



Τομέας Ανάλυσης, Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων
Σχετικό Μάθημα: Θερμοδυναμική ΙΙ

Διπλωματική Εργασία

*Μελέτη εφαρμογών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
(Γεωθερμία) και παθητικών συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας
για την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιριακών εγκαταστάσεων της
Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ.*

Μουρατίδης Θεοφάνης

Επιβλέπον μέλος ΔΕΠ:

Κωνσταντίνος Μαγουλάς
Καθηγητής

Φεβρουάριος 2021

i. Ευχαριστίες

Καταρχάς, αποτελεί προσωπική επιθυμία και υποχρέωση να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Μαγουλά Κωνσταντίνο, για την εμπιστοσύνη, την καθοδήγηση και την στήριξη στην προσπάθεια υλοποίησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω ιδιαίτερες ευχαριστίες στον κ. Σχοινά Πέτρο, μέλος ΕΔΙΠ της Σχολής, ο οποίος, επίσης, με την καθοδήγηση του με βοήθησε στην προσπάθεια να επιτευχθεί μια πιο εμπειριστατωμένη μελέτη.

Ακόμη, επιθυμώ να ευχαριστήσω τους δύο συμφοιτητές μου, Μπαλαμώτη Γιώργο και Μπόρο Μηνά, για την άψογη συνεργασία, όχι μόνο στην τελική φάση των σπουδών μου, αλλά και για όλες τις φορές που χρειάστηκε να συνεργαστούμε και με βοήθησαν στο μέγιστο.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλα τα μέλη της Σχολής, καθηγητές, φοιτητές, υποψήφιους διδάκτορες, μέλη ΕΔΙΠ, οι οποίοι ήταν συνεργάσιμοι για την υλοποίηση της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου για την στήριξη και την υπομονή σε κάθε μου βήμα.

ii. Περίληψη

Η Σχολή των Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. στεγάζεται στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου από τα μέσα της δεκαετίας του '80. Όπως είναι λογικό, οι ανάγκες μιας Σχολής που προσπαθεί πάντα να προσαρμόζεται στις νέες συνθήκες, όλο και μεγαλώνουν. Η Α' Φάση του κτιρίου, η οποία έχει παραμείνει ίδια από εκείνη την περίοδο, δεν συμβαδίζει με τις απαιτήσεις της σύγχρονης εποχής σχετικά με την ενεργειακή της κατάσταση. Κάποιες σποραδικές βελτιώσεις στα συστήματα ψύξης-θέρμανσης όλα αυτά τα χρόνια προφανώς και δεν αρκούν ώστε να αλλάξει το κτίριο τον ενεργειακό του χαρακτήρα.

Η παρούσα διπλωματική αποτελεί μία εργασία που στοχεύει στη μελέτη εφαρμογών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και παθητικών συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας για την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιριακών εγκαταστάσεων της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ. Έχουν ήδη προηγηθεί δύο εργασίες με τον ίδιο στόχο και αναλυτικότερα:

- η μελέτη εφαρμογών ηλιακής θέρμανσης αέρα και παθητικών συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας από τον Μηνά Μπόρο
- η μελέτη εφαρμογών τριπαραγωγής και παθητικών συστημάτων από τον Γιώργο Μπαλαμώτη

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε από κοινού μελέτη της ενεργειακής αποτίμησης της Σχολής στην υφιστάμενη κατάσταση και της αναβάθμισης του κτιριακού κελύφους της, με προσθήκη εξωτερικής θερμομόνωσης, αντικατάσταση κουφωμάτων, υαλοπινάκων και θυρών. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μελέτη σκοπιμότητας για τη δημιουργία γεωθερμικού συστήματος, συγκρίνοντας το με συμβατικές τεχνολογίες, σύστημα καυστήρα λέβητα για θέρμανση και σύστημα συμπίεσης ατμών για ψύξη.

Η αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων στο κέλυφος, αντικατοπτρίζεται στην πιθανή μείωση των θερμικών φορτίων κατά 28% και των ψυκτικών κατά 16%, οδηγώντας έτσι σε μείωση του συνολικού λειτουργικού κόστους περίπου 23%. Το υπολογιζόμενο κόστος για τη θερμική θωράκιση της Σχολής ανέρχεται σε περίπου 2 εκατ.€, το οποίο μπορεί να αποπληρωθεί σε μία περίοδο περίπου 23 χρόνων, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη πιθανές επιχορηγήσεις. Η ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου με προσθήκη συστήματος ηλιακής θέρμανσης αέρα, που έχει μελετηθεί σε προηγούμενη περίοδο αναλυτικά σε άλλη εργασία (Μ. Μπόρος), ανεβάζει το συνολικό κόστος στα 2,25 εκατ.€ και τη περίοδο αποπληρωμής περίπου στα 25 χρόνια.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, βάση για τη μελέτη εφαρμογής ενός συστήματος γεωθερμίας, απετέλεσε το κτίριο της Σχολής μετά την ενεργειακή του αναβάθμιση και την εφαρμογή συστήματος Ηλιακής Θέρμανσης Αέρα. Με δεδομένες τις νέες αυτές βελτιωμένες ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης/ψύξης, μελετήθηκε η εφαρμογή συστήματος γεωθερμίας και προέκυψε ότι το κόστος για μία μονάδα που καλύπτει το 63% των αναγκών σε ψύξη ανέρχεται σε 1,34 εκατ.€ και μπορεί να αποπληρωθεί, από τη μείωση του κόστους έναντι των συμβατικών συστημάτων ψύξης/θέρμανσης, σε 12 χρόνια χωρίς την ύπαρξη κάποιας επιδότησης για την εφαρμογή αυτή.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας και λαμβάνοντας υπόψη και αυτά των δύο προηγούμενων εργασιών (Ενεργειακή θωράκιση κτιρίου και εφαρμογή συστημάτων Ηλιακής θέρμανσης άερα και Τριπαραγωγής) προκύπτει ότι μπορεί να εφαρμοστούν συνδυασμοί παθητικών ενεργειακών επεμβάσεις και ΑΠΕ που να οδηγούν σε ουσιαστική βελτίωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου, στην αναβάθμιση της άνεσης και της ποιότητας ζωής των χρηστών των εγκαταστάσεων της Σχολής, ή ακόμη και στην ενεργειακά ουδέτερη λειτουργία του (πράσινο κτίριο) με ενδεχόμενη προσθήκη πράσινων ταρατσών, επέκταση φωτοβολταϊκών πλαισίων κλπ.

Abstract

The School of Chemical Engineering NTUA has been housed at Zografou Campus since the 80's. As is expected, the needs of a department which is always trying to adapt to new conditions are forever expanding. Phase A of the building has retained its original shell, and as expected, it does not comply with modern standards in regard to energy efficiency. Indeed, sporadic improvements to the building's heating and cooling systems are not enough to change its efficiency rating.

This dissertation aims at examining applications of renewable energy sources and passive energy efficiency techniques in order to better the efficiency rating of the chemical engineering department buildings. Also, two dissertations have been preceded with the same aim and specifically at studying:

- Applications of Solar Air Heating and passive energy saving applications by Minas Boros
- Trigeration and passive energy saving applications by Georgios Balamotis

In the present diploma thesis, initially, a joint study of the energy evaluation of the School in the current situation was carried out. Subsequently, a study was carried out on the shielding of its building shell, with the addition of external thermal insulation, replacement of windows and glazing and replacement of doors. Subsequently, a study was carried out on the implementation of a Geothermal Heat Pump system to meet the energy needs of the School.

The effectiveness of these upgrades can be seen in the 28% and 16% reduction of energy loads regarding heating and cooling, respectively, and an overall operating cost reduction of 23%. The expected cost of these upgrades is 2 mil. €, with an expected payback period of 23 years; without including possible grants. With the addition of the solar air heating system, whose applications were examined in a different report (M. Boros), the total cost rises to 2.25 mil. €, with an payback period of 25 years.

For this dissertation, the basis for the study of the application of a geothermal system was the departmental building after the energy upgrade, including the solar air heating system. With these upgrades taken into account, the application of a geothermal system was studied and it emerged that the cost for a unit, that covers 63% of cooling needs, is 1.34 mil. € and can be repaid, by reducing the annual cost compared to conventional system of heating and cooling, in 12 years without any subsidy for this application.

By evaluating the results and considering those of the previous dissertations (energy shielding of the building and applications of solar air heating applications and trigeration) it becomes evident that combinations of passive energy interventions and renewable energy can be applied. These will lead to essential improvements of

the building's energy consumption, they will upgrade the comfort and life-quality of the Department's members and they can even eliminate the building's energy costs (green building) with the addition of green roof-tops, expansion of PV etc.

iii. Περιεχόμενα

i. Ευχαριστίες.....	1
ii. Περίληψη	2
iii. Περιεχόμενα.....	6
iv. Περιεχόμενα Πινάκων.....	9
v. Περιεχόμενα Διαγραμμάτων.....	11
vi. Περιεχόμενα Εικόνων.....	11
vii. Σύμβολα.....	13
1. Εισαγωγή.....	14
2. Θεωρητικό Μέρος	15
2.1 Γενική Περιγραφή του Κτιρίου.....	15
2.2 Τρόποι ενεργειακής αναβάθμισης κτιριακών εγκαταστάσεων.....	18
2.3 Νομοθεσία.....	25
2.4 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	26
2.5 Μελέτη Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.....	28
2.6 ASHRAE / ASHRAE Standards	29
2.7 RETScreen	30
2.8 Κλιματικά Δεδομένα.....	31
2.9 Μελέτη Υφιστάμενου Κτιρίου.....	33
2.9.1 Υφιστάμενη Ενεργειακή Κατάσταση Κτιρίου	33
2.9.2 Εξοπλισμός Κτιριακής Μονάδας.....	35
2.9.3 Παρεμβάσεις στο υφιστάμενο κτίριο	36
2.10 Αντλία Θερμότητας.....	37
2.10.1 Αρχή Λειτουργίας	37
2.10.2 Λειτουργίες Θέρμανσης – Ψύξης	37
2.10.3 Κατηγορίες αντλιών θερμότητας.....	39
2.11 Συστήματα Αβαθούς Γεωθερμίας – Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας.....	39
2.11.1 Συστήματα Κλειστού Βρόχου	40

2.11.2	Συστήματα Ανοιχτού Βρόχου	43
2.11.3	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα	43
2.11.4	Πιθανή Εφαρμογή Γεωθερμικού Συστήματος στη Σχολή Χημικών Μηχανικών (κλειστού βρόχου με κάθετη Διάταξη)	44
3.	Υπολογιστικό Μέρος.....	47
3.1	Διαδικασία υπολογισμού θερμικών φορτίων	47
3.2	Διαδικασία υπολογισμού ψυκτικών φορτίων.....	48
3.3	Διαδικασία Υπολογισμών φορτίων μέσω Excel και Matlab	51
3.4	Δεδομένα τιμών που χρησιμοποιήθηκαν για την υφιστάμενη κατάσταση .	54
3.5	Επεμβάσεις στη Σχολή	55
3.6	Δεδομένα τιμών που χρησιμοποιήθηκαν για τη νέα κατάσταση.....	56
3.7	Αξιολόγηση των επεμβάσεων θερμικής θωράκισης του κτιρίου και εφαρμογής ηλιακής θέρμανσης αέρα.....	57
3.7.1	Υφιστάμενο Κτίριο.....	57
3.7.2	Αποτελέσματα Θερμικής Θωράκισης του Κτιρίου.....	59
3.7.3	Ενεργειακή κατάσταση κτιρίου μετά την εφαρμογή της τεχνολογίας Ηλιακής Θέρμανσης Αέρα.....	63
3.7.4	Οικονομικά αποτελέσματα επεμβάσεων.....	66
3.8	Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας στο RETScreen	68
3.8.1	Εισαγωγή στο περιβάλλον του RETScreen για Γεωθερμικό Σύστημα ...	68
3.8.2	Φορτία και απαιτήσεις για θέρμανση της Α΄ Φάσης της Σχολής ΧΜ	69
3.8.3	Φορτία και απαιτήσεις για Ψύξη της Α΄ Φάσης της Σχολής ΧΜ	70
3.8.4	Επιλογή Εξοπλισμού	72
3.8.5	Ενεργειακά Αποτελέσματα τεχνολογίας.....	73
3.8.6	Οικονομικά Δεδομένα Συστήματος.....	73
4.	Μελέτη σκοπιμότητας Γεωθερμικού Συστήματος κλειστού βρόχου με κάθετη διάταξη.....	74
4.1.1	Μελέτη διαστασιολόγησης.....	74
4.1.2	Οικονομική Μελέτη	76
4.1.3	Αποτελέσματα Βέλτιστου Σεναρίου	77
5.	Συμπεράσματα.....	83
6.	Προτάσεις για μελλοντική εργασία.....	85

7. Βιβλιογραφία.....	86
8. Παραρτήματα	89
8.1 Παράρτημα 1	89
8.2 Παράρτημα 2	91
8.3 Παράρτημα 3	107
8.3.1 MATLAB Script για τα θερμικά φορτία πριν τη θωράκιση κτιρίου	107
8.3.2 MATLAB Script για τα θερμικά φορτία μετά τη θωράκιση κτιρίου.....	115
8.3.3 MATLAB Script για τα ψυκτικά φορτία πριν τη θωράκιση κτιρίου	123
8.3.4 MATLAB Script για τα ψυκτικά φορτία μετά τη θωράκιση κτιρίου.....	133
8.4 Παράρτημα 4	144
8.5 Παράρτημα 5	158

iv. Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 2.1: Υψόμετρα επιπέδων Σχολής Χημικών Μηχανικών	16
Πίνακας 2.2: Κατηγοριοποίηση χώρων ανάλογα με την απαίτηση τους σε θέρμανση και ψύξη	34
Πίνακας 2.3: Ιδιότητες μερικών πετρωμάτων [37]	45
Πίνακας 3.1: Δεδομένων υφιστάμενης κατάστασης κτιρίου	54
Πίνακας 3.2: Επιφάνειες Επεμβάσεων	55
Πίνακας 3.3: Οικονομικά στοιχεία επεμβάσεων	55
Πίνακας 3.4: Κόστος δόμησης τοιχοποιίας	55
Πίνακας 3.5: Δεδομένα νέας κατάστασης	56
Πίνακας 3.6: Θερμικά φορτία υφιστάμενου κτιρίου.....	57
Πίνακας 3.7: Ψυκτικά φορτία υφιστάμενου κτιρίου.....	58
Πίνακας 3.8: Κατανάλωση φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας υφιστάμενης κατάστασης κτιρίου.....	58
Πίνακας 3.9: Θερμικά φορτία μετά την ενεργειακή θωράκιση.....	59
Πίνακας 3.10: Ψυκτικά Φορτία μετά την ενεργειακή θωράκιση	59
Πίνακας 3.11: Κατανάλωση φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας μετά την ενεργειακή θωράκιση.....	60
Πίνακας 3.12: Θερμικά Φορτία μετά την ενεργειακή θωράκιση και την χρήση Ηλιακής Θέρμανσης Αέρα (ΔΕ Μ. Μπόρου).....	63
Πίνακας 3.13: Ψυκτικά φορτία μετά την ενεργειακή θωράκιση και την χρήση Ηλιακής Θέρμανσης Αέρα.....	63
Πίνακας 3.14: Κατανάλωση φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας μετά από την ενεργειακή θωράκιση και την χρήση Ηλιακής Θέρμανσης Αέρα	64
Πίνακας 3.15: Τιμές αγοράς φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας.....	66
Πίνακας 3.16: Πίνακας ποσού και κόστος καυσίμου σε υφιστάμενη κατάσταση και μετά τις παρεμβάσεις.....	66
Πίνακας 3.17: Εξοικονόμηση από τις συνολικές επεμβάσεις (θωράκιση και ΗΘΑ)	66
Πίνακας 3.18: Χρόνο επιστροφής επένδυσης επεμβάσεων	67
Πίνακας 3.19: Ονομαστική Ισχύς αντλίας θερμότητας.....	72
Πίνακας 3.20: Χαρακτηριστικά γεωθερμικού συστήματος.....	72
Πίνακας 3.21: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το γεωθερμικό σύστημα. 73	
Πίνακας 3.22: Κοστολόγιο [49], [50]	73
Πίνακας 4.1: Πίνακας επιλογής Αντλιών θερμότητας	75
Πίνακας 4.2: Οικονομικά Αποτελέσματα εκάστοτε σεναρίου	76
Πίνακας 4.3: Ονομαστική Ισχύς αντλίας θερμότητας προτεινόμενου σεναρίου ..	78
Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά συστήματος προτεινόμενου σεναρίου	78
Πίνακας 4.5: Απαιτούμενη ποσότητα φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών	80

Πίνακας 4.6: Κόστος Κατανάλωσης φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας...	80
Πίνακας 4.7: Οικονομικά Αποτελέσματα προτεινόμενου σεναρίου	80
Πίνακας 8.1: Πίνακας μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας.....	89
Πίνακας 8.2: Πίνακας μέσης μηνιαίας ταχύτητας αέρα	89
Πίνακας 8.3: Πίνακας μέσης μηνιαίας ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια	90
Πίνακας 8.4: Πίνακας βαθμο-ημερών	90
Πίνακας 8.5: Πίνακας θερμοκρασιών σχεδιασμού	90
Πίνακας 8.6: Θερμικά φορτία πριν τη θωράκιση του κτιρίου.....	91
Πίνακας 8.7: Θερμικά Φορτία πριν τη θωράκιση του κτιρίου (Συνέχεια).....	92
Πίνακας 8.8: Θερμικά φορτία πριν τη θωράκιση του κτιρίου (Συνέχεια).....	94
Πίνακας 8.9: Πίνακας θερμικών φορτίων μετά τη θωράκιση του κτιρίου	96
Πίνακας 8.10: Θερμικά φορτία μετά τη θωράκιση του κτιρίου (Συνέχεια).....	97
Πίνακας 8.11: Θερμικά φορτία μετά τη θωράκιση του κτιρίου (Συνέχεια).....	99
Πίνακας 8.12: Ψυκτικά φορτίων πριν τη θωράκιση του κτιρίου	100
Πίνακας 8.13: Ψυκτικά φορτίων πριν τη θωράκιση του κτιρίου (συνέχεια).....	101
Πίνακας 8.14: Ψυκτικά φορτία μετά τη θωράκιση του κτιρίου (συνέχεια)	104
Πίνακας 8.15: Ψυκτικά φορτία μετά τη θωράκιση του κτιρίου (συνέχεια)	106
Πίνακας 8.16: Καταγραφή λαμπτήρων στους διαδρόμους ανά επίπεδο	144
Πίνακας 8.17: Καταγραφή ηλεκτρικής ισχύος για Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια	145
Πίνακας 8.18: Καταγραφή ηλεκτρικής ισχύος για Εργαστήρια.....	146
Πίνακας 8.19: Καταγραφή ηλεκτρικής ισχύος για PC Labs	147
Πίνακας 8.20: Καταγραφή ηλεκτρικής ισχύος για Αίθουσες.....	147
Πίνακας 8.21: Ποσοστά αξιοποίησης χώρων (παραδοχή).....	148
Πίνακας 8.22: Συντελεστές λειτουργίας ανά εποχή (παραδοχή)	148
Πίνακας 8.23: Κατανάλωση Ενέργειας (χωρίς AC) – Χειμώνας.....	149
Πίνακας 8.24: Κατανάλωση Ενέργειας (χωρίς AC) - Άνοιξη.....	149
Πίνακας 8.25: Κατανάλωση Ενέργειας (χωρίς AC) - Καλοκαίρι.....	150
Πίνακας 8.26: Κατανάλωση Ενέργειας (χωρίς AC) - Φθινόπωρο	150
Πίνακας 8.27: Ποσοστό αξιοποίησης AC ανά χώρο (παραδοχή).....	151
Πίνακας 8.28: Συντελεστές λειτουργίας AC ανά εποχή (παραδοχή)	151
Πίνακας 8.29: Καταναλώσεις AC ανά εποχή.....	152
Πίνακας 8.30: Καταγραφή εργαστηρίων Α' Φάσης (παραδοχή)	153
Πίνακας 8.31: Καταγραφή εργαστηρίων Β' Φάσης (παραδοχή)	154
Πίνακας 8.32: Καταγραφή επιπλέον εργαστηρίων (παραδοχή)	155
Πίνακας 8.33: Συνολικά αποτελέσματα ισχύς εργαστηρίων.....	155
Πίνακας 8.34: Υπολογισμών ημερών και ωρών χρήσης ανά μήνα.....	156
Πίνακας 8.35: Συντελεστές λειτουργίας μηχανημάτων (παραδοχή).....	156
Πίνακας 8.36: Τελικά αποτελέσματα κατανάλωσης και ισχύς.....	157
Πίνακας 8.37: Τελικά αποτελέσματα κατανάλωσης και ισχύς χωρίς AC	157

Πίνακας 8.38: Ιδιότητες διαφόρων πετρωμάτων στη βάση δεδομένων του RETScreen	158
--	-----

v. Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 2.1: Συνολικό ποσοστό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας κάθε χώρας	27
Διάγραμμα 2.2: Διακύμανση της Θερμοκρασίας συναρτήσει του βάθους στο υπέδαφος (πηγή: FWT) [43]	40
Διάγραμμα 3.1: Θερμικά φορτία μετά τη Θωράκιση Κτιρίου	60
Διάγραμμα 3.2: Ψυκτικά φορτία μετά τη Θωράκιση Κτιρίου	61
Διάγραμμα 3.3: Ετήσιο κόστος λειτουργίας συμβατικών μονάδων θέρμανσης/ψύξης μετά τη Θωράκιση Κτιρίου	61
Διάγραμμα 3.4: Ετήσιες εκπομπές CO ₂ σε τόνους μετά τη Θωράκιση Κτιρίου	62
Διάγραμμα 3.5: Μείωση θερμικών φορτίων ύστερα από εφαρμογή ΗΘΑ	64
Διάγραμμα 3.6: : Θερμικά φορτία μετά τη Θωράκιση Κτιρίου και την εφαρμογή ΗΘΑ	65
Διάγραμμα 3.7: Ποσοστιαία μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου	65
Διάγραμμα 4.1: Αντικειμενική Συνάρτηση Κόστους για το σύστημα Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας	77
Διάγραμμα 4.2: Ποσοστιαία εγκατεστημένη ισχύς (ΓΑΘ και καυστήρες) και αποδιδόμενη ενέργεια θέρμανσης	79
Διάγραμμα 4.3: Ποσοστιαία εγκατεστημένη ισχύς και αποδιδόμενη ενέργεια ψύξης από το σύστημα ΓΑΘ και το συμβατικό σύστημα	79
Διάγραμμα 4.4: Ποσοστιαία Μείωση Κατανάλωσης Ενέργειας με σύστημα ΓΑΘ προτεινόμενου σεναρίου	81
Διάγραμμα 4.5: Ετήσια καθαρή χρηματοροπή	81
Διάγραμμα 4.6: Ποσοστιαία μείωση εκπομπών CO ₂	82

vi. Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1.1: Διάγραμμα ροής μελέτης	14
Εικόνα 2.1: Χάρτης Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου	15
Εικόνα 2.2: Αεροφωτογραφία Σχολής Χημικών Μηχανικών με επισήμανση πτερυγών	17
Εικόνα 2.3: Απεικόνιση τομής διπλού υαλοπίνακα	21
Εικόνα 2.4: Απεικόνιση Συστήματος Παθητικής Ηλιακής Θέρμανσης	23
Εικόνα 2.5: Διάγραμμα ροής λειτουργίας αντλίας θερμότητας για θέρμανση και ψύξη	38

Εικόνα 2.6: Σωλήνας τύπου U και ομοαξονικός σωλήνας [37]	41
Εικόνα 2.7: Σύστημα κάθετων γεωεναλλακτών (πηγή RETScreen) [45]	41
Εικόνα 2.8: Σύστημα οριζόντιων γεωεναλλακτών (πηγή: RETScreen) [45]	42
Εικόνα 2.9: Διάταξη οριζόντιου δικτύου [43].....	42
Εικόνα 2.10: Κάτοψη Κτιρίου Σχολής από δορυφόρο	44
Εικόνα 3.1: Παράδειγμα πίνακα βάσης δεδομένων ανά επίπεδο.....	51
Εικόνα 3.2: Παράδειγμα πίνακα δεδομένων μηκών και πλήθους	52
Εικόνα 3.3: Παράδειγμα πίνακα δεδομένων έκτασης οροφής και δαπέδου.....	52
Εικόνα 3.4: Παράδειγμα πίνακα αποτελεσμάτων θερμικών φορτίων	53
Εικόνα 3.5: Παράδειγμα πίνακα αποτελεσμάτων ψυκτικών φορτίων	53
Εικόνα 3.6: Στιγμιότυπο από το την εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό RETScreen	68
Εικόνα 3.7: Εισαγωγή Κλιματικών δεδομένων στο RETScreen.....	68
Εικόνα 3.8: Δεδομένα Σχεδιασμού και εκτίμησης Ενεργειακών αναγκών θέρμανσης	69
Εικόνα 3.9: Εισαγωγή φορτίων θέρμανσης ανά ζώνη μελέτης	69
Εικόνα 3.10: Δεδομένα Σχεδιασμού και εκτίμησης Ενεργειακών αναγκών ψύξης	70
Εικόνα 3.11: Εισαγωγή φορτίων ψύξης ανά ζώνη μελέτης	70
Εικόνα 3.12: Εισαγωγή ενεργειακών Δεδομένων	70
Εικόνα 3.13: Επιλογή κριτηρίου και διάταξη συστήματος.....	71
Εικόνα 8.1: Τυπική κάθετη διάταξη γεωεναλλάκτη για τα δεδομένα εδαφικής έκτασης της Σχολής – Κάτοψη.....	160
Εικόνα.8.2: Τομή γεώτρησης	161

vii. Σύμβολα

Q	Φορτίο (W)
A	Επιφάνεια (m^2)
U	Θερμοπερατότητα ($W/^\circ C \cdot m^2$)
ΔT	Θερμοκρασιακή διαφορά ($^\circ C$)
V	Ρυθμός ανανέωσης αέρα (m^3/s)
ρ	Πυκνότητα αέρα (kg/m^3)
C_p	Ειδική θερμότητα αέρα ($J/kg \cdot ^\circ C$)
$CLTD_{corr}$	Διορθωμένη θερμοκρασιακή διαφορά κατά μέθοδο CLTD/CLF ($^\circ C$)
SC	Συντελεστής σκίασης
$SHGF$	Συντελεστής ηλιακών κερδών (W/m^2)
CLF	Συντελεστής ψυκτικών φορτίων κατά μέθοδο CLTD/CLF
h_{fg}	Ειδική ενθαλπία υδρατμών του αέρα (J/kg)
Δ_w	Μεταβολή ειδικής υγρασίας ($kg_{νερού}/kg_{αέρα}$)
Q_p	Λανθάνουσα θερμότητα εκπομπής ατόμου (W)
$Q_{l,eq}$	Εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού και μηχανολογικού/εργαστηριακού εξοπλισμού (W)
R	Θερμική αντίσταση ($^\circ C \cdot m^2/W$)
E_h	Ετήσια απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση (MWh)
E_c	Ετήσια απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη (MWh)
L	Συνολικό μήκος γεωτρήσεων (m)
L_p	Συνολικό μήκος σωληνώσεων δικτύου γεωεναλλακτών (m)
P_a	Ισχύς κυκλοφορητών (W)
V_a	Όγκος μίγματος γλυκόλης/νερού (m^3)
d	Ονομαστική διάμετρος σωληνώσεων δικτύου γεωεναλλακτών (m)
N_y	Αριθμός γεωτρήσεων

1. Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία (Δ.Ε.) έχει ως στόχο την ενεργειακή αναβάθμιση της Α' φάσης του κτιρίου της Σχολής Χημικών Μηχανικών μέσω της θωράκισης του κελύφους του κτιρίου και στη συνέχεια την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών με προσθήκη συστήματος Γεωθερμίας. Η μελέτη για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με τους συναδέλφους Μ. Μπόρο και Γ. Μπαλαμώτη, οι οποίοι στις εργασίες τους έχουν εξετάσει ακολούθως την εφαρμογή τεχνολογίας Ηλιακής Θέρμανσης Αέρα και συστήματος Τριπαραγωγής, αντίστοιχα.

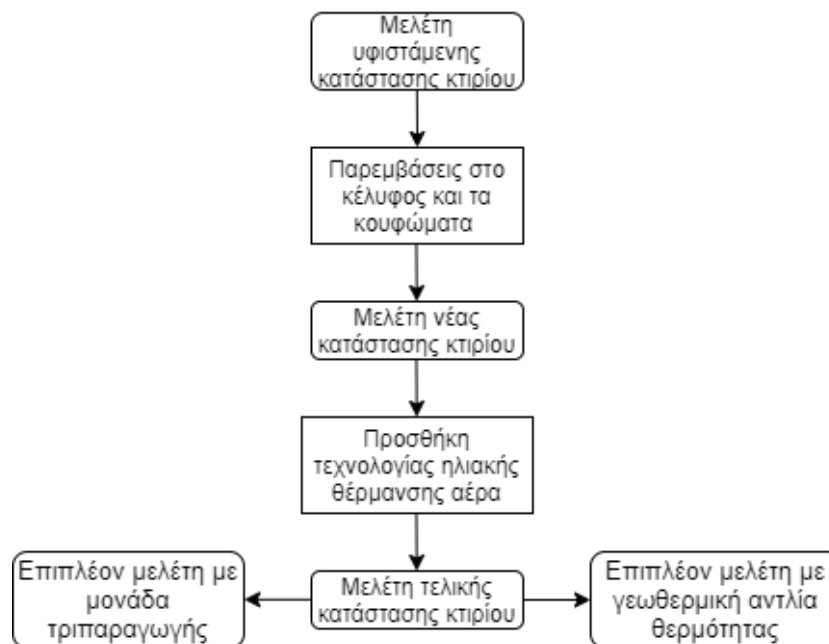
Η ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου, αξιολογήθηκε μέσω της μείωσης των θερμικών και ψυκτικών φορτίων ως αποτέλεσμα παρεμβάσεων που αφορούν:

- τη θερμομόνωση της εξωτερικής τοιχοποιίας,
- την αντικατάσταση των κουφωμάτων, των υαλοπινάκων και
- την αντικατάσταση των θυρών με νέες πυράντοχες.

Τα αποτελέσματα της περαιτέρω βελτίωσης της ενεργειακής κατανάλωσης με εφαρμογή της τεχνολογίας της ηλιακής θέρμανσης αέρα σε τμήματα του κτιρίου (ΔΕ Μ. Μπόρου) αποτέλεσαν τη βάση για την εφαρμογή ενός συστήματος Γεωθερμίας στην παρούσα ΔΕ.

Οι μελέτες εφαρμογής των αναφερόμενων τεχνολογιών πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού RETScreen, στην έκδοση RETScreen International που έχει ως βάση λειτουργίας το Excel και στην έκδοση RETScreen Expert που διανέμεται σε λειτουργία προβολής.

Η πορεία που ακολουθήθηκε στο πλαίσιο των διπλωματικών είναι η εξής:



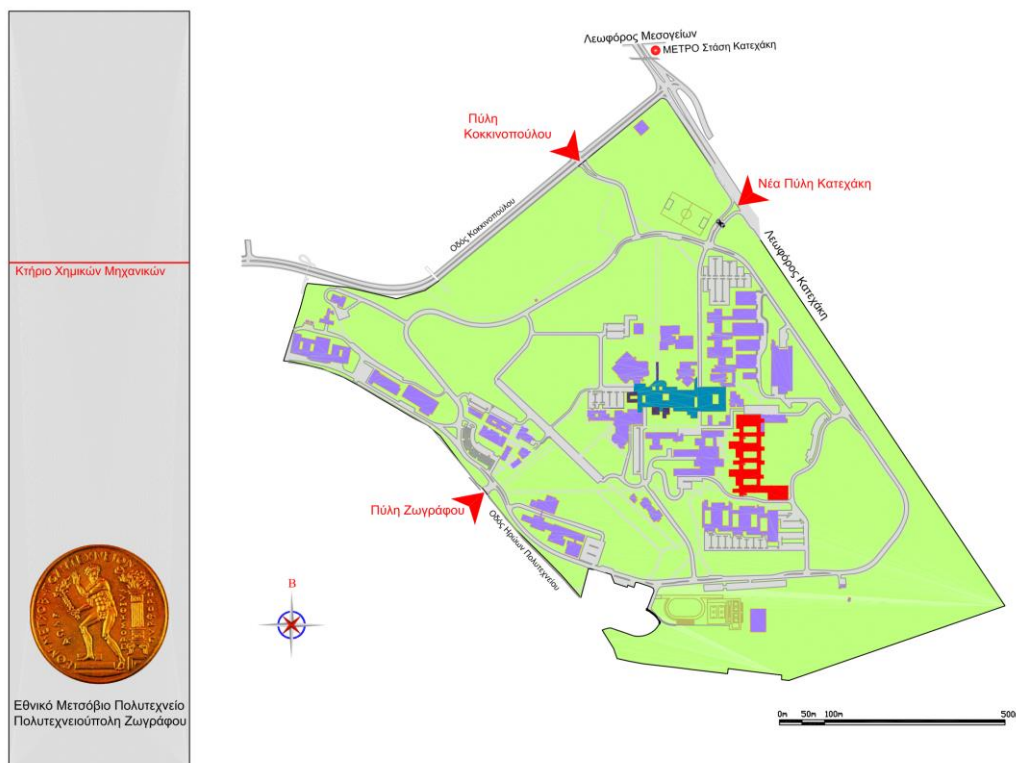
Εικόνα 1.1: Διάγραμμα ροής μελέτης

2. Θεωρητικό Μέρος

2.1 Γενική Περιγραφή του Κτιρίου

Το κτίριο της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.) ολοκληρώθηκε στην πρώτη φάση του στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Η μεταφορά και η εγκατάσταση στο νέο κτίριο από το ιστορικό κτιριακό συγκρότημα του Ε.Μ.Π. στην Πατησίων έγινε περίπου στα μέσα της ίδιας δεκαετίας. Αυτή η μεταφορά ήταν αναγκαία, καθώς οι απαιτήσεις της Σχολής τόσο σε εργαστηριακές εγκαταστάσεις και εξοπλισμό όσο και σε αίθουσες διδασκαλίας διαφόρων τύπων ήταν αυξημένες. Η συνεχής αύξηση αυτών των απαιτήσεων οδήγησε στη δημιουργία της νέας φάσης (Β' Φάση) του κτιριακού συγκροτήματος.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.1, η Σχολή βρίσκεται στον ανατολικό τομέα της Πολυτεχνειούπολης, στους πρόποδες του Υμηττού, με συντεταγμένες, όπως αυτές δίνονται από το Google Earth, $37^{\circ}58'36''$ N (Βόρεια) και $23^{\circ}47'05''$ E (Ανατολικά). Η παρουσία του κτιρίου στη συγκεκριμένη τοποθεσία έχει ως αποτέλεσμα τα διάφορα επίπεδα της να μη βρίσκονται στο ίδιο υψόμετρο, με το βόρειο τμήμα της Σχολής να βρίσκεται στο χαμηλότερο επίπεδο και το νότιο τμήμα της Σχολής στο ψηλότερο. Στη βόρεια πλευρά της, η Σχολή γειτονεύει με τις σχολές Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π. και Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π..



Εικόνα 2.1: Χάρτης Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου

Στη νότια πλευρά της γειτονεύει με τα παλιά κτίρια της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Ε.Μ.Π. και στη δυτική πλευρά γειτονεύει με τη Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών Ε.Μ.Π.. [1]

Το κτίριο χωρίζεται σε επίπεδα και το κάθε επίπεδο χωρίζεται σε πτέρυγες. Οι πτέρυγες επαναλαμβάνονται και κάθετα στο κτίριο σε όσα επίπεδα υπάρχουν. Για παράδειγμα, η γραμματεία βρίσκεται στο επίπεδο 0 και την πτέρυγα Α, στο βόρειο άκρο του κτιρίου. Με αναφορά αυτήν, ορίζονται τα υπόλοιπα επίπεδα και πτέρυγες. Συνεπώς, τα επίπεδα που υπάρχουν και στεγάζουν χώρους προς ακαδημαϊκή εκμετάλλευση είναι 7, όπως φαίνονται και στον πίνακα 2.1, και οι πτέρυγες είναι 8, 2 κάθετες (Βόρεια προς Νότια και αντίστροφα) και 6 οριζόντιες (Ανατολικά προς Δυτικά και αντίστροφα). Οι προεκτάσεις της πτέρυγας Β και της πτέρυγας Η στο ανατολικό μέρος του κτιρίου ονομάζονται αντιστοίχως Β1 και Η1.

Πίνακας 2.1: Υψόμετρα επιπέδων Σχολής Χημικών Μηχανικών

Επίπεδο	Υψόμετρο (m)
-1	187.50
0	191.50
1	195.55
2	199.60
3	203.65
4	207.70
5	211.75

Η συγκεκριμένη μελέτη εφαρμόστηκε στην Α' Φάση του κτιρίου της Σχολής, όπως αυτή φαίνεται στην αεροφωτογραφία 2.2 στο κόκκινο πλαίσιο, και στην προέκταση της Η' πτέρυγας, χωρίς να μελετάται ο χώρος που καταλαμβάνει το Ημιβιομηχανικό Εργαστήριο.



Εικόνα 2.2: Αεροφωτογραφία Σχολής Χημικών Μηχανικών με επισήμανση πτερυγών

Οι χώροι που υπάρχουν στο προς μελέτη τμήμα της Σχολής χωρίζονται στις παρακάτω κύριες κατηγορίες:

- Αίθουσες Διδασκαλίας
- Εργαστήρια
- Διάδρομοι
- Αμφιθέατρα
- Βοηθητικοί Χώροι
- Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια
- Αίθουσες Συνεδριάσεων
- Κλιμακοστάσια
- Αίθρια
- Βιβλιοθήκες / Αναγνωστήριο
- Χώροι Υγιεινής

Η παραπάνω κατηγοριοποίηση έγινε με σκοπό την καλύτερη αποτύπωση των απαιτήσεων του κάθε χώρου. Πρέπει να τονιστεί ότι η αναφορά σε Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια περιλαμβάνει τους χώρους που αξιοποιούνται είτε ως γραφεία διδασκόντων ή φοιτητών είτε ως χώροι εκτέλεσης εργαστηριακών ασκήσεων μικρότερων ομάδων.

Σχετικά με τα εργαστήρια, εκτός από τις βασικές πτέρυγες εργαστηρίων που είναι οι πτέρυγες Β, Δ και Ζ, στο κτίριο στεγάζονται εργαστήρια στη νέα φάση (Πτέρυγα Β1 - Προέκταση Πτέρυγας Β) και 3 χώροι του οριζόντιου εργαστηρίου. Το Οριζόντιο Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Διεργασιών και Προϊόντων (γνωστό ως Οριζόντιο Εργαστήριο – ΟΕ) αποτελεί μία κοινή μονάδα εξυπηρέτησης των Εργαστηρίων της Σχολής Χημικών Μηχανικών, που έχουν συγκεντρωθεί και αξιοποιούνται επιστημονικά όργανα υψηλού κόστους.

Η ίδρυσή του εξυπηρετεί την ανάγκη απόκτησης οργάνων κοινής κτήσης, των οποίων το κόστος αγοράς, λειτουργίας και συντήρησης από μεμονωμένα εργαστήρια είναι απαγορευτικό. Σκοπός της είναι η δημιουργία εργαστηριακής υποδομής επιστημονικών και ερευνητικών οργάνων υψηλής πιστότητας και ακρίβειας με δυνατότητα πρόσβασης για όλα τα μέλη της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π και παροχής Υπηρεσιών προς τρίτους. [2]

2.2 Τρόποι ενεργειακής αναβάθμισης κτιριακών εγκαταστάσεων

Η ενεργειακή κατανάλωση υφιστάμενων κτιρίων μπορεί να βελτιωθεί μέσω ποικίλων παρεμβάσεων που εξαρτώνται από τους διαθέσιμους πόρους και το επιτρεπόμενο μέγεθος των αρχιτεκτονικών αλλαγών στην όψη των κτιρίων. [3]- [8]

Μερικές από τις επεμβάσεις που δύναται να γίνουν σε ένα κτίριο ώστε αυτό να αναβαθμιστεί ενεργειακά είναι:

- Επένδυση τοιχοποιίας με προσθήκη θερμομόνωσης
- Αντικατάσταση εξωτερικών κουφωμάτων
- Αντικατάσταση θυρών
- Σκίαση ανοιγμάτων
- Αντικατάσταση συστημάτων τεχνητού φωτισμού
- Τοποθέτηση αυτόματου συστήματος τεχνητού φωτισμού
- Αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας
- Αναβάθμιση συστήματος εξαερισμού με εισαγωγή εξωτερικού νωπού αέρα

➤ Επένδυση τοιχοποιίας με προσθήκη θερμομόνωσης

Η θερμομόνωση των κτιρίων είναι μία από τις κυριότερες μεθόδους μείωσης των θερμικών απωλειών σε ένα κτίριο. Κυριότεροι στόχοι της θερμομόνωσης είναι αρχικά η διασφάλιση θερμικής άνεσης και καλής ποιότητας μικροκλίματος στο εσωτερικό του κτιρίου, ανεξαρτήτως των συνθηκών που επικρατούν στο εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συμβάλλει τόσο στον περιορισμό κατανάλωσης ενέργειας για δροσισμό και θέρμανση όσο και στον περιορισμό του κόστους αυτής.

