

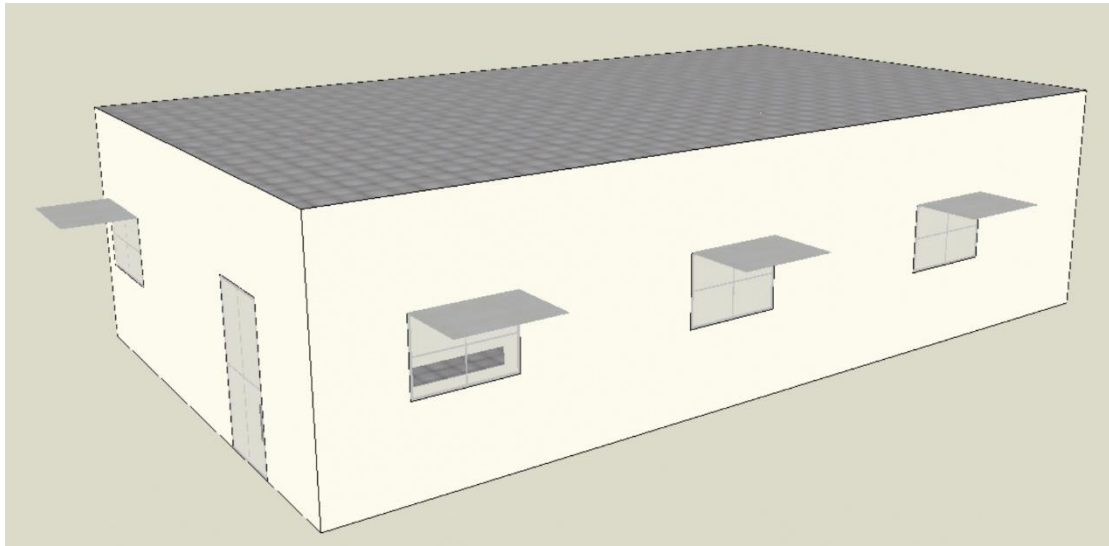


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

2023

Διπλωματική Εργασία

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ ΣΕ ΜΟΝΤΕΛΟ
ΚΤΗΡΙΟΥ ΣΧΕΔΟΝ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ, ΜΕ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ



ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΑΓΓΕΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ:
ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΜΑΪΤΟΣ
ΚΟΣΜΑΣ ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ

Αθήνα, Ιούλιος 2023

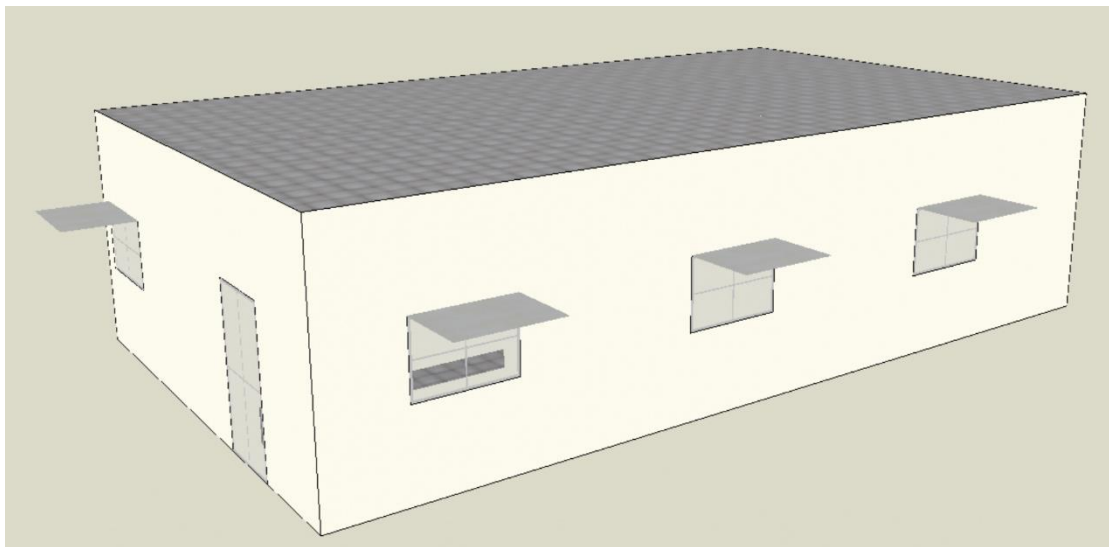


UNIVERSITY OF WEST ATTICA
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

2023

Diploma Thesis

EVALUATION OF A HEATING AND COOLING SYSTEM IN A NEAR-ZERO
ENERGY BUILDING MODEL, WITH SIMULATION



GIANNOPOULOS GEORGIOS ANGELOS

SUPERVISORS:
ANTONIS MAITOS
KOSMAS KAVADIAS

Athens, July 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

2023

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ ΣΕ ΜΟΝΤΕΛΟ
ΚΤΗΡΙΟΥ ΣΧΕΔΟΝ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ, ΜΕ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή :

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Καββαδίας Κοσμάς	
2	Νάζος Αντώνιος	
3	Μαϊτός Αντώνιος	

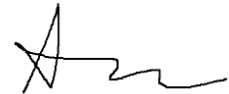
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Γιαννόπουλος Γεώργιος Άγγελος του Βασιλείου, με αριθμό μητρώου 04157 φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα



Πίνακας Περιεχομένων

Σύνοψη.....	7
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	8
1.1 Εισαγωγή στα Κτηρίου ZEB και nZEB.....	8
1.2 Ισοζύγιο ενέργειας κτηρίων ZEB και nZEB.....	10
1.3 Αναγκαιότητα ύπαρξης ZEB και nZEB.....	13
Κεφάλαιο 2: Τεχνικές και Τεχνολογίες Μείωσης της Ενεργειακής Ζήτησης Κτηρίου.....	15
2.1 Βιοκλιματικός Σχεδιασμός.....	15
2.2 Αντλίες Θερμότητας.....	17
2.2.1 Αρχή Λειτουργίας.....	17
2.2.2 Βαθμός Απόδοσης Αντλίας Θερμότητας.....	18
2.2.3 Βασικά Μέρη Αντλίας Θερμότητας.....	18
2.2.4 Κατηγορίες Αντλιών Θερμότητας.....	19
2.3 Αερισμός με Ανάκτηση Θερμότητας.....	21
Κεφάλαιο 3: Λογισμικά Προσομοίωσης.....	23
3.1 Ενεργειακή Προσομοίωση Κτηρίων.....	23
3.2 EnergyPlus.....	24
3.3 DesignBuilder.....	24
3.4 OpenStudio.....	26
Κεφάλαιο 4: Μελέτη Περίπτωσης.....	27
4.1 Παρουσίαση Κτηριακού Κελύφους.....	27
4.2 Θερμομονωτική Επάρκεια.....	31
4.3 Θέρμανση Κτηρίου.....	36
4.3.1 Λέβητας πετρελαίου.....	36
4.3.2 Λέβητας φυσικού αερίου.....	39
4.3.3 Αντλία θερμότητας με Θερμαντικά Σώματα.....	40
4.4 Ψύξη και Κλιματισμός Κτηρίου.....	41
4.4.1 Κλιματιστικές μονάδες διαιρούμενου τύπου.....	41
4.5 Ζεστό Νερό Χρήσης.....	42

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα.....	45
5.1 Αποτελέσματα.....	45
5.2 Οικονομική απόσβεση αντλίας θερμότητας.....	46
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα.....	48
Βιβλιογραφία.....	49

Ευρετήριο Πινάκων

<i>Πίνακας 1: Εύρος τιμών ενεργειακών καταναλώσεων.....</i>	<i>8</i>
<i>Πίνακας 2: Συντελεστές πρωτογενούς ενέργειας.....</i>	<i>12</i>
<i>Πίνακας 3: Τα πιο Διαδεδομένα Προγράμματα Ενεργειακής Προσομοίωσης Κτηρίων και Κάποια Βασικά Χαρακτηριστικά τους.....</i>	<i>23</i>
<i>Πίνακας 4: Υλικά κατασκευής τοιχωμάτων.....</i>	<i>27</i>
<i>Πίνακας 5: Υλικά κατασκευής οροφής.....</i>	<i>27</i>
<i>Πίνακας 6: Υλικά κατασκευής δαπέδου.....</i>	<i>28</i>
<i>Πίνακας 7: Βασικά μεγέθη κτηρίου.....</i>	<i>28</i>
<i>Πίνακας 8: Βασικά δεδομένα κτηρίου.....</i>	<i>28</i>
<i>Πίνακας 9: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτηρίου.....</i>	<i>32</i>
<i>Πίνακας 10: Συντελεστής θερμοπερατότητας τοιχωμάτων.....</i>	<i>33</i>
<i>Πίνακας 11: Συντελεστής θερμοπερατότητας οροφής.....</i>	<i>33</i>
<i>Πίνακας 12: Συντελεστής θερμοπερατότητας δαπέδου.....</i>	<i>34</i>
<i>Πίνακας 13: Κατακόρυφες Θερμογέφυρες.....</i>	<i>35</i>
<i>Πίνακας 14: Οριζόντιες Θερμογέφυρες.....</i>	<i>35</i>
<i>Πίνακας 15: Συνολικοί συντελεστές και μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτηρίου.....</i>	<i>35</i>
<i>Πίνακας 16: Μηνιαία θερμοκρασία χώρων και περιβάλλοντος, καθώς και κατανάλωση ενέργειας κατά την λειτουργία του λέβητα πετρελαίου.....</i>	<i>37</i>
<i>Πίνακας 17: Μηνιαία θερμοκρασία χώρων και κατανάλωση ενέργειας κατά την λειτουργία του λέβητα φυσικού αερίου.....</i>	<i>39</i>
<i>Πίνακας 18: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας και θερμοκρασία χώρου κατά την λειτουργία της αντλίας θερμότητας.....</i>	<i>40</i>
<i>Πίνακας 19: Μηνιαία θερμοκρασία χώρων και κατανάλωση ενέργειας κατά την λειτουργία των κλιματιστικές μονάδες.....</i>	<i>41</i>

Πίνακας 20: Μηνιαία απαιτούμενη ενέργεια για την κάλυψη του ζεστού νερού χρήσης και βασικά δεδομένα για τον υπολογισμό του ποσοστού κάλυψης ηλιακού συλλέκτη.....	42
Πίνακας 21: Ποσοστό κάλυψης του συλλέκτη και παραγόμενη ενέργεια.....	44
Πίνακας 22: Συνολικά αποτελέσματα συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.....	45

Σύνοψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι:

- Η δημιουργία και παρουσίαση κτηριακού κελύφους με θερμομονωτική επάρκεια σύμφωνη με την θερμομονωτική επάρκεια που ορίζει ο ΚΕΝΑΚ για τα κτήρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.
- Η εγκατάσταση και παρουσίαση συστημάτων Θέρμανσης – Ψύξης – Κλιματισμού στο κτήριο με σκοπό την αξιολόγησή τους, συγκρίνοντας την ενεργειακή τους κατανάλωση, μεταξύ τους αλλά και με την ενεργειακή κατανάλωση που ορίζεται για τα κτήρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης..

Στην παρούσα εργασία θα δημιουργηθεί μοντέλο του κτηριακού κελύφους με την χρήση του προγράμματος δυναμικής προσομοίωσης κτηρίων DesignBuilder. Με το πρόγραμμα DesignBuilder θα δημιουργηθεί η γεωμετρία του κτηρίου, θα γίνει επιλογή των υλικών του κελύφους, καθώς και τοποθέτηση περαιτέρω στοιχείων όπως σκίαστρα στα παράθυρα.

Θα γίνει υπολογισμός της απαιτούμενης ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών ζεστού νερού χρήσης, καθώς και υπολογισμός του ποσοστού κάλυψης αυτής τις ενέργειας από ηλιακούς συλλέκτες.

Τέλος, με την χρήση του προγράμματος DesignBuilder θα γίνει εγκατάσταση των συστημάτων Θέρμανσης – Ψύξης – Κλιματισμού και παρθούν τα αποτελέσματα ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου για κάθε σύστημα που επιλέχθηκε. Τα αποτελέσματα θα συγκριθούν μεταξύ τους και θα αξιολογηθούν.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή στα Κτήρια ZEB και nZEB

Κάθε κτήριο, είτε πρόκειται για την κατοικία μιας οικογένειας, είτε για τον χώρο που στεγάζεται μια επιχείρηση, έχει πάντα έναν αριθμό ενεργειακών αναγκών που πρέπει να καλυφθούν ώστε να μπορούν άνθρωποι να ζήσουν ή να εργαστούν σε αυτό. Για την κάλυψη αυτών των ενεργειακών αναγκών απαιτείται συνήθως η αγορά του μεγαλύτερου ποσοστού της ενέργειας από παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων. Η εξάρτηση ενός κτιρίου, για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του, από παρόχους ενέργειας και καυσίμων έρχεται πάντα και με ένα χρηματικό κόστος, είτε η καύση γίνεται στο ίδιο το κτήριο, είτε από τους παρόχους ενέργειας.

Τα κτήρια μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (ZEB ή ΚΜΚΕ) είναι ένας υπερσύγχρονος τύπος κτηρίου που σχεδιάζεται και χτίζεται με σκοπό την εκμηδένιση του ισοζυγίου ενέργειας ενός κτηρίου. Αντίστοιχα, τα κτήρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB ή ΚΣΜΚΕ) είναι κτήρια με παρά πολύ μικρό ισοζύγιο ενέργειας αλλά όχι εκμηδενισμένο. Η μείωση της ενεργειακής ζήτησης που επιτυγχάνουν τα κτήρια ZEB και nZEB οδηγεί σε μεγάλο βαθμό και στην απεξάρτηση αυτών των κτηρίων από παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων. Η απεξάρτηση αυτή με τη σειρά της οδηγεί στη μείωση του χρηματικού κόστους και της παραγωγής καυσαερίων που οφείλονται άμεσα ή έμμεσα στην κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης του κτηρίου [1][2].

Όλα τα κτήρια χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την ενεργειακή τους κατανάλωση. Αυτές οι κατηγορίες όμως διαφέρουν από χώρα σε χώρα ακόμα και εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτό συμβαίνει λόγω των διαφορών στις νομοθεσίες κάθε κράτους, αλλά και των διάφορων μεθόδων υπολογισμού του ενεργειακού ισοζυγίου ενός κτηρίου [3][4].

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με την ΥΠΕΝ/ΔΕΠΕΑ/85251/242 τα κτήρια κατατάσσονται σε ενεργειακές κατηγορίες όπως φαίνεται στον Πίνακα 1 [5].

Πίνακας 1: Εύρος τιμών ενεργειακών καταναλώσεων [5].

Ενεργειακή κατηγορία	Ενεργειακές καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας κτιρίων κατοικίας ανά Κλιματική Ζώνη (kWh/m ² a)			
	A	B	Γ	Δ
A+	11 - 25	14 - 35	10 - 44	17 - 36
A	18 - 56	21 - 55	26 - 74	54 - 88
B+	32 - 81	31 - 99	45 - 125	37 - 128
B	45 - 112	56 - 126	72 - 172	63 - 184
Ενεργειακή κατηγορία	Ενεργειακές καταναλώσεις κτιρίων τριτογενούς τομέα ανά Κλιματική Ζώνη (kWh/m ² a)			
	A	B	Γ	Δ
A+	12 - 77	14 - 91	52 - 69	30
A	65 - 185	41 - 114	68 - 119	82
B+	98 - 218	60 - 196	99 - 218	105 - 156
B	133 - 266	115 - 245	120 - 280	149 - 218

Σύμφωνα με την ίδια υπουργική απόφαση, για να θεωρηθεί ένα καινούριο κτήριο στην Ελλάδα nZEB θα πρέπει να βρίσκεται τουλάχιστον στην ενεργειακή κατηγορία A, ενώ ένα υφιστάμενο κτήριο τουλάχιστον στην κατηγορία B+ [5].

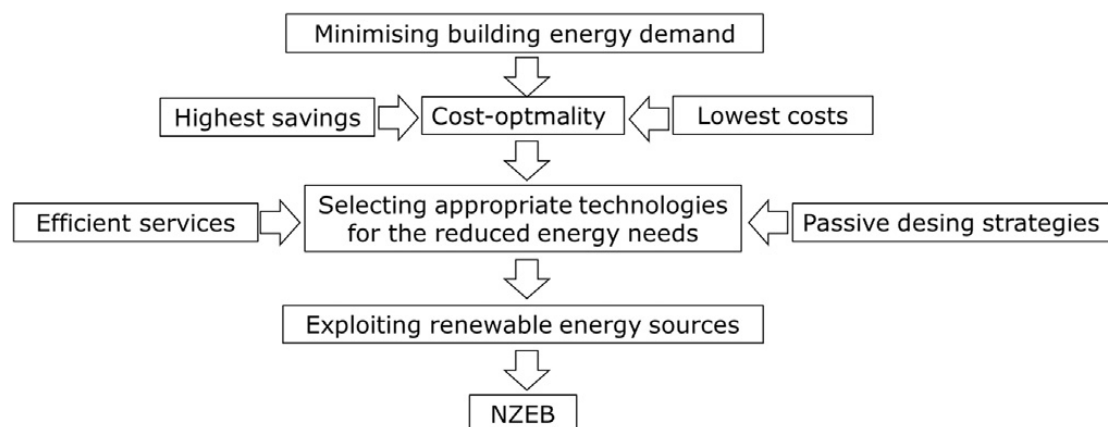
Αρχικά, για τη μείωση της ενεργειακής ζήτησης ενός κτιρίου γίνεται η χρήση τεχνολογιών και τεχνικών που συμβάλουν στην κάλυψη διαφόρων αναγκών του κτηρίου χωρίς να απαιτούν την κατανάλωση ενέργειας. Αυτές οι τεχνικές και τεχνολογίες κάνουν συνήθως εκμετάλλευση φυσικών πόρων όπως ο ήλιος και ο άνεμος. Με την επιλεκτική χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να γίνει φυσική θέρμανση και φωτισμός των χώρων, καθώς και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Με την κατάλληλη τοποθέτηση των ανοιγμάτων σε ένα κτήριο, μπορεί να επιτυγχάνεται μερικώς, ο φυσικός δροσισμός και αερισμός των χώρων. [6][7]

Εξίσου σημαντική είναι και η δημιουργία ενός κελύφους με όσο το δυνατόν μικρότερες ενεργειακές απώλειες γίνεται. Αυτό περιλαμβάνει σωστή μόνωση και στεγανοποίηση των δομικών στοιχείων, σκίαστρα, και επιλογή κατάλληλων υαλοστασίων για τα κουφώματα του κτιρίου. [6][7]

Στη συνέχεια, εφόσον η κάλυψη ενός μεγάλου ποσοστού των ενεργειακών αναγκών του κτηρίου έχει εξασφαλιστεί από τις παραπάνω αναφερόμενες τεχνολογίες και τεχνικές, γίνεται εγκατάσταση συστημάτων για περαιτέρω κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών. Αυτό περιλαμβάνει συστήματα ΘΨΚ, συστήματα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και συστήματα φωτισμού. Παρόλο που αυτά τα συστήματα απαιτούν κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία τους, υπάρχουν πολλές επιλογές με πολύ καλές ενεργειακές αποδόσεις. Έτσι, η σωστή επιλογή συστημάτων σε συνδυασμό με τη σωστή τους χρήση μπορεί να οδηγήσει σε ένα κτήριο με πολύ μικρή κατανάλωση ενέργειας. [6][7]

Τέλος, γίνεται εγκατάσταση διάφορων ΑΠΕ για την παραγωγή ενέργειας. Αυτή η ενέργεια χρησιμοποιείται για την κάλυψη της ήδη μειωμένης ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου. [6][7]

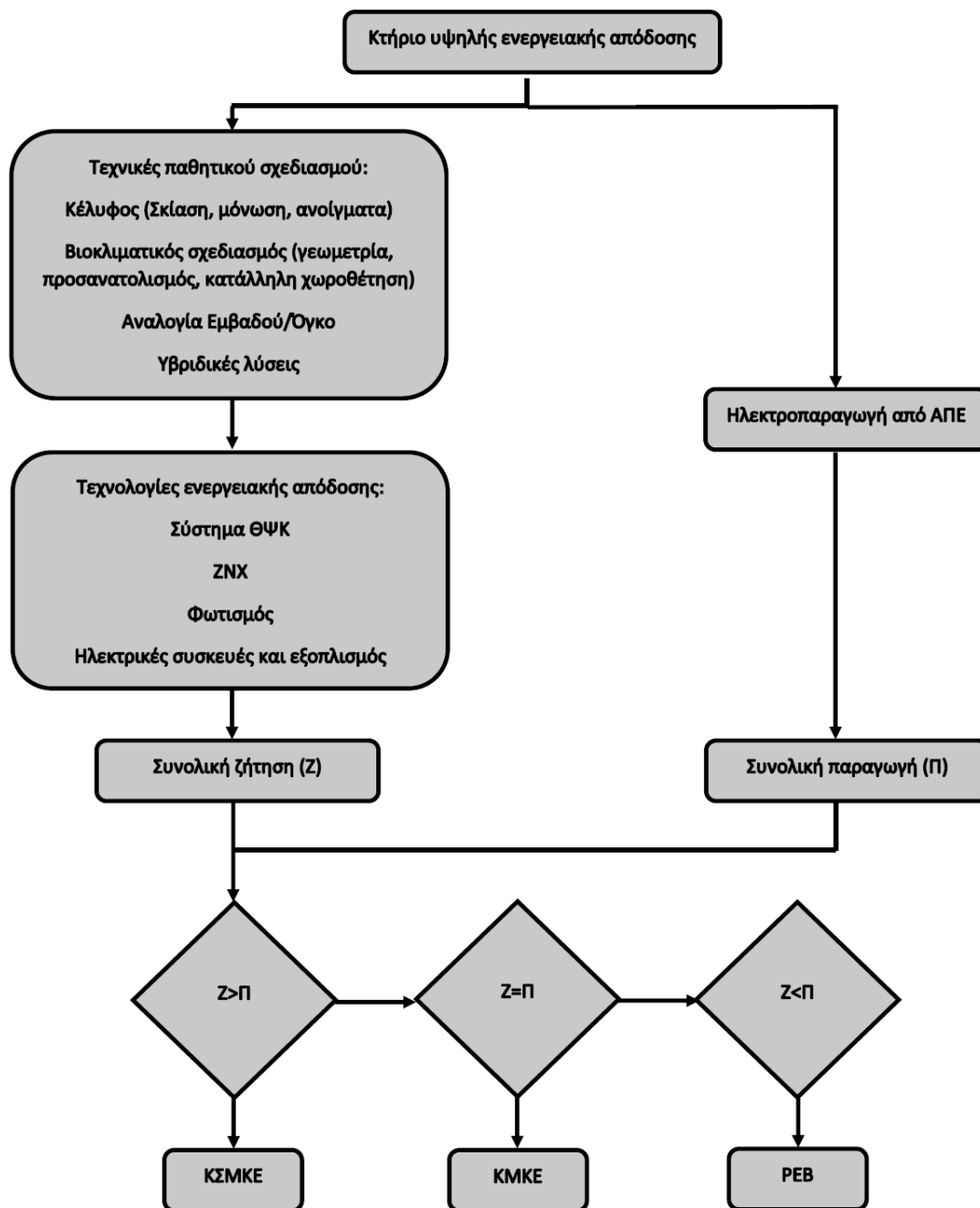
Με λίγα λόγια λοιπόν, ZEB ονομάζεται ένα κτήριο με πολύ χαμηλές ενεργειακές απώλειες, πολύ χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση και παράγει την ενέργεια που τελικά χρειάζεται να καταναλώσει με την χρήση ΑΠΕ. Αντίστοιχα, nZEB ονομάζεται ένα κτήριο που έχει επίσης χαμηλές ενεργειακές απώλειες, χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση και καλύπτει ένα μεγάλο ποσοστό της ενέργειας που χρειάζεται με την χρήση ΑΠΕ. Εδώ προκύπτει και ένας τρίτος τύπος κτηρίων, τα Positive Energy Building (PEV). Στην περίπτωση των PEV η ενέργεια που παράγεται από τα ΑΠΕ του κτηρίου ξεπερνάει την ενεργειακή κατανάλωσή του. Η περίσσεια ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί, να δοθεί στο δίκτυο παροχής ενέργειας ή να χρησιμοποιηθεί από τα γείρω κτήρια.[8][9][10]



Εικόνα 1: Βήματα μείωσης ενεργειακού ισοζυγίου κτηρίου [11].

Σε αυτό το σημείο γίνεται εμφανής και η βασική διαφορά μεταξύ ενός ZEB και ενός nZEB. Επρόκειτο για τη διαφορά μεταξύ της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτηρίου με την ενεργειακή του παραγωγή από ΑΠΕ. Ένα ZEB θα πρέπει να έχει ενεργειακή παραγωγή ίση με την ενεργειακή του κατανάλωση. Ένα nZEB μπορεί να έχει ενεργειακή παραγωγή μικρότερη της ενεργειακής του κατανάλωσης, αρκεί το ποσό της ενεργειακής κατανάλωσης που δεν καλύπτεται από ΑΠΕ να μην ξεπερνάει τα επιτρεπόμενα ποσά της ενεργειακής κατηγορίας που ορίζει η εκάστοτε νομοθεσία για τα nZEB. Κατ' επέκταση, ένα PEV θα πρέπει να έχει ενεργειακή παραγωγή από ΑΠΕ μεγαλύτερη από την ενεργειακή του κατανάλωση.

