



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Ενεργειακή ανάλυση κτιρίου υγείας με χρήση λογισμικού με
σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας**

Διπλωματική Εργασία

Αλέξανδρος Μπισταράκης

Επιβλέπων: Δημήτριος Μπαργιώτας

Ιούλιος 2025



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

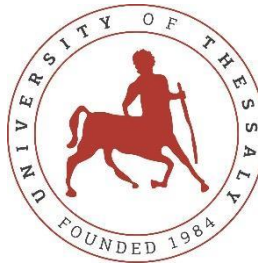
**Ενεργειακή ανάλυση κτιρίου υγείας με χρήση λογισμικού με
σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας**

Διπλωματική Εργασία

Αλέξανδρος Μπισταράκης

Επιβλέπων: Δημήτριος Μπαργιώτας

Ιούλιος 2025



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

**Software based energy analysis of a healthcare building for
the purpose of energy saving**

Diploma Thesis

Alexandros Bistarakis

Supervisor: Dimitrios Bargiotas

July 2025

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων **Δημήτριος Μπαργιώτας**

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος **Ελευθέριος Τσουκαλάς**

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος **Γεώργιος Σταμούλης**

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

Αλέξανδρος Μπισταράκης

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

Alexandros Bistarakis

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας δεν θα ήταν εφικτή χωρίς τη στήριξη και τη συμβολή ορισμένων ανθρώπων, στους οποίους οφείλω ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη. Πρώτα απ' όλα, αισθάνομαι την ανάγκη να αναγνωρίσω τη σημαντική συμβολή των επιβλεπόντων καθηγητών μου, κ. Δημήτριο Μπαργιώτα και τον κ. Δημήτριο Ζημέρη, για την καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας. Οι παρατηρήσεις και οι διορθώσεις τους συνέβαλαν ουσιαστικά στη διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω την εκτίμησή μου στα μέλη της Επιτροπής Εξέτασης, κ. Ελευθέριο Τσουκαλά και κ. Γεώργιο Σταμούλη, για την αξιολόγηση, τις εύστοχες παρατηρήσεις και το ενδιαφέρον τους για το αντικείμενο της εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω μου στην οικογένειά μου, για τη συνεχή στήριξη και κατανόηση που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια. Η παρουσία τους αποτέλεσε για εμένα στήριγμα και σταθερό σημείο αναφοράς.

Η εργασία αυτή είναι το επιστέγασμα μιας μακράς και σημαντικής διαδρομής. Τους ευχαριστώ όλους που ήταν παρόντες σε αυτή.

Ενεργειακή ανάλυση κτιρίου υγείας με χρήση λογισμικού με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας

Αλέξανδρος Μπισταράκης

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την ενεργειακή προσομοίωση και αξιολόγηση μιας υπό κατασκευή ψυχιατρικής κλινικής στη Λάρισα, με τη χρήση του λογισμικού FineGreen, βάσει του ΚΕΝΑΚ και της ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017. Η μελέτη περιλαμβάνει την ανάλυση των κατόψεων, τον καθορισμό θερμικών ζωνών, την εισαγωγή δομικών στοιχείων και Η/Μ συστημάτων, με στόχο τη βέλτιστη ενεργειακή απόδοση.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι, με κατάλληλη επιλογή υλικών, τεχνολογιών και ΑΠΕ, το κτίριο μπορεί να καταταχθεί στην ενεργειακή κατηγορία Α, καλύπτοντας τις απαιτήσεις σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (nZEB). Η εργασία αποτελεί πρότυπο ενεργειακού σχεδιασμού για δομές Υγείας και Πρόνοιας με αυξημένες λειτουργικές απαιτήσεις.

Λέξεις-κλειδιά:

Ενεργειακή προσομοίωση, ψυχιατρική κλινική, λογισμικό FineGreen, Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ), ενεργειακή απόδοση, θερμικές ζώνες, θερμογέφυρες, θερμομόνωση, Η/Μ συστήματα, φωτοβολταϊκά, εκπομπές CO₂, σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης κτίριο (nZEB).

Software based energy analysis of a healthcare building for the purpose of energy saving

Alexandros Bistarakis

Abstract

This thesis presents the energy simulation and assessment of a newly designed psychiatric clinic in Larissa, using the FineGreen software in accordance with KENAK and TOTE 20701-1/2017. The study includes floor plan analysis, thermal zoning, and the definition of building elements and electromechanical systems aimed at achieving optimal energy performance.

Results indicate that, through appropriate material choices, system selection, and integration of RES, the building can be classified in Energy Class A, meeting the standards of nearly zero energy buildings (nZEB). The study serves as a model of energy design for Healthcare and Welfare facilities with demanding operational needs.

Keywords:

Energy simulation, psychiatric clinic, FineGreen software, Building Energy Performance Regulation (KENAK), thermal zones, thermal bridges, insulation, HVAC systems, photovoltaics, renewable energy sources, CO₂ emissions, nearly zero energy building (nZEB).

Πίνακας περιεχομένων

<i>Ευχαριστίες</i>	<i>vii</i>
<i>Περίληψη</i>	<i>viii</i>
<i>Abstract</i>	<i>ix</i>
<i>Πίνακας περιεχομένων</i>	<i>x</i>
<i>Κατάλογος εικόνων</i>	<i>xiii</i>
<i>Κατάλογος πινάκων</i>	<i>xv</i>
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	1
1.1 Στόχοι και Σκοπός της Μελέτης.....	1
1.2 Μεθοδολογία.....	1
1.3 Δομή της εργασίας	2
Κεφάλαιο 2 Θεωρητικό Υπόβαθρο	3
2.1 Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων και θεσμικό πλαίσιο.....	3
2.2 Ενεργειακή Επιθεώρηση και Κτιριακή Προσομοίωση	5
2.3 Ενεργειακές Ιδιαιτερότητες Κτιρίων Υγείας.....	6
2.4 Θερμικές Απώλειες και Θερμογέφυρες.....	7
2.5 Ηλεκτρομηχανολογικά Συστήματα Θέρμανσης, Ψύξης και Αερισμού	7
2.5.1 Αντλίες Θερμότητας (Θέρμανση/Ψύξη):.....	8
2.5.2 Λέβητες Συμπύκνωσης (Θέρμανση):.....	8
2.5.3 Συστήματα Μεταβλητής Ροής Ψυκτικού (VRV/VRF):.....	9
2.5.4 Κεντρικές Μονάδες Ψύξης/Κλιματισμού:	9
2.5.5 Συστήματα Αερισμού και Ανάκτησης Θερμότητας:	10
2.6 Ανάλυση Τερματικών Μονάδων	11
Κεφάλαιο 3 Παρουσίαση του κτιρίου Υγείας και Πρόνοιας	17
3.1 Τοποθεσία και κλιματική ταξινόμηση	17

3.2	Χρήση και λειτουργία κτιρίου	17
3.3	Αρχιτεκτονική Δομή και Κατανομή χρήσεων	18
3.4	Τεχνικά και Λειτουργικά Χαρακτηριστικά Ψυχιατρικής Κλινικής	19
3.5	Ενεργειακή Στοχοθέτηση	20
Κεφάλαιο 4 Περιγραφή και Χρήση του FineGreen		22
4.1	Εισαγωγή στο FineGreen	22
4.2	Βήματα προσομοίωσης	25
4.2.1	Ορισμός γεωμετρίας και κατασκευαστικών στοιχείων	25
4.2.2	Καθορισμός ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων	27
4.2.3	Σενάρια χρήσης, ωράρια λειτουργίας και εσωτερικά φορτία	29
Κεφάλαιο 5 Ενεργειακή Επιθεώρηση και Προσομοίωση Κτιρίου Υγείας και Πρόνοιας.....		32
5.1	Συλλογή και Ανάλυση Δεδομένων	32
5.2	Επιλογή Συστημάτων Θέρμανσης, Ψύξης και Αερισμού	33
5.3	Μοντελοποίηση Κτιρίου στο FineGreen	34
5.3.1	Εισαγωγή γεωμετρίας από αρχείο DWG	35
5.3.2	Επεξήγηση Λειτουργιών του FineGreen	35
5.3.3	Ορισμός Κτιρίου και Εισαγωγή Κατόψεων	36
5.3.4	Σχεδιασμός Κελύφους Κτιρίου	37
5.3.5	Διαμόρφωση Θερμικών Ζωνών	41
5.4	Ανάλυση Θερμικών Απωλειών-Ενεργειακών Φορτίων	47
5.5	Ενεργειακή Προσομοίωση και Εναλλακτικά Σενάρια HVAC	52
5.5.1	Περιγραφή Εναλλακτικών Σεναρίων	52
5.5.2	Αποτελέσματα Ενεργειακής Προσομοίωσης	59
Κεφάλαιο 6 Ενεργειακή Αναβάθμιση και Αποτίμηση		61
6.1	Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού Συστήματος 33 kW	61
6.2	Τοποθέτηση Εξωτερικών Σκιάστρων	62
6.3	Εγκατάσταση Αυτοματισμών και Έξυπνων Συστημάτων Ελέγχου	62
6.4	Αναβάθμιση Συστήματος Φωτισμού με Αισθητήρες.....	63
6.5	Αποτίμηση	63

Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα και Προοπτικές	64
7.1 Πρωτοτυπία και Συμβολή της Έρευνας.....	64
7.2 Γενικά Συμπεράσματα	64
7.3 Δυσκολίες και Περιορισμοί.....	65
7.4 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	65
Βιβλιογραφία.....	67
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	69
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	69
.....	69
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	80
ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	80

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης	4
Εικόνα 2: Το περιβάλλον εργασίας του FineGreen κατά τη δημιουργία του BIM μοντέλου	26
Εικόνα 3: Παράδειγμα αποτελεσμάτων προσομοίωσης στο FineGreen.....	31
Εικόνα 4: Δημιουργία Νεας Μελέτης.....	35
Εικόνα 5: Μενού FINEGREEN	36
Εικόνα 6: Εισαγωγή επιπέδων.....	37
Εικόνα 7: Επίπεδα κτιρίου Υγείας κ Προνοια.....	37
Εικόνα 8: Κάτοψη υπογείου	38
Εικόνα 9: Κάτοψη ισογείου	38
Εικόνα 10: Κάτοψη Α' ορόφου	39
Εικόνα 11: Κάτοψη δώματος.....	39
Εικόνα 12: Βιβλιοθήκη υλικών	40
Εικόνα 13: Τρισδιάστατη απεικόνιση κτιρίου	41
Εικόνα 14: Καθορισμός ζωνών	42
Εικόνα 15: Καρτέλα Activity	43
Εικόνα 16: Καρτέλα φωτισμού.....	44
Εικόνα 17: Καρτέλα HVAC	45
Εικόνα 18: Ζεστό νερό χρήσης Template	46
Εικόνα 19: Ραβδόγραμμα θερμοκρασιών ισογείου	48
Εικόνα 20: Θερμικές απώλειες ισογείου	49
Εικόνα 21: Ραβδόγραμμα θερμοκρασιών Α' ορόφου.....	50
Εικόνα 22: Θερμικές απώλειες Α' ορόφου	50
Εικόνα 23: Ραβδόγραμμα θερμοκρασιών συνολικού κτιρίου	51
Εικόνα 24: Συνολικές θερμικές απώλειες κτιρίου	51
Εικόνα 25: Ημερήσια εξέλιξη θερμοκρασιών και θερμικών φορτίων για τη Θερμική Ζώνη Ισογείου – Σενάριο ΑΘ	54

Εικόνα 26: Ημερήσια κατανομή απαιτήσεων ψύξης και σχετικής υγρασίας για τη Θερμική Ζώνη Ισογείου– Σενάριο ΑΘ	54
Εικόνα 27: Ετήσια θερμική συμπεριφορά Θερμικής Ζώνης Ισογείου – Σενάριο VRF.....	57
Εικόνα 28: Ετήσια εξέλιξη απαιτήσεων θέρμανσης/ψύξης και σχετικής υγρασίας για τη Θερμική Ζώνη Ισογείου – Σενάριο VRF	57
Εικόνα 29: Ημερήσια εξέλιξη θερμοκρασιών και θερμικών φορτίων για τη Θερμική Ζώνη Α ορόφου – Σενάριο ΑΘ	69
Εικόνα 30: Ημερήσια κατανομή απαιτήσεων ψύξης και σχετικής υγρασίας για τη Θερμική Ζώνη Α' ορόφου– Σενάριο ΑΘ	70
Εικόνα 31: Ημερήσια εξέλιξη θερμοκρασιών και θερμικών φορτίων για τη Θερμική Ζώνη Α ορόφου – Σενάριο VRF.....	71
Εικόνα 32: Ημερήσια κατανομή απαιτήσεων ψύξης και σχετικής υγρασίας για τη Θερμική Ζώνη Α' ορόφου– Σενάριο VRF	72

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Λειτουργικές προδιαγραφές κτιρίου	20
Πίνακας 2: Αποτελέσματα ημερήσιας προσομοίωσης με ΑΘ	55
Πίνακας 3: Αποτελέσματα ημερήσιας προσομοίωσης ψύξης με VRF	58
Πίνακας 4: Κατανάλωση Αντλίας Θερμότητας	59
Πίνακας 5: Κατανάλωση συστήματος VRF	59
Πίνακας 6 Αποτελέσματα προσομοίωσης VRF	73
Πίνακας 7: Αποτελέσματα προσομοίωσης ΑΘ	76
Πίνακας 8: Αποτελέσματα Θέρμανσης simulation	79

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως αντικείμενο την εκπόνηση προμελέτης ενεργειακής απόδοσης για ένα υπό κατασκευή κτίριο Υγείας και Πρόνοιας, και συγκεκριμένα για μια ψυχιατρική κλινική στη Λάρισα, με τη χρήση του λογισμικού FineGreen. Η μελέτη αποσκοπεί στη διαμόρφωση ενός ολοκληρωμένου ενεργειακού μοντέλου του κτιρίου, την επιλογή κατάλληλων δομικών και ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων και την αξιολόγηση της ενεργειακής του απόδοσης, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ).

1.1 Στόχοι και Σκοπός της Μελέτης

Ο βασικός σκοπός της εργασίας είναι η ενεργειακή αξιολόγηση και βελτιστοποίηση ενός σύγχρονου κτιρίου υγειονομικής χρήσης. Οι επιμέρους στόχοι περιλαμβάνουν την κατανόηση των αρχών ενεργειακού σχεδιασμού σε κτίρια Υγείας, την επιλογή θερμικών και ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων υψηλής απόδοσης, τη σωστή εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό FineGreen, τον υπολογισμό της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς και την πρόταση ενεργειακών παρεμβάσεων με σκοπό την κατάταξη του κτιρίου στην ενεργειακή κατηγορία Α ή Α+.

1.2 Μεθοδολογία

Η εργασία βασίζεται σε θεωρητικό και πρακτικό μέρος. Το θεωρητικό μέρος περιλαμβάνει τη μελέτη του νομοθετικού και τεχνικού πλαισίου, όπως ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) και οι Τεχνικές Οδηγίες του ΤΕΕ (ΤΟΤΕΕ). Το πρακτικό μέρος περιλαμβάνει την ανάλυση των κατόψεων και τη διαμόρφωση θερμικών ζωνών, τον προσδιορισμό των δομικών στοιχείων και των αντίστοιχων συντελεστών θερμοπερατότητας (U-values), την επιλογή κατάλληλων ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων, την εισαγωγή όλων των απαραίτητων παραμέτρων στο λογισμικό FineGreen, καθώς και την εξαγωγή και ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ενεργειακής προσομοίωσης.

1.3 Δομή της εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η ενεργειακή αποδοτικότητα ενός κτιρίου Υγείας και Πρόνοιας μέσω της δημιουργίας ενεργειακού μοντέλου στο λογισμικό FineGreen και της διερεύνησης σεναρίων βελτιστοποίησης.

Στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται ο σκοπός, οι στόχοι και η μεθοδολογία της εργασίας. Στο Κεφάλαιο 2 αναλύεται το θεωρητικό και νομοθετικό πλαίσιο που διέπει την ενεργειακή αποδοτικότητα κτιρίων στην Ελλάδα, με έμφαση στις ιδιαιτερότητες των κτιρίων υγειονομικής περίθαλψης. Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται το υπό μελέτη κτίριο (ψυχιατρική κλινική), τα τεχνικά και λειτουργικά του χαρακτηριστικά.

Το Κεφάλαιο 4 εστιάζει στη δημιουργία του ενεργειακού μοντέλου με χρήση του FineGreen, περιγράφοντας αναλυτικά τα βήματα εισαγωγής δεδομένων κελύφους, Η/Μ συστημάτων και χρήσεων. Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται η προσομοίωση του υφιστάμενου κτιρίου, ο υπολογισμός ενεργειακών απωλειών και απαιτήσεων, και εξετάζονται δύο εναλλακτικά σενάρια HVAC: αντλία θερμότητας με ανάκτηση θερμότητας και σύστημα VRF με ζωνικό έλεγχο.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης, όπως η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος, σκίαστρα και αυτοματισμοί. Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 γίνεται συνολική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και διατυπώνονται τα τελικά συμπεράσματα ως προς την ενεργειακή επίδοση και τη συμμόρφωση του κτιρίου με τον ΚΕΝΑΚ.

Κεφάλαιο 2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων και Θεσμικό πλαίσιο

Η ενεργειακή απόδοση κτιρίων είναι κρίσιμος παράγοντας για τη βιωσιμότητα του δομημένου περιβάλλοντος. Η κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα στην Ευρώπη αντιπροσωπεύει περίπου το 40% της συνολικής ενεργειακής χρήσης, καθιστώντας τη μείωσή της στρατηγικό στόχο για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Η σχεδίαση κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (nZEB) αποτελεί βασικό μέλημα της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της ελληνικής πολιτείας [2].

