



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Εργαστήριο Ατμοκινητήρων & Λεβήτων

Τομέας Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση του
Συστήματος Κεντρικής Θέρμανσης και
Δυνητικών Ενεργειακών Επεμβάσεων στο
Κτίριο 'Ο' της Σχολής Μηχανολόγων
Μηχανικών Ε.Μ.Π.*

Του Φοιτητή

Κανελλόπουλου Σ. Ιωάννη

Επιβλέπων

Καρέλλας Σωτήριος, Επίκουρος Καθηγητής,
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2014

Περίληψη

Οι μέθοδοι ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων αποτελούν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο τόσο κατά την σχεδίαση που αποσκοπεί στην πρόβλεψη της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, όσο και για την αξιολόγηση παρεμβάσεων βελτίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς υπαρχόντων κτιρίων. Το σκοπό αυτό εξυπηρετούν διάφορα υπολογιστικά λογισμικά προσομοίωσης κτιρίων, στα οποία κατασκευάζοντας ένα μοντέλο δίνεται η δυνατότητα να μελετηθεί η συμπεριφορά του σε διάφορες συνθήκες είτε αυτές αφορούν την θέρμανση-ψύξη, είτε την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, είτε την δοκιμή διαφόρων δομικών υλικών κατασκευής. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η ενεργειακή μελέτη ενός υπάρχοντος κτιρίου, και συγκεκριμένα του Κτιρίου “Ο των Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π.. Η ενεργειακή μελέτη αφορά κυρίως την θέρμανση του Κτιρίου ‘Ο’ και για την εκτέλεσή της χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό DesignBuilder. Πριν την διεξαγωγή της μελέτης πραγματοποιούνται μετρήσεις στο σύστημα θέρμανσης, όπως θερμικές καταναλώσεις για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα και ύστερα συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του προσομοιωμένου μοντέλου. Με αυτόν τον τρόπο εξετάζεται η αξιοπιστία του μοντέλου και κατά πόσο «ακολουθείται» η πραγματική κατάσταση. Ύστερα εκτελείται η ενεργειακή μελέτη του Κτιρίου ‘Ο’ καθ’ όλη την θερμαντική περίοδο και ακολουθεί το σημαντικότερο κομμάτι της εξέτασης σεναρίων εξοικονόμησης. Τα σενάρια αυτά αφορούν τόσο την αντικατάσταση του υπάρχοντος συστήματος θέρμανσης με άλλα περισσότερο αποδοτικά, όσο και παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος. Στην συνέχεια πραγματοποιείται οικονομική αξιολόγηση όλων των σεναρίων εξοικονόμησης, η οποία οδηγεί στην άμεση τεχνοοικονομική σύγκριση μεταξύ των διαφόρων βελτιωτικών κινήσεων των σεναρίων. Με αφορμή τα αποτελέσματα της οικονομοτεχνικής αξιολόγησης, στην συνέχεια εξετάζονται και νέα συστήματα, όπως είναι τα συνδυαστικά συστήματα λεβήτων και αντλιών θερμότητας. Η παρούσα διπλωματική εργασία επομένως έχει τον χαρακτήρα πρακτικής μελέτης πάνω σε υπάρχον κτίριο, και στο τέλος προτείνονται οι πλέον οικονομικά συμφέρουσες λύσεις που αφορούν την επένδυση σε σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας για το Κτίριο ‘Ο’.

Abstract

The methods of energy simulation in buildings are a very useful tool, not only during the designing phase which aims at the prediction of energy efficiency of buildings, but also for the evaluation of energy approving interventions in existing buildings. For this purpose, there are many building simulation software, on which a user can design a building model, and then has the potentiality to study the behavior of the model under many different circumstances concerning either heating-cooling and the production of domestic hot water, or testing different construction materials. The purpose of this thesis is the energy investigation of an existing building, and specifically the building 'Omikron' of the School of Mechanical Engineering of the National Technical University of Athens. This energy research mostly concerns the heating of building 'Omikron' and it was done by using the software DesignBuilder. Before the research was conducted, measurements of the existing heating system were performed, such as energy consumption for specific periods of time and compared respectively with the results of the simulated building model. In that way, the liability of the designed model is being checked, and also how "close" it is to the real conditions. Afterwards, the energy research for building 'Omikron' takes place for the whole heating period and then the most important phase of the whole research follows, which is the examination of energy saving scenarios. Those scenarios concern not only the replacement of the existing heating system with other more effective ones, but also the interventions in the building envelope. Following, the economical evaluation of all the energy saving scenarios leads in the direct technoeconomical comparison between the different improving scenarios. Considering the results of the technoeconomical analysis, new systems are being studied, such as the combined systems of boilers and heat pumps. Therefore this thesis has the character of a practical research of an existing building, and in the end the most promising solutions for an energy saving investment in the building 'Omikron' are being suggested.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Σωτήρη Καρέλλα, χωρίς την καθοδήγηση και την βοήθεια του οποίου, η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν θα ήταν δυνατή. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον συνάδελφο Πλάτωνα Πάλλη, για την αδιάλειπτη βοήθεια που μου προσέφερε για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας. Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου Σωτήρη Κανελλόπουλος και Αγγελική Αρνιακού, καθώς και την αδερφή μου Μαρία Κανελλοπούλου για την αμέριστη συμπαράσταση και κατανόηση καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου και τους αφιερώνω την παρούσα διπλωματική εργασία.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

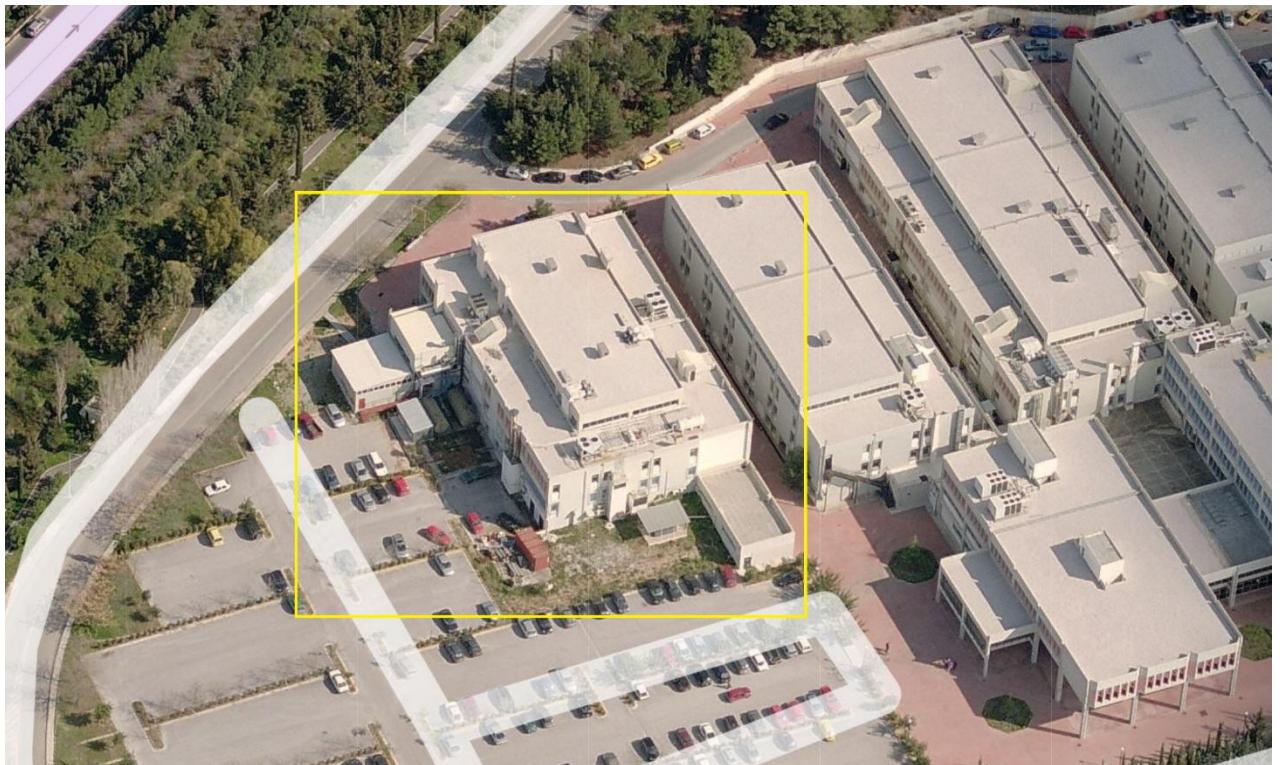
1. ΚΤΙΡΙΟ 'Ο'	1
1.1. Γενικά οικοδομικά Κτιρίου 'Ο'	1
1.2. Δομικά υλικά	4
1.2.1. Εξωτερικοί τοίχοι.....	4
1.2.2. Εσωτερικοί τοίχοι.....	6
1.2.3. Δάπεδα.....	7
1.2.4. Οροφές-Ταράτσες.....	8
1.2.5. Υαλοπίνακες.....	9
1.3. Θέρμανση Κτιρίου 'Ο'	13
1.3.1. Σύστημα θέρμανσης.....	13
1.3.2. Σύστημα διανομής νερού και τερματικά.....	16
1.3.3. Πρόγραμμα λειτουργίας λέβητα.....	19
1.3.4. Θερμαινόμενοι χώροι.....	20
1.4. Παρατηρήσεις και αδυναμίες υπάρχοντος συστήματος θέρμανσης	21
1.4.1. Ανυπαρξία θερμομόνωσης στις εξωτερικές τοιχοποιίες.....	21
1.4.2. Διαφορά πραγματικής και εκτιμώμενης θερμαινόμενης επιφάνειας.....	22
1.4.3. Τρόπος λειτουργίας λέβητα.....	23
2. ΜΕΤΡΗΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	25
2.1. Παρουσίαση μετρητικών οργάνων	25
2.1.1. Αναλυτής καυσαερίων MADUR GA 40 plus.....	25
2.1.2. Μετρητής ροής υπερήχων GE PT878.....	29
2.2. Διεξαγωγή διαδικασίας μετρήσεων	33
2.3. Αποτελέσματα μετρήσεων	35
2.3.1. Αποτελέσματα μετρήσεων μετρητή ροής υπερήχων.....	35
2.3.2. Αποτελέσματα μετρήσεων αναλυτή καυσαερίων.....	38
2.3.3. Χρήσιμα συμπεράσματα εξαγόμενα από τις μετρήσεις.....	42
3. ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	47
3.1. Διαθέσιμα εμπορικά λογισμικά προσομοίωσης	47
3.1.1. COMFIE.....	47
3.1.2. CAPSOL.....	50
3.1.3. TRNSYS.....	52
3.1.4. EnergyPlus.....	54
3.2. Παρουσίαση του λογισμικού DesignBuilder	55
3.2.1. Γενικά χαρακτηριστικά του λογισμικού και του περιβάλλοντός του.....	55
3.2.2. Γενικά θέματα υπολογισμών στο DesignBuilder.....	59
3.2.3. Βασικά χαρακτηριστικά του EnergyPlus.....	61
3.2.4. Βασικοί αλγόριθμοι υπολογισμών του EnergyPlus.....	62

4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ 'Ο' ΜΕΣΩ ΤΟΥ DesignBuilder ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	68
4.1. Μοντελοποίηση του Κτιρίου 'Ο'	68
4.1.1. Κτιριακό κέλυφος	68
4.1.2. Δομικά υλικά	72
4.1.3. Σύστημα θέρμανσης (HVAC)	75
4.1.4. Χαρακτηριστικά χρήσης του κτιρίου	78
4.2. Θεώρηση (validation) του μοντέλου	80
4.2.1. Σκοπός και μέθοδος της θεώρησης	80
4.2.2. Επεξεργασία μετρήσεων για τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο και Απρίλιο	81
4.2.3. Σύγκριση αποτελεσμάτων - Validation	92
5. ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΙΣΗΣ	98
5.1. Υπάρχουσα κατάσταση	98
5.2. Σενάρια τοποθέτησης θερμομόνωσης	100
5.3. Σενάρια συστημάτων θέρμανσης	102
5.3.1. Συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου μικρότερης ονομαστικής ισχύος	102
5.3.2. Συστοιχία συμβατικών λεβήτων φυσικού αερίου	105
5.3.3. Λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης	111
5.3.4. Συστοιχία λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης	113
5.3.5. Αντλία Θερμότητας Αέρα/Νερού	113
5.4. Εφαρμογή των σεναρίων και αποτελέσματα	116
5.4.1. Χωρίς παρεμβάσεις θερμομόνωσης	117
5.4.2. Εξηλασμένη Πολυστερίνη (XPS)	123
5.4.3. Διογκωμένη Πολυστερίνη (EPS)	128
5.4.4. Πετροβάμβακας (Rockwool)	132
5.4.5. Κυτταρίνη (Cellulose)	136
5.5. Σύνοψη αποτελεσμάτων και συμπεράσματα	140
6. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	147
6.1. Υπολογισμός του συνολικού κόστους	147
6.2. Εφαρμογή οικονομικής αξιολόγησης και αποτελέσματα	158
6.2.1. Χωρίς παρεμβάσεις θερμομόνωσης	158
6.2.2. Εξηλασμένη Πολυστερίνη (XPS)	172
6.2.3. Διογκωμένη Πολυστερίνη (EPS)	185
6.2.4. Πετροβάμβακας (Rockwool)	197
6.2.5. Κυτταρίνη (Cellulose)	209
6.3. Αποτελέσματα συγκεντρωτικά	221
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	232
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	234

1. ΚΤΙΡΙΟ 'Ο'

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το υπό μελέτη κτίριο, Κτίριο 'Ο'. Συγκεκριμένα θα παρουσιαστούν τόσο τα γενικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, όπως είναι η έκτασή του, τα δομικά υλικά κατασκευής του, τα γειτνιάζοντα κτίρια που συμβάλλουν σημαντικά στην σκίαση του υπό μελέτη κτιρίου, όσο και το υπάρχον σύστημα θέρμανσης του κτιρίου με όλα τα χαρακτηριστικά του μεγέθι, όπως ονομαστική ισχύς, βαθμός απόδοσης.

1.1. Γενικά οικοδομικά Κτιρίου 'Ο'

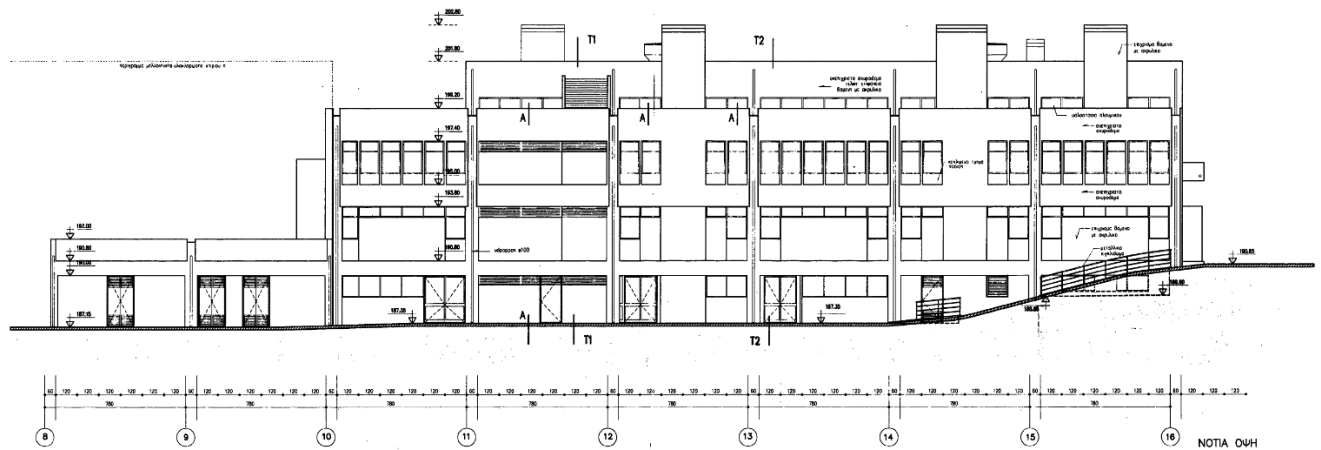


Εικόνα 1.1: Κτίρια Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π. και Κτίριο 'Ο'

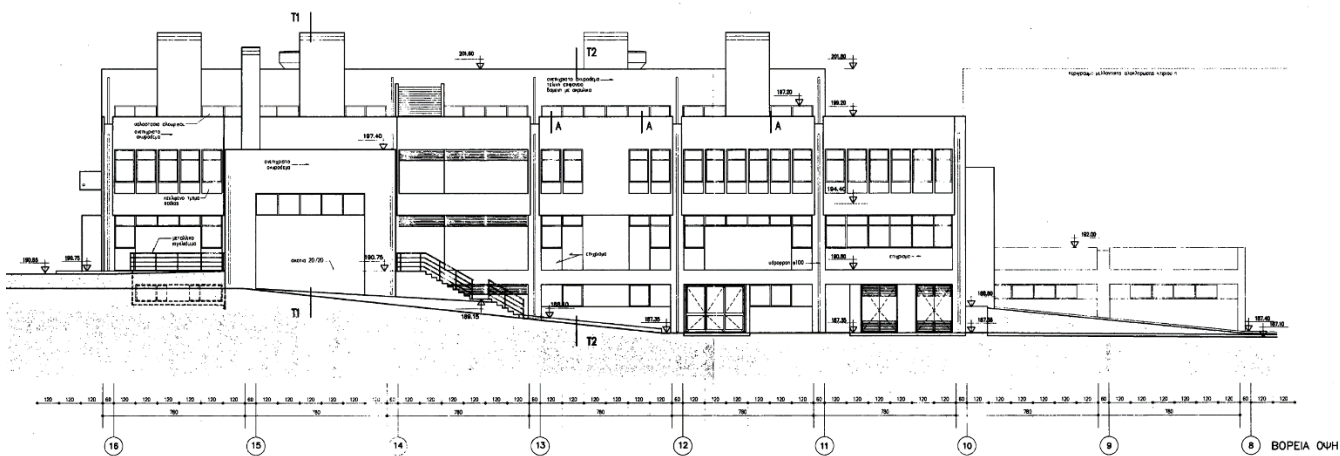
Πρόκειται για ένα από τα κτίρια της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π. και βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της σχολής όπως φαίνεται και στο σχήμα παραπάνω. Αποτελείται από τρεις ορόφους: το υπόγειο και πρώτο ,δεύτερο όροφο. Συνολική έκταση σε τετραγωνικά μέτρα είναι $4031,2 m^2$. Κάθε όροφος είναι περίπου $1000 m^2$, οπότε αυτό δίνει μια ιδέα για την διαρρύθμιση των χώρων στο κτίριο. Προορίζεται για εργαστηριακή χρήση καθώς και για χώρους γραφείων. Περιέχει βέβαια και κάποιες αίθουσες διδασκαλίας αλλά και χώρους παρουσιάσεων (όπως διπλωματικών/διδακτορικών εργασιών). Το κτίριο 'Ο' γειτνιάζει με δυο

οικοδομήματα τα οποία συμβάλλουν στην σκίασή του. Αυτά είναι: Νότια με το Κτίριο Κ των Μηχανολόγων Μηχανικών που είναι παρόμοιο σχηματικά και σε διαστάσεις με το υπό μελέτη κτίριο. Βορειοανατολικά με ένα πολύ μικρό οικοδόμημα που αποτελεί το λεβητοστάσιο του Κτιρίου 'Ο'. Και τα δύο κτίρια φαίνονται στην Εικόνα 1.1.

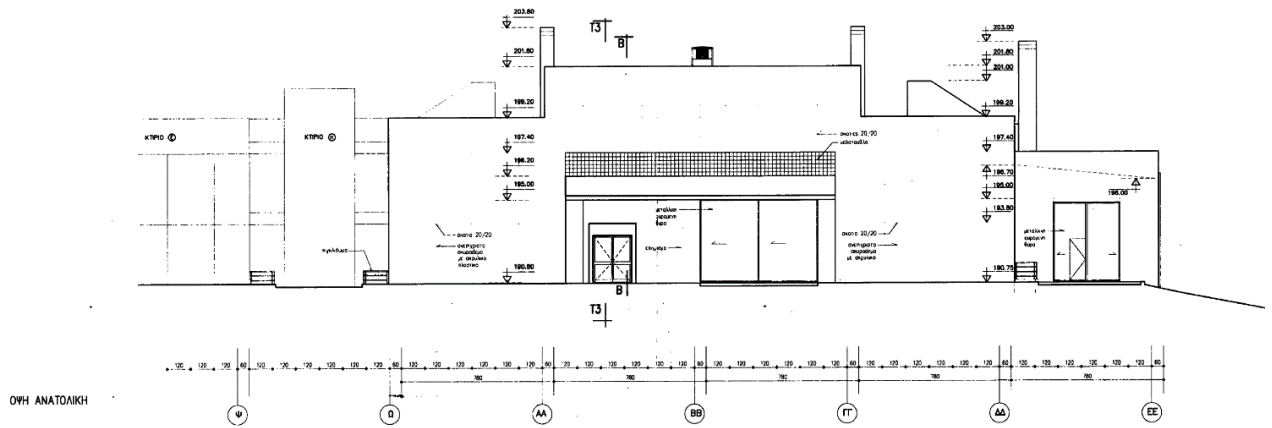
Τα αρχιτεκτονικά σχέδια του κτιρίου που χρησιμοποιήθηκαν επισυνάπτονται στο παράρτημα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ακολουθούν σχήματα με την ακριβή απεικόνιση του κτιρίου από κάθε όψη.



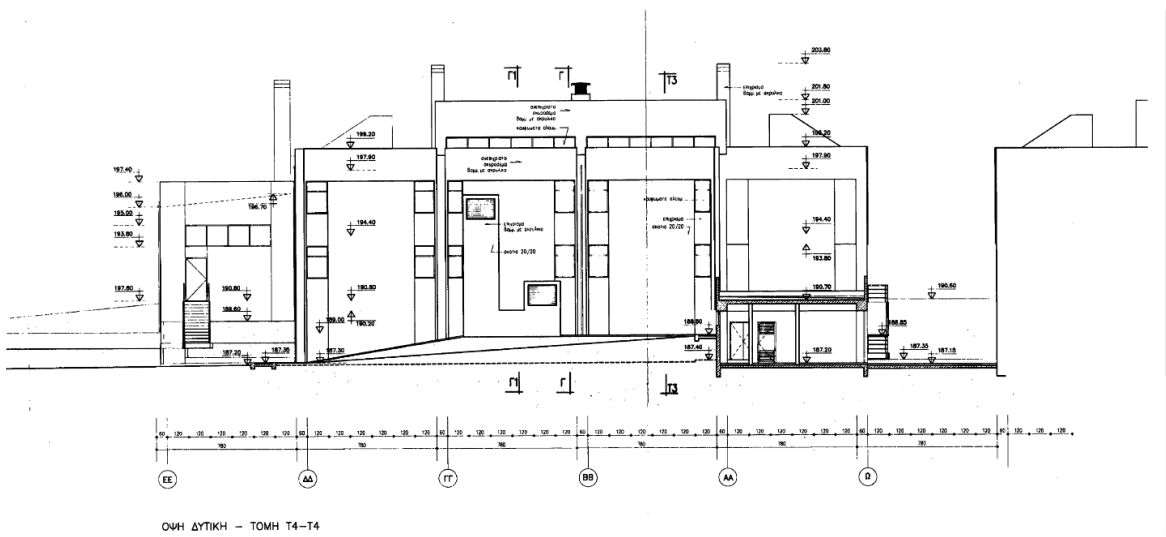
Εικόνα 1.2: Νότια Όψη



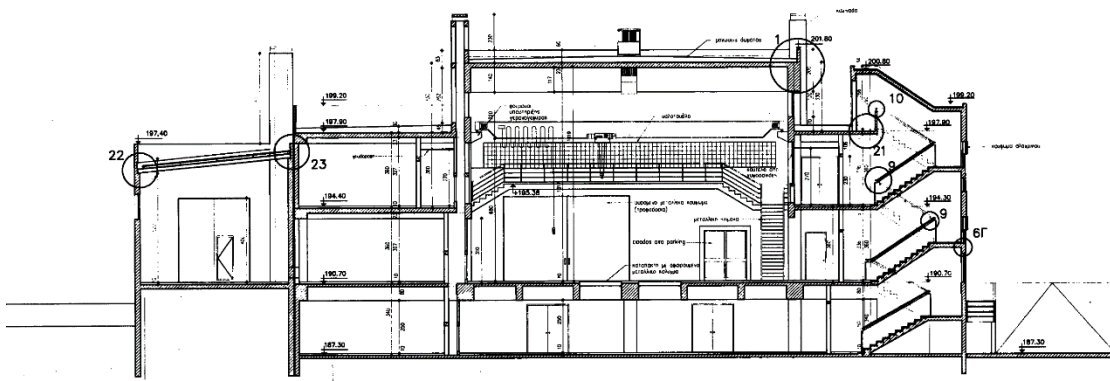
Εικόνα 1.3: Βόρεια Όψη



Εικόνα 1.4: Ανατολική Ōψη



Εικόνα 1.5: Δυτική Ōψη



Εικόνα 1.6: Τομή

1.2. Δομικά υλικά

Πρόκειται για κλασική κατασκευή κτιρίων εργασιακού χώρου της δεκαετίας του 1980. Αναγκαίο είναι να υπάρξει αναφορά σε κάθε υλικό ξεχωριστά καθώς σε επόμενο κεφάλαιο θα ακολουθήσει η μοντελοποίηση του οικοδομήματος, άρα της κάθε τοιχοποιίας ή υαλοπίνακα του Κτιρίου 'Ο'. Έχοντας τα αρχιτεκτονικά σχέδια του κτιρίου και με προσωπική μελέτη, συλλέχθηκαν όλα τα δομικά υλικά του κτιρίου και ακολουθούν παρακάτω.

1.2.1. Εξωτερικοί τοίχοι

Οι εξωτερικοί τοίχοι έχουν τέσσερα στρώματα (layers) και με σειρά από το εξωτερικό προς το εσωτερικό στρώμα είναι:

- Εξωτερικό επίχρισμα (σοβάς)
- Οπτοπλινθοδομή (τούβλο)
- Οπτοπλινθοδομή (τούβλο)
- Εσωτερικό επίχρισμα (σοβάς)

Οι φυσικές ιδιότητες που αφορούν την μεταφορά θερμότητας για τα υλικά αυτά είναι οι εξής: Πυκνότητα $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$, Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας $\lambda(\text{W}/\text{mK})$, Ειδική θερμοχωρητικότητα $C_p(\text{J}/\text{kgK})$, Συντελεστής αντίστασης σε διάχυση υδρατμών $\mu(\text{ξηρό}/\text{υγρό})$. Υπάρχουν και άλλες ιδιότητες που περιγράφουν τα δομικά υλικά, όπως οι Μηχανικές ιδιότητες. Αυτές είναι το όριο αναλογίας, διαρροής, αντοχής του υλικού και άλλα. Η παρούσα μελέτη αφορά την θερμική συμπεριφορά των υλικών οπότε αναφέρονται μόνο οι τέσσερις πρώτες ιδιότητες.

Εξωτερικό και εσωτερικό επίχρισμα



Εικόνα 1.7: Εξωτερικό επίχρισμα (σοβάς), μετά την μίξη με νερό

Πρόκειται για μίγμα από τέσσερα επιμέρους υλικά: Τσιμεντοκονίαμα, ασβεστοκονίαμα, γύψος, άμμος. Ο σοβάς λαμβάνεται είτε έτοιμος με τις κατάλληλες αναλογίες σε σάκους, είτε ξεχωριστά το κάθε υλικό από τα προαναφερόμενα τέσσερα. Όπως και να έχει το επίχρισμα παράγεται με μίξη σε κατάλληλα αναλογία νερού και την τοποθετείται στην επιθυμητή επιφάνεια.

Οι φυσικές ιδιότητες του επιχρίσματος που αφορούν την μεταφορά θερμότητας δι' αυτού επιλέγονται κατά ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 [1] και αναγράφονται παρακάτω σε μορφή πίνακα:

	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	C_p (J/kgK)	μ (ξηρό)
Επίχρισμα	1800	0,87	1000	25-35

Πίνακας 1.1: Θερμοφυσικές ιδιότητες επιχρίσματος

Οπτοπλινθοδομή



Εικόνα 1.8: Οπτοπλινθοδομή

Πρόκειται για το γνωστό τούβλο το οποίο αποτελεί το πληρωτικό υλικό των εξωτερικών τοίχων. Οι φυσικές ιδιότητες της οπτοπλινθοδομής που αφορούν την μεταφορά θερμότητας δι' αυτής επιλέγονται κατά ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 [1] και αναγράφονται παρακάτω σε μορφή πίνακα:

	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	C_p (J/kgK)	μ (ξηρό)
Οπτοπλινθοδομή	1900	0,78	1000	10-25

Πίνακας 1.2: Θερμοφυσικές ιδιότητες οπτοπλινθοδομής

1.2.2. Εσωτερικοί τοίχοι

Οι εσωτερικοί τοίχοι δεν έχουν σταθερή δομή για όλο το κτίριο καθώς μερικές μεσοτοιχίες αποτελούνται από διπλό στρώμα οπτοπλινθοδομής (άρα τέσσερα στρώματα συνολικά μαζί με εσωτερικό και εξωτερικό επίχρισμα, άρα όμοιος τοίχος με τον εξωτερικό που προαναφέρθηκε) και μερικές από μονό στρώμα οπτοπλινθοδομής (άρα τρία στρώματα συνολικά μαζί με εσωτερικό και εξωτερικό επίχρισμα). Οπότε για τις δυο περιπτώσεις προκύπτουν τα ακόλουθα:

Διπλό στρώμα οπτοπλινθοδομής

- Εξωτερικό επίχρισμα (σοβάς)
- Οπτοπλινθοδομή (τούβλο)
- Οπτοπλινθοδομή (τούβλο)
- Εσωτερικός επίχρισμα (σοβάς)

Μονό στρώμα οπτοπλινθοδομής

- Εξωτερικό επίχρισμα (σοβάς)
- Οπτοπλινθοδομή (τούβλο)
- Εσωτερικό επίχρισμα (σοβάς)

Οι φυσικές ιδιότητες των δομικών υλικών αυτών είναι ίδιες με πριν εφόσον τα υλικά είναι ίδια και ακολουθούν σε μορφή πίνακα:

	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	C_p (J/kgK)	μ (ξηρό)
Επίχρισμα	1800	0,87	1000	25-35

Πίνακας 1.3: Θερμοφυσικές ιδιότητες επιχρίσματος

	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	C_p (J/kgK)	μ (ξηρό)
Οπτοπλινθοδομή	1900	0,78	1000	10-25

Πίνακας 1.4: Θερμοφυσικές ιδιότητες οπτοπλινθοδομή

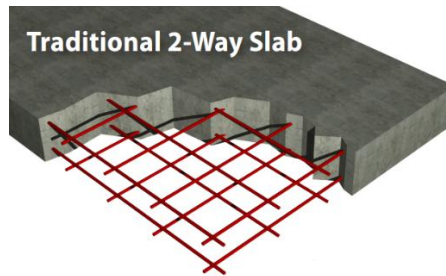
1.2.3. Δάπεδα

Πρόκειται για το κλασικό βιομηχανικό δάπεδο. Αυτό αποτελείται από δυο στρώματα και με σειρά από το εξωτερικό προς το εσωτερικό είναι:

- Οπλισμένο σκυρόδεμα
- Μωσαϊκό

Συγκεκριμένα για τα δυο υλικά:

Οπλισμένο σκυρόδεμα



Εικόνα 1.9: Οπλισμένο σκυρόδεμα δαπέδου (πλάκα)

Πρόκειται για τσιμέντο ενισχυμένο 2% κατά βάρος με χαλύβδινες βέργες. Οι φυσικές ιδιότητες του οπλισμένου σκυροδέματος που αφορούν την μεταφορά θερμότητας δι' αυτού επιλέγονται κατά ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 [1] και αναγράφονται παρακάτω σε μορφή πίνακα:

	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	C_p (J/kgK)	μ (ξηρό)
Οπλισμένο σκυρόδεμα	2400	2,5	1000	130

Πίνακας 1.5: Θερμοφυσικές ιδιότητες οπλισμένου σκυροδέματος (2% χάλυθας)

Μωσαϊκό:

Πρόκειται για ένα μίγμα ψηφίδων (ή πετρών) ανακατεμένων σε μια πάστα μαρμαρόσκονης, τσιμέντου και νερού. Ενισχύεται πολλές φορές με την προσθήκη άμμου και χαλκιού (γαρμπίλι). Η χρήση του μωσαϊκού ενδείκνυται για κάλυψη της πλάκας δαπέδου, καθώς είναι το δεύτερο υλικό σε ανθεκτικότητα εις βάθος χρόνου μετά τον φυσικό γρανίτη. Οι φυσικές ιδιότητες του μωσαϊκού που αφορούν την μεταφορά θερμότητας δι' αυτού επιλέγονται κατά ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 [1] και αναγράφονται παρακάτω σε μορφή πίνακα:

	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	C_p (J/kgK)	μ (ξηρό)
Μωσαϊκό	1900	1,2	-	-

Πίνακας 1.6: Θερμοφυσικές ιδιότητες μωσαϊκού

1.2.4. Οροφές-Ταράτσες

Πρόκειται για μια κλασσική βιομηχανική οροφή-ταράτσα. Αποτελείται από δυο στρώματα και με σειρά από το εσωτερικό προς το εξωτερικό είναι:

- Οπλισμένο σκυρόδεμα
- Μονωτικά υλικά

Συγκεκριμένα για τα δυο υλικά:

Οπλισμένο σκυρόδεμα

Όμοιο με του δαπέδου. Οπότε οι φυσικές ιδιότητες του οπλισμένου σκυροδέματος που αφορούν την μεταφορά θερμότητας δι' αυτού επιλέγονται κατά ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 [1] και αναγράφονται παρακάτω σε μορφή πίνακα:

	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	C_p (J/kgK)	μ (ξηρό)
Οπλισμένο σκυρόδεμα	2400	2,5	1000	130

Πίνακας 1.7: Θερμοφυσικές ιδιότητες οπλισμένου σκυροδέματος (2% χάλυβα)

Μονωτικά υλικά



Εικόνα 1.10: Μονωτικά υλικά οροφής-ταράτσας

Πρόκειται για ένα μίγμα τσιμεντοκονιάματος και ασφάλτου. Πέραν τις αντοχής του σε βάθος χρόνου από μηχανική ή χημική διάβρωση προσφέρει καλή ποιότητα μόνωσης, πράγμα εξαιρετικά σημαντικό εφόσον οι οροφές που έρχονται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον σε ένα κτίριο είναι οι σημαντικότερες «δίοδοι» θερμικών απωλειών.

Οι φυσικές ιδιότητες της μόνωσης που αφορούν την μεταφορά θερμότητας δι' αυτής επιλέγονται κατά ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 [1] και αναγράφονται παρακάτω σε μορφή πίνακα:

	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	C_p (J/kgK)	μ (ξηρό)
Μονωτικά οροφής-ταράτσας	1100	0,23	1000	50000

Πίνακας 1.8: Θερμοφυσικές ιδιότητες μονωτικών υλικών οροφής-ταράτσας

1.2.5. Υαλοπίνακες

Το κτίριο διαθέτει υαλοπίνακες σε όλους τους εξωτερικούς, αλλά και σε ορισμένους εσωτερικούς τοίχους. Οι υαλοπίνακες ανεξάρτητα από το σημείο του κτιρίου που βρίσκονται, κατασκευαστικά είναι όλοι όμοιοι. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται καθαρά η κατασκευή των υαλοπινάκων.



Εικόνα 1.11: Υαλοπίνακας με διπλό γυαλί και κενό αέρος σε τομή

Πρόκειται για αλουμινένιο πλαίσιο (κούφωμα), διπλό τζάμι με 3mm πάχος των γυαλιών και 6mm το κενό αέρος μεταξύ τους (double glazing clear 3mm/6mm air). Χαρακτηριστικό των υαλοπινάκων αυτών ως προς την μεταφορά θερμότητας που ενδιαφέρει, είναι η μη ύπαρξη θερμοδιακοπής.

Η θερμοδιακοπή είναι ένα σοβαρό θέμα που έχει απασχολήσει τους κατασκευαστές κουφωμάτων τα τελευταία χρόνια και ο μηχανισμός της έχει ως εξής:

Στα απλά συστήματα αλουμινίου που είναι τα πιο γνωστά (και δεν διαθέτουν θερμοδιακοπή), το προφίλ αποτελείται μόνο από αλουμίνιο. Επειδή το αλουμίνιο ως μέταλλο είναι καλός αγωγός της θερμότητας πολλές φορές παρατηρείται στο προφίλ του κουφώματος (όχι στα τζάμια) η δημιουργία υδρατμών και κατά συνέπεια υγρασίας, που οφείλεται στην διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού χώρου. Σε ορισμένες περιπτώσεις (ανάλογα την μόνωση της περιοχής περιμετρικά του ανοίγματος ή σε ποια περιοχή βρίσκεται το κούφωμα) αυτή η συνεχής ροή υγροποιημένων υδρατμών στην επιφάνεια των κουφωμάτων μπορεί να προκαλέσει πρώτον προβλήματα διάβρωσης στις ενώσεις των αλουμινίων με την τοιχοποιία περιμετρικά του ανοίγματος (συνήθως ενισχύεται αυτή η περιοχή με την προσθήκη σιλικόνης). Και δεύτερον προκαλείται αύξηση της θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα σαν σύνολο (αύξηση του U factor του υαλοπίνακα), το οποίο είναι γενικά ανεπιθύμητο.



(Χωρίς Θερμοδιακοπή)



(Με Θερμοδιακοπή)

Εικόνα 1.12: Υαλοπίνακες χωρίς θερμοδιακοπή (αριστερά) και με θερμοδιακοπή (δεξιά) σε τομή

Η λύση στο πρόβλημα αυτό δίνεται από την προσθήκη ενός κομματιού πολυαμιδίου μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού προφίλ αλουμινίου όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.12. Το πολυαμίδιο είναι ένα είδος πολυβυνιλοχλωριδίου (πολυμερές υλικό-ρνς) και χρησιμοποιείται διότι αφενός είναι πολύ κακός αγωγός της θερμότητας και αφετέρου απορροφά την υγρασία.

Οι υαλοπίνακες του Κτιρίου Ο δεν διαθέτουν θερμοδιακοπή, επομένως αναμένονται υψηλές τιμές θερμοπερατότητας (U factor). Παρακάτω ακολουθεί η ανάλυση των σχετικών με την μεταφορά θερμότητας χαρακτηριστικών των υαλοπινάκων κατά ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 [1] για μονό κούφωμα αλουμινίου που ενδιαφέρει εν προκειμένω:

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας με διπλό (ή και μονό) τζάμι υπολογίζεται βάση της σχέσης:

$$U_W = \frac{A_f U_f + A_g U_g + l_g \Psi_g}{A_f + A_g} \quad (1.1)$$

Όπου:

- U_W [$\frac{W}{m^2 K}$] ο συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κουφώματος
- U_f [$\frac{W}{m^2 K}$] ο συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου του κουφώματος
- U_g [$\frac{W}{m^2 K}$] ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος
- A_f [m^2] το εμβαδό επιφάνειας του πλαισίου του κουφώματος
- A_g [m^2] το εμβαδό επιφάνειας του υαλοπίνακα του κουφώματος
- l_g [m] το μήκος της θερμογέφυρας του υαλοπίνακα του κουφώματος (το μήκος συναρμογής πλαισίου-υαλοπίνακα, δηλαδή η περίμετρος του υαλοπίνακα)
- Ψ_g [$\frac{W}{mK}$] ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας υαλοπίνακα του κουφώματος

Τα εμβαδά είναι άμεσα μετρήσιμα μεγέθη. Για τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται πίνακες όπως φαίνεται ακολούθως.

- Η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας του πλαισίου του κουφώματος U_f λαμβάνεται ανάλογα με το υλικό κατασκευής κατά EN ISO 10077-1 [2] του πλαισίου από τον πίνακα:

Υλικό πλαίσιο	Χαρακτηριστικό πλαίσιο	Συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου U_f [W/(m ² K)]
Μεταλλικό πλαίσιο	χωρίς θερμοδιακοπή	7,0
	με θερμοδιακοπή	1,0 - 4,0
Συνθετικό πλαίσιο	Πολυουρεθάνη	2,8
	PVC με δύο θαλάμους	2,2
	PVC με τρεις θαλάμους	2,0
	PVC πολυθαλαμικό	1,0-2,0
Ξύλινο πλαίσιο	σκληρής ξυλείας μέσου πάχους πλαισίου-κάσας 5cm	2,4
	μαλακής ξυλείας μέσου πάχους πλαισίου-κάσας 5cm	2,0
	σκληρής ξυλείας μέσου πάχους πλαισίου-κάσας 10cm	1,7
	μαλακής ξυλείας μέσου πάχους πλαισίου-κάσας 10cm	1,5

Πίνακας 1.9: Συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου κατά EN ISO 10077-1

- Η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα U_g λαμβάνεται από τον πίνακα:

Υάλωση			U_g [W/(m ² K)] για διαφορετικούς τύπους αερίων στο διάκενο των υαλοπινάκων			
Τύπος υάλωσης	Υαλοπίνακας	Συντελεστής εκπομπής	Διαστάσεις	Αέρας	Αργό	Κρύπτο
Διπλή	Χωρίς επίστρωση χαμηλής εκπομπής	0,89	4-6-4	3,3	3,0	2,8
			4-8-4	3,1	2,9	2,7
			4-12-4	2,8	2,7	2,6
			4-16-4	2,7	2,6	2,6
	Με επίστρωση χαμηλής εκπομπής ενός φύλλου	≤0,1	4-6-4	2,6	2,2	1,7
			4-8-4	2,2	1,9	1,4
			4-12-4	1,8	1,5	1,3
			4-16-4	1,6	1,4	1,3
	Με επίστρωση χαμηλής εκπομπής ενός φύλλου	≤0,05	4-6-4	2,5	2,1	1,5
			4-8-4	2,1	1,7	1,3
			4-12-4	1,7	1,3	1,1
			4-16-4	1,4	1,2	1,2
Τριπλή	Χωρίς επίστρωση χαμηλής εκπομπής	0,89	4-6-4-6-4	2,3	2,1	1,8
			4-8-4-8-4	2,1	1,9	1,7
			4-12-4-12-4	1,9	1,8	1,6
	Με επίστρωση χαμηλής εκπομπής δύο φύλλων	≤ 0,1	4-6-4-6-4	1,7	1,3	1,0
			4-8-4-8-4	1,4	1,1	0,8
			4-12-4-12-4	1,1	0,9	0,6
	Με επίστρωση χαμηλής εκπομπής δύο φύλλων	≤ 0,05	4-6-4-6-4	1,6	1,2	0,9
			4-8-4-8-4	1,3	1,0	0,7
			4-12-4-12-4	1,0	0,8	0,5

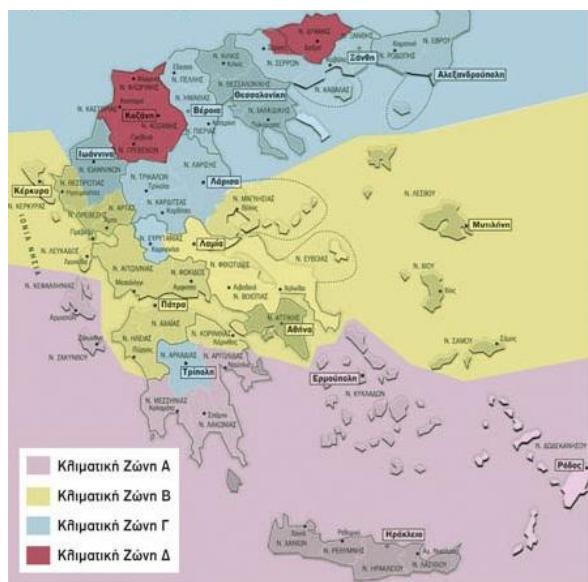
Πίνακας 1.10: Συντελεστής θερμοπερατότητας υαλοπίνακα κατά EN ISO 10077-1

- Η τιμή του συντελεστή γραμμικής θερμοπερατότητας Ψ_g λαμβάνεται ανάλογα με τον τύπο των θερμογεφυρών από τον πίνακα:

Τύπος πλαισίου	Γραμμική θερμοπερατότητα για διάφορους τύπους υαλοπινάκων Ψ_g [W/(m.K)]	
	Χωρίς επίστρωση χαμηλής εκπομπής	Με επίστρωση χαμηλής εκπομπής
Μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή	0,02	0,05
Μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή	0,08	0,11
Συνθετικό πλαίσιο	0,06	0,08
Ξύλινο πλαίσιο	0,06	0,08

Πίνακας 1.11: Συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας κατά EN ISO 10077-1

Γενικά το ζητούμενο U_W (σχέση 1.1) λαμβάνει τιμές μεταξύ 1 και $7 \frac{W}{m^2K}$ ανάλογα με την κατασκευή του κουφώματος και την τοιχοποιία περιμετρικά του. Φυσικά όμως την τελευταία δεκαετία έχουν ορισθεί αυστηρά όρια για τις κατασκευές, σχετικά με την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Η Ελλάδα έχει χωριστεί σε τέσσερις κλιματικές ζώνες και για κάθε ζώνη υπάρχει ένα ανώτατο όριο για τον συντελεστή θερμοπερατότητας υαλοπίνακα.



Εικόνα 1.13: Κλιματικές ζώνες ελληνικής επικράτειας

Στην Εικόνα 1.13 φαίνονται στον χάρτη της Ελλάδας οι τέσσερις κλιματικές ζώνες. Το ανώτατο όριο για τον συντελεστή θερμοπερατότητας υαλοπινάκων αφορά κάθε ζώνη ξεχωριστά και ακολουθεί παρακάτω:

Κλιματική Ζώνη	A	B	Γ	Δ
U_W^{max} [W/m ² K]	3,2	3	2,8	2,6

Πίνακας 1.12: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας υαλοπινάκων ανά κλιματική ζώνη

1.3. Θέρμανση Κτιρίου 'Ο'

Στην παράγραφο αυτή αρχικά γίνεται αναφορά στο σύστημα θέρμανσης του υπό μελέτη κτιρίου, καθώς και στις λεπτομέρειες που αφορούν το σύστημα διανομής του νερού. Για το σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ) δεν θα υπάρξει αναφορά, καθώς το Κτίριο 'Ο' δεν διαθέτει κάποιο τέτοιο σύστημα. Για οποιαδήποτε εφαρμογή (εργαστηριακή ή μη) υπάρξει ανάγκη για ΖΝΧ, η παραγωγή του γίνεται άμεσα σε εργαστηριακές συσκευές (όπως ένα μικρό boiler χωρητικότητας μέχρι κάποια κυβικά). Ύστερα ακολουθούν οι παρατηρήσεις σχετικά με τις αδυναμίες και τα προβλήματα του υπάρχοντος συστήματος θέρμανσης και η υπόδειξη ανάγκης αντικατάστασής του.

1.3.1. Σύστημα Θέρμανσης

Το Κτίριο 'Ο' για την θέρμανση των χώρων διέθετε αρχικά έναν λέβητα πετρελαίου. Πριν από μια δεκαετία όμως αποφασίστηκε να αντικατασταθεί ο καυστήρας του λέβητα, με καυστήρα φυσικού αερίου. Το λεβητοστάσιο βρίσκεται βορειοανατολικά του κτιρίου όπου και υπάρχει εύκολη πρόσβαση σε αυτό τόσο μέσα από το κτίριο, όσο και από έξω (διαθέτει συρόμενη μεταλλική πόρτα για διευκόλυνση του εφοδιασμού της δεξαμενής αποθήκευσης με φυσικό αέριο). Τα χαρακτηριστικά του λέβητα καθώς και του καυστήρα ακολουθούν παρακάτω σε μορφή πίνακα:

Στοιχεία Λέβητα	
Κατασκευαστής	Φυρογένης
Σειρά	RS
Τύπος	RS280
Έτος κατασκευής	11/1997
Ονομαστική Ισχύς	325,64 kW - 280000 kcal/h
Μέγιστη Θερμοκρασία	95 °C
Μέγιστη Πίεση	5 atu

Πίνακας 1.13: Χαρακτηριστικά μεγέθη λέβητα Κτιρίου 'Ο' (κατασκευαστή)

Ο βαθμός απόδοσης του λέβητα ως γνωστόν δεν είναι σταθερός, αλλά ακολουθεί κάποια κατανομή. Οι κατασκευαστές συνήθως δίνουν ως χαρακτηριστικό βαθμό απόδοσης μια τιμή που αντιστοιχεί στην ονομαστική ισχύ. Παρόλα αυτά ο σωστότερος τρόπος ορισμού του βαθμού απόδοσης είναι μέσω κάποιου προτύπου. Ο συγκεκριμένος λέβητας ακολουθεί το Προεδρικό Διάταγμα Αριθ:335/93 [3]. Το άρθρο 5 της συγκεκριμένης οδηγίας είναι αυτό που ενδιαφέρει, και συγκεκριμένα αναφέρεται σε λέβητες με μέση θερμοκρασία εξόδου νερού 70°C και μερικό φορτίο της τάξης του 30%. Οπότε σύμφωνα με το πρότυπο αυτό για τον βαθμό απόδοσης έχουμε τον πίνακα:

Τύπος λέβητα	Φάσμα ισχύος	Απόδοση σε ονομαστική ισχύ		Απόδοση σε μερικό φορτίο	
		Μέση θερμοκρασία του νερού στο λέβητα (σε °C)	Απαίτηση Απόδοσης Εκφρασμένη (σε %)	Μέση θερμοκρασία του νερού στο λέβητα (σε °C)	Απαίτηση απόδοσης εκφρασμένη (σε %)
Συνήθεις λέβητες	4 έως 400	70	$\geq 84 + 2 \log P_n$	≥ 50	$\geq 80 + 3 \log P_n$
Λέβητες χαμηλής θερμοκρασίας	4 έως 400	70	$\geq 87,5 + 1,5 \log P_n$	40	$\geq 87,5 + 1,5 \log P_n$
Λέβητες αερίου με συμπύκνωση	4 έως 400	70	$\geq 91 + 1 \log P_n$	30	$\geq 97 + 1 \log P_n$

Πίνακας 1.14: Βαθμός απόδοσης λέβητα σύμφωνα με το πρότυπο

Στο πρότυπο αυτό καθορίζεται ο ελάχιστος βαθμός απόδοσης που επιβάλλεται να έχει κάθε λέβητας ενός συγκεκριμένου είδους. Ο λέβητας του Κτιρίου 'Ο' ανήκει στην κατηγορία Συνήθεις λέβητες με ισχύ από 4 έως 400 kW και μέση θερμοκρασία νερού στους 70°C οπότε για τον λέβητα αυτόν ισχύει:

Ελάχιστος βαθμός απόδοσης

$$84 + 2 \log P_n = 89,02\%$$

Ακολουθούν τα χαρακτηριστικά του καυστήρα του λέβητα σε μορφή πίνακα:

Στοιχεία Καυστήρα	
Κατασκευαστής	CUENOD
Σειρά	C
Τύπος	C43
Έτος κατασκευής	2007
Εύρος Λειτουργίας σε kW	260 - 430
Καύσιμο	GG20 NG

Πίνακας 1.15: Χαρακτηριστικά μεγέθη καυστήρα του λέβητα (κατασκευαστή)

Ακολουθούν εικόνες από τον λέβητα και τον καυστήρα του Κτιρίου 'Ο' :



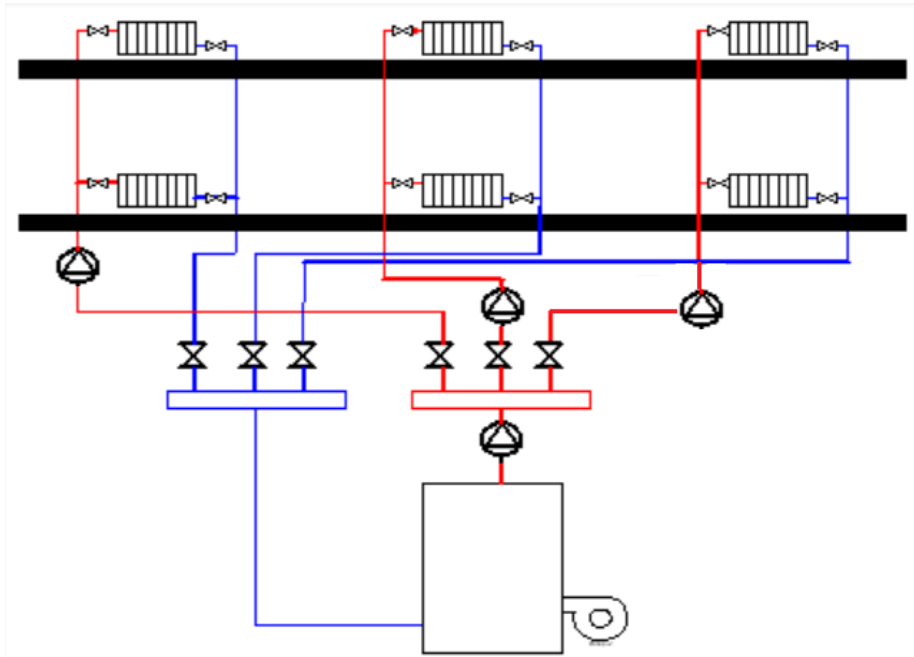
Εικόνα 1.14: Λέβητας Κτιρίου 'Ο'



Εικόνα 1.15: Καυστήρας του λέβητα

1.3.2. Σύστημα διανομής νερού και τερματικά

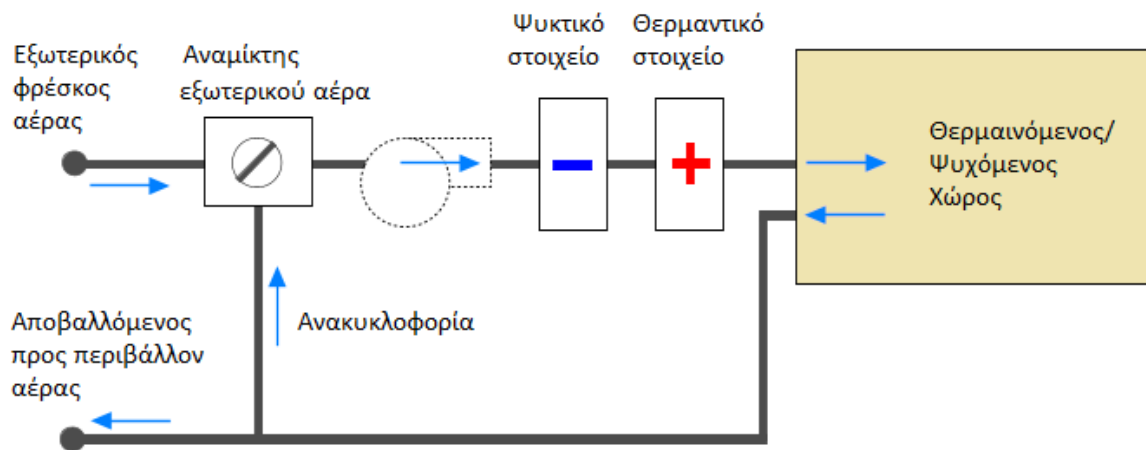
Πρόκειται για το κλασικό δισωλήνιο σύστημα διανομής ζεστού νερού στα τερματικά όπως σώματα ή διατάξεις ανεμιστήρα-στοιχείου (fan coil). Στο δισωλήνιο σύστημα τα τερματικά είναι διατεταγμένα παράλληλα και όχι σε σειρά έτσι ώστε το νερό να διαμοιράζεται κατάλληλα μετά τον λέβητα και πηγαίνει ξεχωριστά σε κάθε τερματικό. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται προσεγγιστικά το σύστημα διανομής νερού που διαθέτει το Κτίριο 'Ο':



Εικόνα 1.16: Δισωλήνιο σύστημα διανομής νερού παρόμοιο με Κτιρίου 'Ο'

Αυτό που γίνεται εύκολα αντιληπτό από το σχήμα και είναι το σημαντικό της διάταξης του συστήματος διανομής του Κτιρίου 'Ο', είναι ότι ο κάθε κλάδος διανομής που καταλήγει σε τερματικό διαθέτει δικό του κυκλοφορητή. Οπότε σε περίπτωση που κάποιο τερματικό δεν τεθεί σε λειτουργία, ο αντίστοιχος κυκλοφορητής διακόπτει την λειτουργία. Όπως θα φανεί παρακάτω αυτό συμβαίνει σε μεγάλο βαθμό στο Κτίριο 'Ο', σε τέτοιο βαθμό ώστε ο λέβητας να σχεδόν να υπολειτουργεί.

Όσον αφορά τα τερματικά του δικτύου διανομής το Κτίριο 'Ο' είναι εξοπλισμένο στους θερμαινόμενους χώρους με διατάξεις ανεμιστήρα-στοιχείου ή αλλιώς fan coil. Η λειτουργία τους είναι απλή και περιγράφεται και στην Εικόνα 1.17. Αέρας από τον χώρο εισέρχεται με την βοήθεια του ανεμιστήρα μέσα στην συσκευή του fan coil και περνά από την περιοχή του θερμαντικού στοιχείου (στην περίπτωση θέρμανσης). Η περιοχή αυτή δρα ως ένας εναλλάκτης θερμότητας που στο ένα ρεύμα του διαθέτει το θερμό νερό ερχόμενο από τον λέβητα και στο άλλο τον «ψυχρό» αέρα ερχόμενο από τον χώρο. Θερμότητα προσδίδεται στον αέρα που ύστερα εισέρχεται στον χώρο. Αντίστοιχα στην περίπτωση ψύξης η διαδικασία είναι όμοια απλά ο αέρας του χώρου περνά στο ψυκτικό στοιχείο.



Εικόνα 1.17: Λειτουργία fan coil

Τα fan coil έχουν τρία σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά θερμαντικά σώματα. Το πρώτο είναι ότι διανέμουν κυριολεκτικά θερμότητα στον χώρο μέσω του θερμού αέρα σε αντίθεση με τα θερμαντικά σώματα που μεταφέρουν θερμότητα μόνο δια συναγωγής (μέσω των επιφανειών των σωμάτων). Το δεύτερο είναι ότι δίνουν την δυνατότητα ψύξης. Για παράδειγμα έχοντας μια αντλία θερμότητας δύναται να παρέχεται σε έναν χώρο θέρμανση και ψύξη, κάνοντας χρήση του ίδιου θερμαντικού, δίχως να είναι η αναγκαία η εγκατάσταση νέων μονάδων ψύξης-κλιματισμού. Το τρίτο και σημαντικότερο πλεονέκτημα είναι ότι εργάζονται επαρκώς ακόμα και με θερμοκρασία εξόδου νερού του λέβητα χαμηλότερη των 50°C, πράγμα που οδηγεί σε σοβαρή εξοικονόμηση καυσίμου του λέβητα.



Εικόνα 1.18: Διάταξη ανεμιστήρα-στοιχείου (fan coil) επιδαπέδια

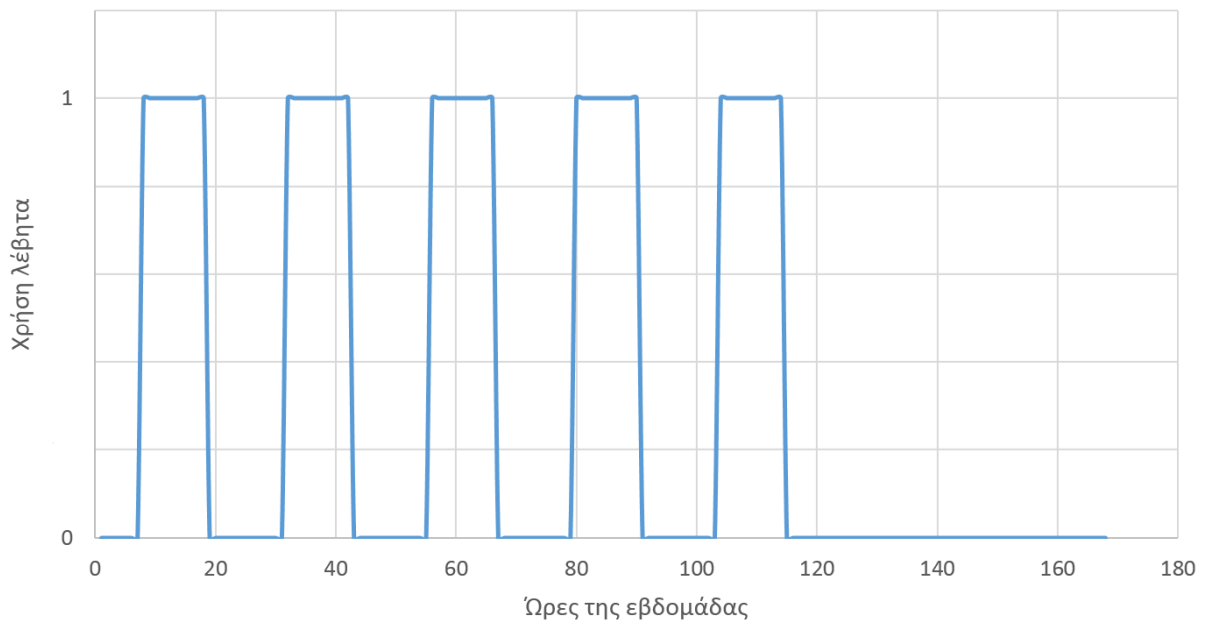
Υπάρχουν διάφορες κατασκευαστικές μορφές των τερματικών μονάδων αυτών και ποικίλλουν ανάλογα με τον χώρο ή γενικά την αρχιτεκτονική/διακοσμητική του κάθε οικοδομήματος, όπως επιδαπέδια, επιτοίχια, οροφής ή κρυφά. Το Κτίριο 'Ο' διαθέτει επιδαπέδια fan coil, με ανεμιστήρα μεταβλητής ταχύτητας περιστροφής τεσσάρων θέσεων όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.18. Η ταχύτητα περιστροφής του ανεμιστήρα είναι ένας τρόπος ρύθμισης του ρυθμού θέρμανσης του χώρου, δρα δηλαδή σαν ένας τοπικός θερμοστάτης του εκάστοτε χώρου. Αυτό συμβαίνει για τον πολύ απλό λόγο ότι όσο ταχύτερα επιλέγεται να στρέφεται ο ανεμιστήρας, τόσο μεγαλύτερη παροχή μάζας αναρροφά ο ανεμιστήρας και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ταχύτερη ανύψωση της θερμοκρασίας του χώρου έως την επιθυμητή.

1.3.3. Πρόγραμμα λειτουργίας λέβητα

Ο λέβητας του Κτιρίου 'Ο' διαθέτει έλεγχο μέσω χρονοδιακόπτη όπου ορίζει το ωράριο λειτουργίας του. Ο έλεγχος πραγματοποιείται μέσω ενός ηλεκτρονικού πίνακα, ο οποίος δίνει την δυνατότητα και χειροκίνητων παρεμβάσεων στο πρόγραμμα λειτουργίας. Οι χειροκίνητες αλλαγές αυτές μπορεί να αφορούν το ωράριο λειτουργίας του λέβητα ή την θερμοκρασία εξόδου του νερού από τον λέβητα. Το πρόγραμμα λειτουργίας του Κτιρίου 'Ο' ακολουθεί παρακάτω σε μορφή πίνακα αλλά και διαγραμματικά:

Ωράριο Λειτουργίας Λέβητα	
Δευτέρα- Παρασκευή	8:00-18:00
Σάββατο & Κυριακή	-

Πίνακας 1.16: Ωράριο λειτουργίας λέβητα - Ημερήσιο



Διάγραμμα 1.1: Ωράριο λειτουργίας λέβητα – Εβδομαδιαίο

Στο Διάγραμμα 1.1 παρατηρείται η λειτουργία του λέβητα σε όλη την διάρκεια μιας εβδομάδας. Στον κάθετο άξονα όπου η καμπύλη φτάνει την τιμή 1, ο λέβητας λειτουργεί, ενώ την τιμή 0, ο λέβητας δεν λειτουργεί. Αυτό το πρόγραμμα ακολουθείται πιστά καθ' όλη την διάρκεια της θερμαντικής περιόδου. Να σημειωθεί ότι σε επόμενο κεφάλαιο που θα παρουσιαστούν οι μετρήσεις, επιτράπηκε η παρέμβαση του προσωπικού του εργαστηρίου στο πρόγραμμα λειτουργίας του λέβητα, ώστε να λειτουργήσει και Σαββατοκύριακα για να παρθούν κάποιες χρήσιμες μετρήσεις για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους.

1.3.4. Θερμαινόμενοι χώροι

Το Κτίριο 'Ο' διαθέτει όπως φαίνεται και στο Παράρτημα (κατόψεις ορόφων) διαθέτει εκατό τριάντα (130) διακεκριμένους χώρους. Για θέρμανση προορίζονται λιγότεροι χώροι καθώς εξαιρούνται τουαλέτες, χώροι ανελκυστήρων, χώροι ελέγχου υπολογιστών, χώροι μετασχηματιστών και πινάκων μετασχηματιστών, καθώς και ο χώρος του συμπιεστή των εργαστηρίων. Πρόκειται για 45 χώρους του κτιρίου. Επομένως οι θερμαινόμενοι χώροι του κτιρίου περιορίζονται στους 85. Οπότε αρχικά εκτιμήθηκε ότι το 65,4 % των χώρων του Κτιρίου 'Ο' θα είναι θερμαινόμενοι.

Παρόλα αυτά στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής διεξήχθη έρευνα σε όλους τους τομείς του Κτιρίου 'Ο', για την διαπίστευση του ποσοστού αυτού των θερμαινόμενων χώρων (65,4 %). Αυτό που διαπιστώθηκε είναι ότι μόνο 31 χώροι όντως λειτουργούν τα θερμαντικά τους σώματα (τερματικά). Οπότε αυτό δίνει ένα ποσοστό για τους θερμαινόμενους χώρους της τάξης του 23,8 %. Στον πίνακα που ακολουθεί απεικονίζεται η κατάσταση των θερμαινόμενων χώρων:

Θερμαινόμενοι Χώροι	Ποσοστό (%) συνολικού αριθμού χώρων	Τετραγωνικά μέτρα (m^2)
Αρχική Εκτίμηση	65,4	2616
Μετρημένα μεγέθη	23,8	852,57

Πίνακας 1.17: Αποτελέσματα έρευνας του Κτιρίου Ο σχετικά με θερμαινόμενους χώρους

Το ενδιαφέρον στην παρούσα έρευνα είναι το γεγονός ότι στην πραγματικότητα αρκετά λιγότεροι χώροι όντως χρησιμοποιούν το τερματικό τους ώστε να θερμανθούν. Αυτό σύμφωνα με την έρευνα οφείλεται κυρίως στο ότι στην πάροδο του χρόνου αρκετοί χώροι άλλαξαν χρήση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι γραφεία εργαζομένων στα εργαστήρια που τελικά χρησιμοποιήθηκαν ως βιβλιοθήκες ή απλά σαν αποθηκευτικοί χώροι.

Επίσης να σημειωθεί για τους 31 θερμαινόμενους χώρους ότι αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από χώρους γραφείων.

1.4. Παρατηρήσεις και αδυναμίες υπάρχοντος συστήματος θέρμανσης

Η όλη μελέτη του Κτιρίου 'Ο' στρέφεται γύρω από τον ανάγκη εξέτασης από ενεργειακής πλευράς τόσο του κτιριακού κελύφους, όσο και της υπάρχουσας εγκατάστασης θέρμανσης. Από την μέχρι τώρα παράθεση των δομικών υλικών, του συστήματος θέρμανσης αλλά και των χώρων που πραγματικά θερμαίνονται στο Κτίριο 'Ο', είναι προφανής η ανάγκη ύπαρξης διορθωτικών-βελτιωτικών κινήσεων. Οι δυο βασικοί λόγοι που φαίνεται η ανάγκη αυτή είναι οι εξής:

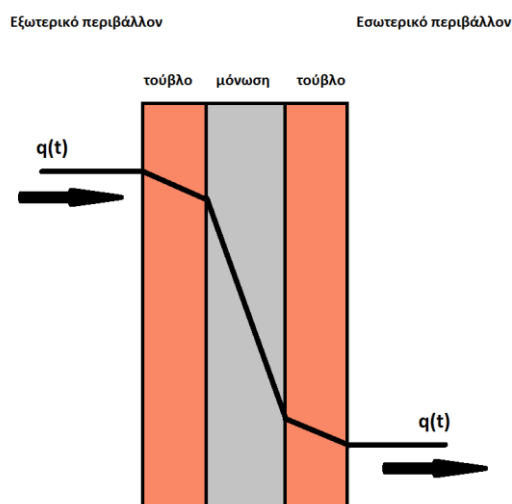
- Ανυπαρξία οποιασδήποτε μορφής θερμομόνωσης στις εξωτερικές τοιχοποιίες
- Σημαντικά μικρότερη θερμαινόμενη επιφάνεια από την αρχικά εκτιμώμενη
- Τρόπος λειτουργίας λέβητα

Παρακάτω ακολουθεί αναφορά στον κάθε λόγο ξεχωριστά.

1.4.1. Ανυπαρξία θερμομόνωσης στις εξωτερικές τοιχοποιίες

Η ύπαρξη θερμομόνωσης στα κτίρια είναι γενικά άκρως επιθυμητή, καθώς επιδρά ως «επιβραδυντής» για την μεταφορά θερμότητας από τον εξωτερικό χώρο προς τον εσωτερικό, επιτρέποντας την διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας άνεσης του χώρου δίχως να καταναλώνεται υπέρμετρα θερμική ενέργεια από την εγκατάσταση θέρμανσης των κτιρίων. Αυτά από γενικής σκοπιάς. Πιο συγκεκριμένα τα τελευταία χρόνια με τις ενεργειακές επιθεωρήσεις κτιρίων, και τα αυστηρά μέτρα από την Ευρωπαϊκή Ένωση περί ενεργειακής απόδοσης, η θερμομόνωση στα κτίρια χρίζεται πλέον αναγκαία.

Η χρησιμότητά της μόνωσης φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Εικόνα 1.19: Μεταφορά θερμότητας μέσω θερμομόνωσης σε απλή τοιχοποιία

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.19 το ρεύμα θερμότητας $q(t)$ που περνά από τον εξωτερικό χώρο προς τον εσωτερικό έχει πολύ μικρή κλίση στα στρώματα του τούβλου. Ενώ στο στρώμα της μόνωσης εμφανίζει πολύ μεγαλύτερη. Αυτό σημαίνει με απλά λόγια ότι το ρεύμα θερμότητας «εξασθενεί» ενεργειακά πριν εισέλθει στον εσωτερικό χώρο. Οπότε με ένα στρώμα μόνωσης στις τοιχοποιίες του κτιρίου, δύναται να επιτευχθεί σοβαρή μείωση της κατανάλωσης θερμικής ενέργειας από το υπάρχον σύστημα θέρμανσης.

Το Κτίριο 'Ο' παρόλα αυτά όπως φαίνεται και στην τομή που ακολουθεί στην Εικόνα 1.20, δεν φέρει κανένα στοιχείο θερμομόνωσης. Οπότε σε επόμενο κεφάλαιο θα μελετηθεί το σενάριο ύπαρξης θερμομόνωσης στο Κτίριο 'Ο'.



Εικόνα 1.20: Τομή εξωτερικής τοιχοποιίας Κτιρίου 'Ο'

1.4.2. Διαφορά πραγματικής και εκτιμώμενης θερμαινόμενης επιφάνειας

Όπως είναι φυσικό, καθοριστικός παράγοντας της θερμικής κατανάλωσης ενός συστήματος θέρμανσης αποτελεί η επιφάνεια/επιφάνειες που καλείται να εξυπηρετήσει. Όπως αναφέρθηκε το Κτίριο 'Ο' σε καμία περίπτωση δεν καλείται να εξυπηρετήσει την επιφάνεια, βάση της οποίας διαστασιολογήθηκε εξ αρχής. Αυτό παρατηρείται στον Πίνακα 1.17 όπου ο λέβητας του κτιρίου αρχικά σχεδιάστηκε να εξυπηρετεί $2616 m^2$ και τελικά βρέθηκε ότι στην πράξη δεν καλύπτει ποτέ επιφάνεια μεγαλύτερη των $852,57 m^2$. Αυτό σημαίνει ότι το

πραγματικό ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας του λέβητα είναι 32,6 % του αρχικά εκτιμώμενου.

Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο λέβητας του Κτιρίου 'Ο' είναι υπερδιαστασιοποιημένος. Αυτό σημαίνει ότι ο λέβητας δεν λειτουργεί σχεδόν ποτέ στο πλήρες φορτίο του, αλλά σε μερικό. Οπότε λειτουργία του λέβητα συνεχώς μακριά από την ονομαστική του ισχύ (325,64 kW) σημαίνει αυτόματα λειτουργία και με βαθμό απόδοσης μακριά από τον εκτιμώμενο στο ονομαστικό φορτίο (89,02 %) το οποίο αναπόφευκτα οδηγεί σε υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου για την κάλυψη των εκάστοτε αναγκών σε θέρμανση. Με πιο απλά λόγια, τίθεται σε συνεχή λειτουργία ένα σύστημα θέρμανσης το οποίο συνεχώς υπολειτουργεί, δίχως να αποδίδει όσο είχε αρχικά εκτιμηθεί.

Για την αποφυγή όλου αυτού του προβλήματος, είναι πλέον ξεκάθαρο ότι είναι ανάγκη να μελετηθεί η αντικατάσταση του υπάρχοντος λέβητα με νέο σύστημα θέρμανσης (για παράδειγμα έναν λέβητα χαμηλότερης ονομαστικής ισχύος ή μια αντλία θερμότητας). Πράγμα το οποίο θα συμβεί σε παρακάτω κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής.

1.4.3. Τρόπος λειτουργίας λέβητα

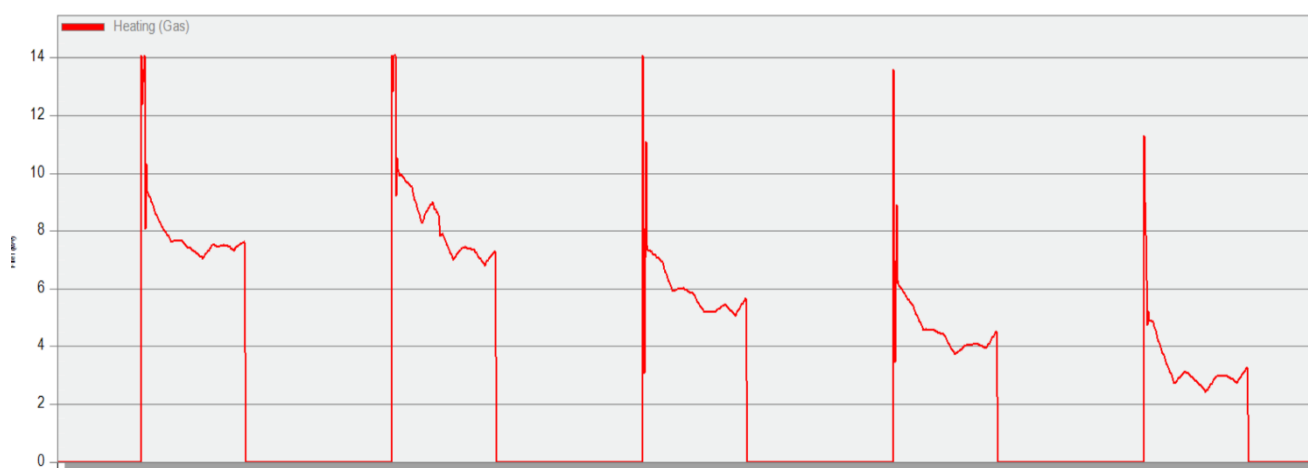
Πρόκειται για τον τρόπο με τον οποίο ο λέβητας αποδίδει την ισχύ του κατά την διάρκεια της λειτουργίας του. Κυρίως αναφέρεται στο πότε εκκινεί και πότε απενεργοποιείται ο λέβητας στην διάρκεια μιας ημέρας. Τα χαρακτηριστικά αυτά συμβάλλουν σημαντικά στην απόδοση του λέβητα, όχι τόσο την στιγμιαία όσο την συνολικά υπολογισμένη για μεγάλες χρονικές περιόδους, όπως μήνα ή έτος. Για την κατανόηση της λειτουργίας παρατίθεται ο ακόλουθος συλλογισμός:

Έστω ότι σε ένα χώρο είναι επιθυμητή η επίτευξη θερμικής άνεσης στους 20°C και αυτός ο χώρος εξυπηρετείται από έναν λέβητα φυσικού αερίου με τερματικά απλά θερμαντικά σώματα. Το ωράριο λειτουργίας του λέβητα είναι 8:00-18:00 καθημερινά. Όταν η ώρα φτάσει τις 8:00 το πρωί, ο λέβητας εκκινεί. Λειτουργεί στο μερικό φορτίο για κάποια ώρα μέχρι να φτάσει την ονομαστική του ισχύ. Όταν φτάσει την ισχύ αυτή ύστερα λειτουργεί σταθερά (ισχύς και βαθμός απόδοσης διατηρούνται στις ονομαστικές τιμές) μέχρις ότου η θερμοκρασία του χώρου φτάσει την ορισμένη θερμοκρασία άνεσης (20°C). Όταν επιτευχθεί αυτή, η λειτουργία του λέβητα είτε διακόπτεται είτε μειώνεται η παραγωγή ισχύος. Όπως και να έχει αυτό συμβαίνει με σκοπό την διατήρηση της θερμοκρασίας άνεσης στον χώρο. Αυτό

συμβαίνει μέχρις ότου η ώρα φτάσει τις 18:00 που ο λέβητας πλέον τίθεται εκτός λειτουργίας για την συγκεκριμένη ημέρα.

Το όλο πρόβλημα της λειτουργίας του λέβητα εστιάζει στο πόσες φορές ενεργοποιείται και απενεργοποιείται ο λέβητας στην διάρκεια της ημέρας. Ο λέβητας για ισχύς χαμηλότερες της ονομαστικής εμφανίζει βαθμό απόδοσης μικρότερο του 89,02 % που είναι ο μέγιστος επιτεύξιμος και επιθυμητός. Όταν ενεργοποιείται ο λέβητας περνά από όλες τις τιμές του βαθμού απόδοσης έως ότου φτάσει την μέγιστη. Ύστερα απενεργοποιείται και όταν ενεργοποιείται πάλι, ξεκινά από τιμή βαθμού απόδοσης εξαιρετικά μικρότερη της μέγιστης. Οπότε προφανώς το «αναβοσβήσιμο» του λέβητα είναι γενικά ανεπιθύμητο, πόσο μάλλον αν συμβαίνει πολλές φορές στην διάρκεια της ημέρας.

Μια καλή λειτουργία λέβητα εμφανίζει λίγα αναβοσβήσιμα στην διάρκεια μιας ημέρας και εμφανίζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί:



Διάγραμμα 1.2: Ομαλή λειτουργία λέβητα καθ' όλη την διάρκεια εβδομάδας

Όπως είναι φανερό ο λέβητας ενεργοποιείται και απενεργοποιείται ελάχιστες φορές κατά την διάρκεια κάθε ημέρας της εβδομάδας και αυτό είναι το χαρακτηριστικό που καθορίζει την σωστή και επαρκή λειτουργία του λέβητα μια εγκατάστασης.

Ο λέβητας του Κτιρίου 'Ο' δεν ακολουθεί τέτοιου είδους λειτουργία, αλλά αρκετά ανώμαλη. Όπως θα φανεί και στο επόμενο κεφάλαιο των μετρήσεων, ο λέβητας παρουσιάζει στην λειτουργία του συνεχόμενα on-off.

Επομένως το σύστημα θέρμανσης αφενός υπολειτουργεί αφού καλύπτει ενεργειακά/θερμικά επιφάνεια κτιρίου πολύ μικρότερη από την αρχικά εκτιμώμενη και αφετέρου τα συνεχόμενα on-off στην λειτουργία του περιορίζουν την απόδοσή του δραματικά. Επομένως κρίζεται τεράστια ανάγκη αντικατάστασης του υπάρχοντος συστήματος θέρμανσης του Κτιρίου 'Ο' με ένα νέο καταλληλότερο για τα δεδομένα του κτιρίου και σαφώς οικονομικότερο ενεργειακά.

2. ΜΕΤΡΗΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται η διαδικασία λήψης μετρήσεων του συστήματος θέρμανσης του Κτιρίου 'Ο'. Στις μετρήσεις αυτές περιλαμβάνονται η στιγμιαία παραγόμενη ισχύς, ο βαθμός απόδοσης καθώς και οι εκπομπές στα καυσαέρια. Αρχικά γίνεται αναφορά στα μετρητικά όργανα που χρησιμοποιήθηκαν και στη συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή της διαδικασίας μετρήσεων που ακολουθήθηκε καθώς και η παρουσίαση μιας συμπληρωμένης φόρμας αποτελεσμάτων. Τέλος αφού γίνει μια επεξεργασία των αποτελεσμάτων, θα ακολουθήσει σχολιασμός αυτών.

2.1. Παρουσίαση μετρητικών οργάνων

Στην παράγραφο αυτή της παρούσας διπλωματικής γίνεται αναφορά στα μετρητικά όργανα που χρησιμοποιήθηκαν από το εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων για την λήψη των μετρήσεων που ενδιέφεραν. Τα μεγέθη που μετρήθηκαν είναι η στιγμιαία κατανάλωση του λέβητα, οι εκπομπές καθώς και διάφορες θερμοκρασίες όπως εξόδου του νερού από το λέβητα. Οπότε τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν δύο. Ένας αναλυτής καυσαερίων (flue gas analyser) και ένας μετρητής ενέργειας υπερήχων.

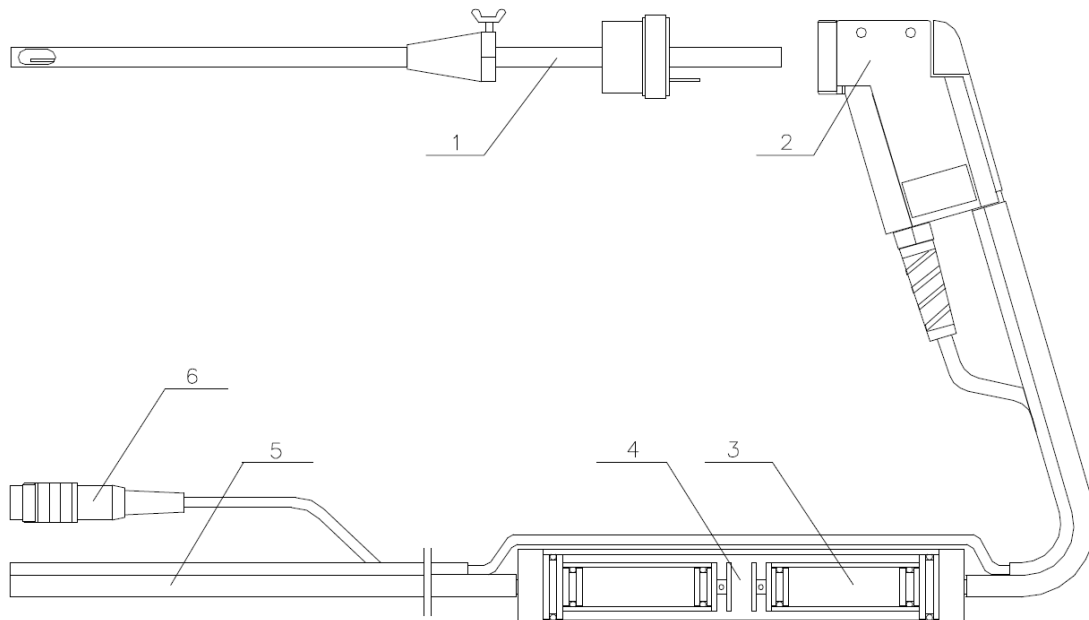
2.1.1. Αναλυτής καυσαερίων MADUR GA 40 plus

Πρόκειται για ένα όργανο που δύναται να μετρά ορισμένα μεγέθη ενός ρεύματος καυσαερίου. Τέτοια μεγέθη είναι αναγκαίο να μετρούνται, καθώς με αυτό τον τρόπο ελέγχεται εάν εξ' ολοκλήρου η λειτουργία του λέβητα. Ακολουθεί μια εικόνα του συγκεκριμένου αναλυτή καυσαερίων:



Εικόνα 2.1: Αναλυτής καυσαερίων

Η διαδικασία της μέτρησης είναι αρκετά απλή. Εντοπίζεται ο αγωγός εξόδου των καυσαερίων προς την καμινάδα και τοποθετείται ο ανιχνευτής-αισθητήρας παράλληλα στο ρεύμα των καυσαερίων και σε αντirroή. Ο αναλυτής παίρνει όλες τις απαραίτητες μετρήσεις μέσω του αισθητήρα αυτού που η μορφή του φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 2.2: Ανιχνευτής-Αισθητήρας αποσυναρμολογημένος

Ο ανιχνευτής λειτουργεί ως ένας μικρός αγωγός που πληρείται με καυσαέριο το οποίο προχωρά σε επεξεργασία μέσω των αισθητήρων αρχικά και του κεντρικού επεξεργαστή του αναλυτή στην συνέχεια, με σκοπό τον υπολογισμό διαφόρων χαρακτηριστικών του καυσαερίου. Αναλυτικότερα όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2, ο ανιχνευτής χωρίζεται σε δυο βασικά τμήματα, το τμήμα θερμοστοιχείων (1) και το τμήμα λαβής (2). Στο τμήμα θερμοστοιχείων υπάρχει ένα θερμοστοιχείο που μετρά την θερμοκρασία των καυσαερίων, και είναι συνήθως θερμοζεύγος Ni-CrNi ή ένα θερμίστορ. Το τμήμα λαβής ακολουθείται από άλλα τμήματα το καθένα με ξεχωριστή εργασία. Τα τμήματα (3) και (4) αποτελούν τα φίλτρα του ανιχνευτή. Πιο συγκεκριμένα στο φίλτρο (3) κατακρατούνται τυχόν συμπυκνώματα και προφανώς είναι αναγκαίο συχνά να καθαρίζεται το συγκεκριμένο φίλτρο. Το φίλτρο (4) είναι υπεύθυνο για την κατακράτηση σκόνης από τα καυσαέρια και των υπολοίπων συμπυκνωμάτων που διαφεύγουν από το φίλτρο (3), ώστε να μην υπάρξει κίνδυνος αλλοίωσης των μετρήσεων από την κεντρική μονάδα επεξεργασίας του αναλυτή. Τέλος το τμήμα (5) αποτελεί απλώς την βάση στήριξης του ανιχνευτή ενώ το τμήμα (6) την τροφοδοσία του.

Αυτό που ενδιαφέρει ιδιαίτερα είναι τα μεγέθη που μετρά ο αναλυτής και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του. Αυτά ακολουθούν στην συνέχεια σε μορφή πίνακα:

Είδος Μέτρησης	Εταιρεία	Τύπος Συσκευής	Αρχή Μέτρησης
Φορητός αναλυτής καυσαερίου μέτρησης :	MADUR ELECTRONICS	GA-40 plus	
1. Θερμοκρασία			Θερμοζεύγος Ni-CrNi & Θερμίστορ PT500
2. Ελκυσμός			Ημιαγωγός
3. Συγκεντρώσεις: <i>O₂, CO₂, CO, SO₂, NO₂, NO</i>			Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες
4. Αιθάλη			Συγκριτική μέθοδος Bacharach

Πίνακας 2.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά αναλυτή καυσαερίου

Σημειώνεται ότι για την μέτρησης της θερμοκρασίας των καυσαερίων γίνεται χρήση του θερμοζεύγους Ni-CrNi ενώ η μέτρηση της θερμοκρασίας του χώρου πραγματοποιείται με το θερμίστορ PT500. Ακολουθεί ο πίνακας με τα μετρούμενα μεγέθη καθώς και τα εύρη αλλά και την ανάλυση του αναλυτή στην μέτρησή τους:

Μέγεθος	Κλίμακα	Ανάλυση	Ακρίβεια
Θερμοκρασία καυσαερίου	Από 0-1600°C	1°C	-
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	Από 0-1600°C	1°C	-
Οξυγόνο	Από 0-20,95 %	0,01 %	≤ 0,2 %
Διοξείδιο του άνθρακα	Από 0-25 %	0,01 %	≤ 0,2 %
Μονοξείδιο του άνθρακα	Από 0-20000 ppm	1 ppm	*
Διοξείδιο του θείου	Από 0-5000 ppm	1 ppm	*
Μονοξείδιο του αζώτου	Από 0-5000 ppm	1 ppm	*
Διοξείδιο του αζώτου	Από 0-1000 ppm	1 ppm	*
Υδρογονάνθρακες	Από 0-5 %	0,01%	-
Δείκτης αιθάλης	Από 0-9 Bacharach	1 Ba	-
Ελκυσμός-Διαφορική πίεση	5000 Pa	1 Pa	-

Πίνακας 2.2: Μετρούμενα μεγέθη αναλυτή καυσαερίου

Όπου για την ακρίβεια της μέτρησης των: μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, μονοξείδιο του αζώτου, διοξείδιο του αζώτου (*) είναι:

Στο πεδίο μέτρησης 1-100 ppm : Ακρίβεια $\leq \pm 5 \%$

Στο πεδίο μέτρησης 100-τέλος κάθε κλίμακας : Ακρίβεια $\leq \pm 5 \%$ από την μετρούμενη τιμή.

Τέλος ακολουθεί ο πίνακας των υπολογιζόμενων από τον αναλυτή μεγεθών. Των μεγεθών δηλαδή που υπολογίζει ο αναλυτής στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας του μέσω των μεγεθών που μετρούνται.

Μέγεθος	Κλίμακα	Ανάλυση
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης καύσης	Από 0-100 %	0,10 %
Απώλειες καμινάδας	Από 0-100 %	0,10 %
Απώλειες ατελούς καύσης	Από 0-100 %	0,10 %
Περίσσεια αέρα καύσης	Από 1-50	0,01
Συνολικά οξείδια του αζώτου: NO_x	Από 0-5000 ppm	1 ppm

Πίνακας 2.3: Υπολογιζόμενα μεγέθη αναλυτή καυσαερίου

2.1.2. Μετρητής ροής υπερήχων GE PT878

Πρόκειται για ένα όργανο που δύναται να μετρήσει χαρακτηριστικά της ροής ενός ρευστού, που στην προκειμένη περίπτωση είναι το καυσαέριο του λέβητα. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι η ταχύτητα της ροής καυσαερίου και η παροχή του. Η μέτρηση τέτοιων μεγεθών είναι εξαιρετικά χρήσιμη, καθώς δίνεται η δυνατότητα να υπολογιστεί η στιγμιαία παραγόμενη ισχύς, άρα και οι θερμικές καταναλώσεις που θα έχει ο λέβητας για κάποιο ορισμένο χρονικό διάστημα. Ο μετρητής ροής και ενέργειας ακολουθεί στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 2.3: Μετρητής ενέργειας υπερήχων GE PT878

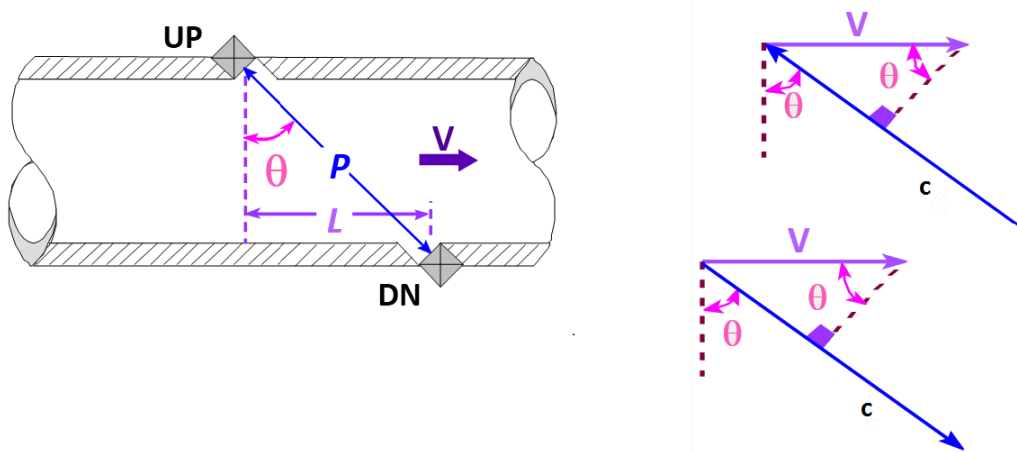
Πριν την παράθεση των τεχνικών χαρακτηριστικών της συσκευής αυτής, ενδιαφέρον παρουσιάζει η αρχή λειτουργίας της, η οποία ακολουθεί παρακάτω:

Η αρχή λειτουργίας του μετρητή βασίζεται στην τεχνική υπολογισμού του χρόνου μετάβασης υπερήχων (Transit Time Theory) εντός ρευστού προς μια κατεύθυνση. Από την γνωστή σχέση

$$DISTANCE = RATE * TIME \quad (2.1)$$

$$RATE = \frac{DISTANCE}{TIME} \quad (2.2)$$

Οπότε μετά την εκπομπή ενός υπερηχητικού σήματος από έναν μεταδότη-δέκτη υπερηχητικών σημάτων, καταγράφοντας ακριβώς τον χρόνο που διήρκεσε μέχρι να φτάσει στον επόμενο μεταδότη-δέκτη, δύναται να υπολογιστεί η ταχύτητα της ροής ως εξής:



Εικόνα 2.4: Θέσεις των πηγών-ληπτών στο ρεύμα ρευστού και τρίγωνα ταχυτήτων

Περίπτωση απουσίας ροής:

Υπερηχητικά σήματα παράγονται από τους δυο μεταδότες-δέκτες και καταγράφονται οι χρόνοι που φτάνουν στον επόμενο. Παρατηρώντας τα τρίγωνα ταχυτήτων που στην περίπτωση αυτή είναι απλά καθώς δεν συμπεριλαμβάνεται ταχύτητα ρευστού:

$$t_{UP} = \frac{P}{c} \quad (2.3)$$

$$t_{DN} = \frac{P}{c} \quad (2.4)$$

Άρα προκύπτει:

$$\Delta t = t_{UP} - t_{DN} = 0$$

Που σημαίνει μηδενική ταχύτητα ρευστού διαμέσου του δεδομένου αγωγού, όπως ήταν και αναμενόμενο εφόσον δεν υπάρχει ρευστό

Περίπτωση παρουσίας ρευστού:

Όπως και πριν ακολουθείται η ίδια διαδικασία παραγωγής και λήψης υπερηχητικών σημάτων και από τα τρίγωνα ταχυτήτων προκύπτει αυτή τη φορά:

$$t_{UP} = \frac{P}{c - V \sin \theta} \quad (2.5)$$

$$t_{DN} = \frac{P}{c + V \sin \theta} \quad (2.6)$$

Άρα προκύπτει:

$$\Delta t = t_{UP} - t_{DN} \quad (2.7)$$

Που σημαίνει ότι εφόσον υπάρχει χρονική διαφορά στην μετάδοση του σήματος, υπάρχει κίνηση ρευστού στον αγωγό. Επομένως με γνωστή την ταχύτητα διάδοσης του ήχου (c) και

με την χρήση της θεωρίας ρευστομηχανικής, ο αναλυτής κάνοντας τις απαραίτητες πράξεις υπολογίζει την ταχύτητα του ρευστού:

$$V = \frac{P^2}{2L} \left(\frac{t_{UP} - t_{DN}}{t_{UP} t_{DN}} \right) \quad (2.8)$$

Ύστερα υπολογίζεται η παροχή του ρευστού από την γνωστή σχέση:

$$Q = V * A \quad (2.9)$$

Όπου A είναι το εμβαδόν διατομής κάθετα στη ροή, στην προκειμένη περίπτωση κυκλική διατομή. Εφόσον τοποθετηθούν και τα θερμοστοιχεία επαφής, στους αγωγούς προσαγωγής και επιστροφής του ρευστού, το όργανο λειτουργεί ως θερμοδομετρητής και με αυτό τον τρόπο δύναται να υπολογιστούν και τα λοιπά θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του ρευστού.

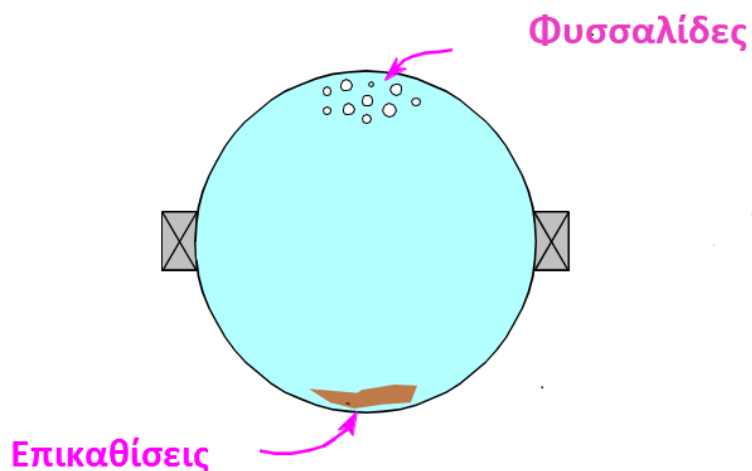


Εικόνα 2.5: Τοποθέτηση θερμοστοιχείων επαφής

Δεδομένα εισόδου από τον χρήστη:

- Υλικό κατασκευής και πάχος αγωγού. Το πάχος του αγωγού μπορεί να μετρηθεί και αυτόματα με χρήση ενσωματωμένου παχύμετρου υπερήχων. Το όργανο διαθέτει βιβλιοθήκες υλικών (διάφορα είδη χάλυβα ανοξείδωτου ή μη, χαλκός, PVC, τσιμέντο) εκ των οποίων πολλά βάση τυποποιημένων διαμέτρων κατά DIN & ANSI.
- Υλικό κατασκευής μόνωσης. Για μεγαλύτερη ακρίβεια θεωρείται σωστό να αφαιρείται τοπικά η μόνωση στην περιοχή των μετρήσεων.
- Χαρακτηριστικά του ρευστού όπως κινηματική συνεκτικότητα, ιξώδες. Το όργανο διαθέτει βιβλιοθήκες ρευστών.

Το όργανο υπολογίζει την βέλτιστη απόσταση (L) μεταξύ των δυο μεταδοτών-δεκτών και ο χρήστης καλείται να τοποθετήσει τους δέκτες στην κατάλληλη απόσταση αυτή και να τους ευθυγραμμίσει. Απαραίτητη προϋπόθεση για την ομαλή λειτουργία του αναλυτή είναι η ύπαρξη κατάλληλου ευθύγραμμου αγωγού ανάλογου της διαμέτρου του σωλήνα. Αυτό σημαίνει ότι για ακριβέστερη μέτρηση, θεμιτό είναι ο μετρητής να τοποθετηθεί στο όσο το δυνατόν πιο ευθύγραμμο κομμάτι του αγωγού ώστε το προφίλ της ταχύτητας της ροής να παρουσιάζει συμμετρία. Επίσης θα οι μεταδότες-δέκτες να μην τοποθετούνται από την πάνω και κάτω πλευρά του σωλήνα, καθώς όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα τυχών επικαθίσεις και φυσαλίδες μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την μέτρηση.



Εικόνα 2.6: Σωστή τοποθέτηση μεταδοτών/δεκτών

Ο μετρητής μπορεί να υπολογίσει την ταχύτητα του ρευστού και στις τρεις περιοχές του ρευστού: στρωτή, μεταβατική και τυρβώδης.

Ακολουθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εν λόγω συσκευής σε μορφή πίνακα:

Είδη ρευστών	Ακουστικά αγωγίμα καθαρά ρευστά ή με προσμίξεις στερεών ή αερίων φυσαλλίδων
Διάμετρος αγωγού	12,7 mm - 7,6 m
Πάχος αγωγού	0 mm - 76,2 mm
Υλικό αγωγού	Χάλυβας, ανοξείδωτος χάλυβας, χαλκός, τσιμέντο, σίδηρος, αλουμίνιο, ορείχαλκος, πολυπροπυλένιο, πολυαιθυλένιο, PVC, CPVC, PVDF, νάιλον, ακρυλικό
Ακρίβεια	±0,5 %
Εύρος λειτουργίας	0,03 – 12,2 m/sec

Πίνακας 2.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά μετρητή ροής υπερήχων

2.2. Διεξαγωγή διαδικασίας μετρήσεων

Πρόκειται για την διαδικασία τοποθέτησης των μετρητικών οργάνων στις κατάλληλες θέσεις και η οργάνωση της λήψης και καταγραφής των μετρήσεων σε κατάλληλες φόρμες στον κεντρικό υπολογιστή του εργαστηρίου. Ο χώρος διεξαγωγής των μετρήσεων φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 2.7: Χώρος διεξαγωγής μετρήσεων του εργαστηρίου

Πρώτη κίνηση ήταν η σωστή τοποθέτηση των δυο μετρητικών οργάνων, του αναλυτή καυσαερίων και του μετρητή ροής υπερήχων. Ο αναλυτής καυσαερίων τοποθετήθηκε στο ρεύμα των καυσαερίων σε ειδική οπή στον αγωγό εξόδου των καυσαερίων. Σε επόμενο σημείο του αγωγού αυτού τοποθετήθηκε και ο μετρητής ροής, ακολουθώντας όλα όσα λέχθηκαν στην παράγραφο 2.1.2. αναφορικά με την σωστή χρήση του μετρητή για βελτιστοποίηση των μετρητικών συνθηκών. Και τα δύο όργανα βρίσκονταν συνδεδεμένα με τον κεντρικό υπολογιστή του εργαστηρίου, μεταφέροντας τις καταγεγραμμένες μετρήσεις σε φόρμες Microsoft Excel. Οι μέρες και οι ώρες που πάρθηκαν μετρήσεις διαφέρουν από μέρα σε μέρα. Πιο συγκεκριμένα όπως λέχθηκε στην παράγραφο 1.3.3. ο λέβητας λειτουργεί με συγκεκριμένο ωράριο καθημερινά (8:00-18:00 καθημερινά πλην Σαββατοκύριακα), αλλά παρόλα αυτά οι μετρήσεις κάποιες ημέρες κάλυπταν ολόκληρο αυτό το ωράριο ενώ μερικές

ημέρες κάλυπταν μικρότερο ή μεγαλύτερο. Αυτό οφείλεται στις αλλαγές των εργασιών του προσωπικού του εργαστηρίου καθημερινά. Αυτό όμως δεν καθιστά πρόβλημα στην όλη διαδικασία και σκοπό των μετρήσεων, καθώς οι μετρήσεις είναι αρκετές στον αριθμό και αντιπροσωπεύουν πλήρως την υπάρχουσα κατάσταση.

Όσον αφορά το χρονικό βήμα που παίρνονταν οι μετρήσεις, αυτό τέθηκε στα 8-12 δευτερόλεπτα τόσο για τον αναλυτή καυσαερίων όσο και για τον μετρητή ροής υπερήχων. Επίσης σημαντικό είναι να αναφερθεί ο βαθμός σημαντικότητας των δύο μετρήσεων. Η σημαντικότερη μέτρηση είναι αυτή του μετρητή ροής υπερήχων, καθώς με αυτόν τον τρόπο γίνεται γνωστή η ισχύς που καταναλίσκεται από τον λέβητα για κάθε ημέρα. Αυτός είναι και ο λόγος που ο όγκος μετρούμενων δεδομένων για την ροή είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν των δεδομένων που έχουν να κάνουν με τον αναλυτή καυσαερίων (εκπομπές κ.λ.π.). Οι τελευταίες πάρθηκαν περισσότερο απλά για τον υπολογισμό του πραγματικού βαθμού απόδοσης λειτουργίας του λέβητα, ώστε να εξεταστεί εάν και κατά πόσο είναι μεγαλύτερος του ελάχιστου επιτρεπτού όπως ορίζεται στην παράγραφο 1.3.1.

Οι μετρήσεις συλλέχθηκαν στον κεντρικό υπολογιστή του εργαστηρίου ώστε να επεξεργαστούν περαιτέρω. Στις επόμενες παραγράφους ακολουθούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων και σχολιασμός αυτών.

2.3. Αποτελέσματα μετρήσεων

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων για το κάθε ένα εκ των δυο μετρητικών οργάνων. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν το έτος 2012. Πιο συγκεκριμένα θα παρουσιαστεί για τα δυο είδη μετρήσεων ένα παράδειγμα φόρμας συμπληρωμένων μετρήσεων όπου θα επεξηγείται τι σημαίνει το κάθε μετρούμενο μέγεθος και ύστερα τα απαραίτητα διαγράμματα σχετικά με την λειτουργία του λέβητα. Τέλος θα υπάρξει και σχολιασμός των αποτελεσμάτων όπου κριθεί απαραίτητο.

2.3.1. Αποτελέσματα μετρήσεων μετρητή ροής υπερήχων

Οι μετρήσεις πάρθηκαν για τους μήνες Φεβρουάριο, Απρίλιος και Μάρτιο. Οι ημέρες που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Μήνας	Ημέρες-Χρονικά Διαστήματα		
Φεβρουάριος	15,16,17	22,23,24	28,29
Μάρτιος	1,2	5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16	19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31
Απρίλιος	1,2,3		

Πίνακας 2.5: Ημέρες του μήνα που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με τον μετρητή ροής

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό τα συνολικά χρονικά διαστήματα που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις είναι 7. Αυτό θα απασχολήσει ιδιαίτερα σε επόμενο κεφάλαιο που θα ακολουθήσει η σύγκριση των μετρούμενων μεγεθών με τα αποτελέσματα του προσομοιωμένου μοντέλου του Κτιρίου 'Ο'. Οι μετρήσεις των μηνών Φεβρουαρίου και Μαρτίου είναι αρκετά πυκνότερες σε ποσότητα από αυτές του Απριλίου, για τον πολύ απλό λόγω του ότι ο Απρίλιος είναι ο πιο «απομακρυσμένος» μήνας από τους μήνες του χειμώνα και τα προφίλ των εξωτερικών θερμοκρασιών για τον μήνα αυτό είναι αρκετά υψηλά οπότε ο λέβητας δεν τίθεται σε λειτουργία πολλές ημέρες μέσα στον μήνα.

Ακολουθεί μια συμπληρωμένη φόρμα μετρήσεων και επεξήγηση των αναγραφόμενων σε αυτή μεγέθη.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Date/Time	Velocity Meters per Second m/s	Volume Actual Volumetric Cubic Meters per Hour m ³ /h	Temperature Unit 137 Temp A °C	Temperature Unit 141 Temp B °C	Temperature Unit 145 Delta °C	Power Unit 1993 kW	Power Unit 1996 J/g	Rev Energy Unit 2006 kWh	Fwd Energy Unit 1999 kWh	Diagnosics Soundspeed m/s	Diagnosics Reynolds # 2068	
640	11:00:04	1,25	17,37	70,2	59,8	10,3	205,18	43,33	0	292,4	1544,9	96040	
641	11:00:09	1,25	17,37	70,1	59,9	10,2	205,57	43,33	0	292,4	1544,9	96040	
642	11:00:13	1,25	17,38	70,4	59,9	10,2	205,57	43,14	0	292,9	1544,9	97053	
643	11:00:23	1,25	17,41	70,2	60	10,2	202,97	42,63	0	293,6	1544,8	97053	
644	11:00:29	1,26	17,44	70,2	60	10,2	202,97	42,63	0	293,6	1544,8	97053	
645	11:00:33	1,26	17,44	70,2	60	10,2	202,97	42,63	0	293,6	1544,8	97053	
646	11:00:39	1,26	17,46	70,3	60,1	10,2	202,97	42,36	0	294,4	1544,8	97053	
647	11:00:48	1,26	17,46	70,2	60	10,2	201,36	42,22	0	294,8	1544,9	95437	
648	11:00:59	1,26	17,48	70,3	60,2	10,1	202,02	42,31	0	295,2	1544,9	96595	
649	11:01:04	1,26	17,48	70,3	60,2	10,1	202,02	42,31	0	295,2	1544,9	96595	
650	11:01:09	1,26	17,5	70,4	60,2	10,3	203,53	42,6	0	295,9	1545	94632	
651	11:01:19	1,26	17,49	70,4	60,3	10,1	203,63	42,59	0	296,6	1545,1	96818	
652	11:01:28	1,26	17,51	70,5	60,4	10,1	203,63	42,59	0	297,3	1545	94746	
653	11:01:39	1,26	17,51	70,6	60,4	10,2	202,73	42,32	0	297,7	1545,1	96360	
654	11:01:48	1,27	17,56	70,4	60,5	9,9	204,01	42,56	0	298,1	1545	96360	
655	11:01:54	1,27	17,56	70,4	60,5	9,9	204,01	42,56	0	298,1	1545	96360	
656	11:01:59	1,27	17,57	70,6	60,5	10,1	198,77	42,56	0	298,8	1545,2	96360	
657	11:02:05	1,27	17,57	70,5	60,5	10	198,77	42,09	0	298,8	1545,2	95152	
658	11:02:08	1,27	17,56	70,6	60,6	10	201,83	42,09	0	299,2	1545,2	95152	
659	11:02:13	1,27	17,56	70,7	60,6	10,1	201,83	42,09	0	299,2	1545,2	96155	
660	11:02:18	1,27	17,57	71	60,7	10,3	203,5	42,09	0	300,3	1545,2	96155	
661	11:02:29	1,27	17,59	70,8	60,8	10	202,03	42,05	0	300,7	1545,2	96457	
662	11:02:34	1,27	17,6	70,9	60,8	10,1	202,03	42,05	0	300,7	1545,2	96457	
663	11:02:39	1,27	17,6	71	60,9	10,1	202,03	42,05	0	300,7	1545,2	96457	
664	11:02:49	1,27	17,61	71	60,8	10,3	204,82	42,86	0	301,8	1545,2	96046	
665	11:02:59	1,27	17,62	70,9	60,8	10,1	206,09	42,86	0	301,8	1545,2	96930	
666	11:03:09	1,27	17,63	71	60,8	10,2	204,38	42,44	0	302,9	1545,2	96831	
667	11:03:18	1,27	17,67	71,1	60,9	10,2	208,15	43,16	0	303,2	1545,3	96831	
668	11:03:29	1,27	17,66	71,1	61	10,2	205,92	42,71	0	303,7	1545,3	95616	
669	11:03:38	1,27	17,66	71,4	61,1	10,2	205,92	42,8	0	304,5	1545,3	98093	
670	11:03:45	1,28	17,69	71,4	61,2	10,3	206,63	42,68	0	304,5	1545,3	98093	
671	11:03:54	1,28	17,74	71,5	61,1	10,4	206,58	42,68	0	305,1	1545,3	98670	
672	11:03:58	1,28	17,74	71,5	61,2	10,3	206,58	42,68	0	305,1	1545,3	98670	
673	11:04:03	1,28	17,74	71,4	61,1	10,3	206,58	43,16	0	306,2	1545,4	96610	
674	11:04:14	1,28	17,74	71,7	61,3	10,4	210,02	43,37	0	306,2	1545,4	96610	
675	11:04:24	1,28	17,78	71,7	61,3	10,4	214,05	43,34	0	307,3	1545,5	99007	
676	11:04:34	1,28	17,81	71,8	61,2	10,6	213,64	43,93	0	307,7	1545,5	97676	
677	11:04:44	1,28	17,84	71,8	61,1	10,7	213,64	44,76	0	308,5	1545,5	98160	
678	11:04:54	1,29	17,85	71,7	61,2	10,6	217,92	43,78	0	308,9	1545,4	97256	
679	11:05:04	1,29	17,86	71,8	61,3	10,6	213,91	43,9	0	309,2	1545,4	97256	
680	11:05:14	1,29	17,86	71,8	61,4	10,4	213,27	43,27	0	310,3	1545,5	97670	
681	11:05:24	1,29	17,87	71,9	61,5	10,5	211,9	43,45	0	310,7	1545,5	97670	
682	11:05:33	1,29	17,87	71,8	61,4	10,4	211,9	43,45	0	311,5	1545,6	96495	
683	11:05:44	1,29	17,88	72	61,5	10,4	214,87	44,05	0	311,8	1545,5	98001	
684	11:05:53	1,29	17,88	72	61,5	10,6	213,88	43,85	0	312,6	1545,6	96840	
685	11:06:03	1,29	17,88	72	61,7	10,3	214,7	44	0	313	1545,5	97751	
686	11:06:14	1,29	17,88	72,1	61,7	10,6	214,7	43,88	0	313,7	1545,6	96732	
687	11:06:19	1,29	17,88	72,1	61,7	10,6	214,06	43,88	0	313,7	1545,6	96732	
688	11:06:24	1,29	17,88	72,1	61,7	10,2	211,06	43,25	0	314,2	1545,6	97723	
689	11:06:28	1,29	17,89	72,2	61,9	10,2	208,71	43,25	0	314,2	1545,6	97723	
690	11:06:33	1,29	17,89	72,2	61,9	10,2	208,71	42,76	0	314,6	1545,6	97723	
691	11:06:38	1,29	17,89	72,2	61,7	10,5	208,71	43,87	0	314,6	1545,6	97723	
692	11:06:44	1,29	17,9	72,3	62	10,5	214,23	43,87	0	315,4	1545,6	97839	

Πίνακας 2.6: Φόρμα μετρήσεων μετρητή ροής υπερήχων για την ημέρα 1η Μαρτίου 2012

Πρόκειται για έναν αριθμό μετρήσεων όπως φαίνεται και στην εικόνα που καλύπτει το χρονικό διάστημα από 11:00:04 έως 11:06:44 των πρωινών ωρών. Όπως φαίνεται και από τους αριθμούς των μετρήσεων (ξεκινά με την υπ' αριθμόν 640 και φτάνει μέχρι και την 692 μέτρηση), ένα τόσο μικρό χρονικό περιθώριο καλύπτεται από 52 μετρήσεις. Οπότε αυτό δίνει μια εικόνα αφενός των δυνατοτήτων του μετρητή και αφετέρου του τεράστιου πλήθους μετρήσεων που χρειάζονται για να καταγραφεί η συμπεριφορά και η απόδοση του λέβητα κατά την διάρκεια μιας ημέρας.

Τα μετρούμενα μεγέθη που αναγράφονται στην φόρμα είναι τα εξής:

- Velocity: Η ταχύτητα του ρευστού μέσα στον αγωγό, δηλαδή του καυσαερίου [$\frac{m}{sec}$]
- Volume Actual Volumetric: Τα κυβικά μέτρα ρευστού που περνούν από τον αγωγό στην μονάδα του χρόνου [$\frac{m^3}{hour}$]
- Temperature Unit A: Η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τον λέβητα [°C]
- Temperature Unit B: Η θερμοκρασία επιστροφής του νερού στον λέβητα [°C]
- Power Unit: Η αποδιδόμενη για την θέρμανση του νερού από τον λέβητα ισχύς [kW]
- Rev Energy: Ένδειξη ύπαρξης οπισθοροής στο ρεύμα του ρευστού [kWh]
- Fwd Energy: Η καταναλισκόμενη ενέργεια από τον λέβητα [kWh]
- Diagnostics Soundspeed: Ταχύτητα μετάδοσης του ήχου μέσα στο ρευστό. Αποτελεί μεταβλητή διαγνωστικών της λειτουργίας του μετρητή ροής [$\frac{m}{sec}$]
- Diagnostics Reynolds: Ο αριθμός Reynolds του ρευστού στην περιοχή της μέτρησης.

Για την βαθύτερη κατανόηση του τρόπου εξαγωγής των δεδομένων από τις φόρμες μετρήσεων, ακολουθεί ο εξής συλλογισμός για την φόρμα του Πίνακα 2.6:

Αρχικά ο χρόνος καταγραφής μετρήσεων είναι για 6 λεπτά μετά τις 11:00. Ύστερα η ταχύτητα του καυσαερίου στον αγωγό είναι περίπου $1,25-1,28 \frac{m}{sec}$ ενώ η παροχή όγκου του είναι περίπου $17,5 \frac{m^3}{hour}$. Οι τιμές των δυο μεγεθών αυτών αυξάνονται όσο προχωράει η ώρα, πράγμα λογικό εφόσον αποδίδεται θερμότητα στους θερμαινόμενους χώρους συνεχώς. Η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τον λέβητα είναι περίπου 70°C, ενώ η εισόδου μεταξύ 59,8-62 °C. Η στιγμιαία ισχύς λειτουργίας του λέβητα αυξάνει συνεχώς στο δεδομένο χρονικό περιθώριο και κινείται μεταξύ του 205-214 kW ενώ δεν υπάρχει οπισθοροή στο ρεύμα καυσαερίων (εφόσον Rev Energy=0). Η καταναλισκόμενη ενέργεια από τον λέβητα αυξάνει και αυτή συνεχώς (λογικό εφόσον αποτελεί αποδιδόμενη ενέργεια από τον λέβητα) και φτάνει μέχρι και 315 kWh. Τέλος σε περίπτωση ελέγχου της ορθής λειτουργίας του μετρητή ροής, εξετάζεται και η μεταβολή των τελευταίων δυο μεταβλητών (αριθμούς Soundspeed και Reynolds).

Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι υπεραρκετά για να έχει κάποιος πλήρη εικόνα της λειτουργίας του λέβητα. Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά είναι αρχικά οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του νερού από τον λέβητα όπου εξετάζει κάποιος αν ο λέβητας λειτουργεί σωστά και ύστερα η καταναλισκόμενη ενέργεια σε kWh και η στιγμιαία ισχύς σε kW. Λόγω του μεγάλου όγκου των μετρήσεων είναι αδύνατον να παρουσιαστούν όλες στην παρούσα διπλωματική, αλλά παρόλα αυτά σε επόμενο κεφάλαιο θα ακολουθήσει επεξεργασία τους ώστε να φανούν τα χρήσιμα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών.

2.3.2. Αποτελέσματα μετρήσεων αναλυτή καυσαερίων

Οι μετρήσεις πάρθηκαν όμοια με πριν για τους μήνες Φεβρουάριο, Απρίλιος και Μάρτιο. Οι ημέρες που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Μήνας	Χρονικά Διαστήματα			
Φεβρουάριος	15,16,17	22,23,24	28,29	
Μάρτιος	1,2	5,6,7,8,9	12,13,14,15,16	19,20,21,22,23 26,27,28,29,30
Απρίλιος	2,3			

Πίνακας 2.7: Ημέρες που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με τον αναλυτή καυσαερίων

Στις μετρήσεις του αναλυτή παρατηρούνται μεν περισσότερα διαστήματα, αλλά από τις συμπληρωμένες φόρμες μετρήσεων ο όγκος μετρήσεων είναι μικρότερος. Αυτό συμβαίνει για τον εξής λόγο: Οι μετρήσεις εκπομπών έχουν ως σκοπό τον έλεγχο της λειτουργίας του λέβητα μέσα σε κάποιο επιτρεπτό όριο (για παράδειγμα όριο στις εκπομπές NO_x). Στην παρούσα μελέτη παρόλα αυτά ο σκοπός της μέτρησης των εκπομπών αποσκοπούσε κυρίως στον υπολογισμό του έμμεσου βαθμού απόδοσης του λέβητα. Παρακάτω ακολουθεί η σχετική ανάλυση [4]:

Ο άμεσος βαθμός απόδοσης για κάθε διεργασία δίδεται ως γνωστόν από την σχέση:

$$\eta = \frac{Q_{\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\omicron}}{Q_{\pi\rho\omicron\sigma\delta\iota\delta\omicron\mu\epsilon\nu\omicron}} \quad (2.10)$$

Όπου στην περίπτωση του λέβητα θα είναι:

$$\eta = \frac{Q_{\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\omicron}}{m_{\kappa\alpha\upsilon\sigma\acute{\iota}\mu\omicron\upsilon} H_u} \quad (2.11)$$

Όπου:

$Q_{\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\omicron}$ θερμότητα που αποδίδεται στο νερό μέσω του λέβητα

$m_{\kappa\alpha\upsilon\sigma\acute{\iota}\mu\omicron\upsilon}$ παροχή καυσίμου του λέβητα

H_u θερμογόνος ικανότητα του καυσίμου (κατώτερος)

Ο έμμεσος βαθμός απόδοσης δεν έχει τόσο να κάνει με τα ποσά θερμότητας που συναλλάσει ο λέβητας και το νερό αλλά περισσότερο έχει να κάνει με τις απώλειες του λέβητα. Αυτό φαίνεται και από τον παρακάτω ορισμό του έμμεσου βαθμού απόδοσης:

$$\eta = \eta_F \eta_E \quad (2.12)$$

Όπου:

η_F βαθμός απόδοσης της επιφάνειας συναλλαγής

η_E βαθμός απόδοσης της εστίας

Για τους δυο αυτούς βαθμούς απόδοσης έχουμε:

Βαθμός απόδοσης εστίας:

$$\eta_E = [100 - (v_d + v_s + v_f + v_\beta)] \% \quad (2.13)$$

Όπου:

- v_d απώλειες εξαιτίας διαφυγής καυσίμου από τους αρμούς και τα διάκενα της εσχάρας της εστίας καύσης
 v_s, v_f απώλειες λόγω καυσίμων καταλοίπων μέσα στην τέφρα
 v_β απώλειες λόγω της παρουσίας ακούστων αερίων στο καυσαέριο

Μέθοδοι για να υπολογιστούν οι τιμές των απωλειών αυτών υπάρχουν είτε με μετρήσεις στην τέφρα στα καυσαέρια είτε με προσεγγιστικά υπολογιστικά μοντέλα. Παρόλα αυτά ο βαθμός απόδοσης της εστίας έχει καθοριστεί ανάλογα με το είδος της εστίας που διαθέτει το κάθε σύστημα καύσης. Ακολουθεί ο πίνακας των τιμών του βαθμού απόδοσης εστίας:

Είδος Εστίας	η_E
Κονιοποιημένου άνθρακα	0,95-0,98
Υγρών καυσίμων	0,98-0,99
Αερίων καυσίμων	1,0
Με μηχανικές εσχάρες	0,90-0,96
Με μόνιμες εσχάρες	0,80-0,90

Πίνακας 2.8: Βαθμός απόδοσης εστίας

Βαθμός απόδοσης επιφάνειας συναλλαγής

$$\eta_F = [100 - (v_G + v_L)] \% \quad (2.14)$$

Όπου:

- v_G απώλειες στο περιβάλλον με επαφή-μεταφορά και ακτινοβολία
 v_L απώλειες στο περιβάλλον από το καυσαέριο

Για τις απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον από το καυσαέριο ισχύει:

$$v_G = \frac{\mu_G(h_{Ga} - h_{Go})}{Hu} 100 \quad (2.15)$$

Όπου:

- μ_G μάζα των καυσαερίων ανά kg πραγματικά καϊόμενη καυσίμου
 h_{Ga} ενθαλπία του καυσαερίου στην έξοδο του από τον λέβητα
 h_{Go} ενθαλπία του καυσαερίου στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος
 Hu θερμογόνος ικανότητα του καυσίμου (κατώτερος)

Η τιμή του v_G εξαρτάται από την θερμοκρασία εξόδου του καυσαερίου από τον λέβητα, την θερμοκρασία περιβάλλοντος, το λόγο αέρα καύσης και το καύσιμο. Ως τάξη μεγέθους ένα εύρος τιμών είναι 6-15 %.

Για τις απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον με επαφή-μεταφορά και ακτινοβολία ισχύει:

$$v_L = \frac{Q_L}{m_{\text{καυσίμου}}Hu} 100\% = \frac{cQ_{\omega\text{φέλιμο}}^{0,7}}{m_{\text{καυσίμου}}Hu} \quad (2.16)$$

Όπου:

c = 0,0315 για φαιάνθρακα

c = 0,0220 για λιθάνθρακα

c = 0,0113 για υγρό ή αέριο καύσιμο

Η ανάλυση που προηγήθηκε έχει ως σκοπό την υπόδειξη του τρόπου υπολογισμού βαθμού απόδοσης λέβητα, δίχως να εμπλακούν ποσά συναλλαγής θερμότητας. Με αυτό τον τρόπο θα διερευνηθεί με τι βαθμό απόδοσης λειτουργεί ο λέβητας του Κτιρίου 'Ο' μέσω δηλαδή των μετρήσεων του αναλυτή καυσαερίου.

Ακολουθεί μια συμπληρωμένη φόρμα μετρήσεων και επεξήγηση των αναγραφόμενων σε αυτή μεγέθη.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
#	Time [hh:mm:ss]	Tgas °C	Tamb °C	O2 %	CO2 %	COu ppm	Lambda ---	ETA %	SL %	IL %	ETA1 %	Dew Point °C	CO ppm	NO ppm	SO2 ppm	NO2 ppm	NOx ppm	PRESS hPa	
1	9:32:42	17,2	18,8	20,95	0,1	0	117	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	9:33:02	20,6	18,8	20,95	0,07	0	167,14	95,3	4,7	0	4,7	0	0	0	0	0	0	0	0
3	9:33:22	23,6	18,8	20,95	0,07	0	167,14	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	9:33:42	26,9	18,8	20,95	0,07	0	167,14	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	9:34:02	28,2	18,8	20,95	0,07	0	167,14	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,01
6	9:34:22	28	18,8	20,95	0,07	0	167,14	100	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
7	9:34:42	39,7	18,9	20,09	0,32	256	36,56	100	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0
8	9:35:02	103,7	18,9	10,02	4,32	287	2,71	80,3	19,7	0	19,7	0	106	21	1	2	23	-0,01	
9	9:35:22	142,8	18,9	6,24	7,88	62	1,48	69,3	30,7	0	30,7	0	42	38	1	1	39	0	
10	9:35:42	162,3	19	5,95	8,14	9	1,44	78	22	0	22	0	6	42	1	1	43	-0,01	
11	9:36:02	173,8	18,9	5,82	8,2	1	1,43	83,8	16,2	0	16,2	0	1	44	1	1	45	-0,01	
12	9:36:22	181,3	19	5,75	8,22	0	1,42	87,7	12,3	0	12,3	0	0	45	1	1	46	-0,01	
13	9:36:42	187,1	18,9	5,71	8,3	0	1,41	90,1	9,9	0	9,9	0	0	45	1	1	46	0	
14	9:37:02	191,5	19	5,67	8,3	1	1,41	92,4	7,6	0	7,6	0	1	47	1	2	49	-0,01	
15	9:37:22	195	19	5,64	8,3	0	1,41	94,3	5,7	0	5,7	0	0	47	1	2	49	-0,01	
16	9:37:42	197,3	19	5,6	8,3	0	1,41	95,5	4,5	0	4,5	0	0	47	1	2	49	-0,01	
17	9:38:02	199,4	19,1	5,59	8,3	1	1,41	96,6	3,4	0	3,4	0	1	48	1	2	50	-0,01	
18	9:38:22	201,5	19,1	5,55	8,3	0	1,41	97,7	2,3	0	2,3	0	0	48	1	2	50	-0,01	
19	9:38:42	202,7	19,1	5,52	8,3	0	1,41	98,4	1,6	0	1,6	0	0	49	1	2	51	-0,01	
20	9:39:02	204,2	19,2	5,54	8,3	0	1,41	99,1	0,9	0	0,9	0	0	49	1	2	51	-0,01	
21	9:39:22	205,2	19,2	5,51	8,3	1	1,41	99,7	0,3	0	0,3	0	1	49	1	2	51	-0,01	
22	9:39:42	206,2	19,3	5,49	8,3	1	1,41	100	0	0	0	0	1	49	1	2	51	-0,01	
23	9:40:02	207,1	19,5	5,5	8,3	1	1,41	100	0	0	0	0	1	49	1	2	51	-0,01	
24	9:40:22	208,1	19,6	5,47	8,35	0	1,4	100	0	0	0	0	0	50	1	3	53	-0,01	
25	9:40:42	209,4	19,7	5,43	8,4	1	1,39	100	0	0	0	0	1	50	1	2	52	-0,01	
26	9:41:02	209,6	19,6	5,4	8,4	0	1,39	100	0	0	0	0	0	50	1	2	52	-0,01	
27	9:41:22	210,6	19,7	5,4	8,4	0	1,39	100	0	0	0	0	0	50	1	3	53	-0,01	
28	9:41:42	211,1	19,7	5,39	8,4	0	1,39	100	0	0	0	0	0	50	1	3	53	-0,01	
29	9:42:02	212	19,8	5,42	8,4	1	1,39	100	0	0	0	0	1	50	1	3	53	-0,01	
30	9:42:22	212,7	19,8	5,4	8,4	1	1,39	100	0	0	0	0	1	50	1	3	53	-0,01	
31	9:42:42	213,3	19,8	5,38	8,4	1	1,39	100	0	0	0	0	1	51	1	3	54	-0,01	
32	9:43:02	214,1	19,8	5,37	8,4	0	1,39	100	0	0	0	0	0	51	1	3	54	-0,01	
33	9:43:22	214,9	19,8	5,4	8,4	0	1,39	100	0	0	0	0	0	50	1	3	53	-0,01	
34	9:43:42	215,4	19,9	5,42	8,4	0	1,39	100	0	0	0	0	0	51	1	3	54	-0,01	
35	9:44:02	216	19,8	5,39	8,4	0	1,39	100	0	0	0	0	0	51	1	3	54	-0,01	
36	9:44:22	216,8	19,9	5,39	8,4	1	1,39	100	0	0	0	0	1	51	1	3	54	-0,01	
37	9:44:42	217,4	19,9	5,4	8,4	1	1,39	100	0	0	0	0	1	51	1	3	54	-0,01	
38	9:45:02	217,5	19,9	5,4	8,4	1	1,39	100	0	0	0	0	1	51	2	3	54	-0,01	
39	9:45:22	218,1	19,9	5,41	8,4	0	1,39	100	0	0	0	0	0	51	1	3	54	-0,01	
40	9:45:42	218,6	19,9	5,4	8,4	0	1,39	100	0	0	0	0	0	51	1	3	54	-0,01	
41	9:46:02	219,4	19,9	5,36	8,4	1	1,39	100	0	0	0	0	1	51	1	3	54	-0,01	
42	9:46:22	219,8	20	5,37	8,4	1	1,39	100	0	0	0	0	1	51	1	3	54	-0,02	
43	9:46:42	219,9	20	5,35	8,4	1	1,39	100	0	0	0	0	1	51	1	3	54	-0,01	
44	9:47:02	220,1	20	5,36	8,41	0	1,39	100	0	0	0	0	0	51	1	3	54	-0,02	
45	9:47:22	220,8	20,1	5,37	8,4	1	1,39	100	0	0	0	0	1	51	1	3	54	-0,01	
46	9:47:42	221	20,1	5,35	8,4	1	1,39	100	0	0	0	0	1	51	1	3	54	-0,02	
47	9:48:02	221,8	20,1	5,35	8,47	1	1,38	100	0	0	0	0	1	51	1	3	54	-0,02	
48	9:48:22	222,7	20,2	5,37	8,48	0	1,38	100	0	0	0	0	0	51	1	3	54	-0,02	
49	9:48:42	223	20,2	5,43	8,4	0	1,39	100	0	0	0	0	0	51	1	3	54	-0,02	
50	9:49:02	223,2	20,2	5,42	8,4	1	1,39	100	0	0	0	0	1	52	1	3	55	-0,02	
51	9:49:22	223,8	20,2	5,38	8,4	3	1,39	100	0	0	0	0	2	52	1	3	55	-0,02	
52	9:49:42	224,1	20,3	5,37	8,4	3	1,39	100	0	0	0	0	2	52	1	3	55	-0,02	
53	9:50:02	224,2	20,3	5,36	8,42	1	1,39	100	0	0	0	0	1	52	1	3	55	-0,02	
54	9:50:22	224,6	20,3	5,33	8,5	1	1,38	100	0	0	0	0	1	52	1	3	55	-0,02	
55	9:50:42	224,9	20,3	5,36	8,5	0	1,38	100	0	0	0	0	0	52	1	3	55	-0,02	

Πίνακας 2.9: Φόρμα μετρήσεων αναλυτή καυσαερίων για την ημέρα 1η Μαρτίου 2012

Τα μετρούμενα μεγέθη που αναγράφονται στην φόρμα είναι τα εξής:

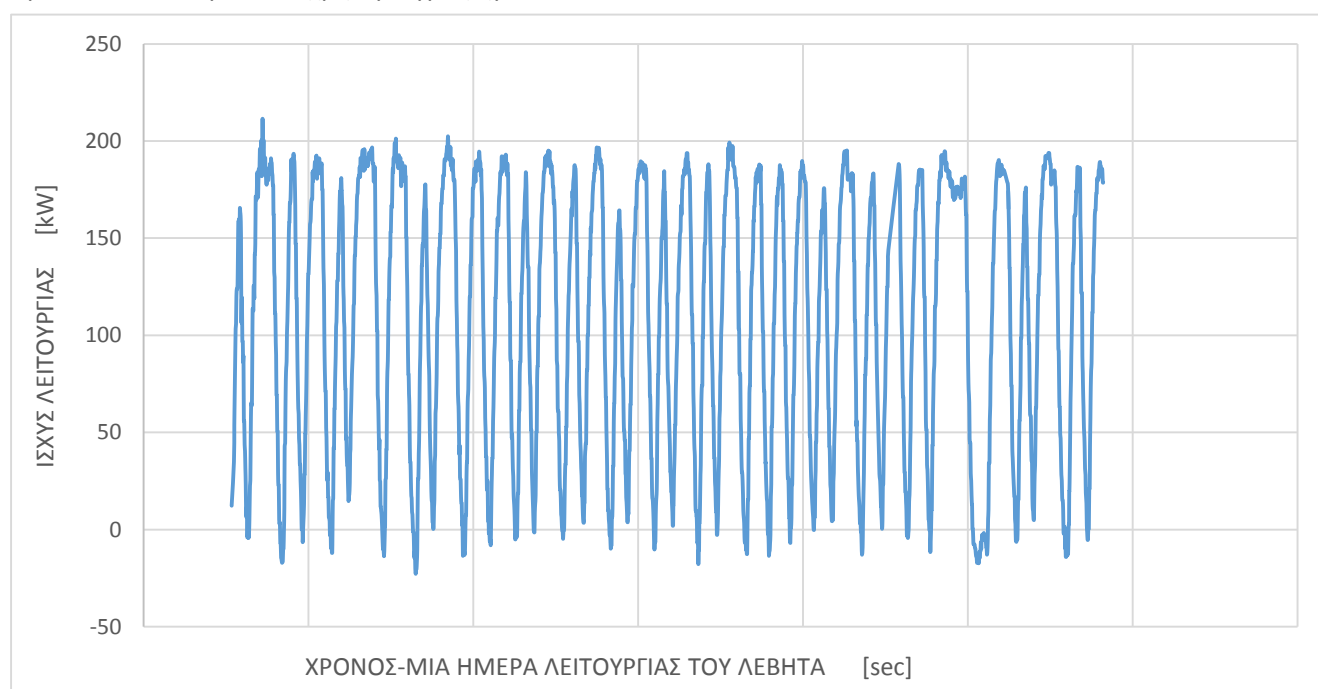
- Tgas: Η θερμοκρασία του καυσαερίου στην θέση της μέτρησης [°C]
- Tamb: Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος [°C]
- O2: Η κατ' όγκο συγκέντρωση του O_2 στα καυσαέρια [%]
- CO2: Η κατ' όγκο συγκέντρωση του CO_2 στα καυσαέρια [%]
- λ: Ο λόγος αέρα καυσίμου στο καυσαέριο
- COppm: Η συγκέντρωση του CO στα καυσαέρια [ppm]
- NOppm: Η συγκέντρωση του NO στα καυσαέρια [ppm]
- SO2ppm: Η συγκέντρωση του SO_2 στα καυσαέρια [ppm]
- NO2ppm: Η συγκέντρωση του NO_2 στα καυσαέρια [ppm]
- NOxppm: Η συγκέντρωση των NO_x στα καυσαέρια [ppm]
- COuppm: Η συγκέντρωση του CO_u δηλαδή του αδιάλυτου μονοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια [ppm]
- PresshPa: Η διαφορική πίεση δηλαδή ο ελκυσμός στον αγωγό εξόδου των καυσαερίων (καμινάδα) [Pa]
- DewPoint: Το όξινο σημείο δρόσου του καυσαερίου [°C]
- SL: Οι απώλειες καμινάδας (stack losses) [%]
- IL: Οι απώλειες λόγω ατελούς καύσης (incomplete combustion losses) [%]
- ETA: Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης καύσης [%]
- ETA1: Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης καύσης, αφού έχουν αφαιρεθεί οι απώλειες λόγω ατελούς καύσης [%]

2.3.3. Χρήσιμα συμπεράσματα εξαγόμενα από τις μετρήσεις

Το πιο σημαντικό κομμάτι που αφορά τις μετρήσεις, είναι τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία τους. Τα συμπεράσματα αυτά έχουν να κάνουν αφενός με τον τρόπο λειτουργίας του λέβητα και αφετέρου με τον βαθμό απόδοσής του.

Τρόπος λειτουργίας λέβητα:

Αρχικά ενδιαφέρον εμφανίζει να εξεταστεί ο τρόπος που λειτουργεί ο λέβητας, και συγκεκριμένα να εξεταστεί πόσες φορές ο λέβητας κατά την διάρκεια μιας ημέρας ενεργοποιείται και απενεργοποιείται αυτόματα. Όπως λέχθηκε και στην παράγραφο 1.4.3. είναι γενικά ανεπιθύμητο ο λέβητας να πραγματοποιεί πολλά on-off στην διάρκεια μιας ημέρας γιατί με τον τρόπο αυτό λειτουργεί συνεχώς σε χαμηλούς βαθμούς απόδοσης, προκαλώντας με αυτό τον τρόπο άσκοπη κατανάλωση καυσίμου. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις του μετρητή ροής υπερήχων και συγκεκριμένα όπως φαίνεται και στη συμπληρωμένη φόρμα μετρήσεων (Πίνακας 2.6), η στήλη PowerUnit που αναγράφεται η αποδιδόμενη ισχύς λειτουργίας του λέβητα για κάθε στιγμή (σε kW). Τοποθετώντας σε ένα διάγραμμα την ισχύ λειτουργίας συναρτήσει του χρόνου μέτρησης προκύπτει το παρακάτω χρήσιμο γράφημα:

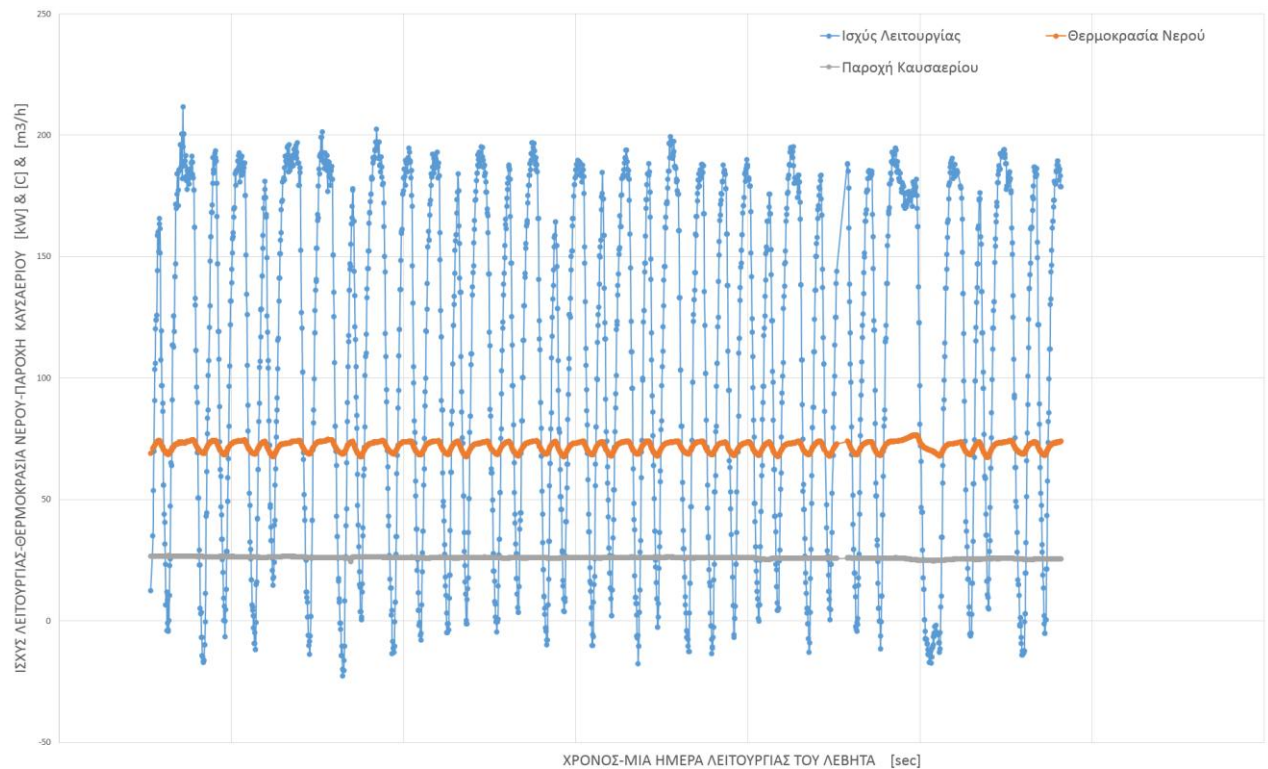


Διάγραμμα 2.1: Ισχύς λειτουργίας λέβητα σε σχέση με τον χρόνο για την ημέρα 17η Φεβρουαρίου 2012

Το παραπάνω γράφημα παρουσιάζει την κατάσταση για μια συγκεκριμένη μέρα, αλλά όχι τυχαία, καθώς ο Φεβρουάριος αποτελεί τον πιο ψυχρό μήνα εκ των τριών που πάρθηκαν μετρήσεις από τον λέβητα. Κατασκευάστηκαν διαγράμματα και για διαφορετικές ημέρες και όλα ακολουθούν την μορφή του παραπάνω διαγράμματος. Η συγκεκριμένη ημέρα θεωρήθηκε η πιο αντιπροσωπευτική.

Αυτό που γίνεται εύκολα αντιληπτό είναι ότι ο λέβητας εμφανίζει συνεχή on-off στην λειτουργία του και μάλιστα στην συγκεκριμένη ημέρα εμφανίζει **35 on-off**. Επομένως γίνεται εμφανές ότι η λειτουργία του λέβητα του Κτιρίου 'Ο' είναι αρκετά ανώμαλη. Οπότε ως επακόλουθο αυτού, αναμένεται να λειτουργεί και με αρκετά χαμηλούς βαθμούς απόδοσης. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό που παρατηρείται από τα διαγράμματα είναι ότι η ισχύς λειτουργίας του λέβητα δεν ξεπερνά σχεδόν ποτέ 220 kW ενώ η ονομαστική ισχύς του συγκεκριμένου λέβητα είναι 325,64 kW. Οπότε υποδεικνύει ότι ο συγκεκριμένος λέβητας είναι υπερδιαστασιοποιημένος όπως ακριβώς λέχθηκε στην παράγραφο 1.4.2.

Τέλος ακολουθεί ένα διάγραμμα για την επίβλεψη συνολικά της λειτουργίας του λέβητα, όπου εμφανίζεται τόσο η ισχύς λειτουργίας, όσο και η παροχή όγκου καυσαερίου και η διακύμανση της θερμοκρασίας εξόδου του νερού από τον λέβητα:



Διάγραμμα 2.2: Επίβλεψη λειτουργίας λέβητα για την ημέρα 17η Φεβρουαρίου 2012

Μέσω του διαγράμματος αυτού παρατηρείται σωστή λειτουργία του λέβητα εφόσον το νερό που παρέχει στα τερματικά είναι πράγματι στους 70°C, όσο ήταν σχεδιασμένος εξαρχής δηλαδή και επίσης λειτουργεί με σχετικά σταθερό όγκο παροχής καυσαερίου, πράγμα γενικά θεμιτό. Να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη διαγραμματική ανάλυση έγινε για χρονική περίοδο από 10:14:00 έως 16:35:00.

Βαθμός απόδοσης λέβητα:

Πολύ ενδιαφέρον κομμάτι των μετρήσεων επίσης αποτελεί η εξέταση του πραγματικού μετρούμενου βαθμού απόδοσης του λέβητα. Όπως λέχθηκε στην παράγραφο 1.3.2. ο λέβητας του Κτιρίου 'Ο' πρέπει να εμφανίζει έναν ελάχιστο βαθμό απόδοσης της τάξης του 89,02 %. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις του αναλυτή καυσαερίου και όπως φαίνεται και στην συμπληρωμένη φόρμα μετρήσεων (πίνακας 25). Ακολουθεί η ανάλυση όπως περιγράφεται στο εγχειρίδιο χρήσης του αναλυτή καυσαερίων [5] και ύστερα η εφαρμογή της σε μια αντιπροσωπευτική μέρα λειτουργίας του λέβητα.

Αρχικά υπολογίζονται οι απώλειες καμινάδας:

$$S_L = (T_{gas} - T_{amb}) \left(\frac{A_1}{CO_2[\%]} + B \right) \quad (2.17)$$

Όπου:

T_{gas}	Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων του λέβητα [°C]
T_{amb}	Θερμοκρασία περιβάλλοντος [°C]
$CO_2[\%]$	Η κατ' όγκο συγκέντρωση του CO_2 στα καυσαέρια [%]
A_1, B	Χαρακτηριστικές τιμές ανάλογα με το καύσιμο

Ύστερα υπολογίζονται οι απώλειες ατελούς καύσης:

$$I_L = \frac{aCO[\%]}{CO[\%] + CO_2[\%]} \quad (2.18)$$

Όπου:

$CO[\%], CO_2[\%]$	Οι κατ' όγκο συγκεντρώσεις των CO, CO_2 στα καυσαέρια [%]
a	Χαρακτηριστική τιμή ανάλογα με το καύσιμο

Οι τιμές των παραμέτρων που ποικίλουν ανάλογα με το καύσιμο επιλέγονται από τον ακόλουθο πίνακα που παρέχει το εγχειρίδιο χρήσης του αναλυτή καυσαερίου [5]:

No	Fuel type	CO ₂ max [%]	A ₁	B	α	O ₂ ref [%]	V _{atr} [m ³]	Hu [MJ/UNIT]	Unit
1.	Light oil	15.4	0.5000	0.007	52	3		42.70	kg
2.	Natural gas	11.7	0.3700	0.009	32	3		35.90	m ³
3.	Town gas	13.1	0.3500	0.011	32	3		16.10	m ³
4.	Coke-oven gas	10.2	0.2900	0.011	32	3		17.40	m ³
5.	Liquid gas	14.0	0.4200	0.008	32	3		93.20	m ³
6.	BIO-Diesel	15.7	0.4567	0.005	52	3		41.80	kg
7.	Extra light oil	15.3	0.5900	0	52	3		41.80	kg
8.	Heavy oil	15.9	0.6100	0	52	3		41.00	kg
9.	Coal-tar oil	18.0	0.6500	0	52	3		37.70	kg
10.	Natural gas with fan	12.1	0.4600	0	32	3		35.90	m ³
11.	Town gas with fan	10.0	0.3800	0	32	3		16.10	m ³
12.	Propane with fan	13.7	0.5000	0	32	3		93.20	m ³
13.	Propane	13.7	0.4750	0	32	3		93.20	m ³
14.	Butane with fan	14.1	0.5000	0	32	3		123.80	m ³
15.	Butane	14.1	0.4750	0	32	3		123.80	m ³
16.	Biogas with fan	11.7	0.7800	0	32	3		35.90	m ³
17.	Biogas	11.7	0.7100	0	32	3		35.90	m ³
18.	Mineral coal HV 31.5	18.8	0.6830	0	69	11		31.50	kg
19.	Mineral coal HV 30.3	18.5	0.6720	0	69	11		30.30	kg
20.	Lignite HV 8.2	19.1	1.1130	0	69	11		8.16	kg
21.	Lignite HV 9.4	19.1	0.9880	0	69	11		9.34	kg
22.	Dry wood	19.4	0.6500	0	69	11		15.60	kg

Πίνακας 18: Παράμετροι καυσίμου [5]

Αφού υπολογιστούν οι δυο προαναφερθείσες απώλειες, δύναται να υπολογιστεί ο έμμεσος βαθμός απόδοσης του λέβητα ως εξής:

$$\eta = 100\% - (S_L + I_L) \quad (2.19)$$

Επομένως σε αυτό το σημείο θα γίνει εφαρμογή της μεθόδου αυτής μια αντιπροσωπευτική ημέρα εξ' αυτών που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις, όπου θα διερευνηθεί κατά πόσο ο βαθμός απόδοσης του λέβητα κινείται εντός του αποδεκτού πεδίου τιμών.

Η ανάλυση έγινε για πολλές ημέρες των τριών μηνών που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και όλες ακολουθούσαν παρόμοια συμπεριφορά με αυτήν της αντιπροσωπευτικής ημέρας της οποίας η ανάλυση που ακολουθεί.

Η ανάλυση έγινε για την ημέρα 5 Μαρτίου 2012 και συγκεκριμένα για το χρονικό διάστημα από τις 9:00 έως 18:00. Παρακάτω ακολουθεί ένα απόκομμα από το φύλο υπολογισμών όπου αναγράφεται ο μέσος βαθμός απόδοσης που εμφανίστηκε:

Time	Tgas, °C	Tamb, °C	CO ₂ , %vol.	CO, ppm	SL [%]	IL [%]	$\eta_{indirect}$
10:17:28	250,1	22,60	8,20%	4,00	12,31274	1,04918	86,63808
10:17:48	250,2	22,60	8,20%	2,00	12,31816	0,627451	87,05439
10:18:08	250	22,60	8,20%	3,00	12,30733	0,857143	86,83553
10:18:28	249,8	22,60	8,20%	2,00	12,29651	0,627451	87,07604
10:18:48	249,9	22,70	8,20%	3,00	12,29651	0,857143	86,84635
10:19:08	250,5	22,60	8,20%	2,00	12,33439	0,627451	87,03816
10:19:28	250,3	22,70	8,29%	3,00	12,20666	0,85031	86,94303
10:19:48	250,7	22,60	8,25%	2,00	12,28284	0,62439	87,09277
10:20:08	251	22,60	8,24%	2,00	12,31143	0,625	87,06357
10:20:28	251	22,60	8,21%	3,00	12,3489	0,856378	86,79472
10:20:48	250,2	22,60	8,20%	3,00	12,31816	0,857143	86,8247
10:21:08	251,1	22,60	8,20%	1,00	12,36687	0,347826	87,28531
10:21:28	251,1	22,70	8,20%	3,00	12,36145	0,857143	86,7814
10:21:48	251	22,70	8,20%	4,00	12,35604	1,04918	86,59478
10:22:08	251,5	22,70	8,20%	3,00	12,3831	0,857143	86,75975
10:22:28	251,7	22,70	8,20%	2,00	12,39393	0,627451	86,97862
10:22:48	251,8	22,70	8,20%	2,00	12,39934	0,627451	86,97321
10:23:08	251,3	22,80	8,20%	3,00	12,36687	0,857143	86,77599
10:23:28	251,3	22,80	8,20%	2,00	12,36687	0,627451	87,00568
10:23:48	251,3	22,80	8,20%	1,00	12,36687	0,347826	87,28531
10:24:08	251,2	22,80	8,20%	3,00	12,36145	0,857143	86,7814
10:24:28	251,3	22,90	8,20%	2,00	12,36145	0,627451	87,0111
10:24:48	251,8	22,80	8,20%	2,00	12,39393	0,627451	86,97862
10:25:08	251,8	22,90	8,20%	1,00	12,38851	0,347826	87,26366
10:25:28	252,5	22,90	8,20%	3,00	12,4264	0,857143	86,71646
10:25:48	252,5	22,90	8,20%	3,00	12,4264	0,857143	86,71646
10:26:08	252,5	23,00	8,20%	3,00	12,42099	0,857143	86,72187
10:26:28	252,4	23,00	8,20%	3,00	12,41558	0,857143	86,72728
10:26:48	252,6	23,00	8,20%	2,00	12,4264	0,627451	86,94615
10:27:08	252,5	23,10	8,20%	3,00	12,41558	0,857143	86,72728
10:27:28	253	23,10	8,20%	2,00	12,44264	0,627451	86,92991
10:27:48	253,5	23,10	8,20%	2,00	12,4697	0,627451	86,90285
10:28:08	253,4	23,10	8,20%	2,00	12,46429	0,627451	86,90826
10:28:28	253,6	23,10	8,20%	1,00	12,47511	0,347826	87,17706
10:28:48	254,2	23,20	8,20%	4,00	12,50217	1,04918	86,44865
10:29:08	254,2	23,20	8,20%	2,00	12,50217	0,627451	86,87038
10:29:28	254	23,20	8,26%	3,00	12,4157	0,852575	86,73173
10:29:48	254	23,20	8,27%	2,00	12,4032	0,623174	86,97363
10:30:08	254	23,30	8,27%	4,00	12,39782	1,043195	86,55898
10:30:28	254,2	23,30	8,30%	4,00	12,37123	1,04065	86,58812
10:30:48	254,5	23,20	8,30%	2,00	12,39266	0,621359	86,98598
10:31:08	254,4	23,20	8,20%	3,00	12,513	0,857143	86,62986
10:31:28	254,3	23,30	8,20%	3,00	12,50217	0,857143	86,64069
10:31:48	254,7	23,30	8,20%	4,00	12,52382	1,04918	86,427
10:32:08	254,2	23,20	8,20%	2,00	12,50217	0,627451	86,87038
10:32:28	254	23,20	8,20%	3,00	12,49135	0,857143	86,65151
10:32:48	254,2	23,20	8,22%	2,00	12,47681	0,626223	86,89697
10:33:08	254,4	23,30	8,28%	3,00	12,40683	0,851064	86,7421
10:33:28	255	23,30	8,27%	2,00	12,45156	0,623174	86,92526
10:33:48	255,3	23,30	8,23%	3,00	12,51813	0,854853	86,62701

Πίνακας 2.10: Έμμεσος βαθμός απόδοσης λέβητα για το χρονικό διάστημα 10:17-10:33 της 5^{ης} Μαρτίου 2012

Οπότε εμφανίζεται ένας μέσος βαθμός απόδοσης:

$$\eta_{indirect} = 87,02 \%$$

Αυτό που παρατηρείται είναι ότι ο βαθμός απόδοσης λειτουργίας του λέβητα που προέκυψε από τις μετρήσεις είναι σαφώς μικρότερος από τον ελάχιστο που ορίζεται από το πρότυπο που αναφέρθηκε στην παράγραφο 1.3.1 δηλαδή 89,02 %. Οπότε επαληθεύεται η υπόθεση που είχε γίνει ότι ο λέβητας θα λειτουργεί σε χαμηλότερους βαθμούς απόδοσης από ότι αναμενόταν αρχικά.

3. ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

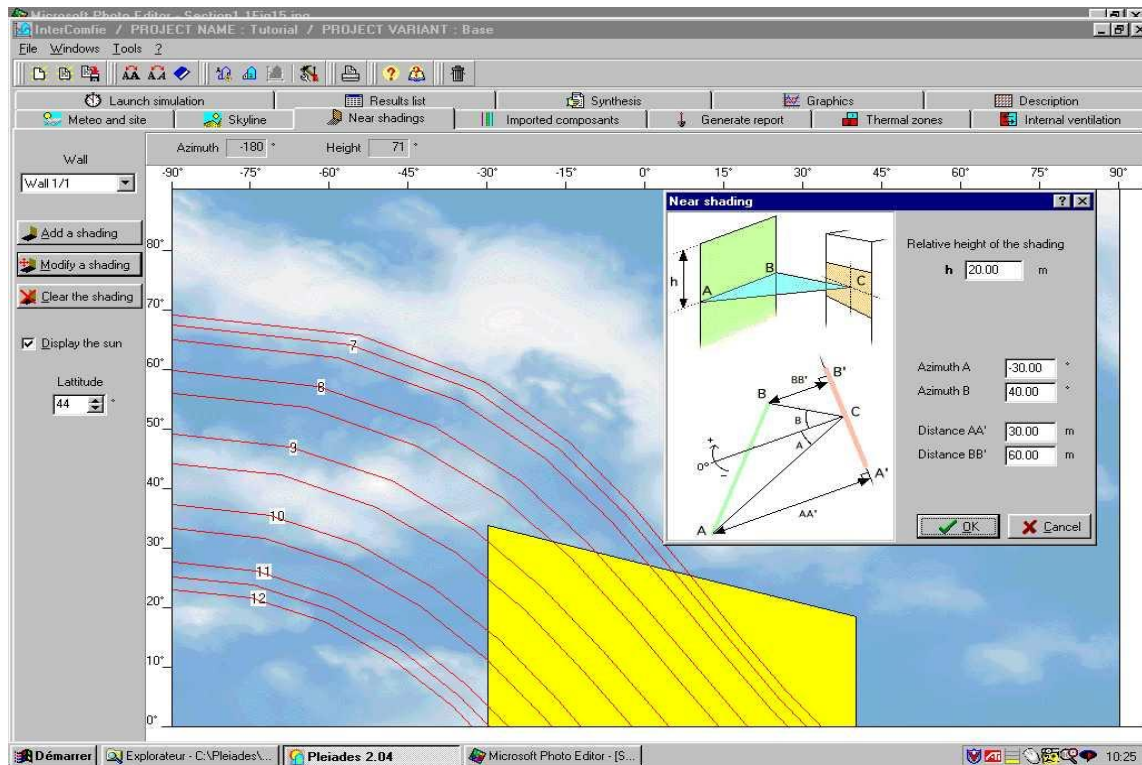
Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα εμπορικά λογισμικά προσομοίωσης κτιρίων και ακολουθεί μια σύγκριση μεταξύ τους. Ύστερα παρουσιάζεται το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία καθώς και οι μέθοδοι εκτέλεσης των υπολογισμών του.

3.1. Διαθέσιμα εμπορικά λογισμικά προσομοίωσης

Οι μέθοδοι ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων αποτελούν χρήσιμο εργαλείο για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Για την εξυπηρέτηση του σκοπού αυτού έχουν αναπτυχθεί διάφορα λογισμικά προσομοίωσης. Τα λογισμικά στην πλειονότητά τους έχουν δημιουργηθεί από πανεπιστήμια κατά την διάρκεια μελέτης κτιρίων. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής τα λογισμικά που ενδιέφεραν είναι τα: COMFIE, CAPSOL, TRNSYS και EnergyPlus. Ακολουθεί παρουσίασή τους.

3.1.1. COMFIE

Κατασκευάστηκε από τον οργανισμό U.S. Department of Energy και είναι αρκετά διαδεδομένο λογισμικό που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των ενεργειακών επιδόσεων κτιρίων. Το περιβάλλον του λογισμικού φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



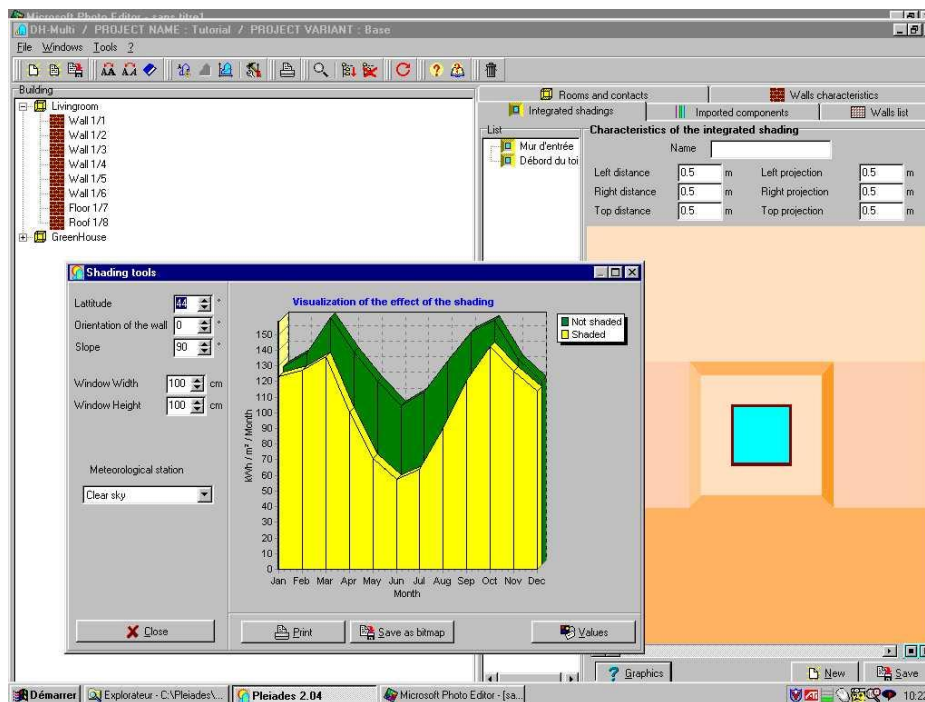
Εικόνα 3.1: Περιβάλλον του COMFIE

Το λογισμικό του COMFIE απευθύνεται σε αρκετά ευρύ κοινό, και συγκεκριμένα σε Μηχανολόγους Μηχανικούς, Αρχιτέκτονες, καθαρά Ενεργειακούς Μηχανικούς καθώς και πανεπιστήμια σε όλο τον κόσμο. Δίνει την δυνατότητα υπολογισμών ωριαίου βήματος, και όχι μηνιαίου όπως συνέβαινε συνήθως με παλαιότερα λογισμικά. Αυτό σημαίνει ότι οι υπολογισμοί οι σχετικοί με την απόδοση συστημάτων θέρμανσης ή τα θερμικά κέρδη των στοιχείων ενός κτιρίου (για παράδειγμα υαλοπίνακες), συμβαίνουν ανά ώρα. Αυτό αυτόματα προσδίδει μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς και άρα επιτυχεστέρα προσομοίωση της πραγματικής κατάστασης του υπό μελέτη κτιρίου. Τα αποτελέσματα του εν λόγω λογισμικού θεωρούνται αξιόπιστα και αυτό είναι πιστοποιημένο από την παθητική πειραματική πλατφόρμα INCAS (INES, France). Η υψηλού επιπέδου γνώση υπολογιστών δεν είναι αναγκαία για την χρήση του λογισμικού, και προσεγγιστικά οι χρήστες που το χρησιμοποιούν παγκοσμίως υπολογίζεται ότι ξεπερνούν του 2700.

