



Μελέτη Ενεργειακής Αναβάθμισης  
Κτιρίου με Εφαρμογή Ενεργητικών και  
Παθητικών Συστημάτων, με την χρήση  
του λογισμικού DesignBuilder

Τομέας: Ενέργεια

Επιβλέπων: Χρήστος Τζιβανίδης, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2023-24



Energy optimization study of building  
applying active and passive systems,  
using DesignBuilder

**Sector: Energy**

**Supervisor: Christos Tzivanidis, Professor NTUA**

**Athens 2023-24**

### **Ευχαριστίες**

*Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται ο κύκλος των σπουδών μου στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Χρήστο Τζιβανίδη, για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, μέσα από το οποίο είχα την ευκαιρία να αποκομίσω σημαντικές γνώσεις και να εμβαθύνω στον τομέα της θερμικής συμπεριφοράς κτιρίων. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Αγγελική Κιτσοπούλου για την άψογη συνεργασία, τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε και την προθυμία της να με βοηθήσει ανά πάσα χρονική στιγμή. Η καθοδήγηση της ήταν καθοριστικής σημασίας για την περάτωση της παρούσας εργασίας.*

Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική εργασία είναι του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Λύγουρη Θεοδώρα

## Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή .....	10
1.1	Πλαίσιο .....	10
1.2	Σκοπός, ερωτήματα και στόχοι .....	11
1.3	Οριοθέτηση.....	11
2.	Ενεργειακό Σύστημα.....	12
2.1	Ενεργειακή Φτώχεια.....	12
2.1.1	Ενεργειακή Φτώχεια στην Ελλάδα.....	13
2.2	Ενεργειακή Κατανάλωση στην Ελλάδα .....	15
2.2.1	Ενεργειακή Κατανάλωση στον Κτιριακό Τομέα στην Ελλάδα .....	18
2.2.2	Χαρακτηριστικά κτιριακού αποθέματος στην Ελλάδα .....	22
2.3	Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου .....	25
2.3.1	Fit for 55 – Ενεργειακή απόδοση κτιρίων .....	26
2.3.2	Εξέλιξη Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου στην Ελλάδα.....	27
2.4	Ενεργειακή Αποδοτικότητα και Εξοικονόμηση Ενέργειας.....	30
2.4.1	Ευρωπαϊκή Πολιτική.....	30
2.4.2	Εθνική Πολιτική .....	32
2.5	Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης.....	38
2.6	Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050.....	41
3.	Παθητικό Κτίριο – Nearly Zero Energy Building (NZEB) .....	42
3.1	Η έννοια του παθητικού κτιρίου .....	42
3.2	Πέντε Βασικές Αρχές.....	43
4.	Χρήση Έξυπνων Υλικών για Εξοικονόμηση Ενέργειας .....	45
4.1	Ψυχρά Υλικά .....	47
4.1.1	Μηχανισμός ψυχρών υλικών .....	47
4.1.2	Ιδιότητες ψυχρών υλικών.....	49
4.1.3	Αντοχή ψυχρών υλικών .....	49
4.1.4	Εφαρμογές ψυχρών υλικών σε κτίρια.....	50
4.2	Θερμοχρωμικά Υλικά.....	52
4.2.1	Θερμοχρωμικές Βαφές.....	54
4.2.2	Θερμοχρωμικοί Υαλοπίνακες.....	57
4.3	Υλικά αλλαγής φάσης.....	61
4.3.1	Κριτήρια επιλογής υλικών αλλαγής φάσης.....	62
4.3.2	Κατηγοριοποίηση των υλικών αλλαγής φάσης .....	64
4.3.3	Εφαρμογές υλικών αλλαγής φάσης σε κτίρια .....	67
5.	Λογισμικό Μοντελοποίησης DesignBuilder .....	69
5.1	Γενικά Χαρακτηριστικά.....	69
5.2	Περιβάλλον λογισμικού DesignBuilder .....	70
5.3	Υπολογισμοί λογισμικού DesignBuilder .....	72
5.3.1	Χαρακτηριστικά του EnergyPlus.....	73

6.	Μοντελοποίηση Κτιρίου Μελέτης με το λογισμικό DesignBuilder.....	75
6.1	Περιγραφή Κτιρίου Μελέτης.....	75
6.1.1	Δομικά Υλικά.....	79
6.1.2	Θέρμανση και Ψύξη Κτιρίου .....	86
6.1.3	Λοιπές Καταναλώσεις Ρεύματος.....	88
6.1.4	Αεροστεγανότητα (Airtightness) .....	91
6.1.5	Φυσικός Αερισμός (Natural Ventilation).....	91
6.1.6	Κλιματολογικά Δεδομένα .....	92
6.2	Επαλήθευση Μοντέλου Κτιρίου με το λογισμικό DesignBuilder.....	94
7.	Παρεμβάσεις για Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Κτιρίου .....	97
7.1	Παρεμβάσεις στο κέλυφος του κτηρίου .....	98
7.1.1	Μόνωση στην εξωτερική τοιχοποιία και την οροφή {1}.....	98
7.1.2	Αντικατάσταση παραθύρων {2} .....	104
7.1.3	Χρήση ψυχρής βαφής οροφής {3}.....	109
7.2	Παρεμβάσεις στο σύστημα θέρμανσης – ψύξης.....	113
7.2.1	Χρήση νέας αντλίας θερμότητας {4} .....	113
7.3	Συνδυασμός Παρεμβάσεων .....	116
7.3.1	Μόνωση τοιχοποιίας και αντικατάσταση παραθύρων {1-2}.....	116
7.3.2	Μόνωση τοιχοποιίας και χρήση ψυχρής βαφής οροφής {1-3} .....	119
7.3.3	Μόνωση τοιχοποιίας και χρήση νέας αντλίας θερμότητας {1-4}.....	123
7.3.4	Αντικατάσταση παραθύρων και χρήση ψυχρής βαφής οροφής {2-3}.....	126
7.3.5	Αντικατάσταση παραθύρων και χρήση νέας αντλίας θερμότητας {2-4}.....	129
7.3.6	Χρήση ψυχρής βαφής οροφής και νέας αντλίας θερμότητας {3-4} ...	132
7.3.7	Συνδυασμός όλων των παραπάνω παρεμβάσεων {1-2-3-4}.....	135
7.4	Σύνοψη – Σύγκριση Παρεμβάσεων.....	138
7.5	Εγκατάσταση Συστημάτων ΑΠΕ .....	141
	7.5.1 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού στην περίπτωση της υφιστάμενης κατάστασης	144
	7.5.2 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού στην περίπτωση του συνδυασμού όλων των παρεμβάσεων {1-2-3-4} .....	146
8.	Συμπεράσματα .....	150
9.	Προτάσεις μελλοντικής μελέτης .....	151
10.	Κατάλογος Πινάκων.....	152
11.	Κατάλογος Εικόνων .....	155
12.	Κατάλογος Διαγραμμάτων .....	157
13.	Βιβλιογραφία.....	161

## Περίληψη

Στη σύγχρονη εποχή, η παγκόσμια περιβαλλοντική και ενεργειακή κρίση επιβάλλουν τη λήψη δραστικών μέτρων για τον περιορισμό των ενεργειακών καταναλώσεων στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στην Ελλάδα το κτιριακό απόθεμα αποτελεί έναν ιδιαίτερα ενεργοβόρο τομέα, ο οποίος ευθύνεται για το 42.1% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στη χώρα. Για αυτό το λόγο, αδιαμφισβήτητη κρίνεται η αναγκαιότητα ριζικής αναβάθμισης του απαρχαιωμένου ελληνικού κτιριακού αποθέματος και η μετατροπή του σε υψηλής ενεργειακής απόδοσης και απαλλαγμένο από ανθρακούχες εκπομπές κτιριακό δυναμικό.

Η παρούσα εργασία, εξετάζοντας την υφιστάμενη κατάσταση του ελληνικού κτιριακού αποθέματος καθώς και τις συνθήκες ενεργειακής ένδειας που πλήττουν την πλειονότητα των Ελλήνων πολιτών, στοχεύει στην ανάδειξη της ανάγκης υιοθέτησης πολιτικής ενεργειακής εξοικονόμησης, μέσω των ενεργειακών αναβαθμίσεων των κτιρίων που συνθέτουν το δυναμικό της χώρας. Επιπρόσθετα, γίνεται αναφορά στα έξυπνα υλικά και αναλύεται πως οι εφαρμογές τους μπορούν να συμβάλουν θετικά στην ενεργειακή εξοικονόμηση στον κτιριακό τομέα.

Αναλυτικότερα, στο πλαίσιο των στόχων που θέτει αυτή η διπλωματική εργασία, πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση και ενεργειακή ανάλυση ενός κτιρίου. Ως κτιριακό μοντέλο χρησιμοποιήθηκε μια τυπική μονοκατοικία, κατασκευασμένη στην Αθήνα. Η μονοκατοικία διαθέτει καθορισμένη γεωμετρία και συγκεκριμένα χαρακτηριστικά λειτουργίας, ενώ οι παράμετροι που επηρεάζουν τις ενεργειακές απαιτήσεις της, αφορούν τα κατασκευαστικά και θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων και τις συνθήκες λειτουργίας του κτιρίου. Η προσομοίωση του κτιρίου και οι υπολογισμοί των ενεργειακών απαιτήσεων έγιναν με χρήση του λογισμικού DesignBuilder. Υπολογίσθηκαν, αρχικά, οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου σε θέρμανση, ψύξη και φωτισμό, ενώ ύστερα διερευνήθηκαν οι παρεμβάσεις που μπορούν να εφαρμοστούν για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου. Οι παρεμβάσεις αφορούσαν κυρίως το κέλυφος του κτιρίου, όπως για παράδειγμα η ενίσχυση της μόνωσης της τοιχοποιίας ή η χρήση έξυπνων υλικών, όπως ψυχρές επιστρώσεις και υλικά αλλαγής φάσης, αλλά και το σύστημα θέρμανσης και ψύξης.

Το περιθώριο εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα, καθώς χαρακτηρίζεται από ένα απαρχαιωμένο πλέον απόθεμα, είναι ιδιαίτερα μεγάλο. Η εφαρμογή ενεργειακών αναβαθμίσεων στα κτίρια, με τις μεθόδους που προτείνονται στην παρούσα εργασία, μπορεί να αποφέρει σημαντικά ενεργειακά κέρδη για την χώρα, συνδράμοντας στην επίτευξη της αυτονομίας της, ανεξαρτητοποιώντας την ενεργειακά.

## Abstract

Nowadays, the global environmental and energy crisis necessitate the implementation of drastic measures to limit energy consumption in the member states of the European Union. In Greece, the building sector constitutes a particularly energy-intensive area, responsible for 42.1% of the country's final energy consumption. Therefore, the necessity of radically upgrading the aging Greek building stock and converting it into high-energy performance and carbon-free buildings is unquestionable.

This thesis, through the examination of the existing building stock of Greece as well as the conditions of energy poverty that threatens the wellbeing of the majority of Greek citizens, aims to reveal the need of the implementation of an energy conservation political strategy, through the energy efficiency renovations of the country's building stock. In addition, reference is made to smart materials and it is analyzed how their applications can contribute positively to energy savings in the building sector.

More specifically, in the context of the objectives set by this thesis, modeling and energy analysis of a building was carried out. A typical single-family house, built in Athens, was used as a building model. The single-family house has a defined geometry and specific operating characteristics, while the parameters that affect its energy requirements concern the construction and thermophysical characteristics of the structural elements and the building's operating conditions. The building simulation and energy requirements calculations were done using DesignBuilder software. Initially, the building's energy requirements for heating, cooling and lighting were calculated, and then the interventions that can be implemented for the building's energy upgrade were investigated. The interventions mainly concerned the building shell, such as for example strengthening the insulation of the masonry or the use of smart materials, such as cold coatings and phase change materials, but also the heating and cooling system.

The margin of energy conservation in the building sector, as it is characterized outdated, is particularly wide. The implementation of energy efficiency renovations based on the methods proposed in this thesis, can bring significant energy profits for the country, by simultaneously contributing to the country's effort of achieving its autonomy, making it energy independent.



## Αρκτικόλεξα

ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΛΣΤΑΤ	Ελληνική Στατιστική Αρχή
ΕΣΕΚ	Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα
ΖΝΧ	Ζεστό Νερό Χρήσης
ΙΕΝΕ	Ινστιτούτο Ενέργειας ΝΑ Ευρώπης
ΚΑΠΕ	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας
ΚΕΝΑΚ	Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων
ΚΘΚ	Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων
ΠΕΑ	Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης
ΡΑΕ	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
ΤΕΕ	Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας
ΤΙΠ	Τόνος Ισοδύναμου Πετρελαίου
ΤΚΕ	Τελική Κατανάλωση Ενέργειας
ΤΟΤΕΕ	Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας
ΥΑΦ	Υλικά Αλλαγής Φάσης
ΥΠ	Υφιστάμενη Περίπτωση
ΥΠΕΝ	Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας
ΒΡΙΕ	Buildings Performance institute Europe
ΕΡΑΗ	Energy Poverty Advisory Hub
ΕΡΒΔ	The Energy Performance of Buildings Directive
ΕΡΣ	Expanded Polystyrene
ΕΥ ΒΣΟ	European Union Building Stock Observatory
ΙΕ	Infrared Emittance
ΙΡCC	The Intergovernmental Panel on Climate Change
LCST	Lower Critical Saturation Temperature
LHS	Latent Heat Storage
NOCT	Nominal Operating Cell Temperature
NZEB	Nearly Zero Energy Building
NIR	Near Infrared Region
PCM	Phase Change Materials
PVC	Polyvinylchloride
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance
SEER	Seasonal Energy Efficiency Rating
SHS	Sensible Heat Storage
SR	Solar Reflectance
TT	Transition Temperature

## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Πλαίσιο

Στη σύγχρονη εποχή η κλιματική αλλαγή αποτελεί αδιαμφισβήτητα έναν από τα σημαντικότερα προβλήματα. Η πρωτοφανής αύξηση της θερμοκρασίας, η μεταβολή των χαρακτηριστικών των βροχοπτώσεων, το λιώσιμο των πάγων και η αύξηση της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας συνιστούν μερικά μόνο από τα παραδείγματα που αποδεικνύουν καθημερινά την ύπαρξη και την ένταση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί κατά περίπου 1.2 °C, συγκρινόμενη με το θερμοκρασιακό επίπεδο που επικρατούσε πριν τη βιομηχανική εποχή, ενώ η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPPC)<sup>1</sup> προειδοποιεί ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 1.5 °C θα σηματοδοτήσει σοβαρές και μη αναστρέψιμες επιπτώσεις για το περιβάλλον και την κοινωνία.

Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής αποδίδεται κατά κύριο λόγο στην παρατηρούμενη αύξηση των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου, με σημαντικότερο το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), ως αποτέλεσμα των εκπομπών που προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η καύση ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας. Στα πλαίσια αντιμετώπισης του φαινομένου, η ευθύνη στρέφεται στην παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας στα κράτη-μέλη της ΕΕ, και στις κινητοποιήσεις που πρέπει να γίνουν σε αυτό τον τομέα για αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής κρίσης. Άλλωστε ο προσανατολισμός της ΕΕ δεν περιορίζεται μόνο στην επικράτηση περιβαλλοντικά φιλικών πηγών ενέργειας, αλλά και στην αυτή καθαυτή μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων.

Μεγάλο ποσοστό των ενεργειακών καταναλώσεων προέρχεται από τον κτιριακό τομέα, αυτό συμβαίνει καθώς το κτιριακό απόθεμα της Ευρώπης και κατ' επέκτασης της Ελλάδος είναι απαρχαιωμένο και μη φιλικό προς το περιβάλλον. Η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη των κατοικιών και των κτιρίων του τριτογενούς τομέα καταλαμβάνει ένα ιδιαίτερα μεγάλο μερίδιο αναφορικά στις ενεργειακές καταναλώσεις ανά τομέα στην Ευρώπη, γεγονός που δικαιολογεί τον χαρακτηρισμό του κτιριακού τομέα ως ενεργοβόρο.

Πιο συγκεκριμένα, στην Ελλάδα το κτιριακό απόθεμα αποτελεί έναν ιδιαίτερα ενεργοβόρο τομέα, ο οποίος ευθύνεται για το 42.1% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στη χώρα. Για αυτό το λόγο, αδιαμφισβήτητη κρίνεται η αναγκαιότητα ριζικής αναβάθμισης του απαρχαιωμένου ελληνικού κτιριακού αποθέματος και η μετατροπή του σε υψηλής ενεργειακής απόδοσης και απαλλαγμένο από ανθρακούχες εκπομπές κτιριακό δυναμικό, μέσω τεχνοοικονομικά βέλτιστων προσεγγίσεων ανακαίνισης.

---

<sup>1</sup> International Plant Protection Convention - IPPC

## 1.2 Σκοπός, ερωτήματα και στόχοι

---

Η επιδείνωση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής και της ενεργειακής φτώχειας απαιτούν την υιοθέτηση καθοριστικών μεθόδων ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων. Σκοπός είναι η ανάδειξη μίας πραγματοποιήσιμης μεθόδου κατασκευής και ανακαίνισης κτιρίων, καθιστώντας τα έως και ενεργειακά αυτόνομα, προστατεύοντας με αυτόν τον τρόπο το περιβάλλον, αλλά και συμβάλλοντας στην προσπάθεια κατάργησης της χρήσης των ορυκτών καυσίμων.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η επισκόπηση των ενεργειακών απαιτήσεων του εθνικού κτιριακού αποθέματος με χρήση μίας κατοικίας της Ελλάδος, μέσω του υπολογισμού των ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση, ψύξη και φωτισμό, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης στην οποία ανήκει. Επιπλέον, διερευνώνται οι παρεμβάσεις που μπορούν να εφαρμοστούν για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου.

## 1.3 Οριοθέτηση

---

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, γίνεται η μοντελοποίηση μιας υφιστάμενης κατοικίας της Ελλάδος και εξετάζονται οι παρεμβάσεις που απαιτούνται προκειμένου να μειώσει τις ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης, και γενικότερα την ελαχιστοποίηση χρήσης πρωτογενούς ενέργειας. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αφορούν μόνο τις παρεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν, σε πειραματικό επίπεδο, με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα ενεργειακά ισοζύγια αρχικά της υφιστάμενης κατάστασης και ύστερα, μέσω της συνεισφοράς των παρεμβάσεων, υπολογίζονται και τα ενεργειακά ισοζύγια των αναβαθμισμένων καταστάσεων. Τα δεδομένα, τα οποία δεν συμπεριλαμβάνονται στα αποτελέσματα της μελέτης είναι τα οικονομοτεχνικά, όπως ο υπολογισμός εξόδων αυτών των αναβαθμίσεων, η δυνατότητα χρήσης κάποιου επενδυτικού ή δανειστικού προγράμματος ή ακόμα και ο χρόνος υλοποίησης των παραπάνω παρεμβάσεων.

## 2. Ενεργειακό Σύστημα

### 2.1 Ενεργειακή Φτώχεια

Η **ενεργειακή ένδεια** ή, αλλιώς, ενεργειακή φτώχεια αποτελεί ένα ιδιαίτερα σοβαρό φαινόμενο με ποικίλες προεκτάσεις και συνέπειες στην οικονομία, στην πολιτική, στην κοινωνία, στην υγεία και στο περιβάλλον των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η επίλυση των προβλημάτων που επιφέρει στη σύγχρονη κοινωνία αποτελεί παγκόσμια πρόκληση. Το φαινόμενο της ενεργειακής ένδειας πλήττει πάνω από 50 εκατ. πολίτες, καθώς πλέον δεν υφίσταται μόνο στις λιγότερο πλούσιες ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Ελλάδα, αλλά εντείνεται και στις πιο οικονομικά δυνατές.

Η ενεργειακή φτώχεια, γίνεται ολοένα και πιο αντιληπτό ως πρόβλημα και οι πιο σύνηθες μορφές της είναι όταν οι λογαριασμοί ενέργειας αντιπροσωπεύουν υψηλό ποσοστό του εισοδήματος των καταναλωτών, επηρεάζοντας την ικανότητα τους να καλύπτουν άλλα έξοδα και δαπάνες ή όταν οι καταναλωτές αναγκάζονται να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας του νοικοκυριού τους και κατά συνέπεια να στερηθούν βασικά αγαθά. Η επαρκής θέρμανση, το ζεστό νερό, η ψύξη, ο φωτισμός και η ενέργεια για την τροφοδοσία συσκευών είναι βασικές υπηρεσίες που απαιτούνται για την εξασφάλιση βασικών επιπέδων και αξιοπρεπών προτύπων διαβίωσης και υγείας.

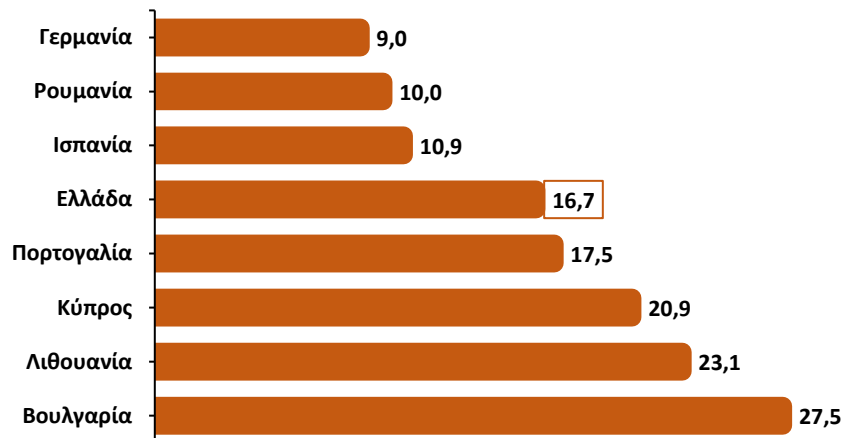
Η πανδημία και οι αυξανόμενες τιμές των ενοικίων έχουν εντείνει ένα μακροχρόνιο πρόβλημα που οφείλεται στον συνδυασμό υψηλού ενεργειακού κόστους, χαμηλού εισοδήματος των νοικοκυριών και υψηλής κατανάλωσης ενέργειας λόγω της χαμηλής ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων κατοικίας. Εκατομμύρια άνθρωποι σε όλη την Ευρώπη δεν είχαν τη δυνατότητα να ζεστάνουν επαρκώς τα σπίτια τους τον χειμώνα του 2021-22, όταν ξεκίνησε η τελευταία ενεργειακή κρίση, λόγω της αύξησης των τιμών του φυσικού αερίου, του πετρελαίου θέρμανσης και του ηλεκτρικού ρεύματος, σε συνδυασμό με τα διαδοχικά κύματα ανατιμήσεων των βασικών καταναλωτικών αγαθών [1].

Πρέπει να σημειωθεί, ότι για πρώτη φορά στα Εθνικά Σχέδια για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), τα οποία υποβλήθηκαν το 2018 από όλα τα κράτη-μέλη, γίνεται αναφορά στην ανάγκη αντιμετώπισης της ενεργειακής φτώχειας. Παρόλα αυτά, διακρίνεται μια δυσκολία απέναντι στον ακριβή ορισμό του φαινομένου, καθώς δεν υπάρχει ακόμα μια κοινή οριοθέτησή του. Παρότι δεν υπάρχει ένας κοινός ευρωπαϊκός ορισμός για το φαινόμενο, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αναγνωρίσει την κρισιμότητα του φαινομένου και τον αρνητικό αντίκτυπο που έχει, ο οποίος μεταφράζεται σε σοβαρά προβλήματα υγείας, αποστέρησης και κοινωνικής απομόνωσης. Αξίζει να επισημανθεί, πως μόνο η Ελλάδα έχει θέσει στο Εθνικό της Σχέδιο συγκεκριμένο ποσοτικό στόχο για τη μείωση της ενεργειακής φτώχειας κατά 50% έως το 2025 και κατά 75% έως το 2030 [2].

### 2.1.1 Ενεργειακή Φτώχεια στην Ελλάδα

Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο για την Ενεργειακή Φτώχεια [3], εκτιμάται ότι το 11% του πληθυσμού της ΕΕ έρχονται αντιμέτωπα με το φαινόμενο και τις επιπτώσεις της ενεργειακής φτώχειας. Μεταξύ των χωρών της ΕΕ, η Ελλάδα καταλαμβάνει την 5<sup>η</sup> θέση στην κατάταξη για την ενεργειακή ένδεια. Πιο συγκεκριμένα, Στην Ελλάδα, το 2020, το 16,7% των νοικοκυριών αδυνατούσαν να διατηρήσουν την κατοικία τους επαρκώς ζεστή, ακολουθώντας τη Βουλγαρία: 27,5%, τη Λιθουανία: 23,1%, την Κύπρο: 20,9% και την Πορτογαλία: 17,5%, ενώ ο μέσος όρος στην ΕΕ κυμαινόταν στο 8,2% [4].

Στην **Διάγραμμα 1** απεικονίζονται οι οχτώ πρώτες χώρες της κατάταξης για την ενεργειακή ένδεια, δηλαδή οι χώρες της ΕΕ με τα μεγαλύτερα ποσοστά νοικοκυριών που δεν ήταν σε θέση να θερμάνουν επαρκώς τα σπίτια τους το 2020.



**Διάγραμμα 1. Οι χώρες της ΕΕ με τα μεγαλύτερα ποσοστά νοικοκυριών που δεν μπορούσαν να θερμάνουν επαρκώς τα σπίτια τους το 2020 (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [5])**

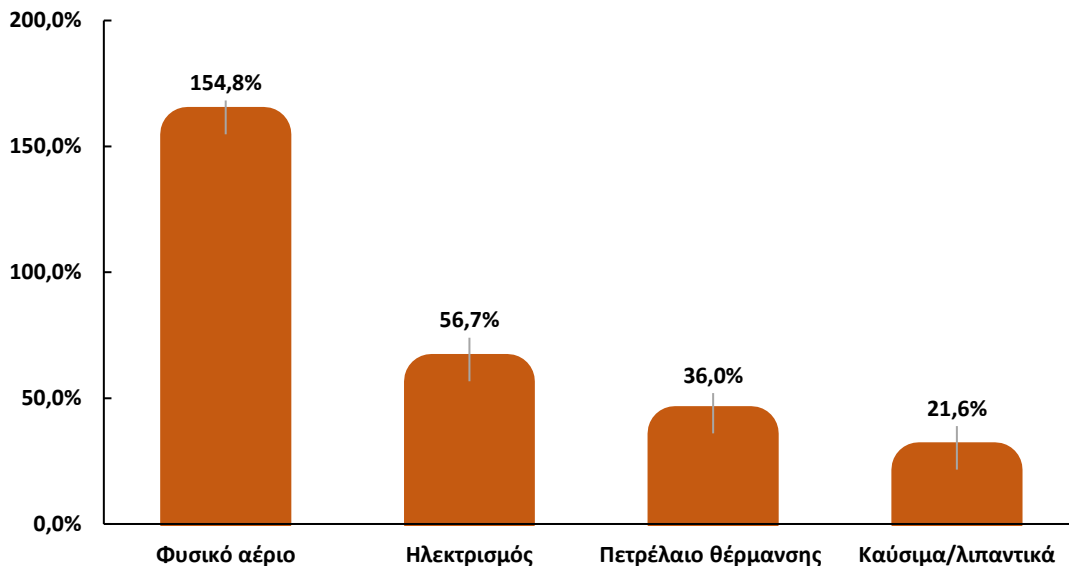
Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ, σε σχέση με τρεις βασικούς δείκτες αποτύπωσης της ενεργειακής φτώχειας, για το 2020 στην Ελλάδα το 16,7% των νοικοκυριών αντιμετωπίζουν οικονομική αδυναμία κάλυψης ικανοποιητικής θέρμανσης, το 28,2% δηλώνει δυσκολία στην έγκαιρη πληρωμή πάγιων λογαριασμών, όπως αυτών του ηλεκτρικού ρεύματος, του νερού, του φυσικού αερίου, κ.λπ. Το 12,5% ζουν σε κατοικίες με διαρροή στη στέγη, υγρασία σε τοίχους, πατώματα, θεμέλια ή σάπια κουφώματα. Όταν οι αντίστοιχοι ευρωπαϊκοί μέσοι όροι (ΕU27) είναι 8,2%, 6,3% και 14% [6].

Σύμφωνα με έρευνα για την επίδραση της ενεργειακής φτώχειας στην υγεία, που αναφέρεται στη μελέτη του ιδρύματος Heinrich Böll Stiftung [7], το 1% έως 2,7% των θανάτων που καταγράφονται ετησίως στην Ελλάδα, όπως και το 2,7% έως 7,4% των καρδιαγγειακών νοσημάτων και το 3,1% έως 8,5% των αναπνευστικών λοιμώξεων που

αντιμετωπίζονται από τα ελληνικά νοσοκομεία, οφείλονται στην ενεργειακή φτώχεια. Ο δείκτης της αυξημένης θνησιμότητας συνδέεται άμεσα με τα έντονα καιρικά φαινόμενα και, επομένως, με την ιδιαίτερα χαμηλή ή αυξημένη θερμοκρασία εντός της κατοικίας.

Συγκεκριμένα για τον δήμο της Αθήνας παρατηρείται σημαντική γεωγραφική διάχυση της εγκατάλειψης και των χαμηλών ενεργειακών προδιαγραφών των κτιρίων, της φτώχειας και της μείωσης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, εντοπίζονται περιοχές, όπου τα προβλήματα είναι ιδιαίτερα οξυμένα. Ξεχωρίζει η ζώνη που περιλαμβάνει μέρος του ιστορικού κέντρου της Αθήνας και των περιοχών βόρεια από αυτό, δηλαδή σε Πατήσια, Σεπόλια, Κυψέλη, κτλ. Στη ζώνη αυτή συγκεντρώνονται χαμηλά εισοδηματικά στρώματα και απαρχαιωμένο κτιριακό δυναμικό [8].

Η αδυναμία επένδυσης για την επισκευή ακινήτων και η στασιμότητα στην προσφορά νέων κατοικιών τη δεκαετία της οικονομικής ύφεσης έχουν συνδράμει στην κατάσταση αυτή. Τα κύματα ανατιμήσεων το χειμώνα του 2021-2022 έφεραν δυσβάστακτες αυξήσεις στην ηλεκτρική ενέργεια και στην ενέργεια θέρμανσης, πλήττοντας περαιτέρω τα νοικοκυριά. Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ σχετικά με τις κυριότερες μεταβολές τιμών από τη σύγκριση δεικτών Ιανουαρίου 2021 με Ιανουάριο 2020, στον ηλεκτρισμό σημειώθηκε αύξηση 56,7%, στο πετρέλαιο θέρμανσης 36% και στο φυσικό αέριο 154,8% [6].



**Διάγραμμα 2. Αυξήσεις τιμών στην ηλεκτρική ενέργεια και ενέργεια θέρμανσης [6]**

Τέλος, σημαντικό αντίκτυπο στις ενεργειακές ανάγκες είχαν τα περιοριστικά μέτρα λόγω του COVID-19. Το μεγαλύτερο ποσοστό των πολιτών βρίσκονται πλέον περισσότερο χρόνο στο σπίτι, το οποίο συνεπάγεται αύξηση της χρήσης των ηλεκτρικών συσκευών, καθώς και της θέρμανσης μεταξύ 1 και 5 ωρών τη μέρα [8]. Ενώ επίσης, επήλθαν αλλαγές στην εργασιακή κατάσταση των πολιτών και το βασικότερο, υπήρξε μείωση στο εισόδημά τους.

## 2.2 Ενεργειακή Κατανάλωση στην Ελλάδα

Μέχρι το 2050 η Ελλάδα, όπως και οι υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες, θα πρέπει να γίνει “κλιματικά ουδέτερη”. Για να γίνει αυτή η μετάβαση εφικτή πρέπει να αντιμετωπισθούν τα προβλήματα του ελληνικού ενεργειακού τομέα.

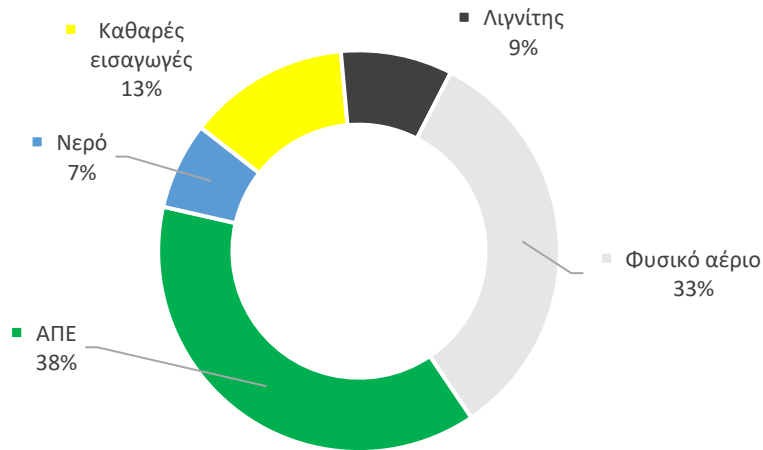
Η Ελλάδα παραμένει μια οικονομία που στηρίζεται στα ορυκτά καύσιμα, όπως ο άνθρακας το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο και έχει μεγάλη εξάρτηση από εισαγωγές πρωτογενούς ενέργειας. Η μέση ετήσια εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας το 2023 ανήλθε στις 9.97 TWh, αυξημένη κατά 13% σε σύγκριση με το 2022. Με αυτόν τον τρόπο, η Ελλάδα παραμένει καθαρά εισαγωγός χώρα σε ηλεκτρισμό το 2023, με συνολικές καθαρές εισαγωγές της τάξεως των 5.91 TWh, αυξημένες κατά 54% σε ετήσια σύγκριση με το 2022, όπου ήταν της τάξεως των 3.5 TWh. Να σημειωθεί, επίσης ότι η μέση ετήσια εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας το 2023 ανήλθε στις 4.07 TWh, μειωμένη κατά 18% συγκριτικά με το 2022 [9].

Πιο συγκεκριμένα, για το έτος 2023, οι τιμές που σημειώθηκαν για τον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο στην Ελλάδα είναι χαμηλότερες συγκριτικά με του έτους 2022, σύμφωνα με το ετήσιο δελτίο ενεργειακής ανάλυσης του Ινστιτούτου Ενέργειας ΝΑ Ευρώπης (IENE) [9].

Σύμφωνα με το δελτίο ενεργειακής ανάλυσης του IENE επισημαίνεται ακόμα ότι χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στην ηλεκτροπαραγωγή το 2023 παρουσιάζει αύξηση κατά 7%, συγκριτικά με το 2022. Επίσης, η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ το 2023 ανήλθε σε 17.4 TWh, παραμένοντας περίπου στα ίδια επίπεδα με το 2022 [9].

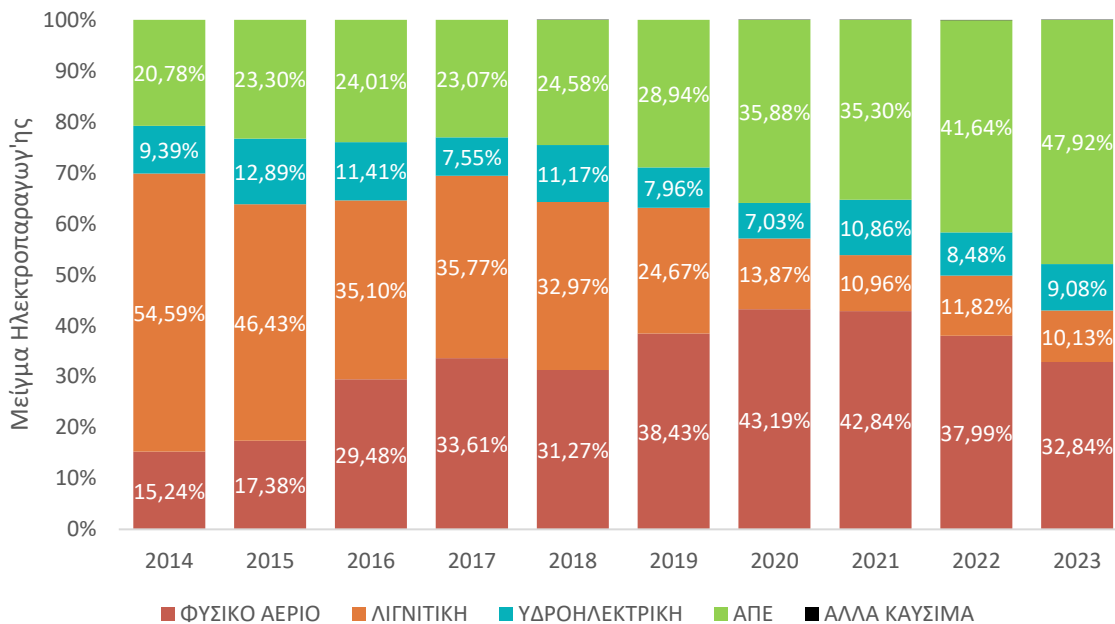
Ύστερα, μεταξύ των σημαντικότερων συμπερασμάτων περιλαμβάνεται και η μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας και του φυσικού αερίου το 2023 στην Ελλάδα. Όσον αναφορά τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, υπολογίσθηκε περίπου στις 48.5 TWh το 2023, με χαμηλότερη δηλαδή από το προηγούμενο έτος, όπου ήταν 51.9 TWh [9].

Σε πορεία αποκλιμάκωσης βρίσκονται και οι τιμές για το φυσικό αέριο στο εμπόριο, με την μέση τιμή για το 2023 να εκτιμάται ίση με 40.7 €/MWh σε αντίθεση με 46.9 €/MWh του έτους 2022. Έπειτα, μειωμένη εμφανίζεται και η χρήση φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή το 2023, καταλαμβάνοντας το 33% του μίγματος καυσίμου, σε σύγκριση με το 2022 που ανήλθε στο 38% [9]. Ενώ και η παραγωγή ενέργειας από φυσικό αέριο μειώθηκε κατά 18% σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος.



**Διάγραμμα 3. Μείγμα καυσίμου στην ηλεκτροπαραγωγή το 2023 (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [9])**

Στο πλαίσιο του στόχου της απολιγνιτοποίησης της χώρας, που τέθηκε σε εφαρμογή κατά την προηγούμενη 10ετία, έως το 2023 καταγράφηκε συρρίκνωση της λιγνιτικής παραγωγής από το 50% σε 10% του ενεργειακού μείγματος [10], με την αντικατάστασή της από το φυσικό αέριο και τις ΑΠΕ, συμβαδίζοντας με την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία.

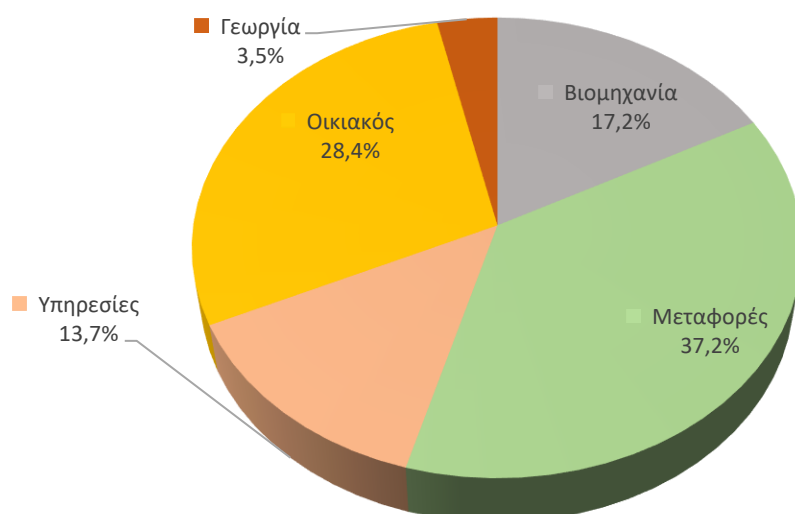


**Διάγραμμα 4. Η 10ετία της απολιγνιτοποίησης, εξέλιξη του μείγματος ηλεκτροπαραγωγής (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [10])**



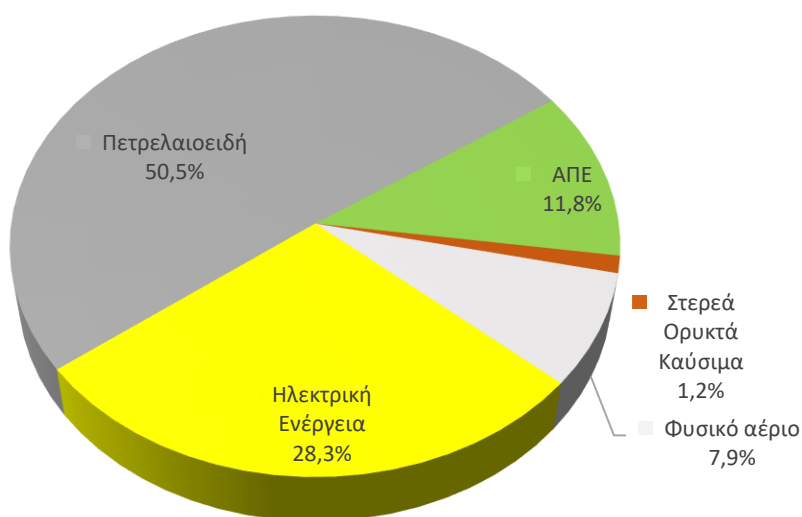
Στη συνέχεια, σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στατιστικά δεδομένα της Eurostat [5], με έτος αναφοράς το έτος 2021, προκύπτουν τα στατιστικά για την τελική κατανάλωση ενέργειας, με άλλα λόγια την κατανάλωση ενέργειας των τελικών χρηστών, όπως η βιομηχανία, οι μεταφορές, τα νοικοκυριά, οι υπηρεσίες και η γεωργία. Εξαιρούνται η κατανάλωση του ίδιου του ενεργειακού τομέα και οι απώλειες που σημειώνονται κατά τη μετατροπή και τη διανομή ενέργειας, όπως οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Αποκλείει επίσης κάθε μη ενεργειακή χρήση φορέων ενέργειας, όπως το φυσικό αέριο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή χημικών ουσιών. Οι ποσότητες που παραδίδονται σε διεθνείς αεροπορικές και διεθνείς θαλάσσιες δεξαμενές εξαιρούνται επίσης από την τελική κατανάλωση ενέργειας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι για το 2021, ο τομέας των μεταφορών έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά ως μερίδιο στην τελική ενεργειακή κατανάλωση, με μερίδιο 37,2%, ενώ επίσης, σημαντική είναι η συμμετοχή τόσο του οικιακού όσο και του βιομηχανικού τομέα, με μερίδιο 28,4% και 17,2% αντίστοιχα [9].



**Διάγραμμα 5. Ποσοστιαία κατανομή κλάδων στην τελική κατανάλωση ενέργειας, Ελλάδα 2021 (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [9])**

Έπειτα, στο παρουσιάζεται η συνεισφορά των διαφόρων τύπων καυσίμων στην τελική κατανάλωση ενέργειας κατά το έτος 2021. Το μεγαλύτερο μερίδιο στους τομείς τελικής χρήσης αντιστοιχεί στην κατανάλωση πετρελαιοειδών προϊόντων, με μερίδιο 50,5%, ενώ ακολουθούν η ηλεκτρική ενέργεια, η χρήση ΑΠΕ και το φυσικό αέριο με ποσοστά 28,3%, 11,8% και 7,9% αντίστοιχα [9]. Η κατανάλωση στερεών καυσίμων και πετρελαιοειδών στους τομείς τελικής χρήσης μειώθηκε σημαντικά το 2021, σε σχέση με τα επίπεδα κατανάλωσης προηγούμενων ετών. Η μείωση αυτή σε μεγάλο βαθμό αντισταθμίζεται από την αύξηση χρήσης των ΑΠΕ και της κατανάλωσης φυσικού αερίου.



**Διάγραμμα 6. Συμμετοχή καυσίμων στην τελική ενεργειακή κατανάλωση, Ελλάδα 2021 (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [9])**

Τέλος, παρά την σταθερά αυξανόμενη διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο εθνικό ενεργειακό μίγμα κατά την τελευταία δεκαετία, ο δείκτης ενεργειακής εξάρτησης κινείται σε αντίθετη κατεύθυνση, καταγράφοντας σημαντική επιδείνωση. Αυτό συμβαίνει, κυρίως λόγω αύξησης του μεριδίου του εισαγόμενου πετρελαίου και των ορυκτών καυσίμων. Πιο συγκεκριμένα, το μερίδιο των εισαγωγών πετρελαίου και πετρελαϊκών προϊόντων το 2021 ανερχόταν σε 93,1%, του φυσικού αερίου σε 99,4% [9].

### 2.2.1 Ενεργειακή Κατανάλωση στον Κτιριακό Τομέα στην Ελλάδα

Η Ευρωπαϊκή Ένωση δεσμεύθηκε να εξοικονομηθεί το 20% της προβλεπόμενης κατανάλωσης ενέργειας των κρατών μελών της Ε.Ε. έως το 2020 και το 32,5% έως το 2030 [11]. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων αποτελεί βασικό εργαλείο για την επίτευξη αυτών των στόχων. Τα κτίρια στην Ε.Ε. ευθύνονται για το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και στην Ελλάδα για το 41.2% και καταναλώνουν το μεγαλύτερο μερίδιο ενέργειας, έχοντας παράλληλα το μεγαλύτερο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας.

Ο ελληνικός τομέας των κτηρίων έχει έντονο ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα, λόγω χρήσης πρωτογενών υλών, κατανάλωσης φυσικών πόρων και παραγωγής ρύπων και αποβλήτων. Επιπλέον, τα ελληνικά κτήρια χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερος ενεργοβόρος κυρίως λόγω της παλαιότητάς και της μη ενσωμάτωσης σύγχρονης τεχνολογίας σε αυτά. Τα περισσότερα αντιμετωπίζουν ζητήματα όπως: η μερική ή παντελή έλλειψη θερμομόνωσης, παλαιάς τεχνολογίας κουφώματα, μη επαρκή αξιοποίηση του υψηλού ηλιακού δυναμικού

της χώρας και ανεπαρκή συντήρηση συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού, με αποτέλεσμα την χαμηλή τους απόδοση.

Ο κτιριακός τομέας διευρύνεται, με επακόλουθο την αύξηση της ενεργειακής του κατανάλωσης. Συνεπώς, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και η χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στον κτιριακό τομέα αποτελούν σημαντικά μέτρα που απαιτούνται για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

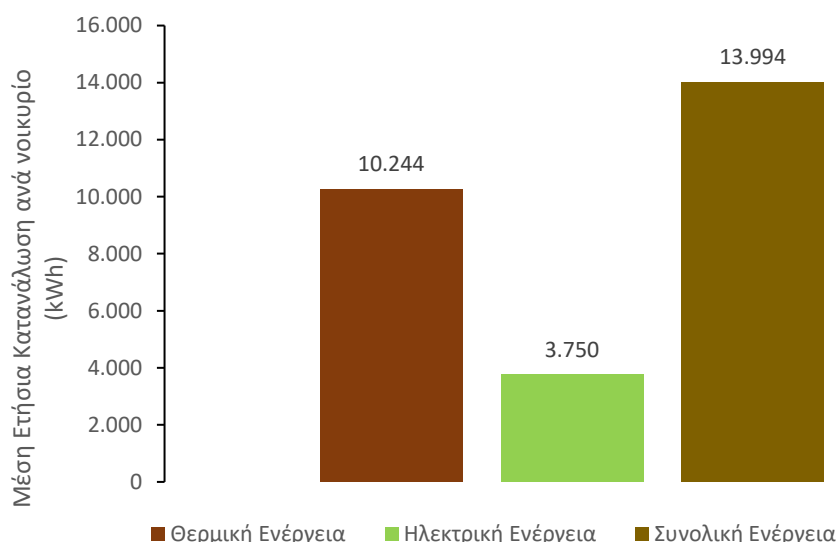
**Τα κτίρια έχουν επιπτώσεις στην κατανάλωση ενέργειας μακροπρόθεσμα.** Λόγω του πολυετούς κύκλου ανακαίνισης των υφιστάμενων κτιρίων, τα νέα κτίρια και τα υφιστάμενα κτίρια που υφίστανται ανακαίνιση μεγάλης κλίμακας πρέπει να ικανοποιούν τις ελάχιστες απαιτήσεις όσον αφορά στην ενεργειακή απόδοση προσαρμοσμένες στο τοπικό κλίμα. Οι μεγάλης κλίμακας ανακαινίσεις (ριζικές ανακαινίσεις) υφιστάμενων κτιρίων, ανεξάρτητα από το μέγεθος, δίνουν ευκαιρία για τη λήψη οικονομικώς συμφερόντων μέτρων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών και οικονομικά αποτελεσματικών τεχνολογιών είναι δυνατή η επίτευξη σημαντικής βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας των υφιστάμενων παλαιών κτιρίων, με σημαντικά περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη.

Με την αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας, οι πολίτες μπορούν να μειώσουν τους λογαριασμούς τους που αφορούν στην κατανάλωση ενέργειας, να προστατεύσουν την υγεία τους και το περιβάλλον, καθώς και να βελτιώσουν την ποιότητα του αέρα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας [6], κατά μέσο όρο, κάθε νοικοκυριό της χώρας καταναλώνει 13.994 kWh ετησίως για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του. Το ποσοστό που αναλογεί στην καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια είναι ίσο με 73%, το οποίο αντιστοιχεί σε 10.244 kWh, ενώ αυτό που απομένει είναι ηλεκτρική ενέργεια.

Η κατανάλωση θερμικής ενέργειας υπολογίσθηκε βάσει των δαπανών για θέρμανση, παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX) και μαγείρεμα, όπως αυτές καταγράφηκαν σε συνδυασμό με τις μέσες τιμές των καυσίμων κατά τις περιόδους αναφοράς των δαπανών και την καθαρή θερμογόνο δύναμη κάθε καυσίμου. Αντίστοιχα, η εκτίμηση της ηλεκτρικής ενέργειας προσεγγίστηκε βάσει των δαπανών για ηλεκτρική ενέργεια, όπως αυτές καταγράφηκαν από τα νοικοκυριά, στην αντίστοιχη μέση τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους αναφοράς των δαπανών, καθώς και τα χαρακτηριστικά και τη χρήση των ηλεκτρικών συσκευών που διαθέτουν τα νοικοκυριά.

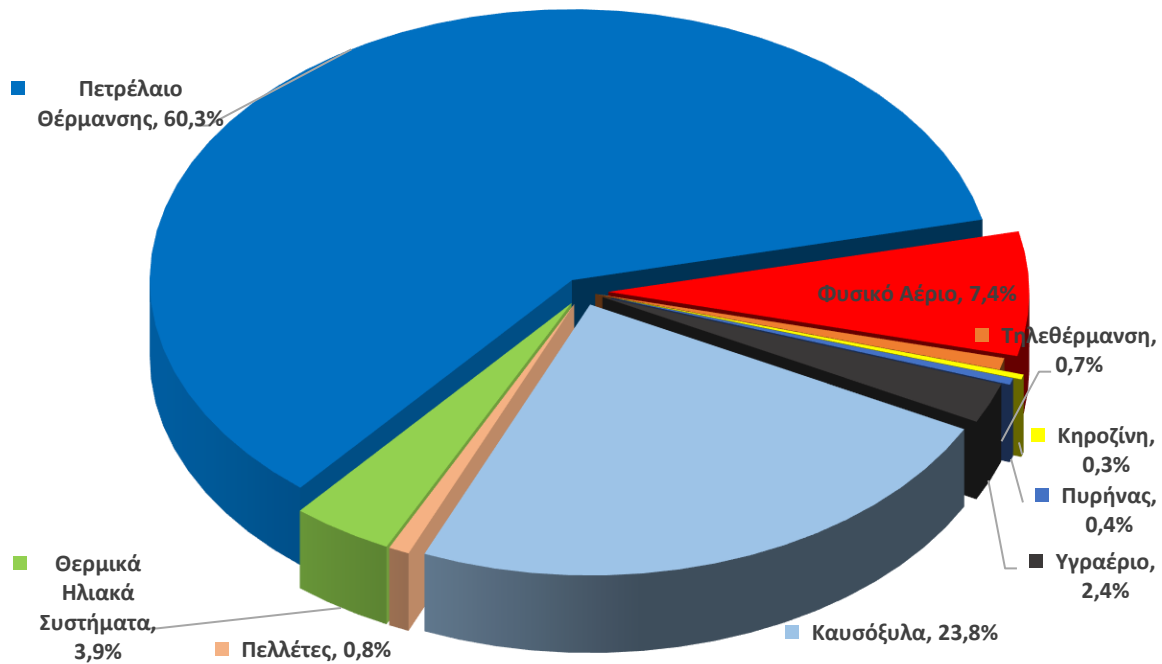
Στο **Διάγραμμα 7** απεικονίζεται η μέση ετήσια κατανάλωση ανά νοικοκυριό και η αναλογία μεταξύ θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας.



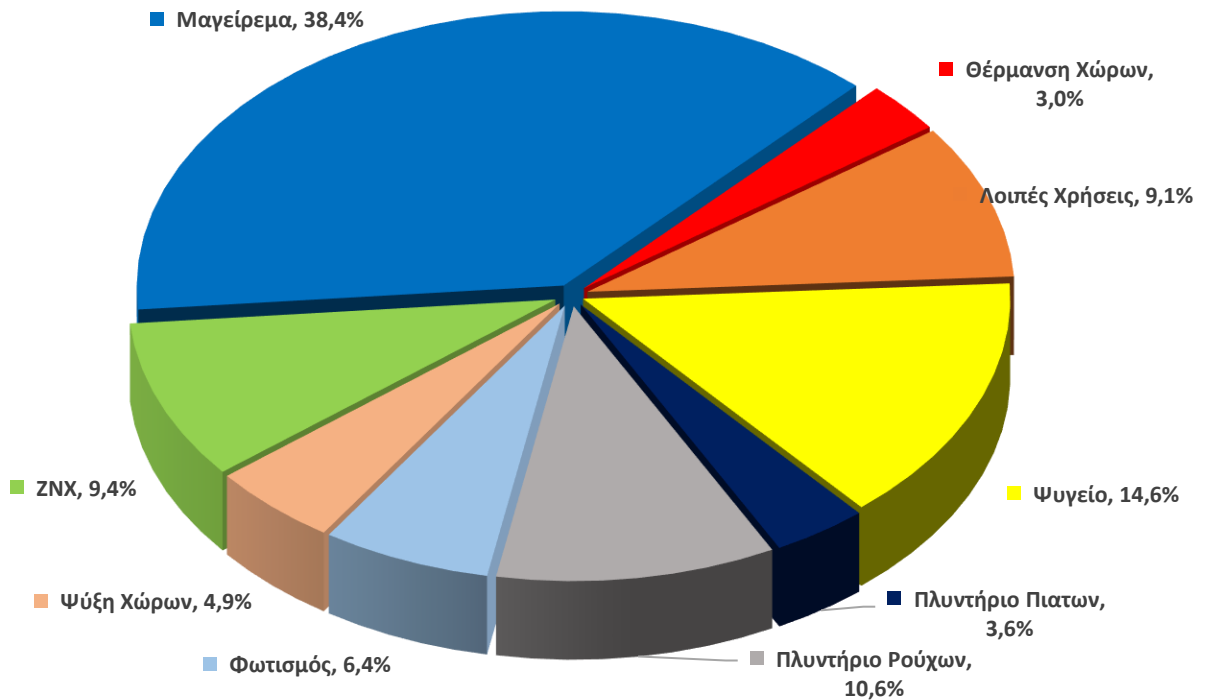
**Διάγραμμα 7. Μέση Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας ανά νοικοκυριό (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [6])**

Πιο συγκεκριμένα, από τα αποτελέσματα της έρευνας προέκυψε η ποσοστιαία (%) κατανομή της θερμικής και ηλεκτρικής κατανάλωσης ενέργειας κατά τελική χρήση. Συνοπτικά, παρατηρείται ότι σε ποσοστό 85.9% η θερμική ενέργεια που καταναλώνεται είναι για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης των κατοίκων και ότι κατά μέσο όρο, το 38.4% της συνολικής ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται από ένα νοικοκυριό είναι για το μαγείρεμα, το 14.7% για τη λειτουργία του ψυγείου, το 10.6% για τη λειτουργία του πλυντηρίου ρούχων και, μόλις το 6.6% για το φωτισμό και το 4.9% για την ψύξη της κατοικίας [6].

Η μέση ετήσια κατανάλωση θερμικής ενέργειας κατά τύπο καυσίμου παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 8**, ενώ το **Διάγραμμα 9**, που ακολουθεί, παρουσιάζει την κατανομή της ηλεκτρικής ενέργειας ανά τελική χρήση.



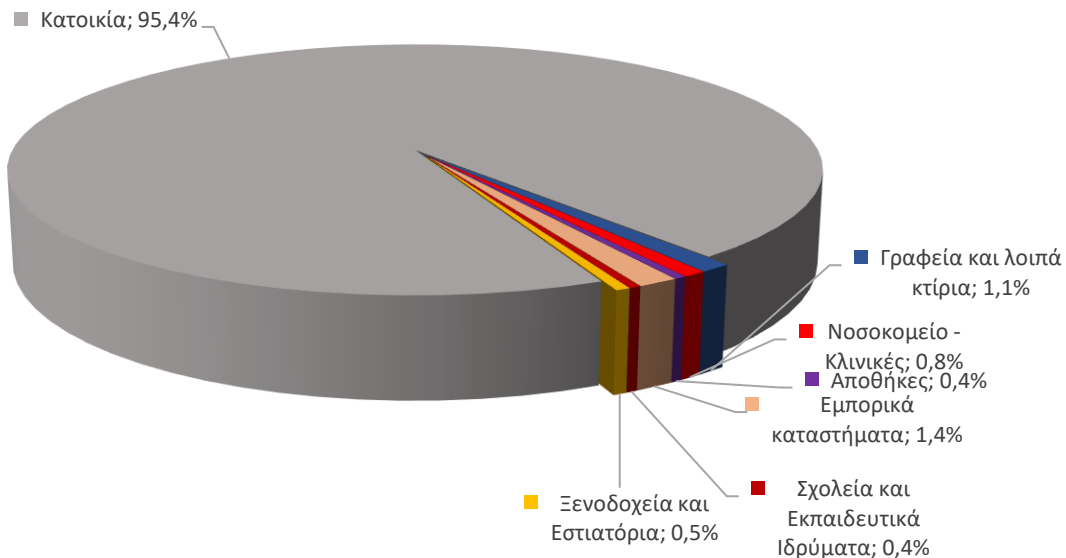
**Διάγραμμα 8. Ποσοστιαία (%) κατανομή κατανάλωσης θερμικής ενέργειας κατά τύπο καυσίμου (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [6])**



**Διάγραμμα 9. Ποσοστιαία (%) κατανομή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τελική χρήση (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [6])**

### 2.2.2 Χαρακτηριστικά κτιριακού αποθέματος στην Ελλάδα

Το ελληνικό κτιριακό απόθεμα αποτελείται ως επί το πλείστον από κτίρια κατοικιών και από ένα μικρότερο πλήθος κτιρίων διαφορετικών χρήσεων του τριτογενούς τομέα, τα οποία απογράφονται κάθε δεκαετία στο σύνολο της επικράτειας. Σύμφωνα με τα στοιχεία της EU Building Stock Observatory (EU BSO) [12] για το 2015, ο συνολικός αριθμός κτιρίων της χώρας είναι 4,853,172, εκ των οποίων τα 4,631,528 είναι κτίρια κατοικιών και τα 221,643 κατατάσσονται στον τριτογενή τομέα. Τα κτίρια του τριτογενούς τομέα κατηγοριοποιούνται σε 65,957 εμπορικά καταστήματα, 53,064 γραφεία και λοιπά κτίρια, 38,664 νοσοκομεία και κλινικές, 24,109 ξενοδοχεία και εστιατόρια, 20,374 αποθήκες, 19,167 σχολεία και εκπαιδευτικά ιδρύματα και 308 ψυκτικές αποθήκες. Στο **Διάγραμμα 10** φαίνεται το ποσοστό που καταλαμβάνει κάθε κατηγορία στο σύνολο του κτιριακού αποθέματος.



**Διάγραμμα 10. Ποσοστιαία κατανομή κτιριακού αποθέματος στην Ελλάδα με βάση τη χρήση (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [13])**

Τα κτίρια μπορούν να κατανεμηθούν σε χρονικές περιόδους με βάση την ηλικία τους και τα ενεργειακά τους χαρακτηριστικά, λαμβάνοντας υπόψιν το υφιστάμενο νομικό πλαίσιο, το οποίο ίσχυε κατά την αδειοδότησή τους και καθόριζε την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Πιο συγκεκριμένα, το 1979 θεσπίστηκε ο πρώτος κανονισμός θερμομονωτικής προστασίας στα κτίρια, γνωστός ως Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων (ΚΘΚ), ο οποίος

αντικαταστάθηκε το 2010 από τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ). Ο τελευταίος τροποποιήθηκε το 2017 και έκτοτε ισχύει η αναθεωρημένη έκδοσή του. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η κατηγοριοποίηση των κτιρίων διαμορφώνεται ως εξής [13]:

Κτίρια ανεγερθέντα κατά τη Χρονική Περίοδο πριν το 1980 (Χ.Π. 1):

Τα κτίρια αυτής της περιόδου δεν φέρουν καμία θερμομονωτική προστασία, καθότι πριν τη θέσπιση του ΚΘΚ (1979) δεν υπήρχε πρόνοια για τον περιορισμό των ανταλλαγών θερμότητας μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών χώρων. Στην πλειονότητά τους, διαθέτουν, ως βασικό κατασκευαστικό χαρακτηριστικό, φέροντα οργανισμό οπλισμένου σκυροδέματος και τοιχοποιίες εξ' οπτόπλινθων για την πλήρωση των κενών του σκελετού. Ως αποτέλεσμα, τα κτίρια αυτής της περιόδου κρίνονται ως κτίρια κακής ενεργειακής απόδοσης, σύμφωνα με τα σύγχρονα δεδομένα.

Κτίρια ανεγερθέντα κατά τη Χρονική Περίοδο 1980-2010 (Χ.Π. 2):

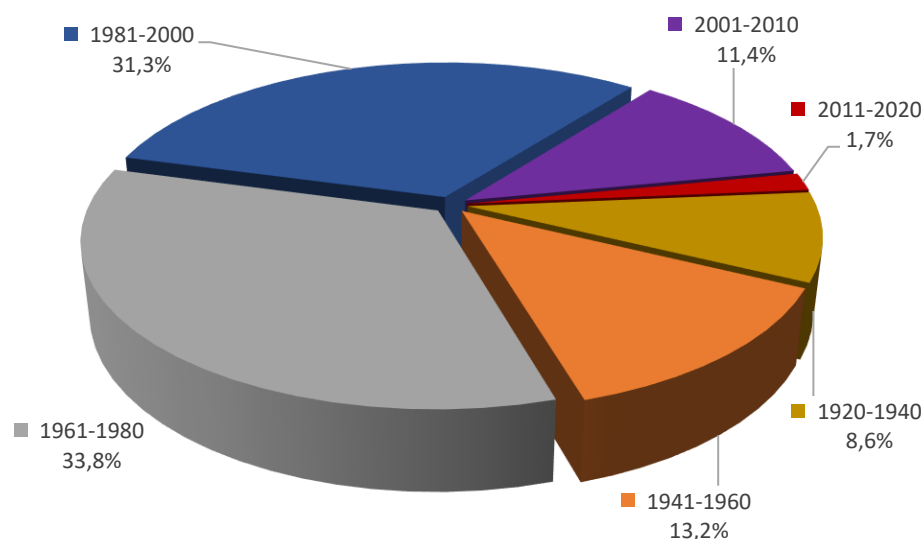
Η συγκεκριμένη περίοδος περιλαμβάνει τα κτίρια που κατασκευάστηκαν με την έναρξη εφαρμογής του ΚΘΚ, ο οποίος έθεσε τα ανώτερα όρια στη θερμοπερατότητα των δομικών στοιχείων των νεόδμητων τότε κτιρίων. Για τα κτίρια πριν τη δεκαετία του 2000, η θερμομονωτική προστασία συνήθως περιορίζεται στη τοιχοποιία πλήρωσης και απουσιάζει από τον φέροντα οργανισμό, είτε για οικονομικούς λόγους είτε για να αποφεύγεται η προεξοχή τους στους εσωτερικούς χώρους.

Κτίρια ανεγερθέντα κατά τη Χρονική Περίοδο 2011-2017 (Χ.Π. 3):

Με την εφαρμογή του ΚΕΝΑΚ στις αρχές του 2011, μειώνονται τα ανώτατα επιτρεπτά όρια των συντελεστών θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων και επέρχονται αλλαγές στα απαιτούμενα πάχη της θερμομονωτικής στρώσης. Επιπλέον, κατά τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, η τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης εξωτερικά του κατακόρυφου περιβλήματος του κτιρίου θεωρείται πλέον η προσφορότερη λύση από τεχνική άποψη. Ωστόσο, εξαιτίας της οικονομικής κρίσης και της κατακόρυφης πτώσης της οικοδομικής δραστηριότητας, η εφαρμογή των νέων απαιτήσεων στα κτίρια είναι παρά μόνο μικρής έκτασης, σε σχέση με το συνολικό κτιριακό απόθεμα.

Κτίρια ανεγερθέντα κατά τη Χρονική Περίοδο από το 2018 και έπειτα (Χ.Π. 4):

Η αναθεωρημένη έκδοση του ΚΕΝΑΚ αποτελεί τον ισχύοντα κανονισμό για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων από το 2018 και έκτοτε. Οι αναθεωρημένες απαιτήσεις του ΚΕΝΑΚ ορίζουν περεταίρω αύξηση του πάχους της θερμομονωτικής προστασίας, τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης εξωτερικά του κτιριακού κελύφους για περιορισμό των θερμογεφυρών και χρήση προστατευτικού φύλλου στα κουφώματα με σκοπό τη μείωση των θερμικών απωλειών.



