



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ &
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**“Τεχνοοικονομική αξιολόγηση μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας
στον οικιακό τομέα χωρών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης”**

Ναστούλης Αθανάσιος

Επιβλέπων: Φλάμος Αλέξανδρος

Αναπληρωτής Καθηγητής Πα.Πει.

Πειραιάς, Ιανουάριος 2021



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ &
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**“Τεχνοοικονομική αξιολόγηση μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας
στον οικιακό τομέα χωρών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης”**

Ναστούλης Αθανάσιος

Επιβλέπων: Φλάμος Αλέξανδρος

Αναπληρωτής Καθηγητής Πα.Πει.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 8^η Ιανουαρίου 2021

.....

Ειρηνάκης Π.

Επικ. Καθηγητής Πα.Πει

.....

Κωστόπουλος Κ.

Αν. Καθηγητής Πα.Πει.

.....

Φλάμος Α.

Αν. Καθηγητής Πα.Πει.

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, Ιανουάριος 2021

.....
Ναστούλης Αθανάσιος

Διπλωματούχος Μηχανικός Παραγωγής και Διοίκησης Πολυτεχνείου Κρήτης

© Ναστούλης Αθανάσιος , Τζανή Δήμητρα, Σταύρακας Βασίλειος, Φλάμος Αλέξανδρος, 2021
All rights reserved.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και σε καμία περίπτωση δεν αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Πειραιώς.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε το ακαδημαϊκό έτος 2019-2020 στο Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιώς (Πα.Πει.), στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος (ΠΜΣ) «Διαχείριση Ενέργειας & Περιβάλλοντος».

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η τεχνοοικονομική αξιολόγηση διάφορων μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας στον οικιακό τομέα χωρών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.), και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων σχετικά με την εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται ανά τύπο κατοικίας και κλιματική ζώνη.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αλέξανδρο Φλάμο, για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας, καθώς μου δόθηκε η δυνατότητα να ασχοληθώ σε βάθος με ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα, το οποίο κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικό στα πλαίσια του εθνικού και ευρωπαϊκού σχεδιασμού για την επίτευξη των κλιματικών και ενεργειακών στόχων των επερχόμενων δεκαετιών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Ερευνητές του Εργαστηρίου Τεχνοοικονομικών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς, κ. Δήμητρα Τζανή και κ. Βασίλη Σταύρακα, για την πολύτιμη συμβολή και υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη την διάρκεια υλοποίησης της Διπλωματικής μου εργασίας.

Πειραιάς, 2021

Ναστούλης Αθανάσιος

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή.....	11
1.1. Αντικείμενο και σκοπός	11
1.2 Φάσεις υλοποίησης.....	11
Κεφάλαιο 2ο: Ο ρόλος της ενεργειακής εξοικονόμησης στον οικιακό τομέα στο μετριασμό του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής	13
2.1. Η κλιματική αλλαγή.....	13
2.2. Βραχυπρόθεσμοι ενεργειακοί & κλιματικοί στόχοι έως το 2020	13
2.3. Οι Μεσοπρόθεσμοι ενεργειακοί & κλιματικοί στόχοι ως το 2030	14
2.4. Μακροπρόθεσμοι στόχοι έως το 2050 και η «Νέα Πράσινη Συμφωνία» για την Ευρώπη	15
2.5. Ο ρόλος της ενεργειακής αποδοτικότητας στην καταπολέμηση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής.....	16
Κεφάλαιο 3ο: Ανάπτυξη μεθοδολογικού πλαισίου για την αξιολόγηση μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στον οικιακό τομέα.....	23
3.1. Εισαγωγή	23
3.2. Επιλογή των μελετών περίπτωσης χωρών μελών της Ε.Ε	24
3.3. Επιλογή των κατοικιών που θα εξεταστούν σε κλιματικό και γεωγραφικό επίπεδο στις επιλεγμένες χώρες	25
3.4. Το θεωρητικό υπόβαθρο και η μοντελοποίηση των κατοικιών βάσει της μεθοδολογίας ενός R-C δικτύου	26
3.5. Η παραμετροποίηση & η προσομοίωση του υπολογιστικού εργαλείου “DREEM”	36
3.6. Τεχνοοικονομική ανάλυση των αποτελεσμάτων και παρουσίαση	39
Κεφάλαιο 4ο: Εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μελέτης	41
4.1. Επιλογή των μελετών περίπτωσης και δεδομένα εισόδου	41
4.1.1. Η περίπτωση της Ιταλίας.....	44
4.1.2. Η περίπτωση της Γαλλίας.....	51
4.1.3. Η περίπτωση της Ισπανίας.....	57
4.1.4. Η περίπτωση της Ιρλανδίας	63
4.1.5. Η περίπτωση της Ελλάδας	70
4.2. Επιλογή μέτρων ενεργειακής εξοικονόμησης.....	75
4.3. Τεχνοοικονομική αξιολόγηση των μέτρων ενεργειακής εξοικονόμησης.....	77
Κεφάλαιο 5ο: Αποτελέσματα.....	79
5.1. Μιλάνο	79
5.2. Παρίσι.....	83
5.3. Σεβίλλη	87

5.4. Δουβλίνο	91
5.5. Αθήνα	95
Κεφάλαιο 6 ^ο : Συμπεράσματα-Προοπτικές για περαιτέρω έρευνα.....	100
Βιβλιογραφία	103

Διαγράμματα

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: Η ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	18
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: Η ΗΛΙΚΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΤΟΥ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΤΟΜΕΑ ΣΤΑ ΚΡΑΤΗ ΜΕΛΗ ΤΗΣ Ε.Ε.....	19
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΑΝ	23
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4. ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & LCSE ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΣΕΝΑΡΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΜΙΛΑΝΟΥ.	81
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5. ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & LCSE ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΣΕΝΑΡΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΜΙΛΑΝΟΥ.	83
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6. ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & LCSE ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΣΕΝΑΡΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΠΑΡΙΣΙΟΥ	85
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7. ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & LCSE ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΣΕΝΑΡΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΠΑΡΙΣΙΟΥ	87
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8. ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & LCSE ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΣΕΝΑΡΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΣΕΒΙΛΛΗΣ	89
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9. ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & LCSE ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΣΕΝΑΡΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΣΕΒΙΛΛΗΣ	91
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10. ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & LCSE ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΣΕΝΑΡΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΔΟΥΒΛΙΝΟΥ	93
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11. ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & LCSE ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΣΕΝΑΡΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΔΟΥΒΛΙΝΟΥ	95
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12. ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & LCSE ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΣΕΝΑΡΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΠΡΙΝ ΤΟ 1980 ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ	97
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13. ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & LCSE ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΣΕΝΑΡΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ.....	99

Εικόνες

ΕΙΚΟΝΑ 1. ΟΙ ΒΡΑΧΥΠΡΟΘΕΣΜΟΙ & ΜΕΣΟΠΡΟΘΕΣΜΟΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ Ε.Ε.. ΠΗΓΗ: [3]	15
ΕΙΚΟΝΑ 2. Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΤΗΣ Ε.Ε ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΔΕΙΚΤΗ HDD. ΠΗΓΗ: [18]	25
ΕΙΚΟΝΑ 3. ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΓΩΓΗ ΣΕ ΣΩΜΑ ΠΑΧΟΥΣ L ΚΑΤΑ ΤΗ Χ- ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ. ΠΗΓΗ: [22]	27
ΕΙΚΟΝΑ 4. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΡΟΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ. ΠΗΓΗ: [25].....	31
ΕΙΚΟΝΑ 5. ΟΜΟΙΟΓΕΝΗΣ ΤΟΙΧΟΣ ΓΙΑ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΡΟΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ. ΠΗΓΗ: [29].....	33

ΕΙΚΟΝΑ 6. ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΡΟΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ. ΠΗΓΗ: [29]	35
ΕΙΚΟΝΑ 7. ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΦΥΛΛΟ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ R-C	35
ΕΙΚΟΝΑ 8. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ “DREEM”. ΠΗΓΗ: [27]	37
ΕΙΚΟΝΑ 9. Η ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΑΝ ΕΝΑ ΚΥΚΛΩΜΑ “R-C”. ΠΗΓΗ: [27]	38
ΕΙΚΟΝΑ 10. ΤΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ. ΠΗΓΗ: [37]	43
ΕΙΚΟΝΑ 11. Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ ΣΤΗΝ ΙΤΑΛΙΚΗ ΕΠΙΚΡΑΤΕΙΑ. ΠΗΓΗ: [39]	45
ΕΙΚΟΝΑ 12. ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΜΙΛΑΝΟ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ (1961-1975)	46
ΕΙΚΟΝΑ 13. ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΜΙΛΑΝΟ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ (1991-2005)	46
ΕΙΚΟΝΑ 14. ΤΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ & ΘΕΡΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ 1961-1975	47
ΕΙΚΟΝΑ 15. ΤΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ & ΘΕΡΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ 1991-2005	47
ΕΙΚΟΝΑ 16. ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΦΥΛΛΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΟΙΚΙΑ 1961-1975	48
ΕΙΚΟΝΑ 17. ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΦΥΛΛΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΟΙΚΙΑ 1991-2005	48
ΕΙΚΟΝΑ 18. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 1961-1975	50
ΕΙΚΟΝΑ 19. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 1991-2005	51
ΕΙΚΟΝΑ 20. ΟΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΣΤΗΝ ΓΑΛΛΙΚΗ ΕΠΙΚΡΑΤΕΙΑ. ΠΗΓΗ: [40]	52
ΕΙΚΟΝΑ 21. Η ΠΡΟΣΟΨΗ ΤΗΣ 1 ^{ΗΣ} ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1975-1981 ΣΤΟ ΠΑΡΙΣΙ	53
ΕΙΚΟΝΑ 22. Η ΠΡΟΣΟΨΗ ΤΗΣ 2 ^{ΗΣ} ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ 1990-1999 ΣΤΟ ΠΑΡΙΣΙ	53
ΕΙΚΟΝΑ 23. ΤΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ & ΘΕΡΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1975-1981 ΣΤΟ ΠΑΡΙΣΙ	54
ΕΙΚΟΝΑ 24. ΤΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ & ΘΕΡΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1990-1999 ΣΤΟ ΠΑΡΙΣΙ	54
ΕΙΚΟΝΑ 25. ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΦΥΛΛΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1975-1981 ΣΤΟ ΠΑΡΙΣΙ	55
ΕΙΚΟΝΑ 26. ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΦΥΛΛΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1990-1999 ΣΤΟ ΠΑΡΙΣΙ	55
ΕΙΚΟΝΑ 27. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1975-1981 ΣΤΟ ΠΑΡΙΣΙ	56
ΕΙΚΟΝΑ 28. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1990-1999 ΣΤΟ ΠΑΡΙΣΙ	57
ΕΙΚΟΝΑ 29. ΟΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΣΤΗΝ ΙΣΠΑΝΙΚΗ ΕΠΙΚΡΑΤΕΙΑ. ΠΗΓΗ: [41]	58
ΕΙΚΟΝΑ 30. Η 1 ^Η ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1960-1979 ΣΤΗ ΣΕΒΙΛΛΗ	59
ΕΙΚΟΝΑ 31. ΤΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ & ΘΕΡΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ 1 ^{ΗΣ} ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1960-1979 ΣΤΗ ΣΕΒΙΛΛΗ	59
ΕΙΚΟΝΑ 32. Η 2 ^Η ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1980-2006 ΣΤΗ ΣΕΒΙΛΛΗ	60
ΕΙΚΟΝΑ 33. ΤΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ & ΘΕΡΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ 1 ^{ΗΣ} ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1980-2006 ΣΤΗ ΣΕΒΙΛΛΗ	60
ΕΙΚΟΝΑ 34. ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΦΥΛΛΟ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1960-1979 ΣΤΗ ΣΕΒΙΛΛΗ	61
ΕΙΚΟΝΑ 35. ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΦΥΛΛΟ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1980-2006 ΣΤΗ ΣΕΒΙΛΛΗ	61
ΕΙΚΟΝΑ 36. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1960-1979 ΣΤΗ ΣΕΒΙΛΛΗ	62

ΕΙΚΟΝΑ 37. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1980-2006 ΣΤΗ ΣΕΒΙΛΛΗ.....	63
ΕΙΚΟΝΑ 38. ΤΟ ΚΛΙΜΑ ΣΤΗΝ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ ΤΗΣ ΙΡΛΑΝΔΙΑΣ. ΠΗΓΗ: [43]	64
ΕΙΚΟΝΑ 39. Η ΠΡΟΣΟΨΗ ΤΗΣ 1 ^Η Σ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1978-1982 ΣΤΟ ΔΟΥΒΛΙΝΟ	64
ΕΙΚΟΝΑ 40. Η ΠΡΟΣΟΨΗ ΤΗΣ 2 ^Η Σ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1994-2004 ΣΤΟ ΔΟΥΒΛΙΝΟ	65
ΕΙΚΟΝΑ 41. ΤΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ & ΘΕΡΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ 1 ^Η Σ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1967-1977 ΣΤΟ ΔΟΥΒΛΙΝΟ	65
ΕΙΚΟΝΑ 42. ΤΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ & ΘΕΡΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ 2 ^Η Σ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ 1994-2004 ΣΤΟ ΔΟΥΒΛΙΝΟ	66
ΕΙΚΟΝΑ 43. ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΦΥΛΛΟ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1978-1982 ΣΤΟ ΔΟΥΒΛΙΝΟ	67
ΕΙΚΟΝΑ 44. ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΦΥΛΛΟ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1994-2004 ΣΤΟ ΔΟΥΒΛΙΝΟ	68
ΕΙΚΟΝΑ 45. ΤΑ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1978-1982 ΣΤΟ ΔΟΥΒΛΙΝΟ	69
ΕΙΚΟΝΑ 46. ΤΑ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1994-2004 ΣΤΟ ΔΟΥΒΛΙΝΟ	69
ΕΙΚΟΝΑ 47. ΟΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΚΡΑΤΕΙΑ. ΠΗΓΗ: [44]	70
ΕΙΚΟΝΑ 48. Η 1 ^Η ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΠΡΟ ΤΟΥ 1980 ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ	71
ΕΙΚΟΝΑ 49. Η 2 ^Η ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕΤΑΞΥ 1981-2000 ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ.....	71
ΕΙΚΟΝΑ 50. ΤΑ ΘΕΡΜΙΚΑ & ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ 1 ^Η Σ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΠΡΟ 1980 ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ.....	72
ΕΙΚΟΝΑ 51. ΤΑ ΘΕΡΜΙΚΑ & ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ 2 ^Η Σ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ 1981-2000 ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ.....	72
ΕΙΚΟΝΑ 52. ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΦΥΛΛΟ ΤΗΣ 1 ^Η Σ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΠΡΟ ΤΟΥ 1980 ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ.....	73
ΕΙΚΟΝΑ 53. ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΦΥΛΛΟ ΤΗΣ 2 ^Η Σ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΜΕΤΑΞΥ 1981-2000 ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ.....	73
ΕΙΚΟΝΑ 54. ΤΑ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΗΣ 1 ^Η Σ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΠΡΟ 1980 ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ.....	74
ΕΙΚΟΝΑ 55. ΤΑ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΗΣ 2 ^Η Σ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΜΕΤΑΞΥ 1981-2000 ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ.....	75

Πίνακες

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ. ΠΗΓΗ: [14]	20
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ. ΠΗΓΗ: [26]	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 3. ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ	78
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Η ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΟ ΜΙΛΑΝΟ	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΜΙΛΑΝΟ.....	80

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Η ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΜΙΛΑΝΟ.....	82
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΜΙΛΑΝΟ.....	82
ΠΙΝΑΚΑΣ 8. Η ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΟ ΠΑΡΙΣΙ.....	84
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΠΑΡΙΣΙΟΥ.....	84
ΠΙΝΑΚΑΣ 10. Η ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΟ ΠΑΡΙΣΙ.....	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 11. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΠΑΡΙΣΙΟΥ.....	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 12. Η ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗ ΣΕΒΙΛΛΗ.....	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 13. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΣΕΒΙΛΛΗΣ	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 14. Η ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗ ΣΕΒΙΛΛΗ.....	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 15. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΣΕΒΙΛΛΗΣ	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 16. Η ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΟ ΔΟΥΒΛΙΝΟ	92
ΠΙΝΑΚΑΣ 17. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΔΟΥΒΛΙΝΟΥ.....	92
ΠΙΝΑΚΑΣ 18. Η ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΟ ΔΟΥΒΛΙΝΟ	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 19. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΔΟΥΒΛΙΝΟΥ.....	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 20. Η ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ.....	96
ΠΙΝΑΚΑΣ 21. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ	96
ΠΙΝΑΚΑΣ 22. Η ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ.....	98
ΠΙΝΑΚΑΣ 23. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ 2 ^Η ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ.....	98

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο κτιριακός τομέας ευθύνεται για το 40% της κατανάλωσης ενέργειας και για το 36% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.). Στα πλαίσια των πρόσφατων εξελίξεων για μείωση των εκπομπών σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, οι ενεργειακές ανακαινίσεις των κτιρίων μπορούν να συνεισφέρουν ουσιαστικά στο ευρύτερο πεδίο βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης, υποστηρίζοντας, έτσι, και τις ευρύτερες προσπάθειες για από-ανθρακοποίηση του ενεργειακού συστήματος μέχρι το 2030, και για κλιματική ουδετερότητα μέχρι το 2050. Ωστόσο, ακόμα και αν σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα οι τεχνολογίες αναβάθμισης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων προβλέπεται να εξοικονομήσουν ενέργεια και χρήματα, το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης πολλών εξ' αυτών αποθαρρύνει συχνά τους ιδιοκτήτες, οδηγώντας τους έτσι, σε εύκολες μικρο-παρεμβάσεις και όχι σε ριζικές ανακαινίσεις των κτιρίων. Είναι σημαντικό, λοιπόν, να ιεραρχηθούν οι πιο ενεργειακά αποδοτικές επενδύσεις, λαμβάνοντας, παράλληλα, υπόψιν και την οικονομική αποδοτικότητα μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης τα οποία συχνά αγνοούνται λόγω του υψηλού αρχικού κόστους επένδυσης τους.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στον τρόπο με τον οποίο η κατανάλωση ενέργειας και τα σχετικά κόστη επένδυσης επηρεάζονται από τα διαφορετικά μέτρα εξοικονόμησης που εφαρμόζονται σε επιλεγμένες μονοκατοικίες της Ε.Ε.. Σε αυτό το πλαίσιο, αξιολογείται το οικονομικά βιώσιμο δυναμικό ενεργειακής απόδοσης στον οικιακό κτιριακό τομέα τριών κλιματικών περιοχών (Μεσογειακές, Ηπειρωτικές και Βόρειο-Ατλαντικές κλιματικές ζώνες), συνδυάζοντας εργαλεία μοντελοποίησης/προσομοίωσης υψηλής ευκρίνειας και τεχνοοικονομικής αξιολόγησης, καθώς και δείκτες κόστους-οφέλους. Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν πέντε κράτη-μέλη της Ε.Ε. προς εξέταση: Ιταλία, Γαλλία, Ισπανία, Ιρλανδία, και Ελλάδα. Τα εξεταζόμενα κτίρια αφορούν μονοκατοικίες δύο διαφορετικών περιόδων κατασκευής: κατοικίες πριν το 1980 και κατοικίες μετά το 1980.

Αρχικά, καθορίζεται η ετήσια ενεργειακή ζήτηση για τις επιλεγμένες κατοικίες, και στη συνέχεια εξετάζεται η οικονομική αποδοτικότητα και η εξοικονομούμενη ενέργεια από την εφαρμογή κάθε εξεταζόμενου μέτρου ενεργειακής αναβάθμισης, ενώ παρουσιάζονται προτάσεις για την ιεράρχηση συγκεκριμένων ενεργειακών επενδύσεων (π.χ., εγκατάσταση αντλιών θερμότητας, μόνωση οροφής, αντικατάσταση φωτισμού και ηλεκτρικών συσκευών, κ.λπ.). Εντοπίστηκαν σημαντικές διαφορές σχετικά με την τελική κατανάλωση ενέργειας μεταξύ παλαιότερων και νεότερων κατοικιών, κάτι που εξηγείται από τα πιο αποδοτικά θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών τμημάτων των πιο πρόσφατα χτισμένων κτιρίων, καθώς και από τα αυστηρότερα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης που έχουν υιοθετηθεί μετά το 1980 στην Ε.Ε..

Τέλος, σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και το κόστος εγκατάστασης ανά εξεταζόμενο μέτρο, και σύμφωνα με την τεχνοοικονομική

ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, παρατηρείται ότι σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, οι λιγότερο κοστοβόρες παρεμβάσεις, όπως η αντικατάσταση παραδοσιακών λαμπτήρων με νέους, τεχνολογίας "LED", καθώς και η εγκατάσταση "έξυπνων" συσκευών, όπως θερμοστάτες, είναι οι πιο αποτελεσματικές λύσεις. Σημαντικά ποσοστά επίτευξης οικονομικής αποδοτικότητας παρατηρήθηκαν και από την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας στις εξεταζόμενες κατοικίες, παρά το αρχικό υψηλό κόστος επένδυσης, το οποίο και αντισταθμίζεται από τα υψηλά ποσοστά εξοικονόμησης που επιτυγχάνονται. Τέλος, παρατηρείται μια διαφοροποίηση μεταξύ των πιο αποδοτικών και των λιγότερο αποδοτικών μέτρων, σύμφωνα με τα γεωμετρικά και θερμικά χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων κατοικιών, αλλά και την γεωγραφική τους θέση.

ABSTRACT

The buildings sector is responsible for 40% of the energy consumption and 36% of the CO₂ emissions in the European Union (EU). Energy refurbishments of buildings can substantially contribute to economy-wide energy efficiency improvements, leading to decarbonisation and additional sustainability benefits. However, even if energy-efficient technologies may ultimately end up saving energy and money over the long-run, they may nevertheless require upfront investments that discourage homeowners, or lead to “low-hanging fruit” investments, and not deep holistic renovations. Prioritising the most energy and economically promising investments is crucial to ensure the cost-effectiveness of energy efficiency measures, and that harder-to-reach measures (e.g., replacement of windows) are not neglected. This thesis investigates how energy consumption and related costs are affected by different efficiency measures that can be adopted to satisfy the energy demand in EU single-family houses.

To achieve this objective, this study assesses the economically viable energy efficiency potential in the residential building sector of three climatic areas (the Mediterranean, Continental, and North Atlantic zones), with a combination of high-resolution modelling-simulation and techno-economic tools, also using cost-effectiveness indices. The countries selected are Italy, France, Spain, Ireland, and Greece, and reference single-family buildings from two different construction periods (pre-1980 and post-1980) are utilized from the “Tabula” webtool. Primarily, the annual energy demand for the reference buildings is determined. Afterwards, the potential for energy savings and the cost-effectiveness per energy efficiency measure are examined, and a proposal for prioritising specific energy investments, such as the installation of heat pumps, insulation of roofs, and replacement of lighting and electric appliances, is presented. Significant differences regarding the final energy consumption between older and newly built households are identified, which is explained by the more efficient thermal characteristics of the structural parts of the recently built households, and the stricter energy performance standards that have been adopted after 1980 in EU.

Regarding the energy savings and economic potential per measure, it is observed that, in almost all the cases, according to the technoeconomic analysis performed, the lowest cost interventions, such as the replacement of traditional lamps with new LED technology, as well as the installation of “smart” thermostats, are the most efficient solutions. Significant percentages in terms of cost-efficiency were also shown for the installation of a heat pump, which, despite the high initial investment costs, it achieves high saving rates, and offsets the initial capital required. Finally, a comparative analysis between the most and the least efficient measures per dwelling type, according to its geometric and thermal characteristics, and its geographic location, takes place.

Keywords: buildings; residential sector; energy demand; energy efficiency; demand-side management; energy efficiency measures; energy savings; energy system modelling; demand-side management modelling; European Union; Renovation Wave.

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή

1.1. Αντικείμενο και σκοπός

Η κλιματική αλλαγή έχει σημαντικά και εμφανή αποτελέσματα στην άνοδο της θερμοκρασίας και της στάθμης της θάλασσας, και σοβαρό αντίκτυπο στην ακεραιότητα των οικοσυστημάτων, των υδάτινων πόρων, της δημόσιας υγείας, των γεωργικών καλλιεργειών, κλπ. Οι δράσεις για την καταπολέμηση της, απαιτούν βιώσιμα και προσαρμόσιμα μέτρα για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, τόσο σε παγκόσμια όσο και σε εθνική κλίμακα. Ενδεικτικές τέτοιες δράσεις αποτελούν η προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στην ηλεκτροπαραγωγή, η χρήση φιλικότερων και πιο "πράσινων" καυσίμων στις μεταφορές, αλλά και η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης συνολικά.

Η παραγωγή ενέργειας με συμβατές και φιλικές προς το περιβάλλον μεθόδους αποτελεί μια ικανοποιητική λύση, ωστόσο δεν αρκεί για την αντιμετώπιση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής.

Σημαντικό ρόλο αναμένεται να διαδραματίσει η ενεργειακή εξοικονόμηση, είτε πρόκειται για πιο αποδοτικούς κινητήρες στις μεταφορές, είτε πρόκειται για πιο αποδοτικές ενεργειακά κατοικίες, οι οποίες είναι και το αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.), ως μια από τις ευαίσθητοποιημένες οικονομίες στο κομμάτι του περιβάλλοντος, πρωτοστατεί σε αυτό τον αγώνα κατά της κλιματικής αλλαγής, υιοθετώντας πληθώρα δράσεων και πολιτικών σε όλους τους τομείς του ενεργειακού συστήματος. Σημαντικός τομέας εστίασης για τους μεσοπρόθεσμους στόχους του 2030 είναι και αυτός της ενεργειακής εξοικονόμησης και βελτίωσης της απόδοσης του κτιριακού της δυναμικού.

Σε αυτό το πλαίσιο, σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι να παρουσιαστεί η υφιστάμενη κατάσταση σε κτίρια του οικιακού τομέα επιλεγμένων χωρών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) και βάσει της ενεργειακής τους κατανάλωσης να πραγματοποιηθεί μία τεχνοοικονομική αξιολόγηση μέτρων ενεργειακής εξοικονόμησης, με σκοπό την ανάδειξη της σημασίας και των προοπτικών της βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων, στην μετάβαση προς ένα λιγότερο ρυπογόνο περιβάλλον, αλλά και στην αντιμετώπιση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής σε παγκόσμιο επίπεδο.

1.2. Φάσεις υλοποίησης

Η παρούσα διπλωματική αποτελείται από τέσσερις (4) βασικές φάσεις υλοποίησης, οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

Φάση 1^η : Ο ρόλος της ενεργειακής εξοικονόμησης στον οικιακό τομέα στο μετριασμό του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής:

Στην 1^η φάση παρουσιάζεται συνοπτικά το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής και γίνεται ιδιαίτερη μνεία στους μεσοπρόθεσμους και μακροπρόθεσμους κλιματικούς και ενεργειακούς στόχους που έχει θέσει η Ε.Ε.. Σε επόμενο στάδιο εστιάζουμε στη σημασία της ενεργειακής εξοικονόμησης και της βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων για το μετριασμό του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται στο **2^ο Κεφάλαιο** της παρούσας εργασίας.

Φάση 2^η : Ανάπτυξη μεθοδολογικού πλαισίου για την αξιολόγηση μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στον οικιακό τομέα:

Στη 2^η φάση παρουσιάζεται το μεθοδολογικό πλαίσιο που χρησιμοποιήθηκε για την τεχνοοικονομική αξιολόγηση μέτρων εξοικονόμησης σε επιλεγμένες μελέτες περίπτωσης. Η συγκεκριμένη φάση, αποτελεί το κύριο αντικείμενο του **3^{ου} Κεφαλαίου** της παρούσας εργασίας.

Φάση 3^η : Εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μελέτης:

Σε 3^η φάση παρουσιάζεται η εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου σε επιλεγμένες περιπτώσεις μελέτης, τα κύρια δεδομένα εισαγωγής και πως αυτά επιλέχθηκαν, αποτελώντας το **4^ο Κεφάλαιο** της εργασίας μας.

Φάση 4^η: Αποτελέσματα:

Ακολούθως, στην 4^η φάση, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ενεργειακής αποδοτικότητας που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή των υπό μελέτη μέτρων εξοικονόμησης που επιλέχθηκαν για συγκεκριμένους τύπους κατοικιών στις επιλεγμένες μελέτες περίπτωσης, και γίνεται σχολιασμός των αποτελεσμάτων με βάση το κριτήριο κόστους-απόδοσης. Τα αποτελέσματα αυτά και ο σχολιασμός τους αποτελούν το **5^ο Κεφάλαιο** της παρούσας εργασίας.

Φάση 5^η: Συμπεράσματα και προοπτικές:

Στην 5^η και τελευταία φάση εξάγονται τα βασικά συμπεράσματα της υπάρχουσας εργασίας, και παρουσιάζονται προοπτικές για μετέπειτα συμπληρωματική έρευνα. Τα παραπάνω αποτελούν το **6^ο και τελευταίο Κεφάλαιο** της παρούσας εργασίας.

Κεφάλαιο 2^ο: Ο ρόλος της ενεργειακής εξοικονόμησης στον οικιακό τομέα στο μετριασμό του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής

2.1. Η κλιματική αλλαγή

Ο όρος κλιματική αλλαγή αναφέρεται στη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος, και ειδικότερα στις μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (United Nations Framework Convention On Climate Change, UNFCCC), ως κλιματική αλλαγή ορίζεται ειδικότερα η μεταβολή κλίματος που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, διακρίνοντας τον όρο από την κλιματική μεταβλητότητα που έχει φυσικά αίτια. Οι μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών έχουν ως αποτέλεσμα την πρόκληση υψηλών διακυμάνσεων ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητά του.

Τα αίτια που μπορούν να προκαλέσουν το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής προκύπτουν από τις φυσικές διαδικασίες, καθώς και από τις ανθρώπινες δραστηριότητες με επιπτώσεις στο κλίμα, όπως η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας [1]. Παράγοντες όπως, η υπερκατανάλωση προϊόντων του πρωτογενούς τομέα, η αλόγιστη υπερκατανάλωση των φυσικών πόρων, καθώς και η αύξηση του πληθυσμού της Γης, που παρουσιάστηκαν τα τελευταία χρόνια, οδήγησαν την κοινωνία και την οικονομία να αναπτύσσονται με αυξανόμενους ρυθμούς σε παγκόσμιο επίπεδο τις συγκριτικά με τις προηγούμενες δεκαετίες.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, την ανάγκη για περισσότερη ενέργεια, και άρα την αύξηση της ενεργειακής ζήτησης. Η αύξηση αυτή της ενεργειακής ζήτησης, έχει παρουσιάσει ένα μεγάλο αντίκτυπο στο περιβάλλον με συνέπεια η παγκόσμια μέση θερμοκρασία του πλανήτη να έχει ανέβει κατά περίπου 1 βαθμό Κελσίου από το 1880 μέχρι το 2017 [2], στα επίπεδα δηλαδή προ βιομηχανικής επανάστασης και αναμένεται να αυξηθεί παραπάνω σύμφωνα με πιο πρόσφατες μελέτες.

Στην ανάγκη λοιπόν για την αντιμετώπιση αυτού του μείζονος προβλήματος της κλιματικής αλλαγής, πρέπει να γίνουν ενέργειες και να ληφθούν πολιτικές για μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου που ευθύνονται κατά κύριο λόγο για την αύξηση της θερμοκρασίας, καθώς και να οδηγηθούμε όσο το δυνατόν ταχύτερα στην απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα τόσο στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, όσο και στους τομείς των μετακινήσεων και της θέρμανσης.

2.2. Βραχυπρόθεσμοι ενεργειακοί & κλιματικοί στόχοι έως το 2020

Η Ε.Ε. αντιλαμβανόμενη την ανάγκη για την αντιμετώπιση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής το 2007 θέσπισε, μετά από σύνοδο των ηγετών των κρατών-

μελών της, το πακέτο για την ενέργεια και το κλίμα με στόχο το 2020, γνωστό ως «20-20-20». Βάσει αυτού του πακέτου όλα τα κράτη-μέλη έπρεπε να περιορίσουν συνολικά τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, το μερίδιο από ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας να ανερχόταν σε 20%, και να επιτύγχαναν ενεργειακή αποδοτικότητα της τάξης του 20%. Ο τελευταίος στόχος θεσπίστηκε και έγινε πιο συγκεκριμένος για τα κράτη-μέλη με τις ευρωπαϊκές οδηγίες 2009/28/EU και 2012/27/EU.

Καθώς όμως ο χρόνος περνούσε η ανάγκη για περισσότερα και πιο εύρωστα μέτρα για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής φάνταζε πιο έντονη από ποτέ. Έτσι το 2015, στη διάσκεψη του Παρισιού για την κλιματική αλλαγή, γνωστή ως COP21 (21st Conference of the parties) και η οποία αποτέλεσε την 21^η ετήσια σύνοδο της Διάσκεψης των Συμβαλλομένων Μερών των Ηνωμένων Εθνών της σύμβασης-Πλαίσιο για την Κλιματική Αλλαγή (United Nations Framework Convention On Climate Change, UNFCCC), συνολικά 194 χώρες δεσμεύτηκαν να πραγματοποιήσουν δράσεις για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Απώτερος στόχος της συμφωνία αυτής ήταν η υιοθέτηση δράσεων για να κρατήσουν την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κάτω από τους 2°C σε σχέση με τα επίπεδα προ βιομηχανικής επανάσταση, ενώ η συμφωνία προέβλεπε και περαιτέρω προσπάθειες για μείωση κάτω από τους 1.5°C [2].

Στο πλαίσιο υλοποίησης της «Συμφωνίας του Παρισιού», η Ε.Ε. και οι ηγέτες της, αντιλαμβανόμενοι την ανάγκη για τη βιωσιμότητα των οικονομιών τους, αλλά και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών τους, έθεσαν επιπροσθέτως και τους μεσοπρόθεσμους στόχους για το 2030.

2.3. Οι Μεσοπρόθεσμοι ενεργειακοί & κλιματικοί στόχοι έως το 2030

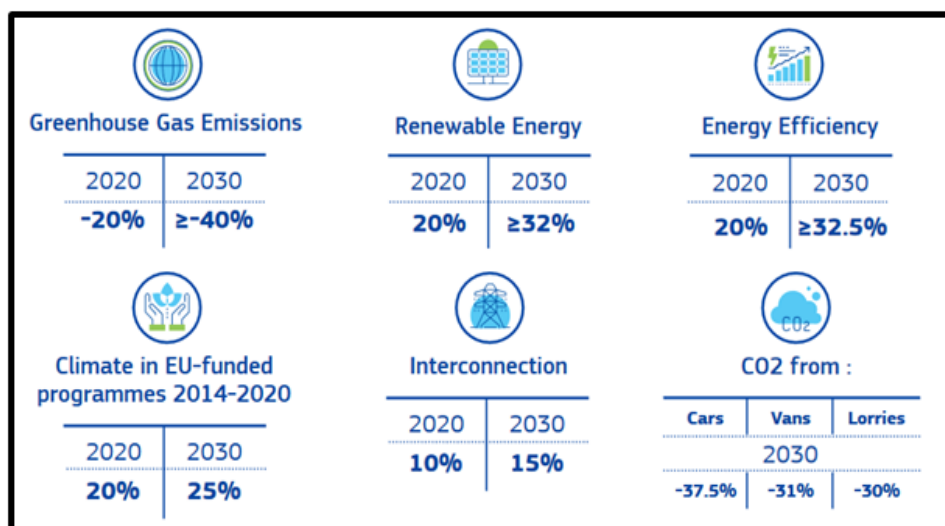
Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ένα χρόνο πριν τη συμφωνία του Παρισιού σε συνεδρίαση του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου τον Οκτώβριο του 2014 αποφάσισε να θέσει νέους, πιο φιλόδοξους στόχους για την επερχόμενη δεκαετία και συγκεκριμένα την περίοδο 2021-2030. Οι στόχοι αυτοί συνοψίζονται ως εξής:

- Μείωση των αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 40%.
- Συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή κατά τουλάχιστον 27%.
- Βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας κατά τουλάχιστον 27%.

Ωστόσο, οι στόχοι αυτοί επικαιροποιήθηκαν προς τα πάνω με την αναθεώρηση των Ευρωπαϊκών Οδηγιών 2018/2001/EU και 2018/2002/EU.

Οι στόχοι για την περίοδο 2021-2030 παρουσιάζονται πιο αυξημένοι συγκριτικά με αυτούς με ορίζοντα το 2020. Συγκεκριμένα, τίθεται όριο κατ' ελάχιστον 40% μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990 για τον οποίο έχει γίνει πρόταση από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για αύξηση του σε κατ'

ελάχιστον 55% το Σεπτέμβριο του 2020 και την τελική απόφαση να λαμβάνεται το Δεκέμβριο του 2020, με τα τελικά σχέδια υλοποίησης προς σε αυτή την κατεύθυνση να αναμένονται τον Ιούνιο του 2021. Το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή θα πρέπει να ανέρχεται σε τουλάχιστον 32%, και τέλος η ενεργειακή απόδοση θα πρέπει να βελτιωθεί κατά ελάχιστον 32,5% με τον στόχο αυτό να επανεξεταστεί το 2023. Στην **Εικόνα 1** παρουσιάζονται συγκριτικά οι βραχυπρόθεσμοι και μεσοπρόθεσμοι κλιματικοί στόχοι της Ε.Ε.



Εικόνα 1. Οι βραχυπρόθεσμοι & μεσοπρόθεσμοι κλιματικοί και ενεργειακοί στόχοι της Ε.Ε.. Πηγή: [3]

Για την υλοποίηση των στόχων αυτών, η Επιτροπή υποχρέωσε όλα τα κράτη-μέλη να παρουσιάσουν μελέτες για το πώς θα εναρμονιστούν με την υλοποίηση των στόχων αυτών σε εθνικό επίπεδο. Οι μελέτες αυτές ονομάζονται Εθνικά Σχέδια για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) και είναι διαθέσιμα ηλεκτρονικά. Η Ελλάδα δημοσίευσε, το δικό της σχέδιο το Δεκέμβριο του 2019.

Ωστόσο, οι κλιματικοί και ενεργειακοί στόχοι της Επιτροπής δεν σταματούν σε αυτούς που έχουν τεθεί μέχρι το 2030. Ήδη βάζοντας τις βάσεις από το 2018 με την ανακοίνωση της Επιτροπής «Καθαρός πλανήτης για όλους, Ένα ευρωπαϊκό, στρατηγικό, μακρόπνοο όραμα για μια ευημερούσα, σύγχρονη, ανταγωνιστική και κλιματικά ουδέτερη οικονομία», και σε συνδυασμό με τις εκλογές του Μαΐου 2019, η πρόεδρος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Ούρσουλα φον ντερ Λάιεν παρουσιάζει την «Νέα Πράσινη Συμφωνία» (“European Green Deal-EGD”), θέτοντας ήδη νέους μακροπρόθεσμους στόχους με ορίζοντα το 2050. Οι μακροπρόθεσμοι αυτοί στόχοι, μαζί με τις επιταγές της «Νέας Πράσινης Συμφωνίας» παρουσιάζονται στην επόμενη υπό-ενότητα.

2.4. Μακροπρόθεσμοι στόχοι έως το 2050 και η «Νέα Πράσινη Συμφωνία» για την Ευρώπη

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενστερνίζονται την ανάγκη για ένα μακροπρόθεσμο σχεδιασμό για την περαιτέρω μείωση των

εκπομπών. Έτσι στις 14 Μαρτίου 2019 μπαίνουν οι αρχικές βάσεις για τη φιλόδοξη στρατηγική της Ευρώπης με το ψήφισμα στο Ευρωκοινοβούλιο: «Ένα ευρωπαϊκό, στρατηγικό, μακρόπνοο όραμα για μια ευημερούσα, σύγχρονη, ανταγωνιστική και κλιματικά ουδέτερη οικονομία, με βάση τη Συμφωνία του Παρισιού». Αργότερα με το ψήφισμα της 15^{ης} Ιανουαρίου 2020 για την Πράσινη Συμφωνία [4], οι βάσεις αυτές θεμελιώθηκαν στην κατεύθυνση για μια πιο αποδοτική και βιώσιμη ευρωπαϊκή κοινωνία.

Τι είναι όμως η Πράσινη Συμφωνία; Η Πράσινη Συμφωνία λοιπόν, είναι ένα σύνολο δράσεων και πολιτικών που έχουν μια αναπτυξιακή στρατηγική και στοχεύουν στο να μετατρέψουν την Ε.Ε. σε μια δίκαιη και ευημερούσα κοινωνία, με μια σύγχρονη, αποδοτική και ανταγωνιστική οικονομία, η οποία θα έχει μηδενικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου έως το 2050, ενώ η αναπτυξιακή της πολιτική θα είναι πλήρως αποσυνδεδεμένη από τη χρήση φυσικών πόρων. Επιπρόσθετα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θέσπισε, το Μάρτιο του 2020, τον «ευρωπαϊκό νόμο για το κλίμα», με σκοπό τη διασφάλιση της υλοποίησης των δεσμεύσεων όλων των χωρών-μελών της Ε.Ε. για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.

Σε αυτό το πλαίσιο, και πάντα με κατεύθυνση την επίτευξη των στόχων για το κλίμα και το περιβάλλον, η Επιτροπή είχε παρουσιάσει νωρίτερα το ίδιο έτος επίσης τη στρατηγική για τη βιοποικιλότητα έως το 2030, τη νέα βιομηχανική στρατηγική και το σχέδιο δράσης για την κυκλική οικονομία, τη στρατηγική «Από το αγρόκτημα στο πιάτο» για βιώσιμα τρόφιμα, και άλλες προτάσεις για μια ευρωπαϊκή ήπειρο κλιματικά ουδέτερη.

Είναι σαφές ότι η ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία αποτελεί ένα ολιστικό και πολύπλευρο σχέδιο δράσεων, είτε αυτές αφορούν το κομμάτι της αγοράς, όπως την περαιτέρω ανάπτυξη των διασυνδέσεων των ηλεκτρικών δικτύων στις χώρες-μέλη της Ε.Ε. με σκοπό την αύξηση του ποσοστού των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση, είτε την έμφαση και την ενίσχυση του τομέα της ενεργειακής αποδοτικότητας [5].

Τέλος, η σημασία της ενεργειακής αποδοτικότητας, η οποία αποτελεί και βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής, αναλύεται εκτενώς στην επόμενη ενότητα, με τις σχετικές αναφορές και προβλέψεις από τα αντίστοιχα μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα σχέδια δράσης.

2.5. Ο ρόλος της ενεργειακής αποδοτικότητας στο μετριασμό της κλιματικής αλλαγής

Σε όλα τα σχέδια δράσης της Ε.Ε. σχετικά με την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής η ενεργειακή αποδοτικότητα κατέχει πρωταρχικό ρόλο, τόσο στους μεσοπρόθεσμους στόχους με ορίζοντα το 2030, όσο και στην Πράσινη Συμφωνία για μια κλιματικά ουδέτερη Ευρώπη έως το 2050.

Πώς ορίζεται όμως η ενεργειακή αποδοτικότητα; Μαθηματικά η απόδοση της ενέργειας που μετασχηματίζεται σε ένα εξεταζόμενο σύστημα είναι ο λόγος της ενέργειας που δαπανήθηκε σαν είσοδος προς την τελική ενέργεια που παρήχθη από

το εν λόγω σύστημα. Όσο πιο πολύ το πηλίκο αυτό πλησιάζει την μονάδα τόσο το σύστημα θεωρείται και πιο αποδοτικό [6].

Ένα απλό παράδειγμα μπορεί να είναι η μηχανική ενέργεια που παράγει ένας ηλεκτροκινητήρας με γνώμονα την ηλεκτρική ενέργεια που δαπανήθηκε για την παραγωγή της. Τα οφέλη της ενεργειακής αποδοτικότητας είναι πολλαπλά, καθώς η εξοικονόμηση ενέργειας μέσω νέων αποδοτικότερων τεχνολογιών μπορεί να συμβάλλει ενδεικτικά σε πολλούς τομείς [7], όπως:

1. Την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
2. Την βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας.
3. Την αύξηση της αγοραστικής δύναμης των πολιτών.

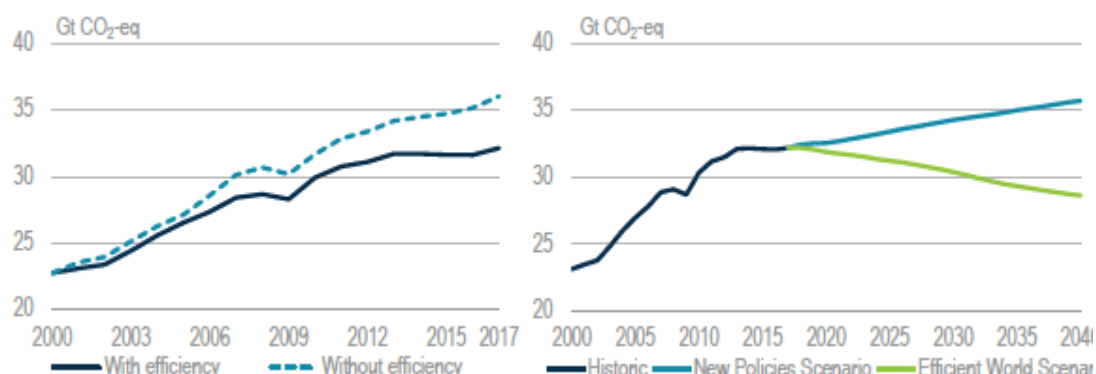
Τα οφέλη αυτά ήταν ξεκάθαρα στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή όταν το 2018 με την Οδηγία 2018/844/EU, η οποία τροποποίησε τις παλαιότερες Οδηγίες 2010/31/EE και 2012/27/EE και σε συνδυασμό με τον Κανονισμό **2018/1999** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου καθιέρωσε την αρχή της «Ενεργειακής Απόδοσης Πρώτα» (“**Energy Efficiency First (EEF) Principle**”).

Τι σημαίνει όμως αρχή της «Ενεργειακής Απόδοσης Πρώτα»; Ο επίσημος ορισμός αναφέρει ότι θα πρέπει να επιλέγουμε την πιο οικονομικά αποδοτική λύση σε ό,τι αφορά τη ζήτηση ή την παροχή ενέργειας πριν προβούμε σε οποιαδήποτε ενεργειακή επένδυση. Πιο απλά, οι επενδύσεις στον τομέα της ενεργειακής ζήτησης που οδηγούν σε ενεργειακή εξοικονόμηση (π.χ., αναβαθμίσεις κτιρίων), θα πρέπει να έχουν προτεραιότητα έναντι των κλασικών επενδύσεων που αφορούν την ενεργειακή παροχή (π.χ., νέα δίκτυα, ηλεκτροπαραγωγή, κ.λπ.), εφόσον οι πρώτες είναι πιο οικονομικά αποδοτικές λαμβάνοντας υπόψιν και το κοινωνικό όφελος (δηλαδή τα πολλαπλά οφέλη της ενεργειακής εξοικονόμησης από τη σκοπιά του ενεργειακού χρήστη).