Η θερμική μόνωση μπορεί να εφαρμοσθεί σε νέα κτίσματα και σε παλαιά ως μια παρέμβαση ενεργειακής βελτιστοποίησης. Ανάλογα με τη περίπτωση, η θερμομόνωση μπορεί να γίνει εσωτερικά ή εξωτερικά. [9]- [12]

✓ Εσωτερική θερμομόνωση

Δεν είναι λίγες οι φορές που επιλέγεται η εφαρμογή εσωτερικής θερμομόνωσης ενός κτιρίου ή ενός χώρου. Συνήθως, κάποιος οδηγείται σε αυτή την επιλογή όταν είναι αδύνατη ή μη προτιμητέα η παρέμβαση στην εξωτερική επιφάνεια. Για παράδειγμα, όταν η πρόσοψη ενός κτιρίου είναι διατηρητέα ή όταν υπάρχει σε κοντινή απόσταση παρακείμενο κτίσμα που δεν επιτρέπει τις εξωτερικές εργασίες, η εσωτερική θερμομόνωση αποτελεί μονόδρομο. Επίσης, η εσωτερική θερμομόνωση συνιστάται σε χώρους όπου δε χρησιμοποιούνται συνεχώς για μεγάλα χρονικά διαστήματα, όπως είναι τα εξοχικά σπίτια, οι κινηματογράφοι οι αίθουσες εκδηλώσεων κ.α.. Αυτό συμβαίνει καθώς σε αυτές τις περιπτώσεις, στόχος είναι η άμεση επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας στον χώρο, χωρίς να αποτελεί κριτήριο η διατήρηση της για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά τη διακοπή λειτουργίας του συστήματος ψύξης - θέρμανσης. Αυτή η διατήρηση δε μπορεί να επιτευχθεί, διότι δεν εκμεταλλεύεται από κάποιον η θερμοχωρητικότητα του κτιριακού κελύφους. Τέλος, μία θετική πλευρά στην επιλογή της εσωτερικής θερμομόνωσης είναι ο συνδυασμός της με τη γενική ανακαίνιση του εσωτερικού χώρου ενός κτιρίου και την πλήρη θερμομόνωση αυτού, δηλαδή σε τοιχοποιία, οροφή και δάπεδο. [13]

✓ Εξωτερική θερμομόνωση

Η εξωτερική θερμομόνωση, από τη μεριά της, είναι αυτή που επιλέγεται πιο συχνά και εφαρμόζεται στις περισσότερες περιπτώσεις. Με την εξωτερική θερμομόνωση, αξιοποιείται η θερμοχωρητικότητα του κελύφους δίνοντας έτσι τη δυνατότητα διατήρησης της επιθυμητής θερμοκρασίας για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα μετά την παύση λειτουργίας του συστήματος ψύξης - θέρμανσης. Αποτελεί, επίσης, ένα είδος επιπλέον προστασίας των στοιχείων της όψης του κτιρίου, όπως είναι για παράδειγμα οι σωληνώσεις ύδρευσης από τη βροχή και το ψύχος. Ταυτόχρονα, ο χρήσιμος εσωτερικός χώρος παραμένει ανεπηρέαστος και δε δημιουργείται η ανάγκη

για αλλαγή εσωτερικής διαρρύθμισης και για προσωρινή αφαίρεση και τοποθέτηση των σωμάτων θέρμανσης, των πλαισίων κουφωμάτων κ.α., όπως συμβαίνει στην εσωτερική θερμομόνωση. Τέλος, ιδιαίτερα σημαντικά θεωρούνται τόσο η πλήρης στεγάνωση των προσόψεων και η εξάλειψη των θερμογεφυρών, δηλαδή των σημείων ή των επιφανειών που παρουσιάζουν αυξημένη θερμική ροή όπως είναι οι πλάκες του κάθε ορόφου.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση του κτιρίου της Σχολής Χημικών Μηχανικών, θα μελετηθεί η εφαρμογή εξωτερικής θερμομόνωσης του κελύφους του κτιρίου με διογκωμένη πολυστυρένιο ή εν συντομία EPS (Expanded Polystyrene). [14]

✓ Διογκωμένη πολυστερίνη (EPS)

Η διογκωμένη πολυστερίνη είναι ένα πλαστικό και αφρώδες υλικό που χαρακτηρίζεται από την ελαφρότητα και την ακαμπτότητα του. Παράγεται από συμπαγείς σταγόνες πολυστυρενίου και αποτελείται κατά 98% από αέρα και όταν θερμανθεί με ατμό, παράγει τέλεια κλειστές σφαιρικές κυψέλες EPS. Ορισμένα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου υλικού, πέρα από τη θερμομόνωση που προσφέρει, είναι η αποδεδειγμένη ακουστική μόνωση, η ανθεκτικότητα στην υγρασία, οι ευέλικτες μηχανικές ιδιότητες, η πολλαπλή χρησιμότητά του, η εύκολη μεταφορά και τοποθέτηση. [15]

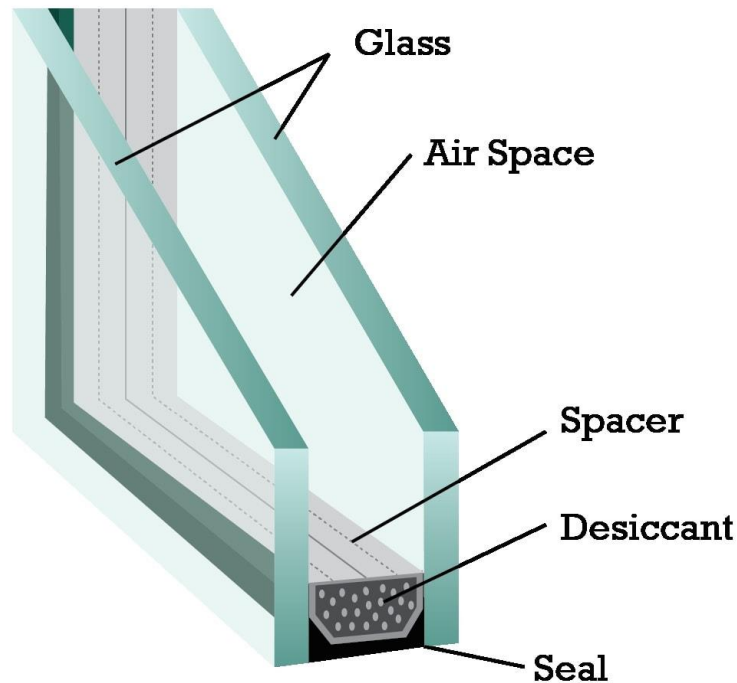
➤ Αντικατάσταση εξωτερικών κουφωμάτων

Σημαντικό στοιχείο για τις ενεργειακές ανάγκες ενός κτιρίου είναι τα κουφώματα. Όπως είναι λογικό, η συντριπτική πλειοψηφία των κτιρίων που χτίστηκαν στη δεκαετία του '80, όπως η Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, διατηρεί ακόμα μονούς υαλοπίνακες χωρίς αεροστεγάνωση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το χειμώνα άτομα που βρίσκονται εσωτερικά του κτιρίου να νιώθουν περισσότερο κρύο και το καλοκαίρι περισσότερη ζέση. Άλλα προβλήματα που παρουσιάζει η ύπαρξη μονών υαλοπινάκων είναι η χαμηλή ηχομόνωση και μειωμένη ασφάλεια, λόγω εύκολης θραύσης τους. Η πιο συνηθισμένη επιλογή είναι η αντικατάσταση των μονών υαλοπινάκων με αντίστοιχους διπλούς που παρουσιάζουν περισσότερα πλεονεκτήματα.

✓ Διπλοί Υαλοπίνακες

Οι διπλοί υαλοπίνακες, προσφέρουν επιπλέον θερμομόνωση και βελτιώνουν αισθητά τη κατανάλωση ηλεκτρισμού, φυσικού αερίου, πετρελαίου ή άλλης μορφής ενέργειας που χρησιμοποιείται για θέρμανση. Αποτελούνται από δύο υαλοπίνακες (glasses) σε κοντινή απόσταση που συνδέονται μεταξύ τους με αποστάτη (spacer) δημιουργώντας με αυτό το τρόπο ένα σώμα που ενσωματώνεται στο πλαίσιο του κουφώματος. Οι δύο υαλοπίνακες απέχουν μεταξύ τους συνήθως 6-12 mm δημιουργώντας ένα χώρο (air space) στον οποίο ενδέχεται να υπάρχει κάποιο

αδρανές αέριο, όπως το αργό. Ουσιαστικά αυτός ο χώρος δυσχεραίνει τη μεταφορά θερμότητας, από ή προς τον χώρο, με αγωγή. Σημειώνεται, ότι δεν «παγιδεύει τη θερμότητα», αλλά λόγω της υψηλής θερμικής αντίστασης που εμφανίζει μειώνει σημαντικά τη ροή της θερμότητας. Επίσης, για την αποφυγή συσσώρευσης υγρασίας στο διάκενο, στη σύνδεση των δύο υαλοπινάκων υπάρχει και ένα αφυγραντικό υλικό (desiccant) και η τελική σύνδεση μιας μονάδας διπλού υαλοπίνακα γίνεται με ένα σφραγιστικό υλικό (seal). [16]- [20]



Εικόνα 2.3: Απεικόνιση τομής διπλού υαλοπίνακα

➤ Αντικατάσταση θυρών

Πολλές φορές η αντικατάσταση των θυρών δεν ανήκει στις πρώτες επιλογές για την ενεργειακή αναβάθμιση ενός χώρου. Ακολουθώντας την ίδια λογική με τους υαλοπίνακες, οι απώλειες θερμότητας λόγω των κουφωμάτων, δυσκολεύουν την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασία στον εσωτερικό χώρο. Οι θύρες, σε αντίθεση με τους υαλοπίνακες, υπάρχουν εκτός από την εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου και μεταξύ των διαφόρων χώρων, είτε μη κλιματιζόμενων, είτε κλιματιζόμενων. Μια επένδυση σε αλλαγή θυρών, προσφέρει εκτός από ενεργειακά κέρδη και αρκετά μεγαλύτερη αίσθηση ασφάλειας. Τέλος, οι πυράντοχες θύρες, εκτός από μείωση απώλειας ενέργειας και αύξηση ασφάλειας, προσφέρουν πυροπροστασία ορισμένων προδιαγραφών.

➤ Σκίαση ανοιγμάτων

Τους θερινούς μήνες η ψύξη των περισσότερων χώρων δυσκολεύει όταν μέσα στον χώρο εισάγεται ηλιακή ακτινοβολία μέσω των διαφόρων διάφανων επιφανειών. Γι' αυτόν τον λόγο, είναι επιθυμητή η μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας τους καλοκαιρινούς μήνες και αντίστοιχα η αύξηση της τους χειμερινούς, προκειμένου να ευνοηθεί ο κλιματισμός του χώρου. Ο πιο απλός τρόπος σκίασης ενός χώρου είναι η τοποθέτηση μόνιμων εξωτερικών σκιάστρων, κάθετα στην εξωτερική τοιχοποιία και πάνω από το κάθε άνοιγμα. Όπως είναι γνωστό, ο ήλιος τη χειμερινή περίοδο κινείται σε χαμηλότερη τροχιά και ένα μόνιμο εξωτερικό σκίαστρο θα ήταν ένας σχετικά φθηνός τρόπος σκίασης και αξιοποίησης σωστά της ηλιακής ακτινοβολίας. Εκτός από στατικά συστήματα σκίασης, μπορούν να τοποθετηθούν δυναμικά συστήματα που να εξυπηρετούν σε μεγαλύτερο βαθμό τις ανάγκες του κτιρίου. [21]

➤ Αντικατάσταση συστημάτων τεχνητού φωτισμού

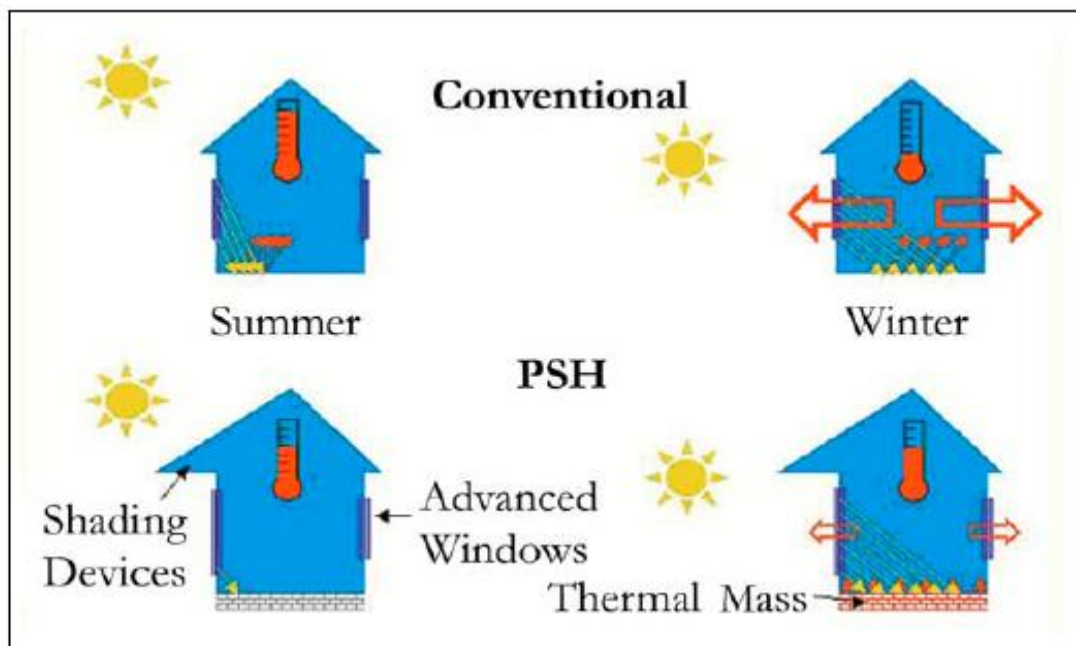
Περίπου ένα 5% της συνολικής ενέργειας σε ένα κτίριο ή σε μία κατοικία αφορά τον φωτισμό που δεν προέρχεται από ηλιακή ακτινοβολία. Κατά κύριο λόγο, σε πολλά κτιριακά συμπλέγματα χρησιμοποιούνται ακόμα λαμπτήρες φθορισμού. Αυτοί οι λαμπτήρες μπορούν να αντικατασταθούν από λαμπτήρες διόδου εκπομπής φωτός, ή αλλιώς λαμπτήρες LED (Light Emitting Diode). Παρά το αυξημένο κόστος αγοράς τους, οι λαμπτήρες LED προσφέρουν μεγαλύτερο όφελος. Παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και μεγαλύτερη φωτιστική απόδοση από τις παλαιότερες τεχνολογίες λαμπτήρων. Σημειώνεται ότι η φωτιστική απόδοση (ή συντελεστής απόδοσης) ενός λαμπτήρα αναφέρεται στο ποσό της φωτεινής ροής που αποδίδεται από κάποιον λαμπτήρα για κάθε watt καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ισχύος (lm/W). Τέλος, οι LED λαμπτήρες μπορούν να λειτουργήσουν με ροοστάτη (dimmer). [22]- [25]

➤ Τοποθέτηση αυτόματου συστήματος τεχνητού φωτισμού

Όπως και σε κάθε άλλη πτυχή της τεχνολογίας, έτσι και στον τεχνητό φωτισμό η τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς δημιουργώντας νέα προϊόντα. Παρόλο που οι LED λαμπτήρες είναι πιο οικονομικοί από τους παλαιότερους τύπους, δημιουργήθηκε η ανάγκη για περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας. Έτσι, εγκαταστάθηκαν στο κτίριο της Σχολής συστήματα εντοπισμού κίνησης που συνδέονται με το σύστημα φωτισμού. Με αυτό τον τρόπο, εξαλείφεται η άσκοπη, και επομένως ενεργοβόρα, λειτουργία του, ενισχύοντας έτσι την προσπάθεια της Σχολής προς μία οικονομικότερη και αποδοτικότερη διαχείριση πόρων.

➤ Αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να επιδράσει θετικά στην ενεργειακή αναβάθμιση ενός κτιρίου, με εφαρμογές που ποικίλουν. Ο πιο απλός τρόπος αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας και της θέσης του ήλιου γενικότερα είναι η χρήση χώρων με βόρειο προσανατολισμό τους θερινούς μήνες, καθώς δέχονται ελάχιστη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας, και η χρήση χώρων με νότιο προσανατολισμό τους χειμερινούς μήνες, έτσι ώστε να αξιοποιείται αυτή στο μέγιστο, εφόσον ο ήλιος τότε βρίσκεται πιο χαμηλά. Μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή στα κτίρια αποτελούν τα συστήματα παθητικής ηλιακής θέρμανσης. Η παθητική ηλιακή θέρμανση (Passive Solar Heating, PSH) είναι η θέρμανση κτιρίων με αξιοποίηση των ηλιακών κερδών μέσω αδιαφανών επιφανειών. Η ετήσια ζήτηση σε θέρμανση μπορεί να μειωθεί σημαντικά επιλέγοντας υαλοπίνακες υψηλής απόδοσης (με χαμηλή απώλεια θερμότητας και υψηλή ηλιακή μετάδοση) και με προσανατολισμό στο μεγαλύτερο μέρος αυτών προς τον ισημερινό, δηλαδή προς τον Νότο, εφόσον βρισκόμαστε στο βόρειο ημισφαίριο. Με τα παθητικά ηλιακά συστήματα αξιοποιείται καλύτερα ο φυσικός φωτισμός, όμως απαιτείται η χρήση εξωτερικών μηχανισμών σκίασης, για να επιτύχει κανείς τη βέλτιστη απόδοση. Όπως είναι λογικό, ιδανική εφαρμογή της παθητικής ηλιακής θέρμανσης γίνεται κατά τη δημιουργία νέων κτιρίων, αλλά δεν είναι λίγες οι φορές που γίνονται παρεμβάσεις με σκοπό την επίτευξη αυτής. Η βασική αρχή λειτουργίας και οι στόχοι που θέλει να επιτύχει αυτή η τεχνολογία παρουσιάζονται στην εικόνα 2.2.2. [26]- [30]



Εικόνα 2.4: Απεικόνιση Συστήματος Παθητικής Ηλιακής Θέρμανσης

➤ Αξιοποίηση φυσικού αερισμού

Η ανανέωση του αέρα στο εσωτερικό ενός κτιρίου επιτυγχάνεται μέσω της εναλλαγής των αέριων μαζών με το εξωτερικό περιβάλλον. Αυτό γίνεται οδηγώντας τον νωπό αέρα προς το εσωτερικό, και οδηγώντας τον εσωτερικό αέρα προς τα έξω δια των θυρών, κουφωμάτων ή αεραγωγών. Όπου απαιτείται ψύξη, για να διαφύγει ο ζεστός αέρας του εσωτερικού χώρου, προβλέπεται η διάνοιξη ανοιγμάτων σε ψηλότερα σημεία αυτού. Τη χειμερινή περίοδο, ο καλά σχεδιασμένος παθητικός αερισμός αναζωογονεί τον αέρα χωρίς να δημιουργεί ρεύματα. Ο παθητικός αερισμός λειτουργεί καλύτερα αν ο αέρας έχει καθαρές, αδιάλειπτες διαδρομές στο εσωτερικό του χώρου. Μπορεί να μεγιστοποιηθεί η ροή του αέρα σχεδιάζοντας ανοιχτούς χώρους ή έχοντας αεραγωγούς ή άλλου τύπου ανοίγματα μεταξύ των δωματίων. Όπως είναι λογικό, ο σχεδιασμός των ανοιγμάτων με γνώμονα τον παθητικό αερισμό γίνεται κατά την κατασκευή ενός κτιρίου. Η εφαρμογή του σε ήδη υφιστάμενα κτίρια είναι πολύ δύσκολη. [31]

2.3 Νομοθεσία

Η ενεργειακή αναβάθμιση των δημόσιων κτιρίων αποτελεί στόχο πολλών χωρών μεταξύ των οποίων και της Ελλάδας. Για να βοηθηθεί η επίτευξη του, σχεδιάζονται χρηματοδοτικά προγράμματα, στο πλαίσιο των οποίων επωφελούνται ενέργειες όπως αυτές που μελετώνται στην παρούσα διπλωματική. Τέτοιο πρόγραμμα αποτελεί και το «ΗΛΕΚΤΡΑ».

Βασικός σκοπός αυτού του προγράμματος είναι η ενεργειακή αναβάθμιση του κτιριακού αποθέματος που ανήκει στην ιδιοκτησία των φορέων της Γενικής Κυβέρνησης με παρεμβάσεις που αφορούν ενδεικτικά στο κέλυφος του κτιρίου, στα διάφορα συστήματα Ηλεκτρο-Μηχανολογικών (Η/Μ) εγκαταστάσεων και γενικότερα σε παρεμβάσεις που αποδεδειγμένα συμβάλουν στην ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων, συμπεριλαμβανομένης της στατικής ενίσχυσης, όπου απαιτείται.

Ο συνολικός προϋπολογισμός του προγράμματος για όλη τη διάρκεια εφαρμογής του (2020-2026) ανέρχεται σε πεντακόσια εκατομμύρια ευρώ (500.000.000 €) με δυνατότητα τροποποίησης. Το Πρόγραμμα αφορά στη χορήγηση επενδυτικών δανείων μέσω του ΤΠΔ στους φορείς της Γενικής Κυβέρνησης. Φορέας διαχείρισης του προγράμματος «ΗΛΕΚΤΡΑ» ορίζεται η Διεύθυνση Ενεργειακών Πολιτικών και Ενεργειακής Αποδοτικότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

Βασικά κριτήρια για την επιλογή των έργων

- Η σκοπιμότητα στη βάση της τεκμηρίωσης της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης
- Ο ολοκληρωμένος και λειτουργικός χαρακτήρας των προτεινόμενων έργων
- Η ωριμότητα υλοποίησης
- Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και
- Η ρεαλιστικότητα του προϋπολογισμού και του χρονοδιαγράμματος υλοποίησης.

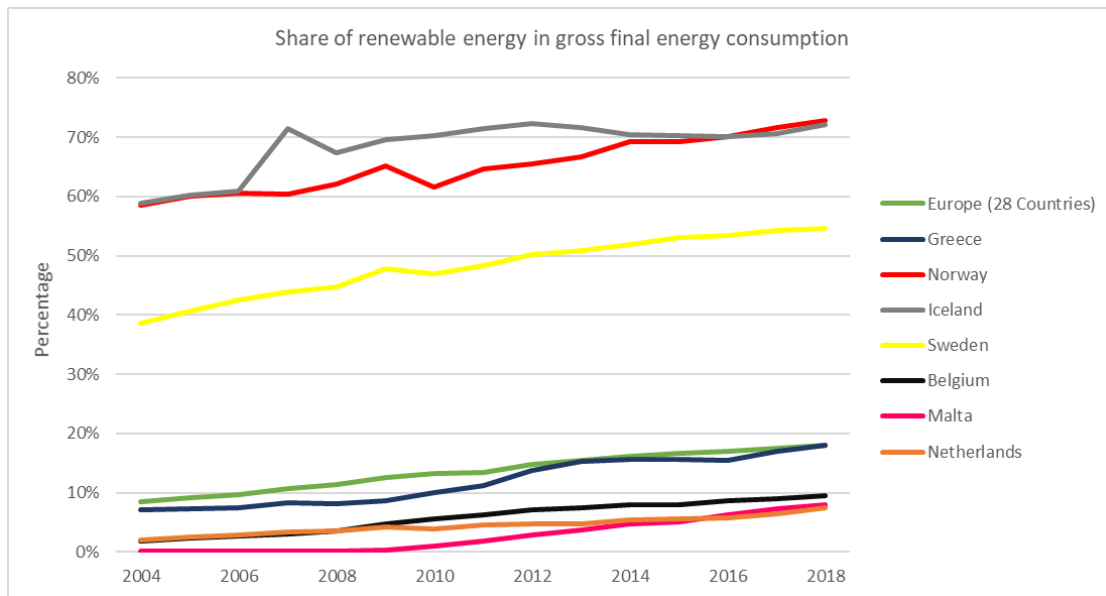
Μελέτες, όπως αυτές που πραγματοποιούνται στο πλαίσιο αυτών των διπλωματικών εργασιών, θα μπορούσαν να αποτελέσουν έναυσμα για αντίστοιχες μελέτες από επίσημους. [32]

2.4 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Λόγω της οικονομικής προόδου και του βελτιωμένου βιοτικού επιπέδου, η ζήτηση ενέργειας αυξάνεται συνεχώς με αποτέλεσμα να καταναλώνονται τεράστιες ποσότητες ενέργειας για θέρμανση, μεταφορά, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και βιομηχανική χρήση. Προς το παρόν, η μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιείται προέρχεται από συμβατικές πηγές ενέργειας όπως το πετρέλαιο, η βενζίνη, το φυσικό αέριο και ο άνθρακας. Πρόκειται για μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες εξαντλούνται. Η παραγωγή και η χρήση ενέργειας που προέρχεται από αυτές τις πηγές έχουν δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις, δημιουργώντας μία σειρά προβλημάτων. Από την άλλη πλευρά, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) δημιουργούνται συνεχώς από τον κύκλο της φύσης και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια, τα οργανικά υλικά όπως το ξύλο, ακόμη και τα οικιακά και γεωργικά απόβλητα αποτελούν πηγές ενέργειας πάντα διαθέσιμες και δεν εξαντλούνται όντας άφθονες στο φυσικό περιβάλλον.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη εκμετάλλευση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών για τη χρήση των δυνατοτήτων τους προέκυψε, αρχικά, μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση το 1979 και έγινε μόνιμη την επόμενη δεκαετία μετά την ευαισθητοποίηση του κοινού για τα περιβαλλοντικά προβλήματα. Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Οι ΑΠΕ συμβάλλουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, οδηγώντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο και ενισχύοντας την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού τους. Ταυτόχρονα, έχουν μερίδιο στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς η χρήση τους δεν το επιβαρύνει, διότι δεν παράγει ρύπανση ή αέρια που αυξάνουν τον κίνδυνο της κλιματικής αλλαγής. Ακόμα, έχει αποδειχθεί ότι ο ενεργειακός τομέας ευθύνεται κυρίως για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, τη διύλιση και τη χρήση συμβατικών καυσίμων.

Η Ελλάδα έχει σημαντικό δυναμικό ΑΠΕ που μπορεί να προσφέρει μια πρακτική εναλλακτική λύση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της. Στο διάγραμμα 2.1, το οποίο προκύπτει από στοιχεία της Eurostat και αναφέρεται στο συνολικό ποσοστό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σε κάθε χώρα, φαίνεται ότι η Ελλάδα κινείται στον μέσο όρο των 28 κρατών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (συμπεριλαμβάνεται και το Ηνωμένο Βασίλειο). Παρόλα αυτά, χώρες όπως η Ελλάδα, η Μάλτα, το Βέλγιο και η Ολλανδία βρίσκονται πολύ μακριά από τις βόρειες χώρες, όπως η Σουηδία, η Ισλανδία και η Νορβηγία που κυμαίνονται σε ποσοστά κοντά στο 55-70%. [33]- [35]



Διάγραμμα 2.1: Συνολικό ποσοστό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας κάθε χώρας

Για τις χώρες με χαμηλότερο ποσοστό κάλυψης των αναγκών τους από εφαρμογές ΑΠΕ υπάρχει ετήσιος επιδιωκόμενος στόχος, ενώ για τις χώρες οι οποίες βρίσκονται πολύ πάνω από τον μέσο όρο, αυτός δεν υφίσταται.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι:

- Ανεξάντλητες πηγές ενέργειας - Μείωση εξάρτησης από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους
- Μείωση και σταθεροποίηση εκπομπών ρύπων, όπως διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του θείου και του αζώτου κ.α.
- Ενεργειακή ανεξαρτησία για τη κάθε χώρα, καθώς αποτελούν εγχώριες πηγές ενέργειας
- Αποκέντρωση ενεργειακού συστήματος, καθώς είναι γεωγραφικά διάσπαρτες
- Κάλυψη μεγάλου φάσματος αναγκών
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα να μην υπάρχουν σημαντικές διακυμάνσεις της οικονομίας μέσα στον χρόνο και
- Δημιουργείται σημαντικός αριθμός νέων θέσεων εργασίας, είτε τοπικά είτε σε διεθνές επίπεδο.

2.5 Μελέτη Τ.Ο.Τ.Ε.Ε

Η παρούσα διπλωματική βασίστηκε στη μελέτη και αξιοποίηση Τεχνικών Οδηγιών του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.) έτσι ώστε οι επιλογές και οι μετατροπές που θα αποφασιστούν να καλύπτουν τα απαραίτητα πρότυπα. Επίσης, πολλά σημεία των οδηγιών χρησιμοποιήθηκαν ως οδηγοί και σημεία σύγκρισης για περαιτέρω μελέτη. Πιο συγκεκριμένα, οι Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2425/86: Εγκαταστάσεις σε κτήρια: Στοιχεία υπολογισμού φορτίων κλιματισμού κτηριακών χώρων.
- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017: Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης.
- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017: Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων.
- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010: Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών.
- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-4/2017: Οδηγίες και έντυπα εκθέσεων ενεργειακών επιθεωρήσεων κτηρίων, συστημάτων θέρμανσης και συστημάτων κλιματισμού.
- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2012: Συμπαγωγή ηλεκτρισμού, θερμότητας & ψύξης: Εγκαταστάσεις σε κτήρια.

Μέσω της εφαρμογής των Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. καλύφθηκαν σε μεγάλο βαθμό πολλά στοιχεία μελέτης της παρούσας κατάστασης του κτιρίου, των αναγκαίων αλλαγών για ενεργειακή αναβάθμιση και των καιρικών συνθηκών.

Σημειώνεται ότι μέσω των Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., μπορεί κάποιος να μελετήσει λεπτομερώς τα βήματα που απαιτούνται για διάφορες εκθέσεις ενεργειακής επιθεώρησης είτε σχετικά με το κτίριο, είτε σχετικά με τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης κ.α..

2.6 ASHRAE / ASHRAE Standards

Η ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) αποτελεί την Αμερικανική Ένωση Μηχανικών Θέρμανσης και Ψύξης που δραστηριοποιείται παγκοσμίως και έχει ως στόχο τη βελτίωση της ανθρώπινης ευημερίας στην καθημερινότητα. Αυτό το επιτυγχάνει μέσω βιώσιμων τεχνολογιών για διάφορες κτιριακές εγκαταστάσεις. Η συγκεκριμένη ένωση αριθμεί περισσότερα από 57 χιλιάδες μέλη και δραστηριοποιείται πλέον σε 132 χώρες παγκοσμίως. Ιδρύθηκε πριν από 126 χρόνια, το 1894, στη Νέα Υόρκη. Μέσω της δράσης της, έχει βοηθήσει στη σωστή εφαρμογή παλαιών και νέων τεχνολογιών για την ενεργειακή βελτιστοποίηση των κτιριακών εγκαταστάσεων.

Χρήσιμα εργαλεία που παρέχει η ASHRAE είναι τα Εγχειρίδια (Handbooks) της, που αποτελούνται από τέσσερις τόμους:

- ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment
- ASHRAE Handbook—HVAC Applications
- ASHRAE Handbook—Refrigeration
- ASHRAE Handbook—Fundamentals

Τα παραπάνω εγχειρίδια ανανεώνονται συστηματικά προσπαθώντας πάντα να προσαρμόζονται στις συνθήκες, όσο δύσκολες κι αν είναι αυτές, όπως συμβαίνει αυτή την περίοδο.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής, μελετήθηκαν και αξιοποιήθηκαν τα εγχειρίδια αυτά σε διάφορα στάδια υπολογισμών. Σημειώνεται ότι στην Ελλάδα η ASHRAE έχει δύο τομείς, τον Hellenic και τον Hellenic - North Hellas Section, οι οποίοι δραστηριοποιούνται στην Αθήνα και στη Θεσσαλονίκη αντίστοιχα.

2.7 RETScreen

Το Λογισμικό Ανάλυσης Έργων Καθαρής Ενέργειας RETScreen χρησιμοποιείται παγκοσμίως ως λογισμικό υποστήριξης αποφάσεων σχετικά με την καθαρή ενέργεια. Πρόκειται για πρόγραμμα από την Κυβέρνηση του Καναδά στο πλαίσιο της ανάγκης να υιοθετηθεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση με στόχο την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Βασικός τρόπος για την αντιμετώπιση αυτού του μείζονος προβλήματος είναι η αξιοποίηση των ανανεώσιμων και δυνητικά ανανεώσιμων μορφών ενέργειας καθώς και συστημάτων συμπαραγωγής ή και τριπαραγωγής.

Το RETScreen δίνει τη δυνατότητα σε επαγγελματίες και υπεύθυνους διαφόρων ενεργειακών έργων να εντοπίζουν, να αξιολογούν και να βελτιστοποιούν γρήγορα την τεχνική και οικονομική βιωσιμότητα των πιθανών έργων καθαρής ενέργειας. Αυτό το λογισμικό επιτρέπει στους χρήστες να μετρούν και να επαληθεύουν εύκολα την πραγματική απόδοση των εγκαταστάσεων τους και βοηθούν στην εύρεση πρόσθετων ευκαιριών εξοικονόμησης ενέργειας.

Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής αξιοποιήθηκαν δύο εκδόσεις του συγκεκριμένου λογισμικού. Το RETScreen International που είναι η πρώτη έκδοση του με βάση λειτουργία το Excel και το RETScreen Expert που διατίθεται σε λειτουργία προβολής.

Λόγω περιορισμών του RETScreen International στο κομμάτι σχεδιασμού για χώρες με θερμότερο κλίμα από αυτό του Καναδά αποφασίστηκε ο υπολογισμός αυτών των παραμέτρων να γίνει μέσω οδηγιών της ASHRAE και των T.O.T.E.E.. Έτσι, η αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης του κτιρίου, καθώς και της προκύπτουσας κατάστασης μετά τις παρεμβάσεις, έγινε εκτός λογισμικού, ενώ το λογισμικό χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη εφαρμογής συστήματος Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας (Ground Source Heat Pump).

2.8 Κλιματικά Δεδομένα

Για την ολοκληρωμένη μελέτη της ενεργειακής κατάστασης, απαιτείται η χρήση και ο υπολογισμός κλιματικών δεδομένων σχετικά με θερμοκρασία, αέρα και ηλιακή ακτινοβολία. Ορισμένα από τα πιο κρίσιμα μεγέθη αναλύονται παρακάτω. Τα κλιματικά δεδομένα που αξιοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική παρουσιάζονται στο παράρτημα 8.1.

Βαθμομέρες

Οι βαθμομέρες για μια δεδομένη ημέρα αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των βαθμών Κελσίου που η μέση θερμοκρασία είναι πάνω ή κάτω από μια δεδομένη θερμοκρασία αναφοράς. Ο υπολογισμός μπορεί να γίνει και κατευθείαν ανά μήνα αλλά επιλέγεται να γίνει με τη μέση θερμοκρασία ανά ημέρα σε βάθος πενταετίας για να είναι πιο αντιπροσωπευτικό το τελικό νούμερο.

- Θέρμανσης

Το συγκεκριμένο λογισμικό δέχεται ως δεδομένο για τους υπολογισμούς τις βαθμομέρες θέρμανσης με θερμοκρασία αναφοράς τους 18°C.

$$DDH_i = \sum_{k=1}^{N_i} (T_{set,H} - T_{average,k}), (2.8.1)$$

Όπου,

DDH_i : βαθμομέρες θέρμανσης για μήνα i ($i=1,2, \dots, 12$), [$^{\circ}C d$]

N_i : αριθμός ημερών του μήνα i

$T_{set,H}$: θερμοκρασίας αναφοράς [$18^{\circ}C$]

$T_{average,k}$: μέση θερμοκρασία ημέρας k του μήνα i , [$^{\circ}C$]

Συνεπώς, στο σύνολο του έτους θα ισχύει:

$$DDH = \sum_{i=1}^{12} DDH_i, (2.8.2)$$

Όπου,

DDH : το σύνολο των βαθμομερών θέρμανσης μέσα στο έτος, [$^{\circ}C d$]

- Ψύξης

Το συγκεκριμένο λογισμικό δέχεται ως δεδομένο για τους υπολογισμούς τις βαθμομέρες ψύξης με θερμοκρασία αναφοράς τους 10°C.

$$DDC_i = \sum_{k=1}^{N_i} (T_{average,k} - T_{set,c}), (2.8.3)$$

Όπου,

DDC_i : βαθμομέρες ψύξης για μήνα i ($i=1,2, \dots, 12$), [$^{\circ}Cd$]

N_i : αριθμός ημερών του μήνα i

$T_{set,c}$: θερμοκρασίας αναφοράς (10°C)

$T_{average,k}$: μέση θερμοκρασία ημέρας k του μήνα i , [$^{\circ}C$]

Συνεπώς, στο σύνολο του έτους θα ισχύει:

$$DDC = \sum_{i=1}^{12} DDC_i, (2.8.4)$$

Όπου,

DDC : το σύνολο των βαθμομερών ψύξης μέσα στο έτος, [$^{\circ}Cd$]

Θερμοκρασίες σχεδιασμού

Οι θερμοκρασίες σχεδιασμού είναι οι ακραίες τιμές θερμοκρασιών που εμφανίζονται στο περιβάλλον σε ποσοστό συχνότητας 1%. Αυτές οι θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό των συστημάτων ψύξης και θέρμανσης για να καλύπτουν και τις πιο πιθανές ακραίες περιπτώσεις που μπορούν να συμβούν σε έναν αξιόλογο βαθμό και έκταση μέσα σε ένα έτος.

Τέλος, από τις βάσεις δεδομένων λήφθηκαν δεδομένα σχετικά με τη μέση ταχύτητα του αέρα (μετρημένη στα 10m) και μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο. Τα δεδομένα αυτά ήταν απαραίτητα σε κάποιες μορφές του λογισμικού ώστε να βγάλει σωστά αποτελέσματα.

2.9 Μελέτη Υφιστάμενου Κτιρίου

2.9.1 Υφιστάμενη Ενεργειακή Κατάσταση Κτιρίου

Η μελέτη της Α' φάσης του κτιρίου στηρίχτηκε σε σχέδια και αρχεία που μας διατέθηκαν και σε επιτόπιες επισκέψεις που πραγματοποιήθηκαν στους επιμέρους χώρους της Σχολής για συγκέντρωση περισσότερων στοιχείων, απαραίτητων για τους υπολογισμούς μας. Οι κατηγορίες των χώρων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι εξής:

- Εργαστήρια, όπως τα βασικά εργαστήρια της Σχολής και τα οριζόντια εργαστήρια
- Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια, όπως είναι τα προσωπικά γραφεία των διδασκόντων και φοιτητών και οι χώροι που αξιοποιούνται για μικρές εργαστηριακές ασκήσεις χωρίς μηχανήματα ή με μηχανήματα με πολύ χαμηλή ισχύς
- Αίθουσες Διδασκαλίες
- Αίθουσες Συνεδριάσεων, όπως είναι η αίθουσα Κουμούτσου
- Διάδρομοι
- Χώροι Υγιεινής (WC)
- Εργαστήρια πληροφορικής (PC - Labs)
- Βοηθητικοί Χώροι, όπως είναι οι αποθήκες
- Βιβλιοθήκες, όπως είναι το αναγνωστήριο
- Κλιμακοστάσια
- Αμφιθέατρα

Επίσης, κάθε χώρος της Σχολής καταχωρήθηκε σε κάποια από τις παρακάτω κατηγορίες ανάλογα με την ανάγκη θέρμανσης τη χειμερινή περίοδο και ψύξης τη θερινή περίοδο. Στον πίνακα 2.2 φαίνεται η διαλογή των χώρων ανάλογα με την προαναφερθείσα κατηγοριοποίηση.

Πίνακας 2.2: Κατηγοριοποίηση χώρων ανάλογα με την απαίτηση τους σε θέρμανση και ψύξη

Χώρος	Χειμώνας		Θέρος	
	Θερμαινόμενος	Μη Θερμαινόμενος	Ψυχόμενος	Μη Ψυχόμενος
Εργαστήρια	X	-	X	-
Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια	X	-	X	-
Αίθουσες Διδασκαλίες & Συνεδριάσεων	X	-	X	-
Διάδρομοι	X	-	-	X
Χώροι Υγιεινής	-	X	-	X
Εργαστήρια πληροφορικής	X	-	X	-
Βοηθητικοί Χώροι	-	X	-	X
Βιβλιοθήκες	X	-	X	-
Κλιμακοστάσια	-	X	-	X
Αμφιθέατρα	X	-	X	-

Συνεπώς, οι χώροι που θερμαίνονται είναι:

1. Εργαστήρια
2. Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια
3. Αίθουσες Διδασκαλίες & Συνεδριάσεων
4. Διάδρομοι
5. Εργαστήρια Πληροφορικής
6. Βιβλιοθήκες
7. Αμφιθέατρα

Και οι χώροι που ψύχονται είναι:

1. Εργαστήρια
2. Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια
3. Αίθουσες Διδασκαλίες & Συνεδριάσεων
4. Εργαστήρια Πληροφορικής
5. Βιβλιοθήκες
6. Αμφιθέατρα

Στη συνέχεια, μέσω των σχεδίων της Σχολής (κατόψεις επιπέδου) έγινε μελέτη του κάθε χώρου καταγράφοντας σε βάση δεδομένων ανά όροφο, τα μήκη των τοίχων, των θυρών και των υαλοπινάκων και τις εκτάσεις των δαπέδων και τον οροφών κάθε χώρου. Κάθε στοιχείο που καταγραφόταν, έπρεπε να εμπίπτει σε μία τουλάχιστον κατηγορία από τις παρακάτω, ανάλογα με την επαφή που είχαν στην αντίθετη (σε σχέση με το πεδίο μελέτης) πλευρά:

- Επαφή με θερμαινόμενο χώρο το χειμώνα ή επαφή με ψυχόμενο χώρο το καλοκαίρι
- Επαφή με μη θερμαινόμενο (ή μη ψυχόμενο) χώρο
- Επαφή με αέρα, δηλαδή με περιβάλλον
- Επαφή με έδαφος

Ο διαχωρισμός αυτός έγινε, γιατί ανάλογα με το περιβάλλοντα χώρο του κάθε στοιχείου χρησιμοποιούνται διαφορετικές θερμοφυσικές ιδιότητες για τους επόμενους υπολογισμούς.

Το υφιστάμενο κτίριο μελετήθηκε ως προς τα θερμικά και τα ψυκτικά φορτία των χώρων του. Για την πραγματοποίηση αυτών των μελετών έπρεπε να ληφθούν και να αξιοποιηθούν δεδομένα σχετικά με τις καιρικές συνθήκες που υπάρχουν στο εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου. Γι' αυτό τον λόγο, έγινε μελέτη στις μέσες θερμοκρασίες, στη μέση ένταση αέρα και στα επίπεδα υγρασίας από τις βάσεις δεδομένων του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) της τελευταίας πενταετίας. Μέσα από αυτά τα δεδομένα έγινε υπολογισμός μεγεθών, όπως είναι οι βαθμομέρες και οι θερμοκρασίες σχεδιασμού.

2.9.2 Εξοπλισμός Κτιριακής Μονάδας

Για την καλύτερη αποτύπωση των αναγκών της Σχολής υπολογίζονται τα θερμικά και ψυκτικά φορτία. Για τη θέρμανση, υπολογίζονται, ουσιαστικά, τα φορτία τα οποία ψύχουν τον χώρο κατά τη χειμερινή περίοδο και δυσκολεύουν τη θέρμανση του. Για την ψύξη υπολογίζονται τα φορτία που θερμαίνουν τον χώρο κατά τη θερινή περίοδο και δυσκολεύουν την ψύξη του. Στη συνέχεια αναπτύσσονται οι εκάστοτε κατηγορίες,

Θέρμανση και Ψύξη Σχολής

Στο κτίριο υπάρχουν εγκατεστημένες μονάδες θέρμανσης (καυστήρες φυσικού αερίου και λέβητες) και μονάδες ψύξης. Άλλες εξ αυτών λειτουργούν και άλλες όχι, λόγω βλαβών είτε των ιδίων είτε του δικτύου σωληνώσεων.

Η νέα φάση του κτιρίου έχει δικές της μονάδες ψύξης που καλύπτουν αυτόνομα τις ανάγκες της. Το ίδιο και τα αμφιθέατρα της Σχολής. Γι' αυτό τον λόγο τα τμήματα αυτά δεν έχουν συμπεριληφθεί στη μελέτη.

Ηλεκτρική Κατανάλωσης Σχολής

Προκειμένου να επιτευχθεί μια πιο ολοκληρωμένη αποτύπωση των αναγκών της Σχολής συμπληρωματικά με τα θερμικά και τα ψυκτικά φορτία πραγματοποιήθηκε καταμέτρηση των λαμπτήρων στους χώρους του κτιρίου η οποία συνδυάστηκε με καταγραφή μηχανημάτων στα εργαστήρια, υπολογιστικών μονάδων και άλλα πηγών κατανάλωσης ενέργειας. Τα αποτελέσματα αυτή της μελέτης παρουσιάζονται στο παράρτημα 8.2.

2.9.3 Παρεμβάσεις στο υφιστάμενο κτίριο

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, υπάρχουν διάφοροι τρόποι ενεργειακής βελτιστοποίησης των κτιρίων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, σε πρώτο στάδιο μελετήθηκε η θωράκιση της Σχολής με εξωτερική θερμική μόνωση, η αντικατάσταση των κουφωμάτων και των μονών υαλοπινάκων με κουφώματα αλουμινίου και διπλούς υαλοπίνακες, και η αντικατάσταση των θυρών με νέες πυράντοχες. Τέλος, ως μία ακόμα παρέμβαση μπορεί να θεωρηθεί η δόμηση τοιχοποιίας, αντικαθιστώντας της αλουμινοκατασκευές στα σημεία που «βλέπουν» προς τα αίθρια και το εξωτερικό της Σχολής.

Εκτός από τη μείωση στις απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης που προκύπτουν με υπολογισμούς, αυτές οι παρεμβάσεις στη Σχολή εξασφαλίζουν καλύτερες συνθήκες κατά τη παραμονή των ατόμων στο εσωτερικό της, προσθέτουν μεγαλύτερη αίσθηση ασφάλειας και επεκτείνουν τον χρόνο ζωής του κτιριακού συμπλέγματος.

2.10 Αντλία Θερμότητας

2.10.1 Αρχή Λειτουργίας

Η αντλία θερμότητας αποτελεί ένα θερμοδυναμικό σύστημα εκτόνωσης και συμπίεσης ενός κατάλληλου ψυκτικού μέσου το οποίο, όταν εξατμίζεται, απορροφά θερμική ενέργεια από μια πηγή και τη μεταφέρει σε ένα άλλο μέσο (νερό ή αέρας). Αποτελεί μια κλιματιστική συσκευή, η οποία έχει τη δυνατότητα αντιστροφής του κύκλου ψύξης, έτσι ώστε να παρέχει θέρμανση ή ψύξη. Αυτό πραγματοποιείται με μια απλή αναστροφή της κυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου. [36]- [41]

Η διάταξη της αντλίας θερμότητας είναι αντίστοιχη με αυτής μιας ψυκτικής μηχανής. Τα βασικά στοιχεία είναι:

- Ο συμπιεστής, όπου συμπιέζεται το ψυκτικό μέσο, το οποίο βρίσκεται σε αέρια κατάσταση
- Ο συμπυκνωτής, στον οποίο το ψυκτικό μέσο συμπυκνώνεται απορρίπτοντας θερμότητα
- Η βαλβίδα εκτόνωσης, στην οποία λαμβάνει χώρα η εκτόνωση του μέσου, ρυθμίζοντας έτσι τη ροή προς τον εξατμιστή
- Ο εξατμιστής, στον οποίο απορροφάται θερμότητα από το ψυκτικό μέσο
- Η τετράοδη βαλβίδα, η οποία αποτελεί μηχανισμό αντιστροφής της ροής και μέσω αυτής καθορίζεται η λειτουργία της αντλίας (θέρμανση ή ψύξη).

