



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Ανάπτυξη δοκιμαστικού εργαλείου ενεργειακών προσομοιώσεων για τη
μελέτη παρεμβάσεων στο πλαίσιο ενεργειακής αναβάθμισης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Δ. Νασιόπουλος

Επιβλέπων: Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Ανάπτυξη δοκιμαστικού εργαλείου ενεργειακών προσομοιώσεων για τη
μελέτη παρεμβάσεων στο πλαίσιο ενεργειακής αναβάθμισης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Δ. Νασιόπουλος

Επιβλέπων: Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15^η Οκτωβρίου 2024.

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

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

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

Αθήνα, Οκτώβριος 2024

.....
Γεώργιος Δ. Νασιόπουλος

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

Copyright © Γεώργιος Νασιόπουλος, 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.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται ανάπτυξη ενός δοκιμαστικού εργαλείου τροποποίησης αρχείων που περιέχουν κτιριακή ενεργειακή πληροφορία (idf) και εκτέλεσης ενεργειακών προσομοιώσεων. Τόσο η τροποποίηση αρχείων idf, όσο και η εκτέλεση ενεργειακών προσομοιώσεων, αποτελούν βασικό στοιχείο για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με ενέργειες βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου. Αρχικά γίνεται αναφορά στην έννοια του κτιρίου και στις παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης του. Ακολουθεί ανάλυση του ενεργειακού προβλήματος, η περιγραφή του εθνικού θεσμικού πλαισίου για την ενεργειακή απόδοση. Στη συνέχεια, αναλύονται οι τρόποι μοντελοποίησης των κτιρίων. Οι πληροφορίες των κτιριακών μοντέλων, και δη οι ενεργειακές, αποτελούν απαραίτητο στοιχείο των ενεργειακών προσομοιώσεων. Επιπρόσθετα γίνεται ανάλυση ενός εκ των δημοφιλέστερων εφαρμογών ενεργειακής προσομοίωσης, του EnergyPlus. Περιγράφονται τα απαιτούμενα δεδομένα εισόδου, ο τρόπος λειτουργίας του προγράμματος και τα δεδομένα εξόδου. Επίσης αναφέρονται και κάποια εργαλεία που αναβαθμίζουν την ενεργειακή προσομοίωση. Ακολουθεί η ανάλυση του δοκιμαστικού εργαλείου που αναπτύχθηκε. Το εργαλείο αυτό αναπτύχθηκε με τη γλώσσα προγραμματισμού Python και αποσκοπεί στην διευκόλυνση της διαδικασίας ενεργειακών προσομοιώσεων και στην λήψη αποφάσεων σχετικά με τις βέλτιστες ενεργειακές παρεμβάσεις. Για τη δημιουργία του, πολύ σημαντικό ρόλο διαδραμάτισε η βιβλιοθήκη της Python EPPy, που παρέχει δυνατότητες ανάγνωσης και τροποποίησης των αρχείων idf. Οι παρεμβάσεις εισάγονται με τη χρήση json αρχείων και το περιεχόμενο των αρχείων αυτών έχει αντληθεί από τη βιβλιοθήκη Building Components Library (BCL). Για να αναδειχθεί η λειτουργικότητα του εργαλείου πραγματοποιήθηκε μία σειρά προσομοιώσεων. Πιο συγκεκριμένα για ένα κτίριο κατοικιών και γραφείων επιλέχθηκε να εξεταστούν 5 διαφορετικά σενάρια παρεμβάσεων. Επίσης οι προσομοιώσεις έγιναν και για 3 διαφορετικές περιοχές, με διαφορετικές κλιματικές συνθήκες, ώστε να αναδειχθεί η επιρροή των εξωτερικών συνθηκών. Το εργαλείο πραγματοποιεί αλλαγές στα idf αρχεία εξοικονομώντας πολύτιμο χρόνο από την πραγματοποίηση αλλαγών με χειροκίνητο τρόπο και βοηθά τους μελετητές και τους συμβούλους στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Λέξεις κλειδιά: ενεργειακή απόδοση, ενεργειακές προσομοιώσεις, Energy Plus, BEM, ανακαίνιση

ABSTRACT

In the present thesis, a test tool is developed for modifying files containing building energy information (IDF) and for running energy simulations. Both the modification of IDF files and the execution of energy simulations are key elements for decision-making regarding actions to improve the energy efficiency of a building. Initially, the concept of the building and its energy upgrade interventions are discussed. This is followed by an analysis of the energy problem and a description of the national regulatory framework for energy efficiency. Next, the methods for building modelling are analyzed. Building model information, particularly energy-related data, is essential for energy simulations. Additionally, an analysis is presented of one of the most used energy simulation applications, EnergyPlus. The required input data, the program's operation, and the output data are described. Some tools that enhance energy simulation are mentioned as well. This is followed by an analysis of the test tool that was developed. This tool was created using the Python programming language and aims to facilitate the energy simulation process and assist in decision-making regarding optimal energy interventions. The Python library EPPy, which provides capabilities for reading and modifying IDF files, is of paramount importance for its creation. Interventions are introduced using JSON files, and the content of these files was sourced from the Building Components Library (BCL). To highlight the functionality of the tool, a series of simulations were carried out. Specifically, five different intervention scenarios were examined for a residential and office building. Simulations were also conducted for three different regions with varying climatic conditions to highlight the influence of external factors. The tool makes changes to IDF files, saving valuable time compared to making manual changes and assisting designers and consultants in the decision-making process.

Keywords: energy efficiency, energy simulation, Energy Plus, BEM, renovation

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή ΕΜΠ κ. Δημήτριο Ασκούνη για την ανάθεση της τόσο ενδιαφέρουσας διπλωματικής εργασίας και τον υποψήφιο διδάκτορα ΕΜΠ Κωνσταντίνο Αλεξιάκη για την καθοδήγηση και την άριστη συνεργασία σε όλη την πορεία της διπλωματικής. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Αγγελική Λακριντή, μεταπτυχιακή φοιτήτρια ΕΜΠ, για την υποστήριξη και τις συμβουλές της. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, τους γονείς μου Μαρία και Διονύση και την αδερφή μου Αγγελική για την αγάπη και τη στήριξη τους σε όλη τη διάρκεια της ζωής μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	8
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	12
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	14
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	14
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
1.1 Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας	16
1.2 Μεθοδολογία διπλωματικής.....	16
1.3 Οργάνωση κειμένου	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ .	17
2.1 Θεωρητικό υπόβαθρο κτιρίου.....	17
2.2 Κλιματική κρίση και αναβάθμιση κτιρίων.....	18
2.3 Ενεργειακή απόδοση κτιρίων και αναγκαιότητα ανακαίνισης.....	19
2.4 ΚΕνΑΚ και Εθνική Στρατηγική για την Ενέργεια και το Κλίμα	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ	24
3.1 BIM - Οφέλη και λογισμικά μοντελοποίησης	24
3.2 BEM – Οφέλη και λογισμικά μοντελοποίησης.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ENERGYPLUS.....	27
4.1 Εργαλείο ενεργειακής προσομοίωσης EnergyPlus	27
4.2 Αρχεία εισαγωγής EnergyPlus.....	32
4.3 Αρχεία εξόδου του EnergyPlus	36
4.4 Εργαλεία τροποποίησης αρχείων IDF	38
4.5 Παραδείγματα εργαλείων τροποποίησης από τη βιβλιογραφία.....	38
4.5.1 Energy Plus και MATLAB: EplusLauncher API.....	38
4.5.2 Eppy και geomeppy.....	40
4.5.3 Modelkit.....	40
4.5.4 genEPJ	40
4.5.5 PREDYCE	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ	
ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ.....	43
5.1 Σκοπιμότητα του εργαλείου	43
5.2 Βιβλιοθήκη EPPY	43

5.3	Βιβλιοθήκη BCL.....	44
5.4	JSON αρχεία.....	45
5.5	Κώδικας στη γλώσσα προγραμματισμού Python	47
5.6	Σενάρια αλλαγών που καλύπτει ο κώδικας.....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ		50
6.1	Διαδικασία εφαρμογής και σενάρια ανακαίνισης.....	50
6.2	Κλιματικές ζώνες	51
6.3	Περιγραφή σεναρίων και αλλαγών.....	51
6.4	Αποτελέσματα προσομοιώσεων	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....		64
7.1	Συμπεράσματα.....	64
7.2	Δυσκολίες και προτάσεις	64
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		65
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I: JSON ΑΡΧΕΙΑ.....		69
1 ^ο	ΣΕΝΑΡΙΟ	69
2 ^ο	ΣΕΝΑΡΙΟ	70
3 ^ο	ΣΕΝΑΡΙΟ	71
4 ^ο	ΣΕΝΑΡΙΟ	72
5 ^ο	ΣΕΝΑΡΙΟ	73
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: ΚΩΔΙΚΑΣ ΣΕ ΡΥΤΗΘΝ		75
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III: IDF αρχεία		79
1 ^ο	ΣΕΝΑΡΙΟ	79
2 ^ο	ΣΕΝΑΡΙΟ	82

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Στόχοι Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας [12]	19
Εικόνα 2: Πλήθος κτιρίων ανά χρονολογία κατασκευής.....	20
Εικόνα 3: Κατανάλωση ενέργειας κατοικιών στον Ελλαδικό χώρο (ktoe) για το έτος 2015 [14].....	20
Εικόνα 4: Κατανάλωση ενέργειας κτιρίων [1]	20
Εικόνα 5: Οφέλη ενεργειακής ανακαίνισης για ιδιοκτήτη και ενοικιαστή, βάσει των δεδομένων του Buildings Performance Institute Europe.....	21
Εικόνα 6: Στόχοι ΕΣΕΚ για την ανακαίνιση των κτιρίων κατοικίας [16].....	22
Εικόνα 7: Στόχοι ΕΣΕΚ για την ανακαίνιση των κτιρίων του τριτογενούς τομέα [16]	23
Εικόνα 8: Διαστάσεις BIM [29].....	25
Εικόνα 9: EP-Launch	28
Εικόνα 10: IDFVersionUpdater (EP-Launch)	29
Εικόνα 11: IDFVersionUpdater 2 (EP-Launch).....	30
Εικόνα 12: EP-Launch κατάσταση τερματισμού.....	30
Εικόνα 13: EP-Launch καρτέλα Sets	31
Εικόνα 14: idf editor (EP-Launch).....	31
Εικόνα 15: Idf editor 2 (EP-Launch)	32
Εικόνα 16: EnergyPlus αρχεία εισόδου και εξόδου [39].....	37
Εικόνα 17: Πλεονεκτήματα εργαλείου EplusLauncher API	39
Εικόνα 18: Κύριες λειτουργίες βιβλιοθήκης geomeppy [46]	40
Εικόνα 19: Μέρη εργαλείου PREDYCE	41
Εικόνα 20: Διαδικασία εργαλείου PREDYCE. Με μωβ πλαίσιο οι μη αυτοματοποιημένες διαδικασίες, με πράσινο οι αυτοματοποιημένες.....	42
Εικόνα 21: BCL library [49]	44
Εικόνα 22: Components BCL library [49].....	44
Εικόνα 23: Πλεονεκτήματα json αρχείων [51]	46
Εικόνα 24: Διαδικασία λειτουργίας εργαλείου	49
Εικόνα 25: Σχεδιασμός προσομοιώσεων	50

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Σενάρια παρεμβάσεων	52
Πίνακας 2: Εκπομπές CO ₂	54
Πίνακας 3: Συνολική ενεργειακή κατανάλωση κτιρίου	55
Πίνακας 4: Αποτελέσματα προσομοίωσης 1ου σεναρίου (Ψυχρό κλίμα)	55
Πίνακας 5: Αποτελέσματα προσομοίωσης 1ου σεναρίου (Μικτό κλίμα).....	56
Πίνακας 6: Αποτελέσματα προσομοίωσης 1ου σεναρίου (Θερμό κλίμα)	56
Πίνακας 7: Αποτελέσματα προσομοίωσης 2ου σεναρίου (Ψυχρό κλίμα)	56
Πίνακας 8: Αποτελέσματα προσομοίωσης 2ου σεναρίου (Μικτό κλίμα).....	56
Πίνακας 9: Αποτελέσματα προσομοίωσης 2ου σεναρίου (Θερμό κλίμα)	57
Πίνακας 10: Αποτελέσματα προσομοίωσης 3ου σεναρίου (Ψυχρό κλίμα)	57
Πίνακας 11: Αποτελέσματα προσομοίωσης 3ου σεναρίου (Μικτό κλίμα).....	57
Πίνακας 12: Αποτελέσματα προσομοίωσης 3ου σεναρίου (Θερμό κλίμα)	57
Πίνακας 13: Αποτελέσματα προσομοίωσης 4ου σεναρίου (Ψυχρό κλίμα)	58
Πίνακας 14: Αποτελέσματα προσομοίωσης 4ου σεναρίου (Μικτό κλίμα).....	58
Πίνακας 15: Αποτελέσματα προσομοίωσης 4ου σεναρίου (Θερμό κλίμα)	58

Πίνακας 16: Αποτελέσματα προσομοίωσης 5ου σεναρίου (Ψυχρό κλίμα)	59
Πίνακας 17: Αποτελέσματα προσομοίωσης 5ου σεναρίου (Μικτό κλίμα).....	59
Πίνακας 18: Αποτελέσματα προσομοίωσης 5ου σεναρίου (Θερμό κλίμα)	59
Πίνακας 19: Κατανάλωση ενέργειας ανά δραστηριότητα (Μικτό κλίμα)	61
Πίνακας 20: Κατανάλωση ενέργειας ανά δραστηριότητα (Ψυχρό κλίμα)	62
Πίνακας 21: Κατανάλωση ενέργειας ανά δραστηριότητα (Θερμό κλίμα).....	63

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Συνολική κατανάλωση ενέργειας	53
Διάγραμμα 2: Συνολική κατανάλωση ενέργειας πηγών.....	53
Διάγραμμα 3: Εκπομπές CO ₂	54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας

Τα κτίρια καταναλώνουν το 40% της παραγόμενης ενέργειας και είναι υπεύθυνα για την παραγωγή βλαβερών εκπομπών [1]. Καθώς οι ανθρώπινες ανάγκες για ενέργεια δεν μειώνονται, θα πρέπει να βρεθεί ένας τρόπος τα κτίρια να γίνουν αποδοτικότερα. Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελούν τα εργαλεία των ενεργειακών προσομοιώσεων, τα οποία αποτελούν βασικό μέρος της διαδικασίας ενεργειακής αναβάθμισης. Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη του θεωρητικού υποβάθρου των ενεργειακών προσομοιώσεων, η πραγματοποίηση βιβλιογραφικής έρευνας για τη μελέτη εργαλείων που βελτιώνουν τη διαδικασία της ενεργειακής προσομοίωσης και κυρίαρχα η δημιουργία ενός δοκιμαστικού εργαλείου αρωγής ενεργειακών προσομοιώσεων και η μελέτη των αποτελεσμάτων και των δυνατοτήτων του. Με το συγκεκριμένο δοκιμαστικό εργαλείο θα πραγματοποιούνται με αυτοματοποιημένο τρόπο διάφορες παρεμβάσεις και στη συνέχεια θα εκτελείται μία ενεργειακή προσομοίωση. Η μελέτη των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης οδηγεί στην επιλογή των βέλτιστων ενεργειακών παρεμβάσεων. Επομένως πρόκειται για ένα εργαλείο που συνεισφέρει και στην διαδικασία λήψης αποφάσεων.

1.2 Μεθοδολογία διπλωματικής

Για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας μελετήθηκαν οι ενέργειες ενεργειακής αναβάθμισης, τα ισχύοντα ευρωπαϊκά και εθνικά θεσμικά πλαίσια σχετικά με την ενεργειακή απόδοση και την ενεργειακή ανακαίνιση, παρόμοιες προσπάθειες ανάπτυξης εργαλείων ενεργειακών προσομοιώσεων από τη βιβλιογραφία. Τέλος δημιουργήθηκε ένα δοκιμαστικό εργαλείο, έγινε μία σειρά προσομοιώσεων και μελετήθηκαν τα αποτελέσματα.

1.3 Οργάνωση κειμένου

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται μία σύντομη εισαγωγή στο θέμα της διπλωματικής εργασίας. Στο 2^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο. Στο θεωρητικό υπόβαθρο περιλαμβάνεται τόσο το ευρωπαϊκό όσο και το εθνικό πλαίσιο σχετικά με τις ενεργειακές ανακαινίσεις. Μετά τη μελέτη του θεωρητικού υποβάθρου, γίνεται αντιληπτή η αναγκαιότητα των ενεργειακών ανακαινίσεων. Στο 3^ο κεφάλαιο περιγράφονται μέθοδοι μοντελοποίησης κτιρίων, καθώς το κτιριακό μοντέλο αποτελεί τη βάση για τη διαδικασία της ενεργειακής προσομοίωσης. Στο 4^ο κεφάλαιο αναλύεται ένα από τα δημοφιλέστερα εργαλεία εκτέλεσης ενεργειακών προσομοιώσεων, το Energy Plus. Εκτός αυτού γίνεται αναφορά και σε εργαλεία που βελτιώνουν τη διαδικασία της προσομοίωσης. Στο 5^ο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία δημιουργίας του δοκιμαστικού εργαλείου. Αναλύονται τα θεμελιώδη μέρη του προγράμματος και παρουσιάζεται το script του εργαλείου. Στο 6^ο κεφάλαιο γίνεται εφαρμογή του εργαλείου και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Τέλος στο 7^ο κεφάλαιο αναφέρονται τα κυρία συμπεράσματα που προέκυψαν μετά από την ολοκλήρωση της εργασίας και ορισμένες προτάσεις βελτίωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ

2.1 Θεωρητικό υπόβαθρο κτιρίου

Ορισμός κτιρίου : Κτίριο είναι μία κατασκευή, η οποία αποτελείται από τοίχους και στέγη. Εμπεριέχει έναν ή περισσότερους χώρους και ένα σύνολο εγκαταστάσεων. Σκοπός του κτιρίου είναι η βιώσιμη παραμονή των χρηστών σε αυτό [2].

Τα μέρη του κτιρίου είναι τα εξής [3]:

1. Θεμέλια, τα οποία χρησιμεύουν στην στήριξη του.
2. Φέρων οργανισμός, ο οποίος αποτελείται από υποστυλώματα, δοκούς και πλάκες.
3. Τοίχοι, που οριοθετούν το κτίριο και χωρίζουν το εσωτερικό του.
4. Στέγη, η οποία προστατεύει το κτίριο από τα καιρικά φαινόμενα.
5. Δάπεδα, επιτρέπουν την χρήση του χώρου και τον χωρισμό των ορόφων.
6. Ανοίγματα, δηλαδή παράθυρα και πόρτες.
7. Δομικά υλικά, όπως σκυρόδεμα, ξύλο, τούβλα, χάλυβας και γυψοσανίδα.
8. Συστήματα κτιρίου, τα οποία είναι το υδραυλικό σύστημα, το ηλεκτρολογικό σύστημα και το σύστημα θέρμανσης ψύξης.

Τα είδη του κτιρίου είναι τα εξής [4]:

1. Κατοικίες: στα κτίρια αυτά οι άνθρωποι ξεκουράζονται, κοιμούνται, τρώνε και διασκεδάζουν. Οι ένοικοι μένουν μόνιμα σε αυτά ή για πιο μικρό χρονικό διάστημα.
2. Κτίρια προσωρινής διαμονής: ξενοδοχεία, ενοικιαζόμενα δωμάτια ή οικοτροφεία, στα οποία οι ένοικοι διαμένουν για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, πιο μικρό από τις κατοικίες.
3. Κτίρια εκπαίδευσης: σχολεία, πανεπιστήμια, φροντιστήρια. Αυτοί οι χώροι υποδέχονται αρκετά άτομα και έχουν σχεδιαστεί για εκπαιδευτική χρήση.
4. Κτίρια συνάθροισης κοινού: χώροι εκθέσεων, θέατρα, εστιατόρια, ναοί, μουσεία, τράπεζες και χώροι συναυλιών. Χρησιμοποιούνται για την συνάθροιση 50 και άνω ατόμων.
5. Κτίρια υγείας: νοσοκομεία, κλινικές, ιατρεία, ιδρύματα ατόμων με ειδικές ανάγκες. Αυτά είναι διαμορφωμένα για να καλύπτουν τις υπηρεσίες υγείας.
6. Σωφρονιστικά κτίρια: φυλακές, κρατητήρια και αναμορφωτήρια.
7. Κτίρια για εμπόριο: καταστήματα, φαρμακεία, κομμωτήρια, στα οποία γίνεται πώληση προϊόντων ή παροχής υπηρεσιών περιποίησης.
8. Κτίρια Βιομηχανίας: βιομηχανίες, βιοτεχνίες, εργαστήρια, βαφεία, ξυλουργεία και συνεργεία. Κοινό γνώρισμα αυτών των κτιρίων είναι ότι περιέχουν σημαντικό ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό.
9. Κτίρια Αποθήκευσης: γενικές αποθήκες αντικειμένων, λιμενικά υπόστεγα, αποθήκες καταστημάτων και στάβλοι. Αυτοί οι χώροι είναι σχεδιασμένοι για αποθήκευση αντικειμένων και στέγαση ζώων.
10. Κτίρια στάθμευσης και πρατηρίων: τα κτίρια αυτά έχουν ως χρήση την στάθμευση αυτοκινήτων, τον ανεφοδιασμό τους αλλά και το πλύσιμο τους.

Οι Παρεμβάσεις που μπορούν να γίνουν με σκοπό την ενεργειακή αναβάθμιση ενός κτιρίου είναι οι εξής [5]:

1. Εξωτερική θερμομόνωση κελύφους του κτιρίου: υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως θερμομόνωση είναι η διογκωμένη πολυστερόλη και ο

- πετροβάμβακας. Με αυτήν την παρέμβαση, επιτυγχάνεται η στεγανοποίηση του κτιρίου και διασφαλίζεται η μηχανική αντοχή του.
2. Θερμομόνωση ταράτσας: τοποθετώντας ένα από τα υλικά όπως ασφαλικό γαλάκτωμα, εξηλασμένη ή διογκωμένη πολυστερίνη, τσιμεντοκονία και αφροπετόν επιτυγχάνεται η θερμομόνωση ταράτσας. Αποτελεί κρίσιμη αλλαγή, καθώς διασφαλίζεται η προστασία σημαντικού μέρους του κτιρίου από τα καιρικά φαινόμενα.
 3. Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων: λύση που οδηγεί στην σημαντική μείωση της κατανάλωσης του ηλεκτρικού ρεύματος.
 4. Εγκατάσταση ηλιακού θερμοσίφωνα: κομβική ενέργεια καθώς αναβαθμίζεται ενεργειακά το κτίριο κατά 40% σε σύγκριση με την προγενέστερη κατάσταση του.
 5. Αντικατάσταση κουφωμάτων και υαλοπινάκων: Βάζοντας κουφώματα και υαλοπίνακες με συγκεκριμένες προδιαγραφές, όπως νέα αποδοτικά αλουμίνια και θερμομονωτικά τζάμια, επιτυγχάνονται η μείωση των απωλειών θερμότητας και η εξαφάνιση υδρατμών τον χειμώνα.
 6. Τοποθέτηση σκιάστρων: όπως τέντες, περσίδες και παντζούρια, με σκοπό την προστασία από τις ακτίνες του ήλιου κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες αλλά και την διαχείριση της διάχυσης του φυσικού φωτισμού όποτε αυτό χρειάζεται.
 7. Εσωτερικοί και εξωτερικοί χρωματισμοί του κτιρίου: Βάφοντας το κτίριο με χρώματα υψηλών ενεργειακών προδιαγραφών, προστατεύονται τα δομικά υλικά και εξοικονομείται περισσότερη ενέργεια.
 8. Αναβάθμιση του συστήματος θέρμανσης και ψύξης: Τα νέα πιστοποιημένα συστήματα έχουν έξυπνες λειτουργίες, όπως λειτουργία ύπνου, δουλεύουν όποτε είναι επιθυμητό από το χρήστη και εξασφαλίζουν πιο αποδοτική θέρμανση και ψύξη. Οι πιο διαδεδομένες λύσεις είναι η εγκατάσταση συστήματος φυσικού αερίου και η αντλία θερμότητας.

Κόστος ενεργειακής αναβάθμισης:

Το κόστος της αναβάθμισης εξαρτάται από το εμβαδόν του κτιρίου και από τις παρεμβάσεις που θα γίνουν. Οι κύριες παρεμβάσεις που γίνονται συνήθως είναι η τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης και η αλλαγή κουφωμάτων. Μία από τις δύο παρεμβάσεις κοστίζει περίπου 15.000 – 20.000 ευρώ σε ένα κτίριο συνολικής επιφάνειας 100 τ.μ. στην Ελλάδα [6]. Ενδεικτικά αναφέρεται και το κόστος παρόμοιων αναβαθμίσεων σε χώρες της Ευρώπης. Στην Γερμανία το κόστος κυμαίνεται από 20.000 έως 50.000 ευρώ [7], στην Ισπανία από 8.000 έως 25.000 ευρώ [8] και στην Σουηδία από 25.000 έως 60.000 ευρώ [9].

2.2 Κλιματική κρίση και αναβάθμιση κτιρίων

Η κλιματική αλλαγή είναι ένα πρόβλημα που ταλανίζει πολλές χώρες σε παγκόσμιο επίπεδο, μεταξύ αυτών και την Ελλάδα. Οι συνέπειες της τόσο στο φυσικό όσο και στο κοινωνικό-οικονομικό περιβάλλον είναι εμφανείς. Ως προς το φυσικό περιβάλλον οι επιπτώσεις είναι ποικίλες. Η κατακόρυφη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας προκαλεί καύσωνες και ακραία καιρικά φαινόμενα, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται όλο και περισσότερες πυρκαγιές, να καταστρέφονται ζωικά και φυτικά είδη. Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τις εδαφικές εκτάσεις, συμβάλλει στην διάβρωση του εδάφους και στη δυσκολία καλλιέργειάς του. Πολύ σημαντικές είναι και οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον άνθρωπο. Παρατηρείται αύξηση της θνησιμότητας και της νοσηρότητας σε περιστατικά που σχετίζονται με ακραία καιρικά φαινόμενα. Υποβαθμίζεται η ποιότητα του αέρα στο μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη. Επίσης στον εργασιακό τομέα, μεγάλες καταστροφές υφίσταται ο κλάδος της γεωργίας με ανυπολόγιστες συνέπειες τόσο στα χωράφια, όσο και σε θέσεις εργασίας [10]. Όλες αυτές οι

κλιματικές μεταβολές δεν θα μπορούσαν να αφήσουν ανεπηρέαστο το ενεργειακό πρόβλημα του πλανήτη. Η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται με ταχύτατους ρυθμούς. Η τεχνολογική ανάπτυξη και οι καθημερινές ανάγκες των ανθρώπων συμβάλλουν στην όλο και περισσότερη ζήτηση ενέργειας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για να ανταποκριθεί στην όλο και αυξανόμενη ζήτηση, βασίζεται κυρίως στους ορυκτούς πόρους της γης, όπως ο λιγνίτης, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο, με ανυπολόγιστες συνέπειες στο περιβάλλον. Για την καταπολέμηση αυτού του φαινομένου, η παραγωγή ενέργειας πρέπει να βασιστεί στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στην χρήση τεχνολογιών που δεν μολύνουν την ατμόσφαιρα και δεν μειώνουν ραγδαία τους ορυκτούς πόρους της γης. Έτσι λοιπόν, για την ανάπτυξη της πράσινης ενέργειας έχουν δημιουργηθεί αυστηρά σχέδια και συμφωνίες. Πιο συγκεκριμένα, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία. Αυτή έχει ως κύριους πυλώνες τη διασφάλιση οικονομικά βιώσιμου ενεργειακού εφοδιασμού της ευρωπαϊκής ένωσης, τη δημιουργία ολοκληρωμένης και τεχνολογικά ανεπτυγμένης ενεργειακής αγοράς και την βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και της διαδικασίας παραγωγής ενέργειας, η οποία θα βασίζεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι στόχοι της ευρωπαϊκής ένωσης είναι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 55% μέχρι το 2030 σε σχέση με την κατάσταση που επικρατούσε το 1990 και η εξισορρόπηση του ισοζυγίου διοξειδίου του άνθρακα μέχρι το 2050 [11].

