



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Ενεργειακή Προσομοίωση με τη Χρήση Λογισμικού

Διπλωματική Εργασία

Ταμπάσης Γεώργιος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Φεβρουάριος 2025



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

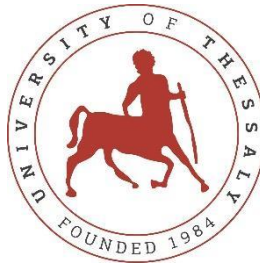
Ενεργειακή Προσομοίωση με τη Χρήση Λογισμικού

Διπλωματική Εργασία

Ταμπάσης Γεώργιος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Φεβρουάριος 2025



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

Energy Simulation Using Software

Diploma Thesis

Tampasis Georgios

Supervisor: Bargiotas Dimitrios

February 2025

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων **Μπαργιώτας Δημήτριος**

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος **Πλέσσας Φώτιος**

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος **Τσουκαλάς Ελευθέριος**

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελούν αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλουν οποιασδήποτε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχουν έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Δηλώνω επίσης ότι τα αποτελέσματα της εργασίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση άλλου πτυχίου. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο Δηλών

Γεώργιος Ταμπάσης

DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

Being fully aware of the implications of copyright laws, I expressly state that this diploma thesis, as well as the electronic files and source codes developed or modified in the course of this thesis, are solely the product of my personal work and do not infringe any rights of intellectual property, personality and personal data of third parties, do not contain work / contributions of third parties for which the permission of the authors / beneficiaries is required and are not a product of partial or complete plagiarism, while the sources used are limited to the bibliographic references only and meet the rules of scientific citing. The points where I have used ideas, text, files and / or sources of other authors are clearly mentioned in the text with the appropriate citation and the relevant complete reference is included in the bibliographic references section. I also declare that the results of the work have not been used to obtain another degree. I fully, individually and personally undertake all legal and administrative consequences that may arise in the event that it is proven, in the course of time, that this thesis or part of it does not belong to me because it is a product of plagiarism.

The Declarant

Georgios Tampasis

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας υπήρξε αποτέλεσμα της υποστήριξης και συνεργασίας πολλών ανθρώπων, στους οποίους εκφράζω βαθιά ευγνωμοσύνη. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές μου, κ. Μπαργιώτα Δημήτριο και τον κ. Ζημέρη Δημήτριο, για την ανεκτίμητη συμβολή τους, την επιστημονική καθοδήγηση και τις συνεπείς παρατηρήσεις τους, που εμπλούτισαν καθοριστικά το περιεχόμενο και τη δομή της εργασίας. Επιπλέον, εκφράζω τις ευχαριστίες μου στα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, κ. Πλέσσα Φώτιο και κ. Τσουκαλά Ελευθέριο, για το χρόνο και την προσοχή που αφιέρωσαν στην αξιολόγηση της εργασίας μου.

Θερμές ευχαριστίες αξίζουν στην οικογένειά μου, που με την αμέριστη συμπαράσταση και υπομονή τους, αποτέλεσαν τον ακρογωνιαίο λίθο της πορείας μου. Παράλληλα, δεν θα μπορούσα να παραλείψω την ευγνωμοσύνη μου προς τους φίλους και συνεργάτες, των οποίων οι ουσιαστικές συζητήσεις και η πολύτιμη υποστήριξη, μου έδωσαν τη δύναμη να συνεχίσω σε κάθε στάδιο της προσπάθειας αυτής.

Η εργασία αυτή αποτελεί για μένα προσωπική επιτυχία, που θα ήταν δύσκολο να επιτευχθεί χωρίς την εμπνευσμένη καθοδήγηση, την αδιάλειπτη υποστήριξη και τη συνδρομή όλων των προαναφερθέντων.

Ενεργειακή Προσομοίωση με τη Χρήση Λογισμικού

Γεώργιος Ταμπάσης

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην ενεργειακή προσομοίωση ενός Κέντρου Δημιουργικής Απασχόλησης Παιδιών (ΚΔΑΠ) χρησιμοποιώντας το λογισμικό FINE GREEN. Στόχος είναι η αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με βάση τις προδιαγραφές του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) και λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Στη μελέτη, αναλύονται οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό, ενώ αξιολογούνται οι θερμικές απώλειες από τα δομικά στοιχεία και οι εκπομπές CO₂ που προκύπτουν από τη λειτουργία του.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης υποδεικνύουν συγκεκριμένα σημεία όπου απαιτούνται βελτιώσεις για την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Προτείνονται παρεμβάσεις εγκατάσταση αποδοτικότερων συστημάτων HVAC και ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και του λειτουργικού κόστους. Η μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα ότι οι προτεινόμενες παρεμβάσεις μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στη βελτίωση της ενεργειακής κατάταξης του κτιρίου, ενισχύοντας την περιβαλλοντική του βιωσιμότητα.

Λέξεις-κλειδιά:

Ενεργειακή προσομοίωση, Κέντρο Δημιουργικής Απασχόλησης Παιδιών (ΚΔΑΠ), λογισμικό FINE GREEN, Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.), ενεργειακή απόδοση κτιρίου, θερμικές απώλειες, εκπομπές CO₂, θερμομόνωση, σύστημα HVAC, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, περιβαλλοντική βιωσιμότητα, ενεργειακή κατανάλωση

Energy Simulation Using Software

Georgios Tampasis

Abstract

This thesis focuses on the energy simulation and performance evaluation of a Center for Creative Activities for Children using the FINE GREEN software. The aim is to assess the building's energy efficiency in accordance with the Building Energy Efficiency Regulation and considering the local climatic conditions. The study analyzes the building's energy needs for heating, cooling, and lighting, while also evaluating thermal losses through structural elements and the CO₂ emissions resulting from its operation.

The simulation results indicate specific areas where improvements are needed to enhance energy efficiency. Proposed interventions include installing more efficient HVAC systems and integrating renewable energy sources, to reduce energy consumption and operational costs. The study concludes that these measures can significantly improve the building's energy rating and promote its environmental sustainability.

Keywords:

Energy simulation, Center for Creative Activities for Children (ΚΔΑΠ), FINE GREEN software, Building Energy Efficiency Regulation (K.Ev.A.K.), building energy performance, thermal losses, CO₂ emissions, thermal insulation, HVAC system, renewable energy sources, environmental sustainability, energy consumption

Πίνακας περιεχομένων

<i>Ευχαριστίες</i>	<i>xí</i>
<i>Περίληψη</i>	<i>xiii</i>
<i>Abstract.....</i>	<i>xv</i>
<i>Κατάλογος εικόνων.....</i>	<i>xxí</i>
<i>Κατάλογος πινάκων.....</i>	<i>xxiii</i>
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	1
1.1 Στόχοι και Σκοπός της Μελέτης.....	1
1.2 Σημασία της Ενεργειακής Προσομοίωσης	1
1.3 Περίληψη των Κύριων Εννοιών	2
Κεφάλαιο 2 Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	3
2.1 Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων και Κανονισμοί.....	3
2.2 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)	4
2.3 Ενεργειακή Προσομοίωση και Λογισμικά Εργαλεία	5
2.4 Συστήματα HVAC και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	6
Κεφάλαιο 3 Το λογισμικό FINE GREEN	7
3.1 Παρουσίαση και Δυνατότητες του FINEGREEN	7
3.2 Εφαρμογή του FINEGREEN στην Ενεργειακή Προσομοίωση Κτιρίων	8
3.3 Δεδομένα και Προϋποθέσεις για τη Χρήση του FINEGREEN.....	9
Κεφάλαιο 4 Περιγραφή του Υπό Μελέτη ΚΔΑΠ.....	10
4.1 Γεωγραφική Τοποθεσία και Κλιματική Ζώνη.....	10
4.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά του Κτιρίου	10
4.3 Ανάλυση Χρήσης και Απαιτήσεων Θέρμανσης και Ψύξης	11
4.4 Υφιστάμενα Συστήματα Θέρμανσης, Ψύξης και Αερισμού	11
Κεφάλαιο 5 Μεθοδολογία Ενεργειακής Προσομοίωσης.....	15

5.1	Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων	15
5.2	Εισαγωγή Δεδομένων στο FINE GREEN.....	16
5.2.1	Το λογισμικό	16
5.2.2	Επεξήγηση λειτουργιών του FineGreen	17
5.2.3	Ορισμός Κτιρίου	20
5.2.4	Σχεδιασμός Κελύφους Κτιρίου	28
5.3	Διαμόρφωση Θερμικών Ζωνών	31
Κεφάλαιο 6	Αποτελέσματα Fine Green	41
6.1	Βασικό Σενάριο VRF	41
6.1.1	Heating Design.....	41
6.1.2	Cooling Design:	46
6.1.3	Ενεργειακή προσομοίωση	50
6.1.4	Αποτελέσματα Προσομοίωσης	50
6.2	Εναλλακτικό Σενάριο: Αντλίες Θερμότητας (ΑΘ αέρα-νερού και κλιματιστικά).....	54
6.2.1	Απόδοση Θέρμανσης.....	54
6.2.2	Απόδοση Ψύξης.....	55
6.2.3	Αποτελέσματα προσομοίωσης.....	57
Κεφάλαιο 7	Ανάλυση Αποτελεσμάτων της Ενεργειακής Προσομοίωσης.....	63
7.1	Κατανάλωση Ενέργειας για Θέρμανση και Ψύξη	63
7.2	Ενεργειακές Απώλειες από Δομικά Στοιχεία	64
7.3	Εκτίμηση Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα	66
7.4	Ενεργειακή Κατάταξη του Κτιρίου Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ.....	67
7.5	Βελτιστοποίηση της Θερμομόνωσης και των Υλικών	68
7.6	Αναβάθμιση Συστήματος HVAC	69
7.7	Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	70
7.8	Οικονομική Αξιολόγηση Προτεινόμενων Παρεμβάσεων	71
Κεφάλαιο 8	Συμπεράσματα και Μελλοντικές Κατευθύνσεις	73

8.1	Περίληψη των Κύριων Αποτελεσμάτων	73
8.2	Οφέλη από τη Βελτίωση της Ενεργειακής Απόδοσης σε ΚΔΑΠ.....	73
8.3	Μελλοντικές Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα	74
	<i>Βιβλιογραφία</i>	<i>77</i>
	<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α</i>	<i>79</i>
	<i>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ VRF.....</i>	<i>79</i>
	<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β</i>	<i>89</i>
	<i>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΥ (ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ)</i>	<i>89</i>

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης	5
Εικόνα 2: Οθόνη καλωσορίσματος Fine Green	16
Εικόνα 3: Δημιουργία μελέτης στο Fine Green	17
Εικόνα 4: Μενού 4M Green.....	18
Εικόνα 5: AutoBLD	19
Εικόνα 6: Building definition	20
Εικόνα 7: Layer management	21
Εικόνα 8: Βιβλιοθήκες υλικών Fine Green	22
Εικόνα 9: Typical Data Fine Green.....	22
Εικόνα 10: Elements Parameters Fine Green	23
Εικόνα 11: Εντολή Wblock.....	24
Εικόνα 12: Καθορισμός ορόφων	25
Εικόνα 13: Κάτοψη υπογείου	26
Εικόνα 14: Κάτοψη ισογείου	26
Εικόνα 15: Κάτοψη α' ορόφου	27
Εικόνα 16: Κάτοψη δώματος.....	27
Εικόνα 17: Κάτοψη β' ορόφου	28
Εικόνα 18: Τρισδιάστατη απεικόνιση ΚΔΑΠ.....	30
Εικόνα 19: Θερμικές ζώνες	31
Εικόνα 20: Activity menu υπόγειο.....	33
Εικόνα 21: Activity menu ισόγειο.....	34
Εικόνα 22: Activity menu α' όροφος	34
Εικόνα 23: Activity menu β' όροφος	35
Εικόνα 24: Φωτισμός υπογείου	36
Εικόνα 25: Φωτισμός ισογείου	36
Εικόνα 26: Φωτισμός α' ορόφου.....	37
Εικόνα 27: Φωτισμός β' ορόφου.....	37
Εικόνα 28: HVAC ισογείου.....	38
Εικόνα 29: HVAC α' ορόφου	39
Εικόνα 30: HVAC β' ορόφου	39
Εικόνα 31: Γραφήματα θερμοκρασίας και θερμικών απωλειών	42
Εικόνα 32: Διαγράμματα θερμοκρασιών και θερμικών απωλειών	46
Εικόνα 33: Γραφήματα θερμοκρασιών και απωλειών VRF.....	51
Εικόνα 34: Γραφήματα heating-cooling και relative humidity.....	52
Εικόνα 35: Ραβδόγραμμα αποτελεσμάτων heating design VRF	53

Εικόνα 36: Γραφήματα θερμοκρασίας και απωλειών - σενάριο με αντλία θερμότητας.....	59
Εικόνα 37: Γραφήματα cooling και relative humidity – σενάριο με αντλία θερμότητας.....	59
Εικόνα 38: Γράφημα αποτελεσμάτων heating design - σενάριο με αντλία θερμότητας.....	62
Εικόνα 39: Παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας.....	71
Εικόνα 40: Οικονομική αξιολόγηση παρεμβάσεων	72

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίου	4
Πίνακας 2: Μέγιστα επιτρεπόμενα όρια U	29
Πίνακας 3: Αποτελέσματα θερμικής ενέργειας ανά ζώνη	42
Πίνακας 4: Κατανομή φορτίων ανά ώρα	47
Πίνακας 5: Κατανομή φορτίων ανά ώρα	48
Πίνακας 6: Κατανομή φορτίων ανά ώρα	49
Πίνακας 7: Καταναλώσεις VRF και AU συγκεντρωτικά	64
Πίνακας 8: Θερμικές απώλειες και κέρδη.....	65
Πίνακας 9: Αποτελέσματα εκπομπών CO ₂	67

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Η διασφάλιση ενεργειακής αποδοτικότητας στα κτίρια αποτελεί πλέον βασική προτεραιότητα, δεδομένων των αυξανόμενων περιβαλλοντικών προκλήσεων και της ανάγκης για εξοικονόμηση πόρων. Σε αυτό το πλαίσιο, η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην ενεργειακή προσομοίωση ενός Κέντρου Δημιουργικής Απασχόλησης Παιδιών (ΚΔΑΠ) μέσω του λογισμικού FINE GREEN.

Σκοπός είναι να εξεταστεί η τρέχουσα ενεργειακή κατάσταση του κτιρίου, να αναλυθούν οι καταναλώσεις θέρμανσης και ψύξης, και να προσδιοριστούν τα σημεία που επιδέχονται βελτιώσεις για την ενίσχυση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Η μελέτη αυτή φιλοδοξεί να συμβάλει στην κατανόηση των δυνατοτήτων του FINE GREEN στην ανάλυση κτιρίων και να προτείνει πρακτικές λύσεις που συνάδουν με τις αρχές βιώσιμης ανάπτυξης, οδηγώντας σε κτίρια με χαμηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα και βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση.

1.1 Στόχοι και Σκοπός της Μελέτης

Η μελέτη της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου, και ειδικά ενός κτιρίου όπως το Κέντρο Δημιουργικής Απασχόλησης Παιδιών (ΚΔΑΠ), έχει ως στόχο την κατανόηση και την αξιολόγηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας για τη θέρμανση, την ψύξη, το ζεστό νερό χρήσης και τον φωτισμό. Η σωστή ενεργειακή προσομοίωση και η διαμόρφωση βελτιστοποιημένων συνθηκών θερμομόνωσης, αερισμού και φωτισμού μειώνει τις θερμικές απώλειες και συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας. Σκοπός αυτής της μελέτης είναι να εντοπιστούν τα σημεία βελτίωσης και να προταθούν λύσεις που θα καταστήσουν το ΚΔΑΠ πιο αποδοτικό και φιλικό προς το περιβάλλον, διασφαλίζοντας παράλληλα ένα άνετο και υγιές περιβάλλον για τους χρήστες του [1].

1.2 Σημασία της Ενεργειακής Προσομοίωσης

Η ενεργειακή προσομοίωση αποτελεί θεμελιώδη εργασία στην προσπάθεια κατανόησης και πρόβλεψης της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου. Με την προσομοίωση, μπορούμε να αξιολογήσουμε τη συνολική απόδοση του κτιρίου, να εντοπίσουμε τις

θερμικές απώλειες και να κατανοήσουμε τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης ανάλογα με την εποχή του χρόνου. Η σημασία της προσομοίωσης αυτής έγκειται στη δυνατότητα που προσφέρει για ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Τα προγράμματα ενεργειακής προσομοίωσης, όπως το FINEGreen, παρέχουν όλα τα απαραίτητα εργαλεία για την ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης και τη διαμόρφωση συγκεκριμένων προτάσεων βελτίωσης.

1.3 Περίληψη των Κύριων Εννοιών

Η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η θερμομόνωση, η επιλογή κατάλληλων δομικών υλικών, τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού (HVAC), καθώς και η αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Για τη βέλτιστη αποδοτικότητα, τα συστήματα HVAC πρέπει να είναι καλά προσαρμοσμένα στις ανάγκες του κτιρίου, ενώ η θερμομόνωση των εξωτερικών δομικών στοιχείων πρέπει να είναι κατάλληλη για να αποτρέπει τις θερμικές απώλειες. Παράλληλα, η ενσωμάτωση συστημάτων όπως τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας από το δίκτυο, οδηγώντας στη δημιουργία ενός κτιρίου σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας [2].

Το FINEGreen είναι ένα εξειδικευμένο λογισμικό που επιτρέπει τη διενέργεια ενεργειακών προσομοιώσεων, λαμβάνοντας υπόψη όλες αυτές τις παραμέτρους και προτείνοντας βελτιώσεις που ακολουθούν τα πρότυπα του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.). Μέσω αυτού του λογισμικού, μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα ρεαλιστικό ενεργειακό προφίλ του ΚΔΑΠ και να προτείνουμε πρακτικές λύσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής του απόδοσης.

Κεφάλαιο 2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων και Κανονισμοί

Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων είναι ένας από τους βασικούς τομείς της σύγχρονης αρχιτεκτονικής και μηχανολογικής μελέτης, ιδιαίτερα λόγω των περιβαλλοντικών προκλήσεων που αφορούν την κλιματική αλλαγή και την ανάγκη για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Τα κτίρια, ως μεγάλες πηγές ενεργειακής κατανάλωσης, έχουν άμεσο αντίκτυπο στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, λόγω της ανάγκης τους για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και λειτουργία διαφόρων συσκευών [2].

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, μέσω των Οδηγιών της για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων (EPBD), στοχεύει στην επίτευξη μηδενικών εκπομπών από τον κτιριακό τομέα μέχρι το 2050. Η Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων (ΕΠΚ) είναι η απόδοση ενός κτιρίου ως προς την κατανάλωση ενέργειας, που περιλαμβάνει όλους τους σχετικούς δείκτες απόδοσης: θερμομόνωση, συστήματα HVAC, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και δομικά χαρακτηριστικά. Οι κανονισμοί αυτοί ορίζουν τα όρια και τις απαιτήσεις για την ενεργειακή κατανάλωση των νέων κτιρίων και τις απαραίτητες αναβαθμίσεις για τα υφιστάμενα όπως φαίνεται στον Πίνακα 1, προκειμένου να επιτευχθούν οι επιθυμητοί στόχοι [3].

Πίνακας 1: Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίου

Κατηγορία	Όρια κατηγορίας	Όρια κατηγορίας
A+	$EP < 0,33R_R$	$T < 0,33$
A	$0,33R_R < EP < 0,50R_R$	$0,33 < T < 0,50$
B+	$0,50R_R < EP < 0,75R_R$	$0,50 < T < 0,75$
B	$0,75R_R < EP < 1,00R_R$	$0,75 < T < 1,00$
Γ	$1,00R_R < EP < 1,41R_R$	$1,00 < T < 1,41$
Δ	$1,41R_R < EP < 1,82R_R$	$1,41 < T < 1,82$
E	$1,82R_R < EP < 2,27R_R$	$1,82 < T < 2,27$
Z	$2,27R_R < EP < 2,73R_R$	$2,27 < T < 2,73$
H	$2,73R_R < EP$	$2,73 < T$

2.2 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)

Ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) στην Ελλάδα βασίζεται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων και τέθηκε σε εφαρμογή το 2010. Ο Κ.Εν.Α.Κ. καθορίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις για τη θερμομόνωση, την κατανάλωση ενέργειας και την ενεργειακή κατηγορία ενός κτιρίου, με στόχο τη βελτίωση της αποδοτικότητας και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [3].

Οι κύριες απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ. περιλαμβάνουν:

- **Θερμομονωτική προστασία:** Καθορίζονται τα ελάχιστα όρια για τη θερμοπερατότητα των δομικών στοιχείων (τοιχοί, οροφές, δάπεδα), ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες.
- **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ):** Η χρήση ΑΠΕ, όπως τα φωτοβολταϊκά και οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, είναι υποχρεωτική σε νέα κτίρια ή σε ανακαινίσεις, ώστε να περιορίζεται η εξάρτηση από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Πιστοποίηση:** Για κάθε νέο κτίριο απαιτείται η έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ), το οποίο κατηγοριοποιεί το κτίριο σε ενεργειακή κλίμακα (A+, A, B+, B, κ.λπ.). Η μορφή ενός ΠΕΑ φαίνεται στην Εικόνα 1.

Ο Κ.Εν.Α.Κ. όχι μόνο παρέχει μια σαφή δομή για την ενεργειακή κατηγοριοποίηση, αλλά θέτει και τις βάσεις για την επίτευξη σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας σε νέα κτίρια.

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (ΠΕΑ) Μεσογείων 119 11526, Αθήνα			
Αρ. Πρωτοκόλλου:	123456/2019	Αρ. Ασφαλείας:	12A12-TESTE-1A01A-A
Ημερομηνία Έκδοσης:	10/07/2019	Ημερομηνία Ισχύος:	10/07/2029
• Ελέγξτε την εγκυρότητα του ΠΕΑ: https://www.buildingcert.gr/checkCert.view			
Τίτλος Κτηριακής Μονάδας: "Διαμέρισμα Α1 στον 1ο Όροφο"			
Χρήση:	Πολυκατοικία- TEST		
Κλιματική Ζώνη:	B		
Συνολική Επιφάνεια:	69.66		
Ωφέλιμη Επιφάνεια:	69.66		
Ενεργειακή κατηγορία:		Υφιστάμενη	Δυννητική
Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης:			
EP ≤ 0,33 R _h	A+		
0,33 R _h < EP ≤ 0,50 R _h	A		
0,50 R _h < EP ≤ 0,75 R _h	B+		
0,75 R _h < EP ≤ 1,00 R _h	B		
1,00 R _h < EP ≤ 1,41 R _h	C		
1,41 R _h < EP ≤ 1,82 R _h	D		
1,82 R _h < EP ≤ 2,27 R _h	E		
2,27 R _h < EP ≤ 2,73 R _h	F		
2,73 R _h < EP	G		

Εικόνα 1: Πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης

2.3 Ενεργειακή Προσομοίωση και Λογισμικά Εργαλεία

Η ενεργειακή προσομοίωση κτιρίων αποτελεί κρίσιμη διαδικασία για τη μελέτη και βελτιστοποίηση της ενεργειακής τους απόδοσης. Μέσω της προσομοίωσης, οι μηχανικοί μπορούν να προβλέψουν τις ενεργειακές ανάγκες ενός κτιρίου, να εντοπίσουν τις θερμικές απώλειες και να διαμορφώσουν τις συνθήκες ώστε να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας [4]. Τα λογισμικά εργαλεία για την ενεργειακή προσομοίωση,

όπως το FINEGreen, το EnergyPlus, το DesignBuilder και το IES VE, προσφέρουν μια σειρά από λειτουργίες, όπως:

- Ανάλυση θερμομόνωσης και ενεργειακών απωλειών.
- Υπολογισμός κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό.
- Σύγκριση διαφορετικών σεναρίων και επιλογή των βέλτιστων λύσεων.

Η χρήση τέτοιων εργαλείων συμβάλλει στην επίτευξη των απαιτήσεων του Κ.Εν.Α.Κ., καθώς προσφέρουν ακριβείς εκτιμήσεις για την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων, βασισμένες σε πραγματικά δεδομένα και μετρήσεις.

2.4 Συστήματα HVAC και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού (HVAC) είναι από τους μεγαλύτερους καταναλωτές ενέργειας σε ένα κτίριο και παίζουν κρίσιμο ρόλο στην ενεργειακή του απόδοση. Η ορθή επιλογή και εγκατάσταση των συστημάτων HVAC διασφαλίζει τη σωστή ρύθμιση της θερμοκρασίας και της ποιότητας του αέρα, μειώνοντας ταυτόχρονα την κατανάλωση ενέργειας. Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες HVAC που χρησιμοποιούνται σε ενεργειακά αποδοτικά κτίρια, όπως οι αντλίες θερμότητας και τα συστήματα ανάκτησης θερμότητας [5].

Παράλληλα, η ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών CO₂. Οι πιο κοινές ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται σε κτίρια περιλαμβάνουν:

- Φωτοβολταϊκά συστήματα: Παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία, καλύπτοντας ένα σημαντικό μέρος των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου.
- Ηλιακά θερμικά συστήματα: Χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση του νερού χρήσης.
- Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας: Αξιοποιούν τη θερμότητα του υπεδάφους για τη θέρμανση και την ψύξη των χώρων.

Οι ΑΠΕ αποτελούν βασικό στοιχείο για τη μετάβαση σε κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, τα οποία εξαρτώνται ελάχιστα ή καθόλου από την ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από ορυκτά καύσιμα.

Κεφάλαιο 3 Το λογισμικό FINE GREEN

3.1 Παρουσίαση και Δυνατότητες του FINEGREEN

Το FINE GREEN είναι ένα εξειδικευμένο λογισμικό προσομοίωσης και ενεργειακής ανάλυσης που αναπτύχθηκε για να υποστηρίζει τους μηχανικούς στην αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων. Εξοπλισμένο με ένα ισχυρό περιβάλλον CAD και εξελιγμένες δυνατότητες προσομοίωσης, το FINEGreen διευκολύνει τη μοντελοποίηση κτιρίων και την ανάλυση των ενεργειακών χαρακτηριστικών τους. Το λογισμικό υποστηρίζει τις απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ. και της Ευρωπαϊκής Οδηγίας για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων, βοηθώντας τους χρήστες να συμμορφωθούν με τα πρότυπα σχεδίασης και κατασκευής που απαιτούνται για τη βέλτιστη απόδοση.

Βασικές δυνατότητες του FINE GREEN:

- **Θερμομόνωση και ενεργειακή απόδοση τοιχοποιίας:** Το FINE GREEN επιτρέπει την ανάλυση της θερμομονωτικής ικανότητας των τοίχων, οροφών και δαπέδων, παρέχοντας ακριβείς υπολογισμούς του συντελεστή θερμοπερατότητας (U) για κάθε δομικό στοιχείο. Αυτή η λειτουργία είναι κρίσιμη για την εκτίμηση των θερμικών απωλειών του κτιρίου.
- **Ανάλυση HVAC και συστημάτων θέρμανσης/ψύξης:** Οι χρήστες μπορούν να προσομοιώσουν τη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και αερισμού (HVAC), συμπεριλαμβάνοντας αντλίες θερμότητας, λέβητες και κλιματιστικά, ώστε να αξιολογήσουν τις επιπτώσεις τους στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου.
- **Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας:** Το FINE GREEN υποστηρίζει την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά πάνελ και γεωθερμικές αντλίες, και υπολογίζει την παραγόμενη ενέργεια που μπορεί να αντισταθμίσει τη συνολική κατανάλωση του κτιρίου.
- **Επιλογή υλικών και παραμέτρων μόνωσης:** Με μια εκτενή βιβλιοθήκη υλικών και δομικών στοιχείων, το FINE GREEN διευκολύνει την επιλογή υλικών με διαφορετικές θερμομονωτικές και μηχανικές ιδιότητες, δίνοντας στους χρήστες τη δυνατότητα να προσαρμόσουν το κτίριο στις προδιαγραφές του Κ.Εν.Α.Κ.

Αναλυτικές αναφορές και αποτελέσματα: Το λογισμικό παρέχει πλήρεις αναφορές με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, περιλαμβάνοντας την ενεργειακή κατανάλωση, τις θερμικές απώλειες, την ενεργειακή κατάταξη και τις προτάσεις για βελτίωση της απόδοσης.

3.2 Εφαρμογή του FINEGREEN στην Ενεργειακή Προσομοίωση Κτιρίων

Η εφαρμογή του FINEGREEN στην ενεργειακή προσομοίωση ενός κτιρίου επιτρέπει τη λεπτομερή ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας. Μέσω της μοντελοποίησης του κτιρίου στο λογισμικό, οι χρήστες μπορούν να κατανοήσουν τον ενεργειακό ισολογισμό του και να προσαρμόσουν τα δομικά στοιχεία και τα συστήματα θέρμανσης/ψύξης για τη βέλτιστη απόδοση.

Διαδικασία ενεργειακής προσομοίωσης:

1. **Εισαγωγή δεδομένων κτιρίου:** Οι χρήστες εισάγουν αρχικά τις διαστάσεις του κτιρίου, τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί για τους τοίχους, τα δάπεδα και τις οροφές, καθώς και τα συστήματα HVAC που είναι εγκατεστημένα.
2. **Διαμόρφωση θερμικών ζωνών:** Το FINE GREEN επιτρέπει τη δημιουργία θερμικών ζωνών, δηλαδή περιοχών που μπορούν να ελέγχονται ανεξάρτητα ως προς τη θέρμανση και την ψύξη, προσφέροντας τη δυνατότητα πιο στοχευμένης και αποδοτικής διαχείρισης ενέργειας.
3. **Επιλογή κλιματικής ζώνης:** Το λογισμικό προσαρμόζει τις παραμέτρους προσομοίωσης σύμφωνα με την κλιματική ζώνη του κτιρίου, λαμβάνοντας υπόψη τοπικά κλιματολογικά δεδομένα που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη.
4. **Ανάλυση και αποτελέσματα:** Μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης, το FINE GREEN παράγει λεπτομερείς αναφορές που περιλαμβάνουν την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, ζεστό νερό χρήσης και φωτισμό, καθώς και τον εκτιμώμενο χρόνο απόσβεσης για τις επενδύσεις ενεργειακής αναβάθμισης.

Η ενεργειακή προσομοίωση μέσω του FINE GREEN δίνει στους χρήστες τη δυνατότητα να αξιολογήσουν τη συμπεριφορά του κτιρίου, καθώς και να εφαρμόσουν εναλλακτικά

σενάρια, όπως αλλαγές υλικών, αναβάθμιση HVAC και ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

3.3 Δεδομένα και Προϋποθέσεις για τη Χρήση του FINEGREEN

Για να πραγματοποιηθεί μια επιτυχημένη προσομοίωση στο FINE GREEN, απαιτείται η συλλογή και καταχώριση συγκεκριμένων δεδομένων που αντικατοπτρίζουν την πραγματική δομή και τις λειτουργικές παραμέτρους του κτιρίου. Αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν:

- **Γεωμετρία κτιρίου:** Οι διαστάσεις και το σχήμα του κτιρίου, τα συνολικά τετραγωνικά μέτρα των δομικών στοιχείων, όπως οι τοίχοι, οι οροφές και τα δάπεδα, και η χωροθέτηση των παραθύρων και των θυρών.
- **Δομικά Υλικά:** Τα χαρακτηριστικά των υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί (π.χ. τούβλο, μπετόν, θερμομονωτικά υλικά) και οι τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας (U-value) για κάθε στοιχείο.
- **Συστήματα Θέρμανσης και Ψύξης (HVAC):** Λεπτομέρειες για τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού, όπως η θερμαντική ικανότητα, η απόδοση και οι ρυθμοί αερισμού.
- **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας:** Αν το κτίριο διαθέτει φωτοβολταϊκά πάνελ ή άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα χαρακτηριστικά τους, όπως η ισχύς και η αποδοτικότητα, πρέπει επίσης να καταχωρηθούν.
- **Κλιματικά δεδομένα:** Οι θερμοκρασίες, η ηλιακή ακτινοβολία, η υγρασία και οι υπόλοιπες κλιματικές παράμετροι της περιοχής στην οποία βρίσκεται το κτίριο.

Για την πλήρη και ακριβή προσομοίωση, το FINE GREEN απαιτεί την καταχώριση έγκυρων δεδομένων, τα οποία είναι απαραίτητα για την παραγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα χρήσης βιβλιοθηκών με υλικά και παραμέτρους, που προσαρμόζονται στις απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ., διευκολύνοντας τους χρήστες στην καταχώριση στοιχείων.