Η επίτευξη υψηλής ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια συνδέεται άμεσα με την εξοικονόμηση πόρων, τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των χρηστών. Ειδικά για δημόσια κτίρια, όπως οι δομές Υγείας και Πρόνοιας, η ενεργειακή αποδοτικότητα συνδυάζει την περιβαλλοντική υπευθυνότητα με την οικονομική βιωσιμότητα και την εύρυθμη καθημερινή λειτουργία [9].

Το θεσμικό πλαίσιο για την ενεργειακή επιθεώρηση στην Ελλάδα καθορίζεται κυρίως από το Νόμο 4122/2013, τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK) και την Τεχνική Οδηγία TOTEE 20701-1/2017 [7].

Οι βασικοί άξονες του KENAK περιλαμβάνουν:

1. Ελάχιστες απαιτήσεις θερμομόνωσης, με καθορισμό ορίων για τους συντελεστές θερμοπερατότητας (U-values) των δομικών στοιχείων, ανάλογα με τη γεωγραφική ζώνη και το είδος του κτιρίου.
2. Απαιτήσεις για τα Η/Μ συστήματα (θέρμανση, ψύξη, ΖΝΧ, αερισμός, φωτισμός) και την ενσωμάτωση αυτοματισμών διαχείρισης ενέργειας.
3. Ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων μέσω του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (Εικόνα 1), βάσει της υπολογιζόμενης συνολικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, όπως ορίζει το νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα.

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 _R	A+		
0,33 R _R < EP ≤ 0,50 R _R	A		
0,50 R _R < EP ≤ 0,75 R _R	B+		
0,75 R _R < EP ≤ 1,00 R _R	B		
1,00 R _R < EP ≤ 1,41 R _R	Γ		
1,41 R _R < EP ≤ 1,82 R _R	Δ		Δ
1,82 R _R < EP ≤ 2,27 R _R	Ε		
2,27 R _R < EP ≤ 2,73 R _R	Ζ		
2,73 R _R < EP	Η	Η	Η
* Μετά την εφαρμογή των παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης σύμφωνα με τη βέλτιστη (τη) κατάσταση			

Εικόνα 1: Πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης

2.2 Ενεργειακή Επιθεώρηση και Κτιριακή Προσομοίωση

Η ενεργειακή επιθεώρηση αποσκοπεί στον προσδιορισμό της ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας ενός κτιρίου, για βασικές ενεργειακές χρήσεις όπως η θέρμανση, η ψύξη, η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX), ο φωτισμός και ο αερισμός. Η αξιολόγηση πραγματοποιείται με τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών προσομοίωσης, τα οποία είναι πιστοποιημένα από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ), όπως το πρόγραμμα FineGreen.

Η επιθεώρηση βασίζεται στη δημιουργία ενός λεπτομερούς ενεργειακού μοντέλου του κτιρίου, το οποίο περιλαμβάνει στοιχεία όπως η γεωμετρία και ο προσανατολισμός, τα δομικά στοιχεία και οι θερμοφυσικές τους ιδιότητες, η διαμόρφωση θερμικών ζωνών, καθώς και τα ηλεκτρομηχανολογικά (Η/Μ) συστήματα του κτιρίου [10]. Μέσω της προσομοίωσης, το λογισμικό υπολογίζει τα θερμικά κέρδη και τις απώλειες ενέργειας σε μηνιαία και ετήσια βάση, επιτρέποντας την εκτίμηση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και της κατάταξης του κτιρίου βάσει του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK).

Η προσομοίωση επιτρέπει την ανάλυση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου υπό διαφορετικά σενάρια λειτουργίας και σχεδιασμού, προσφέροντας τη δυνατότητα εναλλακτικής αξιολόγησης επιλογών ως προς την ενεργειακή τους απόδοση. Μέσω αυτής της διαδικασίας, μπορούν να εντοπιστούν οι πιο ενεργοβόρες λειτουργίες, καθώς και οι παράγοντες που συνεισφέρουν περισσότερο στις ενεργειακές απώλειες, όπως οι θερμογέφυρες, ο ανεπαρκής αερισμός ή τα μη αποδοτικά Η/Μ συστήματα. Ως αποτέλεσμα, ο μελετητής μπορεί να προτείνει στοχευμένες παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης, όπως η ενίσχυση της θερμομόνωσης, η αντικατάσταση παλαιών συστημάτων ή η εφαρμογή αυτοματισμών διαχείρισης ενέργειας [10].

Παρότι τα λογισμικά ενεργειακής προσομοίωσης προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα, η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των δεδομένων εισόδου. Σφάλματα στη γεωμετρία του μοντέλου, στις ιδιότητες των υλικών ή στην παραδοχή της λειτουργίας των συστημάτων ενδέχεται να οδηγήσουν σε αποκλίσεις από την πραγματική ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου. Για τον λόγο αυτό, είναι κρίσιμο η μοντελοποίηση να γίνεται με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια, σε συνδυασμό με την

εμπειρική γνώση του μηχανικού και την καλή κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του κτιρίου

2.3 Ενεργειακές Ιδιαιτερότητες Κτιρίων Υγείας

Τα κτίρια Υγείας και Πρόνοιας παρουσιάζουν ειδικές απαιτήσεις λόγω της φύσης της λειτουργίας τους. Πρόκειται για κτίρια που λειτουργούν συνεχώς (24 ώρες το 24ωρο, 7 ημέρες την εβδομάδα) και φιλοξενούν άτομα ευάλωτα σε περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως ασθενείς και ηλικιωμένοι. Ως εκ τούτου, απαιτείται:

1. Αυστηρός έλεγχος της θερμικής άνεσης, ώστε να διατηρούνται σταθερές θερμοκρασίες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, χωρίς απότομες διακυμάνσεις.
2. Εξασφάλιση υψηλής ποιότητας εσωτερικού αέρα (IAQ), μέσω μηχανικού αερισμού, φίλτρανσης και ελέγχου υγρασίας, για την προστασία της υγείας των χρηστών.
3. Ακουστική άνεση, καθώς οι θόρυβοι από εξοπλισμό θέρμανσης/ψύξης ή μονάδες κλιματισμού μπορεί να προκαλέσουν δυσφορία ή ακόμη και άγχος σε ασθενείς.
4. Υγειονομικές απαιτήσεις, όπως εύκολη πρόσβαση για καθαρισμό, περιορισμός της κυκλοφορίας ρύπων μέσω των μονάδων, και αποφυγή συγκέντρωσης υγρασίας που θα μπορούσε να προκαλέσει ανάπτυξη μικροβίων.
5. Πολλαπλές θερμικές ζώνες, με διαφορετικά φορτία ανάλογα με τη χρήση του χώρου (π.χ. θάλαμοι, ιατρεία, χώροι αναμονής, γραφεία, κλίμακες διαφυγής).

Η ενεργειακή αξιολόγηση τέτοιων κτιρίων απαιτεί εξειδικευμένη προσέγγιση, που να λαμβάνει υπόψη τόσο τα σταθερά φορτία λειτουργίας όσο και τις αυστηρές απαιτήσεις άνεσης και υγιεινής. Η επιλογή κατάλληλων HVAC συστημάτων πρέπει να συνδυάζει ενεργειακή αποδοτικότητα, ακρίβεια ελέγχου και χαμηλή στάθμη θορύβου. Επιπλέον, λόγω της ιδιαίτερης φύσης των κτιρίων υγείας, οι λύσεις που επιλέγονται πρέπει να εξασφαλίζουν αξιοπιστία λειτουργίας, ευκολία συντήρησης και δυνατότητα ζωνικής διαχείρισης, ώστε να προσαρμόζονται στις εκάστοτε ανάγκες λειτουργίας [7].

2.4 Θερμικές Απώλειες και Θερμογέφυρες

Οι θερμογέφυρες είναι περιοχές στο κτιριακό κέλυφος όπου η θερμική μόνωση διακόπτεται ή ελαττώνεται, οδηγώντας σε αυξημένες θερμικές απώλειες. Συνήθως εμφανίζονται σε σημεία όπως: ενώσεις δομικών στοιχείων (π.χ. τοίχοι με πλάκες), στηθαία και δοκάρια, κουφώματα και πακτώσεις παραθύρων. Εξαιτίας τους έχουμε αύξηση των συνολικών θερμικών απωλειών, κίνδυνο συμπύκνωσης υδρατμών και ανάπτυξη μούχλας αλλά και υποβάθμιση της θερμικής άνεσης στον εσωτερικό χώρο [9].

Στην ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017, υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις για τη λήψη των θερμογεφυρών στους υπολογισμούς:

Η πρώτη γίνεται με μια προσθήκη προσαύξησης στους συντελεστές U των δομικών στοιχείων, ανάλογα με τη γεωμετρία και τον αριθμό θερμογεφυρικών γραμμών. Υπολογίζουμε τις γραμμικές θερμικές απώλειες με συντελεστές Ψ ($W/m \cdot K$) για κάθε τύπο θερμογέφυρας, και προσθέτουμε τις συνολικές απώλειες στο ισοζύγιο της ζώνης [7].