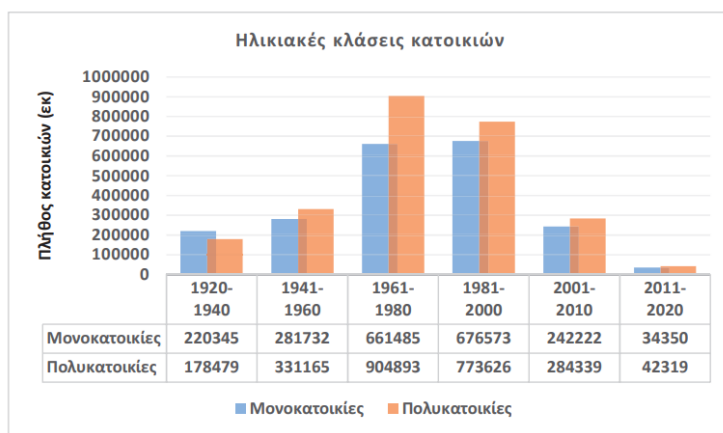


Εικόνα 1: Στόχοι Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας [12]

2.3 Ενεργειακή απόδοση κτιρίων και αναγκαιότητα ανακαίνισης

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, ένας από τους κυριότερους στόχους της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας είναι η αναβαθμισμένη και ενεργειακά αποδοτική κτιριακή υποδομή. Σύμφωνα με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ο κτιριακός τομέας πρέπει να απαλλαγεί από εκπομπές άνθρακα μέχρι το 2050. Ο μεγαλύτερος καταναλωτής ενέργειας είναι τα κτίρια, έτσι λοιπόν κρίνεται επιτακτική ανάγκη η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης τους. Το 80% των κτιρίων που έχουν κατασκευαστεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι πριν το 2000, με συνέπεια

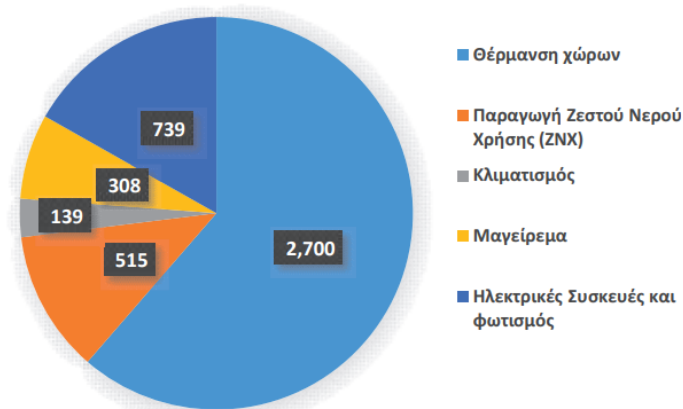
τα περισσότερα από αυτά να έχουν χαμηλή ενεργειακή απόδοση. Όσον αφορά την κτιριακή υποδομή της Ελλάδας, το 42.7% κατασκευάστηκε πριν το 2010 ενώ όπως φαίνεται στην **Εικόνα 2**, οι περισσότερες πολυκατοικίες κατασκευάστηκαν μεταξύ των δεκαετιών 1960 – 1980 [13].



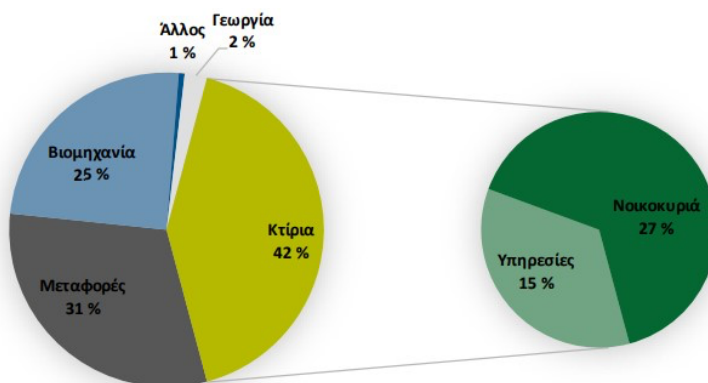
Πηγή: ΕΥ ΒΣΟ και ΒΡΠΕ

Εικόνα 2: Πλήθος κτιρίων ανά χρονολογία κατασκευής [13]

Σύμφωνα με τη μελέτη των ενεργειακών ισοζυγίων της Eurostat και την απογραφή αερίων του θερμοκηπίου του ΕΟΧ το 2023, προκύπτει ότι τα κτίρια καταναλώνουν πάνω από το 40% της ενέργειας στην ΕΕ [1] (**Εικόνα 4**), συμβάλλουν στο 1/3 των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και το 80% της κατανάλωσης στις κατοικίες προορίζεται για ψύξη, θέρμανση και ζεστό νερό (**Εικόνα 3**). Όπως φαίνεται στη **Εικόνα 4**, οι κατοικίες αποτελούν το κτιριακό αυτό είδος με το μεγαλύτερο περιθώριο μείωσης της ενεργειακής τους κατανάλωσης [1].

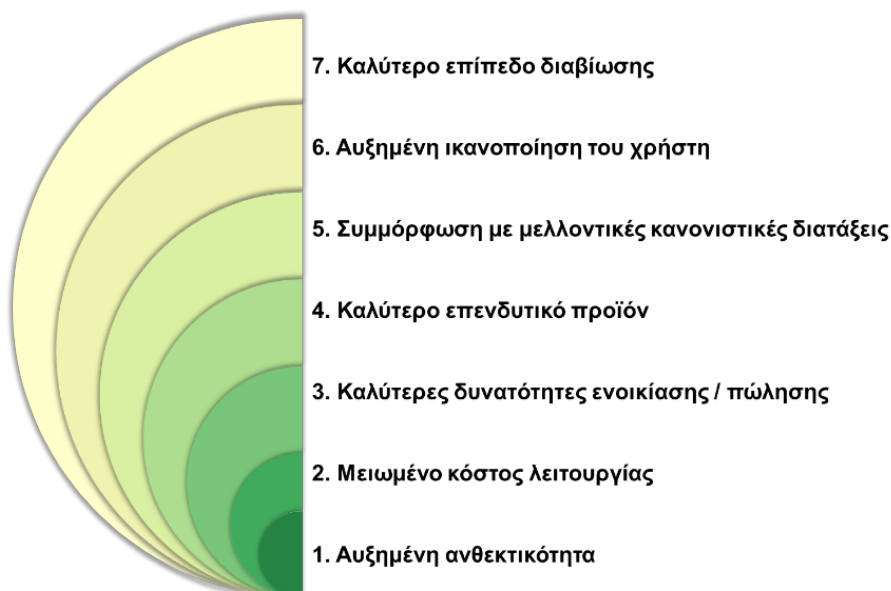


Εικόνα 3: Κατανάλωση ενέργειας κατοικιών στον Ελλαδικό χώρο (ktoe) για το έτος 2015 [14]



Εικόνα 4: Κατανάλωση ενέργειας κτιρίων [1]

Από όλα τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό η ότι αναβάθμιση των κτιρίων αποτελεί επιτακτική ανάγκη και θεσμική υποχρέωση. Επομένως πολύ σημαντικό είναι να αυξηθεί η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων μέσω των ανακαινίσεων. Οι ενεργειακές αναβαθμίσεις συντελούν στην εξοικονόμηση ενέργειας, άρα και μείωση του λογαριασμού του ρεύματος, στη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα, στη σημαντική αναβάθμιση του αστικού περιβάλλοντος, στην αύξηση της αξίας του ακινήτου και στη συνολική επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων για τον πλανήτη.



Εικόνα 5: Οφέλη ενεργειακής ανακαίνισης για ιδιοκτήτη και ενοικιαστή, βάσει των δεδομένων του Buildings Performance Institute Europe

2.4 ΚΕνΑΚ και Εθνική Στρατηγική για την Ενέργεια και το Κλίμα

Η Ελλάδα ως κράτος – μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης οφείλει να συμμορφώνεται με το Ενωσιακό δίκαιο και να ενσωματώνει τις οδηγίες της Ένωσης στην Ελληνική έννομη τάξη. Ως εκ τούτου τον Ιούλιο του 2017 ενέκρινε τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕνΑΚ) [15]. Σκοπός του συγκεκριμένου θεσμικού κειμένου είναι ο καθορισμός αρχών για την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης της κτιριακής υποδομής και πιο συγκεκριμένα για την εξοικονόμηση της ενέργειας που χρησιμοποιείται για:

- Θέρμανση, ψύξη και κλιματισμό
- Θέρμανση νερού
- Φωτισμό

Για την επίτευξη των παραπάνω, ο κανονισμός ορίζει αρχές σχεδιασμού τόσο για τα νέα, προς κατασκευή κτίρια, όσο και για τα υφιστάμενα κτίρια τα οποία θα ανακαινισθούν εκ βάθρων. Συνοπτικά ο κανονισμός περιέχει:

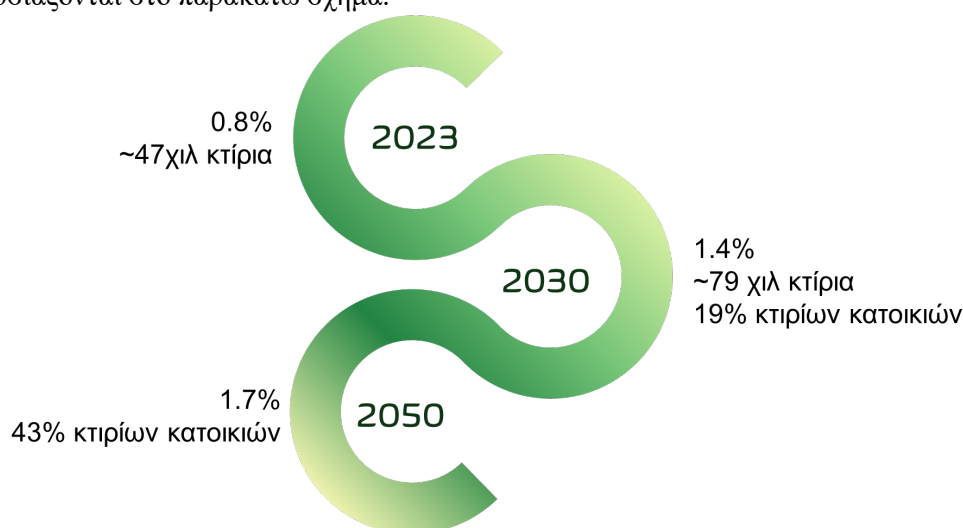
- Τις παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψιν και τη μέθοδο για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης.
- Προδιαγραφές κτιρίων, με βάση το οποίο θα γίνει ο προσδιορισμός της ενεργειακής απόδοσης του προς μελέτη κτιρίου.
- Οδηγίες για την εκπόνηση Μελετών Ενεργειακής Απόδοσης (ΜΕΑ).

- Περιεχόμενα Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) όπως είναι οι πραγματικές ενεργειακές καταναλώσεις, προτάσεις σε περίπτωση που διαπιστωθούν παρεκκλίσεις από τις απαιτήσεις και η ενεργειακή απόδοση. Μετά την ολοκλήρωση είτε της δόμησης νέων κτιρίων, είτε των εργασιών ανακαίνισης στα υφιστάμενα, το ΠΕΑ πρέπει να κατατεθεί στην αρμόδια Υπηρεσία Δόμησης (ΥΔΟΜ). Αναφέρεται ότι η υποχρέωση έκδοσης ΠΕΑ και ο έλεγχός του πριν από οποιαδήποτε πράξη αγοραπωλησίας ή μίσθωσης ακινήτου αποτελεί ένα μέσο προστασίας ιδιοκτήτη και ενοικιαστή.
- Οδηγίες για τη διεξαγωγή Ενεργειακών Επιθεωρήσεων και των παραγώγων τους, όπως είναι τα ΠΕΑ.

Ακόμα για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ) σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΙΕΠΒΑ) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) δημιούργησε το λογισμικό ΤΕΕ – ΚΕΝΑΚ (Τεχνικό Επιμελητήριο Αθηνών)

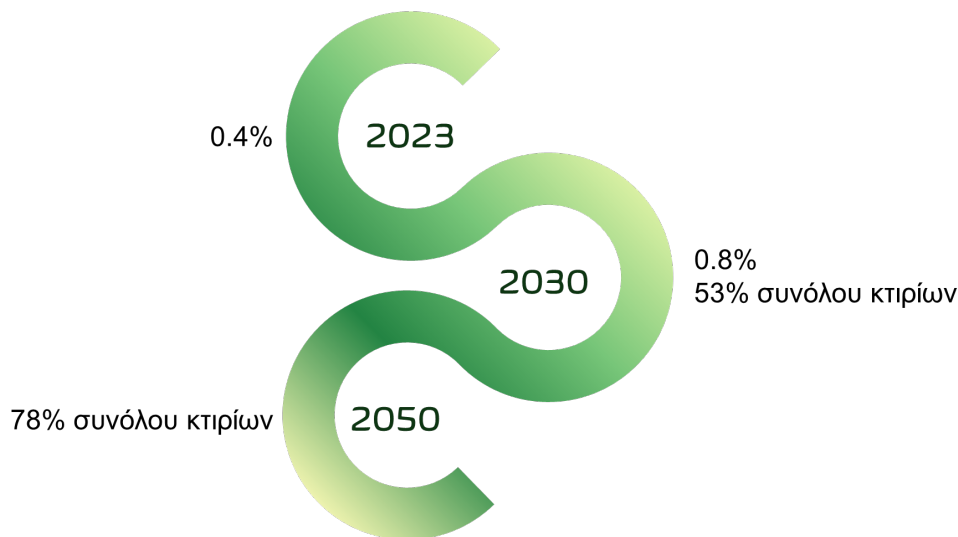
Αξίζει να σημειωθεί ότι μέρος των απαιτήσεων του κανονισμού αποτελούν οι περιορισμοί θερμομόνωσης, μέσω συντελεστών θερμοπερατότητας (Άρθρο 8, παρ. 2) Επομένως αυτή η συνήθης ενέργεια ανακαίνισης κρίνεται ότι διαδραματίζει σημαντικό ρόλο για την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου.

Πέρα από τον ΚΕνΑΚ, ένα ακόμα θεσμικό πλαίσιο που αφορά σε στόχους ενεργειακής απόδοσης της κτιριακής υποδομής της χώρας, είναι το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ). Πρόκειται για το πλαίσιο εκείνο που θα συμβάλλει στην επίτευξη της ενεργειακής μετάβασης, βελτιώνοντας συγχρόνως και την οικονομία της χώρας. Όσον αφορά την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, το ΕΣΕΚ κρίνει αναγκαία τη βελτίωση της υφιστάμενης κτιριακής υποδομής. Για τα κτίρια κατοικίας, οι στόχοι ανακαίνισης του ΕΣΕΚ παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 6: Στόχοι ΕΣΕΚ για την ανακαίνιση των κτιρίων κατοικίας [16]

Ενώ όσον αφορά τα κτίρια του τριτογενούς τομέα, οι στόχοι του ΕΣΕΚ παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα.



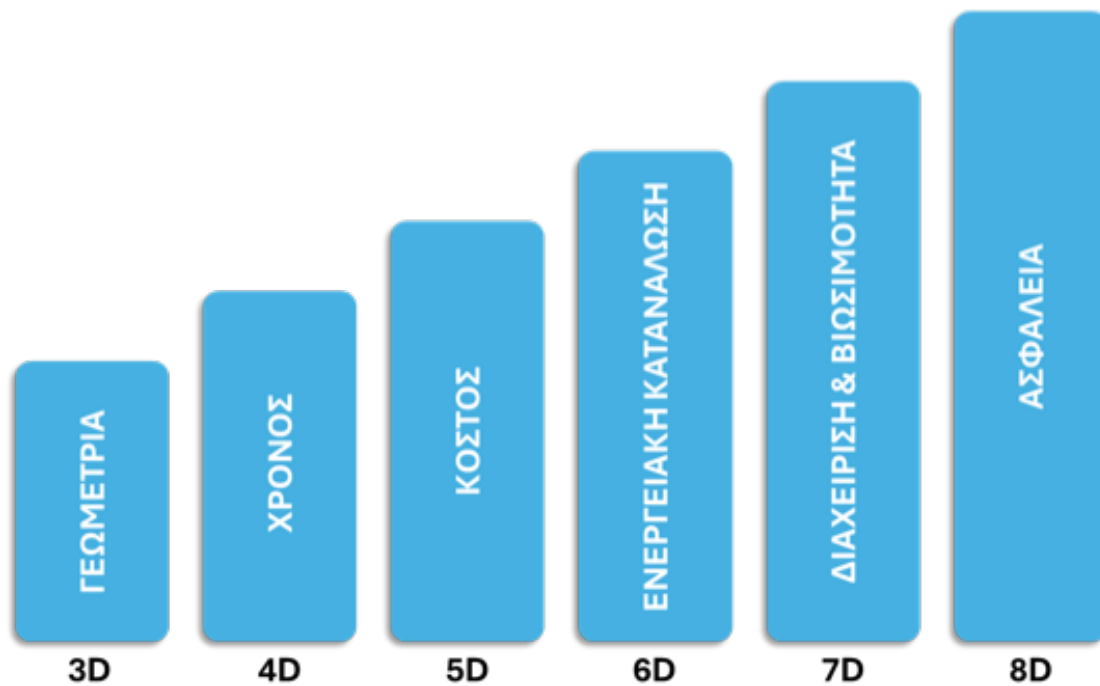
Εικόνα 7: Στόχοι ΕΣΕΚ για την ανακαίνιση των κτιρίων του τριτογενούς τομέα [16]

Για την επίτευξη αυτών των μεγάλων στόχων, το σχέδιο ορίζει μία σειρά από ενέργειες που θα μπορούσαν να συμβάλλουν σε αυτήν. Πιο συγκεκριμένα αυτές οι ενέργειες είναι χρηματοδοτικές δράσεις, όπως και ενέργειες φορολογικών ελαφρύνσεων. Εκτός αυτών, για τις επιχειρήσεις προβλέπει και πολεοδομικά κίνητρα. Τέλος για την ενεργειακή αναβάθμιση των δημόσιων κτιρίων προβλέπεται και το πρόγραμμα «Ηλέκτρα» [17], όπως και οι «Πράσινες δημόσιες συμβάσεις» που αφορούν σε συμβάσεις υπηρεσιών και προμηθειών. Εκτός των παραπάνω ωστόσο απαιτείται και ύπαρξη κινήτρων και ενημέρωσης [16]. Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, η ανάγκη και τα πλεονεκτήματα της ανακαίνισης καθίστανται σαφή. Παρόλα αυτά, υπάρχουν ορισμένοι λόγοι παρακώλυσης που οδηγούν σε μειωμένο ποσοστό ανακαινισμένων κτιρίων. Ως εκ τούτου η Ελλάδα θέσπισε μία σειρά από κίνητρα και προγράμματα για να μπορέσουν να αυξηθούν τα ποσοστά των ανακαινισμένων κτιρίων και να επιτευχθούν οι ενεργειακοί στόχοι που έχουν τεθεί. Τα κίνητρα που παρέχουν κάποια από αυτά τα προγράμματα, είναι χρηματοδοτικά και περιλαμβάνουν επιχορηγήσεις και δανεισμό με ευνοϊκότερους όρους, όπως είναι τα προγράμματα «Εξοικονόμηση κατ' οίκον II» [18] και «Εξοικονομώ – Ανακαινίζω για νέους» [19]. Ένα άλλο κίνητρο που δίνεται στους ιδιοκτήτες αυθαιρέτων, είναι η μείωση του προστίμου τους εάν πραγματοποιήσουν ενέργειες ενεργειακής αναβάθμισης στα σπίτια τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

3.1 BIM - Οφέλη και λογισμικά μοντελοποίησης

Με σκοπό την καλύτερη μελέτη και λειτουργικότητα των κτιρίων δημιουργήθηκε το BIM. Το BIM (Building Information Modelling) είναι μία διαδικασία δημιουργίας και διαχείρισης πληροφοριών για ένα κατασκευαστικό έργο, σε όλη τη διάρκεια της ζωής του [20]. Σε όλη αυτή την διαδικασία παρέχεται μια ολοκληρωμένη ψηφιακή περιγραφή σε κάθε φάση του έργου, χρησιμοποιώντας ένα σύνολο εργαλείων λογισμικού. Εργαλεία κατάλληλα για τη διαδικασία αυτή, αναφέρονται παρακάτω. Το BIM χωρίζεται σε αρκετές διαστάσεις, η καθεμία διάσταση έχει το δικό της χαρακτηριστικό στοιχείο. Το 3D BIM είναι η πιο γνωστή μορφή BIM, δημιουργώντας ψηφιακά μοντέλα κτιρίων σε τρεις διαστάσεις. Το κτίριο απεικονίζεται πλήρως σε τρισδιάστατη μορφή, βοηθώντας στην καλύτερη κατανόηση και στη βελτίωση των σχεδίων πριν από την κατασκευή. Επίσης οι πληροφορίες σχεδιασμού γίνονται άμεσα κατανοητές μεταξύ των σχεδιαστών, των αρχιτεκτόνων, των εργολάβων και γενικά όλων των ενδιαφερομένων [21]. Εξαιτίας της λεπτομερούς μελέτης και του συστήματος εντοπισμού συγκρούσεων μειώνονται οι πιθανότητες αναθεωρήσεων, αυτό έχει ως συνέπεια την εξοικονόμηση χρόνου και κόστους. Το 4D BIM περιέχει πληροφορίες που σχετίζονται με την κατασκευή μοντέλων. Η προσθήκη της διάστασης του χρόνου βοηθάει την ομάδα του έργου να οργανώσει βέλτιστα τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η κατασκευή του. Το 4D BIM ήταν από τα σημαντικότερα βήματα ανάπτυξης στον κλάδο της βιομηχανίας, όταν μέσα από εργαλεία σχεδιασμού τρισδιάστατων μοντέλων επιτεύχθηκε η άριστη συνεργασία ανάμεσα στις ομάδες σχεδιασμού και κατασκευής [22] [23]. Το 5D BIM προσθέτει την παράμετρο του κόστους. Αυτός ο τύπος μοντέλου συμβάλλει στην ακριβέστερη εκτίμηση του κόστους του έργου, στοιχείο εξαιρετικά σημαντικό για την επιτυχή συμμετοχή σε κατασκευαστικούς διαγωνισμούς, την ανάληψη του έργου και τον υπολογισμό του κέρδους [24] [23]. Το 6D BIM παρέχει πληροφορίες ως προς την διαχείριση εγκαταστάσεων, την κατανάλωση ενέργειας και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις [23]. Αυτό το μοντέλο αναλύει την έννοια της βιωσιμότητας για ολόκληρο τον κύκλο ζωής του έργου. Το συγκεκριμένο μοντέλο αντιστοιχεί σε ένα ενεργειακό μοντέλο BEM (Building Energy Modelling), το οποίο είναι μία διαδικασία ενεργειακής προσομοίωσης που βοηθά στην μοντελοποίηση και στην πρόβλεψη ενέργειας κτιρίων. [25]. Το 7D BIM, με τη σειρά του, παρέχει πληροφορίες βιωσιμότητας για το σύνολο του κτιρίου όπως είναι δεδομένα ενεργειακής και περιβαλλοντικής απόδοσης [26], δεδομένα συντήρησης του κτιρίου και πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία του, όπως είναι τεχνικές προδιαγραφές, σχέδια και οδηγίες του κατασκευαστή [27]. Αυτό το μοντέλο συμβάλλει στην εύρυθμη λειτουργία και στην κατάλληλη συντήρηση της κατασκευής. Το 8D BIM περιέχει τη διάσταση της υγείας και της ασφάλειας στη φάση της μελέτης και της κατασκευής. Αποτελεί εργαλείο για την ολοκληρωμένη διαχείριση κινδύνων και ειδικά για την ανίχνευση και εκτίμηση αδυναμιών που αφορούν την ασφάλεια και την υγεία των εργαζομένων. Η εξασφάλιση υγείων και ασφαλών μέτρων εργασίας αποτελεί θεμελιώδη αρχή κάθε έργου. Έτσι λοιπόν, με την χρήση ενός 8D BIM μπορεί να γίνει πιο ολοκληρωμένη διαχείριση κινδύνων, η οποία στοχεύει στην πρόληψη και όχι στην αντιμετώπιση [28].



Εικόνα 8: Διαστάσεις BIM [29]

Τα λογισμικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για BIM μοντελοποίηση είναι τα εξής [21] [30] [31] [32]:

- Autodesk Revit
- ArchiCAD
- Sketch up
- Catenda Hub
- dRofus
- Dynamo
- Gemini Terrain
- Grasshopper
- MagiCAD
- Primavera
- Rhinoceros
- Simple BIM
- Solibri
- Trimble
- Catia
- Bricscad BIM

3.2 BEM – Οφέλη και λογισμικά μοντελοποίησης

Το BEM είναι μία ολοκληρωμένη διαδικασία ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων. Χρησιμοποιείται συνήθως για τη βελτιστοποίηση σχεδιασμού, την ανάλυση προσαρμογής και

συμμόρφωσης με ενεργειακά πρότυπα (π.χ ASHRAE). Είναι αρκετά χρήσιμο για τη μοντελοποίηση και την πρόβλεψη ενέργειας κτιρίων, η οποία χωρίζεται σε 3 βασικές υποκατηγορίες: μακροπρόθεσμες προβλέψεις φορτίου, οι οποίες συμβάλλουν στον προγραμματισμό του έργου, μεσοπρόθεσμες προβλέψεις για τη συντήρηση του έργου και βραχυπρόθεσμες προβλέψεις, οι οποίες μελετούν την καθημερινή λειτουργία, τον προγραμματισμό και τις ανάγκες του ηλεκτρικού φορτίου [33]. Παράλληλα το BEM μελετά τα συστήματα θέρμανσης - ψύξης και τον φωτισμό, αυτά τα συστήματα συμβάλλουν στο 70% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας ενός κτιρίου [34]. Πολύ χρήσιμο επίσης είναι ότι το BEM υπολογίζει την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Σημαντική είναι και η προσφορά του στις ρυθμιστικές αρχές, καθώς βοηθά στην σωστή πρόβλεψη φορτίου, άρα και στην εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης ενέργειας. Υπάρχει και μία υποκατηγορία του, η οποία ονομάζεται UBEM (Urban Building Energy Modelling). Σε αυτή την υποκατηγορία πραγματοποιείται συγκεκριμένη μελέτη για τα αστικά περιβάλλοντα. Αυτό το μοντέλο παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την πρόβλεψη ενεργειακής ζήτησης των αστικών κτιρίων. Χρήσιμα στην εκπόνηση της μελέτης είναι και άλλα στοιχεία του αστικού περιβάλλοντος, όπως το αστικό κλίμα και τα ενεργειακά συστήματα [35]. Τα λογισμικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για BEM μοντελοποίηση είναι τα εξής:

- EnergyPlus
- eQUEST
- IESVE
- OpenStudio
- TRNSYS

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ENERGYPLUS

4.1 Εργαλείο ενεργειακής προσομοίωσης EnergyPlus

Το EnergyPlus αποτελεί ένα πρόγραμμα προσομοίωσης ενέργειας κτιρίων, το οποίο δημιουργήθηκε από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (DOE). Χρησιμοποιείται από μηχανικούς, αρχιτέκτονες και μελετητές, με σκοπό να μοντελοποιήσουν την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, αερισμό, φωτισμό και ηλεκτρικά φορτία σε κτίρια. Το EnergyPlus παρέχει πληροφορίες για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, καθιστώντας το ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την βελτιστοποίηση τόσο σχεδιασμών κτιρίων όσο και της ενεργειακής κατανάλωσης τους.