Ως δεδομένα στο πρόγραμμα ο χρήστης εισάγει:

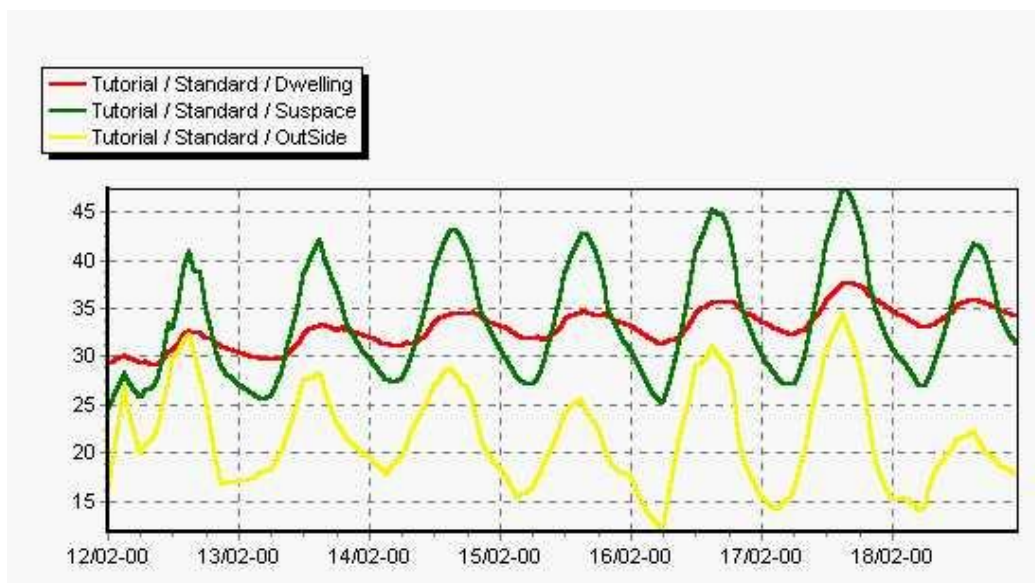
- Την γεωμετρία του κτιρίου
- Χαρακτηριστικά σχετικά με την μεταφορά θερμότητας υλικών. Τέτοια για παράδειγμα αποτελούν οι θερμικές αγωγιμότητες, οι συντελεστές εκπομπής και οι πυκνότητες των δομικών υλικών του κτιρίου
- Κλιματικά δεδομένα
- Συστήματα θέρμανσης και ψύξης καθώς και τα προγράμματα λειτουργίας τους

Ο τρόπος εισαγωγής των δεδομένων αυτών γίνεται με την χρήση δυο επιπλέον λογισμικών, των PLEIADES και ALCYONE. Πρόκειται για φύλλα συμπλήρωσης δεδομένων χειροκίνητα όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 3.2: Εισαγωγή δεδομένων στο COMFIE μέσω πλατφόρμας του PLEIADES

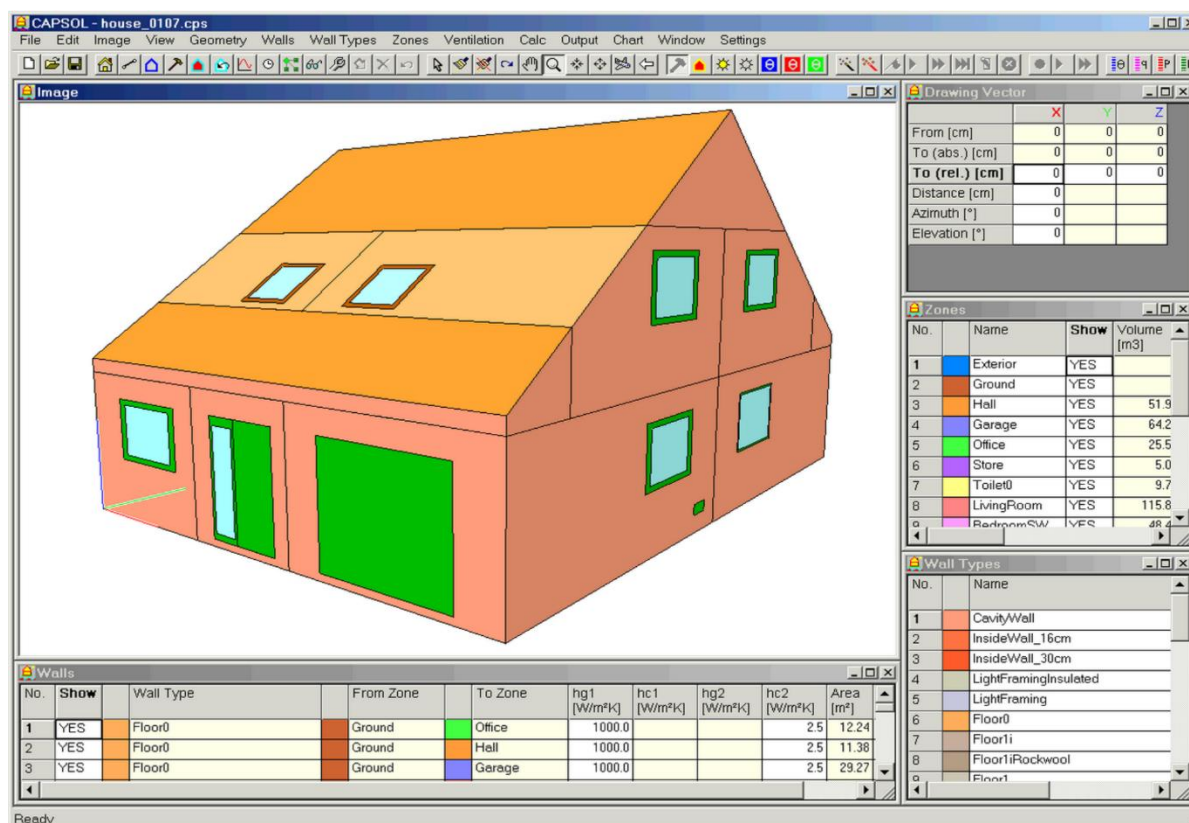
Τα δεδομένα εξόδου του προγράμματος είναι διαθέσιμα είτε σε μορφή διαγραμμάτων είτε σε πίνακες. Το λογισμικό επίσης δίνει την δυνατότητα εκτύπωσης συμπληρωμένης έκθεσης αναφορικά με την ενεργειακή απόδοση των συστημάτων θέρμανσης του υπό μελέτη κτιρίου αλλά και των θερμικών κερδών του κελύφους του. Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται ένα παράδειγμα δεδομένων εξόδου του COMFIE και συγκεκριμένα ο έλεγχος των θερμοκρασιών που απασχολούν μια κατοικία (εξωτερική, εσωτερική θερμοκρασία).



Εικόνα 3.3: Παράδειγμα δεδομένων εξόδου στο COMFIE

3.1.2. CAPSOL

Κατασκευάστηκε από την εταιρία Physibel και είναι εξαιρετικά διαδεδομένο στην Ευρώπη για την αξιολόγηση των ενεργειακών επιδόσεων κτιρίων. Το περιβάλλον του λογισμικού φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 3.4: Περιβάλλον του CAPSOL

Το κοινό το οποίο απευθύνεται το εν λόγω λογισμικό είναι πανεπιστήμια και κυρίως για εργαστηριακή χρήση. Επίσης απασχολεί συμβουλευτικές εταιρίες μηχανικών (Πολιτικοί Μηχανικοί, Αρχιτέκτονες, Μηχανολόγοι Μηχανικοί) καθώς και κατασκευαστικές εταιρίες.

Το χαρακτηριστικό του λογισμικού αυτού που το ξεχώρισε από τα επόμενα είναι η δυνατότητα κατασκευής πολυζωνικών μοντέλων. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης έχει την δυνατότητα να χωρίσει το κτίριο σε διαφορετικές μεταξύ τους ζώνες και να ορίσει ποιες έχουν ανάγκη θερμικών φορτίων. Σε αντίθεση με παλαιότερα μοντέλα όπου όλο το κτίριο θεωρούνταν αυτόματα μία θερμική ζώνη και με αυτό τον τρόπο υπήρχε μεγάλη πιθανότητα η προσομοίωση του υπό μελέτη κτιρίου να μην ήταν επιτυχημένη. Στο λογισμικό αυτό έχει επίσης δοθεί μεγάλη σημασία στα ηλιακά κέρδη και υπάρχει και η δυνατότητα ύπαρξης παθητικών ηλιακών (κάλυψη θερμικών αναγκών σε θέρμανση μέσω ηλιακής ενέργειας). Τέλος το εν λόγω λογισμικό επιτρέπει την βελτιστοποίηση σεναρίων που αφορούν την κάλυψη αναγκών σε θέρμανση και ψύξη, υποδεικνύοντας τυχών προβλήματα και ελαττώματα των υπαρχόντων συστημάτων.

Η γνώση γενικά περί μεταφοράς θερμότητας και θερμικών μαζών είναι αναγκαία για την χρήση του προγράμματος. Ενώ η γνώση σε βάθος αυτών είναι εξίσου αναγκαία για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων με το CAPSOL. Το λογισμικό αυτό υπολογίζεται ότι έχει τουλάχιστον 300 χρήστες σε 25 χώρες του κόσμου.

Ως δεδομένα στο πρόγραμμα ο χρήστης εισάγει:

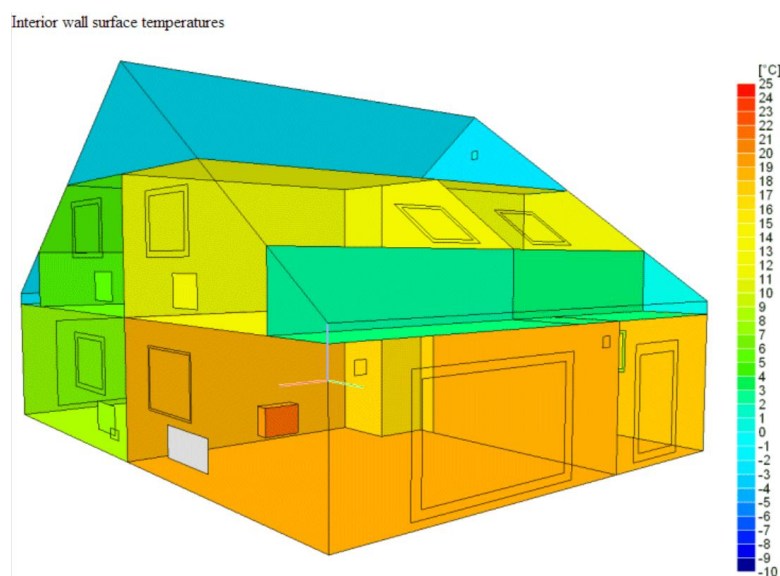
- Τον τύπο του κτιρίου
- Κλιματικά δεδομένα
- Δομικά υλικά των εσωτερικών τοίχων καθώς και των εξωτερικών. Για τους τελευταίους επίσης δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην σκίαση
- Δεδομένα άνεσης του κτιρίου δηλαδή επιθυμητές θερμοκρασίες στις ζώνες τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη

side1 → side2													side 1		side 2		
No.	Name	Type	Pat	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	Nu [-]	h _{rb} [W/m ² K]	τ_s [-]	α_{1r} [-]	ρ_{1s} [-]	α_{1s} [-]	α_{2r} [-]	ρ_{2s} [-]	α_{2s} [-]
1	sunscreen	NORMAL	252	0.001	0.200	0.005	500	1470	-	-	0.09	0.90	0.42	0.49	0.90	0.42	0.49
2	cavity (ventilated)	GAS		0.02	0.025	0.098	2000	840	5	5.15	-	-	-	-	-	-	-
3	glazing	NORMAL	152	0.004	1.000	0.004	2500	850	-	-	0.788	0.84	0.07	0.14	0.84	0.07	0.14
4	cavity	GAS		0.012	0.025	0.173	1.2	1200	1	5.15	-	-	-	-	-	-	-
5	glazing	NORMAL	152	0.004	1.000	0.004	2500	850	-	-	0.788	0.84	0.07	0.14	0.84	0.07	0.14

$\Sigma d=0.041$ m, $\Sigma R=0.284$ m²K/W with $h_1=25.0$ W/m²K, $h_2=7.7$ W/m²K → $U=2.20$ W/m²K, $g=0.12$

Εικόνα 3.5: Εισαγωγή δεδομένων τοίχων στο CAPSOL

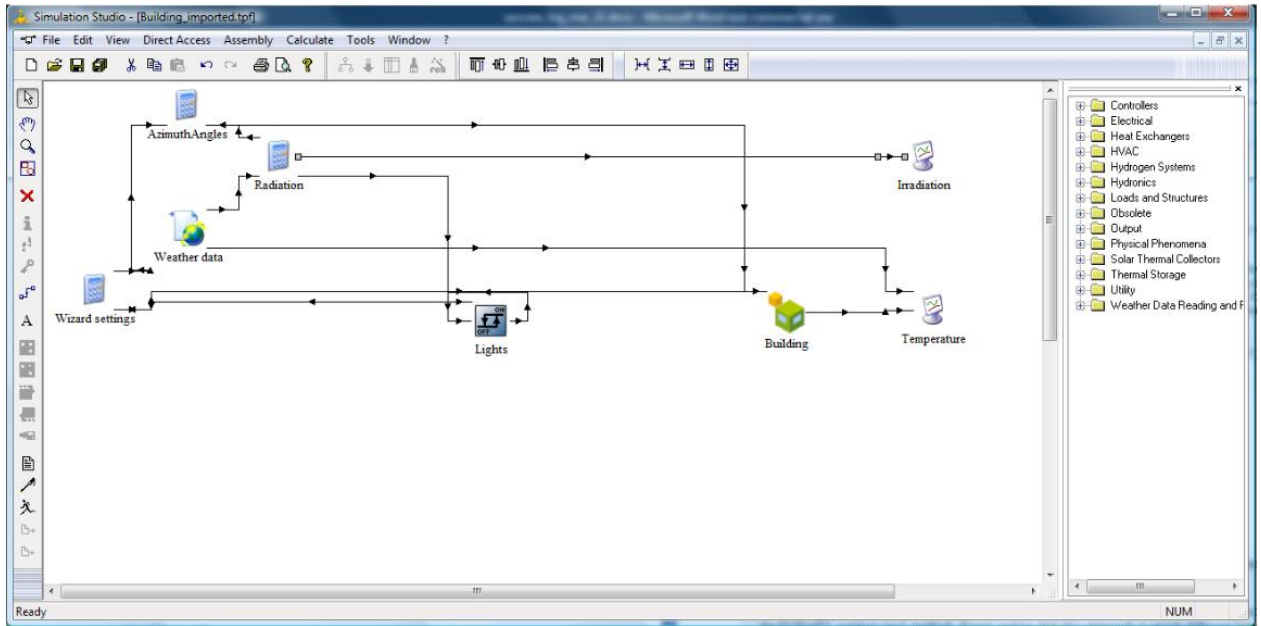
Ως δεδομένα εξόδου το πρόγραμμα εξάγει τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας των χώρων συναρτήσει του χρόνου, την κατανομή της ροής θερμότητας διαμέσου των τοίχων (εφόσον χωρίζεται σε κόμβους όπως ορίζει η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών) καθώς και θερμικές καταναλώσεις (kWh) για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Επίσης εξάγει και σχήματα για την διανομή των θερμοκρασιών σε όλες τις ζώνες που έχει χωριστεί το κτίριο για καλύτερη εποπτεία του θέματος. Ένα τέτοιο παράδειγμα φαίνεται παρακάτω στην εικόνα:



Εικόνα 3.6: Παράδειγμα δεδομένων εξόδου του CAPSOL

3.1.3. TRNSYS

Το λογισμικό αυτό είναι διαθέσιμο στο εμπόριο από το 1975. Οι πρώτες εκδόσεις του δημιουργήθηκαν από κοινή εργασία των πανεπιστημίων του Wisconsin και Colorado στην Αμερική. Αποτελεί ένα από τα πιο εύχρηστα εργαλεία για την επεξεργασία ενεργειακών συστημάτων και χρησιμοποιείται και σήμερα κατά κόρον. Το περιβάλλον του λογισμικού φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 3.7: Περιβάλλον του TRNSYS

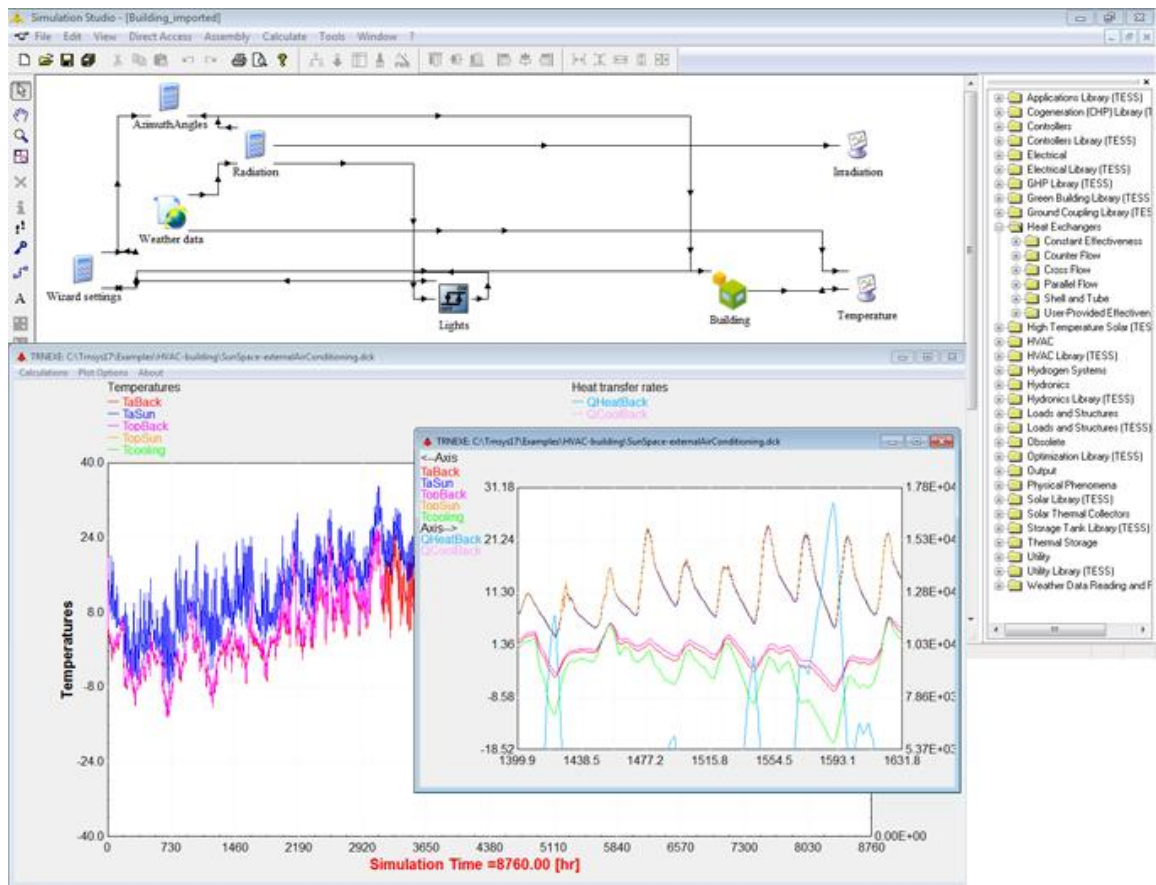
Το εν λόγω λογισμικό διαθέτει μεγάλη ευελιξία παραμέτρων εισαγωγής και αυτό το καθιστά ένα πρόγραμμα ιδιαίτερα χρήσιμο για κάθε είδους σύστημα που ενδιαφέρει η μελέτη του από ενεργειακής πλευράς. Το κύριο χαρακτηριστικό που το κάνει να διαφέρει από όλα τα προηγούμενα παρόμοια προγράμματα είναι το γραφικό περιβάλλον το οποίο διαθέτει. Όπως φαίνεται και στο σχήμα που προηγήθηκε ο χρήστης παύει πια να περνά τιμές στο πρόγραμμα από φύλλα συμπλήρωσης αριθμών, και παρατηρεί πια το σύστημά του καλύτερα με γραφικό τρόπο και έχοντας την δυνατότητα να αλλάξει οποιαδήποτε παράμετρο θέλει απλά επιλέγοντας στο διάγραμμα εργασιών του το αντίστοιχο στοιχείο και εκτελώντας την αλλαγή. Το λογισμικό διαθέτει βιβλιοθήκες συστημάτων, όπως αντλίες θερμότητας, λέβητες παραγωγής ζεστού νερού, ηλιακά συστήματα ή ακόμα και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τέλος υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής νέων εξαρτημάτων ενός συστήματος που χρειάζεται ο χρήστης για κάποια εφαρμογή.

Το TRNSYS αποτελεί κατά κύριο λόγο πρόγραμμα επίλυσης εξισώσεων (equation solver program) και ο τρόπος λειτουργίας του διαφέρει αρκετά από άλλα λογισμικά τέτοιου τύπου. Για την χρήση του δεν απαιτείται κάποιου είδους συγκεκριμένης γνώσης, παρά μόνο σε περίπτωση κατασκευής νέου εξαρτήματος που είναι χρήσιμη η γνώση της γλώσσας προγραμματισμού FORTRAN. Οι χρήστες του λογισμικού αυτού είναι περισσότεροι από 500 σε όλο τον κόσμο ενώ το κοινό το οποίο απευθύνεται είναι κυρίως Μηχανικοί κάθε είδους.

Ως δεδομένα εισόδου στο πρόγραμμα ο χρήστης εισάγει:

- Χαρακτηριστικά του κτιρίου και του κτιριακού κελύφους
- Χαρακτηριστικά των συστημάτων που χρησιμοποιούνται
- Κλιματικά δεδομένα

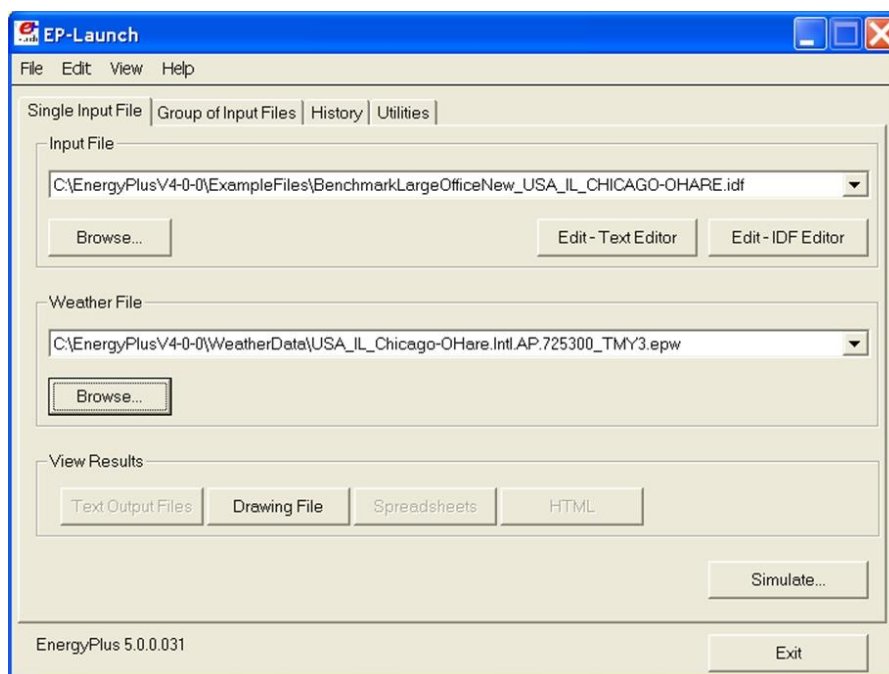
Ως δεδομένα εξόδου εξάγει ακριβώς τα ίδια με το λογισμικό COMFIE. Το ενδιαφέρον χαρακτηριστικό στο συγκεκριμένο λογισμικό είναι ότι δίνει την δυνατότητα τα δεδομένα εξόδου να αποθηκεύονται στο διαδίκτυο (το πού είναι επιλογή του χρήστη) ακόμα και κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται ένα παράδειγμα της εξαγωγής των δεδομένων από το πρόγραμμα:



Εικόνα 3.8: Παράδειγμα εξαγωγής δεδομένων στο TRNSYS

3.1.4. EnergyPlus

Πρόκειται για λογισμικό προσομοίωσης νέας γενιάς και κατασκευάστηκε από τα πανεπιστήμια του Illinois και της California. Για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκαν χαρακτηριστικά από τα δυο παλαιότερα υπολογιστικά μοντέλα, DOE-2 και BLAST. Διαθέτει εξαιρετικές δυνατότητες προσομοίωσης συμπεριλαμβανομένου και του γεγονότος ότι μπορεί να εκτελέσει υπολογισμούς με χρονικό βήμα μικρότερου της ώρας. Συνεχόμενες προσθήκες σε νέες εκδόσεις του λογισμικού έχουν φτάσει το πρόγραμμα σε τέτοιο επίπεδο που περιέχει σύνθετα συστήματα παραγωγής ενέργειας, κατανάλωσης ζεστού νερού χρήσης, ηλιακών ή ακόμα και κυψελών καυσίμου. Πιστοποίηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης μέσω EnergyPlus έχει γίνει από τον σύνδεσμο IEA BEST Test Buildings και είναι διαθέσιμη στην ιστοσελίδα του λογισμικού. Το περιβάλλον του EnergyPlus φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



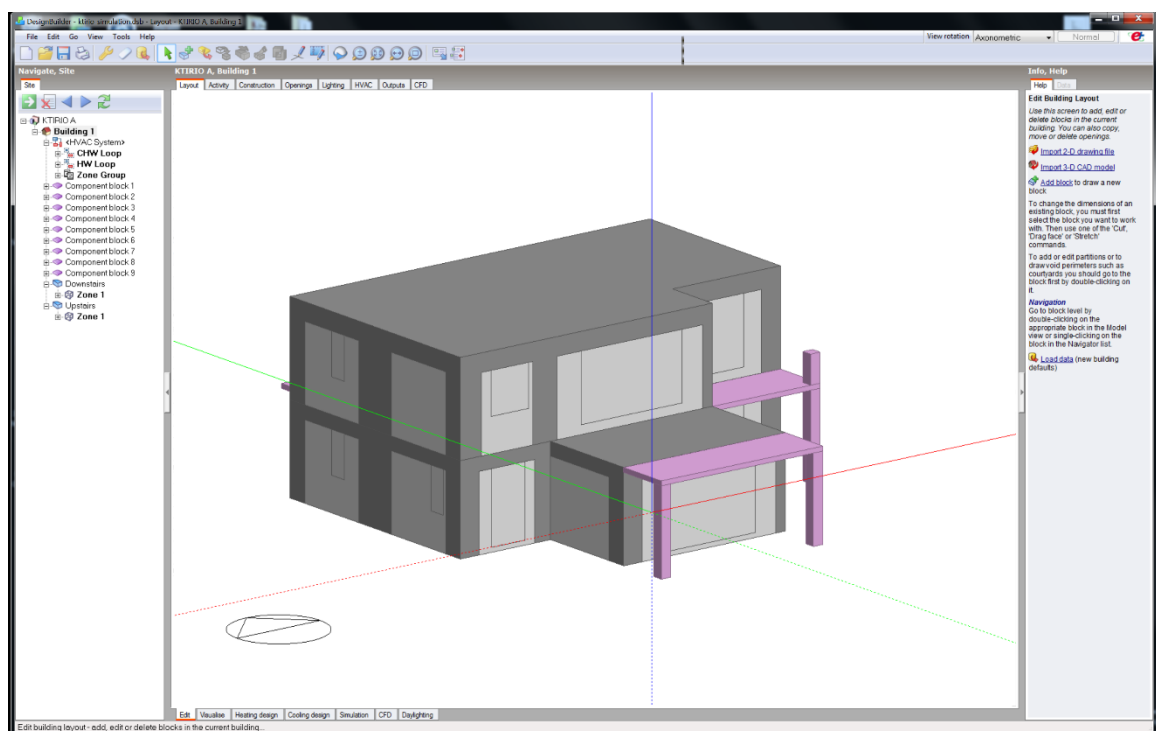
Εικόνα 3.9: Περιβάλλον του EnergyPlus

Το χαρακτηριστικό του λογισμικού αυτού, που φαίνεται και από την εικόνα που προηγήθηκε είναι ότι το EnergyPlus είναι μεν ένα από τα καλύτερα υπολογιστικά προγράμματα αλλά με το μειονέκτημα ότι το περιβάλλον του είναι μη φιλικό προς τον χρήστη. Αυτό το πρόβλημα φυσικά λύθηκε πολύ εύκολα, εφόσον ακολούθησε η κατασκευή διαφόρων περιβαλλόντων φιλικών προς τον χρήστη που χρησιμοποιούν το λογισμικό EnergyPlus πίσω από τους υπολογισμούς του. Τα περιβάλλοντα αυτά απευθύνονται σε ευρύτατο κοινό όπως κάθε είδους Μηχανικοί, πανεπιστήμια, εργαστήρια ή και εταιρίες (κατασκευαστικές ή συμβουλευτικές). Ένα περιβάλλον τέτοιο που θα απασχολήσει την παρούσα διπλωματική είναι το DesignBuilder και αναλύετε εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.

3.2. Παρουσίαση του λογισμικού DesignBuilder

3.2.1. Γενικά χαρακτηριστικά του λογισμικού και του περιβάλλοντός του

Πρόκειται για ένα λογισμικό που χτίστηκε για να εκτελεί προσομοιώσεις σε κτίρια με όσο το δυνατόν φιλικό περιβάλλον για τον χρήστη και κάνοντας χρήση του EnergyPlus για τους υπολογισμούς του. Το μικρότερο της ώρας βήμα που διαθέτει είναι το χαρακτηριστικό που το κάνει ξεχωριστό και το γεγονός επίσης του ότι το περιβάλλον εργασίας του είναι εξαιρετικά απλό όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 3.10: Περιβάλλον του DesignBuilder

Το χαρακτηριστικό που ξεχωρίζει το λογισμικό αυτό από άλλα είναι το ότι κυριολεκτικά «σχεδιάζεται» το κτίριο που ενδιαφέρει και ύστερα πάνω σε αυτό ορίζεις όλες τις παραμέτρους που χρειάζεται. Οπότε εύκολα γίνεται κατανοητός ο λόγος που θεωρείται πιο φιλικό προς το χρήστη από κάθε άλλο λογισμικό πριν. Το εν λόγω λογισμικό όπως αναφέρθηκε έχει πολλές δυνατότητες εισαγωγής δεδομένων. Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα το περιβάλλον διαθέτει δυο γραμμές εργαλείων. Αυτές είναι της εισαγωγής δεδομένων (πάνω από το κτίριο) και της εξαγωγής (κάτω από το κτίριο). Η γραμμή εργαλείων εισαγωγής είναι ο βασικός τρόπος εισαγωγής δεδομένων, εφόσον υπάρχει και

δεύτερος μέσω του γραφικού περιβάλλοντος του λογισμικού (επιλέγοντας στην εικόνα το σημείο που χρειάζεται αλλαγή και εκτελώντας την).

Η γραμμή εργαλείων εισαγωγής έχει τις επιλογές:

- **Activity:** Όπου εισάγονται δεδομένα σχετικά με το προφίλ δραστηριότητας του κτιρίου, όπως είναι κτίριο γραφείων ή νοσοκομειακό κτίριο. Επίσης εισάγονται δεδομένα σχετικά με την πληρότητα του κτιρίου σε ανθρώπους και το βασικότερο όλων ορίζονται οι θερμοκρασίες των θερμοστατών (θέρμανσης και ψύξης)
- **Construction:** Όπου εισάγονται δεδομένα του κτιριακού κελύφους. Συγκεκριμένα ορίζονται τα δομικά υλικά (και τα στρώματα layer by layer) κάθε τοίχου εσωτερικού ή εξωτερικού, οροφών, δαπέδων καθώς σκεπών αν και εφόσον υπάρχουν
- **Openings:** Όπου εισάγονται τα δεδομένα των «ανοιγμάτων» του κτιρίου, δηλαδή τα υλικά των υαλοπινάκων (διπλό ή μονό γυαλί) και των κουφωμάτων (για παράδειγμα αλουμίνιο ή ξύλο, ύπαρξη ή όχι θερμοδιακοπής) αλλά και των πορτών ή των αεραγωγών αν και εφόσον υπάρχουν.
- **Lighting:** Όπου εισάγονται τα δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα φωτισμού του κτιρίου
- **HVAC:** Όπου εισάγονται δεδομένα σχετικά με το σύστημα θέρμανσης και ψύξης, το σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και την ύπαρξη φυσικού ή μηχανικού αερισμού στο κτίριο

Όπως προαναφέρθηκε αυτός ήταν ο πρώτος τρόπος εισαγωγής δεδομένων και ως τώρα δεν έχει σχολιαστεί καθόλου ο δεύτερος τρόπος εισαγωγής, μέσω από το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού. Το DesignBuilder διαθέτει επιλογή όπου ο χρήστης καλείται να ορίσει, αναφορικά με την φύση επεξεργασίας του κτιρίου που ενδιαφέρεται να μελετήσει. Υπάρχουν 2 επιλογές όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα:

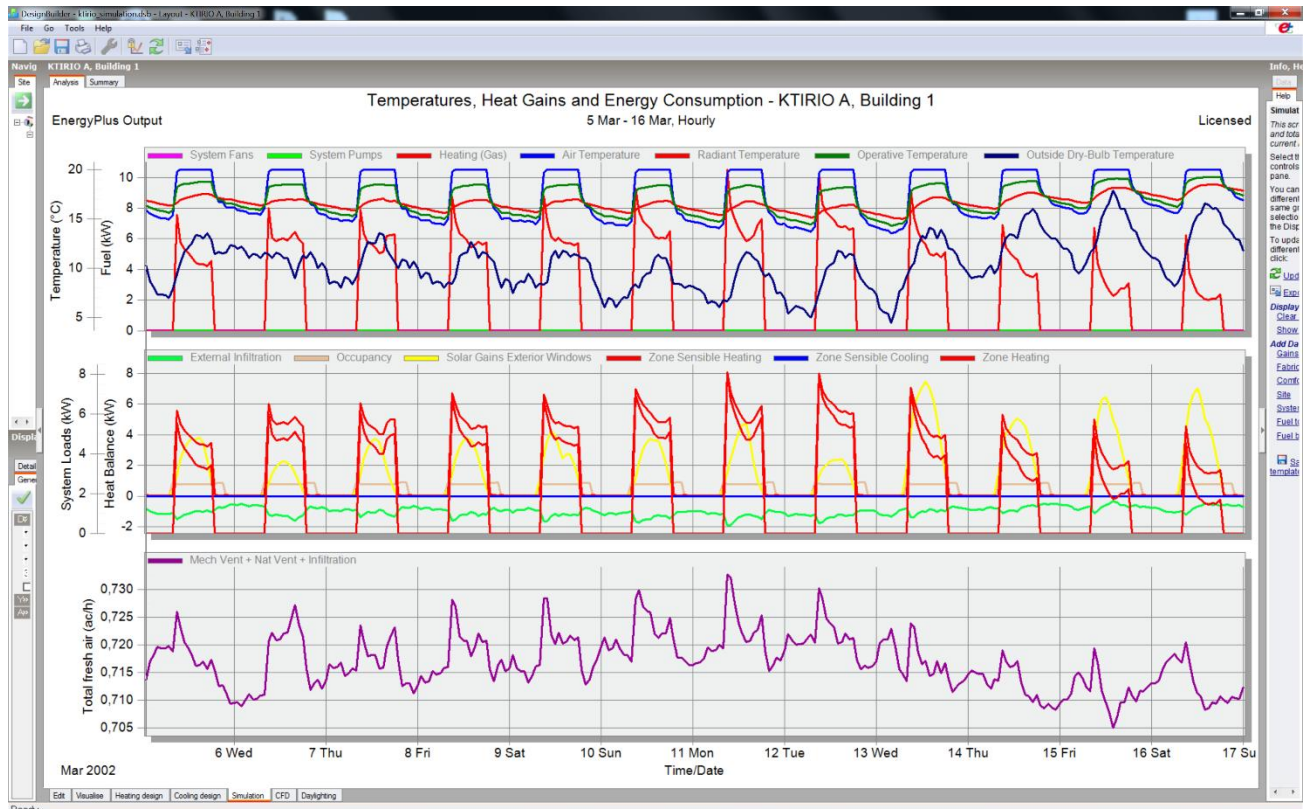


Εικόνα 3.11: Ορισμός τρόπου μελέτης κτιρίου

Αν οριστεί ως τρόπος επεξεργασίας το Simple HVAC τότε η μελέτη δεν θα είναι ιδιαίτερα λεπτομερής όσον αφορά τα συστήματα θέρμανσης αλλά η συμπλήρωση παραμέτρων για τα συστήματα εκτελείτε απλώς από την γραμμή εργαλείων που προαναφέρθηκε. Αν οριστεί το Detailed HVAC τότε η μελέτη θα είναι λεπτομερέστατη και ο ορισμός των συστημάτων θέρμανσης θα εξαρτάται από πολλές παραμέτρους όπως θα φανεί και στην εικόνα παρακάτω. Να σημειωθεί ότι κάθε είδους επεξεργασία κτιρίου Simple ή Detailed εξυπηρετεί τον δικό της σκοπό. Το Simple μοντέλο εξυπηρετεί κυρίως αρχιτέκτονες εφόσον δεν μπαίνει σε λεπτομέρειες για τα συστήματα θέρμανσης αλλά ο κύριος άξονας μελέτης γίνεται η σωστή επιλογή δομικών υλικών και ανοιγμάτων στο κτίριο. Από την άλλη μεριά το Detailed μοντέλο εξυπηρετεί κυρίως Μηχανικούς που ενδιαφέρονται για την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου και δοκιμάζουν διάφορα σενάρια για την κάλυψη των θερμικών αναγκών (ή και για την ψύξη). Για παράδειγμα αν πρέπει να εξεταστεί ένα σενάριο για την θέρμανση ενός κτιρίου

- Simulation: Όπου πρόκειται για το πιο ενδιαφέρον κομμάτι της όλης μελέτης καθώς σε αυτό συμβαίνει η προσομοίωση. Ο χρήστης επιλέγει χρονικά όρια εκτέλεσης της προσομοίωσης και τι αποτελέσματα θέλει να εξάγει. Επίσης ορίζει το χρονικό βήμα το οποίο επιθυμεί (δηλαδή ουσιαστικά όσο μικρότερο χρονικό βήμα, τόσο μεγαλύτερο χρόνο αναμονής για την προσομοίωση, αλλά μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα).

Τα δεδομένα εξόδου δίδονται είτε σε μορφή διαγραμμάτων, είτε σε μορφή πινάκων. Ένα παράδειγμα εξαγωγής δεδομένων διαγραμματικά ακολουθεί παρακάτω:



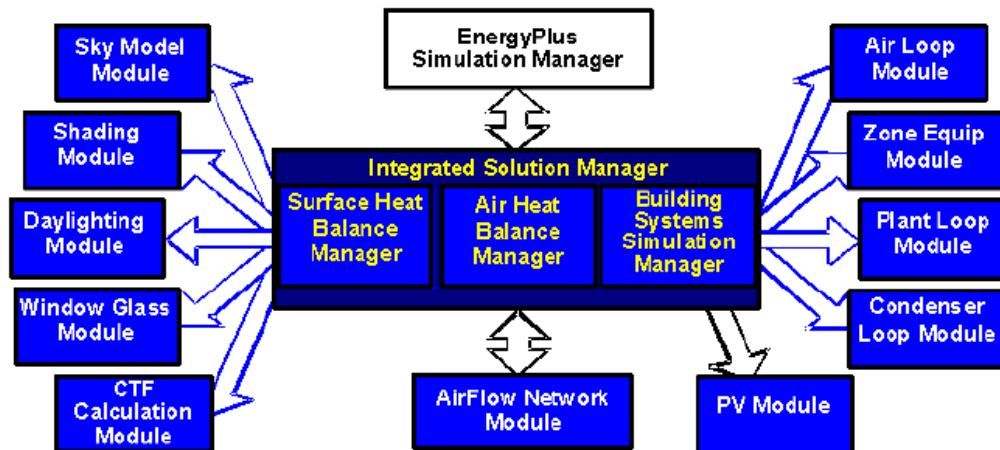
Εικόνα 3.13: Δεδομένα εξόδου σε μορφή διαγραμμάτων

3.2.2. Γενικά θέματα υπολογισμών στο DesignBuilder

Όπως αναφέρθηκε το λογισμικό DesignBuilder λειτουργεί με εργαλείο υπολογισμών το EnergyPlus [6]. Το προσομοιωτικό πρόγραμμα EnergyPlus αποτελείται από πολλές προγραμματιστικές ενότητες που συνεργάζονται για να τον υπολογισμό της ενέργειας που απαιτείται για τη θέρμανση και την ψύξη ενός κτιρίου που μπορεί να χρησιμοποιεί μια ποικιλία ενεργειακών συστημάτων και εγκαταστάσεων. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσομοίωση του κτιρίου και των συναφών συστημάτων ενέργειας, όταν αυτά είναι εκτεθειμένα σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Με βάση την περιγραφή της κατασκευής και άλλων συναφών μηχανικών συστημάτων του κτιρίου, το προσομοιωτικό πρόγραμμα EnergyPlus υπολογίζει τα απαιτούμενα φορτία θέρμανσης και ψύξης για τη διατήρηση των θερμικών ορίων ελέγχου και την ενεργειακή κατανάλωση του εξοπλισμού των ενεργειακών εγκαταστάσεων.

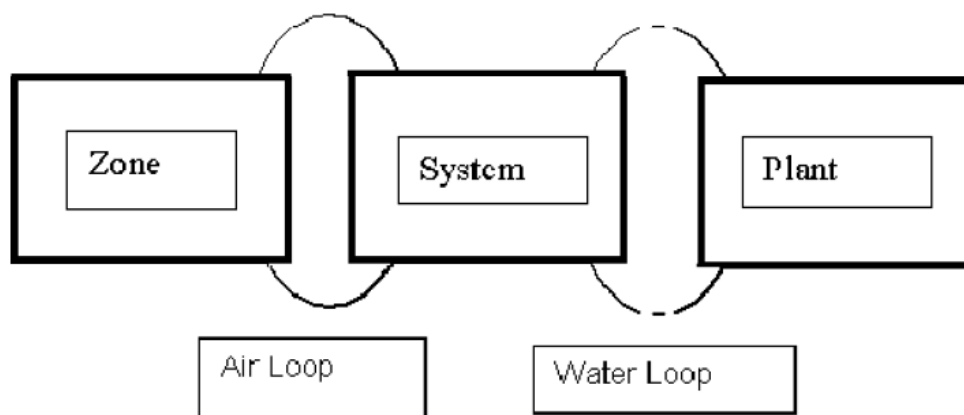
Ο πυρήνας της προσομοίωσης βασίζεται σε θεμελιώδεις αρχές της θερμικής ισορροπίας. Αποδεικνύεται ότι το μοντέλο αυτό είναι σχετικά απλό σε σύγκριση με την οργάνωση των δεδομένων και τον έλεγχο που απαιτείται για την προσομοίωση των πολλών συνδυασμών των διαφόρων τύπων συστημάτων, ρυθμίσεων για τις ενεργειακές πηγές, χρονοδιαγράμμάτων και περιβαλλόντων χώρων. Η εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζει αυτή τη συνολική οργάνωση σε σχηματική μορφή [7].

Η προσομοίωση που εκτελεί το προσομοιωτικό πρόγραμμα EnergyPlus αποτελείται από αλληλοεπιδρώμενες ενότητες. Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα που πρέπει να υπολογιστούν και για τα τρία βασικά μέρη, το κτίριο, το σύστημα και οι μονάδες παραγωγής ενέργειας, πρέπει να υπολογίζονται ταυτόχρονα. Στα προγράμματα που πραγματοποιούν ίδιο μοντέλο προσομοίωσης όπως το BLAST ή το DOE-2 οι θερμικές ζώνες του κτιρίου, τα συστήματα διαχείρισης και ο εξοπλισμός των κεντρικών εγκαταστάσεων προσομοιώνονται διαδοχικά με καμία ανάδραση από το ένα στο άλλο. Η διαδοχική λύση ξεκινά με μια θερμική ισορροπία ζώνης που αναπροσαρμόζει τους όρους της ζώνης και καθορίζει τα φορτία θέρμανσης και ψύξης σε όλα τα χρονικά βήματα. Αυτές οι πληροφορίες τροφοδοτούνται στην προσομοίωση του συστήματος διαχείρισης του αερισμού για τον προσδιορισμό της απόκρισης του συστήματος, αλλά αυτή η απόκριση δεν επηρεάζει τις συνθήκες της ζώνης. Ομοίως, τα στοιχεία του συστήματος διαχείρισης του αερισμού τροφοδοτούνται στην προσομοίωση των μονάδων παραγωγής ενέργειας χωρίς ανάδραση. Αυτή η τεχνική προσομοίωσης λειτουργεί καλά όταν η απόκριση του συστήματος είναι μια καλά καθορισμένη συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα του κλιματιζόμενου χώρου.



Εικόνα 3.14: Πυρήνας διαχείρισης προσομοίωσης στο EnergyPlus [7]

Για να πραγματοποιηθεί προσομοίωση που είναι φυσικά ρεαλιστική, τα στοιχεία πρέπει να συνδέονται με έναν συνδυασμό ταυτόχρονης λύσης. Το σύνολο του προγράμματος μπορεί να αναπαρασταθεί ως μια σειρά από λειτουργικά στοιχεία που συνδέονται με loops όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί. Στο προσομοιωτικό πρόγραμμα EnergyPlus όλα τα στοιχεία ενσωματώνονται και ελέγχονται από τον διαχειριστή της προσομοίωσης (Integrated Solution Manager).



Εικόνα 3.15: Σχηματική αναπαράσταση του συνδυασμού ταυτόχρονης λύσης [7]

3.2.3. Βασικά χαρακτηριστικά του EnergyPlus

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της ενεργειακής προσομοίωσης που εκτελεί το προσομοιωτικό πρόγραμμα DesignBuilder και κατ' επέκταση το EnergyPlus:

- Υπό-ωριαία, με δυνατότητα καταχώρησης από το χρήστη, χρονικά βήματα για την αλληλεπίδραση μεταξύ των θερμικών ζωνών και του περιβάλλοντος με μεταβλητά χρονικά βήματα για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των θερμικών ζωνών και των συστημάτων HVAC
- Αρχεία καιρικών συνθηκών, εισόδου και εξόδου που περιλαμβάνουν ωριαίες ή υπό-ωριαίες περιβαλλοντικές συνθήκες και τυπικές αλλά και εκθέσεις αποτελεσμάτων οριζόμενες από τον χρήστη
- Τεχνική λύσης με βάση την θερμική ισορροπία για τον προσδιορισμό θερμικών φορτίων που επιτρέπει τον ταυτόχρονο υπολογισμό των επιδράσεων της ακτινοβολίας και της συναγωγής και στην εσωτερική και στην εξωτερική επιφάνεια κατά τη διάρκεια κάθε χρονικού βήματος
- Υπολογισμός θερμικής αγωγιμότητας μέσω δομικών στοιχείων όπως τοίχοι, στέγες, δάπεδα, κλπ. χρησιμοποιώντας συναρτήσεις αγωγιμότητας
- Μοντελοποίηση μετάδοσης της θερμότητας στο έδαφος με τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους πεπερασμένων διαφορών και απλοποιημένων αναλυτικών τεχνικών
- Συνδυασμένο μοντέλο μεταφοράς θερμότητας και μάζας που λογίζεται για την προσρόφηση και εκρόφηση της υγρασίας, είτε ως ένταξη στρώσης με στρώσης στην συνάρτηση αγωγιμότητας ή ως ένα αποτελεσματικό μοντέλο διεύδυσης βάθους υγρασίας
- Ανισότροπο μοντέλο ατμόσφαιρας για βελτιωμένο υπολογισμό της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένες επιφάνειες
- Σύνθετους υπολογισμούς κουφωμάτων που επιτρέπουν τον κατάλληλο υπολογισμό της ηλιακής ενέργειας που απορροφάται από τους υαλοπίνακες των παραθύρων

3.2.4. Βασικοί αλγόριθμοι υπολογισμών του EnergyPlus

Συνάρτηση μεταφοράς αγωγιμότητας:

Η πιο βασική λύση χρονοσειρών είναι η εξίσωση του συντελεστή που συσχετίζει τη ροή σε μία επιφάνεια ενός στοιχείου με μια άπειρη σειρά θερμοκρασιών και στις δύο πλευρές, όπως φαίνεται από την εξίσωση:

$$q''_{ko}(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{i,t-j\delta} \quad (3.1)$$

όπου q είναι η ροή θερμότητας, T είναι η θερμοκρασία, το i συμβολίζει το εσωτερικό του δομικού στοιχείου, το o συμβολίζει το εξωτερικό του δομικού στοιχείου, το t αντιπροσωπεύει το τρέχον χρονικό βήμα και X και Y είναι οι συντελεστές απόκρισης.

Η βασική μορφή της λύσης της συνάρτησης μεταφοράς αγωγιμότητας είναι η:

$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta} \quad (3.2)$$

για την εσωτερική ροή θερμότητας, και:

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ko,t-j\delta} \quad (3.3.)$$

Για την εσωτερική ροή θερμότητας. Όπου:

X_j = εξωτερικός συντελεστής συνάρτησης μεταφοράς αγωγιμότητας, $j= 0,1,\dots,nz$.

Y_j = διαγώνιος συντελεστής συνάρτησης μεταφοράς αγωγιμότητας, $j= 0,1,\dots,nz$.

Z_j = εσωτερικός συντελεστής συνάρτησης μεταφοράς αγωγιμότητας, $j= 0,1,\dots,nz$.

Φ_j = συντελεστής ροής συνάρτησης μεταφοράς αγωγιμότητας, $j= 1,2,\dots,nq$

T_i = θερμοκρασία εσωτερικής επιφάνειας

T_o = θερμοκρασία εξωτερικής επιφάνειας

q''_{ki} = ροή θερμικής αγωγιμότητας στην εσωτερική επιφάνεια

q''_{ko} = ροή θερμικής αγωγιμότητας στην εξωτερική επιφάνεια

Η βασική μέθοδος που χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς των συναρτήσεων μεταφοράς αγωγιμότητας ορίζονται από τον παρακάτω πίνακα γραμμικών εξισώσεων:

$$\frac{d [x]}{dt} = [A][x] + [B][u] \quad (3.4)$$

$$[y] = [C][x] + [D][u] \quad (3.5)$$

όπου x είναι ένα διάνυσμα μεταβλητών κατάστασης, u είναι ένα διάνυσμα εισόδου, y είναι το διάνυσμα εξόδου, t είναι ο χρόνος και A, B, C και D είναι συντελεστές πινάκων [7].

Η διατύπωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση της μεταβατικής εξίσωσης θερμικής αγωγιμότητας με την επιβολή ενός πλέγματος πεπερασμένων διαφορών στα

διάφορα στρώματα του δομικού στοιχείου που αναλύεται. Σε αυτή την περίπτωση, οι μεταβλητές κατάστασης είναι οι κομβικές θερμοκρασίες, οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος (εσωτερικού και εξωτερικού) είναι οι εισοδοί και οι προκύπτουσες ροές θερμότητας και στις δύο επιφάνειες είναι οι έξοδοι. Έτσι, προκύπτει ή ακόλουθη μορφή:

$$\frac{d \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix}}{dt} = [A] \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} + [B] \begin{bmatrix} T_1 \\ T_o \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$\begin{bmatrix} q_i'' \\ q_o'' \end{bmatrix} = [C] \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} + [D] \begin{bmatrix} T_1 \\ T_o \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

όπου $T_1, T_2, \dots, T_{n-1}, T_n$ είναι οι πεπερασμένες διαφορές κομβικών θερμοκρασιών, n είναι ο αριθμός των κόμβων, T_i και T_o είναι οι εσωτερικές και εξωτερικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και q_i'' και q_o'' είναι οι ροές θερμότητας [7].

Θερμική ισορροπία εξωτερικών επιφανειών:

Η θερμική ισορροπία στην εξωτερική επιφάνεια είναι:

$$q_{asol}'' + q_{LWR}'' + q_{conv}'' + q_{ko}'' = 0 \quad (3.8)$$

Όπου:

q_{asol}'' = απορροφημένη άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολίας ροής θερμότητας

q_{LWR}'' = ακτινοβολία ανταλλαγής ροής με τον αέρα και τον περιβάλλοντα χώρο

q_{conv}'' = ανταλλαγή κατακόρυφης ροής με τον εξωτερικό αέρα

q_{ko}'' = ροή θερμικής αγωγιμότητας εντός του τοίχου

Θερμική ισορροπία εσωτερικών επιφανειών:

Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της μεθόδου της θερμικής ισορροπίας είναι η εσωτερική θερμική ισορροπία που αφορά τις εσωτερικές όψεις των επιφανειών των ζωνών. Αυτό το θερμικό ισοζύγιο μοντελοποιείται γενικά σε συνδυασμό με τέσσερα συνδυασμένα στοιχεία μεταφοράς της θερμότητας:

- 1) αγωγιμότητας μέσω του δομικού στοιχείου,
- 2) συναγωγή του αέρα,
- 3) απορρόφηση και αντανάκλαση μικρού μήκους κύματος ηλιακής ακτινοβολίας και
- 4) ανταλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος.

Η θερμική ισορροπία των εσωτερικών επιφανειών ορίζεται ως:

$$q_{LWX}'' + q_{SW}'' + q_{LWS}'' + q_{ki}'' + q_{sol}'' + q_{conv}'' = 0 \quad (3.9)$$

Όπου:

q_{LWX}'' = καθαρή ανταλλαγή ροής μακρού μήκους κύματος ακτινοβολίας μεταξύ των επιφανειών των ζωνών

q_{SW}'' = καθαρή μικρού κύματος ακτινοβολία ροής στις επιφάνειες από το φωτισμό

q_{LWS}'' = μακρού μήκους κύματος ακτινοβολία ροής από τις συσκευές της ζώνης

q_{ki}'' = αγωγιμότητα ροής διαμέσου το τοίχου

q''_{sol} = εκπεμπόμενη ηλιακή ακτινοβολία ροής απορροφημένη στην επιφάνεια

q''_{conv} = ροή θερμότητας συναγωγής στον αέρα της ζώνης

Ακούσιος αερισμός:

Ο ακούσιος αερισμός συνήθως προκαλείται από το άνοιγμα και το κλείσιμο των εξωτερικών θυρών, τις χαραμάδες γύρω από τα παράθυρα και σε πολύ μικρές ποσότητες ακόμα και μέσα από τα δομικά στοιχεία. Ο αλγόριθμος υπολογισμού είναι ο ακόλουθος:

$$Infil = (I_{design})(F_{schedule})[A + B(T_{zone} - T_{odb}) + C(Windspeed) + D(Windspeed^2)]$$

Όπου:

I_{design} = είναι η παροχή όγκου του εξωτερικού αέρα (τιμή σχεδιασμού)

$F_{schedule}$ = είναι ένας συντελεστής (από 0 ως 1) χρήσης του αερισμού που καθορίζεται για κάθε ώρα της ημέρας του χρόνου από το χρήστη

Windspeed = είναι η ταχύτητα του ανέμου που επικρατεί στην περιοχή στην οποία είναι κατασκευασμένο το κτίριο

T_{zone} = είναι η θερμοκρασία του χώρου

T_{odb} = είναι η θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου του περιβάλλοντος

A, B, C, D = σταθερές

Εκούσιος αερισμός:

Ο εκούσιος αερισμός είναι η άμεση ροή του αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον σε θερμική ζώνη προκειμένου να παρέχεται κάποια ποσότητα μη μηχανικής ψύξης. Ο αλγόριθμος υπολογισμού είναι ο ακόλουθος:

$$Vent = (V_{design})(F_{schedule})[A + B(T_{zone} - T_{odb}) + C(Windspeed) + D(Windspeed^2)]$$

Όπου:

V_{design} = είναι η παροχή όγκου του εξωτερικού αέρα (τιμή σχεδιασμού)

$F_{schedule}$ = είναι ένας συντελεστής (από 0 ως 1) χρήσης του αερισμού που καθορίζεται για κάθε ώρα της ημέρας του χρόνου από το χρήστη

Windspeed = είναι η ταχύτητα του ανέμου που επικρατεί στην περιοχή στην οποία είναι κατασκευασμένο το κτίριο

T_{zone} = είναι η θερμοκρασία του χώρου

T_{odb} = είναι η θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου του περιβάλλοντος

A, B, C, D = σταθερές

Υπολογισμός σκίασης:

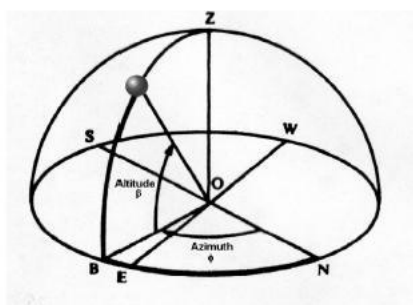
Κατά την αξιολόγηση των ηλιακών κερδών θερμότητας σε κτίρια λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε πόσο από κάθε μέρος του κτιρίου είναι σκιασμένο και πόσο είναι εκτεθειμένο στο άμεσο ηλιακό φως. Ο αλγόριθμος της σκίασης βασίζεται σε μεθόδους μετασχηματισμού συντεταγμένων [7].

Η τρέχουσα ηλιακή θέση περιγράφεται από τρία συνημίτονα κατεύθυνσης που είναι βολικά για τον καθορισμό της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια κτιρίου. Το κλασματικό έτος υπολογίζεται σε ακτίνια: $\gamma = 2\pi/366(\text{day_of_year})$.

Από αυτό το κλασματικό έτος υπολογίζεται η εξίσωση του χρόνου και η γωνία ηλιακής απόκλισης. Για κάθε χρονικό η ωριαία γωνία υπολογίζεται από:

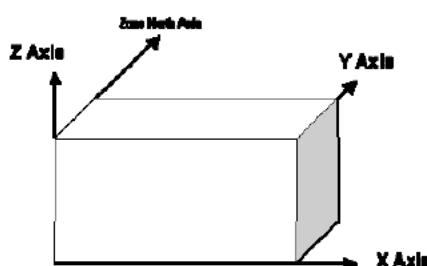
$$\text{Ωριαία γωνία} = (15(12 - (\text{Time Value} + \text{Equation Of Time})) + (\text{TimeZoneMeridian} - \text{Longitude}))$$

Η ωριαία γωνία είναι θετική πριν από το μεσημέρι και αρνητική μετά το μεσημέρι.



Εικόνα 3.16: Αναπαράσταση ηλιακής θέσης

Οι υπολογισμοί της σκίασης πρώτα απαιτούν να περιγραφούν γεωμετρικά οι επιφάνειες των κτηρίων. Οι επιφάνειες περιγράφονται από τις συντεταγμένες των κορυφών τους, σε ένα τρισδιάστατο Καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Αυτό το δεξιόστροφο σύστημα συντεταγμένων έχει τον Χ-άξονα ανατολικά, τον Υ-άξονα βόρεια και τον Ζ-άξονα προς τα πάνω όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 3.17: Σύστημα συντεταγμένων EnergyPlus [7]

Οι ολικές συντεταγμένες της ζώνης σχετίζονται με τις σχετικές συντεταγμένες με:

$$X_{zo} = X_{br} \cos \psi_b - Y_{br} \sin \psi_b \quad (3.10)$$

$$Y_{zo} = Y_{br} \sin \psi_b - Y_{br} \cos \psi_b \quad (3.11)$$

Οι κορυφές στο παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων μπορούν να μετατραπούν στο σχετικό σύστημα συντεταγμένων μιας δεδομένης επιφάνειας ως:

$$X' = X - X_{so} \quad (3.12)$$

$$Y' = Y - Y_{so} \quad (3.13)$$

$$Z' = Z - Z_{so} \quad (3.14)$$

$$X_{sr} = -X' \cos\psi + Y' \sin\psi \quad (3.15)$$

$$Y_{sr} = -X' \sin\psi \cos\varphi + Y' \cos\psi \cos\varphi + Z' \sin\varphi \quad (3.16)$$

$$Z_{sr} = -X' \sin\psi \sin\varphi + Y' \cos\psi \sin\varphi + Z' \cos\varphi \quad (3.17)$$

Οι εκφράσεις στην τελευταία σχέση είναι τα συνημίτονα κατεύθυνσης της επιφάνειας:

$$CW_1 = \sin\psi \cos\varphi \quad (3.18)$$

$$CW_2 = \cos\psi \sin\varphi \quad (3.19)$$

$$CW_3 = \cos\varphi \quad (3.20)$$

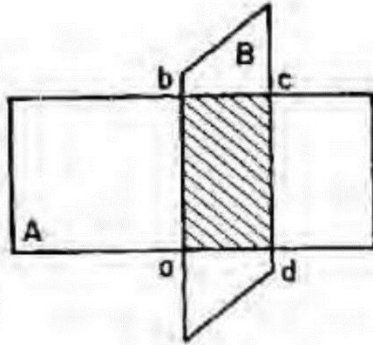
Το συνημίτονο της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του δίνεται από συνημίτονα κατεύθυνσης του ήλιου:

$$\cos\theta = CS_1 CW_1 + CS_2 CW_2 + CS_3 CW_3 \quad (3.21)$$

Αν το $\cos\theta$ είναι αρνητικό ο ήλιος είναι πίσω από την επιφάνεια.

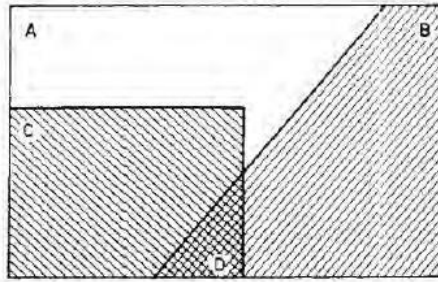
Μετά τη μετατροπή των σκιών πάνω στο το επίπεδο της ασκίαστης επιφάνειας, η βασική δουλειά του αλγορίθμου σκίασης είναι να προσδιορίσει την έκταση των επικαλύψεων μεταξύ των πολυγώνων που αναπαριστούν τις σκιές και των πολύγωνων που αναπαριστούν τις ασκίαστες επιφάνειες [7].

Μόλις καθοριστούν οι κορυφές, πρέπει να ταξινομηθούν με τη φορά του ρολογιού για την περιοχή που υπολογίζεται. Λαμβάνοντας υπόψη ένα κλειστό, επίπεδο πολύγωνο με η διαδοχικές κορυφές $(x_1, y_1), (x_2, y_2) \dots, (x_n, y_n)$, η περιοχή όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα.



Εικόνα 3.18: Επικαλυπτόμενες επιφάνειες [7]

Εάν δύο σκιές επικαλύπτουν την ίδια επιφάνεια, μπορούν επίσης να επικαλύπτονται μεταξύ τους, όπως στην εικόνα που ακολουθεί. Οι περιοχές αυτής της επικάλυψης μπορούν να υπολογιστούν. Η ολική επιφάνεια που δεν σκιάζεται μπορεί να εκφραστεί ως το άθροισμα όλων των περιοχών των πολύγωνων αφού δοθεί κατάλληλη ένδειξη για κάθε περιοχή.



Εικόνα 3.19: Πολλαπλές επικαλύψεις σκίασης [7]

Ηλιακά κέρδη:

Τα συνολικά ηλιακά κέρδη σε μια εξωτερική επιφάνεια είναι συνδυασμός της απορρόφησης της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας που δίνεται από τον τύπο:

$$Q_{so} = a \left(I_b \cos\theta \frac{S_s}{S} + I_s F_{ss} + I_g F_{sg} \right) \quad (3.22)$$

Όπου:

a = ηλιακή απορρόφηση της επιφάνειας

S = εμβαδόν επιφάνειας

S_s = εμβαδόν ασκίαστης επιφάνειας

I_b = ένταση της άμεσης δέσμης ακτινοβολίας

I_s = ένταση της διάχυτης ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα

I_g = ένταση της διάχυτης ακτινοβολίας από το έδαφος

F_{ss} = συντελεστής γωνίας μεταξύ της επιφάνειας και της ατμόσφαιρας

F_{sg} = συντελεστής γωνίας μεταξύ της επιφάνειας και του εδάφους

Κλιματικά δεδομένα:

Τα αρχεία των κλιματικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση κτιρίων στο EnergyPlus καλύπτουν τόσο ένα τυπικό κλιματικό έτος όσο και ειδικές τυπικές ημέρες σχεδιασμού (ακραία κλιματικά δεδομένα) για τον υπολογισμό των μέγιστων φορτίων (φορτία σχεδιασμού) που χρησιμοποιούνται στη διαστασιολόγηση των διάφορων συστημάτων HVAC (λέβητες, καυστήρες, αντλίες θερμότητας) καθώς και του δευτερογενούς εξοπλισμού (αντλίες, ανεμιστήρες). Επίσης περιέχουν πληροφορίες για διάφορες παραμέτρους της εξεταζόμενης περιοχής όπως για την ωριαία θερμοκρασία, ωριαία υγρασία, ωριαία ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου, ωριαία ατμοσφαιρική πίεση και ωριαία ηλιακή ακτινοβολία.

Τα κλιματικά αρχεία που είναι διαθέσιμα για την χώρα μας είναι της μορφής IWEC (International Weather for Energy Calculation) και είναι το αποτέλεσμα του ASHRAE Research Project 1015 που εκτελέστηκε από την ASHRAE Technical Committee 4.2 [8]. Η δημιουργία των αρχείων IWEC πραγματοποιήθηκε σε δυο στάδια. Πρώτα, συλλέχθηκαν κλιματικά δεδομένα 18 ετών από το National Climatic Data Center, Asheville, NC. Έπειτα τα δεδομένα αυτά επεξεργάστηκαν και προέκυψαν δώδεκα τυπικοί μετεωρολογικοί μήνες μέσω των οποίων δημιουργήθηκαν τα κλιματικά αρχεία IWEC.

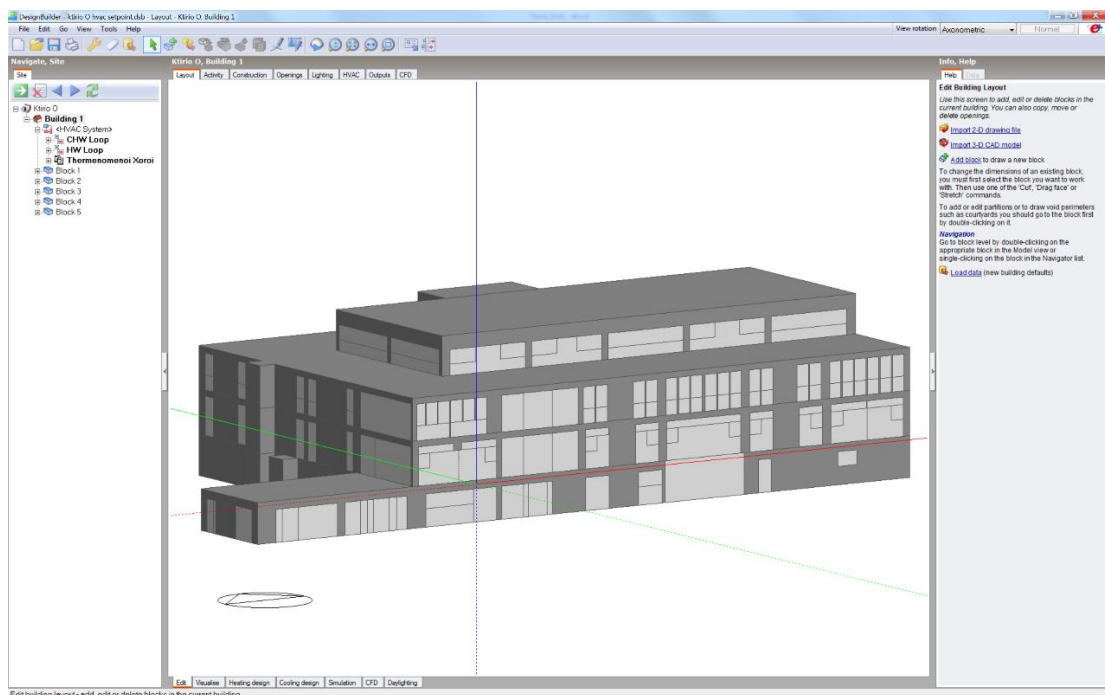
4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ‘Ο’ ΜΕΣΩ ΤΟΥ DesignBuilder ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό της παρούσας διπλωματικής παρουσιάζεται η μοντελοποίηση του Κτιρίου ‘Ο’ μέσω του λογισμικού DesignBuilder. Στην συνέχεια θα ακολουθήσει η θεώρηση του μοντέλου (validation), όπου τα αποτελέσματα των καταναλώσεων από το λογισμικό θα συγκριθούν με αυτά των πραγματικών μετρήσεων που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 2. Με αυτό τον τρόπο θα παρατηρηθεί κατά πόσο το μοντέλο ακολουθεί την πραγματική κατάσταση πράγμα αναγκαίο για να συνεχιστεί η περαιτέρω μελέτη του Κτιρίου ‘Ο’ μέσω του μοντέλου.

4.1. Μοντελοποίηση του Κτιρίου ‘Ο’

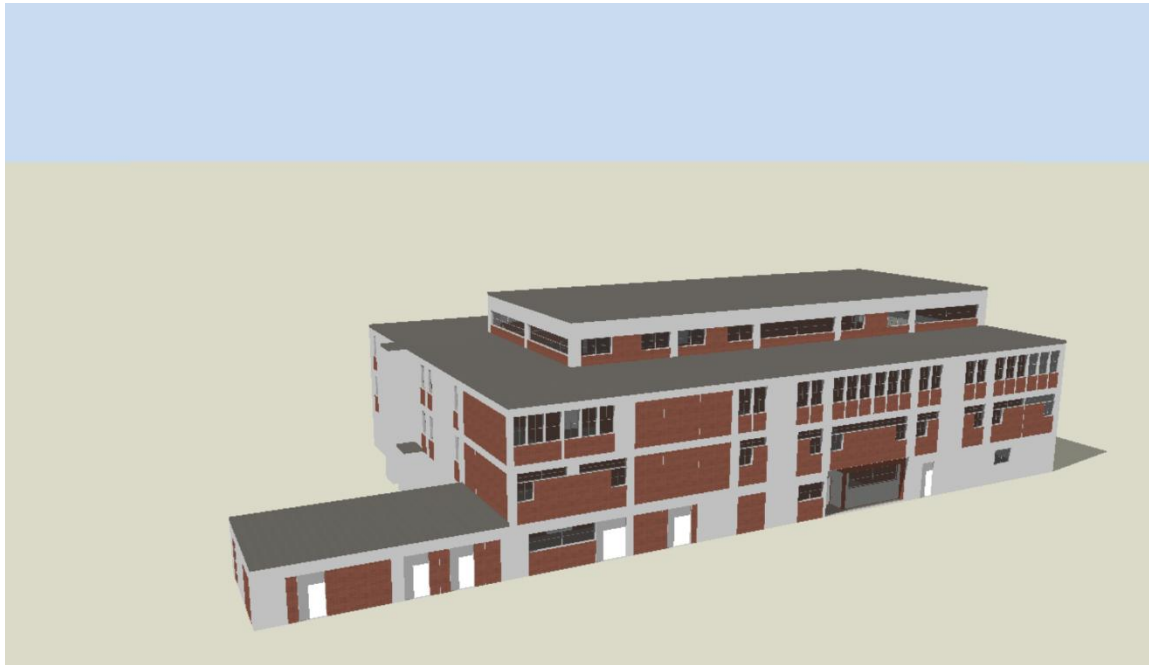
4.1.1. Κτιριακό κέλυφος

Η μοντελοποίηση του κτιριακού κελύφους γίνεται ακολουθώντας πιστά τα αρχιτεκτονικά σχέδια του Κτιρίου ‘Ο’. Ακολουθούν εικόνες του κτιρίου από το λογισμικό για όλο το κτίριο αρχικά και κάποιες από τους εσωτερικούς χώρους στη συνέχεια.

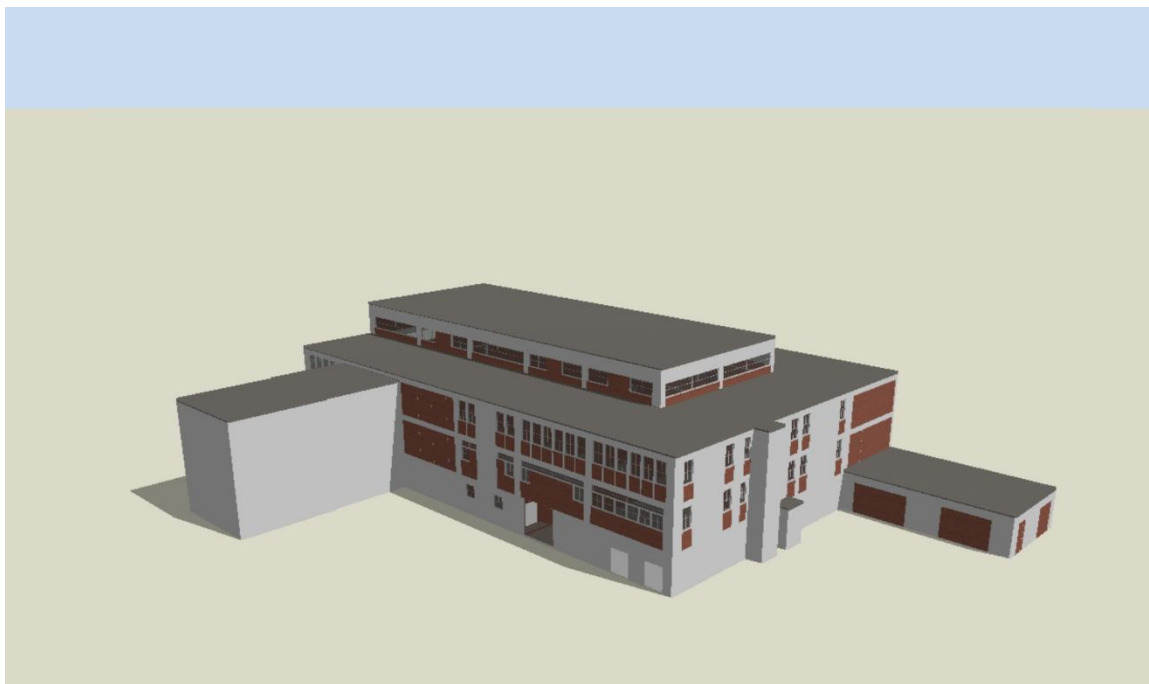


Εικόνα 4.1: Κτίριο ‘Ο’

Στην εικόνα που προηγήθηκε εκτός του ότι φαίνεται όλη η κατασκευή του Κτιρίου 'Ο', διακρίνονται επίσης και οι περιοχές υλικών του κτιρίου. Το σκούρο γκρι χρώμα είναι η περιοχή που καλύπτεται από μπετόν, ενώ το ανοιχτό γκρι η περιοχή του πληρωτικού υλικού, δηλαδή του τούβλου. Για μεγαλύτερη ευκρίνεια ακολουθεί η εικόνα που παράγει το DesignBuilder σαν δεδομένο εξόδου στο Visualise για το Κτίριο 'Ο':



Εικόνα 4.2: Κτίριο 'Ο' μέσω Visualise βόρεια όψη

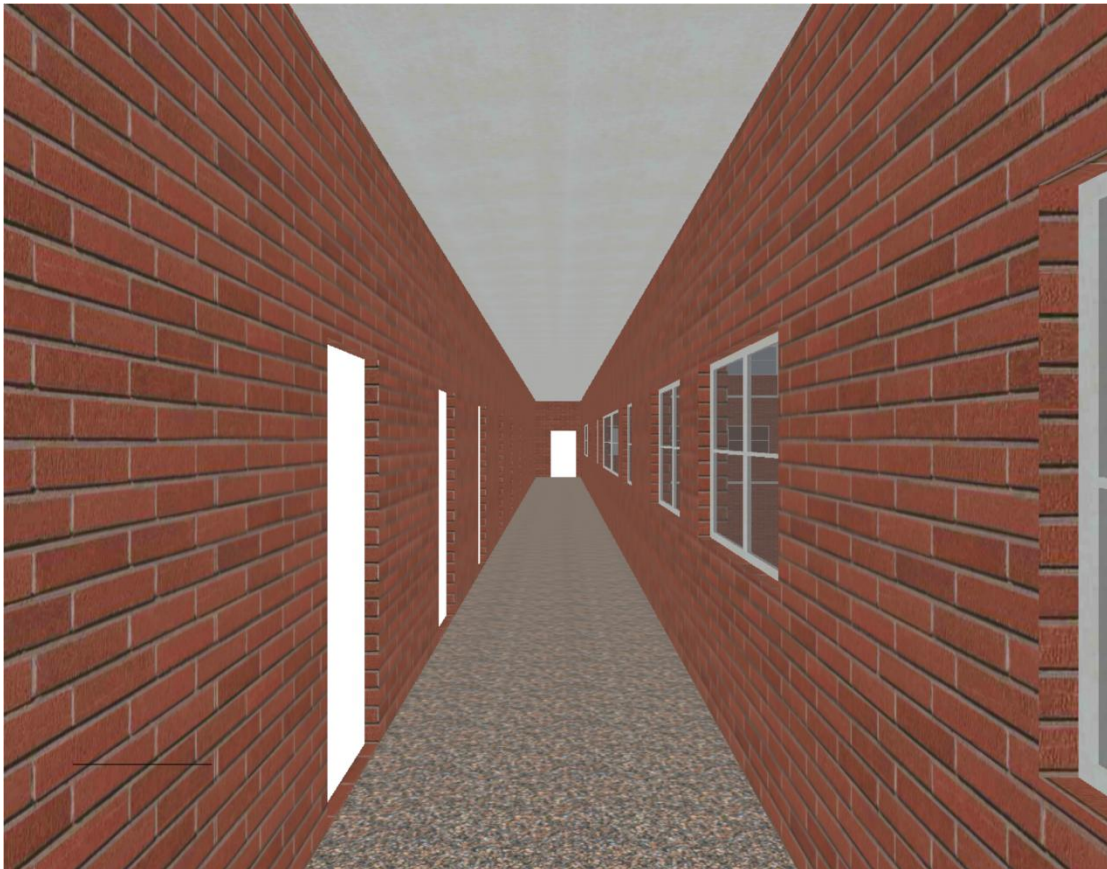


Εικόνα 4.3: Κτίριο 'Ο' μέσω Visualise νοτιοδυτική όψη

Αυτά αναφορικά με το κτιριακό κέλυφος. Ακολουθούν εικόνες από τους εσωτερικούς χώρους του Κτιρίου 'Ο' όπως σχεδιάστηκαν στο DesignBuilder.



