



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩ

ΤΟΜΕΑΣ : Ηλεκτρικών Βιομηχανικών

Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ
ΕΥΡΩΣΤΙΑΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Ρωσσίδη Χαράλαμπου

Επιβλέπων καθηγητής: Ευάγγελος Μαρινάκης

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος, 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ : Ηλεκτρικών Βιομηχανικών
Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ
ΕΥΡΩΣΤΙΑΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Ρωσσίδη Χαράλαμπου

Επιβλέπων Καθηγητής: Ευάγγελος Μαρινάκης

Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 01/03/2024

.....
Ευάγγελος Μαρινάκης

Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Δημήτριος Ασκούνης

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος, 2024

.....
Ρωσσίδης Χαράλαμπος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ρωσσίδης Χαράλαμπος 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Η κλιματική αλλαγή είναι ένα πρόβλημα που προβληματίζει τις σύγχρονες κοινωνίες. Η αυξανόμενη συχνότητα των ακραίων καιρικών φαινομένων, το λιώσιμο των πάγων αλλά και η αύξηση της θερμοκρασίας είναι μερικές από τις συνέπειες. Για τον λόγο αυτό απαιτούνται ενέργειες από την κοινωνία για άμεση αντιμετώπιση του προβλήματος.

Ένας από τους πολλούς τρόπους για μείωση των παραγόμενων ρύπων που παράγει η ανθρωπότητα είναι αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και της θερμικής ευρωστίας των κτιρίων. Η παρούσα διπλωματική έχει σαν σκοπό την παραμετρική ανάλυση της θερμικής ευρωστίας κτιρίων χρησιμοποιώντας δεδομένα από προσομοιώσεις. Θερμική ευρωστία στα κτήρια ορίζεται σαν την ικανότητα του σπιτιού να διατηρεί την εσωτερική του θερμοκρασία όσο το δυνατό πιο ανεξάρτητα από την εξωτερική θερμοκρασία και με όσο πιο λίγη βοήθεια από τα συστήματα Θέρμανσης και ψύξης. Για τον λόγο αυτό η παρούσα διπλωματική είχε σαν σκοπό την μελέτη ενός σπιτιού πως συμπεριφέρεται κάτω από διαφορετικά αρχεία καιρού και πως συμπεριφέρεται αν αλλάξει μόνωση σε διαφορετικά δομικά στοιχεία.

Αρχικά έγινε χρήση του προγράμματος OpenStudio για την δημιουργία του μοντέλου σπιτιού. Σε αυτό το πρόγραμμα έγινε η κάτοψη, παράχθηκε το τρισδιάστατο μοντέλο και δημιουργήθηκαν θερμικές ζώνες. Επίσης εισάχθηκε το σύστημα θέρμανσης και ψύξης και όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του σπιτιού.

Στην συνέχεια έγινε χρήση του (PAT) για την δημιουργία διαφορετικών μονώσεων των διαφορετικών δομικών στοιχείων της κατοικίας και δημιουργήθηκαν διαφορετικές προσομοιώσεις. Το Pat χρησιμοποιεί το EnergyPlus για την εκτέλεση των προσομοιώσεων. Μετά από την εκτέλεση των προσομοιώσεων εξάχθηκαν μερικά από τα αποτελέσματα για να γίνει ανάλυση.

Έπειτα υπολογίστηκε μια βαθμολογία για κάθε διαφορετική διαμόρφωση κατοικίας και για κάθε αρχείο καιρού. Η τελική βαθμολογία ευρωστίας γίνεται κάνοντας χρήση του κριτηρίου Min Max Regret έτσι ώστε κάθε διαφορετική διαμόρφωση σπιτιού να έχει μια βαθμολογία αντί τρεις. Στην συνέχεια γίνεται η κατηγοριοποίηση σε ομάδες με την χρήση του αλγορίθμου k-means και αναλύονται τα διαφορετικά δομικά χαρακτηριστικά σπιτιού με βάση την κάθε κατηγορία.

Λέξεις κλειδιά: Κλιματική Αλλαγή, Θερμική Ευρωστία, Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων, Ενεργειακή Προσομοίωση, Ελαχιστοποίηση Μέγιστης Μεταμέλειας

Abstract

Climate change poses a significant challenge to contemporary societies, manifesting through an increased frequency of extreme weather events, melting ice caps, and rising global temperatures. Consequently, it is imperative for society to undertake immediate measures to mitigate these effects.

One effective strategy to reduce human-generated pollutants involves enhancing the energy efficiency and thermal resilience of buildings. This research focuses on conducting a parametric analysis to assess the thermal resilience of buildings, utilizing simulation data. Thermal resilience in this context is defined as the capacity of a building to maintain its interior temperature with minimal reliance on external heating or cooling systems, regardless of external temperature variations. Therefore, this study examines the behavior of a house under various weather conditions and the impact of modifying insulation within different structural components.

The initial phase involved using the OpenStudio software to design the house model, incorporating the creation of a floor plan, the production of a 3D model, and the establishment of thermal zones. Additionally, the heating, cooling, and other relevant systems of the house were specified.

Subsequently, the Parametric Analysis Tool (PAT) was employed to simulate different insulation scenarios for the structural elements of the house, using EnergyPlus for simulation execution. Post-simulation, selected results were analyzed.

A robustness score was calculated for each housing configuration and weather file. To consolidate these scores into a singular robustness metric for each house configuration, the Min Max Regret criterion was applied. Following this, the k-means clustering algorithm was utilized to categorize the configurations, facilitating an analysis of various structural features of the house within each category.

Keywords: Climate Change, Thermal Robustness, Energy Efficiency of Buildings, Energy Simulation, Min Max Regret

Πρόλογος

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο ολοκλήρωσης του προπτυχιακού κύκλου σπουδών της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η εργασία ανατέθηκε από το Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης και έχει ως θέμα παραμετρική ανάλυση της θερμικής ευρωστίας κτιρίων με τη χρήση δεδομένων ενεργειακών προσομοιώσεων.

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η εξοικείωση με εργαλεία ενεργειακής μοντελοποίησης και προσομοίωσης κτιρίων και η αξιοποίηση τους για στην ανάλυση της θερμικής ευρωστίας των κτιρίων. Απώτερος σκοπός είναι, η χρήση παραμετρικής ανάλυσης και η προσομοίωση διαφορετικών κατασκευαστικών προτύπων κτιρίων ώστε να συλλεγούν δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης και θερμικής άνεσης, ώστε να αναλυθεί η ικανότητα αυτών να διατηρούν τις εσωτερικές συνθήκες σε υγιή επίπεδα, ανεξαρτήτως των εξωτερικών συνθηκών που επικρατούν.

Πίνακας Περιεχομένων

1	Εισαγωγή.....	15
1.1	Αντικείμενο και Σκοπός	15
1.2	Φάσεις Υλοποίησης.....	16
1.2.1	1 ^η Φάση Υλοποίησης: Προετοιμασία και Επισκόπηση	16
1.2.2	2 ^η Φάση Υλοποίησης: Μεθοδολογία και Επιλογή Εργαλείων	16
1.2.3	3 ^η Φάση Υλοποίησης: Μελέτη Περίπτωσης και Ανάλυση Δεδομένων	17
1.2.4	4 ^η Φάση Υλοποίησης: Εξαγωγή Συμπερασμάτων.....	17
1.3	Οργάνωση του τόμου.....	17
2	Θεωρητικό υπόβαθρο.....	18
2.1	Κλιματική αλλαγή και επιπτώσεις.....	18
2.2	Κατανάλωση ενέργειας κτιρίων	19
2.3	Βασικές Έννοιες	20
2.4	Σχετικές έρευνες	22
3	Μεθοδολογία και εργαλεία	25
3.1	Μεθοδολογία	25
3.2	Αρχεία καιρού.....	27
3.3	Εργαλείο προσομείωσης EnergyPLUS	27
3.4	OpenStudio και δημιουργία μοντέλου.....	28
3.5	Parametric Analysis Tool	32
3.6	Ανάλυση εξόδου και αποτελέσματα.....	36
4	Μελέτη Περίπτωσης	38
4.1	Προεργασία δεδομένων – Αρχεία καιρού	38
4.2	Δημιουργία μοντέλου στο OpenStudio.....	41
4.3	Δημιουργία Προσομοιώσεων στο PAT	49
4.4	Αποτελέσματα	53
5	Ανάλυση αποτελεσμάτων.....	61
5.1	Κανονικοποίηση Αποτελεσμάτων	61
5.2	Υπολογισμός Βαθμού Απόδοσης	64
5.3	Εφαρμογή Κριτηρίου Min-Max Regret.....	65
5.4	Ταξινόμηση σε ομάδες	68
5.5	Ανάλυση αποτελεσμάτων	71
6	Συμπεράσματα, Περιορισμοί και μελλοντικές προτάσεις εξέλιξης.....	77
6.1	Συμπεράσματα	77
6.2	Περιορισμοί	78
6.3	Μελλοντικές προτάσεις εξέλιξης.....	79

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....82

Ευρετήριο Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΝΑ ΠΟΛΗ.....	40
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2: ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΣΕ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3: Η ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΣΕ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΟ OPENSTUDIO.	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.4: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	54
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.5: ΦΟΡΤΙΟ ΨΥΞΗΣ.....	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.6: ΦΟΡΤΙΟ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΕΚΠΛΗΡΩΤΩΝ ΩΡΩΝ ΒΑΘΜΩΝ ΚΕΛΣΙΟΥ	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3: ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΨΥΞΗΣ	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4: ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5: ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	64
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ MIN-MAX REGRET	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ MIN-MAX REGRET	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8: ΣΕΙΡΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ	68
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4.10: ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.11: ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΣΕ ΚΑΘΕ ΟΜΑΔΑ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΟΝΩΣΗ ΟΡΟΦΗΣ	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.12: ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΣΕ ΚΑΘΕ ΟΜΑΔΑ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΟΝΩΣΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΤΟΙΧΩΝ	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.13: ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΣΕ ΚΑΘΕ ΟΜΑΔΑ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΠΡΑΘΥΡΩΝ	76

Ευρετήριο Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 2.1: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	26
ΕΙΚΟΝΑ.2.2: ΚΑΡΤΕΛΕΣ OPEN STUDIO	29
ΕΙΚΟΝΑ 2.3: ΡΟΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΡΑΤ	32
ΕΙΚΟΝΑ 2.4: ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΗΣ ΡΑΤ	33
ΕΙΚΟΝΑ 2.5:ΑΡΧΙΚΗ ΟΘΟΝΗ ΡΑΤ.....	34
ΕΙΚΟΝΑ 2.6: ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΤΙΡΙΟΥ.....	34
ΕΙΚΟΝΑ 2.7: RUN TAB	35
ΕΙΚΟΝΑ 2.8: SERVER TAB	35
ΕΙΚΟΝΑ 3.1: ΑΡΧΕΙΟ ΚΑΙΡΟΥ ERW	39
ΕΙΚΟΝΑ 3.2: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΕΣΗ ΜΕΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	39
ΕΙΚΟΝΑ 3.3: ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ	40
ΕΙΚΟΝΑ 3.4:ΚΑΤΟΨΗ ΚΤΗΡΙΟΥ	41
ΕΙΚΟΝΑ 3.5: ΜΟΝΤΕΛΛΟ 3D	42
ΕΙΚΟΝΑ 3.6: ΑΡΧΙΚΗ ΣΕΛΙΔΑ OPENSTUDIO.....	42
ΕΙΚΟΝΑ 3.7: ΜΟΝΩΣΕΙΣ ΣΤΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ CONSTRUCTION SET.....	43
ΕΙΚΟΝΑ 3.8: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΘΥΡΩΝ	44
ΕΙΚΟΝΑ 3.9: CONSTRUCTION SET ΣΠΙΤΙΟΥ.....	44
ΕΙΚΟΝΑ 3.10: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΟΙΚΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ	45
ΕΙΚΟΝΑ 3.11: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	45
ΕΙΚΟΝΑ 3.12: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑΣ ΨΥΞΗΣ.....	46
ΕΙΚΟΝΑ 3.13: ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ ΣΠΙΤΙΟΥ.....	46
ΕΙΚΟΝΑ 3.14:ΚΑΡΤΕΛΛΑ ΧΩΡΟΙ ΤΟΥ OPENSTUDIO	46
ΕΙΚΟΝΑ 3.15: Όλες οι επιφάνειες του σπιτιού.....	47
ΕΙΚΟΝΑ 3.16: ΚΑΡΤΕΛΑ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ.....	48
ΕΙΚΟΝΑ 3.17: HVAC ΣΥΣΤΗΜΑ.....	48
ΕΙΚΟΝΑ 3.18:ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ ΚΑΙΡΟΥ ΣΤΟ OPENSTUDIO	49
ΕΙΚΟΝΑ 3.19:ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΤΟΙΧΩΝ	50
ΕΙΚΟΝΑ 3.20: ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΜΟΝΩΣΕΙΣ ΟΡΟΦΗΣ.....	50
ΕΙΚΟΝΑ 3.21: ΜΟΝΩΣΕΙΣ ΠΑΡΑΘΥΡΩΝ.....	51
ΕΙΚΟΝΑ 3.22: REPORTING MEASURES.....	51
ΕΙΚΟΝΑ 3.23: ΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΗΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ	52
ΕΙΚΟΝΑ 3.24:ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΑ ΤΟ ΤΡΕΞΙΜΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	52
ΕΙΚΟΝΑ 3.25:ΕΜΦΑΝΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΟ SERVER TAB	53
ΕΙΚΟΝΑ 3.26: ΑΡΧΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	54
ΕΙΚΟΝΑ 3.27: ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	55
ΕΙΚΟΝΑ 3.28: ΑΝΕΚΠΛΗΡΩΤΕΣ ΩΡΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ.....	56
ΕΙΚΟΝΑ 3.29: ΓΡΑΦΙΚΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΨΥΞΗΣ	58
ΕΙΚΟΝΑ 3.30: ΦΟΡΤΙΟ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	59
ΕΙΚΟΝΑ 4.1: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ	67
ΕΙΚΟΝΑ 4.2: ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	67
ΕΙΚΟΝΑ 4.3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	70
ΕΙΚΟΝΑ 4.4:ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΡΥΘΜΩΝ ΓΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ	70
ΕΙΚΟΝΑ 4.5:ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΜΑΔΑΣ Α	72
ΕΙΚΟΝΑ 4.6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΜΑΔΑΣ Β.....	72
ΕΙΚΟΝΑ 4.7:ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΜΑΔΑΣ Γ	73
ΕΙΚΟΝΑ 4.8:ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΜΑΔΑΣ Δ	73
ΕΙΚΟΝΑ 4.9:ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΜΑΔΑΣ Ε.....	73

1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και Σκοπός

Στην εποχή της αυξανόμενης ενεργειακής απαίτησης και της αναζήτησης βιώσιμων λύσεων για την κατασκευή και ενεργειακή διαχείριση κτιρίων, η θερμική ευρωστία αποκτά ιδιαίτερη σημασία. Η θερμική και ενεργειακή ευρωστία των κτιρίων αποτελεί μια πρόκληση στον σχεδιασμό και τη λειτουργία των κτιρίων, καθώς επιδιώκει την αντοχή και την προσαρμοστικότητα των κατασκευών σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες και περιβαλλοντικές προκλήσεις. Η θερμική ευρωστία αναφέρεται στην ικανότητα ενός κτιρίου να διατηρεί σταθερές και άνετες θερμικές συνθήκες εσωτερικά, μειώνοντας την ανάγκη για εξωτερικές ενεργειακές εισροές και ενισχύοντας την αυτονομία του από τις εξωτερικές θερμοκρασίες. Από την άλλη πλευρά, η ενεργειακή ευρωστία συνδέεται με την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα των κτιριακών συστημάτων και των λειτουργιών τους, εστιάζοντας στη μείωση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και στην αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η παρούσα διπλωματική εργασία αναλαμβάνει να εξετάσει τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζεται η θερμική ευρωστία των κτιρίων σε αντιδιαστολή με τις ενεργειακές απαιτήσεις αυτών μέσα από την χρήση εργαλείων ενεργειακών προσομοιώσεων και παραμετρική. Αυτή η προσέγγιση επιδιώκει να αξιοποιήσει εργαλεία πληροφορικής για την ανάλυση των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών κτιρίων και πώς αυτά επηρεάζουν τις ενεργειακές απαιτήσεις τους και τις εσωτερικές συνθήκες σε διαφορετικά κλίματα των Βαλκανίων.

Οι σύγχρονες προσεγγίσεις στον σχεδιασμό κτιρίων επιδιώκουν την ολιστική κατανόηση και εφαρμογή της θερμικής και ενεργειακής ευρωστίας, με στόχο την αρμονική συμβίωση ανάμεσα στο κτίριο, τους χρήστες του και το φυσικό περιβάλλον. Αυτή η προσέγγιση περιλαμβάνει την ενσωμάτωση προηγμένων υλικών, καινοτόμων τεχνολογιών και έξυπνων σχεδιαστικών στρατηγικών, επιτρέποντας στα κτίρια να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες.

Ωστόσο, σε αντιδιαστολή με αυτές τις σύγχρονες τάσεις, πολλά κτίρια στα Βαλκάνια εμφανίζουν σημαντική παλαιότητα και αδυναμίες στην θερμική και ενεργειακή τους απόδοση, καθιστώντας τα ιδιαίτερα ευάλωτα στις σύγχρονες περιβαλλοντικές προκλήσεις. Πολλά από αυτά τα κτίρια χτίστηκαν με παραδοσιακές μεθόδους και υλικά που δεν συμμορφώνονται με τις σημερινές απαιτήσεις για ενεργειακή αποδοτικότητα και θερμική άνεση. Η έλλειψη κατάλληλης μόνωσης, ο ανεπαρκής αερισμός, και η παλαιότητα των εγκαταστάσεων θέρμανσης και ψύξης είναι μερικά από τα κύρια προβλήματα που αντιμετωπίζουν αυτά τα κτίρια, αυξάνοντας την ενεργειακή κατανάλωση και μειώνοντας την άνεση των χρηστών.

Η ανάγκη για αναβάθμιση και εκσυγχρονισμό αυτών των κτιρίων είναι επιτακτική, όχι μόνο για τη βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης αλλά και για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών και την προστασία της δημόσιας υγείας. Μέτρα όπως η ενεργειακή ανακαίνιση, η εγκατάσταση κατάλληλης μόνωσης, η αναβάθμιση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, και η εφαρμογή έξυπνων τεχνολογιών για τη διαχείριση της ενέργειας, μπορούν να προσφέρουν σημαντικές βελτιώσεις στην θερμική και ενεργειακή ευρωστία αυτών των κτιρίων, μετατρέποντάς τα σε πιο αποδοτικές, βιώσιμες και άνετες κατοικίες.

Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί μια συνεργατική προσπάθεια από κυβερνήσεις, τοπικές αρχές, αρχιτέκτονες, μηχανικούς, και τους ιδιοκτήτες των κτιρίων, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για μια προσέγγιση που συνδυάζει τόσο την τεχνολογική

καινοτομία όσο και την παραδοσιακή γνώση, προκειμένου να επιτευχθούν βιώσιμες και ενεργειακά αποδοτικές λύσεις για την αναβάθμιση των παλαιών κτιρίων στα Βαλκάνια.

Υπό αυτό το πρίσμα, η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην ανάγκη για βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση και θερμική ευρωστία των κτιριακών δομών. Μέσα από την παραμετρική ανάλυση, η εργασία αποσκοπεί στην εξερεύνηση του πώς διαφορετικές μορφές μόνωσης και κατασκευαστικές προσεγγίσεις επηρεάζουν την ικανότητα των κτιρίων να διατηρούν σταθερή εσωτερική θερμοκρασία, μειώνοντας ταυτόχρονα την ανάγκη για εξωτερική ενεργειακή εισροή από συστήματα θέρμανσης ή ψύξης.

Η έρευνα εστιάζεται στην αξιολόγηση της θερμικής απόδοσης μέσω ενεργειακών προσομοιώσεων, χρησιμοποιώντας δεδομένα που αντλούνται από το πρόγραμμα OpenStudio και την πλατφόρμα Parametric Analysis Tool (PAT), ενσωματώνοντας το EnergyPlus για την πραγματοποίηση των προσομοιώσεων. Αυτή η μεθοδολογική προσέγγιση επιτρέπει την ανάλυση διαφορετικών σεναρίων καιρικών συνθηκών και μορφών μόνωσης, με στόχο την εύρεση βέλτιστων λύσεων για την θερμική ευρωστία.

Συγκεκριμένα, η εργασία εξετάζει την ανταπόκριση ενός κτιριακού μοντέλου σε διάφορες καιρικές συνθήκες και την επίδραση της εφαρμογής διαφορετικών τύπων μόνωσης σε καίρια δομικά στοιχεία και καταλήγει στην κατηγοριοποίηση των διαφορετικών διαμορφώσεων του σπιτιού, προσφέροντας μια βαθύτερη κατανόηση των δομικών παραγόντων που συμβάλλουν στην θερμική ευρωστία.

1.2 Φάσεις Υλοποίησης

Η υποενότητα "Φάσεις Υλοποίησης" περιλαμβάνει μια αναλυτική διαδρομή από την αρχική ιδέα έως την παρουσίαση των τελικών ευρημάτων. Αυτή η διαδικασία είναι δυναμική και απαιτεί προσαρμογή σε διάφορα εμπόδια και προκλήσεις που προκύπτουν κατά την διάρκεια της έρευνας. Η παρούσα διπλωματική εργασία χωρίζεται σε 4 διακριτές φάσεις υλοποίησης. Η εμβάθυνση στις φάσεις υλοποίησης της διπλωματικής επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση της δομής και της διαδικασίας που ακολουθείται για την επίτευξη των στόχων της εργασίας.

1.2.1 1^η Φάση Υλοποίησης: Προετοιμασία και Επίσκόπηση

Η πρώτη φάση υλοποίησης περιλαμβάνει την εκτενή έρευνα και συγκέντρωση υπάρχουσας γνώσης σχετικά με το θέμα της διπλωματικής. Αυτό σημαίνει την ανασκόπηση της θεωρητικής βάσης, όπως η κλιματική αλλαγή, η κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων, και οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με την ενεργειακή απόδοση και την προσομοίωση. Επίσης, απαιτείται η ανάλυση σχετικών ερευνών για να κατανοήσουμε τις τρέχουσες τάσεις και τις προκλήσεις στον τομέα.

1.2.2 2^η Φάση Υλοποίησης: Μεθοδολογία και Επιλογή Εργαλείων

Στην δεύτερη φάση, ορίζεται η μεθοδολογία της εργασίας και επιλέγονται τα κατάλληλα εργαλεία για την υλοποίηση των απαιτήσεων της μελέτης. Αυτό περιλαμβάνει την επιλογή αρχείου καιρού για την προσομοίωση, την χρήση του εργαλείου EnergyPLUS για ακριβείς προσομοιώσεις ενεργειακής απόδοσης, και την δημιουργία μοντέλων στο OpenStudio. Επιπλέον, η χρήση του Parametric Analysis Tool (PAT) επιτρέπει την αυτοματοποιημένη ανάλυση διαφορετικών σεναρίων για την βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης.

1.2.3 3^η Φάση Υλοποίησης: Μελέτη Περίπτωσης και Ανάλυση Δεδομένων

Η μελέτη περίπτωσης αρχίζει με την προεργασία δεδομένων και την δημιουργία ενός ακριβούς μοντέλου στο OpenStudio, ακολουθούμενη από την δημιουργία προσομοιώσεων στο PAT. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την λεπτομερή ανάλυση των αποτελεσμάτων, προκειμένου να κατανοήσουμε τις επιδόσεις των κτιρίων υπό διάφορες συνθήκες. Η αξιολόγηση αυτών των δεδομένων βοηθά στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις στρατηγικές για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την παράλληλη θερμική ευρωστία.

1.2.4 4^η Φάση Υλοποίησης: Εξαγωγή Συμπερασμάτων

Τελικά, η διαδικασία καταλήγει στην διατύπωση συμπερασμάτων, την αναγνώριση περιορισμών της μελέτης, και την παρουσίαση μελλοντικών προτάσεων για την εξέλιξη του έργου. Αυτή η φάση απαιτεί μια κριτική αξιολόγηση των εργασιών και των αποτελεσμάτων, καθώς και την προσαρμογή των στρατηγικών βάσει των περιορισμών που αναγνωρίστηκαν κατά την διάρκεια της εργασίας.

1.3 Οργάνωση του τόμου

Το σύγγραμμα χωρίζεται σε έξι κεφάλαια:

- Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται το αντικείμενο, ο σκοπός, αλλά και οι φάσεις υλοποίησης της εργασίας.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά και συνοπτική ανάλυση στις βασικές έννοιες που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία
- Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται οι μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την διεκπεραίωση ενεργειακών προσομοιώσεων και η κατάλληλη παραμετροποίηση αυτών καθώς και τα εργαλεία που αξιοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται τα δεδομένα καιρού που εξετάζονται, κατασκευάζεται το ενεργειακό μοντέλο του κτιρίου που θα μελετηθεί και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται τα αποτελέσματα των ενεργειακών προσομοιώσεων με την μέθοδο Min Max Regret
- Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν ενεργειακή μοντελοποίηση κτιρίων και την μελέτη της θερμικής ευρωστίας αυτών, αναλύονται οι περιορισμοί και οι προτάσεις μελλοντικής εξέλιξης.

2 Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1 Κλιματική αλλαγή και επιπτώσεις

Η κλιματική αλλαγή έχει μεταβάλλει σημαντικά τα πρότυπα θερμοκρασίας παγκοσμίως. Σύμφωνα με τον Διακυβερνητικό Οργανισμό (IPCC) για την κλιματική αλλαγή, από την αρχή της βιομηχανικής εποχής αυξήθηκε η θερμοκρασία περίπου 1 °C [1]. Η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των ποσοτήτων χιονιού και πάγου και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Εκτεταμένες επιπτώσεις είχαν τόσο στα ανθρώπινα όσο και στα φυσικά συστήματα. Από το 1950 περίπου έχουν παρατηρηθεί αλλαγές σε πολλά ακραία καιρικά και κλιματικά φαινόμενα όπως η μείωση των ακραίων ψυχρών θερμοκρασιών, αύξηση των ακραίων θερμών θερμοκρασιών, αύξηση των ακραίων υψηλών επιπέδων της θάλασσας και αύξηση του αριθμού των γεγονότων έντονης βροχόπτωσης σε διάφορες περιοχές [2,3].

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής θα επηρεάσουν σημαντικά και την Ελλάδα. Συγκεκριμένα σύμφωνα με την έρευνα που έκανε η Τράπεζα της Ελλάδος το 2011, εκτός από την αύξηση της θερμοκρασίας, προβλέπεται ότι τα ακραία καιρικά φαινόμενα όπως οι καύσωνες και οι έντονες βροχοπτώσεις στην Ελλάδα θα παρουσιάζουν αυξημένη συχνότητα εμφάνισης και μεγαλύτερη ένταση κατά την διάρκεια του 21^{ου} αιώνα [7]. Επίσης, λόγω της υψηλής τιμής των καυσίμων στην χώρα, παρόλο που οι περισσότερες κατοικίες λειτουργούν με κεντρικό σύστημα θέρμανσης, παρατηρείται το φαινόμενο της ενεργειακής φτώχειας η οποία συχνά παρατηρείται πως χαρακτηρίζεται και από κοινωνικά χαρακτηριστικά, ειδικότερα στον τομέα θέρμανσης και ψύξης των κατοικιών [11]. Είναι, λοιπόν, αντιληπτό πως η κλιματική αλλαγή άμεσα ή έμμεσα καθιστά δυσμενέστερη την υφιστάμενη κατάσταση σε ποικίλους τομείς, όπως ο ενεργειακός, ο οικονομικός, ο κοινωνικός κ.α.

Δυστυχώς, η ενεργειακή φτώχεια είναι ένα ακόμη πρόβλημα που προβληματίζει την διεθνείς κοινότητα. Ενεργειακή φτώχεια είναι η έλλειψη πρόσβασης σε βιώσιμες σύγχρονες ενεργειακές υπηρεσίες και προϊόντα. Δεν αφορά μόνο τη βιωσιμότητα, αλλά και την επάρκεια, την οικονομική προσιτότητα, την αξιοπιστία, την ποιότητα, την ασφάλεια και τις περιβαλλοντικά ορθές ενεργειακές υπηρεσίες. Η ενεργειακή φτώχεια επικρατεί σε συνθήκες όπου υπάρχει έλλειψη αυτών των στοιχείων, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για την υποστήριξη της ανάπτυξης. Η δυνατότητα επαρκούς θέρμανσης και ψύξης δεν πρέπει να αποτελεί προνόμιο κάποιων κοινωνικών ομάδων, αλλά πρόκειται για μια βασική ανάγκη που θα πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμη σε όλο τον κόσμο.

Με την πάροδο των ετών έχουν καταβληθεί ποικίλες προσπάθειες, σε διεθνές επίπεδο, για την καλύτερη κατανόηση του ζητήματος της κλιματικής αλλαγής, των επιπτώσεών της και τις δράσεις μετριασμού αυτών. Μερικά από τα κυριότερα ορόσημα είναι τα εξής [4]:

- Η σύσταση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) το 1988, η οποία παρέχει επιστημονικές εκτιμήσεις και καθοδήγηση σε θέματα κλίματος.
- Η υιοθέτηση της Σύμβασης-Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (το 1992, η οποία θέτει το παγκόσμιο πλαίσιο συνεργασίας και δράσης για την κλιματική αλλαγή.
- Η υπογραφή του Πρωτοκόλλου του Κιότο το 1997, το οποίο δεσμεύει τις ανεπτυγμένες χώρες σε δεσμευτικούς στόχους για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.
- Η συμφωνία για τη Συμφωνία του Παρισιού το 2015, η οποία αποσκοπεί στον περιορισμό της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας σε επίπεδα πολύ κάτω των 2°C, κατά προτίμηση 1,5°C, και στην ενίσχυση της προσαρμογής και της στήριξης των αναπτυσσόμενων χωρών.

- Την έναρξη της ευρωπαϊκής πράσινης συμφωνίας το 2019, η οποία θέτει έναν φιλόδοξο στόχο για την ΕΕ να γίνει η πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρος έως το 2050 και να μειώσει τις εκπομπές κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030.
- Η έγκριση μιας παγκόσμιας συμφωνίας το 2021, η οποία καλεί σε περαιτέρω δράση για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και τη βοήθεια των ευάλωτων εθνών, όπως η σταδιακή κατάργηση του άνθρακα, η αύξηση της χρηματοδότησης και ο περιορισμός της αύξησης της θερμοκρασίας στον 1,5°C.

Παρόλες τις ενέργειες για αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής η επιστημονική κοινότητα εκφράζει τις ανησυχίες της για την πιθανή ανεπάρκεια των μέτρων και πιέζει για την ενίσχυση αυτών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η μείωση του στόχου που έθεσαν οι ευρωπαϊκές χώρες για αύξηση της θερμοκρασίας σε 1,5°C από τον αρχικό στόχο των 2°C. Το μέτρο αποφασίστηκε με γνώμονα την προστασία των πιο ευάλωτων περιοχών του πλανήτη, καθώς μερικές έρευνες ότι ίσως οι 2 βαθμοί κελσίου ίσως έχουν καταστροφικές μη αναστρέψιμες επιπτώσεις σε αυτές τις περιοχές. Για τον λόγο αυτό γίνονται προσπάθειες σε όλους τους τομείς που επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα την κλιματική αλλαγή και μετριάζοντας τις συνέπειες τους.