Κύρια Θεωρητικά Στοιχεία και Μέθοδοι [36]:

1. Μέθοδος Θερμικής Ισορροπίας:

Το EnergyPlus βασίζεται στην μέθοδο της θερμικής ισορροπίας ώστε να γίνει αποτελεσματικά η μοντελοποίηση της μεταφοράς θερμότητας. Μελετάται η θερμική αγωγιμότητα από τις επιφάνειες του κτιρίου, την ακτινοβολία μεταξύ των επιφανειών και τη μεταφορά θερμότητας με το αέρα.

2. Μέθοδος Πεπερασμένων Διαφορών:

Για τη μοντελοποίηση της θερμικής αγωγιμότητας των τοίχων, των στεγών και των δαπέδων, το EnergyPlus μελετά τη διάχυση θερμότητας σε αυτά. Αυτή η διαδικασία βοηθά στην ακριβή προσομοίωση μεταβολών θερμοκρασίας σε κτίρια.

3. Μοντελοποίηση Συστημάτων HVAC:

Το EnergyPlus μελετά τα συστήματα HVAC, συμπεριλαμβανομένων των ροών αέρα, ροών νερού και προγραμμάτων ελέγχου. Η διαδικασία αυτή, είναι σε θέση να προσομοιώσει ένα ευρύ φάσμα εξαρτημάτων HVAC, όπως ψυκτικά συστήματα, λέβητες και συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα.

4. Ακτινοβολούμενη και Συμπαγής Μεταφορά Θερμότητας:

Το πρόγραμμα λαμβάνει υπόψη τόσο την ακτινοβολούμενη όσο και τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ των επιφανειών των κτιρίων και του εσωτερικού περιβάλλοντος. Μελετώνται οι θερμικοί συντελεστές των επιφανειών, ενώ η μεταφορά θερμότητας προκύπτει βάσει των ροών αέρα και των διαφορών της θερμοκρασίας.

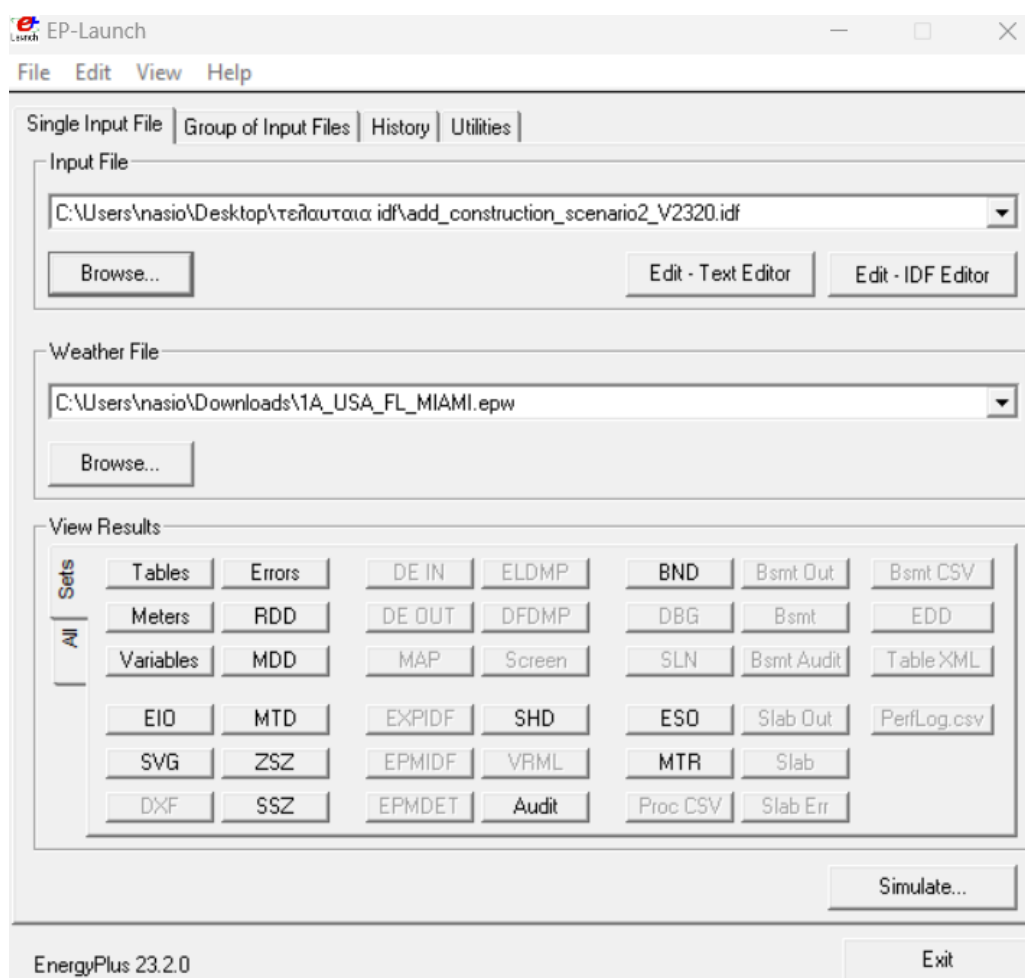
5. Μοντελοποίηση Ηλιακής Ακτινοβολίας:

Το EnergyPlus μελετά το αντίκτυπο της ηλιακής ακτινοβολίας στα κτίρια μοντελοποιώντας την διάχυτη και ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία. Λαμβάνοντας υπόψιν παράγοντες, όπως οι σκιάσεις και τα χαρακτηριστικά των υαλοπινάκων, το πρόγραμμα είναι σε θέση να υπολογίσει τα θερμικά κέρδη από τα παράθυρα.

6. Ροές Αέρα και Αερισμός:

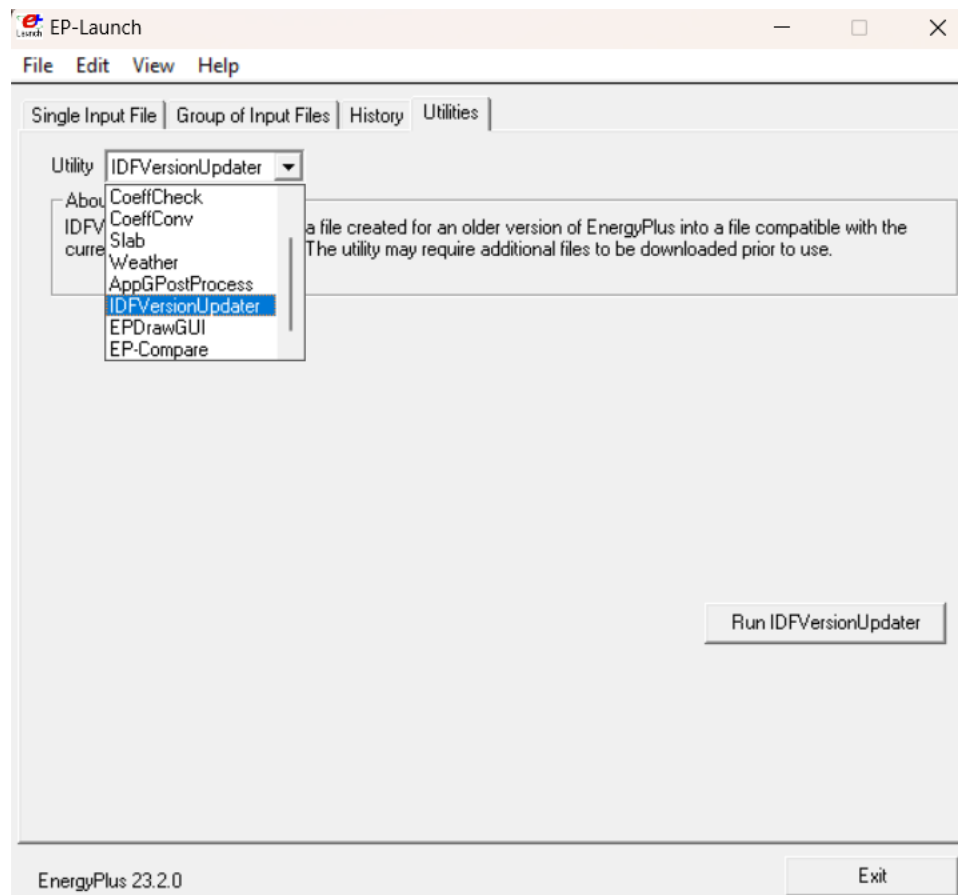
Το πρόγραμμα μπορεί να προσομοιώσει τόσο τον φυσικό όσο και τον τεχνητό αερισμό. Επιτρέπει στους μηχανικούς και τους μελετητές να μοντελοποιήσουν τόσο τις εσωτερικές όσο και τις εξωτερικές ροές αέρα.

Σύμφωνα με το πανεπιστήμιο του Illinois και το πανεπιστήμιο της California [37], σημαντικό προτέρημα του EnergyPlus είναι ότι ο κώδικας του προγράμματος είναι διαθέσιμος για ανάγνωση και αναθεώρηση. Στόχος του προγράμματος είναι να καθίσταται κατανοητό και προσβάσιμο σε χρήστες και προγραμματιστές από όλο τον κόσμο. Σημαντικό επίσης είναι ότι το EnergyPlus εμπεριέχει κάποια βοηθητικά προγράμματα, όπως το IDF-Editor που χρησιμεύει στη δημιουργία αρχείων εισόδου, το EP-Launch ,το οποίο διαχειρίζεται αρχεία εισόδου και εξόδου καθώς και την εκτέλεση προσομοιώσεων και το EP-Compare ,το οποίο παρουσιάζει γραφικά τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Πιο αναλυτικά, το EP-Launch είναι ένα στοιχείο του EnergyPlus για Windows λογισμικό. Προσφέρει έναν απλό και χρήσιμο τρόπο επιλογής αρχείων και βοηθά στην εύκολη εκτέλεση προσομοιώσεων του EnergyPlus. Επιπλέον, περιέχει ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου για τα αρχεία εισόδου και εξόδου, ένα υπολογιστικό φύλλο και πίνακες με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.



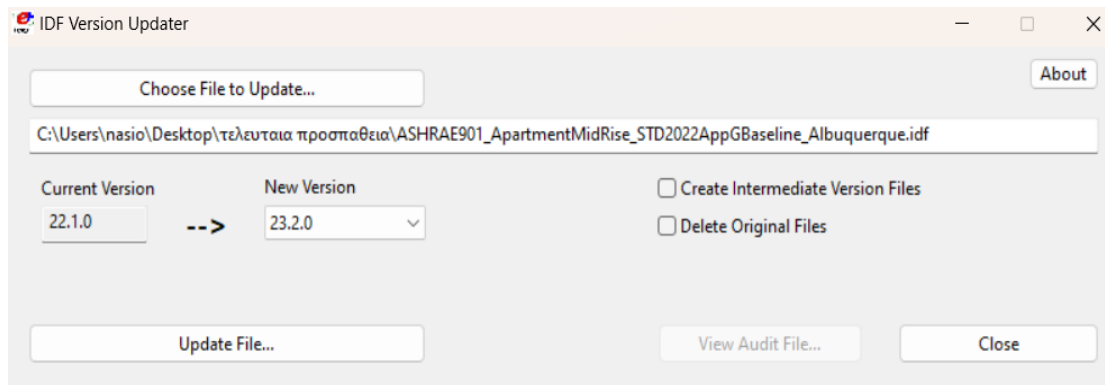
Εικόνα 9:EP-Launch

Τα αρχεία εισόδου και τα αρχεία καιρού μπορούν να επιλεγούν στην καρτέλα Single Input File από τις λίστες οι οποίες εμφανίζουν τα πρόσφατα χρησιμοποιημένα αρχεία, αλλιώς υπάρχει η δυνατότητα με το κουμπί Browse να επιλεγεί ένα αρχείο εισόδου ή καιρού που βρίσκεται στον υπολογιστή. Αξίζει να αναφερθεί ότι για να γίνει η προσομοίωση με τον σωστό τρόπο, το αρχείο εισόδου IDF πρέπει να είναι στην ίδια έκδοση με το EnergyPlus. Σε περίπτωση που δεν είναι θα πρέπει να ακολουθηθεί η παρακάτω διαδικασία για την ενημέρωση των αρχείων IDF. Επιλέγεται το κουμπί Utilities, έπειτα στην στήλη που εμφανίζεται επιλέγεται η εντολή IDFVersionUpdater



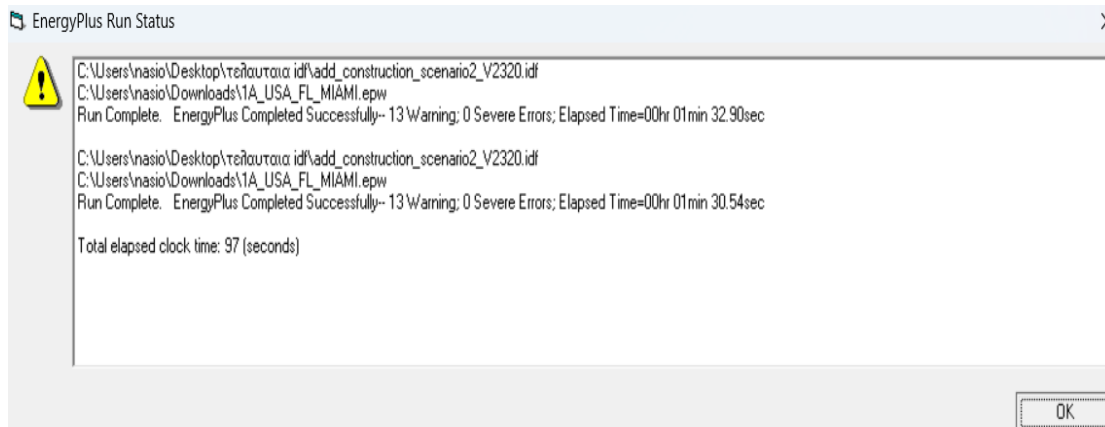
Εικόνα 10:IDFVersionUpdater(EP-Launch)

Μετά ακολουθεί η εντολή Run IDFVersionUpdater που βρίσκεται κάτω δεξιά και έπειτα εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο, που παρουσιάζει η παρακάτω εικόνα, για την επιλογή του αρχείου που θέλει ενημέρωση.



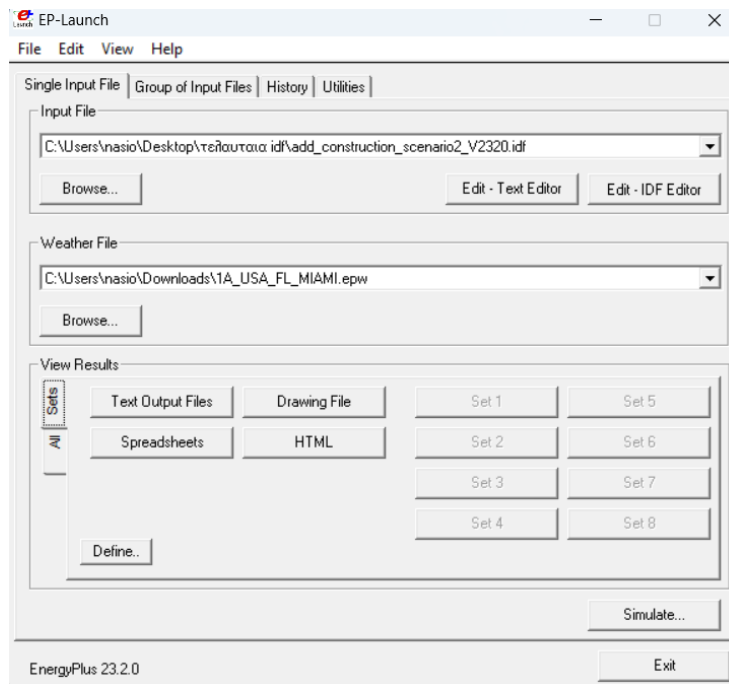
Εικόνα 11:IDFVersionUpdater 2(Ep-Launch)

Γίνεται επιλογή του αρχείου IDF και μετά ακολουθεί η εντολή Update file. Τέλος το ενημερωμένο αρχείο IDF εισάγεται εκ νέου στο παράθυρο Input File και αφού επιλεγεί το αρχείο καιρού EPW, με το κουμπί Simulate γίνεται εκκίνηση του κινητήρα της ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίου. Αμέσως μετά ένα μαύρο κυλιόμενο παράθυρο θα εμφανιστεί στην οθόνη και θα δείχνει την διαδικασία της προσομοίωσης. Η προσομοίωση ολοκληρώνεται όταν κλείσει το μαύρο κουτί του. Είναι εφικτό να γίνουν και πολλαπλές προσομοιώσεις, τα αρχεία εξόδου τους θα βρίσκονται στη λίστα ιστορικό και θα ονομαστούν είτε με το επιθυμητό αρχείο που ορίζονται στο αρχείο εισόδου είτε με έναν αύξοντα αριθμό. Σε έναν υπολογιστή με δυνατή υπολογιστική ισχύ, είναι βολικές οι πολλαπλές προσομοιώσεις ώστε να ολοκληρωθεί πιο γρήγορα η διαδικασία. Αφού ολοκληρωθεί η προσομοίωση και κλείσει το μαύρο παράθυρο, θα εμφανιστεί ένα μήνυμα κατάστασης:



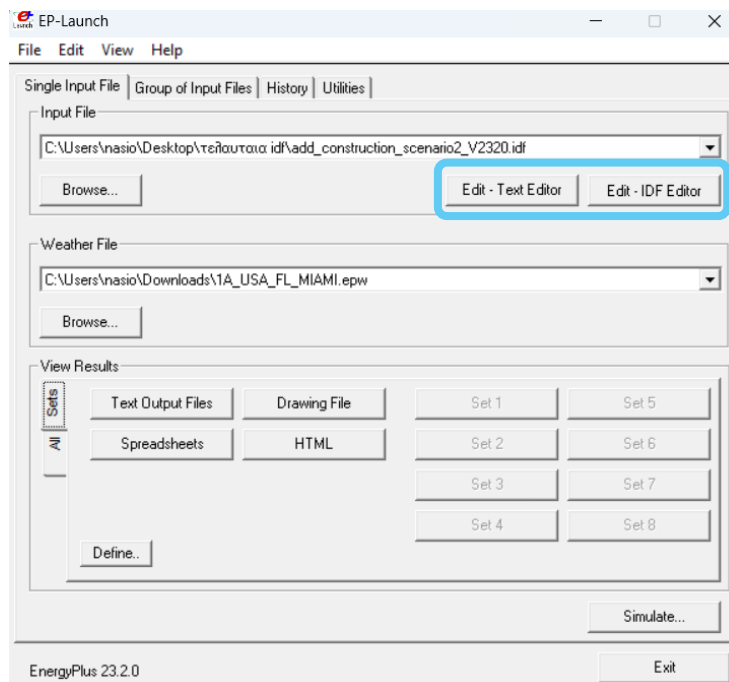
Εικόνα 12:EP-Launch κατάσταση τερματισμού

Αυτή η κατάσταση δίνει μια επισκόπηση του εάν υπήρχαν προειδοποιήσεις και σοβαρά σφάλματα κατά την εκτέλεση καθώς και τον χρόνο που χρειάστηκε για να ολοκληρωθεί η διαδικασία της προσομοίωσης. Στη συνέχεια με το κουμπί OK φεύγει αυτό το πλαίσιο, εάν υπάρχουν σφάλματα, για την ανάγνωση τους υπάρχουν οι εντολές όπως ERR, EIO και BND. Στην Προβολή αποτελεσμάτων υπάρχουν δύο διαθέσιμες εντολές το All και το Sets. Η καρτέλα All περιέχει διάφορα αρχεία που εμφανίζονται στο μενού. Τα αρχεία που είναι διαθέσιμα προς προβολή είναι ευανάγνωστος ο τίτλος τους, καθώς έχει έντονο μαύρο χρώμα.



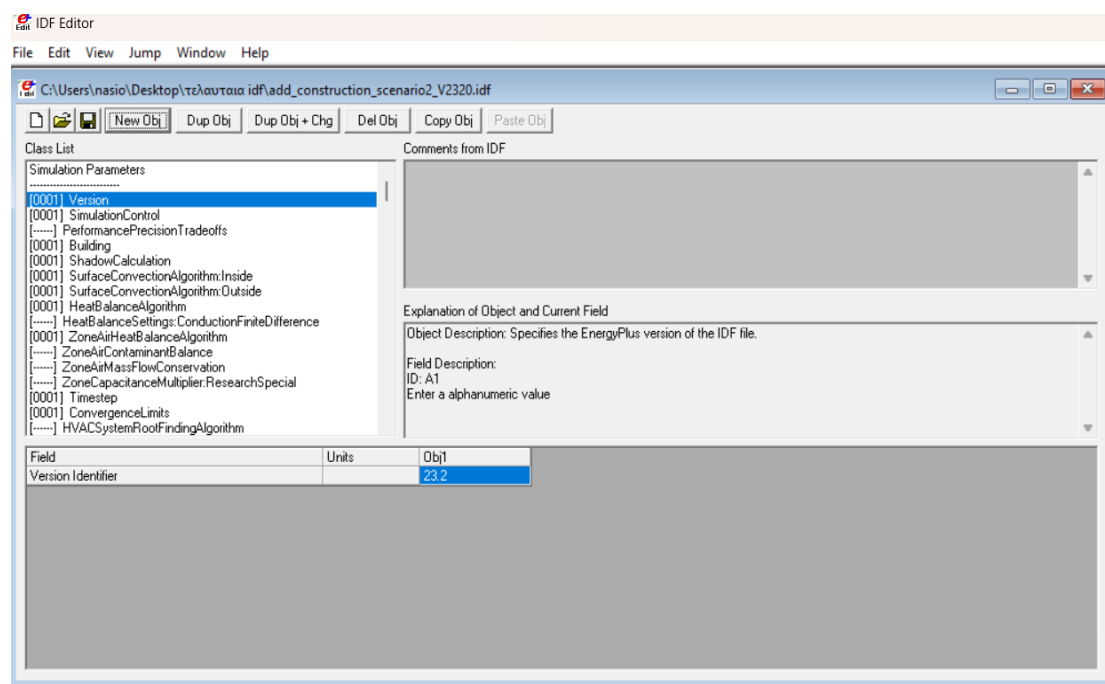
Εικόνα 13:EP-Launch καρτέλα Sets

Το παραπάνω σχήμα παρουσιάζει την κεντρική οθόνη του EP-Launch όταν έχει επιλεγεί η καρτέλα Sets, η οποία βρίσκεται στο αριστερό κάτω άκρο της ενότητας View Results. Στην συγκεκριμένη καρτέλα μπορούν να ανοίξουν πολλά αρχεία, όπως text output files, Drawing File, Spreadsheets, HTML. Το Κείμενο εξόδου, τα αρχεία σχεδίασης και υπολογιστικά φύλλα περιέχουν αρκετά αρχεία αποτελεσμάτων. Η εντολή HTML ανοίγει και αυτή τον πίνακα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.



Εικόνα 14:idf editor(EP-Launch)

Το IDF Editor είναι ένας επεξεργαστής, ο οποίος διαβάζει το EnergyPlus Data Dictionary (IDD) και είναι υπεύθυνος για τη δημιουργία ή την επεξεργασία αρχείων εισόδου του EnergyPlus (IDF). Αυτός ο επεξεργαστής εκτελείται από μία συντόμευση στον κατάλογο του EnergyPlus ή κατευθείαν από το EP-Launch. Κάνοντας κλικ στο εικονίδιο IDF Editor θα εμφανιστεί μια οθόνη παρόμοια με αυτήν που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, στην οποία είναι εφικτό να γίνουν τροποποιήσεις αλλά και δημιουργία αρχείων εισόδου IDF :



Εικόνα 15:Idf editor 2(EP-Launch)

4.2 Αρχεία εισαγωγής EnergyPlus

Τα ακόλουθα αρχεία εισάγονται στο πρόγραμμα EnergyPlus:

Το λεξικό δεδομένων εισόδου **IDD** είναι ένα αρχείο κειμένου, το οποίο περιέχει μία λίστα με όλα τα δυνατά αντικείμενα του EnergyPlus και τις προδιαγραφές των δεδομένων που πρέπει να πληρούνται για κάθε αντικείμενο. Επίσης το **EPW** είναι το αρχείο καιρού του EnergyPlus, το οποίο περιέχει τα καιρικά δεδομένα της εκάστοτε τοποθεσίας που γίνεται η προσομοίωση. Το αρχείο δεδομένων εισόδου **IDF** είναι ένα πολύ σημαντικό αρχείο, το οποίο περιέχει όλα τα δεδομένα που περιγράφουν το κτίριο και τα συστήματα του κτιρίου που πρόκειται να προσομοιωθούν. Η ενδεικτική δομή ενός αρχείου idf φαίνεται παρακάτω:

1. Γεννήτρια και τα στοιχεία της

- Φωτοβολταϊκή μονάδα
- Χωρητικότητα συστήματος συνεχούς ρεύματος (W)
- Τύπος μονάδας
- Απώλειες συστήματος (W)
- Γεωμετρία παράταξης Φ/Β και γωνία κλίσης
- Κάλυψη επιφάνειας της μονάδας στο έδαφος
- Πρόγραμμα λειτουργίας Φ/Β μονάδας

2. Παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας
 - Αντιστροφές
 - Βαθμός απόδοσης αντιστροφές
 - Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας γεννητριών
 - Διάγραμμα ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (W)
 - Όνομα αντιστροφές

3. Παράμετροι του κτιρίου
 - Τίτλος κτιρίου - case , κωδική ονομασία, έτος ανάλυσης, τροποποίηση ανάλυσης, ανάλυση πρωτοτύπου, εύρος ανάλυσης, κλιματική ζώνη ανάλυσης, πόλη ανάλυσης
 - Εκπομπή οροφής
 - Απορρόφηση ηλιακής ενέργειας οροφής
 - Φωτισμός εξωτερικού χώρου (W)
 - Παράλειψη ελέγχου εξοικονόμησης
 - Συντελεστής υγρασίας
 - Μοντέλα αποσβεστήρων
 - Γέμισμα παραθύρων
 - Πρόγραμμα λειτουργίας εξωτερικού φωτισμού
 - Απώλεια θερμότητας σολήνα

4. Χρονικές περίοδοι μετρήσεων
 - Όνομα περιόδου, μήνας έναρξης, ημέρα έναρξης, έτος έναρξης, μήνας λήξης , ημέρα λήξης, έτος λήξης
 - Αρχεία καιρού
 - Τοποθεσία
 - Γεωγραφικό πλάτος
 - Γεωγραφικό μήκος
 - Ζώνη ώρας
 - Υψόμετρο
 - Θερμοκρασία ημέρας
 - Βαρομετρική πίεση (Pa)
 - Ταχύτητα ανέμου ημέρας και κατεύθυνση ανέμου (m/s)
 - Οπτικό βάθος καθαρού ουρανού για ακτινοβολία δέσμης (τ_{aub})
 - Οπτικό βάθος καθαρού ουρανού για διάχυτη ακτινοβολία (τ_{aud})
 - Ετήσια μέση θερμοκρασία σε εξωτερικό χώρο
 - Επίπεδα υγρασίας (kgwater/kgdryair)

5. Υλικά κτιρίου και Χωρισμός των επιμέρους κατασκευών στο κτίριο και μελέτη τους ως προς τα εξής χαρακτηριστικά:

