοίχου.

Η μελέτη παρουσιάζει μια πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση που λαμβάνει υπόψη την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, το κόστος επένδυσης, καθώς και τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης. Μελετήθηκαν σενάρια τοποθέτησης ενός ή δύο στρωμάτων PCMs με διαφορετικές θερμοκρασίες τήξης, είτε στην εσωτερική είτε στην εξωτερική πλευρά του τοίχου. Η βελτιστοποίηση επίσης περιελάμβανε παράγοντες όπως ο τύπος παραθύρου, τα μονωτικά υλικά και η διαμόρφωση του τοίχου.

Τα αποτελέσματα ανέδειξαν τη σημαντική επίδραση της λειτουργίας των συστημάτων HVAC στην επιλογή των βέλτιστων θερμοφυσικών χαρακτηριστικών των PCMs, επιβεβαιώνοντας ότι η ορθολογική ενσωμάτωση αυτών των υλικών μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ενεργειακή απόδοση και να μειώσει το συνολικό κόστος λειτουργίας των κτιρίων (Cascone, Capozzoli and Perino, 2018). Η μελέτη καταδεικνύει ότι η ορθολογική ενσωμάτωση PCMs μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ενεργειακή απόδοση και να μειώσει το συνολικό κόστος λειτουργίας κτιρίων, αποτελώντας πολύτιμο εργαλείο στην ενεργειακή αναβάθμιση.

Μετατροπή υφιστάμενων κατοικιών σε Net Zero-Energy Buildings στην Αίγυπτο

Οι υπάρχοντες κατοικίες στην Αίγυπτο παρουσιάζουν χαμηλά επίπεδα θερμομόνωσης, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας για τη διατήρηση θερμικής άνεσης. Μια πρόσφατη μελέτη ανέπτυξε έναν ολοκληρωμένο οδηγό ενεργειακής αναβάθμισης, ο οποίος εφαρμόστηκε πιλοτικά σε ένα κτίριο κατοικιών στο Κάιρο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι είναι εφικτή η μετατροπή ενός υπάρχοντος κτιρίου σε Net Zero-Energy Building μέσω της εφαρμογής των προτεινόμενων ενεργειακών παρεμβάσεων, οι οποίες περιλαμβάνουν βελτιώσεις στη θερμομόνωση και την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ.

Επιπλέον, η οικονομική ανάλυση κατέδειξε ότι το κόστος των παρεμβάσεων είναι προσιτό, δεδομένων των υλικών που είναι διαθέσιμα στην αγορά και της τεχνολογίας που χρησιμοποιήθηκε. Αυτή η περίπτωση αποτελεί σημαντικό παράδειγμα βιώσιμης και οικονομικά εφικτής ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων σε θερμά κλίματα, με ορίζοντα την επίτευξη μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης και μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Albadry, Tarabieh and Sewilam, 2017). Η ολοκληρωμένη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με βελτιστοποιημένο αερισμό ενισχύει την ενεργειακή απόδοση και μειώνει τα λειτουργικά κόστη των κτιρίων.

Τα παραπάνω παραδείγματα αναδεικνύουν ότι η ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων απαιτεί μια πολυδιάστατη και ολιστική προσέγγιση, η οποία περιλαμβάνει την επιλογή κατάλληλων τεχνολογιών και υλικών με βάση το τοπικό ενεργειακό και περιβαλλοντικό πλαίσιο, τη συνεχή μέτρηση και αξιολόγηση της απόδοσης των παρεμβάσεων, την ενσωμάτωση

καινοτόμων λύσεων όπως τα Φασματικά Υλικά Αλλαγής Φάσης (PCMs) και τα συστήματα συμπαραγωγής, καθώς και την ευαισθητοποίηση των χρηστών και τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών των συστημάτων θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού (HVAC). Η εφαρμογή αυτών των καλών πρακτικών μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και του λειτουργικού κόστους, συμβάλλοντας έτσι στην προαγωγή της αειφόρου ανάπτυξης και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής.

ΜΕΡΟΣ Β' – ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ Α & Β ΤΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ

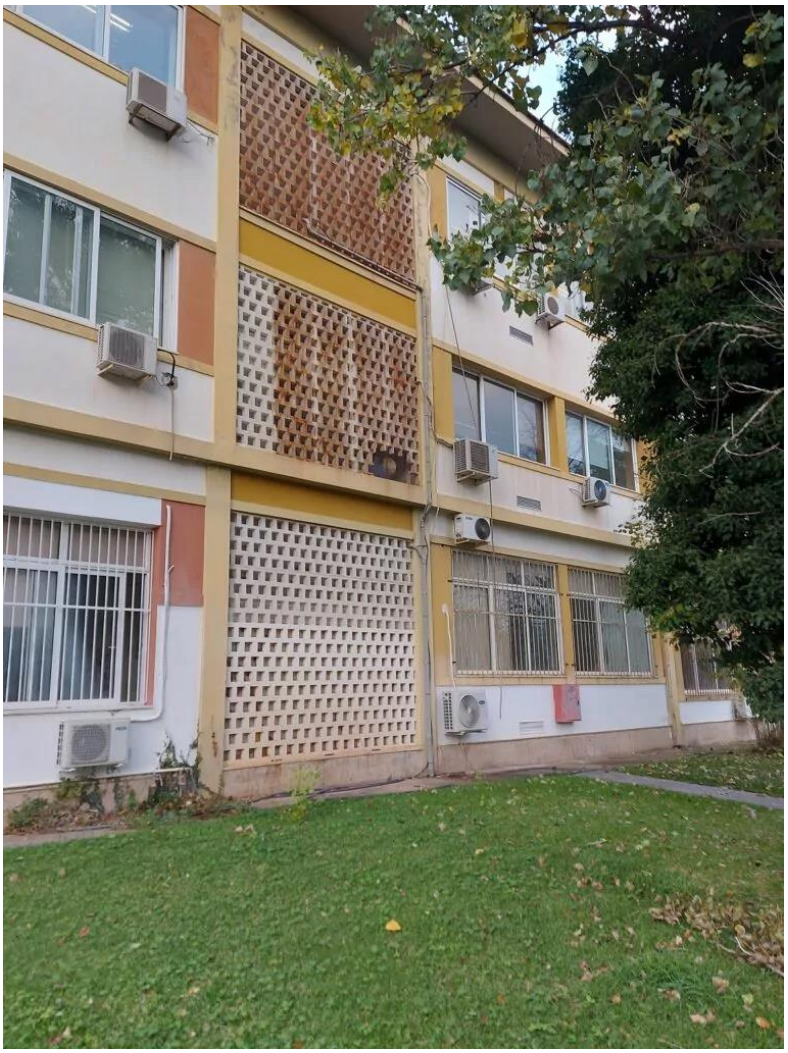
1. Υφιστάμενη Κατάσταση Κτιρίων Α και Β του Πανεπιστημίου Πατρών

Τα Κτίρια Α και Β του Πανεπιστημίου Πατρών αποτελούν τα πρώτα οικοδομήματα που ανεγέρθηκαν στον χώρο της πανεπιστημιούπολης και φέρουν σημαντική ιστορική και αρχιτεκτονική αξία. Σχεδιάστηκαν από τον διακεκριμένο αρχιτέκτονα Ιωάννη Κουμανούδη, αποτελώντας μια επιτυχημένη σύνθεση μοντέρνου και παραδοσιακού αρχιτεκτονικού ύφους. Το Κτίριο Α στεγάζει την Πρυτανική Αρχή, ενώ το Κτίριο Β φιλοξενεί τμήματα όπως των Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Ιστορίας-Αρχαιολογίας και Φυσικοθεραπείας.



Εικόνα 1 Κτίριο Α πριν την ενεργειακή αναβάθμιση (Ριζογιάννη, 2023)

Αρχιτεκτονικά, τα δύο κτίρια χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερη μορφολογική επεξεργασία στις όψεις τους, με ένθετα διακοσμητικά στοιχεία και λίθινες επιφάνειες που αποτυπώνουν την ταυτότητα και τον συμβολικό τους ρόλο στον χώρο του Πανεπιστημίου. Αποτελούν σημείο αναφοράς τόσο για την πανεπιστημιακή κοινότητα όσο και για το ευρύτερο κοινό.