2.10.2 Λειτουργίες Θέρμανσης – Ψύξης

Σε λειτουργία θέρμανσης, ο κύκλος λειτουργίας αρχίζει καθώς το ψυκτικό μέσο διέρχεται από τον εξατμιστή απορροφώντας έτσι θερμότητα από την πηγή. Το ψυκτικό εξατμίζεται και εισέρχεται στον συμπιεστή, αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία και την πίεση του. Εν συνεχεία, το μέσο, το οποίο βρίσκεται σε αέρια κατάσταση, συμπυκνώνεται και η «αποθηκευμένη» θερμότητα μεταφέρεται στο μέσο του συστήματος διανομής θέρμανσης-ψύξης. Το ψυχρό και σε υγρή πλέον μορφή ψυκτικό μέσο διέρχεται από τη βαλβίδα εκτόνωσης, όπου και εξασφαλίζεται η ισενθαλπική εκτόνωσή του από την υψηλή πίεση του συμπυκνωτή, στη χαμηλή πίεση του εξατμιστή.

Κατά τη λειτουργία ψύξης, αντιστρέφοντας απλά τη ροή του μέσου και συνέπως τις λειτουργίες του εξατμιστή και του συμπυκνωτή επιτυγχάνεται το αντίθετο αποτέλεσμα. Θερμότητα απορροφάται από το μέσο του συστήματος διανομής ψύξης του κτιρίου και τη μεταφέρει στο ψυκτικό μέσο της αντλίας. Ακολούθως, το ψυκτικό

μέσο συμπιέζεται, διέρχεται από τον συμπυκνωτή μεταφέροντας έτσι την θερμότητα στο περιβάλλον.

Η αποδοτικότητα της αντλίας θερμότητας χαρακτηρίζεται από το συντελεστή λειτουργίας COP (Coefficient of Performance):

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}} = \frac{\dot{m} \cdot q_L}{\dot{m} \cdot w_{comp}},$$

Όπου,

\dot{Q}_L : η ψυκτική ισχύς, [W]

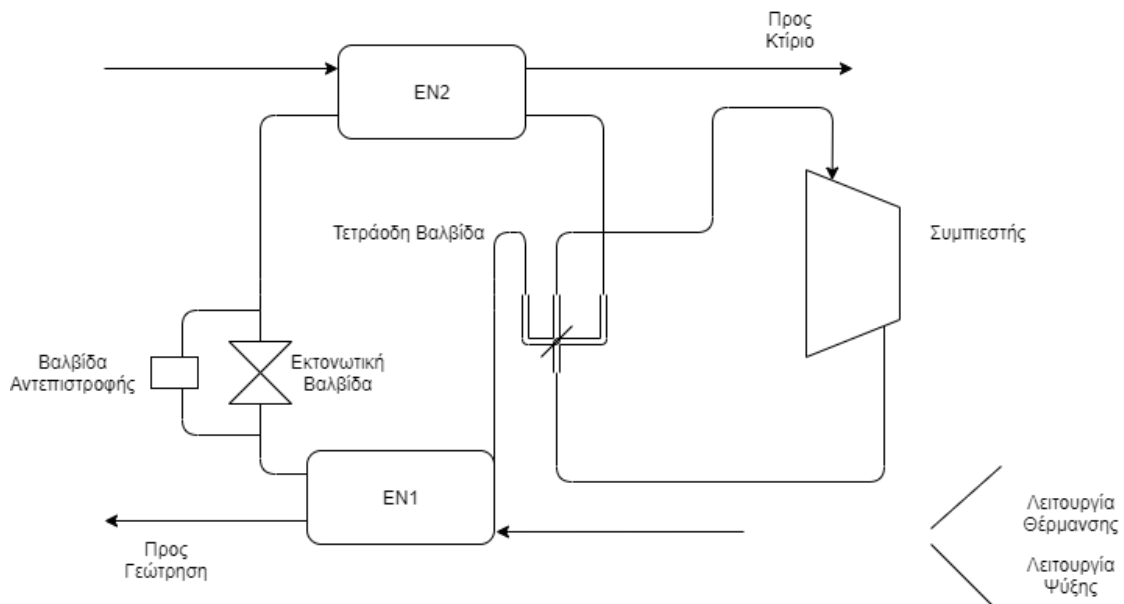
\dot{W} : η ισχύς του συμπιεστή, [W]

\dot{m} : η μαζική παροχή του ψυκτικού μέσου, [kg/s]

q_L : η ψυκτική ικανότητα του μέσου, [J/kg]

w_{comp} : το έργο στον συμπιεστή, [J/kg]

Λόγω των δύο λειτουργιών της αντλίας ορίζεται συντελεστής λειτουργίας για θέρμανση και αντίστοιχος για ψύξη.



Εικόνα 2.5: Διάγραμμα ροής λειτουργίας αντλίας θερμότητας για θέρμανση και ψύξη

2.10.3 Κατηγορίες αντλιών θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας, ανάλογα με το μέσο από όπου αντλείται και το μέσο όπου αποβάλλεται η θερμότητα διακρίνονται σε:

- Αέρα-Αέρα (A - A)
- Αέρα-Νερού (A - N)
- Νερού-Νερού (N - N)
- Νερού-Αέρα (N - A)
- Εδάφους-Αέρα (E - A)
- Εδάφους-Νερού (E - N)

Στις κατηγορίες πρώτα αναγράφεται το μέσο από όπου αντλείται (ή απορρίπτεται) θερμότητα. Το δεύτερο μέσο, επιλέγεται ανάλογα το σύστημα διανομής θέρμανσης/ψύξης της κτιριακής εγκατάστασης. [37]

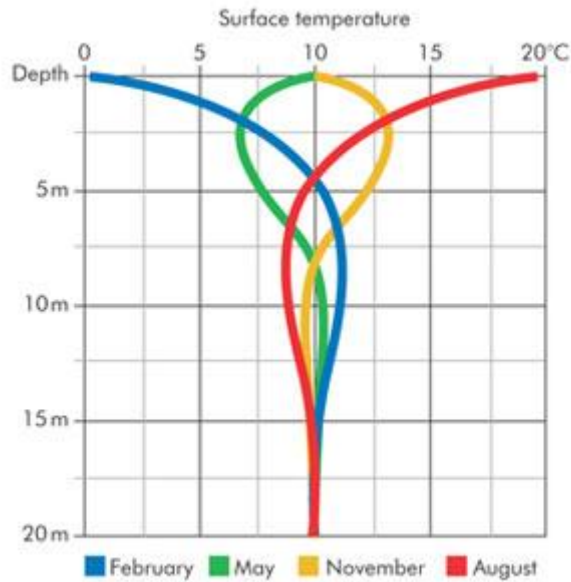
Για συστήματα διανομής με αέρα, το σύστημα τις αντλίας θερμότητας, για μεγάλες εγκαταστάσεις, συνδέεται με Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες. Τα συστήματα που διανέμουν θερμότητα με κυκλοφορία νερού εντός του κτιρίου χρησιμοποιούν συνήθως στοιχεία αέρος-νερού (FanCoil).

2.11 Συστήματα Αβαθούς Γεωθερμίας – Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας

Τα συστήματα αβαθούς γεωθερμίας αφορούν 4 από τις 6 κατηγορίες αντλιών θερμότητας. Ουσιαστικά ορίζεται ως πηγή το νερό (επιφανειακό ή υπόγειο) ή το υπέδαφος. [42]

Ένα σύστημα Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας, που έχει ως στόχο την θέρμανση και την ψύξη χώρων, αποτελείται από το σύστημα εναλλαγής θερμότητας εντός του εδάφους (γεω-εναλλάκτης ή υδρογεώτρηση), την γεωθερμική αντλία θερμότητας και το σύστημα διανομής ψύξης-θέρμανσης εντός του κτιρίου. Η αρχή λειτουργίας αυτού του συστήματος στηρίζεται, στη σταθερή θερμοκρασία του εδάφους και των υδάτων, η οποία δεν ξεπερνά τους 25°C.

Στο διάγραμμα 2.2 παρουσιάζεται η διακύμανση της θερμοκρασίας του εδάφους συναρτήσει του βάθους. Όπως φαίνεται, οι μεταβολές της θερμοκρασίας του εδάφους πρακτικά μηδενίζονται σε βάθη μεγαλύτερα των 15-20m από την επιφάνεια.



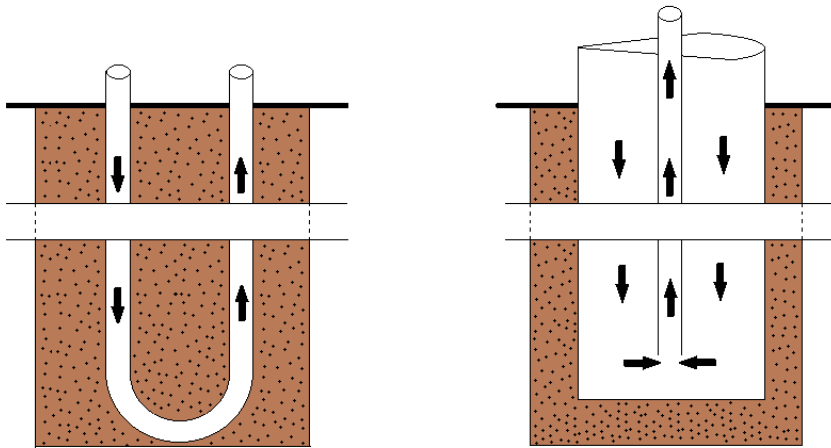
Διάγραμμα 2.2: Διακύμανση της Θερμοκρασίας συναρτήσει του βάθους στο υπέδαφος (πηγή: FWT) [43]

2.11.1 Συστήματα Κλειστού Βρόχου

Τα γεωθερμικά συστήματα αντλιών θερμότητας κλειστού βρόχου αποτελούνται από την αντλία θερμότητας και τη σύνδεση αυτής με ένα κλειστό δίκτυο πλαστικών αγωγών στο υπέδαφος. Το δίκτυο αυτό αναφέρεται ως γεω-εναλλάκτης ή γεωθερμικός εναλλάκτης. Η αξιοποίηση της θερμότητας του υπεδάφους πραγματοποιείται με ανακυκλοφορία μίγματος νερού-αντιψυκτικού ή καθαρού νερού ανάλογα με την περίπτωση. Τα συστήματα κλειστού βρόχου διακρίνονται σε κάθετα και οριζόντια, ανάλογα με την δομή του γεωθερμικού εναλλάκτη στο υπέδαφος. [44]

➤ Σύστημα Κάθετων Γεωθερμικών Εναλλακτών

Οι κύριες εφαρμογές κάθετων γεωεναλλακτών είναι οι τύπου U (U-tube) και οι ομοαξονικοί (Coaxial). Στους αγωγούς τύπου U τοποθετείται εντός της γεώτρησης ζεύγος ευθύγραμμων αγωγών. Είναι εφικτό, σε κάθε γεώτρηση, να τοποθετηθούν περισσότερα από ένα ζεύγη σωλήνων U. Αυτή η πρακτική εφαρμόζεται όλο και περισσότερο σε σύγχρονες εγκαταστάσεις. Οι ομοαξονικού τύπου γεωεναλλάκτες αποτελούνται από δύο ευθύγραμμους ομοαξονικούς αγωγούς διαφορετικής διαμέτρου. Το ρευστό μεταφέρεται από τον συλλέκτη διαμέσου του κενού μεταξύ των αγωγών προς το τερματικό σημείο, ενώ ο εσωτερικός αγωγός αποτελεί την άνοδο του ρευστού.

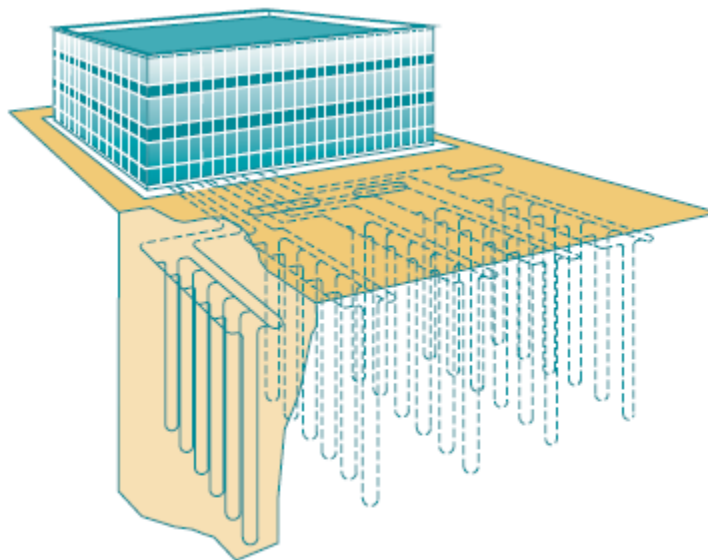


Εικόνα 2.6: Σωλήνας τύπου U και ομοαξονικός σωλήνας [37]

Η διαμόρφωση των σωληνώσεων σε κάθετη διάταξη αποφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, κάποια από τα οποία είναι τα εξής:

- Απαιτείται μικρή εδαφική έκταση, πάντα ανάλογα το μέγεθος της εγκατάστασης
- Έχουν μεγαλύτερη και πιο σταθερή απόδοση κατά την διάρκεια του έτους
- Έχουν μικρό έως μηδενικό κόστος συντήρησης

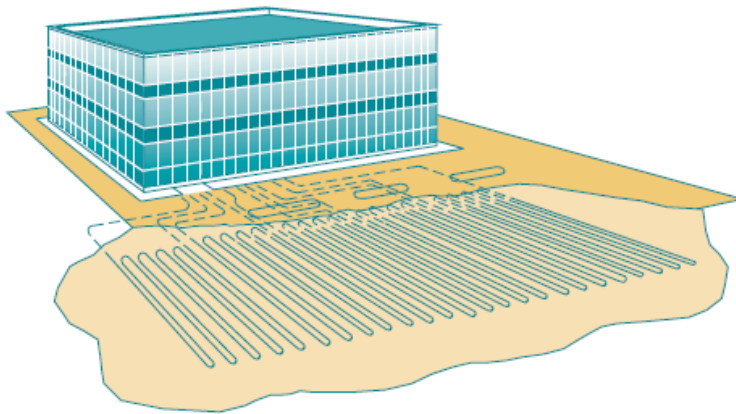
Παρ' όλα αυτά, έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής αφού μετά την εγκατάσταση τους δεν δύναται η επισκευή σε περίπτωση βλάβης. Εξάλλου, απαιτούν μελέτες ακριβείας και ολοκληρωμένα σχεδιαστικά εργαλεία για την ακριβή διαστασιολόγησή τους. Χωρίς αυτά, είναι πολύ πιθανό να γίνονται υπερεκτιμήσεις του συνολικού απαιτούμενου βάθους γεωτρήσεων, ανεβάζοντας το κόστος σε υψηλότερα επίπεδα.



Εικόνα 2.7: Σύστημα κάθετων γεωεναλλακτών (πηγή RETScreen) [45]

➤ Σύστημα Οριζόντιων Γεωθερμικών Εναλλακτών

Σε αυτού του τύπου συστήματος, το δίκτυο σωληνώσεων τοποθετείται οριζόντια και σε βάθος το πολύ 2m. Το συγκεκριμένο σύστημα πλεονεκτεί στην ευκολία εγκατάστασης και το κόστος είναι σαφώς μικρότερο, καθώς απαιτούνται εκσκαφές τύπου «χαρακωμάτων», ώστε να τοποθετηθεί το δίκτυο. Ωστόσο, το σύστημα απαιτεί μεγάλη έκταση για την εγκατάσταση του δικτύου. Επιπλέον, το συνολικό μήκος αγωγών είναι σχετικά μεγαλύτερο σε σύγκριση με το κάθετο σύστημα.



Εικόνα 2.8: Σύστημα οριζόντιων γεωεναλλακτών (πηγή: RETScreen) [45]

Σε μια προσπάθεια να μειωθεί η απαιτούμενη έκταση, εφαρμόζεται μια παραλλαγή της οριζόντιας διάταξης τοποθετώντας το δίκτυο σωληνώσεων σε μορφή spiral.



Εικόνα 2.9: Διάταξη οριζόντιου δικτύου [43]

2.11.2 Συστήματα Ανοιχτού Βρόχου

Οι γεωθερμικοί εναλλάκτες ανοικτού βρόχου χρησιμοποιούν επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα ως πηγή θερμότητας (ή δοχείο απόδοσης θερμότητας σε λειτουργία ψύξης). Αντλώντας νερό από έναν υπόγειο ταμιευτήρα, το οποίο διέρχεται από έναν κεντρικό εναλλάκτη θερμότητας, αποδίδει ή απορροφά θερμότητα ανάλογα την λειτουργία της ΓΑΘ. Στη συνέχεια, το νερό εισέρχεται στον ταμιευτήρα μέσω μιας δεύτερης γεώτρησης.

Το σύστημα αυτό πλεονεκτεί στα εξής σημεία:

- Σταθερή απόδοση λόγω μικρών θερμοκρασιακών διακυμάνσεων της πηγής
- Μικρό κόστος εγκατάστασης συγκριτικά με τα συστήματα κλειστού βρόχου

Βασική προϋπόθεση είναι η ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα, η καλή χημική σύσταση του υπεδάφικου νερού και η σχετικά υψηλή υδροστατική στάθμη για ευκολία κατά την άντληση. Ωστόσο, μπορεί να υπάρχουν και τοπικοί περιβαλλοντικοί περιορισμοί στην εκάστοτε μελέτη εφαρμογής.

2.11.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Ένα σύστημα Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας εμφανίζει αρκετά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τα συμβατικά συστήματα ψύξης/θέρμανσης. Η γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη 24 ώρες την ημέρα για ολόκληρο τον χρόνο, αξιοποιώντας την θερμοκρασία του εδάφους ή του νερού, ανάλογα το σύστημα, η οποία παραμένει πρακτικά σταθερή, ανεξάρτητα από τις εξωτερικές συνθήκες. Εμφανίζουν υψηλή απόδοση σε θέρμανση και ψύξη χώρων, καθώς και σε παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

Τα βασικά πλεονεκτήματα ενός συστήματος ΓΑΘ έναντι συμβατικών συστημάτων ψύξης/θέρμανσης είναι τα εξής [46]:

- Διαθέσιμη όλο τον χρόνο
- Φιλική προς το περιβάλλον, μείωση εκπομπών CO₂
- Χαμηλό κόστος συντήρησης της εγκατάστασης και του εξοπλισμού
- Μεγάλη εξοικονόμηση της ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση και ψύξη ενός κτιρίου, λόγω υψηλής απόδοσης
- Μειωμένος θόρυβος κατά τη λειτουργία
- Μεγαλύτερη ασφάλεια σε σχέση με μια εγκατάσταση πετρελαίου ή φυσικού αερίου

- Η εγκατάσταση της ΑΘ απαιτεί μικρό χώρο

Παρ' όλα αυτά, εμφανίζουν και κάποια μειονεκτήματα όπως:

- πολύ υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα
- δυσκολία επισκευής σε περίπτωση βλάβης κλειστού βρόχου
- Απαιτήση μεγάλης έκτασης για εγκαταστάσεις υψηλών αναγκών με συστήματα κλειστού βρόχου οριζόντιας διάταξης και αντίστοιχα μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων με συστήματα κλειστού βρόχου κάθετης διάταξης
- Απαιτείται μεγάλη παροχή καθαρού νερού στα συστήματα ανοικτού βρόχου

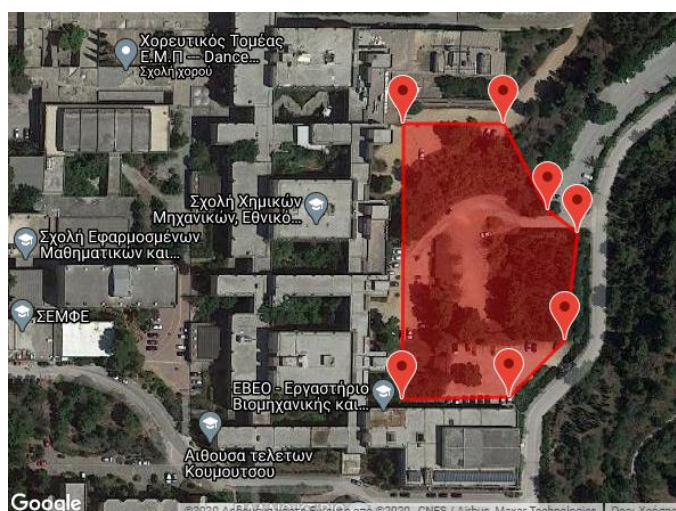
Όσον αφορά το αρχικό κόστος, τα τελευταία χρόνια υπάρχουν προγράμματα που επιχορηγούν τέτοιες επενδύσεις.

Γενικότερα, με τα μεγάλα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει ένα σύστημα ΓΑΘ, μπορεί να αποτελέσει ακόμη και την πρώτη επιλογή συστήματος θέρμανσης/ψύξης στο μέλλον και ιδίως για κτιριακές υποδομές.

2.11.4 Πιθανή Εφαρμογή Γεωθερμικού Συστήματος στη Σχολή Χημικών Μηχανικών (κλειστού βρόχου με κάθετη Διάταξη)

Η πρώτη παράμετρος που πρέπει να προσδιοριστεί είναι αν υπάρχει επαρκής εδαφική έκταση για ένα σύστημα γεωθερμίας. Ανάλογα, πάντα με την εδαφική έκταση, την σύσταση του εδάφους και την ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα επιλέγεται το κατάλληλο σύστημα για την εφαρμογή. Η πιο πιθανή εφαρμογή είναι αυτή του κλειστού βρόχου με κάθετη διάταξη, καθώς η μόνη έκταση που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί κοντά στις κτιριακές εγκαταστάσεις είναι οι ελεύθεροι χώροι στην ανατολική πλευρά.

Από αεροφωτογραφίες, φαίνεται ότι μπορεί να αξιοποιηθεί σε κάποιο ποσοστό η έκταση μιας επιφάνειας περίπου 7.000m².



Εικόνα 2.10: Κάτοψη Κτιρίου Σχολής από δορυφόρο

Ταυτόχρονα πρέπει να ελεγχθούν οι περιοριστικοί όροι της νομοθεσίας. Τα συστήματα ΓΑΘ πρέπει να:

- βρίσκονται εντός της ρυμοτομικής γραμμής,
- απέχουν τουλάχιστον 2 m από τα όρια της ιδιοκτησίας,
- απέχουν τουλάχιστον 5 m από υφιστάμενο γειτονικό κτίσμα διαφορετικής ιδιοκτησίας,
- απέχουν τουλάχιστον 5 m από το όριο απαλλοτριωμένης ζώνης σιδηροδρομικής γραμμής,
- απέχουν τουλάχιστον 10 m από κεντρικό αγωγό μεταφοράς φυσικού αερίου,
- απέχουν τουλάχιστον 5 m από κεντρικούς υπόγειους αγωγούς (ύδρευσης, άρδευσης, αποχέτευσης),
- απέχουν τουλάχιστον 10 m από γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης εκτός, αν ανάμεσα στη γραμμή και στη γεώτρηση μεσολαβεί κτίσμα,
- απέχουν τουλάχιστον 5 m από γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέσης τάσης, εκτός αν ανάμεσα στη γραμμή και στη γεώτρηση μεσολαβεί κτίσμα.

Όσον αφορά στη γεωλογία του εδάφους της περιοχής, αυτή χωρίζεται σε 3 στρώματα. Το πρώτο στρώμα, το οποίο φτάνει σε βάθος 40m, χαρακτηρίζεται από ασθενώς συγκολλημένα γωνιώδη θραύσματα μαρμάρου (ψηφίδες) με μικρό ποσοστό αργιλοπηλών (πρόκειται για κορήματα από την πλαγιά του Υμηττού). Η θερμική αγωγιμότητα του στρώματος προσδιορίζεται σε 1.5W/mK. Το δεύτερο στρώμα χαρακτηρίζεται κυρίως από μαύρους αργιλικούς σχιστόλιθους με παρεμβολές λεπτοπλακωδών μαρμάρων και φτάνει σε βάθος περίπου 90m, ενώ η θερμική του αγωγιμότητα προσδιορίζεται στα 2.6W/mK. [47]

Οι τιμές μπορούν να επιβεβαιωθούν από τη βιβλιογραφία για πετρώματα στον Ελλαδικό χώρο.

Πίνακας 2.3: Ιδιότητες μερικών πετρωμάτων [37]

Πέτρωμα (τύπος)	Πυκνότητα ρ	Θερμική αγωγιμότητα λ		Ειδική θερμοχωρητικότητα
	*10 ³ kg/m ³	Τυπική διακύμανση τιμών W/(mK)	Τυπική τιμή W/(mK)	κατ' όγκο MJ/ (m ³ K)
Μεταμορφωσιγενή πετρώματα				
Μάρμαρο	2,5 - 2,8	1,3 - 3,1	2,1	2,0
Μεταγαλαζίτης	περίπου 2,7	περίπου 5,8	5,8	2,1
Αργιλλώδης σχιστόλιθος	2,7	1,5 - 2,6	2,1	2,2 - 2,5

Στη συνέχεια, εφόσον χωροταξικά δεν προκύπτει κανένας περιορισμός, μπορεί να πραγματοποιηθεί μελέτη των απαιτούμενων γεωτρήσεων, αφού είναι γνωστά τα φορτία και οι απαιτήσεις των κλιματιζόμενων χώρων. Εδώ πρέπει να γίνει σαφής ο ορισμός του γεωεναλλάκτη. Ως γεωεναλλάκτης ορίζεται το σύνολο των γεωτρήσεων, ανεξαρτήτως του πλήθους των σωληνώσεων. Εντός μιας γεώτρησης είναι εφικτό να τοποθετηθούν από 1 έως 3 ζεύγη σωλήνων τύπου U από πολυαιθυλένιο. Με την αύξηση του συνολικού μήκους δικτύου σωληνώσεων στον γεωεναλλάκτη επιτυγχάνεται αύξηση της αποτελεσματικής επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας, μειώνοντας έτσι σχετικά την επίδραση της υψηλής θερμικής αντίστασης των σωλήνων πολυαιθυλενίου.

Η γεωθερμική αντλία θερμότητας εγκαθίσταται σε χώρο μηχανοστασίου και συνδέεται μέσω ενός διανομέα προσαγωγής και ενός συλλέκτη επιστροφής. Ταυτόχρονα η γεωθερμική εγκατάσταση πρέπει να περιλαμβάνει:

- Δοχείο Αδρανείας
- Δοχείο διαστολής
- Αποστάτες
- Εξαρτήματα σύνδεσης σωληνώσεων
- Βαλβίδες αντεπιστροφής
- Αντλίες κυκλοφορίας με ισχύ περίπου το 1,7% της ισχύος της Αντλίας Θερμότητας
- Ηλεκτρικό πίνακα τροφοδοσίας των μηχανημάτων του συστήματος
- Ηλεκτρικά δίκτυα και δίκτυα αυτοματισμών

3. Υπολογιστικό Μέρος

3.1 Διαδικασία υπολογισμού θερμικών φορτίων

Όπως αναφέρθηκε και πριν, οι χώροι που θερμαίνονται είναι:

- Εργαστήρια
- Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια
- Αίθουσες Διδασκαλίας & Συνεδριάσεων
- Διάδρομοι
- Εργαστήρια Πληροφορικής
- Βιβλιοθήκες
- Αμφιθέατρα

Τα θερμικά φορτία που μελετήθηκαν για τους χώρους της Σχολής χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Θερμικά φορτία από τα δομικά στοιχεία, όπως τοιχοποιία, πόρτες, παράθυρα κλπ.
- Θερμικά φορτία από είσοδο ψυχρού αέρα περιβάλλοντος.
- Θερμικά φορτία από είσοδο μηχανικού αερισμού παροχής νωπού αέρα.

Τα θερμικά φορτία από αγωγή υπολογίζονται από τον τύπο:

$$Q_i = A \cdot U \cdot \Delta T, [W] \quad (3.1.1)$$

Όπου,

A: επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας δομικού στοιχείου, $[m^2]$

U: Θερμοπερατότητα δομικού στοιχείου, $[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}]$

ΔT : Διαφορά θερμοκρασίας, $[^\circ C]$

Ενώ, τα θερμικά φορτία από ψυχρό αέρα περιβάλλοντος υπολογίζονται από τον τύπο:

$$Q_i = \dot{V} \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T, [W] \quad (3.1.2)$$

Όπου,

\dot{V} : ρυθμός ανανέωσης αέρα, $[m^3/s]$

ρ : πυκνότητα αέρα, $[kg/m^3]$

C_p : ειδική θερμότητα αέρα, $[J/(kg \cdot ^\circ C)]$

ΔT : Διαφορά θερμοκρασίας, $[^\circ C]$

Σημειώνεται ότι η διαφορά θερμοκρασίας αποτελεί τη διαφορά της θερμοκρασίας άνεσης και της θερμοκρασίας σχεδιασμού θέρμανσης.

Αν θεωρήσουμε i την κατηγορία θερμικών φορτίων, τότε για έναν χώρο μελέτης ισχύει:

$$Q_H = \sum_i Q_i (3.1.3)$$

Όπου, με H συμβολίζεται η θέρμανση (Heating).

Οι υπολογισμοί έγιναν με βάση αυτές τις εξισώσεις για όλους τους χώρους θέρμανσης με χρήση των λογισμικών MATLAB και Excel, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

3.2 Διαδικασία υπολογισμού ψυκτικών φορτίων

Όπως αναφέρθηκε και πριν, οι χώροι που κλιματίζονται είναι:

- Εργαστήρια
- Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια
- Αίθουσες Διδασκαλίας & Συνεδριάσεων
- Εργαστήρια Πληροφορικής
- Βιβλιοθήκες
- Αμφιθέατρα

Τα ψυκτικά φορτία που μελετήθηκαν για τους χώρους της Σχολής χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Ψυκτικά φορτία από τα δομικά στοιχεία, όπως τοιχοποιία, πόρτες, παράθυρα κλπ.
- Ψυκτικά φορτία από ηλιακά κέρδη από τους υαλοπίνακες
- Ψυκτικά φορτία από είσοδο θερμού αέρα περιβάλλοντος, αισθητά και λανθάνοντα
- Ψυκτικά φορτία από είσοδο μηχανικού αερισμού παροχής νωπού αέρα
- Ψυκτικά φορτία από τον μηχανολογικό και εργαστηριακό εξοπλισμό
- Ψυκτικά φορτία από εκπομπή θερμότητας από τα άτομα στον χώρο
- Ψυκτικά φορτία από τον φωτισμό

Τα ψυκτικά φορτία από αγωγή για στοιχεία σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον υπολογίζονται από τον τύπο:

$$Q_i = A \cdot U \cdot CLTD_{CORR}, [W] \quad (3.2.1)$$

Όπου,

A: επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας δομικού στοιχείου τοιχοποιίας, οροφής και υαλοπινάκων, [m^2]

U: Θερμοπερατότητα δομικού στοιχείου, [$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$]

$CLTD_{CORR}$: Η διορθωμένη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ περιβάλλοντος και εσωτερικού χώρου όπως αυτή προσδιορίζεται από τη μέθοδο υπολογισμού CLTD/CLF κατά ASHRAE, [$^\circ C$]

Τα ηλιακά κέρδη από τους υαλοπίνακες:

$$Q_i = A \cdot SC \cdot SHGF \cdot CLF, [W] \quad (3.2.2)$$

Όπου,

A: επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας παραθύρων, [m^2]

SC: συντελεστής σκίασης,

SHGF: συντελεστής ηλιακών κερδών, [W/m^2]

CLF: συντελεστής ψυκτικών φορτίων όπως αυτός προσδιορίζεται από τη μέθοδο υπολογισμού CLTD/CLF κατά ASHRAE.

Για τα φορτία από είσοδο θερμού αέρα:

Για τα αισθητά:

$$Q_i = \dot{V} \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T, [W] \quad (3.2.3)$$

Όπου,

\dot{V} : ρυθμός ανανέωσης αέρα, [m^3/s]

ρ : πυκνότητα αέρα, [kg/m^3]

C_p : ειδική θερμότητα αέρα, [$J/(kg \cdot ^\circ C)$]

ΔT : Διαφορά θερμοκρασίας, [$^\circ C$]

Για τα λανθάνοντα:

$$Q_i = \dot{V} \cdot \rho \cdot h_{fg} \cdot \Delta_w, [W] \quad (3.2.4)$$

Όπου,

\dot{V} : ρυθμός ανανέωσης αέρα, [m^3/s]

ρ : πυκνότητα αέρα, [kg/m^3]

h_{fg} : η ειδική ενθαλπία των υδρατμών του αέρα, [J/kg]

Δ_w : η διαφορά της ειδικής υγρασίας μεταξύ εισερχόμενου ρεύματος αέρα και κλιματιζόμενου χώρου

Για τα φορτία από εξοπλισμό και φωτισμό:

$$Q_i = Q_{l,m} \cdot CLF, (W) \quad (3.2.5)$$

Όπου ,

Q : Εγκατεστημένη Ισχύς (I: φωτισμού, eq: μηχανολογικού και εργαστηριακού εξοπλισμού), [W]

CLF : συντελεστής ψυκτικών φορτίων όπως αυτός προσδιορίζεται από τη μέθοδο υπολογισμού CLTD/CLF κατά ASHRAE.

Για τα φορτία από ανθρώπους:

$$Q_i = Q_p \cdot N = 75 * N, [W] \quad (3.2.6)$$

Όπου,

Q_p : η μέση εκπεμπόμενη ισχύς των ανθρώπων, [W]

N : πλήθος ατόμων σε ένα χώρο

Σημειώνεται ότι η διαφορά θερμοκρασίας αποτελεί τη διαφορά της θερμοκρασίας άνεσης και της θερμοκρασίας σχεδιασμού ψύξης.

Αν θεωρήσουμε i την κατηγορία ψυκτικών φορτίων, τότε για έναν χώρο μελέτης ισχύει:

$$Q_C = \sum_i Q_i \quad (3.2.7)$$

Όπου C συμβολίζεται η ψύξη (Cooling).

Επισημαίνεται ότι οι συντελεστές CLTD, CLF, SHGF και SC προέρχονται από πίνακες μελέτης. [36]

Οι υπολογισμοί έγιναν με βάση αυτές τις εξισώσεις για όλους τους χώρους θέρμανσης με χρήση των λογισμικών MATLAB και Excel, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

3.3 Διαδικασία Υπολογισμών φορτίων μέσω Excel και Matlab

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο υπολογισμός των φορτίων έγινε με χρήση Excel και Matlab. Για την καλύτερη διαχείριση των δεδομένων, οι χώροι μελετήθηκαν ανά επίπεδο και συνολικά μελετήθηκαν 6 επίπεδα, από 0 έως 5. Ως δεδομένα στο Excel εισήχθησαν τα μήκη και ο αριθμός των δομικών στοιχείων ανάλογα με τον προσανατολισμό τους, το είδος χώρου που μελετάται και η έκταση του δαπέδου και της οροφής. Όλα τα στοιχεία εισήχθησαν, όπως επισημάνθηκε και προηγουμένως, και ανάλογα με το είδος χώρου που έρχεται σε άμεση επαφή.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται συνοπτικά ο τρόπος που λειτούργησε η όλη διαδικασία. Το συνολικό Script μπορεί να βρεθεί στο παράρτημα 8.3.

Συνοπτική Διαδικασία υπολογισμού

Έστω ότι το επίπεδο μελέτης στη συγκεκριμένη περίπτωση ήταν το *i*. Το Script «άνοιγε» το αντίστοιχο Excel αρχείο για το συγκεκριμένο επίπεδο. Μέσα στο Excel βρισκόταν ένας πίνακας όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1.

Level	Room	Sheet	Range1	Range2	RoomType
i	Όνομα Χώρου 1	Sheet Database για Χώρο 1	Range 1 Δεδομένων για Χώρο 1	Range 2 Δεδομένων για Χώρο 1	Τύπος Χώρου 1
i	Όνομα Χώρου 2	Sheet Database για Χώρο 2	Range 1 Δεδομένων για Χώρο 2	Range 2 Δεδομένων για Χώρο 2	Τύπος Χώρου 2
i	Όνομα Χώρου 3	Sheet Database για Χώρο 3	Range 1 Δεδομένων για Χώρο 3	Range 2 Δεδομένων για Χώρο 3	Τύπος Χώρου 3
i	Όνομα Χώρου 4	Sheet Database για Χώρο 4	Range 1 Δεδομένων για Χώρο 4	Range 2 Δεδομένων για Χώρο 4	Τύπος Χώρου 4
i	Όνομα Χώρου 5	Sheet Database για Χώρο 5	Range 1 Δεδομένων για Χώρο 5	Range 2 Δεδομένων για Χώρο 5	Τύπος Χώρου 5
i	Όνομα Χώρου 6	Sheet Database για Χώρο 6	Range 1 Δεδομένων για Χώρο 6	Range 2 Δεδομένων για Χώρο 6	Τύπος Χώρου 6
i	Όνομα Χώρου 7	Sheet Database για Χώρο 7	Range 1 Δεδομένων για Χώρο 7	Range 2 Δεδομένων για Χώρο 7	Τύπος Χώρου 7

Εικόνα 3.1: Παράδειγμα πίνακα βάσης δεδομένων ανά επίπεδο

Στην εικόνα 3.2 εμφανίζεται ο πίνακας δεδομένων που συμπληρώνεται με τα μήκη και το πλήθος των διαφόρων στοιχείων. Στο πρώτο μισό ορίζονται τα μήκη και στο δεύτερο αντίστοιχα το πλήθος. Το κόκκινο πλαίσιο ορίζει το Range 1.

Όνομα Χώρου 1		Βορράς	Νότος	Ανατολή	Δύση
Variable	Check				
Τοίχος	Τοίχος σε επαφή με αέρα				
Τοίχος	Τοίχος σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο				
Τοίχος	Τοίχος σε επαφή με θερμαινόμενο χώρο				
Μικροί Υαλοπίνακες	Μονοί υαλοπίνακες				
Μεγάλοι Υαλοπίνακες	Μονοί υαλοπίνακες				
Μικροί Υαλοπίνακες	Διπλοί Υαλοπίνακες				
Μεγάλοι Υαλοπίνακες	Διπλοί Υαλοπίνακες				
Υαλότουβλα	Υαλότουβλα				
Πόρτες	Πόρτες σε επαφή με αέρα				
Πόρτες	Πόρτες σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο				
Πόρτες	Πόρτες σε επαφή με θερμαινόμενο χώρο				
Τοίχος	Τοίχος σε επαφή με αέρα				
Τοίχος	Τοίχος σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο				
Τοίχος	Τοίχος σε επαφή με θερμαινόμενο χώρο				
Μικροί Υαλοπίνακες	Μονοί υαλοπίνακες				
Μεγάλοι Υαλοπίνακες	Μονοί υαλοπίνακες				
Μικροί Υαλοπίνακες	Διπλοί Υαλοπίνακες				
Μεγάλοι Υαλοπίνακες	Διπλοί Υαλοπίνακες				
Υαλότουβλα	Υαλότουβλα				
Πόρτες	Πόρτες σε επαφή με αέρα				
Πόρτες	Πόρτες σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο				
Πόρτες	Πόρτες σε επαφή με θερμαινόμενο χώρο				

Εικόνα 3.2: Παράδειγμα πίνακα δεδομένων μηκών και πλήθους

Στην εικόνα 3.3 εισάγονται τα δεδομένα έκτασης οροφής και δαπέδου για κάθε χώρο. Το μωβ πλαίσιο ορίζει το Range 2.

Όνομα Χώρου 1	
Ceil & Floor	Area
Οροφή σε επαφή με αέρα	
Οροφή σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	
Οροφή σε επαφή με θερμαινόμενο χώρο	
Δάπεδο σε επαφή με έδαφος	
Δάπεδο σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	
Δάπεδο σε επαφή με θερμαινόμενο χώρο	
Δάπεδο σε επαφή με αέρα	

Εικόνα 3.3: Παράδειγμα πίνακα δεδομένων έκτασης οροφής και δαπέδου

Χρησιμοποιώντας επαναληπτικές μεθόδους, το Script υπολογίζει τα διάφορα φορτία, όπως ορίστηκαν προηγουμένως, για όλους τους χώρους και για όλα τα επίπεδα. Ορισμένα φορτία δεν χρειάστηκε να υπολογιστούν με τη βοήθεια Matlab και περάστηκαν χειροκίνητα στα τελικά αποτελέσματα.

Στο τέλος κάθε μελέτης, σε κάθε αρχείο εκτυπωνόταν μέσα από το Script τα αποτελέσματα για αξιοποίηση τους, όπως φαίνονται στις εικόνες 3.4 και 3.5.

Για τα θερμικά φορτία τα αποτελέσματα είναι της εξής μορφής:

<u>Συνολική επιφάνεια δαπέδου</u>	<u>Φορτία από τοιχοποιία, πόρτες και παράθυρα</u>	<u>Φορτία από οροφή και δάπεδο</u>	<u>Φορτία από είσοδο ψυχρού αέρα</u>	<u>Φορτία από είσοδο μηχανικού αερισμού</u>

Εικόνα 3.4: Παράδειγμα πίνακα αποτελεσμάτων θερμικών φορτίων

Τα αποτελέσματα των ψυκτικών φορτίων φέρουν την εξής μορφή:

<u>Συνολική επιφάνεια δαπέδου</u>	<u>Φορτία από τοιχοποιία, πόρτες και παράθυρα</u>	<u>Φορτία από οροφή και δάπεδο</u>	<u>Φορτία από είσοδο ψυχρού αέρα αισθητά</u>	<u>Φορτία από είσοδο μηχανικού αερισμού</u>	<u>Φορτία από είσοδο ψυχρού αέρα λανθάνοντα</u>	<u>Φορτία από ηλιακά κέρδη</u>	<u>Φορτία από τους ανθρώπους</u>	<u>Φορτία από το φωτισμό</u>	<u>Φορτία από τον εξοπλισμό</u>

Εικόνα 3.5: Παράδειγμα πίνακα αποτελεσμάτων ψυκτικών φορτίων

Ακολουθώντας αυτή τη διαδικασία υπολογίζονται τα θερμικά και ψυκτικά φορτία με τη χρήση του σωστού Script. Τα αποτελέσματα για κάθε χώρο μπορούν να βρεθούν στο **Παράρτημα 2**.

Η ίδια λογική χρησιμοποιήθηκε τόσο στα φορτία στην υφιστάμενη κατάσταση του κτιρίου όσο και στα φορτία μετά τις παρεμβάσεις, κάνοντας όπως είναι λογικό τις απαραίτητες αλλαγές στα δομικά στοιχεία. Ο σωστός προσδιορισμός των χαρακτηριστικών είναι ιδιαίτερα σημαντικός, καθώς πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι σωστές τιμές στα διάφορα μεγέθη, όπως για παράδειγμα η σωστή τιμή θερμοπερατότητας.

Πριν γίνει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων και η αξιολόγηση τους, πρέπει να σημειωθούν οι διάφορες χαρακτηριστικές τιμές θερμοκρασίας, θερμοπερατότητας και διαστάσεων ανά περίπτωση που χρησιμοποιήθηκαν. Γι' αυτό τον λόγο συμπληρώθηκε ο πίνακας 3.1.