Εσωτερική Τοιχοποιία:

 - Τραχύτητα υλικού
 - Πάχος (m)
 - Αγωγιμότητα (m)
 - Πυκνότητα (kg/m³)

- Ειδική θερμότητα ($J/kg \cdot K$)

Εξωτερική τοιχοποιία:

- Τραχύτητα υλικού
- Πάχος (m)
- Αγωγιμότητα ($W/m \cdot K$)
- Πυκνότητα (kg/m^3)
- Ειδική θερμότητα ($J/kg \cdot K$)
- Θερμική απορρόφηση ($m^2 \cdot K/W$)
- Ηλιακή απορρόφηση ($m^2 \cdot K/W$)
- Ορατή απορρόφηση

Οροφή:

- Υλικό οροφής
- Τραχύτητα υλικού
- Πάχος (m)
- Αγωγιμότητα ($W/m \cdot K$)
- Πυκνότητα (kg/m^3)
- Ειδική θερμότητα ($J/kg \cdot K$)
- Θερμική απορρόφηση ($m^2 \cdot K/W$)
- Ηλιακή απορρόφηση ($m^2 \cdot K/W$)
- Ορατή απορρόφηση

Πόρτες:

- Υλικό Πόρτας
- Πάχος (m)
- Αγωγιμότητα ($W/m \cdot K$)
- Πυκνότητα (kg/m^3)
- Ειδική θερμότητα ($J/kg \cdot K$)
- Θερμική απορρόφηση ($m^2 \cdot K/W$)
- Διαστάσεις (m)

Παράθυρα:

- Υλικό παραθύρου
- Συντελεστής U παραθύρων ($W/m^2 \cdot K$)
- Συντελεστής θερμοπερατότητας παραθύρων
- Ορατή μετάδοση παραθύρων

Κατασκευή:

- Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναλυτική αναφορά στο πως θα κατασκευαστεί το κάθε τμήμα του κτιρίου (πχ εσωτερικός τοίχος) αξιοποιώντας τα υλικά και τα τεχνικά χαρακτηριστικά που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

6. Πρόγραμμα λειτουργίας κτιρίου

7. Χωρισμός επιμέρους χώρων και μελέτη τους ως προς τα εξής:

- Όνομα κατασκευής
- Είδος κατασκευής
- Όνομα καταστήματος στο οποίο βρίσκεται αυτό το δομικό στοιχείο
- Γειτονικά δομικά στοιχεία
- Έκθεση σε ήλιο και αέρα
- Συντελεστής κάλυψης
- Συντεταγμένες X, Y, Z τεσσάρων σημείων για τον υπολογισμό των απαραίτητων διαστάσεων (m)

8. Εξαερισμός

- Όνομα χώρου
- Πρόγραμμα λειτουργίας
- Σχεδιασμός ρυθμού αέρα (m^3/s)
- Παροχή αέρα ανά επιφάνεια δαπέδου ($m^3/s-m^2$)
- Παροχή αέρα ανά εξωτερική επιφάνεια ($m^3/s-m^2$)
- Εναλλαγές αέρα ανά ώρα (1/hr)
- Μέσος Αριθμός ατόμων ανά επιφάνεια (person/ m^2)
- Συντελεστής θερμοκρασίας
- Ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα ($m^3/s-w$)
- Όνομα χρονοδιαγράμματος αποδοτικότητας εργασίας
- Όνομα προγράμματος ταχύτητας αέρα

9. Φωτισμός επιμέρους χώρων

- Όνομα χώρου
- Όνομα προγράμματος
- Μέθοδος υπολογισμού επιπέδου σχεδιασμού
- Επίπεδο φωτισμού (w)
- Βατ ανά ζώνη επιφάνειας δαπέδου (w/m^2)
- Βατ ανά άτομο ($w/person$)
- Κλάσμα αέρα επιστροφής
- Κλάσμα ακτινοβολίας
- Ορατό κλάσμα ακτινοβολίας
- Αντικαταστάσιμο κλάσμα
- Υποκατηγορία τελικής χρήσης

10. Ανοχή αναφοράς

- Ανοχή για το σημείο ρύθμισης θέρμανσης
- Ανοχή για το σημείο ρύθμισης ψύξης
- Δείκτης προόδου σκοπού εργασίας
- Ψηφία μετά την υποδιαστολή
- Όνομα μεταβλητής ή μετρητή
- Τύπος συνάθροισης για την μεταβλητή ή το μετρητή
- Εσωτερικό κλειδί ευρετηρίου δεδομένων
- Εσωτερικό τύπο δεδομένων
- Μοναδικό όνομα ενεργοποίησης συστατικού

- Τύπος ενεργοποιημένου κατασκευαστικού στοιχείου
- Τύπος ελέγχου ενεργοποιημένου κατασκευαστικού στοιχείου

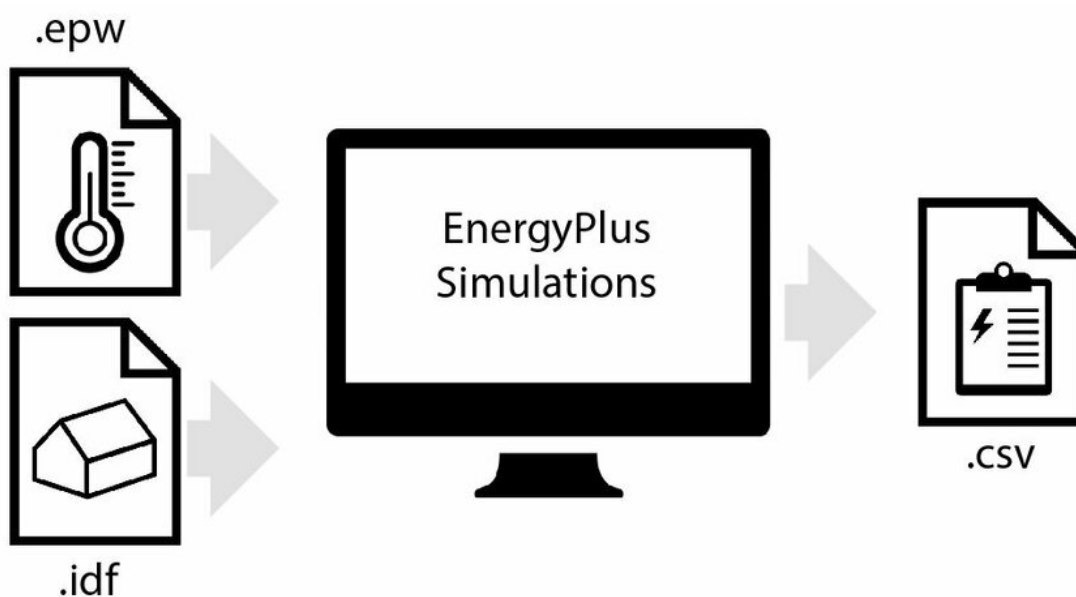
11. Θέρμανση , Ψύξη

- Αποτελεσματικότητα διανομής αέρα ζώνης σε λειτουργία ψύξης
- Αποτελεσματικότητα διανομής αέρα ζώνης σε λειτουργία θέρμανσης
- Όνομα χώρου
- Σταθερά 1 συντελεστή
- Σταθερά 2 χ
- Σταθερά 3 χ^{**2}
- Ελάχιστη τιμή χ
- Μέγιστη τιμή χ
- Σχεδιασμός ψύξης ζώνης παροχής θερμοκρασία αέρα
- Σχεδιασμός θέρμανσης ζώνης παροχής θερμοκρασίας αέρα
- Σχεδιασμός ψύξης ζώνης παροχής υγρασίας αέρα (kg-H₂O/kg-air)
- Σχεδιασμός θέρμανσης ζώνης παροχής υγρασίας αέρα (kgwater /kgDryAir)
- Σχεδιασμός ρυθμού ροής αέρα στην ψύξη (m³/s)
- Ελάχιστος ρυθμός ροής αέρα θέρμανση, ψύξη (m³/s)
- Σχεδιασμός ρυθμού ροής αέρα στην θέρμανση
- Μέγιστος ρυθμός ροής αέρα θέρμανση ,ψύξη
- Εξωτερική ροή αέρα ανά άτομο (m³/s-person)
- Εξωτερική ροή αέρα ανά επιφάνεια (m³/s-m²)
- Τύπος ελέγχου και μοντέλο του θερμοστάτη
- Τύπος και στοιχεία συμπτυκνωτή
- Χωρητικότητα , σημείο ρύθμισης και σχέδιο λειτουργίας θερμαντήρα (W)
- Τύπος καυσίμου
- Ονομαστική συνολική ψυκτική ικανότητα
- Συντελεστής ονομαστικής ψύξης
- Ονομαστική παροχή αέρα (m³/s)
- Συντελεστής απωλειών ισχύος
- Βαθμός απόδοσης συμπτυκνωτή
- Τύπος και μοντέλο ανεμιστήρα
- Αύξηση πίεσης ανεμιστήρα
- Βαθμός απόδοσης κινητήρα ανεμιστήρα
- Στοιχεία ,μοντέλο, τεχνικά χαρακτηριστικά του θερμοσίφωνα

4.3 Αρχεία εξόδου του EnergyPlus

Τα αρχεία εξόδου του EnergyPlus εμπεριέχουν σημαντικές πληροφορίες για την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου που προσομοιώνεται. Οι μηχανικοί και οι ειδικοί στην ενεργειακή μοντελοποίηση, μέσω αυτών των αρχείων, αξιολογούν και βελτιστοποιούν ενεργειακά το κτίριο. Το EnergyPlus εξάγει διάφορους τύπους αρχείων εξόδου, οι οποίοι είναι σε διαφορετικές μορφές. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι βασικοί τύποι αρχείων εξόδου που χρησιμοποιούνται συνήθως [38] :

1. .eso (EnergyPlus Simulation Output): Παρέχει πληροφορίες, όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία, η υγρασία, η ενεργειακή κατανάλωση και άλλοι δείκτες απόδοσης.
2. .mtr (Meter Output File): Αυτό το αρχείο παρουσιάζει την κατανάλωση ή την παραγωγή διάφορων μορφών ενέργειας, όπως για παράδειγμα είναι ο ηλεκτρισμός, το φυσικό αέριο ή το νερό.
3. .err (Error File): Αυτό το αρχείο καταγράφει σφάλματα, αστοχίες ή προειδοποιήσεις που προκύπτουν κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης και παρέχει πληροφορίες σχετικά με αυτά.
4. .idd (Report Data Dictionary): Είναι ένα αρχείο κειμένου χρήσιμο για τον εντοπισμό και την επιλογή συγκεκριμένων μεταβλητών εξόδου ,από το αρχείο εισόδου προσομοίωσης (IDF).
5. .csv (Comma-Separated Values File): Αυτή είναι μία αρκετά φιλική μορφή ανάγνωσης, καθώς ανοίγεται μέσω προγραμμάτων υπολογιστικών φύλλων, όπως το Microsoft Excel. Η κύρια χρήση του είναι για την παρουσίαση και ανάλυση των δεδομένων προσομοίωσης σε μορφή πίνακα.
6. .eio (EnergyPlus Initialization Output): Αυτό το αρχείο περιλαμβάνει δεδομένα για τα στοιχεία του κτιρίου, τα υλικά, τα προγράμματα λειτουργίας, τις χρονικές ζώνες και τα συστήματα HVAC .
7. .tab (Tabular Output Report): Το αρχείο αυτό, παρέχει μια σύνοψη των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης σε μορφή πίνακα. Αυτοί οι πίνακες αναλύουν την ενεργειακή κατανάλωση, την καμπύλη ζήτησης και τις θερμοκρασίες.
8. .html (HTML Output Report): Αυτό το αρχείο είναι σε μορφή ιστοσελίδας. Περιέχει πίνακες HTML με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.
9. .sql (SQLite Database Output): Αυτός ο τύπος αρχείου έχει όλα τα δεδομένα εξόδου από την προσομοίωση, τα οποία είναι αποθηκευμένα σε μορφή βάσης δεδομένων SQLite. Απευθύνεται κυρίως σε προχωρημένους χρήστες ,οι οποίοι θέλουν να κάνουν ενδελεχή ανάλυση.



Εικόνα 16: EnergyPlus αρχεία εισόδου και εξόδου [39]

4.4 Εργαλεία τροποποίησης αρχείων IDF

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι εκτός από τον IDF Editor του EnergyPlus που αναφέρθηκε προηγουμένως για την επεξεργασία και τροποποίηση αρχείων IDF:

Επεξεργαστές κειμένου:

Τα IDF είναι αρχεία απλού κειμένου, άρα για την επεξεργασία τους μπορεί να γίνει χρήση οποιουδήποτε προγράμματος επεξεργασίας κειμένου, όπως το Σημειωματάριο, το Sublime Text ή τον Κώδικα του Visual Studio. Ωστόσο κρίνεται απαραίτητη η κατανόηση της δομής και της σύνταξης των αντικειμένων του EnergyPlus [40].

OpenStudio:

Το OpenStudio είναι ένα εργαλείο ανοιχτού κώδικα το οποίο στοχεύει στην ολιστική ενεργειακή προσομοίωση αξιοποιώντας τόσο το EnergyPlus όσο και το Radiance για τη μελέτη φυσικού φωτισμού, η οποία αναπτύχθηκε από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (NREL). Το OpenStudio έχει δύο μέρη. Το ένα μέρος είναι η εφαρμογή και το άλλο το προγραμματιστικό. Επομένως ο χρήστης είναι σε θέση να κάνει παρεμβάσεις σε μία από τις δύο αυτές διεπαφές. Το OpenStudio έχει επίσης μια γραφική εφαρμογή για γεωμετρία κτιρίου, συστήματα HVAC, χρονοδιαγράμματα και άλλες παραμέτρους. Το OpenStudio έχει και βιβλιοθήκη με «measures» τα οποία αναφέρονται σε παρεμβάσεις που εξοικονομούν ενέργεια. Αξιοποιώντας αυτές τις παρεμβάσεις μπορεί να γίνει τροποποίηση των idf αρχείων [41].

DesignBuilder: Το DesignBuilder είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης κτιρίων που ενσωματώνει το EnergyPlus. Είναι μια φιλική προς το χρήστη εφαρμογή, με σκοπό τη δημιουργία και την τροποποίηση μοντέλων κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων των αρχείων IDF. Παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη δομή και τον σχεδιασμό των κτιρίων και τα συστήματα εξοπλισμού τους [42].

Εργαλεία παραμετρικής προσομοίωσης:

Ορισμένα εργαλεία και σενάρια επιτρέπουν παραμετρικές προσομοιώσεις δημιουργώντας και τροποποιώντας αυτόματα αρχεία IDF με βάση προκαθορισμένες παραμέτρους. Εργαλεία σαν τη βιβλιοθήκη Eppy, το GenOpt (Πρόγραμμα Βελτιστοποίησης) και το BEopt (Βελτιστοποίηση Ενέργειας Κτιρίου) χρησιμοποιούν την παραμετρική προσομοίωση.

4.5 Παραδείγματα εργαλείων τροποποίησης από τη βιβλιογραφία

Παρακάτω αναλύονται περισσότεροι τρόποι επεξεργασίας των idf αρχείων. Οι βιβλιογραφικές αυτές προσπάθειες έχουν ως στόχο την τροποποίηση των αρχείων εισόδου των ενεργειακών προσομοιώσεων με αυτόματο τρόπο και την αύξηση των δυνατοτήτων αλλαγών. Μελετήθηκε ο συνδυασμός του Energy Plus με άλλα υπολογιστικά εργαλεία, η ανάπτυξη βιβλιοθηκών στην Python και η δημιουργία νέων εργαλείων σε γλώσσα προγραμματισμού Python.

4.5.1 Energy Plus και MATLAB: EplusLauncher API

Σύμφωνα με τους Gordillo κ.α. [43], μελετάται ο συνδυασμός του Energy Plus με το υπολογιστικό εργαλείο Matlab. Το Energy Plus αποτελεί ένα από τα δημοφιλέστερα εργαλεία για την πραγματοποίηση ενεργειακών προσομοιώσεων, ενώ το Matlab αποτελεί ένα από τα δημοφιλέστερα εργαλεία για βελτιστοποίηση χάριν στις ήδη έτοιμες συναρτήσεις του.

Λαμβάνοντας αυτό υπόψιν δημιούργησαν ένα εργαλείο σε περιβάλλον Matlab που αξιοποιεί την ιδέα της «συν-προσομοίωσης», όπου καθίσταται δυνατή η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των δύο εργαλείων. Το EplusLauncher API είναι το εργαλείο που δημιούργησαν και παρότι βρίσκεται ακόμα σε αρχικό στάδιο, μπορεί να:

- Επεξεργάζεται τα αρχεία εισόδου του EnergyPlus
- Πραγματοποιεί την προσομοίωση του EnergyPlus
- Επεξεργάζεται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ώστε να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες σε σχέση με το αποδοτικότερο σενάριο αλλαγών

Η εφαρμογή που δημιούργησαν αποτελείται από 4 αρχεία μορφής Matlab. Το 1^ο αρχείο περιέχει τον κώδικα για την πραγματοποίηση των αλλαγών και της προσομοίωσης, το 2^ο εμφανίζει όλα τα μηνύματα του EnergyPlus στο περιβάλλον του Matlab, το 3^ο αρχείο δίνει πληροφορίες για τις προσομοιώσεις και το 4^ο αρχείο διαχειρίζεται τα αρχεία αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Καθώς κύριο αντικείμενο της διπλωματικής αποτελεί η επεξεργασία των αρχείων idf, αξίζει να αναλυθεί το 1^ο αρχείο αυτού του εργαλείου. Το αρχείο αυτό εφόσον έχει κάνει την απαιτούμενη παραμετροποίηση, στη συνέχεια ορίζει ποια πεδία του idf αρχείου θα αλλάξουν και ποιες θα είναι οι τιμές τους. Αυτό γίνεται μέσα από τον ορισμό μεταβλητών. Η πρώτη θα είναι μορφής χαρακτήρων και θα αναφέρεται στα πεδία για τα οποία είναι επιθυμητή η αλλαγή. Στη συνέχεια δημιουργούνται όσες νέες μεταβλητές όσες και οι επιθυμητές αλλαγές και θα περιέχουν τις επιθυμητές τιμές. Μπορούν να έχουν οποιαδήποτε μορφή. Σε περίπτωση που είναι επιθυμητές 3 αλλαγές και η κάθε αλλαγή έχει 3 πιθανές τιμές, τότε το script που δημιούργησαν οι Gordillo κ.α. [43] θα πραγματοποιεί 27 προσομοιώσεις μέσω επαναληπτικών βρόγχων.



Εικόνα 17: Πλεονεκτήματα εργαλείου EplusLauncher API

Όπως αναφέρουν οι Bucking και Rostami [44] για την τροποποίηση των idf αρχείων υπάρχουν οι εξής συνήθειες επιλογές:

1. Χρήση της βιβλιοθήκης erpy και geomeppy
2. Χρήση OpenStudio, το οποίο αναλύθηκε προηγουμένως
3. Χρήση Modelkit

4.5.2 Errpy και geomerrpy

Ένας τρόπος παρέμβασης στα idf αρχεία είναι μέσω των βιβλιοθηκών errpy και geomerrpy. Η errpy [45] αποτέλεσε βασικό στοιχείο για τη δημιουργία του δοκιμαστικού εργαλείου. Για το λόγο αυτό, η βιβλιοθήκη errpy θα αναλυθεί λεπτομερώς στο επόμενο κεφάλαιο.

Η βιβλιοθήκη geomerrpy μπορεί να αξιοποιηθεί για την τροποποίηση της γεωμετρίας του μοντέλου, κάτι που υποδηλώνει και η ονομασία της. Για παράδειγμα με τη βιβλιοθήκη αυτή μπορεί να προστεθεί ένα δωμάτιο στο ήδη υπάρχον μοντέλο, να ορισθεί ο τρόπος κατασκευής του, να τοποθετηθούν ανοίγματα κοκ, χωρίς να χρειάζεται αυτό να γίνει μέσω κάποιου λογισμικού σχεδίασης. Επίσης μπορεί να τροποποιεί τη θέση αντικειμένων, όπως πχ τη θέση των παραθύρων αλλά και τις κατασκευαστικές μεθόδους μερών του κτιρίου. Στο παρακάτω ,στιγμιότυπο από την ιστοσελίδα επεξήγησης της geomerrpy, παρουσιάζονται κάποιες από τις κύριες λειτουργίες της βιβλιοθήκης:

Οδηγός Geomerrpy | Πώς να πραγματοποιείτε βασικές λειτουργίες με τη geomerrpy

- Βασικά
 - ο Τομή και αντιστοίχιση επιφανειών
 - ο Μετακίνηση idf
 - ο Στροφή
 - ο Κλίμακα
 - ο Προσθήκη παραθύρων σε εξωτερικούς τοίχους
 - ο Καθορισμός κατασκευής
 - ο Θέση απλού 3D μοντέλου
 - ο Εξαγωγή 3D OBJ αρχείου
 - ο Επιλογή όλων των επιφανειών
 - ο Επιλογή όλων των υποεπιφανειών
 - ο Επιλογή όλων των υποεπιφανειών συγκεκριμένου τύπου
 - ο Αυτόματη προσθήκη μπλοκ
 - ο Ορισμός συντεταγμένων επιφάνειας

Εικόνα 18: Κύριες λειτουργίες βιβλιοθήκης geomerrpy [46]

4.5.3 Modelkit

Το Modelkit αποτελεί ένα εργαλείο ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιείται για την τροποποίηση των παραμέτρων ενός idf αρχείου [44]. Δημιουργήθηκε για τις ανάγκες του Αμερικανικού Στρατού, όταν έπρεπε να πραγματοποιηθούν προσομοιώσεις 2 διαφορετικών κτιρίων για 15 διαφορετικές καιρικές συνθήκες και για 14 διαφορετικά σενάρια αλλαγών. Αναπτύχθηκε μέσω της γλώσσας προγραμματισμού Ruby. Σήμερα το Modelkit περιέχει και βιβλιοθήκη προτύπων κατάλληλα για το EnergyPlus, όπως πρότυπα για συστήματα θέρμανσης – ψύξης. Στόχος είναι η αυτοματοποίηση των προσομοιώσεων του EnergyPlus [47].

4.5.4 genEPJ

Οι Bucking και Rostami [44] λαμβάνοντας τα παραπάνω υπόψη δημιούργησαν μία βιβλιοθήκη σε Python, την genEPJ , η οποία συγκεντρώνει τα πρότυπα και τις διαδικασίες που αναφέρθηκαν παραπάνω για να διευκολύνει τη διαδικασία της προσομοίωσης. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

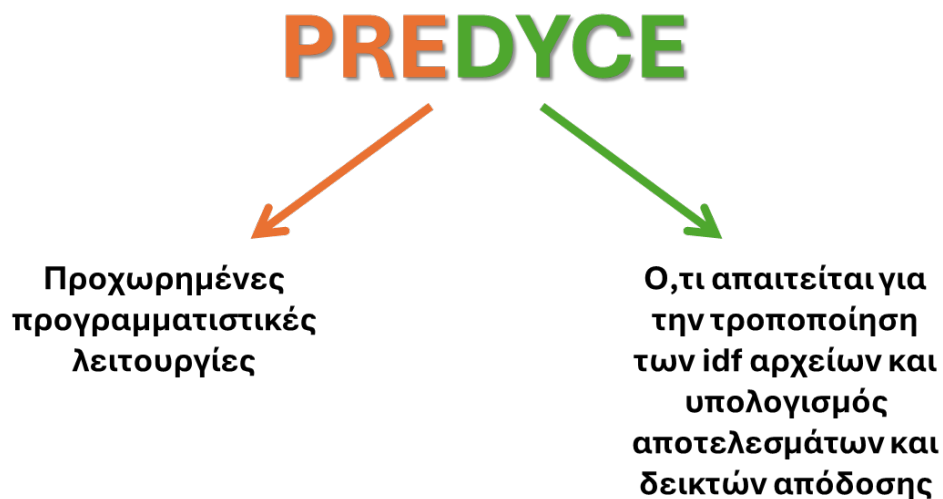
- Λήψη δεδομένων που αφορούν τη γεωμετρία του κτιρίου από κάποιο BIM
- Δημιουργία του απαιτούμενου αρχείου εισόδου. Το αρχείο αυτό έχει προεπιλογές σχετικά με θερμικές ιδιότητες στοιχείων, με τις συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος και κατασκευής κοκ
- Έλεγχος του αρχικού μοντέλου σε σχέση με την επάρκεια των δεδομένων για την έναρξη της διαδικασίας

- Δημιουργία JSON αρχείου με τις προτεινόμενες από τον χρήστη αλλαγές
- Βελτιστοποίηση με δεδομένο εισόδου το JSON αρχείο

Πλεονεκτήματα της βιβλιοθήκης αποτελούν η χρήση ήδη παραγμένων measures και components που έχει ως συνέπεια τη μείωση του χρόνου και της προσπάθειας για τις αλλαγές. Επίσης επιτρέπει στους χρήστες να επιλέγουν και να συνδυάζουν τα βέλτιστα χαρακτηριστικά, ώστε να γίνει η επιλογή της καλύτερης απόφασης. Σημαντικό είναι ότι υποστηρίζει ροές εργασιών βελτιστοποίησης και μηχανικής μάθησης. Ωστόσο το μειονέκτημα της είναι ότι δεν είναι ιδιαίτερα φιλική προς τον χρήστη.

4.5.5 PREDYCE

Οι Chiesa κ.α. [48] αντιλαμβανόμενοι την ανάγκη για γρήγορη τροποποίηση των idf αρχείων πρότειναν το εργαλείο PREDYCE (Python Realtime Energy Dynamics Climate Evaluation). Το συγκεκριμένο εργαλείο δημιουργήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Python και αποτελείται από δύο μέρη όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 19: Μέρη εργαλείου PREDYCE

Πιο συγκεκριμένα το DYCE κομμάτι αποτελείται από 3 βασικά μέρη:

- Επεξεργασία idf αρχείων
- Υπολογισμός δεικτών αποδοτικότητας
- «Τρέξιμο» πολλών προσομοιώσεων

Δεδομένα εισόδου για αυτές τις διαδικασίες αποτελούν τα idf αρχεία, τα erw αλλά και αρχεία json, μέσω των οποίων θα εισάγονται οι επιθυμητές αλλαγές. Στο PREDYCE, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να εκτελέσει σύνθετες εργασίες χωρίς να σπαταλήσει χρόνο στην επεξεργασία μοντέλων και την συγκέντρωση αποτελεσμάτων πολλών προσομοιώσεων. Επιπλέον το εργαλείο αυτό δεν χρησιμοποιεί μόνο αρχεία εισόδου και εξόδου, τα οποία έχουν δημιουργηθεί από την χρήση, αλλά και προκατασκευασμένα σενάρια παρεμβάσεων. Στόχος του παραπάνω εργαλείου είναι να αυτοματοποιήσει όσο το δυνατόν περισσότερο τις διαδικασίες των ενεργειακών προσομοιώσεων, καθώς και να αξιολογεί τα αποτελέσματα αυτών, ώστε να λαμβάνονται οι σωστότερες αποφάσεις από τους μελετητές. Παρακάτω παρουσιάζεται η ροή των διαδικασιών που ακολουθεί αυτό το εργαλείο:



Εικόνα 20: Διαδικασία εργαλείου PREDYCE. Με μωβ πλαίσιο οι μη αυτοματοποιημένες διαδικασίες, με πράσινο οι αυτοματοποιημένες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ

5.1 Σκοπιμότητα του εργαλείου

Αυτό το εργαλείο βοηθάει στη λήψη απόφασης για την αναβάθμιση κτιρίου. Δοκιμάζοντας διαφορετικές παρεμβάσεις, ο αποφασίζων συγκρίνει τα αποτελέσματα και διαλέγει το καλύτερο σενάριο. Επίσης επιταχύνει τη διαδικασία τροποποίησης αρχείων εισόδου IDF του EnergyPlus, με βάση τις αλλαγές που έχουν οριστεί να γίνουν στο πλαίσιο της ανακαίνισης. Πιο συγκεκριμένα, έστω ότι υπάρχει ένα κτίριο, του οποίου τα δεδομένα αναπαρίστανται σε ένα αρχείο IDF και σε αυτό το κτίριο θα γίνει μία αναβάθμιση με συγκεκριμένες ενέργειες. Το εργαλείο αυτό δημιουργεί με αυτοματοποιημένο τρόπο ένα καινούργιο αρχείο IDF, το οποίο εμπεριέχει τις ενέργειες ανακαίνισης που θα γίνουν. Έτσι το νέο αυτό αρχείο IDF μπορεί να προσομοιωθεί στο πρόγραμμα EnergyPlus και να μελετηθεί το προς αναβάθμιση κτίριο ενεργειακά με ακρίβεια. Το κύριο πλεονέκτημα αυτού του εργαλείου είναι ότι οι αλλαγές που εισάγονται στο IDF γίνονται γρήγορα και με εύκολο τρόπο, ενώ σε διαφορετική περίπτωση οι μηχανικοί και οι μελετητές θα έπρεπε να κάνουν τις αλλαγές χειροκίνητα ή μέσω άλλων εφαρμογών και να είναι εξοικειωμένοι με το EnergyPlus και τη δομή των αρχείων IDF.