Εικόνα 2 Κτίριο Β πριν την ενεργειακή αναβάθμιση (Ριζογιάννη, 2023)

Ωστόσο, σήμερα βρίσκονται σε φάση προγραμματισμένης ενεργειακής αναβάθμισης, γεγονός που έχει προκαλέσει έντονες αντιδράσεις από το Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών. Το Τμήμα εκφράζει την ανησυχία ότι οι επεμβάσεις –κυρίως η εφαρμογή θερμοπρόσοψης από πολυστερίνη σε όλες τις εξωτερικές επιφάνειες– θα αλλοιώσουν τις αρχιτεκτονικές αναλογίες, θα εξαφανίσουν την τρισδιάστατη μορφολογία των όψεων και θα καλύψουν ιστορικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά. Η υφιστάμενη κατάσταση των κτιρίων, λοιπόν,

είναι αυτή ενός αρχιτεκτονικά σημαντικού και ιστορικά φορτισμένου συγκροτήματος, το οποίο χρήζει ενεργειακής αναβάθμισης αλλά ταυτόχρονα απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή ως προς τη διατήρηση της αρχιτεκτονικής του ταυτότητας. Το ζήτημα έχει πλέον τεθεί υπό την κρίση του Υπουργείου Πολιτισμού, ώστε να εξευρεθεί λύση που θα συνδυάζει την ενεργειακή αναβάθμιση με την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς των κτιρίων (Ριζογιάννη, 2023).

2. Παρεμβάσεις για την ενεργειακή αναβάθμιση των Κτιρίων Α και Β του Πανεπιστημίου Πατρών

2.1.Κτίριο Α

2.1.1. Οικοδομικές εργασίες

Κατασκευή Εξωτερικής Θερμομόνωσης Κελύφους

Η ενεργειακή αναβάθμιση του Κτιρίου Α περιλαμβάνει την εφαρμογή εξωτερικής θερμομόνωσης σε όλο το κέλυφος του κτιρίου. Η εξωτερική θερμομόνωση έχει ως βασικό σκοπό την ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών κατά τη διάρκεια του χειμώνα και την αποφυγή υπερθέρμανσης τους καλοκαιρινούς μήνες. Για την υλοποίηση αυτής της εργασίας ακολουθούνται οι κανονισμοί και οι προδιαγραφές που ορίζει ο νέος ΚΕΝΑΚ (Κτιριακός Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων), καθώς και οι σχετικές ελληνικές και ευρωπαϊκές τεχνικές προδιαγραφές.

Συγκεκριμένα, η θερμομόνωση εφαρμόζεται με τη χρήση συστημάτων εξωτερικής θερμομόνωσης τύπου ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems), τα οποία συνδυάζουν τη θερμομονωτική πλάκα με προστατευτικό επίχρισμα. Το σύστημα αυτό διασφαλίζει την ομοιογένεια της θερμομόνωσης σε ολόκληρη την επιφάνεια των τοίχων, εμποδίζοντας τη δημιουργία θερμογεφυρών και βελτιώνοντας σημαντικά τη θερμική άνεση εντός του κτιρίου. Επιπλέον, η χρήση υλικών που φέρουν σήμανση CE και πιστοποιήσεις κατά ETAG 004 εγγυάται την ποιότητα και τη μακροχρόνια αντοχή της κατασκευής (Σάνης, 2021a).

Πίνακας 1 Υλικά στο Κτίριο Α (Σάνης, 2021a)

Υλικό	**Πάχος (m)**	**Θερμική αγωγιμότητα (λ) W/m·K**	**Θερμική αντίσταση (R) m²K/W**
Εξωτερική τοιχοποιία	0.30	0.60	0.5

EPS (θερμομονωτικό υλικό)	0.08	0.032	2.5
Βάση κόλλας και επίχρισμα	0.007	0.80 (μέσος όρος)	0.009

Προπαρασκευαστικές Εργασίες: Καθαιρέσεις και Αποξηλώσεις

Πριν την εφαρμογή της θερμομόνωσης, απαιτούνται συγκεκριμένες προπαρασκευαστικές εργασίες που αφορούν την αποξήλωση εξωτερικών στοιχείων του κτιρίου, όπως μονάδες κλιματισμού, προβολείς, κουδούνια, κιγκλιδώματα και διάφορα διακοσμητικά στοιχεία που βρίσκονται στην εξωτερική επιφάνεια των τοίχων. Η αποξήλωση γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή, ώστε τα στοιχεία να μη καταστραφούν και να μπορούν να επανατοποθετηθούν μετά την ολοκλήρωση της θερμομόνωσης. Για την τεκμηρίωση της διαδικασίας, προηγείται φωτογραφική καταγραφή όλων των διακοσμητικών στοιχείων, ώστε να διασφαλιστεί η σωστή επανατοποθέτηση στην αρχική τους θέση.

Επιπλέον, γίνεται έλεγχος και επισκευή των υδρορροών, με ιδιαίτερη προσοχή στις περιπτώσεις όπου είναι εγκιβωτισμένες μέσα στο κέλυφος. Στόχος είναι η αποφυγή προβλημάτων υγρασίας που θα μπορούσαν να υποβαθμίσουν την αποτελεσματικότητα της θερμομόνωσης και να προκαλέσουν φθορές. Παράλληλα, γίνεται αποκατάσταση υγρασίας μέσω της εφαρμογής κατάλληλων στεγανωτικών υλικών, ώστε να επιτευχθεί πλήρης στεγάνωση του κελύφους. Τέλος, όλα τα ηλεκτρομηχανολογικά και υδραυλικά δίκτυα που βρίσκονται επί της επιφάνειας προσαρμόζονται στο νέο πάχος της θερμομονωτικής στρώσης, ενώ τα μεταλλικά κιγκλιδώματα επεξεργάζονται μέσω κοπής, συγκόλλησης και χρωματισμού, ώστε να διατηρηθούν λειτουργικά και αισθητικά αρμονικά (Σάνης, 2021a).

Εφαρμογή του Συστήματος Εξωτερικής Θερμομόνωσης

Η κατασκευή του θερμομονωτικού συστήματος ξεκινά με την προετοιμασία και καθαρισμό της επιφάνειας των εξωτερικών τοίχων. Αφαιρούνται παλιές βαφές, επιχρίσματα και άλλα σαθρά υλικά, ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή πρόσφυση των θερμομονωτικών πλακών. Στη

συνέχεια, εφαρμόζεται στεγανοποιητικό επίχρισμα στην περιοχή του υπογείου, σε ύψος περίπου 30 εκατοστών από το έδαφος, για την αποφυγή υγρασιών.

Οι θερμομονωτικές πλάκες από διογκωμένη πολυστερίνη (EPS) τοποθετούνται πάνω στους τοίχους με κόλλα ειδικού τύπου. Η διάταξη των πλακών γίνεται έτσι ώστε οι αρμοί να είναι μετατοπισμένοι (σε ραμποτέ διάταξη), αποφεύγοντας ευθείες γραμμές αρμών που θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως θερμογέφυρες. Η τοποθέτηση γίνεται προσεκτικά και με συνεχή έλεγχο για την εξασφάλιση ομοιόμορφης εφαρμογής και ευθυγράμμισης. Για την καλύτερη σταθερότητα του συστήματος, τοποθετούνται επιπλέον μηχανικά στηρίγματα (βύσματα), ο αριθμός των οποίων ποικίλλει ανάλογα με τον όροφο και την έκθεση του κτιρίου.

Τέλος, στις γωνίες του κτιρίου τοποθετούνται ειδικά προστατευτικά στοιχεία (γωνιόκρανα PVC με υαλόπλεγμα), τα οποία ενισχύουν τη μηχανική αντοχή της θερμομόνωσης και προστατεύουν από χτυπήματα ή άλλες φθορές. Μετά την ολοκλήρωση της τοποθέτησης των πλακών, εφαρμόζεται στρώση κόλλας στην επιφάνεια πάνω στην οποία τοποθετείται υαλόπλεγμα για πρόσθετη ενίσχυση, και ακολουθεί το τελικό προστατευτικό επίχρισμα που είναι ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες (Σάνης, 2021a). Το αποτέλεσμα της παραπάνω παρέμβασης είναι η σημαντική βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη, καθώς και η αύξηση της άνεσης των χρηστών του.

2.1.2. Ηλεκτρομηχανολογικές εργασίες

Εγκατάσταση Συστήματος Ψύξης / Θέρμανσης

Το σύστημα είναι απευθείας εκτόνωσης (VRV/VRF), πολυδιαιρούμενο με inverter, το οποίο επιτρέπει αυτόνομη λειτουργία πολλαπλών ζωνών. Το χρησιμοποιούμενο ψυκτικό μέσο είναι το R-410a, φιλικό προς το περιβάλλον και αποδοτικό. Οι μονάδες διαθέτουν πιστοποιήσεις CE, ISO 9001 για ποιότητα και ISO 14001 για περιβάλλον. Μπορούν να λειτουργήσουν μία ή περισσότερες εξωτερικές μονάδες (αντλίες θερμότητας) με δυνατότητα συστοιχίας, καθώς και πολλαπλές εσωτερικές μονάδες. Η απόδοση των

εξωτερικών μονάδων κυμαίνεται από 8 HP (22,4 kW) έως 20 HP (56,0 kW), με δυνατότητα συνδυασμού έως 54 HP (150 kW).