2.2 Κατανάλωση ενέργειας κτιρίων

Η ενέργεια είναι ένας πολύτιμος πόρος σε όλο τον κόσμο. Τροφοδοτεί τις βιομηχανίες, τις μεταφορές και όλη την καθημερινότητα των πολιτών. Ωστόσο, η ενέργεια αποτελεί έναν σπάνιο και πεπερασμένο πόρος, ειδικότερα όταν παράγεται από ορυκτά καύσιμα. Συνεπώς, η χρήση της θα πρέπει να γίνεται με σύνεση και, κατά το δυνατόν, αποδοτικότερα. Η παγκόσμια ζήτηση για ενέργεια αυξάνεται ως απόρροια της αύξησης του πληθυσμού, της οικονομικής ανάπτυξης, της αστικοποίησης και άλλων αιτιών. Η ενέργεια και η κλιματική αλλαγή είναι άμεσα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Ακόμα και σήμερα ένα σημαντικό μέρος της παραγωγής ενέργειας γίνεται από ορυκτά καύσιμα με αποτέλεσμα να ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Καθώς οι πόλεις συνεχίζουν να επεκτείνονται και οι αστικοί πληθυσμοί αυξάνονται, η ζήτηση ενέργειας στις οικίες αυξάνεται εκθετικά. Η εξάρτηση των ανθρώπων από την ενέργεια είναι μεγαλύτερη από ποτέ καθώς όλο και περισσότερες συσκευές από αναλογικές έχουν γίνει ψηφιακές. Η ενέργεια που χρησιμοποιείται σε αυτά τα κτίρια προέρχεται σε μεγάλο βαθμό από ορυκτά καύσιμα, οδηγώντας σε αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που συμβάλλουν σημαντικά στην κλιματική αλλαγή. Η υπερβολική κατανάλωση ενέργειας στις αστικές περιοχές συμβάλλει στην ατμοσφαιρική ρύπανση, εγκυμονώντας κινδύνους για την υγεία των κατοίκων και υποβαθμίζοντας τη συνολική ποιότητα του αέρα. Ακόμη, η επιβάρυνση του δικτύου μπορεί να οδηγήσει σε πιθανές διακοπές ρεύματος επηρεάζοντας τη συνολική ανθεκτικότητα των ενεργειακών συστημάτων της πόλης και την ποιότητα ζωής των κατοίκων της.

Η επιστημονική κοινότητα προσπαθώντας να αποφύγει τις χειρότερες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής κάνει συνεχώς προσπάθειες για βελτίωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτήρια. Τα κτίρια στην Αμερική ευθύνονται για το 38.9% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας που χρειάζεται σαν κράτος [6]. Η κατασκευή και η λειτουργία των κτιρίων ευθύνονται για το 37% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ που σχετίζονται με την ενέργεια το 2020, συμπεριλαμβανομένων των άμεσων και έμμεσων εκπομπών από την παραγωγή ενέργειας. Οι αυξημένες εξωτερικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος σε διάφορες περιοχές επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση και τη θερμική άνεση των εσωτερικών χώρων των κτιρίων, καθιστώντας αναγκαία την προσαρμογή των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης για τη διατήρηση άνετων συνθηκών. Στον ιταλικό οικιακό τομέα, που συμβάλλει σημαντικά στην κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη, λόγω της κλιματικής αλλαγής παρατηρήθηκε μείωση της

κατανάλωσης ενέργειας τον χειμώνα αλλά αύξηση της κατανάλωσης για φορτία ψύξης ειδικά τους μήνες του Ιουλίου και του Αυγούστου [5].

Λόγω των παραπάνω, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια με την ταυτόχρονη διατήρηση ασφαλών εσωτερικών συνθηκών είναι ζωτικής σημασίας για διάφορους λόγους. Πρώτον, συμβάλλει στη μείωση του συνολικού ανθρακικού αποτυπώματος των πόλεων, προάγει την ενεργειακή ασφάλεια και μειώνει την εξάρτηση από τους πεπερασμένους πόρους ορυκτών καυσίμων. Αυτά σε συνδυασμό με τη στροφή προς ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σημειώνοντας ουσιαστική πρόοδο ως προς τους στόχους μετριασμού της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής. Δεύτερον, πέραν του περιβαλλοντικού οφέλους, τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε σημαντική εξοικονόμηση κόστους για τους κατοίκους και συμβάλει στην βιωσιμότητα των νοικοκυριών [8].

Όπως είναι αντιληπτό για να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια δεν είναι αρκετό να μην λειτουργούν ή να περιοριστεί η λειτουργία των συστημάτων ψύξης, θέρμανσης και ανακύκλωσης του αέρα. Η εσωτερική θερμοκρασία ενός σπιτιού πρέπει να διατηρείτε σε επίπεδα που είναι υγιή για τον ανθρώπινο οργανισμό και άνετα για την διαβίωση του, ενώ τα ταυτόχρονα πρέπει να ανακυκλώνεται ο αέρας μέσα στο σπίτι για παροχή καθαρού αέρα στους κατοίκους του. Για να επιτευχθεί αυτό αναπτύχθηκαν διάφορα εργαλεία. Ένα δημοφιλές εργαλείο (που χρησιμοποιείτε σε πολλούς τομείς, όχι μόνο στον κτιριακό τομέα) είναι η Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment, LCA). Η μέθοδος LCA είναι μια μέθοδος που αξιολογεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του, από την εξόρυξη των πρώτων υλών έως τη διάθεση ή την ανακύκλωση. Στο κτηριακό τομέα χρησιμοποιείτε για να βοηθήσει τους σχεδιαστές να μελετήσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στοιχείων που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του κτιρίου, ξεκινώντας από την προμήθεια πρώτων υλών, την κατασκευή, τις φάσεις χρήσης και τη διαχείριση του σπιτιού [9]. Ένα άλλο εργαλείο που αναπτύχθηκε είναι η απογραφή κύκλου ζωής (LCI, Life Cycle Inventory) που έχει σκοπό να ποσοτικοποίηση της χρήσης ενέργειας και υλικών συσσωρεύτηκε κατά τη διάρκεια της ζωής των κτιρίων. Συνήθως για να υπολογιστεί η απογραφή κύκλου ζωής υπολογίζεται καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας του κτιρίου την ανανέωση των υλικών, την ενέργεια θέρμανσης και ψύξης χώρων, την ηλεκτρική ενέργεια, τον φωτισμό, καθώς και τη ζήτηση ζεστού νερού χρήσης [16].

2.3 Βασικές Έννοιες

Επακόλουθο της συνεχούς αυξημένης ζήτητης ενεργείας στον κτιριακό τομέα αναπτύχθηκαν κάποιες έννοιες για να βοηθήσουν στην κατανόηση και την καταπολέμηση του προβλήματος. Οι έννοιες αυτές βοηθούν στην κατασκευή των εργαλείων (όπως η ανάλυση κύκλου ζωής, LCA) και στην αξιολόγηση διαφόρων χαρακτηριστικών ενός κτηρίου που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας του ή την ικανότητα του κτιρίου να διατηρεί τις εσωτερικές θερμοκρασίες του.

Μια βασική έννοια είναι η θερμική αντίσταση, η οποία εκφράζει το πόσο καλά ένα υλικό ή μια δομή μπορεί να αποτρέψει τη μεταφορά θερμότητας. Εκφράζεται συνήθως ως τιμή R και η μονάδα μέτρησης της θερμικής αντίστασης είναι το τετραγωνικό μέτρο Kelvin ανά Watt (m^2K/W). Η θερμική αντίσταση είναι σημαντικό κριτήριο για αξιολόγηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων. Μια υψηλή θερμική αντίσταση σημαίνει ότι λιγότερη θερμότητα χάνεται ή κερδίζεται μέσω του κελύφους του κτιρίου, γεγονός που μειώνει την ανάγκη για θέρμανση ή ψύξη. Οι μονώσεις (που αποτελεί βασικό κομμάτι στην παρούσα εργασία) είναι ένα υλικό με υψηλή θερμική αντίσταση [12].

Μια άλλη έννοια που είναι αρκετά σημαντική είναι η ανθεκτικότητα (resilience). Η ανθεκτικότητα αναφέρεται γενικά στην ικανότητα ενός συστήματος να αντιστέκεται σε μια σειρά από κραδασμούς και

πίεσεις αλλά και να επανέρχεται σε μικρό χρονικό διάστημα [14]. Συγκεκριμένα, η θερμική ανθεκτικότητα είναι μια έννοια ζωτικής σημασίας που βοηθά στην κατανόηση του τρόπου μείωσης της απαιτούμενης από το κτίριο ενέργειας με ταυτόχρονη διατήρηση των εσωτερικών συνθηκών (θερμοκρασία, υγρασία, επίπεδα CO₂) σε υγιεινά επίπεδα για τον άνθρωπο. Αρκετές μελέτες στον τομέα ασχολούνται με την θερμική ανθεκτικότητα. Εξ ορισμού είναι η ιδιότητα του κτηρίου που επικεντρώνεται στην αντοχή και την ανάκαμψη κατά τη διάρκεια και μετά την εμφάνιση απροβλέπτου ακραίου καιρικού φαινομένου. Ένα ανθεκτικό κτίριο είναι ένα κτίριο που μπορεί να εκπληρώσει τις λειτουργικές του απαιτήσεις κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης διαταραχής (όπως για παράδειγμα μια διακοπή ρεύματος). Η απόδοσή του μπορεί ακόμη και να διαταραχθεί, αλλά πρέπει να ανακάμψει σε αποδεκτό επίπεδο εγκαίρως [10]. Είναι σημαντική για τη μείωση της ενεργειακής ζήτησης των κτιρίων, τη βελτίωση της υγείας και της ευημερίας των ανθρώπων και την ενίσχυση της προσαρμοστικότητας των αστικών περιβαλλόντων στην κλιματική αλλαγή. Για να αυξηθεί η θερμική ανθεκτικότητα σε ένα κτίριο γίνεται η χρήση παθητικών στρατηγικών σχεδιασμού, όπως η μόνωση, η σκίαση, ο αερισμός, η θερμική μάζα και ο προσανατολισμός.

Σημαντική έννοια στον χώρο την κατασκευής και σχεδιασμού κτιρίων είναι η ευρωστία (robustness). Η ευρωστία ορίζεται ως η κατάσταση όπου η απόδοση της τεχνολογίας, του προϊόντος ή της διαδικασίας είναι ελάχιστα ευαίσθητη σε παράγοντες που προκαλούν μεταβλητότητα (είτε στο περιβάλλον κατασκευής είτε στο περιβάλλον του χρήστη) και γήρανση με το χαμηλότερο μοναδιαίο κόστος κατασκευής [13]. Συγκεκριμένα η παρούσα διπλωματική ασχολείται με την θερμική ευρωστία (thermal robustness). Ένα ανθεκτικό κτίριο νοείται ένα κτίριο που έχει την ικανότητα να μετριάσει τις απρόβλεπτες μεταβολές που προκαλούνται από τους χρήστες ή από εξωτερικούς παράγοντες (όπως για παράδειγμα, δυσλειτουργίες συστημάτων, αλλαγές στις μετεωρολογικές συνθήκες) [15]. Εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η τυπολογία της κατασκευής, η επιλογή των υλικών(και πόση θερμική αντίσταση έχουν) και τη λειτουργία των συστημάτων ελέγχου των εσωτερικών συνθηκών (HVAC). Ένα κτίριο μπορεί να έχει πολύ διαφορετική ευρωστία: σε ορισμένες κατασκευές μια ενέργεια του χρήστη (για παράδειγμα, να αφήσει μια πόρτα ανοιχτή) δημιουργεί μια σημαντική διακύμανση της κατανάλωσης ενέργειας και τις εσωτερικής θερμοκρασίας, ενώ σε άλλες αυτό δεν θα συνέβαινε. Αντιλαμβανόμενοι την σημασία της ευρωστίας στα κτίρια αναπτύχθηκε μια διαδικασία σχεδιασμού κτιρίων, ο εύρωστος σχεδιασμός. Η βασική ιδέα είναι ότι, αντί να εξαλειφθεί η πηγή αβεβαιότητας(π.χ. αλλαγές στην θερμοκρασία), η πηγή αυτή αντιμετωπίζεται ως θόρυβος κατά τη φάση του σχεδιασμού και ο στόχος είναι να επιτευχθεί μια σχεδιαστική λύση της οποίας η απόδοση είναι λιγότερο ευαίσθητη στην παρουσία του θορύβου. Το αποτέλεσμα είναι ότι προσαρμόζεται και βελτιστοποιείται η χρήση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο με βάση τα πρότυπα διαθεσιμότητας και ζήτησης ενέργειας, συμβάλλοντας στη σταθεροποίηση του συνολικού ενεργειακού δικτύου.

2.4 Σχετικές έρευνες

Τα τελευταία χρόνια έχουν δημοσιευτεί αρκετές έρευνες σχετικά με το πως ο κτιριακός τομέας μπορεί να μειώσει τις επιπτώσεις που έχει στο περιβάλλον μεγαλώνοντας την θερμική ευρωστία. Ένα μέρος το ερευνών επικεντρώνεται στην μείωση της καταναλισκόμενης ενεργείας και διατήρηση των αποδεκτών ορίων θερμοκρασίας στους εσωτερικούς χώρους ενώ άλλες έρευνες επικεντρώνονται στα οφέλη που θα έχει το κτήριο αν είναι πιο εύρωστο με την πάροδο των χρόνων. Οι μελέτες που περιγράφονται παρακάτω συνέβαλαν στην δημιουργία της μεθοδολογίας της παρούσας διπλωματικής.

Μια από τις εργασίες που μελετήθηκαν παρουσιάζει ένα πλαίσιο και μια μετρική για την ποσοτικοποίηση της θερμικής ανθεκτικότητας των κτιρίων κατά τη διάρκεια και μετά από διαταραχές, όπως διακοπές ρεύματος ή ακραία καιρικά φαινόμενα [17]. Στο δοκίμιο προτείνεται ένα πλαίσιο δοκιμών με βάση την προσομοίωση που εκθέτει τα κτίρια σε διαφορετικούς τύπους συμβάντων και αξιολογεί την απόδοσή τους με βάση διαφορετικά θερμικά επίπεδα και χρόνους έκθεσης. Επίσης αναπτύσσεται μια πολυφασική μετρική που ονομάζεται σταθμισμένη μη ικανοποιητική θερμική απόδοση (WUMTP), η οποία τιμωρεί τις αποκλίσεις από τη θερμοκρασία ρύθμισης με βάση τη φάση, το επίπεδο κινδύνου και το χρόνο έκθεσης του συμβάντος. Η μεθοδολογία χρησιμοποιείται σε μια μελέτη περίπτωσης μιας νορβηγικής μονοκατοικίας με δύο σχέδια και δύο στρατηγικές ενίσχυσης της ανθεκτικότητας: αποθήκευση μπαταριών και φωτοβολταϊκά πάνελ. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η αναβάθμιση του κτιρίου από τον τυπικό στον παθητικό σχεδιασμό έχει σημαντικό αντίκτυπο στη βελτίωση της θερμικής ανθεκτικότητας, ενώ οι μπαταρίες και τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν επίσης να ενισχύσουν την ανθεκτικότητα σε κάποιο βαθμό. Προτείνεται ένα σύστημα επισήμανσης της ανθεκτικότητας των κτιρίων με βάση τη μετρική WUMTP, καθώς μπορεί να βοηθήσει τους σχεδιαστές κτιρίων και τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να συγκρίνουν και να βελτιώσουν τη θερμική ανθεκτικότητα των κτιρίων.

Μια άλλη εργασία προσεγγίζει το θέμα από λίγο διαφορετική οπτική γωνία. Εξετάζει την ανάγκη ποσοτικοποίησης της επίδρασης των αβεβαιοτήτων στις προβλέψεις των επιδόσεων των κτιρίων, όπως η χρήση ενέργειας και η άνεση σε εσωτερικούς χώρους, και του σχεδιασμού κτιρίων που είναι εύρωστα σε αυτές τις αβεβαιότητες [18]. Το δοκίμιο εξετάζει διάφορες πηγές αβεβαιοτήτων που επηρεάζουν την απόδοση των κτιρίων, όπως η συμπεριφορά των ενοίκων, οι καιρικές συνθήκες και οι οικονομικοί παράγοντες. Επίσης, εξετάζει διάφορους μεθόδους για την ανάλυση της διάδοσης των αβεβαιοτήτων και των επιπτώσεών τους στην απόδοση του κτιρίου, όπως η ανάλυση ευαισθησίας, η ανάλυση σεναρίων και η αξιολόγηση της ευρωστίας. Συγκρίνει τα χαρακτηριστικά και την καταλληλότητα διαφορετικών μετρικών και δεικτών για την ποσοτικοποίηση της ευρωστίας, όπως ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση, η διασπορά, η λύπη κ.λπ. Το δοκίμιο καταλήγει πώς η επιλογή μιας μεθόδου αξιολόγησης της ευρωστίας εξαρτάται από τον σκοπό της μελέτης και τη στάση των φορέων λήψης αποφάσεων ως προς την αποδοχή του κινδύνου. Δείχνει επίσης πώς η εξέταση της ευρωστίας μπορεί να ενισχύσει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σχεδιασμού και να οδηγήσει σε καλύτερα ενημερωμένες αποφάσεις και κάνει χρήση πρακτικών παραδειγμάτων που δείχνουν την σημαντικότητα της ευρωστίας στα κτήρια. Το δοκίμιο καταλήγει ότι ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση, που αποτελούν τους πιο συνηθισμένους δείκτες ευρωστίας, έχουν περιορισμένη χρησιμότητα στην ανάλυση σεναρίων και μπορεί να οδηγήσουν σε παραπλανητικές ή ελλιπείς πληροφορίες. Για τον λόγο αυτό το έγγραφο συνέστησε τη χρήση της μεθόδου *minimax regret* ή της μεθόδου καλύτερης και χειρότερης περίπτωσης για τον εντοπισμό εύρωστων σχεδίων που μπορούν να αποδώσουν τις επιθυμητές επιδόσεις σε μια ποικιλία πιθανών μελλοντικών καταστάσεων. Όπως θα φανεί και πιο κάτω στην παρούσα διπλωματική έγινε χρήση του κριτηρίου *min-max regret* για αυτόν τον λόγο.

Μια άλλη προσέγγιση που παρουσιάζει αρκετό ενδιαφέρον παρουσιάζεται σε άλλες εργασίες. Αντί να επικυρώνετε στο σχεδιασμό κτιρίων και στην ποσοτικοποίηση της θερμικής ευρωστίας επικεντρώνεται στην ανάλυση δεδομένων ενέργειας των κτιρίων και στην ομαδοποίηση διαφόρων προσομοιώσεων σε πέντε κατηγορίες. Για να καταστεί δυνατή η αξιολόγηση και την κατάταξη της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων γραφείων σε κλίμακα πόλης ακολουθείτε η παρακάτω διαδικασία [19]. Αρχικά γίνεται συλλογή των μηνιαίων δεδομένων κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και επιφάνειας κτιρίου των κτιρίων γραφείων στην πόλη Tongling της Κίνας, από το σύστημα παρακολούθησης της κατανάλωσης ενέργειας κτιρίων αστικής περιοχής. Στην συνέχεια γίνεται χρήση της μηνιαίας έντασης χρήσης ενέργειας (EUI) κάθε κτιρίου διαιρώντας τη μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας με την επιφάνεια του κτιρίου χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Simple-normalization. Ο EUI αντικατοπτρίζει το επίπεδο και τη διακύμανση της ενεργειακής κατανάλωσης κάθε κτιρίου στις διάφορες εποχές. Έπειτα γίνεται αξιολόγηση των δεδομένων με κριτήριο την ενεργειακή απόδοση κάθε κτιρίου βαθμολογώντας. Όσο υψηλότερη είναι η βαθμολογία, τόσο καλύτερη είναι η ενεργειακή απόδοση. Τα δεδομένα κατατάσσονται με βάση την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων με την ομαδοποίησή τους σε πέντε βαθμίδες με τη μέθοδο K-means. Η μέθοδος αυτή διαχωρίζει τα κτίρια σε ομάδες με βάση την ομοιότητα των βαθμολογιών τους και αποδίδει σε κάθε ομάδα έναν βαθμό από το άριστο έως το χειρότερο. Σύμφωνα με τους συγγραφείς του δοκιμίου η προτεινόμενη μεθοδολογία αποτελεί μια βελτιωμένη και αποτελεσματική προσέγγιση για την αξιολόγηση και κατάταξη της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων σε διάφορες εποχές και χρησιμοποιεί αντικειμενικές και ολοκληρωμένες μεθόδους για τη βαθμολόγηση και την κατάταξη των κτιρίων. Το άρθρο επικυρώνει επίσης την προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόζοντάς την σε μια μελέτη περίπτωσης 24 κτιρίων γραφείων στην πόλη Tongling και συγκρίνοντάς την με δύο παραδοσιακές προσεγγίσεις. Το άρθρο καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να αποτελέσει ένα πρακτικό εργαλείο για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης σε κλίμακα πόλης και την ανάλυση του δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας.

Στο ίδιο σκεπτικό κινείται και μια άλλη μελέτη που έγινε παρουσιάζοντας μια μέθοδο ομαδοποίησης των τάσεων κατανάλωσης ενέργειας 784 δημόσιων κτιρίων στην πόλη Guangzhou από το 2014 έως το 2018 [20]. Η εργασία χωρίζει τα σπίτια σε 15 ομάδες με διαφορετικές τάσεις κατανάλωσης ενέργειας. Τρεις ομάδες παρουσιάζουν συνολική ανοδική τάση, τέσσερις ομάδες παρουσιάζουν συνολική πτωτική τάση και οκτώ ομάδες παρουσιάζουν κυμαινόμενες τάσεις. Το έγγραφο αναλύει επίσης το ποσοστό των κτιρίων με διαφορετικές λειτουργίες, τύπους ψύξης και έτη ολοκλήρωσης σε κάθε ομάδα. Η μέθοδος συνδυάζει την ευκλείδεια απόσταση και τον αλγόριθμο K-means για την ομαδοποίηση των τάσεων κατανάλωσης ενέργειας. Η εργασία προτείνει ότι η μέθοδος ομαδοποίησης μπορεί να διευκολύνει τη διάγνωση της ενεργειακής απόδοσης, την αναγνώριση προτύπων ενεργειακής κατανάλωσης και τη χάραξη πολιτικής για την εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στη συγκριτική αξιολόγηση κτιρίων με συνεχή μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Η μελέτη διαπιστώνει ότι το 24,36% των κτιρίων έχει ανοδική τάση της κατανάλωσης ενέργειας, το 32,40% έχει πτωτική τάση και τα υπόλοιπα έχουν κυμαινόμενες τάσεις. Το έγγραφο αναλύει επίσης τα χαρακτηριστικά των διαφόρων συστάδων ανάλογα με τις λειτουργίες του κτιρίου, τους τύπους ψύξης και τα έτη ολοκλήρωσης.

Το ζήτημα της θερμικής άνεσης (thermal comfort) (που όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι πολύ σημαντικό για την υγεία των ανθρώπων που κατοικούν) σε κτίρια κατοικιών και πώς μπορεί να βελτιωθεί εξετάζει μια άλλη εργασία [21]. Σύμφωνα με το δοκίμιο τα διεθνή πρότυπα ISO 7730 και ASHRAE 55 βασίζονται σε εργαστηριακά πειράματα σταθερής κατάστασης που δεν αντικατοπτρίζουν την πραγματική κατάσταση στα κτίρια, ιδίως στις κατοικίες. Το έγγραφο υποστηρίζει ότι αυτά τα μοντέλα αγνοούν τον σημαντικό ρόλο της προσαρμογής, δηλαδή της μεταβαλλόμενης αξιολόγησης του θερμικού περιβάλλοντος λόγω των μεταβαλλόμενων αντιλήψεων, εμπειριών, προσδοκιών και συμπεριφορών των ενοίκων. Το έγγραφο επισημαίνει επίσης τους περιορισμούς των ημεμερινών

μεθόδων για την εκτίμηση της μόνωσης των ενδυμάτων, του μεταβολικού ρυθμού και των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας σε κτίρια κατοικιών. Η προσέγγιση που προτείνεται στο δοκίμιο για αλλαγή στον τρόπο προσδιορισμού των ουδέτερων θερμοκρασιών ή θερμοκρασιών άνεσης και των αποδεκτών ευρών θερμοκρασιών για διάφορες ζώνες σε ένα κτίριο κατοικιών, όπως το μπάνιο, η κρεβατοκάμαρα και άλλα δωμάτια. Η εργασία λαμβάνει υπόψη τα ειδικά χαρακτηριστικά κάθε ζώνης, όπως το επίπεδο δραστηριότητας, την αξία του ρουχισμού και την ποιότητα του ύπνου. Η εργασία χρησιμοποιεί πρόσφατες αναθεωρήσεις και προσαρμογές των υφιστάμενων θεωριών θερμικής άνεσης, καθώς και εμπειρικά δεδομένα από μελέτες πεδίου και εκστρατείες παρακολούθησης, για να εξάγει τις σχετικές παραμέτρους και εξισώσεις για κάθε ζώνη. Αξίζει να σημειωθεί ότι το έγγραφο επικεντρώνεται στα επίπεδα θερμοκρασίας άνεσης στο δωμάτιο και όχι στη λεπτομερή κατανομή της θερμοκρασίας εντός του δωματίου.

3 Μεθοδολογία και εργαλεία

3.1 Μεθοδολογία

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της θερμικής ευρωστίας ενός κτιρίου με βάση την θερμοκρασία. Αποφασίστηκε να γίνει με προσομοίωση κτιρίων και με βάση τα αποτελέσματα να γίνει ανάλυση των δεδομένων εξόδου για εξαγωγή συμπερασμάτων. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, για να μελετηθεί η ευρωστία θα πρέπει να μελετηθεί η συμπεριφορά του κτιρίου σε διαφορετικές καιρικές συνθήκες.

Αρχικά έγινε η μελέτη αρχείων καιρού από την βιβλιογραφία [22]. Μελετήθηκαν αρκετά αρχεία καιρού με βάση την μέση θερμοκρασία κάθε μήνα. Σκοπός ήταν να χρησιμοποιηθούν τρία αρχεία καιρού: ένα αρχείο καιρού που θα καθοριστεί ως μέση θερμοκρασία, ένα αρχείο καιρού που θα είναι πιο ψηλή η μέση θερμοκρασία και ένα αρχείο που θα είναι πιο χαμηλή η μέση θερμοκρασία σε σχέση με τα άλλα αρχεία καιρού.

Στην συνέχεια δημιουργήθηκε η προσομοίωση του κτιρίου αναφοράς. Για να καταστεί δυνατό έγινε η χρήση του OpenStudio [23]. Το OpenStudio είναι ένα πρόγραμμα που δημιουργήθηκε με σκοπό να γίνει ευκολότερη η ενεργειακή προσομοίωση κτιρίων και είναι βασισμένο στο περιβάλλον εκτέλεσης προσομοιώσεων EnergyPlus [24]. Το EnergyPlus στην ουσία είναι το πρόγραμμα προσομοίωσης και το OpenStudio αποτελεί τη διεπαφή χρήστη (user interface) [25]. Σε αυτό το βήμα καθορίστηκαν όλες οι παράμετροι της προσομοίωσης όπως συστήματα θέρμανσης και ψύξης, τα χρονοπρογράμματα λειτουργίας, τα υλικά και οι κατασκευές που δομούν το κτίριο (τοιχοποιία, οροφή, ανοίγματα, κ.α.).

Στο επόμενο βήμα έγινε η εισαγωγή της προσομοίωσης στο εργαλείο παραμετρικής ανάλυσης (PAT) [26]. Το PAT ανήκει στην ευρύτερη συλλογή των προγραμμάτων του Open studio [27]. Σκοπός του προγράμματος είναι να γίνει πιο εύκολη η παραμετροποίηση και εκτέλεση πολλαπλών προσομοιώσεων με διαφοροποιημένες παραμέτρους. Σε αυτό το εργαλείο ενσωματώθηκαν τρία μέτρα (measures) για την τροποποίηση της προσομοίωσης: αλλαγή της κατασκευής των τοίχων, αλλαγή κατασκευής της οροφής και αλλαγή της κατασκευής του παραθύρου. Για κάθε μέτρο υπάρχουν 3 εναλλακτικές επιλογές με διαφορετικές θερμικές αντιστάσεις. Δημιουργήθηκαν 27 προσομοιώσεις για κάθε δυνατό συνδυασμό μεταξύ των παραμέτρων.

Αφού τροποποιήθηκαν και εκτελέστηκαν οι προσομοιώσεις στο Parametric Analysis Tool, τα αποτελέσματα από τις 27 προσομοιώσεις εξάχθηκαν σε ένα αρχείο Excel. Λόγω των πολλών μετρικών που έχει σαν έξοδο το πρόγραμμα επιλέχθηκαν τέσσερις δείκτες που θεωρήθηκαν σημαντικοί για να γίνει η ανάλυση των αποτελεσμάτων. Τα εξαγόμενα αποτελέσματα περιλαμβάνουν τους εξής δείκτες: τη συνολική κατανάλωση ενέργειας, τις ανεκπλήρωτες ώρες βαθμών κελσίου, το φορτίο ψύξης και το φορτίο θέρμανσης.

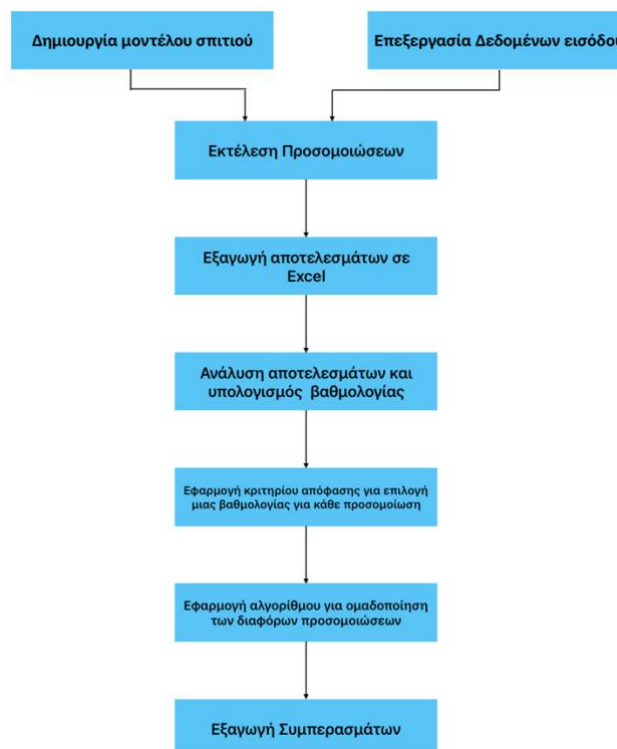
Όπως είναι αντιληπτό, ο κάθε δείκτης έχει διαφορετικές τιμές, τάξεις μεγέθους και μονάδες μέτρησης. Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων και για να εξαχθούν συμπεράσματα για την κάθε παραλλαγή του σπιτιού με διαφορετικές μονώσεις έπρεπε για κάθε παραλλαγή να υπάρχει μια βαθμολογία που υπολογίζεται με βάση τις τέσσερις μετρικές. Για να καταστεί δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων έγινε κανονικοποίηση. Αυτό διασφαλίζει ότι οι διαφορετικές μετρικές βρίσκονται σε συνεπή κλίμακα και είναι συγκρίσιμα. Στην συνέχεια υπολογίστηκε μια συνδυασμένη βαθμολογία επιδόσεων για κάθε παραλλαγή μονώσεων στο κτίριο, όπου κάθε μετρική λαμβάνει ίση βαρύτητα (1/4). Δηλαδή για κάθε παραλλαγή προστέθηκαν οι τέσσερις μετρικές και διαιρέθηκαν με το 4. Όλες οι βαθμολογίες για τις

διάφορες προσομοιώσεις μετά την κανονικοποίηση και τον υπολογισμό μιας συνδυασμένης βαθμολογίας είναι μεταξύ μηδέν και ένα. Η συνδυαστική βαθμολογία αντιπροσωπεύει τη συνολική απόδοση της προσομοίωσης με βάση τις επιλεγμένες μετρικές για κάθε αρχείο καιρού.