3.4 Δεδομένα τιμών που χρησιμοποιήθηκαν για την υφιστάμενη κατάσταση

Πίνακας 3.1: Δεδομένων υφιστάμενης κατάστασης κτιρίου

Δεδομένα	Τιμή	Μονάδα
Θερμοκρασία σχεδιασμού θέρμανσης	4,80	°C
Θερμοκρασία άνεσης θέρμανσης	20,0	°C
Θερμοκρασιακή διαφορά θέρμανσης	15,20	°C
Θερμοκρασία σχεδιασμού ψύξης	35,90	°C
Θερμοκρασία άνεσης ψύξης	25,50	°C
Θερμοκρασιακή διαφορά ψύξης	10,40	°C
Θερμοπερατότητα τοιχοποιίας σε επαφή με αέρα	2,78	W/(°C*m ²)
Θερμοπερατότητα τοιχοποιίας σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	1,39	W/(°C*m ²)
Θερμοπερατότητα τοιχοποιίας σε επαφή με θερμαινόμενο χώρο	0	W/(°C*m ²)
Θερμοπερατότητα δαπέδου σε επαφή με αέρα	2,75	W/(°C*m ²)
Θερμοπερατότητα δαπέδου σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	2	W/(°C*m ²)
Θερμοπερατότητα δαπέδου σε επαφή με θερμαινόμενο χώρο	0	W/(°C*m ²)
Θερμοπερατότητα δαπέδου σε επαφή με έδαφος	3,1	W/(°C*m ²)
Θερμοπερατότητα οροφής σε επαφή με αέρα	3,05	W/(°C*m ²)
Θερμοπερατότητα οροφής σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	2,90	W/(°C*m ²)
Θερμοπερατότητα οροφής σε επαφή με θερμαινόμενο χώρο	0	W/(°C*m ²)
Θερμοπερατότητα θυρών σε επαφή με αέρα	6,0	W/(°C*m ²)
Θερμοπερατότητα θυρών σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	3,0	W/(°C*m ²)
Θερμοπερατότητα θυρών σε επαφή με θερμαινόμενο χώρο	0	W/(°C*m ²)
Θερμοπερατότητα μονού υαλοπίνακα	6,10	W/(°C*m ²)
Θερμοπερατότητα διπλού υαλοπίνακα	2,50	W/(°C*m ²)
Θερμοπερατότητα υαλότουβλων	3,50	W/(°C*m ²)
Ύψος τοίχου	3,50	m
Ύψος πόρτας	2,5	m
Ύψος μικρών παραθύρων	0,60	m
Ύψος μεγάλων παραθύρων	1,80	m
Ύψος υαλότουβλων	0,20	m
Ύψος αμφιθεάτρου	7,50	m
Πυκνότητα αέρα	1,20	kg/m ³
Ειδική θερμότητα αέρα	1	kJ/(kgK)

3.5 Επεμβάσεις θερμικής θωράκισης στη Σχολή

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι ενεργειακές παρεμβάσεις που μελετώνται είναι τρεις. Προσθήκη εξωτερικής θερμομόνωσης στο κέλυφος του κτιρίου [48], αντικατάσταση μονών υαλοπινάκων από διπλούς, αντικατάσταση θυρών και προσθήκη νέας τοιχοποιίας. Για τις πόρτες έγινε έρευνα αγοράς για τιμή ανά τετραγωνικό μέτρο σε πόρτες πυρασφάλειας 120' και για τους εσωτερικούς τοίχους έγινε αντίστοιχη έρευνα αγοράς.

Με τη βοήθεια των Script σε περιβάλλον Matlab που χρησιμοποιήθηκαν και με την φυσική εξέταση και μέτρηση των χώρων, κατάφεραν να υπολογιστούν τα μεγέθη των παραπάνω επεμβάσεων στο σύνολο της Σχολής και παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2: Επιφάνειες Επεμβάσεων

Κατηγορία	Επιφάνεια (m ²)
Εξωτερική Θερμομόνωση	6.668
Πυράντοχες Θύρες	1.688
Διπλοί Υαλοπίνακες	3.018

Ύστερα από μελέτη της γενικής αγοράς στον πίνακα 3.3, παρουσιάζονται οι τιμές ανά μονάδα επιφάνειας και το συνολικό υπολογιζόμενο κόστος αυτών των παρεμβάσεων.

Πίνακας 3.3: Οικονομικά στοιχεία επεμβάσεων

Κατηγορία	Συνολικό Μοναδιαίο κόστος (€/m ²)	Συνολικό Κόστος (€)
Εξωτερική Θερμομόνωση	48	320.085
Πυράντοχες Θύρες	275	464.063
Διπλοί Υαλοπίνακες	275	830.000
Σύνολο		1.614.148

Σε αυτό το κόστος πρέπει να προστεθεί και το κόστος της νέας τοιχοποιίας που αναφέρθηκε.

Πίνακας 3.4: Κόστος δόμησης τοιχοποιίας

Κόστος Εσωτερικής Τοιχοποιίας		
170 (€/m ³)	93 (m ³)	15.776 (€)

Έτσι, το υπολογιζόμενο συνολικό κόστος αυτών των παρεμβάσεων εκτιμάται στα 1,63 εκατ. €. Όπως είναι λογικό, σε τέτοιες ενέργειες προκύπτουν διάφορα κόστη πέρα από την αγορά υλικών και το κόστος εργασίας, που έχουν υπολογιστεί παραπάνω. Συνεπώς, θεωρείται ένας συντελεστής ασφαλείας 20%, οπότε το συνολικό κόστος υπολογίζεται στα 1,96 εκατ. €.

3.6 Δεδομένα τιμών που χρησιμοποιήθηκαν για τη νέα κατάσταση

Όλα τα δεδομένα είναι ίδια με την υφιστάμενη κατάσταση, εκτός των παραμέτρων που αναφέρονται στον πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.5: Δεδομένα νέας κατάστασης

Δεδομένα	Τιμή	Μονάδα
Θερμοπερατότητα τοιχοποιίας σε επαφή με αέρα	0,57	W/(°C*m ²)
Θερμοπερατότητα τοιχοποιίας σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	0,29	W/(°C*m ²)
Θερμοπερατότητα θυρών σε επαφή με αέρα	2,0	W/(°C*m ²)
Θερμοπερατότητα θυρών σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	1,0	W/(°C*m ²)

Πιο συγκεκριμένα, η τελική τιμή της θερμοπερατότητας στη νέα κατάσταση προέκυψε από τη προσθήκη εξωτερικής μόνωσης με θερμοπερατότητα $U = 0,72 \frac{W}{^{\circ}C \cdot m^2}$, [48]. Ισχύει ότι:

$$U_{tot} = \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad (3.6.1)$$

Όπου,

R : Η θερμική αντίσταση.

Συνεπώς, η τελική τιμή θερμοπερατότητας στην τελική κατάσταση είναι,

$$U_{new} = \frac{1}{\frac{1}{2,78} + \frac{1}{0,72}} = 0,57 \frac{W}{^{\circ}C * m^2}$$

3.7 Αξιολόγηση των επεμβάσεων θερμικής θωράκισης του κτιρίου και εφαρμογής ηλιακής θέρμανσης αέρα

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων περιλαμβάνει:

- A. τις παρεμβάσεις για τη θωράκιση του κτιρίου
- B. την εφαρμογή της τεχνολογίας της ηλιακής θέρμανσης αέρα μετά από την θωράκιση

Για τη σωστή αξιολόγηση των δύο περιπτώσεων, τα σημαντικότερα στοιχεία που πρέπει να αποτυπωθούν και να μελετηθούν, είναι οι μειώσεις στα φορτία που εμφανίζονται, και κατά συνέπεια στη μείωση του κόστους λειτουργίας των συμβατικών μονάδων θέρμανσης και ψύξης, καθώς και το αρχικό συνολικό κόστος επένδυσης για τις δύο περιπτώσεις. Επίσης, σε κάθε περίπτωση υπολογίζονται, μέσω του RETScreen, και εμφανίζονται οι μειώσεις στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Πριν αναλυθούν οι περιπτώσεις, θα πρέπει να αποτυπωθούν οι υπολογισμοί για το υφιστάμενο κτίριο.

3.7.1 Υφιστάμενο Κτίριο

Στους πίνακες 3.6 και 3.7 αποτυπώνεται η ενεργειακή κατάσταση, σύμφωνα με τους υπολογιστικούς τύπους που παρουσιάζονται στα κεφάλαια 3.1 και 3.2.

Πίνακας 3.6: Θερμικά φορτία υφιστάμενου κτιρίου

	Επίπεδο 0	Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	Επίπεδο 4	Επίπεδο 5
Επιφάνεια Θέρμανσης (m ²)	1.082	1.810	5.950	4.926	2.913	1.057
Θερμικά Φορτία (W)	777	1.514	3.425	2.983	1.943	773
Θερμικά Φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)	149	140	141	127	134	149

Στο σύνολο του κτιρίου το ανηγμένο θερμικό φορτίο είναι: $\bar{q}_h = 137 \text{ W/m}^2$

Πίνακας 3.7: Ψυκτικά φορτία υφιστάμενου κτιρίου

	Επίπεδο 0	Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	Επίπεδο 4	Επίπεδο 5
Επιφάνεια Ψύξης (m ²)	777	1514	3425	2983	1943	773
Ψυκτικά Φορτία (W)	167.505	299.813	865.100	762.102	463.599	230.176
Ψυκτικά Φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)	215	198	253	255	239	298

Στο σύνολο του κτιρίου το ανηγμένο ψυκτικού φορτίου είναι: $\bar{q}_c = 244 \text{ W/m}^2$

Τελικώς, στο σύνολο του κτιρίου που μελετάται (υφιστάμενη κατάσταση) το ετήσιο κόστος για θέρμανση/ψύξη και οι εκπομπές CO₂ εμφανίζονται στον πίνακα 3.8.

Πίνακας 3.8: Κατανάλωση φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας υφιστάμενης κατάστασης κτιρίου

Θέρμανση	
Κατανάλωση Φ.Α (m ³ /y)	512.779
Κόστος Φ.Α. (€/m ³)	0,341
Συνολικό Κόστος Θέρμανσης (€/y)	174.801
Ψύξη	
Κατανάλωση Ηλεκτρική Ενέργειας (MWh/y)	3.609
Κόστος Ηλεκτρική Ενέργειας (€/MWh)	60
Συνολικό Κόστος Ψύξης (€/y)	216.511
Σύνολο	
Συνολικό Κόστος (€/y)	391.312
Ετήσιες εκπομπές CO ₂ (tn/y)	2.512

3.7.2 Αποτελέσματα Θερμικής Θωράκισης του Κτιρίου

Στους πίνακες 3.9 και 3.10 αποτυπώνεται η ενεργειακή κατάσταση, ύστερα από τις επεμβάσεις που θεωρήθηκαν στο κεφάλαιο 3.5:

Πίνακας 3.9: Θερμικά φορτία μετά την ενεργειακή θωράκιση

	Επίπεδο 0	Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	Επίπεδο 4	Επίπεδο 5
Επιφάνεια Θέρμανσης (m ²)	1.082	1.810	5.950	4.926	2.913	1.057
Θερμικά Φορτία (W)	120.622	164.299	627.179	446.528	275.417	116.845
Θερμικά Φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)	111	91	105	91	95	111

Στο σύνολο του κτιρίου το ανηγμένο θερμικό φορτίο είναι: $\bar{q}_h = 99 \text{ W/m}^2$

Αντίστοιχα υπολογίζονται τα ψυκτικά φορτία σύμφωνα με τους τύπους στο κεφάλαιο 3.2:

Πίνακας 3.10: Ψυκτικά Φορτία μετά την ενεργειακή θωράκιση

	Επίπεδο 0	Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	Επίπεδο 4	Επίπεδο 5
Επιφάνεια Ψύξης (m ²)	777	1.514	3.425	2.983	1.943	7.73
Ψυκτικά Φορτία (W)	137.800	234.711	724.931	651.169	390.652	203.954
Ψυκτικά Φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)	177	155	212	218	201	264

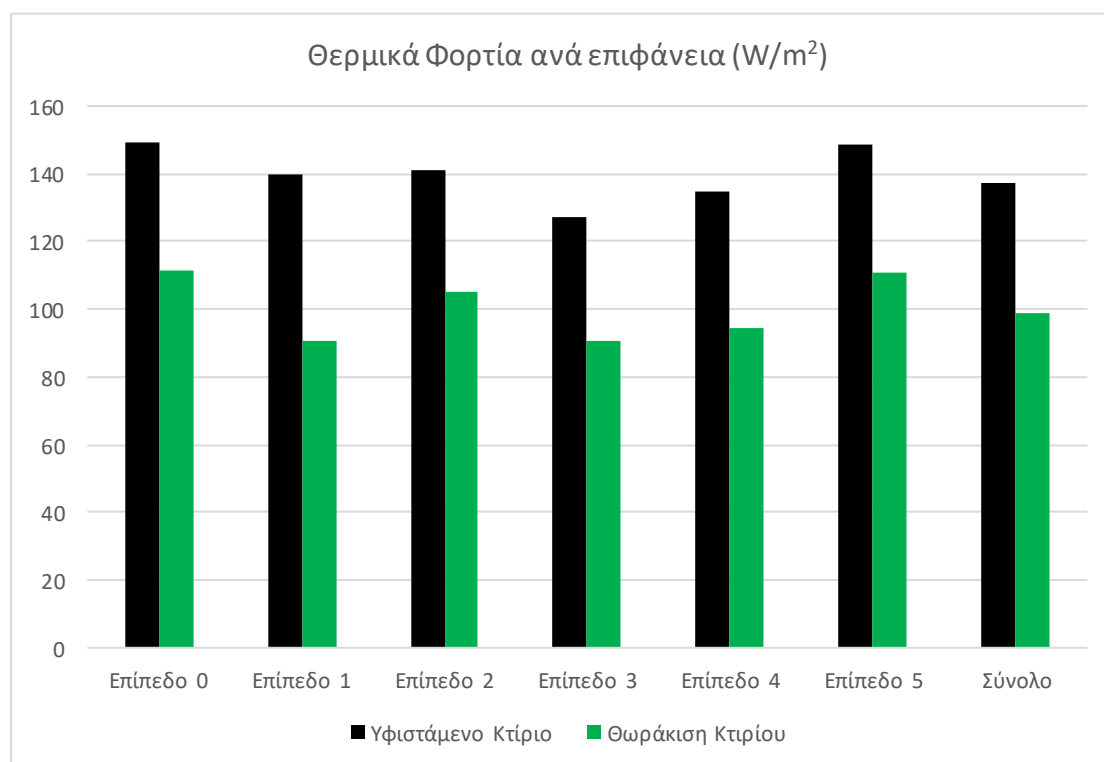
Στο σύνολο του κτιρίου το ανηγμένο ψυκτικού φορτίου είναι: $\bar{q}_c = 205 \text{ W/m}^2$

Στο σύνολο του κτιρίου για την νέα κατάσταση μετά την θερμική θωράκιση, το ετήσιο κόστος για τη θέρμανση/ψύξη και οι εκπομπές CO₂ παρουσιάζονται στον πίνακα 3.11.

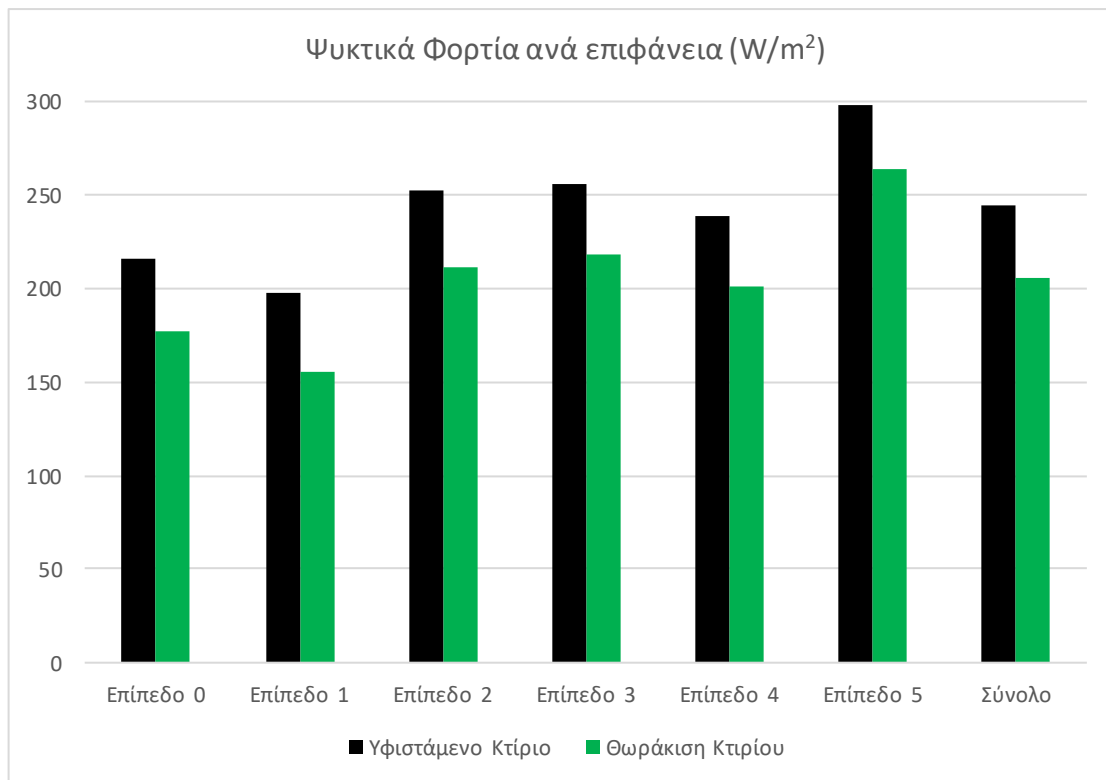
Πίνακας 3.11: Κατανάλωση φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας μετά την ενεργειακή θωράκιση

Θέρμανση	
Κατανάλωση Φ.Α (m ³ /y)	369.458
Κόστος Φ.Α. (€/m ³)	0,341
Συνολικό Κόστος Θέρμανσης (€/y)	125.945
Ψύξη	
Κατανάλωση Ηλεκτρική Ενέργειας (MWh/y)	3.033
Κόστος Ηλεκτρική Ενέργειας (€/MWh)	60
Συνολικό Κόστος Ψύξης (€/y)	181.951
Σύνολο	
Συνολικό Κόστος (€/y)	307.895
Ετήσιες εκπομπές CO ₂ (tn/y)	1.996

Η επίδραση των επεμβάσεων στα θερμικά και ψυκτικά φορτία στο σύνολο του κτιρίου αποτυπώνεται στα διαγράμματα 3.1 και 3.2 αντίστοιχα.

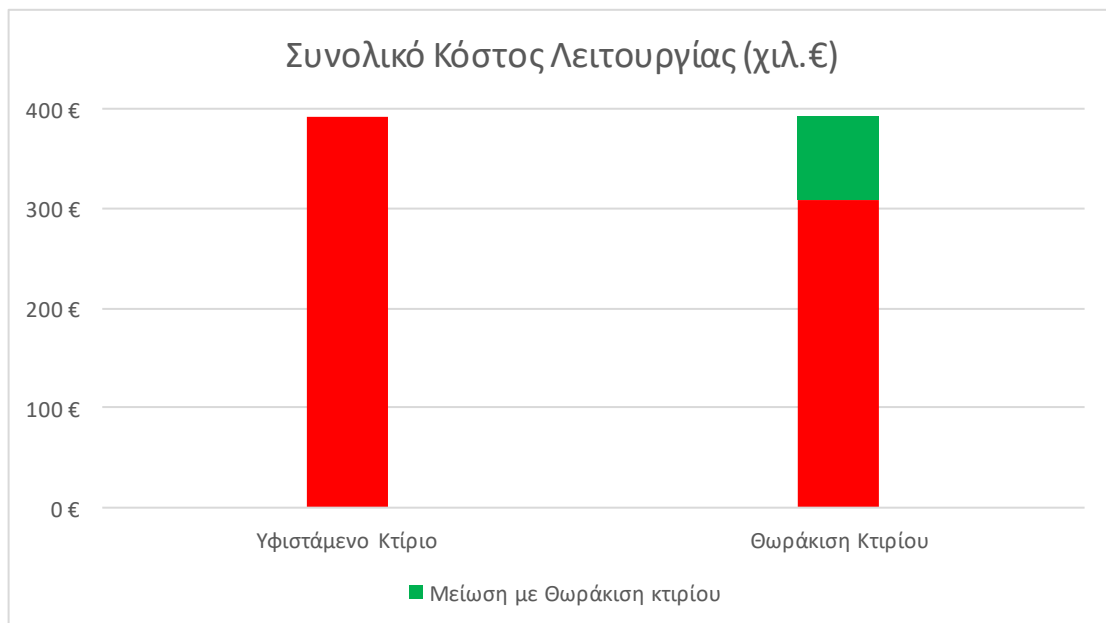


Διάγραμμα 3.1: Θερμικά φορτία μετά τη Θωράκιση Κτιρίου



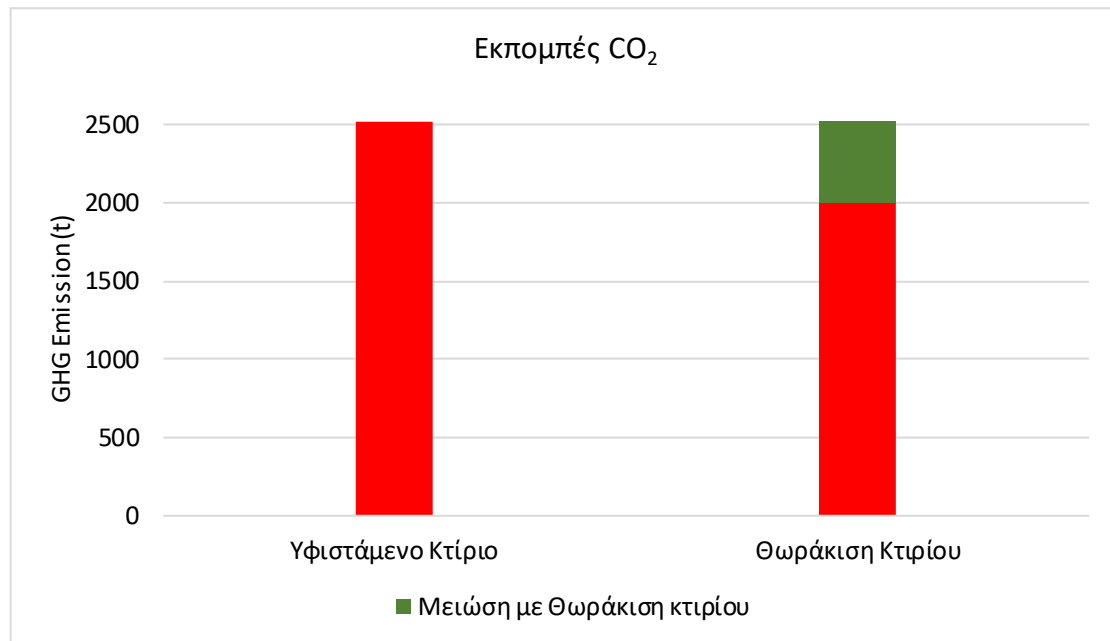
Διάγραμμα 3.2: Ψυκτικά φορτία μετά τη Θωράκιση Κτιρίου

Το καθαρό όφελος από την μείωση του συνολικού ετήσιου κόστους για ψύξη και θέρμανση που επτυγχάνεται από τις επεμβάσεις στο υφιστάμενο κτίριο ανέρχεται στα 83.417€ ,όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 3.3.



Διάγραμμα 3.3: Ετήσιο κόστος λειτουργίας συμβατικών μονάδων θέρμανσης/ψύξης μετά τη Θωράκιση Κτιρίου

Ενώ στο διάγραμμα 3.4, αποτυπώνεται η μείωση των εκπομπών CO₂, η οποία ανέρχεται περίπου στους 516 τόνους ετησίως.



Διάγραμμα 3.4: Ετήσιες εκπομπές CO₂ σε τόνους μετά τη Θωράκιση Κτιρίου

3.7.3 Ενεργειακή κατάσταση κτιρίου μετά την εφαρμογή της τεχνολογίας Ηλιακής Θέρμανσης Αέρα

Στους πίνακες 3.12 και 3.13 παρουσιάζεται η ενεργειακή κατάσταση ύστερα από τις επεμβάσεις του κτιριακού κελύφους και την εφαρμογή τεχνολογίας «Ηλιακή Θέρμανση Αέρα». Τα αποτελέσματα αυτά έχουν προκύψει από τη ΔΕ του Μ. Μπόρου. Ουσιαστικά, η επίδραση της προαναφερθείσας τεχνολογίας επιδρά θετικά μειώνοντας τα θερμικά φορτία, συνεπώς μείωση της απαίτησης σε θέρμανση. Επίσης, επιδρά θετικά και στην εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα μείνοντάς την. Τα ψυκτικά φορτία επηρεάζονται μόνο από την ενεργειακή θωράκιση.

Πίνακας 3.12: Θερμικά Φορτία μετά την ενεργειακή θωράκιση και την χρήση Ηλιακής Θέρμανσης Αέρα (ΔΕ Μ. Μπόρου)

	Επίπεδο 0	Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	Επίπεδο 4	Επίπεδο 5
Επιφάνεια Θέρμανσης (m ²)	1.082	1.810	5.950	4.926	2.913	1.057
Θερμικά Φορτία (W)	120.622	156.476	601.013	416.322	257.607	109.022
Θερμικά Φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)	111	86	101	85	88	103

Στο σύνολο του κτιρίου το ανηγμένο θερμικό φορτίο είναι: $\bar{q}_h = 94 \text{ W/m}^2$

Πίνακας 3.13: Ψυκτικά φορτία μετά την ενεργειακή θωράκιση και την χρήση Ηλιακής Θέρμανσης Αέρα

	Επίπεδο 0	Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	Επίπεδο 4	Επίπεδο 5
Επιφάνεια Ψύξης (m ²)	777	1514	3425	2983	1943	773
Ψυκτικά Φορτία (W)	137.800	234.711	724.931	651.169	390.652	203.954
Ψυκτικά Φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)	177	155	212	218	201	264

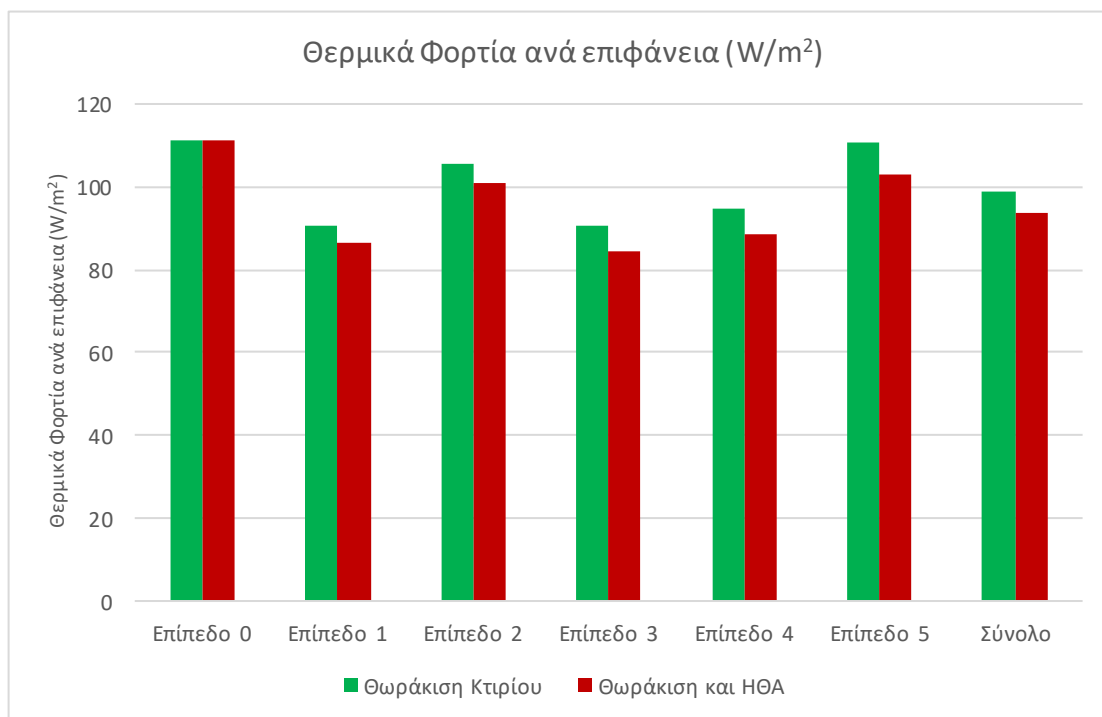
Στο σύνολο του κτιρίου το ανηγμένο ψυκτικού φορτίου είναι: $\bar{q}_c = 205 \text{ W/m}^2$

Στη νέα κατάσταση, μετά τη θερμική θωράκιση και την εφαρμογή της τεχνολογίας της Ηλιακής Θέρμανσης Αέρα, το ετήσιο κόστος για τη θέρμανση και ψύξη και οι εκπομπές CO₂ παρουσιάζονται στον πίνακα 3.14.

Πίνακας 3.14: Κατανάλωση φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας μετά από την ενεργειακή θωράκιση και την χρήση Ηλιακής Θέρμανσης Αέρα

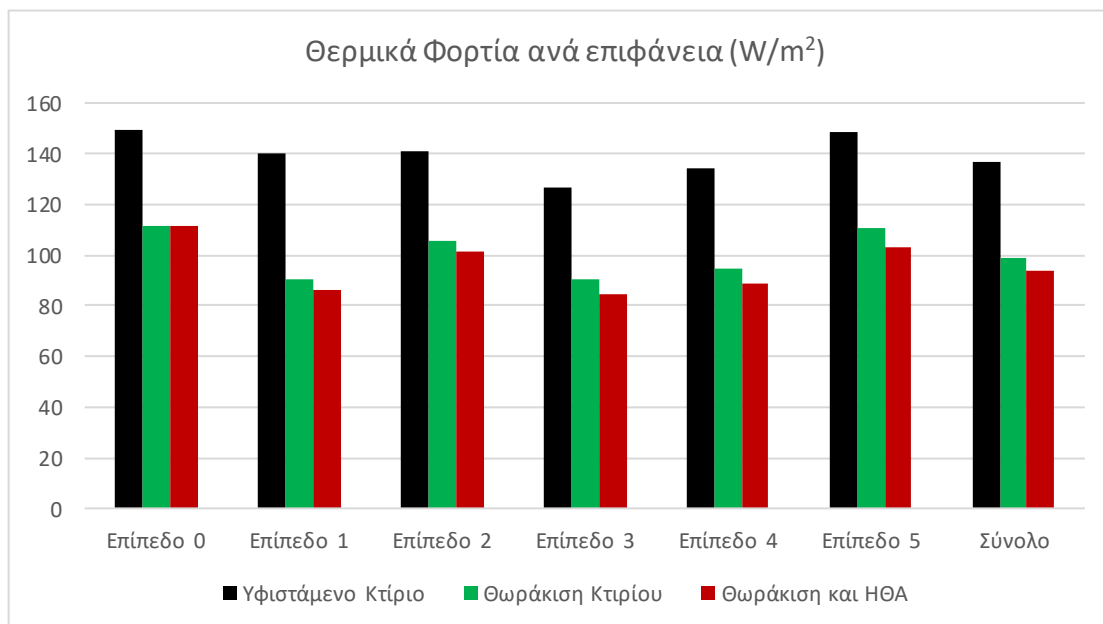
Θέρμανση	
Κατανάλωση Φ.Α (m ³ /y)	350.504
Κόστος Φ.Α. (€/m ³)	0,341
Συνολικό Κόστος Θέρμανσης (€/y)	119.483
Ψύξη	
Κατανάλωση Ηλεκτρική Ενέργειας (MWh/y)	3.033
Κόστος Ηλεκτρική Ενέργειας (€/Mwh)	60
Συνολικό Κόστος Ψύξης (€/y)	181.951
Σύνολο	
Συνολικό Κόστος (€/y)	301.434
Ετήσιες εκπομπές CO ₂ (tn/y)	1.961

Με την εφαρμογή Ηλιακής Θέρμανσης Αέρα, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη μείωση θερμικών φορτίων (Διάγραμμα 3.5). Στο επίπεδο 0 δεν εμφανίζεται μείωση διότι δεν εφαρμόζεται εκεί η συγκεκριμένη τεχνολογία.



Διάγραμμα 3.5: Μείωση θερμικών φορτίων ύστερα από εφαρμογή ΗΘΑ

Η τελική μείωση των θερμικών φορτίων που επιτυγχάνεται ύστερα από τις δύο επεμβάσεις, θερμική θωράκιση και εφαρμογή ΗΘΑ (ΔΕ Μ. Μπόρου), αποτυπώνεται στο διάγραμμα 3.6.

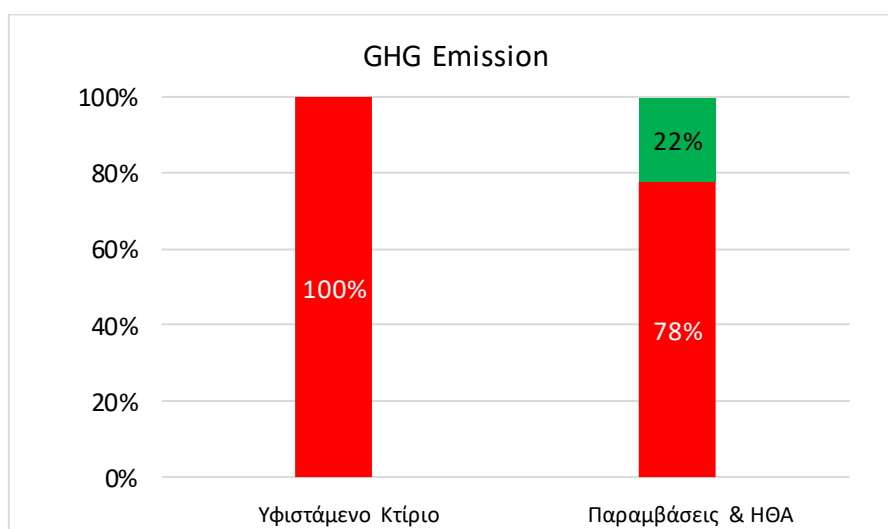


Διάγραμμα 3.6: : Θερμικά φορτία μετά τη Θωράκιση Κτιρίου και την εφαρμογή ΗΘΑ

Όσον αφορά τα ψυκτικά φορτία, η τεχνολογία της Ηλιακής Θέρμανσης δεν συνεισφέρει κάπως στην κάλυψη αναγκών. Συνεπώς, τα ψυκτικά φορτία ανά μονάδα επιφάνειας δεν επηρεάζονται και δίνονται στο διάγραμμα 3.2.

Το καθαρό όφελος, από την μείωση του συνολικού ετήσιου κόστους για θέρμανση που επιτυγχάνεται από την εφαρμογή της ΗΘΑ μετά την θερμική θωράκιση του κτιρίου, ανέρχεται στα 5.500€. Η μείωση των εκπομπών CO₂ ανέρχεται περίπου στους 35 τόνους ετησίως.

Ταυτόχρονα, υπολογίζεται πως η μείωση των ρύπων CO₂ ύστερα από την θερμική θωράκιση και την εφαρμογή της τεχνολογίας ΗΘΑ, ανέρχεται στους 551 τόνους ετησίως. Δηλαδή, επιτυγχάνεται μείωση ρύπων 22% (Διάγραμμα 3.7).



Διάγραμμα 3.7: Ποσοστιαία μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου

3.7.4 Οικονομικά αποτελέσματα επεμβάσεων

Εκτός από ενεργειακά οφέλη, οι επεμβάσεις επιτυγχάνουν μείωση του λειτουργικού κόστους τόσο για τη θέρμανση όσο και για την ψύξη. Οι μονάδες θέρμανσης τροφοδοτούνται με φυσικό αέριο και τα συστήματα συμπιεστών στην ψύξη τροφοδοτούνται με ηλεκτρικό ρεύμα. Το κόστος φυσικού αερίου και το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζονται στον πίνακα 3.15.

Πίνακας 3.15: Τιμές αγοράς φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας

Κόστος φυσικού αερίου (€/m ³)	Κόστος ηλεκτρικού ρεύματος (€/MWh)
0,341	60

Με τη βοήθεια του λογισμικού RETScreen υπολογίστηκαν τα μεγέθη του πίνακα 3.16:

Πίνακας 3.16: Πίνακας ποσού και κόστος καυσίμου σε υφιστάμενη κατάσταση και μετά τις παρεμβάσεις

Υφιστάμενο κτίριο	
Απαραίτητη ποσότητα καυσίμου για θέρμανση (m ³ /y)	512.779
Απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια για ψύξη (MWh/y)	3.609
Κόστος καυσίμου για θέρμανση (€/y)	174.801
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη (€/y)	216.511
Κτίριο ύστερα από Θερμική Θωράκιση	
Απαραίτητη ποσότητα καυσίμου για θέρμανση (m ³ /y)	369.458
Απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια για ψύξη (MWh/y)	3.033
Κόστος καυσίμου για θέρμανση (€/y)	125.945
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη (€/y)	181.951
Κτίριο ύστερα από Θερμική Θωράκιση και ΗΘΑ	
Απαραίτητη ποσότητα καυσίμου για θέρμανση (m ³ /y)	350.504
Απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια για ψύξη (MWh/y)	3.033
Κόστος καυσίμου για θέρμανση (€/y)	119.483
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη (€/y)	181.951

Πίνακας 3.17: Εξοικονόμηση από τις συνολικές επεμβάσεις (θωράκιση και ΗΘΑ)

Εξοικονόμηση (€/y)	
Θερμική Θωράκιση	
Θέρμανση	48.856
Ψύξη	34.560
Σύνολο	83.416
Θερμική Θωράκιση & ΗΘΑ	
Θέρμανση	55.318
Ψύξη	34.560
Σύνολο	89.878

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.17, η ετήσια εξοικονόμηση από την θερμική θωράκιση και την εφαρμογή της τεχνολογίας ΗΘΑ, υπολογίζεται στα 89.878€. Με απλή θεώρηση χρηματοροής, εκτιμάται ο χρόνος αποπληρωμής:

Πίνακας 3.18: Χρόνο επιστροφής επένδυσης επεμβάσεων

	Αρχική Επένδυση (€)	Εξοικονόμηση Καυσίμου (€/year)	Χρόνος αποπληρωμής (years)
Θερμική Θωράκιση	1.955.907	83.416	23,5
Θερμική Θωράκιση & ΗΘΑ	2.237.106	89.878	25

3.8 Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας στο RETScreen

Είναι σημαντικό, πριν από τη εγκατάσταση οποιουδήποτε συστήματος κλιματισμού να είναι γνωστά τα φορτία της κτιριακής εγκατάστασης. Αυτά οδηγούν στη σωστή διαστασιολόγηση του κάθε συστήματος.

Όσον αφορά ένα γεωθερμικό σύστημα, είναι σημαντικό να έχουν μελετηθεί παράμετροι, οι οποίες έχουν σχέση κυρίως με το έδαφος της περιοχής ή τα ύδατα, επιφανειακά ή υπόγεια, καθώς και παράμετροι που έχουν σχέση με τα κλιματικά δεδομένα.

3.8.1 Εισαγωγή στο περιβάλλον του RETScreen για Γεωθερμικό Σύστημα

Αρχικά, η πρώτη παράμετρος που πρέπει να εισαχθεί είναι η διαθέσιμη έκταση σε τ.μ. και το είδος του εδάφους. Το είδος του εδάφους επιλέγεται με βάση τα κύρια χαρακτηριστικά του: την πυκνότητα, τη θερμική διαχυτότητα, τη θερμική αγωγιμότητα και τη θερμοχωρητικότητα.

Site Conditions		Estimate
Project name		ChemEng, NTUA
Project location		Athens, Greece
Available land area	m ²	7.500
Soil type	-	Light rock

Εικόνα 3.6: Στιγμιότυπο από το την εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό RETScreen

Οι τύποι του εδάφους στη βάση δεδομένων του RETScreen εμφανίζονται στον πίνακα 8.38 με τις ιδιότητες τους. Προσεγγιστικά, μπορεί να θεωρηθεί ότι το έδαφος στις εγκαταστάσεις Ε.Μ.Π. στην περιοχή Ζωγράφου έχει παρόμοιες ιδιότητες με αυτές του ασβεστόλιθου (παράρτημα 8.5).

Στη συνέχεια, είναι απαραίτητο να εισαχθούν τα κλιματικά δεδομένα. Απαραίτητα στοιχεία αποτελούν οι θερμοκρασίες σχεδιασμού για θέρμανση και ψύξη, η μέση διακύμανση της θερμοκρασίας κατά τους θερινούς μήνες, το επίπεδο της υγρασίας, η μέση θερμοκρασία του εδάφους καθώς και το ετήσιο εύρος της θερμοκρασίας στην επιφάνεια αυτού.

Site Conditions		Estimate
Nearest location for weather data		-
Heating design temperature	°C	4,8
Cooling design temperature	°C	35,9
Average summer daily temperature range	°C	7,2
Cooling humidity level	-	High
Latitude of project location	°N	38,0
Mean earth temperature	°C	18,8
Annual earth temperature amplitude	°C	9,7
Depth of measurement of earth temperatu	m	0,0

Εικόνα 3.7: Εισαγωγή Κλιματικών δεδομένων στο RETScreen

Όλα τα δεδομένα λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων του Αστεροσκοπείου Αθηνών, εκτός από τη μέση ετήσια και την επιφανειακή διακύμανση της θερμοκρασίας του εδάφους, οι οποίες λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων της NASA. Οι τιμές αυτές αποτελούν μέσες τιμές κατά το διάστημα 2014-2019.

3.8.2 Φορτία και απαιτήσεις για θέρμανση της Α' Φάσης της Σχολής ΧΜ

Εισάγωντας, πάλι τη θερμοκρασία σχεδιασμού θέρμανσης, θεωρώντας ένα ποσοστό 10% για ζεστό νερό χρήσης και με βάση τις βαθμομέρες θέρμανσης προκύπτουν τα αποτελέσματα στην εικόνα 3.8.

Site conditions		Estimate			
Nearest location for weather data		Athens			
Heating design temperature		°C	4,8		
Annual heating degree-days below 18°C		°C-d	841		
Domestic hot water heating base demand		%	10%		
Equivalent degree-days for DHW heating		°C-d/d	0,3		
Equivalent full load hours		h	1.428		
Monthly inputs					
Month	°C-d <18°C	Month	°C-d <18°C	Month	°C-d <18°C
January	239	May	0	September	0
February	172	June	0	October	8
March	126	July	0	November	64
April	28	August	0	December	204

Εικόνα 3.8: Δεδομένα Σχεδιασμού και εκτίμησης Ενεργειακών αναγκών θέρμανσης

Επειδή η ανάλυση θερμικών και ψυκτικών φορτίων πραγματοποιήθηκε ανά όροφο, αντίστοιχα εισάγονται τα εξής δεδομένα:

- Επιφάνεια Ορόφου (m²), όπου η κάθε ζώνη αντιπροσωπεύει έναν όροφο (π.χ. ζώνη 1 : Όροφος 0)
- Ανηγμένο θερμικό φορτίο ως προς την επιφάνεια (W/m²)

Base case heating system		Single building - multiple zones - space heating					
		Building zones					
		1	2	3	4	5	6
Heated floor area per building zone	m ²	1.082	1.810	5.950	4.926	2.913	1.057
Fuel type		Natural gas - m ³	Natural gas - m ³	Natural gas - m ³	Natural gas - m ³	Natural gas - m ³	Natural gas - m ³
Seasonal efficiency	%	65%	65%	65%	65%	65%	65%
Heating load calculation							
Heating load for building zone	W/m ²	111	86	101	85	88	103
Total heating demand	MWh	172	222	859	598	366	156
Total peak heating load	kW	120,1	155,7	600,9	418,7	256,4	108,9
Fuel consumption - unit		m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
Fuel consumption - annual		25.357	32.861	126.836	88.366	54.112	22.979
Fuel rate - unit		€/m ³	€/m ³	€/m ³	€/m ³	€/m ³	€/m ³
Fuel rate		0,341	0,341	0,341	0,341	0,341	0,341
Fuel cost	€	8.644 €	11.202 €	43.237 €	30.123 €	18.446 €	7.833 €

Εικόνα 3.9: Εισαγωγή φορτίων θέρμανσης ανά ζώνη μελέτης

Επίσης, θεωρείται ότι η θέρμανση επιτυγχάνεται με καύση φυσικού αερίου σε καυστήρες, με εποχικό συντελεστή απόδοσης 65%.

3.8.3 Φορτία και απαιτήσεις για Ψύξη της Α' Φάσης της Σχολής ΧΜ

Κατά αντιστοιχία εισάγονται δεδομένα για συνθήκες ψύξης.

Site conditions		Estimate	
Nearest location for weather data		Athens	
Cooling design temperature	°C	35,9	
Annual cooling degree-days above 10°C	°C-d	3.393	
Non-weather dependant cooling	%	0%	
Equivalent full load hours	h	3.235	
Monthly inputs			
Month	°C-d >10°C	Month	°C-d >10°C
January	23	May	343
February	52	June	487
March	122	July	584
April	226	August	586
		September	443
		October	300
		November	176
		December	51

Εικόνα 3.10: Δεδομένα Σχεδιασμού και εκτίμησης Ενεργειακών αναγκών ψύξης

Όσον αφορά το βασικό σύστημα ψύξης της κτιριακής εγκατάστασης, θεωρήθηκε σύστημα αερόψυκτου ψύκτη νερού, με εποχική απόδοση 250%.