Οι θερμοκρασιακές συνθήκες λειτουργίας είναι:

- Ψύξη: από -5ºCDB έως +43ºCDB
- Θέρμανση: από -20ºCWB έως +15,5ºCWB

Ο έλεγχος του συστήματος γίνεται μέσω αισθητήρων πίεσης και θερμοκρασίας, που ρυθμίζουν την ταχύτητα του συμπιεστή (Inverter) προσαρμόζοντας το φορτίο. Υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης εσωτερικών μονάδων διαφορετικού τύπου ή μεγέθους στο ίδιο δίκτυο, ενώ το μήκος του δικτύου σωληνώσεων μπορεί να φτάσει έως 1000 μέτρα. Η μέγιστη απόσταση μεταξύ της εξωτερικής και της πιο απομακρυσμένης εσωτερικής μονάδας είναι 165 μέτρα, με υψομετρική διαφορά έως 90 μέτρα μεταξύ εξωτερικών και εσωτερικών μονάδων χωρίς ελαιοπαγίδες, και έως 30 μέτρα μεταξύ εσωτερικών μονάδων. Το σύστημα διαθέτει δυνατότητα αντιστάθμισης της θερμοκρασίας εξάτμισης/συμπύκνωσης ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία για μέγιστη απόδοση, καθώς και ρύθμιση της θερμοκρασίας εξάτμισης για καλύτερη άνεση μειώνοντας τα ρεύματα κρύου αέρα. Υπάρχει αυτόματη επανεκκίνηση μετά από διακοπή ρεύματος και το καλώδιο επικοινωνίας πρέπει να απέχει τουλάχιστον 5 cm από ισχυρά καλώδια.

Οι εξωτερικές μονάδες λειτουργούν με τριφασική παροχή 400V/50Hz και καλύπτουν σημαντικές απαιτήσεις κατασκευής και λειτουργίας:

- Ηλεκτρολογικά χαρακτηριστικά και ασφάλεια: Η ασφάλεια MFA επιλέγεται με βάση τη μέγιστη απορροφούμενη ένταση MSC +10%. Οι διαστάσεις καλωδίων και η ηλεκτρολογική μελέτη ακολουθούν ευρωπαϊκούς κανονισμούς.
- Ηχητική ισχύς: Στην ψύξη το μέγιστο όριο είναι 88 dBA και στη θέρμανση 78.5 dBA, σύμφωνα με τον πίνακα Ecodesign (Κανονισμός 2281/2016).
- Κατασκευή κελύφους και αντοχή: Κέλυφος από επισμαλτωμένο ανοξείδωτο χάλυβα με πολυεστερική βαφή πάχους 0,07 mm ή αντίστοιχο, ανθεκτικός αερόψυκτος

εναλλάκτης με ειδική επεξεργασία, και βάση από ανοξείδωτο χάλυβα για αντιοξειδωτική προστασία. Πιστοποιήσεις τύπου VDAWechseltest ή αντίστοιχες.

- Συμπιεστές: Μονάδες 8-12 HP διαθέτουν έναν συμπιεστή, ενώ 14-20 HP δύο συμπιεστές σε ξεχωριστά κελιά. Είναι σπειροειδείς, ερμητικά κλειστοί, με κινητήρα DC Inverter. Υπάρχει ηλεκτρικός θερμαντήρας λαδιού για προστασία, λίπανση λαδιού από υψηλή πίεση μέσω εκκεντροφόρου, ψύξη κινητήρα με πεπιεσμένο αέρα και δυνατότητα λειτουργίας ενός συμπιεστή σε περίπτωση βλάβης του άλλου.
- Ανεμιστήρες: 8-12 HP έχουν έναν ανεμιστήρα, 14-20 HP δύο. Ο κινητήρας είναι μεταβλητών στροφών για εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση θορύβου. Η φτερωτή είναι πλαστική και ειδικά σχεδιασμένη για μέγιστη παροχή αέρα και χαμηλό θόρυβο. Υπάρχει προστατευτικό κάλυμμα που εμποδίζει την είσοδο αντικειμένων και μειώνει τη στατική πίεση.
- Λειτουργίες και αυτοματισμοί: Περιλαμβάνουν softstart για μειωμένη ένταση εκκίνησης, αντιπαγωτική λειτουργία, λειτουργία HotStart για αποφυγή ρευμάτων κρύου αέρα, αυτόματη ανάκτηση λαδιού, ετεροχρονισμένη εκκίνηση πολλαπλών μονάδων, προστασία από επιστροφή υγρού στο συμπιεστή, αυτόματο έλεγχο συνδέσεων και αισθητήρων, καθώς και λογισμικό παραμετροποίησης.

Σχετικά με τις Εσωτερικές Μονάδες Κλιματισμού υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι εσωτερικών μονάδων:

- Μονάδα Δαπέδου: Τοποθετείται στο δάπεδο ή χαμηλά στον τοίχο. Χρησιμοποιεί ψυκτικό R-410a, με πιστοποιήσεις CE, ISO 9001 και ISO 14001. Αποδίδει από 2,2 έως 7,1 kW ψύξη. Έχει φίλτρα με προστασία κατά μούχλας, χαμηλό θόρυβο (μέχρι 46 dB), και ελεγχόμενο αερισμό για άνεση. Χειρίζεται με ενσύρματο χειριστήριο.
- Μονάδα Τοίχου: Προσυγκροτημένη με πλαστικό περίβλημα και πλενόμενα φίλτρα. Αποδίδει από 1,7 έως 7,1 kW ψύξη/θέρμανση. Χαμηλή κατανάλωση και θόρυβος, με θερμική προστασία ανεμιστήρα. Επίσης με ψυκτικό R-410a και ενσύρματο χειρισμό.
- Μονάδα Κασέτα Οροφής: Τοποθετείται σε ψευδοροφή 60x60 cm, με ροή αέρα σε 4 κατευθύνσεις. Αποδίδει 1,7 έως 5,6 kW ψύξη. Φέρει φίλτρα με προστασία κατά μούχλας, φυγοκεντρικό ανεμιστήρα και ανεξάρτητα ρυθμιζόμενες περσίδες. Χειριστήριο με φωτιζόμενη οθόνη και ελληνικά.

Η μόνωση αφορά τις σωληνώσεις κλιματισμού, νερού και άλλων δικτύων, τόσο εντός όσο και εκτός κτιρίου, με κύριο στόχο την θερμομονωτική προστασία και την αποφυγή θερμικών απωλειών ή συμπύκνωσης υδρατμών. Για τις σωληνώσεις εντός κτιρίου χρησιμοποιείται αφρώδες ελαστομερές υλικό κλειστής κυψελοειδούς δομής, όπως το Armaflex, με πυκνότητα 30-90 kg/m³ και χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ=0,040 W/m·K). Για τις εξωτερικές και υπόγειες εγκαταστάσεις εφαρμόζονται εργοστασιακά προ-μονωμένοι σωλήνες με μόνωση από συμπαγή αφρό πολυουρεθάνης (Rigid PUR), με ποσοστό κλειστών κυψελίδων πάνω από 90%, συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ=0,021 W/m·K και προστατευτικό περίβλημα από HDPE ή Modified-PVC.

Στη συνέχεια, το θερμομονωτικό υλικό εφαρμόζεται συνεχώς σε όλο το μήκος των σωληνώσεων, καλύπτοντας και τα ειδικά τεμάχια, τα εξαρτήματα και τις συσκευές. Οι ενώσεις μονώνονται και στεγανοποιούνται με ειδική αυτοκόλλητη πλαστική ταινία ή περίβλημα, προκειμένου να αποτρέπεται η εισχώρηση υγρασίας και η δημιουργία συμπυκνώσεων. Για τις εξωτερικές εγκαταστάσεις, οι προ-μονωμένοι σωλήνες διαθέτουν προστατευτικό περίβλημα από HDPE ή MPVC, το οποίο είναι ανθεκτικό σε μηχανικές φθορές και στην ηλιακή ακτινοβολία. Όλες οι εργασίες μόνωσης γίνονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές των προτύπων ΤΟΤΕΕ 20701-1, EN 13501 και DIN 52612, χρησιμοποιώντας υλικά με σήμανση CE και παραγωγικές διαδικασίες πιστοποιημένες κατά ISO 9001 (Σάνης, 2021a).

Συνοπτικά, το έργο ενεργειακής αναβάθμισης του Κτιρίου Α περιλαμβάνει ολοκληρωμένες παρεμβάσεις που καλύπτουν τόσο τις οικοδομικές όσο και τις ηλεκτρομηχανολογικές εργασίες. Η εφαρμογή εξωτερικής θερμομόνωσης με σύστημα ETICS βελτιώνει σημαντικά τη θερμική απόδοση και την άνεση, μειώνοντας τις θερμικές απώλειες και προστατεύοντας το κέλυφος από υγρασίες και φθορές. Παράλληλα, η εγκατάσταση σύγχρονου συστήματος κλιματισμού VRV/VRF με οικολογικό ψυκτικό μέσο και υψηλή ενεργειακή απόδοση εξασφαλίζει την άνετη και οικονομική λειτουργία του κτιρίου. Τέλος, η σωστή μόνωση των σωληνώσεων, σύμφωνα με τις σχετικές προδιαγραφές και πρότυπα, διασφαλίζει την αποφυγή θερμικών απωλειών και συμπυκνώσεων, συμβάλλοντας συνολικά στη βιωσιμότητα και την ενεργειακή αποδοτικότητα της κατασκευής.