Κεφάλαιο 4 Περιγραφή του Υπό Μελέτη ΚΔΑΠ

Το Κέντρο Δημιουργικής Απασχόλησης Παιδιών (ΚΔΑΠ) που εξετάζεται στο πλαίσιο της ενεργειακής προσομοίωσης, αποτελεί έναν ιδιαίτερο τύπο κτιρίου με συγκεκριμένες απαιτήσεις θέρμανσης, ψύξης και αερισμού. Η προσομοίωση της ενεργειακής του απόδοσης με τη χρήση του λογισμικού FINE GREEN προσφέρει τη δυνατότητα ανάλυσης της υπάρχουσας ενεργειακής κατανάλωσης και του προσδιορισμού βελτιώσεων που μπορούν να γίνουν για την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας.

4.1 Γεωγραφική Τοποθεσία και Κλιματική Ζώνη

Η γεωγραφική τοποθεσία ενός κτιρίου καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τις ενεργειακές του ανάγκες, κυρίως λόγω των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή. Η θερμοκρασία, η ηλιοφάνεια, η υγρασία και οι άνεμοι επηρεάζουν τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης. Το συγκεκριμένο ΚΔΑΠ βρίσκεται στον Βόλο, μια περιοχή που ανήκει στη Κλιματική Ζώνη Β του Κ.Εν.Α.Κ. Αυτή η ζώνη χαρακτηρίζεται από ήπιους χειμώνες και ζεστά καλοκαίρια, γεγονός που καθιστά τη θέρμανση και την ψύξη εξίσου σημαντικά θέματα στην ενεργειακή ανάλυση [6].

Η τοποθέτηση του κτιρίου στην Κλιματική Ζώνη Β επιβάλλει συγκεκριμένες προδιαγραφές ενεργειακής απόδοσης, σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. Οι απαιτήσεις αυτές περιλαμβάνουν επαρκή θερμομόνωση για τη μείωση των θερμικών απωλειών κατά τη διάρκεια του χειμώνα, καθώς και τη χρήση αποδοτικών συστημάτων ψύξης για τους θερμότερους μήνες.

4.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά του Κτιρίου

Το κτίριο του ΚΔΑΠ έχει σχεδιαστεί για να φιλοξενεί παιδιά και προσωπικό κατά τη διάρκεια της ημέρας, προσφέροντας χώρους για εκπαιδευτικές δραστηριότητες, ψυχαγωγία και ανάπαυση. Ως εκ τούτου, το κτίριο διαθέτει πολλούς χώρους διαφορετικής χρήσης, όπως αίθουσες δραστηριοτήτων, χώρο υποδοχής, κουζίνα και γραφεία.

Δομικά Στοιχεία: Οι εξωτερικοί τοίχοι του κτιρίου είναι κατασκευασμένοι από τούβλο και καλύπτονται με θερμομονωτικά υλικά, σύμφωνα με τις προδιαγραφές θερμοπερατότητας

(U) του Κ.Εν.Α.Κ. Οι οροφές και τα δάπεδα έχουν επίσης θερμομονωθεί επαρκώς για να περιορίσουν τις θερμικές απώλειες.

Ανοίγματα: Τα παράθυρα και οι εξωτερικές πόρτες διαθέτουν διπλά τζάμια με χαμηλή θερμοπερατότητα, τα οποία μειώνουν τις απώλειες θερμότητας και ενισχύουν την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου.

Σύστημα Φωτισμού: Το κτίριο διαθέτει σύστημα φωτισμού με λαμπτήρες LED, οι οποίοι είναι ενεργειακά αποδοτικοί και επιτρέπουν τη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

4.3 Ανάλυση Χρήσης και Απαιτήσεων Θέρμανσης και Ψύξης

Η χρήση του ΚΔΑΠ προσδιορίζει τις ανάγκες του σε θέρμανση, ψύξη και αερισμό. Οι χώροι που χρησιμοποιούνται για τη συγκέντρωση μεγάλου αριθμού ατόμων, όπως οι αίθουσες δραστηριοτήτων και οι χώροι ψυχαγωγίας, χρειάζονται κατάλληλη θέρμανση και αερισμό, ειδικά κατά τους χειμερινούς μήνες, για να διατηρείται η θερμοκρασία σε άνετα επίπεδα. Αντίστοιχα, τους καλοκαιρινούς μήνες, η ψύξη είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της άνεσης, δεδομένης της αυξημένης θερμοκρασίας και της παρατεταμένης χρήσης των χώρων [7].

Η ανάγκη για επαρκή αερισμό είναι επίσης σημαντική, καθώς ο σωστός αερισμός συμβάλλει στην αποφυγή συσσώρευσης υγρασίας και ρύπων στον εσωτερικό χώρο, προστατεύοντας την υγεία των χρηστών του κτιρίου. Για το ΚΔΑΠ, το οποίο φιλοξενεί παιδιά, ο σωστός αερισμός και η θερμική άνεση είναι ζωτικής σημασίας, ώστε να διασφαλίζεται ένα υγιές περιβάλλον.

4.4 Υφιστάμενα Συστήματα Θέρμανσης, Ψύξης και Αερισμού

Το ΚΔΑΠ είναι εξοπλισμένο με συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού που έχουν σχεδιαστεί για να εξυπηρετούν τις καθημερινές ανάγκες των χρηστών του κτιρίου. Τα συστήματα αυτά μπορούν να επιλεγούν ανάμεσα από μια πληθώρα συστημάτων.

- **Θέρμανση:**

Η θέρμανση είναι ένα κρίσιμο μέρος των συστημάτων HVAC, ειδικά σε ψυχρά κλίματα, όπου η διατήρηση της θερμοκρασίας σε άνετα επίπεδα είναι ζωτικής σημασίας. Υπάρχουν

διάφορα συστήματα θέρμανσης που μπορούν να εγκατασταθούν σε κτίρια, καθένα με τα δικά του πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και απαιτήσεις ενεργειακής κατανάλωσης[6]. Ακολουθούν οι κύριοι τύποι συστημάτων θέρμανσης:

- **Λέβητες (Boilers):** Χρησιμοποιούν αέριο, πετρέλαιο ή ηλεκτρισμό για να ζεστάνουν το νερό, το οποίο μεταφέρεται στους χώρους μέσω καλοριφέρ ή ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Σημαντικά μειονεκτήματα των λεβήτων είναι ότι η καύση των καυσίμων παράγει εκπομπές CO₂.
- **Αντλίες Θερμότητας (Heat Pumps):** Μεταφέρουν θερμότητα από τον εξωτερικό στον εσωτερικό χώρο. Αποτελούν ενεργειακά αποδοτική επιλογή για ήπιες κλιματικές συνθήκες.
- **Συστήματα Fan Coil:** Τα fan coil units είναι μικρές συσκευές που συνδέονται με κεντρικά κυκλώματα θέρμανσης, προσφέροντας τοπικό έλεγχο θερμοκρασίας.

- **Ψύξη:**

Η ψύξη στα συστήματα HVAC χρησιμοποιείται για να μειώσει τη θερμοκρασία και να διατηρεί έναν άνετο και υγιεινό περιβάλλοντα χώρο σε εσωτερικούς χώρους, ειδικά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ή σε ζεστά κλίματα. Τα συστήματα ψύξης λειτουργούν αφαιρώντας τη θερμότητα από τον εσωτερικό αέρα και αποβάλλοντάς την στο εξωτερικό περιβάλλον μέσω κατάλληλων μηχανισμών. Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες ψύξης, οι οποίες επιλέγονται ανάλογα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις κάθε κτιρίου, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η ενεργειακή απόδοση, το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, καθώς και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι κύριες τεχνολογίες και τα συστήματα ψύξης που χρησιμοποιούνται [8]:

- **Κεντρικά Συστήματα Κλιματισμού (Chillers):** Χρησιμοποιούνται κυρίως σε μεγάλα κτίρια, όπου κρυώνουν το νερό και το διανέμουν σε fan coils ή άλλες μονάδες ψύξης.
- **Αντλίες Θερμότητας Ψύξης-Θέρμανσης (Reversible Heat Pumps):** Λειτουργούν και για θέρμανση και για ψύξη ανάλογα με την εποχή.
- **Split Units:** Χρησιμοποιούνται σε μικρότερες εγκαταστάσεις και παρέχουν ψύξη ή θέρμανση ανά χώρο, με ξεχωριστό χειρισμό.

➤ **Συστήματα VRF/VRV (Variable Refrigerant Flow / Volume):** Τα συστήματα VRF είναι ενεργειακά αποδοτικά και προσαρμοστικά, επιτρέποντας τη ρύθμιση της ροής του ψυκτικού υγρού ανάλογα με τις ανάγκες κάθε χώρου. Είναι ιδανικά για κτίρια με πολλές ζώνες ψύξης και θέρμανσης,

όπως γραφεία ή ξενοδοχεία, καθώς δίνουν τη δυνατότητα θέρμανσης σε κάποιους χώρους και ψύξης σε άλλους ταυτόχρονα.

➤ **Fan Coil Units (Μονάδες Fan Coil):** Αυτές οι μονάδες χρησιμοποιούν κρύο νερό από το σύστημα ψύξης του κτιρίου και διανέμουν τον αέρα στους χώρους μέσω μικρών ανεμιστήρων. Κάθε μονάδα μπορεί να ελεγχθεί ξεχωριστά, προσφέροντας μεγάλη ευελιξία σε χώρους με πολλές απαιτήσεις σε ψύξη και θέρμανση.

➤ **Δροσερός Αερισμός (Cool Ventilation):** Ο δροσερός αερισμός εκμεταλλεύεται το νυχτερινό αεράκι ή τη χαμηλότερη θερμοκρασία της νύχτας για να ψύχει το κτίριο χωρίς τη χρήση μηχανικού εξοπλισμού. Αυτό το σύστημα είναι πιο αποτελεσματικό σε περιοχές με χαμηλές νυχτερινές θερμοκρασίες και επιτρέπει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

- **Αερισμός:**

Ο αερισμός αποτελεί βασικό στοιχείο των συστημάτων HVAC, καθώς εξασφαλίζει την ανανέωση του αέρα στους εσωτερικούς χώρους, απομακρύνοντας ρύπους, υγρασία και ανεπιθύμητες οσμές. Ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα αερισμού συμβάλει στη διατήρηση της ποιότητας του αέρα, στην μείωση της συγκέντρωσης ρύπων και στην πρόληψη της ανάπτυξης μούχλας και βακτηρίων.

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες αερισμού: ο φυσικός και ο μηχανικός. Ο φυσικός αερισμός βασίζεται σε ανοίγματα, όπως παράθυρα και φεγγίτες, που επιτρέπουν την κυκλοφορία του αέρα μέσω της διαφοράς πίεσης και θερμοκρασίας. Ο μηχανικός αερισμός, από την άλλη, χρησιμοποιεί ανεμιστήρες και συστήματα αγωγών για τον έλεγχο της ροής του αέρα, εξασφαλίζοντας σταθερή ποιότητα και ποσότητα φρέσκου αέρα ανεξάρτητα από τις εξωτερικές συνθήκες. Βασικοί τύποι συστημάτων αερισμού είναι οι εξής:

- **Κεντρικά Συστήματα Αερισμού με Ανακύκλωση Αέρα (VAV - Variable Air Volume):** Ελέγχουν την ποσότητα αέρα που διανέμεται σε κάθε ζώνη, προσφέροντας ευελιξία ανάλογα με τις ανάγκες.
- **Συστήματα Μεταβλητής Ροής Ψυχρού Αέρα (CAV - Constant Air Volume):** Παρέχουν σταθερή ροή αέρα σε όλους τους χώρους, προσφέροντας ομοιόμορφη ποιότητα αέρα.
- **Ανακτητές Θερμότητας (Heat Recovery Ventilators - HRV):** Εξασφαλίζουν ότι ο νωπός αέρας προσαρμόζεται στη θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου, βελτιώνοντας την ενεργειακή απόδοση [8].
- **Συστήματα Διήθησης και Καθαρισμού Αέρα:** Χρησιμοποιούνται για τη μείωση αλλεργιογόνων και ρύπων, βελτιώνοντας την ποιότητα αέρα. Ο συνδυασμός των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και αερισμού έχει σχεδιαστεί για να καλύπτει τις ανάγκες του ΚΔΑΠ με τον πιο αποδοτικό τρόπο, επιτρέποντας τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη διατήρηση της άνεσης και της υγιεινής στο εσωτερικό του κτιρίου [8].

Κεφάλαιο 5 Μεθοδολογία Ενεργειακής Προσομοίωσης

Η μεθοδολογία ενεργειακής προσομοίωσης ενός κτιρίου με το FINE GREEN περιλαμβάνει συγκεκριμένα βήματα που οδηγούν σε μια ολοκληρωμένη ανάλυση των ενεργειακών αναγκών και των πιθανών σημείων βελτίωσης. Στο κεφάλαιο αυτό, αναλύονται τα στάδια και τα δεδομένα που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της προσομοίωσης, όπως η εισαγωγή των στοιχείων του κτιρίου, η διαμόρφωση των θερμικών ζωνών και οι παράμετροι που αφορούν τη θερμομόνωση και τα συστήματα HVAC.

5.1 Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων είναι το πρώτο και πιο κρίσιμο βήμα στην ενεργειακή προσομοίωση ενός κτιρίου. Περιλαμβάνει την καταγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του κτιρίου, όπως οι διαστάσεις και οι χωροθετήσεις των διαφόρων δομικών στοιχείων (τοίχοι, οροφές, δάπεδα), καθώς και των παραθύρων και των θυρών. Τα δεδομένα που συλλέγονται πρέπει να είναι ακριβή και να αντικατοπτρίζουν την πραγματική δομή του κτιρίου, καθώς αυτά θα καθορίσουν την ακρίβεια της προσομοίωσης.

Δεδομένα που συλλέγονται:

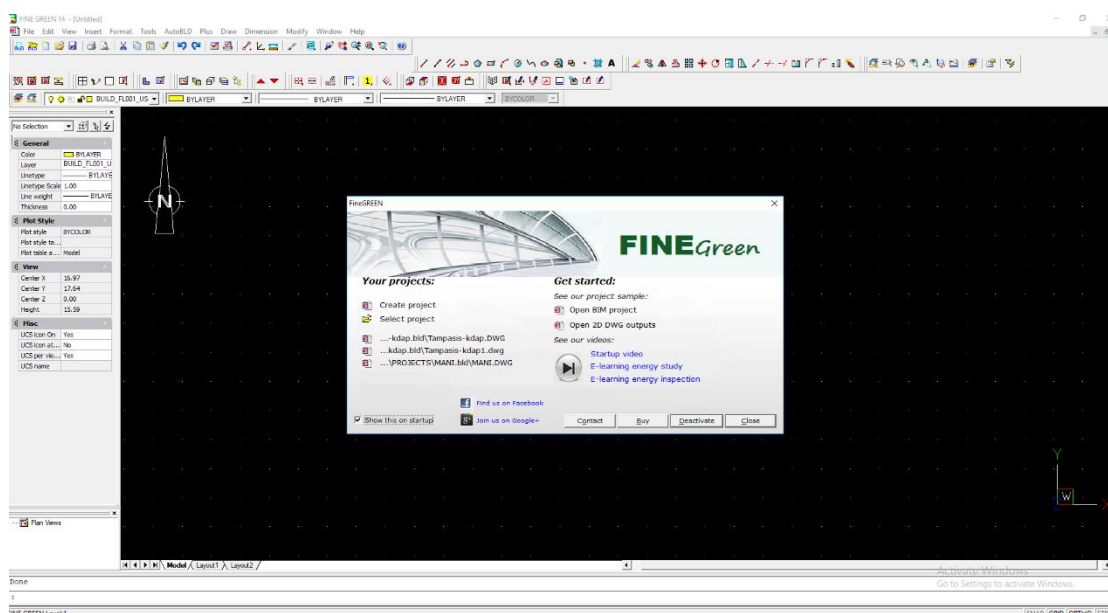
- Γεωμετρικά στοιχεία: Σχήμα και διαστάσεις κτιρίου, διαρρύθμιση εσωτερικών και εξωτερικών χώρων.
- Χαρακτηριστικά υλικών: Θερμομονωτικές ιδιότητες, όπως ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U-value) και οι τιμές θερμοχωρητικότητας των δομικών στοιχείων.
- Συστήματα HVAC: Θερμαντική και ψυκτική ισχύς των συστημάτων, αποδοτικότητα και τύπος συστημάτων (π.χ. αντλίες θερμότητας, λέβητες).
- Κλιματικά δεδομένα: Θερμοκρασίες, ηλιακή ακτινοβολία, υγρασία και άνεμοι για την περιοχή όπου βρίσκεται το κτίριο.

Η σωστή συλλογή και επεξεργασία αυτών των δεδομένων εγγυάται μια ρεαλιστική προσομοίωση και επιτρέπει την ακριβή εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου.

5.2 Εισαγωγή Δεδομένων στο FINE GREEN

5.2.1 Το λογισμικό

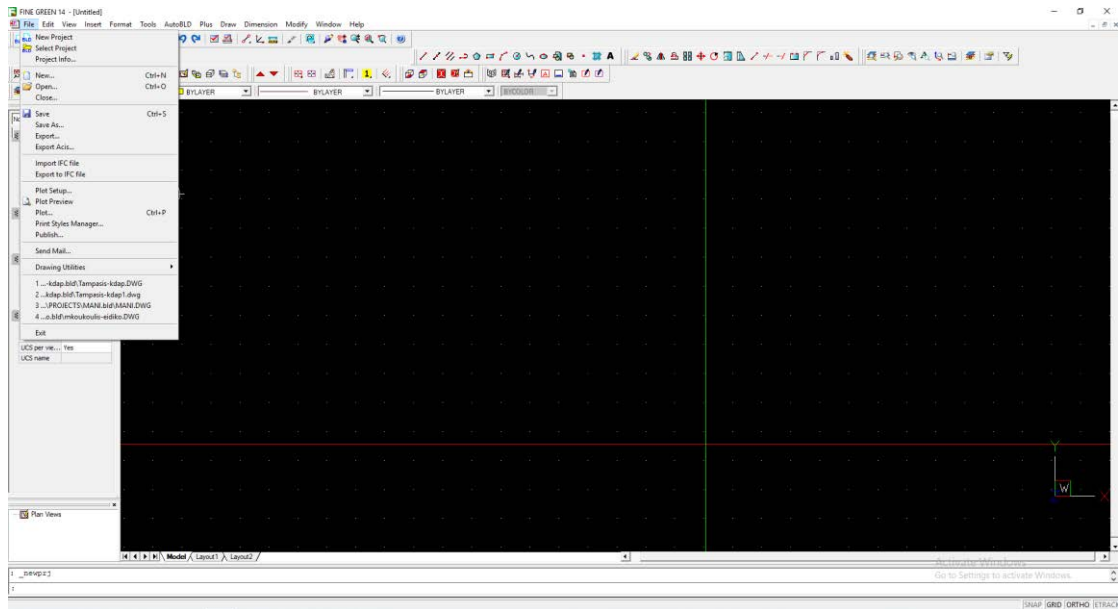
Αφού ολοκληρωθεί η θεωρητική ανάλυση των κύριων σημείων που σχετίζονται με μια ενεργειακή μελέτη, είναι η κατάλληλη στιγμή να προχωρήσουμε στην παρουσίαση του λογισμικού. Στη συνέχεια, θα περιγραφούν και θα εξηγηθούν λεπτομερώς όλα τα βήματα, από τον καθορισμό των δομικών στοιχείων μέχρι την παραγωγή των αποτελεσμάτων και τις πιθανές βελτιστοποιήσεις. Με την εκκίνηση του λογισμικού, ο χρήστης αντικρίζει την αρχική οθόνη, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.



Εικόνα 2: Οθόνη καλωσορίσματος Fine Green

Από το μενού πάνω αριστερά όπως φαίνεται στην Εικόνα 3 επιλέγουμε "File" και στη συνέχεια "New project". Με τον τρόπο αυτό δημιουργούμε μια νέα ενεργειακή μελέτη. Κατά τη διαδικασία αυτή, το λογισμικό ζητά από τον χρήστη να ορίσει το όνομα της μελέτης, και στη συνέχεια παράγει αυτόματα ένα αρχείο τύπου BLD

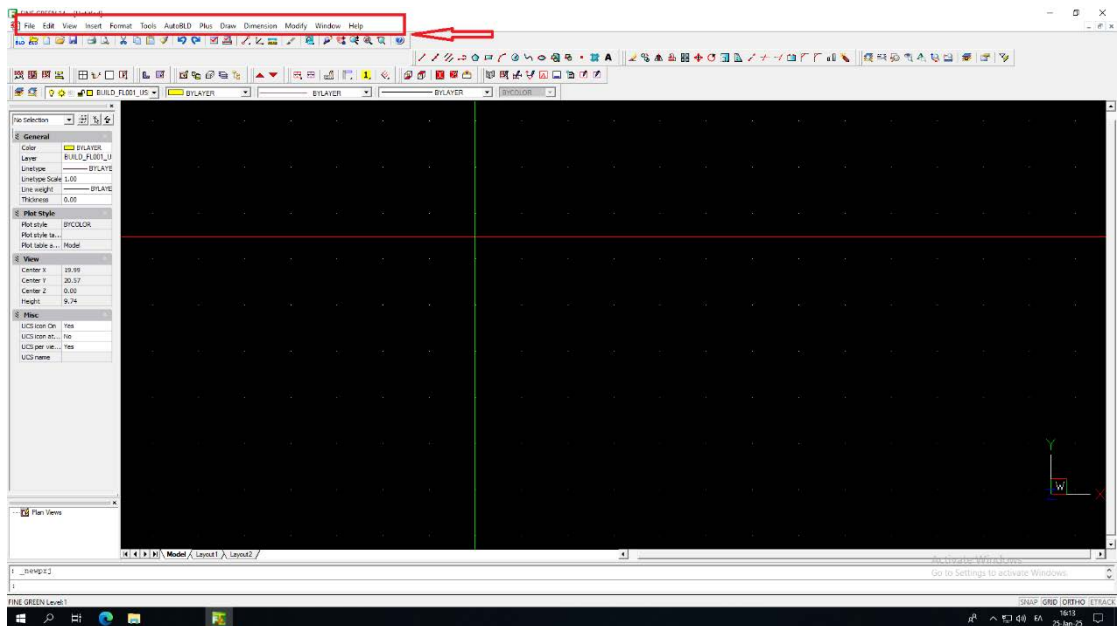
(όνομα_μελέτης.bld). Παράλληλα, δημιουργείται ένα αρχείο DWG (όνομα_μελέτης.dwg), στο οποίο περιλαμβάνεται ο σχεδιασμός της κτιριακής μελέτης.



Εικόνα 3: Δημιουργία μελέτης στο Fine Green

5.2.2 Επεξήγηση λειτουργιών του FineGreen

Προτού προχωρήσουμε στην αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας δημιουργίας ενεργειακής μελέτης, είναι σημαντικό να παρουσιαστούν τα βασικά τμήματα του αρχικού περιβάλλοντος.



Εικόνα 4: Μενού 4M Green

Οι βασικές κατηγορίες φαίνονται στην Εικόνα 4 και είναι:

File: Εντολές διαχείρισης του αρχείου του έργου.

Edit: Εντολές για αντιγραφή (cut, copy) και διόρθωση (undo, redo) δεδομένων.

View: Εντολές που αφορούν τη ρύθμιση της προβολής του σχεδίου.

Insert: Εντολές για την εισαγωγή δεδομένων από τον χρήστη.

Format: Εντολές προσαρμογής χαρακτηριστικών, όπως χρώματα και μονάδες μέτρησης.

Tools: Βοηθητικές λειτουργίες για τη σχεδίαση.

AutoBLD: Βασικές εντολές για τον υπολογισμό και τη δημιουργία της μελέτης.

Plus: Πρόσθετα εργαλεία που διευκολύνουν τη διαδικασία σχεδίασης.

Draw: Εντολές σχεδίασης γεωμετρικών στοιχείων, όπως γραμμές, κύκλοι κ.ά.

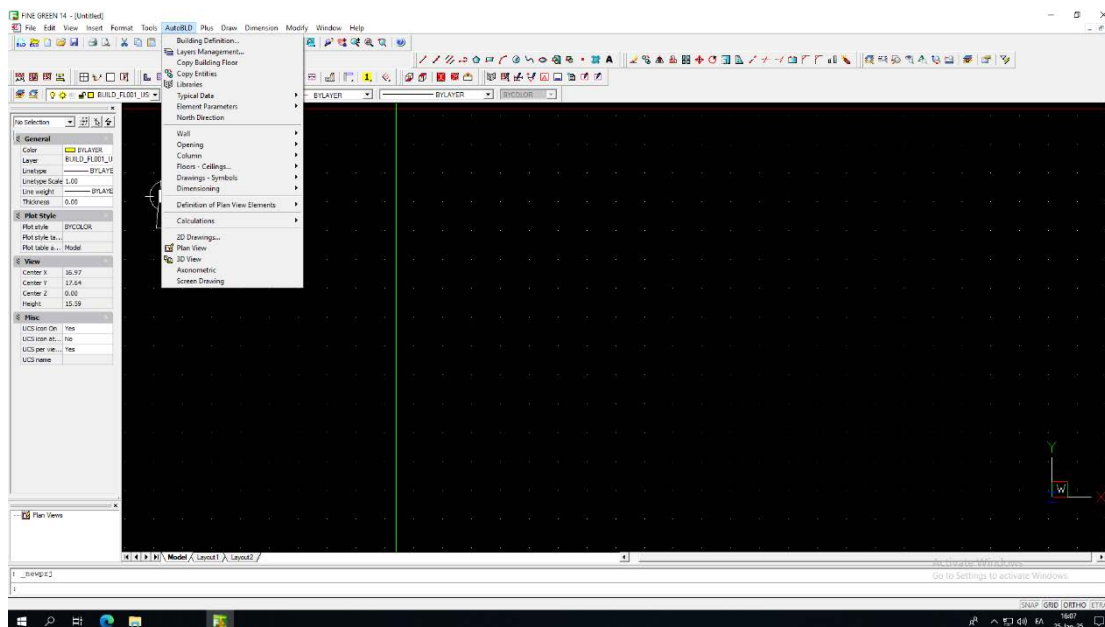
Dimension: Εντολές για τον καθορισμό διαστάσεων.

Modify: Εντολές για την τροποποίηση αντικειμένων, όπως μετακίνηση, περιστροφή, κ.ά.

Window: Διαχείριση παραθύρων εργασίας (π.χ. νέο παράθυρο, κλείσιμο).

Help: Οδηγίες και υποστήριξη για την επίλυση πιθανών αποριών.

AutoBDL

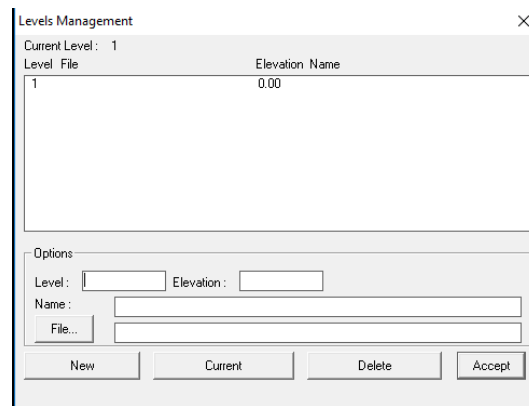


Εικόνα 5: AutoBDL

Η ομάδα εντολών AutoBLD (Εικόνα 5) παρέχει όλες τις απαραίτητες λειτουργίες για την εισαγωγή και τον καθορισμό ενός κτιρίου στο λογισμικό. Μέσω αυτών των εντολών, ο χρήστης μπορεί να ορίσει τις παραμέτρους του έργου, να επιλέξει συγκεκριμένες λειτουργίες σχεδίασης, να εκτελέσει υπολογισμούς ενεργειακής κατανάλωσης και, τέλος, να διαχειριστεί τις βιβλιοθήκες του λογισμικού.

5.2.3 Ορισμός Κτιρίου

Η επιλογή Building Definition ανοίγει το παράθυρο Levels Management (Εικόνα 6), το οποίο εμφανίζει τα επίπεδα του κτιρίου.



Εικόνα 6: Building definition

Αναλυτικά:

Level: Καθορίζεται ο αριθμός του επιπέδου (ξεκινώντας πάντα από το 1).

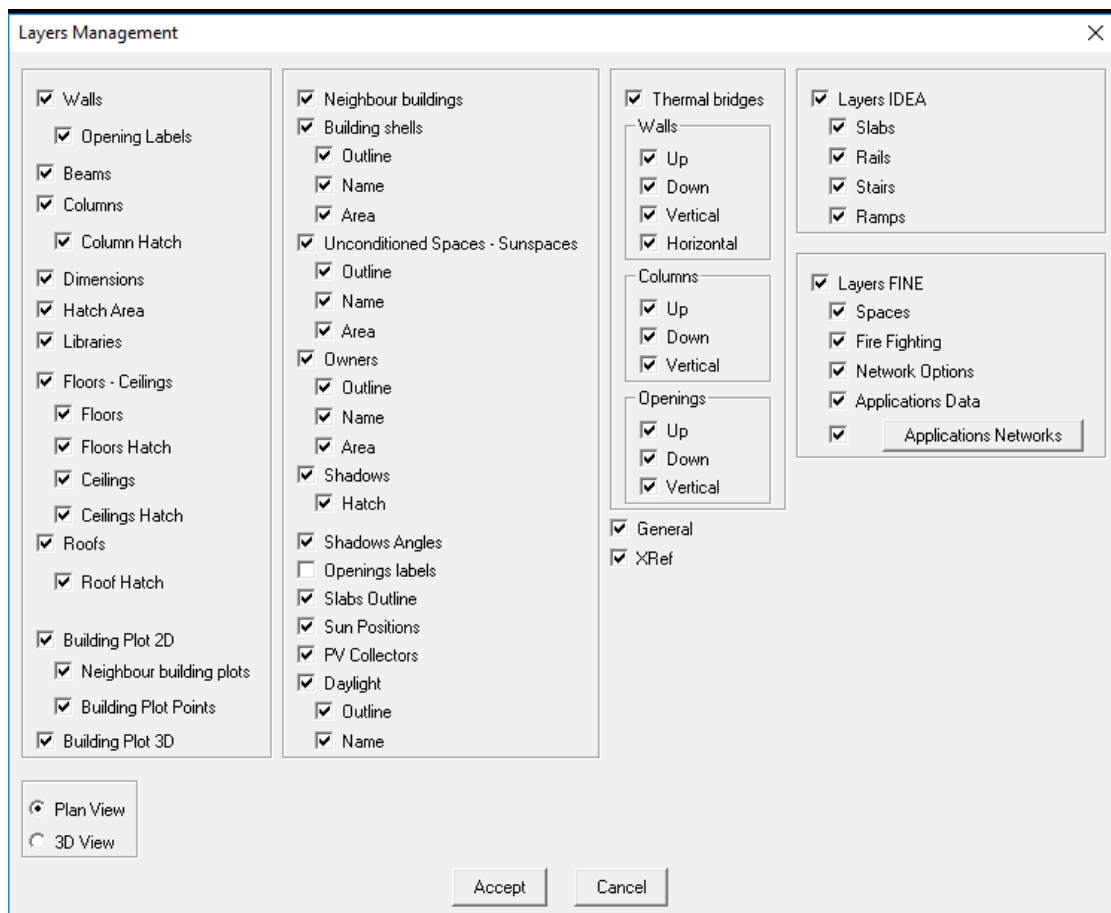
Elevation: Δηλώνεται το ύψος της στάθμης του δαπέδου.

Name: Δίνεται μια ονομασία για κάθε επίπεδο.

File: Προσδιορίζεται το μονοπάτι και το όνομα του αρχείου DWG, εάν αναφέρεται σε υπάρχον σχέδιο.

Διαχείριση Στρώσεων (Layers Management):

Η εντολή Layers Management (Εικόνα 7) επιτρέπει την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση διαφόρων στρώσεων κατά τη διάρκεια της εργασίας. Ο χρήστης μπορεί να αποκρύψει ομάδες στοιχείων, απλά κάνοντας κλικ στο αντίστοιχο πλαίσιο ελέγχου.



Εικόνα 7: Layer Management

Βιβλιοθήκες (Libraries):

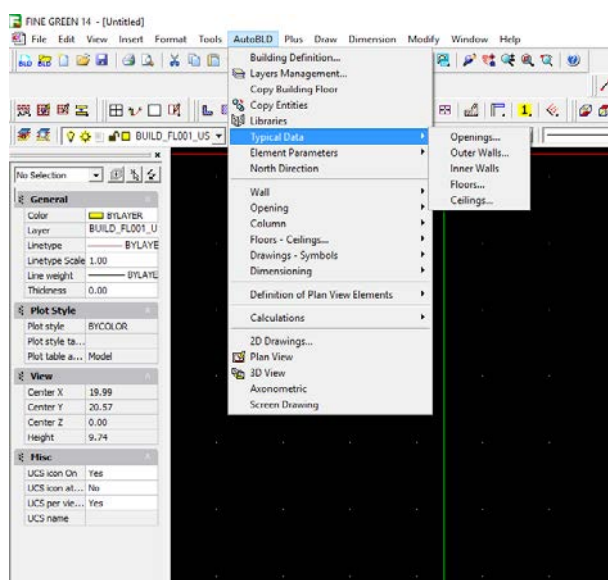
Η επιλογή Libraries ανοίγει ένα παράθυρο που περιλαμβάνει τις διαθέσιμες βιβλιοθήκες του FineGREEN (Εικόνα 8), με υλικά για τα κύρια στοιχεία του κτιρίου (π.χ. τοίχους, ανοίγματα, δάπεδα, οροφές). Οι βιβλιοθήκες αυτές μπορούν να επεκταθούν, επιτρέποντας την προσθήκη νέων κατασκευών.