Base case cooling system		Single building - multiple zones - space cooling							
Cooled floor area per building zone	m ²	11.415	Building zones						
Fuel type			1	2	3	4	5	6	
Seasonal efficiency	%	-	777	1.514	3.425	2.983	1.943	773	
Cooling load calculation			Electricity	Electricity	Electricity	Electricity	Electricity	Electricity	
Cooling load for building zone	W/m ²	-	250%	250%	250%	250%	250%	250%	
Total cooling demand	MWh	7.582	177	155	212	218	201	264	
Total peak cooling load	kW	2.343,2	445	760	2.349	2.104	1.263	660	
Fuel consumption - unit			137,6	234,7	726,1	650,4	390,5	204,0	
Fuel consumption - annual			MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	
Fuel rate - unit			178	304	940	842	505	264	
Fuel rate			€/kWh	€/kWh	€/kWh	€/kWh	€/kWh	€/kWh	
Fuel cost	€	181.964	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	
			€	10.685 €	18.228 €	56.385 €	50.505 €	30.321 €	15.840

Εικόνα 3.11: Εισαγωγή φορτίων ψύξης ανά ζώνη μελέτης

Αφού, υπολογίστηκαν τα συνολικά φορτία και οι απαιτήσεις εισάγονται στο φύλλο για τα ενεργειακά χαρακτηριστικά του κτιρίου.

Building Heating and Cooling Load		Estimate	
Type of building	-	Commercial	
Available information	-	Energy use data	
Design heating load	kW	1.660,7	
	million Btu/h	5,666	
Annual heating energy demand	MWh	2.372,0	
	million Btu	8.093,3	
Design cooling load	kW	2.343,2	
	ton (cooling)	666,4	
Annual cooling energy demand	MWh	7.581,0	
	million Btu	25.866,4	

Εικόνα 3.12: Εισαγωγή ενεργειακών Δεδομένων

Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί ότι τα φορτία αυτά αφορούν τα συνολικά φορτία αιχμής, ενώ οι απαιτήσεις αποτελούν το συνολικό ποσό ενέργειας

για θέρμανση και ψύξη. Πραγματοποιώντας μελέτη για την κάλυψη του φορτίου αιχμής είναι σχεδόν βέβαιο ότι το σύστημα οδηγείται σε υπερδιαστασιολόγηση.

Στη συνέχεια, επιλέγεται το προς μελέτη γεωθερμικό σύστημα. Αυτό μπορεί να είναι κλειστό (οριζόντιο ή κάθετο) ή ανοιχτό. Στην προκειμένη περίπτωση, επιλέγεται κλειστός βρόχος με κάθετη διάταξη. Επίσης, άλλη μία παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι το κριτήριο σχεδιασμού, ανάλογα την επιθυμητή χρήση (για θέρμανση ή ψύξη). Ειδικά για τα δεδομένα της Ελλάδας, ένα σύστημα ΓΑΘ είναι ικανό καλύπτοντας ανάγκες για ψύξη να καλύψει και μεγάλο ποσοστό θερμικών αναγκών. Επομένως, κριτήριο σχεδιασμού αποτελούν το φορτίο και οι απαιτήσεις σε ψύξη. Τελικώς, ο προσομοιωτής υπολογίζει το συνολικό απαιτούμενο βάθος γεωτρήσεων με στόχο να καλύψει επαρκώς τις ανάγκες. Παράλληλα, επιλέγεται και η διάταξη του γεω-εναλλάκτη. Στο κάθετο σύστημα ορίζεται ως η απόσταση των γεωτρήσεων μεταξύ τους και υπολογίζεται μια τυπική έκταση που απαιτείται.

Ground Heat Exchanger System		
System type	-	Vertical closed-loop
Design criteria	-	Cooling
Typical land area required	m ²	6.809
Ground heat exchanger layout	-	Compact
Total borehole length	m	64.877

Εικόνα 3.13: Επιλογή κριτηρίου και διάταξη συστήματος

Εξάλλου, μπορεί να υπολογισθεί ένα ακόμη σημαντικό μέγεθος, το οποίο είναι ικανό να παρέχει σχετικά ακριβείς προσεγγίσεις. Το μέγεθος αυτό ονομάζεται απόληψη/απόδοση θερμότητας, είναι χαρακτηριστικό του εδάφους και του γεωεναλλάκτη. Συγκεκριμένα, υπολογίζεται ως:

$$\text{Απόληψη/Απόδοση Θερμότητας} = \frac{\text{Φορτίο}}{\text{Συνολικό Βάθος Γεωτρήσεων}} = \frac{q}{L}, \left(\frac{W}{m}\right) \quad (3.8.1)$$

Το μέγεθος αυτό αντιπροσωπεύει το ποσό θερμότητας που λαμβάνεται κατά την θέρμανση από την πηγή ή απορρίπτεται σε αυτήν κατά την ψύξη ανά μέτρο γεωεναλλάκτη, ανάλογα το κριτήριο σχεδιασμού.

Για τα δεδομένα του εδάφους στον Υμηττό και κριτήριο σχεδιασμού την ψύξη η απόδοση θερμότητας υπολογίζεται κοντά στο 36,1 W/m.

Με βάση αυτά τα δεδομένα, ακολουθεί η επιλογή της αντλίας θερμότητας ανάλογα με την δυναμικότητα της, αντικαθίστοντας έτσι το ήδη υπάρχον συμβατικό σύστημα ή ποσοστό αυτού.

3.8.4 Επιλογή Εξοπλισμού

Αρχικά, θα επιλεγθεί εξοπλισμός τέτοιος ώστε να καλύψει το σύνολο των ψυκτικών φορτίων. Έτσι, επιλέγεται ένα σύστημα αντλίων θερμότητας συνολικής ψυκτικής ισχύος 2.439kW και συνολικής θερμικής ισχύος 1.885kW, συνδεδεμένο με τον κλειστό κάθετο βρόχο. Το μεγάλο πλεονέκτημα του γεωθερμικού συστήματος είναι ο υψηλός συντελεστής απόδοσης. Αυτός δίνεται από τον εκάστοτε κατασκευαστή. Σύγχρονες αντλίες θερμότητας αποδίδουν με συντελεστή κοντά στο 5-6 για ψύξη και κοντά στο 2,9 - 3,5 για θέρμανση. Ωστόσο, οι τιμές αυτές δίνονται για συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας. Αυτό που ενδιαφέρει αρκετά είναι η εποχική απόδοση του συστήματος. Αυτή υπολογίζεται από το πρόγραμμα και για αυτές τις συνθήκες στην Ελλάδα είναι:

- Εποχική Απόδοση για Ψύξη, 440%
- Εποχική Απόδοση για Θέρμανση, 300%

Με βάση αυτά υπολογίζεται και το κόστος λειτουργίας του συστήματος, το οποίο είναι κυρίως κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Παράλληλα, το πρόγραμμα παρέχει πληροφορίες για τα περιφερειακά και βοηθητικά συστήματα, όπως το συνολικό μήκος αγωγών για τον γεωεναλλάκτη, την απαραίτητη συνολική ισχύ των κυκλοφορητών του ρευστού στο δίκτυο αγωγών, καθώς και, αν κρίνεται απαραίτητο, την ποσότητα αντιπηκτικού υγρού. Το υγρό αυτό είναι συνήθως γλυκόλη σε ποσοστό 10%-20% του συνολικού όγκου του ρευστού, το οποίο είναι μίγμα καθαρού νερού-αντιπηκτικού.

Πίνακας 3.19: Ονομαστική Ισχύς αντλίας θερμότητας

Θέρμανση (kW)	1.885
Ψύξη (kW)	2.439

Πίνακας 3.20: Χαρακτηριστικά γεωθερμικού συστήματος

Χαρακτηριστικό Μέγεθος	Ποσότητα
Συνολική Ψυκτ. Ισχύς (kW)	2.439
Ψυκτικό Φορτίο Κτιρίου	2.343
Συνολικό Μήκος Γεωτ. (m)	64.877
Βάθος/Γεώτρ. (m)	95
Αριθμός Γεωτρήσεων	683
Επιφάνεια Εδάδους (m ²)	6.809
Συν. Μήκος Σωλ. (m)	129.754
Αντλίες νερού (kW)	41,5
Κυκλοφορούν Ρευστό (m ³)	10,44
Απόδοση Θερμότητας (W/m)	36,1

Τα μεγέθη αυτά κατέχουν σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση του αρχικού κόστους επένδυσης. Αναλυτικοί υπολογισμοί του προγράμματος παρουσιάζονται στο παράρτημα 8.5.

3.8.5 Ενεργειακά Αποτελέσματα τεχνολογίας

Με τα συγκεκριμένα δεδομένα, η αντλία θερμότητας σχεδιάζεται έτσι ώστε να αποδίδει στο 100% των αναγκών.

Ανάλογα με τη δυναμικότητα της ΑΘ και το μέγεθος του γεωεναλλάκτη, το σύστημα αποδίδει θερμική και ψυκτική ενέργεια καταναλώνοντας ηλεκτρική.

Πίνακας 3.21: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το γεωθερμικό σύστημα

Θέρμανση (MWh)	791
Ψύξη (MWh)	1.723

Τα συγκεκριμένα ποσά κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας αφορούν την κατανάλωση από τον συμπιεστή της μονάδας Αντλίας Θερμότητας και τους κυκλοφορητές για την κυκλοφορία του ρευστού στον γεωεναλλάκτη.

3.8.6 Οικονομικά Δεδομένα Συστήματος

Στην προσπάθεια να γίνει μια εκτίμηση του κόστους εγκατάστασης και του κόστους λειτουργίας, συλλέχθηκαν τα εξής δεδομένα:

Πίνακας 3.22: Κοστολόγιο [49], [50]

Μέγεθος	Μοναδιαίο Κόστος
Ψυκτική Ισχύς ΑΘ	200 (€/kW)
Γεώτρηση	50 (€/m)
Μήκος Αγωγών	1,7 (€/m)
Αντλία Νερού	850 (€/kW)
Αντυπηκτικό Υγρό	2.600 (€/m ³)

Το κόστος λειτουργίας του συγκεκριμένου συστήματος είναι κυρίως το κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο υπολογίζεται στα 0,06€/KWh. Επίσης, θεωρείται πως το σύστημα δεν έχει σημαντικό κόστος συντήρησης μιας και ο εναλλάκτης βρίσκεται εντός υπεδάφους. Τα μόνα μέρη του συστήματος που απαιτούν συντήρηση είναι η αντλία θερμότητας και ο υπόλοιπος επίγειος μηχανολογικός εξοπλισμός.

4. Μελέτη σκοπιμότητας Γεωθερμικού Συστήματος κλειστού βρόχου με κάθετη διάταξη

4.1.1 Μελέτη διαστασιολόγησης

Όπως είναι σαφές, ένα τέτοιο σύστημα αν και θα μπορούσε να στηριχθεί αυτόνομα, λόγω της αρχής λειτουργίας του, δεν προτιμάται για υφιστάμενες μεγάλες εγκαταστάσεις, κυρίως λόγω της έλλειψης εδαφικής έκτασης. Ωστόσο, για εφαρμογή στις κτιριακές εγκαταστάσεις της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., είναι εφικτό να μελετηθεί η ποσοστιαία κάλυψη των ετήσιων αναγκών. Με όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο 3.8, πραγματοποιήθηκε μελέτη κατά την οποία υπολογίζονται τα διαφορετικά χαρακτηριστικά του συστήματος συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης των ετήσιων αναγκών σε ψύξη. Αυτό συνεπάγεται, ότι οι ανάγκες που απομένουν καλύπτονται από το σύμβατικό σύστημα.

Η Αντλία Θερμότητας (ΑΘ) που επιλέγεται για το γεωθερμικό σύστημα μελετάται με βάση συγκεκριμένη ψυκτική ισχύ και για την οποία υπολογίζεται το ποσοστό κάλυψης των ετήσιων αναγκών.

Συνήθως, σε τέτοιου είδους ΑΘ η σχέση μεταξύ της Ψυκτικής ονομαστικής ισχύος με τη Θερμική συνδέεται με έναν λόγο:

$$\lambda = \frac{Q_{cool}}{Q_{heat}} \quad (4.1.1)$$

με τιμές του λ να κυμαίνονται από 1,02-1,29. Επιλέγοντας ΑΘ από κατάλογο της εταιρείας Lark Central Air Conditioner [51] ισχύει:

- $\lambda=1,02$
- $COP_{cool}=5,4$
- $COP_{heat}=3$

Οι παραπάνω τιμές αφορούν μέσες τιμές και μπορεί να αποκλίνουν το πολύ 2%.

Στην παρούσα μελέτη, πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω επιλογές μοντέλων:

Πίνακας 4.1: Πίνακας επιλογής Αντλιών Θερμότητας

Σενάρια	Ονομαστική Ισχύς(kW)		Αποδιδόμενη Ενέργεια (MWh/Υ)	% Κάλυψη
Σενάριο 1	Θέρμανση	127	642	27%
	Ψύξη	130	1.092	14%
Σενάριο 2	Θέρμανση	307	1.224	52%
	Ψύξη	310	2.324	31%
Σενάριο 3	Θέρμανση	470	1.644	69%
	Ψύξη	480	3.361	44%
Σενάριο 4	Θέρμανση	696	2.084	88%
	Ψύξη	710	4.572	60%
Σενάριο 5	Θέρμανση	941	2.269	96%
	Ψύξη	960	5.632	74%
Σενάριο 6	Θέρμανση	1.333	2.325	98%
	Ψύξη	1.720	6.853	90%
Σενάριο 7	Θέρμανση	1.333	2.372	100%
	Ψύξη	1.720	7.492	99%

Στη συνέχεια πραγματοποιούνται υπολογισμοί των χαρακτηριστικών μεγεθών του Γεωθερμικού συστήματος. Για κάθε ένα από τα σενάρια, υπολογίζεται το συνολικό απαιτούμενο βάθος γεώτρησης, το συνολικό μήκος αγωγών, η συνολική ισχύς των κυκλοφορητών και η ποσότητα αντιπηκτικού υγρού.

Για τα συγκεκριμένα σενάρια θεωρήθηκαν τα εξής:

1. Σε κάθε γεώτρηση τοποθετούνται δύο ζεύγη σωληνώσεων τύπου U, ονομαστικής διαμέτρου 32mm και η απόσταση των κέντρων των σκελών κάθε ζεύγους αγωγών είναι 10,2cm, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη αποτελεσματική επιφάνεια.
2. Η κάθε γεώτρηση έχει διάμετρο 8,5 in.
3. Το πληρωτικό υλικό των γεωτρήσεων αποτελεί μίγμα άμμου, τσιμέντου και μπετονίτη, εξασφαλίζοντας την απαραίτητη θερμική αγωγιμότητα ($\sim 0,8\text{W/m}\cdot\text{°C}$).
4. Προσεγγιστικά, η συνολική ισχύς των κυκλοφορητών υπολογίζεται ως ποσοστό της ονομαστικής ισχύος της ΑΘ με τιμή 17% αυτής.
5. Το αντιπηκτικό υγρό βρίσκεται σε συγκέντρωση 10% v/v.

Όσον αφορά τη χωροταξική διάταξη, στην ανατολική πλευρά των κτιριακών εγκαταστάσεων της Σχολής Χ.Μ., η συνολική διαθέσιμη έκταση υπολογίζεται στα

7.000 m², με διαστάσεις ορθογώνιας έκτασης 117x60. Ιδανικά, προτιμάται η απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων να είναι 5-6m.

4.1.2 Οικονομική Μελέτη

Το συνολικό αρχικό κόστος προκύπτει από τα χαρακτηριστικά του συστήματος που απαιτούνται με τα μοναδιαία κόστη να αποτυπώνονται στον πίνακα 3.22.

Για κάθε σενάριο υπολογίζεται το αρχικό κόστος επένδυσης, καθώς και το λειτουργικό κόστος με βάση την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που υπολογίζεται από το πρόγραμμα. Οι συντελεστές απόδοσης λειτουργίας και οι εποχικές αποδόσεις είναι ίδιες για όλα τα σενάρια.

Στον πίνακα 4.2 εμφανίζονται τα οικονομικά αποτελέσματα για κάθε σενάριο.

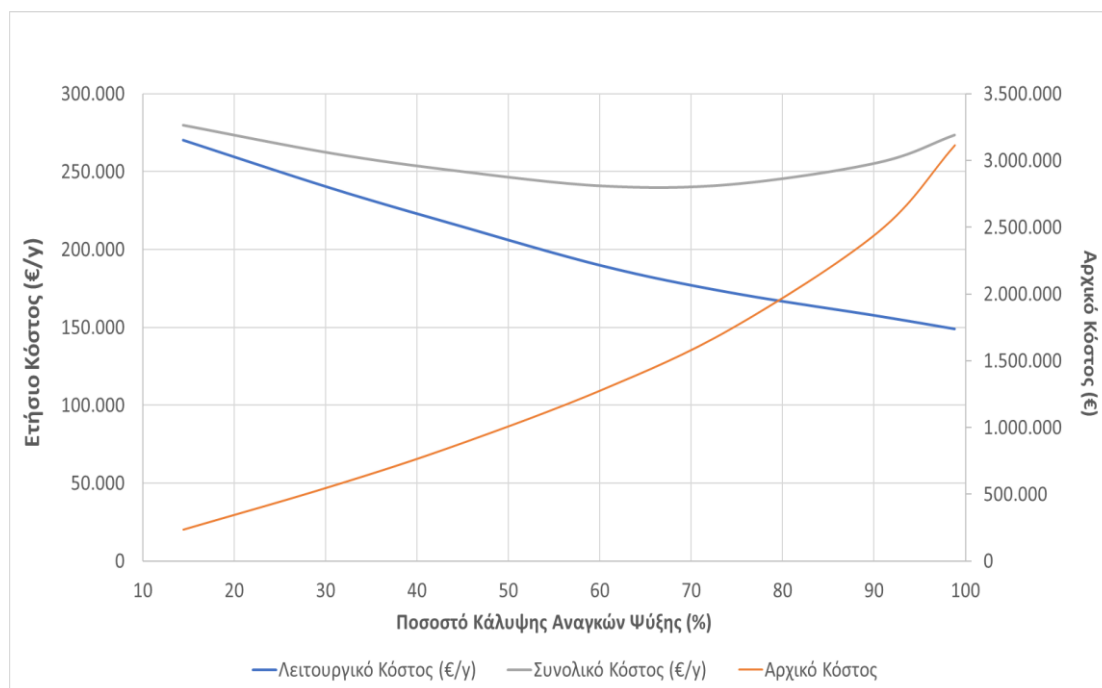
Πίνακας 4.2: Οικονομικά Αποτελέσματα εκάστοτε σεναρίου

Σενάρια	%Ποσοστό Κάλυψης Αναγκών Ψύξης	Αρχικό Κόστος (€)	Λειτουργικό Κόστος (€/γ)	Σύνολο (€/γ)
1	14	235.352	270.378	279.792
2	31	561.225	239.377	261.826
3	44	868.993	215.808	250.568
4	60	1.285.386	189.491	240.906
5	74	1.737.986	172.345	241.864
6	90	2.462.147	157.341	255.827
7	99	3.113.892	148.980	273.536

Το λειτουργικό κόστος αφορά το συνολικό ετήσιο κόστος σε κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη από το γεωθερμικό σύστημα και το βοηθητικό σύστημα ψύξης. Ως βοηθητικό σύστημα ψύξης ορίζεται το ήδη υπάρχον σύστημα αερόψυκτου ψύκτη νερού του κτιρίου. Επιπλέον, περιλαμβάνεται το κόστος από την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση από το γεωθερμικό σύστημα και το κόστος από την κατανάλωση φυσικού αερίου από το βοηθητικό σύστημα θέρμανσης (καυστήρες).

Επισημαίνεται, ότι η διάρκεια ζωής του έργου θεωρήθηκε 25 χρόνια. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι μετά τα 25 χρόνια το σύστημα θα πρέπει να απομακρυνθεί. Με

την κατάλληλη και σωστή τοποθέτηση του γεωεναλλάκτη η διάρκεια του έργου μπορεί ξεπεράσει τα 50 χρόνια. Ο υπόλοιπος μηχανολογικός εξοπλισμός πρέπει να ελέγχεται περιοδικά.



Διάγραμμα 4.1: Αντικειμενική Συνάρτηση Κόστους για το σύστημα Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας

Τα οικονομικά αποτελέσματα της μελέτης των διαφόρων σεναρίων αποτυπώνονται στο διάγραμμα 4.1 με στόχο να προσδιοριστεί το βέλτιστο ποσοστό κάλυψης.

Συνεπώς, το ποσοστό κάλυψης των αναγκών, για το οποίο προκύπτει το ελάχιστο συνολικό κόστος, βρίσκεται μεταξύ 60% και 70%.

4.1.3 Αποτελέσματα Βέλτιστου Σεναρίου

Για την κάλυψη του 63% των αναγκών σε ψύξη επιλέγεται Αντλία Θερμότητας Εδάφους-Νερού με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ονομαστική Ψυκτική Ισχύς: 760kW
- Ονομαστική Θερμική Ισχύς: 745kW
- COP_c : 5,4
- COP_h : 3
- Εποχική Απόδοση Ψύξης: 4,4
- Εποχική Απόδοση Θέρμανσης: 3
- Ψυκτικό Μέσο: R134A

Για το συγκεκριμένο σύστημα προκύπτουν:

Πίνακας 4.3: Ονομαστική Ισχύς αντλίας θερμότητας προτεινόμενου σεναρίου

Ονομαστική Ισχύς ΑΘ	
Θέρμανση (kW)	745
Ψύξη (kW)	760

Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά συστήματος προτεινόμενου σεναρίου

Χαρακτηριστικό Μέγεθος	Ποσότητα
Συνολικό Μήκος Γεωτ. (m)	21.044
Βάθος/Γεώτρ. (m)	95
Αριθμός Γεωτρήσεων	222
Επιφάνεια Εδάδους (m ²)	5.538
Συν. Μήκος Σωλ. (m)	84.176
Αντλίες νερού (kW)	13
Αντιπηκτικό υγρό (m ³)	6,8
Απόδοση Θερμότητας (W/m)	36,1

Τα αποτελέσματα, όπως προκύπτουν από το λογισμικό, για την αποδιδόμενη ενέργεια σε θέρμανση και ψύξη από το σύστημα είναι:

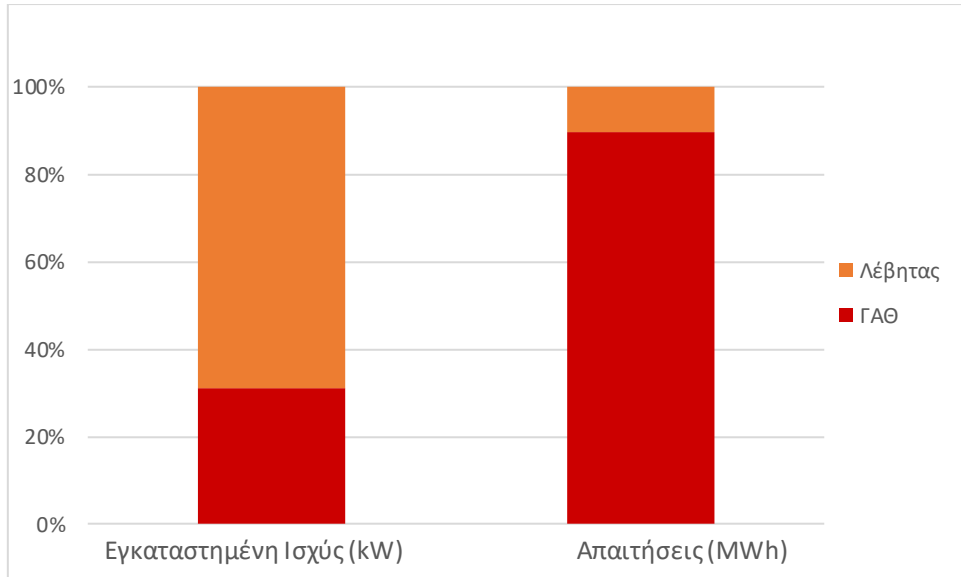
$$E_{h,s} = 2.126 \text{ MWh/y} \text{ και } E_{c,s} = 4.796 \text{ MWh/y},$$

Οι συνολικές απαιτήσεις της εγκατάστασης είναι:

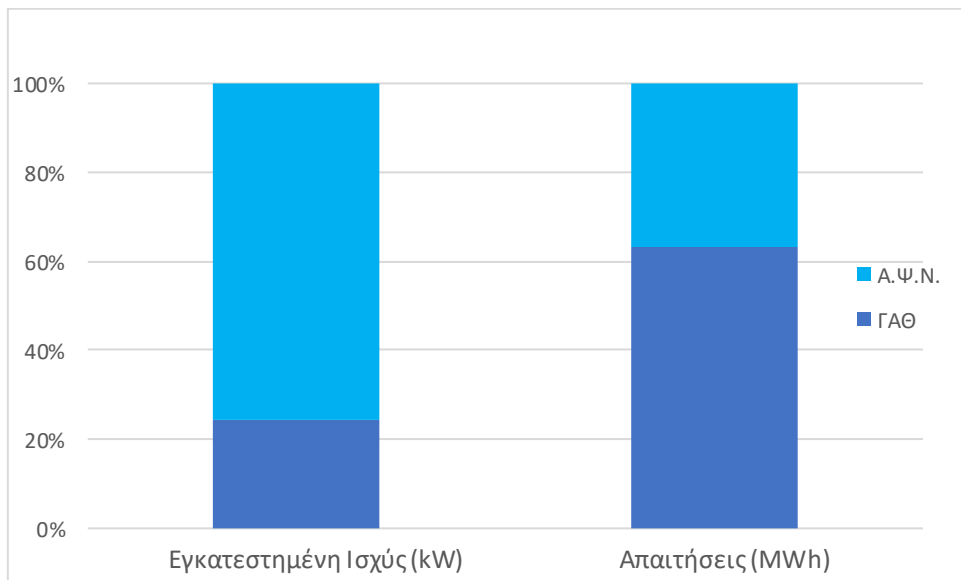
$$E_h = 2.372 \text{ MWh/y} \text{ και } E_c = 7.581 \text{ MWh/y}.$$

Σε περίπτωση εφαρμογής του Γεωθερμικού συστήματος, αυτό θα αποτελεί το 31% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος για θέρμανση και το 25% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος για ψύξη. Στα διαγράμματα 4.2 και 4.3 φαίνεται πως το σύστημα της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας αποδίδει το 90% των συνολικών ενεργειακών αναγκών σε θέρμανση και το 63% σε ψύξη.

Αναλύοντας τα αποτελέσματα είναι εμφανές ότι η χρήση των συμβατικών συστημάτων μετριάζεται σημαντικά, αφού πλέον το σύστημα καυστήρων είναι υπεύθυνο μόνο για την κάλυψη του 10% των συνολικών αναγκών για θέρμανση και το σύστημα ψύξης για το 37% των συνολικών αναγκών.



Διάγραμμα 4.2: Ποσοστιαία εγκατεστημένη ισχύς (ΓΑΘ και καυστήρες) και αποδιδόμενη ενέργεια θέρμανσης



Διάγραμμα 4.3: Ποσοστιαία εγκατεστημένη ισχύς και αποδιδόμενη ενέργεια ψύξης από το σύστημα ΓΑΘ και το συμβατικό σύστημα

Σχετικά με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου από τα συμπληρωματικά συμβατικά συστήματα προκύπτει:

Πίνακας 4.5: Απαιτούμενη ποσότητα φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών

	Θέρμανση		Ψύξη	
	Α/Θ	Καυστήρας	Α/Θ	Α.Ψ.Ν.
Φ.Α. (m³/y)	-	36.277	-	-
Ηλεκτρική Ενέργεια (MWh/y)	709	-	1.090	1.114

Με τιμές, για το φυσικό αέριο 0,341 €/m³ και για την ηλεκτρική ενέργεια 60€/MWh υπολογίζονται τα επιμέρους κόστη λειτουργίας.

Πίνακας 4.6: Κόστος Κατανάλωσης φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας

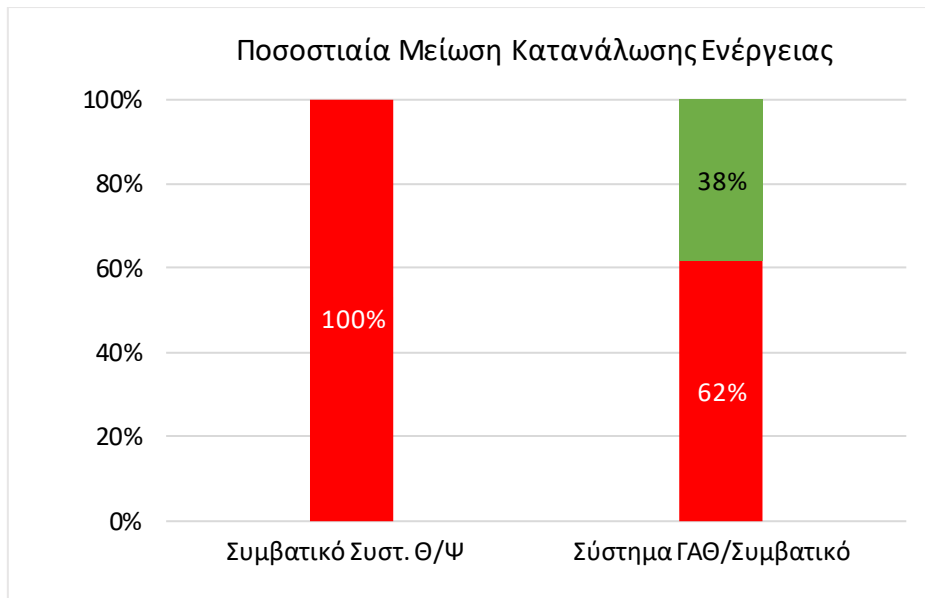
Λειτουργικό Κόστος (€/y)	Α/Θ	Καυστήρας	Α.Ψ.Ν
Θέρμανση	42.540	12.370	-
Ψύξη	65.400	-	66.840

Το συνολικό κόστος λειτουργίας αποτελεί το άθροισμα των επιμέρους συστημάτων και αυτό ανέρχεται στις 187.150 €/y. Στον πίνακα 4.7, πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ κόστους κατανάλωσης για θέρμανση και ψύξη με χρήση συμβατικού συστήματος και με χρήση Γεωθερμικού συστήματος υποβοηθούμενο από το συμβατικό σύστημα.

Πίνακας 4.7: Οικονομικά Αποτελέσματα προτεινόμενου σεναρίου

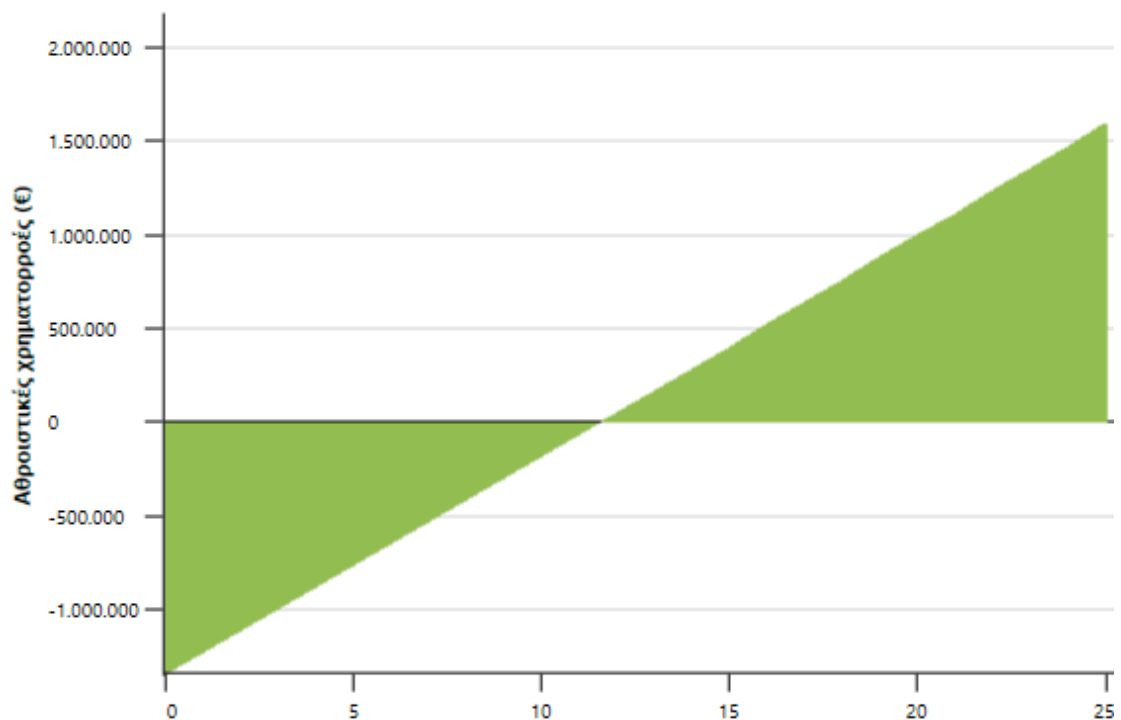
Κόστος Λειτουργίας Συμβατικού Συστήματος (€)	301.434
Κόστος Λειτουργίας με χρήση ΓΑΘ/Σ.Σ (€/y)	187.150
Κόστος Επένδυσης (€)	1.341.468
Κόστος Συντήρησης(€/y)	800
Ετήσια Εξοικονόμηση (€/y)	113.484

Το συνολικό αρχικό κόστος επένδυσης ανέρχεται στα 1.341.468 €, με βάση το κοστολόγιο του πίνακα 3.22. Το κόστος συντήρησης είναι σχετικά μικρό, λόγω της φύσης του συστήματος.



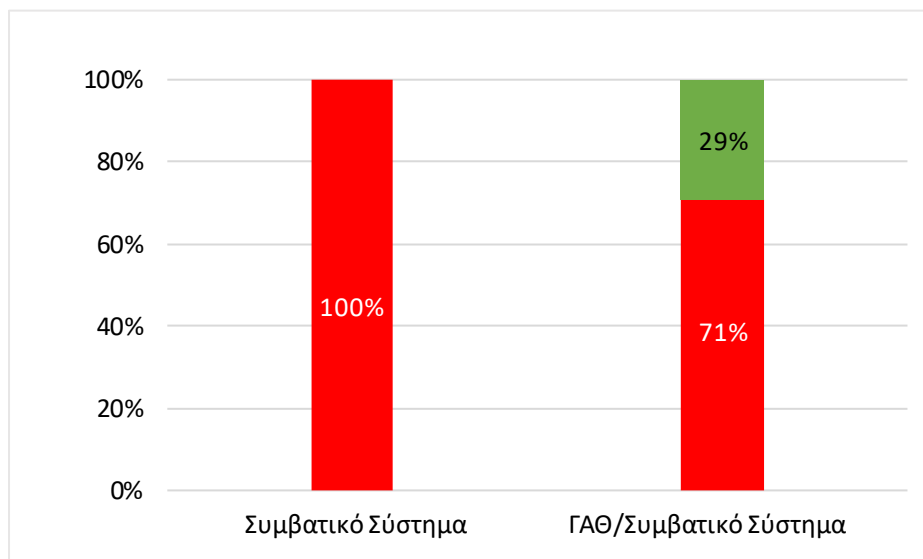
Διάγραμμα 4.4: Ποσοστιαία Μείωση Κατανάλωσης Ενέργειας με σύστημα ΓΑΘ προτεινόμενου σεναρίου

Είναι προφανές, ότι επιτυγχάνεται μια σημαντική μείωση των καταναλώσεων φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας. Η ετήσια εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται αποτελεί ένα σημαντικό κριτήριο για την υλοποίηση του έργου. Δημιουργείται πίνακας καθαρής χρηματοροής (παράρτημα 8.5), ενώ παράλληλα υπολογίζεται ο χρόνος επιστροφής χρημάτων της επένδυσης στα 12 χρόνια.



Διάγραμμα 4.5: Ετήσια καθαρή χρηματοροή

Ακόμη ένα πλεονέκτημα που προσφέρει η προτεινόμενη μελέτη, είναι η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Λόγω της υψηλής απόδοσης του συστήματος σε σχέση με το συμβατικό, αλλά και το γεγονός ότι μπορεί να λειτουργήσει είτε σε λειτουργία θέρμανσης είτε σε λειτουργία ψύξης, μειώνεται η καύση φυσικού αερίου κατά τους χειμερινούς μήνες.



Διάγραμμα 4.6: Ποσοστιαία μείωση εκπομπών CO₂

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα, οι εκπομπές θερμοκηπικών αερίων μειώνονται κατά 29% σε ετήσια βάση. Αν αυτό αναλυθεί σε βάθος 25 χρόνων, η εκπομπή θα είναι μειωμένη κατά 13.425 τόνους CO₂.

5. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μελέτη της ενεργειακής κατάστασης της Α' Φάσης των κτιριακών εγκαταστάσεων της Σχολής Χημικών Μηχανικών και της ενεργειακής αναβάθμισης αυτής. Ο σχεδιασμός της Σχολής, που δομήθηκε στη δεκαετία του '80, είναι στα πρότυπα της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής. Αυτή στην πραγματικότητα πρόκειται για μια πολύ αποτελεσματική μέθοδο αξιοποίησης των περιβαλλοντικών συνθηκών, όταν σχεδιάζεται και υλοποιείται σωστά. Ωστόσο, λόγω των μεγάλων επιφανειών χαμηλής θερμικής αντίστασης, που έρχονται σε επαφή με το περιβάλλον (μονοί υαλοπίνακες και μη αεροστεγανές θύρες) καθώς και της έλλειψης μονωτικού υλικού στην τοιχοποιία, το κτίριο καθίσταται ιδιαίτερα ενεργοβόρο. Παρ' όλα αυτά, υπάρχει ένα μεγάλο περιθώριο ενεργειακής αναβάθμισης με χρήση εξωτερικής μόνωσης, αντικατάσταση υαλοπινάκων με αντίστοιχους διπλούς και πυράντοχες αεροστεγανές θύρες.

Πράγματι, με την θωράκιση του κτιρίου, τα φορτία σε θέρμανση μειώνονται σε ποσοστό 28%. Επίσης, επιτυγχάνεται και μείωση των ψυκτικών φορτίων και συνεπώς των ψυκτικών αναγκών σε ποσοστό 16%. Η συνολική επένδυση της ενεργειακής αναβάθμισης αγγίζει τα 1,96 εκατ. €, ενώ η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται από την αποφυγή κατανάλωσης φυσικού αερίου για θέρμανση και ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη είναι ετησίως περίπου 83 χιλ. €. Αυτό επιτρέπει αποπληρωμή 23,5 έτη.

Παράλληλα με τις επεμβάσεις αυτές, έχει μελετηθεί από άλλη ΔΕ (Μ. Μπόρος) και η μερική εφαρμογή τεχνολογίας Ηλιακής Θέρμανσης Αέρα, με την οποία επιτυγχάνεται μια, επίσης, μείωση των θερμικών αναγκών σε ποσοστό 5%.

Με βάση την τελική ενεργειακή κατάσταση του κτιρίου, στην παρούσα ΔΕ, έγινε εκτίμηση του μεγέθους ενός γεωθερμικού συστήματος για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση και ψύξη για τις κτιριακές εγκαταστάσεις της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π..

Εξετάστηκαν σενάρια, στα οποία θεωρήθηκε ότι το σύστημα ΓΑΘ αντικαθιστά σε κάποιο ποσοστό τα συμβατικά συστήματα ψύξης και θέρμανσης. Ως προτεινόμενο σύστημα επιλέχθηκε Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας Κλειστού Βρόχου Κάθετης Διάταξης. Ως συμπληρωματικό σύστημα θεωρήθηκαν οι εγκατεστημένοι λέβητες με καυστήρες φυσικού αερίου της Σχολής για την κάλυψη των θερμικών αναγκών, ενώ για τις ψυκτικές ανάγκες θεωρήθηκε σύστημα αερόψυκτου ψύκτη νερού, το οποίο αποτελεί ένα απλό σύστημα ψύξης με συμπιεστή.

Για την μελέτη της συγκεκριμένης εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό RETScreen.

Έγινε μελέτη διαφόρων σεναρίων ποσοστών κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Σχολής σε ψύξη/θέρμανση και υπολογίστηκαν τα οικονομικά αποτελέσματά τους.

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι ο βέλτιστος σχεδιασμός της μονάδας αφορά σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας ονομαστικής ισχύος ψύξης/θέρμανσης ίση με 760kW/745kW, η οποία καλύπτει το 63% των ψυκτικών αναγκών της Σχολής, και προκύπτει ταυτόχρονα κάλυψη σε ποσοστό 90% των θερμικών αναγκών. Οι γεωτρήσεις που είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν είναι 218 στο σύνολο και κάθε μία από αυτές θα περιέχει 2 ζεύγη σωληνώσεων.

Το συνολικό κόστος επένδυσης ανέρχεται στα 1.341.468 €, ενώ η ετήσια εξοικονόμηση ανέρχεται στα 113.484 €. Έτσι, υπολογίζεται περίοδος επιστροφής κεφαλαίου περίπου 12 έτη με τρέχουσες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου και έναν εκτιμώμενο πληθωρισμό.

Σχετικά με την έκταση που απαιτείται για ένα σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, αυτή καθορίζεται από την σύσταση του εδάφους, το οποίο επηρεάζει την θερμική αγωγιμότητα, μέγεθος που είναι καθοριστικό για την διαστασιολόγηση του γεωεναλλάκτη. Επίσης, σημαντική επίδραση έχει και η απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων. Όσο πιο απομακρυσμένες είναι μεταξύ τους, τόσο πιο αποδοτικός θα είναι ο γεωεναλλάκτης συνολικά.

Εν γένει, από άποψη οικονομικότητας, τα γεωθερμικά συστήματα έχουν υψηλό κόστος εγκατάστασης. Παρ' όλα αυτά, αποφέρουν μεγάλη εξοικονόμηση και συνεπώς ο χρόνος επιστροφής της επένδυσης είναι σχετικά μικρός, καθόσον οι χρησιμοποιούμενες αντλίες θερμότητας έχουν υψηλή απόδοση και η θερμική πηγή είναι δωρεάν και συνεχής σε αντιδιαστολή με άλλες ΑΠΕ.

Σημαντικός, επίσης, παράγοντας για την επιλογή συστημάτων ΓΑΘ είναι η μείωση των εκπομπών θερμοκηπικών αερίων. Αποτελεί παγκόσμιο συναγερμό η μείωση των ρύπων που επιτυγχάνεται από την μείωση των χρησιμοποιούμενων ορυκτών καυσίμων. Με το προτεινόμενο σύστημα ΓΑΘ, επιτυγχάνεται μείωση των εκπομπών κατά 578 τόνους ετησίως που ισοδυναμεί με 1.200 βαρέλια πετρελαίου.

6. Προτάσεις για μελλοντική εργασία

Για την περαιτέρω βελτίωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου θα μπορούσαν μελλοντικά να εξεταστούν κι άλλες παρεμβάσεις με εφαρμογή παθητικών συστημάτων, όπως η κάλυψη του άνω μέρος των αιθρίων με ανοιγόμενους υαλοπίνακες (τύπου θερμοκηπίου). Κατά τη διάρκεια του χειμώνα θα είναι κλειστοί εγκλωβίζοντας την ηλιακή ενέργεια, ενώ κατά το θέρος θα είναι ανοιχτοί ή σκιαζόμενοι σε κάποιο ποσοστό. Άλλη μια εφαρμογή παθητικού συστήματος, αντίστοιχα με την ηλιακή θέρμανση αέρα, είναι η ηλιακή θέρμανση νερού.

Μία ακόμα πτυχή που αξίζει να μελετηθεί σχετικά με τη μελέτη και αξιολόγηση των αναγκών του κτιρίου, είτε χωρίς παρεμβάσεις είτε με παρεμβάσεις, είναι η εγκατάσταση Συστήματος Διαχείρισης Κτιρίου, ή όπως είναι γνωστό BMS (Building Management System). Το BMS είναι ένα σύστημα ελέγχου που εγκαθίσταται σε κτίρια με σκοπό τη βελτιστοποίηση του ελέγχου και της απόδοσης του κτιρίου, σχετικά με καταναλώσεις ενέργειας, συστήματα φωτισμού, συστήματα αυτοματισμού, συστήματα θέρμανσης και ψύξης, ανελκυστήρων κ.α..

Είναι εφικτό να μελετηθούν κι άλλες εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μπορεί να μελετηθεί η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας με χρήση ανεμογεννητριών ή η επέκταση των φωτοβολταϊκών.

Τέλος, όσον αφορά στο γεωθερμικό σύστημα, θα μπορούσε να μελετηθεί και ένα σύστημα με υδρογεώτρηση. Κατά τη μελέτη παρόμοιων εφαρμογών, βρέθηκε ότι για βελτίωση της απόδοσης μπορούν να συνδυαστούν ανοικτά και κλειστά γεωθερμικά συστήματα, όπως το υβριδικό γεωθερμικό σύστημα στη Σχολή Μεταλλειολόγων.

