



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

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ  
ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ  
ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Παντελεήμονα Σαββάκη

**Επιβλέπων: Ευάγγελος Μαρινάκης**

Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.





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

# ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Σαββάκη Παντελεήμονα

Επιβλέπων: Ευάγγελος Μαρινάκης

Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15/07/2024

.....

Δημήτριος Ασκούνης

Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Ευάγγελος Μαρινάκης

Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούνιος, 2024



.....

Παντελεήμων Σαββάκης

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

Copyright © Παντελεήμων Σαββάκης 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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



## Περίληψη

Είναι γεγονός ότι τις τελευταίες δεκαετίες η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, λόγω της ραγδαίας προόδου της τεχνολογίας, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια, η οποία επιβαρύνει σημαντικά την κλιματική αλλαγή, καθιστώντας επιτακτική την ανάγκη για βελτιωμένες ενεργειακές πρακτικές. Ένεκα τούτου, επιβάλλεται να δοθεί έμφαση στην ενεργειακή αποδοτικότητα, η οποία ορίζεται ως η βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας για την επίτευξη της ίδιας ή καλύτερης απόδοσης με λιγότερη εισροή ενέργειας. Η εφαρμογή ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών και πρακτικών επιτρέπει στα κτίρια να μειώσουν σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας, μειώνοντας παράλληλα τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για την ενίσχυση της κλιματικής ανθεκτικότητας.

Η χρήση μαθηματικών μοντέλων ενεργειακής αποδοτικότητας από σύγχρονα υπολογιστικά συστήματα είναι πλέον αναγκαία, λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων προς ανάλυση σε συνδυασμό με την ταχύτητα υπολογισμού των συστημάτων αυτών. Σε αυτό το πλαίσιο, η παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρεί αρχικά να περιγράψει τις βασικές αρχές αύξησης της ενεργειακής αποδοτικότητας, καθώς και τις ήδη υφιστάμενες τεχνολογικές λύσεις που σχετίζονται με αυτές. Επιπρόσθετα, έχει ως στόχο τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός εργαλείου ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων, το οποίο θα χρησιμοποιεί τους κατάλληλους αλγορίθμους και θα έχει τη δυνατότητα να παράγει αποτελέσματα, αξιοποιώντας τα δεδομένα που εισάγει ο χρήστης.

Στο παρόν σύγγραμμα παρουσιάζονται τα εργαλεία λογισμικού που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή μιας διαδικτυακής εφαρμογής, στο φιλικό περιβάλλον της οποίας, ένας χρήστης θα μπορεί να εισάγει την παρούσα κατάσταση της οικίας του και τον στόχο της ανακαίνισης. Κατόπιν τούτου, το εργαλείο του προτείνει τις βέλτιστες αναβαθμίσεις. Στη συνέχεια, αναλύονται οι σχεδιαστικές επιλογές και υλοποιήσεις που πραγματοποιήθηκαν για την κατασκευή της διαδρομής των δεδομένων, από τη συλλογή τους από τον χρήστη μέχρι την απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Ακολουθεί η περιγραφή και επεξήγηση των βασικών οθονών και των λειτουργιών που επιτελεί το εργαλείο ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων στην τελική του μορφή, καθώς και κάποια σενάρια χρήσης. Εν κατακλείδι, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της εφαρμογής, καθώς και προτάσεις για τη μελλοντική της ανάπτυξη.

**Λέξεις κλειδιά:** Ενεργειακή αποδοτικότητα, ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων, λήψη αποφάσεων πολυκριτήρια ανάλυση





## Abstract

In recent decades, the improvement of living standards due to the rapid advancement of technology has resulted in increased energy consumption in buildings, which significantly contributes to climate change, making the need for improved energy practices imperative. Consequently, it is crucial to focus on energy efficiency, which is defined as the optimization of energy use to achieve the same or better performance with less energy input. The implementation of energy-efficient technologies and practices allows buildings to significantly reduce energy consumption, thereby decreasing greenhouse gas emissions and supporting environmental sustainability.

The use of mathematical models of energy efficiency by modern computer systems is now necessary due to the large amount of data to be analyzed in combination with the calculation speed of these systems. In this context, this thesis initially attempts to describe the basic principles of increasing energy efficiency as well as the already existing technological solutions related to them. Subsequently, it aims to design and implement a building energy upgrade tool that will use appropriate algorithms and has the ability to produce results by utilizing the data entered by the user.

This paper presents the software tools used to build a user-friendly web application in which a user will be able to enter the current state of his home and the goal of the renovation, and the tool will suggest the best possible upgrades. Then, the design choices and implementations carried out to construct the data pathway from user collection to result visualization are analyzed. This is followed by a description and explanation of the main screens and functions of the building energy upgrade tool in its final form, as well as some usage scenarios. Finally, the results and conclusions derived from the completion of the thesis are presented, including the advantages and disadvantages of the application, as well as suggestions for its future development.

**Keywords:** Energy efficiency, energy upgrading of buildings, decision making, multi-criteria analysis



## Πρόλογος

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο ολοκλήρωσης του προπτυχιακού κύκλου σπουδών της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η εργασία ανατέθηκε από το Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης και έχει ως θέμα τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη μιας εφαρμογής υποστήριξης ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας διαδικτυακής εφαρμογής η οποία θα συλλέγει από τον χρήστη τα δεδομένα για την παρούσα κατάσταση της οικίας του, θα εφαρμόζει τις κατάλληλες μεθόδους σε αυτά και, τέλος, θα παρουσιάζει τις βέλτιστες δυνατές αναβαθμίσεις. Απώτερος στόχος είναι η ύπαρξη ενός εργαλείου, ανοιχτού κώδικα, ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων το οποίο θα καλύπτει την βελτίωση ενός σημαντικού αριθμού κατασκευαστικών χαρακτηριστικών.



# Πίνακας Περιεχομένων

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>19</b>
1.1	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ	19
1.2	ΦΑΣΕΙΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	20
1.3	ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΟΥ ΤΟΜΟΥ	23
<b>2</b>	<b>ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ</b>	<b>25</b>
2.1	ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ	25
2.2	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΈΝΩΣΗ	26
2.3	ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΈΝΩΣΗ	27
2.4	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	30
2.5	ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	38
2.6	ΤΕΕ Κ.ΕΝ.Α.Κ	39
<b>3</b>	<b>ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ</b>	<b>41</b>
3.1	ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	41
3.1.1	<i>Wattwatchers</i>	41
3.1.2	<i>Energy Star Portfolio Manager</i>	41
3.1.3	<i>Opower</i>	42
3.1.4	<i>My Emissions</i>	43
3.2	ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	44
<b>4</b>	<b>ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ</b>	<b>46</b>
4.1	ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	46
4.1.1	<i>Sketch Up</i>	46
4.1.2	<i>Energy Plus</i>	46
4.1.3	<i>Γλώσσα Προγραμματισμού Python</i>	46
4.2	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ SKETCH UP	47
4.3	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ENERGY PLUS	50
4.3.1	<i>Περιβάλλον EP-Launch</i>	50
4.3.2	<i>Παράμετροι Προσομοίωσης (Simulation Parameters)</i>	50
4.3.3	<i>Τοποθεσία και Κλίμα (Location and Climate)</i>	51
4.3.4	<i>Χρονοδιαγράμματα</i>	51
4.3.5	<i>Ροή Αέρα (Airflow)</i>	55
4.3.6	<i>Εσωτερικά θερμικά κέρδη (Internal Gains)</i>	57
4.3.7	<i>Δομικά Χαρακτηριστικά</i>	60
4.4	ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ENERGY PLUS ΚΑΙ ΤΗΣ PYTHON	61
4.4.1	<i>Αλλαγές στον Προσανατολισμό</i>	61
4.4.2	<i>Αλλαγές στους Εξωτερικούς Τοίχους</i>	61
4.4.3	<i>Αλλαγές στα Παράθυρα</i>	62
4.4.4	<i>Αλλαγές στην Οροφή</i>	63
4.4.5	<i>Αλλαγές στην Ισχύ των Λαμπτήρων</i>	64
4.4.6	<i>Προσθήκη Σκίασης στα Παράθυρα</i>	64
4.4.7	<i>Φωτοβολταϊκά στην στέγη</i>	66
4.5	ΕΞΑΓΩΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	67
4.6	ΑΛΛΑΓΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΓΛΩΣΣΑ PYTHON	68
4.6.1	<i>Εναλλακτικοί Τρόποι Θέρμανσης</i>	68

4.6.2	<i>Εναλλακτικοί Τρόποι Ψύξης.....</i>	70
4.6.3	<i>Αλλαγές στις Ηλεκτρικές Συσκευές.....</i>	71
<b>5</b>	<b>ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....</b>	<b>74</b>
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	74
5.2	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	74
5.3	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	80
5.4	ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ TOPSIS.....	91
<b>6</b>	<b>ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ.....</b>	<b>99</b>
6.1	ΣΕΝΑΡΙΟ 1: ΧΩΡΙΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΡΗΣΤΗ ΤΗΝ ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	101
6.2	ΣΕΝΑΡΙΟ 2: ΧΩΡΙΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΡΗΣΤΗ ΤΗΝ ΜΕΓΙΣΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ .....	105
6.3	ΣΕΝΑΡΙΟ 3: ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ .....	109
<b>7</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ .....</b>	<b>111</b>
7.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	111
7.2	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ .....	112
7.3	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ .....	113
7.3.1	<i>Περιορισμοί Συνολική Εφαρμογής.....</i>	<i>113</i>
7.3.2	<i>Περιορισμοί στην Αρχιτεκτονική των κτιρίων.....</i>	<i>114</i>
7.3.3	<i>Περιορισμοί επιλογών στις δυνατότητες αναβάθμισης.....</i>	<i>114</i>
7.3.4	<i>Περιορισμοί εφαρμογής στις τιμές των καυσίμων.....</i>	<i>114</i>
7.4	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ.....	114
<b>8</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>116</b>

## Πίνακας Εκθεμάτων

Εικόνα 1 - 1η Φάση Υλοποίησης .....	21
Εικόνα 2 - 2η Φάση Υλοποίησης .....	21
Εικόνα 3 - 3η Φάση Υλοποίησης .....	22
Εικόνα 4 - 4η Φάση Υλοποίησης .....	23
Εικόνα 5 - 5η Φάση Υλοποίησης .....	23
Εικόνα 6 - Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2021 .....	27
Εικόνα 7 - Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ευρωπαϊκή Ένωση 1990-2021 [23] .....	27
Εικόνα 8 - Συνολική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα 2000-2019 [31] .....	30
Εικόνα 9 - Συνολική κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο στην Ελλάδα 2000-2019 [31] .....	31
Εικόνα 10 - Συνολική κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα στην Ελλάδα 2000-2019 [31].....	32
Εικόνα 11 - Ενεργειακό μείγμα για την κάλυψη των αναγκών του κτιριακού τομέα στην Ελλάδα 2000-2019 [31] .....	32
Εικόνα 12 - Ενεργειακές ανάγκες του κτιριακού τομέα στην Ελλάδα 2000-2019 [31].....	33
Εικόνα 13 - Τεχνικός δείκτης ενεργειακής απόδοσης (ODEX) του κτιριακού τομέα στην Ελλάδα 2000-2019 [31] .....	33
Εικόνα 14 - Συνολική κατανάλωση ενέργειας στον βιομηχανικό τομέα στην Ελλάδα 2000-2019 [31].....	34
Εικόνα 15 - Ενεργειακό μείγμα για την κάλυψη των αναγκών του βιομηχανικού τομέα στην Ελλάδα 2000-2019 [31] .....	35
Εικόνα 16 - Τεχνικός δείκτης ενεργειακής απόδοσης (ODEX) του βιομηχανικού τομέα στην Ελλάδα 2000-2019 .....	35
Εικόνα 17 - Συνολική κατανάλωση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών στην Ελλάδα 2000-2019 [31] .....	36
Εικόνα 18 - Ενεργειακό μείγμα για την κάλυψη των αναγκών του τομέα των μεταφορών στην Ελλάδα 2000-2019 [31].....	36
Εικόνα 19 - Ενεργειακές ανάγκες των μέσων μεταφοράς στην Ελλάδα 2000-2019 [31].....	37
Εικόνα 20 - Τεχνικός δείκτης ενεργειακής απόδοσης (ODEX) του τομέα των μεταφορών στην Ελλάδα 2000-2019 [31].....	37
Εικόνα 21 – Τρισδιάστατα μοντέλα που δημιουργήθηκαν στο Sketch σε τ.μ.....	47
Εικόνα 22 - Ορισμός θερμικών ζωνών .....	48
Εικόνα 23 - Εμφάνιση κτιρίου με την εντολή Render By Thermal Zone .....	49
Εικόνα 24 - Εμφάνιση του κτιρίου με την εντολή View model in X-Ray Mode .....	49
Εικόνα 25 - EP-Launch .....	50
Εικόνα 26 - Εισαγωγή δεδομένων καιρού .....	50
Εικόνα 27 – Παράμετροι προσομοίωσης .....	51
Εικόνα 28 - Χρονοδιαγράμμα πυκνότητας ανθρώπινης Δευτέρα-Παρασκευή .....	52
Εικόνα 29 - Χρονοδιαγράμμα λειτουργίας τεχνητού φωτισμού .....	53
Εικόνα 30- Χρονοδιαγράμμα θέρμανσης.....	54
Εικόνα 31 - Χρονοδιαγράμμα ψύξης.....	55
Εικόνα 32 - Διείσδυση Αέρα Μέσα από του Τοίχους ("ZoneInfiltration:DesignFlowRate") ..	56
Εικόνα 33 - Φυσικός Αερισμός ("ZoneVentilation:DesignFlowRate") .....	57

Εικόνα 34 - Internal Gains- People .....	58
Εικόνα 35 - Lights.....	59
Εικόνα 36 – Δομικά υλικά και οι τιμές των 5 βασικών θερμικών ιδιοτήτων .....	60
Εικόνα 37 – Δομικά στοιχεία κτιρίων .....	61
Εικόνα 38 – Δυνατές Επιλογές για τους Εξωτερικούς τοίχους.....	62
Εικόνα 39 – Dow .....	62
Εικόνα 40 – Δυνατές Επιλογές για τα Παράθυρα .....	63
Εικόνα 41 – Δομικά Υλικά Παραθύρων .....	63
Εικόνα 42 – Διαφορετικές Επιλογές Οροφής.....	64
Εικόνα 43 – Προσθήκη Σκίασης.....	65
Εικόνα 44 – Παράθυρα με σκίαστρα.....	65
Εικόνα 45 – Ρυθμίσεις σκίασης .....	66
Εικόνα 46 – Φωτοβολταϊκά στο Sketch Up.....	67
Εικόνα 47 – Output File Energy Plus.....	68
Εικόνα 48 – Σκελετός Αρχείου HTML .....	75
Εικόνα 49 – Δομή Επιλογής με την Ionic.....	78
Εικόνα 50 – Κεντρική σελίδα Firebase .....	79
Εικόνα 51 – Μετατροπή από πίνακα Excel σε JSON .....	81
Εικόνα 52 – Οργανόγραμμα για περιήγηση χρήστη στην εφαρμογή.....	83
Εικόνα 53 – Αρχική σελίδα Εφαρμογής .....	84
Εικόνα 54 – Ερωτηματολόγιο .....	85
Εικόνα 55 – Ερωτηματολόγιο (2) .....	86
Εικόνα 56 – Ερωτηματολόγιο αν δεν συμπληρωθεί κάποιο πεδίο .....	88
Εικόνα 57 – Επεξεργασία Δεδομένων .....	89
Εικόνα 58 – Δυσδιάστατος πίνακας πολυκριτήριας ανάλυσης TOPSIS [59].....	91
Εικόνα 59 – Είδος και κόστος συσκευών .....	93
Εικόνα 60 –Επιλογή προτεραιότητας χρήστη .....	97
Εικόνα 61 –Οθόνη Αποτελεσμάτων .....	98
Εικόνα 62 –Κτίριο προς αναβάθμιση .....	100
Εικόνα 63 - Προτεινόμενες αναβαθμίσεις σενάριο 1 .....	101
Εικόνα 64 - Τιμές κριτηρίων TOPSIS σενάριο 1 .....	102
Εικόνα 65 - District Heating (kWh) για 1 Επιλογή σεναρίου 1 .....	103
Εικόνα 66 - Χρήματα στο έτος για θέρμανση για 1 Επιλογή σεναρίου 1 .....	103
Εικόνα 67 - District Cooling (kWh) για 1 Επιλογή σεναρίου 1.....	104
Εικόνα 68 - Χρήματα στο έτος για ψύξη για 1 Επιλογή σεναρίου 1 .....	104
Εικόνα 69 - Πίνακας αναβαθμίσεων σενάριο 2 .....	105
Εικόνα 70 - Τιμές κριτηρίων πολυκριτήριας ανάλυσης σενάριο 2 .....	106
Εικόνα 71 - District Heating( kWh) για 1 <sup>η</sup> επιλογή σενάριο 2 .....	107
Εικόνα 72 - Ανθρακικό αποτύπωμα για θέρμανση (kg CO2) για 1 <sup>η</sup> επιλογή σενάριο 2.....	107
Εικόνα 73 - District Cooling( kWh) για 1 <sup>η</sup> επιλογή σενάριο 2 .....	108
Εικόνα 74 - Ανθρακικό αποτύπωμα για ψύξη (kg CO2) για 1 <sup>η</sup> επιλογή σενάριο 2.....	108
Εικόνα 75 - 1 <sup>η</sup> επιλογή σενάριο 3.....	109
Εικόνα 76 - Κριτήρια Πολυκριτήριας Ανάλυσης σενάριο 3 .....	110







# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Αντικείμενο και Σκοπός

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας, ειδικά κατά τις τελευταίες δεκαετίες, έχουν εκτεταμένες συνέπειες στο κλίμα του πλανήτη. Τα ορυκτά καύσιμα εκπέμπουν αέρια, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), στην ατμόσφαιρα, τα οποία παγιδεύουν την θερμότητα που εκπέμπεται από την Γη, δημιουργώντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου [1]. Έχει παρατηρηθεί ότι απόρροια του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι η σταδιακή αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας και, ως φυσικό επακόλουθό της, η αύξηση του επιπέδου της θάλασσας και η εντατικοποίηση των καιρικών φαινομένων, τα οποία θέτουν μια πρόκληση εξαιρετικής σημασίας στον κλάδο των κτιρίων [2]. Το σύνολο των αρνητικών αυτών επιπτώσεων εκπίπτουν στον όρο κλιματική αλλαγή.

Σημαντικό μερίδιο στην διαιώνιση και εντατικοποίηση του παραπάνω φαινομένου κατέχει ο ενεργειακός τομέας που είναι υπεύθυνος για την παραγωγή και τη μεταφορά της ενέργειας, τόσο στον κτιριακό όσο και τον βιομηχανικό τομέα, καθώς και στον τομέα των μεταφορών και της γεωργίας. Οι παραδοσιακές τεχνικές παραγωγής ενέργειας βασιζόντουσαν κυρίως στην καύση υδρογονανθράκων, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Οι προαναφερόμενες μέθοδοι παραγωγής ενέργειας απελευθερώνουν σημαντικές ποσότητες ρυπογόνων ουσιών στην ατμόσφαιρα, όπως μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), επιταχύνοντας την κλιματική αλλαγή [3]. Εξαιτίας αυτού, έχουν αναληφθεί πολλές διεθνείς πρωτοβουλίες με στόχο την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), μέσω ενός ολοκληρωμένου νομικού πλαισίου, προσπαθεί να αντιμετωπίσει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Βάση αυτού του πλαισίου είναι ο Ευρωπαϊκός Νόμος για το Κλίμα, που εγκρίθηκε το 2021, ο οποίος θέτει ως απώτερο στόχο την εκπομπή μηδενικών αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050 και θέτει δεσμευτικούς ενδιάμεσους στόχους για το 2030 [4]. Η εν λόγω νομοθεσία υποχρεώνει τα κράτη μέλη, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, να θεσμοθετήσουν και να εφαρμόσουν εθνικούς νόμους και κανονισμούς για την επίτευξη των ανωτέρων στόχων [5]. Ένεκα τούτου, η Ελλάδα ενέκρινε πρόσφατα, το 2022, τον Εθνικό Νόμο για το Κλίμα, ο οποίος θεσπίζει ένα εθνικό πλαίσιο για τη μετάβαση στην κλιματική ουδετερότητα και συμπεριλαμβάνει μέτρα για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης [6].

Για την επίτευξη των στόχων της Ευρωπαϊκής Νομοθεσίας είναι επιτακτική η μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά, αιολικά πάρκα και τη γεωθερμική ενέργεια. Πέραν από την υιοθέτηση φιλικών προς το περιβάλλον

μεθόδων παραγωγής ενέργειας, εξίσου είναι σημαντική και η μείωση της απαιτούμενης ενέργειας. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτή η μείωση είναι απαραίτητη η αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Η ενεργειακή αποδοτικότητα καλύπτει μια πληθώρα στρατηγικών οι οποίες στοχεύουν στην μείωση της ποσότητας της ενέργειας που απαιτείται για την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης διαδικασίας.

Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας συνεπάγεται αυξημένα οικονομικά οφέλη για καταναλωτές και επιχειρήσεις, καθώς ελαττώνεται αισθητά το κόστος των λογαριασμών ενέργειας [7]. Επιπλέον, οι αναβαθμίσεις στην ενεργειακή αποδοτικότητα βελτιώνουν την ποιότητα και την άνεση των κτιρίων, μειώνοντας την ατμοσφαιρική και υδατική ρύπανση που συνδέεται με την παραγωγή ενέργειας [8].

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται η ανάπτυξη μιας διαδικτυακής εφαρμογής η οποία επικεντρώνεται στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στον κτιριακό τομέα. Συγκεκριμένα, με την χρήση προγραμμάτων προσομοίωσης (Sketch Up, Energy PLUS), γλωσσών προγραμματισμού (Python, Javascript, HTML, CSS) και πολυκριτήριας ανάλυσης (TOPSIS) γίνεται προσπάθεια προκειμένου να επιτευχθεί η επίλυση του προβλήματος της ενεργειακής αναβάθμισης σε είδη υφιστάμενα κτίρια.

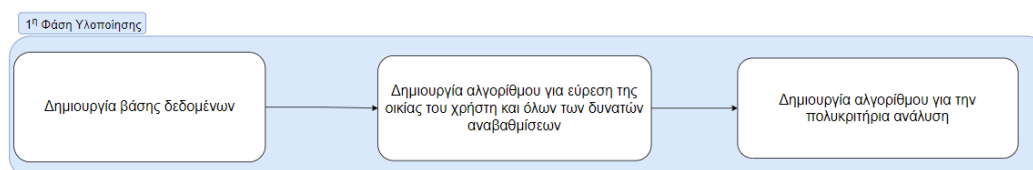
Η χρήση των προαναφερόμενων εργαλείων συγκεντρώνεται σε μια σύγχρονη και φιλική για τον χρήστη εφαρμογή, στόχος της οποίας είναι να χρησιμοποιηθεί από ιδιώτες που επιθυμούν την ενεργειακή αναβάθμιση των κατοικιών τους στους τομείς της θερμικής μόνωσης, των ηλεκτρικών συσκευών και του φωτισμού. Επίσης, σημαντικό χαρακτηριστικό της είναι το ότι έχει σχεδιαστεί και έχει υλοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εύκολα επεκτάσιμη, προκειμένου να μπορούν στο μέλλον, εφόσον αυτό κριθεί αναγκαίο, να προστεθούν επιπλέον διαδικασίες.

## 1.2 Φάσεις Υλοποίησης

Πριν ξεκινήσει η υλοποίηση της εφαρμογής, συζητήθηκαν σε θεωρητικό επίπεδο ο στόχος, τα περιεχόμενα και τα σενάρια χρήσης της. Αφού αποφασίστηκε το αντικείμενό της, μελετήθηκαν σχολαστικά οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν. Το στάδιο της μελέτης ήταν κεφαλαιώδους σημασίας καθώς παρείχε την απαραίτητη γνώση ώστε να κατασκευαστούν στην συνέχεια ορθά οι αλγόριθμοι υπολογισμού. Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η επιλογή του λογισμικού και των εργαλείων που οδήγησαν στην κατασκευή ενός αποδοτικού και επεκτάσιμου εργαλείου λήψης αποφάσεων. Στο τελευταίο στάδιο, αφού πρώτα αναλύθηκαν τα περιεχόμενα του μαθήματος «Πολυκριτήρια Ανάλυση» της ΣΗΜΜΥ του ΕΜΠ, έγινε η επιλογή της πολυκριτήριας ανάλυσης που χρησιμοποιεί η εφαρμογή. Η επιλογή βασίστηκε, τόσο στο κατά πόσο εκτεταμένα αναλύεται στο μάθημα όσο και στην επάρκεια των δεδομένων εισόδου, ώστε να ελεγχθεί η αξιοπιστία της υλοποίησης.

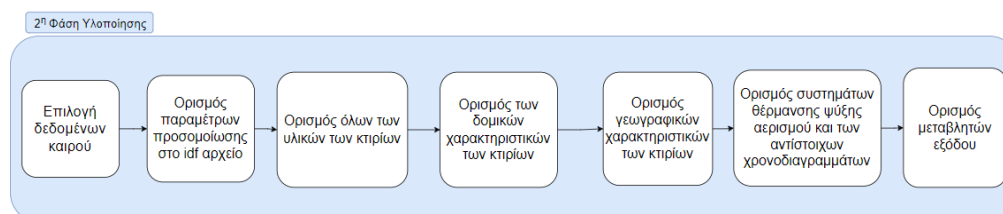
Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε μεταξύ Σεπτεμβρίου 2023 και Μαΐου 2024. Οι φάσεις της υλοποίησής της παρουσιάζονται παρακάτω:

**1<sup>η</sup> Φάση Υλοποίησης:** Όπως αποτυπώνεται στην Εικόνα 1, η πρώτη φάση υλοποίησης εκκινεί με την κατασκευή των κτιρίων από αρχιτεκτονικής απόψεως στο Sketch Up. Έπειτα, με τη χρήση κατάλληλου εργαλείου ρυθμίστηκαν διάφορες παράμετροι, προκειμένου να μπορεί να εξαχθεί από το Sketch Up ένα αρχείο, συμβατό με το Energy plus, το οποίο περιέχει τα βασικά δομικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, καθώς και τις διάφορες ιδιότητες τους.



Εικόνα 1 - 1η Φάση Υλοποίησης

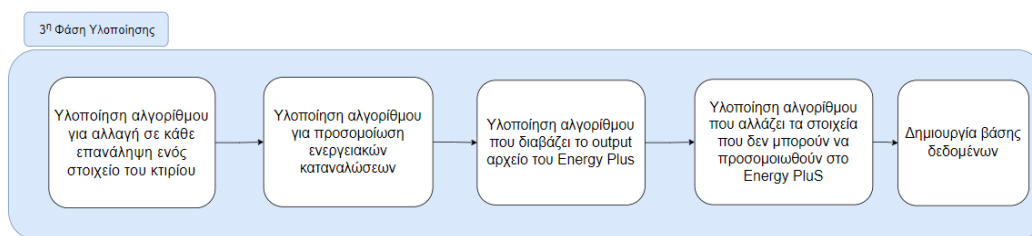
**2<sup>η</sup> Φάση Υλοποίησης:** Σε αυτή τη φάση της υλοποίησης επιλέγονται τα δεδομένα καιρού τα οποία χρησιμοποιούνται κατά την προσομοίωση. Επιπλέον, γίνονται αλλαγές στα αρχεία που εξάχθηκαν από το Sketch Up, προκειμένου να ορισθούν οι διάφορες παράμετροι της προσομοίωσης. Τα αρχεία που προέκυψαν περιέχουν δεδομένα για όλους τους πιθανούς τύπους κτιρίων, τα οποία μπορεί να έχει ο χρήστης, καθώς και τις πιθανές αναβαθμίσεις τους. Συγκεκριμένα, ορίστηκαν όλα τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή των κτιρίων. Με τα εν λόγω υλικά δημιουργήθηκαν τα δομικά χαρακτηριστικά των κτιρίων, όπως οι τοίχοι και τα ανοίγματα. Επιπρόσθετα, ορίστηκαν τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά των κτιρίων, όπως η τοποθεσία και ο προσανατολισμός. Στη συνέχεια, ορίστηκαν τα συστήματα θέρμανσης ψύξης και αερισμού, καθώς και τα αντίστοιχα χρονοδιαγράμματά τους. Τέλος, προσδιορίστηκαν οι μεταβλητές που πρέπει να μετρούνται κατά την προσομοίωση και ορίστηκαν οι μονάδες μέτρησης και η δομή με την οποία θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα.



Εικόνα 2 - 2η Φάση Υλοποίησης

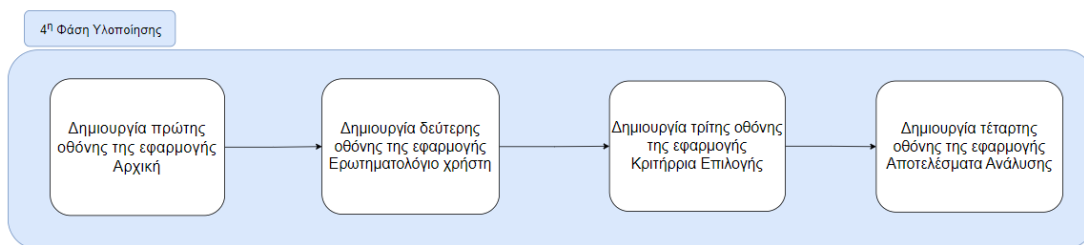
**3<sup>η</sup> Φάση Υλοποίησης:** Η φάση αυτή επικεντρώνεται στη δημιουργία του αλγορίθμου με τον οποίο προσομοιώθηκαν όλα τα πιθανά σενάρια αλλαγών που μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα κτίριο. Συγκεκριμένα, πρώτα υλοποιείται ο αλγόριθμος που είναι

υπεύθυνος για να αλλάζει σε κάθε επανάληψη ένα μόνο στοιχείο του κτιρίου, ενώ όλα τα υπόλοιπα να παραμένουν ίδια. Στην συνέχεια, μέσω του αλγορίθμου γίνεται η προσομοίωση των ενεργειακών καταναλώσεων του κτιρίου. Έτσι, εξασφαλίζεται ότι στην βάση δεδομένων κάθε κτίριο είναι μοναδικό. Η βάση δεδομένων περιέχει όλα τα πιθανά κτίρια και έχει μήκος ίσο με τον γραμμικό συνδυασμό όλων των πιθανών αλλαγών. Έπειτα, δημιουργείται το κομμάτι του κώδικα που διαβάζει το αρχείο εξόδου κάθε προσομοίωσης και διαλέγει από αυτό μόνο τα νούμερα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην πολυκριτήρια ανάλυση. Τέλος, δημιουργείται ο κώδικας ο οποίος περιέχει τις αλλαγές οι οποίες δεν μπορούν να προσομοιωθούν μέσω του Energy Plus. Ταυτόχρονα, υπολογίζονται για κάθε κτίριο οι μεταβλητές της πολυκριτήριας ανάλυσης.



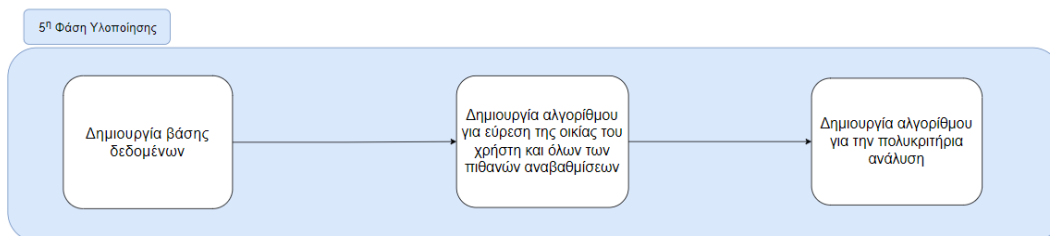
Εικόνα 3 - 3η Φάση Υλοποίησης

**4<sup>η</sup> Φάση Υλοποίησης:** Σε αυτή τη φάση της υλοποίησης δημιουργείται το frontend της εφαρμογής. Συγκεκριμένα, το frontend της εφαρμογής δημιουργήθηκε με την χρήση των γλωσσών προγραμματισμού HTML, CSS και JavaScript. Ο ρόλος του είναι να διευκολύνει την διεπαφή του χρήστη με τον υπολογιστή. Το frontend αποτελείται από 3 διαφορετικές οθόνες. Ειδικότερα, η πρώτη οθόνη περιέχει ερωτήσεις για τα χαρακτηριστικά της οικίας του χρήστη και του παρέχει επιλογές, με βάση τα προκαθορισμένα χαρακτηριστικά που έχουν οριστεί στις προηγούμενες φάσεις. Αφού ο χρήστης απαντήσει σε όλες τις ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής, οδηγείται σε μια νέα οθόνη στην οποία καλείται να επιλέξει τον στόχο της ανακαίνισης που θέλει να πραγματοποιήσει. Τέλος, δημιουργείται η τελευταία οθόνη της εφαρμογής, στην οποία ο χρήστης βλέπει τις καταλληλότερες προτάσεις για αναβάθμιση, καθώς και τα οφέλη που έχουν στις τιμές των κριτηρίων της πολυκριτήριας ανάλυσης.



Εικόνα 4 - 4η Φάση Υλοποίησης

**5<sup>η</sup> Φάση Υλοποίησης:** Η φάση αυτή επικεντρώνεται στη δημιουργία του backend της εφαρμογής. Το backend υλοποιήθηκε με την χρήση του Ionic web framework που είναι μια επέκταση του Angular. Ο ρόλος του είναι να λαμβάνει τις πληροφορίες από το frontend, όπως τα χαρακτηριστικά της οικίας που εισάγει ο χρήστης, να τις επεξεργάζεται και να στέλνει τα αποτελέσματα της επεξεργασίας πάλι πίσω στο frontend, για να απεικονιστούν. Συγκεκριμένα, η επεξεργασία των δεδομένων διαιρείται σε 2 στάδια. Πρώτα επιλέγεται η οικία του χρήστη από τη βάση δεδομένων και όλα τα κτίρια που αποτελούν αναβαθμίσεις της. Στην συνέχεια, όλα αυτά τα κτίρια αποτελούν εισόδους της πολυκριτήριας ανάλυσης TOPSIS, η οποία θα επιλέξει, σύμφωνα με τον στόχο του χρήστη, την οικία με τις βέλτιστες αναβαθμίσεις.



Εικόνα 5 - 5η Φάση Υλοποίησης

### 1.3 Οργάνωση του Τόμου

Το σύγγραμμα χωρίζεται σε επτά κεφάλαια:

- Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται το αντικείμενο, ο σκοπός και οι φάσεις υλοποίησης της διπλωματικής εργασίας.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται συνοπτικά οι προκλήσεις που παρουσιάζει η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε διάφορους τομείς. Παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με τις τωρινές καταναλώσεις των τομέων στην Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση, καθώς και το νομοθετικό πλαίσιο που στοχεύει στη μείωση αυτών των καταναλώσεων.
- Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι υπάρχουσες τεχνολογίες και σύγχρονες, σχετικές εφαρμογές βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των

κτιρίων. Στη συνέχεια αναλύεται η συμβολή της εφαρμογής της διπλωματικής εργασίας στην ενίσχυση της λήψης αποφάσεων για την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων.

- Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται τα εργαλεία σχεδίασης και ενεργειακής προσομοίωσης, καθώς και τα απαραίτητα προγραμματιστικά εργαλεία που αξιοποιήθηκαν κατά την υλοποίηση και ανάπτυξη του εργαλείου.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται οι σχεδιαστικές επιλογές και οι υλοποιήσεις που έγιναν κατά την ανάπτυξη της εφαρμογής, καθώς και του συστήματος υποστήριξης λήψης αποφάσεων, που βασίζεται στην πολυκριτήρια ανάλυση. Επιπλέον, εξηγούνται οι μέθοδοι επεξεργασίας και αποθήκευσης των δεδομένων και οι λειτουργικότητές της.
- Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται παραδείγματα χρήσης της εφαρμογής.
- Στο έβδομο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την ανάπτυξη και χρήση της εφαρμογής βελτίωσης ενεργειακής απόδοσης. Επιπλέον, υποδεικνύονται προτάσεις μελλοντικής εξέλιξης της εφαρμογής.



## 2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

### 2.1 Προκλήσεις Διαχείρισης Ενέργειας Συστήματα Αποφάσεων

Ενεργειακή απόδοση ορίζεται ο λόγος της αποδιδόμενης ωφέλιμης ενέργειας προς την ποσότητα της ενέργειας που καταναλώνεται για την παραγωγή της [9]. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης είναι κρίσιμη για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης ενεργειακής ασφάλειας. Ωστόσο, υπάρχουν προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν, προκειμένου να εξασφαλιστεί η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Συγκεκριμένα, ο κτιριακός τομέας αποτελεί σημαντικό μέρος της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Μεγάλο ποσοστό της ενέργειας που καταναλώνεται για θέρμανση και ψύξη συχνά σπαταλιέται εξαιτίας της κακής μόνωσης των τοίχων και των παραθύρων και των παλαιάς τεχνολογίας συστημάτων HVAC. Επιπλέον, ο φωτισμός και οι ηλεκτρικές συσκευές που χρησιμοποιούνται είναι μη ενεργειακά αποδοτικές [10].

Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στον βιομηχανικό τομέα αποτελεί μια ακόμη πρόκληση που πρέπει αντιμετωπιστεί. Ειδικότερα, η εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα για την λειτουργία των βιομηχανικών διαδικασιών δημιουργεί ένα σημαντικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Επιπρόσθετα, ο παλαιός εξοπλισμός και οι κακώς σχεδιασμένες γραμμές παραγωγής δημιουργούν μεγάλες ενεργειακές απώλειες, οι οποίες αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου λόγω έλλειψης κατάλληλης συντήρησης [11].

Ένας άλλος τομέας που επιδέχεται σημαντική βελτίωση στην ενεργειακή απόδοσή του είναι ο τομέας των μεταφορών, ο οποίος παραμένει σε μεγάλο βαθμό εξαρτημένος από τα ορυκτά καύσιμα, συντελώντας επιβαρυντικά στην αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [12]. Τα ιδιωτικά οχήματα συχνά καταναλώνουν πολύ καύσιμο για την μετακίνησή τους [13]. Ενώ τα ηλεκτρικά οχήματα προσφέρουν μια ελπιδοφόρα εναλλακτική λύση, η ευρεία τους αποδοχή εμποδίζεται από το γεγονός ότι οι υποδομές φόρτισης τους και η αυτονομία των μπαταριών είναι περιορισμένες [14]. Τα συστήματα δημόσιων μεταφορών, παρόλο που γενικά είναι πιο ενδεδειγμένα από τα ιδιωτικά αυτοκίνητα, συχνά αντιμετωπίζουν προβλήματα λόγω της χρήσης οχημάτων παλαιάς τεχνολογίας και της μη αποτελεσματικής δρομολόγησης, με μεγάλο χρόνο αναμονής [15]. Αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερους χρόνους ταξιδιού, αυξημένη χρήση ενέργειας και αποθάρρυνση της χρήσης τους από το επιβατικό κοινό.

Η μεταφορά εμπορευμάτων βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε φορτηγά τρένα και πλοία, τα οποία είναι κύριοι καταναλωτές ορυκτών καυσίμων. Τα φορτηγά, ιδιαίτερα αυτά των διεθνών μεταφορών είναι γνωστά για τη χαμηλή αποδοτικότητά τους στην κατανάλωση καυσίμου. Οι περιορισμοί τους σε μέγεθος και βάρος συχνά απαιτούν πολλαπλά ταξίδια για μεγαλύτερες αποστολές, προσθέτοντας περαιτέρω στην

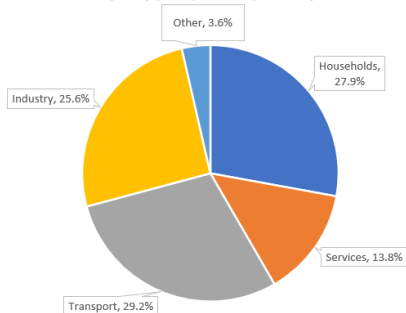
κατανάλωση ενέργειας. Τα πλοία του διεθνούς εμπορίου κινούνται με βαριά καύσιμα, εκπέμποντας σημαντικούς ρύπους στην ατμόσφαιρα. Παρά τις βελτιώσεις στο σχεδιασμό και την τεχνολογία κινητήρων των πλοίων για μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, η συνολική πρόοδος ήταν αργή [16]. Τα τρένα, παρά την υπεροχή τους στην αποδοτικότητα καυσίμου σε σύγκριση με τα φορτηγά για τη μεταφορά μεγάλων φορτίων, περιορίζονται από τη υποδομή των σιδηροδρομικών γραμμών και την ακαμψία τους για τις κατ' οίκον παραδόσεις [17]. Τα αεροπλάνα είναι εξαιρετικά αποδοτικά στα ταξίδια διηπειρωτικών αποστάσεων, αλλά έχουν μεγάλο ενεργειακό κόστος καθώς η εξάρτησή τους από την κηροζίνη συνεισφέρει σημαντικά στον ενεργειακό αποτύπωμα του τομέα [18].

Ο γεωργικός τομέας είναι ζωτικός για τη διατήρηση της ανθρώπινης ζωής αλλά αντιμετωπίζει και αυτός σημαντικές προκλήσεις στην ενεργειακή απόδοση. Αναλυτικότερα, υπάρχει περιθώριο για βελτίωση της απόδοσης στις γεωργικές δραστηριότητες όπως η άρδευση, η επεξεργασία και η αποθήκευση τροφίμων. Οι παραδοσιακές μέθοδοι άρδευσης σπαταλούν ένα μεγάλο μέρος του νερού καθώς αυτό εξατμίζεται πριν φτάσει στις καλλιέργειες. Οι σύγχρονες γεωργικές πρακτικές βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε μηχανήματα και άρδευση, τα οποία καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας [19]. Επιπλέον, η χρήση λιπασμάτων που παράγονται μέσω ενεργειακά απαιτητικών διαδικασιών και η μεταφορά γεωργικών προϊόντων σε μεγάλες αποστάσεις συντελούν στο ενεργειακό αποτύπωμα του τομέα [20]. Επιπρόσθετα, οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας και αποθήκευσης τροφίμων καταναλώνουν μεγάλο ποσοστό της ενέργειας του κλάδου. Η ψύξη, κεφαλαιώδους σημασίας παράγοντας για τη διατήρηση της ασφάλειας και της ποιότητας των τροφίμων, καταναλώνει τεράστιες ποσότητες ενέργειας, ιδιαίτερα για ευαίσθητα τρόφιμα όπως φρούτα, λαχανικά και κρέας. Παρόμοια, οι τεχνικές επεξεργασίας τροφίμων όπως η άλεση και η παστερίωση απαιτούν σημαντικές ενεργειακές εισροές, για να λειτουργήσουν τα μηχανήματα και να διατηρηθούν κατάλληλες θερμοκρασίες [21].

## **2.2 Κατανάλωση Ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση**

Η κατανόηση των διαφορετικών τομέων κατανάλωσης ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη αποτελεσματικής ενεργειακής πολιτικής για την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τη Eurostat [22], όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6, το 2021, ο κτιριακός τομέας καταναλώνει το 27,9% της ενέργειας στην ΕΕ και το ποσοστό αυτό έχει μείνει σταθερό με μικρές διακυμάνσεις από το 1990. Το γεγονός ότι τα κτίρια στην ΕΕ αυξάνονται σε αριθμό, ενώ η ενέργεια που καταναλώνουν παραμένει σταθερή, υποδηλώνει ότι έχει γίνει κάποια πρόοδος στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, αλλά υπάρχουν ακόμα περιθώρια βελτίωσης.