Η κάθε μια από τις 27 προσομοιώσεις έχει τρεις διαφορετικές βαθμολογίες, μια για κάθε αρχείο καιρού. Για να υπολογιστεί μια τελική βαθμολογία για κάθε παραλλαγή προσομοίωσης έπρεπε να επιλεγεί μια αξιόπιστη μέθοδος. Για να καταστεί αυτό δυνατό χρησιμοποιήθηκε ο μέθοδος MiniMax Regret. Με βάση τα αποτελέσματα της μεθόδου MiniMax Regret και αφού κάθε προσομοίωση είχε πλέον μια τελική βαθμολογία χρησιμοποιήθηκε ένα πρόγραμμα Python όπου οι προσομοιώσεις κατατάσσονται από την καλύτερη στη χειρότερη θέση με βάση τη τελική βαθμολογία επιδόσεων. Αυτή η κατάταξη βοηθά στον εντοπισμό των πιο αποτελεσματικών τροποποιήσεων σχεδιασμού.

Για την περαιτέρω ανάλυση των προσομοιώσεων κάθε παραλλαγής προσομοιώσεων ταξινομήθηκε σε ομάδες. Για να καταστεί δυνατή η ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκε ένα άλλο πρόγραμμα στην Python που χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο k-means. Αυτή η ταξινόμηση επιτρέπει την ομαδοποίηση προσομοιώσεων με παρόμοια χαρακτηριστικά και εξαγωγή συμπερασμάτων.

Τέλος, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα, καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών (όπως η θερμική αντίσταση του τοίχου, η θερμική αντίσταση της οροφής και η κατασκευή των παραθύρων) που ανήκουν σε κάθε κατηγορία ή ομάδα. Οι πληροφορίες αυτές βοηθούν στον προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ συγκεκριμένων τροποποιήσεων του σχεδιασμού και των επιπτώσεών τους στις μετρήσεις επιδόσεων όσο αφορά την θερμική ευρωστία.



Εικόνα 3.1: Μεθοδολογία

3.2 Αρχεία καιρού

Αρχικά έλαβε χώρα η ανάλυση και η κατανόηση των αρχείων καιρού που θα χρησιμοποιούνταν στην ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου. Τα αρχεία καιρού που είναι εκτελέσιμα από το EnergyPlus είναι της μορφής epw. Υπάρχουν πολλά αρχεία καιρού για πολλές περιοχές του κόσμου [22]. Η μορφή αρχείου καιρού EPW είναι μια μορφή κειμένου με διαχωρισμένα κόμματα (csv) που περιέχει πληροφορίες για τη θέση, τις συνθήκες σχεδιασμού, τις τυπικές και ακραίες περιόδους, τις θερμοκρασίες εδάφους και τα ωριαία δεδομένα καιρού [28]. Η μορφή EPW αναπτύχθηκε αρχικά για χρήση με δύο σημαντικά προγράμματα προσομοίωσης EnergyPlus και ESP-r και έκτοτε έχει υιοθετηθεί από πολλά άλλα εργαλεία προσομοίωσης κτιρίων.

Όλα τα αρχεία καιρού έχουν την ίδια μορφή για να είναι εύκολη ανάγνωση και η επεξεργασία τους. Οι πρώτες οκτώ γραμμές ή η επικεφαλίδα σε κάθε αρχείο καιρού EPW καθορίζουν βασικές πληροφορίες τοποθεσίας, όπως γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος, ζώνη ώρας, υψόμετρο, ετήσιες συνθήκες σχεδιασμού, μηνιαίες μέσες θερμοκρασίες εδάφους, τυπικές και ακραίες περιόδους, αργίες/περίοδοι θερινής ώρας και περίοδοι δεδομένων που περιλαμβάνονται. Μετά την επικεφαλίδα υπάρχουν περίπου 35 μεταβλητές στον πυρήνα των δεδομένων καιρού [29]. Ωστόσο, δεν χρησιμοποιούνται όλες από αυτές από το EnergyPlus. Στην πραγματικότητα, παρά τις στήλες ημερομηνίας και ώρας, χρησιμοποιούνται μόνο 13 στήλες: θερμοκρασία ξηρού βολβού, θερμοκρασία σημείου δρόσου, σχετική υγρασία, ατμοσφαιρική πίεση, ένταση οριζόντιας υπέρυθρης ακτινοβολίας από τον ουρανό, άμεση κανονική ακτινοβολία, διάχυτη οριζόντια ακτινοβολία, κατεύθυνση ανέμου, ταχύτητα ανέμου, παρούσα παρατήρηση καιρού, παρόντες κωδικοί καιρού, βάθος χιονιού και βάθος βροχόπτωσης.

Η θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου είναι η θερμοκρασία του αέρα που μετράτε από ένα θερμόμετρο ελεύθερα εκτεθειμένο στον αέρα αλλά προστατευμένο από την ακτινοβολία και την υγρασία. Αποτελεί δείκτη της περιεκτικότητας σε θερμότητα και είναι το βασικό κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση των αρχείων καιρού. Η ανάλυση των αρχείων καιρού έγινε με βάση την θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου γιατί κύριο κριτήριο στην συγκεκριμένη διπλωματική ήταν η θερμοκρασία κάθε αρχείου καιρού.

3.3 Εργαλείο προσομοίωσης EnergyPLUS

Το EnergyPlus είναι ένα πρόγραμμα λογισμικού που προσομοιώνει την ενεργειακή απόδοση και τη χρήση νερού των κτιρίων. Αναπτύσσεται και συντηρείται από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (DOE) και μια ομάδα συνεργατών. Το EnergyPlus μπορεί να μοντελοποιήσει διάφορες πτυχές του σχεδιασμού και της λειτουργίας του κτιρίου, όπως θέρμανση, ψύξη, αερισμό, φωτισμό, φορτία βύσματος και διεργασιών, συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και θερμική άνεση. Το EnergyPlus μπορεί επίσης να εκτελέσει διαστασιολόγηση, οικονομική ανάλυση και βελτιστοποίηση των δομικών στοιχείων και των ελέγχων του κτιρίου [30].

Το EnergyPlus έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι ευέλικτο και επεκτάσιμο, επιτρέποντας στους χρήστες να προσαρμόζουν και να επεκτείνουν τις δυνατότητές του. Το EnergyPlus χρησιμοποιεί δομή που αποτελείται από ενότητες εισόδου, εξόδου, προσομοίωσης και χρησιμότητας. Η ενότητα εισόδου διαβάζει την περιγραφή του κτιρίου και των συστημάτων του που έχει ορίσει ο χρήστης από ένα αρχείο κειμένου. Η μονάδα εξόδου παράγει διάφορες αναφορές και αρχεία που περιέχουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Η ενότητα προσομοίωσης εκτελεί τους υπολογισμούς για κάθε χρονικό βήμα, χρησιμοποιώντας διάφορα μοντέλα και αλγορίθμους. Η βοηθητική ενότητα παρέχει υποστηρικτικές

λειτουργίες, όπως επεξεργασία δεδομένων καιρού, δημιουργία προγράμματος και χειρισμό σφαλμάτων [31].

Το EnergyPlus δεν είναι μια γραφική διεπαφή χρήστη (GUI), αλλά μια μηχανή προσομοίωσης που μπορεί να ενσωματωθεί σε διάφορα εργαλεία και διεπαφές τρίτων κατασκευαστών. Ορισμένα από αυτά τα εργαλεία παρέχουν γραφικούς τρόπους δημιουργίας και επεξεργασίας αρχείων εισόδου, οπτικοποίησης και ανάλυσης δεδομένων εξόδου και εκτέλεσης παραμετρικών μελετών και βελτιστοποίησης. Το EnergyPlus παρέχει επίσης ένα κιτ ανάπτυξης λογισμικού (SDK) που επιτρέπει στους προγραμματιστές να έχουν πρόσβαση και να χειρίζονται τα δεδομένα και τις λειτουργίες του.

Το EnergyPlus είναι ένα έργο ανοικτού κώδικα που καλωσορίζει συνεισφορές από την ερευνητική κοινότητα και την κοινότητα των χρηστών. Το EnergyPlus ενημερώνεται και βελτιώνεται συνεχώς, ενσωματώνοντας νέα χαρακτηριστικά, μοντέλα και βελτιώσεις. Το EnergyPlus υποβάλλεται επίσης σε αυστηρές δοκιμές και επικύρωση για να διασφαλίζεται η ακρίβεια και η αξιοπιστία του. Το EnergyPlus χρησιμοποιείται ευρέως από μηχανικούς, αρχιτέκτονες, ερευνητές και εκπαιδευτικούς σε όλο τον κόσμο για διάφορους σκοπούς, όπως ο σχεδιασμός κτιρίων, η συμμόρφωση με τους κώδικες, η ανάλυση μετασκευών και η έρευνα. Το EnergyPlus αποτελεί επίσης τη βάση για διάφορα συστήματα ενεργειακής αξιολόγησης και πιστοποίησης κτιρίων, όπως το LEED και το πρότυπο ASHRAE 90.1.

3.4 OpenStudio και δημιουργία μοντέλου

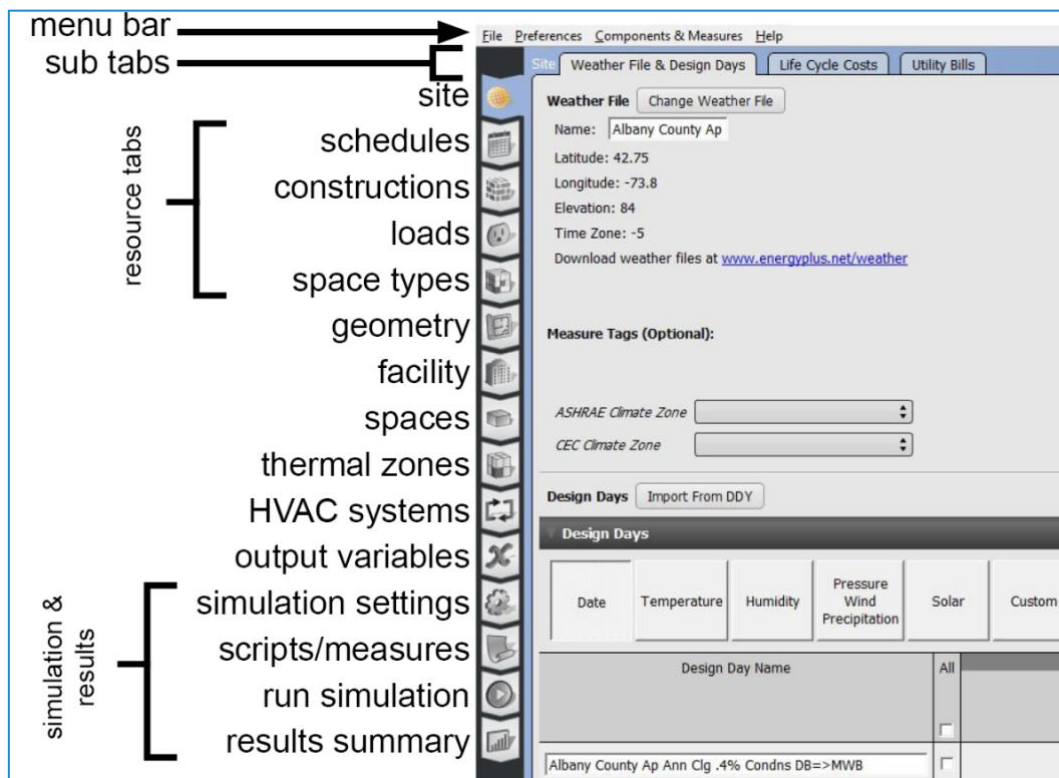
Το OpenStudio® SDK είναι μια συλλογή εργαλείων λογισμικού που υποστηρίζεται από πολλαπλές πλατφόρμες (Windows, Mac και Linux) που έχει σαν σκοπό την υποστήριξη ενεργειακής μοντελοποίησης ολόκληρου του κτιρίου. Πρόκειται για ένα δωρεάν εργαλείο λογισμικού που επιτρέπει στους χρήστες να σχεδιάζουν και να προσομοιώνουν την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Όπως αναφέρθηκε και πιο πριν βασίζεται στο EnergyPlus. Είναι ένα πρόγραμμα ανοικτού κώδικα (Open source) που δημιουργήθηκε με σκοπό να γίνει πιο εύκολη η προσομοίωση κτηρίων. Σκοπός του είναι να ενθαρρύνει τη συμμετοχή και τη συνεισφορά της κοινότητας των χρηστών. Οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση στην τεκμηρίωση, τα σεμινάρια, τα φόρουμ [32] και άλλους πόρους στον ιστότοπο του OpenStudio [33]. Το OpenStudio SDK είναι τόσο ένα κιτ ανάπτυξης λογισμικού (SDK) όσο και μια γραμμή εντολών (Command Line Interface ,CLI). Στην ουσία, το OpenStudio SDK παρέχει μια διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών (API) για πρόσβαση στη μηχανή μοντελοποίησης EnergyPlus η οποία είναι φιλική προς το χρήστη και χρησιμοποιήστε για την εκτέλεση προσομοιώσεων, την προβολή των αποτελεσμάτων και τη σύγκριση διαφορετικών επιλογών σχεδιασμού.

Το OpenStudio μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς, όπως η αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης υφιστάμενων ή νέων κτιρίων, η διερεύνηση των δυνατοτήτων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των μέτρων βιωσιμότητας και η επίτευξη στόχων και προτύπων εξοικονόμησης ενέργειας. Το πρόγραμμα μπορεί επίσης να χειριστεί διαφορετικούς τύπους κτιρίων, όπως γραφεία, σχολεία, νοσοκομεία και κτίρια κατοικιών, καθώς και διαφορετικά κλίματα και τοποθεσίες. Ακόμη έχει την δυνατότητα να υποστηρίξει προηγμένα χαρακτηριστικά, όπως ο φωτισμός ημέρας, ο φυσικός αερισμός και η απόκριση ζήτησης.

Μέσα στο OpenStudio SDK υπάρχουν πολλές εφαρμογές όπως το OpenStudio SketchUp Plug-in, το OpenStudio Application και το Parametric Analysis Tool. Το SketchUp Plug-in και το Openstudio Application συντηρούνται από τον συνασπισμό OpenStudio, ο οποίος ιδρύθηκε για να διατηρήσει και να αναπτύξει αυτές τις γραφικές εφαρμογές για την κοινότητα ενεργειακής μοντελοποίησης κτιρίων. Το SketchUp Plug-in είναι ένα δημοφιλές λογισμικό τρισδιάστατης σχεδίασης, για τη δημιουργία και

την επεξεργασία της γεωμετρίας του κτιρίου και την ανάθεση διαφόρων παραμέτρων, όπως τα υλικά κατασκευής [34].

Η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου της κατοικίας έγινε στο open studio. Η εφαρμογή OpenStudio είναι μια πλήρως εξοπλισμένη γραφική διεπαφή με τα μοντέλα OpenStudio. Μέσα από το OpenStudio App ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει την γεωμετρία του κτηρίου, φορτίων, χρονοδιαγραμμάτων και των συστημάτων HVAC. Η περιήγηση στο OpenStudio γίνεται μέσα από τα 15 tabs που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα(2.2).



Εικόνα.3.2: Καρτέλες Open Studio

Τοποθεσία (Site)

Η καρτέλα τοποθεσία (site tab) χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της φυσικής θέση του κτιρίου και του περιβάλλοντος χώρου, αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή του αρχείου καιρού (epw) και του αρχείου ddy. Γενικά η τοποθεσία στην εφαρμογή OpenStudio παρέχει τις απαραίτητες εισόδους ώστε το EnergyPlus να προσομοιώσει με ακρίβεια την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου στη συγκεκριμένη θέση και το περιβάλλον του, οι πληροφορίες είναι σημαντικές για πιο ακριβής αποτελέσματα της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου.

Χρονοδιαγράμματα (Schedules)

Η καρτέλα με τα χρονοδιαγράμματα (Schedules tab) επιτρέπει στον χρήστη να δημιουργεί και να επεξεργάζεται χρονοδιαγράμματα για διάφορες παραμέτρους που χρησιμοποιούνται σε προσομοιώσεις, όπως φωτισμός, πληρότητα, σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας και χρήση εξοπλισμού. Προσφέρει χαρακτηριστικά όπως προκαθορισμένους τύπους χρονοδιαγράμματος (Ενεργοποίηση /απενεργοποίηση, κλάσμα, θερμοκρασία), παρεμβολή χρονοδιαγράμματος και διαχειριστές σημείων ρύθμισης χρονοδιαγράμματος για τη δημιουργία χρονοδιαγραμμάτων που αντιπροσωπεύουν με ακρίβεια τα μοτίβα πληρότητας και χρήσης ενός κτιρίου. Ο χρήστης μπορεί να αντιγράψει και να

επικολλήσει χρονοδιαγράμματα μεταξύ διαφορετικών αντικειμένων, διευκολύνοντας την εφαρμογή του ίδιου χρονοδιαγράμματος σε πολλές παραμέτρους.

Κατασκευές (Constructions)

Η καρτέλα Κατασκευές (constructions) χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των δομικών στοιχείων του κτιρίου, όπως τοίχοι, στέγες, παράθυρα και πόρτες. Ακόμα επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργήσει και να επεξεργαστεί σύνολα κατασκευών, τα οποία είναι συλλογές διαφορετικών κατασκευών που εφαρμόζονται στις επιφάνειες του κτιρίου. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει από μια βιβλιοθήκη προκαθορισμένων κατασκευών ή να δημιουργήσει νέες κατασκευές από την αρχή. Επιπλέον, η καρτέλα Κατασκευές επιτρέπει στο χρήστη να καθορίσει ιδιότητες υλικού όπως πάχος, αγωγιμότητα και πυκνότητα.

Φορτία (Loads)

Η καρτέλα Φορτία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό εσωτερικών και εξωτερικών φορτίων στο κτίριο. Τα εσωτερικά φορτία μπορεί να περιλαμβάνουν φωτισμό, εξοπλισμό και ανθρώπους, ενώ τα εξωτερικά φορτία μπορεί να περιλαμβάνουν ηλιακά κέρδη και διείδυση. Επίσης, ο χρήστης μπορεί να αντιστοιχίσει εσωτερικά και εξωτερικά φορτία στους διαφορετικούς τύπους χώρου, είτε καθορίζοντας απευθείας το φορτίο είτε χρησιμοποιώντας χρονοδιαγράμματα που δημιουργήθηκαν στην καρτέλα Χρονοδιαγράμματα.

Είδη χώρων (Space Types)

Η καρτέλα είδη χώρων (Space Types) επιτρέπει στον χρήστη να ορίζει και να διαχειρίζεται τους διαφορετικούς τύπους χώρων σε ένα κτίριο με βάση την πληρότητα, τη χρήση και άλλα χαρακτηριστικά τους. Ο χρήστης μπορεί επίσης να δημιουργήσει και να επεξεργαστεί τύπους χώρων και να τους αντιστοιχίσει σε μεμονωμένους χώρους, με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, όπως πυκνότητα ισχύος φωτισμού, πυκνότητα ισχύος εξοπλισμού, πυκνότητα πληρότητας, απαιτήσεις εξαερισμού αλλά και να διαχειρίζεται χρονοδιαγράμματα για την πληρότητα, τον φωτισμό και τη χρήση εξοπλισμού. Συνολικά, η καρτέλα Τύποι χώρου επιτρέπει στον χρήστη να χωρίσει το κτήριο με βάση διαφορετικά χαρακτηριστικά των χώρων του.

Γεωμετρία (Geometry)

Στη καρτέλα Γεωμετρία ο χρήστης δημιουργεί τη φυσική γεωμετρία ενός κτιρίου μέσω ενός περιβάλλοντος μοντελοποίησης 3D (floorpace). Η καρτέλα περιλαμβάνει επίσης προηγμένα χαρακτηριστικά, όπως η δυνατότητα εισαγωγής γεωμετρίας από εξωτερικές πηγές ή η δημιουργία λεπτομερών επιφανειών σκίασης που λαμβάνουν υπόψη την επίδραση εξωτερικών εμποδίων στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου.

Εγκατάσταση (Facility)

Η καρτέλα Εγκατάσταση (Facility) παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση του μοντέλου κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων πληροφοριών σχετικά την ομάδα κατασκευής (Construction set), χρονοδιαγράμματα (schedule set), ύψος ορόφων και πόσοι άνθρωποι βρίσκονται στο κτήριο.

Χώροι (Spaces)

Η καρτέλα χώροι (Spaces) επιτρέπει στο χρήστη να ορίζει τις φυσικές ιδιότητες μεμονωμένων χώρων σε ένα κτίριο. Στην καρτέλα Spaces, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει χώρους, να τους αντιστοιχίσει σε συγκεκριμένους ορόφους και να ορίσει τις διαστάσεις, τους προσανατολισμούς και τις θέσεις τους. Η καρτέλα παρέχει στον χρήστη μια σειρά χαρακτηριστικών που μπορούν να αντιστοιχιστούν σε κάθε χώρο, όπως ο εξοπλισμός και επιτρέπει στον χρήστη να εκχωρεί εσωτερικά φορτία σε μεμονωμένους χώρους αλλά και προβολή όλων των επιφανειών του 3D μοντέλου.

Θερμικές Ζώνες (Thermal zones)

Στη καρτέλα Θερμικές Ζώνες ο χρήστης ορίζει και διαχειρίζεται τις θερμικές ζώνες ενός κτιρίου, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ομαδοποίηση χώρων με παρόμοια θερμικά χαρακτηριστικά για σκοπούς θέρμανσης και ψύξης. Σε αυτήν την καρτέλα, υπάρχει η δυνατότητα να επεξεργαστούν θερμικές ζώνες, να αντιστοιχηθούν σε χώρους ή σε συγκεκριμένες ζώνες και να οριστούν οριακές συνθήκες μεταξύ ζωνών, όπως οι ιδιότητες κατασκευής τοίχων και παραθύρων. Η καρτέλα παρέχει επίσης στον χρήστη μια σειρά ρυθμίσεων που σχετίζεται με τη θερμότητα και τον εξαερισμό για κάθε θερμική ζώνη, όπως διαφορετικά χρονοδιαγράμματα θερμοστατών, διαφορετικά σημεία ρύθμισης θέρμανσης και ψύξης για κάθε θερμική ζώνη.

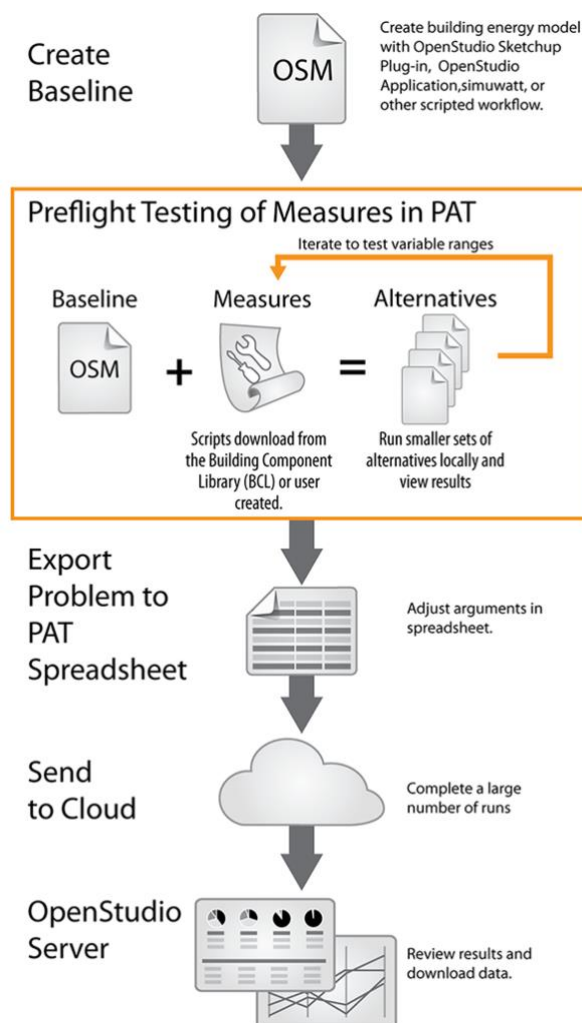
Συστήματα κλιματισμού και θέρμανσης (HVAC SYSTEMS)

Η καρτέλα Συστήματα κλιματισμού και θέρμανσης HVAC είναι όπου ο χρήστης δημιουργεί τα συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού ενός κτιρίου. Ακόμη η καρτέλα επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει από μια σειρά τύπων συστημάτων HVAC, όπως του μεταβλητού όγκου αέρα (VAV) ή του σταθερού όγκου αέρα (CAV). Ο χρήστης μπορεί επίσης να προσαρμόσει διάφορες πτυχές κάθε συστήματος, όπως τους τύπους εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται.

3.5 Parametric Analysis Tool

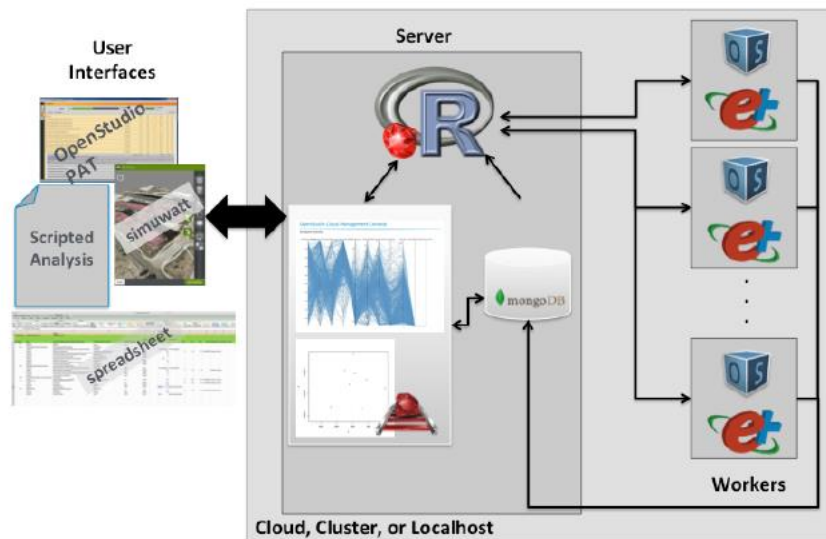
Το εργαλείο παραμετρικής ανάλυσης (PAT) είναι ένα ισχυρό και ευέλικτο εργαλείο της σουίτας OpenStudio (όπως αναφέρθηκε και πιο πριν) που χρησιμοποιείται από επαγγελματίες του τομέα της ενέργειας για τη διεξαγωγή λεπτομερών παραμετρικών αναλύσεων. Η ικανότητά του να χειρίζεται προσομοιώσεις με πολλές μεταβλητές και να εξάγει αποτελέσματα το καθιστά ανεκτίμητο πόρο στον τομέα της ενεργειακής μοντελοποίησης και προσομοίωσης κτιρίων

Ο πρωταρχικός σκοπός του PAT είναι να διευκολύνει την παραμετρική ανάλυση μεγάλης κλίμακας. Επιτρέπει στους χρήστες να ορίσουν μια σειρά τροποποιήσεων (μέτρα, openstudio Measures) και να τις εφαρμόσουν σε ένα βασικό ενεργειακό μοντέλο [35]. Στη συνέχεια, το εργαλείο εκτελεί προσομοιώσεις για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς αυτών των μέτρων, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη επισκόπηση των πιθανών επιπτώσεων των διαφόρων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού, όπου μπορεί να υπάρξει ένα ευρύ φάσμα πιθανών σχεδιαστικών λύσεων προς εξέταση [36]. Στην εικόνα 2.3 φαίνεται η μεθοδολογία και η ροή δεδομένων για την λειτουργία του PAT.

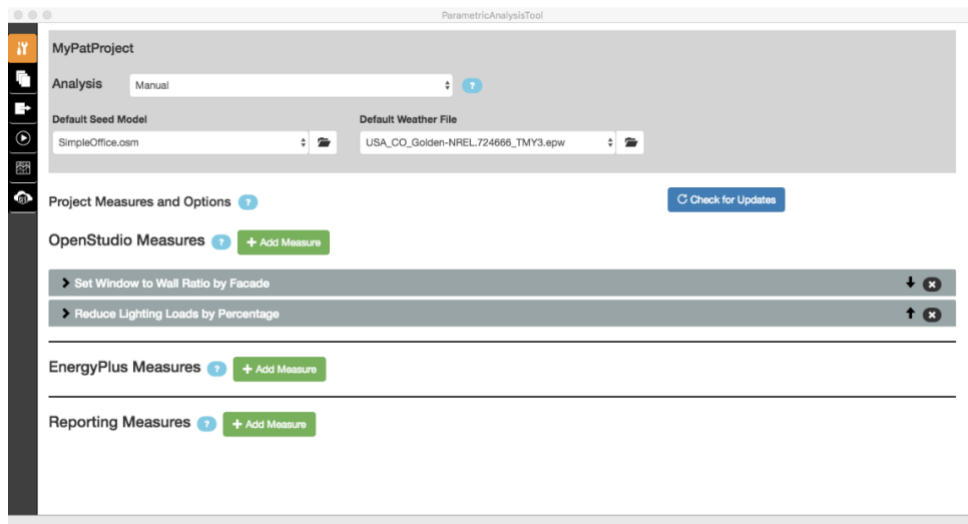


Εικόνα 3.3: Ροή δεδομένων στο PAT

Στο πρώτο side tab του PAT γίνεται η επιλογή του μοντέλου από το OpenStudio που θα χρησιμοποιηθεί για ανάλυση και δίπλα γίνεται η επιλογή του αρχείου καιρού. Στην συνέχεια υπάρχει η επιλογή για προσθήκη των OpenStudio Measures (εικόνα 2.5). Τα Measures είναι ένα script ή μια προσθήκη που αυτοματοποιεί ορισμένες εργασίες στη ροή εργασίας του OpenStudio. Τα μέτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση ποικίλων εργασιών, όπως η τροποποίηση της γεωμετρίας ή των ιδιοτήτων ενός μοντέλου κτιρίου, η ρύθμιση παραμέτρων προσομοίωσης. Τα Measures στο OpenStudio είναι γραμμένα στη γλώσσα προγραμματισμού Ruby και μπορούν να δημιουργηθούν και να κοινοποιηθούν από τον χρήστη. Το OpenStudio συνοδεύεται από μια βιβλιοθήκη μέτρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αμέσως ή να προσαρμοστούν ανάλογα με τις ανάγκες. Η χρήση των Measures μπορεί να εξοικονομήσει χρόνο και προσπάθεια στη διαδικασία ενεργειακής μοντελοποίησης αυτοματοποιώντας πολλά πράγματα. Τα Measures μπορούν επίσης να βοηθήσουν στη βελτίωση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των ενεργειακών μοντέλων μειώνοντας τον κίνδυνο ανθρώπινου λάθους και παρέχοντας τυποποιημένες ροές εργασίας. Ακολούθως υπάρχει η επιλογή για εισαγωγή στην ανάλυση Energy plus Measures και Reporting Measures που δίνει την δυνατότητα στον χρήστη για μεταγενέστερη επεξεργασία των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι το PAT δεν εξάγει δικά του αποτελέσματα αλλά τρέχει το εργαλείο energy Plus και Open Studio με αποτέλεσμα η έξοδος του καθορίζεται από τα reporting Measures που αναφέρθηκαν (εικόνα 2.4).



Εικόνα 3.4: Διακομιστής PAT



Εικόνα 3.5: Αρχική Οθόνη PAT

Σχεδιασμός Εναλλακτικών (Desing Alternatives)

Σε αυτή την καρτέλα δίνεται η δυνατότητα με βάση τα Measures που εισάχθηκαν στην προηγούμενη καρτέλα δημιουργία διαφορετικών παραλλαγών του ενεργειακού μοντέλου (εικόνα 2.6). Με βάση τις τιμές που εισάχθηκαν στο προηγούμενο tab αλλά και διαφορετικά αποτελέσματα. Κάθε εναλλακτική προσομοίωση κτιρίου έχει ξεχωριστά αρχεία εξόδου και τρέχει σαν αυτοτελή προσομοίωση.