**Διάγραμμα 11. Ποσοστιαία κατανομή του πλήθους των κτιρίων στην Ελλάδα με βάση τη περίοδο κατασκευής (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [13])**

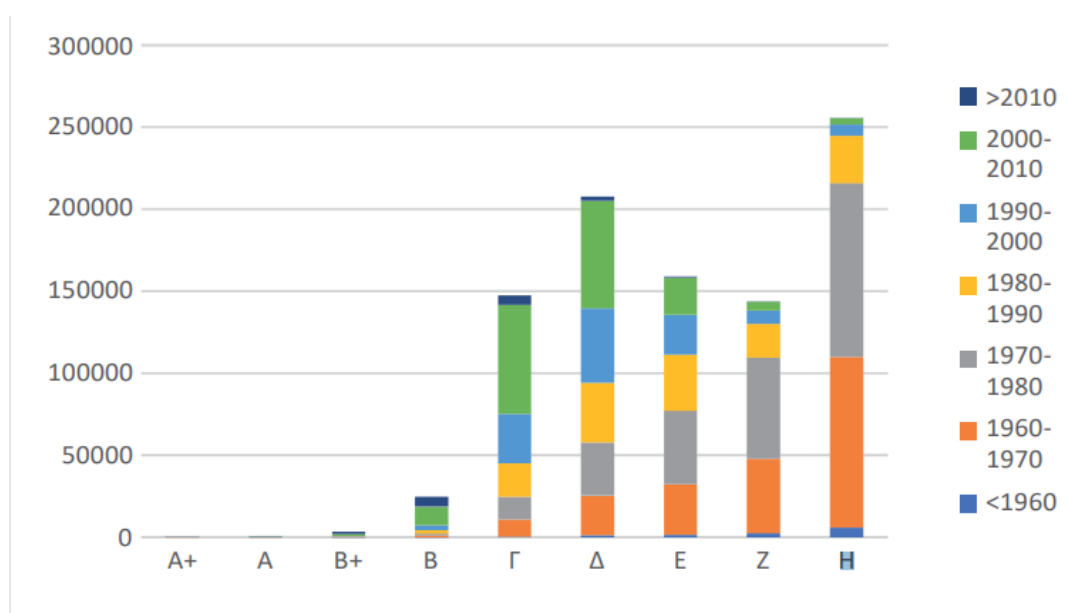
Στο **Διάγραμμα 11** καθίσταται εμφανές ότι το συντριπτικό ποσοστό των κτιρίων στην Ελλάδα (55.7%) έχουν κατασκευαστεί πριν το 1980 και επομένως χαρακτηρίζονται ως θερμομονωτικά απροστάτευτα. Το 42.7% των κτιρίων έχουν κατασκευαστεί κατά τη χρονική περίοδο 1981-2010 και ως εκ τούτου σε αυτά προβλέπεται η μερική εφαρμογή συστημάτων θερμομόνωσης, ενώ μόλις το 1.7% των κτιρίων έχουν κατασκευαστεί με τις απαιτήσεις του ΚΕΝΑΚ [13].

Σε αντίθεση με τις κατοικίες που αποτελούν την πλειοψηφία του κτιριακού αποθέματος και ως εκ τούτου διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των παραπάνω ποσοστών, στον τριτογενή τομέα το μεγαλύτερο ποσοστό των κτιρίων έχει κατασκευαστεί κατά την χρονική περίοδο 1981-2010. Λαμβάνοντας, λοιπόν, υπόψη την παλαιότητα του κτιριακού αποθέματος και τον μικρό ρυθμό κατασκευής νέων κτιρίων, αναδεικνύεται η επιτακτική ανάγκη για εκτεταμένη ενεργειακή αναβάθμιση των παλαιών κτιρίων, με στόχο το παλιό κτιριακό απόθεμα να έχει αναβαθμιστεί έως το 2050 σχεδόν στο σύνολό του [13].

Η περίοδος κατασκευής των κτιρίων και η ενεργειακή απόδοσή τους συνδέονται μεταξύ τους ως αποτέλεσμα της εξέλιξης του νομοθετικού πλαισίου και της τεχνολογίας, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τα στατιστικά στοιχεία που προκύπτουν από τα ΠΕΑ. Όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 12**, η πλειοψηφία των κτιρίων πριν το 1980 κατατάσσεται στην κατηγορία ενεργειακής απόδοσης Η, ενώ την περίοδο 1981-2010, όπου τίθεται σε ισχύ ο ΚΘΚ και βελτιώνεται η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, τα κτίρια είναι ενεργειακής κλάσης Δ και Γ. Μετά το 2010, τα κτίρια αναβαθμίζονται σε ενεργειακή κλάση Γ και Β. Τα



εκδοθέντα ΠΕΑ, όμως, αφορούν κυρίως κτίρια με έτος κατασκευής έως το 2009, αφού από το 2010 παρατηρήθηκε ύφεση των οικοδομικών δραστηριοτήτων. Τη χρονική περίοδο 2011-2018, το μεγαλύτερο ποσοστό των παλαιών κτιρίων που εξέδωσαν ΠΕΑ εντάσσεται στις ενεργειακές κατηγορίες Ε και Η (61.36%), το 35.71% στις Γ και Δ και το 2.94% στις Α και Β, ενώ το 94.90% των νεόδμητων και ριζικά ανακαινισμένων κτιρίων ανήκουν σε ενεργειακές κλάσεις Α και Β. Όσον αφορά τα κτίρια γραφείων, η συντριπτική πλειοψηφία του 65.4% των κτιρίων που εξέδωσαν ΠΕΑ κατατάσσεται στις κατηγορίες Γ και Δ, το 29.4% ανήκει στις κατηγορίες Ε και Η και το 5.3% στις Α και Β [13].



Πηγή: Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων: Στατιστική Ανάλυση για το Έτος 2016

**Διάγραμμα 12. Πλήθος ΠΕΑ ανά δεκαετία κατασκευής και ενεργειακή κατηγορία σύμφωνα με στατιστική ανάλυση για το έτος 2016 [13]**

### 2.3 Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου

Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι ο βασικός παράγοντας της κλιματικής αλλαγής. Το σημαντικότερο αέριο θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα, του οποίου η παραγωγή του κατά κύριο λόγο οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Σύμφωνα με την 6<sup>η</sup> Έκθεση αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Ομάδας για τις Κλιματικές Μεταβολές (IPCC) [14], οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες είναι υπεύθυνες για περίπου το 1.1 °C της θέρμανσης του πλανήτη.

Για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ενέκρινε τον Ευρωπαϊκό Νόμο για το Κλίμα, ο οποίος αυξάνει τον στόχο της ΕΕ για μείωση των καθαρών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 55% έως το 2030, από 40% που ήταν εξαρχής και καθιστά νομικά δεσμευτική την κλιματική ουδετερότητα έως το 2050. Ο ευρωπαϊκός νόμος για το κλίμα αποτελεί μέρος της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, δηλαδή τον χάρτη πορείας της ΕΕ για την ουδετερότητα του κλίματος. Προκειμένου η ΕΕ να πετύχει τους κλιματικούς της στόχους, η Επιτροπή παρουσίασε τη φιλόδοξη δέσμη μέτρων "Fit for 55" [15], η οποία περιλαμβάνει νέους νόμους για το κλίμα και την ενέργεια και μερικές αναθεωρήσεις νόμων.

### 2.3.1 Fit for 55 – Ενεργειακή απόδοση κτιρίων

Τα κτίρια προκαλούν πάνω από το ένα τρίτο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ. Η μείωση αυτών των εκπομπών, είτε μέσω μεγαλύτερης ενεργειακής απόδοσης είτε μέσω μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας, είναι καίριας σημασίας για την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050 [16].

Η αναθεώρηση της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων θα συμβάλει στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στην ΕΕ. Η αναθεωρημένη οδηγία θέτει νέα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης για τα νέα και ανακαινισμένα κτίρια στην ΕΕ. Στόχος είναι, έως το 2050, όλα τα κτίρια της ΕΕ να είναι μηδενικών εκπομπών.

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι τα κτίρια στην ΕΕ ευθύνονται για το 40% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας και το 36% των σχετιζόμενων με την ενέργεια εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Αυτό συμβαίνει, καθώς σχεδόν το 75% των υπαρχόντων κτιρίων είναι ενεργειακά ανεπαρκή.

#### Στόχοι μείωσης των εκπομπών

Από το 2030 όλα τα **νέα κτίρια** θα πρέπει να καταγράφουν μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ενώ η αντίστοιχη προθεσμία για τα νέα κτίρια που στεγάζουν ή ανήκουν σε δημόσιες αρχές ορίζεται για το 2028 [15].

Όσον αφορά τα **υπάρχοντα κτίρια**, σύμφωνα με τη νέα οδηγία, οι χώρες της ΕΕ θα πρέπει να θεσπίσουν ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης και να εξασφαλίσουν ότι έως το 2030 θα ανακαινιστεί το 16% και έως το 2033 το 26% των μη οικιστικών κτιρίων με τη χειρότερη ενεργειακή απόδοση. Ενώ για τα οικιστικά κτίρια, τα κράτη μέλη οφείλουν να θεσπίσουν μέτρα για να μειώσουν τη μέση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατά τουλάχιστον 16% μέχρι το 2030 και κατά τουλάχιστον 20-22% μέχρι το 2035 [15].

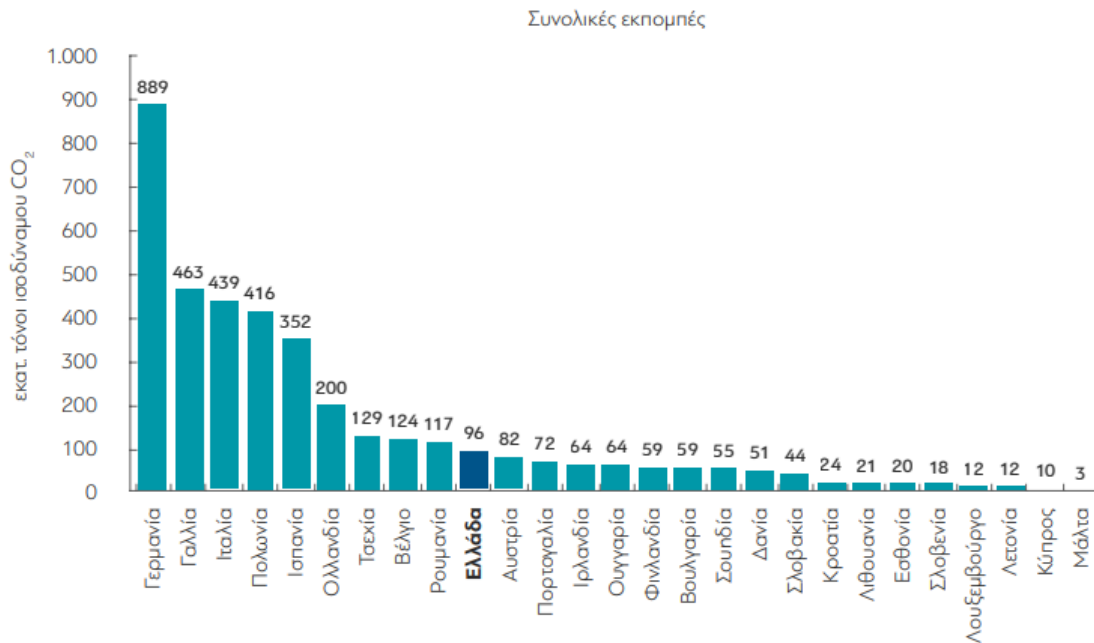
Από τους παραπάνω στόχους εξαιρούνται ιστορικά κτίρια, χώροι λατρείας και κτίρια που χρησιμοποιούνται για θρησκευτικές δραστηριότητες, μεμονωμένα κτίρια μικρότερα από 50 m<sup>2</sup>, εξοχικές κατοικίες και οικιστικά κτίρια με περιορισμένη χρήση και μειωμένη κατανάλωση ενέργειας, κτίρια που ανήκουν στις ένοπλες δυνάμεις και χρησιμοποιούνται

για αμυντικούς σκοπούς και βιομηχανικές εγκαταστάσεις, εργαστήρια και αγροτικά κτίρια πλην κατοικιών [15].

Έπειτα, μέχρι το 2030 όλες οι καινούριες κατοικίες θα πρέπει να είναι εξοπλισμένες με τεχνολογίες συλλογής ηλιακής ενέργειας. Το ίδιο θα ισχύει και για τα δημόσια και μη οικιστικά κτίρια, αλλά μόνο εφόσον κάτι τέτοιο είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτό, ανάλογα και με το μέγεθος του κάθε κτιρίου. Τέλος, τα κράτη μέλη πρέπει να εγκρίνουν μέτρα για να απαλλαγούν τα συστήματα θέρμανσης από τις εκπομπές άνθρακα και να εγκαταλειφθούν σταδιακά τα ορυκτά καύσιμα στη θέρμανση και την ψύξη, με τους λέβητες ορυκτών καυσίμων να καταργούνται πλήρως έως το 2040. Από το 2025 θα απαγορεύονται οι επιδοτήσεις για αυτόνομους λέβητες ορυκτών καυσίμων. Θα μπορούν, ωστόσο, να συνεχίσουν να δίνονται οικονομικά κίνητρα για υβριδικά συστήματα θέρμανσης με σημαντικό μερίδιο ανανεώσιμης ενέργειας, όπως αυτά που συνδυάζουν λέβητα με ηλιακή θερμική εγκατάσταση ή με αντλία θερμότητας [11], [15].

### 2.3.2 Εξέλιξη Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου στην Ελλάδα

Οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα διαμορφώθηκαν το 2018 σε 96.1 εκατ. τόνους ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), κατατάσσοντας την Ελλάδα στην 10<sup>η</sup> θέση των χωρών με τις περισσότερες εκπομπές [10].

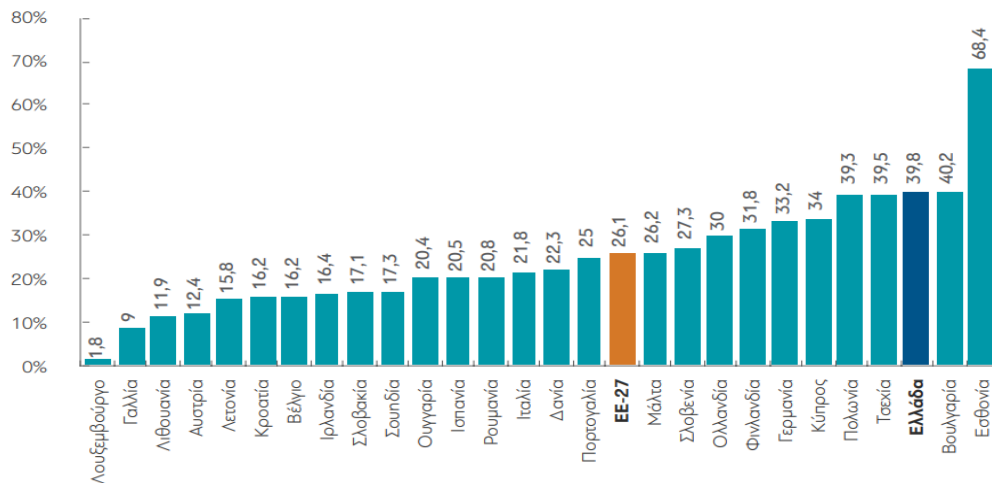


**Διάγραμμα 13. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στα κράτη-μέλη της ΕΕ-27, 2018 [10]**

Ο ενεργειακός τομέας, δηλαδή η ηλεκτροπαραγωγή και η διύλιση πετρελαίου, αποτελεί την κυριότερη πηγή εκπομπής αερίων θερμοκηπίου στην Ελλάδα, λόγω της σημαντικής

εξάρτησης από τον λιγνίτη και το πετρέλαιο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με αναφορά του IOBE [10], με έτος αναφοράς το 2018, οι συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε ισοδύναμη ποσότητα CO<sub>2</sub> του ενεργειακού τομέα ανήλθαν σε 38,3 εκατ. τόνους, αντιπροσωπεύοντας το 40% των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Ακολουθεί ο βιομηχανικός τομέας με εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που ανήλθαν σε 17,51 εκατ. τόνους ισοδύναμου CO<sub>2</sub> το 2018. Ο τομέας των μεταφορών κατέχει το τρίτο μεγαλύτερο μερίδιο εκπομπών αερίων θερμοκηπίου με εκπομπές που ανήλθαν σε 17,45 εκατ. τόνους ισοδύναμου CO<sub>2</sub> το 2018. Οι οδικές μεταφορές, στις οποίες αντιστοιχεί διαχρονικά περίπου το 80-85% των εκπομπών του τομέα μεταφορών, αποτελούν την κυριότερη πηγή εκπομπών του τομέα. Μικρότερη συμμετοχή στις εκπομπές αερίων εμφανίζει ο οικιακός τομέας, με 4,2 εκατ. τόνους ισοδύναμου CO<sub>2</sub> το 2018, αντιπροσωπεύοντας το 4,4% των συνολικών εκπομπών.

Η υποχώρηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στον ενεργειακό τομέα υπήρξε ιδιαίτερα σημαντική. Το γεγονός αυτό αντανακλά την αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τη σταδιακή αντικατάσταση του λιγνίτη που αποτέλεσε το κύριο ορυκτό καύσιμο τις προηγούμενες δεκαετίες, αντίστοιχα οι συγκεντρώσεις αερίων θερμοκηπίου ελαττώθηκαν και στους υπόλοιπους τομείς. Σε σχέση με τα υπόλοιπα κράτη-μέλη της ΕΕ, το μερίδιο του ενεργειακού τομέα επί του συνόλου των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στην Ελλάδα το 2018 ήταν το τρίτο υψηλότερο, έπειτα από την Εσθονία και τη Βουλγαρία [10], όπως φαίνεται και στο **Διάγραμμα 14**. Το γεγονός αυτό αναδεικνύει την κρισιμότητα του τομέα Ενέργειας στην Ελλάδα σε σχέση με την προσπάθεια περιορισμού των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και τη μακροπρόθεσμη επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας.



Πηγή: Eurostat. Ανάλυση IOBE.

**Διάγραμμα 14. Μερίδιο του κλάδου ενέργειας στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ-27, 2018 [10]**

Είναι γεγονός, ότι η Ελλάδα παρουσιάζει βελτίωση στις τάσεις εκπομπών CO<sub>2</sub> και άλλων αερίων του θερμοκηπίου. Οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου διαμορφώθηκαν το 2018 σε 96,1 εκατ. τόνους ισοδύναμου CO<sub>2</sub> καταγράφοντας μείωση κατά 31% σε σχέση με το 2005, ενώ σε απόλυτα μεγέθη ήταν χαμηλότερα κατά 9% από το επίπεδο του 1990 [10]. Το CO<sub>2</sub> συντελεί στο 78% των συνολικών εκπομπών στην Ελλάδα το 2018. Ακολουθούν το μεθάνιο, το οποίο εκλύεται στην ατμόσφαιρα κυρίως από δραστηριότητες του αγροτικού τομέα και από τη διαχείριση αποβλήτων, και τα οξείδια του αζώτου.

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τις επιμέρους προτεραιότητες και τα μέτρα πολιτικής για τη μείωση των εκπομπών και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή.

**Πίνακας 1. Προτεραιότητες και μέτρα πολιτικής για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και την προσαρμογή στη κλιματική αλλαγή [10]**

Προτεραιότητες Πολιτικής	Μέτρα Πολιτικής
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Επίτευξη κλιματικά ουδέτερης οικονομίας, μέσω απολιγνιτοποίησης, προώθησης των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα της χώρας και διασύνδεσης των αυτόνομων νησιωτικών συστημάτων.</li> <li>▪ Δράσεις για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή.</li> <li>▪ Δράσεις για τη μείωση εκπομπών στον τομέα των μεταφορών.</li> <li>▪ Δράσεις για τη μείωση εκπομπών φθοριούχων αερίων.</li> <li>▪ Δράσεις για τη μείωση εκπομπών στον αγροτικό τομέα.</li> <li>▪ Σχέδια στρατηγικής για τη διαχείριση των αποβλήτων.</li> <li>▪ Σχέδια στρατηγικής για την Κυκλική Οικονομία.</li> <li>▪ Αστικές βιοκλιματικές αναπλάσεις και έξυπνες πόλεις.</li> <li>▪ Συμμετοχή του χρηματοπιστωτικού τομέα.</li> <li>▪ Δράσεις για τη μείωση των εκπομπών στον τομέα της βιομηχανίας.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Απόσυρση λιγνιτικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και διασύνδεση αυτόνομων νησιωτικών συστημάτων.</li> <li>▪ Προώθηση φυσικού αερίου ως ενδιάμεσου καυσίμου για τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος του ενεργειακού συστήματος.</li> <li>▪ Προώθηση ΑΠΕ, συστημάτων αποθήκευσης και παραγωγής καυσίμων από ΑΠΕ.</li> <li>▪ Μείωση των ποσοτήτων των βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων.</li> <li>▪ Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης σε κτήρια, βιομηχανία και υποδομές.</li> <li>▪ Μείωση εκπομπών στον τομέα των μεταφορών.</li> <li>▪ Μείωση εκπομπών φθοριούχων αερίων.</li> <li>▪ Μείωση εκπομπών στον αγροτικό τομέα.</li> <li>▪ Αειφόρος διαχείριση δασών.</li> <li>▪ Προώθηση κυκλικής οικονομίας.</li> <li>▪ Μέτρα μείωσης εκπομπών στον τουριστικό τομέα.</li> <li>▪ Ανάπτυξη έξυπνων δικτύων και προώθηση μοντέλων έξυπνων και αειφόρων πόλεων.</li> <li>▪ Αστικές βιοκλιματικές αναπλάσεις.</li> <li>▪ Ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων διακυβέρνησης.</li> <li>▪ Μέτρα για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή.</li> </ul>

## 2.4 Ενεργειακή Αποδοτικότητα και Εξοικονόμηση Ενέργειας

Στο επίκεντρο των πολιτικών της ΕΕ για την ενέργεια και το κλίμα εντάσσεται και η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αλλά και στη μείωση του κόστους χρήσης ενέργειας σε διάφορες παραγωγικές διαδικασίες. Το πρώτο βήμα για την ενίσχυση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτηρίων έγινε με την Οδηγία 2002/91/ΕΚ και τον καθορισμό των ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή αποδοτικότητα νέων και υφιστάμενων κτηριακών μονάδων. Η επίτευξη των στόχων πολιτικής για την ενεργειακή αποδοτικότητα υποστηρίχθηκε περαιτέρω από τις Οδηγίες 2012/27/ΕΕ (η οποία αντικατέστησε την Οδηγία 2006/32/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση και τις ενεργειακές υπηρεσίες) και την Οδηγία 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων λαμβάνοντας υπόψη τις διάφορες κλιματικές και τοπικές συνθήκες. Η Οδηγία 2010/31/ΕΕ τροποποιήθηκε το 2018 με την Οδηγία 2018/844/ΕΕ με στόχο την επιτάχυνση της ανακαίνισης υφιστάμενων κτηρίων και την προώθηση των έξυπνων τεχνολογιών σε αυτά.

### 2.4.1 Ευρωπαϊκή Πολιτική

Με στόχο την επίτευξη ενός πλήρως απελευθερωμένου κτιριακού αποθέματος έως το 2050, η οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων συμβάλλει άμεσα στους ενεργειακούς και κλιματικούς στόχους της ΕΕ. Τα κτίρια είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής ενέργειας στην Ευρώπη. Πιο συγκεκριμένα, το 85% των κτιρίων της ΕΕ κατασκευάστηκαν πριν από το 2000 και μεταξύ αυτών, το 75% έχει κακή ενεργειακή απόδοση [13]. Περίπου το 40% της ενέργειας που καταναλώνεται στην ΕΕ χρησιμοποιείται σε κτίρια, ενώ πάνω από το 1/3 των εκπομπών GHG (Greenhouse Gas) της ΕΕ που σχετίζονται με την ενέργεια προέρχονται από κτίρια [10]. Επομένως, η δράση για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων είναι το κλειδί για την εξοικονόμηση ενέργειας και την επίτευξη ενός κτιριακού αποθέματος μηδενικών εκπομπών και πλήρως απανθρακωμένων έως το 2050 [5]. Ως εκ τούτου, ο κτιριακός τομέας είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη των ενεργειακών και κλιματικών στόχων της ΕΕ.

Για την ενίσχυση της ενεργειακής αποδοτικότητας η ΕΕ έχει θεσπίσει ένα νομοθετικό πλαίσιο που περιλαμβάνει την Οδηγία για ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση και τις ενεργειακές υπηρεσίες EU/2012/27, ενώ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, η ΕΕ έχει θεσπίσει ένα νομοθετικό πλαίσιο που περιλαμβάνει την Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων EU/2010/31 και την Οδηγία Ενεργειακής Απόδοσης EU/2023/1791, που αναθεωρήθηκαν και οι δύο το 2023 [17]. Οι Οδηγίες προωθούν πολιτικές που θα βοηθήσουν:

1. να επιτύχει ένα κτιριακό απόθεμα υψηλής ενεργειακής απόδοσης και απανθρακοποίησης έως το 2050
2. δημιουργία ενός σταθερού περιβάλλοντος για επενδυτικές αποφάσεις
3. δίνουν τη δυνατότητα στους καταναλωτές και τις επιχειρήσεις να κάνουν πιο ενημερωμένες επιλογές για εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων



Η αναθεωρημένη Οδηγία, για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, θα αυξήσει το ποσοστό ανακαίνισης, ιδιαίτερα για τα κτίρια με τη χειρότερη απόδοση σε κάθε χώρα. Θα υποστηρίξει επίσης την καλύτερη ποιότητα του αέρα, την ψηφιοποίηση ενεργειακών συστημάτων για κτίρια και την ανάπτυξη υποδομών για βιώσιμη κινητικότητα. Αναγνωρίζοντας τις διαφορές μεταξύ των χωρών της ΕΕ σε παράγοντες όπως το υπάρχον κτιριακό απόθεμα, η γεωγραφία και το κλίμα - η Οδηγία επιτρέπει στις κυβερνήσεις να αποφασίζουν για τα μέτρα ανακαίνισης που ταιριάζουν καλύτερα στο συγκεκριμένο εθνικό τους πλαίσιο. Οι χώρες μπορούν επίσης να εξαιρέσουν διάφορες κατηγορίες κτιρίων από τους κανόνες, συμπεριλαμβανομένων των ιστορικών κτιρίων και των εξοχικών κατοικιών.

Κυρίως, η αναθεωρημένη Οδηγία θα διευκολύνει πιο στοχευμένη χρηματοδότηση επενδύσεων στον κτιριακό τομέα, συμπληρώνοντας άλλα μέσα της ΕΕ και καταπολεμώντας την ενεργειακή φτώχεια υποστηρίζοντας τους ευάλωτους καταναλωτές. Οι χώρες της ΕΕ θα πρέπει επίσης να διασφαλίσουν ότι υπάρχουν διασφαλίσεις για τους ενοικιαστές, όπως μέσω της στήριξης του ενοικίου ή των ανώτατων ορίων στις αυξήσεις ενοικίων.

**Πίνακας 2. Βασικά σημεία των Οδηγιών της ΕΕ για την ενεργειακή αποδοτικότητα [10]**

Οδηγία για την ενεργειακή αποδοτικότητα (2012/27/ΕΕ)	Οδηγία για την ενεργειακή αποδοτικότητα κτηρίων (2010/31/ΕΕ)
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Εθνικά σχέδια δράσης ενεργειακής απόδοσης</b> ανά τριετία και ετήσιες εκθέσεις προόδου</li> <li>▪ <b>Εθνική πολιτική ανακαινίσεων κτηρίων</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Περιγραφή αποθέματος κτηρίων</li> <li>· Διατύπωση κύριων πολιτικών για την προώθηση ανακαινίσεων</li> <li>· Εκτίμηση αναμενόμενης εξοικονόμησης ενέργειας από τις ανακαινίσεις</li> <li>· Ετήσια ανακαίνιση του 3% του συνολικού εμβαδού των κτηρίων της κεντρικής κυβέρνησης την περίοδο 2014-2020</li> </ul> </li> <li>▪ <b>Υποχρεωτικά</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Οι ενεργειακές εταιρείες οφείλουν να επιτυγχάνουν ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας 1.5% της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης</li> <li>· Εναλλακτικά μέτρα πολιτικής (φόροι, οικονομικά κίνητρα, ρυθμίσεις, εθελοντικές συμφωνίες, εκπαίδευση και ενημέρωση, κ.ά.)</li> </ul> </li> <li>▪ <b>Δημόσιες προμήθειες</b> ενεργειακά αποδοτικών κτηρίων, προϊόντων και υπηρεσιών</li> <li>▪ <b>Ενδυνάμωση καταναλωτών</b> με εργαλεία που επιτρέπουν την καλύτερη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας</li> <li>▪ Κίνητρα και υποχρεώσεις στις επιχειρήσεις για διενέργεια <b>ενεργειακών ελέγχων</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Θέσπιση συστήματος πιστοποίησης ενεργειακής απόδοσης</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Υποχρέωση έκδοσης πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης σε νέες κατασκευές και σε πωλήσεις και ενοικιάσεις κτηρίων.</li> </ul> </li> <li>▪ <b>Επιθεώρηση συστημάτων ψύξης και θέρμανσης</b> ή μέτρα ισοδύναμου αποτελέσματος</li> <li>▪ <b>Σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας</b> σε όλα τα νέα κτήρια μέχρι την 31<sup>η</sup> Δεκεμβρίου 2020 (την 31<sup>η</sup> Δεκεμβρίου 2018 για τα δημόσια κτήρια) <ul style="list-style-type: none"> <li>· Τα κράτη – μέλη καταρτίζουν εθνικά σχέδια αύξησης του αριθμού των κτηρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας</li> <li>· Τα σχέδια αυτά είναι δυνατόν να περιλαμβάνουν στόχους διαφοροποιημένους ανάλογα με την κατηγορία του κτηρίου</li> </ul> </li> <li>▪ <b>Προσδιορισμός ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης</b> για τα νέα κτήρια, της μεγάλης κλίμακας ανακαινίσεις κτηρίων και την ανακατασκευή στοιχείων των κτηρίων (οροφές, συστήματα ψύξης – θέρμανσης, μονώσεις κλπ.)</li> <li>▪ Σύνταξη καταλόγου με <b>οικονομικά κίνητρα και χρηματοδοτικά εργαλεία</b> για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτηρίων</li> </ul>

#### 2.4.1.1 Νομοθετικό Χρονοδιάγραμμα

Η αρχική οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (EE/2010/31) τροποποιήθηκε το 2018, ως μέρος της δέσμης για την «Καθαρή ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους» [17]. Η τροποποιητική οδηγία εισήγαγε νέα στοιχεία και έστειλε ένα ισχυρό πολιτικό μήνυμα για τη δέσμευση της ΕΕ για βελτίωση και εκσυγχρονισμό του κτιριακού τομέα.

Τον Οκτώβριο του 2020, η Επιτροπή παρουσίασε τη στρατηγική Renovation Wave [18], ως μέρος της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας . Περιλαμβάνει ένα σχέδιο δράσης με συγκεκριμένα ρυθμιστικά, χρηματοδοτικά και μέτρα που επιτρέπουν την ενίσχυση των ανακαινίσεων κτιρίων. Η στρατηγική στοχεύει στον διπλασιασμό τουλάχιστον του ετήσιου ποσοστού ενεργειακής ανακαίνισης των κτιρίων έως το 2030 και στην προώθηση της βαθιάς ανακαίνισης - μια άλλη αναθεώρηση και ενίσχυση του EPBD είναι ένα από τα βασικά δομικά στοιχεία του.

Το πακέτο «Παράδοση της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας» (ή «Fit for 55» [15]), που παρουσιάστηκε τον Ιούλιο του 2021, υπογράμμισε περαιτέρω τη σημασία της ανακαίνισης κτιρίων και πρότεινε επίσης ένα Ταμείο Κοινωνικού Κλίματος για τη στήριξη ευάλωτων πολιτών και μικρών επιχειρήσεων στην πράσινη μετάβαση, μεταξύ άλλων μέσω της ανακαίνισης κτιρίων, καθαρής θέρμανσης και ψύξης και ενσωμάτωσης περισσότερων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η Επιτροπή δημοσίευσε την πρότασή της για αναθεώρηση της Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) [17] τον Δεκέμβριο του 2021. Προσπάθησε να αναβαθμίσει το υφιστάμενο ρυθμιστικό πλαίσιο ώστε να αντικατοπτρίζει υψηλότερες φιλοδοξίες και μια πιο επιτακτική ανάγκη για δράση για το κλίμα και την κοινωνική δράση.

Το σχέδιο REPowerEU [19], που εγκρίθηκε τον Μάιο του 2022, τόνισε περαιτέρω την ανάγκη αντιμετώπισης του κτιριακού αποθέματος της ΕΕ για τη μείωση της εξάρτησης της Ευρώπης από ξένες πηγές ενέργειας.

Στις 7 Δεκεμβρίου 2023, οι συν νομοθέτες κατέληξαν σε προσωρινή συμφωνία για την αναθεώρηση, η οποία θα περάσει από την επίσημη διαδικασία έγκρισης στις αρχές του 2024 [17].

#### 2.4.2 **Εθνική Πολιτική**

Οι πολιτικές της ΕΕ ορίζουν το ευρύτερο πλαίσιο ενώ τα κράτη-μέλη καλούνται να εφαρμόσουν πολιτικές και δράσεις που θα υποστηρίξουν την επίτευξη των στόχων. Στην Ελλάδα, η βασική νομοθεσία για τα ζητήματα ενεργειακής απόδοσης κτιρίων περιλαμβάνει τις παρακάτω σημαντικότερες νομικές διατάξεις εν ισχύ [20]:



1. Ο Νόμος 4122/2013 (ΦΕΚ Α 42) «Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις», στον οποίο προβλέπονται:
  - Οι απαιτήσεις της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στη χώρα μας.
  - Η έκδοση των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης, των Εκθέσεων Συστημάτων Θέρμανσης και Κλιματισμού.
  - Η κατάρτιση του Μητρώου Ενεργειακών Επιθεωρητών και η διαδικασία επιβολής κυρώσεων στις περιπτώσεις παραβίασης σχετικών διατάξεων.
2. Το άρθρο 58 του Νόμου 4342/09.11.2015 (ΦΕΚ 143 Α') «Συνταξιοδοτικές ρυθμίσεις, ενσωμάτωση στο Ελληνικό Δίκαιο της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ .... και άλλες διατάξεις», ορίζεται ότι: «3. Από την έναρξη ισχύος του παρόντος, η παράγραφος 3 του άρθρου 14 του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Β' 407/9.4.2010) αντικαθίσταται ως εξής: «3. Κάθε συμβολαιογράφος για την κατάρτιση πράξεως αγοραπωλησίας ακινήτου υποχρεούται να μνημονεύσει στο συμβόλαιο τον αριθμό πρωτοκόλλου του ΠΕΑ και να επισυνάψει σε αυτό επίσημο αντίγραφο του ΠΕΑ. Σε κάθε μίσθωση ακινήτου, ο αριθμός πρωτοκόλλου του ΠΕΑ πρέπει να αναγράφεται υποχρεωτικά στην ηλεκτρονική εφαρμογή «Δήλωση Πληροφοριακών Στοιχείων Μισθώσεων Ακίνητης Περιουσίας» της ιστοσελίδας της Γενικής Γραμματείας Πληροφοριακών Συστημάτων ([www.gsis.gr](http://www.gsis.gr))».
3. Ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) που εγκρίθηκε με την Δ6/Β/οικ.5825/30-03-2010 Κοινή Απόφαση των Υπουργών Οικονομικών και ΠΕΚΑ (ΦΕΚ Β' 407).

Για την υποστήριξη της εφαρμογής του ΚΕΝΑΚ εγκρίθηκαν με την οικ.2618/23.10.2014 Απόφαση Αναπληρωτή Υπουργού ΠΕΚΑ (ΦΕΚ Β' 2945), οι παρακάτω Τεχνικές Οδηγίες του ΤΕΕ, οι οποίες διατίθενται από το ΤΕΕ:

- ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 «Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης»,
- ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων»,
- ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010 «Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών»,

- ΤΟΤΕΕ 20701–4/2010 «Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού».
- ΤΟΤΕΕ 20701–5/2012 «Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας και Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε Κτήρια».

#### 2.4.2.1 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ)

Η ανάγκη για ολοκληρωμένο ενεργειακό σχεδιασμό των κτιρίων με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης, την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και την προστασία του περιβάλλοντος, οδήγησε στην θεσμοθέτηση του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) [21]. Με βάση την μεθοδολογία που ορίζει ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ), ο οποίος εγκρίθηκε με την Κοινή Υπουργική Απόφαση 5825/2010 που αναθεωρήθηκε με την 178581/2017, υπολογίζεται η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Ο ΚΕΝΑΚ, δηλαδή, καθορίζει όλους τους παραμέτρους που επιδρούν στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό, φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ), με την ταυτόχρονη διασφάλιση συνθηκών άνεσης στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων [21]. Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται μέσω πλήθος παραγόντων, όπως του ενεργειακού και βιοκλιματικού σχεδιασμού του κελύφους, της χρήσης ενεργειακά αποδοτικών δομικών υλικών και ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και παθητικών στοιχείων θέρμανσης και ψύξης, της σκίασης, της ποιότητας του αέρα των εσωτερικών χώρων και της επάρκειας του φυσικού φωτισμού.

Πιο συγκεκριμένα, ο ΚΕΝΑΚ [21]:

- i. Ορίζει αναλυτικά τη μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, μέσα από την εκτίμηση των σημαντικών ενεργειακών καταναλώσεων ανάλογα με την χρήση του κτιρίου, οι οποίες περιλαμβάνουν την ΘΨΚ, τον αερισμό, τον φωτισμό και το ΖΝΧ.
- ii. Καθορίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης και τις κατηγορίες για την ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων.
- iii. Θέτει τις ελάχιστες προδιαγραφές για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό των κτιρίων, τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κελύφους και τις Η/Μ εγκαταστάσεις των υπό μελέτη νέων κτιρίων και των ριζικά ανακαινιζόμενων. Οι απαιτήσεις αυτές έχουν καθοριστεί με σκοπό να επιτευχθεί η βέλτιστη από πλευράς κόστους ισορροπία μεταξύ των συναφών επενδύσεων και των ενεργειακών δαπανών που εξοικονομούνται στη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής του κτιρίου, γεγονός που δεν συνεπάγεται απαραίτητα το βέλτιστο από πλευράς ενεργειακής απόδοσης αποτέλεσμα.

- iv. Καθορίζει το περιεχόμενο της μελέτης ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, τη μορφή και τα στοιχεία που περιλαμβάνει το ΠΕΑ και τη διαδικασία των ενεργειακών επιθεωρήσεων σε κτίρια, λέβητες και εγκαταστάσεις θέρμανσης, και εγκαταστάσεις κλιματισμού.

Για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής κατάταξης των κτιρίων εφαρμόζεται μεθοδολογία υπολογισμού σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα με τη μέθοδο ημι-σταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος βάσει της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, ενώ λαμβάνονται υπόψη τα κλιματικά δεδομένα των τεσσάρων κλιματικών ζωνών (Α, Β, Γ, Δ - από τη θερμότερη στη ψυχρότερη), στις οποίες διαιρείται η ελληνική επικράτεια με βάση τις βαθμομέρες θέρμανσης [22].

Στον **Πίνακα 3** προσδιορίζονται οι νομοί που υπάγονται στις τέσσερις κλιματικές ζώνες, ενώ ακολουθεί σχηματική απεικόνισή τους στην **Εικόνα 1**. Τα κτίρια τα οποία βρίσκονται σε περιοχές με υψόμετρο άνω των 500 μέτρων, ανεξαρτήτως του νομού στον οποίο εντάσσονται, εξετάζονται βάσει των προδιαγραφών της επόμενης ψυχρότερης κλιματικής ζώνης από εκείνη στην οποία κανονικά ανήκουν. Για την Δ ζώνη όλες οι περιοχές, ανεξαρτήτως υψομέτρου, περιλαμβάνονται στην ζώνη Δ. Στο τμήμα του νομού Αρκαδίας που εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Γ και στο τμήμα του νομού Σερρών (ΒΑ τμήμα) που εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Δ, περιλαμβάνονται όλες οι περιοχές που έχουν υψόμετρο άνω των 500 μέτρων [23].

**Πίνακας 3. Νομοί της Ελλάδος ανά κλιματική ζώνη [23],[22]**

Κλιματική Ζώνη	Νομοί
Ζώνη Α	Ηράκλειο, Χανιά, Ρέθυμνο, Λασιθί, Κυκλάδες, Δωδεκάνησα, Σάμος, Μεσσηνία, Λακωνία, Αργολίδα, Ζάκυνθος, Κεφαλονιά, Ιθάκη, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδία (πεδινή)
Ζώνη Β	Αττική (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθία, Ηλεία, Αχαΐα, Αιτωλοακαρνανία, Φθιώτιδα, Φωκίδα, Βοιωτία, Εύβοια, Μαγνησία, Σποράδες, Λέσβος, Χίος, Κέρκυρα, Λευκάδα, Θεσπρωτία, Πρέβεζα, Άρτα
Ζώνη Γ	Αρκαδία (ορεινή), Ευρυτανία, Ιωάννινα, Λάρισα, Καρδίτσα, Τρίκαλα, Πιερία, Ημαθία, Πέλλα, Θεσσαλονίκη, Κιλκίς, Χαλκιδική, Σέρρες (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλα, Θάσος, Σαμοθράκη, Ξάνθη, Ροδόπη, Έβρος
Ζώνη Δ	Γρεβενά, Κοζάνη, Καστοριά, Φλώρινα, Σέρρες (ΒΑ τμήμα), Δράμα



**Εικόνα 1. Σχηματική απεικόνιση των κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας [23],[22]**

Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων προσδιορίζεται με βάση μεθοδολογία υπολογισμού της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας. Η μεθοδολογία υπολογισμού περιλαμβάνει τουλάχιστον τα παρακάτω στοιχεία [21]:

1. Τη χρήση του κτιρίου, τις επιθυμητές συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία, αερισμός), τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και τον αριθμό των χρηστών
2. Τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής του κτιρίου (θερμοκρασία, σχετική και απόλυτη υγρασία, ταχύτητα ανέμου και ηλιακή ακτινοβολία)
3. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (σχήμα και μορφή κτιρίου, διαφανείς και μη επιφάνειες, σκίαστρα κ.α.), σε σχέση με τον προσανατολισμό και τα χαρακτηριστικά των εσωτερικών δομικών στοιχείων (χωρίσματα κ.α)

4. Τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (θερμοπερατότητα, θερμική μάζα, απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας, διαπερατότητα κ.α.)
5. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης θέρμανσης χώρων (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κ.α.)
6. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης ψύξης/κλιματισμού χώρων (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κ.α.)
7. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης μηχανικού αερισμού (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κ.α.)
8. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης παραγωγής ΖΝΧ (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κ.α.)
9. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης φωτισμού για τα κτίρια του τριτογενή τομέα.
10. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα

Στη μεθοδολογία υπολογισμού συνεκτιμάται, κατά περίπτωση, η θετική επίδραση των ακόλουθων συστημάτων [21]:

1. Ενεργητικών ηλιακών συστημάτων και άλλων συστημάτων παραγωγής θερμότητας, ψύξης και ηλεκτρισμού με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας(ΑΠΕ)
2. Ενέργεια παραγόμενη με τεχνολογίες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ)
3. Κεντρικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης σε κλίμακα περιοχής ή οικοδομικού τετραγώνου (τηλεθέρμανση)
4. Φυσικός φωτισμός

Επιπλέον, στις ελάχιστες προδιαγραφές κτιρίων ορίζεται ότι τα δομικά στοιχεία του εξεταζόμενου νέου ή ριζικά ανακαινιζόμενου κτιρίου πρέπει να πληρούν ορισμένους περιορισμούς θερμομόνωσης. Για το λόγο αυτό ορίζεται ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας για κάθε κλιματική ζώνη, όπως φαίνεται στον **Πίνακας 4**. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U-value) είναι ένας δείκτης θερμομόνωσης και ορίζεται ως η ποσότητα θερμότητας [Watt] που περνά μέσα από ένα τετραγωνικό ενός δομικού στοιχείου, ορισμένου πάχους d σε ορισμένο χρονικό διάστημα μίας ώρας, όταν μεταξύ των δύο επιφανειών υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ενός βαθμού Κέλβιν [K]. Μετρά δηλαδή με πόση ευκολία διαπερνά η θερμότητα ένα υλικό ή σύστημα μέσα στα πλαίσια που αναφέρθηκαν. Όσο μικρότερος είναι ο συγκεκριμένος συντελεστής ενός δομικού στοιχείου, υλικού ή στρώσεων υλικών, τόσο καλύτερη θερμομόνωση έχουμε [23].

**Πίνακας 4. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη [23]**

Δομικό Στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m <sup>2</sup> K)]			
	Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Δ
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0.50	0.45	0.40	0.35
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0.60	0.50	0.45	0.40
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πυλωτή)	0.50	0.45	0.40	0.35
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1.50	1.00	0.80	0.70
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1.20	0.90	0.75	0.70
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1.20	0.90	0.75	0.70
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3.20	3.00	2.80	2.60
Γυάλινη πρόσοψη κτιρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2.20	2.00	1.80	1.80

## 2.5 Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης

Σύμφωνα με το άρθρο 11 του Ν 4122/2013 (ΦΕΚ Α 42): «Το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) περιλαμβάνει την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας και τιμές αναφοράς, όπως ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης, ώστε να επιτρέπει στους ιδιοκτήτες ή στους ενοικιαστές του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας να συγκρίνουν και να αξιολογούν την ενεργειακή απόδοσή του. Είναι δυνατόν να περιλαμβάνει και πρόσθετες πληροφορίες, όπως η ετήσια πραγματική κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας, και το ποσοστό συμμετοχής της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στη συνολική κατανάλωση ενέργειας».

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) [21], το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) κτιρίων περιλαμβάνει [20]:

- Την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας και τιμές αναφοράς, όπως ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης, ώστε να επιτρέπει στους ιδιοκτήτες ή στους ενοικιαστές του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας να συγκρίνουν και να αξιολογούν την ενεργειακή απόδοσή του. Το πηλίκο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας kWh/m<sup>2</sup> του εξεταζόμενου κτιρίου προς την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς kWh/m<sup>2</sup> αποτελεί το κριτήριο για την

κατάταξη του κτιρίου στην αντίστοιχη κατηγορία ενεργειακής απόδοσης (A+, A, B+, B, Γ, Δ, E, Z, H).

- Πρόσθετες πληροφορίες, όπως τα γενικά στοιχεία του κτιρίου, την υπολογιζόμενη ετήσια συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς και του εξεταζόμενου κτιρίου, την ετήσια πραγματική κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας, το ποσοστό συμμετοχής της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στη συνολική κατανάλωση ενέργειας, τις υπολογιζόμενες και πραγματικές ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{kg/m}^2$ ), την εκτίμηση του ενεργειακού επιθεωρητή σχετικά με την αξιολόγηση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος.
- Συστάσεις οικονομικά συμφέρουσες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας, εκτός εάν δεν υπάρχει εύλογη δυνατότητα σχετικής βελτίωσης σε σύγκριση με τις ισχύουσες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση.

Από την 1η Ιανουαρίου 2021 κάθε κτίριο ή κτιριακή μονάδα που διατίθεται προς πώληση ή προς μίσθωση, απαιτείται να έχει ήδη ΠΕΑ, ώστε να δηλώνεται ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης (ενεργειακή κατηγορία) σε όλες τις εμπορικές διαφημίσεις και καταχωρήσεις, δηλαδή σε κάθε αγγελία στον τύπο ή σε ηλεκτρονικά μέσα, όπως και σε κάθε ανάρτηση - αναφορά στα μεσιτικά γραφεία να δηλώνεται με ευκρίνεια η ενεργειακή κατηγορία του κτιρίου, ώστε η ενεργειακή κατάταξη της ιδιοκτησίας να αποτελεί βασικό συγκριτικό στοιχείο για την διαμόρφωση της επιλογής του ενδιαφερόμενου αγοραστή/ενοικιαστή.

Η υποχρέωση έκδοσης ΠΕΑ υπάρχει [20],[21]:

- Μετά την ολοκλήρωση κατασκευής νέου κτιρίου ή κτιριακής μονάδας και αφορά τα κτίρια με οικοδομική άδεια που εμπίπτουν στις διατάξεις του ΚΕΝΑΚ.
- Μετά την ολοκλήρωση ριζικής ανακαίνισης κτιρίου ή κτιριακής μονάδας.
- Κατά την πώληση κτιρίου ή κτιριακής μονάδας, μέχρι την ενεργοποίηση της Ταυτότητας του Κτιρίου.
- Κατά τη μίσθωση (μακροχρόνια, βραχυχρόνια, υπεκμίσθωση) σε νέο ενοικιαστή κτιρίου ή κτιριακής μονάδας, μέχρι την ενεργοποίηση της Ταυτότητας του Κτιρίου.
- Για κτίρια συνολικής επιφάνειας άνω των διακοσίων πενήντα τετραγωνικών μέτρων (250 τ.μ.), τα οποία χρησιμοποιούνται από υπηρεσίες του δημόσιου και ευρύτερου δημόσιου τομέα, όπως αυτός ορίζεται κάθε φορά, και τα οποία επισκέπτεται συχνά το κοινό.

Τα κτίρια που χρησιμοποιούνται ως χώροι λατρείας και τα μεμονωμένα κτίρια με συνολική ωφέλιμη επιφάνεια μικρότερη από πενήντα τετραγωνικά μέτρα ( $50 \text{ m}^2$ ) εξαιρούνται από την υποχρέωση έκδοσης ΠΕΑ, όμως, η έκδοση ΠΕΑ είναι δυνατή εφόσον το επιθυμεί ο ιδιοκτήτης τους [23].

Το ΠΕΑ ισχύει για δέκα χρόνια, εκτός από την περίπτωση ριζικής ανακαίνισης του κτιρίου πριν παρέλθει η δεκαετία, οπότε η ισχύς του λήγει με το πέρας των εργασιών ανακαίνισης και πρέπει να εκδοθεί νέο.



Πίνακας 5. Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων [23]

Κατηγορία	Όρια κατηγορίας	Όρια κατηγορίας
A+	$EP \leq 0.33RR$	$T \leq 0.33$
A	$0.33RR < EP \leq 0.50RR$	$0.33 < T \leq 0.50$
B+	$0.50RR < EP \leq 0.75RR$	$0.50 < T \leq 0.75$
B	$0.75RR < EP \leq 1.00RR$	$0.75 < T \leq 1.00$
Γ	$1.00RR < EP \leq 1.41RR$	$1.00 < T \leq 1.41$
Δ	$1.41RR < EP \leq 1.82RR$	$1.41 < T \leq 1.82$
E	$1.82RR < EP \leq 2.27RR$	$1.82 < T \leq 2.27$
Z	$2.27RR < EP \leq 2.73RR$	$2.27 < T \leq 2.73$
H	$2.73RR < EP$	$2.73 < T$

Α.Π.: ..... Α.Α.: .....

ΧΡΗΣΗ: .....  
 Κτίριο  Τμήμα κτιρίου   
 Αριθμός ιδιοκτησίας: .....  
 Κλιματική Ζώνη: .....  
 Διεύθυνση: ..... Τ.Κ. ....

Πόλη: .....  
 Έτος κατασκευής: .....  
 Συνολική επιφάνεια [m<sup>2</sup>]: .....  
 Θερμανόμενη επιφάνεια [m<sup>2</sup>]: .....  
 Όνομα ιδιοκτήτη: .....

(Φωτογραφία κτιρίου)

**ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ**

ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ
$EP \leq 0.33R_e$ <b>A+</b>	
$0.33R_e < EP \leq 0.5R_e$ <b>A</b>	
$0.5R_e < EP \leq 0.75R_e$ <b>B+</b>	
$0.75R_e < EP \leq 1.0R_e$ <b>B</b>	<b>B</b>
$1.0R_e < EP \leq 1.41R_e$ <b>Γ</b>	
$1.41R_e < EP \leq 1.82R_e$ <b>Δ</b>	
$1.82R_e < EP \leq 2.27R_e$ <b>E</b>	
$2.27R_e < EP \leq 2.73R_e$ <b>Z</b>	
$2.73R_e < EP$ <b>H</b>	

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ

Υπολογιζόμενη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κτιρίου αναφοράς [kWh/m<sup>2</sup>): .....  
 Υπολογιζόμενη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [kWh/m<sup>2</sup>): .....  
 Υπολογιζόμενες ετήσιες εκπομπές CO<sub>2</sub> [kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>): .....

Πραγματική ετήσια κατανάλωση ενέργειας & Εκπομπές CO<sub>2</sub>

Ηλεκτρική ενέργεια [kWh/m <sup>2</sup> ): ..... Καύσιμα [kWh/m <sup>2</sup> ): .....	Θερμική άνεση <input type="checkbox"/>
Συνολική ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [kWh/m <sup>2</sup> ): .....	Οπτική άνεση <input type="checkbox"/>
Συνολικές ετήσιες εκπομπές CO <sub>2</sub> [kg/m <sup>2</sup> ): .....	Ακουστική άνεση <input type="checkbox"/>
	Ποιότητα αέρα <input type="checkbox"/>

Α.Π.: ..... Α.Α.: .....

**ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΤΕΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ**

Πηγή ενέργειας	Τελική χρήση	Συνεισφορά στο ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου (%)
Ηλεκτρική	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Ψύξη <input type="checkbox"/> ΖΝΧ <input type="checkbox"/> Φωτισμός <input type="checkbox"/>	
Ορυκτά καύσιμα	Πετρέλαιο	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Ψύξη <input type="checkbox"/> ΖΝΧ <input type="checkbox"/>
	Φυσικό αέριο	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Ψύξη <input type="checkbox"/> ΖΝΧ <input type="checkbox"/>
	Άλλο: .....	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Ψύξη <input type="checkbox"/> ΖΝΧ <input type="checkbox"/>
ΑΠΕ	Ηλιακή	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Ψύξη <input type="checkbox"/> ΖΝΧ <input type="checkbox"/> Φωτισμός <input type="checkbox"/>
	Θιομόζα	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Ψύξη <input type="checkbox"/> ΖΝΧ <input type="checkbox"/>
	Γεωθερμία	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Ψύξη <input type="checkbox"/> ΖΝΧ <input type="checkbox"/>
	Άλλο: .....	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Ψύξη <input type="checkbox"/> ΖΝΧ <input type="checkbox"/> Φωτισμός <input type="checkbox"/>
Σύνολο		

Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση [kWh/m<sup>2</sup>]

Θέρμανση: ..... Ψύξη: .....  
 Ζεστό Νερό Χρήσης (ΖΝΧ): ..... Φωτισμός: .....  
 ΑΠΕ & ΣΗΘ (-): .....

**ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ**

- .....
- .....
- .....

Αριθμός σύστασης	Εκτιμώμενο αρχικό κύριο επένδυσης [€]	Εκτιμώμενη ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και τιμή μονάδας* [kWh/m <sup>2</sup> ]	Εκτιμώμενη ετήσια εξοικονόμηση [€]	Εκτιμώμενη ετήσια μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> * [kg/m <sup>2</sup> ]	Εκτιμώμενη περίοδος αποπληρωμής* [έτη]
1					
2					
3					

\* Η εξοικονόμηση ενέργειας και τιμή μονάδας αφορά την κάθε επιμέρους σύσταση και τα ποσά δεν αθροίζονται. Ομοίως για την ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και την περίοδο αποπληρωμής.

Ημερομηνία έκδοσης ΠΕΑ: ..... Σφραγίδα: .....  
 Ονοματεπώνυμο Επιθεωρητή: .....  
 Α.Μ. Επιθεωρητή: ..... Υπογραφή: .....

Εικόνα 2. Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) [24]



## 2.6 Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050

Η Μακροχρόνια Στρατηγική για το έτος 2050 (Long Term Strategy 2050 – LTS), αναπτύσσεται συμπληρωματικά στο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) [25], το οποίο και αποτελεί το κεντρικό στρατηγικό σχέδιο βάσει του οποίου υλοποιούνται συγκεκριμένα μέτρα πολιτικής στους τομείς της ενέργειας και του κλίματος. Στο πλαίσιο αυτό η μακροπρόθεσμη στρατηγική έχει ως σημείο αναφοράς το έτος 2030 και προϋποθέτει την επίτευξη των σχετικών στόχων του ΕΣΕΚ.

Η Μακροχρόνια Στρατηγική για το έτος 2050 [16], αποτελεί για την Ελληνική Κυβέρνηση έναν οδικό Χάρτη για τα θέματα του Κλίματος και της Ενέργειας, στο πλαίσιο της συμμετοχής της χώρας στο συλλογικό Ευρωπαϊκό στόχο της επιτυχούς και βιώσιμης μετάβασης σε μια οικονομία κλιματικής ουδετερότητας έως το έτος 2050, σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Αφού τέθηκε σε δημόσια διαβούλευση από τις 10 έως τις 27 Δεκεμβρίου 2019, υποβλήθηκε στις αρχές του 2020 από την Ελληνική Κυβέρνηση στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Στόχος της μακροπρόθεσμης στρατηγικής είναι να παρουσιάζει τις διαθέσιμες τεχνολογικές λύσεις με δυνατότητα εφαρμογής στο εγχώριο πεδίο, αποφεύγοντας τη μοναδιαία επιλογή κάποιων εξ' αυτών, ώστε σε επίπεδο ενεργειακής πολιτικής να υπάρχει η δυνατότητα και η ευελιξία για προσαρμογή των μέτρων ανάλογα με την τεχνολογική πρόοδο και τη διάρθρωση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στους κλάδους οικονομικής δραστηριότητας μετά το έτος 2030 [16], [10].

Υπό το πρίσμα αυτό η μακροχρόνια στρατηγική εξετάζει το φάσμα των διαθέσιμων επιλογών και των διαφορετικών σεναρίων εξέλιξης του ενεργειακού συστήματος, για την απαραίτητη ενεργειακή μετάβαση με τον πιο οικονομικά ανταγωνιστικό τρόπο για την εθνική οικονομία, προκειμένου να επιτευχθεί δραστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και εκσυγχρονισμός της οικονομίας [16].

Η Μακροχρόνια Στρατηγική προς την κλιματική ουδετερότητα το 2050 περιλαμβάνει βασικές πολιτικές που ταξινομούνται στους εξής άξονες [11]:

- Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.
- Εξηλεκτρισμός μεταφορών και θερμότητας
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Καθαρή κινητικότητα στον τομέα των μεταφορών
- Βιομηχανική ανταγωνιστικότητα και κλιματική ουδετερότητα
- Υποδομές σε δίκτυα και πολιτικές ολοκλήρωσης αγορών
- Βιοοικονομία

### 3. Παθητικό Κτίριο – Nearly Zero Energy Building (NZEB)

#### 3.1 Η έννοια του παθητικού κτιρίου

Το Παθητικό Κτίριο (Passive House) είναι ένα πρότυπο κτιρίου το οποίο προσφέρει ταυτόχρονα υψηλή ενεργειακή απόδοση, άνεση, οικονομία και είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Το πρότυπο του Παθητικού Κτιρίου είναι ένα καθαρά υπολογιστικό πρότυπο που βασίζεται αποκλειστικά στις αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού, αρχών της φυσικής, την ενεργειακή αποδοτικότητα του κτιρίου και ως εκ τούτου το κάθε παθητικό κτίριο μπορεί και πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα με το κλίμα της περιοχής. Τα Παθητικά Κτίρια διατηρούν όλο το χρόνο μια άνετη και ευχάριστη θερμοκρασία με ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις. Τα κτίρια θερμαίνονται παθητικά, δηλαδή κάνουν αποτελεσματική χρήση του ήλιου, των εσωτερικών πηγών θερμότητας και της ανάκτησης θερμότητας, με αποτέλεσμα τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης να μην είναι απαραίτητα ακόμη και τις πιο κρύες ημέρες του χειμώνα. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, το Παθητικό Κτίριο χρησιμοποιεί παθητικές τεχνικές ψύξης, όπως είναι ο σωστός σχεδιασμός σκίασης και νυχτερινού φυσικού αερισμού, προκειμένου να διατηρείται δροσερό. Σε κάθε περίπτωση, τα εξαιρετικής ποιότητας και τεχνολογίας υλικά και ο προσεκτικός σχεδιασμός εγγυώνται ότι οι θερμοκρασίες παραμένουν όλο το χρόνο, σε σταθερά και ευχάριστα για τους χρήστες επίπεδα [26].

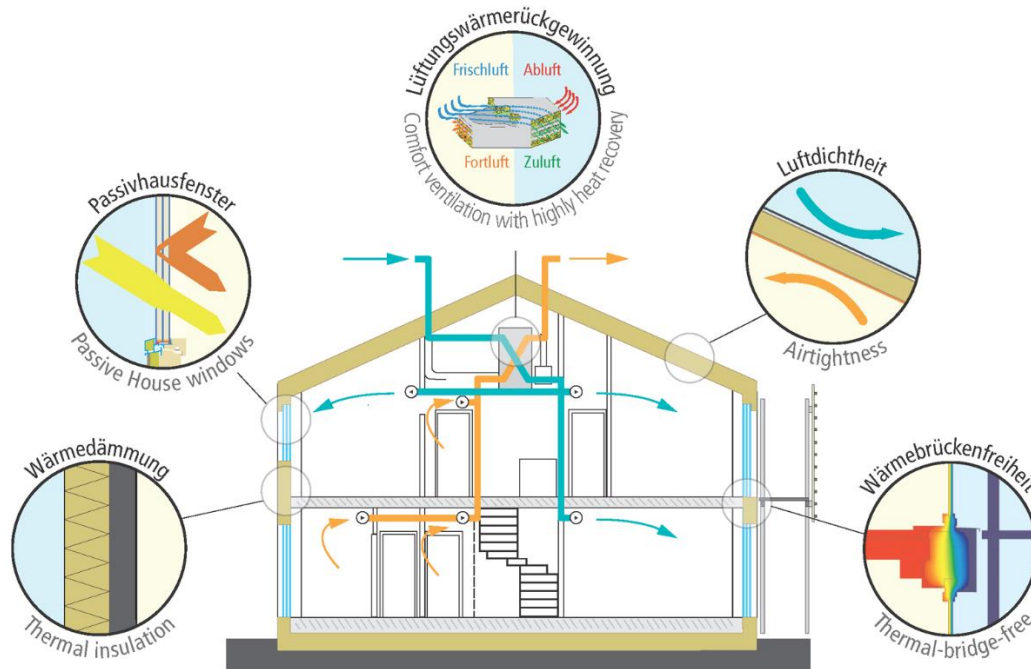
Ένα Παθητικό Κτίριο χρησιμοποιεί έως και 90% λιγότερη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη από τα συμβατικά κτίρια της Κεντρικής Ευρώπης, με αποτέλεσμα να απαιτείται λιγότερο από 1,5 λίτρο πετρελαίου ή 1,5 κυβικό μέτρο φυσικού αερίου το χρόνο, για τη θέρμανση ενός τετραγωνικού μέτρου κατοικήσιμου χώρου [26]. Ο περιορισμός της χρήσης ενέργειας οδηγεί σε περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, και έτσι το Παθητικό Κτίριο είναι μια πραγματικά αειφόρος επιλογή σε σχέση με τις συμβατικές κατασκευές.



Εικόνα 3. Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας για διαφορετικούς τύπους κατοικιών [26]

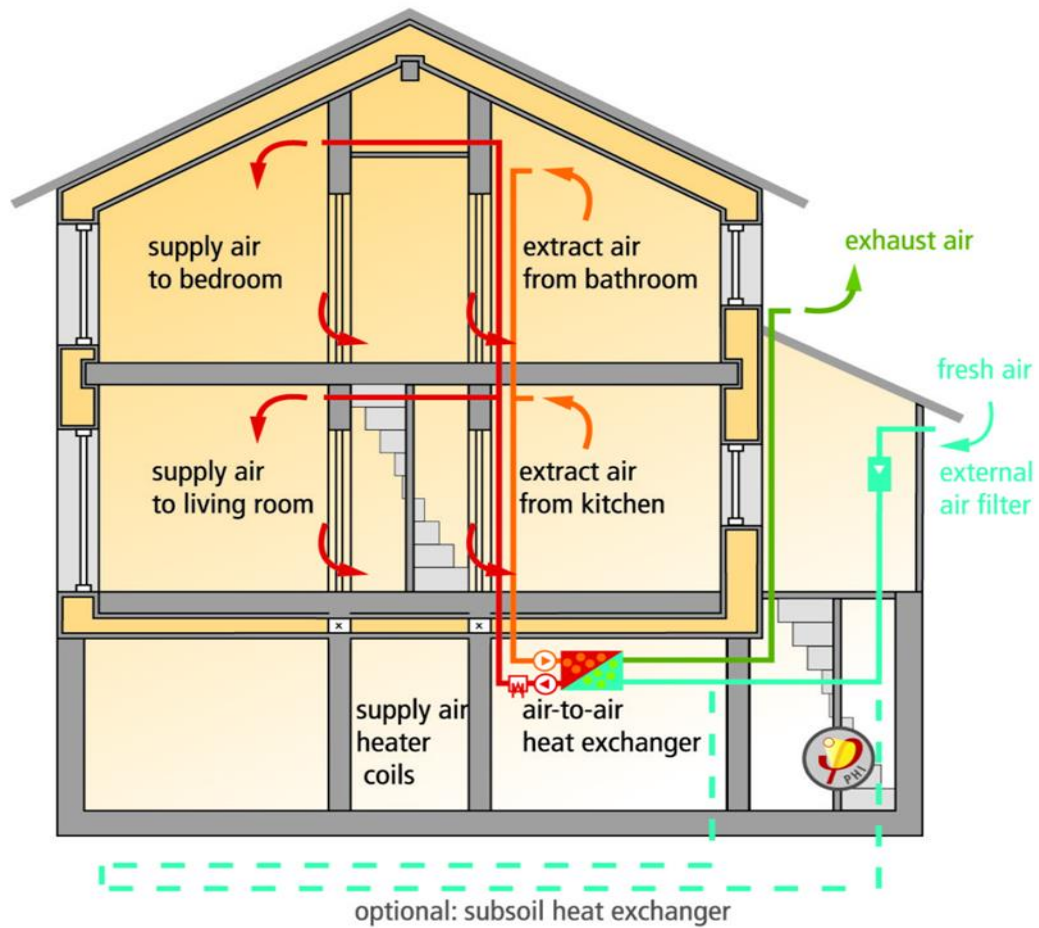
Τα μέγιστα ενεργειακά κέρδη ενός Παθητικού Κτιρίου επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας επιμέρους ενεργειακά αποδοτικότερα κατασκευαστικά στοιχεία και ένα ποιοτικό σύστημα αερισμού. Η ικανότητα του Παθητικού Κτιρίου να διατηρεί στο εσωτερικό του τις επιθυμητές συνθήκες διαβίωσης βασίζεται στις εξής πέντε θεμελιώδεις αρχές, οι οποίες παρουσιάζονται στην **Εικόνα 4** και αναλύονται στην υπό ενότητα 3.2.