Κατανάλωση Ενέργειας ανά τομέα στην ΕΕ ,2021

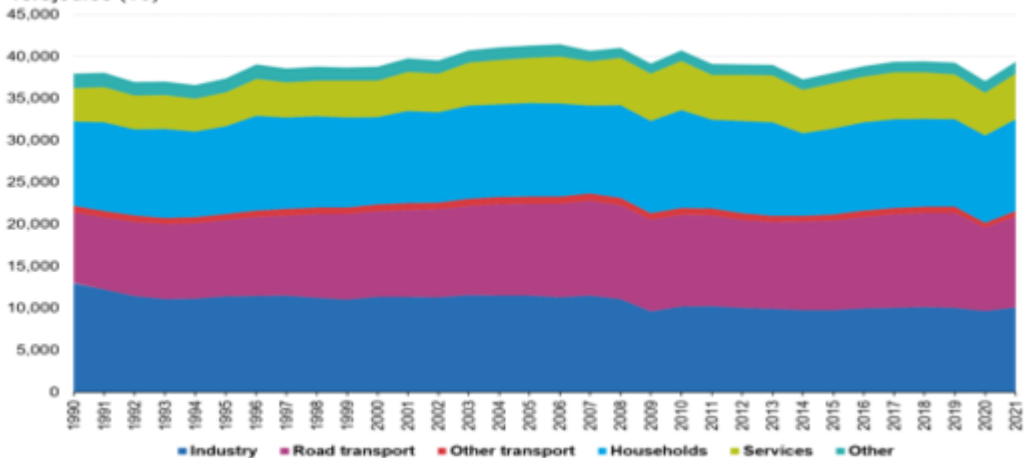


Εικόνα 6 - Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2021

Από το 1990 έως 2021 ,η ενεργειακή κατανάλωση στο βιομηχανικό τομέα μειώνεται σταθερά με μικρές διακυμάνσεις (Εικόνα 7). Το ποσοστό του τομέα το 2021 αγγίζει το 25,6% (Εικόνα 6). Παράγοντες όπως η αναδιάρθρωση της βιομηχανίας και η λήψη μέτρων για την ενεργειακή απόδοση πιθανόν συνέβαλαν στη μείωση αυτή. Αντιθέτως, η ενεργειακή κατανάλωση του τομέα των μεταφορών αυξάνεται σταθερά με μικρές διακυμάνσεις (Εικόνα 7). Το ποσοστό του τομέα το 2021 αγγίζει το 29,2% (Εικόνα 6), γεγονός το οποίο υποδηλώνει τις προκλήσεις στον εν λόγω τομέα [22].

Final energy consumption by sector, EU, 1990-2021

Terajoules (TJ)



Εικόνα 7 - Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ευρωπαϊκή Ένωση 1990-2021 [23]

### 2.3 Πολιτικές μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), αναγνωρίζοντας τη σοβαρότητα της κατάστασης, ηγείται των παγκόσμιων προσπαθειών για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Για το λόγο αυτό, έχει διαμορφώσει και εφαρμόσει μια σειρά μέτρων με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την ενίσχυση της κλιματικής ανθεκτικότητας.

Ακρογωνιαίος λίθος της στρατηγικής της ΕΕ για τον αγώνα ενάντια στην κλιματική αλλαγή είναι το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (EU ETS), το οποίο ιδρύθηκε το 2005. Λειτουργεί ως ένα σύστημα "cap and trade" που αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από συγκεκριμένες πηγές. Η βασική αρχή του έγκειται στην μείωση του ανώτατου ορίου του συνολικού ποσού των επιτρεπόμενων εκπομπών. Αυτό το ανώτατο όριο μεταφράζεται σε εμπορεύσιμες άδειες που ονομάζονται δικαιώματα, τις οποίες οι εταιρείες μπορούν να αγοράσουν και να πουλήσουν σε μια ανοιχτή αγορά [24].

Το ETS αρχικά εστίαζε στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και στις μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, αλλά η εμβέλειά του έχει διευρυνθεί από τότε για να καλύπτει την αεροπλοΐα εντός της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Περιοχής (ΕΟΠ) και, από το 2024 και μετά, τον τομέα της ναυτιλίας. Με το να τεθεί όριο στο συνολικό αριθμό των διαθέσιμων δικαιωμάτων και με τη δυνατότητα εμπορίας τους, το EU ETS δημιουργεί ένα κίνητρο αγοράς για τη μείωση των εκπομπών. Οι εταιρείες που μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές τους κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια μπορούν να πωλήσουν τα περισσευούμενα δικαιώματα τους, ενώ αυτές που υπερβαίνουν το ανώτατο όριο πρέπει να αγοράσουν επιπλέον δικαιώματα για να μην πληρώσουν υψηλά πρόστιμα. Αυτή η προσέγγιση βασισμένη στην αγορά στοχεύει στην επίτευξη μειώσεων εκπομπών με οικονομικά αποδοτικό τρόπο [24].

Τα αναμενόμενα αποτελέσματα του EU ETS είναι πολύπλευρα. Η θέσπιση ενός καθορισμένου κόστους για τον άνθρακα, μέσω του εμπορίου των εκπομπών των δικαιωμάτων, αναγκάζει τις εταιρείες να επενδύουν σε καθαρές τεχνολογίες και να βελτιώνουν τις διαδικασίες τους. Επιπλέον, τα έσοδα που προκύπτουν από την πλειοδοτική διαδικασία των δικαιωμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη χρηματοδότηση πρωτοβουλιών δράσης για το κλίμα και την υποστήριξη της μετάβασης προς μια οικονομία με χαμηλές εκπομπές άνθρακα. Το EU ETS επίσης λειτουργεί ως πρότυπο για άλλες χώρες και περιοχές που επιθυμούν να εφαρμόσουν παρόμοια συστήματα εμπορίας εκπομπών για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής σε παγκόσμια κλίμακα [24].

Μια ακόμη πολυδιάστατη στρατηγική που εγκρίθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 2019 είναι το Ευρωπαϊκό Πράσινο Σχέδιο. Ένας από τους πυλώνες του Πράσινου Σχεδίου είναι η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτό επικεντρώνεται στην αύξηση των υποδομών παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, όπως αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα, και στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, της βιομηχανίας και των μεταφορών, μέσω της ανάπτυξης πιο καθαρών και αποδοτικών τεχνολογιών [25].

Ένας ακόμη πυλώνας του Πράσινου Σχεδίου είναι η προώθηση της κυκλικής οικονομίας, στην οποία τα υλικά επαναχρησιμοποιούνται και τα απόβλητα ελαχιστοποιούνται. Επιπλέον, το σχέδιο στοχεύει στην αποθήκευση υδρογονανθράκων ιδιαίτερα σε τομείς υψηλής ρύπανσης όπως της παραγωγής χάλυβα και τσιμέντου. Επιπρόσθετα, το Πράσινο Σχέδιο παρέχει την ευκαιρία για αναβάθμιση

των ευρωπαϊκών υποδομών, την προώθηση της καινοτομίας σε καθαρές τεχνολογίες και τη δημιουργία νέων ευκαιριών εργασίας στον πράσινο τομέα. Το εν λόγω φιλόδοξο σχέδιο αποτελεί ένα ισχυρό μήνυμα περιβαλλοντικής ηγεσίας στη διεθνή σκηνή, που πιθανόν να ωθήσει άλλες χώρες να υιοθετήσουν αυστηρότερες πολιτικές για το κλίμα [25].

Η Ευρωπαϊκή Ένωση το 2021 έθεσε σε ισχύ ένα ισχυρό νομοθετικό πλαίσιο που αποτελείται από τρεις νόμους, τον Ευρωπαϊκό Νόμο για το Κλίμα (ECL), το πακέτο Fit for 55 και το Μηχανισμός Δίκαιης Μετάβασης (JTM), για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Οι νόμοι λειτουργούν παράλληλα για να καθιερώσουν ένα νομικά δεσμευτικό πλαίσιο, να προτείνουν συγκεκριμένες δράσεις και να εξασφαλίσουν μια κοινωνικά δίκαιη μετάβαση προς την επίτευξη της κλιματικής ουδετερότητας μέχρι το 2050.

Ο Νόμος για το Κλίμα (ECL) θεσπίζει ένα νομικά δεσμευτικό πλαίσιο για την επίτευξη της κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050 σε όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ, Ο ECL ορίζει μια διαδικασία για τον καθορισμό ενός δεσμευτικού στόχου μείωσης των εκπομπών έως το 2040 και την ανάπτυξη ενός ενδεικτικού προϋπολογισμού εκπομπών της ΕΕ για το χρονικό διάστημα 2030-2050 [26].

Το πακέτο Fit for 55 μεταφράζει το μακροπρόθεσμο όραμα του ECL σε συγκεκριμένες δράσεις. Πρόκειται για ένα συνολικό πακέτο που προτείνει αναθεωρήσεις των υφιστάμενων νόμων και εισάγει νέους κανονισμούς που στοχεύουν σε διάφορους κλάδους της ευρωπαϊκής οικονομίας. Συγκεκριμένα, απαιτεί μια σημαντική αύξηση των στόχων μείωσης των εκπομπών, τουλάχιστον 55% έως το 2030 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990.

Ένας πρωταρχικός στόχος του "Fit for 55" είναι η ενίσχυση του Συστήματος Εμπορίας Εκπομπών Αερίων της ΕΕ (EU ETS). Η πρόταση προβλέπει μια σημαντική μείωση στο συνολικό όριο των επιτρεπόμενων εκπομπών και την ενσωμάτωση νέων τομέων στο σύστημα, όπως της ναυτιλίας [27]. Επιπλέον, το πακέτο προτείνει σημαντικές μεταρρυθμίσεις στον Κανονισμό Καταμερισμού Προσπαθειών, ο οποίος ορίζει δεσμευτικούς εθνικούς στόχους για τη μείωση των εκπομπών σε τομείς εκτός του EU ETS, όπως κτίρια, μεταφορές και γεωργία [28].

Ο Μηχανισμός Δίκαιης Μετάβασης (JTM) αναγνωρίζει τις πιθανές κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις της μετάβασης σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Ο JTM προσφέρει χρηματοδοτική ενίσχυση για να βοηθήσει τις περιοχές και τις κοινότητες που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από βιομηχανίες υψηλών εκπομπών, ώστε να αναπτύξουν και να εφαρμόσουν σχέδια για μια δίκαιη μετάβαση, προάγοντας νέες οικονομικές ευκαιρίες και μειώνοντας τις πιθανές απώλειες θέσεων εργασίας που συνδέονται με αυτή τη μετάβαση [29].

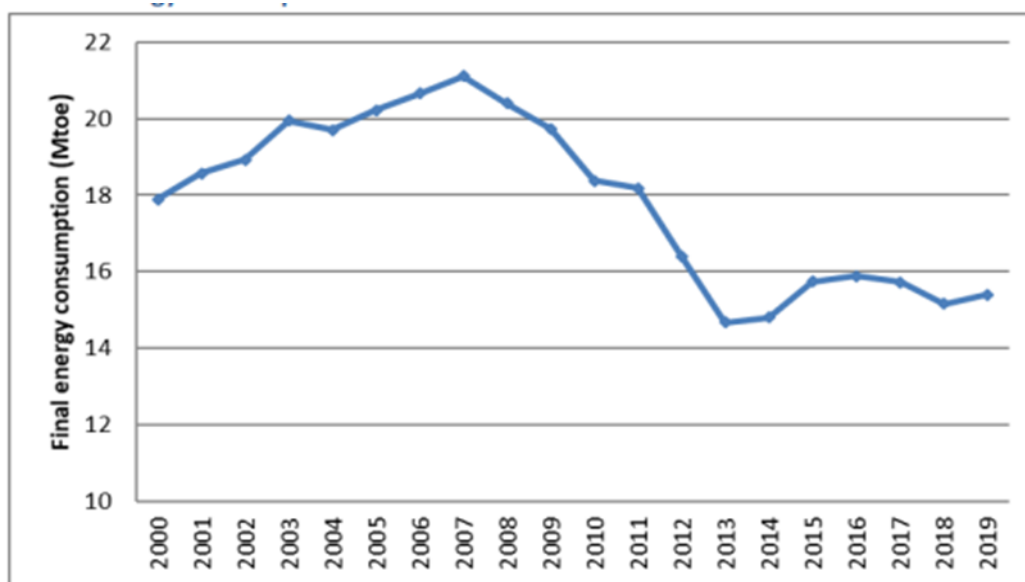
Στην ουσία, ο ECL παρέχει το νομικό πλαίσιο και το μακροπρόθεσμο όραμα, το Fit for 55 μεταφράζει αυτό το όραμα σε ένα συγκεκριμένο σχέδιο δράσης, και ο JTM εξασφαλίζει μια κοινωνικά δίκαιη προσέγγιση για την επίτευξη των στόχων

κλιματικής αποτελεσματικότητας της ΕΕ. Αυτά τα τρία μέτρα είναι κρίσιμα για την επιτυχία της στρατηγικής της ΕΕ για τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής.

Ωστόσο, υπάρχουν προκλήσεις στην αποτελεσματική εφαρμογή των νόμων της ΕΕ για το κλίμα. Οι κυβερνήσεις εντός της ΕΕ θα πρέπει να αναπτύξουν και να εφαρμόσουν συγκεκριμένες πολιτικές για την επίτευξη των φιλόδοξων στόχων μείωσης των εκπομπών. Η εξασφάλιση μιας δίκαιης μετάβασης θα είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της δημόσιας υποστήριξης [30]. Παρά τις προκλήσεις, τα κράτη μέλη της ΕΕ κάνουν προσπάθειες δράσης για το κλίμα, οι οποίες στοχεύουν στην επίτευξη ενός πιο βιώσιμου μέλλοντος στην Ευρώπη και αποτελούν έμπνευση διεθνούς δράσης για την κλιματική αλλαγή.

#### 2.4 Ενεργειακή κατανάλωση στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, ως κράτος- μέλος της ΕΕ, επιχειρεί να συμβάλλει στις προσπάθειες για την επίτευξη της ενεργειακής ουδετερότητας της Ένωσης. Προκειμένου να χαραχθεί μια αποτελεσματική ενεργειακή πολιτική, είναι βασικό να κατανοηθούν οι τάσεις του ενεργειακού μείγματος της Ελλάδας. Η ενεργειακή κατανάλωση στην Ελλάδα κατά την περίοδο 2000-2019 παρουσίασε σημαντικές διακυμάνσεις (Εικόνα 8) [31].

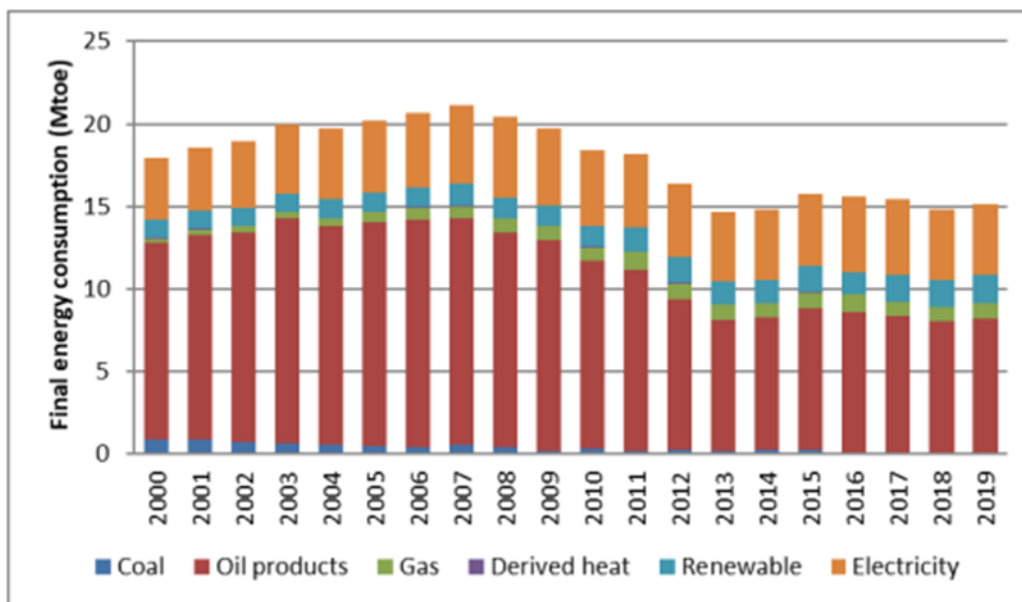


Εικόνα 8 - Συνολική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα 2000-2019 [31]

Συγκεκριμένα, κατά την περίοδο 2000-2007, παρατηρείται μια ετήσια μέση αύξηση κατά 3% στην τελική κατανάλωση ενέργειας. Το γεγονός αυτό, οδήγησε σε συνολική αύξηση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας κατά 18%, από 17,9 εκατομμύρια τόνους πετρελαίου ισοδύναμα (Mtoe) το 2000 σε 21,1 Mtoe το 2007 (Εικόνα 8). Η αύξηση συνέβη κυρίως λόγω της οικονομικής ανάπτυξης της χώρας και των νέων συνηθειών που υιοθετήθηκαν από τους τελικούς καταναλωτές κατά την περίοδο αυτή. Η αυξανόμενη τάση προήλθε κυρίως από την αύξηση της κατανάλωσης πετρελαίου

κατά 15% (από 11,9 Mtoe το 2000 σε 13,7 Mtoe το 2007) και από μια σημαντική αύξηση στην κατανάλωση ηλεκτρισμού κατά 28% (από 3,7 Mtoe το 2000 σε 4,7 Mtoe το 2007), καθώς αυτά τα προϊόντα είναι οι βασικές πηγές ενέργειας που συμμετέχουν στο τελικό μείγμα ενέργειας στην Ελλάδα (Εικόνα 9).

Ωστόσο, τόσο η εφαρμογή μέτρων για τη βελτίωση της αποδοτικότητας χρήσης της ενέργειας όσο και η οικονομική ύφεση, οδήγησαν σε σημαντική μείωση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας την περίοδο 2007-2013. Η συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου ακολουθεί μια μέση μειωτική τάση της τάξης του 6% ετησίως και αυτό οδήγησε σε σημαντική μείωση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας κατά 31% κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, από 21,1 Mtoe το 2007 σε 14,7 Mtoe το 2013 (Εικόνα 8). Αυτή η σημαντική μείωση προκλήθηκε κυρίως λόγω της μείωσης τόσο των προϊόντων πετρελαίου όσο και του ηλεκτρισμού κατά 42% και 12%, αντίστοιχα (Εικόνα 9). Κατά την περίοδο 2013-2019, παρατηρείται μια συνολική αύξηση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας κατά 5%, από 14,7 Mtoe το 2013 σε 15,4 Mtoe το 2019 (Εικόνα 8). Αυτή η σημαντική αύξηση προκλήθηκε κυρίως λόγω της αύξησης των προϊόντων πετρελαίου κατά 4% και του ηλεκτρισμού κατά 3% (Εικόνα 9).



Εικόνα 9 - Συνολική κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο στην Ελλάδα 2000-2019 [31]

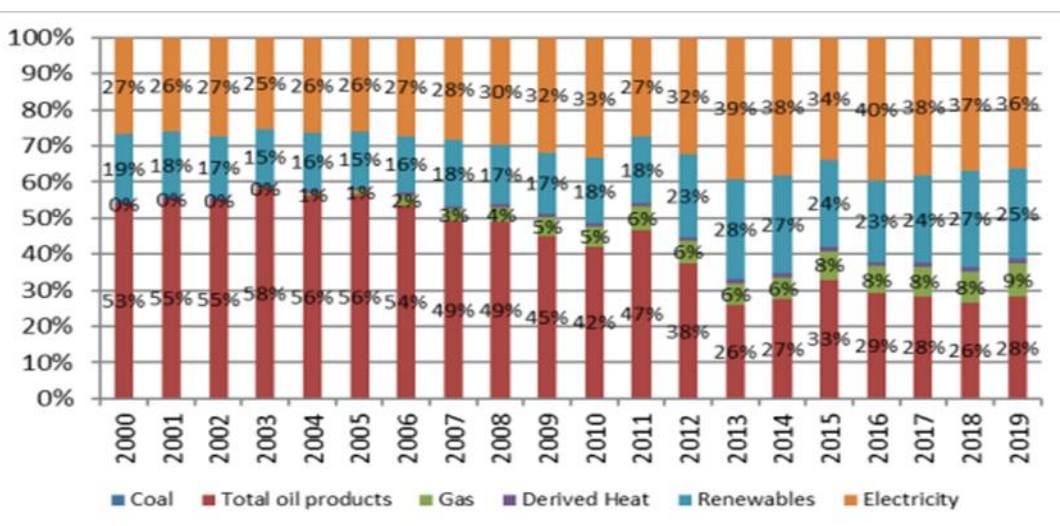
Προκειμένου να κατανοηθεί καλύτερα το ενεργειακό μείγμα, είναι επιβεβλημένο να αναλυθούν οι διαφορετικοί τομείς της ενεργειακής κατανάλωσης. Στον κτιριακό τομέα, από το 2000 έως το 2019, η τελική κατανάλωση ενέργεια μειώθηκε κατά 10%, από 4,6 Mtoe το 2000 σε 4,1 Mtoe το 2019. Παρόλο που μέχρι το 2006 η τελική κατανάλωση αυξανόταν σταθερά, ο κτιριακός τομέας ήταν ένας από τους πρώτους τομείς που υπέστησαν τις επιπτώσεις της οικονομικής ύφεσης στην τελική κατανάλωση ενέργειας. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τα μέτρα ενεργειακής

αποδοτικότητας που εφαρμόστηκαν από το 2007 και έπειτα, οδήγησε στη μείωση της τελικής κατανάλωσης του τομέα. Η αύξηση στην τελική κατανάλωση το 2011 σημειώθηκε κυρίως λόγω του ψυχρού χειμώνα. (Εικόνα 10)



Εικόνα 10 - Συνολική κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα στην Ελλάδα 2000-2019 [31]

Από το 2000 έως το 2006, τα προϊόντα πετρελαίου ήταν τα κύρια καύσιμα που χρησιμοποιούνταν (πάνω από 50%)(Εικόνα 11). Μετά το 2006, με την εισαγωγή του φυσικού αερίου στο ενεργειακό μίγμα της χώρας, μέρος των αναγκών του τομέα άρχισε να καλύπτεται από φυσικό αέριο, γεγονός που οδήγησε στη μείωση του ποσοστού των προϊόντων πετρελαίου στο μείγμα της τελικής ενέργειας. Από το 2013 και μετά, λόγω του υψηλού κόστους των προϊόντων πετρελαίου, το κύριο καύσιμο που καταναλώθηκε ήταν η ηλεκτρική ενέργεια (περίπου 40%). Επιπλέον, το 2019, λόγω μέτρων προώθησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, το ποσοστό αυτών αυξήθηκε κατά 8%, σε σύγκριση με το μέσο ποσοστό της περιόδου 2000-2010 (Εικόνα 11).

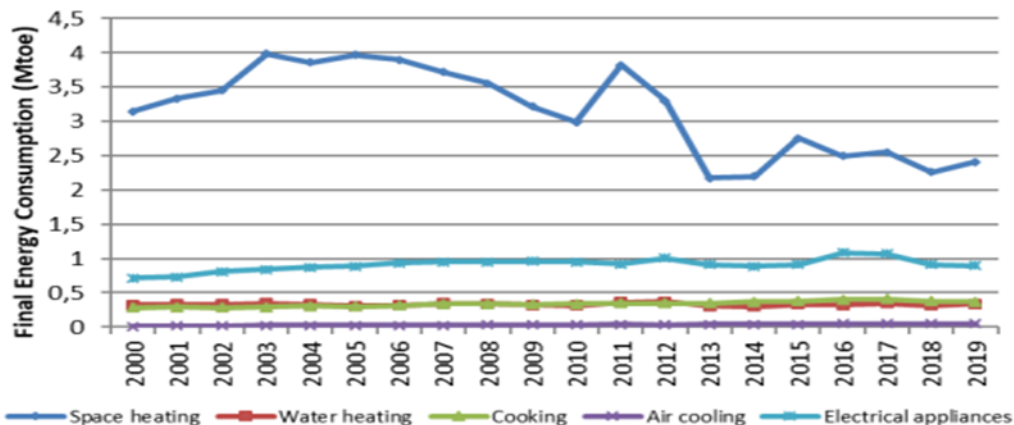


Εικόνα 11 - Ενεργειακό μείγμα για την κάλυψη των αναγκών του κτιριακού τομέα στην Ελλάδα 2000-2019 [31]

Το μεγαλύτερο μέρος της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στον κτιριακό τομέα διατίθεται για τη θέρμανση του χώρου (Εικόνα 12). Το 2000 καταναλώθηκαν για θέρμανση του χώρου 3,1 Mtoe έναντι 2,4 Mtoe το 2019, δηλαδή μια συνολική μείωση κατά 24%. Η κατανάλωση από τις ηλεκτρικές συσκευές μεταξύ των ετών 2000 έως

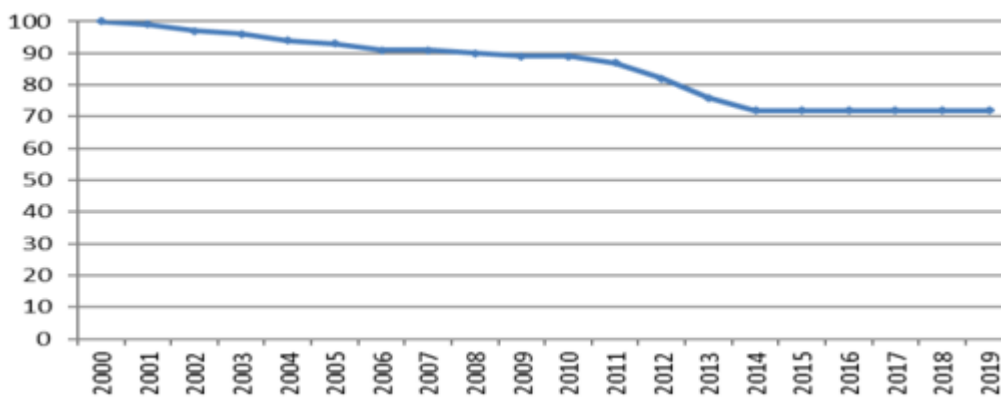


2019 αυξήθηκε κατά 25% (Εικόνα 12) λόγω της αύξησης του αριθμού και του μεγέθους τους. Η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση νερού παρέμεινε σχεδόν σταθερή κατά την περίοδο αυτή, με αύξηση μόνο της κατανάλωσης για το μαγείρεμα κατά την περίοδο 2013-2019 (Εικόνα 12).



Εικόνα 12 - Ενεργειακές ανάγκες του κτιριακού τομέα στην Ελλάδα 2000-2019 [31]

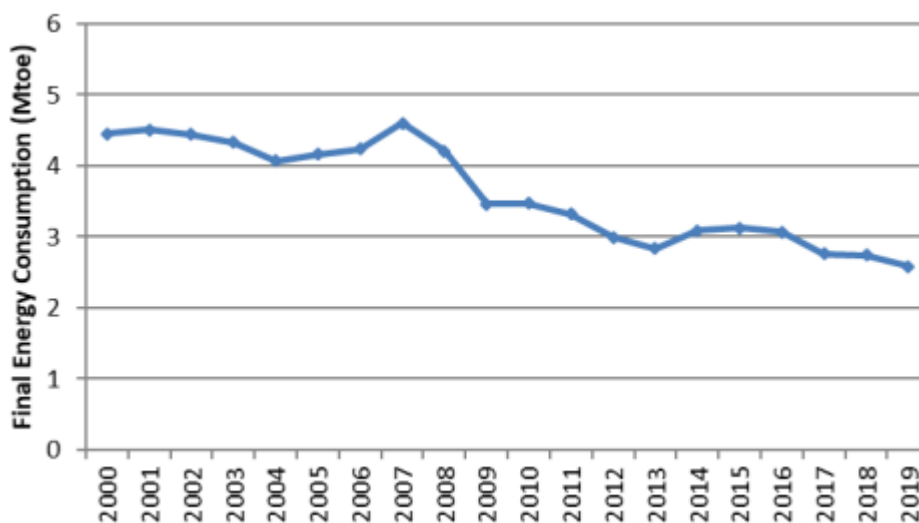
Ένα τεχνικός δείκτης που αποτυπώνει τις προσπάθειες της Ελλάδας για αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας στον κτιριακό τομέα είναι ο τεχνικός δείκτης ενεργειακής απόδοσης (ODEX) Αυτός μειώθηκε συστηματικά κατά μέσο όρο 1%, κατά την περίοδο 2000-2019, κυρίως λόγω των μέτρων ενεργειακής απόδοσης που άρχισαν να εφαρμόζονται από το 2008 και της οικονομικής ύφεσης, οδηγώντας σε συνολική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 30% σε αυτά τα χρόνια (Εικόνα 13).



Εικόνα 13 - Τεχνικός δείκτης ενεργειακής απόδοσης (ODEX) του κτιριακού τομέα στην Ελλάδα 2000-2019 [31]

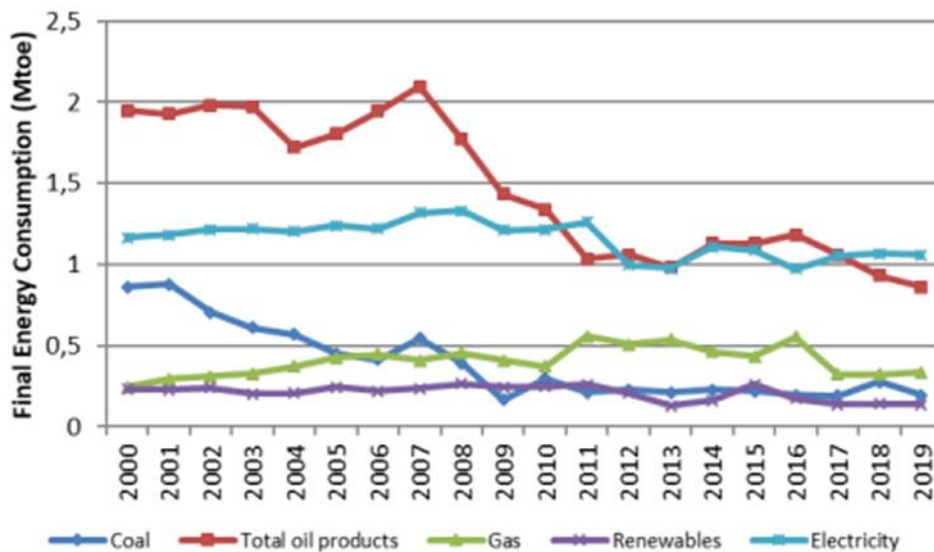
Στον βιομηχανικό τομέα, από το 2000-2019, η τελική κατανάλωση ενέργειας μειώθηκε σημαντικά κατά 42% από 4,5 Mtoe το 2000 σε 2,6 Mtoe το 2019. Παρόλο που μέχρι το 2007 η τελική κατανάλωσή της ήταν σχεδόν σταθερή, ο βιομηχανικός τομέας ήταν ένας από τους πρώτους τομείς που υπέστησαν τις επιπτώσεις της οικονομικής ύφεσης στην τελική κατανάλωση ενέργειας. Αυτό οδήγησε σε μια

φθίνουσα τάση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας της βιομηχανίας έως το 2013, η οποία συνεχίστηκε μέχρι το 2019, καταγράφοντας μια πτώση της τάξης του 9% μεταξύ του 2013 και του 2019, με εξαίρεση την περίοδο του 2014-2016, όπου παρατηρήθηκε αύξηση. (Εικόνα 14)



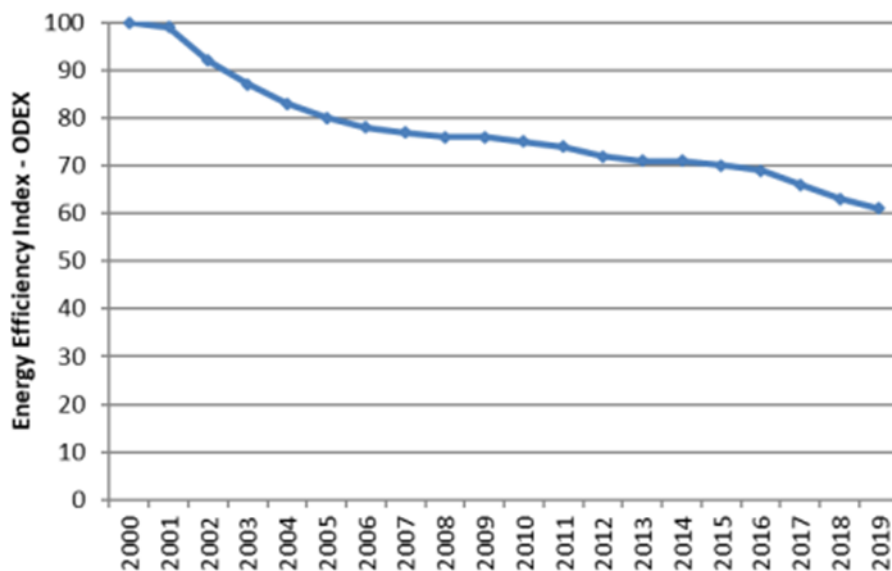
Εικόνα 14 - Συνολική κατανάλωση ενέργειας στον βιομηχανικό τομέα στην Ελλάδα 2000-2019 [31]

Κατά την περίοδο 2000-2019, ο βιομηχανικός τομέας βασιζόταν στα προϊόντα πετρελαίου για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών. Η μείωση σε αυτά κατά 56% (από 1,95 Mtoe το 2000 σε 0,86 Mtoe το 2019) υπήρξε ο κύριος λόγος για τη μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας του τομέα. Επιπλέον, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση στην κατανάλωση άνθρακα κατά 77% από το 2000 έως το 2019. Οι κύριοι λόγοι για την προαναφερόμενη μείωση ήταν η εισαγωγή του φυσικού αερίου στην αγορά ενέργειας, του οποίου η κατανάλωση αυξήθηκε από 0,24 Mtoe το 2000 σε 0,33 Mtoe το 2019 και η χρήση φθηνότερης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία οδήγησε σε αύξηση της κατανάλωσής της κατά 15% το 2019, σε σύγκριση με το 2000. Η διεύθυνση των ανανεώσιμων πηγών παρέμεινε σταθερή, καθώς αντιπροσώπευαν περίπου το 5% της συνολικής κατανάλωσης του βιομηχανικού τομέα (Εικόνα 15).



Εικόνα 15 - Ενεργειακό μείγμα για την κάλυψη των αναγκών του βιομηχανικού τομέα στην Ελλάδα 2000-2019 [31]

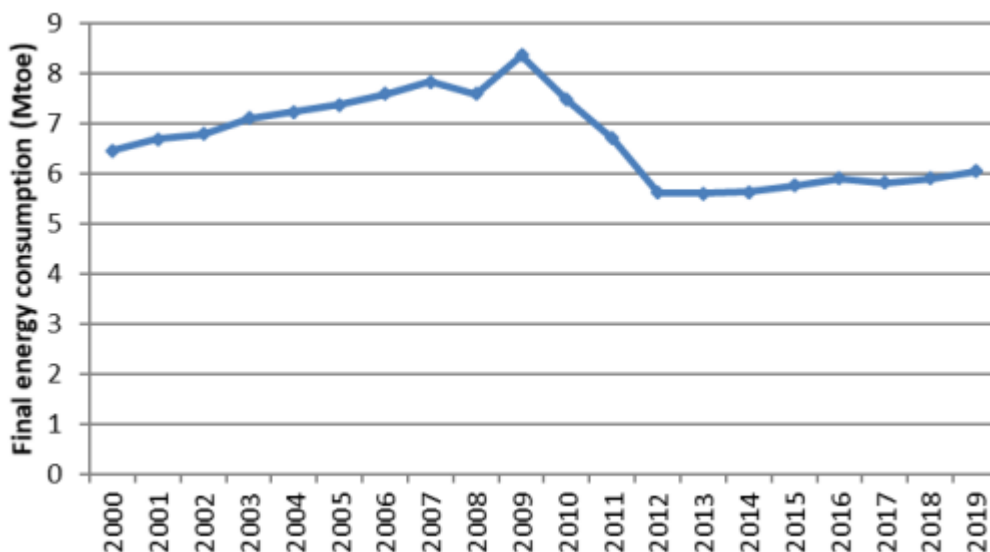
Ο τεχνικός δείκτης ενεργειακής απόδοσης του βιομηχανικού τομέα βελτιώθηκε κατά 39% το 2019, σε σύγκριση με το 2000 (Εικόνα 16). Η βελτίωση στο δείκτη ενεργειακής απόδοσης ήταν το αποτέλεσμα της μείωσης του δείκτη στους βασικούς κλάδους, όπως της χημικής βιομηχανίας (67%), της κλωστοϋφαντουργίας και του δέρματος (58%), της βιομηχανίας χαρτιού-πολτού και εκτύπωσης (54%) και του χάλυβα (25%).



Εικόνα 16 - Τεχνικός δείκτης ενεργειακής απόδοσης (ODEX) του βιομηχανικού τομέα στην Ελλάδα 2000-2019

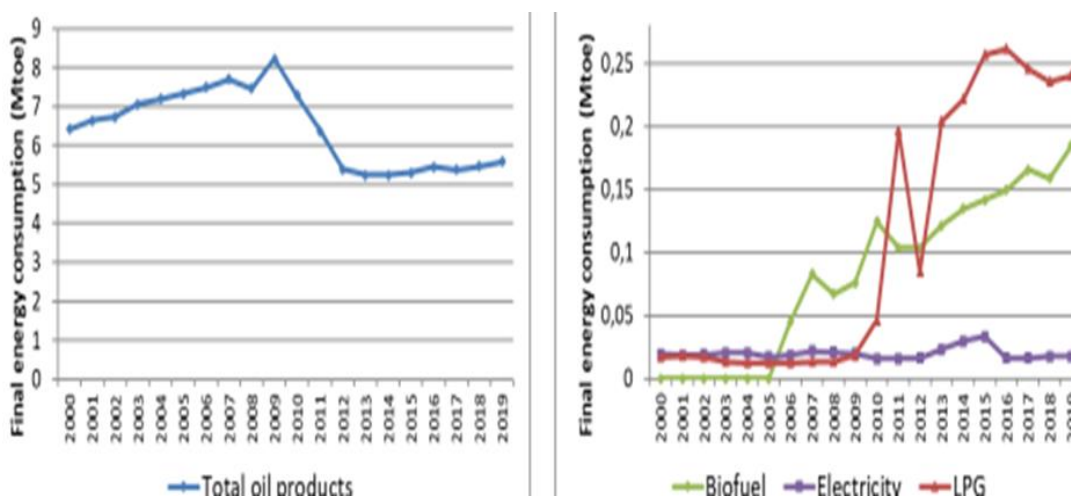
Στον τομέα των μεταφορών κατά την περίοδο 2000-2019 υπάρχουν σημαντικές διακυμάνσεις στην συνολική κατανάλωση ενέργειας. Συγκεκριμένα, από το 2000 έως

το 2009, η τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές αυξήθηκε κατά 29% από 6,5 Mtoe το 2000 σε 8,4 Mtoe το 2009 (Εικόνα 17).



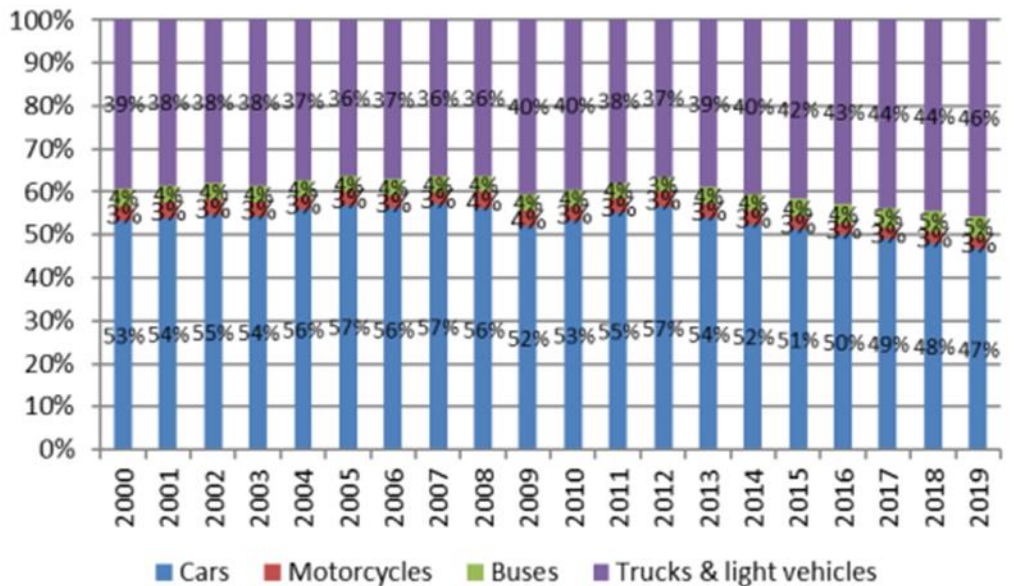
Εικόνα 17 - Συνολική κατανάλωση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών στην Ελλάδα 2000-2019 [31]

Η αυξητική τάση προήλθε κυρίως από την αύξηση της κατανάλωσης πετρελαίου κατά 28% (6,4 Mtoe το 2000 σε 8,2 Mtoe το 2009) (Εικόνα 18). Από το 2009-2013, η συνολική κατανάλωση ενέργειας του τομέα μειώθηκε κατά 33%, εξαιτίας της μείωσης της κατανάλωσης προϊόντων πετρελαίου κατά 34% (Σχήμα 17,18), επακόλουθο της οικονομικής ύφεσης του 2009 και των μέτρων ενεργειακής απόδοσης που εφαρμόστηκαν μετά το 2007. Κατά την περίοδο 2013-2019, παρατηρήθηκε αύξηση της τάξης του 8%. Από το 2006, η εισαγωγή του φυσικού αερίου και των βιοκαυσίμων στο ενεργειακό μείγμα είχε ως αποτέλεσμα μια ελαφρά μειωτική τάση, κατά 2%, στο μερίδιο των προϊόντων πετρελαίου στο ενεργειακό μείγμα του τομέα των μεταφορών.



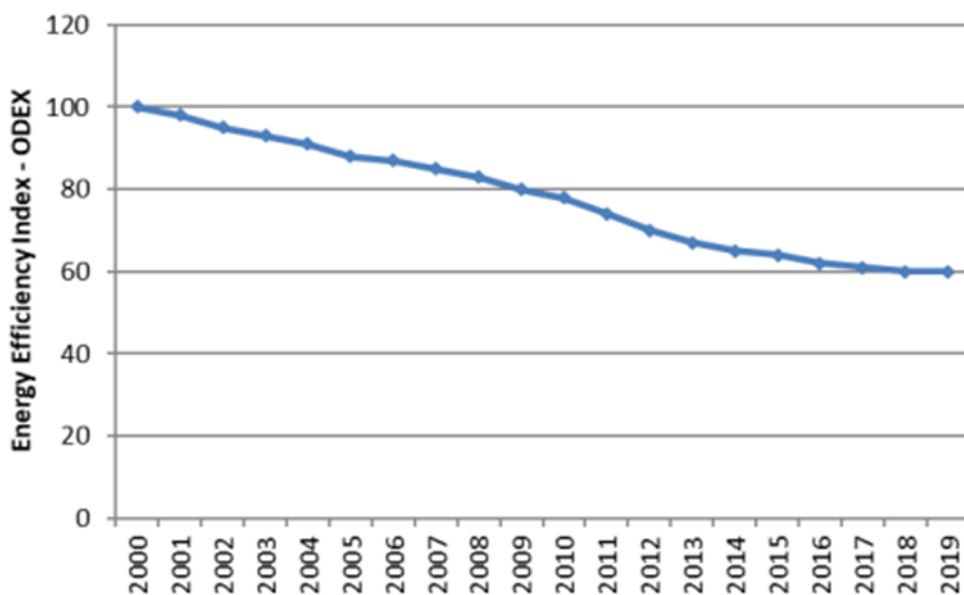
Εικόνα 18 - Ενεργειακό μείγμα για την κάλυψη των αναγκών του τομέα των μεταφορών στην Ελλάδα 2000-2019 [31]

Τα αυτοκίνητα κατανάλωσαν περίπου το 53%, ενώ τα φορτηγά και τα ελαφρά οχήματα κατανάλωσαν το 39% της συνολικής κατανάλωσης του οδικού τρόπου μεταφοράς κατά την περίοδο 2000-2019. (Εικόνα 19). Το υπόλοιπο 7 % καταναλώθηκε από τις μηχανές και τα λεωφορεία.