Name	Seed Model	Location or Weather File	Description	Set Window To Wall Ratio By Facade	Reduce Lighting Loads By Percentage	Openstudio Results
Alternative 1	SimpleOffice.osm	USA_CO_Golden-NREL...		WWR 0.2	None	Option 1
Alternative 2	SimpleOffice.osm	USA_CO_Golden-NREL...		WWR 0.3	None	Option 1
Alternative 3	SimpleOffice.osm	USA_CO_Golden-NREL...		WWR 0.4	None	Option 1
Alternative 4	SimpleOffice.osm	USA_CO_Golden-NREL...		None	30% LPD Reduction	Option 1
Alternative 5	SimpleOffice.osm	USA_CO_Golden-NREL...		None	40% LDP Reduction	Option 1
Alternative 6	SimpleOffice.osm	USA_CO_Golden-NREL...		None	50% LPD Reduction	Option 1
Alternative 7	SimpleOffice.osm	USA_CO_Golden-NREL...		WWR 0.2	50% LPD Reduction	Option 1

Εικόνα 3.6: Εναλλακτικές προσομοιώσεις κτιρίου

Εκτέλεση (RUN)

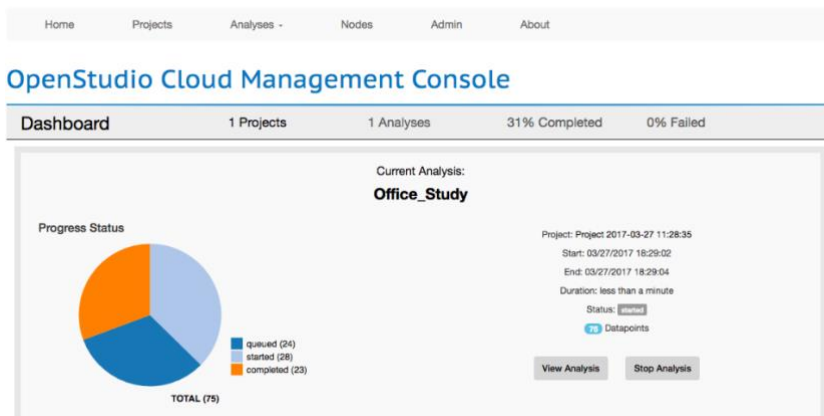
Το εργαλείο κάνει τις προσομοιώσεις λειτουργώντας σε ένα τοπικό Server που πρέπει να το ξεκινήσει ο χρήστης από την επιλογή window, Server tools, start local Server. Αφού έχει εκκινήσει ο χρήστης έχει την επιλογή να τρέξει ένα, μερικά ή όλα τα εναλλακτικά σχέδια που δημιουργήθηκαν στον προηγούμενο tab και αφού τελειώσουν φαίνεται αν ήταν επιτυχημένες ή όχι οι προσομοιώσεις. Στις τελευταίες στήλες υπάρχει και η δυνατότητα προβολής κάποιων αποτελεσμάτων. (εικόνα 2.7 osm, Results)

Name	Last Run	Run Time	Status	NAs	Warnings	Errors	All	OSM	Results
LHS Autogenerated 1	3/27/2017		completed completed normal	0	0	0	C	OSM	Results
LHS Autogenerated 2	3/27/2017		completed completed normal	0	0	0	C	OSM	Results
LHS Autogenerated 3	3/27/2017		completed completed normal	0	0	0	C	OSM	Results
LHS Autogenerated 4	3/27/2017		completed completed normal	0	0	0	C	OSM	Results
LHS Autogenerated 5	3/27/2017		completed completed normal	0	0	0	C	OSM	Results
LHS Autogenerated 6	3/27/2017		completed completed normal	0	0	0	C	OSM	Results

Εικόνα 3.7: Run Tab

Διακομιστής (Server)

Στη καρτέλα διακομιστή παρουσιάζεται ο τοπικός διακομιστής που δημιουργήθηκε και εμφανίζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και δίνεται η δυνατότητα για να αποθηκευτούν στον υπολογιστή τα αρχεία της προσομοίωσης. Ακόμη η πρόσβαση στον διακομιστή γίνεται από την επιλογή window, Server tools, view local Server που ανοίγει σε ένα παράθυρο του προγράμματος περιήγησης του υπολογιστή και έχει την ίδια λειτουργικότητα με την καρτέλα διακομιστή του PAT.



Εικόνα 3.8: Server Tab

3.6 Ανάλυση εξόδου και αποτελέσματα

Για την ανάλυση των δεδομένων από τις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις μετρικές. Οι μετρικές αυτές επιλέχθηκαν γιατί παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ανάλυση της θερμικής ευρωστίας. Στην συνέχεια έγινε κανονικοποίηση των δεδομένων διαιρώντας την μέγιστη τιμή κάθε μετρικής με της υπόλοιπες ώστε οι τιμές να κυμαίνονται μεταξύ μηδέν και ένα με σκοπό να γίνουν συγκρίσιμες. Ακόμη είναι απαραίτητο να γίνουν γιατί κάθε μετρική πρέπει να έχει την ίδια βαρύτητα και να μην εξαρτάται από την τιμή της κάθε μετρικής.

Για να αποφασιστεί ποια από τις ίδιες προσομοιώσεις με διαφορετικά αρχεία καιρού ήταν η καλύτερη χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Minimax Regret η οποία είναι μια προσέγγιση λήψης αποφάσεων που χρησιμοποιείται για τη διαχείριση προβλημάτων λήψης αποφάσεων υπό αβεβαιότητα. Αντιμετωπίζει καταστάσεις όπου ο λήπτης αποφάσεων αντιμετωπίζει πολλαπλά πιθανά σενάρια, καθένα από τα οποία συνδέεται με ένα σύνολο πιθανών αποτελεσμάτων, και επιδιώκει να ελαχιστοποιήσει τη μέγιστη λύπη σε όλα αυτά τα σενάρια. Η βασική αρχή αυτής της μεθόδου είναι η λήψη αποφάσεων που ελαχιστοποιούν τη λύπη που θα βιώσουν για κάθε πιθανό αποτέλεσμα, ανεξάρτητα από το ποιο σενάριο θα εξελιχθεί.

Η μέθοδος Minimax Regret βασίζεται στην ιδέα ότι οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων μπορεί να έχουν διαφορετική στάση απέναντι στον κίνδυνο. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους λήψης αποφάσεων που επικεντρώνονται στη μεγιστοποίηση των αναμενόμενων αξιών η μέθοδος Minimax Regret αναγνωρίζει ότι η λύπη μπορεί να είναι ένα πιο ρεαλιστικό μέτρο δυσαρέσκειας όταν πρόκειται για αβέβαια αποτελέσματα. Ο λήπτης αποφάσεων κατασκευάζει έναν πίνακα λύπης, ο οποίος συγκρίνει τα αποτελέσματα για κάθε απόφαση σε κάθε σενάριο με το καλύτερο αποτέλεσμα στο συγκεκριμένο σενάριο. Ο πίνακας λύπης ποσοτικοποιεί τη διαφορά μεταξύ των πραγματικών και των βέλτιστων αποτελεσμάτων και επιτρέπει στον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων να προσδιορίσει την επιλογή με την ελάχιστη μέγιστη λύπη.

Η μέθοδος Minimax Regret είναι κατάλληλη για τους λήπτες αποφάσεων που αποφεύγουν τον κίνδυνο και δίνουν προτεραιότητα στην αποφυγή των χειρότερων σεναρίων. Είναι λιγότερο ευαίσθητη σε ακραίες τιμές ή ακραίες τιμές σε σύγκριση με τις μεθόδους που βασίζονται στην αναμενόμενη αξία. Σε αντίθεση με τις μεθόδους που βασίζονται σε κατανομές πιθανοτήτων, η μέθοδος Minimax Regret μπορεί να λειτουργήσει καλά με περιορισμένα δεδομένα, καθιστώντας την κατάλληλη για καταστάσεις όπου η συλλογή δεδομένων είναι δύσκολη όπως σε αυτή την εργασία που υπήρχαν συνολικά ογδόντα ένα προσομοιώσεις.

Ένα μειονέκτημα της μεθόδου Minimax Regret είναι ότι απορρίπτει τις πιθανοτικές πληροφορίες που σχετίζονται με τα σενάρια, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μη βέλτιστες αποφάσεις σε καταστάσεις όπου οι πιθανότητες επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα. Ακόμη σε ποιο πολύπλοκα προβλήματα λήψης αποφάσεων με μεγάλο αριθμό σεναρίων και αποτελεσμάτων, η κατασκευή και η ανάλυση του πίνακα λύπης μπορεί να καταστεί δυσκίνητη και μη πρακτική.

Συνολικά, η μέθοδος Minimax Regret είναι μια πολύτιμη προσέγγιση για τη λήψη αποφάσεων υπό αβεβαιότητα, ιδίως όταν οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων αποφεύγουν τον κίνδυνο και επιθυμούν να ελαχιστοποιήσουν τις πιθανές λύπες. Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται τελικά από τη στάση του λήπτη αποφάσεων ως προς τον κίνδυνο, τα διαθέσιμα δεδομένα και την πολυπλοκότητα του εκάστοτε προβλήματος.

Στην συνέχεια με βάση τα αποτελέσματα του κριτηρίου minMax regret για να γίνει η ομαδοποίηση σε κατηγορίες χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος kmeans. Ο αλγόριθμος k-means είναι μια επαναληπτική, μη επιβλεπόμενη τεχνική μηχανικής μάθησης που έχει σχεδιαστεί για την ομαδοποίηση δεδομένων έναν προκαθορισμένο αριθμό συστάδων, ο οποίος συμβολίζεται ως "k". Ο πρωταρχικός στόχος του είναι να ομαδοποιεί παρόμοια σημεία δεδομένων με τρόπο που να διασφαλίζει ότι τα σημεία δεδομένων σε μια συστάδα είναι πιο παρόμοια μεταξύ τους από ό,τι σε άλλες συστάδες. Αυτό επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό των βέλτιστων κεντροειδών που αντιπροσωπεύουν τα κέντρα κάθε συστάδας.

Ο αλγόριθμος k-means λειτουργεί ως εξής: ξεκινά με το βήμα αρχικοποίησης, όπου επιλέγονται τυχαία από το σύνολο δεδομένων "k" σημεία δεδομένων που λειτουργούν ως τα αρχικά κεντροειδή, τα οποία ουσιαστικά χρησιμεύουν ως τα κέντρα κάθε συστάδας. Στο βήμα ανάθεσης, κάθε σημείο δεδομένων στο σύνολο δεδομένων ανατίθεται στο πλησιέστερο κεντροειδές με βάση μια μετρική απόσταση, συχνά την ευκλείδεια απόσταση. Το σημείο δεδομένων ανατίθεται στη συστάδα της οποίας το κεντροειδές είναι πλησιέστερα σε αυτό.

Μετά το βήμα ανάθεσης, ακολουθεί το βήμα ενημέρωσης, κατά το οποίο υπολογίζονται εκ νέου τα κεντροειδή κάθε συστάδας. Τα νέα κεντροειδή υπολογίζονται ως ο μέσος όρος όλων των σημείων δεδομένων που έχουν ανατεθεί στη συγκεκριμένη συστάδα. Αυτή η διαδικασία ενημερώνει συνεχώς τη θέση των κέντρων των συστάδων.

Ο αλγόριθμος επαναλαμβάνει επαναληπτικά τα βήματα ανάθεσης και ενημέρωσης μέχρι να συγκλίνει. Η σύγκλιση επέρχεται όταν τα κεντροειδή δεν αλλάζουν πλέον σημαντικά μεταξύ των επαναλήψεων ή όταν επιτυγχάνεται ένας προκαθορισμένος μέγιστος αριθμός επαναλήψεων. Μόλις επιτευχθεί σύγκλιση, τα σημεία δεδομένων κατατάσσονται στις αντίστοιχες συστάδες τους με βάση τα πλησιέστερα κεντροειδή. Κάθε σημείο δεδομένων συσχετίζεται με τη συστάδα της οποίας το κεντροειδές βρίσκεται πλησιέστερα.

Είναι ζωτικής σημασίας να καθοριστεί ο αριθμός των συστάδων, "k", πριν από την εκτέλεση του αλγορίθμου. Η επιλογή μιας κατάλληλης τιμής για το "k" είναι ουσιαστική, καθώς επηρεάζει άμεσα την προκύπτουσα ομαδοποίηση. Διάφορες τεχνικές, όπως η μέθοδος του αγκώνα ή η ανάλυση σιλουέτας, μπορούν να βοηθήσουν στον προσδιορισμό της βέλτιστης τιμής του "k" με βάση τα χαρακτηριστικά των δεδομένων.

Μετά την ολοκλήρωση του αλγορίθμου και την ανάθεση των σημείων δεδομένων σε συστάδες, μπορεί να πραγματοποιηθεί περαιτέρω ανάλυση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Κάθε συστάδα αντιπροσωπεύει μια ομάδα σημείων δεδομένων που μοιράζονται παρόμοια χαρακτηριστικά ή συμπεριφορά και μπορούν να τους αποδοθούν κατάλληλες ετικέτες.

Μια σημαντική παρατήρηση είναι ότι ο αλγόριθμος k-means είναι ευαίσθητος στην αρχική τοποθέτηση των κεντροειδών. Διαφορετικές αρχικοποιήσεις μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορετικές ομαδοποιήσεις. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, ο αλγόριθμος εκτελείται συχνά πολλές φορές με διαφορετικές αρχικοποιήσεις.

4 Μελέτη Περίπτωσης

4.1 Προεργασία δεδομένων – Αρχεία καιρού

Ξεκινώντας την διαδικασία για την ανάλυση όσο αφορά την θερμική ευρωστία των κτηρίων πρέπει πρώτα να επιλεγούν τα αρχεία καιρού που θα χρησιμοποιηθούν. Αφού επιλεχθήκαν διάφορες πόλεις/χώρες κοντά στο γεωγραφικό πλάτος της Ελλάδας όπως Πορτογαλία , Μαρόκκο, η πόλη Σόφια της Βουλγαρίας και άλλες. Για κάθε αρχείο καιρού έγινε μετατροπή το αρχείο erw σε αρχείο csv (comma separated values) για να γίνει δυνατή η εισαγωγή και επεξεργασία για ανάλυση από κώδικα στην Python.

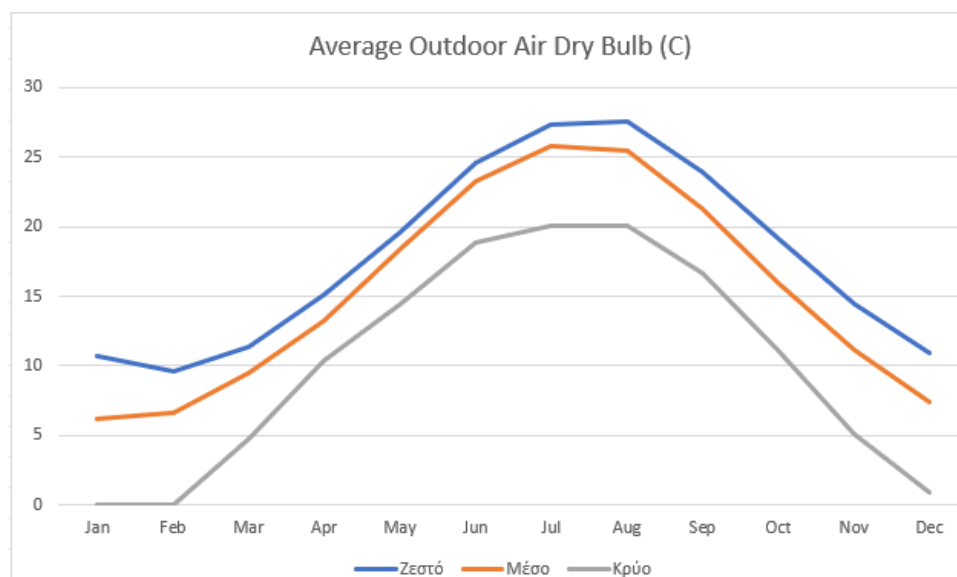
Η δομή των αρχείων καιρού είναι ίδια σε όλα τα αρχεία που χρησιμοποιήθηκαν, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1. Τα αρχεία καιρού στις πρώτες 8 γραμμές περιέχουν γενικά δεδομένα για το αρχείο καιρού ,όπως την περιοχή για παράδειγμα ή σχόλια από τους δημιουργούς του αρχείου. Μετά τις πρώτες 8 γραμμές ξεκινούν τα δεδομένα καιρού. Οι στήλες των αρχείων καιρού είναι ίδιες σε όλα τα αρχεία, όπως και τις γραμμές. Συνολικά το αρχείο καιρού έχει 35 στήλες. Ενδεικτικά οι πρώτες στήλες στο αρχείο είναι ο χρόνος, μήνας, μέρα ,ώρα και άλλα.

Η ανάλυση έγινε με βάση με την θερμοκρασία ξηρής δόμησης (dry build temperature) που βρίσκεται στην εβδόμη στήλη του αρχείου. Η θερμοκρασία αυτή είναι η θερμοκρασία του αέρα χωρίς να επηρεάζεται από την υγρασία [37]. Ο κώδικας της εικόνας 3.2 διαβάζει δεδομένα από πολλαπλά αρχεία CSV (το κάθε ένα αρχείο είναι το αρχείο καιρού μια πόλης) και υπολογίζει τον μέσο όρο της έβδομης στήλης σε κάθε αρχείο δηλαδή την θερμοκρασία ξηρού βόλβου. Τα αρχεία CSV καθορίζονται στη λίστα με τα ονόματα αρχείων. Ο κώδικας ανοίγει κάθε αρχείο, παραλείπει τις πρώτες 8 γραμμές και στη συνέχεια διαβάζει το υπόλοιπο αρχείο γραμμή προς γραμμή. Για κάθε γραμμή, προσθέτει την τιμή της έβδομης στήλης σε ένα τρέχον σύνολο (col7_sum) και αυξάνει έναν μετρητή (num_rows). Αφού διαβάσει όλες τις γραμμές ενός αρχείου, υπολογίζει τη μέση τιμή της έβδομης στήλης (διαιρώντας το col7_sum με το num_rows). Αυτή η μέση τιμή προσαρτάται στη συνέχεια σε μια λίστα (seventh_col_avgs) και εκτυπώνεται στην οθόνη μαζί με το όνομα του αρχείου. Ο κώδικας επαναλαμβάνει αυτή τη διαδικασία για κάθε αρχείο στη λίστα με τα ονόματα αρχείων. Σκοπός είναι να επιλεγούν στο τέλος τρία αρχεία καιρού που έχουν διαφορά στην θερμοκρασία αέρα όμως παραμένουν σχετικά κοντά στο αρχείο καιρού που θα επιλεγεί σαν το μέσο αρχείο καιρού.

Τέλος, εκτυπώνει τη μέση θερμοκρασία για κάθε αρχείο. Με βάση τα αποτελέσματα της εικόνας 3.3 επιλέχθηκε σαν θερμό αρχείο καιρού το αρχείο της Αθήνας με μέση θερμοκρασία 17,9 °C. Το αρχείο καιρού με μέση θερμοκρασία που επιλέχθηκε είναι η Θεσσαλονίκη με μέση θερμοκρασία 15,4 °C, ενώ το πιο κρύο αρχείο καιρού είναι στην Σόφια με μέση θερμοκρασία 10,24 °C. Αρκετό ενδιαφέρον παρουσιάζει η εικόνα 4.4 όπου παρουσιάζεται η μέση θερμοκρασία κάθε πόλης που επιλέχθηκε για κάθε μήνα του χρόνου γιατί βοηθά στην κατανόηση πως διαφέρουν οι θερμοκρασίες σε κάθε εποχή του χρόνου για τα 3 αρχεία καιρού.

Χώρα/Πόλη	Θερμοκρασία
Αθήνα	17,9
Λισσαβόνα	16.32
Σόφια	10,23
Μαρόκκο	17,32
Θεσσαλονίκη	15.4
Μασαλλία	14.8

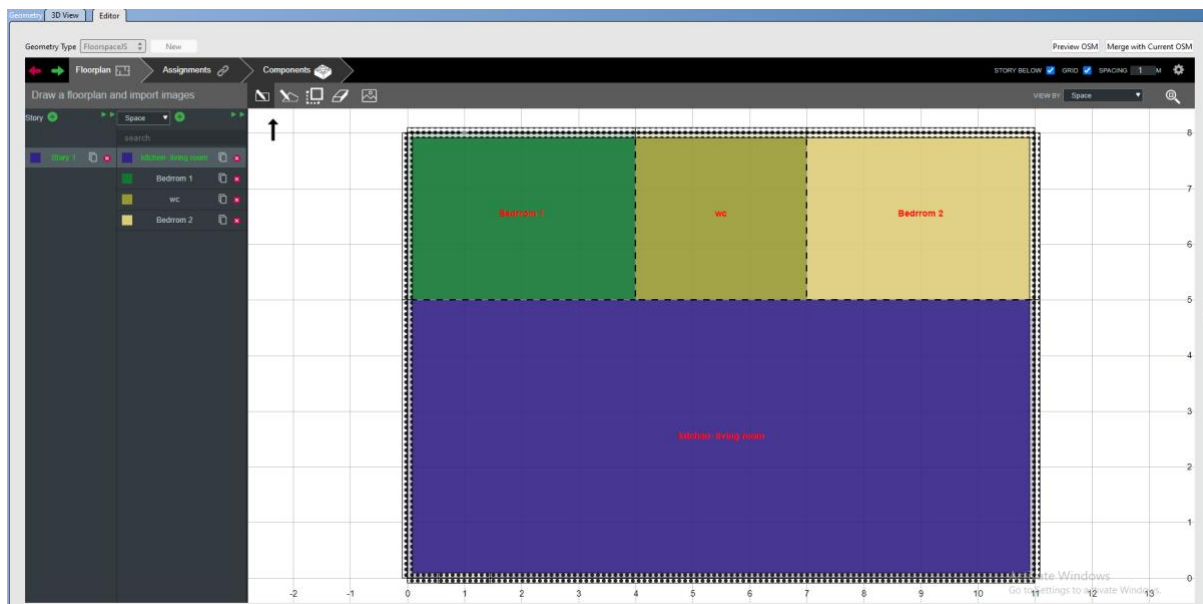
Πίνακας 4.1: Μέση Θερμοκρασία ανα Πόλη



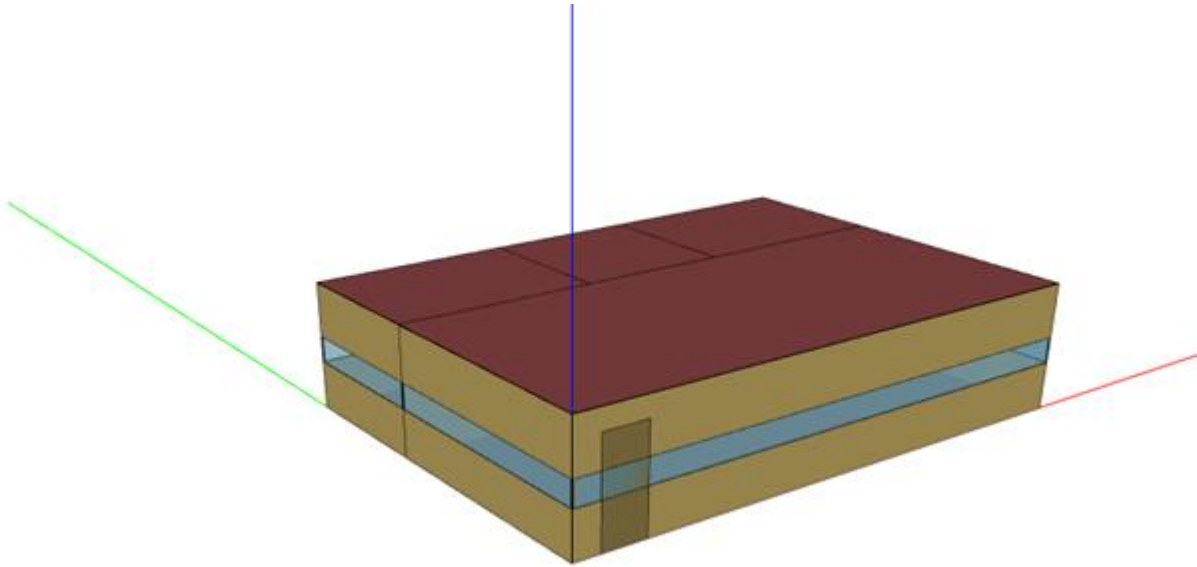
Εικόνα 4.3: Γραφική παράσταση για τις επιλεγμένες πόλεις

4.2 Δημιουργία μοντέλου στο OpenStudio

Αφού καθορίστηκαν τα αρχεία καιρού που θα χρησιμοποιηθούν για τις προσομοιώσεις, το επόμενο βήμα είναι να γίνει το τρισδιάστατο μοντέλο του σπιτιού στο Open Studio. Στην καρτέλα γεωμετρία του OpenStudio έγιναν τα πρώτα βήματα για την δημιουργία του σπιτιού που χρησιμοποιήθηκε για τις προσομοιώσεις. Αρχικά με την χρήση του floorspace σχεδιάστηκε η κάτοψη μιας μονοκατοικία 88 m^2 ενός ορόφου, με δύο υπνοδωμάτια ένα μπάνιο και ένα ενιαίο χώρο για κουζίνα και σαλόνι. Λόγω του μικρού μεγέθους δημιουργήθηκε μόνο μια θερμική ζώνη που ανατέθηκε σε όλο κτήριο. Ακόμη αντί για μεμονωμένα παράθυρα τέθηκε η αναλογία παράθυρα με εξωτερικούς τοίχους στο 0.2 για σκοπούς περεταίρω ανάλυσης όπως για παράδειγμα αν χρειαστεί στο μέλλον να μελετήσουμε πως η ποσοστιαία αύξηση των παραθύρων σε ένα σπίτι μπορεί να επηρεάσει την θερμική ευρωστία. Οι εικόνα 3.5 παρουσιάζει την κάτοψη στο floorspace ενώ η εικόνα 3.6 παρουσιάζει το τρισδιάστατο μοντέλο που δημιουργήθηκε.



Εικόνα 4.4: Κάτοψη κτηρίου



Εικόνα 4.5: Μοντέλο 3D

Πίσω στο πρώτο παράθυρο του OpenStudio γίνεται η εισαγωγή του αρχείου καιρού (epw) και του αρχείου design days (ddy) (εικόνα 3.7) τα οποία είναι βασικά για την εκτέλεση των προσομοιώσεων. Το αρχείο design days (ddy) περιέχει τις μέρες που υπάρχουν ακραία καιρικά φαινόμενα [38]. Μετά την εισαγωγή των αρχείων εμφανίζεται το γεωγραφικό πλάτος, το γεωγραφικό μήκος, το υψόμετρο και η ώρα ζώνης που βρίσκεται τοποθεσία που ανήκει το αρχείο καιρού.

The screenshot shows the 'Weather File & Design Days' tab in OpenStudio. The 'Weather File' section is set to 'ATHENS' with coordinates (37.9, 23.73) and elevation 15. The 'Design Days' section shows a table of design days for Athens, with columns for Design Day Name, Day Of Month, Month, Day Type, and Daylight Saving Time Indicator.

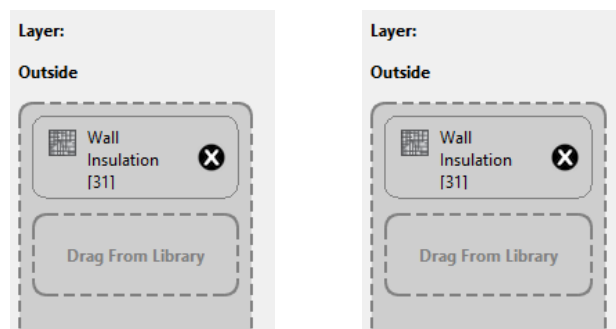
Design Day Name	All	Day Of Month	Month	Day Type	Daylight Saving Time Indicator
ATHENS Ann Clg 4% Conds DB>MWB	<input type="checkbox"/>	21	8	SummerDesignDay	<input type="checkbox"/>
ATHENS Ann Clg 4% Conds DB>MWB 1	<input type="checkbox"/>	21	8	SummerDesignDay	<input type="checkbox"/>
ATHENS Ann Clg 4% Conds DB>MWB 2	<input type="checkbox"/>	21	8	SummerDesignDay	<input type="checkbox"/>
ATHENS Ann Clg 4% Conds DB>MWB 3	<input type="checkbox"/>	21	8	SummerDesignDay	<input type="checkbox"/>
ATHENS Ann Clg 4% Conds DB>MWB 4	<input type="checkbox"/>	21	8	SummerDesignDay	<input type="checkbox"/>
ATHENS Ann Clg 4% Conds DB>MWB 5	<input type="checkbox"/>	21	8	SummerDesignDay	<input type="checkbox"/>
ATHENS Ann Clg 4% Conds DP>MDB	<input type="checkbox"/>	21	8	SummerDesignDay	<input type="checkbox"/>

Εικόνα 4.6: Αρχική σελίδα OpenStudio

Κατασκευές (Constructions)

Αφού εισάχθηκαν τα δεδομένα, επόμενο βήμα είναι ο ορισμός των κατασκευών από τις οποίες αποτελείται το κτίριο αναφοράς, και συγκεκριμένα τα υλικά από τα οποία αποτελούνται. Κάθε κατασκευή αποτελείται από ένα ή και περισσότερα επίπεδα υλικών. Κάθε υλικό έχει την ατομική του θερμική αντίσταση η οποία συμβάλλει στη συνολική θερμική αντίσταση της κατασκευής. Το OpenStudio διαθέτει μια βιβλιοθήκη υλικών και των αντίστοιχων θερμικών αντιστάσεών τους. Όπως κάθε κατασκευή μπορεί να οριστεί από πολλά επίπεδα υλικών, έτσι και η εξωτερική μόνωση. Ωστόσο, στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε μια κατασκευή που αποτελείται από ένα υλικό, αλλά αντιπροσωπεύει τη θερμική αντίσταση και μάζα των αντίστοιχων πολύ-επίπεδων μονωτικών τεχνικών. Κατά αυτόν τον τρόπο μειώθηκε η πολυπλοκότητα υλοποίησης στο εργαλείο PAT, καθώς τα επίπεδα των κατασκευών ποικίλουν ανά μονωτική τεχνική. (εικόνα 3.8) αφού στην συνέχεια θα μεταβληθεί η θερμική αγωγιμότητα του υλικού με βάση τα openstudio measures μέσα από το pat.

Εξαιρέση αποτελούν τα παράθυρα. Τα παράθυρα αντί να τροποποιούνται (με τον τρόπο που αναφέρθηκε πιο πάνω) όπως τα παράθυρα και τους τοίχους, δημιουργήθηκαν διαφορετικές κατασκευές μέσα στο Open Studio και έγινε η εισαγωγή τους στο PAT. Έχουν δημιουργηθεί 3 διαφορετικά παράθυρα (εικόνα 3.9) το κάθε ένα με διαφορετική θερμική αγωγιμότητά με σκοπό να εναλλάσσονται στις προσομοιώσεις. Το παράθυρο με όνομα window 2010 σύμφωνα με την βιβλιογραφία έχει εισαχθεί στα σπίτια από το 2010 και μετά. Αποτελείται από διπλό Low-E γυαλί γεμισμένο με αέρα ή άλλου είδους αέριο με ξύλινο σκελετό και έχει $U = 1,8 \text{ w}/(\text{m}^2 \text{ k})$. Το παράθυρο window 2010 αποτελεί βελτίωση του παραθύρου με ονομασία Window 2005-2010 που είχε εισαχθεί από το 2005 και είναι κατασκευασμένο από τα ίδια υλικά αλλά $U = 2,2 \text{ w}/(\text{m}^2 \text{ k})$. Το παράθυρο με όνομα window 2001-2005 είναι κατασκευασμένο με διπλό παράθυρο γεμισμένο με αέρα, μεταλλικό σκελετό και θερμοδιακοπή με συνολικό $U = 3,4 \text{ w}/(\text{m}^2 \text{ k})$.