Το παρακάτω διάγραμμα ροής απεικονίζει με απλό και κατανοητό τρόπο, πώς φτάνουμε στην τελική ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου και στην τελική ενεργειακή παραγωγή από ΑΠΕ. Στη συνέχεια απεικονίζει πως η σχέση μεταξύ αυτών των δυο ποσών καθορίζει τον τύπο ενός κτηρίου.

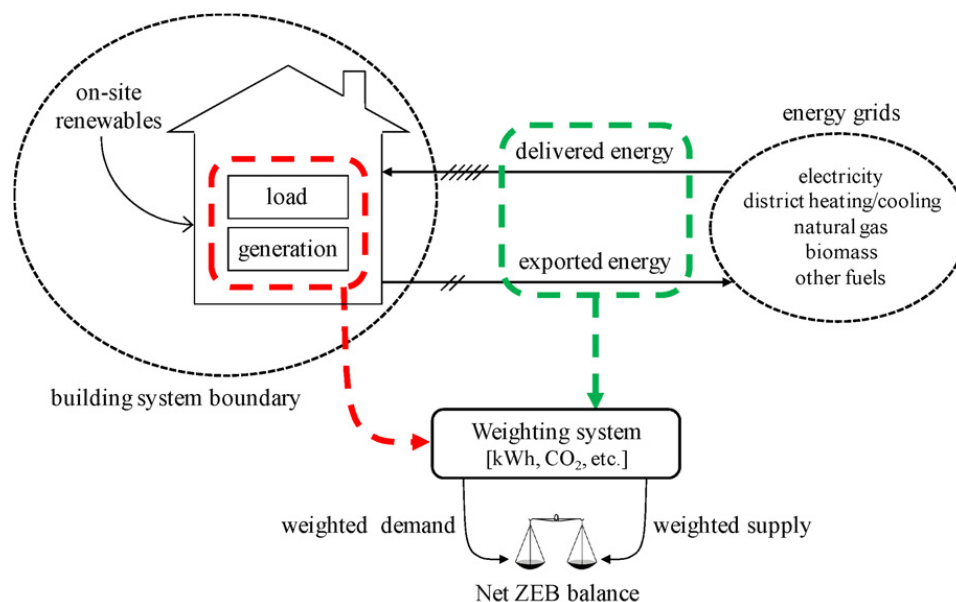


Εικόνα 2 : Τύποι κτηρίων ανάλογα με τη σχέση μεταξύ της ενεργειακής του κατανάλωσης και παραγωγής [7].

1.2 Ισοζύγιο ενέργειας κτηρίων ZEB και nZEB

Για να υπολογιστεί το ενεργειακό ισοζύγιο ενός κτηρίου γίνεται μέτρηση της ενέργειας που δέχεται το κτήριο από το δίκτυο παροχής σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και της ενέργειας από ΑΠΕ που παρέχει το κτήριο πίσω στο δίκτυο. Το χρονικό διάστημα που γίνονται αυτές οι μετρήσεις είναι συνήθως το διάστημα ενός έτους. Ο λόγος που οι μετρήσεις γίνονται στο διάστημα ενός έτους, είναι επειδή οι ενεργειακές ανάγκες ενός κτηρίου μεταβάλλονται συνεχώς όπως μεταβάλλονται και τα ποσά ενέργειας

που παράγουν τα ΑΠΕ μέσα σε ένα έτος. Αυτές οι μεταβολές έχουν ως συνέπεια το κτήριο να μην μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές του ανάγκες με την ενέργεια από ΑΠΕ κάποιες περιόδους του έτους και να αναγκάζεται να πάρει ενέργεια από το δίκτυο. Αντίθετα όμως, κάποιες περιόδους του έτους η ενέργεια από ΑΠΕ ξεπερνά την ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου και έτσι το κτήριο έχει περίσσεια ενέργεια που μπορεί να παρέχει στο δίκτυο. Τέλος, αν η ενέργεια που το κτήριο παρέχει στο δίκτυο μέσα σε ένα έτος είναι ίση ή σχεδόν ίση με την ενέργεια που παίρνει από το δίκτυο, τότε μπορεί το κτήριο να θεωρηθεί ως ZEB ή nZEB, αντίστοιχα [12].



Εικόνα 3: Σχέση κτηρίου ZEB ή nZEB με το δίκτυο παροχής ενέργειας και ενεργειακό ισοζύγιο [12].

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για τη μέτρηση των μεγεθών που χρειάζονται για τον υπολογισμό του ενεργειακού ισοζυγίου ενός κτηρίου. Επίσης, υπάρχουν μέθοδοι υπολογισμού που δεν χρησιμοποιούν ενέργεια, αλλά εντελώς διαφορετικά μεγέθη όπως τα χρήματα ή τα καυσάερια. Αυτές οι διαφορές μεταξύ των μεθόδων υπολογισμού οδηγούν σε διάφορους ορισμούς. Οι παρακάτω ορισμοί είναι οι σημαντικότεροι και πιο διαδεδομένοι.

Net zero site energy : Σε αυτήν την περίπτωση μετρίεται μόνο η ενέργεια που παράγεται από τα ΑΠΕ του κτηρίου σε ένα έτος. Στη συνέχεια, η ενέργεια αυτή συγκρίνεται με την ετήσια κατανάλωση ενέργειας του κτηρίου, για να διαπιστωθεί το ποσοστό κάλυψης της ενεργειακής ζήτησης του κτηρίου από ΑΠΕ. Αυτή είναι μια πολύ απλή μέθοδος υπολογισμού του ενεργειακού ισοζυγίου, μιας και μας επιτρέπει να αγνοήσουμε εντελώς τους συντελεστές που απαιτούνται από άλλες μεθόδους. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν χρειαζόμαστε μετρήσεις της ενέργειας που λαμβάνει το κτήριο από το δίκτυο διανομής και άρα μπορούμε να αγνοήσουμε τη διαδικασία παραγωγής και διανομής αυτής της ενέργειας. Ο παρακάτω τύπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του ισοζυγίου με αυτήν τη μέθοδο [2][11][12][14]:

$$E = E_p - E_c \quad \text{Εξίσωση 1}$$

E : ενεργειακό ισοζύγιο του κτηρίου.

E_p : συνολική ετήσια παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ του κτηρίου.

E_c : ετήσια ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου.

Με αυτόν τον τύπο γίνεται εμφανής η απλότητα και η ευκολία εφαρμογής αυτής της μεθόδου υπολογισμού του ενεργειακού ισοζυγίου.

Net zero source energy: Σε αυτήν την περίπτωση γίνεται σύγκριση της πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή και διανομή ενέργειας στο κτήριο με την ενέργεια που παράγει και παρέχει το κτήριο στο δίκτυο διανομής. Με αυτήν τη μέθοδο είναι απαραίτητη η χρήση συντελεστών πρωτογενούς ενέργειας, με τους οποίους θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί η ενέργεια που δέχεται το κτήριο από το δίκτυο και η ενέργεια που παρέχει το κτήριο στο δίκτυο. Ο παρακάτω τύπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του ισοζυγίου με αυτήν τη μέθοδο: [2][11][12][14]

$$E = \sum (E_{in,i} \cdot f_{in,i}) - \sum (E_{out,i} \cdot f_{out,i}) \quad \text{Εξίσωση 2}$$

E: ενεργειακό ισοζύγιο του κτηρίου.

$E_{in,i}$: ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που λαμβάνει το κτήριο από το δίκτυο παροχής.

$E_{out,i}$: ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχει το κτήριο στο δίκτυο παροχής.

$f_{in,i}$: συντελεστής πρωτογενούς ενέργειας της ηλεκτρικής ενέργειας που λαμβάνει το κτήριο.

$f_{out,i}$: συντελεστής πρωτογενούς ενέργειας της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχει το κτήριο.

Με αυτόν τον τύπο, γίνεται εμφανής η πολυπλοκότητα αυτής της μεθόδου υπολογισμού του ενεργειακού ισοζυγίου, σε σχέση με την προηγούμενη.

Net zero cost energy: Σε αυτήν την περίπτωση γίνεται σύγκριση του χρηματικού ποσού που πληρώνει ο ιδιοκτήτης του κτηρίου στο δίκτυο διανομής ετησίως με το χρηματικό ποσό που παίρνει ο ιδιοκτήτης από το δίκτυο πουλώντας περίσσεια ενέργεια που παράχθηκε από ΑΠΕ εντός του έτους. Αυτή είναι μια αρκετά απλή μέθοδος η οποία όμως μπορεί να μην απεικονίζει το ισοζύγιο του κτηρίου με μεγάλη ακρίβεια, λόγω διαφορών στις τιμές της ενέργειας που λαμβάνει και που παρέχει το κτήριο. [2][11][12][14]

Net zero emissions energy: Σε αυτήν την περίπτωση γίνεται μέτρηση των εκπομπών ρύπων από καύση συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, είτε η καύση γίνεται από το δίκτυο διανομής, είτε στο ίδιο το κτήριο. Αυτή η εκπομπή ρύπων πρέπει να αντισταθμίζεται από την παραγωγή ενέργειας με ΑΠΕ του κτηρίου. Αυτή η μέθοδος απαιτεί την χρήση συντελεστών εκλυόμενων ρύπων ανά μονάδα ενέργειας. [2][11][12][14]

Στον **Πίνακα 2** απεικονίζονται κάποιοι βασικοί συντελεστές πρωτογενούς ενέργειας και εκλυόμενων ρύπων ανά μονάδα ενέργειας.

Πίνακας 2: Συντελεστές πρωτογενούς ενέργειας [13].

Πηγή ενέργειας	Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια	Εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας (kgCO ₂ /kWh)
Φυσικό αέριο	1,05	0,196
Πετρέλαιο θέρμανσης	1,10	0,264
Ηλεκτρική ενέργεια	2,90	0,989
Υγραέριο	1,05	0,238
Βιομάζα	1,00	0,039 (πιλίδες-pellets), 0,016 (ξύλο)
Τηλεθέρμανση από Δ.Ε.Η.	0,70	0,347

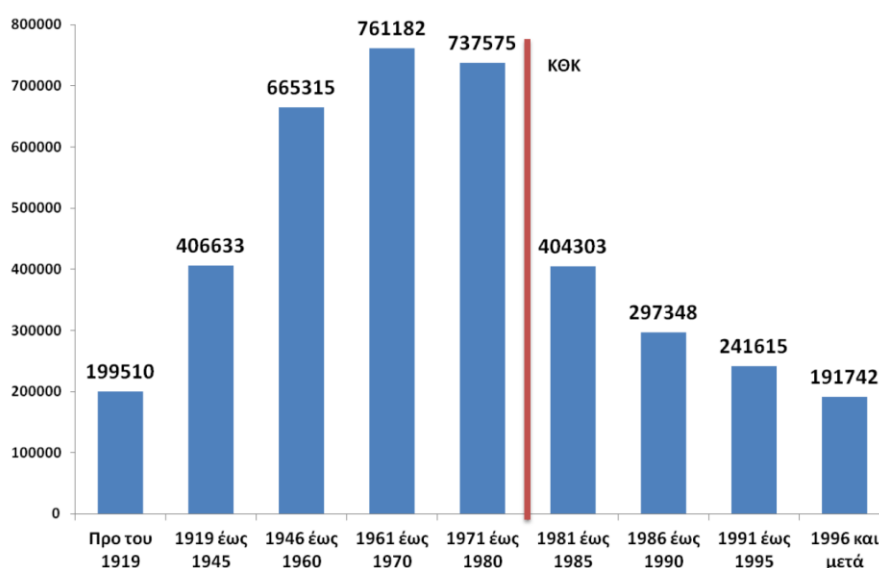
1.3 Αναγκαιότητα ύπαρξης ZEB και nZEB

Η εξάπλωση των ZEB και των nZEB μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα σε τρεις τομείς. Αρχικά οι ιδιοκτήτες τέτοιων κτηρίων θα έχουν λιγότερα ετήσια έξοδα, μιας και θα μειωθεί σημαντικά η αγορά ενέργειας που θα χρειάζεται να κάνουν. Αυτό μπορεί να βοηθήσει χώρες στις οποίες οι τιμές της ενέργειας και των καυσίμων είναι υψηλές για τη μέση οικογένεια. Επίσης, θα μειωθεί η χρήση συμβατικών καυσίμων, μιας και με την εξάπλωση τέτοιων κτηρίων θα αυξηθεί η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ. Αυτό μπορεί να βοηθήσει χώρες που η ζήτηση ενέργειας και καυσίμων ξεπερνάει το απόθεμα. Τέλος, μιας και αυτά τα κτήρια έχουν μικρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα η εξάπλωσή τους θα συμβάλει στην ελάττωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Στην Ελλάδα που πλήττεται τα τελευταία χρόνια από οικονομική κρίση και το φαινόμενο της ενεργειακής ένδειας, τα παραπάνω οφέλη θα την ευνοούσαν.

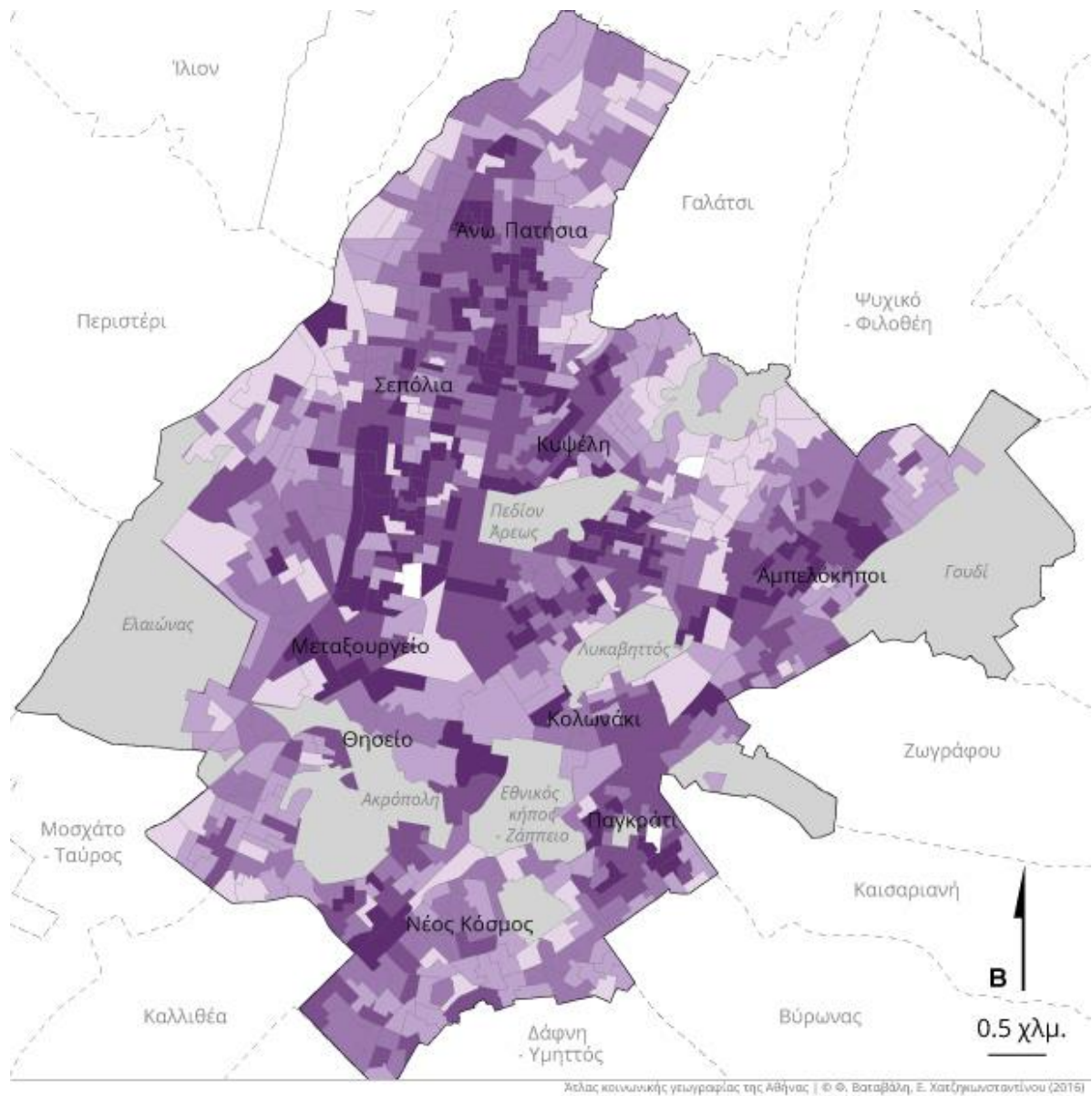
Ως ενεργειακή ένδεια, ορίζεται η αδυναμία των ανθρώπων μιας χώρας, να καλύψουν τις βασικές ενεργειακές τους ανάγκες όπως θέρμανση, ζεστό νερό, κλιματισμός, μαγείρεμα και φωτισμός. Οι κύριοι λόγοι που οδηγούν στην ενεργειακή ένδεια είναι τέσσερεις. Πρώτον είναι το χαμηλό εισόδημα πολλών οικογενειών που τις αναγκάζει να θυσιάζουν ανέσεις όπως η σωστή θέρμανση τον χειμώνα και ο κλιματισμός το καλοκαίρι. Δεύτερον είναι οι αυξανόμενες τιμές του πετρελαίου, του φυσικού αερίου και του ηλεκτρικού ρεύματος που καθιστά σχετικά δύσκολη την κάλυψη των παραπάνω ενεργειακών αναγκών. Τρίτον, είναι η κακή θερμομονωτική επάρκεια των κτηρίων, που οδηγεί στην ανάγκη μεγαλύτερων ποσών ενέργειας, για την κάλυψη πολλών ενεργειακών αναγκών μιας οικογένειας. Τέταρτον, είναι η κακή ενεργειακή απόδοση των τεχνολογιών θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού που μπορεί να διαθέτει κάθε κτήριο, το οποίο έχει επίσης ως αποτέλεσμα την ανάγκη για μεγαλύτερα ποσά ενέργειας [15][16][17].

Η μέτρηση της ενεργειακής ένδειας σε μια χώρα μπορεί να επιτευχθεί με δυο τρόπους. Η πρώτη μέθοδος αφορά τη μέτρηση των χρημάτων που ξοδεύει κάθε οικία για την κάλυψη των ενεργειακών της αναγκών. Η δεύτερη, αφορά την ποιότητα ζωής, σχετικά με την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών [17].

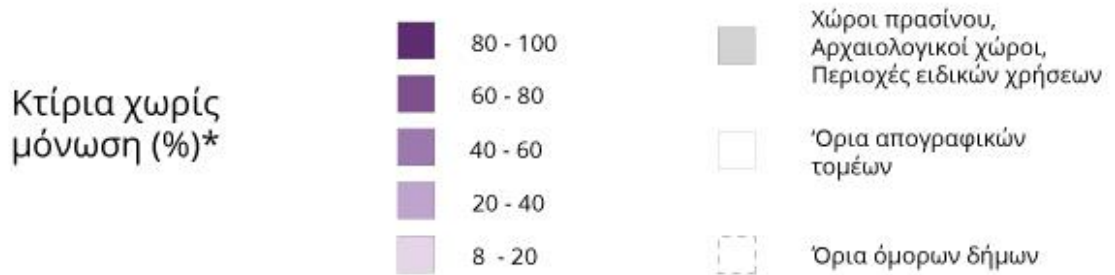
Στην Ελλάδα η ενεργειακή ένδεια είναι ένα πολύ μεγάλο πρόβλημα, καθώς όλοι οι παράγοντες που οδηγούν στο φαινόμενο εμφανίζονται αυξημένοι, σε πολύ μεγάλο βαθμό. Για την ακρίβεια, το 2012 περίπου το 36% της ενεργειακής κατανάλωσης στην Ελλάδα γινόταν από τον κτηριακό τομέα. Το χρηματικό κόστος από την κατανάλωση ενέργειας των δημόσιων κτηρίων έφτανε τα 450 εκατομμύρια ευρώ. Επίσης, κάθε οικογένεια χρειαζόταν τουλάχιστον το 10% του εισοδήματός της για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της. Ένας από τους βασικότερους λόγους που το φαινόμενο της ενεργειακής ένδειας στην χώρα μας έχει φτάσει σε αυτό το επίπεδο είναι ότι τα κτήρια που έχουν χτιστεί πριν το 1980 δεν ακολουθούν τον Κανονισμό Θερμομόνωσης και περίπου το 82% των κτηρίων στην Ελλάδα, έχουν χτιστεί πριν το 1980. Επομένως υποφέρουν από πολύ κακή ή ανύπαρκτη μόνωση [16][17].



Γράφημα 1: Αριθμός κτηρίων στην Ελλάδα ανά δεκαετία κατασκευής τους [17].



Άτλας κοινωνικής γεωγραφίας της Αθήνας | © Φ. Βασιβάλη, Ε. Χατζηγεωργαντώνη (2016)



*Πηγή στοιχείων: ΕΛΣΤΑΤ - Απογραφή 2011

Εικόνα 4: Ποσοστό κτηρίων χωρίς μόνωση στην κεντρική Αθήνα [16].

Για να γίνει πιο κατανοητό το μέγεθος του προβλήματος στην Ελλάδα, μπορεί να γίνει μια σύγκριση με άλλες χώρες της Ευρώπης. Η μέση ενεργειακή κατανάλωση των κτηρίων της Αθήνας είναι 29 kWh/m³, ενώ στη Γερμανία είναι 21 kWh/m³, στην Ολλανδία 20 kWh/m³ και στη Δανία 13 kWh/m³, όλες πολύ χαμηλότερες από της Αθήνας, παρόλο που οι χώρες αυτές έχουν σκληρότερες κλιματικές συνθήκες από την Ελλάδα [17].

Κεφάλαιο 2

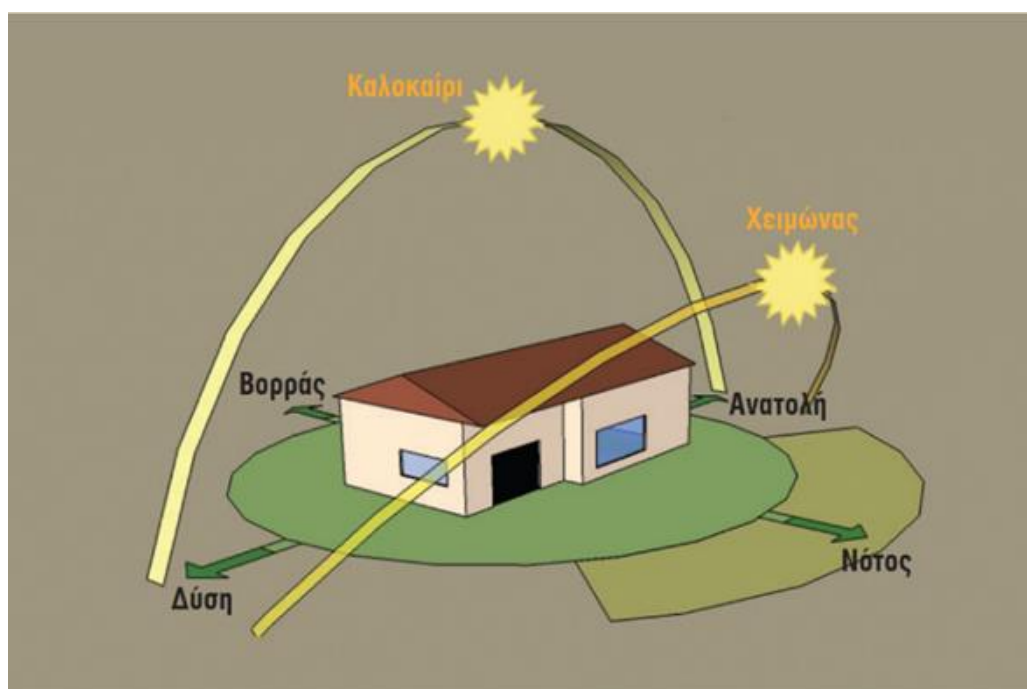
Τεχνικές και Τεχνολογίες Μείωσης της Ενεργειακής Ζήτησης Κτηρίου

2.1 Βιοκλιματικός Σχεδιασμός

Στόχος του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι η εκμετάλλευση των φυσικών πόρων και του κλίματος, του τόπου που βρίσκεται το κτήριο, για την κάλυψη ενός ποσοστού των ενεργειακών αναγκών του. Τα κυριότερα οφέλη που μπορεί να έχει ένα κτήριο από τον βιοκλιματικό σχεδιασμό είναι η φυσική θέρμανση, δροσισμός, αερισμός και φωτισμός των χώρων [14][19][20].