### 3.2 Πέντε Βασικές Αρχές



**Εικόνα 4. Οι πέντε (5) βασικές αρχές ενός Παθητικού Κτιρίου [26]**

1. **Μόνωση:** Ένα σωστά μονωμένο κτιριακό κέλυφος, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, διατηρεί τη ζέση μέσα στο κτίριο, ενώ το καλοκαίρι την εμποδίζει να εισέλθει μέσα σε αυτό.
2. **Παράθυρα:** Τα σωστά σχεδιασμένα, μονωμένα και τοποθετημένα κουφώματα συμμετέχουν στη βέλτιστη αξιοποίηση των ηλιακών κερδών.
3. **Αερισμός με ανάκτηση θερμότητας:** Τα συστήματα αερισμού των Παθητικών Κτιρίων παρέχουν καθαρό αέρα, απαλλαγμένο από γύρη και σκόνη, με μέγιστη ενεργειακή απόδοση μέσω της ανάκτησης θερμότητας και με έλεγχο της υγρασίας. Ο μηχανισμός αερισμού με ανάκτηση θερμότητας παρουσιάζεται αναλυτικά στην **Εικόνα 5**.



Εικόνα 5. Μηχανικός αερισμός με ανάκτηση θερμότητας [26]

4. Αεροστεγανότητα: Τα Παθητικά κτίρια είναι έτσι σχεδιασμένα ώστε να αποφεύγονται οι διαρροές αέρα στο κτιριακό κέλυφος με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ενεργειακή απόδοση και να εμποδίζεται η εμφάνιση ρευμάτων αέρα και φθορών από την υγρασία.
5. Θερμογέφυρες: Η ελαχιστοποίηση θερμογεφυρών και ασθενών σημείων στο κτιριακό κέλυφος, συνεισφέρει στη δημιουργία ευχάριστης και σταθερής θερμοκρασίας, ενώ εξαλείφει τις φθορές από την υγρασία, ενώ αυξάνει την ενεργειακή απόδοση.

## 4. Χρήση Έξυπνων Υλικών για Εξοικονόμηση Ενέργειας

Τα Έξυπνα Υλικά ορίζονται σαν υλικά που διαμορφώνουν μέρος ενός έξυπνου δομικού συστήματος που έχει τη δυνατότητα να έχει την αίσθηση του περιβάλλοντα χώρου και τις επιδράσεις αυτού και να αντιδρά σε αυτόν τον εξωτερικό παράγοντα, μέσω ενός μηχανισμού ελέγχου.

Τα έξυπνα υλικά μπορούν να ομαδοποιηθούν, ανάλογα με τις δυνατότητες που διαθέτουν, στις εξής δύο παρακάτω κατηγορίες [27]:

1. **Τύπος 1: Έξυπνα Υλικά – Δυνατότητα Αλλαγής Ιδιότητας** (χημική, μηχανική, μαγνητική, οπτική, ηλεκτρική ή θερμική), ως αντίδραση σε μια αλλαγή στις συνθήκες περιβάλλοντος του υλικού.

### Χρωμικά ή έξυπνα υλικά με μεταβολή χρώματος

Αυτή η κατηγορία, περιλαμβάνει όλα τα υλικά αλλαγής χρώματος, στα οποία η επιφάνεια τους ή η μοριακή φασματική απορρόφηση της ορατής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας τροποποιείται μέσω μιας περιβαλλοντικής αλλαγής (προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία επιφάνειας) ή μιας άμεσης εισροής ενέργειας στο υλικό (ρεύμα).

Αυτά συνθέτουν μια κατηγορία υλικών στην οποία μια αλλαγή στην εξωτερική πηγή ενέργειας παράγει μια αλλαγή στην ιδιότητα στις οπτικές ιδιότητες ενός υλικού – την απορροφητικότητα του, την αντανακλαστικότητα του ή διασπορά του. Τα υλικά λοιπόν που λέγονται ότι αλλάζουν χρώμα στην πραγματικότητα δεν αλλάζουν. Αλλάζουν τις οπτικές ιδιότητές τους κάτω από διαφορετικά εξωτερικά ερεθίσματα (π.χ. θέρμανση, φως, ή το χημικό περιβάλλον), το οποίο συχνά εκλαμβάνεται σαν αλλαγή χρώματος.

Πιο συγκεκριμένα, η κατηγορία αυτή, περιλαμβάνει τα εξής υλικά:

- Φωτοχρωμικά, τα υλικά που αλλάζουν χρώμα όταν εκτίθενται στο φως.
- Θερμοχρωμικά, τα υλικά που αλλάζουν χρώμα λόγω της μεταβολής της θερμοκρασίας.
- Μηχανοχρωμικά, τα υλικά που αλλάζουν χρώμα λόγω της ισχύς που επιβάλλεται ή/και τις παραμορφώσεις .
- Χημοχρωμικά, τα υλικά που αλλάζουν χρώμα όταν εκτίθενται σε συγκεκριμένα χημικά περιβάλλοντα.
- Ηλεκτροχρωμικά, τα υλικά που αλλάζουν χρώμα όταν εφαρμόζεται τάση ρεύματος.

### Υλικά Αλλαγής Φάσης

Στις μεταβολές φάσης των υλικών, πολλά υλικά μπορούν να περνούν από διαφορετικές φυσικές καταστάσεις – αέρια, υγρά ή στερεά – που είναι γνωστές ως φάσεις. Μια μεταβολή στη θερμοκρασία ή στην πίεση που ασκείται πάνω σε ένα υλικό μπορεί να προκαλέσει τη μεταβολή της κατάστασής του. Οι διαδικασίες μεταβολής φάσης σταθερά περιλαμβάνουν

την απορρόφηση, την αποθήκευση ή την απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας με τη μορφή της λανθάνουσας θερμότητας.

#### **Λοιπά**

Στα Έξυπνα Υλικά Τύπου 1, ακόμα κατατάσσονται αγώγιμα πολυμερή και άλλοι έξυπνοι αγωγοί, ρεολογικά υλικά και υγρά κρύσταλλα.

#### **2. Τύπος 2: Έξυπνα Υλικά - Δυνατότητα Ανταλλαγής Ενέργειας**

Όταν η ενεργειακή κατάσταση ενός δεδομένου υλικού είναι ίση με την ενεργειακή κατάσταση του περιβάλλοντος που το περιστοιχίζει, τότε αυτό το υλικό λέγεται ότι είναι σε ισορροπία. Αν το υλικό είναι σε διαφορετική ενεργειακή κατάσταση, τότε δημιουργείται μια δυνατότητα που οδηγεί στην ανταλλαγή ενέργειας. Όλα τα υλικά που ανταλλάσσουν ενέργεια περιλαμβάνουν ενεργειακά επίπεδα ατόμου, δηλαδή η εισροή ενέργειας ανυψώνει το επίπεδο και η εκροή ενέργειας επιστρέφει το επίπεδο στην κατάσταση εδάφους. Πολλά από τα υλικά που ανταλλάσσουν ενέργεια είναι επίσης διπλής κατεύθυνσης, καθώς η ενέργεια που εισρέει με την ενέργεια που εκρέει μπορούν να εναλλαχθούν.

#### **Υλικά που εκπέμπουν φως**

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει υλικά που εκπέμπουν φως το οποίο δεν προκαλείται μέσω της πυράκτωσης, αλλά μέσω άλλων τρόπων, όπως της χημικής ενέργειας. Με μεγαλύτερη ακρίβεια, το φως προκαλείται μέσω της επανάληψης της εκπομπής της ενέργειας σε μήκη κύματος στο ορατό φάσμα και σχετίζεται με την επιστροφή των ηλεκτρονίων από την υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση σε χαμηλότερη ενεργειακή κατάσταση.

#### **Βασικά φαινόμενα ημιαγωγών**

Τα βασικά ημι-αγωγιμα υλικά, όπως η σιλικόνη, δεν είναι ούτε καλοί αγωγοί ούτε καλοί μονωτές, όμως με την προσθήκη μικρών ρύπων που καλούνται προσμίξεις, μπορούν να κατασκευαστούν έτσι ώστε να διέπονται από εντυπωσιακές ηλεκτρικές ιδιότητες. Η προσθήκη αυτών των προσμίξεων επιτρέπει στην κίνηση των ηλεκτρονίων να είναι ελεγχόμενη με ακρίβεια. Η αξιοποίηση των ιδιοτήτων που προκύπτουν έχουν επιτρέψει στους ημι-αγωγούς την εξυπηρέτηση λειτουργιών όπως οι περίτεχνες ηλεκτρονικές διατάξεις κυκλωμάτων που αποτελούνται από πολλά μέρη. Επίσης, είναι αρκετά δελεαστικό το γεγονός ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας, σε αντίθεση με περισσότερα μέταλλα, αυξάνεται η αγωγιμότητα τους.

#### **Λοιπά**

Στα Έξυπνα Υλικά Τύπου 2, ακόμα κατατάσσονται φωτοβολταϊκά, θερμοηλεκτρικά, πιεζοηλεκτρικά και τα κράματα που διαθέτουν μνήμη σώματος.

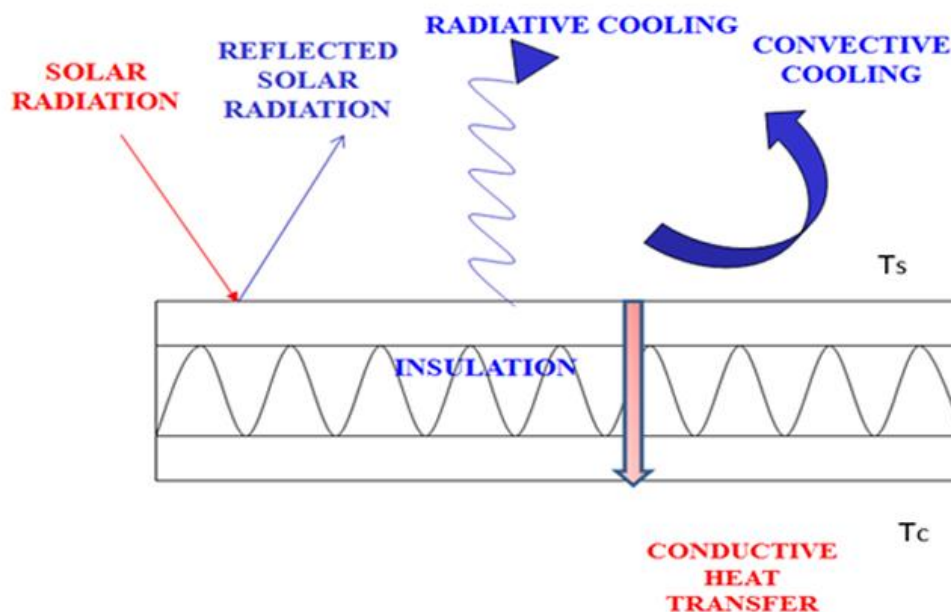


Κάποια βασικά έξυπνα υλικά, των οποίων οι εφαρμογές αποφέρουν πολλά οφέλη στην εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα, είναι τα ψυχρά, τα θερμοχρωμικά και τα αλλαγής φάσης υλικά.

## 4.1 Ψυχρά Υλικά

### 4.1.1 Μηχανισμός ψυχρών υλικών

Όταν μια επιφάνεια εκτίθεται στον ήλιο, λαμβάνουν χώρα κάποιες φυσικές διεργασίες, οι οποίες καθορίζουν τη θερμοκρασία της επιφάνειας. Η διεργασία απεικονίζεται στην παρακάτω **Εικόνα 6**.



**Εικόνα 6. Η ενεργειακή ισορροπία ενός υλικού [28]**

Η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στην επιφάνεια και μέρος της ανακλάται και μέρος απορροφάται από το υλικό συμβάλλοντας στη θέρμανση του. Κατά συνέπεια, η επιφάνεια εκπέμπει ακτινοβολία στο μακρινό υπέρυθρο τμήμα του φάσματος, καθώς η ανταλλαγή ακτινοβολίας λαμβάνει χώρα μεταξύ δύο επιφανειών όταν η μία είναι θερμότερη από την άλλη και είναι σε επαφή. Επιπλέον, η επιφάνεια ανταλλάσσει ενέργεια με συναγωγή με τον παρακείμενο αέρα. Τέλος, η θερμότητα διοχετεύεται μέσω των στρώσεων μέσα στο υλικό, από την πιο ζεστή προς την πιο δροσερή πλευρά [28]. Η επαγόμενη, από την αγωγιμότητα, ροή θερμότητας μέσω του υλικού ( $Q_{in}$ ), και επομένως η ενέργεια που απαιτείται για θέρμανση ή ψύξη, εξαρτάται από τη θερμική αντίσταση του υλικού και τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εξωτερικής και της εσωτερικής επιφάνειας [29]:

$$Q_{in} = \frac{T_s - T_c}{R},$$

όπου R: η συνολική θερμική αντίσταση του υλικού [ $m^2K/W$ ]  
 $T_s$ : η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του υλικού [K]  
 $T_c$ : η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του υλικού [K]

Πιο αναλυτικά, η εξίσωση που περιγράφει την θερμική ισορροπία μιας οριζόντιας επιφάνειας, που εκτίθεται στον ήλιο, όπως για παράδειγμα μίας στέγης, είναι η εξής [29]:

$$(1 - SR) \cdot I = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_{sky}^4) + h_c \cdot (T_s - T_{sky}) + Q_{in}$$

όπου, I: η ηλιοφάνεια [ $W/m^2$ ]

SR (Solar Reflectance): η ηλιακή ανάκλαση

$\varepsilon$ : η εκπομπή της επιφάνειας

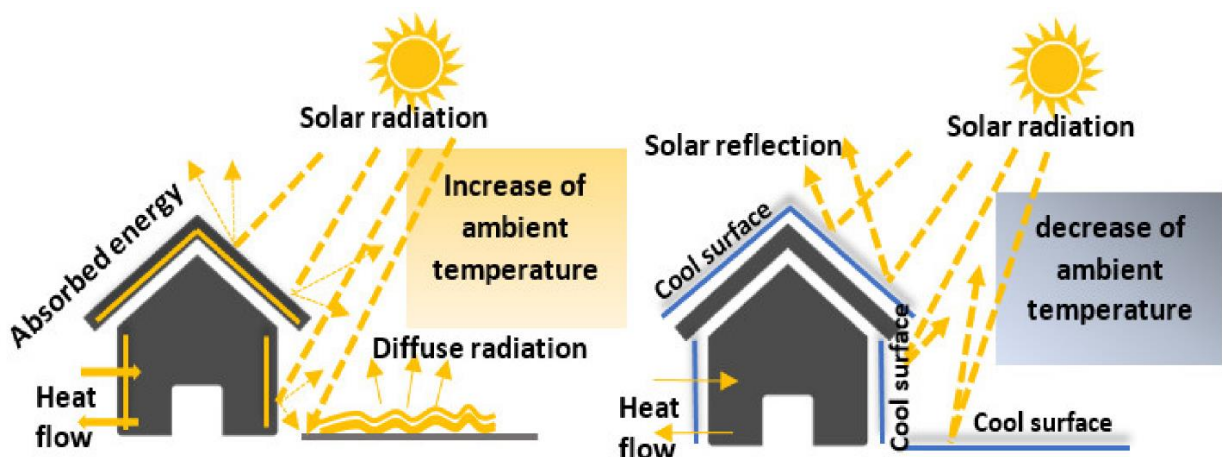
$\sigma$ : η σταθερά Stefan – Boltzmann [ $\sigma = 5.6685 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$ ]

$h_c$ : ο συντελεστής μεταφοράς [ $\frac{W}{m^2 K}$ ]

$T_{sky}$ : η θερμοκρασία του ουρανού (περιβάλλοντος χώρος) [K]

$T_s$ : η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του υλικού [K]

Αν σκεφτούμε ότι η οροφή είναι μονωμένη από κάτω, οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική απόδοση της επιφάνειας είναι η ηλιακή ανάκλαση (SR) και η υπέρυθη εκπομπή (IE). Κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο κυρίαρχος παράγοντας είναι η ηλιακή ανάκλαση και η υπέρυθη εκπομπή έχει μικρότερη επίδραση στην θερμοκρασία της επιφάνειας. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της νύχτας, η θερμοκρασία της επιφάνειας και η υπέρυθη εκπομπή είναι ισχυρά συσχετιζόμενες, που σημαίνει ότι η εκπομπή γίνεται ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την θερμική απόδοση [28].



Εικόνα 7. Σχηματική απεικόνιση της επίδρασης των ψυχρών υλικών [29]



#### 4.1.2 Ιδιότητες ψυχρών υλικών

Τα ψυχρά υλικά χαρακτηρίζονται από [28]:

- α. Υψηλή ηλιακή ανάκλαση (SR), η οποία είναι ένα μέτρο της ικανότητας μίας επιφάνειας υλικού να ανακλά τον ηλιακή ακτινοβολία. Ο όρος ηλιακή ανάκλαση δηλώνει τη συνολική ανάκλαση μιας επιφάνειας, λαμβάνοντας υπόψη την ημισφαιρική ανάκλαση της ακτινοβολίας, ενσωματωμένη στο ηλιακό φάσμα, συμπεριλαμβανομένου της κατοπτρικής και διάχυτης αντανάκλαση. Μετριέται σε κλίμακα από 0 έως 1 (ή 0-100%).
- β. Υψηλή υπέρυθη εκπομπή (IE), η οποία είναι ένα μέτρο της ικανότητας μίας επιφάνειας να απελευθερώνει, την απορροφημένη θερμότητα. Καθορίζει πόσο καλά μια επιφάνεια εκπέμπει ενέργεια μακριά από τον εαυτό της, σε σύγκριση με ένα μέλαν σώμα που λειτουργεί στην ίδια θερμοκρασία. Η υπέρυθη εκπομπή μετράτε σε κλίμακα από 0 έως 1 (ή 0-100%).

Αυτές οι δύο ιδιότητες έχουν ως αποτέλεσμα να επηρεάζουν τη θερμοκρασία μιας επιφάνειας. Εάν μια επιφάνεια με υψηλό SR και IE εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία θα έχει χαμηλότερη θερμοκρασία επιφάνειας, σε σύγκριση με μία παρόμοια επιφάνεια με χαμηλότερο SR. Εάν η ψυχρή επιφάνεια βρίσκεται στο κέλυφος του κτιρίου, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμότητας που διεισδύει στο κτίριο και για μια επιφάνεια στο αστικό περιβάλλον, αυτό θα συνέβαλλε στη μείωση της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα, καθώς η ένταση της μεταφοράς θερμότητας από μια πιο δροσερή επιφάνεια είναι χαμηλότερη [28],[29].

#### 4.1.3 Αντοχή ψυχρών υλικών

Η ικανότητα των ψυχρών υλικών να διατηρούν τις οπτικές τους ιδιότητες είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας, ο οποίος πρέπει να ληφθεί πολύ σοβαρά υπόψιν για την περαιτέρω ανάπτυξή τους. Με την πάροδο των χρόνων είναι λογικό να μειωθεί η δυνατότητα εκπομπής της θερμότητας, αλλά αυτό διαφέρει ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο εξωτερικό περιβάλλον. Η μείωση εκτιμάται της τάξεως του 10-20% και γίνεται σταδιακά [30].

Οι κύριοι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία γήρανσης των ψυχρών υλικών είναι οι εξής [28]:

1. Ηλιακή ακτινοβολία και θερμοκρασία: Η έκθεση του υλικού στην ηλιακή ακτινοβολία αυξάνει τη θερμοκρασία του υλικού. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας βλάπτουν ένα υλικό λόγω των τάσεων που αναπτύσσονται σε αυτό, λόγω της διαφορικής θερμικής διαστολής.

2. Άνεμος: Οι υψηλές ταχύτητες ανέμου μπορεί να ασκήσουν υψηλή πίεση στο υλικό, προκαλώντας δομική υποβάθμιση του υλικού.
3. Νερό: Τα οπτικά χαρακτηριστικά του υλικού μπορούν να αλλοιωθούν από τη βροχή, το χαλάζι και το χιόνι. Η βροχή μερικές φορές μπορεί να αποκαταστήσει τα οπτικά χαρακτηριστικά των υλικών αφαιρώντας τη σκόνη και άλλους ρύπους.
4. Ατμοσφαιρικά αέρια και ρύποι: Μπορούν να σχηματιστούν διάφορα οξείδια και υδροξείδια με την αντίδραση ατμοσφαιρικού οξυγόνου και υδρατμών. Επιπλέον άλλες χημικές ενώσεις που σχηματίζονται από καύση ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ), όταν διαλυθούν στο νερό υπάρχει η πιθανότητα να παράγουν οξύ, που μπορεί να προκαλέσει υποβάθμιση του υλικού. Επίσης, άλλα υλικά όπως η σκόνη μπορούν να αλλάξουν τα οπτικά χαρακτηριστικά του υλικού.
5. Βιολογική ανάπτυξη: Η ανάπτυξη του μύκητα στα υλικά συνήθως μπορεί να αλλάξει τα οπτικά χαρακτηριστικά του υλικού.

#### 4.1.4 Εφαρμογές ψυχρών υλικών σε κτίρια

Η ευρεία χρήση ψυχρών υλικών στο δομημένο περιβάλλον τόσο σε επίπεδο κτιρίου όσο και σε επίπεδο πόλης είναι εποικοδομητικό. Τα άμεσα αποτελέσματα όσον αφορά τα κτίρια, είναι η μείωση της θερμοκρασίας των εξωτερικών επιφανειών, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την απαιτούμενη ισχύ και τα φορτία αιχμής κατά τους καλοκαιρινούς μήνες σε κλιματιζόμενα κτίρια, ενώ σε μη κλιματιζόμενα κτίρια η χρήση ψυχρών υλικών μπορεί να βελτιώσει τη θερμική άνεση.

Η πιο συχνή χρήση ψυχρών υλικών, στο δομικό κέλυφος ενός κτιρίου, γίνεται στο κομμάτι της οροφής και ονομάζονται ψυχρές οροφές (Cool Roofs). Μια ψυχρή στέγη είναι λιγότερο ένας τύπος στέγης και περισσότερο μια συλλογή υλικών στέγης που έχουν όλα τις ίδιες ιδιότητες, όπως μικρή απορρόφηση θερμότητας και μεγάλη ανακλαστικότητα ηλιακού φωτός. Τα ψυχρά υλικά, ως επιστρώσεις στέγης, μειώνουν τη θερμοκρασία της επιφάνειας μιας στέγης και μειώνουν τη μεταφορά θερμότητας, με αποτέλεσμα να μειώνουν τη χρήση ενέργειας και να σταθεροποιούν τη θερμοκρασία δωματίου. Πιο συγκεκριμένα, σε σύγκριση με τα παραδοσιακά υλικά στέγης, μπορούν να μειώσουν τις εσωτερικές θερμοκρασίες μεταξύ 3.5 και 9.0 βαθμών Φαρενάιτ [31].

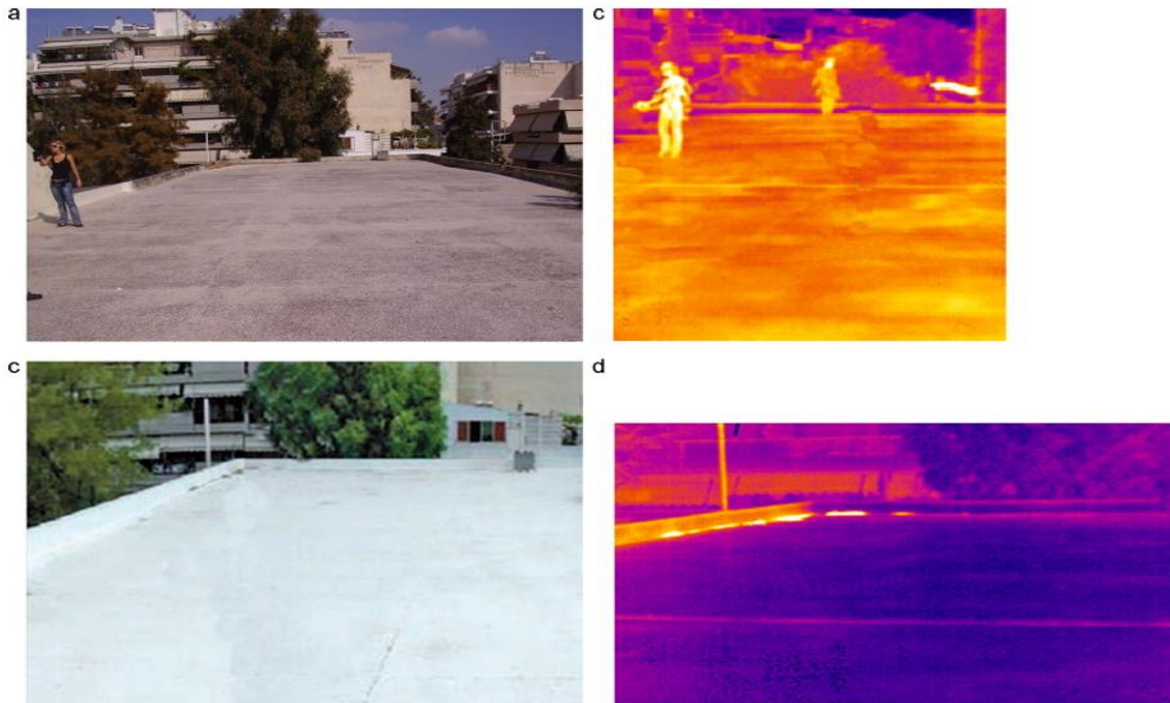
Στον

**Πίνακας 6**, δίνονται αντιπροσωπευτικές τιμές για SR και IE, για διαφορετικά συμβατικά δομικά υλικά και την αντίστοιχη διαθέσιμη ψυχρή επιλογή υλικού.

**Πίνακας 6. Σύγκριση μεταξύ κοινών θερμών και ψυχρών συστημάτων οροφής [28]**

Θερμό Σύστημα οροφής			Ψυχρό Σύστημα Οροφής		
Τύπος Οροφής	Ανακλαστικότητα	Εκπομπή	Τύπος Οροφής	Ανακλαστικότητα	Εκπομπή
Εντοιχισμένη οροφή με σκούρο χαλίκι	0.08 - 0.15	0.80 - 0.90	Εντοιχισμένη οροφή με λευκό χαλίκι ή με τσιμεντοειδής επίστρωση	0.50 - 0.70	0.80 - 0.90
Μεμβράνη μονής στρώσης- Μαύρο PVC	0.04 - 0.05	0.80 - 0.90	Μεμβράνη μονής στρώσης - Λευκό PVC	0.70 - 0.78	0.80 - 0.90
Μεμβράνη μονής στρώσης - Μαύρο PVC	0.04 - 0.05	0.80 - 0.90	Μεμβράνη μονής στρώσης βαμμένη με έγχρωμη ψυχρή μεμβράνη	0.30 - 0.80	0.80 - 0.90
Τροποποιημένη άσφαλτος με κάλυμμα ορυκτής επιφάνειας	0.10 - 0.20	0.80 - 0.90	Τροποποιημένη άσφαλτος με λευκή επίστρωση πάνω από ορυκτή επιφάνεια	0.60 - 0.75	0.80 - 0.90
Τσιμεντένιο πλακάκι σκούρου χρώματος με συμβατικές χρωστικές	0.05 - 0.35	0.80 - 0.90	Ψυχρό , έγχρωμο πλακάκι σκυροδέματος	0.40 - 0.65	0.80 - 0.90
Άβαφη οροφή από μέταλλο, κυματοειδής	0.30 - 0.50	0.05 - 0.30	Βαμμένη οροφή από μέταλλο, με έγχρωμη ψυχρή επίστρωση	0.05 - 0.80	0.80 - 0.90

Η **Εικόνα 8** απεικονίζει τον αντίκτυπο μιας ψυχρής επίστρωσης οροφής σε θερμοκρασία επιφάνειας. Η στέγη αρχικά καλυπτόταν από ένα συμβατικό σύστημα στέγης, αποτελούμενο από μεμβράνη ασφάλτου με πυριτικά αδρανή (SR=0,1, IE =0,9). Η θερμοκρασία της επιφάνειας, υπό ζεστές καλοκαιρινές συνθήκες φτάνει τους 65°C. Σε αυτό το συμβατικό σύστημα οροφής, μια ψυχρή επίστρωση λευκού ελαστομερούς έχει εφαρμοστεί (SR =0,89, IE=0,9) και η θερμοκρασία της επιφάνειας, υπό παρόμοιες καιρικές συνθήκες μειώθηκε στους 37°C [28], δηλαδή μια διαφορά θερμοκρασίας σχεδόν 30°C.



Εικόνα 8. Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας σε συστήματα οροφής [28]

## 4.2 Θερμοχρωμικά Υλικά

Μια παθητική και αποτελεσματική στρατηγική για τον περιορισμό των ψυκτικών φορτίων ενός κτιρίου είναι η εφαρμογή ανακλαστικών τεχνικών. Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή υλικών με ισχυρή ικανότητα απόρριψης του ηλιακού φωτός κατά τη διάρκεια ημερών υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος, μπορεί να αποτρέψει τη διείσδυση θερμότητας και να αυξήσει τη διάχυση θερμότητας προς το περιβάλλον. Είναι τεκμηριωμένο ότι οι επιστρώσεις υψηλής ανακλαστικότητας παράγουν 30% λιγότερα κέρδη θερμότητας σε σύγκριση με τις επιστρώσεις οροφής χαμηλής ανακλαστικότητας, ενώ περιορίζουν το μέγιστο φορτίο ψύξης σε 11-27% λιγότερο για την περίπτωση των κλιματιζόμενων κτιρίων [32]. Ωστόσο, οι ψυχρές επιστρώσεις προκαλούν μόνο εποχιακά οφέλη, στερώντας τα κέρδη θερμότητας του κτιρίου όταν χρειάζεται θέρμανση.

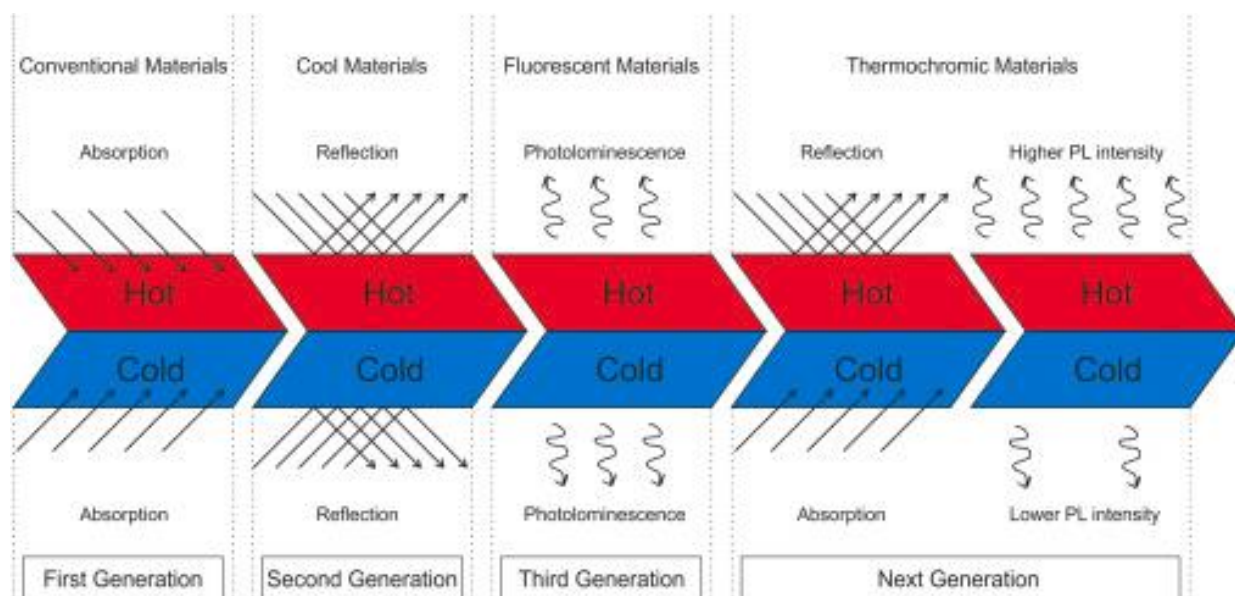
Με στόχο την αποφυγή αποκλεισμού θέρμανσης, αλλά την εκμετάλλευση του δυναμικού υψηλής ανακλαστικότητας για την ελαχιστοποίηση των ψυκτικών φορτίων, έχουν αναπτυχθεί ενεργά, δυναμικά και προσαρμοστικά θερμοχρωμικά υλικά. Τα θερμοχρωμικά υλικά ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία των χρωμογενικών υλικών, τα οποία είναι υλικά που παρουσιάζουν αλλαγές στις οπτικές ιδιότητες εξαιτίας κάποιας εξωτερικής διέγερσης. Πιο συγκεκριμένα, απορροφούν θερμότητα με αποτέλεσμα να αλλάζει η θερμοκρασία του

υλικού, το οποίο οδηγεί σε μια χημική αντίδραση, η οποία συμβάλει στην αλλαγή του χρωματισμού τους. Αυτές οι δύο καταστάσεις εκτείνονται σε διαφορετικά εύρη θερμοκρασιών και χαρακτηρίζονται από διαφορετικές οπτικές ιδιότητες. Αναλυτικότερα, στην έγχρωμη κατάσταση, το υλικό χαρακτηρίζεται από χαμηλή τιμή ανακλαστικότητας, ενώ στην άχρωμη κατάσταση, το υλικό παρουσιάζει υψηλή τιμή ανακλαστικότητας. Έχουν, επίσης, την ικανότητα αναστρέψιμης μεταβολής του χρώματος τους, συναρτήσει της θερμοκρασίας τους.

Τα θερμοχρωμικά υλικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο ομάδες [33]:

- i. θερμοχρωμικά υλικά που βασίζονται σε βαφές, όπως οι λευκοβαφές (Leuco-dyes) και
- ii. μη βαφικά θερμοχρωμικά υλικά.

Στον κτιριακό τομέα, μόνο τα θερμοχρωμικά υλικά που βασίζονται σε βαφές χρησιμοποιούνται έως τώρα και οι πιο συνηθισμένες εφαρμογές τους είναι σε επιστρώσεις της τοιχοποιίας ή σε ενσωμάτωσή τους σε δομικά υλικά, όπως στους υαλοπίνακες του κτιρίου. Η συμβολή τους είναι πολύ ενεργειακά κερδοφόρα, παρόλα αυτά το ενδεχόμενο αποκλειστικής χρήσης θερμοχρωμικών χρωμάτων στην εξωτερική τοιχοποιία κτιρίων, αν και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αντιμετωπίζει προς το παρόν ένα βασικό εμπόδιο, την φωτοαποικοδόμηση. Η μεγάλη έκθεση των θερμοχρωμικών χρωμάτων στην υπεριώδη ακτινοβολία οδηγεί σε αποικοδόμηση του υλικού και κατά συνέπεια σε απώλεια της θερμοχρωμικής ιδιότητάς τους.



**Εικόνα 9. Η οπτική απόκριση διαφορετικών γενεών δομικών υλικών σε ψυχρές και θερμές περιόδους [33]**

#### 4.2.1 Θερμοχρωμικές Βαφές

Υπάρχουν δύο μηχανισμοί που επιδεικνύουν θερμοχρωμική συμπεριφορά σε λειτουργικές βαφές:

- μεταφορά πρωτονίων βαφών που είναι ενσωματωμένες σε μια πολυμερή μήτρα και
- αντιδράσεις μεταφοράς πρωτονίων στις λευκοβαφές (Leuco-dyes)

##### 4.2.1.1 Βαφή - Πολυμερές

Αυτό το σύστημα περιλαμβάνει δύο κύρια συστατικά: τη βαφή με δείκτη pH και τη μήτρα πολυμερούς. Τα πολυμερή βαφής αναφέρεται ότι περνούν από μια διαδικασία δύο σταδίων. Πρώτον, η μήτρα του πολυμερούς αλλάζει το pH της με τη θερμοκρασία και στο επόμενο στάδιο, η χρωστική ένδειξη pH αλλάζει το χρώμα της με την αλλαγή της τιμής του pH. Έτσι, η αλληλεπίδραση μεταξύ της βαφής δείκτη pH και της πολυμερούς μήτρας είναι η κινητήρια δύναμη του θερμοχρωμικού φαινομένου [33].

##### 4.2.1.2 Λευκοβαφές (Leuco-dyes)

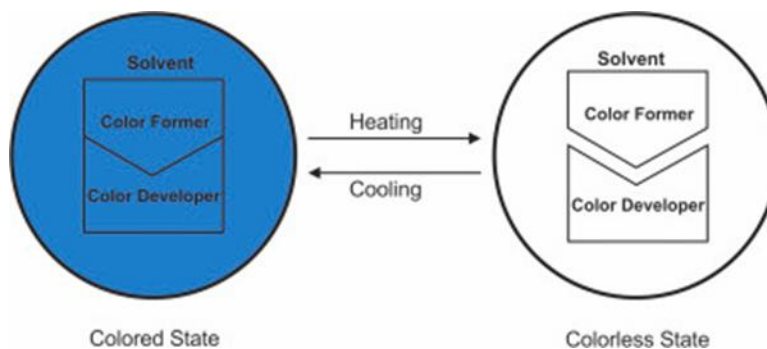
#### Μηχανισμός και Σύνθεση

Η λευκοχρωστική βαφή είναι ικανή να μεταβεί από την άχρωμη στην έγχρωμη κατάσταση μέσω της αλλαγής θερμοκρασίας. Τα θερμοχρωμικά συστήματα της λευκοβαφής αποτελούνται από τρία συστατικά [33]:

1. σχηματιστής χρώματος (λευκή χρωστική),
2. παράγοντας ανάπτυξης χρώματος και
3. συν διαλύτης.

Το σημείο τήξης του συν διαλύτη καθορίζει τη θερμοκρασία στην οποία συμβαίνει η αλλαγή χρώματος. Το υλικό χρωματίζεται σε θερμοκρασίες κάτω από το σημείο τήξης του συν διαλύτη, λόγω του σχηματισμού του παράγοντα ανάπτυξης χρώματος και του σχηματιστή χρώματος. Όταν ο συν διαλύτης τήκεται, το σύμπλεγμα βαφή-παράγοντα ανάπτυξης καταστρέφεται, η αλληλεπίδραση διαλύτη-παράγοντα ανάπτυξης γίνεται κυρίαρχη και το σύστημα γίνεται άχρωμο [33], όπως φαίνεται στην **Εικόνα 10**.





**Εικόνα 10. Σχηματική αναπαράσταση θερμοχρωμικού μηχανισμού λευκοβαφών [33]**

Οι πιο κοινές λευκοβαφές είναι τα παράγωγα τριφαινυλομεθάνιο και φλουρανίου που φέρουν δακτύλιο λακτόνης στη μοριακή τους δομή. Η ζώνη απορρόφησης του τριφαινυλομεθανίου μετατοπίζεται από τα 280 nm στην άχρωμη κατάσταση στα 610 nm στην έγχρωμη κατάσταση. Οι λευκοβαφές φλουρανίου έχουν ζώνες απορρόφησης στα 470 nm (κίτρινο) και 570 nm (ιώδες) με σχεδόν την ίδια ένταση στην έγχρωμη κατάσταση. Υπάρχουν ορισμένες λευκοβαφές με αλλαγή χρώματος σε περισσότερα από ένα βήμα. Για παράδειγμα, μια λευκοβαφή με δύο μονάδες φθορίου αναφέρεται ότι εμφανίζει μια αλλαγή χρώματος σε δύο στάδια (άχρωμο/ροζ και ροζ/μπλε-πράσινο). Η αλλαγή χρώματος σε δύο στάδια οφείλεται στο άνοιγμα-κλείσιμο δύο δακτυλίων σπειρολακτόνης στη μοριακή δομή [33].

#### Θερμοχρωμικά υλικά στον κτιριακό τομέα

Οι δυσκολίες εφαρμογής των λευκοβαφών στον κτιριακό τομέα επικεντρώνονται σε δύο βασικούς τομείς [32], :

- i. δυναμικό διατήρησης ενέργειας των λευκοβαφών και τις επιπτώσεις τους στις οπτικές, θερμικές και μηχανικές ιδιότητες και
- ii. παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των θερμοχρωμικών υλικών όπως ως το υπόστρωμα και το φέρον υλικό.

Κυρίως, υπάρχουν δύο μέθοδοι για τη μελέτη της θερμοχρωμικής απόδοσης των λευκοβαφών, συμπεριλαμβανομένης της ταχείας μεθόδου όπου τα πλακάκια που παράγονται με θερμοχρωμικά υλικά τοποθετούνται σε έναν κλιματικό θάλαμο και η αργή μέθοδος κατά την οποία τα θερμοχρωμικά πλακίδια τοποθετούνται σε εξωτερικούς χώρους και οι θερμοχρωμικές ιδιότητες μετρούνται υπό φυσικές κλιματολογικές συνθήκες. Δεδομένου ότι η διαδικασία αλλαγής χρώματος εξαρτάται από το μέγεθος της

αγωγιμότητας της θερμότητας, οι θερμοκρασίες αλλαγής χρώματος στο εργαστήριο είναι συνήθως υψηλότερες από εκείνες σε εξωτερικούς χώρους.

Η μέγιστη αύξηση της ηλιακής ανάκλασης από έγχρωμη σε άχρωμη φάση υπολογίζεται περίπου στο 43% για τα θερμοχρωμικά δείγματα. Επίσης, οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες επιφάνειας κυμαίνονται από 23.8°C έως 38.4°C για τα θερμοχρωμικά δείγματα ενώ κυμαίνονταν από 28.1°C έως 44.6 °C για το δροσερό και από 29.8°C έως 48.5 °C για τα κοινά δείγματα. Το θερμοχρωμικό υλικό μπορεί επίσης να βελτιώσει τις θερμικές και μηχανικές ιδιότητες των επικαλύψεων [33].

### Αντοχή θερμοχρωμικών βαφών και δομικών προϊόντων

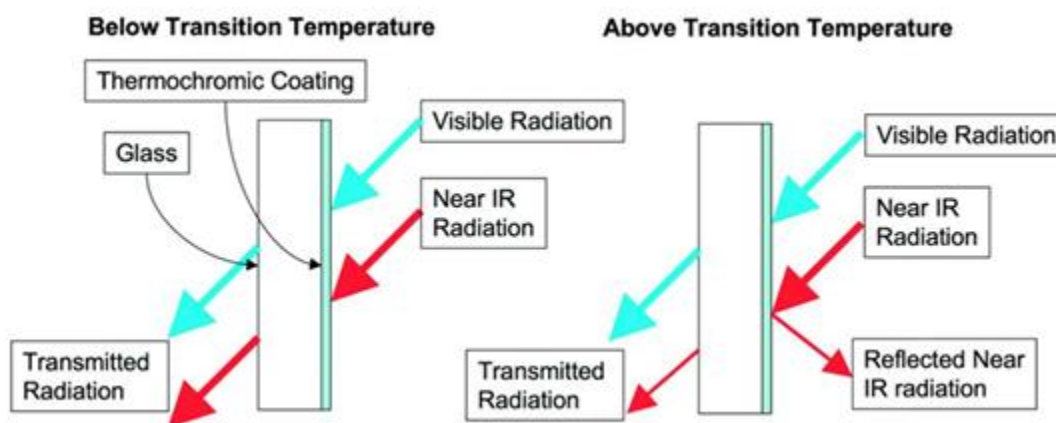
Το μειονέκτημα των θερμοχρωμικών υλικών είναι η έλλειψη αντοχής. Πιο συγκεκριμένα, η έγχρωμη κατάσταση των θερμοχρωμικών υλικών με βάση τη βαφή σταδιακά ξεθωριάζει και η ανάκλαση αυξάνεται, ενώ η άχρωμη κατάσταση γίνεται πιο σκούρα και η ηλιακή ανάκλαση μειώνεται. Η φωτολεύκανση είναι η αιτία αυτού του προβλήματος, η οποία προκαλείται από την απορρόφηση καταστροφικών μηκών κύματος υπεριώδους ακτινοβολία. Βέβαια είναι γεγονός, ότι όχι μόνο τα φωτόνια στο υπεριώδες τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας αλλά και ορισμένες ορατές συχνότητες κοντά στην περιοχή της υπεριώδους ακτινοβολίας ευθύνονται για την υποβάθμιση των θερμοχρωμικών ιδιοτήτων [32], [33].

Αναμφίβολα, οι λευκοβαφές δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα σε κτίρια, εκτός εάν αναπτυχθεί μια αποτελεσματική μέθοδος ικανή να αντιμετωπίσει το πρόβλημα του ξεθωριάσματος. Παρόλα αυτά, οι λευκοβαφές, ως ένα από τα πιο δημοφιλή θερμοχρωμικά με υψηλή ανάκλαση σε θερμές και χαμηλή ανάκλαση σε ψυχρές περιόδους, είναι σε θέση να μειώσουν αισθητά τόσο τα θερμαντικά όσο και τα ψυκτικά φορτία των κτιρίων. Ως εκ τούτου, είναι σε θέση να δημιουργήσουν αποτελεσματικά άνετες συνθήκες εσωτερικού και εξωτερικού χώρου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η κύρια μέτρηση για την αξιολόγηση της απόδοσης των υλικών δυναμικής μεταγωγής σχετίζεται με τη δυνατότητά τους να αυξάνουν/μειώνουν τη ροή αισθητής θερμότητας προς το εσωτερικό του κτιρίου κατά τη χειμερινή και θερινή περίοδο αντίστοιχα. Μια δεύτερη μέτρηση σχετίζεται με την ικανότητά τους να αυξάνουν/μειώνουν επίσης την απελευθέρωση αισθητής θερμότητας στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης και ψύξης και έτσι να συμβάλλουν στην αύξηση ή τη μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ανάλογα με τις ανάγκες [33].



#### 4.2.2 Θερμοχρωμικοί Υαλοπίνακες

Οι θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες αναπτύχθηκαν ως ένα παθητικό σύστημα βελτίωσης της θερμικής άνεσης και της εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα για να αντικαταστήσουν τους παραδοσιακούς διάφανους υαλοπίνακες. Έχουν μία σχετικά απλή δομή και μπορούν να μεταβάλλουν τη διαπερατότητά τους στο ηλιακό φως με αλλαγή των οπτικών τους ιδιοτήτων. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή θερμοχρωμικών μεμβρανών, των οποίων όταν η θερμοκρασία τους αυξάνεται πέρα από μία κρίσιμη τιμή, η οποία χαρακτηρίζεται ως κατώτερη κρίσιμη θερμοκρασία κορεσμού (Lower Critical Saturation Temperature-LCST) ή θερμοκρασία μετάβασης (TT-Transition Temperature), πραγματοποιείται αλλαγή της φάσης και της κρυσταλλικής δομής του υλικού, με αποτέλεσμα την μεταβολή του χρώματός του και τη μετατροπή του υλικού από διαυγές σε σκουρόχρωμο. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να περιοριστεί η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στον χώρο και συγκεκριμένα αυτή που ανήκει στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου (NIR-Near Infrared Region) και είναι κυρίως υπεύθυνη για τη μεταφορά θερμότητας, με αποτέλεσμα τη μείωση της υπερθέρμανσης του κτιρίου τις ζεστές ημέρες του έτους [34].

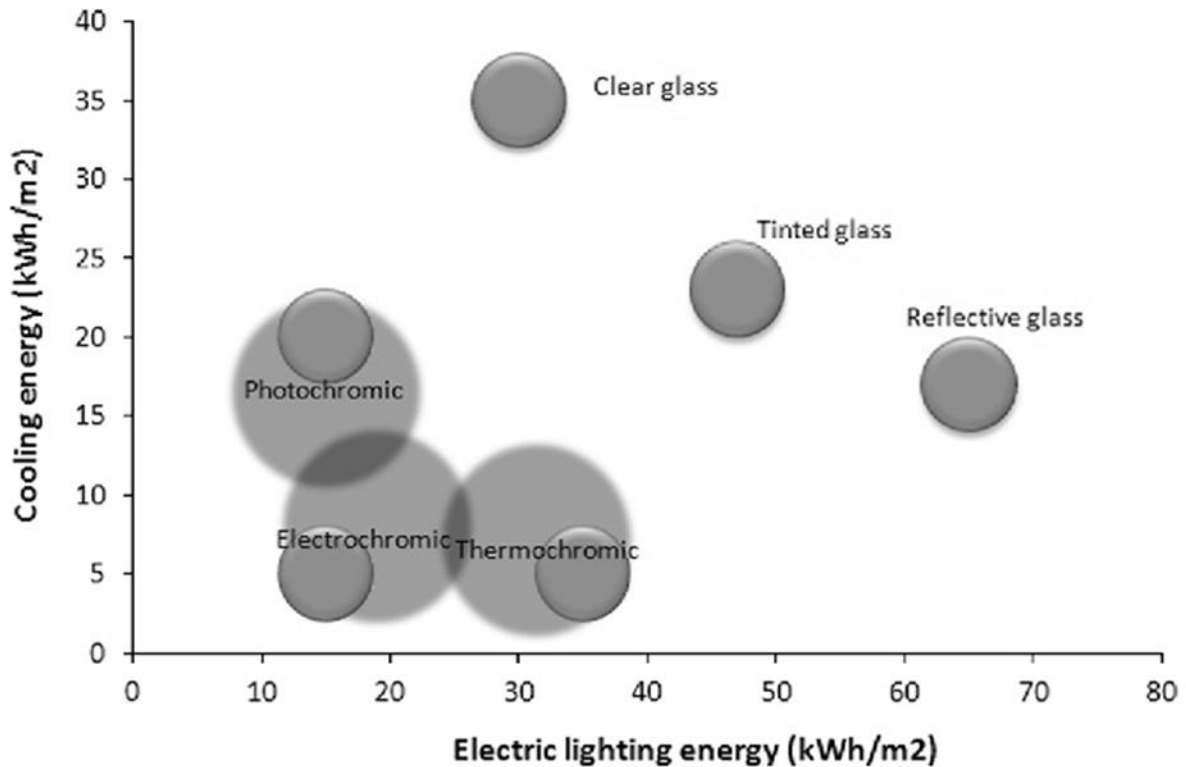


Εικόνα 11. Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του θερμοχρωμικού υαλοπίνακα [35]

Σε περίπτωση πλήρους θερμοχρωμικής μετάβασης του υαλοπίνακα, ενδεικτική τιμή του χρόνου που διαρκεί αυτή, για μετάβαση από την κατάσταση μέγιστης διαπερατότητας σε αυτήν ελάχιστης διαπερατότητας και αντίστροφα, είναι περίπου τα 20' – 30' [34].

Συνολικά, αυτό μπορεί να μειώσει τα κόστη που σχετίζονται με θέρμανση, κλιματισμό και τεχνητό φως. Όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 15**, με την χρήση των θερμοχρωμικών υλικών,

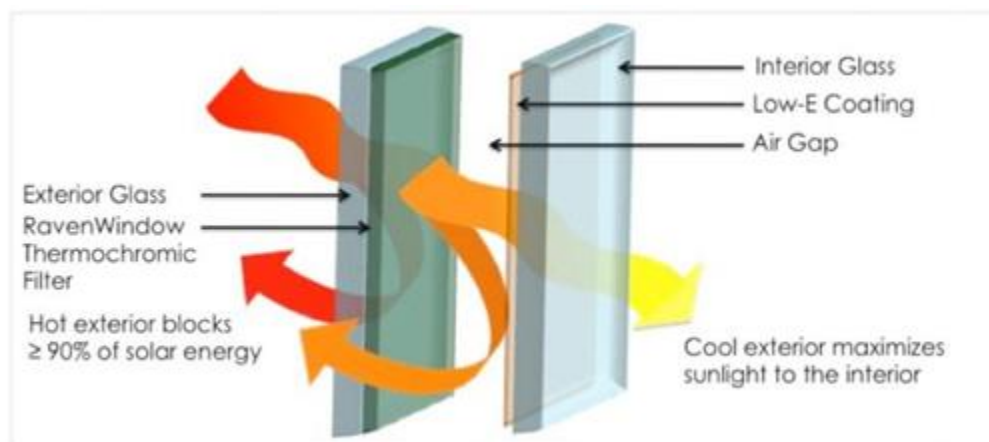
η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για τεχνητό φωτισμό και η απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη είναι πολύ χαμηλότερη, σε σύγκριση με αυτήν που απαιτείται όταν γίνεται χρήση παραδοσιακών υαλοπινάκων.



**Διάγραμμα 15.** Σύγκριση της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας για τεχνητό φωτισμό και της απαιτούμενης ενέργειας για ψύξη μεταξύ διαφόρων ειδών έξυπνων υαλοπινάκων [35]

Οι θερμοχρωμικές μεμβράνες ενσωματώνονται μεταξύ δύο υαλοπινάκων, πιο συγκεκριμένα, είναι συνήθως προτιμότερο αυτή να είναι η θέση “2” σε διπλό υαλοπίνακα, ώστε να υπάρχει προστασία της επίστρωσης από τις εξωτερικές συνθήκες και ταυτόχρονα όσο το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση των εξωτερικών συνθηκών, αλλά και να μην επηρεάζεται από τις συνθήκες του εσωτερικού χώρου. Αναλυτικότερα, μια περίπτωση είναι η εφαρμογή του θερμοχρωμικού φίλτρου στην εσωτερική επιφάνεια του εξωτερικού υαλοπίνακα ενός διπλού υαλοπίνακα, με έναν αεροθάλαμο να χωρίζει το φίλτρο τόσο από τον εσωτερικό υαλοπίνακα, όσο και από την τυπική επίστρωση Low – E [36].

Στην **Εικόνα 12** παρατίθεται παράδειγμα τέτοιου διπλού υαλοπίνακα και είναι ο RavenWindow από την εταιρεία RavenBrick, LLC.

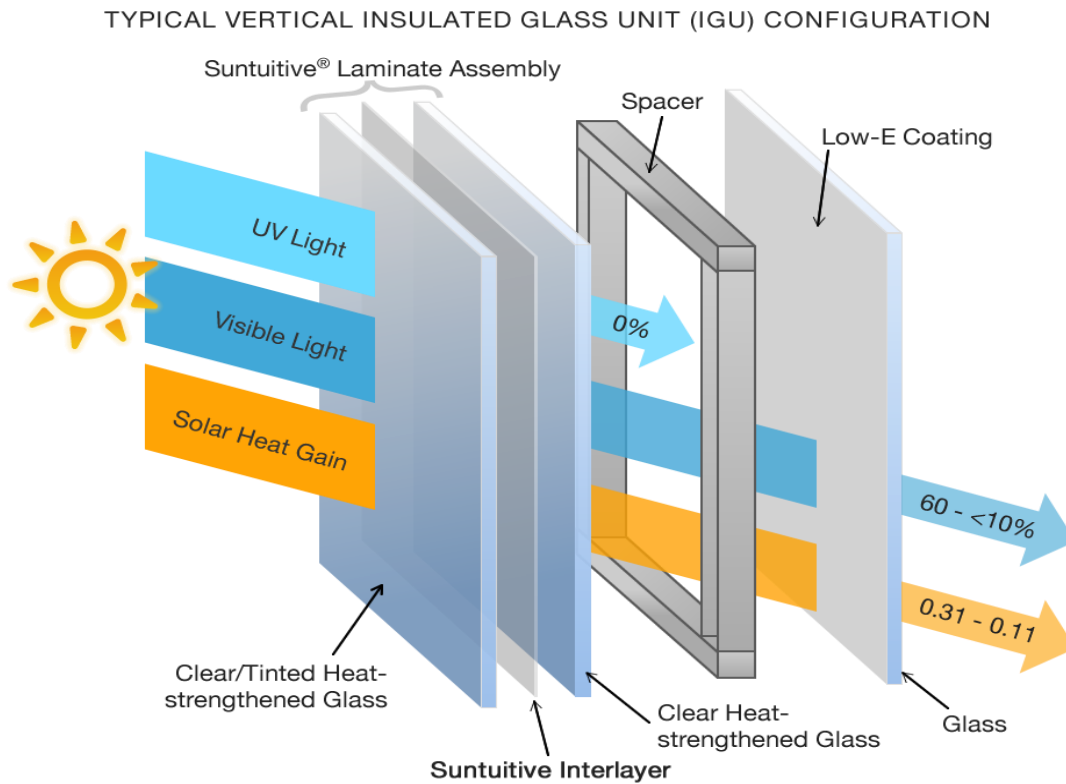


**Εικόνα 12. Σχηματική αναπαράσταση της δομής του θερμοχρωμικού υαλοπίνακα RavenWindow της εταιρείας RavenBrick, LLC [37]**

Ο μηχανισμός λειτουργίας της παραπάνω περίπτωσης έχει ως εξής: το φίλτρο ενεργοποιείται όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού γυαλιού ανεβαίνει πάνω από το σημείο θερμοκρασίας μετάβασης. Στη συνέχεια, το παράθυρο μεταβαίνει στη χρωματισμένη του κατάσταση, εμποδίζοντας την είσοδο της ηλιακής θερμότητας, ελαχιστοποιώντας την ανάκλαση και μειώνοντας το φορτίο στα μηχανικά συστήματα. Κατά τους ψυχρότερους μήνες, όταν το ηλιακό κέρδος είναι επιθυμητό για τη θέρμανση του κτιρίου, το φίλτρο παραμένει διαυγές για να αφήσει τις θερμαντικές ακτίνες και το φως να εισέλθουν. Όλα γίνονται αυτόματα, χωρίς να απαιτείται εγκατάσταση καλωδίων, τροφοδοτικών ισχύος ή εξοπλισμού ελέγχου [36].

Επιπρόσθετα, είναι δυνατή η απόθεση της θερμοχρωμικής επίστρωσης σε μεμβράνη PVB, ή ο διασκορπισμός θερμοχρωμικών νανοσωματιδίων σε πολυμερή για τη δημιουργία τέτοιας μεμβράνης και η επακόλουθη δημιουργία πολυστρωματικού υαλοπίνακα (laminated) για χρήση του σε υαλοπίνακες. Σε τέτοιους υαλοπίνακες είναι προφανώς δυνατή η τοποθέτηση και διαφορετικών επιπλέον επιστρώσεων, ή η τοποθέτηση επίστρωσης Low – E στη θέση “3”, για βελτίωση των ιδιοτήτων και για παρεμπόδιση της απορροφηθείσας από τον θερμοχρωμικό θερμότητας να μεταδοθεί με ακτινοβολία προς τον εσωτερικό χώρο [36].

Στην **Εικόνα 13** παρατίθεται παράδειγμα υαλοπίνακα με θερμοχρωμικό laminated και επίστρωση Low – E στη θέση “3” της εταιρείας Suntuitive.



**Εικόνα 13. Σχηματική αναπαράσταση κατασκευής του θερμοχρωμικού υαλοπίνακα Suntuitive [38]**

Στην **Εικόνα 14** και στην **Εικόνα 15** φαίνονται οι θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες και το οπτικό αποτέλεσμα που επιφέρουν:



**Εικόνα 14. Θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες Suntuitive, στα αριστερά σε κατάσταση ελάχιστης διαπερατότητας και στα δεξιά σε κατάσταση μέγιστης διαπερατότητας [38]**



**Εικόνα 15. Θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες RavenWindow, στα αριστερά σε κατάσταση μέγιστης διαπερατότητας και στα δεξιά σε κατάσταση ελάχιστης διαπερατότητας [37]**

Συμπερασματικά, αναφορικά με τη συσχέτιση των οπτικών ιδιοτήτων των θερμοχρωμικών παραθύρων και της ενεργειακής τους απόδοσης προκύπτει ότι μικρότερος συντελεστής εκπομπής σε μεγαλύτερα μήκη κύματος οδηγεί σε μεγαλύτερη ενεργειακή εξοικονόμηση, ενώ υψηλή απορροφητικότητα μετά από την αλλαγή φάσης του θερμοχρωμικού υλικού οδηγεί σε μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση. Ακόμα, τα θερμοχρωμικά υλικά που εμφανίζουν μεγαλύτερη μείωση στη διαπερατότητά τους στην ηλιακή ακτινοβολία και μικρότερη αύξηση στην απορροφητικότητά τους μετά από την αλλαγή φάσης παρουσιάζουν μεγαλύτερες δυνατότητες για εξοικονόμηση ενέργειας. Επιπρόσθετα, ο ρυθμός μεταβολής της υστέρησης κρίνεται σημαντικός για την εξοικονόμηση ενέργειας. Θερμοχρωμικά υαλοστάσια με χαμηλότερη θερμοκρασία μετάβασης και μεγαλύτερο ρυθμό μεταβολής της υστέρησης είναι ικανά να μειώσουν τη ζήτηση ενέργειας κατά 51 % σε σύγκριση με τα τυπικά διαυγή παράθυρα [34].

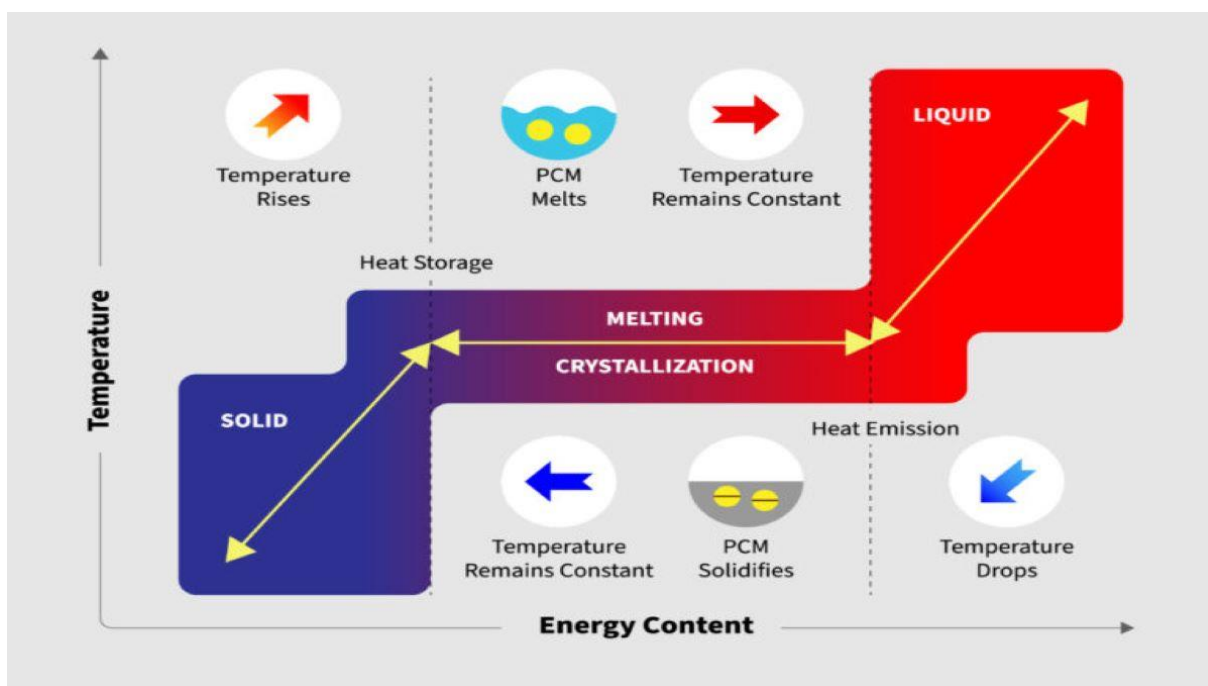
### 4.3 Υλικά αλλαγής φάσης

Υλικά Αλλαγής Φάσης (ΥΑΦ) ή Phase Change Materials (PCMs) είναι τα υλικά τα οποία έχουν την δυνατότητα να αλλάζουν φάση, σύμφωνα με το θερμοκρασιακό εύρος της εφαρμογής τους, δηλαδή είτε να απορροφούν και να αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας, είτε να τις απελευθερώνουν. Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται ως υλικά αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας ή Latent Heat Storage (LHS) [39].

Η λανθάνουσα αποθήκευση θερμότητας είναι εφικτή μέσω των αλλαγών φάσης του υλικού, είτε από στερεό σε στερεό, είτε από στερεό σε υγρό και αντίστροφα, είτε τέλος από υγρό σε αέριο και αντίστροφα. Ωστόσο, μόνο οι μεταβολές φάσης από στερεή σε υγρή και αντίστροφα θεωρούνται πρακτικές, καθώς στην περίπτωση της αλλαγής φάσης από στερεό σε στερεό έχει, συγκριτικά με τις άλλες μεταβολές, μικρότερη τιμή λανθάνουσας θερμότητας, ενώ στην περίπτωση της μεταβολής από υγρό σε αέριο, ενώ έχει μεγαλύτερη

τιμή λανθάνουσας θερμότητας, δεν βοηθάει το γεγονός ότι υπάρχει σημαντική μεταβολή του όγκου και στην αέρια κατάσταση απαιτούνται μεγάλοι όγκοι ή υψηλές πιέσεις για την αποθήκευση των υλικών, γεγονός που καθιστά την λειτουργία του συστήματος αρκετά πολύπλοκη [39].