Θέτοντας αυτή την αρχή ως προτεραιότητα όλων των ενεργειακών της αποφάσεων, η Ε.Ε. μπορεί να τονώσει την οικονομία της, να μειώσει την εξάρτηση της από εισαγωγές πόρων, να αυξήσει την ανταγωνιστικότητά της, να βελτιώσει την ποιότητα του αέρα και να μειώσει δραματικά το κόστος της ενεργειακής μετάβασης. Για αυτό το λόγο και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θεσμοθέτησε την αρχή νομοθετικά στα πλαίσια του πακέτου «Καθαρή Ενέργεια για όλους του Ευρωπαίους» (“Clean Energy for All”), της οδηγίας 2019/944/EE σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας -“Directive (EU) 2019/944 on common rules for the internal market for electricity”, της Οδηγίας 2018/844/EE για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και την ενεργειακή απόδοση-“ Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency”, και του Κανονισμού διακυβέρνησης της Ενεργειακής Ένωσης και της Δράσης για το Κλίμα 2018/1999/EE -“ Regulation (EU) 2018/1999 on the Governance of the Energy Union and Climate Action, σαν έναν από τους πέντε πυλώνες της Ε.Ε.

Σύμφωνα με μελέτη του Παγκόσμιου Οργανισμού Ενέργειας (International Energy Agency) το 2018, με την υιοθέτηση ενός παγκόσμιου σεναρίου αποδοτικότητας (“Efficient World Scenario-EWS”) η παγκόσμια οικονομία και υγεία

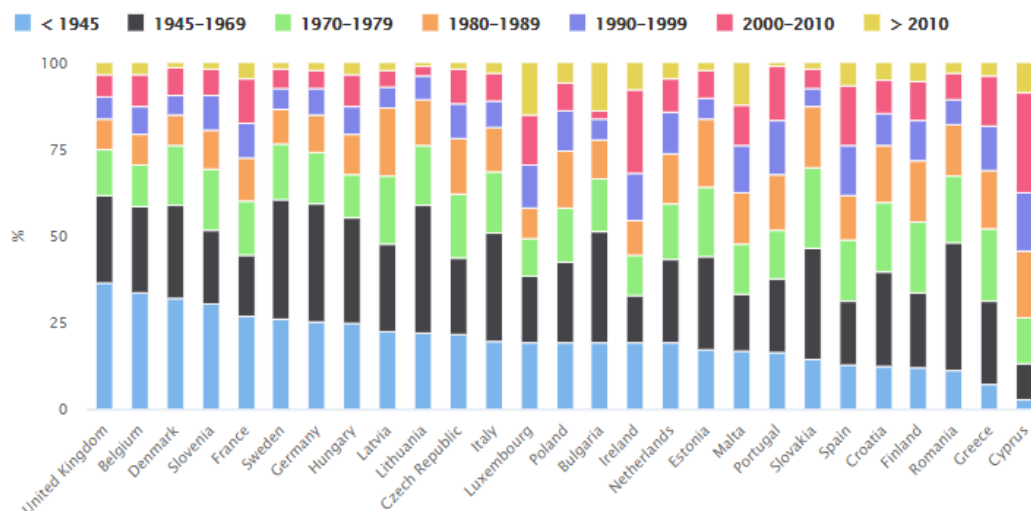
θα έχει σημαντικά οφέλη [7]. Αρχικά οι παγκόσμιες εκπομπές μπορούν να αρχίσουν να μειώνονται με ένα ρυθμό 12% ετησίως μέχρι το 2040 συγκριτικά με τα επίπεδα του 2017, όπως φαίνεται και στο **Διάγραμμα 1**.



Διάγραμμα 1: Η συσχέτιση της ενεργειακής αποδοτικότητας με την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Πηγή:[7]

Ωστόσο, σημαντικά είναι και τα οφέλη της ενεργειακής αποδοτικότητας και στον οικιακό τομέα. Εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη σε παγκόσμιο επίπεδο μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας των κατοικιών και των συστημάτων θέρμανσης που την απαρτίζουν, παρατηρήθηκαν και οικονομικά οφέλη μέσω αυτών των δράσεων. Πιο συγκεκριμένα σε κατοικίες στην Γερμανία παρατηρήθηκε ετήσια εξοικονόμηση της τάξης των 370\$ με το ποσό αυτό να εκτιμάται σε 300\$ για κατοικίες στο Ηνωμένο Βασίλειο. Είναι χαρακτηριστικό ότι αν υιοθετηθούν μέτρα ενεργειακής αποδοτικότητας στις κατοικίες είναι δυνατό να εξοικονομηθούν \$201 δισεκατομμύρια σε παγκόσμιο επίπεδο μέχρι το 2040 [7].

Τα κτίρια αποτελούν μια σημαντική πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, και ευθύνονται και για το 40% της τελικής κατανάλωσης στην Ευρώπη [8]. Το παραπάνω ποσοστό δεν διαφοροποιείται σε παγκόσμιο επίπεδο καθώς τα κτίρια καταναλώνουν το 36% της τελικής παραγόμενης ενέργειας και συνεισφέρουν το 39% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [9]. Επιπρόσθετα, το 35% του κτιριακού δυναμικού της Ευρώπης έχει διάρκεια κτίσης πάνω από 50 χρόνια, με αποτέλεσμα το 75% αυτού να παρουσιάζεται ενεργειακά ανεπαρκές, αφού ελάχιστα από αυτά τα κτίρια ανακαινίζονται. Στο **Διάγραμμα 2** παρουσιάζεται η ηλικιακή κατάσταση των κτιρίων του οικιακού τομέα στα κράτη μέλη της Ε.Ε..



Διάγραμμα 2: Η ηλικιακή κατάσταση των κτιρίων του οικιακού τομέα στα κράτη μέλη της Ε.Ε.. Πηγή: [10]

Σύμφωνα με μελέτη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής η αναβάθμιση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων θα αποτελέσει τη δράση «κλειδί» της Ε.Ε. για την επίτευξη των κλιματικών και ενεργειακών της στόχων [11].

Στην Οδηγία 2018/844/EU για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και την ενεργειακή απόδοση- Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency”, αναφέρεται ότι χρειάζεται ετήσιος μέσος όρος ανακαινίσεων 3%, προκειμένου να επιτευχθούν με οικονομικά αποδοτικό τρόπο οι φιλοδοξίες της Ε.Ε. για βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας στο υφιστάμενο κτιριακό δυναμικό της Ε.Ε..

Εκτιμώντας ότι κάθε αύξηση κατά 1% της ενεργειακής εξοικονόμησης μειώνει κατά 2,6 % τις εισαγωγές αερίου, σαφείς στόχοι για την ανακαίνιση του υφιστάμενου κτιριακού δυναμικού είναι εξαιρετικά σημαντικοί. Ως εκ τούτου, οι προσπάθειες για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων θα συμβάλουν δραστικά στην ενεργειακή ανεξαρτησία της Ε.Ε. και θα προσφέρουν, επιπλέον, σημαντικές δυνατότητες για τη δημιουργία θέσεων εργασίας, ιδίως στις μικρομεσαίες επιχειρήσεις [12].

Συμπληρωματικά, έχει θέσει ως στόχο όλα τα νέα δημόσια κτίρια από το τέλος του 2018 και τα όλα τα νέα από το τέλος του 2020 να είναι σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης (“nearly Zero Energy Buildings-nZEB”).

Σε ό,τι αφορά το στόχο για ετήσιο μέσο όρο ανακαινίσεων της τάξεως του 3%, έχει παρατηρηθεί καθυστέρηση στην εφαρμογή του με κυριότερες αιτίες να αποτελούν τα ξεχωριστά κίνητρα που έχουν οι ενδιαφερόμενοι, όπως στην περίπτωση ενοίκου και ενοικιαστή, η απουσία πληροφόρησης και γνώσης για τα οφέλη της ενεργειακής αναβάθμισης, καθώς και η απουσία κατάλληλου εργατικού δυναμικού. Ο οδικός χάρτης για την υλοποίηση των στόχων για την κλιματική αλλαγή, προσδιορίζει τις επενδυτικές ανάγκες σε περίπου €325 δισεκατομμύρια ετησίως, με περίπου €250 δισεκατομμύρια να απαιτούνται για τις κατοικίες, και €75 δισεκατομμύρια για τα δημόσια κτίρια [13].

Οι επενδύσεις αυτές μπορούν να γίνουν μόνο αν δοθούν τα κατάλληλα κίνητρα στους επενδυτές και θεσμοθετηθούν υποστηρικτικές δράσεις για την υλοποίησή τους. Οι δράσεις αυτές πρέπει για να στοχεύουν στη μείωση του ρίσκου για τους επενδυτές, και τρόποι για υλοποίησής τους μπορεί να είναι η παροχή χαμηλότοκων δάνειων, με κάποιες φορές την εγγύηση του κράτους για την αποπληρωμή τους, αλλά και η εφαρμογή φόρο-ελαφρύνσεων και η διάθεση κρατικών επιχορηγήσεων [14]. Ενδεικτικά στον **Πίνακα 1** συνοψίζονται τα κυριότερα υποστηρικτικά εργαλεία για την υλοποίηση των δράσεων ανακαίνισης του κτιριακού δυναμικού και τα οφέλη τους.

Τύποι σχημάτων οικονομικής υποστήριξης
Επιχορηγήσεις/Επιδόματα: Αποτελούν τη 2 ^η πηγή δημόσιας χρηματοδότησης. Οι επιχορηγήσεις μπορούν να διευθετήσουν οικονομικά κενά για τους ιδιοκτήτες και τις εταιρείες, ενώ συνήθως σηματοδοτούν συνεργατικά σχήματα χρηματοδότησης. Παράδειγμα: “Habiter mieux” programme, Γαλλία
Χρηματοδότηση του χρέους: Καλύπτει δάνεια – συχνά με χαμηλά επιτόκια – που προσφέρονται από δημόσιους οργανισμούς σε ιδιοκτήτες κτιρίων, εταιρείες ενέργειας ή επιχειρήσεις. Η χρηματοδότηση του χρέους συχνά έχει περιορισμένο δημόσιο κόστος σε σύγκριση με άλλα χρηματοδοτικά συστήματα. Παράδειγμα: Δάνεια ανακαίνισης KredEx, Εσθονία
Φορολογικά κίνητρα: Είναι τα χρηματοδοτικά συστήματα που αυξάνουν το μεγαλύτερο οικονομικό όγκο τόσο σε ιδιωτική όσο και σε δημόσια χρηματοδότηση. Οι φορολογικές εκπτώσεις και απαλλαγές μπορούν να άρουν τα οικονομικά εμπόδια στις επενδύσεις ενεργειακής απόδοσης και να καταστήσουν τις τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας πιο επωφελείς. Παράδειγμα: Καθεστώς μείωσης της φορολογίας για εργασίες ανακαίνισης, Βέλγιο
Εγγυήσεις: Είναι ευθύνες των δημόσιων οργανισμών για να βοηθήσουν στις αποπληρωμές σε περίπτωση απρόβλεπτων περιστάσεων. Μια εγγύηση μειώνει τον κίνδυνο για τον παραλήπτη και του επιτρέπει να προσελκύει κεφάλαια με ευνοϊκότερους όρους (π.χ., εγκαταστάσεις επιμερισμού των κινδύνων). Παράδειγμα: Ταμείο Ενεργειακής Απόδοσης και Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Βουλγαρία
Πολλαπλά σχήματα: Συνδυάζουν είδη οικονομικής στήριξης σε ολοκληρωμένες οικονομικές λύσεις. Συχνά οι επιδοτήσεις συνδυάζονται με ένα δάνειο για τη μείωση του υψηλού αρχικού κόστους για τους ιδιοκτήτες έργων ή τα συστήματα χρηματοδότησης χρέους έρχονται με μια εγγύηση για τη μείωση των κινδύνων. Παράδειγμα: Καθεστώς στήριξης από την Τράπεζα KfW, Γερμανία

Πίνακας 1. Υποστηρικτικά εργαλεία οικονομικής ενίσχυσης για την ανακαίνιση του κτιριακού δυναμικού στην Ευρώπη. Πηγή: [14]

Στην Ελλάδα μέσω του προγράμματος «ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΩ-ΑΥΤΟΝΟΜΩ», που αναμένεται να ξεκινήσει από το 4^ο τρίμηνο του 2020, θα δοθούν γύρω στα €850 εκατομμύρια για την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων με στόχο την ποιοτική αναβάθμιση τουλάχιστον 60.000 κατοικιών ετησίως έως το 2030, σε εναρμόνιση με τους στόχους που έχουν τεθεί στο ΕΣΕΚ για την ενεργειακή απόδοση [15].

Τέλος, η σημασία της ενεργειακής απόδοσης και των δυνατοτήτων εξοικονόμησης στον κτιριακό τομέα, είναι στενά συνδεδεμένη με το φαινόμενο της ενεργειακής φτώχειας ή ενεργειακής ένδειας.

Τι είναι όμως η ενεργειακή φτώχεια/ένδεια; Η ενεργειακή φτώχεια σύμφωνα με το παρατηρητήριο της ενεργειακής φτώχειας στην Ευρώπη (“Energy Poverty Observatory-EPOV”), ορίζεται ως η αδυναμία για επαρκή θερμική άνεση, ψύξη, φωτισμό και χρήση των οικιακών συσκευών, τη δυσκολία στην πληρωμή των

λογαριασμών του ηλεκτρισμού, καθώς και ύπαρξη μικροπροβλημάτων (π.χ., ρωγμές στους τοίχους) τις οποίες οι πολίτες δυσκολεύονται να επισκευάσουν.

Ως κύριες αιτίες για την εμφάνιση της ενεργειακής φτώχειας λογίζονται οι εξής:

- Το χαμηλό εισόδημα του νοικοκυριού.
- Το υψηλό κόστος της παρεχόμενης ενέργειας ηλεκτρικής ή μη.
- Η ενεργειακή ανεπάρκεια της κατοικίας.

Στην Ευρώπη 50 εκατομμύρια νοικοκυριά είναι αντιμέτωπα με το φαινόμενο της ενεργειακής φτώχειας η οποία εισάγεται για πρώτη φορά σε επίπεδο Ε.Ε με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας-“ Directive 2009/72/EC concerning common rules for the internal market in electricity” εκεί γίνεται μνεία στους «ευάλωτους καταναλωτές» και στα προγράμματα δράσης που πρέπει να αναπτύξουν τα κράτη μέλη για την αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού.

Μια πολιτική που εφαρμόζεται συχνά και εφαρμόστηκε και σε διάφορες χώρες-μέλη της Ε.Ε. στην κατεύθυνση καταπολέμησης του φαινομένου, είναι η παροχή κοινωνικών επιδομάτων στις ευάλωτες ομάδες και η ρύθμιση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η αύξηση των τιμών της ενέργειας δεν συμβαδίζει με την αύξηση του εισοδήματος των νοικοκυριών στην πληθώρα των περιπτώσεων. Έτσι, τα συγκεκριμένα μέτρα δεν αποτελούν μια βιώσιμη λύση και αντιμετωπίζουν μόνο το πρόβλημα σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα, μειώνοντας τον προϋπολογισμό ενός κράτους.

Η πιο βιώσιμη λύση για την αντιμετώπιση του φαινομένου, θεωρείται η ριζική ανακαίνιση των ανεπαρκών ενεργειακά κτιρίων. Μέσω αυτής, θα μειωθούν τα κόστη που απαιτούνται για θέρμανση ή ψύξη, η ατμόσφαιρα εντός των κατοικιών θα βελτιωθεί σημαντικά, θα δημιουργηθούν θέσεις εργασίας και θα επωφεληθεί και το περιβάλλον αφού συμβάλει στην μείωση του διοξειδίου του άνθρακα [16].

Χαρακτηριστικό παράδειγμα για τη βιώσιμη λύσης της ανακαίνισης των κτιρίων για την αντιμετώπιση του φαινομένου της ενεργειακής φτώχειας αποτελεί η χώρα τις Ιρλανδίας. Εκεί μέσω συμβούλων και κρατικών επιχορηγήσεων ύψους €82 εκατομμυρίων από το 2000 μέχρι το 2013 για την ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων, επωφελήθηκαν 95.000 νοικοκυριά και μέχρι το 2010 είχαν εξοικονομηθεί 25.000 MWh, και πολλά νοικοκυριά μπόρεσαν να επωφεληθούν ενάντια της ενεργειακής πενίας.

Πιο συγκεκριμένα, ο αριθμός των νοικοκυριών που αντιμετώπιζε προβλήματα με την έγκυρη πληρωμή των λογαριασμών ενέργειας μειώθηκε από 48% σε 28%. Επίσης, ο αριθμός των οικογενειών με παιδιά που ήταν ικανές να διατηρήσουν ανεκτά τα επίπεδα θερμικής άνεσης αυξήθηκε σημαντικά από 27% σε 71% [16].

Η Ευρώπη, αντιλαμβανόμενη τη σημασία της αποδοτικότητας των κτιρίων για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων, αλλά και κοινωνικών και οικονομικών φαινομένων όπως η ενεργειακή ένδεια, έχει δημιουργήσει αρκετά προγράμματα στήριξης που στοχεύουν σε αυτήν την κατεύθυνση. Ήδη από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Στρατηγικών Επενδύσεων μέχρι και το 2016, είχαν εγκριθεί έργα

Κεφάλαιο 2ο: Ο ρόλος της ενεργειακής εξοικονόμησης στον οικιακό τομέα στο μετριασμό του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής

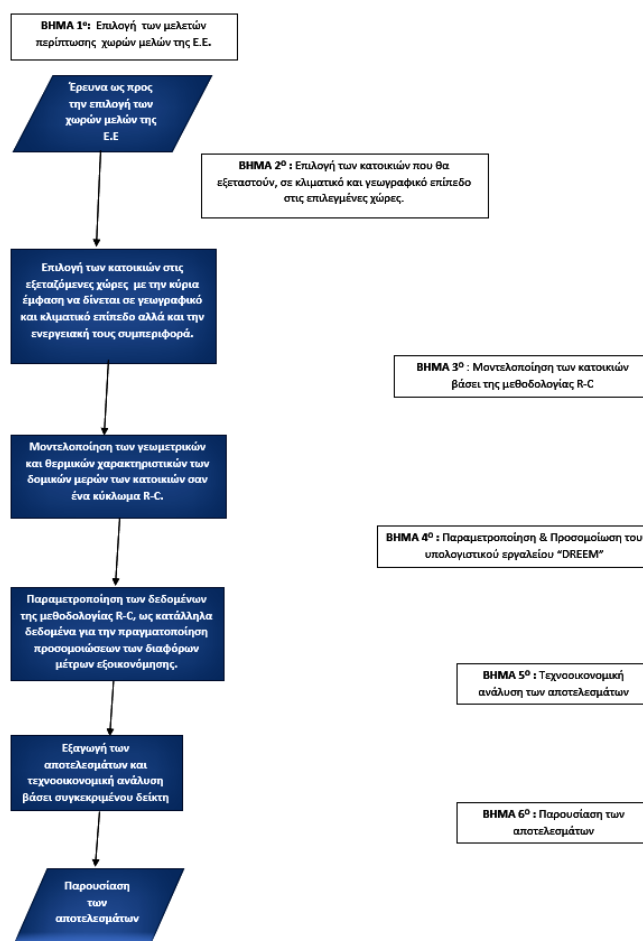
αξίας €154 δισεκατομμυρίων για την ενεργειακή απόδοση μέσω της πρωτοβουλίας «Καθαρή Ενέργεια για όλους» ("Clean Energy for All") [17].

Κεφάλαιο 3ο: Ανάπτυξη μεθοδολογικού πλαισίου για την αξιολόγηση μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στον οικιακό τομέα

3.1. Εισαγωγή

Στον παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το μεθοδολογικό πλαίσιο, καθώς και τα διάφορα υπολογιστικά εργαλεία που εφαρμόστηκαν, έτσι ώστε να αξιολογηθεί η ενεργειακή απόδοση επιλεγμένων κτιρίων σε χώρες-μέλη της Ε.Ε.. Σημαντική συνεισφορά στην εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης των εξεταζόμενων κατοικιών, είχε το μοντέλο διαχείρισης της ενεργειακής ζήτησης “DREEM” (“Dynamic high-Resolution demand-side Management model”), που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Τεχνοοικονομικής Ενεργειακών Συστημάτων (“Techno economics of Energy Systems laboratory-TEESlab”) του Πανεπιστημίου Πειραιώς (Πα.Πει.), και μέσω του οποίου πραγματοποιήθηκαν και οι προσομοιώσεις για την αξιολόγηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των επιλεγμένων κατοικιών.

Ωστόσο, πριν γίνει μία πιο εκτενής παρουσίαση του εργαλείου “DREEM” κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια περιγραφή των κύριων μεθοδολογικών βημάτων για αυτό το λόγο παρατίθεται και ένα διάγραμμα ροής (**Διάγραμμα 3**), το οποίο παρουσιάζει τα στάδια που ακολουθήθηκαν μέχρι τις τελικές προσομοιώσεις.



Διάγραμμα 3: Διάγραμμα ροής και παρουσίαση των βασικών μεθοδολογικών βημάτων που ακολουθήθηκαν

Στο **Βήμα 1^ο** γίνεται η εξερεύνηση συγκεκριμένων μελετών περίπτωσης (χώρες-μέλη και συγκεκριμένες περιοχές/πόλεις σε αυτές βάσει γεωγραφικών και κλιματικών προδιαγραφών) στις οποίες θα αξιολογήσουμε την ενεργειακή αποδοτικότητα επιλεγμένων τύπων κατοικιών.

Στο **Βήμα 2^ο** εστιάζουμε περισσότερο στην επιλογή αντιπροσωπευτικών κατοικιών για την ανάλυση μας, αποσαφηνίζοντας τα κλιματικά και γεωγραφικά χαρακτηριστικά των εντοπισμένων μελετών περίπτωσης, καταλήγοντας σε χώρες-μέλη και πόλεις αυτών, και εστιάζοντας σε κατοικίες με φτωχή ενεργειακή συμπεριφορά.

Στο **Βήμα 3^ο** λαμβάνει χώρα η μοντελοποίηση των επιλεγμένων κατοικιών του προηγούμενου βήματος. Εδώ με γνώμονα τη λιγότερη υπολογιστική πολυπλοκότητα, τα γεωμετρικά δεδομένα και οι θερμικές ιδιότητες των δομικών μερών μοντελοποιούνται σαν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα R-C, η λειτουργία του οποίου αναλύεται λεπτομερώς παρακάτω.

Στη συνέχεια, στο **4^ο Βήμα** γίνεται η εισαγωγή των κατάλληλων δεδομένων στο υπολογιστικό εργαλείο “**DREEM**”, η παραμετροποίησή του, ενώ στο τέλος πραγματοποιούνται οι προσομοιώσεις για το σύνολο των μέτρων εξοικονόμησης που έχουν επιλεγεί.

Στο **Βήμα 5^ο** γίνεται η εξαγωγή των αποτελεσμάτων, ενώ πραγματοποιείται και η περαιτέρω τεχνοοικονομική τους ανάλυση.

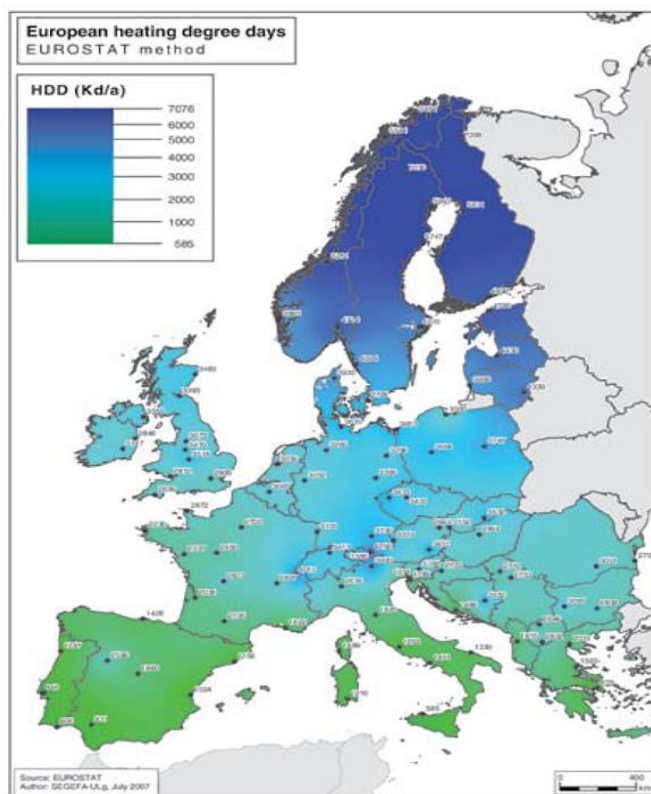
Τέλος, στο **Βήμα 6^ο** γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων και ο σχολιασμός τους για την εξαγωγή χρήσιμων παρατηρήσεων για φορείς χάραξης πολιτικών και άλλα ενδιαφερόμενα μέρη.

3.2. Επιλογή των μελετών περίπτωσης χωρών μελών της Ε.Ε.

Για την επιλογή των μελετών περίπτωσης που αναλύσαμε εστίασαμε σε συγκεκριμένα κριτήρια, τα οποία αφορούν κυρίως κλιματικές και γεωγραφικές προδιαγραφές, ενώ σημαντικό κριτήριο για την τελική επιλογή αποτέλεσε και η ηλικία του κτιριακού δυναμικού των χωρών-μελών της Ε.Ε.

Η επιλογή των χωρών έγινε σύμφωνα με τον δείκτη HDD (Heating Degree Days), που βασίζεται σε μετεωρολογικά δεδομένα και δείχνει της ανάγκες ενός κτιρίου για θέρμανση. Στην **Εικόνα 2** παρουσιάζεται η Ευρωπαϊκή επικράτεια βάσει των τιμών αυτού του δείκτη. Όσο μικρότερος είναι αυτός ο δείκτης, τόσο μικρότερες είναι και οι ανάγκες των κτιρίων στις χώρες αυτές για θέρμανση, υπάρχει και ο αντίστοιχος δείκτης που δείχνει τις ανάγκες των κτιρίων για ψύξη και εξαερισμό και ο οποίος ονομάζεται “Cooling Degree Days (CDD) index”.

Figure 5: European heating degree days map (EUROSTAT method)



Εικόνα 2. Η ανάλυση των χωρών της Ε.Ε σύμφωνα με τον δείκτη HDD. Πηγή: [18]

Σημαντικό κριτήριο επίσης, αποτέλεσε η ηλικία του κτιριακού δυναμικού της Ευρώπης, η πλειοψηφία του οποίου είναι «γερασμένο», εμφανίζοντας σημαντικά φτωχή ενεργειακή συμπεριφορά. Εστίασαμε λοιπόν σε χώρες-μέλη των οποίων το ποσοστό των κατοικιών που έχουν κατασκευαστεί πριν το 1980 ανέρχεται σε τουλάχιστον 45%.

Για την επιλογή των συγκεκριμένων χωρών που θα παρουσιαστούν αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο, σημαντικό ρόλο έπαιξε και η στόχευση που δίδεται στον κτιριακό τομέα, και συγκεκριμένα στο «κύμα» ανακαινίσεων που θα χρειαστούν οι συγκεκριμένες χώρες για την επίτευξη των κλιματικών και ενεργειακών στόχων τους βάσει των ΕΣΕΚ που έχουν δημοσιεύσει στην ιστοσελίδα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής [19].

3.3. Επιλογή των κατοικιών που θα εξεταστούν σε κλιματικό και γεωγραφικό επίπεδο στις επιλεγμένες χώρες

Η επιλογή των χωρών τώρα από μόνη της δεν ήταν επαρκής, καθώς στην παρούσα εργασία το αντικείμενο αφορά την ενεργειακή αποδοτικότητα στον οικιακό τομέα. Έπρεπε συνεπώς να ξεκαθαρίσουμε από όλη την γεωγραφική επικράτεια των χωρών σε ποιες πόλεις θα εστιάσουμε, και μετέπειτα να επιλέξουμε τις αντίστοιχες τυπολογίες κατοικιών. Η επιλογή εδώ ήταν να εστιάσουμε στις πρωτεύουσες των επιλεγμένων χωρών σε συγκεκριμένες περιπτώσεις και σε μεγάλες πόλεις σε άλλες.

Η λογική με την οποία έγινε αυτή η επιλογή είναι, ότι πλέον όλο και περισσότεροι άνθρωποι επιλέγουν να ζουν στις πρωτεύουσες και σε μεγάλες πόλεις κυρίως εξαιτίας οικονομικών και κοινωνικών λόγων. Συνεπώς εκεί αναμένεται να συγκεντρώνεται και η πλειοψηφία του κτιριακού δυναμικού των χωρών υπό μελέτη, και άρα θα έχουμε ένα πιο αντιπροσωπευτικό δείγμα για την ενεργειακή απόδοση των εξεταζόμενων κτιρίων σε κάθε επιλεγμένη χώρα.

Αρχικά, επιλέχθηκαν οι τύποι των κατοικιών, και στην συνέχεια η χρονολογία κτίσης τους. Ως τύπος κατοικιών ορίζεται αν θα είναι διαμέρισμα ή μονοκατοικία και από πόσα άτομα θα κατοικούνται. Εμείς επιλέξαμε να ασχοληθούμε με κατοικίες τύπου μονοκατοικίας και οι οποίες κατοικούνται από 2 έως 4 άτομα, γνωστά ως Single Family Houses (SFH). Επιπλέον, της επιλογής του τύπου της κατοικίας, έπρεπε να εστιάσουμε και στην χρονολογία των κατοικιών που θα εξετάσουμε.

Σύμφωνα με το παρατηρητήριο του κτιριακού δυναμικού της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU Building Stock Observatory) πάνω από το 50% κατά μέσο όρο του κτιριακού δυναμικού στις επιλεγμένες χώρες έχουν χρόνο κτίσης προ του 1980 [20]. Το γεγονός αυτό μας ώθησε να επιλεγούν κατοικίες με χρόνο κτίσης προ του 1980, καθώς αυτές λόγω απουσίας νομοθετικών υποχρεώσεων ή οδηγιών κατά την περίοδο κατασκευής τους, αναμένεται να έχουν και χαμηλότερη ενεργειακή συμπεριφορά. Επιπλέον αναζητήσαμε και κτίρια μεταγενέστερα του 1980, με τον χρόνο κτίσης αυτών να διαφοροποιείται ανά χώρα και να φτάνει μέχρι το έτος 2006, χωρίς ωστόσο να παρατηρούνται σημαντικές διαφορές και τα οποία θα αναλύσουμε όταν παρουσιάσουμε της μελέτες περίπτωσης για κάθε χώρα στην συνέχεια του επόμενου κεφαλαίου.

3.4. Το θεωρητικό υπόβαθρο και η μοντελοποίηση των κατοικιών βάσει της μεθοδολογίας ενός R-C δικτύου

Στην παρούσα ενότητα θα ασχοληθούμε με την μεθοδολογία με την οποία μοντελοποιήθηκαν οι επιλεγμένες κατοικίες. Αρχικά, όμως, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια μικρή αναφορά στους τρόπους μετάδοσης της θερμότητας για την καλύτερη κατανόηση των μετέπειτα εννοιών που θα παρουσιαστούν.

Σύμφωνα με τους νόμους της Θερμοδυναμικής και το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα, η θερμότητα μεταφέρεται από ένα σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας σε ένα σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας και ποτέ προς την αντίθετη κατεύθυνση. Μεταδίδεται με τρεις βασικούς τρόπους οι οποίοι είναι:

1. Μετάδοση Θερμότητας με **Αγωγή (“Conduction”)**,
2. Μετάδοση Θερμότητας με **Συναγωγή (“Convection”)**, και,
3. Μετάδοση Θερμότητας με **Ακτινοβολία (“Radiation”)**.

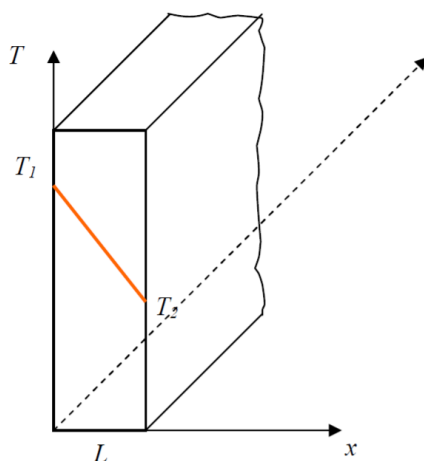
Στην 1^η περίπτωση της μετάδοσης θερμότητας με **αγωγή**, αυτή επιτυγχάνεται μέσω ενός μέσου (στερεού, υγρού ή αέριου σε ηρεμία), υπό την προϋπόθεση της

φυσικής επαφής. Στην περίπτωση των στερεών μέσων αναφερόμενοι κυρίως στα μέταλλα, η θερμική ενέργεια μεταφέρεται, μέσω των ταλαντώσεων των μορίων του πλέγματος και των κινουμένων ηλεκτρονίων, από περιοχές υψηλής, σε περιοχές χαμηλής θερμοκρασίας, πραγματοποιείται δηλαδή διάχυση ηλεκτρονίων. Στα αέρια και τα ρευστά, αντίθετα, η μεταφορά της θερμικής ενέργειας, μέσω αγωγής, λαμβάνει χώρα μέσω ελαστικών κρούσεων ή μέσω διάχυσης των μορίων, κατά την τυχαία κίνησή τους, όταν μόρια με υψηλότερη ενεργειακή στάθμη συγκρούονται με άλλα χαμηλότερης [21].

Η μονοδιάστατη μεταφορά θερμότητας με αγωγή περιγράφεται μακροσκοπικά από τον **νόμο του Fourier** προς τιμή του Γάλλου μαθηματικού και φυσικού, ο οποίος, τον παρουσίασε το 1822. Αν θεωρήσουμε ένα σώμα σταθερού πάχους L με τις άλλες δύο διαστάσεις του να εκτείνονται στο άπειρο (**Εικόνα 3**) και θεωρώντας ότι επικρατεί στη μία πλευρά θερμοκρασία T_1 και στην άλλη πλευρά θερμοκρασία T_2 , με $T_1 > T_2$, ενώ η θερμοκρασία στο εσωτερικό του είναι σταθερή και μεταβάλλεται γραμμικά, τότε ο ρυθμός μετάδοσης της θερμότητας κατά τη x -διεύθυνση (κάθετα στο επίπεδο του σώματος δηλαδή), ανά μονάδα επιφάνειας θα δίνεται από την εξίσωση:

$$q_x'' = -k \cdot \frac{dT}{dx}$$

Το παραπάνω μέγεθος ονομάζεται **πυκνότητα ροής θερμότητας ή πυκνότητα θερμοροής (heat flux)**, με μονάδα μέτρησης το W/m^2 (ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας). Εκφράζει τη θερμική ενέργεια που περνά από μοναδιαία επιφάνεια στην μονάδα του χρόνου, λόγω της θερμοκρασιακής κλίσης σε διεύθυνση κάθετη στην εν λόγω επιφάνεια. Το αρνητικό πρόσημο οφείλεται, όπως προαναφέραμε στον 2^ο θερμοδυναμικό νόμο, δηλαδή την μετάδοση της θερμότητας πάντα από τις υψηλότερες στις χαμηλότερες θερμοκρασίες.



Εικόνα 3. Μονοδιάστατη μεταφορά θερμότητας με αγωγή σε σώμα πάχους L κατά τη x - διεύθυνση. Πηγή: [22]

Ο συντελεστής k στην εξίσωση (1) ονομάζεται **συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (“thermal conductivity”)** με μονάδα μέτρησης $W/(m \cdot K)$. Ο

συντελεστής αυτός εξαρτάται από το υλικό στο οποίο εφαρμόζεται η θερμοκρασιακή κλίση, υποδηλώνοντας την ικανότητά του να μεταφέρει θερμότητα.

Στην περίπτωση λοιπόν της **Εικόνα 3**, που θεωρήσαμε σταθερή θερμοκρασιακή κλίση στο εσωτερικό του σώματος, δηλαδή γραμμική μεταβολή της θερμοκρασίας, η εξίσωση θα είναι:

$$q_x'' = -k \cdot \frac{T_2 - T_1}{L} = -k \cdot \frac{\Delta T}{L}$$

Τέλος, ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης της θερμότητας μέσα από την επιφάνεια (θερμοροή από την εν λόγω επιφάνεια) θα προκύπτει πολλαπλασιάζοντας με το εμβαδό A της επιφάνειας, δηλαδή θα είναι:

$$q_x = q_x'' \cdot A = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

Χαρακτηριστικό παράδειγμα μετάδοσης θερμότητας με **αγωγή**, είναι το φαινόμενο απώλειας θερμότητας που παρατηρείται σε κλειστούς θερμαινόμενους χώρους των κτιρίων κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου, το οποίο οφείλεται κυρίως στην αγωγιμότητα των δομικών στοιχείων όπως των τοίχων, των παραθύρων, της οροφής, κ.λπ.

Η 2^η περίπτωση της μετάδοσης θερμότητας με **συναγωγή** αναφέρεται στη μετάδοση θερμότητας μέσω κινούμενων ρευστών (υγρών ή αέριων). Εδώ υπάρχουν δυο μηχανισμοί, ο πρώτος είναι η διάχυση ενέργειας μέσω των σωματιδιακών αλληλεπιδράσεων σε μικροσκοπικό επίπεδο, όπως και στην περίπτωση της μεταφοράς με αγωγή, ενώ ο δεύτερος συνδέεται με την μακροσκοπική κίνηση του ρευστού, στην οποία τα στοιχειώδη σωματίδια που απαρτίζουν τα στοιχεία του ρευστού, μεταφέρουν μαζί με τη μάζα τους και θερμική ενέργεια, που σχετίζεται με την τυχαία μεταφορική τους κίνηση, την εσωτερική περιστροφή τους και την ταλάντωσή τους. Η συνολική λοιπόν μετάδοση θερμότητας με συναγωγή είναι το άθροισμα της μεταφοράς λόγω συγκρούσεων (διάχυση), και της μεταφοράς της θερμικής ενέργειας μέσω της κίνησης του ρευστού σε μακροσκοπικό επίπεδο.

Κύρια περιοχή εφαρμογής της μετάδοσης θερμότητας με **συναγωγή** είναι όταν μεταδίδεται θερμότητα από στερεή επιφάνεια προς κινούμενο ρευστό με το οποίο έρχεται σε επαφή ή αντίθετο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της δεύτερης περίπτωσης αποτελούν οι εναλλάκτες θερμότητας. Η συναγωγή μπορεί να παρατηρηθεί με **εξαναγκασμένη** κυκλοφορία του ρευστού, δηλαδή όταν η ροή του ρευστού συντηρείται από ένα εξωτερικό αίτιο, όπως π.χ., μια αντλία ή ένας ανεμιστήρας. Ωστόσο, μπορεί να παρατηρηθεί και **συναγωγή με φυσική κυκλοφορία**, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τη θέρμανση του αέρα στον χώρο μίας κατοικίας μέσω καλοριφέρ. Εκεί τα θερμαντικά σώματα θερμαίνουν τον αέρα και αυτός λόγω της θέρμανσης και της μείωσης της πυκνότητας του ανέρχεται προς τα πάνω, προκαλώντας φυσική κυκλοφορία στο χώρο. Η φυσική αυτή κυκλοφορία δίνει την αναγκαία μεταφορική κίνηση για την εμφάνιση συναγωγής μεταξύ του

θερμαντικού σώματος και του αέρα. Η συναγωγή ωστόσο μπορεί να παρατηρηθεί και με αλλαγή της φάσης ενός ρευστού, όπως στην περίπτωση του βρασμού και της συμπύκνωσης.

Κύρια χαρακτηριστικά που επηρεάζουν το φαινόμενο της συναγωγής αποτελούν το είδος της ροής του ρευστού (τυρβώδης ή στρωτή), αλλά και η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της στερεής επιφάνειας και του ρευστού. Η γενική εξίσωση που περιγράφει το φαινόμενο της συναγωγής είναι ο **νόμος του Newton**, ο οποίος δίνει την πυκνότητα ροής θερμότητας και περιγράφεται από την εξίσωση:

$$q_x'' = h \cdot (T_s - T_0)$$

Ο συντελεστής h ονομάζεται **συντελεστής μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή** και δίνεται σε $W/m^2 \cdot K$. Η τιμή του εξαρτάται από το είδος της ροής, τη μορφή της επιφάνειας και τα θερμοδυναμικά και ρευστομηχανικά χαρακτηριστικά που έχει το ρευστό. Ο συνολικός λοιπόν ρυθμός μετάδοσης θερμότητας μέσα από την επιφάνεια θα προκύπτει πολλαπλασιάζοντας την εξίσωση που παρουσιάστηκε παραπάνω με το εμβαδό A της επιφάνειας, δηλαδή:

$$q_x = q_x'' \cdot A = A \cdot h \cdot (T_s - T_0)$$

Τέλος, η περίπτωση της μετάδοσης θερμότητας με **ακτινοβολία** οφείλεται στην εκπεμπόμενη ενέργεια μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (ή φωτονίων), ως αποτέλεσμα μεταβολών στην ηλεκτρονική δομή των ατόμων ή των μορίων. Κάθε σώμα το οποίο βρίσκεται σε διαφορετική θερμοκρασία από 0 βαθμούς Kelvin, εκπέμπει θερμική ακτινοβολία. Σε αντίθεση με τους άλλους δυο μηχανισμούς που προαναφέραμε, και οι οποίοι απαιτούν την ύπαρξη της ύλης για τη μεταφορά της θερμότητας, στη μετάδοση με ακτινοβολία αυτό δεν ισχύει, καθώς μπορεί να μεταδοθεί και εν κενό και μάλιστα πιο αποδοτικά.

Η ακτινοβολία που εξέρχεται από την επιφάνεια του σώματος, παράγεται στο εσωτερικό του μέσω της διαδικασίας που προαναφέρθηκε, με τον ρυθμό που αυτή εξέρχεται από μοναδιαίο εμβαδό επιφάνειας, να καλείται **πυκνότητα εκπεμπόμενης ακτινοβολίας E** . Η μέγιστη τιμή δίδεται από τον νόμο των **Stefan-Boltzman** ως:

$$E_b = \sigma \cdot T_s^4$$

Όπου, T_s η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας σε βαθμούς Kelvin και σ η σταθερά των Stefan-Boltzman ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$). Η επιφάνεια αυτή που εκλύει τη μέγιστη αυτή ισχύ ακτινοβολίας και περιγράφηκε άνωθι, ονομάζεται **μέλαν σώμα**. Σε μία πραγματική επιφάνεια η ισχύς αυτή είναι μικρότερη για την ίδια θερμοκρασία και προκύπτει από την εξίσωση:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4$$

με ε να χαρακτηρίζεται ως η **ικανότητα εκπομπής της επιφάνειας** και να παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1. Η τιμή της εξαρτάται από το υλικό και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας, και μας δείχνει πόσο προσεγγίζει η επιφάνεια το μέλαν σώμα.

Ωστόσο, εκτός από την εκπομπή ακτινοβολίας από μια επιφάνεια, εμφανίζεται και πρόσπτωση ακτινοβολίας που παράγεται εκτός της επιφάνειας. Θέτοντας με G την **πυκνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (W/m^2)**, παρατηρείται ότι ένα μέρος της μπορεί να απορροφηθεί από ένα σώμα, ένα μέρος της να ανακλαστεί από το σώμα και ένα μέρος να το διαπεράσει αν το σώμα είναι ημιδιαφανές. Το ποσό αυτό της ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στο σώμα και απορροφάτε από αυτό, περιγράφεται με την **απορροφητικότητα α** και ισχύει ότι:

$$G_{απορρ} = \alpha \cdot G$$

Η απορροφητικότητα παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1, και δεν εξαρτάται μόνο από την επιφάνεια, αλλά και από το είδος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Ακτινοβολία με διαφορετικά μήκη κύματος προσπίπτουσα στην ίδια επιφάνεια, μπορεί να εμφανίσει διαφορετικές τιμές απορροφητικότητας. Ωστόσο, από τα διαφορετικά μέρη της προσπίπτουσας ακτινοβολίας πάνω σε ένα σώμα, μόνο η ενέργεια που απορροφάτε από αυτό είναι ικανή να μεταβάλλει την εσωτερική του ενέργεια.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα για τη μετάδοση της θερμότητας με ακτινοβολία είναι όταν μια επιφάνεια περιβάλλεται από μία σημαντικά μεγαλύτερη επιφάνεια, η οποία βρίσκεται σε σταθερή θερμοκρασία, διαφορετική από αυτής της επιφάνειας που την περιβάλλει. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε συνδυασμό μεταφοράς θερμότητας με ακτινοβολία και συναγωγή, αλλά για χάριν συντομίας δεν θα την αναλύσουμε εκτενέστερα.

Αφού λοιπόν αναφέραμε και αναλύσαμε τους τρόπους με τους οποίους μεταφέρετε η θερμότητα μεταξύ διάφορων σωμάτων και επιφανειών, ας δούμε και από που πηγάζει η αναλογία μεταξύ θερμικών και ηλεκτρικών ιδιοτήτων γνωστής ως TEAM-“ThermoElectricity Analogy Method”, και εισήχθη για πρώτη φορά από τους Paschkis το 1942 [23]. Αυτή η αναλογία βασίζεται λοιπόν στην αρχή της αναλογίας μεταξύ των διαφορικών εξισώσεων για την μονοδιάστατη αγωγή θερμότητας σε σταθερές συνθήκες και χωρίς την παρουσία πηγών θερμότητας, με αυτές που περιγράφουν τη ροή των ηλεκτρονίων μέσα από τις αντιστάσεις, σύμφωνα με το νόμο του **Ohm** [24].

Ο νόμος αυτός μας λέει ότι η ηλεκτρική αντίσταση ορίζεται ως το πηλίκο της διαφοράς δυναμικού στα άκρα της (που είναι και το αίτιο που προκαλεί τη ροή του ρεύματος), προς την ένταση του ρεύματος, δηλαδή:

$$R_e = \frac{\Delta V}{I} = \frac{L}{\sigma A}$$

όπου με ΔV η διαφορά δυναμικού στα άκρα της αντίστασης, I η ένταση του ρεύματος, L το μήκος του αγωγού, A η διατομή του και σ η ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Αντίστοιχα, για τη ροή θερμότητας με αγωγή μέσα από μονοδιάστατο τοίχο, κύριο αίτιο αποτελεί η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δυο θερμοκρασιών που

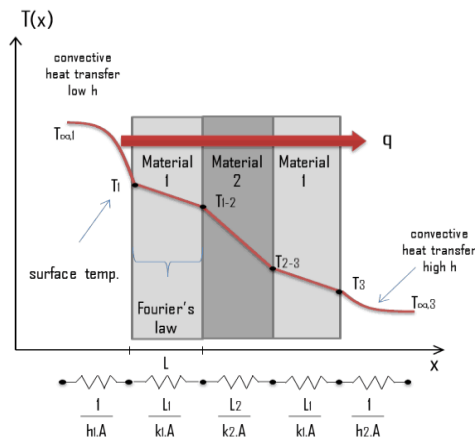
εμφανίζονται στα άκρα του τοίχου. Όπως συμβαίνει ακριβώς και με τη διαφορά δυναμικού για έναν ηλεκτρικό αντιστάτη. Με αυτή την αναλογία, και χρησιμοποιώντας τον νόμο του Fourier, μπορούμε να ορίσουμε την έννοια της θερμικής αντίστασης για αγωγή ως:

$$R_{t,αγ} = \frac{T_1 - T_2}{q_x} = \frac{L}{k A}$$

Και αντίστοιχα ορίζεται η θερμική αντίσταση συναγωγής ως:

$$R_{t,συν} = \frac{T_s - T_0}{q_x} = \frac{1}{h A}$$

Για να γίνει πιο εύκολα αντιληπτό αυτό, η **Εικόνα 4** μας δείχνει τον τρόπο με τον οποίο μοντελοποιείται η μετάδοση θερμότητας σε ένα ενδεικτικό τοίχο αποτελούμενος από δύο διαφορετικά υλικά με την μέθοδο των ηλεκτρικών αντιστάσεων.