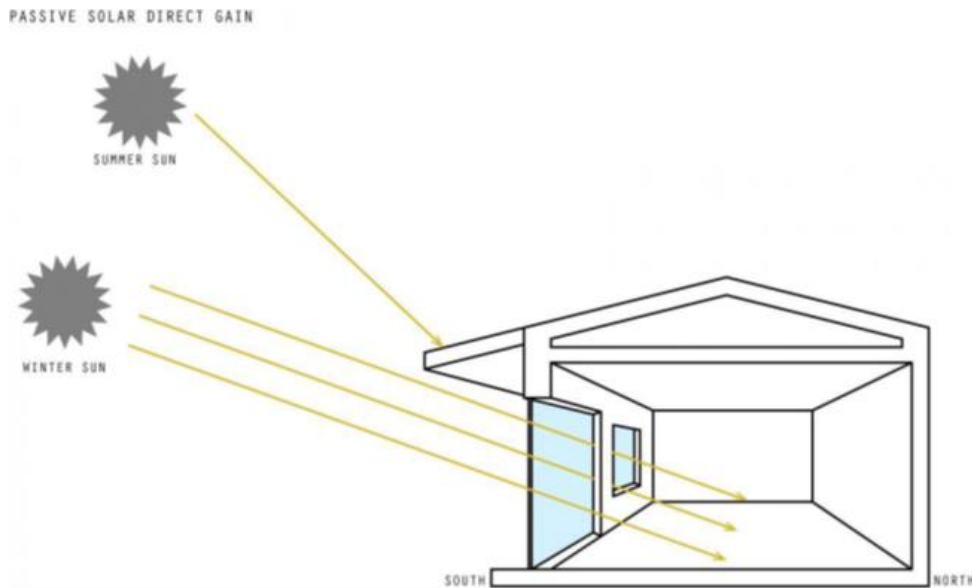
Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός βασίζεται σε διάφορα παθητικά συστήματα, που εκμεταλλεύονται φυσικούς πόρους όπως ο ήλιος και ο άνεμος. Αυτά τα παθητικά συστήματα συμπεριλαμβάνουν συνήθως τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης, παθητικά συστήματα και τεχνικές φυσικού δροσισμού και τεχνικές φυσικού φωτισμού [14][19][20].

Για να είναι αποτελεσματικά όλα αυτά τα παθητικά συστήματα, πρέπει να δοθεί προσοχή σε διάφορες παραμέτρους του κελύφους ενός κτηρίου. Αρχικά, είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός κελύφους με πολύ καλή μόνωση, για να υπάρχει όσο το δυνατόν καλύτερη διατήρηση των θερμικών ωφελειών από τα παθητικά συστήματα. Επίσης, χρειάζεται σωστός προσανατολισμός του κτηρίου και των ανοιγμάτων του, για να γίνεται πλήρης αξιοποίηση του ήλιου, τις κατάλληλες ώρες της ημέρας και τους κατάλληλους μήνες του έτους [14][19][20].



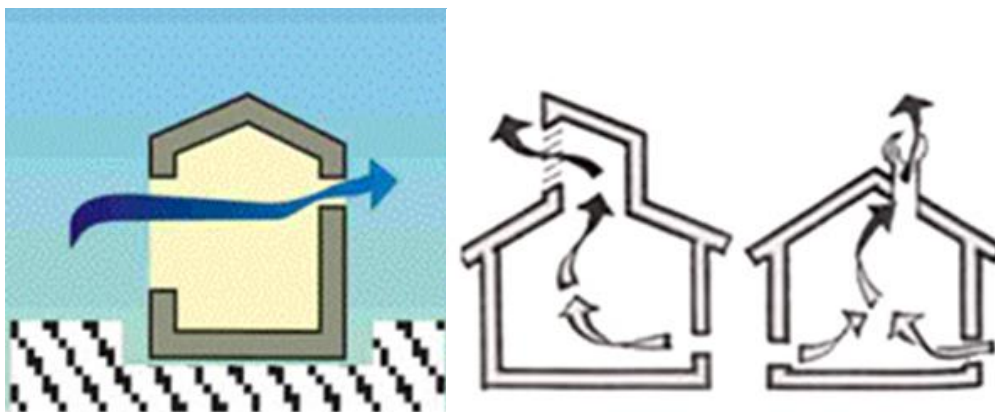
Εικόνα 5: Προσανατολισμός κτηρίου για βέλτιστη εκμετάλλευση του ήλιου το χειμώνα και βέλτιστη προστασία το καλοκαίρι [14].

Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης: Με τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης γίνεται εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας με στόχο τη θέρμανση των χώρων. Ουσιαστικά αυτά τα συστήματα βασίζονται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που μπορεί να δημιουργηθεί εντός του κτηρίου. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση μεγάλων ανοιγμάτων στη νότια πλευρά του κτηρίου. Αυτό επιτρέπει σε μεγαλύτερο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας, να εισέρχεται στο κτήριο κατά τους χειμερινούς μήνες. Η αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία σε συνδυασμό με την κατάλληλη θερμομόνωση του κελύφους, οδηγεί στη δημιουργία ενός θερμοκηπίου στους χώρους του κτιρίου. Έτσι, οι χώροι του κτηρίου μπορούν να φτάσουν αρκετά μεγαλύτερη θερμοκρασία από το εξωτερικό περιβάλλον και να τη διατηρήσουν για αρκετές ώρες. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες είναι απαραίτητη η χρήση σκιάστρων στα ανοίγματα του κτηρίου για την αποφυγή ανεπιθύμητης αύξησης της θερμοκρασίας των χώρων [14][19][20].



Εικόνα 6: Παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης τον χειμώνα και το καλοκαίρι [14].

Παθητικά Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού: Τα παθητικά συστήματα φυσικού δροσισμού εκμεταλλεύονται τον αέρα που εισέρχεται και εξέρχεται από το κτήριο για αερισμό και δροσισμό των χώρων, με την χρήση του διαμεπερούς αερισμού. Για να επιτευχθεί αυτό τοποθετούνται μεγάλα ανοίγματα στη νότια πλευρά του κτιρίου και μικρότερα ανοίγματα στη βόρεια πλευρά του. Το ρεύμα αέρα που δημιουργείται περνάει από τους χώρους του κτηρίου και καθώς ανακυκλώνει τον αέρα των χώρων, μεταφέρει και ένα μεγάλο ποσοστό θερμικού φορτίου στο εξωτερικό περιβάλλον. Τέτοια παθητικά συστήματα είναι πιο αποτελεσματικά τις νυχτερινές ώρες. Επίσης, με καλή θερμομόνωση του κτηρίου και σκίαστρα, θα αποτραπεί η ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας των χώρων κατά τη διάρκεια της μέρας. Ακόμα, η ανακύκλωση του αέρα στους χώρους και κατ' επέκταση ο δροσισμός τους, μπορεί να ενισχυθεί με ειδικά ανοίγματα στην οροφή του κτιρίου που ονομάζονται πύργοι αερισμού, καμινάδες αερισμού και ηλιακές καμινάδες [14][19][20].



Εικόνα 7: Διαμεπερής αερισμός με ανοίγματα στις δύο πλευρές, με πύργο αερισμού και με καμινάδα αερισμού. [20]

Παθητικά Συστήματα Φυσικού Φωτισμού: Για τον φυσικό φωτισμό των χώρων ενός κτιρίου, γίνεται εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας και του φωτός που εισέρχεται στους χώρους. Τα ίδια ανοίγματα που ευνοούν τα παθητικά συστήματα θέρμανσης και δροσισμού, ευνοούν και τον φυσικό φωτισμό. Σε κάποιες περιπτώσεις, επιπλέον ανοίγματα μπορούν να τοποθετηθούν σε οροφές για μεγαλύτερο φωτισμό των χώρων. Επίσης, τα σκίαστρα που χρησιμοποιούνται για τον φυσικό δροσισμό μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τον έλεγχο του φωτισμού των χώρων [14][19][20].

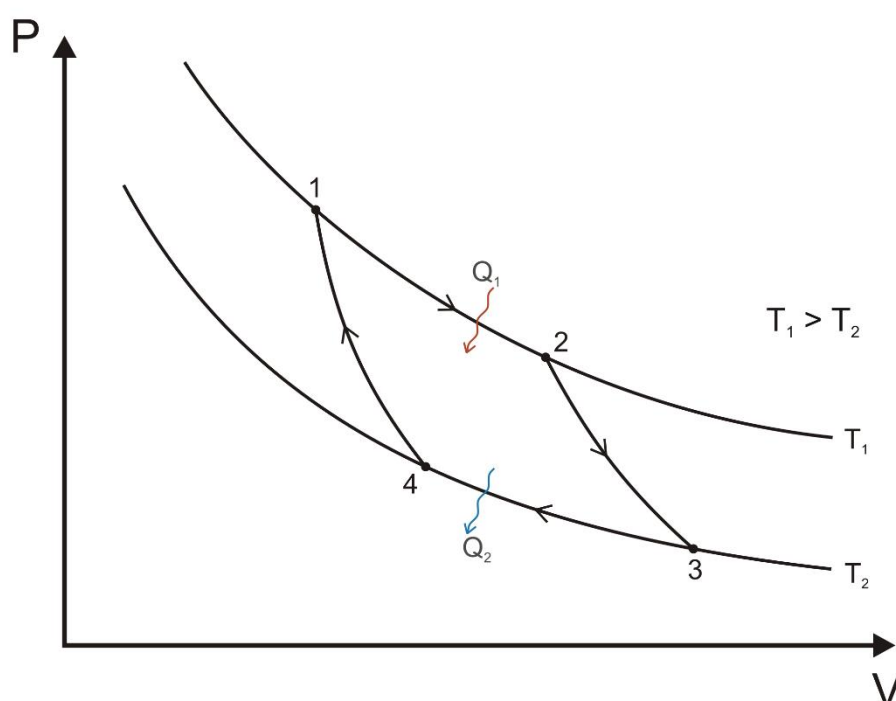
Το κλίμα στην Ελλάδα αποτελείται από ήπιους χειμώνες που έχουν αρκετή ηλιοφάνεια και ήπια καλοκαίρια με σπάνιες μέρες καύσωνα και αρκετούς δροσερούς ανέμους. Αυτό το ήπιο κλίμα ευνοεί αρκετά, όλες τις παραπάνω παθητικές τεχνικές και συστήματα. Μετρήσεις και προσομοιώσεις έχουν δείξει ότι στην Ελλάδα ένα κτήριο θα μπορούσε να εμφανίσει μέχρι και 30% εξοικονόμηση ενέργειας, χάρη στον βιοκλιματικό σχεδιασμό [14].

2.2 Αντλίες Θερμότητας

2.2.1 Αρχή Λειτουργίας

Συμφώνα με τον δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο, όταν δύο σώματα έρχονται σε θερμική επαφή, θερμότητα ρέει αυθόρμητα από το θερμότερο στο ψυχρότερο χωρίς καμία άλλη απαίτηση. Το αντίστροφο είναι αδύνατο χωρίς τη δαπάνη έργου. Ο κύκλος Carnot βασίζεται σε αυτό το φαινόμενο.

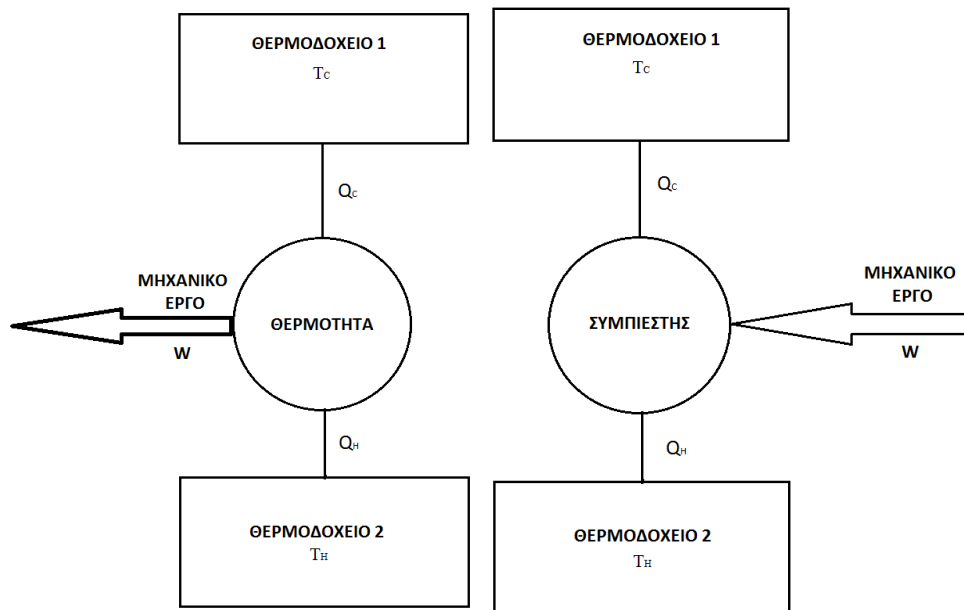
Για τη λειτουργία μιας θεωρητικής μηχανής του Carnot, απαιτείται ένα θερμοδοχείο χαμηλής και ένα θερμοδοχείο υψηλής θερμοκρασίας. Κατά τη λειτουργία της έχουμε παραγωγή μηχανικού έργου με την πρόσδοση θερμότητας στη μηχανή από το θερμοδοχείο υψηλής θερμοκρασίας, καθώς και πρόσδοση θερμότητας από τη μηχανή στο θερμοδοχείο χαμηλής θερμοκρασίας. Το μηχανικό έργο που παράγεται από μια τέτοια μηχανή είναι πάντα μικρότερο από τη θερμότητα που προσδόθηκε στη μηχανή [33][34].



Εικόνα 8: Κύκλος Carnot.

Αν αντιστρέψουμε τον κύκλο του Carnot παίρνουμε τον κύκλο που απεικονίζει τη λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας. Δηλαδή η αντλία θερμότητας είναι ένα σύστημα το οποίο καταναλώνει έργο για να απορρόφησει θερμότητα από ένα χώρο με χαμηλότερη θερμοκρασία και να δώσει θερμότητα σε ένα χώρο με μεγαλύτερη [33][34].

Η λειτουργία της αντλίας θερμότητας είναι ίδια με αυτήν που εφαρμόζεται στα ψυγεία. Γίνεται χρήση ενός κύκλου πηκτικού ρευστού, το οποίο αποκαλείται ψυκτικό ρευστό, για την απορρόφηση και την απόδοση θερμότητας σε έναν χώρο. Στην περίπτωση που η αντλία θερμότητας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση ενός χώρου, το σύστημα θα απορρόφησει ένα ποσοστό θερμότητας από κάποιο περιβάλλον εκτός του χώρου. Αντίθετα, όταν η αντλία χρησιμοποιείται για την ψύξη ενός χώρου, το σύστημα θα αποδώσει ένα ποσοστό της θερμότητας που απορρόφησε από τον χώρο σε κάποιο περιβάλλον εκτός του χώρου. Επίσης, για την αύξηση και μείωση της θερμοκρασίας του ψυκτικού ρευστού η αντλία θερμότητας εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι η θερμοκρασία των αερίων αυξάνεται όταν συμπιέζονται και μειώνεται όταν εκτονώνονται [21][22][23].



Εικόνα 9: Αρχή λειτουργίας Μηχανής Carnot και Αντλίας θερμότητας [34].

2.2.2 Βαθμός Απόδοσης Αντλίας Θερμότητας

Ο βαθμός απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας είναι ανάλογος με το ποσό θερμότητας που προσδίδει το σύστημα στον χώρο, στην περίπτωση που το σύστημα χρησιμοποιείται για την θέρμανση του χώρου. Αντίθετα, ο βαθμός απόδοσης είναι ανάλογος με το ποσό θερμότητας που απορροφάει το σύστημα από τον χώρο, στην περίπτωση που το σύστημα χρησιμοποιείται για την ψύξη του χώρου. Ταυτόχρονα, ο βαθμός απόδοσης είναι αντιστρόφως ανάλογος με το έργο που καταναλώνει το σύστημα για την λειτουργία του. Αυτό συνεπάγεται ότι ο βαθμός απόδοσης είναι και αντιστρόφως ανάλογος με την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει το σύστημα για την λειτουργία του [23][34].

$$\text{Απόδοση σε λειτουργία θέρμανσης: } \text{COP} = \frac{Q_H}{W} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_C} \quad \text{ή} \quad \text{COP} = \frac{T_H}{T_H - T_C} \quad \text{Εξίσωση 3}$$

$$\text{Απόδοση σε λειτουργία ψύξης: } \text{COP} = \frac{Q_C}{W} = \frac{Q_C}{Q_H - Q_C} \quad \text{ή} \quad \text{COP} = \frac{T_C}{T_H - T_C} \quad \text{Εξίσωση 4}$$

Στους παραπάνω τύπους το Q_H συμβολίζει την θερμότητα που απέδωσε το σύστημα, το Q_C την θερμότητα που απορρόφησε, το T_H την θερμοκρασία του θερμαινόμενου χώρου, το T_C την θερμοκρασία του ψυχόμενου χώρου και τέλος το W το έργο που χρειάστηκε το σύστημα. Το έργο μπορεί να αντικατασταθεί με την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώθηκε με την χρήση ενός συντελεστή μετατροπής που εξαρτάται από τον συμπιεστή του συστήματος [23][34].

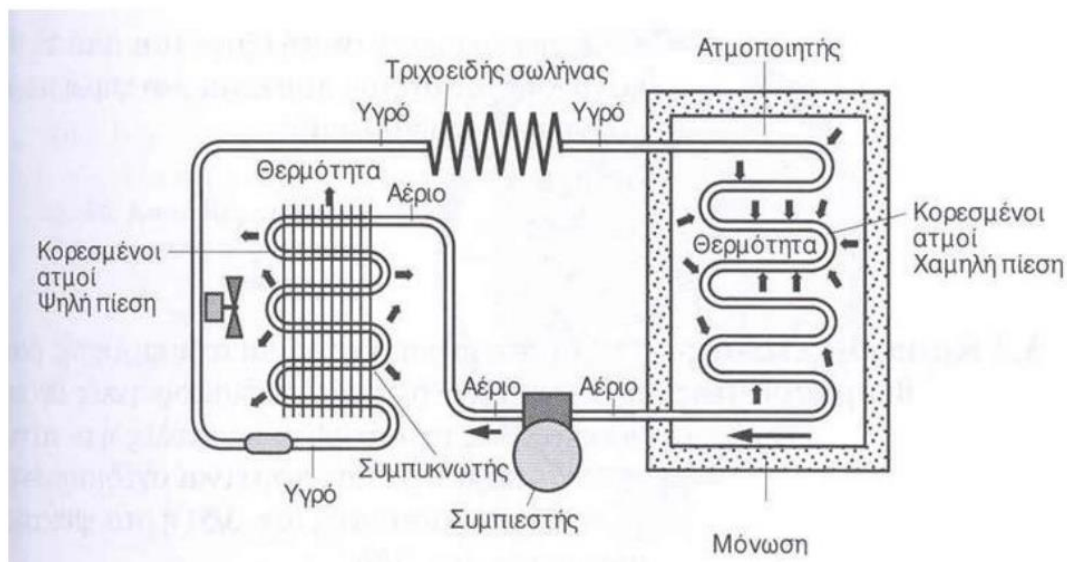
2.2.3 Βασικά Μέρη Αντλίας Θερμότητας

Τα παρακάτω είναι τα βασικά μέρη που αποτελούν μια αντλία θερμότητας και οι βασικές λειτουργίες τους [21][22][23]:

- **Συμπιεστής:** Ο συμπιεστής είναι το μέρος του συστήματος στο οποίο γίνεται η συμπίεση του ψυκτικού ρευστού για την αύξηση της θερμοκρασίας του. Επίσης, ο συμπιεστής μπορεί να λειτουργήσει ως αποθηκευτικός χώρος για το ψυκτικό ρευστό όταν το σύστημα δεν βρίσκεται σε λειτουργία.
- **Εξατμιστής:** Ο εξατμιστής είναι το κομμάτι στον κύκλο του ψυκτικού ρευστού, στο οποίο γίνεται η απορρόφηση θερμότητας από το μέσο συναλλαγής. Στην περίπτωση που η αντλία θερμότητας χρησιμοποιείται για την θέρμανση του χώρου ο εξατμιστής θα βρίσκεται εκτός του χώρου, ώστε να απορροφά θερμότητα και το ψυκτικό ρευστό να την μεταφέρει εντός του χώρου. Αντίθετα, στην περίπτωση ψύξης του χώρου ο εξατμιστής βρίσκεται εντός του χώρου, ώστε να απορροφάει θερμότητα και το ψυκτικό ρευστό να την μεταφέρει εκτός του χώρου. Ανάλογα με το μέσο

συναλλαγής θερμότητας που χρησιμοποιείται, η απορρόφηση θερμότητας από τον εξατμιστή μπορεί να επιτευχθεί με την βοήθεια ενός ανεμιστήρα στην περίπτωση που το μέσο είναι αέρας, ενός εναλλάκτη θερμότητας στην περίπτωση νερού και με επαφή στην περίπτωση του εδάφους.

- **Συμπυκνωτής:** Ο συμπυκνωτής είναι το κομμάτι του κύκλου ψυκτικού ρευστού στο οποίο γίνεται πρόσδοση θερμότητας από το ψυκτικό ρευστό στο μέσο συναλλαγής θερμότητας. Όπως και ο εξατμιστής, ο συμπυκνωτής μπορεί να βρίσκεται εντός του χώρου στην περίπτωση της ψύξης ή εκτός του χώρου στην περίπτωση της θέρμανσης. Επίσης, οι ίδιες τεχνικές που χρησιμοποιούνται από τον εξατμιστή για την μετάδοση θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από τον συμπυκνωτή.
- **Τετράοδη Βαλβίδα:** Η τετράοδη βαλβίδα είναι ένα εξάρτημα που χρησιμοποιείται για την αντιστροφή της ροής του ψυκτικού ρευστού εντός του συστήματος. Με την αντιστροφή της ροής του ψυκτικού ρευστού, αντιστρέφονται και οι ρόλοι του εξατμιστή και του συμπυκνωτή. Έτσι, χάρη στην τετράοδη βαλβίδα μπορεί να γίνει εύκολη εναλλαγή μεταξύ ψύξης και θέρμανσης του χώρου.
- **Σωληνώσεις:** Τέλος, μια αντλία θερμότητας διαθέτει σωλήνες μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το ψυκτικό ρευστό. Ουσιαστικά ο εξατμιστής και ο συμπυκνωτής είναι συγκεκριμένα κομμάτια αυτών των σωληνώσεων. Για την ακρίβεια, ως εξατμιστής λειτουργεί το σημείο των σωληνώσεων όπου το ψυκτικό ρευστό έχει την χαμηλότερη θερμοκρασία, ενώ ως συμπυκνωτής το σημείο που το ψυκτικό ρευστό έχει την μεγαλύτερη θερμοκρασία.



Εικόνα 10: Κύκλωμα αντλίας θερμότητας αέρα – αέρα [18].

2.2.4 Κατηγορίες Αντλιών Θερμότητας

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες αντλιών θερμότητας, ανάλογα με τα μέσα συναλλαγής θερμότητας που χρησιμοποιούν. Τα μέσα που χρησιμοποιούνται συχνότερα είναι ο αέρας, το νερό και το έδαφος. Μια αντλία θερμότητας μπορεί να εγκατασταθεί ώστε να χρησιμοποιεί είτε ίδιο είτε διαφορετικό μέσο συναλλαγής θερμότητας, εντός και εκτός του χώρου. Αυτό οδηγεί στην ύπαρξη μεγάλης ποικιλίας αντλιών θερμότητας ανάλογα με τα μέσα συναλλαγής θερμότητας που χρησιμοποιούν. Τα πιο συχνά συστήματα που χρησιμοποιούνται είναι Αέρα – Αέρα , Αέρα – Νερού, Νερού – Αέρα , Νερού – Νερού, Εδάφους – Αέρα και Εδάφους – Νερού [21][22][23].

Αντλίες Θερμότητας Αέρα

Οι αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν τον αέρα ως μέσο συναλλαγής θερμότητας και εντός και εκτός του χώρου είναι η πιο διαδεδομένη κατηγορία αντλιών θερμότητας. Ο λόγος που αυτή η κατηγορία αντλιών θερμότητας είναι τόσο διαδεδομένη είναι η εύκολη εγκατάσταση σε κάθε κτήριο και κατά συνέπεια και το μικρό κόστος εγκατάστασης. Επίσης, ένα πλεονέκτημα του αέρα ως μέσο συναλλαγής θερμότητας είναι η αφθονία του, οπουδήποτε μπορεί να βρίσκεται το κτήριο [21][22][23].