Εικόνα 19 - Ενεργειακές ανάγκες των μέσων μεταφοράς στην Ελλάδα 2000-2019 [31]

Ένα στοιχείο που αντικατοπτρίζει τις προσπάθειες της χώρας για βελτίωση της ενεργειακής της απόδοσης είναι ότι από το 2000-2019 η συνολική ενεργειακή απόδοση στον τομέα των μεταφορών βελτιώθηκε κατά 40% (Εικόνα 20).



Εικόνα 20 - Τεχνικός δείκτης ενεργειακής απόδοσης (ODEX) του τομέα των μεταφορών στην Ελλάδα 2000-2019 [31]

## 2.5 Νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, ως ένα κράτος- μέλος της ΕΕ, μοιράζεται το όραμα της ένωσης για κλιματική ουδετερότητα. Προκείμενου να πετύχει αυτόν τον φιλόδοξο στόχο, λαμβάνοντας υπόψιν τις συστάσεις της ΕΕ, εκπόνησε μια σειρά από σχέδια και νόμους για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη μετάβαση προς ένα πιο βιώσιμο μέλλον σε εθνικό επίπεδο.

Συγκεκριμένα, ο ακρογωνιαίος λίθος της Ελληνικής στρατηγικής για την κλιματική αλλαγή είναι το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) [32], που έχει ως στόχο τη διαμόρφωση της Εθνικής πολιτικής για την Ενέργεια και το Κλίμα την επόμενη δεκαετία.

Η στρατηγική επιδίωξη της Ελλάδος είναι, μέχρι το έτος 2030, οι ενεργειακοί και κλιματικοί στόχοι που τίθενται στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ να συμβάλλουν καθοριστικά στην απαραίτητη ενεργειακή μετάβαση με τον πιο οικονομικά ανταγωνιστικό τρόπο για την εθνική οικονομία.

Η μετάβαση αυτή θα συνδυαστεί με την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας των ελληνικών επιχειρήσεων και την προστασία των καταναλωτών, εγκαθιδρύοντας ένα πλαίσιο βιώσιμης ανάπτυξης της εθνικής οικονομίας.

Αναλυτικότερα, ως στόχο το ΕΣΕΚ θέτει την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, πάνω από 42% σε σχέση με τις εκπομπές του έτους 1990. Παράλληλα με τα θέματα κλιματικής αλλαγής, στο ΕΣΕΚ ανελήφθησαν πρωτοβουλίες για την αναθεώρηση των Εθνικών και Περιφερειακών Σχεδίων Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ και ΠΕΣΔΑ).

Επίσης, στο ΕΣΕΚ παρουσιάζεται ο ενεργειακός μετασχηματισμός στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, ο οποίος θα επιτευχθεί μέσω της αύξησης του μεριδίου συμμετοχής των Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) στο 60% στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την δραστική μείωση του μεριδίου λιγνίτη και την πλήρη απολιγνιτοποίηση μέχρι το 2028. Προκείμενου να επιτευχθεί αυτός ο φιλόδοξος στόχος, προωθούνται και υλοποιούνται συγκεκριμένες πρωτοβουλίες από την Ελλάδα, όπως η απλοποίηση και επιτάχυνση του αδειοδοτικού πλαισίου για φωτοβολταϊκά και αιολικά πάρκα, η βέλτιστη ένταξη των ΑΠΕ στα ηλεκτρικά δίκτυα, η λειτουργία συστημάτων αποθήκευσης, καθώς και η προώθηση της ηλεκτροκίνησης.

Τέλος, το ΕΣΕΚ ενσωματώνει και περιγράφει αντίστοιχα μέτρα και για άλλες στρατηγικές προτεραιότητες πολιτικής, όπως η επιτάχυνση της ηλεκτρικής διασύνδεσης των νησιών, η χωρίς περαιτέρω καθυστερήσεις λειτουργία του νέου μοντέλου αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, η ενίσχυση των ενεργειακών διασυνδέσεων, η ψηφιοποίηση των δικτύων ενέργειας, η ανάπτυξη νέων χρηματοδοτικών εργαλείων, καθώς και πρωτοβουλίες σε θέματα έρευνας και καινοτομίας και ενίσχυσης της ανταγωνιστικότητας

Ένας ακόμη σημαντικός νόμος που ψηφίστηκε στην Ελλάδα για την κλιματική αλλαγή είναι ο Εθνικός Κλιματικός Νόμος 4936/2022 (Α' ΦΕΚ 105) με τίτλο: «Εθνικός Κλιματικός Νόμος – Μετάβαση στην κλιματική ουδετερότητα και προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, επείγουσες διατάξεις για την αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης και την προστασία του περιβάλλοντος» [33], οποίος αποτελεί συνέχεια Ευρωπαϊκού Κλιματικού Νόμου.

Σκοπός του παρόντος νόμου είναι η δημιουργία ενός συνεκτικού πλαισίου για τη βελτίωση της προσαρμοστικής ικανότητας και της κλιματικής ανθεκτικότητας της χώρας και τη διασφάλιση της σταδιακής μετάβασης της χώρας στην κλιματική ουδετερότητα έως το έτος 2050, με τον πλέον περιβαλλοντικά βιώσιμο, κοινωνικά δίκαιο και οικονομικά αποδοτικό τρόπο.

Προκειμένου να επιτευχθεί ο μακροπρόθεσμος στόχος κλιματικής ουδετερότητας, ορίζονται ως ενδιάμεσοι κλιματικοί στόχοι για τα έτη 2030 και 2040 η μείωση των καθαρών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον πενήντα πέντε τοις εκατό (55%) και ογδόντα τοις εκατό (80%), αντίστοιχα, σε σύγκριση με τα επίπεδα του έτους 1990, λαμβάνοντας υπόψη τις προβλέψεις του Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ).

Στον εν λόγω νόμο θεσπίζονται μέτρα και πολιτικές για την προσαρμογή της χώρας στην κλιματική αλλαγή και τη διασφάλιση της πορείας απανθρακοποίησης έως το έτος 2050. Ειδικότερα, θεσπίζονται μέτρα και πολιτικές για την ενίσχυση της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή με το μικρότερο δυνατό κόστος, δείκτες παρακολούθησης της προόδου προς επίτευξη των σχετικών στόχων, διαδικασίες αξιολόγησης και αναπροσαρμογής των στόχων και λήψης πρόσθετων μέτρων, καθώς και μέτρα για τον μετριασμό των εκπομπών από την ηλεκτροπαραγωγή, τον κτιριακό τομέα, τις μεταφορές και τις επιχειρήσεις.

Στον Εθνικό Κλιματικό Νομό ορίζεται επίσης η δημιουργία μηχανισμού κατάρτισης προϋπολογισμών άνθρακα για τους βασικούς τομείς της οικονομίας και του συστήματος διακυβέρνησης και συμμετοχής για την ανάληψη κλιματικής δράσης.

## **2.6 ΤΕΕ Κ.Εν.Α.Κ**

Η Ελλάδα είχε την υποχρέωση να εναρμονιστεί με την Κοινοτική Οδηγία 91/2002/ΕΚ αναφορικά με την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων, με την έκδοση και την εφαρμογή σχετικών νομοθετικών διατάξεων. Το πρώτο βήμα για την εναρμόνισή της με αυτήν ήταν η έκδοση του ν. 3661/2008 (ΦΕΚ Α' 89): «Μέτρα για τη μείωση της Ενεργειακής Κατανάλωσης των Κτιρίων και άλλες διατάξεις». Βάσει του νόμου υπήρχε η υποχρέωση έκδοσης σχετικού «Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης κτιρίων» (Κ.Εν.Α.Κ.) στον οποίο, μεταξύ άλλων, να καθορίζονται οι ελάχιστες τεχνικές προδιαγραφές και απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης των νέων και ριζικά ανακαινιζόμενων, καθώς και η μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης αυτών [34]. Επίσης, καθίσταται υποχρεωτική η έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής

Απόδοσης (ΠΕΑ) για όλα τα κτίρια, το οποίο περιλαμβάνει την αξιολόγηση της ενεργειακής τους απόδοσης βάσει τυποποιημένων μεθοδολογιών, γεγονός το οποίο προσφέρει διαφάνεια σε αγοραστές, πωλητές και ενοικιαστές. Τέλος, διασφαλίζεται η συμμόρφωση με τους κανονισμούς μέσω ενός συστήματος επαλήθευσης και επιθεώρησης από εξειδικευμένους επαγγελματίες, προστατεύοντας την ακεραιότητα και την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής του KENAK.

Προκειμένου να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι, αξιοποιούνται μια σειρά από εργαλεία και μεθοδολογίες. Αναλυτικότερα, χρησιμοποιούνται τυποποιημένα λογισμικά υπολογισμού, όπως το APEIRON και το ATHENA, για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων με βάση τις προδιαγραφές σχεδιασμού και κατασκευής τους. Επίσης, παρέχονται συνεκτικά τεχνικά εγχειρίδια και οδηγίες που αναλύουν τις μεθοδολογίες υπολογισμού, τις διαδικασίες συμμόρφωσης και τις βέλτιστες πρακτικές για τον ενεργειακά αποδοτικό σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων. Τέλος, προσφέρονται προγράμματα εκπαίδευσης και σχέδια πιστοποίησης για επαγγελματίες που εμπλέκονται στον σχεδιασμό, την κατασκευή και τον έλεγχο των κτιρίων, εξασφαλίζοντας την ικανότητά τους να εφαρμόζουν τους κανονισμούς του KENAK και να προωθούν τις καλύτερες πρακτικές.

Η εφαρμογή του KENAK αναμένεται να φέρει σημαντικά οφέλη για την Ελλάδα. Καταρχάς, θέτοντας όλο και πιο αυστηρές απαιτήσεις για ενεργειακή απόδοση, το KENAK προβλέπεται να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης από τον κτιριακό τομέα, συμβάλλοντας στην ενεργειακή ασφάλεια της χώρας και στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα. Επιπλέον, τα ενεργειακά αποδοτικά κτίρια συχνά δίνουν προτεραιότητα στον αερισμό και στη στεγανότητα, οδηγώντας σε βελτιωμένη ποιότητα εσωτερικού αέρα και υγεία των ατόμων. Τέλος, η υιοθέτηση ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών και πρακτικών ενισχύει την οικονομική ανάπτυξη στον κλάδο της κατασκευής και της ενέργειας, δημιουργώντας νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες και προωθώντας την καινοτομία.



### 3 Σύγχρονες Σχετικές Εφαρμογές

Η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα αποτελεί προτεραιότητα των Διεθνών Οργανισμών και των Εθνικών Κυβερνήσεων, καθώς έχουν θέσει φιλόδοξους στόχους έως το 2050 για κλιματική ουδετερότητα. Αν και η τεχνολογία έχει αναπτυχθεί σημαντικά, υπάρχουν λίγες εφαρμογές που είναι διαθέσιμες για οικιακούς καταναλωτές και συνήθως αποτελούν εμπορικά προϊόντα επί πληρωμή.

#### 3.1 Σύγχρονες Εφαρμογές

##### 3.1.1 Wattwatchers

Το Wattwatchers [35] είναι μια εφαρμογή που στοχεύει να βοηθήσει τους χρήστες της να μειώσουν την ενέργεια που καταναλώνουν σε οικιακό επίπεδο ώστε να συμβάλουν σε ένα πιο πράσινο μέλλον. Για να την επίτευξη αυτών των στόχων χρησιμοποιεί δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και δημιουργεί εξατομικευμένες εισηγήσεις. Η εφαρμογή πρέπει να συνδεθεί με έξυπνους μετρητές ή φορητούς αισθητήρες, για να μπορεί να συλλέγει πληροφορίες για τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και νερού σε διάφορες συσκευές και κυκλώματα. Αυτά τα δεδομένα μετατρέπονται σε μια εύκολα κατανοητή μορφή εντός της εφαρμογής, επιτρέποντας στους χρήστες να αναγνωρίσουν τις συνήθειές τους, οι οποίες καταναλώνουν πολλή ενέργεια και τις περιοχές που μπορούν να βελτιωθούν. Προσαρμοσμένες συμβουλές, προκλήσεις και συγκρίσεις με παρόμοια νοικοκυριά ενθαρρύνουν περαιτέρω τις βιώσιμες πρακτικές. Τα στοιχεία παιχνιδιού και οι κοινωνικές συγκρίσεις προσδίδουν ένα διασκεδαστικό πνεύμα στην χρήση της εφαρμογής.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωριστούν πιθανά μειονεκτήματα. Η αποτελεσματικότητα του Wattwatchers εξαρτάται από την αρχική ρύθμιση και τη συνεχή συμμετοχή του χρήστη. Επιπλέον, η ακρίβεια των δεδομένων και των εισηγήσεων που παρέχει μπορεί να εξαρτάται από τη συγκεκριμένη ρύθμιση και τους περιορισμούς των συνδεδεμένων έξυπνων μετρητών ή αισθητήρων.

##### 3.1.2 Energy Star Portfolio Manager

Το Energy Star Portfolio Manager (ESPM) [36] αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για ιδιοκτήτες και διαχειριστές εμπορικών κτιρίων, με στόχο την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης και της εξοικονόμησης κόστους μέσω πλήρους ανάλυσης δεδομένων και σύγκρισης. Με την παροχή μιας πλατφόρμας για την παρακολούθηση, τη σύγκριση και την ανάλυση της κατανάλωσης ενέργειας σε διάφορους τύπους κτιρίων, το ESPM βοηθά στον εντοπισμό περιοχών για βελτίωση και στην εφαρμογή στρατηγικών που στοχεύουν στη προώθηση της βιωσιμότητας.

Λειτουργώντας μέσω μιας χρήσιμης διαδικτυακής διεπαφής, το ESPM επιτρέπει στους χρήστες να μεταφορτώνουν δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων λογαριασμών υπηρεσιών και συστημάτων μέτρησης. Αυτά τα δεδομένα κανονικοποιούνται και συγκρίνονται με δεδομένα από παρόμοια

κτίρια σε ολόκληρη τη χώρα, παρέχοντας πολύτιμες εισηγήσεις για τη σχετική απόδοση. Η πλατφόρμα παρέχει επιπλέον εξατομικευμένες αναφορές, εργαλεία σύγκρισης και στοχευμένες προτάσεις, επιτρέποντας στους ιδιοκτήτες και τους διαχειριστές να εντοπίζουν συγκεκριμένες περιοχές με δυνατότητα μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας.

Τα πλεονεκτήματα του ESPM είναι πολύπλευρα. Καταρχάς, με το να συγκρίνουν την απόδοσή τους με παρόμοια κτίρια, οι χρήστες αποκτούν μια σαφή κατανόηση της σχετικής τους αποδοτικότητας και των τομέων δυνατής βελτίωσης. Αυτή η προσέγγιση βασισμένη στα δεδομένα προάγει την ενημερωμένη λήψη αποφάσεων. Επιπλέον, το ESPM παρέχει πρόσβαση σε πολύτιμους πόρους και καθοδήγηση, συμπεριλαμβανομένης της τεχνικής υποστήριξης και περιπτώσεων μελέτης.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε τους πιθανούς περιορισμούς. Η χρήση του ESPM στο μέγιστο της απαιτεί κάποια τεχνική εμπειρία στην εισαγωγή και ανάλυση δεδομένων. Ενώ η πλατφόρμα προσφέρει οδηγίες στον χρήστη και υποστήριξη, η πλοήγηση στη διαδικτυακή διεπαφή και η εξαγωγή χρήσιμων εισηγήσεων μπορεί να αποτελέσει πρόκληση για χρήστες με περιορισμένες τεχνικές γνώσεις. Επιπλέον, η αποτελεσματικότητα του ESPM εξαρτάται από την ακρίβεια και την πληρότητα των μεταφορτωμένων δεδομένων. Ανακριβή ή μη πλήρη σύνολα δεδομένων μπορεί να οδηγήσουν σε παραπλανητικές συγκρίσεις και να δυσχεράνουν τον εντοπισμό πραγματικών περιοχών βελτίωσης..

### 3.1.3 Opower

Η Opower [37] ξεχωρίζει στον τομέα των εφαρμογών για την ενεργειακή απόδοση με τον στόχο να βοηθήσει τους οικιακούς καταναλωτές να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας τους. Λειτουργώντας σε συνεργασία με εταιρείες διανομής ενέργειας, η Opower παρέχει εξατομικευμένες αναφορές απευθείας στους πελάτες, προάγοντας την ευαισθητοποίηση και ενθαρρύνοντας τις αλλαγές στην συμπεριφορά τους που στόχο έχει να οδηγήσει σε μειωμένους λογαριασμούς ενέργειας και σε ένα μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Η κύρια λειτουργικότητα της Opower βασίζεται στην παράδοση έξυπνων και χρήσιμων προτάσεων. Αναλύοντας τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας των νοικοκυριών από έξυπνους μετρητές ή πληροφορίες τιμολόγησης, η Opower δημιουργεί αναφορές που συγκρίνουν την ατομική χρήση με παρόμοια σπίτια στην περιοχή. Αυτές οι εκθέσεις επισημαίνουν τομείς με δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας, προσφέροντας εφαρμόσιμες συμβουλές και προτάσεις που προσαρμόζονται σε συγκεκριμένες συνθήκες και συσκευές. Επιπλέον, η Opower μπορεί να προσφέρει πρόσβαση σε προγράμματα εξοικονόμησης ενέργειας και επιδοτήσεις που προσφέρονται από την εταιρεία υπηρεσιών διανομής.

Τα πλεονεκτήματα της Opower είναι πολυδιάστατα. Οι εξατομικευμένες αναφορές αυξάνουν την ευαισθητοποίηση για τα μοτίβα κατανάλωσης ενέργειας του ατόμου, προάγοντας ένα αίσθημα ευθύνης και ιδιοκτησίας. Σε συνδυασμό μάλιστα με τις

εφαρμόσιμες προτάσεις και τις πιθανές οικονομικές επιδοτήσεις, μπορεί να ενθαρρύνει τους χρήστες να εφαρμόσουν συγκεκριμένες πρακτικές εξοικονόμησης ενέργειας. Επιπλέον, η συνεργασία της Orower με τις εταιρείες υπηρεσιών διανομής επιτρέπει την άνετη ενσωμάτωση με πληροφορίες τιμολόγησης και προγραμμάτων, προσφέροντας μια βολική και κεντρική πλατφόρμα για τη διαχείριση ενέργειας.

#### 3.1.4 My Emissions

Το My Emissions [38] στοχεύει στο να εξοπλίσει μεμονωμένα άτομα και επιχειρήσεις με έναν προσωπικό υπολογιστή ανθρακικού αποτυπώματος, ενθαρρύνοντας την ευθύνη και τη δράση προς ένα πιο βιώσιμο μέλλον. Παρέχοντας μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα για την παρακολούθηση και την κατανόηση διαφόρων πτυχών του περιβαλλοντικού τους αποτυπώματος, η εφαρμογή επιδιώκει να κινητοποιήσει συνειδητές επιλογές και να ωθήσει τους χρήστες να μειώσουν ενεργά το αποτύπωμα άνθρακά τους.

Λειτουργώντας μέσω μιας φιλικής προς τον χρήστη διεπαφής, το My Emissions επιτρέπει στα άτομα να εισάγουν δεδομένα σχετικά με δραστηριότητες όπως ο τρόπος μετακίνησης, η κατανάλωση ενέργειας, η διατροφή και η παραγωγή απορριμμάτων. Τα δεδομένα μετατρέπονται σε μια σαφή και ολοκληρωμένη εικόνα του συνολικού τους αποτυπώματος άνθρακα, κατηγοριοποιημένη ανά τομέα για εύκολη κατανόηση. Η εφαρμογή παρέχει επίσης εξατομικευμένες εισηγήσεις, επισημαίνοντας τους τομείς με τη μεγαλύτερη επίδραση και προτείνοντας ενεργά βήματα για μείωση. Επιπλέον, το My Emissions παρέχει πρόσβαση σε επαληθευμένα έργα αντιστάθμισης άνθρακα, επιτρέποντας στους χρήστες να αντισταθμίσουν τις αναπόφευκτες εκπομπές και να συμβάλουν άμεσα στη θετική περιβαλλοντική αλλαγή.

Τα πλεονεκτήματα του My Emissions είναι πολυδιάστατα. Με το να μετρά το συχνά αόρατο αποτύπωμα άνθρακα, η εφαρμογή αυξάνει την ευαισθητοποίηση και διαμορφώνει ένα αίσθημα προσωπικής ευθύνης για την περιβαλλοντική επίδραση. Σε συνδυασμό μάλιστα με τις εφαρμόσιμες συστάσεις και την πρόσβαση σε έργα αντιστάθμισης, ωθεί τους χρήστες να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις που συμβάλλουν ενεργά στην κλιματική δράση. Επιπλέον, η πλατφόρμα απευθύνεται τόσο σε μεμονωμένα άτομα όσο και σε επιχειρήσεις, προσφέροντας αξιόλογες εισηγήσεις και εξατομικευμένες λύσεις για τις δύο ομάδες.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωριστούν οι πιθανές ανεπάρκειες. Η ακρίβεια του My Emissions εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη δυνατότητα του χρήστη να παρέχει ακριβή και συνεπή δεδομένα, τα οποία μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τις ατομικές συνθήκες και τη διαθεσιμότητα δεδομένων. Επιπλέον, η εφαρμογή εστιάζει κυρίως στην ατομική δράση, ενώ τα συστημικά μέτρα και οι συλλογικές προσπάθειες είναι επίσης ουσιώδεις για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Επιπλέον, η αποτελεσματικότητα των συγκεκριμένων προτάσεων και των έργων αντιστάθμισης εξαρτάται από παράγοντες εκτός του ελέγχου της εφαρμογής.

### 3.2 Συμβολή της Διπλωματικής Εργασίας

Οι παραπάνω εφαρμογές, αν και παρέχουν κάποιες καλές λύσεις και υλοποιήσεις στα προβλήματα της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης, δεν παρέχουν ένα ολοκληρωμένο εργαλείο ενεργειακής ανακαίνισης που να προτείνει στον χρήστη λύσεις με βάση τα υπάρχοντα προϊόντα της αγοράς. Εξαίρεση αποτελεί η εφαρμογή Energy Star Portfolio Manager (ESPM), η οποία, αν και παρέχει δυνατότητα σύγκρισης του κτιρίου με αντίστοιχα κτίρια, απαιτεί μεγάλο κόστος εγκατάστασης της εφαρμογής και δεν επιτρέπει στον χρήστη να ορίσει τις προτεραιότητές του κατά την ανακαίνιση.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύσσεται ένα εργαλείο το οποίο δεν απαιτεί κόστος εγκατάστασης για την χρησιμοποίησή του. Αντιθέτως, δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού μιας ανακαίνισης, χωρίς επιπλέον κόστος, καθώς δεν απαιτούνται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, αφού οι προσομοιώσεις γίνονται με χρήση εξειδικευμένου εργαλείου.

Όσον αφορά τις ανακαινίσεις κτιρίων, υπάρχουν αρκετές εφαρμογές σχεδιασμού μιας ανακαίνισης, τόσο δωρεάν όσο και επί πληρωμή. Ωστόσο, περιορισμένες είναι αυτές στις οποίες ο χρήστης μπορεί να επιλύσει το πρόβλημά του. Κατά συνέπεια, η εργασία αυτή σχεδιάστηκε, ώστε να παρέχει στον χρήστη ένα εργαλείο σχεδιασμού μιας ανακαίνισης και την δυνατότητα να αντιληφθεί τον θετικό αντίκτυπο που θα έχει αυτή, τόσο στην οικονομική του κατάσταση όσο και στο περιβάλλον. Επιπλέον, η μελέτη μιας ανακαίνισης μπορεί να φανεί χρονοβόρα και κοστοβόρα σε έναν χρήστη, καθώς είναι αναγκαίο να συμβουλευτεί μηχανικό. Για τον λόγο αυτόν στο εργαλείο που σχεδιάστηκε έχουν χρησιμοποιηθεί τιμές από πραγματικά προϊόντα της αγοράς και έχει γίνει σύγκριση όλων των δυνατών κτιρίων, προκειμένου να βρεθεί η βέλτιστη λύση σύμφωνα με τις ανάγκες του χρήστη.

Σε σχέση με τις ήδη υπάρχουσες εφαρμογές, το εργαλείο που αναπτύχθηκε, στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας, καταφέρνει να συνδυάσει την απλότητα και την ευκολία στην καταχώριση των δεδομένων από τον χρήστη με τη πλήρη επεξηγηματική παρουσίαση των βέλτιστων δυνατών επιλογών. Όλα αυτά ενσωματώνονται σε ένα περιβάλλον, φιλικό και διαδραστικό για τον χρήστη, όπου έχει τη δυνατότητα να πειραματιστεί με ευκολία. Με αυτόν τον τρόπο η εφαρμογή καταφέρνει να αντιμετωπίσει τη μη φιλικότητα των δεδομένων προς τον χρήστη, λόγω του πλήθους των πιθανών επιλογών, καθώς και των στόχων του σε μια ανακαίνιση.

Τέλος, οι παραπάνω υπάρχουσες εφαρμογές αποτέλεσαν πηγή έμπνευσης για τη δημιουργία της εφαρμογής που περιγράφεται στην εργασία. Σε ορισμένες περιπτώσεις παρουσίαζαν, είτε περιβάλλον μη φιλικό προς τον χρήστη είτε μικρό εύρος χρήσης είτε μεγάλο κόστος για την χρησιμοποίησή τους. Συνεπώς, η εφαρμογή που αναπτύχθηκε παρέχει ένα αρκετά ολοκληρωμένο εργαλείο σχεδιασμού και επίλυσης προβλημάτων ενεργειακής ανακαίνισης.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν αναλύονται τα εργαλεία που χρειάστηκαν κατά την υλοποίηση, οι επιλογές σχεδίασης και υλοποίησης που έγιναν, καθώς και η παρουσίαση της χρήσης αυτών σε πραγματικά προβλήματα.

## 4 Σχεδίαση και Υλοποίηση προσομοίωσης ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται προσομοίωση όλων των δυνατών κτιρίων μέσω των εξειδικευμένων προγραμμάτων Sketch Up και Energy Plus και της γλώσσας προγραμματισμού Python, προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για την υφιστάμενη κατάσταση των κτιρίων, όσον αφορά την απόδοση των μηχανολογικών εγκαταστάσεών τους, τη θερμική άνεση και των ενεργειακών καταναλώσεών τους.

Στο σημείο αυτό είναι σκόπιμο να αναφερθούν ορισμένα βασικά στοιχεία για τα επιμέρους προγράμματα προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκαν για την καλύτερη κατανόηση της σημασίας εφαρμογής τους.

### 4.1 Εργαλεία σχεδίασης και προσομοίωσης

#### 4.1.1 Sketch Up

Το Sketch Up [39] αποτελεί πρόγραμμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης διάφορων αντικειμένων, ακόμα και κτιρίων, όπου με την παράλληλη βοήθεια της εργαλειοθήκης Open Studio, έχει την δυνατότητα να πραγματοποιεί γραφικά την ενεργειακή απεικόνιση οποιουδήποτε τρισδιάστατου μοντέλου, μέσω της δημιουργίας θερμικών ζωνών, επιφανειών σκίασης και φωτισμού εσωτερικών χώρων. Το πρόγραμμα αυτό δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να εξάγει αρχείο με χρήσιμες ενεργειακές πληροφορίες, τις οποίες μπορεί να επεξεργαστεί περαιτέρω στο πρόγραμμα Energy Plus .

#### 4.1.2 Energy Plus

Το Energy Plus, [40] με τη σειρά του, χρησιμοποιεί τις παραπάνω πληροφορίες έτσι, ώστε να βελτιώσει τον υφιστάμενο σχεδιασμό του κτιρίου, εξασφαλίζοντας βέλτιστα ενεργειακά οφέλη. Έχει τη δυνατότητα να επεξεργάζεται αρκετές παραμέτρους, όπως τον φωτισμό και τον αερισμό των χώρων, καθώς και τη συνολική θέρμανση και ψύξη του κτιρίου που μελετάται, εξάγοντας ενδιαφέροντα συμπεράσματα για τις αντίστοιχες καταναλώσεις.

#### 4.1.3 Γλώσσα Προγραμματισμού Python

Η Python [41] είναι μια ερμηνευμένη, αντικειμενοστραφής, υψηλού επιπέδου γλώσσα προγραμματισμού με δυναμική σημασιολογία. Η υψηλού επιπέδου ενσωματωμένη δομή δεδομένων, σε συνδυασμό με τη δυναμική πληκτρολόγηση (dynamic typing) και τη δυναμική δέσμευση (dynamic binding), την καθιστούν πολύ ελκυστική για την Ταχεία Ανάπτυξη Εφαρμογών (Rapid Application Development), καθώς και για την χρήση, ως γλώσσας προγραμματισμού, της σύνδεση υπαρχόντων στοιχείων μεταξύ τους. Το συντακτικό της Python είναι απλό, εύκολο στην εκμάθηση και δίνει έμφαση στην αναγνωσιμότητα και συνεπώς μειώνει το κόστος συντήρησης του προγράμματος. Υποστηρίζει ενότητες και πακέτα, γεγονός που ενθαρρύνει τη

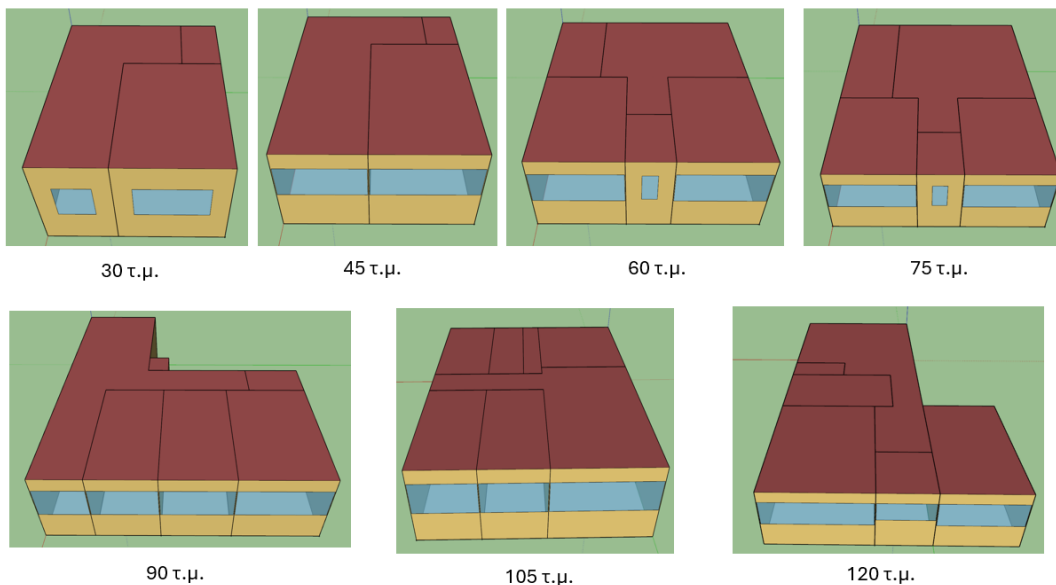
λειτουργικότητα του προγράμματος και την επαναχρησιμοποίηση του κώδικα. Ο διερμηνέας της Python και η εκτεταμένη τυπική βιβλιοθήκη της διατίθενται σε μορφή κώδικα ή δυαδική μορφή χωρίς χρέωση για όλες τις μεγάλες πλατφόρμες.

Στην python υπάρχει η βιβλιοθήκη erpy [42] που χρησιμοποιείται για την τροποποίηση φακέλων EnergyPlus idf και την ανάγνωση φακέλων EnergyPlus output. Η βιβλιοθήκη erpy επιτρέπει τα ακόλουθα:

- Μεγάλο αριθμό αλλαγών σε έναν φάκελο idf
- Χρήση συνθηκών και φίλτρων, όταν γίνονται οι αλλαγές
- Ανάγνωση δεδομένων από τους φακέλους εξόδου μιας προσομοίωσης σε EnergyPlus
- Δημιουργία του φακέλου εισόδου της επόμενης προσομοίωσης με βάση τα αποτελέσματα της προηγούμενης

## 4.2 Εφαρμογή Προγράμματος Sketch Up

Σε πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε η αποτύπωση των 7 κτηρίων στο πρόγραμμα Sketch Up. Με την εντολή “Create Spaces From Diagram” ορίστηκε το ύψος του εκάστοτε κτιρίου και με την εντολή “Project Loose Geometry” προέκυψαν τα ανοίγματα του κτιρίου. Τα τρισδιάστατα μοντέλα που δημιουργήθηκαν παρουσιάζονται σε τετραγωνικά μέτρα στις παρακάτω εικόνες.

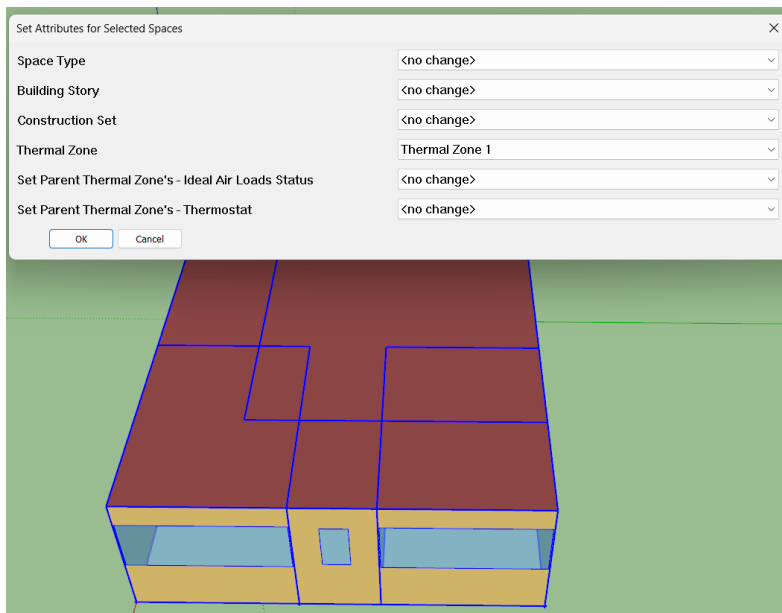


Εικόνα 21 – Τρισδιάστατα μοντέλα που δημιουργήθηκαν στο Sketch σε τ.μ.

Το επόμενο βήμα είναι ο διαχωρισμός των κτηρίων σε θερμικές ζώνες, σύμφωνα με την Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.) [43]. Ως θερμικές ζώνες νοούνται χώροι με παρόμοια χρήση, ίδιο προφίλ λειτουργίας ή/και

κοινά ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα, ενώ για τον αντίστοιχο διαχωρισμό τους συνίσταται:

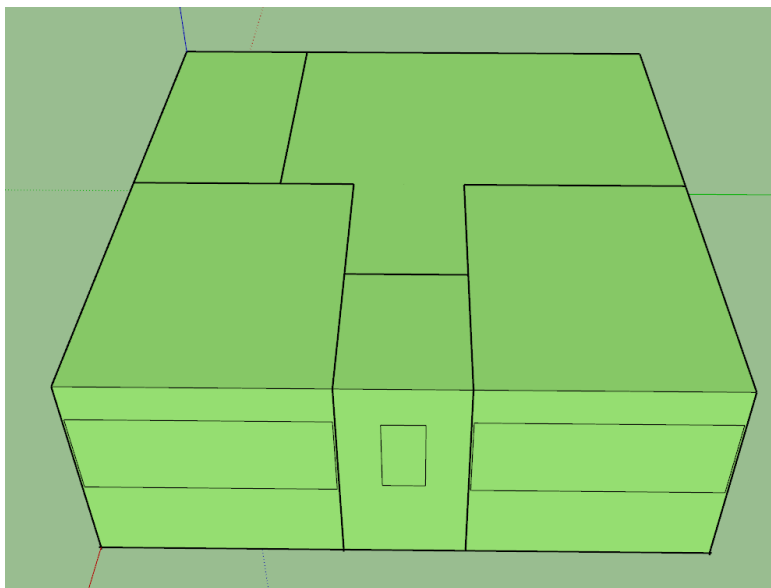
- η δημιουργία, όσο το δυνατόν, μικρότερου αριθμού ζωνών για οικονομία του πλήθους των εισαγόμενων στοιχείων και του χρόνου υπολογισμού τους
- η ένταξη τμημάτων του κτιρίου, με ποσοστό όγκου έως 10% του συνολικού όγκου του κελύφους, σε παρόμοιες θερμικές ζώνες, ακόμα και στην περίπτωση που η λειτουργία τους δικαιολογεί τη θεώρησή τους ως ανεξάρτητη ζώνη [43].



Εικόνα 22 - Ορισμός θερμικών ζωνών

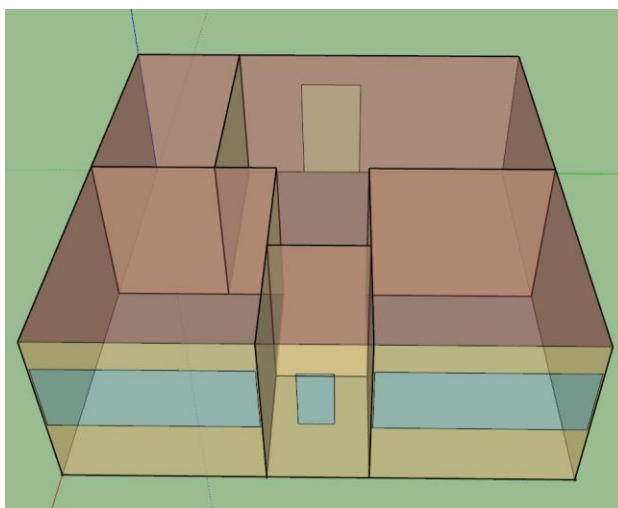
Έπειτα, οι θερμικές αυτές ζώνες ορίστηκαν στο πρόγραμμα Sketch Up μέσω της εντολής “Set Attributes for Selected Spaces” – “Thermal Zone” – “New Thermal Zone”. Η τρισδιάστατη μορφή του μοντέλου, σε σχέση με τις θερμικές ζώνες του συγκροτήματος, προέκυψε με την εντολή “Render By Thermal Zone” και δίνεται στην Εικόνα 23.





Εικόνα 23 - Εμφάνιση κτιρίου με την εντολή *Render By Thermal Zone*

Επόμενο βήμα είναι η κατηγοριοποίηση σε εξωτερικά ή εσωτερικά στοιχεία των τοίχων, των δαπέδων, των παραθύρων και της οροφής. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μέσω της εντολής “Surface Matching”, και ειδικότερα των επιλογών “Intersect In Entire Model” και “Match In Entire Model”, με το αποτέλεσμα να εμφανίζεται χρησιμοποιώντας το εργαλείο “View Model in X-Ray Mode”, ενώ το τρισδιάστατο μοντέλο βρίσκεται σε κατάσταση “Render by Boundary Condition”. Στην Εικόνα 24 παρατίθεται το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής, όπου με κίτρινο χρώμα απεικονίζονται οι εξωτερικοί τοίχοι, με κόκκινο οι εσωτερικοί και το δάπεδο..

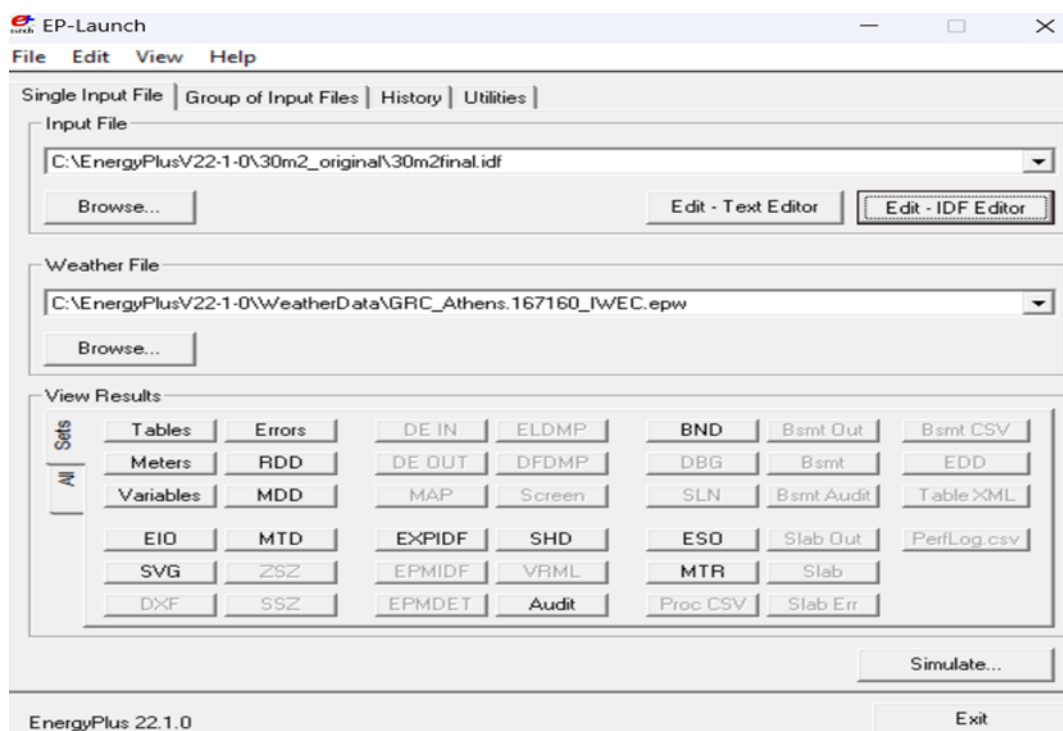


Εικόνα 24 - Εμφάνιση του κτιρίου με την εντολή *View model in X-Ray Mode*

## 4.3 Εφαρμογή Προγράμματος Energy Plus

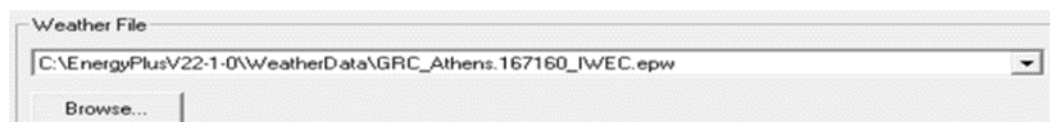
### 4.3.1 Περιβάλλον EP-Launch

Η πρώτη επαφή με το περιβάλλον του προγράμματος είναι το EP-Launch, όπου εισάγεται το αρχείο κτιρίου που έχει δημιουργηθεί και το αρχείο καιρού που ανταποκρίνεται στην περιοχή που βρίσκεται το κτίριο. Στη συνέχεια γίνεται η προσομοίωση.



Εικόνα 25 - EP-Launch

Το αρχείο του κτιρίου δημιουργήθηκε με τη βοήθεια του IDF Editor, ενώ τα κλιματικά δεδομένα πάρθηκαν από τη σελίδα του Energy Plus, όπου υπάρχουν αποθηκευμένα αρχεία από κλιματικές μετρήσεις στις περιοχές της Αθήνας, της Θεσσαλονίκης και της Ανδραβίδας. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα κλιματικά δεδομένα της Αθήνας καθώς ανταποκρίνονται περισσότερο στην περιοχή που βρίσκεται το υπό μελέτη κτίριο.