Εικόνα 4.4: Εσωτερικός χώρος, από κεντρική ανατολική είσοδο



Εικόνα 4.5: Εσωτερικός χώρος, από διάδρομο στον 2ο όροφο



Εικόνα 4.6: Εσωτερικός χώρος, από 2ο όροφο προς κεντρική είσοδο

Να σημειωθεί ότι κανονικά η οπτοπλινθοδομή, καλύπτεται από επίχρισμα. Στην συγκεκριμένη παρουσίαση του Κτιρίου 'Ο' έχει αφαιρεθεί, απλά για καλύτερη ευκρίνεια των επιφανειών οπτοπλινθοδομή-μπετό.

4.1.2. Δομικά υλικά

Η μοντελοποίηση των δομικών υλικών είναι αρκετά απαιτητική διαδικασία εφόσον δεν αρκείται στην απλή αναφορά των υλικών των τοίχων ή των ανοιγμάτων, αλλά επιβάλλεται και η σχεδίαση στο γραφικό περιβάλλον του κτιρίου των περιοχών διαφόρων υλικών. (μπετόν, τούβλο κ.λ.π.). Οι περιοχές σχεδιασμένες απεικονίζονται στην Εικόνα 4.1.. Για τα υλικά αυτών, θα ακολουθήσει η μοντελοποίηση τους σύμφωνα με όσα λέχθηκαν στο Κεφάλαιο 1 για τα δομικά υλικά όλου του Κτιρίου 'Ο'.

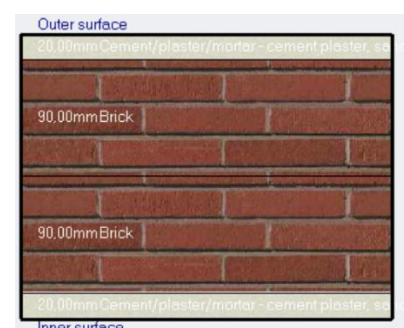
Εξωτερικοί τοίχοι:

Πρόκειται όπως φαίνεται και στο Κεφάλαιο 1 για τέσσερα στρώματα συνολικά: 2 στρώματα επιχρίσματα και 2 οπτοπλινθοδομή. Ακολουθεί ο πίνακας με τα χαρακτηριστικά τα σχετικά με την μεταφορά θερμότητας των υλικών αυτών και ύστερα η αντίστοιχη μοντελοποίησή τους μέσω του λογισμικού DesignBuilder.

	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	Cp (J/kgK)	Πάχος (m)
Επιχρίσμα	1860	0,72	840	0,02
Οπτοπλινθοδομή	1920	0,72	840	0,09

Πίνακας 4.1: Επιλογή υλικών στο DesignBuilder

Inner surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	2,152
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,540
Surface resistance (m ² -K/W)	0,130
Outer surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,130
Surface resistance (m ² -K/W)	0,040
No Bridging	
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	3,273
R-Value (m ² -K/W)	0,476
U-Value (W/m²-K)	2,103

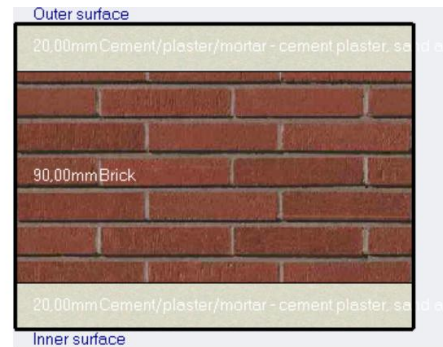


Πίνακας 4.2: Υπολογιζόμενα χαρακτηριστικά ολόκληρης της τοιχοποιίας

Εσωτερικοί τοίχοι:

Σύμφωνα με το Κεφάλαιο 1 κάποιοι εσωτερικοί τοίχοι αποτελούνται από 2 στρώματα επιχρίσματος ίδιας ποιότητας με των εξωτερικών τοίχων και 1 στρώμα οπτοπλινθοδομής και κάποιοι άλλοι τοίχοι από 2 στρώματα επιχρίσματος και 2 στρώματα οπτοπλινθοδομής. Για όσους ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία ισχύουν τα ίδια που αναφέρθηκαν στους εξωτερικούς τοίχους. Για όσους έχουν όμως 1 στρώμα οπτοπλινθοδομής τα χαρακτηριστικά τους αναγράφονται παρακάτω:

Inner surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	2,152
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,540
Surface resistance (m ² -K/W)	0,130
Outer surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,130
Surface resistance (m ² -K/W)	0,040
No Bridging	
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	5,538
R-Value (m ² -K/W)	0,351
U-Value (W/m²-K)	2,853



Πίνακας 4.3: Υπολογιζόμενα χαρακτηριστικά ολόκληρης της τοιχοποιίας

Δάπεδα:

Σύμφωνα με το Κεφάλαιο 1 πρόκειται για το κλασικό βιομηχανικό δάπεδο, το οποίο αποτελείται από την μπετονένια πλάκα και το μωσαϊκό. Τα χαρακτηριστικά τους μοντελοποιήθηκαν στο DesignBuilder όπως φαίνεται παρακάτω:

	ρ (kg/m³)	λ (W/mK)	Cp (J/kgK)	Πάχος (m)
Οπλισμένο σκυρόδεμα	2400	2,5	1000	0,15
Μωσαϊκό	2240	1,3	920	0,06

Πίνακας 4.4: Επιλογή υλικών στο DesignBuilder

Inner surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	0,342
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,540
Surface resistance (m ² -K/W)	0,170
Outer surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	4,460
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,540
Surface resistance (m ² -K/W)	0,100
No Bridging	
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	1,077
R-Value (m ² -K/W)	1,199
U-Value (W/m²-K)	0,834



Πίνακας 4.4: Υπολογιζόμενα χαρακτηριστικά ολόκληρου του δαπέδου


Οροφές-Ταράτσες:

Σύμφωνα με το Κεφάλαιο 1 πρόκειται για την κλασική βιομηχανική οροφή που αποτελείται από οπλισμένο σκυρόδεμα και τα μονωτικά υλικά. Τα χαρακτηριστικά τους μοντελοποιήθηκαν στο DesignBuilder όπως φαίνεται παρακάτω:

	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	Cp (J/kgK)	Πάχος (m)
Οπλισμένο σκυρόδεμα	2400	2,5	1000	0,15
Μονωτικά οροφής-ταράτσας	1000	0,3	1000	0,1

Πίνακας 4.5: Επιλογή υλικών στο DesignBuilder

Inner surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	4,460
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,540
Surface resistance (m ² -K/W)	0,100
Outer surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,130
Surface resistance (m ² -K/W)	0,040
No Bridging	
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	0,823
R-Value (m ² -K/W)	1,356
U-Value (W/m²-K)	0,738



Πίνακας 4.6: Υπολογιζόμενα χαρακτηριστικά ολόκληρης της οροφής-ταράτσας

Υαλοπίνακες:

Σύμφωνα με το Κεφάλαιο 1 πρόκειται για διπλό γυαλί με αλουμινένιο κούφωμα δίχως θερμοδιακοπή. Τα χαρακτηριστικά του υπολογιζόμενα στο DesignBuilder είναι τα ακόλουθα:

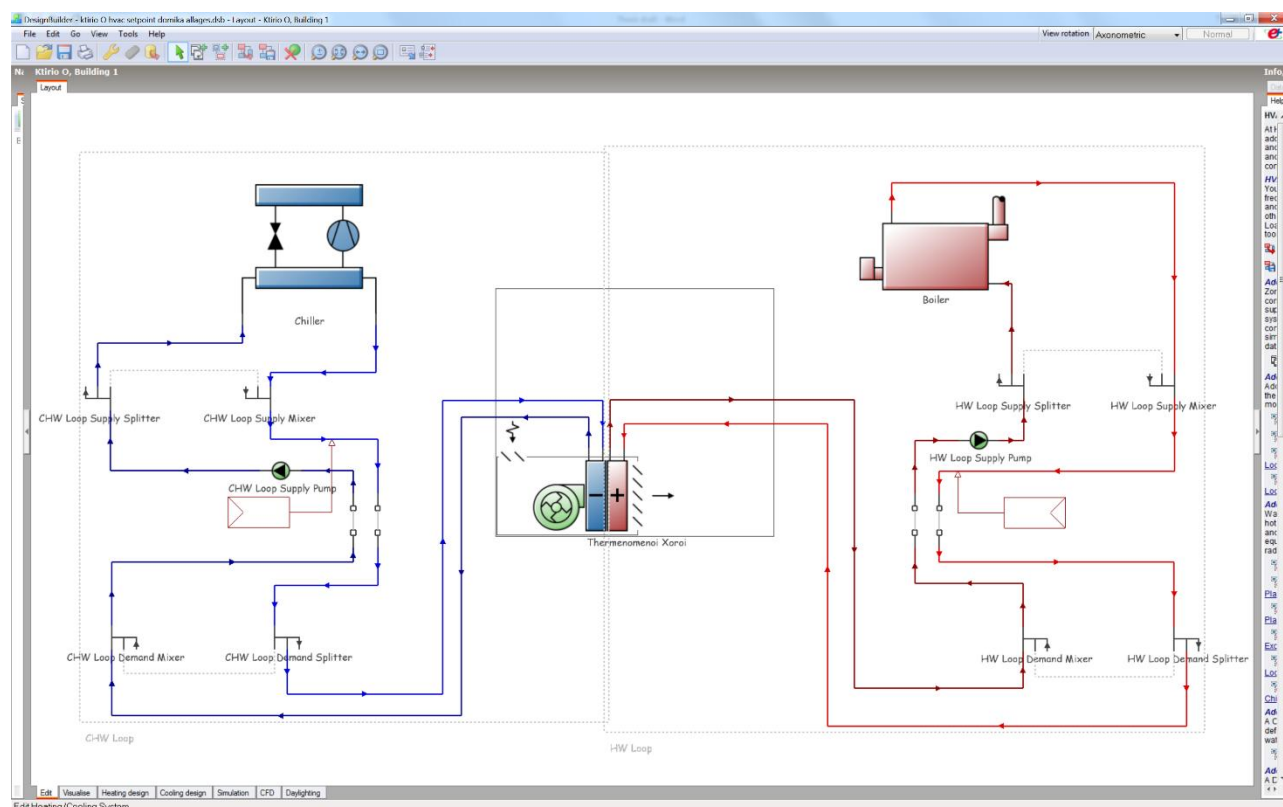
Calculated Values	
Total solar transmission (SHGC)	0,762
Direct solar transmission	0,705
Light transmission	0,812
U-value (ISO 10292/ EN 673) (W/m ² -K)	3,310
U-Value (W/m²-K)	3,159

Πίνακας 4.7: Υπολογιζόμενα χαρακτηριστικά υαλοπινάκων στο DesignBuilder

Τα υλικά κάθε στοιχείου εκλέχθηκαν από τις βιβλιοθήκες του λογισμικού DesignBuilder με σκοπό να προσεγγίζουν όσο το δυνατό καλύτερα τα χαρακτηριστικά που αναγράφονται στο Κεφάλαιο 1 κατά ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 [1] .

4.1.3. Σύστημα Θέρμανσης (HVAC)

Για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του Κτιρίου 'Ο' διατίθεται ένας λέβητας με καυστήρα φυσικού αερίου όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1. Ο λέβητας αυτός εξυπηρετεί έναν συγκεκριμένο αριθμό χώρων του κτιρίου και τα τερματικά κάθε χώρων είναι fan coil. Όλα αυτά μοντελοποιούνται στο DesignBuilder μέσω του γραφικού περιβάλλοντος που διαθέτει στο μοντέλο Detailed HVAC. Ακολουθεί η μοντελοποίηση:

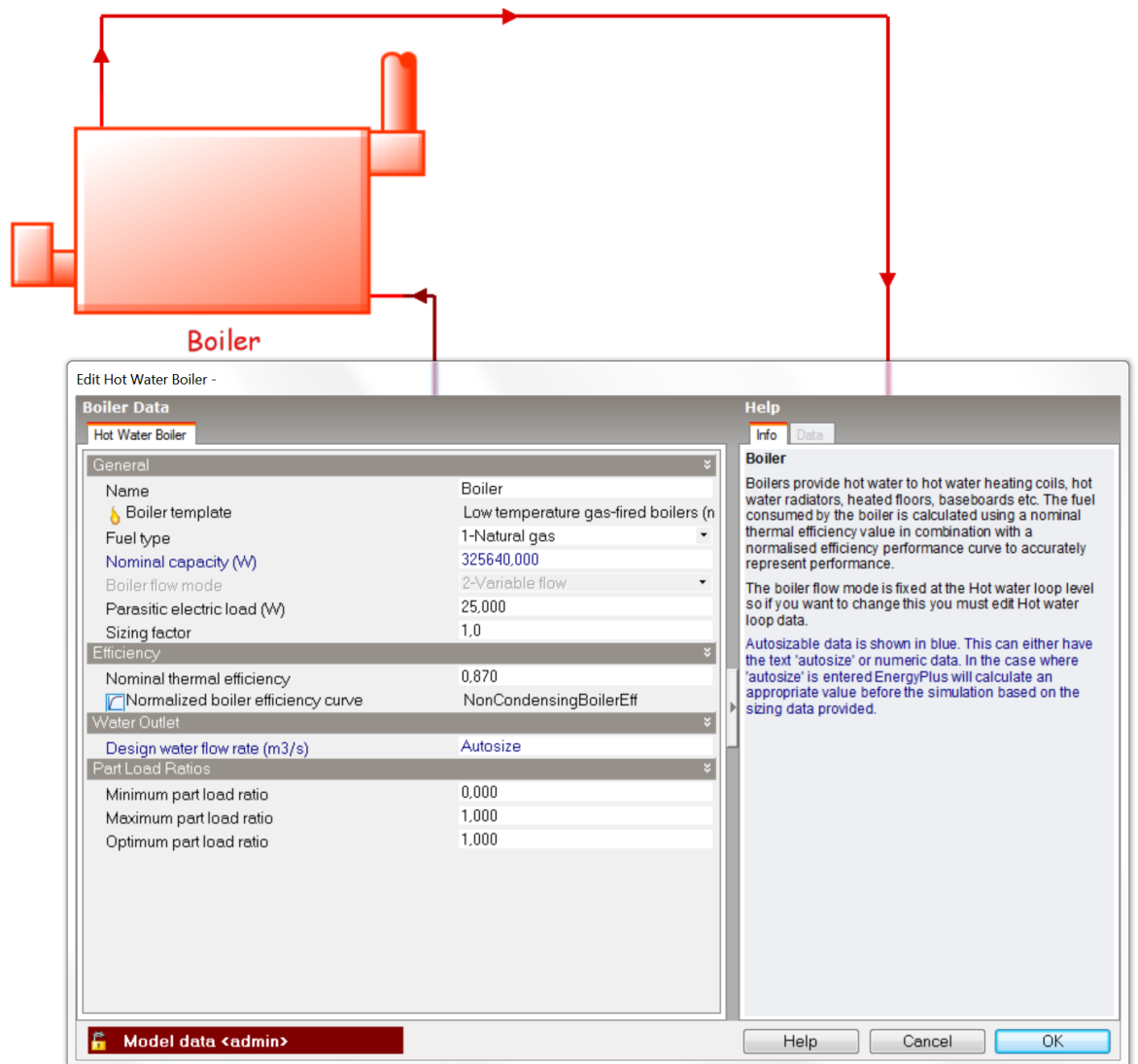


Εικόνα 4.7: Μοντελοποίηση HVAC του Κτιρίου 'Ο'

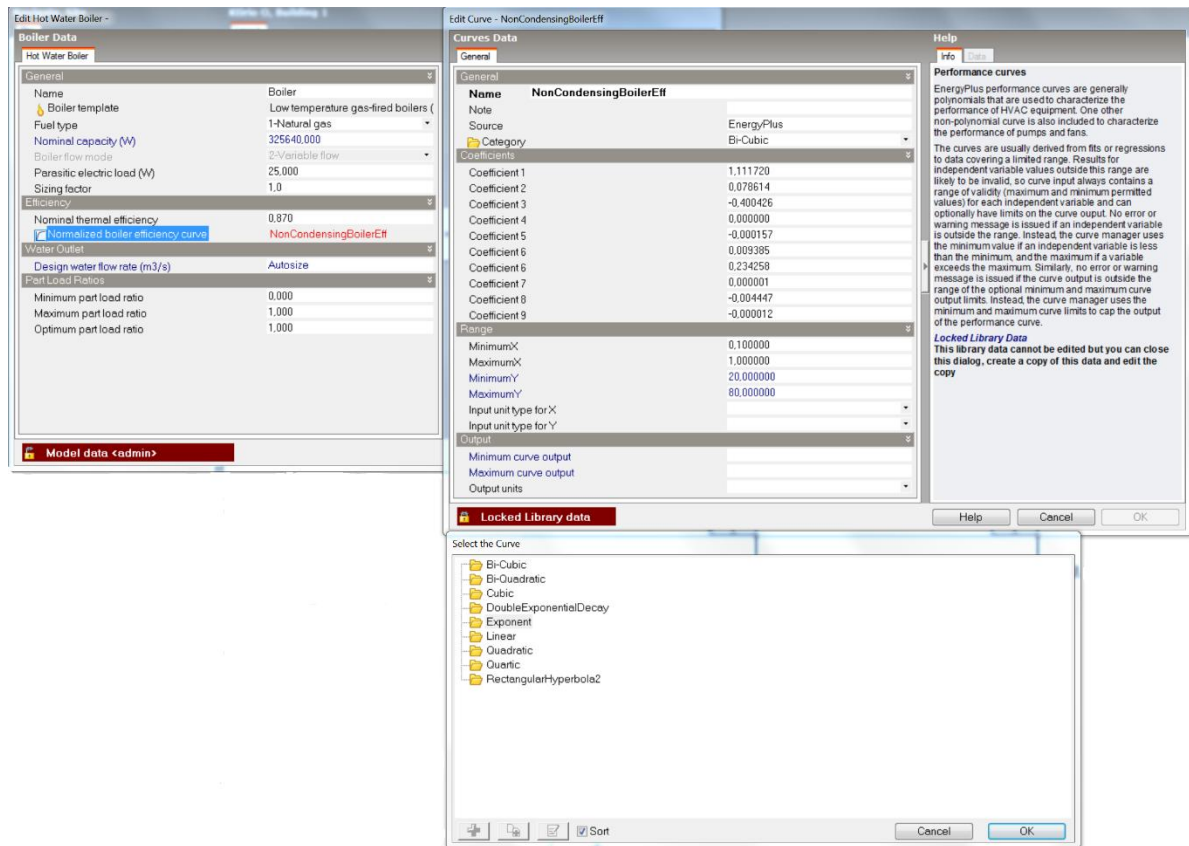
Συγκεκριμένα:

Στο κέντρο του διαγράμματος βρίσκονται οι χώροι που εξυπηρετούνται από τα συστήματα HVAC. Μέσα σε αυτούς ορίστηκε το είδος του τερματικού, δηλαδή το fan coil. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα ο λέβητας τροφοδοτεί το ένα εκ των δυο στοιχείων (coils) των fan coils και συγκεκριμένα το heating coil. Το cooling coil στο υπάρχον κτίριο δεν τροφοδοτείται από κάποιο σύστημα, αλλά το πρόγραμμα εντοπίζει πρόβλημα (error) εάν το στοιχείο αυτό δεν συνδεθεί με μια πηγή. Έτσι καθαρά για αυτό το λόγο έχει προστεθεί ένας αερόψυκτος ψύκτης νερού που φαίνεται αριστερά του σχήματος και έχει τεθεί διαθεσιμότητα στο cooling coil πλήρως ανενεργή, ώστε να μην επηρεάζει καθόλου την θέρμανση και ψύξη του κτιρίου. Δεξιά του διαγράμματος βρίσκεται ο λέβητας του κτιρίου. Όπως φαίνεται και στην παράγραφο 1.3 (Θέρμανση του Κτιρίου 'Ο'), ορίστηκε ως καύσιμο το φυσικό αέριο, ως ονομαστική ισχύς 325,64 kW και βαθμός απόδοσης όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 2 των μετρήσεων 87%. Το ωράριο διαθεσιμότητας-λειτουργίας του λέβητα ορίστηκε όπως ακριβώς παρουσιάζεται στην παράγραφο 1.3.3. της παρούσας διπλωματικής. Ένα αρκετά

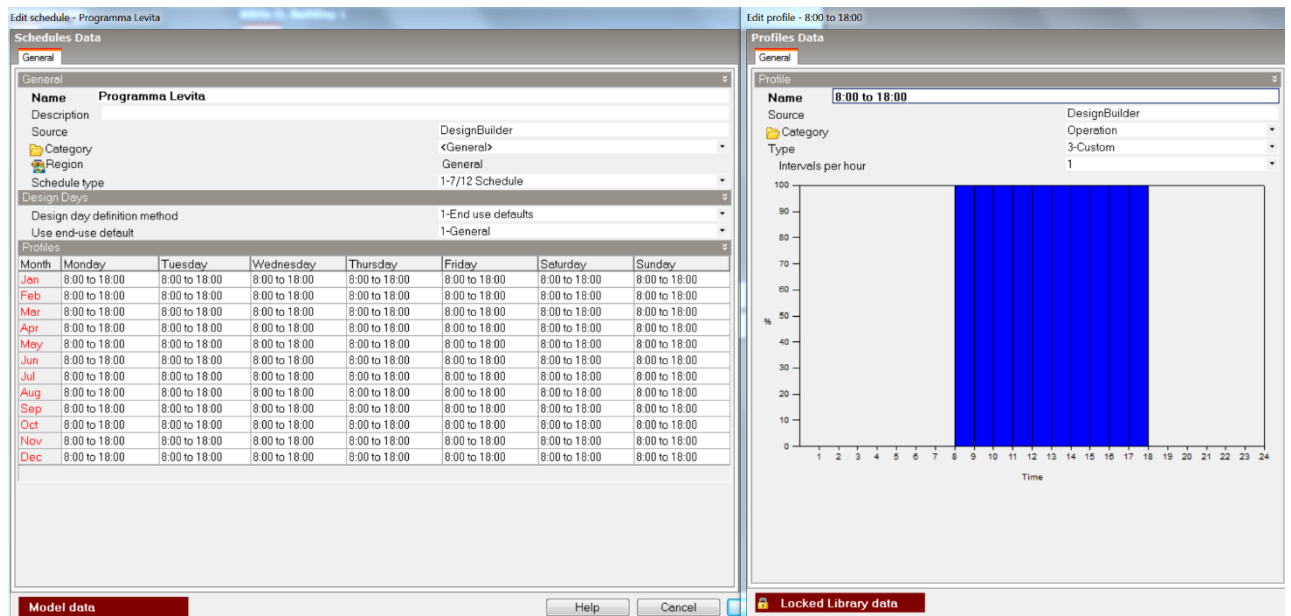
ενδιαφέρον χαρακτηριστικό στην εισαγωγής δεδομένων του λέβητα είναι η δυνατότητα επιλογής του τρόπου απόδοσης του λέβητα στα μερικά φορτία. Το DesignBuilder διαθέτει σε βιβλιοθήκη έτοιμες τέτοιες καμπύλες ώστε να επιλέγει ο χρήστης ανάλογα με την λειτουργία του λέβητα σε κάθε περίπτωση. Στην δική μας περίπτωση επιλέχθηκε καμπύλη λογαριθμικού τύπου, και φαίνεται στην εικόνα παρακάτω. Ακολουθούν εικόνες από την συμπλήρωση των δεδομένων αυτών για τον λέβητα:



Εικόνα 4.8: Συμπλήρωση στοιχείων λέβητα Κτιρίου 'Ο'



Εικόνα 4.9: Συμπλήρωση στοιχείων απόδοσης λήθρα στα μερικά φορτία/τύπος καμπύλης απόδοσης



Εικόνα 4.10: Συμπλήρωση στοιχείων προγράμματος λειτουργίας λήθρα

4.1.4. Χαρακτηριστικά χρήσης του κτιρίου

Πρόκειται για τα χαρακτηριστικά που ορίζονται κυρίως από τους χρήστες του κτιρίου και είναι τα ακόλουθα:

Κατοχή (occupancy):

Με αυτόν τον τρόπο ορίζεται στο πρόγραμμα πόσα άτομα ζουν/εργάζονται σε αυτό τον χώρο. Το δεδομένο αυτό είναι χρήσιμο καθώς το φορτίο προερχόμενο από ανθρώπους είναι σημαντικό για την θέρμανση αλλά περισσότερο για την ψύξη των χώρων. Η τιμή του δίνεται σε $\frac{\text{άτομα}}{m^2}$ και ποικίλει ανάλογα με την χρήση του κτιρίου (για παράδειγμα άλλη τιμή θα έχει μια απλή μονοκατοικία και πολύ διαφορετική ένα νοσοκομείο).

Έτοιμες τιμές υπάρχουν στο TOTEE 20701-1/2010 [9] και στη περίπτωση του Κτιρίου 'Ο', επιλέγεται για εργαστηριακή και γραφειακή χρήση τιμή:

$$occupancy = 0,11 \frac{\text{άτομα}}{m^2}$$

Φωτισμός (lighting):

Με αυτόν τον τρόπο ορίζεται στο πρόγραμμα η χρήση του φωτισμού στο κτίριο. Το θερμικό φορτίο φωτισμού αποτελεί αρκετά σημαντικό φορτίο για την θέρμανση των χώρων και επηρεάζει αρκετά την κατανάλωση θερμικής ισχύος από τον λέβητα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η τιμή του δίνεται σε $\frac{W}{m^2}$ και ποικίλει ανάλογα με την χρήση του κτιρίου.

Έτοιμες τιμές υπάρχουν κατά TOTEE [9] και στην περίπτωση του Κτιρίου 'Ο', επιλέγεται για εργαστηριακή και γραφειακή χρήση τιμή:

$$lighting = 9,6 \frac{W}{m^2}$$

Εναλλαγές αέρα ανά ώρα (ACH):

Η ελάχιστη αναγκαία ποσότητα νωπού αέρα για τον άνθρωπο ανέρχεται σε $1,8 \frac{m^3}{h}$. Για να απομακρυνθούν επιβλαβής ουσίες και οσμές οι ανάγκες αυξάνονται σε $30 \frac{m^3}{h}$ ανά άτομο. Για την απομάκρυνση της υγρασίας χρειάζονται ακόμα μεγαλύτερες ποσότητες, ανάλογα με την περίπτωση. Ο αριθμός των εναλλαγών αέρα δίνει την εναλλαγή του αέρα σε έναν χώρο σαν πολλαπλάσιο του όγκου του χώρου ανά ώρα. Η τιμή αυτή δίνεται σε $\frac{\text{εναλλαγές}}{h}$.

Στο Κτίριο 'Ο' υπάρχει μόνο φυσικός αερισμός και όχι μηχανικός όπως συμβαίνει συνήθως σε χώρους γραφείων.

Έτοιμες τιμές υπάρχουν κατά TOTEE [9] και στην περίπτωση του Κτιρίου 'Ο', επιλέγεται για εργαστηριακή και γραφειακή χρήση εύρος τιμών: $ACH = 4 - 8$

Παρόλα αυτά ύστερα από διερεύνηση διαφόρων κτιρίων αναφοράς στη διεθνή βιβλιογραφία, παρατηρήθηκε ότι οι εναλλαγές αέρα ανά ώρα σε παλαιά κτίρια που αποτελούνται κυρίως από μπετόν και φέρουν ανοίγματα με κουφώματα δίχως θερμοδιακοπή όπως συμβαίνει και στο Κτίριο 'Ο', εμφανίζονται στην πράξη ιδιαίτερα αυξημένες. Οπότε στο παρόν κτίριο θεωρήθηκε σκόπιμο οι εναλλαγές αέρα ανά ώρα να επιλεγθούν ως εξής:

$$ACH = 10 - 12$$

Θερμοκρασία θερμοστάτη:

Ορίζεται κατά ΤΟΤΕΕ [9] στους 20°C . Ύστερα από έρευνα που έγινε στους θερμαινόμενους χώρους η θερμοκρασία που ορίζεται ο θερμοστάτης στα γραφεία δεν ξεπερνούσε ποτέ τους 22°C και πολύ συχνά οριζόταν στους 20°C.

4.2. Θεώρηση (validation) του μοντέλου

Η θεώρηση του μοντέλου έχει να κάνει με την διερεύνηση του κατά πόσο το μοντέλο ακολουθεί την πραγματική κατάσταση, ή με πιο απλά λόγια πόσο επιτυχημένη είναι η προσομοίωση του Κτιρίου 'Ο'. Για την επίτευξη αυτής της διερεύνησης θα χρησιμοποιηθούν οι μετρήσεις όπως αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 2.

4.2.1. Σκοπός και μέθοδος της θεώρησης

Σκοπός του validation του κατασκευασμένου μοντέλου είναι η διερεύνηση του κατά πόσο τα αποτελέσματα σε ισχύ και κατανάλωση του μοντέλου, ακολουθούν τα μετρημένα μεγέθη του λέβητα του Κτιρίου 'Ο'. Αυτό είναι πολύ σημαντικό κομμάτι στην ολόκληρη μελέτη καθώς εφόσον το μοντέλο θεωρηθεί αξιόπιστο, στην συνέχεια μπορεί να τεθεί σε διαφόρου είδους δοκιμές και σενάρια ώστε να παραχθούν οι επιθυμητές συγκρίσεις-αποτελέσματα.

Η διαδικασία του validation έχει ως εξής:

Το DesignBuilder δίνει την δυνατότητα simulation για οποιαδήποτε χρονικά διαστήματα επιθυμεί ο χρήστης με μοναδικό περιορισμό τα διαστήματα αυτά να είναι μη διακοπτόμενα (για παράδειγμα 6 μέχρι 15 Δεκεμβρίου συνεχόμενα χωρίς να «λείπουν» ημέρες ενδιάμεσα). Οι μετρήσεις που πάρθηκαν από τον λέβητα του κτιρίου είναι αυτού του στυλ και όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο των Μετρήσεων αφορούν τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο και Απρίλιο. Οπότε το όλο σκεπτικό του validation θα κινείται γύρω από τον άξονα της διερεύνησης των μετρήσεων για τους μήνες αυτούς. Συγκεκριμένα θα γίνει διερεύνηση του κατά πόσο τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι όμοια με αυτά του simulation του μοντέλου στο λογισμικό για συγκεκριμένες ημερομηνίες των τριών μηνών που προαναφέρθηκαν. Ύστερα αφού επιβεβαιωθεί η αξιοπιστία του μοντέλου βασιζόμενη στους μήνες αυτούς, θα προχωρήσει η μελέτη για όλη την θερμαντική περίοδο.

Αρχικά θα λάβει χώρα μια επεξεργασία των μετρήσεων για τους τρεις μήνες, ώστε να μπορέσουν να συγκριθούν άμεσα με τα αποτελέσματα του λογισμικού. Στην συνέχεια θα ακολουθήσει η σύγκριση και τα αντίστοιχα σχόλια όπου κριθεί απαραίτητο.

4.2.2. Επεξεργασία μετρήσεων για τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο και Απρίλιο.

Όπως αναφέρθηκε το όλο ζήτημα του validation έχει να κάνει με την σύγκριση ισχύς και κατανάλωσης του μοντέλου με τα πραγματικά δεδομένα που μετρήθηκαν στο Κεφάλαιο 2. Οπότε η επεξεργασία των μετρήσεων έχει και αυτή να κάνει με τα μεγέθη ισχύς και κατανάλωσης και προφανώς για την επεξεργασία αυτή χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις του μετρητή ροής υπερήχων. Η επεξεργασία έγινε χρησιμοποιώντας το Microsoft Excel. Πιο συγκεκριμένα:

Όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας για τα χρονικά διαστήματα κάθε μήνα θα υπολογιστούν αθροιστικά οι καταναλώσεις ενέργειας σε [kWh]. Με αυτό τον τρόπο θα συλλεχθούν για κάθε μήνα οι καταναλώσεις ενέργειας που αντιστοιχούν σε κάθε χρονικό διάστημά του επιτρέποντας έτσι την άμεση σύγκριση με τα αποτελέσματα του DesignBuilder μέσω του simulation για τα χρονικά διαστήματα αυτά.

Όσον αφορά την ισχύ η επεξεργασία διαφέρει αρκετά. Για κάθε ημέρα κάθε χρονικού διαστήματος κάθε μήνα, θα καταγράφεται η μέγιστη και η μέση ισχύς σε [kW] που παρατηρείται στις μετρήσεις. Ύστερα θα εξετάζεται εάν αυτές οι τιμές είναι όμοιες (ή έστω αρκετά κοντά) με τις ισχύς που προκύπτουν από το simulation του μοντέλου.

Ακολουθεί η επεξεργασία των μετρήσεων για κάθε μήνα ξεχωριστά:

1^{ος} ΜΗΝΑΣ: ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ

Κατανάλωση ενέργειας:

Σε συμφωνία με το Κεφάλαιο 2 και συγκεκριμένα την παράγραφο 2.3.1. για τον μήνα Φεβρουάριο πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μέσω του μετρητή ροής για 3 χρονικά διαστήματα και περιλαμβάνουν 8 ημέρες του μήνα αυτού.

Αθροίζοντας τις καταναλώσεις ενέργειας προς θέρμανση του λέβητα για τις ημέρες του κάθε χρονικού διαστήματος, προκύπτουν τα εξής:

Διάστημα 15-17	Κατανάλωση [kWh]
15	347,6
16	636,5
17	701,6
Αθροιστικά:	1685,7

Πίνακας 4.8: Κατανάλωση ενέργειας στο διάστημα 15-17 Φεβρουαρίου 2012

Διάστημα 22-24	Κατανάλωση [kWh]
22	685,4
23	648,8
24	606,2
Αθροιστικά:	1940,4

Πίνακας 4.9: Κατανάλωση ενέργειας στο διάστημα 22-24 Φεβρουαρίου 2012

Διάστημα 28-29	Κατανάλωση [kWh]
28	1269,4
29	928,5
Αθροιστικά:	2197,9

Πίνακας 4.10: Κατανάλωση ενέργειας στο διάστημα 28-29 Φεβρουαρίου 2012

Ισχύς λειτουργίας:

Σε συμφωνία με το Κεφάλαιο 2 και συγκεκριμένα την παράγραφο 2.3.1. και όσον αφορά την ισχύ λειτουργίας, καταγράφονται οι μέγιστες και οι μέσες τιμές για τις ημέρες των χρονικών διαστημάτων του συγκεκριμένου μήνα. Οπότε προκύπτουν τα ακόλουθα:

Διάστημα 15-17	kW_{MAX}	kW_{MEAN}
15	190,16	75,59
16	193,17	92,15
17	211,47	121,45

Πίνακας 4.11: Ισχύς λειτουργίας στο διάστημα 15-17 Φεβρουαρίου 2012

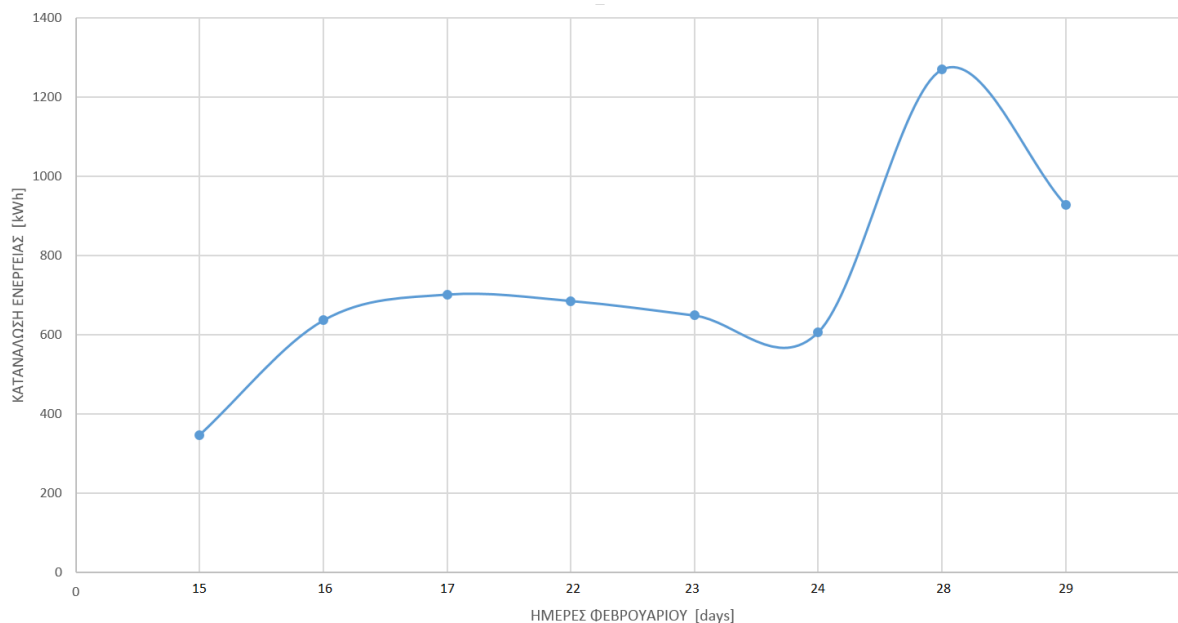
Διάστημα 22-24	kW_{MAX}	kW_{MEAN}
22	228,68	123,23
23	221,35	96,29
24	245,66	82,76

Πίνακας 4.12: Ισχύς λειτουργίας στο διάστημα 22-24 Φεβρουαρίου 2012

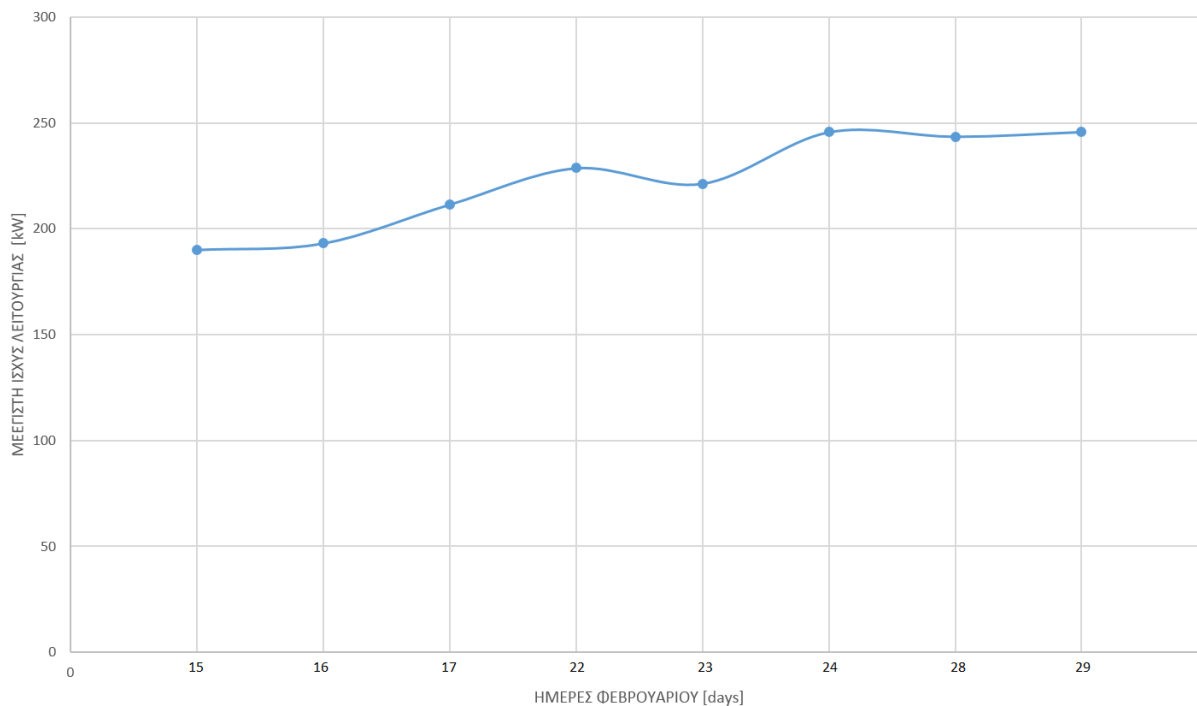
Διάστημα 28-29	kW_{MAX}	kW_{MEAN}
28	243,56	181,67
29	245,76	172,53

Πίνακας 4.13: Ισχύς λειτουργίας στο διάστημα 28-29 Φεβρουαρίου 2012

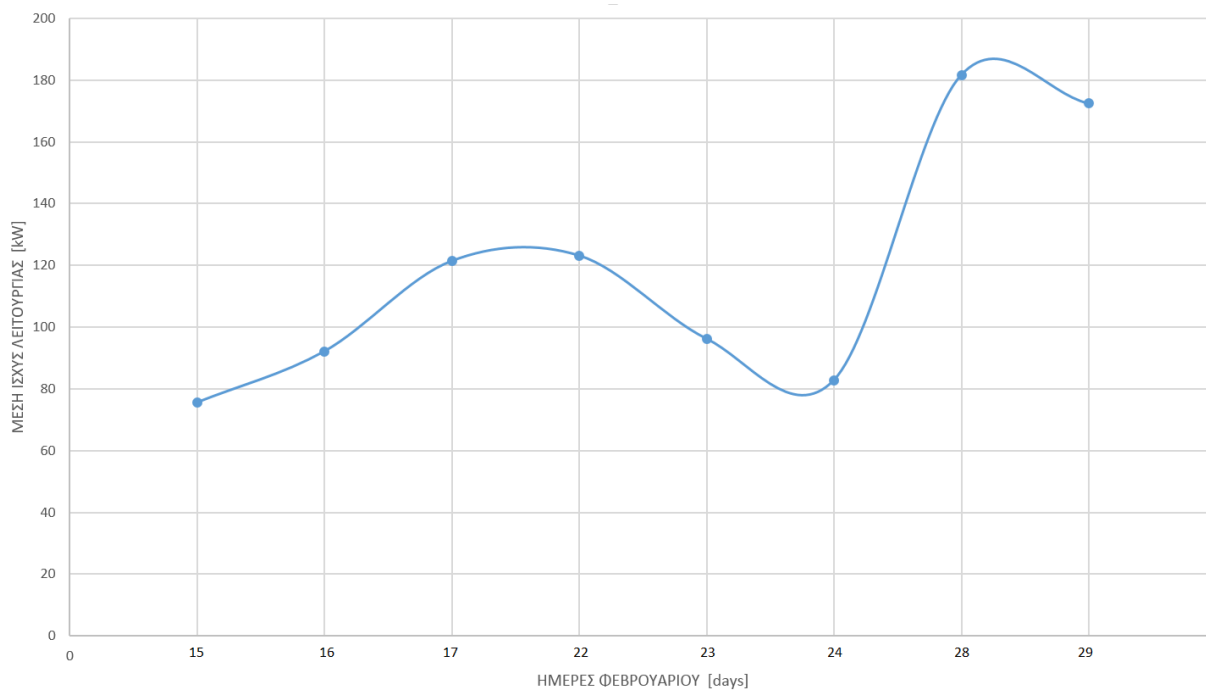
Μέσω των αποτελεσμάτων αυτών δίνεται η δυνατότητα να κατασκευαστεί ένα διάγραμμα όπου θα εμφανίζεται η μεταβολή της κατανάλωσης μέσα στον μήνα Φεβρουάριο. Το ίδιο μπορεί να συμβεί και για την μεταβολή της μέγιστης και μέσης ισχύς λειτουργίας. Ακολουθούν τα εν λόγω διαγράμματα:



Διάγραμμα 4.1: Μεταβολή κατανάλωσης ενέργειας σε kWh τον μήνα Φεβρουάριο 2012



Διάγραμμα 4.2: Μεταβολή μέγιστης ισχύς λειτουργίας σε kW τον μήνα Φεβρουάριο 2012



Διάγραμμα 4.3: Μεταβολή μέσης ισχύς λειτουργίας σε kW τον μήνα Φεβρουάριο 2012

Τα συγκεκριμένα διαγράμματα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα, καθώς με την σχηματική απεικόνιση δίνεται η δυνατότητα της καλύτερης εποπτείας της λειτουργίας του λέβητα για τον μήνα Φεβρουάριο. Στην επόμενη παράγραφο που θα λάβει χώρα το validation του προσομοιωμένου μοντέλου, θα γίνει προσπάθεια προσέγγισης των καμπυλών αυτών μέσω των αποτελεσμάτων του λογισμικού DesignBuilder για το Κτίριο 'Ο'.

2^{ος} ΜΗΝΑΣ: ΜΑΡΤΙΟΣ**Κατανάλωση ενέργειας:**

Σε συμφωνία με το Κεφάλαιο 2 και συγκεκριμένα την παράγραφο 2.3.1. για τον μήνα Μάρτιο πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μέσω του μετρητή ροής για 3 χρονικά διαστήματα και περιλαμβάνουν 27 ημέρες του μήνα αυτού.

Αθροίζοντας τις καταναλώσεις ενέργειας προς θέρμανση του λέβητα για τις ημέρες του κάθε χρονικού διαστήματος, προκύπτουν τα εξής:

Διάστημα 1-2	Κατανάλωση [kWh]
1	1446,9
2	943,0
Αθροιστικά:	2389,9

Πίνακας 4.14: Κατανάλωση ενέργειας στο διάστημα 1-2 Μαρτίου 2012

Διάστημα 5-16	Κατανάλωση [kWh]
5	1280,5
6	1135,8
7	1049,4
8	954,3
9	802,6
10	560,2
11	391,6
12	945,5
13	1115,5
14	1016,8
15	923,4
16	765,5
Αθροιστικά:	10941,1

Πίνακας 4.15: Κατανάλωση ενέργειας στο διάστημα 5-16 Μαρτίου 2012

Διάστημα 19-31	Κατανάλωση [kWh]
19	660,0
20	637,1
21	563,5
22	530,1
23	538,7
24	555,6
25	568,0
26	386,7
27	496,6
28	460,5
29	457,0
30	387,8
31	405,1
Αθροιστικά:	6646,7

Πίνακας 4.16: Κατανάλωση ενέργειας στο διάστημα 19-31 Μαρτίου 2012

Ισχύς λειτουργίας:

Σε συμφωνία με το Κεφάλαιο 2 και συγκεκριμένα την παράγραφο 2.3.1. και όσον αφορά την ισχύ λειτουργίας, καταγράφονται οι μέγιστες και οι μέσες τιμές για τις ημέρες των χρονικών διαστημάτων του συγκεκριμένου μήνα. Οπότε προκύπτουν τα ακόλουθα:

Διάστημα 1-2	kW_{MAX}	kW_{MEAN}
1	235,79	164,09
2	233,90	130,60

Πίνακας 4.17: Ισχύς λειτουργίας στο διάστημα 1-2 Μαρτίου 2012

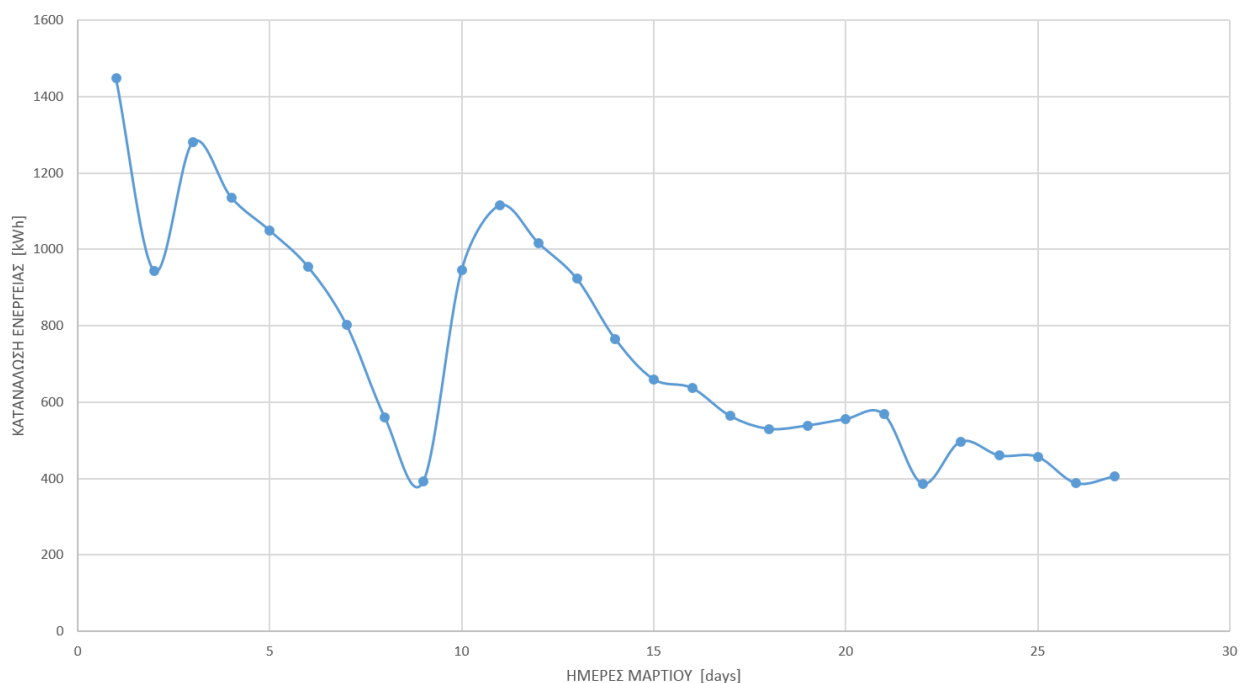
Διάστημα 5-16	kW_{MAX}	kW_{MEAN}
5	266,67	127,30
6	234,50	107,23
7	233,75	97,92
8	226,87	97,83
9	246,07	78,13
10	238,10	54,33
11	231,99	87,44
12	229,10	93,53
13	236,85	101,89
14	247,22	90,26
15	241,04	88,43
16	216,10	72,68

Πίνακας 4.18: Ισχύς λειτουργίας στο διάστημα 5-16 Μαρτίου 2012

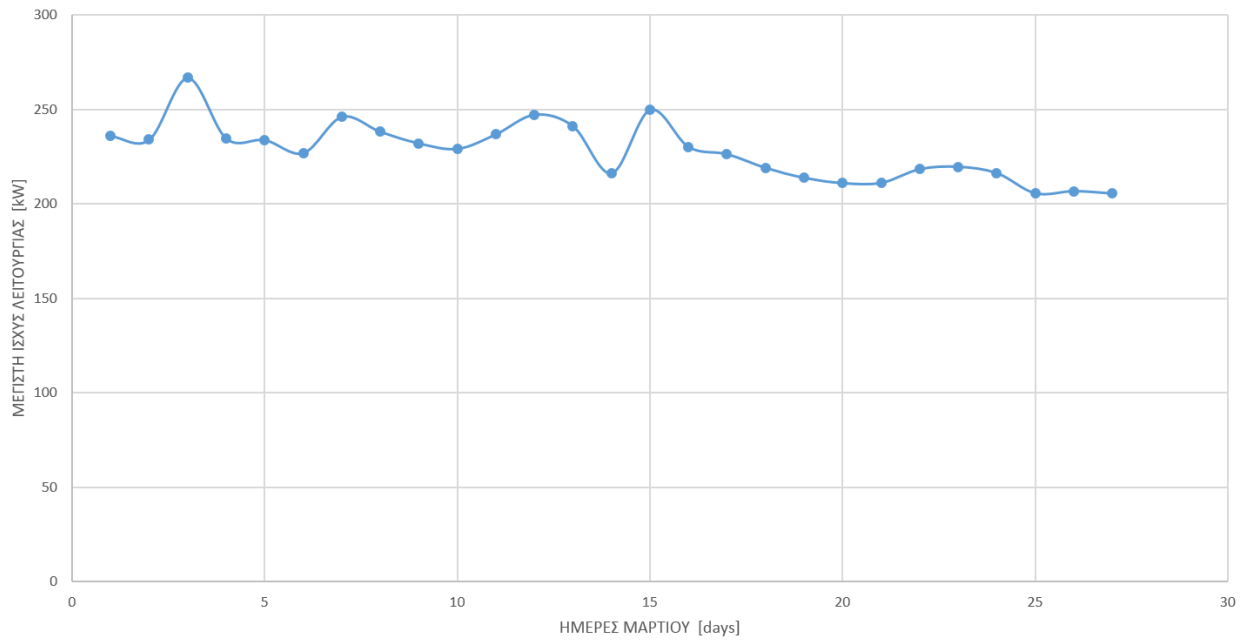
Διάστημα 19-31	kW_{MAX}	kW_{MEAN}
19	249,80	56,07
20	230,04	55,34
21	226,26	48,19
22	218,97	47,03
23	213,70	45,52
24	210,91	45,55
25	211,06	41,39
26	218,36	49,80
27	219,60	40,42
28	216,21	42,38
29	205,50	41,89
30	206,68	37,69
31	205,41	48,80

Πίνακας 4.19: Ισχύς λειτουργίας στο διάστημα 19-31 Μαρτίου 2012

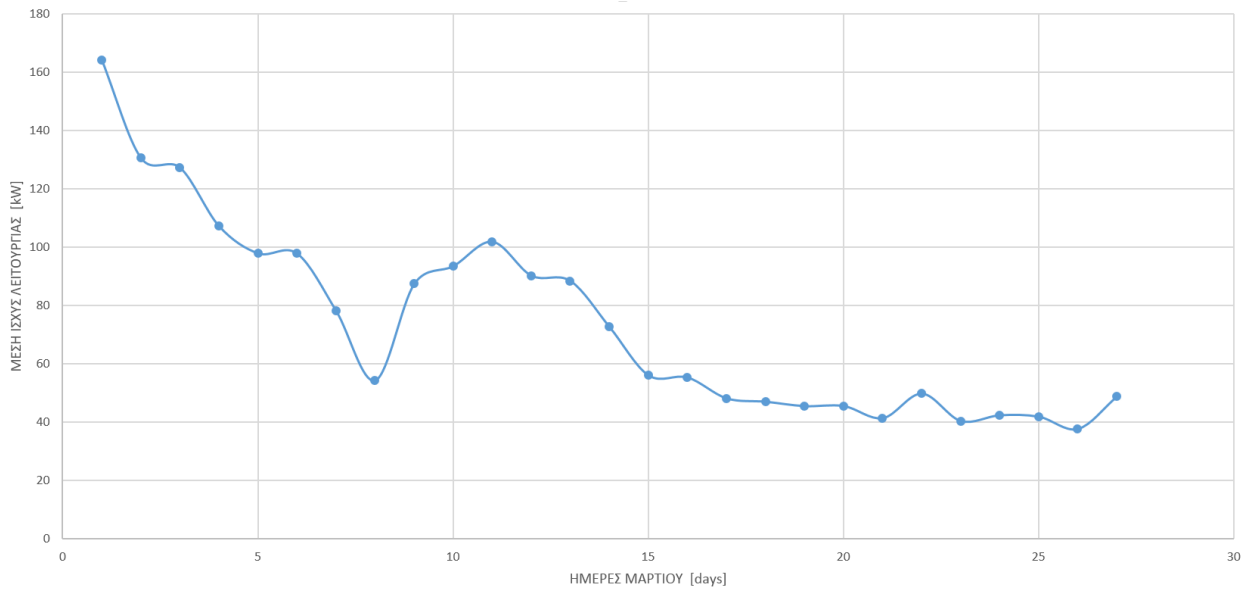
Ακολουθούν οι μεταβολές των παραπάνω τιμών απεικονισμένες διαγραμματικά:



Διάγραμμα 4.4: Μεταβολή κατανάλωσης ενέργειας σε kWh τον μήνα Μάρτιο 2012



Διάγραμμα 4.5: Μεταβολή μέγιστης ισχύς λειτουργίας σε kW τον μήνα Μάρτιο 2012



Διάγραμμα 4.6: Μεταβολή μέσης ισχύς λειτουργίας σε kW τον μήνα Μάρτιο 2012

Κατανάλωση ενέργειας:

Σε συμφωνία με το Κεφάλαιο 2 και συγκεκριμένα την παράγραφο 2.3.1. για τον μήνα Απρίλιο πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μέσω του μετρητή ροής για 1 χρονικό διάστημα και περιλαμβάνει 3 ημέρες του μήνα αυτού.

Αθροίζοντας τις καταναλώσεις ενέργειας προς θέρμανση του λέβητα για τις ημέρες του ενός χρονικού διαστήματος, προκύπτουν τα εξής:

Διάστημα 1-3	Κατανάλωση [kWh]
1	421,4
2	402,4
3	382,0
Αθροιστικά:	1205,8

Πίνακας 4.20: Κατανάλωση ενέργειας στο διάστημα 1-3 Απριλίου 2012

Ισχύς λειτουργίας:

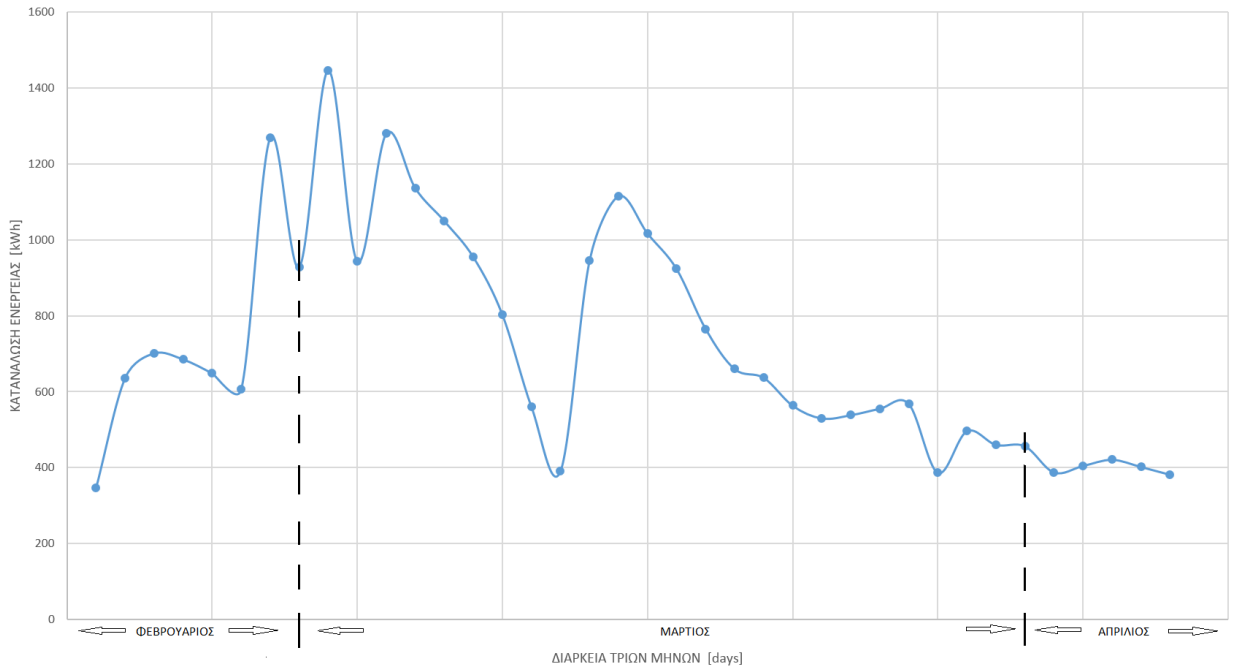
Σε συμφωνία με το Κεφάλαιο 2 και συγκεκριμένα την παράγραφο 2.3.1. και όσον αφορά την ισχύ λειτουργίας, καταγράφονται οι μέγιστες και οι μέσες τιμές για τις ημέρες των χρονικού διαστήματος του συγκεκριμένου μήνα. Οπότε προκύπτουν τα ακόλουθα:

Διάστημα 1-3	kW_{MAX}	kW_{MEAN}
1	0,76	0,20
2	96,37	10,91
3	89,20	10,29

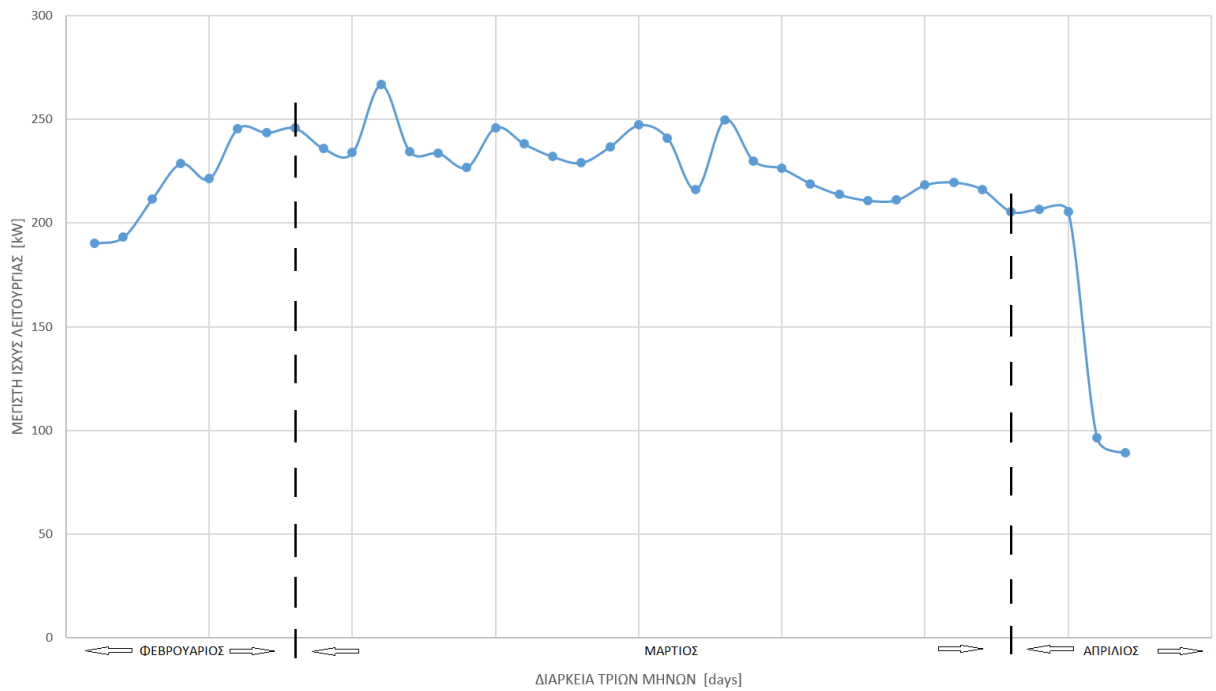
Πίνακας 4.21: Ισχύς λειτουργίας στο διάστημα 1-3 Απριλίου 2012

Αυτό που παρατηρείται στα αποτελέσματα για τον μήνα Απρίλιο είναι ότι η ισχύς λειτουργίας κινείται σε πολύ χαμηλά επίπεδα την πρώτη ημέρα του μήνα. Αυτό οφείλεται σύμφωνα με το προσωπικό του εργαστηρίου σε υπολειτουργία του λέβητα για ορισμένες ημέρες. Συγκεκριμένα η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τον λέβητα δεν ξεπερνά τους 28-30 °C πράγμα το οποίο υποδηλώνει εσφαλμένη ή έστω ανεπαρκής λειτουργίας του λέβητα. Οπότε στις συγκρίσεις που θα ακολουθήσουν στο validation τέτοιες ημέρες του μήνα Απριλίου δεν θα ληφθούν ιδιαίτερα υπόψη. Επίσης να σημειωθεί ότι λόγω του μικρού όγκου μετρήσεων του συγκεκριμένου μήνα, δεν υπάρχει νόημα κατασκευής διαγραμμάτων όπως συνέβη τον μήνα Φεβρουάριο.

ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ 3 ΜΗΝΕΣ:



Διάγραμμα 4.7: Κατανάλωση ενέργειας σε kWh στην διάρκεια των μηνών Φεβρουάριος, Μάρτιος, Απρίλιος 2012

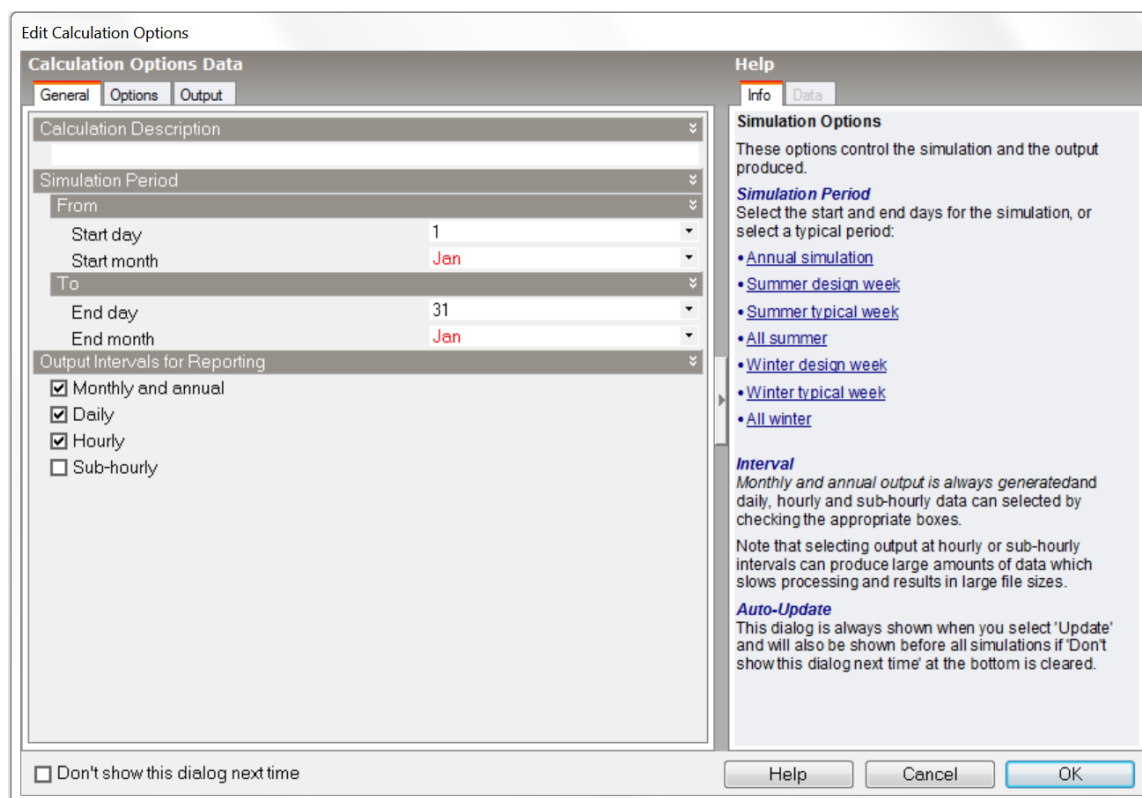


Διάγραμμα 4.8: Ισχύς λειτουργίας σε kW στην διάρκεια των μηνών Φεβρουάριος, Μάρτιος, Απρίλιος 2012

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της κατανάλωσης ενέργειας και της μέγιστης ισχύος λειτουργίας του λέβητα καθ' όλη την διάρκεια των τριών μηνών όπου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις. Αυτή η μεταβολή φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα. Ο λόγος που θεωρείτε σωστότερο να παρουσιαστεί η μεταβολή της μέγιστης αντί της μέσης ισχύος λειτουργίας είναι ότι χρήζεται ανάγκη να μελετηθεί ποια είναι η μέγιστη ισχύ που μπορεί να χρειαστεί ποτέ να λειτουργήσει ο λέβητας του Κτιρίου 'Ο'. Έτσι ώστε σε περίπτωση που θα επιχειρηθεί αντικατάσταση του υπάρχοντος λέβητα με άλλον, να μπορεί να γίνει μια πρώτη διαστασιολόγηση του νέου. Αρχικά η καμπύλη της μεταβολής της κατανάλωσης ενέργειας έχει ακριβώς την μορφή που αναμενόταν, δηλαδή τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο σχετικά υψηλή και ύστερα τον Απρίλιο όλο και χαμηλότερη, πράγμα λογικό εφόσον πρόκειται για εποχιακό μήνα άνοιξης και όχι χειμώνα. Η ίδια συμπεριφορά ακολουθείται και από την καμπύλη της μέγιστης ισχύος λειτουργίας του λέβητα, που ενώ τους πρώτους δυο μήνες κινείται σε ανώτερα επίπεδα των 200 kW, τον μήνα Απρίλιο πέφτει ακόμα και σε τιμές μικρότερες των 100 kW. Από το συγκεκριμένο διάγραμμα εξάγεται ένα ακόμα βασικότατο συμπέρασμα. Παρατηρείται ότι ο λέβητας του κτιρίου δεν λειτουργεί ποτέ σε ισχύς υψηλότερες των 266,67 kW. Οπότε όσα λέχθηκαν στην παράγραφο 1.4.2. περί υπερδιαστασιολόγησης του λέβητα του Κτιρίου 'Ο', επαληθεύτηκαν και από τις πραγματικές μετρήσεις του συστήματος. Επομένως ενισχύεται περαιτέρω το επιχείρημα της ανάγκης άμεσης αντικατάστασης του συστήματος θέρμανσης του Κτιρίου 'Ο' με ένα νέο, αποδοτικότερο και σαφώς οικονομικότερο από πλευράς κατανάλωσης καυσίμου.

4.2.3. Σύγκριση αποτελεσμάτων - Validation

Στην παράγραφο αυτή θα γίνει η παράθεση των αποτελεσμάτων του μοντέλου του Κτιρίου 'Ο' μέσω του λογισμικού DesignBuilder για τους μήνες και τις ημέρες που έχουν πραγματοποιηθεί μετρήσεις. Σκοπός αυτού όπως προαναφέρθηκε είναι η επιβεβαίωση του ότι το προσομοιωμένο μοντέλο του Κτιρίου 'Ο' «ακολουθεί» την πραγματική κατάσταση. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται το μενού του simulation στο DesignBuilder στο οποίο επιλέγεται κάθε φορά το διάστημα στο οποίο επιθυμείται να γίνει η προσομοίωση:



Εικόνα 4.11: Μενού επιλογών προσομοίωσης (simulation) στο DesignBuilder

Το λογισμικό επιτρέπει οποιοδήποτε περίοδο προσομοίωσης και επίσης επιτρέπει την επιλογή της επιθυμητής ακρίβειας στους υπολογισμούς, μέσω του βήματος που θα εμφανίσει τα αποτελέσματα της προσομοιωμένης περιόδου (μηνιαίο, ημερήσιο, ωριαίο, η και μισό του ωριαίου βήμα).

Το validation λοιπόν θα λάβει χώρα αρχικά για τους τρεις μήνες ξεχωριστά (Φεβρουάριο, Μάρτιο, Απρίλιο). Για τον κάθε μήνα θα εξεταστούν η καταναλισκόμενη ενέργεια από τον λέβητα, καθώς και η μέση και μέγιστη ισχύς λειτουργίας του. Στο τέλος θα παρουσιαστούν τα τελικά διαγράμματα περιλαμβάνοντας και για τους τρεις μήνες τόσο τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, όσο και τα μετρούμενα μεγέθη που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 4.2.2.

Οι καταναλώσεις ενέργειας που χρησιμοποιούνται είναι οι αθροισμένες για κάθε ένα εκ των τριών χρονικών διαστημάτων του μήνα Φεβρουαρίου.

Για άμεση σύγκριση παρουσιάζονται στον ίδιο πίνακα τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μαζί με τα μετρούμενα, όπως φαίνεται ακολούθως:

Διάστημα 15-17	Κατανάλωση Ενέργειας kWh	
	Μετρούμενη	DesignBuilder
	1685,7	2010,8

Πίνακας 4.22: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας στο διάστημα 15-17 Φεβρουαρίου 2012

Διάστημα 22-24	Κατανάλωση Ενέργειας kWh	
	Μετρούμενη	DesignBuilder
	1940,4	1544,1

Πίνακας 4.23: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας στο διάστημα 22-24 Φεβρουαρίου 2012

Διάστημα 28-29	Κατανάλωση Ενέργειας kWh	
	Μετρούμενη	DesignBuilder
	2197,9	2005,2

Πίνακας 4.24: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας στο διάστημα 28-29 Φεβρουαρίου 2012

Αυτό που παρατηρείται στις καταναλώσεις ενέργειας για τον μήνα Φεβρουάριο είναι μέγιστη απόκλιση της τάξης του 15,6 %. Απόκλιση φυσικά πολύ μικρή. Οι συγκρίσεις για την ισχύ λειτουργίας θα παρουσιαστούν στα τελικά διαγράμματα και των τριών μηνών στο τέλος της παραγράφου.

2^{ος} ΜΗΝΑΣ: ΜΑΡΤΙΟΣ

Οι καταναλώσεις ενέργειας που χρησιμοποιούνται είναι οι αθροισμένες για κάθε ένα εκ των τριών χρονικών διαστημάτων του μήνα Μαρτίου.

Για άμεση σύγκριση παρουσιάζονται στον ίδιο πίνακα τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μαζί με τα μετρούμενα, όπως φαίνεται ακολούθως:

Διάστημα 1-2	Κατανάλωση Ενέργειας kWh	
	Μετρούμενη	DesignBuilder
	2389,9	2191,3

Πίνακας 4.25: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας στο διάστημα 1-2 Μαρτίου 2012

Διάστημα 5-16	Κατανάλωση Ενέργειας kWh	
	Μετρούμενη	DesignBuilder
	10941,1	10946,5

Πίνακας 4.26: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας στο διάστημα 5-16 Μαρτίου 2012

Διάστημα 19-31	Κατανάλωση Ενέργειας kWh	
	Μετρούμενη	DesignBuilder
	6646,7	7801,1

Πίνακας 4.27: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας στο διάστημα 19-31 Μαρτίου 2012

Και για τον μήνα Μάρτιο η μέγιστη απόκλιση στην κατανάλωση ενέργειας είναι τις τάξης του 14,5 % ,επίσης πολύ μικρή απόκλιση.

3^{ος} ΜΗΝΑΣ: ΑΠΡΙΛΙΟΣ

Οι καταναλώσεις ενέργειας που χρησιμοποιούνται είναι οι αθροισμένες για το μοναδικό χρονικό διάστημα του μήνα Απριλίου.

Για άμεση σύγκριση παρουσιάζονται στον ίδιο πίνακα τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μαζί με τα μετρούμενα, όπως φαίνεται ακολούθως:

Διάστημα 1-3	Κατανάλωση Ενέργειας kWh	
	Μετρούμενη	DesignBuilder
	1205,8	1366,5

Πίνακας 4.28: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας στο διάστημα 1-3 Απριλίου

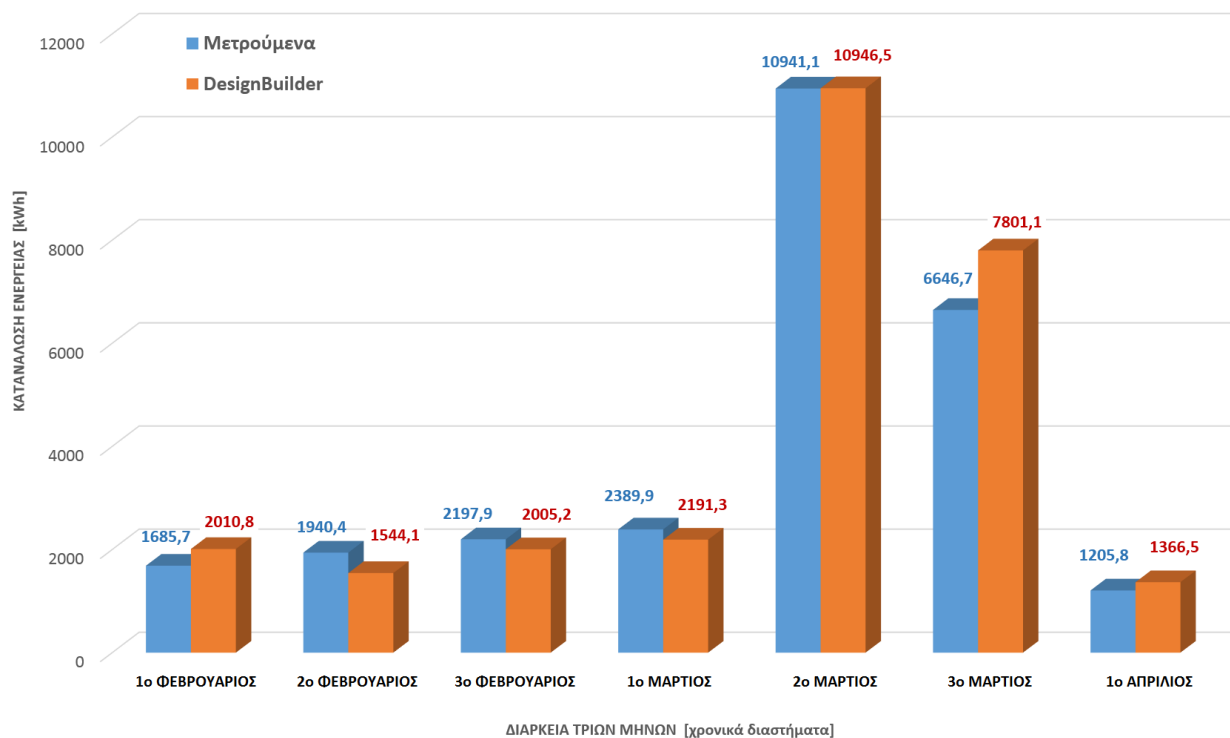
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ 3 ΜΗΝΕΣ:

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η παράθεση των αποτελεσμάτων αθροιστικά και για τους τρεις μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο και Απρίλιο. Για αυτό τον σκοπό κατασκευάστηκαν διαγράμματα που περιέχουν τις καμπύλες μεταβολής τόσο της μετρούμενης κατανάλωσης και ισχύος, όσο και τις υπολογιζόμενης από το DesignBuilder. Με αυτό τον τρόπο παρατηρώντας το πως προσεγγίζει η καμπύλη προσομοίωσης την πραγματική, δύναται να χαρακτηριστεί η προσομοίωση ακριβής ή όχι. Ακολουθούν τα εν λόγω διαγράμματα:

Κατανάλωση ενέργειας:

Όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας η σχηματική απεικόνιση έγινε χρησιμοποιώντας τις καταναλώσεις ενέργειας κάθε χρονικού διαστήματος κάθε μήνα. Θεωρήθηκε σωστότερο από την απεικόνιση των ημερήσιων καταναλώσεων για τον εξής λόγο: Το λογισμικό DesignBuilder όταν ξεκινά την προσομοίωση, θεωρεί ως εσωτερική θερμοκρασία των χώρων 5-7 βαθμούς υψηλότερη από την μηνιαία μέση που έχει καταχωρημένη στις βιβλιοθήκες του για τον συγκεκριμένο μήνα/ημέρα που ορίζεται η προσομοίωση. Ενώ η πραγματική κατάσταση δεν υπακούει κάποιον τέτοιον κανόνα, αλλά η εσωτερική θερμοκρασία των χώρων είναι συγκεκριμένη και ορίζεται από το σύστημα θέρμανσης που λειτουργεί στο κτίριο (για παράδειγμα την προηγούμενη ημέρα) και τα δομικά του υλικά (αποθηκεύουν θερμότητα όση ώρα λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης και ύστερα την αποβάλλουν στο κτίριο). Με άλλα λόγια θεωρείται πιο ακριβές από πλευράς μοντελοποίησης να συγκριθούν ενεργειακές καταναλώσεις ολόκληρων χρονικών περιόδων (έστω και μερικών ημερών), από το να συγκριθούν ημερήσιες που ενδέχεται να εισάγουν κάποιο σφάλμα ή ανακρίβεια.