Εικόνα 8: Βιβλιοθήκες υλικών Fine Green

Τυπικά Δεδομένα (Typical Data):

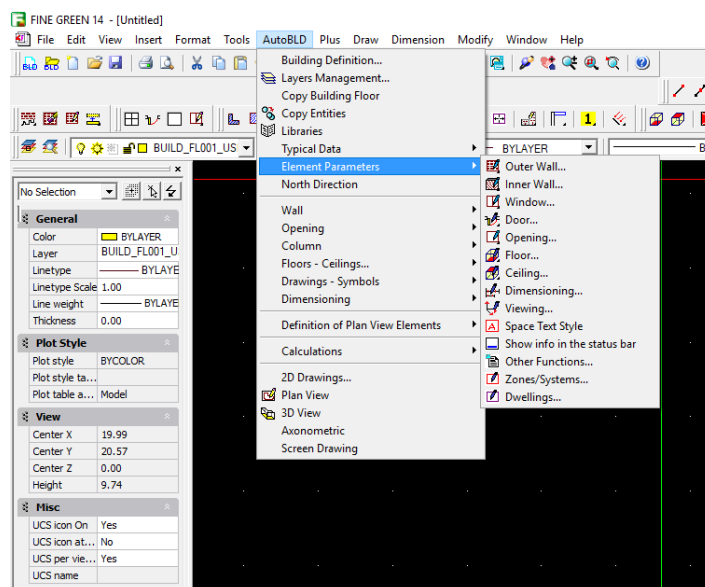
Με την επιλογή Typical Data (Εικόνα 9), εμφανίζεται μια λίστα με υλικά για κάθε κατηγορία (Openings, Outer Walls, Inner Walls, Floors, Ceilings), τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο κέλυφος του κτιρίου.



Εικόνα 9: Typical Data Fine Green

Παράμετροι Στοιχείων (Element Parameters):

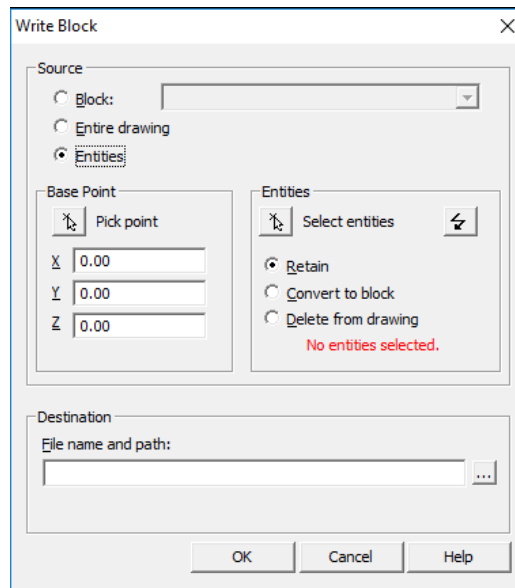
Η εντολή Element Parameters (Εικόνα 10) επιτρέπει στον χρήστη να καθορίσει τις παραμέτρους και τις αντίστοιχες τιμές για κάθε στοιχείο του έργου.



Εικόνα 10: Elements Parameters Fine Green

Δημιουργία Νέου Έργου:

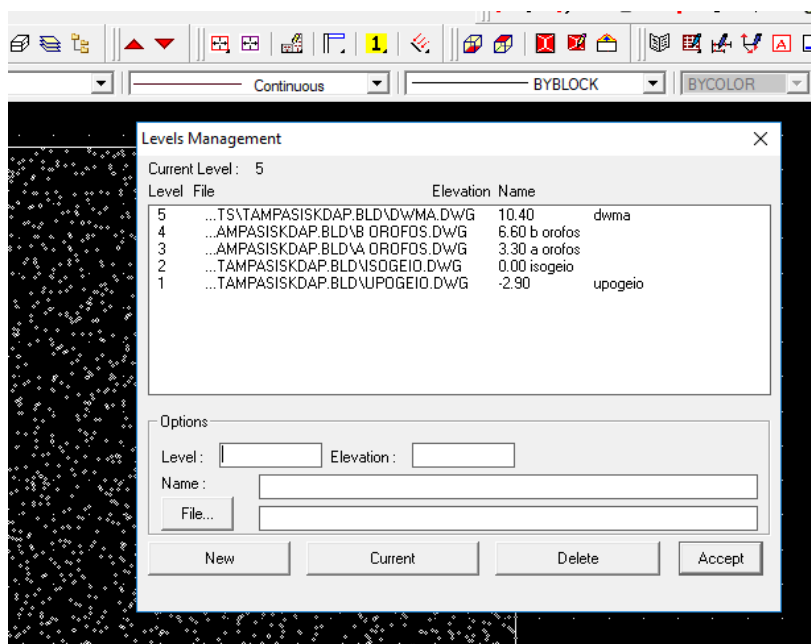
Αφού επιλέξουμε τη δημιουργία μιας νέας μελέτης μέσω της εντολής “Newproject” και δώσουμε όνομα στη μελέτη μας, το πρόγραμμα θα δημιουργήσει αυτόματα το αρχείο για την κτιριακή μελέτη. Προχωράμε στην εισαγωγή των αρχιτεκτονικών κατόψεων για κάθε όροφο του κτιρίου. Οι αρχιτεκτονικές κατόψεις, αποθηκεύονται ως Block σε ξεχωριστά αρχεία DWG. Τα αρχεία αυτά ενσωματώνονται στο αρχείο BLD με τη χρήση της εντολής WBLOCK (Εικόνα 11), όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 11: Εντολή Wblock

Καθορισμός Αρχιτεκτονικού Σχεδίου του Κτιρίου:

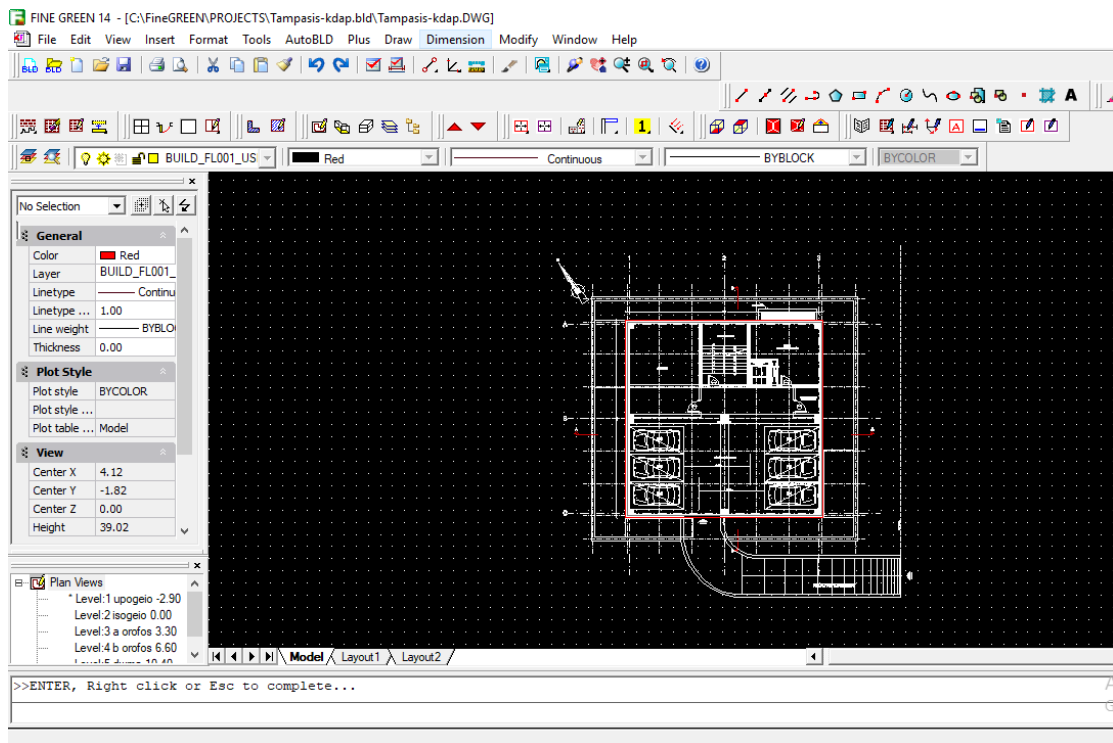
Μετά την ολοκλήρωση της προηγούμενης διαδικασίας, προχωράμε στον καθορισμό των ορόφων (Levels) και των υψομέτρων τους (Elevation) μέσω της εντολής Building Definition (Εικόνα 12). Στη συνέχεια, δίνουμε ονομασίες σε κάθε όροφο και συνδέουμε το αντίστοιχο αρχείο DWG, το οποίο έχει δημιουργηθεί νωρίτερα με τη χρήση της εντολής WBLOCK.



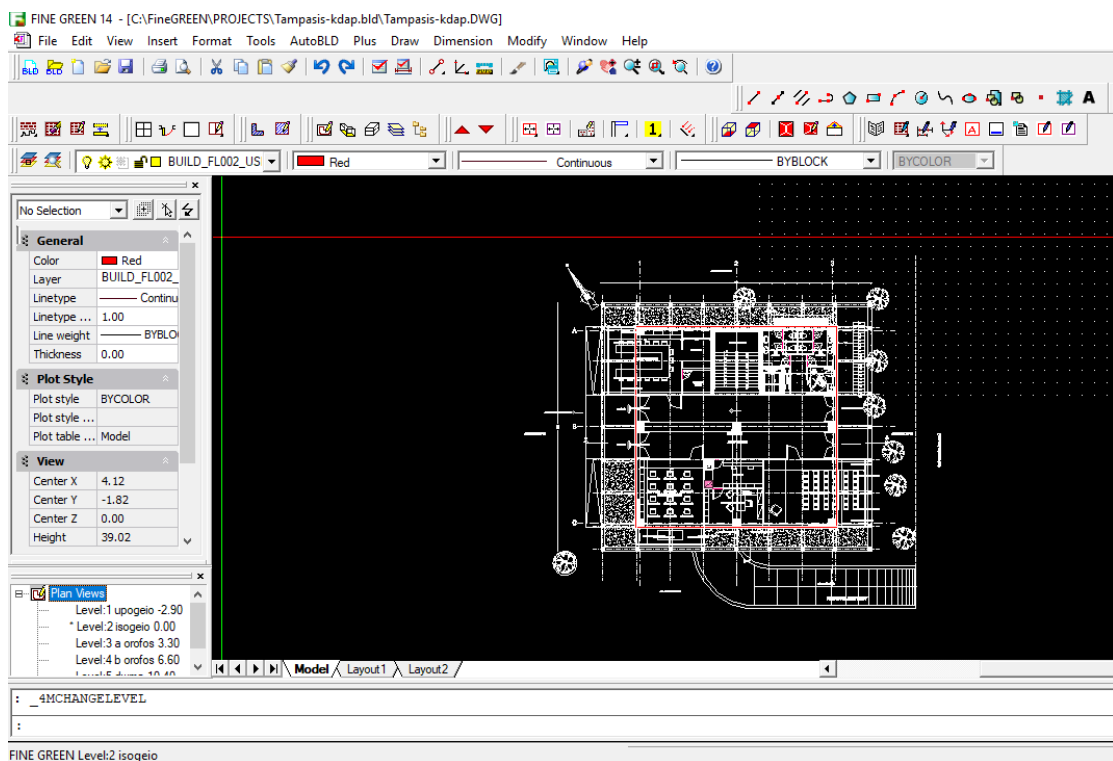
Εικόνα 12: Καθορισμός ορόφων

Ένα κρίσιμο σημείο για την ομαλή συνέχεια είναι ο καθορισμός ενός κοινού σημείου αναφοράς (σημείου εισόδου) κατά την εισαγωγή των κατόψεων. Αυτό διασφαλίζει ότι δεν θα υπάρξουν αστοχίες ή κενά κατά τη διαμόρφωση του κελύφους του κτιρίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι το υπόγειο δεν συμπεριλαμβάνεται στην ενεργειακή μελέτη, καθώς πρόκειται για μη θερμαινόμενο χώρο.

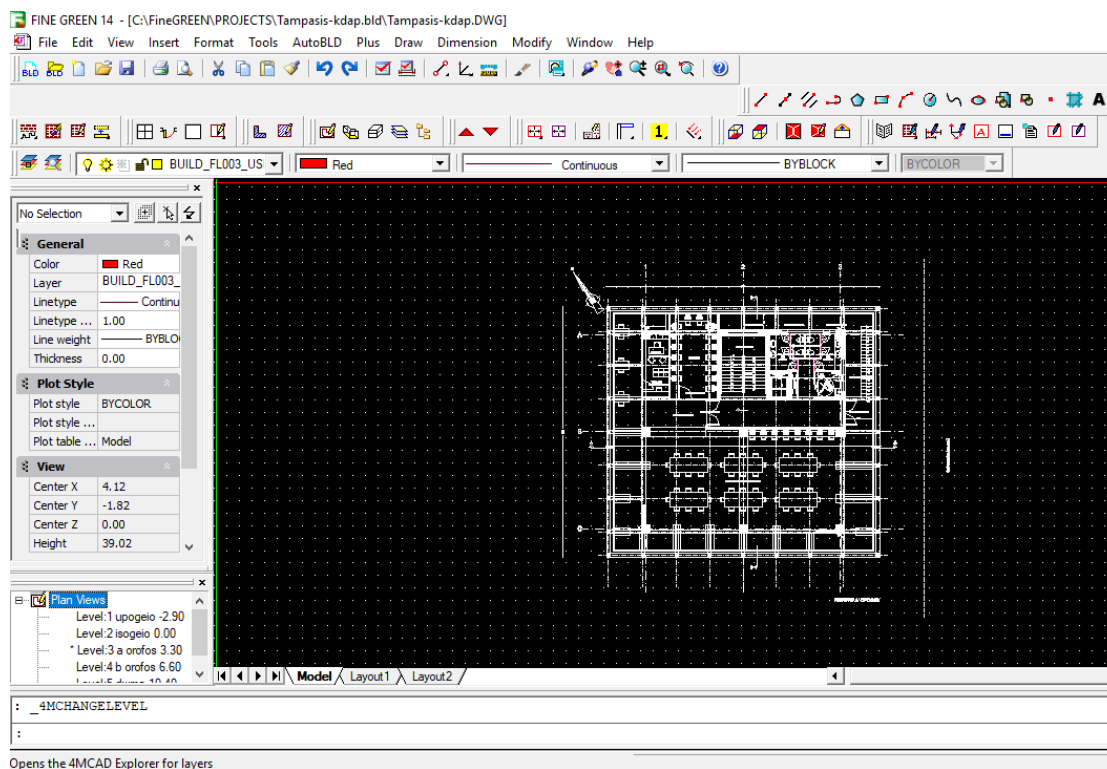
Με την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας, το λογισμικό δημιουργεί μια δισδιάστατη αναπαράσταση του κτιρίου έχοντας σαν οδηγό τις κατόψεις των επιπέδων που εισάγαμε (Εικόνες 13-17). Με την βοήθεια αυτών των κατόψεων, που έχουν οριστεί στο κάθε επίπεδο, θα μετατρέψουμε το κτίριο σε τρισδιάστατη μορφή εισάγοντας τα δεδομένα μας.



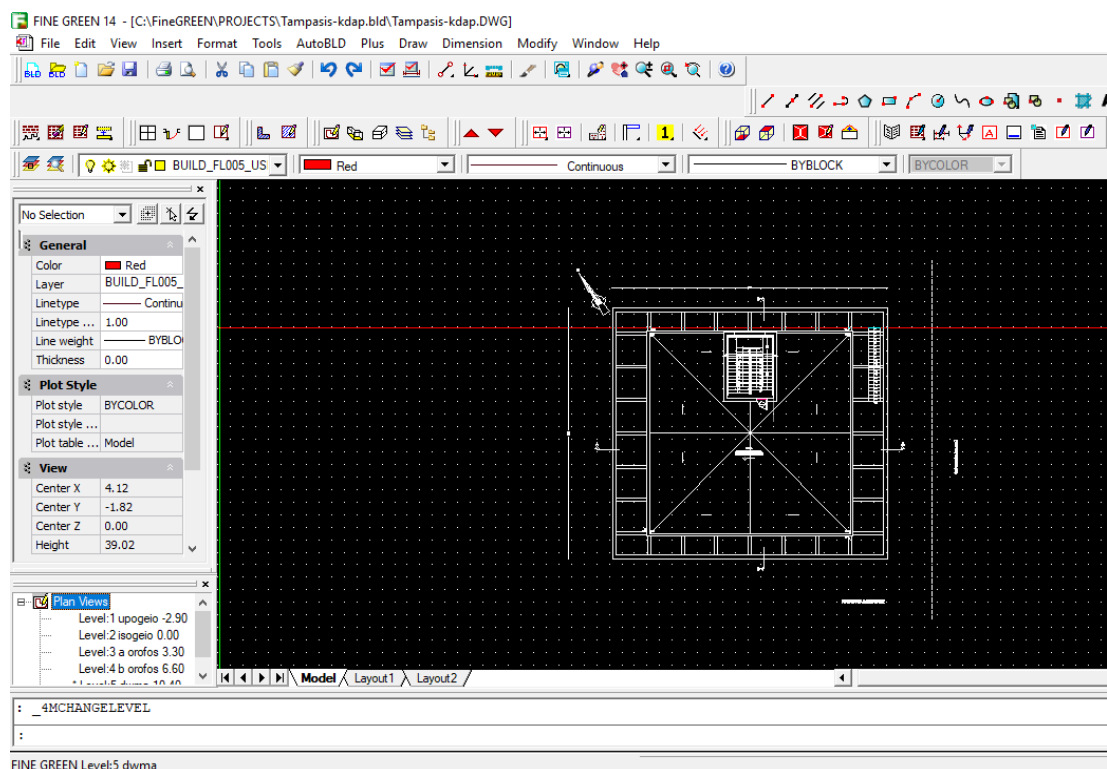
Εικόνα 13: Κάτοψη υπογείου



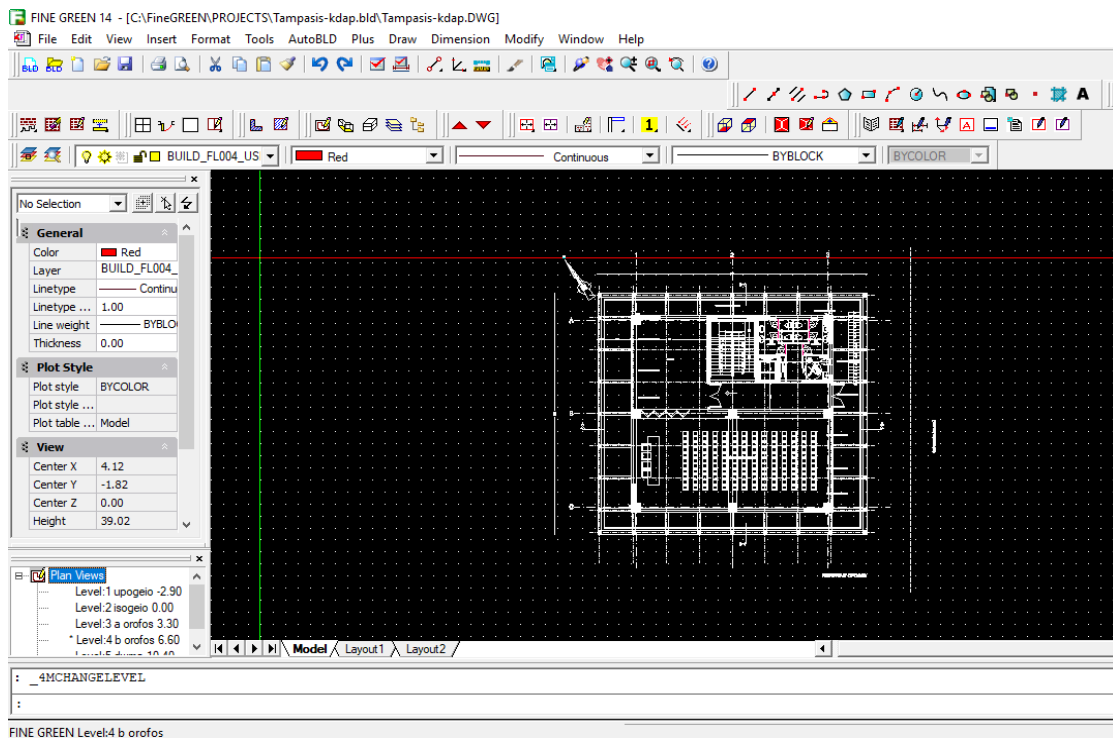
Εικόνα 14: Κάτοψη ισογείου



Εικόνα 15: Κάτοψη α' ορόφου



Εικόνα 16: Κάτοψη δώματος



Εικόνα 17: Κάτοψη β' ορόφου

5.2.4 Σχεδιασμός Κελύφους Κτιρίου

Σε αυτό το στάδιο, ο χρήστης επιλέγει όλα τα δομικά στοιχεία που συνθέτουν το κέλυφος του κτιρίου. Το λογισμικό προσφέρει πληθώρα επιλογών για τοιχοποιίες, ανοίγματα, κολόνες και οροφές μέσω των διαθέσιμων βιβλιοθηκών, ενώ παράλληλα δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να δημιουργήσει νέα στοιχεία με βάση τα κατάλληλα υλικά που καλύπτουν τις ανάγκες της μελέτης, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Κ.Εν.Α.Κ..

Εξωτερική Τοιχοποιία:

Η διαδικασία ξεκινά με την επιλογή και τον σχεδιασμό της εξωτερικής τοιχοποιίας, η οποία περιλαμβάνει δύο διαφορετικούς τύπους. Ο πρώτος τύπος καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της εξωτερικής επιφάνειας, ενώ ο δεύτερος αφορά τις εξωτερικές κολόνες. Στη συγκεκριμένη μελέτη, η βασική τοιχοποιία έχει πάχος 30 εκ. και αποτελείται από πέντε στρώσεις υλικών (σοβάς, τούβλο, μόνωση, τούβλο, σοβάς). Ο συντελεστής U για αυτήν την τοιχοποιία υπολογίζεται αυτόματα σε 0.328, τιμή που συμμορφώνεται με το μέγιστο επιτρεπτό όριο (0.45) του Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Μέγιστα επιτρεπόμενα όρια U

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m ² ·K)]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,55	0,45	0,40	0,35
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20

Η τοιχοποιία εισάγεται στη λίστα των δομικών στοιχείων της μελέτης μέσω της διαδρομής AutoBLD → Typical Data → Outer Wall. Στη συνέχεια, κατά τον σχεδιασμό, μέσω AutoBLD → Wall → Outer Wall, ορίζουμε τα χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας (είδος, ύψος, πάχος, ύπαρξη θερμογεφυρών) και αποθηκεύουμε τις ρυθμίσεις, ολοκληρώνοντας τη διαδικασία σχεδιασμού.

Εξωτερικές Κολώνες:

Για τις κολόνες χρησιμοποιείται διαφορετική τοιχοποιία, πάχους 35 εκ., που αποτελείται από τέσσερις στρώσεις υλικών (σοβάς, μπετόν, μόνωση, σοβάς). Ο συντελεστής U υπολογίζεται σε 0.385, εντός του επιτρεπτού ορίου (0.45).

Ανοίγματα:

Τα ανοίγματα περιλαμβάνουν παράθυρα και πόρτες. Τα παράθυρα έχουν πάχος 2.1 εκ. και τρεις στρώσεις υλικών (γυαλί, διάκενο αέρα, γυαλί), με συντελεστή U 2.665.

Οι εξωτερικές πόρτες αποτελούνται από δύο στρώσεις υλικών (μεταλλική επιφάνεια, μόνωση), έχουν πάχος 2.74 εκ., και πληρούν τις ενεργειακές απαιτήσεις.

Δάπεδα:

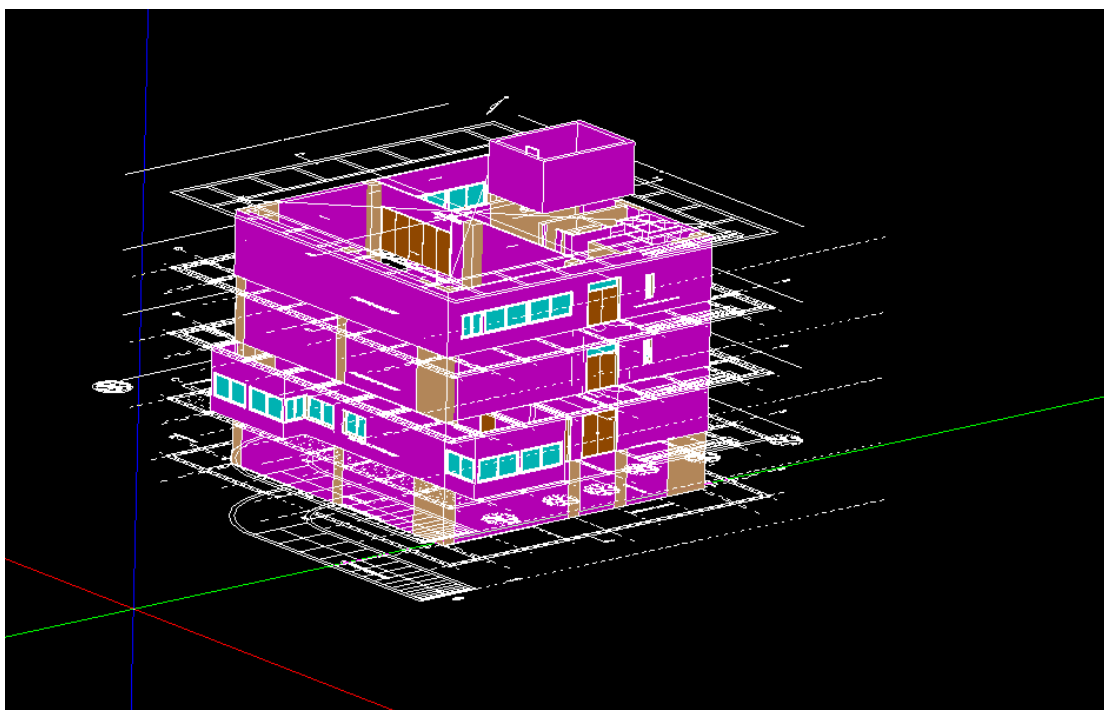
Για τα δάπεδα, επιλέχθηκε κατασκευή πάχους 31 εκ., με τέσσερις στρώσεις υλικών (μόνωση, πλάκα, τσιμεντοκονία, πλακάκι), και συντελεστή U 0.562. Η επιλογή αυτή εφαρμόζεται τόσο στο ισόγειο όσο και στους ενδιάμεσους ορόφους.

Οροφές:

Οι οροφές σχεδιάστηκαν με κατασκευή πάχους 31 εκ., αποτελούμενη από πέντε στρώσεις υλικών (σοβάς, πλάκα, μόνωση, τσιμεντοκονία, πλακάκι). Ο συντελεστής U είναι 0.394, εντός των προδιαγραφών.

Τελικό Κέλυφος:

Στην Εικόνα 18 παρουσιάζεται το ολοκληρωμένο τρισδιάστατο κέλυφος του κτιρίου, το οποίο σχεδιάστηκε με βάση τις παραπάνω επιλογές δομικών υλικών.



Εικόνα 18: Τρισδιάστατη απεικόνιση ΚΔΑΠ

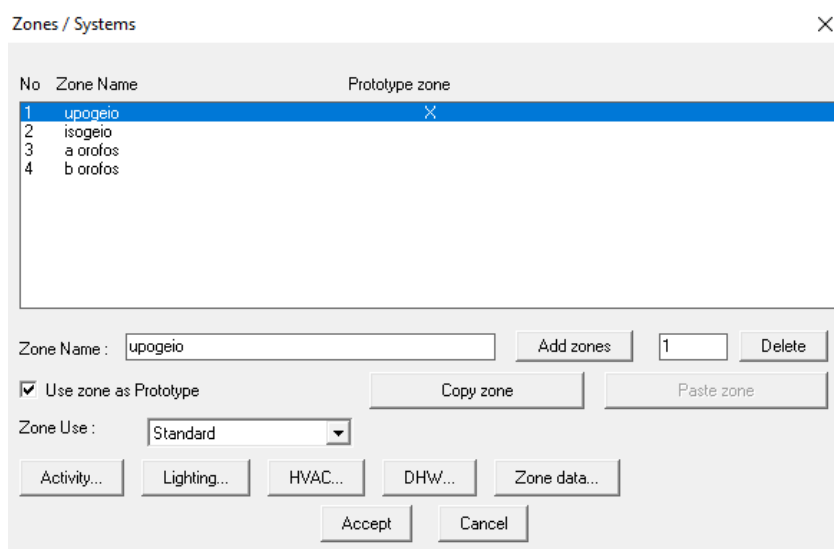
5.3 Διαμόρφωση Θερμικών Ζωνών

Στη συνέχεια, γίνεται η διαμόρφωση των Θερμικών ζωνών του κτιρίου, δηλαδή ο διαχωρισμός του κτιρίου σε περιοχές που μπορούν να ελέγχονται ανεξάρτητα όσον αφορά τη θέρμανση και την ψύξη. Η διαμόρφωση των Θερμικών ζωνών εξυπηρετεί τη στοχευμένη χρήση ενέργειας και μειώνει τη σπατάλη, επιτρέποντας στους μηχανικούς να προσαρμόσουν τη θέρμανση και την ψύξη ανάλογα με τις ανάγκες κάθε ζώνης.

Διαδικασία διαμόρφωσης Θερμικών ζωνών:

Στην παρούσα μελέτη, ο κάθε όροφος αντιμετωπίστηκε ως μια ενιαία θερμική ζώνη.

Για τη διαχείριση των Θερμικών ζωνών, ο χρήστης χρησιμοποιεί την επιλογή AutoBLD → Element Parameters → Zones/Systems (Εικόνα 19).



Εικόνα 19: Θερμικές ζώνες

Add zones: Επιτρέπει την προσθήκη νέων Θερμικών ζωνών.

Zone name: Ορίζεται η ονομασία της ζώνης.

Zone use: Προσδιορίζεται η χρήση της ζώνης, επιλέγοντας ανάμεσα σε επιλογές όπως Standard, Semi Exterior Unconditioned, Cavity, Plenum, και Semi Heated.

Επιπλέον, τα πεδία Activity, Lighting, HVAC, DHW, και Zone data περιλαμβάνουν βασικές πληροφορίες για κάθε ζώνη, οι οποίες αναλύονται στη συνέχεια.

Δεδομένα Δραστηριότητας (Activity Data):

Επιλέγοντας την καρτέλα Activity (Εικόνες 20-23) από το παράθυρο καθορισμού των ζωνών, εμφανίζεται ένα παράθυρο με μια σειρά παραμέτρων που πρέπει να οριστούν:

Activate Template: Ο χρήστης επιλέγει ένα πρότυπο δραστηριότητας από τη βιβλιοθήκη, το οποίο συμπληρώνει αυτόματα τις περισσότερες ρυθμίσεις, αφήνοντας όμως τη δυνατότητα επεξεργασίας.

Floor Area: Τα τετραγωνικά μέτρα της ζώνης υπολογίζονται αυτόματα.

Occupancy: Ορίζεται η πυκνότητα πληθυσμού ανά τ.μ. και το πρόγραμμα χρήσης της ζώνης.

Metabolic: Θερμικά κέρδη ανά άτομο.

Clothing: Ρυθμίζεται το επίπεδο ένδυσης ανάλογα με την εποχή.

Generic Contaminant Generation: Καθορίζεται ο ρυθμός δημιουργίας μολυσματικών ουσιών.

DHW: Ορίζεται η ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού.

Environmental Control:

Heating/Cooling Setpoint Temperature: Θερμοκρασίες άνεσης για θέρμανση και ψύξη.

Heating/Cooling Setback Temperature: Θερμοκρασίες για μη κατειλημμένους χώρους.

Humidity Control: Έλεγχος και ρύθμιση υγρασίας.

Natural Ventilation: Ρύθμιση ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας για φυσικό αερισμό.

Minimum Fresh Air: Ελάχιστη παροχή φρέσκου αέρα.

Lighting: Φωτεινότητα (Lux) και ένταση φωτισμού ανά ζώνη.

Equipment: Καταγραφή θερμικών κερδών από συσκευές.

Schedules: Χρονοπρογράμματα λειτουργίας για HVAC, φωτισμό, ζεστό νερό.