Η δεύτερη μέθοδος (με Ψ) είναι πιο ακριβής αλλά απαιτεί λεπτομερή γνώση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και της κατασκευής. Στο FineGreen υποστηρίζεται και η ενσωμάτωση θερμογεφυρών με τιμές Ψ , επιτρέποντας την πιο ακριβή προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς.

Η σωστή διαχείριση των θερμογεφυρών μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ενεργειακή επίδοση, να περιορίσει τις απώλειες έως και 10–20% και να αυξήσει τη θερμική άνεση των χρηστών.

2.5 Ηλεκτρομηχανολογικά Συστήματα Θέρμανσης, Ψύξης και Αερισμού

Η επιλογή και η διαστασιολόγηση των ηλεκτρομηχανολογικών (Η/Μ) συστημάτων αποτελούν κρίσιμο παράγοντα για τη συνολική ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτιρίου. Τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού ευθύνονται για το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσης ενέργειας, ιδιαίτερα σε κτίρια μεγάλης κλίμακας ή συνεχούς λειτουργίας, όπως είναι οι ψυχιατρικές κλινικές. Η βέλτιστη επιλογή τεχνολογιών HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της απαιτούμενης πρωτογενούς ενέργειας, βελτίωση της ποιότητας εσωτερικού αέρα και αύξηση της άνεσης των χρηστών [5].

Τα βασικά είδη συστημάτων που εξετάζονται στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης περιλαμβάνουν:

2.5.1 Αντλίες Θερμότητας (Θέρμανση/Ψύξη):

Οι αντλίες θερμότητας (αέρα-νερού ή γεωθερμικές) αποτελούν μία από τις πλέον αποδοτικές λύσεις για τη θέρμανση και την ψύξη κτιρίων. Λειτουργούν αντλώντας θερμότητα από το περιβάλλον (ατμόσφαιρα, έδαφος ή ύδατα) και μπορούν να παρέχουν θέρμανση τον χειμώνα και ψύξη το καλοκαίρι με τον ίδιο εξοπλισμό (αναστρέψιμος κύκλος). Με τη χρήση σύγχρονων αντλιών θερμότητας υψηλού βαθμού απόδοσης (υψηλό εποχιακό COP/SCOP και SEER), επιτυγχάνονται σημαντικές μειώσεις στην απαιτούμενη πρωτογενή ενέργεια σε σύγκριση με συμβατικούς λέβητες.

Για παράδειγμα, η αντικατάσταση ενός λέβητα αερίου με αντλία θερμότητας μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO₂ σχεδόν κατά 47% σε μια τυπική κατοικία στην Ελλάδα, αντανakλώντας την υψηλότερη ενεργειακή απόδοση και τη χρήση καθαρότερης ενέργειας. Οι αντλίες θερμότητας μπορούν να συνδυαστούν με συστήματα θέρμανσης χαμηλότερης θερμοκρασίας (π.χ. ενδοδαπέδια θέρμανση ή fan-coil units) και προσφέρουν τη δυνατότητα αξιοποίησης ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (όπως φωτοβολταϊκά), γεγονός που βελτιώνει περαιτέρω το ενεργειακό ισοζύγιο. Συνολικά, οι αντλίες θερμότητας παρέχουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα κλιματισμού με υψηλό βαθμό απόδοσης και ευελιξία λειτουργίας.

2.5.2 Λέβητες Συμπύκνωσης (Θέρμανση):

Οι λέβητες φυσικού αερίου συμπύκνωσης αποτελούν τη συμβατική εναλλακτική λύση για τη θέρμανση, διαθέτοντας υψηλό βαθμό απόδοσης (συνήα >90-95%) λόγω της ανάκτησης λανθάνουσας θερμότητας από τα καυσαέρια. Το σύστημα αυτό είναι δοκιμασμένο, αξιόπιστο και σχετικά απλό στην εγκατάσταση, με χαμηλότερο αρχικό κόστος σε σύγκριση με τις γεωθερμικές ή αερόψυκτες αντλίες θερμότητας. Ωστόσο, η λειτουργία ενός λέβητα αερίου εξαρτάται από την καύση ορυκτού καυσίμου, γεγονός που συνοδεύεται από υψηλότερες εκπομπές CO₂ και αυξημένο συντελεστή πρωτογενούς ενέργειας για την παραγόμενη θερμότητα, συγκριτικά με τις ηλεκτρικές αντλίες θερμότητας. Έτσι, παρά την απόδοση τους, οι λέβητες (ακόμα και σύγχρονοι λέβητες συμπύκνωσης) τυπικά

υπολείπονται των αντλιών θερμότητας ως προς την επίτευξη κορυφαίας ενεργειακής απόδοσης σε ένα κτίριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.

2.5.3 Συστήματα Μεταβλητής Ροής Ψυκτικού (VRV/VRF):

Πρόκειται για ολοκληρωμένα συστήματα κλιματισμού άμεσης εκτόνωσης, στα οποία μια εξωτερική μονάδα αντλίας θερμότητας συνδέεται με πολλαπλές εσωτερικές μονάδες μέσω δικτύου σωληνώσεων ψυκτικού υγρού. Τα VRV/VRF (Variable Refrigerant Volume/Flow) συστήματα επιτρέπουν τον ανεξάρτητο έλεγχο θερμοκρασίας σε πολλές ζώνες/χώρους του κτιρίου, ρυθμίζοντας συνεχώς τη ροή ψυκτικού ώστε να ανταποκρίνεται στη ζητούμενη ψύξη ή θέρμανση. Διακρίνονται για την υψηλή ενεργειακή τους απόδοση, ιδίως σε μερικά φορτία, χάρη στην τεχνολογία inverter και τον ακριβή έλεγχο κάθε μονάδας.

Επιπλέον, υπάρχουν διατάξεις VRF ανάκτησης θερμότητας, όπου το ίδιο σύστημα μπορεί ταυτόχρονα να παρέχει ψύξη σε ορισμένους χώρους και θέρμανση σε άλλους, μεταφέροντας τη θερμότητα από τους χώρους που ψύχονται σε εκείνους που χρειάζονται θέρμανση. Με τον τρόπο αυτό αξιοποιείται πλήρως η απορριπτόμενη θερμότητα, βελτιώνοντας τον συνολικό βαθμό απόδοσης. Στην πράξη, τα VRV/VRF συγκαταλέγονται στις κορυφαίες τεχνολογίες HVAC για μεγάλα κτίρια, καθώς συνδυάζουν ευελιξία και εξοικονόμηση: μελέτες δείχνουν ότι αποτελούν μία από τις πλέον αποδοτικές λύσεις θέρμανσης/ψύξης, με το χαμηλότερο επίπεδο κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας σε σύγκριση με άλλες συμβατικές τεχνολογίες.

2.5.4 Κεντρικές Μονάδες Ψύξης/Κλιματισμού:

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν συστήματα όπου η παραγωγή θερμικής ενέργειας γίνεται κεντρικά και διανέμεται στους χώρους μέσω δικτύων. Μια συνήθης λύση είναι ο συνδυασμός κεντρικού ψύκτη νερού (water chiller) για την παραγωγή ψυχρού νερού και λέβητα (ή αντλίας θερμότητας) για ζεστό νερό θέρμανσης, με το νερό να κυκλοφορεί σε τερματικές μονάδες (fan coils ή κεντρικές κλιματιστικές μονάδες) σε κάθε χώρο. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κεντρική κλιματιστική μονάδα χειρισμού αέρα (AHU) που ψύχει/θερμαίνει τον αέρα και τον διοχετεύει μέσω αεραγωγών σε όλους τους χώρους.

Τα κεντρικά συστήματα προσφέρουν το πλεονέκτημα του συγκεντρωτικού ελέγχου και της διασφάλισης ποιότητας αέρα (φίλτραυση, αφύγραυση, κ.λπ.) για ολόκληρο το κτίριο. Επιπλέον, οι σύγχρονοι ψύκτες και λέβητες μπορούν να πετύχουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης σε ονομαστικές συνθήκες. Ωστόσο, τα κεντρικά συστήματα συχνά συνεπάγονται πιο σύνθετες εγκαταστάσεις και πιθανές απώλειες θερμότητας/ψύξης στο δίκτυο διανομής. Η ενεργειακή τους επίδοση εξαρτάται έντονα από τον καλό σχεδιασμό των δικτύων (μόνωση σωληνώσεων, ισορροπία παροχών) και τον αυτοματισμό, ώστε να αποφεύγεται η άσκοπη λειτουργία σε ώρες μερικού φορτίου [4].