7. Βιβλιογραφία

- [1] «<https://www.chemeng.ntua.gr/>,» 9 2020. [Ηλεκτρονικό].
- [2] Σ. Χ. Μ. Ε.Μ.Π., «Οριζόντιο Εργαστήριο,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://orizontio.chemeng.ntua.gr>. [Πρόσβαση 25 Σεπτέμβριος 2020].
- [3] V. Bradshaw, *The Building Environment: Active and Passive Control Systems*, 3rd Edition, Hoboken: Wiley, 2006.
- [4] J. Bao και P. L. Lee, *Process Control*, Springer-Verlag London, 2007.
- [5] T. Konstaninou και U. Knaack, «Refurbishment of Residential Buildings: A Design Approach to Energy-Efficiency Upgrades,» *Procedia Engineering*, τόμ. 21, pp. 666-675, 2011.
- [6] S. B. Sadineni, T. M. France και R. F. Boehm, «Economic feasibility of energy efficiency measures in residential buildings,» *Renewable Energy*, τόμ. 36, αρ. 11, pp. 2925-2931, 2011.
- [7] E. Grytli και L. Kvaerness, «The Impact of Energy Improvement Measures on Heritage Buildings,» *Journal of Architectural Conservation*, τόμ. 18, αρ. 3, pp. 89-106, 2012.
- [8] D. Katsapranakis και G. Ziniadakis, «Working on Buildings' Energy Performance Upgrade in Mediterranean Climate,» *Energies*, τόμ. 13, αρ. 9, p. 2159, 2020.
- [9] ASHRAE, «Website,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.ashrae.gr/perch/resources/presentationb2.pdf>. [Πρόσβαση 25 Σεπτέμβριος 2020].
- [10] W. A. Friess, K. Rakhshan και T. A. Hendawi, «Wall insulation measures for residential villas in Dubai: A case study in energy efficiency,» *Energy and Buildings*, τόμ. 44, pp. 26-32, 2012.
- [11] R. Ginevičius και V. Podvezko, «Evaluating the alternative solutions of wall insulation by multicriteria methods,» *Journal of Civil Engineering and Management*, τόμ. 14, αρ. 4, pp. 217-226, 2008.
- [12] D. Tingley και A. Hathway, «An environmental impact comparison of external wall insulation types,» *Building and Environment*, τόμ. 85, pp. 182-189, 2015
- [13] ASHRAE, «Website,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.ashrae.gr/perch/resources/presentationb2.pdf>. [Πρόσβαση 25 Σεπτέμβριος 2020].
- [14] Styropan. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.styropan.gr/blog/eksoteriki-i-esoteriki-thermomonomosi>. [Πρόσβαση 25 Σεπτέμβριος 2020].
- [15] EPS, «EPS Hellas,» Πανελλήνιος Σύνδεσμος Διογκωμένης Πολυστερίνης, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://epshellas.com>. [Πρόσβαση 25 Σεπτέμβριος 2020].
- [16] T. E. G. Building, «Ο Απόλυτος Οδηγός Αγοράς για τα Διπλά Τζάμια.,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://greenbuilding.gr/koufomata/διπλά-τζάμια/>. [Πρόσβαση 25 Σεπτέμβριος 2020].
- [17] E. F. T. BEST, «How does the double glazing work?,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.everest.co.uk/double-glazing-windows/how-does-double-glazing-work/>. [Πρόσβαση 25 Σεπτέμβριος 2020].

- [18] S. Somasundaram, Chong Alex, W. Zhang και S. R. Thangavelu, «Energy saving potential of low-e coating based retrofit double glazing for tropical climate,» *Energy and Buildings*, τόμ. 206, 2020.
- [19] S. Somasundaram, S. R. Thanavelu και A. Chong, «Improving building efficiency using low-e coating based retrofit double glazing with solar films,» *Applied Thermal Engineering*, τόμ. 171, 2020.
- [20] T.-T. Chow και W. Liu, «Warm climate performance of water-filled double-glazing with submerged heat exchanger,» *Sustainable Cities and Society*, τόμ. 58, 2020.
- [21] Κ. Α. Π. & Ε. Ενέργειας, «Ηλιοπροστασία,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_hlioprostasia.htm. [Πρόσβαση 25 Σεπτέμβριος 2020].
- [22] E. Saver, «Lighting Choices to Save You Money,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.energy.gov/energysaver/save-electricity-and-fuel/lighting-choices-save-you-money>. [Πρόσβαση 25 Σεπτέμβριος 2020].
- [23] M. Schwarz και P. Wonka, «Procedural Design of Exterior Lighting for Buildings with Complex Constraints,» *ACM Transactions on Graphics*, τόμ. 33, αρ. 5, 2014.
- [24] D. Phillips, *Lighting Modern Buildings*, Architectural Press, 2000.
- [25] W. R. Ryckaert και C. Lootens, «Criteria for energy efficient lighting in buildings,» *Energy and Buildings*, τόμ. 42, αρ. 3, pp. 341-347, 2010.
- [26] RETScreen, *Passive Solar Heating Project Analysis*, Canada: Minister of Natural Resources Canada, 2001.
- [27] R. Menard και J. Souviron, «Passive solar heating through glazing: The limits and potential for climate change mitigation in the European building stock,» *Energy and Buildings*, τόμ. 228, 2020.
- [28] Z. Liu και D. Wu, «Evaluating potentials of passive solar heating renovation for the energy poverty alleviation of plateau areas in developing countries: A case study in rural Qinghai-Tibet Plateau, China,» *Solar Energy*, τόμ. 187, pp. 95-107, 2019.
- [29] E. Engineering, S. G. Cameron και L. A. Schipper, «Evaluation of passive solar heating and alternative flow regimes on nitrate removal in denitrification beds,» *Ecological Engineering*, τόμ. 37, αρ. 8, pp. 1195-1204, 2011.
- [30] T. Konstantinou και U. Knaack, «An approach to integrate energy efficiency upgrade into refurbishment design process, applied in two case-study buildings in Northern European climate,» *Energy and Buildings*, τόμ. 59, pp. 301-309, 2013.
- [31] S. Homes, «How passive ventilation works,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.smarterhomes.org.nz/smart-guides/air-quality-moisture-and-ventilation/passive-ventilation/>. [Πρόσβαση 25 Σεπτέμβριος 2020].
- [32] «ΦΕΚ 2597/Β/28-6-2019,» Υπουργία Οικονομίας Και Ανάπτυξης Οικονομικών και Περιβάλλοντος Και Ενέργειας Υποδομών Και Μεταφορών, 2019.
- [33] Eurostat, «Renewable energy statistics,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics. [Πρόσβαση 25 Σεπτέμβριος 2020].

- [34] B. Sorensen, P. Breeze, G. Suppes και N. E. Bassam, Renewable Energy Focus e-Mega Handbook 1st Edition, Cambridge: Academic Press, 2008.
- [35] G. Kariniotakis, Renewable Energy Forecasting 1st Edition, Sawston: Woodhead Publishing, 2017.
- [36] Κατσαπρακάκης, Δημήτρης Αλ.; Μονιάκης, Μύρων, Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός, Κρήτη: Εκδόσεις Κάλλιπος, 2015.
- [37] Δ. Μ. Κ. Κ. Δ. Κ. Κ. Δρ. Μιχαήλ Γρ. Βραχόπουλος, Κανονική Γεωθερμία - Αρχές Σχεδιασμού Γεωθερμικών Συστημάτων και Εφαρμογές, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγράμματα και Βοηθήματα, 2015.
- [38] Α. Παπαϊωάννου, Θερμοδυναμική, Τόμος ΙΙ, Συστήματα Παραγωγής Ισχύος, Θέρμανσης και Ψύξης, Εκδόσεις Κοράλι, 2010.
- [39] M. J. Moran, «Eighth Edition,» σε *FUNDAMENTALS OF ENGINEERING THERMODYNAMICS* .
- [40] M. A. B. Yunus A., Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα, 2016.
- [41] S. K. & K. Rafferty, Ground-Source Heat Pumps: Design of Geothermal System for Commercial and Institutional Buildings, ASHRAE, 1997.
- [42] N. A. M. Φυτίκας, Γεωθερμία, Εκδόσεις Τζιόλα, 2004.
- [43] «FWT Ltd,» 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.filterclean.co.uk/index.asp>. [Πρόσβαση 8 25 2020].
- [44] Γ. Ι. Καρυδάκης, Γεωθερμική Ενέργεια, Αθήνα: ΑΘΛΟΤΥΠΟ, 2005.
- [45] R. International, Ground-Source Heat Pump - Project Analysis, Minister of Natural Resources Canada, 2001 - 2005.
- [46] Γ. Μ. & Π.-Β. Παναγιώτης, Ενεργειακή ανάλυση θέρμανσης-ψύξης του κτιρίου Η.Μ.Μ.Υ. του Π.Θ. με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας και αντλίες θερμότητας αέρα-νερού, Βόλος, 2017.
- [47] Ν. Γ. Παπαθεοδώρου, Προσομοίωση Συστημάτων Αβαθούς Γεωθερμίας με τη Χρήση Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας Συμβατικής και Νέας Τεχνολογίας, Αθήνα, 2011.
- [48] «Mareï Hellas,» Αθήνα, 2020.
- [49] Π. Ζ. ΛΙΟΥΤΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, Αξιοποίηση γεωθερμίας με χρήση αντλιών θερμότητας, Σέρρες, 2009.
- [50] Τ. Ιωάννης, Τεχνικοοικονομική μελέτη σκοπιμότητας και ενδεικτική μελέτη εγκατάστασης για κλιματισμό σχολικού κτιρίου με αβαθή γεωθερμία, Ηράκλειο, 2014.
- [51] «Shandong Lark Central Air Conditioner Co,» Lark Central Air Conditioner, 2007. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.larkac.com/index.php>. [Πρόσβαση 1 9 2020].
- [52] R. International, RETScreen Software Online User Manual, Canada: Natural Resources Of Canada, 2005.

8. Παραρτήματα

8.1 Παράρτημα 1

Κλιματικά Δεδομένα

Στο συγκεκριμένο παράρτημα βρίσκονται όλα τα καιρικά δεδομένα που υπολογίστηκαν και αξιοποιήθηκαν στη διπλωματική εργασία.

Πίνακας 8.1: Πίνακας μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας

Μηνάς	Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία (°C)
Ιανουάριος	10.3
Φεβρουάριος	11.8
Μάρτιος	13.9
Απρίλιος	17.5
Μάιος	21.5
Ιούνιος	26.2
Ιούλιος	28.9
Αύγουστος	28.9
Σεπτέμβριος	24.8
Οκτώβριος	19.7
Νοέμβριος	15.9
Δεκέμβριος	11.4

Πίνακας 8.2: Πίνακας μέσης μηνιαίας ταχύτητας αέρα

Μηνάς	Μέση Μηνιαία Ταχύτητα Αέρα (m/s)
Ιανουάριος	1.2
Φεβρουάριος	1.2
Μάρτιος	1.3
Απρίλιος	1.1
Μάιος	1.1
Ιούνιος	1.1
Ιούλιος	1.2
Αύγουστος	1.3
Σεπτέμβριος	1.1
Οκτώβριος	0.9
Νοέμβριος	0.9
Δεκέμβριος	1.0

Πίνακας 8.3: Πίνακας μέσης μηνιαίας ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια

Μηνάς	Μέση μηνιαία ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια (kWh/m ² /d)
Ιανουάριος	2.07
Φεβρουάριος	2.60
Μάρτιος	3.87
Απρίλιος	5.07
Μάιος	6.42
Ιούνιος	7.03
Ιούλιος	7.31
Αύγουστος	6.66
Σεπτέμβριος	5.01
Οκτώβριος	3.58
Νοέμβριος	2.32
Δεκέμβριος	1.83

Πίνακας 8.4: Πίνακας βαθμο-ημερών

Μηνάς	Βαθμο-ημέρες Θέρμανσης (°C*d) ¹	Βαθμο-ημέρες Ψύξης (°C*d) ²
Ιανουάριος	238.90	22.70
Φεβρουάριος	172.27	51.73
Μάρτιος	126.17	121.83
Απρίλιος	27.58	225.80
Μάιος	0.00	342.52
Ιούνιος	0.00	487.48
Ιούλιος	0.00	584.43
Αύγουστος	0.00	586.02
Σεπτέμβριος	0.00	443.20
Οκτώβριος	7.97	299.92
Νοέμβριος	63.90	176.18
Δεκέμβριος	203.95	50.87
Σύνολο	840.73	3392.68

Πίνακας 8.5: Πίνακας θερμοκρασιών σχεδιασμού

Θερμοκρασία Σχεδιασμού Θέρμανσης (°C)	Θερμοκρασία Σχεδιασμού Ψύξης (°C)
4.8	35.9

¹ Η θερμοκρασία αναφοράς στις βαθμο-ημέρες θέρμανσης είναι 18°C.

² Η θερμοκρασία αναφοράς στις βαθμο-ημέρες ψύξης είναι 10°C.

8.2 Παράρτημα 2

Αποτελέσματα φορτίων

Πίνακας 8.6: Θερμικά φορτία πριν τη θωράκιση του κτιρίου

Επίπεδο	(Πτέρυγα/ Είδος Χώρου / Βοηθητικό Σχόλιο)	Επιφάνεια (m ²)	Θερμικά Φορτία (W)	Θερμικά φορτία προσαυξημένα (W)	Θερμικά φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)
0	(B/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	24166	28999	122
0	(B/Διάδρομος)	148	15092	18111	122
0	(B/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δεξιά)	237	25342	30410	128
0	(Α/Γραμματεία)	204	29281	35137	172
0	(Εκτός Σχολής/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	39	7755	9306	237
0	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	60	12866	15439	257
0	(Α/Διάδρομος)	157	20304	24365	155
1	(B/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	18791	22550	95
1	(B/Διάδρομος)	148	11938	14326	97
1	(B/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	18791	22550	95
1	(Δ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	28128	33754	142
1	(Δ/Διάδρομος)	148	16437	19725	133
1	(Δ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δεξιά)	237	25342	30410	128
1	(Ε/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	87	14248	17098	198
1	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Εξω από Αμφιθέατρο 1)	25	3864	4637	185
1	(Α/Αίθουσες/11-12)	173	27978	33574	194
1	(Α/Αμφιθέατρο/1)	156	45407	54488	349
1	(Α/Αναγνώστηριο)	122	17248	20697	169
1	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Εξω εν μέρει)	40	6511	7813	193
1	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	10285	12342	201
1	(Εκτός Σχολής/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	39	7755	9306	237
1	(Α/Θυρωρείο)	18	3785	4542	254
2	(B/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	18791	22550	95
2	(B/Διάδρομος)	148	9371	11245	76

Πίνακας 8.7: Θερμικά Φορτία πριν τη θωράκιση του κτιρίου (Συνέχεια)

Επίπεδο	(Πτέρυγα/ Είδος Χώρου / Βοηθητικό Σχόλιο)	Επιφάνεια (m ²)	Θερμικά Φορτία (W)	Θερμικά φορτία προσαυξημένα (W)	Θερμικά φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)
2	(Β/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	18791	22550	95
2	(Δ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	18791	22550	95
2	(Δ/Διάδρομος)	148	9371	11245	76
2	(Δ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	18791	22550	95
2	(Ζ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	28128	33754	142
2	(Ζ/Διάδρομος)	148	13870	16644	112
2	(Ζ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δεξιά)	237	25342	30410	128
2	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	9655	11586	189
2	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	4242	5090	83
2	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	6108	7330	119
2	(Γ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	166	20029	24035	145
2	(Γ/Διάδρομος)	78	10955	13146	168
2	(Θ/Εργαστήριο)	192	32573	39087	204
2	(Ε/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	118	10667	12800	108
2	(Ε/Διάδρομος)	56	9546	11456	204
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	77	12676	15212	197
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	77	12676	15212	197
2	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	114	10791	12950	114
2	(Η/Διάδρομος)	103	14660	17592	170
2	(Α/Αίθουσες/21-25)	324	55589	66707	206
2	(Α/Αίθουσες/26-28)	324	61361	73634	227
2	(Α/Αίθουσες/29)	122	18003	21603	177
2	(Γ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/ Άνω αναγνωστηριου	122	18204	21845	179
2	(Α/Αμφιθέατρο/2)	156	45407	54488	349
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Εξω εν μέρει)	72	6782	8138	113
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Βοράς)	37	7374	8849	236
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Νότος)	32	3912	4694	147

Επίπεδο	(Πτέρυγα/ Είδος Χώρου / Βοηθητικό Σχόλιο)	Επιφάνεια (m ²)	Θερμικά Φορτία (W)	Θερμικά φορτία προσαυξημένα (W)	Θερμικά φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)
2	(Εκτός Σχολής/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	39	8110	9732	247
2	(Θ/Διάδρομος)	824	87138	104565	127
2	(Α/Διάδρομος)	1019	118131	141757	139
3	(Β/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	29779	35735	151
3	(Β/Διάδρομος)	148	18461	22154	150
3	(Β/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	29779	35735	151
3	(Δ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	18791	22550	95
3	(Δ/Διάδρομος)	148	9371	11245	76
3	(Δ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	18791	22550	95
3	(Ζ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	18791	22550	95
3	(Ζ/Διάδρομος)	148	9371	11245	76
3	(Ζ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	18791	22550	95
3	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	7088	8506	139
3	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	4242	5090	83
3	(Θ/Εργαστήριο)	232	29207	35048	151
3	(Γ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	88	10789	12947	148
3	(Γ/Διάδρομος)	28	5221	6265	220
3	(Ε/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Κέντρο)	198	15479	18574	94
3	(Ε/Διάδρομος/Κέντρο)	78	10620	12744	164
3	(Ε/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δύση)	122	18454	22145	181
3	(Α/Αίθουσες/31-34)	324	55589	66707	206
3	(Η/Αίθουσα Συνδιαλέξεων/Κουμούτσου)	122	33749	40499	331
3	(Α/Αίθουσα Συνδιαλέξεων/Ζώμα)	50	12581	15097	301
3	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	126	8869	10643	85
3	(Η/Διάδρομος)	116	8289	9947	86
3	(Η1/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	176	20002	24003	136
3	(Η1/Διάδρομος)	96	15023	18028	188
3	(Θ/Διάδρομος)	767	61669	74003	96
3	(Α/Διάδρομος)	413	32379	38854	94

Πίνακας 8.8: Θερμικά φορτία πριν τη θωράκιση του κτιρίου (Συνέχεια)

Επίπεδο	(Πτέρυγα/ Είδος Χώρου / Βοηθητικό Σχόλιο)	Επιφάνεια (m ²)	Θερμικά Φορτία (W)	Θερμικά φορτία προσαυξημένα (W)	Θερμικά φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)
4	(Δ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	29779	35735	151
4	(Δ/Διάδρομος)	148	18967	22761	154
4	(Δ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	29779	35735	151
4	(Ζ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	18791	22550	95
4	(Ζ/Διάδρομος)	148	15745	18894	128
4	(Ζ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	18791	22550	95
4	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	7088	8506	139
4	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	7088	8506	139
4	(Ε/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	166	20484	24581	148
4	(Ε/Διάδρομος)	85	11507	13808	162
4	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	166	20661	24794	149
4	(Η/Διάδρομος)	85	11777	14132	166
4	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	48	7073	8488	176
4	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	122	18417	22100	181
4	(Η1/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	174	10607	12728	73
4	(Η1/Αίθουσες Η/Υ/PC Lab)	195	27066	32479	167
4	(Η1/Διάδρομος)	125	11992	14390	115
4	(Θ/Διάδρομος)	379	40923	49108	130
5	(Ζ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	29779	35735	151
5	(Ζ/Διάδρομος)	148	18967	22761	154
5	(Ζ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	29779	35735	151
5	(Η1/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Αριστερά)	174	18804	22565	130
5	(Η1/Διάδρομος)	136	18847	22617	166
5	(Η1/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δεξιά)	125	14853	17824	143

Επίπεδο	(Πτέρυγα/ Είδος Χώρου / Βοηθητικό Σχόλιο)	Επιφάνεια (m ²)	Θερμικά Φορτία (W)	Θερμικά φορτία προσαυξημένα (W)	Θερμικά φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)
0	(B/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	19594	23513	99
0	(B/Διάδρομος)	148	10159	12191	82
0	(B/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δεξιά)	237	19127	22952	97
0	(Α/Γραμματεία)	204	22240	26688	131
0	(Εκτός Σχολής/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	39	3976	4772	121
0	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	60	9099	10919	182
0	(Α/Διάδρομος)	157	16322	19587	125
1	(B/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	12567	15080	64
1	(B/Διάδρομος)	148	6229	7474	51
1	(B/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	12567	15080	64
1	(Δ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	23557	28268	119
1	(Δ/Διάδρομος)	148	10728	12873	87
1	(Δ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δεξιά)	237	19127	22952	97
1	(Ε/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	87	8421	10105	117
1	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια Αμφιθέατρο 1)	25	1861	2233	89
1	(Α/Αίθουσες/Κατελιημμένες)	173	17356	20827	120
1	(Α/Αμφιθέατρο/1)	156	38708	46449	298
1	(Α/Αναγνωστήριο)	122	10465	12557	103
1	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Εξω εν μέρει)	40	3124	3748	93
1	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	5024	6029	98
1	(Εκτός Σχολής/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	39	3976	4772	121
1	(Α/Θυρωρείο)	18	1916	2300	128
2	(B/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	12567	15080	64
2	(B/Διάδρομος)	148	5146	6175	42
2	(B/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	12567	15080	64
2	(Δ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	12567	15080	64
2	(Δ/Διάδρομος)	148	5146	6175	42

Πίνακας 8.9: Πίνακας θερμικών φορτίων μετά τη θωράκιση του κτιρίου

Πίνακας 8.10: Θερμικά φορτία μετά τη θωράκιση του κτιρίου (Συνέχεια)

Επίπεδο	(Πτέρυγα/ Είδος Χώρου / Βοηθητικό Σχόλιο)	Επιφάνεια (m ²)	Θερμικά Φορτία (W)	Θερμικά φορτία προσαυξημένα (W)	Θερμικά φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)
2	(Δ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	12567	15080	64
2	(Ζ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	23557	28268	119
2	(Ζ/Διάδρομος)	148	9645	11574	78
2	(Ζ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δεξιά)	237	19127	22952	97
2	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	7572	9087	148
2	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	2159	2591	42
2	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	4026	4831	79
2	(Γ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	166	14684	17621	106
2	(Γ/Διάδρομος)	78	6893	8271	105
2	(Θ/Εργαστήριο)	192	26601	31921	166
2	(Ε/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	118	6774	8128	69
2	(Ε/Διάδρομος)	56	5753	6904	123
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	77	9543	11452	149
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	77	9543	11452	149
2	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	114	8256	9908	87
2	(Η/Διάδρομος)	103	9687	11624	113
2	(Α/Αίθουσες/21-25)	324	45011	54014	167
2	(Α/Αίθουσες/26-28)	324	50784	60941	188
2	(Α/Αίθουσες/29)	122	12647	15176	124
2	(Γ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Πάνω από Αναγνώστηριο)	122	11907	14289	117
2	(Α/Αμφιθέατρο/2)	156	38708	46449	298
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Εξω εν μέρει)	72	3475	4170	58
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Βοράς)	37	5114	6137	164
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Νότος)	32	2233	2680	84
2	(Εκτός Σχολής/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	39	4049	4859	123
2	(Θ/Διάδρομος)	824	68303	81964	99

Επίπεδο	(Πτέρυγα/ Είδος Χώρου / Βοηθητικό Σχόλιο)	Επιφάνεια (m ²)	Θερμικά Φορτία (W)	Θερμικά φορτία προσαυξημένα (W)	Θερμικά φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)
2	(Α/Διάδρομος)	1019	94746	113696	112
3	(Β/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	23554	28265	119
3	(Β/Διάδρομος)	148	13020	15624	106
3	(Β/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	23554	28265	119
3	(Δ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	12567	15080	64
3	(Δ/Διάδρομος)	148	5146	6175	42
3	(Δ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	12567	15080	64
3	(Ζ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	12567	15080	64
3	(Ζ/Διάδρομος)	148	5146	6175	42
3	(Ζ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	12567	15080	64
3	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	5006	6007	98
3	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	2159	2591	42
3	(Θ/Εργαστήριο)	232	22837	27404	118
3	(Γ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	88	7599	9119	104
3	(Γ/Διάδρομος)	28	2784	3340	117
3	(Ε/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Κέντρο)	198	9264	11116	56
3	(Ε/Διάδρομος/Κέντρο)	78	6524	7828	101
3	(Ε/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δύση)	122	11957	14348	117
3	(Α/Αίθουσες/31-34)	324	45011	54014	167
3	(Η/Αίθουσα Συνδιαλέξεων/Κουμούτσου)	122	28463	34155	279
3	(Α/Αίθουσα Συνδιαλέξεων/Ζιώμα)	50	9685	11622	232
3	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	126	4976	5972	48
3	(Η/Διάδρομος)	116	3386	4063	35
3	(Η1/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	176	14382	17258	98
3	(Η1/Διάδρομος)	96	9876	11851	124
3	(Θ/Διάδρομος)	767	41825	50189	65
3	(Α/Διάδρομος)	413	25687	30824	75

Πίνακας 8.11: Θερμικά φορτία μετά τη θωράκιση του κτιρίου (Συνέχεια)

Επίπεδο	(Πτέρυγα/ Είδος Χώρου / Βοηθητικό Σχόλιο)	Επιφάνεια (m ²)	Θερμικά Φορτία (W)	Θερμικά φορτία προσαυξημένα (W)	Θερμικά φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)
4	(Δ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	23554	28265	119
4	(Δ/Διάδρομος)	148	13297	15957	108
4	(Δ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	23554	28265	119
4	(Ζ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	12567	15080	64
4	(Ζ/Διάδρομος)	148	10308	12370	84
4	(Ζ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	12567	15080	64
4	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	5006	6007	98
4	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	5006	6007	98
4	(Ε/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	166	14528	17433	105
4	(Ε/Διάδρομος)	85	7169	8603	101
4	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	166	14564	17477	105
4	(Η/Διάδρομος)	85	7254	8705	102
4	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	48	4178	5013	104
4	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	122	11949	14339	117
4	(Η1/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	174	5915	7098	41
4	(Η1/Αίθουσες Η/Υ/PC Lab)	195	21734	26081	134
4	(Η1/Διάδρομος)	125	6553	7864	63
4	(Θ/Διάδρομος)	379	29812	35774	94
5	(Ζ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	23554	28265	119
5	(Ζ/Διάδρομος)	148	13297	15957	108
5	(Ζ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	23554	28265	119
5	(Η1/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Αριστερά)	174	13995	16794	97
5	(Η1/Διάδρομος)	136	12712	15254	112
5	(Η1/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δεξιά)	125	10259	12310	98

Πίνακας 8.12: Ψυκτικά φορτίων πριν τη θωράκιση του κτιρίου

Επίπεδο	(Πτέρυγα/ Είδος Χώρου / Βοηθητικό Σχόλιο)	Επιφάνεια (m ²)	Ψυκτικά Φορτία (W)	Ψυκτικά φορτία προσαυξημένα (W)	Ψυκτικά φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)
0	(B/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	31749	38099	161
0	(B/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δεξιά)	237	32099	38519	163
0	(A/Γραμματεία)	204	49142	58971	289
0	(Εκτός Σχολής/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	39	7495	8994	229
0	(A/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	60	19101	22921	382
1	(B/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	30826	36991	156
1	(B/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	33130	39756	168
1	(Δ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	34629	41554	175
1	(Δ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δεξιά)	237	32435	38922	164
1	(E/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	87	15215	18258	211
1	(A/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Εξω από Αμφιθέατρο 1)	25	3519	4222	169
1	(A/Αίθουσες/Κατειλημμένες)	173	50728	60874	351
1	(A/Αμφιθέατρο/1)	156	74816	89779	576
1	(A/Αναγνωστήριο)	122	19134	22961	188
1	(A/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Εξω εν μέρει)	40	6653	7984	198
1	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	10632	12758	208
1	(Εκτός Σχολής/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	39	7496	8995	229
1	(A/Θυρωρείο)	18	3579	4294	240
2	(B/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	30826	36992	156
2	(B/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	33131	39757	168
2	(Δ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	30826	36992	156
2	(Δ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	33131	39757	168
2	(Z/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	38467	46161	195
2	(Z/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δεξιά)	237	31661	37993	160
2	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	16951	20341	331
2	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	7892	9470	154
2	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	9169	11002	179

2	(Γ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	166	31660	37992	228
---	--------------------------------	-----	-------	-------	-----

Πίνακας 8.13: Ψυκτικά φορτίων πριν τη θωράκιση του κτιρίου (συνέχεια)

Επίπεδο	(Πτέρυγα/ Είδος Χώρου / Βοηθητικό Σχόλιο)	Επιφάνεια (m ²)	Ψυκτικά Φορτία (W)	Ψυκτικά φορτία προσαυξημένα (W)	Ψυκτικά φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)
2	(Θ/Εργαστήριο)	192	56544	67853	353
2	(Ε/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	118	15598	18718	158
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	77	24452	29343	381
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	77	24467	29360	381
2	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	114	14530	17436	153
2	(Α/Αίθουσες/21-25)	324	112050	134460	415
2	(Α/Αίθουσες/26-28)	324	115999	139199	429
2	(Α/Αίθουσες/29)	122	24149	28979	237
2	(Γ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Πάνω από Αναγνώστηριο)	122	32675	39211	321
2	(Α/Αμφιθέατρο/2)	156	74816	89779	576
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Εξω εν μέρει)	72	10396	12475	173
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Βοράς)	37	11745	14094	377
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Νότος)	32	4988	5986	188
2	(Εκτός Σχολής/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	39	7738	9286	236
3	(Β/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	59017	70820	299
3	(Β/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	61321	73585	310
3	(Δ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	30826	36991	156
3	(Δ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	33130	39756	168
3	(Ζ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	30826	36991	156
3	(Ζ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	33130	39756	168
3	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	15283	18340	299
3	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	7962	9555	156
3	(Θ/Εργαστήριο)	232	59964	71957	310
3	(Γ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	88	20926	25111	286
3	(Ε/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Κέντρο)	198	26481	31778	160
3	(Ε/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δύση)	122	32229	38675	316
3	(Α/Αίθουσες/31-34)	324	112049	134459	415

Επίπεδο	(Πτέρυγα/ Είδος Χώρου / Βοηθητικό Σχόλιο)	Επιφάνεια (m ²)	Ψυκτικά Φορτία (W)	Ψυκτικά φορτία προσαυξημένα (W)	Ψυκτικά φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)
3	(Η/Αίθουσα Συνδιαλέξεων/Κουμούτσου)	122	55236	66284	542
3	(Α/Αίθουσα Συνδιαλέξεων/Ζιώμα)	50	18998	22797	455
3	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	126	14750	17700	141
3	(Η1/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	176	22545	27054	154
4	(Δ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	59017	70820	299
4	(Δ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	61321	73585	310
4	(Ζ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	30826	36991	156
4	(Ζ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	33130	39756	168
4	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	15195	18234	297
4	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	15111	18133	295
4	(Ε/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	166	39359	47231	284
4	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	166	39850	47819	288
4	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	48	12878	15453	320
4	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	122	32701	39241	321
4	(Η1/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	174	15807	18968	109
4	(Η1/Αίθουσες Η/Υ/PC Lab)	195	31668	38002	195
5	(Ζ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	59016	70819	299
5	(Ζ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	61320	73584	310
5	(Η1/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Αριστερά)	173.63	37236	44683	257
5	(Η1/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δεξιά)	125	34232	41078	329

Πίνακας 8.14: Ψυκτικά φορτία μετά τη θωράκιση του κτιρίου (συνέχεια)

Επίπεδο	(Πτέρυγα/ Είδος Χώρου / Βοηθητικό Σχόλιο)	Επιφάνεια (m ²)	Ψυκτικά Φορτία (W)	Ψυκτικά φορτία προσαυξημένα (W)	Ψυκτικά φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)
0	(B/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	27166	32599	138
0	(B/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δεξιά)	237	25736	30883	130
0	(A/Γραμματεία)	204	41320	49584	243
0	(Εκτός Σχολής/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	39	4771	5725	145
0	(A/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	60	15841	19009	317
1	(B/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	24708	29650	125
1	(B/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	26736	32083	135
1	(Δ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	29952	35943	152
1	(Δ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δεξιά)	237	25885	31062	131
1	(E/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	87	10846	13016	150
1	(A/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Εξω από Αμφιθέατρο 1)	25	2125	2551	102
1	(A/Αίθουσες/Κατελιημμένες)	173	41206	49448	285
1	(A/Αμφιθέατρο/1)	156	70232	84279	540
1	(A/Αναγνωστήριο)	122	14245	17094	140
1	(A/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Εξω εν μέρει)	40	4207	5048	125
1	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	6801	8161	133
1	(Εκτός Σχολής/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	39	4771	5725	145
1	(A/Θυρωρείο)	18	2239	2687	150
2	(B/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	24709	29650	125
2	(B/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	26736	32084	135
2	(Δ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	24709	29650	125
2	(Δ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	26736	32084	135
2	(Z/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	32350	38819	164
2	(Z/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δεξιά)	237	25266	30320	128
2	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	14207	17049	278
2	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	5148	6177	101
2	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	6425	7710	126

Επίπεδο	(Πτέρυγα/ Είδος Χώρου / Βοηθητικό Σχόλιο)	Επιφάνεια (m ²)	Ψυκτικά Φορτία (W)	Ψυκτικά φορτία προσαυξημένα (W)	Ψυκτικά φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)
2	(Γ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	166	25673	30808	185
2	(Θ/Εργαστήριο)	192	50736	60883	317
2	(Ε/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	118	11064	13277	112
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	77	20140	24168	313
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	77	20143	24171	314
2	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	114	11304	13565	119
2	(Α/Αίθουσες/21-25)	324	100765	120918	373
2	(Α/Αίθουσες/26-28)	324	104715	125658	387
2	(Α/Αίθουσες/29)	122	19699	23639	193
2	(Γ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Πάνω από Αναγνωστήριο)	122	27207	32648	267
2	(Α/Αμφιθέατρο/2)	156	70233	84279	540
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Εξω εν μέρει)	72	7023	8428	117
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Βοράς)	37	9355	11226	300
2	(Α/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Νότος)	32	3308	3970	124
2	(Εκτός Σχολής/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	39	4821	5785	147
3	(Β/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	52932	63518	268
3	(Β/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	54960	65951	278
3	(Δ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	24741	29689	125
3	(Δ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	26768	32122	136
3	(Ζ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	24741	29689	125
3	(Ζ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	26768	32122	136
3	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	12478	14974	244
3	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	5171	6205	101
3	(Θ/Εργαστήριο)	232	53797	64556	278
3	(Γ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	88	17440	20928	239
3	(Ε/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Κέντρο)	198	19838	23806	120
3	(Ε/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δύση)	122	27118	32542	266

Πίνακας 8.15: Ψυκτικά φορτία μετά τη θωράκιση του κτιρίου (συνέχεια)

Επίπεδο	(Πτέρυγα/ Είδος Χώρου / Βοηθητικό Σχόλιο)	Επιφάνεια (m ²)	Ψυκτικά Φορτία (W)	Ψυκτικά φορτία προσαυξημένα (W)	Ψυκτικά φορτία ανά επιφάνεια (W/m ²)
3	(Α/Αίθουσες/31-34)	324	100809	120971	373
3	(Η/Αίθουσα Συνδιαλέξεων/Κουμούτσου)	122	50960	61152	500
3	(Α/Αίθουσα Συνδιαλέξεων/Ζιώμα)	50	16490	19788	395
3	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	126	10097	12117	97
3	(Η1/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	176	17533	21040	120
4	(Δ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	52835	63402	268
4	(Δ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	54862	65835	278
4	(Ζ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	24643	29572	125
4	(Ζ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	26671	32005	135
4	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	12435	14921	243
4	(Θ/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	61	12397	14877	242
4	(Ε/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	166	33117	39741	239
4	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	166	33218	39862	240
4	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	48	10350	12420	257
4	(Η/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	122	27403	32884	269
4	(Η1/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια)	174	11130	13356	77
4	(Η1/Αίθουσες Η/Υ/PC Lab)	195	26482	31778	163
5	(Ζ/Εργαστήριο/Αριστερά)	237	52901	63481	268
5	(Ζ/Εργαστήριο/Δεξιά)	237	54929	65915	278
5	(Η1/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Αριστερά)	173.63	32528	39033	225
5	(Η1/Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια/Δεξιά)	125	29604	35525	284

8.3 Παράρτημα 3

Στο συγκεκριμένο παράρτημα βρίσκονται όλα τα Scripts σε περιβάλλον MATLAB που χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό των φορτίων.

8.3.1 MATLAB Script για τα θερμικά φορτία πριν τη θωράκιση κτιρίου

```
%% Basic Commands
clear;
clc;
format long g
% -----
%%
%%Meleti Olwn twn databases Database0 ews Database5 (arithos database = metritis1-1)
for metritis1=0:6
tic
%% Euresi tou plithous twn xwrwn se kathe Database
akati=metritis1-1;
a_string=string(akati);
studyfile = 'Database'+a_string+'.xlsx';
studysheet = 1;
studyrange = 'A:A';
[num,txt,row] = xlsread(studyfile,studysheet,studyrange,'basic');
telos=length(num);
%%
for metritis2=1:telos %% Ksekinaei i epanalipsi gia to kathe xwro sto Database Meletis

%% --- Orismos Arxeiou Lipsis Dedomenwn ---
filename = studyfile;
% -----
%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn---
sheet = 1;
xlRange = 'C'+string(metritis2+1)+':F'+string(metritis2+1);
[num,txt,row] = xlsread(filename,sheet,xlRange,'basic');
%-----

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----
Database = cell2table(row,'VariableNames',{'Sheet' 'Range1' 'Range2' 'RoomType'});
newsheet=string(Database.Sheet);
range1=string(Database.Range1);
range2=string(Database.Range2);
roomtype=string(Database.RoomType);
%-----

%% ----Lipsi Dedomenwn gia megalos pinaka-----
[num,txt,row] = xlsread(filename,newsheet,range1,'basic');
megalospinakas=cell2table(row,'VariableNames',{'N' 'S' 'E' 'W'});
megalospinakas=[megalospinakas.N megalospinakas.S megalospinakas.E megalospinakas.W];
%-----

%% ----Lipsi Dedomenwn gia mikro pinaka-----
[num,txt,row] = xlsread(filename,newsheet,range2,'basic');
mikrospinakas=cell2table(row,'VariableNames',{'A'});
mikrospinakas=mikrospinakas.A;
```

```

%-----
%% ----- Metafora stoixeiwn se Data arxeio megalou pinaka ----
my_directory="C:\Users\Minas\Desktop\HeatLoads";
path=fullfile(my_directory, "Data.xlsx");
writematrix(megalospinakas,path,"Sheet",2,"Range","D2:G23")
%-----
%% ----- Metafora stoixeiwn se Data arxeio mikrou pinaka ----
path=fullfile(my_directory, "Data.xlsx");
writematrix(mikrospinas,path,"Sheet",2,"Range","J2:J8")
%-----
%% ----- Metafora RoomType-----
writematrix(roomtype,path,"Sheet",2,"Range","L7")
%-----
%%
%% --- Orismos Arxeiou Lipsis Dedomenwn ---
filename = 'Data.xlsx';
%-----
%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn---
sheet = 1;
xlRange = 'A2:E37';
[num,txt,row]= xlsread(filename,sheet,xlRange,'basic');
%-----
%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----
Data = cell2table(raw,'VariableNames',{'Description' 'Variable' 'Value' 'Unit' 'Check'});
    descr=string(Data.Description);
    var1=string(Data.Variable);
    val1=Data.Value;
    unit=string(Data.Unit);
    check1=string(Data.Check);
%-----

%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn gia ton xwro---
sheet=2;
xlRange = 'A2:G23';
[num,txt,row]= xlsread(filename,sheet,xlRange,'basic');
%-----

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----
BuildingLosses1 = cell2table(raw,'VariableNames',{'Type' 'Variable' 'Check' 'N' 'S' 'E' 'W'});
    type1=string(BuildingLosses1.Type);
    var2=string(BuildingLosses1.Variable);
    valN=BuildingLosses1.N;
    valS=BuildingLosses1.S;
    valE=BuildingLosses1.E;
    valW=BuildingLosses1.W;
    val2=[valN valS valE valW];
    check2=string(BuildingLosses1.Check);
%-----

%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn gia aera---
xlRange = 'I2:J8';
[num,txt,row]= xlsread('Data.xlsx',sheet,xlRange,'basic');
BuildingLosses2 = cell2table(raw,'VariableNames',{'Type' 'Value'});
    type2=string(BuildingLosses2.Type);
    val3=BuildingLosses2.Value;
%-----

```

```

%% -----Ipologismos Epifaneias-----
for j=1:4
    c1=0;c2=0;
    for i=1:(length(type1)/2);
        %% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn---
        xlRange = 'L7';
        [num,txt,row] = xlsread('Data.xlsx',sheet,xlRange,'basic');
        % -----

        %% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----
        Data3 = cell2table(row,'VariableNames',{'Room_Type'});
        roomtype=string(Data3.Room_Type);
        % -----

        if roomtype~="amphitheater"
            height=val1(find(check1==var2(i)));
        else
            if var2(i)=="wall"
                height=val1(find(check1=="h."+roomtype));
            else
                height=val1(find(check1==var2(i)));
            end
        end
        area(i,j)=val2(i,j)*height;
        totalarea(i,j)=area(i,j)*val2((i+(length(type1)/2)),j);
        %-----Ipologismos sinolou anoigmatwn ana periptosi-----
    -----%
        if roomtype~="corridor"
            if (check2(i)=="glass.single" | check2(i)=="glass.double" | check2(i)=="glass.bricks" | check2(i)=="door.air") & isnan(val2(i,j))==0 & val2(i,j)~=0;
                c1 = c1 + totalarea(i,j);
            elseif (check2(i)=="door.nontherm") & isnan(val2(i,j))==0 & val2(i,j)~=0;
                c2 = c2 + totalarea(i,j);
            end
            elseif (roomtype=="corridor" & (j==3 | j==4));
                if (check2(i)=="glass.single" | check2(i)=="glass.double" | check2(i)=="door.air") & isnan(val2(i,j))==0
                    & val2(i,j)~=0 ;
                    c1 = c1 + totalarea(i,j);
                elseif (check2(i)=="door.nontherm" | check2(i)=="glass.bricks") & isnan(val2(i,j))==0 & val2(i,j)~=0;
                    c2 = c2 + totalarea(i,j);
                end
            elseif (roomtype=="corridor" & (j==1 | j==2));
                if (check2(i)=="glass.single" | check2(i)=="glass.double" | check2(i)=="glass.bricks" | check2(i)=="door.air") & isnan(val2(i,j))==0 & val2(i,j)~=0;
                    c1 = c1 + totalarea(i,j);
                elseif (check2(i)=="door.nontherm") & isnan(val2(i,j))==0 & val2(i,j)~=0;
                    c2 = c2 + totalarea(i,j);
                end
            end
        end
        %-----
    %
end
    if sum(isnan(val2(:,j)))~=0;
        %-----Afaresi anoigmatwn apo to toixo ana periptosi-----
    -----%
        for k=1:(length(type1)/2);

```

```

        if check2(k)=="wall.air" & isnan(val2(k,j))==0 & val2(k,j)~=0;
            totalarea(k,j)=totalarea(k,j) - c1;
        elseif check2(k)=="wall.nontherm" & isnan(val2(k,j))==0 & val2(k,j)~=0;
            totalarea(k,j)=totalarea(k,j) - c2;
        end
    end
end
%-----

%
end
end
%-----
%% -----Dimiourgia Cell type pinakwn gia epifaneia, ginomeno U*epifaneia kai q-----
A=cell(length(type1)/2,6);
UA=cell(length(type1)/2,6);
q=cell(length(type1)/2,6);
%-----

%% -----Orismos prwtan dio stilwn gia ta cell type me tis perigrafes-----
for i=1:(length(type1)/2)
    A{i,1}=var2(i);UA{i,1}=var2(i);q{i,1}=var2(i);
    A{i,2}=check2(i);UA{i,2}=check2(i);q{i,2}=check2(i);
end
%-----

%% -----Orismos stilwn gia to cell type tis epifaneias-----
for j=3:6
for i=1:(length(type1)/2)
    A{i,j}=totalarea(i,j-2);
end
end
%-----

%% -----Orismos stilwn gia to cell type tou ginomenou U*epifaneia-----
for i=1:(length(type1)/2);
    % ---- Euresi swstou U -----
    U=val1(find(check1==string(A{i,2})));
    % -----
    % ---- Euresi swstou U -----
    if roomtype=="corridor" & check1(i)=="glass.bricks";
        U=U/2;
    end
    % -----

    for j=3:6
        UA{i,j}= U *A{i,j};
    end
end
%-----

%% ---- Euresi swstou dt -----
dt=val1(find(check1=="dt"));
%-----

%% -----Orismos stilwn gia to cell type tou q-----
for i=1:(length(type1)/2)
    for j=3:6;
        q{i,j}=UA{i,j}*dt;
    end
end