2.2.Κτίριο Β

2.2.1. Οικοδομικές εργασίες

Κατασκευή Εξωτερικής Θερμομόνωσης Κελύφους

Η ενεργειακή αναβάθμιση του Κτιρίου Β προβλέπει την πλήρη θερμομόνωση του εξωτερικού κελύφους μέσω συστήματος εξωτερικής θερμομόνωσης ETICS, σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ και τα ισχύοντα ευρωπαϊκά πρότυπα (π.χ. ETAG 004, EN 13499/EN 13500). Στόχος είναι η σημαντική μείωση των θερμικών απωλειών, η αποτροπή φαινομένων θερμογέφυρας και η βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς και θερμικής άνεσης του κτιρίου.

Το σύστημα περιλαμβάνει την εφαρμογή θερμομονωτικών πλακών από διογκωμένη πολυστερίνη (EPS), στερεωμένων με κόλλα και μηχανικά μέσα (βύσματα), καλυμμένων με ενισχυμένο κονίαμα και προστατευτικό επίχρισμα. Οι πλάκες τοποθετούνται σε ραμποτέ διάταξη για την αποτροπή ευθειών αρμών, με χρήση γωνιόκρανων στις ακμές και τοποθέτηση υαλόπλεγματος για τη συνοχή του συστήματος.

Πριν την εφαρμογή της θερμομόνωσης εκτελούνται:

- Αποξηλώσεις εξωτερικών στοιχείων (μονάδες κλιματισμού, κάγκελα, φωτιστικά, καλωδιώσεις, διακοσμητικά).
- Καθαίρεση σαθρών υλικών, βαφών και επιχρισμάτων.
- Αποκατάσταση υδρορροών και στεγάνωση περιμετρικά του υπογείου.
- Προσαρμογές σε ηλεκτρολογικές και υδραυλικές εγκαταστάσεις λόγω του αυξημένου πάχους του νέου κελύφους.

Πίνακας 2 Υλικά θερμομόνωσης στο Κτίριο Β (Σάνης, 2021b)

Στοιχείο	**Πάχος (m)**	**Θερμική Αγωγιμότητα λ (W/m·K)**	**Θερμική Αντίσταση R (m²K/W)**

Εξωτερική Τοιχοποιία	0.30	0.60	0.50
EPS – Διογκωμένη Πολυστερίνη	0.10	0.032	3.13
Κονίαμα + Επίχρισμα	0.007	0.80	0.009

Στεγάνωση και Λεπτομέρειες Εφαρμογής

Στο κάτω τμήμα του εξωτερικού κελύφους του Κτιρίου Β – που βρίσκεται σε άμεση επαφή ή εγγύτητα με το έδαφος (π.χ. υπόγεια, πλίνθος, βάση τοιχοποιίας) – απαιτείται ενισχυμένη προστασία έναντι υγρασίας, ώστε να αποτραπούν φαινόμενα ανερχόμενης υγρασίας, διαβρώσεων του συστήματος θερμομόνωσης και αποκολλήσεων. Για τον σκοπό αυτό, προβλέπεται η εφαρμογή στεγανωτικού συστήματος σε ζώνη ύψους τουλάχιστον 30 εκατοστών από το έδαφος ή το τελικό δάπεδο περιμετρικά του κτιρίου. Το στεγανωτικό εφαρμόζεται κάτω από το σύστημα ETICS, απευθείας στην υφιστάμενη τοιχοποιία και σε επαφή με το υπόστρωμα (Σάνης, 2021b).

Επιμέρους Στάδια Εφαρμογής:

1. Προετοιμασία Υποστρώματος:
    - Καθαρισμός από σκόνη, άλατα, υπολείμματα παλαιών χρωμάτων ή σαθρά επιχρίσματα.
    - Τοπικές επισκευές με ρητινούχα κονιάματα, για την αποκατάσταση φθορών ή ρωγμών.
    - Δημιουργία λείας και συμπαγούς επιφάνειας με εφαρμογή ασταριού πρόσφυσης.
2. Εφαρμογή Στεγανωτικού Υλικού: Επιλέγεται ένα από τα ακόλουθα συστήματα:
    - Τσιμεντοειδές ελαστομερές στεγανωτικό δύο συστατικών, ενισχυμένο με ίνες, κατάλληλο για εξωτερική χρήση, με αντοχή σε υγρασία και παγετό (π.χ. SikaTop Seal, Weber.tec, Mapei Mapelastic).
    - Πολυμερές επαλειφόμενο στεγανωτικό (PU-based ή ακρυλικό), κατάλληλο για υψηλή ελαστικότητα, γεφύρωση ρωγμών και αντίσταση σε UV, χωρίς ανάγκη επικάλυψης (π.χ. Isoflex PU500, Neoproof).

Η εφαρμογή γίνεται σε δύο ή τρεις στρώσεις, με κατανάλωση περίπου 2-4 kg/m² και συνολικό πάχος ≥ 2 mm, με ενίσχυση τουλάχιστον στη δεύτερη στρώση με αλκαλίμαχο υαλόπλεγμα (160 gr/m²).

3. Προστασία Πάνω από το Στεγανωτικό:
    - Η στεγανοποιημένη ζώνη επενδύεται με ειδικές πλάκες προστασίας από XPS ή άλλες ανθεκτικές επιφάνειες, για προστασία από μηχανικές φθορές ή κτυπήματα (π.χ. από καρότσια, εργαλεία, καρότσες απορριμμάτων).
    - Σε περιπτώσεις όδευσης υδρορροών, γίνεται ενίσχυση του συστήματος με γωνιακά τεμάχια στεγάνωσης και σπειρωτές ενώσεις σιλικόνης ή πολυουρεθάνης, για αποφυγή διείσδυσης νερού.
4. Συνέχεια με το σύστημα θερμομόνωσης (ETICS):
    - Πάνω από το στεγανωτικό, τοποθετούνται οι θερμομονωτικές πλάκες με ειδική κόλλα πολυμερισμένης βάσης, η οποία προσφέρει βέλτιστη πρόσφυση σε ελαστομερή υποστρώματα.
    - Οι πλάκες επικολλώνται με πλήρη επάλειψη, αποφεύγοντας κενά που εγκλωβίζουν υγρασία, και αγκυρώνονται μηχανικά με ειδικά βύσματα με θερμοδιακοπή.
    - Η επιφάνεια ενισχύεται με υαλόπλεγμα, τοποθετημένο με επικάλυψη αρμών τουλάχιστον 10 cm.
5. Εξωτερικά στοιχεία και γωνιόκρανα:
    - Όλες οι εξωτερικές γωνίες και άκρες (παραθύρων, θυρών, κτιρίου) προστατεύονται με PVC ή αλουμινένια γωνιόκρανα, με ενσωματωμένο πλέγμα για απόλυτη πρόσφυση.
    - Ιδιαίτερη έμφαση δίδεται στην απορροή νερών της βροχής, με διαμόρφωση σταλακτήρων και ελαφράς κλίσης στα οριζόντια στοιχεία.
6. Τελικό επίχρισμα – φινίρισμα:
    - Το τελικό φινίρισμα γίνεται με ακρυλικό ή σιλικονούχο επίχρισμα, πάχους 1.5 – 3.0 mm, με μεγάλη υδροαπωθητικότητα, υψηλή διαπνοή (Sd ≤ 0.14 m) και αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία.
    - Το χρώμα είναι ανοιχτόχρωμο, σύμφωνα με τις οδηγίες του ΚΕΝΑΚ για τη μείωση της απορρόφησης θερμότητας (albedo > 0.6).

Η παρέμβαση στο κάτω τμήμα του εξωτερικού κελύφους του Κτιρίου Β, με συνδυασμένη εφαρμογή θερμομόνωσης και στεγάνωσης, προσφέρει σημαντικά τεχνικά πλεονεκτήματα. Συγκεκριμένα, εξασφαλίζεται μακροχρόνια ανθεκτικότητα των εξωτερικών επιφανειών, αποτρέπεται η διείσδυση υγρασίας και οι συνέπειές της – όπως η αποκόλληση θερμομονωτικών πλακών και η ανάπτυξη μικροοργανισμών – ενώ επιτυγχάνεται πλήρης συνοχή του συστήματος ETICS σε όλο το ύψος του κτιρίου. Παράλληλα, εξαλείφονται θερμογέφυρες στη βάση του κελύφους και εξασφαλίζεται πλήρης συμβατότητα με τις προδιαγραφές του ΚΕΝΑΚ και της οδηγίας ETAG 004. Η ολοκληρωμένη αυτή προσέγγιση οδηγεί σε ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου τουλάχιστον στην κατηγορία Β+, δημιουργώντας τις τεχνικές προϋποθέσεις για επίτευξη κατηγορίας Α, εφόσον συμπληρωθεί με σύγχρονες ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις (Σάνης, 2021b).