Εικόνα 4. Μοντελοποίηση μονοδιάστατης ροής θερμότητας μέσω των ηλεκτρικών αντιστάσεων. Πηγή: [25]

Οι συσχετίσεις μεταξύ των θερμικών και ηλεκτρικών ιδιοτήτων παρουσιάζονται και από τον Parnis το 2012 [26] στα πλαίσια της διπλωματικής του εργασίας από το Πανεπιστήμιο New South Wales της Αυστραλίας και φαίνεται ενδεικτικά και στον **Πίνακα 2**.

Θερμικά μεγέθη		Ηλεκτρικά μεγέθη	
Θερμοκρασία	T °C	Τάση	V
Ρυθμός μετάδοσης θερμότητας	\dot{Q} W	Φορτίο	I A
Θερμική αντίσταση	R °C/W	Ηλεκτρική αντίσταση	R Ω
Θερμική χωρητικότητα	C J/°C	Ηλεκτρική χωρητικότητα	C F
Μετάδοση με αγωγή σε σταθερές συνθήκες $\dot{Q} = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{x} = \frac{\Delta T}{R}$		Νόμος του Ωμ	$I = \frac{\Delta V}{R}$
Ο ρυθμός αποθήκευσης της θερμότητας $\dot{Q} = C \cdot \frac{dT}{dt}$		Ο ρυθμός μετάδοσης του φορτίου μέσω ενός πυκνωτή	$I = C \frac{dV}{dt}$
Θερμική Ισορροπία		Ο νόμος του Kir-Chhoff για το φορτίο	

Πίνακας 2. Αναλογία μεταξύ θερμικών και ηλεκτρικών μεγεθών. Πηγή: [26]

Σε αυτή λοιπόν τη συσχέτιση βασιστήκαμε, για τη μοντελοποίηση του κτιριακού κελύφους των κατοικιών μέσω της αναλογίας ενός “R-C” δικτύου.

Συγκεκριμένα το κτιριακό κέλυφος μοντελοποιείται σαν ένα σύστημα από θερμικές αντιστάσεις και χωρητικότητες (“R-C Network”) το οποίο αντιπροσωπεύει τις θερμικές ζώνες εντός του κτιρίου. Η τεχνική αυτή έχει το πλεονέκτημα να επιτυγχάνει υψηλή υπολογιστική αποδοτικότητα, χωρίς να χρειάζεται μεγάλος και λεπτομερής όγκος δεδομένων συγκριτικά με τα μοντέλα που ήδη έχουν αναπτυχθεί για αυτό το σκοπό [27]. Βασίζεται στην αναλογία μεταξύ μεγεθών που συναντάμε στην μετάδοση θερμότητας και στη θεωρία ηλεκτρικών κυκλωμάτων και είναι γνωστή ως **TEAM**. Συγκεκριμένα στην μέθοδο αυτή η θερμοκρασία είναι ανάλογη της τάσης και η ένταση ανάλογη της μετάδοσης θερμότητας με αγωγή και ακτινοβολία.

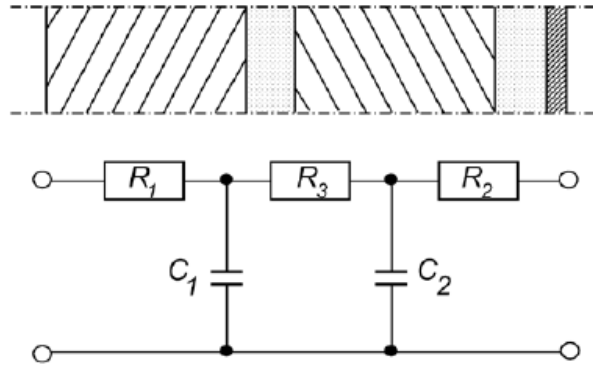
Η μοντελοποίηση έγινε μέσω γραμμικών εξισώσεων που υπάρχουν στη βιβλιογραφία και σύμφωνα με τη γερμανική κατευθυντήρια γραμμή “VDI 6007” Μέρος 1 [28] η οποία περιγράφει ένα δυναμικό θερμικό μοντέλο κτιρίου για τους υπολογισμούς των θερμοκρασιών του εσωτερικού αέρα και της ισχύος θέρμανσης/ψύξης. Η μοντελοποίηση αυτή των κτιρίων βασίζεται σε θερμικά δίκτυα και αλυσίδες χρήσης θερμικών αντιστάσεων και χωρητικότητων (πυκνωτών) για να αντανακλά τη μεταφορά και αποθήκευση θερμότητας.

Τα μοντέλα θερμικού δικτύου επικεντρώνονται γενικά σε μονοδιάστατους υπολογισμούς μεταφοράς θερμότητας, έτσι δεν είναι δυνατή μια γεωμετρικά σωστή αναπαράσταση όλων των τοίχων μιας θερμικής ζώνης. Για χάρην μείωσης του υπολογιστικού φορτίου, τοίχοι με παρόμοια θερμικά χαρακτηριστικά συγκεντρώνονται σαν «αντιπροσωπευτικά στοιχεία». Ο αριθμός των στοιχείων αυτών που κρίνεται επαρκής για τη μοντελοποίηση εξαρτάται από τις θερμικές ιδιότητες των τοίχων και τη διέγερσή τους (π.χ., μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας) αλλά και από την συχνότητα που η θερμική αυτή διέγερση εμφανίζεται. Το ίδιο ισχύει και για τον αριθμό των R-C-στοιχείων ανά τοίχο. Υπάρχει η επιλογή μεταξύ των μοντέλων με ένα έως τέσσερα στοιχεία τοίχου, με το μοντέλο των τεσσάρων στοιχείων να ορίζεται αυτό που λαμβάνει υπόψιν τη θερμική συμπεριφορά στους εξωτερικούς τοίχους, στους εσωτερικούς τοίχους, στην οροφή και στην επιφάνεια του πατώματος.

Η θερμική συμπεριφορά ενός ομοιογενούς τοίχου αποτελούμενου από n στρώματα για μονοδιάστατη και περιοδική ροή θερμότητας, όπως αυτός στην **Εικόνα 5**, μπορεί να αναπαρασταθεί μέσω γραμμικής αλγεβρικής απεικόνισης ως:

$$\begin{pmatrix} \theta(x=0) \\ \underline{q}(x=0) \end{pmatrix}_V = A_V \cdot \begin{pmatrix} \theta(x) \\ \underline{q}(x) \end{pmatrix}_V$$

Με το θ να αναφέρεται στη θερμοκρασία, το q στην πυκνότητα θερμοροής και το x να υποδηλώνει την κατεύθυνση που μεταδίδεται η θερμότητα στον τοίχο.



Εικόνα 5. Ομοιογενής τοίχος για μονοδιάστατη ροή θερμότητας. Πηγή: [29]

Το A_V αποτελεί τους πίνακες γραμμικής άλγεβρας των θερμικών αντιστάσεων και χωρητικότητων, μέσω των οποίων θα μοντελοποιηθεί ο τοίχος σε ένα R-C network [29]. Γράφεται ως:

$$A_V = \begin{Bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{Bmatrix}_V = \begin{Bmatrix} Rea_{11} & Im a_{11} & Rea_{12} & Im a_{12} \\ -Im a_{21} & Rea_{11} & -Im a_{12} & Rea_{12} \\ Rea_{21} & Im a_{21} & Rea_{22} & Im a_{22} \\ -Im a_{21} & Rea_{21} & -Im a_{22} & Rea_{22} \end{Bmatrix}_V$$

Με τα στοιχεία του απαρτίζουν τους πίνακες αυτούς για ένα στρώμα τοίχου n να φαίνονται στις ακόλουθες εξισώσεις:

$$Rea_{11} = Rea_{22} = \cosh \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \cdot \cos \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC}$$

$$Im a_{11} = Im a_{22} = \sinh \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \cdot \sin \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC}$$

$$Rea_{12} = R \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \omega_{BT} RC}} \cdot \left(\cosh \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \cdot \sin \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} + \sinh \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \cdot \cos \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \right)$$

$$Im a_{12} = R \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \omega_{BT} RC}} \cdot \left(\cosh \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \cdot \sin \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} - \sinh \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \cdot \cos \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \right)$$

$$Rea_{21} = \frac{-1}{R} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \cdot \left(\cosh \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \cdot \sin \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} - \sinh \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \cdot \cos \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \right)$$

$$Im a_{21} = \frac{-1}{R} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \cdot \left(\cosh \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \cdot \sin \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} + \sinh \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \cdot \cos \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \right)$$

Όπου:

R: Η θερμική αντίσταση του στρώματος του τοίχου ανά μονάδα επιφάνειας $\frac{m^2 \cdot K}{W}$, με

$$R = \frac{s}{\lambda},$$

C: Η θερμική χωρητικότητα του στρώματος του τοίχου ανά μονάδα επιφάνειας σε

$$\frac{J}{m^2 \cdot K}, \text{ με } C = c \cdot \rho \cdot s$$

Ω: Η γωνιακή συχνότητα σε $\frac{1}{s}$, με $\omega = \frac{2\pi}{(86400T)}$,

T: Η χρονική περίοδος σε μέρες

S: το πάχος του τοίχου σε μέτρα,

λ: Η θερμική αγωγιμότητα του στρώματος του τοίχου σε $\frac{W}{m^2 \cdot K}$, και

c·ρ: Η Ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας του στρώματος του τοίχου σε $\frac{J}{m^2 \cdot K}$.

Για την περίπτωση ενός τοίχου με n διαφορετικά στρώματα προκύπτει από το γινόμενο της αλυσίδας για κάθε στρώμα ως:

$$A_{1,n} = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \dots \cdot A_{n-1} \cdot A_n$$

Από το οποίο προκύπτουν :

$$R_1 = \frac{1}{A} \cdot \frac{(Rea_{22} - 1) \cdot Rea_{12} + Ima_{22} \cdot Ima_{12}}{(Rea_{22} - 1)^2 + Ima_{22}^2}$$

$$R_2 = \frac{1}{A} \cdot \frac{(Rea_{11} - 1) \cdot Rea_{12} + Ima_{11} \cdot Ima_{12}}{(Rea_{11} - 1)^2 + Ima_{11}^2}$$

$$C_1 = A \cdot \frac{1}{\omega_{BT}} \cdot \frac{(Rea_{22} - 1)^2 + Ima_{22}^2}{Rea_{12} \cdot Ima_{22} - (Rea_{22} - 1) \cdot Ima_{12}}$$

$$C_2 = A \cdot \frac{1}{\omega_{BT}} \cdot \frac{(Rea_{11} - 1)^2 + Ima_{11}^2}{Rea_{12} \cdot Ima_{11} - (Rea_{11} - 1) \cdot Ima_{12}}$$

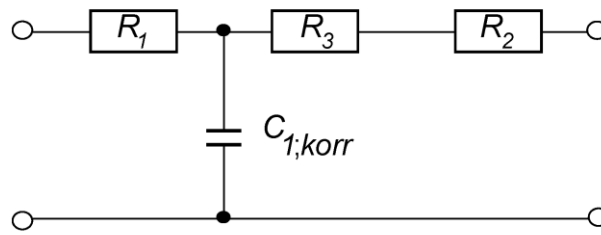
Με το **A** να δηλώνει την εκάστοτε επιφάνεια.

Εκτός των μεγεθών R_1 και R_2 , προκύπτει και ένα άλλο μέγεθος η αντίσταση R_3 που ορίζεται ως :

$$R_3 = \left(\frac{1}{A} \cdot \sum_{v=1}^n \frac{S_v}{\lambda_v} \right) - R_2 - R_1$$

Με τον πρώτο όρο να εκφράζει τη συνολική θερμική αντίσταση του τοίχου.

Με αυτό τον τρόπο το μοντέλο μπορεί να απλοποιηθεί για μονοδιάστατη ροή θερμότητας σύμφωνα με την **Εικόνα 6**.



Εικόνα 6. Απλοποιημένο μοντέλο μονοδιάστατης ροής θερμότητας. Πηγή: [29]

Η θερμική χωρητικότητα του τοίχου προκύπτει ως:

$$C_{1,korr} = A \cdot \frac{1}{R_1 \cdot \omega_{BT}} \cdot \frac{R_w - Rea_{12} \cdot Rea_{22} - Ima_{12} \cdot Ima_{22}}{Rea_{22} \cdot Ima_{12} - Rea_{12} \cdot Ima_{22}}$$

με $R_w = R_3 + R_2 + R_1$.

Όλες οι παραπάνω εξισώσεις εισάγονται σε ένα υπολογιστικό φύλλο εργασίας, όπου συνδυαστικά με τις θερμικές ιδιότητες των δομικών μερών και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κάθε κτιρίου, επιτυγχάνεται η μοντελοποίηση σαν “R-C” δίκτυο. Τα δομικά μέρη αναλύονται σε αδιαφανή (π.χ., παράθυρα) και σε διαφανή τα οποία αποτελούνται από τους τοίχους του κτιριακού κελύφους, την οροφή και το πάτωμα του εκάστοτε κτιρίου. Η μοντελοποίηση αυτή παρουσιάζεται ενδεικτικά στην **Εικόνα 7**, και θα αναλυθεί εκτενέστερα στο επόμενο Κεφάλαιο.

	A	B	D	E	G	H	J	K
2	Building data from Tabula		Methodology-RC solution			Dymola Inputs		EquivalentAirTemperature
3	Windows		A[m ²]			Thermal Zone		Weighting factors of the walls
4	Awin[m ²]		T[days]		Vair[m ³]			Wextwall1
5	Uwin[W/m ² K]		ω[1/s]		alphaRad[W/m ² K]			Wextwall2
6	Rwin[m ² K/W]		Cm [J/m ² K]		nOrientations			Wextwall3
7	gwin		U[W/m ² K]			Windows		Wextwall4
8	hwin[W/m ² K]		h[W/m ² K]		AWin			
9	External Walls		ha[W/m ² K]		ATransparent			
10	Wall1							
11	Wall2		hrad[W/m ² K]		AlphaWin[W/m ² K]			Weighting factors of the windows
12	Wall3		R[m ² K/W]		Rwin [K/W]			Window1
13	Awall1[m ²]		param		gWin			Window2
14	Awall2[m ²]		cosh(param)		rationWinConRad			
15	Awall3[m ²]		sinh(param)			Exterior walls		aExt
16	Awall4[m ²]		cos(param)		Aext[m ²]			alphaWallOut [W/m ² K]
17	UwallEx[W/m ² K]		sin(param)		alphaExt [W/m ² K]			alphaRad[W/m ² K]
18	RwallEx[m ² K/W]		Rea11		nExt			Tground [°C]
19	hexwall[W/m ² K]		Rea11		Rext [K/W]			alphaWinOut [W/m ² K]
20	Internal walls		Rea22		RExtRem [K/W]			
21	AwallInt[m ²]		Ima22		Cext			Outdoor coefficient of heat transfer for Walls
22	UwallInt[W/m ² K]		param2			Interior walls		kWalls
23	RwallInt[m ² K/W]		Rea12		Aint[m ²]			Outdoor coefficient of heat transfer for Roof
24	hintwall[W/m ² K]		Ima12		alphaInt [W/m ² K]			kRoof
25	Floor		Rea21		nint			Outdoor coefficient of heat transfer for Floor
26	Afloor[m ²]		Ima21		Rint [K/W]			kFloor
27	Ufloor[W/m ² K]		param3		Cint			Outdoor coefficient of heat transfer for Window
28	Rfloor[m ² K/W]		param4			Floor Plate		kWindows
29	hfloor[W/m ² K]		param5		Afloor[m ²]			
30	Roof		param6		alphaFloor [W/m ² K]			
31	Aroof[m ²]		R1[K/W]		nFloor			
32	Uroof[W/m ² K]		R2[K/W]		Rfloor [K/W]			
33	Rroof[m ² K/W]		R3[K/W]		RFloorRem [K/W]			
34	hroof[W/m ² K]		Rtotal[K/W]		CFloor			
35	Internal Heat Capacity		RtotalRem[K/W]			Roof		
36	Cm [Wh/m ² K]		param7		Aroof[m ²]			
37	Cm [J/m ² K]		C1,KORR		alphaRoof [W/m ² K]			
38			ctot		nRoof			
39					Roof [K/W]			
40					RRoofRem [K/W]			
41	Door				Croof			
42	A[m2]							
43	SUM-WALL+DOOR							

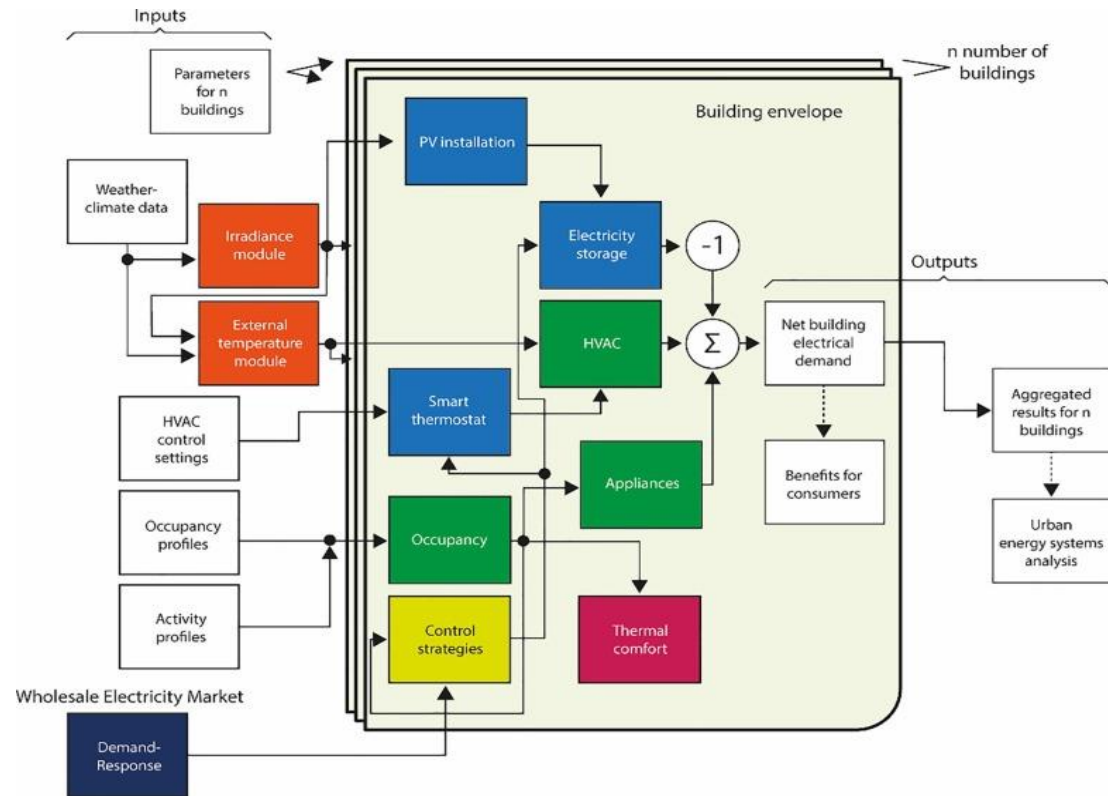
Εικόνα 7. Το υπολογιστικό φύλλο μοντελοποίησης R-C

3.5. Η παραμετροποίηση & η προσομοίωση του υπολογιστικού εργαλείου “DREEM”

Η παραμετροποίηση και όλο το σκεπτικό της μεθοδολογίας “R-C”, δεν θα είχε κανένα απολύτως νόημα αν δεν υπήρχε κάποιο κατάλληλο υπολογιστικό εργαλείο να «τρέχει» τα δεδομένα για τις επιλεγμένες κατοικίες. Αυτό έγινε δυνατό με την βοήθεια του μοντέλου διαχείρισης της ενεργειακής ζήτησης “DREEM”.

Στον οικιακό τομέα των κτιρίων, τα μοντέλα διαχείρισης της ενεργειακής ζήτησης χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μελέτη του ηλεκτρικού φορτίου, σε τομείς σχετιζόμενους με την ενεργειακή αποδοτικότητα, καθώς και σε μελέτες ανάλυσης της συμπεριφοράς των καταναλωτών. Τυπικά δεδομένα εισόδου ενός τέτοιου μοντέλου αποτελούν: **1)** τα χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους, **2)** τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής που βρίσκεται η εξεταζόμενη κατοικία, **3)** τα χαρακτηριστικά του οικιακού εξοπλισμού κ.α.

Αρκετά μοντέλα διαχείρισης της ζήτησης έχουν παρουσιαστεί στη βιβλιογραφία και έχουν λάβει μεγάλη απήχηση από τον επιστημονικό κλάδο. Το “DREEM” ωστόσο, παρουσιάζει κάποια χαρακτηριστικά που δεν τα βρίσκεις σε άλλα υπολογιστικά εργαλεία. Η μεγάλη καινοτομία που έχει το εν λόγω μοντέλο έγκειται κυρίως στην αρθρωτή δομή του, δηλαδή στην ευκολία που έχει να «αποσυνθέτεις» και να συνδέεις στην συνέχεια τα διαφορετικά τμήματα που το απαρτίζουν και τα οποία μπορεί να βρίσκονται σε πλήρη ανεξαρτησία μεταξύ τους. Η αρθρωτή αυτή δομή του λοιπόν, του επιτρέπει να έχει μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα στα διάφορα σενάρια που θα κληθεί να παράγει αποτελέσματα, και επίσης να μειώσει την υπολογιστική πολυπλοκότητα, κάνοντας να έχει ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα συγκριτικά με τα υπόλοιπα εργαλεία που έχουν παρουσιαστεί [27]. Η αρχιτεκτονική δομή του “DREEM” φαίνεται παρακάτω στην **Εικόνα 8**.



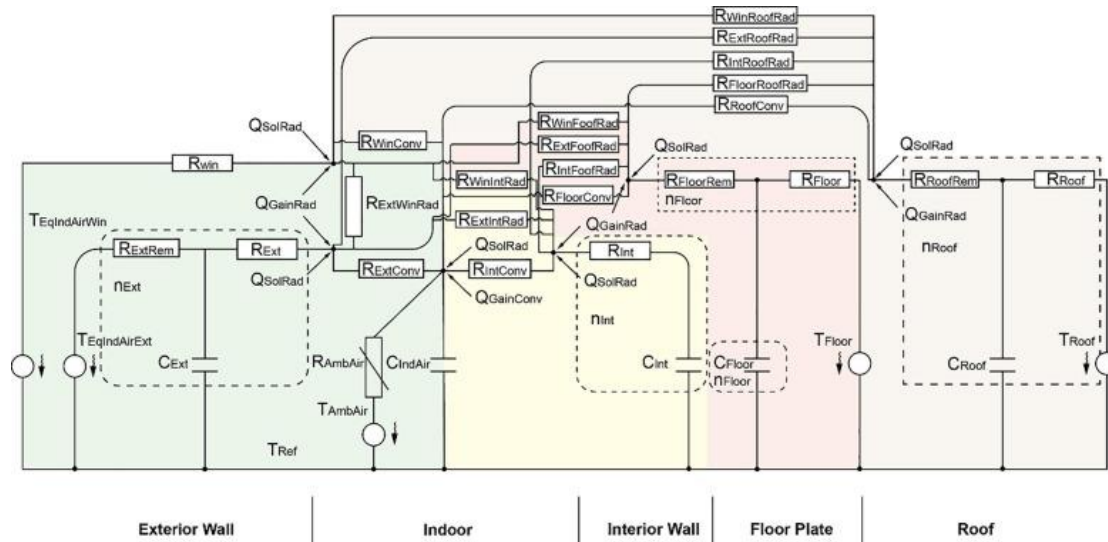
Εικόνα 8. Η αρχιτεκτονική δομή του υπολογιστικού εργαλείου “DREEM”. Πηγή: [27]

Το εργαλείο αποτελείται από διαφορετικά τμήματα και υπό-τμήματα αυτών τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους. Κάποια από αυτά αναφέρονται σε κλιματικά δεδομένα, άλλα στα χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους, και άλλα σε δεδομένα που σχετίζονται με το πόσα άτομα κατοικούν στο εξεταζόμενο κτίριο.

Συγκεκριμένα για τις ανάγκες της προσομοίωσης χρειαστήκαμε δύο βασικά τμήματα του μοντέλου, χωρίς ωστόσο να παραλείπεται η χρησιμότητα των άλλων τμημάτων και υπό-τμημάτων. Πιο αναλυτικά χρειαστήκαμε τα τμήματα “**weather climate data**” και “**building envelope**”. Στο πρώτο τμήμα εισάγονται κλιματικά δεδομένα σύμφωνα με το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της εξεταζόμενης πόλης της εκάστοτε μελέτης περίπτωσης, δημιουργώντας ακριβείς οριακές κλιματικές συνθήκες βάσει ιστορικών δεδομένων. Το εργαλείο χρησιμοποιεί δεδομένα τυπικού μετεωρολογικού έτους (“Typical Meteorological Year-TMY”), τα οποία δίνουν προβλέψεις, μεταξύ άλλων, και για την ακτινοβολία και την εξωτερική θερμοκρασία στην εξεταζόμενη γεωγραφική θέση [27].

Ακολούθως εισάγονται τα δεδομένα στο τμήμα “building envelope” του “DREEM”. Η βασική αρχή του τμήματος αυτού είναι η μετατροπή των θερμικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών του κελύφους του κάθε εξεταζόμενου κτιρίου σαν ένα κύκλωμα “R-C”. Έτσι μέσω αντιστάσεων προσομοιώνεται η μετάδοση θερμότητας στα επιμέρους στοιχεία του κτιριακού κελύφους και μέσω πυκνωτών η αποθήκευση θερμότητας.

Με απλά λόγια εδώ γίνεται πράξη όλη η μεθοδολογία “R-C” που παρουσιάστηκε στην [Ενότητα 3.2](#). Τα δεδομένα κελύφους για κάθε κατοικία υπό εξέταση εισάγονται στο υπολογιστικό φύλλο ώστε να παραμετροποιηθεί το αντίστοιχο τμήμα του υπολογιστικού εργαλείου “DREEM”. Στην **Εικόνα 9** βλέπουμε μία σχηματική αναπαράσταση του κάθε εξεταζόμενου κτιρίου, βάση της μεθοδολογίας “R-C” που χρησιμοποιείται στο μοντέλο.



Εικόνα 9. Η μοντελοποίηση ενός κτιρίου σαν ένα κύκλωμα “R-C”. Πηγή: [27]

Κάθε επιλεγμένη κατοικία μοντελοποιείται σαν μια θερμική ζώνη που αποτελείται από τέσσερα κύρια στοιχεία: εξωτερικοί τοίχοι, εσωτερικοί τοίχοι, οροφή και δάπεδο. Τα στοιχεία αυτά αναλύονται ως εξής:

1. Το στοιχείο "Exterior Wall" ("Ext") περιγράφει τους εξωτερικούς τοίχους στο μοντέλο και συμβάλλει στη μεταφορά θερμότητας προς το περιβάλλον. Παραμετροποιείται από το μήκος της αλυσίδας “R-C” (“nExt”) και του διανύσματος των πυκνωτών (“CExt[nExt]”), που συνδέονται μέσω του διανύσματος των αντιστάσεων (“RExt[nExt]” και εναπομενουσών αντιστάσεων “RextRem”) με το περιβάλλον (“AmbAir”) και το στοιχείο του εσωτερικού αέρα (“IndAir”). Το στοιχείο των εξωτερικών τοίχων εξετάζει επίσης τη μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία μέσω παραθύρων (“Win”).
2. Το στοιχείο "Internal Wall" ("Int") αναφέρεται στους εσωτερικούς τοίχους και διαφοροποιεί τις εσωτερικές θερμικές μάζες από τους εξωτερικούς τοίχους. Δεδομένου ότι οι εσωτερικές μάζες υποβάλλονται σε αδιαβατικές συνθήκες, το στοιχείο αυτό επιτρέπει την εξέταση της δυναμικής συμπεριφοράς που προκαλείται από την εσωτερική αποθήκευση θερμότητας. Το στοιχείο παραμετροποιείται από το μήκος της αλυσίδας “R-C” (nInt) και των διανυσμάτων των πυκνωτών (“CInt[nInt]”) και των αντιστάσεων (“RInt[nInt]”).
3. Το στοιχείο "Floor" ("Floor") περιγράφει το δάπεδο και επιτρέπει την εξέταση των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων της θερμικής διέγερσης των πατωμάτων, η

οποία συνήθως διαφέρει από τη θερμική διέγερση των εξωτερικών τοίχων. Το στοιχείο παραμετροποιείται από το μήκος της αλυσίδας “R-C” (“nFloor”) και τα διανύσματα των πυκνωτών (“CFloor[nFloor]”) και των αντιστάσεων (“RFloor[nFloor]”, και εναπομένουσες αντιστάσεις “RfloorRem”).

4. Η προσθήκη του στοιχείου “Roof” (“Roof”) αναλύει το στοιχείο της οροφής και οδηγεί σε λεπτότερη ανάλυση της δυναμικής συμπεριφοράς της μεταφοράς θερμότητας στο κτίριο, καθώς οι στέγες παρουσιάζουν συνήθως την ίδια διέγερση με τους εξωτερικούς τοίχους, αλλά έχουν διαφορετικούς συντελεστές μεταφοράς θερμότητας λόγω του προσανατολισμού τους. Το στοιχείο παραμετροποιείται από το μήκος της αλυσίδας “R-C” (“nRoof”) και τα διανύσματα των πυκνωτών (“CRoof[nRoof]”) και των αντιστάσεων (“RRoof[nRoof]” και των εναπομενουσών αντιστάσεων “RRoofRem”).
5. Τέλος, η θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος (“AmbAir”) και η ηλιακή ακτινοβολία (“Sol”) προέρχονται από το τμήμα “Weather Climate”, ενώ τα περιστασιακά κέρδη θερμότητας (“Gain”) εντός του κτιρίου προέρχονται από τα τμήματα “HVAC” και “Occupancy” αντίστοιχα [27].

Το τμήμα “HVAC” περιλαμβάνει τα συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και ψύξης των κατοικιών υπό μελέτη. Τα συστήματα αυτά ελέγχονται από ένα θερμοστάτη. Τέλος, το τμήμα “Occupancy” καθορίζει και θέτει τις παραμέτρους σχετικά με τη συμπεριφορά και τις δραστηριότητες των κατοίκων. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η ενεργειακή συμπεριφορά των τελικών καταναλωτών, αποτελεί σημαντικό κομμάτι στην κατεύθυνση χάραξης πολιτικών για την ενίσχυση της ενεργειακής αποδοτικότητας [30], ωστόσο δεν θα εξεταστεί στην παρούσα εργασία.

3.6. Τεχνοοικονομική ανάλυση των αποτελεσμάτων και παρουσίαση

Στο παρόν στάδιο της μεθοδολογίας γίνεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων από τις προσομοιώσεις των επιλεγμένων κατοικιών τις προηγούμενης ενότητας. Αφού έχουν μοντελοποιηθεί οι κατοικίες σαν ένα κύκλωμα “R-C”, και τα δεδομένα έχουν παραμετροποιηθεί για να γίνουν δεδομένα εισόδου στα τμήματα του “DREEM” που αναλύσαμε στην προηγούμενη ενότητα. Το μοντέλο προσομοιώνει αυτά τα δεδομένα εισόδου και δίνει αποτελέσματα για την ενεργειακή κατανάλωση κάθε επιλεγμένης κατοικίας.

Αρχικά παράγονται αποτελέσματα για τις επιλεγμένες κατοικίες χωρίς την εφαρμογή κάποιων μέτρων αποδοτικότητας (σενάρια αναφοράς), και στη συνέχεια εφαρμόζονται μέτρα εξοικονόμησης και παράγονται αποτελέσματα εκ νέου (σενάρια ενεργειακής αποδοτικότητας).

Η τεχνοοικονομική ανάλυση μελετά ουσιαστικά τη σχέση κόστους-απόδοσης του κάθε εφαρμοζόμενου μέτρου εξοικονόμησης με τη χρήση του δείκτη Σταθμισμένο Κόστος Εξοικονομούμενης Ενέργειας (“**Levelized Cost of Saved Energy-LCSE**”), και ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$LCSE = \frac{C}{S} \cdot CRF$$

Όπου:

- C είναι το κόστος της επένδυσης για κάθε μέτρο εξοικονόμησης υπό μελέτη, μετρούμενο σε Ευρώ (€),
- S είναι το συνολικό ποσό της ενέργειας που εξοικονομείται από την εφαρμογή του συγκεκριμένου μέτρου υπό μελέτη, μετρούμενη σε kWh, και
- CRF είναι ο συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου (“Capital Recovery Factor”), ο οποίος είναι καθαρός αριθμός και προκύπτει από την σχέση:

$$CRF = \frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

Όπου i είναι το επιτόκιο που έχει η επένδυση εξοικονόμησης και με n η διάρκεια ζωής της συγκεκριμένης επένδυσης [31].

Αφού λοιπόν γίνουν όλες οι προσομοιώσεις για κάθε επιλεγμένη κατοικία, υπολογίζεται ο δείκτης “LCSE” για κάθε εφαρμοζόμενο μέτρο εξοικονόμησης και παρουσιάζεται πιο είναι το οικονομικά αποδοτικότερο και σχολιάζονται τα αποτελέσματα.

Όλα αυτά τα βήματα του μεθοδολογικού πλαισίου θα τα δούμε εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο, όπου θα γίνει εφαρμογή του συγκεκριμένου μεθοδολογικού πλαισίου σε επιλεγμένες μελέτες περίπτωσης χωρών-μελών της Ε.Ε..

Κεφάλαιο 4^ο: Εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μελέτης

4.1. Επιλογή των μελετών περίπτωσης και δεδομένα εισόδου

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, αναζητήθηκαν και επιλέχθηκαν πέντε (5) χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης με σκοπό την ανάλυση της ενεργειακής αποδοτικότητας συγκεκριμένων τύπων κατοικιών σε επιλεγμένες πόλεις εντός της επικράτειας τους.

Η επιλογή των χωρών έγινε σύμφωνα με τον δείκτη HDD, ο οποίος βασίζεται σε μετεωρολογικά δεδομένα και δείχνει της ανάγκες ενός κτιρίου για θέρμανση, ενώ, επιπρόσθετα, λήφθηκε σοβαρά υπόψιν και η ηλικία του κτιριακού δυναμικού στις επιλεγμένες χώρες. Επιλέχθηκαν κυρίως χώρες της νότιας Ευρώπης που έχουν ακτογραμμή στην Μεσόγειο θάλασσα. Πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκαν η Ιταλία, η Γαλλία, η Ισπανία, η Ελλάδα, και η Ιρλανδία ως παράδειγμα χώρας που έχει μεν ακτογραμμή, αλλά και «γερασμένο» κτιριακό δυναμικό με διαφορετική γεωγραφική θέση ωστόσο. Οι χώρες αυτές έχουν υιοθετήσει στοχευμένα σχέδια δράσης για την «ανακαίνιση» του κτιριακού στόλου τους για την επίτευξη των μεσοπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων κλιματικών και ενεργειακών στόχων τους, δημιουργώντας μια πολύ καλή μελέτη περίπτωσης για την ενεργειακή αποδοτικότητα στον κτιριακό τομέα.

Πιο αναλυτικά, η Ιταλία στοχεύει σε ένα μεγάλο αριθμό ανακαινίσεων των υφιστάμενων κτιρίων, καθώς πάνω από το 60% του κτιριακού δυναμικού είναι πάνω από 40 χρονών. Σύμφωνα με το ΕΣΕΚ της Ιταλίας ο ετήσιος ρυθμός ανακαινίσεων θα χρειαστεί να διπλασιαστεί για τον οικιακό τομέα για την περίοδο 2021-2030, φτάνοντας το 0,7% για να επιτευχθούν οι κλιματικοί και ενεργειακοί στόχοι [32]. Η Γαλλία ακολούθως στοχεύει να ανακαινίσει ένα συνολικό αριθμό 300.000 κατοικιών για την δεκαετία 2021-2030 [33]. Για την χώρα της Ισπανίας το νούμερο αυτό εκτοξεύεται στο 1.200.000 για την ίδια χρονική περίοδο [34], αντίστοιχα στην Ιρλανδία ο αριθμός αυτός ανέρχεται σε 500.000 βάζοντας και όριο για την κατηγορία της ενεργειακής αναβάθμισης [35]. Τέλος, η Ελλάδα, έχει προγραμματίσει να ανακαινίσει τουλάχιστον 60.000 κατοικίες κάθε χρόνο μέχρι το 2030, όπως προαναφέρθηκε στο 1^ο Κεφάλαιο, βλέποντας ότι η επιλογή των χωρών είναι αρκετά στοχευμένη.

Τώρα έχοντας επιλέξει τις χώρες, θα έπρεπε να επιλέξουμε και τις πόλεις για την επιλογή των κατοικιών, η επιλογή αυτή βασίστηκε στη λογική ότι πλέον όλο και περισσότεροι άνθρωποι επιλέγουν να ζουν στις πρωτεύουσες και σε μεγάλες πόλεις κυρίως εξαιτίας οικονομικών και κοινωνικών λόγων, αλλά και στο γεγονός ότι αποτελούν κύριες πηγές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [36]. Όπως αναμένεται εκεί συγκεντρώνεται και η πλειοψηφία του κτιριακού δυναμικού των χωρών υπό μελέτη, και άρα θα έχουμε ένα πιο αντιπροσωπευτικό δείγμα για την ενεργειακή απόδοση των εξεταζόμενων κτιρίων σε κάθε επιλεγμένη χώρα. Αποφασίστηκε να

επιλεγούν τρεις (3) πρωτεύουσες και δύο (2) μεγάλες πόλεις στην επικράτεια των χωρών που θα υπολείπονταν. Έτσι προέκυψε η ακόλουθη αλληλουχία μεταξύ χωρών και πόλεων:

1. Ιταλία - **Μιλάνο**
2. Γαλλία - **Παρίσι**
3. Ισπανία - **Σεβίλλη**
4. Ιρλανδία - **Δουβλίνο**
5. Ελλάδα - **Αθήνα**

Το επόμενο βήμα ήταν να επιλέξουμε αρχικά τους τύπους των κατοικιών, και στην συνέχεια την χρονολογία κτίσης τους. Ως τύπος κατοικιών ορίζεται αν θα είναι διαμέρισμα ή μονοκατοικία και από πόσα άτομα θα κατοικούνται. Εμείς επιλέξαμε να ασχοληθούμε με κατοικίες τύπου μονοκατοικίας (Single Family Houses - SFH), οι οποίες κατοικούνται από 2 έως 4 άτομα. Επιπλέον της επιλογής του τύπου της κατοικίας, έπρεπε να εστιάσουμε και στη χρονολογία των κατοικιών που θα εξετάσουμε. Σύμφωνα με το παρατηρητήριο του κτιριακού δυναμικού της Ευρωπαϊκής Ένωσης (“EU Building Stock Observatory”) πάνω από το 50% κατά μέσο όρο του κτιριακού δυναμικού στις επιλεγμένες χώρες έχουν χρόνο κτίσης προ του 1980 [20]. Το γεγονός αυτό μας ώθησε να επιλεγούν κατοικίες με χρόνο κτίσης προ του 1980, καθώς αυτές λόγω απουσίας νομοθετικών υποχρεώσεων ή οδηγιών κατά την περίοδο κατασκευής τους, αναμένεται να έχουν και χαμηλότερη ενεργειακή συμπεριφορά. Επιπλέον αναζητήσαμε και κτίρια μεταγενέστερα του 1980, με τον χρόνο κτίσης αυτών να διαφοροποιείται ανά χώρα, χωρίς ωστόσο να παρατηρούνται σημαντικές διαφορές και τα οποία θα αναλύσουμε όταν παρουσιάσουμε της μελέτες περίπτωσης για κάθε χώρα στην συνέχεια του κεφαλαίου.

Πέραν της διαδικασίας επιλογής όλων των παραπάνω, τίποτα δεν θα ήταν εφικτό σε στάδιο προσομοίωσης αν δεν υπήρχαν τα κατάλληλα δεδομένα εισόδου για την μοντελοποίηση του “R-C” δικτύου. Τα δεδομένα αυτά είναι κατά κύριο λόγο γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους των επιλεγμένων κατοικιών, και συμπληρωματικά τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών μερών που απαρτίζουν το κτιριακό κέλυφος. Τα πρώτα αναλύονται στα εμβαδά των επιφανειών των επιμέρους στοιχείων που απαρτίζουν το κτιριακό κέλυφος όπως τα εμβαδά τοίχων, παραθύρων, οροφής και των πατωμάτων, καθώς και ο συνολικός όγκος του που στις περισσότερες φορές προκύπτει σαν γινόμενο της επιφάνειας με το ύψος του κάθε κτιρίου.

Για τα θερμικά χαρακτηριστικά τώρα, χρειαστήκαμε τους συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας των δομικών μερών του κάθε κτιρίου, που ορίζονται σαν **U-Values** στην βιβλιογραφία και έχουν μονάδες μέτρησης το $W/m^2 \cdot K$. Όσο χαμηλότερη τιμή έχει ένα δομικό στοιχείο όπως για παράδειγμα ένας τοίχος, τόσο καλύτερα μονωμένο είναι. Ο συντελεστής αυτός είναι άμεσα συνδεδεμένος με τις θερμικές αντιστάσεις που παρουσιάσαμε πριν στο θεωρητικό υπόβαθρο του προηγούμενου κεφαλαίου, καθώς είναι μεγέθη αντίστροφα μεταξύ τους. Για τα παράθυρα επιπλέον

χρειάζεται ένα επιπλέον χαρακτηριστικό που δείχνει την ικανότητα των παραθύρων να αντανakλούν την ηλιακή ακτινοβολία, γνωστό ως “g-value”.

Τα δεδομένα αυτά τα αναζητήσαμε από το διαδίκτυο και συγκεκριμένα από το διαδικτυακό εργαλείο “TABULA” (<http://webtool.building-typology.eu/#bm>). Αυτό έγινε για τρεις βασικούς λόγους. Αρχικά ο κύριος λόγος ήταν ότι το εργαλείο είχε δεδομένα για κατοικίες στις επιλεγμένες χώρες, δεύτερο παρουσίαζε συγκεντρωτικά τα δεδομένα που χρειαζόμασταν και τέλος μας παρείχε και δεδομένα για προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης των κατοικιών αυτών.

Σε μια σύντομη περιγραφή το εργαλείο αυτό δημιουργήθηκε στα πλαίσια ενός προγράμματος της Ε.Ε. το 2009 και τελείωσε το 2012. Στο πρόγραμμα αυτό συμμετείχαν διάφορες ευρωπαϊκές χώρες, ανάμεσα τους και η Ελλάδα. Κύριος σκοπός του προγράμματος ήταν να δημιουργηθούν «ομάδες» κτιρίων με τα ίδια κατά κύριο λόγο γεωμετρικά χαρακτηριστικά και με κοντινό χρόνο κτίσης των κτιρίων αυτών, έτσι ώστε να είναι δυνατόν να μετρηθεί η ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων αυτών αρχικά, και στην συνέχεια να συγκριθούν τα αποτελέσματα μεταξύ των χωρών.

Στην **Εικόνα 10** παρατηρούμε συνοπτικά τα γεωμετρικά και θερμικά χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων κατοικιών που αποτελούν τα κύρια δεδομένα εισόδου και πηγάζουν από το διαδικτυακό εργαλείο “TABULA”.

TABULA Thermal Insulation Measures		U-values									
building variant description	IT.MidClim.SFH.05.Gen.ReEx.001.003			construction year	1961 ... 1975						
envelope area	Roof 1	Roof 2	Wall 1	Wall 2	Wall 3	Floor 1	Floor 2	Window 1	Window 2	Door 1	m ²
A _{env,i}	124	0	240	0	0	108	0	20	0	2	
Construction Types											
code	IT.Roof.ReEx.0.3.01	IT.Wall.ReEx.0.4.02				IT.Floor.ReEx.0.1.04	IT.Window.ReEx.x.01.01			IT.Door.ReEx.0.1.01	
U-value original state	U _{original,i}	2.20	1.26			2.00	4.90			3.00	W/(m ² K)
included insulation thickness	d _{ins,includes,i}	0	0			0					mm
border type		Ext	Ext			Soil					
additional thermal resistance of unheated spaces	R _{pass,i}	0.00	0.00			0.00					m ² K/W
effective U-value original state	U _{original,effective,i}	2.20	0.00	1.26	0.00	0.00	2.00	0.00	4.90	3.00	W/(m ² K)
Refurbishment Measures											
code	IT.Roof.Insulation15cm.12	IT.Wall.Insulation15cm.08				IT.Floor.Insulation15cm.08	IT.Window.3p-LowE-arg.01			IT.Door.Improved performance.02	
thermal resistance of predefined measure	R _{measure,predef,i}	4.00	3.25			3.75					m ² K/W
insulation thickness of predefined measure	d _{insulation,predef,i}	160	130			150					mm
actual insulation thickness	d _{insulation,i}	160	130			150					mm
thermal resistance of actual measure	R _{measure,i}	4.00	3.25			3.75	0.59			0.59	m ² K/W
effective thermal conductivity (indicative)	λ _{insulation,effective,i}	0.04	0.04			0.04					W/(m·K)

Εικόνα 10. Τα γεωμετρικά και θερμικά χαρακτηριστικά ενδεικτικής κατοικίας. Πηγή: [37]

Τα δεδομένα αυτά εισάγονται στο υπολογιστικό φύλλο της προηγούμενης ενότητας για να ακολουθήσουν τα στάδια προσομοίωσης στο DREEM. Αξίζει να τονιστεί για την συμπλήρωση του υπολογιστικού φύλλου της μεθοδολογίας R-C της προηγούμενης ενότητας, έγιναν κάποιες παραδοχές, οι οποίες αφορούν όλες τις επιλεγμένες κατοικίες για όλες τις χώρες που εξετάστηκαν. Οι παραδοχές έγιναν με γνώμονα την ευκολία στην μοντελοποίηση και βάσει της διαθεσιμότητας των δεδομένων που υπήρχαν. Οι εν λόγω παραδοχές αναλύονται ως εξής:

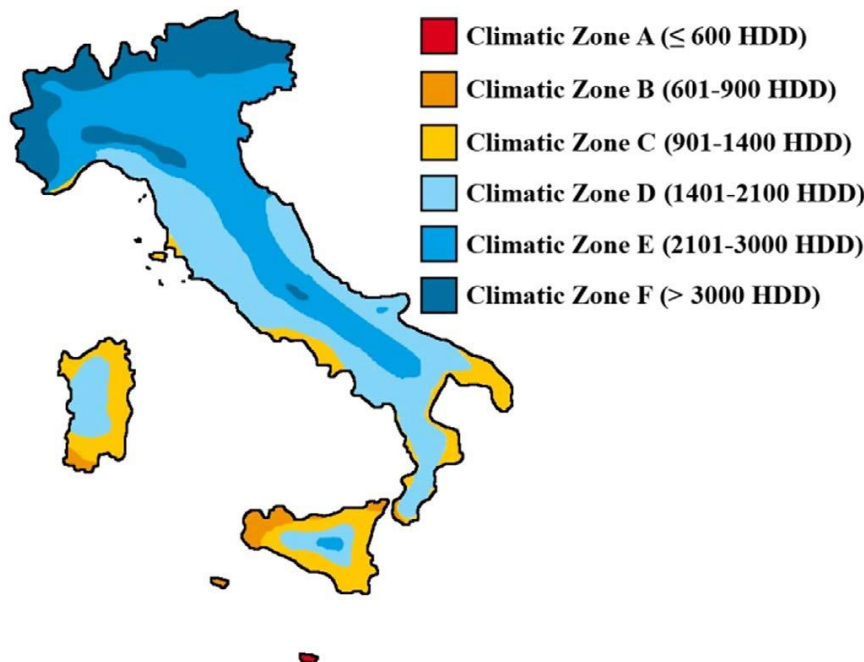
- Όλα τα κτίρια αποτελούνται από 4 εξωτερικούς τοίχους με επιφάνειες “Awall1”, “Awall2”, “Awall3” και “Awall4”. Επειδή το TABULA δίνει πληροφορίες για την συνολική επιφάνεια του εξωτερικού του κτιρίου, τα εμβαδά για τους τοίχους “Awall1” και “Awall3” προέκυψαν διαιρώντας την συνολική επιφάνεια δια 4. Αντίστοιχα για τα εμβαδά των τοίχων “Awall2” και “Awall4” από την αφαίρεση του εμβαδού των παραθύρων “Awin” από τις επιφάνειες “Awall1” και “Awall3” αντίστοιχα.
- Οι επιφάνειες των εσωτερικών τοίχων ορίζονται ως το άθροισμα των δυο εξωτερικών τοίχων (“Awall1” + “Awall2”) διαιρούμενο με το 2.
- Το εμβαδό των παραθύρων προκύπτει από τον τύπο (“Window1” + “Window2”)/2 των ενδεικτικών δεδομένων που φαίνονται κυκλωμένα στην Εικόνα 12.
- Ο συντελεστής θερμοπερατότητας για τους εσωτερικούς τοίχους έχει οριστεί σε $2 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ για όλα τα εξεταζόμενα κτίρια.
- Οι επιφάνειες των κύριων εισόδων-πορτών των κτιρίων, δεν μοντελοποιήθηκαν ξεχωριστά, αλλά προσμετρήθηκαν στην συνολική επιφάνεια των εξωτερικών τοίχων.
- Ο συντελεστής θερμικής μετάβασης h που εμφανίζεται στο υπολογιστικό φύλλο ως τιμή εισόδου και αναφέρεται στις διάφορες διευθύνσεις της ροής θερμότητας (κατακόρυφη, οριζόντια προς τα άνω, οριζόντια προς τα κάτω). Προκύπτει από τους πίνακες 2α, 2β της τεχνικής οδηγίας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (Τ.Ε.Ε)-Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017 «ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ» για θερμοκρασία εσωτερικού χώρου 20°C [38].