Εικόνα 4.7: Μονώσεις στους τοίχους construction set

Αφού εισαχθούν όλες οι διαφορετικές κατασκευές στην σελίδα κατασκευές (construction set), μαζί δημιούργησαν το σύνολο κατασκευής (εικόνα 3.10) όπου είναι τα απαραίτητα δομικά στοιχεία για το σπίτι. Επιλέχθηκε σαν παράθυρο το παράθυρο με το όνομα window 2010 αλλά οι υπόλοιπες κατασκευές παραθύρων είναι και αυτές στα αρχεία του μοντέλου. Οι κατασκευές για το πάτωμα και την στέγη είναι από την βιβλιοθήκη του open Studio.

Name: Window Material 2010	Name: Window Material 2005-2010	Name: Window Material 2001-2005
Measure Tags (Optional): Standard: <input type="text"/> Standard Source: <input type="text"/> Standards Category: <input type="text"/> Standards Identifier: <input type="text"/>	Measure Tags (Optional): Standard: <input type="text"/> Standard Source: <input type="text"/> Standards Category: <input type="text"/> Standards Identifier: <input type="text"/>	Measure Tags (Optional): Standard: <input type="text"/> Standard Source: <input type="text"/> Standards Category: <input type="text"/> Standards Identifier: <input type="text"/>
U-Factor: 1.800000 W/m ² ·K	U-Factor: 2.200000 W/m ² ·K	U-Factor: 3.400000 W/m ² ·K
Solar Heat Gain Coefficient: 0.100000	Solar Heat Gain Coefficient: 0.100000	Solar Heat Gain Coefficient: 0.100000
Visible Transmittance: <input type="text"/>	Visible Transmittance: <input type="text"/>	Visible Transmittance: <input type="text"/>

Εικόνα 4.8: Χαρακτηριστικά των διαφορετικών παραθύρων

Name
house

Exterior Surface Constructions

Walls exterior wall	Floors Drag From Library	Roofs exterior roof
-------------------------------	------------------------------------	-------------------------------

Interior Surface Constructions

Walls Interior Wall	Floors Drag From Library	Ceilings Drag From Library
-------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------

Ground Contact Surface Constructions

Walls Drag From Library	Floors Interior Floor	Ceilings Drag From Library
-----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------

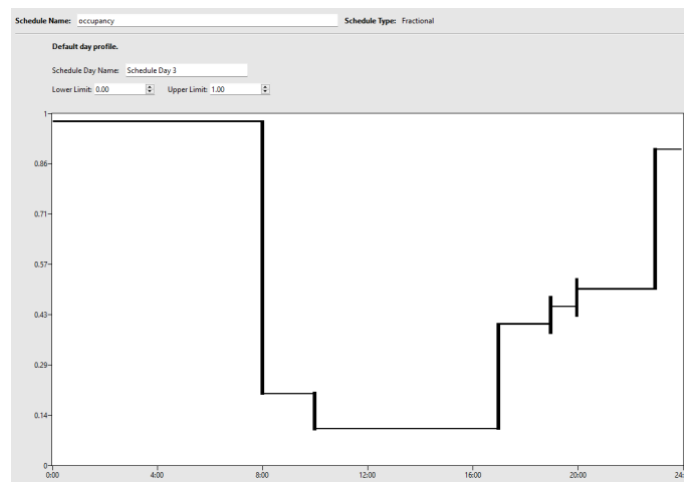
Exterior Sub Surface Constructions

Fixed Windows window 2010	Operable Windows window 2010	Doors Exterior Door
-------------------------------------	--	-------------------------------

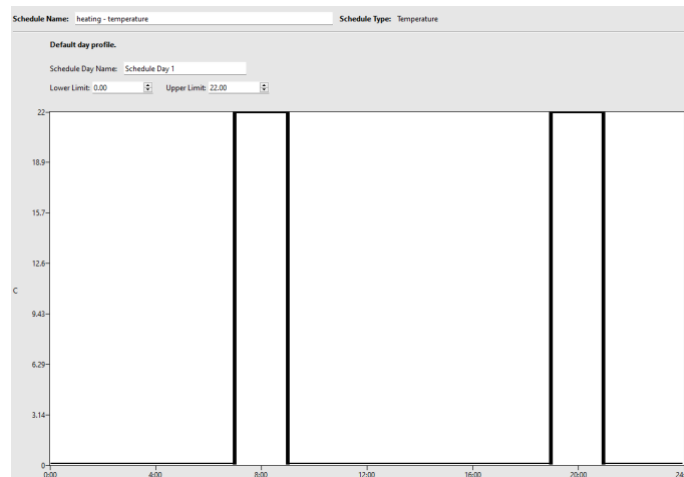
Εικόνα 4.9: Construction set σπιτιού

Χρονοδιαγράμματα (Schedules)

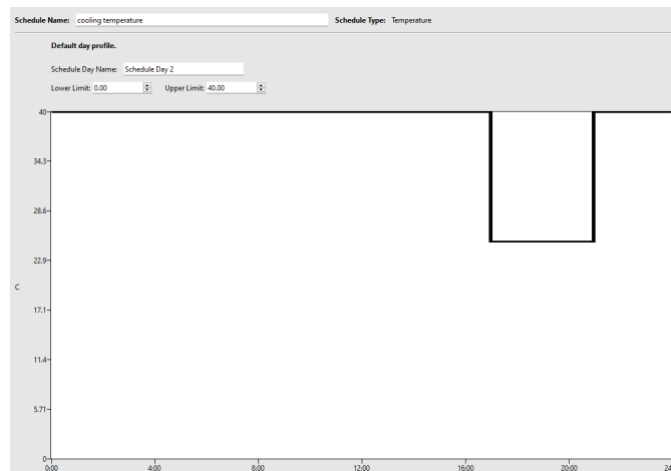
Αφού δημιουργήθηκε το σπίτι, έπρεπε να καθοριστεί πότε θα λειτουργούν τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης του σπιτιού και ποιες ώρες της ημέρας κατοικείτε το σπίτι γιατί η ύπαρξη των ανθρώπων αλλάζει τα θερμικά απόδοσης του σπιτιού ιδιόκα σε ένα μικρό χώρο όπως το συγκεκριμένο παράδειγμα. Στην καρτέλα χρονοδιαγράμματα έχουν δημιουργηθεί 3 χρονοδιαγράμματα. Το χρονοδιάγραμμα με όνομα occupancy (εικόνα 3.10) δημιουργήθηκε για να αντιπροσωπεύει τον χρόνο που μένουν οι κάτοικοι του σπιτιού σε μορφή ποσοστού. Το χρονοδιάγραμμα με όνομα heating temperature είναι το χρονοδιάγραμμα που αποφασίζει πότε και σε ποια θερμοκρασία θα λειτουργήσει ο θέρμανση(εικόνα 3.12). Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.12 η θέρμανση λειτουργεί μόνο 7:00 – 9:00 και 19:00-21:00. Το χρονοδιάγραμμα με ονομασία cooling temperature είναι ο θερμοστάτης για την ψύξη του σπιτιού (εικόνα 3.13), η ψύξη λειτουργεί 17:00-21:00.



Εικόνα 4.10: Πρόγραμμα κατοίκησης του σπιτιού



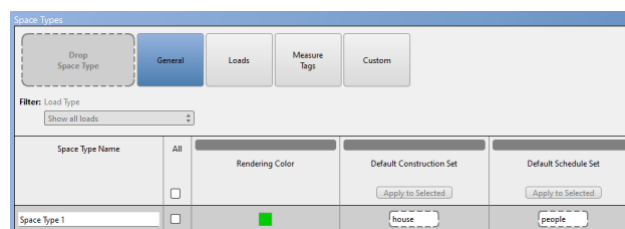
Εικόνα 4.11: Πρόγραμμα λειτουργίας Θέρμανσης



Εικόνα 4.12: Πρόγραμμα λειτουργίας ψύξης

Είδη χώρων (Space types)

Το επόμενο βήμα προς την ολοκλήρωση της προσομοίωσης είναι να εφαρμοστούν σε κάθε ομάδα χώρου τα σωστά χαρακτηριστικά που έγιναν στα προηγούμενα tabs. Σε αυτή την καρτέλα (εικόνα 3.14) έγινε η προσάρτηση της ομάδας κατασκευής και χρονοδιαγραμμάτων στο μοντέλο που δημιουργήθηκε. Αν υπήρχαν πολλά ήδη χώρων τότε θα υπήρχε και η δυνατότητα κάθε μέρος του σπιτιού να ομαδοποιείται σε ομάδες που αποτελούνται από διαφορετικά υλικά αλλά λόγω ότι πρόκειται για μια μονοκατοικία δεν υπήρχε η ανάγκη καθώς είναι όλοι οι χώροι κατασκευασμένοι το ίδιο.



Εικόνα 4.13: Θερμικοί χώροι σπιτιού

Χώροι (Spaces)

Στην καρτέλα χώροι φαίνονται τα δωμάτια του σπιτιού και όλες οι ιδιότητες τους όπως construction set, θερμική ζώνη, schedule set, υπάρχει η δυνατότητα να φαίνονται όλες οι επιφάνειες του σπιτιού (εικόνα 3.15 και 3.16). Ανάλογα με το κάθε δωμάτιο υπάρχει η δυνατότητα να γίνουν άλλοι κανόνες.

Space Name	Story	Thermal Zone	Space Type	Default Construction Set	Default Schedule Set	Part of Total Floor Area
BEDROOM 1	Story 1	Thermal Zone 1	Space Type 1	house	people	<input checked="" type="checkbox"/>
BEDROOM 2	Story 1	Thermal Zone 1	Space Type 1	house	people	<input checked="" type="checkbox"/>
KITCHEN - LIVING ROOM	Story 1	Thermal Zone 1	Space Type 1	house	people	<input checked="" type="checkbox"/>
WC	Story 1	Thermal Zone 1	Space Type 1	house	people	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 4.14:Καρτέλα χώροι του openstudio

Space Name	All	Surface Name	Surface Type	Construction	Outside Boundary Condition	Outside Boundary Condition Object	Sun Exposure	Wind Exposure
	<input type="checkbox"/>		<input type="button" value="Apply to Selected"/>	<input type="button" value="Apply to Selected"/>	<input type="button" value="Apply to Selected"/>		<input type="button" value="Apply to Selected"/>	<input type="button" value="Apply to Selected"/>
BEDROOM 1	<input type="checkbox"/>	Face 18	Wall	Interior Wall	Surface	Face 63	NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/>	Face 14	Wall	exterior wall	Outdoors		SunExposed	WindExposed
	<input type="checkbox"/>	Face 12	Floor	Interior Floor	Ground		NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/>	Face 13	Roof/Ceiling	exterior roof	Outdoors		SunExposed	WindExposed
	<input type="checkbox"/>	Face 16	Wall	exterior wall	Outdoors		SunExposed	WindExposed
	<input type="checkbox"/>	Face 19	Wall	Interior Wall	Surface	Face 4	NoSun	NoWind
BEDROOM 2	<input type="checkbox"/>	Face 30	Wall	exterior wall	Outdoors		SunExposed	WindExposed
	<input type="checkbox"/>	Face 29	Wall	Interior Wall	Surface	Face 64	NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/>	Face 28	Roof/Ceiling	exterior roof	Outdoors		SunExposed	WindExposed
	<input type="checkbox"/>	Face 34	Wall	exterior wall	Surface	Face 6	NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/>	Face 27	Floor	Interior Floor	Ground		NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/>	Face 32	Wall	exterior wall	Outdoors		SunExposed	WindExposed
KITCHEN - LIVING ROOM	<input type="checkbox"/>	Face 2	Wall	exterior wall	Outdoors		SunExposed	WindExposed
	<input type="checkbox"/>	Face 6	Wall	Interior Wall	Surface	Face 34	NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/>	Face 1	Roof/Ceiling	exterior roof	Outdoors		SunExposed	WindExposed
	<input type="checkbox"/>	Face 4	Wall	Interior Wall	Surface	Face 19	NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/>	Face 5	Wall	exterior wall	Surface	Face 65	NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/>	Face 7	Wall	exterior wall	Outdoors		SunExposed	WindExposed
	<input type="checkbox"/>	Face 0	Floor	Interior Floor	Ground		NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/>	Face 9	Wall	exterior wall	Outdoors		SunExposed	WindExposed
WC	<input type="checkbox"/>	Face 65	Wall	Interior Wall	Surface	Face 5	NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/>	Face 19	Roof/Ceiling	exterior roof	Outdoors		SunExposed	WindExposed
	<input type="checkbox"/>	Face 63	Wall	Interior Wall	Surface	Face 18	NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/>	Face 60	Wall	exterior wall	Outdoors		SunExposed	WindExposed
	<input type="checkbox"/>	Face 62	Floor	Interior Floor	Ground		NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/>	Face 64	Wall	Interior Wall	Surface	Face 29	NoSun	NoWind

Εικόνα 4.15: Όλες οι επιφάνειες του σπιτιού

Θερμικές ζώνες (Thermal zones)

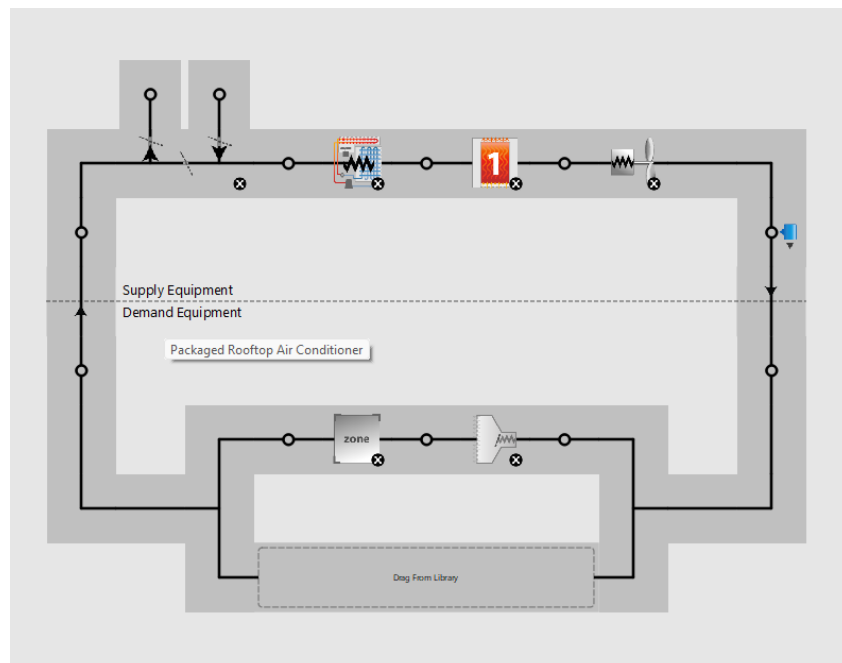
Στην καρτέλα θερμικές ζώνες (εικόνα 3.17) για κάθε θερμική ζώνη καθορίζεται το πρόγραμμα του θερμοστάτη ψύξης και θέρμανσης αλλά και το HVAC που αντιστοιχεί στην θερμική ζώνη που δημιουργήθηκε στην αντίστοιχη καρτέλα. Πρόκειται για ένα σημαντικό βήμα για την ολοκλήρωση των χαρακτηριστικών της προσομοίωσης γιατί σύμφωνα με το στόχο της εργασίας η κατανάλωση ενέργειας είναι σημαντική και η απόδοση του σπιτιού είναι καθοριστικής σημασίας.

HVAC Systems							
Cooling Sizing Parameters		Heating Sizing Parameters		Custom			
Name	All	Rendering Color	Turn On Ideal Air Loads	Air Loop Name	Zone Equipment	Cooling Thermostat Schedule	Heating Thermostat Schedule
Thermal Zone 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Packaged Rooftop Air Con	VAV No Rht	cooling temperature	heating - temperature

Εικόνα 4.16: Καρτέλα θερμικές ζώνες

Συστήματα κλιματισμού και θέρμανσης (HVAC Systems)

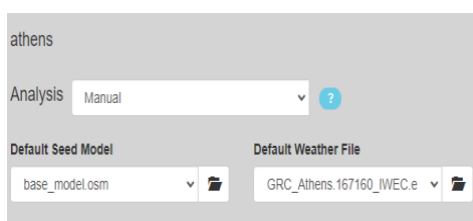
Σε αυτή την καρτέλα δημιουργήθηκε το σύστημα θέρμανσης και ψύξης. Η ψύξη γίνεται μέσω ενός συστήματος κλιματισμού που λειτουργεί με ηλεκτρισμό και η θέρμανση γίνεται μέσω ενός καυστήρα που λειτουργεί με φυσικό αέριο (εικόνα 3.18). Πρόκειται για ένα κεντρικό σύστημα θέρμανσης και ψύξης στην οροφή του σπιτιού με μεταβλητή ένταση.



Εικόνα 4.17: HVAC Σύστημα

4.3 Δημιουργία Προσομοιώσεων στο PAT

Μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας του μοντέλου στο OpenStudio δημιουργήθηκαν τρία καινούργια έργα(projects) στο parametric Analysis Tool με σκοπό για κάθε αρχείο καιρού να γίνει ένα project. Το πρώτο έργο γίνεται η παραμετρική ανάλυση με το αρχείο καιρού που είναι πιο ζέστη σε σχέση με τα υπόλοιπα με το όνομα Athens (εικόνα 3.19) και έχει μέση θερμοκρασία 17,90 °C. Στην συνέχεια έγινε το έργο με αρχείο καιρού με την μέση θερμοκρασία 15.400 °C με ονομασία Thessaloniki και τέλος έγινε το έργο με τον κρύο καιρό με ονομασία Sofia και μέση θερμοκρασία 10.237 °C. Όλα τα έργα έχουν τις ίδιες μεταβλητές όσο αφορά τις μονώσεις και τα παράθυρα οπότεν θα παρουσιαστεί μόνο το ένα έργο καθώς οι προσομοιώσεις για τα άλλα αρχεία καιρού είναι η ίδια διαδικασία.



Εικόνα 4.18:Εισαγωγή του Μοντέλου και του αρχείου καιρού στο OpenStudio

Μετά την εισαγωγή του μοντέλου από το OpenStudio και του αρχείου καιρού, βρέθηκαν από την βιβλιογραφία [39] τρεις διαφορετικές κατασκευές τοίχων, τρεις διαφορετικές κατασκευές οροφής και τρία διαφορετικά παράθυρα. Η βιβλιογραφία αναφέρεται στα Ιταλικά σπίτια, που είναι παρόμοια με την Ελλάδα, πως αναπτύχθηκαν οι τεχνολογίες μόνωσης στα παράθυρα, στους τοίχους και τις οροφές των σπιτιών. Η πρώτη κατασκευή τοίχου έχει συνολική θερμική αγωγιμότητα $U = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ και αποτελείτε από τούβλο και μια καλή μόνωση. Η δεύτερη κατασκευή τοίχου έχει θερμική αγωγιμότητα $U = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ και είναι κατασκευασμένο με από τούβλο και μια μόνωση μέτριας απόδοσης. Η Τρίτη κατασκευή με συνολική αγωγιμότητα $U = 0,54 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ και αποτελείτε από κοίλα ή συμπαγή τούβλα με κοιλότητα. Οι ονομασίες είναι walls 2000, walls 2005 και walls 2010 αντίστοιχα που είναι βασισμένα στην βιβλιογραφία και στο πότε εισάχθηκαν. Στην αγορά για το κοινό να τα χρησιμοποιεί.

Πίνακας 4.2: Μετατροπή της θερμικής αγωγιμότητας των εξωτερικών τοίχων σε θερμική αντίσταση


Χρονολογία	U (W/(m ² K))	R ((m ² K)/W)	R (ft ² hR/Btu)
2010	0.23	4.347826	24.68809
2005-2010	0.3	3.333333	18.92753
2000-2005	0.54	1.851852	10.5153

Στην συνέχεια έγινε η εισαγωγή του πρώτου OpenStudio measure που αλλάζει τις κατασκευές στους εξωτερικούς τοίχους (εικόνα 3.20). Στο OpenStudio το Measure που χρησιμοποιήθηκε άλλαξε την θερμική αντίσταση, 1/θερμική αγωγιμότητα, και οι μονάδες μετρήσεις ήταν σε ft²hR/Btu. Δεδομένου ότι 1 ft²hR/Btu= 5,67826 (m² K)/W γίνονται οι μετατροπές και τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 3.1. Η ονομασία των 3 εναλλακτικών είναι walls 2010, walls 2005, walls 2000 για τις κατασκευές ένα, δύο και τρία αντίστοιχα με αναφορά στα. Στην συνέχεια η πρώτη οροφή έχει $U = 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, η δεύτερη οροφή έχει $U = 0,52 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, ενώ η τρίτη οροφή έχει $U = 0,81 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Όλες οι κατασκευές της οροφής είναι ίδιες και αποτελούνται από οπλισμένο μπετόν και διαφορετικές μονώσεις εκτός της τρίτης οροφής που δεν έχει καθόλου μόνωση. Το OpenStudio Measure επειδή, όπως και πριν, αλλάζει την θερμική αντίσταση της οροφής (εικόνα 4.21) έγινε η μετατροπή, η ίδια με πριν, και φαίνεται στον πίνακα 3.2.

Χρονολογία	U (W/(m ² K))	R ((m ² K)/W)	R (ft ² hR/Btu)
2005	0.33	3.03030303	17.20685
2000	0.52	1.923076923	10.91973
1991	0.81	1.234567901	7.010198




Πίνακας 4.3: Η μετατροπή της θερμικής αγωγιμότητας της οροφής σε θερμική αντίσταση για το OpenStudio.

▼ Increase R-value of Insulation for Exterior Walls to a Specific Value

Increase R-value of Insulation for Exterior Walls to a Specific Value  + Add Measure Option 📄 Duplicate Option 📄 Duplicate Measure & Option


► Descriptions

Model To Base Inputs On base_model.osm

Argument Name	Units...	Short Name	Variable...	Option 1	Option 2	Option 3
			All <input type="checkbox"/>			
				walls 2010	walls 2005	walls 2000
				Option 1 Description: Set the R-V...	Option 2 Description: Set the R-V...	Option 3 Description: Set the R-V...
Insulation R-value (ft ² h ² R/Btu).			<input checked="" type="checkbox"/>	24.688	19.275	10.515
Allow both increase and decrease in R-value to rea...			<input type="checkbox"/>	true	true	true
Increase in Material and Installation Costs for Const...			<input type="checkbox"/>	0	0	0
One Time Retrofit Cost to Add Insulation to Constru...			<input type="checkbox"/>	0	0	0
Year to Incur One Time Retrofit Cost (whole years).			<input type="checkbox"/>	0	0	0




Εικόνα 4.19: Επιλογές μόνωσης εξωτερικών τοίχων

▼ Increase R-value of Insulation for Roofs to a Specific Value

Increase R-value of Insulation for Roofs to a Specific Value  + Add Measure Option 📄 Duplicate Option 📄 Duplicate Measure & Option

► Descriptions

Model To Base Inputs On base_model.osm

Argument Name	Units...	Short Name	Variable...	Option 1	Option 2	Option 3
			All <input type="checkbox"/>			
				2005 roof	2000 roof	1991 roof
				Option 1 Description: Set the R-V...	Option 2 Description: Set the R-V...	Option 3 Description: Set the R-V...
Insulation R-value (ft ² h ² R/Btu).			<input checked="" type="checkbox"/>	17.2	10.9197	7.01
Allow both increase and decrease in R-value to rea...			<input type="checkbox"/>	true	true	true
Increase in Material and Installation Costs for Const...			<input type="checkbox"/>	0	0	0
One Time Retrofit Cost to Add Insulation to Constru...			<input type="checkbox"/>	0	0	0
Year to Incur One Time Retrofit Cost (whole years).			<input type="checkbox"/>	0	0	0

Εικόνα 4.20: Εξωτερικές μονώσεις Οροφής

Τέλος όσο φορά τα παράθυρα οι διαφορετικές κατασκευές εισάχθηκαν από πριν στο open Studio (όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, εικόνα 3.9) αλλά υπήρχε η ανάγκη για εισαγωγή του τρίτου Measure που θα επηρεάσει την προσομοίωση αλλάζοντας τις κατασκευές παραθύρων και όχι τις μονώσεις στις ίδιες κατασκευές να αλλάζει η θερμική αντίσταση όπως τα προηγούμενα. το τρίτο Measure που εισάχθηκε φαίνεται στην εικόνα 3.22.

▼ Replace Exterior Window Constructions with a Different Construction from the Model.

Replace Exterior Window Constructions with a Different Construct + Add Measure Option Duplicate Option Duplicate Measure & Option

► Descriptions

Model To Base Inputs On base_model.osm

Argument Name	Units...	Short Name	Variable...	Option 1	Option 2	Option 3
			All <input type="checkbox"/>			
				2010 window	2005 window	2000 window
				Option 1 Description: Replace ex...	Option 2 Description: Replace ex...	Option 3 Description: Replace ex...
Pick a Window Construction From the Model to Rep...			<input checked="" type="checkbox"/>	window 2010	window 2005-2010	window 2001-2005
Change Fixed Windows?			<input type="checkbox"/>	true	true	true
Change Operable Windows?			<input type="checkbox"/>	true	true	true
Remove Existing Costs?			<input type="checkbox"/>	true	true	true
Material and Installation Costs for Construction per ...			<input type="checkbox"/>	0	0	0
Demolition Costs for Construction per Area Used (\$/...			<input type="checkbox"/>	0	0	0
Years Until Costs Start (whole years).			<input type="checkbox"/>	0	0	0
Demolition Costs Occur During Initial Construction?			<input type="checkbox"/>	false	false	false
Expected Life (whole years).			<input type="checkbox"/>	20	20	20
O & M Costs for Construction per Area Used (\$/m ²).			<input type="checkbox"/>	0	0	0
O & M Frequency (whole years).			<input type="checkbox"/>	1	1	1

Εικόνα 4.21: Μονώσεις Παράθυρων

Μέτρα αναφοράς (Reporting Measures)

Στην συνέχεια έγινε η εισαγωγή των μέτρων του Open Studio για παρουσίαση και εξαγωγή αποτελεσμάτων. Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το measure OpenStudio Results (εικόνα 3.23) και επιλέχθηκαν οι μονάδες μέτρησης των αρχείων αναφοράς στο SI σύστημα. Λόγω του measure δημιουργήθηκαν τα αρχεία αναφοράς που χρησιμοποιούνται στην συνέχεια για ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Reporting Measures + Add Measure

▼ OpenStudio Results

OpenStudio Results + Add Measure Option Duplicate Option Duplicate Measure & Option

► Descriptions

Model To Base Inputs On base_model.osm

Argument Name	Units...	Short Name	Variable...	Option 1
			All <input type="checkbox"/>	
				Option 1 Name
				Option 1 Description: This measu...
Which Unit System do you want to use?			<input type="checkbox"/>	SI

Εικόνα 4.22: Reporting measures

Εναλλακτικές επιλογές σχεδιασμού (Design Alternatives)

Σε αυτή την καρτέλα έχουν σχεδιαστεί όλες οι παράμετροι των προσομοιώσεων. Αφού υπάρχουν 3 διαφορετικές επιλογές για 3 χαρακτηριστικά του σπιτιού (εξωτερικοί τοίχοι, οροφή και παράθυρα) έχουν γίνει 27 διαφορετικές προσομοιώσεις (εικόνα 3.24).

Design Alternatives ?

+ Add Alternative + Create One Design Alternative with Each Measure Option Duplicate Alternative

Name	Seed Model	Location or Weather File	Description	Increase R-value of Insulation for Exterior Walls to a Specific Value	Increase R-value of Insulation for Roofs to a Specific Value	Replace Exterior Window Constructions with a Different Construction from the Model.	Add Output Diagnostics	Open Studio Results
1	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2010	2005 roof	2010 window	Option 1 Name	Option 1 Name
2	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2005	2005 roof	2010 window	Option 1 Name	Option 1 Name
3	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2000	2005 roof	2010 window	Option 1 Name	Option 1 Name
4	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2010	2000 roof	2010 window	Option 1 Name	Option 1 Name
5	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2010	1991 roof	2010 window	Option 1 Name	Option 1 Name
6	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2005	2000 roof	2010 window	Option 1 Name	Option 1 Name
7	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2005	1991 roof	2010 window	Option 1 Name	Option 1 Name
8	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2000	2000 roof	2010 window	Option 1 Name	Option 1 Name
9	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2000	1991 roof	2010 window	Option 1 Name	Option 1 Name
10	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2010	2005 roof	2005 window	Option 1 Name	Option 1 Name
11	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2010	2005 roof	2000 window	Option 1 Name	Option 1 Name
12	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2005	2005 roof	2005 window	Option 1 Name	Option 1 Name
13	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2005	2005 roof	2000 window	Option 1 Name	Option 1 Name
14	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2000	2005 roof	2005 window	Option 1 Name	Option 1 Name
15	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2000	2005 roof	2000 window	Option 1 Name	Option 1 Name
16	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2010	2000 roof	2005 window	Option 1 Name	Option 1 Name
17	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2010	2000 roof	2000 window	Option 1 Name	Option 1 Name
18	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2010	1991 roof	2005 window	Option 1 Name	Option 1 Name
19	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2010	1991 roof	2000 window	Option 1 Name	Option 1 Name
20	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2005	2000 roof	2005 window	Option 1 Name	Option 1 Name
21	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2005	2000 roof	2000 window	Option 1 Name	Option 1 Name
22	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2005	1991 roof	2005 window	Option 1 Name	Option 1 Name
23	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2005	1991 roof	2000 window	Option 1 Name	Option 1 Name
24	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2000	2000 roof	2005 window	Option 1 Name	Option 1 Name
25	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2000	2000 roof	2000 window	Option 1 Name	Option 1 Name
26	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2000	1991 roof	2005 window	Option 1 Name	Option 1 Name
27	base_model.osm	CYP_NI_Nicosia.Aglan...		walls 2000	1991 roof	2000 window	Option 1 Name	Option 1 Name

Εικόνα 4.23: Οι προσομοιώσεις που χρησιμοποιήθηκαν

Εκτέλεση προσομοιώσεων (RUN)

Στην τέταρτη καρτέλα του PAT αφού γίνει η εκκίνηση του διακομιστή (server) και εκτελεστούν οι προσομοιώσεις εμφανίζεται αν έχουν όλες οι προσομοιώσεις εκτελεστεί κανονικά και να υπάρχουν σφάλματα ή όχι και όλα τα αρχεία αναφοράς (εικόνα 3.25).

Name	Last Run	Run Time	Status	NAs	Warnings	Errors	All	DSM	Results
1	4/27/2023	00:00:52	completed Success	0	0	0	C	DSM	Results
2	4/27/2023	00:00:52	completed Success	0	0	0	C	DSM	Results
3	4/27/2023	00:00:53	completed Success	0	0	0	C	DSM	Results

Εικόνα 4.24: Αποτελέσματα μετά το τρέξιμο προσομοίωσης

Καρτέλα Διακομιστή (SERVER TAB)

Στη καρτέλα διακομιστή γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων. Από εκεί υπάρχει η δυνατότητα για προβολή ή και αποθήκευση των αρχείων αναφοράς όπως φαίνεται και πιο κάτω (εικόνα 4.26). Φαίνεται ότι όλα οι προσομοιώσεις εκτελέστηκαν κανονικά χωρίς λάθη.

The screenshot shows the 'athens' server tab interface. It is divided into three main sections: 'Analysis Information', 'Data and Visualizations', and 'Downloads'. The 'Analysis Information' section displays project details: Project (2023-04-27 14:14:04), Type (batch_run), Status (completed), Status Message, Start Time (04-27-2023 11:14:24 UTC), End Time (04-27-2023 11:19:04 UTC), Duration (5 minutes), and View (JSON | Log | SNOW Cluster). The 'Data and Visualizations' section lists Measures (6), Variables (3 Perturbable), Analysis Data, Parallel Coordinates Plot, Scatter Plot, and Interactive XY Plot. The 'Downloads' section lists Seed Zip File, CSV (Metadata), CSV (Results), R Data Frame (Metadata), and R Data Frame (Results).