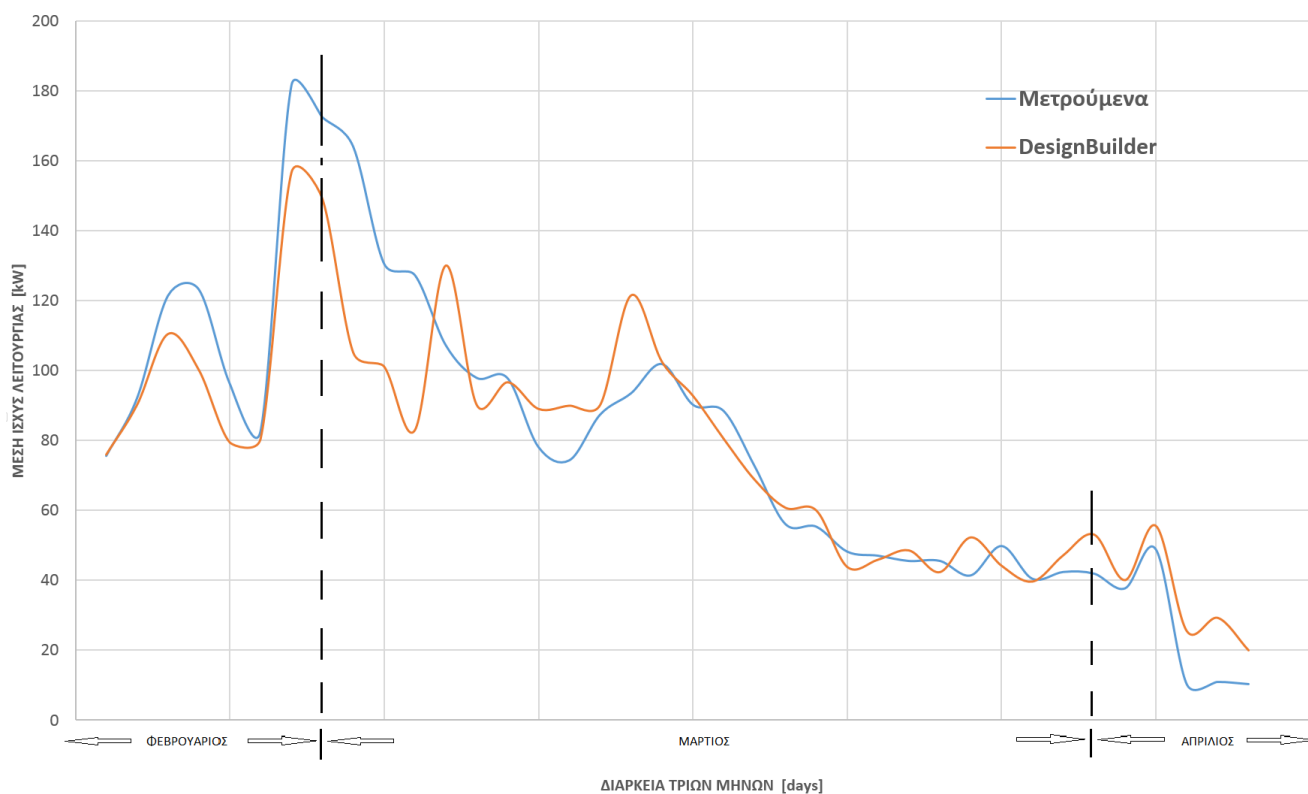
Ακολουθεί το διάγραμμα σχετικό με τις καταναλώσεις ενέργειας:



Διάγραμμα 4.9: Σύγκριση καταναλώσεων ενέργειας για τους 3 μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο, Απρίλιο

Ισχύς λειτουργίας:

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη της μέσης ημερήσιας ισχύς λειτουργίας καθώς είναι αυτή που καθορίζει σε μεγαλύτερο βαθμό την κατανάλωση του λέβητα και όχι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να εμφανιστεί και μόνο μια φορά κατά την διάρκεια μιας ημέρας. Καταγράφηκε για κάθε ημέρα η μέση ισχύς λειτουργίας του λέβητα και συγκρίνεται με τις αντίστοιχες μετρούμενες που αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο 4.2.2. για κάθε χρονικό διάστημα των τριών μηνών Φεβρουαρίου, Μαρτίου και Απριλίου. Προφανώς εφόσον υπάρχει σύγκριση αποτελεσμάτων για κάθε ημέρα, δόκιμο είναι να παρουσιαστούν τα δεδομένα διαγραμματικά και όχι πινακοποιημένα. Οπότε κατασκευάζονται στο ίδιο διάγραμμα οι δυο καμπύλες μεταβολής της μέσης ισχύος λειτουργίας του λέβητα σε ολόκληρο το χρονικό διάστημα των τριών μηνών. Αυτό που ενδιαφέρει είναι το κατά πόσο η προκύπτουσα από την προσομοίωση καμπύλη προσεγγίζει την καμπύλη των μετρήσεων. Ακολουθεί το εν λόγω διάγραμμα:

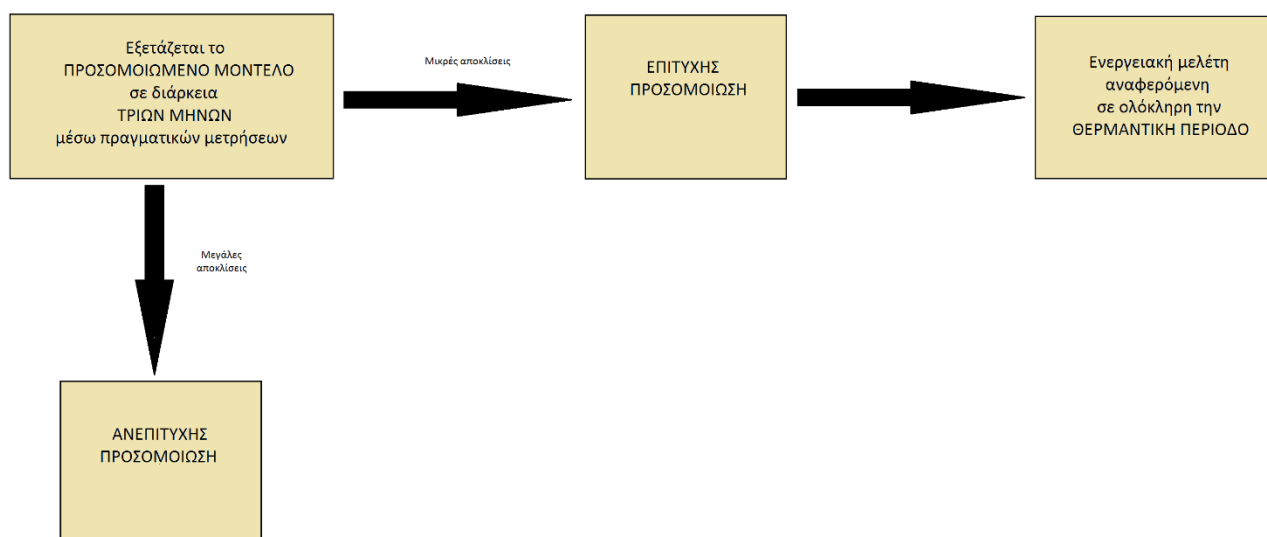


Διάγραμμα 4.10: Σύγκριση μέσης ισχύς λειτουργίας για τους 3 μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο, Απρίλιο

Σχολιασμός:

Παρατηρώντας και τα δυο τελευταία διαγράμματα απορρέει το συμπέρασμα ότι η προσομοίωση του Κτιρίου 'Ο' και του συστήματος θέρμανσής του είναι **επιτυχής**. Στο διάστημα των τριών μηνών που υπήρξαν μετρήσεις τα αποτελέσματα της προσομοίωσης τόσο σε κατανάλωση ενέργειας όσο και σε ισχύ λειτουργίας του λέβητα είναι πολύ κοντά στα πραγματικά μετρημένα μεγέθη. Πιο συγκεκριμένα η μέγιστες αποκλίσεις που εμφανίζονται είναι για την ενεργειακή κατανάλωση 14,7 % στο τρίτο διάστημα του Μαρτίου, και για την μέση ισχύ λειτουργίας 40 % στα μέσα Μαρτίου. Για την μέση ισχύ λειτουργίας να σημειωθεί ότι σε όλο το διάστημα μελέτης η απόκλιση κινείται σε ποσοστά μικρότερα του 15 %.

Το σημαντικότερο της όλης διαδικασίας του validation του προσομοιωμένου μοντέλου του Κτιρίου 'Ο' είναι το εξής: Εφόσον το μοντέλο εξετάστηκε σε περίοδο τριών μηνών και βρέθηκε ότι ακολουθεί την πραγματική κατάσταση σε πολύ καλό βαθμό, στην συνέχεια θεωρείται αξιόπιστο ώστε να χρησιμοποιηθεί για μελέτη του Κτιρίου 'Ο' για ολόκληρη την θερμαντική περίοδο. Το συγκεκριμένο σημείο είναι πολύ σημαντικό να είναι ξεκάθαρο, καθώς αποτελεί την όλη ουσία της διαδικασίας του validation που μόλις έγινε, και παρίσταται με μονογραμμικό διάγραμμα στην ακόλουθη εικόνα. Επομένως στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο θα ακολουθήσουν οι βελτιωτικές κινήσεις αναβάθμισης ή και αντικατάστασης του υπάρχοντος συστήματος θέρμανσης του Κτιρίου 'Ο', μέσω του προσομοιωμένου μοντέλου στο λογισμικό DesignBuilder. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής που θα ακολουθήσει θεωρούνται και αυτά αξιόπιστα, εφόσον έχει επιβεβαιωθεί ότι το προσομοιωμένο μοντέλο λειτουργεί σωστά και «κοντά στην πραγματική κατάσταση» μέσω της διαδικασίας του validation.



Εικόνα 4.12: Μονογραμμικό διάγραμμα της διαδικασίας του validation του προσομοιωμένου μοντέλου του Κτιρίου 'Ο'

5. ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΙΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό της παρούσας διπλωματικής λαμβάνει χώρα η μελέτη σχετικά με την θέρμανση του Κτιρίου 'Ο' για ολόκληρη την θερμαντική περίοδο η οποία ξεκινά 15 Οκτωβρίου και τελειώνει 15 Απριλίου μέσω του προσομοιωμένου μοντέλου στο DesignBuilder. Θα εφαρμοστούν διάφορα σενάρια βελτίωσης του κτιριακού κελύφους τοποθετώντας θερμομόνωση στις εξωτερικές τοιχοποιίες σε συνδυασμό με σενάρια αντικατάστασης του υπάρχοντος λέβητα με διαφορετικά συστήματα θέρμανσης. Όλες οι βελτιωτικές κινήσεις θα αξιολογηθούν στην συνέχεια οικονομικά, πράγμα που θα λάβει χώρα στο επόμενο κεφάλαιο. Χρήσιμο κρίνεται να παρουσιαστεί η υπάρχουσα κατάσταση στο Κτίριο Ο από πλευρά συστήματος θέρμανσης και κατανάλωσης ενέργειας.

5.1. Υπάρχουσα κατάσταση

Με τον όρο υπάρχουσα κατάσταση νοείται το κτιριακό κέλυφος και το σύστημα θέρμανσης του Κτιρίου 'Ο' ως έχουν, δηλαδή χωρίς καμία παρέμβαση ή βελτιωτική κίνηση. Οπότε ισχύουν όσα ακριβώς λέχθηκαν στο Κεφάλαιο 1 της παρούσας διπλωματικής, όπου συνοψίζονται (κυρίως για υπενθύμιση) ως εξής:

Το Κτίριο 'Ο' αποτελείται είναι κατασκευασμένο σε ποσοστό έως και 80 % από σκυρόδεμα (μπετόν) και το υπόλοιπο 20 % από πληρωτικό υλικό δηλαδή οπτοπλινθοδομή. Επίσης δεν περιέχει σε κανένα σημείο των εξωτερικών τοιχοποιιών θερμομόνωση. Όσον αφορά τους υαλοπίνακες, αποτελούνται από διπλό τζάμι χωρίς θερμοδιακοπή στα κουφώματά τους. Το σύστημα θέρμανσης του κτιρίου είναι ένας λέβητας ονομαστικής ισχύος 325,64 kW και βαθμού απόδοσης (που προέκυψε από μετρήσεις) της τάξης του 87 %. Ο λέβητας αυτός θερμαίνει επιφάνεια 857,57 m² με πρόγραμμα λειτουργίας καθημερινά 8:00-18:00 εκτός από Σαββατοκύριακα.

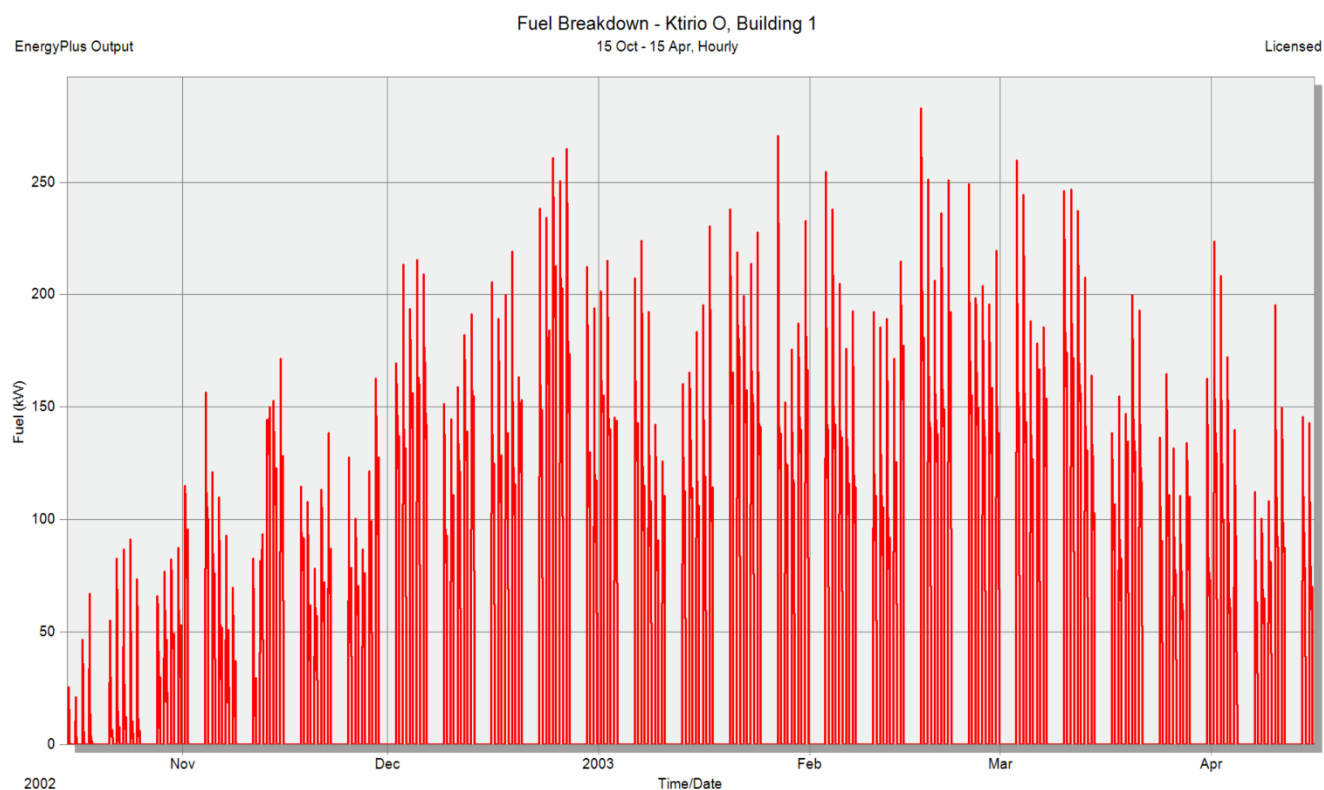
Επόμενο βήμα είναι η προσομοίωση της λειτουργίας του λέβητα στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου για την υπάρχουσα κατάσταση του Κτιρίου 'Ο'. Θεωρείται δόκιμο να παρουσιαστεί αρχικά η κατανάλωση ενέργειας και το προφίλ εύρους λειτουργίας του λέβητα για τους έξι μήνες της θερμαντικής περιόδου προτού παρουσιαστούν τα σενάρια αναβάθμισης του συστήματος θέρμανσης του κτιρίου, ώστε να υπάρχει ξεκάθαρη εικόνα των σημείων που στοχεύουν να βελτιώσουν τα συγκεκριμένα σενάρια αναβάθμισης.

Ακολουθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την θερμαντική περίοδο δηλαδή 15 Οκτωβρίου μέχρι και 15 Απριλίου για την υπάρχουσα κατάσταση του Κτιρίου 'Ο':

	Κατανάλωση Ενέργειας [kWh]
Οκτώβριος	3129,98
Νοέμβριος	16376,30
Δεκέμβριος	32333,11
Ιανουάριος	31863,33
Φεβρουάριος	29674,75
Μάρτιος	26995,18
Απρίλιος	10502,38
Συνολικά:	150875,02

Πίνακας 5.1: Κατανάλωση ενέργειας για όλη την θερμαντική περίοδο, Υπάρχουσα Κατάσταση

Οπότε για την υπάρχουσα κατάσταση η συνολική κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται στις 150875,02 kWh, τιμή σχετικά υψηλή. Το επόμενο διάγραμμα εμφανίζει μεγάλο ενδιαφέρον και απεικονίζει την διακύμανση της ισχύος λειτουργίας για κάθε ημέρα της θερμαντικής περιόδου. Από το συγκεκριμένο γράφημα ζητούμενο δεν είναι η μελέτη της κάθε ημέρας (μειωμένη ευκρίνεια λόγω τεράστιου όγκου δεδομένων) αλλά η γενική εικόνα της λειτουργίας του λέβητα. Επίσης το συγκεκριμένο διάγραμμα παίζει καθοριστικό ρόλο σε κάποια από τα σενάρια αντικατάστασης του λέβητα του Κτιρίου 'Ο' που θα ακολουθήσουν.



Διάγραμμα 5.1: Διακύμανση ισχύος λειτουργίας για όλη την θερμαντική περίοδο, Υπάρχουσα Κατάσταση

5.2. Σενάρια τοποθέτησης θερμομόνωσης

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 1.4.1. η ύπαρξη θερμομόνωσης στις εξωτερικές τοιχοποιίες παίζει καθοριστικό ρόλο στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από το σύστημα θέρμανσης ενός κτιρίου. Έτσι και στο Κτίριο 'Ο' διερευνάται η συμβολή της τοποθέτησης θερμομόνωσης στην ενεργειακή κατανάλωση και την ισχύ λειτουργίας του λέβητα.

Υπάρχουν πολλά είδη μόνωσης για τοιχοποιίες και στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης επιλέγονται να χρησιμοποιηθούν οι εξής:

1. Εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS)
2. Διογκωμένη πολυστερίνη (EPS)
3. Πετροβάμβακας (Rockwool)
4. Κυτταρίνη (Cellulose)

Οι θερμοφυσικές ιδιότητες των τεσσάρων υλικών της μόνωσης που θα τοποθετηθούν στο κτίριο αναγράφονται στον ακόλουθο πίνακα:

	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	C_p (J/kgK)	Πάχος (m)
Εξηλασμένη Πολυστερίνη	35	0,030	1400	0,05
Διογκωμένη Πολυστερίνη	25	0,035	1400	0,05
Πετροβάμβακας	40	0,038	840	0,05
Κυτταρίνη	43	0,042	1380	0,05

Πίνακας 5.2: Θερμοφυσικές ιδιότητες μονωτικών υλικών που επιλέχθηκαν

Στο στάδιο της κατασκευής ενός κτιρίου, η μόνωση τοποθετείται «εσωτερικά» τόσο στον φέροντα οργανισμό (μπετόν) όσο και στο πληρωτικό υλικό (οπτοπλινθοδομή). Αυτό σημαίνει ότι για τον φέροντα οργανισμό η μόνωση τοποθετείται πάνω στο μπετόν και ύστερα καλύπτεται με επίχρισμα ή στρώση βαφής, ενώ για την οπτοπλινθοδομή τοποθετείται ενδιάμεσα των δύο στρώσεων τούβλου.

Παρόλα αυτά εφόσον το ζήτημα είναι να εξεταστούν πραγματικά σενάρια παρεμβάσεων και όχι θεωρητικά, στο Κτίριο Ο θα εξεταστεί η τοποθέτηση εξωτερικής μόνωσης τόσο στον φέροντα οργανισμό όσο και στο πληρωτικό υλικό.

Η τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης δεν αποτελείται μόνο από μόνωση και επίχρισμα αλλά από τα εξής διαδοχικά υλικά με σειρά από το εσωτερικότερο προς το εξωτερικότερο υλικό:

- Κόλλα θερμομονωτικών πλακών
- Θερμομόνωση (μια εκ των τεσσάρων που αναφέρθηκαν)
- Πλέγμα συγκράτησης (όπως υαλόπλεγμα)
- Βύσματα για μηχανική στερέωση
- Επίχρισμα (σοβάς) σε μορφή πάστας

Η θερμομόνωση τοποθετείται μόνο στις εξωτερικές τοιχοποιίες. Στα δάπεδα δεν έχει νόημα η τοποθέτηση μόνωσης εφόσον όλοι οι όροφοι γειτνιάζουν με θερμαινόμενους χώρους. Επίσης δεν τοποθετείται ούτε στις οροφές διότι υπάρχουν ήδη μονωτικά υλικά (παράγραφος 1.2.4.).

Η διερεύνηση της τοποθέτησης των μονώσεων έγινε στο προσομοιωμένο μοντέλο στο DesignBuilder το οποίο επιτρέπει τον άμεσο υπολογισμό της θερμικής διαπερατότητας κάθε τοιχοποιίας. Αυτό δίνει μια πλήρη εικόνα της προσπάθειας βελτίωσης της κατάστασης του Κτιρίου 'Ο' σε επίπεδο δομικών υλικών ακόμα και όχι συστήματος θέρμανσης.

Ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας σχετικά με τα σενάρια μόνωσης:

	Θερμική Διαπερατότητα $U \left[\frac{W}{m^2K} \right]$				
	Χωρίς παρεμβάσεις	Εξηλασμένη Πολυστερίνη	Διογκωμένη Πολυστερίνη	Πετροβάμβακας	Κυτταρίνη
Φέρον οργανισμός	3,717	0,509	0,580	0,620	0,672
Οπτοπλινθοδομή	2,103	0,461	0,518	0,550	0,590

Πίνακας 5.3: Θερμική διαπερατότητα υπολογιζόμενη μετά τις παρεμβάσεις για τις δυο εξωτερικές τοιχοποιίες

Εμφανώς η εξηλασμένη πολυστερίνη είναι το μονωτικό υλικό που επιφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα καθαρά από πλευράς θερμομόνωσης (εμφανίζει τον μικρότερο αριθμό U). Παρόλα αυτά θα ακολουθήσει οικονομική αξιολόγηση της κάθε παρέμβασης σε επόμενο κεφάλαιο, ώστε να επιλεγθεί το καταλληλότερο μονωτικό υλικό προς χρήση.

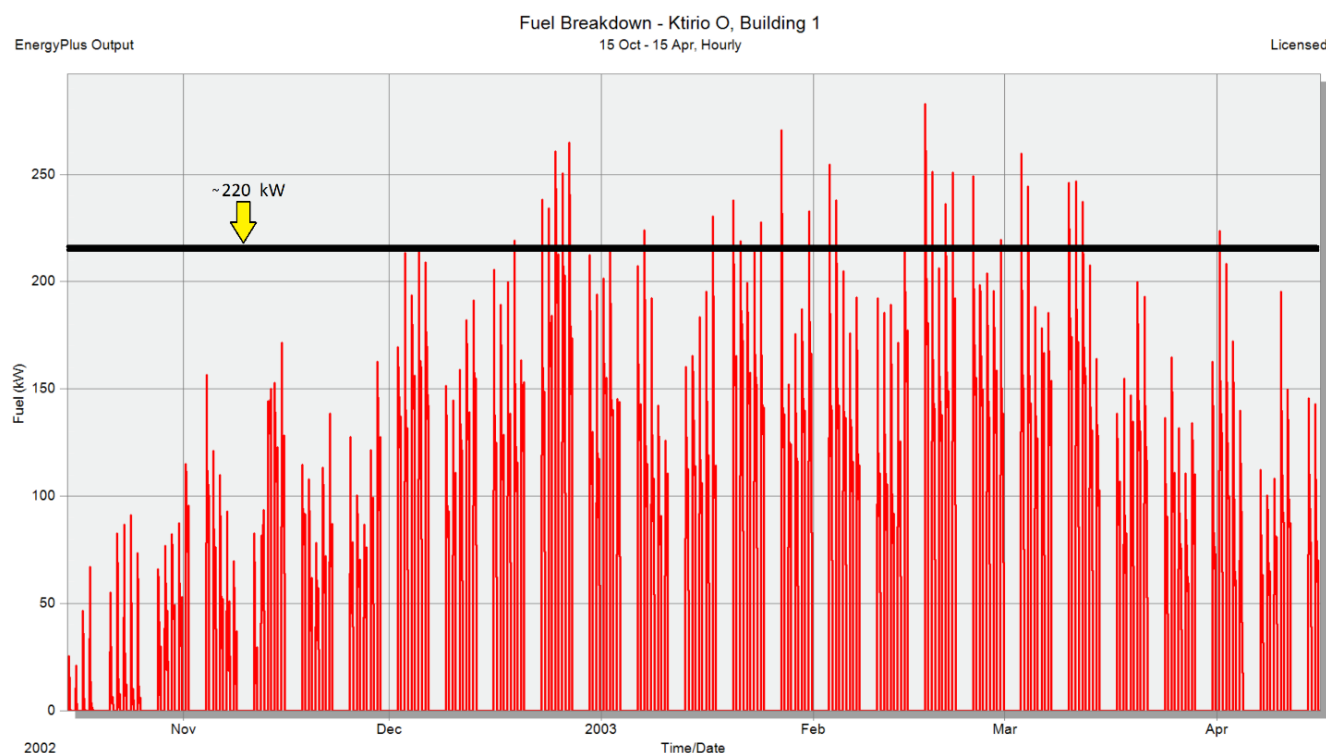
Επόμενο βήμα μετά την παρουσίαση των σεναρίων ενίσχυσης της θερμομόνωσης του Κτιρίου Ο, είναι η παρουσίαση των βελτιωτικών κινήσεων που αφορούν το σύστημα θέρμανσης.

5.3. Σενάρια συστημάτων θέρμανσης

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα συστήματα θέρμανσης προοριζόμενα για αντικατάσταση του υπάρχοντος λέβητα του Κτιρίου 'Ο'. Συνολικά θα εξεταστούν πέντε διαφορετικά σενάρια ξεκινώντας από απλά και προχωρώντας σε πιο σύνθετα. Στην επόμενη παράγραφο θα παρουσιαστούν και τα αποτελέσματα για τα σενάρια αυτά συγκεντρωμένα. Σε επόμενο κεφάλαιο θα εξεταστεί το όλο ζήτημα από οικονομικής άποψης ώστε να φανεί η καταλληλότερη λύση.

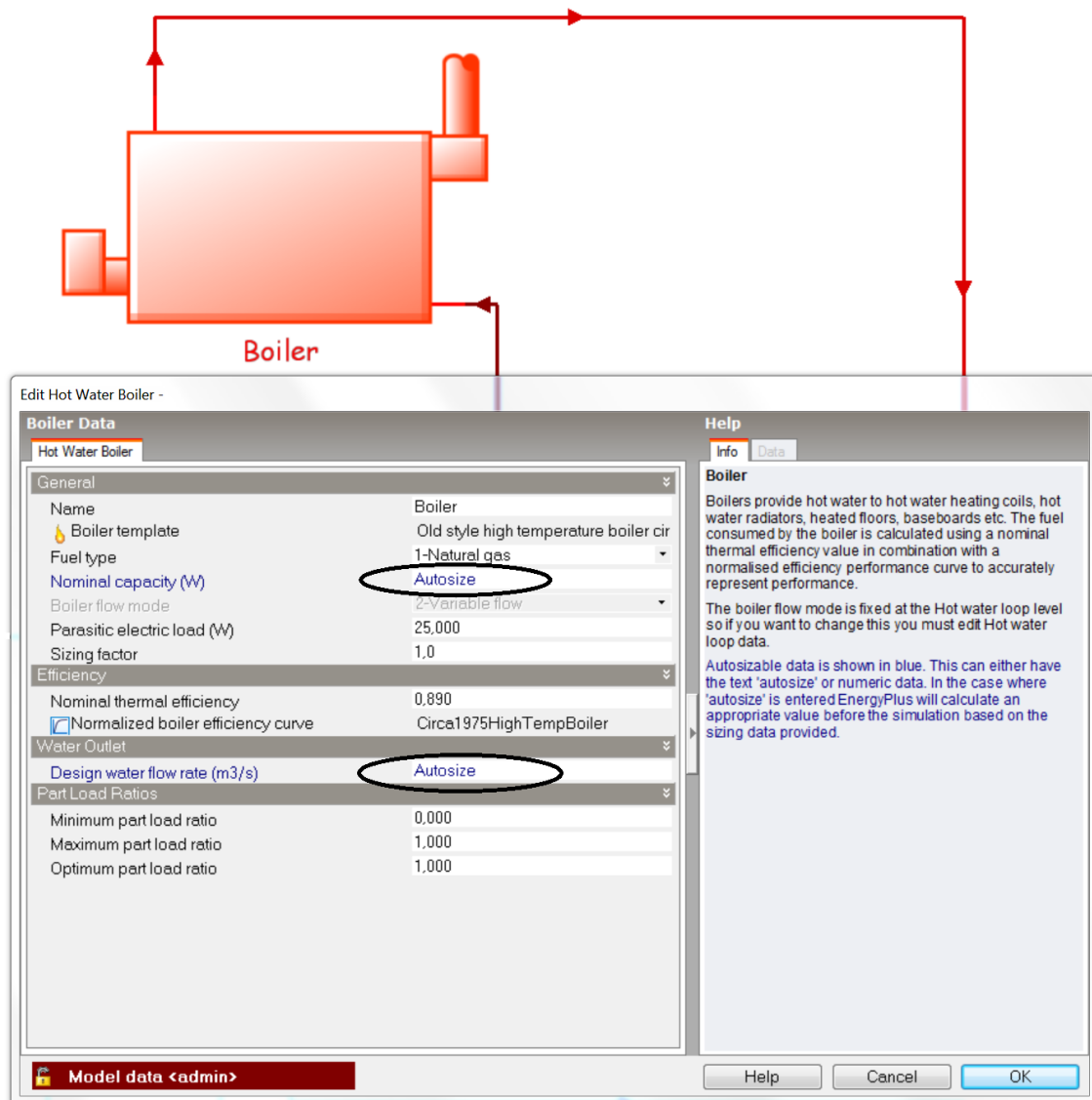
5.3.1. Συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου μικρότερης ονομαστικής ισχύος

Πρόκειται για ένα αρκετά απλό σενάριο στο οποίο εξετάζεται η αντικατάσταση του λέβητα του Κτιρίου 'Ο' με έναν όμοιας λειτουργίας λέβητα, αλλά μικρότερης ονομαστικής ισχύος. Το ζήτημα στην διερεύνηση αυτή είναι η τιμή της ονομαστικής ισχύος του νέου λέβητα. Μια λύση θα ήταν παρατηρώντας το Διάγραμμα 5.1 να εντοπιστεί μια μέση ισχύς από τις μέγιστες που εμφανίζονται στην διάρκεια λειτουργίας του λέβητα και να επιλεχθεί αυτή ως ονομαστική ισχύς του λέβητα. Η διαδικασία αυτή ακολουθεί διαγραμματικά παρακάτω:



Διάγραμμα 5.2: Επιλογή ονομαστικής ισχύος νέου λέβητα

Όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 5.2 για τον νέο λέβητα αρκεί μια ονομαστικής ισχύς της τάξης των 220 kW περίπου. Ο λόγος που δεν επιλέχθηκε ονομαστική ισχύς ίση με την μέγιστη που εμφανίζεται (268 kW) είναι διότι η υψηλή ισχύς αυτή σπανίζει στην διάρκεια του εξαμήνου ανάλυσης και δεν είναι εύλογο να διαστασιολογηθεί ολόκληρο το σύστημα βάση αυτής. Με τον τρόπο αυτό έχοντας μικρότερη ονομαστική ισχύ, υπάρχει επαρκής κάλυψη για όλη την θερμαντική περίοδο, εκτός από ελάχιστες ημέρες όπου η επιθυμητή θερμοκρασία στους χώρους θα επιτυγχάνεται, απλώς με μια ελαφριά χρονοκαθυστέρηση. Μια άλλη λύση θα ήταν να χρησιμοποιηθεί ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του λογισμικού DesignBuilder. Αυτό είναι μια επιλογή όπου κανένα άλλο λογισμικό προσομοίωσης δεν είχε ποτέ και είναι η δυνατότητα της αυτόματης διαστασιολόγησης (Autosize) των παραμέτρων των συστημάτων θέρμανσης ανάλογα με την ενεργειακή ζήτηση και την κάλυψή της στην εκάστοτε εφαρμογή. Με άλλα λόγια το λογισμικό δεν παίρνει ως δεδομένη για παράδειγμα την ονομαστική ισχύ λειτουργίας του λέβητα και εξετάζει κατά πόσο δύναται να καλύψει την ζήτηση σε θερμικά φορτία, αλλά εξετάζει πρώτα τι θερμικά φορτία καλείται να καλύψει και προτείνει μια ονομαστική ισχύ στον χρήστη η οποία είναι ιδανική για την συγκεκριμένη εφαρμογή.



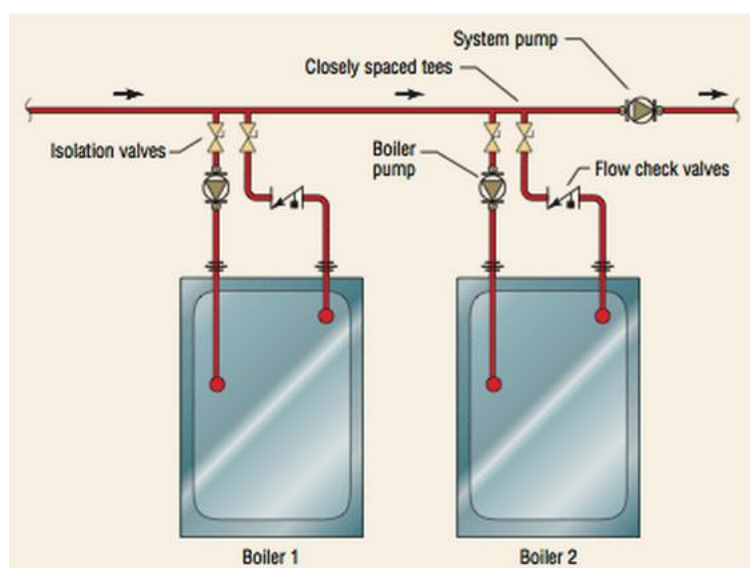
Εικόνα 5.1: Επιλογή αυτόματης διαστασιολόγησης (Autosize) χαρακτηριστικών του λέβητα

Οπότε δόκιμο κρίνεται να χρησιμοποιηθεί η επιλογή αυτή, έναντι του να επιλεγεί μια ονομαστική ισχύς απλά παρατηρώντας το Διάγραμμα 5.2 της λειτουργίας του λέβητα στην υπάρχουσα κατάσταση. Στην παράγραφο των αποτελεσμάτων που θα ακολουθήσει θα οριστεί η τελική τιμή της ονομαστικής ισχύος του λέβητα.

Αυτά όσον αφορά την ονομαστική ισχύ του νέου λέβητα. Για τον βαθμό απόδοσής του επιλέγεται ο ελάχιστος επιτρεπόμενος κατά ένα συγκεκριμένο πρότυπο όπως λέχθηκε στην παράγραφο 1.3.1. άρα επιλέγεται: 89,02 %.

5.3.2. Συστοιχία συμβατικών λεβήτων φυσικού αερίου

Πρόκειται για το γνωστό cascade heating system όπου δύο λέβητες συνεργάζονται για να καλύψουν το θερμικό φορτίο ενός κτιρίου. Ο πρώτος καλύπτει το μέσο φορτίο και ο δεύτερος το μέγιστο. Το ενδιαφέρον στην όλη διάταξη επικεντρώνεται στο γεγονός ότι ο δεύτερος λέβητας τίθεται σε λειτουργία σποραδικά και μόνο όταν η ενεργειακή ζήτηση αυξηθεί αρκετά. Με άλλα λόγια αποφεύγεται η υπέρμετρη διαστασιολόγηση ενός λέβητα ώστε να καλύπτει ολόκληρο το θερμικό φορτίο μόνος του, και δίνεται η δυνατότητα να διαστασιολογηθούν δυο λέβητες, ο πρώτος με ονομαστική ισχύ σχετικά υψηλή ώστε να καλύπτει το μέσο φορτίο και ο δεύτερος με σχετικά χαμηλή ώστε όταν ζητηθεί να «προστίθεται» στο σύστημα και να καλύπτει το μέγιστο φορτίο συνεργαζόμενος με τον πρώτο λέβητα. Αυτό που επιτυγχάνεται με το σύστημα αυτό έχει το εξής θετικό: Το σύστημα θέρμανσης (συμπεριλαμβανομένων και των δυο λεβήτων) λειτουργεί με υψηλούς βαθμούς απόδοσης τόσο στα χαμηλά-μέσα φορτία όσο και στα υψηλά, εφόσον οι λέβητες είναι διαστασιολογημένοι ο καθένας για διαφορετικά εύρη λειτουργίας και καλούνται να εργαστούν συνεχώς μέσα σε αυτά. Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται σε μονογραμμικό διάγραμμα η συστοιχία των δυο λεβήτων:



Εικόνα 5.4: Συστοιχία δυο λεβήτων

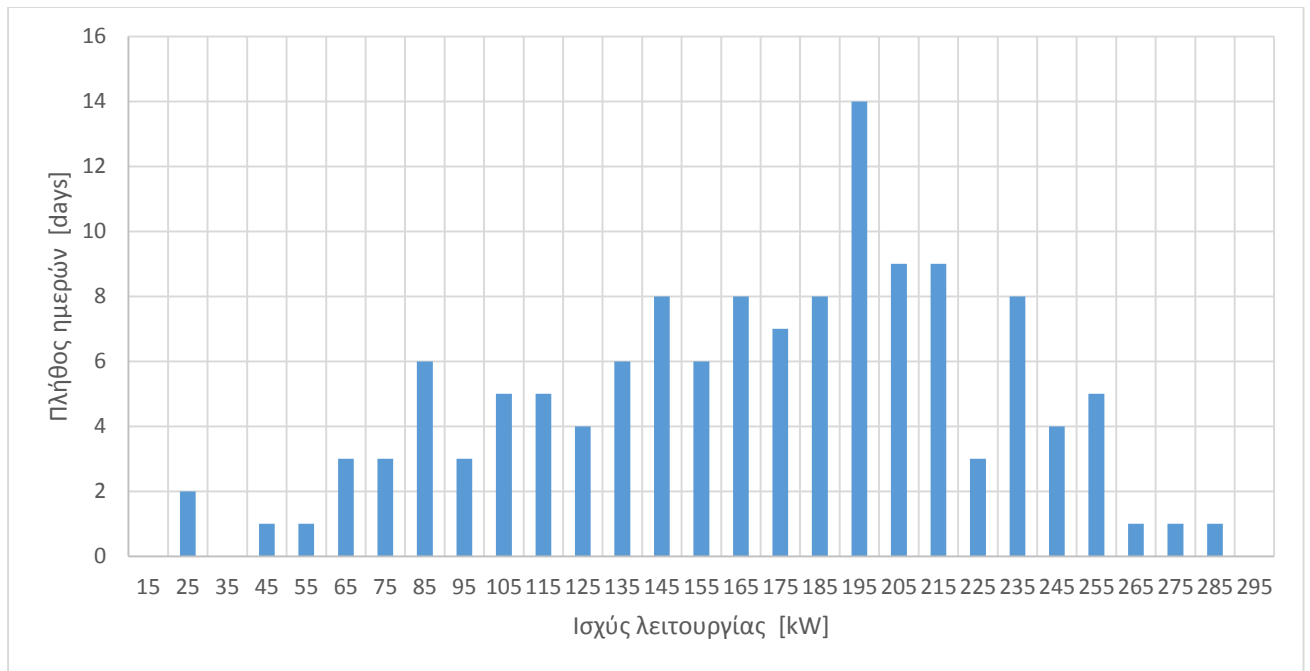
Το λογισμικό DesignBuilder επιτρέπει την κατασκευή και συνεργασία τέτοιου είδους συστημάτων με τον μοναδικό περιορισμό ότι πρέπει να οριστεί από τον χρήστη η προτεραιότητα λειτουργίας των συστημάτων. Τα μοναδικά σημεία που μένουν να καθοριστούν είναι οι ονομαστικές ισχύς και οι βαθμοί απόδοσης των δυο λεβήτων. Η καλύτερη μέθοδος για τον ορισμό των ονομαστικών ισχύων λειτουργίας των δυο λεβήτων είναι η μελέτη της υπάρχουσας κατάστασης του Κτιρίου 'Ο' όπως ορίστηκε νωρίτερα στο παρόν κεφάλαιο και συγκεκριμένα στην παράγραφο 5.2. Πιο συγκεκριμένα επιβάλλεται η περαιτέρω επεξεργασία του Διαγράμματος 5.1 που απεικονίζεται το εύρος λειτουργίας του λέβητα στην διάρκεια ολόκληρης της θερμαντικής περιόδου.

Παρατηρώντας τις μέγιστες ισχύς λειτουργίας κάθε ημέρας της θερμαντικής περιόδου, κατασκευάζεται μια κατανομή, η οποία θα περιγράφει ουσιαστικά την λειτουργία του λέβητα στην υπάρχουσα κατάσταση (τονίζεται: η κατανομή κατασκευάστηκε βάση τα δεδομένα εξόδου για την υπάρχουσα κατάσταση). Η κατανομή είναι η ακόλουθη:

Κλάσεις [kW]	Μέση τιμή κλάσης	Πλήθος τιμών
[10-20]	15	0
[20-30]	25	2
[30-40]	35	0
[40-50]	45	1
[50-60]	55	1
[60-70]	65	3
[70-80]	75	3
[80-90]	85	6
[90-100]	95	3
[100-110]	105	5
[110-120]	115	5
[120-130]	125	4
[130-140]	135	6
[140-150]	145	8
[150-160]	155	6
[160-170]	165	8
[170-180]	175	7
[180-190]	185	8
[190-200]	195	14
[200-210]	205	9
[210-220]	215	9
[220-230]	225	3
[230-240]	235	8
[240-250]	245	4
[250-260]	255	5
[260-270]	265	1
[270-280]	275	1
[280-290]	285	1
[290-300]	295	0

Πίνακας 5.4: Ορισμός κλάσεων, μέσες τιμές κλάσεων και πλήθος ημερών σε κάθε κλάση που παρατηρήθηκαν στην υπάρχουσα κατάσταση

Έτσι από την συγκεκριμένη ανάλυση γίνεται ευδιάκριτο πόσες μέρες εμφανίζεται κάθε ισχύς λειτουργίας του λέβητα του Κτιρίου 'Ο'. Ακολουθεί η σχηματική απεικόνιση της παραπάνω περιγραφόμενης κατανομής:



Διάγραμμα 5.3: Κατανομή ισχύς λειτουργίας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου για την υπάρχουσα κατάσταση

Από το διάγραμμα αυτό παρόλα αυτά ζητούμενο είναι να οριστούν τιμές για τις ισχύς λειτουργίας των δυο λεβήτων που θα βρίσκονται σε συστοιχία. Οπότε κρίνεται αναγκαία η άντληση κάποιων επιπλέον πληροφοριών για την λειτουργία του λέβητα. Αυτές οι πληροφορίες είναι τα ποσοστά εμφάνισης των ημερών στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου όπου η τιμή της ισχύς λειτουργίας έχει ένα συγκεκριμένο μέγιστο. Το ποσοστό εμφάνισης όμως δεν είναι άμεσα αξιοποιήσιμο δεδομένο καθώς χρειάζεται να συνυπολογιστεί η συχνότητα εμφάνισης για κάθε τιμή ισχύος αλλά και η ισχύς κάθε κλάσης. Οπότε το σωστότερο είναι να υπολογιστεί ο σταθμισμένος μέσος για την υπάρχουσα κατάσταση. Μέσω της επεξεργασίας προκύπτει το εξής:

Κλάσεις	Πλήθος τιμών	Ημέρες αθροιστικά*	Ποσοστό ημερών	Αντίστοιχη ισχύς
[10-20]	0	0	0,00	0,00
[20-30]	2	2	1,53	0,31
[30-40]	0	2	1,53	0,00
[40-50]	1	3	2,29	0,31
[50-60]	1	4	3,05	0,38
[60-70]	3	7	5,34	1,37
[70-80]	3	10	7,63	1,60
[80-90]	6	16	12,21	3,66
[90-100]	3	19	14,50	2,06
[100-110]	5	24	18,32	3,82
[110-120]	5	29	22,14	4,20
[120-130]	4	33	25,19	3,66
[130-140]	6	39	29,77	5,95
[140-150]	8	47	35,88	8,55
[150-160]	6	53	40,46	6,87
[160-170]	8	61	46,56	9,77
[170-180]	7	68	51,91	9,08
[180-190]	8	76	58,02	10,99
[190-200]	14	90	68,70	20,31
[200-210]	9	99	75,57	13,74
[210-220]	9	108	82,44	14,43
[220-230]	3	111	84,73	5,04
[230-240]	8	119	90,84	14,05
[240-250]	4	123	93,89	7,33
[250-260]	5	128	97,71	9,54
[260-270]	1	129	98,47	1,98
[270-280]	1	130	99,24	2,06
[280-290]	1	131	100,00	2,14
[290-300]	0	131	100,00	0,00

Πίνακας 5.5: Υπολογισμός σταθμισμένου μέσου

* Ημέρες αθροιστικά σημαίνει πόσες μέρες βρέθηκε μεγαλύτερη ισχύς από την τιμή της συγκεκριμένης κλάσης.

Έτσι από αυτήν την ανάλυση, αθροίζοντας όλες τις ισχύς της τελευταίας στήλης προκύπτει η μέση ισχύς στην οποία έχει λειτουργήσει ο λέβητας του Κτιρίου 'Ο' στην υπάρχουσα κατάσταση και πιο συγκεκριμένα αποτελεί τον σταθμισμένο μέσο της λειτουργίας και είναι:

$$\text{Σταθμισμένος μέσος} = 162,21 \text{ kW}$$

Το δεδομένο αυτό είναι εξαιρετικά χρήσιμο, καθώς δίνει μια πολύ καλή τιμή για να τεθεί η ονομαστική ισχύς του ενός λέβητα εκ των δυο. Για την ονομαστική ισχύ του δεύτερου λέβητα αφαιρείται η ισχύς που μόλις υπολογίστηκε και εμφανίζεται στο Διάγραμμα 5.2 της υπάρχουσας κατάστασης η οποία είναι: 220 kW

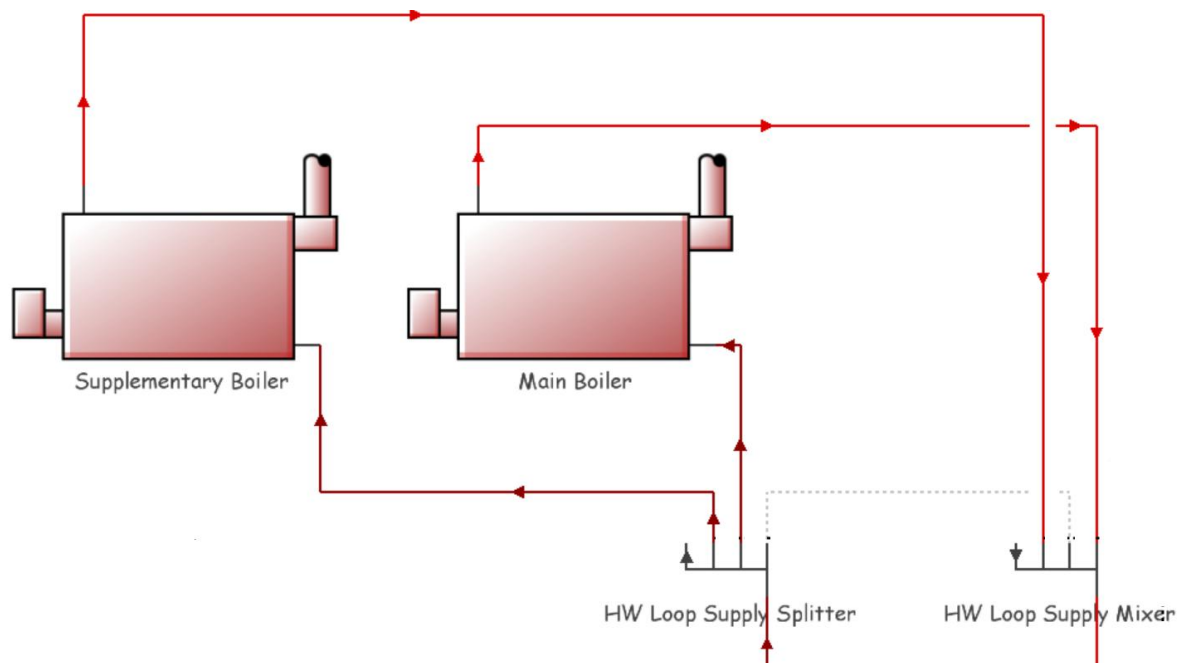
Άρα προκύπτει για τους δυο λέβητες:

1. Πρώτος λέβητας: Ονομαστική ισχύς: 162 kW
2. Δεύτερος λέβητας: Ονομαστική ισχύς: 58 kW

Όσον αφορά τους βαθμούς απόδοσής τους επιλέχθηκε όμοια τιμή και για τους δυο λέβητες και συγκεκριμένα 91 %.

Το λογισμικό DesignBuilder επιτρέπει τέτοιου είδους συστήματα δηλαδή συστοιχία λεβήτων ώστε να καλυφθεί το θερμικό φορτίο. Για την ακρίβεια επιτρέπει τόσο την παράλληλη όσο και την γραμμική συνεργασία λεβήτων. Παράλληλη συνεργασία συμβαίνει όταν ο πρώτος λέβητας λειτουργεί για ένα συγκεκριμένο εύρος και ύστερα αν αυξηθεί η ζήτηση αναλαμβάνει ο δεύτερος λέβητας. Αυτό σημαίνει ότι ο πρώτος λέβητας θα έχει σχετικά χαμηλή ονομαστική ισχύ, ενώ ο δεύτερος μεγάλη (σχετικά σπάνια περίπτωση ειδικότερα για εγκαταστάσεις μεγάλων ισχύων). Ενώ γραμμική (ή σε σειρά) σύνδεση συμβαίνει όταν ο πρώτος λέβητας καλύπτει ένα ποσοστό ζήτησης και αν χρειαστεί «προστίθεται» και ο δεύτερος λέβητας. Η δεύτερη περίπτωση της γραμμικής συνεργασίας είναι και αυτή που θα εξεταστεί στην παράγραφο αυτή.

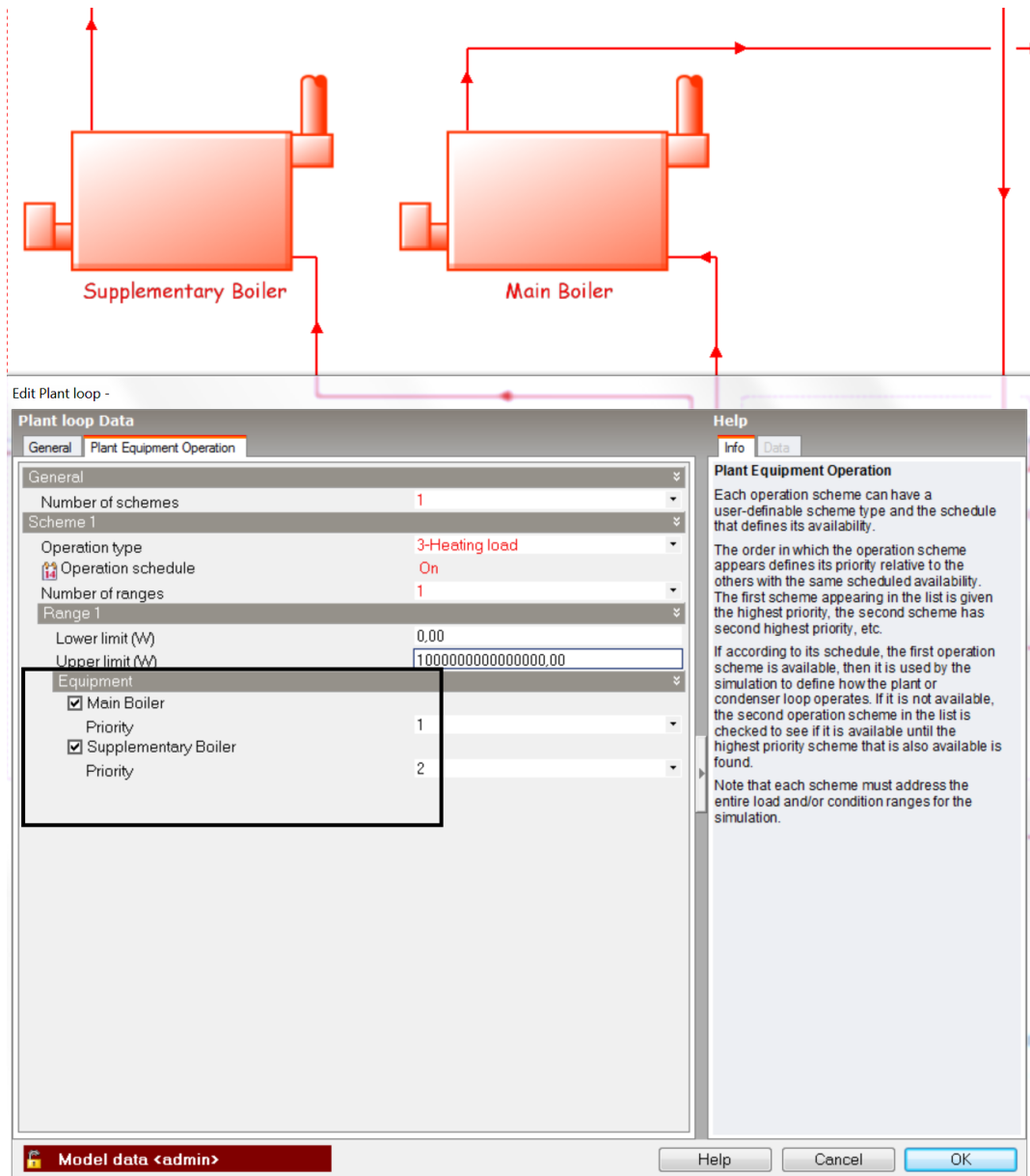
Ακολουθεί η προσθήκη του δεύτερου λέβητα στο λογισμικό DesignBuilder:



Εικόνα 5.5: Συστοιχία λεβήτων στο DesignBuilder

Όπως παρατηρείται από τον τρόπο σύνδεσης, οι δυο λέβητες συνεργάζονται γραμμικά ώστε να καλύψουν το ζητούμενο θερμικό φορτίο. Το DesignBuilder δίνει την δυνατότητα ορισμού της σειράς προτεραιότητας του κάθε λέβητα. Στην περίπτωση του μας είναι

αρκετά απλό σύστημα καθώς περιλαμβάνει μόνο δυο λέβητες, σε περίπτωση όμως που εξετάζονται πολύπλοκα συστήματα (για παράδειγμα με χρήση ηλιακών για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης παράλληλα με λέβητα) τότε είναι αναγκαίος ο ορισμός προτεραιότητας. Ακολουθεί εικόνα της επιλογής σειράς προτεραιότητας:



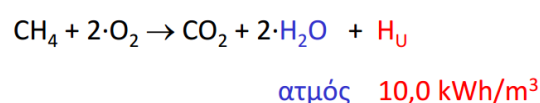
Εικόνα 5.6: Ορισμός προτεραιότητας των δυο λεβήτων στο DesignBuilder

Να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι το ζεύγος των ονομαστικών ισχύων που επιλέχθηκε για τους δυο λέβητες δεν είναι το μοναδικό. Δύναται να επιλεχθεί οποιοδήποτε ζεύγος. Έλαβαν μέρος πολλές δοκιμές για διάφορα ζεύγη και παρόλα αυτά το πιο αποδοτικό βρέθηκε αυτό που προέκυψε από την παραπάνω ανάλυση.

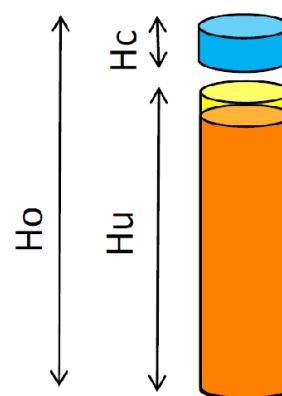
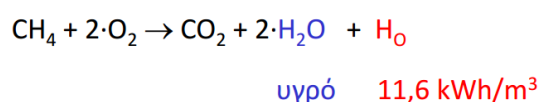
5.3.3. Λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης

Στο συγκεκριμένο σενάριο εξετάζεται η αντικατάσταση του απλού συμβατικού λέβητα αερίου με έναν λέβητα συμπύκνωσης. Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι αρκετά απλή αλλά εξαιρετικά προσοδοφόρα από πλευράς απόδοσης του συστήματος θέρμανσης. Η ειδοποιός διαφορά μεταξύ των δυο τεχνολογιών λέβητα, συμβατικού και συμπύκνωσης βασίζεται στην κατάσταση-φάση που βρίσκεται το νερό στα καυσαέρια του λέβητα. Για την κατανόηση αυτού παρατίθεται η παρακάτω απλουστευμένη χημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα κατά την καύση του φυσικού αερίου στον καυστήρα ενός λέβητα:

Συμβατικός λέβητας:



Λέβητας συμπυκνώσεως:

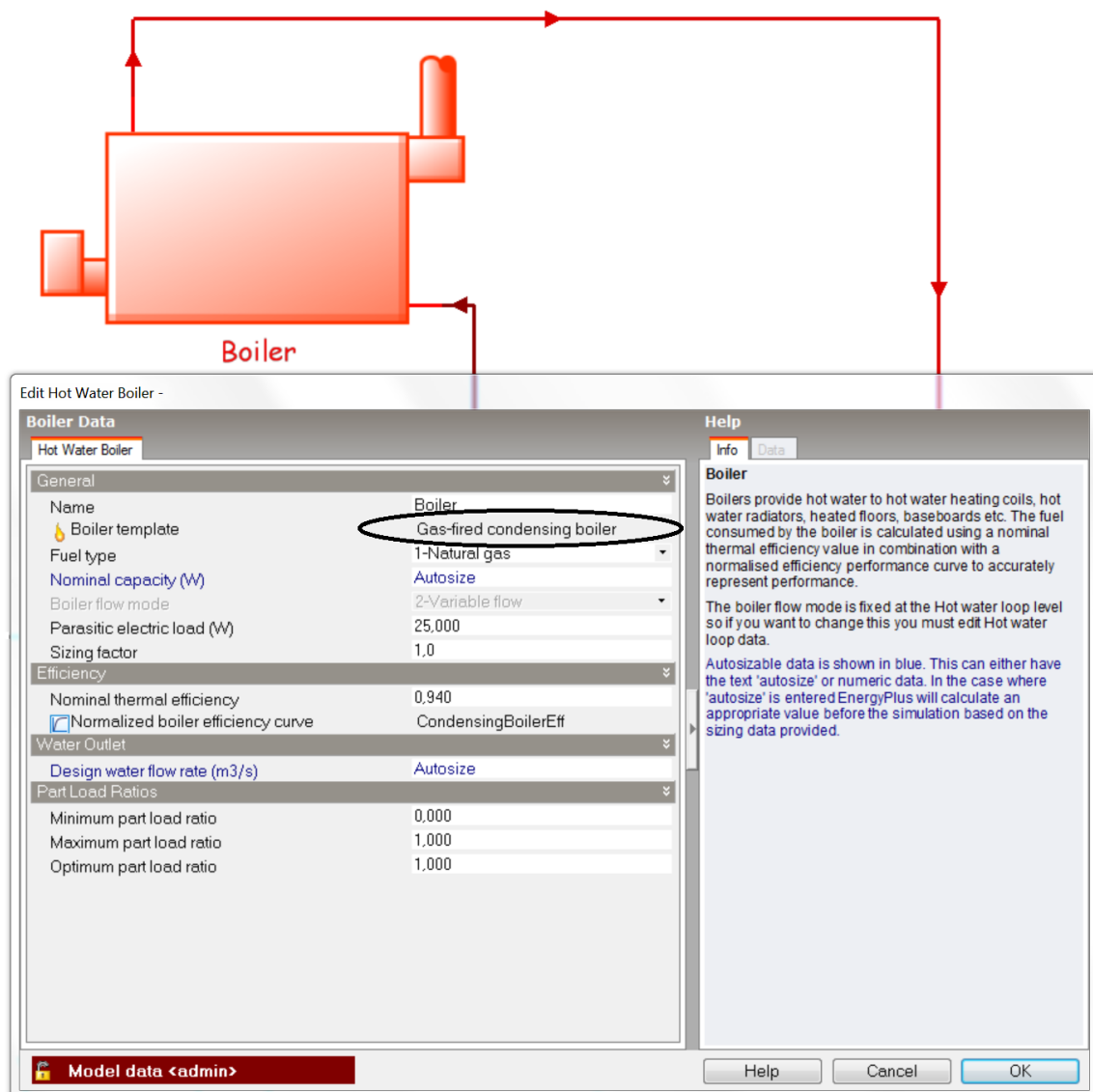


Εικόνα 5.7: Χημικές αντιδράσεις κατά την καύση φυσικού αερίου σε συμβατικό λέβητα και σε λέβητα συμπύκνωσης

Όπως είναι γνωστό από την φυσική όταν ένα αέριο κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες συμπυκνώνεται, αποβάλλει ένα ποσό θερμότητας που ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης-συμπύκνωσης. Το θερμοδυναμικό σημείο στο οποίο ξεκινά η υγροποίηση των υδρατμών είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων (άρα και των υδρατμών) και της μερικής πίεσης των υδρατμών στα καυσαέρια, με μεγαλύτερη βαρύτητα να έχει ο παράγοντας της θερμοκρασίας. Στον συμβατικό λέβητα το νερό στα καυσαέρια είναι σε μορφή υδρατμών οπότε δεν γίνεται καν συζήτηση για την εκμετάλλευση της λανθάνουσας θερμότητας συμπύκνωσης. Στον λέβητα συμπύκνωσης όμως τα καυσαέρια φτάνουν σε χαμηλές θερμοκρασίες εξόδου με αποτέλεσμα να προκαλείται συμπύκνωση των υδρατμών στα καυσαέρια, απόδοσης της λανθάνουσας θερμότητας και αύξηση του συνολικού εξαγόμενου έργου από τον λέβητα. Αυτή ακριβώς η εκμετάλλευση της λανθάνουσας θερμότητας συμπύκνωσης είναι ο λόγος όπου οι λέβητες αυτής της τεχνολογίας εμφανίζουν πολύ μεγάλους βαθμούς απόδοσης. Σε συγκεκριμένες αναλύσεις ο βαθμός απόδοσης των λέβητων αυτών ξεπερνά το 100 %. Αυτό φυσικά είναι θέμα σύμβασης, δηλαδή αν υπολογιστεί ο βαθμός απόδοσης του λέβητα χρησιμοποιώντας την κατώτερη θερμογόνο ικανότητα του φυσικού αερίου τότε θα προκύψει μεγαλύτερος του 100 %, ενώ αν υπολογιστεί βάση της ανωτέρου θερμογόνου ικανότητας, θα προκύψει κανονικά μικρότερος του 100 % αλλά και πάλι σε επίπεδα αρκετά υψηλά, της τάξης του 92-97 %.

Οπότε με την αντικατάσταση του υπάρχοντος λέβητα φυσικού αερίου με έναν νέο λέβητα φυσικού αερίου συμπύκνωσης, αναμένεται λειτουργία του λέβητα σε πολύ υψηλούς βαθμούς απόδοσης και προφανώς μειωμένη ενεργειακή κατανάλωση κατά την διάρκεια της θερμαντικής περιόδου.

Οπότε στο συγκεκριμένο σενάριο εξετάζεται η τοποθέτηση ενός λέβητα φυσικού αερίου συμπύκνωσης με ονομαστική ισχύ οριζόμενη όπως και στο προηγούμενο σενάριο μέσω της δυνατότητας αυτόματης διαστασιολόγησης (Autosize) του DesignBuilder και με βαθμό απόδοσης 100 %. Στην παράγραφο των αποτελεσμάτων που θα ακολουθήσει θα οριστεί η τελική τιμή της ονομαστικής ισχύος του λέβητα. Η επιλογή του λέβητα φαίνεται και παρακάτω στην εικόνα:



Εικόνα 5.8: Επιλογή λέβητα φυσικού αερίου συμπύκνωσης

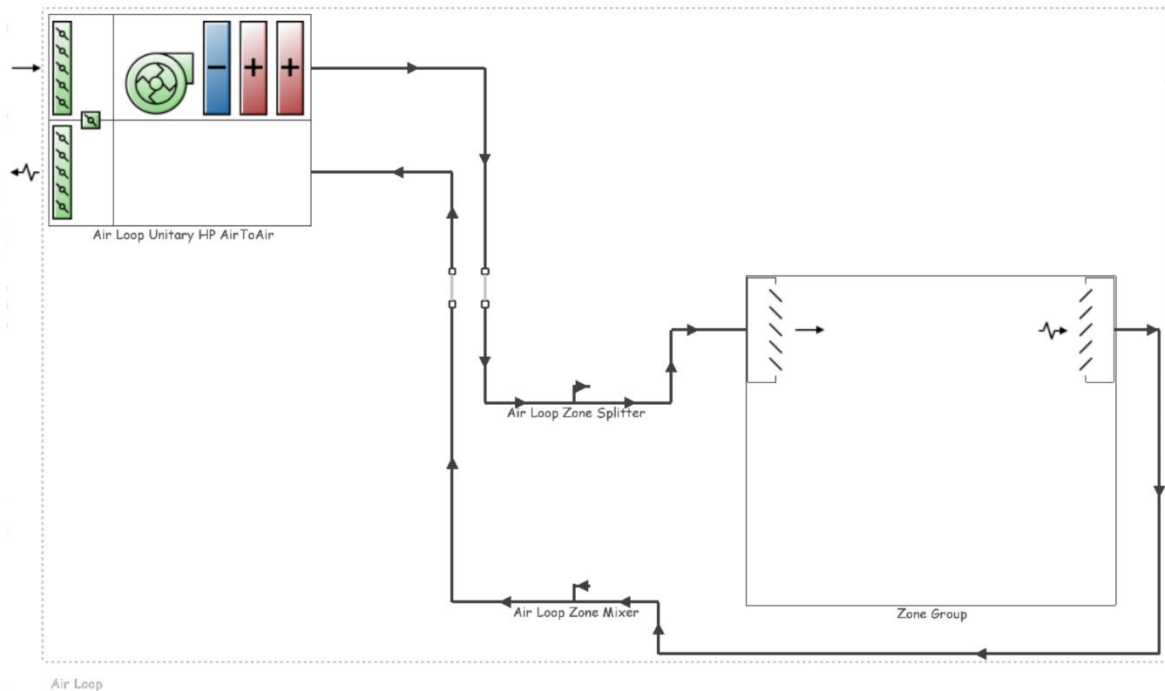
5.3.4. Συστοιχία λέβητων φυσικού αερίου συμπύκνωσης

Στο συγκεκριμένο σενάριο θα τοποθετηθούν δυο λέβητες σε συστοιχία ακριβώς όμοια με το προηγούμενο σενάριο, με την μόνη διαφορά ότι οι λέβητες θα είναι τεχνολογίας συμπύκνωσης. Με αυτό τον τρόπο αναμένεται ακόμα μικρότερη κατανάλωση ενέργειας από τα προηγούμενα σενάρια.

5.3.5. Αντλία Θερμότητας Αέρα/Νερού

Στο σενάριο αυτό εξετάζεται η αντικατάσταση του λέβητα του Κτιρίου 'Ο' από μια αντλία θερμότητας αέρα/νερού. Με αυτό τον τρόπο αναμένεται μείωση της θερμοκρασίας παραγωγής του νερού που καθορίζεται προς τα τερματικά των θερμαινόμενων χώρων και προφανώς μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας σε αρκετά χαμηλά επίπεδα. Ο λόγος που επιλέχτηκε αντλία θερμότητας αέρα/νερού και όχι αέρα/αέρα, είναι ότι το Κτίριο Ο είναι εξοπλισμένο με τερματικά fan coils και όχι κάποιο είδος αεραγωγών.

Η αντλία θερμότητας επιλέγεται στο DesignBuilder όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

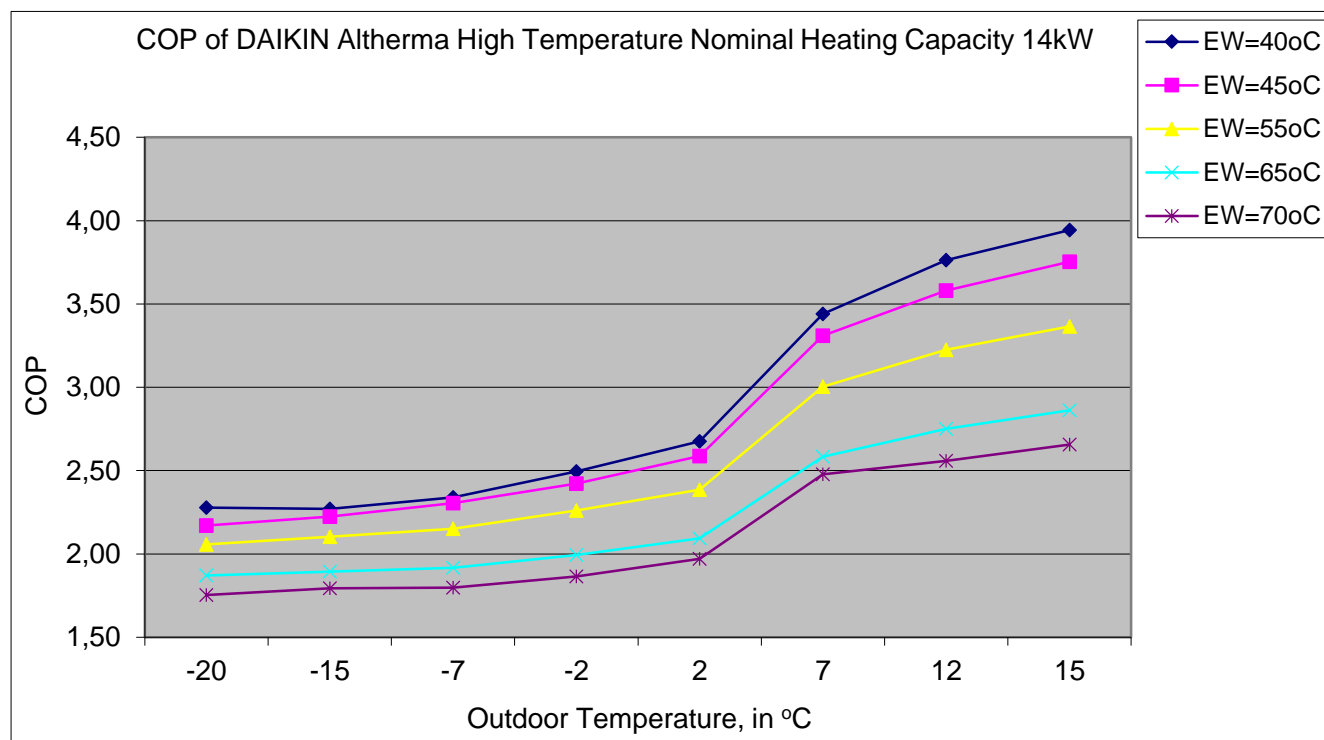


Εικόνα 5.9: Επιλογή αντλίας θερμότητας αέρα/αέρα στο DesignBuilder

Για την ονομαστική ισχύ της αντλίας θερμότητας θα γίνει χρήση όπως και σε προηγούμενα σενάρια της αυτόματης διαστασιολόγησης (Autosize) ώστε να οριστεί η ονομαστική ισχύς άμεσα από το λογισμικό. Όσον αφορά τον βαθμό απόδοσης της αντλίας θερμότητας αυτός εκφράζεται μέσω του συντελεστή συμπεριφοράς COP. Σημαντικό για να οριστεί ο βαθμός συμπεριφοράς για την συγκεκριμένη εφαρμογή της αντλίας στο Κτίριο 'Ο' είναι η κατανόηση του πως ορίζεται. Αρχικά εκφράζεται με έναν αριθμό (για παράδειγμα 1 ή 2,5 ή 3,2) και εκφράζει το πόσες ηλεκτρικές κιλοβατώρες χρειάζεται να καταναλώσει η αντλία θερμότητας ώστε να παραχθούν κάποιες θερμικές. Οπότε συντελεστής COP ίσος με 3 σημαίνει ότι για την παραγωγή τριών θερμικών κιλοβατώραων, είναι αναγκαία η κατανάλωση μιας ηλεκτρικής κιλοβατώρας. Επίσης πολύ σημαντικό είναι η γνώση του σε ποιες συνθήκες ορίζεται ο COP. Συνήθως ο COP αναφέρεται σε ένα ζεύγος αριθμών [°C/°C] όπου ο πρώτος δείχνει την εξωτερική θερμοκρασία και ο δεύτερος την θερμοκρασία που εισέρχεται τον ζεστό νερό στα θερμαντικά σώματα. Οπότε για παράδειγμα σημείο αναφοράς 7°C/45°C, σημαίνει ότι ο COP έχει οριστεί για εξωτερική θερμοκρασία υγρού βολβού 7°C και θερμοκρασία εξόδου του νερού από την αντλία θερμότητας προς τα θερμαντικά σώματα 45°C.

Στο λογισμικό DesignBuilder ο COP εκφράζεται ακριβώς έτσι όπως μόλις εξηγήθηκε. Οπότε για να οριστεί ένας βαθμός συμπεριφοράς εξετάζεται σε τι συνθήκες καλείται να λειτουργήσει η αντλία θερμότητας. Για την ζητούμενη εφαρμογή στο Κτίριο Ο, η μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία είναι 0°C και η θερμοκρασία εισαγωγής του νερού στα fan coils είναι 70°C. Όμως η διαστασιολόγηση της αντλίας θερμότητας για την μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία θεωρείται υπερβολικό, άρα επιλέγεται θερμοκρασία 5-7°C. Οπότε ο COP έχει ως σημείο αναφοράς το 6°C/70°C. Άρα η αντλία θερμότητας που θα επιλεγεί είναι υψηλών θερμοκρασιών.

Για τον ορισμό του COP κρίνεται χρήσιμο η εξέταση εμπορικών αντλιών θερμότητας και στην παρούσα διπλωματική έγινε μελέτη των αντλιών θερμότητας αέρος/νερού της Daikin και συγκεκριμένα της σειράς Altherma. Στο παράρτημα βρίσκονται οι πίνακες με όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά των αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιήθηκαν από την συγκεκριμένη σειρά Altherma. Ακολουθεί το διάγραμμα της μεταβολής του COP σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία της αντλίας θερμότητας Daikin Altherma 14 kW :



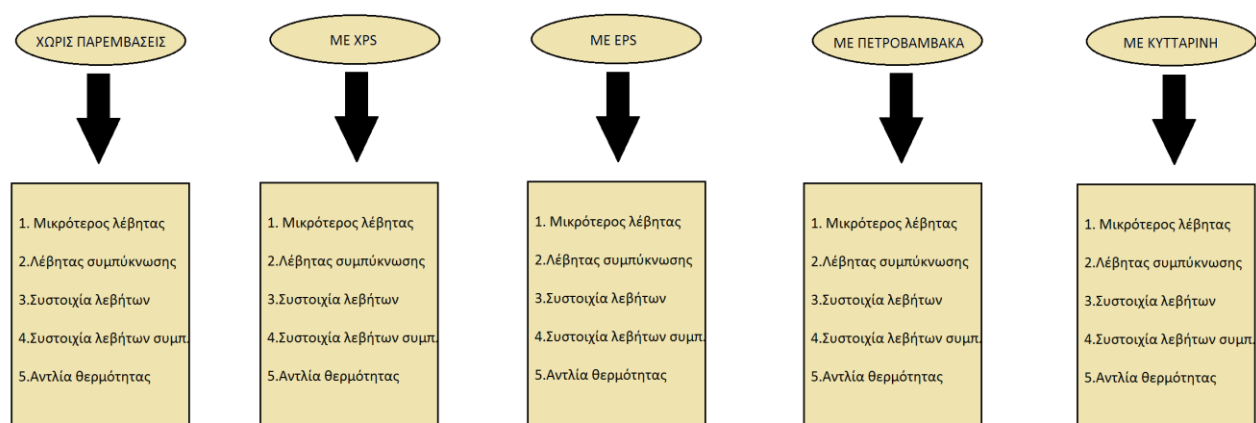
Διάγραμμα 5.4: Μεταβολή COP συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας εισόδου νερού στα θερμαντικά σώματα

Παρατηρώντας το διάγραμμα αυτό και συγκεκριμένα την τελευταία καμπύλη προς τον οριζόντιο άξονα, ο COP κινείται μεταξύ των 2 - 2,3. Άρα επιλέγεται τελικά συντελεστής συμπεριφοράς της αντλίας θερμότητας:

$$\text{COP} = 2,2$$

5.4. Εφαρμογή των σεναρίων και αποτελέσματα

Εφόσον στις προηγούμενες παραγράφους παρουσιάστηκαν λεπτομερώς τα σεναρία τα οποία θα εξεταστούν, στην παρούσα παράγραφο θα λάβει χώρα η προσομοίωση όλων αυτών στο λογισμικό DesignBuilder και η παράθεση των εκάστοτε αποτελεσμάτων. Το σημαντικό στην όλη διερεύνηση περί οικονομικότερου σεναρίου θέρμανσης έγκειται στο γεγονός της ανάγκης εξέτασης όλων των σεναρίων τοποθέτησης μόνωσης σε συνδυασμό με κάθε σενάριο συστήματος θέρμανσης. Με άλλα λόγια όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο εξετάζονται 4 σεναρία μόνωσης και 5 σεναρία συστημάτων θέρμανσης. Οπότε για κάθε ένα σενάριο μόνωσης θα εξετάζονται και τα 5 σεναρία συστημάτων θέρμανσης. Η διαδικασία ακολουθεί φαίνεται και στο μονογραμμικό διάγραμμα που ακολουθεί:



Εικόνα 5.10: Διαδικασία εξέτασης σεναρίων

Οπότε γίνεται κατανοητό ότι τα συνολικά σεναρία που εξετάζονται είναι: 25 ΣΕΝΑΡΙΑ. Η διαδικασία της εξέτασης των σεναρίων αυτών απαιτεί πολλές προσομοιώσεις μέσω του λογισμικού DesignBuilder. Τα αποτελέσματα που ενδιαφέρουν και θα παρουσιαστούν στην συνέχεια για κάθε σενάριο είναι αφενός η κατανάλωση ενέργειας από το εκάστοτε σύστημα θέρμανσης και αφετέρου η υπολογιζόμενη ισχύς λειτουργίας όποτε και αν ζητηθεί από το πρόγραμμα η αυτόματη διαστασιολόγηση (Autosize) κάποιου συστήματος. Να σημειωθεί ότι στο επόμενο κεφάλαιο θα λάβει χώρα και η μελέτη των σεναρίων από οικονομικής άποψης, ώστε να επιλεγεί/επιλεγθούν οι οικονομικότερες λύσεις.

5.4.1. Χωρίς παρεμβάσεις θερμομόνωσης

Εφόσον δεν εξετάζονται παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος του Κτιρίου 'Ο', παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε κατανάλωση ενέργειας για όλα τα σενάρια αντικατάστασης του υπάρχοντος λέβητα. Η κατανάλωση ενέργειας θα εμφανιστεί τόσο σε kWh όσο και σε kWh/m² θερμαινόμενης επιφάνειας.

Υπάρχουσα κατάσταση:

Χαρακτηριστικά συστήματος θέρμανσης:

- Λέβητας φυσικού αερίου
- Ονομαστική ισχύς 325,64 kW
- Βαθμός απόδοσης 87 %

	Κατανάλωση Ενέργειας	
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	2532,04	2,97
Νοέμβριος	15643,45	18,35
Δεκέμβριος	33266,43	39,02
Ιανουάριος	32611,79	38,25
Φεβρουάριος	30565,04	35,85
Μάρτιος	27459,36	32,21
Απρίλιος	10303,54	12,09
Συνολικά:	152381,65	178,73

Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου μικρότερης ονομαστικής ισχύος:

Χαρακτηριστικά συστήματος θέρμανσης:

- Λέβητας φυσικού αερίου
- Ονομαστική ισχύς 220 kW
- Βαθμός απόδοσης 91 %

Παρατηρήσεις επί των χαρακτηριστικών:

Η ονομαστική ισχύς ορίστηκε στα 220 kW από την αυτόματη διαστασιολόγηση (Autosize) που διαθέτει το DesignBuilder, και συμφωνεί πλήρως με την επιλογή που έγινε και δίχως αυτήν στην παράγραφο 5.3.1.