2.5.5 Συστήματα Αερισμού και Ανάκτησης Θερμότητας:

Ο αερισμός του κτιρίου δύναται να επιτυγχάνεται είτε μέσω φυσικού αερισμού (παράθυρα, ανοίγματα) είτε μέσω μηχανικού εξαερισμού με μοτέρ και αγωγούς. Στην περίπτωση των σύγχρονων ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων, δίνεται έμφαση στον ελεγχόμενο μηχανικό αερισμό με ανάκτηση θερμότητας. Αυτό περιλαμβάνει την εγκατάσταση κεντρικών ή αποκεντρωμένων μονάδων εξαερισμού με ενσωματωμένους εναλλάκτες θερμότητας (heat exchangers).

Οι μονάδες αυτές ανακτούν ενέργεια από τον αέρα που εξάγεται από τους χώρους: ειδικότερα, τον χειμώνα ο εξερχόμενος θερμός αέρας θερμαίνει τον εισερχόμενο ψυχρό φρέσκο αέρα, ενώ το καλοκαίρι ο δροσερός εξερχόμενος αέρας προψύχει τον εισαγόμενο θερμό αέρα. Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται οι θερμικές απώλειες αερισμού έως και 60-80%, βελτιώνοντας σημαντικά το ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου. Παράλληλα, εξασφαλίζεται η ποιότητα του εσωτερικού αέρα (φρέσκος αέρας χωρίς ρύπους) ανεξαρτήτως εξωτερικών συνθηκών, συμβάλλοντας στην υγεία και την άνεση των χρηστών. Τα συστήματα μηχανικού αερισμού με ανάκτηση είναι πλέον απαραίτητα σε κτίρια με υψηλές προδιαγραφές (όπως τα κτίρια σχεδόν μηδενικής ενέργειας), καθώς ελαχιστοποιούν την ανάγκη για επιπλέον θέρμανση/ψύξη λόγω αερισμού και εντάσσονται στα μέτρα εξοικονόμησης που αναγνωρίζει ο KENAK [7].

Κάθε μία από τις παραπάνω τεχνολογίες παρουσιάζει διαφορετικά πλεονεκτήματα και περιορισμούς, τόσο σε επίπεδο απόδοσης όσο και σε ό,τι αφορά την εγκατάσταση, τη συντήρηση, τον θόρυβο και τη δυνατότητα αυτοματισμών. Στο πλαίσιο της ενεργειακής προσομοίωσης, η σωστή μοντελοποίηση αυτών των συστημάτων επιτρέπει την εκτίμηση

της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας και τη συγκριτική αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων, με στόχο τη βέλτιστη ενεργειακή και λειτουργική λύση για το εξεταζόμενο κτίριο.

2.6 Ανάλυση Τερματικών Μονάδων

Οι τερματικές μονάδες κλιματισμού αποτελούν το τελικό στάδιο της διανομής θερμικής ή ψυκτικής ενέργειας στους χώρους ενός κτιρίου. Είναι υπεύθυνες για την τοπική προσαρμογή των συνθηκών θερμικής άνεσης και συχνά παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της ποιότητας του αέρα. Σε περιβάλλοντα όπως οι ψυχιατρικές κλινικές, οι απαιτήσεις για ακρίβεια, υγιεινή, ησυχία και ευκολία συντήρησης είναι ιδιαίτερα αυξημένες, γεγονός που καθιστά την επιλογή των τερματικών μονάδων κρίσιμη για την ομαλή λειτουργία του κτιρίου.

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου μονάδας επηρεάζει την ενεργειακή απόδοση, την ευελιξία λειτουργίας, την ακουστική συμπεριφορά και την αισθητική του χώρου. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι βασικοί τύποι τερματικών μονάδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία ψυχιατρική κλινική, με έμφαση στα πλεονεκτήματα και τις ιδιαιτερότητές τους [5].

Κοινές επιλογές περιλαμβάνουν fan coil μονάδες, κασέτες οροφής, καναλάτες μονάδες και μονάδες VRF, κάθε μία με διαφορετικά χαρακτηριστικά και εφαρμογές. Στην περίπτωση κτιρίων υγειονομικής φροντίδας, οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη περιλαμβάνουν την στάθμη θορύβου, την ευκολία καθαρισμού-συντήρησης, τη δυνατότητα ελέγχου ανά χώρο (ζωνικός έλεγχος) καθώς και την υγιεινή λειτουργία με περιορισμό της διάδοσης μικροβίων.

Μονάδες Fan Coil

Οι μονάδες Fan Coil είναι εσωτερικές μονάδες με έναν εναλλάκτη θερμότητας και ανεμιστήρα, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται θέρμανση ή ψύξη του χώρου. Κυκλοφορούν ζεστό ή ψυχρό νερό στο στοιχείο και ένας ανεμιστήρας αναγκάζει τον αέρα του δωματίου να περάσει από αυτό, θερμαίνοντάς ή ψύχοντάς τον πριν τον επιστρέψει στο χώρο. Έτσι, το ίδιο σώμα μπορεί να παρέχει θέρμανση το χειμώνα και ψύξη το καλοκαίρι, ανάλογα με τη θερμοκρασία νερού που τροφοδοτείται. Συνήθως οι μονάδες fan coil συνδέονται με

ένα κεντρικό σύστημα (π.χ. αντλία θερμότητας ή λέβητα) που τους παρέχει ζεστό ή ψυχρό νερό. Διατίθενται σε διάφορες μορφές τοποθέτησης, όπως επίτοιχες, επιδαπέδιες κονσόλες, οροφής (κρυφού τύπου) ή τύπου κασέτας σε ψευδοροφή. Συνδυάζονται συχνά και με συστήματα μηχανικού αερισμού για παροχή φρέσκου αέρα, καθώς οι ίδιες ανακυκλοφορούν κυρίως τον αέρα του χώρου [5].

- **Ενεργειακή Απόδοση:** Οι fan coil μονάδες επιτρέπουν ευέλικτο έλεγχο θερμοκρασίας ανά χώρο με σχετικά χαμηλή θερμική αδράνεια – μπορούν να προσαρμόσουν τη θερμοκρασία γρήγορα ανάλογα με τις ανάγκες. Παρέχουν υψηλή απόδοση σε συστήματα χαμηλών θερμοκρασιών νερού, γεγονός που τις καθιστά κατάλληλες για συνδυασμό με αντλίες θερμότητας ή σύγχρονους συμπυκνωματικούς λέβητες. Ένα fan coil σε δίκτυο 4 σωλήνων μπορεί ταυτόχρονα να καλύψει ανάγκες θέρμανσης και ψύξης σε διαφορετικές ζώνες, ενισχύοντας την ενεργειακή ευελιξία μεγάλων κτιρίων. Ωστόσο, το ίδιο το fan coil καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια για τον ανεμιστήρα του. Η πρόσθετη αυτή κατανάλωση είναι μικρή (π.χ. της τάξης μερικών δεκάδων Watt σε λειτουργία ενίσχυσης), αλλά πρέπει να συνυπολογιστεί. Συνολικά, πάντως, η δυνατότητα ακριβούς ελέγχου και η χρήση νερού ως μέσου (αντί για ψυκτικό σε επιμέρους μονάδες) καθιστούν τα fan coils ενεργειακά αποδοτικά σε ζωνοποιημένα κτίρια. Επιπλέον, συνδυάζοντας fan coil με αντλία θερμότητας μπορεί να επιτευχθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα υψηλής απόδοσης και χαμηλών εκπομπών.
- **Υγιεινή & Συντήρηση:** Τα fan coils διαθέτουν φίλτρα αέρα που συγκρατούν σκόνη και σωματίδια, συμβάλλοντας έτσι και στον καθαρισμό του αέρα του χώρου. Αυτό μπορεί να βελτιώσει το μικροκλίμα, ιδίως για άτομα με αλλεργίες. Ωστόσο, η συνεχής ανακυκλοφορία αέρα σημαίνει ότι σκόνη και ρύποι μπορεί να συσσωρεύονται στο εσωτερικό τους. Απαιτείται τακτικός καθαρισμός των φίλτρων και του στοιχείου, διότι διαφορετικά μειώνεται η ροή αέρα και υπάρχει κίνδυνος ανάπτυξης μικροοργανισμών σε υγρά σημεία. Συνολικά, η συντήρηση των fan coil (καθαρισμός φίλτρων, απολύμανση στοιχείων) πρέπει να γίνεται σε τακτά διαστήματα για να διασφαλιστεί η υγιεινή λειτουργία – πρόκειται για πιο απαιτητική συντήρηση σε σχέση με ένα απλό θερμαντικό σώμα. Από υγειονομική άποψη, πλεονεκτεί ότι το μέσο μεταφοράς θερμότητας είναι νερό (όχι ψυκτικό φρέον μέσα στον χώρο), κάτι που θεωρείται πιο φιλικό προς το περιβάλλον.