5.2 Βιβλιοθήκη EPPY

Για την ανάπτυξη του εργαλείου σημαντικό ρόλο διαδραμάτισε η βιβλιοθήκη Eppy [45]. Η Eppy είναι μια βιβλιοθήκη, η οποία συμβάλλει στην αυτοματοποίηση και στη διαχείριση των EnergyPlus Input Data Files. Είναι γραμμένη στην γλώσσα προγραμματισμού Python.

Κύρια χαρακτηριστικά της Eppy:

- Διαχείριση αρχείων IDF: Η Eppy επιτρέπει στους χρήστες να μελετούν, να επεξεργάζονται και να γράφουν αρχεία IDF χωρίς να χρειάζεται να τα επεξεργάζονται χειροκίνητα.
- Εύκολη Πρόσβαση: Οι χρήστες έχουν πρόσβαση σε χαρακτηριστικά των αρχείων IDF (όπως τοίχους, παράθυρα ή συστήματα HVAC) ως αντικείμενα της Python, διευκολύνοντας την επεξεργασία τους.
- Υποστήριξη για IDD (Input Data Dictionary): Η Eppy διαβάζει το αρχείο IDD, το οποίο ορίζει τη δομή των αρχείων IDF και εξασφαλίζει ότι οι τροποποιήσεις συμμορφώνονται με τις προϋποθέσεις που θέτει το IDD.
- Αυτοματοποίηση: Με τη χρήση κάποιου script στην Eppy, είναι εφικτό να αυτοματοποιηθεί η δημιουργία και η τροποποίηση μοντέλων κτιρίων.

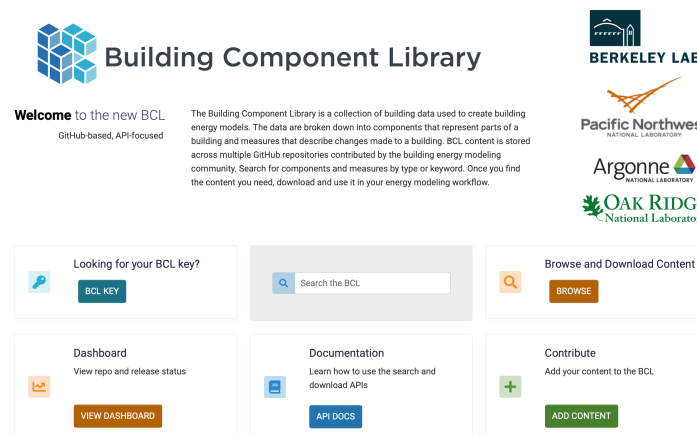
Ακολουθούν κάποιες τροποποιήσεις που μπορούν να γίνουν με την βιβλιοθήκη Eppy:

- Αλλαγή στην κατασκευαστική μέθοδο των τοίχων του κτιρίου
- Αλλαγή στο υλικό των υαλοπινάκων
- Αλλαγή της ισχύος του φωτισμού

- Αλλαγή της ισχύος των ηλεκτρικών συσκευών
- Αλλαγή υλικών δαπέδου

5.3 Βιβλιοθήκη BCL

Για την αλλαγή ή την προσθήκη κάποιου υλικού κατασκευής στις προσομοιώσεις που γίνονται, αξιοποιήθηκε η βιβλιοθήκη BCL [49]. Η BCL (Building Component Library) παρέχει στοιχεία για ενεργειακή προσομοίωση κτιρίων. Τα δεδομένα της, συνεργάζονται άμεσα με εργαλεία ενεργειακής προσομοίωσης όπως το OpenStudio και το EnergyPlus. Δημιουργήθηκε από το National Renewable Energy Laboratory (NREL) [50], με απώτερο σκοπό να διευκολύνει την εύρεση δεδομένων και στοιχείων ενεργειακής προσομοίωσης, γεγονός πολύ σημαντικό σε όλη την ενεργειακή κοινότητα. Η βιβλιοθήκη περιέχει στοιχεία, όπως συστήματα HVAC, υλικά κατασκευών, φωτισμό και πολλά άλλα στοιχεία του κτιρίου. Επίσης παρέχει διάφορα δεδομένα, όπως δεδομένα καιρού, στοιχεία κατανάλωσης και πολλές ιδιότητες των υλικών.



Εικόνα 21: BCL library [49]

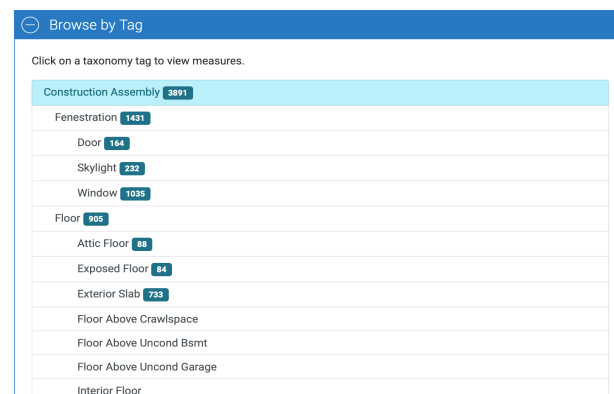
Browse the BCL

Browse and download BCL components and measures.

Measures Components

Components

Browse measures



Εικόνα 22: Components BCL library [49]

Τα κύρια οφέλη της βιβλιοθήκης BCL είναι τα εξής:

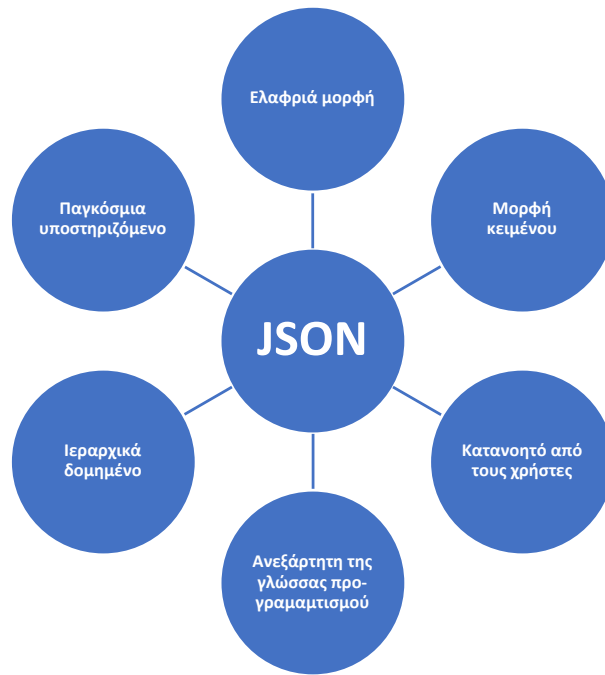
- Εξοικονόμηση Χρόνου: Εξοικονομεί σημαντικό χρόνο στους χρήστες παρέχοντας έτοιμα στοιχεία, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας σε προσομοιώσεις.
- Συνέπεια και Τυποποίηση: Συμβάλλει στη χρήση τυποποιημένων στοιχείων, τα οποία είναι συμμορφωμένα με ενεργειακά πρότυπα.
- Συνεργασία: Διευκολύνει τον διαμοιρασμό και τη χρησιμοποίηση στοιχείων μεταξύ επαγγελματιών στον τομέα της ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων.
- Σύνδεση με το OpenStudio: Η BCL είναι ενσωματωμένη στην εφαρμογή OpenStudio, δίνοντας τη δυνατότητα στους χρήστες να χρησιμοποιούν τα στοιχεία της κατευθείαν στις προσομοιώσεις στο OpenStudio.

5.4 JSON αρχεία

Το JSON (JavaScript Object Notation) είναι μία ελαφριά μορφή μεταφοράς δεδομένων. Οι χρήστες μπορούν με μεγάλη ευκολία να συντάξουν ή να διαβάσουν ένα json αρχείο. Η κύρια χρήση του είναι η μεταφορά δεδομένων σε εφαρμογές ανάμεσα σε ένα διακομιστή και ένα πελάτη, όπως επίσης και η διαμόρφωση αρχείων σε αρκετές εφαρμογές. Ως προς την δομή του το JSON έχει μορφή κειμένου, το οποίο είναι ανεξάρτητο από την γλώσσα προγραμματισμού, αλλά χρησιμοποιεί κανόνες που είναι οικείοι στις γλώσσες προγραμματισμού C, C++, Java, JavaScript, Perl και Python. Αυτό το πλεονέκτημα το καθιστά την ιδανική λύση μεταφοράς δεδομένων.

Το JSON βασίζεται σε δύο κύριες δομές. Η πρώτη είναι συλλογή από ζεύγη ονόματος και τιμής και η δεύτερη δομή είναι μία λίστα που περιέχει τιμές. Το JSON αρχείο έχει αρκετά πλεονεκτήματα, τα οποία αναλύονται ως εξής:

1. Ανεξάρτητο από Γλώσσες: Το JSON έχει την ανεξαρτησία του από τις γλώσσες προγραμματισμού.
2. Αποδοτικό: Το JSON είναι πιο ελαφρύ και απλό σε σχέση με το XML, με αποτέλεσμα να είναι πιο γρήγορο στη μεταφορά και στην ανάλυση δεδομένων.
3. Υποστήριξη: Σχεδόν όλες οι σύγχρονες γλώσσες προγραμματισμού εμπεριέχουν ενσωματωμένες βιβλιοθήκες, γεγονός που βοηθάει στην ανάλυση και στη δημιουργία του.
4. Ανθρώπινα Αναγνώσιμο: Η σύνταξη και η μορφή του είναι απλές και κατανοητές στους περισσότερους χρήστες.



Εικόνα 23: Πλεονεκτήματα json αρχείων [51]

Τα σενάρια ανακαίνισης που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν τη διπλωματική δημιουργήθηκαν σε αρχεία JSON και έχουν την εξής δομή:

```
{
  "scenarios": [
    {
      1 "name": "Add Wood Subfloor",
      "actions": [
        {
          2 "type": "add_layer",
          3 "target_component": "BuildingSurface:Detailed",
          4 "target_objects": ["m GFloor SWA" , "m GFloor NWA" , "m GFloor SEA" , "m GFloor NEA" , "m GFloor N1A"],
          5 "target_attribute": "Layer_3",
          6 "material_component": "Material",
          7 "properties": {
            "Name": "Wood Subfloor - 3/4 in.",
            "Roughness": "MediumSmooth",
            "Thickness": 0.01905,
            "Conductivity": 0.115,
            "Density": 800,
            "Specific_Heat": 1380,
            "Thermal_Absorptance": 0.9,
            "Solar_Absorptance": 0.7,
            "Visible_Absorptance": 0.7
          }
        }
      ]
    }
  ]
}
```

1. **Name:** Όνομα σεναρίου
2. **Actions:** Οι επιθυμητές παρεμβάσεις
3. **Type:** Είδος παρέμβασης. Πιο συγκεκριμένα οι κατηγορίες είναι: προσθήκη αντικειμένου (add object), τροποποίηση αντικειμένου (edit object), αφαίρεση αντικειμένου (remove object), αντικατάσταση στρώσης υλικού (substitute layer), προσθήκη στρώσης υλικού (add layer)
4. **Target component:** Ενότητα στην οποία ανήκει το μέρος του κτιρίου

5. **Target objects:** Ονόματα των μερών του κτιρίου όπου θα γίνει η αλλαγή
6. **Target attribute:** Το πεδίο όπου θα γίνει η αλλαγή. Στην περίπτωση των σεναρίων προσθήκης και αναβάθμισης υλικού το πεδίο αυτό αντιστοιχεί στη θέση που θα τοποθετηθεί το νέο/αναβαθμισμένο υλικό
7. **Material component:** Ενότητα στην οποία ανήκει το υλικό
8. **Properties:** Οι ιδιότητες του υλικού που θα προστεθεί

5.5 Κώδικας στη γλώσσα προγραμματισμού Python

Το δοκιμαστικό εργαλείο αναπτύχθηκε με τη γλώσσα προγραμματισμού Python. Παρακάτω γίνεται μία συνοπτική περιγραφή του κώδικα, ο οποίος παρουσιάζεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: ΚΩΔΙΚΑΣ ΣΕ PYTHON. Στην αρχή προστέθηκαν κάποιες βιβλιοθήκες, οι οποίες ήταν απαραίτητες για την εκτέλεση της διαδικασίας, μεταξύ των οποίων και η `errpy`. Αξιοποιώντας τις συναρτήσεις της βιβλιοθήκης `errpy`, αρχικά επιλέγεται το `idf` αρχείο και το `idd` αρχείο, τα οποία είναι απαραίτητα για την προσομοίωση στο Energy Plus. Η διαδικασία αυτή γίνεται μέσω της συνάρτησης `load idf`. Στη συνέχεια ξεκινάει η διαδικασία τροποποίησης. Παραπάνω αναφέρθηκαν οι πιθανοί τύποι αλλαγών. Για να καλύπτονται οι αλλαγές αυτές, ορίστηκαν οι παρακάτω συναρτήσεις:

- **edit_object:** Αυτή η συνάρτηση επεξεργάζεται αντικείμενα που περιέχονται σε ένα `idf`. Ελέγχει αν το αντικείμενο που καθορίζεται από την ενέργεια υπάρχει και, αν υπάρχει, ενημερώνει τα πεδία του σύμφωνα με τις νέες τιμές που παρέχονται στο `action`. Αν το αντικείμενο δεν βρεθεί, εμφανίζει μήνυμα ότι δεν βρέθηκε.
- **add_object:** Αυτή η συνάρτηση προσθέτει ένα νέο αντικείμενο στο `idf`. Δημιουργεί ένα νέο αντικείμενο με τη `newidfobject`, και στη συνέχεια καθορίζει τις τιμές των πεδίων του σύμφωνα με το `action`.
- **delete_object:** Αυτή η συνάρτηση διαγράφει ένα αντικείμενο από το αρχείο `idf`. Ελέγχει αν το αντικείμενο υπάρχει και, έπειτα το αφαιρεί με τη συνάρτηση `removeidfobject`. Αν δεν υπάρχει, εμφανίζει μήνυμα ότι δεν βρέθηκε.
- **substitute_layer:** Αυτή η συνάρτηση αντικαθιστά μία στρώση σε μια κατασκευή. Δημιουργεί ένα νέο υλικό, αντιγράφει την τρέχουσα κατασκευή του προς αναβάθμιση δομικού μέρους (`target objects`), και στη συνέχεια αντικαθιστά την καθορισμένη στρώση (`target attribute`) με το νέο υλικό. Έπειτα μετονομάζει τη νέα αυτή κατασκευή και την ορίζει ως την κατασκευή του δομικού μέρους που ήταν επιθυμητό να αναβαθμιστεί.
- **add_layer:** Αυτή η συνάρτηση προσθέτει μία νέα στρώση σε μια κατασκευή. Αντιγράφει την τρέχουσα κατασκευή του προς αναβάθμιση δομικού μέρους (`target objects`), προσθέτει τη νέα στρώση στην κατάλληλη θέση (`target attribute`) και έπειτα ακολουθεί την ίδια διαδικασία με το `substitute_layer`.

Για την τροποποίηση του `idf` αρχείου δημιουργήθηκε η συνάρτηση `modify_idf`. Αυτή η συνάρτηση έχει ως ορίσματα το `idf` αρχείο και τα σεναρία των αλλαγών. Για κάθε παρέμβαση, ελέγχει το είδος της και καλεί την κατάλληλη συνάρτηση από αυτές που περιγράφηκαν παραπάνω. Τέλος, η κύρια συνάρτηση του προγράμματος έχει ως ορίσματα τα απαραίτητα αρχεία για την πραγματοποίηση των αλλαγών. Φορτώνει το `idf` και `idd` αρχείο, εισάγει τις επιθυμητές παρεμβάσεις που περιέχονται στο JSON αρχείο, καλεί τη συνάρτηση `modify_idf`, ώστε να γίνουν οι τροποποιήσεις και τέλος αποθηκεύει το τροποποιημένο `idf` αρχείο. Μετά τον ορισμό των παραπάνω συναρτήσεων, ο χρήστης θα πρέπει να ορίσει τα ονόματα των απαιτούμενων αρχείων και στη συνέχεια γίνεται κλήση της κύριας συνάρτησης, ώστε να εκκινήσει η διαδικασία της τροποποίησης. Επιπρόσθετα, υπάρχει η δυνατότητα εκτέλεσης της ενεργειακής προσομοίωσης μέσω του `script`, εφόσον τα τροποποιημένα αρχεία έχουν αναβαθμιστεί ώστε να έχουν την ίδια έκδοση με το Energy Plus. Για την εκτέλεση της προσομοίωσης ορίστηκε η συνάρτηση `make_eplaunch_options`, όπως περιγράφεται στις οδηγίες της βιβλιοθήκης `errpy`. Αυτή η συνάρτηση ορίζει τις επιλογές που απαιτούνται για την

εκτέλεση μιας προσομοίωσης EnergyPlus και έχει ως όρισμα το idf αρχείο. Βασικά μέρη της συνάρτησης είναι τα εξής:

1. **idfversion**: Με αυτόν τον τρόπο λαμβάνεται η έκδοση του αρχείου idf και διαχωρίζεται σε μεμονωμένα μέρη.
2. **idfversion.extend([0] * (3 - len(idfversion)))**: Με αυτόν τον τρόπο η έκδοση έχει τουλάχιστον 3 μέρη, προσθέτοντας μηδενικά αν χρειάζεται.
3. **idfversionstr**: Ενώνει τα μέρη της έκδοσης με παύλες, σε μορφή χαρακτήρων.
4. **options**: Δημιουργεί ένα λεξικό με τις παραμέτρους για την εκτέλεση της προσομοίωσης, όπως το πρόθεμα εξόδου (**output_prefix**), το πού θα αποθηκευτεί το αποτέλεσμα εξόδου (**output_directory**), και κάποιες άλλες επιλογές για την προσομοίωση.

Τέλος με την κύρια συνάρτηση πραγματοποιούνται τα εξής:

1. **iddfile = idd_file_path**: Ορίζεται το μονοπάτι για το αρχείο idd.
2. **IDF.setiddname(iddfile)**: Ορίζεται το αρχείο idd που θα χρησιμοποιηθεί από την κλάση idf.
3. **epwfile**: Ορίζεται η θέση του αρχείου καιρού epw, που είναι απαραίτητο για την εκτέλεση της ενεργειακής προσομοίωσης

Στη συνέχεια καλείται η συνάρτηση **make_eplaunch_options** και τέλος μέσω του **idf.run** πραγματοποιείται η διαδικασία της ενεργειακής προσομοίωσης, όπως αυτή γίνεται μέσω του EP-Launch.

Για να εκκινήσει η διαδικασία της προσομοίωσης, γίνεται κλήση της κύριας συνάρτησης.

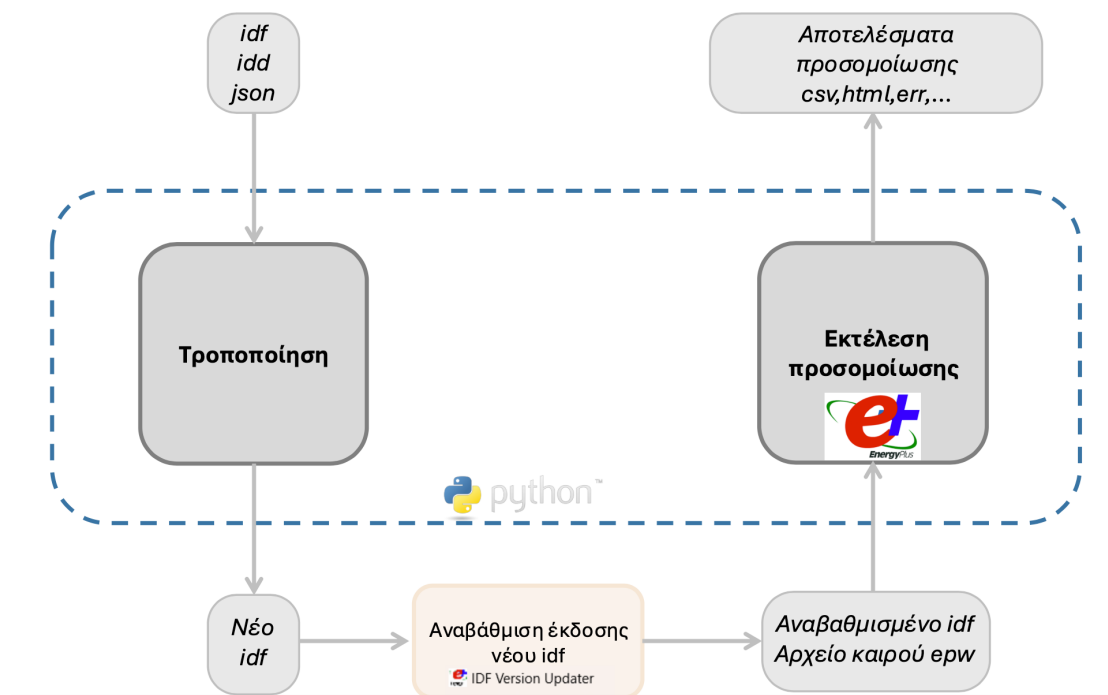
5.6 Σενάρια αλλαγών που καλύπτει ο κώδικας

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1, κάποιες από τις κύριες παρεμβάσεις που αυξάνουν σημαντικά την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου είναι προσθήκη θερμομόνωσης και μείωση θερμογεφυρών, καθώς και παρεμβάσεις στο κέλυφος και τα ανοίγματα του κτιρίου. Συνεπώς το δοκιμαστικό εργαλείο που δημιουργήθηκε καλύπτει αλλαγές σε δομικά στοιχεία του κτιρίου, όπως τοίχους, στέγη και δάπεδα. Πιο συγκεκριμένα καλύπτει τα εξής σενάρια:

1. Προσθήκη αντικειμένου (στην περίπτωση αυτής της διπλωματικής, προσθήκη υλικού, νέας κατασκευαστικής μεθόδου, παραθύρων κλπ.
2. Τροποποίηση αντικειμένου του IDF αρχείου.
3. Αφαίρεση αντικειμένου του IDF αρχείου.

Οι συγκεκριμένες αλλαγές μπορούν να είναι τόσο καθολικές όσο και στοχευμένες. Σε περίπτωση που είναι επιθυμητή η αναβάθμιση μόνο ενός δομικού στοιχείου (πχ ενός τοίχου), ο κώδικας καλύπτει επίσης:

4. Την αναβάθμιση υπάρχοντος υλικού και τη δημιουργία νέας κατασκευαστικής μεθόδου μόνο για το δομικό στοιχείο ενδιαφέροντος, που θα περιέχει το αναβαθμισμένο υλικό.
5. Την προσθήκη νέου υλικού και τη δημιουργία νέας κατασκευαστικής μεθόδου μόνο για το δομικό στοιχείο ενδιαφέροντος.

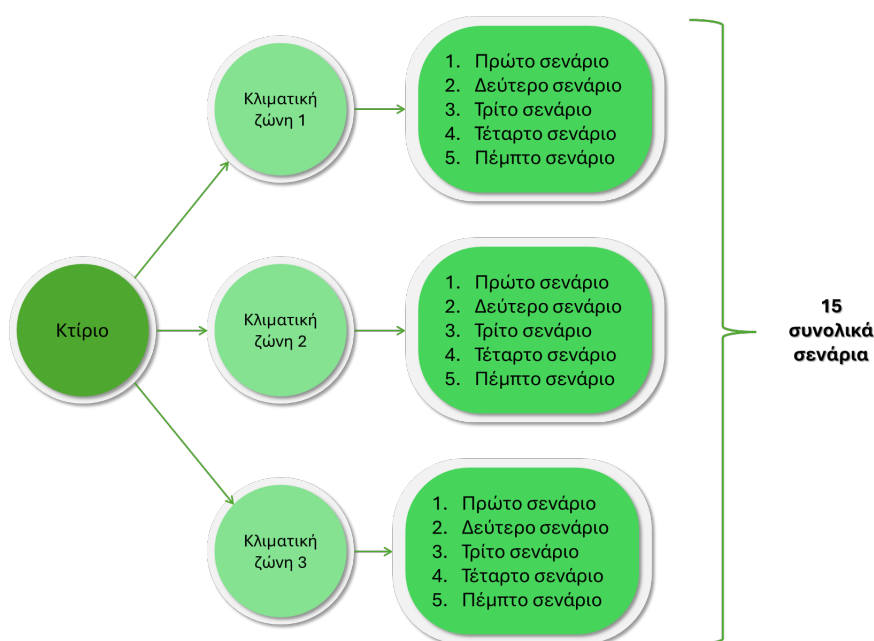


Εικόνα 24: Διαδικασία λειτουργίας εργαλείου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ

6.1 Διαδικασία εφαρμογής και σενάρια ανακαίνισης.

Για να αναδειχθεί η χρησιμότητα του εργαλείου, θα να γίνουν κάποιες προσομοιώσεις. Επομένως σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν 5 σενάρια ανακαίνισεων σε 3 διαφορετικές καιρικές συνθήκες, συνολικά 15 προσομοιώσεις(Εικόνα 25). Το κτίριο που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από 4 ορόφους, έχει συνολική επιφάνεια 3.135 τ.μ. και αποτελείται από 31 κατοικίες και 1 γραφείο. Η διαδικασία των προσομοιώσεων έχει ως εξής: αρχικά δημιουργείται ένα αρχείο Json, το οποίο περιέχει το σενάριο ανακαίνισης και έχει τη δομή που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4. Ο κώδικας εκτελεί τις αλλαγές που θα γίνουν στο αρχικό αρχείο idf του κτιρίου, σύμφωνα με τα όσα περιέχονται στο json αρχείο, και εξάγει ένα νέο τροποποιημένο αρχείο idf, το οποίο εμπεριέχει όλες τις αλλαγές ανακαίνισης. Το νέο αρχείο idf προσομοιώνεται στο πρόγραμμα EnergyPlus σε 3 διαφορετικές καιρικές συνθήκες και εξάγονται τα αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα σενάρια αλλαγών. Βασική επιδίωξη των αλλαγών ήταν να τροποποιήσουν συγκεκριμένα μέρη του κτιρίου είτε με την προσθήκη είτε με την τροποποίηση υλικών (υλικό ενδιαφέροντος) διαφόρων δομικών στοιχείων. Για τα μέρη εκείνα στα οποία θα γίνει η αλλαγή, έγινε μελέτη σχετικά με τη μέθοδο με την οποία έχουν κατασκευαστεί, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τις ιδιότητες αυτών των υλικών. Μετά τη μελέτη ακολουθεί η σύνταξη των json αρχείων. Εάν από την προηγούμενη διαδικασία προκύπτει η ύπαρξη του υλικού ενδιαφέροντος τότε στο json αρχείο εισάγονται οι νέες τιμές για τις ιδιότητες του υλικού και ως τύπος παρέμβασης επιλέγεται η αντικατάσταση. Σε διαφορετική περίπτωση επιλέγεται η προσθήκη υλικού. Στη συνέχεια, από το όνομα της κατασκευής ανιχνεύεται η κατασκευαστική μέθοδος του δομικού στοιχείου. Για να μην επηρεαστούν και τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία που κατασκευάστηκαν με αυτήν τη μέθοδο, η κατασκευαστική μέθοδος αντιγράφεται και στο αντίγραφο αυτό γίνονται οι απαραίτητες αλλαγές ώστε να εμπεριέχεται πλέον το υλικό ενδιαφέροντος. Τέλος το αντίγραφο αυτό ονομάζεται κατάλληλα και ορίζεται ως η νέα κατασκευαστική μέθοδος του δομικού στοιχείου. Εφόσον ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία, παράγεται το τροποποιημένο αρχείο idf, το οποίο περιέχει όλες τις επιθυμητές αλλαγές και θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια ως αρχείο εισόδου της προσομοίωσης στο EnergyPlus.