	Κατανάλωση Ενέργειας	
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	2343,63	2,75
Νοέμβριος	14225,09	16,68
Δεκέμβριος	30177,48	35,40
Ιανουάριος	29525,16	34,63
Φεβρουάριος	27729,10	32,52
Μάρτιος	24879,45	29,18
Απρίλιος	9343,10	10,96
Συνολικά:	138223,01	162,13

Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Συστοιχία συμβατικών λεβήτων φυσικού αερίου:

Χαρακτηριστικά συστήματος θέρμανσης:

- Διο λέβητες φυσικού αερίου
- Ονομαστικές ισχύς : Πρωτεύον λέβητας 162 kW
Δευτερεύον λέβητας 58 kW
- Βαθμοί απόδοσης : Πρωτεύον λέβητας 91 %
Δευτερεύον λέβητας 92 %

Παρατηρήσεις επί των χαρακτηριστικών:

Τα μεγέθη των δυο λεβήτων επιλέχθηκαν σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε στην παράγραφο 5.3.3. μελετώντας την συμπεριφορά του αρχικού λέβητα που προορίζεται για αντικατάσταση. Προτεραιότητα στην λειτουργία των δυο λεβήτων δόθηκε στον λέβητα μεγαλύτερου μεγέθους.

	Κατανάλωση Ενέργειας	
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	2536,80	2,98
Νοέμβριος	12970,97	15,21
Δεκέμβριος	25731,96	30,18
Ιανουάριος	25268,69	29,64
Φεβρουάριος	23630,66	27,72
Μάρτιος	21407,41	25,11
Απρίλιος	8307,24	9,74
Συνολικά:	119853,73	140,58

Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης:

Χαρακτηριστικά συστήματος θέρμανσης:

- Λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
- Ονομαστική ισχύς 220 kW
- Βαθμός απόδοσης 100 %

Παρατηρήσεις επί των χαρακτηριστικών:

Ο λόγος που δεν επιλέχθηκε βαθμός απόδοσης υψηλότερος (της τάξης του 104-107 %) όπως συνήθως συμβαίνει σε τέτοιας τεχνολογίας λέβητες, είναι διότι τέτοιοι βαθμοί αναφέρονται σε θερμοκρασίες εξόδου νερού από τον λέβητα 55-60°C. Στην δική μας περίπτωση έχουμε επιλέξει λέβητα υψηλών θερμοκρασιών (περίπου 70°C) οπότε κρίνεται απαραίτητο η ελαφριά μείωση του βαθμού απόδοσης του λέβητα.

	Κατανάλωση Ενέργειας	
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	1875,88	2,20
Νοέμβριος	11139,37	13,07
Δεκέμβριος	23702,22	27,80
Ιανουάριος	23056,71	27,04
Φεβρουάριος	21761,51	25,52
Μάρτιος	19383,50	22,74
Απρίλιος	7214,00	8,46
Συνολικά:	108133,19	126,83

Πίνακας 5.9: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Συστοιχία λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης:

Χαρακτηριστικά συστήματος θέρμανσης:

- Διο λέβητες φυσικού αερίου συμπύκνωσης σε συστοιχία
- Ονομαστικές ισχύς : Πρωτεύον λέβητας 162 kW
Δευτερεύον λέβητας 58 kW
- Βαθμοί απόδοσης : Πρωτεύον λέβητας 100 %
Δευτερεύον λέβητας 104 %

Παρατηρήσεις επί των χαρακτηριστικών:

Προτεραιότητα στην λειτουργία των δυο λεβήτων δόθηκε στον λέβητα μεγαλύτερου μεγέθους.

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	1835,00	2,15
Νοέμβριος	10193,60	11,96
Δεκέμβριος	21958,02	25,76
Ιανουάριος	21373,22	25,07
Φεβρουάριος	20189,07	23,68
Μάρτιος	17951,98	21,06
Απρίλιος	6682,34	7,84
Συνολικά:	100183,23	117,51

Πίνακας 5.10: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Αντλία θερμότητας:

Χαρακτηριστικά συστήματος θέρμανσης:

- Αντλία θερμότητας αέρος/νερού
- Ονομαστική ισχύς 220 kW
- Συντελεστής συμπεριφοράς COP 2,2

Παρατηρήσεις επί των χαρακτηριστικών:

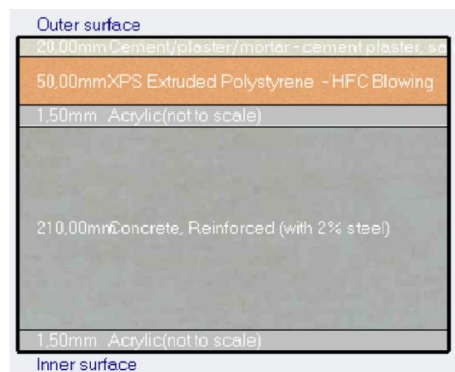
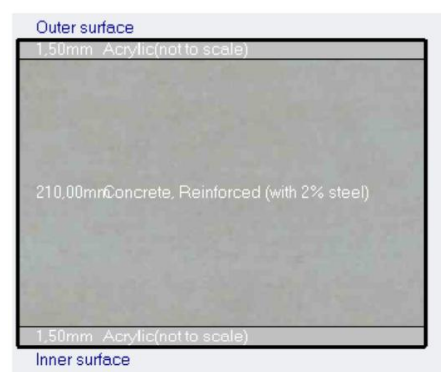
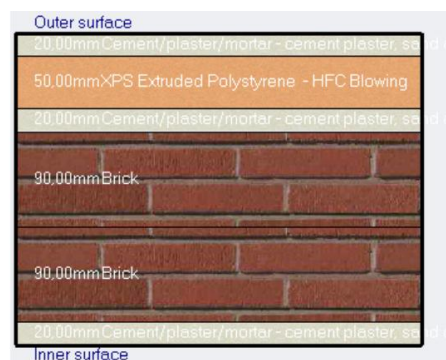
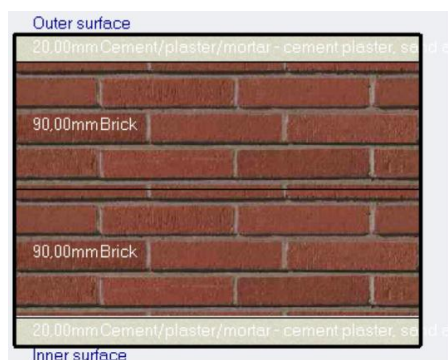
Η ονομαστική ισχύς επιλέχθηκε στα 220 kW με την χρήση της αυτόματης διαστασιολόγησης (Autosize) του DesignBuilder και ούτως ή άλλως αναμενόταν να κινείται κοντά στην τιμή ονομαστικής ισχύος του λέβητα μικρότερης ονομαστικής ισχύος. Η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς αποτελεί άκρως αντιπροσωπευτική τιμή για μια αντλία θερμότητας μεγάλου μεγέθους στην περιοχή της Αττικής σε συνθήκες λειτουργίας 0°C/70°C. Δηλαδή για εξωτερική θερμοκρασία 0°C και θερμοκρασία εισόδου στα θερμαντικά σώματα 70°C.

	Κατανάλωση Ενέργειας	
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	1174,60	1,38
Νοέμβριος	4217,50	4,95
Δεκέμβριος	7314,57	8,58
Ιανουάριος	6375,36	7,48
Φεβρουάριος	5749,79	6,74
Μάρτιος	5241,71	6,15
Απρίλιος	2549,71	2,99
Συνολικά:	32623,24	38,26

Πίνακας 5.11: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

5.4.2. Εξηλασμένη Πολυστερίνη (XPS)

Με την προσθήκη μονωτικού υλικού επηρεάζονται και οι θερμικές ανάγκες του Κτιρίου 'Ο'. Αναμένεται μείωση των αναγκών αυτών και οπότε μείωση και των μεγεθών των συστημάτων θέρμανσης σε κάθε περίπτωση. Η τοποθέτηση της θερμομόνωσης γίνεται εξωτερικά τόσο για τον φέροντα οργανισμό όσο και για την οπτοπλινθοδομή και ύστερα καλύπτεται με επίχρισμα. Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται η μοντελοποίηση και για τα δυο είδη εξωτερικής τοιχοποιίας μέσω του λογισμικού DesignBuilder.



Χωρίς μόνωση

Με μόνωση

Εικόνα 5.11: Τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης στην οπτοπλινθοδομή και στον φέροντα οργανισμό

Ακολουθούν τα αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας για το όλα τα σενάρια θέρμανσης μετά την τοποθέτηση της εξηλασμένης πολυστερίνης εξωτερικά του Κτιρίου 'Ο'.

Υπάρχουσα κατάσταση:

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	2235,37	2,62
Νοέμβριος	13374,60	15,69
Δεκέμβριος	29321,13	34,39
Ιανουάριος	29255,39	34,31
Φεβρουάριος	26891,30	31,54
Μάρτιος	24343,65	28,55
Απρίλιος	9165,95	10,75
Συνολικά:	134587,38	157,86

Πίνακας 5.12 : Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου μικρότερης ονομαστικής ισχύος:

Είναι προφανές ότι εφόσον τοποθετήθηκε θερμομόνωση, μειώθηκαν οι ενεργειακές ανάγκες του Κτιρίου 'Ο'. Επομένως χρησιμοποιώντας την αυτόματη διαστασιολόγηση (Autosize) του DesignBuilder προκύπτει το μέγεθος του λέβητα που απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών αυτών:

Χαρακτηριστικά συστήματος θέρμανσης:

- Λέβητας φυσικού αερίου
- Ονομαστική ισχύς 192 kW
- Βαθμός απόδοσης 89,02 %

Όπως ήταν αναμενόμενο ο λέβητας που απαιτείται πλέον είναι μικρότερος κατά **20 kW**.

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	2059,85	2,42
Νοέμβριος	12043,15	14,13
Δεκέμβριος	26225,71	30,76
Ιανουάριος	26131,23	30,65
Φεβρουάριος	24055,93	28,22
Μάρτιος	21753,67	25,52
Απρίλιος	8225,28	9,65
Συνολικά:	120494,82	141,33

Πίνακας 5.13: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Συστοιχία συμβατικών λέβητων φυσικού αερίου:

Έχοντας όμοιο σκεπτικό με πριν, προκύπτουν τα ακόλουθα για το σύστημα θέρμανσης.

Χαρακτηριστικά συστήματος θέρμανσης:

- Δυο συμβατικοί λέβητες φυσικού αερίου
- Ονομαστικές ισχύς : Πρωτεύον λέβητας 142 kW
Δευτερεύον λέβητας 50 kW
- Βαθμοί απόδοσης : Πρωτεύον λέβητας 91 %
Δευτερεύον λέβητας 92 %

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	2348,91	2,76
Νοέμβριος	11614,26	13,62
Δεκέμβριος	23089,37	27,08
Ιανουάριος	23115,27	27,11
Φεβρουάριος	21149,92	24,81
Μάρτιος	19396,53	22,75
Απρίλιος	7624,25	8,94
Συνολικά:	108338,51	127,07

Πίνακας 5.14: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Λέβητας συμπύκνωσης:

Έχοντας όμοιο σκεπτικό με πριν, προκύπτουν τα ακόλουθα για το σύστημα θέρμανσης.

Χαρακτηριστικά συστήματος θέρμανσης:

- Λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
- Ονομαστική ισχύς 192 kW
- Βαθμός απόδοσης 100 %

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	1784,40	2,09
Νοέμβριος	9861,73	11,57
Δεκέμβριος	21153,45	24,81
Ιανουάριος	21016,40	24,65
Φεβρουάριος	19368,45	22,72
Μάρτιος	17454,74	20,47
Απρίλιος	6591,75	7,73
Συνολικά:	97230,92	114,04

Πίνακας 5.15: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Συστοιχία λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης:

Έχοντας όμοιο σκεπτικό με πριν, προκύπτουν τα ακόλουθα για το σύστημα θέρμανσης.

Χαρακτηριστικά συστήματος θέρμανσης:

- Διο λέβητες φυσικού αερίου συμπύκνωσης σε συστοιχία
- Ονομαστικές ισχύς : Πρωτεύον λέβητας 142 kW
Δευτερεύον λέβητας 50 kW
- Βαθμοί απόδοσης : Πρωτεύον λέβητας 100 %
Δευτερεύον λέβητας 104 %

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	1686,81	1,98
Νοέμβριος	8963,80	10,51
Δεκέμβριος	19406,83	22,76
Ιανουάριος	19287,16	22,62
Φεβρουάριος	17789,51	20,87
Μάρτιος	16025,01	18,80
Απρίλιος	6047,60	7,09
Συνολικά:	89206,72	104,63

Πίνακας 5.16: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Αντλία θερμότητας:

Έχοντας όμοιο σκεπτικό με πριν, προκύπτουν τα ακόλουθα για το σύστημα θέρμανσης.

Χαρακτηριστικά συστήματος θέρμανσης:

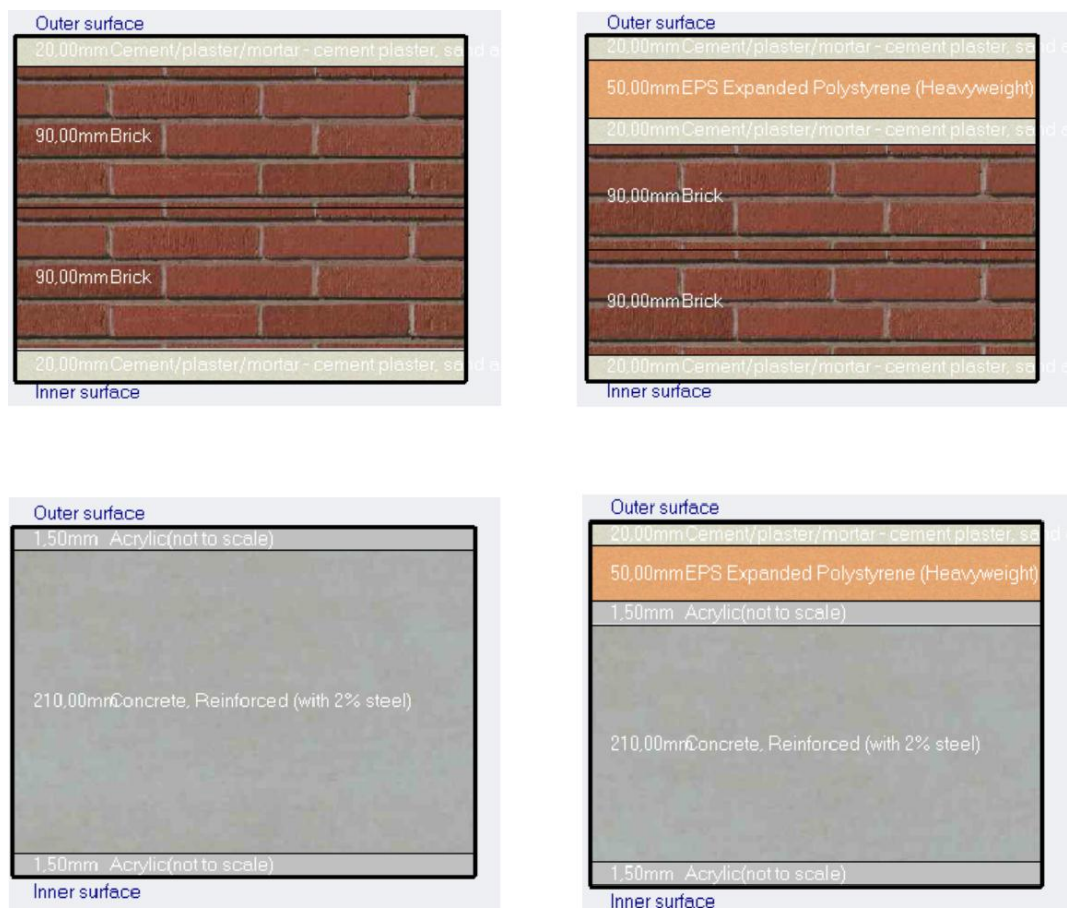
- Αντλία θερμότητας αέρος/νερού
- Ονομαστική ισχύς 192 kW
- Συντελεστής συμπεριφοράς COP 2,2

	Κατανάλωση Ενέργειας	
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	1138,58	1,34
Νοέμβριος	3718,53	4,36
Δεκέμβριος	5463,65	5,24
Ιανουάριος	5609,50	6,58
Φεβρουάριος	5953,80	6,98
Μάρτιος	5573,15	6,54
Απρίλιος	2306,30	2,71
Συνολικά:	29763,52	34,91

Πίνακας 5.17: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

5.4.3. Διογκωμένη Πολυστερίνη (EPS)

Η μοντελοποίηση της τοποθέτησης διογκωμένης πολυστερίνης φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:



Χωρίς μόνωση

Με μόνωση

Εικόνα 5.12: Τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης στην οπτοπλινθοδομή και στον φέροντα οργανισμό

Για όλα τα επιμέρους σενάρια συστημάτων θέρμανσης ισχύουν τα ίδια για τα χαρακτηριστικά των συστημάτων όπως επιλέχθηκαν για την εξηλασμένη πολυστερίνη στην παράγραφο 5.4.2.

Ακολουθούν τα αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας για το όλα τα σενάρια θέρμανσης μετά την τοποθέτηση της διογκωμένης πολυστερίνης εξωτερικά του Κτιρίου 'Ο'.

Υπάρχουσα κατάσταση:

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	2260,95	2,65
Νοέμβριος	13458,83	15,79
Δεκέμβριος	29462,99	34,56
Ιανουάριος	29392,46	34,48
Φεβρουάριος	27030,88	31,71
Μάρτιος	24462,07	28,69
Απρίλιος	9213,47	10,81
Συνολικά:	135281,64	158,68

Πίνακας 5.18: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου μικρότερης ονομαστικής ισχύος:

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	2083,11	2,44
Νοέμβριος	12120,45	14,22
Δεκέμβριος	26360,76	30,92
Ιανουάριος	26261,57	30,80
Φεβρουάριος	24186,81	28,37
Μάρτιος	21866,02	25,65
Απρίλιος	8269,05	9,70
Συνολικά:	121147,77	142,10

Πίνακας 5.19: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Συστοιχία συμβατικών λεβήτων φυσικού αερίου:

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	2372,12	2,78
Νοέμβριος	11668,63	13,69
Δεκέμβριος	23184,13	27,19
Ιανουάριος	23194,74	27,21
Φεβρουάριος	21240,60	24,91
Μάρτιος	19471,83	22,84
Απρίλιος	7654,17	8,98
Συνολικά:	108786,22	127,60

Πίνακας 5.20: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Λέβητας συμπύκνωσης:

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	1705,97	2,00
Νοέμβριος	9910,47	11,62
Δεκέμβριος	21246,70	24,92
Ιανουάριος	21103,94	24,75
Φεβρουάριος	19460,27	22,83
Μάρτιος	17530,27	20,56
Απρίλιος	6618,87	7,76
Συνολικά:	97576,49	114,45

Πίνακας 5.21: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Συστοιχία λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης:

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	1704,57	2,00
Νοέμβριος	9010,63	10,57
Δεκέμβριος	19497,68	22,87
Ιανουάριος	19372,29	22,72
Φεβρουάριος	17877,62	20,97
Μάρτιος	16093,32	18,88
Απρίλιος	6074,03	7,12
Συνολικά:	89630,13	105,13

Πίνακας 5.22: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

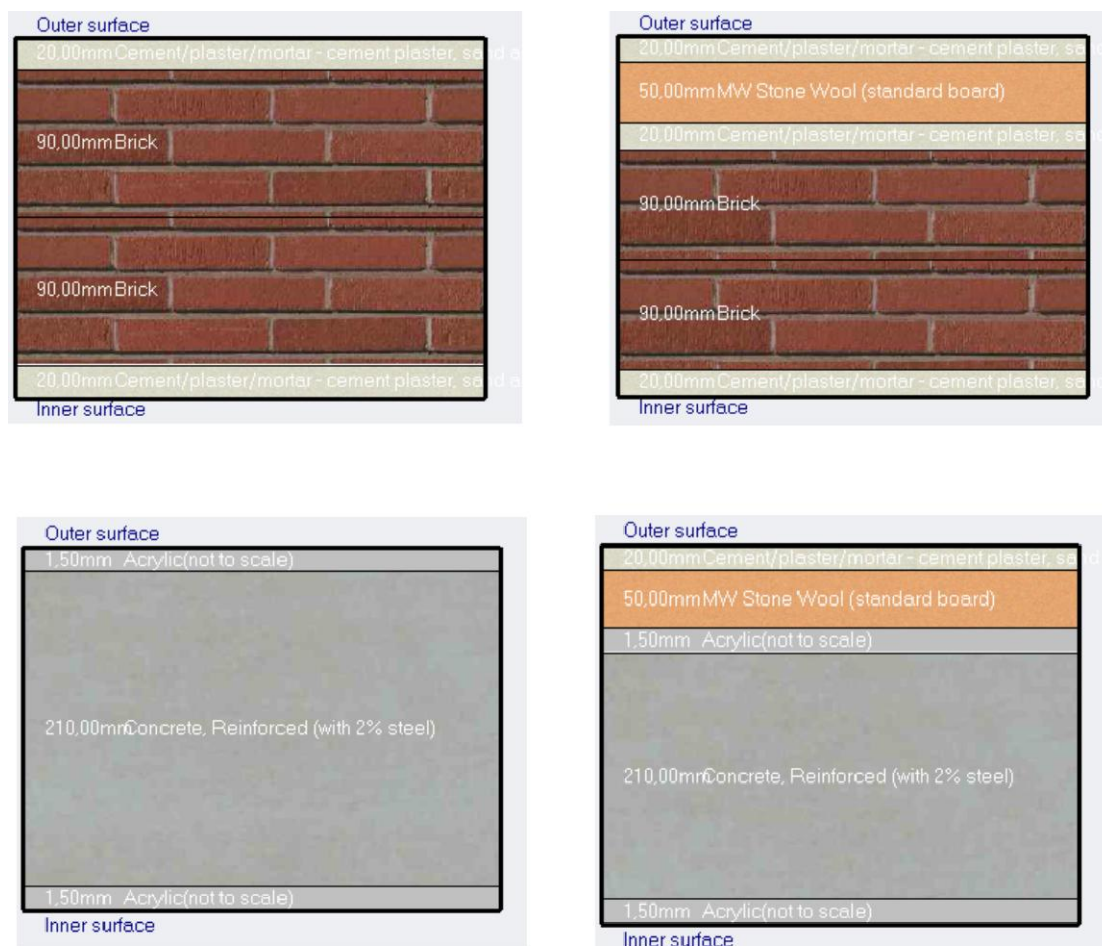
Αντλία θερμότητας:

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m²]
Οκτώβριος	1142,38	1,34
Νοέμβριος	3735,79	4,38
Δεκέμβριος	5491,13	6,44
Ιανουάριος	5635,37	6,61
Φεβρουάριος	5979,29	7,01
Μάρτιος	5596,08	6,56
Απρίλιος	2314,46	2,71
Συνολικά:	29894,51	35,06

Πίνακας 5.23: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

5.4.4. Πετροβάμβακας (Rockwool)

Η μοντελοποίηση της τοποθέτησης του πετροβάμβακα φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:



Χωρίς μόνωση

Με μόνωση

Εικόνα 5.13: Τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης στην οπτοπλινθοδομή και στον φέροντα οργανισμό

Για όλα τα επιμέρους σενάρια συστημάτων θέρμανσης ισχύουν τα ίδια για τα χαρακτηριστικά των συστημάτων όπως επιλέχθηκαν για την εξηλασμένη πολυστερίνη στην παράγραφο 5.4.2.

Ακολουθούν τα αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας για το όλα τα σενάρια θέρμανσης μετά την τοποθέτηση της διογκωμένης πολυστερίνης εξωτερικά του Κτιρίου 'Ο'.

Υπάρχουσα κατάσταση:

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	2242,91	2,63
Νοέμβριος	13507,61	15,84
Δεκέμβριος	29543,26	34,65
Ιανουάριος	29467,27	34,56
Φεβρουάριος	27106,88	31,79
Μάρτιος	24527,97	28,77
Απρίλιος	9240,72	10,84
Συνολικά:	135636,62	159,09

Πίνακας 5.24: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου μικρότερης ονομαστικής ισχύος:

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	2067,37	2,42
Νοέμβριος	12165,78	14,27
Δεκέμβριος	26438,65	31,01
Ιανουάριος	26334,60	30,89
Φεβρουάριος	24260,84	28,46
Μάρτιος	21929,52	25,72
Απρίλιος	8294,88	9,73
Συνολικά:	121491,64	142,50

Πίνακας 5.25: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Συστοιχία συμβατικών λεβήτων φυσικού αερίου:

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	2375,24	2,79
Νοέμβριος	11694,57	13,72
Δεκέμβριος	23237,14	27,26
Ιανουάριος	23244,39	27,26
Φεβρουάριος	21292,25	24,97
Μάρτιος	19516,13	22,89
Απρίλιος	7670,32	9,00
Συνολικά:	109030,03	127,88

Πίνακας 5.26: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Λέβητας συμπύκνωσης:

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	1766,58	2,07
Νοέμβριος	9937,78	11,66
Δεκέμβριος	21298,24	24,98
Ιανουάριος	21151,76	24,81
Φεβρουάριος	19511,32	22,89
Μάρτιος	17572,14	20,61
Απρίλιος	6634,21	7,78
Συνολικά:	97872,03	114,80

Πίνακας 5.27: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Συστοιχία λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης:

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	1706,63	2,00
Νοέμβριος	9033,21	10,60
Δεκέμβριος	19548,46	22,93
Ιανουάριος	19420,03	22,78
Φεβρουάριος	17927,91	21,03
Μάρτιος	16135,30	18,93
Απρίλιος	6088,60	7,14
Συνολικά:	89860,14	105,40

Πίνακας 5.28: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

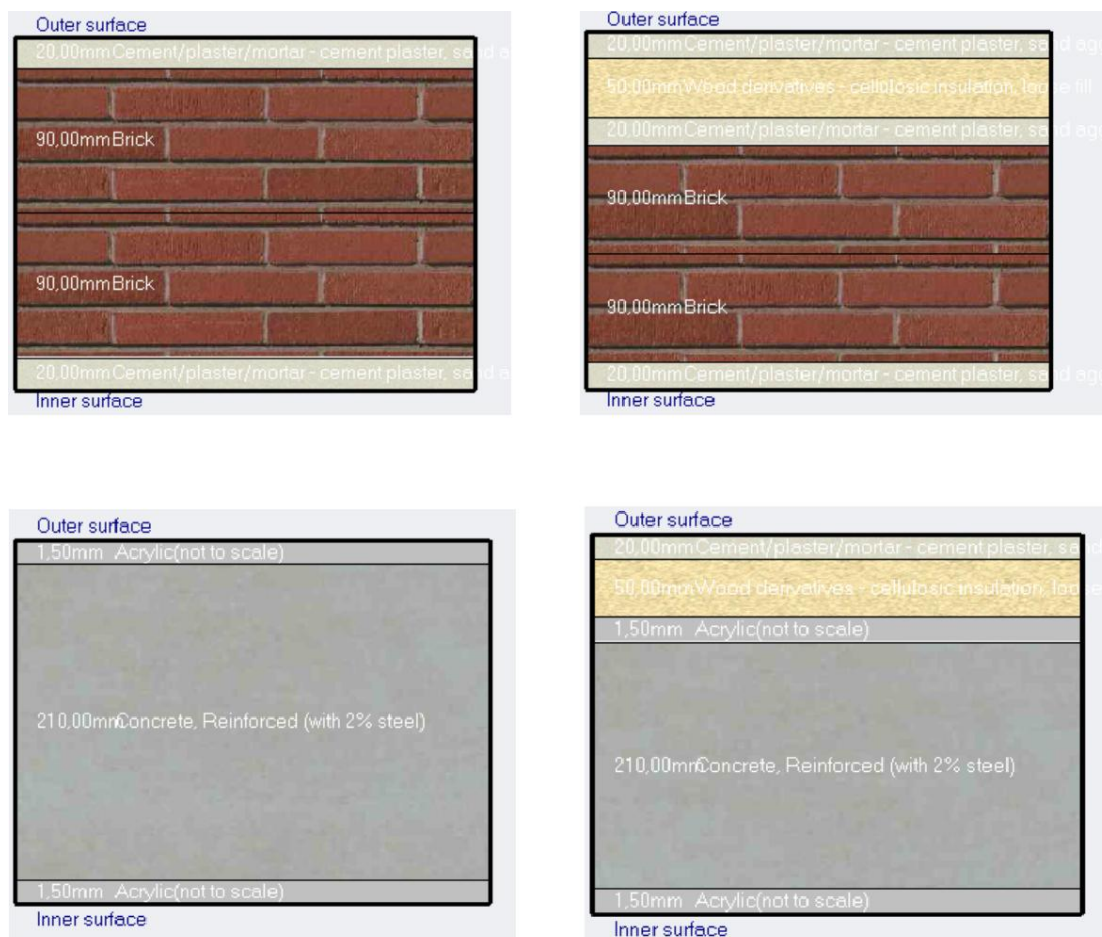
Αντλία θερμότητας:

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	1145,56	1,34
Νοέμβριος	3744,34	4,39
Δεκέμβριος	6506,27	7,63
Ιανουάριος	5649,68	6,63
Φεβρουάριος	4993,93	5,86
Μάρτιος	5606,85	6,58
Απρίλιος	2320,54	2,72
Συνολικά:	29967,16	35,15

Πίνακας 5.29: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

5.4.5. Κυτταρίνη (Cellulose)

Η μοντελοποίηση της τοποθέτησης της κυτταρίνης φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:



Χωρίς μόνωση

Με μόνωση

Εικόνα 5.14: Τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης στην οπτοπλινθοδομή και στον φέροντα οργανισμό

Για όλα τα επιμέρους σενάρια συστημάτων θέρμανσης ισχύουν τα ίδια για τα χαρακτηριστικά των συστημάτων όπως επιλέχθηκαν για την εξηλασμένη πολυστερίνη στην παράγραφο 5.4.2.

Ακολουθούν τα αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας για το όλα τα σενάρια θέρμανσης μετά την τοποθέτηση της διογκωμένης πολυστερίνης εξωτερικά του Κτιρίου 'Ο'.

Υπάρχουσα κατάσταση:

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	2237,07	2,62
Νοέμβριος	13567,73	15,91
Δεκέμβριος	29643,74	34,77
Ιανουάριος	29563,54	34,68
Φεβρουάριος	27205,30	31,91
Μάρτιος	24612,61	28,87
Απρίλιος	9274,25	10,88
Συνολικά:	136104,24	159,64

Πίνακας 5.30: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου μικρότερης ονομαστικής ισχύος:

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	2062,55	2,42
Νοέμβριος	12221,95	14,34
Δεκέμβριος	26536,68	31,13
Ιανουάριος	26428,64	31,00
Φεβρουάριος	24356,10	28,57
Μάρτιος	22011,59	25,82
Απρίλιος	8326,39	9,77
Συνολικά:	121943,90	143,03

Πίνακας 5.31: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Συστοιχία συμβατικών λεβήτων φυσικού αερίου :

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	2376,46	2,79
Νοέμβριος	11735,33	13,76
Δεκέμβριος	23305,04	27,34
Ιανουάριος	23306,88	27,34
Φεβρουάριος	21357,76	25,05
Μάρτιος	19571,21	22,96
Απρίλιος	7696,51	9,03
Συνολικά:	109349,18	128,26

Πίνακας 5.32: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Λέβητας συμπύκνωσης:

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	1800,25	2,11
Νοέμβριος	9971,11	11,70
Δεκέμβριος	21363,43	25,06
Ιανουάριος	21212,13	24,88
Φεβρουάριος	19575,05	22,96
Μάρτιος	17625,24	20,67
Απρίλιος	6653,73	7,80
Συνολικά:	98200,94	115,18

Πίνακας 5.33: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Συστοιχία λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης:

Κατανάλωση Ενέργειας		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	1708,17	2,00
Νοέμβριος	9068,29	10,64
Δεκέμβριος	19613,30	23,00
Ιανουάριος	19480,07	22,85
Φεβρουάριος	17990,82	21,10
Μάρτιος	16187,46	18,99
Απρίλιος	6112,75	7,17
Συνολικά:	90160,86	105,75

Πίνακας 5.34: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

Αντλία θερμότητας:

	Κατανάλωση Ενέργειας	
	[kWh]	[kWh/m ²]
Οκτώβριος	1148,99	1,35
Νοέμβριος	3756,14	4,41
Δεκέμβριος	5525,35	6,48
Ιανουάριος	5667,98	6,65
Φεβρουάριος	5012,25	5,88
Μάρτιος	5623,75	6,60
Απρίλιος	3326,41	3,90
Συνολικά:	30060,87	35,26

Πίνακας 5.35: Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας στην διάρκεια της θερμαντικής περιόδου

5.5. Σύνοψη αποτελεσμάτων και συμπεράσματα

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστούν συνοπτικά τα αποτελέσματα για την κατανάλωση ενέργειας από τα συστήματα θέρμανσης για κάθε σενάριο που διερευνήθηκε. Θα χρησιμοποιηθούν μόνο τα αθροισμένα ποσά κάθε πίνακα που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, τα οποία αφορούν ολόκληρη την θερμομαντική περίοδο. Με αυτόν τον τρόπο θα υπάρξει άμεση σύγκριση των καταναλώσεων μεταξύ των σεναρίων εξοικονόμησης και γενικά καλύτερη εποπτεία τις κάθε βελτιωτικής κίνησης.

Αρχικά παρουσιάζεται η κατανάλωση ενέργειας ανηγμένη ανά τετραγωνικό μέτρο θερμαινόμενης επιφάνειας (υπενθύμιση: $852,57 \text{ m}^2$ θερμαινόμενη επιφάνεια) όλων των σεναρίων εξοικονόμησης σε έναν συγκεντρωτικό πίνακα:

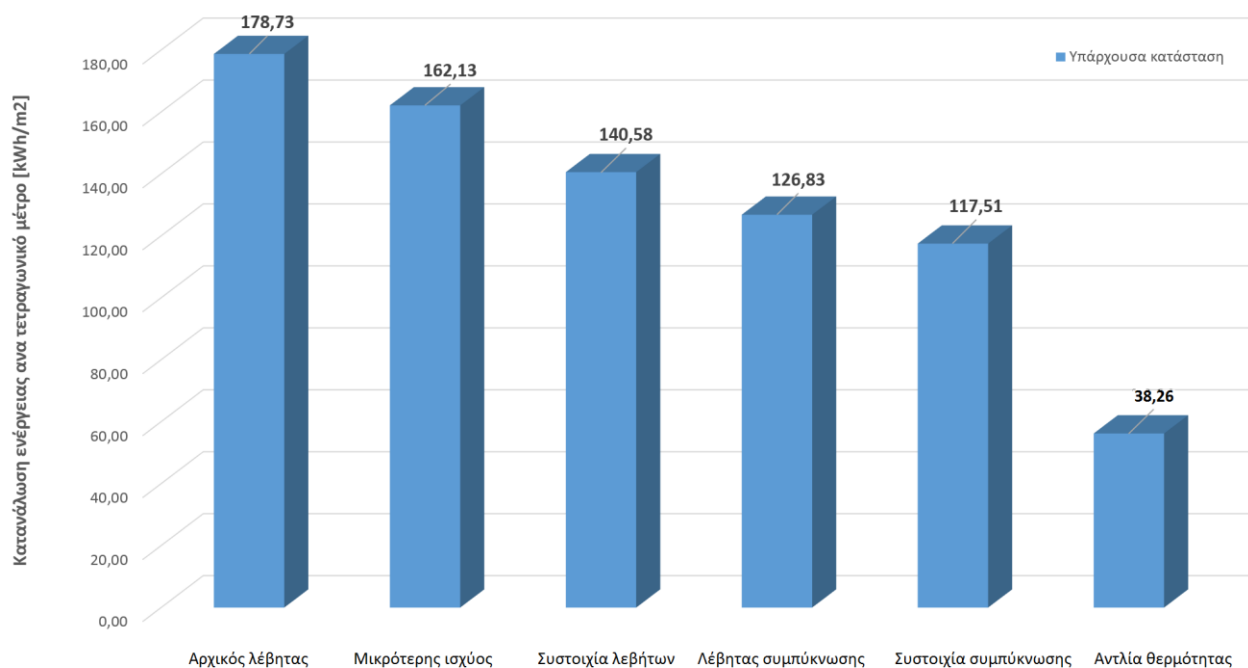
	Κατανάλωση Ενέργειας [kWh/m ²]				
	Χωρίς παρεμβάσεις	Εξηλασμένη Πολυστερίνη	Διογκωμένη Πολυστερίνη	Πετροβάμβακας	Κυτταρίνη
Υπάρχουσα κατάσταση:	178,73	157,86	158,68	159,09	159,64
Μικρότερης ισχύος:	162,13	141,33	142,10	142,50	143,03
Συστοιχία λεβήτων:	140,58	127,07	127,60	127,88	128,26
Λέβητας συμπύκνωσης:	126,83	114,04	114,45	114,80	115,18
Συστοιχία συμπύκνωσης:	117,51	104,63	105,13	105,40	105,75
Αντλία θερμότητας:	38,26	34,91	35,06	35,15	35,26

Πίνακας 5.36: Σύνοψη καταναλώσεων ενέργειας όλων των σεναρίων εξοικονόμησης για ολόκληρη την θερμομαντική περίοδο

Ύστερα ακολουθεί η διαγραμματική απεικόνιση της μεταβολής της κατανάλωσης ενέργειας με την εφαρμογή κάθε σεναρίου εξοικονόμησης σε σχέση με την αρχική κατάσταση του Κτιρίου 'Ο', καθώς και του αντίστοιχου ποσοστού αυτού:

Χωρίς παρεμβάσεις:

Εφόσον στο σημείο αυτό δεν εξετάζεται τοποθέτηση μόνωσης, αλλά μελετάται μόνο η μεταβολή της καταναλισκόμενης ενέργειας αντικαθιστώντας τον αρχικό λέβητα με νέα συστήματα θέρμανσης, κρίνεται απαραίτητο να παρουσιαστεί η μεταβολή αυτή διαγραμματικά:



Διάγραμμα 5.5: Μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας στην υπάρχουσα κατάσταση, για όλα τα σενάρια θέρμανσης

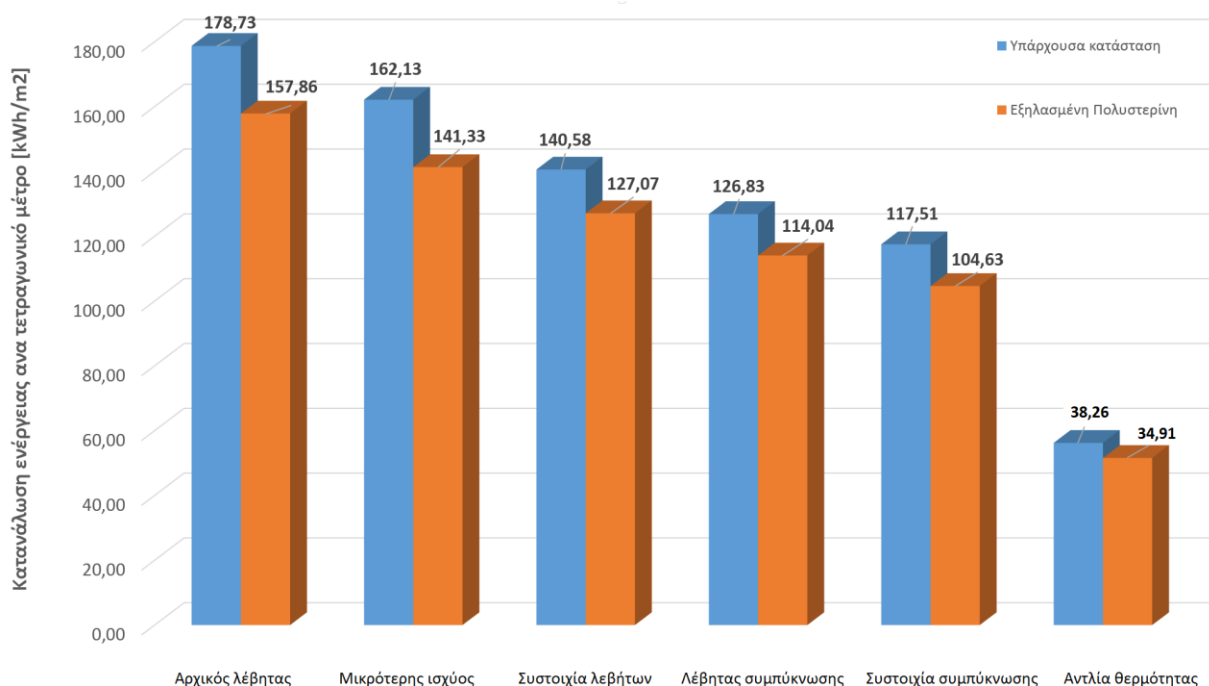
Όπως είναι φανερό από το παραπάνω διάγραμμα τα σενάρια αντικατάστασης του αρχικού λέβητα προκαλούν αξιόλογη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας καθ' όλη την θερμαντική περίοδο και έχουν παρουσιαστεί με κατάλληλη σειρά ώστε να οδηγούνται από την μικρότερη προς την μεγαλύτερη μεταβολή.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται ποσοστιαία η μεταβολή της καταναλισκόμενης ενέργειας κάθε σεναρίου αντικατάστασης του αρχικού λέβητα σε σχέση με τον αρχικό λέβητα:

	Ποσοστό εξοικονόμησης %
Συμβατικός λέβητας μικρότερης ισχύος	9,29
Συστοιχία συμβατικών λεβήτων	21,35
Λέβητας συμπίκνωσης	29,04
Συστοιχία λεβήτων συμπίκνωσης	34,26
Αντλία θερμότητας	78,59

Πίνακας 5.37: Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας για τα σενάρια αντικατάστασης του αρχικού λέβητα

Εξηλασμένη Πολυστερίνη:



Διάγραμμα 5.6: Μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας με την χρήση εξηλασμένης πολυστερίνης, για όλα τα σενάρια θέρμανσης

Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται η μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας για όλα τα σενάρια θέρμανσης που αφορούν το κτίριο χωρίς θερμομόνωση και με εξηλασμένη πολυστερίνη. Ακολουθεί πίνακας όπου φαίνονται οι μεταβολές αυτές ποσοστιαία:

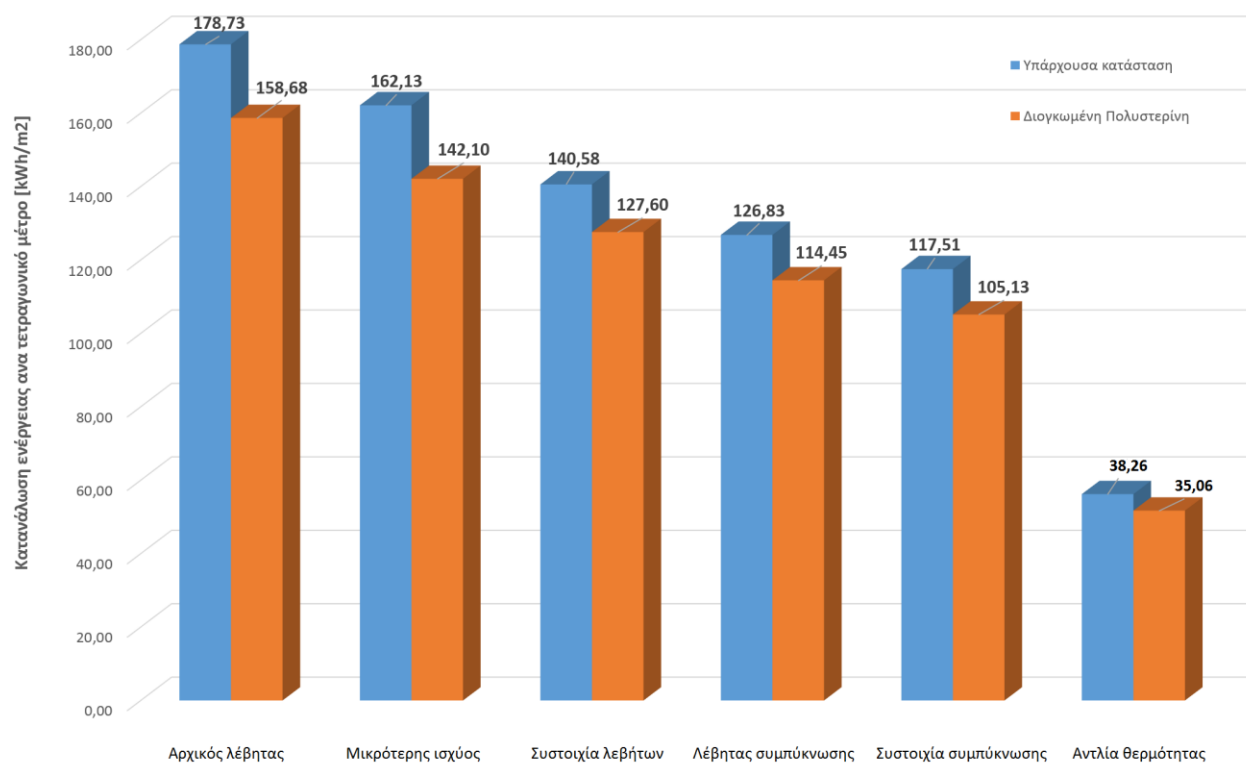
	Ποσοστό μείωσης %
Αρχικός λέβητας	11,68
Μικρότερης ισχύος	12,83
Συστοιχία λεβήτων	9,61
Λέβητας συμπύκνωσης	10,08
Συστοιχία συμπύκνωσης	10,96
Αντλία θερμότητας	8,77

Πίνακας 5.38: Ποσοστό μείωσης κατανάλωσης ενέργειας μετά την τοποθέτηση εξηλασμένης πολυστερίνης

Οπότε με την χρήση εξηλασμένης πολυστερίνης επιτυγχάνεται γενικά ικανοποιητική εξοικονόμηση στην κατανάλωση ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα υπολογίζοντας το μέσο όρο των ποσοστών αυτών, προκύπτει:

Εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση εξηλασμένης πολυστερίνης : 10,65 %

Διογκωμένη Πολυστερίνη:



Διάγραμμα 5.7: Μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας με την χρήση διογκωμένης πολυστερίνης, για όλα τα σενάρια θέρμανσης

Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται η μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας για όλα τα σενάρια θέρμανσης που αφορούν το κτίριο χωρίς θερμομόνωση και με διογκωμένη πολυστερίνη. Ακολουθεί πίνακας όπου φαίνονται οι μεταβολές αυτές ποσοστιαία:

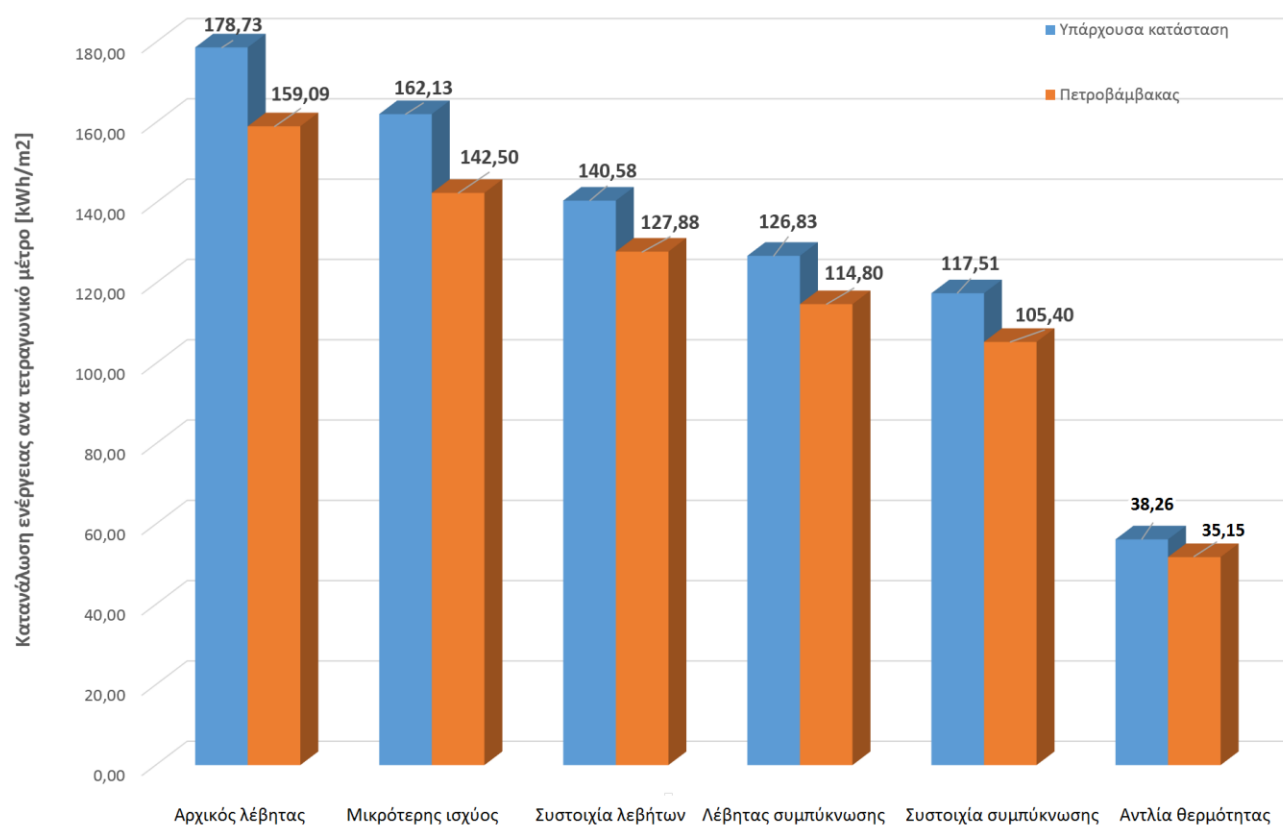
	Ποσοστό μείωσης %
Υπάρχουσα κατάσταση	11,22
Μικρότερης ισχύος	12,35
Συστοιχία λεβήτων	9,23
Λέβητας συμπύκνωσης	9,76
Συστοιχία συμπύκνωσης	10,53
Αντλία θερμότητας	8,36

Πίνακας 5.39: Ποσοστό μείωσης κατανάλωσης ενέργειας μετά την τοποθέτηση διογκωμένης πολυστερίνης

Και σε αυτή την περίπτωση τοποθέτησης μόνωσης επιτυγχάνεται ικανοποιητική εξοικονόμηση ενέργειας και συγκεκριμένα το μέσο όρο των ποσοστών αυτών είναι:

Εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση διογκωμένης πολυστερίνης : 10,25 %

Πετροβάμβακας:



Διάγραμμα 5.8: Μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας με την χρήση πετροβάμβακα, για όλα τα σενάρια θέρμανσης

Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται η μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας για όλα τα σενάρια θέρμανσης που αφορούν το κτίριο χωρίς θερμομόνωση και με πετροβάμβακα. Ακολουθεί πίνακας όπου φαίνονται οι μεταβολές αυτές ποσοστιαία:

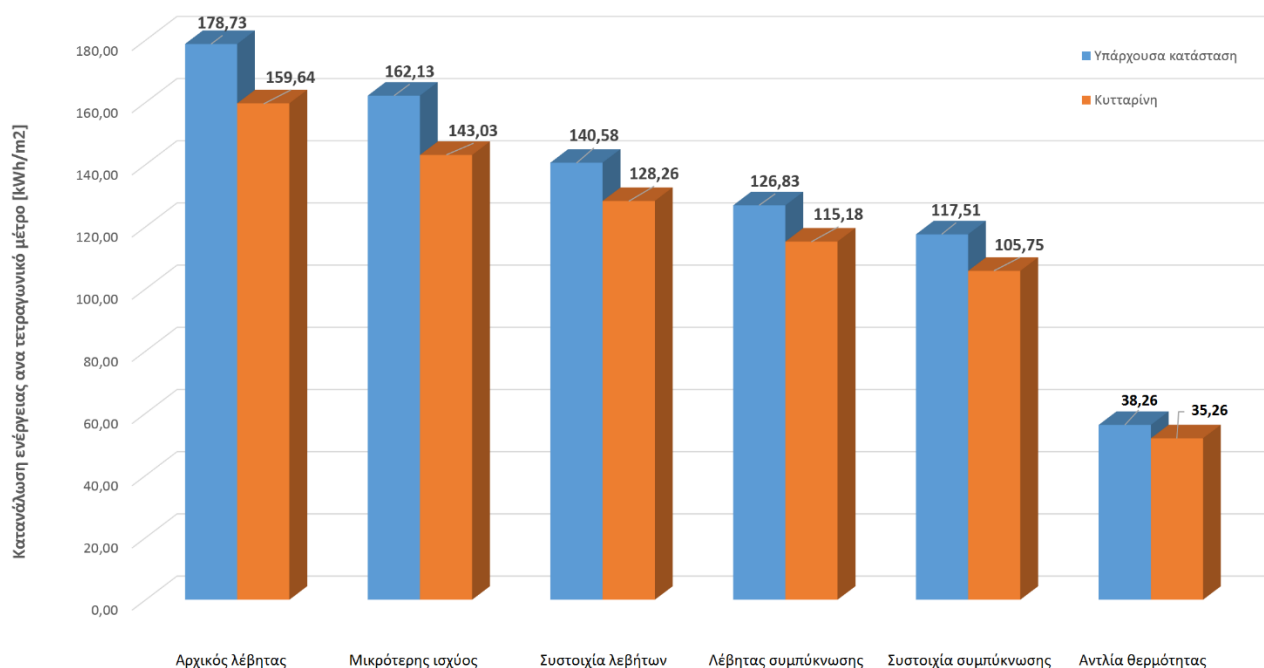
	Ποσοστό μείωσης %
Υπάρχουσα κατάσταση:	10,99
Μικρότερης ισχύος:	12,10
Συστοιχία λεβήτων:	9,03
Λέβητας συμπύκνωσης:	9,49
Συστοιχία συμπύκνωσης:	10,30
Αντλία θερμότητας:	8,14

Πίνακας 5.40: Ποσοστό μείωσης κατανάλωσης ενέργειας μετά την τοποθέτηση πετροβάμβακα

Και σε αυτή την περίπτωση τοποθέτησης μόνωσης επιτυγχάνεται ικανοποιητική εξοικονόμηση ενέργειας και συγκεκριμένα το μέσο όρο των ποσοστών αυτών είναι:

Εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση πετροβάμβακα 10,01 %

Κυτταρίνη:



Διάγραμμα 5.9: Μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας με την χρήση κυτταρίνης, για όλα τα σενάρια θέρμανσης

Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται η μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας για όλα τα σενάρια θέρμανσης που αφορούν το κτίριο χωρίς θερμομόνωση και με κυτταρίνης. Ακολουθεί πίνακας όπου φαίνονται οι μεταβολές αυτές ποσοστιαία:

	Ποσοστό μείωσης %
Υπάρχουσα κατάσταση	10,68
Μικρότερης ισχύος	11,78
Συστοιχία λεβήτων	8,76
Λέβητας συμπίκνωσης	9,19
Συστοιχία συμπίκνωσης	10,00
Αντλία θερμότητας	7,85

Πίνακας 5.41: Ποσοστό μείωσης κατανάλωσης ενέργειας μετά την τοποθέτηση κυτταρίνης

Και σε αυτή την περίπτωση τοποθέτησης μόνωσης επιτυγχάνεται ικανοποιητική εξοικονόμηση ενέργειας και συγκεκριμένα το μέσο όρο των ποσοστών αυτών είναι:

Εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση κυτταρίνης : 9,71 %

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ:

Οπότε συνοπτικά για τις τέσσερις μονώσεις που χρησιμοποιήθηκαν, επιτεύχθηκε εξοικονόμηση ενέργειας:

	Ποσοστό εξοικονόμησης %
Εξηλασμένη Πολυστερίνη	10,65
Διογκωμένη Πολυστερίνη	10,25
Πετροβάμβακας	10,01
Κυτταρίνη	9,71

Πίνακας 5.42: Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας επί της υπάρχουσας κατάστασης του Κτιρίου Ο

Εμφανώς η χρήση εξηλασμένης πολυστερίνης είναι αυτή που επιφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα από την πλευρά μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας καθ' όλη την θερμαντική περίοδο, όπως άλλωστε και αναμενόταν.

6. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα λάβει χώρα η οικονομική αξιολόγηση όλων των βελτιωτικών επεμβάσεων τόσο στο υπάρχον σύστημα θέρμανσης, όσο και στο κτιριακό κέλυφος. Στόχος της όλης ανάλυσης αυτής είναι η άμεση σύγκριση του κόστους των επεμβάσεων εις βάθος χρόνου κάποιων ετών. Η ανάλυση που θα διεξαχθεί είναι σε απόλυτη συμφωνία με την οδηγία αριθ. 244/2012 [10] η οποία καθορίζει το μεθοδολογικό πλαίσιο για τον υπολογισμό των επιπέδων βέλτιστου κόστους των ελάχιστων απαιτήσεων των κτιρίων και των δομικών στοιχείων. Η ανάλυση αυτή ονομάζεται «ανάλυση βέλτιστου κόστους» ή «cost-optimium analysis» και προσφέρει εξαιρετικά καθαρή εικόνα του ποια βελτιωτική κίνηση είναι συμφέρουσα έναντι κάποιας άλλης. Ακολουθεί η διαδικασία υπολογισμού του κόστους κάθε βελτιωτικής κίνησης στο Κτίριο 'Ο' και η επισήμανση του στόχου της όλης ανάλυσης.

6.1. Υπολογισμός του συνολικού κόστους

Για την περιγραφή του συνολικού κόστους μιας βελτιωτικής κίνησης χρειάστηκε πέραν της λεπτομερούς διερεύνησης του 244/2012 και η μελέτη του 2012/C 115/01: Κατευθυντήριες Γραμμές [11] που συνοδεύουν τον 244/2012. Με αυτόν τον τρόπο επιλέχθηκαν τα κόστη τα οποία θα συμμετέχουν στον υπολογισμό του συνολικού.

Σύμφωνα με τον 244/2012 το συνολικό κόστος υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{\alpha,i}(j) \times R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right] \quad (6.1)$$

Όπου:

τ η περίοδος υπολογισμού σε έτη

$C_g(\tau)$ το συνολικό κόστος (ως προς το έτος έναρξης τ_0) κατά την περίοδο υπολογισμού

C_I το αρχικό κόστος επένδυσης για το μέτρο ή το σύνολο μέτρων j

$C_{\alpha,i}(j)$ το ετήσιο κόστος του μέτρου ή του συνόλου μέτρων j κατά το έτος i

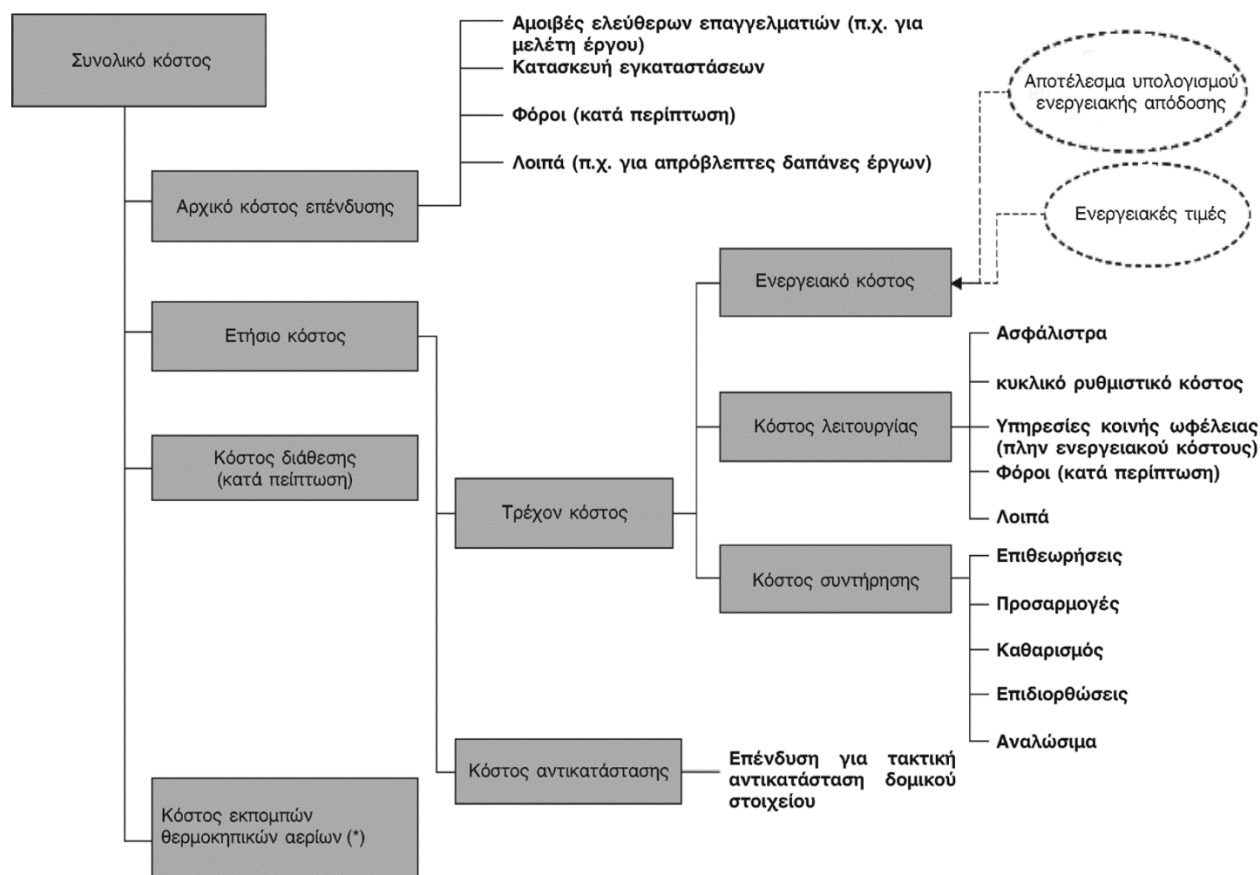
$V_{f,\tau}(j)$ η υπολειμματική αξία του μέτρου ή συνόλου μέτρων j στο τέλος της περιόδου υπολογισμού (που έχει αναχθεί στο έτος έναρξης τ_0)

$R_d(i)$ ο συντελεστής προεξόφλησης του έτους i με βάση το προεξοφλητικό επιτόκιο ο οποίος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1 + r/100} \right)^p \quad (6.2)$$

Όπου p ο αριθμός των ετών από την έναρξη της περιόδου υπολογισμού και r το πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο

Το επόμενο βήμα αφού ορίστηκε ο τρόπος υπολογισμού του συνολικού κόστους είναι ποια είναι τα επιμέρους κόστη που το αποτελούν και η κατηγοριοποίησή τους. Στο παρακάτω λογικό διάγραμμα φαίνεται η εν λόγω κατηγοριοποίηση:



Εικόνα 6.1: Κατηγοριοποίηση κόστους σύμφωνα με τις Κατευθυντήριες Γραμμές [11]

Κατηγορίες συνολικού κόστους:

Οι διάφορες κατηγορίες κόστους έχουν συγκεντρωθεί όπως φαίνεται και στην εικόνα και αφορούν όλων των ειδών τις εφαρμογές που αφορούν κτίρια. Αυτό σημαίνει ότι στην παρούσα μελέτη δεν περιέχονται και κατ' επέκταση δεν θα εξεταστούν κάποιες κατηγορίες κόστους. Οπότε για τα κόστη διευκρινίζονται τα εξής:

Αρχικό κόστος επένδυσης

Περιλαμβάνει τα κόστη οποιασδήποτε αγοράς συμβεί για κάποια βελτιωτική κίνηση, όπως για παράδειγμα η αγορά ενός νέου λέβητα ή μιας αντλίας θερμότητας. Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνεται επίσης και το κόστος εγκατάστασης του εκάστοτε συστήματος. Στις τιμές αυτές συμπεριλαμβάνεται και ο φόρος προστιθέμενης αξίας Φ.Π.Α. Να σημειωθεί ότι κόστος ελεύθερων επαγγελματιών για μελέτη του έργου δεν συμπεριλαμβάνεται καθώς η παρούσα διπλωματική αφορά την μελέτη αυτή κάθε αυτή.

Ετήσιο κόστος

Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται το τρέχον κόστος και το κόστος αντικατάστασης. Το δεύτερο επιλέχθηκε να μην ληφθεί υπόψιν, καθώς η πιθανή αντικατάσταση κάποιου δομικού υλικού που τοποθετήθηκε (για παράδειγμα η θερμομόνωση) αποτελεί αρκετά στοχαστικό μέγεθος ώστε να μπορεί να προβλεφθεί με σχετική ακρίβεια. Επίσης το χρηματικό μέγεθος που θα αντιστοιχεί στο κόστος αυτό θα είναι εξαιρετικά μικρότερο σχετικά με το αρχικό κόστος επένδυσης ή τοποθέτησης εξωτερικής θερμομόνωσης.

Το τρέχον κόστος συμπεριλαμβάνει με την σειρά του αρχικά το ενεργειακό κόστος, όπου είναι το κόστος αγοράς καυσίμου και σχετίζεται με τις εκάστοτε ισχύουσες ενεργειακές τιμές και τα αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης. Δεύτερον περιλαμβάνει το λειτουργικό κόστος (ασφάλιστρα, κυκλικό ρυθμιστικό κόστος) όπου στην παρούσα μελέτη είναι ανούσιο να εξεταστεί. Τέλος περιλαμβάνει το κόστος συντήρησης των συστημάτων και εξαρτημάτων με ότι αυτό συνεπάγεται (επιθεωρήσεις, προσαρμογές, καθαρισμός, επιδιορθώσεις, αναλώσιμα).

Κόστος διάθεσης

Η κατηγορία αυτή αναφέρεται στο κόστος αποδόμησης-αφαίρεσης των συστημάτων θέρμανσης ή της εξωτερικής θερμομόνωσης που τοποθετήθηκαν, στο πέρας της διάρκειας ζωής τους. Το κόστος αυτό στην πλειονότητα των εφαρμογών εκφράζεται ως ποσοστό επί του αρχικού κεφαλαίου.

Κόστος εκπομπών θερμοκηπικών αερίων

Η κατηγορία κόστους αυτή σύμφωνα με τον κανονισμό 244/2012 [10] πρέπει να συμπεριληφθεί στο συνολικό κόστος μόνο όταν η ανάλυση γίνεται σε μακροοικονομικό επίπεδο. Στην παρούσα μελέτη η ανάλυση προφανώς γίνεται σε χρηματοοικονομικό επίπεδο, οπότε συμπερασματικά το κόστος αυτό δεν θα ληφθεί υπόψιν.

Διευκρινήσεις και παραδοχές σχετικά με τα κόστη:

Προεξοφλητικό επιτόκιο

Το προεξοφλητικό επιτόκιο σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του 244/2012 επιλέγεται 4 % καθώς διατυπώνει αμιγώς εμπορική, βραχυπρόθεσμη προσέγγιση για την εκτίμηση επενδύσεων, όπως ακριβώς συμβαίνει στην παρούσα ανάλυση. Επίσης ο κανονισμός παροτρύνει την διερεύνηση και άλλων επιτοκίων από 2 % έως 4 % στα πλαίσια ανάλυσης ευαισθησίας.

Περίοδος υπολογισμού

Όσον αφορά τα έτη της περιόδου υπολογισμού, επιλέγεται σύμφωνα με τον κανονισμό 244/2012 [10] διάρκεια 20 έτη, εφόσον το Κτίριο Ο δεν αποτελεί κτίριο οικιστικής χρήσης αλλά επαγγελματικής.

Ενεργειακές τιμές και ενεργειακό κόστος

Όσον αφορά το κόστος ενέργειας, αυτό που ενδιαφέρει είναι η τιμή πώλησης του φυσικού αερίου σε [€/kWh]. Τα στοιχεία για αυτού του είδους την ανάλυση παίρνονται από την ιστοσελίδα του Φυσικού Αερίου Αττικής [12] και συγκεκριμένα από την Οικιακό Τιμολόγιο 2014. Η κοστολόγηση παροχής φυσικού αερίου αποτελείται από την πάγια χρέωση και την χρέωση ενέργειας (σχετίζεται με την καταναλισκόμενη ενέργεια). Για την πάγια χρέωση εφόσον η κατανάλωση φυσικού αερίου ανά ώρα [m^3/hr] βρίσκεται μεταξύ των 5 και 40 m^3/hr , η κοστολόγηση γίνεται ως εξής:

$$\text{Πάγια Χρέωση} = 11,43 \left[\frac{\text{€}}{60 \text{ ημέρες}} \right] * 6 \left[\frac{60 \text{ ημέρες}}{\text{έτος}} \right] = 68,58 \text{ €/έτος}$$

Η τιμή του φυσικού αερίου για το κόστος ενέργειας, όπως είναι γνωστό δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται για κάθε μήνα. Στην ιστοσελίδα υπάρχουν διαθέσιμες οι τιμές για όλους τους μήνες των ετών 2013 και 2014. Οπότε υπολογίζοντας το μέσο όρο για την θερμαντική περίοδο που ενδιαφέρει (Οκτώβριος-Απρίλιος), προκύπτει η τιμή:

$$\text{Τιμή Φυσικού Αερίου [2014]} = 0,069095 \text{ €/kWh}$$

Παρόλα αυτά, όπως αναφέρθηκε ήδη, η ανάλυση του κόστους θα πραγματοποιηθεί σε βάθος 20 ετών που σημαίνει ότι η τιμή αυτή δεν δύναται να θεωρηθεί σταθερή. Ο κανονισμός 244/2012 [10] επισημαίνει ότι για μελλοντική εξέλιξη των ενεργειακών τιμών, μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστη η έρευνα από της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σχετικά με την μελλοντική εξέλιξη των τιμών καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας [13]. Από την συγκεκριμένη έρευνα το σημαντικότερο το οποίο και παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα είναι η εξέλιξη των ενεργειακών τιμών που αναμένεται να συμβεί μέχρι το 2030:

	annual growth rate				
	90/01	01/10	10/20	20/30	01/30
Oil	0.9	2.5	0.7	1.8	1.6
Natural Gas					
American market	2.9	-0.8	4.4	2.3	2.0
European and African market	2.9	7.3	0.9	1.9	3.1
Asian market	0.7	2.7	1.4	0.7	1.5
Coal					
American market	-5.4	1.9	2.1	2.3	2.0
European and African market	-4.4	3.2	1.2	0.6	1.6
Asian market	-2.0	3.4	1.6	1.5	2.0

Πίνακας 6.1: Εξέλιξη ενεργειακών τιμών καυσίμων έως το 2030

Οπότε εφόσον η περίοδος υπολογισμού της παρούσας ανάλυσης είναι 20 έτη, ενδιαφέρει η εξέλιξη των τιμών μέχρι και το 2033-2034. Επομένως στην γραμμή που αφορά το φυσικό αέριο για τις Ευρωπαϊκές αγορές, και παρατηρώντας τις στήλες 10/20 και 20/30 που αφορούν τα έτη 2010, 2020, 2030 δύναται να οριστούν οι τιμές του φυσικού αερίου για αυτά τα έτη:

$$\text{Τιμή Φυσικού Αερίου [2014]} = 0,069095 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Τιμή Φυσικού Αερίου [2020]} = 0,069716 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Τιμή Φυσικού Αερίου [2030]} = 0,071041 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

Επομένως έχοντας τις τιμές για τα έτη αυτά, κατασκευάζεται ένας αλγόριθμος εξέλιξης της τιμής του φυσικού αερίου για κάθε έτος της συνολικής διάρκειας υπολογισμού έτσι ώστε για κάθε έτος να μεταβάλλεται η τιμή του φυσικού αερίου ανάλογα με τα δεδομένα στάνταρ που μόλις ειπώθηκαν. Ο αλγόριθμος αυτός κατασκευάστηκε με την χρήση του λογισμικού Excel και στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την τιμή του φυσικού αερίου:

Χρονολογία	Έτη	Τιμή φυσικού αερίου
2014	1	0,069095
2015	2	0,069218
2016	3	0,069341
2017	4	0,069464
2018	5	0,069587
2019	6	0,069710
2020	7	0,069716
2021	8	0,069862
2022	9	0,070009
2023	10	0,070155
2024	11	0,070302
2025	12	0,070448
2026	13	0,070594
2027	14	0,070741
2028	15	0,070887
2029	16	0,071034
2030	17	0,071041
2031	18	0,071091
2032	19	0,071171
2033	20	0,071251

Πίνακας 6.2: Εξέλιξη τιμής φυσικού αερίου σε όλη την διάρκεια υπολογισμού [$\frac{\text{€}}{\text{kWh}}$]

Αυτές οι τιμές θα χρησιμοποιηθούν για την εύρεση του κόστους ενέργειας σε όλη την περίοδο υπολογισμού. Όπως παρατηρείται σε μαύρο πλαίσιο έχουν σημειωθεί οι σταθερές τιμές που προέκυψαν από τον πίνακα 100 για τα έτη 2014, 2020, 2030.

Στην παρούσα ανάλυση όπως είναι γνωστό εξετάζονται και σενάρια εγκατάστασης αντλιών θερμότητας. Οπότε ενδιαφέρει ιδιαίτερα η τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία μπορεί να ληφθεί άμεσα έχοντας ως πηγή πρόσφατη μελέτη οικονομικής αξιολόγησης συστημάτων υπέρυθρης ακτινοβολίας [14], μπορεί να ληφθεί άμεσα η ζητούμενη τιμή.

Επιλέγεται η τιμή όπου δεν συμπεριλαμβάνει τις πάγιες χρεώσεις που αφορούν ζεστό νερό χρήσης, φωτισμό και συσκευές. Επίσης επιλέγεται τιμή μέτριας μόνωσης ώστε να καλύπτεται η μέση κατάσταση και όχι ακραίες (για παράδειγμα πολύ καλής μόνωσης ή χειρίστης ελαφρώς διαβρωμένης μόνωσης). Έτσι η τιμή που τελικά επιλέγεται είναι:

$$\text{Τιμή Ηλεκτρικού Ρεύματος [2014]} = 0,1791 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

Πρόκειται για αρκετά καλή εκτίμηση τις τιμές αγοράς του ηλεκτρικού ρεύματος εφόσον με την αντλία θερμότητας έχουμε αρκετά μεγάλες καταναλώσεις ενέργειας, που με την σειρά τους οδηγούν σε υψηλότερη κλίμακα στα τιμολόγια της ΔΕΗ. Επομένως η αναμενόμενη χρέωση ήταν περισσότερο κοντά στην τιμή $0,20 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ παρά στην τιμή $0,15 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ όπου βρίσκεται εφαρμογή σε σχετικά μικρές οικιακές χρήσεις αντλιών θερμότητας.

Υπολειμματική αξία

Υπολειμματική αξία έχουν τόσο τα συστήματα θέρμανσης, όσο και τα δομικά υλικά (δηλαδή η θερμομόνωση που τοποθετήθηκε). Παρόλα αυτά για τα συστήματα θέρμανσης δεν λαμβάνεται υπόψιν η αξία αυτή, καθώς η διάρκεια ζωής των συστημάτων (περίπου 20 χρόνια) συμπίπτει με την διάρκεια υπολογισμού. Επομένως για την τοποθέτηση θερμομόνωσης ενδιαφέρει ιδιαίτερα η διάρκεια ζωής της κάθε μόνωσης. Αυτή φαίνεται στον παρακάτω πίνακα [15]:

Υλικά	Πυκνότητα ρ [kg/m ³]	Συντελεστής αγωγιμότητας λ [W/m ² K]	Ωφέλιμη διάρκεια ζωής [έτη]	Χρήση
Διογκωμένη Πολυστερίνη	15 - 30	0,4	50	Τοίχοι, στέγες, δάπεδα, τοιχεία
Εξηλασμένη πολυστερίνη	25 - 35	0,28 - 0,32	50	Τοίχοι, στέγες, δάπεδα, τοιχεία
Σκληρές πλάκες πολυουρεθάνης	30 - 35	0,25 - 0,30	50	Τοίχοι, στέγες, δάπεδα, τοιχεία
Αφρός πολυουρεθάνης	35 - 50	0,30 - 0,35	30 - 50	Σε όλα τα στοιχεία και ειδικότερα σε αυτά καμπύλης γεωμετρίας
Υαλοβάμβακας	18 - 40	0,35 - 0,5	30 - 50	Τοίχοι, στέγες, δάπεδα, τοιχεία, για θερμομόνωση - ηχομόνωση
Πετροβάμβακας	30 - 150	0,35 - 0,5	30 - 50	Τοίχοι, στέγες, δάπεδα, τοιχεία, βιομηχανικές εγκαταστάσεις θερμομόνωση - ηχομόνωση
Ξυλόμαλλο	360 - 570	0,90	75 - 100	Τοίχοι, στέγες, δάπεδα, τοιχεία, για εξωτερική θερμομόνωση, φέρουσες κατασκευές
Σύνθετες Πλάκες Ξυλόμαλλου πολυστερίνης κ Ξυλόμαλλου πετροβάμβακα		0,40 - 0,45	50 - 75	Τοίχοι, στέγες, δάπεδα, τοιχεία, για εξωτερική θερμομόνωση, φέρουσες κατασκευές
Φελλός	120 - 200	0,45 - 0,55	50 - 80	Τοίχοι, στέγες, δάπεδα, τοιχεία
Αφρώδες γυαλί	100 - 150	0,45 - 0,5	50 - 80	Τοίχοι, στέγες, δάπεδα, τοιχεία, για χώρους που δέχονται αυξημένα φορτία, Parking και Parking βαρέων οχημάτων

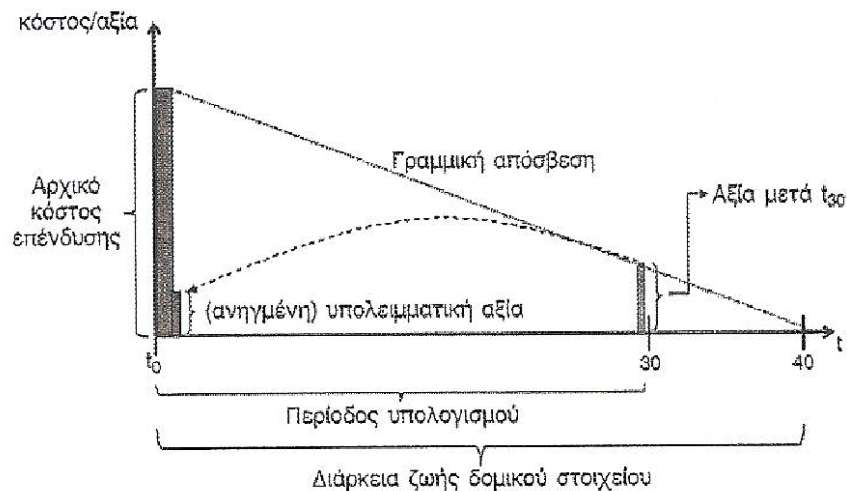
Πίνακας 6.3: Διάρκεια ζωής διαφόρων θερμομονώσεων

Ο πίνακας 6.3 παρουσιάζει την διάρκεια ζωής μόνο των μονώσεων και όχι όλων των υλικών σύνθεσης της εξωτερικής θερμομόνωσης (κόλλα, μόνωση, πλέγμα στήριξης, αρχική πάστα σοβά, τελική στρώση επιχρίσματος). Όμως με την προσθήκη υλικών η συνολική διάρκεια ζωής της σύνθεσης μειώνεται, καθώς αυξάνεται ο κίνδυνος για την καταστροφή κάποιου επιμέρους δομικού υλικού. Επομένως από τον πίνακα φαίνεται ότι μπορεί να θεωρηθεί μια κοινή τιμή της διάρκειας ζωής και για τις 4 μονώσεις. Η διάρκεια ζωής που επιλέγεται για τη τοποθέτηση των θερμομονώσεων είναι:

$$\text{Διάρκεια ζωής θερμομόνωσης} = 40 \text{ έτη}$$

Επομένως για τον υπολογισμό της υπολειμματικής αξίας αφενός είναι αναγκαία η γνώση της διάρκειας ζωής της θερμομόνωσης και αφετέρου πρέπει γίνει η παραδοχή γραμμικής απόσβεσης, όπως ορίζεται ο κανονισμός 244/2012. Συγκεκριμένα ορίζεται το εξής:

Έστω διάρκεια υπολογισμών 30 έτη και διάρκεια ζωής του δομικού υλικού (πχ μόνωση) 40 χρόνια, δηλαδή μεγαλύτερη από την περίοδο υπολογισμού. Τότε για την υπολειμματική αξία του δομικού ισχύουν τα εξής όπως φαίνονται και στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 6.1: Υπολογισμός υπολειμματικής αξίας δομικού υλικού με διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από την περίοδο υπολογισμού του κτιρίου

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η διάρκεια ζωής του δομικού είναι 40 έτη, ενώ η περίοδος υπολογισμού 30. Επομένως θεωρώντας γραμμική απόσβεση, η υπολειμματική αξία του δομικού μετά από 30 έτη είναι το 25 % του αρχικού κόστους επένδυσης (προκύπτει από ομοιότητα τριγώνων εφόσον θεωρείται γραμμική απόσβεση). Ανάγοντας την τιμή αυτή στην αρχή της περιόδου μέσω του συντελεστή προεξόφλησης (σχέση 6.2), προκύπτει η υπολειμματική αξία του δομικού υλικού στην αρχή της επένδυσης.