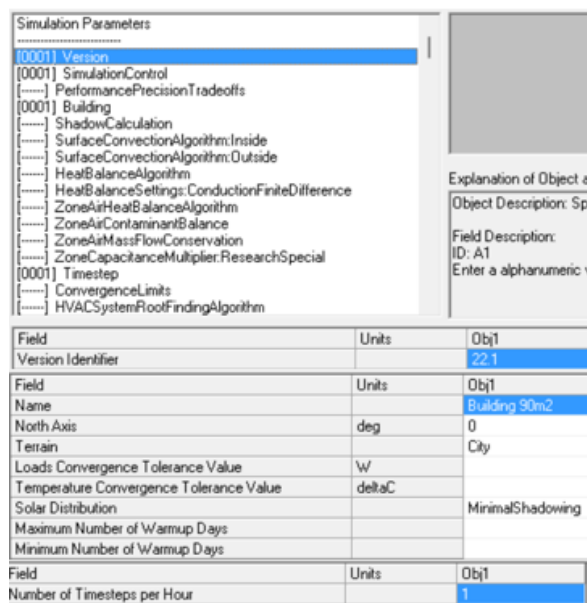


Εικόνα 26 - Εισαγωγή δεδομένων καιρού

### 4.3.2 Παράμετροι Προσομοίωσης (Simulation Parameters)

Στη συγκεκριμένη κατηγορία εισάγονται ορισμένες πληροφορίες για το ίδιο το πρόγραμμα καθώς και για το κτίριο που μελετάται. Έτσι, στην υποκατηγορία

“Version” ορίζεται η έκδοση που χρησιμοποιείται (Version Identifier: 22.1) και στην υποκατηγορία “Simulation Control” επιλέγονται τα πεδία που θα υπολογίσει το πρόγραμμα (Run Simulation for Sizing Periods και Run Simulation for Weather File Run Periods). Έπειτα, στην υποκατηγορία “Building” ορίζεται το όνομα του κτιρίου, η απόκλιση του από τον άξονα του βορρά, ο τύπος του εδάφους (Terrain: City) και ο μηχανισμός διανομής της ηλιακής ακτινοβολίας (Solar Distribution: Minimal Shadowing). Τέλος, στην υποκατηγορία “Timestep” εισάγεται το βασικό χρονικό βήμα της προσομοίωσης, βάσει του οποίου θα υπολογιστεί η μεταφορά θερμότητας (Number of Timesteps per Hour: 1).



Εικόνα 27 – Παράμετροι προσομοίωσης

#### 4.3.3 Τοποθεσία και Κλίμα (Location and Climate)

Στην κατηγορία αυτή εισάγονται οι συνθήκες του ευρύτερου περιβάλλοντος της περιοχής μελέτης. Έτσι, στην υποκατηγορία “Site:Location” δίνονται οι συντεταγμένες του κτιρίου (Latitude: 38 deg και Longitude: 23.43 deg), η ζώνη ώρας (Time Zone: +02:00hr) και το υψόμετρο της περιοχής (Elevation: 30m). Επίσης, στην υποκατηγορία “RunPeriod” ορίζεται όλη η περίοδος του έτους (Begin: 1/1 και End: 12/31 και στην υποκατηγορία “Site: Ground Temperature: Building Surface” η μέση θερμοκρασία του εδάφους για όλο το έτος (Ground Temperature: 18° C).

#### 4.3.4 Χρονοδιαγράμματα

Η συγκεκριμένη κατηγορία δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να προγραμματίσει αρκετές παραμέτρους, τις οποίες μπορεί να διαχωρίσει σε χρονικά διαστήματα ενός εικοσιτετράωρου, και συγκεκριμένα χρησιμοποιείται η υποκατηγορία “Schedule: Compact”. Για τη διαδικασία του προγραμματισμού ορίζεται ως διάστημα λειτουργίας ολόκληρο το έτος (Through: 12/31), ενώ τα πεδία της υποκατηγορίας αυτής παίρνουν τις τιμές συντελεστής (Fraction), θερμοκρασία (Temperature) και οποιαδήποτε άλλη

τιμή με την αντίστοιχη μονάδα μέτρησης. Με βάση τα προαναφερόμενα ορίζονται τα παρακάτω χρονοδιαγράμματα:

#### Χρονοδιάγραμμα πυκνότητας ανθρώπινης ύπαρξης

Στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται χρονοδιαγράμματα που αποτυπώνουν την πυκνότητα της ανθρώπινης ύπαρξης, σε τιμή συντελεστή (Fraction), για μέρες που παρουσιάζουν παρόμοια πυκνότητα κατά τη διάρκεια μίας τυπικής εβδομάδας (Εργάσιμες μέρες, Σαββατοκύριακα). Γενικά, λαμβάνεται υπόψη ότι τις εργάσιμες μέρες τα μέλη της οικογένεια ξυπνάνε στις 08:00, στις 09:00 αποχωρούν από την οικία τους για την εργασία τους. Μέχρι τις 19:00 έχουν επιστρέψει στην οικία τους και μετά πηγαίνουν σε διάφορες δραστηριότητες. Στις 22:00 όλα τα μέλη έχουν επιστρέψει και πηγαίνουν για ύπνο στις 24:00. Η κλίμακα μέτρησης λαμβάνει την ελάχιστη τιμή 0 και τη μέγιστη τιμή 1.

Field	Units	Obj1
Name		SchPeople
Schedule Type Limits Name		Fraction
Field 1	varies	Through: 12/31
Field 2	varies	For: Week days
Field 3	varies	Until 08:00
Field 4	varies	0
Field 5	varies	Until 09:00
Field 6	varies	1
Field 7	varies	Until 14:00
Field 8	varies	0
Field 9	varies	Until 17:00
Field 10	varies	0.33
Field 11	varies	Until 19:00
Field 12	varies	1
Field 13	varies	Until 21:00
Field 14	varies	0.66
Field 15	varies	Until 22:00
Field 16	varies	0.33
Field 17	varies	Until 24:00
Field 18	varies	1

Εικόνα 28 - Χρονοδιαγράμμα πυκνότητας ανθρώπινης Δευτέρα-Παρασκευή

Τα Σαββατοκύριακα το πρόγραμμα της οικογένειας τροποποιείται ως εξής : ξυπνάνε στις 10:00 και μέχρι τις 12:00 βρίσκονται όλα τα μέλη στην οικία. Στην συνέχεια φεύγουν και επιστρέφουν στις 17:00 .

#### Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας τεχνητού φωτισμού

Το χρονοδιάγραμμα αυτό ακολουθεί το χρονοδιάγραμμα της ανθρώπινης παρουσίας και δημιουργείται βάσει ενός τυπικού μέσου όρου λειτουργίας του τεχνητού φωτισμού καθ' όλη την διάρκεια της χρονιάς, αφού είναι διαφορετική η χρήση του κατά τη διάρκεια της χειμερινής και θερινής περιόδου.

Field Name	Units	Obj4	Field	Units	Obj4
Schedule Type Limits Name		SchLghts Fraction	Field 19	varies	For: Weekends
Field 1	varies	Through: 12/31	Field 20	varies	Until 10:00
Field 2	varies	For: Weekdays	Field 21	varies	0
Field 3	varies	Until 08:00	Field 22	varies	Until 12:00
Field 4	varies	0	Field 23	varies	0.4
Field 5	varies	Until 09:00	Field 24	varies	Until 15:00
Field 6	varies	0.2	Field 25	varies	0
Field 7	varies	Until 14:00	Field 26	varies	Until 17:00
Field 8	varies	0	Field 27	varies	0.4
Field 9	varies	Until 17:00	Field 28	varies	Until 21:00
Field 10	varies	0.2	Field 29	varies	0.6
Field 11	varies	Until 19:00	Field 30	varies	Until 24:00
Field 12	varies	0.4	Field 31	varies	0.8
Field 13	varies	Until 21:00			
Field 14	varies	0.6			
Field 15	varies	Until 22:00			
Field 16	varies	0.4			
Field 17	varies	Until 24:00			
Field 18	varies	0.8			

Εικόνα 29 - Χρονοδιαγράμμα λειτουργίας τεχνητού φωτισμού

### Χρονοδιαγράμματα Θέρμανσης- Ψύξης

Από την καρτέλα Schedule:Compact καθορίστηκαν 4 διαφορετικά χρονοδιαγράμματα: ένα για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης τις καθημερινές, ένα για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης τα Σαββατοκύριακα, ένα για τη λειτουργία του κλιματισμού τις καθημερινές και ένα για τη λειτουργία του κλιματιστικού τα Σαββατοκύριακα. Τα χρονοδιαγράμματα του θερμοστάτη στους 23οC για το σύστημα θέρμανσης και ψύξης στους 26οC .

- Θέρμανση : 16 Νοεμβρίου έως 15 Απριλίου
- Θέρμανση Καθημερινές: 07:00 – 10:00 και 15:00 – 24:00
- Θέρμανση Σάββατο και Κυριακή: Όλη μέρα

Field	Units	Obj9	Obj10
Name		SchHeat	SchHeatTemp
Schedule Type Limits Name		Fraction	Temperature 3
Field 1	varies	Through 4/15	Through 4/15
Field 2	varies	For: Weekdays	For: Weekdays
Field 3	varies	Until 07:00	Until 07:00
Field 4	varies	0	10
Field 5	varies	Until 10:00	Until 10:00
Field 6	varies	1	23
Field 7	varies	Until 15:00	Until 15:00
Field 8	varies	0	10
Field 9	varies	Until 24:00	Until 24:00
Field 10	varies	1	23
Field 11	varies	For: Weekends	For: Weekends
Field 12	varies	Until 24:00	Until 24:00
Field 13	varies	1	23
Field	Units	Obj9	Obj10
Field 14	varies	Through: 11/16	Through:11/16
Field 15	varies	For:AllDays	For: AllDays
Field 16	varies	Until 24:00	Until 24:00
Field 17	varies	0	10
Field 18	varies	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 19	varies	For: Weekdays	For: Weekdays
Field 20	varies	Until 07:00	Until 07:00
Field 21	varies	0	10
Field 22	varies	Until 10:00	Until 10:00
Field 23	varies	1	23
Field 24	varies	Until 15:00	Until 15:00
Field 25	varies	0	10
Field 26	varies	Until 24:00	Until 24:00
Field 27	varies	1	23
Field 28	varies	For: Weekends	For: Weekends
Field 29	varies	Until 24:00	Until 24:00
Field 30	varies	1	23

Εικόνα 30- Χρονοδιαγράμμα θέρμανσης

- Ψύξη : 1 Μαΐου έως 31 Αυγούστου
- Κλιματισμός Καθημερινές: 16:00 – 21:00
- Κλιματισμός Σαββατοκύριακα: 11:00 – 13:00 και 16:00 – 21:00

Field	Units	Obj11	Obj12
Name		SchCoolingTime	SchCooling
Schedule Type Limits Name		Fraction	Temperature 4
Field 1	varies	Through 5/1	Through 5/1
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until 24:00	Until 24:00
Field 4	varies	0	60
Field	Units	Obj11	Obj12
Field 5	varies	Through 8/31	Through 8/31
Field 6	varies	For: Weekdays	For: Weekdays
Field 7	varies	Until 16:00	Until 16:00
Field 8	varies	0	60
Field 9	varies	Until 21:00	Until 21:00
Field 10	varies	1	26
Field 11	varies	Until 24:00	Until 24:00
Field 12	varies	0	60
Field 13	varies	For: Weekends	For: Weekends
Field 14	varies	Until 11:00	Until 11:00
Field 15	varies	0	60
Field 16	varies	Until 13:00	Until 13:00
Field 17	varies	1	26
Field 18	varies	Until 16:00	Until 16:00
Field 19	varies	0	60
Field 20	varies	Until 21:00	Until 21:00
Field 21	varies	1	26
Field 22	varies	Until 24:00	Until 24:00
Field 23	varies	0	60
Field 24	varies	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 25	varies	For: AllDays	For: AllDays
Field 26	varies	Until 24:00	Until 24:00
Field 27	varies	0	60

Εικόνα 31 - Χρονοδιαγράμμα ψύξης

Τα δεδομένα αντλήθηκαν από το αρχείο της ιστοσελίδας του προγράμματος που περιέχει πρότυπες κατοικίες για διάφορες πόλεις των Ηνωμένων Πολιτειών [44]. Για την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία ενός παρόμοιου διαμερίσματος 4 ατόμων, 100 m<sup>2</sup> στην περιοχή του Los Angeles.

#### 4.3.5 Ροή Αέρα (Airflow)

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια είναι η ροή αέρα μεταξύ των ζωνών και η ροή αέρα λόγω φυσικού αερισμού (π.χ. ανοιχτά παράθυρα). Η προσομοίωση αυτών γίνεται στις καρτέλες "ZoneInfiltration:DesignFlowRate" και "ZoneVentilation:DesignFlowRate", όπως περιγράφεται παρακάτω.

##### Διείσδυση Αέρα Μέσα από του Τοίχους ("ZoneInfiltration:DesignFlowRate")

Κατά την προσομοίωση, όπως αποτυπώνεται και στην εικόνα, θεωρήθηκε ότι η διείσδυση αέρα μέσα από τους τοίχους γίνεται κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας και όλου του χρόνου ανεξάρτητα από το αν το κτίριο είναι ανοιχτό ή όχι. Χρησιμοποιήθηκε ένα χρονοδιάγραμμα "Always On" για την περιγραφή της συνεχούς κίνησης του αέρα και έγινε η παραδοχή ότι οι εναλλαγές του αέρα ανά ώρα είναι 0.5.

**Class List**

- [.....] DaylightingDevice:Tubular
- [.....] DaylightingDevice:Shelf
- [.....] DaylightingDevice:LightWell
- [.....] Output:DaylightFactors
- [.....] Output:IlluminanceMap
- [.....] OutputControl:IlluminanceMap:Style

Zone Airflow

---

- [0001] ZoneInfiltration:DesignFlowRate**
- [.....] ZoneInfiltration:EffectiveLeakageArea
- [.....] ZoneInfiltration:FlowCoefficient
- [0001] ZoneVentilation:DesignFlowRate**
- [.....] ZoneVentilation:WindandStackOpenArea
- [.....] ZoneAirBalance:OutdoorAir

**Comments from IDF**

Explanation of Object ar

Object Description: Infil  
a design level which is  
Schedule fraction, temp  
and wind speed:  
Infiltration=I design \* FS

Field	Units	Obj1
Name		InfilZ1
Zone or ZoneList Name		Thermal Zone 1
Schedule Name		AlwaysON
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s	
Flow per Zone Floor Area	m3/s-m2	
Flow per Exterior Surface Area	m3/s-m2	
Air Changes per Hour	1/hr	0.5
Constant Term Coefficient		1
Temperature Term Coefficient		
Velocity Term Coefficient		
Velocity Squared Term Coefficient		

Εικόνα 32 - Διείσδυση Αέρα Μέσα από του Τοίχους ("ZoneInfiltration:DesignFlowRate")

### Φυσικός Αερισμός ("ZoneVentilation:DesignFlowRate")

Ο φυσικός αερισμός των χώρων του κτιρίου είναι μία μεταβλητή που εξαρτάται αποκλειστικά από τους χρήστες και από την συχνότητα που οι ίδιοι θεωρούν ότι ο χώρος έχει ανάγκη από αερισμό. Κατά την προσομοίωση, δημιουργήθηκαν τα κατάλληλα χρονοδιαγράμματα ώστε να περιγραφεί το ποσοστό του αερισμού που πραγματοποιείται ανά ώρα της ημέρας, και ανά ημέρα του χρόνου. Στη συνέχεια, στην καρτέλα "ZoneVentilation:DesignFlowRate", όπως φαίνεται στην Εικόνα 33, ορίστηκαν οι εναλλαγές αέρα ανά ώρα με αντιπροσωπευτική τιμή για την θερμική ζώνη τις 2 αλλαγές ανά ώρα.



Field	Units	Obj1
Name		VentilTZ1
Zone or ZoneList Name		Thermal Zone 1
Schedule Name		SchVent
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s	
Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2	
Flow Rate per Person	m3/s-person	
Air Changes per Hour	1/hr	2
Ventilation Type		Natural
Fan Pressure Rise	Pa	0
Fan Total Efficiency		1
Constant Term Coefficient		1
Temperature Term Coefficient		0
Velocity Term Coefficient		0
Velocity Squared Term Coefficient		
Minimum Indoor Temperature	C	-100
Minimum Indoor Temperature Schedule Name		
Maximum Indoor Temperature	C	100

Εικόνα 33 - Φυσικός Αερισμός ("ZoneVentilation:DesignFlowRate")

#### 4.3.6 Εσωτερικά θερμικά κέρδη (Internal Gains)

Η ενεργειακή συμπεριφορά και η θερμική κατανάλωση ενός κτιρίου επηρεάζεται, εκτός από τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος και από τα δομικά υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένο, και από άλλους παράγοντες, όπως τα άτομα που διαμένουν και κινούνται μέσα σε αυτό, τον τεχνητό φωτισμό, τις ηλεκτρικές συσκευές, τον εξοπλισμό αερίου, παροχής ζεστού νερού κ.λ.π. Στην περίπτωση του υπό μελέτη κτιρίου, οι παράγοντες που συνεισφέρουν στα εσωτερικά θερμικά κέρδη είναι οι άνθρωποι και ο τεχνητός φωτισμός.

##### Άτομα – Χρήστες (People)

Εδώ ορίζονται τα εσωτερικά θερμικά κέρδη κάθε θερμικής ζώνης της κατοικίας, τα οποία προκύπτουν από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Έτσι, όπως αποτυπώνεται στην Εικόνα 34, έχουν δοθεί, για την περιγραφή της κατηγορίας, στοιχεία όπως : η θερμική ζώνη που έχει οριστεί (Zone name), το χρονοδιάγραμμα μεταβολής της ανθρώπινης παρουσίας (Number of people schedule name), το οποίο ήδη έχει οριστεί στην καρτέλα Schedules, ο μέγιστος αριθμός ατόμων που βρίσκονται στη ζώνη (Number of people), στην συγκεκριμένη περίπτωση έχει οριστεί ως 3 και το χρονοδιάγραμμα ανθρώπινης δραστηριότητας (Activity level schedule name), το

οποίο και αυτό έχει οριστεί στην καρτέλα Schedules. Επισημαίνεται ότι το επίπεδο ανθρώπινης δραστηριότητας ορίστηκε σε 80 Watt/person, με βάση τις Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας [43]. Τα υπόλοιπα στοιχεία είτε αφήνονται κενά είτε παίρνουν τις προεπιλεγμένες τιμές του προγράμματος.

The screenshot shows the EnergyPlus software interface. The title bar indicates the file path: C:\EnergyPlusV22-1-0\30m2\_original\30m2final.idf \*. The 'Class List' on the left shows the following objects:

- [.....] RoomAir:Node:AirflowNetwork:HVACEquipment
- [.....] RoomAirSettings:AirflowNetwork
- Internal Gains
- [0001] People** (highlighted)
- [.....] ComfortViewFactorAngles
- [0001] Lights
- [0001] ElectricEquipment
- [.....] GasEquipment
- [.....] HotWaterEquipment
- [.....] SteamEquipment
- [.....] OtherEquipment
- [.....] ElectricEquipment:ITE:AirCooled
- [.....] ZoneBaseboard:OutdoorTemperatureControlled

The 'Field' table below shows the configuration for the 'People' object:

Field	Units	Obj1
Name		Residence
Zone or ZoneList or Space or SpaceList Name		Thermal Zone 1
Number of People Schedule Name		SchPeople
Number of People Calculation Method		People
Number of People		3
People per Floor Area	person/m2	
Floor Area per Person	m2/person	
Fraction Radiant		0.3
Sensible Heat Fraction		autocalculate
Activity Level Schedule Name		SchPeopleActivity
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s-W	0.0000000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings		No
Mean Radiant Temperature Calculation Type		ZoneAveraged
Surface Name/Angle Factor List Name		
Work Efficiency Schedule Name		
Clothing Insulation Calculation Method		ClothingInsulationSchedule
Clothing Insulation Calculation Method Schedule Name		
Clothing Insulation Schedule Name		
Air Velocity Schedule Name		
Thermal Comfort Model 1 Type		
Thermal Comfort Model 2 Type		

Εικόνα 34 - Internal Gains- People

## Τεχνητός Φωτισμός (Lights)

Στην επιλογή αυτή ορίστηκε η συμβολή του τεχνητού φωτισμού στα εσωτερικά θερμικά κέρδη της ζώνης της κατοικίας μας. Για τον σκοπό αυτό δόθηκε το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του τεχνητού φωτισμού, ορισμένο ήδη στην καρτέλα Schedules, καθώς και η ισχύς των φωτιστικών ανά τετραγωνικό μέτρο στα 3,6 W/m<sup>2</sup>, σύμφωνα με τα ελληνικά πρότυπα. Επίσης δόθηκαν τιμές για τους συντελεστές Return Air Fraction, Fraction Radiant, Fraction Visible και Fraction Replaceable με βάση τις προεπιλογές του προγράμματος.

The screenshot shows the EnergyPlus software interface. The 'Class List' on the left has 'Lights' selected. The 'Explanation of Object and' panel on the right shows the object description. Below these is a table of parameters for the 'Lights' object.

Field	Units	Obj1
Name		Lights
Zone or ZoneList or Space or SpaceList Name		Thermal Zone 1
Schedule Name		SchLights
Design Level Calculation Method		LightingLevel
Lighting Level	W	0
Watts per Zone Floor Area	W/m <sup>2</sup>	3.6
Watts per Person	W/person	
Return Air Fraction		0
Fraction Radiant		0.6
Fraction Visible		0.2
Fraction Replaceable		0
End-Use Subcategory		General
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature		No
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co		
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co	1/K	
Return Air Heat Gain Node Name		
Exhaust Air Heat Gain Node Name		

Εικόνα 35 - Lights

#### 4.3.7 Δομικά Χαρακτηριστικά

Στην κατηγορία αυτή εισάγονται οι φυσικές ιδιότητες και η σύνθεση των επιμέρους δομικών υλικών κατασκευής των εξωτερικών και των εσωτερικών επιφανειών του κτιρίου. Ουσιαστικά, προσδιορίζονται αναλυτικά οι εξωτερικοί και εσωτερικοί τοίχοι, τα εξωτερικά και εσωτερικά δάπεδα, οι εξωτερικές και εσωτερικές οροφές και πόρτες, καθώς και τα παράθυρα του κτιρίου. Αρχικά, στην υποκατηγορία “Materials” ορίζονται όλα τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια κατασκευής του κτιρίου και συγκεκριμένα για κάθε υλικό συμπληρώνονται, στα πεδία της υποκατηγορίας, οι πέντε βασικές θερμικές του ιδιότητες, δηλαδή η τραχύτητα, το πάχος, η αγωγιμότητα, η πυκνότητα και η ειδική θερμότητα. Οι τιμές λαμβάνονται βάσει των προδιαγραφών που δίνονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. και παρουσιάζονται στην Εικόνα 36.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		Κουτί	Ανοξείδιο	Ανοξείδιο	Απ' άνθρακα	Αλάτι	Σύμμιξη	Γυαλί	Εσοπερίτη	Μεταλλο	Καύσι
Roughness		Μεταξυσμύ	Rough	Μεταξυσμύ	Μεταξυσμύ	Μεταξυσμύ	Μεταξυσμύ	Μεταξυσμύ	Μεταξυσμύ	Μεταξυσμύ	Μεταξυσμύ
Thickness	m	0.005	0.3	0.2	0.04	0.01	0.15	0.012	0.05	0.02	0.05
Conductivity	W/mK	150	2	0.87	0.3	0.23	1.15	1	0.2	1.2	0.13
Density	kg/m <sup>3</sup>	2800	2200	1800	1250	1100	1800	2500	500	1800	500
Specific Heat	J/kgK	880	1000	1800	1000	1000	1000	750	1000	880	1600
Thermal Absorptance		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Solar Absorptance		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Visible Absorptance		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		Οπίσθιο	Οπίσθιο	Οπίσθιο	Οπίσθιο	Ταξιδι	Ταξιδι	αλυσίδες	αλυσίδες	αλυσίδες	αλυσίδες
Roughness		Μεταξυσμύ	Μεταξυσμύ	Μεταξυσμύ	Μεταξυσμύ	Μεταξυσμύ	Μεταξυσμύ	Μεταξυσμύ	Μεταξυσμύ	Μεταξυσμύ	Μεταξυσμύ
Thickness	m	0.3	0.18	0.19	0.09	0.02	0.025	0.05	0.07	0.1	0.03
Conductivity	W/mK	2.5	2.5	0.49	0.49	1.4	0.3	0.15	1.5	2.5	0.5
Density	kg/m <sup>3</sup>	2400	2400	1200	1200	2000	1200	1800	1100	1100	2300
Specific Heat	J/kgK	1800	1800	1800	1800	1100	1800	1100	1800	1800	900
Thermal Absorptance		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Solar Absorptance		0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Visible Absorptance		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Air	Argon	Air1
Gas Type		Air	Argon	Air
Thickness	m	0.008	0.008	0.07

Εικόνα 36 – Δομικά υλικά και οι τιμές των 5 βασικών θερμικών ιδιοτήτων

Παράλληλα, δίνονται τιμές για ορισμένα χαρακτηριστικά του, όπως είναι ο συντελεστής διαπερατότητας, διάχυσης και εκπομπής ηλιακής ακτινοβολίας. Έπειτα, στην υποκατηγορία “WindowMaterial: Gas” καθορίζεται το πάχος του αέρα που περιέχεται μεταξύ των διπλών υαλοπινάκων των παραθύρων, όπου ορίζεται πάχος 8 χιλιοστών (mm). Τέλος, στην υποκατηγορία “Construction” συμπληρώνεται η δομή της κάθε εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας του κτιρίου, δηλαδή για τους τοίχους, τα δάπεδα, τις οροφές, τις πόρτες και τα παράθυρα. Η σειρά που ακολουθείται κάθε φορά είναι από το εξωτερικό στρώμα προς το εσωτερικό, ενώ το σύνολο των στοιχείων αντλείται από τις προαναφερθείσες υποκατηγορίες.

Field	Units	Obj0	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		Outside_Vent	Insulated_Outside_1	Insulated_Outside_1	Insul_vitr	Apf_Floor	Ext_Floor	Ext_Floor_Insulated	Door	Ground_Floor	S_Window	
Outside Layer		Ανεπίκλιση	ισόλα	ισόλα	Ανεπίκλιση	Μεταλλο	Τσιμεντοπλακά	Τσιμεντοπλακά	Αλουμίνο	Μεταλλο	Clear 3mm	
Layer 2		Οπτικήθραύση2	ίσο medium	ίσο good	Οπτικήθραύση2	Οπτικήθραύση2	ίσοlow	Αυθαίρετο	Ανεπίκλιση	Γυψοσανίδ	Clear 3mm	
Layer 3		ίσοlow	Ανεπίκλιση	Ανεπίκλιση	Ανεπίκλιση	Ανεπίκλιση	Αυθαίρετο	Τσιμεντοπλακά		Ανεπίκλιση		
Layer 4		Οπτικήθραύση2	Οπτικήθραύση2	Οπτικήθραύση2			Κουκούτσι	ίσο good				
Layer 5		Ανεπίκλιση	ίσοlow	ίσοlow			Οπτικήθραύση2	Τσιμεντοπλακά				
Layer 6		Οπτικήθραύση2	Οπτικήθραύση2	Οπτικήθραύση2			Ανεπίκλιση	ίσοlow				
Layer 7			Ανεπίκλιση	Ανεπίκλιση				Αυθαίρετο				
Layer 8								Κουκούτσι				
Layer 9								Οπτικήθραύση2				
Layer 10								Ανεπίκλιση				

Field	Units	Obj0	Obj10	Obj11	Obj12	Obj13	Obj14	Obj15	Obj16
Name		Ground_Floor	S_Window	E_Window	West_Window	Ground_Floor_Insul	S_Window_Shade	E_Window_Shade	West_Window_Shade
Outside Layer		Μεταλλο	Clear 3mm	Clear 3mm	Clear 3mm	Τσιμεντοπλακά	Clear 3mm	Clear 3mm	Clear 3mm
Layer 2		Γυψοσανίδ		Argon	Argon	Αυθαίρετο	Interior_shade	Argon	Argon
Layer 3		Ανεπίκλιση		Clear 3mm	Clear 3mm	Τσιμεντοπλακά		Clear 3mm	Clear 3mm
Layer 4				Argon	ίσοlow			Interior_shade	Argon
Layer 5				Clear 3mm	Αυθαίρετο				Clear 3mm
Layer 6					Μεταλλο				Interior_shade
Layer 7					Γυψοσανίδ				
Layer 8					Ανεπίκλιση				
Layer 9									
Layer 10									

Εικόνα 37 – Δομικά στοιχεία κτιρίων

## 4.4 Πολλαπλές Αλλαγές στα Χαρακτηριστικά Μέσω του Energy Plus και της Python

Η βιβλιοθήκη erpy της γλώσσας προγραμματισμού Python δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να κάνει αλλαγές στον idf φάκελο εισόδου του Energy plus, βάσει του οποίου πραγματοποιείται η προσομοίωση και εξάγονται τα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, γίνεται αλλαγή στα δομικά χαρακτηριστικά του κτιρίου και για κάθε αλλαγή πραγματοποιείται μια νέα προσομοίωση, διατηρώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους σταθερές.

### 4.4.1 Αλλαγές στον Προσανατολισμό

Ανάλογα με τον προσανατολισμό του, ένα κτίριο έχει διαφορετικές ανάγκες για ψύξη, θέρμανση και φωτισμό, τόσο κατά την διάρκεια μιας μέρας όσο και κατά την διάρκεια ενός έτος. Ένα κτίριο που τα παράθυρα του είναι στραμμένα προς τον νότο έχει καλό φωτισμό πολλές ώρες την ημέρα και θερμαίνεται από τον ήλιο. Αντίθετα, ένα κτίριο που τα παράθυρα του είναι στραμμένα προς τον βορρά έχει χαμηλά επίπεδα φωτισμού όλες τις εποχές, πλήττεται από το κρύο τον χειμώνα, παραμένει όμως δροσερό το καλοκαίρι. Προκειμένου να ληφθεί η παράμετρος του προσανατολισμού στην προσομοίωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου το Energy plus δίνει τη δυνατότητα να επιλεχθούν οι μοίρες σε σχέση με τον βορρά, μέσω της παραμέτρου Building/ North Axis. Στις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκαν οκτώ διαφορετικοί προσανατολισμοί.

### 4.4.2 Αλλαγές στους Εξωτερικούς Τοίχους

Για τη βελτίωση της θερμομόνωσης του κτιρίου προστίθενται, στην εξωτερική όψη του εξωτερικού τοίχου, μια στρώση σοβά και μια στρώση dow, το οποίο είναι ένα θερμομονωτικό υλικό που, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του, χρησιμοποιείται για εξωτερικές θερμομονώσεις.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Outside_Wall	Insulated_Outside_Wall	Insulated_Outside_WallG
Outside Layer		Asvestokoniama	sobas	sobas
Layer 2		Optoplinthodomi2	dow medium	dow good
Layer 3		styrofoam	Asvestokoniama	Asvestokoniama
Layer 4		Optoplinthodomi2	Optoplinthodomi2	Optoplinthodomi1
Layer 5		Asvestokoniama	styrofoam	styrofoam
Layer 6			Optoplinthodomi2	Optoplinthodomi2
Layer 7			Asvestokoniama	Asvestokoniama

Εικόνα 38 – Δυνατές Επιλογές για τους Εξωτερικούς τοίχους

Οι διαφορές μεταξύ του τοίχου με όνομα Outside\_Wall\_Insulated και Outside\_Wall\_InsulatedG είναι ότι στον δεύτερο μέσα από τον εξωτερικό σοβά υπάρχει μια στρώση dow η οποία είναι πιο παχειά από ότι στον πρώτο, και έχει μεγαλύτερη αγωγιμότητα με αποτέλεσμα να μην επιτρέπει εναλλαγές θερμότητας μεταξύ του εξωτερικού περιβάλλοντος και του περιβάλλοντος του κτιρίου.

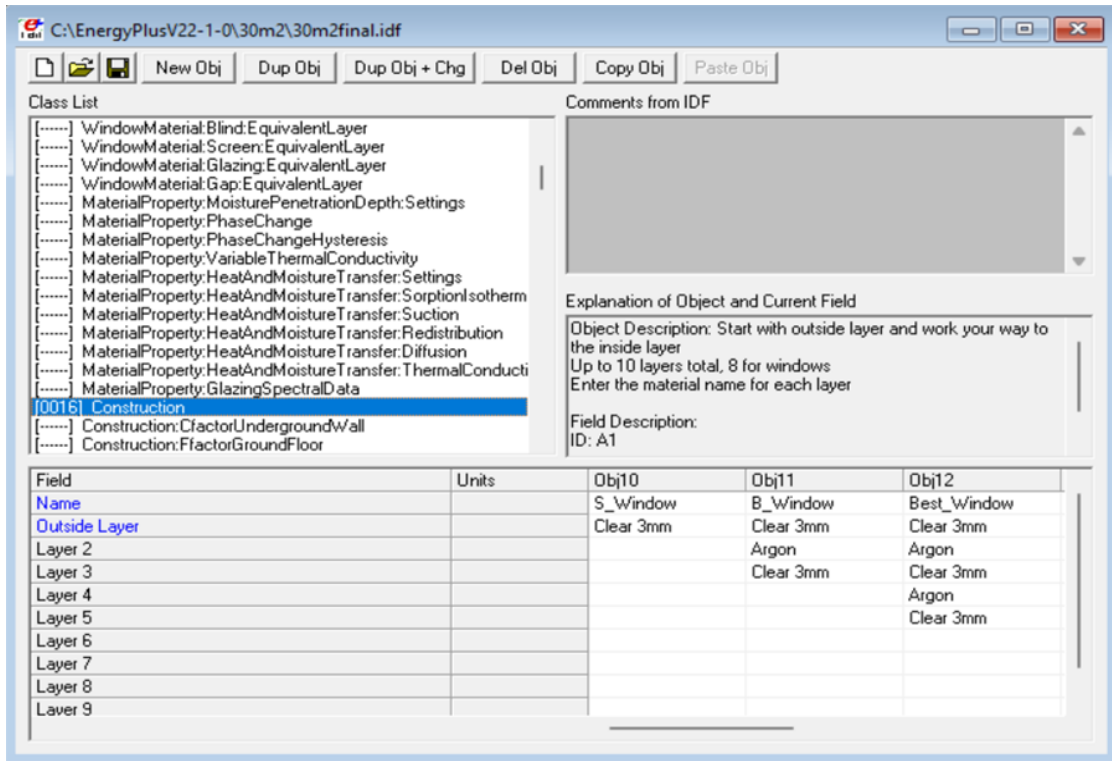
Field	Units	Obj18	Obj19
Name		dow medium	dow good
Roughness		Smooth	Smooth
Thickness	m	0.07	0.1
Conductivity	W/m-K	1.5	2.5
Density	kg/m3	1100	1100
Specific Heat	J/kg-K	1500	1500
Thermal Absorptance		0.9	0.9
Solar Absorptance		0.7	0.7
Visible Absorptance		0.7	0.7

Εικόνα 39 – Dow

#### 4.4.3 Αλλαγές στα Παράθυρα

Ένας παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά τις ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτιρίου είναι το είδος των παραθύρων. Τα παράθυρα βοηθούν στην θερμομόνωση. Στις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκαν τρία είδη παραθύρων: με απλό γυάλινο τζάμι, με διπλό τζάμι και αργόν μεταξύ τους, και τριπλό τζάμι και αργόν μεταξύ των δύο στρώσεων.





Εικόνα 40 – Δυνατές Επιλογές για τα Παράθυρα

Το γυαλί που χρησιμοποιήθηκε έχει πάχος 3 χιλιοστών και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του υπάρχουν έτοιμα στο Energy Plus, ενώ το Argon που είναι μονωτικό υλικό και χρησιμοποιείται από τους κατασκευαστές υαλοπινάκων έχει πάχος 8 χιλιοστών

Field	Units	Obj1	Field	Units	Obj2
Name		Clear 3mm	Name		Argon
Optical Data Type		SpectralAverage	Gas Type		Argon
Window Glass Spectral Data Set Name			Thickness	m	0.008
Thickness	m	3.00000000E-03	Conductivity Coefficient A	W/m-K	
Solar Transmittance at Normal Incidence		0.837	Conductivity Coefficient B	W/m-K2	
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0.075	Conductivity Coefficient C	W/m-K3	
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0	Viscosity Coefficient A	kg/m-s	
Visible Transmittance at Normal Incidence		0.898	Viscosity Coefficient B	kg/m-s-K	
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0.081	Viscosity Coefficient C	kg/m-s-K2	
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0	Specific Heat Coefficient A	J/kg-K	
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0			
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.84			
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.84			
Conductivity	W/m-K	0.9			
Dst Correction Factor for Solar and Visible Transmittance		1			
Solar Diffusing		No			

Εικόνα 41 – Δομικά Υλικά Παραθύρων

#### 4.4.4 Αλλαγές στην Οροφή

Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει τις ενεργειακές ανάγκες ενός κτιρίου είναι η οροφή του. Εδώ διαχωρίστηκαν οι οικίες: σε εκείνες που βρίσκονται σε πολυκατοικίες και η οροφή τους ταυτίζεται με το δάπεδο του αποπάνω ορόφου και σε εκείνες που η οροφή τους είναι ταράτσα. Σε εκείνες που η οροφή τους είναι ταράτσα και είναι εκτεθειμένη στον ήλιο προστέθηκε μόνωση. Η μόνωση αυτή γίνεται ως εξής: πάνω από τις πλάκες της οροφής προστίθεται μια στρώση μονωτικού υλικού dow, μια

στρώση τσιμεντοκονίας, ένα ασφαλτόπανο και τσιμεντόπλακες. Η μόνωση αυτή περιορίζει την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του εξωτερικού περιβάλλοντος και της οικίας.

The screenshot shows a software interface with a list of material properties on the left and a table of construction layers at the bottom. The 'Construction' item is selected in the list. The table below has columns for 'Field', 'Units', 'Obj5', 'Obj6', and 'Obj7'.

Field	Units	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Apt_Roof	Ext_Roof	Ext_Roof_Insulated
Outside Layer		Mwsaiko	Tsimentoplakes	Tsimentoplakes
Layer 2		OpfSkurodema2	styrofoam	Asfaltopano
Layer 3		Asvestokoniama	Asfaltopano	Tsimentokoniama
Layer 4			Kissirrompeton	dow good
Layer 5			OpfSkurodema2	Tsimentoplakes
Layer 6			Asvestokoniama	styrofoam
Layer 7				Asfaltopano
Layer 8				Kissirrompeton
Layer 9				Optoplinthodomi2
Layer 10				Asvestokoniama

Εικόνα 42 – Διαφορετικές Επιλογές Οροφής

#### 4.4.5 Αλλαγές στην Ισχύ των Λαμπτήρων

Τα κυριότερα είδη λαμπτήρων που υπάρχουν στο εμπόριο είναι οι λαμπτήρες πυρακτώσεως, οι λαμπτήρες αλογόνου και οι λαμπτήρες με τεχνολογία LED. Ανάλογα με την τεχνολογία του λαμπτήρα, διαφοροποιείται και η ισχύς που απαιτείται για να παραχθεί η ίδια φωτεινότητα. Συγκεκριμένα, για φωτεινότητα 450 lumens, η ισχύς των λαμπτήρων πυρακτώσεως είναι 40 W, των λαμπτήρων αλογόνου 30 W και των λαμπτήρων LED 8 W. Στις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκαν τα 3 προαναφερόμενα είδη λαμπτήρων, προκειμένου να εξεταστεί αν συμφέρει οικονομικά η αντικατάστασή τους με λαμπτήρες LED. Το lighting level που δύναται να αλλαχθεί στο Energy Plus ισούται με τον αριθμό των λαμπτήρων που υπάρχουν στο σπίτι (4 για σπίτι 30m<sup>2</sup>) επί την ισχύ του ενός λαμπτήρα.

#### 4.4.6 Προσθήκη Σκίασης στα Παράθυρα

Η προσθήκη σκίασης στα παράθυρα μειώνει τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου, μόνο για ψύξη, και ειδικότερα κατά τους θερμούς μήνες του καλοκαιριού καθώς δεν επιτρέπει στην θερμότητα να εισχωρήσει στο εσωτερικό του. Για να προστεθούν ρολά



σκίασης στα παράθυρα απαιτείται να κατασκευαστεί το material στην κατηγορία WindowMaterialShade και να οριστούν οι ιδιότητες του.

Field	Units	Obj1
Name		Interior_shade
Solar Transmittance	dimensionless	0.2
Solar Reflectance	dimensionless	0.7
Visible Transmittance	dimensionless	0.2
Visible Reflectance	dimensionless	0.7
Infrared Hemispherical Emissivity	dimensionless	0.85
Infrared Transmittance	dimensionless	0
Thickness	m	0.01
Conductivity	W/m-K	1.442
Shade to Glass Distance	m	0.05
Top Opening Multiplier		0.5
Bottom Opening Multiplier		0.5
Left-Side Opening Multiplier		0.5
Right-Side Opening Multiplier		0.5

Εικόνα 43 – Προσθήκη Σκίασης

Έπειτα στην κατηγορία Construction δημιουργούνται ξανά τα παράθυρα και τοποθετείται, ως εσωτερικό layer, το interior\_shade.

Field	Units	Obj14	Obj15	Obj16
Name		S_Window_Shade	B_Window_Shade	Best_Window_Shade
Outside Layer		Clear 3mm	Clear 3mm	Clear 3mm
Layer 2		Interior_shade	Argon	Argon
Layer 3			Clear 3mm	Clear 3mm
Layer 4			Interior_shade	Argon
Layer 5				Clear 3mm
Layer 6				Interior_shade

Εικόνα 44 – Παράθυρα με σκίαστρα

Τέλος, στην κατηγορία WindowShadingControl δημιουργείται η μέθοδος με την οποία ελέγχεται το πότε τα shades θα είναι on και πότε off. Συγκεκριμένα, στην επιλογή Shading Control Type επιλέγεται η μέθοδος OnHighSolarOnWindow και ρυθμίζεται το setpoint στα 350 W/m<sup>2</sup> προκειμένου, όταν από την επιφάνεια του παραθύρου περνάει ενέργεια μεγαλύτερη του setpoint, τα shades να κλείνουν και να εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία και την θερμότητα να εισχωρήσουν στο κτίριο.

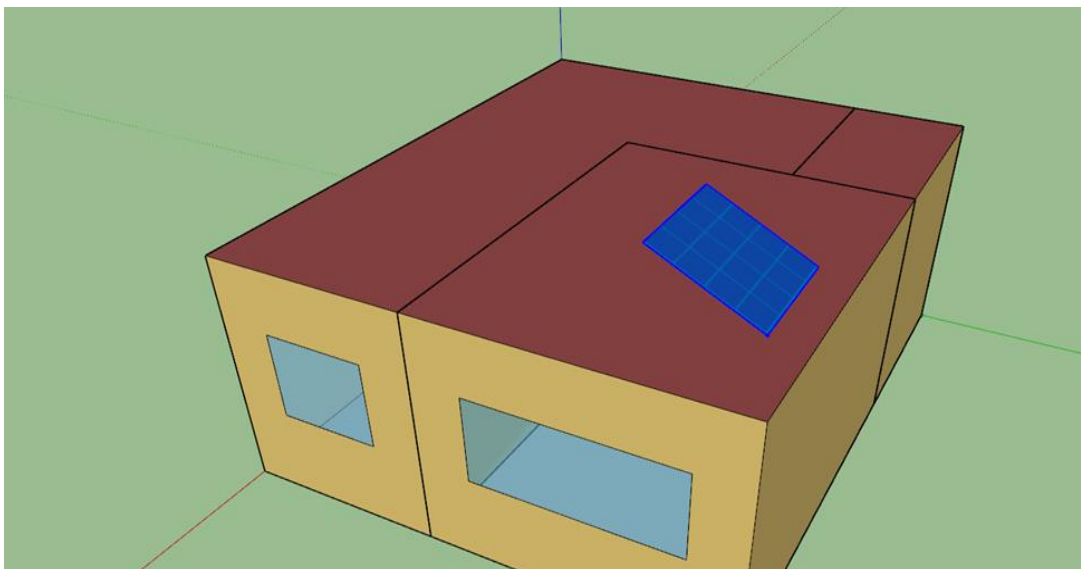
Field	Units	Obj1
Name		IntBlindControlB
Zone Name		Thermal Zone 1
Shading Control Sequence Number		1
Shading Type		InteriorShade
Construction with Shading Name		S_Window_Shade
Shading Control Type		OnIfHighSolarOnWindow
Schedule Name		SchShading
Setpoint	W/m2, W or deg	350
Shading Control Is Scheduled		Yes
Glare Control Is Active		No
Shading Device Material Name		
Type of Slat Angle Control for Blinds		FixedSlatAngle
Slat Angle Schedule Name		
Setpoint 2	W/m2 or deg C	
Daylighting Control Object Name		
Multiple Surface Control Type		Sequential
Fenestration Surface 1 Name		Sub Surface 3
Fenestration Surface 2 Name		Sub Surface 1

Εικόνα 45 – Ρυθμίσεις σκίασης

#### 4.4.7 Φωτοβολταϊκά στην στέγη

Μια αλλαγή με σημαντικά οφέλη για την ενεργειακή κατανάλωση είναι η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών panel στην ταράτσα του κτιρίου. Στο βόρειο ημισφαίριο, η βέλτιστη κλίση του φωτοβολταϊκού είναι  $10^{\circ}$ - $30^{\circ}$  με κατεύθυνση προς το Νότο. Στην Ελλάδα, η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας, που προσπίπτει σε επιφάνεια σταθερής κλίσης, επιτυγχάνεται με κατεύθυνση προς το Νότο και κλίση περίπου  $28^{\circ}$ . Προκειμένου να προσομοιωθεί ένα σύστημα ηλιακών συλλεκτών χρησιμοποιήθηκε το EnergyPlus και το Sketch Up.