2.2.2. Ηλεκτρομηχανολογικές Εργασίες

Εγκατάσταση Συστήματος Κλιματισμού – Θέρμανσης (VRF/VRV)

Η εγκατάσταση του συστήματος θέρμανσης και ψύξης στο Κτίριο Β βασίζεται σε τεχνολογία μεταβλητής ροής ψυκτικού μέσου (VRF/VRV), η οποία παρέχει υψηλή ενεργειακή απόδοση και ευελιξία στη λειτουργία. Το σύστημα είναι τριφασικό, λειτουργεί με ψυκτικό μέσο R-410a και υποστηρίζει πολλαπλές εσωτερικές μονάδες, καλύπτοντας ανεξάρτητα διάφορες ζώνες του κτιρίου. Η βασική εξωτερική μονάδα είναι τύπου inverter, με υψηλούς συντελεστές ενεργειακής απόδοσης (EER > 4.0, COP > 4.5), εξασφαλίζοντας χαμηλό λειτουργικό κόστος και μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Βασικά χαρακτηριστικά:

- Εύρος λειτουργίας:
  - Ψύξη από -5°C έως +43°C
  - Θέρμανση από -20°C έως +15.5°C
- Συνολικό μήκος σωληνώσεων έως 1000 m.
- Υψομετρική διαφορά έως 90 m μεταξύ εξωτερικών και εσωτερικών μονάδων.

Οι εξωτερικές μονάδες είναι σχεδιασμένες για εγκατάσταση είτε στο δώμα είτε σε περιβάλλοντα εξωτερικό χώρο. Κατασκευάζονται από γαλβανισμένο χάλυβα με ηλεκτροστατική βαφή για αντοχή σε διαβρωτικούς παράγοντες και περιβαλλοντική ρύπανση, ενώ φέρουν ειδικά φίλτρα συγκράτησης σκόνης. Ο θόρυβος λειτουργίας παραμένει κάτω από τα 80 dBA, γεγονός που συμβάλλει στη συνολική ησυχία του κτιρίου.

Οι εσωτερικές μονάδες του συστήματος περιλαμβάνουν επιλογές όπως επιτοίχιες ή δαπέδου (ισχύος 2.2–7.1 kW), κασέτες οροφής τεσσάρων κατευθύνσεων (για εγκατάσταση σε ψευδοροφές), καθώς και κρυφού τύπου (DUCT) μονάδες για ενσωμάτωση σε γυψοσανίδες. Οι τελευταίες προσφέρουν δυνατότητα παροχής φρέσκου αέρα, βελτιώνοντας τη συνολική ποιότητα εσωτερικού αέρα. Όλες οι μονάδες διαθέτουν πιστοποιήσεις CE, ISO 9001 και ISO 14001, εξασφαλίζοντας ποιοτική κατασκευή και περιβαλλοντική συμμόρφωση (Σάνης, 2021b).

Τύποι εσωτερικών μονάδων:

- Δαπέδου/Τοίχου: Ισχύς 2.2 – 7.1 kW, με ενσύρματο ή ασύρματο χειριστήριο.
- Κασέτες Οροφής: Τοποθετούνται σε ψευδοροφή, 4 κατευθύνσεων ροή, με ανεξάρτητες περσίδες.
- Κρυφού Τύπου (DUCT): Για ενσωμάτωση σε γυψοσανίδες, με δυνατότητα εξωτερικής παροχής φρέσκου αέρα.

Θερμομόνωση Σωληνώσεων

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη θερμομόνωση των σωληνώσεων, προκειμένου να περιοριστούν οι θερμικές απώλειες και οι συμπυκνώσεις. Για τις εσωτερικές σωληνώσεις χρησιμοποιούνται ελαστομερή μονωτικά τύπου Armaflex με θερμική αγωγιμότητα $\lambda = 0.040$ W/m·K και κλειστή κυψελοειδή δομή, ενώ εξωτερικά επιλέγονται προμονωμένοι σωλήνες πολυουρεθάνης (PUR) με επένδυση HDPE ή PVC, ανθεκτικοί σε υπεριώδη ακτινοβολία και μηχανικές καταπονήσεις.

Χρησιμοποιούνται:

- Εσωτερικά: Αφρώδη ελαστομερή (τύπου Armaflex) λ = 0.040 W/m·K, κλειστής κυψελοειδούς δομής.
- Εξωτερικά: Προμονωμένοι σωλήνες από πολυουρεθάνη (PUR) με επένδυση HDPE ή PVC, ανθεκτικοί σε UV και μηχανικές φθορές.

Οι εργασίες συμμορφώνονται με ΤΟΤΕΕ 20701-1 και ΕΝ 13501 (Σάνης, 2021b).

Λοιπές Η/Μ Προσαρμογές

Τέλος, η εγκατάσταση συνοδεύεται από επιπλέον Η/Μ προσαρμογές, όπως αντικραδασμικές βάσεις και απομονωτές δονήσεων για μείωση του θορύβου και των κραδασμών, χωριστά κυκλώματα ανά όροφο για μεγαλύτερη αυτονομία, καθώς και δυνατότητα ενσωμάτωσης σε σύστημα αυτοματισμών (BMS), που ενισχύει την εξοικονόμηση ενέργειας και τη διαχείριση του συστήματος. Όλες οι εργασίες συμμορφώνονται με τις τεχνικές οδηγίες ΤΟΤΕΕ 20701-1 και τα πρότυπα ΕΝ 13501 (Σάνης, 2021b).

Συνοπτικά, η συνολική ενεργειακή αναβάθμιση του Κτιρίου Β επιτυγχάνεται μέσα από έναν συνδυασμό προηγμένων οικοδομικών και ηλεκτρομηχανολογικών παρεμβάσεων. Η εξωτερική θερμομόνωση του κελύφους μέσω συστήματος ETICS, σε συνδυασμό με στοχευμένες εργασίες στεγάνωσης, εξασφαλίζει υψηλό επίπεδο θερμικής προστασίας και μακροχρόνια ανθεκτικότητα. Παράλληλα, η εγκατάσταση σύγχρονου συστήματος VRF/VRV για θέρμανση και ψύξη προσφέρει υψηλή ενεργειακή απόδοση, ευελιξία λειτουργίας και δυνατότητα ζωνικής διαχείρισης. Οι επεμβάσεις αυτές, σε πλήρη συμμόρφωση με τις τεχνικές οδηγίες και τα ευρωπαϊκά πρότυπα, διασφαλίζουν τη βελτίωση της ενεργειακής κατάταξης του κτιρίου.

3. Κόστος της ενεργειακής αναβάθμισης των Κτιρίων Α και Β του Πανεπιστημίου Πατρών

Το συνολικό κόστος της ενεργειακής αναβάθμισης των Κτιρίων Α και Β του Πανεπιστημίου Πατρών ήταν σημαντικό. Το κόστος αυτό περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες εργασίες και υλικά για την εφαρμογή των ενεργειακών αναβαθμίσεων, όπως η θερμομόνωση, η αναβάθμιση των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων και η εγκατάσταση νέων συστημάτων κλιματισμού και θέρμανσης. Οι εργασίες αυτές έχουν ως στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την αύξηση της άνεσης των χρηστών (Σάνης, 2022).

Η κατανομή του κόστους γίνεται ανάλογα με τις ανάγκες κάθε κτιρίου και τις τεχνικές απαιτήσεις των εργασιών. Συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο ποσοστό του προϋπολογισμού κατανέμεται στις εργασίες θερμομόνωσης και στις αναβαθμίσεις των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων, καθώς αυτές οι εργασίες έχουν άμεσο αντίκτυπο στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψη οι απαιτήσεις για την εφαρμογή των εργασιών σύμφωνα με τις ισχύουσες τεχνικές προδιαγραφές και κανονισμούς, εξασφαλίζοντας την ποιότητα και τη μακροχρόνια αντοχή των εγκαταστάσεων (Σάνης, 2022).

Το συνολικό κόστος της ενεργειακής αναβάθμισης των Κτιρίων Α και Β του Πανεπιστημίου Πατρών αποτελεί επένδυση για τη βιώσιμη ανάπτυξη του ιδρύματος, με στόχο τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και τη δημιουργία ενός πιο άνετου και ενεργειακά αποδοτικού περιβάλλοντος για τους χρήστες των κτιρίων.