Below these sections is the 'Simulations (27 / 27)' section, which includes a filter bar (All, Completed, Started, Queued, Initialized) and a search box. A table titled 'All Simulations' displays the following data:

Name	Status	Status Message	Start Time (UTC)	End Time (UTC)	Delta Time (s)	View	Action
1	completed	completed normal	04-27-2023 11:14:25	04-27-2023 11:15:32	66.54	View JSON Zip File	Destroy
2	completed	completed normal	04-27-2023 11:14:29	04-27-2023 11:15:33	64.25	View JSON Zip File	Destroy
3	completed	completed normal	04-27-2023 11:14:40	04-27-2023 11:15:41	61.44	View JSON Zip File	Destroy

Εικόνα 4.25: Εμφάνιση αποτελεσμάτων στο Server tab

4.4 Αποτελέσματα

Μετά την εκτέλεση των 27 προσομοιώσεων για κάθε ένα από τα τρία αρχεία καιρού, στο σύνολο 81 προσομοιώσεις, εξήχθησαν οι κατάλληλες μετρικές, όπως φαίνεται στον πιο κάτω πίνακα η συνολική κατανάλωση ενέργειας (Total site Energy) σε μονάδες μέτρησης kWh που είναι και το πρώτο κριτήριο από τα τέσσερα που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση της θερμικής ευρωστίας. Στον πίνακα 4.3 φαίνεται τα αποτελέσματα της κάθε προσομοίωσης σε kWh και τα αποτελέσματα κυμαίνονται μεταξύ 2,1 KWh και 7,028 KWh ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του σπιτιού και το αρχείο καιρού. Η πρώτη στήλη του πίνακα είναι για το πιο ζεστό αρχείο καιρού, η δεύτερη στήλη είναι τα αποτελέσματα του αρχείου καιρού με την μέση θερμοκρασία ενώ στην τρίτη στήλη είναι το αρχείο καιρού με την πιο κρύα θερμοκρασία.

Αριθμός Προσομοίωσης	Ζεστό κλίμα (GWh)	Μέσο κλίμα (GWh)	Κρύο κλίμα (GWh)
1	2100	2672	4153
2	2200	2797	4333
3	2500	3161	4936
4	2489	3125	4856
5	2944	3675	5678
6	2575	3236	5028
7	3031	3783	5839
8	2856	3581	5561
9	3278	4119	6353
10	2228	2839	4392
11	2553	3256	4983
12	2317	2953	4561
13	2642	3358	5203
14	2617	3308	5156
15	2914	3700	5714
16	2611	3275	5078
17	2908	3667	5644
18	3050	3814	5881
19	3317	4178	6394
20	2694	3383	5242
21	2986	3761	5794
22	3131	3928	6044
23	3392	4286	6561
24	2961	3728	5767
25	3236	4092	6292
26	3372	4247	6550
27	3622	4592	7028

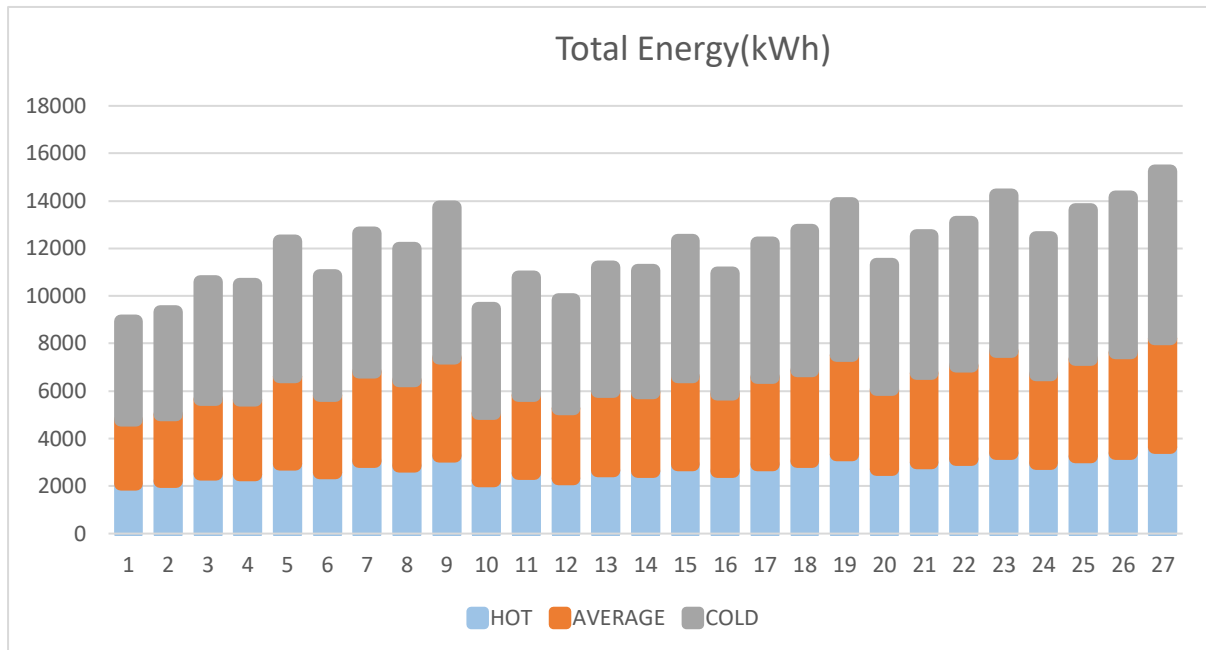
Πίνακας 4.4.4:Συνολική κατανάλωση ενέργειας κάθε προσομοίωσης

Data	Value
Building Name	HOUSE
Total Site Energy	2,100 kWh
Total Building Area	88 m ²
Total Site EUI	23.86 kWh/m ²
OpenStudio Standards Building Type	n/a

Εικόνα 4.26: Αρχείο αναφοράς προσομοιώσεων Συνολική κατανάλωση Ενέργειας

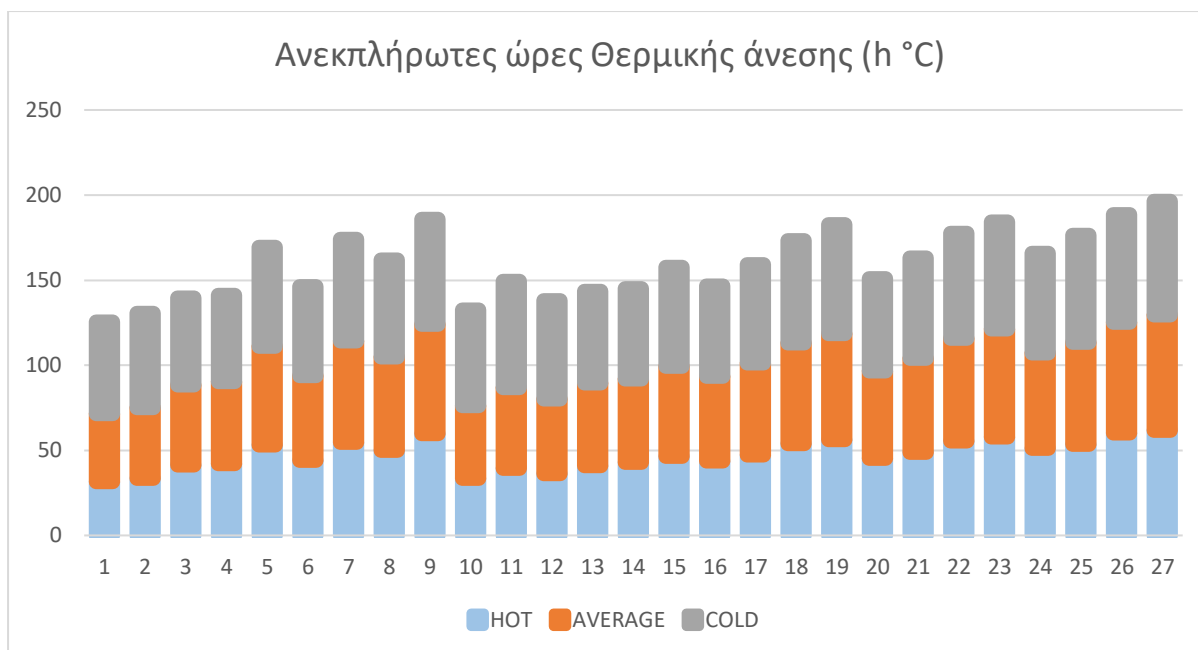
Στην εικόνα 3.28 φαίνεται η γραφική παράσταση κάθε προσομοίωσης αλλά σε όλα τα αρχεία καιρού. Η γραφική παρουσιάζει την συνολική κατανάλωση ενέργειας για κάθε ένα από τα 27 διαφορετικά χαρακτηριστικά σπιτιού. Κάθε ορθογώνιο αντιπροσωπεύει την συνολική κατανάλωση ενέργειας για τα τρία αρχεία καιρού για κάθε μια παραλλαγή μονώσεων του σπιτιού. Τα καλύτερα αποτελέσματα είναι τα ορθογώνια που είναι πιο μικρά για κάθε ένα από τα 3 αρχεία καιρού αλλά και συνολική τιμή να είναι

όσο το δυνατό πιο μικρή. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει μεγάλη διακύμανση στην συνολική κατανάλωση ενέργειας μεταξύ των διαφορετικών καιρού και επιπλέον η κατανάλωση ενέργειας θα πρέπει να είναι ελάχιστη.



Εικόνα 4.27: Γραφική Παράσταση Κατανάλωσης ενέργειας

Το επόμενο κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε ήταν οι ανεκπλήρωτες ώρες θερμικής άνεσης (unmet degree hours) που λαμβάνει υπόψιν τόσο τη διάρκεια όσο και τη διαφορά βαθμών κατά την οποία η εσωτερική θερμοκρασία υπερβαίνει ή υπολείπεται του καθορισμένου εύρους άνεσης. Κάθε ώρα που η εσωτερική θερμοκρασία βρίσκεται εκτός του εύρους άνεσης σταθμίζεται με τον αριθμό των βαθμών Κελσίου που αποκλίνει από τα όρια άνεσης. Με τη στάθμιση των ωρών με βάση τη διαφορά βαθμών, παρέχετε μια πιο ολοκληρωμένη αναπαράσταση του συνολικού ιστορικού της υπέρβασης της θερμοκρασίας και του μεγέθους της δυσφορίας που βιώνουν οι ένοικοι του κτιρίου. Προσφέρει μια πιο λεπτομερή αξιολόγηση σε σύγκριση με μετρικές όπως η μέση θερμοκρασία ή οι ώρες μη ικανοποίησης. Τα αποτελέσματα ήταν στα αρχεία αναφοράς του Energy plus και ήταν χωρισμένα σε ανεκπλήρωτες ώρες βαθμών κελσίου ψύξης και ανεκπλήρωτες ώρες βαθμών κελσίου θέρμανσης. Τα αποτελέσματα που φαίνονται στον πίνακα 3.4 είναι ο συνδυασμός της ψύξης και της θέρμανσης. Όπως και πριν η πρώτη στήλη είναι το ζεστό αρχείο καιρού, η δεύτερη το μέσο και η τρίτη στήλη το πιο κρύο αρχείο καιρού. Ο αριθμός προσομοίωσης είναι η σειρά που ήταν οι προσομοιώσεις στο PAT και σε όλους του πίνακες αντιπροσωπεύουν τις ίδιες παραλλαγές σπιτιών. Η πιο κάτω γραφική παράσταση όπως και παραπάνω παρουσιάζει τις συνολικές ανεκπλήρωτες ώρες θερμικής άνεσης κάθε ορθογώνιο παρουσιάζει τις συνολικές τιμές θερμικής άνεσης για κάθε αρχείο καιρού. Κάθε χρώμα παρουσιάζει και ένα διαφορετικό αρχείο καιρού.



Εικόνα 4.28: Ανεκπλήρωτες ώρες θερμικής άνεσης

Αριθμός Προσομοίωσης	Ζεστό κλίμα (°C h)	Μέσο κλίμα (°C h)	Κρύο κλίμα (°C h)
1	31.44	40.17	54.06
2	33.44	41.72	55.6
3	41.28	47.07	51.26
4	42.02	48.17	50.88
5	53	57.95	58.6
6	44.04	49.76	52.43
7	54.67	59.44	60.15
8	50.04	54.79	57.09
9	59.78	64.02	62.15
10	33.52	42.45	56.6
11	39.35	47.27	62.9
12	36.22	43.8	57.97
13	40.9	48.51	54.1
14	42.75	48.98	53.36
15	46.37	52.94	58.51
16	43.57	49.83	53.16
17	47.24	53.94	58.08
18	53.85	59.13	60.19
19	56.2	62.17	64.32
20	45.37	51.25	54.36
21	48.74	55.22	59.19
22	55.34	60.57	61.66
23	57.6	63.57	63.11
24	50.87	56.27	58.9
25	53.59	59.63	63.19
26	60.07	65.06	63.65

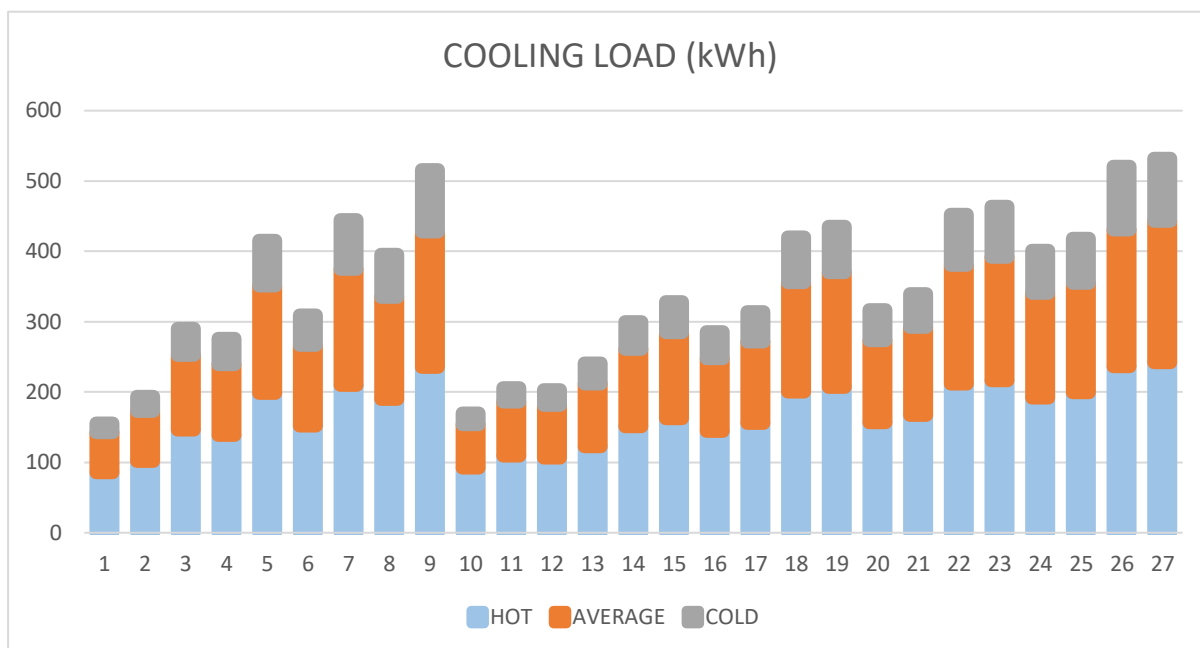
27	61.83	67.66	66.89
----	-------	-------	-------

Πίνακας 3.4: Unmet degree hours

Στην συνέχεια το επόμενο κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε είναι το ψυκτικό φορτίο (cooling load). Το ψυκτικό φορτίο είναι ο ρυθμός με τον οποίο η αισθητή και η λανθάνουσα θερμότητα πρέπει να απομακρυνθούν από έναν χώρο για να διατηρηθεί σταθερή η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα ξηρού θερμομέτρου του χώρου. Η αισθητή θερμότητα που εισέρχεται στο χώρο προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, ενώ η λανθάνουσα θερμότητα συνδέεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε υγρασία στο χώρο. Ο σχεδιασμός του κτιρίου, ο εσωτερικός εξοπλισμός, οι κάτοικοι και οι εξωτερικές καιρικές συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν το ψυκτικό φορτίο σε ένα κτίριο χρησιμοποιώντας διαφορετικούς μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας. Η μονάδα μέτρησης είναι οι κιλοβατώρες (kWh) όπως και στην κατανάλωση ενέργειας. Στον πίνακα 3.5 φαίνονται τα αποτελέσματα από όλες τις προσομοιώσεις. Η γραφική παράσταση στην εικόνα 3.29 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ψυκτικού φορτίου της κάθε προσομοίωσης με τα τρία αρχεία καιρού. Κάθε ορθογώνιο αντιπροσωπεύει την συνολική τιμή του φορτίου ψύξης για τα τρία αρχεία καιρού για κάθε μια παραλλαγή μονώσεων του σπιτιού. Τα καλύτερα αποτελέσματα είναι αυτά που έχουν όσο το δυνατό μικρότερο ορθογώνιο για κάθε διαφορετικό χρώμα (που σημαίνει ότι υπάρχει μικρότερη διαφορά ψυκτικού φορτίου) και όσο το δυνατό πιο μικρο (που σημαίνει ότι είναι μικρότερη κατανάλωση).

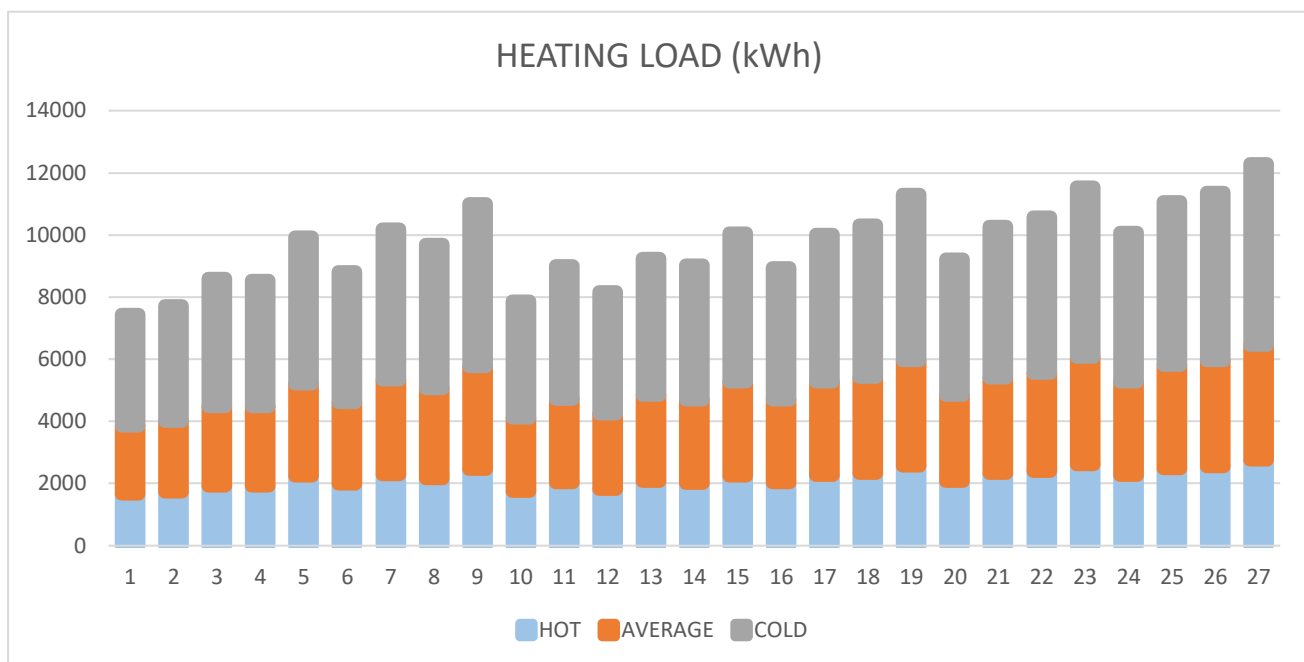
Αριθμός Προσομοίωσης	Ζεστό κλίμα (kWh)	Μέσο κλίμα (kWh)	Κρύο κλίμα (kWh)
1	85.78	56.36	13.41
2	101.83	70.93	20.93
3	146.37	106.42	37.96
4	138.48	100.76	36.41
5	198.35	153.08	64.16
6	152.25	114.11	43.39
7	209.68	165.01	70.13
8	189.88	145.2	60.79
9	235.77	192.48	87.99
10	92.1	61.9	16.18
11	108.85	77.35	19.5
12	106.01	74.96	21.81
13	123	88.49	29.31
14	151.06	109.45	39.4
15	162.82	121.59	43.87
16	144.07	103.97	37.42
17	155.28	116.52	41.92
18	200.72	155.45	64.09
19	206.47	163.13	65.79
20	156.62	116.77	43.88
21	166.93	125.53	46.71
22	211.57	168.63	72.48
23	215.93	175.42	72.6
24	191.73	148.47	61.46
25	199.06	155.62	63.84
26	236.73	194.15	90.17
27	241.51	201	89.52

Πίνακας 3. 4.5: Φορτίο Ψύξης



Εικόνα 4.29: Γραφική φορτίου ψύξης

Το τελευταίο κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το φορτίο θέρμανσης (Heating Load) το οποίο είναι η ποσότητα θερμικής ενέργειας που πρέπει να παρέχεται σε ένα συγκεκριμένο χώρο για να διατηρηθεί μια λογική θερμοκρασία. Μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με πολλούς παράγοντες, όπως το μέγεθος και το σχήμα του χώρου, ο προσανατολισμός του και οι μονωτικές ιδιότητες των τοίχων και της οροφής. Η μονάδα μέτρησης είναι οι κιλοβατώρες (kWh) όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.6 που παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Τέλος η γραφική παράσταση στην εικόνα 3.30 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του φορτίου θέρμανσης της κάθε προσομοίωσης με τα τρία αρχεία καιρού. Κάθε ορθογώνιο με διαφορετικό χρώμα στην ίδια στήλη αντιπροσωπεύει τα την διαφορά στο φορτίο θέρμανσης για τα τρία αρχεία καιρού για κάθε μια παραλλαγή μονώσεων του σπιτιού. Τα καλύτερα αποτελέσματα είναι αυτά που έχουν όσο το δυνατό μικρότερο ορθογώνιο (που σημαίνει ότι υπάρχει μικρότερη διαφορά του φορτίου θέρμανσης) και όσο το δυνατό πιο μικρο (που σημαίνει ότι είναι μικρότερη κατανάλωση).



Εικόνα 4.30: Φορτίο Θέρμανσης

Αριθμός Προσομοίωσης	Ζεστό κλίμα (kWh)	Μέσο κλίμα (kWh)	Κρύο κλίμα (kWh)
1	1658.94	2206.17	3565.17
2	1722.17	2292.25	3706.82
3	1916.14	2564.09	4124.5
4	1926.36	2548.14	4059.71
5	2241.85	2968.47	4719.1
6	1986.11	2631.14	4195.04
7	2299.47	3047.49	4845.99
8	2169.28	2891.84	4622.68
9	2469.38	3293.72	5234.69
10	1763.32	2342.18	3770.7
11	2027.88	2686.36	4292.3
12	1826.78	2425.17	3908.28
13	2084.27	2765.08	4387.66
14	2012.4	2690.44	4314.59
15	2256.31	3012.29	4800.11
16	2023.03	2675.19	4253.49
17	2269.33	3001.11	4743.72
18	2330.94	3087.32	4896.84
19	2558.26	3391.08	5349.1
20	2082.36	2756.32	4383.82
21	2325.31	3077.96	4867.59
22	2387.35	3164.88	5021.35
23	2611.06	3465.85	5459.1

24	2259.7	3011.03	4803.54
25	2491.75	3320.52	5261.79
26	2554.07	3405.04	5402.06
27	2767.31	3693.03	5829

Πίνακας 3.4.6: Φορτίο Θέρμανσης

5 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Μετά την εξαγωγή των πρωτογενών αποτελεσμάτων από το energy plus το επόμενο βήμα είναι η επεξεργασία των αποτελεσμάτων για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Σύμφωνα με την μεθοδολογία που εξηγήθηκε αφού έγινε η εξαγωγή των αποτελεσμάτων από το Energy Plus για την περαιτέρω μελέτη έγινε εισαγωγή των πινάκων στην excel. Σκοπός του κεφαλαίου είναι εξαγωγή των συμπερασμάτων μέσω της ανάλυσης αποτελεσμάτων που θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο.

5.1 Κανονικοποίηση Αποτελεσμάτων

Εδώ θα παρουσιαστεί ο τρόπος αξιοποίησης των αποτελεσμάτων που παρήχθησαν από τις ενεργειακές προσομοιώσεις. Το πρώτο βήμα είναι η κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων για κάθε ένα από τα τέσσερα κριτήρια για να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους. Αφού βρέθηκε η πιο μεγάλη τιμή για κάθε ένα από τα τέσσερα κριτήρια, όλες οι τιμές διαιρέθηκαν με την πιο μεγάλη με αποτέλεσμα να κυμαίνονται μεταξύ μηδέν και ένα. Τα αποτελέσματα φαίνονται για την συνολική κατανάλωση ενέργειας, τις ανεκπλήρωτες ώρες βαθμών κελσίου, το φορτίο ψύξης και το φορτίο θέρμανσης στους πίνακες 4.1, 4.2, 4.3 και 4.4 αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα ήταν αναμενόμενα καθώς την μεγαλύτερη τιμή πάντα ήταν στην προσομοίωση με αριθμό 27 με την μόνη διαφορά ότι στην συνολική κατανάλωση ενέργειας και το φορτίο θέρμανσης ήταν για το πιο κρύο αρχείο καιρού, για το φορτίο ψύξης το πιο ζεστό και για τις ανεκπλήρωτες ώρες βαθμών κελσίου ήταν το μέσο κλίμα.

Αριθμός Προσομοίωσης	Ζεστό κλίμα	Μέσο κλίμα	Κρύο κλίμα
1	0.298805	0.380194	0.590922
2	0.313034	0.39798	0.616534
3	0.35572	0.449772	0.702334
4	0.354155	0.44465	0.69095
5	0.418896	0.522908	0.807911
6	0.366392	0.460444	0.715424
7	0.431275	0.538275	0.83082
8	0.406375	0.509533	0.791264
9	0.46642	0.586084	0.903956
10	0.317018	0.403956	0.624929
11	0.363261	0.46329	0.709021
12	0.329681	0.420176	0.648976
13	0.375925	0.477803	0.740324
14	0.372368	0.470689	0.733637
15	0.414627	0.526466	0.813034
16	0.371514	0.465993	0.722538
17	0.413773	0.52177	0.803073
18	0.433978	0.542686	0.836796
19	0.471969	0.594479	0.909789
20	0.383324	0.48136	0.745874
21	0.424872	0.535145	0.824417
22	0.445504	0.558907	0.859989
23	0.482641	0.609846	0.933552
24	0.421315	0.53045	0.820575
25	0.460444	0.582242	0.895276

26	0.479795	0.604297	0.931986
27	0.515367	0.653386	1

Πίνακας 5.1: Κανονικοποίηση κατανάλωσης ενέργειας

Αριθμός Προσομοίωσης	Ζεστό κλίμα	Μέσο κλίμα	Κρύο κλίμα
1	0.464676	0.593704	0.798995
2	0.494236	0.616612	0.821756
3	0.610109	0.695684	0.757612
4	0.621046	0.711942	0.751995
5	0.783328	0.856488	0.866095
6	0.650902	0.735442	0.774904
7	0.808011	0.87851	0.889004
8	0.73958	0.809784	0.843778
9	0.883535	0.946202	0.918563
10	0.495418	0.627402	0.836536
11	0.581584	0.69864	0.929648
12	0.535324	0.647354	0.856784
13	0.604493	0.716967	0.799586
14	0.631836	0.723914	0.788649
15	0.685338	0.782442	0.864765
16	0.643955	0.736477	0.785693
17	0.698197	0.797221	0.85841
18	0.795891	0.873928	0.889595
19	0.830624	0.918859	0.950636
20	0.670559	0.757464	0.803429
21	0.720367	0.81614	0.874815
22	0.817913	0.895211	0.911321
23	0.851315	0.939551	0.932752
24	0.751847	0.831658	0.870529
25	0.792048	0.881318	0.933934
26	0.887821	0.961573	0.940733
27	0.913834	1	0.98862

Πίνακας 5.2: Κανονικοποίηση ανεκπλήρωτων ωρών βαθμών κελσίου

Αριθμός Προσομοίωσης	Ζεστό κλίμα	Μέσο κλίμα	Κρύο κλίμα
1	0.355182	0.233365	0.055526
2	0.421639	0.293694	0.086663
3	0.606062	0.440644	0.157178
4	0.573392	0.417208	0.15076
5	0.821291	0.633845	0.265662
6	0.630409	0.472486	0.179661
7	0.868204	0.683243	0.290381
8	0.78622	0.601217	0.251708
9	0.976233	0.796986	0.364333
10	0.381351	0.256304	0.066995
11	0.450706	0.320277	0.080742
12	0.438947	0.310381	0.090307
13	0.509296	0.366403	0.121361
14	0.625481	0.45319	0.16314

15	0.674175	0.503457	0.181649
16	0.596538	0.4305	0.154942
17	0.642955	0.482464	0.173575
18	0.831104	0.643659	0.265372
19	0.854913	0.675459	0.272411
20	0.648503	0.4835	0.18169
21	0.691193	0.519771	0.193408
22	0.87603	0.698232	0.300112
23	0.894083	0.726347	0.300609
24	0.79388	0.614757	0.254482
25	0.824231	0.644363	0.264337
26	0.980208	0.8039	0.373359
27	1	0.832264	0.370668

Πίνακας 5.3: Κανονικοποίηση φορτίου ψύξης

Αριθμός Προσομοίωσης	Ζεστό κλήμα	Μέσο κλήμα	Κρύο κλήμα
1	0.284601	0.378482	0.611626
2	0.295449	0.393249	0.635927
3	0.328725	0.439885	0.707583
4	0.330479	0.437149	0.696468
5	0.384603	0.509259	0.80959
6	0.340729	0.451388	0.719684
7	0.394488	0.522815	0.831359
8	0.372153	0.496113	0.793049
9	0.423637	0.565057	0.898043
10	0.302508	0.401815	0.646886
11	0.347895	0.460861	0.73637
12	0.313395	0.416052	0.670489
13	0.357569	0.474366	0.752729
14	0.345239	0.461561	0.740194
15	0.387084	0.516776	0.823488
16	0.347063	0.458945	0.729712
17	0.389317	0.514858	0.813814
18	0.399887	0.529648	0.840082
19	0.438885	0.58176	0.91767
20	0.357241	0.472863	0.752071
21	0.398921	0.528043	0.835064
22	0.409564	0.542954	0.861443
23	0.447943	0.594587	0.936541
24	0.387665	0.51656	0.824076
25	0.427475	0.569655	0.902692
26	0.438166	0.584155	0.926756
27	0.474749	0.633562	1

Πίνακας 5.4: Κανονικοποίηση φορτίου θέρμανσης

5.2 Υπολογισμός Βαθμού Απόδοσης

Στην συνέχεια υπολογίστηκε ο συνολικός βαθμός απόδοσης της κάθε προσομοίωσης με βάση τις επιλεγμένες μετρικές που είναι το σταθμισμένο άθροισμα, κάθε μετρική λαμβάνει ίση βαρύτητα (1/4), δηλαδή το αποτέλεσμα της κάθε προσομοίωσης είναι το αποτέλεσμα της πρόσθεσης της κάθε κανονικοποιημένης τιμής από τους πίνακες 4.1, 4.2, 4.3, και 4.4. Στον πίνακα 4.5 φαίνονται τα τελικά αποτελέσματα της κάθε προσομοίωσης.