- **Ακουστική Άνεση:** Λόγω των ενσωματωμένων ανεμιστήρων, οι μονάδες fan coil παράγουν θόρυβο κατά τη λειτουργία. Σε χαμηλές ταχύτητες ο θόρυβος μπορεί να είναι περιορισμένος (π.χ. ~25 dB(A) στις πιο ήσυχες μονάδες), όμως σε υψηλότερες ταχύτητες μπορεί να φτάσει 50–60 dB(A) ανάλογα με το μοντέλο. Επομένως, σε χώρους όπου απαιτείται απόλυτη ησυχία (π.χ. υπνοθάλαμοι ασθενών), ίσως απαιτείται είτε υπερδιαστασιολόγηση των fan coil ώστε να λειτουργούν σε χαμηλή ταχύτητα, είτε συνδυασμός με άλλες πιο αθόρυβες λύσεις κατά τις ώρες ηρεμίας. Στα θετικά, τα σύγχρονα fan coil διαθέτουν καλύτερη μόνωση θορύβου και inverter ανεμιστήρες που μειώνουν το θόρυβο, ενώ η τοποθέτησή τους μπορεί να γίνει και ως κρυφού τύπου (π.χ. σε ψευδοροφή διαδρόμου) ώστε να απομονώνεται ακουστικά ο θόρυβος από τον χώρο ασθενών. Όπως όλα τα fan coil, απαιτεί τακτικό καθαρισμό φίλτρων για λόγους υγιεινής και απόδοσης.

Μονάδες Οροφής Τύπου Κασέτας

Οι μονάδες τύπου κασέτας είναι μια παραλλαγή των fan coil ή εσωτερικών μονάδων κλιματισμού που τοποθετούνται σε ψευδοροφή. Πρόκειται για τετράγωνες μονάδες οροφής, όπου το κύριο σώμα είναι κρυμμένο πάνω από το ταβάνι και μόνο η διακοσμητική πρόσοψη με τις γρίλιες εμφανίζεται στον χώρο. Οι κασέτες μπορεί να είναι είτε υδρόψυκτες (fan coil κασέτες συνδεδεμένες σε κύκλωμα νερού) είτε στοιχείου άμεσης εκτόνωσης (συνδεδεμένες σε VRF ή σε απλό συμπυκνωτή/spilt). Συνήθως είναι τεσσάρων κατευθύνσεων, με περσίδες που διανέμουν τον αέρα σε 4 πλευρές για ομοιόμορφη κάλυψη του χώρου. Ένα τυπικό σενάριο είναι η χρήση κασετών σε συστήματα VRF ή multi-split για την κλιματισμό μεγάλων δωματίων ή κοινόχρηστων χώρων, όπου η οροφή επιτρέπει την εγκατάσταση ψευδοροφής [5].

- **Ενεργειακή Απόδοση:** Οι μονάδες κασέτας έχουν παρόμοια ενεργειακή συμπεριφορά με τις λοιπές μονάδες ανεμιστήρα-στοιχείου. Το πλεονέκτημα είναι ότι βρίσκονται στην οροφή και μπορούν να καλύψουν μεγάλο όγκο με λιγότερες μονάδες – π.χ. μια ισχυρή κασέτα μπορεί να εξυπηρετήσει έναν ευρύχωρο θάλαμο ή καθιστικό διανέμοντας ομοιόμορφα τον αέρα. Έτσι, ενδέχεται να απαιτούνται λιγότερα συνολικά τερματικά σε σύγκριση με επίτοιχα fan coil μικρότερης κάλυψης. Η ενεργειακή τους απόδοση εξαρτάται από το σύστημα που τις τροφοδοτεί: σε VRF αξιοποιούν την

υψηλή εποχιακή απόδοση του κεντρικού συστήματος, ενώ σε υδρονέφωση αποδίδουν ανάλογα με τις θερμοκρασίες νερού. Δεν έχουν εγγενώς καλύτερο ή χειρότερο βαθμό απόδοσης από ένα αντίστοιχο fan coil – ωστόσο, η δυνατότητα πολλαπλής κάλυψης ζώνης (4 κατευθύνσεις αέρα) μπορεί να μειώσει τις «νεκρές ζώνες» και να πετυχαίνει ομοιόμορφη θερμοκρασία, αποφεύγοντας υπερθέρμανση ή υπερψύξη τοπικά. Αυτό μπορεί έμμεσα να βελτιώσει την αποδοτικότητα, καθώς το σύστημα δεν υπερλειτουργεί για να καλύψει ανομοιομορφίες θερμοκρασίας.

- **Υγιεινή & Συντήρηση:** Οι κασέτες οροφής, όπως και τα fan coil, διαθέτουν φίλτρα που χρειάζονται καθαρισμό. Η πρόσβαση σε αυτά απαιτεί ανεβασμα στην οροφή, κάτι που κάνει τη συντήρηση λίγο πιο δύσκολη. Εφόσον βρίσκονται στην οροφή, δεν αποτελούν «επιφάνεια επαφής» στον χώρο για να μαζεύουν σκόνη από το περιβάλλον δάπεδο ή τους ασθενείς, όμως μπορεί να εμφανιστούν λεκέδες σκόνης γύρω από τις περσίδες αν τα φίλτρα δεν καθαρίζονται. Από υγειονομικής πλευράς, οι μονάδες αυτές δεν έχουν εμφανή πτερύγια ή σημεία που να αγγίζουν οι χρήστες, γεγονός που μειώνει την πιθανότητα επιμόλυνσης από αφή. Πρέπει όμως να εξασφαλίζεται ότι το νερό συμπυκνωμάτων αποστραγγίζεται σωστά μέσω του σωλήνα αποχέτευσης – σε αντίθεση περίπτωση, λιμνάζον νερό σε μια κασέτα μπορεί να εξελιχθεί σε εστία μικροβίων ή να δημιουργήσει διαρροές σε χώρο ασθενών. Εφόσον συντηρούνται τακτικά (καθαρισμός φίλτρων, έλεγχος αποχέτευσης), οι κασέτες είναι κατάλληλες και για χώρους με αυξημένες απαιτήσεις υγιεινής, χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα.

- **Ακουστική Άνεση:** Οι μονάδες κασέτας διαθέτουν ενσωματωμένο ανεμιστήρα (συνήθως φυγοκεντρικό) και παράγουν παρόμοια στάθμη θορύβου με άλλες μονάδες ανεμιστήρα-στοιχείου αντίστοιχης ισχύος. Η τοποθέτησή τους εντός ψευδοροφής παρέχει μια μικρή ηχομόνωση, με την ψευδοροφή να απορροφά μέρος του θορύβου του μοτέρ και να απομακρύνει λίγο την πηγή θορύβου. Παρ' όλ' αυτά, ο θόρυβος εκροής αέρα από τις περσίδες παραμένει. Σε ήσυχους θαλάμους, μια κασέτα μπορεί να ενοχλεί αν λειτουργεί σε υψηλή ταχύτητα. Πλεονεκτούν ελαφρώς ως προς το ρεύμα αέρα: επειδή ο αέρας εξέρχεται από ψηλά και διαχέεται, ο θόρυβος διανέμεται και δεν κατευθύνεται απευθείας στο αυτί του ασθενούς. Γενικά, για ψυχιατρικούς θαλάμους συνιστάται οι κασέτες να λειτουργούν σε χαμηλές ταχύτητες τις ώρες

ανάπαυσης ή να επιλέγονται υπερμεγέθεις ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις σε χαμηλότερο επίπεδο θορύβου.

Εσωτερικές Μονάδες VRF (Πολυδιαιρούμενου Συστήματος)

Οι εσωτερικές μονάδες VRF (Variable Refrigerant Flow) είναι τερματικές μονάδες συνδεδεμένες σε ένα κεντρικό σύστημα μεταβλητής ροής ψυκτικού. Το VRF είναι ουσιαστικά ένα πολυζωνικό κεντρικό κλιματιστικό σύστημα: μία (ή περισσότερες) εξωτερικές μονάδες με συμπιεστές inverter στέλνουν ψυκτικό υγρό μέσω σωληνώσεων σε πολλές εσωτερικές μονάδες διάφορων τύπων (τοίχου, κασέτες, καναλάτες κ.λπ.). Οι εσωτερικές μονάδες VRF μοιάζουν, στην εμφάνιση και λειτουργία, με τα fan coil ή τα μικρά κλιματιστικά split – δηλαδή έχουν στοιχείο και ανεμιστήρα – με τη διαφορά ότι στο στοιχείο κυκλοφορεί απευθείας ψυκτικό υγρό αντί νερού. Το πλεονέκτημα είναι ότι η ροή και κατάσταση του ψυκτικού σε κάθε μονάδα ρυθμίζεται κεντρικά μέσω ηλεκτρονικών εκτονωτικών βαλβίδων, επιτρέποντας στο σύστημα να καλύψει πολλές ζώνες με διαφορετικά φορτία πολύ αποτελεσματικά [5].