Εικόνα 25: Σχεδιασμός προσομοιώσεων

6.2 Κλιματικές ζώνες

Για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης στο Energy Plus, είναι απαραίτητο ένα αρχείο καιρού σε μορφή .epw. Για την παρούσα εφαρμογή επιλέχθηκε να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα του κάθε σεναρίου σε 3 διαφορετικές κλιματικές ζώνες όπου επικρατούν και διαφορετικές καιρικές συνθήκες. Οι κλιματικές ζώνες που επιλέχθηκαν είναι των παρακάτω περιοχών:

1. International falls Minnesota
2. Albuquerque New Mexico
3. Miami

Σύμφωνα με το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ, οι παραπάνω περιοχές έχουν:

1. Πολύ κρύο κλίμα
2. Μικτό ξηρό κλίμα
3. Πολύ ζεστό και υγρό κλίμα

Όπως γίνεται αντιληπτό οι περιοχές αυτές επιλέχθηκαν καθώς έχουν πολύ διαφορετικά κλίματα και καλύπτουν και αρκετά δυσμενή από ενεργειακή άποψη κλίματα, πχ στο πολύ κρύο κλίμα οι ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση κατά τους χειμερινούς μήνες αναμένεται να είναι ιδιαίτερα υψηλές, ενώ αντίθετα στο πολύ θερμό κλίμα οι ενεργειακές ανάγκες για ψύξη τους θερινούς μήνες αναμένεται να είναι αυξημένες.

6.3 Περιγραφή σεναρίων και αλλαγών

Σημαντικό ρόλο στην επιλογή σεναρίων διαδραμάτισε η διαθεσιμότητα πραγματικών δεδομένων για υλικά από τη βιβλιοθήκη BCL. Τα υλικά που επιλέχθηκαν όπως είναι η γυψοσανίδα εξωτερικού τοίχου, η μεταλλική επιφάνεια οροφής, το ξύλινο δάπεδο, υαλοπίνακες παραθύρων και ασφατικό γαλάκτωμα μπορούν να συμβάλλουν στην αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Σε κάθε σενάριο περιέχονται διάφορα είδη παρεμβάσεων, με σκοπό να διαπιστωθεί η λειτουργικότητα του εργαλείου. Τα διαφορετικά σενάρια επιλέγονται για να αποφασιστεί ο βέλτιστος συνδυασμός παρεμβάσεων για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου. Ωστόσο το βέλτιστο σενάριο για ένα ψυχρό κλίμα πιθανά δεν αποτελεί τη βέλτιστη παρέμβαση σε ένα θερμό κλίμα. Επομένως εξετάστηκαν διαφορετικά καιρικά δεδομένα για να ληφθούν αποφάσεις λαμβάνοντας υπόψιν και την επιρροή των διαφορετικών καιρικών δεδομένων.

Τα σενάρια παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ
1 ^ο	Τοποθετείται γυψοσανίδα 5/8 στην τελευταία επιφάνεια σε 3 συγκεκριμένους εξωτερικούς τοίχους και σε 2 μέρη της στέγης τοποθετείται μεταλλική επιφάνεια
2 ^ο	Γίνεται αλλαγή υλικού υαλοπίνακα σε 4 παράθυρα και προστίθενται ξύλο δρύος στην εξωτερική επιφάνεια ενός δαπέδου
3 ^ο	Προστίθενται ξύλο 3/4 στην εξωτερική επιφάνεια 5 δαπέδων

4°	Τοποθετείται γυψοσανίδα 3/4 στην εξωτερική επιφάνεια 5 εξωτερικών τοίχων και γίνεται προσθήκη μεταλλικής επιφάνειας στην εξωτερική στρώση 4 μερών της στέγης
5°	Γίνεται αλλαγή υλικού υαλοπίνακα σε 5 παράθυρα και προστίθενται ασφαλικό γαλάκτωμα 1/8 στην εξωτερική στρώση 4 κομματιών οροφής

Πίνακας 1: Σενάρια παρεμβάσεων

Δημιουργείται ένα json αρχείο για κάθε σενάριο ξεχωριστά. Αυτά τα 5 json αρχεία παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I: JSON APXEIA αναλυτικά. Στη συνέχεια, γίνεται εντοπισμός των κατασκευαστικών μεθόδων των δομικών στοιχείων ενδιαφέροντος, οι οποίες όπως έχει ήδη αναφερθεί αντιγράφονται, τροποποιούνται κατάλληλα, μετονομάζονται και αποτελούν τις νέες κατασκευαστικές μεθόδους των δομικών στοιχείων για τα οποία είναι επιθυμητή η αλλαγή. Αφού ελεγχθεί ότι πραγματοποιήθηκαν επιτυχώς οι αλλαγές, στο νέο idf θα πρέπει να εμφανίζονται οι νέες μέθοδοι με τα νέα υλικά. Αυτά παρουσιάζονται αναλυτικά στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III: IDF αρχεία. Εφόσον έχουν γίνει όλα τα παραπάνω ακολουθεί η προσομοίωση, η οποία θα πραγματοποιηθεί επίσης μέσω του Jupyter Notebook.

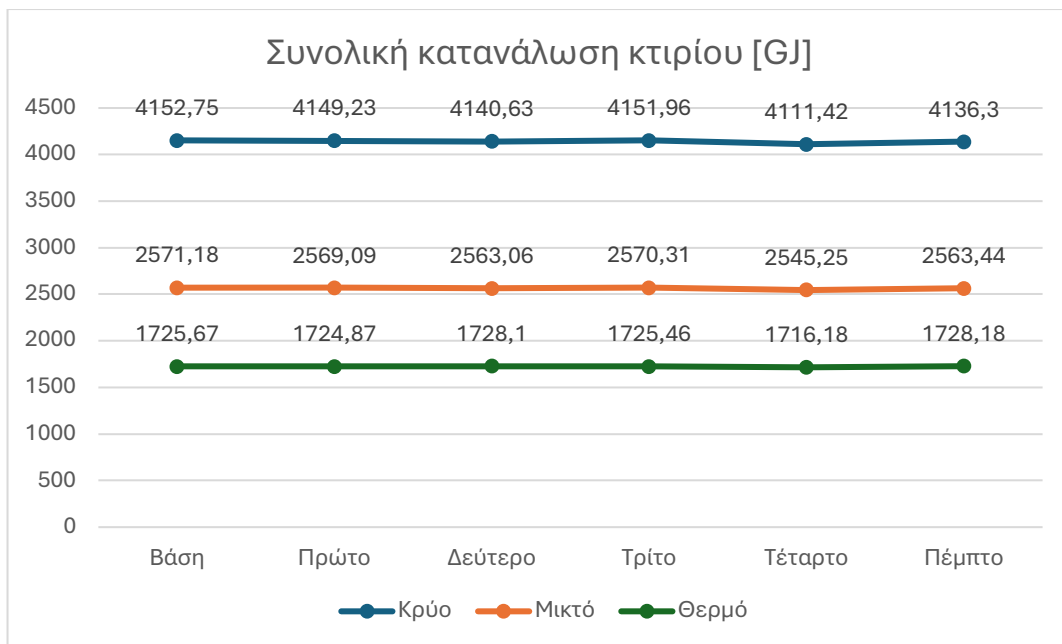
6.4 Αποτελέσματα προσομοιώσεων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο αριθμός των εκτελούμενων προσομοιώσεων είναι 15. Επιπλέον πραγματοποιούνται 3 ακόμα προσομοιώσεις χωρίς καμία παρέμβαση. Αυτές οι προσομοιώσεις είναι απαραίτητες καθώς αποτελούν τη βάση σύγκρισης για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Ο κύριος στόχος αυτών των αλλαγών ήταν ο έλεγχος των δυνατοτήτων του εργαλείου και της απόκρισής του σε διάφορες παρεμβάσεις. Επιπρόσθετα με αυτές τις 15 προσομοιώσεις έγινε μία προσπάθεια ενεργειακής μελέτης με σκοπό την πρόταση παρεμβάσεων που θα αυξάνουν την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου.

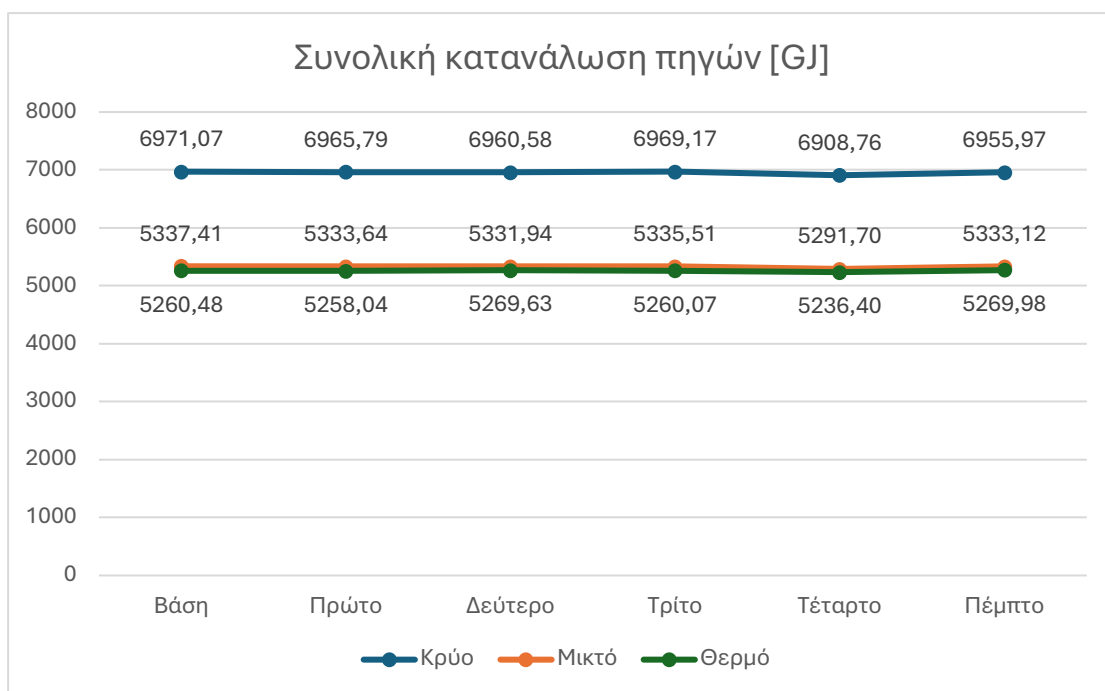
Αυτό που αναμενόταν ήταν:

- Η ενεργειακή κατανάλωση να είναι υψηλότερη για το ψυχρό κλίμα λόγω αυξημένων αναγκών για θέρμανση
- Η ενεργειακή κατανάλωση στο μέσο κλίμα να έχει τιμές μεταξύ του θερμού και του ψυχρού κλίματος, λόγω αναγκών και θέρμανσης και ψύξης
- Η ενεργειακή κατανάλωση στο θερμό κλίμα να είναι χαμηλότερη και να αφορά σε ανάγκες ψύξης

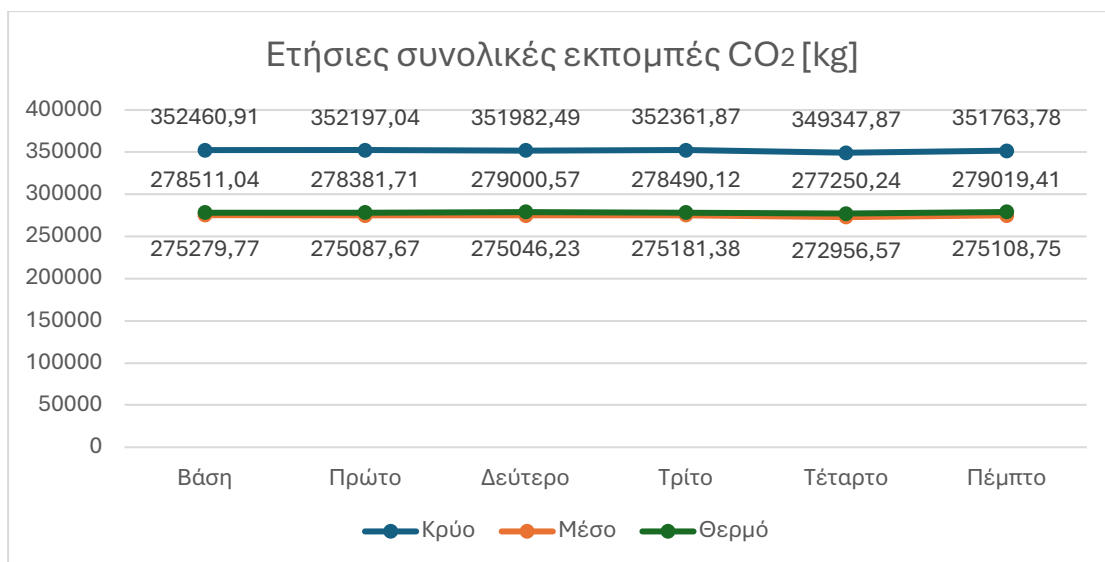
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων συγκεντρωτικά.



Διάγραμμα 1: Συνολική κατανάλωση ενέργειας



Διάγραμμα 2: Συνολική κατανάλωση ενέργειας πηγών



Διάγραμμα 3: Εκπομπές CO₂

Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα, τα διαφορετικά σενάρια, και κατά επέκταση η επιλογή των υλικών, επηρέασε με όμοιο τρόπο την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου σε όλες τις κλιματικές ζώνες. Το σενάριο εκείνο με το οποίο επιτεύχθηκε η μεγαλύτερη μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση αλλά και στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι το 4^ο σενάριο. Σε αυτό το σενάριο προστέθηκε εξωτερική επένδυση γύψου σε 5 τοίχους του κτιρίου και μεταλλική οροφή σε ορισμένα μέρη της στέγης. Ο γύψος λειτουργεί ως εξωτερικό θερμομονωτικό στρώμα, ενώ η μεταλλική οροφή λόγω των ιδιοτήτων της θα μπορούσε να συμβάλλει στη μείωση ενέργειας για θέρμανση, καθώς διατηρεί τη θερμότητα και σε κλίματα με έντονες χιονοπτώσεις δεν διατηρεί το χιόνι, ενώ επίσης συμβάλλει στα θερμά κλίματα αντανακλώντας μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας. Επίσης στο αποτέλεσμα επιδρά και το γεγονός ότι στο 4^ο σενάριο επιλέχθηκε να αυξηθεί ο αριθμός των τοίχων στους οποίους προστέθηκε η εξωτερική στρώση γύψου. Στις κλιματικές ζώνες 1 και 2, δηλαδή στο ψυχρό και στο μικτό κλίμα όλα τα σενάρια έχουν οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Αντίθετα στην 3^η κλιματική ζώνη όπου το κλίμα είναι θερμό, παρατηρείται ότι οι παρεμβάσεις δύο σεναρίων όχι μόνο δε μειώνουν την ενεργειακή κατανάλωση, αλλά την αυξάνουν κιόλας.

Εκπομπές CO₂ [kg]		Κλιματικές Ζώνες		
		1	2	3
Σενάρια	Βάση	352460,91	275279,77	278511,04
	Πρώτο	352197,04	275087,67	278381,71
	Δεύτερο	351982,49	275046,23	279000,57
	Τρίτο	352361,87	275181,38	278490,12
	Τέταρτο	349347,87	272956,57	277250,24
	Πέμπτο	351763,78	275108,75	279019,41

Πίνακας 2: Εκπομπές CO₂

Συνολική ενεργειακή κατανάλωση [GJ]		Κλιματικές Ζώνες		
		1	2	3
Σενάρια	Βάση	4152,75	2571,18	1725,67
	Πρώτο	4149,23	2569,09	1724,87
	Δεύτερο	4140,63	2563,06	1728,1
	Τρίτο	4151,96	2570,31	1725,46
	Τέταρτο	4111,42	2545,25	1716,18
	Πέμπτο	4136,3	2563,44	1728,18

Πίνακας 3: Συνολική ενεργειακή κατανάλωση κτιρίου

Τα σενάρια αυτά είναι το 2^ο και το 5^ο. Οι παρεμβάσεις αυτών των σεναρίων είναι οι εξής:

- **Σενάριο 2: Αλλαγή στο σύστημα παραθύρων και προσθήκη δρύινου ξύλινου πατώματος**. Το δρύινο πάτωμα που επιλέχθηκε έχει υψηλή τιμή θερμικής απορρόφησης. Επίσης το σύστημα παραθύρων επιτρέπει την άμεση εισχώρηση του φυσικού φωτός. Ο συνδυασμός αυτών των δύο πιθανά οδηγεί σε αυξημένη απορρόφηση θερμότητας, γεγονός που αυξάνει τις ανάγκες για ψύξη.
- **Σενάριο 5: Αλλαγή στο σύστημα παραθύρων και προσθήκη ασφαλτικού γαλακτώματος στις οροφές συγκεκριμένων διαμερισμάτων**. Η προσθήκη ασφαλτικού γαλακτώματος μπορεί να αυξήσει την απορρόφηση θερμότητας. Επίσης το χρώμα του ασφαλτικού γαλακτώματος επηρεάζει την ποσότητα θερμότητας που απορροφάται. Επομένως η επιλογή αυτή δεν είναι η ιδανικότερη για θερμά κλίματα όπως είναι αυτό στο Μαϊάμι, καθώς αυξάνει τις ανάγκες για ψύξη. Επίσης στις αυξημένες ανάγκες για ψύξη μπορεί να συμβάλλει και η ιδιότητα του παραθύρου που επιτρέπει τη μεγάλη εισχώρηση φυσικού φωτός.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων υπό μορφή πινάκων.

	Συνολική Ενέργεια[GJ]	Ενέργεια ανά Συνολική Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]	Ενέργεια ανά Κλιματιζόμενη Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]
Συνολική Ενέργεια Κτιρίου	4149,23	1323,69	1323,69
Καθαρή Ενέργεια Κτιρίου	4149,23	1323,69	1323,69
Συνολική Ενέργεια από πηγές	6965,79	2222,23	2222,23
Καθαρή Ενέργεια από πηγές	6965,79	2222,23	2222,23

Πίνακας 4: Αποτελέσματα προσομοίωσης 1ου σεναρίου (Ψυχρό κλίμα)

	Συνολική Ενέργεια[GJ]	Ενέργεια ανά Συνολική Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]	Ενέργεια ανά Κλιματιζόμενη Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]
Συνολική Ενέργεια Κτιρίου	2569,09	819,59	819,59
Καθαρή Ενέργεια Κτιρίου	2569,09	819,59	819,59
Συνολική Ενέργεια από πηγές	5333,64	1701,54	1701,54
Καθαρή Ενέργεια από πηγές	5333,64	1701,54	1701,54

Πίνακας 5: Αποτελέσματα προσομοίωσης 1ου σεναρίου (Μικτό κλίμα)

	Συνολική Ενέργεια[GJ]	Ενέργεια ανά Συνολική Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]	Ενέργεια ανά Κλιματιζόμενη Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]
Συνολική Ενέργεια Κτιρίου	1724,87	550,27	550,27
Καθαρή Ενέργεια Κτιρίου	1724,87	550,27	550,27
Συνολική Ενέργεια από πηγές	5258,04	1677,42	1677,42
Καθαρή Ενέργεια από πηγές	5258,04	1677,42	1677,42

Πίνακας 6: Αποτελέσματα προσομοίωσης 1ου σεναρίου (Θερμό κλίμα)

	Συνολική Ενέργεια[GJ]	Ενέργεια ανά Συνολική Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]	Ενέργεια ανά Κλιματιζόμενη Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]
Συνολική Ενέργεια Κτιρίου	4140,63	1320,95	1320,95
Καθαρή Ενέργεια Κτιρίου	4140,63	1320,95	1320,95
Συνολική Ενέργεια από πηγές	6960,58	2220,57	2220,57
Καθαρή Ενέργεια από πηγές	6960,58	2220,57	2220,57

Πίνακας 7: Αποτελέσματα προσομοίωσης 2ου σεναρίου (Ψυχρό κλίμα)

	Συνολική Ενέργεια[GJ]	Ενέργεια ανά Συνολική Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]	Ενέργεια ανά Κλιματιζόμενη Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]
Συνολική Ενέργεια Κτιρίου	2563,06	817,67	817,67
Καθαρή Ενέργεια Κτιρίου	2563,06	817,67	817,67
Συνολική Ενέργεια από πηγές	5331,94	1701	1701
Καθαρή Ενέργεια από πηγές	5331,94	1701	1701

Πίνακας 8: Αποτελέσματα προσομοίωσης 2ου σεναρίου (Μικτό κλίμα)

	Συνολική Ενέργεια[GJ]	Ενέργεια ανά Συνολική Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]	Ενέργεια ανά Κλιματιζόμενη Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]
Συνολική Ενέργεια Κτιρίου	1728,1	551,3	551,3
Καθαρή Ενέργεια Κτιρίου	1728,1	551,3	551,3
Συνολική Ενέργεια από πηγές	5269,63	1681,12	1681,12
Καθαρή Ενέργεια από πηγές	5269,63	1681,12	1681,12

Πίνακας 9: Αποτελέσματα προσομοίωσης 2ου σεναρίου (Θερμό κλίμα)

	Συνολική Ενέργεια[GJ]	Ενέργεια ανά Συνολική Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]	Ενέργεια ανά Κλιματιζόμενη Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]
Συνολική Ενέργεια Κτιρίου	4151,96	1324,56	1324,56
Καθαρή Ενέργεια Κτιρίου	4151,96	1324,56	1324,56
Συνολική Ενέργεια από πηγές	6969,17	2223,31	2223,31
Καθαρή Ενέργεια από πηγές	6969,17	2223,31	2223,31

Πίνακας 10: Αποτελέσματα προσομοίωσης 3ου σεναρίου (Ψυχρό κλίμα)

	Συνολική Ενέργεια[GJ]	Ενέργεια ανά Συνολική Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]	Ενέργεια ανά Κλιματιζόμενη Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]
Συνολική Ενέργεια Κτιρίου	2570,31	819,98	819,98
Καθαρή Ενέργεια Κτιρίου	2570,31	819,98	819,98
Συνολική Ενέργεια από πηγές	5335,51	1702,14	1702,14
Καθαρή Ενέργεια από πηγές	5335,51	1702,14	1702,14

Πίνακας 11: Αποτελέσματα προσομοίωσης 3ου σεναρίου (Μικτό κλίμα)

	Συνολική Ενέργεια[GJ]	Ενέργεια ανά Συνολική Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]	Ενέργεια ανά Κλιματιζόμενη Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]
Συνολική Ενέργεια Κτιρίου	1725,46	550,46	550,46
Καθαρή Ενέργεια Κτιρίου	1725,46	550,46	550,46
Συνολική Ενέργεια από πηγές	5260,07	1678,07	1678,07
Καθαρή Ενέργεια από πηγές	5260,07	1678,07	1678,07

Πίνακας 12: Αποτελέσματα προσομοίωσης 3ου σεναρίου (Θερμό κλίμα)

	Συνολική Ενέργεια[GJ]	Ενέργεια ανά Συνολική Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]	Ενέργεια ανά Κλιματιζόμενη Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]
Συνολική Ενέργεια Κτιρίου	4111,42	1311,63	1311,63
Καθαρή Ενέργεια Κτιρίου	4111,42	1311,63	1311,63
Συνολική Ενέργεια από πηγές	6908,76	2204,04	2204,04
Καθαρή Ενέργεια από πηγές	6908,76	2204,04	2204,04

Πίνακας 13: Αποτελέσματα προσομοίωσης 4ου σεναρίου (Ψυχρό κλίμα)

	Συνολική Ενέργεια[GJ]	Ενέργεια ανά Συνολική Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]	Ενέργεια ανά Κλιματιζόμενη Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]
Συνολική Ενέργεια Κτιρίου	2545,25	811,99	811,99
Καθαρή Ενέργεια Κτιρίου	2545,25	811,99	811,99
Συνολική Ενέργεια από πηγές	5291,7	1688,16	1688,16
Καθαρή Ενέργεια από πηγές	5291,7	1688,16	1688,16

Πίνακας 14: Αποτελέσματα προσομοίωσης 4ου σεναρίου (Μικτό κλίμα)

	Συνολική Ενέργεια[GJ]	Ενέργεια ανά Συνολική Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]	Ενέργεια ανά Κλιματιζόμενη Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]
Συνολική Ενέργεια Κτιρίου	1716,18	547,5	547,5
Καθαρή Ενέργεια Κτιρίου	1716,18	547,5	547,5
Συνολική Ενέργεια από πηγές	5236,4	1670,52	1670,52
Καθαρή Ενέργεια από πηγές	5236,4	1670,52	1670,52

Πίνακας 15: Αποτελέσματα προσομοίωσης 4ου σεναρίου (Θερμό κλίμα)

	Συνολική Ενέργεια[GJ]	Ενέργεια ανά Συνολική Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]	Ενέργεια ανά Κλιματιζόμενη Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]
Συνολική Ενέργεια Κτιρίου	4136,3	1319,57	1319,57
Καθαρή Ενέργεια Κτιρίου	4136,3	1319,57	1319,57
Συνολική Ενέργεια από πηγές	6955,97	2219,1	2219,1
Καθαρή Ενέργεια από πηγές	6955,97	2219,1	2219,1

Πίνακας 16: Αποτελέσματα προσομοίωσης 5ου σεναρίου (Ψυχρό κλίμα)

	Συνολική Ενέργεια[GJ]	Ενέργεια ανά Συνολική Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]	Ενέργεια ανά Κλιματιζόμενη Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]
Συνολική Ενέργεια Κτιρίου	2563,44	817,79	817,79
Καθαρή Ενέργεια Κτιρίου	2563,44	817,79	817,79
Συνολική Ενέργεια από πηγές	5333,12	1701,38	1701,38
Καθαρή Ενέργεια από πηγές	5333,12	1701,38	1701,38

Πίνακας 17: Αποτελέσματα προσομοίωσης 5ου σεναρίου (Μικτό κλίμα)

	Συνολική Ενέργεια[GJ]	Ενέργεια ανά Συνολική Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]	Ενέργεια ανά Κλιματιζόμενη Επιφάνεια Κτιρίου[MJ/m2]
Συνολική Ενέργεια Κτιρίου	1728,18	551,33	551,33
Καθαρή Ενέργεια Κτιρίου	1728,18	551,33	551,33
Συνολική Ενέργεια από πηγές	5269,98	1681,23	1681,23
Καθαρή Ενέργεια από πηγές	5269,98	1681,23	1681,23

Πίνακας 18: Αποτελέσματα προσομοίωσης 5ου σεναρίου (Θερμό κλίμα)

Επίσης στους Πίνακας 19, Πίνακας 20, Πίνακας 21, όπου απεικονίζεται η ενεργειακή κατανάλωση ανάλογα το είδος χρήσης, όπως προέκυψε από τα αρχεία εξόδου του Energy Plus. Οι στήλες του πίνακα αντιστοιχούν σε διαφορετικές πηγές ενέργειας, ενώ οι γραμμές σε διαφορετικές χρήσεις. Κατά συνέπεια, το άθροισμα των στηλών δείχνει τη συνολική ενέργεια που παράγεται από μία πηγή για τις διάφορες λειτουργίες του κτιρίου (πχ diesel), ενώ το άθροισμα των γραμμών δείχνει την ενέργεια που καταναλώνει η κάθε μία λειτουργία του κτιρίου. Το άθροισμα όλων των στηλών θα πρέπει να είναι ίσο με το άθροισμα όλων των γραμμών. Όπως φαίνεται στους πίνακες αυτούς, οι δύο κύριες πηγές ενέργειας του κτιρίου είναι ο ηλεκτρισμός και το φυσικό αέριο. Το μεγαλύτερο μέρος του φυσικού αερίου χρησιμοποιείται για θέρμανση του κτιρίου και δευτερευόντως για τα συστήματα παραγωγής

ζεστού νερού. Μάλιστα, η θέρμανση στο ψυχρό και μέσο κλίμα γίνεται μόνο με φυσικό αέριο. Αντίστροφη εικόνα παρουσιάζει η προσομοίωση στο ζεστό κλίμα, όπου οι ανάγκες για θέρμανση είναι μειωμένες. Όσον αφορά τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, παρατηρείται ότι και στις 3 κλιματικές ζώνες η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για εσωτερικό φωτισμό και εξοπλισμό είναι ίδια ενώ μικρές σχετικά μεταβολές παρατηρούνται στον εξωτερικό φωτισμό. Στο ψυχρό και μέσο κλίμα, το μεγαλύτερο μέρος ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνει ο εξοπλισμός. Αντίθετα στο θερμό κλίμα οι μεγαλύτερες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας σχετίζονται με την ψύξη. Τέλος ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνουν και οι ανεμιστήρες, με την τιμή της κατανάλωσης να φθίνει μεταβαίνοντας σε θερμότερα κλίματα. Άλλες πηγές ενέργειας όπως είναι το diesel, πετρέλαιο, ορυκτά καύσιμα κ.α. δεν χρησιμοποιούνται αφού οι καταναλώσεις τους είναι μηδενικές. Τέλος, χρησιμοποιείται νερό στα συστήματα ζεστού νερού. Παρότι οι εκπομπές του CO₂ σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας παρατηρήθηκε ότι οι εκπομπές στην κλιματική ζώνη 2 ήταν μικρότερες σε σχέση με την κλιματική ζώνη 3.