Αριθμός Προσομοίωσης	Ζεστό κλίμα	Μέσο κλίμα	Κρύο κλίμα
1	0.350816	0.396436	0.514267
2	0.381089	0.425384	0.54022
3	0.475154	0.506496	0.581176
4	0.469768	0.502737	0.572543
5	0.60203	0.630625	0.687315
6	0.497108	0.52994	0.597418
7	0.625494	0.655711	0.710391
8	0.576082	0.604162	0.669949
9	0.687456	0.723582	0.771224
10	0.374074	0.422369	0.543836
11	0.435862	0.485767	0.613945
12	0.404337	0.448491	0.566639
13	0.461821	0.508885	0.6035
14	0.493731	0.527338	0.606405
15	0.540306	0.582285	0.670734
16	0.489768	0.522979	0.598221
17	0.536061	0.579079	0.662218
18	0.615215	0.64748	0.707961
19	0.649098	0.692639	0.762627
20	0.514907	0.548797	0.620766
21	0.558838	0.599775	0.681926
22	0.637253	0.673826	0.733216
23	0.668996	0.717583	0.775863
24	0.588677	0.623356	0.692416
25	0.626049	0.669395	0.74906
26	0.696498	0.738481	0.793209
27	0.725987	0.779803	0.839822

Πίνακας 5.5: Συνολικός βαθμός απόδοσης

5.3 Εφαρμογή Κριτηρίου Min-Max Regret

Μετά τον υπολογισμό της συνολικού βαθμού απόδοσης πρέπει να γίνει η εφαρμογή του κριτηρίου minimax regret για να υπολογιστεί η τελική κατάταξη της κάθε προσομοίωσης. Αυτό έγινε γιατί στο παρόν στάδιο κάθε διαφορετική ομάδα χαρακτηριστικών σπιτιού έχει τρεις διαφορετικές βαθμολογίες (μια για κάθε αρχείο καιρού). Στο τέλος της εφαρμογής του κριτηρίου Min-Max Regret κάθε ομάδα χαρακτηριστικών θα έχει μια τελική βαθμολογία.

Η εφαρμογή του κριτηρίου Min max regret είναι η ακόλουθη. Υπολογίζεται η πιο μικρή βαθμολογία για κάθε αρχείο καιρού δηλαδή για το ζεστό κλίμα είναι 0.350816, για το μέσο κλίμα 0.396436 και για το κρύο κλίμα είναι 0.514267. Ακολούθως για να υπολογιστεί το regret έγινε η αφαίρεση του ελάχιστου κάθε αρχείου καιρού με την βαθμολογία της κάθε προσομοίωσης και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.6. Αφού γίνει ο υπολογισμός για κάθε προσομοίωση επιλέγετε η μέγιστη βαθμολογία από τα τρία αρχεία καιρού που είναι και το τελικό αποτέλεσμα των προσομοιώσεων που φαίνεται στον πίνακα 4.7.

Αριθμός Προσομοίωσης	Ζεστό κλίμα	Μέσο κλίμα	Κρύο κλίμα
1	0	0	0
2	0.030273	0.028948	0.025953
3	0.124338	0.11006	0.066909
4	0.118952	0.106301	0.058276
5	0.251213	0.234189	0.173047
6	0.146292	0.133504	0.083151
7	0.274678	0.259275	0.196124
8	0.225266	0.207726	0.155682
9	0.33664	0.327146	0.256956
10	0.023258	0.025933	0.029569
11	0.085046	0.089331	0.099678
12	0.053521	0.052055	0.052372
13	0.111005	0.112449	0.089233
14	0.142915	0.130902	0.092138
15	0.18949	0.185849	0.156467
16	0.138952	0.126543	0.083954
17	0.185245	0.182643	0.147951
18	0.264399	0.251044	0.193694
19	0.298282	0.296203	0.248359
20	0.164091	0.152361	0.106499
21	0.208022	0.203339	0.167659
22	0.286437	0.27739	0.218949
23	0.31818	0.321147	0.261596
24	0.237861	0.22692	0.178148
25	0.275233	0.272959	0.234793
26	0.345682	0.342045	0.278941
27	0.375171	0.383367	0.325555

Πίνακας 5.6: Εφαρμογή κριτηρίου Min-Max Regret

Αριθμός Προσομοίωσης	RMAX
1	0
2	0.030273
3	0.124338
4	0.118952
5	0.251213
6	0.146292
7	0.274678
8	0.225266
9	0.33664
10	0.029569
11	0.099678
12	0.053521
13	0.112449
14	0.142915
15	0.18949
16	0.138952
17	0.185245
18	0.264399
19	0.298282
20	0.164091
21	0.208022
22	0.286437
23	0.321147
24	0.237861
25	0.275233
26	0.345682
27	0.383367

Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα *min-max regret*

Για την κατάλληλη επεξεργασία των αποτελεσμάτων τα αποτελέσματα με την βαθμολογία της κάθε προσομοίωσης αποθηκεύτηκαν σε ένα αρχείο csv για να μπορεί να γίνει η εισαγωγή τους και η μελέτη ,έσω της γλώσσας προγραμματισμού *python*. Με βάση τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκε ένα πρόγραμμα στην *python* (εικόνα 4.1) που κάνει εισαγωγή του αρχείου υπολογίζει την σειρά κατάταξης των προσομοιώσεων και παρουσιάζει μια γραφική παράσταση με τα αποτελέσματα εικόνα (4.2). Η σειρά κατάταξης

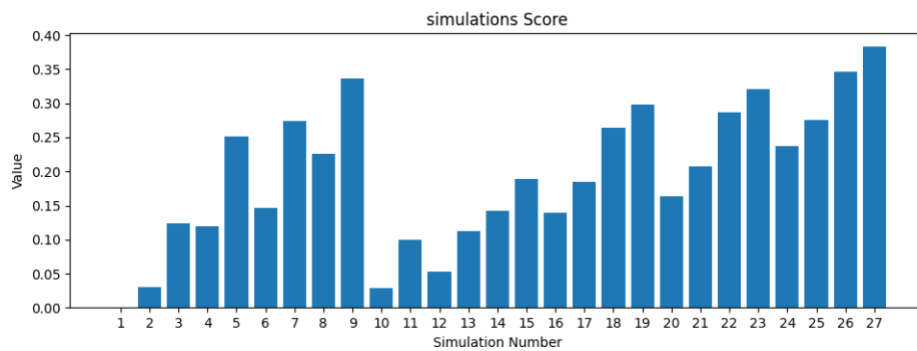
Το πρόγραμμα έχει σαν είσοδο τα αρχείο csv και διαβάζει τα δεδομένα από την 2^η στήλη του πίνακα (αφού στην πρώτη είναι ο αριθμός προσομοίωσης). Στην συνέχεια κάνει χρήση της συνάρτησης *sorted* από την βιβλιοθήκη της *python* για να τα κατατάξει σε σειρά, τα αποτελέσματα εμφανίζονται στον πίνακα 4.8 . Στην συνέχεια τυπώνει με σειρά την βαθμολογία και το αρχικό αριθμό προσομοίωσης που χρησιμεύει να εντοπιστεί ευκολά και γρήγορα τα χαρακτηριστικά κάθε προσομοίωσης. Στο τέλος το πρόγραμμα τυπώνει μια γραφική (εικόνα 4.2) που παρουσιάζει την τελική βαθμολογία της κάθε προσομοίωσης. Στον οριζόντιο άξονα είναι το αναγνωριστικό της κάθε προσομοίωσης (που είναι ο αριθμός της προσομοίωσης) και στον κάθετο άξονα είναι η βαθμολογία κάθε προσομοίωσης.

```

main.py x Analysis.csv
1 import csv
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 filename = "Analysis.csv"
5 delimiter = "\t" # set the delimiter to tab
6
7 with open(filename, "r") as file:
8     reader = csv.reader(file, delimiter=delimiter)
9     line_number = 1
10    data = []
11    for row in reader:
12        if line_number == 64:
13            data = row[1:] # store the data in a list
14            break
15        line_number += 1 # line number variable
16    data = [float(x) for x in data if x != ''] # convert non-empty values to floats
17
18    ranked_data = sorted(data) # sort the data in ascending order
19    print("Simulation Number\tScore")
20    for i, item in enumerate(ranked_data):
21        ranking = i + 1 # calculate the ranking
22        original_index = data.index(item)
23        original_value = data[original_index]
24        print(f"{original_index+1}\t{original_value}")
25
26    # create a bar plot
27    x = range(1, len(data) + 1) # modify the x variable to show every simulation number
28    plt.bar(x, data)
29    plt.title('simulations Score')
30    plt.xlabel('Simulation Number')
31    plt.ylabel('Value')
32    plt.xticks(x) # set the x-axis ticks to show every simulation number
33    plt.show()

```

Εικόνα 5.1: Πρόγραμμα σύγκρισης προσομοιώσεων



Εικόνα 5.2: Γραφική παράσταση για τα αποτελέσματα

Σειρά κατάταξης	Αριθμός προσομοίωσης	Βαθμολογία
1	1	0
2	10	0.02956
3	2	0.03027
4	12	0.0535
5	11	0.09968
6	13	0.1124
7	4	0.11895
8	3	0.12433
9	16	0.13895
10	14	0.14291
11	6	0.14629
12	20	0.16409
13	17	0.18524
14	15	0.189489
15	21	0.20802
16	8	0.22526
17	24	0.23786
18	5	0.25121
19	18	0.26439
20	7	0.27467
21	25	0.27523
22	22	0.28643
23	19	0.29828
24	23	0.32114
25	9	0.33664
26	26	0.34568
27	27	0.38337

Πίνακας 5.8:Σειρά κατάταξης

5.4 Ταξινόμηση σε ομάδες

Στην συνέχεια, αφού υπολογίστηκε η κατάταξη της κάθε προσομοίωσης, για την ταξινόμηση σε ομάδες χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος k-means. Για να εκτελεστεί ο αλγόριθμος χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα python και δημιουργήθηκε ένα αρχείο csv που περιείχε τον αριθμό προσομοίωσης και το αποτέλεσμα από την τελική κατάταξη όπως στον πίνακα 4.8. Με βάση τα αποτελέσματα και με το πρόγραμμα της εικόνας(5.5) έγινε η ταξινόμηση σε τέσσερις ομάδες.

Αριθμός προσομοίωσης	Βαθμολογία
1	0
10	0.02956
2	0.03027
12	0.0535
11	0.09968
13	0.1124
4	0.11895
3	0.12433
16	0.13895
14	0.14291
6	0.14629
20	0.16409
17	0.18524
15	0.189489
21	0.20802
8	0.22526
24	0.23786
5	0.25121
18	0.26439
7	0.27467
25	0.27523
22	0.28643
19	0.29828
23	0.32114
9	0.33664
26	0.34568
27	0.38337

Πίνακας 5.9:Αποτελέσματα προσομοίωσης

Το πρόγραμμα παίρνει τα αποτελέσματα από το αρχείο simulations.csv (πίνακας 4.9), εκτελεί το αλγόριθμο και κάνει μια γραφική (εικόνα 4.5) που παρουσιάζει σε ποια ομάδα είναι η κάθε προσομοίωση με βάση το χρώμα και την βαθμολογία του κάθε σπιτιού. Όπως φαίνεται και οπτικά στην γραφική παράσταση της προσομοίωσης όπως και πριν ο οριζόντιος άξονας είναι το αναγνωριστικό της κάθε προσομοίωσης και στον κάθετο άξονα είναι η βαθμολογία. Το πράσινο χρώμα είναι η ομάδα Α, το μπλε η ομάδα Β, το κίτρινο η ομάδα Γ, το πράσινο σκούρο η ομάδα Δ και τέλος το η ομάδα Ε είναι με μωβ χρώμα.

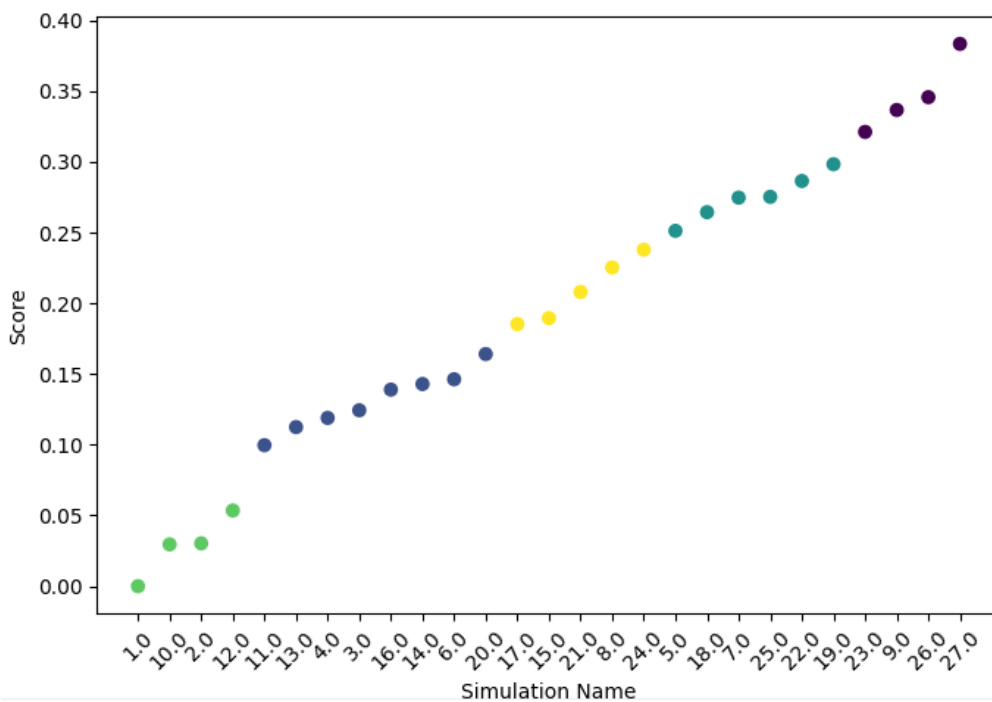
Το αρχείο simulations.csv όπως αναφέρθηκε και πιο πριν αποτελείται από δύο στήλες, το simulation number και την βαθμολογία (score) της κάθε προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα σε ποια ομάδα ανήκει η κάθε προσομοίωση είναι στον πίνακα 4.8. Οι κατηγορίες είναι από το Α-Ε. με Α την καλύτερη και Ε την χειρότερη. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με την σειρά από το καλύτερο προς το χειρότερο (με την ίδια σειρά που τυπώθηκαν στο πρόγραμμα της προηγούμενης ενότητας).

```

1 import pandas as pd
2 import numpy as np
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 from sklearn.cluster import KMeans
5
6 # read the data from the CSV file
7 data = pd.read_csv("simulations.csv", sep="\t")
8
9 # convert the data to numpy array
10 data_array = np.array(data[["Simulation Number", "Score"]])
11
12 sim_names = data_array[:,0]
13 data_array = np.delete(data_array, 0, axis=1)
14
15 # initialize the KMeans object with 5 clusters
16 kmeans = KMeans(n_clusters=5, random_state=51)
17
18 # fit the data to the KMeans object
19 kmeans.fit(data_array)
20
21 # get the labels for each data point
22 labels = kmeans.labels_
23
24 # Loop through simulations
25 for i, sim_name in enumerate(sim_names):
26     cluster = labels[i]
27     print(f"{sim_name} Cluster {cluster+1}")
28
29 # plot the scatter plot
30 plt.scatter(range(len(sim_names)), data_array[:,0], c=labels, cmap='viridis')
31
32 # set the x-label and y-label
33 plt.xticks(range(len(sim_names)), sim_names, rotation=45)
34 plt.xlabel("Simulation Name")
35 plt.ylabel("Score")
36
37 # show the plot
38 plt.show()

```

Εικόνα 5.4: Πρόγραμμα ρύθισης για ταξινόμηση των προσομοιώσεων



Εικόνα 5.3: Αποτελέσματα ταξινόμησης

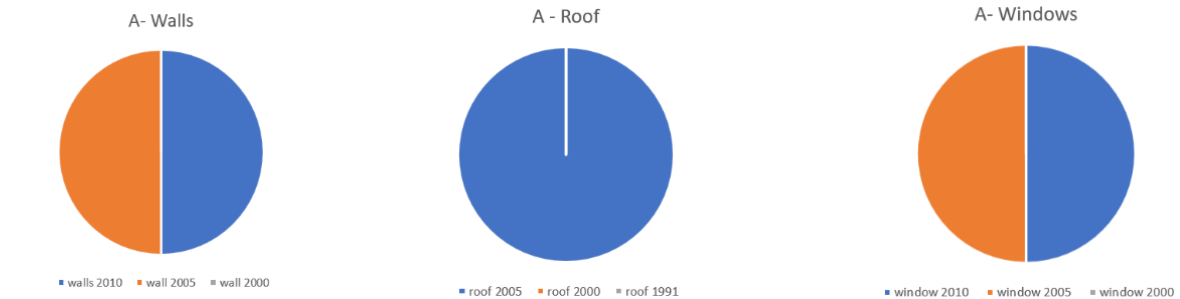
Αριθμός Προσομοίωσης	Κατηγορία
1	A
10	A
2	A
12	A
11	B
13	B
4	B
3	B
16	B
14	B
6	B
20	B
17	Γ
15	Γ
21	Γ
8	Γ
24	Γ
5	Δ
18	Δ
7	Δ
25	Δ
22	Δ
19	Δ
23	E
9	E
26	E
27	E

Πίνακας 4.5.10: Ομαδοποίηση αποτελεσμάτων

5.5 Ανάλυση αποτελεσμάτων

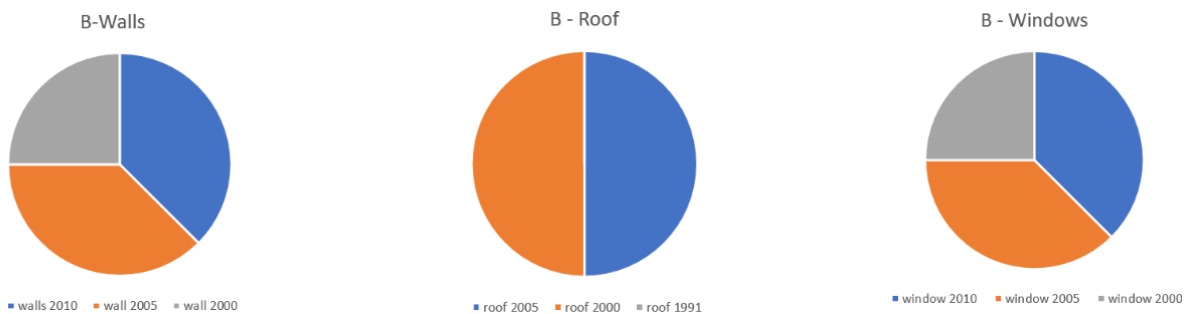
Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω τα κτήρια με βάση την τελική βαθμολογία και τα αποτελέσματα του αλγορίθμου k-means κατατάσσονται σε διάφορες ομάδες. Με βάση τα αποτελέσματα η ομάδα A αποτελείται από τέσσερις διαφορετικές κατασκευές σπιτιών, η ομάδα B από οκτώ, η ομάδα Γ από πέντε, η Δ από έξι και τέλος η E από τέσσερις. Μετά την ομαδοποίηση σε πέντε διαφορετικές ομάδες έγινε ανάλυση της κάθε ομάδας για ανάλυση των χαρακτηριστικών σε κάθε κατηγορία. Με αυτό τον τρόπο θα μπορεί να καθοριστεί ποια από τα χαρακτηριστικά επηρεάζουν περισσότερο τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Στις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν φαίνονται τα αποτελέσματα κάθε χαρακτηριστικού ανάλογα με την ομάδα.

Α ομάδα: Η Α ομάδα είναι η καλύτερη ομάδα με μέση βαθμολογία 0.0283. Όλες οι προσομοιώσεις έχουν την πιο καλή μόνωση στην οροφή με $U = 0.33 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Τα παράθυρα και οι τοίχοι έχουν από 2 προσομοιώσεις με την πιο καλή απόδοση με θερμική αγωγιμότητα $U = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ και $U = 1,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ αντίστοιχα και οι άλλες δύο την μέση απόδοση με θερμική αγωγιμότητα $U = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ και $U = 2,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ αντίστοιχα.



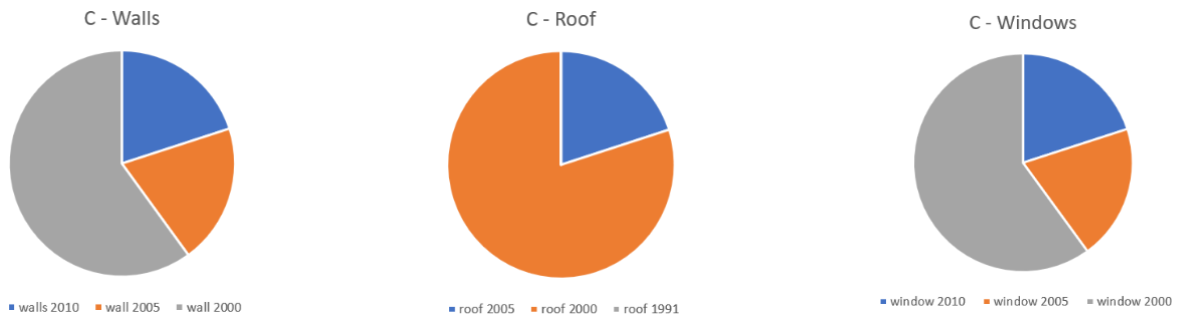
Εικόνα 5.5: Αποτελέσματα ομάδας Α

Β ομάδα: Στην Β ομάδα ανήκουν οκτώ προσομοιώσεις με μέση βαθμολογία 0.1309. Από τις οκτώ προσομοιώσεις οι τρεις έχουν κατασκευές των εξωτερικών τοίχων με θερμική αγωγιμότητα $U = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ που είναι η καλύτερη μόνωση, οι άλλες τρεις έχουν $U = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ που είναι η μέσης απόδοσης μόνωση και οι δύο προσομοιώσεις έχουν μόνωση $U = 0,54 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Οι κατασκευές των οροφών σε αυτή την κατηγορία είναι δύο διαφορετικές. Οι μισές (τέσσερις) είναι με $U = 0.33 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ που είναι και η καλύτερη μόνωση ενώ οι άλλες μισές (τέσσερις) με την μόνωση μέσης απόδοσης με $U = 0.52 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Τα παράθυρα όπως και οι τοίχοι είναι τρεις με τα καλύτερα παράθυρα $U = 1,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, τρεις με τα παράθυρα μέσης απόδοσης με $U = 2,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ και δύο με τα χειρότερης απόδοσης παράθυρα με $U = 3,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.



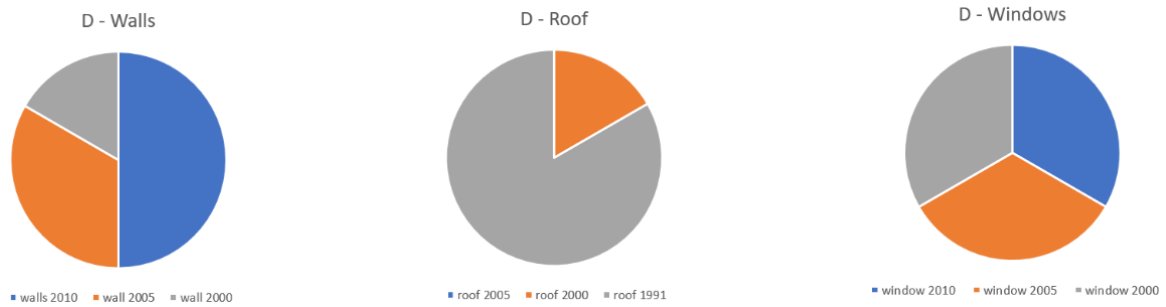
Εικόνα 5.6: Αποτελέσματα ομάδας Β

Γ ομάδα: Η ομάδα Γ αποτελείται από πέντε προσομοιώσεις, με μέση βαθμολογία 0,2092. Μεταξύ αυτών των προσομοιώσεων η μια από αυτές έχουν κατασκευές εξωτερικών τοίχων με την καλύτερη μόνωση, με τιμή $U = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ και ακόμα μια με την μέσης απόδοσης εξωτερικοί τοίχοι με $U = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Οι άλλες τρεις προσομοιώσεις έχουν κατασκευές τοίχων με βαθμολογία μόνωσης, με τιμή $U = 0,54 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Όσον αφορά τις κατασκευές οροφής, υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι σε αυτή την κατηγορία. Η μια προσομοίωση έχει στέγη με την καλύτερη μόνωση, με τιμή $U = 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, ενώ οι άλλες τέσσερις έχουν οροφή με απόδοση μόνωσης, με τιμή $U = 0,52 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Όσον αφορά τα παράθυρα, η ομάδα Γ περιλαμβάνει μία προσομοίωση με τα παράθυρα με τις καλύτερες επιδόσεις, που χαρακτηρίζονται από τιμή $U = 1,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Επιπλέον, μία προσομοίωση έχει παράθυρα με την μέση απόδοση, που χαρακτηρίζονται από $U = 2,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, ενώ τρεις προσομοιώσεις έχουν τα παράθυρα με τις χειρότερες επιδόσεις, με τιμή $U = 3,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.



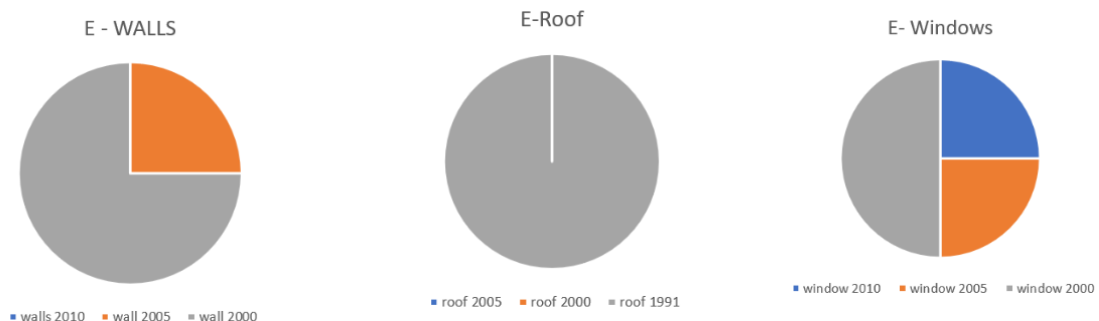
Εικόνα 5.7:Αποτελέσματα ομάδας Γ

Δ ομάδα: Η ομάδα Δ περιλαμβάνει 6 προσομοιώσεις, με μέσο όρο βαθμολογίας 0,2750. Τρεις από αυτές έχουν την καλύτερη δυνατή κατασκευή τοίχων ($U= 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$). Οι δύο αποτελούνται από την μέσης απόδοσης τοίχου ($U= 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$) και μία από την χειρότερη κατασκευή με $U=0,54 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Η μία οροφή έχει θερμική αντίσταση $U= 0,52 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ενώ οι άλλες πέντε έχουν θερμική αντίσταση $U= 0,81 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Οι τρεις διαθέσιμες κατασκευές παραθύρων σε αυτή την κατηγορία έχουν από δύο προσομοιώσεις η κάθε μια.



Εικόνα 5.8:Αποτελέσματα ομάδας Δ

Ε ομάδα: Στην πέμπτη και τελευταία ομάδα είναι τέσσερις προσομοιώσεις που έχουν 0,3467 μέση βαθμολογία. Οι τρεις από τις κατασκευές των εξωτερικών τοίχων στην τελευταία κατηγορία είναι αποτελούνται από την χειρότερη κατασκευή με θερμική αγωγιμότητα $U=0,54 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ και μία με την μέση θερμική αγωγιμότητα με $U= 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Όλες οι κατασκευές τοίχων είναι από την χειρότερη κατασκευή με θερμική αγωγιμότητα $U= 0,81 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Τέλος τα παράθυρα είναι από ένα η κατασκευή με θερμική αγωγιμότητα $U = 1,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ και $U = 2,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ενώ για θερμική αγωγιμότητα $U = 3,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ είναι δύο προσομοιώσεις.



Εικόνα 5.9:Αποτελέσματα ομάδας Ε

Με βάση τα πιο πάνω αποτελέσματα βλέπουμε ότι η οροφή παίζει το πιο καθοριστικό ρόλο στην ευρωστία του σπιτιού. Στην καλύτερη ομάδα (ομάδα Α) όλα τα σπίτια έχουν την καλύτερη δυνατή μόνωση στην οροφή. Στην ομάδα Β οι μισές προσομοιώσεις (τέσσερις) έχουν την καλύτερη μόνωση

ενώ οι άλλες μισές την μόνωση με μέση απόδοση. Στην Τρίτη ομάδα προσομοιώσεων βρίσκεται η τελευταία προσομοίωση που μπορεί να έχει την καλύτερη δυνατή μόνωση οροφών ενώ οι άλλες έχουν την μόνωση μέσης απόδοσης. Στην τέταρτη κατηγορία ανήκουν οι προσομοιώσεις με την χειρότερη δυνατή μόνωση οροφής εκτός από μια η οποία είναι η τελευταία προσομοίωση που είχε την μέση μόνωση οροφής. Στην τελευταία και χειρότερη ομάδα ως προς την ευρωστία όλες οι προσομοιώσεις έχουν την χειρότερη δυνατή μόνωση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και τον πιο κάτω πίνακα (πίνακας 4.11). Από τα αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι η μόνωση της οροφής έπαιξε καθοριστικό ρόλο σε ποια κατηγορία ευρωστίας ανήκε η κάθε προσομοίωση, καθώς δύο προσομοιώσεις που έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά μονώσεων παραθύρων και τοίχων (τις καλύτερες δυνατές μονώσεις) αλλά έχουν διαφορά ως προς την μόνωση οροφής ανήκουν στην Α ομάδα η καλύτερη μόνωση, στην Β ομάδα η μέση μόνωση και στην Δ ομάδα η προσομοίωση με την χειρότερη μόνωση οροφής. Συμπεραίνουμε ότι το πόσο καλή είναι μια οροφή επηρεάζει άμεσα σε ποια ομάδα ανήκει.

ΟΜΑΔΑ	ΚΑΛΗ ΜΟΝΩΣΗ	ΜΕΣΗ ΜΟΝΩΣΗ	ΧΕΙΡΟΤΕΡΗ ΜΟΝΩΣΗ
A	4	0	0
B	4	4	0
Γ	1	4	0
Δ	0	1	5
E	0	0	4

Πίνακας 5.11: Αριθμός προσομοιώσεων σε κάθε ομάδα ανάλογα με την μόνωση οροφής

Η επιλογή των μονώσεων των εξωτερικών τοίχων έχει πιο μικρή επίδραση στο τελικό αποτέλεσμα σε σχέση με την οροφή. Οι μονώσεις στους εξωτερικούς τοίχους στην Ομάδα Α αποτελούνται από τις μισές προσομοιώσεις να έχουν την καλύτερη δυνατή μόνωση και τις άλλες μισές να είναι η μέση μόνωση. Στην Β ομάδα από τις 8 διαφορετικές προσομοιώσεις που αποτελούν την ομάδα οι τρεις είχαν την καλύτερη δυνατή μόνωση, τρεις είχαν την μέση μόνωση και δύο την χειρότερη μόνωση. Στην Γ ομάδα ανήκουν προσομοιώσεις μια προσομοίωση έχει την καλύτερη δυνατή μόνωση στους τοίχους, μία την μέση μόνωση και μία την χειρότερη μόνωση. Επίσης στην Δ ομάδα τρεις μονώσεις έχουν την καλύτερη μόνωση, δύο την μέση και μια την χειρότερη, ενώ στην Ε και τελευταία ομάδα μια προσομοίωση έχει την μέση μόνωση και τρεις την χειρότερη. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και τον πιο κάτω πίνακα (πίνακας 4.12). Είναι φανερό ότι η μόνωση στους εξωτερικούς τοίχους έχει δευτερεύοντα ρόλο στην επιρροή της ευρωστίας του σπιτιού καθώς είναι πολύ πιο διασκορπισμένα. Με τον ίδιο τρόπο όπως πιο πάνω οι προσομοιώσεις που είχαν τα καλύτερα χαρακτηριστικά όσον αφορά τα παράθυρα και την οροφή και μεταβλητό ήταν μόνο οι εξωτερικοί τοίχοι της κατοικίας ανήκαν στις ακόλουθες ομάδες. Η προσομοίωση με την μέση μόνωση ανήκε στην ίδια ομάδα με την καλύτερη μόνωση (Ομάδα Α) ενώ στην χειρότερη μόνωση εξωτερικών τοίχων ανήκει στην Β ομάδα και έχει την όγδοη καλύτερη βαθμολογία. Σε σύγκριση με την οροφή παρατηρείται ότι έχει πολύ πιο λίγη επίδραση στην κατηγοριοποίηση των προσομοιώσεων.