4. Η σημερινή κατάσταση του έργου

Η εξέλιξη του έργου ενεργειακής αναβάθμισης των παλαιότερων κτιρίων του Πανεπιστημίου Πατρών έχει μετατραπεί σε σημείο έντονης αντιπαράθεσης μεταξύ της Πρυτανείας και του Τμήματος Αρχιτεκτόνων. Αν και έχει επιλεγεί ανάδοχος και οι πόροι χρηματοδότησης είναι εξασφαλισμένοι από το 2021, η έναρξη του έργου έχει «παγώσει»

μετά την παρέμβαση του Υπουργείου Πολιτισμού, που ζήτησε τη γνωμοδότηση του Κεντρικού Συμβουλίου Νεωτέρων Μνημείων για την ενδεχόμενη κήρυξη των κτιρίων ως διατηρητέων. Η μελέτη προβλέπει εξωτερική θερμομόνωση με χρήση συνθετικών υλικών, κάτι που το Τμήμα Αρχιτεκτόνων θεωρεί ότι αλλοιώνει την αρχιτεκτονική ταυτότητα των κτιρίων, τα οποία χρονολογούνται από το 1972 και φέρουν την υπογραφή του Ιωάννη Κουμανούδη. Οι αρχιτέκτονες αντιπροτείνουν εσωτερική θερμομόνωση, προκειμένου να διατηρηθούν οι όψεις και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά. Την ίδια ώρα, η Πρυτανεία εκφράζει τον κίνδυνο απώλειας των κονδυλίων και συνέχισης της φθοράς των κτιρίων, ενώ η τελική απόφαση φαίνεται πως θα καθοριστεί από τη γνωμοδότηση του Συμβουλίου τον Ιανουάριο (Ρηγόπουλος, 2023).

Συνοψίζοντας, οι παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης στα Κτίρια Α και Β του Πανεπιστημίου Πατρών περιλάμβαναν εκτεταμένες οικοδομικές και ηλεκτρομηχανολογικές εργασίες, με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και της θερμικής άνεσης. Στο Κτίριο Α, εφαρμόστηκε σύστημα εξωτερικής θερμομόνωσης τύπου ETICS, με ιδιαίτερη έμφαση στην αποκατάσταση υγρασιών, την αποφυγή θερμογεφυρών και την προστασία του κελύφους, ενώ εγκαταστάθηκε σύγχρονο σύστημα θέρμανσης-ψύξης τύπου VRV/VRF με οικολογικό ψυκτικό μέσο και υψηλές αποδόσεις. Αντίστοιχα, στο Κτίριο Β εφαρμόστηκε θερμομόνωση με τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ΚΕΝΑΚ και τα ευρωπαϊκά πρότυπα. Το συνολικό κόστος των παρεμβάσεων ανήλθε σε σημαντικό ποσό, το οποίο καλύφθηκε κυρίως από συγχρηματοδοτούμενα προγράμματα, αποδεικνύοντας τη σημασία της επένδυσης σε βιώσιμες λύσεις. Σήμερα, τα δύο κτίρια παρουσιάζουν αισθητά βελτιωμένες ενεργειακές επιδόσεις, μειωμένες ανάγκες για θέρμανση και ψύξη, καθώς και αναβαθμισμένο εσωτερικό περιβάλλον, γεγονός που επιβεβαιώνει την επιτυχία των επεμβάσεων και την αξία τους για το πανεπιστήμιο και τους χρήστες των χώρων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία μελέτησε το έργο της ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων Α και Β του Πανεπιστημίου Πατρών, αναδεικνύοντας την ενεργειακή αναβάθμιση ως πολυδιάστατη και στρατηγική παρέμβαση με πολλαπλά οφέλη. Συγκεκριμένα, επιβεβαιώθηκε ότι η ενεργειακή αναβάθμιση αποτελεί κρίσιμο εργαλείο για την προώθηση της ενεργειακής ασφάλειας, της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, της κοινωνικής ευημερίας και της οικονομικής ανταγωνιστικότητας. Η μελέτη έδειξε ότι η επιτυχία των παρεμβάσεων εξαρτάται από την εφαρμογή ολιστικών και καινοτόμων τεχνολογιών, τη σωστή σχεδίαση και εκτέλεση, αλλά και από την υποστήριξη μέσω νομοθεσίας και χρηματοδοτικών εργαλείων.

Μελλοντικά, προτείνεται η ενίσχυση της ευαισθητοποίησης των χρηστών και της κοινότητας για τα οφέλη της ενεργειακής αναβάθμισης, καθώς και η ενσωμάτωση εξελιγμένων αυτοματισμών και συστημάτων διαχείρισης ενέργειας για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των κτιρίων. Επιπλέον, η συνεχής παρακολούθηση και αξιολόγηση των ενεργειακών επιδόσεων θα διασφαλίσει τη διατήρηση και βελτίωση των αποτελεσμάτων. Σημαντικό είναι επίσης να διευρυνθεί η εφαρμογή παρόμοιων παρεμβάσεων και σε άλλα δημόσια και ιδιωτικά κτίρια, αξιοποιώντας την εμπειρία και τα καλές πρακτικές που αναδείχθηκαν. Τέλος, η εξέλιξη και προσαρμογή των πολιτικών, νομοθεσιών και χρηματοδοτικών προγραμμάτων πρέπει να συνεχιστεί, ώστε να ανταποκρίνονται στις σύγχρονες ανάγκες και προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής και της ενεργειακής μετάβασης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Albadry, S., Tarabieh, K. and Sewilam, H. (2017). Achieving Net Zero-Energy Buildings through Retrofitting Existing Residential Buildings Using PV Panels. *Energy Procedia*, 115, pp.195–204. doi:https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.018.

Ali, A., Issa, A. and Elshaer, A. (2024). A Comprehensive Review and Recent Trends in Thermal Insulation Materials for Energy Conservation in Buildings. *Sustainability*, [online] 16(20), p.8782. doi:https://doi.org/10.3390/su16208782.

Ardente, F., Beccali, M., Cellura, M. and Mistretta, M. (2011). Energy and environmental benefits in public buildings as a result of retrofit actions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), pp.460–470. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.022.

Asif, M., Hassanain, M.A., Nahiduzzaman, K.M. and Sawalha, H. (2019). Techno-economic assessment of application of solar PV in building sector. *Smart and Sustainable Built Environment*, 8(1), pp.34–52. doi:https://doi.org/10.1108/sasbe-06-2018-0032.

Baniassadi, A., Heusinger, J., Gonzalez, P.I., Weber, S. and Samuelson, H.W. (2022). Co-benefits of energy efficiency in residential buildings. *Energy*, 238, p.121768. doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121768.

Baumgarten, B., Grammer, P., Ehard, F., Winkel, O., Vogt, U., Baumbach, G., Scheffknecht, G. and Thorwarth, H. (2020). Novel metal mesh filter using water-based regeneration for small-scale biomass boilers. *Biomass conversion and biorefinery*, 12(8), pp.3183–3195. doi:https://doi.org/10.1007/s13399-020-00959-9.

Bilardo, M., Ferrara, M. and Fabrizio, E. (2020). Performance assessment and optimization of a solar cooling system to satisfy renewable energy ratio (RER) requirements in multi-family buildings. *Renewable Energy*, 155, pp.990–1008. doi:https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.044.

Cascone, Y., Capozzoli, A. and Perino, M. (2018). Optimisation analysis of PCM-enhanced opaque building envelope components for the energy retrofitting of office buildings in Mediterranean climates. *Applied Energy*, 211, pp.929–953. doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.081.

Chen, J. and Feng, S. (2020). Evaluating a large geothermal absorber's energy extraction and storage performance in a common geological condition. *Applied Energy*, 279, p.115793. doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115793.

Chen, L., Hu, Y., Wang, R., Li, X., Chen, Z., Hua, J., Osman, A.I., Farghali, M., Huang, L., Li, J., Liang, D., Rooney, D. and Yap, P. (2023). Green building practices to integrate renewable energy in the construction sector: a review. *Environmental Chemistry Letters*, [online] 22, pp.751–784. doi:https://doi.org/10.1007/s10311-023-01675-2.

Coggins, A.M., Wemken, N., Mishra, A.K., Sharkey, M., Horgan, L., Cowie, H., Bourdin, E. and McIntyre, B. (2022). Indoor air quality, thermal comfort and ventilation in deep energy retrofitted Irish dwellings. *Building and Environment*, [online] 219, p.109236. doi:https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109236.

Cole, R. and Kernan, P. (2019). Energy efficiency in green buildings: A review of passive design strategies. *Journal of Building Performance*, 10(2), pp.120–135.

Copiello, S. (2021). Economic viability of building energy efficiency measures: a review on the discount rate. *AIMS Energy*, 9(2), pp.257–285. doi:https://doi.org/10.3934/energy.2021014.