Η συμπεριφορά των ΥΑΦ μεταβολής στερεού – υγρού είναι παρόμοια με των Υλικών Αποθήκευσης Αισθητής Θερμότητας ή Sensible Heat Storage (SHS). Πιο συγκεκριμένα, η θερμοκρασία τους αυξάνεται καθώς απορροφούν θερμότητα, με την διαφορά ότι όταν φτάνουν την θερμοκρασία αλλαγής φάσης (σημείο τήξης), απορροφούν μεγάλες ποσότητες θερμότητας διατηρώντας σχεδόν σταθερή θερμοκρασία μέχρι να υγροποιηθεί όλο το υλικό. Στην συνέχεια, όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος γύρω από το υλικό αρχίζει να μειώνεται, το ΥΑΦ στερεοποιείται, απελευθερώνοντας την αποθηκευμένη λανθάνουσα θερμότητα [39], [40].



Εικόνα 16. Μηχανισμός λειτουργίας των Υλικών Αλλαγής Φάσης (ΥΑΦ) [41]

#### 4.3.1 Κριτήρια επιλογής υλικών αλλαγής φάσης

Προκειμένου τα Υλικά Αλλαγής Φάσης να είναι αποδοτικά πρέπει να πληρούν κάποιες προϋποθέσεις. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των ΥΑΦ χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες, θερμοφυσικές, κινητικές, χημικές και οικονομικές-περιβαλλοντικές [42]. Αναλυτικότερα, στον Πίνακας 7 παρουσιάζονται λεπτομερώς οι απαιτήσεις για αποδοτικά ΥΑΦ.

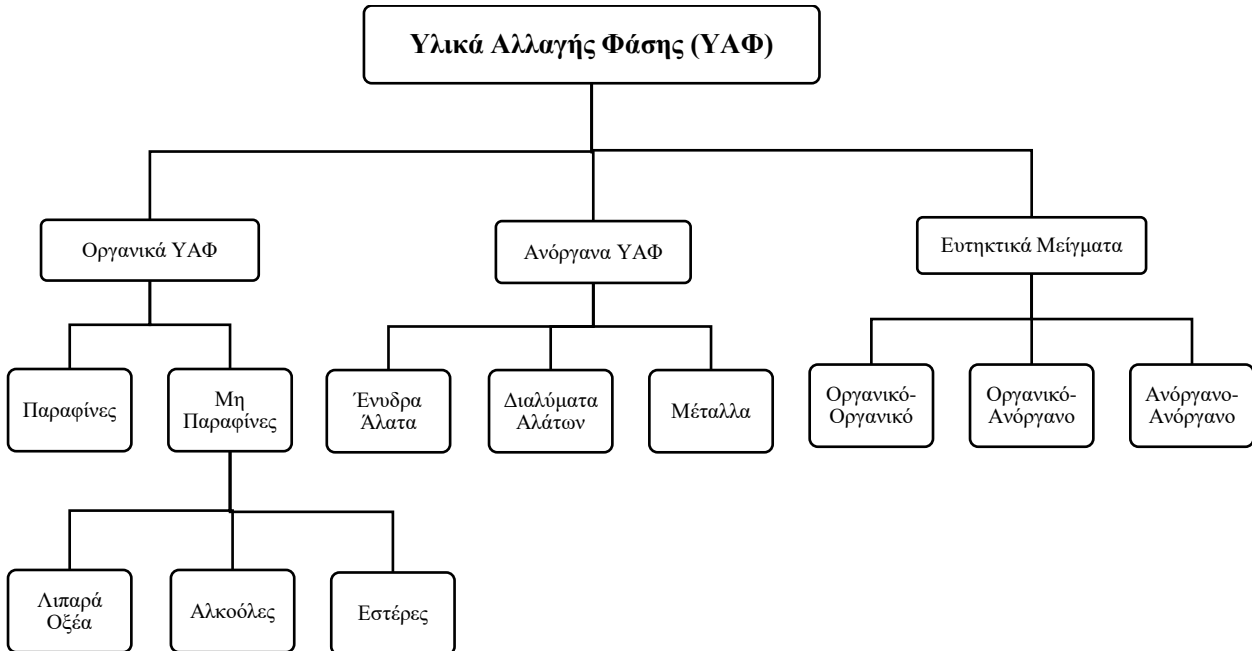
**Πίνακας 7. Απαιτούμενες ιδιότητες των PCMs [42]**

Θερμοφυσικές Απαιτήσεις	Κινητικές Απαιτήσεις	Χημικές Απαιτήσεις	Οικονομικές και περιβαλλοντικές απαιτήσεις
Κατάλληλη θερμοκρασία τήξης στο απαιτούμενο εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας.	Υψηλός ρυθμός πυρήνωσης για την αποφυγή υπερψύξης της υγρής φάσης.	Χημική σταθερότητα του PCM.	Λογική τιμή και οικονομικά αποδοτικό.
Υψηλή λανθάνουσα θερμότητα ανά μονάδα όγκου.	Υψηλός ρυθμός κρυστάλλωσης για την ικανοποίηση των απαιτήσεων ανάκτησης θερμότητας από το σύστημα αποθήκευσης.	Επέκταση χαμηλής έντασης	Διαθεσιμότητα.
Μεγάλη ειδική θερμοχωρητικότητα.		Χαμηλή/καμία υπερψύξη κατά την κατάψυξη.	Μη ρυπογόνα.
Υψηλή θερμική αγωγιμότητα.		Μη διαβρωτικό.	Χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
Υψηλής πυκνότητας.		Μη εύφλεκτο.	Καλή ανακυκλωσιμότητα.
Σταθερότητα ποδηλασίας.		Μη τοξικό.	Χαμηλή ενσωματωμένη ενέργεια.
Μικρή πίεση ατμών		Μη εκρηκτικό.	Ευκολία διαχωρισμού από άλλα υλικά.
Μικρές αλλαγές έντασης.		Σταθερό μετά από έναν αριθμό επαναλαμβανόμενων κύκλων τήξης/κατάψυξης.	



### 4.3.2 Κατηγοριοποίηση των υλικών αλλαγής φάσης

Τα υλικά αλλαγής φάσης, ή αλλιώς PCMs, σύμφωνα με την σύστασή τους, κατηγοριοποιούνται όπως απεικονίζεται στο **Διάγραμμα 16**:



**Διάγραμμα 16. Ταξινόμηση Υλικών Αλλαγής Φάσης βάσει της χημικής σύστασης [41]**

#### 4.3.2.1 Οργανικά Υλικά Αλλαγής Φάσης

Τα οργανικά PCMs αποτελούνται από ενώσεις βασισμένες στον άνθρακα. Πιο συγκεκριμένα στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι παραφίνες, με χημικό τύπο  $C_nH_{2n+2}$ , και οι μη παραφίνες, οι οποίες περιλαμβάνουν οργανικά υλικά όπως αλκοόλες εστέρες και λιπαρά οξέα, με χημικό τύπο  $CH_3(CH_2)_{2n}COOH$ .

#### Παραφίνες

Οι παραφίνες αποτελούν τις απλούστερες οργανικές ενώσεις και ανήκουν στην ομάδα των αλκανικών υδρογονανθράκων. Έχουν μεγάλο μοριακό βάρος και χαρακτηρίζονται από τον γενικό μοριακό τύπο  $C_nH_{2n+2}$ , όπου  $n$  ο αριθμός των ατόμων άνθρακα που περιέχονται στο μόριο κάθε ένωσης [40]. Για την παραφίνη, η αύξηση του μήκους της αλυσίδας οδηγεί σε αύξηση της λανθάνουσας θερμότητας της σύντηξης και του σημείου τήξης. Το εύρος του σημείου τήξης μιας παραφίνης είναι από  $-12\text{ }^\circ\text{C}$  έως  $71\text{ }^\circ\text{C}$ , το οποίο μπορεί να αποθηκεύσει  $128\text{ kJ/Kg}$  έως  $198\text{ kJ/Kg}$  θερμότητας [39].



Τα υλικά παραφίνης είναι ένα από τα πιο δημοφιλή PCM που χρησιμοποιούνται επειδή είναι μη διαβρωτικά και μη υποψυκτικά. Επιπλέον, τα υλικά παραφίνης θεωρούνται επίσης ασφαλή, αξιόπιστα, φθηνά και έχουν υψηλή λανθάνουσα θερμότητα, τα οποία είναι όλα σημαντικοί παράγοντες για εφαρμογές σε κτίρια. Δεν εμφανίζουν διαχωρισμό των φάσεων και εκφυλισμό των ιδιοτήτων τους, συνεπώς έχουν και αρκετά μεγάλη διάρκεια ζωής. Τέλος, οι παραφίνες έχουν χαμηλή πίεση ατμοποίησης, στοιχείο που εξηγεί τη μικρή απώλεια υλικού μετά από μεγάλο αριθμό κυκλικών φορτίσεων και δεν παρουσιάζουν πρόβλημα διάβρωσης με κανένα ευρέως χρησιμοποιούμενο μέταλλο. Παρόλα αυτά, το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των παραφινών είναι ότι η πλειοψηφία τους διαθέτει σημεία τήξης από 20.0 - 26.0 °C [39], δηλαδή ένα εύρος θερμοκρασιών κατάλληλο για εφαρμογές θέρμανσης στα κτίρια.

Εκτός από τα κατάλληλα χαρακτηριστικά τους όπως η ομοιογενής τήξη, έχουν και ορισμένες επιβλαβείς ιδιότητες, όπως είναι σχετικά εύφλεκτα και μη συμβατά με πλαστικά. Ωστόσο, η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα της παραφίνης είναι ο κύριος παράγοντας που περιορίζει την ευρεία εφαρμογή της ( $0.21-0.24 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) [39].

### **Μη Παραφίνες**

Σε αντίθεση με τα PCM παραφίνης, τα οποία έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά, τα μη παραφινικά PCM έχουν ένα ευρύ φάσμα ποικιλιών με διαφορετικές ιδιότητες. Ως εκ τούτου, θεωρούνται ως η καταλληλότερη κατηγορία για εφαρμογές θερμικής αποθήκευσης. Οι αλκοόλες, οι εστέρες, οι γλυκόλες και τα λιπαρά οξέα είναι τα πιο γνωστά μη παραφινικά PCM.

Ένα από τα μειονεκτήματα αυτού του τύπου PCM είναι η υψηλή ευφλεκτότητά του, η οποία περιορίζει την έκθεσή τους σε υψηλή θερμοκρασία, φλόγες και οξειδωτικές ουσίες. Σε αυτήν την υποκατηγορία, τα λιπαρά οξέα φαίνεται πιο πιθανό να χρησιμοποιούνται πρακτικά για εφαρμογές ψύξης κτιρίων. Επειδή εμφανίζει πολλές κατάλληλες ιδιότητες, όπως υψηλή λανθάνουσα θερμότητα, χαμηλή υπερψύξη, χωρίς διαχωρισμό φάσεων και διαφορετική θερμοκρασία τήξης, μπορεί να είναι κατάλληλο για διαφορετικά κλίματα και συνθήκες. Ωστόσο, σε σύγκριση με τις παραφίνες, είναι πιο ακριβά. Επιπλέον, μπορεί να είναι διαβρωτικά [39].

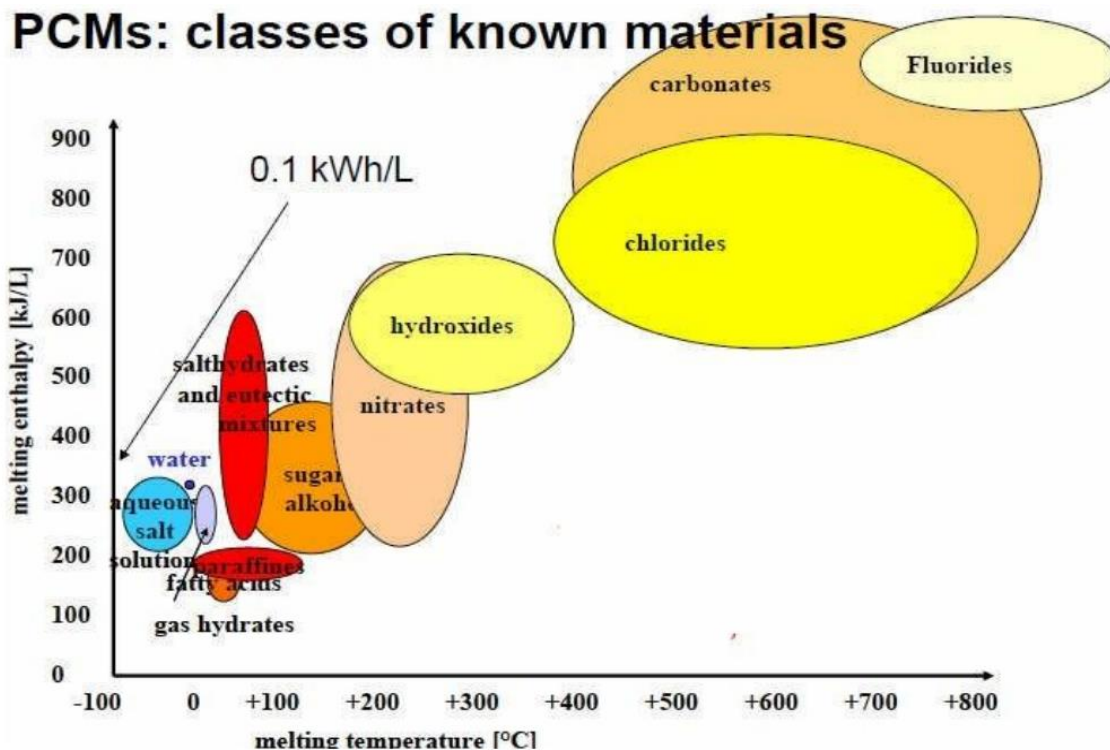
#### **4.3.2.2 Ανόργανα Υλικά Αλλαγής Φάσης**

Σε σύγκριση με τα οργανικά PCM, τα ανόργανα PCM έχουν υψηλότερη θερμότητα σύντηξης ανά μονάδα μάζας με χαμηλότερο κόστος και ευφλεκτότητα. Ωστόσο, υποφέρουν από διαχωρισμό φάσης, υπερψύξης, έλλειψη θερμικής σταθερότητας, διάβρωση και αποσύνθεση, που επισκιάζει τα πλεονεκτήματά τους. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει ένυδρα άλατα, διαλύματα αλάτων και μέταλλα, ωστόσο, τα ένυδρα άλατα είναι η πιο γνωστή ποικιλία και πολυάριθμες μελέτες τα έχουν χρησιμοποιήσει για εφαρμογές

θερμικής αποθήκευσης. Η ελκυστικότητα των ένυδρων αλάτων για σκοπούς αποθήκευσης θερμότητας στα κτίρια οφείλεται στη σημαντική ογκομετρική πυκνότητα αποθήκευσης (~350 MJ/m<sup>3</sup>), στην υψηλή θερμική αγωγιμότητα (0.5 W/mK) και στη χαμηλή τιμή σε σύγκριση με τα οργανικά PCM [39]. Όσον αφορά τα μεταλλικά PCM, δεν βρίσκονται εντός του επιθυμητού εύρους θερμοκρασίας για κτιριακές εφαρμογές.

#### 4.3.2.3 Ευτηκτικά Υλικά Αλλαγής Φάσης

Τα ευτηκτικά PCM αποτελούνται από συνδυασμό τουλάχιστον δύο άλλων PCM. Κατά τη διαδικασία κατάψυξης σχηματίζουν έναν κρύσταλλο ανάμειξης. Αυτό το μείγμα μπορεί να αποτελείται από ανόργανο με ανόργανο, οργανικό με ανόργανο και οργανικό με οργανικό. Ο διαχωρισμός των συστατικών δεν αποτελεί πρόβλημα, επειδή ως επί το πλείστον αλλάζουν φάση χωρίς διαχωρισμό και η διαδικασία της τήξης είναι ομαλή, καθώς όλα τα συστατικά μετατρέπονται σε υγρό ταυτόχρονα [39]. Τα μειονεκτήματα αυτής της κατηγορίας υλικών αλλαγής φάσης είναι ότι διαθέτουμε περιορισμένες πληροφορίες για τις θερμοφυσικές τους ιδιότητες και ότι κάποια ευτηκτικά έχουν δυνατή οσμή και δεν συνιστώνται για χρήση σε τοιχοποιία.

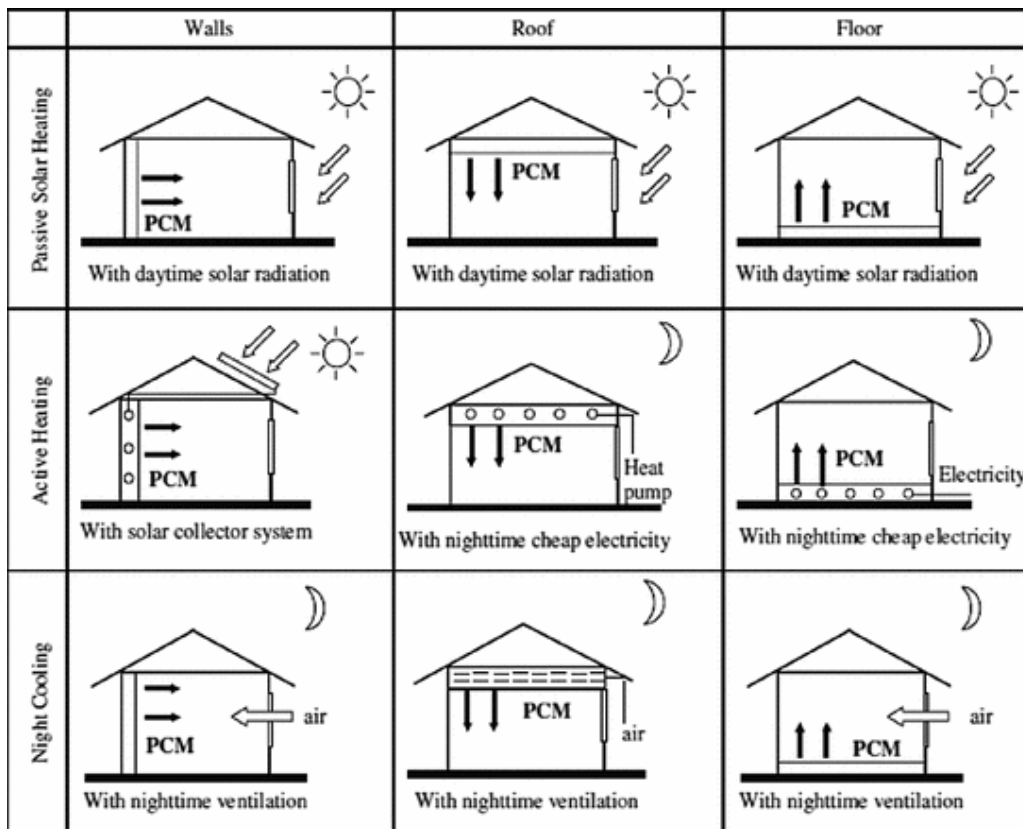


Διάγραμμα 17. Σχέση μεταξύ της ενθαλπίας τήξης PCM και της θερμοκρασίας για τις διαφορετικές ομάδες PCM [43]

### 4.3.3 Εφαρμογές υλικών αλλαγής φάσης σε κτίρια

Ένας σημαντικός τομέας εφαρμογής των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας με PCM αποτελούν αναμφισβήτητα τα κτίρια. Η μελέτη αποθήκευσης της λανθάνουσας θερμότητας, για μετέπειτα χρήση της στη θέρμανση και ψύξη των χώρων ενός κτιρίου προσελκύει ολοένα και περισσότερο το ενδιαφέρον των ερευνητών.

Για την κάλυψη των απαιτήσεων θέρμανσης και ψύξης, το PCM μπορεί να εγκατασταθεί στο κτίριο σε παθητικά ή ενεργά συστήματα. Τα παθητικά συστήματα δεν χρησιμοποιούν ενεργό μηχανικό εξοπλισμό και δεν απαιτείται πρόσθετη ενέργεια, δηλαδή η θερμότητα φορτίζεται ή εκκενώνεται μόνο λόγω διακυμάνσεων της θερμοκρασίας όταν η θερμοκρασία του αέρα ανεβαίνει ή πέφτει πέρα από το σημείο τήξης PCM και μόνο ο φυσικός αερισμός παρέχει κρύο από το εξωτερικό. Οι παθητικές εφαρμογές υλοποιούνται εύκολα και μπορούν να ενσωματωθούν στο κέλυφος του κτιρίου (τοιχοί, στέγες και δάπεδα). Αντίθετα, τα ενεργά συστήματα χρειάζονται τη βοήθεια μηχανικού εξοπλισμού για να επιτύχουν τη φόρτιση ή εκφόρτιση θερμικής ενέργειας PCM. Σε αυτή την περίπτωση το PCM μπορεί να εγκατασταθεί σε μονάδες αποθήκευσης, σε συστήματα HVAC ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας-ψύξης στην τεχνική ηλιακή ψύξης [42].



Εικόνα 17. Εφαρμογές και λειτουργία PCM σε κτίρια [44]

Τα πλεονεκτημάτων που προσφέρουν οι εφαρμογές των PCMs είναι τα εξής [41], [42]:

1. Παρέχει τη δυνατότητα καλύτερης διαχείρισης της ηλεκτρικής ζήτησης. Αυτό οφείλεται στο ότι η ενέργεια, αφού μπορεί να αποθηκευτεί, χρησιμοποιείται μόνο όταν είναι αναγκαία. Έτσι, μειώνεται το χάσμα ανάμεσα στα ενεργειακά φορτία που απαιτούνται από τα κτίρια σε ώρες αιχμής και σε ώρες χαμηλής ζήτησης.
2. Προσφέρει εξοικονόμηση στα λειτουργικά έξοδα, καθώς αποθηκεύοντας την ενέργεια και χρησιμοποιώντας την σε ώρες χαμηλού κόστους, μειώνονται σημαντικά τα λειτουργικά έξοδα του κτιρίου.
3. Βελτιώνει το βαθμό θερμικής άνεσης ενός κτιρίου. Αυτό επιτυγχάνεται λόγω της δυνατότητας συνεχούς αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Κατά τη διάρκεια της ημέρας η ενέργεια αυτή αποθηκεύεται σε κατάλληλες μονάδες και απελευθερώνεται τη νύχτα, για να θερμαίνεται ο χώρος. Αποτέλεσμα αυτού είναι η εξομάλυνση των ημερήσιων θερμοκρασιακών διακυμάνσεων του χώρου άρα και η βελτίωση της θερμικής του άνεσης.
4. Τέλος, συμβάλλει στη μείωση των ψυκτικών φορτίων του κλιματισμού κατά την περίοδο του καλοκαιριού. Πιο συγκεκριμένα, η δροσιά που δημιουργείται από τη φυσική κυκλοφορία του αέρα τη νύχτα αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται την ημέρα μειώνοντας τη θερμοκρασία του δωματίου. Αυτό συνεπάγεται μικρότερα ψυκτικά φορτία για τον κλιματισμό του χώρου, δηλαδή εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων.

## 5. Λογισμικό Μοντελοποίησης DesignBuilder

### 5.1 Γενικά Χαρακτηριστικά

Το DesignBuilder αποτελεί ένα λογισμικό προσομοίωσης κτιρίων. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα εύχρηστο εργαλείο, που διευκολύνει στη διαδικασία τρισδιάστατης προσομοίωσης κτιρίων και χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ενεργειακών καταναλώσεων και αξιολόγησης δυνατοτήτων εξοικονόμησης ενέργειας. Επιτρέπει, ακόμη, τη σύγκριση των εναλλακτικών κατασκευαστικών επιλογών ως προς τη λειτουργικότητα και την αποδοτικότητα, για την εύρεση της βέλτιστης λύσης.

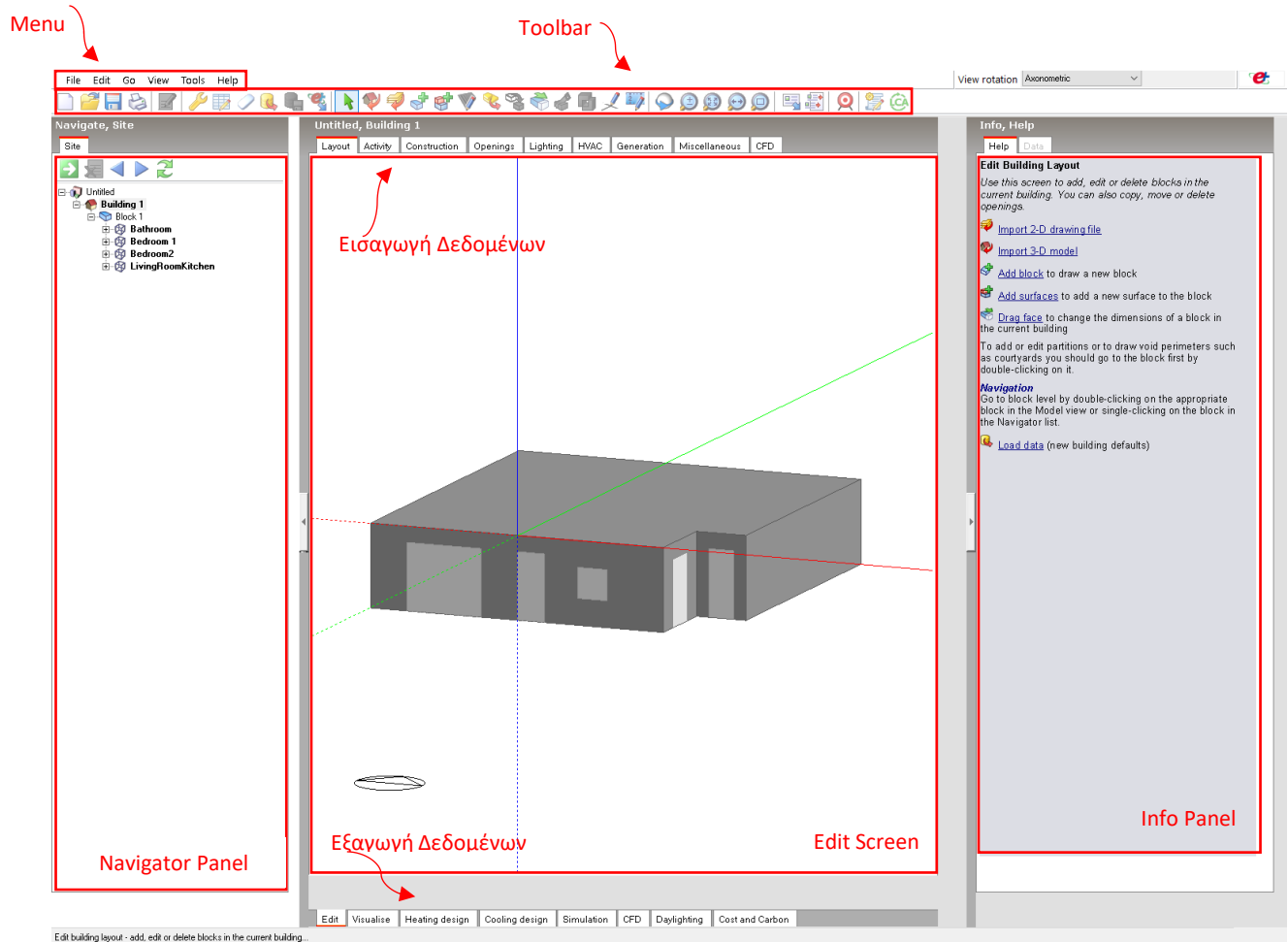
Διαθέτει ένα περιβάλλον ιδιαίτερα καινοτόμο και φιλικό προς το χρήστη, που παρέχει τη δυνατότητα στους μηχανικούς να εξάγουν εξαιρετικά ακριβή αποτελέσματα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Το βασικό πλεονέκτημά του είναι ότι συνδυάζει την εύκολη και γρήγορη 3D απεικόνιση ακόμα και περίπλοκων κατασκευαστικά κτιρίων με την δυναμική ενεργειακή προσομοίωσή του. Αρκεί, μόνο, η εισαγωγή των απαραίτητων παραμέτρων για την λεπτομερή σχεδίαση τους.

Το πρόγραμμα DesignBuilder χρησιμοποιείται ιδίως από μηχανικούς, αρχιτέκτονες, συμβούλους ενεργειακής αναβάθμισης και ερευνητές, για την οπτικοποίηση και μοντελοποίηση ενός κτιρίου και της τοποθεσίας με τους ακόλουθους κυρίως σκοπούς [45]:

- ✓ την εύρεση των βέλτιστων επιλογών προσόψεων και μονώσεων όσον αφορά στην θέρμανση, την ενεργειακή κατανάλωση και σκίαση,
- ✓ την βελτιστοποίηση της αξιοποίησης του ηλιακού φωτός και τον προσδιορισμό της μείωσης καταναλώσεων ηλεκτρικού ρεύματος,
- ✓ την θερμική προσομοίωση κτιρίων με φυσικό και μηχανικό αερισμό,
- ✓ τον υπολογισμό της πίεσης και θερμοκρασίας μέσα και γύρω από το κτίριο,
- ✓ τον προσδιορισμό της ισχύος του κατάλληλου εξοπλισμού ψύξης και θέρμανσης

Το DesignBuilder αυτόματα, με τον καθορισμό της θέσης του ακινήτου, εντοπίζει τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν, «κατεβάζοντας» το σχετικό αρχείο για τον καιρό. Στην συνέχεια, ο χρήστης καλείται να σχεδιάσει το κτίριο λεπτομερώς και να εισάγει στο πρόγραμμα τα δεδομένα του, δηλαδή τα δομικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας και των κουφωμάτων και υαλοπινάκων.

## 5.2 Περιβάλλον λογισμικού DesignBuilder



Εικόνα 18. Περιβάλλον DesignBuilder

Στο πρόγραμμα εμφανίζονται δύο γραμμές εργαλείων, όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 18**, μία για την εισαγωγή δεδομένων, στο πάνω μέρος της οθόνης και μία για την εξαγωγή αποτελεσμάτων, στο κάτω μέρος της οθόνης:

**A.** Η γραμμή εργαλείων εισαγωγής δεδομένων στο DesignBuilder περιλαμβάνει τις ακόλουθες καρτέλες:

- ❖ **Layout:** ο χρήστης σε αυτή την καρτέλα μπορεί να δει σε τρισδιάστατη μορφή το κτίριο που έχει φτιάξει με κάθε λεπτομέρεια, έχοντας την δυνατότητα να το μελετήσει από διαφορετικούς προσανατολισμούς, καθώς και να απομονώσει χώρους, αλλά ακόμα και δομικά μέρη για την πιο σχολαστική τους επεξεργασία. Πρέπει να επισημανθεί, ότι

υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων έως και ανά δωμάτιο, με στόχο την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας των αποτελεσμάτων.

- ❖ **Activity:** ο χρήστης εισάγει δεδομένα σχετικά με τη χρήση και το προφίλ δραστηριότητας του κτιρίου, καθώς επίσης και τα δεδομένα σχετικά με την πληρότητα του σε ανθρώπους. Επίσης, ορίζονται οι θερμοκρασίες αναφοράς των θερμοστατών θέρμανσης και ψύξης, καθώς και οι ηλεκτρικές συσκευές ( $W/m^2$ ) με το πρόγραμμα λειτουργίας τους.
- ❖ **Construction:** ο χρήστης εισάγει τα κατασκευαστικά δεδομένα του κτιριακού κελύφους. Πιο αναλυτικά, ορίζονται τα δομικά υλικά και η διαστρωμάτωση τους (layer by layer), στους τοίχους, στα δάπεδα και στις σκεπές. Έπειτα και η αεροστεγανότητα του κτιρίου ορίζεται σε αυτήν την καρτέλα.
- ❖ **Openings:** ο χρήστης εισάγει τα δομικά δεδομένα των «ανοιγμάτων» του κτιρίου, δηλαδή τα υλικά των υαλοπινάκων (διπλό ή μονό τζάμι), καθώς και των κουφωμάτων τους (αλουμίνιο ή ξύλο, με ή χωρίς θερμοδιακοπή). Επίσης, ορίζονται και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των πορτών και των αεραγωγών, αν και εφόσον υπάρχουν.
- ❖ **Lighting:** ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα του συστήματος φωτισμού του κτιρίου, όπως η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και η λειτουργία του.
- ❖ **HVAC:** ο χρήστης εισάγει δεδομένα σχετικά με τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (ZNX), καθώς και για την ύπαρξη φυσικού ή μηχανικού αερισμού του κτιρίου.

Αναλυτικότερα, όσον αφορά το σύστημα HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), το λογισμικό DesignBuilder παρέχει δύο δυνατότητες σχεδίασης του, την απλή (Simple) και την λεπτομερή (Detailed).

Ο χρήστης κρίνει ποια είναι η καταλληλότερη επιλογή σύμφωνα με τις ανάγκες του, αν δηλαδή επιθυμεί να δώσει έμφαση στις θερμικές απώλειες του κτιριακού κελύφους και όχι στις καταναλώσεις για ψύξη και θέρμανση, τότε γίνεται η εφαρμογή της απλής (Simple) επιλογής. Αντίθετα, αν επιθυμεί να επικεντρωθεί στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου και στην σύγκριση των διάφορων σεναρίων για την κάλυψη των θερμικών και ψυκτικών αναγκών του, γίνεται η εφαρμογή της λεπτομερούς (Detailed) επιλογής [45].

Η επιλογή Simple εξυπηρετεί κυρίως αρχιτέκτονες για την μελέτη των κατάλληλων δομικών υλικών και ανοιγμάτων του κτιρίου, ενώ η επιλογή Detailed εξυπηρετεί κυρίως Μηχανικούς



που μελετούν διάφορα σενάρια για την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου και τις ανάγκες του για θέρμανση και ψύξη. Η επιλογή Detailed παρέχει μεγάλη ευελιξία όσον αφορά στη μελέτη συστημάτων κλιματισμού, θέρμανσης, ψύξης και παροχής ζεστού νερού χρήσης.

**B.** Η γραμμή εργαλείων εξαγωγής δεδομένων από το DesignBuilder περιλαμβάνει τις ακόλουθες καρτέλες:

- ❖ **Edit:** ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επεξεργαστεί το κτίριο που σχεδιάζει είτε μορφολογικά, είτε έχοντας πρόσβαση στην γραμμή καρτελών εισαγωγής δεδομένων.
- ❖ **Visualise:** ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δει το κτίριο σε τρισδιάστατη μορφή και να παρατηρήσει την φωτοσκίασή του καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας.
- ❖ **Heating Design:** το λογισμικό εκτελεί έναν υπολογισμό μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του εσωτερικού χώρου του κτιρίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Ρυθμίζοντας την εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου, σύμφωνα με την θερμοκρασία αναφοράς στο θερμοστάτη, εμφανίζεται το απαιτούμενο θερμικό φορτίο. Ο υπολογισμός είναι δυνατό να γίνει για κάθε δωμάτιο ξεχωριστά ή για το σύνολο του κτιρίου.
- ❖ **Cooling Design:** το λογισμικό, όμοια με την διαδικασία στο Heating Design, εκτελεί έναν υπολογισμό για το απαιτούμενο ψυκτικό φορτίο του κτιρίου ή κάθε δωματίου ξεχωριστά.
- ❖ **Simulation:** μέσω αυτής της καρτέλας πραγματοποιούνται οι προσομοιώσεις. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται είτε με τη μορφή διαγραμμάτων είτε με τη μορφή πινάκων σε χρονική κλίμακα που μπορεί να επιλεγεί από το χρήστη, με διαβάθμιση από μηνιαία μέχρι ωριαία, με ανάλογη διαβάθμιση και στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Ο χρήστης επιλέγει τα χρονικά όρια εκτέλεσης της προσομοίωσης, όσο μικρότερο είναι το χρονικό βήμα, τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος αναμονής, αλλά και τόσο ακριβέστερη η προσομοίωση.

### 5.3 Υπολογισμοί λογισμικού DesignBuilder

Το λογισμικό DesignBuilder βασίζεται για την πραγματοποίηση των υπολογισμών στο λογισμικό EnergyPlus [46]. Το DesignBuilder επιτρέπει στο EnergyPlus να ενεργήσει ως υπολογιστικός μηχανισμός για την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου.



### 5.3.1 Χαρακτηριστικά του EnergyPlus

Το EnergyPlus είναι ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα προσομοίωσης ενέργειας κτιρίων που χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση τόσο της κατανάλωσης της ενέργειας, όπως θέρμανση, ψύξη, αερισμό, φωτισμό και φορτία διεργασίας, όσο και της χρήσης του νερού στα κτίρια.

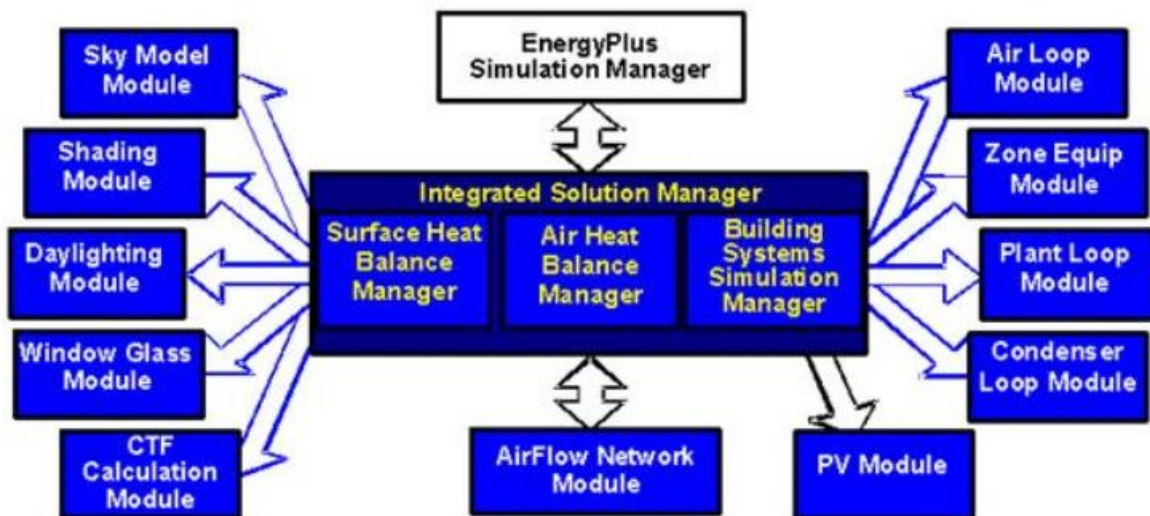
Είναι ένα πρόγραμμα που βασίζεται σε κονσόλα που διαβάζει εισόδους (in-puts) και γράφει εξόδους σε αρχεία κειμένου (out-puts). Διατίθεται με μια σειρά από βοηθητικά προγράμματα, όπως το IDF-Editor για τη δημιουργία αρχείων εισόδου, το EP-Launch για τη διαχείριση αρχείων εισόδου και εξόδου και την εκτέλεση προσομοιώσεων παρτίδας και το EP-Compare για τη γραφική σύγκριση των αποτελεσμάτων δύο ή περισσότερων προσομοιώσεων [46].

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά και δυνατότητες του EnergyPlus περιλαμβάνουν [46]:

- Ολοκληρωμένη και ταυτόχρονη επίλυση συνθηκών θερμικής ζώνης και απόκρισης του συστήματος HVAC και μπορεί να προσομοιώσει μη κλιματιζόμενους και υπό κλιματιζόμενους χώρους.
- Λύση με βάση το ισοζύγιο θερμότητας ακτινοβολίας και μεταφοράς που παράγει θερμοκρασίες επιφάνειας και υπολογισμούς θερμικής άνεσης και συμπύκνωσης.
- Υποωριαία, καθορισμένα από τον χρήστη χρονικά βήματα για την αλληλεπίδραση μεταξύ θερμικών ζωνών και περιβάλλοντος, με αυτόματα μεταβαλλόμενα χρονικά βήματα για αλληλεπιδράσεις μεταξύ θερμικών ζωνών και συστημάτων HVAC. Αυτά επιτρέπουν στην EnergyPlus να μοντελοποιεί συστήματα με γρήγορη δυναμική, ενώ παράλληλα ανταλλάσσει την ταχύτητα προσομοίωσης για ακρίβεια.
- Μοντέλο συνδυασμένης μεταφοράς θερμότητας και μάζας που αντιπροσωπεύει την κίνηση του αέρα μεταξύ των ζωνών.
- Προηγμένα μοντέλα περίφραξης, συμπεριλαμβανομένων ελεγχόμενων περσίδων παραθύρων, ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων και ισοζυγίων θερμότητας στρώμα προς στρώμα, που υπολογίζουν την ηλιακή ενέργεια που απορροφάτε από τα τζάμια παραθύρων.
- Υπολογισμοί φωτισμού και αντανάκλασης, για αναφορά οπτικής άνεσης και ελέγχου φωτισμού οδήγησης.

- HVAC που βασίζεται σε εξαρτήματα που υποστηρίζει τυπικές και νέες διαμορφώσεις συστήματος.
- Ένας μεγάλος αριθμός ενσωματωμένων στρατηγικών ελέγχου HVAC και φωτισμού και ένα επεκτάσιμο σύστημα δέσμης ενεργειών χρόνου εκτέλεσης για έλεγχο που καθορίζεται από το χρήστη.
- Τυπικές συνοπτικές και λεπτομερείς αναφορές εξόδου, καθώς και αναφορές προσδιοριζόμενες από τον χρήστη με δυνατότητα επιλογής χρονικής ανάλυσης από ετήσια έως υποωριαία, όλα με πολλαπλασιαστές πηγών ενέργειας.

Η **Εικόνα 19** παρουσιάζει μία βασική επισκόπηση της ενσωμάτωσης όλων των σημαντικών στοιχείων μια ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίου.



Εικόνα 19. Σχηματική αναπαράσταση της ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίου στο EnergyPlus [46]

## 6. Μοντελοποίηση Κτιρίου Μελέτης με το λογισμικό DesignBuilder

### 6.1 Περιγραφή Κτιρίου Μελέτης

Το υπό μελέτη κτίριο της παρούσας εργασίας είναι μια μονώροφη μονοκατοικία συνολικού εμβαδού  $124.6 \text{ m}^2$  (Gross Area), η οποία στεγάζει μια πενταμελή (5) οικογένεια. Η κατοικία βρίσκεται στην πόλη της Αθήνας, Ελλάδα, η οποία όπως προαναφέρθηκε και νωρίτερα κατατάσσεται στην Κλιματική Ζώνη Β [22]. Το εσωτερικό ύψος του κτιρίου είναι 2.6 m και ο συνολικός όγκος  $324 \text{ m}^3$  (Gross Volume). Στον Πίνακα 8 συνοψίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της κατοικίας.

**Πίνακας 8. Γενικές Προδιαγραφές του υπό μελέτη κτιρίου [47]**

Τοποθεσία	Αθήνα, Ελλάδα
Κλιματική Ζώνη	B
Τύπος κτιρίου	Μονοκατοικία
Αριθμός ορόφων	1 (Ισόγειο)
Συνολική κλιματιζόμενη επιφάνεια κτιρίου ( $\text{m}^2$ )	124.6
Ύψος οροφής-δαπέδου (m)	2.6
Συνολικός κλιματιζόμενος όγκος κτιρίου ( $\text{m}^3$ )	324
Αριθμός θερμικών ζωνών	1
Αριθμός κατοίκων	5

Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι η καθαρή επιφάνεια του κτιρίου ισούται με  $107.7 \text{ m}^2$  (Treated Floor Area) και αντίστοιχα για τον όγκο είναι  $280.0 \text{ m}^3$  (Net Volume). Το κτίριο αποτελείται συνολικά από δύο υπνοδωμάτια, ένα μπάνιο και έναν ενιαίο χώρο στον οποίο βρίσκονται το σαλόνι και η κουζίνα.

Πιο συγκεκριμένα, η εσωτερική διάταξη της κατοικίας έχει ως εξής: Το Υπνοδωμάτιο 1, σύμφωνα με την κάτοψη του κτιρίου έχει Βορειοδυτικό προσανατολισμό και καταλαμβάνει χώρο ίσο με περίπου  $11 \text{ m}^2$ . Στο δωμάτιο αυτό υπάρχει άνοιγμα παραθύρου με βόρειο προσανατολισμό και διαστάσεων  $1.13 \times 1.23 \text{ m}$ . Στη συνέχεια, το Υπνοδωμάτιο 2 έχει Βορειοανατολικό προσανατολισμό και η συνολική επιφάνεια που καταλαμβάνει είναι ίση με περίπου  $12 \text{ m}^2$ , καθώς επίσης περιλαμβάνει ένα παράθυρο ίδιου προσανατολισμού και διαστάσεων με το Υπνοδωμάτιο 1. Ύστερα, ο χώρος του Μπάνιου βρίσκεται στη βόρεια πλευρά της κατοικίας, με θέση ανάμεσα στα δύο Υπνοδωμάτια και είναι συνολικά  $11.6 \text{ m}^2$ . Στο συγκεκριμένο χώρο υπάρχουν δύο μικρά όμοια ανοίγματα παραθύρων βορείου προσανατολισμού και διαστάσεων  $0.4 \times 0.6 \text{ m}$ . Τέλος, στον ενιαίο χώρο των  $90 \text{ m}^2$  βρίσκεται

η Κουζίνα και το Σαλόνι. Στην Νοτιοδυτική πλευρά εντοπίζεται το Σαλόνι, στου οποίου το χώρο είναι τοποθετημένη μπαλκονόπορτα νότιου προσανατολισμού και διαστάσεων 2.4x2.1 m, ενώ στην ακριβώς απέναντι στην νοτιοανατολική πλευρά είναι η Κουζίνα, στην οποία εντοπίζονται δύο ανοίγματα, ένα ενός παραθύρου νότιου προσανατολισμού και διαστάσεων 0.95x0.95 m και μίας μπαλκονόπορτας με ανατολικό προσανατολισμό και διαστάσεων 1.13x2.1 m. Στην περιοχή του διαδρόμου υπάρχει μία ακόμη μπαλκονόπορτα, με νότιο προσανατολισμό και διαστάσεις 0.8x2.1 m.

Ο συνολικός αριθμός των παραθύρων της κατοικίας είναι πέντε (5), ενώ υπάρχουν τρεις (3) μπαλκονόπορτες. Τα παράθυρα καλύπτουν συνολική επιφάνεια ίση με 4.1 m<sup>2</sup> και οι μπαλκονόπορτες 9.09 m<sup>2</sup>, ενώ παρατηρείται ότι στην δυτική πλευρά του κτιρίου δεν υπάρχει κανένα άνοιγμα, δηλαδή δεν υπάρχουν παράθυρα ή μπαλκονόπορτες με δυτικό προσανατολισμό. Τέλος, εκτός από τα ανοίγματα των παραθύρων το κτίριο διαθέτει και μια κεντρική πόρτα εισόδου, διαστάσεων 0.9x2.1 m και νότιου προσανατολισμού.

Στον **Πίνακα 9** συνοψίζονται τα δεδομένα προσανατολισμού και διαστάσεων των δωματίων της κατοικίας, ενώ στον **Πίνακα 10** συνοψίζονται τα αντίστοιχα δεδομένα για τα ανοίγματα (παράθυρα/μπαλκονόπορτες) της κατοικίας.

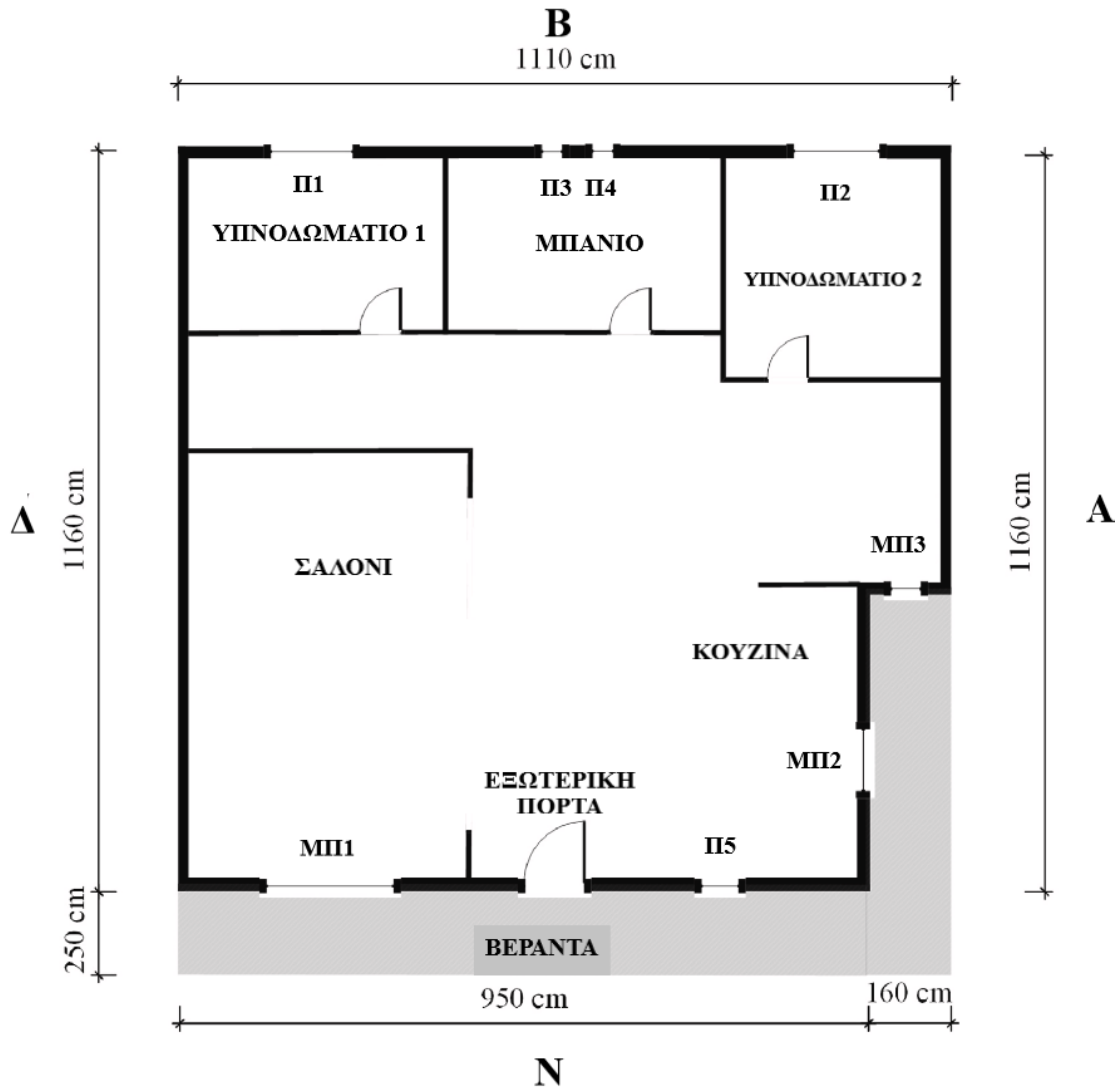
**Πίνακας 9. Δεδομένα Προσανατολισμού και Διαστάσεων Δωματίων Κτιρίου**

Δωμάτιο	Προσανατολισμός - Γωνία Αζιμούθιου		Εμβαδόν m <sup>2</sup>
Υπνοδωμάτιο 1	Βορειοδυτικός (ΒΔ)	315°	11
Υπνοδωμάτιο 2	Βορειοανατολικός (ΒΑ)	45°	12
Μπάνιο	Βόρειος (Β)	0°	11.6
Σαλόνι	Νοτιοδυτικός (ΝΔ)	225°	90
Κουζίνα	Νοτιοανατολικός (ΝΑ)	135°	

**Πίνακας 10. Δεδομένα Προσανατολισμού και Διαστάσεων Ανοιγμάτων Κτιρίου**

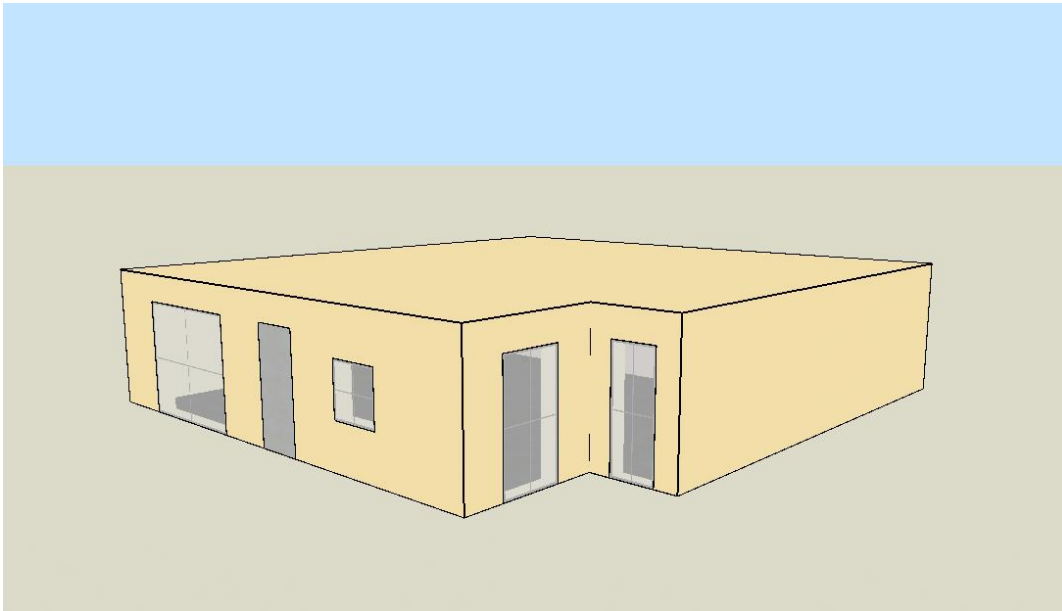
Ανοίγματα	Προσανατολισμός - Γωνία Αζιμούθιου		Διαστάσεις (m)
Παράθυρο 1 (Π1)	Βόρειος - Β	0°	1.13 x 1.23
Παράθυρο 2 (Π2)	Βόρειος - Β	0°	1.13 x 1.23
Παράθυρα 3,4 (Π3,Π4)	Βόρειος - Β	0°	0.4 x 0.6 (x2)
Μπαλκονόπορτα 1 (ΜΠ1)	Νότιος - Ν	180°	2.4 x 2.1
Μπαλκονόπορτα 2 (ΜΠ2)	Ανατολικός - Α	90°	1.13 x 2.1
Παράθυρο 5 (Π5)	Νότιος - Ν	180°	0.95 x 0.95
Μπαλκονόπορτα 3 (ΜΠ3)	Νότιος - Ν	180°	0.8 x 2.1

Στην **Εικόνα 20** παρουσιάζεται η εσωτερική διάταξη του κτιρίου, καθώς και οι βασικές γεωμετρικές διαστάσεις του. Τα ανοίγματα του κτιρίου, στην **Εικόνα 20**, συμβολίζονται με συντομογραφίες, σύμφωνα με τον **Πίνακας 10**.

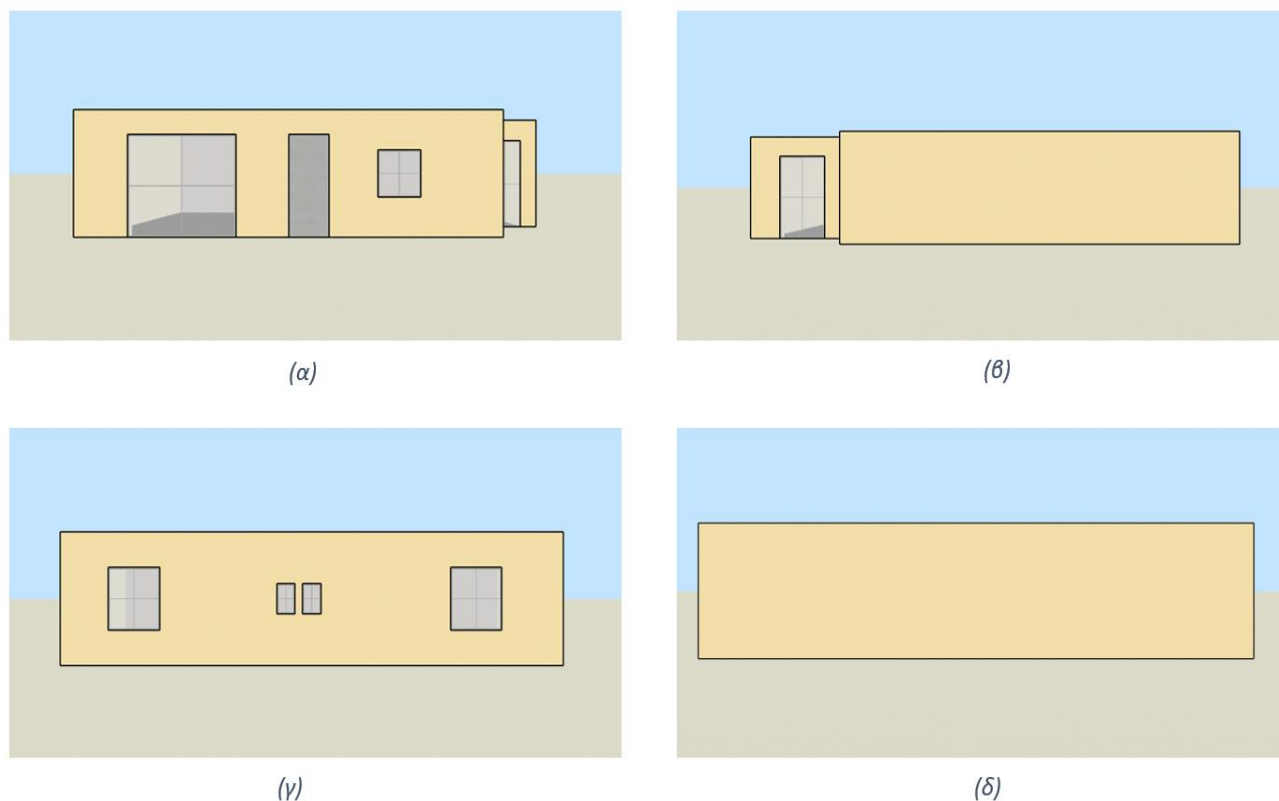


**Εικόνα 20.** Κάτοψη κτιρίου και βασικές γεωμετρικές διαστάσεις [47]

Το κτίριο μοντελοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού DesignBuilder. Στις παρακάτω εικόνες, απεικονίζεται το κτίριο σε τρισδιάστατη μορφή (3D), σε κάθε προσανατολισμό. Πιο συγκεκριμένα, στην **Εικόνα 21** απεικονίζεται η αξονομετρική όψη του κτιρίου, σε νοτιοανατολικό προσανατολισμό και παρατίθενται, επίσης, και τέσσερις εικόνες, όπου απεικονίζονται οι πλευρές του κτιρίου σε διάφορους προσανατολισμούς, πιο συγκεκριμένα η **Εικόνα 22α** σε νότιο προσανατολισμό, η **Εικόνα 22β** σε ανατολικό προσανατολισμό, η **Εικόνα 22γ** σε βόρειο και η **Εικόνα 22δ** σε δυτικό προσανατολισμό. Μέσω των παραπάνω εικόνων φαίνονται και οι τοποθεσίες και οι προσανατολισμοί των ανοιγμάτων του κτιρίου, τα οποία έχουν επιλεγεί και σχεδιαστεί σύμφωνα με τα δεδομένα της βιβλιογραφίας.



**Εικόνα 21. Αξονομετρική Όψη (Νοτιοανατολικός Προσανατολισμός - NA)**



Εικόνα 22. Όψεις κτιρίου (α) Νότια, (β) Ανατολική, (γ) Βόρεια και (δ) Δυτική

### 6.1.1 Δομικά Υλικά

Η σχεδίαση του κτιρίου στο πρόγραμμα DesignBuilder πραγματοποιήθηκε με βάση τα βασικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των δομικών υλικών του κτιρίου, όπως η Θερμική Διαπερατότητα  $U$  ( $W/m^2K$ ), η Θερμική Αντίσταση  $R$  ( $m^2K/W$ ) και ο Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $W/mK$ ), τα οποία ήταν γνωστά μέσω της βιβλιογραφίας, επιλέχθηκαν τα κατάλληλα υλικά για την πιο ορθή και ακριβή κατασκευή του κτιρίου, στο περιβάλλον του DesignBuilder.

#### 6.1.1.1 Εξωτερικοί Τοίχοι

Οι εξωτερικοί τοίχοι έχουν ως βασικό δομικό υλικό το τούβλο και είναι μονωμένοι, με συνολικό συντελεστή Θερμικής Διαπερατότητας  $U = 0.47 W/m^2K$ . Συνολικά αποτελούνται από πέντε (5) στρώματα δομικών υλικών, πιο αναλυτικά, από το εξωτερικό προς το



εσωτερικό στρώμα η κατασκευή διαμορφώθηκε ως εξής: μία λεπτή στρώση επιχρίσματος πάχους 0.08 m αποτελεί το εξωτερικό στρώμα των τοίχων, ύστερα ακολουθούν δύο στρώματα τουβλοδομής πάχους 0.09 m το καθένα, τα οποία διαχωρίζονται μεταξύ τους από μόνωση (EPS Expanded Polystyrene) πάχους 0.05 m και τέλος στο εσωτερικό στρώμα βρίσκεται μια λεπτή στρώση γύψου περίπου 0.013 m.

Στον **Πίνακα 11** συνοψίζονται τα υλικά και το πάχος του κάθε στρώματος που διαμορφώνουν τη δομή των εξωτερικών τοίχων.

**Πίνακας 11. Δομικά Υλικά Εξωτερικών Τοίχων Κτιρίου**

Εξωτερικοί Τοίχοι	Δομικό Υλικό	Πάχος [m]
U = 0.47 W/m <sup>2</sup> K	Επίχρισμα	0.08
	Τούβλο	0.09
	Μόνωση (EPS Expanded Polystyrene)	0.0554
	Τούβλο	0.09
	Γύψος	0.0127

Το καθένα από τα παραπάνω δομικά υλικά έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως η πυκνότητα, ο συντελεστής αγωγιμότητας λ, η ειδική θερμοχωρητικότητα, η ολική απορροφητικότητα, καθώς και η εκπομπή. Στον **Πίνακα 12** απεικονίζονται τα δομικά υλικά σε αντιστοιχία με τις φυσικές ιδιότητες τους σχετικά με την μετάδοση θερμότητας και με τις οπτικές ιδιότητες τους.

**Πίνακας 12. Φυσικές Ιδιότητες Δομικών Υλικών Εξωτερικών Τοίχων**

Δομικά Υλικά	Πυκνότητα $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Συντελεστής Αγωγιμότητας $\lambda$ [mK/W]	Ειδική Θερμοχωρητικότητα $C_p$ [J/kgK]	Ολική Απορροφητικότητα	Εκπομπή
Επίχρισμα	1700	0.84	800	0.7	0.7
Τουβλοδομή	1920	0.72	840	0.6	0.9
Μόνωση	25	0.035	1400		
Στρώση Γύψου	1200	0.42	840		

Στην **Εικόνα 23** παρουσιάζεται και οπτικά η δομή των στρώματων των εξωτερικών τοίχων.



**Εικόνα 23. Δομή Εξωτερικών Τοίχων**

#### 6.1.1.2 Δάπεδο

Το δάπεδο έχει ως βασικό δομικό υλικό το σκυρόδεμα και ο συνολικός συντελεστής Θερμικής Διαπερατότητας του υπολογίζεται ίσος με  $U = 4.302 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Συνολικά αποτελείται από δύο (2) στρώματα δομικών υλικών, πιο αναλυτικά, από το εξωτερικό προς το εσωτερικό στρώμα η κατασκευή διαμορφώθηκε ως εξής: μία λεπτή στρώση γύψου πάχους 0.003m αποτελεί το εξωτερικό στρώμα των τοίχων και ύστερα ακολουθεί ένα χοντρό στρώμα σκυροδέματος μεγάλου βάρους με πάχος 0.382m.

Στον **Πίνακα 13** συνοψίζονται τα υλικά και το πάχος του κάθε στρώματος που διαμορφώνουν τη δομή των εξωτερικών τοίχων.

**Πίνακας 13. Δομικά Υλικά Δαπέδου Κτιρίου**

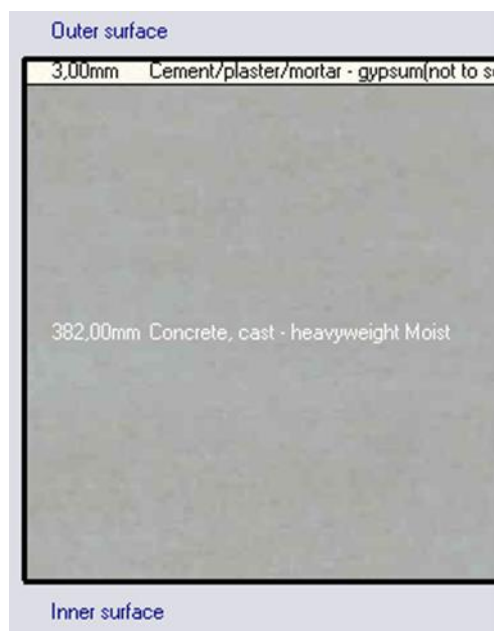
Δάπεδο	Δομικό Υλικό	Πάχος [m]
$U = 4.302 \text{ W/m}^2\text{K}$	Γύψος	0.0030
	Σκυρόδεμα	0.382

Το καθένα από τα παραπάνω δομικά υλικά έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως η πυκνότητα, ο συντελεστής αγωγιμότητας  $\lambda$ , η ειδική θερμοχωρητικότητα, η ολική απορροφητικότητα, καθώς και η εκπομπή. Στον **Πίνακα 14** απεικονίζονται τα δομικά υλικά σε αντιστοιχία με τις φυσικές ιδιότητες τους σχετικά με την μετάδοση θερμότητας και με τις οπτικές ιδιότητες τους.