Το βασικό μειονέκτημα που αντιμετωπίζουν οι αντλίες θερμότητας εμφανίζεται όταν χρησιμοποιούν τον αέρα του περιβάλλοντος ως μέσο συναλλαγής θερμότητας. Πιο συγκεκριμένα, όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι πολύ μικρή. Λόγο της χαμηλής θερμοκρασίας του αέρα η αντλία δεν μπορεί να απορροφήσει αρκετά μεγάλα ποσά θερμότητας για την σωστή λειτουργία της. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία του περιβάλλοντος βρίσκεται στους 0 C° ή μικρότερη, είναι πολύ εύκολο να εμφανιστεί πάγος γύρω από τις σωληνώσεις του συστήματος, που θα εμποδίσει περισσότερο την μεταφορά θερμότητας από τον αέρα στο ψυκτικό ρευστό. Σε αυτές τις περιπτώσεις η αντλία χρησιμοποιεί μια ηλεκτρική αντίσταση για το λιώσιμο του πάγου. Το ρεύμα που καταναλώνει αυτή η αντίσταση οδηγεί στην μείωση του συντελεστή απόδοσης της αντλίας θερμότητας [21][22][23].

Τέλος, μια αντλία θερμότητας που χρησιμοποιεί τον αέρα ως μέσο συναλλαγής εντός του χώρου, λειτουργεί και ως αφυγραντήρας κατά την ψύξη. Αυτό μπορεί να είναι ωφέλιμο σε χώρους με πολύ υγρασία και να οδηγήσει σε καλύτερη ποιότητα αέρα [21][22][23].

Αντλίες Θερμότητας Νερού

Οι αντλίες θερμότητας Αέρα – Νερού έχουν παρόμοιο κύκλο ψυκτικού ρευστού με τις αντλίες Αέρα – Αέρα. Η βασική διαφορά τους είναι ότι στην θέση του συμπυκνωτή εντός του χώρου υπάρχει ένας εναλλάκτης θερμότητας που χρησιμοποιείται για την μεταφορά θερμότητας από το ψυκτικό ρευστό σε νερό. Αυτό το νερό οδηγείται στην συνέχεια σε σώματα για την θέρμανση του χώρου. Λόγω της μεγάλης ομοιότητας με τα συστήματα αέρα – αέρα οι αντλίες θερμότητας αέρα – νερού έχουν εξίσου εύκολη και φθηνή εγκατάσταση. Το βασικό μειονέκτημα όταν χρησιμοποιείται νερό ως μέσο συναλλαγής θερμότητας εντός του κτηρίου είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για θέρμανσή του χώρου και όχι για ψύξη [21][22][23].

Οι αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν νερό ως μέσο συναλλαγής θερμότητας εκτός του κτηρίου διαφέρουν από αυτές που χρησιμοποιούν αέρα σε ένα σημείο. Τον ρόλο του συμπυκνωτή ή εξαμιστή τον έχει ένας εναλλάκτης θερμότητας. Από αυτόν τον εναλλάκτη θερμότητας περνάει νερό και γίνεται συναλλαγή θερμότητας με το ψυκτικό ρευστό. Το νερό αυτό μπορεί να προέρχεται από το δίκτυο παροχής ή κάποια κοντινή πηγή νερού, στην περίπτωση που έχουμε ανοιχτό κύκλωμα νερού. Μπορεί επίσης να είναι μέρος ενός κλειστού κυκλώματος νερού. Ένα μέρος του κυκλώματος θα πρέπει να είναι σε επαφή σε ένα κοντινό σώμα νερού για να έχουμε επαναφορά της θερμοκρασίας του νερού του κυκλώματος μετά την συναλλαγή θερμοκρασίας με το ψυκτικό μέσο [21][22][23].

Οι αντλίες θερμότητας νερού μπορούν να παρουσιάσουν σε κάποιες περιπτώσεις καλύτερες αποδόσεις από τις αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν τον αέρα ως μέσο συναλλαγής θερμότητας εκτός του χώρου. Αυτό συμβαίνει κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες που το νερό θα έχει μικρότερες θερμοκρασίες από τον αέρα του περιβάλλοντος και θα βοηθάει περισσότερο στην ψύξη του χώρου [21][22][23].

Οι αντλίες θερμότητας Νερού – Νερού όπως και οι αντλίες Νερού – Αέρα δεν χρησιμοποιούνται τόσο συχνά, όσο χρησιμοποιούνται οι αντλίες που χρησιμοποιούν τον αέρα ως μέσο συναλλαγής θερμότητας εκτός του χώρου. Αυτό συμβαίνει επειδή, συνήθως απαιτείται η ύπαρξη κάποιου σώματος νερού κοντά στο κτήριο, όπως μια λίμνη, ένα ποτάμι, θάλασσα ή κάποιο πηγάδι. Παρόλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί νερό από το δίκτυο παροχής, αυτό αποφεύγεται λόγω του κόστους [21][22][23].

Αντλίες Θερμότητας Εδάφους

Για να χρησιμοποιηθεί το έδαφος ως μέσο συναλλαγής θερμότητας σε μια αντλία θερμότητας χρησιμοποιείται και πάλι ένας εναλλάκτης θερμότητας από τον οποίο περνάει νερό. Το νερό κυκλοφορεί σε ένα κλειστό κύκλωμα το οποίο είναι θαμμένο κάτω από το έδαφος. Έτσι το νερό κυκλοφορώντας στους σωλήνες κάτω από το έδαφος, έχει συνεχώς μια σταθερή θερμοκρασία ίση με την θερμοκρασία του υπεδάφους. Το δίκτυο σωληνώσεων μπορεί να είναι είτε οριζόντια είτε κατακόρυφα θαμμένο [21][22][23].

Οι αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν το έδαφος ως μέσο συναλλαγής θερμότητας, παρουσιάζουν συνήθως τους καλύτερους συντελεστές απόδοσης σε σχέση με τις υπόλοιπες κατηγορίες αντλιών θερμότητας. Παρουσιάζουν επίσης και τους πιο σταθερούς συντελεστές απόδοσης κατά την διάρκεια ενός έτους. Αυτό συμβαίνει επειδή, το έδαφος κάτω από κάποιο βάθος έχει σχεδόν σταθερή θερμοκρασία όλο τον χρόνο, μιας και δεν το επηρεάζει σημαντικά η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Η θερμοκρασία του υπεδάφους είναι μικρότερη από την θερμοκρασία του αέρα το καλοκαίρι και ταυτόχρονα μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του αέρα τον χειμώνα. Αυτό καθιστά το υπέδαφος ιδανικό μέσο συναλλαγής θερμότητας για μια αντλία, κατά την λειτουργία ψύξης και κατά την λειτουργία θέρμανσης του χώρου [21][22][23].

Τα βασικά εμπόδια που αντιμετωπίζουν οι αντλίες θερμότητας εδάφους, προέρχονται από το γεγονός ότι μεγάλο μέρος του συστήματος πρέπει να βρίσκεται κάτω από το έδαφος. Αρχικά, στην περίπτωση που το δίκτυο σωληνώσεων είναι θαμμένο οριζόντια χρειάζεται σκάψιμο μεγάλης έκτασης για την εγκατάστασή του. Στην περίπτωση που το δίκτυο σωληνώσεων είναι θαμμένο κατακόρυφα τότε χρειάζεται σκάψιμο σε μεγάλο βάθος. Επίσης, το γεγονός ότι μεγάλο μέρος του συστήματος βρίσκεται κάτω από το έδαφος καθιστά εξαιρετικά δύσκολη την συντήρηση και την επισκευή του συστήματος. Όλα αυτά καθιστούν την εγκατάσταση μιας αντλίας θερμότητας εδάφους ακριβότερη και πιο χρονοβόρα από μια απλούστερη αντλία θερμότητας αέρα και πολλές φορές είναι ο βασικός λόγος απόρριψής της [21][22][23].

2.3 Αερισμός με Ανάκτηση Θερμότητας

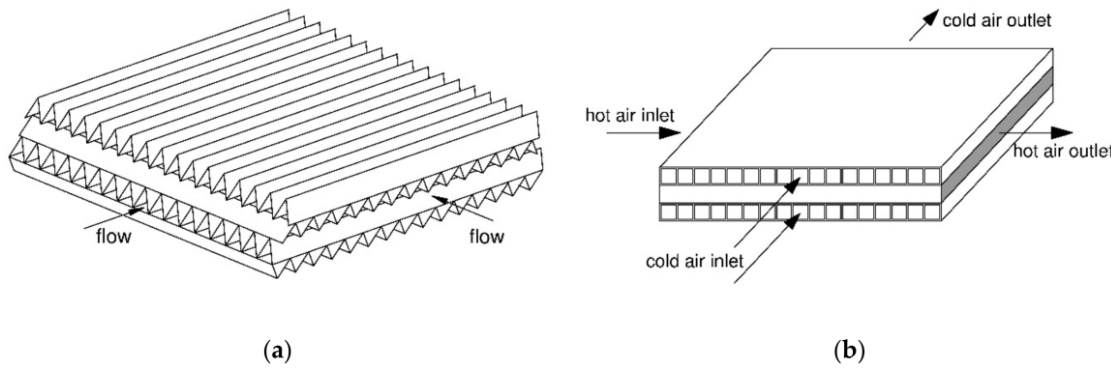
Ο αερισμός ενός χώρου είναι πάντοτε απαραίτητος για την εξασφάλιση καλής ποιότητας αέρα. Ο πιο απλός τρόπος αερισμού ενός χώρου είναι με το άνοιγμα παραθύρων για την εισχώρηση εξωτερικού αέρα και ανανέωση του αέρα του χώρου. Με εαυτό τον τρόπο αερισμού όμως μπορεί να έχουμε μείωση της θερμοκρασίας του χώρου τον χειμώνα και αύξηση της θερμοκρασίας το καλοκαίρι. Αυτό θα οδηγήσει και στην ανάγκη για μεγαλύτερα ποσά ενέργειας για την θέρμανση ή ψύξη του χώρου, κάθε φορά που απαιτείται αερισμός.

Οι απώλειες από τον αερισμό του χώρου μπορούν να μειωθούν σημαντικά με την χρήση ενός συστήματος αερισμού σε συνδυασμό με ένα σύστημα ανάκτησης θερμότητας. Τέτοια συστήματα αποτελούνται συνήθως από ανεμιστήρες για την ενίσχυση ανανέωσης του αέρα, συνδυασμένους με κάποιου είδους εναλλάκτη θερμότητας. Κατά τους χειμερινούς μήνες ο εναλλάκτης θερμότητας θα απορροφά θερμότητα από τον θερμό αέρα που θα εξέρχεται από τον χώρο και θα προσδίδει θερμότητα στον κρύο αέρα που θα εισέρχεται. Αντίθετα, τους καλοκαιρινούς μήνες ο εναλλάκτης θα απορροφά θερμότητα από τον ζεστό αέρα που θα εισέρχεται στον χώρο και θα την προσδίδει στον ψυχρό αέρα που θα εξέρχεται. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί η ανανέωση του αέρα του χώρου, χωρίς μεγάλες μεταβολές στην θερμοκρασία του χώρου. Ειδικότερα κάποια σύγχρονα συστήματα αερισμού με ανάκτηση θερμότητας μπορούν να εμφανίσουν μέχρι και 90% ανάκτηση [25][26].

Αυτά τα συστήματα φυσικά δεν είναι πάντοτε ωφέλιμα. Αρχικά η χρήση τους είναι ωφέλιμη μόνο όταν η ενέργεια που θα χρειαζόταν για την επαναφορά της θερμοκρασίας του χώρου είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που απαιτείται από το σύστημα αερισμού. Επίσης, ένα φαινόμενο που έχει παρατηρηθεί είναι ότι όταν οι θερμοκρασίες του αέρα που εισέρχεται είναι πολύ χαμηλές, υπάρχει η περίπτωση να εμφανιστεί πάγος στο σύστημα. Αυτό θα οδηγήσει σε μείωση του ρυθμού ανανέωσης του αέρα και του ποσοστού θερμότητας που ανακτάται. Βέβαια, αξίζει να σημειωθεί ότι αυτό το φαινόμενο είναι πιο συχνό σε βόρειες χώρες με πολύ κρύο και άρα ιδιαίτερα σπάνιο στο μεσογειακό κλίμα της Ελλάδας [25][26].

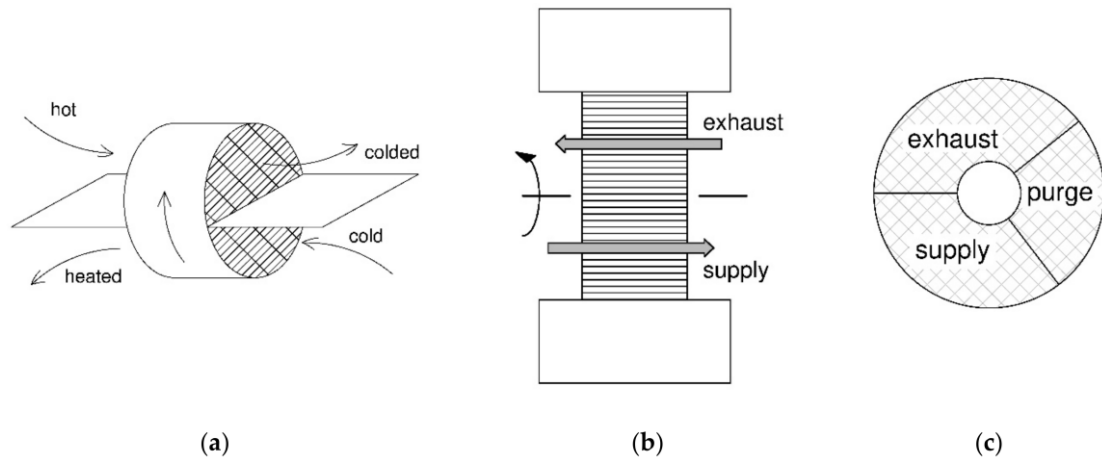
Υπάρχουν διάφοροι τύποι εναλλακτών θερμότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Το βασικό κριτήριο επιλογής ανάμεσά τους, είναι η ευκολία εγκατάστασής τους σε έναν χώρο, ανάλογα με το σχήμα και το μέγεθός τους. Παρακάτω αναφέρονται κάποιοι από τους πιο διαδεδομένους [25][27].

Πλάκες εναλλαγής θερμότητας: Αυτός είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος εναλλάκτης θερμότητας και χρησιμοποιείται για πάνω από 40 χρόνια. Το σύστημα αποτελείται από πολύ λεπτές πλάκες μετάλλου οι οποίες έχουν μικρά ανοίγματα ανάμεσά τους. Τα δυο ρεύματα αέρα, το εισερχόμενο και το εξερχόμενο, περνάνε από αυτά τα μικρά ανοίγματα μόνο με μια λεπτή πλάκα να τα διαχωρίζει. Έτσι, λόγω του λεπτού διαχωρισμού από υλικό μεγάλης θερμικής αγωγιμότητας επιτυγχάνεται η συναλλαγή θερμότητας μεταξύ των δυο ρευμάτων αέρα [25][27].



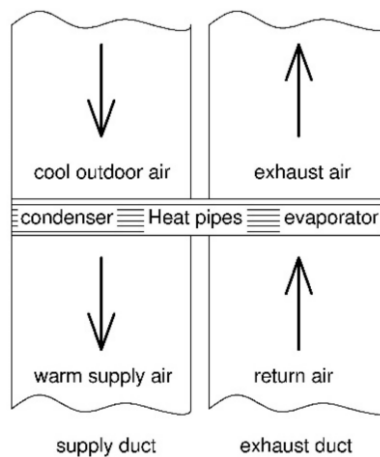
Εικόνα 11: Πλάκες εναλλαγής θερμότητας [27].

Περιστροφικός εναλλάκτης θερμότητας: Αυτό το σύστημα αποτελείται από έναν περιστρεφόμενο τροχό, από υλικό με καλή θερμική αγωγιμότητα και πολλά ανοίγματα. Από την μία άκρη του τροχού περνάει το κρύο ρεύμα αέρα και από την άλλη το ζεστό. Το υλικό του τροχού απορροφά θερμότητα από τον ζεστό αέρα και καθώς περιστρέφεται το κομμάτι που έχει απορροφήσει την θερμότητα περνάει από το ρεύμα κρύου αέρα και του προσδίδει την θερμότητα που έχει [25][27].



Εικόνα 12: Περιστροφικός εναλλάκτης θερμότητας [27].

Θερμοσωλήνες: Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούνται σωλήνες με ένα ρευστό που αλλάζει συνεχώς φάσεις πίνοντας από έναν εξατμιστή σε έναν συμπιεστή. Όταν τον σωλήνα τον χτυπάει θερμός αέρας το ρευστό απορροφάει την θερμότητα και ατμοποιείται. Αντίθετα όταν τον σωλήνα τον χτυπάει κρύος αέρας το ρευστό προσδίδει την θερμότητα που απορρόφησε και υγροποιείται [25][27].



Εικόνα 13: Θερμοσωλήνας [27].

Κεφάλαιο 3

Λογισμικά Προσομοίωσης

3.1 Ενεργειακή Προσομοίωση Κτηρίων

Για τον σωστό σχεδιασμό ενός μοντέρνου κτηρίου απαιτείται ένας πολύ μεγάλος αριθμός υπολογισμών, ώστε το κτήριο να έχει τα ενεργειακά χαρακτηριστικά που απαιτούνται. Επίσης, πρέπει να γίνουν και υπολογισμοί σχετικά με την ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου σε πολλές διαφορετικές συνθήκες, κάτι το οποίο αυξάνει τον αριθμό των απαιτούμενων υπολογισμών. Λόγω της πολυπλοκότητας και του χρόνου που απαιτείται για την εκτέλεση όλων αυτών των υπολογισμών, έχουν δημιουργηθεί λογισμικά ενεργειακής προσομοίωσης κτηρίων.

Ο όρος ενεργειακή προσομοίωση αναφέρεται στην μαθηματική αναπαράσταση και μοντελοποίηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ του κτιριακού κελύφους, του εξωτερικού περιβάλλοντος, του χρήστη, των συστημάτων Θέρμανσης – Ψύξης – Κλιματισμού και των συστημάτων αερισμού και φωτισμού. Στην συνέχεια, από την ενεργειακή προσομοίωση ενός κτηρίου, μπορούμε να έχουμε τις εσωτερικές συνθήκες και την ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου [1][2][3][4].

Ένα λογισμικό ενεργειακής προσομοίωσης κτηρίων μπορεί να δεχτεί από τον χρήστη διάφορες πληροφορίες σχετικά με το κτήριο, όπως για παράδειγμα τα δομικά του χαρακτηριστικά, τα χαρακτηριστικά ενεργειακών συστημάτων που είναι εγκατεστημένα σε αυτό και τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος που βρίσκεται. Στην συνέχεια, με τις πληροφορίες που έχει λάβει, από τον χρήστη, το λογισμικό, μπορεί να λύσει τα μαθηματικά μοντέλα που αναφέρονται παραπάνω σε πολύ λίγα λεπτά και να δώσει στον χρήστη αποτελέσματα σχετικά με τις εσωτερικές συνθήκες και την ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου. Επίσης, τα προγράμματα αυτά δίνουν την ικανότητα στον χρήστη να κάνει υπολογισμούς για μικρές και μεγάλες χρονικές περιόδους, από λίγες ημέρες έως και ολόκληρο το έτος. Τέλος, δίνουν την δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει το χρονικό βήμα που επιθυμεί για τους υπολογισμούς εντός της περιόδου που επέλεξε [35][36][37][38].

Έτσι γίνεται εμφανές ότι με την χρήση ενός προγράμματος ενεργειακής προσομοίωσης κτηρίων ο χρήστης θα βγάλει ακριβή αποτελέσματα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, κάτι το οποίο τα καθιστά πολύ σημαντικό εργαλείο για κάποιον που σχεδιάζει ένα νέο κτήριο, που προσπαθεί να επιλέξει το κατάλληλο σύστημα Θέρμανσης – Ψύξης – Κλιματισμού για ένα υφιστάμενο κτήριο ή να αναβαθμίσει την μόνωση ενός κτιριακού κελύφους [35][36][37][38].

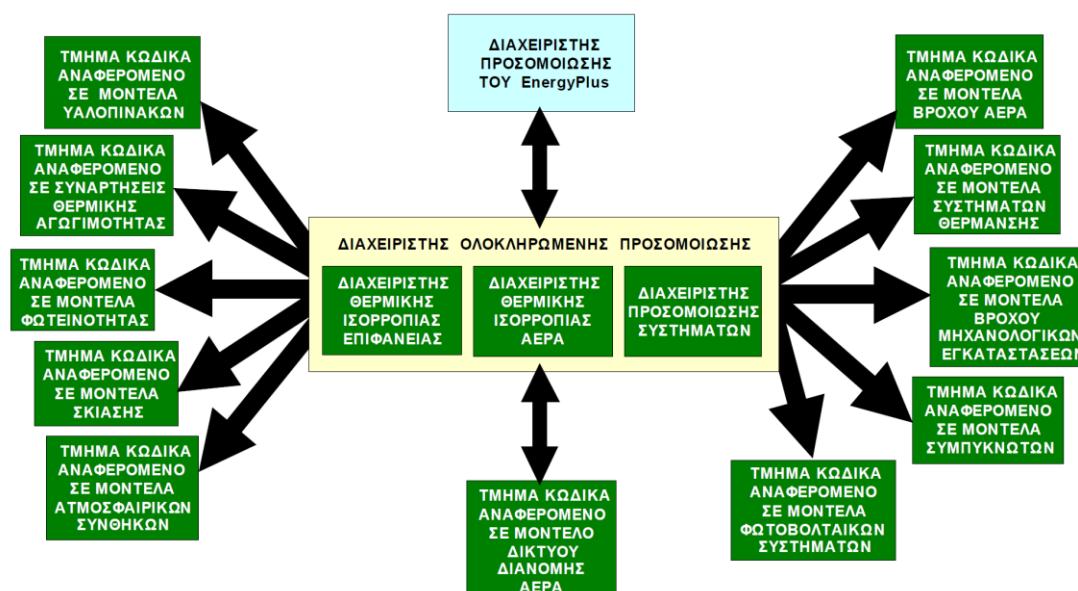
Πίνακας 3: Τα πιο Διαδεδομένα Προγράμματα Ενεργειακής Προσομοίωσης Κτηρίων και Κάποια Βασικά Χαρακτηριστικά τους [38].

	κόστος	ακρίβεια υπολογισμών	ευχριστεία	επιπλέον δυνατότητες
Energy Plus	δωρεάν	μεγάλη	μικρή	λογισμικό βάσης
OpenStudio	μικρό	μεγάλη	μεσαία	SketchUp extensions
Simergy	δωρεάν	μεγάλη	μεσαία	-
DesignBuilder	μεγάλο	μεγάλη	μεγάλη	CFD
eQuest	δωρεάν	μεγάλη	μεσαία	wizard για στήσιμο μοντέλου
TRNSYS	μεγάλο	μεγάλη	μικρή	συγγραφή components
ECOTECT	μεσαίο	μεσαία	μεγάλη	ακουστική ανάλυση

3.2 EnergyPlus

Το EnergyPlus είναι ένα λογισμικό ενεργειακής προσομοίωσης και ανάλυσης κτηρίου που αναπτύχθηκε για πρώτη φορά το 2001 από το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α. και χρησιμοποιείται από μηχανικούς, αρχιτέκτονες και ερευνητές. Το EnergyPlus είναι δωρεάν, ανοικτού κώδικα και τρέχει σε λειτουργικά συστήματα Windows, Mac και Linux. Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι το Το EnergyPlus διαθέτει ένα αρκετά περιορισμένο περιβάλλον διεπαφής χρήστη (User Interface), το οποίο απαιτεί την εισαγωγή όλων των πληροφοριών και των εντολών από τον χρήστη σε μορφή κώδικα. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται άλλα προγράμματα σε συνδυασμό με το EnergyPlus τα οποία προσφέρουν ένα γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη (Graphical User Interface) [39][40].

Το EnergyPlus επιτρέπει στους χρήστες του να εισάγουν μια πολύ μεγάλη ποικιλία πληροφοριών σχετικά με το κτήριο. Αυτό περιλαμβάνει την γεωμετρία του κτηρίου, τα χαρακτηριστικά των δομικών υλικών, τα συστήματα Θέρμανσης – Ψύξης – Κλιματισμού καθώς ακόμα και τις περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής που βρίσκεται το κτήριο. Στην συνέχεια, το EnergyPlus θα υπολογίσει και θα δώσει στον χρήστη μια εξίσου μεγάλη ποικιλία αποτελεσμάτων. Κάποια από τα σημαντικότερα αποτελέσματα που μπορεί να πάρει κανείς από το EnergyPlus είναι η ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου, τα απαραίτητα θερμικά και ψυκτικά φορτία για την κάλυψη των αναγκών του κτηρίου και η οπτική άνεση των χώρων [39][40].