Πρώτα σχεδιάζεται στο Sketch Up ο ηλιακός συλλέκτης και του δίνεται η κατάλληλη κλίση μέσω των εντολών.



Εικόνα 46 – Φωτοβολταϊκά στο Sketch Up

Θεωρείται cell efficiency 0.2, καθώς αυτή είναι μια τυπική αποδοτικότητα των εμπορικών συστημάτων.

Έπειτα, γίνεται export το idf αρχείο και εισάγεται στο EnergyPlus μαζί με τα αντίστοιχα καιρικά δεδομένα. Πραγματοποιείται το simulation και η παραγωγή ενέργειας παρουσιάζεται στα αποτελέσματα του simulation. Επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για ηλιακό συλλέκτη 1m<sup>2</sup> και 3m<sup>2</sup>, καθώς αυτοί είναι οι πιο συνηθεις τύποι που υπάρχουν στο εμπόριο.

	Electricity [kWh]
Fuel-Fired Power Generation	0.000
High Temperature Geothermal*	0.000
Photovoltaic Power	332.244
Wind Power	0.000
Power Conversion	-6.64
Net Decrease in On-Site Storage	0.000
Total On-Site Electric Sources	325.599

Εικόνα 43 – Αποτελέσματα παραγωγής ενέργειας φωτοβολταϊκών στο Energy Plus

#### 4.5 Εξαγωγή Αποτελεσμάτων

Με την εντολή

```
idf1.run(expandobjects = True, verbose="v",
output_directory = output_directory, readvars = True)
```

πραγματοποιείται, μέσω της γλώσσας python, μια προσομοίωση στο EnergyPlus και τα αποτελέσματα καταγράφονται σε ένα αρχείο στο ίδιο directory με το όνομα erlustbl.htm

Με τις εντολές

```
filehandle = open(fname, 'r').read()
htables = readhtml.titletable(filehandle)
```

διαβάζονται τα περιεχόμενα του αρχείου και επιλέγονται τα metrics που χρειάζονται για να δημιουργηθούν τα κριτήρια της πολυκριτήριας ανάλυσης. Συγκεκριμένα, επιλέγονται το District Heat και το District Cooling, οι οποίες είναι μεταβλητές που αποτυπώνουν την ενέργεια που απαιτείται προκειμένου να θερμανθεί και να ψυχτεί το κτίριο, αντίστοιχα. Επιπλέον, το EnergyPlus παρέχει 4 τιμές που ονομάζονται Comfort levels, οι οποίες καταγράφουν πόσες ώρες τον χρόνο οι ένοικοι ζουν σε συγκεκριμένες συνθήκες. Επιπρόσθετα, εξάγεται το εμβαδόν της επιφάνειας της οροφής, των τοίχων που έρχονται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον και των παραθύρων. Τέλος εξάγεται η κατανάλωση των ηλεκτρικών λαμπτήρων.

Program Version: EnergyPlus, Version 22.1.0-ed759b17ee, YMD=2024.02.10 15:33

Tabular Output Report in Format: HTML

Building: Building 90m2

Environment: RUN PERIOD 1 \*\* ATHENS - GRC IWEC Data WMO#=167160

Simulation Timestamp: 2024-02-10 15:33:51

---

Report: Annual Building Utility Performance Summary

For: Entire Facility

Timestamp: 2024-02-10 15:33:51

Values gathered over 8760.00 hours

Site and Source Energy

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	11234.64	124.83	124.83
Net Site Energy	11234.64	124.83	124.83
Total Source Energy	39712.63	441.25	441.25
Net Source Energy	39712.63	441.25	441.25

Site to Source Energy Conversion Factors

	Site=>Source Conversion Factor
Electricity	3.167
Natural Gas	1.084
District Cooling	1.056
District Heating	3.613
Steam	1.200
Gasoline	1.050
Diesel	1.050

Εικόνα 47 – Output File Energy Plus

## 4.6 Αλλαγές με την γλώσσα Python

### 4.6.1 Εναλλακτικοί Τρόποι Θέρμανσης

Στην ενότητα αυτή εξετάστηκαν διαφορετικά καύσιμα για τη θέρμανση του κτιρίου, προκειμένου να διαπιστωθεί ποιο είναι το βέλτιστο ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη.

Το πρώτο καύσιμο που μελετήθηκε είναι το πετρέλαιο. Προκειμένου να υπολογιστούν τα λίτρα πετρελαίου που απαιτούνται ετησίως, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$\text{Λίτρα πετρελαίου} = \frac{\text{District Heat}}{\text{θερμογόνος δύναμη πετρελαίου} \times \beta. \alpha. \text{καυστήρα}}$$

District Heat: η μεταβλητή εξάχθηκε από τα αποτελέσματα του EnergyPlus, έχει μονάδα μέτρησης τις kWh και καθορίζει πόσες kWh απαιτούνται ετησίως για να θερμανθεί το κτίριο.

Θερμογόνος δύναμη πετρελαίου: είναι η θερμότητα που περιέχεται σε 1 lt πετρελαίου και είναι 11,9 kWh/lt [45].

Βαθμός απόδοσης καυστήρα: Είναι το ποσοστό από την ενέργεια που περιέχει το καύσιμο, την οποία μπορεί να μετατρέψει ο καυστήρας σε ωφέλιμη θερμότητα και μια συνήθης τιμή του είναι 0,9.

Το δεύτερο καύσιμο που μελετήθηκε είναι το φυσικό αέριο. Προκειμένου να υπολογιστούν τα συνολικά κανονικά κυβικά μέτρα (Nm<sup>3</sup>) φυσικού αερίου που απαιτούνται ετησίως, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$\text{Nm}^3 \text{φυσικού αερίου} = \frac{\text{District Heat}}{\text{θερμογόνος δύναμη φ. α.} \times \beta. \alpha. \text{λέβητα}}$$

Η θερμογόνος δύναμη του φυσικού αερίου διαφέρει από μέρα σε μέρα και από μέρος εισαγωγής στο δίκτυο, σύμφωνα με επίσημα στοιχεία της ΕΔΑ [46]. Μέσω ανάλυσης υπολογίστηκε ο μέσος όρος θερμογόνου δύναμης που ισούται με 11,5

Μια τυπική τιμή του βαθμού απόδοσης ενός λέβητα φυσικού αερίου είναι 0,95

Ο τρίτος τρόπος θέρμανσης ενός κτιρίου είναι με τη χρήση αντλίας θερμότητας, η οποία καταναλώνει ρεύμα. Η αντλία θερμότητας είναι ένα σύστημα που αντλεί θερμότητα από ένα χώρο ή από το περιβάλλον και τη μεταφέρει σε κάποιον άλλον. Εναλλάσσει, δηλαδή, τον κύκλο ψύξης του συστήματος με αποτέλεσμα να δίνει ζεστό ή κρύο αέρα ή άλλο μέσο μεταφοράς θερμότητας ή ψύχους ανάλογα με τις ανάγκες του χώρου. Ειδικότερα, είναι ένα ενεργειακά αποδοτικό σύστημα που απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον για θέρμανση και ζεστό νερό. Μεταφέρει τη θερμότητα του περιβάλλοντος στο κτίριο μέσω υδραυλικού συστήματος νερού, όπως ενδοδαπέδια θέρμανση, fan coil, και σώματα καλοριφέρ. Προκειμένου να υπολογιστούν οι kWh ρεύματος που απαιτούνται ετησίως, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$\text{kWh ρεύματος} = \frac{\text{District Heat}}{\text{COP}}$$

COP: Είναι ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας προς το καταναλισκόμενο έργο σε λειτουργία θέρμανσης και ονομάζεται ειδικός βαθμός απόδοσης της αντλίας (COP, coefficient of performance) [47]. Το COP της αντλίας θερμότητας που επιλέχθηκε είναι 5,15

Ο τέταρτος τρόπος θέρμανσης ενός κτιρίου είναι με την εγκατάσταση ενεργειακού τζακιού. Το ενεργειακό τζάκι είναι ένα σύγχρονο τζάκι κλειστού τύπου, το οποίο έχει πιστοποιημένα καύση υψηλής απόδοσης, και κατά συνέπεια χαμηλή κατανάλωση καυσίμου, δηλαδή καυσόξυλων.

Στα συνήθη τζάκια ανοιχτού τύπου, που υπάρχουν στα περισσότερα κτίρια, η καύση του ξύλου είναι ατελής, έχοντας βαθμό απόδοσης που συνήθως προσεγγίζει το 20%. Κατά συνέπεια, ένα πολύ μεγάλο μέρος από τη θερμότητα, που θα μπορούσε να αποδώσει η καύσιμη ύλη, μένει αναξιοποίητη. Αντίθετα, στα πιο σύγχρονα και ποιοτικά ενεργειακά τζάκια, ο βαθμός απόδοσης της καύσης φτάνει ή και υπερβαίνει το 75%, γεγονός που σημαίνει πως από την καύσιμη ύλη, δηλαδή το ξύλο, λαμβάνεται ένα πολύ μεγάλο μέρος της ενέργειας που μπορεί να αποδώσει, ως θερμότητα στον χώρο και μένει αναξιοποίητο ένα πολύ μικρότερο ποσοστό σε σχέση με ένα τζάκι παλαιού τύπου. Προκειμένου να υπολογιστούν τα κιλά ξύλου που απαιτούνται ετησίως, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$\text{Κιλά ξύλου} = \frac{\text{District Heat}}{\text{θερμαντική δύναμη καυσόξυλων} \times \beta. \alpha. \text{ ενεργειακού τζακιού}}$$

Θερμαντική δύναμη καυσόξυλων: Είναι η ενέργεια που εκλύεται από την καύση των καυσόξυλων. Μια τυπική τιμή είναι 4,2 kWh/ kg [48] .

Βαθμός απόδοσης ενεργειακού τζακιού: Ο βαθμός απόδοσης του ενεργειακού τζακιού που χρησιμοποιήθηκε είναι ίσος με 0,75

#### 4.6.2 Εναλλακτικοί Τρόποι Ψύξης

Ο πιο συνήθης τρόπος ψύξης ενός κτιρίου είναι μέσω της χρήσης ανεμιστήρων, οι οποίοι δημιουργούν μια απαλή και φυσική αίσθηση δροσιάς, διότι έχουν την ιδιότητα της καλής κατανομής του αέρα στο δωμάτιο. Δεν ψύχουν, ούτε θερμαίνουν, αλλά ούτε ξηραίνουν τον αέρα που τους διαπερνά, με αποτέλεσμα να εξασφαλίζουν πολύ καλή ποιότητα αέρα. Ταυτόχρονα, κατά την λειτουργία τους μπορούν να είναι ανοιχτά τα παράθυρα για τον βέλτιστο εξαερισμό του χώρου.

Στο συγκεκριμένο κτίριο επιλέχθηκαν ανεμιστήρες με κινητήρα DC, καθώς οι ανεμιστήρες DC είναι προϊόντα υψηλής ποιότητας, αθόρυβα, πιο ανθεκτικά, χαμηλής κατανάλωσης και έχουν μεταξύ 5 και 6 ρυθμιζόμενων ταχυτήτων. Επιπλέον, έχουν καλύτερη απόδοση καθώς διαθέτουν μοτέρ που χρησιμοποιεί όλη την ενέργεια που καταναλώνει και λειτουργεί καλύτερα, αφού δεν θερμαίνεται τόσο πολύ. Προκειμένου να υπολογιστούν οι kWh ρεύματος που απαιτούνται ετησίως, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$\text{kWh ρεύματος} = \frac{\text{District Cooling}}{\beta. \alpha. \text{ ανεμιστήρα}}$$

Βαθμός απόδοσης ανεμιστήρα: Μια τυπική τιμή βαθμού απόδοσης ενός ανεμιστήρα με κινητήρα DC είναι το 0.98

Ένας άλλος τρόπος ψύξης του κτιρίου είναι το κλιματιστικό. Το κλιματιστικό λειτουργεί με τον ακόλουθο τρόπο. Ένας αεροκομπρέσορας συμπιέζει ένα ψυκτικό αέριο, το πιο σύνηθες είναι το Freon. Έτσι, το αέριο αυτό γίνεται καυτό και έχει υψηλή πίεση. Το καυτό αέριο περνάει μέσα από ένα σει σωλήνων και ψύχεται με την χρήση ενός εξωτερικού ανεμιστήρα. Κατά τη φάση αυτή, το καυτό αέριο μετατρέπεται σταδιακά σε υγρό. Στο τέλος όμως αυτής της διαδρομής το υγρό καταλήγει και περνάει από μία βαλβίδα εκτόνωσης. Κατά την εκτόνωση, το υγρό εξατμίζεται. Κατά την εξάτμιση, γίνεται κρύο και μετατρέπεται ουσιαστικά ξανά σε ψυκτικό αέριο με χαμηλή πίεση, κυκλοφορώντας μέσα στους σωλήνες που βρίσκονται μετά την βαλβίδα εκτόνωσης. Και ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται συνέχεια όσο το κλιματιστικό είναι σε λειτουργία.

Προκειμένου να υπολογιστούν οι kWh ρεύματος που καταναλώνονται ετησίως, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$\text{kWh ρεύματος} = \frac{\text{District Cooling}}{\text{SEER}}$$

SEER: Είναι ο συνολικός συντελεστής απόδοσης του κλιματιστικού, που ορίζεται ως ο λόγος της ετήσιας ανάγκης σε ψύξη προς την συνολική ετήσια ενέργεια που καταναλώνεται για την ψύξη [49]. Το κλιματιστικό που επιλέχθηκε είναι 9000 BTU και έχει SEER 6,2.

Τέλος, η ίδια αντλία θερμότητας που χρησιμοποιείται για θέρμανση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ψύξη. Προκειμένου να υπολογιστούν οι kWh ρεύματος που απαιτούνται ετησίως, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$\text{kWh ρεύματος} = \frac{\text{District Cooling}}{\text{EER}}$$

EER (Energy Efficiency Ratio): ισούται με την αποδιδόμενη ψυκτική ενέργεια QΨ ως προς την προσδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια:  $EER = Q\Psi/W$  σε τυπικές συνθήκες δοκιμής (σε εξωτερική θερμοκρασία 35ο C και εσωτερική 27ο C [50]). Η συγκεκριμένη αντλία θερμότητας έχει EER ίσο με 3,35

#### 4.6.3 Αλλαγές στις Ηλεκτρικές Συσκευές Κουζίνα

Μια ακόμα ενεργοβόρα συσκευή που υπάρχει στην οικία είναι η κουζίνα. Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της αναβάθμισης της κουζίνας στις ενεργειακές απαιτήσεις του σπιτιού επιλέχθηκαν 3 διαφορετικές κουζίνες. Οι 2 πρώτες είναι κουζίνες που λειτουργούν με ηλεκτρικό ρεύμα, ενώ η τρίτη είναι μια κουζίνα που λειτουργεί με φυσικό αέριο .

Ο τύπος υπολογισμού της κατανάλωσης ενέργειας της κουζίνας είναι:

$$\text{kWh ενέργειας} = \text{Ισχύς κουζίνας} \times \text{ώρες την ημέρα} \times \text{μέρες το έτος}$$

Ο μέσος όρος χρήσης της κουζίνας σε ένα ελληνικό νοικοκυριό είναι 1 ώρα την μέρα και λειτουργεί περίπου 300 μέρες τον χρόνο.

Η πρώτη κουζίνα που είναι πιο ενεργοβόρα καταναλώνει 3000 kWh τον χρόνο, η δεύτερη που είναι καλύτερης ενεργειακής κλάσης καταναλώνει 2500 kWh, ενώ η τρίτη που χρησιμοποιεί ως καύσιμο το φυσικό αέριο καταναλώνει 2600 kWh. Η κατανάλωση σε φυσικό αέριο της τρίτης ισούται με kWh / θερμογόνος δύναμη φυσικού αερίου η οποία έχει ήδη υπολογιστεί.

#### Ψυγείο

Το ψυγείο είναι μια ηλεκτρική συσκευή η οποία λειτουργεί όλες τις μέρες του χρόνο και είναι σημαντικό να εξεταστεί η επίδραση της αναβάθμισής του, σε ψυγείο με καλύτερη ενεργειακή κλάση. Το πρώτο ψυγείο που επιλέχθηκε είναι χαμηλής ενεργειακής κλάσης και καταναλώνει 261 kWh /έτος, ενώ το δεύτερο 204 kWh / έτος

#### Θερμοσίφωνα

Επιπλέον μελετήθηκε η επίδραση της αντικατάστασης του κοινού θερμοσίφωνα που καταναλώνει ηλεκτρικό ρεύμα, με ταχυθερμαντήρες που καταναλώνουν φυσικό αέριο, καθώς και με 2 είδη ηλιακών θερμοσιφώνων. Για να υπολογιστεί η ενέργεια που χρειάζεται για παραγωγή Ζ.Ν.Χ χρησιμοποιείται ο τύπος [51]:

$$Q = m \times Cp \times \Delta T \times \text{μέρες λειτουργίας τον χρόνο}$$

m: Σύμφωνα με έρευνα, ο μέσος Έλληνας χρησιμοποιεί 50 l νερού την ημέρα. Επομένως, μια τριμελής οικογένεια χρησιμοποιεί 150 l την μέρα

Cp: Θερμοχωρητικότητα ονομάζεται το πηλίκο του ποσού θερμότητας dQ που προσφέρουμε σε ένα σώμα για να προκαλέσουμε μεταβολή της θερμοκρασίας του κατά dT προς τη μεταβολή dT. Συγκεκριμένα για το νερό ισούται με  $4184 \frac{J}{kg \times K}$

ΔT: Είναι η διαφορά μεταξύ της τελικής και αρχικής θερμοκρασίας. Αρχική θερμοκρασία θεωρούνται οι 15ο και τελική οι 80ο επομένως ΔT=65 K

Επομένως, για να υπολογιστεί η κατανάλωση ρεύματος του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$\text{kWh ρεύματος} = \frac{Q}{\beta. \alpha. \text{ηλεκτρικού θερμοσίφωνα}}$$

βαθμός απόδοσης ηλεκτρικού θερμοσίφωνα: 0.9

Για τον ταχυθερμαντήρα φυσικού αερίου χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$\text{Nm}^3 \text{φυσικού αερίου} = \frac{Q}{\text{θερμογόνος δύναμη} \varphi. \alpha. \times \beta. \alpha. \text{ταχυθερμαντήρα}}$$

βαθμός απόδοσης ταχυθερμαντήρα: 0.9

Ένας ηλιακός θερμοσίφωνα μικρότερος των 3m<sup>2</sup> παρέχει 60% του ZNX [52]



Ενώ ηλιακός θερμοσίφωνας μεγαλύτερος των 3m<sup>2</sup> παρέχει 100% του ZNX [52]

## 5 Σχεδίαση και Υλοποίηση της Διαδικτυακής Εφαρμογής

### 5.1 Εισαγωγή

Ο σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η λεπτομερής παρουσίαση της web εφαρμογής που αναπτύχθηκε, στην διεπαφή της οποίας ο χρήστης επιλέγει τα στοιχεία του σπιτιού του, καθώς και έναν εκ των δύο προσανατολισμών, της μέγιστης οικονομίας χρημάτων ή της αειφορίας και ακολούθως παρατίθενται σε αυτόν αναβαθμίσεις με τις οποίες δύναται να εκσυγχρονίσει την οικία του. Συνοπτικά, οι άξονες τους οποίους πραγματεύεται η παρούσα ενότητα είναι η διύλιση του όγκου πληροφορίας που συλλέχθηκε στις προαναφερθείσες προσομοιώσεις και η παρουσίασή της με τρόπο κατανοητό στο ευρύ κοινό, καθώς και η under the hood διεξαγωγή πολυκριτηριακής ανάλυσης, τα αποτελέσματα της οποίας κατευθύνουν εμπειριστικά τις αποφάσεις του χρήστη. Το κεφάλαιο διαρθρώνεται ως εξής: στην πρώτη υποενότητα αναλύονται ενδελεχώς τεχνικοί όροι και εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία της εφαρμογής και δη το εργαλείο προγραμματισμού Ionic, το εργαλείο project management Firebase της Google και η πολυκριτηριακή ανάλυση. Εν συνεχεία, παρουσιάζεται η εμπειρία του χρήστη καθώς πλοηγείται στην εφαρμογή, μέσω περιγραφής της λειτουργίας της, της δημιουργίας οργανογράμματος, αλλά και της έκθεσης φωτογραφικού υλικού.

### 5.2 Δημιουργία Εφαρμογών της Διαδικτυακής Εφαρμογής

Ο όρος διαδικτυακή εφαρμογή (web application) αναφέρεται σε οποιοδήποτε λογισμικό τρέχει απευθείας από τον εκάστοτε περιηγητή ιστού, χωρίς να απαιτείται η αποθήκευση αρχείων τοπικά, στη συσκευή του χρήστη, χωρίς δηλαδή να προϋποθέτει downloading. Αποτελεί επέκταση του όρου της ιστοσελίδας, που τυπικά περιγράφει στατικό περιεχόμενο και επιτρέπει την πρόσβαση του χρήστη σε περίπλοκη λειτουργικότητα. Οι web εφαρμογές είναι ευρέως διαδομένες λόγω της πληθώρας πλεονεκτημάτων που προσφέρουν. Παραδείγματα αποτελούν τα online καταστήματα ή οι συνομιλίες και η ροή ειδήσεων σε πλατφόρμες κοινωνικής δικτύωσης. Τα κυριότερα εξ' αυτών είναι η προσβασιμότητα, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν από οποιαδήποτε συσκευή με πρόσβαση στο διαδίκτυο, και η ταχύτητα των προγραμματιστικών κύκλων, αφού τυχόν αλλαγές στον κώδικα της εφαρμογής περνούν στην παραγωγή άμεσα, με το πάτημα ενός κουμπιού. Μια web εφαρμογή αποτελείται από δύο επιμέρους τμήματα, τα οποία είναι συνυφασμένα, σε μια δομή που καλείται αρχιτεκτονική πελάτη-διακομιστή(client-server architecture). Ο κώδικας στην πλευρά του χρήστη ή «πελάτη»(client-side code) παράγει στοιχεία, όπως κουμπιά και κείμενο, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η διάδραση του χρήστη με την εφαρμογή. Στο παρόν project, για παράδειγμα, ο server side κώδικας δημιουργεί τις φόρμες στις οποίες ο χρήστης επιλέγει τα χαρακτηριστικά του σπιτιού του. Ο κώδικας στην πλευρά του διακομιστή(server-side code) χειρίζεται τυχόν αιτήματα που

μεταφέρονται σε αυτόν, για παράδειγμα με την υποβολή μιας φόρμας με δεδομένα από τον χρήστη. Στο παρόν project, ο server λαμβάνει τα χαρακτηριστικά του σπιτιού και, μετά τη διεκπεραίωση της ανάλυσης, αποστέλλει τα αποτελέσματα, αν και λόγω της χρήσης του διαδικτυακού πλαισίου Angular [53], που θα αναλυθεί παρακάτω, η συντριπτική πλειοψηφία των λειτουργιών της εφαρμογής ρυθμίζεται στην πλευρά του πελάτη.

Λόγω τεχνολογικής ανάπτυξης στον τομέα του προγραμματισμού στον ιστό(web development), είναι πλέον διαθέσιμη μια πλειάδα εργαλείων για τον προγραμματισμό εφαρμογών. Ο ακρογωνιαίος λίθος όμως του web development παραμένει η γλώσσα προγραμματισμού JavaScript, και η μετεξέλιξή της, TypeScript. Η JavaScript [54] είναι μια γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου, που είναι μεν αντικειμενοστραφής, αλλά υποστηρίζει τις συναρτήσεις ως αντικείμενα πρώτης τάξης, που σημαίνει ότι μια συνάρτηση ή η τιμή που επιστρέφεται από εκείνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράμετρος για άλλες συναρτήσεις. Η λειτουργία της, επιγραμματικά, συνίσταται στην τροποποίηση μεταβλητών σε πραγματικό χρόνο, οι οποίες με τη σειρά τους καθορίζουν το περιεχόμενο της σελίδας(view) που βλέπει ο χρήστης. Σε συνδυασμό με την HTML και την CSS, χρησιμοποιούνται στο 98% των ιστοσελίδων και εφαρμογών ιστού, σύμφωνα με στοιχεία του 2023. Η HTML (HyperTextMarkupLanguage) [55] αποτελεί ένα σύστημα κωδικοποίησης, αποτελούμενο από τις επονομαζόμενες ετικέτες, που εμφανίζονται ανά ζεύγη. Οι ετικέτες `<p>` και `</p>`, παραδείγματος χάριν, σηματοδοτούν την έναρξη και το τέλος μιας παραγράφου(εκ του paragraph), ή γενικότερα ενός χωρίου κειμένου. Ο περιηγητής ιστού ερμηνεύει τις ετικέτες αυτές, χωρίς να τις αναπαριστά αυτούσιες, με αποτέλεσμα τη δημιουργία των ορατών στοιχείων μιας ιστοσελίδας. Η μορφοποίηση των στοιχείων αυτών(αλλαγή χρώματος, γραμματοσειράς κ.α.) καθίσταται δυνατή από το σύστημα κωδικοποίησης CSS(Cascading Style Sheets) [56], το οποίο συνυπάρχει με τις ετικέτες της HTML. Αν για παράδειγμα, επιθυμεί κανείς την αλλαγή χρώματος του κειμένου μιας παραγράφου, το επιτυγχάνει με την ακόλουθη τροποποίηση της ετικέτας της παραγράφου: `<p style="color: red;"></p>`. Το κείμενο ανάμεσα στην αρχόμενη και την καταληκτική ετικέτα παραγράφου θα εμφανίζεται τώρα με κόκκινο. Ο συγκερασμός στοιχείων από τις HTML, CSS και JavaScript, επιτρέπει την επίτευξη, σε εμφάνιση και λειτουργικότητα, μιας σύγχρονης ιστοσελίδας ή εφαρμογής ιστού. Αριστερά στην εικόνα βλέπουμε ένα σκελετό αρχείου HTML, ενώ δεξιά φαίνεται το αποτέλεσμα, αφού το αρχείο διαβαστεί από τον περιηγητή ιστού.

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<body>

<p>Κείμενο</p>
<p style="color:red;">Κόκκινο κείμενο</p>
<p style="font-size:30px;">Μεγαλύτερο κείμενο</p>

</body>
</html>
```

Κείμενο

Κόκκινο κείμενο

Μεγαλύτερο κείμενο

Εικόνα 48 – Σκελετός Αρχείου HTML

Παρότι το τρίπτυχο HTML, CSS και JavaScript επαρκεί για την ανάπτυξη εφαρμογών με οποιαδήποτε πολυπλοκότητα, εΐθισται πλέον η χρήση διαδικτυακών πλασίων (web framework) υψηλού επιπέδου. Τα web frameworks είναι πακέτα κώδικα τα οποία, παρέχοντας έτοιμες συναρτήσεις, επιταχύνουν και απλοποιούν τη διαδικασία παραγωγής αλλά και συντήρησης διαδικτυακών εφαρμογών. Τα περισσότερα από αυτά έχουν επιμεληθεί ομάδες έμπειρων προγραμματιστών, ενώ σε πολλές περιπτώσεις τα πακέτα είναι ανοικτού κώδικα(οpen source), ώστε να δημιουργείται ένα περιβάλλον στο οποίο ευοδώνει η ανταλλαγή ιδεών, η περαιτέρω ανάπτυξη και βελτιστοποίηση του πακέτου μέσω εισροής ιδεών από την κοινότητα, καθώς και η δημοσιοποίηση τρόπων επίλυσης συχνών προβλημάτων (bug fixing). Παραδείγματα τομέων όπου γίνεται συχνή χρήση διαδικτυακών πλασίων είναι η πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων, η οποία έχει αυτοματοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό, ή το λεγόμενο templating, που αφορά τη χρήση έτοιμων προτύπων σχεδιασμού και οργάνωσης μιας διαδικτυακής εφαρμογής.

Το web framework που χρησιμοποιήθηκε για τον προγραμματισμό της παρούσας εφαρμογής καλείται Ionic, το οποίο χρησιμοποιεί και εμπλουτίζει το framework Angular, σχεδιασμένο από ομάδα προγραμματιστών της Google LLC. Το Angular έφερε πολλαπλές καινοτομίες, οι περισσότερες από τις οποίες αποσκοπούν στην ανεξαρτητοποίηση του κώδικα στην πλευρά το πελάτη από τον κώδικα στην πλευρά του διακομιστή, ελαχιστοποιώντας παράλληλα την αναγκαιότητα του τελευταίου. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται αφενός καλύτερη απόδοση της εφαρμογής και εμπειρία για τον τελικό χρήστη και αφετέρου μειώνονται σημαντικά τα κόστη επεξεργασίας και συντήρησης διακομιστών. Για παράδειγμα, μέσω εισαγωγής πακέτων κώδικα(dependency injection), στο Angular καθίσταται δυνατός ο έλεγχος πεδίων σε μια σελίδα της εφαρμογής εξαρτώμενος από δυναμικές αλλαγές που συμβαίνουν σε αυτή σε πραγματικό χρόνο(view dependant controllers), κάτι που παραδοσιακά επιτυγχανόταν στην πλευρά του διακομιστή. Η απλούστερη έκφανση της δυνατότητας αυτής είναι μέσω της αμφίδρομης αλληλεξάρτησης μεταβλητών (two-way data binding). Μέσω της χρήσης των ειδικών συμβόλων {{ (στην αρχή) και }} (στο τέλος) του ονόματος μιας μεταβλητής, η τιμή αυτής γίνεται ορατή στη συσκευή του χρήστη. Αν τα σύμβολα αυτά χρησιμοποιηθούν εντός μιας φόρμας, τότε η εισαγωγή δεδομένων(κειμένου, αριθμών κ.α.) από το πληκτρολόγιο του χρήστη ανανεώνει την τιμή της μεταβλητής αυτής σε ένα αρχείο κώδικα στην πλευρά του πελάτη. Στο αρχείο αυτό η τιμή της μεταβλητής μπορεί εκ νέου να τροποποιηθεί. Σε οποιαδήποτε μεταβολή, ανεξάρτητα αν προήλθε από το χρήστη ή από τη λογική του κώδικα της εφαρμογής, η εικόνα του χρήστη (view) αλλάζει αυτόματα και άμεσα, χωρίς να απαιτείται ανανέωση του παραθύρου και χωρίς να χρειάζεται ουδεμία κλήση σε βάση δεδομένων στην πλευρά του διακομιστή. Έτσι, μειώνεται δραστικά ο φόρτος αιτημάτων στο διακομιστή, κάτι που επιταχύνει το χρόνο ανταπόκρισης της εφαρμογής, ενώ σε βάθος χρόνου απαλλάσσει από κόστη αναβάθμισης των διακομιστών.

Εκτός αυτού, το Angular προσφέρει πλειάδα έτοιμων εργαλείων σε όλα τα επίπεδα της εφαρμογής, όπως είναι η εύκολη δρομολόγηση (routing), ή αλλιώς πλοήγηση από σελίδα σε σελίδα της εφαρμογής, διάφοροι χειριστές (controllers) όπως ο χειριστής φόρτωσης (loading controller) ή ο χειριστής ειδοποιήσεων (alert controller), καθώς και οι επονομαζόμενοι «κατευθυντήρες» (directives) επανάληψης ή συνθήκης. Η εύκολη δρομολόγηση βασίζεται στη δομή των εφαρμογών Angular ως εφαρμογής μιας σελίδας (single-page applications). Αυτό δεν σημαίνει ότι όλη η λειτουργικότητά της εκτελείται σε μια στατική οθόνη. Το αρχείο που φορτώνεται στον ιστό είναι μεν μονήρες, αλλά η ολότητα του περιεχομένου του μεταβάλλεται από τον κώδικα της εφαρμογής. Υπάρχει ένα αρχείο που τιτλοφορείται index.html, το οποίο δεν περιέχει παρά δύο γραμμές κώδικα, που ορίζουν ουσιαστικά μια διέξοδο (outlet), το περιεχόμενο της οποίας συνεχώς αλλάζει. Το αρχείο αυτό έχει ένα βασικό μονοπάτι (file path), που συνήθως βρίσκεται στη βάση του φακέλου της εφαρμογής. Η ανακατεύθυνση σε οποιαδήποτε σελίδα της εφαρμογής δεν είναι παρά η μεταφόρτωση του περιεχομένου από τον εκάστοτε υποφάκελο στην προαναφερθείσα διέξοδο και επιτυγχάνεται με μια μόνο εντολή, την navigate. (πλοηγηθείτε) Ο χειριστής φόρτωσης είναι ένα έτοιμο εργαλείο που δημιουργεί μια εικόνα φόρτωσης, που όσο είναι ενεργή, μπλοκάρει τη διάδραση του χρήστη με την εφαρμογή, κάτι που κρίνεται απαραίτητο όταν παρέρχεται για παράδειγμα χρόνος για την ανάκτηση δεδομένων από το διακομιστή. Όταν είναι διαθέσιμα τα δεδομένα, το παράθυρο φόρτωσης λύεται και αποκαθίσταται η δυνατότητα χρήσης της εφαρμογής από τον χρήστη. Ο χειριστής ειδοποιήσεων αποτελεί εργαλείο που δημιουργεί παράθυρα μηνυμάτων προς το χρήστη από την εφαρμογή. Αν για παράδειγμα ο χρήστης εισάγει μη έγκυρα δεδομένα (ένα πλήρως αναβαθμισμένο σπίτι λόγου χάριν), λαμβάνει ειδοποίηση στο άνω μέρος της οθόνης, ότι δεν υπάρχουν πιθανές αναβαθμίσεις για αυτό το συνδυασμό χαρακτηριστικών σπιτιού. Να σημειωθεί ότι στο Angular, όλοι οι χειριστές είναι πλήρως παραμετροποιήσιμοι, αφού με μια εντολή μπορεί να αλλάξει η γραμματοσειρά, το χρώμα, ή η διάρκεια παραμονής αν πρόκειται για ειδοποίηση. Οι κατευθυντήρες είναι τροποποιητές στοιχείων της HTML και παρέχουν σημαντικά πλεονεκτήματα. Οι δύο κυριότεροι είναι ο \*NgFor και ο \*NgIf και χρησιμοποιούνται στην μέσα από τις ετικέτες της HTML ως εξής:

```
<p *NgIf=' 'someCondition === true ' '>κείμενο</p>  
<p *NgFor=' 'a in array' '>κείμενο</p>
```

Στην πρώτη γραμμή η λέξη κείμενο θα εμφανιστεί στην οθόνη του χρήστη, μόνο στην περίπτωση όπου η συνθήκη someCondition είναι αληθής. Σε αντίθετη περίπτωση, παραμένει «κρυμμένη» ή αλλιώς καταστέλλεται από την οθόνη. Αν κατά την πλοήγηση του χρήστη, η τιμή της συνθήκης αλλάξει σε αληθής, αυτόματα το στοιχείο (η λέξη «κείμενο» στο παράδειγμα) θα εμφανιστεί αυτόματα. Η λειτουργικότητα αυτή έχει πολλές δυνητικές χρήσεις. Αν για παράδειγμα ο χρήστης καλείται να συμπληρώσει μια φόρμα με στοιχεία και εν συνεχεία να την υποβάλλει, θα ήταν λογικό να μην εμφανίζεται το κουμπί της υποβολής έως ότου συμπληρωθούν όλα τα απαραίτητα στοιχεία της φόρμας. Ο \*NgFor από την άλλη δημιουργεί

αντίγραφο του εν λόγω στοιχείου της HTML. Αν τα στοιχεία `a` της λίστας `array` είναι 10, παραδείγματος χάριν, η λέξη «κείμενο» θα εμφανιστεί 10 φορές, η μια κάτω από την άλλη. Και αυτός ο κατευθυντήρας έχει πολλαπλή χρησιμότητα. Αν για παράδειγμα ο προγραμματιστής επιθυμεί να εμφανίσεις τρεις επιλογές για τη θερμομανση ενός σπιτιού, αρκεί να φτιάξει μια λίστα με τις επιλογές αυτές, καθώς και ένα πρωτότυπο σχέδιο με την HTML, το οποίο επαναλαμβάνεται μέσω του `*NgFor` για όλα τα στοιχεία της λίστας.

Για την ανάπτυξη της εφαρμογής στο παρόν project χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Ionic [57], που χρησιμοποιεί μεν τις δομές του Angular, αλλά εμπλουτίζει τη λειτουργικότητα του. Η βασικότερη ίσως διευκόλυνση που παρέχει το Ionic, δηλαδή το εργαλείο αυτόματης μετατροπής JavaScript σε Swift [58] και Kotlin [59], ώστε μια διαδικτυακή εφαρμογή να γίνει συμβατή με συσκευές ios και Android αντίστοιχα, δεν χρησιμοποιήθηκε στο παρόν project, αν και η εμπορευματοποίηση της εφαρμογής, μέσω διάθεσης της σε κινητά τηλέφωνα, θα μπορούσε να αποτελέσει μελλοντικό στόχο. Η Ionic προσφέρει όμως και άλλα πλεονεκτήματα, όπως το αυτόματο χτίσιμο των συνοδευτικών αρχείων και των μετα-δεδομένων που απαιτούνται για τη δημοσιοποίηση μιας εφαρμογής στον παγκόσμιο ιστό, με μια μόνο εντολή `build` στην γραμμή εντολών(`terminal`). Μέσω της εντολής αυτής δημιουργείται ένας νέος φάκελος, ο οποίος περιλαμβάνει, εκτός από τα προαναφερθέντα συνοδευτικά αρχεία, και πλήρη μετατροπή των ειδικών στοιχείων του Angular σε σκέτη (`plain`) JavaScript, που διαβάζεται από τον φυλλομετρητή. Ο νέος αυτός φάκελος τιτλοφορείται `www` (`WorldWideWeb: παγκόσμιος ιστός`) και περιέχει όλον τον κώδικα που ανεβαίνει στο διαδίκτυο. Εκτός του εργαλείου αυτού, η Ionic παρέχει πληθώρα έτοιμων εντολών που δημιουργούν φόρμες ερωτήσεων(με την ετικέτα `<ion-radio>`), σειρές(`<ion-row>`) και στήλες(`<ion-col>`) ευθυγραμμισμένες και ανταποκρινόμενες σε μεταβολές μεγέθους οθόνης(`responsive`) καθώς και κουμπιά ή έτοιμα εικονίδια για τη στιλιστική αναβάθμιση και ευχρηστία της εφαρμογής. Ο κατάλληλος συνδυασμός ετικετών `<ion-radio>` `</ion-radio>` δημιουργεί μια δομή επιλογής, όπως φαίνεται στην εικόνα:

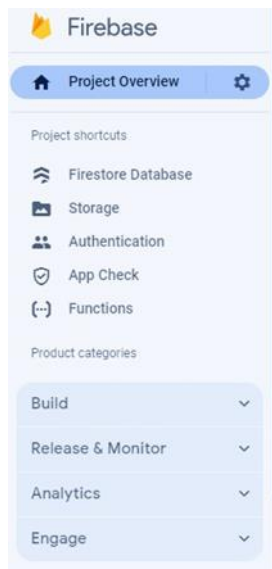


Εικόνα 49 – Δομή Επιλογής με την Ionic

Ο χρήστης πατώντας με τον κέρσορα έναν εκ των γκρι κύκλων αλλάζει την επιλογή του(σεσημασμένη με μπλε χρώμα εν προκειμένω), η τιμή της οποίας είναι αποθηκευμένη σε μια μεταβλητή, σε αρχείο κώδικα στην πλευρά του πελάτη. Έτσι, η τιμή της αλλάζει αυτόματα στην οθόνη του χρήστη, με μηδενικό χρόνο απόκρισης. Η δομή αυτή χρησιμοποιήθηκε στη σελίδα εισαγωγής στοιχείων του σπιτιού του χρήστη

αφενός για να οριοθετηθούν οι επιλογές του χρήστη σε χαρακτηριστικά που αναλύθηκαν στην προσομοίωση και αφετέρου για τη διευκόλυνση του χρήστη, καθώς δεν χρειάζεται να πληκτρολογήσει ο ίδιος τις απαντήσεις του.

Όσον αφορά την πλευρά του διακομιστή, χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα Firebase [60], της Google LLC. Η εν λόγω πλατφόρμα αποτελεί ένα πολύπλευρο εργαλείο διαχείρισης εφαρμογών, αφού παρέχει πληθώρα λειτουργιών. Η ειδοποιός διαφορά του με άλλες server-side λύσεις είναι ότι παραδόξως αναιρεί την ανάγκη συντήρησης διακομιστών αφού η αποθήκευση δεδομένων γίνεται εξ' ολοκλήρου στο cloud, από πόρους που διαθέτει η ίδια η Google, το κόστος των οποίων αρχικά είναι μηδενικό, αλλά ανεβαίνει ανάλογα με την κίνηση της εφαρμογής. Η διαδικτυακή εφαρμογή του Firebase παρέχει πρόσβαση στις παρακάτω λειτουργίες, οι οποίες συνοψίζονται στην εικόνα από την κεντρική σελίδα:



Εικόνα 50 – Κεντρική σελίδα Firebase

Η πρώτη καρτέλα(Firebase Database) αφορά την βάση δεδομένων που δημιουργείται και εξατομικεύεται για κάθε project. Είναι μια no-SQL βάση, που σημαίνει ότι η σχηματική αναπαράσταση των δεδομένων δεν είναι υπό μορφή πινάκων, όπως σε ένα αρχείο Excel, αλλά αντίθετα μπορούν να διαμορφωθούν σχέσεις με απεριόριστη πολυπλοκότητα ανάμεσα σε τιμές ή κατηγορίες δεδομένων, τα οποία εν τέλει αποθηκεύονται σε αρχεία(documents) σε μορφή ζευγών κλειδιών-τιμών(key-value paires). Η δεύτερη επιλογή(Storage) υποστηρίζει την αποθήκευση μεγάλων σε μέγεθος αρχείων, τα οποία μπορεί να είναι και πίνακες, και για το λόγο αυτό επιλέχθηκε στο παρόν project. Να σημειωθεί ότι κάθε project που δημιουργείται στο Firebase, λαμβάνει μοναδικούς κωδικούς που αποτυπώνονται σε ένα JavaScript αντικείμενο, το οποίο αντιγράφεται και επικολλάται στον κώδικα της εκάστοτε εφαρμογής. Η επιλογή Authentication αφορά ένα έτοιμο σύστημα δημιουργίας λογαριασμών στην εφαρμογή, που προστατεύονται από κωδικό πρόσβασης, ενώ η

λειτουργία App Check παραπέμπει τον χρήστη σε ένα πίνακα στατιστικών, που συνοψίζουν την απόδοση της εφαρμογής, ενώ προειδοποιούν για τυχόν σφάλματα, όπως ακυρωθέντα αιτήματα στη βάση δεδομένων ή διαρροές μνήμης. Τέλος, η καρτέλα functions αφορά συναρτήσεις οι οποίες τρέχουν και αυτές μέσω του cloud, και επιτρέπουν τον χειρισμό ευαίσθητων δεδομένων, όπως κωδικών πρόσβασης ή στοιχείων πληρωμών, που δεν μπορεί να γίνει στην πλευρά του πελάτη. Εν κατακλείδι, το Firebase προσφέρει και δωρεάν Hosting, δηλαδή την δημοσιοποίηση της εφαρμογής στον παγκόσμιο ιστό.

Το τελευταίο εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε στην εφαρμογή είναι η πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) [61], που επιτρέπει την εύρεση της καταλληλότερης λύσης από ένα σύνολο πιθανών επιλογών. Στο παρόν project παρουσιάζονται στο χρήστη οι 5 κορυφαίες επιλογές με γνώμονα, είτε την αειφορία είτε την εξοικονόμηση χρημάτων, ενώ ο αρχικός δειγματικός χώρος περιλαμβάνει όλα τα σενάρια στα οποία αναβαθμίζεται έστω και ένα χαρακτηριστικό του σπιτιού. Επισημαίνεται ότι στην παράγραφο αυτή περιγράφεται ο ορισμός και ο λόγος επιλογής της συγκεκριμένης μεθόδου, μέσα από τα πλεονεκτήματά της. Τα ακριβή κριτήρια και ο τρόπος εφαρμογής της ανάλυσης περιγράφονται σε επόμενο κεφάλαιο. Η TOPSIS βασίζεται στην έννοια της ιδεατής θετικής λύσης (ανώτατο σκορ σε όλα τα κριτήρια) και της ιδεατής αρνητικής λύσης (κατώτατο σκορ σε όλα τα κριτήρια). Αποτελεί μια μέθοδο σύνθεσης-αντιστάθμισης που αξιολογεί μια επιλογή βάσει γεωμετρικής αποστάσεως από την ιδεατή θετική και την ιδεατή αρνητική λύση. Στα βασικά πλεονεκτήματά της συμπεριλαμβάνονται η ευκολία στην εφαρμογή της, η χρήση της αντι-ιδεατής λύσης, που στην ουσία καθιστά την ανάλυση πολυδιάστατη, συνυπολογίζοντας θετικές και αρνητικές επιρροές, καθώς και η αξιοπιστία της, αφού είναι ευρέως διαδεδομένη. Το βασικό μειονεκτήματα της μεθόδου είναι η υποκειμενικότητα που θα μπορούσε κανείς να της προσάψει, επειδή η επιλογή του βάρους(της σημαντικότητας δηλαδή) των κριτηρίων γίνεται αυθαιρέτως από τον εκτελούντα την ανάλυση. Στο project αυτό, όμως, χρησιμοποιείται εποικοδομητικά η ιδιομορφία αυτή. Μέσω του ορισμού δύο διαφορετικών συνδυασμών βαρών, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ελευθερία για τον χρήστη της εφαρμογής. Η μια επιλογή αποδίδει υψηλότερες τιμές βαρών στα κριτήρια που αφορούν την εξοικονόμηση χρημάτων, ενώ η άλλη στα κριτήρια που αφορούν την εξοικονόμηση ενέργειας ή τη μείωση των ρύπων. Επειδή, λοιπόν, είναι δυνατή η αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων της μεθόδου, χωρίς τα μειονεκτήματα να επηρεάζουν αρνητικά το σκοπό της εφαρμογής, η TOPSIS κρίθηκε ως η καταλληλότερη πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων.

### **5.3 Παρουσίαση Εφαρμογής**

Η βασική διάρθρωση της εφαρμογής έχει ως εξής. Στην πλευρά του διακομιστή και πιο συγκεκριμένα στην καρτέλα Storage, στο Firebase, έχουν δημιουργηθεί φάκελοι που περιέχουν τους πίνακες δεδομένων από τις προσομοιώσεις. Οι πίνακες αυτοί είναι



56 στον αριθμό, αφού δημιουργήθηκε ένας για κάθε συνδυασμό προσανατολισμού-μεγέθους σπιτιού σε τετραγωνικά μέτρα. Οι προσανατολισμοί αναπαρίστανται σε μοίρες απόκλισης από τον Βορρά(0 μοίρες). Παραδείγματος χάριν, ο Βορειοανατολικός προσανατολισμός αντιστοιχεί στις 45 μοίρες, ενώ ο Νότιος στις 180. Το σύνολο των προσανατολισμών είναι 8: {0,45,90,135,180,225,270,315,360}, ενώ τα μεγέθη σπιτιών είναι τα ακόλουθα 7: {30,45,60,75,90,105,120}. Οι φάκελοι ονομάζονται ανάλογα με την τιμή του εκάστοτε μεγέθους και προσανατολισμού, ως εξής: /{{μέγεθος σπιτιού}}/{{προσανατολισμός}}/. Επισημαίνεται, ότι για την μετάβαση από το περιβάλλον των προσομοιώσεων, σε εκείνο της εφαρμογής, κρίνεται βέλτιστη η μετατροπή των πινάκων (.xlsx μορφή) σε JSON(JavaScriptObjectNotation) αρχεία(.json). Η JSON αποτελεί έναν τύπο αρχείου-δομής δεδομένων, που αναπαριστώνται ως αντικείμενα της JavaScript, έχουν δηλαδή δύο δομικά στοιχεία, λίστες και ζεύγη κλειδιών-τιμών. Αναπτύχθηκε προκειμένου να γεφυρωθεί άμεσα το χάσμα μεταξύ διακομιστή και πελάτη. Για να καταστεί σαφής ο τρόπος μετατροπής ενός δυσδιάστατου πίνακα σε JSON, παρατίθεται το ακόλουθο, ενδεικτικό παράδειγμα.

District_Heating	Type_of_heating	heating_cons	District_Cooling	Type_of_Cooling	Cooling_cons	Square_meters
3867.25	petrol	361.0877684	663.25	wind	663.25	30
3867.25	gas	336.2826087	663.25	ac	331.625	30

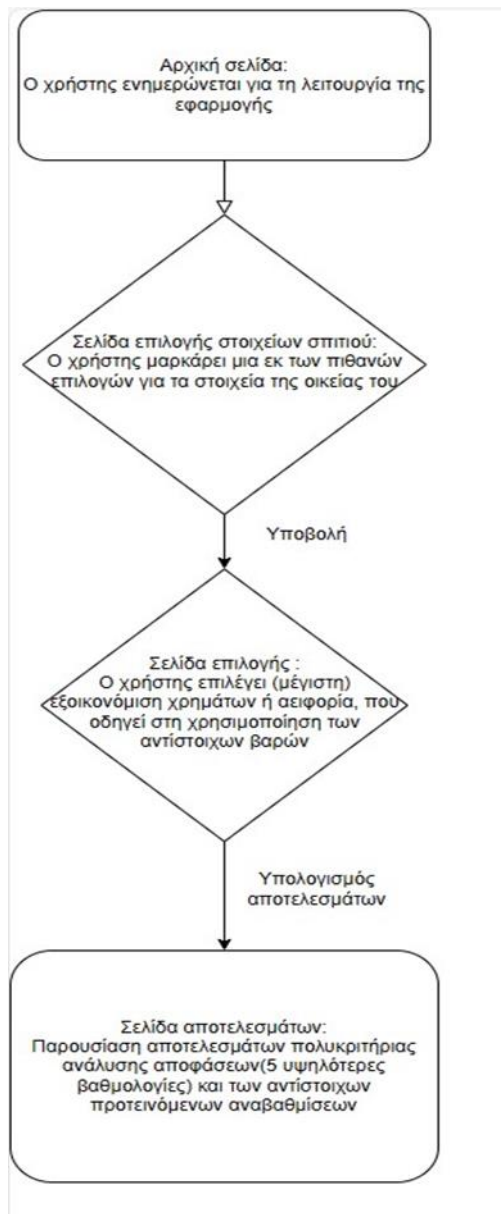
```
[
  {
    "District_Heating": 3867.25,
    "Type_of_heating": "petrol",
    "heating_cons": 361.0877684,
    "District_Cooling": 663.25,
    "Type_of_Cooling": "wind",
    "Cooling_cons": 663.25,
    "Square_meters": 30
  },
  {
    "District_Heating": 3867.25,
    "Type_of_heating": "gas",
    "heating_cons": 336.2826087,
    "District_Cooling": 663.25,
    "Type_of_Cooling": "ac",
    "Cooling_cons": 331.625,
    "Square_meters": 30
  }
]
```

Εικόνα 51 – Μετατροπή από πίνακα Excel σε JSON

Η λίστα, που οριοθετείτε από τους χαρακτήρες “[” και “]”, μπορεί να περιέχει αυθαίρετο αριθμό στοιχείων, χωριζόμενων με “κόμμα”(,). Στην προκειμένη περίπτωση, κάθε γραμμή του πίνακα, που αντιστοιχεί σε ένα μοναδικό συνδυασμό χαρακτηριστικών σπιτιού, είναι ένα διακριτό στοιχείο στη λίστα. Κάθε συνδυασμός χαρακτηριστικών, κάθε «σενάριο» δηλαδή, συνιστά ένα αντικείμενο (που

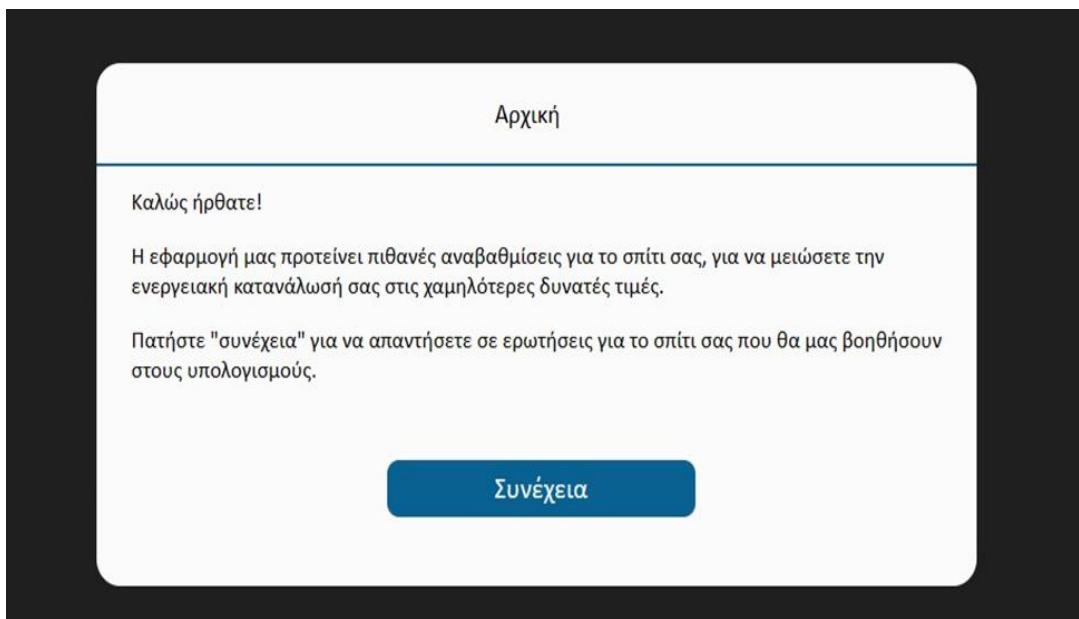
οριοθετείται από “{” και “}”), το οποίο αποτελείται από ζεύγη κλειδιών τιμών, που χωρίζονται με κόμμα. Οι τιμές περικλείονται με ‘’ και ‘’ όταν ο τύπος τους είναι αλφαριθμητικός(string), ενώ αν πρόκειται για απλούς αριθμούς, κάτι τέτοιο δεν είναι απαραίτητο. Αν θέλει κανείς να απομονώσει το ν-οστό στοιχείο της λίστας χρησιμοποιεί τη σειρά του σε εκείνη(η αρίθμηση ξεκινά από το μηδέν), ως εξής: nElement = list\_Name[n]. Η μεταβλητή nElement περιλαμβάνει το αντικείμενο στη ν-οστή θέση της λίστας. Εάν από την άλλη, κρίνεται απαραίτητη η άμεση πρόσβαση στην τιμή ενός συγκεκριμένου κλειδιού, στη ν-οστή θέση της λίστας, αυτό γίνεται ως εξής: : nValue = list\_Name[n].key. Η σύνταξη αυτή δηλώνει τη μεταβλητή nValue που περιλαμβάνει πλέον μόνο την τιμή του κλειδιού key. Στα δεδομένα της εικόνας, η σύνταξη var = list\_Name[1].Square\_meters, δίνει μια μεταβλητή της οποίας η τιμή είναι 30, και αντιστοιχεί στα τετραγωνικά μέτρα του δεύτερου σπιτιού(αφού η αρίθμηση ξεκινά από το μηδέν). Να σημειωθεί ότι, παρότι στις εικόνες χρησιμοποιούνται πραγματικά δεδομένα από τις προσομοιώσεις, οι σειρές δεν είναι πλήρεις, για πρακτικούς λόγους. Η ολοκληρωμένη μορφή των πινάκων αυτών περιγράφεται σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Από την πλευρά του χρήστη, υπάρχουν τέσσερις σελίδες στις οποίες μπορεί να πλοηγηθεί γραμμικά (ένα βήμα τη φορά) προς τα εμπρός αλλά και προς τα πίσω. Η πρώτη σελίδα είναι η αρχική, η δεύτερη σελίδα περιλαμβάνει την εισαγωγή των στοιχείων του σπιτιού από τον χρήστη, η τρίτη αφορά την επιλογή μεταξύ μέγιστης εξοικονόμησης χρημάτων και μέγιστης αειφορίας, ενώ στην τελική σελίδα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Στη συνέχεια, υπάρχει οργανόγραμμα που αναπαριστά σχηματικά τις παραπάνω πληροφορίες και βοηθά στην οπτικοποίηση της ροής που αντιλαμβάνεται ο χρήστης.



Εικόνα 52 – Οργανόγραμμα για περιήγηση χρήστη στην εφαρμογή

Η αρχική σελίδα καλωσορίζει τον χρήστη και παρέχει μια επιγραμματική επεξήγηση του σκοπού και της λειτουργίας της εφαρμογής. Να σημειωθεί επίσης ότι, με την επιστροφή στην αρχική σελίδα οποιαδήποτε στιγμή, αρχικοποιείται στη συγκεκριμένη συνεδρία(session) το αντικείμενο που περιέχει τα χαρακτηριστικά σπιτιού που έχει θέσει ο χρήστης, αποτελώντας έτσι και ένα είδος σελίδας επαναφοράς(reset).



Εικόνα 53 – Αρχική σελίδα Εφαρμογής

Πατώντας «Συνέχεια», ο χρήστης ανακατευθύνεται στη σελίδα των ερωτήσεων. Ο τελικός σκοπός της σελίδας αυτής είναι η συλλογή δεδομένων από τον χρήστη και η δημιουργία ενός αντικειμένου, το οποίο έχει τη δομή των «σεναρίων» που είναι αποθηκευμένα στη βάση δεδομένων, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση με αυτά. Οι πρώτες δύο επιλογές που καλείται να κάνει ο χρήστης αφορούν το μέγεθος του σπιτιού σε τετραγωνικά μέτρα και ο προσανατολισμός του, ο οποίος στη διεπαφή περιγράφεται με λέξεις, αλλά στη βάση δεδομένων συμβολίζεται σε μοίρες απόκλισης από το Βορρά. Οι επιλογές για το μέγεθος του σπιτιού είναι 30,45,60,75,90,105 και 120τ.μ., ενώ οι προσανατολισμοί προς επιλογή είναι: Βόρειος, Βορειοανατολικός, Ανατολικός, Νοτιοανατολικός, Νότιος, Νοτιοδυτικός, Δυτικός και Βορειοδυτικός. Οι δύο πρώτες επιλογές αφορούν τα μόνα στοιχεία που δεν επιδέχονται αναβαθμίσεων, θεωρούνται δηλαδή ως σταθερές στο πλαίσιο της εφαρμογής (παρότι δυνητικά θα μπορούσε ο ιδιοκτήτης να προβεί σε επέκταση της κατοικίας, αυξάνοντας τα τ.μ.). Με γνώμονα το σημείο αυτό, άλλωστε, έγινε και ο χωρισμός των πιθανών σπιτιών σε 56 πίνακες. Κάθε πίνακας δηλαδή περιλαμβάνει πιθανές αναβαθμίσεις για συγκεκριμένο μέγεθος και προσανατολισμό.

Εν συνεχεία, ο χρήστης επιλέγει τον όροφο του σπιτιού του. Η καίρια πληροφορία για τις ενεργειακές ανάγκες του σπιτιού αφορά το κατά πόσον βρίσκεται στην ταράτσα ή όχι. Εάν το σπίτι βρίσκεται σε ισόγειο ή ενδιάμεσο όροφο, τότε και η μεταβλητή αυτή στην ουσία αποτελεί σταθερά, καθότι δεν μπορεί πρακτικά να αναβαθμιστεί η στέγη του σπιτιού. Εάν, όμως, το σπίτι βρίσκεται στον ανώτατο όροφο, έχει νόημα η ερώτηση για την ύπαρξη μόνωσης σε αυτή, ως μια πιθανή αναβάθμιση. Κατόπιν, ο χρήστης επιλέγει ανάμεσα σε τοίχους απλούς, μονωμένους ή καλά μονωμένους. Στην

εικόνα παρουσιάζεται το πρώτο τμήμα της σελίδας των ερωτήσεων όπως φαίνεται στην εφαρμογή.

← Ερωτήσεις

Πόσα τετραγωνικά μέτρα(m<sup>2</sup>) είναι το σπίτι σας?

30  
 45  
 60  
 75  
 90  
 105  
 120

Ποιος είναι ο προσανατολισμός του σπιτιού?

Βόρειος  
 Βορειοανατολικός  
 Ανατολικός  
 Νοτιοανατολικός  
 Νότιος  
 Νοτιοδυτικός  
 Δυτικός  
 Βορειοδυτικός

Σε ποιόν όροφο βρίσκεται το σπίτι?

Ισόγειο ή ενδιάμεσος όροφος  
 Ταράτσα, δεν διαθέτει μόνωση  
 Ταράτσα, διαθέτει μόνωση

Τι είδους τοίχους έχει το σπίτι?

Απλούς  
 Μονωμένους  
 Καλά μονωμένους

Εικόνα 54 – Ερωτηματολόγιο

Αφού διαλέξει σχετικά με τους τοίχους, ο χρήστης πραγματοποιεί 8 ακόμα επιλογές. Όσον αφορά τα τζάμια, η επιλογή γίνεται μεταξύ απλών, διπλών και τριπλών, για τα σκίαστρα των παραθύρων η απάντηση είναι είτε ναι είτε όχι, για τις λάμπες είναι μεταξύ οικονομίας (40W), φθορισμού(30W) και LED(8W), ενώ για το ψυγείο

υπάρχουν τα ενεργειακής κλάσης A και τα χαμηλότερης ενεργειακής κλάσης. Οι επόμενες τέσσερις επιλογές έχουν μια μικρή ιδιομορφία, καθώς υπάρχουν δυνητικά συζευγμένες απαντήσεις. Στην κουζίνα, ο χρήστης διαλέγει ανάμεσα σε κουζίνα ρεύματος, ενεργειακής κλάσης κάτω από A, σε ρεύματος ενεργειακής κλάσης A και σε φυσικού αερίου. Για τη θέρμανση, πιθανά μέσα είναι το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, η αντλία θερμότητας και το ξύλο(αναγράφεται ως τζάκι). Για το θερμοσίφωνα, έχουμε ηλεκτρικό, φυσικού αερίου και ηλιακό, μικρότερο ή μεγαλύτερο από 3 τετραγωνικά μέτρα. Η τελευταία επιλογή αφορά τον τρόπο ψύξης του σπιτιού, που μπορεί να γίνεται με αντλία θερμότητας, με ανεμιστήρες ή με σύστημα κλιματισμού (Air Condition). Στις εικόνες φαίνονται οι επιλογές ως εμφανίζονται στην οθόνη της εφαρμογής.

Τι είδους τζάκι έχει το σπίτι ?

- Απλά
- Διπλά
- Τρισδιά

---

Έχουν σκάστρα τα παράθυρα?

- Ναι
- Όχι

---

Τι είδους λάμπες έχετε στο σπίτι?

- Οικονομίας 40w
- Φθορισμού 30w
- LED 8w

---

Τι ενεργειακής κλάσης είναι το ψυγείο σας?

- Χαμηλότερη από A
- A ενεργειακή

---

Τι είδους είναι η κουζίνα σας?

- Με ρεύμα, ενεργειακής κλάσης κάτω από A
- Με ρεύμα, ενεργειακής κλάσης A
- Με φυσικό αέριο

---

Τι είδους θέρμανση έχει το σπίτι?

- Πετρέλαιο
- Φυσικό Αέριο
- Αντλία θερμότητας
- Τζάκι

---

Τι είδους θερμοσίφωνα έχει το σπίτι?

- Ηλεκτρικό
- Φυσικό αέριο
- Ηλιακό, μικρότερο από 3 τετραγωνικά μέτρα
- Ηλιακό, μεγαλύτερο από 3 τετραγωνικά μέτρα

---

Τι είδους ψύξη έχει το σπίτι?

- Ανεμιστήρες
- Air condition
- Αντλία θερμότητας

**Υποβολή**

Εικόνα 55 – Ερωτηματολόγιο (2)

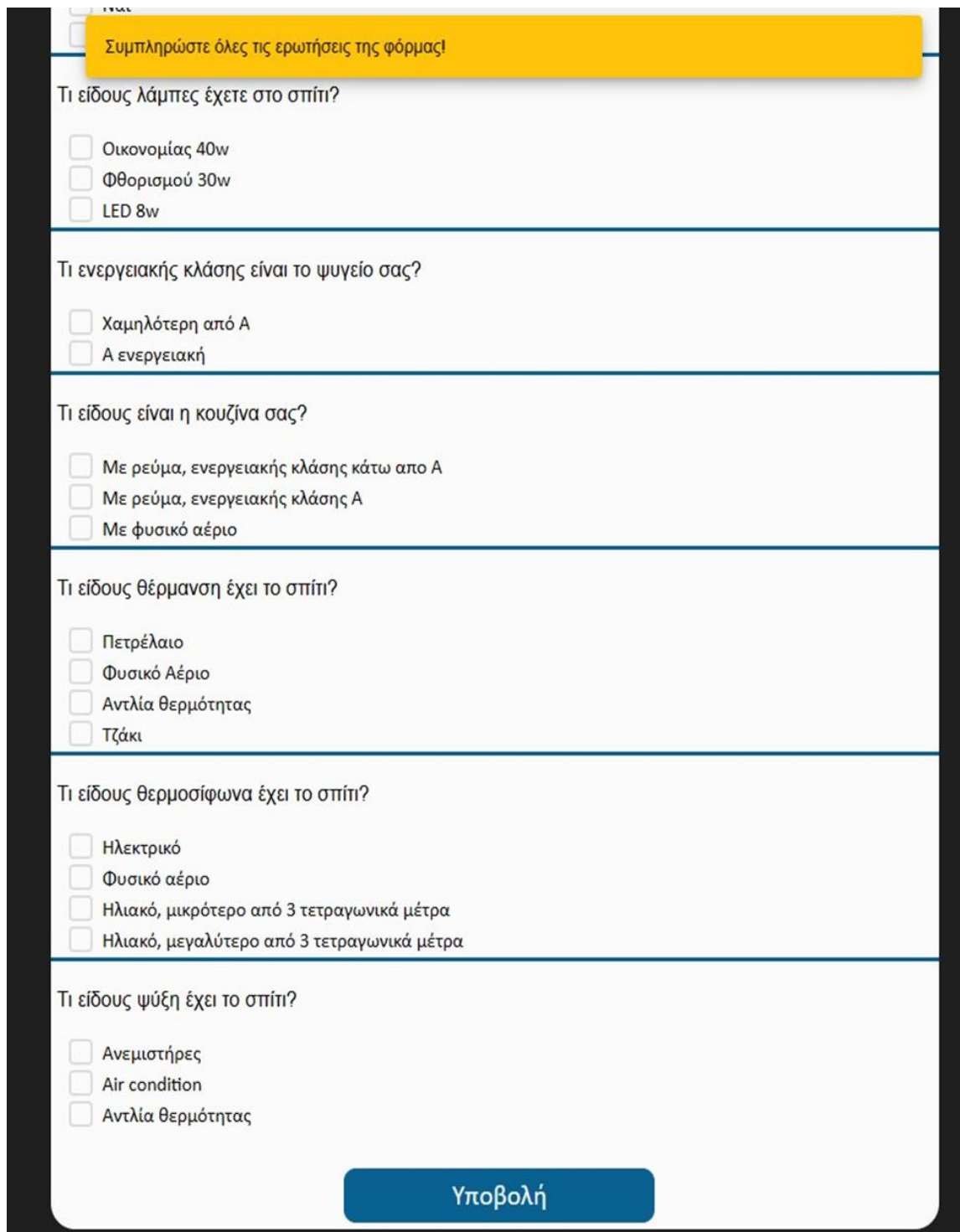
Να σημειωθεί ότι ένα εκ των χαρακτηριστικών του σπιτιού, τα φωτοβολταϊκά, δεν συμπεριλαμβάνονται στην οθόνη των ερωτήσεων και η εφαρμογή θεωρεί αυτόματα πως δεν υπάρχουν. Αυτό σχεδιάστηκε έτσι, καθότι δεν αποτελεί ρεαλιστικό σενάριο να αναβαθμιστεί ένα σπίτι που ήδη διαθέτει φωτοβολταϊκά. Η μετάβαση, λόγω χάριν

σε φυσικό αέριο είναι εμφανώς ασύμφορη, ενώ οποιαδήποτε άλλη αναβάθμιση δεν προσφέρει κάποιο σημαντικό όφελος, ούτε χρηματικό, αλλά ούτε και ως προς το περιβάλλον.

Η προαναφερθείσα ιδιομορφία έγκειται στην επιλογή του φυσικού αερίου ή της αντλίας θερμότητας. Εάν επιλεγεί το φυσικό αέριο, είτε ως μέσο θέρμανσης είτε στο θερμοσίφωνα είτε στην κουζίνα, τότε αυτό συνεπάγεται ότι και στα υπόλοιπα δύο η επιλογή είναι η ίδια. Η επιλογή, λοιπόν, στις άλλες δύο ερωτήσεις καθίσταται περιττή και, εκτός αυτού, θα μπορούσε να οδηγήσει σε παράδοξο συνδυασμό χαρακτηριστικών, παραδείγματος χάριν λόγω αβλεψίας του χρήστη. Το ίδιο ισχύει και για την αντλία θερμότητας ως μέσο θέρμανσης και ψύξης. Στην εφαρμογή οι εν λόγω επιλογές είναι συζευγμένες, δηλαδή όταν συμβεί η μια, οι άλλες συμπληρώνονται αυτόματα, ενώ όταν επέλθει αλλαγή σε μια, οι άλλες αυτόματα αρχικοποιούνται (δηλαδή είναι εκ νέου κενές). Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής, για την περίπτωση του φυσικού αερίου(η μεθοδολογία είναι ανάλογη για την αντλία θερμότητας). Σε κάθε μεταβολή μιας εκ των τριών επιλογών, που περιλαμβάνουν ως πιθανότητα το φυσικό αέριο, ενεργοποιείται μια συνάρτηση, η οποία δέχεται ως στοιχεία την τωρινή κατάσταση και των τριών επιλογών. Το σημαίνον, για την περίπτωση, δεν είναι η τιμή της μεταβλητής καθαυτής, αλλά το κατά πόσον ισούται με την επιλογή του φυσικού αερίου. Κοινώς, για την κάθε επιλογή δεν έχουμε τρία ή τέσσερα ενδεχόμενα, αλλά μόνον δύο, φυσικό αέριο ή μη. Εάν καμία από τις τρεις επιλογές δεν ισούται με φυσικό αέριο, απλώς συνεχίζει η ροή της εφαρμογής και εξερχόμαστε από τη συνάρτηση. Εάν μόνο μια από αυτές ισούται με φυσικό αέριο, αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης μόλις επέλεξε το φυσικό αέριο, είτε αλλάζοντας την επιλογή του είτε κάνοντας την για πρώτη φορά. Η επιθυμητή συμπεριφορά της εφαρμογής είναι να αλλάξουν σε φυσικό αέριο και οι άλλες δύο επιλογές. Εάν ακριβώς δύο επιλογές ισούνται με φυσικό αέριο τη στιγμή εισόδου στη συνάρτηση, αυτό σηματοδοτεί την αλλαγή ενός εκ των τριών επιλογών, οι οποίες προηγουμένως ήταν ήδη όλες ίσες με φυσικό αέριο. Στην περίπτωση αυτή, οι άλλες δύο μεταβλητές αρχικοποιούνται.

Ένα πιθανό ενδεχόμενο είναι η επιλογή για την κουζίνα να έχει την τιμή του φυσικού αερίου, ενώ η τιμή για τη θέρμανση και το θερμοσίφωνα να μην την έχει. Στην περίπτωση αυτή η επιθυμητή συμπεριφορά της εφαρμογής είναι η αυτόματη ενημέρωση των δύο αυτών μεταβλητών στην οθόνη του χρήστη, που επιτυγχάνεται με την αλλαγή της τιμής τους σε 'gas' (φυσικό αέριο). Προτού πραγματοποιηθεί η αλλαγή αυτή, ελέγχεται όμως και η επιλογή της ψύξης. Αυτό είναι απαραίτητο, καθότι θεωρητικά ο χρήστης θα μπορούσε να έχει επιλέξει αντλία θερμότητας ως μέσο θέρμανσης, κάτι που θα είχε ενημερώσει και την τιμή στην επιλογή της ψύξης. Έτσι, η τιμή της ψύξης (this.cooling) αρχικοποιείται (γίνεται ' '). Τέλος, να σημειωθεί ότι αν επιλεγεί το φυσικό αέριο στα τρία αντίστοιχα πεδία, αυτομάτως στην τελευταία επιλογή (της ψύξης) εξαφανίζεται η επιλογή της αντλίας θερμότητας. Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία επιλογών, ο χρήστης, πατώντας «Υποβολή», περνάει στην επόμενη σελίδα. Εάν το κουμπί της υποβολής πατηθεί χωρίς να είναι συμπληρωμένα

όλα τα πεδία, αυτό δεν συμβαίνει αλλά αντίθετα ο χρήστης λαμβάνει στο άνω μέρος της οθόνης μια ειδοποίηση-προτροπή για τη συμπλήρωση των κενών επιλογών, όπως φαίνεται στην Εικόνα 56.



Συμπληρώστε όλες τις ερωτήσεις της φόρμας!

Τι είδους λάμπες έχετε στο σπίτι?

- Οικονομίας 40w
- Φθορισμού 30w
- LED 8w

Τι ενεργειακής κλάσης είναι το ψυγείο σας?

- Χαμηλότερη από A
- A ενεργειακή

Τι είδους είναι η κουζίνα σας?

- Με ρεύμα, ενεργειακής κλάσης κάτω από A
- Με ρεύμα, ενεργειακής κλάσης A
- Με φυσικό αέριο

Τι είδους θέρμανση έχει το σπίτι?

- Πετρέλαιο
- Φυσικό Αέριο
- Αντλία θερμότητας
- Τζάκι

Τι είδους θερμοσίφωνα έχει το σπίτι?

- Ηλεκτρικό
- Φυσικό αέριο
- Ηλιακό, μικρότερο από 3 τετραγωνικά μέτρα
- Ηλιακό, μεγαλύτερο από 3 τετραγωνικά μέτρα

Τι είδους ψύξη έχει το σπίτι?

- Ανεμιστήρες
- Air condition
- Αντλία θερμότητας

Υποβολή

Εικόνα 56 – Ερωτηματολόγιο αν δεν συμπληρωθεί κάποιο πεδίο



Όταν πατηθεί το κουμπί της «Υποβολής», ο χρήστης βλέπει ένα παράθυρο φόρτωσης και δεν μπορεί να αλληλοεπιδράσει με την εφαρμογή για λίγα δευτερόλεπτα, προτού περάσει στην επόμενη σελίδα.

Τι ενεργειακής κλάσης είναι το ψυγείο σας?

Χαμηλότερη από A  
 A ενεργειακή

Τι είδους είναι η κουζίνα σας?

Με ρεύμα, ενεργειακής κλάσης κάτω από A  
 Με ρεύμα, ενεργειακής κλάσης A  
 Με φυσικό αέριο

Τι είδους θέρμανση έχει το σπίτι?

Πετρέλαιο  
 Φυσικό Αέριο  
 Αντλία θερμότητας  
 Τζάκι

Τι είδους θερμοσίφωνα έχει το σπίτι?

Ηλεκτρικό  
 Φυσικό αέριο  
 Ηλιακό, μικρότερο από 3 τετραγωνικά μέτρα  
 Ηλιακό, μεγαλύτερο από 3 τετραγωνικά μέτρα

Τι είδους ψύξη έχει το σπίτι?

Ανεμιστήρες  
 Air condition  
 Αντλία θερμότητας

Υποβολή

Επεξεργασία δεδομένων...

Εικόνα 57 – Επεξεργασία Δεδομένων

Κατά την μετάβαση αυτή, υπολογίζονται από την εφαρμογή όλα τα πιθανά σενάρια για αναβαθμίσεις, βάσει των στοιχείων που μόλις παρέθεσε ο χρήστης. Στο τέλος της μετάβασης, με τη θέαση της επόμενης σελίδας, έχει ολοκληρωθεί η δημιουργία μιας λίστας που ονομάζεται upgrades(αναβαθμίσεις), η οποία περιέχει για στοιχεία αντικείμενα, που αντιστοιχούν σε όλα τα σενάρια στα οποία έστω και ένα χαρακτηριστικό του σπιτιού αναβαθμίζεται. Προκειμένου μια αλλαγή να χαρακτηριστεί ως αναβάθμιση, προαπαιτείται η ύπαρξη κατάταξης των επιλογών από

τη «χειρότερη» (οικονομικά και περιβαλλοντικά ασύμφορη) στην «καλύτερη». Στον πίνακα, λοιπόν, που είναι αποθηκευμένος στη βάση δεδομένων, κάθε μια στήλη που περιέχει χαρακτηριστικά συνοδεύεται από μια ακόμα στήλη που ονομάζεται ordering(κατάταξη) και περιλαμβάνει έναν αριθμό, που επιτρέπει τη σύγκριση των επί μέρους επιλογών για κάθε χαρακτηριστικό. Φυσικά, ο χρήστης δεν εισάγει τέτοιου είδους μετά-δεδομένα για το σπίτι του, συνεπώς τεχνικά το αντικείμενο που δημιουργεί η αμιγής συλλογή πληροφορίας από αυτόν, δεν συμπίπτει επακριβώς με το αντίστοιχο αντικείμενο της βάσης δεδομένων, αφού υπολείπονται οι μεταβλητές κατάταξης των στοιχείων του. Πρώτο βήμα, λοιπόν στη διαδικασία εύρεσης αναβαθμίσεων αποτελεί η ταυτοποίηση του εκάστοτε σπιτιού από τα στοιχεία που εισάγονται.

Πριν αναφερθεί η μέθοδος διεκπεραίωσης του σκοπού αυτού, γίνεται ειδική μνεία στον τρόπο κατάταξης των στοιχείων. Αρχικά, αναφέρεται ότι για το μέγεθος και τον προσανατολισμό του σπιτιού δεν νοείται κατάταξη. Από τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά, στα περισσότερα η σειρά είναι λογικά εμφανής, παραδείγματος χάριν για τα τζάμια, τα απλά είναι τα πιο ασύμφωνα, άρα ο αριθμός τους είναι το 0, τα διπλά είναι η επόμενη λύση και έχουν το 1, ενώ τα τριπλά είναι η βέλτιστη λύση και έχουν το 2. Με τον τρόπο αυτό (0,1,2 εάν απαιτείται) βαθμολογούνται οι επιλογές για τοίχους (0,1,2), τζάμια (0,1,2), σκίαστρα (0,1), λάμπες (0,1,2), ψυγείο (0,1), φωτοβολταϊκά(0,1,2 ,για καθόλου, μικρά, μεγάλα αντίστοιχα) και ψύξη (0,1,2). Για την κουζίνα αποδόθηκε ο ίδιος βαθμός στην Α κλάσης ηλεκτρική και στην κουζίνα φυσικού αερίου (άρα 0,1,1). Όμως για θέρμανση και θερμοσίφωνα η κατάταξη δεν είναι προφανής. Παραδείγματος χάριν, η σύγκριση αντλίας θερμότητας ή ενός ηλιακού θερμοσίφωνα, με το φυσικό αέριο είναι σχετικά υποκειμενική. Για την επίλυση του προβλήματος αυτού, έγινε η λογική παραδοχή ότι τα δύο αυτά χαρακτηριστικά πρέπει να παραμείνουν ως έχουν, στην περίπτωση ύπαρξης αντλίας θερμότητας ή φυσικού αερίου και αποδόθηκε σε αυτά ίδια βαθμολογία. Τελειώνοντας, για το χαρακτηριστικό της στέγης υπάρχει κατάταξη μόνο όταν πρόκειται για διαμέρισμα στην ταράτσα (0 χωρίς μόνωση, 1 με μόνωση).

Επιστρέφοντας στο πρώτο βήμα του αλγορίθμου, που αφορά την ταυτοποίηση του σπιτιού, η διαδικασία ξεκινά ως εξής. Το κατάλληλο JSON αρχείο(βάσει μεγέθους και προσανατολισμού) με τα πιθανά «σενάρια», μεταφορτώνεται από τη βάση δεδομένων, οπότε πλέον η λίστα με τα δεδομένα του είναι προσβάσιμη από την εφαρμογή. Αρχικά, αναζητάται εντός αυτής το μοναδικό αντικείμενο, του οποίου οι τιμές για όλα τα κλειδιά είναι ακριβώς ίσες με τις τιμές που εισήγαγε ο χρήστης. Το μοναδικό αντικείμενο-αποτέλεσμα της αναζήτησης, σώζεται σε μια μεταβλητή που καλείται curr\_House(από το current: τωρινό σπίτι). Ακολούθως, η λίστα φιλτράρεται με γνώμονα τις τιμές κατάταξης των χαρακτηριστικών. Το φίλτρο αναζητά βάσει κλειδίων, τιμές μεγαλύτερες ή ίσες από τις τιμές του τωρινού σπιτιού, με λογικό τελεστή OR (ή), ανάμεσα τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας νέας λίστας αντικειμένων, που περιέχει μόνο όσα σενάρια έχουν όλες τις τιμές κατάταξης

στοιχείων ίσες ή μεγαλύτερες από του τωρινού σπιτιού, η οποία καλείται upgrades. Στην οριακή περίπτωση, όπου όλες οι τιμές κατάταξης είναι ίσες, είναι προφανές ότι το εν λόγω σπίτι είναι το τωρινό, οπότε και αφαιρείται από τη νέα λίστα. Το πρόβλημα που δημιουργείται με τη μέθοδο αυτή είναι ότι επιλέγονται ως αναβαθμίσεις κάποιες αλλαγές για χαρακτηριστικά των οποίων η κατάταξη είναι διαφορούμενη, για παράδειγμα η αντικατάσταση του φυσικού αερίου από αντλία θερμότητας, αφού η βαθμολογία τους είναι ίση. Για να υπερκεραστεί το εμπόδιο αυτό, εξετάζεται από τη συνάρτηση η τιμή της μεταβλητής της θέρμανσης του τωρινού σπιτιού. Αν πρόκειται για φυσικό αέριο, προστίθεται μια ακόμα παράμετρος στο φίλτρο, στου οποίου πλέον τα αποτελέσματα πρέπει η τιμή για τη θέρμανση να είναι φυσικό αέριο (ομοίως για την αντλία θερμότητας). Μόλις ολοκληρωθεί το φιλτράρισμα της λίστας, και η δημιουργία της νέας, λύεται το παράθυρο φόρτωσης και ο χρήστης ανακατευθύνεται στην επόμενη σελίδα.

Με το πέρας της διαδικασίας επιλογής των πιθανών συνδυασμών για αναβαθμίσεις, θεωρητικά έχουν συλλεχθεί όλα τα απαραίτητα δεδομένα για τη διεξαγωγή της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων. Υπολείπεται μόνο η αρχικοποίηση των βαρών της ανάλυσης.

#### 5.4 Πολυκριτήρια Ανάλυση TOPSIS

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να συμπεριληφθεί η ακριβής μεθοδολογία της ανάλυσης TOPSIS [61]. Η ανάλυση αφορά τη σύγκριση του τωρινού σπιτιού (curr\_House) με τις πιθανές αναβαθμίσεις, οπότε δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί a priori, αντίθετα συμβαίνει στη ροή της εφαρμογής, από αρχεία κώδικα στην πλευρά του πελάτη. Η ανάλυση ξεκινά με τη δημιουργία ενός δυσδιάστατου πίνακα (όπως στην εικόνα), που αναπαριστά κριτήρια και πιθανές επιλογές στους δύο άξονες του.

$$\begin{array}{c}
 A_1 \\
 \vdots \\
 A_m
 \end{array}
 \begin{array}{ccc}
 C_1 & \dots & C_n \\
 \left( \begin{array}{ccc}
 x_{11} & \dots & x_{1n} \\
 \vdots & \ddots & \vdots \\
 x_{m1} & \dots & x_{mn}
 \end{array} \right)
 \end{array}$$

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_m)$$

Εικόνα 58 – Δυσδιάστατος πίνακας πολυκριτήριας ανάλυσης TOPSIS [59]

Στο πίνακα της εικόνας, με κεφαλαίο A1 έως Am συμβολίζονται οι πιθανές επιλογές, δηλαδή ένα σπίτι (ή ακριβέστερα ένας συνδυασμός χαρακτηριστικών), ενώ με C1 έως Cn αναπαρίστανται τα κριτήρια της ανάλυσης(παρατίθενται παρακάτω), με παράδειγμα την απόσβεση. Με  $x_{ij}$  συμβολίζεται η τιμή μιας επιλογής για το συγκεκριμένο κριτήριο, παραδείγματος χάριν ,αν η απόσβεση(έστω ότι είναι το πρώτο κριτήριο), του πρώτου πιθανού σπιτιού είναι ένα έτος, τότε έχουμε  $x_{11} = 1$ . Το διάνυσμα W περιέχει τον ίδιο αριθμό στοιχείων με το C και συμβολίζει τις τιμές των βαρών, μια για κάθε κριτήριο. Αδρά, για τις τιμές των βαρών ισχύει η σχέση  $0 \leq w_n \leq 1$ , με τις τιμές κοντά στο 0 να σηματοδοτούν μικρή σημασία του εκάστοτε κριτηρίου για την ανάλυση και τις τιμές κοντά στο 1 να επηρεάζουν δραστικά το αποτέλεσμα της.

Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

1. Συνολικό κόστος αναβάθμισης: Το κριτήριο είναι ένας αριθμός (με μονάδα μέτρησης το ευρώ), ο οποίος προκύπτει από τη σύγκριση των στοιχείων του τωρινού σπιτιού με τα στοιχεία, ένα προς ένα, του κάθε πιθανού συνδυασμού αναβαθμίσεων (μεταβλητή upgrades). Ελέγχονται τυχόν αλλαγές, των οποίων το κόστος αξιολογείται και προστίθεται σε μια μεταβλητή «αθροιστή». Με το πέρας της διαδικασίας, προκύπτει ένα διάνυσμα ιδίων διαστάσεων με τη μεταβλητή upgrades (συσχετίζεται δηλαδή ένα σενάριο με μια τιμή κόστους). Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του κόστους αναβαθμίσεως είναι οι τιμές των αντίστοιχων προϊόντων στο εμπόριο.

Κατηγορία	Είδος συσκευής	ΚΟΣΤΟΣ (€)
Θέρμανση	Εγκατάσταση λέβητα φυσικού αερίου	2000
	Εγκατάσταση αντλίας θερμότητας	7000
	Εγκατάσταση ενεργειακού τζακιού	2500
Ψύξη	Εγκατάσταση air condition	450
	Εγκατάσταση αντλίας θερμότητας	7000
Οροφή	Μόνωση ανά τ.μ.	16
Τοίχοι	Θερμοπρόσοψη ανά τ.μ.	29
	Καλύτερη Θερμοπρόσοψη ανά τ.μ.	36
Παράθυρα	Διπλά Παράθυρα ανά τ.μ.	90
	Τριπλά Παράθυρα ανά τ.μ.	120
Σκίαστρα	Εγκατάσταση σκιάστρων	50
Λαμπτήρες	Λαμπτήρας φθορισμού	2
	Λαμπτήρας LED	2.5
Θερμοσίφωνα	Θερμοσίφωνα φυσικού αερίου	385
	Ηλιακός Θερμοσίφωνα <3 τ.μ.	1020
	Ηλιακός Θερμοσίφωνα >3 τ.μ.	1250
Ψυγείο	Ψυγείο Ενεργειακής κλάσης A	657
Κουζίνα	Κουζίνα φυσικού αερίου	367
	Κουζίνα Ενεργειακής κλάσης A	535
Φωτοβολταικά	Φωτοβολταικά ισχύς 3.360Wp	9500
	Φωτοβολταικά ισχύς 5.400Wp	16450

2. Εξοικονόμηση ρεύματος: Το κριτήριο αυτό υπολογίζεται ως η διαφορά της κατανάλωσης ενέργειας του αρχικού σπιτιού με το τελικό και αποτελεί μέτρο του αριθμού των kWh ρεύματος που εξοικονομεί ο χρήστης εφόσον υλοποιήσει τις προτεινόμενες αναβαθμίσεις.

3. Εξοικονόμηση πετρελαίου: Το κριτήριο αυτό υπολογίζεται ως η διαφορά των λίτρων πετρελαίου του αρχικού σπιτιού με το τελικό .

4. Εξοικονόμηση χρημάτων (στο έτος): Ένα άλλο κριτήριο της πολυκριτήριας ανάλυσης είναι τα χρήματα που καταναλώνει κάθε σπίτι για να καλύψει τις ενεργειακές του απαιτήσεις. Ο τύπος που το υπολογίζει είναι ο εξής:

$$\text{Χρήματα ανά έτος} = \text{kWh ρεύματος} \times \text{τιμή kWh} + \text{kWh αερίου} \times \text{τιμή kWh αερίου} + \text{κιλά ξύλου} \times \text{τιμή ξύλου} + \text{λίτρα πετρελαίου} \times \text{τιμή πετρελαίου}$$

5. Απόσβεση: Ως απόσβεση, ορίζεται το κλάσμα του συνολικού κόστους αναβάθμισης, προς την εξοικονόμηση χρημάτων στο έτος. Δείχνει το χρόνο επιστροφής των χρημάτων από την αρχική επένδυση.

6. Δείκτης άνεσης:

Στα αποτελέσματα του EnergyPlus υπάρχει μια κατηγορία που λέγεται Comfort levels. Συγκεκριμένα, είναι πόσες ώρες το έτος επικρατεί μια συγκεκριμένη θερμοκρασία εντός της οικίας. Τα Comfort levels επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα ζωής των κατοίκων και όσο μεγαλύτερη είναι η κατανάλωση ενέργειας τόσο καλύτερες είναι οι συνθήκες διαβίωσης. Τα 4 επίπεδα Comfort είναι τα ακόλουθα:

Safe ( $\leq 26.7^\circ\text{C}$ ) [hr]	Caution ( $> 26.7, \leq 32.2^\circ\text{C}$ ) [hr]	Extreme Caution ( $> 32.2, \leq 39.4^\circ\text{C}$ ) [hr]	Danger ( $> 39.4, \leq 51.7^\circ\text{C}$ ) [hr]
---	--	--	---

Εικόνα 54– Comfort levels Energy Plus

Διαβάζουμε τις τιμές τους για κάθε σπίτι ξεχωριστά και υπολογίζουμε τον σταθμισμένο μέσο όρο του comfort για το εκάστοτε σπίτι:

$$\text{Δείκτης άνεσης} = \frac{0.4 \times \text{Safe Hours} + 0.3 \times \text{Caution hours} + 0.2 \times \text{Extreme Caution Hours} + 0.1 \times \text{Danger Hours}}{8760}$$

7. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>):

$$\text{g CO}_2 = (\text{lt πετρελαίου} \times 2960) + (\text{kWh } \varphi \alpha \times 594) + (\text{kWh ρεύματος} \times 344) + (\text{kg ξύλου} \times 3670)$$

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με μια έκθεση της Statista [62], εκλύθηκαν κατά μέσο όρο 344 γραμμάρια CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα, προκειμένου να παραχθεί 1 kWh ηλεκτρικής ενέργειας. Η τιμή αυτή είναι σημαντικά μικρότερη από τα 376 g CO<sub>2</sub>/ kWh που εκλύθηκαν κατά μέσο όρο στην Ευρωπαϊκή Ένωση, καθώς το ενεργειακό μείγμα της Ελλάδας αποτελείται σε ποσοστό 50 % από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Σύμφωνα με την European Environment Agency [63], 594 γραμμάρια CO<sub>2</sub> εκλύονται στην ατμόσφαιρα για να παραχθεί 1 kWh ενέργειας από φυσικό αέριο

Όταν ως καύσιμο για την θέρμανση του σπιτιού χρησιμοποιείται το πετρέλαιο εκλύονται στην ατμόσφαιρα 2,96 kg CO<sub>2</sub> [64] από την καύση ενός λίτρου πετρελαίου

Όταν ως καύσιμο για την θέρμανση του σπιτιού χρησιμοποιείται το ξύλο pellet εκλύονται στην ατμόσφαιρα 3,67 kg CO<sub>2</sub> από την καύση ενός κιλού ξύλου pellet [65]

8. Συνολική ενεργειακή κατανάλωση:

Ένα ακόμα κριτήριο της πολυκριτήριας ανάλυσης είναι οι συνολικές κιλοβατώρες που καταναλώνει ένα σπίτι στην διάρκεια του έτους, ανεξαρτήτως των καυσίμων που χρησιμοποιούνται για τις διάφορες λειτουργίες. Ο τύπος που χρησιμοποιούμε στον υπολογισμό είναι ο εξής:

Συνολική ενεργειακή κατανάλωση = (kg ξύλου × θερμαντική δύναμη ξύλου × β. α. ενεργειακού τζακιού) + kWh φα + kWh ρεύματος + (lt πετρελαίου × θερμογόνος δύναμη πετρελαίου × β. α. καυστήρα)

9. Ευρώ ανά κιλοβατώρα:

Υπολογίζουμε τα Ευρώ ανά kWh που απαιτούνται για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες του σπιτιού. Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{€ ανά kWh} = \frac{\text{Χρήματα ανά έτος}}{\text{Συνολική κατανάλωση (kWh)}}$$

10. Δείκτης NPV: Το NPV [66] επιστρέφει την καθαρή αξία των ταμειακών ροών — σε σημερινές τιμές ευρώ. Το NPV υπολογίζει την παρούσα αξία για κάθε σειρά ταμειακών ροών και τις προσθέτει για να υπολογίσει την καθαρή παρούσα αξία. Ο τύπος για το NPV είναι:

$$\text{Δείκτης NPV} = \sum_{t=1}^N \frac{\text{Ταμειακές Εισροές}}{(1+r)^t} - \text{Αρχική Επένδυση}$$

$t$  = Χρονική περίοδος

$N$  = Χρονική διάρκεια της επένδυσης

$r$  = προεξοφλητικό επιτόκιο

Όπου για το  $N$  επιλέχθηκαν τα 10 χρόνια, οι ταμειακές εισροές ισούνται με τα χρήματα που εξοικονομεί ο χρήστης στο έτος, η αρχική επένδυση ισούται με το αρχικό κόστος επένδυσης και το  $r$  ισούται με 0,08 .

Κάποια από τα εν λόγω κριτήρια αφορούν περισσότερο την οικονομία του σπιτιού (π.χ. κόστος, απόσβεση), ενώ άλλα την αειφορία του (εξοικονόμηση πετρελαίου, εκπομπές CO<sub>2</sub>). Για τον λόγο αυτόν, δόθηκε στον χρήστη η επιλογή, να προσδώσει περισσότερο βάρος στη μια ή στην περισσότερη κατεύθυνση. Στην επιλογή της μέγιστης οικονομίας το διάνυσμα των βαρών,  $W$ , ορίστηκε ως εξής:

$W = [0.2, 0.1, 0.05, 0.2, 0.2, 0.05, 0.05, 0.05, 0.05, 0.05]$ , δίνοντας έμφαση στα κριτήρια 1,4 και 5.

Στην επιλογή της μέγιστης αειφορίας, το αντίστοιχο διάνυσμα είναι:

$W = [0.05, 0.2, 0.2, 0.05, 0.05, 0.1, 0.2, 0.05, 0.05, 0.05]$ , με αυξημένη τιμή στα κριτήρια 2,3 και 7.

Με τον ορισμό του πίνακα της εικόνας και των βαρών, ολοκληρώνεται το πρώτο βήμα της ανάλυσης. Ακολουθεί η κανονικοποίηση του πίνακα αυτού, ώστε να καταστεί δυνατή η σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών κριτηρίων. Η κανονικοποίηση γίνεται με βάση τον τύπο [61]:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_i (x_{ij}^2)}}$$

για  $i=1..n$ , όπου  $n$  ο αριθμός των επιλογών και  $j=1..m$ , όπου  $m$  ο αριθμός των κριτηρίων. Η κανονικοποίηση έγκειται στη διαίρεση κάθε τιμής με την τυπική απόκλιση όλων των επιλογών για εκείνο το κριτήριο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την οριοθέτηση όλων των τιμών στο διάστημα  $0 \leq x \leq 1$ ,

που επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ κριτηρίων, αφενός με διαφορετική μέση τιμή, αφετέρου με διαφορετική μονάδα μέτρησης. Το αποτέλεσμα του βήματος αυτού είναι η μετατροπή του πρώτου πίνακα, σε έναν νέο, ιδίων διαστάσεων πίνακα, του οποίου οι τιμές είναι ανάμεσα σε 0 και 1. Το τρίτο βήμα της ανάλυσης έγκειται στη δημιουργία του σταθμισμένου κανονικοποιημένου πίνακα, όπου πλέον συνυπολογίζεται το βάρος του κάθε κριτηρίου. Και στο βήμα αυτό, οι διαστάσεις του πίνακα παραμένουν ίδιες. Αλλάζουν οι επιμέρους τιμές, αφού κάθε μια πολλαπλασιάζεται με το βάρος του εκάστοτε κριτηρίου, σύμφωνα με τον τύπο  $v_{ij} = x_{ij} * w_j$ , όπου  $v_{ij}$  είναι η νέα τιμή του στοιχείου  $x_{ij}$ , και  $w_j$  το βάρος του κριτηρίου  $j$ .

Στο τέταρτο βήμα υπολογίζεται το διάνυσμα της θετικής, αλλά και της αρνητικής ιδεατής λύσης.

Το διάνυσμα της θετικής ιδεατής λύσης ορίζεται ως εξής [61]:

$$I^+ = \{v_1^*, \dots, v_n^*\}$$

$$V_j^* = \{ \text{Max}_i(v_{ij}) \text{ if } j \in J : \text{Min}_i(v_{ij}) \text{ if } j \in J' \}$$

Το  $I^+$  είναι ένα διάνυσμα με διαστάσεις  $1 \times j$ , όπου  $j$  ο αριθμός των κριτηρίων. Για κάθε κριτήριο, λαμβάνεται μια τιμή, που είναι η μέγιστη από όλες τις επιλογές, αν το κριτήριο έχει θετική βαθμολόγηση (λόγου χάριν η εξοικονόμηση χρημάτων), ή η ελάχιστη από όλες τις επιλογές, αν το κριτήριο έχει αρνητική βαθμολόγηση(για παράδειγμα το κόστος αναβάθμισης).

Το διάνυσμα της αρνητικής ιδεατής λύσης ορίζεται ως εξής [61]:

$$I^- = \{v_1^*, \dots, v_n^*\}$$

$$V_j' = \{ \text{Min}_i(v_{ij}) \text{ if } j \in J : \text{Max}_i(v_{ij}) \text{ if } j \in J' \}$$

Το I- έχει ίδιες διαστάσεις με το I+ ,ενώ η μόνη τους διαφορά είναι ότι εδώ επιλέγεται η ελάχιστη τιμή, αν το κριτήριο έχει θετική βαθμολόγηση και η μέγιστη αν έχει αρνητική. Με το πέρας του βήματος αυτού διαθέτουμε τα διανύσματα της ιδεατής θετικής και αρνητικής λύσης. Στο πέμπτο βήμα υπολογίζεται η γεωμετρική απόσταση της κάθε εναλλακτικής από την ιδεατή θετική και την ιδεατή αρνητική λύση, άρα κάθε οριζόντια γραμμή του σταθμισμένου, κανονικοποιημένου πίνακα (κάθε οριζόντια γραμμή έχει διαστάσεις 1 x j), συγκρίνεται με τα διανύσματα I+ και I-. Η σύγκριση με την θετική ιδεατή λύση γίνεται με τον τύπο [61]:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_j (v_j^* - v_{ij})^2} \quad : j = 1, \dots, m$$

ενώ για τη σύγκριση με την αρνητική ιδεατή λύση εφαρμόζεται ο τύπος [61]:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_j (v_j' - v_{ij})^2} \quad : j = 1, \dots, m$$

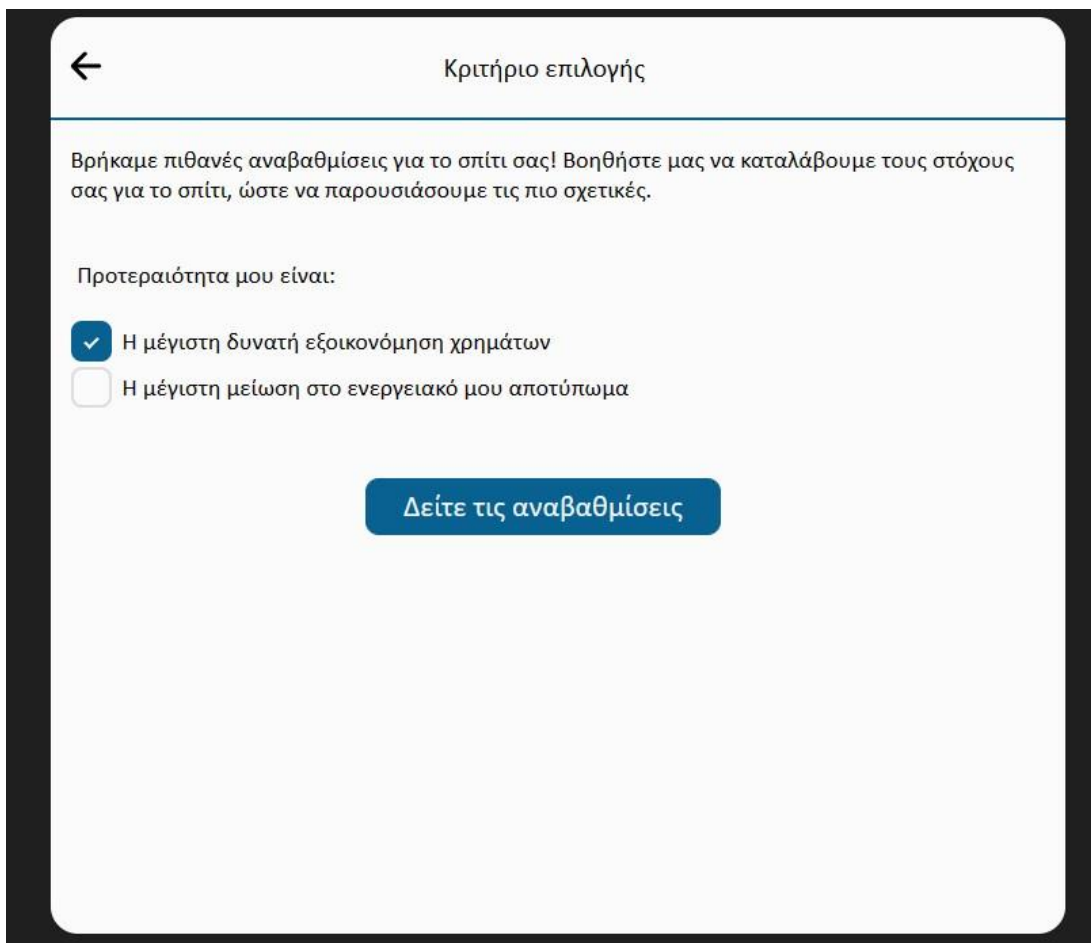
Κάθε τιμή πρόκειται για την απόσταση μεταξύ των δύο εν συγκρίσει διανυσμάτων και ισούται με την τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των διαφορών μεταξύ κάθε ζεύγους τιμών των διανυσμάτων αυτών. Στο έκτο και τελευταίο βήμα υπολογίζεται η εγγύτητα κάθε εναλλακτικής από την θετική ιδεατή λύση, μέσω του τύπου [61]:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} : 0 < C_i^* < 1$$

Έτσι, έχουμε ένα διάνυσμα με διαστάσεις 1 x i, όπου i ο αριθμός των εναλλακτικών, το οποίο ακολούθως παρατίθεται σε φθίνουσα σειρά. Οι τοποθεσίες των πέντε κορυφαίων επιλογών στη λίστα αντικειμένων upgrades μαρκάρονται, ώστε τα αντικείμενα αυτά να αντιγραφούν σε μια νέα λίστα, με τις πέντε κορυφαίες επιλογές, που ονομάζεται final5.

Επιστρέφοντας στη ροή της εφαρμογής από την οπτική γωνία του χρήστη, πριν τη διενέργεια της ανάλυσης TOPSIS [61], ο χρήστης καλείται να αλληλοεπιδράσει με μια ακόμα οθόνη επιλογής, που αφορά τα βάρη της ανάλυσης.





Εικόνα 60 –Επιλογή προτεραιότητας χρήστη

Ο χρήστης αρχικά ενημερώνεται ότι βάσει των επιλογών του στην οθόνη των ερωτήσεων έχει ευρεθεί ο αρχικός δειγματικός χώρος με πιθανές αναβαθμίσεις. Προκειμένου να παρουσιαστούν σε αυτόν οι κορυφαίες πέντε, επιλέγει είτε τη μέγιστη εξοικονόμηση χρημάτων είτε τη μέγιστη μείωση του ενεργειακού αποτυπώματός του στο περιβάλλον. Ανάλογα με την επιλογή αυτή, τα βάρη των κριτηρίων προσδιορίζονται όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Αφού ο χρήστης πατήσει το κουμπί «Δείτε τις αναβαθμίσεις», εμφανίζεται εκ νέου παράθυρο φόρτωσης, έως ότου ολοκληρωθεί η ανάλυση που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα. Η δημιουργία της λίστας final5, με τις πέντε κορυφαίες επιλογές, όπως αναδείχθηκαν από την TOPSIS [61], σηματοδοτεί την μετάβαση στην τελευταία σελίδα της εφαρμογής, αυτή των αποτελεσμάτων.

Στη σελίδα «Αποτελέσματα ανάλυσης» παρουσιάζονται, για τις πέντε κορυφαίες επιλογές, οι αναβαθμίσεις που προτείνονται, αλλά και τα αποτελέσματα των δέκα κριτηρίων. Έτσι, παρέχεται στο χρήστη η απαραίτητη τεκμηρίωση για την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Η οθόνη του χρήστη είναι δομημένη ως εξής:

Αποτελέσματα επιλογών					
<b>Επίπεδο 1 Προτεινόμενες αλλαγές</b>					
Όνομα επιδόματος: 12304	Επινοήτρια μελέτη: 27004	Επινοήτρια τεχνολογία: 12004	Επινοήτρια πρόταση στο έργο: 12304	Αριθμός έργου	
Επίπεδο έργο: 12302	Υπόγειο επιχορηγούμενο έργο: 43204	Υπόγειο επιχορηγούμενο τεχνολογία: 12004	Επινοήτρια έργο στο έργο: 12304	Αριθμός έργου	12304
<b>Επίπεδο 2 Προτεινόμενες αλλαγές</b>					
Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο
Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο
Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο
<b>Επίπεδο 3 Προτεινόμενες αλλαγές</b>					
Όνομα επιδόματος: 12304	Επινοήτρια μελέτη: 27004	Επινοήτρια τεχνολογία: 12004	Επινοήτρια πρόταση στο έργο: 12304	Αριθμός έργου	
Επίπεδο έργο: 12302	Υπόγειο επιχορηγούμενο έργο: 43204	Υπόγειο επιχορηγούμενο τεχνολογία: 12004	Επινοήτρια έργο στο έργο: 12304	Αριθμός έργου	12304
<b>Επίπεδο 3 Προτεινόμενες αλλαγές</b>					
Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο
Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο
Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο
<b>Επίπεδο 4 Προτεινόμενες αλλαγές</b>					
Όνομα επιδόματος: 12304	Επινοήτρια μελέτη: 27004	Επινοήτρια τεχνολογία: 12004	Επινοήτρια πρόταση στο έργο: 12304	Αριθμός έργου	
Επίπεδο έργο: 12302	Υπόγειο επιχορηγούμενο έργο: 43204	Υπόγειο επιχορηγούμενο τεχνολογία: 12004	Επινοήτρια έργο στο έργο: 12304	Αριθμός έργου	12304
<b>Επίπεδο 4 Προτεινόμενες αλλαγές</b>					
Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο
Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο
Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο
<b>Επίπεδο 5 Προτεινόμενες αλλαγές</b>					
Όνομα επιδόματος: 12304	Επινοήτρια μελέτη: 27004	Επινοήτρια τεχνολογία: 12004	Επινοήτρια πρόταση στο έργο: 12304	Αριθμός έργου	
Επίπεδο έργο: 12302	Υπόγειο επιχορηγούμενο έργο: 43204	Υπόγειο επιχορηγούμενο τεχνολογία: 12004	Επινοήτρια έργο στο έργο: 12304	Αριθμός έργου	12304
<b>Επίπεδο 5 Προτεινόμενες αλλαγές</b>					
Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο	Επινοήτρια επιχορηγούμενο
Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο
Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο	Υπόγειο επιχορηγούμενο

Εικόνα 61 –Οθόνη Αποτελεσμάτων

Όπως φαίνεται και στην εικόνα, κάθε επιλογή οριοθετείται από ένα μαύρο περίγραμμα, το οποίο με τη σειρά του διχοτομείται σε δύο ενότητες. Η πρώτη ενότητα τιτλοφορείται «Αποτελέσματα κριτηρίων» και σε αυτήν περιλαμβάνονται τιμές και μονάδες μέτρησης για τα προαναφερθέντα κριτήρια. Η δεύτερη ενότητα, με όνομα «Προτεινόμενες Αναβαθμίσεις», περιέχει τις προτεινόμενες αλλαγές. Αναφέρεται και το υπάρχον χαρακτηριστικό της οικείας του χρήστη, και το χαρακτηριστικό που του προτείνεται να εγκαταστήσει.

## 6 Μελέτη Περιπτώσεων

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει αναλυτική περιγραφή διαφορετικών σεναρίων χρήσης της εφαρμογής και θα αναλυθούν τα αποτελέσματα τους ανάλογα με την προτεραιότητα του χρήστη κάθε φορά. Το κτίριο προς αναβάθμιση που επιλέχθηκε και για τα τρία σενάρια είναι ένα κτίριο εμβαδού 90 τ.μ., με νοτιοδυτικό προσανατολισμό, το οποίο διαθέτει ταράτσα, η οποία δεν διαθέτει μόνωση, οι τοίχοι του είναι απλοί, τα παράθυρα απλά και δεν διαθέτουν σκίαστρα, διαθέτει λάμπες φθορισμού ισχύος 30 W, το ψυγείο και η κουζίνα είναι ενεργειακής κλάσης χαμηλότερης από A. Για θέρμανση χρησιμοποιεί ως καύσιμο το πετρέλαιο, για ψύξη διαθέτει ανεμιστήρες και για ΖΝΧ διαθέτει ηλεκτρικό θερμοσίφωνα (Εικόνα 62). Η επιλογή του συγκεκριμένου κτιρίου έγινε επειδή σε όλες τις κατηγορίες επιδέχεται αναβαθμίσεις και με αυτό το τρόπο θα αποτυπωθεί καλύτερα η ικανότητα της πολυκριτήριας μεθόδου να επιλέξει τις βέλτιστες αναβαθμίσεις με βάση την προτεραιότητα του χρήστη.

← Ερωτήσεις

Πόσα τετραγωνικά μέτρα(m<sup>2</sup>) είναι το σπίτι σας?

30  
 45  
 60  
 75  
 90  
 105  
 120

Ποιος είναι ο προσανατολισμός του σπιτιού?

Βόρειος  
 Βορειοανατολικός  
 Ανατολικός  
 Νοτιοανατολικός  
 Νότιος  
 Νοτιοδυτικός  
 Δυτικός  
 Βορειοδυτικός

Σε ποιά όροφο βρίσκεται το σπίτι?

Ισόγειο ή ενδιάμεσος όροφος  
 Ταράτσα, δεν διαθέτει μόνωση  
 Ταράτσα, διαθέτει μόνωση

Τι είδους τοίχους έχει το σπίτι?

Απλούς  
 Μονωμένους  
 Καλά μονωμένους

Τι είδους τζάμια έχει το σπίτι ?

Απλά  
 Διπλά  
 Τριπλά

Έχουν σκίαστρα τα παράθυρα?

Ναι  
 Όχι

Τι είδους λάμπες έχετε στο σπίτι?

Οικονομίας 40w  
 Φθορισμού 30w  
 LED 8w

Τι ενεργειακής κλάσης είναι το ψυγείο σας?

Χαμηλότερη από A  
 A ενεργειακή

Τι είδους είναι η κουζίνα σας?

Με ρεύμα, ενεργειακής κλάσης κάτω από A  
 Με ρεύμα, ενεργειακής κλάσης A  
 Με φυσικό αέριο

Τι είδους θέρμανση έχει το σπίτι?

Πετρέλαιο  
 Φυσικό Αέριο  
 Αντλία θερμότητας  
 Τζάκι

Τι είδους θερμοσίφωνα έχει το σπίτι?

Ηλεκτρικό  
 Φυσικό αέριο  
 Ηλιακό, μικρότερο από 3 τετραγωνικά μέτρα  
 Ηλιακό, μεγαλύτερο από 3 τετραγωνικά μέτρα

Τι είδους ψύξη έχει το σπίτι?

Ανεμιστήρες  
 Air condition  
 Αντλία θερμότητας

Εικόνα 62 –Κτίριο προς αναβάθμιση

## 6.1 Σενάριο 1: Χωρίς δυνατότητα τοποθέτησης φωτοβολταϊκών και με προτεραιότητα για τον χρήστη την μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας

Σε αυτό το σενάριο στην οθόνη «Κριτήριο Επιλογής», επιλέχθηκε η πρώτη επιλογή, δηλαδή ότι η προτεραιότητα του χρήστη είναι η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση χρημάτων. Τα σπίτια που προέκυψαν ως αναβαθμίσεις του αρχικού σπιτιού με βάση την πολυκριτήρια ανάλυση παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα (Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.).

	Αρχικό Σπίτι	1η Επιλογή	2η Επιλογή	3η Επιλογή	4η Επιλογή	5η Επιλογή
Είδος θέρμανσης	Πετρέλαιο	Αντλία Θερμότητας	Αντλία Θερμότητας	Αντλία Θερμότητας	Αντλία Θερμότητας	Αντλία Θερμότητας
Είδος Ψύξης	Ανεμιστήρες	Αντλία Θερμότητας	Αντλία Θερμότητας	Αντλία Θερμότητας	Αντλία Θερμότητας	Αντλία Θερμότητας
Εμβαδόν (τ.μ.)	90	90	90	90	90	90
Προσανατολισμός	N/Δ	N/Δ	N/Δ	N/Δ	N/Δ	N/Δ
Ταράτσα	Χωρίς μόνωση	Με μόνωση	Με μόνωση	Με μόνωση	Με μόνωση	Με μόνωση
Τοίχοι	Απλοί	Απλοί	Απλοί	Απλοί	Απλοί	Απλοί
Παράθυρα	Μονά	Τριπλά	Διπλά	Τριπλά	Τριπλά	Διπλά
Σκίαστρα	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι
W Φώτων	30	30	30	8	30	8
Ψυγείο	Χαμηλότερη κλάση από A	Ενεργειακή κλάση A	Ενεργειακή κλάση A	Ενεργειακή κλάση A	Ενεργειακή κλάση A	Ενεργειακή κλάση A
Κουζίνα	Ηλεκτρικό, Χαμηλότερη κλάση από A	Ενεργειακή κλάση A	Ενεργειακή κλάση A	Ενεργειακή κλάση A	Ενεργειακή κλάση A	Ενεργειακή κλάση A
Θερμοσίφωνα	Ηλεκτρικός	Ηλιακός >3 τ.μ.	Ηλιακός >3 τ.μ.	Ηλιακός >3 τ.μ.	Ηλιακός >3 τ.μ.	Ηλιακός >3 τ.μ.

Εικόνα 63 - Προτεινόμενες αναβαθμίσεις σενάριο 1

Όπως παρατηρείται στον πίνακα ,σε όλες τις επιλογές άλλαξε ο τρόπος θέρμανσης και ψύξης σε αντλία θερμότητας, η ταράτσα από χωρίς μόνωση σε μόνωση, η ενεργειακή κλάση του ψυγείου και της κουζίνας αναβαθμίστηκε σε ενεργειακή κλάση A και τέλος τοποθετήθηκε ηλιακός θερμοσίφωνα μεγαλύτερος των 3 τ.μ. στην θέση του παλιού ηλεκτρικού. Επίσης, οι τοίχοι ,σε όλες τις περιπτώσεις, παρέμειναν απλοί ,επειδή το κόστος της μόνωσής τους σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων ήταν ασύμφορο, Επιπλέον, παρατηρείται ότι οι προτεινόμενες αλλαγές από την πολυκριτήρια ανάλυση διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την μόνωση και στα σκίαστρα των παραθύρων και στην ισχύ του φωτισμού.

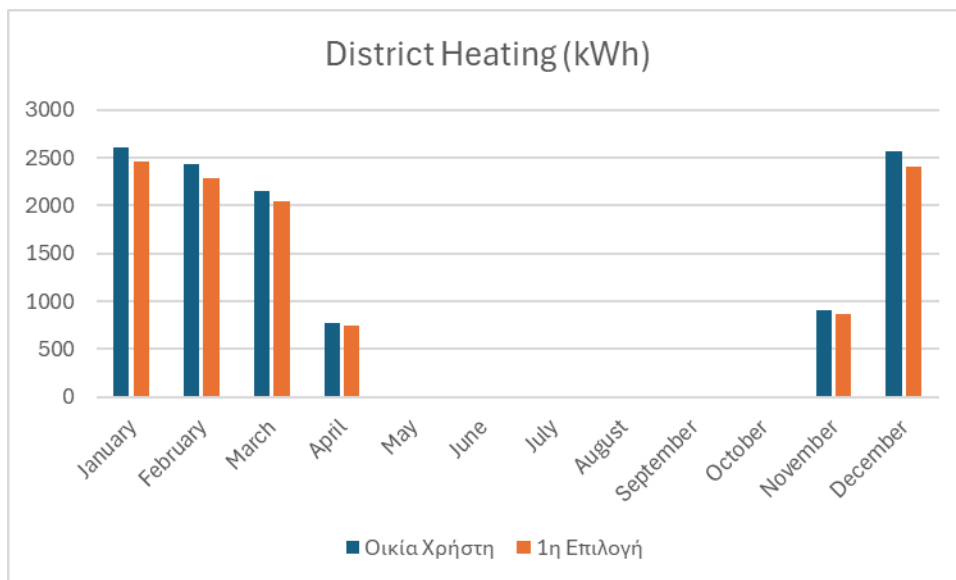
Οι τιμές των κριτηρίων της πολυκριτήριας ανάλυσης για καθεμία από τις πέντε προτεινόμενες αναβαθμίσεις παρουσιάζονται στον πίνακα (Εικόνα 64).

	Αρχικό Σπίτι	1η Επιλογή	2η Επιλογή	3η Επιλογή	4η Επιλογή	5η Επιλογή
Κόστος Αναβαθμίσεων (€)		12538	12136	12545	12488	12143
Κατανάλωση Ρεύματος (kWh)	7646,8	4916,4	4940,6	4947,4	4931,5	4947,4
Κατανάλωση Πετρελαίου (Lt)	1068,7	0	0	0	0	0
Χρήματα στο έτος (€)	3576,5	1474,9	1482,2	1484,2	1479,4	1584,2
Δείκτης Άνεσης	0,39178	0,39384	0,39344	0,39362	0,39357	0,39362
Εκπομπές CO2(kg)	5793,8	1691,3	1699,6	1701,9	1696,4	1701,9
Συνολική Κατανάλωση (kWh)	19092,5	4916,4	4940,6	4947,42	4931,47	4947,42
Εξοικονόμηση σε €/kWh	0,187	0,14824	0,14816	0,14791	0,14808	0,14791
Δείκτης NPV		2692	3041	2669	2709	3019
Απόσβεση (έτη)		6	6	6	6	6

Εικόνα 64 - Τιμές κριτηρίων TOPSIS σενάριο 1

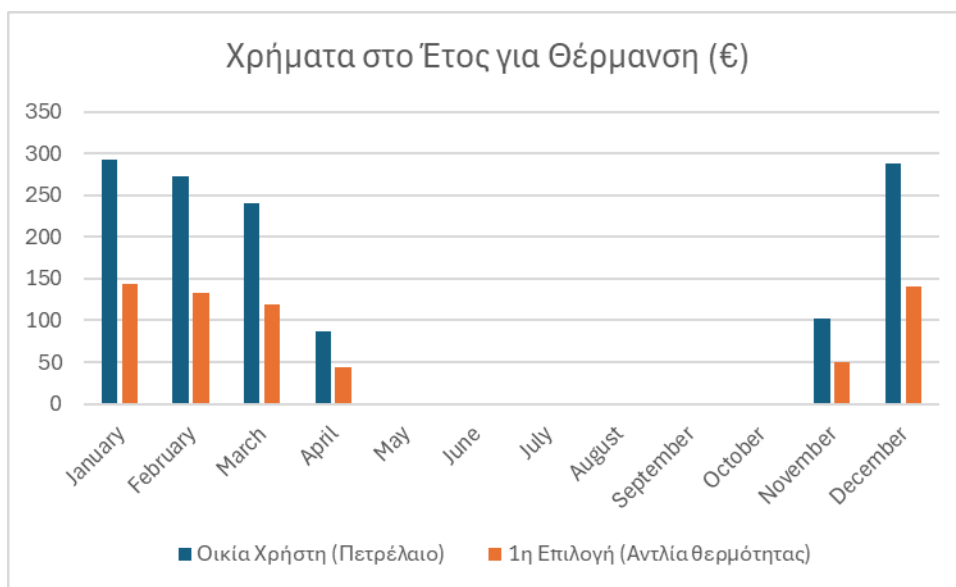
Όπως παρατηρείτε η Βέλτιστη επιλογή(1η Επιλογή) σε σχέση με το αρχικό σπίτι έχει σημαντικές βελτιώσεις σε όλες τις τιμές. Συγκεκριμένα ,με την επένδυση 12538€ η κατανάλωση ρεύματος μειώνεται κατά 35%, η κατανάλωση πετρελαίου μηδενίζεται, τα χρήματα που καλείται ο χρήστης να πληρώσει σε ένα έτος μειώνονται κατά 59%, οι εκπομπές CO2 μειώνονται κατά 70%, η συνολική κατανάλωση ενέργειας μειώνεται κατά 75%, ο χρήστης εξοικονομεί 0,14824 €/kWh το έτος ,η απόσβεση της επένδυσης του θα γίνει σε 6 έτη και ο δείκτης NPV είναι 2692, γεγονός που αποδεικνύει ότι είναι μια καλή επένδυση. Αυτό οφείλεται στην αναβάθμιση της πλειονότητας των χαρακτηριστικών του σπιτιού. Ταυτόχρονα ,η 1η Επιλογή έχει μικρές διαφορές σε σχέση με τις υπόλοιπες τέσσερις καθώς οι τιμές των κριτηρίων της πολυκριτήριας ανάλυσης σε κάποιες κατηγορίες μειώνονται και σε κάποιες αυξάνονται. Οι διαφορές αυτές οφείλονται στο γεγονός ότι κάθε μια επιλογή έχει ένα διαφορετικό συνδυασμό από μόνωση και σκίαστρα παραθύρων και φωτισμού.

Στην Εικόνα 65 αποτυπώνεται η ενέργεια (District Heating (kWh)) που απαιτείται για την θέρμανση της οικίας του χρήστη και της 1ης Επιλογής ανά μήνα για όλο το έτος. Είναι εμφανές ότι σε όλους τους μήνες η ενέργεια που απαιτείται για την θέρμανση είναι μικρότερη αν ο χρήστης επιλέξει να εφαρμόσει την 1η Επιλογή.



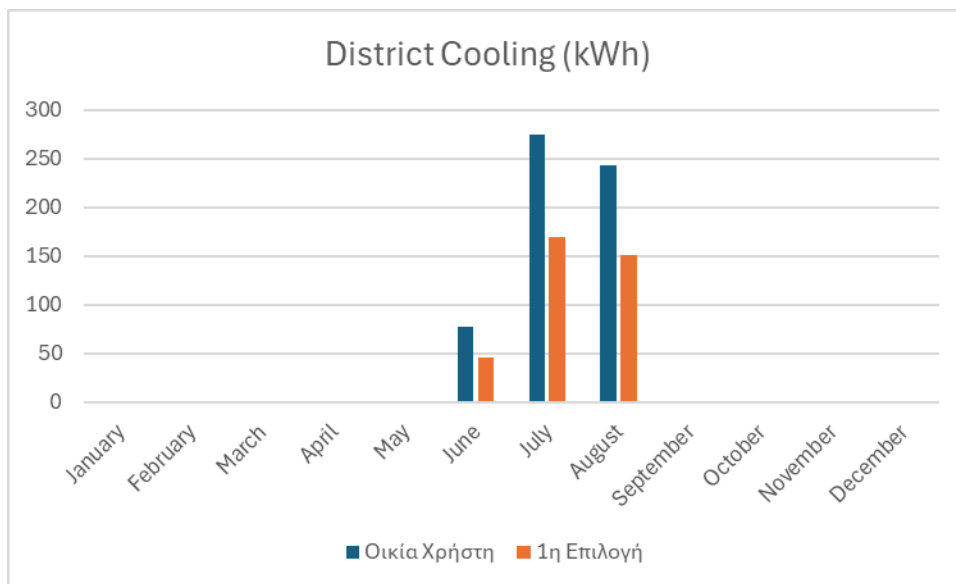
Εικόνα 65 - District Heating (kWh) για 1 Επιλογή σεναρίου 1

Στην Εικόνα 66, αποτυπώνονται τα χρήματα (€) για την θέρμανση μεταξύ της οικίας του χρήστη και της 1ης Επιλογής ανά μήνα για όλο το έτος. Η μείωση των χρημάτων αν ο χρήστης επιλέξει την πρώτη επιλογή είναι σημαντική, καθώς τα χρήματα που καλείται να πληρώσει το έτος για θέρμανση μειώνονται κατά 652€.



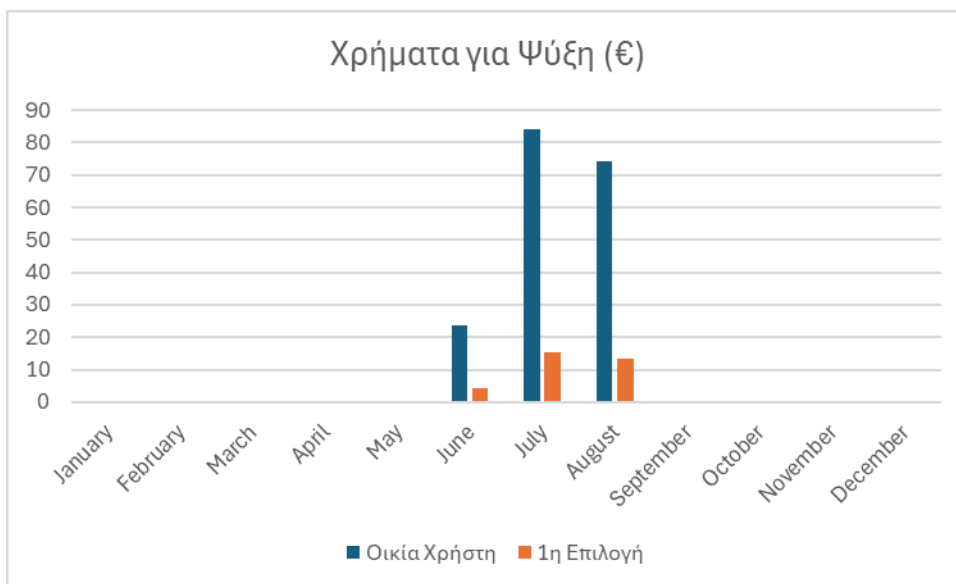
Εικόνα 66 - Χρήματα στο έτος για θέρμανση για 1 Επιλογή σεναρίου 1

Στην Εικόνα 67 αποτυπώνεται η ενέργεια (District Cooling (kWh)) που απαιτείται για την ψύξη της οικίας του χρήστη και της 1ης Επιλογής ανά μήνα για όλο το έτος. Είναι εμφανές ότι σε όλους τους μήνες η ενέργεια που απαιτείται για την ψύξη είναι μικρότερη αν ο χρήστης επιλέξει να εφαρμόσει την 1η Επιλογή.



Εικόνα 67 - District Cooling (kWh) για 1 Επιλογή σεναρίου 1

**Στην Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**, αποτυπώνονται τα χρήματα (€) για την ψύξη μεταξύ της οικίας του χρήστη και της 1ης Επιλογής ανά μήνα για όλο το έτος. Η μείωση των χρημάτων, αν ο χρήστης επιλέξει την πρώτη επιλογή είναι σημαντική, καθώς τα χρήματα που καλείται να πληρώσει το έτος για ψύξη μειώνονται κατά 147€.



Εικόνα 68 - Χρήματα στο έτος για ψύξη για 1 Επιλογή σεναρίου 1

Η σημαντική μείωση των χρημάτων για την θέρμανση και ψύξη οφείλεται στο γεγονός ότι ο χρήστης αντικατέστησε τον λέβητα πετρελαίου και τους ανεμιστήρες με αντλία θερμότητας, η οποία είναι μια πιο αποδοτική και ταυτόχρονα οικονομική πηγή ενέργειας



## 6.2 Σενάριο 2: Χωρίς δυνατότητα τοποθέτησης φωτοβολταϊκών και με προτεραιότητα για τον χρήστη την μέγιστη μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος

Σε αυτό το σενάριο στην οθόνη «Κριτήριο Επιλογής» (Εικόνα 2), επιλέχθηκε η δεύτερη επιλογή, δηλαδή ότι η προτεραιότητα του χρήστη είναι η μέγιστη μείωση στο ενεργειακό αποτύπωμα. Τα σπίτια που προέκυψαν ως αναβαθμίσεις του αρχικού σπιτιού με βάση την πολυκριτήρια ανάλυση παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα (Εικόνα 69).

	Αρχικό Σπίτι	1η Επιλογή	2η Επιλογή	3η Επιλογή	4η Επιλογή	5η Επιλογή
<b>Είδος θέρμανσης</b>	Πετρέλαιο	Αντλία Θερμότητας	Αντλία Θερμότητας	Αντλία Θερμότητας	Αντλία Θερμότητας	Αντλία Θερμότητας
<b>Είδος Ψύξης</b>	Ανεμιστήρες	Αντλία Θερμότητας	Αντλία Θερμότητας	Αντλία Θερμότητας	Αντλία Θερμότητας	Αντλία Θερμότητας
<b>Εμβαδόν (τ.μ.)</b>	90	90	90	90	90	90
<b>Προσανατολισμός</b>	N/Δ	N/Δ	N/Δ	N/Δ	N/Δ	N/Δ
<b>Ταράτσα</b>	Χωρίς μόνωση	Με μόνωση	Με μόνωση	Με μόνωση	Με μόνωση	Με μόνωση
<b>Τοίχοι</b>	Απλοί	Καλά μονωμένοι	Καλά μονωμένοι	Απλοί	Καλά μονωμένοι	Μονωμένοι
<b>Παράθυρα</b>	Μονά	Τριπλά	Τριπλά	Τριπλά	Τριπλά	Τριπλά
<b>Σκίαστρα</b>	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι
<b>W Φώτων</b>	30	30	8	30	30	30
<b>Ψυγείο</b>	Χαμηλότερη κλάση από A	Ενεργειακή κλάση A	Ενεργειακή κλάση A	Ενεργειακή κλάση A	Ενεργειακή κλάση A	Ενεργειακή κλάση A
<b>Κουζίνα</b>	Ηλεκτρικό, Χαμηλότερη κλάση από A	Ενεργειακή κλάση A	Ενεργειακή κλάση A	Ενεργειακή κλάση A	Ενεργειακή κλάση A	Ενεργειακή κλάση A
<b>Θερμοσίφωνα</b>	Ηλεκτρικός	Ηλιακός >3 τ.μ.	Ηλιακός >3 τ.μ.	Ηλιακός >3 τ.μ.	Ηλιακός >3 τ.μ.	Ηλιακός >3 τ.μ.

Εικόνα 69 - Πίνακας αναβαθμίσεων σενάριο 2

Όπως παρατηρείται στον πίνακα, σε όλες τις επιλογές άλλαξε ο τρόπος θέρμανσης και ψύξης σε αντλία θερμότητας, η ταράτσα από χωρίς μόνωση σε μόνωση, τα παράθυρα από μονά σε τριπλά, η ενεργειακή κλάση του ψυγείου και της κουζίνας αναβαθμίστηκε σε ενεργειακή κλάση A, και τέλος τοποθετήθηκε ηλιακός θερμοσίφοντας μεγαλύτερος των 3 τ.μ. στην θέση του παλιού ηλεκτρικού. Επιπλέον, παρατηρείται ότι οι προτεινόμενες αλλαγές από την πολυκριτήρια ανάλυση διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την μόνωση των τοίχων και την χρήση σκιάστρων στα παράθυρα και στην ισχύ του φωτισμού.

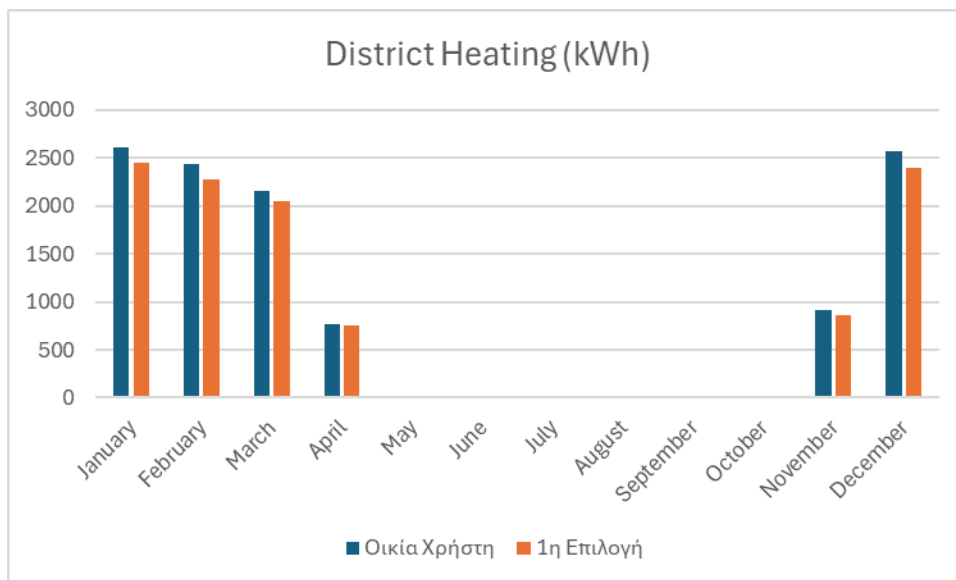
Οι τιμές των κριτηρίων της πολυκριτήριας ανάλυσης για καθεμία από τις πέντε προτεινόμενες αναβαθμίσεις παρουσιάζονται στον πίνακα (Εικόνα 70).

	Αρχικό Σπίτι	1η Επιλογή	2η Επιλογή	3η Επιλογή	4η Επιλογή	5η Επιλογή
<b>Κόστος Αναβαθμίσεων (€)</b>		16409	16416	12538	16359	15656
<b>Κατανάλωση Ρεύματος (kWh)</b>	7646,8	4901,1	4908,4	4916,4	4916	4917,9
<b>Κατανάλωση Πετρελαίου (Lt)</b>	1068,7	0	0	0	0	0
<b>Χρήματα στο έτος (€)</b>	3576,5	1470,3	1472,5	1474,9	1474,8	1475,4
<b>Δείκτης Άνεσης</b>	0,39178	0,39405	0,39418	0,39384	0,39374	0,39392
<b>Εκπομπές CO2 (kg)</b>	5793,8	1685,9	1688,5	1691,3	1691,1	1701,9
<b>Συνολική Κατανάλωση (kWh)</b>	19092,5	4901,1	4908,4	4916,4	4916	4917,93
<b>Εξοικονόμηση σε €/kWh</b>	0,187	0,14841	0,14834	0,14825	0,14825	0,14823
<b>Δείκτης NPV</b>		-1146	-1169	2692	-1129	-430
<b>Απόσβεση (έτη)</b>		8	8	6	8	7

Εικόνα 70 - Τιμές κριτηρίων πολυκριτήριας ανάλυσης σενάριο 2

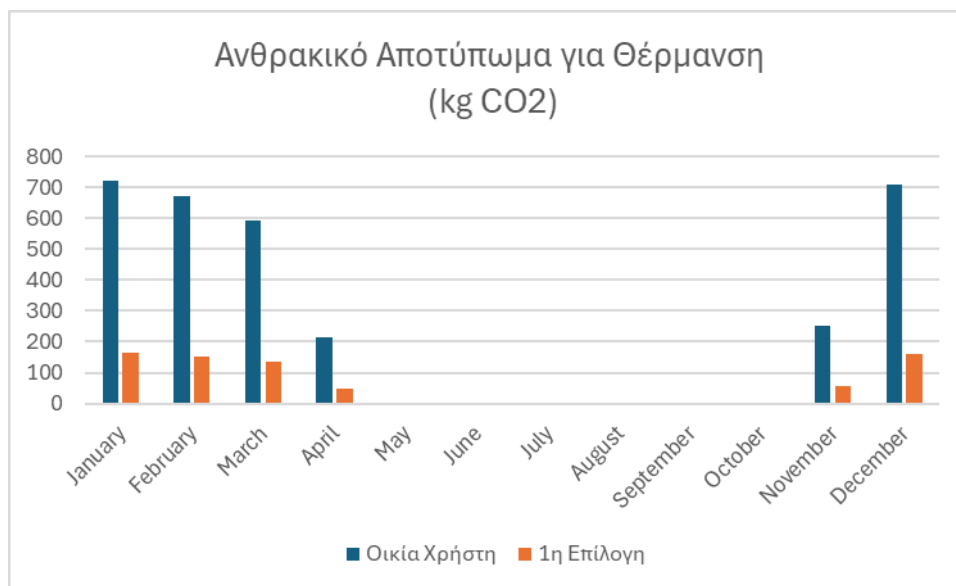
Όπως παρατηρείται η Βέλτιστη επιλογή(1η Επιλογή) σε σχέση με το αρχικό σπίτι έχει σημαντικές βελτιώσεις σε όλες τις τιμές. Συγκεκριμένα ,με την επένδυση 16409€ η κατανάλωση ρεύματος μειώνεται κατά 36%, η κατανάλωση πετρελαίου μηδενίζεται, τα χρήματα που καλείται ο χρήστης να πληρώσει σε ένα έτος μειώνονται κατά 59%, οι εκπομπές CO2 μειώνονται κατά 71% ,η συνολική κατανάλωση ενέργειας μειώνεται κατά 75%, ο χρήστης εξοικονομεί 0,14841 €/kWh το έτος, η απόσβεση της επένδυσης του θα γίνει σε 8 έτη και ο δείκτης NPV είναι -1146, γεγονός που αποδεικνύει ότι από οικονομικής απόψεως δεν είναι καλή επένδυση. Αυτό οφείλεται στην αναβάθμιση της πλειονότητας των χαρακτηριστικών του σπιτιού. Ταυτόχρονα ,η 1η Επιλογή έχει μικρές διαφορές σε σχέση με τις υπόλοιπες τέσσερις καθώς οι τιμές των κριτηρίων της πολυκριτήριας ανάλυσης σε κάποιες κατηγορίες μειώνονται και σε κάποιες αυξάνονται. Οι διαφορές αυτές οφείλονται στο γεγονός ότι κάθε μια επιλογή έχει ένα διαφορετικό συνδυασμό από μόνωση στα παράθυρα και στην χρήση σκιάστρων και στον φωτισμό. Αξιοσημείωτη παρατήρηση είναι ότι η πρώτη επιλογή στο σενάριο 1 είναι ταυτόσημη με την τρίτη επιλογή στο σενάριο 2. Αυτό οφείλεται στην επιλογή των βαρών της πολυκριτήριας ανάλυσης.

Στην Εικόνα 71 αποτυπώνεται η ενέργεια (District Heating (kWh)) που απαιτείται για την θέρμανση της οικίας του χρήστη και της 1ης Επιλογής ανά μήνα για όλο το έτος. Είναι εμφανές ότι σε όλους τους μήνες η ενέργεια που απαιτείται για την θέρμανση είναι μικρότερη αν ο χρήστης επιλέξει να εφαρμόσει την 1η Επιλογή.



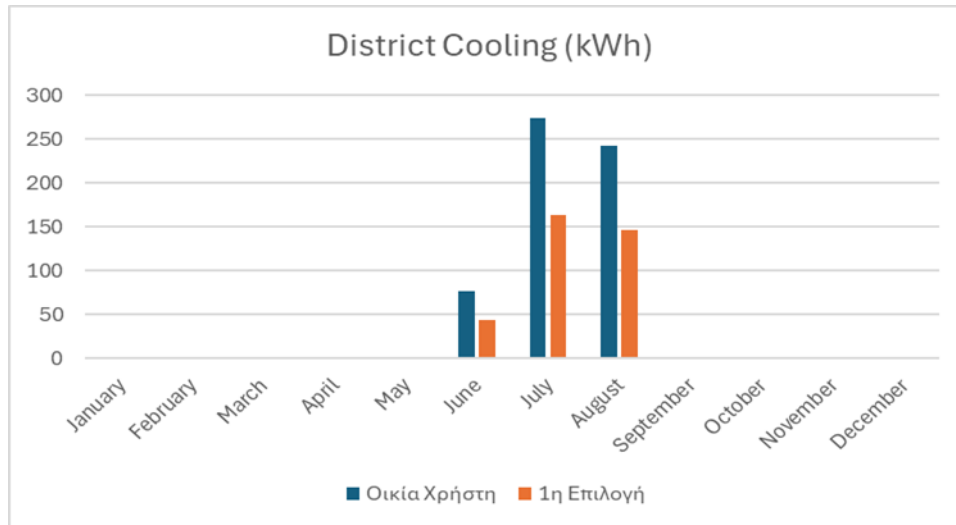
Εικόνα 71 - District Heating ( kWh) για 1<sup>η</sup> επιλογή σενάριο 2

Στην Εικόνα 72, αποτυπώνεται το ανθρακικό αποτύπωμα (kg CO<sub>2</sub>) που εκλύεται στην ατμόσφαιρα κατά την θέρμανση μεταξύ της οικίας του χρήστη και της 1ης Επιλογής ανά μήνα για όλο το έτος. Η μείωση των κιλών CO<sub>2</sub> που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα, αν ο χρήστης επιλέξει την πρώτη επιλογή, είναι σημαντική, καθώς τα κιλά CO<sub>2</sub> μειώνονται κατά 2603.



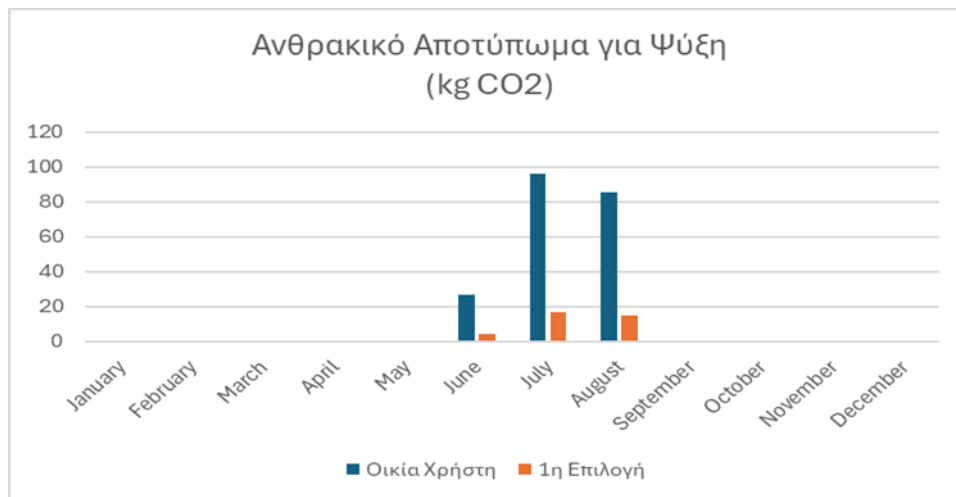
Εικόνα 72 - Ανθρακικό αποτύπωμα για θέρμανση (kg CO<sub>2</sub>) για 1<sup>η</sup> επιλογή σενάριο 2

Στην Εικόνα 73 αποτυπώνεται η ενέργεια (District Cooling (kWh)) που απαιτείται για την ψύξη της οικίας του χρήστη και της 1ης Επιλογής ανά μήνα για όλο το έτος. Είναι εμφανές ότι σε όλους τους μήνες η ενέργεια που απαιτείται για την ψύξη είναι μικρότερη, αν ο χρήστης επιλέξει να εφαρμόσει την 1η Επιλογή.



Εικόνα 73 - District Cooling (kWh) για 1<sup>η</sup> επιλογή σενάριο 2

Στην Εικόνα 74, αποτυπώνεται το ανθρακικό αποτύπωμα (kg CO<sub>2</sub>) που εκλύεται στην ατμόσφαιρα κατά την ψύξη μεταξύ της οικίας του χρήστη και της 1ης Επιλογής ανά μήνα για όλο το έτος. Η μείωση των κιλών CO<sub>2</sub> που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα, αν ο χρήστης επιλέξει την πρώτη επιλογή, είναι σημαντική, καθώς τα κιλά CO<sub>2</sub> μειώνονται κατά 172.