**Πίνακας 14. Φυσικές Ιδιότητες Δομικών Υλικών Δαπέδου**

Δομικά Υλικά	Πυκνότητα $\rho$ [ $kg/m^3$ ]	Συντελεστής Αγωγιμότητας $\lambda$ [ $mK/W$ ]	Ειδική Θερμοχωρητικότητα $C_p$ [ $J/kgK$ ]	Ολική Απορροφητικότητα	Εκπομπή
Γύψος	1200	0.42	840	0.6	0.9
Σκυρόδεμα	2000	1.7	840		

Στην **Εικόνα 24** παρουσιάζεται και οπτικά η δομή των στρωμάτων του δαπέδου.



**Εικόνα 24. Δομή Δαπέδου**

### 6.1.1.3 Οροφή

Η οροφή έχει ως βασικό δομικό υλικό το σκυρόδεμα και είναι μονωμένη, με συνολικό συντελεστή Θερμικής Διαπερατότητας ίσο με  $U = 0.508 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Συνολικά αποτελούνται από πέντε (5) στρώματα δομικών υλικών, πιο αναλυτικά, από το εξωτερικό προς το εσωτερικό στρώμα η κατασκευή διαμορφώθηκε ως εξής: μία λεπτή στρώση επιχρίσματος πάχους 0.01m αποτελεί το εξωτερικό στρώμα των τοίχων και ύστερα ακολουθούν δύο στρώματα τουβλοδομής πάχους 0.15m το καθένα, τα οποία διαχωρίζονται μεταξύ τους από ένα στρώμα μόνωσης (EPS Expanded Polystyrene) πάχους 0.0762m.

Στον **Πίνακα 15** συνοψίζονται τα υλικά και το πάχος του κάθε στρώματος που διαμορφώνουν τη δομή των εξωτερικών τοίχων.

**Πίνακας 15. Δομικά Υλικά Οροφής Κτιρίου**

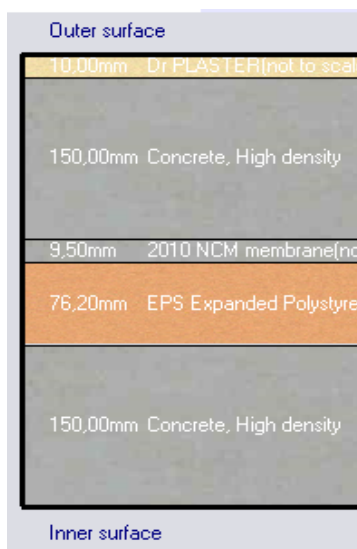
Οροφή	Δομικό Υλικό	Πάχος [m]
$U = 0.508 \text{ W/m}^2\text{K}$	Επίχρισμα	0.01
	Σκυρόδεμα, υψηλής πυκνότητας	0.15
	Μόνωση (EPS Expanded Polystyrene)	0.0762
	Σκυρόδεμα, υψηλής πυκνότητας	0.15

Το καθένα από τα παραπάνω δομικά υλικά έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως η πυκνότητα, ο συντελεστής αγωγιμότητας  $\lambda$ , η ειδική θερμοχωρητικότητα, η ολική απορροφητικότητα, καθώς και η εκπομπή. Στον **Πίνακα 16** απεικονίζονται τα δομικά υλικά σε αντιστοιχία με τις φυσικές ιδιότητες τους σχετικά με την μετάδοση θερμότητας και με τις οπτικές ιδιότητες τους.

**Πίνακας 16. Φυσικές Ιδιότητες Δομικών Υλικών Οροφής**

Δομικά Υλικά	Πυκνότητα $\rho$ [ $\text{kg/m}^3$ ]	Συντελεστής Αγωγιμότητας $\lambda$ [ $\text{mK/W}$ ]	Ειδική Θερμοχωρητικότητα $C_p$ [ $\text{J/kgK}$ ]	Ολική Απορροφητικότητα	Εκπομπή
Επίχρισμα	1700	0.84	800	0.7	0.7
Σκυρόδεμα	2400	2.0	1000	0.6	0.9
Μόνωση	10	0.046	1400	0.6	

Στην **Εικόνα 25** παρουσιάζεται και οπτικά η δομή των στρωμάτων της οροφής.



**Εικόνα 25. Δομή Οροφής**

#### 6.1.1.4 Υαλοπίνακες

Το κτίριο έχει κατασκευαστεί με συνολική επιφάνεια κουφωμάτων  $11.51 \text{ m}^2$ . Σε όλο το κτίριο έχουν τοποθετηθεί μόνο διπλά τζάμια τύπου Low – E. Το κάθε παράθυρο αποτελείται από τρία (3) στρώματα, πιο αναλυτικά, αποτελείται από δύο στρώματα διπλών τζαμιών πάχους 6mm, τα οποία διαχωρίζονται μεταξύ τους με το διάκενο Αργού πάχους 13mm.

Για το υπό μελέτη κτίριο ο συντελεστής θερμοπερατότητας υπολογίζεται ίσος με  $U = 1.493 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Στον **Πίνακας 17** συνοψίζονται τα υλικά και το πάχος του κάθε στρώματος που διαμορφώνουν τη δομή των εξωτερικών τοίχων.

**Πίνακας 17. Δομικά Υλικά Υαλοπινάκων Κτιρίου**

Υαλοπίνακες	Δομικό Υλικό	Πάχος [mm]	Ιδιότητες
Διπλά Τζάμια Low -E $U = 1.493 \text{ W/m}^2\text{K}$	Υαλοπίνακας	6	Συνολική Ηλιακή Μετάδοση (SHGC) = 0.745
	Αργό (Ar)	13	
	Υαλοπίνακας	6	

Το καθένα από τα παραπάνω δομικά υλικά έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως η πυκνότητα, ο συντελεστής αγωγιμότητας  $\lambda$ , η ειδική θερμοχωρητικότητα, η ολική απορροφητικότητα, καθώς και η εκπομπή. Στον **Πίνακα 18** απεικονίζονται τα δομικά υλικά σε αντιστοιχία με τις φυσικές και οπτικές ιδιότητες τους σχετικά με την μετάδοση θερμότητας.

**Πίνακας 18. Φυσικές και Οπτικές Ιδιότητες Δομικών Υλικών Υαλοπινάκων**

Δομικά Υλικά	Πυκνότητα $\rho$ [ $kg/m^3$ ]	Συντελεστής Αγωγιμότητας $\lambda$ [ $mK/W$ ]	Ολική Απορροφητικότητα	Εκπομπή
Υαλοπίνακας	1700	0.9	0.8	0.75

#### 6.1.1.5 Εξωτερική Πόρτα

Η εξωτερική πόρτα της κατοικίας έχει ως βασικό δομικό υλικό το ανοξείδωτο ατσάλι και ο συνολικός συντελεστής Θερμικής Διαπερατότητας της υπολογίζεται ίσος με  $U = 1.991 W/m^2K$ . Συνολικά αποτελείται από δύο (2) στρώματα δομικών υλικών, πιο αναλυτικά, αποτελείται από ένα στρώμα ειδικής μόνωσης για πόρτες πάχους 0.0132m και από ένα στρώμα ανοξείδωτο ατσάλι πάχους 0.0398m.

Στην **Εικόνα 26** παρουσιάζεται και οπτικά η δομή των στρωμάτων της εξωτερικής πόρτας.



**Εικόνα 26. Δομή Εξωτερικής Πόρτας**

Στον **Πίνακα 19**, παρακάτω, συνοψίζονται όλα τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά την κατασκευή του κτιρίου, καθώς και οι τιμές των συντελεστών Θερμικής Διαπερατότητας U.

**Πίνακας 19. Σύνοψη των δομικών υλικών του κτιρίου και των συντελεστών Θερμικής Διαπερατότητας**

Δομικά Υλικά		U - value (W/m <sup>2</sup> K)
Εξωτερικοί Τοίχοι	Επίχρισμα Τούβλο Μόνωση (EPS Expanded Polystyrene) Γύψος	0.47
Δάπεδο	Σκυρόδεμα Γύψος	4.302
Οροφή	Επίχρισμα Σκυρόδεμα Μόνωση (EPS Expanded Polystyrene)	0.508

### 6.1.2 Θέρμανση και Ψύξη Κτιρίου

Το υπό μελέτη κτίριο είναι εξοπλισμένο με συστήματα θέρμανσης, ψύξης και ζεστού νερού χρήσης (ZNX) που ικανοποιούν τις απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου. Αποτελείται από μία θερμική ζώνη, καθώς υπάρχει σύστημα κεντρικής θέρμανσης, το οποίο ελέγχεται από έναν θερμοστάτη. Με αυτό τον τρόπο, όλοι οι εσωτερικοί χώροι του κτιρίου θερμαίνονται και ψύχονται με τα ίδια σημεία ρύθμισης.

Πιο αναλυτικά, το σύστημα HVAC αποτελείται από έναν λέβητα πετρελαίου, ένα σύστημα κλιματισμού και έναν ηλεκτρικό θερμοσίφωνα συνδεδεμένο στο λέβητα για ζήτηση φορτίου ζεστού νερού οικιακής χρήσης (ZNX). Το υπάρχον σύστημα θέρμανσης είναι τυπικής απόδοσης ή ζώνης D και ονομαστικής χωρητικότητας 9.8 kW<sub>th</sub>, με αποτέλεσμα ο βαθμός απόδοσης του να υπολογίζεται περίπου ίσος με 80% [48], ενώ και το σύστημα ZNX, αντίστοιχα, δεν χαρακτηρίζεται από υψηλές τεχνικές προδιαγραφές, έχοντας μέτριες θερμοιδιότητες μόνωσης. Όσον αφορά την ψύξη του κτιρίου, το κτίριο αποτελείται από μια αντλία θερμότητας, με SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) = 2.5.

Οι τεχνικές προδιαγραφές των συμβατικών συστημάτων HVAC και ZNX συνοψίζονται στον παρακάτω **Πίνακα 20**:



**Πίνακας 20. Τεχνικές προδιαγραφές του συμβατικού συστήματος HVAC [47]**

Τελική χρήση	Τύπος μονάδας	Τύπος πηγής ενέργειας	Ονομαστική χωρητικότητα (kW)	Ονομαστική απόδοση (%)
Θέρμανση	Λέβητας	Πετρέλαιο	9,8 ( $kW_{th-h}$ )	Ζώνη ERP: D
Ψύξη	Κλιματιστικό	Ηλεκτρική ενέργεια	4,2 ( $kW_{th-c}$ )	7.4 (SEER)
ZNX	Θερμοσίφωνα	Ηλεκτρική ενέργεια	10 ( $kW_e$ )	Ζώνη ERP: D

Η χαμηλή ενεργειακή απόδοση και των δύο συστημάτων είναι αποτέλεσμα των υψηλών απωλειών θερμότητας λόγω των επιπτώσεων της γήρανσης και της απαρχαιωμένης τεχνολογίας (Ζώνη ονομαστικής απόδοσης ενέργειας, ERP, ίση με D).

Όσον αφορά τις ώρες λειτουργίας ανά ημέρα, τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης έχουν ρυθμιστεί να λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου 24 ώρες το 24ωρο (On 24/7). Πιο συγκεκριμένα, ορίστηκαν ιδανικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης, δηλαδή συστήματα που να είναι εφικτό να προσφέρουν κάθε χρονική στιγμή τη θερμική ή ψυκτική αντιστοίχως ισχύ που απαιτείται, ώστε η εσωτερική θερμοκρασία να παραμένει σταθερή στην τιμή που έχει οριστεί από τον θερμοστάτη. Οι τιμές αναφοράς του θερμοστάτη επιλέχθηκαν έτσι ώστε να συμφωνούν με τους εθνικούς κανονισμούς, σχετικά με τις επιθυμητές συνθήκες εσωτερικής θερμικής άνεσης [48], και έτσι η θερμοκρασία του θερμοστάτη ορίστηκε στους 20.0°C για τη χειμερινή περίοδο και στους 26.0°C για τη θερινή περίοδο.

Στον **Πίνακα 21** απεικονίζονται οι τιμές αναφοράς θερμοκρασιών, οι οποίες καθορίζουν πότε απαιτείται θέρμανση (Heating) ή ψύξη (Cooling).

**Πίνακας 21. Τιμές αναφοράς του θερμοστάτη για θέρμανση και ψύξη**

Τιμές Αναφοράς του Θερμοστάτη	
Θέρμανση (Heating)	20.0°C
Ψύξη (Cooling)	26.0°C

Οι ώρες λειτουργίας του συστήματος Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX) κυμαίνονται στις 5 h/ημέρα και ακολουθεί το πρόγραμμα πληρότητας της κατοικίας. Σύμφωνα με τους εθνικούς κανονισμούς, ορίστηκε η θερμοκρασία Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX) στους 45°C [48], ενώ η μέση θερμοκρασία παροχής νερού στους 18°C [47]. Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος ορίστηκε στο 0.85, καθώς το σύστημα ανήκει στην ζώνη απόδοσης D [48].

Στον **Πίνακα 22** συνοψίζονται τα δεδομένα τα οποία τέθηκαν στο περιβάλλον του λογισμικού DesignBuilder για το Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX).

**Πίνακας 22. Δεδομένα για Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX)**

Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX)	
ZNX CoP (Coefficient of Performance)	0.85
ΤΥΠΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	Λέβητας Ζεστού Νερού
ΤΥΠΟΣ ΠΗΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	Ηλεκτρισμός
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ZNX (°C)	45 °C
ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΑΡΟΧΗΣ ΚΡΥΟΥ ΝΕΡΟΥ (°C)	18 °C
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	Πρόγραμμα Πληρότητας Κατοικίας

### 6.1.3 Λοιπές Καταναλώσεις Ρεύματος

#### 6.1.3.1 Ηλεκτρικές Συσκευές

Με βάση την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 [48] για την εκτιμώμενη θερμική ισχύς ηλεκτρικών συσκευών/εξοπλισμού ανάλογα με την χρήση του κτηρίου, θεωρήθηκαν τα συνολικά φορτία από τις ηλεκτρικές συσκευές ίσα με  $3 \text{ W/m}^2$ . Το μέσο ημερήσιο κλάσμα λειτουργίας υπολογίζεται ίσο με 75%, με το προφίλ των συσκευών να κυμαίνεται μεταξύ 0,25% (00:00 – 06:00) και 90% (09:00 – 14:00). Πιο αναλυτικά, η λειτουργία των συσκευών για τις ώρες 01:00 – 06:00 είναι 25%, για 06:00 – 09:00 και 14:00 είναι 50% και τέλος, για 09:00 – 14:00 είναι 75%.

Στο **Διάγραμμα 18** απεικονίζεται γραφικά το πρόγραμμα λειτουργίας των συσκευών κατά τη διάρκεια της ημέρας.



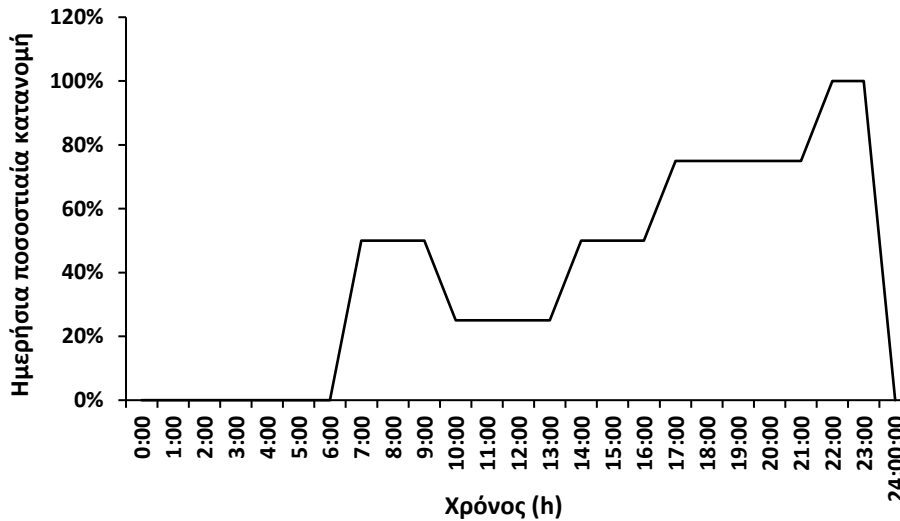
**Διάγραμμα 18. Πρόγραμμα Λειτουργίας Συσκευών**

### 6.1.3.2 Εσωτερικός Φωτισμός

Το κτίριο εκμεταλλεύεται το φυσικό φωτισμό που προσφέρεται, κυρίως από τα παράθυρα με νότιο προσανατολισμό, αλλά με αυτό τον τρόπο δεν καλύπτονται οι ανάγκες της κατοικίας. Το ηλεκτρικό φορτίο από τον εσωτερικό φωτισμό επηρεάζει τις καταναλώσεις της θέρμανσης και της ψύξης. Το κτίριο φωτίζεται με λάμπες LED και η στάθμη του φωτισμού του κτιρίου σύμφωνα με την TOTE 20701-1/2017 -TEE [48] είναι 200 lux και η τιμή της πυκνότητας ισχύος ανά 100 lux είναι  $2,5 \text{ W/m}^2$ , άρα το συνολικό φορτίο του συγκεκριμένου φωτισμού είναι ίσο με  $5 \text{ W/m}^2$ . Το μέσο ημερήσιο κλάσμα λειτουργίας υπολογίζεται ίσο με 75%, πιο συγκεκριμένα, το προφίλ του φωτισμού κυμαίνεται μεταξύ 0% (00:00 – 06:00) και 100% (21:00 – 23:00). Πιο αναλυτικά, η λειτουργία του εσωτερικού φωτισμού για τις ώρες 23:00 – 06:00 είναι 0%, καθώς θεωρούνται ώρες ξεκούρασης, για τις ώρες 06:00 – 09:00 και 13:00 – 16:00 είναι 50%, για 09:00 – 13:00 είναι 25%, ενώ για τις ώρες 16:00 – 21:00 και 21:00 – 23:00 παρουσιάζονται τα μεγαλύτερα ποσοστά λειτουργίας 75% και 100% αντίστοιχα.

Στο **Διάγραμμα 19** απεικονίζεται γραφικά το πρόγραμμα φωτισμού της κατοικίας κατά την διάρκεια της ημέρας.

### Πρόγραμμα Λειτουργίας Φωτισμού



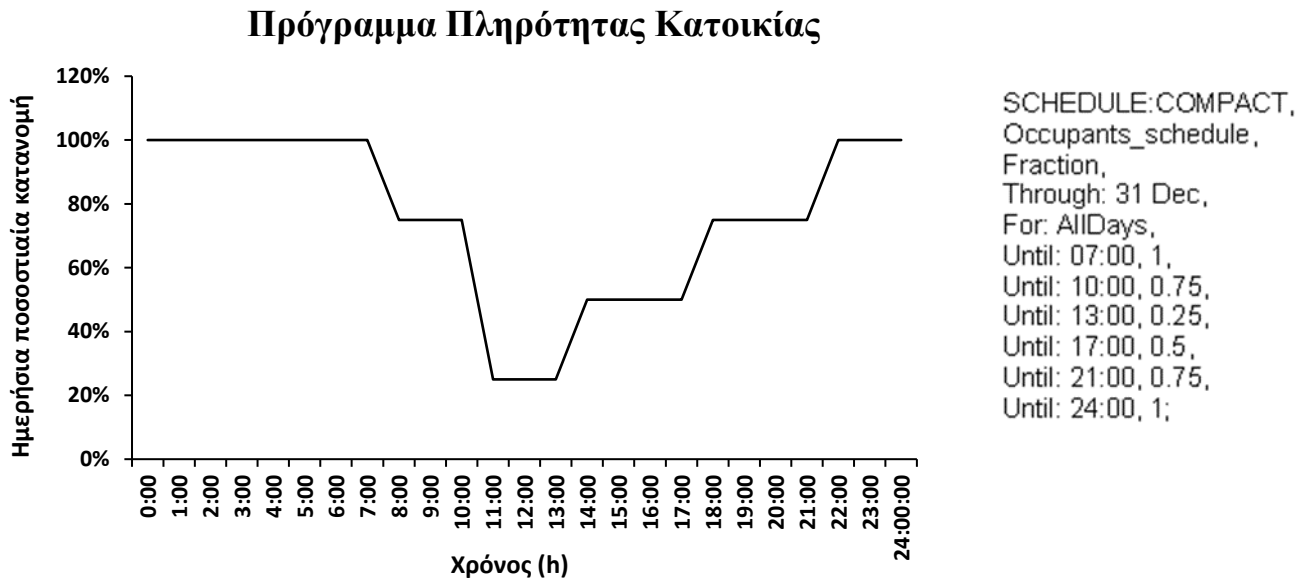
SCHEDULE:COMPACT,  
 Lighting\_Schedule,  
 Fraction,  
 Through: 31 Dec,  
 For: AllDays,  
 Until: 06:00, 0,  
 Until: 09:00, 0.5,  
 Until: 13:00, 0.25,  
 Until: 16:00, 0.5,  
 Until: 21:00, 0.75,  
 Until: 23:00, 1,  
 Until: 24:00, 0;

Διάγραμμα 19. Πρόγραμμα Λειτουργίας Εσωτερικού Φωτισμού

#### 6.1.3.3 Πληρότητα (Occupancy)

Όπως και ο φωτισμός έτσι και η πληρότητα (Occupancy) επηρεάζει το φορτία που απαιτούνται για θέρμανση και ψύξη. Το κτίριο στεγάζει μια πενταμελή οικογένεια και το ειδικό φορτίο των ενοίκων επιλέχθηκε 100 W ανά άτομο. Το κτίριο είναι κατειλημμένο καθ’ όλη τη διάρκεια του έτους, με μέσο ημερήσιο κλάσμα λειτουργίας 75%. Πιο συγκεκριμένα, το προφίλ πληρότητας κυμαίνεται μεταξύ 25%, για τις πρωινές ώρες 10:00 και 13:00 και 100% για τις νυχτερινές ώρες μετά τα μεσάνυχτα έως τις 7:00.

Στο **Διάγραμμα 20** παρακάτω απεικονίζεται το πρόγραμμα πληρότητας του κτιρίου κατά τη διάρκεια της ημέρας.



**Διάγραμμα 20. Πρόγραμμα Λειτουργίας Πληρότητας**

#### 6.1.4 Αεροστεγανότητα (Airtightness)

Αν το κέλυφος ενός κτιρίου δεν είναι αρκετά αεροστεγές, μπορεί να υπάρχει απώλεια σημαντικών ποσών ενέργειας. Η διαρροή αέρα μπορεί να αποφευχθεί με τον κατάλληλο σχεδιασμό και την προσεγμένη κατασκευή του κτιρίου. Η σημερινή φιλοσοφία στην κατασκευή κτιρίων είναι η μέγιστη αεροστεγανότητα (Airtightness) και ο αερισμός από παράθυρα και άλλα σκόπιμα τοποθετημένα ανοίγματα ή/και ο μηχανικός αερισμός. Ο αθέλητος αερισμός (Infiltration) είναι η μη σκόπιμη ροή αέρα από το περιβάλλον προς το εσωτερικό του κτιρίου και οφείλεται στο ανοιγοκλείσιμο εξωτερικών θυρών, σε ρωγμές γύρω από τα ανοίγματα ή στις μικρές σχισμές στις ενώσεις μεταξύ των δομικών συστατικών του κτιρίου. Ο αριθμός των εναλλαγών αέρα ανά ώρα ορίζεται με βάση την αεροστεγανότητα του χώρου. Ο αθέλητος αερισμός στο πρόγραμμα ορίστηκε σε **0.6 ac/h** (air changes per hour), σύμφωνα με τις αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές [23].

#### 6.1.5 Φυσικός Αερισμός (Natural Ventilation)

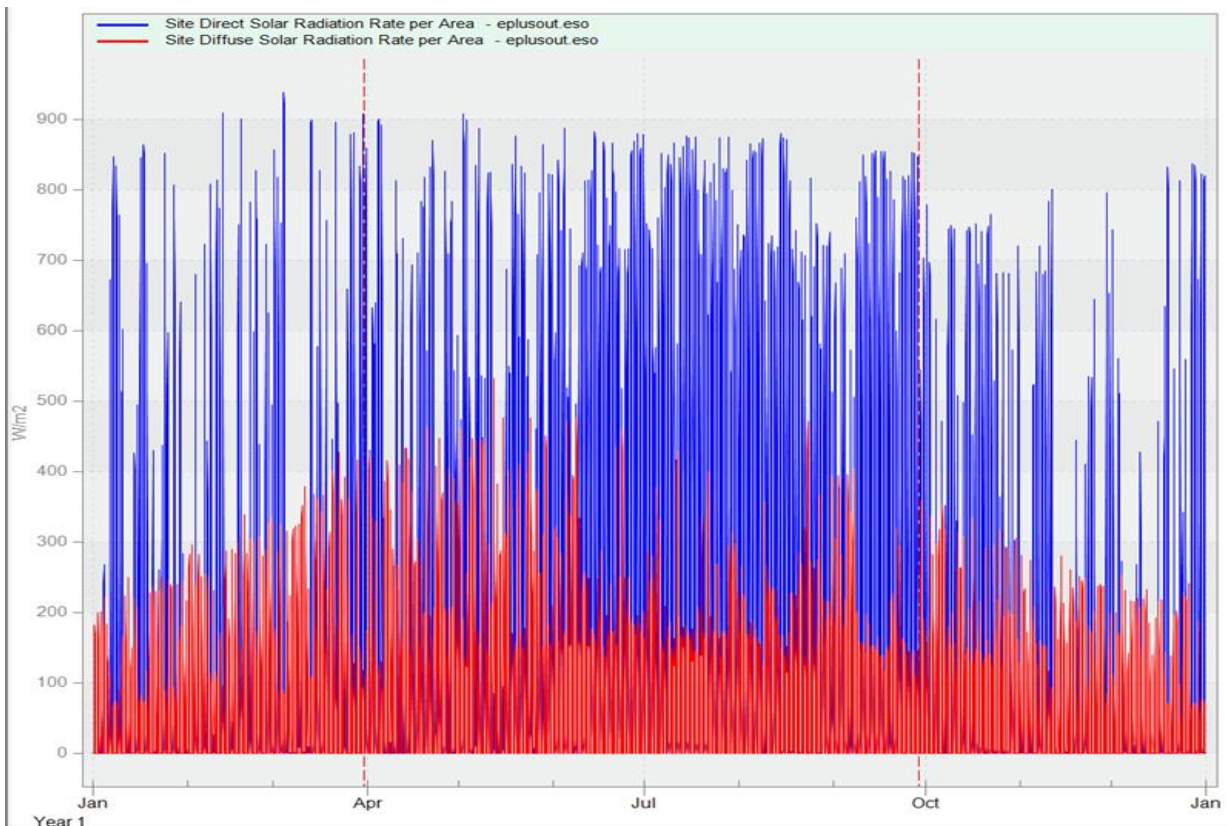
Ο φυσικός αερισμός (Natural Ventilation) είναι η ροή αέρα από το περιβάλλον προς το εσωτερικό του κτιρίου και γίνεται σκόπιμα με φυσικά μέσα. Η αντικατάσταση μέρος του εσωτερικού αέρα ενός κτιρίου με νωπό αέρα (fresh air) είναι απαραίτητος για λόγους συνθηκών υγιεινής και σχετίζεται άμεσα με τον φυσικό δροσισμό, την ποιότητα του αέρα και τα επίπεδα οξυγόνου στο εσωτερικό του κτιρίου. Ο φυσικός αερισμός στο πρόγραμμα ορίστηκε σε **0.07 m<sup>3</sup>/s**, σύμφωνα με την ενεργειακή μελέτη [47]. Επιπλέον, δεν υπάρχει

ανάγκη για εγκατάσταση εξαναγκασμένου αερισμού, επειδή η φυσική ψύξη επιτυγχάνεται με την αξιοποίηση των ανοιγμάτων διπλής πρόσοψης στη νότια και βόρεια πλευρά του κτιρίου (παράθυρα και μπαλκονόπορτες).

### 6.1.6 Κλιματολογικά Δεδομένα

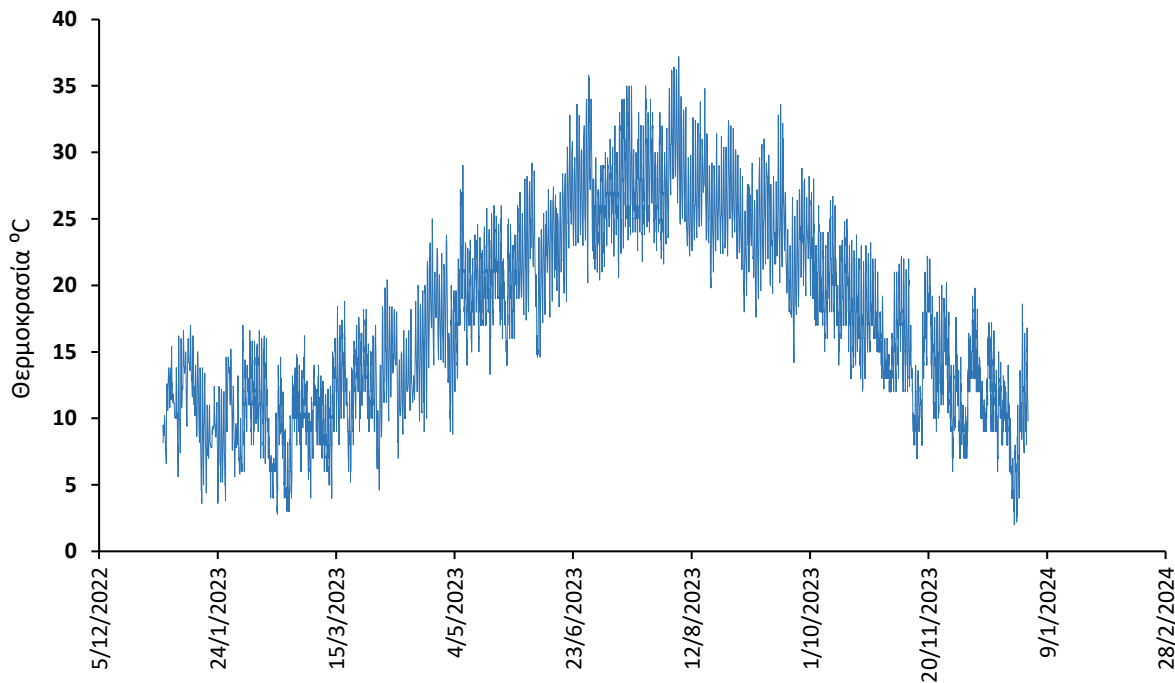
Η Ελλάδα παρουσιάζει ένα ιδιαίτερα υψηλό ηλιακό δυναμικό, περίπου 1.40 - 1.80 [kWh/(m<sup>2</sup>·yr)] ετησίως σε οριζόντιο επίπεδο, ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος και το ανάγλυφο της περιοχής [49]. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι μια μορφή ενέργειας με σχεδόν σταθερή και προβλέψιμη ένταση [W/m<sup>2</sup>] στην διάρκεια του χρόνου και της ημέρας. Η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει την μέγιστη ένταση της κατά την διάρκεια του μεσημεριού καθώς τότε είναι το μέγιστο ηλιακό ύψος, τόσο κατά τη θερινή όσο και κατά τη χειμερινή περίοδο. Η ηλιακή ενέργεια είναι μεγαλύτερη κατά τη θερινή περίοδο, λόγω την θέσης του ήλιου, αλλά και λόγω της αύξησης των ωρών ηλιοφάνειας.

Το **Διάγραμμα 21** απεικονίζει την ολική ακτινοβολία (άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία) στο οριζόντιο επίπεδο.



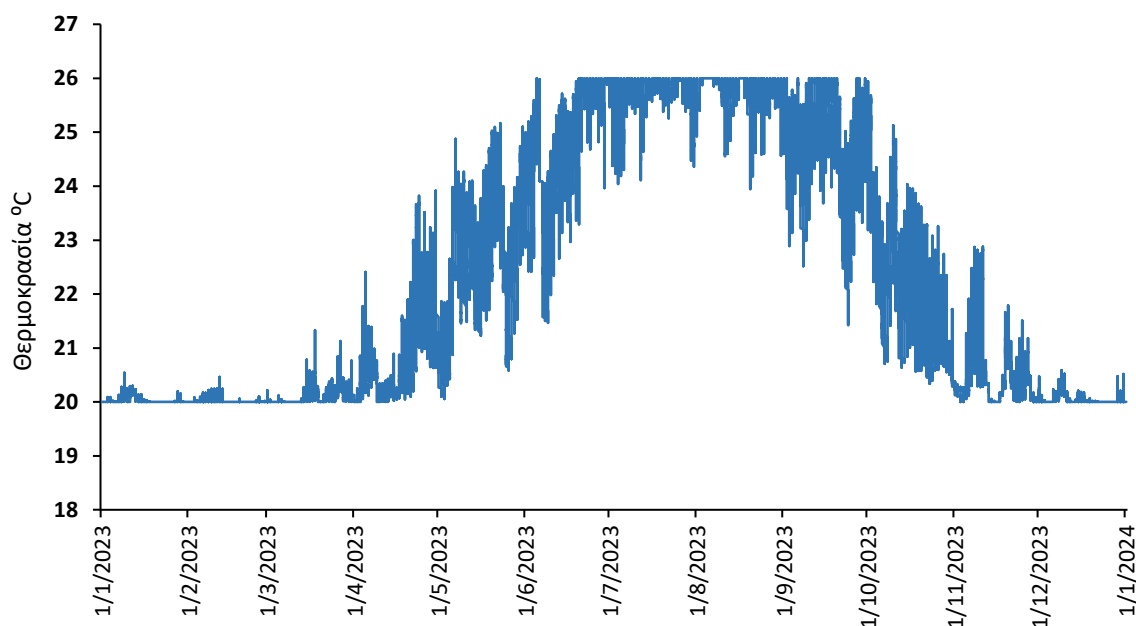
**Διάγραμμα 21. Δεδομένα καιρού για την εξεταζόμενη τοποθεσία από τη βάση δεδομένων DesignBuilder (Άμεση και Διάχυτη Ηλιακή Ακτινοβολία KW/m<sup>2</sup>)**

Η ανάλυση προσομοίωσης πραγματοποιήθηκε για την πόλη της Αθήνας, Ελλάδα [37°58'54"N, 23°43'51"E] και τα μετεωρολογικά δεδομένα ανακτήθηκαν από τη βιβλιοθήκη καιρού του DesignBuilder. Το χρονικό βήμα προσομοίωσης επιλέχθηκε στα 10' λεπτά (Sub-hourly) μετά την εκτέλεση ανάλυσης ευαισθησίας. Το **Διάγραμμα 22** απεικονίζει τη μεταβολή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος (Side Outdoor Air Drybulb Temperature) και το **Διάγραμμα 23** την εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου (Inside Air Temperature), η οποία ακολουθεί τα σημεία αναφοράς (Set Points) τα οποία τέθηκαν, δηλαδή για την χειμερινή περίοδο 20.0°C και για την καλοκαιρινή 26.0°C. Επιπλέον, η θερμοκρασία περιβάλλοντος κυμαίνεται μεταξύ 2.0°C και 37.0°C ενώ η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι ίση με 17.9°C. Ο πιο κρύος μήνας του έτους είναι ο Φεβρουάριος με μέση θερμοκρασία 10.0°C ενώ ο θερμότερος είναι ο Αύγουστος με μέση θερμοκρασία ίση με 28.0°C.



**Διάγραμμα 22. Δεδομένα θερμοκρασίας για την τοποθεσία του εξεταζόμενου κτιρίου από τη βάση δεδομένων DesignBuilder**





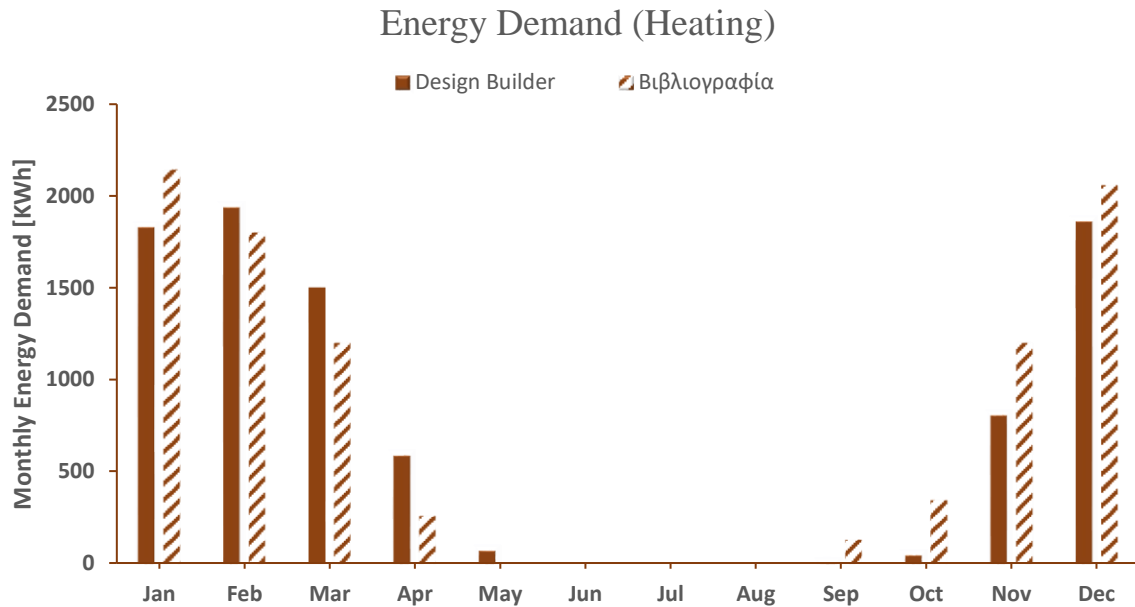
**Διάγραμμα 23. Εσωτερική Θερμοκρασία Κτιρίου**

## 6.2 Επαλήθευση Μοντέλου Κτιρίου με το λογισμικό DesignBuilder

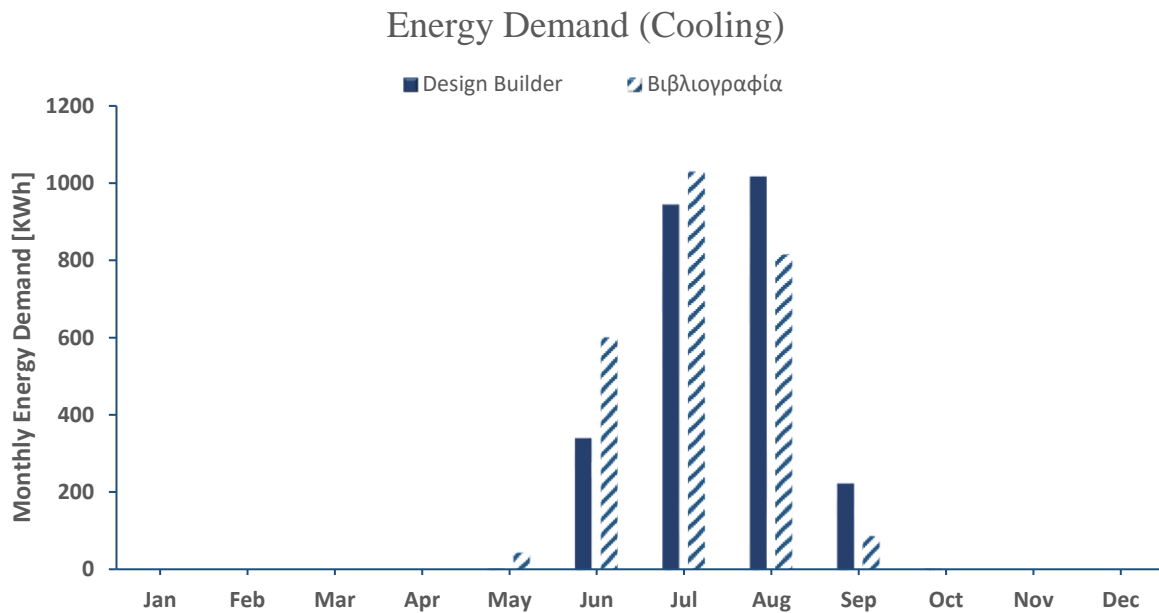
Η επικύρωση (validation) του μοντέλου πραγματοποιείται με σκοπό την επιβεβαίωσή του ως ρεαλιστικό μοντέλο που ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Σκοπός της επικύρωσης συνιστά η διερεύνησή του κατά πόσο τα αποτελέσματα των καταναλώσεων του κτιρίου ταιριάζουν με τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας. Η συγκεκριμένη διερεύνηση αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά σημεία της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Εφόσον τα αποτελέσματα του προγράμματος προσεγγίζουν τα δοσμένα από την αναφορά αυτόματα αυτό σημαίνει ότι τα χαρακτηριστικά του μοντέλου έχουν εισαχθεί ορθά στο περιβάλλον του DesignBuilder.

Για να πραγματοποιηθεί η προαναφερθείσα διαδικασία, εξετάστηκαν διάφορες προσομοιώσεις στο DesignBuilder τροποποιώντας χαρακτηριστικά του κτιρίου, όπως οι βαθμοί απόδοσης των αντλιών θερμότητας, η αεροστεγανότητα του κτιρίου και ο φυσικός αερισμός του. Ακολουθώντας τη συγκεκριμένη μεθοδολογία, εντοπίστηκε ο κατάλληλος συνδυασμός μεγεθών που αντιπροσωπεύουν την υφιστάμενη κατασκευή του κτιρίου.

Η διαπίστωση αυτή επιφέρει ως αποτέλεσμα το μοντέλο να θεωρείται αξιόπιστο και δύναται να χρησιμοποιηθεί για τα σενάρια εξοικονόμησης που θα μελετηθούν στην παρούσα διπλωματική εργασία. Όλες οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν με την δυνατότητα του Simulation που παρέχει το DesignBuilder.



**Διάγραμμα 24. Σύγκριση Αποτελεσμάτων του μοντέλου με τα δεδομένα της Βιβλιογραφίας για τη Θέρμανση**



**Διάγραμμα 25. Σύγκριση Αποτελεσμάτων του μοντέλου με τα δεδομένα της Βιβλιογραφίας για τη Ψύξη**

Η απόκλιση μεταξύ των δεδομένων της βιβλιογραφίας και των αποτελεσμάτων ύστερα από την μοντελοποίηση του κτιρίου στο περιβάλλον του DesignBuilder είναι αρκετά μικρή στην πλειοψηφία των μηνών. Ειδικότερα, όσον αναφορά τα φορτία θέρμανσης, τα ετήσια αποτελέσματα, για όλη τη διάρκεια του χρόνου, παρουσιάζουν μια μικρή απόκλιση της τάξεως του 5%. Επίσης, παρατηρώντας το **Διάγραμμα 24**, προκύπτει ότι η περίοδος θέρμανσης της κατοικίας κυμαίνεται μεταξύ των μηνών Οκτώβριου – Απριλίου. Όσον αναφορά το **Διάγραμμα 25**, σχετικά με την ψύξη της κατοικίας, παρατηρείται ότι και σε αυτήν την περίπτωση, η ετήσια ενεργειακή ζήτηση κυμαίνεται κοντά στα αποτελέσματα της δημοσιοποιημένης μελέτης, με μία απόκλιση της τάξεως των 2%. Τέλος, η περίοδος λειτουργίας των συστημάτων ψύξης κυμαίνεται μεταξύ των καλοκαιρινών μηνών Μαΐου – Σεπτεμβρίου.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα της μελέτης θεωρούνται αξιόπιστα, εφόσον έχει επιβεβαιωθεί ότι το προσομοιωμένο μοντέλο λειτουργεί ορθά και προσεγγίζει τα δεδομένα της βιβλιογραφίας.

## 7. Παρεμβάσεις για Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Κτιρίου

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται η ενεργειακή μελέτη για τα σενάρια εξοικονόμησης για την χρονική περίοδο ενός έτους μέσω του λογισμικού προσομοίωσης μοντέλου στο DesignBuilder. Στα σενάρια που θα εξεταστούν πραγματοποιούνται τροποποιήσεις στα συστήματα ψύξης και θέρμανσης του κτιρίου αλλά και στο εξωτερικό κέλυφος. Τα σενάρια έχουν σαν στόχο τη βελτιστοποίηση των καταναλώσεων με κριτήριο πάντα τη βιωσιμότητα της επένδυσης, γεγονός που θα αποτελέσει αντικείμενο μελέτης του παρόντος κεφαλαίου. Απαραίτητο κρίνεται να γίνει περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης του κτιρίου από πλευράς κατανάλωσης ενέργειας.

Με τον όρο υφιστάμενη κατάσταση ορίζεται η μορφή του κτιρίου όπως υφίσταται αυτή την στιγμή, δηλαδή χωρίς να έχει πραγματοποιηθεί βελτίωση του κελύφους του ή άλλου χαρακτηριστικού που επηρεάζει τις ενεργειακές καταναλώσεις του. Τα χαρακτηριστικά του κτιρίου περιεγράφηκαν λεπτομερειακά στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στους **Πίνακας 23** και **Πίνακας 25** συνοψίζονται τα μηνιαία αποτελέσματα της προσομοίωσης για την τρέχουσα κατάσταση του κτιρίου κατοικίας, επίσης για την πιο αποτελεσματική παρακολούθηση των καταναλώσεων ηλεκτρικού ρεύματος κρίνεται αναγκαία η κατηγοριοποίησή τους, η οποία φαίνεται στον **Πίνακας 24**.

**Πίνακας 23. Μηνιαίες καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος και πετρελαίου του υπό μελέτη κτιρίου**

	<b>Κατανάλωση Ηλεκτρικού Ρεύματος [kWh]</b>	<b>Κατανάλωση Πετρελαίου [kWh]</b>
Ιανουάριος	486.07	914.85
Φεβρουάριος	439.03	968.87
Μάρτιος	486.07	747.32
Απρίλιος	470.39	292.99
Μάιος	486.32	33.97
Ιούνιος	605.77	0.00
Ιούλιος	863.18	0.00
Αύγουστος	892.07	0.00
Σεπτέμβριος	559.00	0.06
Οκτώβριος	486.27	22.31
Νοέμβριος	470.39	403.04
Δεκέμβριος	486.07	930.40
<b>Συνολική Κατανάλωση</b>	<b>6730.62</b>	<b>4313.80</b>

Πίνακας 24. Καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος κτιρίου ανά κατηγορία

	Κατανάλωση Ηλεκτρικού Ρεύματος [kWh]
Ψύξη	1007.54
Εσωτερικός Φωτισμός	1916.29
Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX)	2421.15
Λοιπές Καταναλώσεις	1385.63
<b>Συνολική Κατανάλωση</b>	<b>6730.62</b>

Πίνακας 25. Μηνιαία θερμικά φορτία θέρμανσης και ψύξης του υπό μελέτη κτιρίου

	Θερμικά Φορτία [kWh]	
	Θέρμανσης	Ψύξης
Ιανουάριος	1829,701	0
Φεβρουάριος	1937,741	0
Μάρτιος	1494,638	0
Απρίλιος	585,9712	0
Μάιος	67,93541	0,616144
Ιούνιος	0	338,4482
Ιούλιος	0	942,7668
Αύγουστος	0	1014,995
Σεπτέμβριος	0,115354	221,5331
Οκτώβριος	44,61282	0,499494
Νοέμβριος	806,0754	0
Δεκέμβριος	1860,792	0
<b>Συνολική Κατανάλωση</b>	<b>8627,582184</b>	<b>2518,858738</b>

Τα σενάρια που επιλέχθηκαν να μελετηθούν αφορούν το κέλυφος του κτιρίου, αλλά και το σύστημα θέρμανσης και ψύξης. Όλα τα σενάρια θα μελετηθούν μεμονωμένα αλλά και συνδυαστικά. Τέλος, θα εξετασθεί και η περίπτωση εγκατάστασης συστήματος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).

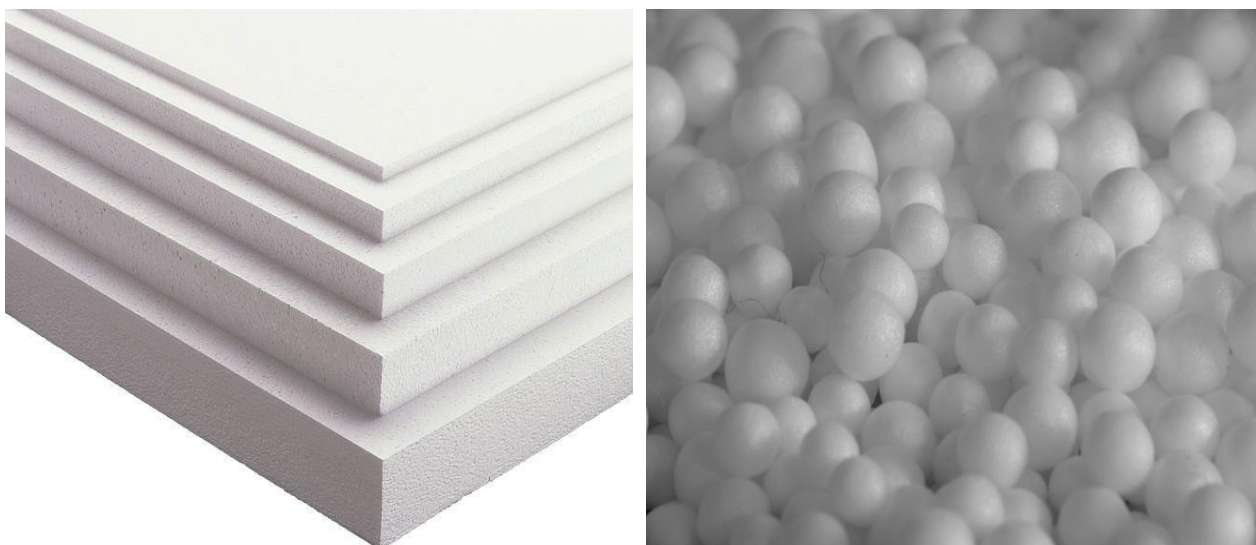
## 7.1 Παρεμβάσεις στο κέλυφος του κτηρίου

### 7.1.1 Μόνωση στην εξωτερική τοιχοποιία και την οροφή {1}

Το υπό μελέτη κτίριο διαθέτει μόνωση, αλλά στο παρόν υποκεφάλαιο θα μελετηθεί η ενίσχυση της στην εξωτερική τοιχοποιία και στην οροφή, αφήνοντας τα άλλα

χαρακτηριστικά του κτιρίου αναλλοίωτα. Πιο συγκεκριμένα, θα γίνει χρήση θερμομονωτικών πλακών διογκωμένης πολυστερίνης, στοχεύοντας στην μείωση των ενεργειακών αναγκών της κατοικίας.

Διογκωμένη πολυστερίνη ή εν συντομία EPS (Expanded Polystyrene), είναι ένα ελαφρύ, άκαμπτο, πλαστικό και αφρώδες υλικό που παράγεται από συμπαγείς σταγόνες πολυστυρολίου και αποτελείται κατά 98% από αέρα. Το συγκεκριμένο υλικό όταν θερμανθεί με ατμό, παράγει τέλεια κλειστές σφαιρικές κυψέλες EPS. Η διαστολή επιτυγχάνεται λόγω των μικρών ποσοτήτων πεντανίου αερίου που απελευθερώνονται μέσα στο πολυστυρόλιο κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Δεν περιέχει αέρια του θερμοκηπίου, όπως τα αντίστοιχα αφρώδη υλικά της αγοράς. [50]



Εικόνα 27. Πλάκες και σφαιρίδια διογκωμένης πολυστερίνης [50]

Τα πλεονεκτήματα που απολαμβάνει ο χρήστης με την εφαρμογή της διογκωμένης πολυστερίνης είναι ποικίλα. Τα σημαντικότερα είναι τα εξής:

- ✓ *Άριστη θερμομόνωση:* αποτελείται κατά 98% από αέρα (80% N<sub>2</sub>, 20% O<sub>2</sub>), εγκλωβισμένο σε κλειστές ερμητικές κυψέλες, γεγονός που το καθιστά άριστο θερμομονωτικό υλικό.
- ✓ *Ακουστική μόνωση:* απορροφά τον ήχο, τόσο τον ήχο προσκρούσεως στα πλωτά δάπεδα όσο και τον ήχο των τοίχων που μεταφέρεται δι' αέρος.
- ✓ *Ανθεκτικό στην υγρασία:* αντιστέκεται στην φθορά που μπορεί να προκαλέσει το νερό ακόμη και αν βρίσκεται βυθισμένο σε αυτό για πάνω από 50 χρόνια, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για πλωτές κατασκευές.

- ✓ *Διάρκεια εφ' όρου ζωής:* δεν γερνάει, δεν αποσυντίθεται, δεν αποδομείται
- ✓ *Ευέλικτες μηχανικές ιδιότητες:* η ευέλικτη διαδικασία παραγωγής του καθιστά τις μηχανικές ιδιότητες του EPS εύκολα προσαρμόσιμες σε οποιαδήποτε ιδιάζουσα ή πολύπλοκη εφαρμογή.
- ✓ *Πολλαπλή χρησιμότητα:* μπορεί να κατασκευαστεί σε οποιοδήποτε σχήμα ή μέγεθος και συνδυάζεται κατασκευαστικά με μια ευρεία ποικιλία υλικών.
- ✓ *Οικονομικά συμφέρον:* προσφέρει την καλύτερη αναλογία τιμής - απόδοσης συγκρινόμενο με οποιοδήποτε άλλο θερμομονωτικό υλικό.
- ✓ *Επιβράδυνση σε περίπτωση πυρκαγιάς:* υπάρχουν δύο ειδών: το «κλασικό» και το «αυτοσβεννύμενο», το οποίο και περιέχει επιβραδυντικά στοιχεία σε περίπτωση πυρκαγιάς.
- ✓ *Ανακυκλωμένο:* ανακυκλώνεται με διάφορους τρόπους και συνεπώς δεν επιβαρύνει το περιβάλλον.
- ✓ *Φιλικό προς το περιβάλλον:* έχει τον αποδοτικότερο κύκλο ζωής από όλα τα θερμομονωτικά υλικά και χρησιμοποιεί την λιγότερη ενέργεια για την παραγωγή και την ανακύκλωσή του.

Στον **Πίνακα 26** και στον **Πίνακα 27** συνοψίζονται τα δομικά υλικά των εξωτερικών τοίχων και της οροφής, αντίστοιχα, ύστερα από την ενίσχυση της μόνωσής τους.

#### Πίνακας 26. Δομικά υλικά εξωτερικής τοιχοποιίας κτιρίου

Εξωτερικοί Τοίχοι	Δομικό Υλικό	Πάχος [m]
U = 0.30 W/m <sup>2</sup> K	Επίχρισμα	0.08
	Τούβλο	0.09
	Μόνωση (EPS Expanded Polystyrene)	0.0976
	Τούβλο	0.09
	Γύψος	0.0127

#### Πίνακας 27. Δομικά υλικά οροφής κτιρίου

Οροφή	Δομικό Υλικό	Πάχος [m]
U = 0.30 W/m <sup>2</sup> K	Επίχρισμα	0.01
	Σκυρόδεμα, υψηλής πυκνότητας	0.15
	Μόνωση (EPS Expanded Polystyrene)	0.139
	Σκυρόδεμα, υψηλής πυκνότητας	0.15



Υστερα από την μοντελοποίηση των παραπάνω βελτιστοποιήσεων στο DesignBuilder προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρατίθενται στους **Πίνακας 28** και **Πίνακας 30**, σχετικά με την κατανάλωση ηλεκτρισμού και καυσίμου, καθώς και τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων του κτιρίου. Ενώ στον **Πίνακας 29** παρατίθενται οι καταναλώσεις ηλεκτρισμού ανά κατηγορία, με σκοπό την εκτενέστερη ενεργειακή μελέτη των αναγκών του κτιρίου.

**Πίνακας 28. Μηνιαίες καταναλώσεις ηλεκτρισμού και πετρελαίου του κτιρίου με ενισχυμένη μόνωση**

	<b>Κατανάλωση Ηλεκτρικού Ρεύματος [kWh]</b>	<b>Κατανάλωση Πετρελαίου [kWh]</b>
Ιανουάριος	478.07	843.84
Φεβρουάριος	431.80	895.73
Μάρτιος	478.07	702.93
Απρίλιος	462.65	289.24
Μάιος	478.13	35.78
Ιούνιος	565.88	0.00
Ιούλιος	767.27	0.00
Αύγουστος	797.21	0.00
Σεπτέμβριος	524.27	0.08
Οκτώβριος	478.13	22.02
Νοέμβριος	462.65	371.13
Δεκέμβριος	478.07	849.05
<b>Συνολική Κατανάλωση</b>	<b>6402.21</b>	<b>4009.84</b>

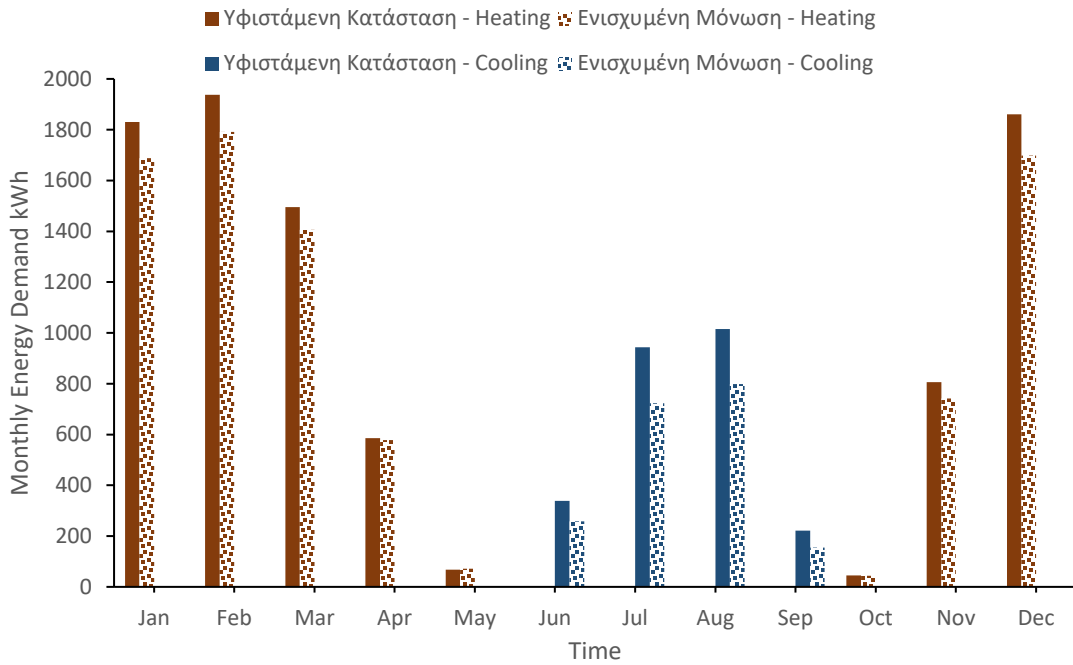
**Πίνακας 29. Καταναλώσεις ηλεκτρισμού κτιρίου με ενισχυμένη μόνωση ανά κατηγορία**

	<b>Κατανάλωση Ηλεκτρικού Ρεύματος [kWh]</b>
Ψύξη	773.347
Εσωτερικός Φωτισμός	1884.750
Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX)	2381.301
Λοιπές Καταναλώσεις	1362.819
<b>Συνολική Κατανάλωση</b>	<b>6402.217</b>

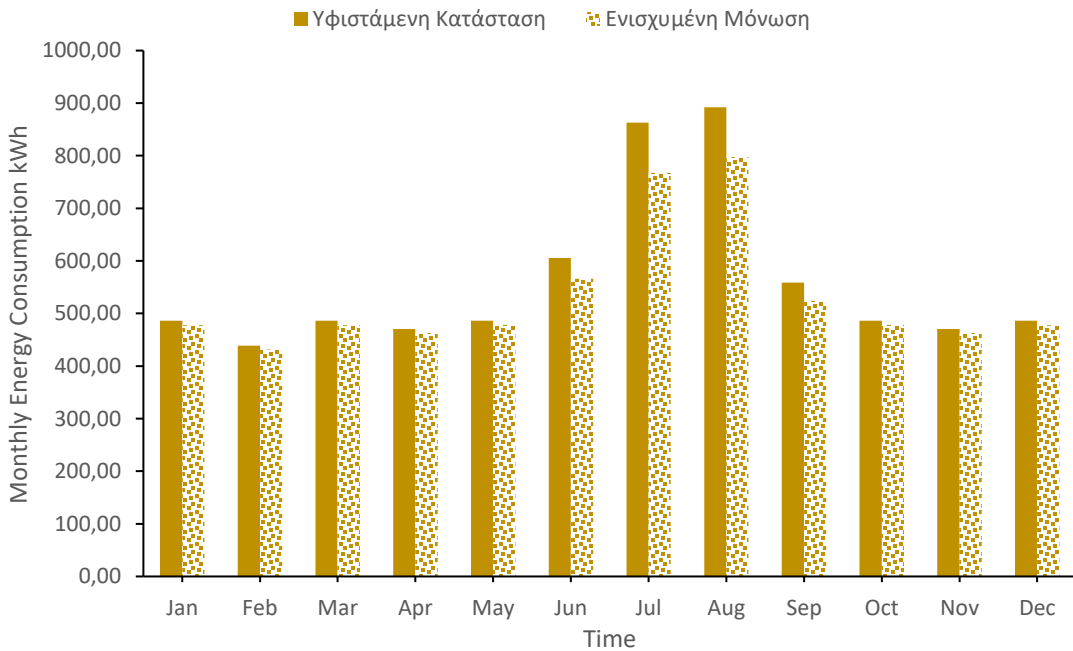
**Πίνακας 30. Μηνιαία θερμικά φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου με ενισχυμένη μόνωση**

	Θερμικά Φορτία [kWh]	
	Θέρμανσης	Ψύξης
Ιανουάριος	1687.685	0
Φεβρουάριος	1791.462	0
Μάρτιος	1405.855	0
Απρίλιος	578.486	0
Μάιος	71.570	0,152
Ιούνιος	0	258.097
Ιούλιος	0	723.016
Αύγουστος	0	797.867
Σεπτέμβριος	0.163	154.066
Οκτώβριος	44.037	0.168
Νοέμβριος	742.268	0
Δεκέμβριος	1698.111	0
<b>Συνολική Κατανάλωση</b>	<b>8019.682</b>	<b>1933.366</b>

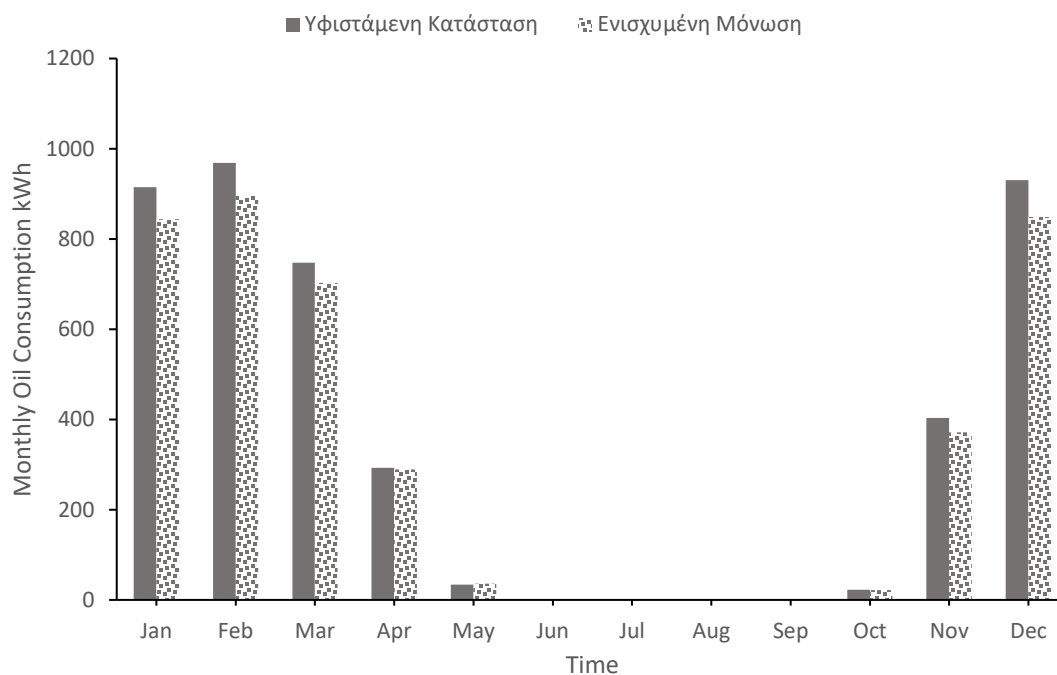
Η παρέμβαση αυτή επέφερε μόνο θετικά αποτελέσματα, καθώς, όπως αναμενόταν τα θερμικά φορτία και οι καταναλώσεις ηλεκτρισμού και πετρελαίου μειώθηκαν αισθητά. Αναλυτικότερα, στο **Διάγραμμα 26** απεικονίζονται τα θερμικά φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου ύστερα από την παρέμβαση στην μόνωση, σε σύγκριση με αυτά της υφιστάμενης κατάστασης και είναι εμφανές ότι είναι μειωμένα. Το ίδιο παρατηρείται και στο **Διάγραμμα 27** και στο **Διάγραμμα 28**, όπου απεικονίζονται οι μειωμένες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος και πετρελαίου, αντίστοιχα.