Τα υπολογιστικά φύλλα, καθώς και τα δεδομένα εισόδου για κάθε μελέτη περίπτωσης θα αναλυθούν στην συνέχεια, όπου θα παρουσιάσουμε τα δεδομένα για κάθε χώρα ξεχωριστά.

4.1.1. Η περίπτωση της Ιταλίας

Η Ιταλία χαρακτηρίζεται από έξι (6) διαφορετικές κλιματικές ζώνες σύμφωνα με το Προεδρικό διάταγμα αρ.412/1993. Στην Ιταλική επικράτεια εμφανίζονται περιοχές στην νότια Ιταλία με πιο ήπιο κλίμα και περιοχές με ψυχρό κλίμα κυρίως στις πιο βόρειες περιοχές. Οι κλιματικές ζώνες ξεκινούν από την ζώνη “Α” έως την

ζώνη “F” ανάλογα με τον δείκτη HDD που προαναφέραμε προηγουμένως. Στην **Εικόνα 11** βλέπουμε πως κατανέμονται οι κλιματικές ζώνες στην Ιταλική επικράτεια.



Εικόνα 11. Η κατανομή των κλιματικών ζωνών στην Ιταλική επικράτεια. Πηγή: [39]

Για την ανάλυση του κτιριακού δυναμικού επιλέχθηκε η πόλη του **Μιλάνου** που αντιστοιχεί στην κλιματική ζώνη “E”. Το Μιλάνο αποτελεί την πρωτεύουσα της Λομβαρδίας και είναι η 2^η πιο πυκνοκατοικημένη πόλη της Ιταλίας μετά την Ρώμη με 1.368.950 κατοίκους σύμφωνα με απογραφή του 2016.

Επιλέχθηκαν δύο κατοικίες για την εξέταση της ενεργειακής τους συμπεριφοράς με την πρώτη να έχει χρόνο κτίσης μεταξύ 1961-1975 και την δεύτερη να είναι σχετικά νεότερη με χρόνο κτίσης μεταξύ 1991-2005. Η 1^η κατοικία έχει συνολικό εμβαδό επιφάνειας 156 m², ενώ η 2^η λίγο μεγαλύτερο που ανέρχεται στα 172 m². Στην **Εικόνα 12** και στην **Εικόνα 13** βλέπουμε τις προσόψεις των επιλεγμένων κατοικιών για την χώρα της Ιταλίας.

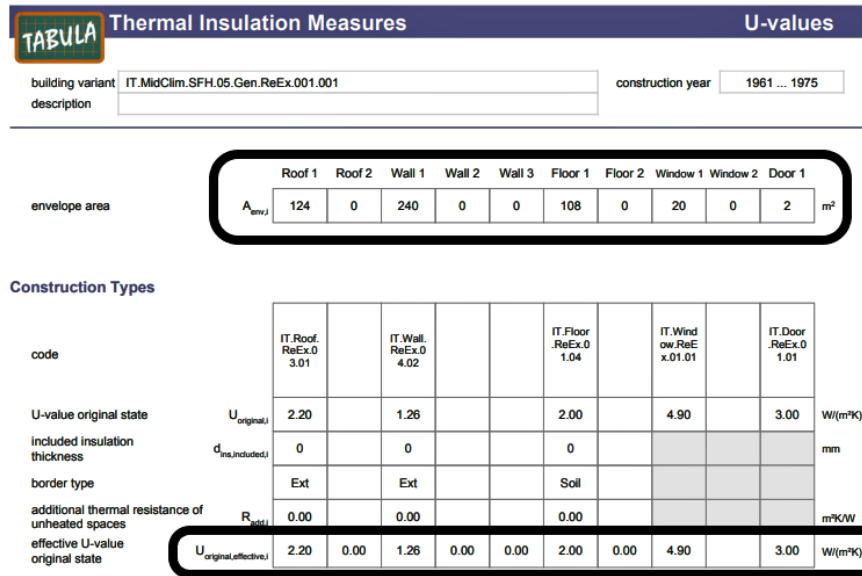


Εικόνα 12. Κατοικία στη πόλη του Μιλάνο χρονολογίας (1961-1975)

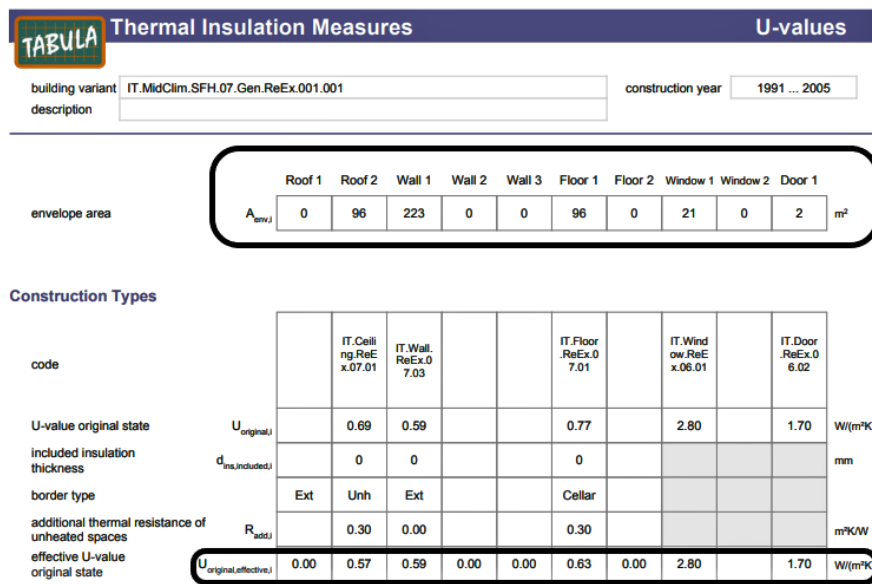


Εικόνα 13. Κατοικία στην πόλη του Μιλάνο χρονολογίας (1991-2005)

Τα δεδομένα για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά εξήχθησαν από το διαδικτυακό εργαλείο TABULA και για τις θερμικές ιδιότητες των δομικών μερών χρειάστηκε περαιτέρω αναζήτηση στην βιβλιογραφία. Τα δεδομένα τα οποία εισήχθησαν στο υπολογιστικό φύλλο από το TABULA παρουσιάζονται στις κάτωθι εικόνες αρχικά για την 1^η κατοικία και στην συνέχεια για την 2^η.



Εικόνα 14. Τα γεωμετρικά & θερμικά χαρακτηριστικά της κατοικίας 1961-1975



Εικόνα 15. Τα γεωμετρικά & θερμικά χαρακτηριστικά της κατοικίας 1991-2005

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν τα υπολογιστικά φύλλα για τις 2 επιλεγμένες κατοικίες.

Κεφάλαιο 4ο: Εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μελέτης

Building data from Tabula		Methodology-RC solution		Dymola Inputs		EquivalentAirTemperature	
Windows		Thermal Zone		Weighting factors of the walls			
Awin[m ²]	10	T[days]	5	Vair[m ³]	679	Wertwall1	0,27252523
Uwin[W/m ² K]	4,9	w[1/s]	1,45444E-05	alphaRad[W/m ² K]	5,134384879	Wertwall2	0,22747777
Rwin[m ² K/W]	0,20	Cm [l/m ³ K]	162000	nOrientations	4	Wertwall3	0,27252523
gwin	0,85	U[W/m ² K]	2,2	Windows		Wertwall4	0,22747777
hwin[W/m ² K]	7,7	hi[W/m ² K]	10	AWin	[0,10,0,10]		1
		ho[W/m ² K]	25	ATransparent	[0,10,0,10]		
External Walls				Weighting factors of the windows			
Wall1	240	hrad[W/m ² K]	5,134384879	AlphaWin[W/m ² K]	7,7	Window1	0,5
Wall2	0	R[m ² K/W]	0,321360772	Rwin [K/W]	0,020408163	Window2	0,5
Wall3	0	param	0,615300122	gWin	0,85		
Awall1[m ²]	60,5	cosh(param)	1,195345233	rationWinConRad	0,09		
Awall2[m ²]	50,5	sinh(param)	0,654866572	Exterior walls		aExt	0,7
Awall3[m ²]	50,5	cos(param)	0,81660232	Aext[m ²]	[60,5,50,5,60,5,50,5]	alphaWallOut [W/m ² K]	25
Uwallek[W/m ² K]	1,3	sin(param)	0,577203628	alphaExt [W/m ² K]	7,7	alphaRad[W/m ² K]	5,134384879
Rwallek[m ² K/W]	0,793650794	Rea11	0,976119219	nExt	4	Tground [°C]	15
hexwall[W/m ² K]	7,7	Rea22	0,377991951	Rext [K/W]	[0,001735659,0,002079354,0,001735659,0,002079354]	alphaWinOut [W/m ² K]	25
Internal walls				Interior walls		Outdoor coefficient of heat transfer for Wall	
Awallint[m ²]	55,5	Ima22	0,377991951	Ext	[29207340,86,24379681,21,29207340,86,24379681,21]	kWalls	6689,833443
Uwallint[W/m ² K]	2	param2	0,812641573	Aint[m ²]	55,5	Outdoor coefficient of heat transfer for Roof	3796,663725
Rwallint[m ² K/W]	0,5	Rea12	0,31982957	alphaInt [W/m ² K]	7,7	Outdoor coefficient of heat transfer for Floor	3354,613967
hintwall[W/m ² K]	7,7	Ima12	0,60527434	mint	4	Outdoor coefficient of heat transfer for Windows	602,6876976
Floor				Floor Plate			
Afloor[m ²]	108	Rea21	-0,297144284	Rint [K/W]	0,009009009		
Ufloor[W/m ² K]	1	Ima21	2,34489923	Cint	8991000		
Rfloor[m ² K/W]	1,00	param3	0,053547947	Afloor[m ²]	108		
hfloor[W/m ² K]	5,88	param4	0,053547947	alphaFloor [W/m ² K]	5,88		
Roof				Roof			
Aroof[m ²]	124	R1[K/W]	0,000418388	nFloor	4		
Uroof[W/m ² K]	2,2	R2[K/W]	0,000418388	Rfloor [K/W]	[0,001227833,0,001227833,0,001227833,0,001227833]		
Rroof[m ² K/W]	0,45	R3[K/W]	0,001727943	RfloorRem [K/W]	0,005149417		
hroof[W/m ² K]	10,00	Rtotal[K/W]	0,000418388	CFloor	[51932468,67,51932468,67,51932468,67,51932468,67]		
		RtotalRem[K]	0,002159781	Roof			
Cm [Wh/m ² K]	45	param7	0,07566901	Aroof[m ²]	124		
Cm [l/m ³ K]	162000	C1,KORR	12051827,3258123000	alphaRoof [W/m ² K]	10		
		c1tot	60159136,63	nRoof	4		
				Rroof [K/W]	[0,000418388,0,000418388,0,000418388,0,000418388]		
				RroofRem [K/W]	0,002159781		
				Croof	[60159136,63,60159136,63,60159136,63,60159136,63]		
Door							
A[m ²]	2						
SUM-WALL+DOOR	242						
			0,002991619				

Εικόνα 16. Το υπολογιστικό φύλλο για την κατοικία 1961-1975

Building data from Tabula		Methodology-RC solution		Dymola Inputs		EquivalentAirTemperature	
Windows		Thermal Zone		Weighting factors of the walls			
Awin[m ²]	10,5	T[days]	5	Vair[m ³]	605	Wertwall1	0,275753204
Uwin[W/m ² K]	2,8	w[1/s]	1,45444E-05	alphaRad[W/m ² K]	5,134384879	Wertwall2	0,224264706
Rwin[m ² K/W]	0,36	Cm [l/m ³ K]	162000	nOrientations	4	Wertwall3	0,275753204
gwin	0,75	U[W/m ² K]	0,69	Windows		Wertwall4	0,224264706
hwin[W/m ² K]	7,7	hi[W/m ² K]	10	AWin	[0,10,5,0,10,5]		1
		ho[W/m ² K]	25	ATransparent	[0,10,5,0,10,5]		
External Walls				Weighting factors of the windows			
Wall1	223	hrad[W/m ² K]	5,134384879	AlphaWin[W/m ² K]	7,7	Window1	0,5
Wall2	0	R[m ² K/W]	1,31609068	Rwin [K/W]	0,034013905	Window2	0,5
Wall3	0	param	1,245183843	gWin	0,75		
Awall1[m ²]	56,25	cosh(param)	1,880730656	rationWinConRad	0,09		
Awall2[m ²]	45,75	sinh(param)	1,592842679	Exterior walls		aExt	0,7
Awall3[m ²]	56,25	cos(param)	0,319889146	Aext[m ²]	[56,25,45,75,56,25,45,75]	alphaWallOut [W/m ² K]	25
Uwallek[W/m ² K]	0,6	sin(param)	0,947454977	alphaExt [W/m ² K]	7,7	alphaRad[W/m ² K]	5,134384879
Rwallek[m ² K/W]	1,694915254	Rea11	0,601625324	nExt	4	Tground [°C]	15
hexwall[W/m ² K]	7,7	Ima22	1,509146724	Rext [K/W]	[0,004515573,0,005551934,0,004515573,0,005551934]	alphaWinOut [W/m ² K]	25
		Rea22	0,601625324	RextRem [K/W]	0,022717502		
		Ima22	1,509146724	Cext	[26310405,74,21399130,26310405,74,21399130]	Outdoor coefficient of heat transfer for Wall	6147,414515
Uwallint[W/m ² K]	2	param2	0,401547131	Interior walls		kWalls	2892,900848
Rwallint[m ² K/W]	0,5	Rea12	1,210963253	Aint[m ²]	51	Outdoor coefficient of heat transfer for Roof	2892,900948
hintwall[W/m ² K]	7,7	Ima12	0,672414871	alphaInt [W/m ² K]	7,7	Outdoor coefficient of heat transfer for Floor	2892,900948
Floor				Floor Plate			
Afloor[m ²]	96	Rea21	-1,203822989	mint	4	Outdoor coefficient of heat transfer for Windows	632,8220825
Ufloor[W/m ² K]	0,385	Ima21	2,16798507	Rint [K/W]	0,009803922		
Rfloor[m ² K/W]	2,60	param3	0,218516492	Cint	8262000		
hfloor[W/m ² K]	5,88	param4	0,218516492	Afloor[m ²]	96		
		param5	79938,45245	alphaFloor [W/m ² K]	5,88		
		param6	79938,45245	nFloor	1		
Aroof[m ²]	96	R1[K/W]	0,002276213	Rfloor [K/W]	[0,004105056,0,004105056,0,004105056,0,004105056]		
Uroof[W/m ² K]	0,69	R2[K/W]	0,002276213	RfloorRem [K/W]	0,020834005		
Rroof[m ² K/W]	1,45	R3[K/W]	0,009156851	CFloor	[42673332,49,42673332,49,42673332,49,42673332,49]		
hroof[W/m ² K]	10,00	Rtotal[K/W]	0,002276213	Roof			
		RtotalRem[K]	0,011433064	Aroof[m ²]	96		
Cm [Wh/m ² K]	45	param7	0,300234969	alphaRoof [W/m ² K]	10		
Cm [l/m ³ K]	162000	C1,KORR	9068848,9057994200	nRoof	4		
		c1tot	45344244,53	Rroof [K/W]	[0,002276213,0,002276213,0,002276213,0,002276213]		
				RroofRem [K/W]	0,011433064		
				Croof	[45344244,53,45344244,53,45344244,53,45344244,53]		
Door							
A[m ²]	2						
SUM-WALL+DOOR	225						
			0,013709278				

Εικόνα 17. Το υπολογιστικό φύλλο για την κατοικία 1991-2005

Ο τρόπος με τον οποίο δουλεύει το υπολογιστικό φύλλο είναι εύκολα κατανοητός. Αρχικά εισάγονται τα γεωμετρικά και τα θερμικά χαρακτηριστικά του κάθε κτιρίου. Τα χαρακτηριστικά αυτά όπως περιγράψαμε και σε προηγούμενως

είναι το εμβαδό των δομικών μερών του κτιριακού κελύφους, ο συνολικός όγκος του κτιρίου, καθώς και τα θερμικά χαρακτηριστικά των εν λόγω δομικών μερών, δηλαδή ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U-value), ο συντελεστής g-value που δείχνει την ικανότητα των παραθύρων να αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία καθώς και ο συντελεστής θερμικής μετάβασης.

Αφού έχουν εισαχθεί όλα τα δεδομένα για όλα τα μέρη του κτιριακού κελύφους δηλαδή τα παράθυρα, τους εξωτερικούς τοίχους, τους εσωτερικούς, την οροφή και το πάτωμα του κτιρίου, επιλύονται οι εξισώσεις της μεθοδολογίας R-C της ενότητας 3.3 του προηγούμενου κεφαλαίου για κάθε στοιχείο πλην των εσωτερικών τοίχων για τους οποίους θεωρείται απλούστερη προσέγγιση. Βρίσκουμε δηλαδή την συνολική θερμική αντίσταση και χωρητικότητα για κάθε στοιχείο ξεχωριστά και στην συνέχεια τα αποτελέσματα αυτά ομαδοποιούνται και παραμετροποιούνται σχετικά για να γίνουν δεδομένα εισόδου στο υπολογιστικό εργαλείο “DREEM” μπορεί να γίνει η ενεργειακή του αξιολόγηση, τα οποία αναπαρίστανται με κίτρινο χρώμα στο υπολογιστικό φύλλο της μεθοδολογίας.

Στις δυο αυτές επιλεγμένες κατοικίες για την πόλη του Μιλάνου εφαρμόστηκαν και κάποια μέτρα ενεργειακής αναβάθμισης, σύμφωνα με κάποια προ επιλεγμένα σενάρια που έδινε το διαδικτυακό εργαλείο “TABULA”. Τα μέτρα αυτά για την κατοικία της περιόδου 1961-1975, αφορούσαν την εισαγωγή μόνωσης στην οροφή του κτιρίου, στους εξωτερικούς τοίχους, το δάπεδο, στην αλλαγή των παραθύρων με αποδοτικότερα καθώς και την αλλαγή της εισόδου. Η τελευταία αλλαγή ωστόσο δεν λήφθηκε υπόψιν σύμφωνα με τις παραδοχές που έγιναν και περιεγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Τα δεδομένα αυτά εισήχθησαν εκ νέου στο υπολογιστικό φύλλο, επιλύθηκαν εν νέου οι εξισώσεις της μεθοδολογίας R-C και τα δεδομένα παραμετροποιήθηκαν κατάλληλά για να γίνουν δεδομένα εισόδου του εργαλείου “DREEM”.

Αντίστοιχα για την κατοικία της περιόδου 1991-2005, εφαρμόστηκαν και εκεί κάποια επιλεγμένα μετρά, τα μέτρα αυτά αφορούσαν τα ίδια ακριβώς που εφαρμόστηκαν στην προηγούμενη κατοικία χωρίς την μόνωση της οροφής. Τα επίπεδα της μόνωσης με τα αντίστοιχα “U-values” ωστόσο διαφέρουν μεταξύ των δύο επιλεγμένων κατοικιών.

Στις **Εικόνα 18** και **Εικόνα 19** θα παρουσιαστούν τα μέτρα όπως τα έχει το διαδικτυακό εργαλείο “TABULA” στη βιβλιοθήκη του για κάθε επιλεγμένη κατοικία. Για την κατοικία της περιόδου 1961-1975, εφαρμόζεται μόνωση 160 χιλιοστών στην οροφή, 130 χιλιοστών στους εξωτερικούς τοίχους, 150 χιλιοστών στο δάπεδο και συμπληρωματικά αλλάζουν τα παράθυρα με αποδοτικότερα. Για την κατοικία της περιόδου 1991-2005, εφαρμόζεται αντίστοιχα μόνωση 90 χιλιοστών στους εξωτερικούς τοίχους, 120 χιλιοστών στο δάπεδο και αντικαθίστανται τα κρύσταλλα των παραθύρων με αποδοτικότερα.

Κεφάλαιο 4ο: Εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μελέτης

building	IT.MidClim.SFH.05.Gen.ReEx.001.003			reference area $A_{C,ref}$	156.3	m ²
climate	IT.MidClim (IT)			(conditioned floor area)		

construction element	original U-value	measure type	nominal insulation thickness	effective thermal conductivity	area fraction	actual U-value	area (basis: external dimensions)	adjustment factor soil	$H_{e,j}$	annual heat flow related to $A_{C,ref}$
	$U_{(original)}$ W/(m ² ·K)		$D_{(insulation)}$ mm	$\lambda_{(insulation)}$ W/(m·K)	$f_{(measure,j)}$	$U_{(actual)}$ W/(m ² ·K)	$A_{(env,j)}$ m ²	$b_{s,j}$	$H_{e,j}$ W/K	kWh/(m ² ·a)
roof 1	2.200	Add	160	0.040	100%	0.224	124.5	1.00	27.9	9.9
roof 2										
wall 1	1.260	Add	130	0.040	100%	0.25	239.8	1.00	59.3	21.1
wall 2										
wall 3										
floor 1	2.000	Add	150	0.040	100%	0.24	107.8	0.50	12.7	4.5
floor 2										
window 1	4.900	Replace			100%	1.70	19.5	1.00	33.2	11.8
window 2										
door 1	3.000	Replace			100%	1.70	2.4	1.00	4.1	1.5
						$\Delta U_{(env)}$	$\Sigma A_{(env,j)}$		$H_{(e,env)}$	
						0.05	494.0	1.00	24.7	8.8

thermal bridging: surcharge on the U-values

Heat transfer coefficient by transmission H_{tr}	related to: envelope area	reference area	sum	
	0.33	1.04	W/m ² ·K	162

Heat transfer coefficient by ventilation H_{ve}	volume-specific heat capacity air	air change rate by use	air change rate by infiltration	reference area	room height (standard value)	
	$c_{p,air}$ Wh/(m ³ ·K)	$n_{air,use}$ 1/h	$n_{air,infiltration}$ 1/h	$A_{C,Ref}$ m ²	h_{room} m	W/K
	0.34	0.40	0.10	156.3	2.50	66

accumulated differences between internal and external temperature	internal temp. θ_i °C	external temp. θ_e °C	heating days d_{hs} dia	
	20.0	5.2	174	2575

Total heat transfer Q_{HT}	H_{tr} W/K	H_{ve} W/K	reduction factor	reference area	temperature reduction factor	
	162	66	F_{red} ($\theta_i = \theta_e$)	$A_{C,Ref}$ m ²	$F_{red} \times 0.024$ kWh/a	kWh/a
			0.90	61.8		12686

window orientation	external shading F_{sh}	reduction factors frame area fraction F_F	non-perpendicular F_W	solar energy transmittance $g_{gl,in}$	window area $A_{(window,j)}$ m ²	solar global radiation $i_{(so,j)}$ kWh/(m ² ·a)	
1. horizontal	0.80	$x(1 - 0.30)$	$x 0.90$	0.50		378	
2. east	0.60	$x(1 - 0.30)$	$x 0.90$	0.50	5.9	290	321
3. south	0.60	$x(1 - 0.30)$	$x 0.90$	0.50	7.8	496	733
4. west	0.60	$x(1 - 0.30)$	$x 0.90$	0.50	5.9	290	321
5. north	0.60	$x(1 - 0.30)$	$x 0.90$	0.50		122	
Solar heat load during heating season $Q_{s,ht}$					sum	1375	8.8

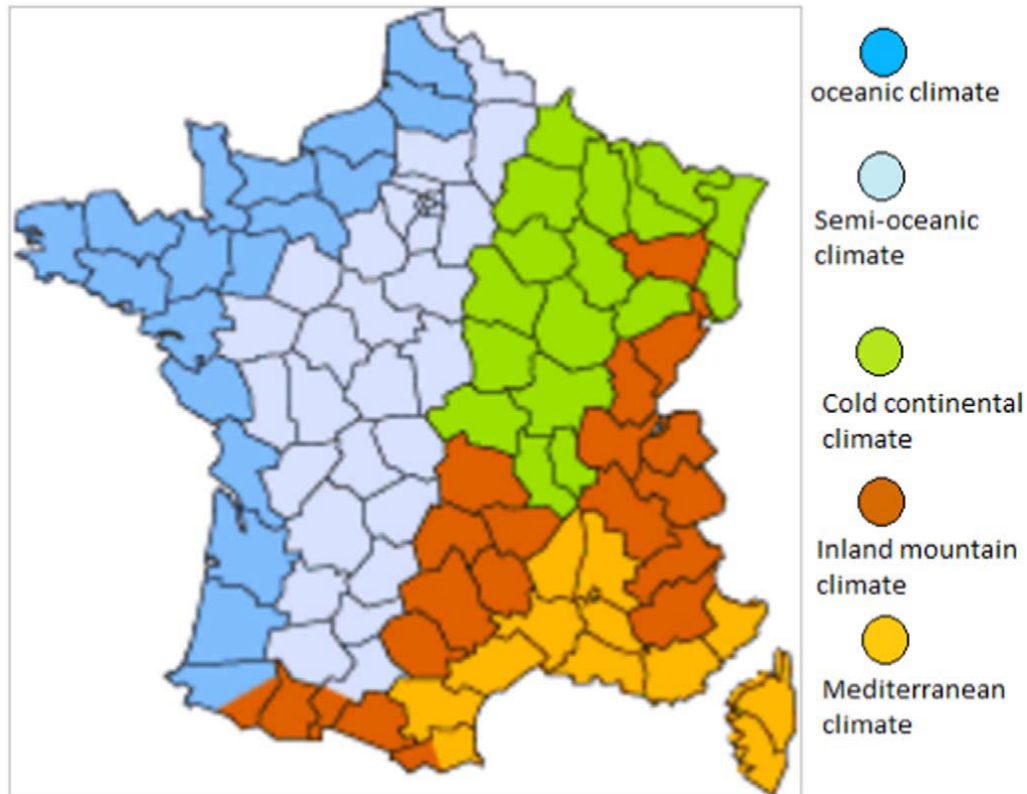
Εικόνα 18. Ενδεικτικά μετρά ενεργειακής αναβάθμισης για την κατοικία της περιόδου 1961-1975

TABULA		Energy Balance Calculation				Building Performance				
Standard Reference Calculation - based on: EN ISO 13790 / seasonal method										
building	IT.MidClim.SFH.07.Gen.ReEx.001.003				reference area $A_{C,ref}$	171.8 m ²				
climate	IT.MidClim (IT)				(conditioned floor area)					
construction element	original U-value $U_{original}$ W/(m ² ·K)	measure type	nominal insulation thickness $d_{insulation}$ mm	effective thermal conductivity $\lambda_{insulation}$ W/(m·K)	area fraction $f_{measure}$	actual U-value U_{actual} W/(m ² ·K)	area (basis: external dimensions) A_{env} m ²	adjustment factor soil $b_{s,j}$	$H_{t,j}$ WK	annual heat flow related to $A_{C,ref}$ kWh/(m ² ·a)
roof 1						0.211	96.0	1.00	20.2	6.7
roof 2	0.690		120	0.040	100%	0.25	223.1	1.00	56.5	18.8
wall 1	0.590	Add	90	0.040	100%					
wall 2										
wall 3										
floor 1	0.770	Add	120	0.040	100%	0.22	96.0	0.50	10.4	3.5
floor 2										
window 1	2.800	Replace			100%	1.70	21.5	1.00	36.5	12.2
window 2										
door 1	1.700	Replace			100%	1.70	2.4	1.00	4.1	1.4
thermal bridging: surcharge on the U-values						$\Delta U_{b,j}$	$\sum A_{env,j}$		$H_{t,b}$	
						0.05	438.9	1.00	21.9	7.3
Heat transfer coefficient by transmission H_{tr}						related to envelope area	reference area		sum	
						0.34	0.87		150	49.9
Heat transfer coefficient by ventilation H_{ve}		volume-specific heat capacity air $c_{p,air}$ Wh/(m ³ ·K)	air change rate by use $n_{air,use}$ 1/h	air change rate by infiltration $n_{air,infiltration}$ 1/h	$A_{C,ref}$ m ²	room height (standard value) h_{room} m				
		0.34	0.40	0.10	171.8	2.50				
		$(0.34 \times (0.40 + 0.10)) \times 171.8 \times 2.50 = 73$ WK								
accumulated differences between internal and external temperature		internal temp. θ_i °C	external temp. θ_e °C	heating days d_{hs} dia						
		20.0	5.2	174						
		$(20.0 - 5.2) \times 174 = 2575$ Kd/a								
Total heat transfer Q_{ht}		H_{tr} WK	H_{ve} WK	temperature reduction factor F_{red} ($\theta_e = W/(m^2 \cdot K)$)						
		150	73	0.93						
		$(150 + 73) \times 0.93 \times 61.8 = 12743$ kWh/a								
window orientation	external shading F_{sh}	reduction factors frame area fraction F_f	non-perpendicular F_w	solar energy distribution $g_{gl,n}$	window area $A_{window,j}$ m ²	solar global radiation $I_{sol,j}$ kWh/(m ² ·a)				
1. horizontal	0.80	(1 - 0.30)	0.90	0.50	378					
2. east	0.60	(1 - 0.30)	0.90	0.50	6.4	290				
3. south	0.60	(1 - 0.30)	0.90	0.50	8.6	496				
4. west	0.60	(1 - 0.30)	0.90	0.50	6.4	290				
5. north	0.60	(1 - 0.30)	0.90	0.50						
Solar heat load during heating season Q_{sol}						sum	1511			8.8

Εικόνα 19. Ενδεικτικά μετρά ενεργειακής αναβάθμισης για την κατοικία της περιόδου 1991-2005

4.1.2. Η περίπτωση της Γαλλίας

Η επικράτεια της μητροπολιτικής Γαλλίας έχει σχετικά μεγάλη έκταση, έτσι περιλαμβάνει και διαφορετικά κλίματα. Η δυτική περιοχή της Γαλλίας έχει αυστηρά ωκεάνιο κλίμα, που μετατρέπεται σε ημι-ωκεάνιο καθώς μετατοπιζόμαστε προς το εσωτερικό της χώρας. Αυτό το κυρίως ωκεάνιο κλίμα αλλάζει σε ηπειρωτικό ελαφρώς προς στα ανατολικά και στις λεκάνες του βουνού. Συμπληρωματικά, λόγω των ορεινών κορυφών που το απομονώνουν κάπως από το υπόλοιπο έδαφος, στα νοτιοανατολικά βιώνει το μεσογειακό κλίμα. Επιπλέον, υπάρχει και το ορεινό κλίμα που εμφανίζεται κυρίως στην περιοχή των Άλπεων [40]. Στην **Εικόνα 20** παρουσιάζονται οι κλιματικές ζώνες στην Γαλλική επικράτεια.



Εικόνα 20. Οι κλιματικές ζώνες στην Γαλλική επικράτεια. Πηγή: [40]

Για την ανάλυση του κτιριακού δυναμικού επιλέχθηκε η πόλη του **Παρισιού** που αποτελεί και την πρωτεύουσα της χώρας. Το κλίμα του Παρισιού χαρακτηρίζεται ως ωκεάνιο, σύμφωνα με το χάρτη της **Εικόνα 20**. Στην πόλη κατοικούν 2.187.526 άνθρωποι σύμφωνα με απογραφή του 2017, ενώ ο πληθυσμός της ευρύτερης περιοχής “Île-de-France” της οποίας αποτελεί και πρωτεύουσα ανέρχεται σε 12.628.266 κατοίκους, κάνοντας την μία από τις μεγαλύτερες πόλεις της Ευρώπης και του κόσμου.

Επιλέχθηκαν και εδώ δυο κατοικίες για την ανάλυση της ενεργειακής τους συμπεριφοράς, με την πρώτη να έχει χρόνο κτίσης μεταξύ **1975-1981** και την δεύτερη να οικοδομείται μεταξύ των χρονολογιών **1990-1999**. Η 1^η κατοικία έχει συνολικό εμβαδό επιφάνειας 130 m², ενώ η 2^η λίγο μικρότερο που ανέρχεται στα 107 m². Στις **Εικόνα 21** και **Εικόνα 22** βλέπουμε τις προσόψεις των επιλεγμένων κατοικιών για την χώρα της Γαλλίας.



Εικόνα 21. Η πρόσοψη της 1^{ης} κατοικίας χρονολογίας 1975-1981 στο Παρίσι



Εικόνα 22. Η πρόσοψη της 2^{ης} κατοικίας 1990-1999 στο Παρίσι

Τα δεδομένα για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τις θερμικές ιδιότητες των δομικών μερών εξήχθησαν από το διαδικτυακό εργαλείο TABULA. Με την βοήθεια αυτών των δεδομένων επιλύθηκαν και οι εξισώσεις της μεθοδολογίας R-C και τα οποία παρουσιάζονται στις κάτωθι εικόνες αρχικά για την 1^η κατοικία και στην συνέχεια για την 2^η.

TABULA
Thermal Insulation Measures
U-values

building variant: FR.N.SFH.05.Gen.ReEx.001.001

description: Existing state of the building

construction year: 1975 ... 1981

	Roof 1	Roof 2	Wall 1	Wall 2	Wall 3	Floor 1	Floor 2	Window 1	Window 2	Door 1	
envelope area	76	37	106	68	0	97	0	25	13	2	m ²

Construction Types

		FR.Ceiling.ReEx.05.02	FR.Ceiling.ReEx.05.01	FR.Wall.ReEx.05.01	FR.Wall.ReEx.05.01		FR.Floor.ReEx.05.02		FR.Window.ReEx.05.01	FR.Window.ReEx.05.01	FR.Door.ReEx.01.02	
code												
U-value original state	$U_{original,i}$	0.57	0.49	0.61	0.61		0.46		2.80	2.80	3.10	W/(m ² K)
included insulation thickness	$d_{ins, included,i}$	0	100	40	40		0					mm
border type		Unh	Ext	Ext	Unh		Unh					
additional thermal resistance of unheated spaces	$R_{add,i}$	0.30	0.00	0.00	0.30		0.30					m ² K/W
effective U-value original state	$U_{original, effective,i}$	0.49	0.49	0.61	0.52	0.00	0.40	0.00	2.80	2.80	3.10	W/(m ² K)

Εικόνα 23. Τα γεωμετρικά & θερμικά χαρακτηριστικά της κατοικίας χρονολογίας 1975-1981 στο Παρίσι

TABULA
Thermal Insulation Measures
U-values

building variant: FR.N.SFH.07.Gen.ReEx.001.001

description: Existing state of the building

construction year: 1990 ... 1999

	Roof 1	Roof 2	Wall 1	Wall 2	Wall 3	Floor 1	Floor 2	Window 1	Window 2	Door 1	
envelope area	107	0	112	21	0	107	0	15	0	2	m ²

Construction Types

		FR.Ceiling.ReEx.07.01		FR.Wall.ReEx.07.01	FR.Wall.ReEx.07.01		FR.Floor.ReEx.07.03		FR.Window.ReEx.06.01		FR.Door.ReEx.06.01	
code												
U-value original state	$U_{original,i}$	0.23		0.36	0.36		0.42		2.60		2.50	W/(m ² K)
included insulation thickness	$d_{ins, included,i}$	140		80	80		70					mm
border type		Unh		Ext	Unh		Soil					
additional thermal resistance of unheated spaces	$R_{add,i}$	0.30		0.00	0.30		0.00					m ² K/W
effective U-value original state	$U_{original, effective,i}$	0.22	0.00	0.36	0.32	0.00	0.42	0.00	2.60		2.50	W/(m ² K)

Εικόνα 24. Τα γεωμετρικά & θερμικά χαρακτηριστικά της κατοικίας χρονολογίας 1990-1999 στο Παρίσι

Ακολούθως βάσει των δεδομένων στην **Εικόνα 25** και **Εικόνα 26** θα παρουσιαστούν τα υπολογιστικά φύλλα για τις κατοικίες, μέσω των οποίων θα εξαχθούν τα δεδομένα για τον υπολογισμό της ενεργειακής συμπεριφοράς των κατοικιών.

Κεφάλαιο 4ο: Εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μελέτης

Building data from Tabula		Methodology-RC solution		Dymola Inputs		EquivalentAirTemperature	
Windows		Thermal Zone		Weighting factors of the walls			
Awin[m ²]	19	T[days]	5	Vair[m ³]	325,75	Westwall1	0,31884058
Uwin[W/m ² K]	2,8	w[L/s]	1,45444E-05	alphaRad[W/m ² K]	5,134384879	Westwall2	0,18115942
Rwin[m ² K/W]	0,36	Cm [J/m ² K]	162000	nOrientations	4	Westwall3	0,31884058
gwin	0,75	U[W/m ² K]	0,53	Windows		Westwall4	0,18115942
hwin[W/m ² K]	7,7	h[W/m ² K]	10	AWin	[0,19,0,19]		1
External Walls		ho[W/m ² K]	25	ATransparent	[0,19,0,19]		
Wall1	106						
Wall2	68	hrad[W/m ² K]	5,134384879	AlphaWin[W/m ² K]	7,7	Weighting factors of the windows	
Wall3	0	R[m ² K/W]	1,75360777	Rwin [K/W]	0,019796992	Window1	0,5
Awall1[m ²]	44	param	1,437931028	gWin	0,75	Window2	0,5
Awall2[m ²]	25	cosh(param)	2,22502456	rationWinConRad	0,09		
Awall3[m ²]	44	sinh(param)	1,98594248	Exterior walls		eExt	0,7
Awall4[m ²]	25	cos(param)	0,133069416	Aext[m ²]	[44,25,44,25]	alphaWallOut [W/m ² K]	25
UwallEx[K/W]	0,6	sin(param)	0,99110672	alphaExt [W/m ² K]	7,7	alphaRad[W/m ² K]	5,134384879
RwallEx[m ² K/W]	1,639344262	Rea11	0,295880304	nExt	4	Tground [°C]	15
hexwall[W/m ² K]	4,76	Ima11	1,968280937	RExt [K/W]	[0,00556536,0,009795033,0,00556536,0,009795033]	alphaWinOut [W/m ² K]	25
Internal walls		Rea22	0,295880304	RExtRem [K/W]	0,027986673	Outdoor coefficient of heat transfer for Walls	kWalls
AwallInt[m ²]	34,5	Ima22	1,968280937	Cext	[20635040,19,11724454,65,20635040,19,11724454,65]	4158,545113	
UwallInt[W/m ² K]	2	param2	0,347866977	Interior walls		Outdoor coefficient of heat transfer for Roof	kRoof
RwallInt[m ² K/W]	0,5	Rea12	1,505533291	Aint[m ²]	34,5	3405,185491	
hintwall[W/m ² K]	7,7	Ima12	1,183114328	alphaInt [W/m ² K]	7,7	Outdoor coefficient of heat transfer for Floor	kFloor
Floor		Rea21	-1,589664182	nint	4	2923,033333	
Afloor[m ²]	97	Ima21	2,022874958	Rint [K/W]	0,014492754	Outdoor coefficient of heat transfer for Window	kWindows
Ufloor[W/m ² K]	0,46	param3	0,290309059	Cint	5589000	1145,106623	
Rfloor[m ² K/W]	2,17	param4	0,290309059	Floor Plate			
hfloor[W/m ² K]	5,88	param5	79142,29982	Afloor[m ²]	97		
Roof		param6	79142,29982	alphaFloor [W/m ² K]	5,88		
Aroof[m ²]	113	R1[K/W]	0,002569107	nFloor	1		
Uroof[W/m ² K]	0,53	R2[K/W]	0,002569107	Rfloor [K/W]	[0,003357434,0,003357434,0,003357434,0,003357434]		
Rroof[m ² K/W]	1,89	R3[K/W]	0,010380439	RfloorRem [K/W]	0,016958652		
hroof[W/m ² K]	10,00	Rtotal[K/W]	0,002569107	CFloor	[44307445,82,44307445,82,44307445,82,44307445,82]		
Internal Heat Capacity		RtotalRem[K]	0,012649546	Roof			
Cm [Wh/m ² K]	45	param7	0,390521979	Aroof[m ²]	113		
Cm [J/m ² K]	162000	C1,KORR	#####	alphaRoof [W/m ² K]	10		
Door		cltot	52257090,6	nRoof	4		
A[m ²]	2			Roof [K/W]	[0,002569107,0,002569107,0,002569107,0,002569107]		
SUM-WALL+DOOR	176			RroofRem [K/W]	0,012848546		
				Croof	[52257090,60,52257090,60,52257090,60,52257090,60]		
			0,015518653				

Εικόνα 25. Το υπολογιστικό φύλλο για την κατοικία χρονολογίας 1975-1981 στο Παρίσι

Building data from Tabula		Methodology-RC solution		Dymola Inputs		EquivalentAirTemperature	
Windows		Thermal Zone		Weighting factors of the walls			
Awin[m ²]	7,5	T[days]	5	Vair [m ³]	267	Westwall1	0,2812
Uwin[W/m ² K]	2,6	w[L/s]	1,45444E-05	alphaRad[W/m ² K]	5,134384879	Westwall2	0,2187
Rwin[m ² K/W]	0,38	Cm [J/m ² K]	162000	nOrientations	4	Westwall3	0,2812
gwin	0,76	U[W/m ² K]	0,23	Windows		Westwall4	0,2187
hwin[W/m ² K]	7,7	h[W/m ² K]	10	AWin	[0,7,5,0,7,5]		
External Walls		ho[W/m ² K]	25	ATransparent	[0,7,5,0,7,5]		
Wall1	112						
Wall2	21	hrad[W/m ² K]	5,134384879	AlphaWin[W/m ² K]	7,7	Weighting factors of the windows	
Wall3	0	R[m ² K/W]	4,214641404	Rwin [K/W]	0,051282051	Window1	0,
Awall1[m ²]	33,75	param	2,22828576	gWin	0,78	Window2	0,
Awall2[m ²]	26,25	cosh(param)	4,695825225	rationWinConRad	0,09		
Awall3[m ²]	33,75	sinh(param)	4,588112307	Exterior walls		eExt	0,
Awall4[m ²]	26,25	cos(param)	-0,611131593	Aext[m ²]	[33,75,26,25,33,75,26,25]	alphaWallOut [W/m ² K]	2
UwallEx[K/W]	0,4	sin(param)	0,791529011	alphaExt [W/m ² K]	7,7	alphaRad[W/m ² K]	5,13438487
RwallEx[m ² K/W]	2,77777778	Rea11	-2,869767152	nExt	4	Tground [°C]	2
hexwall[W/m ² K]	7,7	Ima11	3,631623998	RExt [K/W]	[0,012722282,0,016357122,0,012722282,0,016357122]	alphaWinOut [W/m ² K]	2
Internal walls		Rea22	-2,869767152	RExtRem [K/W]	0,064750994	Outdoor coefficient of heat transfer for Wal	kWalls
AwallInt[m ²]	30	Ima22	3,631623998	Cext	[14759692,39,11487538,83,14759692,39,11487538,83]	3616,12618	
UwallInt[W/m ² K]	2	param2	0,224387737	Interior walls		Outdoor coefficient of heat transfer for Roc	kRoof
RwallInt[m ² K/W]	0,5	Rea12	0,863381431	Aint[m ²]	30	3224,379118	
hintwall[W/m ² K]	7,7	Ima12	6,166831938	alphaInt [W/m ² K]	7,7	Outdoor coefficient of heat transfer for Floo	kFloor
Floor		Rea21	-3,447566243	nint	4	3224,379118	
Afloor[m ²]	107	Ima21	0,482673228	Rint [K/W]	0,016666667	Outdoor coefficient of heat transfer for Wind	kWindows
Ufloor[W/m ² K]	0,21	param3	0,676561262	Cint	4860000	452,015773	
Rfloor[m ² K/W]	4,76	param4	0,676561262	Floor Plate			
hfloor[W/m ² K]	5,88	param5	71719,353	Afloor[m ²]	107		
Roof		param6	71719,353	alphaFloor [W/m ² K]	5,88		
Aroof[m ²]	107	R1[K/W]	0,006323002	nFloor	1		
Uroof[W/m ² K]	0,23	R2[K/W]	0,006323002	Rfloor [K/W]	[0,006797667,0,006797667,0,006797667,0,006797667]		
Rroof[m ² K/W]	4,35	R3[K/W]	0,026743167	RfloorRem [K/W]	0,035806558		
hroof[W/m ² K]	10,00	Rtotal[K/W]	0,006323002	CFloor	[39722257,7,39722257,7,39722257,7,39722257,7]		
Internal Heat Capacity		RtotalRem[K]	0,03306617	Roof			
Cm [Wh/m ² K]	45	param7	0,753774493	Aroof[m ²]	107		
Cm [J/m ² K]	162000	C1,KORR	8196377,7534921100	alphaRoof [W/m ² K]	10		
Door		cltot	40981888,77	nRoof	4		
A[m ²]	2			Roof [K/W]	[0,006323002,0,006323002,0,006323002,0,006323002]		
SUM-WALL+DOOR	135			RroofRem [K/W]	0,03306617		
				Croof	[40981888,77,40981888,77,40981888,77,40981888,77]		
			0,039386172				

Εικόνα 26. Το υπολογιστικό φύλλο για την κατοικία χρονολογίας 1990-1999 στο Παρίσι

Τα δύο αυτά υπολογιστικά φύλλα αφορούν την υφιστάμενη κατάσταση των κατοικιών, χωρίς την εφαρμογή κάποιων μέτρων εξοικονόμησης.