- **Ενεργειακή Απόδοση:** Τα VRF συστήματα φημίζονται για την υψηλή ενεργειακή τους απόδοση, ιδίως σε μερικό φορτίο. Το μεγάλο τους πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα μεταβολής της ροής και της θερμοκρασίας του ψυκτικού ανάλογα με τις πραγματικές ανάγκες κάθε στιγμής, μέσω inverter συμπιεστών και έξυπνου ελέγχου. Έτσι αποφεύγονται οι κύκλοι on/off και μειώνεται σημαντικά η κατανάλωση ενέργειας όταν τα φορτία είναι μερικά. Σε μια ψυχιατρική κλινική, όπου διαφορετικοί χώροι μπορεί να χρειάζονται διαφορετική θερμική κάλυψη (π.χ. ένας ηλιόλουστος θάλαμος θέλει ψύξη ενώ ένας βόρειος θέρμανση την ίδια ώρα), ένα σύστημα VRF (τύπου heat recovery) μπορεί να μεταφέρει θερμότητα από τον ένα χώρο στον άλλο, παρέχοντας ψύξη και θέρμανση ταυτόχρονα με ανάκτηση ενέργειας. Αυτό ανεβάζει την συνολική απόδοση. Η ευελιξία ζωνών είναι εξαιρετική: κάθε εσωτερική μονάδα έχει το δικό της θερμοστάτη και ρύθμιση, οπότε το σύστημα προσαρμόζεται και τροφοδοτεί μόνο όσο χρειάζεται κάθε δωμάτιο. Αυτό αποτρέπει την υπερθέρμανση/υπερψύξη κενού χώρου και μειώνει σπατάλες. Παρ' ότι το VRF λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια (συμπιεστές), η συνολική πρωτογενής ενέργεια μπορεί να είναι χαμηλότερη από ενός συστήματος λέβητα, ειδικά αν το δίκτυο ηλεκτρισμού «πρασινίζει». Πρέπει να σημειωθεί ότι για να

εκμεταλλευτεί πλήρως την απόδοσή του, το VRF απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό (σωστή επιλογή μεγεθών, θέση μονάδων ώστε να μην επιβαρύνονται, καλά μονωμένες σωληνώσεις). Συνολικά, τα VRF συστήνονται για κτίρια με πολλούς χώρους και ωράριο λειτουργίας που απαιτεί μεταβλητή προσαρμογή – ταιριάζουν δηλαδή στην περίπτωση μιας κλινικής όπου υπάρχουν διακυμάνσεις φορτίων.

- **Υγιεινή & Συντήρηση:** Οι εσωτερικές μονάδες VRF από πλευράς υγιεινής μοιάζουν με τα fan coil – έχουν φίλτρα που πρέπει να καθαρίζονται τακτικά και δίσκους συμπυκνωμάτων που χρειάζονται έλεγχο για αποστράγγιση και απολύμανση.
- **Ακουστική Άνεση:** Οι εσωτερικές μονάδες VRF παράγουν παρόμοιο επίπεδο θορύβου με τα αντίστοιχα fan coil ή split κλιματιστικά, καθώς έχουν ανεμιστήρες και εκτονωτές. Επιπλέον, η δυνατότητα εγκατάστασης κρυφών καναλάτων μονάδων VRF πάνω από τη ψευδοροφή του διαδρόμου σημαίνει ότι μπορούμε να έχουμε απουσία εμφανών μονάδων μέσα στους θαλάμους και χαμηλό θόρυβο μέσω στομιών με σιγαστήρες. Οι επίτοιχες μονάδες VRF (τύπου split) έχουν θόρυβο ανάλογο με ένα οικιακό κλιματιστικό – σε χαμηλή σκάλα ~25-30 dB, αλλά σε δυνατή λειτουργία 40+ dB. Σε ένα ψυχιατρικό δωμάτιο ύπνου αυτό δεν είναι ιδανικό, άρα θα πρέπει να γίνεται προσεκτική μελέτη. Οι εξωτερικές μονάδες VRF παράγουν επίσης θόρυβο (κομπρέσσορες, ανεμιστήρες), όμως αυτές τοποθετούνται εκτός κτιρίου (συνήθως σε δώμα) και πρέπει να τηρούνται οι κανονισμοί θορύβου περιβάλλοντος για να μην ενοχλούν.

Συνολικά, τα VRF δίνουν τη δυνατότητα για αθόρυβη λειτουργία αν σχεδιαστούν σωστά, αλλά αν απλώς τοποθετηθούν ντουλάπες ή κασέτες υψηλής ισχύος σε κάθε χώρο χωρίς μέριμνα, ο θόρυβος μπορεί να είναι ισχυρός. Γενικά, τα VRF είναι μια ολοκληρωμένη λύση υψηλής τεχνολογίας, κατάλληλη για κτίρια σαν την υπό μελέτη κλινική, εφόσον προτεραιότητα είναι η αποδοτικότητα και ο ακριβής έλεγχος πολλών ζωνών.

Κεφάλαιο 3 Παρουσίαση του κτιρίου Υγείας και Πρόνοιας

3.1 Τοποθεσία και κλιματική ταξινόμηση

Το κτίριο της μελέτης βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή της Λάρισας, η οποία εντάσσεται στη Κλιματική Ζώνη Β, σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ). Η Λάρισα παρουσιάζει ψυχρό χειμώνα και θερμό καλοκαίρι, με σημαντικές ετήσιες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, κάτι που καθιστά την ορθή θερμική προστασία του κτιρίου ιδιαίτερα κρίσιμη τόσο για λόγους άνεσης όσο και ενεργειακής απόδοσης.

Το μικροκλίμα της περιοχής, οι ηλιακές προσβολές και η διεύθυνση των ανέμων έχουν ληφθεί υπόψη στο γενικό σχεδιασμό του κτιρίου, καθώς επηρεάζουν τον φωτισμό, τη σκίαση, τον φυσικό αερισμό και την απόδοση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης [8].

3.2 Χρήση και λειτουργία κτιρίου

Το υπό μελέτη κτίριο είναι μία υπό κατασκευή ψυχιατρική κλινική, η οποία προβλέπεται να στεγάσει πλήθος υπηρεσιών ψυχικής υγείας και περίθαλψης. Το λειτουργικό του πρόγραμμα έχει διαμορφωθεί σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες του Υπουργείου Υγείας για τις Μονάδες Ψυχικής Υγείας και καλύπτει τις ανάγκες:

- **πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας φροντίδας ψυχικής υγείας:** Είναι οι υπηρεσίες που δέχεται ένας ασθενής στο σύστημα υγείας για την πρόληψη, αναγνώριση και αρχική αντιμετώπιση ψυχικών διαταραχών.
- **διαχείρισης οξέων και χρόνιων ψυχιατρικών περιστατικών:** Αφορά την αντιμετώπιση ασθενών με ψυχικές διαταραχές, τόσο σε καταστάσεις κρίσης (οξέα περιστατικά) όσο και σε μακροχρόνιες καταστάσεις (χρόνια περιστατικά).
- **θεραπευτικής υποστήριξης:** Η θεραπευτική υποστήριξη καλύπτει το σύνολο των θεραπευτικών παρεμβάσεων που αποσκοπούν στην ανακούφιση των συμπτωμάτων, τη βελτίωση της λειτουργικότητας και την ενίσχυση της ψυχικής ανθεκτικότητας του ασθενούς.

Το κτίριο θα λειτουργεί σε 24ωρη βάση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, γεγονός που συνεπάγεται αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό, αερισμό και ζεστό νερό χρήσης (ZNX).

3.3 Αρχιτεκτονική Δομή και Κατανομή χρήσεων

Το κτίριο αναπτύσσεται σε τέσσερα επίπεδα: Υπόγειο, Ισόγειο, Όροφος και Δώμα. Η αρχιτεκτονική του σύνθεση συνδυάζει λειτουργικότητα, ευελιξία και ασφαλή διακίνηση προσωπικού και ασθενών.

Το υπόγειο του κτιρίου περιλαμβάνει:

- **Ηλεκτρομηχανολογικούς χώρους:** λέβητες, αντλίες, δεξαμενές, κεντρικές μονάδες HVAC
- **Αποθηκευτικούς χώρους:** φαρμακείο, υλικά, αναλώσιμα
- **Αρχείο και χώρους ηλεκτρονικής υποδομής**

Η πρόσβαση στο υπόγειο πραγματοποιείται μέσω εσωτερικής σκάλας και ανελκυστήρα.

Το ισόγειο αποτελεί τον βασικό πυρήνα των καθημερινών λειτουργιών και αποτελείται από:

- **Εξωτερικά ιατρεία:** χώροι για εξετάσεις, συναντήσεις με ψυχολόγους, κοινωνικούς λειτουργούς
- **Τμήμα επειγόντων:** διαχείριση οξέων περιστατικών, με δυνατότητα προσωρινής νοσηλείας
- **Νοσοκομείο ημέρας:** χώροι ημι-νοσηλείας ασθενών που δεν απαιτούν διανυκτέρευση
- **Χώροι υποδοχής και αναμονής:** με εργονομικό σχεδιασμό και έμφαση στον φυσικό φωτισμό
- **Διοικητικές και υποστηρικτικές λειτουργίες:** γραμματεία, αρχείο, WC κοινού

Η συνολική επιφάνεια του ισογείου εκτιμάται σε περίπου 2.000 m².