The screenshot shows a software window titled 'Activity' with a close button (X) in the top right corner. The window contains a list of settings for an activity template, organized into sections with expandable/collapsible icons. The settings are as follows:

Section	Parameter	Value	Action
Activity template	Template	General - Storage room	...
	☒ Exclude zone from thermal calculations		
Floor Areas and Volumes	Floor area (m2)	262.44	
	Occupancy		
Occupancy	Density (people/m2)	0.0000	
	Schedule	Off 24/7	...
Metabolic	Metabolic rate per person (W/person)	0.000	...
	Factor (men=1.00, women=0.85, children=0.75)	1.00	
	CO2 generation rate (m3/s-W)	0.0000000382	
Clothing	Winter clothing (clo)	1.00	
	Summer clothing (clo)	0.50	
Generic Contaminant Generation	☐ Generic contaminant generation/removal		
	DHW		
DHW	Consumption Rate (l/m2-day)	0.000	
	Environmental Control		
Heating Setpoint Temperatures	Heating (°C)	20.0	
	Heating set back (°C)	13.0	
	Cooling Setpoint Temperatures		
Cooling Setpoint Temperatures	Cooling (°C)	26.0	
	Cooling set back (°C)	32.0	
Humidity Control	RH Humidification Setpoint (%)	10.0	
	RH Dehumidification Setpoint (%)	90.0	
Ventilation Setpoint Temperatures			

At the bottom of the window, there are two buttons: 'OK' and 'Save as template'.

Εικόνα 20: Activity menu υπόγειο

Activity template

Template: Office Buildings - Office space ...

☐ Exclude zone from thermal calculations

Floor Areas and Volumes

Floor area (m2): 298.07

Occupancy

Density (people/m2): 0.0500

Schedule: ASHRAE 90.1 Occupancy - Office ...

Metabolic

Metabolic rate per person (W/person): 99.000 ...

Factor (men=1.00, women=0.85, children=0.75): 1.00

CO2 generation rate (m3/s-W): 0.000000382

Clothing

Winter clothing (clo): 1.00

Summer clothing (clo): 0.50

Generic Contaminant Generation

☐ Generic contaminant generation/removal

DHW

Consumption Rate (l/m2-day): 0.000

Environmental Control

Heating Setpoint Temperatures

Heating (°C): 21.0

Heating set back (°C): 13.0

Cooling Setpoint Temperatures

Cooling (°C): 26.0

Cooling set back (°C): 32.0

Humidity Control

RH Humidification Setpoint (%): 10.0

RH Dehumidification Setpoint (%): 90.0

Ventilation Setpoint Temperatures

OK Save as template

Εικόνα 21: Activity menu ισόγειο

Activity

Activity template

Template: Office Buildings - Office space ...

☐ Exclude zone from thermal calculations

Floor Areas and Volumes

Floor area (m2): 122.29

Occupancy

Density (people/m2): 0.0500

Schedule: ASHRAE 90.1 Occupancy - Office ...

Metabolic

Metabolic rate per person (W/person): 99.000 ...

Factor (men=1.00, women=0.85, children=0.75): 1.00

CO2 generation rate (m3/s-W): 0.000000382

Clothing

Winter clothing (clo): 1.00

Summer clothing (clo): 0.50

Generic Contaminant Generation

☐ Generic contaminant generation/removal

DHW

Consumption Rate (l/m2-day): 0.000

Environmental Control

Heating Setpoint Temperatures

Heating (°C): 20.0

Heating set back (°C): 13.0

Cooling Setpoint Temperatures

Cooling (°C): 26.0

Cooling set back (°C): 32.0

Humidity Control

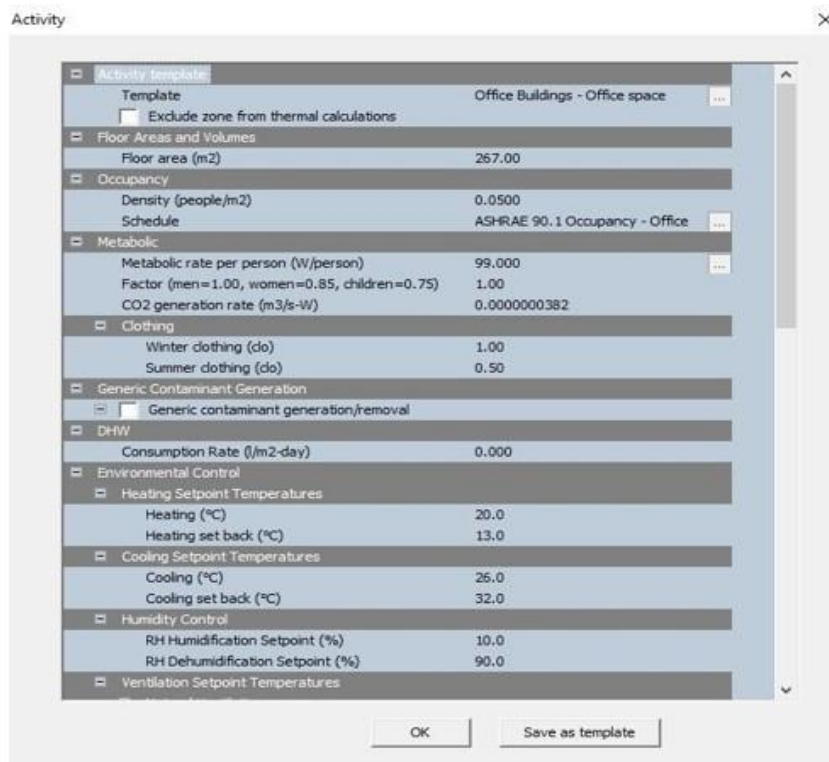
RH Humidification Setpoint (%): 10.0

RH Dehumidification Setpoint (%): 90.0

Ventilation Setpoint Temperatures

OK Save as template

Εικόνα 22: Activity menu α' όροφος



Εικόνα 23: Activity menu β' όροφος

Δεδομένα Φωτισμού (Lighting Data):

Η επιλογή της καρτέλας Lighting (Εικόνες 24-27) ανοίγει ένα παράθυρο για τη ρύθμιση παραμέτρων φωτισμού:

Lighting Template: Επιλογή πρότυπου φωτισμού από τη βιβλιοθήκη.

General Lighting: Ορισμός κατανάλωσης ενέργειας και επιλογή φωτιστικών.

Lighting Control: Ενεργοποίηση αυτόματου ελέγχου φωτισμού για εξοικονόμηση ενέργειας.

Task and Display Lighting: Ρύθμιση χρονοπρογράμματος για τον φωτισμό.

Lighting

Lighting template

Template Building Area Method Parking G... ...

General lighting

☒ On

Normalised power density (W/m2-100lux) 0.900

Schedule Off 24/7

Luminaire type Surface mount

Radiant fraction 0.720

Visible fraction 0.180

Convective fraction 0.100

Lighting control

☐ On

Working plane height (m) 0.800

Min output fraction 0.100

Min input power fraction 0.100

Task and display lighting

☐ On

Schedule 7:00 - 18:00 Monday - Friday

OK Save as template

Εικόνα 24: Φωτισμός υπογείου

Lighting

Lighting template

Template Building Area Method Office 9.... ...

General lighting

☒ On

Normalised power density (W/m2-100lux) 3.2330

Schedule ASHRAE 90.1 Lighting Receptade - ...

Luminaire type Surface mount

Radiant fraction 0.720

Visible fraction 0.180

Convective fraction 0.100

Lighting control

☐ On

Working plane height (m) 0.80

Min output fraction 0.100

Min input power fraction 0.100

Task and display lighting

☐ On

Schedule 7:00 - 18:00 Monday - Friday

OK Save as template

Εικόνα 25: Φωτισμός ισογείου

Lighting

Lighting template

Template: Building Area Method Office 9....

General lighting

☒ On

Normalised power density (W/m²-100lux): 3.2330

Schedule: ASHRAE 90.1 Lighting Receptade - ...

Luminaire type: Surface mount

Radiant fraction: 0.720

Visible fraction: 0.180

Convective fraction: 0.100

Lighting control

☐ On

Working plane height (m): 0.80

Min output fraction: 0.100

Min input power fraction: 0.100

Task and display lighting

☐ On

Schedule: 7:00 - 18:00 Monday - Friday

OK Save as template

Εικόνα 26: Φωτισμός α' ορόφου

Lighting

Lighting template

Template: Building Area Method Office 9....

General lighting

☒ On

Normalised power density (W/m²-100lux): 3.2330

Schedule: ASHRAE 90.1 Lighting Receptade - ...

Luminaire type: Surface mount

Radiant fraction: 0.720

Visible fraction: 0.180

Convective fraction: 0.100

Lighting control

☐ On

Working plane height (m): 0.80

Min output fraction: 0.100

Min input power fraction: 0.100

Task and display lighting

☐ On

Schedule: 7:00 - 18:00 Monday - Friday

OK Save as template

Εικόνα 27: Φωτισμός β' ορόφου

Σύστημα Κλιματισμού (HVAC):

Η επιλογή της καρτέλας HVAC (Εικόνες 28-30) ανοίγει ένα παράθυρο για τη ρύθμιση παραμέτρων κλιματισμού:

HVAC Template: Επιλογή προτύπου κλιματισμού από τη βιβλιοθήκη.

Mechanical Ventilation: Ρύθμιση αερισμού και ανάκτησης θερμότητας.

Economizer: Χρήση εξωτερικής θερμοκρασίας για ψύξη.

Heating/Cooling: Ρύθμιση απόδοσης (COP) και καυσίμου.

Humidity Control: Έλεγχος υγρασίας με λειτουργίες ύγρανσης/αφύγρανσης.

Natural Ventilation: Ενεργοποίηση φυσικού αερισμού.

The screenshot shows the HVAC configuration window with the following settings:

- HVAC Template:** VRF (Air-Cooled) + Heat Recovery
- Mechanical ventilation:**
 - ☒ On
 - Outside Air Definition Method: By Zone
 - Outside Air (ac/h): 4.0
 - Operation: ASHRAE 90.1 Occupancy - Office
 - Heat Recovery: ☐ On
- Economiser:**
 - Type: None
- Auxiliary Energy:**
 - Pump etc. energy (W/m2): 0.0000
 - Schedule: ASHRAE 90.1 Occupancy - Office
- Heating:**
 - ☒ Heated
 - Fuel: Electricity
 - Heating system CoP: 3.500
 - Type: Supply Air Condition
 - Maximum supply air temperature: 35.00
 - Maximum supply air humidity: 0.0156
 - HeatingLimitType: LimitCapacity
 - Operation: ASHRAE 90.1 HVAC Availability - Office
- Cooling:**
 - ☒ Cooled
 - Fuel: Electricity
 - Cooling system CoP: 3.000

Buttons at the bottom: OK, Save as template...

Εικόνα 28: HVAC ισογείου

HVAC

HVAC Template

Template: VRF (Air-Cooled) + Heat Recovery ...

Mechanical ventilation

☒ On

Outside Air Definition Method: By Zone

Outside Air (ac/h): 4.0

Operation

Schedule: ASHRAE 90.1 Occupancy - Office

Heat Recovery

☐ On

Economiser

Type: None

Auxiliary Energy

Pump etc. energy (W/m2): 0.0000

Schedule: ASHRAE 90.1 Occupancy - Office

Heating

☒ Heated

Fuel: Electricity

Heating system CoP: 3.500

Type

Supply Air Condition

Maximum supply air temperature: 35.00

Maximum supply air humidity: 0.0156

HeatingLimitType: LimitCapacity

Operation

Schedule: ASHRAE 90.1 HVAC Availibity - Office

Cooling

☒ Cooled

Fuel: Electricity

Cooling system CoP: 3.000

OK Save as template...

HVAC

HVAC Template

Template

VRF (Air-Cooled) + Heat Recovery

Mechanical ventilation

On

Outside Air Definition Method

By Zone

Outside Air (ac/h)

4.0

Operation

Schedule

ASHRAE 90.1 Occupancy - Office

Heat Recovery

On

Economiser

Type

None

Auxiliary Energy

Pump etc. energy (W/m2)

0.0000

Schedule

ASHRAE 90.1 Occupancy - Office

Heating

Heated

Fuel

Electricity

Heating system CoP

3.500

Type

Supply Air Condition

Maximum supply air temperature

35.00

Maximum supply air humidity

0.0156

HeatingLimitType

LimitCapacity

Operation

Schedule

ASHRAE 90.1 HVAC Availability - Office

Cooling

Cooled

Fuel

Electricity

Cooling system CoP

3.000

OK

Save as template...

Ζεστό Νερό Χρήσης (DHW):

Επιλέγοντας την καρτέλα DHW, εμφανίζεται ένα παράθυρο για τις παραμέτρους του ζεστού νερού:

DHW: Ρύθμιση COP και καυσίμου για θέρμανση νερού.

Operation Schedule: Επιλογή χρονοπρογράμματος λειτουργίας.

Δεδομένα Ζώνης (Zone Data): Η καρτέλα Zone Data αφορά την ανεπιθύμητη ροή αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον λόγω φυσικών απωλειών. Εάν ενεργοποιηθεί, πρέπει να καθοριστούν οι εναλλαγές του αέρα ανά ώρα και το χρονοπρόγραμμα λειτουργίας.

Επιπλέον Ρυθμίσεις (Other Functions):

Πριν την προσομοίωση, είναι απαραίτητο να καθοριστούν πρόσθετες παράμετροι μέσω AutoBLD → Element Parameters → Other Functions :

EnergyPlus Location and Weather: Καθορισμός τοποθεσίας και κλιματικών δεδομένων.

Επειδή για την πόλη του Βόλου δεν υπάρχουν κλιματικά δεδομένα στο EnergyPlus, μπορούμε είτε να βάλουμε κάποια άλλη πόλη της ίδιας κλιματικής ζώνης, είτε να κατεβάσουμε τα κλιματικά δεδομένα μέσω της σελίδας:

<https://climate.onebuilding.org/>

Κεφάλαιο 6 Αποτελέσματα Fine Green

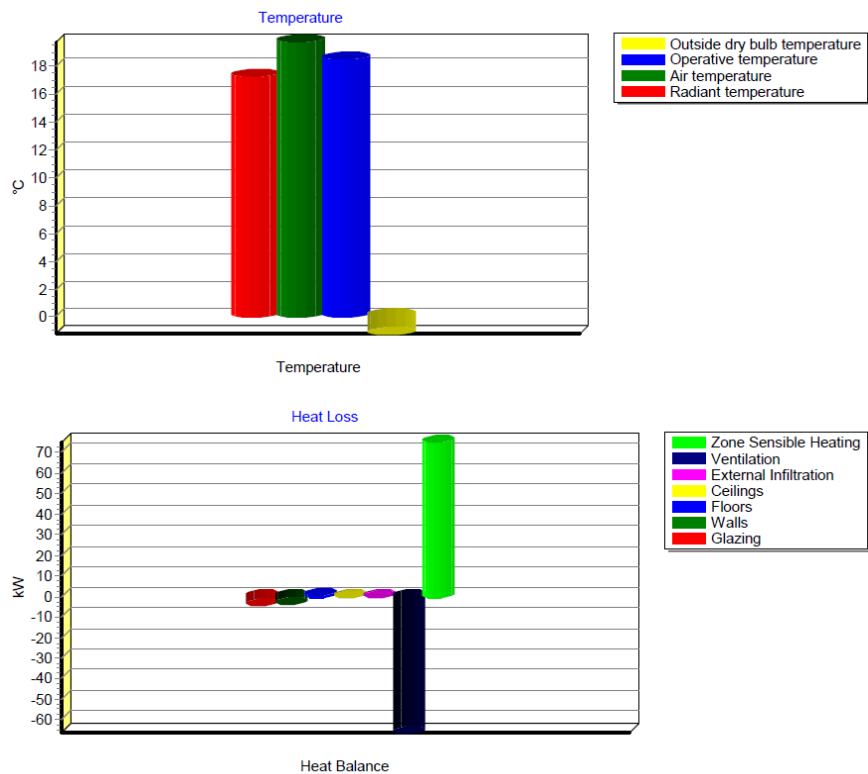
6.1 Βασικό Σενάριο VRF

Αφού ολοκληρωθεί η εισαγωγή των απαιτούμενων δεδομένων για τη μελέτη με χρήση του συστήματος VRF, περνάμε στο στάδιο των υπολογισμών και της προσομοίωσης, το οποίο μας επιτρέπει να αξιολογήσουμε την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Το λογισμικό παρέχει τρεις βασικές επιλογές για τον υπολογισμό και την ανάλυση, μέσω της διαδρομής AutoBLD → Calculations.

6.1.1 Heating Design

Αυτή η επιλογή εστιάζει στον υπολογισμό των θερμικών φορτίων που απαιτούνται για να καλυφθούν οι ανάγκες θέρμανσης του κτιρίου. Οι υπολογισμοί βασίζονται στις θερμοκρασίες σχεδιασμού, την ποιότητα των δομικών στοιχείων (τοιχοποιίες, ανοίγματα κ.λπ.), καθώς και στη χρήση των εσωτερικών χώρων. Οι παράμετροι όπως το COP (Coefficient of Performance) του συστήματος VRF και οι συνθήκες λειτουργίας του εξοπλισμού παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Τα αποτελέσματα παρέχουν τις απαιτήσεις θερμικής ενέργειας ανά ζώνη, ανάλογα με τις θερμοκρασίες και τις περιόδους χρήσης, ενώ παρουσιάζονται αναλυτικά σε γραφήματα και πίνακες (Εικόνα 31, Πίνακας 3).



Εικόνα 31: Γραφήματα θερμοκρασίας και θερμικών απωλειών

Πίνακας 3: Αποτελέσματα θερμικής ενέργειας ανά ζώνη

Steady State						
Comfort						
Zone	Air temperature (°C)	Radiant temperature (°C)	Operative temperature (°C)	Outside dry bulb temperature (°C)	Relative humidity (%)	Mech vent + nat vent + Infiltration (ac/h)
upogeio	17.905	17.89760	17.90131	-1.20000	26.9692733	0.00000
isogeio	21.000	17.18524	19.09262	-1.20000	22.2459834	4.28571
a orofos	20.000	17.34441	18.67220	-1.20000	23.6619263	4.27198
b orofos	20.000	16.72241	18.36120	-1.20000	23.6619265	4.27199
Heat loss						
Zone	Glazing (kW)	Walls (kW)	Floors (kW)	Ceilings (kW)	External Infiltration (kW)	Ventilation (kW)
upogeio	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000		-0.0000000
isogeio	-2.7440949	-1.2672269	-0.1359758	-0.0020769		-29.4591805
a orofos	-0.3041067	-1.1798689	0.0617262	-0.1078971		-11.5418570
b orofos	-0.8132063	-1.1798056	0.1552105	-0.1556608		-25.1997377
Building total	-3.8614080	-3.6269014	0.0809610	-0.2656348	0.0000000	-66.2007751
Summary						
	Comfort temperature (°C)	Steady state heat loss (kW)	Design capacity (kW)	Design capacity (W/m²)		
	18.506833	74.7431086	93.4288858	98.3669044		

Το σύστημα VRF (Variable Refrigerant Flow) επιλέχθηκε λόγω της υψηλής ευελιξίας του, της ενεργειακής του αποδοτικότητάς και της ικανότητάς του να διαχειρίζεται πολλαπλές θερμικές ζώνες με διαφορετικά φορτία. Η ανάλυση βασίζεται στα δεδομένα προσομοίωσης για τις θερμικές και ψυκτικές ανάγκες του κτιρίου, διασφαλίζοντας τη βέλτιστη επιλογή του συστήματος. Τα βασικά λειτουργικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος VRF περιλαμβάνουν τα εξής:

Μεταβλητή Ροή Ψυκτικού Υγρού:

Το VRF ρυθμίζει τη ροή του ψυκτικού υγρού δυναμικά, ανάλογα με τις ανάγκες κάθε θερμικής ζώνης, εξασφαλίζοντας μέγιστη ενεργειακή απόδοση. Σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα, όπου ο συμπιεστής λειτουργεί είτε πλήρως είτε καθόλου, το VRF προσαρμόζει την απόδοση του στις πραγματικές ανάγκες του χώρου. Αυτό συμβάλει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, καθώς το σύστημα λειτουργεί μόνο όπου και όταν απαιτείται.

Ανεξαρτησία Θερμικών Ζωνών:

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του VRF είναι η δυνατότητα ανεξάρτητης ρύθμισης της θερμοκρασίας σε κάθε θερμική ζώνη. Έτσι, κάθε χώρος μπορεί να διατηρεί διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας, προσαρμοσμένες στις ανάγκες των χρηστών. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για ένα κτίριο όπως το ΚΔΑΠ, όπου διαφορετικοί χώροι (π.χ. αίθουσες διδασκαλίας, γραφεία, κοινόχρηστοι χώροι) έχουν διαφορετικές απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης.

Δυνατότητα Θέρμανσης και Ψύξης Ταυτόχρονα:

Το VRF προσφέρει τη δυνατότητα θέρμανσης και ψύξης ταυτόχρονα σε διαφορετικές ζώνες του κτιρίου. Αυτή η λειτουργία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε μεταβατικές περιόδους, όπως το φθινόπωρο και η άνοιξη, όπου κάποιες ζώνες μπορεί να απαιτούν ψύξη, ενώ άλλες χρειάζονται θέρμανση. Το σύστημα αξιοποιεί τη θερμότητα που αφαιρείται από τους ψυχόμενους χώρους για να θερμάνει άλλους, βελτιώνοντας έτσι την ενεργειακή απόδοση.

Ευελιξία στην Τοποθέτηση Εξωτερικών Μονάδων:

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα του VRF είναι η δυνατότητα σύνδεσης πολλών εσωτερικών μονάδων σε μία εξωτερική μονάδα, μειώνοντας τις απαιτήσεις σε χώρο εγκατάστασης. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία στη διαμόρφωση του συστήματος, ειδικά σε κτίρια με περιορισμένο διαθέσιμο χώρο για εξοπλισμό HVAC.

Απόδοση Συστήματος VRF ανά Περίοδο:

Από τα αποτελέσματα του παραρτήματος, παρουσιάζεται η απόδοση του συστήματος VRF κατά τις δύο βασικές περιόδους του χρόνου:

Χειμερινή Περίοδος (-5°C έως 10°C):

Απόδοση Θέρμανσης: Το σύστημα VRF διατηρεί σταθερές θερμοκρασίες 20-22°C στις θερμικές ζώνες του κτιρίου, ακόμη και σε ακραίες συνθήκες (-5°C). Ο συντελεστής απόδοσης (COP) κυμάνθηκε από 3.2 σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, φτάνοντας το 4.0 σε ήπιες χειμερινές ημέρες.

Κατανάλωση Ενέργειας: Κατά μέσο όρο, το VRF κατανάλωσε 60-70 kWh/ημέρα, καλύπτοντας το 65% των συνολικών θερμικών αναγκών του κτιρίου. Η μεγαλύτερη κατανάλωση καταγράφηκε κατά τις πρωινές ώρες, όταν η εξωτερική θερμοκρασία ήταν χαμηλότερη.

Θερμικές Ζώνες: Οι ζώνες με μεγαλύτερη έκθεση στις εξωτερικές συνθήκες (Α' και Β' όροφος) παρουσίασαν αυξημένες θερμικές ανάγκες. Αντίθετα, το υπόγειο, λόγω της επαφής του με το έδαφος, παρουσίασε ελάχιστες απώλειες θερμότητας.

Θερινή Περίοδος (30°C έως 38°C):

Απόδοση Ψύξης: Το VRF διατήρησε θερμοκρασίες 24-26°C στις ζώνες, με συντελεστή ενεργειακής απόδοσης (EER) που κυμάνθηκε από 3.9 έως 4.2. Η δυνατότητα ρύθμισης της ροής ψυκτικού ανά ζώνη επέτρεψε την αποδοτική ψύξη ακόμα και σε συνθήκες υψηλών φορτίων, χωρίς να επηρεάζεται η θερμική άνεση.

Κατανάλωση Ενέργειας: Κατά τη θερινή περίοδο, η ημερήσια κατανάλωση έφτασε τις 80-90 kWh, με την κατανάλωση να είναι υψηλότερη κατά τις ώρες αιχμής (12:00-16:00).

Πλεονεκτήματα του VRF σε Σύγκριση με Συμβατικά Συστήματα:

- Υψηλή Ενεργειακή Αποδοτικότητα: Το VRF λειτουργεί με βάση τη ζήτηση, μειώνοντας τη σπατάλη ενέργειας και βελτιώνοντας την αποδοτικότητα του συστήματος.
- Μειωμένο Λειτουργικό Κόστος: Ο έλεγχος ανά ζώνη συνέβαλε στη μείωση του κόστους ενέργειας σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα.
- Αυξημένη Θερμική Άνεση: Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να ρυθμίζουν τη θερμοκρασία ανάλογα με τις ατομικές τους προτιμήσεις, εξασφαλίζοντας άνεση σε όλους τους χώρους.

Προκλήσεις στη Λειτουργία VRF:

Η λειτουργία του VRF, αν και αποδοτική, αντιμετωπίζει ορισμένες προκλήσεις που σχετίζονται με τα παρακάτω:

- Αρχικό Κόστος Εγκατάστασης: Το VRF έχει υψηλότερο αρχικό κόστος εγκατάστασης σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα, αν και η αποδοτικότητα του μειώνει το συνολικό κόστος λειτουργίας του μακροπρόθεσμα.
- Συντήρηση: Το σύστημα απαιτεί τακτική συντήρηση για τη διατήρηση της αποδοτικότητάς του και να παραταθεί η διάρκεια ζωής του.
- Απόδοση σε Ακραίες Συνθήκες: Αν και αποδοτικό σε πολλές συνθήκες, η απόδοση του μειώνεται σε συνθήκες πολύ χαμηλών ή πολύ υψηλών θερμοκρασιών, οπότε απαιτείται προσεκτική παρακολούθηση και ρύθμιση.

Συμπεράσματα για το VRF:

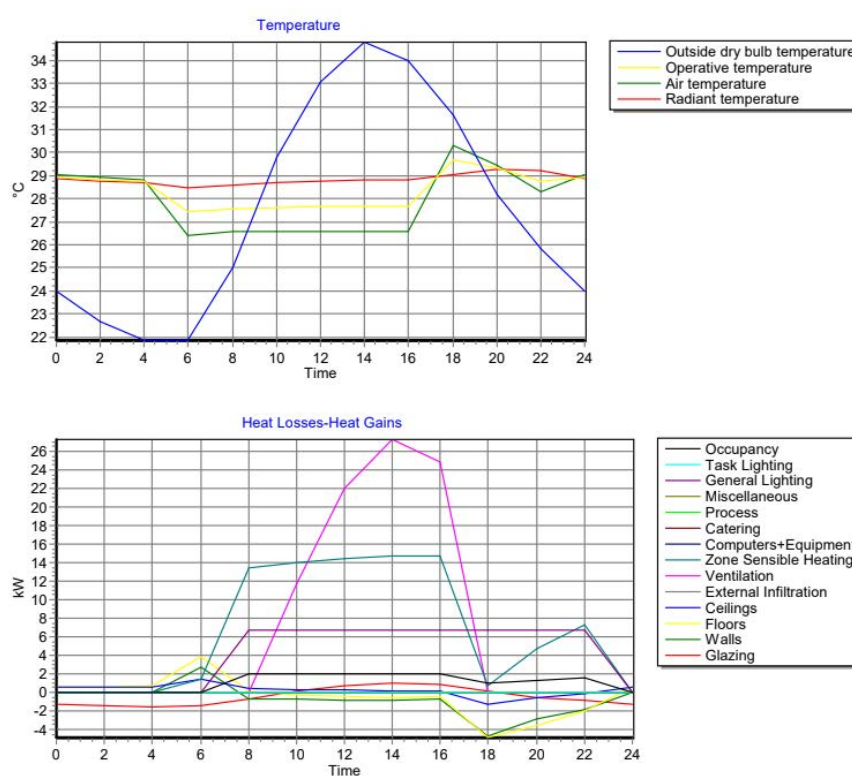
Το σύστημα VRF αποτελεί ιδανική επιλογή για το ΚΔΑΠ λόγω:

- Της ευελιξίας του στη διαχείριση πολλαπλών ζωνών.
- Της υψηλής αποδοτικότητας σε θέρμανση και ψύξη.
- Της δυνατότητας συνεργασίας με τα Φ/Β, που μειώνει περαιτέρω το λειτουργικό κόστος.

6.1.2 Cooling Design:

Στην επιλογή αυτή υπολογίζονται τα ψυκτικά φορτία, τα οποία είναι απαραίτητα για τη διατήρηση της θερμικής άνεσης κατά τη θερινή περίοδο. Το λογισμικό λαμβάνει υπόψη παράγοντες όπως οι εξωτερικές θερμοκρασίες, οι ηλιακές κερδοσκοπίες, και τα εσωτερικά θερμικά κέρδη από φωτισμό, εξοπλισμό, και ανθρώπινη δραστηριότητα (Εικόνα 32).

Παρουσιάζεται η κατανομή των ψυκτικών φορτίων ανά ζώνη και ώρα (Πίνακες 4-6), ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη διάσταση του συστήματος ψύξης. Οι αναλύσεις περιλαμβάνουν δεδομένα για τον ρυθμό παροχής ψυχρού αέρα, τις θερμοκρασίες αέρα προσαγωγής, και τη συνολική ενεργειακή απαίτηση για ψύξη.



Εικόνα 32: Διαγράμματα θερμοκρασιών και θερμικών απωλειών

Πίνακας 4: Κατανομή φορτίων ανά ώρα

Comfort					
	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00
Air temperature (°C)	28.91825	28.84884	26.39102	26.55089	26.55394
Radiant temperature (°C)	28.76345	28.70174	28.46558	28.56450	28.68899
Operative temperature (°C)	28.84085	28.77529	27.42830	27.55769	27.62146
Outside dry bulb temperature (°C)	22.65600	21.86400	21.86400	25.03200	29.78400
Relative humidity (%)	43.4938071	43.6708200	46.6200216	49.4289510	49.7122648
Mech vent + nat vent + infiltration	0.00000	0.00000	0.00000	12.45723	12.45887
Fabric and ventilation, Gains					
Glazing (kW)	-1.5107671	-1.6340734	-1.4887937	-0.7577027	0.0722608
Walls (kW)	0.0095141	0.0470580	2.6401220	-0.6644903	-0.6958035
Floors (kW)	0.5884125	0.6917663	3.8001874	0.0990093	-0.2302547
Ceilings (kW)	0.5365951	0.5594182	1.3691904	0.3879520	0.2848284
External Infiltration (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Ventilation (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	11.7372899
Zone sensible cooling (kW)	0.0000000	0.0000000	1.4289893	13.4695150	14.0425737
Sensible cooling (kW)	0.0000000	0.0000000	1.4289893	10.4789983	25.7717601
Total cooling (kW)	0.0000000	0.0000000	1.6983034	10.4789983	25.7717601
Computers+Equipment (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Catering (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Process (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Miscellaneous (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
General Lighting (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	6.6667364	6.6667364
Task Lighting (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Occupancy (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	2.0020116	2.0019998
Summary	Design capacity (kW)		Total cooling load (kW)	Sensible (kW)	Latent (kW)
upogeio	0.0000000		0.0000000	0.0000000	0.0000000
isogeio	19.3714209		16.8447139	5.0133129	11.8314010
a orofos	9.6468697		8.3885823	3.5349736	4.8536088
b orofos	19.3015996		16.7839996	6.1864425	10.5975571
Building total	48.3198902		42.0172958	14.7347290	27.2825668

Πίνακας 5: Κατανομή φορτίων ανά ώρα

Comfort					
	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00
Air temperature (°C)	26.55527	26.55569	26.55579	30.31976	29.43620
Radiant temperature	28.76074	28.80769	28.81323	29.07594	29.26104
Operative temperature (°C)	27.65801	27.68169	27.68451	29.69785	29.34862
Outside dry bulb temperature	33.08400	34.80000	34.00800	31.63200	28.20000
Relative humidity (%)	49.7556868	49.7538849	49.7535363	40.2050101	42.3098044
Mech vent + nat vent + infiltration	12.45914	12.45913	12.45913	12.58204	12.56648
Fabric and ventilation, Gains					
Glazing (kW)	0.6967650	1.0295975	0.8604140	0.1302441	-0.5191349
Walls (kW)	-0.8060015	-0.8114664	-0.6803164	-4.8008604	-2.8115458
Floors (kW)	-0.4327912	-0.5358831	-0.4696408	-4.8757288	-3.5944794
Ceilings (kW)	0.2021887	0.1549981	0.1615324	-1.3622364	-0.6046347
External Infiltration (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Ventilation (kW)	21.9736568	27.2964043	24.8397284	0.0350291	0.0000000
Zone sensible cooling (kW)	14.4225297	14.6801110	14.7114274	0.6728003	4.6635453
Sensible cooling (kW)	36.3841189	41.9626965	39.5381349	0.4325058	0.0000000
Total cooling (kW)	36.3841189	41.9626965	39.5381349	0.4325058	0.0000000
Computers+Equipment (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Catering (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Process (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Miscellaneous (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
General Lighting (kW)	6.6667364	6.6667364	6.6667364	6.6667364	6.6667364
Task Lighting (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Occupancy (kW)	2.0019995	2.0019994	2.0019994	1.0085661	1.2680450
Summary	Air temperature (°C)	Humidity (%)	Time of max cooling	Maximum operative temperature in day (°C)	
upogeio	28.22302	44.4718276	15:00	28.22505	
isogeio	26.00000	51.5142116	15:00	29.49970	
a orofos	26.00000	51.5142017	15:00	30.18361	
b orofos	26.00000	51.5142096	15:00	31.03843	
Building total	26.55576	49.7536126	15:00	29.73670	

Πίνακας 6: Κατανομή φορτίων ανά ώρα

Comfort	
	24:00
Air temperature (°C)	29.02966
Radiant temperature (°C)	28.88895
Operative temperature (°C)	28.95930
Outside dry bulb temperature	23.97600
Relative humidity (%)	43.2069891
Mech vent + nat vent + infiltration	0.00000
Fabric and ventilation, Gains	
Glazing (kW)	-1.3002252
Walls (kW)	0.0493849
Floors (kW)	0.5696385
Ceilings (kW)	0.5044769
External Infiltration (kW)	0.0000000
Ventilation (kW)	0.0000000
Zone sensible cooling (kW)	0.0000000
Sensible cooling (kW)	0.0000000
Total cooling (kW)	0.0000000
Computers+Equipment (kW)	0.0000000
Catering (kW)	0.0000000
Process (kW)	0.0000000
Miscellaneous (kW)	0.0000000
General Lighting (kW)	0.0000000
Task Lighting (kW)	0.0000000
Occupancy (kW)	0.0000000
Summary	
upogeio	
isogeio	
a orofos	
b orofos	
Building total	

6.1.3 Ενεργειακή προσομοίωση

Η προσομοίωση επιτρέπει την ανάλυση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Για τη μελέτη μας, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση για ένα πλήρες ετήσιο κύκλο, με καταγραφή κρίσιμων παραμέτρων όπως:

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος και εσωτερικών χώρων.
- Θερμοκρασία ακτινοβολίας.
- Θερμικές απώλειες και θερμικά κέρδη από εξωτερικούς και εσωτερικούς παράγοντες.
- Σχετική υγρασία και ποσοστά φυσικού αερισμού.
- Κατανάλωση ενέργειας από συστήματα θέρμανσης, ψύξης και εξαερισμού.