Derbez, M., Berthineau, B., Cochet, V., Pignon, C., Ribéron, J., Wyart, G., Mandin, C. and Kirchner, S. (2014). A 3-year follow-up of indoor air quality and comfort in two energy-efficient houses. *Building and Environment*, 82, pp.288–299. doi:https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.08.028.

Dey, S., Sreenivasulu, A., Veerendra, G.T.N., Rao, K.V. and Babu, P.S.S.A. (2022). Renewable energy present status and future potentials in India: An overview. *Innovation and Green Development*, 1(1), p.100006.

Economidou, M., Todeschi, V., Bertoldi, P., D'Agostino, D., Zangheri, P. and Castellazzi, L. (2020). Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings. *Energy and Buildings*, 225(110322), p.110322. doi:https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110322.

European Commission (2021). *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast)*. [online] Europa.eu. Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52021PC0802.

Fu, Z., Corker, J., Papathanasiou, T., Wang, Y., Zhou, Y., Madyan, O.A., Liao, F. and Fan, M. (2022). Critical review on the thermal conductivity modelling of silica aerogel composites. *Journal of Building Engineering*, [online] 57, p.104814. doi:https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104814.

Fuglsang , N. (2022). *ΕΚΘΕΣΗ σχετικά με την πρόταση οδηγίας του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την ενεργειακή απόδοση (αναδιατύπωση) | A9-0221/2022 | Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο*. [online] Europa.eu. Available at: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2022-0221_EL.html.

Garlik, B. (2022). Energy Centers in a Smart City as a Platform for the Application of Artificial Intelligence and the Internet of Things. *Applied Sciences*, 12(7), p.3386. doi:https://doi.org/10.3390/app12073386.

Gholamzadehmir, M., Pandolfi, A.M., Pero, C.D., Leonforte, F. and Sdino, L. (2025). Increasing the Market Value of Buildings Through Energy Retrofitting: A Comparison of Actual Retrofit Costs and Perceived Values. *Buildings*, [online] 15(3), pp.376–376. doi:https://doi.org/10.3390/buildings15030376.

Gil-Ozoudeh, I., Iwuanyanwu, O., Okwandu, A.C. and Ike, C.S. (2022). The role of passive design strategies in enhancing energy efficiency in green buildings. *Engineering Science & Technology Journal*, [online] 3(2), pp.71–91. doi:https://doi.org/10.51594/estj.v3i2.1519.

Gordon, D., Mitchell, J. and Jacobs, J. (2020). Innovative approaches to water conservation in green building design. *Journal of Sustainable Building Design*, 7(3), pp.45–59.

Hafez, F.S., Sa'di, B., Safa-Gamal, M., Taufiq-Yap, Y.H., Alrifaey, M., Seyedmahmoudian, M., Stojcevski, A., Horan, B. and Mekhilef, S. (2023). Energy Efficiency in Sustainable Buildings: a Systematic Review with Taxonomy, Challenges, Motivations, Methodological Aspects, Recommendations, and Pathways for Future Research. *Energy Strategy Reviews*, [online] 45(101013), p.101013. Available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X22002073.

Hu, Y., Cheng, H. and Tao, S. (2021). Opportunity and challenges in large-scale geothermal energy exploitation in China. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(21), pp.3813–3834. doi:https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1971004.

IEA (2014). *Secure Sustainable Together Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency*. [online] Available at: https://iea.blob.core.windows.net/assets/28f84ed8-4101-4e95-ae51-9536b6436f14/Multiple_Benefits_of_Energy_Efficiency-148x199.pdf.

Jane, K. (2025). *Adaptive Reuse of Existing Buildings: A Green Strategy for Energy Efficiency*. [online] ResearchGate. Available at: https://www.researchgate.net/publication/387940071_Adaptive_Reuse_of_Existing_Buildings_A_Green_Strategy_for_Energy_Efficiency.

Kephalopoulos, S., Geiss, O., Barrero-Moreno, J., Agostino, D. and Paci, D. (2017). *Promoting healthy and highly energy performing buildings in the European Union*. [online] Available at: https://www.rehva.eu/fileadmin/content/documents/Promoting_healthy_and_highly_energy_performing_buildings_in_European_Union.pdf.

Kibert, C.J. (2016). *Sustainable Construction Green Building Design and Delivery*. [online] *Scirp.org*. John Wiley & Sons. Available at: https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3843284.

Kwok, K.C.S. and Hu, G. (2023). Wind energy system for buildings in an urban environment. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, [online] 234, p.105349. doi:https://doi.org/10.1016/j.jweia.2023.105349.

Leonardo, I. (2024). *Energy efficiency increases your Buildings' NOI*. [online] LCA - Utility Cash Incentives | Over $150M Secured for our Clients. Available at: https://cutone.org/energy-efficiency-and-your-buildings-noi/.

Luther, M.B., Horan, P. and Tokede, O.O. (2018). A case study in performance measurements for the retrofitting of a library. *Energy and Buildings*, [online] 169, pp.473–483. doi:https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.057.

Maghrabie, H.M., Elsaid, K., Sayed, E.T., Abdelkareem, M.A., Wilberforce, T. and Olabi, A.G. (2021). Building-integrated photovoltaic/thermal (BIPVT) systems: Applications and challenges. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 45, p.101151. doi:https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101151.

Maidment, C.D., Jones, C.R., Webb, T.L., Hathway, E.A. and Gilbertson, J.M. (2014). The impact of household energy efficiency measures on health: A meta-analysis. *Energy Policy*, 65, pp.583–593. doi:https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.054.

Min, J., Yan, G., Abed, A.M., Elattar, S., Amine Khadimallah, M., Jan, A. and Elhosiny Ali, H. (2022). The effect of carbon dioxide emissions on the building energy efficiency. *Fuel*, [online] 326, p.124842. doi:https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124842.

Næss-Schmidt, H.S., Hansen, M.B. and Danielsson, C. von U. (2012). *Multiple benefits of investing in energy efficient renovation of buildings APPENDIX Commissioned by Renovate Europe*. [online] Available at: https://renovate-europe.eu/wp-content/uploads/2015/10/Multiple-benefits-of-EE-renovations-in-buildings-Appendix-only.pdf [Accessed 24 May 2025].

Pombo, O., Rivela, B. and Neila, J. (2016). The challenge of sustainable building renovation: assessment of current criteria and future outlook. *Journal of Cleaner Production*, 123, pp.88–100. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.137.

Raut, S.A., Marchi, L. and Gaspari, J. (2025). A System Thinking Approach to Circular-Based Strategies for Deep Energy Renovation: A Systematic Review. *Energies*, [online] 18(10), p.2494. doi:https://doi.org/10.3390/en18102494.

Roga, S., Bardhan, S., Kumar, Y. and Dubey, S.K. (2022). Recent technology and challenges of wind energy generation: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, p.102239. doi:https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102239.

Rojek, I., Dostatni, E., Mikołajewski, D., Pawłowski, L. and Węgrzyn-Wolska, K.M. (2022). Modern approach to sustainable production in the context of Industry 4.0. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, pp.143828–143828. doi:https://doi.org/10.24425/bpasts.2022.143828.

Rojek, I., Mikołajewski, D., Mroziński, A. and Macko, M. (2023). Machine Learning- and Artificial Intelligence-Derived Prediction for Home Smart Energy Systems with PV Installation and Battery Energy Storage. *Energies*, 16(18), pp.6613–6613. doi:https://doi.org/10.3390/en16186613.

Rojek, I., Mikołajewski, D., Mroziński, A., Macko, M., Bednarek, T. and Tyburek, K. (2025). Internet of Things Applications for Energy Management in Buildings Using Artificial Intelligence—A Case Study. *Energies*, [online] 18(7), p.1706. doi:https://doi.org/10.3390/en18071706.

Royo, P., Ferreira, V.J., López-Sabirón, A.M., García-Armingol, T. and Ferreira, G. (2018). Retrofitting strategies for improving the energy and environmental efficiency in industrial furnaces: A case study in the aluminium sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, pp.1813–1822. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.113.

Shah, A., Krarti, M. and Huang, J. (2022). Energy Performance Evaluation of Shallow Ground Source Heat Pumps for Residential Buildings. *Energies*, 15(3), p.1025. doi:https://doi.org/10.3390/en15031025.

Sharma, H., Haque, A. and Blaabjerg, F. (2021). Machine Learning in Wireless Sensor Networks for Smart Cities: A Survey. *Electronics*, 10(9), p.1012. doi:https://doi.org/10.3390/electronics10091012.

Sharpe, R.A., Thornton, C.R., Nikolaou, V. and Osborne, N.J. (2015). Higher energy efficient homes are associated with increased risk of doctor diagnosed asthma in a UK subpopulation. *Environment International*, 75, pp.234–244. doi:https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.017.

Shi, X., Tian, Z., Chen, W., Si, B. and Jin, X. (2016). A review on building energy efficient design optimization rom the perspective of architects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, pp.872–884. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.050.