```

```

end
% -----

%% --- Orismos midenikou pinaka gia ipologismo athroismatwn tou q ana kateyfinsi---
qD=zeros(1,4);
% -----
%% --- Ipologismos athroismatwn tou q ana kateyfinsi-----
for i=1:(length(type1)/2)
    for j=1:4
        if isnan(q{i,j+2})==0;
            qD(j)= qD(j)+q{i,j+2};
        end
    end
end
% -----
%% --- Dimiourgia pinaka (qfinal) opoy oi kenes seires feugoun kai menoun oi mi midenikes ---
a=1;
for i=1:(length(type1)/2)
    if ( ~(isnan(UA{i,3})==1 | UA{i,3}==0) &...
        (isnan(UA{i,4})==1 | UA{i,4}==0) &...
        (isnan(UA{i,5})==1 | UA{i,5}==0) &...
        (isnan(UA{i,6})==1 | UA{i,6}==0) );
        for j=1:6;
            qfinal{a,j}=q{i,j};
        end
        a=a+1;
    end
end
% -----

%% --- Tropoposi pinaka qfinal etsi wste ta NaN na ginoun "-" -----
for i=1:a-1
    for j=3:6
        if isnan(qfinal{i,j})==1;
            qfinal{i,j}="-";
        end
    end
end
% -----
%% --- Pros8esi ston pinaka qfinal to athroisma ana kateyfinsi opws oristike sto qD-----
qfinal{a,1}="Sum";
qfinal{a,2}="Direction";
for i=3:6;
    qfinal{a,i}= qD(i-2);
end
% -----
%% -----Allagi kai katharismos metavlitwn gia na einai idia kai stous epomenous ipologismous---
% --- Allagi qfinal se qfinal1 kai dimiourgia metavlitis qD1 ws to athroisma tou qD
qfinal1=qfinal;
clear qfinal
qD1=sum(qD);
clear qD
% -----

%% -----Metatropi pinaka qfinal1 se table format me titlous ---

```



```

%A = cell2table(A,'VariableNames',{'Variable' 'Check' 'N' 'S' 'E' 'W'});
%UA = cell2table(UA,'VariableNames',{'Variable' 'Check' 'N' 'S' 'E' 'W'});
qfinal1 = cell2table(qfinal1,'VariableNames',{'Variable' 'Check' 'N' 'S' 'E' 'W'});
% -----

%% -----Dimiourgia Cell type pinaka gia ginomeno U*epifaneia gia ceil kai floor-----
UA2=cell(length(type2),2);
% -----

%% -----Ipologismos Cell type pinaka gia ginomeno U*epifaneia gia ceil kai floor ...
...kai dimiourgia q2 cell type pinaka tis protis stilis-----
for i=1:(length(type2));
    U=val1(find(check1==type2(i)));
    UA2{i,1}=type2(i);
    q2{i,1}=type2(i);
    UA2{i,2}=U*val3(i);
end
% -----

%% -----Ipologismos Cell type pinaka gia q2 gia ceil kai floor -----
for i=1:length(type2)
    q2{i,2}=UA2{i,2}*dt;
end
% -----

%% -----Ipologismos sinolikou Q (qD2) gia ceil kai floor -----

% ---Arxikos Midenismos qD2---
qD2=0;
% -----

% ---Ipologismos qD2---
for i=1:length(type2)
    if isnan(q2{i,2})==0;
        qD2= qD2+q2{i,2};
    end
end
% -----

%% -----Dimourgia cell type pinaka qfinal2 apo q2 xwris kena stoixeia-----
a=1;
for i=1:length(type2)
    if ~((isnan(UA2{i,2})==1 | UA2{i,2}==0));
        for j=1:2;
            qfinal2{a,j}=q2{i,j};
        end
        a=a+1;
    end
end
% -----

%% ---Pros8esi ston pinaka qfinal2 to athroisma----
qfinal2{a,1}="Sum";
qfinal2{a,2}=qD2;
% -----

```

```

%% ---Metatropi pinaka qfinal2 se table format me titlous-----
qfinal2 = cell2table(qfinal2,'VariableNames',{ 'Variable' 'Value'});
%-----

%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn gia apwleia logw anoigmatwn---
sheet = 2;
xlRange = 'L2:P3';
[num,txt,row] = xlsread('Data.xlsx',sheet,xlRange,'basic');
% -----

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----

Data2 = cell2table(row,'VariableNames',{ 'Variable' 'Value' 'Unit1' 'Coefficient' 'Unit2'});
var4=string(Data2.Variable);
val4=Data2.Value;
unit4=string(Data2.Unit1);
unit5=string(Data2.Unit2);
% -----

%% ---Ipologismos sinolou epifaneias parathirwn-----
c=0;
for i=1:(length(type1)/2)
    if (A{i,1}=="window.small" |...
        A{i,1}=="window.big");
        for j=3:6;
            if isnan(A{i,j})==0;
                c=c+A{i,j};
            end
        end
    end
end
areawindow=c;
% -----

%% --- Orismos sinolou epifaneias anoigmatwn ws to coefficient gia ta parathira ----
Data2.Coefficient(1)=c;
% -----

%% --- Ek neou midenismos gia ton ipologismo tou neou coefficient gia tis portes-----
c=0;
% -----

%% ---Ipologismos sinolou arithmo portwn ekτος an odigoun se thermenwmeno xwro-----
for i=(length(type1)/2+1):length(type1)
    if (check2(i)=="door.air" )
        for j=1:4;
            if isnan(val2(i,j))~= 1;
                c=c+ val2(i,j);
            end
        end
    end
end
% -----

```

```

%% --
- Orismos sinolou arithmo portwn ekto an odigoun se thermenwmeno xwro ws to coefficient gia tis portes ----
Data2.Coefficient(2)=c;
% -----

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----
val5=Data2.Coefficient;
% -----

%% ----- Ipologismos ginomenou gia m3/h gia parathira kai portes-----
v=val4.*val5;
v=sum(v);
% -----

%% -----Euresi piknotitas kai Cp apo dedomena -----
d=val1(find(check1=="d"));
cp=val1(find(check1=="cp"));
% -----
%% ----- Ipologismos qD3-----
qD3=v*d*cp*dt*1000/3600;
%-----

%% ----- Euresi swstou sintelesti analoga me ton tipo xwrou ----
coef=val1(find(check1==roomtype));
% -----

%% ---- Ipologismos sinolikis epifaneias floor -----
o1=find(type2=="floor.ground" | type2=="floor.nontherm" | type2=="floor.therm" | type2=="floor.air");
o2=val3(o1);
o3=find(~isnan(o2));
floorarea=sum(o2(o3));
% -----

%% -----Ipologismos qD4-----
qD4=coef*floorarea*d*cp*dt*1000/3600;
% -----
%% ----- Dimiourgia pinaka me ola ta Q -----
qDtotal=[qD1 qD2 qD3 qD4]';
% ----- Pros8iki ston pinaka to teliko athroisma kai to athroisma me to sintelesti asfaleias
qDtotal=[qDtotal;sum(qDtotal);sum(qDtotal)*1.2];
% -----

%% -----Dimiourgia telikou pinaka olwn tw n Q-----
qDesc={"Qsides"; "Qup&down"; "Qair.in"; "Qair.dist"; "Qttotal"; "Qttotal.aug"};
qDtable=table(qDesc,qDtotal);
% Ektiposi pinaka
qDtable;
% -----

% -----
%% -----Metafora apotelesmatwn se Excel
% Orismos directory Katagrafis Apotelmatwn
% my_directory=
my_directory="C:\Users\Minas\Desktop\HeatLoads";
path=fullfile(my_directory, studyfile);

```

```

+1));
writematrix(qDtable.qDtotal',path,"Sheet",studysheet,"Range",('H'+string(metritis2+1)+':M'+string(metritis2
writematrix(floorarea,path,"Sheet",studysheet,"Range",('G'+string(metritis2+1)));
% -----
%%----- Ektipwsi metavlitwn metavlitwn-----

%-----
%%----- Katharismos metavlitwn-----
clearvars -except studyfile studysheet studyrange telos
%-----
end
toc
end

```

8.3.2 MATLAB Script για τα θερμικά φορτία μετά τη θωράκιση κτιρίου

```

%% Basic Commands
clear;
clc;
format long g
% -----
%%
%Meleti Olwn twndatabases Database0 ews Database5 (arithos database = metritis1-1)
for metritis1=0:6
tic
%% Euresi tou plithous twndatabases se kathe Database
akati=metritis1-1;
a_string=string(akati);
studyfile = 'Database'+a_string+'New'+'.xlsx';
studysheet = 1;
studyrange = 'A:A';
[num,txt,row] = xlsread(studyfile,studysheet,studyrange,'basic');
telos=length(num);
%%
for metritis2=1:telos %% Ksekinaei i epanalipsi gia to kathe xwro sto Database Meletis

%% --- Orismos Arxeiou Lipsis Dedomenwn ---
filename = studyfile;
% -----
%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn---
sheet = 1;
xlRange = 'C'+string(metritis2+1)+':F'+string(metritis2+1);
[num,txt,row] = xlsread(filename,sheet,xlRange,'basic');
%-----

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----
Database = cell2table(raw,'VariableNames',{'Sheet','Range1','Range2','RoomType'});
newsheet=string(Database.Sheet);
range1=string(Database.Range1);
range2=string(Database.Range2);
roomtype=string(Database.RoomType);
%-----

%% ---Lipsi Dedomenwn gia megalo pinaka-----
[num,txt,row] = xlsread(filename,newsheet,range1,'basic');

```

```

megalospinakas=cell2table(raw,'VariableNames',{'N' 'S' 'E' 'W'});
megalospinakas=[megalospinakas.N megalospinakas.S megalospinakas.E megalospinakas.W];
%-----

%% ---Lipsi Dedomenwn gia mikro pinaka-----
[num,txt,row]=xlsread(filename,newsheet,range2,'basic');
mikrospinakas=cell2table(raw,'VariableNames',{'A'});
mikrospinakas=mikrospinakas.A;
%-----

%% ----- Metafora stoixeiwn se Data arxeio megalou pinaka ----
my_directory="C:\Users\Minas\Desktop\HeatLoads";
path=fullfile(my_directory, "DataNew.xlsx");
writematrix(megalospinakas,path,"Sheet",2,"Range","D2:G23")
% -----

%% ----- Metafora stoixeiwn se Data arxeio mikrou pinaka ----
path=fullfile(my_directory, "DataNew.xlsx");
writematrix(mikrospinakas,path,"Sheet",2,"Range","J2:J8")
% -----

%% ----- Metafora RoomType-----
writematrix(roomtype,path,"Sheet",2,"Range","L7")
% -----

%%
%% --- Orismos Arxeiou Lipsis Dedomenwn ---
filename = 'DataNew.xlsx';
% -----
%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn---
sheet = 1;
xlRange = 'A2:E37';
[num,txt,row]=xlsread(filename,sheet,xlRange,'basic');
%-----

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----
Data = cell2table(raw,'VariableNames',{'Description' 'Variable' 'Value' 'Unit' 'Check'});
descr=string(Data.Description);
var1=string(Data.Variable);
val1=Data.Value;
unit=string(Data.Unit);
check1=string(Data.Check);
%-----

%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn gia ton xwro---
sheet=2;
xlRange = 'A2:G23';
[num,txt,row]=xlsread(filename,sheet,xlRange,'basic');
%-----

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----
BuildingLosses1 = cell2table(raw,'VariableNames',{'Type' 'Variable' 'Check' 'N' 'S' 'E' 'W'});
type1=string(BuildingLosses1.Type);
var2=string(BuildingLosses1.Variable);
valN=BuildingLosses1.N;
valS=BuildingLosses1.S;
valE=BuildingLosses1.E;
valW=BuildingLosses1.W;
val2=[valN valS valE valW];
check2=string(BuildingLosses1.Check);
%-----

```



```

end
%-----
%
end
if sum(isnan(val2(:,j)))~=0;
%-----Afaresi anoigmatwn apo to toixo ana periptosi-----
%-----%
for k=1:(length(type1)/2);
if check2(k)=="wall.air" & isnan(val2(k,j))==0 & val2(k,j)~=0;
totalarea(k,j)=totalarea(k,j)-c1;
elseif check2(k)=="wall.nontherm" & isnan(val2(k,j))==0 & val2(k,j)~=0;
totalarea(k,j)=totalarea(k,j)-c2;
end
end
%-----
%
end
end
%-----

%% -----Dimiourgia Cell type pinakwn gia epifaneia, ginomeno U*epifaneia kai q-----
A=cell(length(type1)/2,6);
UA=cell(length(type1)/2,6);
q=cell(length(type1)/2,6);
%-----

%% -----Orismos prwtan dio stilwn gia ta cell type me tis perigrafes-----
for i=1:(length(type1)/2)
A{i,1}=var2(i);UA{i,1}=var2(i);q{i,1}=var2(i);
A{i,2}=check2(i);UA{i,2}=check2(i);q{i,2}=check2(i);
end
%-----

%% -----Orismos stilwn gia to cell type tis epifaneias-----
for j=3:6
for i=1:(length(type1)/2)
A{i,j}=totalarea(i,j-2);
end
end
%-----

%% -----Orismos stilwn gia to cell type tou ginomenou U*epifaneia-----
for i=1:(length(type1)/2);

for j=3:6
% ---- Euresi swstou U -----
U=val1(find(check1==string(A{i,2})));
% -----
% ---- Euresi swstou U -----
% ---- Allagi ialotouvwn sta 3 ergastiria se diplo tzami
if (roomtype=="lab" & check2(i)=="glass.bricks");
U=2.5;
end
%
if roomtype=="corridor" & check1(i)=="glass.bricks";

```

```

    U=U/2;
    end
    % -----
    if roomtype=="corridor" & (metritis2==telos | metritis2==telos-1)
        if metritis2==telos-1 & j==5
            U=0.8;
        elseif metritis2==telos & j==6
            U=0.8;
        end
    end
    UA{i,j}= U *A{i,j};
end
end
%-----
%% ---- Euresi swstou dt -----
dt=val1(find(check1=="dt"));
%-----

%% -----Orismos stilwn gia to cell type tou q-----
for i=1:(length(type1)/2)
    for j=3:6;
        q{i,j}=UA{i,j}*dt;
    end
end
% -----

%% ---- Orismos midenikou pinaka gia ipologismo athroismatwn tou q ana katefyinsi---
qD=zeros(1,4);
%-----
%% ---- Ipologismos athroismatwn tou q ana katefyinsi-----
for i=1:(length(type1)/2)
    for j=1:4
        if isnan(q{i,j+2})==0;
            qD(j)= qD(j)+q{i,j+2};
        end
    end
end
%-----

%% --- Dimiourgia pinaka (qfinal) opoy oi kenes seires feugoun kai menoun oi mi midenikes ---
a=1;
for i=1:(length(type1)/2)
    if ( ~(isnan(UA{i,3})==1 | UA{i,3}==0) &...
        (isnan(UA{i,4})==1 | UA{i,4}==0) &...
        (isnan(UA{i,5})==1 | UA{i,5}==0) &...
        (isnan(UA{i,6})==1 | UA{i,6}==0) );
        for j=1:6;
            qfinal{a,j}=q{i,j};
        end
        a=a+1;
    end
end
%-----

```



```

%% --- Tropoposi pinaka qfinal etsi wste ta NaN na ginoun "-" -----
for i=1:a-1
    for j=3:6
        if isnan(qfinal{i,j})==1;
            qfinal{i,j}="-";
        end
    end
end
end
% -----
%% --- Pros8esi ston pinaka qfinal to athroisma ana kateyfinsi opws oristike sto qD-----
qfinal{a,1}="Sum";
qfinal{a,2}="Direction";
for i=3:6;
    qfinal{a,i}= qD(i-2);
end
% -----
%% -----Allagi kai katharismos metavlitwn gia na einai idia kai stous epomenous ipologismous---
% --- Allagi qfinal se qfinal1 kai dimiourgia metavlitis qD1 ws to athroisma tou qD
qfinal1=qfinal;
clear qfinal
qD1=sum(qD);
clear qD
% -----

%% -----Metatropi pinaka qfinal1 se table format me titlous ---

qfinal1 = cell2table(qfinal1, 'VariableNames', {'Variable' 'Check' 'N' 'S' 'E' 'W'});
% -----

%% -----Dimiourgia Cell type pinaka gia ginomeno U*epifaneia gia ceil kai floor-----
UA2=cell(length(type2),2);
% -----

%% -----Ipologismos Cell type pinaka gia ginomeno U*epifaneia gia ceil kai floor ...
...kai dimiourgia q2 cell type pinaka tis protis stilis-----
for i=1:(length(type2));
    U=val1(find(check1==type2(i)));
    UA2{i,1}=type2(i);
    q2{i,1}=type2(i);
    UA2{i,2}=U*val3(i);
end
% -----

%% -----Ipologismos Cell type pinaka gia q2 gia ceil kai floor -----
for i=1:length(type2)
    q2{i,2}=UA2{i,2}*dt;
end
% -----

%% -----Ipologismos sinolikou Q (qD2) gia ceil kai floor -----

% ---Arxikos Midenismos qD2---
qD2=0;
% -----

% ---Ipologismos qD2---

```

```

for i=1:length(type2)
    if isnan(q2{i,2})==0;
        qD2= qD2+q2{i,2};
    end
end
% -----

%% -----Dimourgia cell type pinaka qfinal2 apo q2 xwr is kena stoixeia-----
a=1;
for i=1:length(type2)
    if ~(isnan(UA2{i,2})==1 | UA2{i,2}==0);
        for j=1:2;
            qfinal2{a,j}=q2{i,j};
        end
        a=a+1;
    end
end
% -----

%% ---Pros8esi ston pinaka qfinal2 to athroisma---
qfinal2{a,1}="Sum";
qfinal2{a,2}=qD2;
% -----

%% ---Metatropi pinaka qfinal2 se table format me titlous-----
qfinal2 = cell2table(qfinal2,'VariableNames',{'Variable' 'Value'});
%-----

%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn gia apwleia logw anoigmatwn---
sheet = 2;
xlRange = 'L2:P3';
[num,txt,row] = xlsread('DataNew.xlsx',sheet,xlRange,'basic');
% -----

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----

Data2 = cell2table(row,'VariableNames',{'Variable' 'Value' 'Unit1' 'Coefficient' 'Unit2'});
var4=string(Data2.Variable);
val4=Data2.Value;
unit4=string(Data2.Unit1);
unit5=string(Data2.Unit2);
% -----

%% ---Ipologismos sinolou epifaneias parathirwn-----
c=0;
for i=1:(length(type1)/2)
    if (A{i,1}=="window.small" | ...
        A{i,1}=="window.big");
        for j=3:6;
            if isnan(A{i,j})==0;
                c=c+A{i,j};
            end
        end
    end
end
end

```

```

end
% -----

%% --- Orismos sinolou epifaneias anoigmatwn ws to coefficient gia ta parathira ----
Data2.Coefficient(1)=c;
% -----
%% --- Ek neou midenismos gia ton ipologismo tou neou coefficient gia tis portes-----
c=0;
% -----
%% ---Ipologismos sinolou arithmo portwn ekτος an odigoun se thermenwmeno xwro-----
for i=(length(type1)/2+1):length(type1)
    if (check2(i)=="door.air" )
% |... check2(i)=="door.nontherm" );
        for j=1:4;
            if isnan(val2(i,j))~= 1;
                c=c+ val2(i,j);
            end
        end
    end
end
end
% -----

%% --
- Orismos sinolou arithmo portwn ekτος an odigoun se thermenwmeno xwro ws to coefficient gia tis portes ----
Data2.Coefficient(2)=c;
% -----

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----
val5=Data2.Coefficient;
% -----

%% ----- Ipologismos ginomenou gia m3/h gia parathira kai portes-----
v=val4.*val5;
v=sum(v);
% -----

%% -----Euresi piknotitas kai Cpapo dedomena ----
d=val1(find(check1=="d"));
cp=val1(find(check1=="cp"));
% -----
%% ----- Ipologismos qD3-----
qD3=v*d*cp*dt*1000/3600;
%-----

%% ----- Euresi swstou sintelesti analoga me ton tipo xwrou ----
coef=val1(find(check1==roomtype));
% -----

%% ---- Ipologismos sinolikis epifaneias floor -----
o1=find(type2=="floor.ground" | type2=="floor.nontherm" | type2=="floor.therm" | type2=="floor.air");
o2=val3(o1);
o3=find(~isnan(o2));
floorarea=sum(o2(o3));
% -----

```

```

%% -----Ipologismos qD4-----
qD4=coef*floorarea*d*cp*dt*1000/3600;
% -----
%% ---- Dimiourgia pinaka me ola ta Q ----
qDtotal=[qD1 qD2 qD3 qD4]';
% ----- Pros8iki ston pinaka to teliko athroisma kai to athroisma me to sintelesti asfaleias
qDtotal=[qDtotal;sum(qDtotal);sum(qDtotal)*1.2];
% -----
%-----

%% -----Dimiourgia telikou pinaka olwn tw n Q-----
qDesc={"Qsides"; "Qup&down"; "Qair.in"; "Qair.dist";"Qttotal";"Qttotal.aug"};
qDtable=table(qDesc,qDtotal);
% Ektiposi pinaka
qDtable;
% -----
% -----
%% -----Metafora apotelesmatwn se Excel
% Orismos directory Katagrafis Apotelesmatwn
% my_directory=
my_directory="C:\Users\Minas\Desktop\HeatLoads";
path=fullfile(my_directory, studyfile);
writematrix(qDtable.qDtotal',path,"Sheet",studysheet,"Range",('H'+string(metritis2+1)':'M'+string(metritis2
+1)));
writematrix(floorarea,path,"Sheet",studysheet,"Range",('G'+string(metritis2+1)));
% -----
%%----- Katharismos metavlitwn-----
clearvars -except studyfile studysheet studyrange telos
%-----
end
toc
end

```

8.3.3 MATLAB Script για τα ψυκτικά φορτία πριν τη θωράκιση κτιρίου

```

%% Basic Commands
clear;
clc;
format long g
% -----
%%
%Meleti Olwn tw n databases Database0 ews Database5 (arithos database = metritis1-1)
for metritis1=0:6
tic
%% Euresi tou plithous tw n xwrwn se kathe Database
akati=metritis1-1;
a_string=string(akati);
studyfile = 'Database'+a_string+'.xlsx';
studysheet = 1;
studyrange = 'A:A';
[num,txt,row] = xlsread(studyfile,studysheet,studyrange,'basic');
telos=length(num);
%%
for metritis2=1:telos %% Ksekinaei i epanalipsi gia to kathe xwro sto Database Meletis

```

```

%% --- Orismos Arxeiou Lipsis Dedomenwn ---
filename = studyfile;
% -----
%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn---
sheet = 1;
xlRange = 'C'+string(metritis2+1)+':G'+string(metritis2+1);
[num,txt,row] = xlsread(filename,sheet,xlRange,'basic');
%-----

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----
Database = cell2table(raw,'VariableNames',{'Sheet' 'Range1' 'Range2' 'RoomType' 'People'});
newsheet=string(Database.Sheet);
range1=string(Database.Range1);
range2=string(Database.Range2);
roomtype=string(Database.RoomType);
people=Database.People;
%-----
%% ---Lipsi Dedomenwn gia megalou pinaka-----
[num,txt,row] = xlsread(filename,newsheet,range1,'basic');
megalospinakas=cell2table(raw,'VariableNames',{'N' 'S' 'E' 'W'});
megalospinakas=[megalospinakas.N megalospinakas.S megalospinakas.E megalospinakas.W];
%-----

%% ---Lipsi Dedomenwn gia mikro pinaka-----
[num,txt,row] = xlsread(filename,newsheet,range2,'basic');
mikrospinakas=cell2table(raw,'VariableNames',{'A'});
mikrospinakas=mikrospinakas.A;
%-----
%% ----- Metafora stoixeiwn se Data arxeio megalou pinaka ----
my_directory="C:\Users\Minas\Desktop\CoolLoads";
path=fullfile(my_directory, "Data.xlsx");
writematrix(megalospinakas,path,"Sheet",2,"Range","D2:G23")
% -----
%% ----- Metafora stoixeiwn se Data arxeio mikrou pinaka ----
path=fullfile(my_directory, "Data.xlsx");
writematrix(mikrospinakas,path,"Sheet",2,"Range","J2:J8")
% -----
%% ----- Metafora RoomType-----
writematrix(roomtype,path,"Sheet",2,"Range","L7")
% -----
%%
%% --- Orismos Arxeiou Lipsis Dedomenwn ---
filename = 'Data.xlsx';
% -----
%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn---
sheet = 1;
xlRange = 'A2:E37';
[num,txt,row]= xlsread(filename,sheet,xlRange,'basic');
%-----
%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----
Data = cell2table(raw,'VariableNames',{'Description' 'Variable' 'Value' 'Unit' 'Check'});
descr=string(Data.Description);
var1=string(Data.Variable);
val1=Data.Value;
unit=string(Data.Unit);
check1=string(Data.Check);

```

```

%-----
%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn gia ton xwro---
sheet=2;
xlRange = 'A2:G23';
[num,txt,row]=xlsread(filename,sheet,xlRange,'basic');
%-----

```

```

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----
BuildingLosses1 = cell2table(raw,'VariableNames',{'Type' 'Variable' 'Check' 'N' 'S' 'E' 'W'});
type1=string(BuildingLosses1.Type);
var2=string(BuildingLosses1.Variable);
valN=BuildingLosses1.N;
valS=BuildingLosses1.S;
valE=BuildingLosses1.E;
valW=BuildingLosses1.W;
val2=[valN valS valE valW];
check2=string(BuildingLosses1.Check);
%-----

```

```

%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn gia aera---
xlRange = 'I2:J8';
[num,txt,row]=xlsread('Data.xlsx',sheet,xlRange,'basic');
BuildingLosses2 = cell2table(raw,'VariableNames',{'Type' 'Value'});
type2=string(BuildingLosses2.Type);
val3=BuildingLosses2.Value;
%-----

```

```

%% -----Ipologismos Epifaneias-----
for j=1:4
c1=0;c2=0;
for i=1:(length(type1)/2);
%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn---
xlRange = 'L7';
[num,txt,row] = xlsread('Data.xlsx',sheet,xlRange,'basic');
% -----

```

```

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----
Data3 = cell2table(raw,'VariableNames',{'Room_Type'});
roomtype=string(Data3.Room_Type);
% -----
if roomtype~="amphitheater"
height=val1(find(check1==var2(i)));
else
if var2(i)=="wall"
height=val1(find(check1=="h."+roomtype));
else
height=val1(find(check1==var2(i)));
end
end
area(i,j)=val2(i,j)*height;
totalarea(i,j)=area(i,j)*val2((i+(length(type1)/2)),j);
%-----Ipologismos sinolou anoigmatwn ana periptosi-----

```

```

%-----
if roomtype~="corridor"

```

```

        if (check2(i)=="glass.single" | check2(i)=="glass.double" | check2(i)=="glass.bricks" | check2(i)=="door
r.air") & isnan(val2(i,j))==0 & val2(i,j)~=0;
            c1 = c1 + totalarea(i,j);
        elseif (check2(i)=="door.nontherm") & isnan(val2(i,j))==0 & val2(i,j)~=0;
            c2 = c2 + totalarea(i,j);
        end
    elseif (roomtype=="corridor" & (j==3 | j==4));
        if (check2(i)=="glass.single" | check2(i)=="glass.double" | check2(i)=="door.air") & isnan(val2(i,j))==0
& val2(i,j)~=0;
            c1 = c1 + totalarea(i,j);
        elseif (check2(i)=="door.nontherm" | check2(i)=="glass.bricks") & isnan(val2(i,j))==0 & val2(i,j)~=0;
            c2 = c2 + totalarea(i,j);
        end
    elseif (roomtype=="corridor" & (j==1 | j==2));
        if (check2(i)=="glass.single" | check2(i)=="glass.double" | check2(i)=="glass.bricks" | check2(i)=="do
or.air") & isnan(val2(i,j))==0 & val2(i,j)~=0;
            c1 = c1 + totalarea(i,j);
        elseif (check2(i)=="door.nontherm") & isnan(val2(i,j))==0 & val2(i,j)~=0;
            c2 = c2 + totalarea(i,j);
        end
    end
end
%-----
%
end
if sum(isnan(val2(:,j)))~=0;
%-----Afaresi anoigmatwn apo to toixo ana periptosi-----
%-----%
for k=1:(length(type1)/2);
    if check2(k)=="wall.air" & isnan(val2(k,j))==0 & val2(k,j)~=0;
        totalarea(k,j)=totalarea(k,j)-c1;
    elseif check2(k)=="wall.nontherm" & isnan(val2(k,j))==0 & val2(k,j)~=0;
        totalarea(k,j)=totalarea(k,j)-c2;
    end
end
end
%-----
%
end
end
%-----

%% -----Dimiourgia Cell type pinakwn gia epifaneia, ginomeno U*epifaneia kai q-----
A=cell(length(type1)/2,6);
UA=cell(length(type1)/2,6);
q=cell(length(type1)/2,6);
%-----

%% -----Orismos prwtan dio stilwn gia ta cell type me tis perigrafes-----
for i=1:(length(type1)/2)
    A{i,1}=var2(i);UA{i,1}=var2(i);q{i,1}=var2(i);
    A{i,2}=check2(i);UA{i,2}=check2(i);q{i,2}=check2(i);
end
%-----

%% -----Orismos stilwn gia to cell type tis epifaneias-----
for j=3:6
for i=1:(length(type1)/2)

```

```

A{i,j}=totalarea(i,j-2);
end
end
%-----

%% -----Orismos stilwn gia to cell type tou ginomenou U*epifaneia-----
for i=1:(length(type1)/2);
    % ---- Euresi swstou U -----
    U=val1(find(check1==string(A{i,2})));
    % -----
    % ---- Euresi swstou U -----
    if roomtype=="corridor" & check1(i)=="glass.bricks";
        U=U/2;
    end
    % -----

    for j=3:6
        UA{i,j}= U *A{i,j};
    end
end
%-----

%% ---- Euresi swstou dt/CLTD (Metafora dedomenwn) -----
if var2(i)=="wall"
    if check2(i)=="wall.air"
%       GIA TOIXO E
%       if j==1
%           dt=8.171666666666667;
%       elseif j==2
%           dt=14.811666666666667;
%       elseif j==3
%           dt=13.981666666666667;
%       elseif j==4
%           dt=15.641666666666667;
%       end
%       end
%       GIA TOIXO C
%       if j==1
%           dt=4.851666666666667;
%       elseif j==2
%           dt=9.001666666666667;
%       elseif j==3
%           dt=13.151666666666667;
%       elseif j==4
%           dt=8.171666666666667;
%       end
%       end
%       if check2(i)=="wall.nontherm" || check2(i)=="wall.therm"
%           dt=val1(find(check1=="dt"));
%       end
%       elseif var2(i)=="door"
%       if check2(i)=="door.air"
%       GIA TOIXO E
%       if j==1
%           dt=8.171666666666667;
%       elseif j==2

```



```

%         dt=14.8116666666667;
%     elseif j==3
%         dt=13.9816666666667;
%     elseif j==4
%         dt=15.6416666666667;
%     end
% end
% GIATOIXOC
%     if j==1
%         dt=4.8516666666667;
%     elseif j==2
%         dt=9.0016666666667;
%     elseif j==3
%         dt=13.1516666666667;
%     elseif j==4
%         dt=8.1716666666667;
%     end
% end
% if check2(i)=="door.nontherm" || check2(i)=="door.therm"
%     dt=val1(find(check1=="dt"));
% end
elseif (var2(i)=="window.small" || var2(i)=="window.small" || var2(i)=="window.brick")
%     if check2(i)=="glass.single"
%         dt=7;
%     elseif check2(i)=="glass.double"
%         dt=7;
%     elseif check2(i)=="glass.brick"
%         dt=7;
%     end
end
%-----
%% -----Orismos stilwn gia to cell type tou q-----
for i=1:(length(type1)/2)
    for j=3:6;
        q{i,j}=UA{i,j}*dt;
    end
end
% -----

%% ---- Orismos midenikou pinaka gia ipologismo athroismatwn tou q ana kateyfini---
qD=zeros(1,4);
%-----
%% ---- Ipologismos athroismatwn tou q ana kateyfini-----
for i=1:(length(type1)/2)
    for j=1:4
        if isnan(q{i,j+2})==0;
            qD(j)=qD(j)+q{i,j+2};
        end
    end
end
%-----

%% --- Dimiourgia pinaka (qfinal) opoy oi kenes seires feugoun kai menoun oi mi midenikes ---
a=1;
for i=1:(length(type1)/2)
    if ( ~(isnan(UA{i,3})==1 | UA{i,3}==0) &...

```

```

        (isnan(UA{i,4})==1 | UA{i,4}==0) &...
        (isnan(UA{i,5})==1 | UA{i,5}==0) &...
        (isnan(UA{i,6})==1 | UA{i,6}==0) );
    for j=1:6;
        qfinal{a,j}=q{i,j};
    end
    a=a+1;
end
%-----

%% --- Tropoposi pinaka qfinal etsi wste ta NaN na ginoun "-" -----
for i=1:a-1
    for j=3:6
        if isnan(qfinal{i,j})==1;
            qfinal{i,j}="-";
        end
    end
end
% -----

%% --- Pros8esi ston pinaka qfinal to athroisma ana kateyfini opws oristike sto qD-----
qfinal{a,1}="Sum";
qfinal{a,2}="Direction";
for i=3:6;
    qfinal{a,i}= qD(i-2);
end
% -----

%% -----Allagi kai katharismos metavlitwn gia na einai idia kai stous epomenous ipologismous---
% --- Allagi qfinal se qfinal1 kai dimiourgia metavlitis qD1 ws to athroisma tou qD
qfinal1=qfinal;
clear qfinal
qD1=sum(qD);
clear qD
% -----

%% -----Metatropi pinaka qfinal1 se table format me titlous ---
qfinal1 = cell2table(qfinal1,'VariableNames',{'Variable' 'Check' 'N' 'S' 'E' 'W'});
% -----

%% -----Dimiourgia Cell type pinaka gia ginomeno U*epifaneia gia ceil kai floor-----
UA2=cell(length(type2),2);
% -----

%% -----Ipologismos Cell type pinaka gia ginomeno U*epifaneia gia ceil kai floor ...
...kai dimiourgia q2 cell type pinaka tis protis stilis-----
for i=1:(length(type2));
    U=val1(find(check1==type2(i)));
    UA2{i,1}=type2(i);
    q2{i,1}=type2(i);
    UA2{i,2}=U*val3(i);
end
% -----

%% -----Ipologismos Cell type pinaka gia q2 gia ceil kai floor -----
for i=1:length(type2)
    % ---- Orismos CLTD an iparxei ceil.air

```

```

if type2(i)=="ceil.air"
    dt=39;
else
    dt=val1(find(check1=="dt"));
end
q2{i,2}=UA2{i,2}*dt;
end
% -----

%% -----Ipologismos sinolikou Q (qD2) gia ceil kai floor -----

% ---Arxikos Midenismos qD2---
qD2=0;
% -----

% ---Ipologismos qD2---
for i=1:length(type2)
    if isnan(q2{i,2})==0;
        qD2= qD2+q2{i,2};
    end
end
% -----

%% -----Dimourgia cell type pinaka qfinal2 apo q2 xwris kena stoixeia-----
a=1;
for i=1:length(type2)
    if ~(isnan(UA2{i,2})==1 | UA2{i,2}==0);
        for j=1:2;
            qfinal2{a,j}=q2{i,j};
        end
        a=a+1;
    end
end
% -----

%% ---Pros8esi ston pinaka qfinal2 to athroisma----
qfinal2{a,1}="Sum";
qfinal2{a,2}=qD2;
% -----

%% ---Metatropi pinaka qfinal2 se table format me titlous-----
qfinal2 = cell2table(qfinal2,'VariableNames',{'Variable' 'Value'});
%-----

%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn gia apwleia logw anoigmatwn---
sheet = 2;
xlRange = 'L2:P3';
[num,txt,row] = xlsread('Data.xlsx',sheet,xlRange,'basic');
% -----

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----

Data2 = cell2table(row,'VariableNames',{'Variable' 'Value' 'Unit1' 'Coefficient' 'Unit2'});
var4=string(Data2.Variable);

```

```

val4=Data2.Value;
unit4=string(Data2.Unit1);
unit5=string(Data2.Unit2);
% -----

%% ---Ipologismos sinolou epifaneias parathirwn-----
c=0;
for i=1:(length(type1)/2)
    if (A{i,1}=="window.small" |...
        A{i,1}=="window.big");
        for j=3:6;
            if isnan(A{i,j})==0;
                c=c+A{i,j};
            end
        end
    end
end
% -----

%% --- Orismos sinolou epifaneias anoigmatwn ws to coefficient gia ta parathira ----
Data2.Coefficient(1)=c;
% -----
%% --- Ek neou midenismos gia ton ipologismo tou neou coefficient gia tis portes-----
c=0;
% -----
%% ---Ipologismos sinolou arithmo portwn ekτος an odigoun se thermenwmeno xwro-----
for i=(length(type1)/2+1):length(type1)
    if (check2(i)=="door.air" )
% |... check2(i)=="door.nontherm" );
        for j=1:4;
            if isnan(val2(i,j))~= 1;
                c=c+ val2(i,j);
            end
        end
    end
end
% -----

%% --
- Orismos sinolou arithmo portwn ekτος an odigoun se thermenwmeno xwro ws to coefficient gia tis portes ----
Data2.Coefficient(2)=c;
% -----

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----
val5=Data2.Coefficient;
% -----

%% ----- Ipologismos ginomenou gia m3/h gia parathira kai portes-----
v=val4.*val5;
v=sum(v);
% -----

%% -----Euresi piknotitas kai Cp apo dedomena -----
d=val1(find(check1=="d"));
cp=val1(find(check1=="cp"));

```

```

% -----
%% ---- Ipologismos qD3-----
dt=val1(find(check1=="dt"));
qD3=v*d*cp*dt*1000/3600;
%-----

%% ---- Euresi swstou sintelesti analoga me ton tipo xwrou ----
coef=val1(find(check1==roomtype));
% -----

%% ---- Ipologismos sinolikis epifaneias floor -----
o1=find(type2=="floor.ground" | type2=="floor.nontherm" | type2=="floor.therm" | type2=="floor.air");
o2=val3(o1);
o3=find(~isnan(o2));
floorarea=sum(o2(o3));
% -----

%% ----Ipologismos qD4-----
qD4=coef*floorarea*d*cp*dt*1000/3600;
% -----

%% ----Ipologismos qD4 LATENT-----
%---Orismos idikis enthalpias idratmwn toy aera
hfg=2500;
%---Orismos idiki igriasias
%dw=0.013;
dw=0.00264;
%---
qD4latent=coef*floorarea*d*hfg*dw*1000/3600;
% -----

%% ----Ipologismos qDSolar-----
% --Ipologismos sinolou epifaneias parathirwn-----
areawd=[0 0 0 0];
for i=1:(length(type1)/2)
    if (A{i,1}=="window.small" |...
        A{i,1}=="window.big");
        for j=3:6;
            if isnan(A{i,j})==0;
                areawd(j-2)=areawd(j-2)+A{i,j};
            end
        end
    end
end
end
%QDSolarN=areawd(1)*0.76*120*1;
QDSolarN=areawd(1)*0.75*120*1;
%QDSolarS=areawd(2)*0.53*344*1;
QDSolarS=areawd(2)*0.41*344*1;
%QDSolarE=areawd(3)*0.29*681*1;
QDSolarE=areawd(3)*0.23*681*1;
%QDSolarW=areawd(4)*0.4*681*1;
QDSolarW=areawd(4)*0.56*681*1;

```

```

%-----
qDSolar=QDSolarN+QDSolarS+QDSolarE+QDSolarW;
%-----

%% -----Ilogismos qPeople-----
qPeople=ceil(people)*75;
%-----

%% ---- Dimiourgia pinaka me ola ta Q ----
qDtotal=[qD1 qD2 qD3 qD4 qD4latent qDSolar qPeople]';
%-----

%% -----Dimiourgia telikou pinaka olwn tw n Q-----
qDesc={"Qsides"; "Qup&down"; "Qair.in"; "Qair.dist"; "Qair.dist.latent"; "Qsolar"; "Qpeople"};
qDtable=table(qDesc,qDtotal);
% Ektiposi pinaka
qDtable;
% -----
% -----
%% -----Metafora apotelesmatwn se Excel
% Orismos directory Katagrafis Apotelesmatwn
% my_directory=
my_directory="C:\Users\Minas\Desktop\CoolLoads";
path=fullfile(my_directory, studyfile);
writematrix(qDtable.qDtotal',path,"Sheet",studysheet,"Range",('I'+string(metritis2+1))+':O'+string(metritis2+
1)));
writematrix(floorarea,path,"Sheet",studysheet,"Range",('H'+string(metritis2+1)));
% -----

%%----- Katharismos metavlitwn-----
clearvars -except studyfile studysheet studyrange telos
%-----

end
toc
end

```

8.3.4 MATLAB Script για τα ψυκτικά φορτία μετά τη θωράκιση κτιρίου

```

%% Basic Commands
clear;
clc;
format long g
% -----

%%
%Meleti Olwn tw n databases Database0 ews Database5 (arithos database = metritis1-1)
% for metritis1=4:5
for metritis1=0:6
tic
%% Euresi tou plithous tw n xwrwn se kathe Database
akati=metritis1-1;
a_string=string(akati);
studyfile = 'Database'+a_string+'New'+'.xlsx';
studysheet = 1;

```

```

studyrange = 'A:A';
[num,txt,row] = xlsread(studyfile,studysheet,studyrange,'basic');
telos=length(num);
%%
for metritis2=1:telos %% Ksekinaei i epanalipsi gia to kathe xwro sto Database Meletis

%% --- Orismos Arxeiou Lipsis Dedomenwn ---
filename = studyfile;
% -----
%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn---
sheet = 1;
xlRange = 'C'+string(metritis2+1)+':G'+string(metritis2+1);
[num,txt,row] = xlsread(filename,sheet,xlRange,'basic');
%-----

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----
Database = cell2table(raw,'VariableNames',{'Sheet','Range1','Range2','RoomType','People'});
newsheet=string(Database.Sheet);
range1=string(Database.Range1);
range2=string(Database.Range2);
roomtype=string(Database.RoomType);
people=Database.People;
%-----
%% ---Lipsi Dedomenwn gia megalos pinaka-----
[num,txt,row] = xlsread(filename,newsheet,range1,'basic');
megalospinakas=cell2table(raw,'VariableNames',{'N','S','E','W'});
megalospinakas=[megalospinakas.N megalospinakas.S megalospinakas.E megalospinakas.W];
%-----

%% ---Lipsi Dedomenwn gia mikro pinaka-----
[num,txt,row] = xlsread(filename,newsheet,range2,'basic');
mikrospinas=cell2table(raw,'VariableNames',{'A'});
mikrospinas=mikrospinas.A;
%-----
%% ----- Metafora stoixeiwn se Data arxeio megalou pinaka ----
my_directory="C:\Users\Minas\Desktop\CoolLoads";
path=fullfile(my_directory, "DataNew.xlsx");
writematrix(megalospinakas,path,"Sheet",2,"Range","D2:G23")
% -----
%% ----- Metafora stoixeiwn se Data arxeio mikrou pinaka ----
path=fullfile(my_directory, "DataNew.xlsx");
writematrix(mikrospinas,path,"Sheet",2,"Range","J2:J8")
% -----
%% ----- Metafora RoomType-----
writematrix(roomtype,path,"Sheet",2,"Range","L7")
% -----
%%
%% --- Orismos Arxeiou Lipsis Dedomenwn ---
filename = 'DataNew.xlsx';
% -----
%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn---
sheet = 1;
xlRange = 'A2:E37';
[num,txt,row]= xlsread(filename,sheet,xlRange,'basic');
%-----
%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----