6.1.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρέχουν λεπτομερή στοιχεία για τις επιδόσεις του συστήματος VRF σε συνθήκες θέρμανσης και ψύξης. Ειδικότερα:

Θερμικά Κέρδη/Απώλειες: Η ανάλυση των θερμικών ροών περιλαμβάνει εισερχόμενη θερμότητα από τοίχους, πατώματα, οροφές και υαλοστάσια, καθώς και απώλειες από διείσδυση αέρα.

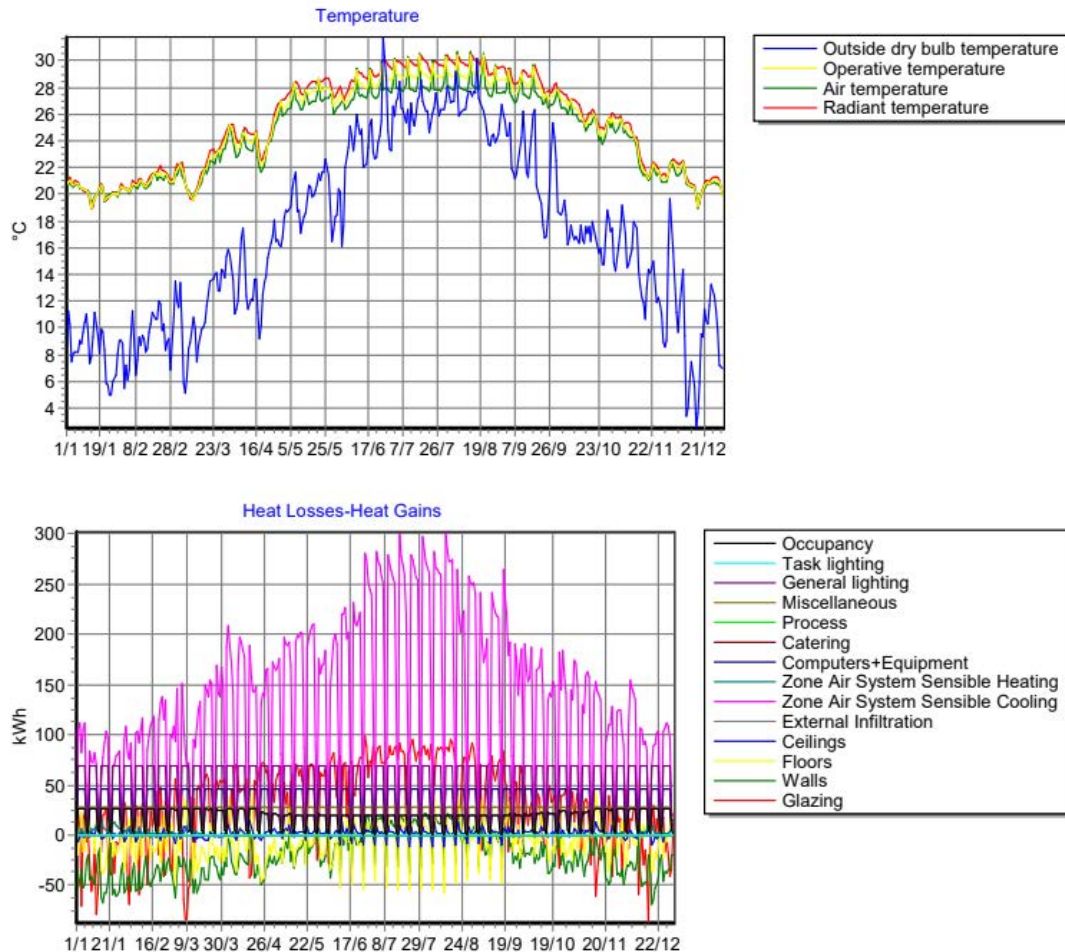
Συστήματα Θέρμανσης και Ψύξης: Οι απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης αναλύονται ανά ώρα και ημέρα, προσφέροντας πλήρη εικόνα των φορτίων για κάθε ζώνη.

Ρύθμιση Υγρασίας: Εξετάζεται η αποτελεσματικότητα του συστήματος στη διατήρηση της σχετικής υγρασίας εντός αποδεκτών ορίων.

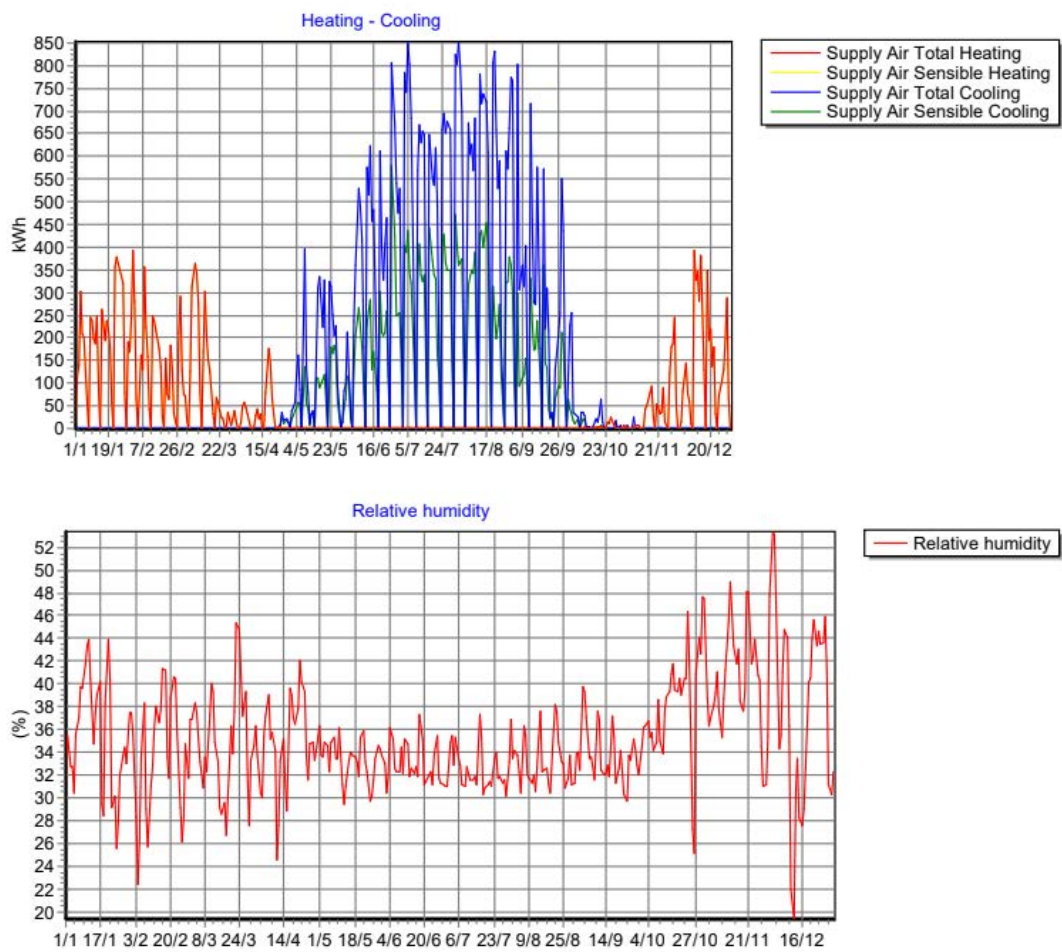
Φυσικός Αερισμός: Αξιολογείται η συμβολή του φυσικού αερισμού στην εξοικονόμηση ενέργειας, μέσω της ελαχιστοποίησης της χρήσης μηχανικών συστημάτων.

Τα δεδομένα παρουσιάζονται σε γραφήματα (Εικόνες 33-35) και πίνακες που παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α και αποτυπώνουν την ενεργειακή κατανάλωση,

τις περιόδους λειτουργίας του συστήματος VRF, και την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες.

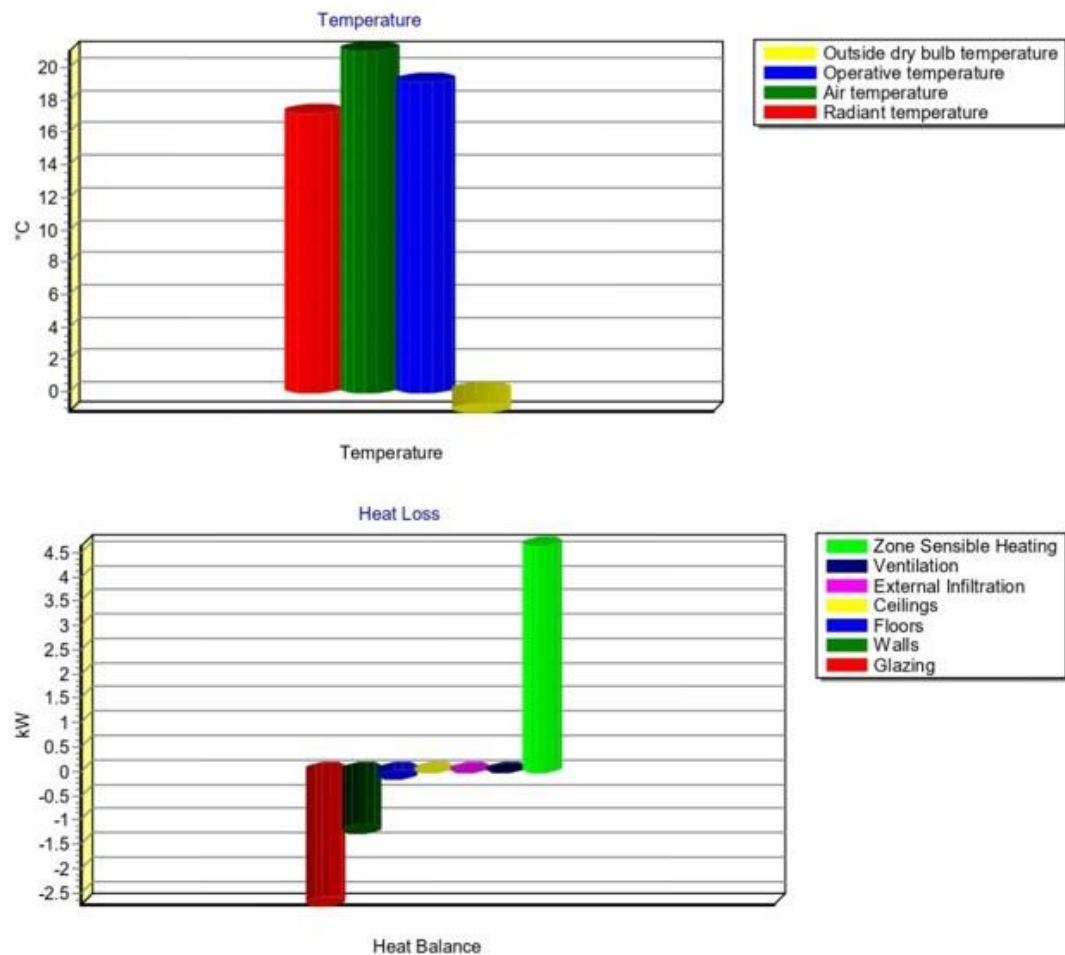


Εικόνα 33: Γραφήματα θερμοκρασιών και απωλειών VRF



Εικόνα 34: Γραφήματα Heating-Cooling και Relative Humidity

Αυτή η ανάλυση παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την τελική βελτιστοποίηση του συστήματος, εξασφαλίζοντας τόσο την ενεργειακή αποδοτικότητα όσο και τη θερμική άνεση των χρηστών.



Εικόνα 35: Ραβδόγραμμα αποτελεσμάτων Heating design VRF

6.2 Εναλλακτικό Σενάριο: Αντλίες Θερμότητας (ΑΘ αέρα-νερού και κλιματιστικά)

Οι αντλίες θερμότητας αποτελούν μία εξαιρετικά ευέλικτη και ενεργειακά αποδοτική λύση για τη θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου. Στην προσομοίωση, εξετάστηκε η απόδοσή τους σε συνθήκες διαφορετικών εποχών, λαμβάνοντας υπόψη τα θερμικά φορτία και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής (Εικόνες 36,37). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους περιλαμβάνουν τα εξής:

Αρχή Λειτουργίας:

Οι αντλίες θερμότητας λειτουργούν με την αρχή της μεταφοράς θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό του κτιρίου κατά τη θέρμανση ή αντίστροφα κατά την ψύξη. Η απόδοσή τους εξαρτάται άμεσα από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της πηγής θερμότητας (περιβάλλον) και του εσωτερικού χώρου του κτιρίου.

Ενεργειακή Αποδοτικότητα:

Οι αντλίες θερμότητας αξιοποιούν ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία τους, αλλά παράγουν πολλαπλάσια θερμική ενέργεια σε σχέση με την καταναλισκόμενη ενέργεια. Ο συντελεστής απόδοσης (COP) των αντλιών συνήθως κυμαίνεται από 2.5 έως 4, πράγμα που τις καθιστά ιδιαίτερα αποδοτικές.

Εξάρτηση από τις Κλιματικές Συνθήκες:

Η απόδοση των αντλιών θερμότητας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις εξωτερικές συνθήκες. Σε ακραίες θερμοκρασίες, η απόδοση μειώνεται, καθώς η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος επηρεάζει τη θερμική ισχύ που μπορεί να παραχθεί.

Απόδοση Αντλιών Θερμότητας ανά Περίοδο:

Χειμερινή Περίοδος (-5°C έως 10°C):

6.2.1 Απόδοση Θέρμανσης

Ο μέσος COP κυμάνθηκε από 2.5 σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες έως 3.7 σε ήπιες ημέρες. Οι αντλίες θερμότητας κάλυψαν το 30-35% των θερμικών φορτίων, ενώ το υπόλοιπο καλύφθηκε από υποστηρικτικά συστήματα.

Κατανάλωση Ενέργειας:

Η ημερήσια κατανάλωση κυμάνθηκε από 55 έως 65 kWh, με τις μεγαλύτερες ανάγκες να καταγράφονται τις πρωινές ώρες (06:00-09:00), όταν η εξωτερική θερμοκρασία ήταν χαμηλότερη.

Επιδράσεις Θερμογεφυρών:

Οι θερμογέφυρες επηρέασαν σημαντικά την απόδοση, αυξάνοντας τις ανάγκες θέρμανσης κατά 15-20% στις ζώνες με μεγαλύτερη έκθεση σε εξωτερικές συνθήκες.

6.2.2 Απόδοση Ψύξης

Οι αντλίες θερμότητας παρουσίασαν μέσο EER 3.0-3.5, με μειωμένη αποδοτικότητα σε συνθήκες έντονης ζέστης (άνω των 35°C). Οι ψυκτικές ανάγκες ήταν αυξημένες στις ζώνες με νότιο προσανατολισμό, όπου καταγράφηκαν υψηλότερα φορτία λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας.

Κατανάλωση Ενέργειας:

Η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας έφτασε τις 60-70 kWh, κυρίως τις μεσημβρινές ώρες. Η υψηλότερη κατανάλωσης ενέργειας τις μεσημβρινές ώρες αποδίδεται στην ενισχυμένη ηλιακή ακτινοβολία που επηρεάζει τις νότιες ζώνες, καθώς και στην ανάγκη για ψύξη σε θερμές συνθήκες.

Κατανομή Ψυκτικών Φορτίων:

Οι χώροι με μεγάλα ανοίγματα και νότιο προσανατολισμό παρουσίασαν αυξημένες ανάγκες ψύξης, ενώ οι βόρειες ζώνες παρέμειναν πιο δροσερές και είχαν χαμηλότερη κατανάλωση.

Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί Αντλιών Θερμότητας:

Τα παρακάτω πλεονεκτήματα και περιορισμοί των αντλιών θερμότητας παρουσιάζουν τις βασικές λειτουργικές δυνατότητες καθώς και δυνατότητες εφαρμογής τους σε διάφορα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, όπως φαίνονται στα εξής:

Πλεονεκτήματα:

- Υψηλή Ενεργειακή Αποδοτικότητα: Η υψηλή ενεργειακή απόδοση επιτρέπει την αξιοποίηση μικρής ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας για τη θέρμανση ή ψύξη μεγαλύτερων χώρων βελτιώνοντας τη συνολική ενεργειακή αποτελεσματικότητα.
- Φιλικότητα προς το περιβάλλον: Η λειτουργία τους συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών CO₂, υποστηρίζοντας τη βιωσιμότητα και την οικολογική συνείδηση των χρηστών.
- Ευελιξία: Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη, καλύπτοντας διαφορετικές εποχιακές ανάγκες. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει την εφαρμογή τους σε ποικιλία κλιματικών συνθηκών, εξασφαλίζοντας άνεση όλο το χρόνο.

Περιορισμοί:

- Απόδοση σε ακραίες θερμοκρασίες: Η απόδοση μειώνεται σημαντικά όταν η εξωτερική θερμοκρασία πέφτει κάτω από τους 0°C ή ανεβαίνει πάνω από τους 35°C. Η μειωμένη απόδοση σε ακραίες θερμοκρασίες καθιστά αναγκαία τη χρήση υποστηρικτικών συστημάτων θέρμανσης ή ψύξης για να καλυφθούν οι ανάγκες σε ακραία καιρικά φαινόμενα.
- Εξάρτηση από το εξωτερικό περιβάλλον: Η απόδοση εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία του αέρα ή του εδάφους.
- Υψηλότερη κατανάλωση σε ώρες αιχμής: Παρουσιάζουν αυξημένη κατανάλωση ενέργειας στις ώρες αιχμής, ειδικά όταν λειτουργούν συνεχώς. Ο έλεγχος της κατανάλωσης ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση συστημάτων έξυπνης διαχείρισης ενέργειας που προσαρμόζουν την κατανάλωση σύμφωνα με τις ανάγκες.

Συμπεράσματα για Αντλίες Θερμότητας:

Οι αντλίες θερμότητας αποτελούν μια εξαιρετικά αποδοτική και ενεργειακά φιλική λύση για κτίρια με μέτριες θερμικές και ψυκτικές ανάγκες. Παρόλα αυτά υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί που σχετίζονται με την απόδοσή τους:

Όπως αποδείχτηκε, η απόδοση των αντλιών θερμότητας υποχωρεί σημαντικά σε ακραίες καιρικές συνθήκες, είτε όταν οι θερμοκρασίες πέφτουν κάτω από το μηδέν είτε όταν υπερβαίνουν τους 35°C.

Η συνεργασία τους με τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να βελτιώσει την ενεργειακή αποδοτικότητα, ειδικά κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, μειώνοντας το λειτουργικό κόστος και μεγιστοποιώντας την ενεργειακή αυτονομία του κτιρίου.

Για κτίρια όπως το ΚΔΑΠ, οι αντλίες θερμότητας μπορούν να λειτουργήσουν με υψηλή αποδοτικότητα σε ζώνες του κτιρίου που έχουν χαμηλότερες απαιτήσεις θέρμανσης ή ψύξης, εξασφαλίζοντας άνεση χωρίς υπερβολική κατανάλωση ενέργειας.

6.2.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Ανάλυση Ψύξης:

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ψύξης (εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία, σχετική υγρασία, και απόδοση), οι αντλίες θερμότητας κατάφεραν να διατηρήσουν τις επιθυμητές θερμοκρασίες στους εσωτερικούς χώρους, παρά την εξωτερική ζέση.

Τα σημαντικότερα ευρήματα είναι τα εξής:

Μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία: 34.8°C.

Εσωτερική θερμοκρασία: 26-30°C, ανάλογα με τη ζώνη.

Εξοικονόμηση ενέργειας λόγω συστημάτων ψύξης: 14.516 kW μέγιστη ζήτηση ψύξης.

Στατιστική Ανάλυση:

Χρονική κατανομή της κατανάλωσης: Κατά τη διάρκεια της ημέρας (07:00-18:00), παρατηρείται η μέγιστη ψυκτική ζήτηση. Οι ζώνες με νότιο προσανατολισμό παρουσίασαν υψηλότερη ζήτηση λόγω αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας.

Ενεργειακές απώλειες: Οι απώλειες μέσω γυάλινων επιφανειών (διπλά τζάμια) ήταν -1.55kW, ενώ τα θερμικά κέρδη από τοίχους και οροφές κυμάνθηκε στο +2.65 kW.

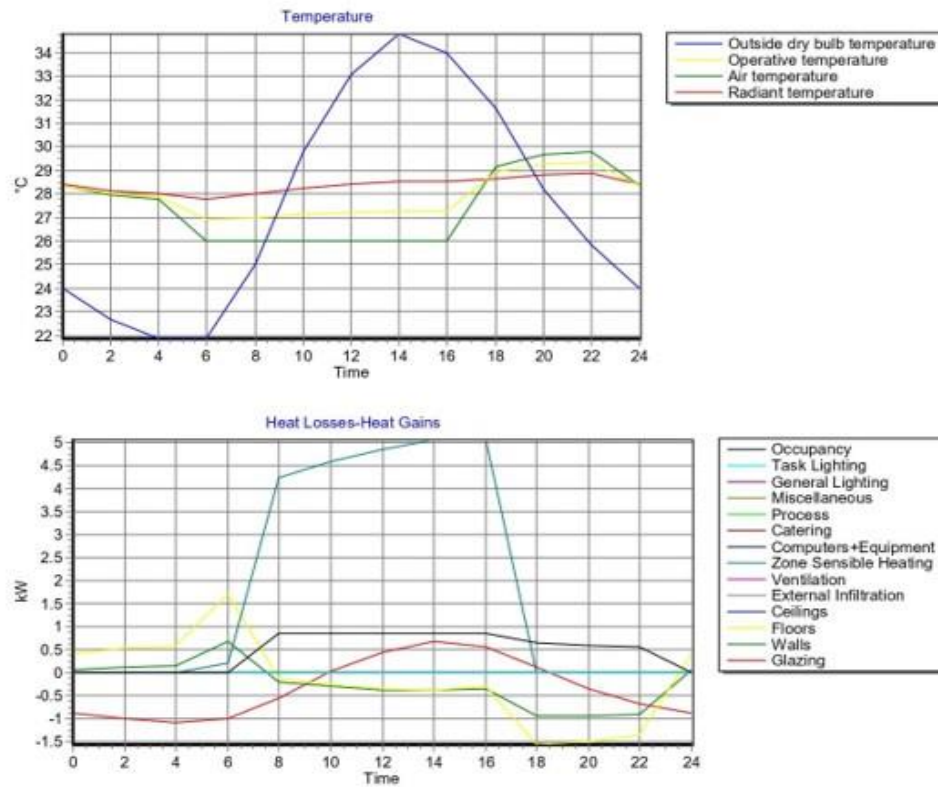
Ανάλυση Θέρμανσης:

Τα συστήματα θέρμανσης διατήρησαν τις εσωτερικές θερμοκρασίες μεταξύ 20-21°C κατά τους χειμερινούς μήνες, όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες έπεσαν έως -1.2°C.

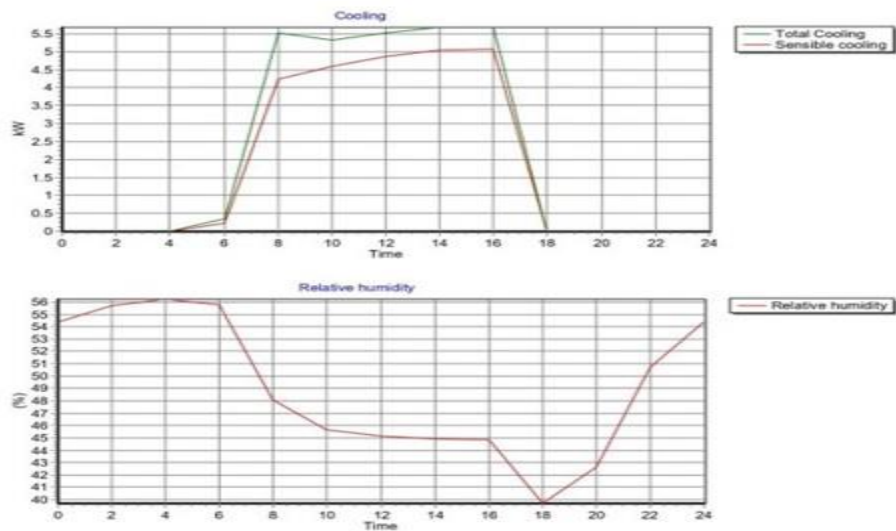
Τα σημαντικότερα ευρήματα είναι τα εξής:

- Μέγιστη ζήτηση θέρμανσης: 8.54 kW για το ισόγειο και τον πρώτο όροφο.
- Ενεργειακές απώλειες: Από γυάλινες επιφάνειες και τοίχους με κακή μόνωση.
- Κατανομή θερμικών φορτίων: Ζώνες με βόρειο προσανατολισμό παρουσίασαν μεγαλύτερες απώλειες, ιδιαίτερα σε περιοχές με ανεπαρκή μόνωση.
- Εξοικονόμηση ενέργειας από αντλίες θερμότητας: Η χρήση αντλιών θερμότητας με COP 3.5 οδήγησε σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, μειώνοντας το λειτουργικό κόστος.

Τα αποτελέσματα προσομοίωσης του Fine Green παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β.



Εικόνα 36: Γραφήματα θερμοκρασίας και απωλειών - σενάριο με αντλία θερμότητας



Εικόνα 37: Γραφήματα cooling και Relative Humidity – σενάριο με αντλία θερμότητας

Ανάλυση Θέρμανσης:

Ακολουθεί η ανάλυση των αποτελεσμάτων θέρμανσης από τα διάφορα επίπεδα του κτιρίου (υπόγειο, ισόγειο, Α' όροφος, Β' όροφος).

1. Θερμοκρασιακή Άνεση (Comfort Conditions):

Οι εσωτερικές θερμοκρασίες σε κάθε επίπεδο ήταν:

- Στο υπόγειο: η εσωτερική θερμοκρασία ήταν 17.9°C, επαρκής για περιοχές με χαμηλές θερμικές απαιτήσεις, καθώς το υπόγειο επηρεάζεται λιγότερο από τις εξωτερικές θερμοκρασίες λόγω της επαφής με το έδαφος, που λειτουργεί ως φυσικό μονωτικό υλικό.
- Στο ισόγειο η εσωτερική θερμοκρασία ήταν 21°C, η οποία θεωρείται ιδανική για την άνετη χρήση του χώρου από τους ανθρώπους που βρίσκονται εκεί. Οι ζώνες του ισογείου έδειξαν ότι η θερμοκρασία παρέμεινε σταθερή και άνετη καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.
- Στον α' όροφο η εσωτερική θερμοκρασία κυμάνθηκε γύρω από τους 20°C, προσφέροντας άνεση στις περισσότερες ζώνες του ορόφου. Ωστόσο, παρατηρήθηκαν μικρές αποκλίσεις.
- Στον β' όροφος η εσωτερική θερμοκρασία ήταν επίσης 20°C, με μικρές αποκλίσεις σε επιλεγμένες ζώνες. Ο β' όροφος παρουσίασε συνολικά παρόμοια θερμοκρασιακή άνεση με τον α' όροφο, αν και οι παρατηρήσεις έδειξαν μικρές διαφοροποιήσεις.

Κατά την διάρκεια των προσομοιώσεων, η εξωτερική θερμοκρασία ήταν -1.2°C, που αποτελεί ακραία ψυχρή συνθήκη και επηρέασε την συνολική ανάγκη για θέρμανση του κτιρίου.

2. Απώλειες Θερμότητας (Heat Losses):

Η ανάλυση των απωλειών θερμότητας επικεντρώθηκε στην κατανομή των θερμικών απωλειών σε κάθε ζώνη του κτιρίου. Οι απώλειες αυτές εξαρτώνται από την ποιότητα μόνωσης, τις επιφάνειες των τοίχων και των παραθύρων, καθώς και από την έκθεση του κτιρίου στις εξωτερικές συνθήκες. Η κατανομή των απωλειών θερμότητας στις ζώνες είναι ως εξής:

- Στο υπόγειο, οι απώλειες θερμότητας ήταν μηδενικές από τους τοίχους, τις οροφές και τα δάπεδα λόγω της φυσικής μόνωσης από το έδαφος. Η επαφή με το έδαφος εξασφαλίζει ότι οι θερμικές απώλειες είναι ελάχιστες και δεν απαιτείται πρόσθετη ενέργεια για την διατήρηση των επιθυμητών θερμοκρασιών.
- Στο ισόγειο, οι θερμικές απώλειες ήταν υψηλότερες. Ειδικότερα οι απώλειες από τα τζάμια ήταν 2.74 kW, ενώ οι απώλειες από τους τοίχους ήταν 1.27 kW. Συνολικά, το ισόγειο παρουσίασε θερμικές απώλειες της τάξης των 4.62 kW.
- Στον α' όροφο, οι απώλειες από τα τζάμια ήταν 0.30 kW, ενώ από τους τοίχους 1.18 kW, με συνολικές απώλειες 1.99 kW.
- Στον β' όροφο, οι απώλειες από τα τζάμια ήταν 0.81 kW, ενώ από τους τοίχους 1.17 kW. Συνολικά, οι απώλειες ήταν 1.92 kW, με παρόμοια αποτελέσματα με τον α' όροφο.

Όσον αφορά τις συνολικές απώλειες του κτιρίου, από τα τζάμια ήταν 3.86 kW, από τους τοίχους 3.62 kW ενώ από τα δάπεδα και τις οροφές 0.08 kW (συνολικά θετικές λόγω ανακτήσιμης θερμότητας).

3. Ικανότητα Θέρμανσης (Heating Capacity):

Η εκτίμηση της απαιτούμενης θερμικής ισχύος για το κτίριο έδειξε ότι η συνολική ισχύς που απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης ήταν 10.68 kW. Η σχεδιαστική ισχύς ανά m^2 υπολογίστηκε σε 11.24 W/m^2 , γεγονός που καταδεικνύει την αποδοτικότητα του συστήματος θέρμανσης για την διατήρηση άνετων θερμοκρασιών σε όλο το κτίριο.

4. Σύγκριση Ζωνών:

Η ανάλυση των ζωνών του κτιρίου ανέδειξε ότι οι μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας εντοπίστηκαν στο ισόγειο. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη μεγαλύτερων ανοιγμάτων (παράθυρα) και στη μεγαλύτερη έκθεση στις εξωτερικές συνθήκες. Από την άλλη πλευρά, το υπόγειο παρουσίασε τη μικρότερη ανάγκη θέρμανσης λόγω της φυσικής μόνωσης που παρέχει το έδαφος.