Susca, T. (2021). The energy and environmental benefits of green roofs. *Energy and Buildings*, 254(111532).

Tester, J.W., Beckers, K.F., Hawkins, A.J. and Lukawski, M.Z. (2021). The evolving role of geothermal energy for decarbonizing the United States. *Energy & Environmental Science*. [online] doi:https://doi.org/10.1039/D1EE02309H.

Tian, Z., Zhang, X., Jin, X., Zhou, X., Si, B. and Shi, X. (2018). Towards adoption of building energy simulation and optimization for passive building design: A survey and a review. *Energy and Buildings*, [online] 158, pp.1306–1316. doi:https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.022.

UNIDO (2009). *Energy efficiency in buildings sustainable energy regulation and policymaking for africa*. [online] Available at: https://www.unido.org/sites/default/files/2009-02/Module18_0.pdf.

United Nations Environment Programme (2021). *A Practical Guide to Climate-resilient Buildings & Communities*.

Violano, A. and Cannaviello, M. (2023). The Carbon Footprint of Thermal Insulation: The Added Value of Circular Models Using Recycled Textile Waste. *Energies*, [online] 16(19), p.6768. doi:https://doi.org/10.3390/en16196768.

BPIE (2020). *Multiple Benefits as Driver of Energy efficient Building Renovation MULTIPLE BENEFITS OF ENERGY-EFFICIENT RENOVATION: OWNER AND TENANT PERSPECTIVES*. [online] Available at: https://www.bpie.eu/wp-content/uploads/2020/06/DBU-Factsheet-MFH_Zusatznutzen_20200618-Eng.pdf [Accessed 24 May 2025].

Wu, W. and Skye, H.M. (2021). Residential net-zero energy buildings: Review and perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, p.110859. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110859.

Yousefi, H., Abbaspour, A. and Seraj, H. (2019). Worldwide Development of Wind Energy and CO2 Emission Reduction. *Environmental Energy and Economic Research*, [online] 3(1), pp.1–9. doi:https://doi.org/10.22097/eeer.2019.164295.1064.

Zhang, Y., Xie, L. and Zhang, M. (2019). Energy efficiency in green buildings: A review of passive design strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 102, pp.342–356.

Zheng, X., Qiu, Y., Zhan, X., Zhu, X., Keirstead, J., Shah, N. and Zhao, Y. (2017). Optimization based planning of urban energy systems: Retrofitting a Chinese industrial park as a case-study. *Energy*, 139, pp.31–41. doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.139.

Zuo, J. and Zhao, Z. (2021). Building capacity for renewable energy: Training and certification programs. *Renewable Energy*, 178, pp.1042–1051.

Β. ΕΛΛΗΝΙΚΗ

ecopress (2024). Το κόστος και χρόνος απόσβεσης ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίου. [online] ECOPRESS. Available at: https://ecopress.gr/energeiaki-anavathmisi-to-kostos/.

Φελώνης, Ν. (2015). *5.2.3. Συμβάσεις Ενεργειακής Απόδοσης* . [online] Available at: https://www.bahagram.com/wp-content/uploads/2015/11/EnergyPerformanceContractingAndThirdPartyFinancing.pdf.

HDB (2023). *Πράσινα Συγχρηματοδοτούμενα Δάνεια (Green Co-Financing Loans) - Ελληνική Αναπτυξιακή Τράπεζα*. [online] Ελληνική Αναπτυξιακή Τράπεζα. Available at: https://hdb.gr/growth-fund-green-co-financing-loans/ [Accessed 24 May 2025].

Horizon Europe (2020). *Horizon Europe – Ορίζοντας Ευρώπη*. [online] horizoneurope.gr. Available at: https://horizoneurope.gr/.

Κίτσιος, Π. (2025). *ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ: ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΙ ΟΦΕΛΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΙΔΙΟΚΤΗΤΕΣ ΑΚΙΝΗΤΩΝ*. [online] Available at: https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/17656/Kitsios_bio2319.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Accessed 24 May 2025].

Νίκος Ρουσάνογλου (2023). *Πόσο κοστίζει η ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων*. [online] Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ. Available at: https://www.kathimerini.gr/economy/local/562412626/poso-kostizei-i-energeiaki-anavathmisi-ktirion/.

Ρηγόπουλος, Δ. (2023). *Εμφύλιος για τα αρχαιότερα κτίρια του Πανεπιστημίου Πατρών*. [online] Available at: https://www.kathimerini.gr/culture/562786795/emfylios-gia-ta-archaiotera-ktiria-toy-panepistimioy-patron/.

Ριζογιάννη, Μ. (2023). *Πανεπιστήμιο Πατρών: Καμπανάκι για αλλοίωση δύο κτιρίων - Ενστάσεις για την ενεργειακή αναβάθμιση*. [online] pelop.gr. Available at: https://pelop.gr/panepistimio-patron-kabanaki-gia-alloiosi-dyo-ktirion-enstaseis-gia-tin-energeiaki-anavathmisi/.

Σάνης, Α. (2021a). *ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ ΕΡΓΟΛΑΒΙΑ: 'Ενεργειακή αναβάθμιση των Κτιρίων Α & Β του Πανεπιστημίου Πατρών' ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕΛΕΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΕΡΓΩΝ ΤΜΗΜΑ ΜΕΛΕΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΤΙΡΙΟ Κτίριο Α του Πανεπιστημίου Πατρών*. [online] Available at: https://www.upatras.gr/wp-content/uploads/2023/03/04_%CE%A4%CE%95%CE%A7%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%95%CE%A3-%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%94%CE%99%CE%91%CE%93%CE%A1%CE%91%CE%A6%CE%95%CE%A3-%CE%9A%CE%A4%CE%99%CE%A1%CE%99%CE%9F%CE%A5-%CE%91-03-12-2021-signed.pdf [Accessed 24 May 2025].

Σάνης, Α. (2021b). *ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ ΕΡΓΟΛΑΒΙΑ: 'Ενεργειακή αναβάθμιση των Κτιρίων Α & Β του Πανεπιστημίου Πατρών' ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕΛΕΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΕΡΓΩΝ ΤΜΗΜΑ ΜΕΛΕΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΤΙΡΙΟ Κτίριο Β του Πανεπιστημίου Πατρών*. [online] Available at: https://www.upatras.gr/wp-content/uploads/2023/03/05_%CE%A4%CE%95%CE%A7%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%95%CE%A3-%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%94%CE%99%CE%91%CE%93%CE%A1%CE%91%CE%A6%CE%95%CE%A3-%CE%9A%CE%A4%CE%99%CE%A1%CE%99%CE%9F%CE%A5-B-03-12-2021-signed.pdf [Accessed 24 May 2025].

Σάνης, Α. (2022). *Προϋπολογισμός Μελέτης* . [online] Available at: https://www.upatras.gr/wp-content/uploads/2023/03/%CE%A0%CF%81%CE%BF%CF%8B%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82-%CE%9A%CE%A4_-%CE%91-%CE%92-27-10-2022-signed.pdf.

Βαχαβιώλος, Π. (2023). *Ενεργειακή αναβάθμιση κατοικιών αξιοποιώντας σύγχρονα υλικά και τεχνολογικά μέσα και το πρότυπο του παθητικού κτιρίου, η περίπτωση της Ελλάδα*. [online] Available at: https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/16331/Vachaviolos_MKK2105.pdf?sequence=3&isAllowed=y [Accessed 24 May 2025].

ΥΠΕΝ (2020a). *Εξοικονόμηση – Ενεργειακή Αποδοτικότητα/Κτίρια*. [online] Available at: https://ypen.gov.gr/energeia/energeiaki-exoikonomisi/ktiria/.

ΥΠΕΝ (2020b). *Εξοικονομώ - Αυτονομώ - Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας*. [online] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Available at: https://ypen.gov.gr/energeia/energeiaki-exoikonomisi/exoikonomo-aftonomo/.

ΥΠΕΝ (2024). *ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΠΙΤΕΛΙΚΗ ΔΟΜΗ ΕΣΠΑ ΥΠΕΝ ΥΠΟΔΙΕΥΘΥΝΣΗ 2 ΤΟΜΕΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ*. [online] Available at: https://exoikonomo2023.gov.gr/documents/10182/7375908/%CE%95%CE%9E+2023_%CE%9F%CE%94%CE%97%CE%93%CE%9F%CE%A3_2%CE%B7+%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%80_final.pdf/71427ba4-ada1-4f8b-8ff7-d59b9072114a.

Υπουργείο Οικονομικών (2022). *Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) - Πύλη Ευρωπαϊκών Ταμείων*. [online] Πύλη Ευρωπαϊκών Ταμείων - Προγραμματική Περίοδος 2021-2027. Available at: https://eufunds.com.cy/cohesion-policy/european-regional-development-fund-erdf/.