Εικόνα 74 - Ανθρακικό αποτύπωμα για ψύξη (kg CO<sub>2</sub>) για 1<sup>η</sup> επιλογή σενάριο 2

Η σημαντική μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος για θέρμανση και ψύξη οφείλεται στο γεγονός ότι ο χρήστης αντικατέστησε τον λέβητα πετρελαίου και τους ανεμιστήρες με αντλία θερμότητας, η οποία είναι μια πιο αποδοτική και ταυτόχρονα πιο φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας.

### 6.3 Σενάριο 3: Με δυνατότητα τοποθέτησης φωτοβολταϊκών

Αλλάζοντας τα δεδομένα στην βάση, προσθέτοντας και σπίτια στα οποία υπάρχει δυνατότητα τοποθέτησης φωτοβολταϊκών πάνελ και εφαρμόζοντας την πολυκριτήρια ανάλυση για την εύρεση των βέλτιστων αναβαθμίσεων για την οικία του χρήστη, προέκυψε ότι η βέλτιστη αναβάθμιση είναι ένα σπίτι μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας και κατά συνέπεια μηδενικού ανθρακικού αποτυπώματος, το οποίο προκύπτει με την τοποθέτηση φωτοβολταϊκού πάνελ, αντλίας θερμότητας για θέρμανση και ψύξη και αντικατάσταση του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα σε ηλιακό (Εικόνα 75). Η επένδυση αυτή κοστίζει 17520€, ο χρήστης θα αποσβέσει τα χρήματα του σε 5 έτη και ο δείκτης NPV είναι 8398, γεγονός που αποδεικνύει ότι είναι σαφώς καλύτερη επένδυση από την 1<sup>η</sup> επιλογή του σεναρίου 1, όπου δεν υπήρχε η δυνατότητα για τοποθέτηση φωτοβολταϊκών. Οποιαδήποτε άλλη αναβάθμιση στα χαρακτηριστικά του σπιτιού αυξάνει το κόστος της επένδυσης χωρίς να αλλάζει καθόλου τις τιμές των κριτηρίων της πολυκριτήριας ανάλυσης, αφού το σπίτι συνεχίζει να έχει μηδενική κατανάλωση ενέργειας.

Επιλογή 1:Αποτελέσματα κριτηρίων					
Κόστος Αναβάθμισης: 17520€	Εξοικονόμηση ρεύματος: 7647Kwh	Εξοικονόμηση πετρελαίου: 1069lt	Εξοικονόμηση χρημάτων στο έτος: 3576€	Απόσβεση: 5έτη	
Βελτίωση δείκτη άνεσης: 0	Μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα: 5793826	Μείωση συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης: 19092Kwh	Εξοικονόμηση σε ευρώ ανα κιλοβατώρα: 0.187	Δείκτης NPV: 8398	
Επιλογή 1:Προτεινόμενες Αναβαθμίσεις					
Θέρμανση από:Πετρέλαιο	Σε:Αντλία θερμότητας	Ψύξη από:Ανεμιστήρες	Σε:Αντλία θερμότητας	Θερμοσίφωνα από:Ηλεκτρικό	Σε:Ηλιακό <3 τ.μ.
Φωτοβολταϊκά από:Καθόλου	Σε:Μικρά				

Εικόνα 75 - 1<sup>η</sup> επιλογή σενάριο 3

Οι τιμές των κριτηρίων της πολυκριτήριας ανάλυσης για την βέλτιστη αναβάθμιση παρουσιάζονται στον πίνακα (Εικόνα 76)

	Αρχικό Σπίτι	1η Επιλογή	2η Επιλογή	3η Επιλογή	4η Επιλογή	5η Επιλογή
<b>Κόστος Αναβαθμίσεων (€)</b>		17520	12136	12545	12488	12143
<b>Κατανάλωση Ρεύματος (kWh)</b>	7646,8	0	0	0	0	0
<b>Κατανάλωση Πετρελαίου (Lt)</b>	1068,7	0	0	0	0	0
<b>Χρήματα στο έτος (€)</b>	3576,5	0	0	0	0	0
<b>Δείκτης Άνεσης</b>	0,39178	0,39178	0,39178	0,39178	0,39178	0,39178
<b>Εκπομπές CO2 (kg)</b>	5793,8	0	0	0	0	0
<b>Συνολική Κατανάλωση (kWh)</b>	19092,5	0	0	0	0	0
<b>Εξοικονόμηση σε €/kWh</b>	0,187	0,187	0,187	0,187	0,187	0,187
<b>Δείκτης NPV</b>		8398	8391	8348	8341	8169
<b>Απόσβεση (έτη)</b>		5	5	5	5	5

Εικόνα 76 - Κριτήρια Πολυκριτήριας Ανάλυσης σενάριο 3

Η ενέργεια που απαιτείται για θέρμανση και ψύξη μεταξύ της οικίας του χρήστη και της 1ης Επιλογής δεν αλλάζει, καθώς είναι ανεξάρτητη του μέσου παραγωγής της, αλλά οφείλεται στα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της οικίας, όπως η μόνωση των τοίχων, της ταράτσας και των παραθύρων και στη χρήση σκιάστρων και φωτισμού.

## **7 Συμπεράσματα, Περιορισμοί και Προτάσεις Μελλοντικής Εξέλιξης**

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων που εξήχθησαν κατά την υλοποίηση της διαδικτυακής εφαρμογής για ενεργειακή αναβάθμιση ενός κτιρίου. Αρχικά αναλύεται η γενική εικόνα της εφαρμογής, δηλαδή σε ποιο βαθμό εξυπηρετεί το στόχο της και υπό ποιες προϋποθέσεις. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του εργαλείου λήψης αποφάσεων, καθώς και οι περιορισμοί οι οποίοι εμφανίστηκαν κατά την υλοποίηση. Τέλος, γίνονται εισηγήσεις εξέλιξης για την παρούσα εφαρμογή.

### **7.1 Συμπεράσματα και Αποτελέσματα**

Η διαδικτυακή εφαρμογή που αναπτύχθηκε, στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, στοχεύει στη δημιουργία ενός εργαλείου που βοηθάει τον χρήστη σε μια ανακαίνιση. Απώτερος στόχος του εργαλείου είναι να διευκολύνει τον χρήστη στην επιλογή του βέλτιστου συνδυασμού αλλαγών σε μια ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίου, με γνώμονα τις προτεραιότητές του.

Υπάρχουν διάφορες εφαρμογές οι οποίες είναι ικανές να παρέχουν προτάσεις για μια ανακαίνιση. Μια από αυτές, είναι το Energy Star Portfolio Manager (ESPM) το οποίο καταφέρνει με τη χρήση αισθητήρων και με μια τεράστια βάση αντίστοιχων κτιρίων, να αξιολογήσει την υφιστάμενη κατάσταση ενός κτιρίου και να προτείνει στον χρήστη αλλαγές που θα μειώσουν την ενεργειακή του κατανάλωση. Μια άλλη, είναι το Opower το οποίο παρέχει στον χρήστη αναφορές για την τρέχουσα ενεργειακή κατανάλωση και σύνδεση με μια πληθώρα χρηματοδοτικών εργαλείων που του παρέχει τη δυνατότητα να προβεί σε στοχευμένες αλλαγές. Προτού εκκινήσει η υλοποίηση της παρούσας εφαρμογής, μελετήθηκαν και αναλύθηκαν οι υλοποιήσεις των προαναφερόμενων εφαρμογών. Αφού διαχωρίστηκαν τα προτερήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε εφαρμογής, αποτέλεσαν σημαντική πηγή έμπνευσης και ιδεών στο στάδιο του σχεδιασμού της παρούσας εφαρμογής.

Κατόπιν τούτου, τέθηκε ως στόχος, η εφαρμογή να είναι φιλική προς τον χρήστη και με απλές ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών να τον καθοδηγεί στον τρόπο με τον οποίο εισάγει τα δεδομένα. Μετά από προσεκτικό σχεδιασμό, αλλά και παραχωρήσεις στο εύρος των σεναρίων χρήσης που καλύπτει, δημιουργήθηκαν επτά κτίρια και δέκα δυνατές κατηγορίες αλλαγών σε καθένα από αυτά. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξη του προαναφερθέντος στόχου αποτελεί η συνεργασία δυο διαφορετικών προγραμμάτων και τεσσάρων γλωσσών προγραμματισμού, τα οποία παρέχουν την δυνατότητα για αλληλεπίδραση με τον χρήστη και δυναμική λήψη αποφάσεων. Συμπερασματικά, τόσο η ομάδα προγραμματισμού όσο και χρήστες που ήρθαν σε επαφή με την εφαρμογή έμειναν πλήρως ικανοποιημένοι από το οπτικό αποτέλεσμα της, αλλά και την ευκολία στη χρήση της.

Επίσης, στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι, λόγω του όγκου των δεδομένων που απαιτούνται για μια ανακαίνιση, ενέχει ο κίνδυνος εισόδου άκυρων δεδομένων από κάποιον χρήστη. Προς αποφυγήν τέτοιου είδους καταστάσεων, επιλέχθηκαν οι κατάλληλες ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής, προκειμένου ο χρήστης με τις απαντήσεις του να μπορεί να εισάγει τα δεδομένα για το κτίριο που επιθυμεί να ανακαινίσει. Στην συνέχεια, επιλέχθηκε το σύνολο των βαρών της πολυκριτήριας ανάλυσης το οποίο αντικατοπτρίζει τους πιθανούς στόχους του χρήστη. Συνεπώς, σε κάθε βήμα διασφαλίζεται η συμβατότητα των δεδομένων εισόδου του χρήστη, αλλά και η πλήρης καθοδήγησή του στη σωστή παροχή των δεδομένων.

Η εφαρμογή παρέχει μια ευχάριστη εμπειρία στον χρήστη, αφού καταφέρνει να επιλύει αποδοτικά τα προβλήματα. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε ένας σημαντικός αριθμός δοκιμών, ώστε να εξασφαλιστεί η ορθότητα των αλγόριθμων επίλυσης. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, πραγματοποιήθηκαν οι κατάλληλες διορθώσεις, ώστε να παραδοθεί ένα εργαλείο που να επιτελεί το βασικό στόχο του, ο οποίος είναι όχι μόνο να επιλέγει τις βέλτιστες αναβαθμίσεις για το κτίριο, αλλά και να παρουσιάζει τα οφέλη που έχουν αυτές σε επιλεγμένα key performance indicators. Με τη διαμόρφωση κατάλληλων αλγορίθμων, επιτεύχθηκε, όχι μόνο η επίλυση του προβλήματος πολυκριτήριας ανάλυσης, αλλά και η εφαρμογή να είναι άμεσα ανταποκρινόμενη, χωρίς η διαδικασία να απαιτεί χρόνο αναμονής για τον χρήστη .

Εν κατακλείδι, ένας ακόμη βασικός στόχος της εν λόγω εφαρμογής είναι η διάθεσή της ως ένα εργαλείο ανοιχτού κώδικα, προκειμένου να αναπτυχθεί μια κοινότητα που να μπορεί να προσθέτει νέες λειτουργικότητες, καθώς και να συντηρεί και να αναβαθμίζει τις ήδη υπάρχουσες. Επομένως, σε κάθε στάδιο υλοποίησης έπρεπε να διασφαλιστεί η δυνατότητα επεκτασιμότητας της εφαρμογής. Η επιλογή της Javascript ως διαδικτυακό πλαίσιο (web framework), για την κατασκευή της εφαρμογής, όχι μόνο συνέβαλε στην κατασκευή μιας πλήρως επεκτάσιμης εφαρμογής, αλλά κατάφερε και να καταστήσει τη διαδικασία προσθήκης νέων λειτουργικοτήτων σε αυτήν εύκολη και άμεση, καθώς τα διαφορετικά τμήματά της λειτουργούν και έχουν αναπτυχθεί ανεξάρτητα μεταξύ τους.

## **7.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Υλοποίησης**

Η χρήση του εργαλείου που κατασκευάστηκε έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες εφαρμογές. Αυτά που εντοπίστηκαν, μετά την ολοκλήρωση και τη χρήση του, είναι τα ακόλουθα:

- Η εφαρμογή είναι λειτουργική, γρήγορη και επιλύει με επιτυχία τα προβλήματα εξαιτίας των οποίων κατασκευάστηκε. Μάλιστα, οι αλγόριθμοι που κατασκευάστηκαν είναι αποδοτικοί, χωρίς να απαιτείται χρόνος αναμονής για τον χρήστη.
- Το περιβάλλον χρήσης του εργαλείου είναι καλαίσθητο και διαδραστικό, παρέχοντας στον χρήστη την ευελιξία να πειραματιστεί με τα δεδομένα εισόδου του.



- Ο τρόπος με τον οποίο έχει δομηθεί η εφαρμογή επιτρέπει και διευκολύνει την προσθήκη περισσότερων κτιρίων και χαρακτηριστικών τους, που μπορούν να αλλάξουν. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά την εφαρμογή πλήρως επεκτάσιμη.
- Το εργαλείο δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει τα δεδομένα ως απαντήσεις σε ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής, με πλήρως κατανοητά πεδία προς συμπλήρωση, για την επιλογή του εκάστου κτιρίου και τους στόχους της ανακαίνισης του.
- Οι βέλτιστες αναβαθμίσεις παρουσιάζονται αναλυτικά στον χρήστη, καθώς και οι τιμές των κριτηρίων της πολυκριτήριας ανάλυσης, ώστε να γίνονται κατανοητά τα οφέλη, αν ο χρήστης επιλέξει να προβεί στις προτεινόμενες αναβαθμίσεις.
- Προορίζεται για εργαλείο ανοιχτού κώδικα, συνεπώς δεν προβλέπεται η χρέωση για τη χρήση της εφαρμογής. Επιπλέον, το εν λόγω χαρακτηριστικό δίνει προοπτικές εξέλιξης στην εφαρμογή από την κοινότητα χρήσης της.
- Υπάρχει η δυνατότητα χρήσης διαδικτυακού εξυπηρετητή για την απομακρυσμένη χρήση της εφαρμογής.

Ωστόσο, κατά την υλοποίηση εντοπίστηκαν και κάποια μειονεκτήματα:

- Δεν διαθέτει σύστημα διαχείρισης χρηστών, το οποίο θα μπορούσε να παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε αυτήν.
- Η γεωμετρία των κτιρίων από την οποία μπορεί να επιλέξει ο χρήστης είναι προκαθορισμένη, συνεπώς τα αποτελέσματα μπορεί να διαφέρουν από τα πραγματικά.
- Οι τιμές τόσο των καυσίμων, όπως το πετρέλαιο, το ρεύμα και το φυσικό αέριο, όσο και των υλικών και των συσκευών που χρησιμοποιήθηκαν βασίζονται στις τιμές της τρέχουσας αγοράς.
- Τα βάρη της πολυκριτήριας ανάλυσης είναι προκαθορισμένα, με αποτέλεσμα να μην δίνουν τη δυνατότητα στον χρήστη να επιλέγει επακριβώς τους στόχους του για την ανακαίνιση

## 7.3 Περιορισμοί

### 7.3.1 Περιορισμοί Συνολική Εφαρμογής

Ο σκοπός της εφαρμογής, όπως έχει προαναφερθεί, είναι να αποτελεί ένα ολοκληρωμένο και πολυπρισματικό εργαλείο για την επιλογή των κατάλληλων αναβαθμίσεων σε μια ανακαίνιση. Αν και σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε, ώστε να καλύπτει ένα εύρο φάσμα των δυνατοτήτων που έχει κάποιος σε μια ανακαίνιση, δεν παύει να αποτελεί ένα μικρό μέρος των δυνατοτήτων. Το γεγονός ότι η ομάδα υλοποίησης αποτελούνταν από ένα άτομο κατέστησε χρονικά αδύνατη την υλοποίηση περισσότερων μεθόδων. Για τον λόγο αυτόν επιλέχθηκαν επτά διαφορετικά κτίρια με

δέκα χαρακτηριστικά προς αναβάθμιση. Παρ' όλα αυτά, δόθηκε η δέουσα προσοχή στην επεκτασιμότητα αυτής, ώστε να είναι εφικτή η ενσωμάτωση επιπλέον μεθόδων.

### 7.3.2 Περιορισμοί στην Αρχιτεκτονική των κτιρίων

Δεδομένου ότι, προκείμενου να πραγματοποιηθεί μια προσομοίωση στο Energy Plus, τόσο η αρχιτεκτονική του κτιρίου, τοίχοι και ανοίγματα όσο και οι ιδιότητες τους πρέπει να ορισθούν μέσω του προγράμματος Sketch Up, χωρίς την δυνατότητα να γίνεται δυναμικά, καθώς δεν υπάρχει αντίστοιχο εργαλείο, τα κτίρια που χρησιμοποιήθηκαν δεν δίνουν στον χρήστη τη δυνατότητα να επιλέξει ακριβώς την αρχιτεκτονική του δικού του κτιρίου. Εφόσον επιθυμούμε να δώσουμε την δυνατότητα αυτήν στον χρήστη, θα πρέπει να σχεδιασθούν όσον δυνατόν περισσότερα διαφορετικά κτίρια για κάθε διαφορετικό εμβადόν και μέσω της εφαρμογής να δίνεται η δυνατότητα να επιλεγεί το κτίριο που προσομοιάζει περισσότερο στο εκάστοτε κτίριο του χρήστη. Το γεγονός ότι η ομάδα δεν διέθετε κάποιο αρχιτέκτονα, όσο και ότι αυτό θα ξέφευγε από τον στόχο της παρούσας διπλωματικής, κατέστησε άσκοπη τη σχεδίαση περισσότερων κτιρίων.

### 7.3.3 Περιορισμοί επιλογών στις δυνατότητες αναβάθμισης

Στην αγορά υπάρχει πληθώρα επιλογών όσον αφορά τόσο τα υλικά όσο και τις συσκευές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια ανακαίνιση, εξαιτίας αυτού δεν κατέστη δυνατόν να προσομοιωθούν όλα τα πιθανά σενάρια αναβαθμίσεων. Ως εκ τούτου, επιλέχθηκαν επιλεγμένα προϊόντα από κάθε κατηγορία που θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικά της και πληρούσαν τα κριτήρια της τιμής και της αποδοτικότητας που προσέφεραν.

### 7.3.4 Περιορισμοί εφαρμογής στις τιμές των καυσίμων

Οι τιμές των καυσίμων (ρεύμα, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ξύλο) δεν ταυτίζονται με αυτές που θα κληθεί να πληρώσει ο χρήστης. Συγκεκριμένα, οι τιμές των αγαθών διαφέρουν, τόσο από πάροχο σε πάροχο όσο και από ημέρα σε ημέρα. Επιπλέον, για να προβλεφθεί η απόσβεση των αναβαθμίσεων απαιτείται και η πρόβλεψη των τιμών των καυσίμων σε βάθος χρόνου τουλάχιστον 10 ετών. Αυτό από μόνο του αποτελεί ένα πρόβλημα που δεν είναι δυνατό να επιλυθεί από ένα μονάχα άτομο. Προκείμενου να υπερκεραστεί το ανωτέρω εμπόδιο χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές των καυσίμων κατά τη χρονική περίοδο που γραφόταν η παρούσα διπλωματική και λήφθηκε υπόψη η μέση τιμή των διαφόρων προμηθευτών, όπως αυτή καταγράφεται από τις αρμόδιες ρυθμιστικές αρχές.

## 7.4 Προτάσεις Εξέλιξης

Η διαδικτυακή εφαρμογή που αναπτύχθηκε αποτελεί μεν ένα ολοκληρωμένο εργαλείο που προτείνει λύσεις σε μια ανακαίνιση, ωστόσο είναι εφικτή η προσθήκη επιπλέον

λειτουργιών, ώστε να εμπλουτιστεί η λειτουργικότητά της και η εμπειρία του χρήστη σε αυτή.

Το εργαλείο που κατασκευάστηκε στο πλαίσιο της διπλωματική εργασίας υλοποιήθηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι εφικτή, όχι μόνο η προσθήκη εξ' ολοκλήρου νέων μεθόδων, αλλά και η επέκταση της ήδη υπάρχουσας μεθόδου για την κάλυψη περισσότερων σεναρίων χρήσης. Επιπλέον, η διαδικτυακή εφαρμογή και ο κώδικάς της προορίζονται για ανοιχτή χρήση, γεγονός που επιτρέπει σε όποιον προτίθεται να λάβει ένα αντίγραφο του κώδικα να μπορεί να τον επεκτείνει. Κάποιες επεκτάσεις που προτείνονται είναι οι ακόλουθες:

- Η προσθήκη νέων μεθόδων λήψης αποφάσεων θα έδινε τη δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει την πολυκριτήρια μέθοδο που επιθυμεί, προκειμένου αυτή να επιλέξει τις βέλτιστες αναβαθμίσεις. Ενδεικτικά, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και οι πολυκριτήριες μέθοδοι, όπως είναι η μέθοδος Promethee, η μέθοδος Electre και η μέθοδος Vikor .
- Η προσθήκη επιπλέον κριτηρίων λήψης αποφάσεων θα παρείχε μια πιο σφαιρική γνώση στον χρήστη για τα οφέλη κάθε αναβάθμισης. Συγκεκριμένα, κάποια επιπλέον κριτήρια που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν είναι το κριτήριο ανάγκης συντήρησης των αναβαθμίσεων σε βάθος χρόνου και το κριτήριο της προστιθέμενης αξίας που προσδίδει μια ανακαίνιση στη τιμή του κτιρίου στην αγορά .
- Σημαντική επέκταση στις δυνατότητες της εφαρμογής θα ήταν η προσθήκη περισσότερων κτιρίων, καθώς επίσης και μεταβλητών στο περιβάλλον του Energy Plus και επιλογών συσκευών.
- Εν κατακλείδι, υπάρχει η δυνατότητα, μέσω της χρήσης API, οι τιμές των καυσίμων να είναι πάντοτε επικαιροποιημένες, εφόσον αυτές λαμβάνονται από τις ιστοσελίδες των αντίστοιχων ρυθμιστικών αρχών.

## 8 Βιβλιογραφία

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), «Climate Change 2021 : The Physical Science Basis,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.ipcc.ch/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [2] NASA, «Effects of Climate Change,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://science.nasa.gov/climate-change>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [3] International Energy Agency (IEA), «World Energy Outlook 2022,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [4] European Union, «Official Journal of the European Union,» 30 June 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [5] European Commission, «EU Climate Action,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/climate-change/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [6] Greek Government Gazette, «National Climate Law 4936/2022 on the transition to climate neutrality and adaptation to climate change,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://climate-laws.org/document/national-climate-law-4936-2022-on-the-transition-to-climate-neutrality-and-adaptation-to-climate-change\\_2ff3](https://climate-laws.org/document/national-climate-law-4936-2022-on-the-transition-to-climate-neutrality-and-adaptation-to-climate-change_2ff3). [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [7] American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE), «The State of Energy Efficiency 2022,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.aceee.org/state-policy/scorecard>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [8] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), «Energy Star Program,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.energystar.gov/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [9] European Union, «eur-lex.europa.eu,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/EL/legal-content/summary/energy-efficiency.html>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [10] U.S. Energy Information Administration, «Residential Energy Consumption Survey (RECS,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.eia.gov/consumption/residential/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].

- [11] U.S. Energy Information Administration (EIA), «Manufacturing Energy Consumption Survey (MECS),» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.eia.gov/consumption/manufacturing/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [12] U.S. Department of Energy, «Alternative Fuels Data Center,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://afdc.energy.gov/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [13] U.S. Energy Information Administration (EIA), «Use of energy explained: Energy use for transportation,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/transportation.php>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [14] Jing Ma, Yongfei Sun, Shiang Zhang, «Experimental investigation on energy consumption of power battery integrated thermal management system,» 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126860>.
- [15] United States Department of Transportation, «Federal Transit Administration,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.transit.dot.gov/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [16] International Maritime Organization, «IMO,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.imo.org/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [17] Association of American Railroads (AAR), «Freight Railroads,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.aar.org/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [18] US Department of Transportation - Federal Aviation Administration, «Aviation and the Environment,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.faa.gov/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [19] Food and Agriculture Organization of the United Nations, «Energy for Agriculture,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.fao.org/energy/home/en/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [20] David Pimentel, Marcia Pimentel, «Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment,» 2003. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://doi.org/10.1093/ajcn/78.3.660S>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [21] Asea Brown Boveri (ABB), «Improving energy efficiency in the food and beverage industry,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.energyefficiencymovement.com/wp-content/uploads/2023/01/ABB\\_EE\\_2021-10-WhitePaper\\_Food\\_and\\_beverage.pdf](https://www.energyefficiencymovement.com/wp-content/uploads/2023/01/ABB_EE_2021-10-WhitePaper_Food_and_beverage.pdf). [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].

- [22] Eurostat, «Eurostat Data Browser,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg\\_bal\\_c/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_bal_c/default/table?lang=en). [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [23] Eurostat, «Energy statistics - an overview,» May 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy\\_statistics\\_-\\_an\\_overview#Final\\_energy\\_consumption](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption). [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [24] European Commission, EU Emissions Trading System (EU ETS), «climate.ec.europa.eu,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en). [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [25] European Commission, «The European Green Deal,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en). [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [26] European Commission, «The European Green Deal,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_en). [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [27] European Council Council of the European Union, «Fit for 55,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [28] Think Tank European Parliament, «Revising the Effort-sharing Regulation for 2021-2030 : 'Fit for 55' package,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS\\_BRI\(2021\)698812](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2021)698812). [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [29] European Commission, «The Just Transition Mechanism: making sure no one is left behind,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/finance-and-green-deal/just-transition-mechanism\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/finance-and-green-deal/just-transition-mechanism_en). [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [30] Sanja Filipović, Noam Lior, Mirjana Radovanović, «The green deal – just transition and sustainable development goals Nexus,» 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112759>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [31] ΚΑΠΕ, «Energy Efficiency trends and policies in Greece,» Νοέμβριος 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.odyssee-mure.eu/publications/national-reports/energy-efficiency-greece.pdf>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [32] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, «Εθνικό σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα,» Δεκέμβριος 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available:

- [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-01/el\\_final\\_necp\\_main\\_el\\_0.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-01/el_final_necp_main_el_0.pdf).  
[Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [33] «Ν. 4936/2022 ΦΕΚ 105 27 05 2022,» *Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας*.
- [34] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, «Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ.),» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://web.tee.gr/kenak/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [35] Wattwatchers, «[wattwatchers.com.au](http://wattwatchers.com.au),» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://wattwatchers.com.au/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [36] Energy Star, «[www.energystar.gov](http://www.energystar.gov),» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.energystar.gov/buildings/benchmark>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [37] Oracle, «Opower,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.oracle.com/utilities/opower-energy-efficiency/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [38] «[myemissions.co](http://myemissions.co),» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://myemissions.co/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [39] Trimble Inc, «[sketchup.com](http://sketchup.com),» 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.sketchup.com/en>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [40] «[energyplus.net](http://energyplus.net),» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://energyplus.net/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [41] Python Software Foundation, 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.python.org/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [42] Python Software Foundation, 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://pyri.org/project/errpy/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [43] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, «Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1 / 2010,» 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/totee/TOTEE-20701-1-Final-%D4%C5%C5-2nd.pdf>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [44] Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, «Building Energy Codes Program,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.energycodes.gov/prototype-building-models>. [Πρόσβαση 2024 Απριλίου 4].
- [45] «ΠΔ 335,» *ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ*, τόμ. Α, αρ. ΦΕΚ 143, 1993.

- [46] ΕΔΑ Θεσσαλονίκης, «Ανωτέρα Θερμογόνος Δύναμη,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.edathess.gr/gia-xristes-dianomis/anotera-thermogonos-dinami/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [47] «Tong, Y., Kozai, T., Nishioka, N., & Ohyama, K. (2010). Greenhouse heating using heat pumps with a high coefficient of performance (COP). *Biosystems engineering*, 106(4), 405-411.».
- [48] «Thiers, S., Aoun, B., & Peuportier, B. (2010). Experimental characterization, modeling and simulation of a wood pellet micro-combined heat and power unit used as a heat source for a residential building. *Energy and Buildings*, 42(6), 896-903.».
- [49] «Mitchell, J. W., & Braun, J. E. (2012). *Principles of heating, ventilation, and air conditioning in buildings*. John Wiley & Sons.».
- [50] «Priarone, A., Silenzi, F., & Fossa, M. (2020). Modelling heat pumps with variable EER and COP in energyplus: A case study applied to ground source and heat recovery heat pump systems. *Energies*, 13(4), 794.».
- [51] «O'neill, M. J. (1966). Measurement of Specific Heat Functions by Differential Scanning Calorimetry. *Analytical chemistry*, 38(10), 1331-1336.».
- [52] Ε.Γ. Δασκαλάκη, Κ. Δρούτσα, Κ.Α. Μπαλαράς, Σ. Κοντογιαννίδης, «Τυπολογία Ελληνικών Κτιρίων Κατοικίας - Δυναμικό Εξοικονόμησης Ενέργειας,» 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://episcopes.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/GR\\_TABULA\\_Typology\\_Brochure\\_NOA.pdf](https://episcopes.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/GR_TABULA_Typology_Brochure_NOA.pdf).
- [53] Google, «<https://angular.io/>,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://angular.io/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [54] «JavaScript.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.javascript.com/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [55] «html.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://html.com/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [56] Britannica, «CSS,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.britannica.com/technology/CSS-programming-language>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [57] «ionicframework.com,» Ionic, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://ionicframework.com/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].



- [58] «www.swift.org,» Apple Inc, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.swift.org/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [59] «kotlinlang.org,» Kotlin Foundation, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://kotlinlang.org/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [60] «Firebase,» Google LLC, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://firebase.google.com/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [61] «Kelemenis, A., & Askounis, D. (2010). A new TOPSIS-based multi-criteria approach to personnel selection. Expert systems with applications, 37(7), 4999-5008.».
- [62] statista.com, «Carbon-intensity-power-sector-greece,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.statista.com/statistics/1290229/carbon-intensity-power-sector-greece/>. [Πρόσβαση 4 Απρίλιος 2024].
- [63] «Conversion Guidelines - Greenhouse gas emissions - - EEA Grants" by European Environment Agency (EEA) page 24».
- [64] «Emissions from home energy use - Carbon Independent" by Carbon Independent».
- [65] «The Carbon Footprint of Pellet Heating" by the Pellet Fuel Institute page 1».
- [66] «Ye, S., & Tiong, R. L. (2000). NPV-at-risk method in infrastructure project investment evaluation. Journal of construction engineering and management, 126(3), 227-233.».