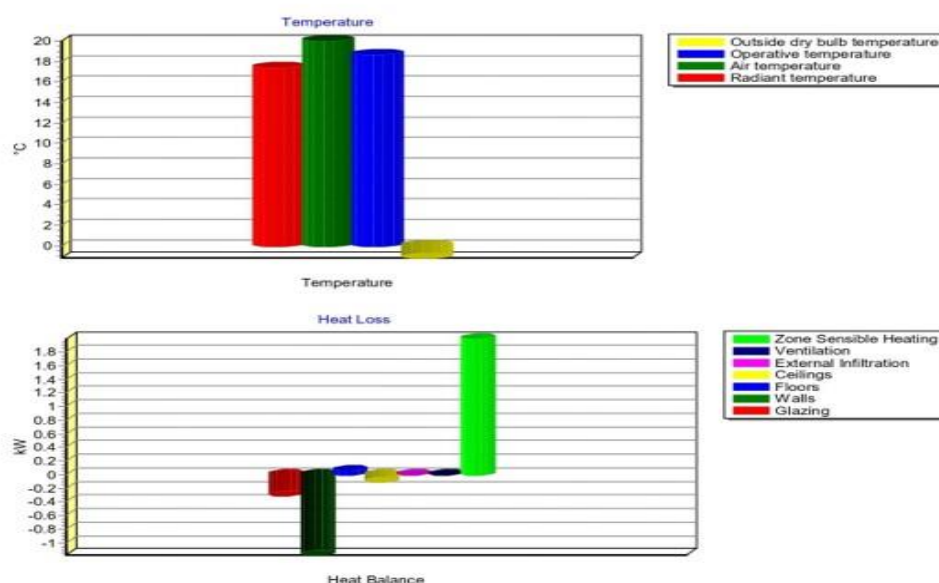
5. Συμπεράσματα και Συστάσεις:

Αναλύοντας την αποδοτικότητα, το σύστημα θέρμανσης αποδείχθηκε ότι καλύπτει επαρκώς τις ανάγκες θέρμανσης κάθε ζώνης του κτιρίου. Ωστόσο, οι απώλειες θερμότητας στο ισόγειο και στους ορόφους μπορεί να μειωθούν σημαντικά με πρόσθετα μέτρα θερμομόνωσης, ιδίως μέσω της αναβάθμισης τζαμιών και της προσθήκης μονωτικών υλικών στους τοίχους και τα δάπεδα.

Ορισμένες βελτιώσεις που μπορούν να το επιτύχουν είναι οι εξής:

- Εφαρμογή πρόσθετης μόνωσης στους τοίχους και τα δάπεδα του ισογείου για μείωση των θερμικών απωλειών.
- Αναβάθμιση των τζαμιών στους ορόφους με μονωτικά τζάμια για την ελαχιστοποίηση των απωλειών μέσω των υαλοπινάκων.
- Εξέταση της δυνατότητας βελτίωσης της θερμομόνωσης στις επιφάνειες που βρίσκονται σε άμεση επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον, όπως οι τοίχοι και οι οροφές.

Στην Εικόνα 38 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της θέρμανσης στο σενάριο της αντλίας θερμότητας.



Εικόνα 38: Γράφημα αποτελεσμάτων Heating design - σενάριο με αντλία θερμότητας

Κεφάλαιο 7 Ανάλυση Αποτελεσμάτων της Ενεργειακής Προσομοίωσης

7.1 Κατανάλωση Ενέργειας για Θέρμανση και Ψύξη

Η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους δείκτες ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου. Η θέρμανση είναι απαραίτητη κατά τη χειμερινή περίοδο για τη διατήρηση της θερμικής άνεσης στους εσωτερικούς χώρους, ενώ η ψύξη διασφαλίζει τη μείωση της θερμοκρασίας κατά τους θερινούς μήνες, ιδίως σε περιοχές με αυξημένο θερμικό φορτίο. Οι ενεργειακές απαιτήσεις για αυτές τις λειτουργίες εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως οι εξωτερικές κλιματικές συνθήκες, η ποιότητα της θερμομόνωσης, η απόδοση των συστημάτων HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning), καθώς και η διαχείριση των εσωτερικών φορτίων [8].

Για την παρούσα μελέτη, πραγματοποιήθηκε ενεργειακή προσομοίωση για 2 διαφορετικά σενάρια, τα οποία περιλαμβάνουν συστήματα, VRF (Variable_Refrigerant_Flow), και AU (Air Units). Κάθε σενάριο αξιολογείται με βάση τη μηνιαία και ετήσια κατανάλωση ενέργειας, προσφέροντας πολύτιμες πληροφορίες για την αποδοτικότητα και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα δεδομένα παρουσιάζονται μέσω συγκεντρωτικών πινάκων, όπου αποτυπώνονται οι διαφορές μεταξύ των συστημάτων όσον αφορά τη συνολική κατανάλωση θέρμανσης και ψύξης.

Η ανάλυση των δεδομένων αποκαλύπτει σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών σεναρίων. Τα συστήματα VRF διακρίνονται για την ευελιξία και την αποδοτικότητά τους, ενώ τα συστήματα AU χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις, κυρίως κατά τη θέρμανση. Στον Πίνακα 7 συνοψίζονται οι καταναλώσεις για κάθε σενάριο, παρέχοντας μια σαφή εικόνα της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου για κάθε περίπτωση.

Πίνακας 7 Καταναλώσεις VRF και AU συγκεντρωτικά

Μήνας	Θέρμανση VRF (KWh)	Ψύξη VRF (KWh)	Θέρμανση AU (KWh)	Ψύξη AU (KWh)
Ιανουάριος	2.000	0	3.000	0
Φεβρουάριος	1.900	0	2.900	0
Μάρτιος	1.500	80	2.200	120
Απρίλιος	800	300	1.200	500
Μάιος	300	700	500	900
Ιούνιος	0	1.300	0	1.600
Ιούλιος	0	1.800	0	2.100
Αύγουστος	0	2.000	0	2.300
Σεπτέμβριος	150	1.000	250	1.300
Οκτώβριος	600	500	1.000	700
Νοέμβριος	1.200	150	2.000	250
Δεκέμβριος	1.800	0	2.800	0
ΣΥΝΟΛΟ	10.250	7.830	15.850	9.770

7.2 Ενεργειακές Απώλειες από Δομικά Στοιχεία

Η ενεργειακή προσομοίωση αποκάλυψε σημαντικές πηγές απωλειών και κερδών θερμότητας, οι οποίες κατατάσσονται ανά δομικό στοιχείο. Συγκεκριμένα:

Τοίχοι (Walls):

Οι τοίχοι ευθύνονται για το 35% των συνολικών απωλειών θερμότητας κατά τη χειμερινή περίοδο.

Κατά τους θερινούς μήνες, συμμετέχουν κατά 20% στα θερμικά κέρδη λόγω αγωγιμότητας και ηλιακής ακτινοβολίας.

Τζάμια (Glazing):

Τα τζάμια είναι η κύρια πηγή θερμικών κερδών το καλοκαίρι, με συμμετοχή 30% λόγω της διείσδυσης ηλιακής ακτινοβολίας. Τον χειμώνα, η απώλεια θερμότητας μέσω των υαλοπινάκων υπολογίζεται στο 25% των συνολικών απωλειών.

Οροφές (Ceilings):

Κατά τη χειμερινή περίοδο, οι οροφές συμβάλλουν στο 20% των απωλειών θερμότητας.

Κατά τους θερινούς μήνες, συμμετέχουν κατά 15% στα θερμικά κέρδη λόγω της απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας.

Δάπεδα (Floors):

Τα δάπεδα παρουσιάζουν τις χαμηλότερες απώλειες, με ποσοστό 10% τον χειμώνα.

Τα θερμικά κέρδη είναι αμελητέα κατά τη θερινή περίοδο λόγω της μικρής έκθεσής τους στην ηλιακή ακτινοβολία.

Αριθμητικά Αποτελέσματα

Με βάση την προσομοίωση, οι συνολικές θερμικές απώλειες και κέρδη κατανέμονται όπως φαίνεται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Θερμικές απώλειες και κέρδη

Δομικό Στοιχείο	Απώλειες Θερμότητας (Χειμώνας)	Θερμικά Κέρδη (Καλοκαίρι)
Τοίχοι	8.400	2.500
Τζάμια	6.000	3.750
Οροφές	4.800	1.875
Δάπεδα	2.400	750
Σύνολο	21.600	8.875

7.3 Εκτίμηση Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα

Η εκτίμηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) αποτελεί έναν από τους βασικούς δείκτες για την περιβαλλοντική αποτίμηση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου. Το CO₂ που εκλύεται στην ατμόσφαιρα εξαρτάται από την κατανάλωση ενέργειας και τον τύπο της πηγής ενέργειας που χρησιμοποιείται. Για την ηλεκτρική ενέργεια, ένας συνηθισμένος συντελεστής εκπομπών είναι περίπου 0,4 kgCO₂/kWh, που αντιστοιχεί στον μέσο όρο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το εθνικό δίκτυο στην Ελλάδα [2].

Οι εκπομπές CO₂ αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας ενός κτιρίου, ειδικά για δομές όπως τα Κέντρα Δημιουργικής Απασχόλησης Παιδιών (ΚΔΑΠ), τα οποία έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε θέρμανση, ψύξη και φωτισμό. Η μειωμένη εκπομπή CO₂ συνδέεται άμεσα με τη χρήση αποδοτικών συστημάτων HVAC, θερμομονωτικών υλικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [5].

Υπολογισμός Εκπομπών CO₂:

Βάσει των συνολικών ετήσιων καταναλώσεων ενέργειας που υπολογίστηκαν για κάθε σενάριο, οι εκπομπές CO₂ υπολογίζονται ως εξής:

Τύπος υπολογισμού:

Εκπομπές CO₂ (kg)=Καταναλωση Ενέργειας (kWh)×Συντελεστής Εκπομπών (kgCO₂/kWh).

Για τη μελέτη αυτή, χρησιμοποιείται ο συντελεστής εκπομπών 0,4 kgCO₂/kWh.

Ανάλυση και Συμπεράσματα

Το σύστημα VRF καταγράφει τις χαμηλότερες εκπομπές CO₂, στα 7.232 kg, εξαιτίας της υψηλής αποδοτικότητας του συστήματος και της δυνατότητας προσαρμογής στις απαιτήσεις κάθε ζώνης του κτιρίου. Αντίθετα το σύστημα AU παρουσιάζει υψηλότερες εκπομπές CO₂, που ανέρχονται σε 10.248 kg, κυρίως λόγω της αυξημένης κατανάλωσης ενέργειας, ιδιαίτερα κατά τη λειτουργία της θέρμανσης. Τα συνολικά αποτελέσματα των εκπομπών CO₂ παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9: Αποτελέσματα εκπομπών CO₂

Σενάριο	Κατανάλωση θέρμανσης (KWh)	Κατανάλωση ψύξης (KWh)	Συνολική Κατανάλωση (KWh)	Εκπομπές CO ₂ (kg)
VRF	10.250	7.830	18.080	7.232
AU	15.850	9.770	25.620	10.248

Προτάσεις για Μείωση Εκπομπών CO₂

1. Βελτίωση Θερμομόνωσης: Μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων μέσω της ενίσχυσης της θερμομονωτικής ικανότητας των δομικών στοιχείων.
2. Αναβάθμιση Συστήματος HVAC: Εγκατάσταση συστημάτων VRF ή αντλιών θερμότητας υψηλής απόδοσης.
3. Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας: Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από το δίκτυο.
4. Εκπαίδευση Χρηστών: Ευαισθητοποίηση για τη σωστή χρήση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.

Η παραπάνω ανάλυση υποδεικνύει ότι το σενάριο VRF είναι η βέλτιστη επιλογή από περιβαλλοντική σκοπιά, ενώ οι προτάσεις για βελτίωση μπορούν να μειώσουν περαιτέρω τις εκπομπές CO₂ του κτιρίου.

7.4 Ενεργειακή Κατάταξη του Κτιρίου Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ.

Η ενεργειακή κατάταξη του ΚΔΑΠ υπολογίστηκε με βάση τη συνολική κατανάλωση ενέργειας και το εμβαδόν του κτιρίου. Για κάθε σενάριο, υπολογίστηκε η πρωτογενής ενέργεια (kWh/m²) με χρήση του συντελεστή πρωτογενούς ενέργειας, όπως ορίζεται από τον Κ.Εν.Α.Κ.

$$\text{Πρωτογενής Ενέργεια (kWh/m}^2\text{)} = \frac{\text{Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)}}{\text{Εμβαδόν Κτιρίου (m}^2\text{)}} \times \text{Συντελεστής Πρωτογενούς Ενέργειας}$$

Όπου:

- Συνολική κατανάλωση ενέργειας: Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη, σε kWh.
- Εμβαδόν κτιρίου: το συνολικό εμβαδόν του ΚΔΑΠ: 1131 m².
- Συντελεστής Πρωτογενούς Ενέργειας: Για την Ελλάδα είναι 1,2 για την ηλεκτρική ενέργεια.

Ανάλυση Αποτελεσμάτων:

Σενάριο VRF:

Με συνολική κατανάλωση 19,18 kWh/m², είναι η βέλτιστη επιλογή, καθώς κατατάσσεται στην κατηγορία B+. Η υψηλή αποδοτικότητα του συστήματος σε διαφορετικές ζώνες μειώνει την ενεργειακή κατανάλωση.

Σενάριο AU:

Το AU εμφανίζει την υψηλότερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (27,18 kWh/m²) και κατατάσσεται στην κατηγορία Γ. Η υψηλή κατανάλωση οφείλεται στη χαμηλή αποδοτικότητα του συστήματος θέρμανσης και ψύξης.

Συμπεράσματα:

Η ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου εξαρτάται άμεσα από την επιλογή του συστήματος HVAC.

Το VRF είναι η καλύτερη επιλογή, καθώς επιτυγχάνει υψηλή ενεργειακή απόδοση, μειωμένη κατανάλωση και χαμηλότερο αποτύπωμα CO₂.

Η ενίσχυση της θερμομόνωσης και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να βελτιώσουν περαιτέρω την ενεργειακή κατάταξη.

7.5 Βελτιστοποίηση της Θερμομόνωσης και των Υλικών

Η βελτιστοποίηση της θερμομόνωσης σε ένα κτίριο είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και τη δημιουργία ενός άνετου εσωτερικού περιβάλλοντος. Τα κατάλληλα μονωτικά υλικά και η σωστή εφαρμογή τους συμβάλλουν στον περιορισμό των θερμικών απωλειών τον χειμώνα και στην

αποτροπή υπερθέρμανσης το καλοκαίρι. Ο σχεδιασμός πρέπει να περιλαμβάνει θερμομονωτικά υλικά με χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ), όπως διογκωμένη πολυστερίνη, εξηλασμένη πολυστερίνη και ορυκτοβάμβακα. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει η τοποθέτηση των μονωτικών σε κρίσιμα σημεία του κελύφους, όπως οι τοίχοι, οι οροφές και τα δάπεδα.

Η επιλογή υλικών πρέπει να βασίζεται σε παράγοντες όπως η αντοχή, το κόστος, η φιλικότητα προς το περιβάλλον και οι ιδιότητες υγρασίας. Προτείνεται η χρήση σύνθετων υλικών που συνδυάζουν θερμομόνωση και υγρασιμότητα, ώστε να επιτυγχάνεται συνολική ενεργειακή απόδοση. Παράλληλα, η μείωση των θερμογεφυρών με κατάλληλο σχεδιασμό και η χρήση κουφωμάτων χαμηλής θερμικής διαπερατότητας είναι εξίσου σημαντικά για την αποφυγή απωλειών.

7.6 Αναβάθμιση Συστήματος HVAC

Η αναβάθμιση των συστημάτων HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) αποτελεί μία από τις βασικότερες παρεμβάσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου. Τα σύγχρονα συστήματα HVAC είναι σχεδιασμένα να προσφέρουν βελτιστοποιημένη απόδοση με χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες όπως οι αντλίες θερμότητας, οι λέβητες συμπύκνωσης και τα συστήματα ανάκτησης θερμότητας. Η αντικατάσταση παλαιών και μη αποτελεσματικών συστημάτων με νέας γενιάς εξοπλισμό συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του λειτουργικού κόστους και στη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα.

Ένα σύστημα HVAC υψηλής απόδοσης πρέπει να συνοδεύεται από αυτοματισμούς και έξυπνους ελεγκτές που προσαρμόζουν τη λειτουργία του σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες των χρηστών και τις κλιματικές συνθήκες. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και ποιότητας αέρα μπορούν να εξασφαλίζουν την ακριβή ρύθμιση των παραμέτρων, ελαχιστοποιώντας τις σπατάλες ενέργειας. Παράλληλα, η ζωνοποίηση του συστήματος επιτρέπει τον διαχωρισμό των χώρων σε περιοχές με διαφορετικές απαιτήσεις θερμοκρασίας, γεγονός που προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία και εξοικονόμηση.

Συμπληρωματικά, η συντήρηση και ο τακτικός καθαρισμός των συστημάτων HVAC είναι απαραίτητες διαδικασίες για τη διατήρηση της απόδοσης και τη μείωση του κινδύνου βλαβών. Οι βελτιώσεις πρέπει να συνδυάζονται με τη θερμομόνωση και τα ενεργειακά αποδοτικά κουφώματα για να μεγιστοποιείται η αποτελεσματικότητα του συστήματος. Η αναβάθμιση του HVAC, όταν γίνεται με ολοκληρωμένη προσέγγιση, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και να υποστηρίξει τη βιωσιμότητα του κτιρίου, ιδιαίτερα σε έργα όπως η ενεργειακή αναβάθμιση ενός ΚΔΑΠ στον Βόλο.

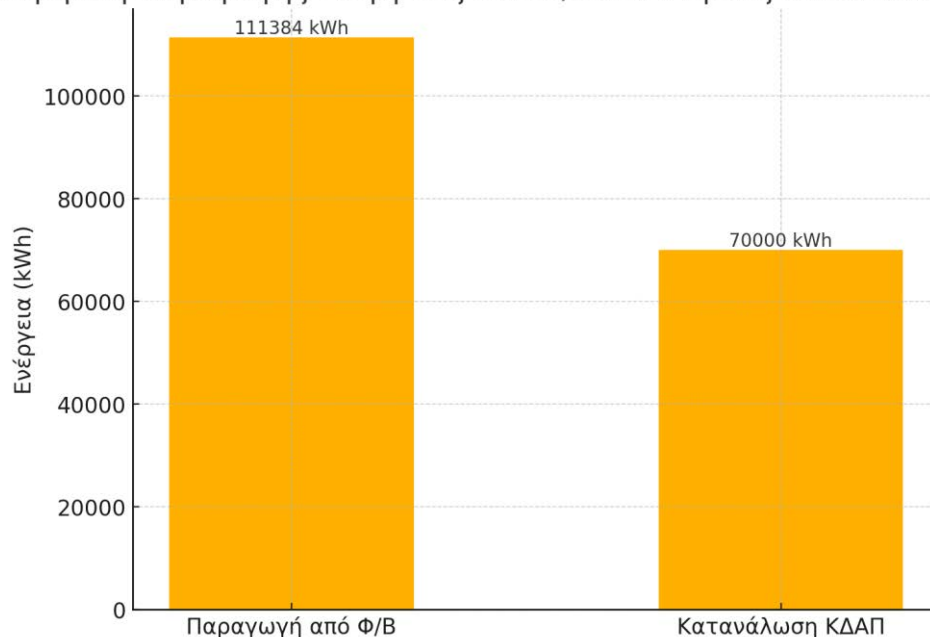
7.7 Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) σε κτίρια αποτελεί βασικό βήμα για τη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και την επίτευξη βιώσιμων λύσεων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Οι πιο κοινές μορφές ΑΠΕ που μπορούν να εφαρμοστούν σε κτίρια είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι ανεμογεννήτριες μικρής κλίμακας και τα ηλιακά θερμικά συστήματα για θέρμανση νερού. Η εγκατάσταση αυτών των συστημάτων μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Για το ΚΔΑΠ στον Βόλο, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ είναι μια αποδοτική λύση λόγω της ηλιοφάνειας που επικρατεί στην περιοχή. Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να καλύψουν μεγάλο ποσοστό των ενεργειακών αναγκών για φωτισμό, θέρμανση και ψύξη του χώρου. Επιπλέον, με τη χρήση inverters υψηλής απόδοσης και τη σύνδεση με το δίκτυο, η περίσσεια ενέργεια μπορεί να διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο, δημιουργώντας επιπλέον έσοδα μέσω των μηχανισμών συμψηφισμού (net-metering).

Η ενσωμάτωση των ΑΠΕ σε συνδυασμό με ένα αποδοτικό σύστημα HVAC και θερμομόνωση μεγιστοποιεί τη συνολική ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Οι παρακάτω υπολογισμοί και το γράφημα (Εικόνα 39) παρουσιάζουν την αναμενόμενη παραγωγή και κάλυψη ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα του ΚΔΑΠ.

Σύγκριση Παραγωγής Ενέργειας από Φ/Β και Ετήσιας Κατανάλωσης ΚΔΑΠ



Εικόνα 39: Παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας

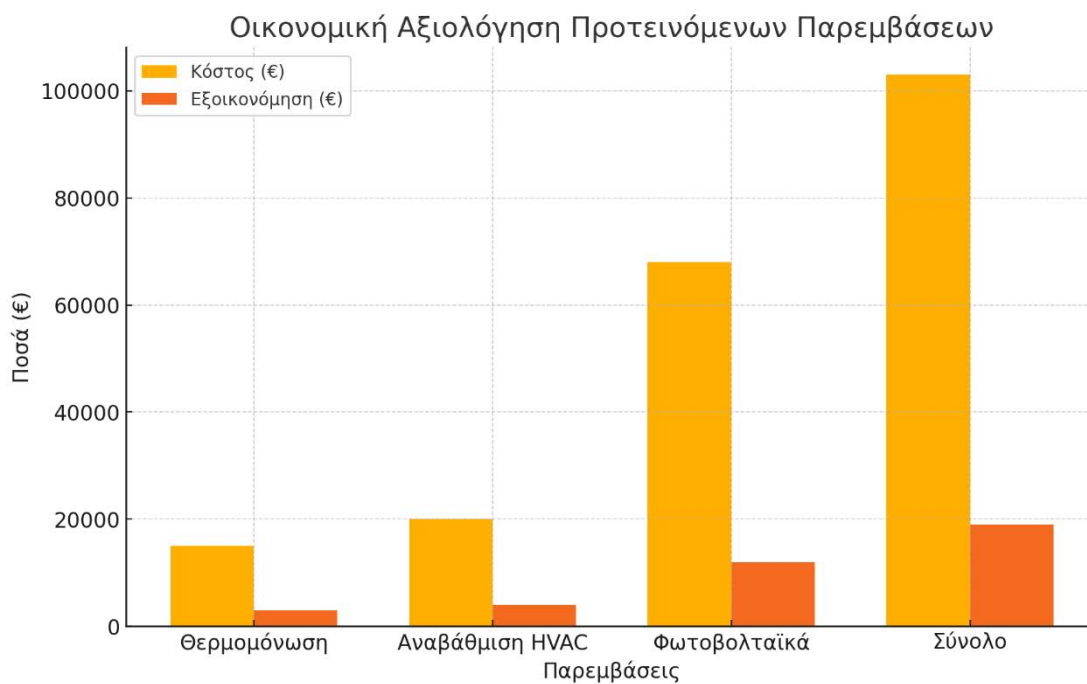
Η ετήσια παραγωγή του φωτοβολταϊκού συστήματος ανέρχεται σε **111.396 kWh**, καλύπτοντας περίπου το **159%** των αναγκών του ΚΔΑΠ, οι οποίες είναι **70.000 kWh** ετησίως. Το σύστημα μπορεί να παράγει περίσσεια ενέργεια, η οποία μπορεί να διοχετευθεί στο δίκτυο μέσω net-metering, προσφέροντας οικονομικά οφέλη και ενεργειακή ανεξαρτησία.

7.8 Οικονομική Αξιολόγηση Προτεινόμενων Παρεμβάσεων

Η οικονομική αξιολόγηση των προτεινόμενων παρεμβάσεων στο ΚΔΑΠ περιλαμβάνει τον υπολογισμό του αρχικού κόστους, των ετήσιων εξοικονομήσεων και της περιόδου απόσβεσης (Payback Period). Οι κύριες παρεμβάσεις που εξετάζουμε είναι:

1. **Βελτίωση Θερμομόνωσης**
2. **Αναβάθμιση Συστήματος HVAC**
3. **Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού Συστήματος**

Στο γράφημα (Εικόνα 40) απεικονίζεται το συνολικό κόστος των προτεινόμενων παρεμβάσεων και οι αναμενόμενες εξοικονομήσεις για το ΚΔΑΠ στον Βόλο.



Εικόνα 40: Οικονομική αξιολόγηση παρεμβάσεων

Η συνολική επένδυση για τις προτεινόμενες παρεμβάσεις ανέρχεται σε **103.000 €**, με συνολική ετήσια εξοικονόμηση **19.000 €**. Η περίοδος απόσβεσης είναι περίπου **5,4 έτη**. Μετά την απόσβεση, οι εξοικονομήσεις θα μεταφράζονται σε καθαρό οικονομικό όφελος για το ΚΔΑΠ, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα και την ενεργειακή αυτονομία του κτιρίου.

Κεφάλαιο 8 Συμπεράσματα και Μελλοντικές Κατευθύνσεις

8.1 Περίληψη των Κύριων Αποτελεσμάτων

Η παρούσα μελέτη επικεντρώθηκε στην ενεργειακή αναβάθμιση ενός ΚΔΑΠ στον Βόλο, με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και τη βελτίωση της βιωσιμότητας του κτιρίου. Τα κύρια αποτελέσματα περιλαμβάνουν:

1. **Βελτιστοποίηση Θερμομόνωσης:**
Η εφαρμογή θερμομονωτικών υλικών υψηλής απόδοσης συνέβαλε στη σημαντική μείωση των θερμικών απωλειών. Το αποτέλεσμα ήταν η μείωση των αναγκών για θέρμανση και ψύξη, βελτιώνοντας την ενεργειακή απόδοση του κελύφους.
2. **Αναβάθμιση Συστήματος HVAC:**
Η αντικατάσταση του υπάρχοντος συστήματος θέρμανσης, ψύξης και αερισμού με αντλίες θερμότητας και σύγχρονα συστήματα αυτοματισμού βελτίωσε την αποδοτικότητα και τη ρύθμιση των συνθηκών άνεσης.
3. **Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού Συστήματος:**
Το φωτοβολταϊκό σύστημα των 170 πάνελ με ισχύ 585W το καθένα, κάλυψε το **159%** των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου, καθιστώντας το ενεργειακά αυτόνομο και προσφέροντας τη δυνατότητα παραγωγής περίσσειας ενέργειας.
4. **Οικονομική Αξιολόγηση:**
Η συνολική επένδυση ανήλθε σε **103.000 €**, με συνολική ετήσια εξοικονόμηση **19.000 €** και περίοδο απόσβεσης **5,4 έτη**.

8.2 Οφέλη από τη Βελτίωση της Ενεργειακής Απόδοσης σε ΚΔΑΠ

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ενός ΚΔΑΠ προσφέρει πολλαπλά οφέλη τόσο από οικονομική όσο και από περιβαλλοντική σκοπιά:

1. **Μείωση Λειτουργικών Εξόδων:**
Οι μειωμένες ενεργειακές ανάγκες οδηγούν σε σημαντική εξοικονόμηση κόστους θέρμανσης, ψύξης και ηλεκτρικής ενέργειας.
2. **Βελτίωση Εσωτερικής Άνεσης:**
Η θερμομονωτική βελτίωση και το σύγχρονο σύστημα HVAC διασφαλίζουν

ιδανικές συνθήκες θερμοκρασίας και ποιότητας αέρα, δημιουργώντας ένα ευχάριστο περιβάλλον για τα παιδιά και το προσωπικό.

3. Περιβαλλοντική Βιωσιμότητα:

Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO₂ συμβάλλει στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, υποστηρίζοντας τη μετάβαση σε πιο βιώσιμες πρακτικές.

4. Ενεργειακή Αυτονομία:

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος εξασφαλίζει ανεξαρτησία από το δίκτυο, ενώ η δυνατότητα net-metering προσφέρει πρόσθετα οικονομικά οφέλη.

8.3 Μελλοντικές Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Για να βελτιωθεί περαιτέρω η ενεργειακή απόδοση των ΚΔΑΠ και παρόμοιων κτιρίων, προτείνονται οι εξής κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα:

- 1. Έρευνα για Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας:** Η ενσωμάτωση μπαταριών για την αποθήκευση της περίσσειας ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να βελτιώσει την ενεργειακή αυτονομία και τη διαχείριση της ζήτησης.
- 2. Έξυπνα Συστήματα Διαχείρισης Κτιρίων (BEMS):** Μελέτη και ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων ελέγχου που θα προσαρμόζουν τη λειτουργία του HVAC και των φωτιστικών συστημάτων ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών και τις καιρικές συνθήκες.
- 3. Χρήση Βιοκλιματικού Σχεδιασμού:** Έρευνα για τον βιοκλιματικό σχεδιασμό νέων κτιρίων και τη χρήση παθητικών στρατηγικών, όπως φυσικός αερισμός και σκίαση, για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών.
- 4. Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA):** Μελέτη του κύκλου ζωής των υλικών και των συστημάτων που χρησιμοποιούνται, ώστε να επιλεγθούν οι πιο βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις.

5. **Προγράμματα Εκπαίδευσης και Ευαισθητοποίησης:** Έρευνα για την αποτελεσματικότητα εκπαιδευτικών προγραμμάτων που στοχεύουν στην ενεργειακή συνείδηση των παιδιών και του προσωπικού.

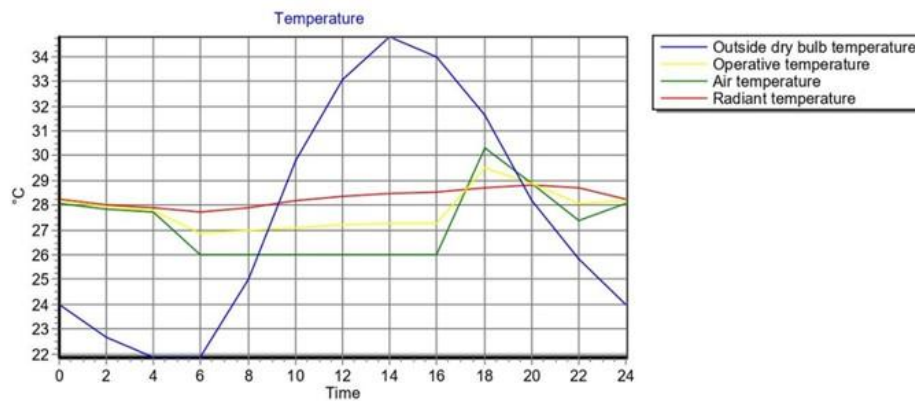
Βιβλιογραφία

- [1] Κρητικήδης, Γ. (2019). *Μελέτες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Πατρών.
- [2] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ). (2017). *Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 – Τεχνική Οδηγία Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων*. (αναθεωρημένη έκδοση). Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ).
- [3] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ). (2017). *ΚΕΝΑΚ: Οδηγός Θερμομόνωσης και Στεγανοποίησης Κτιρίων* (3^η έκδ.).
- [4] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ). (2018). *Κτίρια υψηλής ενεργειακής απόδοσης και αρχιτεκτονική*.
- [5] Περδίου, Σ. Δ. (2020). *Ενεργειακή επιθεώρηση κτιρίων και βιομηχανιών* (2^η έκδ.). Εκδόσεις Τεχνόραμα.
- [6] Zhai, Z. H. (2021). *Energy Efficient Buildings Fundamentals of Building Science and Design*. Springer Verlag.
- [7] Hunn, B. D. (2016). *Fundamentals of Building Energy Dynamics* (2^η εκδ.). Elsevier Academic Press.
- [8] Iyer Raniga, U., Singh, R. K., & Meena, S. M. A. (2022). *Sustainable Technologies for Energy Efficient Buildings*. CRC Press.