ΟΜΑΔΑ	ΚΑΛΗ ΜΟΝΩΣΗ	ΜΕΣΗ ΜΟΝΩΣΗ	ΧΕΙΡΟΤΕΡΗ ΜΟΝΩΣΗ
A	2	2	0
B	3	3	2
Γ	1	1	3
Δ	3	2	1
E	0	1	3

Πίνακας 5.12: Αριθμός προσομοιώσεων σε κάθε ομάδα ανάλογα με την μόνωση εξωτερικών τοίχων

Τέλος τα παράθυρα παρατηρείται ότι έχουν παρόμοιο αντίκτυπο στην ομαδοποίηση των προσομοιώσεων με τους εξωτερικούς τοίχους. Όπως και για τους εξωτερικούς τοίχους στην Α ομάδα οι μισές προσομοιώσεις έχουν την καλύτερη δυνατή μόνωση και οι άλλες μισές την μέση μόνωση. Παρομοίως και στην ομάδα Β είναι πανομοιότυπα τα αποτελέσματα με τους τοίχους αφού τρεις προσομοιώσεις έχουν την καλύτερη μόνωση, τρεις την μέση και δύο την χειρότερη μόνωση. Το μοτίβο συνεχίζεται και με την ομάδα Γ αφού και πάλι ο διαχωρισμός των προσομοιώσεων είναι ίδιος με τους εξωτερικούς τοίχους, μια προσομοίωση έχει την καλύτερη μόνωση, μια έχει την μέση μόνωση και τρεις την χειρότερη μόνωση. Στην ομάδα Δ ξεκινούν οι διαφορές μεταξύ των παραθύρων και τοίχων αφού η ομάδα Δ αποτελείται από έξι προσομοιώσεις και κάθε είδος παραθύρου έχει από δύο προσομοιώσεις. Στην τελευταία κατηγορία (ομάδα Ε) μια προσομοίωσή έχει την καλύτερη μόνωση, μια προσομοίωση την μέση μόνωση παραθύρων και δύο την χειρότερη. Στον πίνακα 4.13 φαίνονται συνοπτικά τα αποτελέσματα. Με τον ίδιο τρόπο όπως για τα προηγούμενα χαρακτηριστικά σπιτιού οι προσομοιώσεις που είχαν τα καλύτερα χαρακτηριστικά όσον αφορά τους τοίχους και την οροφή και μεταβλητό ήταν μόνο ο τύπος των παραθύρων της κατοικίας ανήκαν στις ακόλουθες ομάδες. Η προσομοίωση με την καλύτερη και την μέση μόνωση ανήκαν και οι δύο στην καλύτερη ομάδα ευρωστίας (Ομάδα Α) ενώ η προσομοίωση με την χειρότερη μόνωση ανήκε στην ομάδα Β και είχε συνολικά την Πέμπτη καλύτερη ευρωστία.

ΟΜΑΔΑ	ΚΑΛΗ ΜΟΝΩΣΗ	ΜΕΣΗ ΜΟΝΩΣΗ	ΧΕΙΡΟΤΕΡΗ ΜΟΝΩΣΗ
A	2	2	0
B	3	3	2
Γ	1	1	3
Δ	2	2	2

Ε	1	1	2
---	---	---	---

Πίνακας 5.13: Αριθμός προσομοιώσεων σε κάθε ομάδα ανάλογα με τον τύπο πραθύρων

6 Συμπεράσματα, Περιορισμοί και μελλοντικές προτάσεις εξέλιξης

6.1 Συμπεράσματα

Η θερμική μόνωση των κατοικιών και η αύξηση της θερμικής ευρωστίας αποτελεί βασικό παράγοντα για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Με τη μόνωση των τοίχων, της οροφής, των παραθύρων και των θυρών ενός σπιτιού, ελαχιστοποιείται η ποσότητα θερμότητας που χάνεται ή κερδίζεται μέσω αυτών των επιφανειών. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται λιγότερη ενέργεια για τη διατήρηση μιας άνετης εσωτερικής θερμοκρασίας, ανεξάρτητα από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες.

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της εργασίας συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η οροφή παίζει πιο σημαντικό ρόλο όσον αφορά την ευρωστία σε σχέση με τα άλλα δύο χαρακτηριστικά του σπιτιού. Τα παράθυρα και οι εξωτερικοί τοίχοι έχουν πανομοιότυπο αντίκτυπο προς την ευρωστία με τους εξωτερικούς τοίχους να έχουν λίγο περισσότερη επιρροή ως προς το τελικό αποτέλεσμα. Αυτό το συμπέρασμα εξάχθηκε βλέποντας πως οι προσομοιώσεις που ανήκουν στην καλύτερη ομάδα έχουν όλες την καλύτερη δυνατή οροφή ενώ στην χειρότερη ομάδα την χειρότερη δυνατή μόνωση.

Με την πάροδο των χρόνων, και με την βελτίωση της τεχνολογίας και της τεχνογνωσίας των ανθρώπων η θερμική ευρωστία στις κατοικίες βελτιώνετε. Όσο βελτιώνεται η θερμική ευρωστία τα ακραία καιρικά φαινόμενα και η αύξηση της θερμοκρασίας έχουν μικρότερο αντίκτυπο και οι κάτοικοι πιο ασφαλές. Ήδη εφαρμόζονται καινοτόμες λύσεις για την περαιτέρω ενίσχυση της ανθεκτικότητας και της ευελιξίας των κατοικιών. Μια τέτοια λύση είναι η ενσωμάτωση τοπικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, κυρίως φωτοβολταϊκών πάνελ, στα κτίρια κατοικιών. Τα συστήματα αυτά αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνοντας την εξάρτηση από το δίκτυο και τα ορυκτά καύσιμα. Αυτά τα συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας συμπληρώνονται από λύσεις αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες. Τα συστήματα αυτά αποθηκεύουν την πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται κατά τη διάρκεια της ημέρας για χρήση κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε περιόδους υψηλής ζήτησης ενέργειας. Έτσι εξασφαλίζεται συνεχής παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε περίπτωση διακοπών ρεύματος ή διαταραχών στο δίκτυο. Τέτοιες λύσεις προσφέρουν στους κατοίκους αυξημένη ευελιξία. Σε περίπτωση ακραίων καιρικών φαινομένων που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ζημιές στις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ή σε άλλα τμήματα του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα σπίτια αυτά μπορούν να συνεχίσουν να έχουν ηλεκτρική ενέργεια για τις βασικές ανάγκες για κάποιο χρονικό διάστημα. Αυτό όχι μόνο ενισχύει την άνεση και την ευκολία των κατοίκων, αλλά συμβάλλει και στην ασφάλειά τους. Επίσης αποτελεί ένα βήμα προς την δημιουργία κτιρίων μηδενικής ενέργειας.

Η ενίσχυση της θερμικής ανθεκτικότητας των κτιρίων κατοικιών προσφέρει πολλαπλά οφέλη στους κατοίκους. Με την επίτευξη καλύτερης θερμικής απόδοσης, τα σπίτια μπορούν να διατηρήσουν ένα ασφαλές και υγιές περιβάλλον, ενώ παράλληλα χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια. Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας επηρεάζει άμεσα τους λογαριασμούς κοινής ωφέλειας, εξοικονομώντας χρήματα στους ιδιοκτήτες σπιτιών και στους ενοικιαστές. Όταν τα σπίτια είναι θερμικά ανθεκτικά, απαιτούν λιγότερη θέρμανση ή ψύξη, με αποτέλεσμα να μειώνονται τα ενεργειακά έξοδα. Η χρήση λιγότερης ενέργειας έχει ευρύτερες επιπτώσεις πέρα από τα μεμονωμένα νοικοκυριά. Η καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρισμού ή θερμότητας απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα και άλλους ρύπους στην ατμόσφαιρα. Ελαχιστοποιώντας τη χρήση ενέργειας, μειώνεται το αποτύπωμα άνθρακα και την ζήτηση για φυσικούς πόρους όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο. Αυτοί οι πόροι είναι πεπερασμένοι και συχνά έχουν δυσμενείς επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία. Υιοθετώντας μέτρα θερμικής ευρωστίας, συμβάλλουμε στη διατήρηση

αυτών των πολύτιμων πόρων. Η μείωση της απώλειας θερμότητας σημαίνει λιγότερα ψυχρά σημεία κοντά σε τοίχους ή παράθυρα, με αποτέλεσμα μια πιο ευχάριστη εμπειρία διαβίωσης. Επιπλέον, τα καλά μονωμένα σπίτια προσφέρουν μείωση του θορύβου και βελτιωμένη ποιότητα αέρα. Η προτεραιότητα στη θερμική ευρωστία δεν ωφελεί μόνο τα μεμονωμένα νοικοκυριά, αλλά συμβάλλει και στις παγκόσμιες προσπάθειες βιωσιμότητας. Δημιουργώντας ενεργειακά αποδοτικά σπίτια, μπορούμε ταυτόχρονα να ενισχύσουμε την ευημερία των κατοίκων και να προστατεύσουμε τον πλανήτη μας.

Καθώς ενισχύεται η ανθεκτικότητα των κατοικιών, αυξάνεται η αξία τους για πολλούς λόγους. Η θερμική ανθεκτικότητα, για παράδειγμα, μπορεί να προστατεύσει τα οικοδομικά υλικά και τις δομές από ζημιές που προκαλούνται από την υγρασία, τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και τα παράσιτα. Ο άμεσος αντίκτυπος αυτής της αυξημένης ανθεκτικότητας είναι η φθηνότερη συντήρηση των κτιρίων και η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των κτιρίων. Παρατείνοντας τον κύκλο ζωής των κτιρίων, εξασφαλίζουμε ότι αυτά χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Η βελτίωση αυτή βελτιώνει σημαντικά την ανάλυση του κύκλου ζωής (LCA) των κτιρίων. Ως αποτέλεσμα, ο μειωμένος κίνδυνος σημαντικών ζημιών που συνδέονται με ένα κτίριο μεταφράζεται σε λιγότερους ρύπους και λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός κτιρίου καθώς ο υπολογισμός των ρίπων που παράγει ένα κτίριο δεν είναι μόνο από την χρήση του κτιρίου αλλά και από την εξόρυξη και τη δημιουργία των πρώτων υλών έως την κατασκευή του κτιρίου. Η ανθεκτική κατοικία δεν ωφελεί μόνο τους μεμονωμένους ιδιοκτήτες κατοικιών, αλλά συμβάλλει επίσης σε πιο βιώσιμες κοινότητες και σε ένα υγιέστερο περιβάλλον. Είναι σημαντικό να δοθεί προτεραιότητα στις επενδύσεις σε καλύτερες, πιο ανθεκτικές κατοικίες για την προστασία της υγείας και της ευημερίας των ανθρώπων, ενώ παράλληλα θα αντέχουν καλύτερα σε μελλοντικές κρίσεις. Οι επενδύσεις αυτές μπορούν να προχωρήσουν ακόμη περισσότερο όταν αναγνωρίζουμε ότι οι περισσότεροι άνθρωποι δεν χρειάζονται εντελώς νέα σπίτια χρειάζονται καλύτερα, πιο ανθεκτικά σπίτια που μπορούν να βελτιωθούν σημαντικά μέσω σχετικά απλών, οικονομικά αποδοτικών λύσεων. Έχει αποδειχθεί ότι οι πρωτοβουλίες για την ανθεκτική στέγαση είναι μετασχηματιστικές, σώζουν ζωές, προστατεύουν ευάλωτους πληθυσμούς, δημιουργούν θέσεις εργασίας, τονώνουν τις τοπικές οικονομίες και παρέχουν οικονομικά αποδοτικές μακροπρόθεσμες λύσεις για τα στεγαστικά ελλείμματα σε όλο τον κόσμο. Κάνοντας τη στέγαση ασφαλή και ανθεκτική στις καταστροφές, μπορούμε να οικοδομήσουμε βιώσιμες κοινότητες προς όφελος όλων.

Η παρούσα διπλωματική έχει ως σκοπό στην συμβολή στην προώθηση της τεχνολογίας στο κομμάτι της θερμικής ευρωστίας στα κτήρια και να τονίσει στον καθοριστικό ρόλο που παίζει στην καθημερινότητα των ανθρώπων στην σύγχρονη εποχή. Επίσης η διπλωματική έχει σκοπό να επισημάνει τις άμεσες αλλά και έμμεσες επιπτώσεις που έχει ένα σπίτι το οποίο δεν είναι θερμικά εύρωστο σε σχέση σε ένα που είναι, τόσο για τους κατοίκους του όσο και για το ίδιο το σπίτι και την μακροζωία του.

Επομένως, η θερμομόνωση κατοικιών δεν είναι μόνο μια έξυπνη επένδυση για τους ιδιοκτήτες και τους ενοικιαστές σπιτιών, αλλά και μια υπεύθυνη επιλογή για τον πλανήτη και τις μελλοντικές γενιές. Μονώνοντας τα σπίτια τους, οι άνθρωποι μπορούν να εξοικονομήσουν χρήματα, να μειώσουν το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα και να βελτιώσουν την ευημερία τους χωρίς να κάνουν συμβιβασμούς ως προς την ποιότητα ζωής, την άνεση και διατηρώντας ένα ασφαλές περιβάλλον μέσα στην κατοικία.

6.2 Περιορισμοί

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ανθεκτικότητα στις κατοικίες γενικά δεν εξαρτάται μόνο από την θερμική ανθεκτικότητα και την εξωτερική θερμοκρασία όπου ασχολείται η μελέτη. Πρόκειται για μια έννοια με πολλές πλευρές που ασχολείται με πολλούς παράγοντες ενός σπιτιού. Μια σύγχρονη κατοικία που

σχεδιάζεται να είναι όσο το δυνατό πιο εύρωστο λαμβάνει στα υπόψη της την ευρωστία από την φάση σχεδιασμού του σπιτιού. Ο προσανατολισμός και ο σχεδιασμός της κατοικίας σχεδιάζεται με τρόπο ώστε να μεγιστοποιεί τον φυσικό αερισμό και τον φωτισμό της ημέρας και να ελαχιστοποιεί την απώλεια ή το κέρδος θερμότητας μέσω παραθύρων, θυρών και οροφών.

Επίσης τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης της κατοικίας είναι ακόμη ένας παράγοντας που έχει σημαντικό ρόλο στην Ευρωστία αλλά δεν μελετήθηκε στην παρούσα εργασία. Τα συστήματα αυτά θα πρέπει να είναι αποδοτικά, αξιόπιστα και κατάλληλα για το κλίμα και τις ανάγκες των ενοίκων. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης επηρεάζουν άμεσα την κατανάλωση ενέργειας ενός σπιτιού. Επίσης σημαντική λειτουργία των συστημάτων αυτών είναι η διατήρηση των επιπέδων υγρασίας σε ιδανικά επίπεδα αποτρέποντας την ανάπτυξη μούχλας και το φιλτράρισμα του αέρα. Οι δύο αυτές λειτουργίες είναι σημαντικές για τους κατοίκους ενός σπιτιού αφού μειώνουν τον κίνδυνο για αναπνευστικά προβλήματα αλλά και άλλα προβλήματα υγείας διατηρώντας ταυτόχρονα ένα ευχάριστο περιβάλλον διαβίωσης. Επίσης τα συστήματα αυτά πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο αθόρυβα καθώς ο θόρυβος είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα ζωής.

Άλλος περιορισμός της παρούσας μεθοδολογίας και τρόπου μελέτης είναι η έλλειψη έτοιμων υλικών τοίχων και οροφής που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα. Λόγω του ότι τόσο το energyplus όσο και η ομάδα προγραμμάτων Openstudio είναι σχεδιασμένα από το υπουργείο ενέργειας της Αμερικής υπάρχει μεγαλύτερη ποικιλία στα υλικά που χρησιμοποιούνται στην Αμερική. Λόγω του μεγάλου εύρους υλικών και διαφορετικών εταιριών που τα παρασκευάζουν είναι δύσκολο και χρονοβόρο να παραχθούν μελέτες με προσομοιώσεις μεγάλου αριθμού κτιρίων αφού κάθε εταιρία παραγωγής των υλικών έχει και διαφορετικά θερμικά χαρακτηριστικά και υπάρχουν πολλά υλικά διαθέσιμα για επιλογή. Για την μελέτη ακριβέστερων αποτελεσμάτων πρέπει να είναι γνωστό τα ακριβή υλικά που χρησιμοποιούνται σε κάθε κατοικία.

Ένας άλλος περιορισμός του EnergyPlus (που είναι η μηχανή που εκτελεί τις προσομοιώσεις) είναι η πολυπλοκότητα του εργαλείου. που απαιτεί ένα γραφικό περιβάλλον χρήστη (GUI) για να λειτουργήσει. Το GUI που στην συγκεκριμένη περίπτωση ήταν το Openstudio και μπορεί να έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες ανάλογα με τον προμηθευτή. Το EnergyPlus έχει επίσης περιορισμένη τεχνική υποστήριξη και τεκμηρίωση, γεγονός που καθιστά δύσκολη την εκμάθηση και τη χρήση του από αρχάριους. Το EnergyPlus απαιτεί οριζόντια δεδομένα άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας ως δεδομένα εισόδου και όχι παγκόσμια δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό μπορεί να περιορίσει τη διαθεσιμότητα και την ακρίβεια των καιρικών δεδομένων για ορισμένες τοποθεσίες αφού εξαρτάται από την ποιότητα των αρχείων καιρού. Αυτό καθιστά πιο χρονοβόρα την διαδικασία παραμετρικής ανάλυσης αφού πρώτα πρέπει να ελεγχθούν τα αρχεία καιρού να έχουν τα κατάλληλα στοιχεία για σωστά αποτελέσματα.

6.3 Μελλοντικές προτάσεις εξέλιξης

Η παρούσα διπλωματική εστίασε στην μελέτη της θερμικής ευρωστίας σε μια μονοκατοικία βελτιώνοντας τις μονώσεις. Θα μπορούσε να εξελιχθεί η παρούσα διπλωματική με την μελέτη πολυκατοικιών που είναι πολύ μεγαλύτερες σε αριθμό στο αστικό περιβάλλον. Επίσης οι πολυκατοικίες στεγάζουν πολύ μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων και η μελέτη τους θα έχει πολύ περισσότερο αντίκτυπο στην κοινωνία σε σχέση με την μελέτη μονοκατοικίας. Υπάρχουν πολλές διαφορές στην μελέτη μιας πολυκατοικίας. Σε μια πολυκατοικία υπάρχουν οι κοινόχρηστοι χώροι που συνήθως δεν υπάρχει ανάγκη για την διατήρηση της ίδιας θερμοκρασίας σε σχέση με τα διαμερίσματα με αποτέλεσμα να υπάρχουν περισσότερες θερμικές ζώνες και πολυπλοκότητα στο σχεδιασμό και στην ανάλυση των αποτελεσμάτων. Επίσης σε μια πολυκατοικία η οροφή δεν παίζει τόσο σημαντικό ρόλο γιατί επηρεάζει

τα διαμερίσματα του τελευταίου ορόφου ενώ οι εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα έχουν μεγαλύτερο εμβαδόν συνολικά στο κτήριο και επηρεάζουν όλα τα διαμερίσματα.

Ένας τρόπος ενίσχυσης της θερμικής ανθεκτικότητας των κτιρίων που δεν μελετήθηκε στην παρούσα διπλωματική είναι η εφαρμογή στρατηγικών παθητικού σχεδιασμού, δηλαδή αρχιτεκτονικών και τεχνικών λύσεων που χρησιμοποιούν φυσικούς πόρους και διεργασίες για τη ρύθμιση του εσωτερικού περιβάλλοντος. Οι στρατηγικές παθητικού σχεδιασμού μπορούν να μειώσουν τη ζήτηση ενέργειας και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα των κτιρίων, καθώς και να βελτιώσουν τις επιδόσεις τους και την προσαρμοστικότητά τους στις μεταβαλλόμενες συνθήκες. Ορισμένες από τις κύριες στρατηγικές παθητικού σχεδιασμού για τη θερμική ανθεκτικότητα είναι αρκετά απλές οικονομικές με εύκολη σχετικά εφαρμογή σε υπάρχοντα κτίρια. Η σκίαση είναι ένα από τα παθητικά στοιχεία σχεδιασμού που είναι η χρήση συσκευών που εμποδίζουν ή φιλτράρουν την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο κτίριο. Η σκίαση μπορεί να συμβάλει στην πρόληψη της υπερθέρμανσης και της θάμβωσης το καλοκαίρι, μειώνοντας την ηλιακή θερμική πρόσληψη και την ανάγκη για ψύξη. Η σκίαση μπορεί να επιτευχθεί με εξωτερικά στοιχεία, όπως προεξοχές, περσίδες, τέντες ή βλάστηση, ή με εσωτερικά στοιχεία, όπως κουρτίνες, περσίδες ή μεμβράνες. Η θερμική μάζα που είναι ένα άλλο παράδειγμα παθητικού σχεδιασμού πρόκειται για τη χρήση υλικών που μπορούν να αποθηκεύουν και να απελευθερώνουν θερμότητα με την πάροδο του χρόνου. Η θερμική μάζα μπορεί να συμβάλει στη συγκράτηση των διακυμάνσεων της εσωτερικής θερμοκρασίας, απορροφώντας θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας και απελευθερώνοντάς την τη νύχτα ή το αντίστροφο. Η θερμική μάζα μπορεί να ενσωματωθεί στη δομή του κτιρίου, όπως τοίχοι, δάπεδα ή οροφές, ή στην επίπλωση του κτιρίου, όπως έπιπλα, δεξαμενές νερού ή υλικά αλλαγής φάσης.

Επίσης στο μέλλον για εξέλιξη της παρούσας διπλωματικής προτείνεται η μελέτη μεγαλύτερου αριθμού σπιτιών για εξαγωγή ακριβέστερων μετρήσεων. Κατά τη διεξαγωγή μιας παραμετρικής ανάλυσης, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των κατοικιών που περιλαμβάνονται στη μελέτη, τόσο πιο αξιόπιστα και ολοκληρωμένα θα είναι τα αποτελέσματα. Ένα μεγαλύτερο μέγεθος δείγματος παρέχει ένα πιο ποικιλόμορφο φάσμα δεδομένων. Αυτό επιτρέπει την ανάλυση διαφορετικών τύπων κτιρίων, σχεδίων και συστημάτων, οδηγώντας σε πιο ολοκληρωμένα αποτελέσματα. Ακόμη με μεγαλύτερο αριθμό σπιτιών, βελτιώνεται η στατιστική σημαντικότητα των αποτελεσμάτων. Αυτό σημαίνει ότι τα ευρήματα είναι πιο πιθανό να είναι αντιπροσωπευτικά για τον ευρύτερο πληθυσμό των κατοικιών. Ένα ευρύτερο δειγματολόγιο μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό τάσεων και μοτίβων που μπορεί να μην είναι εμφανείς με μικρότερο αριθμό σπιτιών που αυτό με την σειρά του μπορεί να οδηγήσει στην ανακάλυψη νέων αντιλήψεων και στρατηγικών για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Επίσης τα μεγαλύτερα μεγέθη δείγματος μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση του αντίκτυπου των ανωμαλιών ή των ακραίων τιμών που μπορεί να περιέχει μέσα μια περιορισμένη ομάδα σπιτιών. Αυτό οδηγεί σε πιο ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα. Γενικά, η χρήση μεγαλύτερου αριθμού κατοικιών σε μια παραμετρική ανάλυση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Επιτρέπει την πληρέστερη κατανόηση των διαφόρων παραγόντων που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας, οδηγώντας σε αποτελεσματικότερες στρατηγικές για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Καθώς συνεχίζουμε να προσπαθούμε για πιο βιώσιμες και ενεργειακά αποδοτικές κατοικίες, τέτοιες αναλύσεις θα διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στην καθοδήγηση των προσπαθειών μας.

Μια σχετικά καινούργια τεχνολογία που χρησιμοποιείται και μπορεί να έχει μεγάλο αντίκτυπο στον κτιριακό τομέα αν γίνει ευρέως χρήση της τεχνολογίας είναι οι ψηφιακοί δίδυμοι κτιρίων (digital twins). Ένα μοντέλο ψηφιακού δίδυμου είναι ένα εικονικό αντίγραφο ενός φυσικού κτιρίου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς, όπως η παρακολούθηση, η προσομοίωση, η βελτιστοποίηση και ο έλεγχος του φυσικού κτηρίου. Ενσωματώνει δεδομένα από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων, για να παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα της απόδοσης του κτιρίου σε πραγματικό χρόνο. Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τη θερμική

ανθεκτικότητα των κτιρίων. Μπορούν να προσομοιώσουν διαφορετικές καιρικές συνθήκες και να προβλέψουν την απόκριση του κτιρίου σε αυτές τις συνθήκες. Αυτό επιτρέπει τη βελτιστοποίηση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης (HVAC), οδηγώντας σε αποδοτικότερη χρήση ενέργειας και βελτιωμένη άνεση για τους κατοίκους. Για παράδειγμα, εάν προβλέπεται καύσωνας, ο ψηφιακός δίδυμος μπορεί να προσομοιώσει τον αντίκτυπο στο κτίριο και να προτείνει προσαρμογές στο σύστημα HVAC για τη διατήρηση μιας άνετης εσωτερικής θερμοκρασίας. Αυτή η προληπτική προσέγγιση μπορεί να αποτρέψει την υπερθέρμανση και να μειώσει την εξάρτηση από τον κλιματισμό, εξοικονομώντας έτσι ενέργεια. Μειώνοντας τη χρήση ενέργειας και βελτιστοποιώντας τη χρήση πόρων, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να συμβάλουν στη βιωσιμότητα των κτιρίων. Η ευρεία υιοθέτηση της τεχνολογίας των ψηφιακών διδύμων στον κτιριακό τομέα θα μπορούσε να έχει πολλά οφέλη. Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να προβλέψουν πότε ένα εξάρτημα είναι πιθανό να αποτύχει, επιτρέποντας την προληπτική συντήρηση και την αποφυγή δαπανηρών διακοπών λειτουργίας ή αποτρέποντας ζημιές στα δομικά στοιχεία του κτιρίου. Βελτιστοποιώντας τα συστήματα του κτιρίου, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βελτιώσουν την άνεση των ενοίκων, οδηγώντας σε αυξημένη παραγωγικότητα και ευημερία. Τέλος με την χρήση της τεχνολογίας αυτής θα βελτιστοποιηθεί η ανθεκτικότητα στα κτίρια και η ανεξαρτησία στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες. Τα ψηφιακά δίδυμα αποτελούν ένα ισχυρό εργαλείο για τη βελτίωση της απόδοσης και της βιωσιμότητας των κτιρίων. Καθώς η τεχνολογία αυτή συνεχίζει να εξελίσσεται, η υιοθέτησή της είναι πιθανό να αυξηθεί, οδηγώντας σε πιο έξυπνα, πιο αποδοτικά και πιο άνετα κτίρια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Myles R. Allen (UK), Opha Pauline Dube (Botswana), William Solecki (USA), Understanding the impacts of 1.5°C global warming above pre-industrial levels and related global emission pathways in the context of strengthening the response to the threat of climate change, sustainable development and efforts to eradicate poverty, IPCC 59
- [2] Levine MD, Steele RV. Climate change: What we know and what is to be done. WIREs Energy Environ. 2021;10:e388 .
- [3] Yun Gao , Xiang Gao , Xiaohua Zhang , The 2 °C Global Temperature Target and the Evolution of the Long-Term Goal of Addressing Climate Change—From the United Nations Framework Convention on Climate Change to the Paris Agreement
- [4] Javier Cifuentes-Faura , European Union policies and their role in combating climate change over the years
- [5] Francesco Mancini, Gianluigi Lo Basso, How Climate Change Affects the Building Energy Consumptions Due to Cooling, Heating, and Electricity Demands of Italian Residential Sector
- [6] Danny H.W. Li, Liu Yang, Joseph C. Lam, Impact of climate change on energy use in the built environment in different climate zones. A review
- [7] Τράπεζα της Ελλάδος. (2011). Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα.
- [8] Francesco Pomponi, Alice Moncaster, Circular economy practices in the built environment
- [9] A statistical analysis of life cycle assessment for buildings and buildings’ refurbishment research
- [10] Elahe Tavakoli, Adam O’Donovan, Maria Kolokotroni, Paul D. O’Sullivan, Evaluating the indoor thermal resilience of ventilative cooling in non-residential low energy buildings: A review.
- [11] Mattheos Santamouris, Dionysia Kolokotsa, On the impact of urban overheating and extreme climatic conditions on housing, energy, comfort and environmental quality of vulnerable population in Europe
- [12] Dr. Mohammad S. Al-Homoud, Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials
- [13] Amin Moazami, Salvatore Carlucci, Vahid M. Nik, Stig Geving, Towards climate robust buildings: An innovative method for designing buildings with robust energy performance under climate change.
- [14] Nicholas B. Rajkovich, Yasmeyn Okour, Climate Change Resilience Strategies for the Building Sector: Examining Existing Domains of Resilience Utilized by Design Professionals

[15] Massimo Palme, Antoni Isalgué, Helena Coch, Rafael Serra, ENERGY CONSUMPTION AND ROBUSTNESS OF BUILDINGS

[16] Niko Heeren, Christopher L. Mutel, Bernhard Steubing, York Ostermeyer, Holger Wallbaum, Stefanie Hellweg, Environmental Impact of Buildings. What Matters

[17] Shabnam Homaei, Mohamed Hamdy, Thermal resilient buildings: How to be quantified? A novel benchmarking framework and labelling metric

[18] Rajesh Kotireddy , Roel Loonen , Pieter-Jan Hoes , Jan L.M. Hensen, Building performance robustness assessment: Comparative study and demonstration using scenario analysis.

[19] Fukang Sun, Junqi Yu, Improved energy performance evaluating and ranking approach for office buildings using Simple-normalization, Entropy-based TOPSIS and K-means method.

[20] Yehong Li et al 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 676 012061

[21] Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation

[22] <https://www.ladybug.tools/epwmap/>

[23] <https://www.openstudio.net/>

[24] <https://www.energyplus.net>

[25] Ahmed Y Taha Al-Zubaydi, Building Models Design and Energy Simulation with Google Sketchup and Openstudio

[26] https://nrel.github.io/OpenStudio-user-documentation/reference/parametric_analysis_tool_2/

[27] Andrew Parker, Kyle Benne, Larry Brackney, Elaine Hale, Dan Macumber, Marjorie Schott and Evan Weaver, National Renewable Energy Laboratory A Parametric Analysis Tool for Building Energy Design Workflows: Application to a Utility Design Assistance Incentive Program

[28] <https://www.designbuilder.co.uk/cahelp/Content/EnergyPlusWeatherFileFormat.htm>

[29] EnergyPlus_Weather_File_Format.pdf (onebuilding.org)

[30] Us Department of energy, Tips and Tricks for Using EnergyPlus

[31] EnergyPlus | Department of Energy

[32] Questions - Unmet Hours

[33] OpenStudio

[34] Building Models Design and Energy Simulation with Google Sketchup and Openstudio

[35] GitHub - NREL/OpenStudio-PAT: The Parametric Analysis Tool (PAT) is part of the OpenStudio collection of software tools.

[36] Large Scale Analysis - OpenStudio Coalition User Docs

[37] Temperatures - Dry Bulb/Web Bulb/Dew Point (weather.gov)

[38] Running Simulations & Viewing Results - OpenStudio Coalition User Docs

[39] Laura Carnieletto, Martina Ferrando, Lorenzo Teso, Kaiyu Sun, Wannan Zhang, Francesco Causone, Piercarlo Romagnoni, Angelo Zarrella, Tianzhen Hong, Italian Prototype Building Models for Urban Scale Building Performance Simulation