**Διάγραμμα 26.** Σύγκριση μηνιαίων θερμικών φορτίων θέρμανσης και ψύξης για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της ενισχυμένης μόνωσης



**Διάγραμμα 27.** Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της ενισχυμένης μόνωσης



**Διάγραμμα 28.** Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης πετρελαίου για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της ενισχυμένης μόνωσης

### 7.1.2 Αντικατάσταση παραθύρων {2}

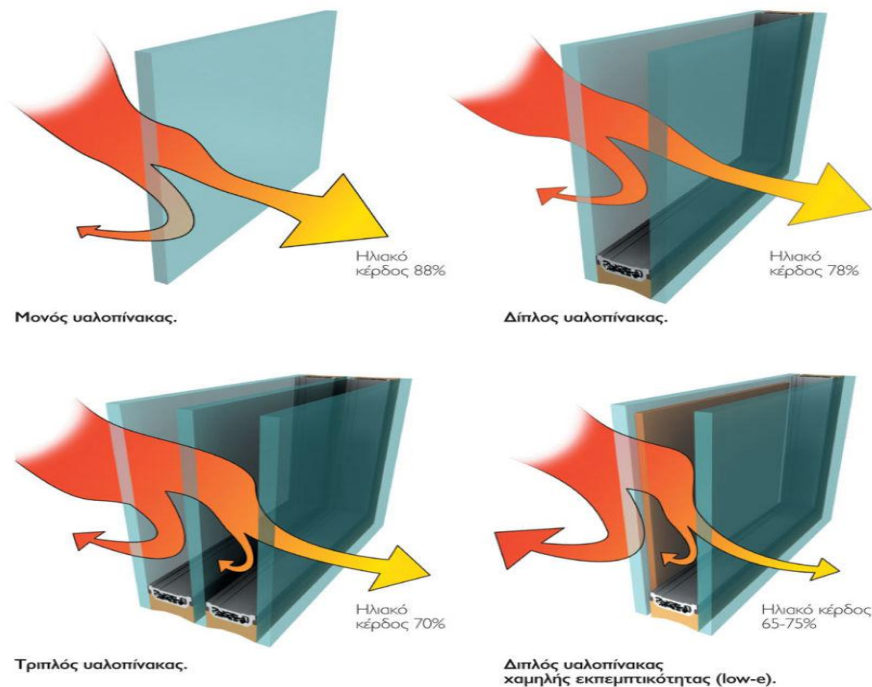
Τα παράθυρα που διαθέτει το κτίριο χαρακτηρίζονται από  $U\text{-value} = 1.493 \text{ W/m}^2\text{K}$  και  $g\text{-value} = 0.745$ . Με την εγκατάσταση καινούριων παραθύρων τροποποιείται και βελτιώνεται η αεροστεγανότητα του κτιρίου κατοικίας. Η μεταβολή αυτή συμβαίνει, καθώς τα νέας τεχνολογίας παράθυρα έχουν σχεδόν εκμηδενίσει τις απώλειες λόγω μεταφοράς αέρα διαμέσου των χαραμάδων τους. Η μείωση στις εναλλαγές αέρα ανά ώρα θα είναι από τις 0.6 στις 0.4 ac/h.

Η δομή των υαλοπινάκων που εγκαταστάθηκαν, με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας, συνοψίζονται στον **Πίνακας 31**, πιο συγκεκριμένα, αποτελείται από τριπλά τζάμια, χαμηλής εκπομπής με συντελεστή θερμοπερατότητας  $U = 0.780 \text{ W/m}^2\text{K}$ , συντελεστή ηλιακού κέρδους (SHGC) = 0.474 και οπτική διαπερατότητα ίση με (VLT) = 0.85. Οι προαναφερθείσες τιμές για τα χαρακτηριστικά των παραθύρων επιλέχθηκαν από τις βιβλιοθήκες DesignBuilder και ακολουθούν τις τιμές που χρησιμοποιούνται στα ελληνικά κτίρια.

**Πίνακας 31. Δομή καινούριων παραθύρων κτιρίου**

Υαλοπίνακες	Δομικό Υλικό	Πάχος [mm]	Ιδιότητες
Τριπλά Τζάμια Low -E U = 0.780 W/m <sup>2</sup> K	Υαλοπίνακας	3	Συνολική Ηλιακή Μετάδοση (SHGC) = 0.474
	Αργό (Ar)	13	
	Υαλοπίνακας	3	Οπτική Διαπερατότητα (VLT) = 0.85
	Αργό (Ar)	13	
Υαλοπίνακας	3		

Οι τριπλοί υαλοπίνακες αποτελούνται από ένα σύστημα τριών φύλλων γυαλιού, που διατηρούνται σε απόσταση μεταξύ τους μέσω μεταλλικής κατασκευής, με συνήθη απόσταση 13 mm. Ένας τριπλός υαλοπίνακας παρουσιάζει στην γενική περίπτωση μεγαλύτερη θερμομόνωση από έναν διπλό. Ο εγκλωβισμένος αέρας ή το ευγενές αέριο, στην συγκεκριμένη περίπτωση το Αργό (Ar), στα διάκενα βελτιώνει τη θερμομονωτική συμπεριφορά τους. Οι επιστρώσεις υαλοπινάκων συνήθως σχεδιάζονται με σκοπό την παρεμπόδιση της εισόδου της ηλιακής ακτινοβολίας και τη μείωση των ψυκτικών φορτίων, με αποτέλεσμα τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών CO<sub>2</sub> των κτιρίων. Οι επιστρώσεις χαμηλής εκπομπής (Low-E) αναπτύχθηκαν με σκοπό την ελαχιστοποίηση της υπέρυθρης και υπεριώδους ακτινοβολίας που διαπερνούν τους υαλοπίνακες, χωρίς ταυτόχρονα να μειώνεται η διερχόμενη ορατή ακτινοβολία.



**Εικόνα 28. Είδη υαλοπινάκων (Μονός, Διπλός και Τριπλός) [51]**

Υστερα από την μοντελοποίηση της παραπάνω βελτιστοποίησης στο DesignBuilder προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρατίθενται στους **Πίνακας 32** και **Πίνακας 34**, σχετικά με την κατανάλωση ηλεκτρισμού και καυσίμου, καθώς και τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων του κτιρίου. Ενώ στον **Πίνακας 33** παρατίθενται οι καταναλώσεις ηλεκτρισμού ανά κατηγορία, με σκοπό την εκτενέστερη ενεργειακή μελέτη των αναγκών του κτιρίου.

**Πίνακας 32. Μηνιαίες καταναλώσεις ηλεκτρισμού και πετρελαίου του κτιρίου με καινούρια παράθυρα**

	<b>Κατανάλωση Ηλεκτρικού Ρεύματος [kWh]</b>	<b>Κατανάλωση Πετρελαίου [kWh]</b>
Ιανουάριος	486,07	871,94
Φεβρουάριος	439,03	924,06
Μάρτιος	486,07	714,21
Απρίλιος	470,39	279,51
Μάιος	486,16	32,47
Ιούνιος	581,92	0
Ιούλιος	801,93	0
Αύγουστος	824,06	0
Σεπτέμβριος	534,21	0,06
Οκτώβριος	486,13	22
Νοέμβριος	470,39	381,8
Δεκέμβριος	486,07	885,13
<b>Συνολική Κατανάλωση</b>	<b>6552,43</b>	<b>4111,18</b>

**Πίνακας 33. Καταναλώσεις ηλεκτρισμού κτιρίου με καινούρια παράθυρα ανά κατηγορία**

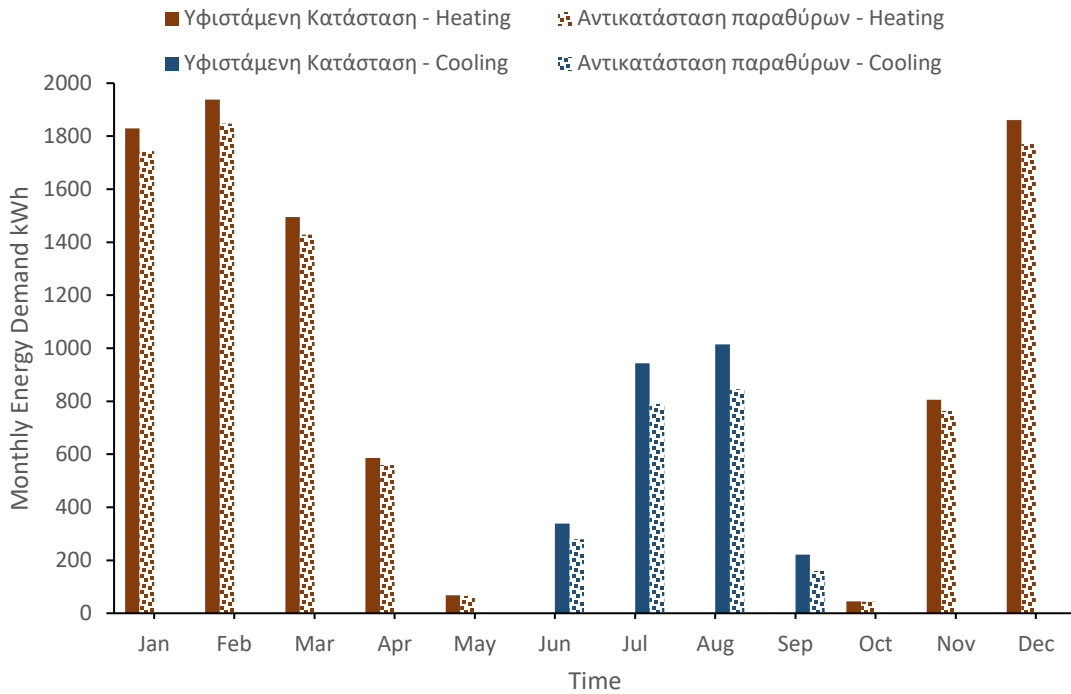
	<b>Κατανάλωση Ηλεκτρικού Ρεύματος [kWh]</b>
Ψύξη	829,356
Εσωτερικός Φωτισμός	1.916,293
Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX)	2.421,154
Λοιπές Καταναλώσεις	1.385,627
<b>Συνολική Κατανάλωση</b>	<b>6.552,430</b>

**Πίνακας 34. Μηνιαία θερμικά φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου με καινούρια παράθυρα**

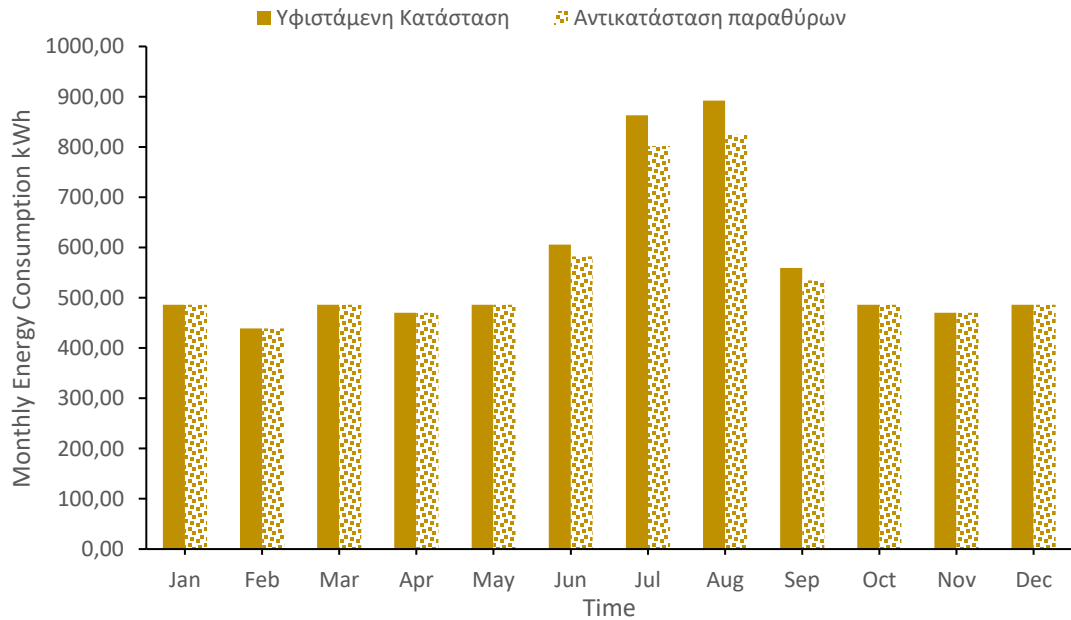
	Θερμικά Φορτία [kWh]	
	Θέρμανσης	Ψύξης
Ιανουάριος	1919,317	0
Φεβρουάριος	2027,547	0
Μάρτιος	1605,433	0
Απρίλιος	674,151	0
Μάιος	86,888	0,028
Ιούνιος	0,19	251,502
Ιούλιος	0	717,689
Αύγουστος	0	793,399
Σεπτέμβριος	0,304	133,164
Οκτώβριος	61,306	0,044
Νοέμβριος	864,578	0
Δεκέμβριος	1939,642	0
<b>Συνολική Κατανάλωση</b>	<b>9179,356</b>	<b>1895,826</b>

Η παρέμβαση αυτή επέφερε μόνο θετικά αποτελέσματα, καθώς, όπως αναμενόταν τα θερμικά φορτία και οι καταναλώσεις ηλεκτρισμού και πετρελαίου μειώθηκαν αισθητά. Αναλυτικότερα, στο **Διάγραμμα 29** απεικονίζονται τα θερμικά φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου ύστερα από την τοποθέτηση καινούριων παραθύρων, σε σύγκριση με αυτά της υφιστάμενης κατάστασης και είναι εμφανές ότι είναι μειωμένα. Το ίδιο παρατηρείται και στο **Διάγραμμα 30** και στο **Διάγραμμα 31**, όπου απεικονίζονται οι μειωμένες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος και πετρελαίου, αντίστοιχα.

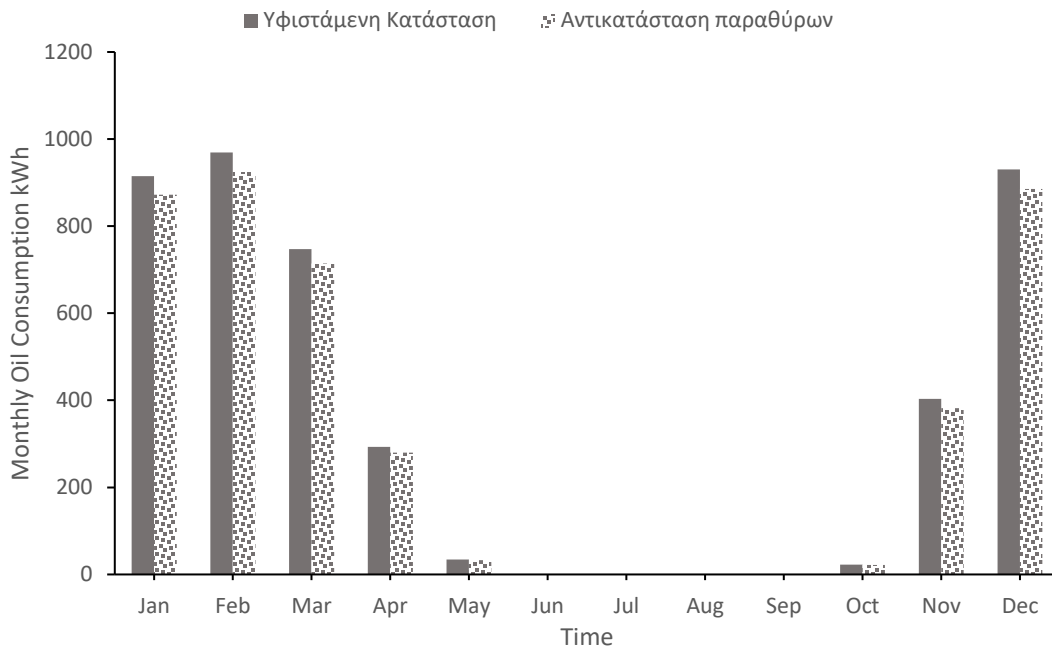




**Διάγραμμα 29.** Σύγκριση μηνιαίων θερμικών φορτίων θέρμανσης και ψύξης για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της αντικατάστασης παραθύρων



**Διάγραμμα 30.** Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της αντικατάστασης παραθύρων



**Διάγραμμα 31. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης πετρελαίου για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της αντικατάστασης παραθύρων**

### 7.1.3 Χρήση ψυχρής βαφής οροφής {3}

Στην υπό εξέταση παρέμβαση, μελετάται η τοποθέτηση επίστρωσης ψυχρής βαφής στην οροφή του κτιρίου. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης έξυπνων υλικών στον κτιριακό τομέα, και πιο συγκεκριμένα η χρήση των ψυχρών υλικών στις στέγες αναλύεται στο **Υποκεφάλαιο 4.1**. Στον **Πίνακα 35** συνοψίζονται τα δομικά στρώματα της οροφής:

**Πίνακας 35. Δομικά υλικά οροφής κτιρίου με χρήση ψυχρής επίστρωσης**

Οροφή	Δομικό Υλικό	Πάχος [m]
$U = 0.508 \text{ W/m}^2\text{K}$	Ψυχρή Βαφή	0.01
	Σκυρόδεμα, υψηλής πυκνότητας	0.15
	Μόνωση (EPS Expanded Polystyrene)	0.0762
	Σκυρόδεμα, υψηλής πυκνότητας	0.15

Ενώ, στον **Πίνακα 36** αναγράφονται τα χαρακτηριστικά, όπως η πυκνότητα, ο συντελεστής αγωγιμότητας λ, η ειδική θερμοχωρητικότητα, η ολική απορροφητικότητα, καθώς και η εκπεμπτικότητα της ψυχρής επίστρωσης που τοποθετήθηκε στην οροφή.

Πίνακας 36. Φυσικές και οπτικές ιδιότητες ψυχρής επίστρωσης της οροφής

Δομικά Υλικά	Πυκνότητα $\rho$ [ $kg/m^3$ ]	Συντελεστής Αγωγιμότητας $\lambda$ [ $mK/W$ ]	Ειδική Θερμοχωρητικότητα $C_p$ [ $J/kgK$ ]	Ηλιακή Απορρόφηση	Ορατή Απορρόφηση	Εκπομπή
Επίχρισμα	1700	0.84	800	0.35	0.7	0.8

Υστερα από την μοντελοποίηση της παραπάνω βελτιστοποίησης στο DesignBuilder προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρατίθενται στους Πίνακας 37 και Πίνακας 39, σχετικά με την κατανάλωση ηλεκτρισμού και καυσίμου, καθώς και τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων του κτιρίου. Ενώ στον Πίνακας 38 παρατίθενται οι καταναλώσεις ηλεκτρισμού ανά κατηγορία, με σκοπό την εκτενέστερη ενεργειακή μελέτη των αναγκών του κτιρίου.

Πίνακας 37. Μηνιαίες καταναλώσεις ηλεκτρισμού και πετρελαίου του κτιρίου με ψυχρή βαφή οροφής

	Κατανάλωση Ηλεκτρικού Ρεύματος [kWh]	Κατανάλωση Πετρελαίου [kWh]
Ιανουάριος	486,07	959,66
Φεβρουάριος	439,03	1013,77
Μάρτιος	486,07	802,72
Απρίλιος	470,39	337,07
Μάιος	486,08	43,44
Ιούνιος	570,99	0,09
Ιούλιος	773,14	0,00
Αύγουστος	803,43	0,00
Σεπτέμβριος	523,65	0,15
Οκτώβριος	486,09	30,65
Νοέμβριος	470,39	432,29
Δεκέμβριος	486,07	969,82
<b>Συνολική Κατανάλωση</b>	<b>6481,40</b>	<b>4589,66</b>

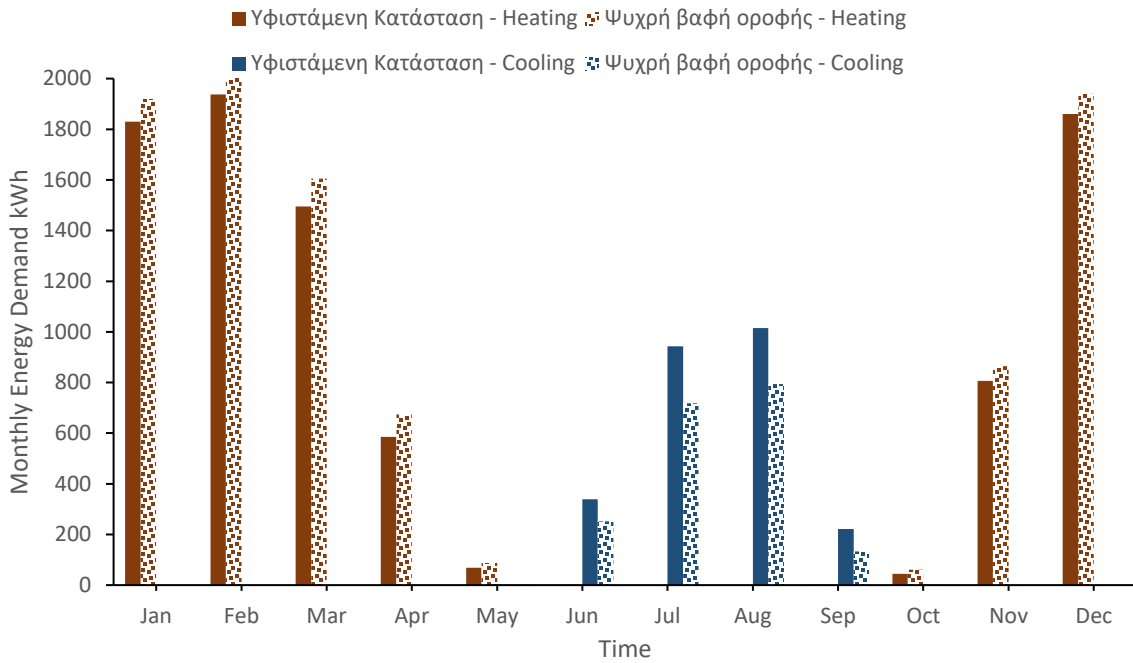
Πίνακας 38. Καταναλώσεις ηλεκτρισμού κτιρίου με ψυχρή βαφή οροφής ανά κατηγορία

	Κατανάλωση Ηλεκτρικού Ρεύματος [kWh]
Ψύξη	758,330
Εσωτερικός Φωτισμός	1.916,293
Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX)	2.421,154
Λοιπές Καταναλώσεις	1.385,627
<b>Συνολική Κατανάλωση</b>	<b>6.481,404</b>

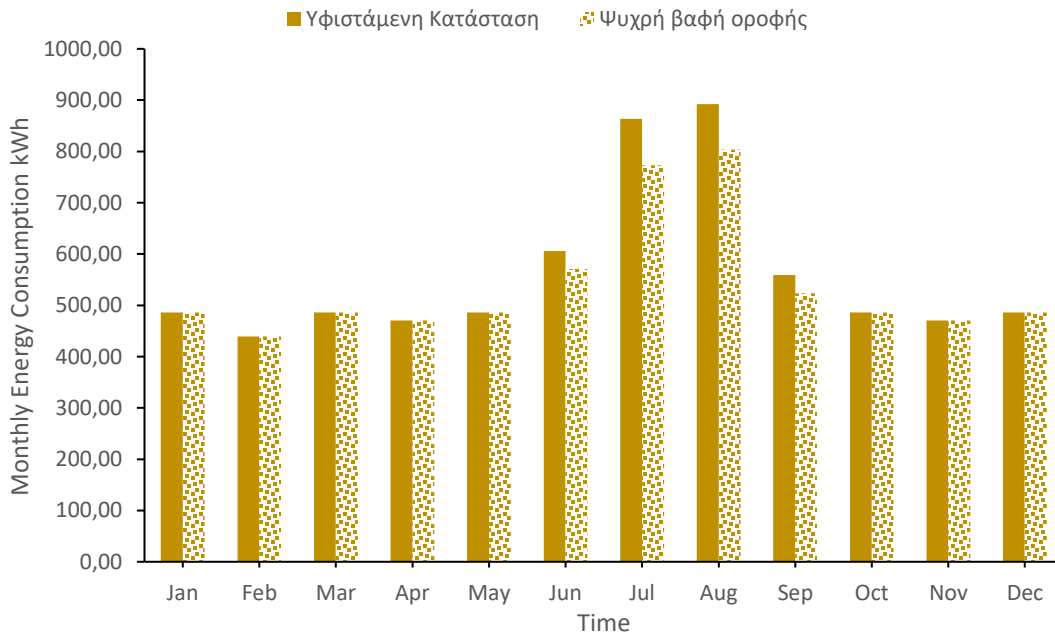
**Πίνακας 39. Μηνιαία θερμικά φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου με ψυχρή βαφή οροφής**

	Θερμικά Φορτία [kWh]	
	Θέρμανσης	Ψύξης
Ιανουάριος	1919,317	0
Φεβρουάριος	2027,547	0
Μάρτιος	1605,433	0
Απρίλιος	674,151	0
Μάιος	86,888	0,028
Ιούνιος	0,19	251,502
Ιούλιος	0	717,689
Αύγουστος	0	793,399
Σεπτέμβριος	0,304	133,164
Οκτώβριος	61,306	0,044
Νοέμβριος	864,578	0
Δεκέμβριος	1939,642	0
<b>Συνολική Κατανάλωση</b>	<b>9179,356</b>	<b>1895,826</b>

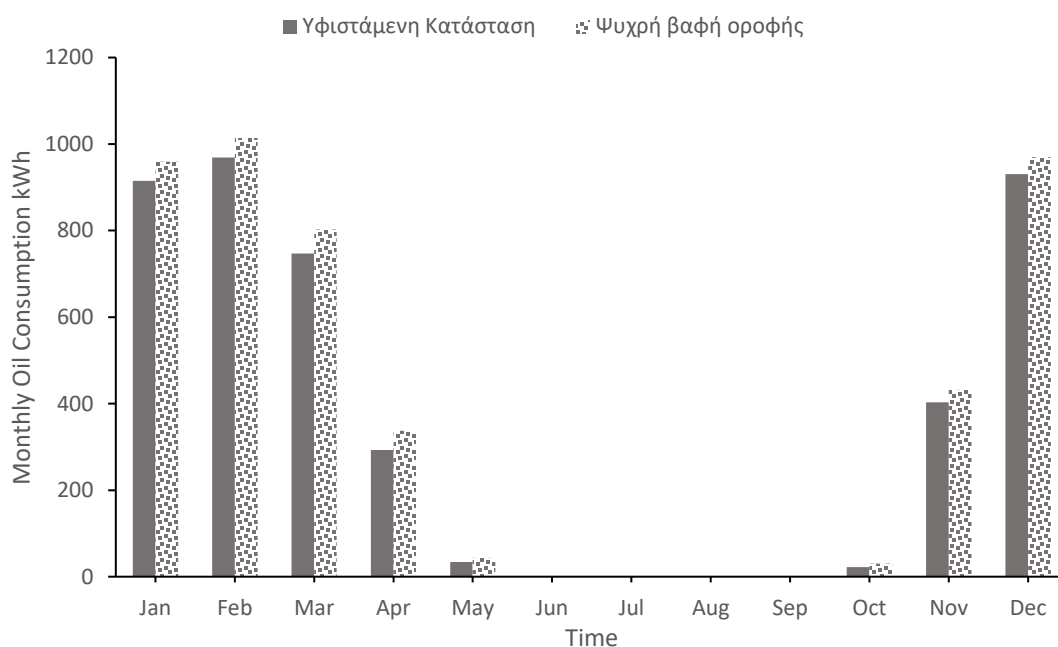
Η παρέμβαση αυτή επέφερε μείωση στα φορτία ψύξης και αύξηση στα φορτία θέρμανσης, και κατά συνέπεια στην κατανάλωση πετρελαίου, ενώ η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος παρέμεινε σταθερή κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, όπου η ηλιοφάνεια και οι θερμοκρασίες δεν είναι τόσο έντονος και παρατηρήθηκε μείωση των τιμών κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών. Τα αποτελέσματα αυτά ήταν τα αναμενόμενα, καθώς με την χρήση ψυχρής βαφής στην οροφή αποτρέπεται η εισχώρηση της θερμότητας στο κτίριο, γεγονός που είναι επιθυμητό τους καλοκαιρινούς μήνες αλλά δεν ισχύει το ίδιο για τους χειμερινούς. Αναλυτικότερα, στο **Διάγραμμα 32** απεικονίζονται τα θερμικά φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου ύστερα από την τοποθέτηση επίστρωσης ψυχρής βαφής στην οροφή, σε σύγκριση με αυτά της υφιστάμενης κατάστασης και είναι εμφανές οι παραπάνω μεταβολές που αναφέρθηκαν. Το ίδιο παρατηρείται και στο **Διάγραμμα 33** και στο **Διάγραμμα 34**, όπου απεικονίζονται, στη μία περίπτωση οι σταθερές και μειωμένες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος και στην άλλη περίπτωση οι αυξημένες τιμές κατανάλωσης πετρελαίου.



**Διάγραμμα 32.** Σύγκριση μηνιαίων θερμικών φορτίων θέρμανσης και ψύξης για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της χρήσης ψυχρής βαφής οροφής



**Διάγραμμα 33.** Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της χρήσης ψυχρής βαφής οροφής



**Διάγραμμα 34.** Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης πετρελαίου για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της χρήσης ψυχρής βαφής οροφής

## 7.2 Παρεμβάσεις στο σύστημα θέρμανσης – ψύξης

Το μεγαλύτερο μέρος ενέργειας και καυσίμου σε ένα κτίριο, καταναλώνεται για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και ψύξης. Η αναβάθμιση των θερμικών συστημάτων είτε είναι κεντρικά είτε είναι αυτόνομα θεωρείται μια από τις πιο σημαντικές ενέργειες παρέμβασης σε ένα κτίριο. Τα παλαιότερα συστήματα καταναλώνουν πολύ ενέργεια και καύσιμο και για αυτό πρέπει να αντικατασταθούν με συστήματα νέας γενιάς με πιστοποιημένες ιδιότητες ώστε να μη καταναλώνουν άσκοπα ενέργεια.

### 7.2.1 Χρήση νέας αντλίας θερμότητας {4}

Στην υφιστάμενη περίπτωση, η αντλία θερμότητας που εξοπλίζει το κτίριο είναι μια αντλία θερμότητας αέρα-αέρα που έχει  $SCOP = 2.0$  και  $SEER = 2.5$  [23]. Αυτές οι τιμές επιλέχθηκαν επειδή το βασικό σενάριο θεωρείται ότι χρησιμοποιεί μια παλιά εγκατάσταση με χαμηλή απόδοση [47]. Στην περίπτωση αυτής της παρέμβασης, το σύστημα θέρμανσης και ψύξης αντικαθίσταται με μια νέα αντλία θερμότητας αέρα-αέρα, που χαρακτηρίζεται από  $SCOP = 4.0$  και  $SEER = 4.5$ , που είναι τυπικές τιμές για νέες εγκαταστάσεις [23]. Όσον αναφορά την Παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX) στην υφιστάμενη περίπτωση ο ZNX CoP (Coefficient of Performance) ήταν ίσος με 0.85, ενώ για την μελέτη της βελτιστοποιημένης περίπτωσης τέθηκε στο 0.95 [23].

**Πίνακας 40. Χαρακτηριστικά νέας αντλίας θερμότητας**

<b>SCOP</b>	4.0
<b>SEER</b>	4.5
<b>ZNX CoP</b>	0.95

Υστερα από την μοντελοποίηση της παραπάνω βελτιστοποίησης στο DesignBuilder προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρατίθενται στον **Πίνακας 41**, σχετικά με την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και καυσίμου. Στην συγκεκριμένη παρέμβαση, τα θερμικά φορτία παρέμειναν σταθερά σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Ενώ στον **Πίνακας 42** παρατίθενται οι καταναλώσεις ηλεκτρισμού ανά κατηγορία, με σκοπό την εκτενέστερη ενεργειακή μελέτη των αναγκών του κτιρίου.

**Πίνακας 41. Μηνιαίες καταναλώσεις ηλεκτρισμού και πετρελαίου του κτιρίου με νέα αντλία θερμότητας**

	<b>Κατανάλωση Ηλεκτρικού Ρεύματος [kWh]</b>	<b>Κατανάλωση Πετρελαίου [kWh]</b>
Ιανουάριος	464,42	457,42
Φεβρουάριος	419,48	484,43
Μάρτιος	464,42	373,66
Απρίλιος	449,44	146,49
Μάιος	464,56	16,98
Ιούνιος	524,65	0
Ιούλιος	673,93	0,00
Αύγουστος	689,98	0,00
Σεπτέμβριος	498,67	0,03
Οκτώβριος	464,54	11,15
Νοέμβριος	449,44	201,52
Δεκέμβριος	464,42	465,2
<b>Συνολική Κατανάλωση</b>	<b>6027,96</b>	<b>2156,88</b>

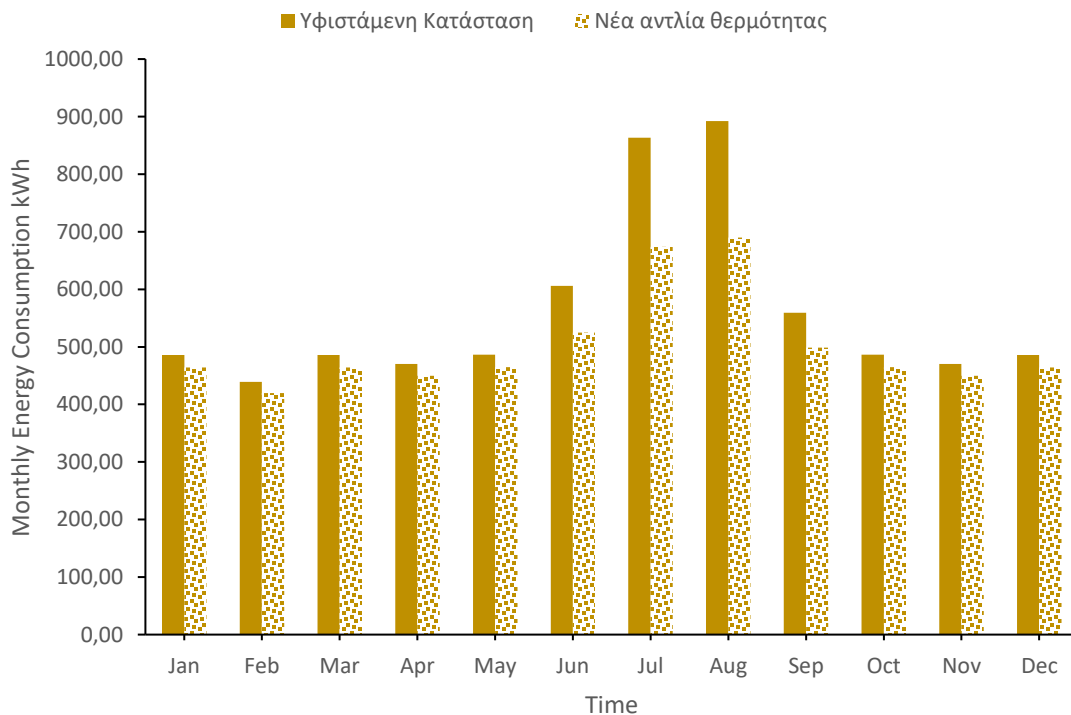
**Πίνακας 42. Καταναλώσεις ηλεκτρισμού κτιρίου με νέα αντλία θερμότητας ανά κατηγορία**

	<b>Κατανάλωση Ηλεκτρικού Ρεύματος [kWh]</b>
Ψύξη	559,746
Εσωτερικός Φωτισμός	1.916,293
Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX)	2.166,296
Λοιπές Καταναλώσεις	1.385,627
<b>Συνολική Κατανάλωση</b>	<b>6.027,962</b>

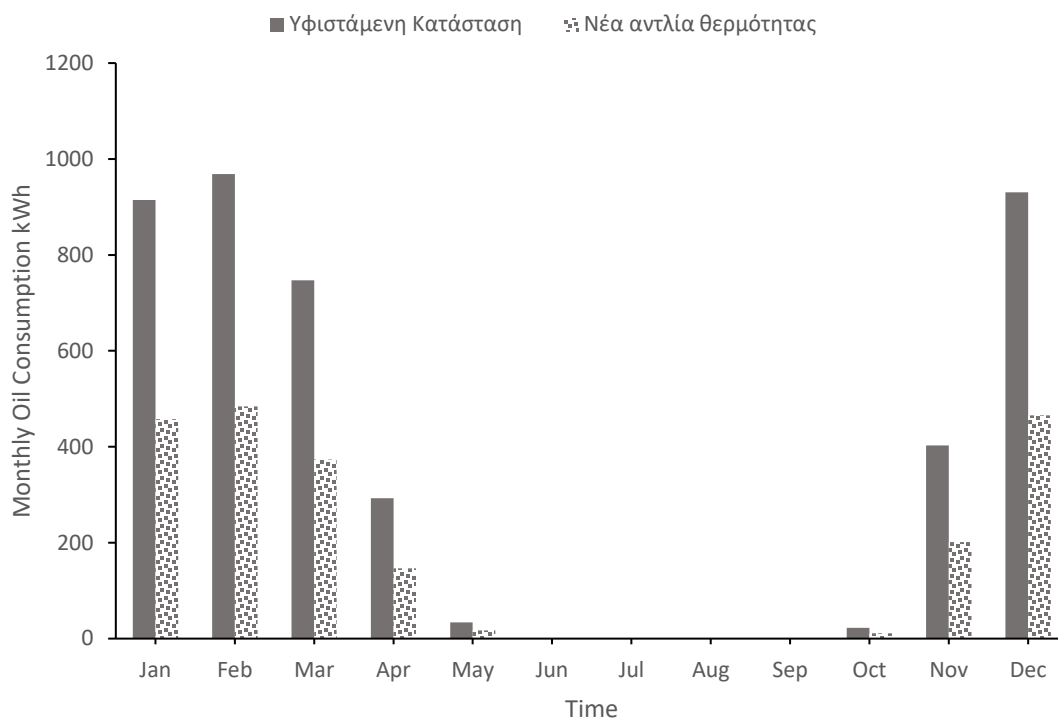


Η παρέμβαση αυτή, διατήρησε σταθερά τα θερμικά φορτία του κτιρίου, όπως ήταν αναμενόμενο, αλλά επέφερε μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και στην κατανάλωση καυσίμου. Πιο συγκεκριμένα, όσον αναφορά την κατανάλωση ενέργειας, κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, όπου η ηλιοφάνεια και οι θερμοκρασίες είναι πιο χαμηλές και δεν χρειάζεται χρήση του συστήματος ψύξης, δεν παρατηρήθηκε καμία μεταβολή των τιμών, ενώ κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, όπου γίνεται η χρήση του συστήματος ψύξης, παρατηρείται μεγάλη μείωση της τάξεως κατά μέσο όρο των 15%. Στη συνέχεια, όσον αναφορά την κατανάλωση πετρελαίου, για τους μήνες που χρησιμοποιείται το σύστημα θέρμανσης (Ιανουάριος - Μάιο & Οκτώβριο – Δεκέμβριο), η μείωση υπολογίσθηκε να είναι της τάξεως του 50%.

Αναλυτικότερα, στο **Διάγραμμα 35** και στο **Διάγραμμα 36** απεικονίζονται τα αποτελέσματα της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος και της κατανάλωσης πετρελαίου του κτιρίου, αντίστοιχα, ύστερα από την εγκατάσταση νέας αντλίας θερμότητας με καλύτερη απόδοση, σε σύγκριση με αυτά της υφιστάμενης κατάστασης. Είναι εμφανές, όλες οι μεταβολές που αναφέρθηκαν παραπάνω.



**Διάγραμμα 35.** Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της νέας αντλίας θερμότητας



**Διάγραμμα 36.** Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης πετρελαίου για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της νέας αντλίας θερμότητας

### 7.3 Συνδυασμός Παρεμβάσεων

#### 7.3.1 Μόνωση τοιχοποιίας και αντικατάσταση παραθύρων {1-2}

Στην παρέμβαση που ακολουθεί, θα εξετασθεί ο συνδυασμός ενισχυμένης μόνωσης του κτιριακού κελύφους με χρήση καινούριων παραθύρων. Πιο συγκεκριμένα, τα δύο αυτά σενάρια έχουν μελετηθεί ξεχωριστά στα υποκεφάλαια 7.1.1 και 7.1.2, αντίστοιχα, και έχουν καταφέρει να μειώσουν τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Είναι προσδοκώμενη, η ακόμα μεγαλύτερη μείωση των ενεργειακών αναγκών, ύστερα από τον συνδυασμό των δύο αυτών παρεμβάσεων. Τα χαρακτηριστικά παραμένουν ακριβώς τα ίδια, όπως παρουσιάστηκαν στις υποενότητες 7.1.1 και 7.1.2. Εν συντομία, παρατίθενται τα δεδομένα, τα οποία εισάχθηκαν στο λογισμικό DesignBuilder στους **Πίνακας 43**, **Πίνακας 44** και **Πίνακας 45**, τα οποία όπως φαίνεται είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά των μεμονωμένων παρεμβάσεων που πραγματοποιήθηκαν στα παραπάνω υποκεφάλαια.

**Πίνακας 43. Δομικά υλικά εξωτερικής τοιχοποιίας κτιρίου**

Εξωτερικοί Τοίχοι	Δομικό Υλικό	Πάχος [m]
U = 0.30 W/m <sup>2</sup> K	Επίχρισμα	0.08
	Τούβλο	0.09
	Μόνωση (EPS Expanded Polystyrene)	0.0976
	Τούβλο	0.09
	Γύψος	0.0127

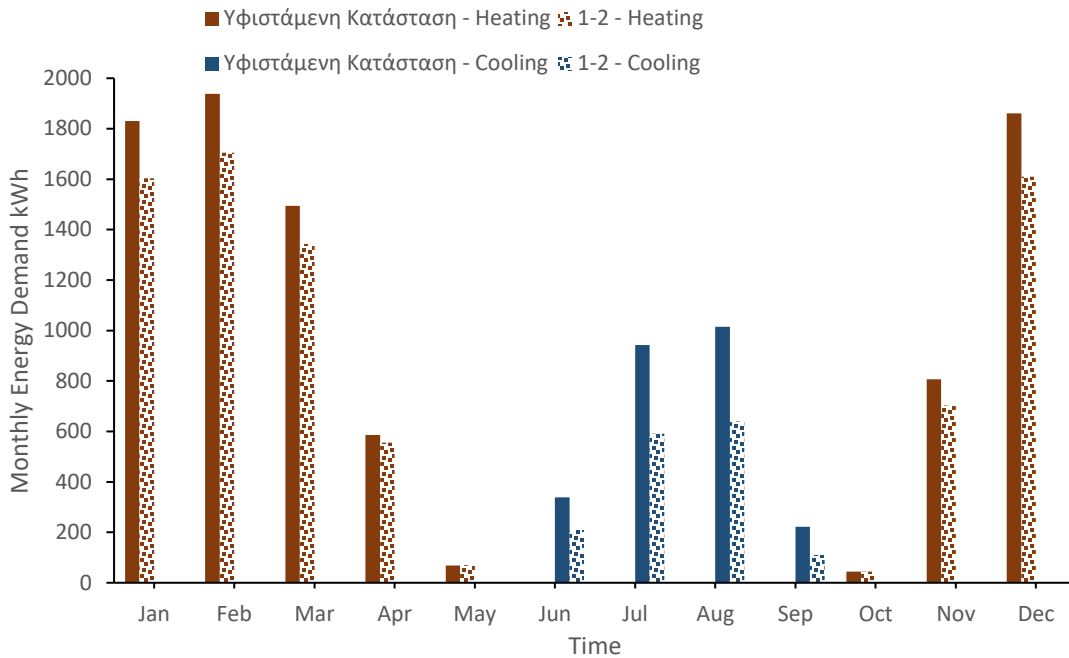
**Πίνακας 44. Δομικά υλικά οροφής κτιρίου**

Οροφή	Δομικό Υλικό	Πάχος [m]
U = 0.30 W/m <sup>2</sup> K	Επίχρισμα	0.01
	Σκυρόδεμα, υψηλής πυκνότητας	0.15
	Μόνωση (EPS Expanded Polystyrene)	0.139
	Σκυρόδεμα, υψηλής πυκνότητας	0.15

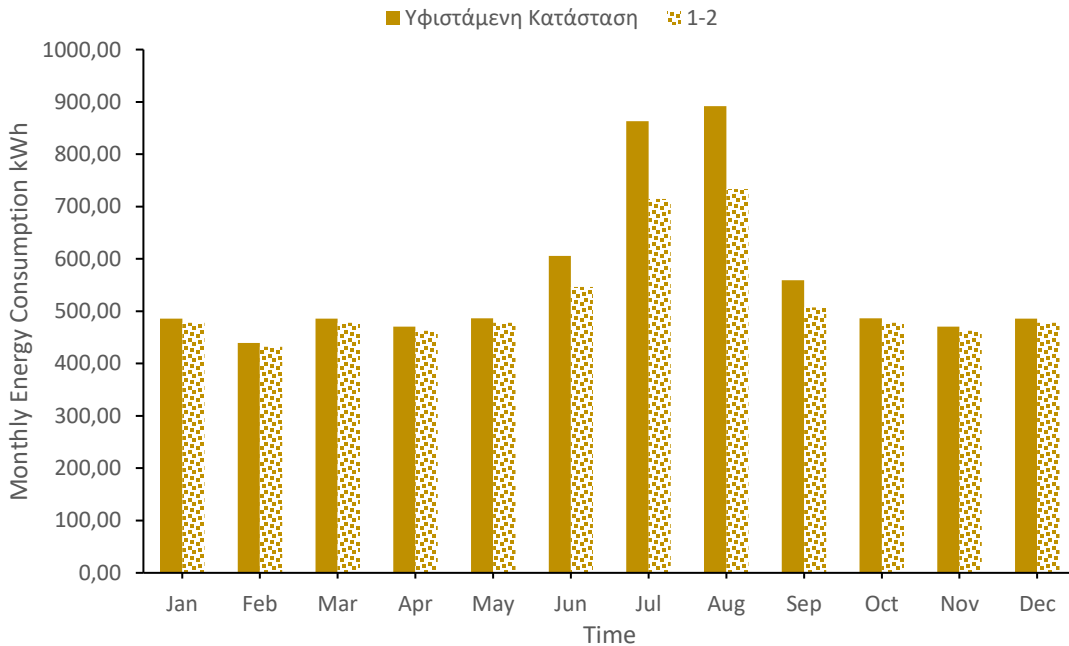
**Πίνακας 45. Δομή καινούριων παραθύρων**

Υαλοπίνακες	Δομικό Υλικό	Πάχος [mm]	Ιδιότητες
Τριπλά Τζάμια Low -E U = 0.780 W/m <sup>2</sup> K	Υαλοπίνακας	3	Συνολική Ηλιακή Μετάδοση (SHGC) = 0.474
	Αργό (Ar)	13	
	Υαλοπίνακας	3	Οπτική Διαπερατότητα (VLT) = 0.85
	Αργό (Ar)	13	
	Υαλοπίνακας	3	

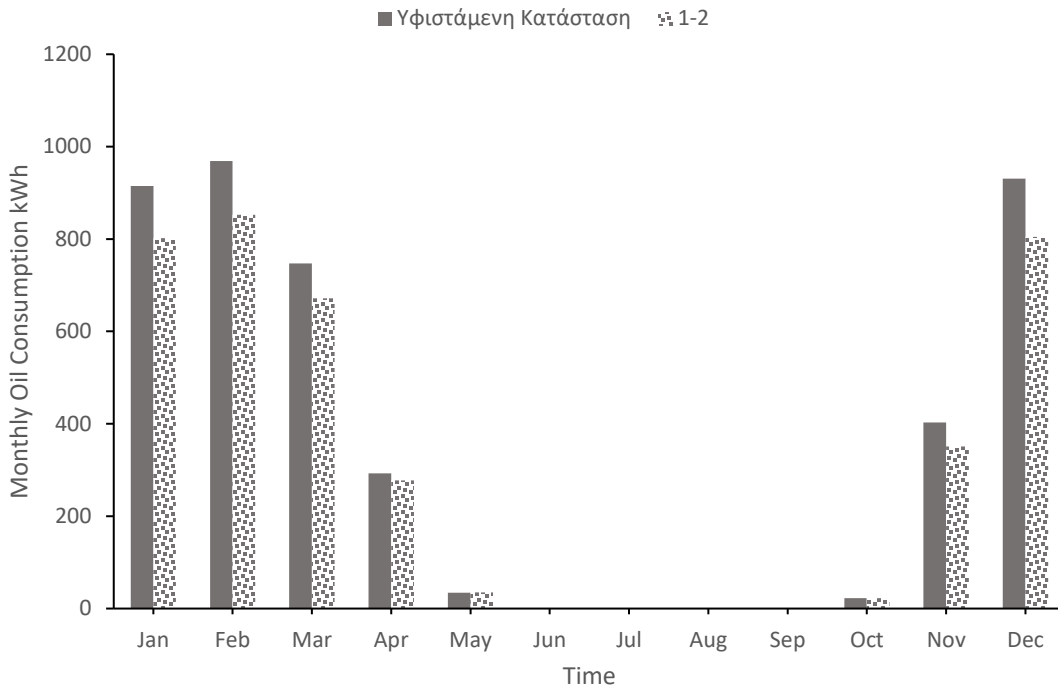
Ύστερα από την μοντελοποίηση των παραπάνω βελτιστοποιήσεων στο DesignBuilder προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρατίθενται στο **Διάγραμμα 37**, σχετικά με τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων του κτιρίου και στο **Διάγραμμα 38** και **Διάγραμμα 39**, απεικονίζονται οι καταναλώσεις ηλεκτρισμού και καυσίμου, αντίστοιχα, σε συσχέτιση με την υφιστάμενη κατάσταση του κτιρίου.



**Διάγραμμα 37. Σύγκριση μηνιαίων θερμικών φορτίων θέρμανσης και ψύξης για της περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (1-2)**



**Διάγραμμα 38. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για της περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (1-2)**



**Διάγραμμα 39. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης πετρελαίου για της περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (1-2)**

Ο συνδυασμός αυτών των παρεμβάσεων, μείωσε τα θερμικά φορτία του κτιρίου, όπως ήταν αναμενόμενο. Πιο συγκεκριμένα, η μείωση των φορτίων θέρμανσης δεν ήταν τόσο μεγάλη, η απόκλιση ήταν της τάξεως του 13%, ενώ στα φορτία ψύξης η απόκλιση ήταν μεγαλύτερη και πιο ικανοποιητική, της τάξεως του 35%. Μείωση παρατηρήθηκε και στην κατανάλωση ηλεκτρισμού και καυσίμου. Αναλυτικότερα, η μείωση κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος επικεντρώνεται κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, η οποία φτάνει έως και το 20%, ενώ στο σύνολο του χρόνου η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου φτάνει περίπου το 12%.

### 7.3.2 Μόνωση τοιχοποιίας και χρήση ψυχρής βαφής οροφής {1-3}

Στην παρέμβαση που ακολουθεί, θα εξετασθεί ο συνδυασμός ενισχυμένης μόνωσης του κτιριακού κελύφους με χρήση ψυχρής επίστρωσης στην οροφή. Πιο συγκεκριμένα, τα δύο αυτά σενάρια έχουν μελετηθεί ξεχωριστά στα υποκεφάλαια 7.1.1 και 7.1.3, αντίστοιχα, και έχουν καταφέρει να μειώσουν τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Είναι προσδοκώμενη, η ακόμα μεγαλύτερη μείωση των ενεργειακών αναγκών, ύστερα από τον συνδυασμό των δύο αυτών παρεμβάσεων. Τα χαρακτηριστικά παραμένουν ακριβώς τα ίδια, όπως παρουσιάστηκαν στις υποενότητες 6.1.1 και 7.1.3. Εν συντομία, παρατίθενται τα δεδομένα, τα οποία εισάχθηκαν στο λογισμικό DesignBuilder στον **Πίνακα 46** και στον **Πίνακα 47**,

ακόμα στον **Πίνακα 48** συνοψίζονται οι φυσικές και οπτικές ιδιότητες της ψυχρής βαφής που τοποθετήθηκε στο εξωτερικό δομικό στρώμα της οροφής, τα οποία όπως φαίνεται είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά των μεμονωμένων παρεμβάσεων που πραγματοποιήθηκαν στα παραπάνω υποκεφάλαια.

**Πίνακας 46. Δομικά υλικά εξωτερικής τοιχοποιίας κτιρίου**

Εξωτερικοί Τοίχοι	Δομικό Υλικό	Πάχος [m]
U = 0.30 W/m <sup>2</sup> K	Επίχρισμα	0.08
	Τούβλο	0.09
	Μόνωση (EPS Expanded Polystyrene)	0.0976
	Τούβλο	0.09
	Γύψος	0.0127

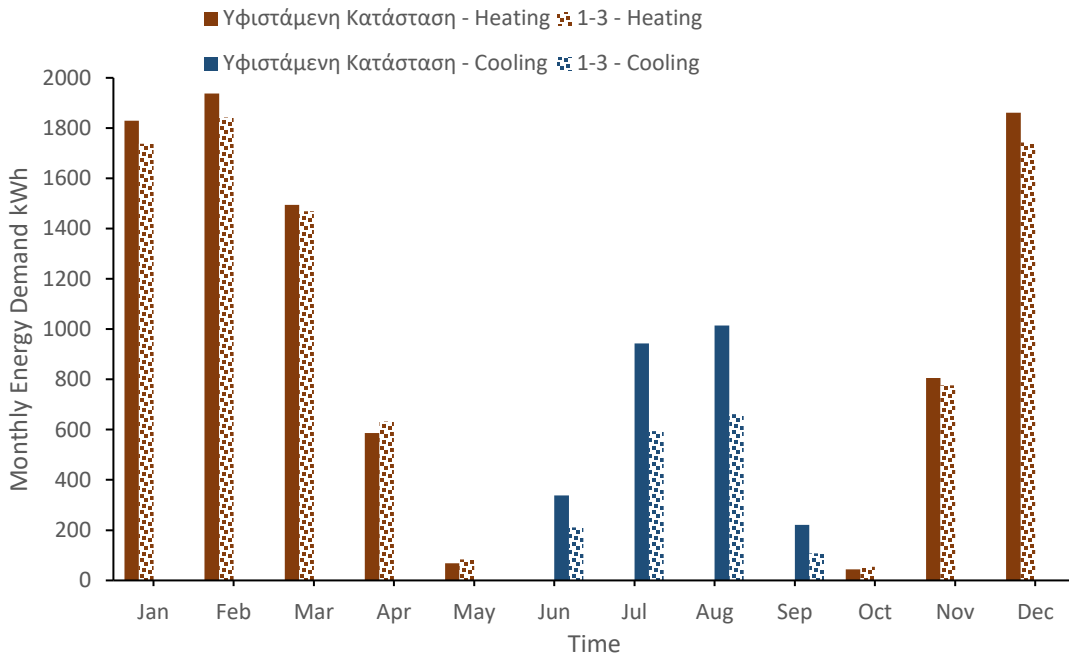
**Πίνακας 47. Δομικά υλικά οροφής κτιρίου με χρήση ψυχρής βαφής**

Οροφή	Δομικό Υλικό	Πάχος [m]
U = 0.30 W/m <sup>2</sup> K	Ψυχρή Βαφή	0.01
	Σκυρόδεμα, υψηλής πυκνότητας	0.15
	Μόνωση (EPS Expanded Polystyrene)	0.139
	Σκυρόδεμα, υψηλής πυκνότητας	0.15

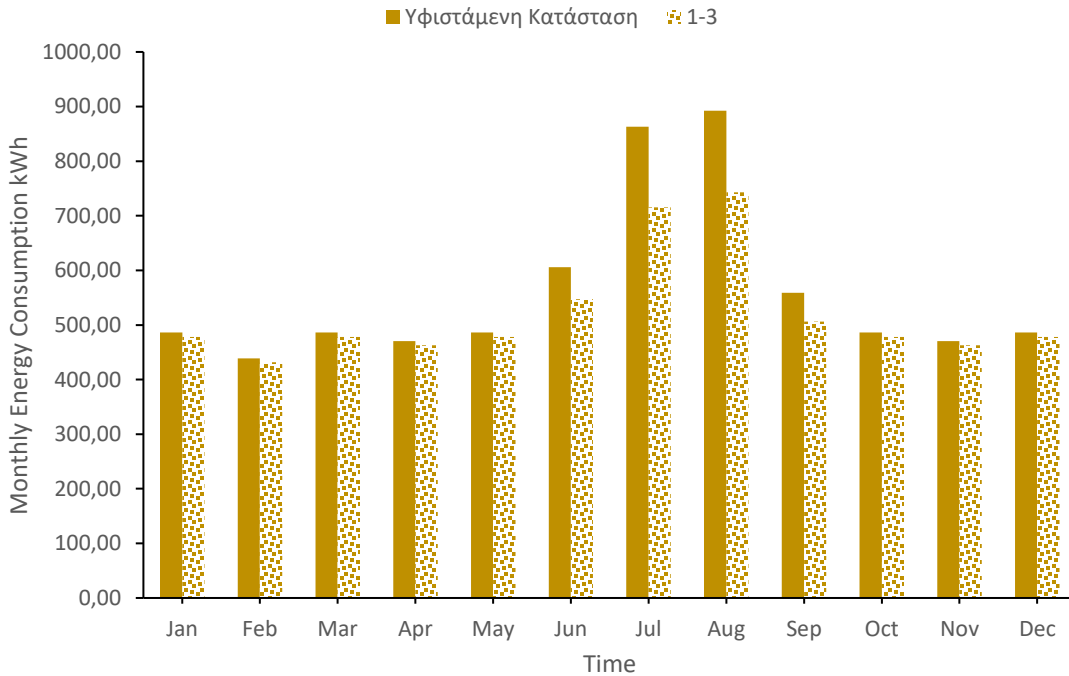
**Πίνακας 48. Φυσικές και οπτικές ιδιότητες ψυχρής επίστρωσης της οροφής**

Δομικά Υλικά	Πυκνότητα ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Συντελεστής Αγωγιμότητας λ [mK/W]	Ειδική Θερμοχωρητικότητα C <sub>p</sub> [J/kgK]	Ηλιακή Απορρόφηση	Ορατή Απορρόφηση	Εκπομπή
Επίχρισμα	1700	0.84	800	0.35	0.7	0.8

Υστερα από την μοντελοποίηση των παραπάνω βελτιστοποιήσεων στο DesignBuilder προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρατίθενται στο **Διάγραμμα 40**, σχετικά με τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων του κτιρίου και στο **Διάγραμμα 41** και **Διάγραμμα 42**, απεικονίζονται οι καταναλώσεις ηλεκτρισμού και καυσίμου, αντίστοιχα, σε συσχέτιση με την υφιστάμενη κατάσταση του κτιρίου.

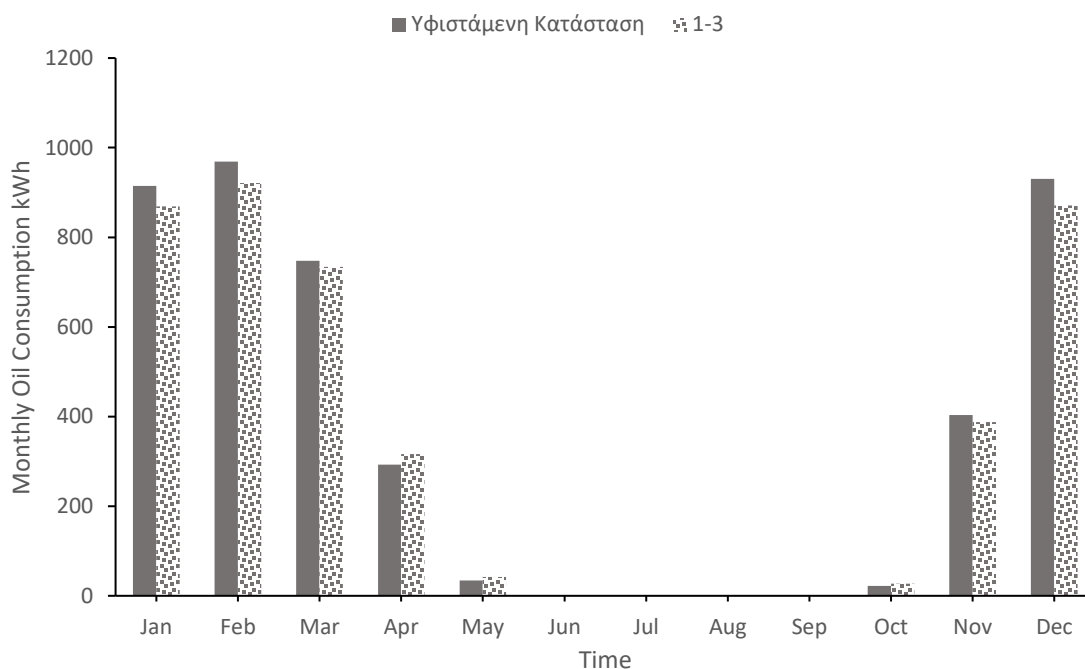


**Διάγραμμα 40.** Σύγκριση μηνιαίων θερμικών φορτίων θέρμανσης και ψύξης για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (1-3)



**Διάγραμμα 41.** Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (1-3)





**Διάγραμμα 42. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης πετρελαίου για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (1-3)**

Ο συνδυασμός αυτών των παρεμβάσεων επέφερε μείωση στα ετήσια φορτία ψύξης κατά 37%, αλλά και στα ετήσια φορτία θέρμανσης κατά 3%, και κατά συνέπεια στην κατανάλωση πετρελαίου, ενώ η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος παρέμεινε σταθερή κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, όπου η ηλιοφάνεια και οι θερμοκρασίες δεν είναι τόσο έντονος και παρατηρήθηκε μείωση των τιμών, της τάξεως του 7%, κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών. Τα αποτελέσματα αυτά ήταν τα αναμενόμενα, καθώς, παρότι, με την χρήση ψυχρής βαφής στην οροφή αποτρέπεται η εισχώρηση της θερμότητας στο κτίριο, γεγονός που είναι επιθυμητό τους καλοκαιρινούς μήνες αλλά δεν ισχύει το ίδιο για τους χειμερινούς, η χρήση επιπρόσθετης μόνωσης στο κέλυφος του κτιρίου αντιστάθμισε ως έναν βαθμό τις συνέπειες της τοποθέτησης ψυχρής επίστρωσης κατά τους χειμερινούς μήνες. Αξίζει να σημειωθεί ότι, όταν εξετάσθηκε μεμονωμένα η περίπτωση της τοποθέτησης ψυχρής επίστρωσης στην οροφή, στο υποκεφάλαιο 7.1.3, η αύξηση των φορτίων θέρμανσης ήταν 6%, ενώ στην περίπτωση της συνδυαστικής παρέμβασης η μείωση των φορτίων θέρμανσης, σε σύγκριση με την υφιστάμενη περίπτωση ήταν 3%. Επιπρόσθετα, η συνδυαστική παρέμβαση οδήγησε στην ακόμα μεγαλύτερη μείωση των φορτίων ψύξης, καθώς από μείωση 25% σε σύγκριση με την υφιστάμενη κατάσταση, έφτασε 37%. Με αυτόν τον τρόπο δικαιολογείται και η μείωση του ηλεκτρικού ρεύματος, που παρατηρείται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

### 7.3.3 Μόνωση τοιχοποιίας και χρήση νέας αντλίας θερμότητας {1-4}

Στην παρέμβαση που ακολουθεί, θα εξετασθεί ο συνδυασμός ενισχυμένης μόνωσης του κτιριακού κελύφους με χρήση νέας αντλίας θερμότητας. Πιο συγκεκριμένα, τα δύο αυτά σενάρια έχουν μελετηθεί ξεχωριστά στα υποκεφάλαια 7.1.1 και 7.2.1, αντίστοιχα, και έχουν καταφέρει να μειώσουν τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Είναι προσδοκώμενη, η ακόμα μεγαλύτερη μείωση των ενεργειακών αναγκών, ύστερα από τον συνδυασμό των δύο αυτών παρεμβάσεων. Τα χαρακτηριστικά παραμένουν ακριβώς τα ίδια, όπως παρουσιάστηκαν στις υποενότητες 7.1.1 και 7.2.1. Εν συντομία, παρατίθενται τα δεδομένα, τη δομική σύσταση με την ενισχυμένη μόνωση και τα χαρακτηριστικά της νέας αντλίας θερμότητας με τον καλύτερο βαθμό απόδοσης, τα οποία εισάχθηκαν στο λογισμικό DesignBuilder στον Πίνακα 49, στον Πίνακα 50 και στον Πίνακα 51, τα οποία όπως φαίνεται είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά των μεμονωμένων παρεμβάσεων που πραγματοποιήθηκαν στα παραπάνω υποκεφάλαια.