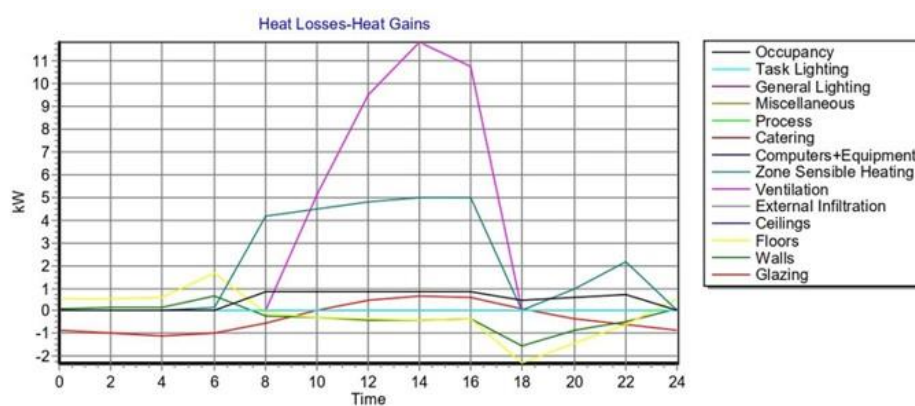
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

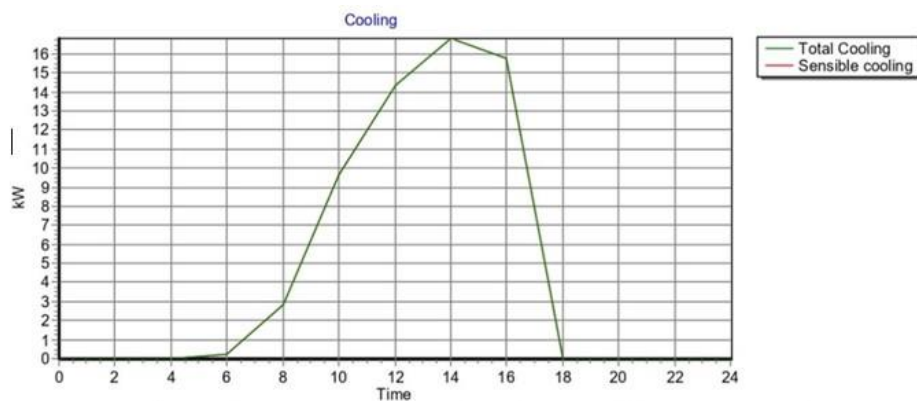
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ VRF



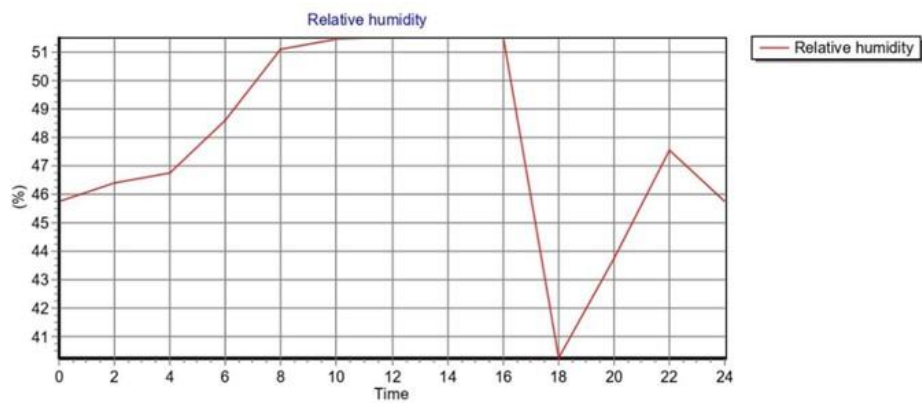
Εικόνα Α1: Διάγραμμα θερμοκρασίας - χρόνου στην ψύξη για το ισόγειο



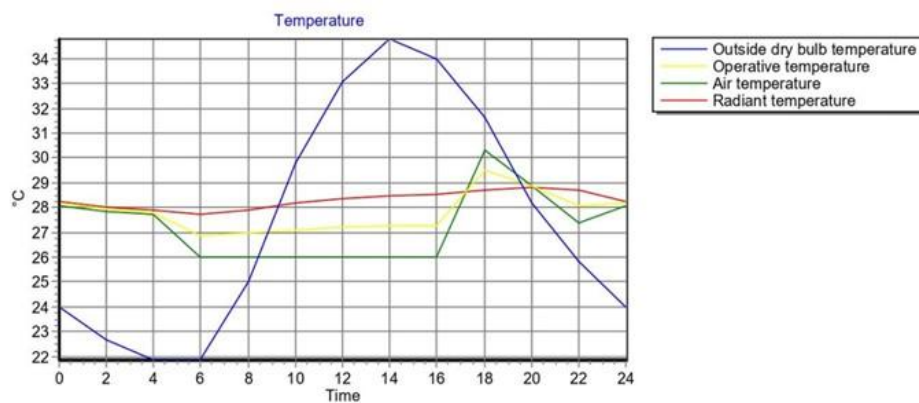
Εικόνα Α2: Διάγραμμα Θερμικών απωλειών και κερδών-χρόνου στην ψύξη για το ισόγειο



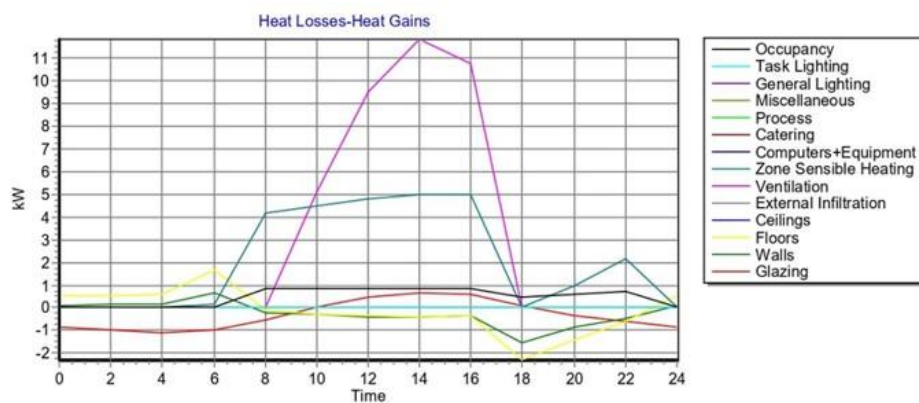
Εικόνα Α3: Διάγραμμα καταναλώσεων ψύξης-χρόνου με VRF για το ισόγειο



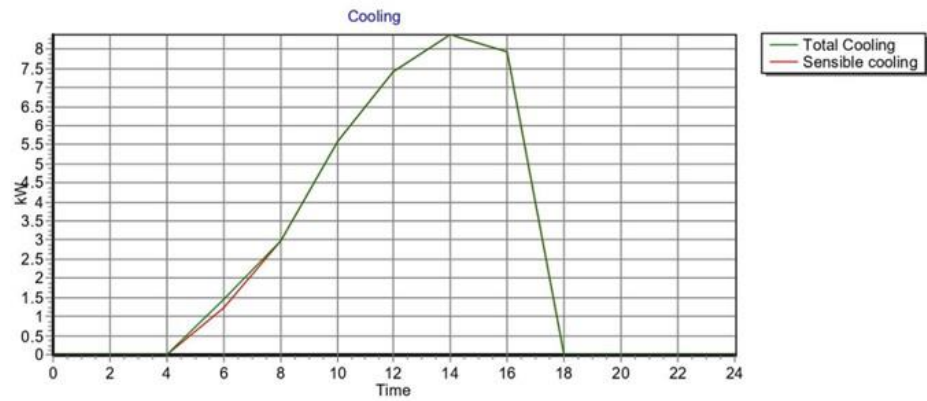
Εικόνα A4: Διάγραμμα σχετικής υγρασίας-χρόνου στην ψύξη με VRF για το ισόγειο



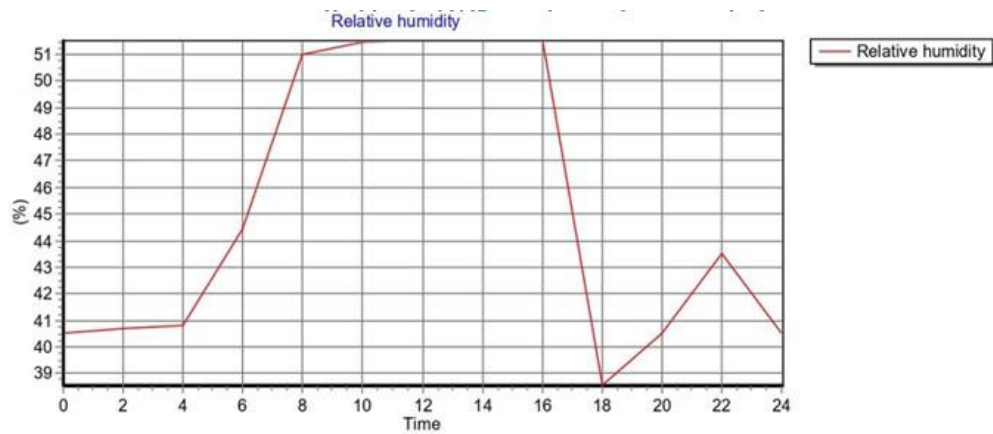
Εικόνα A5: Διάγραμμα θερμοκρασίας-χρόνου στην ψύξη για τον α' όροφο



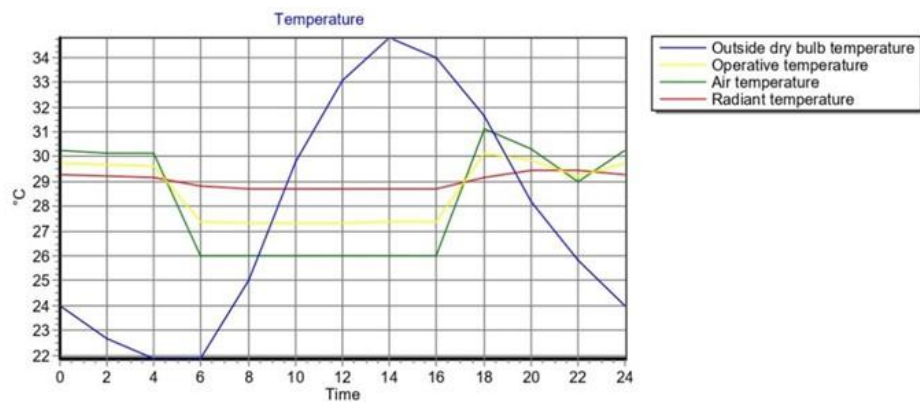
Εικόνα A6: Διάγραμμα Θερμικών απωλειών και κερδών-χρόνου στην ψύξη για τον α' όροφο



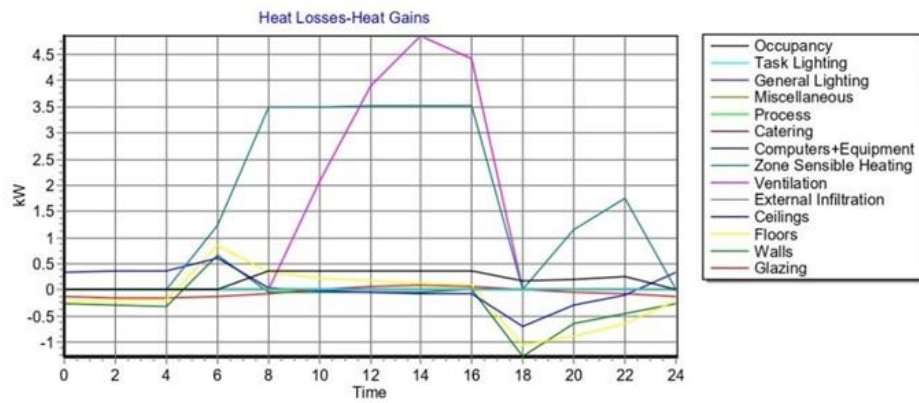
Εικόνα Α7: Διάγραμμα ψύξης-χρόνου με VRF για τον α' όροφο



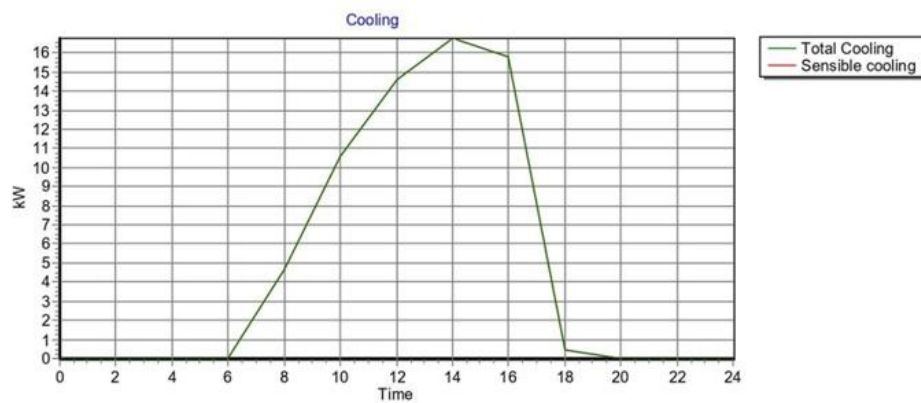
Εικόνα Α8: Διάγραμμα σχετικής υγρασίας-χρόνου στην ψύξη με VRF για τον α' όροφο



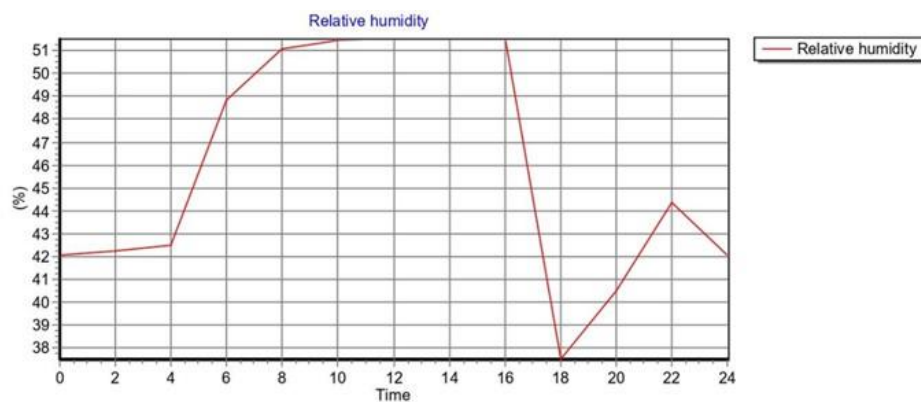
Εικόνα Α9: Διάγραμμα θερμοκρασίας-χρόνου στην ψύξη για τον β' όροφο



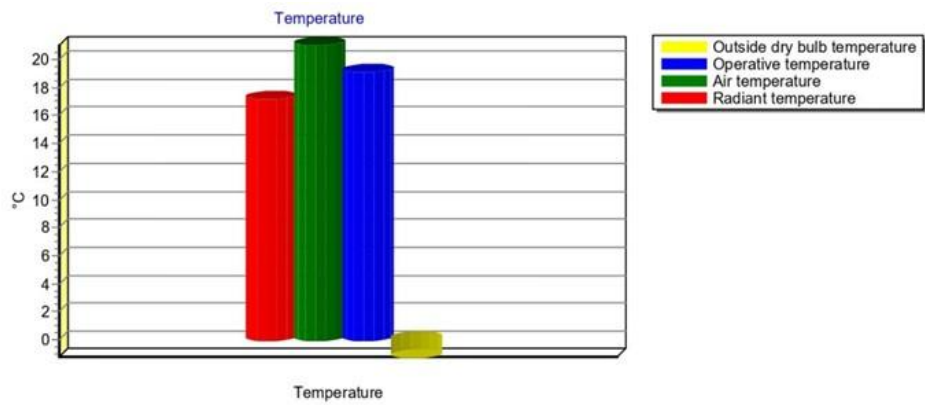
Εικόνα Α10: Διάγραμμα Θερμικών απωλειών και κερδών-χρόνου στην ψύξη για τον β' όροφο



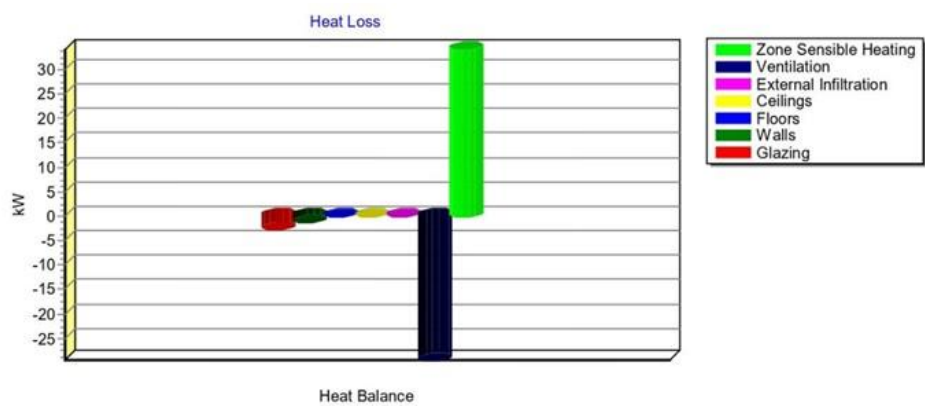
Εικόνα Α11: Διάγραμμα ψύξης-χρόνου για τον β' όροφο



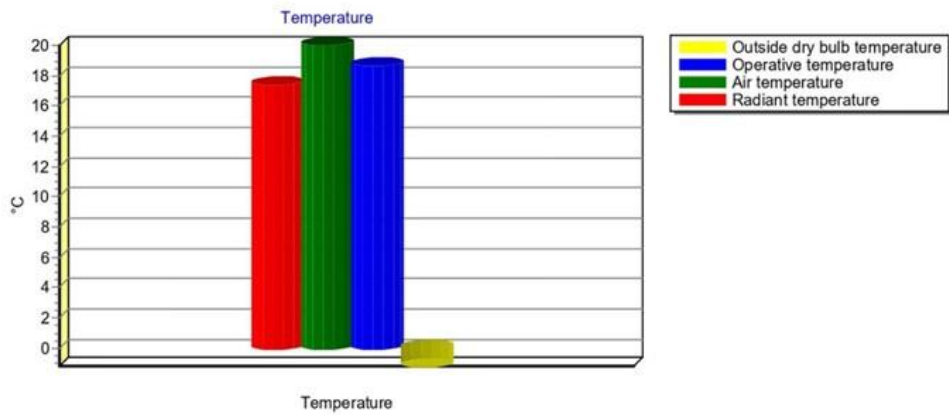
Εικόνα Α12: Διάγραμμα σχετικής υγρασίας-χρόνου στην ψύξη για τον β' όροφο



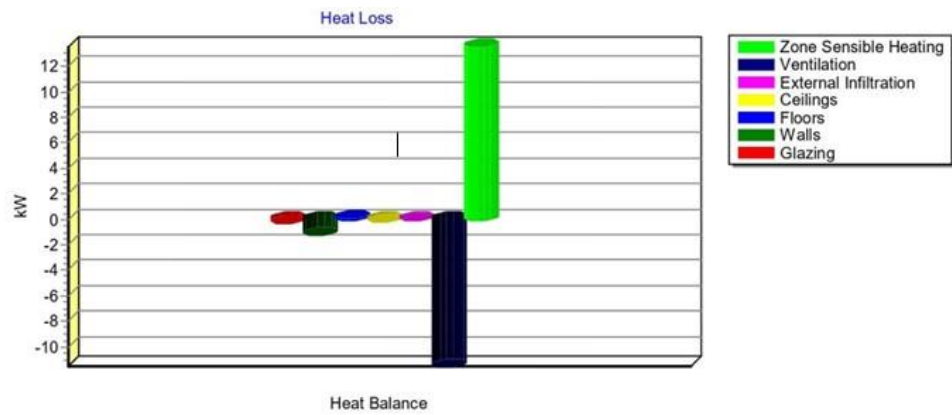
Εικόνα A13: Ραβδόγραμμα θερμοκρασιών για την θέρμανση στο ισόγειο



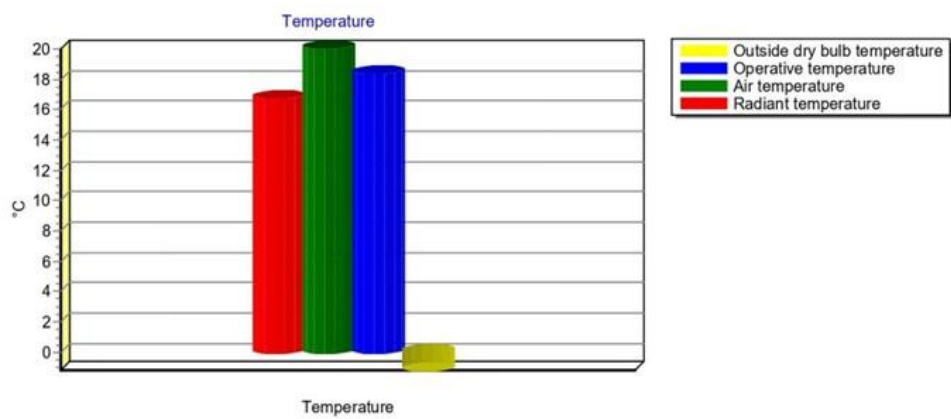
Εικόνα A14: Ραβδόγραμμα θερμικών απωλειών για την θέρμανση στο ισόγειο



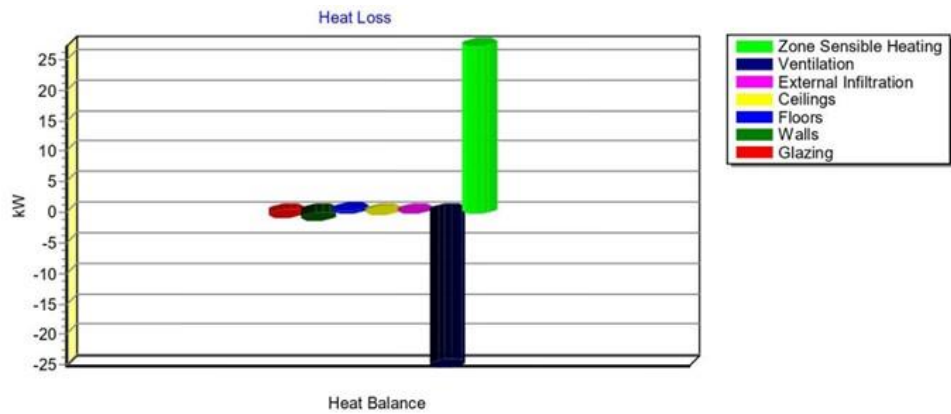
Εικόνα A15: Ραβδόγραμμα θερμοκρασιών για την θέρμανση στον α' όροφο



Εικόνα Α16: Ραβδόγραμμα θερμικών απωλειών για την θέρμανση στον α' όροφο



Εικόνα Α17: Ραβδόγραμμα θερμοκρασιών για την θέρμανση στον β' όροφο



Εικόνα Α18: Ραβδόγραμμα θερμικών απωλειών για την θέρμανση στον β' όροφο

Πίνακας Α1: Αποτελέσματα θέρμανσης με σενάριο VRF

Steady State						
Comfort						
Zone	Air temperature (°C)	Radiant temperature (°C)	Operative temperature (°C)	Outside dry bulb temperature (°C)	Relative humidity (%)	Mech vent + nat vent + Infiltration (ac/h)
upogelo	17.905	17.89760	17.90131	-1.20000	26.9692733	0.00000
isogelo	21.000	17.18524	19.09262	-1.20000	22.2459834	4.28571
a orofos	20.000	17.34441	18.67220	-1.20000	23.6619263	4.27198
b orofos	20.000	16.72241	18.36120	-1.20000	23.6619265	4.27199
Heat loss						
Zone	Glazing (kW)	Walls (kW)	Floors (kW)	Ceilings (kW)	External Infiltration (kW)	Ventilation (kW)
0						
upogelo	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000		-0.0000000
isogelo	-2.7440949	-1.2672269	-0.1359758	-0.0020769		-29.4591805
a orofos	-0.3041067	-1.1798689	0.0617262	-0.1078971		-11.5418570
b orofos	-0.8132063	-1.1798056	0.1552105	-0.1556608		-25.1997377
Building total	-3.8614080	-3.6269014	0.0809610	-0.2656348	0.0000000	-66.2007751
Summary	Comfort temperature (°C)	Steady state heat loss (kW)	Design capacity (kW)	Design capacity (W/m²)		
	18.506833	74.7431086	93.4288858	98.3669044		

Πίνακας Α2: Αποτελέσματα ψύξης με σενάριο VRF part 1/3

Time	Air temperature (°C)	Radiant temperature (°C)	Operative temperature (°C)	Outside dry bulb temperature (°C)	Relative humidity (%)	Mech vent + nat vent + Infiltration (ac/h)
00:30	28.98198	28.81662	28.89930	23.58000	43.3303411	0.00000
01:00	28.96220	28.79779	28.88000	23.18400	43.3811897	0.00000
01:30	28.93886	28.78052	28.85969	22.92000	43.4409852	0.00000
02:00	28.91825	28.76345	28.84085	22.65600	43.4938071	0.00000
02:30	28.90002	28.74773	28.82388	22.45800	43.5403513	0.00000
03:00	28.88278	28.73234	28.80756	22.26000	43.5842644	0.00000
03:30	28.86580	28.71705	28.79142	22.06200	43.6275452	0.00000
04:00	28.84884	28.70174	28.77529	21.86400	43.6708200	0.00000
04:30	28.83255	28.68733	28.75994	21.73200	43.7123537	0.00000
05:00	28.81699	28.67299	28.74499	21.60000	43.7519827	0.00000
05:30	26.30820	28.66268	27.48544	21.73200	48.4674771	0.00000
06:00	26.39102	28.46558	27.42830	21.86400	46.6200216	0.00000
06:30	26.54233	28.37780	27.46006	22.32600	45.8774565	0.00000
07:00	26.54865	28.34018	27.44441	22.78800	45.2935290	0.00000
07:30	26.54978	28.50138	27.52558	23.91000	47.5267782	0.00000
08:00	26.55089	28.56450	27.55769	25.03200	49.4289510	0.00000
08:30	26.55186	28.60638	27.57912	26.28600	49.9832955	0.00000
09:00	26.55269	28.63903	27.59586	27.54000	49.8684660	0.00000
09:30	26.55338	28.66512	27.60925	28.66200	49.7288053	0.00000
10:00	26.55394	28.68899	27.62146	29.78400	49.7122648	0.00000
10:30	26.55440	28.70988	27.63214	30.77400	49.7427957	0.00000
11:00	26.55476	28.73039	27.64257	31.76400	49.7602196	0.00000
11:30	26.55505	28.74571	27.65038	32.42400	49.7601121	0.00000
12:00	26.55527	28.76074	27.65801	33.08400	49.7556868	0.00000
12:30	26.55543	28.77384	27.66463	33.61200	49.7536387	0.00000
13:00	26.55555	28.78702	27.67128	34.14000	49.7536056	0.00000
13:30	26.55563	28.79735	27.67649	34.47000	49.7538846	0.00000
14:00	26.55569	28.80769	27.68169	34.80000	49.7538849	0.00000
14:30	26.55573	28.81293	27.68433	34.80000	49.7537328	0.00000
15:00	26.55576	28.81767	27.68671	34.80000	49.7536126	0.00000
15:30	26.55577	28.81589	27.68583	34.40400	49.7535589	0.00000
16:00	26.55579	28.81323	27.68451	34.00800	49.7535363	0.00000
16:30	26.55580	28.80794	27.68187	33.48000	49.7534981	0.00000
17:00	26.55582	28.80200	27.67891	32.95200	49.7534601	0.00000
17:30	29.70978	28.78006	29.24492	32.29200	41.4903384	0.00000
18:00	30.31976	29.07594	29.69785	31.63200	40.2050101	0.00000
18:30	30.28280	29.19060	29.73670	30.64200	40.4167140	0.00000
19:00	30.04556	29.23552	29.64054	29.65200	40.9224693	0.00000
19:30	29.75150	29.25575	29.50362	28.92600	41.5911950	0.00000
20:00	29.43620	29.26104	29.34862	28.20000	42.3098044	0.00000
20:30	29.12583	29.25818	29.19201	27.60600	43.0360137	0.00000
21:00	28.85497	29.24750	29.05124	27.01200	43.6793472	0.00000
21:30	28.59391	29.23178	28.91284	26.41800	44.3137225	0.00000
22:00	28.32864	29.20993	28.76928	25.82400	44.9754169	0.00000
22:30	28.68131	29.00405	28.84268	25.36200	44.0627741	0.00000
23:00	28.85016	28.95002	28.90009	24.90000	43.6430235	0.00000
23:30	28.96845	28.91740	28.94292	24.43800	43.3544057	0.00000
24:00	29.02966	28.88895	28.95930	23.97600	43.2069891	0.00000

Πίνακας Α3: Αποτελέσματα ψύξης με σενάριο VRF part 2/3

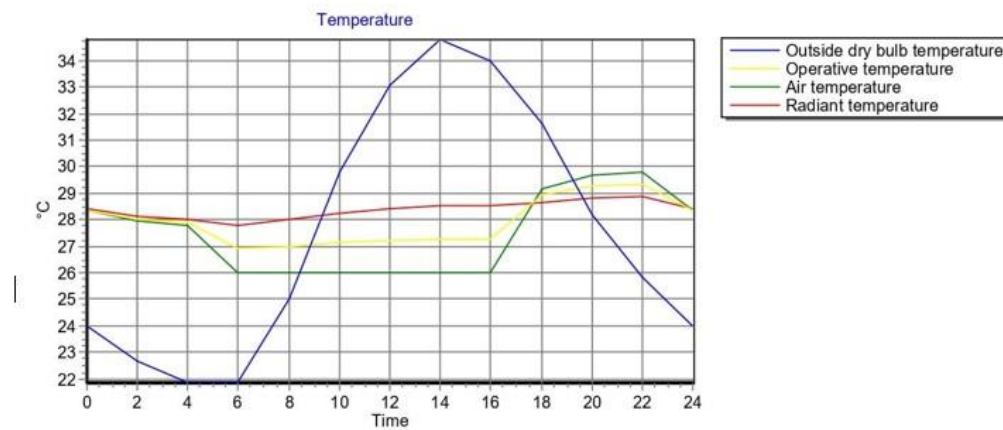
Time	Glazing (kW)	Walls (kW)	Floors (kW)	Ceilings (kW)	External Infiltration (kW)	Ventilation (kW)
00:30	-1.3605441	-0.0248010	0.5084281	0.5038799	0.0000000	0.0000000
01:00	-1.4281869	-0.0249755	0.5206354	0.5137882	0.0000000	0.0000000
01:30	-1.4691143	-0.0083046	0.5522050	0.5265312	0.0000000	0.0000000
02:00	-1.5107671	0.0095141	0.5884125	0.5365951	0.0000000	0.0000000
02:30	-1.5407443	0.0205193	0.6155577	0.5428745	0.0000000	0.0000000
03:00	-1.5715236	0.0303822	0.6411829	0.5484022	0.0000000	0.0000000
03:30	-1.6026998	0.0390851	0.6661759	0.5539099	0.0000000	0.0000000
04:00	-1.6340734	0.0470580	0.6917663	0.5594182	0.0000000	0.0000000
04:30	-1.6532640	0.0517892	0.7135698	0.5635660	0.0000000	0.0000000
05:00	-1.6728388	0.0551977	0.7344625	0.5673126	0.0000000	0.0000000
05:30	-1.6434524	0.0471339	0.7366074	0.5655916	0.0000000	0.0000000
06:00	-1.4887937	2.6401220	3.8001874	1.3691904	0.0000000	0.0000000
06:30	-1.3580559	2.3408844	3.6733991	1.2856108	0.0000000	0.0000000
07:00	-1.2677321	1.8854433	3.3097660	1.2542715	0.0000000	0.0000000
07:30	-0.9300201	-0.8717985	0.2123688	0.3883627	0.0000000	0.0000000
08:00	-0.7577027	-0.6644903	0.0990093	0.3879520	0.0000000	0.0000000
08:30	-0.5469738	-0.6195517	0.0013386	0.3664523	0.0000000	0.8870761
09:00	-0.3331907	-0.6301039	-0.0864812	0.3387550	0.0000000	4.7774241
09:30	-0.1337377	-0.6579698	-0.1591825	0.3120642	0.0000000	8.2576230
10:00	0.0722608	-0.6958035	-0.2302547	0.2848284	0.0000000	11.7372899
10:30	0.2566564	-0.7315113	-0.2917439	0.2603711	0.0000000	14.8079671
11:00	0.4449686	-0.7675072	-0.3540119	0.2360525	0.0000000	17.8790177
11:30	0.5691880	-0.7878081	-0.3928973	0.2190225	0.0000000	19.9264144
12:00	0.6967650	-0.8060015	-0.4327912	0.2021887	0.0000000	21.9736568
12:30	0.7985054	-0.8157924	-0.4643122	0.1882320	0.0000000	23.6114002
13:00	0.9019440	-0.8220845	-0.4960087	0.1745101	0.0000000	25.2491646
13:30	0.9648883	-0.8180197	-0.5155813	0.1647248	0.0000000	26.2727827
14:00	1.0295975	-0.8114664	-0.5358831	0.1549981	0.0000000	27.2964043
14:30	1.0259298	-0.7889169	-0.5329409	0.1522803	0.0000000	27.2964063
15:00	1.0243591	-0.7647171	-0.5302847	0.1497364	0.0000000	27.2964057
15:30	0.9406955	-0.7227230	-0.4996264	0.1555947	0.0000000	26.0680667
16:00	0.8604140	-0.6803164	-0.4696408	0.1615324	0.0000000	24.8397284
16:30	0.7537269	-0.6324051	-0.4315400	0.1701015	0.0000000	23.2019443
17:00	0.6488609	-0.5849762	-0.3947160	0.1785540	0.0000000	21.5641599
17:30	0.5022711	-0.3254005	-0.1059599	0.2379349	0.0000000	0.1079973
18:00	0.1302441	-4.8008604	-4.8757288	-1.3622364	0.0000000	0.0350291
18:30	-0.1036763	-4.2034224	-4.7990723	-1.2103396	0.0000000	0.0000000
19:00	-0.2855388	-3.5750028	-4.3601925	-0.9373483	0.0000000	0.0000000
19:30	-0.4031574	-3.1395151	-3.9493308	-0.7477562	0.0000000	0.0000000
20:00	-0.5191349	-2.8115458	-3.5944794	-0.6046347	0.0000000	0.0000000
20:30	-0.6046008	-2.5399226	-3.2888832	-0.4898558	0.0000000	0.0000000
21:00	-0.6898131	-2.2956382	-2.8917183	-0.3819005	0.0000000	0.0000000
21:30	-0.7781076	-2.0592447	-2.4837865	-0.2945314	0.0000000	0.0000000
22:00	-0.8648003	-1.8105416	-2.0649024	-0.1959159	0.0000000	0.0000000
22:30	-1.0571909	1.0643217	1.2727654	0.7279386	0.0000000	0.0000000
23:00	-1.1432757	0.2483442	0.6393739	0.5440199	0.0000000	0.0000000
23:30	-1.2234320	0.0658035	0.5499051	0.4913637	0.0000000	0.0000000
24:00	-1.3002252	0.0493849	0.5696385	0.5044769	0.0000000	0.0000000