Επομένως με το ίδιο σκεπτικό και για τα δεδομένα της παρούσας μελέτης όπου:

- Περίοδος υπολογισμού 20 έτη
- Διάρκεια ζωής θερμομονώσεων 40 έτη

Υπολογίζεται (πάλι με ομοιότητα τριγώνων εφόσον θεωρείται γραμμική απόσβεση):

$$\begin{aligned} & \text{Υπολειμματική αξία θερμομονώσεων ΠΡΙΝ ανηχθεί σε παρούσα αξία} \\ & = 50 \% \text{ αρχικής επένδυσης} \end{aligned}$$

Αφού υπολογιστεί το κόστος αυτό, το επόμενο βήμα είναι να εκφραστεί σε παρούσα αξία μέσω του συντελεστή προεξόφλησης. Το κόστος αυτό όπως φαίνεται και στην έκφραση του συνολικού κόστους (6.1) στην αρχή της παραγράφου αφαιρείται από το αρχικό κόστος επένδυσης.

Κόστος διάθεσης

Το κόστος διάθεσης (disposal cost) υπολογίζεται τόσο για τα συστήματα θέρμανσης, όσο και για τα δομικά υλικά (τοποθέτηση θερμομόνωσης), και εκφράζεται ως ποσοστό της αρχικής επένδυσης. Το ποσοστό επί της αρχικής επένδυσης συνήθως φτάνει μέχρι και το 30 %. Στην παρούσα μελέτη τα κόστη διάθεσης και σε συνεργασία με την εταιρία ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. όπου εκτελεί συχνότατα τέτοιου είδους έργα, επιλέχθηκαν τα εξής ποσοστά επί της αρχικής επένδυσης για τα εν λόγω κόστη διάθεσης:

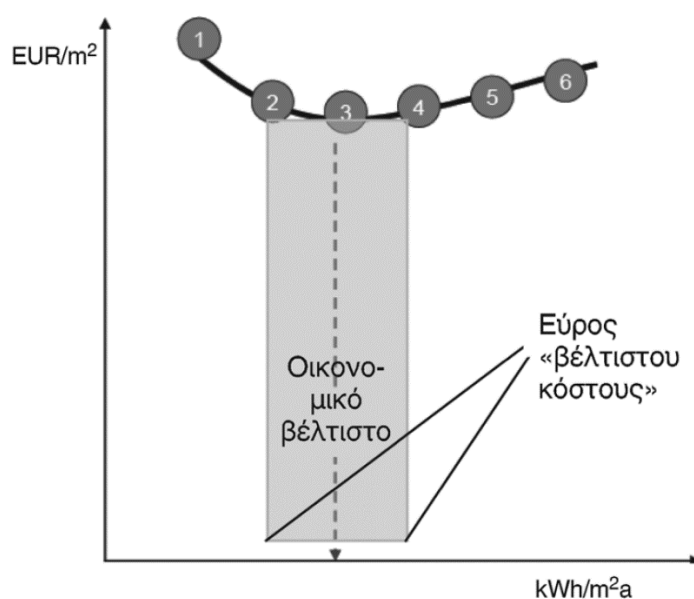
Κόστος διάθεσης συστημάτων θέρμανσης = 15 % αρχικού κόστους επένδυσης

Κόστος διάθεσης τοποθέτησης θερμομόνωσης = 20 % αρχικού κόστους επένδυσης

Αφού υπολογιστούν αυτά τα κόστη, το επόμενο βήμα είναι να εκφραστούν σε παρούσα αξία μέσω του συντελεστή προεξόφλησης (σχέση 6.2). Αυτά τα κόστη όπως φαίνεται και στην έκφραση του συνολικού κόστους (σχέση 6.1) στην αρχή της παραγράφου προστίθεται στο αρχικό κόστος επένδυσης.

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα της οικονομικής αξιολόγησης των σεναρίων εξοικονόμησης πρέπει να έχουν συγκεκριμένη μορφή ώστε να συγκριθεί άμεσα το κατά πόσο μια λύση είναι συμφέρουσα έναντι μιας άλλης. Οι δυο βασικοί παράμετροι είναι η κατανάλωση ενέργειας και το συνολικό κόστος. Σύμφωνα με τον κανονισμό 244/2012 [10] τα αποτελέσματα της οικονομοτεχνικής μελέτης πρέπει να εκφράζονται διαγραμματικά και να έχουν την εξής μορφή:



Εικόνα 6.2: Διάγραμμα υπολογισμού βέλτιστου κόστους κατά 244/2012

Όπου στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανηγμένη ανά τετραγωνικό μέτρο ωφέλιμης επιφάνειας (θερμαινόμενης) του κτιρίου ανά έτος και στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται το συνολικό κόστος κάθε σεναρίου εξοικονόμησης ανηγμένο και αυτό ανά τετραγωνικό μέτρο ωφέλιμης επιφάνειας. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα η μορφή της καμπύλης διευκολύνει πολύ την σύγκριση όλων των μέτρων (ή δεσμών μέτρων). Προφανώς στα σημεία που η καμπύλη παρουσιάζει ελάχιστο, θα βρίσκεται το οικονομικό βέλτιστο σενάριο όπου είναι και το ζητούμενο.

Η μετατροπή της καταναλισκόμενης ενέργειας σε πρωτογενή καθώς και ο υπολογισμός των εκλυόμενων ρύπων ανά μονάδα ενέργειας γίνεται μέσω συγκεκριμένων συντελεστών μετατροπής ανάλογα την τεχνολογία και το καύσιμο και βρίσκονται στο ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 [9]. Ακολουθεί ο πίνακας των συντελεστών αυτών:

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	---
Τηλεθέρμανση από Δ.Ε.Η.	0,70	0,347
Τηλεθέρμανση από Α.Π.Ε.	0,50	----

Πίνακας 6.4: Συντελεστές αναγωγής κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου σε πρωτογενή ενέργεια και εκλυόμενων ρύπων ανά μονάδα ενέργειας [9]

Ο κανονισμός 244/2012 [10] παροτρύνει τους μελετητές να παρουσιάζουν την πρωτογενή ενέργεια στον οριζόντιο άξονα, καθώς η ανάλυση αφορά κυρίως της εύρεση της οικονομικά βέλτιστης λύσης σε σχέση με τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων αναφοράς. Παρόλα αυτά στην παρούσα ανάλυση του Κτιρίου 'Ο', ο στόχος διαφέρει ελαφρώς. Σκοπός είναι σαφώς να ευρεθεί η οικονομικότερα βέλτιστη λύση, αλλά όμως που να σχετίζεται με την αρχική υπάρχουσα κατάσταση του κτιρίου (δίχως την εφαρμογή κανενός σεναρίου εξοικονόμησης). Επομένως κρίνεται απαραίτητο να κατασκευαστούν και να παρουσιαστούν δυο διαγράμματα για κάθε περίπτωση. Στο πρώτο ο οριζόντιος άξονας εκφράζει την εξοικονόμηση καταναλισκόμενης ενέργειας σε σχέση με την αρχική κατάσταση και στο δεύτερο η εξοικονόμηση σε επίπεδο πρωτογενούς ενέργειας. Προφανώς και στα δυο διαγράμματα κατακόρυφος άξονας θα είναι το συνολικό κόστος.

6.2. Εφαρμογή οικονομικής αξιολόγησης και αποτελέσματα

Στην παράγραφο αυτή εφόσον έχει αναλυθεί ο τρόπος υπολογισμού του συνολικού κόστους, παρουσιάζεται η εφαρμογή την οικονομικής αξιολόγησης σε κάθε σενάριο ξεχωριστά και στην συνέχεια ακολουθούν τα αποτελέσματά της. Κάθε σενάριο διαφέρει από το προηγούμενο οπότε η ανάλυση θα είναι περιγραφική και εκτενής σε κάθε περίπτωση. Να σημειωθεί ότι στην παρούσα ανάλυση πολύ σημαντική ήταν η συμμετοχή της εταιρίας ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. [16] η οποία μέσω των συνεργατών της βοήθησε σημαντικά στην κοστολόγηση κάθε βελτιωτικής κίνησης όσον αφορά τα συστήματα θέρμανσης. Σε όλα τα βελτιωτικά σενάρια έχει γίνει επιλογή εξοπλισμού και η αντίστοιχη κοστολόγηση. Πολλά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρακάτω ανάλυση βρίσκονται και στον Τιμοκατάλογο 2014 ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε.

6.2.1. Χωρίς παρεμβάσεις θερμομόνωσης

Στην περίπτωση αυτή μελετάται το κτίριο στην υπάρχουσα κατάσταση, χωρίς παρεμβάσεις θερμομόνωσης. Για κάθε σενάριο αντικατάστασης συστήματος θέρμανσης υπάρχει αναλυτική περιγραφή του συστήματος αλλά και του πρόσθετου εξοπλισμού που είναι απαραίτητο να αγοραστεί καθώς και η κοστολόγηση αυτών. Επίσης περιγράφεται και παρουσιάζεται κάθε κατηγορία κόστους ώστε να υπολογιστεί τελικά το ζητούμενο συνολικό κόστος.

Συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου μικρότερης ονομαστικής ισχύος:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός:

Περιγραφή	Χυτοσίδηρος λέβητας πετρελαίου-αερίου
Κατασκευαστής	Zaegel-Held
Μοντέλο	GPX 2200
Ονομαστική Ισχύς [kW]	224
Τιμή [€]	6900

Πίνακας 6.5: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Αναφορικά με το κόστος αγοράς, η αναγραφόμενη τιμή δεν περιλαμβάνει Φ.Π.Α. ή κάποιου είδους έκπτωση. Επομένως για τον υπολογισμό του κόστους αγοράς θα υπολογιστεί η τελική τιμή συνυπολογίζοντας έκπτωση 30 % όπως συμβαίνει στις αγορές αυτού του τύπου και επίσης 23 % Φ.Π.Α.

Όσον αφορά το κόστος εγκατάστασης του νέου λέβητα σύμφωνα με την ΘΑΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. κοστολογείται ως 30 % του συνολικού ποσού αγοράς, πριν την εφαρμογή της έκπτωσης και του Φ.Π.Α.

Το κόστος συντήρησης ανέρχεται στο ποσό των 200 € για κάθε σύστημα θέρμανσης που τοποθετείται. Πρόκειται για αρκετά λογικό ποσό, αν αναλογιστεί κάποιος ότι μια απλή ετήσια συντήρηση καυστήρα ενός λέβητα μεγάλων διαστάσεων (για παράδειγμα πολυκατοικιών ή κτιρίων γραφείου) ανέρχεται στα 80-100 €.

Τα υπόλοιπα κόστη, δηλαδή ενέργειας και διάθεσης υπολογίζονται όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο αναλυτικά. Το κόστος ενέργειας υπολογίζεται για κάθε έτος της διάρκειας υπολογισμού (20 έτη) ξεχωριστά εφόσον η τιμή του φυσικού αερίου μεταβάλλεται ετησίως. Το κόστος διάθεσης θεωρείται το 15 % του αρχικού κόστους αγοράς του νέου λέβητα και ύστερα ανάγεται σε υπάρχουσα αξία πολλαπλασιάζοντάς το με τον συντελεστή προεξόφλησης (σχέση 6.2) για τα επόμενα 20 έτη.

Τα κόστη για το συγκεκριμένο σενάριο εξοικονόμησης παρουσιάζονται στον ακόλουθο συγκεντρωτικό πίνακα. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
5940,90	2070,00	406,70
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	9441,44	
2	9078,31	
3	8729,14	
4	8393,41	
5	8070,58	
6	7760,18	
7	7526,94	
8	7237,44	
9	6959,08	
10	6691,42	
11	6434,06	
12	6186,59	
13	5948,65	
14	5719,85	
15	5499,86	
16	5288,33	
17	5178,95	
18	4983,17	
19	4796,76	
20	4617,32	
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		142959,07 €

Πίνακας 6.6: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης μικρότερου λέβητα όμοιας τεχνολογίας του αρχικού

Συστοιχία συμβατικών λέβητων φυσικού αερίου:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για τους δυο λέβητες του σεναρίου:

Εξοπλισμός 1^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	atmoCRAFT VK INT 1654
Ονομαστική Ισχύς [kW]	99-157
Τιμή [€]	9490

Πίνακας 6.7: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Εξοπλισμός 2^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	atmoCRAFT VK INT 564
Ονομαστική Ισχύς [kW]	56
Τιμή [€]	2620

Πίνακας 6.8: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Στην συγκεκριμένη περίπτωση εφόσον προστίθεται και δεύτερος λέβητας πρέπει αρχικά να προβλεφθεί και η αγορά νέου καπναγωγού για τα καυσαέρια του δεύτερου λέβητα, καθώς και επίσης μια ηλεκτρονική επέκταση που να επιτρέπει την προσθήκη του δεύτερου λέβητα στο πρόγραμμα ελέγχου της εγκατάστασης. Επομένως γίνονται και οι ακόλουθες δαπάνες:

Καπναγωγός [€]	167,30
ΗΛ/κή επέκταση [€]	171,00

Πίνακας 6.9: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Για τον υπολογισμό των επιμέρους κοστών ισχύουν ακριβώς τα ίδια με το προηγούμενο σενάριο εκτός από το κόστος συντήρησης το οποίο εφόσον εγκαθίστανται 2 λέβητες, ανέρχεται στα 200 € για κάθε έναν ξεχωριστά, άρα συνολικά 400 €.

Τα κόστη για το συγκεκριμένο σενάριο εξοικονόμησης παρουσιάζονται στον ακόλουθο συγκεντρωτικό πίνακα. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
10842,82	3734,49	742,28
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	8413,34	
2	8089,75	
3	7778,61	
4	7479,43	
5	7191,76	
6	6915,15	
7	6705,74	
8	6447,83	
9	6199,84	
10	5961,38	
11	5732,10	
12	5511,63	
13	5299,65	
14	5095,81	
15	4899,82	
16	4711,37	
17	4611,69	
18	4437,27	
19	4271,16	
20	4111,26	
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		135184,18 €

Πίνακας 6.10: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης δυο συμβατικών λεβήτων σε συστοιχία

Λέβητας συμπύκνωσης:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για τον λέβητα συμπύκνωσης του σεναρίου:

Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	VKK 2406/3-E
Ονομαστική Ισχύς [kW]	47-236,2
Τιμή [€]	12900,00

Πίνακας 6.11: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα παρελκόμενα που απαιτούνται για τέτοιου είδους εγκατάσταση είναι ένας καπναγωγός με κατάλληλη μορφή για τυχών συλλογή συμπυκνωμάτων. Οπότε:

Καπναγωγός [€]	150,00
-----------------------	--------

Πίνακας 6.12: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα υπόλοιπα κόστη υπολογίζονται όμοια με τα προηγούμενα σενάρια για κάθε κατηγορία. Ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας με τα κόστη του συγκεκριμένου σεναρίου. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
11291,40	3915,00	772,99
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	7442,35	
2	7156,10	
3	6880,87	
4	6616,22	
5	6361,75	
6	6117,07	
7	5932,83	
8	5704,64	
9	5485,23	
10	5274,26	
11	5071,40	
12	4876,35	
13	4688,80	
14	4508,46	
15	4335,06	
16	4168,32	
17	4081,56	
18	3927,24	
19	3780,30	
20	3638,85	
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		122027,06 €

Πίνακας 6.13: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης λέβητα συμπύκνωσης

Συστοιχία λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για τους δυο λέβητες του σεναρίου:

Εξοπλισμός 1^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	VKK 2006/3-E
Ονομαστική Ισχύς [kW]	43,1-196,8
Τιμή [€]	12200

Πίνακας 6.14: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Εξοπλισμός 2^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	VKK 806/3-E
Ονομαστική Ισχύς [kW]	13,6-77,9
Τιμή [€]	9660

Πίνακας 6.15: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα παρελκόμενα που απαιτούνται για τέτοιου είδους εγκατάσταση είναι δυο καπναγωγοί και μια ηλεκτρολογική επέκταση ώστε να ελέγχονται οι δυο λέβητες. Αυτά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Καπναγωγός [€]	167,30
ΗΛ/κή επέκταση [€]	171,00

Πίνακας 6.16: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα κόστη υπολογίζονται όμοια ακριβώς με τα προηγούμενα σενάρια εξοικονόμησης για κάθε κατηγορία. Παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
19237,57	6659,49	1316,97
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	7106,48	
2	6833,15	
3	6570,34	
4	6317,64	
5	6074,65	
6	5841,01	
7	5663,63	
8	5445,80	
9	5236,35	
10	5034,95	
11	4841,30	
12	4655,09	
13	4476,05	
14	4303,90	
15	4138,36	
16	3979,19	
17	3894,29	
18	3746,99	
19	3606,68	
20	3471,61	
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		128451,49 €

Πίνακας 6.17: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης συστοιχία λεβήτων συμπύκνωσης

Αντλία θερμότητας:

Στο σενάριο αυτό εξετάζεται η τοποθέτηση αντλίας θερμότητας. Η εταιρία Daikin [17] συνέβαλλε αρκετά προτείνοντας διάφορες αντλίες θερμότητας. Επιλέχθηκε τελικά compact μοντέλο αντλίας και προφανώς μεγάλης ισχύος

Περιγραφή	Αντλία θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών
Κατασκευαστής	Daikin
Μοντέλο	EWYQ 210 DAYN
Ονομαστική Ισχύς [kW]	έως 225 kW για θέρμανση
Τιμή [€]	48500

Πίνακας 6.18: Εξοπλισμός σύμφωνα με Daikin

Τα υπόλοιπα κόστη υπολογίζονται όμοια ακριβώς με τα προηγούμενα σενάρια εξοικονόμησης για κάθε κατηγορία. Η μόνη διαφορά με τα προηγούμενα σενάρια είναι ότι τώρα στο ενεργειακό κόστος λαμβάνεται η τιμή για το ηλεκτρικό ρεύμα όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 6.1. Οπότε ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας για τον υπολογισμό του κόστους. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
41758,50	14550,00	2858,71
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	5810,41	
2	5586,93	
3	5372,05	
4	5165,43	
5	4966,76	
6	4775,73	
7	4592,05	
8	4415,43	
9	4245,61	
10	4082,31	
11	3925,30	
12	3774,33	
13	3629,16	
14	3489,58	
15	3355,36	
16	3226,31	
17	3102,22	
18	2982,91	
19	2868,18	
20	2757,87	
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		141291,13 €

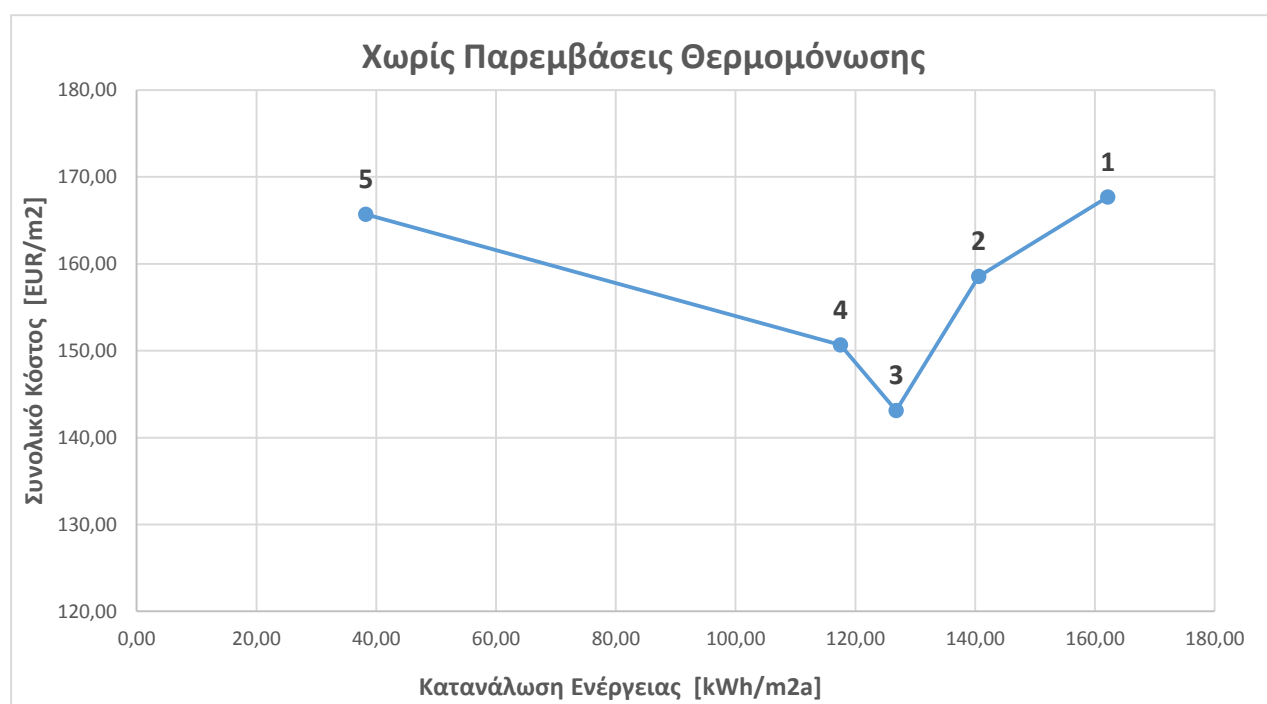
Πίνακας 6.19: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης αντλίας θερμότητας

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εφόσον είναι διαθέσιμα τα αποτελέσματα της οικονομοτεχνικής αξιολόγησης χωρίς παρεμβάσεις θερμομόνωσης για το Κτίριο Ο, κατασκευάζονται δυο διαγράμματα. Το πρώτο διάγραμμα αφορά την κατανάλωση ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο ετησίως $[\frac{kWh}{m^2a}]$ συναρτήσει του συνολικού κόστους ανά τετραγωνικό μέτρο $[\frac{€}{m^2}]$. Αρχικά παρατίθεται ο συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων και ύστερα το σχετικό διάγραμμα:

Χωρίς παρεμβάσεις θερμομόνωσης		
Σενάριο	Κατανάλωση ενέργειας $[\frac{kWh}{m^2a}]$	Συνολικό κόστος $[\frac{€}{m^2}]$
1. Συμβατικός μικρότερης ισχύος	162,13	167,68
2. Συστοιχία συμβατικών λεβήτων	140,58	158,56
3. Λέβητας συμπύκνωσης	126,83	143,13
4. Συστοιχία λεβήτων συμπύκνωσης	117,51	150,66
5. Αντλία θερμότητας	38,26	165,72

Πίνακας 6.20: Συγκεντρωτικός πίνακας οικονομοτεχνικής ανάλυσης



Διάγραμμα 6.2: Διάγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης

Κάθε αριθμός στα σημεία της καμπύλης αντιστοιχεί σε ένα σενάριο θέρμανσης, με την σειρά που απεικονίζονται στον πίνακα 6.2. Για παράδειγμα το σημείο με τον αριθμό 5, αντιστοιχεί στο σενάριο εξοικονόμησης με χρήση αντλίας θερμότητας κ.ο.κ.

Επομένως από πλευράς κατανάλωσης ενέργειας η βέλτιστη οικονομικά λύση είναι:

ΕΝΑΣ ΛΕΒΗΤΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ.

Επίσης από το διάγραμμα 6.2 είναι εμφανής η σειρά με την οποία εμφανίζονται τα περισσότερα οικονομικά συμφέροντα σενάρια εξοικονόμησης. Αυτή είναι:

- Λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
- Συστοιχία λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης
- Συστοιχία συμβατικών λεβήτων φυσικού αερίου
- Αντλία θερμότητας
- Συμβατικός λέβητας μικρότερης ονομαστικής ισχύος

Επίσης από το εν λόγω διάγραμμα παρατηρούνται τα εξής:

- Αρχικά χρησιμοποιήθηκε συστοιχία συμβατικών λεβήτων φυσικού αερίου ώστε να επιτευχθεί εξοικονόμηση έναντι του απλού συμβατικού λέβητα. Πράγμα που έγινε όπως φαίνεται και από το διάγραμμα (το σημείο 2 βρίσκεται χαμηλότερα από το 1). Ύστερα με το ίδιο σκεπτικό εξετάστηκε συστοιχία λεβήτων συμπύκνωσης, αναμένοντας να επιτευχθεί εξοικονόμηση έναντι του ενός λέβητα συμπύκνωσης. Πράγμα όμως που δεν έγινε καθώς όπως φαίνεται και στο διάγραμμα το σημείο 4 βρίσκεται πιο ψηλά από το σημείο 3. Ο λόγος είναι ο εξής: Με το συγκεκριμένο σενάριο ο ρυθμός αύξησης του κόστους επένδυσης είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας.
- Η αντλία θερμότητας προσφέρει εξαιρετικά μεγάλη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας, αλλά παρόλα αυτά το κόστος αρχικής επένδυσης είναι τεράστιο (επιπλέον στην συγκεκριμένη εφαρμογή χρειάστηκε τοποθέτηση αντλίας θερμότητας ονομαστικής ισχύος 220 kW), πράγμα που καθιστά το σενάριο της αντλίας θερμότητας αρκετά μη οικονομικό. Ο λόγος που το κόστος αγοράς αντλίας θερμότητας είναι πολύ υψηλό είναι διότι οι αντλίες θερμότητας βρίσκονται ακόμα σε στάδιο αγοραστικής εξέλιξης.

Το δεύτερο διάγραμμα που θα παρουσιαστεί αφορά την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας που επιτυγχάνεται από κάθε σύστημα θέρμανσης των σεναρίων [$\frac{kWh}{m^2a}$] σε σχέση πάλι με το συνολικό κόστος [$\frac{\text{€}}{m^2}$]. Αρχικά υπενθυμίζεται η αρχική κατανάλωση του υπάρχοντος λέβητα του Κτιρίου Ο, βάση της οποίας θα γίνει η κατάλληλη σύγκριση με τα νέα συστήματα :

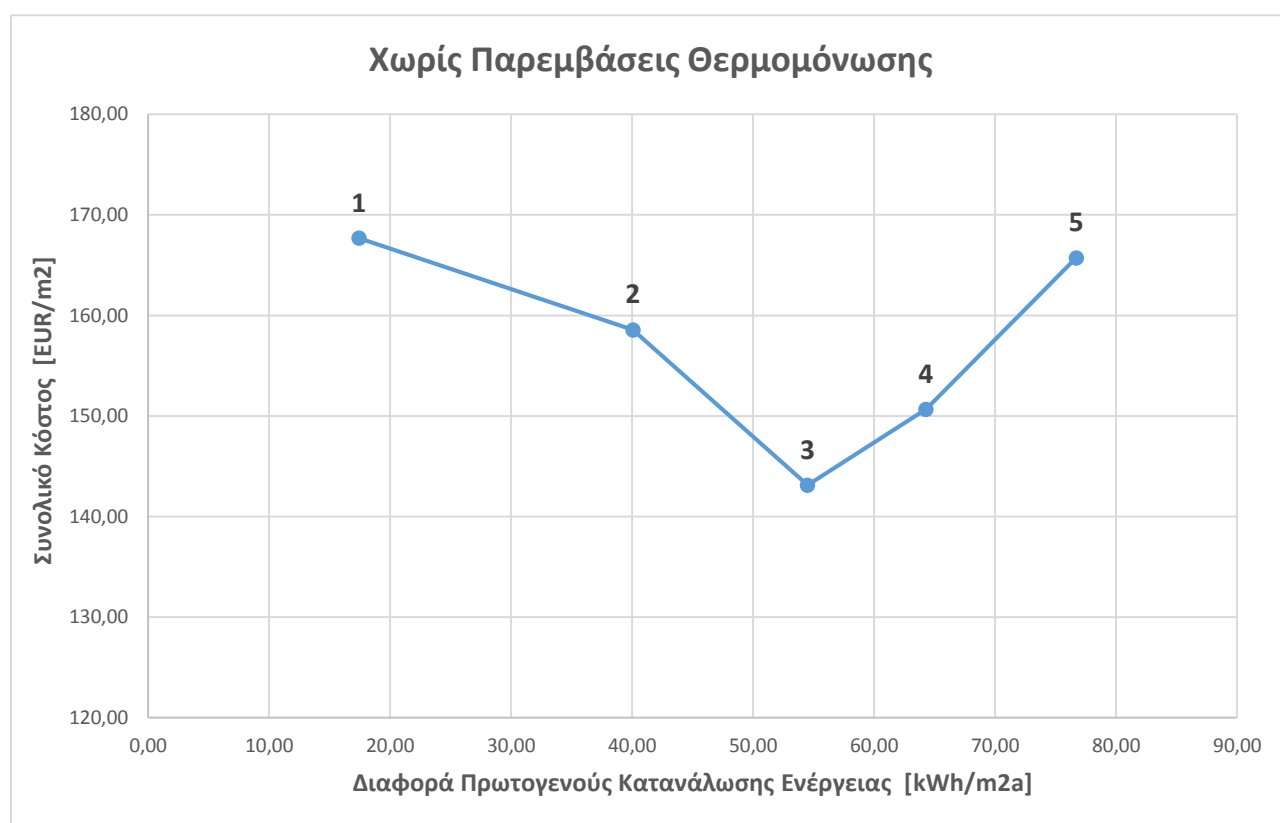
$$\text{Αρχική Κατανάλωση Ενέργειας/Υπάρχουσα Κατάσταση} = 178,83 \frac{kWh}{m^2}$$

Επομένως ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων όπου χρησιμοποιήθηκε για την οικονομοτεχνική ανάλυση:

Χωρίς παρεμβάσεις θερμομόνωσης			
Σενάριο	Πρωτογενής ενέργεια [$\frac{kWh}{m^2a}$]	Διαφορά αρχικής [$\frac{kWh}{m^2a}$]	Συνολικό κόστος [$\frac{\epsilon}{m^2}$]
1. Συμβατικός μικρότερης ισχύος	170,23	17,44	167,68
2. Συστοιχία συμβατικών λεβήτων	147,61	40,06	158,56
3. Λέβητας συμπύκνωσης	133,17	54,49	143,13
4. Συστοιχία λεβήτων συμπύκνωσης	123,38	64,28	150,66
5. Αντλία θερμότητας	110,97	76,70	165,72

Πίνακας 6.21: Συγκεντρωτικός πίνακας οικονομοτεχνικής ανάλυσης

Ακολουθεί το εν λόγω διάγραμμα που αφορά την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας σε σχέση με την αρχική κατάσταση:



Διάγραμμα 6.3: Διάγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα η σειρά που απεικονίζονται τα σενάρια εξοικονόμησης έχουν αντιστραφεί πράγμα λογικό εφόσον η απεικονίζεται η εξοικονόμηση κατανάλωσης σε σχέση με την αρχική. Και πάλι όπως ήταν αναμενόμενο, ο λέβητας συμπύκνωσης είναι αυτός που δίνει το οικονομικά βέλτιστο σημείο. Πιο συγκεκριμένα επιτυγχάνεται εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας: **54,49 $\frac{kWh}{m^2a}$ ΕΤΗΣΙΩΣ.**

6.2.2. Εξηλασμένη Πολυστερίνη (XPS)

Στην ανάλυση αυτή προστίθεται το κόστος αγοράς και εγκατάστασης εξωτερικής θερμομόνωσης. Για κάθε σενάριο υπάρχει αναλυτική περιγραφή του συστήματος θέρμανσης αλλά και του πρόσθετου εξοπλισμού που είναι απαραίτητο να αγοραστεί καθώς και η κοστολόγηση αυτών. Επίσης περιγράφεται και παρουσιάζεται κάθε κατηγορία κόστους ώστε υπολογιστεί τελικά το ζητούμενο συνολικό κόστος. Αρχικά όσον αφορά την αγορά και εγκατάσταση της θερμομόνωσης, ύστερα από έρευνα αγοράς επιλέχθηκαν οι ακόλουθες τιμές για τις τέσσερις διαφορετικές εξεταζόμενες θερμομονώσεις:

	Εξηλασμένη Πολυστερίνη	Διογκωμένη Πολυστερίνη	Πετροβάμβακας	Κυτταρίνη
Τιμή [$\frac{\text{€}}{\text{m}^2}$]	6,46	4,91	4,34	5,02

Πίνακας 6.22: Τιμολόγιο αγοράς θερμομονώσεων συμπεριλαμβανομένου του Φ.Π.Α.

Παρόλα αυτά στην περίπτωση τοποθέτησης θερμομόνωσης δεν εξετάζεται ξεχωριστά το κόστος αγοράς και τοποθέτησης της μόνωσης, αλλά ως σύνολο. Η κοστολόγηση γίνεται μέσω προσφορών που συμπεριλαμβάνουν έξοδα αγοράς, τοποθέτησης της εξωτερικής θερμομόνωσης καθώς και τον Φ.Π.Α.

Ύστερα από έρευνα αγοράς επιλέχθηκε η εξής τιμή [18]:

$$\text{Τιμή Εγκατάστασης Θερμομόνωσης} = 27,98 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$$

Στην τιμή αυτή δεν έχει συμπεριληφθεί ακόμα η τιμή αγοράς της θερμομόνωσης καθώς αυτή ποικίλει (συνολικά 4 μόνώσεις εξετάζονται). Αυτά που περιλαμβάνει η τιμή είναι:

- Κόλλα θερμομονωτικών πλακών
- Πλέγμα συγκράτησης (όπως υαλόπλεγμα)
- Βύσματα για μηχανική στερέωση
- Επίχρισμα (σοβάς) σε μορφή πάστας

Επομένως σε αυτή την τιμή κάθε φορά προστίθεται η τιμή αγοράς της θερμομόνωσης από τον πίνακα που προηγήθηκε και βάση των τετραγωνικών μέτρων που θα καλυφθούν με την εξωτερική μόνωση, υπολογίζεται το κόστος αγοράς και εγκατάστασης.

Ακολουθεί η οικονομική αξιολόγηση των σεναρίων εξοικονόμησης αναλυτικά.

Συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου μικρότερης ονομαστικής ισχύος:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός:

Περιγραφή	Χυτοσίδηρος λέβητας πετρελαίου-αερίου
Κατασκευαστής	Zaegel-Held
Μοντέλο	GPX 1900
Ονομαστική Ισχύς [kW]	204
Τιμή [€]	6140

Πίνακας 6.23: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΣ Α.Ε. 2014

Για τον υπολογισμό κάθε κατηγορίας κόστους ισχύει ότι ακριβώς αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο. Η μόνη διαφορά έγκειται στο γεγονός ύπαρξης κόστους αγοράς και εγκατάστασης εξηλασμένης πολυστερίνης. Για το κόστος αυτό απλά προστίθεται η τιμή εξηλασμένης πολυστερίνης ($6,46 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$) στην τιμή εγκατάστασης θερμομόνωσης ($27,98 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$). Οπότε η συνολική κοστολόγηση της θερμομόνωσης φτάνει τα $34,44 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$. Επομένως το μοναδικό δεδομένο που απομένει να οριστεί είναι η επιφάνεια της εξωτερικής τοιχοποιίας που θα καλυφθεί. Το λογισμικό DesignBuilder υπολογίζει άμεσα αυτό το μέγεθος και είναι: $1971,56 \text{ m}^2$.

Συμπερασματικά προκύπτει ότι το κόστος θερμομόνωσης ανέρχεται στα **67900,53 €**.

Το κόστος διάθεσης σε αυτή την περίπτωση όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 6.1. αντιστοιχεί στο 20 % της αρχικής επένδυσης τοποθέτησης εξηλασμένης πολυστερίνης. Με την εφαρμογή του συντελεστή προεξόφλησης, το ποσό αυτό εκφράζεται σε παρούσα αξία. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η διάρκεια υπολογισμού είναι 20 έτη, ενώ η διάρκεια ζωής της εξηλασμένης πολυστερίνης είναι 40 έτη. Επομένως επιβάλλεται ο πολλαπλασιασμός του προηγούμενου κόστους με 1/2, ώστε να αφαιρεθεί ανεκμετάλλευτη αξία των υπόλοιπων 20 ετών (όπου δεν μελετάται το κτίριο).

Τέλος, πρέπει να συμπεριληφθεί και η υπολειμματική αξία της μόνωσης στο πέρας των 20 ετών όπου διαρκεί η περίοδος υπολογισμού. Η ανάλυση του συγκεκριμένου κόστους έχει αναλυθεί πλήρως στη παράγραφο 6.1. Οπότε σύμφωνα με αυτά, η υπολειμματική αξία της μόνωσης θεωρείται το 50 % του αρχικού ποσού που επενδύθηκε για την τοποθέτησή της και ύστερα μέσω του συντελεστή προεξόφλησης εκφράζεται σε παρούσα αξία.

Τα κόστη για το συγκεκριμένο σενάριο εξοικονόμησης παρουσιάζονται στον ακόλουθο συγκεντρωτικό πίνακα, όπου να σημειωθεί ότι το κόστος διάθεσης τώρα στον πίνακα, αφορά τόσο το σύστημα θέρμανσης όσο και την τοποθέτηση εξηλασμένης πολυστερίνης. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
5286,54	1842,00	1776,20
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	8263,62	
2	7945,79	
3	7640,19	
4	7346,33	
5	7063,78	
6	6792,10	
7	6587,73	
8	6334,35	
9	6090,72	
10	5856,46	
11	5631,22	
12	5414,63	
13	5206,37	
14	5006,13	
15	4813,59	
16	4628,45	
17	4532,39	
18	4361,05	
19	4197,89	
20	4040,83	
Υπολειμματική αξία		
15494,46		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		179064,43 €

Πίνακας 6.24: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης μικρότερου λέβητα όμοιας τεχνολογίας του αρχικού

Συστοιχία συμβατικών λέβητων φυσικού αερίου:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για τους δυο λέβητες του σεναρίου:

Εξοπλισμός 1^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	atmoCRAFT VK INT 1504
Ονομαστική Ισχύς [kW]	90-143
Τιμή [€]	8130

Πίνακας 6.25: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Εξοπλισμός 2^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	atmoCRAFT VK INT 564
Ονομαστική Ισχύς [kW]	56
Τιμή [€]	2620

Πίνακας 6.26: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Στην συγκεκριμένη περίπτωση εφόσον προστίθεται και δεύτερος λέβητας πρέπει αρχικά να προβλεφθεί και η αγορά νέου καπναγωγού για τα καυσαέρια του δεύτερου λέβητα, καθώς και επίσης μια ηλεκτρονική επέκταση που να επιτρέπει την προσθήκη του δεύτερου λέβητα στο πρόγραμμα ελέγχου της εγκατάστασης. Επομένως γίνονται και οι ακόλουθες δαπάνες:

Καπναγωγός [€]	167,30
Ηλ/κή επέκταση [€]	171,00

Πίνακας 6.27: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Για τον υπολογισμό των επιμέρους κοστών ισχύουν ακριβώς τα ίδια με το προηγούμενο σενάριο εκτός από το κόστος συντήρησης το οποίο εφόσον εγκαθίστανται 2 λέβητες, ανέρχεται στα 200 € για κάθε έναν ξεχωριστά, άρα συνολικά 400 €.

Τα κόστη για το συγκεκριμένο σενάριο εξοικονόμησης παρουσιάζονται στον ακόλουθο συγκεντρωτικό πίνακα. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
9671,86	3326,49	2076,41
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	7648,30	
2	7354,13	
3	7071,28	
4	6799,31	
5	6537,80	
6	6286,34	
7	6095,69	
8	5861,24	
9	5635,80	
10	5419,04	
11	5210,62	
12	5010,21	
13	4817,51	
14	4632,22	
15	4454,06	
16	4282,75	
17	4191,72	
18	4033,18	
19	3882,17	
20	3736,81	
Υπολειμματική αξία		
15494,46		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		176441,00 €

Πίνακας 6.28: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης δυο λεβήτων σε συστοιχία

Λέβητας συμπύκνωσης:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για τον λέβητα συμπύκνωσης του σεναρίου:

Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	VKK 2006/3-E
Ονομαστική Ισχύς [kW]	43,1-196,8
Τιμή [€]	12200

Πίνακας 6.29: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα παρελκόμενα που απαιτούνται για τέτοιου είδους εγκατάσταση είναι ένας καπναγωγός με κατάλληλη μορφή για τυχών συλλογή συμπυκνωμάτων. Οπότε:

Καπναγωγός [€]	150,00
-----------------------	---------------

Πίνακας 6.30: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα κόστη για το συγκεκριμένο σενάριο εξοικονόμησης παρουσιάζονται στον ακόλουθο συγκεντρωτικό πίνακα. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
10688,70	3705,00	2146,02
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	6718,03	
2	6459,64	
3	6211,20	
4	5972,30	
5	5742,60	
6	5521,73	
7	5355,24	
8	5149,27	
9	4951,22	
10	4760,79	
11	4577,68	
12	4401,62	
13	4232,32	
14	4069,54	
15	3913,02	
16	3762,52	
17	3683,95	
18	3544,66	
19	3412,02	
20	3284,33	
Υπολειμματική αξία		
15494,46		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		164669,47 €

Πίνακας 6.31: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης λέβητα συμπύκνωσης

Συστοιχία λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για τους δυο λέβητες του σεναρίου:

Εξοπλισμός 1^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	VKK 1606/3-E
Ονομαστική Ισχύς [kW]	26,2-155,8
Τιμή [€]	10900

Πίνακας 6.32: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Εξοπλισμός 2^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	VKK 806/3-E
Ονομαστική Ισχύς [kW]	13,6-77,9
Τιμή [€]	9660

Πίνακας 6.33: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα παρελκόμενα που απαιτούνται για τέτοιου είδους εγκατάσταση είναι δυο καπναγωγοί και μια ηλεκτρολογική επέκταση ώστε να ελέγχονται οι δυο λέβητες. Αυτά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Καπναγωγός [€]	167,30
Ηλ/κή επέκταση [€]	171,00

Πίνακας 6.34: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα κόστη για το συγκεκριμένο σενάριο εξοικονόμησης παρουσιάζονται στον ακόλουθο συγκεντρωτικό πίνακα. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
18118,27	6269,49	2654,63
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	6377,23	
2	6131,95	
3	5896,11	
4	5669,33	
5	5451,28	
6	5241,62	
7	5082,11	
8	4886,65	
9	4698,70	
10	4517,98	
11	4344,21	
12	4177,13	
13	4016,47	
14	3861,99	
15	3713,45	
16	3570,63	
17	3493,97	
18	3361,79	
19	3235,88	
20	3114,68	
Υπολειμματική αξία		
15494,46		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		170291,63 €

Πίνακας 6.35: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης συστοιχίας λεβήτων συμπύκνωσης

Αντλία θερμότητας:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για το συγκεκριμένο σενάριο εξοικονόμησης:

Περιγραφή	Αντλία θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών
Κατασκευαστής	Daikin
Μοντέλο	EWYQ 180 DAYN
Ονομαστική Ισχύς [kW]	έως 199 kW για θέρμανση
Τιμή [€]	43500

Πίνακας 6.36: Εξοπλισμός σύμφωνα με Daikin

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας με τα κόστη. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
37453,50	13050,00	3978,29
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	5317,93	
2	5113,39	
3	4916,72	
4	4727,62	
5	4545,79	
6	4370,95	
7	4202,84	
8	4041,19	
9	3885,76	
10	3736,31	
11	3592,60	
12	3454,43	
13	3321,56	
14	3193,81	
15	3070,97	
16	2952,86	
17	2839,29	
18	2730,08	
19	2625,08	
20	2524,11	
Υπολειμματική αξία		
15494,46		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		182051,15 €

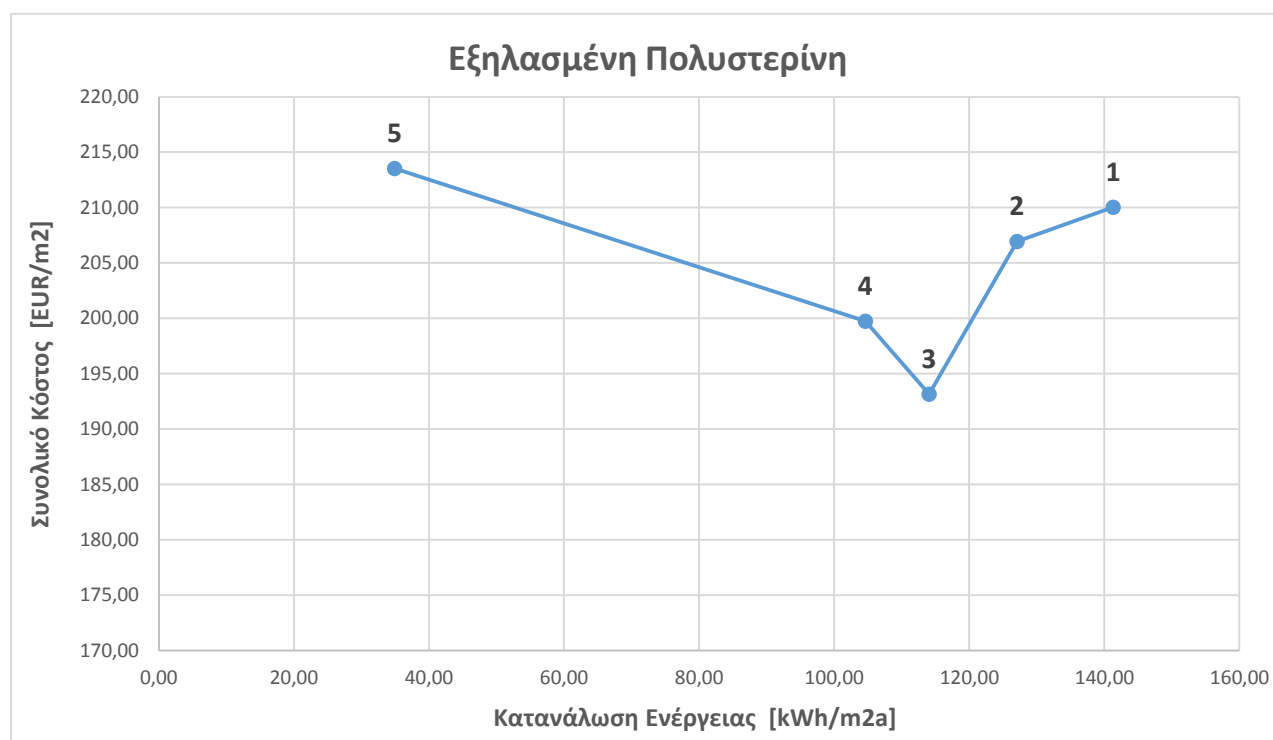
Πίνακας 6.37: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης αντλίας θερμότητας

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της οικονομοτεχνικής αξιολόγησης για την περίπτωση τοποθέτησης εξηλασμένης πολυστερίνης θα παρουσιαστούν όπως και πριν με την κατασκευή δυο διαγραμμάτων. Το πρώτο διάγραμμα αφορά την κατανάλωση ενέργειας από τα διάφορα συστήματα θέρμανσης ανά τετραγωνικό μέτρο θερμαινόμενης επιφάνειας ετησίως [$\frac{kWh}{m^2a}$], σε σχέση με το συνολικό κόστος [$\frac{\text{€}}{m^2}$]. Αρχικά παρατίθεται ο συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων και ύστερα το σχετικό διάγραμμα:

Εξηλασμένη πολυστερίνη		
Σενάριο	Κατανάλωση ενέργειας [$\frac{kWh}{m^2a}$]	Συνολικό κόστος [$\frac{\text{€}}{m^2}$]
1. Συμβατικός μικρότερης ισχύος	141,33	210,03
2. Συστοιχία συμβατικών λεβήτων	127,07	206,95
3. Λέβητας συμπύκνωσης	114,04	193,14
4. Συστοιχία λεβήτων συμπύκνωσης	104,63	199,74
5. Αντλία θερμότητας	34,91	213,53

Πίνακας 6.38: Συγκεντρωτικός πίνακας οικονομοτεχνικής ανάλυσης



Διάγραμμα 6.4: Διάγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης

Επομένως από πλευράς κατανάλωσης ενέργειας η βέλτιστη οικονομικά λύση είναι:

ΕΝΑΣ ΛΕΒΗΤΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ.

Επίσης από το διάγραμμα 6.4 είναι εμφανής η σειρά με την οποία εμφανίζονται τα περισσότερο οικονομικά συμφέροντα σενάρια εξοικονόμησης. Αυτή είναι:

- Λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
- Συστοιχία λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης
- Συστοιχία συμβατικών λεβήτων φυσικού αερίου
- Συμβατικός λέβητας μικρότερης ονομαστικής ισχύος
- Αντλία θερμότητας

Το αξιοσημείωτο γεγονός που φαίνεται από την παραπάνω σειρά των σεναρίων είναι ότι η αντλία θερμότητας βρίσκεται τελευταία. Ενώ υπενθυμίζεται ότι στην μελέτη χωρίς τοποθέτηση θερμομόνωσης βρισκόταν πριν το σενάριο συμβατικού λέβητα μικρότερης ονομαστικής ισχύος. Αυτή η μετακίνηση δικαιολογείται πλήρως ως εξής:

Υπενθυμίζεται ότι:

- Χωρίς τοποθέτηση θερμομόνωσης: Αντλία ισχύος 225 kW με τιμή: 48500 €
- Με εξηλασμένη πολυστερίνη: Αντλία ισχύος 192 kW με τιμή: 43500€

Ενώ με την τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης μειώνονται σε κάποιο ποσοστό οι θερμικές ανάγκες που καλείται να καλύψει η αντλία θερμότητας, παρόλα αυτά η χρηματική διαφορά μεταξύ των δυο αντλιών είναι πάρα πολύ μικρή. Με αυτό τον τρόπο πληρώνοντας μεγάλο ποσό χρημάτων, καλύπτονται μειωμένες θερμικές ανάγκες.

Αυτό που απορρέει από το διάγραμμα 6.4 είναι επίσης ότι η καμπύλη διατηρεί την μορφή που είχε και στην περίπτωση όπου δεν εξεταζόταν η τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης, πράγμα που δικαιολογείται εφόσον το συνολικό κόστος επιβαρύνεται με την αγορά της θερμομόνωσης. Επομένως τα σχόλια που έγιναν για τα υπόλοιπα συστήματα που φαίνονται στο διάγραμμα ισχύουν και στην παρούσα περίπτωση.

Το δεύτερο διάγραμμα που θα παρουσιαστεί αφορά την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας που επιτυγχάνεται από κάθε σύστημα θέρμανσης των σεναρίων $[\frac{kWh}{m^2a}]$ σε σχέση πάλι με το συνολικό κόστος $[\frac{€}{m^2}]$. Αρχικά υπενθυμίζεται η αρχική κατανάλωση του υπάρχοντος λέβητα του Κτιρίου Ο, βάση της οποίας θα γίνει η κατάλληλη σύγκριση με τα νέα συστήματα :

$$\text{Αρχική Κατανάλωση Ενέργειας/Υπάρχουσα Κατάσταση} = 178,83 \frac{kWh}{m^2}$$

Επομένως ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων όπου χρησιμοποιήθηκε για την οικονομοτεχνική ανάλυση:

Εξηλασμένη πολυστερίνη			
Σενάριο	Πρωτογενής ενέργεια [$\frac{kWh}{m^2a}$]	Διαφορά αρχικής [$\frac{kWh}{m^2a}$]	Συνολικό κόστος [$\frac{\epsilon}{m^2}$]
1. Συμβατικός μικρότερης ισχύος	148,40	39,27	210,03
2. Συστοιχία συμβατικών λεβήτων	133,43	54,24	206,95
3. Λέβητας συμπύκνωσης	119,75	67,92	193,14
4. Συστοιχία λεβήτων συμπύκνωσης	109,86	77,80	199,74
5. Αντλία θερμότητας	101,24	86,43	213,53

Πίνακας 6.39: Συγκεντρωτικός πίνακας οικονομοτεχνικής ανάλυσης



Διάγραμμα 6.5: Διάγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης

Και πάλι όπως ήταν αναμενόμενο, ο λέβητας συμπύκνωσης είναι αυτός που δίνει το οικονομικά βέλτιστο σημείο. Πιο συγκεκριμένα επιτυγχάνεται εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας: **67,92 $\frac{kWh}{m^2a}$ ΕΤΗΣΙΩΣ.**

Υπενθυμίζεται ότι η βέλτιστη λύση για το Κτίριο Ο χωρίς παρεμβάσεις θερμομόνωσης ήταν πριν $54,49 \frac{kWh}{m^2a}$. Άρα τώρα παρατηρείται αύξηση στην ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ύψους έως και **20 %**. Επομένως με χρήση θερμομόνωσης μπορεί μεν το συνολικό κόστος να αυξάνεται αρκετά αλλά επιτυγχάνεται μεγάλη εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.

6.2.3. Διογκωμένη Πολυστερίνη (EPS)

Το μοναδικό που αλλάζει στην περίπτωση τοποθέτησης διογκωμένης πολυστερίνης είναι το κόστος αγοράς και εγκατάστασης της θερμομόνωσης καθώς και το αντίστοιχο κόστος διάθεσης. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, από τον πίνακα 6.22 διαβάζεται η τιμή της διογκωμένης πολυστερίνης που είναι $4,91 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$. Προστίθεται αυτή η τιμή στην τιμή εγκατάστασης της μόνωσης ($27,98 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$), και προκύπτει η τελική τιμή: $32,89 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$. Επομένως πολλαπλασιάζοντας την τιμή αυτή με τα συνολικά τετραγωνικά που θα καλυφθούν με μόνωση (ίδια με την προηγούμενη περίπτωση: $1971,56 \text{ m}^2$), προκύπτει το τελικό κόστος αγοράς και τοποθέτησης διογκωμένης πολυστερίνης: **64844,61 €**.

Ακολουθούν οι οικονομικές αξιολογήσεις για όλα τα σενάρια συστημάτων θέρμανσης:

Συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου μικρότερης ονομαστικής ισχύος:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός:

Περιγραφή	Χυτοσίδηρος λέβητας πετρελαίου-αερίου
Κατασκευαστής	Zaegel-Held
Μοντέλο	GPX 1900
Ονομαστική Ισχύς [kW]	204
Τιμή [€]	6140

Πίνακας 6.40: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΣ Α.Ε. 2014

Όλες οι κατηγορίες κόστους υπολογίζονται όμοια ακριβώς με τις προηγούμενες περιπτώσεις εξοικονόμησης. Επομένως ακολουθεί κατευθείαν ο συγκεντρωτικός πίνακας με τα διάφορα κόστη για το συγκεκριμένο σενάριο εξοικονόμησης. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
5286,54	1842,00	1712,55
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	8307,00	
2	7987,50	
3	7680,29	
4	7384,90	
5	7100,86	
6	6827,75	
7	6622,32	
8	6367,61	
9	6122,70	
10	5887,22	
11	5660,78	
12	5443,06	
13	5233,71	
14	5032,42	
15	4838,86	
16	4652,75	
17	4556,21	
18	4383,96	
19	4219,95	
20	4062,06	
Υπολειμματική αξία		
14797,12		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		177260,51 €

Πίνακας 6.41: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης μικρότερου λέβητα όμοιας τεχνολογίας του αρχικού

Συστοιχία συμβατικών λέβητων φυσικού αερίου:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για τους δυο λέβητες του σεναρίου:

Εξοπλισμός 1^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	atmoCRAFT VK INT 1504
Ονομαστική Ισχύς [kW]	90-143
Τιμή [€]	8130

Πίνακας 6.42: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Εξοπλισμός 2^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	atmoCRAFT VK INT 564
Ονομαστική Ισχύς [kW]	56
Τιμή [€]	2620

Πίνακας 6.43: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Στην συγκεκριμένη περίπτωση εφόσον προστίθεται και δεύτερος λέβητας πρέπει αρχικά να προβλεφθεί και η αγορά νέου καπναγωγού για τα καυσαέρια του δεύτερου λέβητα, καθώς και επίσης μια ηλεκτρονική επέκταση που να επιτρέπει την προσθήκη του δεύτερου λέβητα στο πρόγραμμα ελέγχου της εγκατάστασης. Επομένως γίνονται και οι ακόλουθες δαπάνες:

Καπναγωγός [€]	167,30
ΗΛ/κή επέκταση [€]	171,00

Πίνακας 6.44: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Ακολουθούν σε συγκεντρωτικό πίνακα τα κόστη για αυτό το σενάριο εξοικονόμησης. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
9671,86	3326,49	2012,76
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	7678,04	
2	7382,73	
3	7098,78	
4	6825,75	
5	6563,22	
6	6310,79	
7	6119,41	
8	5884,04	
9	5657,73	
10	5440,13	
11	5230,89	
12	5029,71	
13	4836,26	
14	4650,25	
15	4471,39	
16	4299,41	
17	4208,05	
18	4048,89	
19	3897,29	
20	3751,37	
Υπολειμματική αξία		
14797,12		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		174442,73 €

Πίνακας 6.45: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης δυο λεβήτων σε συστοιχία

Λέβητας συμπύκνωσης:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για τον λέβητα συμπύκνωσης του σεναρίου:

Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	VKK 2006/3-E
Ονομαστική Ισχύς [kW]	43,1-196,8
Τιμή [€]	12200

Πίνακας 6.46: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα παρελκόμενα που απαιτούνται για τέτοιου είδους εγκατάσταση είναι ένας καπναγωγός με κατάλληλη μορφή για τυχών συλλογή συμπυκνωμάτων. Οπότε:

Καπναγωγός [€]	150,00
----------------	--------

Πίνακας 6.47: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα υπόλοιπα κόστη υπολογίζονται όμοια με τα προηγούμενα σενάρια για κάθε κατηγορία. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
10688,70	3705,00	2082,37
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	6740,99	
2	6481,72	
3	6232,42	
4	5992,71	
5	5762,22	
6	5540,60	
7	5373,55	
8	5166,87	
9	4968,15	
10	4777,06	
11	4593,33	
12	4416,66	
13	4246,79	
14	4083,45	
15	3926,40	
16	3775,38	
17	3696,55	
18	3556,78	
19	3423,69	
20	3295,57	
Υπολειμματική αξία		
14797,12		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		162574,48 €

Πίνακας 6.48: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης λέβητα συμπύκνωσης

Συστοιχία λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για τους δυο λέβητες του σεναρίου:

Εξοπλισμός 1^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	VKK 1606/3-E
Ονομαστική Ισχύς [kW]	26,2-155,8
Τιμή [€]	10900

Πίνακας 6.49: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Εξοπλισμός 2^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	VKK 806/3-E
Ονομαστική Ισχύς [kW]	13,6-77,9
Τιμή [€]	9660

Πίνακας 6.50: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα παρελκόμενα που απαιτούνται για τέτοιου είδους εγκατάσταση είναι δυο καπναγωγοί και μια ηλεκτρολογική επέκταση ώστε να ελέγχονται οι δυο λέβητες. Αυτά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Καπναγωγός [€]	167,30
ΗΛ/κή επέκταση [€]	171,00

Πίνακας 6.51: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα κόστη υπολογίζονται όμοια ακριβώς με τα προηγούμενα σενάρια εξοικονόμησης για κάθε κατηγορία. Παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
18118,27	6269,49	2590,98
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	6405,36	
2	6159,00	
3	5922,11	
4	5694,34	
5	5475,33	
6	5264,74	
7	5104,55	
8	4908,22	
9	4719,44	
10	4537,92	
11	4363,39	
12	4195,56	
13	4034,20	
14	3879,04	
15	3729,84	
16	3586,39	
17	3509,42	
18	3376,65	
19	3250,18	
20	3128,45	
Υπολειμματική αξία		
14797,12		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		168270,35 €

Πίνακας 6.52: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης συστοιχίας λεβήτων συμπύκνωσης

Αντλία θερμότητας:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για το συγκεκριμένο σενάριο εξοικονόμησης:

Περιγραφή	Αντλία θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών
Κατασκευαστής	Daikin
Μοντέλο	EWYQ 180 DAYN
Ονομαστική Ισχύς [kW]	έως 225 kW για θέρμανση
Τιμή [€]	43500

Πίνακας 6.53: Εξοπλισμός σύμφωνα με Daikin

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας με τα κόστη. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
37453,50	13050,00	3914,64
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	5317,93	
2	5113,39	
3	4916,72	
4	4727,62	
5	4545,79	
6	4370,95	
7	4202,84	
8	4041,19	
9	3885,76	
10	3736,31	
11	3592,60	
12	3454,43	
13	3321,56	
14	3193,81	
15	3070,97	
16	2952,86	
17	2839,29	
18	2730,08	
19	2625,08	
20	2524,11	
Υπολειμματική αξία		
14797,12		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		179628,92 €

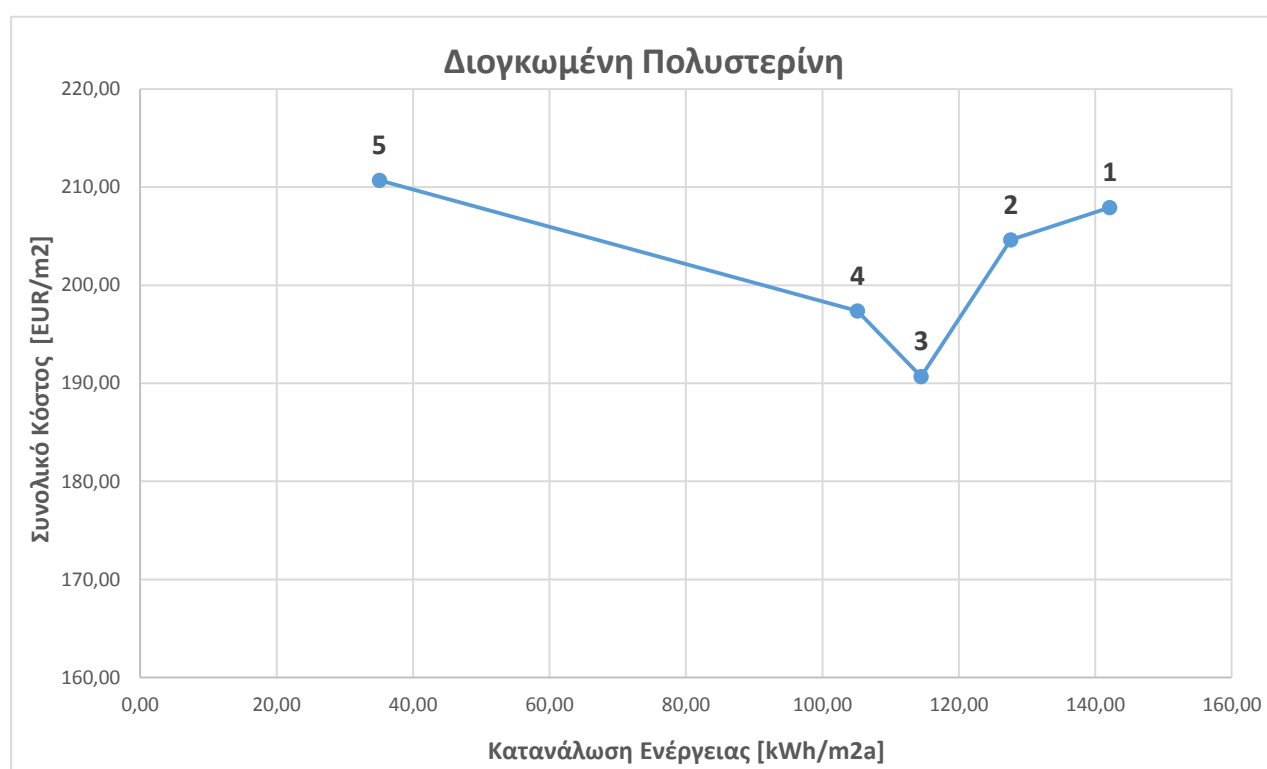
Πίνακας 6.54: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης αντλίας θερμότητας

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της οικονομοτεχνικής αξιολόγησης για την περίπτωση τοποθέτησης διογκωμένης πολυστερίνης θα παρουσιαστούν όπως και πριν με την κατασκευή δυο διαγραμμάτων. Το πρώτο διάγραμμα αφορά την κατανάλωση ενέργειας από τα διάφορα συστήματα θέρμανσης ανά τετραγωνικό μέτρο θερμαινόμενης επιφάνειας ετησίως [$\frac{kWh}{m^2a}$], σε σχέση με το συνολικό κόστος [$\frac{\text{€}}{m^2}$]. Αρχικά παρατίθεται ο συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων και ύστερα το σχετικό διάγραμμα:

Διογκωμένη πολυστερίνη		
Σενάριο	Κατανάλωση ενέργειας [$\frac{kWh}{m^2a}$]	Συνολικό κόστος [$\frac{\text{€}}{m^2}$]
1. Συμβατικός μικρότερης ισχύος	142,10	207,91
2. Συστοιχία συμβατικών λεβήτων	127,60	204,61
3. Λέβητας συμπύκνωσης	114,45	190,69
4. Συστοιχία λεβήτων συμπύκνωσης	105,13	197,37
5. Αντλία θερμότητας	35,06	210,69

Πίνακας 6.55: Συγκεντρωτικός πίνακας οικονομοτεχνικής ανάλυσης



Πίνακας 6.6: Διάγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης

Επομένως από πλευράς κατανάλωσης ενέργειας η βέλτιστη οικονομικά λύση είναι:

ΕΝΑΣ ΛΕΒΗΤΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ.

Επίσης από το διάγραμμα 6.6 είναι εμφανής η σειρά με την οποία εμφανίζονται τα περισσότερο οικονομικά συμφέροντα σενάρια εξοικονόμησης. Αυτή είναι:

- Λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
- Συστοιχία λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης
- Συστοιχία συμβατικών λεβήτων φυσικού αερίου
- Συμβατικός λέβητας μικρότερης ονομαστικής ισχύος
- Αντλία θερμότητας

Αυτό που απορρέει από το διάγραμμα είναι επίσης ότι η καμπύλη διατηρεί την μορφή που είχε και στην περίπτωση όπου τοποθετήθηκε η εξηλασμένη πολυστερίνη. Επομένως τα σχόλια που έγιναν για τα υπόλοιπα συστήματα που φαίνονται στο διάγραμμα ισχύουν και στην παρούσα περίπτωση.

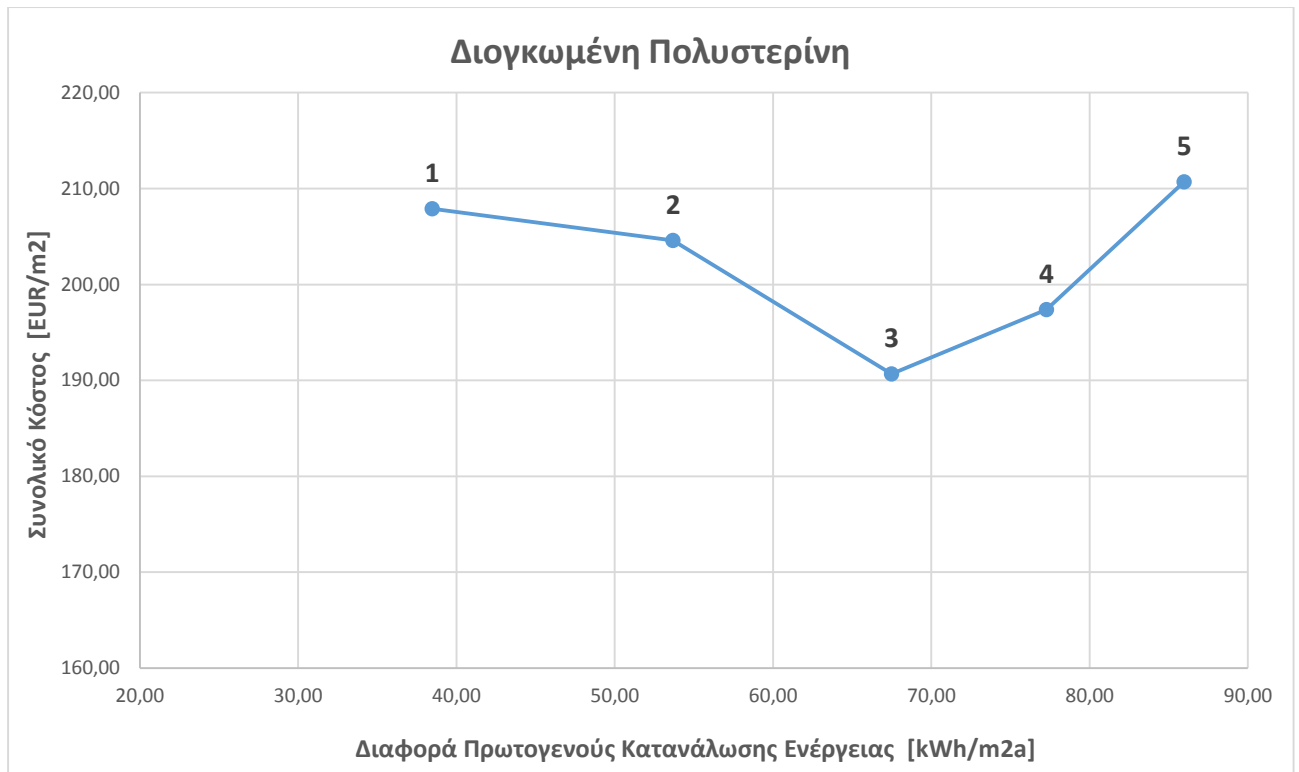
Το δεύτερο διάγραμμα που θα παρουσιαστεί αφορά την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας που επιτυγχάνεται από κάθε σύστημα θέρμανσης των σεναρίων $[\frac{kWh}{m^2a}]$ σε σχέση πάλι με το συνολικό κόστος $[\frac{€}{m^2}]$. Αρχικά υπενθυμίζεται η αρχική κατανάλωση του υπάρχοντος λέβητα του Κτιρίου Ο, βάση της οποίας θα γίνει η κατάλληλη σύγκριση με τα νέα συστήματα :

$$\text{Αρχική Κατανάλωση Ενέργειας/Υπάρχουσα Κατάσταση} = 178,83 \frac{kWh}{m^2}$$

Επομένως ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων όπου χρησιμοποιήθηκε για την οικονομοτεχνική ανάλυση:

Σενάριο	Διογκωμένη πολυστερίνη		
	Πρωτογενής ενέργεια $[\frac{kWh}{m^2a}]$	Διαφορά αρχικής $[\frac{kWh}{m^2a}]$	Συνολικό κόστος $[\frac{€}{m^2}]$
1. Συμβατικός μικρότερης ισχύος	149,20	38,46	207,91
2. Συστοιχία συμβατικών λεβήτων	133,98	53,69	204,61
3. Λέβητας συμπύκνωσης	120,17	67,49	190,69
4. Συστοιχία λεβήτων συμπύκνωσης	110,39	77,28	197,37
5. Αντλία θερμότητας	101,69	85,98	210,69

Πίνακας 6.56: Συγκεντρωτικός πίνακας οικονομοτεχνικής ανάλυσης



Διάγραμμα 6.7: Διάγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης

Και πάλι όπως ήταν αναμενόμενο, ο λέβητας συμπύκνωσης είναι αυτός που δίνει το οικονομικά βέλτιστο σημείο. Πιο συγκεκριμένα επιτυγχάνεται εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας: **67,49 $\frac{kWh}{m^2 a}$ ΕΤΗΣΙΩΣ.**

Υπενθυμίζεται ότι η βέλτιστη λύση για το Κτίριο Ο χωρίς παρεμβάσεις θερμομόνωσης ήταν πριν $54,49 \frac{kWh}{m^2 a}$. Επομένως τώρα παρατηρείται αύξηση στην ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ύψους έως και **20 %**.

6.2.4. Πετροβάμβακας (Rockwool)

Το μοναδικό που αλλάζει στην περίπτωση τοποθέτησης πετροβάμβακα είναι το κόστος αγοράς και εγκατάστασης της θερμομόνωσης καθώς και το αντίστοιχο κόστος διάθεσης. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, από τον πίνακα 6.22 διαβάζεται η τιμή του πετροβάμβακα που είναι $4,34 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$. Προστίθεται αυτή η τιμή στην τιμή εγκατάστασης της μόνωσης ($27,98 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$), και προκύπτει η τελική τιμή: $32,32 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$. Επομένως πολλαπλασιάζοντας την τιμή αυτή με τα συνολικά τετραγωνικά που θα καλυφθούν με μόνωση (ίδια με την προηγούμενη περίπτωση: $1971,56 \text{ m}^2$), προκύπτει το τελικό κόστος αγοράς και τοποθέτησης πετροβάμβακα: **63720,82 €**.

Ακολουθούν οι οικονομικές αξιολογήσεις για όλα τα σενάρια συστημάτων θέρμανσης:

Συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου μικρότερης ονομαστικής ισχύος:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός:

Περιγραφή	Χυτοσίδηρος λέβητας πετρελαίου-αερίου
Κατασκευαστής	Zaegel-Held
Μοντέλο	GPX 1900
Ονομαστική Ισχύς [kW]	204
Τιμή [€]	6140

Πίνακας 6.57: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΣ Α.Ε. 2014

Όλες οι κατηγορίες κόστους υπολογίζονται όμοια ακριβώς με τις προηγούμενες περιπτώσεις εξοικονόμησης. Επομένως ακολουθεί κατευθείαν ο συγκεντρωτικός πίνακας με τα διάφορα κόστη για το συγκεκριμένο σενάριο εξοικονόμησης. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
5286,54	1842,00	1689,14
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	8329,85	
2	8009,47	
3	7701,42	
4	7405,21	
5	7120,39	
6	6846,53	
7	6640,54	
8	6385,13	
9	6139,55	
10	5903,41	
11	5676,36	
12	5458,04	
13	5248,11	
14	5046,26	
15	4852,17	
16	4665,55	
17	4568,75	
18	4396,03	
19	4231,56	
20	4073,24	
Υπολειμματική αξία		
14540,68		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		176695,39 €

Πίνακας 6.58: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης μικρότερου λέβητα όμοιας τεχνολογίας του αρχικού

Συστοιχία συμβατικών λέβητων φυσικού αερίου:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για τους δυο λέβητες του σεναρίου:

Εξοπλισμός 1^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	atmoCRAFT VK INT 1504
Ονομαστική Ισχύς [kW]	90-143
Τιμή [€]	8130

Πίνακας 6.59: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Εξοπλισμός 2^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	atmoCRAFT VK INT 564
Ονομαστική Ισχύς [kW]	56
Τιμή [€]	2620

Πίνακας 6.60: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Στην συγκεκριμένη περίπτωση εφόσον προστίθεται και δεύτερος λέβητας πρέπει αρχικά να προβλεφθεί και η αγορά νέου καπναγωγού για τα καυσαέρια του δεύτερου λέβητα, καθώς και επίσης μια ηλεκτρονική επέκταση που να επιτρέπει την προσθήκη του δεύτερου λέβητα στο πρόγραμμα ελέγχου της εγκατάστασης. Επομένως γίνονται και οι ακόλουθες δαπάνες:

Καπναγωγός [€]	167,30
ΗΛ/κή επέκταση [€]	171,00

Πίνακας 6.61: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Ακολουθούν σε συγκεντρωτικό πίνακα τα κόστη για αυτό το σενάριο εξοικονόμησης. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
9671,86	3326,49	1989,35
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	7694,24	
2	7398,31	
3	7113,76	
4	6840,15	
5	6577,07	
6	6324,10	
7	6132,32	
8	5896,46	
9	5669,68	
10	5451,61	
11	5241,93	
12	5040,32	
13	4846,46	
14	4660,06	
15	4480,83	
16	4308,49	
17	4216,94	
18	4057,44	
19	3905,53	
20	3759,30	
Υπολειμματική αξία		
14540,68		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		173782,85 €

Πίνακας 6.62: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης δυο λεβήτων σε συστοιχία

Λέβητας συμπύκνωσης:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για τον λέβητα συμπύκνωσης του σεναρίου:

Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	VKK 2006/3-E
Ονομαστική Ισχύς [kW]	43,1-196,8
Τιμή [€]	12200

Πίνακας 6.63: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα παρελκόμενα που αγοράζονται για τέτοιου είδους εγκατάσταση είναι ένας καπναγωγός με κατάλληλη μορφή για τυχών συλλογή συμπυκνωμάτων. Οπότε:

Καπναγωγός [€]	150,00
-----------------------	---------------

Πίνακας 6.64: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα υπόλοιπα κόστη υπολογίζονται όμοια με τα προηγούμενα σενάρια για κάθε κατηγορία. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
10688,70	3705,00	2058,96
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	6760,62	
2	6500,60	
3	6250,58	
4	6010,17	
5	5779,01	
6	5556,74	
7	5389,20	
8	5181,93	
9	4982,62	
10	4790,98	
11	4606,71	
12	4429,53	
13	4259,17	
14	4095,35	
15	3937,84	
16	3786,38	
17	3707,33	
18	3567,15	
19	3433,67	
20	3305,18	
Υπολειμματική αξία		
14540,68		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		161963,58 €

Πίνακας 6.65: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης λέβητα συμπύκνωσης

Συστοιχία λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για τους δυο λέβητες του σεναρίου:

Εξοπλισμός 1^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	VKK 1606/3-E
Ονομαστική Ισχύς [kW]	26,2-155,8
Τιμή [€]	10900

Πίνακας 6.66: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Εξοπλισμός 2^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	VKK 806/3-E
Ονομαστική Ισχύς [kW]	13,6-77,9
Τιμή [€]	9660

Πίνακας 6.67: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα παρελκόμενα που απαιτούνται για τέτοιου είδους εγκατάσταση είναι δυο καπναγωγοί και μια ηλεκτρολογική επέκταση ώστε να ελέγχονται οι δυο λέβητες. Αυτά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Καπναγωγός [€]	167,30
ΗΛ/κή επέκταση [€]	171,00

Πίνακας 6.68: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα κόστη υπολογίζονται όμοια ακριβώς με τα προηγούμενα σενάρια εξοικονόμησης για κάθε κατηγορία. Παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
18118,27	6269,49	2567,58
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	6420,64	
2	6173,69	
3	5936,24	
4	5707,93	
5	5488,39	
6	5277,30	
7	5116,73	
8	4919,93	
9	4730,71	
10	4548,76	
11	4373,80	
12	4205,58	
13	4043,83	
14	3888,30	
15	3738,75	
16	3594,95	
17	3517,81	
18	3384,72	
19	3257,95	
20	3135,93	
Υπολειμματική αξία		
14540,68		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		167597,41 €

Πίνακας 6.69: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης συστοιχίας λεβήτων συμπύκνωσης

Αντλία θερμότητας:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για το συγκεκριμένο σενάριο εξοικονόμησης:

Περιγραφή	Αντλία θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών
Κατασκευαστής	Daikin
Μοντέλο	EWYQ-DAYN
Ονομαστική Ισχύς [kW]	έως 281 kW για θέρμανση
Τιμή [€]	60000

Πίνακας 6.70: Εξοπλισμός σύμφωνα με Daikin

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας με τα κόστη. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
37453,5	13050,00	4863,78
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	5353,00	
2	5147,11	
3	4949,15	
4	4758,80	
5	4575,77	
6	4399,77	
7	4230,55	
8	4067,84	
9	3911,38	
10	3760,95	
11	3616,29	
12	3477,21	
13	3343,47	
14	3214,87	
15	3091,22	
16	2972,33	
17	2858,01	
18	2748,09	
19	2642,39	
20	2540,76	
Υπολειμματική αξία		
14540,68		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		179233,83 €

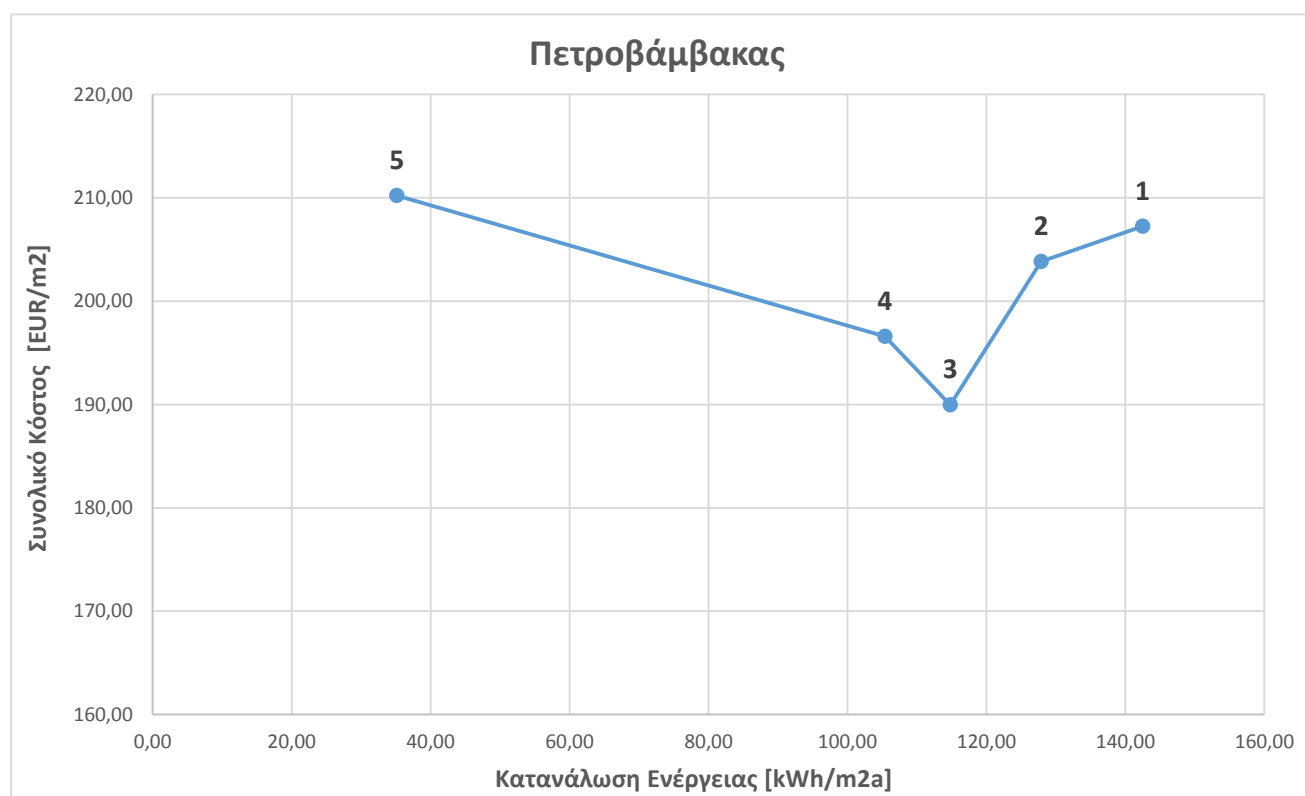
Πίνακας 6.71: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης αντλίας θερμότητας

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της οικονομοτεχνικής αξιολόγησης για την περίπτωση τοποθέτησης πετροβάμβακα θα παρουσιαστούν όπως και πριν με την κατασκευή δυο διαγραμμάτων. Το πρώτο διάγραμμα αφορά την κατανάλωση ενέργειας από τα διάφορα συστήματα θέρμανσης ανά τετραγωνικό μέτρο θερμαινόμενης επιφάνειας ετησίως [$\frac{kWh}{m^2a}$], σε σχέση με το συνολικό κόστος [$\frac{\text{€}}{m^2}$]. Αρχικά παρατίθεται ο συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων και ύστερα το σχετικό διάγραμμα:

Πετροβάμβακας		
Σενάριο	Κατανάλωση ενέργειας [$\frac{kWh}{m^2a}$]	Συνολικό κόστος [$\frac{\text{€}}{m^2}$]
1. Συμβατικός μικρότερης ισχύος	142,50	207,25
2. Συστοιχία συμβατικών λεβήτων	127,88	203,83
3. Λέβητας συμπύκνωσης	114,80	189,97
4. Συστοιχία λεβήτων συμπύκνωσης	105,40	196,58
5. Αντλία θερμότητας	35,15	210,23

Πίνακας 6.72: Συγκεντρωτικός πίνακας οικονομοτεχνικής ανάλυσης



Διάγραμμα 6.8: Διάγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης

Επομένως από πλευράς κατανάλωσης ενέργειας η βέλτιστη οικονομικά λύση είναι:

ΕΝΑΣ ΛΕΒΗΤΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ.