**Πίνακας 49. Δομικά υλικά εξωτερικής τοιχοποιίας κτιρίου**

Εξωτερικοί Τοίχοι	Δομικό Υλικό	Πάχος [m]
U = 0.30 W/m <sup>2</sup> K	Επίχρισμα	0.08
	Τούβλο	0.09
	Μόνωση (EPS Expanded Polystyrene)	0.0976
	Τούβλο	0.09
	Γύψος	0.0127

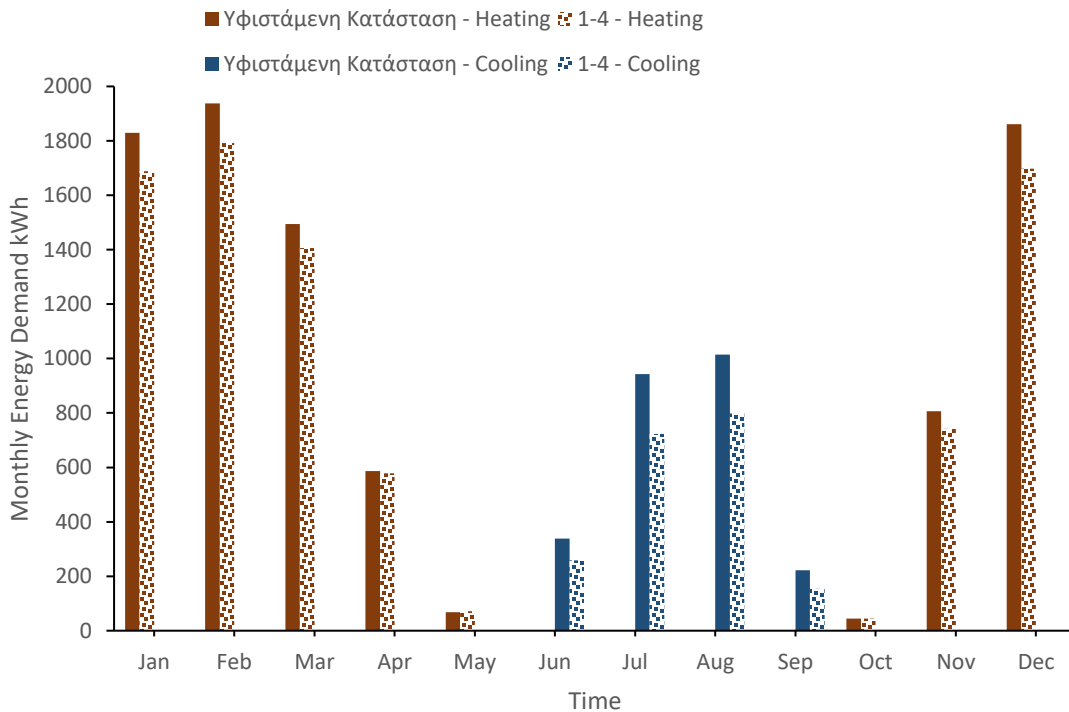
**Πίνακας 50. Δομικά υλικά οροφής κτιρίου**

Οροφή	Δομικό Υλικό	Πάχος [m]
U = 0.30 W/m <sup>2</sup> K	Επίχρισμα	0.01
	Σκυρόδεμα, υψηλής πυκνότητας	0.15
	Μόνωση (EPS Expanded Polystyrene)	0.139
	Σκυρόδεμα, υψηλής πυκνότητας	0.15

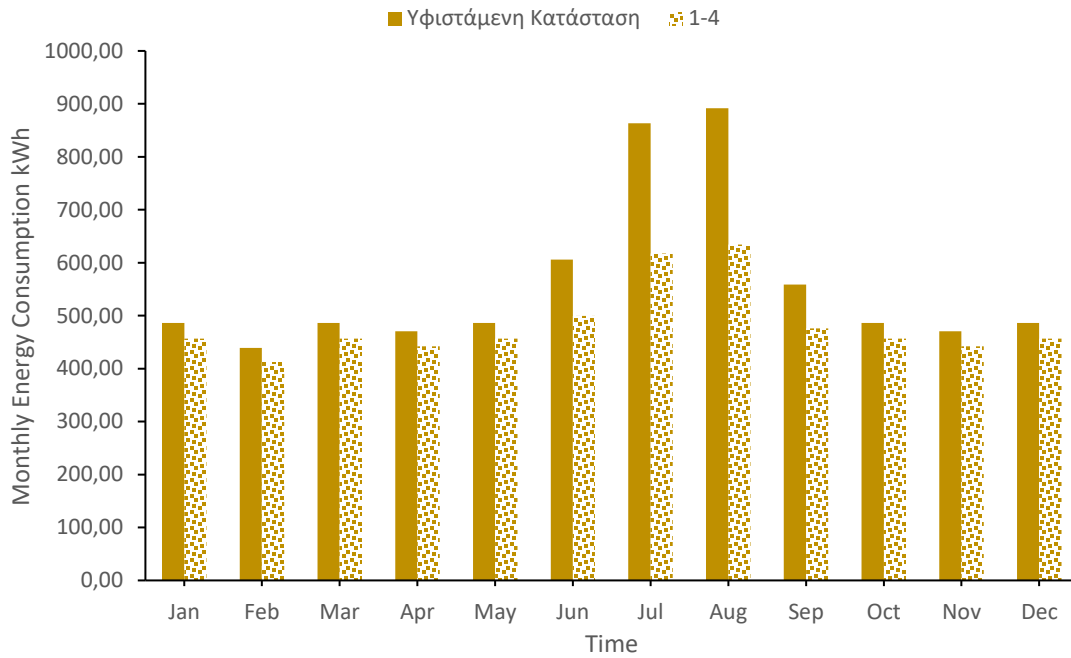
**Πίνακας 51. Χαρακτηριστικά νέας αντλίας θερμότητας**

SCOP	4.0
SEER	4.5
ZNX CoP	0.95

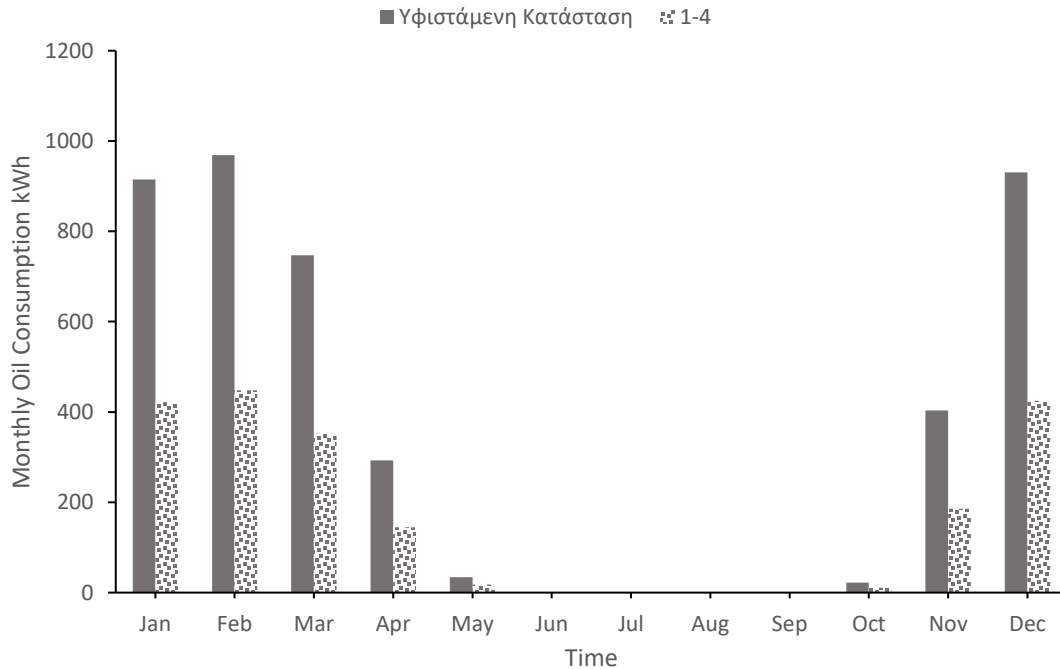
Υστερα από την μοντελοποίηση των παραπάνω βελτιστοποιήσεων στο DesignBuilder προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρατίθενται στο **Διάγραμμα 43**, σχετικά με τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων του κτιρίου και στο **Διάγραμμα 44** και **Διάγραμμα 45**, απεικονίζονται οι καταναλώσεις ηλεκτρισμού και καυσίμου, αντίστοιχα, σε συσχέτιση με την υφιστάμενη κατάσταση του κτιρίου.



**Διάγραμμα 43. Σύγκριση μηνιαίων θερμικών φορτίων θέρμανσης και ψύξης για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (1-4)**



**Διάγραμμα 44.** Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (1-4)



**Διάγραμμα 45.** Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης πετρελαίου για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (1-4)

Ο συνδυασμός αυτών των παρεμβάσεων παρουσιάζει εμφανή μείωση των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου. Όσον αναφορά τα θερμικά φορτία, η χρήση καλύτερης απόδοσης αντλίας θερμότητας δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα και έτσι εξηγείται και η ομοιότητα του **Διάγραμμα 43** με το αντίστοιχο του υποκεφαλαίου 7.1.1, στο οποίο εξετάζεται μόνο η περίπτωση ενίσχυσης της μόνωσης του κτιρίου. Ύστερα, η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος μειώθηκε κατά 15%, με εντονότερη την μείωση κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, ενώ συντριπτική ήταν η μείωση κατανάλωσης καυσίμου του λέβητα, της τάξεως του 50%.

### 7.3.4 Αντικατάσταση παραθύρων και χρήση ψυχρής βαφής οροφής {2-3}

Στην παρέμβαση που ακολουθεί, θα εξετασθεί ο συνδυασμός τοποθέτησης καινούριων παραθύρων με χρήση ψυχρής βαφής στην οροφή. Πιο συγκεκριμένα, τα δύο αυτά σενάρια έχουν μελετηθεί ξεχωριστά στα υποκεφάλαια 7.1.2 και 7.1.3, αντίστοιχα, και έχουν καταφέρει να μειώσουν τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Είναι προσδοκώμενη, η ακόμα μεγαλύτερη μείωση των ενεργειακών αναγκών, ύστερα από τον συνδυασμό των δύο αυτών παρεμβάσεων. Τα χαρακτηριστικά παραμένουν ακριβώς τα ίδια, όπως παρουσιάστηκαν στις υποενότητες 7.1.2 και 7.1.3. Εν συντομία, παρατίθενται τα δεδομένα, τα οποία εισάχθηκαν στο λογισμικό DesignBuilder στον **Πίνακα 52** και στον **Πίνακα 53**, ακόμα στον **Πίνακα 54**, συνοψίζονται οι φυσικές και οπτικές ιδιότητες της ψυχρής βαφής που τοποθετήθηκε στο εξωτερικό δομικό στρώμα της οροφής, τα οποία όπως φαίνεται είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά των μεμονωμένων παρεμβάσεων που πραγματοποιήθηκαν στα παραπάνω υποκεφάλαια.

**Πίνακας 52. Δομή καινούριων παραθύρων**

Υαλοπίνακες	Δομικό Υλικό	Πάχος [mm]	Ιδιότητες
Τριπλά Τζάμια Low -E U = 0.780 W/m <sup>2</sup> K	Υαλοπίνακας	3	Συνολική Ηλιακή Μετάδοση (SHGC) = 0.474
	Αργό (Ar)	13	
	Υαλοπίνακας	3	Οπτική Διαπερατότητα (VLT) = 0.85
	Αργό (Ar)	13	
Υαλοπίνακας	3		

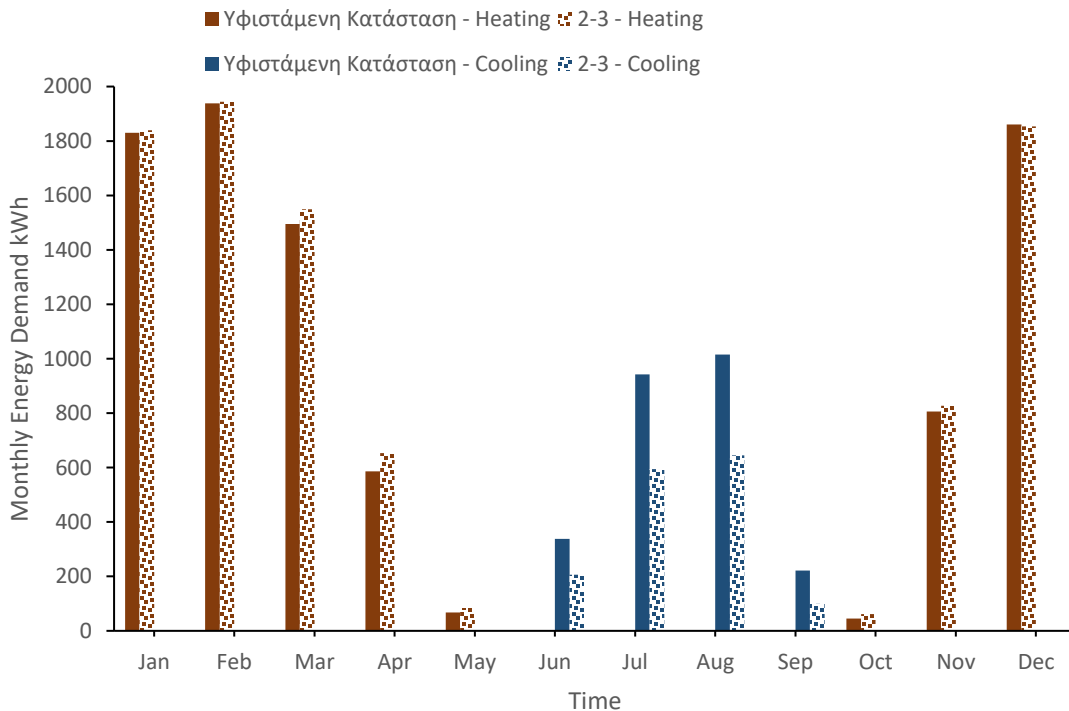
**Πίνακας 53. Δομικά υλικά οροφής κτιρίου με χρήση ψυχρής επίστρωσης**

Οροφή	Δομικό Υλικό	Πάχος [m]
U = 0.508 W/m <sup>2</sup> K	Ψυχρή Βαφή	0.01
	Σκυρόδεμα, υψηλής πυκνότητας	0.15
	Μόνωση (EPS Expanded Polystyrene)	0.0762
	Σκυρόδεμα, υψηλής πυκνότητας	0.15

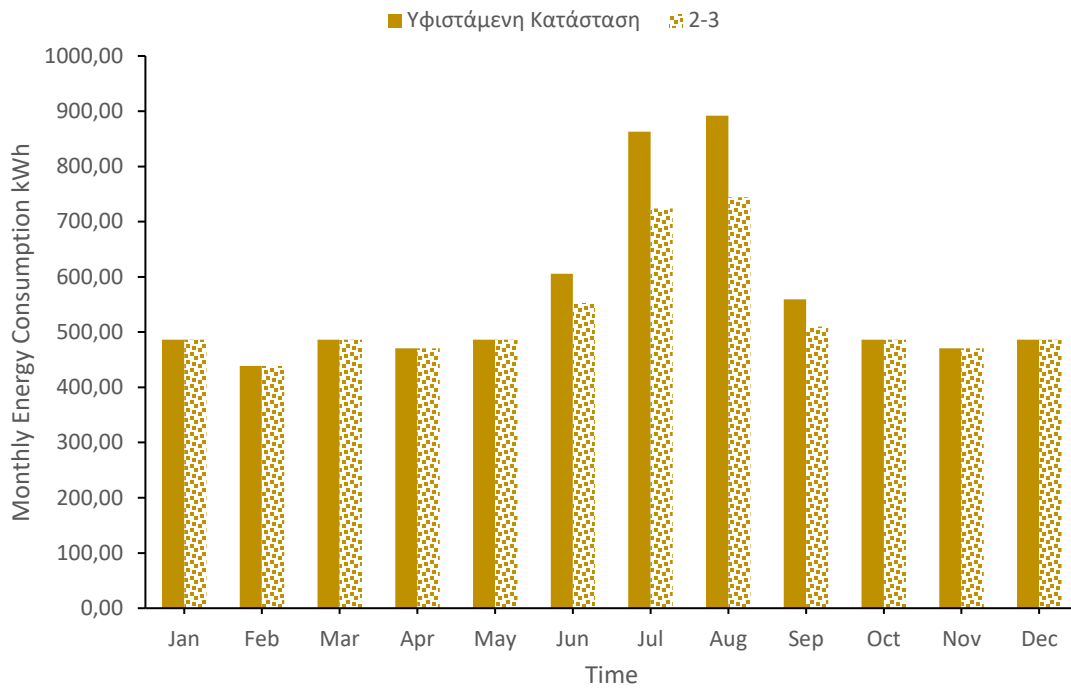
Πίνακας 54. Φυσικές και οπτικές ιδιότητες ψυχρής επίστρωσης της οροφής

Δομικά Υλικά	Πυκνότητα $\rho$ [ $kg/m^3$ ]	Συντελεστής Αγωγιμότητας $\lambda$ [ $mK/W$ ]	Ειδική Θερμοχωρητικότητα $C_p$ [ $J/kgK$ ]	Ηλιακή Απορρόφηση	Ορατή Απορρόφηση	Εκπομπή
Επίχρισμα	1700	0.84	800	0.35	0.7	0.8

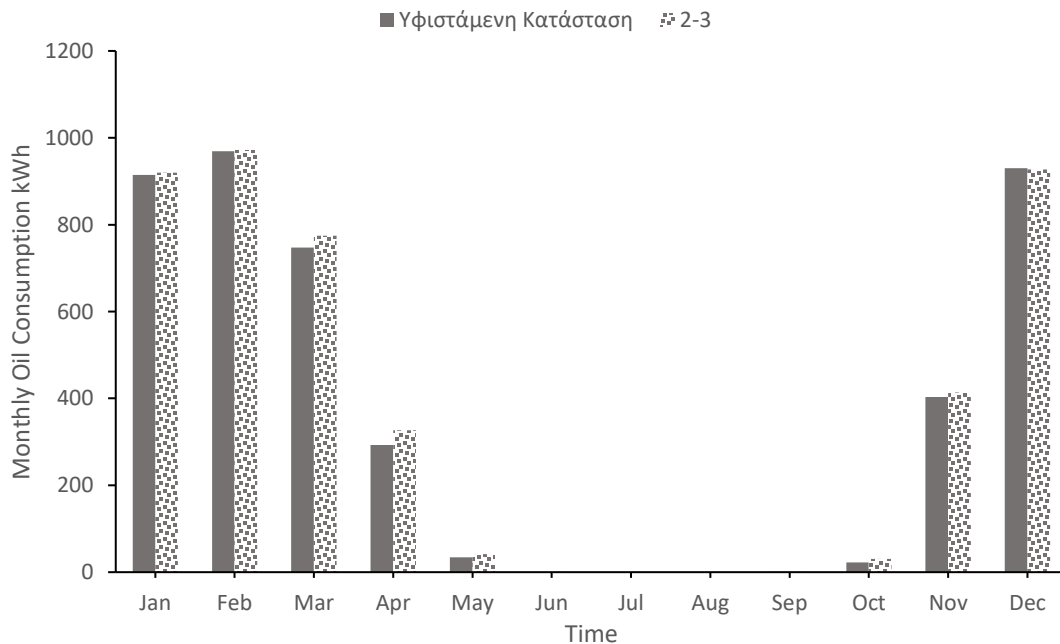
Υστερα από την μοντελοποίηση των παραπάνω βελτιστοποιήσεων στο DesignBuilder προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρατίθενται στο **Διάγραμμα 46**, σχετικά με τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων του κτιρίου και στο **Διάγραμμα 47** και **Διάγραμμα 48**, απεικονίζονται οι καταναλώσεις ηλεκτρισμού και καυσίμου, αντίστοιχα, σε συσχέτιση με την υφιστάμενη κατάσταση του κτιρίου.



**Διάγραμμα 46.** Σύγκριση μηνιαίων θερμικών φορτίων θέρμανσης και ψύξης για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (2-3)



**Διάγραμμα 47.** Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (2-3)



**Διάγραμμα 48.** Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης πετρελαίου για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (2-3)



Ο συνδυασμός αυτών των παρεμβάσεων επέφερε μείωση στα ετήσια φορτία ψύξης κατά 39% και μείωση στα ετήσια φορτία θέρμανσης κατά 2%, και κατά συνέπεια στην κατανάλωση πετρελαίου, ενώ η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος παρέμεινε σταθερή κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, όπου η ηλιοφάνεια και οι θερμοκρασίες δεν είναι τόσο έντονος και παρατηρήθηκε μείωση των τιμών, της τάξεως του 6%, κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών. Τα αποτελέσματα αυτά ήταν τα αναμενόμενα, καθώς, παρότι, με την χρήση ψυχρής βαφής στην οροφή αποτρέπεται η εισχώρηση της θερμότητας στο κτίριο, γεγονός που είναι επιθυμητό τους καλοκαιρινούς μήνες αλλά δεν ισχύει το ίδιο για τους χειμερινούς. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η τοποθέτηση καινούριων παραθύρων, δεν αντισταθμίζει τις ενεργειακές συνέπειες τοποθέτησης ψυχρής βαφής κατά την χειμερινή περίοδο. Αξίζει να σημειωθεί ότι, όταν εξετάσθηκε μεμονωμένα η περίπτωση της τοποθέτησης ψυχρής επίστρωσης στην οροφή, στο υποκεφάλαιο 7.1.3, η αύξηση των φορτίων θέρμανσης ήταν 6%, ενώ στην περίπτωση της συνδυαστικής παρέμβασης η αύξηση των φορτίων θέρμανσης, σε σύγκριση με την υφιστάμενη περίπτωση ήταν 2%. Επιπρόσθετα, η συνδυαστική παρέμβαση οδήγησε στην ακόμα μεγαλύτερη μείωση των φορτίων ψύξης, καθώς από μείωση 25% σε σύγκριση με την υφιστάμενη κατάσταση, έφτασε 39%. Με αυτόν τον τρόπο δικαιολογείται και η μείωση του ηλεκτρικού ρεύματος, που παρατηρείται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

### 7.3.5 Αντικατάσταση παραθύρων και χρήση νέας αντλίας θερμότητας {2-4}

Στην παρέμβαση που ακολουθεί, θα εξετασθεί ο συνδυασμός καινούριων παραθύρων με νέας τεχνολογίας αντλίας θερμότητας. Πιο συγκεκριμένα, τα δύο αυτά σενάρια έχουν μελετηθεί ξεχωριστά στα υποκεφάλαια 7.1.2 και 7.2.1, αντίστοιχα, και έχουν καταφέρει να μειώσουν τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Είναι προσδοκώμενη, η ακόμα μεγαλύτερη μείωση των ενεργειακών αναγκών, ύστερα από τον συνδυασμό των δύο αυτών παρεμβάσεων. Τα χαρακτηριστικά παραμένουν ακριβώς τα ίδια, όπως παρουσιάστηκαν στις υποενότητες 7.1.2 και 7.2.1. Εν συντομία, παρατίθενται τα δεδομένα, τα οποία εισάχθηκαν στο λογισμικό DesignBuilder στον **Πίνακα 55** και στον **Πίνακα 56**.

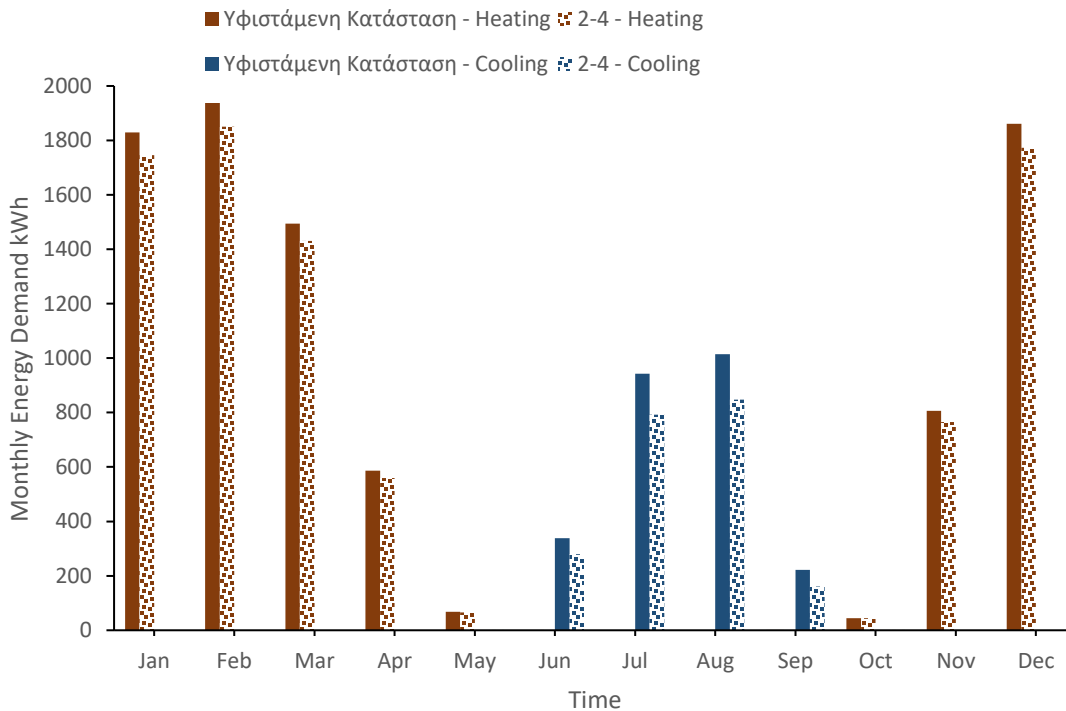
**Πίνακας 55. Δομή καινούριων παραθύρων**

Υαλοπίνακες	Δομικό Υλικό	Πάχος [mm]	Ιδιότητες
Τριπλά Τζάμια Low -E U = 0.780 W/m <sup>2</sup> K	Υαλοπίνακας	3	Συνολική Ηλιακή Μετάδοση (SHGC) = 0.474
	Αργό (Ar)	13	
	Υαλοπίνακας	3	Οπτική Διαπερατότητα (VLT) = 0.85
	Αργό (Ar)	13	
	Υαλοπίνακας	3	

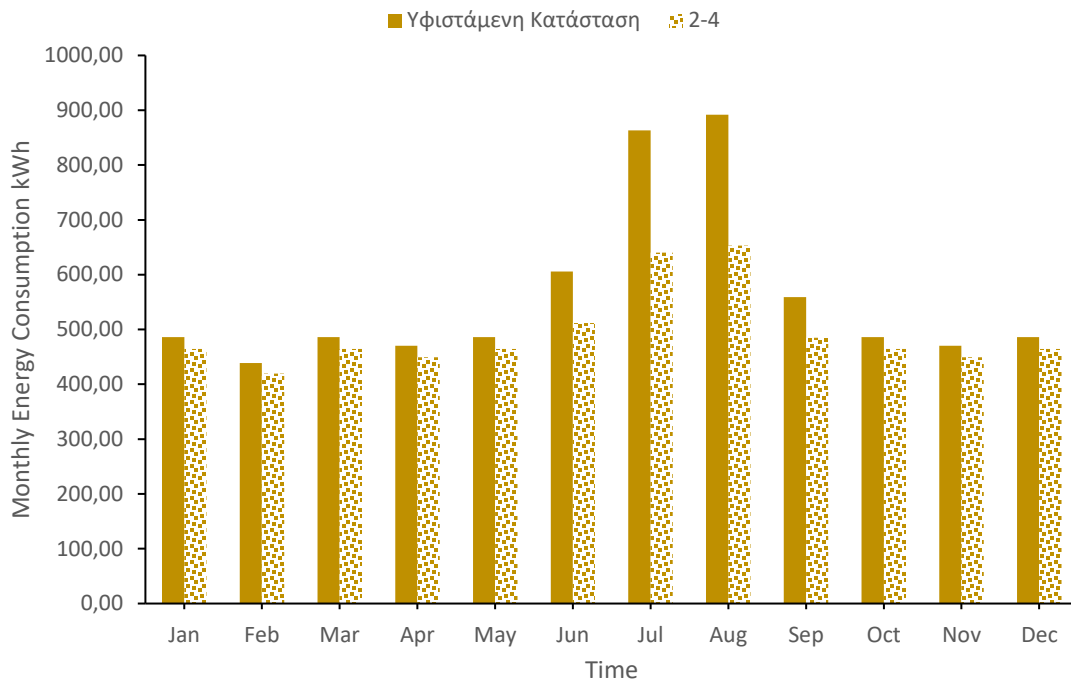
Πίνακας 56. Χαρακτηριστικά νέας αντλίας θερμότητας

<b>SCOP</b>	4.0
<b>SEER</b>	4.5
<b>ZNX CoP</b>	0.95

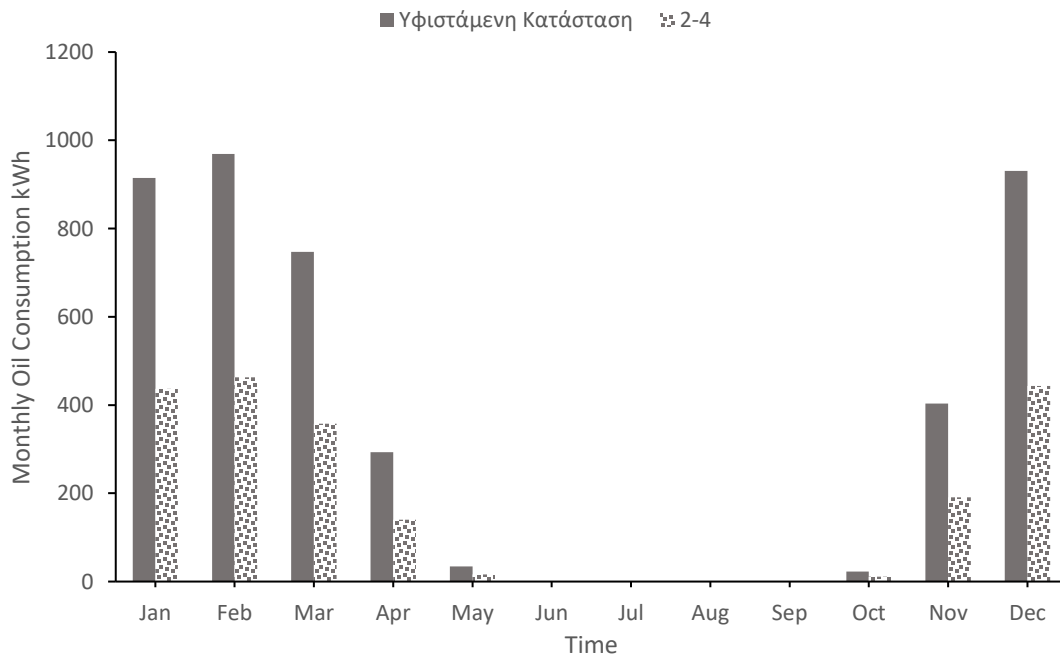
Υστερα από την μοντελοποίηση των παραπάνω βελτιστοποιήσεων στο DesignBuilder προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρατίθενται στο **Διάγραμμα 49**, σχετικά με τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων του κτιρίου και στο **Διάγραμμα 50** και **Διάγραμμα 51**, απεικονίζονται οι καταναλώσεις ηλεκτρισμού και καυσίμου, αντίστοιχα, σε συσχέτιση με την υφιστάμενη κατάσταση του κτιρίου.



**Διάγραμμα 49. Σύγκριση μηνιαίων θερμικών φορτίων θέρμανσης και ψύξης για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (2-4)**



**Διάγραμμα 50. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (2-4)**



**Διάγραμμα 51. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης πετρελαίου για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (2-4)**

Ο συνδυασμός αυτών των παρεμβάσεων παρουσιάζει εμφανή μείωση των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου. Όσον αναφορά τα θερμικά φορτία, η χρήση καλύτερης απόδοσης αντλίας θερμότητας δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα και έτσι εξηγείται και η ομοιότητα του **Διάγραμμα 49** με το αντίστοιχο του υποκεφαλαίου 7.1.2, στο οποίο εξετάζεται μόνο η περίπτωση αντικατάστασης των παραθύρων του κτιρίου. Ύστερα, η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος μειώθηκε κατά 12%, με εντονότερη την μείωση κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, ενώ συντριπτική ήταν η μείωση ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου του λέβητα, της τάξεως του 50%.

### 7.3.6 Χρήση ψυχρής βαφής οροφής και νέας αντλίας θερμότητας {3-4}

Στην παρέμβαση που ακολουθεί, θα εξετασθεί ο συνδυασμός τοποθέτησης ψυχρής βαφής στην οροφή με τη χρήση νέας αντλίας θερμότητας, με υψηλό βαθμό απόδοσης. Πιο συγκεκριμένα, τα δύο αυτά σενάρια έχουν μελετηθεί ξεχωριστά στα υποκεφάλαια 7.1.3 και 7.2.1, αντίστοιχα, και έχουν καταφέρει να μειώσουν τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Είναι προσδοκώμενη, η ακόμα μεγαλύτερη μείωση των ενεργειακών αναγκών, ύστερα από τον συνδυασμό των δύο αυτών παρεμβάσεων. Τα χαρακτηριστικά παραμένουν ακριβώς τα ίδια, όπως παρουσιάστηκαν στις υποενότητες 7.1.3 και 7.2.1. Εν συντομία, παρατίθενται τα δεδομένα, τα οποία εισάχθηκαν στο λογισμικό DesignBuilder στον **Πίνακα 57** και στον **Πίνακα 59**, ακόμα στον **Πίνακα 58**, συνοψίζονται οι φυσικές και οπτικές ιδιότητες της ψυχρής βαφής που τοποθετήθηκε στο εξωτερικό δομικό στρώμα της οροφής, τα οποία όπως φαίνεται είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά των μεμονωμένων παρεμβάσεων που πραγματοποιήθηκαν στα παραπάνω υποκεφάλαια.

**Πίνακας 57. Δομικά υλικά οροφής κτιρίου με χρήση ψυχρής επίστρωσης**

Οροφή	Δομικό Υλικό	Πάχος [m]
U = 0.508 W/m <sup>2</sup> K	Ψυχρή Βαφή	0.01
	Σκυρόδεμα, υψηλής πυκνότητας	0.15
	Μόνωση (EPS Expanded Polystyrene)	0.0762
	Σκυρόδεμα, υψηλής πυκνότητας	0.15

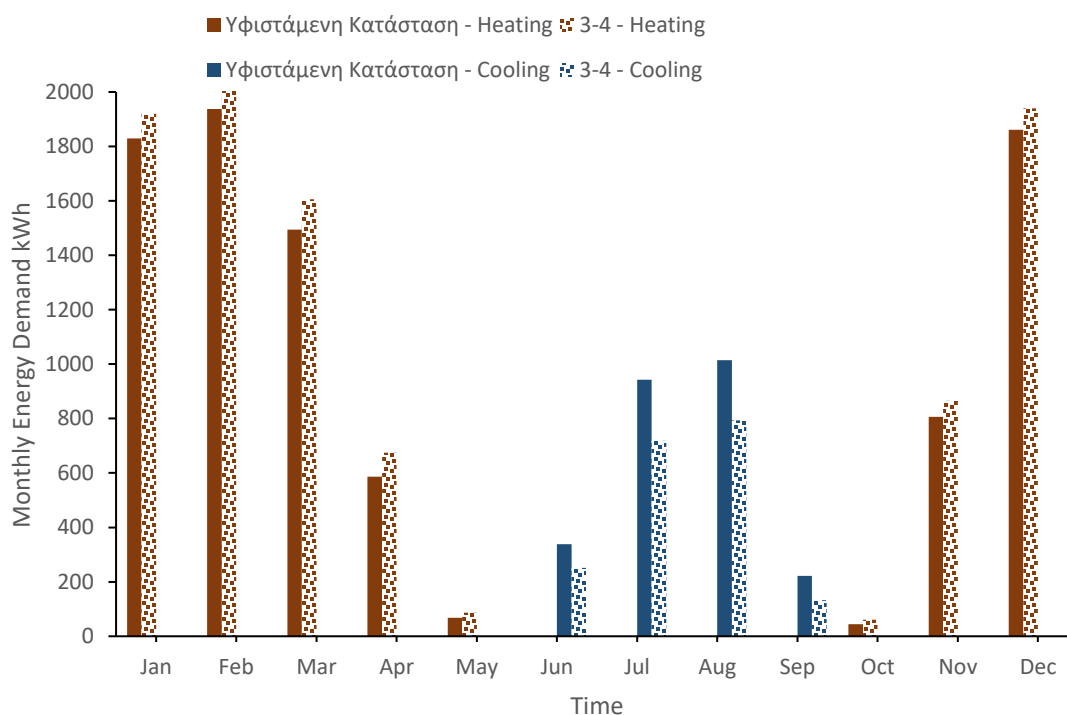
**Πίνακας 58. Φυσικές και οπτικές ιδιότητες ψυχρής επίστρωσης της οροφής**

Δομικά Υλικά	Πυκνότητα ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Συντελεστής Αγωγιμότητας λ [mK/W]	Ειδική Θερμοχωρητικότητα C <sub>p</sub> [J/kgK]	Ηλιακή Απορρόφηση	Ορατή Απορρόφηση	Εκπομπή
Επίχρισμα	1700	0.84	800	0.35	0.7	0.8

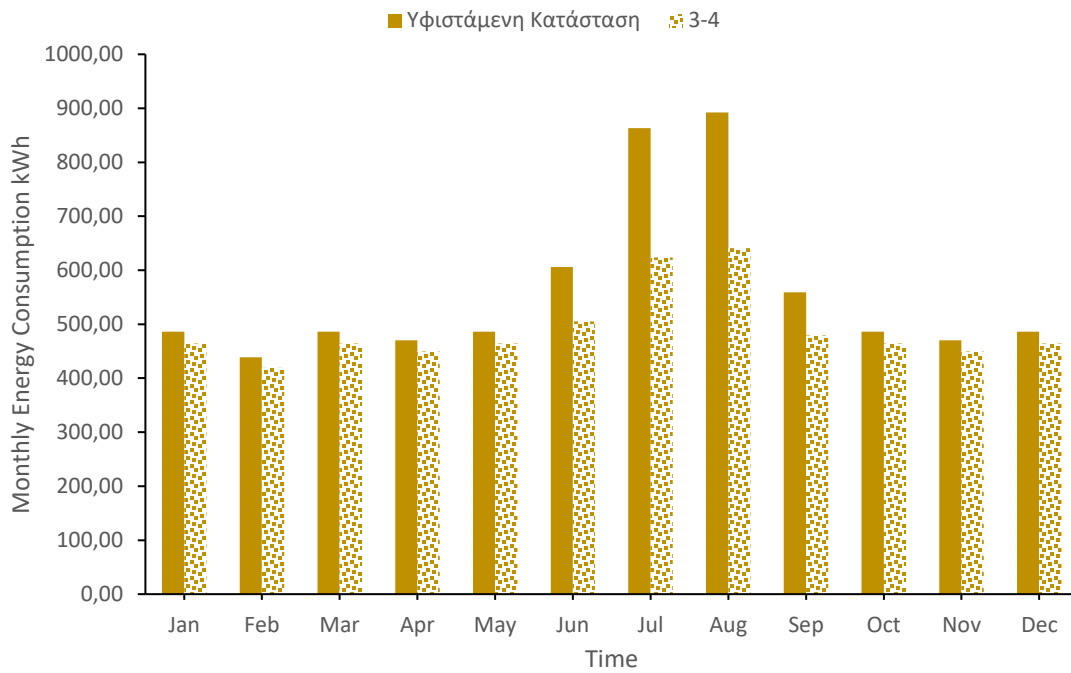
Πίνακας 59. Χαρακτηριστικά νέας αντλίας θερμότητας

<b>SCOP</b>	4.0
<b>SEER</b>	4.5
<b>ZNX CoP</b>	0.95

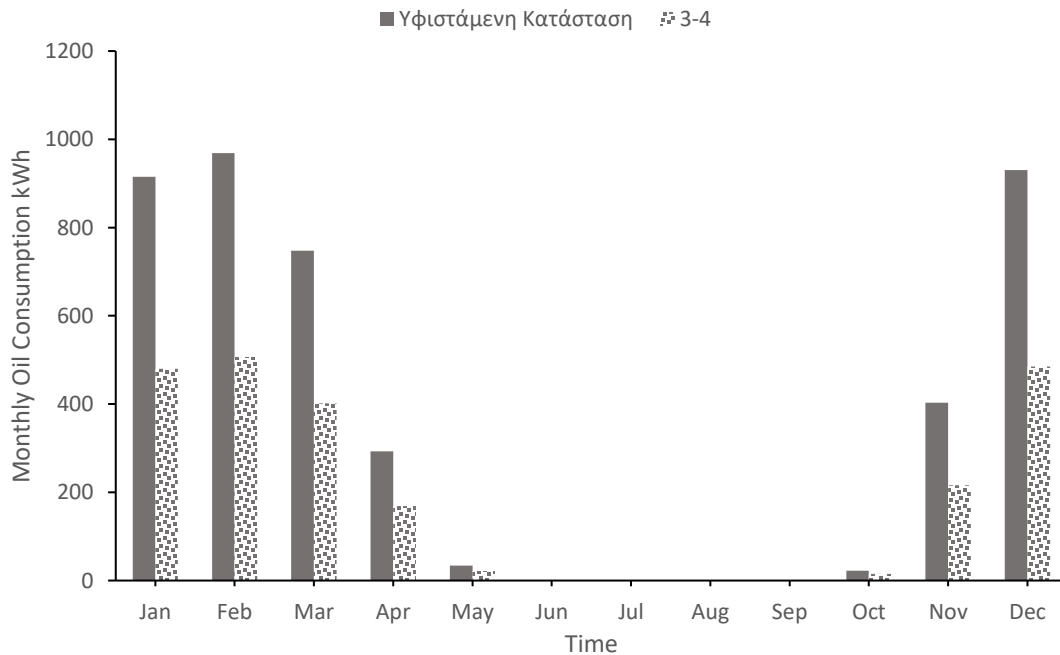
Υστερα από την μοντελοποίηση των παραπάνω βελτιστοποιήσεων στο DesignBuilder προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρατίθενται στο **Διάγραμμα 52**, σχετικά με τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων του κτιρίου και στο **Διάγραμμα 53** και **Διάγραμμα 54**, απεικονίζονται οι καταναλώσεις ηλεκτρισμού και καυσίμου, αντίστοιχα, σε συσχέτιση με την υφιστάμενη κατάσταση του κτιρίου.



**Διάγραμμα 52. Σύγκριση μηνιαίων θερμικών φορτίων θέρμανσης και ψύξης για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (3-4)**



**Διάγραμμα 53. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (3-4)**



**Διάγραμμα 54. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης πετρελαίου για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (3-4)**

Ο συνδυασμός αυτών των παρεμβάσεων παρουσιάζει εν μέρη μείωση των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου. Όσον αναφορά τα θερμικά φορτία, η χρήση καλύτερης απόδοσης αντλίας θερμότητας δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα και έτσι εξηγείται και η ομοιότητα του **Διάγραμμα 52** με το αντίστοιχο του υποκεφαλαίου 7.1.3, στο οποίο εξετάζεται μόνο η περίπτωση τοποθέτησης ψυχρής επίστρωσης στην οροφή του κτιρίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι, όταν εξετάσθηκε μεμονωμένα η περίπτωση της τοποθέτησης ψυχρής επίστρωσης στην οροφή, στο υποκεφάλαιο 7.1.3, η αύξηση των φορτίων θέρμανσης ήταν 6% και η μείωση των φορτίων ψύξης ήταν 25%, σε σύγκριση με την υφιστάμενη κατάσταση. Ύστερα, η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος μειώθηκε κατά 12%, κατά βάση κατά την διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου, ενώ συντριπτική ήταν η μείωση ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου του λέβητα, της τάξεως του 47%.

### 7.3.7 Συνδυασμός όλων των παραπάνω παρεμβάσεων {1-2-3-4}

Στην παρέμβαση που ακολουθεί, θα εξετασθεί ο συνδυασμός όλων των παραπάνω επεμβάσεων, δηλαδή ενίσχυση τη μόνωσης του κελύφους του κτιρίου, αντικατάσταση των παραθύρων, τοποθέτηση ψυχρής επίστρωσης στην οροφή του κτιρίου και τέλος εγκατάσταση μια νέας αντλίας θερμότητας, με υψηλό βαθμό απόδοσης. Όλα αυτά τα σενάρια έχουν μελετηθεί ξεχωριστά, αλλά και συνδυαστικά μεταξύ τους και έχουν επιφέρει μείωση των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου. Είναι, όμως, προσδοκώμενη, η ακόμα μεγαλύτερη μείωση των ενεργειακών αναγκών, ύστερα από τον συνδυασμό όλων αυτών παρεμβάσεων. Τα χαρακτηριστικά παραμένουν ακριβώς τα ίδια, όπως παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες υποενότητες. Εν συντομία, παρατίθενται στους **Πίνακας 60, Πίνακας 61, Πίνακας 62, Πίνακας 63 Πίνακας 64** τα δεδομένα, τα οποία εισάχθηκαν στο λογισμικό DesignBuilder, για την συγκεκριμένη συνολική παρέμβαση, τα οποία όπως φαίνεται είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά των μεμονωμένων παρεμβάσεων που πραγματοποιήθηκαν στα παραπάνω υποκεφάλαια.

**Πίνακας 60. Δομικά υλικά εξωτερικής τοιχοποιίας κτιρίου**

Εξωτερικοί Τοίχοι	Δομικό Υλικό	Πάχος [m]
U = 0.30 W/m <sup>2</sup> K	Επίχρισμα	0.08
	Τούβλο	0.09
	Μόνωση (EPS Expanded Polystyrene)	0.0976
	Τούβλο	0.09
	Γύψος	0.0127

**Πίνακας 61. Δομικά υλικά οροφής κτιρίου με χρήση ψυχρής επίστρωσης**

Οροφή	Δομικό Υλικό	Πάχος [m]
U = 0.30 W/m <sup>2</sup> K	Ψυχρή Βαφή	0.01
	Σκυρόδεμα, υψηλής πυκνότητας	0.15
	Μόνωση (EPS Expanded Polystyrene)	0.139
	Σκυρόδεμα, υψηλής πυκνότητας	0.15

**Πίνακας 62. Φυσικές και οπτικές ιδιότητες επίστρωσης της οροφής**

Δομικά Υλικά	Πυκνότητα ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Συντελεστής Αγωγιμότητας λ [mK/W]	Ειδική Θερμοχωρητικότητα C <sub>p</sub> [J/kgK]	Ηλιακή Απορρόφηση	Ορατή Απορρόφηση	Εκπομπή
Επίχρισμα	1700	0.84	800	0.35	0.7	0.8

**Πίνακας 63. Δομή καινούριων παραθύρων**

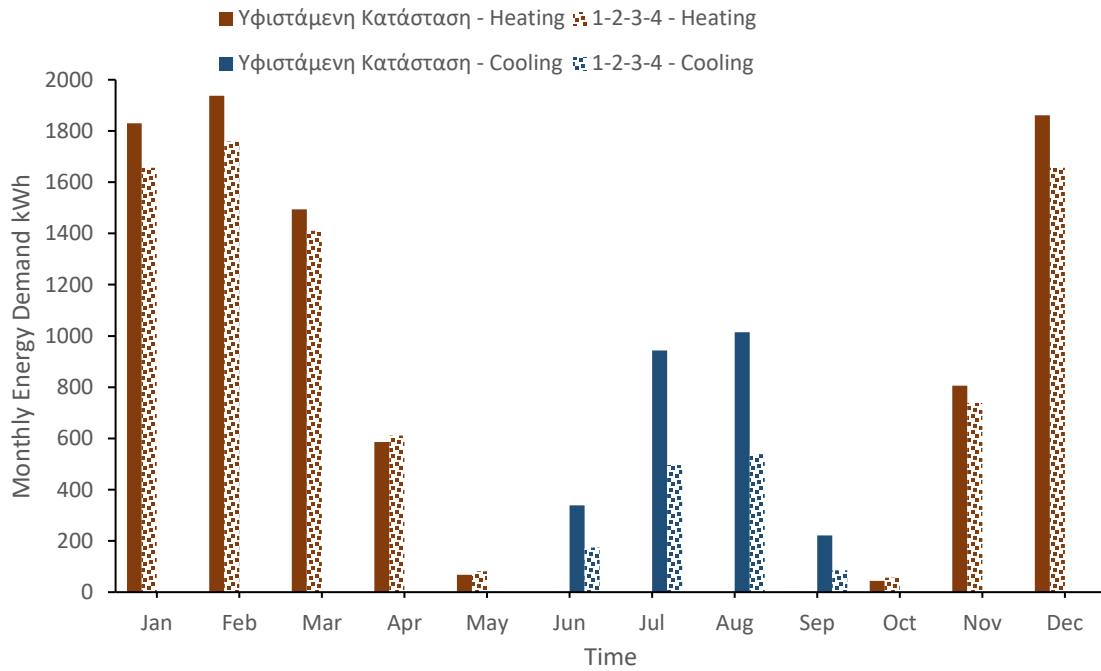
Υαλοπίνακες	Δομικό Υλικό	Πάχος [mm]	Ιδιότητες
Τριπλά Τζάμια Low -E U = 0.780 W/m <sup>2</sup> K	Υαλοπίνακας	3	Συνολική Ηλιακή Μετάδοση (SHGC) = 0.474
	Αργό (Ar)	13	
	Υαλοπίνακας	3	Οπτική Διαπερατότητα (VLT) = 0.85
	Αργό (Ar)	13	
Υαλοπίνακας	3		

**Πίνακας 64. Χαρακτηριστικά νέας αντλίας θερμότητας**

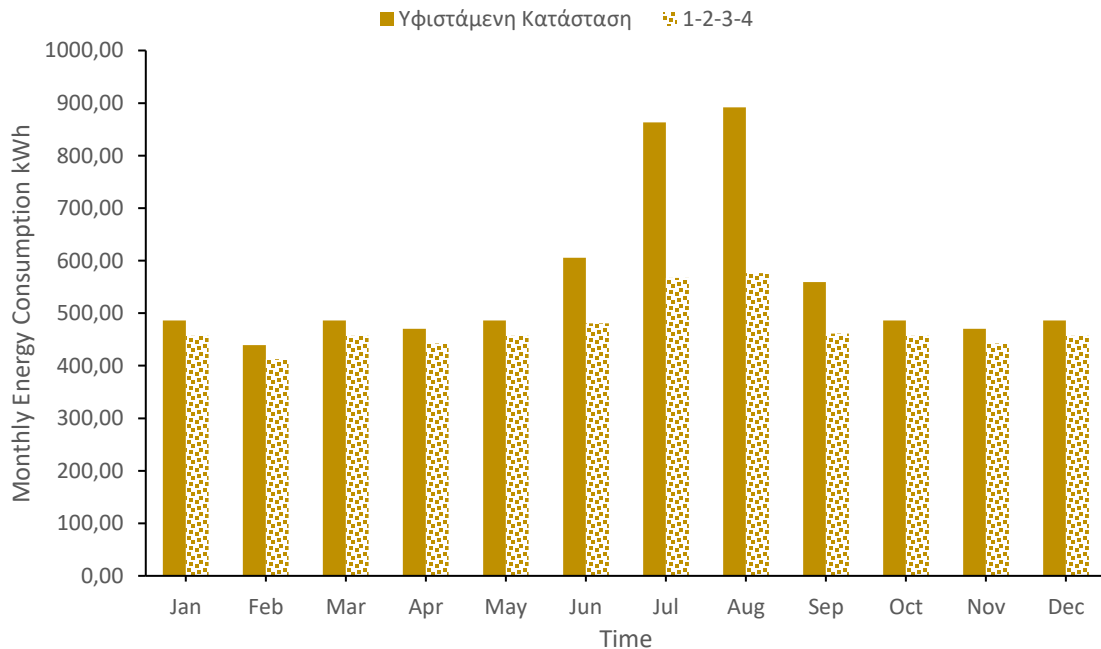
<b>SCOP</b>	4.0
<b>SEER</b>	4.5
<b>ZNX CoP</b>	0.95

Υστερα από την μοντελοποίηση των παραπάνω βελτιστοποιήσεων στο DesignBuilder προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρατίθενται στο **Διάγραμμα 55**, σχετικά με τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων του κτιρίου και στο **Διάγραμμα 56** και **Διάγραμμα 57**, απεικονίζονται οι καταναλώσεις ηλεκτρισμού και καυσίμου, αντίστοιχα, σε συσχέτιση με την υφιστάμενη κατάσταση του κτιρίου.

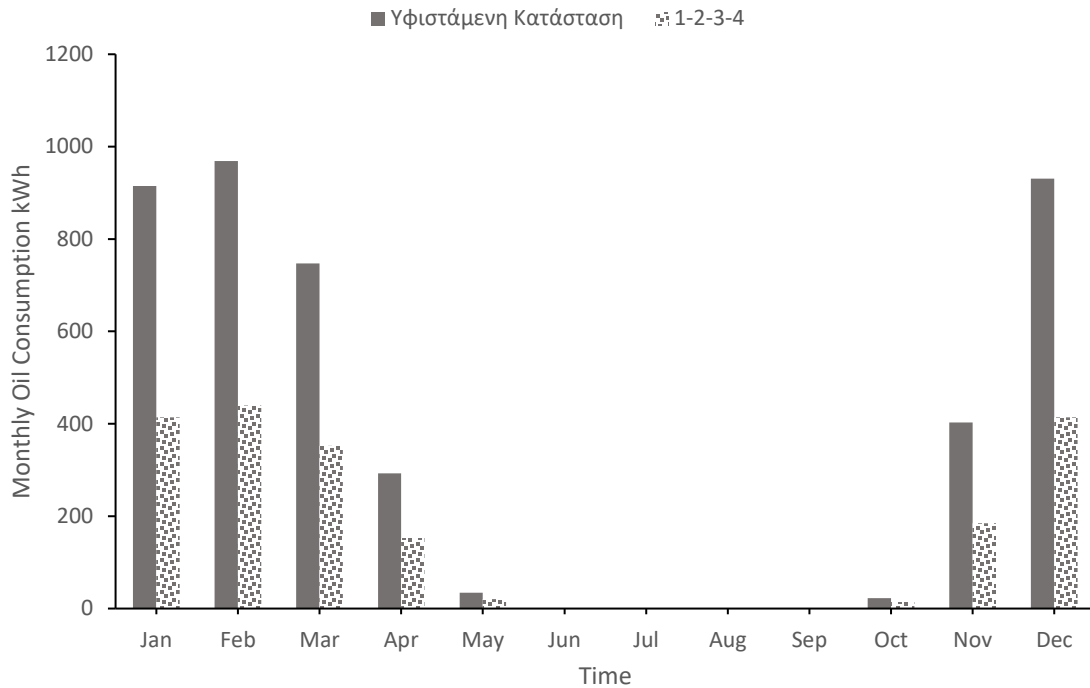




**Διάγραμμα 55.** Σύγκριση μηνιαίων θερμικών φορτίων θέρμανσης και ψύξης για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (1-2-3-4)



**Διάγραμμα 56.** Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (1-2-3-4)

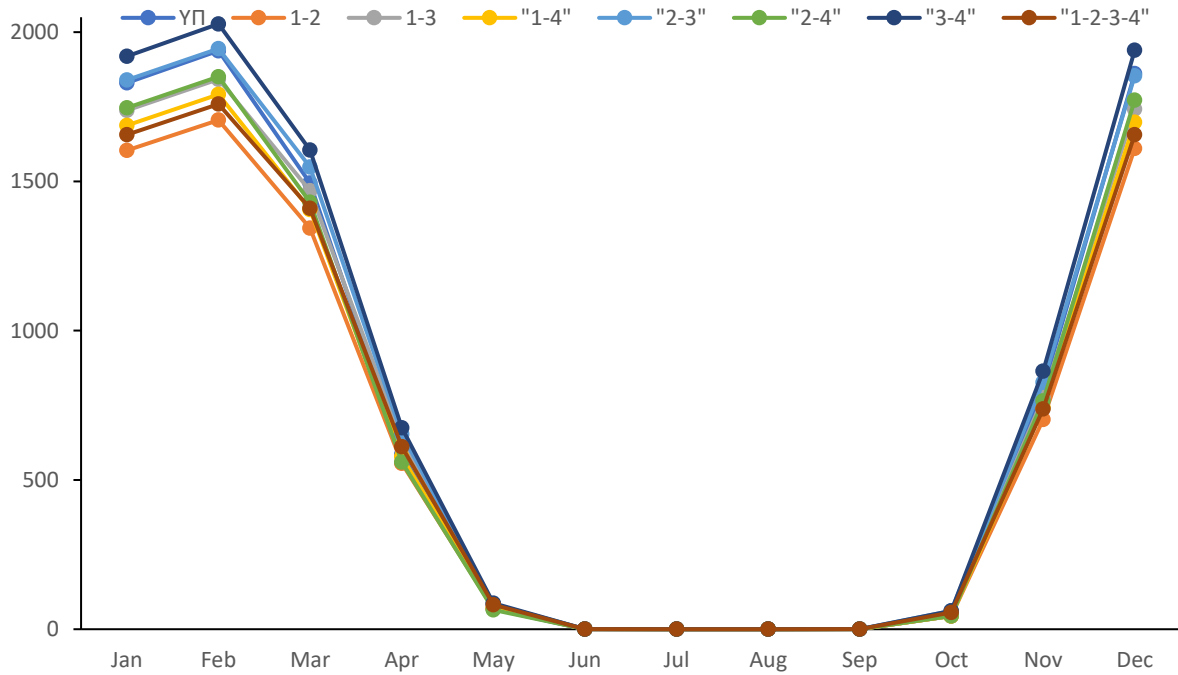


**Διάγραμμα 57. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης πετρελαίου για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (1-2-3-4)**

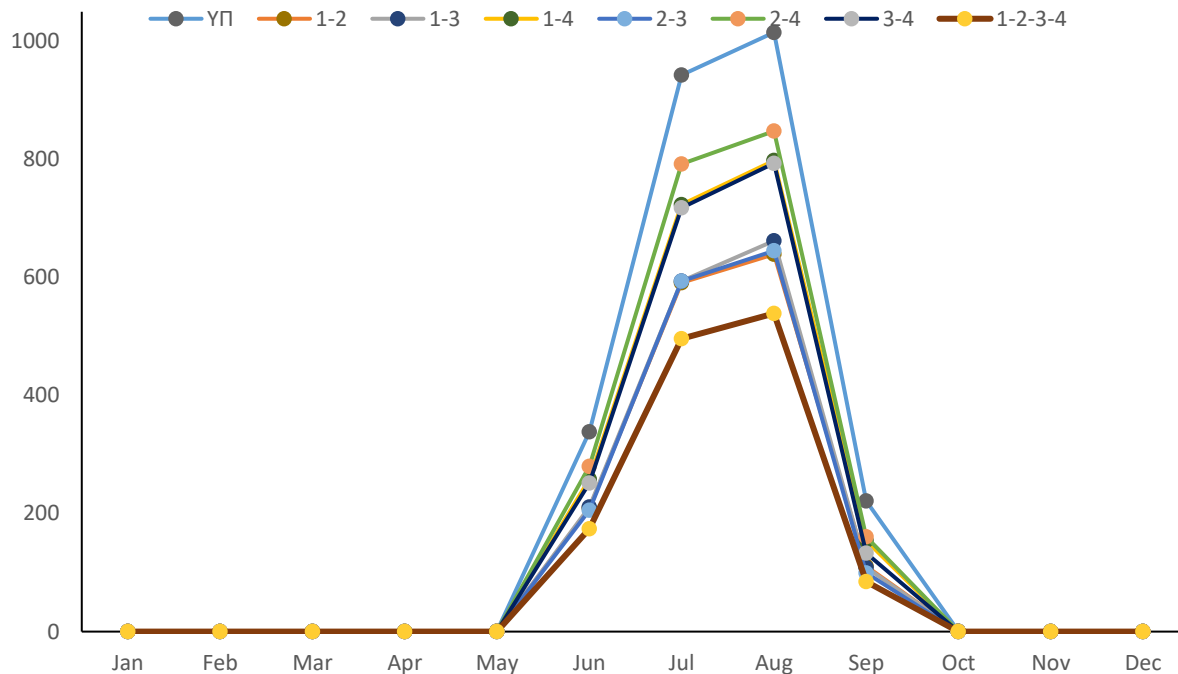
Μέσω του συνδυασμού όλων των παρεμβάσεων προκύπτει η πιο ενεργειακά βελτιστοποιημένη εκδοχή του υπό μελέτη κτιρίου. Όσον αναφορά τα θερμικά φορτία και πιο συγκεκριμένα τα φορτία θέρμανσης, η μείωση είναι της τάξεως του 8%, ενώ τα φορτία ψύξης παρουσιάζουν μείωση της τάξεως του 49%, με άλλα λόγια τα φορτία ψύξης υποδιπλασιάστηκαν. Στην συνέχεια, η ετήσια κατανάλωση ρεύματος μειώθηκε κατά 16% και ομοίως, και η κατανάλωση καυσίμου μειώθηκε κατά 54%, δηλαδή περισσότερο από το μισό. Αυτά τα ποσοστά μείωσης είναι τα υψηλότερα που σημειώθηκαν, ύστερα από τις παραπάνω μελέτες παρεμβάσεων και συνδυασμών παρεμβάσεων.

#### 7.4 Σύνοψη – Σύγκριση Παρεμβάσεων

Όλες οι παρεμβάσεις, οι οποίες μελετήθηκαν στο Κεφάλαιο 7, απέφεραν μόνο θετικά αποτελέσματα όσον αναφορά τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου, κάποιες βέβαια παραπάνω από άλλες. Στο **Διάγραμμα 58** και στο **Διάγραμμα 59** απεικονίζονται τα θερμικά φορτία θέρμανσης και ψύξης, αντίστοιχα, που υπολογίστηκαν για την υφιστάμενη κατάσταση (ΥΠ) και όλων των περιπτώσεων συνδυαστικών παρεμβάσεων.



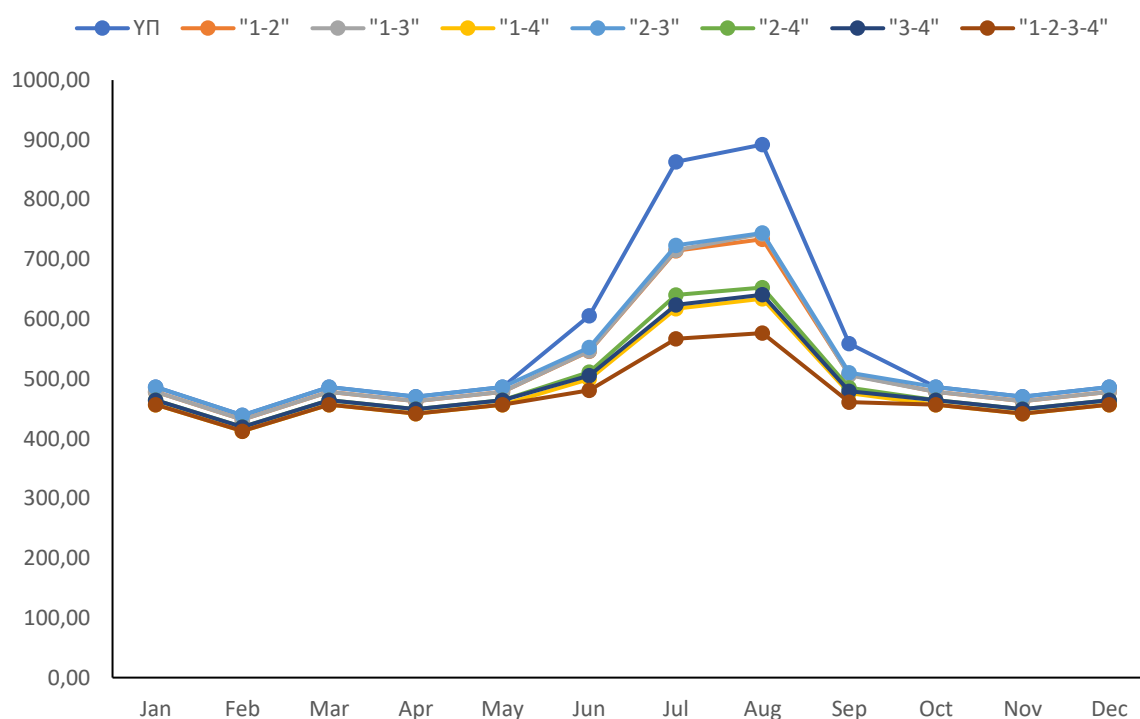
**Διάγραμμα 58. Θερμικά φορτία θέρμανσης για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και των συνδυαστικών παρεμβάσεων**



**Διάγραμμα 59. Θερμικά φορτία ψύξης για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και των συνδυαστικών παρεμβάσεων**

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα διαγράμματα των θερμικών φορτίων είναι ότι, όπως ήταν αναμενόμενο, η χειρότερη ενεργειακά περίπτωση είναι αυτή της υφιστάμενης κατάστασης, με τα ετήσια φορτία θέρμανσης να υπολογίζονται περίπου ίσα με 8627 kWh και τα ψύξης 2518 kWh. Έπειτα, όπως ήταν επίσης αναμενόμενο, η βέλτιστη περίπτωση από αυτές που εξετάστηκαν είναι ο συνδυασμός των παρεμβάσεων, της ενισχυμένης μόνωσης, της αντικατάστασης των παραθύρων, της χρήσης ψυχρής βαφής οροφής και της νέας αντλίας θερμότητας. Για την συγκεκριμένη περίπτωση, τα ετήσια θερμικά φορτία θέρμανσης υπολογίσθηκαν περίπου ίσα με 7970 kWh και τα ψύξης 1293 kWh.