Αναλύθηκαν και εδώ κάποια ενδεικτικά μέτρα ενεργειακής αναβάθμισης της συμπεριφοράς των επιλεγμένων κατοικιών. Για την κατοικία της περιόδου 1975-1981 τα μέτρα αφορούν την μόνωση των εξωτερικών τοίχων, της οροφής, του δαπέδου, την αλλαγή της εξώπορτας, καθώς και την αντικατάσταση των παραθύρων. Οι παρεμβάσεις παρουσιάζονται στην **Εικόνα 27**.

element	U _{original} W/(m ² ·K)	thickness conductivity			U _{actual} W/(m ² ·K)	dimensions			H _{tr} W/K	to A _{C,Ref} kWh/(m ² ·a)			
		d _{insulation} mm	λ _{insulation} W/(m·K)	f _{measure}		A _{env,j} m ²	b _j	H _{tr} W/K					
roof 1	0.570	ReplaceIn	300	0.032	100%	0.087	75.9	x	1.00	=	6.6	3.1	
roof 2	0.490	ReplaceIn	300	0.032	100%	0.112	36.8	x	1.00	=	4.1	1.9	
wall 1	0.610	Add	160	0.032	100%	0.15	105.8	x	1.00	=	15.9	7.3	
wall 2	0.610	Add	160	0.032	100%	0.14	67.9	x	1.00	=	9.8	4.5	
wall 3								x		=			
floor 1	0.460	Add	100	0.024	100%	0.15	97.0	x	1.00	=	14.6	6.7	
floor 2								x		=			
window 1	2.800	Replace			100%	1.00	25.3	x	1.00	=	25.3	11.6	
window 2	2.800	Replace			100%	1.00	12.7	x	1.00	=	12.7	5.8	
door 1	3.100	Replace			100%	1.50	1.5	x	1.00	=	2.2	1.0	
thermal bridging: surcharge on the U-values						ΔU _b	ΣA _{env,j}			=	H _{tr,b}		
						0.05	422.8	x	1.00	=	21.1	9.7	
Heat transfer coefficient by transmission H _{tr}						related to: envelope area	0.27	reference area	0.86	W/m ² ·K	sum	112	51.7
Heat transfer coefficient by ventilation H _{ve}											22.9		
accumulated differences between internal and external temperature											2692		
Total heat transfer Q _{ht}											74.6		
Solar heat load during heating season Q _{sol}											19.8		

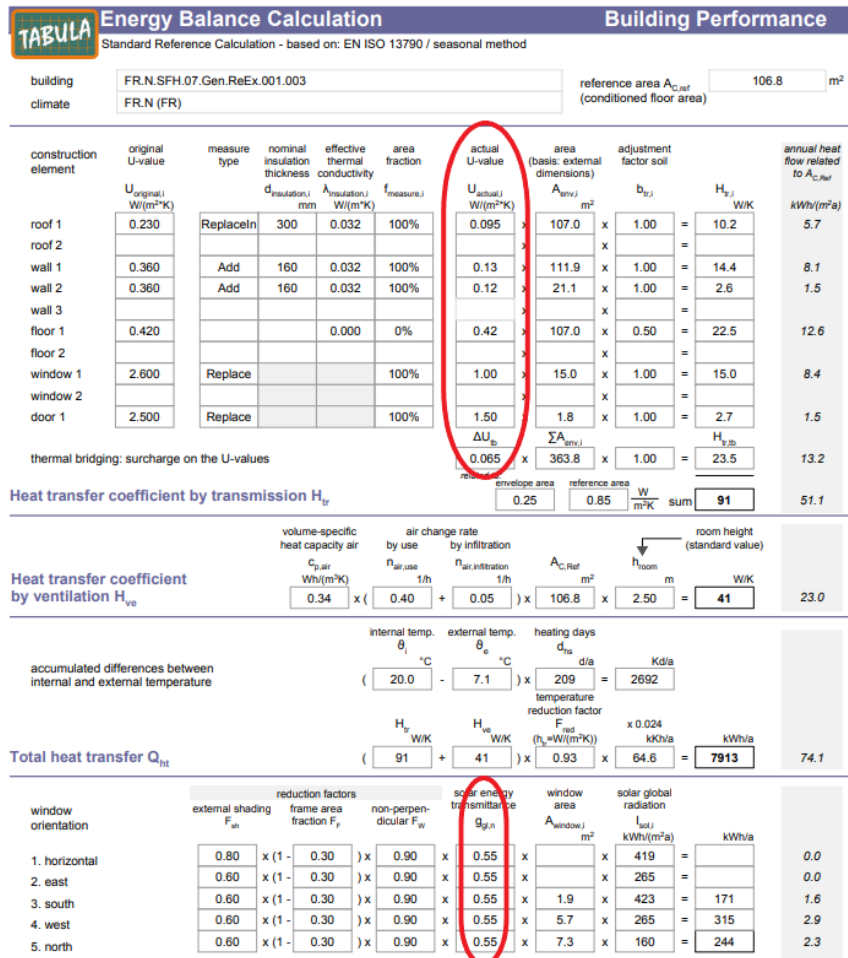
Εικόνα 27. Ενδεικτικά μέτρα εξοικονόμησης για την κατοικία χρονολογίας 1975-1981 στο Παρίσι

Για την 2^η κατοικία χρονικής περιόδου εφαρμόστηκαν αντίστοιχα μέτρα, ωστόσο πριν πάμε να τα δούμε, αξίζει να τονιστεί η σημαντική βοήθεια μας παρείχαν τα αποτελέσματα από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα “ENTRANZE - Policies to EnfoR-Ce the Transition to nearly Zero-Energy Buildings in the EU-27” (<https://www.entranze.eu/>), για την επαλήθευση και σύγκριση των θερμικών χαρακτηριστικών των υφιστάμενων κατοικιών πριν την εφαρμογή των διαφόρων μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης.

Το πρόγραμμα αυτό δημιουργήθηκε με κύριο στόχο να παρέχει τα κατάλληλα δεδομένα, αναλύσεις και κατευθύνσεις προς τους ενδιαφερομένους (π.χ. πολιτικούς και βιομηχανία) για την ταχύτερη ανάπτυξη των κτιρίων “nZEB” στα κράτη μέλη της Ε.Ε.. Η πολιτική των κτιρίων αυτών όπως, προαναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της Ε.Ε. προς την επίτευξη των στόχων για την κλιματική ουδετερότητα.

Συνεχίζοντας τώρα για την 2^η επιλεγμένη κατοικία της περιόδου 1990-1999, τα μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς, εστιάζονται και εδώ στην εφαρμογή μονωτικού υλικού στους εξωτερικούς τοίχους, την οροφή, αλλά και στην

αντικατάσταση των παραθύρων και της εξωτερικής πόρτας. Τα μέτρα παρουσιάζονται στην **Εικόνα 28**.



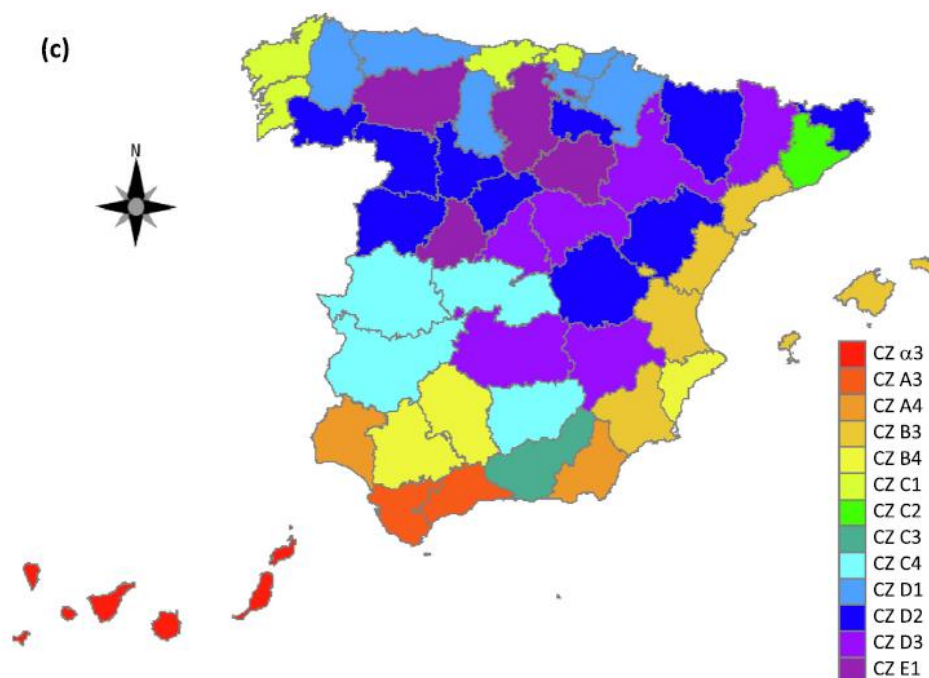
Εικόνα 28. Ενδεικτικά μέτρα εξοικονόμησης για την κατοικία χρονολογίας 1990-1990 στο Παρίσι

Ακολουθώς οι τιμές για τα θερμικές ιδιότητες των δομικών μερών, δηλαδή τα “U-values” και το “g-value” για τα παράθυρα εισάγονται εκ νέου στο υπολογιστικό φύλλο κάθε κατοικίας. Το κτιριακό κέλυφος μοντελοποιείται από την αρχή σαν ένα νέο “R-C” δίκτυο βάσει των νέων δεδομένων και τα αποτελέσματα παραμετροποιούνται για να εισαχθούν στο υπολογιστικό εργαλείο “DREEM”. Η ενεργειακή εξοικονόμηση των μέτρων παρουσιάζεται κατά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων για κάθε επιλεγμένη χώρα και κατοικία στο επόμενο κεφάλαιο.

4.1.3. Η περίπτωση της Ισπανίας

Η χώρα της Ισπανίας εκτείνεται σε 504.645 km², εκ των οποίων τα 492.162 ανήκουν στην ηπειρωτική χώρα ενώ 4.991 στις Α. Βαlearίδες νήσους και 7.492 στις Κανάριες νήσους. Η Ισπανία χαρακτηρίζεται από 15 διαφορετικές κλιματικές ζώνες, που χαρακτηρίζονται από ένα γράμμα και έναν αριθμό. Το γράμμα δείχνει το πόσο ψυχρό είναι το κλίμα κατά την διάρκεια του χειμώνα, με απλά λόγια δηλαδή την ανάγκη για θέρμανση. Οι τιμές του ξεκινούν από το ελληνικό γράμμα *a* για τις μικρότερες ανάγκες σε θέρμανση και φτάνει μέχρι το λατινικό *E* για τις υψηλότερες ανάγκες. Ο αριθμός τώρα χαρακτηρίζει της ανάγκες για ψύξη, τιμές του ξεκινούν από

την μονάδα για τις περιοχές με τις λιγότερες ανάγκες για ψύξη και φτάνουν μέχρι το 4 για τις περιοχές που τα καλοκαίρια είναι αρκετά θερμά [41]. Στην **Εικόνα 29** φαίνεται η ανάλυση των κλιματικών ζωνών για την επικράτεια της Ισπανίας σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε.



Εικόνα 29. Οι κλιματικές ζώνες στην Ισπανική επικράτεια. Πηγή: [41]

Για την ανάλυση του κτιριακού δυναμικού για την χώρα της Ισπανίας, επιλέχθηκαν δυο κατοικίες στην πόλη της **Σεβίλλης**. Η Σεβίλλη βρίσκεται στο νότιο μέρος της Ισπανίας, αποτελεί πρωτεύουσα της περιοχής της Ανδαλουσίας και είναι η 4^η μεγαλύτερη πόλη της Ισπανίας με πληθυσμό 688.711 κατοίκους σύμφωνα με απογραφή του 2018. Το κλίμα στην πόλη της Σεβίλλης χαρακτηρίζεται με τον κωδικό B4 σύμφωνα με την ανάλυση που προαναφέραμε, που σημαίνει με απλά λόγια όχι τόσο ψυχροί χειμώνες αλλά πολύ θερμά καλοκαίρια.

Επιλέχθηκαν και εδώ δυο κατοικίες για την ανάλυση της ενεργειακής τους συμπεριφοράς, η 1^η κατοικία έχει χρόνο κτίσης μεταξύ των χρονολογιών 1960-1979 με συνολικό εμβαδό επιφανείας 171 m². Η 2^η κατοικία τώρα τοποθετείται χρονικά μεταξύ των χρονολογιών 1980-2006 με το συνολικό εμβαδό επιφανείας της να ανέρχεται στα 163 m². Τα δεδομένα και σε αυτή την περίπτωση προέκυψαν από το διαδικτυακό εργαλείο “TABULA” και επικαιροποιήθηκαν μέσω της ιστοσελίδας του προγράμματος “ENTRANZE”.

Στην **Εικόνα 30** παρουσιάζεται η ενδεικτική πρόσοψη της επιλεγμένης κατοικίας της περιόδου 1960-1979, ενώ στην **Εικόνα 31** τα γεωμετρικά και θερμικά χαρακτηριστικά για την κατοικία αυτή για την πόλη της Σεβίλλης.



Εικόνα 30. Η 1^η επιλεγμένη κατοικία χρονολογίας 1960-1979 στη Σεβίλλη

TABULA
Thermal Insulation Measures
U-values

building variant: ES.ME.SFH.04.Gen.ReEx.001.001 construction year: 1960 ... 1979

description: Existing condition

	Roof 1	Roof 2	Wall 1	Wall 2	Wall 3	Floor 1	Floor 2	Window 1	Window 2	Door 1												
envelope area	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 5%;">$A_{env,i}$</td> <td style="width: 10%;">64</td> <td style="width: 10%;">0</td> <td style="width: 10%;">312</td> <td style="width: 10%;">0</td> <td style="width: 10%;">0</td> <td style="width: 10%;">90</td> <td style="width: 10%;">0</td> <td style="width: 10%;">13</td> <td style="width: 10%;">0</td> <td style="width: 10%;">0</td> <td style="width: 5%;">m^2</td> </tr> </table>										$A_{env,i}$	64	0	312	0	0	90	0	13	0	0	m^2
$A_{env,i}$	64	0	312	0	0	90	0	13	0	0	m^2											

Construction Types

		ES.Roo f.ReEx. 01.01	ES.Wall .ReEx.0 4.02			ES.Floo r.ReEx. 01.02		ES.Win dow.Re Ex.03.0 1		
U-value original state	$U_{original,i}$	4.17	1.33			0.85		4.59		$W/(m^2K)$
included insulation thickness	$d_{ins,included,i}$	0	0			0				mm
border type		Ext	Ext			Soil				
additional thermal resistance of unheated spaces	$R_{add,i}$	0.00	0.00			0.00				m^2K/W
effective U-value original state	$U_{original,effective,i}$	4.17	0.00	1.33	0.00	0.00	0.85	0.00	4.59	$W/(m^2K)$

Εικόνα 31. Τα γεωμετρικά & θερμικά χαρακτηριστικά της 1^{ης} κατοικίας χρονολογίας 1960-1979 στη Σεβίλλη

Αντίστοιχα για την κατοικία της περιόδου 1980-2006 στην **Εικόνα 32** παρουσιάζεται η ενδεικτική της όψη, ενώ στην **Εικόνα 33** ακολουθεί με τη σειρά της η παρουσίαση των θερμικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών της.



Εικόνα 32. Η 2^η επιλεγμένη κατοικία χρονολογίας 1980-2006 στη Σεβίλλη

TABULA

Thermal Insulation Measures

U-values

building variant description: ES.ME.SFH.05.Gen.ReEx.001.001
Existing condition

construction year: 1980 ... 2006

	Roof 1	Roof 2	Wall 1	Wall 2	Wall 3	Floor 1	Floor 2	Window 1	Window 2	Door 1	
envelope area $A_{env,j}$	132	0	234	0	0	107	0	66	0	0	m ²

Construction Types

code	ES.Roo f.ReEx. 05.02	ES.Wall .ReEx.0 5.01			ES.Floo r.ReEx. 01.02		ES.Win dow.Re Ex.06.0 1			
U-value original state $U_{original,j}$	0.61	0.60			0.85		3.09			W/(m ² K)
included insulation thickness $d_{ins, included,j}$	40	30			0					mm
border type	Ext	Ext			Soil					
additional thermal resistance of unheated spaces $R_{add,j}$	0.00	0.00			0.00					m ² K/W
effective U-value original state $U_{original, effective,j}$	0.61	0.60	0.00	0.00	0.85	0.00	3.09			W/(m ² K)

Εικόνα 33. Τα γεωμετρικά & θερμικά χαρακτηριστικά της 1^{ης} κατοικίας χρονολογίας 1980-2006 στη Σεβίλλη

Τα δεδομένα των παραπάνω εικόνων αποτελούν και τα κύρια δεδομένα εισόδου για τα υπολογιστικά φύλλα και τα οποία θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.

Κεφάλαιο 4ο: Εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μελέτης


Building data from Tabula		Methodology-RC solution		Dymola Inputs		EquivalentAirTemperature	
Windows		A[m ²]		Thermal Zone		Weighting factors of the walls	
Awin[m ²]	6,5	T[days]	5	Vair[m ³]	337,53	Westwall1	0,26089561
Uwin[W/m ² K]	4,59	ω[1/s]	1,45444E-05	alphaRad[W/m ² K]	5,134384879	Westwall2	0,239130431
Rwin[m ² K/W]	0,22	Cm [J/m ² K]	162000	nOrientations	4	Westwall3	0,26089561
gwin	0,85	U[W/m ² K]	1,33	Windows		Westwall4	0,239130431
hwin[W/m ² K]	7,7	h[W/m ² K]	7,7	AWin	{0,6,5,0,6,5}		
External Walls		ho[W/m ² K]	25	ATransparent	{0,6,5,0,6,5}		
Wall1	312					Weighting factors of the windows	
Wall2	0	hrad[W/m ² K]	5,134384879	AlphaWin[W/m ² K]	7,7	Window1	0,1
Wall3	0	R[m ² K/W]	0,588824887	Rwin [K/W]	0,033517681	Window2	0,1
Awall1[m ²]	78	param	0,832882331	gWin	0,85		
Awall2[m ²]	71,5	cosh(param)	1,367366318	rationWinConRad	0,09		
Awall3[m ²]	78	sinh(param)	0,932572061	Exterior walls			
Awall4[m ²]	71,5	cos(param)	0,672745997	Aext[m ²]	{78,71,5,78,71,5}		
Uwallex[W/m ² K]	1,3	sin(param)	0,739873518	alphaExt [W/m ² K]	7,7	alphaWallOut [W/m ² K]	21
Rwallex[m ² K/W]	0,751879699	Rea11	0,919890218	nExt	4	alphaRad[W/m ² K]	5,134384871
hexwall[W/m ² K]	7,7	Ima11	0,68985371	Rext [K/W]	{0,001257213,0,001371505,0,001257213,0,001371505}	Tground [°C]	21
Internal walls		Rea22	0,919890218	RExtRem [K/W]	0,006281824	alphaWinOut [W/m ² K]	21
Awallint[m ²]	74,75	Ima22	0,68985371	Cext	{37687797,41,34547147,62,37687797,41,34547147,62}	Outdoor coefficient of heat transfer for Wal	
Uwallint[W/m ² K]	2	param2	0,600324899	Interior walls		kWalls	9010,181071
Rwallint[m ² K/W]	0,5	Rea12	0,579385952	Aint[m ²]	74,75	Outdoor coefficient of heat transfer for Roo	
hintwall[W/m ² K]	7,7	Ima12	0,135842644	alphaInt [W/m ² K]	7,7	kRoof	1928,60063
Floor		Rea21	-0,54357704	nint	4	Outdoor coefficient of heat transfer for Floo	
Afloor[m ²]	90	Ima21	2,318424403	Rint [K/W]	0,006688963	kFloor	2712,094693
Ufloor[W/m ² K]	0,425	param3	0,098062612	Cint	12109500	Outdoor coefficient of heat transfer for Wind	
Rfloor[m ² K/W]	2,35	param4	0,098062612	Floor Plate		kWindows	391,7470034
hfloor[W/m ² K]	5,88	param5	80784,27937	Afloor[m ²]	90		
Roof		param6	80784,27937	alphaFloor [W/m ² K]	5,88		
Aroof[m ²]	64	R1[K/W]	0,001371505	nFloor	1		
Uroof[W/m ² K]	4,17	R2[K/W]	0,001371505	Rfloor [K/W]	{0,003941022,0,003941022,0,003941022,0,003941022}		
Rroof[m ² K/W]	0,24	R3[K/W]	0,005492309	RFloorRem [K/W]	0,019944405		
hroof[W/m ² K]	10,00	Rtotal[K/W]	0,001371505	CFloor	{40659195,03,40659195,03,40659195,03,40659195,03}		
Internal Heat Capacity		RtotalRem[K]	0,006863808	Roof			
Cm [Wh/m ² K]	45	param7	0,137827452	Aroof[m ²]	64		
Cm [J/m ² K]	162000	C1,KORR	6909429,5243963900	alphaRoof [W/m ² K]	10		
Door		cltot	34547147,62	nRoof	4		
A[m ²]	0			Rroof [K/W]	{0,000277658,0,000277658,0,000277658,0,000277658}		
SUM-WALL+DOOR	312			RRoofRem [K/W]	0,001388333		
				CRoof	{31098029,17,31098029,17,31098029,17,31098029,17}		

Εικόνα 34. Το υπολογιστικό φύλλο για την 1^η κατοικία χρονολογίας 1960-1979 στη Σεβίλλη

Building data from Tabula		Methodology-RC solution		Dymola Inputs		EquivalentAirTemperature	
Windows		A[m ²]		Thermal Zone		Weighting factors of the walls	
Awin[m ²]	33	T[days]	5	Vair[m ³]	466	Westwall1	0,34821429
Uwin[W/m ² K]	3,09	ω[1/s]	1,45444E-05	alphaRad[W/m ² K]	5,134384879	Westwall2	0,15178571
Rwin[m ² K/W]	0,32	Cm [J/m ² K]	162000	nOrientations	4	Westwall3	0,34821429
gwin	0,75	U[W/m ² K]	0,61	Windows		Westwall4	0,15178571
hwin[W/m ² K]	7,7	h[W/m ² K]	10	AWin	{0,33,0,33}		
External Walls		ho[W/m ² K]	25	ATransparent	{0,33,0,33}		
Wall1	234					Weighting factors of the windows	
Wall2	0	hrad[W/m ² K]	5,134384879	AlphaWin[W/m ² K]	7,7	Window1	0,1
Wall3	0	R[m ² K/W]	1,50615958	Rwin [K/W]	0,009806806	Window2	0,1
Awall1[m ²]	58,5	param	1,320668985	gWin	0,75		
Awall2[m ²]	25,5	cosh(param)	2,026398992	rationWinConRad	0,09		
Awall3[m ²]	58,5	sinh(param)	1,762467837	Exterior walls			
Awall4[m ²]	25,5	cos(param)	0,236468197	Aext[m ²]	{58,5,25,5,58,5,25,5}		
Uwallex[W/m ² K]	0,6	sin(param)	0,971639229	alphaExt [W/m ² K]	7,7	alphaWallOut [W/m ² K]	2
Rwallex[m ² K/W]	1,666666667	Rea11	0,479178915	nExt	4	alphaRad[W/m ² K]	5,13438487
hexwall[W/m ² K]	7,7	Ima11	1,71248289	Rext [K/W]	{0,004262626,0,009778965,0,004262626,0,009778965}	Tground [°C]	21
Internal walls		Rea22	0,479178915	RExtRem [K/W]	0,021440141	alphaWinOut [W/m ² K]	21
Awallint[m ²]	42	Ima22	1,71248289	Cext	{27399893,36,11943543,26,27399893,36,11943543,26}	Outdoor coefficient of heat transfer for Wal	
Uwallint[W/m ² K]	2	param2	0,375356499	Interior walls		kWalls	5062,5766
Rwallint[m ² K/W]	0,5	Rea12	1,348745764	Aint[m ²]	42	Outdoor coefficient of heat transfer for Roo	
hintwall[W/m ² K]	7,7	Ima12	0,877509327	alphaInt [W/m ² K]	7,7	kRoof	3977,73880
Floor		Rea21	-1,37275138	nint	4	Outdoor coefficient of heat transfer for Floo	
Afloor[m ²]	107	Ima21	2,10994066	Rint [K/W]	0,011904762	kFloor	3224,379518
Ufloor[W/m ² K]	0,425	param3	0,249781954	Cint	6804000	Outdoor coefficient of heat transfer for Wind	
Rfloor[m ² K/W]	2,35	param4	0,249781954	Floor Plate		kWindows	1988,86940
hfloor[W/m ² K]	5,88	param5	79617,70833	Afloor[m ²]	107		
Roof		param6	79617,70833	alphaFloor [W/m ² K]	5,88		
Aroof[m ²]	132	R1[K/W]	0,001892288	nFloor	1		
Uroof[W/m ² K]	0,61	R2[K/W]	0,001892288	Rfloor [K/W]	{0,003314879,0,003314879,0,003314879,0,003314879}		
Rroof[m ² K/W]	1,64	R3[K/W]	0,007625725	RFloorRem [K/W]	0,016775668		
hroof[W/m ² K]	10,00	Rtotal[K/W]	0,001892288	CFloor	{48339265,20,48339265,20,48339265,20,48339265,20}		
Internal Heat Capacity		RtotalRem[K]	0,009518012	Roof			
Cm [Wh/m ² K]	45	param7	0,340273041	Aroof[m ²]	132		
Cm [J/m ² K]	162000	C1,KORR	12363581,4195547000	alphaRoof [W/m ² K]	10		
Door		cltot	61817907,1	nRoof	4		
A[m ²]	0			Rroof [K/W]	{0,001892288,0,001892288,0,001892288,0,001892288}		
SUM-WALL+DOOR	234			RRoofRem [K/W]	0,009518012		
				CRoof	{61817907,10,61817907,10,61817907,10,61817907,10}		

Εικόνα 35. Το υπολογιστικό φύλλο για την 2^η κατοικία χρονολογίας 1980-2006 στη Σεβίλλη

Τα παραπάνω υπολογιστικά φύλλα αφορούν την υφιστάμενη κατάσταση των κατοικιών χωρίς την εφαρμογή κάποιων μέτρων εξοικονόμησης. Για την 1^η κατοικία λοιπόν εξετάστηκαν διαφορά μέτρα, τα οποία αφορούσαν: 1) την εφαρμογή 5 εκατοστών μόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους, και 2) την αλλαγή των κρύσταλλων των παραθύρων. Τα μέτρα αυτά παρουσιάζονται στην **Εικόνα 36** και αποτελούν ένα σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης που υπάρχει προ εγκατεστημένο στην βιβλιοθήκη του εργαλείου.



Energy Balance Calculation

Standard Reference Calculation - based on: EN ISO 13790 / seasonal method

Building Performance

building: ES.ME.SFH.04.Gen.ReEx.001.003

climate: ES.ME (ES)

reference area $A_{C,ref}$: 170.5 m²

(conditioned floor area)

construction element	original U-value $U_{original,j}$ W/(m ² *K)	measure type	nominal insulation thickness $d_{insulation,j}$ mm	effective thermal conductivity $\lambda_{insulation,j}$ W/(m*K)	area fraction $f_{measure,j}$	actual U-value $U_{actual,j}$ W/(m ² *K)	area (basis: external dimensions) $A_{env,j}$ m ²	adjustment factor soil $b_{tr,j}$	$H_{tr,j}$ W/K	annual heat flow related to $A_{C,Ref}$ kWh/(m ² a)
roof 1	4.170	Add	60	0.031	0%	4.17	63.8	1.00	265.8	5.9
roof 2										
wall 1	1.330	Add	50	0.031	100%	0.42	312.0	1.00	132.1	2.9
wall 2										
wall 3										
floor 1	0.850			0.000	100%	0.85	90.0	0.50	38.2	0.9
floor 2										
window 1	4.590	Replace			100%	3.44	12.6	1.00	43.3	1.0
window 2										
door 1										
thermal bridging: surcharge on the U-values						ΔU_{tb} 0.082	$\sum A_{env,j}$ 478.4	1.00	$H_{tr,tb}$ 39.3	0.9
Heat transfer coefficient by transmission H_{tr}						related to: envelope area 1.08	reference area 3.04	$\frac{W}{m^2K}$	sum 519	11.5

Heat transfer coefficient by ventilation H_{ve}	volume-specific heat capacity air $c_{p,air}$ Wh/(m ³ *K)	air change rate by use $n_{air,use}$ 1/h	air change rate by infiltration $n_{air,infiltration}$ 1/h	$A_{C,Ref}$ m ²	room height (standard value) h_{room} m	H_{ve} W/K	
	0.34	0.40	0.10	170.5	2.50	72	1.6

accumulated differences between internal and external temperature	internal temp. θ_i °C	external temp. θ_e °C	heating days d_{hs} d/a	H_{tr} W/K	H_{ve} W/K	reduction factor F_{red} (h _h =W/(m ² *K))	F_{red} x 0.024 kWh/a	Total heat transfer Q_{ht} kWh/a
	20.0	11.5	22	519	72	0.83	4.6	2242

window orientation	external shading F_{sh}	reduction factors frame area fraction F_F	non-perpendicular F_W	solar energy transmittance $g_{gl,n}$	window area $A_{window,j}$ m ²	solar global radiation $I_{sol,j}$ kWh/(m ² a)	$H_{tr,j}$ kWh/a
1. horizontal	0.80	0.30	0.90	0.75		51	0.0
2. east	0.60	0.30	0.90	0.75	9.8	40	0.7
3. south	0.60	0.30	0.90	0.75		105	0.0
4. west	0.60	0.30	0.90	0.75	2.4	40	0.2
5. north	0.60	0.30	0.90	0.75	0.5	11	0.0

Εικόνα 36. Ενδεικτικά μέτρα εξοικονόμησης για την 1^η κατοικία χρονολογίας 1960-1979 στη Σεβίλλη

Για την 2^η κατοικία τώρα της χρονολογίας 1980-2006, εφαρμόζεται μόνωση στους εξωτερικούς τοίχους και επιπλέον επέρχεται αλλαγή ως προς τα παράθυρα, αλλάζοντας τόσο τον συντελεστή θερμοπερατότητας “U-value”, όσο και το δείκτη ηλιοφάνειας “g-value”. Τα μέτρα αυτά φαίνονται στην **Εικόνα 37**.

Energy Balance Calculation		Building Performance										
Standard Reference Calculation - based on: EN ISO 13790 / seasonal method												
building	ES.ME.SFH.05.Gen.ReEx.001.003		reference area $A_{C,ref}$ (conditioned floor area) 162.8 m ²									
climate	ES.ME (ES)											
construction element	original U-value $U_{original}$ W/(m ² ·K)	measure type	nominal insulation thickness $d_{insulation}$ mm	effective thermal conductivity $\lambda_{insulation}$ W/(m·K)	area fraction $f_{measure}$	actual U-value U_{actual} W/(m ² ·K)	area (basis: external dimensions) A_{env} m ²	adjustment factor soil b_{soil}	H_{tr} W/K	annual heat flow related to $A_{C,ref}$ kWh/(m ² a)		
roof 1	0.610	Add	60	0.031	0%	0.61	132.0	x 1.00	= 80.5	1.9		
roof 2							x		=			
wall 1	0.600	Add	50	0.031	100%	0.31	234.1	x 1.00	= 71.4	1.7		
wall 2							x		=			
wall 3							x		=			
floor 1	0.850			0.000	100%	0.85	107.2	x 0.50	= 45.6	1.1		
floor 2							x		=			
window 1	3.090	Replace			100%	3.44	65.9	x 1.00	= 226.6	5.3		
window 2							x		=			
door 1							x		=			
thermal bridging: surcharge on the U-values						ΔU_{tb} W/(m ² ·K) 0.033	$\Sigma A_{env,j}$ m ² 539.2	x 1.00	= H_{tb} W/K 18.0	0.4		
Heat transfer coefficient by transmission H_{tr}						0.82	2.72	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$	sum	442	10.4	
Heat transfer coefficient by ventilation H_{ve}						$C_{p,air}$ Wh/(m ³ ·K) 0.34	$n_{air,use}$ 1/h 0.40	+ $n_{air,infiltration}$ 1/h 0.10	$A_{C,Ref}$ m ² 162.8	h_{room} m 2.50	= H_{ve} W/K 69	1.6
accumulated differences between internal and external temperature						internal temp. θ_i °C 20.0	external temp. θ_e °C 11.5	heating days $d_{heating}$ d/a 22	K_{dia} Kd/a 190			
Total heat transfer Q_{ht}						H_{tr} W/K 442	H_{ve} W/K 69	temperature reduction factor F_{red} (for $n_{air,use}$) 0.84	x 0.024 kWh/a 4.6	= Q_{ht} kWh/a 1964	12.1	
window orientation	external shading F_{sh}	reduction factors frame area fraction F_F	non-perpendicular F_{wp}	solar energy transmittance $g_{gl,n}$	window area $A_{window,j}$ m ²	solar global radiation $I_{sol,j}$ kWh/(m ² ·a)	Q_{win} kWh/a					
1. horizontal	0.80	x (1 - 0.30)	x 0.90	x 0.75	x 51	= 412	2.5					
2. east	0.60	x (1 - 0.30)	x 0.90	x 0.75	x 36.2	= 105	3.3					
3. south	0.60	x (1 - 0.30)	x 0.90	x 0.75	x 18.3	= 35	0.2					
4. west	0.60	x (1 - 0.30)	x 0.90	x 0.75	x 3.1	= 26	0.2					
5. north	0.60	x (1 - 0.30)	x 0.90	x 0.75	x 8.3	= 26	0.2					

Εικόνα 37. Ενδεικτικά μέτρα εξοικονόμησης για την 2^η κατοικία χρονολογίας 1980-2006 στη Σεβίλλη

Οι τιμές αυτές εισάγονται και πάλι σαν νέα δεδομένα εισόδου, μοντελοποιώντας από την αρχή τις επιλεγμένες κατοικίες σαν δίκτυο “R-C”, επιλύονται οι αντίστοιχες εξισώσεις και τα αποτελέσματα παραμετροποιούνται για να εισαχθούν στο υπολογιστικό εργαλείο “DREEM” και να πραγματοποιηθεί η ενεργειακή αξιολόγηση στη συνέχεια.

4.1.4. Η περίπτωση της Ιρλανδίας

Η χώρα της Ιρλανδίας γνωστή και ως Δημοκρατία της Ιρλανδίας βρίσκεται στην βορειοδυτική Ευρώπη, και αποτελεί το τρίτο μεγαλύτερο νησί της. Στην βόρεια πλευρά της νησιωτικής επικράτειας του συνορεύει με το κράτος της Βόρειας Ιρλανδίας, το οποίο αποτελεί μέρος του Ηνωμένου Βασιλείου και εκτείνεται στο 1/6 της συνολικής επικράτειας του νησιού.

Το κλίμα της εν λόγω χώρας χαρακτηρίζεται ως ήπιο, υγρό και μεταβλητό με άφθονες βροχοπτώσεις και έλλειψη ακραίων θερμοκρασιών. Ορίζεται ως εύκρατο ωκεάνιο κλίμα, ή “Cfb” στο σύστημα ταξινόμησης του κλίματος Köppen, μια ταξινόμηση που μοιράζεται με το μεγαλύτερο μέρος της βορειοδυτικής Ευρώπης. Στην χώρα γενικά επικρατούν ζεστά καλοκαίρια και δροσεροί χειμώνες. Δεν υπάρχουν σημαντικές κλιματικές διαφορές, καθώς η χώρα είναι σχετικά επίπεδη με μικρές υψομετρικές διαφορές [42]. Στην **Εικόνα 38** παρουσιάζεται το κλίμα της χώρας σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης του κλίματος “Köppen”.



Εικόνα 38. Το κλίμα στην Δημοκρατία της Ιρλανδίας. Πηγή: [43]

Για την ανάλυση του κτιριακού δυναμικού για την χώρα της Ιρλανδίας επιλέχθηκε η πόλη του **Δουβλίνου**. Το Δουβλίνο αποτελεί την πρωτεύουσα της Δημοκρατίας της Ιρλανδίας με τον πληθυσμό της πόλης να ανέρχεται σε 554.554 κατοίκους σύμφωνα με απογραφή του 2016, ενώ ο πληθυσμός της ευρύτερης μητροπολιτικής περιοχής είναι συνολικά 1.904.806 άνθρωποι.

Επιλέχθηκαν και στην περίπτωση του Δουβλίνου δύο κατοικίες για την ανάλυση της ενεργειακής τους συμπεριφοράς, μια κατοικία με χρόνο οικοδόμησης πριν το 1980 και άλλη μια με μεταγενέστερο χρόνο κτίσης. Η 1^η κατοικία χρονολογείται μεταξύ 1978-1982 και έχει συνολικό εμβαδό 124 τετραγωνικών μέτρων, στην **Εικόνα 39** παρουσιάζεται η πρόσοψη της επιλεγμένης κατοικίας.



Εικόνα 39. Η πρόσοψη της 1^{ης} επιλεγμένης κατοικίας χρονολογίας 1978-1982 στο Δουβλίνο

Η 2^η κατοικία που επιλέχθηκε χρονολογείται μεταξύ 1994-2004 και έχει

συνολικό εμβαδό 75 τετραγωνικά μέτρα, μια ενδεικτική εικόνα αυτής παρουσιάζεται στην **Εικόνα 40**.



Εικόνα 40. Η πρόσοψη της 2^{ης} επιλεγμένη κατοικίας χρονολογίας 1994-2004 στο Δουβλίνο

Ακολούθως παρουσιάζονται τα θερμικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους για την κατοικία της περιόδου 1978-1982 στην **Εικόνα 41**.

TABULA Thermal Insulation Measures		U-values																															
building variant	IE.N.SFH.06.Gen.ReEx.001.001	construction year	1978 ... 1982																														
description																																	
envelope area	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Roof 1</th> <th>Roof 2</th> <th>Wall 1</th> <th>Wall 2</th> <th>Wall 3</th> <th>Floor 1</th> <th>Floor 2</th> <th>Window 1</th> <th>Window 2</th> <th>Door 1</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$A_{env,j}$</td> <td>67</td> <td>9</td> <td>161</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>76</td> <td>0</td> <td>23</td> <td>0</td> <td>4</td> <td>m²</td> </tr> </tbody> </table>										Roof 1	Roof 2	Wall 1	Wall 2	Wall 3	Floor 1	Floor 2	Window 1	Window 2	Door 1		$A_{env,j}$	67	9	161	0	0	76	0	23	0	4	m ²
	Roof 1	Roof 2	Wall 1	Wall 2	Wall 3	Floor 1	Floor 2	Window 1	Window 2	Door 1																							
$A_{env,j}$	67	9	161	0	0	76	0	23	0	4	m ²																						
Construction Types																																	
code	IE.Roof.ReEx.0 6.01	IE.Roof.ReEx.0 6.03	IE.Wall.ReEx.0 6.01			IE.Floor.ReEx.0 6.02		IE.Window.ReEx.0 6.01		IE.Door.ReEx.0 1.01																							
U-value original state	$U_{original,i}$	0.40	0.40	1.10		1.22		3.70		3.00	W/(m ² K)																						
included insulation thickness	$d_{ins, included,i}$	100	0	15		0					mm																						
border type		Ext	Ext	Ext		Soil																											
additional thermal resistance of unheated spaces	$R_{add,j}$	0.00	0.00	0.00		0.00					m ² K/W																						
effective U-value original state	$U_{original, effective,j}$	0.40	0.40	1.10	0.00	0.00	1.22	0.00	3.70	3.00	W/(m ² K)																						

Εικόνα 41. Τα γεωμετρικά & θερμικά χαρακτηριστικά της 1^{ης} κατοικίας χρονολογίας 1967-1977 στο Δουβλίνο

Στην συνέχεια σειρά έχει η 2^η κατοικία της περιόδου 1994-2004 με τα χαρακτηριστικά αυτής να παρουσιάζονται στην **Εικόνα 42**.

TABULA Thermal Insulation Measures		U-values																											
building variant	IE.N.SFH.08.Gen.ReEx.001.001	construction year	1994 ... 2004																										
description																													
envelope area	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Roof 1</th> <th>Roof 2</th> <th>Wall 1</th> <th>Wall 2</th> <th>Wall 3</th> <th>Floor 1</th> <th>Floor 2</th> <th>Window 1</th> <th>Window 2</th> <th>Door 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>86</td> <td>0</td> <td>82</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>86</td> <td>0</td> <td>11</td> <td>0</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>								Roof 1	Roof 2	Wall 1	Wall 2	Wall 3	Floor 1	Floor 2	Window 1	Window 2	Door 1	86	0	82	0	0	86	0	11	0	4	m ²
Roof 1	Roof 2	Wall 1	Wall 2	Wall 3	Floor 1	Floor 2	Window 1	Window 2	Door 1																				
86	0	82	0	0	86	0	11	0	4																				
Construction Types																													
code	IE.Roof.ReEx.0.8.01	IE.Wall.ReEx.0.8.01			IE.Floor.ReEx.0.8.02		IE.Window.ReEx.0.8.01		IE.Door.ReEx.0.1.01																				
U-value original state	U _{original,U}	0.26	0.55		0.86		2.80		3.00	W/(m ² K)																			
included insulation thickness	d _{ins,included,U}	150	50		0					mm																			
border type		Ext	Ext		Soil																								
additional thermal resistance of unheated spaces	R _{add,U}	0.00	0.00		0.00					m ² K/W																			
effective U-value original state	U _{original,effective,U}	0.26	0.55	0.00	0.86	0.00	2.80		3.00	W/(m ² K)																			

Εικόνα 42. Τα γεωμετρικά & θερμικά χαρακτηριστικά της 2^{ης} κατοικίας 1994-2004 στο Δουβλίνο

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα προκύπτουν τα υπολογιστικά φύλλα για την επίλυση των εξισώσεων “R-C”, που για την περίπτωση της 1^{ης} κατοικίας παρουσιάζεται στην Εικόνα 43.

Κεφάλαιο 4ο: Εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μελέτης

1										
2	Building data from Tabula		Methodology-RC solution		Dymola Inputs			EquivalentAirTempera		
3	Windows		A[m ²]	76	Thermal Zone			Weighting factors of th		
4	Awin[m ²]	11,5	T[days]	5	Vair [m ³]	310,25			Wextwall1	
5	Uwin[W/m ² K]	3,7	w[1/s]	1,45444E-05	alphaRad[W/m ² K]	5,134384879			Wextwall2	
6	Rwin[m ² K/W]	0,27	Cm [J/m ² K]	162000	nOrientations	4			Wextwall3	
7	gwin	0,75	U[W/m ² K]	0,4	Windows					Wextwall4
8	hwin[W/m ² K]	7,7	hi[W/m ² K]	10	AWin	{0,11.5,0,11.5}				
9	External Walls		ho[W/m ² K]	25	ATransparent	{0,11.5,0,11.5}				
10	Wall1	161								
11	Wall2	0	hrad[W/m ² K]	5,134384879	AlphaWin[W/m ² K]	7,7			Weighting factors of the	
12	Wall3	0	R[m ² K/W]	2,366815317	Rwin [K/W]	0,023501763			Window1	
13	Awall1[m ²]	41,25	param	1,669831909	gWin	0,75			Window2	
14	Awall2[m ²]	29,75	cosh(param)	2,749776828	rationWinConRad	0,09				
15	Awall3[m ²]	41,25	sinh(param)	2,561498117	Exterior walls					aExt
16	Awall4[m ²]	29,75	cos(param)	-0,098873771	Aext[m ²]	{41.25,29.75,41.25,29.75}			alphaWallOut [W/m ² K]	
17	UwallEx[W/m ² K]	1,1	sin(param)	0,995099984	alphaExt [W/m ² K]	7,7			alphaRad[W/m ² K]	
18	RwallEx[m ² K/W]	0,909090909	Rea11	-0,271880804	nExt	4			Tground (°C)	
19	hexwall[W/m ² K]	7,7	Ima11	2,548946735	Rext [K/W]	{0.003010599,0.004174359,0.003010599,0.004174359}			alphaWinOut [W/m ² K]	
20	Internal walls		Rea22	-0,271880804	RExtRem [K/W]	0,015075125				
21	Awallint[m ²]	35,5	Ima22	2,548946735	Cext	{19861467.47,14324331.08,19861467.47,14324331.08}			Outdoor coefficient of heat tra	
22	Uwallint[W/m ² K]	2	param2	0,299431336	Interior walls					kWalls
23	Rwallint[m ² K/W]	0,5	Rea12	1,759725665	Aint[m ²]	35,5			Outdoor coefficient of heat tra	
24	hintwall[W/m ² K]	7,7	Ima12	2,118702772	alphaInt [W/m ² K]	7,7			kRoof	
25	Floor		Rea21	-2,109195323	nint	4			Outdoor coefficient of heat tra	
26	Afloor[m ²]	76	Ima21	1,751829087	Rint [K/W]	0,014084507			kFloor	
27	Ufloor[W/m ² K]	0,61	param3	0,389694784	Cint	5751000			tdoor coefficient of heat transi	
28	Rfloor[m ² K/W]	1,64	param4	0,389694784	Floor Plate					kWindows
29	hfloor[W/m ² K]	5,88	param5	77704,58595	Afloor[m ²]	76				
30	Roof		param6	77704,58595	alphaFloort [W/m ² K]	5,88				
31	Aroof[m ²]	76	R1[K/W]	0,005127563	nFloor	1				
32	Uroof[W/m ² K]	0,4	R2[K/W]	0,005127563	Rfloor [K/W]	{0.003135117,0.003135117,0.003135117,0.003135117}				
33	Rroof[m ² K/W]	2,50	R3[K/W]	0,020887181	RfloorRem [K/W]	0,015760824				
34	hroof[W/m ² K]	10,00	Rtotal[K/W]	0,005127563	CFloor	{35708633.77,35708633.77,35708633.77,35708633.77}				
35	Internal Heat Capacity		RtotalRem[K]	0,026014744	Roof					
36	Cm [Wh/m ² K]	45	param7	0,504834309	Aroof[m ²]	76				
37	Cm [J/m ² K]	162000	C1,KORR	6769268,5018888400	alphaRoof [W/m ² K]	10				
38			c1tot	33846342,51	nRoof	4				
39		142			Rroof [K/W]	{0.005127563,0.005127563,0.005127563,0.005127563}				
40					RRoofRem [K/W]	0,026014744				
41	Door				Croof	{33846342.51,33846342.51,33846342.51,33846342.51}				
42	A[m ²]	4								
43	SUM-WALL+DOOR	165								
44				0.031142307						

Εικόνα 43. Το υπολογιστικό φύλλο για την 1^η κατοικία χρονολογίας 1978-1982 στο Δουβλίνο

Με την ίδια λογική συμπληρώνεται και το υπολογιστικό φύλλο για την κατοικία της περιόδου 1994-2004 που φαίνεται στην **Εικόνα 44**.