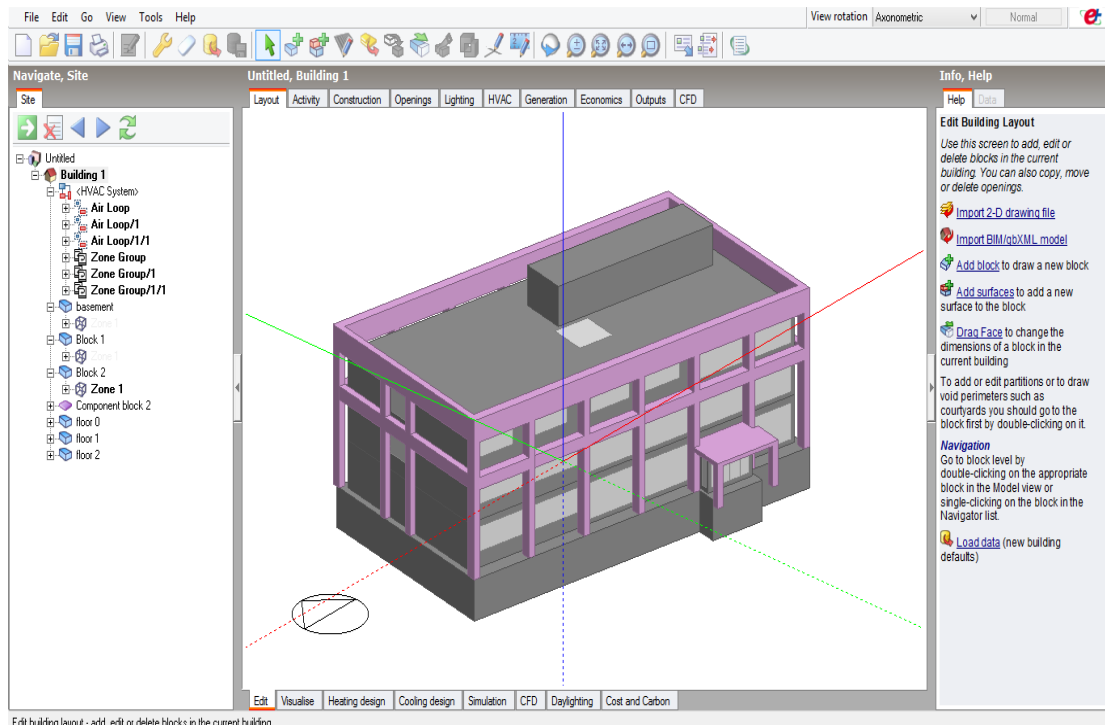


Εικόνα 14: Η δομή του EnergyPlus [35].

Η ενεργειακή προσομοίωση που προσφέρει το EnergyPlus δίνει μια εικόνα πολύ κοντά στην πραγματικότητα, για το κτήριο και τα ενεργειακά του χαρακτηριστικά. Με βάση την προσομοίωση του EnergyPlus ο χρήστης μπορεί να πάρει διάφορες αποφάσεις όπως η επιλογή κατάλληλων συστημάτων Θέρμανσης – Ψύξης – Κλιματισμού και η επιλογή κατάλληλων υλικών για το κέλυφος ενός υπό κατασκευή κτηρίου. Επίσης, τα αποτελέσματα ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου που θα δώσει το EnergyPlus στον χρήστη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του κόστους κάλυψης των ενεργειακών αναγκών του κτηρίου. [39][40]

3.3 DesignBuilder

Το DesignBuilder είναι ένα πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης και ανάλυσης κτηρίου. Το DesignBuilder συνεργάζεται με το EnergyPlus για την υλοποίηση της προσομοίωσης και μοντελοποίησης ενός κτηρίου. Για την ακρίβεια το DesignBuilder χρησιμοποιεί τον κώδικα και τους αλγόριθμους του EnergyPlus για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων που θέλει να πάρει ο χρήστης. Ταυτόχρονα, το DesignBuilder παρέχει ένα πολύ εύχρηστο και φιλικό γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη (Graphical User Interface) το οποίο μπορεί να κάνει την ενεργειακή προσομοίωση και μοντελοποίηση πολύ πιο εύκολη και γρήγορη για κάθε χρήστη [41][42].



Εικόνα 15: Περιβάλλον διεπαφής του DesignBuilder.

Παρακάτω γίνεται περιγραφή των επιλογών που περιέχει η γραμμή εργαλείων εισαγωγής δεδομένων του DesignBuilder [41][42].

Activity: Εισάγονται δεδομένα για τη χρήση του κτιρίου, όπως για παράδειγμα αν πρόκειται για κατοικία, κτήριο γραφείων, νοσοκομείο. Επίσης εισάγονται δεδομένα για τον πιθανό αριθμό ατόμων στο εσωτερικό του κτηρίου και το είδος ηλεκτρικών συσκευών που θα τοποθετηθούν. Τέλος, καθορίζονται οι επιθυμητές θερμοκρασίες ψύξης και θέρμανσης στους θερμοστάτες.

Construction: Εισάγονται κατασκευαστικά δεδομένα του κελύφους του κτηρίου. Ειδικότερα τα δομικά υλικά και η διαστρωμάτωση της εσωτερικής και εξωτερικής τοιχοποιίας, των δαπέδων και των οροφών ή σκεπών.

Openings: Εισάγονται τα δομικά δεδομένα για τις πόρτες, τα παράθυρα, τους αεραγωγούς και τους υαλοπίνακες του κτιρίου.

Lighting: Εισάγονται τα δεδομένα που αφορούν στον φωτισμό, όπως η λειτουργία των συστημάτων φωτισμού του κτηρίου και η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος που απαιτούν.

HVAC: Εισάγονται δεδομένα σχετικά με τα συστήματα Θέρμανσης – Ψύξης – Κλιματισμού, την παροχή ζεστού νερού και την ύπαρξη φυσικού ή τεχνητού αερισμού σε κάθε χώρο του κτηρίου. Το DesignBuilder παρέχει την επιλογή απλής ή λεπτομερούς εισαγωγής δεδομένων για τα HVAC. Η απλή μπορεί να επιλεγεί όταν ο χρήστης θέλει να δώσει έμφαση μόνο στις θερμικές απώλειες του κελύφους και όχι στις ενεργειακές καταναλώσεις που προκύπτουν από την κάλυψη των αναγκών Θέρμανσης – Ψύξης – Κλιματισμού των χώρων. Η απλή επιλογή εξυπηρετεί κυρίως αρχιτέκτονες για την μελέτη των κατάλληλων δομικών υλικών και ανοιγμάτων του κτιρίου. Η λεπτομερής επιλογή εξυπηρετεί κυρίως Μηχανικούς που μελετούν την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου και τις ανάγκες του για θέρμανση, ψύξη κλιματισμού και ζεστό νερό. Η λεπτομερής επιλογή παρέχει μεγάλη ευελιξία στη μελέτη συστημάτων κλιματισμού, θέρμανσης, ψύξης και παροχής ζεστού νερού χρήσης.

Παρακάτω γίνεται περιγραφή των επιλογών που περιέχει η γραμμή εργαλείων εξαγωγής δεδομένων του DesignBuilder [30][31].

Visualise: Με αυτήν την επιλογή παρέχεται η δυνατότητα τρισδιάστατης οπτικοποίησης του κτιρίου και των φωτοσκιάσεων κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Heating Design: Με αυτήν την επιλογή πραγματοποιείται υπολογισμός της μεταφοράς θερμότητας μεταξύ εσωτερικού χώρου του κτηρίου και εξωτερικού περιβάλλοντος. Ρυθμίζοντας την επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία στο θερμοστάτη εμφανίζεται το απαιτούμενο θερμικό φορτίο. Ο υπολογισμός γίνεται για κάθε δωμάτιο ή για το σύνολο του κτηρίου.

Cooling Design: Με αυτήν την επιλογή πραγματοποιείται υπολογισμός του απαιτούμενου ψυκτικού φορτίου για κάθε δωμάτιο ή για το σύνολο του κτηρίου.

Simulation: Με αυτήν την επιλογή πραγματοποιείται η προσομοίωση. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται είτε με τη μορφή διαγραμμάτων είτε με τη μορφή πινάκων σε χρονική κλίμακα που μπορεί να επιλεγεί από το χρήστη. Η χρονική κλίμακα έχει διαβάθμιση από μηνιαία μέχρι ωριαία, με ανάλογη διαβάθμιση και στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Ο χρήστης επιλέγει χρονικά όρια εκτέλεσης της προσομοίωσης.

3.4 OpenStudio

Το OpenStudio, όπως και το DesignBuilder, είναι ένα λογισμικό ενεργειακής προσομοίωσης που χρησιμοποιεί τον κώδικα και τους αλγορίθμους του EnergyPlus για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων που θέλει να πάρει ο χρήστης, ενώ παρέχει ένα εύχρηστο γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη (Graphical User Interface). Η βασική διαφορά μεταξύ του DesignBuilder και του OpenStudio είναι ότι το OpenStudio είναι δωρεάν και ανοικτού κώδικα, ακριβώς όπως και το EnergyPlus [42].

Το OpenStudio παρέχει τις παρακάτω επιλογές εισαγωγής δεδομένων στους χρήστες του: [42]

Site: Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει το κλίμα, τον καιρό και χαρακτηριστικά της περιοχής.

Schedules: Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τα χρονοδιαγράμματα που εφαρμόζονται στα φορτία του κτιρίων.

Construction: Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τα υλικά κατασκευής του κτηρίου.

Loads: Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τα φορτία του κτηρίου.

Space Types: Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει την χρήση κάθε χώρου.

Geometry: Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει την γεωμετρία του κτηρίου.

Building: Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τους ορόφους του κτηρίου και εξωτερικά του στοιχεία.

Spaces: Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει μεμονωμένους χώρους.

Thermal Zones: Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει θερμικές ζώνες στο κτήριο.

HVAC: Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τα συστήματα Θέρμανσης – Ψύξης – Κλιματισμού και ζεστού νερού του κτηρίου.

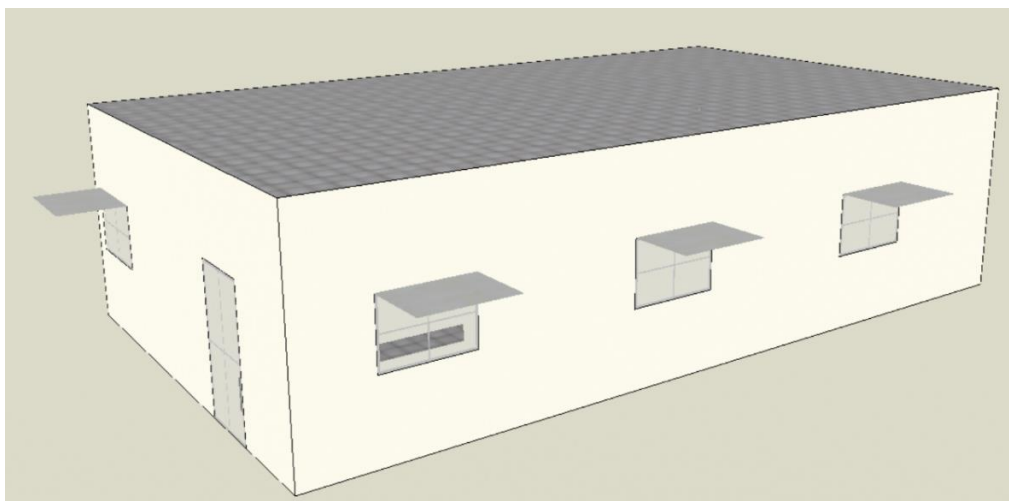
Variables: Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει επιπλέον μεταβλητές που είναι απαραίτητες για την προσομοίωση.

Κεφάλαιο 4

Μελέτη Περίπτωσης

4.1 Σχεδιασμός Κτηρίου

Το υπό μελέτη κτήριο θεωρείται ότι βρίσκεται στην Κλιματική Ζώνη Β της Ελλάδας και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή του Ελληνικού της Αττικής. Το κτήριο είναι μια μονοκατοικία ενός ορόφου με συνολικό εμβαδό 97,5 m² και νότιο προσανατολισμό. Κατά τον άξονα ανατολής – δύσης το κτήριο είναι 13 m, ενώ κατά τον άξονα βορά – νότου είναι 7,5 m. Το κτήριο αποτελείται από ένα σαλόνι, μια κουζίνα, δύο υπνοδωμάτια, ένα λουτρό – τουαλέτα και έναν διάδρομο.



Εικόνα 16: Το κτήριο όπως όπως παρουσιάζεται στο DesignBuilder.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα υλικά κατασκευής του κτηριακού κελύφους.

Πίνακας 4: Υλικά κατασκευής τοιχωμάτων.

Υλικό	Πάχος (m)	Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας (W/m·K)
Ασβεστοκονίαμα	0,010	0,350
Θερμομονωτικό XPS	0,150	0,030
Συνθετικό Κονίαμα	0,005	0,880
Τούβλα	0,180	0,300
Ασβεστοκονίαμα	0,010	0,350

Πίνακας 5: Υλικά κατασκευής οροφής.

Υλικό	Πάχος (m)	Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας (W/m·K)
Κεραμικά Πλακίδια	0,005	0,800
Τσιμεντοκονίαμα	0,020	0,720
Θερμομόνωση XPS	0,150	0,030
Ασφαλτόπανο	0,002	0,300
Ελαφροσκυρόδεμα	0,080	0,170
Οπλισμένο Σκυρόδεμα	0,150	2,500
Ασβεστοκονίαμα	0,010	0,350

Πίνακας 6: Υλικά κατασκευής δαπέδου.

Υλικό	Πάχος (m)	Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας (W/m·K)
Ελαφροσκυρόδεμα	0,030	0,170
Ασφαλτόπανο	0,004	0,300
Θερμομόνωση XPS	0,150	0,030
Οπλισμένο Σκυρόδεμα	0,150	2,500
Τσιμεντοκονίαμα	0,040	1,500
Κεραμικά Πλακίδια	0,200	0,800

Για την θερμομόνωση του κτηρίου επιλέχθηκε εξωτερική θερμομόνωση. Με την εξωτερική θερμομόνωση μπορούν να εξαιρεθούν σε πολύ μεγάλο βαθμό οι θερμικές απώλειες από τις θερμογέφυρες και ταυτόχρονα πρόκειται για εξαιρετικά αποδοτικό τύπο θερμομόνωσης.

Για τα διαφανή στοιχεία του κτηρίου επιλέχθηκαν υαλοπίνακες με τριπλή υάλωση, με πάχη στρώσεων 3–13–3–13–3 (mm). Τα διάκενα πάχους 13 mm περιέχουν αργό. Αυτοί οι υαλοπίνακες διαθέτουν συντελεστή μετάδοσης φωτός 66%. Επίσης, τα ανοίγματα προστατεύονται από εξωτερικά οριζόντια σκίαστρα.

Όπως αναφέρεται και στο **Κεφάλαιο 2**, σύμφωνα με τις τεχνικές βιοκλιματικού σχεδιασμού κτηρίων, ο νότιος προσανατολισμός του κτηρίου επιλέχθηκε ώστε να έχουμε μέγιστη αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας τον χειμώνα. Τα σκίαστρα τοποθετούνται ώστε να υπάρχει προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι που είναι ανεπιθύμητη.

Στον **Πίνακα 7** αναφέρονται κάποια βασικά μεγέθη του τις επιφάνειες των επιμέρους στοιχείων του κτηρίου.

Πίνακας 7: Βασικά μεγέθη κτηρίου.

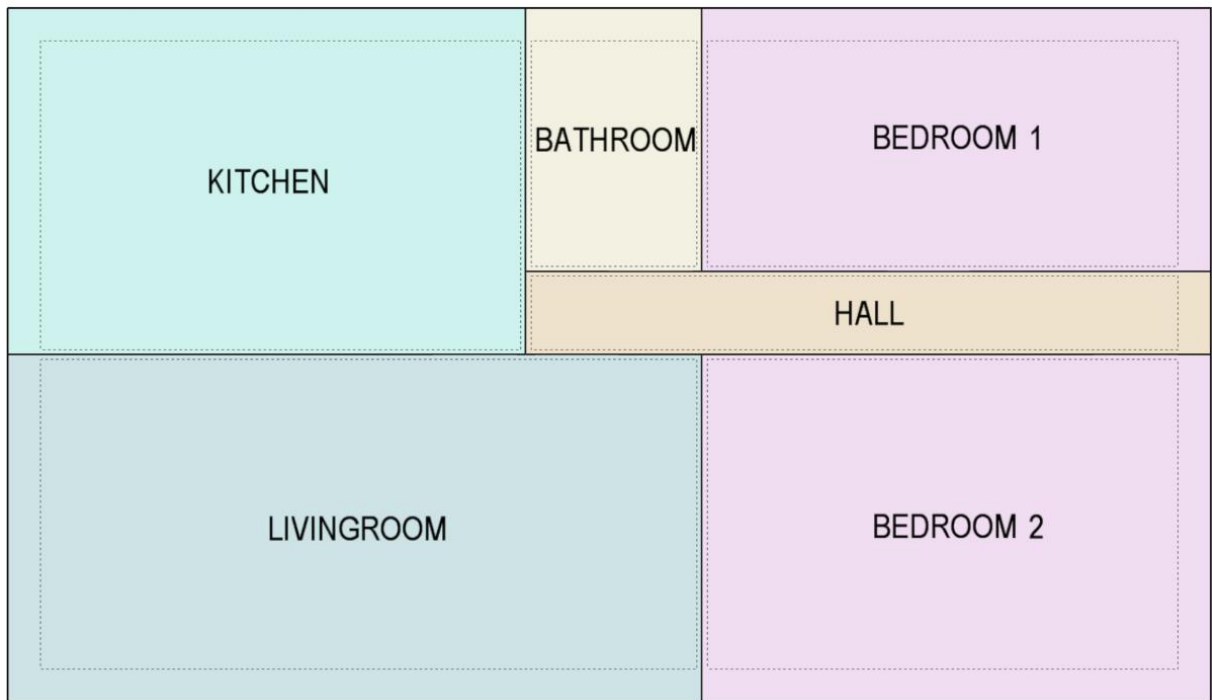
Επιφάνεια Τοιχωμάτων (m ²)	129,72
Επιφάνεια Δαπέδου (m ²)	97,50
Επιφάνεια Οροφής (m ²)	97,50
Επιφάνεια Κουφωμάτων (m ²)	13,78
Συνολική Επιφάνεια Κτηρίου (m ²)	338,50
Συνολικός Όγκος Κτηρίου (m ³)	341,25
Ωφέλιμη Επιφάνεια Κτηρίου (m ²)	80,3

Τέλος, στον **Πίνακα 8** αναφέρονται κάποια βασικά δεδομένα για το υπό μελέτη κτήριο.

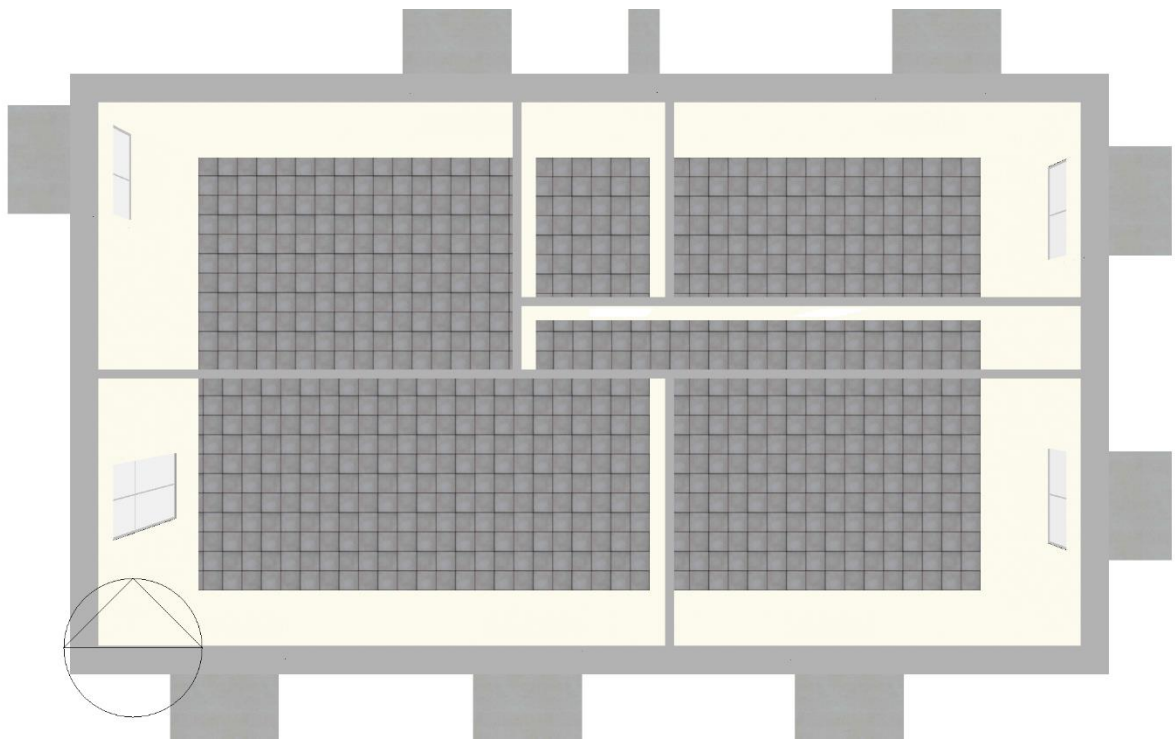
Πίνακας 8: Βασικά δεδομένα κτηρίου.

Τοποθεσία	Αθήνα (Ελληνικό)
Προσανατολισμός	Νότιος
Χρήση	Κατοικία
Χρήστες	Τετραμελής Οικογένεια
Ώρες, ημέρες, μήνες λειτουργίας	18, 7, 12
Περίοδος θέρμανσης	1η Νοεμβρίου – 15η Απριλίου
Περίοδος ψύξης	15η Μαΐου – 15η Σεπτεμβρίου
Αλλαγές αέρα ανά ώρα (ac/h)	0,6
Θερμοκρασία χειμερινής περιόδου (°C)	20
Θερμοκρασία εαρινής περιόδου (°C)	26

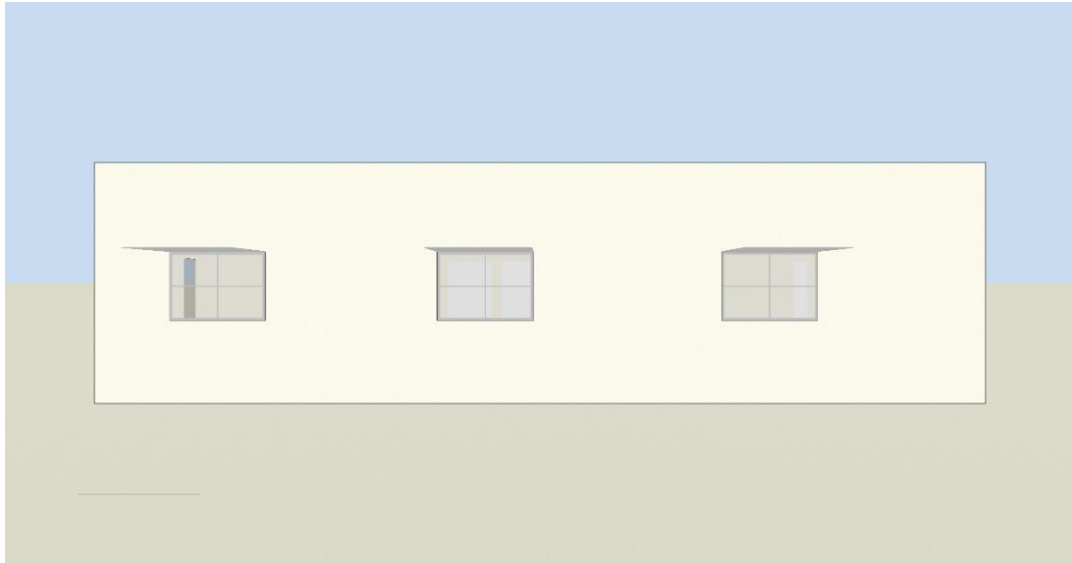
Παρακάτω γίνεται παρουσίαση των όψεων του κτηρίου, όπως αυτές φαίνονται στο DesignBuilder.



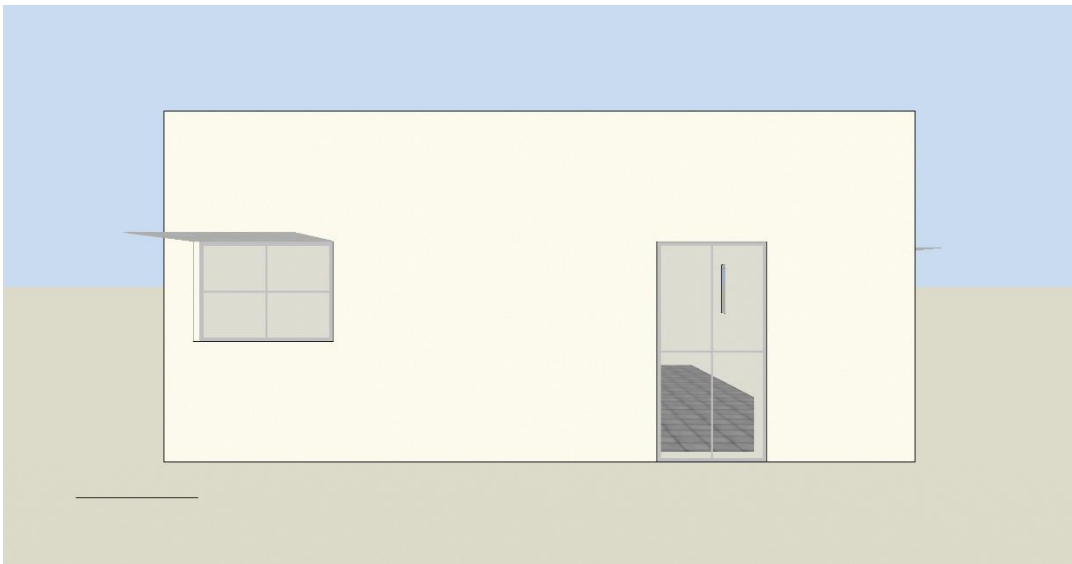
Εικόνα 16: Κάτοψη του κτηρίου.