Πίνακας Α4: Αποτελέσματα ψύξης με σενάριο VRF part 3/3

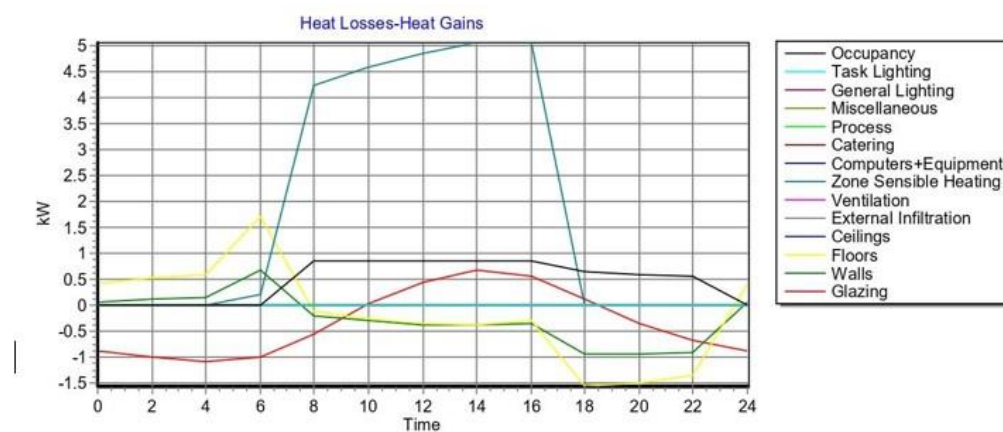
Time	Zone sensible cooling (kW)	Sensible cooling (kW)	Total cooling (kW)	Computers+Equipme (kW)	Catering (kW)	Process (kW)
00:30	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
01:00	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
01:30	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
02:00	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
02:30	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
03:00	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
03:30	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
04:00	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
04:30	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
05:00	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
05:30	8.6506250	9.8157415	12.7271671	0.000000	0.000000	0.000000
06:00	1.4289893	1.4289893	1.6983034	0.000000	0.000000	0.000000
06:30	9.1605266	9.0968564	10.8788929	0.000000	0.000000	0.000000
07:00	8.6313545	8.6305533	10.0154553	0.000000	0.000000	0.000000
07:30	13.0260896	6.5710294	6.5710294	0.000000	0.000000	0.000000
08:00	13.4695150	10.4789983	10.4789983	0.000000	0.000000	0.000000
08:30	13.663443	14.5480996	14.5480996	0.000000	0.000000	0.000000
09:00	13.8035731	18.5728006	18.5728006	0.000000	0.000000	0.000000
09:30	13.9257515	22.1748526	22.1748526	0.000000	0.000000	0.000000
10:00	14.0425737	25.7717601	25.7717601	0.000000	0.000000	0.000000
10:30	14.1495280	28.9486259	28.9486259	0.000000	0.000000	0.000000
11:00	14.2565838	32.1252543	32.1252543	0.000000	0.000000	0.000000
11:30	14.3405155	34.2555807	34.2555807	0.000000	0.000000	0.000000
12:00	14.4225297	36.3841189	36.3841189	0.000000	0.000000	0.000000
12:30	14.4947758	38.0936148	38.0936148	0.000000	0.000000	0.000000
13:00	14.5668111	39.8028830	39.8028830	0.000000	0.000000	0.000000
13:30	14.6297996	40.8833085	40.8833085	0.000000	0.000000	0.000000
14:00	14.6801110	41.9626965	41.9626965	0.000000	0.000000	0.000000
14:30	14.7093621	41.9919369	41.9919369	0.000000	0.000000	0.000000
15:00	14.7347290	42.0172958	42.0172958	0.000000	0.000000	0.000000
15:30	14.7260650	40.7807013	40.7807013	0.000000	0.000000	0.000000
16:00	14.7114274	39.5381349	39.5381349	0.000000	0.000000	0.000000
16:30	14.6830712	37.8725424	37.8725424	0.000000	0.000000	0.000000
17:00	14.6511141	36.2033512	36.2033512	0.000000	0.000000	0.000000
17:30	0.2245348	0.3254957	0.3254957	0.000000	0.000000	0.000000
18:00	0.6728003	0.4325058	0.4325058	0.000000	0.000000	0.000000
18:30	1.4782362	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
19:00	2.8606861	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
19:30	3.7975817	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
20:00	4.6635453	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
20:30	5.1319332	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
21:00	5.8157763	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
21:30	6.5774287	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
22:00	7.3241374	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
22:30	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
23:00	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
23:30	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
24:00	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

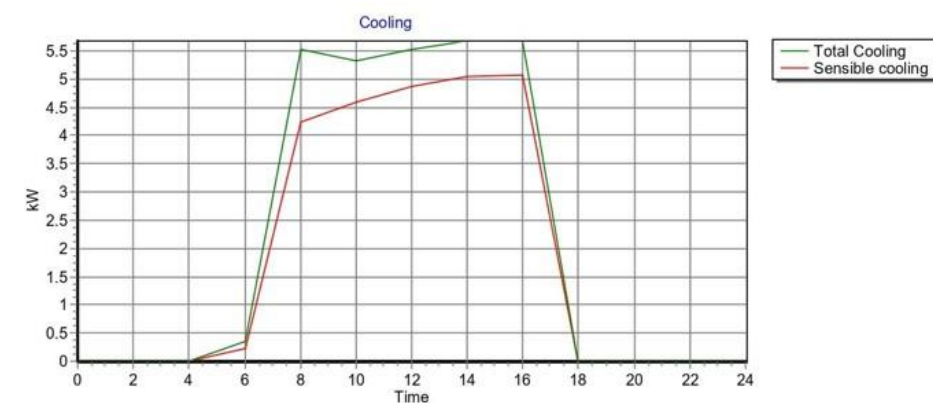
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΥ (ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ)



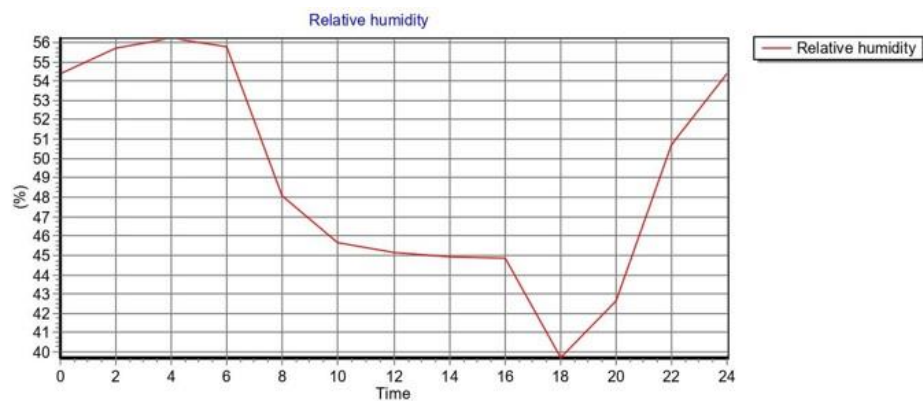
Εικόνα Β1: Διάγραμμα θερμοκρασίας-χρόνου στην ψύξη για το ισόγειο



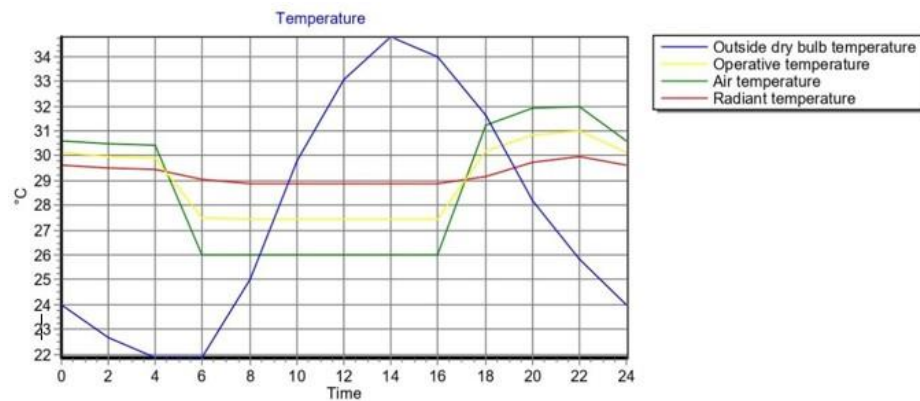
Εικόνα Β2: Διάγραμμα θερμικών απωλειών και κερδών-χρόνου στην ψύξη για το ισόγειο



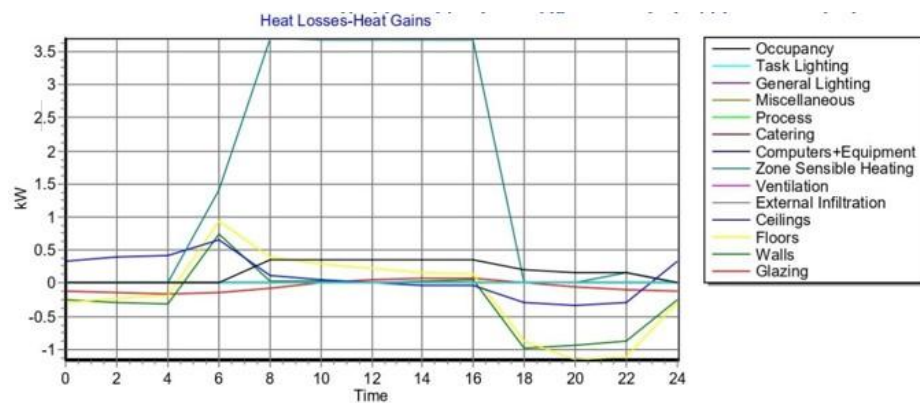
Εικόνα Β3: Διάγραμμα καταναλώσεων ψύξης-χρόνου με αντλία θερμότητας για το ισόγειο



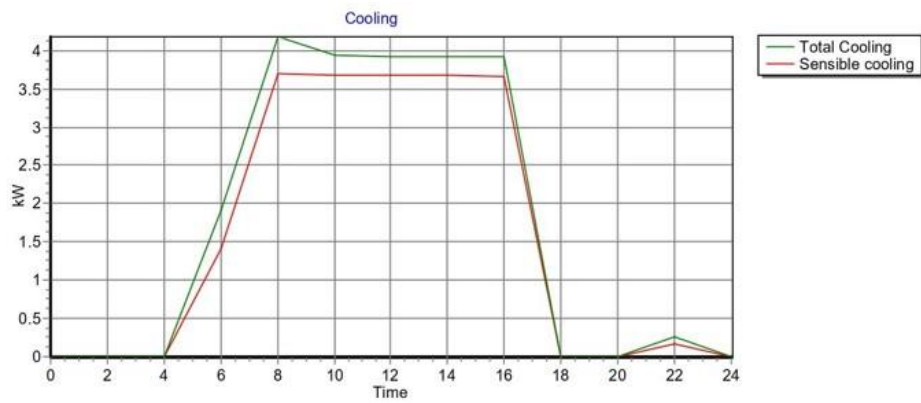
Εικόνα B4: Διάγραμμα σχετικής υγρασίας-χρόνου στην ψύξη με αντλία θερμότητας για το ισόγειο



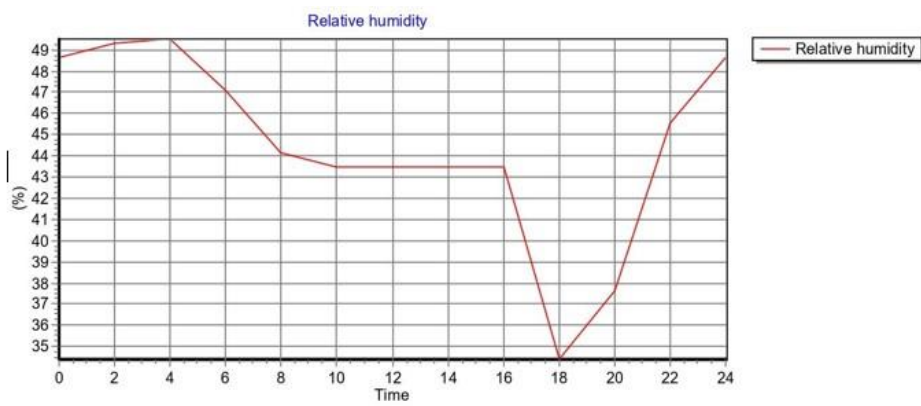
Εικόνα B5: Διάγραμμα θερμοκρασίας-χρόνου στην ψύξη για τον α' όροφο



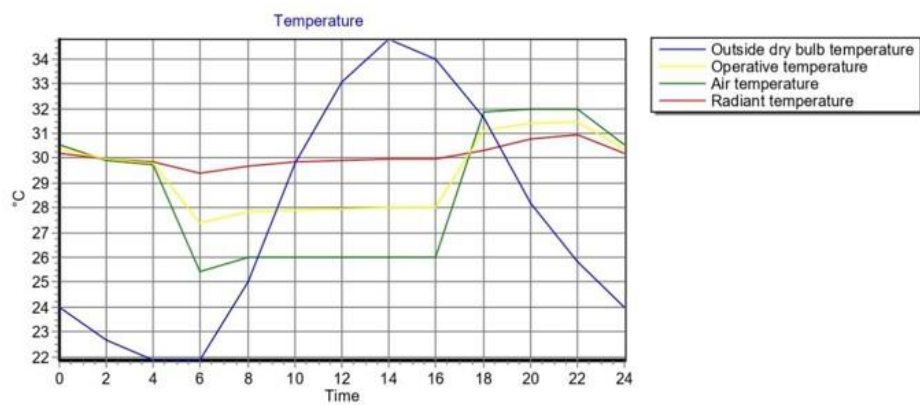
Εικόνα B6: Διάγραμμα θερμικών απωλειών και κερδών-χρόνου στην ψύξη για τον α' όροφο



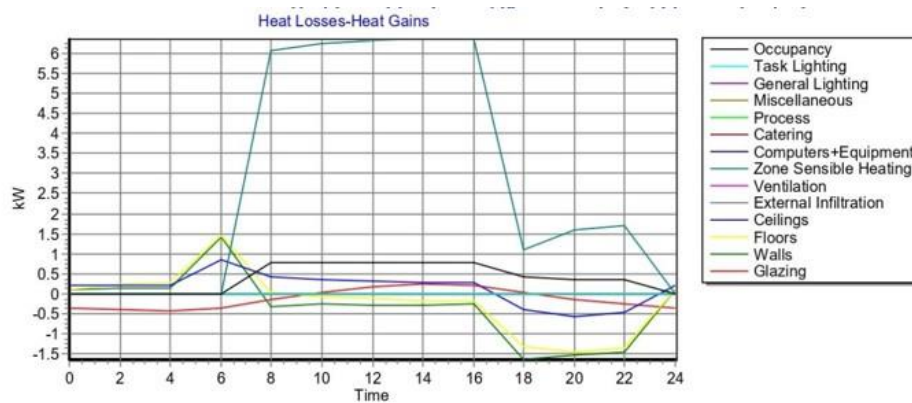
Εικόνα B7: Διάγραμμα ψύξης-χρόνου με αντλία θερμότητας για τον α' όροφο



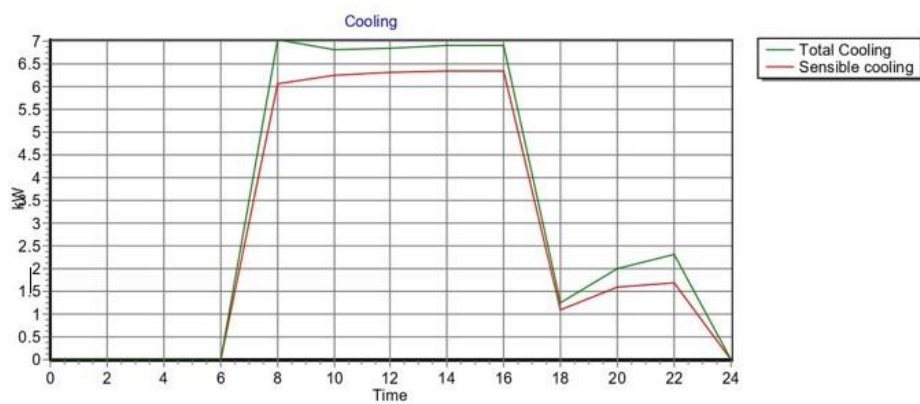
Εικόνα B8: Διάγραμμα σχετικής υγρασίας-χρόνου στην ψύξη με αντλία θερμότητας για τον α' όροφο



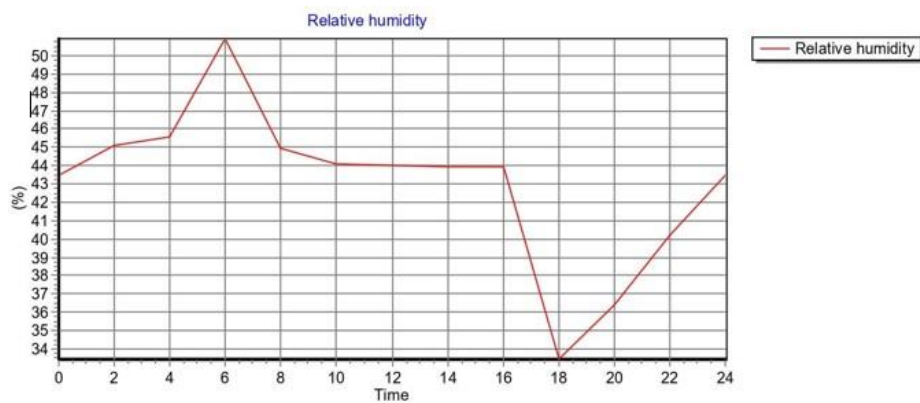
Εικόνα B9: Διάγραμμα θερμοκρασίας-χρόνου στην ψύξη για τον β' όροφο



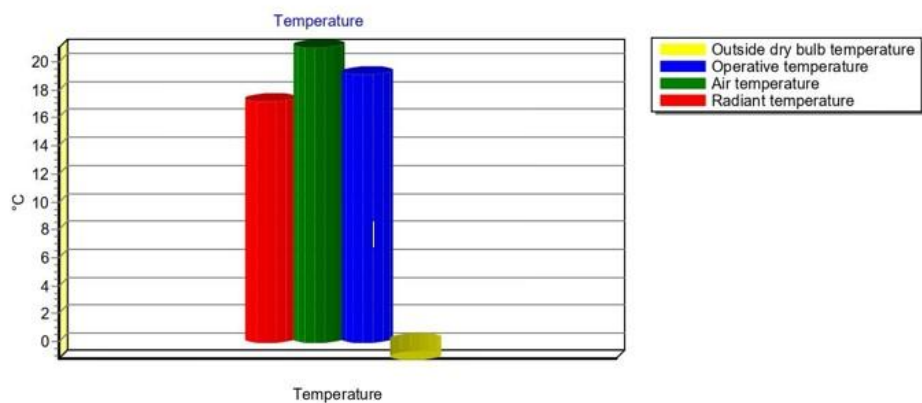
Εικόνα B10: Διάγραμμα θερμικών απωλειών και κερδών-χρόνου στην ψύξη για τον β' όροφο



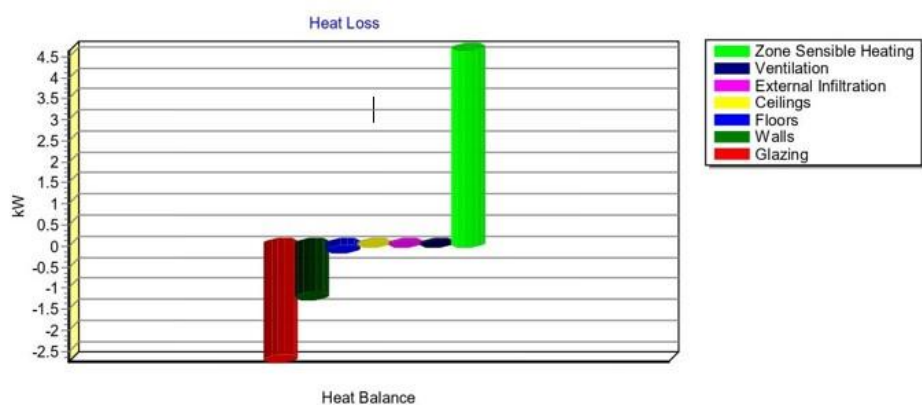
Εικόνα B11: Διάγραμμα ψύξης-χρόνου με αντλία θερμότητας για τον α' όροφο



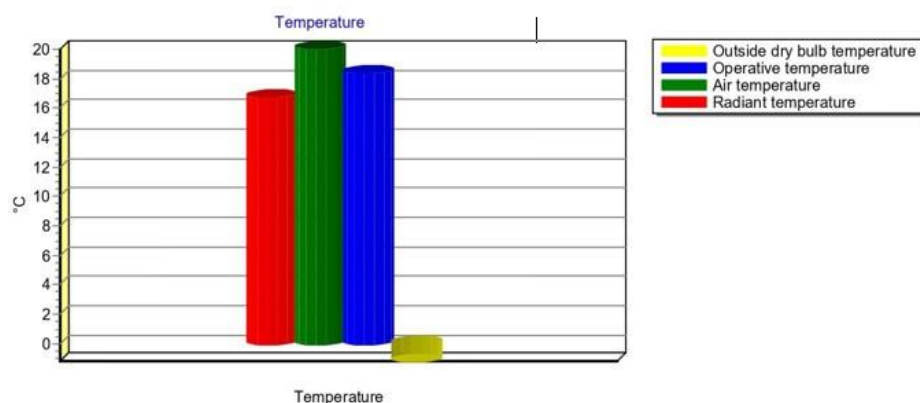
Εικόνα B12: Διάγραμμα σχετικής υγρασίας-χρόνου στην ψύξη με αντλία θερμότητας για τον α' όροφο



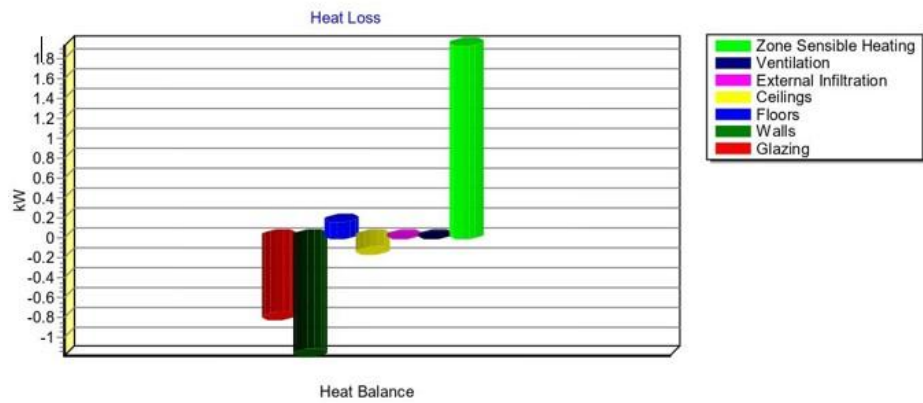
Εικόνα B13: Ραβδόγραμμα θερμοκρασιών για την θέρμανση στο ισόγειο



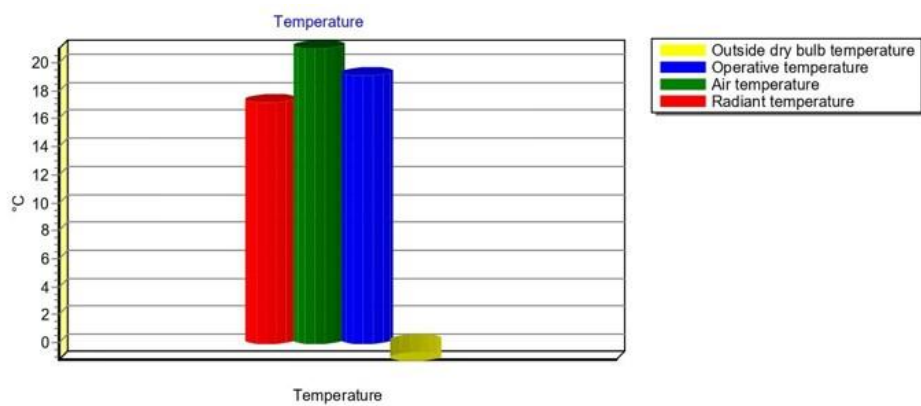
Εικόνα B14: Ραβδόγραμμα θερμικών απωλειών για την θέρμανση στο ισόγειο



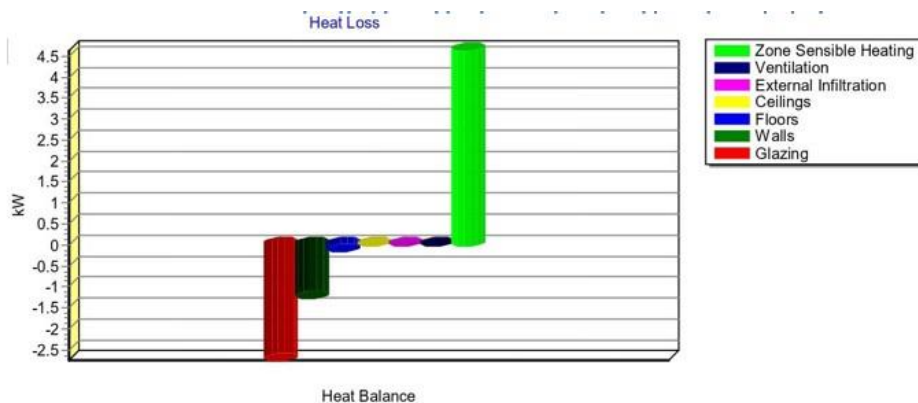
Εικόνα B15: Ραβδόγραμμα θερμοκρασιών για την θέρμανση στον α' όροφο



Εικόνα B16: Ραβδόγραμμα θερμικών απωλειών για την θέρμανση στον α' όροφο



Εικόνα B17: Ραβδόγραμμα θερμοκρασιών για την θέρμανση στον β' όροφο



Εικόνα Β18: Ραβδόγραμμα θερμικών απωλειών για την θέρμανση στον β' όροφο

Πίνακας Β1: Αποτελέσματα θέρμανσης σενάριο αντλίας θερμότητας

Steady State						
Comfort						
Zone	Air temperature (°C)	Radiant temperature (°C)	Operative temperature (°C)	Outside dry bulb temperature (°C)	Relative humidity (%)	Mech vent + nat vent + Infiltration (ac/h)
upogelo	17.907	17.89918	17.90292	-1.20000	26.9664816	0.00000
isogelo	21.000	17.18590	19.09295	-1.20000	22.2459835	0.00000
a orofos	20.000	17.34488	18.67244	-1.20000	23.6619258	0.00000
b orofos	20.000	16.72315	18.36158	-1.20000	23.6619263	0.00000
Heat loss						
Zone	Glazing (kW)	Walls (kW)	Floors (kW)	Ceilings (kW)	External Infiltration (kW)	Ventilation (kW)
upogelo	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000		-0.0000000
isogelo	-2.7441511	-1.2670038	-0.1353098	-0.0021010		-0.0000000
a orofos	-0.3041112	-1.1796459	0.0618157	-0.1078507		-0.0000000
b orofos	-0.8132256	-1.1793133	0.1552719	-0.1555269		-0.0000000
Building total	-3.8614879	-3.6259630	0.0817778	-0.2654786	0.0000000	0.0000000
Summary						
	Comfort temperature (°C)	Steady state heat loss (kW)	Design capacity (kW)	Design capacity (W/m²)		
	18.507472	8.5404473	10.6755592	11.2397970		

Πίνακας Β2: Αποτελέσματα ψύξης σενάριο αντλίας θερμότητας

Time	Air temperature (°C)	Radiant temperature (°C)	Operative temperature (°C)	Outside dry bulb temperature (°C)	Relative humidity (%)	Mech vent + nat vent + Infiltration (ac/h)
00:30	29.28834	29.04067	29.16451	23.58000	48.2100791	0.00000
01:00	29.22130	29.00872	29.11501	23.18400	48.4059612	0.00000
01:30	29.16728	28.98243	29.07485	22.92000	48.5601178	0.00000
02:00	29.12645	28.95875	29.04260	22.65600	48.6761689	0.00000
02:30	29.09610	28.93810	29.01710	22.45800	48.7632200	0.00000
03:00	29.07188	28.91910	28.99549	22.26000	48.8335681	0.00000
03:30	29.05062	28.90116	28.97589	22.06200	48.8959569	0.00000
04:00	29.03074	28.88388	28.95731	21.86400	48.9546303	0.00000
04:30	29.01229	28.86792	28.94011	21.73200	49.0091779	0.00000
05:00	28.99504	28.85234	28.92369	21.60000	49.0602050	0.00000
05:30	26.31263	28.84099	27.57681	21.73200	53.1543316	0.00000
06:00	26.40467	28.62485	27.51476	21.86400	49.5825727	0.00000
06:30	26.54881	28.52918	27.53899	22.32600	48.5845539	0.00000
07:00	26.55569	28.48599	27.52084	22.78800	47.5512155	0.00000
07:30	26.55712	28.64271	27.59991	23.91000	46.3474358	0.00000
08:00	26.55849	28.70216	27.63032	25.03200	45.4159326	0.00000
08:30	26.55972	28.74085	27.65029	26.28600	44.8752302	0.00000
09:00	26.56079	28.77066	27.66573	27.54000	44.6127629	0.00000
09:30	26.56171	28.79416	27.67793	28.66200	44.4861001	0.00000
10:00	26.56249	28.81560	27.68904	29.78400	44.4098733	0.00000
10:30	26.56315	28.83420	27.69868	30.77400	44.3523633	0.00000
11:00	26.56371	28.85252	27.70812	31.76400	44.3064885	0.00000
11:30	26.56419	28.86574	27.71496	32.42400	44.2716061	0.00000
12:00	26.56458	28.87874	27.72166	33.08400	44.2458270	0.00000
12:30	26.56491	28.88984	27.72738	33.61200	44.2265297	0.00000
13:00	26.56518	28.90114	27.73316	34.14000	44.2112131	0.00000
13:30	26.56541	28.90962	27.73752	34.47000	44.1986976	0.00000
14:00	26.56560	28.91816	27.74188	34.80000	44.1881806	0.00000
14:30	26.56576	28.92163	27.74370	34.80000	44.1799470	0.00000
15:00	26.56591	28.92466	27.74528	34.80000	44.1738280	0.00000
15:30	26.56603	28.92121	27.74362	34.40400	44.1703741	0.00000
16:00	26.56615	28.91691	27.74153	34.00800	44.1694030	0.00000
16:30	26.56627	28.91003	27.73815	33.48000	44.1706032	0.00000
17:00	26.56638	28.90254	27.73446	32.95200	44.1734288	0.00000
17:30	28.59925	28.87909	28.73917	32.29200	39.9823986	0.00000
18:00	30.14845	29.10614	29.62729	31.63200	37.9845818	0.00000
18:30	30.14699	29.24269	29.69484	30.64200	38.5683481	0.00000
19:00	30.23901	29.30885	29.77393	29.65200	39.3586335	0.00000
19:30	30.38266	29.35526	29.86896	28.92600	39.5588145	0.00000
20:00	30.48151	29.40571	29.94361	28.20000	40.2612075	0.00000
20:30	30.51649	29.44521	29.98085	27.60600	41.4089630	0.00000
21:00	30.51812	29.47871	29.99842	27.01200	42.7229819	0.00000
21:30	30.51405	29.50586	30.00995	26.41800	44.0115238	0.00000
22:00	30.51180	29.52889	30.02035	25.82400	45.2114863	0.00000
22:30	30.09780	29.37312	29.73546	25.36200	46.1166404	0.00000
23:00	29.91946	29.26336	29.59141	24.90000	46.4673795	0.00000
23:30	29.59635	29.20301	29.39968	24.43800	47.2716447	0.00000
24:00	29.44200	29.14869	29.29534	23.97600	47.7041207	0.00000