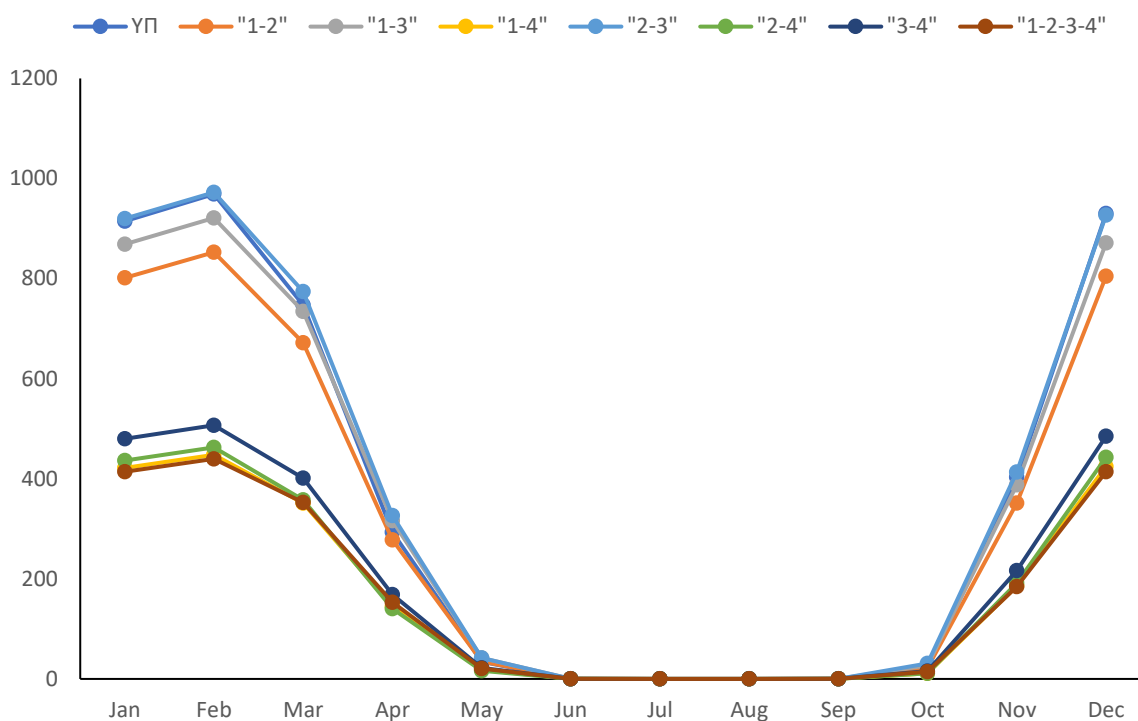
Στη συνέχεια, στο **Διάγραμμα 60** παρουσιάζεται η κατανάλωση ενέργειας που υπολογίσθηκε για την υφιστάμενη κατάσταση και για όλες τις συνδυαστικές παρεμβάσεις.



**Διάγραμμα 60. Κατανάλωση ενέργειας για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και των συνδυαστικών παρεμβάσεων**

Ομοίως, παρατηρούμε ότι ύστερα από κάθε παρέμβαση η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται όλο και παραπάνω, με βέλτιστο σενάριο αυτό του συνδυασμού ενισχυμένης μόνωσης, χρήσης καινούριων παραθύρων και ψυχρής επίστρωσης οροφής και εγκατάστασης νέας αντλίας θερμότητας. Πιο συγκεκριμένα, η ετήσια μεταβολή από την υφιστάμενη κατάσταση ήταν από 6730 kWh σε 5665kWh.

Στη συνέχεια, στο **Διάγραμμα 61** παρουσιάζεται η κατανάλωση καυσίμου που υπολογίσθηκε για την υφιστάμενη κατάσταση και για όλες τις συνδυαστικές παρεμβάσεις.



**Διάγραμμα 61. Κατανάλωση καυσίμου για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και των συνδυαστικών παρεμβάσεων**

Όσον αναφορά την ετήσια κατανάλωση καυσίμου, παρατηρείται ότι είναι σχεδόν η ίδια για τις περιπτώσεις οι οποίες περιλαμβάνουν την εγκατάσταση της νέας αντλίας θερμότητας, με εξαίρεση την περίπτωση συνδυασμού ψυχρής βαφής οροφής και νέας αντλίας θερμότητας, καθώς με την χρήση της ψυχρής βαφής, κατά την χειμερινή περίοδο, αυξάνονται οι ανάγκες θέρμανσης του κτιρίου. Παρόλα αυτά, και πάλι η συνδυαστική παρέμβαση όλων των μεμονωμένων παρεμβάσεων είναι η πιο αποτελεσματική, με μείωση κατανάλωσης καυσίμου, σε σύγκριση με την υφιστάμενη κατάσταση, από 4313 kWh σε 1992 kWh ετήσια.

## 7.5 Εγκατάσταση Συστημάτων ΑΠΕ

Το ύψος των λογαριασμών ρεύματος όλο μεγαλώνει, η τιμή της ενέργειας δε λέει να πέσει και η αναμέτρηση με τα χρωματιστά τιμολόγια ξεκινά. Σε αυτό το τοπίο, είναι φυσικό να αναζητάς νέους τρόπους και έξυπνες λύσεις για να μειώσεις το κόστος και να ισορροπήσεις τον προϋπολογισμό του σπιτιού σου.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι ένας έξυπνος και «πράσινος» τρόπος για να εξασφαλίσεις φθηνότερο ρεύμα. Η εγκατάσταση ενός συστήματος φωτοβολταϊκών πάνελ

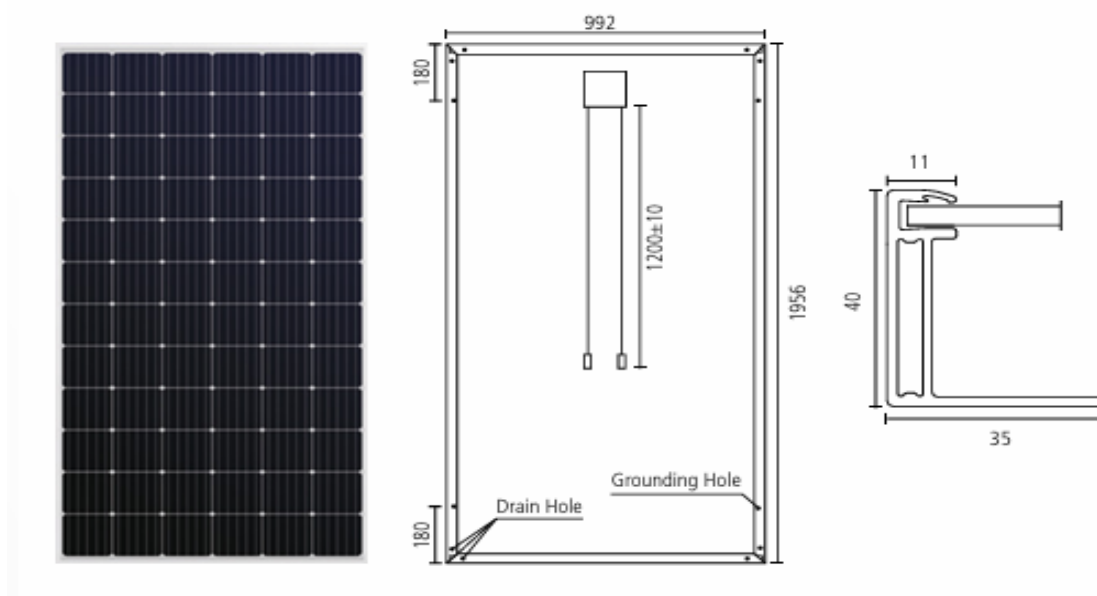
σε ένα κτίριο κατοικίας, μπορεί σίγουρα να αποδειχθεί αρκετά επωφελής για τους ιδιοκτήτες των διαμερισμάτων της.

Η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος στέγης, είναι ένα αποφασιστικό βήμα προς την κατεύθυνση της ενεργειακής αυτάρκειας και μια σημαντική επένδυση που αποδίδει από τη πρώτη στιγμή. Η μείωση της εξάρτησης από το ρεύμα του δικτύου και η κάλυψη ενός μέρους, ή ακόμη και όλων, των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου από τα φωτοβολταϊκά πάνελ, αντανακλάται άμεσα και σε μείωση των λογαριασμών ρεύματος.

Επιπλέον, ένα ακόμα σημαντικό όφελος από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε κτίριο κατοικίας είναι η άμεση αύξηση της αξίας του ακινήτου στην αγορά. Τέλος, είναι σημαντικό να λάβεις υπόψη ότι, σε πολλές περιπτώσεις, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων επιδοτείται, εφόσον εγκριθεί, σε ποσοστό 40-60% του συνολικού κόστους επένδυσης [52].

Στις παρεμβάσεις που θα ακολουθήσουν, θα γίνει εγκατάσταση του ίδιου φωτοβολταϊκού πλαισίου προσαρμοσμένο στις ανάγκες της κάθε περίπτωσης, έτσι ώστε να καλύπτει τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου, δημιουργώντας μηδενικό ενεργειακό ισοζύγιο ή ακόμη και θετικό ενεργειακό ισοζύγιο.

Το φωτοβολταϊκό που θα εγκατασταθεί είναι της εταιρείας SHARP, και πιο συγκεκριμένα το μοντέλο NUSC360 [53]. Τα φωτοβολταϊκό και τα χαρακτηριστικά του παρατίθενται στην **Εικόνα 29** και στον **Πίνακα 65**, αντίστοιχα, και αποτελούν και τα δεδομένα τα οποία εισήχθησαν στο λογισμικό DesignBuilder για την μοντελοποίηση του.



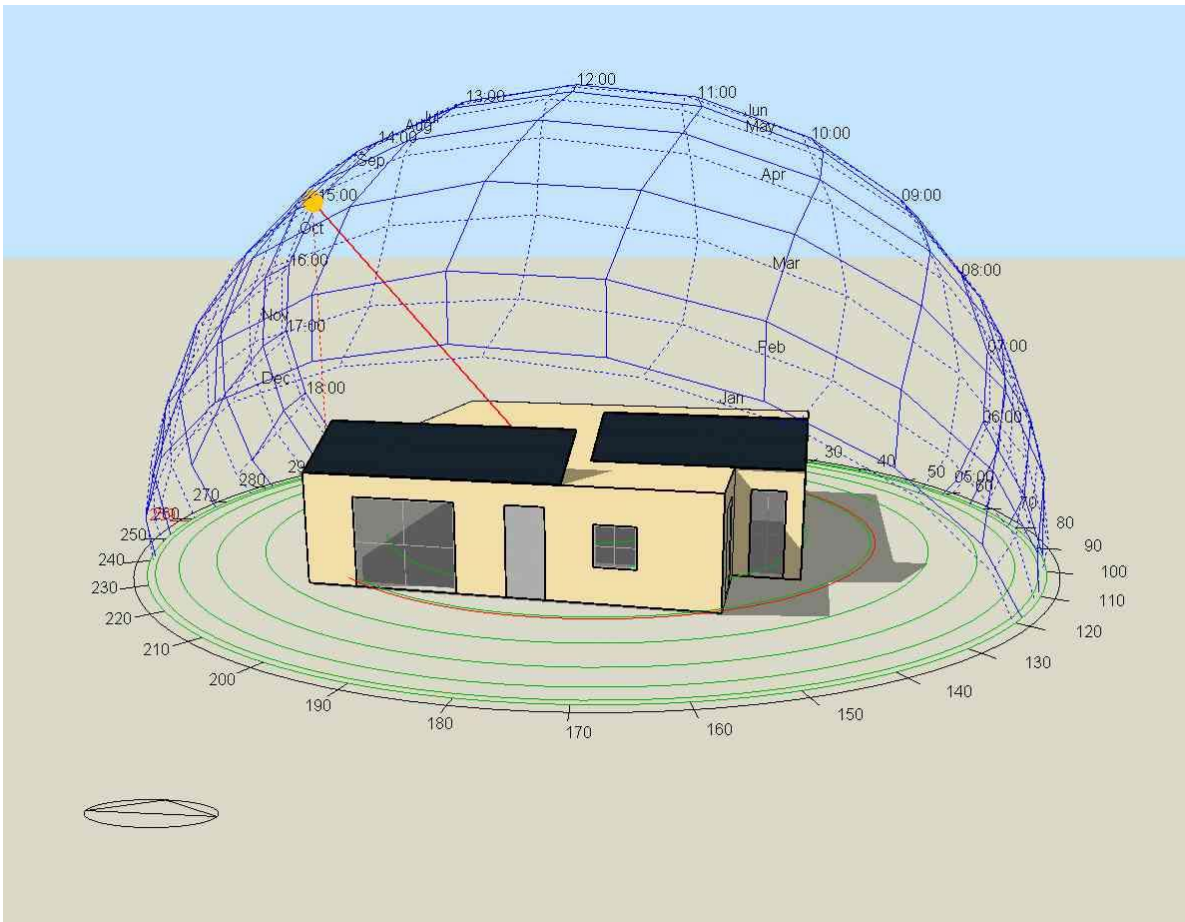
**Εικόνα 29. Φωτοβολταϊκό SHARP, NUSC360 [53]**

**Πίνακας 65. Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού SHARP, NUSC360 [53]**

Cell Type	CCrystalline Silicon
Cell in series	72
Active area (m <sup>2</sup> )	1.77
Rated electric power output per module (W)	360
<b>Current</b>	
Short circuit current (A)	9.76
Module current at max power (A)	9.26
Temperature coefficient of short circuit current (A/K)	0.00488
<b>Voltage</b>	
Open circuit voltage (V)	43.8
Module voltage at max power (V)	35.9
Temperature coefficient of open circuit voltage (V/K)	-0,127
<b>Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)</b>	
NOCT ambient temperature (°C)	20.00
NOCT cell temperature (°C)	44.00
NOCT insolation (W/m <sup>2</sup> )	800

### 7.5.1 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού στην περίπτωση της υφιστάμενης κατάστασης

Για την περίπτωση της υφιστάμενης κατάστασης εγκαταστάθηκαν έντεκα (11) φωτοβολταϊκά πλαίσια τύπου SHARP NUSC360, με την διάταξη που φαίνεται στην **Εικόνα 30**. Η θέση τους επιλέχθηκε έτσι ώστε να μην δημιουργεί το ένα φωτοβολταϊκό σκίαση στο άλλο, καθώς αυτό θα επέφερε μείωση της απόδοσης τους. Πιο συγκεκριμένα, τοποθετήθηκαν με προσανατολισμό προς τον Νότο και με κλίση  $32^\circ$  μοιρών, σύμφωνα με το φωτοβολταϊκό γεωγραφικό σύστημα πληροφόρησης [54]. Το φωτοβολταϊκό σύστημα στα αριστερά, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 30**, αποτελείται από έξι (6) φωτοβολταϊκά πλαίσια στη σειρά, ενώ το δεξί από πέντε (5). Να σημειωθεί, ότι η οπτικοποίηση της εξωτερικής όψης του κτιρίου, στην **Εικόνα 30**, αφορά μια μέρα της καλοκαιρινής περιόδου κατά τη διάρκεια του μεσημβρινού ωραρίου, και συγκεκριμένα την 15<sup>η</sup> Ιουλίου στις 15:00.



Εικόνα 30. Εξωτερική όψη κατοικίας ύστερα από την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών



Οι ετήσιες καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος για την υφιστάμενη κατάσταση υπολογίσθηκαν ίσες με 6688.23 kWh. Αναλυτικότερα, στον **Πίνακας 66** παρατίθενται οι μηνιαίες καταναλώσεις ρεύματος της υφιστάμενης κατάστασης, αλλά και η μηνιαία παραγωγή ρεύματος, η οποία προέρχεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Αξίζει να σημειωθεί, ότι παρατηρείται μία μικρή μείωση, της τάξεως του 1-2%, στην κατανάλωση ενέργειας της υφιστάμενης κατάστασης πριν και μετά την εγκατάσταση του συστήματος ΑΠΕ, γεγονός το οποίο δικαιολογείται, καθώς με την σκίαση που προκαλείται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ μειώνονται ελάχιστα τα θερμικά φορτία ψύξης, και αντίστοιχα αυξάνονται ελάχιστα οι απαιτήσεις θέρμανσης του κτιρίου.

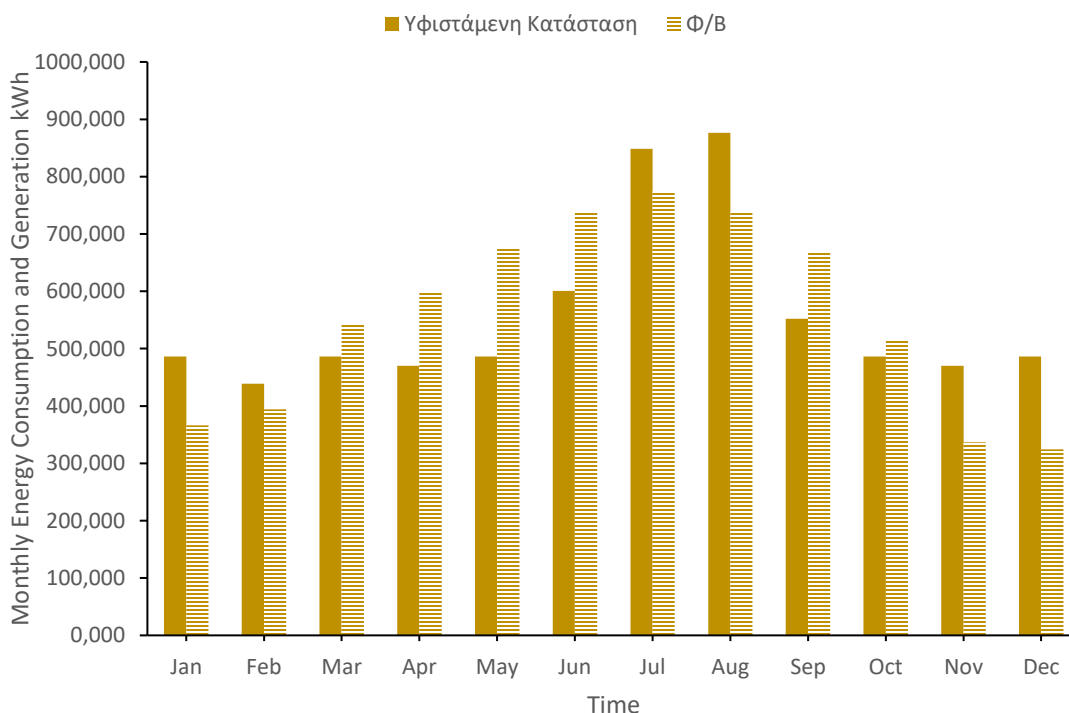
**Πίνακας 66. Μηνιαίες καταναλώσεις και παραγωγές ρεύματος για την υφιστάμενη κατάσταση, ύστερα από την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος**

Months	Κατανάλωση Ηλεκτρικού Ρεύματος [[kWh]	Παραγωγή Ρεύματος [kWh]
Jan	486,069	366,326
Feb	439,030	394,117
Mar	486,069	543,115
Apr	470,389	599,303
May	486,291	675,330
Jun	600,544	737,303
Jul	848,503	774,571
Aug	876,312	737,648
Sep	552,314	669,948
Oct	486,246	514,509
Nov	470,389	336,645
Dec	486,069	324,443
		6673,258

Όπως φαίνεται και παραπάνω, με την εγκατάσταση του συστήματος ΑΠΕ καλύπτονται οι ανάγκες κατανάλωσης ρεύματος του κτιρίου οριακά πλήρως, με μία μικρή απόκλιση των 15 κιλοβατώραν (kWh). Παρόλα αυτά, παρατηρείται ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα δεν παράγει μηνιαία ακριβώς τις ηλεκτρικές ανάγκες του κτιρίου κατοικίας, δηλαδή κάποιους μήνες παράγει παραπάνω και κάποιους μήνες λιγότερο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, τους μήνες που παράγει παραπάνω από τις ανάγκες του κτιρίου, η ενέργεια αποθηκεύετε στο δίκτυο και ο χρήστης έχει την δυνατότητα αξιοποίησης της όποτε την χρειαστεί.

Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται Net Metering και στην ουσία επιτρέπει στους καταναλωτές που παράγουν μέρος ή όλη τη δική τους ηλεκτρική ενέργεια, να χρησιμοποιούν αυτήν την ηλεκτρική ενέργεια ανά πάσα στιγμή, αντί όταν αυτή παράγεται [55].

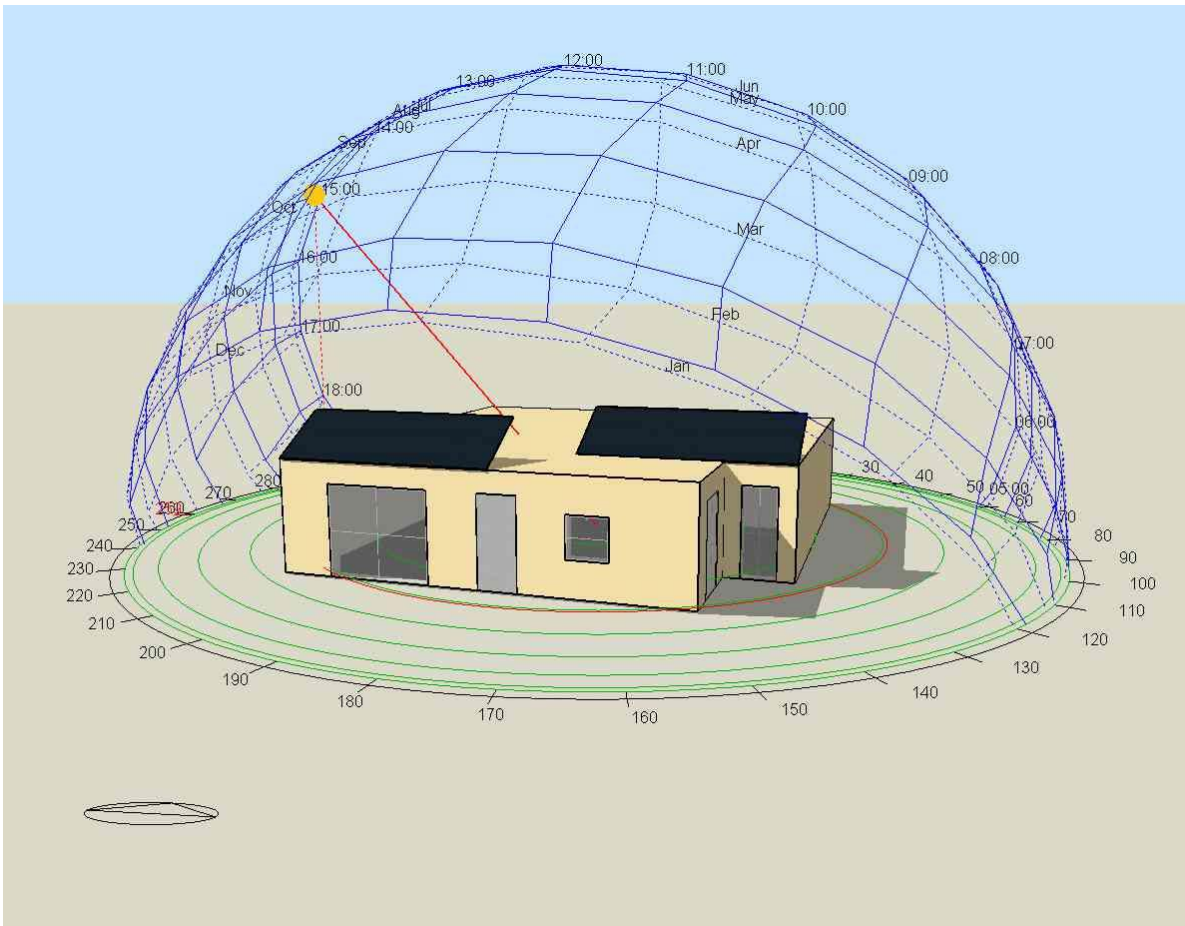
Στο **Διάγραμμα 62** απεικονίζονται πιο ευδιάκριτα οι διαφορές μεταξύ μηνιαίας κατανάλωσης και μηνιαίας παραγωγής ρεύματος.



**Διάγραμμα 62.** Σύγκριση μηνιαίων καταναλώσεων και παραγωγών ρεύματος για την υφιστάμενη κατάσταση, ύστερα από την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος

### 7.5.2 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού στην περίπτωση του συνδυασμού όλων των παρεμβάσεων {1-2-3-4}

Για την περίπτωση της υφιστάμενης κατάστασης εγκαταστάθηκαν δέκα (10) φωτοβολταϊκά πλαίσια τύπου SHARP NUSC360, με την διάταξη που φαίνεται στην **Εικόνα 31**. Πιο συγκεκριμένα, τοποθετήθηκαν με προσανατολισμό προς τον Νότο και με κλίση 32° μοιρών, σύμφωνα με το φωτοβολταϊκό γεωγραφικό σύστημα πληροφόρησης [54]. Το φωτοβολταϊκό σύστημα στα αριστερά και στα δεξιά, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 31**, αποτελείται από πέντε (5) φωτοβολταϊκά πλαίσια στη σειρά. Να σημειωθεί, ότι η οπτικοποίηση της εξωτερικής όψης του κτιρίου, στην **Εικόνα 31**, αφορά μια μέρα της καλοκαιρινής περιόδου κατά τη διάρκεια του μεσημβρινού ωραρίου, και συγκεκριμένα την 15<sup>η</sup> Ιουλίου στις 15:00.



**Εικόνα 31. Εξωτερική όψη κατοικίας ύστερα από την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών**

Οι ετήσιες καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος για την υφιστάμενη κατάσταση υπολογίστηκαν ίσες με 5664.55 kWh. Αναλυτικότερα, στον **Πίνακα 67** παρατίθενται οι μηνιαίες καταναλώσεις ρεύματος της υφιστάμενης κατάστασης, αλλά και η μηνιαία παραγωγή ρεύματος, η οποία προέρχεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Στην συγκεκριμένη παρέμβαση, η σκίαση των φωτοβολταϊκών συστημάτων δεν επηρέασε τα φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου κατοικίας, ούτε ελάχιστα, σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση.

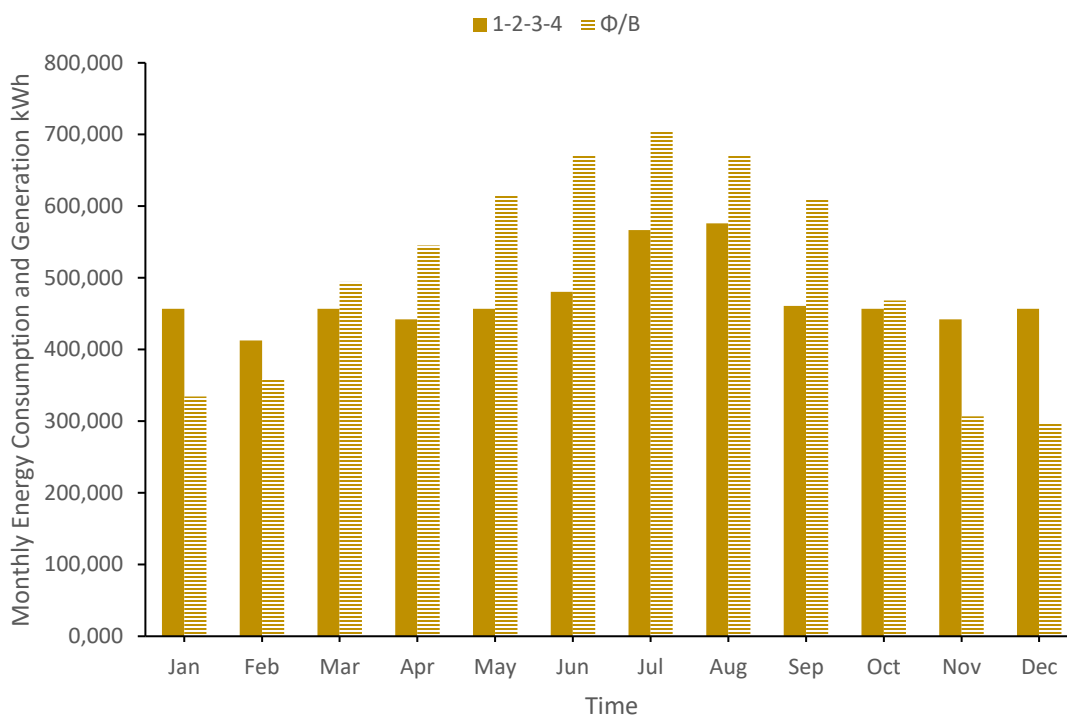
**Πίνακας 67. Μηνιαίες καταναλώσεις και παραγωγές ρεύματος για την συνδυαστική περίπτωση {1-2-3-4}, ύστερα από την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος**

Months	Κατανάλωση Ηλεκτρικού Ρεύματος [[kWh]	Παραγωγή Ρεύματος [kWh]
Jan	456,779	334,647
Feb	412,575	359,150
Mar	456,779	494,159
Apr	442,044	545,264
May	456,779	614,430
Jun	480,568	670,703
Jul	566,559	704,581
Aug	576,045	670,974
Sep	460,819	609,382
Oct	456,779	468,291
Nov	442,044	306,994
Dec	456,779	296,337
		6074,912

Όπως φαίνεται και παραπάνω, με την εγκατάσταση του συστήματος ΑΠΕ υπερκαλύπτονται οι ανάγκες κατανάλωσης ρεύματος του κτιρίου, πιο συγκεκριμένα παραπάνω παράγονται ετησίως περίπου 410 κιλοβατόρες (kWh). Παρόλα αυτά, παρατηρείται ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα δεν παράγει μηνιαία ακριβώς τις ηλεκτρικές ανάγκες του κτιρίου κατοικίας, κάποιους μήνες παράγει παραπάνω και κάποιους μήνες λιγότερο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ετησίως υπάρχει πλεονάζουσα παραγόμενη ενέργεια, η οποία αποθηκεύετε στο δίκτυο και ο χρήστης έχει την δυνατότητα αξιοποίησης της όποτε και αν την χρειαστεί.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ο μηχανισμός του Net Metering λειτουργεί με ενεργειακό συμψηφισμό, αφαιρώντας την ενέργεια που καταναλώνεται από την ενέργεια που παράγεται από τα πάνελ. Η πλεονάζουσα παραγόμενη ενέργεια δεν χάνεται, αλλά συμψηφίζεται για περίοδο 1 έτους. Μετά το πέρας, όμως, 3 ετών γίνεται η τελική εκκαθάριση. Εφόσον η συνολική παραγόμενη ενέργεια της τελευταίας τριετίας είναι μεγαλύτερη από την καταναλισκόμενη, τότε αυτή χάνεται και ο ενεργειακός συμψηφισμός ξεκινά από την αρχή [55].

Στο **Διάγραμμα 63** απεικονίζονται, πιο ευδιάκριτα, οι διαφορές μεταξύ μηνιαίας κατανάλωσης και μηνιαίας παραγωγής ρεύματος.



**Διάγραμμα 63.** Σύγκριση μηνιαίων καταναλώσεων και παραγωγών ρεύματος για την συνδυαστική παρέμβαση {1-2-3-4}, ύστερα από την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος

## 8. Συμπεράσματα

Ο κτιριακός τομέας, ο οποίος είναι υπεύθυνος για το 43% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ελλάδα, απαιτείται να συμβάλει στο μέγιστο δυνατό στην εξοικονόμηση ενέργειας και πρέπει να γίνει κατανοητό από όλους ότι η πράσινη κατεύθυνση αποτελεί πλέον μονόδρομο για τον τομέα των ακινήτων στη χώρα μας. Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και η χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στον κτιριακό τομέα αποτελούν σημαντικά μέτρα που απαιτούνται για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να αναδείξει τη σημασία της εξοικονόμησης ενέργειας στα πλαίσια του κτιριακού τομέα, ως λύση ενάντια στην ενεργειακή κρίση που πλήττει ολόκληρο τον πλανήτη. Πιο συγκεκριμένα, θέτοντας το παράδειγμα της ενεργειακής αναβάθμισης μιας συμβατικής κατοικίας, προτείνονται παρεμβάσεις για το πως αυτό μπορεί να υλοποιηθεί. Η ενεργειακή μελέτη και βελτιστοποίηση αυτού του κτιρίου γίνεται με χρήση του λογισμικού DesignBuilder.

Εξετάστηκαν τα θερμικά φορτία και οι ενεργειακές καταναλώσεις του αρχικού μοντέλου που είχε σχεδιαστεί, και μέσω των παραμετρικών μελετών εξετάστηκαν εκ νέου τα φορτία θέρμανσης και ψύξης και οι καταναλώσεις ενέργειας για διαφορετικά πάχη μόνωσης των τοίχων, πάχη μόνωσης της οροφής, διαφορετικού τύπου-είδους υαλοπίνακες, χρήση ψυχρών επιστρώσεων και εγκατάσταση πιο αποδοτικών συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού. Οι προαναφερθείσες παρεμβάσεις μελετήθηκαν και μεμονωμένα αλλά και συνδυαστικά, με σκοπό την επίτευξη της μεγαλύτερης μείωσης ενεργειακών καταναλώσεων. Τέλος, πραγματοποιήθηκε μελέτη για τον υπολογισμό του κατάλληλου αριθμού φωτοβολταϊκών πλαισίων που απαιτείται έτσι ώστε το κτίριο να καλύπτει σχεδόν πλήρως τις ενεργειακές του καταναλώσεις.

Με την ολοκλήρωση των παραμετρικών μελετών, οι ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις της βέλτιστης ενεργειακά επιλογής προκύπτουν ίσες με 5664.55 kWh, ενώ η ετήσια παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ίση με 6074.91 kWh. Οι ανάγκες ψύξης ανέρχονται στις 1288.54 kWh και οι ανάγκες θέρμανσης στις 7974.42 kWh.

Εν κατακλείδι, με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας προκύπτει ότι μέσα από ένα σωστό σχεδιασμό και προσεκτική επιλογή υλικών και συστημάτων, που θα χρησιμοποιηθούν στο κτίριο, είναι εφικτή η δημιουργία ενός ενεργειακά αναβαθμισμένου κτιρίου, με ακόμη και μηδενικό ενεργειακό ισοζύγιο (NZEB). Όσο αφορά την εξέλιξη του κτιρίου αυτού σε κτίριο θετικού ενεργειακού ισοζυγίου αξίζει να πραγματοποιηθεί μελέτη περισσότερο σε επίπεδο συνόλου γειτονιάς, με την αλληλοκάλυψη των ενεργειακών αναγκών και όχι τόσο σε επίπεδο μονάδας. Οι κυβερνήσεις όλων των κρατών έχουν αντιληφθεί το πρόβλημα και σε συνδυασμό με την ενεργειακή φτώχεια και τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, όπου άρχισαν να γίνονται εντονότερες, και έχουν αρχίσει να λαμβάνουν τα απαραίτητα μέτρα για ένα πιο “πράσινο” μέλλον με μηδαμινό αποτύπωμα στο περιβάλλον.

## 9. Προτάσεις μελλοντικής μελέτης

Η παρούσα διπλωματική εργασία μπορεί να αποτελέσει το έναυσμα για περαιτέρω μελέτες γύρω από τον υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεων και καταναλώσεων κτιρίων. Πιο συγκεκριμένα, αποτελεί ένα πρώτο βήμα στην μελέτη της ενεργειακής αναβάθμισης ενός κτιρίου κατοικίας, με σκοπό να διαπιστωθεί κατά πόσο είναι εφικτή η δημιουργία ενός κτιρίου ενεργειακά βελτιστοποιημένου ή ακόμη και μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου.

Μελετήθηκαν παρεμβάσεις με αρκετές παραμέτρους, όπως υλικά, μονώσεις, υαλοπίνακες, συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού, ακόμα και χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ως όμως ένα βήμα παραπέρα, προτείνεται να μελετηθεί, ο τρόπος με τον οποίο επιδρά το είδος της βλάστησης και η διαδικασία εξατμισοδιαπνοής στη διαμόρφωση της τοπικής θερμοκρασίας του φυτεμένου δώματος και της φυτεμένης όψης, στη μεταβολή των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου κατοικίας. Επιπρόσθετα, και οι παράγοντες της σκίασης και του φωτισμού του κτιρίου θα μπορούσαν να μελετηθούν πιο εξονυχιστικά.

Προκειμένου, όμως, να υλοποιηθούν στην πραγματικότητα, όλες οι προαναφερθείσες παρεμβάσεις, είναι σημαντικό να διεξαχθεί η οικονομοτεχνική μελέτη που συνοδεύει το υπό μελέτη έργο, η ανάλυση, δηλαδή, του κύκλου ζωής του κτιρίου. Με αυτόν τον τρόπο, η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται μέσω των επεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης θα μπορέσει να μεταφραστεί από κιλοβατόρες σε χρήματα, μια έννοια που είναι ευκολότερα αντιληπτή και κατανοητή.

Τέλος, μια ενδιαφέρουσα κατεύθυνση, θα ήταν η μέτρηση του ενεργειακού αποτυπώματος του συνόλου της διαδικασίας της ενεργειακής αναβάθμισης, καθώς και της μετέπειτα λειτουργίας του κτιρίου, επιδιώκοντας πάντα το χαμηλότερο ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

## 10. Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Προτεραιότητες και μέτρα πολιτικής για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και την προσαρμογή στη κλιματική αλλαγή [10].....	29
Πίνακας 2. Βασικά σημεία των Οδηγιών της ΕΕ για την ενεργειακή αποδοτικότητα [10] ..	31
Πίνακας 3. Νομοί της Ελλάδος ανά κλιματική ζώνη [23],[22].....	35
Πίνακας 4. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη [23].....	38
Πίνακας 5. Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων [23] .....	40
Πίνακας 6. Σύγκριση μεταξύ κοινών θερμών και ψυχρών συστημάτων οροφής [28] .....	51
Πίνακας 7. Απαιτούμενες ιδιότητες των PCMs [42] .....	63
Πίνακας 8. Γενικές Προδιαγραφές του υπό μελέτη κτιρίου [47] .....	75
Πίνακας 9. Δεδομένα Προσανατολισμού και Διαστάσεων Δωματίων Κτιρίου .....	76
Πίνακας 10. Δεδομένα Προσανατολισμού και Διαστάσεων Ανοιγμάτων Κτιρίου .....	76
Πίνακας 11. Δομικά Υλικά Εξωτερικών Τοίχων Κτιρίου .....	80
Πίνακας 12. Φυσικές Ιδιότητες Δομικών Υλικών Εξωτερικών Τοίχων.....	80
Πίνακας 13. Δομικά Υλικά Δαπέδου Κτιρίου .....	81
Πίνακας 14. Φυσικές Ιδιότητες Δομικών Υλικών Δαπέδου .....	82
Πίνακας 15. Δομικά Υλικά Οροφής Κτιρίου .....	83
Πίνακας 16. Φυσικές Ιδιότητες Δομικών Υλικών Οροφής.....	83
Πίνακας 17. Δομικά Υλικά Υαλοπινάκων Κτιρίου .....	84
Πίνακας 18. Φυσικές και Οπτικές Ιδιότητες Δομικών Υλικών Υαλοπινάκων .....	85
Πίνακας 19. Σύνοψη των δομικών υλικών του κτιρίου και των συντελεστών Θερμικής Διαπερατότητας .....	86
Πίνακας 20. Τεχνικές προδιαγραφές του συμβατικού συστήματος HVAC [47].....	87
Πίνακας 21. Τιμές αναφοράς του θερμοστάτη για θέρμανση και ψύξη .....	87
Πίνακας 22. Δεδομένα για Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX).....	88
Πίνακας 23. Μηνιαίες καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος και πετρελαίου του υπό μελέτη κτιρίου .....	97
Πίνακας 24. Καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος κτιρίου ανά κατηγορία .....	98
Πίνακας 25. Μηνιαία θερμικά φορτία θέρμανσης και ψύξης του υπό μελέτη κτιρίου .....	98
Πίνακας 26. Δομικά υλικά εξωτερικής τοιχοποιίας κτιρίου .....	100
Πίνακας 27. Δομικά υλικά οροφής κτιρίου.....	100
Πίνακας 28. Μηνιαίες καταναλώσεις ηλεκτρισμού και πετρελαίου του κτιρίου με ενισχυμένη μόνωση .....	101
Πίνακας 29. Καταναλώσεις ηλεκτρισμού κτιρίου με ενισχυμένη μόνωση ανά κατηγορία.....	101
Πίνακας 30. Μηνιαία θερμικά φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου με ενισχυμένη μόνωση.....	102
Πίνακας 31. Δομή καινούριων παραθύρων κτιρίου .....	105
Πίνακας 32. Μηνιαίες καταναλώσεις ηλεκτρισμού και πετρελαίου του κτιρίου με καινούρια παράθυρα.....	106



Πίνακας 33. Καταναλώσεις ηλεκτρισμού κτιρίου με καινούρια παράθυρα ανά κατηγορία .....	106
Πίνακας 34. Μηνιαία θερμικά φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου με καινούρια παράθυρα.....	107
Πίνακας 35. Δομικά υλικά οροφής κτιρίου με χρήση ψυχρής επίστρωσης.....	109
Πίνακας 36. Φυσικές και οπτικές ιδιότητες ψυχρής επίστρωσης της οροφής .....	110
Πίνακας 37. Μηνιαίες καταναλώσεις ηλεκτρισμού και πετρελαίου του κτιρίου με ψυχρή βαφή οροφής .....	110
Πίνακας 38. Καταναλώσεις ηλεκτρισμού κτιρίου με ψυχρή βαφή οροφής ανά κατηγορία .....	110
Πίνακας 39. Μηνιαία θερμικά φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου με ψυχρή βαφή οροφής .....	111
Πίνακας 40. Χαρακτηριστικά νέας αντλίας θερμότητας .....	114
Πίνακας 41. Μηνιαίες καταναλώσεις ηλεκτρισμού και πετρελαίου του κτιρίου με νέα αντλία θερμότητας.....	114
Πίνακας 42. Καταναλώσεις ηλεκτρισμού κτιρίου με νέα αντλία θερμότητας ανά κατηγορία .....	114
Πίνακας 43. Δομικά υλικά εξωτερικής τοιχοποιίας κτιρίου .....	117
Πίνακας 44. Δομικά υλικά οροφής κτιρίου.....	117
Πίνακας 45. Δομή καινούριων παραθύρων.....	117
Πίνακας 46. Δομικά υλικά εξωτερικής τοιχοποιίας κτιρίου .....	120
Πίνακας 47. Δομικά υλικά οροφής κτιρίου με χρήση ψυχρής βαφής .....	120
Πίνακας 48. Φυσικές και οπτικές ιδιότητες ψυχρής επίστρωσης της οροφής .....	120
Πίνακας 49. Δομικά υλικά εξωτερικής τοιχοποιίας κτιρίου .....	123
Πίνακας 50. Δομικά υλικά οροφής κτιρίου.....	123
Πίνακας 51. Χαρακτηριστικά νέας αντλίας θερμότητας .....	123
Πίνακας 52. Δομή καινούριων παραθύρων.....	126
Πίνακας 53. Δομικά υλικά οροφής κτιρίου με χρήση ψυχρής επίστρωσης.....	126
Πίνακας 54. Φυσικές και οπτικές ιδιότητες ψυχρής επίστρωσης της οροφής .....	127
Πίνακας 55. Δομή καινούριων παραθύρων.....	129
Πίνακας 56. Χαρακτηριστικά νέας αντλίας θερμότητας .....	130
Πίνακας 57. Δομικά υλικά οροφής κτιρίου με χρήση ψυχρής επίστρωσης.....	132
Πίνακας 58. Φυσικές και οπτικές ιδιότητες ψυχρής επίστρωσης της οροφής .....	132
Πίνακας 59. Χαρακτηριστικά νέας αντλίας θερμότητας .....	133
Πίνακας 60. Δομικά υλικά εξωτερικής τοιχοποιίας κτιρίου .....	135
Πίνακας 61. Δομικά υλικά οροφής κτιρίου με χρήση ψυχρής επίστρωσης.....	136
Πίνακας 62. Φυσικές και οπτικές ιδιότητες επίστρωσης της οροφής .....	136
Πίνακας 63. Δομή καινούριων παραθύρων.....	136
Πίνακας 64. Χαρακτηριστικά νέας αντλίας θερμότητας .....	136
Πίνακας 65. Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού SHARP, NUSC360 [53] .....	143

Πίνακας 66. Μηνιαίες καταναλώσεις και παραγωγές ρεύματος για την υφιστάμενη κατάσταση, ύστερα από την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος..... 145  
Πίνακας 67. Μηνιαίες καταναλώσεις και παραγωγές ρεύματος για την συνδυαστική περίπτωση {1-2-3-4}, ύστερα από την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος... 148

## 11. Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Σχηματική απεικόνιση των κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας [23],[22]	36
Εικόνα 2. Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) [24]	40
Εικόνα 3. Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας για διαφορετικούς τύπους κατοικιών [26]...	42
Εικόνα 4. Οι πέντε (5) βασικές αρχές ενός Παθητικού Κτιρίου [26]	43
Εικόνα 5. Μηχανικός αερισμός με ανάκτηση θερμότητας [26]	44
Εικόνα 6. Η ενεργειακή ισορροπία ενός υλικού [28]	47
Εικόνα 7. Σχηματική απεικόνιση της επίδρασης των ψυχρών υλικών [29]	48
Εικόνα 8. Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας σε συστήματα οροφής [28]	52
Εικόνα 9. Η οπτική απόκριση διαφορετικών γενεών δομικών υλικών σε ψυχρές και θερμές περιόδους [33]	53
Εικόνα 10. Σχηματική αναπαράσταση θερμοχρωμικού μηχανισμού λευκοβαφών [33].....	55
Εικόνα 11. Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του θερμοχρωμικού υαλοπίνακα [35]	57
Εικόνα 12. Σχηματική αναπαράσταση της δομής του θερμοχρωμικού υαλοπίνακα RavenWindow της εταιρείας RavenBrick, LLC [37].....	59
Εικόνα 13. Σχηματική αναπαράσταση κατασκευής του θερμοχρωμικού υαλοπίνακα Suntuitive [38]	60
Εικόνα 14. Θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες Suntuitive, στα αριστερά σε κατάσταση ελάχιστης διαπερατότητας και στα δεξιά σε κατάσταση μέγιστης διαπερατότητας [38].....	60
Εικόνα 15. Θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες RavenWindow, στα αριστερά σε κατάσταση μέγιστης διαπερατότητας και στα δεξιά σε κατάσταση ελάχιστης διαπερατότητας [37]...	61
Εικόνα 16. Μηχανισμός λειτουργίας των Υλικών Αλλαγής Φάσης (ΥΑΦ) [41]	62
Εικόνα 17. Εφαρμογές και λειτουργία PCM σε κτίρια [44]	67
Εικόνα 18. Περιβάλλον DesignBuilder	70
Εικόνα 19. Σχηματική αναπαράσταση της ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίου στο EnergyPlus [46].....	74
Εικόνα 20. Κάτοψη κτιρίου και βασικές γεωμετρικές διαστάσεις [47].....	77
Εικόνα 21. Αξονομετρική Όψη (Νοτιοανατολικός Προσανατολισμός - NA).....	78
Εικόνα 22. Όψεις κτιρίου (α) Νότια, (β) Ανατολική, (γ) Βόρεια και (δ) Δυτική.....	79
Εικόνα 23. Δομή Εξωτερικών Τοίχων.....	81
Εικόνα 24. Δομή Δαπέδου.....	82
Εικόνα 25. Δομή Οροφής.....	84
Εικόνα 26. Δομή Εξωτερικής Πόρτας.....	85
Εικόνα 27. Πλάκες και σφαιρίδια διογκωμένης πολυστερίνης [50]	99
Εικόνα 28. Είδη υαλοπινάκων (Μονός, Διπλός και Τριπλός) [51].....	105
Εικόνα 29. Φωτοβολταϊκό SHARP, NUSC360 [53]	142
Εικόνα 30. Εξωτερική όψη κατοικίας ύστερα από την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών.....	144

Εικόνα 31. Εξωτερική όψη κατοικίας ύστερα από την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών  
..... 147

## 12. Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Οι χώρες της ΕΕ με τα μεγαλύτερα ποσοστά νοικοκυριών που δεν μπορούσαν να θερμάνουν επαρκώς τα σπίτια τους το 2020 (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [5]) .....	13
Διάγραμμα 2. Αυξήσεις τιμών στην ηλεκτρική ενέργεια και ενέργεια θέρμανσης [6].....	14
Διάγραμμα 3. Μείγμα καυσίμου στην ηλεκτροπαραγωγή το 2023 (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [9]) .....	16
Διάγραμμα 4. Η 10ετία της απολιγνιτοποίησης, εξέλιξη του μείγματος ηλεκτροπαραγωγής (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [10]).....	16
Διάγραμμα 5. Ποσοστιαία κατανομή κλάδων στην τελική κατανάλωση ενέργειας, Ελλάδα 2021 (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [9]).....	17
Διάγραμμα 6. Συμμετοχή καυσίμων στην τελική ενεργειακή κατανάλωση, Ελλάδα 2021 (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [9]).....	18
Διάγραμμα 7. Μέση Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας ανά νοικοκυριό (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [6]) .....	20
Διάγραμμα 8. Ποσοστιαία (%) κατανομή κατανάλωσης θερμικής ενέργειας κατά τύπο καυσίμου (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [6]) .....	21
Διάγραμμα 9. Ποσοστιαία (%) κατανομή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τελική χρήση (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [6]).....	21
Διάγραμμα 10. Ποσοστιαία κατανομή κτιριακού αποθέματος στην Ελλάδα με βάση τη χρήση (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [13]).....	22
Διάγραμμα 11. Ποσοστιαία κατανομή του πλήθους των κτιρίων στην Ελλάδα με βάση τη περίοδο κατασκευής (Δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά [13]) .....	24
Διάγραμμα 12. Πλήθος ΠΕΑ ανά δεκαετία κατασκευής και ενεργειακή κατηγορία σύμφωνα με στατιστική ανάλυση για το έτος 2016 [13] .....	25
Διάγραμμα 13. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στα κράτη-μέλη της ΕΕ-27, 2018 [10]	27
Διάγραμμα 14. Μεριδίο του κλάδου ενέργειας στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ-27, 2018 [10] .....	28
Διάγραμμα 15. Σύγκριση της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας για τεχνητό φωτισμό και της απαιτούμενης ενέργειας για ψύξη μεταξύ διαφόρων ειδών έξυπνων υαλοπινάκων [35] .....	58
Διάγραμμα 16. Ταξινόμηση Υλικών Αλλαγής Φάσης βάσει της χημικής σύστασης [41].....	64
Διάγραμμα 17. Σχέση μεταξύ της ενθαλπίας τήξης PCM και της θερμοκρασίας για τις διαφορετικές ομάδες PCM [43] .....	66
Διάγραμμα 18. Πρόγραμμα Λειτουργίας Συσκευών .....	89
Διάγραμμα 19. Πρόγραμμα Λειτουργίας Εσωτερικού Φωτισμού .....	90
Διάγραμμα 20. Πρόγραμμα Λειτουργίας Πληρότητας.....	91
Διάγραμμα 21. Δεδομένα καιρού για την εξεταζόμενη τοποθεσία από τη βάση δεδομένων DesignBuilder (Άμεση και Διάχυτη Ηλιακή Ακτινοβολία $KW/m^2$ ).....	92

Διάγραμμα 22. Δεδομένα θερμοκρασίας για την τοποθεσία του εξεταζόμενου κτιρίου από τη βάση δεδομένων DesignBuilder .....	93
Διάγραμμα 23. Εσωτερική Θερμοκρασία Κτιρίου .....	94
Διάγραμμα 24. Σύγκριση Αποτελεσμάτων του μοντέλου με τα δεδομένα της Βιβλιογραφίας για τη Θέρμανση .....	95
Διάγραμμα 25. Σύγκριση Αποτελεσμάτων του μοντέλου με τα δεδομένα της Βιβλιογραφίας για τη Ψύξη.....	95
Διάγραμμα 26. Σύγκριση μηνιαίων θερμικών φορτίων θέρμανσης και ψύξης για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της ενισχυμένης μόνωσης .....	103
Διάγραμμα 27. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της ενισχυμένης μόνωσης .....	103
Διάγραμμα 28. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης πετρελαίου για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της ενισχυμένης μόνωσης.....	104
Διάγραμμα 29. Σύγκριση μηνιαίων θερμικών φορτίων θέρμανσης και ψύξης για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της αντικατάστασης παραθύρων .....	108
Διάγραμμα 30. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της αντικατάστασης παραθύρων .....	108
Διάγραμμα 31. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης πετρελαίου για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της αντικατάστασης παραθύρων.....	109
Διάγραμμα 32. Σύγκριση μηνιαίων θερμικών φορτίων θέρμανσης και ψύξης για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της χρήσης ψυχρής βαφής οροφής.....	112
Διάγραμμα 33. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της χρήσης ψυχρής βαφής οροφής.....	112
Διάγραμμα 34. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης πετρελαίου για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της χρήσης ψυχρής βαφής οροφής .....	113
Διάγραμμα 35. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της νέας αντλίας θερμότητας .....	115
Διάγραμμα 36. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης πετρελαίου για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της νέας αντλίας θερμότητας .....	116
Διάγραμμα 37. Σύγκριση μηνιαίων θερμικών φορτίων θέρμανσης και ψύξης για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (1-2)....	118
Διάγραμμα 38. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (1-2) .....	118
Διάγραμμα 39. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης πετρελαίου για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (1-2) .....	119
Διάγραμμα 40. Σύγκριση μηνιαίων θερμικών φορτίων θέρμανσης και ψύξης για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (1-3)....	121
Διάγραμμα 41. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (1-3) .....	121
Διάγραμμα 42. Σύγκριση μηνιαίας κατανάλωσης πετρελαίου για τις περιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης και της συνδυαστικής παρέμβασης (1-3) .....	122



Διάγραμμα 62. Σύγκριση μηνιαίων καταναλώσεων και παραγωγών ρεύματος για την υφιστάμενη κατάσταση, ύστερα από την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος ..... 146

Διάγραμμα 63. Σύγκριση μηνιαίων καταναλώσεων και παραγωγών ρεύματος για την συνδυαστική παρέμβαση {1-2-3-4}, ύστερα από την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος ..... 149



### 13. Βιβλιογραφία

- [1] “Ενεργειακή φτώχεια - ETERON Στέγαση.” Accessed: Mar. 28, 2024. [Online]. Available: <https://stegasi360.eteron.org/energeiaki-ftocheia/>
- [2] C. Tourkolias, “Σχέδιο Δράσης για την Καταπολέμηση της Ενεργειακής Ένδειας”.
- [3] “Energy Poverty Advisory Hub”, [Online]. Available: [https://energy-poverty.ec.europa.eu/about-us\\_en](https://energy-poverty.ec.europa.eu/about-us_en)
- [4] E. Kontonasiou, B. Atanasiu, and F. Mariottini, “FUEL POVERTY MITIGATION THROUGH ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS”.
- [5] “EUROSTAT.” [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/statistical-themes>
- [6] “ΕΛΣΤΑΤ.pdf.”
- [7] “Το μέλλον της ενέργειας - Ενεργειακή Φτώχεια στην Ελλάδα.” Ίδρυμα Heinrich Boll Stiftung, 2019. [Online]. Available: <https://gr.boell.org/el/mellon-tis-energeias-0>
- [8] Φ. ΒΑΤΑΒΑΛΗ and E. ΧΑΤΖΗΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ, *Γεωγραφίες της ενεργειακής φτώχειας στην Αθήνα της κρίσης. Τρία κείμενα και έξι ιστορίες πολυκατοικιών*. Angelus Novus.
- [9] “Ο Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας - Ετήσια Έκθεση 2023.” IENE - Ινστιτούτο Ενέργειας ΝΑ Ευρώπης. [Online]. Available: [file:///C:/Users/user/Desktop/THESIS/%CE%9A%CE%95%CE%A6%CE%91%CE%9B%CE%91%CE%99%CE%9F%202/IENE\\_MELETI\\_2023\\_web.pdf](file:///C:/Users/user/Desktop/THESIS/%CE%9A%CE%95%CE%A6%CE%91%CE%9B%CE%91%CE%99%CE%9F%202/IENE_MELETI_2023_web.pdf)
- [10] N. Βέττας, S. Danchev, Γ. Μανιάτης, N. Παρατσιώκας, and K. Βαλάσκας, “Ο Τομέας Ενέργειας στην Ελλάδα: Τάσεις, Προοπτικές και Προκλήσεις.” *διαΝΕΟσις*, IOBE, 2021. [Online]. Available: [https://iobe.gr/docs/research/RES\\_05\\_25042021\\_REP\\_GR.pdf](https://iobe.gr/docs/research/RES_05_25042021_REP_GR.pdf)
- [11] “ΥΠΕΝ Αρχική -.” Accessed: Mar. 28, 2024. [Online]. Available: <https://ypen.gov.gr/>
- [12] “EU Building Stock Observatory.” Accessed: Mar. 28, 2024. [Online]. Available: [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/eu-building-stock-observatory\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/eu-building-stock-observatory_en)
- [13] “Έκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής ανακαίνισης του δημόσιου και ιδιωτικού κτιριακού αποθέματος και μετατροπής του σε κτιριακό δυναμικό απαλλαγμένο από ανθρακούχες εκπομπές και υψηλής ενεργειακής απόδοσης έως το έτος 2050, διευκολύνοντας την οικονομικά αποδοτική μετατροπή υφιστάμενων κτιρίων σε κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας, Άρθρο 2Α ν. 4122/2013.” *ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ*, 2021. [Online]. Available: <https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2021/03/%CE%A5%CE%91->

20334\_148\_01.03.2021\_%CE%A6%CE%95%CE%9A\_974-B-12.03.2021\_%CE%9C%CE%91%CE%9A%CE%A1%CE%9F%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%98%CE%95%CE%A3%CE%9C%CE%97-%CE%A3%CE%A4%CE%A1%CE%91%CE%A4%CE%97%CE%93%CE%99%CE%9A%CE%97-%CE%91%CE%9D%CE%91%CE%9A%CE%91%CE%99%CE%9D%CE%99%CE%A3%CE%97%CE%A3-%CE%9A%CE%A4%CE%99%CE%A1%CE%99%CE%A9%CE%9D-%CE%95%CE%A9%CE%A3-%CE%A4%CE%9F-2050.pdf

[14] “IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change.” Accessed: Mar. 27, 2024. [Online]. Available: <https://www.ipcc.ch/>

[15] “Fit for 55: Οικολογικότερα κτίρια στην ΕΕ - Consilium.” Accessed: Mar. 27, 2024. [Online]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/el/infographics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/>

[16] “Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050 -.” Accessed: Mar. 28, 2024. [Online]. Available: <https://ypen.gov.gr/energeia/esek/lts/>

[17] “Energy Performance of Buildings Directive.” Accessed: Mar. 28, 2024. [Online]. Available: [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en)

[18] “Renovation wave.” Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en)

[19] “REPowerEU.” Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en)

[20] “ΥΠΕΝ - Μητρώο Ενεργειακών Επιθεωρητών & Αρχείο Ενεργειακών Επιθεωρήσεων.” Accessed: Apr. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.buildingcert.gr/>

[21] “Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων -.” Accessed: Mar. 28, 2024. [Online]. Available: <https://ypen.gov.gr/energeia/energeiaki-exoikonomisi/ktiria/kenak/>

[22] “TOTEE 20701-3 2010 3rd.” [Online]. Available: <https://portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/totee/TOTEE-20701-3-Final-TEE%202nd.pdf>

[23] “TOTEE 20701-1 2017 1st.”

[24] “<https://www.kenak.gr/pea.htm>.” Accessed: Jun. 12, 2024. [Online]. Available: [https://search.yahoo.com/search?fr=mcafee\\_uninternational&type=E210GR91213G0&p=https%3A%2F%2Fwww.kenak.gr%2Fpea.htm&nojs=1](https://search.yahoo.com/search?fr=mcafee_uninternational&type=E210GR91213G0&p=https%3A%2F%2Fwww.kenak.gr%2Fpea.htm&nojs=1)

- [25] “Εθνικό Σχέδιο Ενέργειας και Κλίματος - Προσχέδιο αναθεωρημένης Έκδοσης.” Ελληνική Δημοκρατία - Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2023. [Online]. Available: [https://commission.europa.eu/document/download/83ffdc95-2d22-4c67-8d4c-a3e59f752921\\_el?filename=GREECE%20-%20DRAFT%20UPDATED%20NECP%202021-2030%20EL.pdf](https://commission.europa.eu/document/download/83ffdc95-2d22-4c67-8d4c-a3e59f752921_el?filename=GREECE%20-%20DRAFT%20UPDATED%20NECP%202021-2030%20EL.pdf)
- [26] “Παθητικό Κτίριο - Πέντε Βασικές Αρχές, Ελληνικό Ινστιτούτο Παθητικού Κτιρίου.” Accessed: Jun. 19, 2024. [Online]. Available: <https://eipak.org/pathitiko-ktirio-passive-house/ti-einai>
- [27] D. M. Addington, *Smart materials and technologies: or the architecture and design professions*, First issued in hardback. New York London: Routledge, 2016.
- [28] K. Gobakis, “Design and development of smart cool materials for the built environment,” Technical University of Crete, 2018. [Online]. Available: <https://freader.ekt.gr/eadd/index.php?doc=42705>
- [29] C. Mourou, M. Zamorano, D. P. Ruiz, and M. Martin-Morales, “Cool Surface Strategies with an Emphasis on the Materials Dimension: A Review,” p. 24, 2022.
- [30] “Θερμομονωτικά Ψυχρά Χρώματα - Χρώματα | Βερνίκια | Μονωτικά | Σφραγιστικά | Συγκολλητικά | Μιχόπουλος | από το 1957.” Accessed: May 09, 2024. [Online]. Available: <https://www.paints-mihopoulos.gr/thermomonwtika-psyxra-xrwmata>
- [31] K. Magerl, “What Is a Cool Roof?” Accessed: May 09, 2024. [Online]. Available: <https://roofgnome.com/blog/roofing/what-is-a-cool-roof/>
- [32] A. Kitsopoulou, E. Bellos, C. Sammoutos, P. Lykas, M. G. Vrachopoulos, and C. Tzivanidis, “A detailed investigation of thermochromic dye-based roof coatings for Greek climatic conditions,” *J. Build. Eng.*, vol. 84, p. 108570, May 2024, doi: 10.1016/j.job.2024.108570.
- [33] S. Garshasbi and M. Santamouris, “Using advanced thermochromic technologies in the built environment: Recent development and potential to decrease the energy consumption and fight urban overheating,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 191, pp. 21–32, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.solmat.2018.10.023.
- [34] M. Saeli, C. Piccirillo, I. P. Parkin, R. Binions, and I. Ridley, “Energy modelling studies of thermochromic glazing,” *Energy Build.*, vol. 42, no. 10, pp. 1666–1673, Oct. 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.04.010.
- [35] M. Kamalisarvestani, R. Saidur, S. Mekhilef, and F. S. Javadi, “Performance, materials and coating technologies of thermochromic thin films on smart windows,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 26, pp. 353–364, Oct. 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.05.038.

- [36] Π. Ντελάλης, “Επίδραση των θερμοχρωμικών υαλοπινάκων στην ενεργειακή απόδοση κτιρίων,” Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [37] “Smart Glass Technology | Dynamic Smart Windows.” Accessed: May 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.ravenwindow.com/smart-window-technology>
- [38] “Thermochromic Dynamic Glass works BETTER | Suntuitive Dynamic Glass.” Accessed: May 13, 2024. [Online]. Available: <https://suntuitiveglass.com/thermochromic-dynamic-glass/>
- [39] H. Akeiber *et al.*, “A review on phase change material (PCM) for sustainable passive cooling in building envelopes,” *ScienceDirect*, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116002719>
- [40] Β. Γενεράλη, “Χρήση Υλικών Αλλαγής Φάσης (PCM) σε εσωτερικούς τοίχους, με συναλλαγή θερμότητας εκατέρωθεν και ηλκική φόρτιση από μία ή δύο κατευθύνσεις,” Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2014.
- [41] G. Hekimoglu and A. Sari, “A review on phase change materials (PCMs) for thermal energy storage implementations,” 2022, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322008616>
- [42] S. B. Romdhane, A. Amamou, R. B. Khalifa, N. M. Saïd, Z. Younsi, and A. Jemni, “A review on thermal energy storage using phase change materials in passive building applications,” *ScienceDirect*, p. 18, 2020.
- [43] D. Zhou, C. Y. Zhao, and Y. Tian, “Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications,” *Appl. Energy*, vol. 92, pp. 593–605, Apr. 2012, doi: 10.1016/j.apenergy.2011.08.025.
- [44] “Impregnation of PCMs in Building Materials | SpringerLink.” Accessed: Apr. 23, 2024. [Online]. Available: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-97499-6\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-97499-6_2)
- [45] “DesignBuilder Software Ltd - Home.” Accessed: Jun. 12, 2024. [Online]. Available: <https://designbuilder.co.uk/>
- [46] “EnergyPlus.” Accessed: Apr. 05, 2024. [Online]. Available: <https://energyplus.net/>
- [47] F. Kotarela, A. Kyritsis, R. Agathokleous, and N. Papanikolaou, “On the exploitation of dynamic simulations for the design of buildings energy systems,” *Energy*, vol. 271, p. 127002, May 2023, doi: 10.1016/j.energy.2023.127002.
- [48] “TOTEE\_20701-1\_2017\_TEE\_1st\_Edition.pdf.”
- [49] “TOTEE 20701-3 Final.”

[50] “Styropan | Διογκωμένη πολυστερίνη EPS- Χαρακτηριστικά, πλεονεκτήματα & εφαρμογές της.” Accessed: Jun. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.styropan.gr/proionta/thermomonotika/diogkomeni-polisterini/ti-einai>

[51] “Κριτήρια επιλογής ενεργειακών υαλοπινάκων - ktirio.gr.” Accessed: Jun. 05, 2024. [Online]. Available: <https://ktirio.gr/el/%CE%B5%CF%86%CE%B1%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%B5%CF%82/%CE%BA%CE%BF%CF%85%CF%86%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1/%CE%BA%CF%81%CE%B9%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%B1-%CE%B5%CF%80%CE%B9%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AE%CF%82-%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8E%CE%BD-%CF%85%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CF%80%CE%B9%CE%BD%CE%AC%CE%BA%CF%89%CE%BD>

[52] “Φωτοβολταϊκά στη Στέγη: Πλήρης οδηγός της επιδότησης - espa.io.” Accessed: Jun. 19, 2024. [Online]. Available: <https://espa.io/fotovoltaika-sti-stegi-pliris-odigos-gia-epidotisi-eos-75-tois-ekato/>

[53] “panel\_sharp\_NUSC360.pdf.”

[54] “JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission.” Accessed: Jun. 20, 2024. [Online]. Available: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)

[55] “Τι είναι το Net Metering;” Accessed: Jun. 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.photovoltaiic.gr/en/blog/law-branch/%CF%84%CE%B9-%CE%B5%CE%B9%CE%BD%CE%B1%CE%B9-%CF%84%CE%BF-net-metering.html>