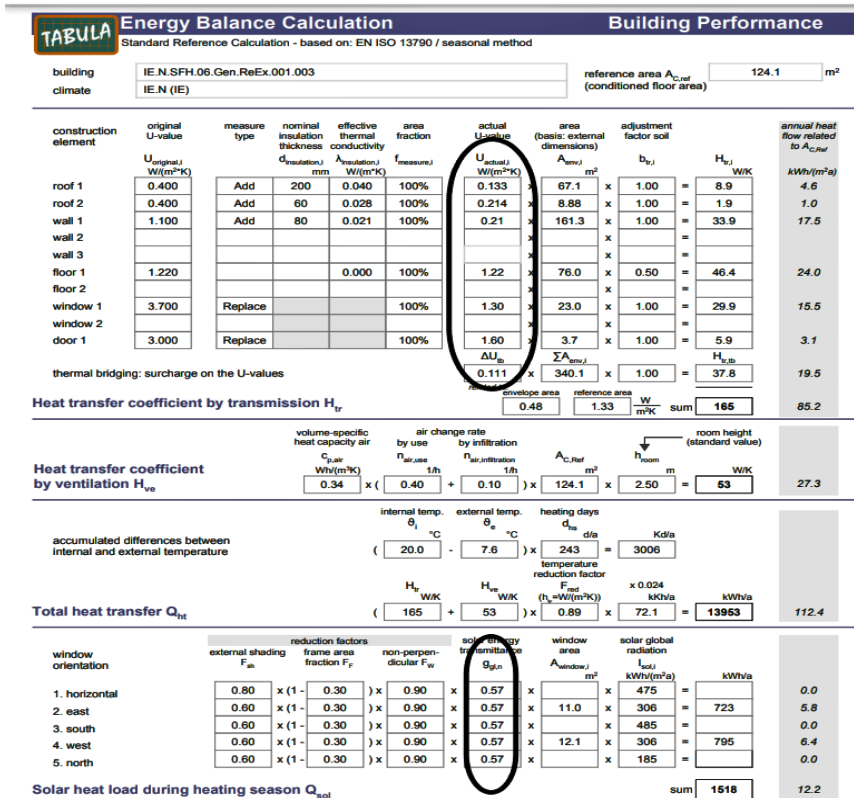
1										
2		Building data from Tabula		Methodology-RC solution		Dymola Inputs		EquivalentAirTemperature		
3		Windows		A[m ²]		Thermal Zone		Weighting factors of the walls		
4		Awin[m ²]	5,5	T[days]	5	Vair [m ³]	187,5	Wextwall1	0,28666667	
5		Uwin[W/m ² K]	2,8	ω[1/s]	1,45444E-05	alphaRad[W/m ² K]	5,134384879	Wextwall2	0,21333333	
6		Rwin[m ² K/W]	0,36	cm [J/m ² K]	162000	nOrientations	4	Wextwall3	0,28666667	
7		gwin	0,75	U[W/m ² K]	0,26	Windows		Wextwall4	0,21333333	
8		hwin[W/m ² K]	7,7	h[W/m ² K]	10	AWin	[0,5,5,0,5,5]			1
9		External Walls		ho[W/m ² K]		ATransparent		[0,5,5,0,5,5]		
10		Wall1	82							
11		Wall2	0	hrad[W/m ² K]	5,134384879	AlphaWin[W/m ² K]	7,7	Weighting factors of the windows		
12		Wall3	0	η[m ² K/W]	3,712969163	Rwin [K/W]	0,064935065	Window1	0,5	
13		Awall1[m ²]	21,5	param	2,091468083	gWin	0,75	Window2	0,5	
14		Awall2[m ²]	16	cosh(param)	4,110149447	rationWinConRad	0,09			
15		Awall3[m ²]	21,5	sinh(param)	3,986643761	Exterior walls		aExt	0,7	
16		Awall4[m ²]	16	cos(param)	-0,497462989	Aext[m ²]	[21,5,16,21,5,16]	alphaWallOut [W/m ² K]	25	
17		UwallEx[W/m ² K]	0,6	sin(param)	0,867485202	alphaExt [W/m ² K]	7,7	alphaRad[W/m ² K]	5,134384879	
18		RwallEx[m ² K/W]	1,818181818	Rea11	-2,044647228	nExt	4	Tground (°C)	15	
19		hexwall[W/m ² K]	7,7	Ima11	3,458354467	RExt [K/W]	[0,012753745,0,017137845,0,012753745,0,017137875]	alphaWinOut [W/m ² K]	25	
20		Internal walls		Rea22	-2,044647228	RExtRem [K/W]	0,064228906			
21		AwallInt[m ²]	34,75	Ima22	3,458354467	Cext	[9994658,708,7437885,55,9994658,708,7437885,55]	Outdoor coefficient of heat transfer for Wall		kWalls
22		UwallInt[W/m ² K]	2	param2	0,23906522	Interior walls				2260,078866
23		RwallInt[m ² K/W]	0,5	Rea12	1,404510915	Aint[m ²]	34,75	Outdoor coefficient of heat transfer for Roof		kRoof
24		hintwall[W/m ² K]	7,7	Ima12	4,925286187	alphaInt [W/m ² K]	7,7			2591,5571
25		Floor		Rea21	-3,125512674	nInt	4	Outdoor coefficient of heat transfer for Floor		kFloor
26		Afloor[m ²]	86	Ima21	0,891281541	Rint [K/W]	0,014388489			2591,5571
27		Ufloor[W/m ² K]	0,43	param3	0,600899186	Cint	5629500	Indoor coefficient of heat transfer for Window		kWindows
28		Rfloor[m ² K/W]	2,33	param4	0,600899186	Floor Plate				331,4782337
29		Hfloor[W/m ² K]	5,88	param5	73523,8778	Afloor[m ²]	86			
30		Roof		param6	73523,8778	alphaFloor [W/m ² K]	5,88			
31		Aroof[m ²]	86	R1[K/W]	0,0069872	nFloor	1			
32		Uroof[W/m ² K]	0,26	R2[K/W]	0,0069872	Rfloor [K/W]	[0,00407286,0,00407286,0,00407286,0,00407286]			
33		Rroof[m ² K/W]	3,85	R3[K/W]	0,02919966	RfloorRem [K/W]	0,02060538			
34		hroof[W/m ² K]	10,00	Rtotal[K/W]	0,0069872	CFloor	[38919477,86,38919477,86,38919477,86,38919477,86]			
35		Internal Heat Capacity		RtotalRem[k]	0,03618686	Roof				
36		cm [Wh/m ² K]	45	param7	0,699949653	Aroof[m ²]	86			
37		cm [J/m ² K]	162000	c1,KORR	6887593,6410405200	alphaRoof [W/m ² K]	10			
38				c1tot	34437968,21	nRoof	4			
39			75			Rroof [K/W]	[0,0069872,0,0069872,0,0069872,0,0069872]			
40						RroofRem [K/W]	0,03618686			
41		Door				Croof	[34437968,21,34437968,21,34437968,21,34437968,21]			
42		A[m ²]	4							
43		SUM-WALL+DOOR								
44					0,04317406					

Εικόνα 44. Το υπολογιστικό φύλλο για τη 2^η κατοικία χρονολογίας 1994-2004 στο Δουβλίνο

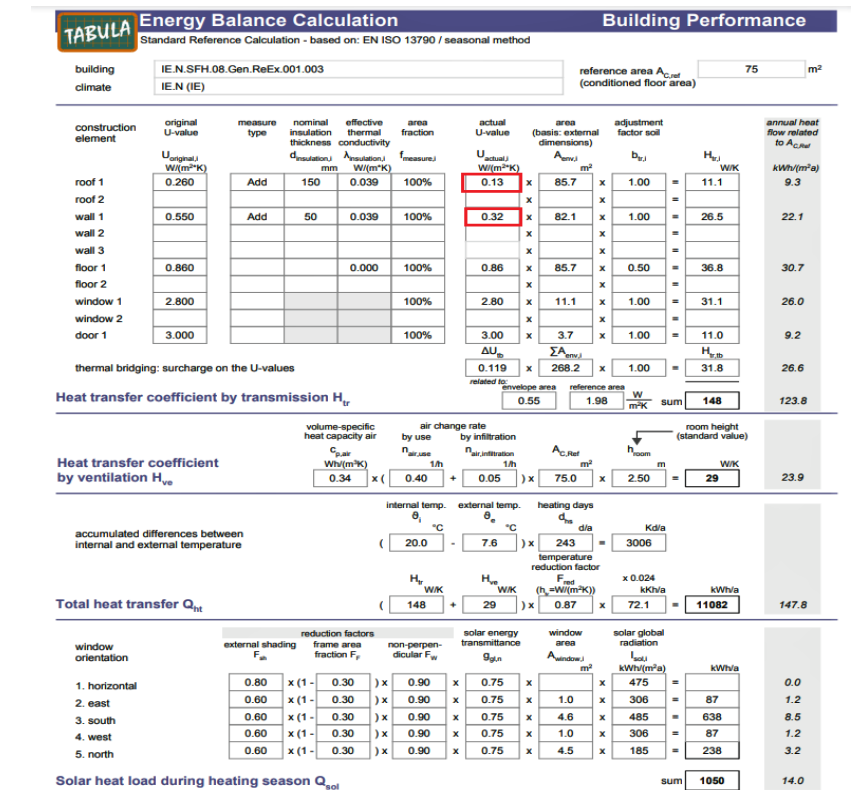
Αφού λοιπόν έγινε η εισαγωγή των δεδομένων και επιλύθηκαν οι εξισώσεις της μεθοδολογίας, λαμβάνοντας ως κύρια δεδομένα τα γεωμετρικά και θερμικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε κατοικίας και τις παραδοχές της ενότητας 4.1 του παρόντος κεφαλαίου. Θα πάμε να εφαρμόσουμε κάποια σενάρια εξοικονόμησης για την εκάστοτε κατοικία.

Η διαδικασία είναι όμοια με αυτή που παρουσιάστηκε παραπάνω, μόνο που τώρα θα αλλάζουν τα κάποια δεδομένα εισόδου ανάλογα με τα μέτρα ενεργειακής αναβάθμισης που θα επιλεγούν. Τα δεδομένα αυτά αφορούν το συντελεστή θερμοπερατότητας των δομικών μερών “U-value” κατά κύριο λόγο, αλλά και το συντελεστή ηλιοφάνειας “g-value” των παραθύρων που συνήθως στα μέτρα αναβάθμισης παίρνει χαμηλότερες τιμές. Για την 1^η κατοικία λοιπόν προτείνονται ριζικές αλλαγές με την προσθήκη διαφορετικών επιπέδων μόνωσης τόσο στην οροφή της κατοικίας, αλλά και στους εξωτερικούς τοίχους. Συμπληρωματικά ο ηλιακός συντελεστής των παραθύρων “g-value” αλλάζει σημαντικά από 0,75 σε 0,57, το οποίο επιτυγχάνεται με αλλαγή των κρυστάλλων των παραθύρων.

Συνοπτικά στη **Εικόνα 45** παρουσιάζονται τα νέα θερμικά χαρακτηριστικά για την 1^η κατοικία που αφορούν τα μέτρα ενεργειακής αναβάθμισης της, και στην **Εικόνα 46** τα μέτρα εξοικονόμησης για τη 2^η κατοικία



Εικόνα 45. Τα ενδεικτικά μέτρα εξοικονόμησης για την 1^η κατοικία χρονολογίας 1978-1982 στο Δουβλίνο

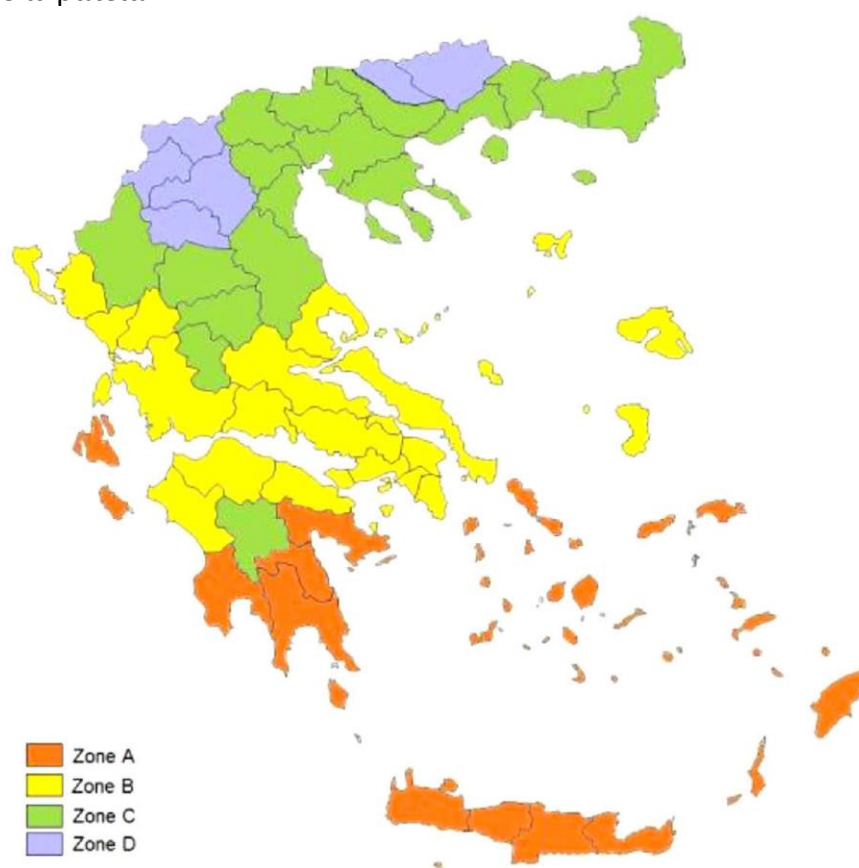


Εικόνα 46. Τα ενδεικτικά μέτρα εξοικονόμησης για τη 2^η κατοικία χρονολογίας 1994-2004 στο Δουβλίνο

4.1.5. Η περίπτωση της Ελλάδας

Η Ελλάδα ανήκει γεωγραφικά στην νοτιοανατολική Ευρώπη και χαρακτηρίζεται από μεγάλο μήκος ακτογραμμών λόγω της θέσης της στην Βαλκανική χερσόνησο, αλλά κυρίως εξαιτίας του μεγάλου αριθμού νησιών που διαθέτει. Το κλίμα της χώρας χαρακτηρίζεται κατά κύριο λόγο ως μεσογειακό, αυτό έχει να κάνει με τα θαλάσσια νερά που την περικλείουν, όπως είπαμε. Χωρίζεται σε 4 κλιματικές ζώνες σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων-Κ.Εν.Α.Κ.

Ο διαχωρισμός αυτός έγινε βάσει του δείκτη HDD, και οι ζώνες χωρίζονται αλφαβητικά από το γράμμα Α έως το D. Το γράμμα Α υποδηλώνει λιγότερες ανάγκες σε θέρμανση και αφορά κατά κύριο λόγο την περιοχή της νότιας επικράτειας της χώρας. Στην **Εικόνα 47** παρουσιάζεται ο διαχωρισμός των κλιματικών ζωνών στην Ελληνική επικράτεια.



Εικόνα 47. Οι κλιματικές ζώνες στην ελληνική επικράτεια. Πηγή: [44]

Για την χώρα μας λοιπόν επιλέχθηκε η πρωτεύουσα **Αθήνα** για την ανάλυση του κτιριακού δυναμικού. Η Αθήνα αποτελεί την μεγαλύτερη πόλη της χώρας και ανήκει στην κλιματική ζώνη Β', στην πόλη συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της χώρας. Συγκεκριμένα στην Περιφέρεια Αττικής κατοικούν συνολικά 3.828.434 άνθρωποι από τους συνολικούς 10.816.286, σύμφωνα με στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ), κάνοντας την Περιφέρεια της Αττικής την πιο πυκνοκατοικημένη από όλες.

Το κτιριακό δυναμικό της Αττικής ανέρχεται σε 2.121.155 κατοικίες από τον σύνολο των 6.384.353 κατοικιών πανελλαδικά. Αυτός ήταν και ο κύριος λόγος που επιλέχθηκε η Περιφέρεια της Αττικής και συγκεκριμένα η πόλη της Αθήνας για την ανάλυση του κτιριακού δυναμικού της χώρας. Αρχικά επιλέχθηκε ένα κτίριο κατοικίας με χρόνο κατασκευής πριν το 1980 και συνολικού εμβαδού επιφανείας 162 m². Η πρόσοψη του κτιρίου αυτού φαίνεται στην κάτωθι εικόνα.



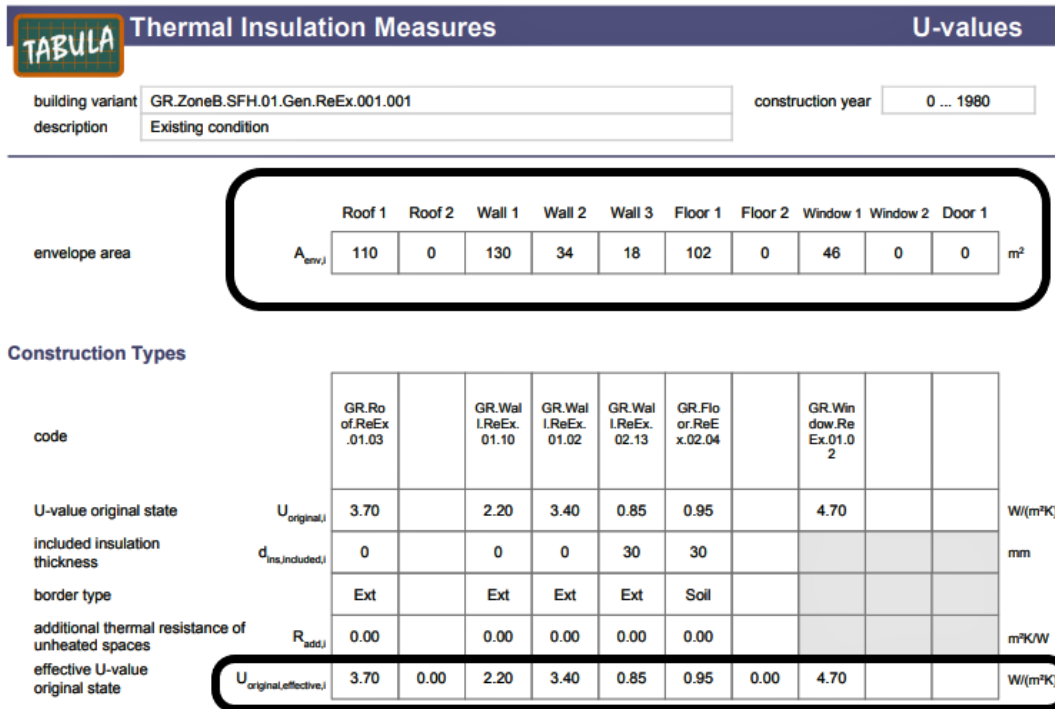
Εικόνα 48. Η 1^η επιλεγμένη κατοικία προ του 1980 στην πόλη της Αθήνας

Στην συνέχεια επιλέχθηκε και η 2^η κατοικία για την περίπτωση της Αθήνας. Αυτή χρονολογείται μεταξύ 1981-2000, έχει συνολικό εμβαδό επιφανείας 293 m² και η πρόσοψη της παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί.

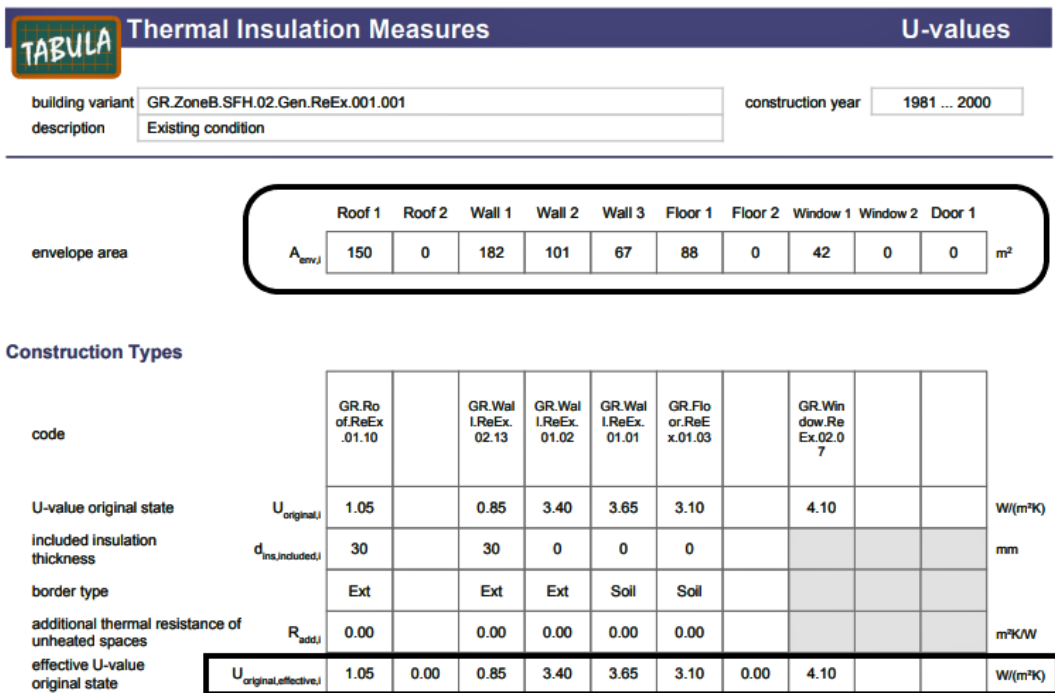


Εικόνα 49. Η 2^η επιλεγμένη κατοικία χρονολογίας μεταξύ 1981-2000 στην πόλη της Αθήνας

Τα δεδομένα για τα γεωμετρικά και θερμικά χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους προήλθαν και εδώ με την σειρά τους από το διαδικτυακό εργαλείο του "TABULA" και οι συντελεστές θερμοπερατότητας επικαιροποιήθηκαν μέσω του προγράμματος "ENTRAZE". Στη συνέχεια παρατίθενται τα δεδομένα αυτά και για τις 2 επιλεγμένες κατοικίες.



Εικόνα 50. Τα θερμικά & γεωμετρικά χαρακτηριστικά της 1ης κατοικίας προ 1980 στην Αθήνα



Εικόνα 51. Τα θερμικά & γεωμετρικά χαρακτηριστικά της 2ης κατοικίας χρονολογίας 1981-2000 στην Αθήνα

Στη συνέχεια, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις ακολουθείται η επίλυση των εξισώσεων “R-C” για κάθε δομικό στοιχείο του κτιριακού κελύφους, το οποίο επιτυγχάνεται με την χρήση του υπολογιστικού φύλλου. Στην επόμενη σελίδα λοιπόν παρουσιάζεται το υπολογιστικό φύλλο για κάθε μελέτης περίπτωσης ξεχωριστά.

Κεφάλαιο 4ο: Εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μελέτης

Building data from Tabula		Methodology-RC solution		Dymola Inputs		EquivalentAirTemperature	
Windows		Thermal Zone		Thermal Zone		Weighting factors of the walls	
Awin[m ²]	23	A[m ²]	45,5	Vair [m ³]	570	Wextwall1	0,334558824
Uwin[W/m ² K]	4,7	T[days]	5	alphaRad[W/m ² K]	5,134384879	Wextwall2	0,165441176
Rwin[m ² K/W]	0,21	w[1/s]	1,45444E-05	nOrientations	2	Wextwall3	0,334558824
gwin	0,58	Cm [μ/m ² K]	162000	Windows		Wextwall4	0,165441176
hwin[W/m ² K]	7,7	U[W/m ² K]	2,15	AWin	{23,0,23,0}		
External Walls		h[W/m ² K]	7,7	ATransparent	{23,0,23,0}		
Wall1	130	ho[W/m ² K]	25	Weighting factors of the windows			
Wall2	34	hrad[W/m ² K]	5,134384879	AlphaWin[W/m ² K]	7,7	Window1	0,5
Wall3	18	R[m ² K/W]	0,302061467	Rwin [K/W]	0,009250694	Window2	0,5
Awall1[m ²]	45,5	param	0,596538164	gWin	0,58		
Awall2[m ²]	22,5	cosh(param)	1,183268327	rationWinConRad	0,09		
Awall3[m ²]	45,5	sinh(param)	0,632553503	Exterior walls		aExt	0,7
Awall4[m ²]	22,5	cos(param)	0,827285365	Aext[m ²]	{45,5,22,5,45,5,22,5}	alphaWallOut [W/m ² K]	25
UwallEx[W/m ² K]	2,2	sin(param)	0,561781919	alphaExt [W/m ² K]	7,7	alphaRad[W/m ² K]	5,134384879
RwallEx[m ² K/W]	0,465116279	Rea11	0,97890057	nExt	1	Tground (°C)	15
hexwall[W/m ² K]	7,7	Ima11	0,355357121	Rext [K/W]	0,00110623	alphaWinOut [W/m ² K]	25
Internal walls		Rea22	0,97890057	RExtRem [K/W]	0,005532484		
Awallint[m ²]	34	Ima22	0,355357121	Cext	22078995,18	Outdoor coefficient of heat transfer for Walls	
Uwallint[W/m ² K]	2	param2	0,838169341	Interior walls		kWalls	4086,276344
Rwallint[m ² K/W]	0,5	Rea12	0,300786631	Aint[m ²]	34	Outdoor coefficient of heat transfer for Roof	
hintwall[W/m ² K]	7,7	Ima12	0,355808703	alphaint [W/m ² K]	7,7	kRoof	3314,782337
Floor		Rea21	-0,27932152	nint	1	Outdoor coefficient of heat transfer for Floor	
Afloor[m ²]	102	Ima21	2,346250285	Rint [K/W]	0,014705882	kFloor	3073,707258
Ufloor[W/m ² K]	0,475	param3	0,050333462	Cint	5508000	Outdoor coefficient of heat transfer for Window	
Rfloor[m ² K/W]	2,11	param4	0,050333462	Floor Plate		kWindows	1386,181704
hfloor[W/m ² K]	5,88	param5	80943,07157	Afloor[m ²]	102		
Roof		param6	80943,07157	alphaFloor [W/m ² K]	5,88		
Aroof[m ²]	110	R1[K/W]	0,00110623	nFloor	1		
Uroof[W/m ² K]	3,7	R2[K/W]	0,00110623	Rfloor [K/W]	0,003083401		
Rroof[m ² K/W]	0,27	R3[K/W]	0,004426254	RFloorRem [K/W]	0,01556376		
hroof[W/m ² K]	10,00	Rtotal[K/W]	0,00110623	CFloor	46779459,67		
Internal Heat Capacity		RtotalRem[K/W]	0,005532484	Roof			
Cm [Wh/m ² K]	45	param7	0,071047831	Aroof[m ²]	110		
Cm [J/m ² K]	162000	Cl_KORR	4415799,0366071900	alphaRoof [W/m ² K]	10		
		cttot	22078995,18	nRoof	1		
				Rroof [K/W]	0,000207697		
				RRoofRem [K/W]	0,001038536		
				CRoof	53443039,06		

Εικόνα 52. Το υπολογιστικό φύλλο της 1^{ης} επιλεγμένης κατοικίας προ του 1980 στην Αθήνα

Building data from Tabula		Methodology-RC solution		Dymola Inputs		EquivalentAirTemperature	
Windows		Thermal Zone		Thermal Zone		Weighting factors-Walls	
Awin[m ²]	21	A[m ²]	87,5	Vair [m ³]	1135	Wextwall1	0,284090908
Uwin[W/m ² K]	4,1	T[days]	5	alphaRad[W/m ² K]	5,134384879	Wextwall2	0,215909091
Rwin[m ² K/W]	0,24	w[1/s]	1,45444E-05	nOrientations	2	Wextwall3	0,284090908
gwin	0,51	Cm [μ/m ² K]	162000	Windows		Wextwall4	0,215909091
hwin[W/m ² K]	7,7	U[W/m ² K]	0,9	AWin	{21,0,21,0}		
External Walls		h[W/m ² K]	7,7	ATransparent	{21,0,21,0}	Weighting factors of the windows	
Wall1	182	ho[W/m ² K]	25	AlphaWin[W/m ² K]	7,7	Window1	0,5
Wall2	101	hrad[W/m ² K]	5,134384879	Rwin [K/W]	0,011614402	Window2	0,5
Wall3	67	R[m ² K/W]	0,948056299	gWin	0,51		
Awall1[m ²]	87,5	param	1,056836086	rationWinConRad	0,09	aExt	0,7
Awall2[m ²]	66,5	cosh(param)	1,612403447	Exterior walls		alphaWallOut [W/m ² K]	25
Awall3[m ²]	87,5	sinh(param)	1,264849745	Aext[m ²]	{87,5,66,5,87,5,66,5}	alphaRad[W/m ² K]	5,134384879
Awall4[m ²]	66,5	cos(param)	0,491629688	alphaExt [W/m ² K]	7,7	Tground (°C)	15
UwallEx[W/m ² K]	0,9	Rea11	0,792705403	nExt	1	alphaWinOut [W/m ² K]	25
RwallEx[m ² K/W]	1,111111111	Ima11	1,101436685	Rext [K/W]	0,001802257		
hexwall[W/m ² K]	7,7	Rea22	0,792705403	RExtRem [K/W]	0,009032672	Outdoor coefficient of heat transfer for Walls	
Awallint[m ²]	77	Ima22	1,101436685	Cext	733122792,94	kWalls	8281,380545
Uwallint[W/m ² K]	2	param2	0,473110264	Interior walls		Outdoor coefficient of heat transfer for Roof	
Rwallint[m ² K/W]	0,5	Rea12	0,908988899	Aint[m ²]	77	kRoof	4520,157732
hintwall[W/m ² K]	7,7	Ima12	0,35086676	alphaint [W/m ² K]	7,7	Outdoor coefficient of heat transfer for Floor	
Floor		Rea21	-0,872005522	nint	1	kFloor	2651,825869
Afloor[m ²]	88	Ima21	2,258379952	Rint [K/W]	0,006493506	Outdoor coefficient of heat transfer for Windows	
Ufloor[W/m ² K]	1,55	param3	0,157697489	Cint	12474000	kWindows	1265,644165
Rfloor[m ² K/W]	0,65	param4	0,157697489	Floor Plate			
hfloor[W/m ² K]	5,88	param5	80444,14091	Afloor[m ²]	88		
Roof		param6	80444,14091	alphaFloor [W/m ² K]	5,88		
Aroof[m ²]	150	R1[K/W]	0,001802257	nFloor	1		
Uroof[W/m ² K]	1,05	R2[K/W]	0,001802257	Rfloor [K/W]	0,000836588		
Rroof[m ² K/W]	0,95	R3[K/W]	0,007230415	RFloorRem [K/W]	0,0041851		
hroof[W/m ² K]	10,00	Rtotal[K/W]	0,001802257	CFloor	750245389,6		
Internal Heat Capacity		RtotalRem[K/W]	0,009032672	Roof			
Cm [Wh/m ² K]	45	param7	0,219624869	Aroof[m ²]	150		
Cm [J/m ² K]	162000	Cl_KORR	8378546,2050527500	alphaRoof [W/m ² K]	10		
		cttot	733122792,9	nRoof	1		
				Rroof [K/W]	0,000908876		
				RRoofRem [K/W]	0,004552433		
				CRoof	2162594569		

Εικόνα 53. Το υπολογιστικό φύλλο της 2^{ης} επιλεγμένης κατοικίας μεταξύ 1981-2000 στην Αθήνα

Σε αυτά λοιπόν τα κτίρια εξετάστηκαν κάποια συγκεκριμένα σενάρια εξοικονόμησης με σκοπό την βελτίωση της ενεργειακής τους συμπεριφοράς. Για την

1^η κατοικία τα μέτρα αφορούν την συνήθη τακτική που έχει περιγραφεί και στις περιπτώσεις των άλλων χωρών, δηλαδή την εφαρμογή μόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους και τη οροφή και την αλλαγή των παραθύρων. Τα θερμικά χαρακτηριστικά των αλλαγών αυτών φαίνονται στην **Εικόνα 54**.

TABULA		Energy Balance Calculation				Building Performance				
Standard Reference Calculation - based on: EN ISO 13790 / seasonal method										
building	GR.ZoneB.SFH.01.Gen.ReEx.001.003					reference area $A_{C,ref}$	161.5			n
climate	GR.B (GR)					(conditioned floor area)				
construction element	original U-value $U_{original,j}$ $W/(m^2\cdot K)$	measure type	nominal insulation thickness $d_{insulation,j}$ mm	effective thermal conductivity $\lambda_{insulation,j}$ $W/(m\cdot K)$	area fraction $f_{measure,j}$	actual U-value $U_{actual,j}$ $W/(m^2\cdot K)$	area (basis: external dimensions) $A_{env,j}$ m^2	adjustment factor soil $b_{tr,j}$	$H_{tr,j}$ W/K	annual heat flow related to $A_{C,ref}$ $kWh/(m^2\cdot \epsilon)$
roof 1	3.700	Add	90	0.040	100%	0.397	110.0	x 1.00	= 43.6	5.5
roof 2										
wall 1	2.200	Add	80	0.040	100%	0.41	129.6	x 1.00	= 52.8	6.6
wall 2	3.400	Add	80	0.040	100%	0.44	34.1	x 1.00	= 14.9	1.9
wall 3	0.850			0.000	100%	0.85	18.2	x 1.00	= 15.5	1.9
floor 1	0.950			0.000	100%	0.95	102.0	x 0.50	= 48.5	6.1
floor 2										
window 1	4.700	Replace			100%	2.60	45.6	x 1.00	= 118.6	14.9
window 2										
door 1										
thermal bridging: surcharge on the U-values						ΔU_{tb}	$\Sigma A_{env,j}$		$H_{tr,tb}$	
						0.114	439.5	x 1.00	= 50.0	6.3
Heat transfer coefficient by transmission H_{tr}						envelope area	reference area	$\frac{W}{m^2\cdot K}$	sum	
						0.78	2.13		344	43.2
Heat transfer coefficient by ventilation H_{ve}										
volume-specific heat capacity air $c_{p,air}$ $Wh/(m^3\cdot K)$		air change rate by use $n_{air,use}$ 1/h		air change rate by infiltration $n_{air,infiltration}$ 1/h		reference area $A_{C,Ref}$ m^2		room height (standard value) h_{room} m		W/K
0.34		x (0.40		+ 0.10)		x 161.5		x 2.50		= 69
8.6										
accumulated differences between internal and external temperature										
internal temp. θ_i $^{\circ}C$		external temp. θ_e $^{\circ}C$		heating days d_{he} d/a		temperature reduction factor F_{rd} $(h_{ve}=W/(m^2\cdot K))$		x 0.024		kWh/a
(20.0		- 10.1)		x 99		= 981				
Total heat transfer Q_{ht}						H_{tr} W/K	H_{ve} W/K	F_{rd} $(h_{ve}=W/(m^2\cdot K))$	x 0.024	kWh/a
						(344	+ 69)	x 0.86	x 23.6	= 8375
						51.9				
window orientation										
external shading F_{sh}		reduction factors frame area fraction F_F		non-perpendicular F_{Np}		solar energy transmittance $\theta_{gl,n}$		window area $A_{window,j}$ m^2		solar global radiation $I_{sol,j}$ $kWh/(m^2\cdot a)$
1. horizontal		0.80 x (1 - 0.30)		x 0.90		x 0.55		x 233		=
2. east		0.60 x (1 - 0.30)		x 0.90		x 0.55		x 152		=
3. south		0.60 x (1 - 0.30)		x 0.90		x 0.55		x 295		= 209
4. west		0.60 x (1 - 0.30)		x 0.90		x 0.55		x 32.4		= 1024
5. north		0.60 x (1 - 0.30)		x 0.90		x 0.55		x 9.8		= 146
0.0		0.0		1.3		6.3		0.9		

Εικόνα 54. Τα ενδεικτικά μέτρα αναβάθμισης της 1^{ης} κατοικίας προ 1980 στην Αθήνα

Οι τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας των δομικών μερών για τα μέτρα ενεργειακής αναβάθμισης της κατοικίας αυτής, καλύπτουν πλήρως τα κριτήρια που θέτει ο ΚΕΝΑΚ στις τιμές του Πίνακα 3.4α - «Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτηρίου» της Τεχνικής Οδηγίας του Τ.Ε.Ε -Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 [45].

Τα αντίστοιχα μέτρα εξοικονόμησης για τη 2^η κατοικία παρουσιάζονται στην συνέχεια, οι παρεμβάσεις δεν διαφοροποιούνται, αλλά αλλάζουν οι τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας, με γνώμονα πάντα να καλύπτονται τα κριτήρια που θέτει η Τεχνική Οδηγία.

TABULA		Energy Balance Calculation					Building Performance				
		Standard Reference Calculation - based on: EN ISO 13790 / seasonal method									
building	GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001.003					reference area $A_{C,ref}$	293.2				m ²
climate	GR.B (GR)					(conditioned floor area)					
construction element	original U-value	measure type	nominal insulation thickness	effective thermal conductivity	area fraction	actual U-value	area (basis: external dimensions)	adjustment factor soil	H_{tr}	annual heat flow related to $A_{C,ref}$	
	$U_{original}$ W/(m ² K)		$d_{insulation}$ mm	$\lambda_{insulation}$ W/(m·K)	$f_{measure}$	U_{actual} W/(m ² K)	A_{ext} m ²	b_{soil}	H_{tr} WK	kWh/(m ² a)	
roof 1	1.050	Add	50	0.040	100%	0.454	150.0 x	1.00 =	68.1	4.7	
roof 2											
wall 1	0.850	Add	80	0.040	100%	0.31	182.2 x	1.00 =	57.4	4.0	
wall 2	3.400	Add	80	0.040	100%	0.44	101.3 x	1.00 =	44.2	3.1	
wall 3	3.650			0.000	100%	3.65	67.4 x	0.50 =	123.0	8.6	
floor 1	3.100			0.000	100%	3.10	88.0 x	0.50 =	136.4	9.5	
floor 2											
window 1	4.100	Replace			100%	2.60	42.0 x	1.00 =	109.2	7.6	
window 2											
door 1											
thermal bridging: surcharge on the U-values						ΔU_{br}	ΣA_{ext}	$H_{tr,br}$			
						0.062	630.9	1.00 =	39.3	2.7	
Heat transfer coefficient by transmission H_{tr}						related to	envelope area	reference area	$\frac{W}{m^2K}$	sum	
						0.92	1.97			578	40.2
Heat transfer coefficient by ventilation H_{va}											
volume-specific heat capacity air $C_{p,air}$ Wh/(m ³ K) \times (
air change rate by use $n_{air,use}$ 1/h +											
air change rate by infiltration $n_{air,infiltration}$ 1/h) \times											
reference area $A_{C,ref}$ m ² \times											
room height (standard value) h_{room} m =											
125											
8.7											
accumulated differences between internal and external temperature											
internal temp. θ_i °C - external temp. θ_e °C \times											
heating days d_{he} days =											
981											
temperature reduction factor F_{red} \times 0.024											
Total heat transfer Q_{ht} (
578 + 125) \times 0.87 \times 23.6 = 14348											
48.9											
window orientation											
external shading F_{sh} reduction factors frame area fraction F_F non-perpendicular F_W solar energy transmittance $g_{gl,n}$ window area A_{window} m ² solar global radiation I_{sol} kWh/(m ² s) kWh/a											
1. horizontal 0.80 \times (1 - 0.30) \times 0.90 \times 0.55 \times 12.7 \times 233 = 401											
2. east 0.60 \times (1 - 0.30) \times 0.90 \times 0.55 \times 12.4 \times 295 = 761											
3. south 0.60 \times (1 - 0.30) \times 0.90 \times 0.55 \times 8.3 \times 152 = 262											
4. west 0.60 \times (1 - 0.30) \times 0.90 \times 0.55 \times 8.6 \times 71 = 128											
5. north 0.60 \times (1 - 0.30) \times 0.90 \times 0.55 \times 8.6 \times 71 = 128											
Solar heat load during heating season Q_{sol} sum 1562											
5.3											

Εικόνα 55. Τα ενδεικτικά μέτρα αναβάθμισης της 2^{ης} κατοικίας μεταξύ 1981-2000 στην Αθήνα

Τα δεδομένα αυτά στην συνέχεια εισάγονται πάλι στο υπολογιστικό φύλλο της μεθοδολογίας, επιλύονται οι εξισώσεις και δημιουργούνται τα κατάλληλα δεδομένα για την προσομοίωση των ενεργειακών μέτρων στο υπολογιστικό εργαλείο “DREEM”. Το οποίο με την σειρά του μας δίνει τα αποτελέσματα της ενεργειακής κατανάλωσης των κατοικιών.

4.2. Επιλογή μέτρων ενεργειακής εξοικονόμησης

Όσον αφορά τα μέτρα ενεργειακής εξοικονόμησης, εξετάζονται συνολικά 10 διαφορετικά σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης σε κάθε εξεταζόμενη κατοικία με τα μέτρα να αφορούν, τόσο σε παρεμβάσεις στο εξωτερικό του κτιριακού κελύφους, όσο και σε παρεμβάσεις σε ηλεκτρομηχανολογικά μέρη. Τα μέτρα ενεργειακής εξοικονόμησης που εξετάστηκαν αναλύονται αναλυτικά ως εξής:

- Εφαρμογή μόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους



Τα μέτρα εφαρμογής μόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους σχετίζονται με βελτίωση των πρότυπα μόνωσης του κάθε εξεταζόμενου κτιρίου με σκοπό τη μείωση του θερμικού τους φορτίου.

- **Εφαρμογή μόνωσης στην οροφή των επιλεγμένων κατοικιών**



Αντίστοιχα τα μέτρα εφαρμογής μόνωσης στην οροφή σχετίζονται και αυτά με την βελτίωση των πρότυπα μόνωσης σκοπό τη μείωση του θερμικού της οροφής.

- **Αντικατάσταση των παραθύρων με διπλά κρύσταλλα τζαμιών**



Η εφαρμογή αυτού του μέτρου έγκειται στο γεγονός ότι τα παλιά τζάμια έχουν κακές ιδιότητες μόνωσης και συνεπώς υψηλές θερμικές απώλειες.

- **Εγκατάσταση «έξυπνου» θερμοστάτη**



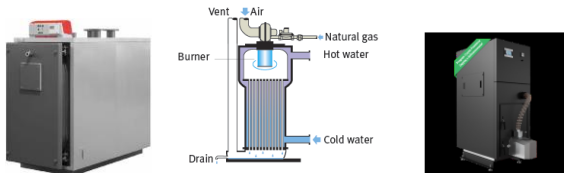
Η εφαρμογή αυτού το μέτρου μπορεί να γίνει αντιληπτή ως ένας τύπος σχεδίου απόκρισης-ζήτησης (“Demand-Response”), που προωθεί την εξοικονόμηση ενέργειας μέσω αυτοματοποιημένων ρυθμίσεων, χωρίς να διακυβεύεται η θερμική άνεση και οι ενεργειακές ανάγκες των ενοίκων των εξεταζόμενων κτιρίων.

- **Εγκατάσταση ΑΠΕ συνολικής ισχύος από 1,5 kW έως 3 kW**



Στο μέτρο αυτό προτείνεται η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών κάθε εξεταζόμενης κατοικίας με την μορφή του σχήματος του ενεργειακού συμψηφισμού (“Net Metering”). Τα ποσό της εγκαταστημένης ισχύος κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος διαφέρει από χώρα σε χώρα.

- **Εγκατάσταση νέων λεβήτων πετρελαίου, αερίου ή βιομάζας**



Επιλέγεται η αντικατάσταση του συμβατικού καυστήρα πετρελαίου, με νέους λέβητες σύγχρονης τεχνολογίας και με χρήση εναλλακτικού καυσίμου σε κάποιες περιπτώσεις. Με την ετήσια απόδοση χρήσης καυσίμου-“Annual Fuel Utilization Efficiency (AFUE)”, διαφέρει για κάθε εξεταζόμενη κατοικία.

- **Εγκατάσταση αντλίας θερμότητας**



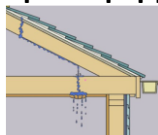
Το σενάριο αυτό αφορά την αντικατάσταση του κεντρικού λέβητα θέρμανσης κάθε εξεταζόμενης κατοικίας με την χρήση μίας αντλίας θερμότητας. Ο συντελεστής απόδοσης (“Coefficient of Performance, COP”) της αντλίας σχετίζεται με τις οριακές συνθήκες κάθε εξεταζόμενου κτιρίου.

- **Εγκατάσταση των παλιών λαμπτήρων με νέους αποδοτικότερους τεχνολογίας “LED”**



Το μέτρο αυτό διερευνά την αντικατάσταση παραδοσιακών λαμπτήρων πυρακτώσεως με ενεργειακά αποδοτικότερους τεχνολογίας “LED”.

- **Μικρό-παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους**



Το μέτρο αυτό αφορά στην εφαρμογή χαμηλού κόστους παρεμβάσεων, όπως η επισκευή οροφών που μπορούν να τρέχουν, την μόνωση κάποιων εκτεθειμένων σωλήνων αλλά την μόνωση κάποιων διόδων αέρα στα εξωτερικά ανοίγματα όπως είναι οι πόρτες και τα παράθυρα.

4.3. Τεχνοοικονομική αξιολόγηση των μέτρων ενεργειακής εξοικονόμησης

Αφού λοιπόν περιγράψαμε τα μέτρα εξοικονόμησης που θα εξεταστούν για κάθε επιλεγμένη κατοικία, θα υπολογίσουμε αρχικά τις εξοικονομήσεις που επιτυγχάνουμε, και στην συνέχεια θα υπολογίσουμε τον δείκτη σταθμισμένο κόστος εξοικονομούμενης ενέργειας- **“Levelized Cost of Saved Energy- LCSE”**. Για τον υπολογισμό αυτού του δείκτη γίνεται η παραδοχή ότι το επιτόκιο αναγωγής, είναι ίσο με 3% (όσο είναι και για τις δημόσιες επενδύσεις). Τα χρόνια ζωής των εκάστοτε μέτρων είναι ίδια σε όλες τις επιλεγμένες κατοικίες, ενώ τα κόστη εγκατάστασης, αλλά και συντήρησης των εκάστοτε μέτρων ποικίλουν και έχουν προκύψει από συνδυασμό βιβλιογραφικών πηγών και αναφορών.

Για δεδομένα του κόστους εγκατάστασης, των εργασιών συντήρησης όπου χρειάζεται αλλά και των χρόνων ζωής των εκάστοτε μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης, προκύπτουν έως εξής:

1. Εφαρμογή μόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους: [46], [11], [47],
2. Εφαρμογή μόνωσης στην οροφή των επιλεγμένων κατοικιών: [11], [47],
3. Αντικατάσταση των παραθύρων με διπλά κρύσταλλα τζαμιών: [11], [48],
4. Εγκατάσταση έξυπνου θερμοστάτη: [49],
5. Εγκατάσταση ΑΠΕ συνολικής ισχύος 1,5 kW-3 kW: [50], [51], [52],
6. Εγκατάσταση νέου λέβητα πετρελαίου: [46], [53],
7. Εγκατάσταση νέου λέβητα αερίου: [53], [46],

8. Εγκατάσταση νέου λέβητα βιομάζας: [53], [52],
9. Εγκατάσταση αντλίας θερμότητας: [53], [47], [54],
10. Εγκατάσταση των παλιών λαμπτήρων με νέους αποδοτικότερους τεχνολογίας LED: [55], [56],
11. Μικρό παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους: [57].

Τα χρόνια ζωής των επιλεγμένων μέτρων εξοικονόμησης παρουσιάζονται συνοπτικά στον **Πίνακα 3**.

	Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης	Χρόνος ζωής (έτη)
1	Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	30
2	Μόνωση – Οροφή	30
3	Διπλά Τζάμια	20
4	«Εξυπνος θερμοστάτης»	12
5	Εγκατάσταση ΑΠΕ (1,5kW- 3,5 kW)	20
6	Καυστήρας πετρελαίου ($\eta = 92,5\%$)	20
7	Καυστήρας φυσικού αερίου ($\eta = 101,5\%$)	22
8	Καυστήρας βιομάζας ($\eta = 90\%$)	20
9	Αντλία Θερμότητας ($\eta = 431\%$)	20
10	Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	23
11	Μικρό-παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	3

Πίνακας 3. Χρονική διάρκεια των επιλεγμένων μέτρων ενεργειακής εξοικονόμησης

Κεφάλαιο 5ο: Αποτελέσματα

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις, που πραγματοποιήθηκαν για τις επιλεγμένες κατοικίες. Αρχικά θα παρουσιαστούν οι συνολικές προσομοιωμένες καταναλώσεις ενέργειας για κάθε επιλεγμένη κατοικία υπό μελέτη, χωρίς την εφαρμογή κάποιου μέτρου βελτίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς των κατοικιών (“Reference scenario”). Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις για τα σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης των επιλεγμένων κατοικιών (“Energy efficiency scenarios”). Τέλος, αφού παρουσιαστούν οι τελικές καταναλώσεις των κατοικιών θα δούμε πόση ενέργεια εξοικονομείται από την εφαρμογή του κάθε μέτρου, και θα γίνει μία τεχνοοικονομική αξιολόγηση του εκάστοτε μέτρου βάσει του δείκτη “LCSE”.

5.1. Μιλάνο

Στην πόλη του Μιλάνο επιλέχθηκαν δύο κατοικίες, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η 1^η κατοικία έχει χτιστεί μεταξύ του 1961-1975 και έχει συνολικό εμβαδό επιφανείας 156 m². Η συγκεκριμένη κατοικία λοιπόν παρουσιάζει συνολική θερμική καταναλισκόμενη ενέργεια της τάξης των **34.259,7 kWh** ή **219,61 kWh/m²**, ενώ η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανέρχεται σε **2.635,2 kWh** ή **16,89 kWh/m²**.

Με γνώμονα λοιπόν αυτές τις παρεμβάσεις, προκύπτουν τα συνολικά αποτελέσματα για την εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή του κάθε μέτρου. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται στον **Πίνακας 4**.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης	Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας (kWh/έτος)	Ανηγμένη ετήσια εξοικονόμηση (kWh/m ²)
1 Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	4.565	29,26
2 Μόνωση – Οροφή	12.077,7	77,42
3 Διπλά Τζάμια	1.816,2	11,64
4 «Εξυπνος θερμοστάτης»	2.177,1	13,96
5 Εγκατάσταση ΑΠΕ (1.5kW)	2.635,2	16,89
6 Καυστήρας πετρελαίου (η = 92.5%)	6.171,9	39,56
7 Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101.5%)	8.362,4	53,61
8 Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	5.485,4	35,16
9 Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	26.271	168,40
10 Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 LED λαμπτήρες συνολικής ισχύος 12kW)	1.242,5	7,96
11 Μικρό παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	1.291,3	8,28

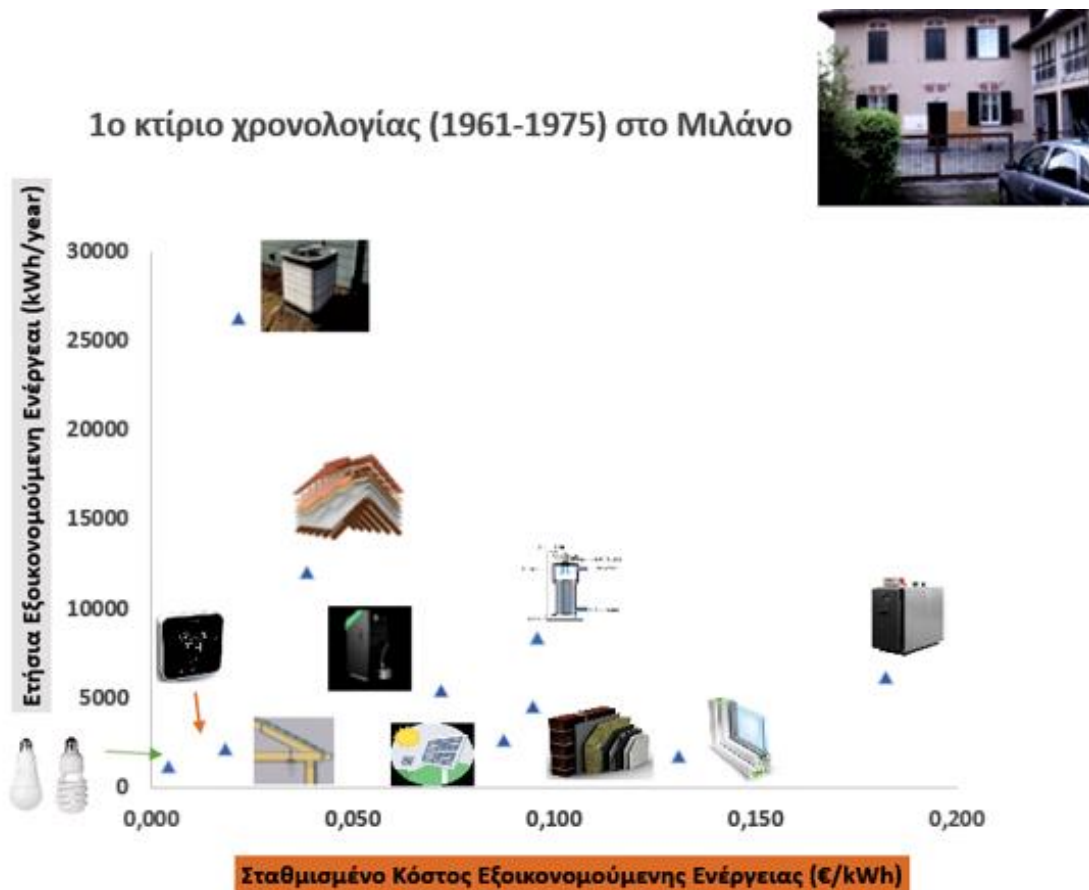
Πίνακας 4. Η εξοικονομούμενη ενέργεια με τη χρήση των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης για την 1^η κατοικία στο Μιλάνο

Όλα τα παραπάνω φαίνονται στον **Πίνακας 5**, όπου παρουσιάζονται όλα τα δεδομένα και τα αποτελέσματα αναλυτικά.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης		Κόστος Επένδυσης (€)	Ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης (€/έτος)	Σταθμισμένο κόστος εξοικονομούμενης ενέργειας-LCSE (€/kWh)
1	Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	8.476,16	-	0,095
2	Μόνωση – Οροφή	9.146,24	-	0,039
3	Διπλά Τζάμια	3.540	-	0,131
4	«Εξυπνος θερμοστάτης»	400	-	0,018
5	Εγκατάσταση ΑΠΕ (1.5kW)	1.500	130	0,088
6	Καυστήρας πετρελαίου ($\eta = 92.5\%$)	13.020	250	0,182
7	Καυστήρας φυσικού αερίου ($\eta = 101.5\%$)	11.025	110,25	0,096
8	Καυστήρας βιομάζας ($\eta = 90\%$)	5.500	25	0,072
9	Αντλία Θερμότητας ($\eta = 431\%$)	6.400	135	0,022
10	Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	60	1,5	0,004
11	Μικρό-παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	100	0	0,027

Πίνακας 5. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την 1^η κατοικία στην πόλη του Μιλάνο

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα διάγραμμα για την 1^η κατοικία της περιόδου 1961-1975 με κριτήριο την ενέργεια που εξοικονομείται από κάθε μέτρο σε σχέση με τον τεχνοοικονομικό δείκτη “LCSE” (Διάγραμμα 4).



Διάγραμμα 4. Σχέση μεταξύ εξοικονομούμενης ενέργειας και δείκτη “LCSE” για κάθε σενάριο για την 1^η κατοικία στην πόλη του Μιλάνου

Στο διάγραμμα αυτό βλέπουμε ότι μέτρα όπως η αλλαγή των λαμπτήρων, η εγκατάσταση «έξυπνου» θερμοστάτη, οι μικροεπισκευές αλλά και εγκατάσταση αντλίας θερμότητας υπερτερούν, καθώς εμφανίζουν χαμηλότερο δείκτη “LCSE”. Αντίθετα μέτρα όπως η εγκατάσταση νέου λέβητα πετρελαίου και η εγκατάσταση των κρυστάλλων των παραθύρων με νεότερα δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτικά μέτρα.

Για την 2^η επιλεγμένη κατοικία περιόδου 1990-2005 με συνολικό εμβαδό επιφανείας 172 m² τα δεδομένα είναι διαφορετικά. Η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση ανέρχεται σε **24.365,3 kWh** ή **141,66 kWh/m²** και η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται ανέρχεται στο ποσό των **2.617,7 kWh** ή **15,22 kWh/m²**, αισθητά μειωμένη στο σύνολο της συγκριτικά με την 1^η κατοικία, κάτι που αναμενόταν καθώς οι συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών μερών του κτιριακού κελύφους ήταν βελτιωμένοι.

Με βάση λοιπόν όλες τις παρεμβάσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω, προκύπτουν τα συνολικά αποτελέσματα για την εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή του κάθε μέτρου. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται στον **Πίνακα 6**.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης	Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας (kWh/έτος)	Ανηγμένη ετήσια εξοικονόμηση (kWh/m ²)
1 Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	601,9	3,50
2 Μόνωση – Οροφή	8.488,6	49,35
3 Διπλά Τζάμια	357,6	2,08
4 «Εξυπνος θερμοστάτης»	4.604,6	26,77
5 Εγκατάσταση ΑΠΕ (1,5kW)	2.617,7	15,22
6 Καυστήρας πετρελαίου (η = 92,5%)	3.684	21,42
7 Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101,5%)	4.990,7	29,02
8 Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	3.274,9	19,04
9 Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	17.790	103,43
10 Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	1.246,4	7,25
11 Μικρό-παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	148,3	0,86

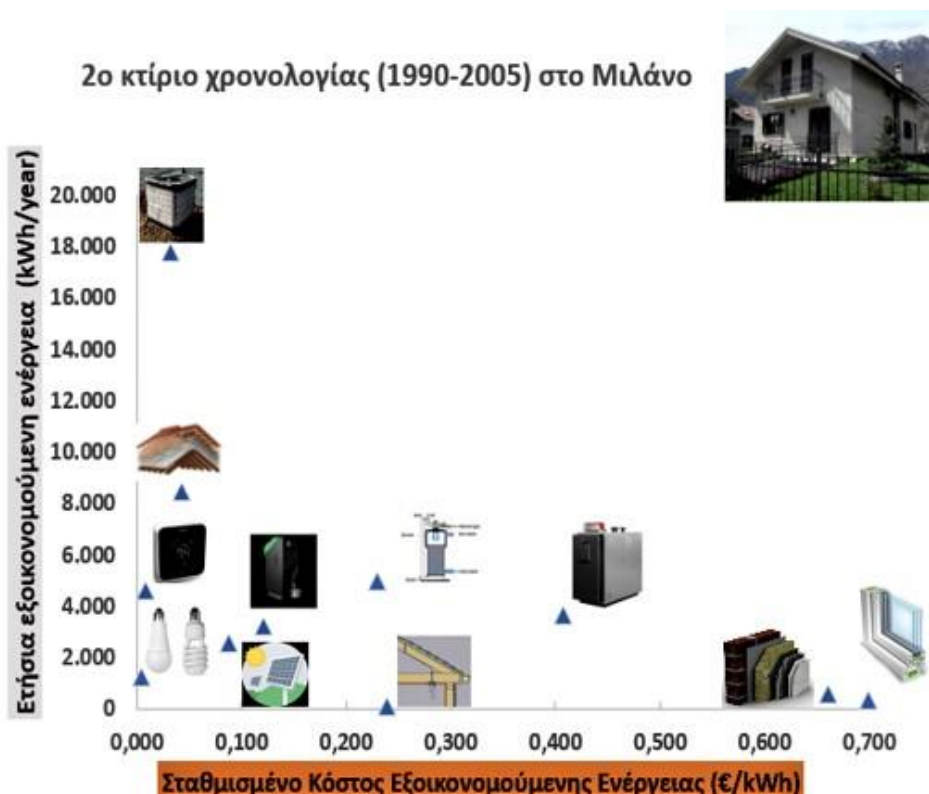
Πίνακας 6. Η εξοικονομούμενη ενέργεια με τη χρήση των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης για τη 2^η κατοικία στην πόλη του Μιλάνο

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε τα δεδομένα που χρειάστηκαν για τον υπολογισμό του δείκτη “LCSE”, καθώς και την τιμή αυτού για κάθε μέτρο ενεργειακής αναβάθμισης. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται στον **Πίνακας 7**.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης	Κόστος Επένδυσης (€)	Ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης (€/έτος)	Σταθμισμένο κόστος εξοικονομούμενης ενέργειας-LCSE (€/kWh)
1 Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	7.795,04	-	0,661
2 Μόνωση – Οροφή	7.080,96	-	0,043
3 Διπλά Τζάμια	3.717	-	0,699
4 «Εξυπνος θερμοστάτης»	400	-	0,009
5 Εγκατάσταση ΑΠΕ (1,5kW)	1.500	130	0,088
6 Καυστήρας πετρελαίου (η = 92,5%)	18.600	250	0,407
7 Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101,5%)	15.750	157,5	0,230
8 Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	5.500	25	0,121
9 Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	6.400	135	0,032
10 Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	60	1,5	0,004
11 Μικρό-παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	100	0	0,238

Πίνακας 7. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη 2^η κατοικία στην πόλη του Μιλάνο

Από τα δεδομένα αυτά προκύπτει και εδώ ένα διάγραμμα για την 2^η κατοικία της περιόδου 1990-2005 με κριτήριο την ενέργεια που εξοικονομείται από κάθε μέτρο σε σχέση με τον τεχνοοικονομικό δείκτη “LCSE” (Διάγραμμα 4).



Διάγραμμα 5. Σχέση μεταξύ εξοικονομούμενης ενέργειας και δείκτη “LCSE” για κάθε σενάριο για τη 2^η κατοικία στην πόλη του Μιλάνου.

Τα αποτελέσματα για τη 2^η κατοικία είναι διαφορετικά, όχι τόσο για τα πιο αποδοτικά μέτρα εξοικονόμησης τα οποία δεν αλλάζουν, αλλά για τα μέτρα που κατατάσσονται τελευταία βάσει του δείκτη “LCSE”. Αυτά είναι η εγκατάσταση των κρυστάλλων των παραθύρων με νεότερα και η εγκατάσταση μόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους.

5.2. Παρίσι

Για την πόλη του Παρισιού επιλέχθηκαν και εδώ δύο κατοικίες για την αξιολόγηση της ενεργειακής τους συμπεριφοράς. Η 1^η κατοικία λοιπόν, έχει χτιστεί μεταξύ 1975-1981 και έχει συνολικό εμβαδό επιφανείας 130m². Η συγκεκριμένη κατοικία λοιπόν παρουσιάζει συνολική θερμική καταναλισκόμενη ενέργεια της τάξης των 19.009,2 kWh ή 146,22 kWh/m², ενώ αντίστοιχα η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανέρχεται σε 3.671,2 kWh ή 28,24 kWh/m².

Τα μέτρα των παρεμβάσεων εξοικονόμησης είναι τα ίδια με αυτά που εφαρμόστηκαν και στις προηγούμενες περιπτώσεις για την πόλη του Μιλάνο. Η μόνη διαφορά αφορά την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων ΑΠΕ που ανέρχεται τώρα στα 3kW. Η εξοικονόμηση λοιπόν αυτών των μέτρων παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 8.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης	Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας (kWh/έτος)	Ανηγμένη ετήσια εξοικονόμηση (kWh/m ²)
1 Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	640,4	4,93
2 Μόνωση – Οροφή	2.400,2	18,46
3 Διπλά Τζάμια	928	7,14
4 «Εξυπνος θερμοστάτης»	10.593	81,48
5 Εγκατάσταση ΑΠΕ (3kW)	3.671,2	28,24
6 Καυστήρας πετρελαίου (η = 92,5%)	5.042,7	38,79
7 Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101,5%)	5.951,6	45,78
8 Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	4.757,9	36,60
9 Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	12.996,1	99,97
10 Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	1.244,9	9,58
11 Μικρό-παραμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	477,9	3,68

Πίνακας 8. Η εξοικονομούμενη ενέργεια με τη χρήση των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης για την 1^η κατοικία στο Παρίσι

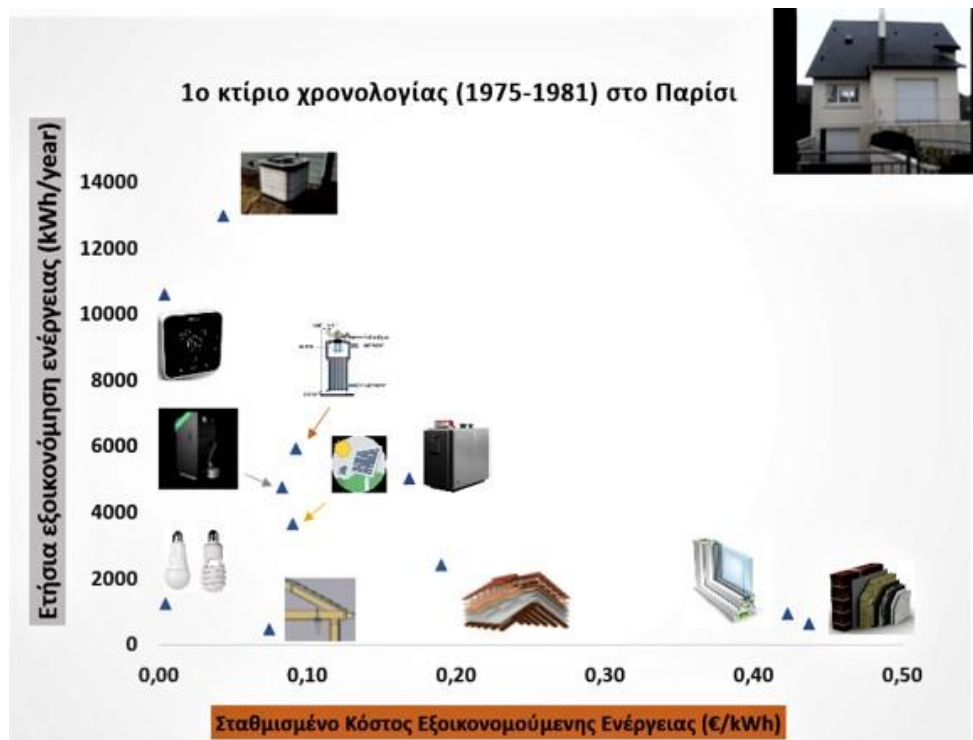
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρειάστηκαν για τον υπολογισμό του δείκτη “LCSE”, καθώς και την τιμή αυτού, για κάθε μέτρο ενεργειακής αναβάθμισης. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται στον **Πίνακα 9**.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης	Κόστος Επένδυσης (€)	Ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης (€/έτος)	Σταθμισμένο κόστος εξοικονομούμενης ενέργειας-LCSE (€/kWh)
1 Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	5.486,8	-	0,437
2 Μόνωση – Οροφή	8.924,96	-	0,190
3 Διπλά Τζάμια	5.841	-	0,423
4 «Εξυπνος θερμοστάτης»	400	-	0,004
5 Εγκατάσταση ΑΠΕ (3kW)	3.000	130	0,090
6 Καυστήρας πετρελαίου (η = 92,5%)	8.928	250	0,169
7 Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101,5%)	7.560	75,6	0,092
8 Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	5.500	25	0,083
9 Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	6.400	135	0,043
10 Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	60	1,5	0,004
11 Μικρό-παραμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	100	0	0,074

Πίνακας 9. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την 1^η κατοικία στην πόλη του Παρισιού

Έχοντας τώρα όλα τα παραπάνω δεδομένα ως βάση προκύπτει το διάγραμμα

LCSE-Εξοικονομούμενη ενέργεια ετησίως για την κατοικία της περιόδου **1975-1981**, όπου παρουσιάζονται ενδεικτικά τα αποδοτικότερα και μη μέτρα εξοικονόμησης (Διάγραμμα 6).



Διάγραμμα 6. Σχέση μεταξύ εξοικονομούμενης ενέργειας και δείκτη "LCSE" για κάθε σενάριο για την 1^η κατοικία στην πόλη του Παρισιού

Από το διάγραμμα της παραπάνω εικόνας προκύπτει ότι τα μέτρα με της αλλαγής των λαμπτήρων, της εγκατάστασης «έξυπνου» θερμοστάτη και της εγκατάστασης της αντλίας θερμότητας είναι τα πιο αποδοτικά. Αντίστοιχα, τα λιγότερα αποδοτικά είναι η εγκατάσταση θερμομόνωσης των εξωτερικών τοίχων και η αλλαγή των κρύσταλλων των παραθύρων.

Ωστόσο, τα δεδομένα για την 2^η επιλεγμένη κατοικία της περιόδου **1990-1999** με συνολικό εμβαδό επιφάνειας 107 m² είναι κάπως διαφορετικά. Η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια για τις ηλεκτρικές συσκευές και τον φωτισμό ανέρχεται σε **7.005 kWh** ή **65,47 kWh/m²** και την θέρμανση της κατοικίας ανέρχεται σε **9.376,1 kWh** ή **87,63 kWh/m²** μειούμενη σημαντικά συγκριτικά με την 1^η κατοικία. Με την εφαρμογή των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης παρουσιάζονται μεγάλα περιθώρια εξοικονόμησης. Η ενέργεια που εξοικονομείται με την χρήση του εκάστοτε μέτρου παρουσιάζεται αναλυτικά στον **Πίνακα 10**.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης	Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας (kWh/έτος)	Ανηγμένη ετήσια εξοικονόμηση (kWh/m ²)
1 Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	232	2,17
2 Μόνωση – Οροφή	480,3	4,49
3 Διπλά Τζάμια	264,7	2,47
4 «Έξυπνος θερμοστάτης»	8.552	79,93
5 Εγκατάσταση ΑΠΕ (3kW)	7.005	65,47
6 Καυστήρας πετρελαίου (η = 92,5%)	1.571,2	14,68

7	Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101,5%)	2.263,2	21,15
8	Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	1.354,4	12,66
9	Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	7.701,1	71,97
10	Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	1.246,1	11,65
11	Μικρό παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	351,8	3,29

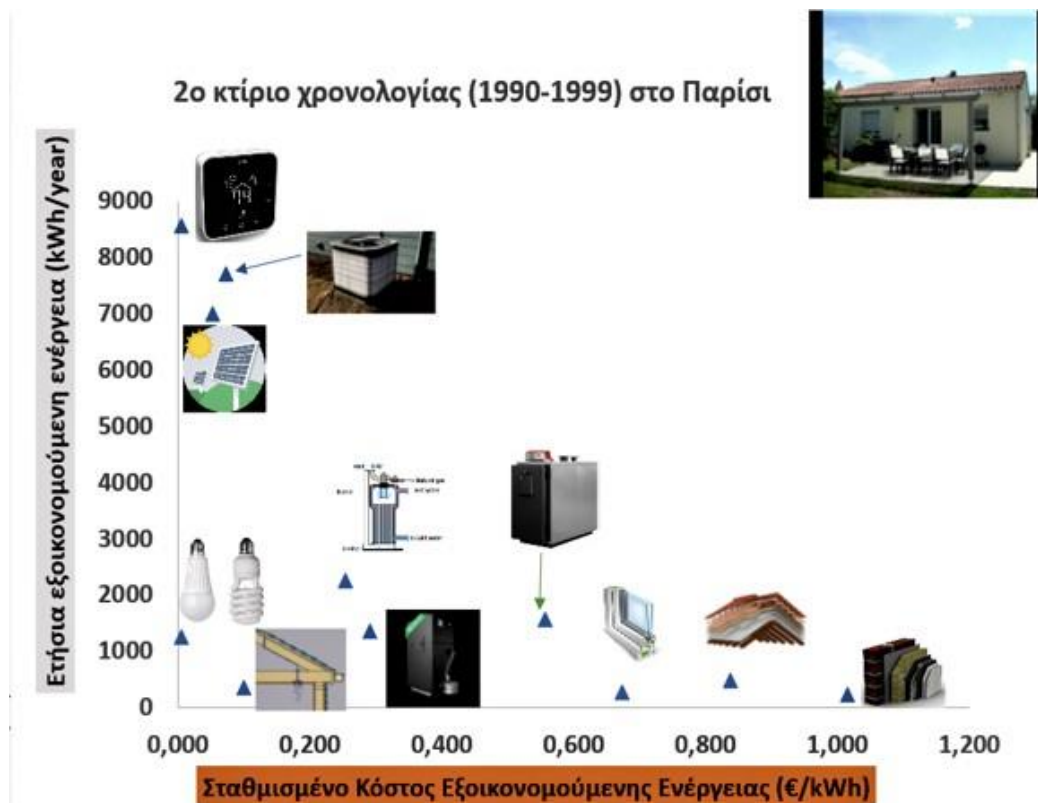
Πίνακας 10. Η εξοικονομούμενη ενέργεια με τη χρήση των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης για τη 2^η κατοικία στο Παρίσι

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρειάστηκαν για τον υπολογισμό του δείκτη “LCSE”, καθώς και την τιμή αυτού, για κάθε μέτρο ενεργειακής αναβάθμισης. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται στον **Πίνακας 11**.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης		Κόστος Επένδυσης (€)	Ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης (€/έτος)	Σταθμισμένο κόστος εξοικονομούμενης ενέργειας-LCSE (€/kWh)
1	Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	4.616,48	-	1,015
2	Μόνωση – Οροφή	7.892,32	-	0,838
3	Διπλά Τζάμια	2.655	-	0,674
4	«Εξυπνος θερμοστάτης»	400	-	0,005
5	Εγκατάσταση ΑΠΕ (3kW)	3.500	130	0,052
6	Καυστήρας πετρελαίου (η = 92,5%)	9.300	250	0,557
7	Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101,5%)	7.875	78,75	0,253
8	Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	5.500	25	0,291
9	Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	6.400	135	0,073
10	Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	60	1,5	0,004
11	Μικρό-παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	100	0	0,100

Πίνακας 11. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη 2^η κατοικία στην πόλη του Παρισιού

Με όλα τα παραπάνω δεδομένα ως βάση προκύπτει το διάγραμμα LCSE-Εξοικονομούμενη ενέργεια ετησίως για την κατοικία της περιόδου **1990-1999**, όπου παρουσιάζονται ενδεικτικά τα αποδοτικότερα και μη μέτρα εξοικονόμησης (**Διάγραμμα 7**).



Διάγραμμα 7. Σχέση μεταξύ εξοικονομούμενης ενέργειας και δείκτη “LCSE” για κάθε σενάριο για τη 2^η κατοικία στην πόλη του Παρισιού

Βλέπουμε και εδώ ότι τα αποδοτικότερα μέτρα είναι οι λαμπτήρες, ο «έξυπνος» θερμοστάτης και η εγκατάσταση συστήματος ΑΠΕ. Στον αντίποδα, στην συγκεκριμένη κατοικία φαίνεται ότι τα μέτρα μόνωσης δεν παρουσιάζουν κάποιο ιδιαίτερο ποσό εξοικονόμησης και είναι τα λιγότερο αποδοτικά μέτρα βάσει του δείκτη “LCSE”.

5.3. Σεβίλλη

Στην Ισπανική επικράτεια επιλέχθηκαν δύο κατοικίες στην περιοχή της Ανδαλουσίας και συγκεκριμένα στην πόλη της Σεβίλλης. Η 1^η κατοικία λοιπόν της περιόδου **1960-1979** με εμβαδό επιφάνειας 171 m², σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του υπολογιστικού εργαλείου “DREEM” εμφανίζει συνολική θερμική κατανάλωση ενέργειας που ισούται με **21.885,5 kWh** ή **128 kWh/m²** και συνολική ηλεκτρική καταναλισκόμενη ενέργεια που ισούται με **2.976,9 kWh** ή **17,41 kWh/m²**. Από την εφαρμογή των μέτρων εξοικονόμησης και σύμφωνα με τις προσομοιώσεις που έγιναν δημιουργείται ο **Πίνακας 12** όπου εκεί παρουσιάζεται η ενέργεια που εξοικονομεί κάθε μέτρο.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης	Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας (kWh/έτος)	Ανηγμένη ετήσια εξοικονόμηση (kWh/m ²)
1 Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	3.747,8	21,92
2 Μόνωση – Οροφή	10.694,5	62,54
3 Διπλά Τζάμια	508,3	2,97
4 «Έξυπνος θερμοστάτης»	3.035,9	17,75

5	Εγκατάσταση ΑΠΕ (1,5kW)	2.976,9	17,41
6	Καυστήρας πετρελαίου (η = 92,5%)	878	5,13
7	Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101,5%)	2.110,1	12,34
8	Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	493,1	2,88
9	Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	1.5723,5	91,95
10	Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	1.246,4	7,29
11	Μικρό-παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	182,6	1,07

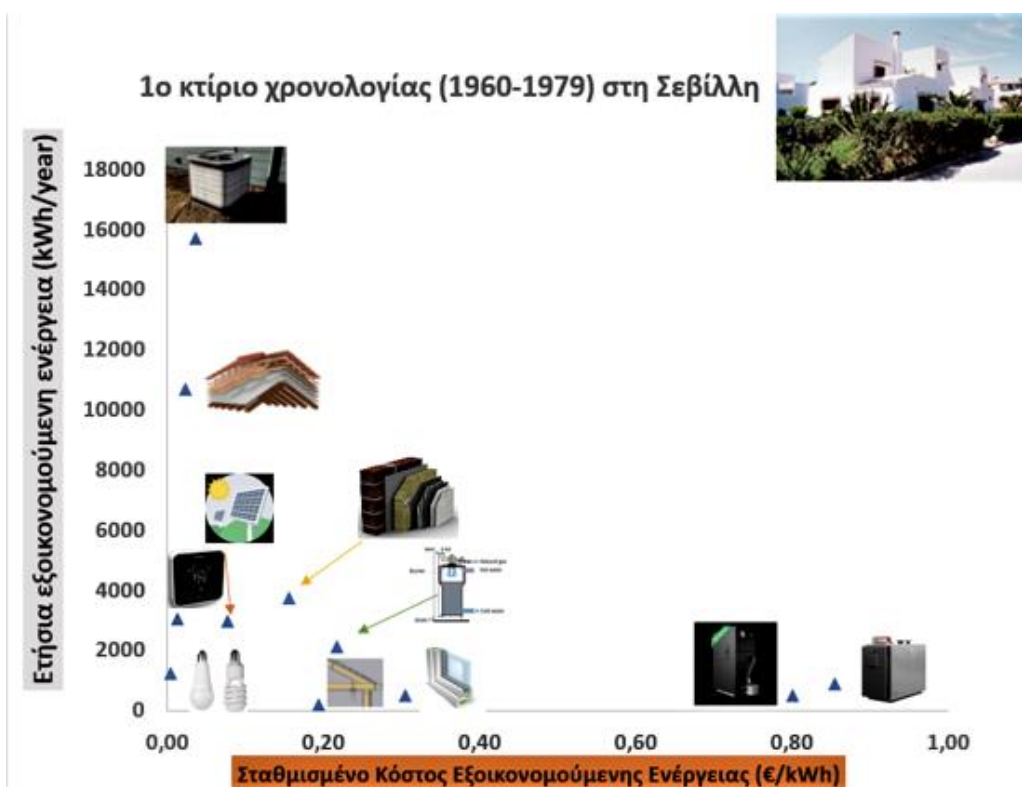
Πίνακας 12. Η εξοικονομούμενη ενέργεια με τη χρήση των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης για την 1^η κατοικία στη Σεβίλλη

Στην συνέχεια υπολογίζουμε τον δείκτη “LCSE”, βάσει συγκεκριμένων παραμέτρων, οι τιμές των οποίων φαίνονται στον **Πίνακα 13**. Τα δεδομένα και εδώ για τον υπολογισμό του τεχνοοικονομικού αυτού δείκτη πηγάζουν από τις πηγές που αναφέρθηκαν προγενέστερα για την περίπτωση της Ιταλίας.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης	Κόστος Επένδυσης (€)	Ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης (€/έτος)	Σταθμισμένο κόστος εξοικονομούμενης ενέργειας-LCSE (€/kWh)
1 Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	11.389,84	-	0,155
2 Μόνωση – Οροφή	4.720,64	-	0,023
3 Διπλά Τζάμια	2.301	-	0,304
4 «Εξυπνος θερμοστάτης»	400	-	0,013
5 Εγκατάσταση ΑΠΕ (1,5kW)	1.500	130	0,078
6 Καυστήρας πετρελαίου (η = 92,5%)	7.440	250	0,854
7 Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101,5%)	6.300	63	0,217
8 Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	5.500	25	0,800
9 Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	6.400	135	0,036
10 Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	60	1,5	0,004
11 Μικρό-παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	100	0	0,194

Πίνακας 13. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την 1^η κατοικία στην πόλη της Σεβίλλης

Στη συνέχεια σχεδιάζεται εκ νέου το διάγραμμα εξοικονομούμενης ενέργειας-LCSE, το οποίο παρουσιάζεται παρακάτω και σχολιάζεται η αποδοτικότητα των μέτρων (**Διάγραμμα 8**).



Διάγραμμα 8. Σχέση μεταξύ εξοικονομούμενης ενέργειας και δείκτη “LCSE” για κάθε σενάριο για την 1^η κατοικία στην πόλη της Σεβίλλης

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι τα μέτρα της εναλλαγής του λέβητα με καινούργιο με καύσιμη ύλη τόσο την βιομάζα, όσο και το πετρέλαιο δεν αποτελούν αποδοτικές λύσεις. Αντίθετα, μέτρα όπως η εναλλαγή των λαμπτήρων με νέους “LED”, η εγκατάσταση ενός «έξυπνο» θερμοστάτη καθώς και εφαρμογή μόνωσης στην οροφή αποτελούν τις πιο αποδοτικές λύσεις.

Για την 2^η κατοικία τώρα της περιόδου **1980-2006** με συνολικό εμβαδό επιφανείας 163 m², η συνολική θερμική καταναλισκόμενη ενέργεια είναι σημαντικά μικρότερη και ανέρχεται σε **7.979,6 kWh** ή **48,95 kWh/m²**, αντίστοιχα η ηλεκτρική ενέργεια που δαπανάται ανέρχεται σε **2.938,8 kWh** ή **18,03 kWh/m²**. Τα μέτρα εξοικονόμησης συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση της κατανάλωσης, με τη συνεισφορά του κάθε μέτρου να παρατίθεται στον **Πίνακα 14**.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης	Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας (kWh/έτος)	Ανηγγεμένη ετήσια εξοικονόμηση (kWh/m ²)
1 Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	428	2,63
2 Μόνωση – Οροφή	239,5	1,47
3 Διπλά Τζάμια	468,3	2,87
4 «Εξυπνος θερμοστάτης»	1.923,5	11,80
5 Εγκατάσταση ΑΠΕ (1,5kW)	2.938,8	18,03
6 Καυστήρας πετρελαίου (η = 92,5%)	260,1	1,60
7 Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101,5%)	625,2	3,84
8 Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	145,8	0,89
9 Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	3.911,6	24,00

10	Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	1.246,2	7,65
11	Μικρό-παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	127,1	0,78

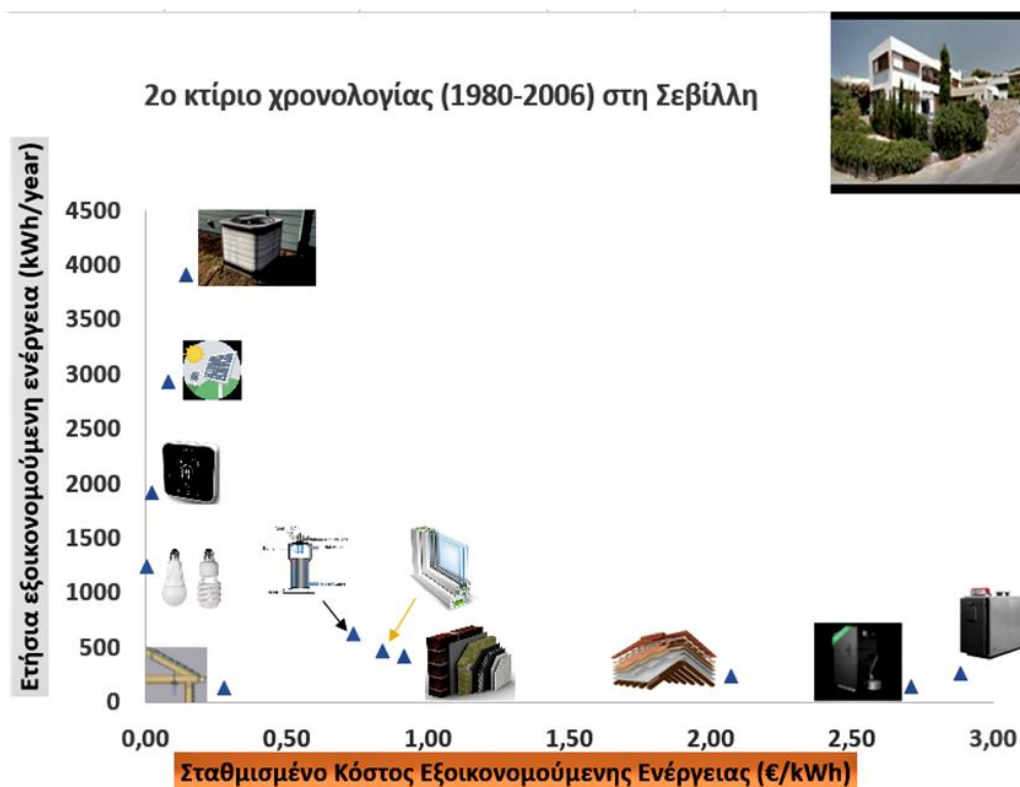
Πίνακας 14. Η εξοικονομούμενη ενέργεια με την χρήση των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης για την 2^η κατοικία στη Σεβίλλη

Στη συνέχεια υπολογίζουμε το δείκτη “LCSE”, με τα αποτελέσματα και τα δεδομένα υπολογισμού να φαίνονται στον **Πίνακα 15**.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης	Κόστος Επένδυσης (€)	Ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης (€/έτος)	Σταθμισμένο κόστος εξοικονομούμενης ενέργειας-LCSE (€/kWh)
1 Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	7.681,52	-	0,916
2 Μόνωση – Οροφή	9.736,32	-	2,074
3 Διπλά Τζάμια	5.841	-	0,838
4 «Εξυπνος θερμοστάτης»	400	-	0,021
5 Εγκατάσταση ΑΠΕ (1,5kW)	1.500	130	0,079
6 Καυστήρας πετρελαίου (η = 92,5%)	7.440	250	2,884
7 Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101,5%)	6.300	63	0,733
8 Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	5.500	25	2,707
9 Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	6.400	135	0,144
10 Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	60	1,5	0,004
11 Μικρό-παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	100	0	0,278

Πίνακας 15. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη 2^η κατοικία στην πόλη της Σεβίλλης

Από τα δεδομένα του **Πίνακα 15** προκύπτει και το **Διάγραμμα 9**, που παρουσιάζει την κατάταξη των εξεταζόμενων μέτρων ως προς την αποδοτικότητά τους.



Διάγραμμα 9. Σχέση μεταξύ εξοικονομούμενης ενέργειας και δείκτη “LCSE” για κάθε σενάριο για τη 2^η κατοικία στην πόλη της Σεβίλλης

Από τα δεδομένα λοιπόν του διαγράμματος της 2^{ης} κατοικίας στην πόλη της Σεβίλλης, παρουσιάζεται μη μεταβολή ως προς τα μη αποδοτικότερα μέτρα, που παραμένουν ίδια με αυτά της κατοικίας της περιόδου **1960-1979**. Ωστόσο, παρατηρείται διαφορά ως προς τα αποδοτικότερα μέτρα όπου η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού ισχύος 1,5kW εμφανίζεται αποδοτικότερη σε σχέση με το μέτρο της μόνωσης της οροφής που υφίσταντο στην περίπτωσης της 1^{ης} επιλεγμένης κατοικίας.

5.4. Δουβλίνο

Στην περίπτωση της πόλης του Δουβλίνου οι κατοικίες και εδώ δεν έχουν σημαντική χρονολογική διαφορά μεταξύ τους. Σε ότι αφορά λοιπόν την 1^η κατοικία της περιόδου **1978-1982** συνολικό εμβαδό επιφανείας 124 m² τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν σημαντικά συγκριτικά με την αντίστοιχη κατοικία της ίδιας περιόδου στην πόλη του Παρισιού.

Πιο αναλυτικά, η συνολική θερμικά καταναλισκόμενη ενέργεια για αυτή την κατοικία ανέρχεται σε **22.547,5 kWh** ή **181,83 kWh/m²** και η αντίστοιχη ηλεκτρική σε **2.448,6 kWh** ή **19,75 kWh/m²**. Όμως, παρά τις μεγάλες καταναλώσεις με την εφαρμογή των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης παρουσιάζονται σημαντικά ποσά εξοικονόμησης, τα ποσά αυτά φαίνονται στον **Πίνακα 16**.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης	Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας (kWh/έτος)	Ανηγγεμένη ετήσια εξοικονόμηση (kWh/m ²)
1 Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	7.599,9	61,29
2 Μόνωση – Οροφή	1.699,7	13,71
3 Διπλά Τζάμια	7.992,7	64,46
4 «Εξυπνος θερμοστάτης»	3.867,5	31,19
5 Εγκατάσταση ΑΠΕ (2,5kW)	2.448,6	19,75
6 Καυστήρας πετρελαίου (η = 92,5%)	6.872,6	55,42
7 Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101,5%)	7.945,9	64,08
8 Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	6.536,2	52,71
9 Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	15.129,5	122,01
10 Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	1.246,1	10,05
11 Μικρό-παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	3.483,8	28,10

Πίνακας 16. Η εξοικονομούμενη ενέργεια με τη χρήση των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης για την 1^η κατοικία στο Δουβλίνο

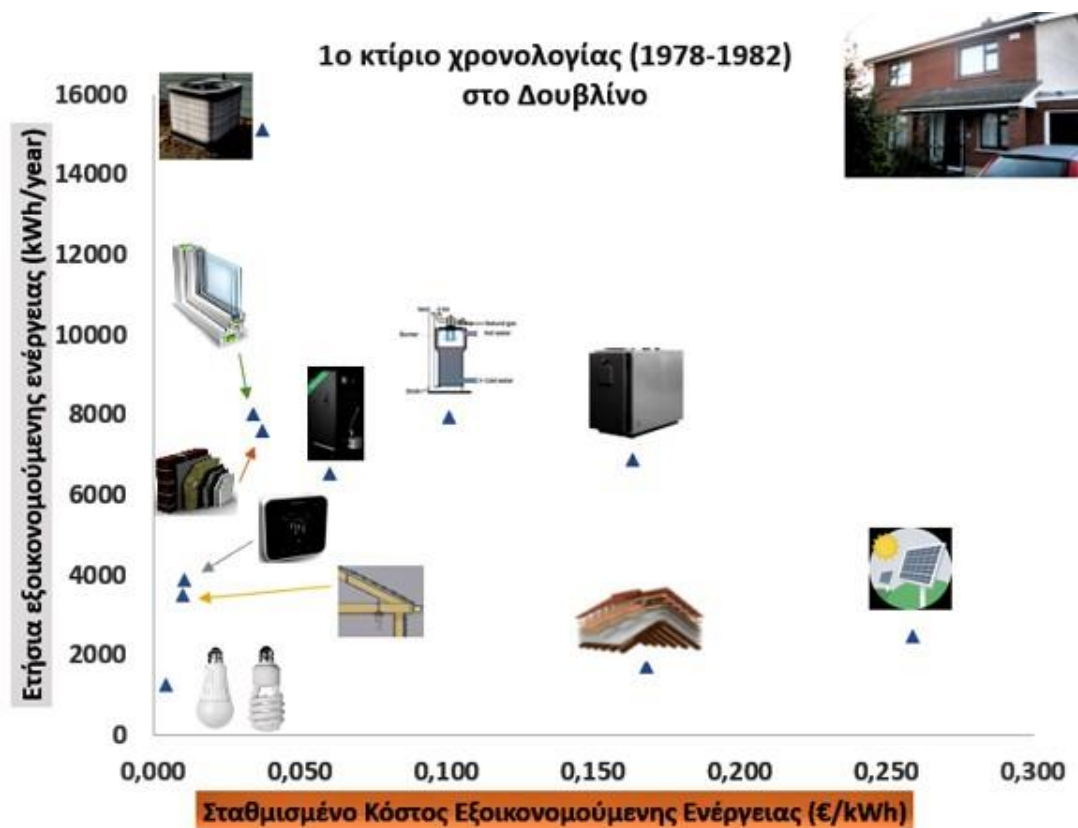
Αξίζει να σημειωθεί, ότι για τη χώρα της Ιρλανδίας λόγω γεωγραφικής θέσης η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μικρότερη συγκριτικά με νοτιότερες χώρες. Έτσι παρατηρείται μία διαφορά, ως προς την εγκατεστημένη ισχύ του φωτοβολταϊκού συστήματος που εξετάζεται που ανέρχεται στα 2,5kW.

Τα δεδομένα για τον υπολογισμό του δείκτη “LCSE” και οι τελικές τιμές αυτού για κάθε μέτρο εξοικονόμησης υπό εξέταση παρουσιάζονται στον Πίνακα 17.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης	Κόστος Επένδυσης (€)	Ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης (€/έτος)	Σταθμισμένο κόστος εξοικονομούμενης ενέργειας-LCSE (€/kWh)
1 Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	5.524,64	-	0,037
2 Μόνωση – Οροφή	5.605,76	-	0,168
3 Διπλά Τζάμια	4.071	-	0,034
4 «Εξυπνος θερμοστάτης»	400	-	0,010
5 Εγκατάσταση ΑΠΕ (2,5kW)	7.500	130	0,259
6 Καυστήρας πετρελαίου (η = 92,5%)	13.020	250	0,164
7 Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101,5%)	11.025	110,25	0,101
8 Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	5.500	25	0,060
9 Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	6.400	135	0,037
10 Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	60	1,5	0,004
11 Μικρό-παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	100	0	0,010

Πίνακας 17. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την 1^η κατοικία στην πόλη του Δουβλίνου

Ο Πίνακας 17 μας δίνει μία εικόνα ως προς την κατάταξη των μέτρων από μια τεχνοοικονομική οπτική βάσει του δείκτη “LCSE”. Αυτό θα γίνει πιο ευκολά κατανοητό στο Διάγραμμα 10.



Διάγραμμα 10. Σχέση μεταξύ εξοικονομούμενης ενέργειας και δείκτη “LCSE” για κάθε σενάριο για την 1^η κατοικία στην πόλη του Δουβλίνου

Από το **Διάγραμμα 10** μπορούμε να εξάγουμε ένα εύκολο συμπέρασμα ως προς την αποδοτικότητα των μέτρων. Αρχικά βλέπουμε ότι εξαιτίας της μειωμένης ηλιοφάνειας στην Ιρλανδική επικράτεια το μέτρο της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πάνελ ακόμα και με αυξημένη εγκατεστημένη ισχύ δεν απέδωσε. Αντίθετα μέτρα όπως η αλλαγή του θερμοστάτη, των λαμπτήρων και μικρές παρεμβάσεις φαίνονται να κρίνονται ως πιο αποδοτικά.