	Ηλεκτρική ενέργεια [GJ]	Φυσικό αέριο [GJ]	Πετρέλαιο [GJ]	Diesel [GJ]	Άνθρακας [GJ]	Καύσιμο έλαιο Νο 1 [GJ]	Καύσιμο έλαιο Νο 2 [GJ]	Προπάνιο [GJ]	Άλλο καύσιμο 1 [GJ]	Άλλο καύσιμο 2 [GJ]	Τηλεψύξη [GJ]	Τηλεθέρμανση νερού [GJ]	Τηλεθέρμανση ατμού [GJ]	Νερό [m3]
Θέρμανση	0.00	1267.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ψύξη	205.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Εσωτερικός φωτισμός	229.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Εξωτερικός φωτισμός	101.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Εσωτερικός εξοπλισμός	448.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Εξωτερικός εξοπλισμός	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ανεμιστήρες	153.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Αντλίες	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Απόρριψη θερμότητας	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ύγρανση	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ανάκτηση θερμότητας	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Συστήματα νερού	0.00	166.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1875.51
Ψυκτικά συστήματα	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Γεννήτριες	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Καταναλώσεις	1136.94	1434.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1875.51

Πίνακας 19: Κατανάλωση ενέργειας ανά δραστηριότητα (Μικτό κλίμα)

	Ηλεκτρική ενέργεια [GJ]	Φυσικό αέριο [GJ]	Πετρέλαιο [GJ]	Diesel [GJ]	Άνθρακας [GJ]	Καύσιμο έλαιο Νο 1 [GJ]	Καύσιμο έλαιο Νο 2 [GJ]	Προπάνιο [GJ]	Άλλο καύσιμο 1 [GJ]	Άλλο καύσιμο 2 [GJ]	Τηλεψύξη [GJ]	Τηλεθέρμανση νερού [GJ]	Τηλεθέρμανση ατμού [GJ]	Νερό [m3]
Θέρμανση	0.00	2891.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ψύξη	68.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Εσωτερικός φωτισμός	229.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Εξωτερικός φωτισμός	100.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Εσωτερικός εξοπλισμός	448.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Εξωτερικός εξοπλισμός	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ανεμιστήρες	248.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Αντλίες	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Απόρριψη θερμότητας	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ύγρανση	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ανάκτηση θερμότητας	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Συστήματα νερού	0.00	166.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1875.51
Ψυκτικά συστήματα	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Γεννήτριες	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Καταναλώσεις	1094.95	3057.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1875.51

Πίνακας 20: Κατανάλωση ενέργειας ανά δραστηριότητα (Ψυχρό κλίμα)

	Ηλεκτρική ενέργεια [GJ]	Φυσικό αέριο [GJ]	Πετρέλαιο [GJ]	Diesel [GJ]	Ανθρακας [GJ]	Καύσιμο έλαιο Νο 1 [GJ]	Καύσιμο έλαιο Νο 2 [GJ]	Προπάνιο [GJ]	Άλλο καύσιμο 1 [GJ]	Άλλο καύσιμο 2 [GJ]	Τηλεψύξη [GJ]	Τηλεθέρμανση νερού [GJ]	Τηλεθέρμανση ατμού [GJ]	Νερό [m3]
Θέρμανση	0.00	41.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ψύξη	626.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Εσωτερικός φωτισμός	229.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Εξωτερικός φωτισμός	101.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Εσωτερικός εξοπλισμός	448.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Εξωτερικός εξοπλισμός	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ανεμιστήρες	112.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Αντλίες	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Απόρριψη θερμότητας	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ύγρανση	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ανάκτηση θερμότητας	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Συστήματα νερού	0.00	166.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1875.51
Ψυκτικά συστήματα	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Γεννήτριες	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Καταναλώσεις	1517.32	208.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1875.51

Πίνακας 21: Κατανάλωση ενέργειας ανά δραστηριότητα (Θερμό κλίμα)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1 Συμπεράσματα

Μετά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δημιουργήθηκε ένα δοκιμαστικό εργαλείο, το οποίο βοηθά στη διαδικασία ενεργειακής μελέτης κτιρίων. Με αυτό το εργαλείο, υποστηρίζεται η καλύτερη λήψη αποφάσεων ενεργειακής αναβάθμισης ενός κτιρίου από τους μηχανικούς. Πιο αναλυτικά, το εργαλείο παρέχει τη δυνατότητα αλλαγής υλικών, κατασκευαστικών μεθόδων και ανοιγμάτων στο πλαίσιο μίας ενεργειακής ανακαίνισης. Το εργαλείο αυτό αποτελεί ένα εγχείρημα αυτοματισμού της διαδικασίας τροποποίησης των αρχείων που περιέχουν την κτιριακή ενεργειακή πληροφορία (idf) και πράγματι επιτυγχάνει την τροποποίηση των μερών της κατασκευής που αναφέρθηκαν, εξοικονομώντας πολύτιμο χρόνο, σε σύγκριση με την πραγματοποίηση των ίδιων αλλαγών με χειροκίνητο τρόπο. Η εισαγωγή των δράσεων της ανακαίνισης με τη μορφή json αρχείων, βοηθάει τους μηχανικούς και συμβούλους καθώς είναι εύληπτα και δεν χρειάζεται να υπάρχει το ίδιο επίπεδο εξοικείωσης με τη δομή των αρχείων idf, τα οποία είναι πιο σύνθετα.

7.2 Δυσκολίες και προτάσεις

Οι δυσκολίες που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας, ήταν η απουσία ανοιχτών δεδομένων για idf αρχεία στην Ευρώπη, η απουσία δομημένης βάσης παρεμβάσεων, το δυσνόητο εγχειρίδιο οδηγιών για το πρόγραμμα EnergyPlus και η δημιουργία ενός κώδικα που θα μπορεί να υποστηρίζει οποιαδήποτε αλλαγή επιθυμεί ο χρήστης, όπως για παράδειγμα η αλλαγή συστήματος θέρμανσης – ψύξης, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκής μονάδας. Τέλος, επιλέγεται να αναφερθούν κάποιες προτάσεις για τη βελτίωση του εργαλείου. Το εργαλείο αυτό θα μπορούσε μελλοντικά να καλύπτει ακόμα περισσότερες εργασίες ανακαίνισης, όπως αυτές που αναφέρονται παραπάνω. Επίσης η προσθήκη μέρους κώδικα που θα μπορεί να διαχειρίζεται τα αποτελέσματα και να τα αναλύει ή ακόμα και να πραγματοποιεί βελτιστοποίηση θα μπορούσαν να το καταστήσουν ιδανικό μέσο για λήψη αποφάσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ε. Ε. Συνέδριο, «Ενεργειακή απόδοση των κτιρίων: επιβεβλημένη η μεγαλύτερη εστίαση στην οικονομική αποδοτικότητα,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR20_11/SR_Energy_efficiency_in_buildings_EL.pdf. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [2] Dictionary.com, «Dictionary.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.dictionary.com/browse/building>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [3] F. D. Ching, Building Construction Illustrated, New Jersey: Wiley, 1943.
- [4] Ε. Τ. Κ. Τ. Ε. ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ, «Απόφαση αριθ. ΥΠΕΝ/ΔΑΟΚΑ/66006/2360 (ΦΕΚ3985/Β/2023),» 22 Ιούνιος 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nomotelia.gr/photos/File/3985b-23.pdf>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [5] Energyculture, «12 κινήσεις για ενεργειακή αναβάθμιση,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://energyculture.gr/index.php/simvoules-eksoikonomisis-2/140-12-kiniseis-gia-energeiaki-anavathmisi>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [6] Ν. Ρουσάνογλου, «20.000 ευρώ το κόστος της πράσινης αναβάθμισης για ιδιοκτήτες παλαιών ακινήτων,» *Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ*, 21 Δεκέμβριος 2021.
- [7] KfW, «Energy-efficient refurbishment,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilie/>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [8] IDAE. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.idae.es>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [9] S. E. Agency, «<https://www.energimyndigheten.se/en/>,» [Ηλεκτρονικό]. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [10] I. E. Commission. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://climate.ec.europa.eu/climate-change_en. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [11] E. Commission, «The European Green Deal,» 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [12] Ε. κ. β. ε. Αθηνών, «Πράσινη Συμφωνία: Νέες προτάσεις της Κομισιόν για να γίνουν κανόνες τα βιώσιμα προϊόντα You are here:,» 31 Μάρτιος 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://acci.gr/πράσινη-συμφωνία-νέες-προτάσεις-της-κ/>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [13] Ε. Τ. Κ. Τ. Ε. ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ, «Απόφαση αριθμ. ΥΠΕΝ/Δ ΕΠΕΑ/20334/148 (ΦΕΚ974/Β/2021),» 12 Μάρτιος 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2021/03/YA-20334_148_01.03.2021_ΦΕΚ_974-B-12.03.2021_ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΗ-ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ-ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ-ΚΤΙΡΙΩΝ-ΕΩΣ-ΤΟ-2050.pdf. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [14] Ε. Τ. Κ. Τ. Ε. ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ, «Απόφαση αριθμ. ΥΠΕΝ/Δ ΕΠΕΑ/20334/148 (ΦΕΚ974/Β/2021),» 12 Μάρτιος 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2021/03/YA-20334_148_01.03.2021_ΦΕΚ_974-B-12.03.2021_ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΗ-ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ-ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ-ΚΤΙΡΙΩΝ-ΕΩΣ-ΤΟ-2050.pdf. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [15] Ε. Τ. Κ. Τ. Ε. ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ, «Υπ. Απόφαση ΔΕΠΕΑ/οικ.178581/2017 (ΦΕΚ2367/Β/2017),» 12 Ιούλιος 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.kodiko.gr/nomologia/download_fek?f=fek/2017/b/fek_b_2367_2017.pdf&t=69abc9142f5da77550a1c55fc285c97f. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].

- [16] Υ. Π. κ. Ενέργειας, «ΕΘΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΣ – ΠΡΟΣΧΕΔΙΟ ΑΝΑΘΕΩΡΗΜΕΝΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ,» Οκτώβριος 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://commission.europa.eu/document/download/83ffdc95-2d22-4c67-8d4c-a3e59f752921_el?filename=GREECE%20-%20DRAFT%20UPDATED%20NECP%202021-2030%20EL.pdf. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [17] Υ. Π. κ. Ενέργειας, «ΗΛΕΚΤΡΑ,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://hlekttra.gov.gr/home>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [18] Υ. Π. κ. Ενέργειας, «ΟΔΗΓΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ «ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΩ 2023»,» Μάιος 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://exoikonomo2023.gov.gr/documents/10182/7375908/ΟΔΗΓΟΣ+ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΩ+2023.pdf/3a71bc0d-f4e4-4e16-9a0e-5cee01b9cbd3>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [19] Ε. Τ. Κ. Τ. Ε. ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ, «Απόφαση αριθμ. ΥΠΕΝ/ΥΔΕΝ/51828/761 (ΦΕΚ3131/Β/2023),» 11 Μάιος 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://greece20.gov.gr/wp-content/uploads/2023/05/Odigos-Efarmogis_Exoikonomo-gia-neous.pdf. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [20] I. Saraireh και A. Haron, «UNDERSTANDING THE CONCEPTUAL OF BUILDING INFORMATION MODELING: A LITERATURE REVIEW,» *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCET)*, τόμ. 11, αρ. 1, pp. 165-171, <http://www.iaeme.com/ijciet/issues.asp?JType=IJCET&VType=11&IType=1>, 2020.
- [21] Catenda, «3D BIM (Building Information Modeling),» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://catenda.com/glossary/3d-modeling/>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [22] S. Matt, «Understanding 4D BIM Scheduling: A Comprehensive Overview,» Medium, 24 Μάιος 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: Understanding 4D BIM Scheduling: A Comprehensive Overview. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [23] S. Hamil, «BIM dimensions – 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained,» NBS, 9 Σεπτέμβριος 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [24] Z. I. O. TECHNOLOGY, «What is the 5D BIM dimension? Benefits & Examples,» 18 Οκτώβριος 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.e-zigurat.com/en/blog/5d-bim-construction-benefits-examples/>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [25] F. J. Montiel-Santiago, M. J. Hermoso-Orzaez και J. Terrados-Cepeda, «Sustainability and Energy Efficiency: BIM 6D. Study of the BIM Methodology Applied to Hospital Buildings. Value of Interior Lighting and Daylight in Energy Simulation,» *Sustainability*, τόμ. 12, αρ. 14, pp. 5731, <https://doi.org/10.3390/su12145731>, 2020.
- [26] B. AMERICAS, «Unlocking the Potential of 7D BIM: A Comprehensive Guide,» 5 Απρίλιος 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://bimamericas.com/unlocking-the-potential-of-7d-bim-a-compreh/>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [27] S. P. Singh, «TOP 5 BIM Tools & Trends you Should Watch out this Year.,» BIMNCAD, 26 Φεβρουάριος 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available:

- <https://bimncad.com/top-5-bim-tools-trends-you-should-watch-out-for/>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [28] T. B. Engineers, «Understanding the Different Dimensions of BIM: A Guide to 8D, 9D, and 10D BIM,» 8 Ιούνιος 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://thebimengineers.com/blog/view/understanding-the-different-dimensions-of-bim-a-guide-to-8d-9d-and-10d-bim>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [29] B. A. INC. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.bimadroit.ca/bim-pim-aim-digital-twin-iot/>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [30] S. P. Singh, «Top 5 Trending Software's with Maximum Market-share in CAD & AEC Industry,» BIMNCAD, 26 Φεβρουάριος 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://bimncad.com/top-5-trending-softwares-with-maximum-market-share-in-cad-aec-industry/>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [31] mediclinics, «Discover the best software for your BIM projects,» 22 Δεκέμβριος 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.mediclinics.com/en/blog/53_discover-the-best-software-for-your-bim-projects.html. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [32] lodplanner, «The Ultimate BIM Software List for 2019,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.lodplanner.com/bim-software/>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [33] X. Li και J. Wen, «Review of building energy modeling for control and operation,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, τόμ. 37, pp. 517-537, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.056>, 2014.
- [34] A. Kumar και V. Harish, «A review on modeling and simulation of building energy systems,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, τόμ. 56, pp. 1272-1292, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.040>, 2016.
- [35] F. Johari, G. Peronato, P. Sadeghian, X. Zhao και J. Widen, «Urban building energy modeling: State of the art and future prospects,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, τόμ. 128, p. 109902, 2020.
- [36] U. D. o. Energy, «Engineering Reference,» 29 Μάρτιος 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v22.1.0/EngineeringReference.pdf. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [37] ENERGYPLUS, «Getting Started with EnergyPlus | Basic Concepts Manual - Essential Information You Need about Running EnergyPlus,» 12 Οκτώβριος 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://vs.inf.ethz.ch/edu/HS2011/CPS/papers/energyplus_gettingstarted.pdf. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [38] U. D. o. Energy, «Output Details and Examples,» 28 Μάρτιος 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v23.1.0/OutputDetailsAndExamples.pdf. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [39] G. Chinazzo, «Refurbishment of Existing Envelopes in Residential Buildings: assessing robust solutions for future climate change,» Οκτώβριος 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.researchgate.net/publication/281279058_Refurbishment_of_Existing_Envelopes_in_Residential_Buildings_assessing_robust_solutions_for_fut

- ure_climate_change/link/55dece7308aeaa26af0f3047/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6Il9kaXJlY3QiLCJ. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [40] BigLadder, «IDF Editor - Brief Introduction,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-3/getting-started/idf-editor-brief-introduction.html#:~:text=The%20IDF%20Editor%20is%20a>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [41] OpenStudio. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://openstudio.net/>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [42] DesignBuilder, «Documents,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://designbuilder.co.uk/download/documents>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [43] G. Ramos Ruiz, G. Campos Gordillo, Y. Stauffer, S. Dasen και C. Fernandez Bandera, «EplusLauncher: An API to Perform Complex EnergyPlus Simulations in MATLAB® and C#,» *Sustainability*, τόμ. 12, pp. 672, <https://doi.org/10.3390/su12020672>, 2020.
- [44] S. Bucking και M. Rostami, «GenEPJ: A Flexible Python-based EnergyPlus templating library,» σε *Proceedings of ESim 2022: 12th Conference of IBPSA-Canada*, 2022.
- [45] Eppy, «Welcome to eppy's documentation!,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eppy.readthedocs.io/en/latest/>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [46] Geomeppy, «How-to guides,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://geomeppy.readthedocs.io/en/latest/How-to%20guides.html>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [47] bigladder, «Modelkit/Params Framework,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://bigladdersoftware.com/projects/modelkit/>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [48] G. Chiesa, F. Fasano και P. Grasso, «A New Tool for Building Energy Optimization: First Round of Successful Dynamic Model Simulations,» *Energies*, τόμ. 14, p. 6429, 2021.
- [49] NREL, «Building Component Library,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://bcl.nrel.gov>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [50] NREL, «NREL Transforming ENERGY,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nrel.gov>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].
- [51] PREDINFER, «JSON Introduction For Data Science,» 18 Αύγουστος 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.predinfer.com/blog/json-for-data-science/>. [Πρόσβαση 27 Σεπτέμβριος 2024].

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: JSON ΑΡΧΕΙΑ

1^ο ΣΕΝΑΡΙΟ

```
{
  "scenarios": [
    {
      "name": "Add Construction Wall",
      "actions": [
        {
          "type": "substitute",
          "target_component": "BuildingSurface:Detailed",
          "target_objects": ["g SWall SWA", "g WWall SWA", "g NWall NWA"],
          "target_attribute": "Layer_2",
          "material_component": "Material",
          "properties": {
            "Name": "Gypsum Board - 5/8 in.",
            "Roughness": "MediumSmooth",
            "Thickness": 0.015875,
            "Conductivity": 0.16,
            "Density": 800,
            "Specific_Heat": 1090,
            "Thermal_Absorptance": 0.9,
            "Solar_Absorptance": 0.7,
            "Visible_Absorptance": 0.7
          }
        }
      ]
    },
    {
      "name": "Add Construction Roof",
      "actions": [
        {
          "type": "substitute",
          "target_component": "BuildingSurface:Detailed",
          "target_objects": ["t Roof SWA", "t Roof SEA"],
          "target_attribute": "Layer_3",
          "material_component": "Material",
          "properties": {
            "Name": "Metal Surface - 1/16 in.",
            "Roughness": "Smooth",
            "Thickness": 0.0015875,
            "Conductivity": 45.28,
            "Density": 7824,
            "Specific_Heat": 500,
            "Thermal_Absorptance": 0.9,
            "Solar_Absorptance": 0.7,
            "Visible_Absorptance": 0.7
          }
        }
      ]
    }
  ]
}
```

```

    ]
  }
]
}

```

2^o ΣΕΝΑΡΙΟ

```

{
  "scenarios": [
    {
      "name": "Add Construction FLOOR",
      "actions": [
        {
          "type": "substitute",
          "target_objects": ["m GFloor SWA"],
          "target_component": "BuildingSurface:Detailed",
          "target_attribute": "Layer_3",
          "material_component": "Material",
          "properties": {
            "Name": "Oak - 1 in.",
            "Roughness": "MediumSmooth",
            "Thickness": 0.0254,
            "Conductivity": 0.17,
            "Density": 704,
            "Specific_Heat": 1630,
            "Thermal_Absorptance": 0.9,
            "Solar_Absorptance": 0.7,
            "Visible_Absorptance": 0.7
          }
        }
      ]
    },
    {
      "name": "Add Construction Window",
      "actions": [
        {
          "type": "substitute",
          "target_objects": ["GWindow1", "GWindow2", "GWindow4", "GWindow6"],
          "target_component": "FenestrationSurface:Detailed",
          "target_attribute": "Outside_Layer",
          "material_component": "WindowMaterial:Glazing",

```

```

    "properties": {
      "Name": "Glass_2014F_LayerAvg",
      "Optical_Data_Type": "SpectralAverage",
      "Thickness": 0.005700,
      "Solar_Transmittance_at_Normal_Incidence": 0.409440,
      "Front_Side_Solar_Reflectance_at_Normal_Incidence": 4.172736e-01,
      "Back_Side_Solar_Reflectance_at_Normal_Incidence": 2.643448e-01,
      "Visible_Transmittance_at_Normal_Incidence": 0.780889,
      "Front_Side_Visible_Reflectance_at_Normal_Incidence": 0.042293,
      "Back_Side_Visible_Reflectance_at_Normal_Incidence": 0.055485,
      "Infrared_Transmittance_at_Normal_Incidence": 0.000000,
      "Front_Side_Infrared_Hemispherical_Emissivity": 0.042000,
      "Back_Side_Infrared_Hemispherical_Emissivity": 0.840000,
      "Conductivity": 1.000000
    }
  }
]
}
}

```

3^o ΣΕΝΑΡΙΟ

```

{
  "scenarios": [
    {
      "name": "Add Wood Subfloor",
      "actions": [
        {
          "type": "add_layer",
          "target_component": "BuildingSurface:Detailed",
          "target_objects": ["m GFloor SWA", "m GFloor NWA", "m GFloor SEA",
            "m GFloor NEA", "m GFloor N1A"],
          "target_attribute": "Layer_3",
          "material_component": "Material",
          "properties": {
            "Name": "Wood Subfloor - 3/4 in.",
            "Roughness": "MediumSmooth",
            "Thickness": 0.01905,
            "Conductivity": 0.115,
            "Density": 800,
            "Specific_Heat": 1380,
            "Thermal_Absorptance": 0.9,
            "Solar_Absorptance": 0.7,
            "Visible_Absorptance": 0.7
          }
        }
      ]
    }
  ]
}

```

```

    ]
  }
]
}

```

4^ο ΣΕΝΑΡΙΟ

```

{
  "scenarios": [
    {
      "name": "Add Gypsum Board",
      "actions": [
        {
          "type": "add_layer",
          "target_component": "BuildingSurface:Detailed",
          "target_objects": ["t NWall NEA" , "t EWall NEA" , "t NWall N1A" , "t NWall
N2A" , "t SWall S1A"],
          "target_attribute": "Layer_3",
          "material_component": "Material",
          "properties": {
            "Name": "Gypsum Board - 3/4 in.",
            "Roughness": "MediumSmooth",
            "Thickness": 0.01905,
            "Conductivity": 0.16,
            "Density": 800,
            "Specific_Heat": 1090,
            "Thermal_Absorptance": 0.9,
            "Solar_Absorptance": 0.7,
            "Visible_Absorptance": 0.7
          }
        }
      ]
    },
    {
      "name": "Add Metal Surface",
      "actions": [
        {
          "type": "add_layer",
          "target_component": "BuildingSurface:Detailed",
          "target_objects": ["t Roof SWA" , "t Roof NWA" , "t Roof NEA" , "t Roof N1A"],
          "target_attribute": "Layer_4",
          "material_component": "Material",
          "properties": {
            "Name": "Metal Surface - 1/16 in.",
            "Roughness": "Smooth",
            "Thickness": 0.015875,
            "Conductivity": 45.28,
            "Density": 7824,
            "Specific_Heat": 500,
            "Thermal_Absorptance": 0.9,
            "Solar_Absorptance": 0.7,
            "Visible_Absorptance": 0.7
          }
        }
      ]
    }
  ]
}

```

```

    }
  }
]
}
]
}

```

5^ο ΣΕΝΑΡΙΟ

```

"scenarios": [
  {
    "name": "Add New Window",
    "actions": [
      {
        "type": "substitute_layer",
        "target_component": "FenestrationSurface:Detailed",
        "target_objects": ["GWindow3", "GWindow5", "GWindow7", "GWindow8",
"GWindow9"],
        "target_attribute": "Outside_Layer",
        "material_component": "WindowMaterial:Glazing",
        "properties": {
          "Name": "Glass_2014F_LayerAvg",
          "Optical_Data_Type": "SpectralAverage",
          "Thickness": 0.005700,
          "Solar_Transmittance_at_Normal_Incidence": 0.409440,
          "Front_Side_Solar_Reflectance_at_Normal_Incidence": 4.172736e-01,
          "Back_Side_Solar_Reflectance_at_Normal_Incidence": 2.643448e-01,
          "Visible_Transmittance_at_Normal_Incidence": 0.780889,
          "Front_Side_Visible_Reflectance_at_Normal_Incidence": 0.042293,
          "Back_Side_Visible_Reflectance_at_Normal_Incidence": 0.055485,
          "Infrared_Transmittance_at_Normal_Incidence": 0.000000,
          "Front_Side_Infrared_Hemispherical_Emissivity": 0.042000,
          "Back_Side_Infrared_Hemispherical_Emissivity": 0.840000,
          "Conductivity": 1.000000
        }
      }
    ]
  },
  {
    "name": "Add Asphalt Material",
    "actions": [
      {
        "type": "add_layer",
        "target_component": "BuildingSurface:Detailed",
        "target_objects": ["t Roof NEA", "t Roof N2A", "t Roof S1A", "tRoof S2A"],
        "target_attribute": "Layer_4",
        "material_component": "Material",