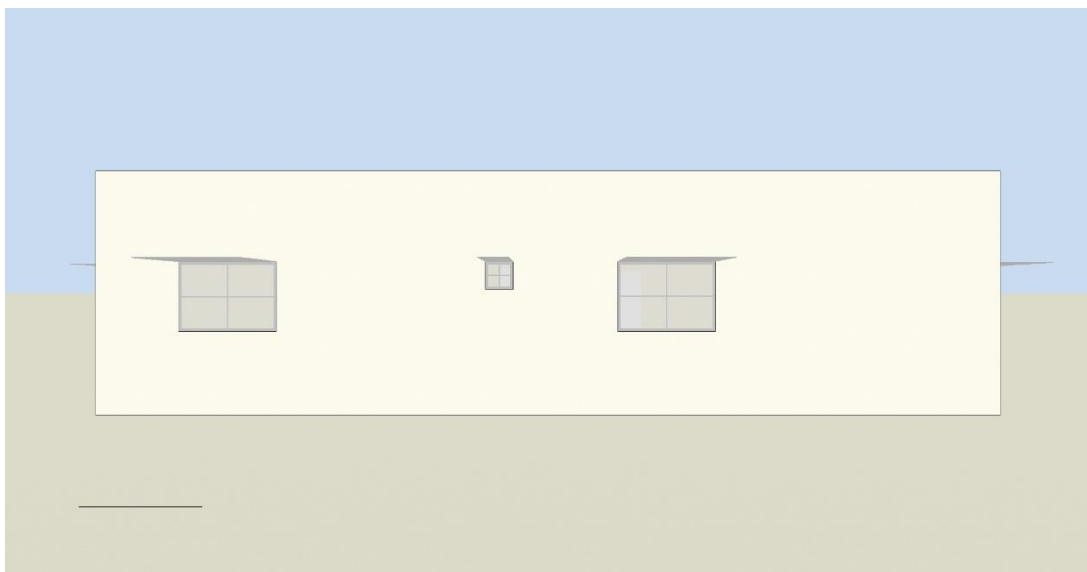
Εικόνα 17: Κάτοψη του κτηρίου με την επιλογή Visualize του DesignBuilder.



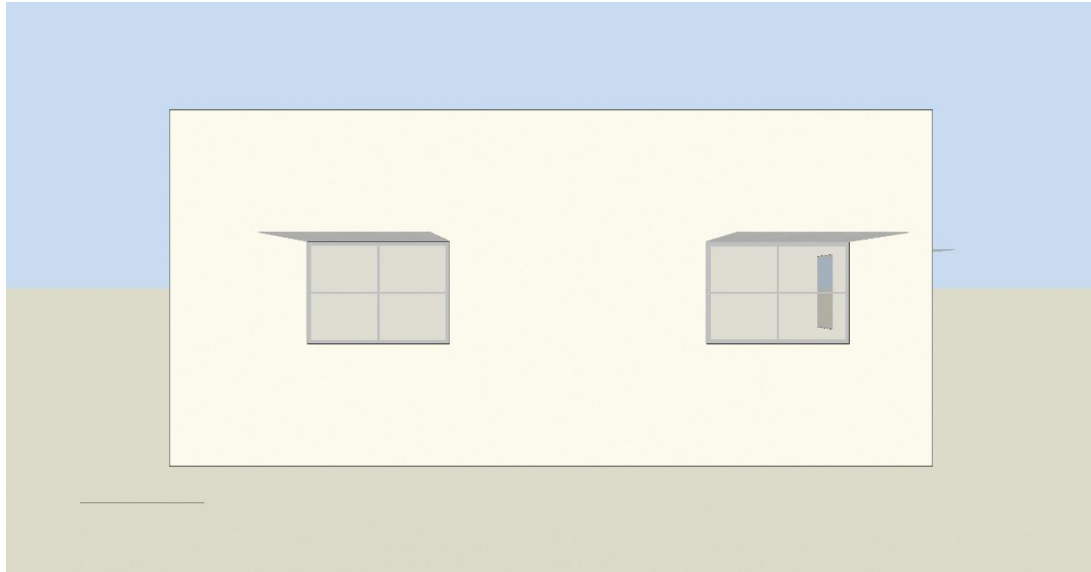
Εικόνα 18: Νότια όψη του κτηρίου.



Εικόνα 19: Δυτική όψη του κτηρίου.



Εικόνα 20: Βόρεια όψη του κτηρίου.



Εικόνα 21: Ανατολική όψη του κτηρίου.

4.2 Θερμομονωτική Επάρκεια

Προκειμένου να καλύπτει το κτηριακό κελύφος τις προδιαγραφές ενός ΚΣΜΚΕ, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της θερμομονωτικής επάρκειας του.

Αρχικά θα πρέπει να εξετασθούν ως προς τη θερμομονωτική τους επάρκεια όλα τα επί μέρους δομικά στοιχεία του εξεταζόμενου κτηρίου και στην συνέχεια η συνολική θερμομονωτική επάρκεια ολόκληρου του κελύφους.

Για τον υπολογισμό της θερμικής επάρκειας χρησιμοποιήθηκαν η μεθοδολογία και οι τύποι που αναφέρονται στην ΤΟΤΕΕ 20701-2. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με την χρήση του Excel.

Αρχικά γίνεται υπολογισμός της αντίστασης που προβάλλει κάθε στρώμα υλικού, ενός δομικού στοιχείου του κελύφους, στην ροή της θερμότητας. Ο υπολογισμός γίνεται με την χρήση του τύπου:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \text{Εξίσωση 5}$$

Όπου R είναι η θερμική αντίσταση του υλικού που μετριέται σε $[m^2 \cdot (K/W)]$, d είναι το πάχος της στρώσης του υλικού που μετριέται σε μέτρα [m] και λ είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού που μετριέται σε $[W/(m \cdot K)]$.

Αφού γίνει υπολογισμός των θερμικών αντιστάσεων όλων των στρωμάτων, γίνεται πρόσθεση όλων των θερμικών αντιστάσεων για την εύρεση του της συνολικής θερμικής αντίστασης ενός δομικού στοιχείου.

Έπειτα, υπολογίζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας κάθε δομικού στοιχείου από τον τύπο:

$$U = \frac{1}{R_{ολ}} \quad \text{Εξίσωση 6}$$

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας μετριέται σε $[W/(m^2 \cdot K)]$.

Στον **Πίνακα 5a** της ΤΟΤΕΕ 20701-2 αναγράφονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη. Αφού υπολογιστούν οι συντελεστές θερμοπερατότητας κάθε επιμέρους δομικού στοιχείου του κελύφους, γίνεται σύγκριση με τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές για την διαπίστωση της θερμομονωτικής τους επάρκειας [29].

Στον **Πίνακα 5** φαίνονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων του κτηρίου για την κλιματική ζώνη Β'.

Πίνακας 9: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτηρίου.

Δομικά Στοιχεία	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m ² ·K)]
Τοιχώματα	0,45
Οροφή	0,40
Δάπεδο	0,80
Κουφώματα	2,60

Πριν τον υπολογισμό του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας ολόκληρου του κτηρίου πρέπει να γίνει υπολογισμός του μέγιστου επιτρεπόμενου μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του κτηρίου. Αρχικά, γίνεται διαίρεση της συνολικής επιφάνειας του κτηριακού κελύφους με τον ολικό όγκο του κτηρίου.

$$\frac{A}{V} = \frac{338,50}{341,25} = 0,99$$

Στην συνέχεια, από τον **Πίνακα 6β** της ΤΟΤΕΕ 20701-2 παίρνουμε τον αντίστοιχο μέγιστο επιτρεπόμενο μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας, ανάλογα με το αποτέλεσμα της παραπάνω διαίρεσης. Στην προκείμενη περίπτωση ο μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας είναι: [29]

$$U_{m, max} = 0,69 [W/(m^2 \cdot K)]$$

Τέλος, για τον υπολογισμό του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του κτηρίου χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j \cdot U_j \cdot b_j + \sum_{i=1}^v I_i \cdot \Psi_i \cdot b_{\theta_7}}{\sum_{j=1}^n A_j}$$

Εξίσωση 7

Όπου:

A είναι το εμβαδόν κάθε δομικού στοιχείου του κελύφους.

U είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας κάθε δομικού στοιχείου του κελύφους.

b είναι μειωτικός συντελεστής ο οποίος λαμβάνεται ίσος με 1 για δομικά στοιχεία σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα και σε δομικά στοιχεία σε επαφή με το έδαφος. Άρα ο μειωτικός συντελεστής λαμβάνεται πάντα ίσος με 1 για το υπό μελέτη κτήριο.

Ψ είναι ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας κάθε τύπου θερμογέφυρας του κελύφους. Η εύρεση των συντελεστών κάθε θερμογέφυρας του κτηρίου γίνεται από τον **Πίνακα 15** της ΤΟΤΕΕ 20701-2. [29]

I είναι το συνολικό μήκος κάθε τύπου θερμογέφυρας.

b_{θ7} είναι μειωτικός συντελεστής ο οποίος, στο υπό μελέτη κτήριο, λαμβάνεται πάντα ίσος με 1 γιατί όλες οι θερμογέφυρες διαχωρίζουν πάντα θερμαινόμενο χώρο με το εξωτερικό περιβάλλον.

Στους παρακάτω πίνακες βλέπουμε τα αποτελέσματα της θερμομονωτικής επάρκειας του κτηρίου.

Πίνακας 10: Συντελεστής θερμοπερατότητας τοιχωμάτων.

Συντελεστής Θερμοπερατότητας Τοιχωμάτων				
A/A	Ονομασία Υλικού	Πάχος Υλικού d (m)	Θερμική Αγωγιμότητα Υλικού λ (W/m·K)	Θερμική Αντίσταση Υλικού R (m ² ·K/W)
1	Ασβεστοκονίαμα	0,010	0,350	0,029
2	Θερμομόνωση XPS	0,150	0,030	5,000
3	Συνθετικό Κονίαμα	0,005	0,880	0,006
4	Τούβλα	0,180	0,300	0,600
5	Ασβεστοκονίαμα	0,010	0,350	0,029
Αντίσταση θερμικής μετάβασης Ri				0,130
Αντίσταση θερμικής μετάβασης Ra				0,040
Συνολική Θερμική Αντίσταση Δομικού Στοιχείου R				5,833
Συντελεστής Θερμοπερατότητας U (W/m²·K)		1/R		0,171

Πίνακας 11: Συντελεστής θερμοπερατότητας οροφής.

Συντελεστής Θερμοπερατότητας Οροφής				
A/A	Ονομασία Υλικού	Πάχος Υλικού d (m)	Θερμική Αγωγιμότητα Υλικού λ (W/m·K)	Θερμική Αντίσταση Υλικού R (m ² ·K/W)
1	Κεραμικά Πλακίδια	0,005	0,800	0,006
2	Τσιμεντοκονίαμα	0,020	0,720	0,028
3	Θερμομόνωση XPS	0,150	0,030	5,000
4	Άσφαλτος	0,002	0,300	0,007
5	Ελαφροσκυρόδεμα	0,080	0,170	0,471
6	Οπλισμένο Σκυρόδεμα	0,150	2,500	0,060
7	Ασβεστοκονίαμα	0,010	0,350	0,029
Αντίσταση θερμικής μετάβασης Ri				0,100
Αντίσταση θερμικής μετάβασης Ra				0,040
Συνολική Θερμική Αντίσταση Δομικού Στοιχείου R				5,740
Συντελεστής Θερμοπερατότητας U (W/m²·K)		1/R		0,174

Πίνακας 12: Συντελεστής θερμοπερατότητας δαπέδου.

Ονομαστικός Συντελεστής Θερμοπερατότητας Δαπέδου				
A/A	Ονομασία Υλικού	Πάχος Υλικού d (m)	Θερμική Αγωγιμότητα Υλικού λ (W/m·K)	Θερμική Αντίσταση Υλικού R (m ² ·K/W)
1	Ελαφροσκυρόδεμα	0,030	0,170	0,176
2	Άσφαλτος	0,004	0,300	0,013
3	Θερμομόνωση XPS	0,150	0,030	5,000
4	Οπλισμένο Σκυρόδεμα	0,150	2,500	0,060
5	Τσιμεντοκονίαμα	0,040	1,500	0,027
6	Κεραμικά Πλακίδια	0,200	0,800	0,250
Αντίσταση θερμικής μετάβασης Ri				0,170
Αντίσταση θερμικής μετάβασης Ra				0,000
Συνολική Θερμική Αντίσταση Δομικού Στοιχείου R				5,696
Ονομαστικός Συντελεστής Θερμοπερατότητας U (W/m²·K)		1/R		0,176

Στην περίπτωση του συντελεστή θερμοπερατότητας δαπέδου δεν αρκεί ο υπολογισμός του ονομαστικού συντελεστή θερμοπερατότητας. Με βάση την τιμή του ονομαστικού συντελεστή θερμοπερατότητας U (W/m²·K), το βάθος έδρασης z (m) και την χαρακτηριστική διάσταση της πλάκας B' (m), θα πρέπει να παρθεί ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας U' (W/m²·K) από τον Πίνακα 8α της ΤΟΤΕΕ 20701-2. [29]

Το βάθος έδρασης είναι:

$$z = 0,574 \text{ m}$$

Η χαρακτηριστική διάσταση της πλάκας υπολογίζεται από τον τύπο:

$$B' = \frac{A}{\Pi} = \frac{97,5}{22} = 4,43 \text{ m}$$

Όπου A είναι το είναι το εμβαδόν του δαπέδου (m²) και Π είναι η περίμετρος του δαπέδου (m).

Ο Πίνακα 8α της ΤΟΤΕΕ 20701-2 δίνει τιμές ισοδύναμου συντελεστή για ονομαστικούς συντελεστές έως και 0,3 (W/m²·K). Στην προκειμένη περίπτωση ο ονομαστικός συντελεστής που υπολογίστηκε είναι αρκετά μικρό από το 0,3 (W/m²·K). Για αυτόν τον λόγο δεν μπορεί να επιλεγεί ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας από τον Πίνακα 8α και ο ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας U' (W/m²·K) θεωρείται ίσος με τον ονομαστικού συντελεστή θερμοπερατότητας U (W/m²·K). [29]

$$U' = U = 0,176 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

Πίνακας 13: Κατακόρυφες Θερμογέφυρες.

Κατακόρυφες Θερμογέφυρες					
A/A	Τύπος Θερμογέφυρας	Φορές που Εμφανίζεται	Συντελεστής Γραμμικής Θερμοπερατότητας ψ (W/m·K)	Μήκος Θερμογέφυρας L (m)	$\Sigma(L \cdot \psi)$ (W/K)
1	ΞΓ-4	4	-0,15	3,50	-2,10
2	ΣΣ-1	8	0,00	2,50	0,00
3	ΛΠ-19	16	0,05	1,00	0,80
4	ΛΠ-19	2	0,05	0,40	0,04
5	ΛΠ-19	2	0,05	2,20	0,22
Συνολικό ψ Κατακόρυφων Θερμογεφυρών (W/K)					-1,04

Πίνακας 14: Οριζόντιες Θερμογέφυρες.

Οριζόντιες Θερμογέφυρες					
A/A	Τύπος Θερμογέφυρας	Φορές που Εμφανίζεται	Συντελεστής Γραμμικής Θερμοπερατότητας ψ (W/m·K)	Μήκος Θερμογέφυρας L (m)	$\Sigma(L \cdot \psi)$ (W/K)
1	ΔΣ-36	2	-0,10	12,30	-2,46
2	ΔΣ-36	2	-0,10	6,80	-1,36
3	ΔΦ-10	2	0,05	12,30	1,23
4	ΔΦ-10	2	0,05	6,80	0,68
5	ΥΠ-19	16	0,10	1,40	2,24
6	ΥΠ-19	2	0,10	0,4	0,08
7	ΥΠ-19	2	0,10	1,1	0,22
Συνολικό ψ Οριζόντιων Θερμογεφυρών (W/K)					0,63

Πίνακας 15: Συνολικοί συντελεστές και μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτηρίου.

Συντελεστές Θερμοπερατότητας			
A/A	Δομικό Στοιχείο	U (W/m ² ·K)	U _{max} (W/m ² ·K)
1	Τοιχώματα	0,171	0,450
2	Οροφή	0,174	0,400
3	Δάπεδο	0,176	0,800
4	Κουφώματα	0,780	2,600
Συνολικό ψ Θερμογεφυρών (W/K)		-0,410	
Μέσος Συντελεστής Θερμοπερατότητας		0,197	0,690

4.3 Θέρμανση Κτηρίου

Για την θέρμανση των χώρων του κτηρίου γίνεται δοκιμή τριών συστημάτων.

Το πρώτο σύστημα αφορά την προσομοίωση ενός λέβητα πετρελαίου ο οποίος τροφοδοτεί με ζεστό νερό θερμαντικά σώματα για την θέρμανση των χώρων του κτηρίου. Ο λέβητας αυτός επιλέγεται επειδή είναι ένα από τα πιο κοινά συστήματα θέρμανσης, ειδικότερα στην περιοχή της Αθήνας όπου βρίσκεται το υπό μελέτη κτήριο.

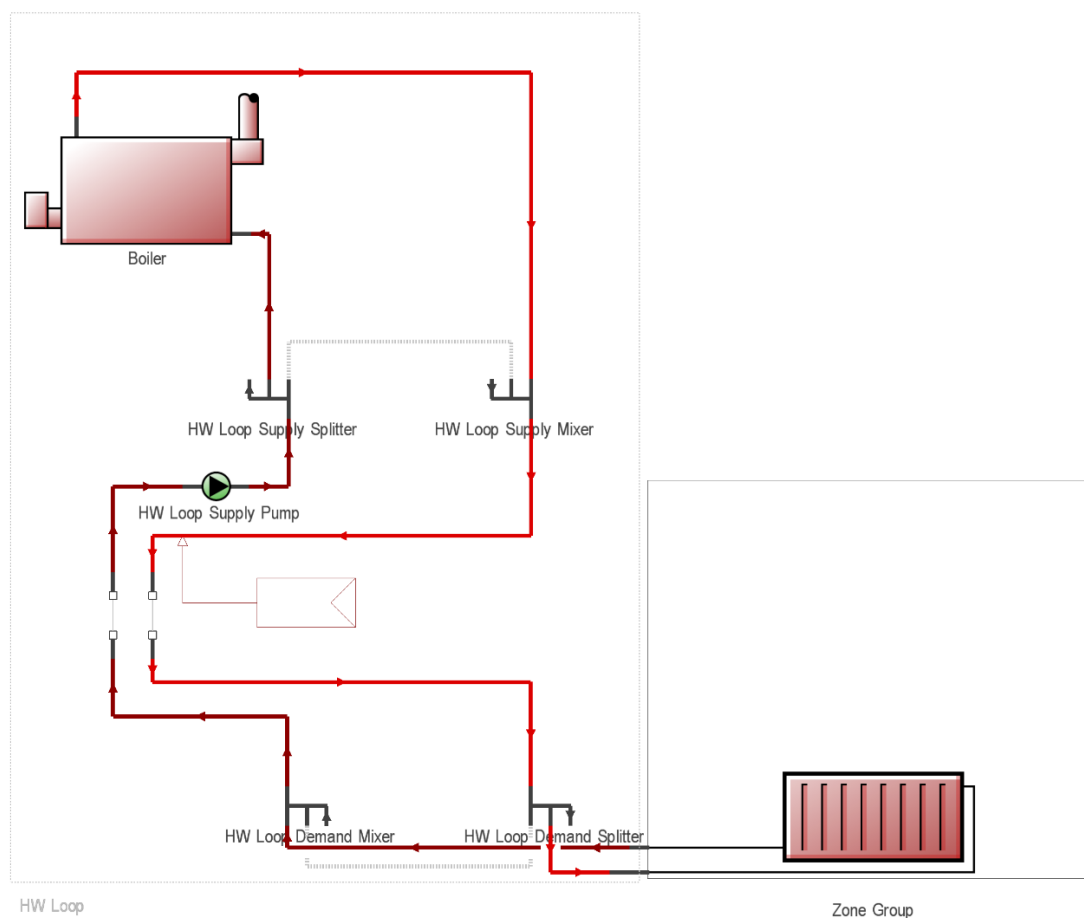
Στο δεύτερο σύστημα γίνεται προσομοίωση ενός λέβητα φυσικού αερίου ο οποίος τροφοδοτεί με ζεστό νερό θερμαντικά σώματα για την θέρμανση των χώρων του κτηρίου.

Στο τρίτο σύστημα γίνεται προσομοίωση μιας αντλίας θερμότητας Αέρα – Νερού η οποία τροφοδοτεί με ζεστό νερό θερμαντικά σώματα για την θέρμανση των χώρων του κτηρίου.

Παρακάτω γίνεται παρουσίαση κάθε συστήματος, καθώς και των αποτελεσμάτων του DesignBuilder για κάθε σύστημα.

4.3.1 Λέβητας πετρελαίου

Σε αυτήν την περίπτωση, επιλέχθηκε ένας λέβητας πετρελαίου ονομαστική ισχύ 31 kW και βαθμό απόδοσης ίσο με 0,80. Η τιμή αγοράς ενός τέτοιου λέβητα κυμαίνεται μεταξύ των 1000€ και των 2000€. Αντίστοιχα, η τιμή εγκατάστασής του κυμαίνεται επίσης μεταξύ των 1000€ και των 2000€. Στην συνέχεια, επιλέγονται να εγκατασταθούν 8 θερμαντικά σώματα τύπου PANEL στους χώρους του κτηρίου. Το κόστος αγοράς των σωμάτων κυμαίνεται μεταξύ των 100€ και των 200€ για το κάθε ένα. Αντίστοιχα, η τιμή εγκατάστασής τους κυμαίνεται μεταξύ των 200€ και των 300€ για το κάθε ένα.



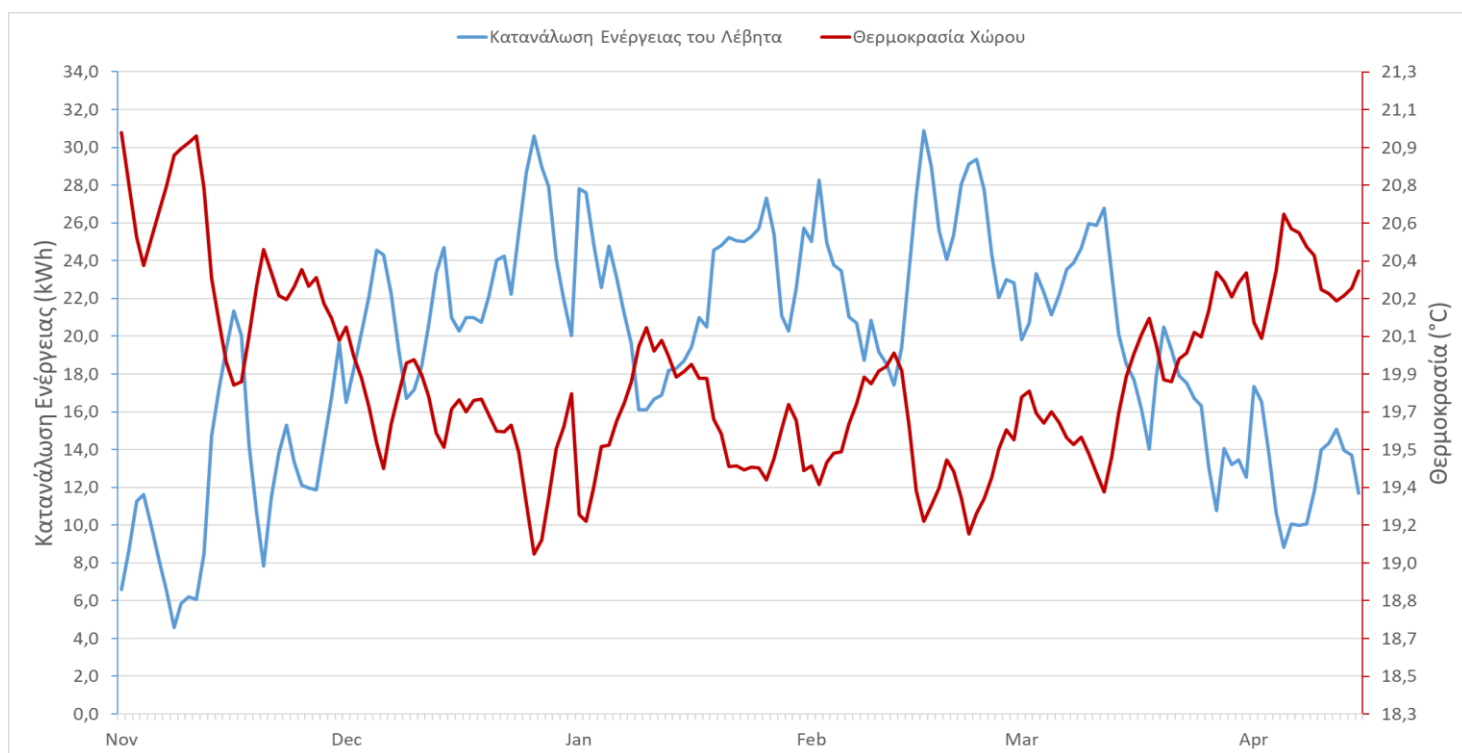
Εικόνα 21: Λέβητας πετρελαίου όπως παρουσιάζετε στο DesignBuilder.