```

```

Data = cell2table(raw, 'VariableNames', {'Description' 'Variable' 'Value' 'Unit' 'Check'});
descr=string(Data.Description);
var1=string(Data.Variable);
val1=Data.Value;
unit=string(Data.Unit);
check1=string(Data.Check);
%-----

%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn gia ton xwro---
sheet=2;
xlRange = 'A2:G23';
[num,txt,row]= xlsread(filename,sheet,xlRange, 'basic');
%-----

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----
BuildingLosses1 = cell2table(raw, 'VariableNames', {'Type' 'Variable' 'Check' 'N' 'S' 'E' 'W'});
type1=string(BuildingLosses1.Type);
var2=string(BuildingLosses1.Variable);
valN=BuildingLosses1.N;
valS=BuildingLosses1.S;
valE=BuildingLosses1.E;
valW=BuildingLosses1.W;
val2=[valN valS valE valW];
check2=string(BuildingLosses1.Check);
%-----

%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn gia aera---
xlRange = 'I2:J8';
[num,txt,row]= xlsread('DataNew.xlsx',sheet,xlRange, 'basic');
BuildingLosses2 = cell2table(raw, 'VariableNames', {'Type' 'Value'});
type2=string(BuildingLosses2.Type);
val3=BuildingLosses2.Value;
%-----

%% -----Ipologismos Epifaneias-----
for j=1:4
c1=0;c2=0;
for i=1:(length(type1)/2);
%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn---
xlRange = 'L7';
[num,txt,row]= xlsread('DataNew.xlsx',sheet,xlRange, 'basic');
% -----

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----
Data3 = cell2table(raw, 'VariableNames', {'Room_Type'});
roomtype=string(Data3.Room_Type);
% -----
if roomtype~="amphitheater"
height=val1(find(check1==var2(i)));
else
if var2(i)=="wall"
height=val1(find(check1=="h." +roomtype));
else
height=val1(find(check1==var2(i)));
end
end
end

```



```

        area(i,j)=val2(i,j)*height;
        totalarea(i,j)=area(i,j)*val2((i+(length(type1)/2)),j);
        %-----Ipologismos sinolou anoigmatwn ana periptosi-----
%-----%
        if roomtype~="corridor"
            if (check2(i)=="glass.single" | check2(i)=="glass.double" | check2(i)=="glass.bricks" | check2(i)=="door.air") & isnan(val2(i,j))==0 & val2(i,j)~=0;
                c1 = c1 + totalarea(i,j);
            elseif (check2(i)=="door.nontherm") & isnan(val2(i,j))==0 & val2(i,j)~=0;
                c2 = c2 + totalarea(i,j);
            end
        elseif (roomtype=="corridor" & (j==3 | j==4));
            if (check2(i)=="glass.single" | check2(i)=="glass.double" | check2(i)=="door.air" ) & isnan(val2(i,j))==0
& val2(i,j)~=0;
                c1 = c1 + totalarea(i,j);
            elseif (check2(i)=="door.nontherm" | check2(i)=="glass.bricks") & isnan(val2(i,j))==0 & val2(i,j)~=0;
                c2 = c2 + totalarea(i,j);
            end
        elseif (roomtype=="corridor" & (j==1 | j==2));
            if (check2(i)=="glass.single" | check2(i)=="glass.double" | check2(i)=="glass.bricks" | check2(i)=="door.air") & isnan(val2(i,j))==0 & val2(i,j)~=0;
                c1 = c1 + totalarea(i,j);
            elseif (check2(i)=="door.nontherm") & isnan(val2(i,j))==0 & val2(i,j)~=0;
                c2 = c2 + totalarea(i,j);
            end
        end
        %-----%
%
    end
    if sum(isnan(val2(:,j)))~=0;
        %-----Afairesi anoigmatwn apo to toixo ana periptosi-----
%-----%
        for k=1:(length(type1)/2);
            if check2(k)=="wall.air" & isnan(val2(k,j))==0 & val2(k,j)~=0;
                totalarea(k,j)=totalarea(k,j) - c1;
            elseif check2(k)=="wall.nontherm" & isnan(val2(k,j))==0 & val2(k,j)~=0;
                totalarea(k,j)=totalarea(k,j) - c2;
            end
        end
        %-----%
%
    end
end
%-----%

%% -----Dimiourgia Cell type pinakwn gia epifaneia, ginomeno U*epifaneia kai q-----
A=cell(length(type1)/2,6);
UA=cell(length(type1)/2,6);
q=cell(length(type1)/2,6);
%-----%

%% -----Orismos prwtan dio stilwn gia ta cell type me tis perigrafes-----
for i=1:(length(type1)/2)
    A{i,1}=var2(i);UA{i,1}=var2(i);q{i,1}=var2(i);
    A{i,2}=check2(i);UA{i,2}=check2(i);q{i,2}=check2(i);
end

```

```

%-----
%% -----Orismos stilwn gia to cell type tis epifaneias-----
for j=3:6
for i=1:(length(type1)/2)
    A{i,j}=totalarea(i,j-2);
end
end
%-----

%% -----Orismos stilwn gia to cell type tou ginomenou U*epifanea-----
for i=1:(length(type1)/2);

    for j=3:6
        % ---- Euresi swstou U -----
        U=val1(find(check1==string(A{i,2})));
        % -----
        % ---- Euresi swstou U -----
        % --- Allagi ialotouvlwn sta 3 ergastiria se diplo tzami
        if roomtype=="lab" & check2(i=="glass.bricks";
        U=2.5;
        end
        if roomtype=="corridor" & check1(i=="glass.bricks";
        U=U/2;
        end
        % -----
        if roomtype=="corridor" & (metritis2==telos | metritis2==telos-1)
            if metritis2==telos-1 & j==5
                U=0.8;
            elseif metritis2==telos & j==6
                U=0.8;
            end
        end
        UA{i,j}= U *A{i,j};
    end
end

    %% ---- Euresi swstou dt/CLTD (Metafora dedomenwn) -----
if var2(i=="wall"
    if check2(i=="wall.air"
%       GIA TOIXOC
%       if j==1
%           dt=4.85166666666667;
%       elseif j==2
%           dt=9.00166666666667;
%       elseif j==3
%           dt=13.15166666666667;
%       elseif j==4
%           dt=8.17166666666667;
%       end
%       end
%       GIA TOIXOB
%       if j==1
%           dt=4.02166666666667;
%       elseif j==2
%           dt=6.51166666666667;
%       elseif j==3

```

```

        dt=10.6616666666667;
    elseif j==4
        dt=6.51166666666667;
    end
end

if check2(i)=="wall.nontherm" || check2(i)=="wall.therm"
    dt=val1(find(check1=="dt"));
end
elseif var2(i)=="door"
    if check2(i)=="door.air"
%       GIA TOIXOC
%       if j==1
%           dt=4.85166666666667;
%       elseif j==2
%           dt=9.00166666666667;
%       elseif j==3
%           dt=13.15166666666667;
%       elseif j==4
%           dt=8.17166666666667;
%       end
%       end
%       GIA TOIXOB
        if j==1
            dt=4.02166666666667;
        elseif j==2
            dt=6.51166666666667;
        elseif j==3
            dt=10.66166666666667;
        elseif j==4
            dt=6.51166666666667;
        end
    end
    if check2(i)=="door.nontherm" || check2(i)=="door.therm"
        dt=val1(find(check1=="dt"));
    end
elseif (var2(i)=="window.small" || var2(i)=="window.small" || var2(i)=="window.brick")
    if check2(i)=="glass.single"
        dt=7;
    elseif check2(i)=="glass.double"
        dt=7;
    elseif check2(i)=="glass.brick"
        dt=7;
    end
end

%-----
%-----
%% ---- Euresi swstou dt -----
dt=val1(find(check1=="dt"));
%-----

%% -----Orismos stilwn gia to cell type tou q-----
for i=1:(length(type1)/2)
    for j=3:6;
        q{i,j}=UA{i,j}*dt;
    end
end

```

```

end
end
%-----

%% --- Orismos midenikou pinaka gia ipologismo athroismatwn tou q ana kateyfini---
qD=zeros(1,4);
%-----
%% --- Ipologismos athroismatwn tou q ana kateyfini-----
for i=1:(length(type1)/2)
    for j=1:4
        if isnan(q{i,j+2})==0;
            qD(j)= qD(j)+q{i,j+2};
        end
    end
end
%-----

%% --- Dimiourgia pinaka (qfinal) opoy oi kenes seires feugoun kai menoun oi mi midenikes ---
a=1;
for i=1:(length(type1)/2)
    if ( ~(isnan(UA{i,3})==1 | UA{i,3}==0) &...
        (isnan(UA{i,4})==1 | UA{i,4}==0) &...
        (isnan(UA{i,5})==1 | UA{i,5}==0) &...
        (isnan(UA{i,6})==1 | UA{i,6}==0) );
        for j=1:6;
            qfinal{a,j}=q{i,j};
        end
        a=a+1;
    end
end
%-----

%% --- Tropoposi pinaka qfinal etsi wste ta NaN na ginoun "-" -----
for i=1:a-1
    for j=3:6
        if isnan(qfinal{i,j})==1;
            qfinal{i,j}="-";
        end
    end
end
%-----

%% --- Pros8esi ston pinaka qfinal to athroisma ana kateyfini opws oristike sto qD-----
qfinal{a,1}="Sum";
qfinal{a,2}="Direction";
for i=3:6;
    qfinal{a,i}= qD(i-2);
end
%-----

%% -----Allagi kai katharismos metavlitwn gia na einai idia kai stous epomenous ipologismous---
% --- Allagi qfinal se qfinal1 kai dimiourgia metavlitis qD1 ws to athroisma tou qD
qfinal1=qfinal;
clear qfinal
qD1=sum(qD);
clear qD

```

```

% -----
%% -----Metatropi pinaka qfinal1 se table format me titlous ---
qfinal1 = cell2table(qfinal1,'VariableNames',{ 'Variable' 'Check' 'N' 'S' 'E' 'W'});
% -----

%% -----Dimiourgia Cell type pinaka gia ginomeno U*epifaneia gia ceil kai floor-----
UA2=cell(length(type2),2);
% -----

%% -----Ipologismos Cell type pinaka gia ginomeno U*epifaneia gia ceil kai floor ...
...kai dimiourgia q2 cell type pinaka tis protis stilis-----
for i=1:(length(type2));
    U=val1(find(check1==type2(i)));
    UA2{i,1}=type2(i);
    q2{i,1}=type2(i);
    UA2{i,2}=U*val3(i);
end
% -----

%% -----Ipologismos Cell type pinaka gia q2 gia ceil kai floor -----
for i=1:length(type2)
    if type2(i)=="ceil.air"
        dt=39;
    else
        dt=val1(find(check1=="dt"));
    end
    q2{i,2}=UA2{i,2}*dt;
end
% -----

%% -----Ipologismos sinolikou Q (qD2) gia ceil kai floor -----

% ---Arxikos Midenismos qD2---
qD2=0;
% -----

% ---Ipologismos qD2---
for i=1:length(type2)
    if isnan(q2{i,2})==0;
        qD2= qD2+q2{i,2};
    end
end
% -----

%% -----Dimourgia cell type pinaka qfinal2 apo q2 xwris kena stoixeia-----
a=1;
for i=1:length(type2)
    if ~(isnan(UA2{i,2})==1 | UA2{i,2}==0);
        for j=1:2;
            qfinal2{a,j}=q2{i,j};
        end
        a=a+1;
    end
end
% -----

```

```

%% ---Pros8esi ston pinaka qfinal2 to athroisma----
qfinal2{a,1}="Sum";
qfinal2{a,2}=qD2;
% -----

%% ---Metatropi pinaka qfinal2 se table format me titlous-----
qfinal2 = cell2table(qfinal2,'VariableNames',{'Variable' 'Value'});
%-----

%% ---Orismos Perioxis Lipsis Dedomenwn gia apwleia logw anoigmatwn---
sheet = 2;
xlRange = 'L2:P3';
[num,txt,row] = xlsread('DataNew.xlsx',sheet,xlRange,'basic');
% -----

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----

Data2 = cell2table(row,'VariableNames',{'Variable' 'Value' 'Unit1' 'Coefficient' 'Unit2'});
var4=string(Data2.Variable);
val4=Data2.Value;
unit4=string(Data2.Unit1);
unit5=string(Data2.Unit2);
% -----

%% ---Ipologismos sinolou epifaneias parathirwn-----
c=0;
for i=1:(length(type1)/2)
    if (A{i,1}=="window.small" |...
        A{i,1}=="window.big");
        for j=3:6;
            if isnan(A{i,j})==0;
                c=c+A{i,j};
            end
        end
    end
end
% -----

%% --- Orismos sinolou epifaneias anoigmatwn ws to coefficient gia ta parathira ----
Data2.Coefficient(1)=c;
% -----

%% --- Ek neou midenismos gia ton ipologismo tou neou coefficient gia tis portes-----
c=0;
% -----

%% ---Ipologismos sinolou arithmo portwn ektos an odigoun se thermenwmeno xwro-----
for i=(length(type1)/2+1):length(type1)
    if (check2(i)=="door.air" )
% |... check2(i)=="door.nontherm" );
        for j=1:4;
            if isnan(val2(i,j))~= 1;
                c=c+ val2(i,j);
            end
        end
    end
end

```

```

    end
end
% -----

%% --
- Orismos sinolou arithmo portwn ekto an odigoun se thermenwmeno xwro ws to coefficient gia tis portes ----
Data2.Coefficient(2)=c;
% -----

%% -----Metatropi dedomenwn se swsti morfi-----
val5=Data2.Coefficient;
% -----

%% ----- Ipologismos ginomenou gia m3/h gia parathira kai portes-----
v=val4.*val5;
v=sum(v);
% -----

%% -----Euresi piknotitas kai Cp apo dedomena -----
d=val1(find(check1=="d"));
cp=val1(find(check1=="cp"));
% -----

%% ----- Ipologismos qD3-----
dt=val1(find(check1=="dt"));
qD3=v*d*cp*dt*1000/3600;
%-----

%% ----- Euresi swstou sintelesti analoga me ton tipo xwrou ----
coef=val1(find(check1==roomtype));
% -----

%% ---- Ipologismos sinolikis epifaneias floor -----
o1=find(type2=="floor.ground" | type2=="floor.nontherm" | type2=="floor.therm" | type2=="floor.air");
o2=val3(o1);
o3=find(~isnan(o2));
floorarea=sum(o2(o3));
% -----

%% -----Ipologismos qD4-----
qD4=coef*floorarea*d*cp*dt*1000/3600;
% -----

%% -----Ipologismos qD4 LATENT-----
%---Orismos idikis enthalpiais idratmwn toy aera
hfg=2500;
%---Orismos idiki igrasias
%dw=0.013;
dw=0.00264;
%---
qD4latent=coef*floorarea*d*hfg*dw*1000/3600;
% -----

%% -----Ipologismos qDSolar-----
% ---Ipologismos sinolou epifaneias parathirwn-----
areawd=[0 0 0];

```

```

for i=1:(length(type1)/2)
    if (A{i,1}=="window.small" |...
        A{i,1}=="window.big");
        for j=3:6;
            if isnan(A{i,j})==0;
                areawd(j-2)=areawd(j-2)+A{i,j};
            end
        end
    end
end
end
%QDSolarN=areawd(1)*0.76*120*0.88;
QDSolarN=areawd(1)*0.75*120*0.88;
%QDSolarS=areawd(2)*0.53*344*0.88;
QDSolarS=areawd(2)*0.41*344*0.88;
%QDSolarE=areawd(3)*0.29*681*0.88;
QDSolarE=areawd(3)*0.23*681*0.88;
%QDSolarW=areawd(4)*0.4*681*0.88;
QDSolarW=areawd(4)*0.56*681*0.88;
%-----
qDSolar=QDSolarN+QDSolarS+QDSolarE+QDSolarW;
%-----

%% -----Ipologismos qPeople-----
qPeople=ceil(people)*75;
%-----

%% ----- Dimiourgia pinaka me ola ta Q -----
qDtotal=[qD1 qD2 qD3 qD4 qD4latent qDSolar qPeople]';
% ----- Pros8iki ston pinaka to teliko athroisma kai to athroisma me to sintelesti asfaleias
%qDtotal=[qDtotal;sum(qDtotal);sum(qDtotal)*1.2];
%-----
%-----

%% -----Dimiourgia telikou pinaka olwn twN Q-----
qDesc={"Qsides"; "Qup&down"; "Qair.in"; "Qair.dist"; "Qair.dist.latent"; "Qsolar"; "Qpeople"};
qDtable=table(qDesc,qDtotal);
% Ektiposi pinaka
qDtable;
% -----
% -----
%% -----Metafora apotelesmatwn se Excel
% Orismos directory Katagrafis Apotelesmatwn
% my_directory=
my_directory="C:\Users\Minas\Desktop\CoolLoads";
path=fullfile(my_directory, studyfile);
writematrix(qDtable.qDtotal', path, "Sheet", studysheet, "Range", ('I'+string(metritis2+1)+'O'+string(metritis2+
1)));
writematrix(floorarea, path, "Sheet", studysheet, "Range", ('H'+string(metritis2+1)));
% -----
%%----- Katharismos metavlitwn-----
clearvars -except studyfile studysheet studyrange telos
%-----

end
toc
end

```


8.4 Παράρτημα 4

Ηλεκτρική Κατανάλωσης Σχολής Χημικών Μηχανικών

Στο συγκεκριμένο παράρτημα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής κατανάλωσης της Σχολής με συντελεστή προσαύξησης 20%.

Πίνακας 8.16: Καταγραφή λαμπτήρων στους διαδρόμους ανά επίπεδο

Επίπεδο	-2	-1	0	1	2	3	4	5	
Ισχύς Λαμπτήρων (W)	Πλήθος Λαμπτήρων								
13	0	30	96	66	60	54	24	18	
18	0	308	212	196	204	68	0	0	
36	0	46	64	192	82	47	9	18	
58	0	35	70	117	121	135	20	0	
Ισχύς Λαμπτήρων (W)	Συνολική Ισχύς στους διαδρόμους (W)								
13	0	390	1248	858	780	702	312	234	
18	0	5544	3816	3528	3672	1224	0	0	
36	0	1656	2304	6912	2952	1692	324	648	
58	0	2030	4060	6786	7018	7830	1160	0	Σύνολο (W)
Σύνολο (W)	0	9620	11428	18084	14422	11448	1796	882	67680

Πίνακας 8.17: Καταγραφή ηλεκτρικής ισχύος για Γραφεία / Μικρο-εργαστήρια

Επίπεδο	-2	-1	0	1	2	3	4	5	
Γραφεία/Μικρο-εργαστήρια									
Πλήθος Γραφείων	0	8	28	37	66	55	27	4	
Αριθμός Λαμπ./Γραφείο	6	6	6	6	6	6	6	6	
Ισχύς Λαμπτήρων (W)	0	18	18	18	18	18	18	18	Σύνολο (W)
Σύνολο για Φωτισμό (W)	0	864	3024	3996	7128	5940	2916	432	24300
Άτομα/Γραφείο	1	1	1	1	1	1	1	1	
PC/γραφείο	1	1	1	1	1	1	1	1	
Ισχύς PC (W)	160	160	160	160	160	160	160	160	Σύνολο (W)
Σύνολο για PC (W)	0	2112	7392	9768	17424	14520	7128	1056	59400
Air-Condition/Γραφείο	1	1	1	1	1	1	1	1	
Ισχύς AC (W)	5275	5275	5275	5275	5275	5275	5275	5275	Σύνολο (W)
Σύνολο για AC (W)	0	42200	147700	195175	348150	290125	142425	21100	1186875
Σύνολο (W)	0	44344	155204	205091	365838	304865	149661	22172	1247175

Πίνακας 8.18: Καταγραφή ηλεκτρικής ισχύος για Εργαστήρια

Επίπεδο	-2	-1	0	1	2	3	4	5	
Εργαστήρια									
Πλήθος Εργαστηρίων	0	0	2	4	5	6	4	2	
Αριθμός Λαμπ./Εργ.	6	0	25	25	25	25	25	25	
Ισχύς Λαμπτήρων (W)	0	0	58	58	58	58	58	58	Σύνολο (W)
Σύνολο για Φωτισμό (W)	0	0	2900	5800	7250	8700	5800	2900	33350
Άτομα/Εργαστ	5	5	5	5	5	5	5	5	
PC/Εργασ.	5	5	5	5	5	5	5	5	
Ισχύς PC (W)	0	2112	7392	9768	17424	14520	7128	1056	Σύνολο (W)
Σύνολο για PC (W)	0	0	73920	195360	435600	435600	142560	10560	1293600
Air-Condition/Γραφείο	4	4	4	4	4	4	4	4	
Ισχύς AC (W)	5275	5275	5275	5275	5275	5275	5275	5275	Σύνολο (W)
Σύνολο για AC (W)	0	0	42200	84400	105500	126600	84400	42200	485300
Σύνολο (W)	0	0	76820	201160	442850	444300	148360	13460	1326950

Πίνακας 8.19: Καταγραφή ηλεκτρικής ισχύος για PC Labs

PC Labs (1 & 2)	
Αριθμός Λαμπτ	40
Ισχύς Λαμπτήρων (W)	58
Σύνολο για Φωτισμό (W)	2320
Πλήθος Η/Υ	85
Κατανάλ/PC	0
Σύνολο για PC (W)	0
Πλήθος AC	3
Ισχύς AC (W)	210
Σύνολο για AC (W)	48432
Σύνολο (W)	50752

Πίνακας 8.20: Καταγραφή ηλεκτρικής ισχύος για Αίθουσες

Αίθουσες	
Πλήθος Λαμπτ.	800
Ισχύς Λαμπτήρων (W)	36
Σύνολο (W)	28800

Πίνακας 8.21: Ποσοστά αξιοποίησης χώρων (παραδοχή)

Ποσοστό αξιοποίησης χώρων					
Καθημερινές					
	Κοινόχρηστοι	Γραφεία	Εργαστήρια	Αίθουσες	PC Lab
7 έως 9	35%	15%	25%	5%	0
9 έως 17	100%	100%	100%	100%	100%
17 έως 19	35%	15%	25%	15%	0
Σάββατο / Κυριακή					
	Κοινόχρηστοι	Γραφεία	Εργαστήρια	Αίθουσες	PC Lab
10 έως 20	60.00%	0.00%	25.00%	0.00%	0.00%

Πίνακας 8.22: Συντελεστές λειτουργίας ανά εποχή (παραδοχή)

Εποχή	Συντελεστές λειτουργίας
Χειμώνας	100%
Άνοιξη	90%
Καλοκαίρι	70%
Φθινόπωρο	90%

Πίνακας 8.23: Κατανάλωση Ενέργειας (χωρίς AC) – Χειμώνας

Κατανάλωση Ενέργειας εκτός από AC (kWh) Χειμώνας						
Καθημερινές						
h	Κοινόχρηστοι	Γραφεία	Εργαστήρια	Αίθουσες	PC Lab	
2	47	25	26	3	0	
8	541	670	414	230	127	
2	47	25	26	9	0	
Σάββατο / Κυριακή						
h	Κοινόχρηστοι	Γραφεία	Εργαστήρια	Αίθουσες	PC Lab	
10	406	0	129	0	0	
Εύρεση ημερήσιας Κατανάλωσης (kWh)						
	Κοινόχρηστοι	Γραφεία	Εργαστήρια	Αίθουσες	PC Lab	Σύνολο
	1042	720	595	242	127	389

Πίνακας 8.24: Κατανάλωση Ενέργειας (χωρίς AC) - Άνοιξη

Ισχύς Ενέργειας εκτός από AC (kWh) Άνοιξη						
Καθημερινές						
h	Κοινόχρηστοι	Γραφεία	Εργαστήρια	Αίθουσες	PC Lab	
2	43	24	24	3	0	
8	487	650	387	207	126	
2	43	24	24	8	0	
Σάββατο / Κυριακή						
h	Κοινόχρηστοι	Γραφεία	Εργαστήρια	Αίθουσες	PC Lab	
10	365	0	121	0	0	
Εύρεση ημερήσιας Κατανάλωσης (kWh)						
	Κοινόχρηστοι	Γραφεία	Εργαστήρια	Αίθουσες	PC Lab	Σύνολο
	938	699	557	218	126	362

Πίνακας 8.25: Κατανάλωση Ενέργειας (χωρίς AC) - Καλοκαίρι

Κατανάλωση Ενέργειας εκτός από AC (kWh) Καλοκαίρι						
Καθημερινές						
h	Κοινόχρηστοι	Γραφεία	Εργαστήρια	Αίθουσες	PC Lab	
2	33	23	21	2	0	
8	379	611	334	161	122	
2	33	23	21	6	0	
Σάββατο / Κυριακή						
h	Κοινόχρηστοι	Γραφεία	Εργαστήρια	Αίθουσες	PC Lab	
10	284	0	104	0	0	
Εύρεση ημερήσιας Κατανάλωσης (kWh)						
	Κοινόχρηστοι	Γραφεία	Εργαστήρια	Αίθουσες	PC Lab	Σύνολο
	730	657	480	169	122	308

Πίνακας 8.26: Κατανάλωση Ενέργειας (χωρίς AC) - Φθινόπωρο

Κατανάλωση Ενέργειας εκτός από AC (kWh) Φθινόπωρο						
Καθημερινές						
h	Κοινόχρηστοι	Γραφεία	Εργαστήρια	Αίθουσες	PC Lab	
2	43	24	24	3	0	
8	487	650	387	207	126	
2	43	24	24	8	0	
Σάββατο / Κυριακή						
h	Κοινόχρηστοι	Γραφεία	Εργαστήρια	Αίθουσες	PC Lab	
10	365	0	121	0	0	
Εύρεση ημερήσιας Κατανάλωσης (kWh)						
	Κοινόχρηστοι	Γραφεία	Εργαστήρια	Αίθουσες	PC Lab	Σύνολο
	938	699	557	218	126	362

Πίνακας 8.27: Ποσοστό αξιοποίησης AC ανά χώρο (παραδοχή)

Καθημερινές			
	Γραφεία	PC Lab	Εργαστήρια
7 έως 9	5%	0%	15%
9 έως 17	100%	100%	100%
17 έως 19	5%	0%	15%
Σάββατο Κυριακή			
	Γραφεία	PC Lab	Εργαστήρια
10 έως 20	0.00%	0.00%	0.00%

Πίνακας 8.28: Συντελεστές λειτουργίας AC ανά εποχή (παραδοχή)

	Συντελεστές Λειτουργίας
Χειμώνας	100%
Άνοιξη	30%
Καλοκαίρι	100%
Φθινόπωρο	30%

Πίνακας 8.29: Καταναλώσεις AC ανά εποχή

Χειμώνας				Άνοιξη			
Γραφεία	PC Lab	Εργαστήρια	Σύνολο	Γραφεία	PC Lab	Εργαστήρια	Σύνολο
119	0	146	264	36	0	44	79
9495	387	3882	13765	2849	116	1165	4129
119	0	146	264	36	0	44	79
		Σύνολο	2859			Σύνολο	858
Καλοκαίρι				Φθινόπωρο			
Γραφεία	PC Lab	Εργαστήρια	Σύνολο	Γραφεία	PC Lab	Εργαστήρια	Σύνολο
119	0	146	264	36	0	44	79
9495	387	3882	13765	2849	116	1165	4129
119	0	146	264	36	0	44	79
		Σύνολο	2859			Σύνολο	858

Πίνακας 8.30: Καταγραφή εργαστηρίων Α' Φάσης (παραδοχή)

Α' Φάση				
Όροφος	Διάδρομος	Ονομασία Εργαστηρίου	Τύπος Κατανάλωσης	Ισχύς (kW)
-1	B	Κινητήρων ΕΤΚΛ	Υψηλή	15
0	B	Υλικών	Χαμηλή	5
	B	Γραφεία - Μικροεργαστήρια	-	2
		Web server 1,2 και Συστοιχίες	Δόθηκε	8
1	B	Υλικών	Υψηλή	15
	B	Υλικών	Χαμηλή	5
	Δ	Γενικής Χημείας	Μέση	10
	Δ	Γραφεία - Μικροεργαστήρια	-	2
2	B	Σπουδαστικό Ανόργανης	Χαμηλή	5
	B	Σπουδαστικό Αναλυτικής	Χαμηλή	5
	Δ	Γενικής Χημείας	Μέση	10
	Δ	Τρόφιμων	Υψηλή	15
	Z	Υγρών Καυσίμων	Υψηλή	15
	Z	Γραφεία - Μικροεργαστήρια	-	2
3	B	Ανόργανης	Μέση	10
	B	Αναλυτικής	Μέση	10
	Δ	Σπουδαστικό Οργανικής	Μέση	10
	Δ	Βιοτεχνολογίας	Υψηλή	15
	Z	Πολυμερή	Υψηλή	15
	Z	ΜΦΔ (ΣΑΔ)	Υψηλή	15
4	Δ	Οργανικής	Υψηλή	15
	Δ	Ανόργανων Υλικών	Μέση	10
	Z	Οργανική Χημ. Τεχν.	Υψηλή	15
	Z	Θερμοδυναμικής και Φαινομένων Μεταφοράς	Μέση	10
		Server Room και Pclab (server1,2)	Δόθηκε	18
5	Z	Οργανική Χημική Τεχν.	Υψηλή	15
	Z	ΜΧΔ	Υψηλή	15
Ημβιομηχανικό			Υψηλή	75
Σύνολο				336

Πίνακας 8.31: Καταγραφή εργαστηρίων Β' Φάσης (παραδοχή)

Β' Φάση			
Όροφος	Ονομασία Εργαστηρίου	Τύπος Κατανάλωσης	Ισχύς (kW)
-1	NDT	Μέση	10
	R-Nano Lab	Υψηλή	15
	Αντίστροφης Όσμωσης	Υψηλή	15
		Υψηλή	15
0	Υπολογιστικής Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών	Υψηλή	15
	ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΕΙΑΣ	Υψηλή	15
1	Ερευνητικό Εργαστήριο Ανόργανης Χημείας	Χαμηλή	5
			5
		Σύνολο	95

Πίνακας 8.32: Καταγραφή επιπλέον εργαστηρίων (παραδοχή)

Επιπλέον Εργαστήρια				
Όροφος	Νούμερο	Ονομασία Εργαστηρίου	Τύπος Κατανάλωσης	Ισχύς (kW)
0	A005	Εργ. Μονάδα Βιοϋλικών και Φασματοσκοπίας	Χαμηλή	5
	B013	R-Nano Lab Διάταξη CVD παραγωγής νανο-δομών άνθρακα	Μέση	10
	B011	Εργαστήριο Ατομικής Απορρόφησης & Ηλεκτροχημείας	Χαμηλή	5
	B009	Ερευνητικό εργαστήριο MS	Χαμηλή	5
1	Δ,107	Τεχνολογίας Ανόργανων Υλικών (Φούρνοι υψηλών θερμοκρασιών)	Υψηλή	15
	Δ,108	Βιοτεχνολογίας	Υψηλή	15
	135-136	Φασματοσκοπίας NMR	Μέση	10
	167-168	Κεντρικό Εργαστήριο και ICP	Μέση	10
2	210-211	XRF-XRD	Υψηλή	15
	216	R-Nano Lab Διάταξη γωνίας επαφής	Μέση	10
	217	Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών	Υψηλή	15
	218	Εργαστηριακά όργανα & γραφεία	Μέση	10
	220	Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών	Υψηλή	15
	256-257	Οριζόντια Εργαστήρια (Α διαδ.)	Υψηλή	15
3	368	Οριζόντια Εργαστήρια (Α διαδ.)	Υψηλή	15
			Σύνολο	170

Πίνακας 8.33: Συνολικά αποτελέσματα ισχύς εργαστηρίων

Σύνολο Εργαστηρίων	
Ισχύς Εργαστηρίων (kW)	601

Πίνακας 8.34: Υπολογισμών ημερών και ωρών χρήσης ανά μήνα

Μήνας	Ημέρες (d)	Ημέρες (χωρίς Σ/Κ) (d)	Ώρες ανά μήνα (h)	Μέση Τιμή ωρών/μέρα (h/d)
Ιανουάριος	24	18	276	11.5
Φεβρουάριος	28	20	320	11.4
Μάρτιος	31	23	356	11.5
Απρίλιος	23	17	264	11.5
Μάιος	31	23	356	11.5
Ιούνιος	30	22	344	11.5
Ιούλιος	25	19	288	11.5
Αύγουστος	10	8	116	11.6
Σεπτέμβριος	30	22	344	11.5
Οκτώβριος	31	23	356	11.5
Νοέμβριος	30	22	344	11.5
Δεκέμβριος	31	23	356	11.5

Πίνακας 8.35: Συντελεστές λειτουργίας μηχανημάτων (παραδοχή)

Συντελεστές Λειτουργίας Μηχανημάτων	
Καθημερινές	Σαββατοκύριακα
85%	30%

Η σχέση που χρησιμοποιείται λοιπόν για τα μηχανήματα των εργαστηρίων είναι

$$C_{el,j} = P_j * (12 * (\text{Μέρες χωρίς Σ.Κ.}) * \text{Συντελεστή Λειτουργίας καθημερινών} + 10 * (\text{Μέρες Σ.Κ.}) * \text{Συντελεστή Λειτουργίας Σαββατοκύριακων})$$

Με την συνολική παρένθεση να αναφέρεται στο t_{working} που αναφέρθηκε κατά την διάρκεια παρουσίας αποτελεσμάτων.

Για φωτισμό, PC και AC γίνεται απλός πολλαπλασιασμός της ημερήσιας κατανάλωση ανά εποχή με τις μέρες του μήνα εντάσσονται στην κάθε μια.

Πίνακας 8.36: Τελικά αποτελέσματα κατανάλωσης και ισχύς

Τελικά Αποτελέσματα Κατανάλωσης (kWh)							Προκύπτουσα Ισχύς (kW)	
Μήνες	Φωτισμός/PC	AC	Μηχανήματα	Μονάδες Θέρμανσης/Ψύξης	Server	Σύνολο	Αρχική	Με προσάυξηση
Ιανουάριος	9348	68608	118187	7345	19731	223219	809	971
Φεβρουάριος	10906	80043	133250	8161	17821	250182	782	938
Μάρτιος	11235	88619	151495	9385	19731	280465	788	945
Απρίλιος	8336	65750	112100	6937	19094	212216	804	965
Μάιος	11235	88619	151495	9385	19731	280465	788	945
Ιούνιος	11685	85760	145410	8977	19094	270927	788	945
Ιούλιος	9737	71467	124277	7753	19731	232966	809	971
Αύγουστος	1558	28587	20636	3264	19731	73776	636	763
Σεπτέμβριος	10873	85760	145410	8977	19094	270115	785	942
Οκτώβριος	11235	88619	151495	9385	19731	280465	788	945
Νοέμβριος	10873	85760	145410	8977	19094	270115	785	942
Δεκέμβριος	12074	88619	151495	9385	19731	281305	790	948

Πίνακας 8.37: Τελικά αποτελέσματα κατανάλωσης και ισχύς χωρίς AC

Μήνας	Συνολική Κατανάλωση χωρίς AC (kWh)	Συνολική Ισχύς χωρίς AC (kW)	Συνολική Ισχύς χωρίς AC με προσάυξηση (kW)
Ιανουάριος	154611	560	672
Φεβρουάριος	170139	532	638
Μάρτιος	191846	539	647
Απρίλιος	146467	555	666
Μάιος	191846	539	647
Ιούνιος	185167	538	646
Ιούλιος	161499	561	673
Αύγουστος	45189	390	467
Σεπτέμβριος	184354	536	643
Οκτώβριος	191846	539	647
Νοέμβριος	184354	536	643
Δεκέμβριος	192685	541	650

8.5 Παράρτημα 5

Δεδομένα και πορεία υπολογισμών Γεωθερμικού Συστήματος

Στο συγκεκριμένο παράρτημα, αναλύονται τα δεδομένα και οι υπολογισμοί για την ακριβέστερη διαστασιολόγηση του γεωθερμικού συστήματος.

- Βήμα 1: Επιλογή τύπου εδάφους προσεγγιστικά, ανάλογα με τις ιδιότητες του εδάφους κοντά στη Σχολή.

Η βάση δεδομένων του RETScreen παρέχει τις εξής επιλογές [52]:

Πίνακας 8.38: Ιδιότητες διαφόρων πετρωμάτων στη βάση δεδομένων του RETScreen

Τύπος Εδάφους	Πυκνότητα (kg/m ³)	Θερμική Αγωγιμότητα (W/m·°C)	Θερμική Διαχυτότητα (m ² /s)	Θερμοχωρητικότητα (kJ/kg·°C)
Υγρή Άμμος	1600	0,9	5,16E-07	1,05
Ξηρή Άμμος	1400	0,3	2,84E-07	0,84
Συμπαγής Άμμος Υγρή	2100	1,3	6,45E-07	0,96
Συμπαγής Άμμος Ξηρή	200	0,9	5,16E-07	0,84
Ασβεστόλιθος	2800	2,4	1,03E-06	0,84
Γρανίτης	3200	3,5	1,29E-06	0,84

Όπως αναφέρεται στο κυρίως κείμενο, η σύσταση του εδάφους στην Πολυτεχνειούπολη, στο ενδιαφερόμενο βάθος, χαρακτηρίζεται από αργιλικό σχιστόλιθο και θραύσματα μαρμάρμου. Η θερμική αγωγιμότητα προσδιορίζεται περίπου στα 2,6 W/mK. Όπως προκύπτει, η σύσταση δίνει τέτοιες τιμές στα χαρακτηριστικά του και μπορεί το έδαφος να παρομοιασθεί με ασβεστόλιθο.

Στη συνέχεια αφού εισαχθούν τα ενεργειακά δεδομένα του κτιρίου, φορτία και ανάγκες, προκύπτει το συνολικό μήκος των απαιτούμενων γεωτρήσεων. Έτσι προκύπτει και η απόδοση θερμότητας στο έδαφος 36,1 W/m_{γεωεναλλάκτη}.

Για τα διάφορα σενάρια, υπολογίζεται με βάση την δυναμικότητα της αντλίας το ποσοστό κάλυψης αναγκών.

- ✓ Για θέρμανση: $\Pi\% = \frac{\text{Αποδιδόμενη θερμότητα (MWh)}}{\text{Θερμικές Ανάγκες (MWh)}} 100\%$
- ✓ Για ψύξη: $\Pi\% = \frac{\text{Αποδιδόμενη ψύξη (MWh)}}{\text{Ψυκτικές Ανάγκες (MWh)}} 100\%$

- Βήμα 2: Με αυτά τα δεδομένα το πρόγραμμα υπολογίζει το απαιτούμενο μήκος γεωτρήσεων L , ενώ τα βάθος κάθε γεώτρησης θεωρήθηκε 95 m.

Ύστερα, υπολογίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του γεωεναλλάκτη

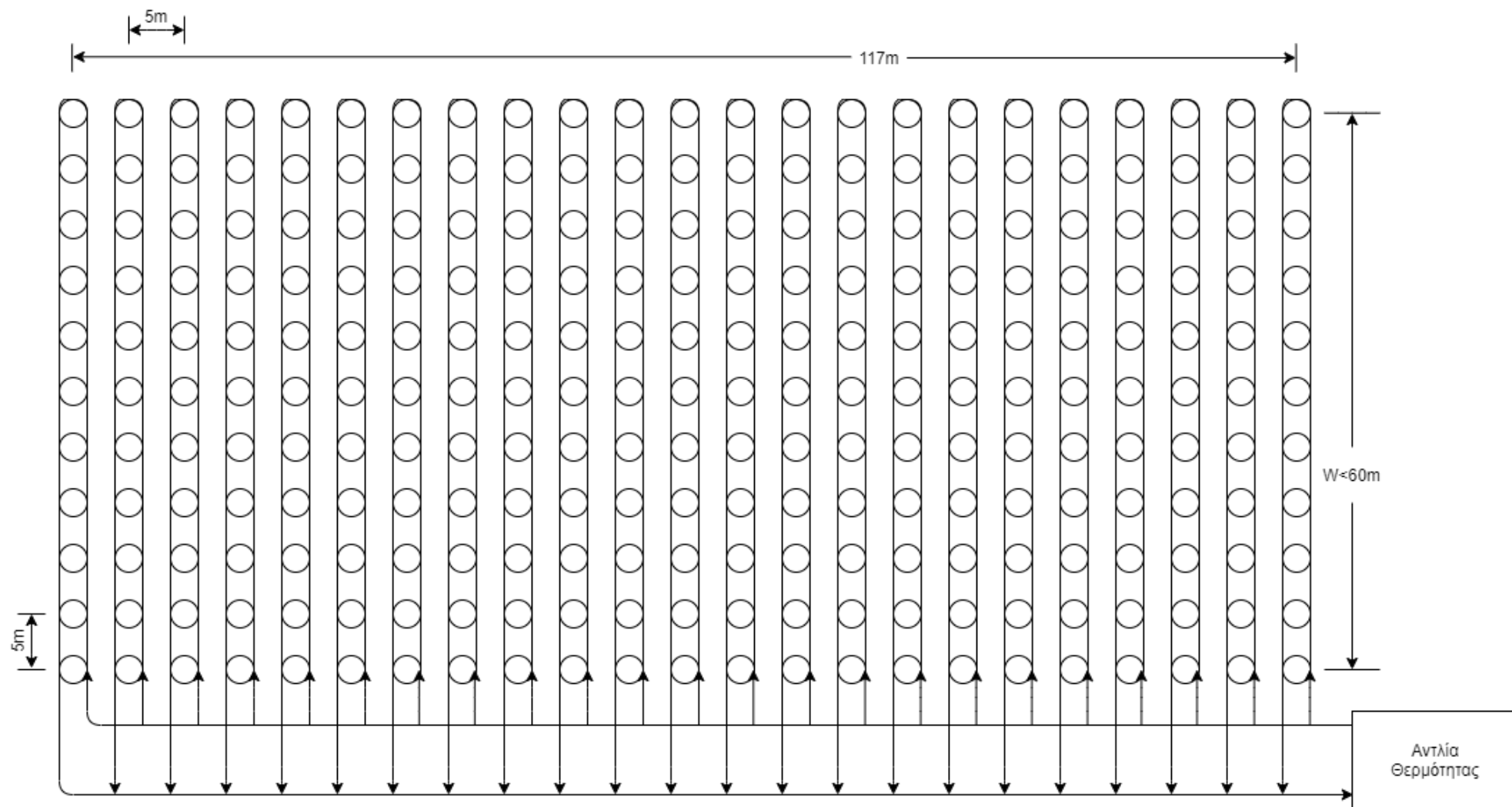
- ✓ Μήκος σωληνώσεων δικτύου: $L_p = 4 \cdot L$, (m)
- ✓ Απαιτούμενη Ισχύς κυκλοφορητών: $P_a = 0,017 \cdot Q_{cool}$, (kW)
- ✓ Απαιτούμενο όγκος μίγματος νερού/γλυκόλης (10% v/v):

$$V_a = 0,1 \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot L_p, (m^3)$$

- ✓ Απαιτούμενος αριθμός Γεωτρήσεων: $N_\gamma = \frac{L}{95}$ (γεωτρήσεις)

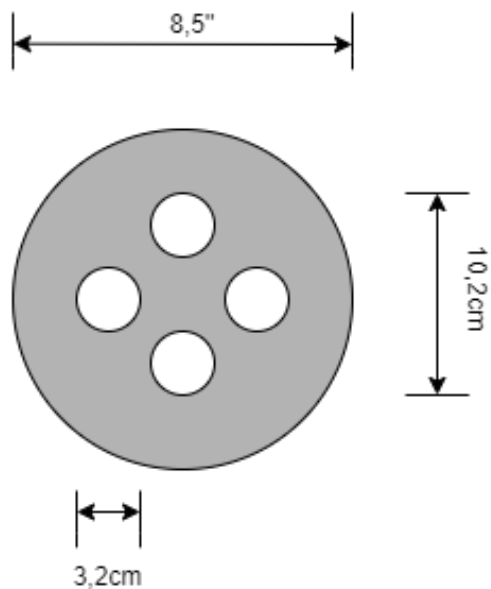
- Βήμα 3: Σχετικά με την χωροταξική διάταξη υπάρχει εδαφική έκταση περίπου 7.000 m² στην ανατολική πλευρά του κτιρίου. Το μήκος είναι 117m ενώ το πλάτος δεν πρέπει να ξεπερνά τα 60m. Επομένως, θα καλυφθεί σε όλο το μήκος η ανατολική πλευρά, ενώ παραλληλα θα υπολογίζεται το πλάτος με τον περιορισμό που αναφέρθηκε. Η απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων θεωρείται 5 m.

- ✓ Σε μήκος 117 m αντιστοιχούν: $N_l = \frac{117}{5} = 23,4 \cong 23$ γεωτρήσεις ,
- ✓ Αριθμός Γεωτρήσεων σε συνολική απόσταση κάθετη στο μήκος της Σχολής, $N_w = \frac{N_\gamma}{N_l}$ γεωτρήσεις ,
- ✓ Συνολικό μήκος πλευράς (60m): $W = N_w \cdot 5$, (m)
- ✓ Συνολική απαιτούμενη έκταση για γεωεναλλάκτη, $A = 117 \cdot W$, (m²),



Εικόνα 8.1: Τυπική κάθετη διάταξη γεωεναλλάκτη για τα δεδομένα εδαφικής έκτασης της Σχολής – Κάτοψη

Η απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων μπορεί να επιλαχθεί και μικρότερη των 5m, αλλά αυτό έχει ως αποτέλεσμα μακροπρόθεσμα την συσσώρευση θερμότητας και αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους τοπικά. Ακόμη, επιλέγεται γεώτρηση 8^{1/2} " και εντός αυτής 2 ζεύγη σωληνώσεων τύπου U.



Εικόνα.8.2: Τομή γεώτρησης