```

```

    "properties": {
      "Name": "Asphalt Shingles - 1/8 in.",
      "Roughness": "VeryRough",
      "Thickness": 0.003175,
      "Conductivity": 0.04,
      "Density": 1120,
      "Specific_Heat": 1260,
      "Thermal_Absorptance": 0.9,
      "Solar_Absorptance": 0.7,
      "Visible_Absorptance": 0.7
    }
  }
]
}

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: ΚΩΔΙΚΑΣ ΣΕ PYTHON

```
import eppy
import pprint
import json
import os
from eppy import modeleditor
from eppy.modeleditor import IDF
from eppy.runner.run_functions import runIDFs

def load_idf(idf_file_path, idd_file_path):
    IDF.setiddname(idd_file_path)
    idf = IDF(idf_file_path)
    return idf

def edit_object(idf, action):
    print(action)
    idf_object = idf.getobject(action['material_component'], action['name'])
    print(idf_object)
    if idf_object:
        for field, value in action['properties'].items():
            setattr(idf_object, field, value)
    else:
        print(f'Object {action['name']} not found in {action['material_component']}'.)

    return idf

def add_object(idf, action):
    new_object = idf.newidfobject(action['material_component'])
    for field, value in action['properties'].items():
        print(field)
        setattr(new_object, field, value)
    return idf

def delete_object(idf, action):
    idf_object = idf.getobject(action['material_component'], action['fields']['Name'])
    if idf_object:
        idf.removeidfobject(idf_object)
    else:
        print(f'Object {action['properties']['Name']} not found in {action['material_component']}'.)

def substitute_layer(idf, action):

    # add material
    new_object = idf.newidfobject(action['material_component'])
    for field, value in action['properties'].items():
        setattr(new_object, field, value)

    # get targets objects
    first_obj_name = action['target_objects'][0]
    print(first_obj_name)
    idf_object = idf.getobject(action['target_component'], first_obj_name)

    # get current construction name of targets
    current_const_name = idf_object.Construction_Name
    const_object = idf.getobject('Construction', current_const_name)
```

```

print(const_object)

# Create a duplicate of the construction object
duplicate_construction_data = const_object.obj[:]
duplicate_construction = idf.newidfobject('Construction')
duplicate_construction.obj = duplicate_construction_data

# modify the name of the duplicated construction
duplicate_construction.Name = f'{current_const_name} Duplicate'

# modify the Layer of the duplicated construction
setattr(duplicate_construction, action['target_attribute'], action['properties']['Name'])
print(duplicate_construction)

# change construction name for target objects
for obj_name in action['target_objects']:
    idf_object = idf.getobject(action['target_component'], obj_name)
    if idf_object:
        setattr(idf_object, 'Construction_Name', duplicate_construction.Name)
    else:
        print(f'Object {obj_name} not found in {action['material_component']}.')

return idf

def add_layer(idf, action):

    # Add new material to the IDF
    new_object = idf.newidfobject(action['material_component'])
    for field, value in action['properties'].items():
        setattr(new_object, field, value)

    # Get the first target object's name
    first_obj_name = action['target_objects'][0]
    print(first_obj_name)
    idf_object = idf.getobject(action['target_component'], first_obj_name)

    # Get current construction name of the target object
    current_const_name = idf_object.Construction_Name
    const_object = idf.getobject('Construction', current_const_name)
    print(const_object)

    # Create a duplicate of the construction object
    duplicate_construction_data = const_object.obj[:]
    duplicate_construction = idf.newidfobject('Construction')
    duplicate_construction.obj = duplicate_construction_data

    # Modify the name of the duplicated construction
    duplicate_construction.Name = f'{current_const_name} Duplicate'

    # Insert new layer and shift the existing layers
    layers = duplicate_construction.obj[2:] # Get all numbered layers, skipping first 2 fields (Name,
Outside Layer)
    target_layer_idx = int(action['target_attribute'].split('_')[1]) # Define where to insert the new layer

    # Insert the new layer in the correct position
    if target_layer_idx <= len(layers):
        layers.insert(target_layer_idx - 1, action['properties']['Name'])
    else:
        # If the layer index is larger than the current number of layers, just append

```

```

        layers.append(action['properties']['Name'])

# Set the modified layer list back to the construction object
duplicate_construction.obj[2:] = layers

# Print the updated construction for verification
print(duplicate_construction)

# Update construction name for target objects
for obj_name in action['target_objects']:
    idf_object = idf.getobject(action['target_component'], obj_name)
    if idf_object:
        setattr(idf_object, 'Construction_Name', duplicate_construction.Name)
    else:
        print(f"Object {obj_name} not found in {action['material_component']}".)

return idf

def modify_idf(idf, scenarios):
    for sc in scenarios:
        print(sc)
        actions = sc['actions']
        for action in actions:
            print(action)
            mod_type = action['type']
            print(mod_type)
            if mod_type == 'modify_object':
                idf = edit_object(idf, action)
            elif mod_type == 'add_object':
                idf = add_object(idf, action)
            elif mod_type == 'delete_object':
                idf = delete_object(idf, action)
            elif mod_type == 'substitute_layer':
                idf = substitute_layer(idf, action)
            elif mod_type == 'add_layer':
                idf = add_layer(idf, action)
            else:
                print(f"Unknown action type: {mod_type}")

    return idf

def main(idf_file_path, json_file_path, idd_file_path, output_path):
    idf = load_idf(idf_file_path, idd_file_path)

    with open(json_file_path, 'r') as json_file:
        scenarios = json.load(json_file)['scenarios']

    idf = modify_idf(idf, scenarios)

    idf.save(output_path)
    print(f"Modifications applied and saved to {output_path}")

if __name__ == "__main__":
    idf_file_path = "RefBldgMidriseApartmentPost1980_v1.4_7.2_1A_USA_FL_MIAMI_V890.idf"
    idd_file_path = "Energy+.idd"
    json_file_path = "scen11111.json"
    output_file_path = "add_layer_scen11111_V2320.idf"
    main(idf_file_path, json_file_path, idd_file_path, output_file_path)

```

```

def make_eplaunch_options(idf):
    """Make options for run, so that it runs like EPLaunch on Windows"""
    idfversion = idf.idfobjects['version'][0].Version_Identifier.split('.')
    idfversion.extend([0] * (3 - len(idfversion)))
    idfversionstr = '-'.join([str(item) for item in idfversion])
    fname = idf.idfname
    options = {
        # 'ep_version':idfversionstr, # runIDFs needs the version number
        # idf.run does not need the above arg
        # you can leave it there and it will be fine :-)
        'output_prefix':os.path.basename(fname).split('.')[0],
        'output_suffix':'C',
        'output_directory':os.path.dirname(fname),
        'readvars':True,
        'expandobjects':True
    }
    return options

def main():
    iddfile = idd_file_path
    IDF.setiddname(iddfile)
    epwfile = r"C:\EnergyPlusV24-1-0\1A_USA_FL_MIAMI.epw"

    # File is the updated one
    idfname = r"C:\EnergyPlusV24-1-0\testf.idf" #results saved in the same folder as this idf
    idf = IDF(idfname, epwfile)
    theoptions = make_eplaunch_options(idf)
    idf.run(**theoptions)

if __name__ == '__main__':
    main()

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: IDF αρχεία

1^ο ΣΕΝΑΡΙΟ

Παλιό αρχείο:

```
BuildingSurface:Detailed,
g SWall SWA,           !- Name
Wall,                  !- Surface Type
Steel Frame Res Ext Wall, !- Construction Name
G SW Apartment,        !- Zone Name
,                      !- Space Name
Outdoors,              !- Outside Boundary Condition
,                      !- Outside Boundary Condition Object
SunExposed,            !- Sun Exposure
WindExposed,           !- Wind Exposure
AutoCalculate,         !- View Factor to Ground
4,                    !- Number of Vertices
0.0000,0.0000,3.0478, !- X,Y,Z ==> Vertex 1 {m}
0.0000,0.0000,0.0000, !- X,Y,Z ==> Vertex 2 {m}
11.5818,0.0000,0.0000, !- X,Y,Z ==> Vertex 3 {m}
11.5818,0.0000,3.0478; !- X,Y,Z ==> Vertex 4 {m}
```

```
BuildingSurface:Detailed,
g WWall SWA,           !- Name
Wall,                  !- Surface Type
Steel Frame Res Ext Wall, !- Construction Name
G SW Apartment,        !- Zone Name
,                      !- Space Name
Outdoors,              !- Outside Boundary Condition
,                      !- Outside Boundary Condition Object
SunExposed,            !- Sun Exposure
WindExposed,           !- Wind Exposure
AutoCalculate,         !- View Factor to Ground
4,                    !- Number of Vertices
0.0000,7.6196,3.0478, !- X,Y,Z ==> Vertex 1 {m}
0.0000,7.6196,0.0000, !- X,Y,Z ==> Vertex 2 {m}
0.0000,0.0000,0.0000, !- X,Y,Z ==> Vertex 3 {m}
0.0000,0.0000,3.0478; !- X,Y,Z ==> Vertex 4 {m}
```

```
BuildingSurface:Detailed,
t Roof SWA,           !- Name
Roof,                 !- Surface Type
IEAD Res Roof,        !- Construction Name
I SW Apartment,        !- Zone Name
,                      !- Space Name
Outdoors,              !- Outside Boundary Condition
,                      !- Outside Boundary Condition Object
SunExposed,            !- Sun Exposure
WindExposed,           !- Wind Exposure
AutoCalculate,         !- View Factor to Ground
4,                    !- Number of Vertices
11.5818,0.0000,3.0478, !- X,Y,Z ==> Vertex 1 {m}
11.5818,7.6196,3.0478, !- X,Y,Z ==> Vertex 2 {m}
0.0000,7.6196,3.0478, !- X,Y,Z ==> Vertex 3 {m}
0.0000,0.0000,3.0478; !- X,Y,Z ==> Vertex 4 {m}
```

```

BuildingSurface:Detailed,
  t Roof SEA,          !- Name
  Roof,                !- Surface Type
  IEAD Res Roof,       !- Construction Name
  T SE Apartment,      !- Zone Name
  ,                    !- Space Name
  Outdoors,            !- Outside Boundary Condition
  ,                    !- Outside Boundary Condition Object
  SunExposed,          !- Sun Exposure
  WindExposed,         !- Wind Exposure
  AutoCalculate,       !- View Factor to Ground
  4,                   !- Number of Vertices
  11.5818,0.0000,3.0478, !- X,Y,Z ==> Vertex 1 {m}
  11.5818,7.6196,3.0478, !- X,Y,Z ==> Vertex 2 {m}
  0.0000,7.6196,3.0478, !- X,Y,Z ==> Vertex 3 {m}
  0.0000,0.0000,3.0478; !- X,Y,Z ==> Vertex 4 {m}

```

Νέο αρχείο:

```

BuildingSurface:Detailed,
  g SWall SWA,         !- Name
  Wall,                !- Surface Type
  Steel Frame Res Ext Wall Duplicate, !- Construction Name
  G SW Apartment,      !- Zone Name
  ,                    !- Space Name
  Outdoors,            !- Outside Boundary Condition
  ,                    !- Outside Boundary Condition Object
  SunExposed,          !- Sun Exposure
  WindExposed,         !- Wind Exposure
  AutoCalculate,       !- View Factor to Ground
  4,                   !- Number of Vertices
  0,                   !- Vertex 1 Xcoordinate
  0,                   !- Vertex 1 Ycoordinate
  3.0478,              !- Vertex 1 Zcoordinate
  0,                   !- Vertex 2 Xcoordinate
  0,                   !- Vertex 2 Ycoordinate
  0,                   !- Vertex 2 Zcoordinate
  11.5818,             !- Vertex 3 Xcoordinate
  0,                   !- Vertex 3 Ycoordinate
  0,                   !- Vertex 3 Zcoordinate
  11.5818,             !- Vertex 4 Xcoordinate
  0,                   !- Vertex 4 Ycoordinate
  3.0478;              !- Vertex 4 Zcoordinate

```

```

BuildingSurface:Detailed,
  g Wall SWA,           !- Name
  Wall,                 !- Surface Type
  Steel Frame Res Ext Wall Duplicate, !- Construction Name
  G SW Apartment,       !- Zone Name
  ,                     !- Space Name
  Outdoors,             !- Outside Boundary Condition
  ,                     !- Outside Boundary Condition Object
  SunExposed,           !- Sun Exposure
  WindExposed,          !- Wind Exposure
  AutoCalculate,        !- View Factor to Ground
  4,                    !- Number of Vertices
  0,                    !- Vertex 1 Xcoordinate
  7.6196,               !- Vertex 1 Ycoordinate
  3.0478,               !- Vertex 1 Zcoordinate
  0,                    !- Vertex 2 Xcoordinate
  7.6196,               !- Vertex 2 Ycoordinate
  0,                    !- Vertex 2 Zcoordinate
  0,                    !- Vertex 3 Xcoordinate
  0,                    !- Vertex 3 Ycoordinate
  0,                    !- Vertex 3 Zcoordinate
  0,                    !- Vertex 4 Xcoordinate
  0,                    !- Vertex 4 Ycoordinate
  3.0478;               !- Vertex 4 Zcoordinate

```

```

BuildingSurface:Detailed,
  t Roof SWA,           !- Name
  Roof,                 !- Surface Type
  IEAD Res Roof Duplicate, !- Construction Name
  I SW Apartment,       !- Zone Name
  ,                     !- Space Name
  Outdoors,             !- Outside Boundary Condition
  ,                     !- Outside Boundary Condition Object
  SunExposed,           !- Sun Exposure
  WindExposed,          !- Wind Exposure
  AutoCalculate,        !- View Factor to Ground
  4,                    !- Number of Vertices
  11.5818,              !- Vertex 1 Xcoordinate
  0,                    !- Vertex 1 Ycoordinate
  3.0478,               !- Vertex 1 Zcoordinate
  11.5818,              !- Vertex 2 Xcoordinate
  7.6196,               !- Vertex 2 Ycoordinate
  3.0478,               !- Vertex 2 Zcoordinate
  0,                    !- Vertex 3 Xcoordinate
  7.6196,               !- Vertex 3 Ycoordinate
  3.0478,               !- Vertex 3 Zcoordinate
  0,                    !- Vertex 4 Xcoordinate
  0,                    !- Vertex 4 Ycoordinate
  3.0478;               !- Vertex 4 Zcoordinate

```

```

BuildingSurface:Detailed,
  t Roof SEA,           !- Name
  Roof,                 !- Surface Type
  IEAD Res Roof Duplicate, !- Construction Name
  I SE Apartment,       !- Zone Name
  ,                     !- Space Name
  Outdoors,             !- Outside Boundary Condition
  ,                     !- Outside Boundary Condition Object
  SunExposed,           !- Sun Exposure
  WindExposed,          !- Wind Exposure
  AutoCalculate,        !- View Factor to Ground
  4,                    !- Number of Vertices
  11.5818,              !- Vertex 1 Xcoordinate
  0,                    !- Vertex 1 Ycoordinate
  3.0478,               !- Vertex 1 Zcoordinate
  11.5818,              !- Vertex 2 Xcoordinate
  7.6196,               !- Vertex 2 Ycoordinate
  3.0478,               !- Vertex 2 Zcoordinate
  0,                    !- Vertex 3 Xcoordinate
  7.6196,               !- Vertex 3 Ycoordinate
  3.0478,               !- Vertex 3 Zcoordinate
  0,                    !- Vertex 4 Xcoordinate
  0,                    !- Vertex 4 Ycoordinate
  3.0478;               !- Vertex 4 Zcoordinate

```

Construction,

Steel Frame Res Ext Wall Duplicate, !- Name
Wood Siding. !- Outside Layer
Gypsum Board - 5/8 in.; !- Layer 2

Construction,

IEAD Res Roof Duplicate, !- Name
Roof Membrane, !- Outside Layer
IEAD Res Roof Insulation. !- Layer 2
Metal Surface - 1/16 in.; !- Layer 3

MATERIAL,

Gypsum Board - 5/8 in., !- Name
MediumSmooth, !- Roughness
0.015875, !- Thickness
0.16, !- Conductivity
800, !- Density
1090, !- Specific Heat
0.9, !- Thermal Absorptance
0.7, !- Solar Absorptance
0.7; !- Visible Absorptance

MATERIAL,

Metal Surface - 1/16 in., !- Name
Smooth, !- Roughness
0.0015875, !- Thickness
45.28, !- Conductivity
7824, !- Density
500, !- Specific Heat
0.9, !- Thermal Absorptance
0.7, !- Solar Absorptance
0.7; !- Visible Absorptance

2^ο ΣΕΝΑΡΙΟ

Παλιό αρχείο:

BuildingSurface:Detailed,

m GFloor SWA, !- Name
Floor, !- Surface Type
INT-FLOOR-TOPSIDE, !- Construction Name
M SW Apartment, !- Zone Name
, !- Space Name
Surface, !- Outside Boundary Condition
m GFloor SWA, !- Outside Boundary Condition Object
NoSun, !- Sun Exposure
NoWind, !- Wind Exposure
AutoCalculate, !- View Factor to Ground
4, !- Number of Vertices
0.0000,7.6196,0.0000, !- X,Y,Z ==> Vertex 1 {m}
11.5818,7.6196,0.0000, !- X,Y,Z ==> Vertex 2 {m}
11.5818,0.0000,0.0000, !- X,Y,Z ==> Vertex 3 {m}
0.0000,0.0000,0.0000; !- X,Y,Z ==> Vertex 4 {m}

```

FenestrationSurface:Detailed,
  GWindow1,           !- Name
  Window,             !- Surface Type
  Window Res Operable, !- Construction Name
  g SWall SWA,        !- Building Surface Name
  ,                   !- Outside Boundary Condition Object
  AutoCalculate,      !- View Factor to Ground
  ,                   !- Frame and Divider Name
  1.0000,             !- Multiplier
  4,                  !- Number of Vertices
  3.6570,0.0000,2.1731, !- X,Y,Z ==> Vertex 1 {m}
  3.6570,0.0000,0.9540, !- X,Y,Z ==> Vertex 2 {m}
  7.9240,0.0000,0.9540, !- X,Y,Z ==> Vertex 3 {m}
  7.9240,0.0000,2.1731; !- X,Y,Z ==> Vertex 4 {m}

```

```

FenestrationSurface:Detailed,
  GWindow2,           !- Name
  Window,             !- Surface Type
  Window Res Operable, !- Construction Name
  g WWall SWA,        !- Building Surface Name
  ,                   !- Outside Boundary Condition Object
  AutoCalculate,      !- View Factor to Ground
  ,                   !- Frame and Divider Name
  1.0000,             !- Multiplier
  4,                  !- Number of Vertices
  0.0000,5.1414,2.1731, !- X,Y,Z ==> Vertex 1 {m}
  0.0000,5.1414,0.9540, !- X,Y,Z ==> Vertex 2 {m}
  0.0000,2.3983,0.9540, !- X,Y,Z ==> Vertex 3 {m}
  0.0000,2.3983,2.1731; !- X,Y,Z ==> Vertex 4 {m}

```

! G NW Apartment

```

FenestrationSurface:Detailed,
  GWindow4,           !- Name
  Window,             !- Surface Type
  Window Res Operable, !- Construction Name
  g NWall NWA,        !- Building Surface Name
  ,                   !- Outside Boundary Condition Object
  AutoCalculate,      !- View Factor to Ground
  ,                   !- Frame and Divider Name
  1.0000,             !- Multiplier
  4,                  !- Number of Vertices
  7.9240,7.6196,2.1731, !- X,Y,Z ==> Vertex 1 {m}
  7.9240,7.6196,0.9540, !- X,Y,Z ==> Vertex 2 {m}
  3.6570,7.6196,0.9540, !- X,Y,Z ==> Vertex 3 {m}
  3.6570,7.6196,2.1731; !- X,Y,Z ==> Vertex 4 {m}

```

```

FenestrationSurface:Detailed,
  GWindow6,           !- Name
  Window,             !- Surface Type
  Window Res Operable, !- Construction Name
  g WWall NWA,        !- Building Surface Name
  ,                   !- Outside Boundary Condition Object
  AutoCalculate,      !- View Factor to Ground
  ,                   !- Frame and Divider Name
  1.0000,             !- Multiplier
  4,                  !- Number of Vertices
  0.0000,5.1814,2.1731, !- X,Y,Z ==> Vertex 1 {m}
  0.0000,5.1814,0.9540, !- X,Y,Z ==> Vertex 2 {m}
  0.0000,2.4383,0.9540, !- X,Y,Z ==> Vertex 3 {m}
  0.0000,2.4383,2.1731; !- X,Y,Z ==> Vertex 4 {m}

```

Νέο αρχείο:

```
BuildingSurface:Detailed,
  m GFloor SWA,           !- Name
  Floor,                  !- Surface Type
  INT-FL00R-TOPSIDE Duplicate, !- Construction Name
  M SW Apartment,         !- Zone Name
  ,                        !- Space Name
  Surface,                !- Outside Boundary Condition
  m GFloor SWA,          !- Outside Boundary Condition Object
  NoSun,                  !- Sun Exposure
  NoWind,                 !- Wind Exposure
  AutoCalculate,          !- View Factor to Ground
  4,                      !- Number of Vertices
  0,                      !- Vertex 1 Xcoordinate
  7.6196,                 !- Vertex 1 Ycoordinate
  0,                      !- Vertex 1 Zcoordinate
  11.5818,                !- Vertex 2 Xcoordinate
  7.6196,                 !- Vertex 2 Ycoordinate
  0,                      !- Vertex 2 Zcoordinate
  11.5818,                !- Vertex 3 Xcoordinate
  0,                      !- Vertex 3 Ycoordinate
  0,                      !- Vertex 3 Zcoordinate
  0,                      !- Vertex 4 Xcoordinate
  0,                      !- Vertex 4 Ycoordinate
  0;                      !- Vertex 4 Zcoordinate
```

```
FenestrationSurface:Detailed,
  GWindow1,              !- Name
  Window,                !- Surface Type
  Window Res Operable Duplicate, !- Construction Name
  g SWall SWA,           !- Building Surface Name
  ,                      !- Outside Boundary Condition Object
  AutoCalculate,          !- View Factor to Ground
  ,                      !- Frame and Divider Name
  1,                      !- Multiplier
  4,                      !- Number of Vertices
  3.657,                  !- Vertex 1 Xcoordinate
  0,                      !- Vertex 1 Ycoordinate
  2.1731,                 !- Vertex 1 Zcoordinate
  3.657,                  !- Vertex 2 Xcoordinate
  0,                      !- Vertex 2 Ycoordinate
  0.954,                  !- Vertex 2 Zcoordinate
  7.924,                  !- Vertex 3 Xcoordinate
  0,                      !- Vertex 3 Ycoordinate
  0.954,                  !- Vertex 3 Zcoordinate
  7.924,                  !- Vertex 4 Xcoordinate
  0,                      !- Vertex 4 Ycoordinate
  2.1731;                 !- Vertex 4 Zcoordinate
```

```
FenestrationSurface:Detailed,
  GWindow2,              !- Name
  Window,                !- Surface Type
  Window Res Operable Duplicate, !- Construction Name
  g SWall SWA,           !- Building Surface Name
  ,                      !- Outside Boundary Condition Object
  AutoCalculate,          !- View Factor to Ground
  ,                      !- Frame and Divider Name
  1,                      !- Multiplier
  4,                      !- Number of Vertices
  0,                      !- Vertex 1 Xcoordinate
  5.1414,                 !- Vertex 1 Ycoordinate
  2.1731,                 !- Vertex 1 Zcoordinate
  0,                      !- Vertex 2 Xcoordinate
  5.1414,                 !- Vertex 2 Ycoordinate
  0.954,                  !- Vertex 2 Zcoordinate
  0,                      !- Vertex 3 Xcoordinate
  2.3983,                 !- Vertex 3 Ycoordinate
  0.954,                  !- Vertex 3 Zcoordinate
  0,                      !- Vertex 4 Xcoordinate
  2.3983,                 !- Vertex 4 Ycoordinate
  2.1731;                 !- Vertex 4 Zcoordinate
```

```

FenestrationSurface:Detailed,
  GWindow4,           !- Name
  Window,             !- Surface Type
  Window Res Operable Duplicate,  !- Construction Name
  g NWall NWA,        !- Building Surface Name
  ,                   !- Outside Boundary Condition Object
  AutoCalculate,      !- View Factor to Ground
  ,                   !- Frame and Divider Name
  1,                  !- Multiplier
  4,                  !- Number of Vertices
  7.924,              !- Vertex 1 Xcoordinate
  7.6196,             !- Vertex 1 Ycoordinate
  2.1731,             !- Vertex 1 Zcoordinate
  7.924,              !- Vertex 2 Xcoordinate
  7.6196,             !- Vertex 2 Ycoordinate
  0.954,              !- Vertex 2 Zcoordinate
  3.657,              !- Vertex 3 Xcoordinate
  7.6196,             !- Vertex 3 Ycoordinate
  0.954,              !- Vertex 3 Zcoordinate
  3.657,              !- Vertex 4 Xcoordinate
  7.6196,             !- Vertex 4 Ycoordinate
  2.1731;             !- Vertex 4 Zcoordinate

```

```

FenestrationSurface:Detailed,
  GWindow6,           !- Name
  Window,             !- Surface Type
  Window Res Operable Duplicate,  !- Construction Name
  g WWall NWA,        !- Building Surface Name
  ,                   !- Outside Boundary Condition Object
  AutoCalculate,      !- View Factor to Ground
  ,                   !- Frame and Divider Name
  1,                  !- Multiplier
  4,                  !- Number of Vertices
  0,                  !- Vertex 1 Xcoordinate
  5.1814,             !- Vertex 1 Ycoordinate
  2.1731,             !- Vertex 1 Zcoordinate
  0,                  !- Vertex 2 Xcoordinate
  5.1814,             !- Vertex 2 Ycoordinate
  0.954,              !- Vertex 2 Zcoordinate
  0,                  !- Vertex 3 Xcoordinate
  2.4383,             !- Vertex 3 Ycoordinate
  0.954,              !- Vertex 3 Zcoordinate
  0,                  !- Vertex 4 Xcoordinate
  2.4383,             !- Vertex 4 Ycoordinate
  2.1731;             !- Vertex 4 Zcoordinate

```

```

Construction.
  INT-FL00R-TOPSIDE Duplicate,  !- Name
  MAT-CC05 4 HW CONCRETE,       !- Outside Layer
  CP02 CARPET PAD,              !- Layer 2
  Oak - 1 in.;                  !- Layer 3

```

```

Construction,
  Window Res Operable Duplicate,  !- Name
  Glass_2014F_LayerAvg;          !- Outside Layer

```

MATERIAL.

Oak - 1 in.,	!- Name
MediumSmooth,	!- Roughness
0.0254,	!- Thickness
0.17,	!- Conductivity
704,	!- Density
1630,	!- Specific Heat
0.9,	!- Thermal Absorptance
0.7,	!- Solar Absorptance
0.7;	!- Visible Absorptance

WINDOWMATERIAL : GLAZING.

Glass_2014F_LayerAvg,	!- Name
SpectralAverage,	!- Optical Data Type
,	!- Window Glass Spectral Data Set Name
0.0057,	!- Thickness
0.40944,	!- Solar Transmittance at Normal Incidence
0.4172736,	!- Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence
0.2643448,	!- Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence
0.780889,	!- Visible Transmittance at Normal Incidence
0.042293,	!- Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence
0.055485,	!- Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence
0,	!- Infrared Transmittance at Normal Incidence
0.042,	!- Front Side Infrared Hemispherical Emissivity
0.84,	!- Back Side Infrared Hemispherical Emissivity
1,	!- Conductivity
1,	!- Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittance
No,	!- Solar Diffusing
72000000000,	!- Youngs modulus
0.22;	!- Poissons ratio