Επίσης από το διάγραμμα 6.8 είναι εμφανής η σειρά με την οποία εμφανίζονται τα περισσότερα οικονομικά συμφέροντα σενάρια εξοικονόμησης. Αυτή είναι:

- Λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
- Συστοιχία λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης
- Συστοιχία συμβατικών λεβήτων φυσικού αερίου
- Συμβατικός λέβητας μικρότερης ονομαστικής ισχύος
- Αντλία θερμότητας

Αυτό που απορρέει από το διάγραμμα είναι επίσης ότι η καμπύλη διατηρεί την μορφή που είχε και στην περίπτωση όπου τοποθετήθηκε η εξηλασμένη ή διογκωμένη πολυστερίνη. Επομένως τα σχόλια που έγιναν για τα υπόλοιπα συστήματα που φαίνονται στο διάγραμμα ισχύουν και στην παρούσα περίπτωση.

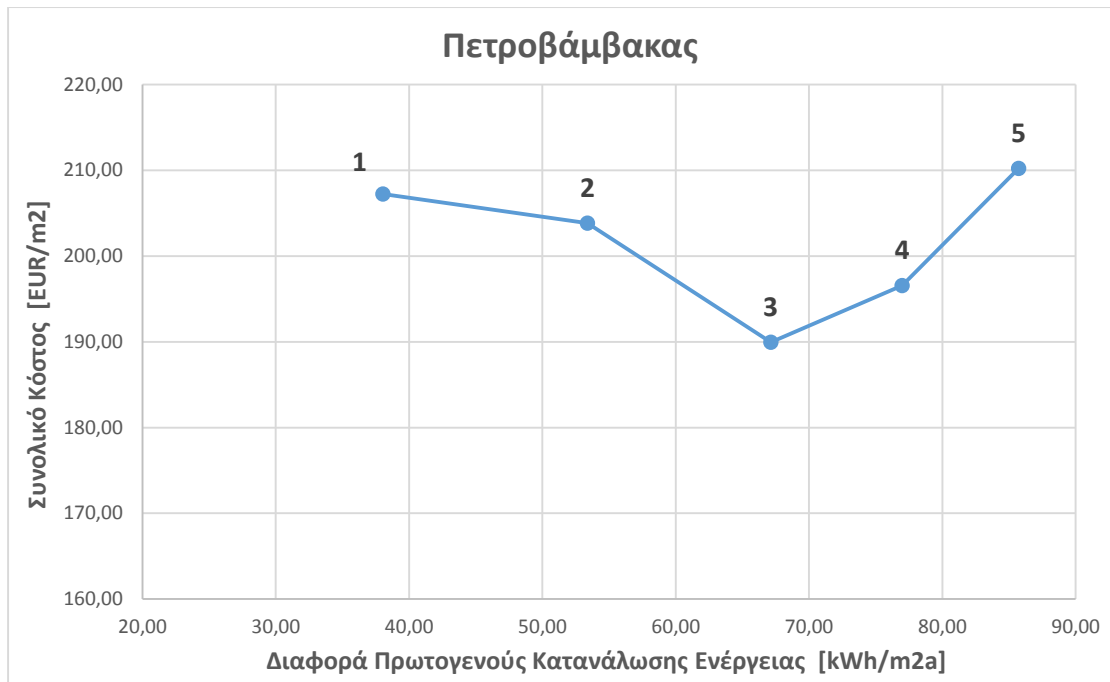
Το δεύτερο διάγραμμα που θα παρουσιαστεί αφορά την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας που επιτυγχάνεται από κάθε σύστημα θέρμανσης των σεναρίων $[\frac{kWh}{m^2a}]$ σε σχέση πάλι με το συνολικό κόστος $[\frac{\epsilon}{m^2}]$. Αρχικά υπενθυμίζεται η αρχική κατανάλωση του υπάρχοντος λέβητα του Κτιρίου Ο, βάση της οποίας θα γίνει η κατάλληλη σύγκριση με τα νέα συστήματα :

$$\text{Αρχική Κατανάλωση Ενέργειας/Υπάρχουσα Κατάσταση} = 178,83 \frac{kWh}{m^2}$$

Επομένως ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων όπου χρησιμοποιήθηκε για την οικονομοτεχνική ανάλυση:

Σενάριο	Πετροβάμβακας		
	Πρωτογενής ενέργεια $[\frac{kWh}{m^2a}]$	Διαφορά αρχικής $[\frac{kWh}{m^2a}]$	Συνολικό κόστος $[\frac{\epsilon}{m^2}]$
1. Συμβατικός μικρότερης ισχύος	149,63	38,04	207,25
2. Συστοιχία συμβατικών λεβήτων	134,28	53,39	203,83
3. Λέβητας συμπύκνωσης	120,54	67,13	189,97
4. Συστοιχία λεβήτων συμπύκνωσης	110,67	77,00	196,58
5. Αντλία θερμότητας	101,93	85,73	210,23

Πίνακας 6.73: Συγκεντρωτικός πίνακας οικονομοτεχνικής ανάλυσης



Διάγραμμα 6.9: Διάγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης

Και πάλι όπως ήταν αναμενόμενο, ο λέβητας συμπύκνωσης είναι αυτός που δίνει το οικονομικά βέλτιστο σημείο. Πιο συγκεκριμένα επιτυγχάνεται εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας: **67,13 $\frac{kWh}{m^2a}$ ΕΤΗΣΙΩΣ.**

Υπενθυμίζεται ότι η βέλτιστη λύση για το Κτίριο Ο χωρίς παρεμβάσεις θερμομόνωσης ήταν πριν $54,49 \frac{kWh}{m^2a}$. Επομένως τώρα παρατηρείται αύξηση στην ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ύψους έως και **20 %**.

6.2.5. Κυτταρίνη (Cellulose)

Το μοναδικό που αλλάζει στην περίπτωση τοποθέτησης κυτταρίνης είναι το κόστος αγοράς και εγκατάστασης της θερμομόνωσης καθώς και το αντίστοιχο κόστος διάθεσης. Σύμφωνα με όσα λέχθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, από τον πίνακα 6.22 διαβάζεται η τιμή του κυτταρίνης που είναι $4,00 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$. Προστίθεται αυτή η τιμή στην τιμή εγκατάστασης της μόνωσης ($27,98 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$), και προκύπτει η τελική τιμή: $31,98 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$. Επομένως πολλαπλασιάζοντας την τιμή αυτή με τα συνολικά τετραγωνικά που θα καλυφθούν με μόνωση (ίδια με την προηγούμενη περίπτωση: $1971,56 \text{ m}^2$), προκύπτει το τελικό κόστος αγοράς και τοποθέτησης κυτταρίνης: 63050,49 €.

Ακολουθούν οι οικονομικές αξιολογήσεις για όλα τα σενάρια συστημάτων θέρμανσης:

Συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου μικρότερης ονομαστικής ισχύος:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός:

Περιγραφή	Χυτοσίδηρος λέβητας πετρελαίου-αερίου
Κατασκευαστής	Zaegel-Held
Μοντέλο	GPX 1900
Ονομαστική Ισχύς [kW]	204
Τιμή [€]	6140

Πίνακας 6.74 : Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Όλες οι κατηγορίες κόστους υπολογίζονται όμοια ακριβώς με τις προηγούμενες περιπτώσεις εξοικονόμησης. Επομένως ακολουθεί κατευθείαν ο συγκεντρωτικός πίνακας με τα διάφορα κόστη για το συγκεκριμένο σενάριο εξοικονόμησης. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
5286,54	1842,00	1717,07
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	8359,90	
2	8038,36	
3	7729,20	
4	7431,92	
5	7146,08	
6	6871,23	
7	6664,50	
8	6408,17	
9	6161,70	
10	5924,71	
11	5696,84	
12	5477,73	
13	5267,05	
14	5064,47	
15	4869,68	
16	4682,39	
17	4585,24	
18	4411,90	
19	4246,84	
20	4087,95	
Υπολειμματική αξία		
14846,61		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		178186,31 €

Πίνακας 6.75: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης μικρότερου λέβητα όμοιας τεχνολογίας του αρχικού

Συστοιχία συμβατικών λέβητων φυσικού αερίου:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για τους δυο λέβητες του σεναρίου:

Εξοπλισμός 1^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	atmoCRAFT VK INT 1504
Ονομαστική Ισχύς [kW]	90-143
Τιμή [€]	8130

Πίνακας 6.76: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Εξοπλισμός 2^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	atmoCRAFT VK INT 564
Ονομαστική Ισχύς [kW]	56
Τιμή [€]	2620

Πίνακας 6.77: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Στην συγκεκριμένη περίπτωση εφόσον προστίθεται και δεύτερος λέβητας πρέπει αρχικά να προβλεφθεί και η αγορά νέου καπναγωγού για τα καυσαέρια του δεύτερου λέβητα, καθώς και επίσης μια ηλεκτρονική επέκταση που να επιτρέπει την προσθήκη του δεύτερου λέβητα στο πρόγραμμα ελέγχου της εγκατάστασης. Επομένως γίνονται και οι ακόλουθες δαπάνες:

Καπναγωγός [€]	167,30
Ηλ/κή επέκταση [€]	171,00

Πίνακας 6.78: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Ακολουθούν σε συγκεντρωτικό πίνακα τα κόστη για αυτό το σενάριο εξοικονόμησης. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
9671,86	3326,49	2017,28
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	7715,44	
2	7418,70	
3	7133,36	
4	6859,00	
5	6595,19	
6	6341,53	
7	6149,23	
8	5912,72	
9	5685,31	
10	5466,64	
11	5256,39	
12	5054,22	
13	4859,83	
14	4672,91	
15	4493,18	
16	4320,37	
17	4228,58	
18	4068,64	
19	3916,31	
20	3769,67	
Υπολειμματική αξία		
14846,61		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		175147,73 €

Πίνακας 6.79: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης δυο λεβήτων σε συστοιχία

Λέβητας συμπύκνωσης:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για τον λέβητα συμπύκνωσης του σεναρίου:

Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	VKK 2006/3-E
Ονομαστική Ισχύς [kW]	43,1-196,8
Τιμή [€]	12200

Πίνακας 6.80: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα παρελκόμενα που αγοράζονται για τέτοιου είδους εγκατάσταση είναι ένας καπναγωγός με κατάλληλη μορφή για τυχών συλλογή συμπυκνωμάτων. Οπότε:

Καπναγωγός [€]	150,00
----------------	--------

Πίνακας 6.81: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα υπόλοιπα κόστη υπολογίζονται όμοια με τα προηγούμενα σενάρια για κάθε κατηγορία. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
10688,70	3705,00	2086,89
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	6782,43	
2	6521,57	
3	6270,74	
4	6029,55	
5	5797,65	
6	5574,66	
7	5406,59	
8	5198,65	
9	4998,70	
10	4806,44	
11	4621,58	
12	4443,83	
13	4272,91	
14	4108,57	
15	3950,54	
16	3798,60	
17	3719,30	
18	3578,67	
19	3444,76	
20	3315,85	
Υπολειμματική αξία		
14846,61		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		163337,05 €

Πίνακας 6.82: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης λέβητα συμπύκνωσης

Συστοιχία λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για τους δυο λέβητες του σεναρίου:

Εξοπλισμός 1^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	VKK 1606/3-E
Ονομαστική Ισχύς [kW]	26,2-155,8
Τιμή [€]	10900

Πίνακας 6.83: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Εξοπλισμός 2^{ου} λέβητα	
Περιγραφή	Επιδαπέδιος λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	VKK 806/3-E
Ονομαστική Ισχύς [kW]	13,6-77,9
Τιμή [€]	9660

Πίνακας 6.84: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα παρελκόμενα που απαιτούνται για τέτοιου είδους εγκατάσταση είναι δυο καπναγωγοί και μια ηλεκτρολογική επέκταση ώστε να ελέγχονται οι δυο λέβητες. Αυτά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Καπναγωγός [€]	167,30
Ηλ/κή επέκταση [€]	171,00

Πίνακας 6.85: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Τα κόστη υπολογίζονται όμοια ακριβώς με τα προηγούμενα σενάρια εξοικονόμησης για κάθε κατηγορία. Παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
18118,27	6269,49	2595,50
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	6440,62	
2	6192,90	
3	5954,72	
4	5725,69	
5	5505,47	
6	5293,72	
7	5132,66	
8	4935,25	
9	4745,44	
10	4562,92	
11	4387,42	
12	4218,67	
13	4056,42	
14	3900,40	
15	3750,39	
16	3606,14	
17	3528,77	
18	3395,28	
19	3268,11	
20	3145,71	
Υπολειμματική αξία		
14846,61		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		168944,83 €

Πίνακας 6.86: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης συστοιχίας λεβήτων συμπύκνωσης

Αντλία θερμότητας:

Επιλέγεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για το συγκεκριμένο σενάριο εξοικονόμησης:

Περιγραφή	Αντλία θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών
Κατασκευαστής	Daikin
Μοντέλο	EWYQ-DAYN
Ονομαστική Ισχύς [kW]	έως 281 kW για θέρμανση
Τιμή [€]	60000

Πίνακας 6.87: Εξοπλισμός σύμφωνα με Daikin

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας με τα κόστη. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο: Σταθερό Κόστος, εννοείται το αρχικό κόστος επένδυσης (αγοράς και εγκατάστασης) καθώς και το κόστος διάθεσης. Ενώ με τον όρο: Μεταβλητό Κόστος, εννοείται το ετήσιο μεταβαλλόμενο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σταθερό Κόστος		
Αγοράς	Εγκατάστασης	Διάθεσης
37453,50	13050,00	3919,15
Έτη	Μεταβλητό Κόστος	
1	5369,14	
2	5162,63	
3	4964,07	
4	4773,14	
5	4589,56	
6	4413,04	
7	4243,31	
8	4080,10	
9	3923,18	
10	3772,28	
11	3627,20	
12	3487,69	
13	3353,55	
14	3224,56	
15	3100,54	
16	2981,29	
17	2866,63	
18	2756,37	
19	2650,36	
20	2548,42	
Υπολειμματική αξία		
14846,61		
Συνολικό κόστος σεναρίου εξοικονόμησης:		180524,58 €

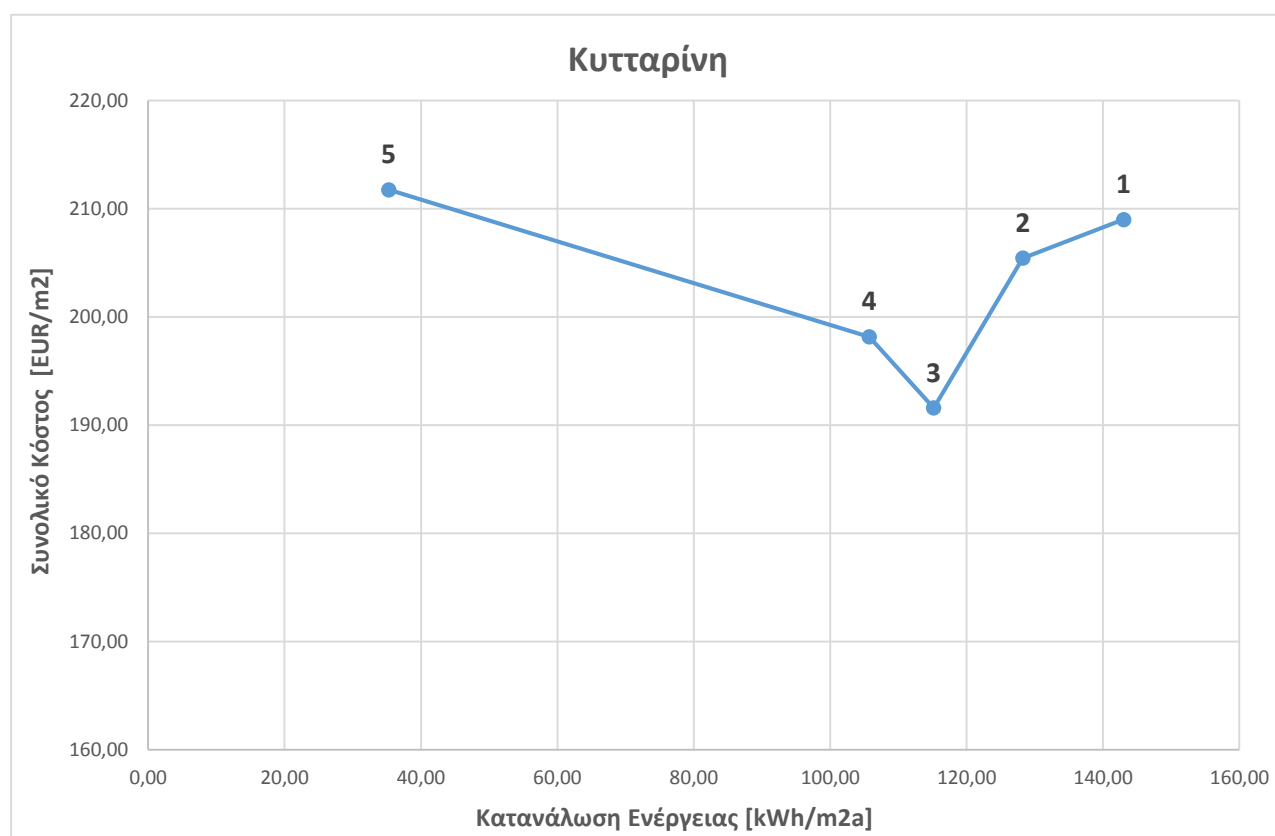
Πίνακας 6.88: Κόστη σεναρίου εξοικονόμησης αντλίας θερμότητας

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της οικονομοτεχνικής αξιολόγησης για την περίπτωση τοποθέτησης κυτταρίνης θα παρουσιαστούν όπως και πριν με την κατασκευή δυο διαγραμμάτων. Το πρώτο διάγραμμα αφορά την κατανάλωση ενέργειας από τα διάφορα συστήματα θέρμανσης ανά τετραγωνικό μέτρο θερμαινόμενης επιφάνειας ετησίως [$\frac{kWh}{m^2a}$], σε σχέση με το συνολικό κόστος [$\frac{\text{€}}{m^2}$]. Αρχικά παρατίθεται ο συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων και ύστερα το σχετικό διάγραμμα:

Κυτταρίνη		
Σενάριο	Κατανάλωση ενέργειας [$\frac{kWh}{m^2a}$]	Συνολικό κόστος [$\frac{\text{€}}{m^2}$]
1. Συμβατικός μικρότερης ισχύος	143,03	209,00
2. Συστοιχία συμβατικών λεβήτων	128,26	205,44
3. Λέβητας συμπύκνωσης	115,18	191,58
4. Συστοιχία λεβήτων συμπύκνωσης	105,75	198,16
5. Αντλία θερμότητας	35,26	211,74

Πίνακας 6.89: Συγκεντρωτικός πίνακας οικονομοτεχνικής ανάλυσης



Διάγραμμα 6.10: Διάγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης

Επομένως από πλευράς κατανάλωσης ενέργειας η βέλτιστη οικονομικά λύση είναι:

ΕΝΑΣ ΛΕΒΗΤΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ.

Επίσης από το διάγραμμα 6.10 είναι εμφανής η σειρά με την οποία εμφανίζονται τα περισσότερο οικονομικά συμφέροντα σενάρια εξοικονόμησης. Αυτή είναι:

- Λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
- Συστοιχία λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης
- Συστοιχία συμβατικών λεβήτων φυσικού αερίου
- Συμβατικός λέβητας μικρότερης ονομαστικής ισχύος
- Αντλία θερμότητας

Αυτό που απορρέει από το διάγραμμα είναι επίσης ότι η καμπύλη διατηρεί την μορφή που είχε και στην περίπτωση όπου τοποθετήθηκε η εξηλασμένη ή διογκωμένη πολυστερίνη. Επομένως τα σχόλια που έγιναν για τα υπόλοιπα συστήματα που φαίνονται στο διάγραμμα ισχύουν και στην παρούσα περίπτωση.

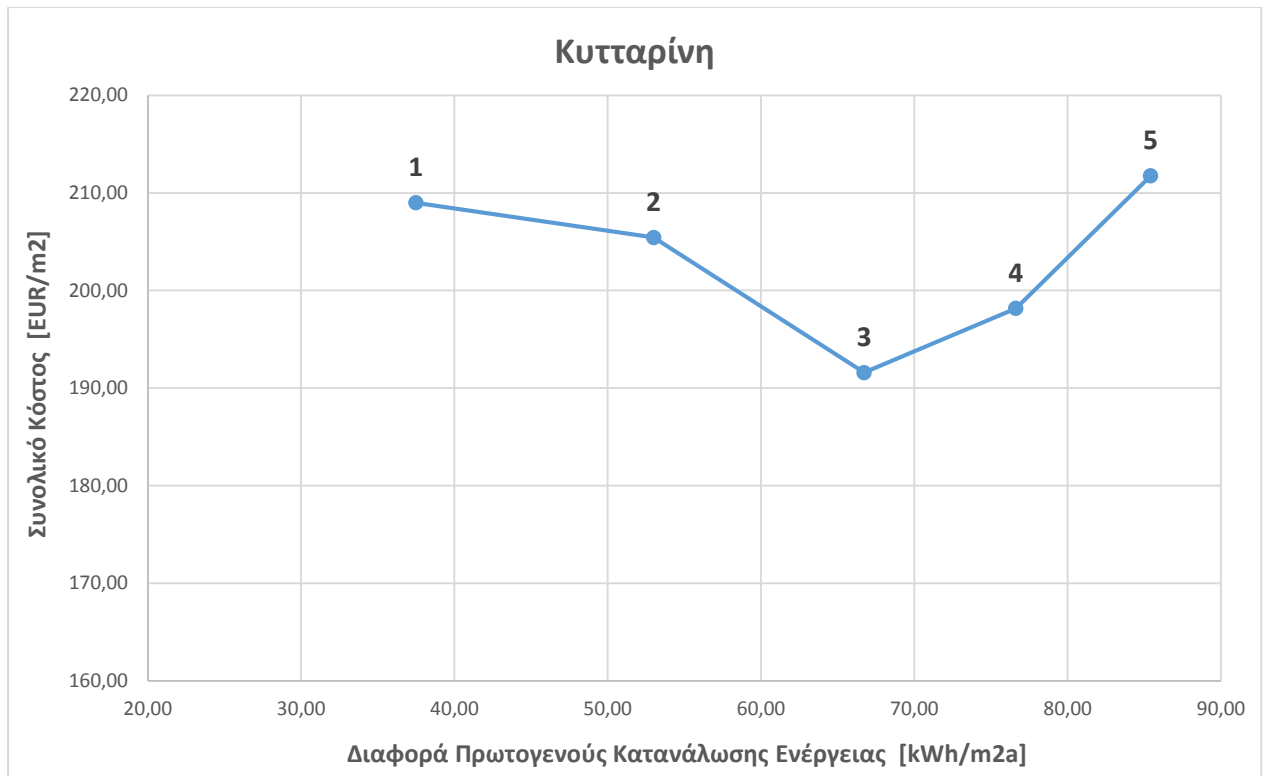
Το δεύτερο διάγραμμα που θα παρουσιαστεί αφορά την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας που επιτυγχάνεται από κάθε σύστημα θέρμανσης των σεναρίων $[\frac{kWh}{m^2a}]$ σε σχέση πάλι με το συνολικό κόστος $[\frac{€}{m^2}]$. Αρχικά υπενθυμίζεται η αρχική κατανάλωση του υπάρχοντος λέβητα του Κτιρίου Ο, βάση της οποίας θα γίνει η κατάλληλη σύγκριση με τα νέα συστήματα :

$$\text{Αρχική Κατανάλωση Ενέργειας/Υπάρχουσα Κατάσταση} = 178,83 \frac{kWh}{m^2}$$

Επομένως ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων όπου χρησιμοποιήθηκε για την οικονομοτεχνική ανάλυση:

Σενάριο	Κυτταρίνη		
	Πρωτογενής ενέργεια $[\frac{kWh}{m^2a}]$	Διαφορά αρχικής $[\frac{kWh}{m^2a}]$	Συνολικό κόστος $[\frac{€}{m^2}]$
1. Συμβατικός μικρότερης ισχύος	150,18	37,48	209,00
2. Συστοιχία συμβατικών λεβήτων	134,67	53,00	205,44
3. Λέβητας συμπύκνωσης	120,94	66,73	191,58
4. Συστοιχία λεβήτων συμπύκνωσης	111,04	76,63	198,16
5. Αντλία θερμότητας	102,25	85,42	235,35

Πίνακας 6.90: Συγκεντρωτικός πίνακας οικονομοτεχνικής ανάλυσης



Διάγραμμα 6.11 : Διάγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης

Και πάλι όπως ήταν αναμενόμενο, ο λέβητας συμπύκνωσης είναι αυτός που δίνει το οικονομικά βέλτιστο σημείο. Πιο συγκεκριμένα επιτυγχάνεται εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας: **66,73 $\frac{kWh}{m^2a}$ ΕΤΗΣΙΩΣ.**

Υπενθυμίζεται ότι η βέλτιστη λύση για το Κτίριο Ο χωρίς παρεμβάσεις θερμομόνωσης ήταν πριν $54,49 \frac{kWh}{m^2a}$. Επομένως τώρα παρατηρείται αύξηση στην ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ύψους έως και **20 %**.

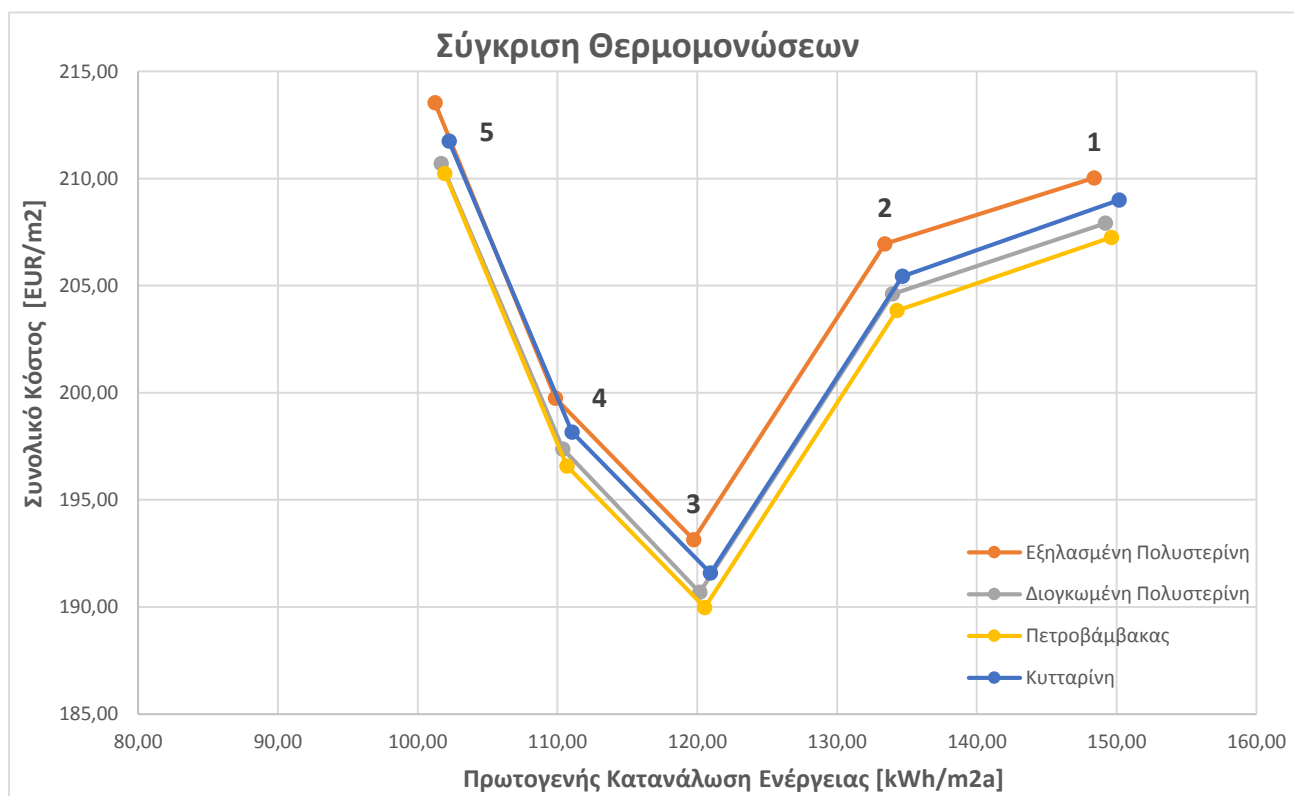
6.3. Αποτελέσματα συγκεντρωτικά

Στην παρούσα παράγραφο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της οικονομικής αξιολόγησης συγκεντρωτικά και με τα κατάλληλα σχόλια όπου κριθεί απαραίτητο.

Για όλα τα διαγράμματα που θα ακολουθήσουν, ισχύει η αρίθμηση των σεναρίων συστημάτων θέρμανσης όπως ίσχυε και μέχρι τώρα, δηλαδή:

1. Συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου μικρότερης ονομαστικής ισχύος
2. Συστοιχία συμβατικών λεβήτων φυσικού αερίου
3. Λέβητας συμπύκνωσης
4. Συστοιχία λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης
5. Αντλία θερμότητας

Κατασκευάζεται αρχικά ένα διάγραμμα που θα περιλαμβάνει 4 καμπύλες, μια για κάθε μόνωση. Η κάθε καμπύλη θα περιέχει όλα τα σενάρια αντικατάστασης του υπάρχοντος συστήματος θέρμανσης του Κτιρίου 'Ο'. Με αυτό τον τρόπο δύναται να αποφανθεί κάποιος για το ποια μόνωση και ποιο σενάριο αποτελεί την βέλτιστη οικονομική επιλογή. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα κάθετος άξονας θα είναι το συνολικό κόστος [$\frac{\text{€}}{\text{m}^2}$] και στον οριζόντιο η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}$]. Υπενθυμίζεται ότι στην υπάρχουσα κατάσταση (χωρίς κανένα σενάριο) είναι: **187,67 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}$** Ακολουθεί το εν λόγω διάγραμμα:



Διάγραμμα 6.12: Διάγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης για σύγκριση μεταξύ μονώσεων

Τα τελικά συμπεράσματα αναφορικά με την σύγκριση των θερμομονώσεων είναι:

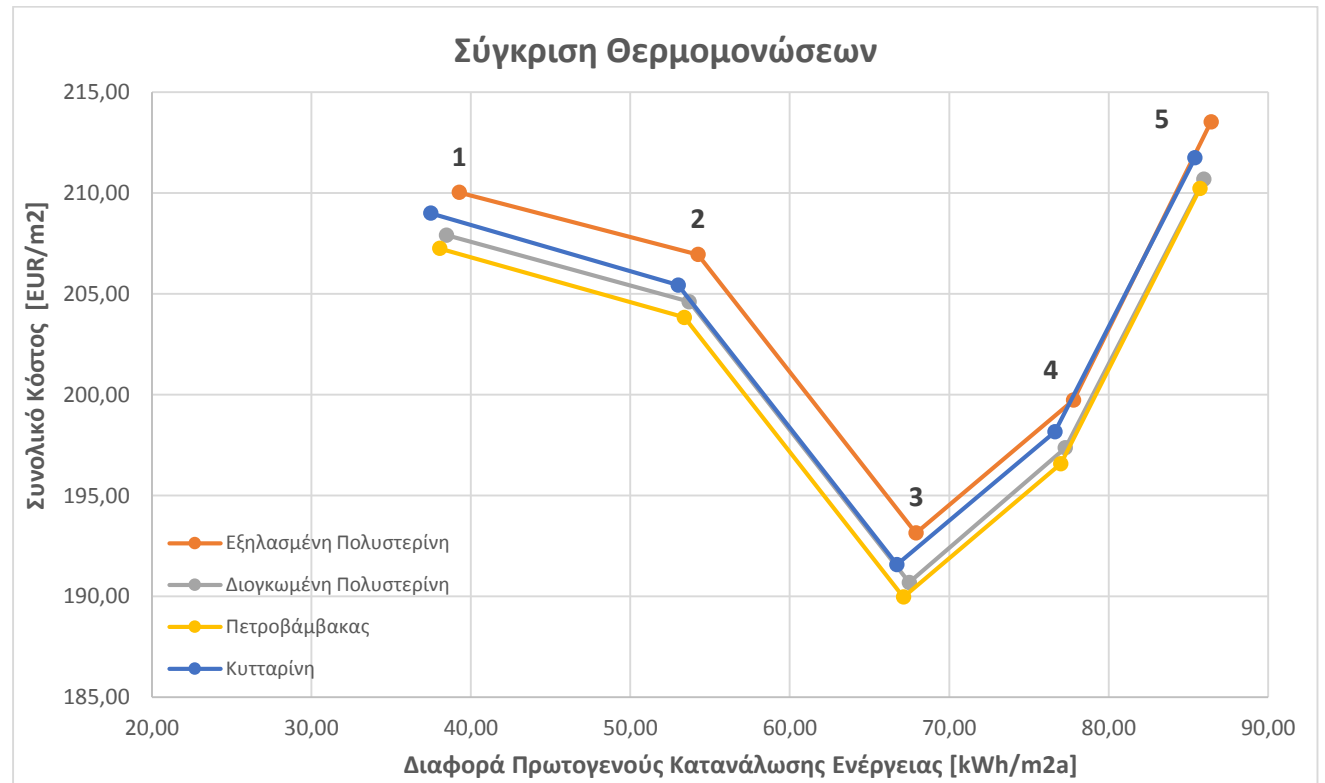
- Οικονομικά βέλτιστη λύση όλων των σεναρίων εξοικονόμησης, όσον αφορά την τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης: **ΠΕΤΡΟΒΑΜΒΑΚΑΣ**
- Οικονομικά βέλτιστη λύση όλων των σεναρίων εξοικονόμησης, όσον αφορά την αντικατάσταση του υπάρχοντος λέβητα με νέο σύστημα θέρμανσης:
ΕΝΑΣ ΛΕΒΗΤΑΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ
- Γίνεται εμφανής η σειρά με την οποία εμφανίζονται τα σενάρια εξοικονόμησης από το περισσότερο προς το λιγότερο οικονομικά συμφέρον:
 1. **Λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης**
 2. **Συστοιχία λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης**
 3. **Συστοιχία συμβατικών λεβήτων φυσικού αερίου**
 4. **Συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου μικρότερης ονομαστικής ισχύος**
 5. **Αντλία θερμότητας**
- Επίσης γίνεται εμφανής η αντίστοιχη σειρά που αφορά τα σενάρια τοποθέτησης εξωτερικής θερμομόνωσης:
 1. **Πετροβάμβακας**
 2. **Διογκωμένη πολυστερίνη**
 3. **Κυτταρίνη**
 4. **Εξηλασμένη πολυστερίνη**

Σχολιασμός επί των συμπερασμάτων:

- Η οικονομοτεχνική αξιολόγηση έδειξε ότι ενώ η εξηλασμένη πολυστερίνη όπως φαίνεται από τις θερμικές ιδιότητες των τεσσάρων μονώσεων που εξετάστηκαν, ήταν αυτή που οδηγούσε σε χαμηλότερες θερμικές διαπερατότητες της εξωτερικής τοιχοποιίας, οικονομοτεχνικά δεν αποτελεί την πλέον συμφέρουσα επιλογή, καθώς η τιμή αγοράς της είναι αρκετά υψηλή. Αυτό φαίνεται και στο διάγραμμα όπου η καμπύλη της συγκεκριμένης μόνωσης κινείται στα υψηλότερα επίπεδα κόστους.
- Η διογκωμένη πολυστερίνη η οποία βρίσκει τις περισσότερες εφαρμογές στην πραγματικότητα, προσφέρει καλύτερα αποτελέσματα από την εξηλασμένη πολυστερίνη, αλλά η τιμή αγοράς της είναι ελαφρώς υψηλή.
- Η χρήση κυτταρίνης ως εξωτερική θερμομόνωση επιλέχθηκε λόγω του ότι είναι προϊόν προερχόμενο από την ανακύκλωση χαρτιού και σε Ευρωπαϊκές χώρες προτιμάται αρκετά, αλλά η σχετικά υψηλή τιμή της σε συνδυασμό με την όχι και τόσο καλή θερμική συμπεριφορά της, την καθιστά δεύτερη οικονομικά χειρότερη λύση μετά την εξηλασμένη πολυστερίνη.
- Ο πετροβάμβακας επομένως είναι η θερμομόνωση που εμφανίζει την καλύτερη αναλογία θερμικών επιδόσεων και τιμής αγοράς, ώστε να οδηγεί στην βέλτιστη οικονομικά λύση όλης της μελέτης του Κτιρίου Ο.

Ένα επιπλέον διάγραμμα που βοηθά άμεσα στην σύγκριση μεταξύ των σεναρίων εξοικονόμησης είναι το παρακάτω, όπου απεικονίζεται η διαφορά της πρωτογενούς ενέργειας αντί απλά την πρωτογενή ενέργεια κάθε σεναρίου. Αυτό θα συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στο να οριστεί μια σειρά στο ποιο σενάριο είναι οικονομικότερο σε σχέση με τα υπόλοιπα. Υπενθυμίζεται ότι στην υπάρχουσα κατάσταση (χωρίς κανένα σενάριο) είναι:

187,67 $\frac{kWh}{m^2a}$ Ακολουθεί το εν λόγω διάγραμμα:



Διάγραμμα 6.13 : Διάγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης για σύγκριση μεταξύ μονώσεων

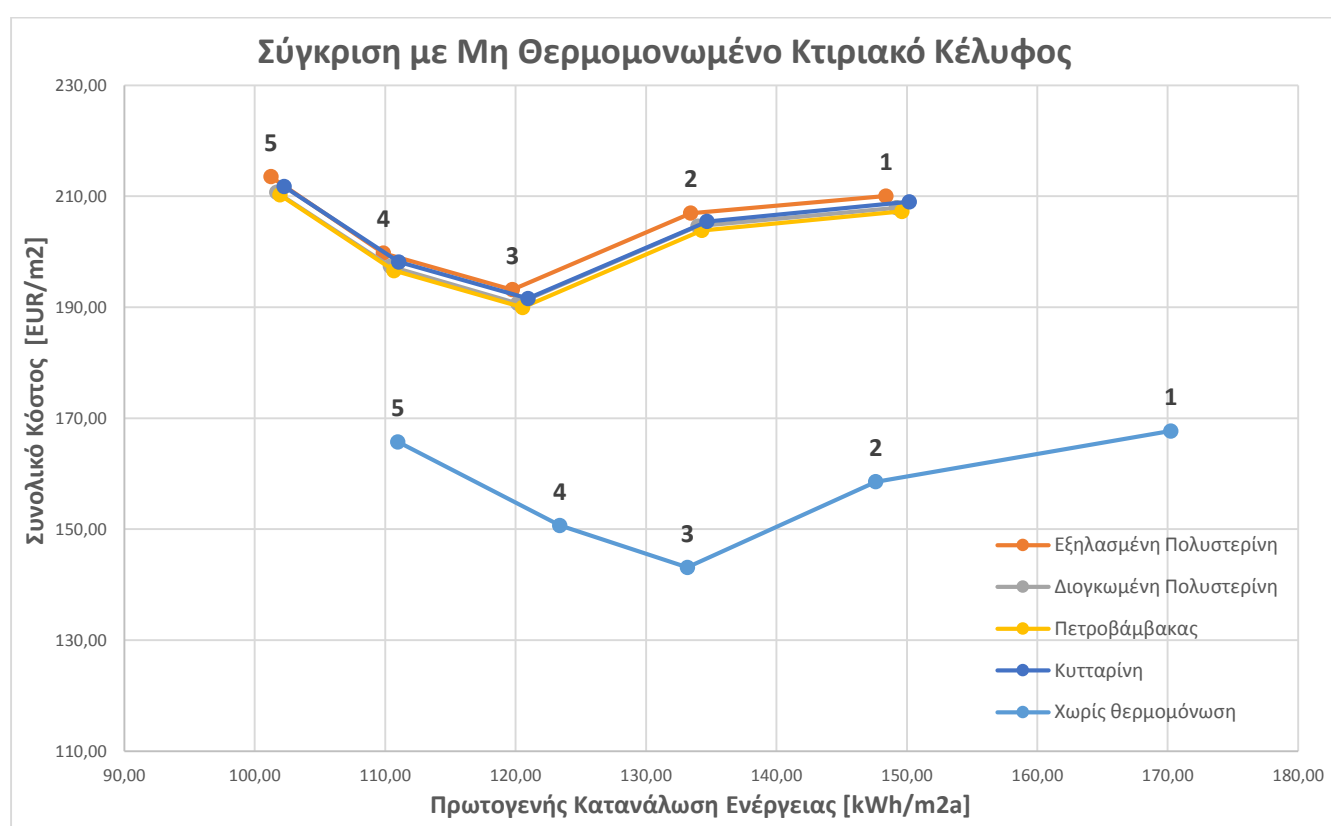
Αξιοσημείωτο στην όλη μελέτη και φαίνεται στο διάγραμμα 6.13 είναι το εξής:

- Ενώ με τους δυο συμβατικούς λέβητες αερίου επιτυγχάνονται αρκετά καλύτερα αποτελέσματα κατανάλωσης και κόστους από τον ένα συμβατικό λέβητα, το ίδιο αναμενόταν να συμβεί και με την επιλογή δυο λεβήτων φυσικού αερίου συμπύκνωσης έναντι του ενός. Παρόλα αυτά η οικονομοτεχνική ανάλυση έδειξε ότι δεν ισχύει κάτι τέτοιο για τους λέβητες συμπύκνωσης. Αυτό συμβαίνει για τον απλό λόγο ότι παρόλο το ενδιαφέρον μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας σε χαμηλότερα επίπεδα, υπάρχει κάποιο σημείο όπου η μείωση της κατανάλωσης παύει να είναι οικονομικά αποδοτική. Αυτό συμβαίνει διότι επιβάλλεται αγορά όλο και πιο πολύπλοκων (και προφανώς ακριβότερων) συστημάτων.
- Με το ίδιο ακριβώς σκεπτικό η αγορά αντλίας θερμότητας παρατηρείται σε όλες τις περιπτώσεις να είναι αντι-οικονομική, έχοντας το μεγαλύτερο συνολικό κόστος. Αυτό το αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο από την πρώτη στιγμή που χρειάστηκε η τοποθέτηση αντλίας θερμότητας τεράστιας ονομαστικής ισχύος.

Αυτό ακριβώς το γεγονός ώθησε την μελέτη σε επόμενο επίπεδο, και συγκεκριμένα στην μελέτη ενός συνδυαστικού συστήματος θέρμανσης (mix system) όπου θα συνεργάζονται μια αντλία θερμότητας και ένας λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης. Η ανάλυση ακολουθεί παρακάτω και παρουσιάζει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον.

Στο επόμενο διάγραμμα θα παρουσιαστούν οι καμπύλες των τεσσάρων μονώσεων, αλλά μαζί με την καμπύλη που αφορά το Κτίριο 'Ο' χωρίς τοποθέτηση θερμομόνωσης.

Μέσω αυτού του γραφήματος θα διαπιστωθεί αν συμφέρει ή όχι η τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης στο κτιριακό κέλυφος. Υπενθυμίζεται ότι στην υπάρχουσα κατάσταση (χωρίς κανένα σενάριο) είναι: $187,67 \frac{kWh}{m^2a}$ Ακολουθεί το εν λόγω διάγραμμα:



Διάγραμμα 6.14: Διάγραμμα τεχνοοικονομικής μελέτης για σύγκριση με μη θερμομονωμένο κτιριακό κέλυφος

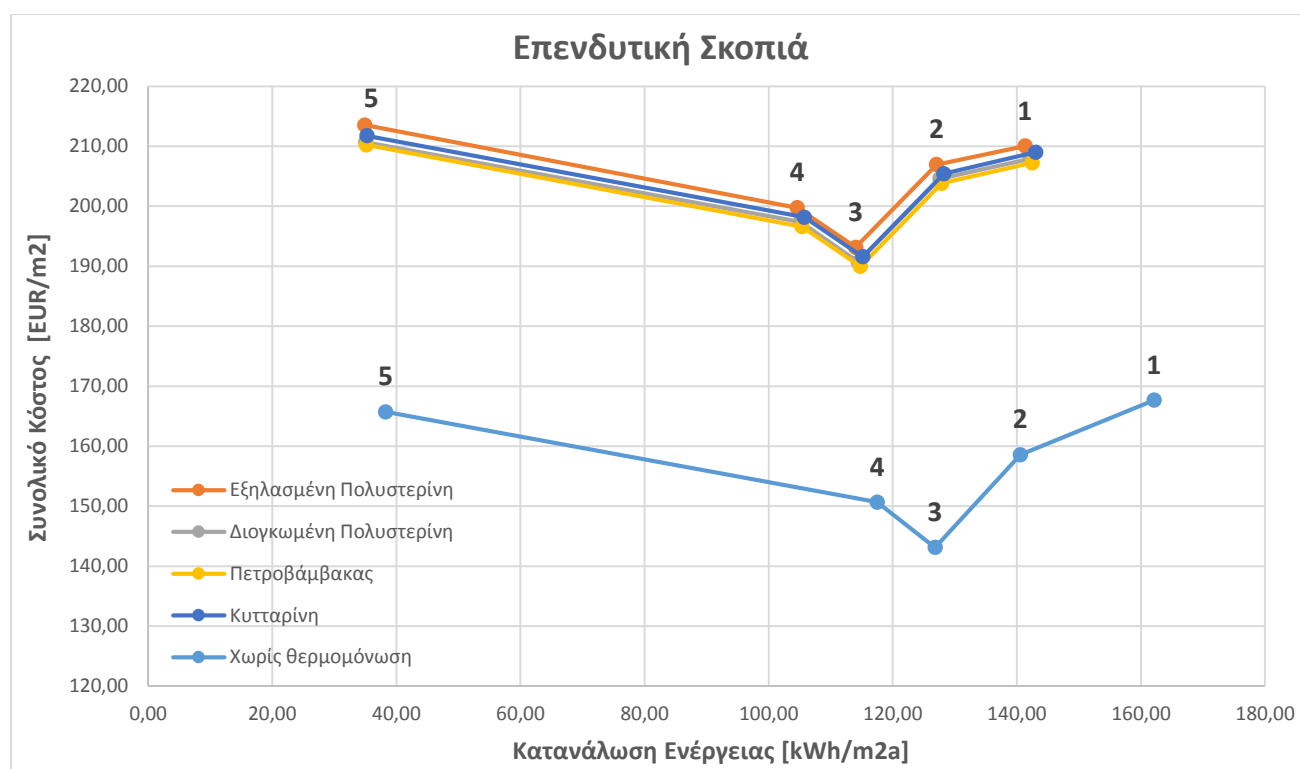
Μέσω του διαγράμματος 6.14 παρατηρούνται τα εξής:

- **Δεν συμφέρει η τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης στο Κτίριο 'Ο'.** Οι καμπύλες μονώσεων κινούνται σε πολύ υψηλότερα σημεία στον κατακόρυφο άξονα του κόστους, σε σχέση με την καμπύλη χωρίς τοποθέτηση θερμομόνωσης. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι διότι όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1, το κτίριο διαθέτει επιφάνεια εσωτερικών χώρων $2616 m^2$ και θερμαίνονται μονάχα τα $852,57 m^2$, δηλαδή ποσοστό περίπου 32,6 % της αρχικά εκτιμώμενης. Επομένως η επένδυση τοποθέτησης θερμομόνωσης περιμετρικά ενός μεγάλου κτιρίου, από το οποίο η

θερμαινόμενη επιφάνεια είναι πάρα πολύ μικρή, είναι προφανές να μην συμφέρει οικονομικά.

- **Η κατανάλωση ενέργειας γενικά μειώνεται για όλα τα σενάρια συστημάτων θέρμανσης.** Αυτό φαίνεται στο διάγραμμα 6.14 όπου οι καμπύλες μονώσεων είναι μετατοπισμένες προς τα αριστερά στον οριζόντιο άξονα (δηλαδή προς μικρότερες ενεργειακές καταναλώσεις) σε σχέση με την καμπύλη χωρίς θερμομόνωση.

Το επόμενο διάγραμμα που παρατίθεται αφορά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της οικονομικής αξιολόγησης αλλά καθαρά από την πλευρά του επενδυτή. Το διάγραμμα δεν αναμένεται να δείξει κάτι διαφορετικό από τα όσα ήδη έχουν ειπωθεί, απλά παρατίθεται για λόγους πληρότητας. Επομένως θα περιέχει το συνολικό κόστος σε σχέση με την καταναλισκόμενη ενέργεια αυτή τη φορά και όχι την πρωτογενή όπως όριζε ο κανονισμός 244/2012. Ακολουθεί το εν λόγω διάγραμμα:



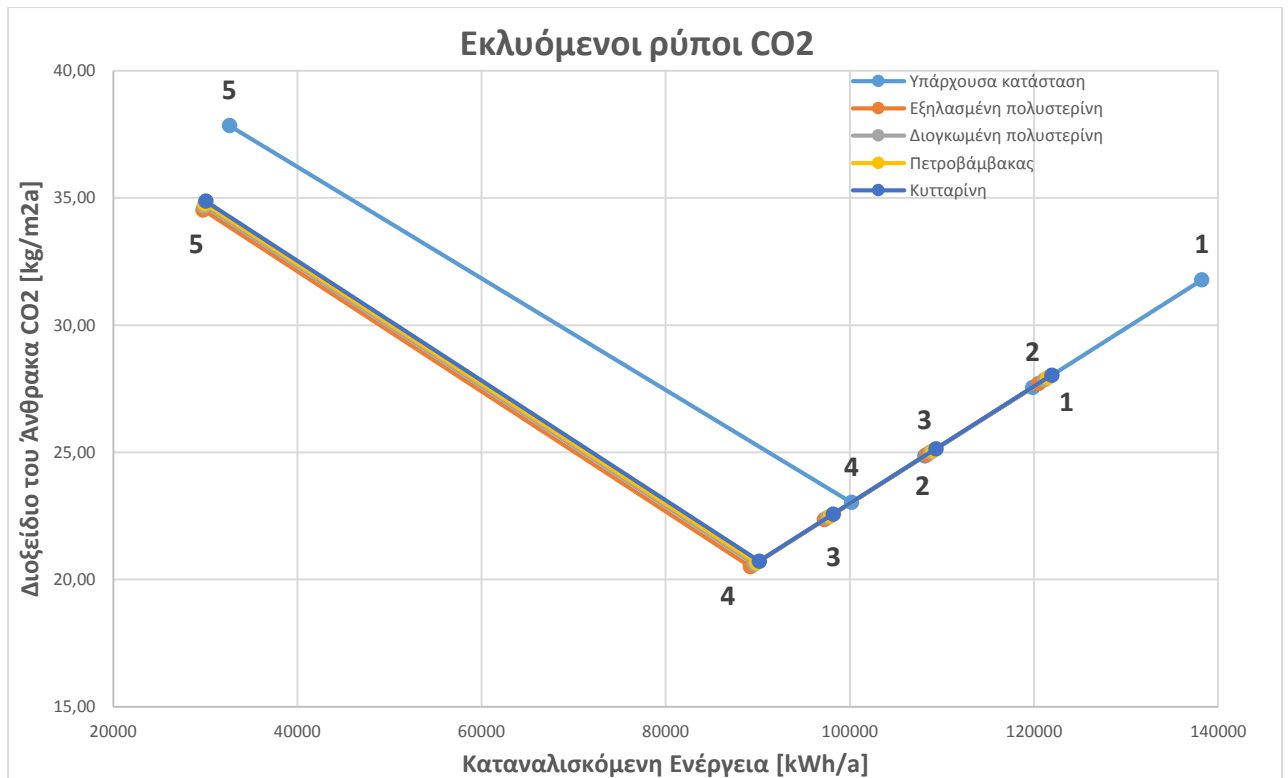
ΕΚΛΥΟΜΕΝΟΙ ΡΥΠΟΙ

Μια ακόμα ενδιαφέρουσα ανάλυση είναι αυτή των εκλυόμενων ρύπων ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας του κάθε συστήματος των σεναρίων. Η συγκεκριμένη διερεύνηση σύμφωνα με τον κανονισμό ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 [9] είναι αρκετά σημαντική για επαγγελματικά κτίρια (π.χ. γραφειακής χρήσης). Οι εκλυόμενοι ρύποι που μελετώνται είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και υπολογίζεται βάση της καταναλισκόμενης ενέργειας από κάθε σύστημα θέρμανσης. Ο πίνακας που περιέχει τους κατάλληλους συντελεστές για τον υπολογισμό των ρύπων παρουσιάστηκε στην παράγραφο 6.1. και είναι ο ακόλουθος:

Πηγή ενέργειας	Εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας ($kgCO_2/kWh$)
Φυσικό αέριο	0,196
Πετρέλαιο θέρμανσης	0,264
Ηλεκτρική ενέργεια	0,989
Υγραέριο	0,238
Βιομάζα	---
Τηλεθέρμανση από Δ.Ε.Η.	0,347
Τηλεθέρμανση από Α.Π.Ε.	----

Πίνακας 6.91: Συντελεστές για υπολογισμό εκλυόμενων ρύπων ανά μονάδα ενέργειας

Επομένως κατασκευάζεται διάγραμμα έχοντας στον οριζόντιο άξονα την καταναλισκόμενη ενέργεια κάθε σεναρίου θέρμανσης [$\frac{kWh}{a}$] και στον κάθετο τους εκλυόμενους ρύπους [$\frac{kgCO_2}{kWh}$]. Υπενθυμίζεται ότι στην υπάρχουσα κατάσταση (χωρίς κανένα σενάριο) η έκλυση ρύπων είναι: **36,78** $\frac{kgCO_2}{m^2a}$. Ακολουθεί το εν λόγω διάγραμμα:



Πίνακας 6.15: Εκλυόμενοι ρύποι CO₂ για κάθε τεχνολογία για όλα τα σενάρια εξοικονόμησης

Όπως παρατηρείται ενώ στο διάγραμμα της οικονομικής ανάλυσης η καμπύλες των μονώσεων ήταν συνεχώς υψηλότερα από αυτήν της υπάρχουσας κατάστασης (χωρίς θερμομόνωση) τώρα ισχύει το αντίθετο. Αυτό σημαίνει ότι:

Με τις παρεμβάσεις συνεχώς μειώνεται η παραγωγή αερίων ρύπων CO₂.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΩ

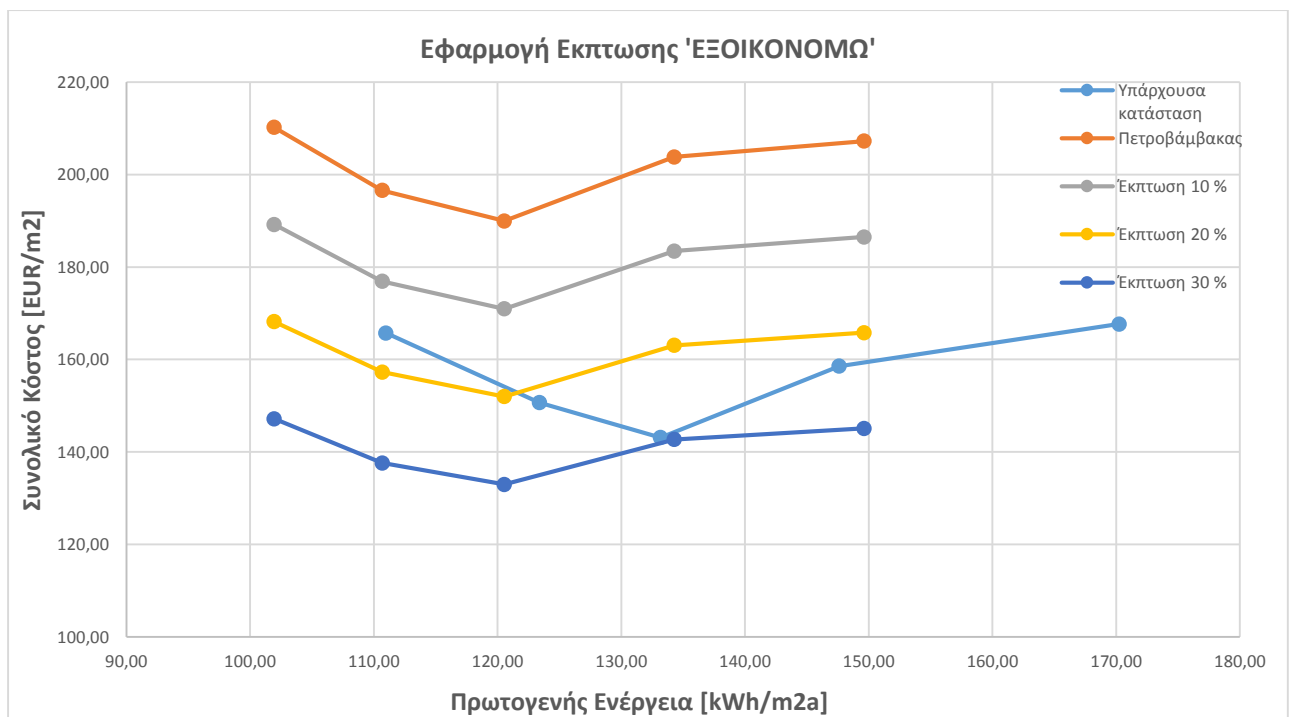
Το πρόγραμμα εξοικονομώ είναι ένα πρόγραμμα του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) το οποίο σχεδιάστηκε ώστε να δίνει κίνητρο στους Έλληνες πολίτες για την ενεργειακή αναβάθμιση των κατοικιών τους και γενικότερα των κτιρίων.

Με αυτό τον τρόπο δίνεται μια επιχορήγηση στους ιδιοκτήτες κτιρίων ως έκπτωση επί της συνολικής επένδυσης που αφορούν την εφαρμογή ενός μέτρου ή δέσμες μέτρων στα υπάρχοντα κτίρια. Η έκπτωση κινείται μεταξύ του [15 -70] % επί της συνολικής επένδυσης και εξαρτάται από το εισόδημα του ιδιοκτήτη ως εξής (κλιμακωτά):

- Εισόδημα έως 20000 €, λαμβάνει: Έκπτωση 70 %
- Εισόδημα έως 60000 €, λαμβάνει: Έκπτωση 35 %
- Εισόδημα έως 80000 €, λαμβάνει: Έκπτωση 15 %

Φυσικά το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο είναι Ν.Π.Δ.Δ (Νομικό Πρόσωπο Δημοσίου Δικαίου) και επομένως δεν συμπεριλαμβάνεται σε κάποια από αυτές τις κατηγορίες οι οποίες αφορούν κυρίως πολίτες. Παρόλα αυτά με την υπόθεση ότι υπάρχει περίπτωση να συμπεριληφθεί το η αναβάθμιση του κτιρίου σε κάποιο από αυτές τις κατηγορίες, δύναται να διερευνηθεί πιθανή επιχορήγηση για επένδυση ενεργειακής αναβάθμισης του Κτιρίου 'Ο'.

Επομένως εξετάζεται η μεταβολή των καμπυλών για τα σενάρια εξοικονόμησης που παρουσιάστηκαν παραπάνω, για τιμές έκπτωσης μέχρι και 30 % (εφόσον οι προϋπολογισμοί εξοικονόμησης του Κτιρίου 'Ο' είναι αρκετά υψηλοί). Επομένως εφόσον η βέλτιστη οικονομικά συμφέρουσα θερμομόνωση είναι ο πετροβάμβακας, θα εξεταστεί αυτή η συγκεκριμένη καμπύλη σε σχέση με την κατάσταση του κτιρίου χωρίς τοποθέτηση μόνωσης. Ακολουθεί το εν λόγω διάγραμμα:



Διάγραμμα 6.17: Διάγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης

Από το διάγραμμα αυτό παρατηρείται ότι με μία έκπτωση ελαφρώς μικρότερη του **30 %**, η τοποθέτηση θερμομόνωσης ξεκινά να γίνεται οικονομικά συμφέρουσα για όλα τα σενάρια συστημάτων θέρμανσης. Τα οφέλη της τοποθέτησης θερμομόνωσης είναι σημαντικότερα αφενός για τον επενδυτή και αφετέρου προς το περιβάλλον όπως φάνηκε και στην ανάλυση των αέριων ρύπων παραπάνω.

ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ-ΛΕΒΗΤΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

Εφόσον η αντλία θερμότητας όταν χρησιμοποιείται αποκλειστικά για κάλυψη όλου του θερμικού φορτίου είναι παντελώς ασύμφορη οικονομικά, θεωρείται δόκιμο να εξεταστεί η χρήση μικρότερης αντλίας θερμότητας σε συνδυασμό με έναν λέβητα φυσικού αερίου συμπύκνωσης. Ο λέβητας συμπύκνωσης θα λαμβάνει το μέσο φορτίο ενώ η αντλία το υπόλοιπο. Ο εξοπλισμός θα έχει ως εξής για τα δυο συστήματα:

Εξοπλισμός Αντλίας Θερμότητας	
Περιγραφή	Αντλία θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών
Κατασκευαστής	Daikin
Μοντέλο	EWYQ 064 BAWP
Ονομαστική Ισχύς [kW]	64
Συντελεστής συμπεριφοράς COP	2,6
Τιμή [€]	21500

Πίνακας 19: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Εξοπλισμός Λέβητα Φυσικού Αερίου	
Περιγραφή	Λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης
Κατασκευαστής	Vaillant
Μοντέλο	VK INT 1654
Ονομαστική Ισχύς [kW]	165
Τιμή [€]	9490

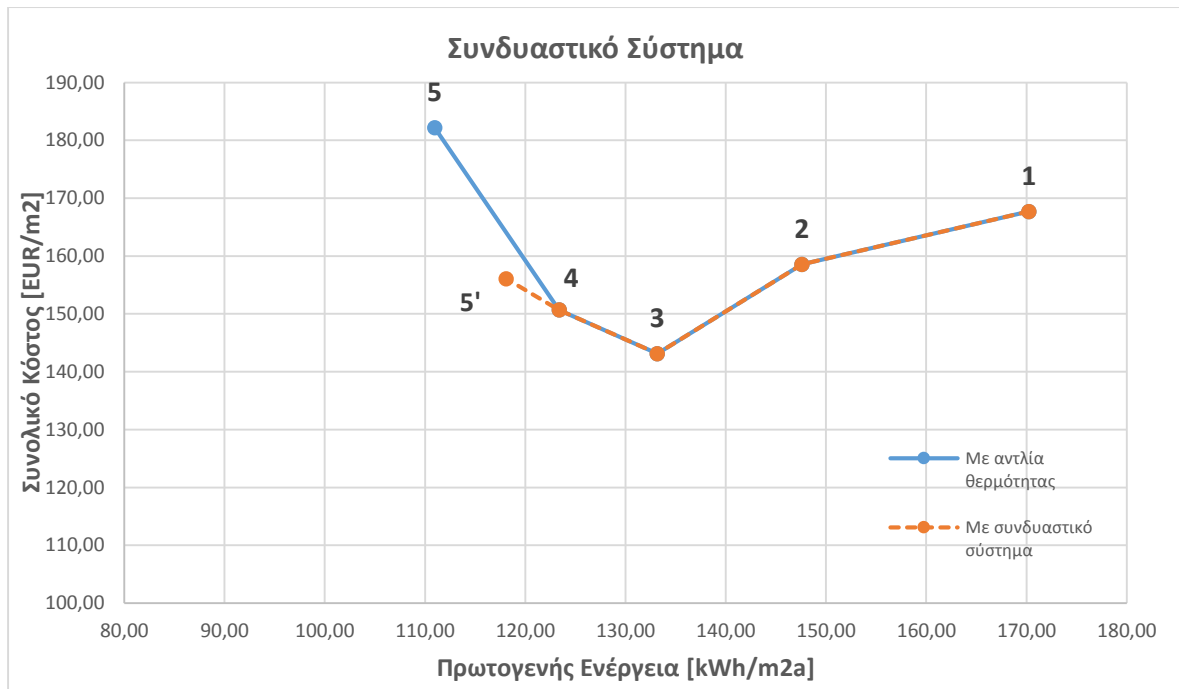
Πίνακας 20: Εξοπλισμός σύμφωνα με Τιμοκατάλογο ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ Α.Ε. 2014

Μέσω του λογισμικού DesignBuilder εκτελείται η προσομοίωση για ολόκληρη την θερμαντική περίοδο όπως έγινε και στο Κεφάλαιο 5, και τα αποτελέσματα των καταναλώσεων ενέργειας ήταν τα ακόλουθα:

Κατανάλωση Αντλίας Θερμότητας	$\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$	12202,56
Κατανάλωση Λέβητα	$\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$	62190,20

Πίνακας 21: Καταναλώσεις ενέργειας συνδυαστικού συστήματος για ολόκληρη την θερμαντική περίοδο

Επομένως αφού επιλέχθηκε ο κατάλληλος εξοπλισμός ακολουθεί η οικονομική αξιολόγηση του σεναρίου. Η διαδικασία ακολούθησε ακριβώς την λογική όλης της υπόλοιπης ανάλυσης που προηγήθηκε επομένως δεν έχει νόημα να επαναληφθεί. Αυτό που ενδιαφέρει είναι η μεταβολή της καμπύλης βέλτιστου κόστους στο σενάριο της αντλίας θερμότητας. Επομένως κατασκευάζεται το διάγραμμα για την καμπύλη χωρίς θερμομόνωση, με την χρήση του σεναρίου συνδυαστικού συστήματος ώστε να διερευνηθεί κατά πόσο το συνδυαστικό σύστημα είναι οικονομικότερο αυτού της απλής αντλίας θερμότητας. Ακολουθεί το εν λόγω διάγραμμα:



Διάγραμμα 6.18: Διάγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης με χρήση συνδυαστικού συστήματος

Επομένως με την χρήση του συνδυαστικού συστήματος λέβητα συμπίκνωσης μαζί με αντλία θερμότητας αέρος/νερού επιτυγχάνεται πράγματι εξοικονόμηση. Παρόλα αυτά όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα το σενάριο αυτό εξακολουθεί να μην είναι οικονομικότερο πολλών άλλων. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή παρατηρείται από οικονομικής άποψης εξοικονόμηση ύψους: **14,34 %**. Όμως την μείωση αυτή συνόδεψε μια ελαφριά αύξηση στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, ύψους: **6,03 %**. Επομένως το ζήτημα είναι καθαρά οικονομοτεχνικό καθώς η διερεύνηση του mix system έχει πάρα πολλές παραμέτρους. Τόσες πολλές που αποτελεί σχεδόν από μόνο του νέο θέμα διπλωματικής μελέτης. Η παρούσα επιλογή παραμέτρων έγινε απλά ώστε να αποδειχθεί ότι πράγματι το mix system έχει ευεργετικά αποτελέσματα έναντι της χρήσης μιας τεράστιας αντλίας θερμότητας.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων, Αθήνα, Ιούλιος 2010

[2] EN ISO 10077-1, Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of heat transmittance, Αιθιοπία, 2006

[3] Προεδρικό Διάταγμα: Αριθ. 335/93, Απαιτήσεις απόδοσης για τους νέους λέβητες ζεστού νερού που τροφοδοτούνται με υγρά ή αέρια καύσιμα, σε συμμόρφωση προς την οδηγία του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 92/42/ΕΟΚ της 21 Μαΐου 1992 (L/167/92), Μύκονος, 16 Αυγούστου 1993

[4] Ν.Παπαγεωργίου, ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΟΙ Ι ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα Ιούνιος 1991

[5] Madur Electronics, FLUE GAS ANALYSER GA-40 plus Operating Manual,Vienna-Austria 2000

[6] Γεώργιος Σεριτόγλου, Διπλωματική εργασία: Μελέτη ενεργειακής συμπεριφοράς διπλοκατοικίας με χρήση δυναμικού και στατικού υπολογιστικού μοντέλου, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2012

[7] Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, EnergyPlus Engineering Reference, 2011

[8] American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers, International Weather for Energy Calculations user's manual, 2001

[9] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης, Αθήνα, Απρίλιος 2010

[10] Κατ' εξουσιοδότηση κανονισμός (ΕΕ), αριθ. 244/2012 ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ της 16^{ης} Ιανουαρίου 2012 προς συμπλήρωση της οδηγίας 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων με τον καθορισμό συγκριτικού μεθοδολογικού πλαισίου για τον υπολογισμό των επιπέδων βέλτιστου κόστους των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων και των δομικών στοιχείων, Αθήνα, 21/3/2012

[11] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Κατευθυντήριες Γραμμές (2012/C 115/01) που συνοδεύουν τον κατ' εξουσιοδότηση κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 244/2012 της Επιτροπής της 16^{ης} Ιανουαρίου 2012 προς συμπλήρωση της οδηγίας 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων με τον καθορισμό συγκριτικού μεθοδολογικού πλαισίου για τον υπολογισμό των επιπέδων βέλτιστου κόστους των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων και των δομικών στοιχείων, Αθήνα, 19/4/2012

[12] Φυσικό Αέριο Αττικής, Τιμολόγια φυσικού αερίου οικιστικής χρήσης, διαθέσιμα στην ιστοσελίδα: <http://www.aerioattikis.gr/default.aspx?pid=34&la=1&artid=135>

[13] European Commission, EUROPEAN ENERGY AND TRANSPORT Scenarios on high oil and gas prices, 2006

[14] Γεωργία Ξυραφά, Διπλωματική εργασία μεταπτυχιακού: Αξιολόγηση συστημάτων θέρμανσης με χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας, Αθήνα, 2014

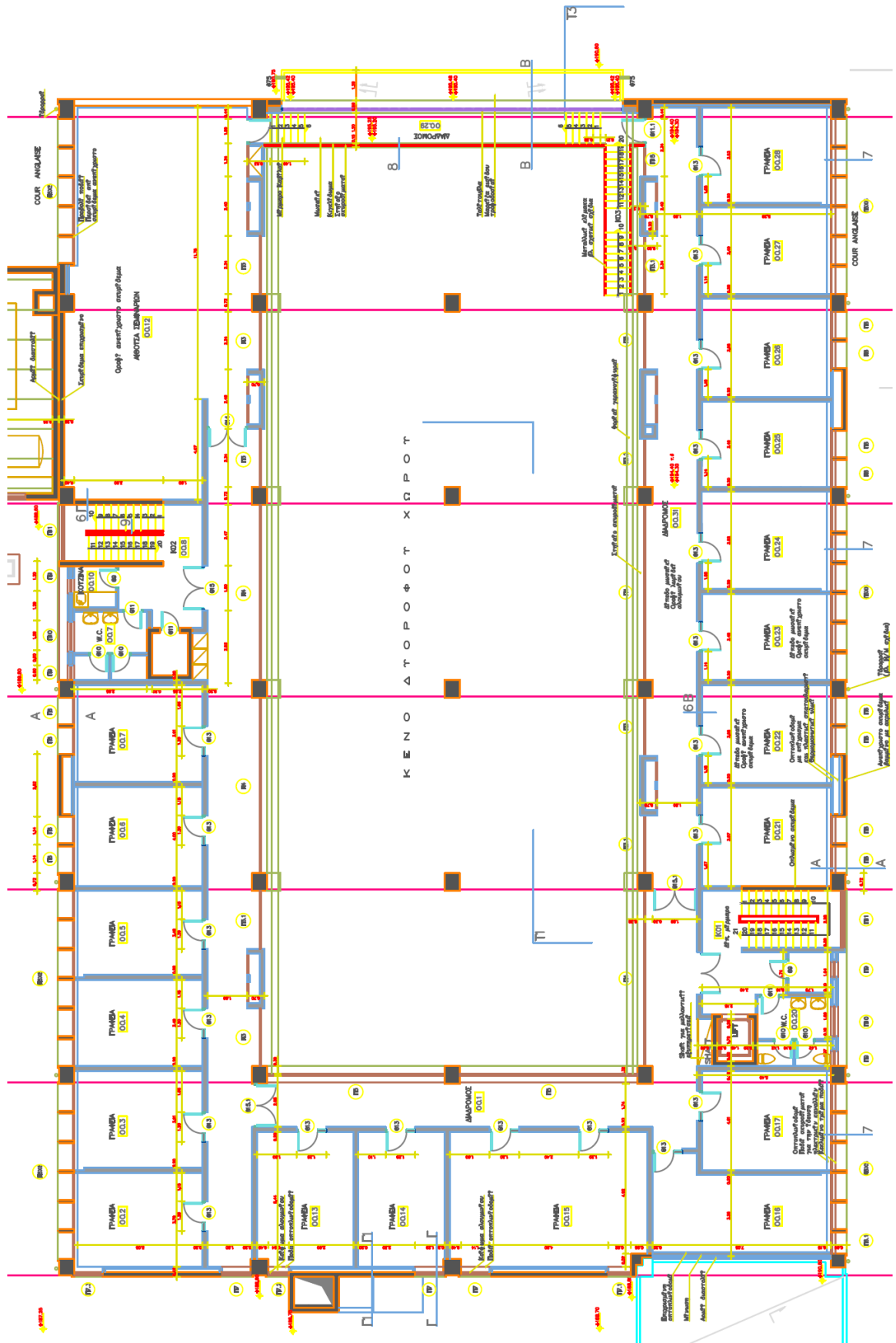
[15] Μιχάλης Αγ. Παπαδόπουλος, Άγης Μ. Παπαδόπουλος, Θερμική προστασία κτιρίων: Σύγχρονα υλικά και προοπτικές της αγοράς

[16] ΘΕΡΜΟΓΚΑΣ Α.Ε. , ιστοσελίδα: <http://www.thermogas.gr/>

[17] Daikin, ιστοσελίδα: <http://www.daikin.gr/>

Ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά των αντλιών που χρησιμοποιήθηκαν είναι διαθέσιμα στην ιστοσελίδα: <http://pdf.directindustry.com/pdf/daikin-europe/unit-cooler-ewyq-dayn/15992-51540.html>

[18] Δομικά Πασίση Α.Ε. Εισαγωγές-Αντιπροσωπίες-Εμπόριο Δομικών Υλικών, ιστοσελίδα: <http://www.pasisis.com/1824/test-post/>



Σχέδιο 3: Κάτοψη δεύτερου ορόφου Κτιρίου 'Ο'

B. Αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιήθηκαν για εκτίμηση COP

Εξετάστηκαν από την σειρά DAIKIN Altherma τρεις αντλίες θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών, ονομαστικής ισχύος 11, 14 και 16 kW και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους ακολουθούν στον επόμενο συγκεντρωτικό πίνακα:

				EKHBRD011ACV1	EKHBRD014ACV1	EKHBRD016ACV1
Περιβλήμα	Χρώμα			Γκρι μεταλλικό	Γκρι μεταλλικό	Γκρι μεταλλικό
	Υλικό			Λαμαρίνα με επικάλυψη	Λαμαρίνα με επικάλυψη	Λαμαρίνα με επικάλυψη
Διαστάσεις	Μονάδα	Ύψος	mm	705	705	705
		Πλάτος	mm	600	600	600
		Βάθος	mm	695	695	695
Βάρος	Μονάδα		kg	144	144	144
Ψυκτικό μέσο	Τύπος			R-134a	R-134a	R-134a
	Φορτίο		kg	2.6	2.6	2.6
Στάθμη ηχητικής πίεσης	Όνομ.			43 (5) 46 (6)	45 (5) 46 (6)	46 (5) 46 (6)
	Εύρος λειτουργίας	Θέρμανση	Πλευρά νερού	Ελάχ. °C	25	25
			Μέγ. °C	80	80	80
Τροφοδοσία ισχύος	Όνομα			V1	V1	V1
	Φάση			1~	1~	1~
	Συχνότητα		Hz	50	50	50
Ρεύμα	Συνιστώμενες ασφάλειες		A	25	25	25

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλιών θερμότητας Daikin Altherma