Στην συνέχεια πάμε να δούμε τα αποτελέσματα και για την 2^η επιλεγμένη κατοικία, αυτή χρονολογείται μεταξύ **1994-2004** και έχει συνολικό εμβαδό επιφάνειας 75 m². Αυτή η κατοικία λοιπόν έχει συνολική θερμική καταναλισκόμενη ενέργεια ίση με **12.735 kWh** ή **169,80 kWh/m²** με την αντίστοιχη ηλεκτρική να ανέρχεται σε **2.448,4 kWh** ή **32,65 kWh/m²**. Αν συγκρίνουμε αθροιστικά τις καταναλώσεις ανά τετραγωνικό μέτρο παρατηρείται σχεδόν ίδια κατανάλωση για τις δύο κατοικίες και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η 2^η κατοικία είναι σημαντικά μικρότερη από την 1^η.

Με την εφαρμογή των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης και σε αυτή την περίπτωση του κτιρίου επιτυγχάνεται σημαντικό ποσό εξοικονόμησης ενέργειας. Τα ποσά της ενέργειας που κάθε μέτρο εξοικονομεί φαίνονται αναλυτικά στον **Πίνακα 18**.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης	Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας (kWh/έτος)	Ανηγγεμένη ετήσια εξοικονόμηση (kWh/m ²)
1 Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	479,9	61,29
2 Μόνωση – Οροφή	1.043,5	13,71
3 Διπλά Τζάμια	498,6	64,46
4 «Εξυπνος θερμοστάτης»	2.945,8	31,19
5 Εγκατάσταση ΑΠΕ (2,5kW)	2.448,4	19,75
6 Καυστήρας πετρελαίου (η = 92,5%)	3.482,6	55,42
7 Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101,5%)	4.026,3	64,08
8 Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	3.312,3	52,71
9 Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	8.321	122,01
10 Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	1.246,3	10,05
11 Μικρό-παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	612,8	28,10

Πίνακας 18. Η εξοικονομούμενη ενέργεια με τη χρήση των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης για τη 2^η κατοικία στο Δουβλίνο

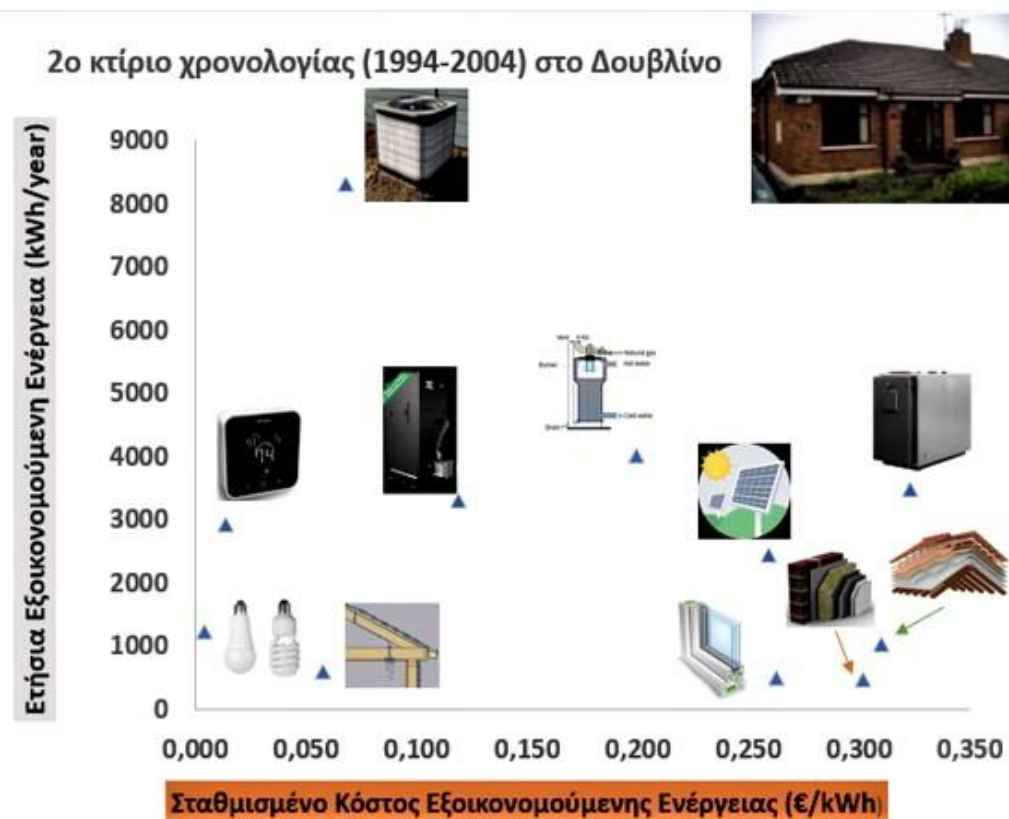
Ακολουθώς, παρουσιάζονται με την σειρά τους τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε για τον υπολογισμό του τεχνοοικονομικού δείκτη “LCSE” και τα οποία φαίνονται στον **Πίνακας 19**.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης	Κόστος Επένδυσης (€)	Ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης (€/έτος)	Σταθμισμένο κόστος εξοικονομούμενης ενέργειας-LCSE (€/kWh)
1 Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	2.838	-	0,302
2 Μόνωση – Οροφή	6.343,36	-	0,310
3 Διπλά Τζάμια	1.947	-	0,262
4 «Εξυπνος θερμοστάτης»	400	-	0,014
5 Εγκατάσταση ΑΠΕ (2,5kW)	7.500	130	0,259
6 Καυστήρας πετρελαίου (η = 92,5%)	13.020	250	0,323
7 Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101,5%)	11.025	110,25	0,199
8 Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	5.500	25	0,119
9 Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	6.400	135	0,068
10 Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	60	1,5	0,004
11 Μικρό-παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	100	0	0,058

Πίνακας 19. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη 2^η κατοικία στην πόλη του Δουβλίνου

Αφού λοιπόν παρουσιάσαμε τα δεδομένα και τα αποτελέσματα για τον υπολογισμό του δείκτη “LCSE”, βάσει της σχέσης που παρουσιάστηκε στην ενότητα

3.5, θα παρουσιαστεί ένα διάγραμμα για τη 2^η κατοικία της περιόδου 1994-2004 με κριτήριο την ενέργεια που εξοικονομείται από κάθε μέτρο σε σχέση με τον τεχνοοικονομικό δείκτη “LCSE” (Διάγραμμα 11).



Διάγραμμα 11. Σχέση μεταξύ εξοικονομούμενης ενέργειας και δείκτη “LCSE” για κάθε σενάριο για την 2^η κατοικία στην πόλη του Δουβλίνου

Τα αποτελέσματα εδώ προς τα πιο αποδοτικά μέτρα δεν διαφέρουν καθόλου, με την εγκατάσταση του θερμοστάτη, την αλλαγή του φωτισμού και μικρο-παραμβάσεις ανακαίνισης να θεωρούνται τα αποδοτικότερα μέτρα. Ωστόσο, αλλάζει η κατανομή στα λιγότερο αποδοτικά, ενώ για την 1^η επιλεγμένη μέτρα όπως εφαρμογή μόνωσης στους τοίχους ήταν σχετικά ψηλά στην κατάταξη ως προς την απόδοση. Τώρα βλέπουμε να θεωρείται το 3^ο λιγότερο αποδοτικό και ακολουθούν η μόνωση της οροφής και η εγκατάσταση ενός νέου λέβητα πετρελαίου.

5.5. Αθήνα

Για την πόλη της Αθήνας η διακριτοποίηση έγινε χρονολογικά και επιλέχθηκαν 2 κατοικίες για την ενεργειακή τους αξιολόγηση και οποίες βρίσκονται στην Β' κλιματική ζώνη σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ. Η 1^η κατοικία χρονολογείται πριν το 1980 και έχει συνολικό εμβαδό επιφάνειας 162m². Ως προς τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων τώρα, προκύπτει ότι η συγκεκριμένη κατοικία καταναλώνει **23.876,3 kWh** ή **147,38 kWh/m²** για τις θερμικές τις ανάγκες και **3.671,2 kWh** ή **22,66 kWh/m²** αντίστοιχα για τις ηλεκτρικές.

Τα μέτρα εξοικονόμησης δείχνουν να αποδίδουν καθώς παρουσιάζουν υψηλά ποσά εξοικονομούμενης ενέργειας. Τα πόσα αυτά φαίνονται πιο αναλυτικά στον Πίνακα 20.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης		Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας (kWh/έτος)	Ανηγγεμένη ετήσια εξοικονόμηση (kWh/m ²)
1	Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	3.586,9	22,14
2	Μόνωση – Οροφή	14.626,2	90,29
3	Διπλά Τζάμια	1.617,6	9,99
4	«Εξυπνος θερμοστάτης»	3.009,1	18,57
5	Εγκατάσταση ΑΠΕ (2kW)	3.671,2	22,66
6	Καυστήρας πετρελαίου (η = 92,5%)	2.727,1	16,83
7	Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101,5%)	4.275,1	26,39
8	Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	2.243,7	13,85
9	Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	16.435,5	101,45
10	Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	1.245,8	7,69
11	Μικρό-παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	371,1	2,29

Πίνακας 20. Η εξοικονομούμενη ενέργεια με τη χρήση των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης για την 1^η κατοικία στην Αθήνα

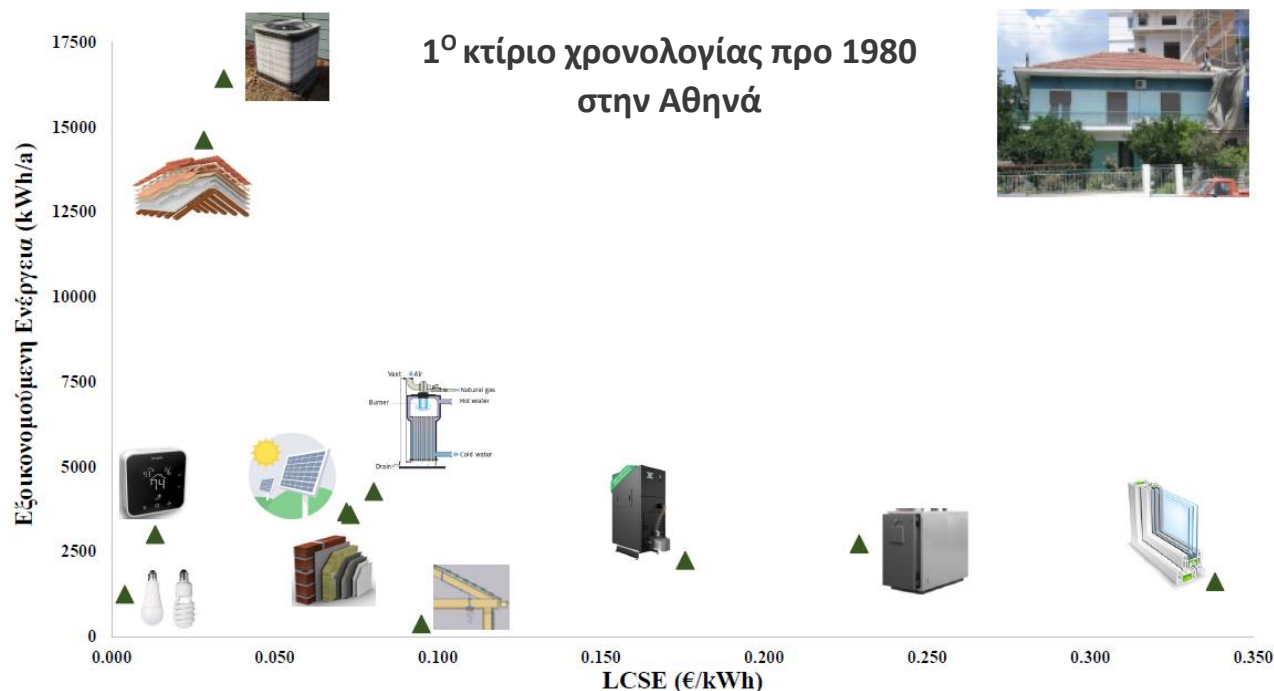
Βλέπουμε και εδώ με την σειρά μας, ότι τα μέτρα εξοικονόμησης αποδίδουν αρκετή εξοικονομούμενη ενέργεια, ωστόσο τόσο οικονομικά αποδοτική είναι αυτή η ενέργεια θα φανεί στην συνέχεια με τον υπολογισμό του δείκτη “LCSE”. Αξίζει να σημειωθεί και εδώ ότι η ισχύς των φωτοβολταϊκών πάνελ διαφέρει συγκριτικά με τις υπόλοιπες εξεταζόμενες περιπτώσεις, καθώς η εγκατεστημένη τους ισχύ αγγίζει τα 2 kW.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα δεδομένα και τα αποτελέσματα για τον υπολογισμό του δείκτη “LCSE” με τις τιμές αυτού να φαίνονται στον **Πίνακας 21**.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης		Κόστος Επένδυσης (€)	Ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης (€/έτος)	Σταθμισμένο κόστος εξοικονομούμενης ενέργειας-LCSE (€/kWh)
1	Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	5.146,24	-	0,073
2	Μόνωση – Οροφή	8.113,6	-	0,028
3	Διπλά Τζάμια	8.142	-	0,338
4	«Εξυπνος θερμοστάτης»	400	-	0,013
5	Εγκατάσταση ΑΠΕ (2kW)	2.000	130	0,072
6	Καυστήρας πετρελαίου (η = 92,5%)	5.580	250	0,229
7	Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101,5%)	4.725	47,25	0,080
8	Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	5.500	25	0,176
9	Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	6.400	135	0,034
10	Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	60	1,5	0,004
11	Μικρό-παρεμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	100	0	0,095

Πίνακας 21. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την 1^η κατοικία στην πόλη της Αθήνας

Τέλος με το **Διάγραμμα 12**, παρουσιάζονται καλύτερα η αποδοτικότητα των μέτρων βάσει LCSE και εξοικονομούμενης ενέργειας.



Διάγραμμα 12. Σχέση μεταξύ εξοικονομούμενης ενέργειας και δείκτη “LCSE” για κάθε σενάριο για την 1η κατοικία πριν το 1980 στην Αθήνα

Στην περίπτωση της κατοικίας τη περίοδο πριν τα 1980, βλέπουμε ότι μέτρα όπως η εγκατάσταση διπλών τζαμιών δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτική και κατατάσσεται τελευταία. Αντίθετα, τα αποδοτικότερα μέτρα συνεχίζουν να είναι οι λαμπτήρες “LED”, ο «έξυπνος» θερμοστάτης και στην συγκεκριμένη περίπτωση φαίνεται ότι και η μόνωση της οροφής κρίνεται ως ένα αρκετά αποδοτικό μέτρο.

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για την 2^η επιλεγμένη κατοικία στην πόλη της Αθήνας. Η κατοικία αυτή χρονολογείται μεταξύ **1981-2000** και έχει συνολικό εμβαδό επιφανείας 293 m². Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για την κατοικία αυτή δείχνουν μια συνολική θερμική κατανάλωσης ενέργειας ίση με **16.091 kWh** ή **54,92 kWh/m²** με την αντίστοιχη ηλεκτρική να ανέρχεται σε **4.712,1 kWh** ή **16,08 kWh/m²**. Τα μέτρα εξοικονόμησης φαίνονται να αποδίδουν αρκετά καλά, με την αντλία θερμότητας να αναδεικνύεται κορυφαία επιλογή από άποψη εξοικονόμησης.

Όλα τα ακριβή ποσά εξοικονόμησης από κάθε εφαρμοζόμενο μέτρο παρουσιάζονται αναλυτικά στον **Πίνακα 22**.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης	Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας (kWh/έτος)	Ανηγμένη ετήσια εξοικονόμηση (kWh/m ²)
1 Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	2.651	9,05
2 Μόνωση – Οροφή	3.226	11,01
3 Διπλά Τζάμια	1.987,1	6,78
4 «Εξυπνος θερμοστάτης»	3.680,1	12,56

5	Εγκατάσταση ΑΠΕ (2kW)	4.713,9	16,09
6	Καυστήρας πετρελαίου (η = 92,5%)	2.126,4	7,26
7	Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101,5%)	3.332,9	11,38
,	Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	1.748,2	5,97
9	Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	12.813,4	43,73
10	Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	1.247,8	4,26
11	Μικρό-παραμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	194,2	0,66

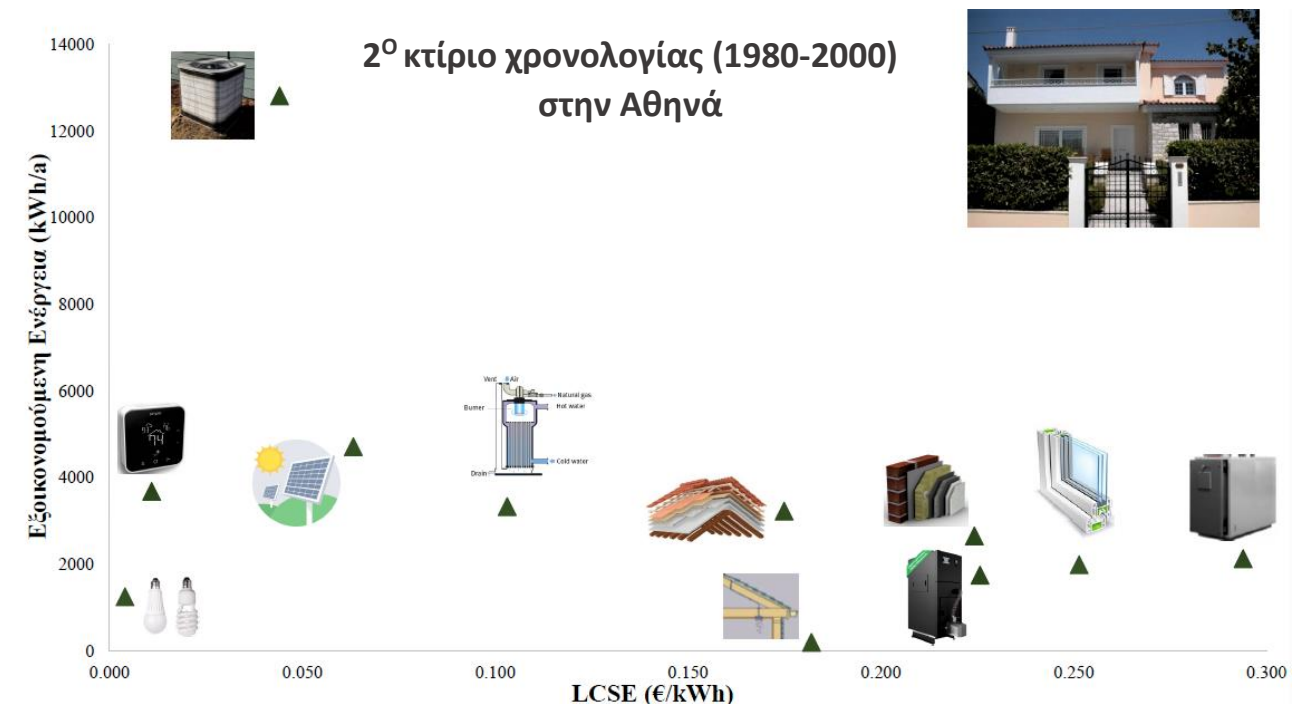
Πίνακας 22. Η εξοικονομούμενη ενέργεια με τη χρήση των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης για την 2^η κατοικία στην Αθήνα

Ακολουθούν τα αποτελέσματα και τα δεδομένα υπολογισμού για το δείκτη “LCSE”, τα οποία με την σειρά τους παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 23.

Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης	Κόστος Επένδυσης (€)	Ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης (€/έτος)	Σταθμισμένο κόστος εξοικονομούμενης ενέργειας-LCSE (€/kWh)
1 Μόνωση – Εξωτερικοί τοίχοι	5.146,24	-	0,073
2 Μόνωση – Οροφή	8.113,6	-	0,028
3 Διπλά Τζάμια	8.142	-	0,338
4 «Εξυπνος θερμοστάτης»	400	-	0,013
5 Εγκατάσταση ΑΠΕ (2kW)	2.000	130	0,072
6 Καυστήρας πετρελαίου (η = 92,5%)	5.580	250	0,229
7 Καυστήρας φυσικού αερίου (η = 101,5%)	4.725	47,25	0,080
8 Καυστήρας βιομάζας (η = 90%)	5.500	25	0,176
9 Αντλία Θερμότητας (η = 431%)	6.400	135	0,034
10 Ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες (12 λαμπτήρες “LED” συνολικής ισχύος 12kW)	60	1,5	0,004
11 Μικρό-παραμβάσεις ανακαίνισης χαμηλού κόστους	100	0	0,095

Πίνακας 23. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη 2^η κατοικία στην πόλη της Αθήνας

Τέλος, ομοίως και με τις προηγούμενες περιπτώσεις που εξετάστηκαν, θα παρουσιαστεί το διάγραμμα κατάταξης των εξεταζόμενων μέτρων για την κατοικία της περιόδου **1981-2000** και θα γίνει σχολιασμός των αποτελεσμάτων (**Διάγραμμα 13**).



Διάγραμμα 13. Σχέση μεταξύ εξοικονομούμενης ενέργειας και δείκτη “LCSE” για κάθε σενάριο για τη 2η κατοικία στην Αθήνα

Τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από το παραπάνω γράφημα είναι αρκετά. Αρχικά βλέπουμε ότι και εδώ τα χαμηλού κόστους επένδυσης μέτρα εμφανίζονται να είναι τα πιο αποδοτικά, με την εγκατάσταση λαμπτήρων “LED” και την αλλαγή του θερμοστάτη να παίρνουν τις πρώτες θέσεις. Συμπληρωματικά, αρκετά αποδοτικό μέτρο χαρακτηρίζεται και η εγκατάσταση αντλίας θερμότητας κυρίως λόγω της μεγάλης εξοικονόμησης που επιτυγχάνει. Στον αντίποδα τώρα, μέτρα όπως η εγκατάσταση ενός νεότερου λέβητα πετρελαίου αλλά και η αντικατάσταση των κρυστάλλων των παραθύρων με διπλά δεν μπορούν να χαρακτηριστούν αποδοτικά.

Είδαμε λοιπόν ότι ανάλογα με την γεωγραφική θέση της εκάστοτε επιλεγμένης κατοικίας, τα γεωμετρικά και θερμικά της χαρακτηριστικά υπάρχει μία διαφοροποίηση στην κατάταξη τους από πλευράς αποδοτικότητας. Τα συμπεράσματα και οι προοπτικές από τα αποτελέσματα των επιλεγμένων μελετών περίπτωσης παρατίθενται στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα-Προοπτικές για περαιτέρω έρευνα

Το κτιριακό δυναμικό της Ευρώπης χαρακτηρίζεται ως «γερασμένο» και ενεργειακά ανεπαρκές με πάνω από 220 εκατομμύρια κτιριακές μονάδες να έχουν κατασκευαστεί πριν το 2001, και το 85% εξ αυτών αναμένεται να υπάρχει τουλάχιστον μέχρι και το 2050. Η Ευρωπαϊκή Ένωση στην προσπάθεια υλοποίησης της Συμφωνίας των Παρισίων έχει θέσει τόσο μεσοπρόθεσμους όσο και μακροπρόθεσμους φιλόδοξους ενεργειακούς και κλιματικούς στόχους για μια κλιματικά ουδέτερη κοινωνία, απαλλαγμένη από εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, μέχρι το 2050.

Τομείς όπως η περαιτέρω διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο ενεργειακό μίγμα της χώρας, καθώς και ο εξηλεκτρισμός των μετακινήσεων αναμένονται να έχουν κυρίαρχο ρόλο στη μετάβαση προς μια κλιματικά ουδέτερη κοινωνία τα επόμενα χρόνια. Ωστόσο, δεν πρέπει να ξεχνάμε την σημασία της ενεργειακής αποδοτικότητας στην κατεύθυνση αυτή και πιο συγκεκριμένα την ανάγκη για ενίσχυση αυτής στον κτιριακό τομέα της Ευρώπης. Τα κτίρια ευθύνονται για το 40 % περίπου της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης και για το 36 % των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την κατανάλωση ενέργειας. Με γνώμονα την υφιστάμενη κατάσταση θα χρειαστεί ένα ριζικό «κύμα» ανακαινίσεων κτιριακών μονάδων τα επόμενα χρόνια για την επίτευξη των μεσοπρόθεσμων πιο φιλόδοξων στόχων που έθεσε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρόσφατα στις 11/12/2020 (επικαιροποιώντας το στόχο του 40% σε 55% για μείωση των αερίων του θερμοκηπίου ως το 2030). Περίπου €275 δις θα χρειαστεί να δαπανούνται ετησίως για την επίτευξη αυτού του στόχου.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, λοιπόν, εστίασαμε σε αυτό ακριβώς το κομμάτι, το οποίο αναμένεται να μας απασχολήσει αρκετά τα επόμενα χρόνια, καθώς μέχρι το 2030 αναμένονται ανακαινίσεις 60.000 κτιρίων κατά μέσο όρο ετησίως στην χώρα μας σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ). Εξετάστηκαν και αξιολογήθηκαν με τεchnοοικονομικά κριτήρια διαφορά σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης για επιλεγμένα κτίρια του οικιακού τομέα σε 5 χώρες κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε ήταν σχετικά απλή βασίστηκε σε τρεις βασικούς άξονες:

- 1) Την ερευνά των δεδομένων,
- 2) την μοντελοποίηση των δεδομένων μέσω κατάλληλου εργαλείου,
- 3) την παραμετροποίηση αυτών των δεδομένων και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων μέσω προσομοιώσεων που έγιναν στο υπολογιστικό εργαλείο “DREEM”.

Η έρευνα των δεδομένων προήλθε κατά κύριο λόγο από το διαδικτυακό εργαλείο “TABULA” και αφορούσε κατά κύριο λόγο τα γεωμετρικά και θερμικά χαρακτηριστικά των επιλεγμένων κατοικιών. Για τη μοντελοποίηση του κτιριακού κελύφους των κατοικιών βασιστήκαμε σε επιλεγμένες εξισώσεις “R-C” και στη θερμοηλεκτρική αναλογία μεταξύ βασικών μεγεθών, όπως αναλύθηκε στην [Ενότητα 3.4.](#) Δημιουργήθηκε ένα υπολογιστικό φύλλο με στόχο να μοντελοποιήσει τη θερμική συμπεριφορά των κατοικιών με την επίλυση των εξισώσεων “R-C”, κερδίζοντας τόσο σε υπολογιστικό φόρτο αλλά και πολυπλοκότητα συγκριτικά με την αναλυτική επίλυση των εξισώσεων. Στη συνέχεια, τα δεδομένα παραμετροποιήθηκαν κατάλληλα και διενεργήθηκαν οι προσομοιώσεις για τα διαφορά σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης και εξήχθησαν τα αποτελέσματα. Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν μέσω του υπολογιστικού εργαλείου διαχείρισης της ενεργειακής ζήτησης “DREEM”, καθώς μας παρείχε πληθώρα πλεονεκτημάτων συγκριτικά με τα υφιστάμενα εργαλεία και τις μεθόδους που αυτά ακολουθούν. Τα κύρια προνόμια αφορούν την αρθρωτή δομή του μοντέλου προσομοίωσης που μειώνει την πολυπλοκότητα των υπολογισμών λόγω της διεπιστημονικής του φύσης και των απαιτήσεων επεξεργασίας των

δεδομένων εισόδου.

Η μεθοδολογία αυτή εφαρμόστηκε σε 5 διαφορετικά μεγάλα αστικά κέντρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης και συγκεκριμένα στις πόλεις του Μιλάνο, του Παρισιού, της Σεβίλλης, του Δουβλίνου, και της Αθήνας. Οι επιλεγμένες τοποθεσίες αντιπροσωπεύουν ένα δείγμα της κατανομής των χωρών στην Ευρωπαϊκή επικράτεια και φέρουν διαφορετικά γεωγραφικά και κλιματικά χαρακτηριστικά. Η επιλογή των συγκεκριμένων χωρών και πόλεων έγινε με σκοπό την πληρέστερη εξέταση των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης βάσει του τεχνοοικονομικού δείκτη Σταθμισμένου Κόστους Εξοικονομούμενης Ενέργειας ("**Levelized Cost of Saved Energy-LCSE**"), σε χώρες με διαφορετικά κλιματικά δεδομένα για την εξαγωγή πληρέστερων αποτελεσμάτων στην Ευρωπαϊκή επικράτεια. Επιλέχθηκαν κατοικίες με χρόνο κτίσης πριν το 1980 αλλά και μετά τη χρονολογία αυτή, με σκοπό την ανάδειξη της σημασίας των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης, καθώς εξαιτίας την απουσίας κάποιου κανονισμού ενεργειακής απόδοσης η πρώτη ομάδα κατοικιών εμφάνιζε αρκετά μεγάλες καταναλώσεις και ελλιπή ενεργειακή συμπεριφορά.

Τα αποτελέσματα από την υπάρχουσα εργασία μας έδειξαν σημαντική διαφορά στην τελική κατανάλωση ενέργειας μεταξύ των παλαιότερων και των νεότερων χρονικά επιλεγμένων κατοικιών. Αυτό ήταν κάτι αναμενόμενο, διότι σε όλες τις περιπτώσεις τα νεότερα κτίρια εμφάνιζαν καλύτερα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών μερών. Ακολούθως για τα μέτρα εξοικονόμησης παρατηρήθηκε σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις ότι βάσει του τεχνοοικονομικού δείκτη Σταθμισμένου Κόστους Εξοικονομούμενης Ενέργειας ("**Levelized Cost of Saved Energy-LCSE**"), οι χαμηλότερου κόστους παρεμβάσεις, όπως η εναλλαγή των λαμπτήρων με νέους τεχνολογίας "LED", καθώς και η εγκατάσταση ενός «έξυπνου» θερμοστάτη αποτελούν τις αποδοτικότερες λύσεις. Τα μέτρα αυτά είναι ανεξάρτητα και δεν εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις θερμικές και κλιματικές συνθήκες, καθώς τότε θα υπήρχε σημαντική διαφοροποίηση ως προς την κατάταξη τους στις επιλεγμένες μελέτες περίπτωσης. Με την βοήθεια του "DREEM" και της ποσοτικοποίησης της εξοικονομούμενης ενέργειας των εξεταζόμενων ενεργειακών σεναρίων, υπογραμμίζεται η σημασία της ενεργειακής διαχείρισης ιεραρχώντας τα πιο αποδοτικά μέτρα. Επιπλέον, υψηλό δείκτη αποδοτικότητας, παρουσίασε και η εγκατάσταση μιας αντλίας θερμότητας, η οποία, παρά το υψηλό κόστος επένδυσης που παρουσιάζει, επιτυγχάνει υψηλά ποσοστά εξοικονόμησης, αντισταθμίζοντας έτσι, στη διάρκεια ζωής της, τις υψηλές αρχικές δαπάνες. Στον αντίποδα η εγκατάσταση ενός νέας τεχνολογίας καυστήρα πετρελαίου δείχνει να έχει χαμηλή αποδοτικότητα ειδικότερα στις νοτιότερες γεωγραφικά επιλεγμένες κατοικίες.

Επιπλέον, παρατηρήθηκε εναλλαγή ως προς τα μέτρα που κατατάσσονται ανάμεσα στα πιο αποδοτικά και τα λιγότερο αποδοτικά, η οποία είχε να κάνει κυρίως με τα γεωμετρικά και θερμικά χαρακτηριστικά των κατοικιών, αλλά και με τη γεωγραφική τους θέση. Συγκεκριμένα μέτρα όπως η εφαρμογή μόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους για τις επιλεγμένες κατοικίες στην πόλη του Παρισιού με αρχικά χαμηλούς συντελεστές U-Values έδειξαν ότι έχουν χαμηλή τεχνοοικονομική αποδοτικότητα. Αντιθέτως, για τις επιλεγμένες κατοικίες στην Ελλάδα που είχαν και υψηλότερους συντελεστές U-values στο εξωτερικούς τοίχους το μέτρο της εξωτερικής μόνωσης παρουσίασε συγκριτικά καλύτερη απόδοση. Επιπλέον, μέτρα όπως η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ στις νοτιότερες γεωγραφικά πόλεις έδειξαν να είναι πιο αποδοτικά συγκριτικά με τις βορειότερες, κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο λόγω της υψηλότερης άμεσης προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για την πόλη της Σεβίλλης με την μεγαλύτερη ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (Direct Normal Irradiation-DNI) 2.392,79 kWh/m² για το 2016 και για εγκατάσταση φωτοβολταϊκού ισχύος 1,5 kW, ο δείκτης του LCSE ανέρχεται σε 0,078 €/kWh ενώ για την πόλη του Δουβλίνου με την χαμηλότερη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία DNI 716,56 kWh/m² για το 2016 και για εγκατάσταση φωτοβολταϊκού ισχύος 2,5 kW, ο δείκτης LCSE ανέρχεται σε 0,259 €/kWh [58]. Τέλος, σημαντικό ρόλο στα αποτελέσματα

έπαιξε και συνολική θερμαινόμενη επιφάνεια των επιλεγμένων κατοικιών, με τα αποτελέσματα να δείχνουν μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας σε κατοικίες με μεγαλύτερη θερμαινόμενη επιφάνεια.

Με την παρούσα εργασία, λοιπόν, είναι δυνατό να δοθεί μια πιο συγκεκριμένη οπτική στα μέτρα εξοικονόμησης που είναι πιο αποδοτικά από την άποψη του κόστους και της εξοικονομούμενης ενέργειας. Είναι δυνατό δηλαδή να αποτελέσει εργαλείο υποστήριξης χάραξης πολιτικών και διαμόρφωσης αποφάσεων σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο στην κατεύθυνση για την επίτευξη των κλιματικών και ενεργειακών στόχων. Η παρουσίαση της τεχνοοικονομικής αποδοτικότητας διαφορετικών εξεταζόμενων μέτρων σε διαφορετικές γεωγραφικές συνθήκες, μπορεί να συμβάλλει σε έναν πιο εύστοχο σχεδιασμό πολιτικών, λαμβάνοντας υπόψιν τα σημαντικά ποσά που θα χρειαστεί να επενδυθούν στον κτιριακό τομέα τα επόμενα χρόνια, εξοικονομώντας και ενέργεια και ένα σημαντικό ποσό πόρων σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο.

Κλείνοντας, ως αντικείμενο και προοπτικές για περαιτέρω έρευνα προτείνεται η εφαρμογή της μεθοδολογίας και η εξέταση και άλλων κατοικιών και σε άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Με αυτόν τον τρόπο θα ήταν δυνατό να μπορέσουμε να έχουμε μια εικόνα στο πως διαφοροποιείται η κατανάλωση του κτιριακού δυναμικού σε Ευρωπαϊκό επίπεδο ή εθνικό επίπεδο. Συμπληρωματικά, η εξέταση επιπλέον μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης για τις επιλεγμένες κατοικίες, με σκοπό την αναλυτικότερη κατάταξή τους από πλευράς οικονομικής αποδοτικότητας. Με τον τρόπο αυτό, οι φορείς χάραξης πολιτικών θα μπορέσουν να εστιάσουν σε συγκεκριμένα μέτρα ενεργειακής αναβάθμισης, έτσι ώστε να ικανοποιηθούν οι ενεργειακοί και κλιματικοί στόχοι σε εθνικό επίπεδο, με λιγότερες δαπάνες δημοσίου χρήματος, ως μορφή επιχορήγησης ή άλλων κινήτρων.

Βιβλιογραφία

- [1] U. Nations, “UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE,” 1992. Accessed: Oct. 22, 2020. [Online]. Available: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>.
- [2] M. R. Allen *et al.*, “Framing and Context. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the,” 2018. [Online]. Available: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_Chapter1_Low_Res.pdf.
- [3] “How will we pay for the European Green Deal? - Energy Post.” <https://energypost.eu/how-will-we-pay-for-the-european-green-deal/> (accessed Oct. 02, 2020).
- [4] Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, *Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία- Ψήφισμα του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου της 15ης Ιανουαρίου 2020 σχετικά με την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (2019/2956(RSP))*. 2020.
- [5] European Commission, “Clean energy. The European Green Deal,” no. December, 2019, doi: 10.1016/B978-0-12-369550-5.00005-7.
- [6] “Energy conversion efficiency - Wikipedia.” https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_conversion_efficiency (accessed Nov. 04, 2020).
- [7] International Energy Agency, “Market Report Series: Energy Efficiency 2018, Analysis and outlooks to 2040.,” 2018. [Online]. Available: <https://www.sipotra.it/old/wp-content/uploads/2018/11/Energy-efficiency-2018.pdf>.
- [8] “Energy performance of buildings directive | Energy.” https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en (accessed Oct. 02, 2020).
- [9] M. Röck *et al.*, “Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation,” *Appl. Energy*, vol. 258, no. June 2019, p. 114107, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114107.
- [10] “EU Buildings Factsheets | Energy.” https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-factsheets_en (accessed Oct. 02, 2020).
- [11] A. Esser, A. Dunne, T. Meeusen, S. Quaschnig, and W. Denis, “Comprehensive study of building energy renovation activities and the uptake of nearly zero-energy buildings in the EU Final report,” 2019. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1.final_report.pdf.
- [12] Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, *ΟΔΗΓΙΑ (ΕΕ) 2018/844 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ*, vol. 2018. 2018, pp. 75–91.
- [13] The Coalition for Energy Savings, “Feedback on the roadmap for a Renovation Wave initiative for public and private buildings,” pp. 1–4, 2020, [Online]. Available: [http://energycoalition.eu/sites/default/files/20200608_Coalition for Energy Savings_Feedback on Roadmap for a Renovation Wave_final.pdf](http://energycoalition.eu/sites/default/files/20200608_Coalition%20for%20Energy%20Savings_Feedback%20on%20Roadmap%20for%20a%20Renovation%20Wave_final.pdf).
- [14] BPIE, “Financing energy renovation in buildings,” 2019. [Online]. Available: http://bpie.eu/wp-content/uploads/2019/11/EUKI-Financing-energy-renovation-in-buildings_Nov2019.pdf.
- [15] “Στα 850 εκατ. ευρώ ο προϋπολογισμός του νέου «Εξοικονομώ» που θα ξεκινήσει το φθινόπωρο.” <https://energypress.gr/news/sta-850-ekat-eyro-o-proypologismos-toy-neoy-exoikonomo-poy-tha-xekinisei-fthinoporo> (accessed Oct. 02, 2020).
- [16] BPIE, “POLICY FACTSHEET: REDUCING ENERGY POVERTY WITH NATIONAL RENOVATION STRATEGIES : A UNIQUE OPPORTUNITY,” 2020. [Online]. Available: http://bpie.eu/wp-content/uploads/2017/04/Factsheet_A-170420v4.compressed.pdf.
- [17] Ε. Επιτροπή, “ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ, ΤΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ, ΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ, ΤΗΝ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΤΡΑΠΕΖΑ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ,” 2016. [Online]. Available: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d2648a37-c626-11e6-a6db-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_2&format=PDF.
- [18] Thomas Boermans (Ecofys Germany); Carsten Petersdorff (Ecofys Germany), “U-VALUES FOR BETTER ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS Report established by ECOFYS for EURIMA,” 2007, [Online]. Available:

- https://www.eurima.org/uploads/ModuleXtender/Publications/13/EURIMA-ECOFYS_VII_report_p1-651.pdf.
- [19] “National energy and climate plans (NECPs) | Energy.” https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/national-energy-climate-plans_en (accessed Oct. 23, 2020).
- [20] “EU Building Stock Observatory | Energy.” https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/eu-bso_en (accessed Oct. 09, 2020).
- [21] Κακάτσιος Ξενοφών, *Αρχές Μεταφοράς Θερμότητας και Μάζης*, Πρώτη. Αθήνα: Εκδόσεις Συμμεών, 2006.
- [22] Ιωάννης Κ. Νικολός, “Σημειώσεις Μαθήματος Μετάδοση Θερμότητας.” Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2007, [Online]. Available: http://users.uoi.gr/vkalkpak/files/Notes_Heat-Transfer_Nikolos.pdf.
- [23] Paschkis Victor., “Periodic Heat Flow in Building Walls Determined by Electrical Analog Method,” *ASHVE Trans.*, vol. 48, 1942.
- [24] C. Peng and Z. Wu, “Thermoelectricity analogy method for computing the periodic heat transfer in external building envelopes,” *Appl. Energy*, vol. 85, no. 8, pp. 735–754, 2008, doi: 10.1016/j.apenergy.2008.02.003.
- [25] “What is Thermal Resistance - Thermal Resistivity - Definition.” <https://www.thermal-engineering.org/what-is-thermal-resistance-thermal-resistivity-definition/> (accessed Oct. 02, 2020).
- [26] G. Parnis, “Building Thermal Modelling Using Electric Circuit Simulation,” 2012.
- [27] V. Stavrakas and A. Flamos, “A modular high-resolution demand-side management model to quantify benefits of demand-flexibility in the residential sector,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 205, no. November 2019, p. 112339, 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2019.112339.
- [28] VDI, “Calculation of transient thermal response of rooms and buildings - modelling of rooms-Guideline VDI 6007-1,” 2012.
- [29] L. Rouvel and F. Zimmermann, “Berechnung des instationären thermischen Gebäudeverhaltens mittels des 2-Kapazitäten-Modells,” vol. 55, no. April, 2014.
- [30] N. A. Spyridaki, V. Stavrakas, Y. Dendramis, and A. Flamos, “Understanding technology ownership to reveal adoption trends for energy efficiency measures in the Greek residential sector,” *Energy Policy*, vol. 140, no. March, p. 111413, 2020, doi: 10.1016/j.enpol.2020.111413.
- [31] U. Filippi Oberegger, R. Perneti, and R. Lollini, “Bottom-up building stock retrofit based on levelized cost of saved energy,” *Energy Build.*, vol. 210, no. January, 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.109757.
- [32] Ministry of Economic Development, Ministry of the Environment and Protection of Natural Resources and the Sea, and Ministry of Infrastructure and Transport, “Integrated National Energy and Climate-Italy,” Rome, 2019. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/it_final_necp_main_en.pdf.
- [33] “Integrated National Energy and Climate Plan for France,” 2020. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/fr_final_necp_main_en.pdf.
- [34] Ministerio para la Transición ecológica, “Plan Nacional Integrado de Energía y Clima,” 2019. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/es_final_necp_main_en.pdf.
- [35] C. and C. Department of the Environment, “National Energy & Climate Plan 2021-2030,” Ireland, 2020. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ie_final_necp_main_en.pdf.
- [36] N. A. Spyridaki, N. Kleanthis, D. Tzani, M. D. Matosović, and A. Flamos, “A city capability assessment framework focusing on planning, financing, and implementing sustainable energy projects,” *Sustain.*, vol. 12, no. 20, pp. 1–23, 2020, doi: 10.3390/su12208447.
- [37] “TABULA WebTool.” <http://webtool.building-typology.eu/#bm> (accessed Oct. 09, 2020).
- [38] ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, “Θερμοφυσικές Ιδιότητες Δομικών Υλικών Και Έλεγχος της Θερμομονωτικής Επάρκειας των κτηρίων,” *T.O.T.E.E 20701-2/2017*, vol. Α' έκδοση, pp. 1–90, 2017, [Online]. Available: <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/totee/TOTEE-20701-2-Final-%D4%C5%C5....pdf>.
- [39] I. Ballarini, V. Corrado, F. Madonna, S. Paduos, and F. Ravasio, “Energy refurbishment of the Italian residential building stock: energy and cost analysis through the application of the building typology,” *Energy Policy*, vol. 105, no. January, pp. 148–160, 2017, doi:

- 10.1016/j.enpol.2017.02.026.
- [40] F. Harkouss, F. Fardoun, and P. H. Biwole, “Multi-objective optimization methodology for net zero energy buildings,” *J. Build. Eng.*, vol. 16, no. December, pp. 57–71, 2018, doi: 10.1016/j.job.2017.12.003.
- [41] L. M. López-Ochoa, J. Las-Heras-Casas, L. M. López-González, and P. Olasolo-Alonso, “Towards nearly zero-energy buildings in Mediterranean countries: Energy Performance of Buildings Directive evolution and the energy rehabilitation challenge in the Spanish residential sector,” *Energy*, vol. 176, pp. 335–352, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.03.122.
- [42] M. C. Peel, B. L. Finlayson, and T. A. McMahon, “Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification,” *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 11, no. 5, pp. 1633–1644, 2007, doi: 10.5194/hess-11-1633-2007.
- [43] “Climate of Ireland - Wikipedia.” https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_of_Ireland (accessed Oct. 13, 2020).
- [44] N. Papamanolis, “The first indications of the effects of the new legislation concerning the energy performance of buildings on renewable energy applications in buildings in Greece,” *Int. J. Sustain. Built Environ.*, vol. 4, no. 2, pp. 391–399, 2015, doi: 10.1016/j.ijse.2015.06.001.
- [45] Technical Chamber of Greece, “Technical Directive 20701-1: National Specifications of Parameters for Calculating the Energy Performance of Buildings and the Issue of the Energy Performance Certificate,” 2014.
- [46] K. G. Droutsas, S. Kontoyiannidis, E. G. Dascalaki, and C. A. Balaras, “Ranking cost effective energy conservation measures for heating in Hellenic residential buildings,” *Energy Build.*, vol. 70, pp. 318–332, 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.11.029.
- [47] T. Zachariadis, A. Michopoulos, Y. Vougiouklakis, K. Piripitsi, C. Ellinopoulos, and B. Struss, “Determination of cost-effective energy efficiency measures in buildings with the aid of multiple indices,” *Energies*, vol. 11, no. 1, pp. 1–20, 2018, doi: 10.3390/en11010191.
- [48] European Commission, “Green Public Procurement Thermal Insulation Technical Background Report,” Brussels, 2010. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/thermal_insulation_GPP_background_report.pdf.
- [49] J. Rosenow, P. Guertler, S. Sorrell, and N. Eyre, “The remaining potential for energy savings in UK households,” *Energy Policy*, vol. 121, no. March, pp. 542–552, 2018, doi: 10.1016/j.enpol.2018.06.033.
- [50] Σ. Ε. Φωτοβολταϊκών, “Ενας πρακτικός οδηγός για επενδύσεις στα φωτοβολταϊκά,” 2020. [Online]. Available: https://helapco.gr/pdf/HELAPCO_PV_Investment_Guide.pdf.
- [51] A. Ghafoor and A. Munir, “Design and economics analysis of an off-grid PV system for household electrification,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 42, no. July 2020, pp. 496–502, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.10.012.
- [52] H. J. J. Yu, “A prospective economic assessment of residential PV self-consumption with batteries and its systemic effects: The French case in 2030,” *Energy Policy*, vol. 113, no. November 2017, pp. 673–687, 2018, doi: 10.1016/j.enpol.2017.11.005.
- [53] D. Connolly, K. Hansen, and D. Drysdale, “Stratego. Applying the Ecofys Results in the Energy Modelling and the Cost of Heat Savings for the United Kingdom. WP 2. Background Report 3b,” 2015, [Online]. Available: <http://heatroadmap.eu/resources/STRATEGO/STRATEGO WP2 - Background Reports - Combined.pdf>.
- [54] European Commission, “Mapping and analyses of the current and future (2020-2030) heating/cooling fuel deployment (fossil/renewables),” Brussels, 2016. Accessed: Oct. 21, 2020. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Report WP1.pdf>.
- [55] “Lighting – Analysis - IEA.” <https://www.iea.org/reports/lighting> (accessed Oct. 21, 2020).
- [56] K. E. Enongene, P. Murray, J. Holland, and F. H. Abanda, “Energy savings and economic benefits of transition towards efficient lighting in residential buildings in Cameroon,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 78, no. April 2016, pp. 731–742, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.04.068.
- [57] G. Evola, G. Margani, and L. Marletta, “Energy and cost evaluation of thermal bridge correction in Mediterranean climate,” *Energy Build.*, vol. 43, no. 9, pp. 2385–2393, 2011, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.05.028.
- [58] “JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission.” https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR (accessed Jan. 06, 2021).