Στον Πίνακα 16 παρουσιάζονται η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας του λέβητα, καθώς και η μηνιαία θερμοκρασία των χώρων.

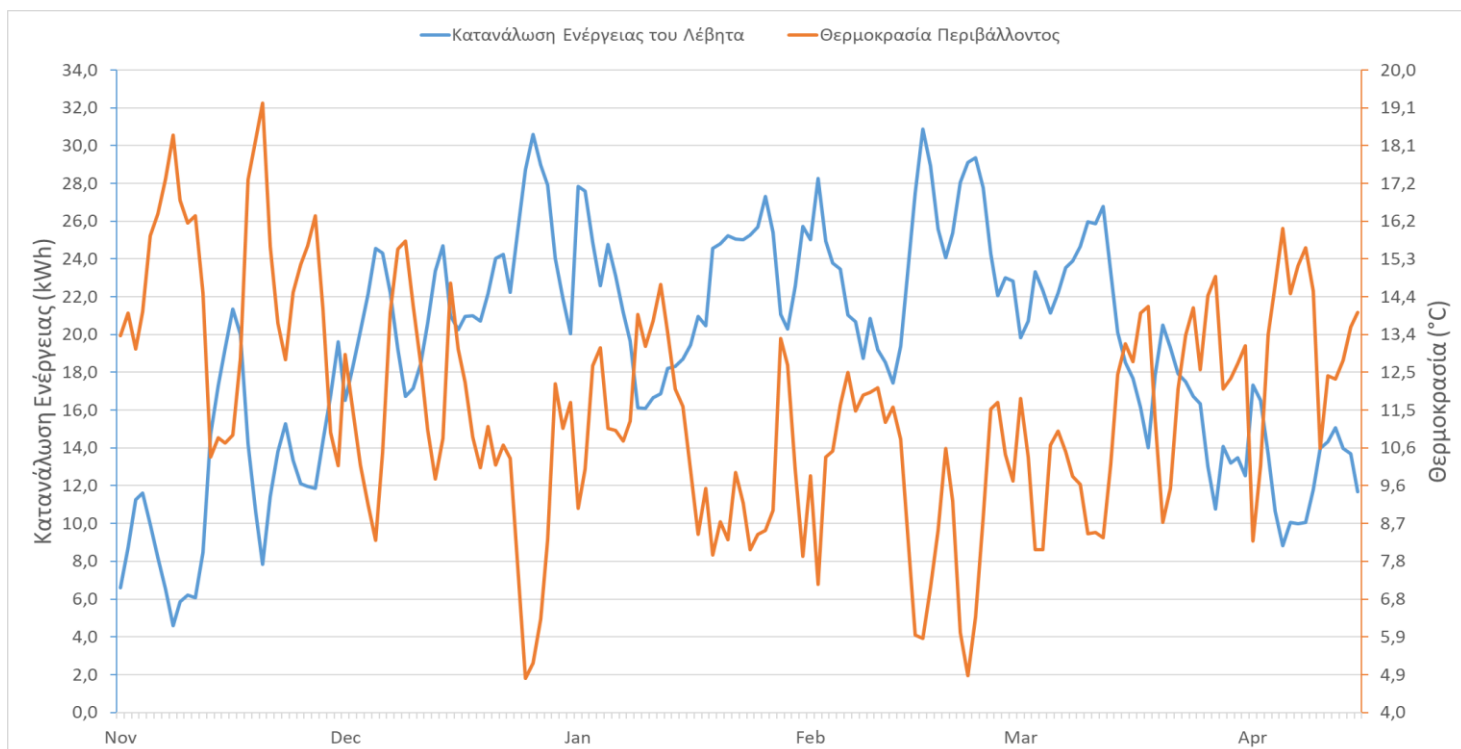
Πίνακας 16: Μηνιαία θερμοκρασία χώρων και περιβάλλοντος, καθώς και κατανάλωση ενέργειας κατά την λειτουργία του λέβητα πετρελαίου.

	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος
Κατανάλωση Πετρελαίου (kWh)	355,14	680,98	679,41	661,56	583,67	188,94
Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας (kWh)	4,80	11,74	12,00	12,12	9,46	2,70
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία Χώρων (°C)	20,42	19,66	19,67	19,54	19,88	20,34
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (°C)	14,51	10,86	10,70	9,58	11,39	13,18

Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζονται η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας του λέβητα, καθώς και η θερμοκρασία των χώρων.



Γράφημα 2: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας και θερμοκρασία χώρου κατά την λειτουργία του λέβητα.



Γράφημα 3: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας και θερμοκρασία του περιβάλλοντος κατά την λειτουργία του λέβητα.

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε, η συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του λέβητα είναι ίση με **52,82 kWh**. Αντίστοιχα, η συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας από καύση πετρελαίου είναι ίση με **3149,7 kWh**.

Στην συνέχεια, θα πρέπει όλες οι καταναλώσεις να μετατραπούν σε κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. Σύμφωνα με τον **Πίνακα Β.1** του **ΚΕΝΑΚ**, ο συντελεστής μετατροπής του πετρελαίου σε πρωτογενή ενέργεια είναι **1,1** και της ηλεκτρικής ενέργειας είναι **2,9**. [13]

Άρα η συνολική ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του λέβητα πετρελαίου είναι:

$$3149,7 \text{ kWh} * 1,1 = \mathbf{3464,67 \text{ kWh}}$$

$$52,82 \text{ kWh} * 2,9 = \mathbf{153,17 \text{ kWh}}$$

$$3464,67 \text{ kWh} + 153 \text{ kWh} = \mathbf{3617,84 \text{ kWh}}$$

$$EUI = \frac{3617,84 \text{ kWh}}{80,30 \text{ m}^2 \text{ a}} = \mathbf{45,05 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ a}}}$$

Τέλος, υπολογίζονται οι εκλύμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας του λέβητα φυσικού αερίου. Σύμφωνα με τον **Πίνακα Β.1** του **ΚΕΝΑΚ**, ο συντελεστής μετατροπής του πετρελαίου σε εκλύμενους ρύπους είναι **0,264** και της ηλεκτρικής ενέργειας είναι **0,989**. [13]

Άρα οι συνολικοί ετήσιοι εκλύμενοι ρύποι από τον λέβητα είναι:

$$3149,7 \text{ kWh} * 0,264 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} = \mathbf{840,97 \text{ kgCO}_2}$$

$$52,82 \text{ kWh} * 0,989 = \mathbf{52,24 \text{ kgCO}_2}$$

$$840,97 + 52,14 = \mathbf{893,21 \text{ kgCO}_2}$$

4.3.2 Λέβητας φυσικού αερίου

Σε αυτήν την περίπτωση, επιλέχθηκε ένας λέβητας φυσικού αερίου με ονομαστική ισχύ 34 kW και βαθμό απόδοσης ίσο 0,95. Η τιμές αγοράς και εγκατάστασης ενός τέτοιου λέβητα κυμαίνονται στα ίδια ποσά με τις τιμές του λέβητα πετρελαίου που παρουσιάστηκε παραπάνω.

Στον Πίνακα 17 παρουσιάζονται η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας του λέβητα, καθώς και η μηνιαία θερμοκρασία των χώρων.

Πίνακας 17: Μηνιαία θερμοκρασία χώρων και κατανάλωση ενέργειας κατά την λειτουργία του λέβητα φυσικού αερίου.

	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος
Κατανάλωση Φυσικού Αερίου (kWh)	261,58	532,32	531,85	521,97	449,17	139,26
Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας (kWh)	4,80	11,75	12,01	12,13	9,46	2,70
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία Χώρων (°C)	20,42	19,66	19,67	19,54	19,88	20,34
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (°C)	14,51	10,86	10,70	9,58	11,39	13,18

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε, η συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του λέβητα είναι ίση με **52,86 kWh**. Αντίστοιχα, η συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας από καύση φυσικού αερίου είναι ίση με **2436,15 kWh**.

Στην συνέχεια, θα πρέπει όλες οι καταναλώσεις να μετατραπούν σε κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. Σύμφωνα με τον Πίνακα B.1 του ΚΕΝΑΚ, ο συντελεστής μετατροπής του φυσικού αερίου σε πρωτογενή ενέργεια είναι **1,05** και της ηλεκτρικής ενέργειας είναι **2,9**. [13]

Άρα η συνολική ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του λέβητα φυσικού αερίου είναι:

$$2436,15 \text{ kWh} * 1,05 = 2557,96 \text{ kWh}$$

$$52,86 \text{ kWh} * 2,9 = 153,3 \text{ kWh}$$

$$2557,96 \text{ kWh} + 153 \text{ kWh} = 2711,26 \text{ kWh}$$

$$EUI = \frac{2711,26 \text{ kWh}}{80,30 \text{ m}^2 \text{ a}} = 33,76 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ a}}$$

Τέλος, υπολογίζονται οι εκλύμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας του λέβητα φυσικού αερίου. Σύμφωνα με τον Πίνακα B.1 του ΚΕΝΑΚ, ο συντελεστής μετατροπής του φυσικού αερίου σε εκλύμενους ρύπους είναι **0,196** και της ηλεκτρικής ενέργειας είναι **0,989**. [13]

Άρα οι συνολικοί ετήσιοι εκλύμενοι ρύποι από τον λέβητα είναι:

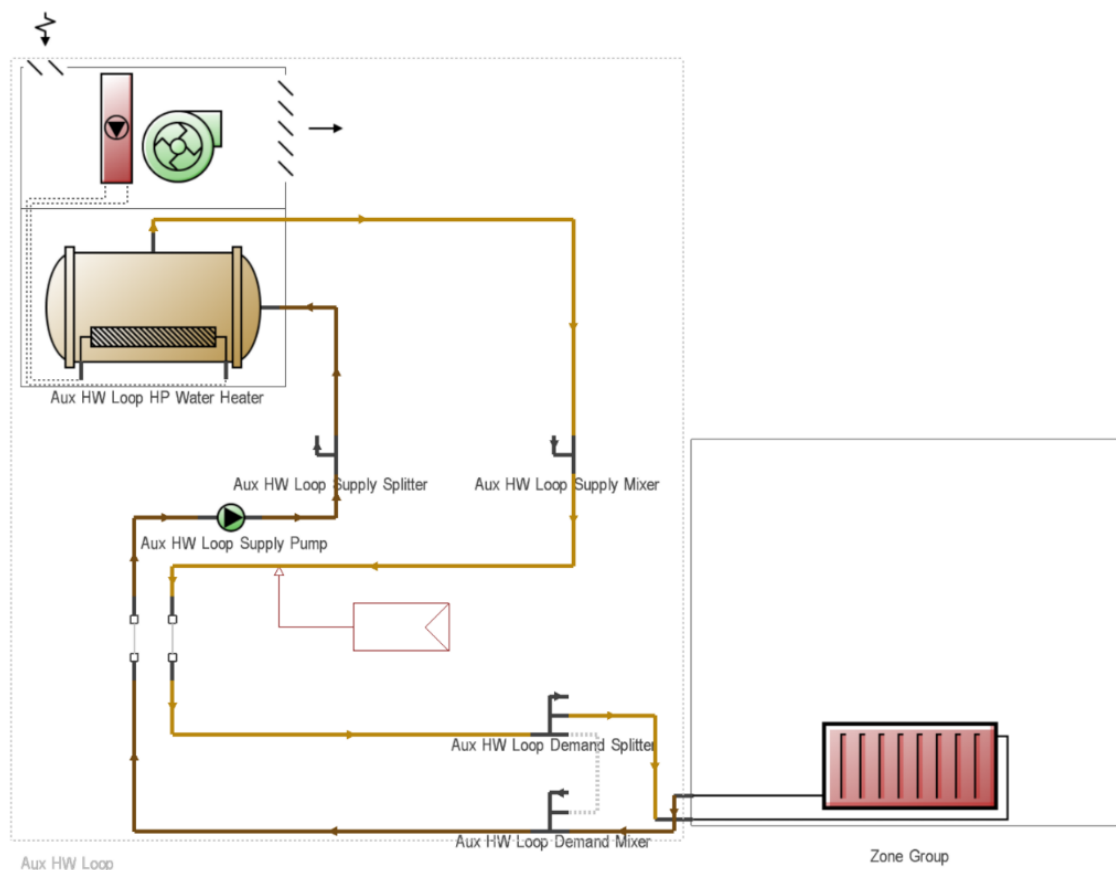
$$2436,15 \text{ kWh} * 0,196 \frac{\text{kg}_{CO_2}}{\text{kWh}} = 477,49 \text{ kg}_{CO_2}$$

$$52,86 \text{ kWh} * 0,989 = 52,28 \text{ kg}_{CO_2}$$

$$477,49 + 52,14 = 529,77 \text{ kg}_{CO_2}$$

4.3.3 Αντλία θερμότητας με Θερμαντικά Σώματα

Σε αυτήν την περίπτωση, επιλέχθηκε μια αντλία θερμότητας με ονομαστική ισχύ 8000 W και SCOP = 4,8. Η τιμή αγοράς μιας τέτοιας αντλίας θερμότητας κυμαίνεται μεταξύ των 4000€ και των 6000€. Αντίστοιχα, η τιμή εγκατάστασής του κυμαίνεται επίσης μεταξύ των 1000€ και των 2000€. Στην συνέχεια, επιλέγονται να εγκατασταθούν 8 θερμαντικά σώματα τύπου PANEL στους χώρους του κτηρίου. Το κόστος αγοράς των σωμάτων κυμαίνεται μεταξύ των 100€ και των 200€ για το κάθε ένα. Αντίστοιχα, η τιμή εγκατάστασής τους κυμαίνεται μεταξύ των 200€ και των 300€ για το κάθε ένα.



Εικόνα 22: Αντλία θερμότητας όπως παρουσιάζεται στο DesignBuilder.

Στον Πίνακα 18 παρουσιάζονται η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας της αντλίας θερμότητας, καθώς και η μηνιαία θερμοκρασία των χώρων.

Πίνακας 18: Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας και θερμοκρασία χώρου κατά την λειτουργία της αντλίας θερμότητας.

	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος
Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)	100,33	222,63	221,40	223,88	186,33	57,25
Κατανάλωση Ενέργειας (kWh/m²)	1,15	2,56	2,54	2,57	2,14	0,66
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία Χώρων (°C)	20,44	19,71	19,73	19,61	19,92	20,37
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (°C)	14,51	10,86	10,70	9,58	11,39	13,18

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε, η συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της αντλίας είναι ίση με **1011,81 kWh**.

Όπως έγινε και με τον λέβητα φυσικού αερίου, παρακάτω θα γίνει υπολογισμός της πρωτογενούς ενέργειας που καταναλώνει η αντλία θερμότητας, καθώς και των ρύπων που εκλύει.

Η συνολική ετήσια ενεργειακή κατανάλωση της αντλίας είναι:

$$1011,81 \text{ kWh} * 2,9 = \mathbf{2934,26 \text{ kWh}}$$

$$\frac{2934,26 \text{ kWh}}{80,30 \text{ m}^2\alpha} = \mathbf{36,54 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\alpha}}$$

Οι συνολικοί ετήσιοι εκλυόμενοι ρύποι από την αντλία είναι:

$$1011,81 \text{ kWh} * 0,989 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} = \mathbf{1000,68 \text{ kgCO}_2}$$

4.4 Ψύξη Κτηρίου

Για την ψύξη και των κλιματισμό των χώρων του κτηρίου γίνεται δοκιμή 2 συστημάτων. Στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται λέβητας ή αντλία θερμότητας με θερμαντικά σώματα για την θέρμανση των χώρων, προσομοιώνονται κλιματιστικές μονάδες διαιρούμενου τύπου στους χώρους του κτηρίου.

Παρακάτω γίνεται παρουσίαση κάθε συστήματος, καθώς και των αποτελεσμάτων του DesignBuilder για κάθε σύστημα.

4.4.1 Κλιματιστικές μονάδες διαιρούμενου τύπου

Σε αυτήν την περίπτωση επιλέχθηκαν κλιματιστικές μονάδες με ονομαστική ισχύ 2,6 W και SEER = 3. Το κόστος αγοράς των κλιματιστικές μονάδες κυμαίνεται μεταξύ των 500€ και των 1000€ για το κάθε ένα. Αντίστοιχα, η τιμή εγκατάστασής τους κυμαίνεται μεταξύ των 200€ και των 300€ για το κάθε ένα.

Στον Πίνακα 20 παρουσιάζονται η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας των κλιματιστικές μονάδες, καθώς και η μηνιαία θερμοκρασία των χώρων.

Πίνακας 19: Μηνιαία θερμοκρασία χώρων και κατανάλωση ενέργειας κατά την λειτουργία των κλιματιστικές μονάδες.

	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος
Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)	0,87	85,28	232,55	234,84	57,25
Κατανάλωση Ενέργειας (kWh/m²)	0,018	0,98	2,67	2,71	0,65
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία Χώρων (°C)	23,14	25,28	26,25	26,27	25,73
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (°C)	20,54	24,61	27,30	27,59	24,41

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε, η συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των κλιματιστικών μονάδων είναι ίση με **614 kWh**.

Όπως έγινε και με τα παραπάνω συστήματα, παρακάτω θα γίνει υπολογισμός της πρωτογενούς ενέργειας που καταναλώνουν οι κλιματιστικές μονάδες, καθώς και των ρύπων που εκλύουν.

Η συνολική ετήσια ενεργειακή κατανάλωση τους είναι:

$$614 \text{ kWh} * 2,9 = 1780,6 \text{ kWh}$$

$$\frac{1780,6 \text{ kWh}}{80,30 \text{ m}^2 \alpha} = 22,17 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \alpha}$$

Οι συνολικοί ετήσιοι εκλυόμενοι ρύποι είναι:

$$614 \text{ kWh} * 0,989 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} = 607,24 \text{ kgCO}_2$$

4.5 Ζεστό Νερό Χρήσης

Η ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης για το υπό μελέτη κτήριο είναι 200 λίτρα στους 45 °C. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε στο DesignBuilder, το κτήριο θα χρειαστεί να καταναλώσει **2238,88 kWh** ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών ζεστού νερού χρήσης.

Στον **Πίνακα 22** φαίνεται αναλυτικότερα η μηνιαία απαιτούμενη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών ζεστού νερού χρήσης. Επίσης, στον **Πίνακα 23** παρουσιάζονται κάποια βασικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται στους παρακάτω υπολογισμούς.

Πίνακας 20: Μηνιαία απαιτούμενη ενέργεια για την κάλυψη του ζεστού νερού χρήσης και βασικά δεδομένα για τον υπολογισμό του ποσοστού κάλυψης ηλιακού συλλέκτη [43].

	Μέση Ημερήσια Θερμοκρασία (°C)	Μέση Ημερήσια Ακτινοβολία (kW/m ² ·mo)	Θερμοκρασία Προσαγωγής Νερού (°C)	Συντελεστής (τ'·α/τ·α)	Απαιτούμενη Ενέργεια (kWh)
Ιανουάριος	11,30	63,00	12,00	0,93	231,28
Φεβρουάριος	11,70	79,00	12,00	0,93	208,90
Μάρτιος	13,40	117,70	14,00	0,93	217,26
Απρίλιος	16,90	154,30	16,00	0,93	196,69
Μάιος	21,80	195,40	19,00	0,92	182,22
Ιούνιος	26,50	214,00	22,00	0,91	156,00
Ιούλιος	29,20	222,40	24,00	0,92	147,18
Αύγουστος	29,20	202,70	24,00	0,93	147,18
Σεπτέμβριος	25,50	152,60	22,00	0,94	156,00
Οκτώβριος	20,70	109,00	19,00	0,94	182,22
Νοέμβριος	16,40	70,70	16,00	0,94	196,69
Δεκέμβριος	13,00	55,70	14,00	0,93	217,26

Σύμφωνα με τις οδηγίες του **Άρθρου 8** του **ΚΕΝΑΚ**, τουλάχιστον το 60% της απαιτούμενης ενέργειας για ΖΝΧ θα πρέπει καλύπτεται από ηλιακούς συλλέκτες [13].

Στο υπό μελέτη κτήριο επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί συλλέκτης υψηλής απόδοσης με σωλήνες κενού μεγέθους 7 m², με δεξαμενή αποθήκευσης νερού μεγέθους 200 λίτρα. Για τον υπολογισμό του ποσοστού κάλυψης της απαιτούμενης ενέργειας από αυτόν τον συλλέκτη πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω υπολογισμοί.

Για το υπολογισμό του ποσοστού κάλυψης του ηλιακού συλλέκτη χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$f = 1,029 * Y - 0,065 * X - 0,245 * Y^2 + 0,0018 * X^2 + 0,0215 * Y^3$$

Ο συντελεστής X είναι το πηλίκο του ποσού των ενεργειακών απωλειών προς το συνολικό θερμικό φορτίο του μήνα και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$X = F_R U_L * (F'_R / F_R) * (\theta_{ref} - \theta_a) * \Delta t * (A/L) * K_2 * K_3$$

Ο συντελεστής Y είναι το πηλίκο της ενέργειας που μπορεί να αξιοποιήσει ο ηλιακός συλλέκτης προς την απαιτούμενη ενέργεια για την παροχή ζεστού νερού και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$Y = F(\tau\alpha)_n * (F'_R / F_R) * (\tau'\alpha) / (\tau\alpha)_n * H_T * (A/L) * K_4$$

Όπου:

$F_R U_L$ είναι ένα χαρακτηριστικό μέγεθος του ηλιακού συλλέκτη. Στην προκειμένη περίπτωση, για συλλέκτη με σωλήνες κενού, το $F_R U_L$ πάρθηκε ίσο με 1,25 (W/m²*°C).

(F'_R / F_R) είναι ο διορθωτικός συντελεστής συλλέκτη-εναλλάκτη, ο οποίος στην προκειμένη περίπτωση είναι ίσος με 1.

θ_{ref} είναι η θερμοκρασία αναφοράς που λαμβάνετε ίση με 100 °C.

θ_a είναι η μηνιαία ημερήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Δt είναι η χρονική περίοδος ενός μήνα εκφρασμένη σε sec.

A είναι η επιφάνεια του συλλέκτη.

L είναι η μηνιαία απαιτούμενη ενέργεια για την παροχή ΖΝΧ.

$F(\tau\alpha)_n$ είναι ένα χαρακτηριστικό μέγεθος του ηλιακού συλλέκτη. Στην προκειμένη περίπτωση, για συλλέκτη με σωλήνες κενού, το $F(\tau\alpha)_n$ πάρθηκε ίσο με 0,45.

H_T είναι η μέση μηνιαία ακτινοβολία.

K_2 είναι ο διορθωτικός συντελεστής χωρητικότητας της δεξαμενής. Ο συντελεστής αυτός υπολογίζεται από την σχέση:

$$K_2 = (75/M)^{0,25}$$

Όπου, M είναι ο ανοιγμένος όγκος της δεξαμενής ανά τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας του συλλέκτη.

K_3 είναι ο διορθωτικός συντελεστής ζεστού νερού, ο οποίος υπολογίζεται από την σχέση:

$$K_3 = (11,6 + 1,18 * \theta_w + 3,86 * \theta_m - 2,32 * \theta_a) / (100 - \theta_a)$$

K_4 είναι ο διορθωτικός συντελεστής για τον εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος στην προκειμένη περίπτωση είναι ίσος με 1.

Στον Πίνακα 23 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της απόδοσης του συλλέκτη που επιλέχθηκε.

Πίνακας 21: Ποσοστό κάλυψης του συλλέκτη και παραγόμενη ενέργεια.

	Ποσοστό Κάλυψης του Συλλέκτη	Παραγόμενη Ενέργεια Συλλέκτη (kWh)
Ιανουάριος	0,50	114,52
Φεβρουάριος	0,69	144,02
Μάρτιος	0,90	196,57
Απρίλιος	1,12	196,69
Μάιος	1,25	182,22
Ιούνιος	1,31	156,00
Ιούλιος	1,33	147,18
Αύγουστος	1,29	147,18
Σεπτέμβριος	1,18	156,00
Οκτώβριος	0,94	170,83
Νοέμβριος	0,63	124,44
Δεκέμβριος	0,44	96,61

Άρα το ετήσιο ποσοστό κάλυψης του ηλιακού συλλέκτη που επιλέχθηκε είναι:

$$f_{\text{ετήσιο}} = 82\% > 60\%$$

Αυτό σημαίνει ότι ο ηλιακός συλλέκτης που επιλέχθηκε καλύπτει τις απαιτήσεις του ΚΕΝΑΚ.

Η συνολική ενέργεια για ΖΝΧ που παράγεται από τον συλλέκτη είναι **1832,27 kWh**.

Άρα, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη της υπόλοιπης ζήτησης ΖΝΧ είναι:

$$2238,88 \text{ kWh} - 1832,27 \text{ kWh} = 406,61 \text{ kWh}$$

$$\frac{406,61 \text{ kWh}}{80,30 \text{ m}^2} = 5,06 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Τέλος, η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών ΖΝΧ είναι:

$$5,06 * 2,9 = 14,67 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Η ετήσια εκπομπή ρύπων για την κάλυψη των αναγκών ΖΝΧ είναι:

$$406,61 \text{ kWh} * 0,989 \frac{\text{kg}_{\text{CO}_2}}{\text{kWh}} = 402,14 \text{ kg}_{\text{CO}_2}$$

Με κάθε σύστημα Θέρμανσης – Ψύξης – Κλιματισμού που εγκαταστάθηκε στο κτήριο, χρησιμοποιείται πάντα το ίδιο σύστημα για την κάλυψη των αναγκών ζεστού νερού χρήσης. Τα αποτελέσματα θα χρησιμοποιηθούν για την διαπίστωση της ενεργειακής κατηγορίας του κτηρίου σε κάθε περίπτωση Θέρμανσης – Ψύξης – Κλιματισμού.

Κεφάλαιο 5 Αποτελέσματα

5.1 Αποτελέσματα

Με την χρήση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης που παρουσιάζονται παραπάνω προκύπτουν τέσσερα σενάρια για την ετήσια κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτηρίου.

Στον **Πίνακα 24** παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα για κάθε σενάριο.

Πίνακας 22: Συνολικά αποτελέσματα συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.

		Κατανάλωση Ενέργειας κατά τη Θέρμανση (kWh/m ²)	Κατανάλωση Ενέργειας κατά την Ψύξη (kWh/m ²)	Ετήσια Εκπομπή Ρύπων (kg _{CO2} /kWh)	Κόστος Εγκατάστασης (€)
Σενάριο 1	Λέβητας Πετρελαίου - Κλιματιστικές Μονάδες	45,05	22,17	1218,35	8600 - 15800
Σενάριο 2	Λέβητας Φυσικού Αερίου - Κλιματιστικές Μονάδες	33,76	22,17	854,91	8600 - 15800
Σενάριο 3	Αντλία Θερμότητας - Κλιματιστικές Μονάδες	36,54	22,17	1325,82	11600 - 19800

Σενάριο 1

Παρακάτω υπολογίζεται η ενεργειακή κατηγορία του υπό μελέτη κτηρίου, με βάση την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας.

$$45,05 + (22,17 * 0,5) + 14,67 = 70,80 \frac{kWh}{m^2}$$

Σύμφωνα με το **Άρθρο 9** του **ΚΕΝΑΚ** η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος ψύξης, λαμβάνεται ίση με το 50% της κατανάλωσης που υπολογίζεται. Για αυτό το λόγο η κατανάλωση ενέργειας κατά την ψύξη στον παραπάνω τύπο πολλαπλασιάζεται με 0,5. Άρα, το κτήριο δεν κρίνεται ως ΚΣΜΚΕ. [13]

Σύμφωνα με τον **Πίνακα 3** της **ΥΠΕΝ/ΔΕΠΕΑ/85251/242** το κτήριο με τα συστήματα του Σεναρίου 1 εντάσσεται στην **Ενεργειακή Κατηγορία B+**. [5]

Ο λέβητας πετρελαίου που χρησιμοποιείτε στην προκειμένη περίπτωση είναι το ποιο κοινό σύστημα θέρμανσης στην Αθήνα, όπου και βρίσκεται το υπό μελέτη κτήριο. Παρουσιάζει τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας από τα υπόλοιπα συστήματα και τη δεύτερη μεγαλύτερη εκπομπή ρύπων.

Σύμφωνα με την **ΥΠΕΝ/ΔΕΠΕΑ/85251/242** για να θεωρηθεί ένα κτήριο που ανήκει στη Β Κλιματική Ζώνη ως ΚΣΜΚΕ πρέπει να εντάσσεται τουλάχιστον στην Ενεργειακή Κατηγορία Α. Το Σενάριο 1 έχει τη μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση. Παρόλο που το κέλυφος του κτηρίου που συμβάλει σημαντικά στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσής του, το κτήριο δεν κρίνεται ως ΚΣΜΚΕ. [5]

Η ενέργεια που καταναλώνει ο λέβητας πετρελαίου για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του κτηρίου δεν μπορεί να καλυφθεί από ΑΠΕ. Η ενέργεια που καταναλώνει ο λέβητας πετρελαίου αποτελεί το 70% της ενεργειακής κατανάλωσης του Σεναρίου 1. Αυτό αφήνει πολύ μικρά περιθώρια για τη βελτίωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου με την χρήση ΑΠΕ.

Σενάριο 2

Παρακάτω υπολογίζεται η ενεργειακή κατηγορία του υπό μελέτη κτηρίου, όπως υπολογίστηκε για το Σενάριο 2.

$$33,76 + (22,17 * 0,5) + 14,67 = 59,51 \frac{kWh}{m^2}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3 της ΥΠΕΝ/ΔΕΠΕΑ/85251/242 το κτήριο με τα συστήματα του Σεναρίου 2 εντάσσεται στην **Ενεργειακή Κατηγορία B+**. Άρα, το κτήριο δεν κρίνεται ως ΚΣΜΚΕ. [5]

Ο λέβητας φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται στην προκείμενη περίπτωση παρουσιάζει αρκετά μικρή κατανάλωση ενέργειας. Ταυτόχρονα παρουσιάζει τη μικρότερη εκπομπή ρύπων σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα θέρμανσης.

Παρά τα θετικά αποτελέσματα του λέβητα φυσικού αερίου, έχει και αυτός το ίδιο μειονέκτημα με τον λέβητα πετρελαίου. Η ενέργεια που καταναλώνει ο λέβητας φυσικού αερίου αποτελεί το 62% της ενεργειακής κατανάλωσης του Σεναρίου 1. Αυτό αφήνει και πάλι μικρά περιθώρια για τη βελτίωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου με την χρήση ΑΠΕ.

Σενάριο 3

Παρακάτω υπολογίζεται η ενεργειακή κατηγορία του υπό μελέτη κτηρίου, όπως υπολογίστηκε και παραπάνω.

$$36,54 + (22,17 * 0,5) + 14,67 = 62,29 \frac{kWh}{m^2}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3 της ΥΠΕΝ/ΔΕΠΕΑ/85251/242 το κτήριο με τα συστήματα του Σεναρίου 3 εντάσσεται στην **Ενεργειακή Κατηγορία B+**. Άρα, το κτήριο δεν κρίνεται ως ΚΣΜΚΕ. [5]

Στην προκειμένη περίπτωση η αντλία θερμότητας που τροφοδοτεί θερμαντικά σώματα, παρουσιάζει λίγο μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας από τον λέβητα φυσικού αερίου του Σεναρίου 2. Ταυτόχρονα το Σενάριο 3 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη εκπομπή ρύπων.

Το μεγάλο πλεονέκτημα της αντλίας θερμότητας με θερμαντικά σώματα είναι ότι μεγάλο ποσοστό της ενεργειακής της κατανάλωσης μπορεί να καλυφθεί από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτό, μαζί με το γεγονός ότι υπάρχουν και αντλίες με μεγαλύτερη ονομαστική ισχύ και μεγαλύτερα SCOP, μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου, καθώς και της εκπομπής ρύπων.

Στο συγκεκριμένο σενάριο το κτήριο θα μπορούσε να έχει αρκετά μικρότερη κατανάλωση και να κριθεί ως ΚΣΜΚΕ αν οι κλιματιστικές μονάδες που επιλέχθηκαν είχαν μεγαλύτερο SEER, το οποίο είναι σχετικά μικρό.

5.2 Οικονομική απόσβεση αντλίας θερμότητας

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω ο λέβητας πετρελαίου είναι το πιο κοινό σύστημα θέρμανσης στην Αθήνα και παρουσιάζει τη μεγαλύτερη κατανάλωση. Ταυτόχρονα, όπως διαπιστώθηκε παραπάνω η αντλία θερμότητας με θερμαντικά σώματα παρουσιάζει αρκετά μικρότερη κατανάλωση και δίνει τις περισσότερες επιλογές για περαιτέρω βελτίωση αυτής της κατανάλωσης.

Εφόσον η ο λέβητας έχει το χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης και η αντλία θερμότητας έχει αντίστοιχα το μεγαλύτερο, θα ήταν σκόπιμο να υπολογιστεί η οικονομική απόσβεση στην περίπτωση που επιλεγθεί να εγκατασταθεί αντλία θερμότητας με θερμαντικά σώματα αντί για λέβητα πετρελαίου.

Οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας και πετρελαίου λαμβάνονται για τα δεδομένα της Ελλάδας την περίοδο Απριλίου – Μαΐου του 2023.

Για τον υπολογισμό της απόσβεσης χρησιμοποιούνται τα παρακάτω δεδομένα:

Διαφορά τιμής εγκατάστασης αντλίας αντί για λέβητα = **3500 €**

Ετησία κατανάλωση ρεύματος αντλίας = **1011,81 kWh**

Ετησία κατανάλωση ρεύματος λέβητα = **52,82 kWh**

Ετήσια κατανάλωση πετρελαίου λέβητα = **3149,7 kWh**

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής ήταν η δημιουργία ενός κτηρίου ΚΣΜΚΕ και η αξιολόγηση συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού που θα μπορούσαν να εγκατασταθούν στο κτήριο. Η δημιουργία του κτηριακού κελύφους, καθώς και οι εγκατάσταση των συστημάτων θέρμανσης – ψύξης – κλιματισμού έγιναν με το πρόγραμμα προσομοίωσης DesignBuilder.

Το κτήριο που δημιουργήθηκε πρόκειται για μια κατοικία πολύ παρόμοια με κάθε κατοικία που μπορεί να βρεθεί στην Αθήνα, όπου βρίσκεται το υπό μελέτη κτήριο. Το κτήριο πληροί τις προδιαγραφές του ΚΕΝΑΚ για θερμική άνεση με όλα τα συστήματα που δοκιμάστηκαν. Το κτήριο παρουσιάζει επίσης χαμηλή κατανάλωση ενέργειας με όλα τα συστήματα. Ακόμα και στις περιπτώσεις που δεν κρίνεται ως ΚΣΜΚΕ η κατανάλωση ενέργειας είναι κοντά στα όρια. Σε αυτό συμβάλει σημαντικά το κτηριακό κέλυφος, στο οποίο χρησιμοποιούνται τα παρακάτω:

- Υπερεπαρκής εξωτερική μόνωση σε ολόκληρη την εξωτερική επιφάνεια του κτηρίου.
- Σκίαστρα σε όλα τα ανοίγματα του κτηρίου.
- Σωστός προσανατολισμός σύμφωνα με τον βιοκλιματικό σχεδιασμό κτηρίων.

Τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού που χρησιμοποιήθηκαν και αξιολογήθηκαν αποτελούνται από λέβητες και αντλίες θερμότητας με χρήση θερμαντικών σωμάτων και κλιματιστικών μονάδων. Η επιλογή για εγκατάσταση λέβητα έγινε γιατί οι λέβητες πετρελαίου αποτελούν το πιο κοινό σύστημα θέρμανσης σε παρόμοιες κατοικίες στην Αθήνα.

Η πλειοψηφία των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του κτηριακού κελύφους μπορούν να εφαρμοστούν σε μια κατοικία στην Αθήνα χωρίς να χρειάζεται ριζική ανακαίνιση του κτηρίου. Ταυτόχρονα η αντικατάσταση ενός κοινού συστήματος όπως ο λέβητας πετρελαίου με μια αντλία θερμότητας δεν είναι πολύ δύσκολη, εφόσον και τα δύο τροφοδοτούν θερμαντικά σώματα στους χώρους. Τα παραπάνω δείχνουν ότι θα μπορούσε μια υφιστάμενη κατοικία στην Αθήνα να βελτιώσει σημαντικά την ενεργειακή του κατηγορία χωρίς να χρειάζεται ριζική ανακαίνιση.

Για τη βελτίωση της μελέτης της παρούσας διπλωματικής θα μπορούσαν να εξεταστούν τα παρακάτω:

- Το ποσοστό βελτίωσης των αποτελεσμάτων με την χρήση ΑΠΕ στο κτήριο.
- Η εγκατάσταση και αξιολόγηση συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού που απαιτούν μεγαλύτερη ανακαίνιση του κτηρίου για την εγκατάσταση τους.
- Ο λεπτομερέστερος προσδιορισμός και αξιολόγηση των οικονομικών απαιτήσεων που έχει η εφαρμογή και εγκατάσταση των παραπάνω, τεχνικών και συστημάτων.

Βιβλιογραφία

- [1] ZEMedS, “Έκθεση αναφοράς για τα κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης στις χώρες της Μεσογείου”, 2014.
- [2] U. Berardi, “ZEB and nZEB (definitions, design methodologies, good practices and case studies)”, 2018
- [3] Bogdan Atanasiu, “Principles for nearly zero-energy buildings. Paving the way for effective implementation of policy requirements”, 2011.
- [4] ZEBRA2020, “Nearly Zero-Energy Building Strategy 2020 (Deliverable 5.1)”, 2016.
- [5] ΥΑ, ΥΠΕΝ-ΔΕΠΕΑ-85251-242-2018, 2018.
- [6] “Τεχνικός οδηγός για τα κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας”, 2015.
- [7] Τσαούσης Α. Ιωάννης, “Ενεργειακή σχεδίαση κτηρίου με στόχο τη μηδενική ή ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση”, 2022.
- [8] EU, “Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου”, 2010.
- [9] ΝΟΜΟΣ ΥΠ’ ΑΡΙΘ. 4122/2013, ΦΕΚ 42/Α/19-2-2013.
- [10] D. Kolokotsa, “A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings”, 2010.
- [11] Delia D'Agostino, L. Mazzarella, “What is a Nearly zero energy building? Overview, implementation and comparison of definitions”, 2019.
- [12] Igor Sartori, “Net zero energy buildings: A consistent definition framework”, 2012.
- [13] Φ. Β2367, “Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων”, 2017.
- [14] Αταλιώτη Δέσπω, “Κτίρια Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας και Υπολογιστική Μελέτη με χρήση του Λογισμικού Energy Plus”, 2020.
- [15] Άλις Κοροβέση, “Ενεργειακή φτώχεια στην Ελλάδα”, 2017.
- [16] Βαταβάλη Φερενίκη, Χατζηκωνσταντίνου Ευαγγελία, “Χαρτογραφώντας την ενεργειακή φτώχεια στην Αθήνα της κρίσης”, 2016.
- [17] Επαμεινώνδας Ε. Πανάς, “Έρευνα για την ενεργειακή φτώχεια στην Ελλάδα”, 2012.
- [19] Αρετή Θ. Παπατσίμπα, “Βιοκλιματικός σχεδιασμός και παθητικά συστήματα – Παραμετρική μελέτη λειτουργίας ηλιακής καμινάδας”, Αθήνα, 2009.
- [20] Γεωργίου Γεώργιος, Λάκκος Λάμπρος, “Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτηρίων”, Σέρρες, 2008.
- [21] Χρηματοπούλου Μαρία, “Προσομοίωση Ηλιακά Υποβοηθούμενης Αντλίας Θερμότητας”, Αθήνα, 2009.
- [22] Ιωσηφίδης Σπυρίδων Σταύρος, “Συγκριτική Αξιολόγηση Λέβητα Συμπύκνωσης και Αντλίας Θερμότητας για Θέρμανση Χώρου”, Αθήνα, 2021.
- [23] Μιχάλης Βραχόπουλος, Μαρία Κούκου, Κωνσταντίνος Καρύτσας, “Κανονική Γεωθερμία – Αρχές Σχεδιασμού Γεωθερμικών Συστημάτων και Εφαρμογές”, 2015.

- [24] The Engineering Mindset, “Heat Pumps Explained - How Heat Pumps Work HVAC”, 2018.
- [25] Dominic O’Connor, John Kaiser S. Calautit, Ben Richard Hughes, “A review of heat recovery technology for passive ventilation applications”, 2015.
- [26] Jorgen Rose, Svend Svendsen, “Mechanical ventilation with heat recovery in cold climates”, 2005.
- [27] Ewa Zender Swiercz, “A Review of Heat Recovery in Ventilation”, 2021.
- [28] TOTEE_20701-1, Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης, 2017.
- [29] TOTEE_20701-2, Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων, 2017.
- [30] Κριεκούκη Χρήστου, “Προσομοίωση του Δημαρχείου Ελευσίνας με το πρόγραμμα DesignBuilder και επιλογή του βέλτιστου σεναρίου εξοικονόμησης ενέργειας”, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2015.
- [31] Κωνσταντίνος Γρηγορόπουλος, “Παραμετρική ανάλυση βέλτιστων ενεργειακών εφαρμογών σε κτίριο με χρήση του λογισμικού DesignBuilder”, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2021.
- [32] Προεστάκης Εμμανουήλ, “Ενεργειακή ανάλυση κτιρίου και αξιολόγηση σεναρίων μείωσης των ενεργειακών του απαιτήσεων με το λογισμικό EnergyPlus”, Χανιά, 2008.
- [33] Pharoah Le Feuvre, “An Investigation into Ground Source Heat Pump Technology, its UK Market and Best Practice in System Design”, September 2007.
- [34] Γιαννάκος Νικόλαος, “Αντλίες Θερμότητας σε Συστήματα Θέρμανσης, Φρεδιασμός - Ενεργειακή Αξιολόγηση”, Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2014.
- [35] Amin H. Al Ka’bi, “Comparison of energy simulation applications used in green building”, June 2020.
- [36] Roshana Takim, Mohd Harris, Abdul Hadi Nawawi, “Building Information Modeling (BIM): A new paradigm for quality of life within Architectural, Engineering and Construction (AEC) industry”, Langkawi Malaysia, April 2013.
- [37] Salman Azhar and Justin Brown, Rizwan Farooqui, “BIM-based Sustainability Analysis: An Evaluation of Building Performance Analysis Software”, January 2009.
- [38] Λάσκος Κωνσταντίνος, “Ενεργειακή προσομοίωση μέσω λογισμικών ως εργαλεία στο σχεδιασμό κτηρίων υψηλής ενεργειακής απόδοσης”, ASHRAE, Φεβρουάριος 2015.
- [39] U.S. Department of Energy, “EnergyPlus Essentials”, March 30, 2021.
- [40] Drury B. Crawley, “EnergyPlus: A new generation building performance simulation program”, ASHRAE, Μάρτιος 2018.
- [41] “DesignBuilder 2.1 User's Manual”, October 2009.
- [42] Vishal Garg, Jyotirmay Mathur, Aviruch Bhatia, “Building Energy Simulation A Workbook Using DesignBuilder™”, 2020.
- [43] TOTEE_20701-3, Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών. 2014.

Παράρτημα

Στοιχεία εισόδου για το πρόγραμμα προσομοίωσης DesignBuilder:

Activity Template	TM59_1 - BedLivingKitchen
Template	
Sector	Residential spaces
Zone multiplier	1
<input checked="" type="checkbox"/> Include zone in thermal calculations	
<input checked="" type="checkbox"/> Include zone in Radiance daylighting calculations	
Floor Areas and Volumes	>>
Occupancy	>>
Contaminant Generation and Removal	>>
Holidays	>>
DHW	>>
Environmental Control	>
Heating Setpoint Temperatures	>
Heating (°C)	21.0
Heating set back (°C)	12.0
Cooling Setpoint Temperatures	>
Cooling (°C)	25.0
Cooling set back (°C)	28.0
Heating Comfort PMV Setpoints	>>
Cooling Comfort PMV Setpoints	>>
Humidity Control	>>
Ventilation Setpoint Temperatures	>>
Minimum Fresh Air	>
Fresh air (l/s-person)	4.170
Mech vent per area (l/s-m2)	0.208
CO2/Contaminant Setpoints	>>
Lighting	>>
Computers	>
<input type="checkbox"/> On	
Office Equipment	>
<input type="checkbox"/> On	
Miscellaneous	>
<input type="checkbox"/> On	
Catering	>
<input type="checkbox"/> On	
Process	>
<input type="checkbox"/> On	

Εικόνα 23: Στοιχεία εισόδου για το Activity.

Construction Template		⌵
Template	Project construction	
Construction		⌵
External walls	Wall	
Below grade walls	Wall	
Flat roof	Roof	
Pitched roof (occupied)	Project pitched roof	
Pitched roof (unoccupied)	Project unoccupied pitched roof	
Internal partitions	Partition	
Semi-Exposed		⌵
Semi-exposed walls	Wall	
Semi-exposed ceiling	Roof	
Semi-exposed floor	Floors (ground)	
Floors		⌵
Ground floor	Floors (ground)	
External floor	Floors (ground)	
Internal floor	Floors (ground)	
Sub-Surfaces		»
Internal Thermal Mass		»
Component Block		»
Geometry, Areas and Volumes		»
Surface Convection		»
Linear Thermal Bridging at Junctions		»
Airtightness		⌵
<input checked="" type="checkbox"/> Model infiltration		
Constant rate (ac/h)	0.330	
Schedule	On 24/7	
Delta T and Wind Speed Coefficients		»
Cost		»

Εικόνα 24: Στοιχεία εισόδου για το Construction.

General	
Name	Wall
Source	
Category	Walls
Region	General
Colour	
Definition	
Definition method	1-Layers
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers	5
Outermost layer	
Material	Cement/plaster/mortar - plaster
Thickness (m)	0,0100
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Layer 2	
Material	XPS Extruded Polystyrene - HFC Blowin
Thickness (m)	0,1500
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Layer 3	
Material	Mortar
Thickness (m)	0,0050
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Layer 4	
Material	Brick - aerated
Thickness (m)	0,1800
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Innermost layer	
Material	Cement/plaster/mortar - plaster
Thickness (m)	0,0100
<input type="checkbox"/> Bridged?	

Εικόνα 25: Στοιχεία εισόδου για τα Layers των τοιχομάτων.

General	
Name	Roof
Source	
Category	Roofs
Region	GREECE
Colour	
Definition	
Definition method	1-Layers
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers	7
Outermost layer	
Material	Ceramic/clay tiles - ceramic floor tiles Dry
Thickness (m)	0,0050
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Layer 2	
Material	Cement/plaster/mortar - cement mortar
Thickness (m)	0,0020
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Layer 3	
Material	Asphalts and other roofing finish
Thickness (m)	0,0020
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Layer 4	
Material	XPS Extruded Polystyrene - HFC Blowing
Thickness (m)	0,1500
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Layer 5	
Material	Concrete, cast - lightweight
Thickness (m)	0,0800
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Layer 6	
Material	Concrete, Reinforced (with 2% steel)
Thickness (m)	0,1500
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Innermost layer	
Material	Cement/plaster/mortar - plaster
Thickness (m)	0,0100
<input type="checkbox"/> Bridged?	

Εικόνα 26: Στοιχεία εισόδου για τα Layers της οροφής.

General	
Name	Floors (ground)
Source	
Category	Floors (ground)
Region	General
Colour	
Definition	
Definition method	1-Layers
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers	7
Outermost layer	
Material	Concrete, cast - lightweight
Thickness (m)	0,0300
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Layer 2	
Material	Asphalts and other roofing finish
Thickness (m)	0,0020
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Layer 3	
Material	Asphalts and other roofing finish
Thickness (m)	0,0020
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Layer 4	
Material	XPS Extruded Polystyrene - HFC Blowing
Thickness (m)	0,1500
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Layer 5	
Material	Concrete, Reinforced (with 2% steel)
Thickness (m)	0,1500
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Layer 6	
Material	Cement/plaster/mortar - cement mortar Moist
Thickness (m)	0,0400
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Innermost layer	
Material	Ceramic/clay tiles - ceramic floor tiles Dry
Thickness (m)	0,2000
<input type="checkbox"/> Bridged?	

Εικόνα 25: Στοιχεία εισόδου για τα Layers του δαπέδου.

Glazing Template	
Template	Triple glazing, clear, LoE, argon-filled
External Windows	
Glazing type	Trp LoE (e2=e5=.1) Clr 3mm/13mm Arg
Layout	Preferred height 1.5m, 30% glazed
Dimensions	
Type	3-Preferred height
Window to wall %	30,00
Window height (m)	1,50
Window spacing (m)	5,00
Sill height (m)	0,80
Outside reveal depth (m)	0,00
Frame and Dividers	
<input checked="" type="checkbox"/> Has a frame/dividers?	
Construction	UPVC window frame
Reveal	>>
Frame	>>
Dividers	>>
Shading	
<input type="checkbox"/> Window shading	
<input checked="" type="checkbox"/> Local shading	
Type	1.0m Overhang
Airflow Control Windows	>>
Free Aperture	>>
Internal Windows	>>
Sloped Roof Windows/Skylights	>>
Doors	>>
Vents	>>

Εικόνα 26: Στοιχεία εισόδου για τα Openings.