Ο όροφος περιλαμβάνει κυρίως μονάδες νοσηλείας, όπως:

- Κλίνες μέσης και βραχείας διάρκειας
- Ειδικοί χώροι υποστήριξης
- Διοικητικά ή επιστημονικά τμήματα, γραφεία προσωπικού και αίθουσες πολλαπλών χρήσεων

Η κατανομή των θαλάμων νοσηλείας, των χώρων υγιεινής, των διαδρόμων και των χώρων υποστήριξης συμμορφώνεται με τους κανονισμούς υγειονομικής ασφάλειας και τις απαιτήσεις διακίνησης προσωπικού/ασθενών.

Τέλος στο δώμα προβλέπεται η τοποθέτηση κεντρικών μονάδων θέρμανσης/ψύξης (αντλίες θερμότητας, VRV), μονάδων επεξεργασίας και ανάκτησης αέρα, ηλιακών θερμικών συλλεκτών για ZNX και φωτοβολταϊκών πάνελ για αυτοπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η προσβασιμότητα είναι περιορισμένη και προβλέπεται μόνο για συντήρηση από τεχνικό προσωπικό.

3.4 Τεχνικά και Λειτουργικά Χαρακτηριστικά Ψυχιατρικής Κλινικής

Η φύση και η λειτουργία μιας ψυχιατρικής κλινικής επιβάλλουν την εφαρμογή συγκεκριμένων προδιαγραφών σχεδιασμού και τεχνικών απαιτήσεων, οι οποίες διαφοροποιούνται σημαντικά από εκείνες άλλων τύπων κτιρίων, όπως οι κατοικίες ή τα γραφεία. Οι απαιτήσεις αυτές επηρεάζουν άμεσα την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου, καθώς αφορούν τόσο τις συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης όσο και την υγειονομική ασφάλεια, τη συνεχή λειτουργία και τον εσωτερικό περιβαλλοντικό έλεγχο.

Καθώς πρόκειται για χώρο που φιλοξενεί ευπαθείς ομάδες, είναι απαραίτητο να διασφαλίζονται σταθερές και ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και αερισμού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Επιπλέον, η συνεχής λειτουργία του κτιρίου (24 ώρες το 24ωρο, 7 ημέρες την εβδομάδα) συνεπάγεται αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις για τις βασικές χρήσεις, όπως η θέρμανση, η ψύξη, ο φωτισμός, η παραγωγή ZNX και ο μηχανικός αερισμός.

Ο σχεδιασμός των Η/Μ εγκαταστάσεων πρέπει να ανταποκρίνεται σε αυξημένα πρότυπα αξιοπιστίας και αυτονομίας, με δυνατότητα ζωνικού ελέγχου ανάλογα με τη χρήση κάθε χώρου (π.χ. θάλαμοι νοσηλείας, αίθουσες θεραπείας, διοικητικές υπηρεσίες).

Επιπρόσθετα, η αρχιτεκτονική και τεχνική διαρρύθμιση οφείλει να ελαχιστοποιεί τους κινδύνους για τους ασθενείς, να διευκολύνει την επίβλεψη από το προσωπικό, και να προβλέπει τεχνικές λύσεις με ανθεκτικότητα και ασφάλεια στη χρήση.

Οι παραπάνω παράμετροι συνοψίζονται στον Πίνακα 1, όπου παρουσιάζονται οι κύριες τεχνικές και λειτουργικές απαιτήσεις για την κτιριακή και Η/Μ υποδομή μιας σύγχρονης ψυχιατρικής κλινικής, καθώς και η επίδρασή τους στην ενεργειακή αποδοτικότητα και στη διαδικασία ενεργειακής προσομοίωσης.

Πίνακας 1: Λειτουργικές προδιαγραφές κτιρίου

Παράμετρος	Απαίτηση Ψυχιατρικής Κλινικής
Θερμική άνεση	20–24 °C, σταθερή θερμοκρασία χωρίς διακυμάνσεις
Ποιότητα αέρα (IAQ)	6–10 ΑΧΑ/ώρα, φίλτρα F7 ή HEPA
Φωτισμός	Φυσικός όπου είναι δυνατόν, τεχνητός με LED υψηλής απόδοσης
Ηχομόνωση	Αυξημένη ηχομόνωση μεταξύ θαλάμων και διαδρόμων
Ασφάλεια	Περιορισμός ανοίγματος παραθύρων, ασφαλή φωτιστικά, απαλές γωνίες

3.5 Ενεργειακή Στοχοθέτηση

Η παρούσα μελέτη στοχεύει στον σχεδιασμό ενός σύγχρονου κτιρίου υγειονομικής χρήσης, το οποίο πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) και κατατάσσεται τουλάχιστον στην ενεργειακή κατηγορία Α. Παράλληλα, επιδιώκεται η προσέγγιση του προτύπου σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (nZEB), όπως ορίζεται στη σχετική ευρωπαϊκή και εθνική νομοθεσία για τα νέα δημόσια και ιδιωτικά κτίρια [9].

Για την επίτευξη των στόχων αυτών, προβλέπεται η εφαρμογή ενός συνδυασμού παθητικών και ενεργητικών μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Σε επίπεδο κελύφους, δίνεται έμφαση στη βελτιστοποίηση της θερμομονωτικής ικανότητας όλων των δομικών στοιχείων (τοίχοι, οροφές, δάπεδα, κουφώματα), με επιλογή υλικών χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας και ελαχιστοποίηση των θερμογεφυρών. Η αεροστεγανότητα και η ηλιακή σκίαση λαμβάνονται επίσης υπόψη, προκειμένου να μειωθούν οι ψυκτικές και θερμικές φορτίσεις.

Σε επίπεδο Η/Μ εξοπλισμού, η μελέτη υιοθετεί αντλίες θερμότητας υψηλού βαθμού απόδοσης για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης. Παράλληλα, προβλέπεται σύστημα μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας, το οποίο βελτιώνει την ποιότητα εσωτερικού αέρα χωρίς ενεργειακές απώλειες. Για τον φωτισμό, γίνεται αποκλειστική χρήση τεχνολογίας LED με έλεγχο φωτεινότητας, ενώ ενσωματώνονται συστήματα αυτοματισμών για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του κτιρίου.

Τέλος, ενσωματώνεται φωτοβολταϊκό σύστημα κατάλληλης ισχύος για την αξιοποίηση ανανεώσιμης ενέργειας επιτόπου (on-site), συμβάλλοντας στη μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και των εκπομπών CO₂. Η ενεργειακή στόχευση συνδυάζει τις παραπάνω παρεμβάσεις σε ένα ολοκληρωμένο σχέδιο σχεδιασμού, με βάση την ανάλυση που πραγματοποιείται μέσω δυναμικής προσομοίωσης σε εξειδικευμένο λογισμικό.

Κεφάλαιο 4 Περιγραφή και Χρήση του FineGreen

4.1 Εισαγωγή στο FineGreen

Το FineGreen είναι ένα ολοκληρωμένο λογισμικό δυναμικής ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων, αναπτυγμένο από την εταιρεία 4M. Αποτελεί ένα σύγχρονο εργαλείο που συνδυάζει την ευκολία χρήσης περιβάλλοντος CAD/BIM με την αξιοπιστία της υπολογιστικής μηχανής EnergyPlus. Συγκεκριμένα, το FineGreen λειτουργεί ως γραφικό περιβάλλον (GUI) για το EnergyPlus, ενσωματώνοντας επίσημα τον διεθνώς αναγνωρισμένο πυρήνα προσομοίωσης του. Αυτό σημαίνει ότι κάθε προσομοίωση εκτελείται με ωριαίο βήμα για όλες τις 8.760 ώρες του έτους, εξασφαλίζοντας μέγιστη ακρίβεια στην προσέγγιση της πραγματικής συμπεριφοράς του κτιρίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι το FineGreen αποτελεί επίσημο εγκεκριμένο γραφικό περιβάλλον του EnergyPlus και είναι καταχωρημένο στον διεθνή κατάλογο λογισμικών ενεργειακής προσομοίωσης BEST, γεγονός που υπογραμμίζει την εγκυρότητα και αποδοχή του από τη διεθνή κοινότητα [10].

Το FineGreen διακρίνεται για το φιλικό περιβάλλον εργασίας του, το οποίο θυμίζει κλασικά προγράμματα CAD όπως το AutoCAD. Ο μελετητής έχει τη δυνατότητα να εργαστεί απευθείας σε ένα έξυπνο τρισδιάστατο BIM μοντέλο του κτιρίου, όπου τα δομικά στοιχεία (τοιχοί, δάπεδα, στέγες, ανοίγματα κλπ.) αποτελούν αντικείμενα με ενσωματωμένες ιδιότητες (διαστάσεις, υλικά, θερμικά χαρακτηριστικά, κ.ά.). Το λογισμικό υποστηρίζει πλήρη συμβατότητα με αρχεία DWG και IFC, επιτρέποντας την εύκολη εισαγωγή αρχιτεκτονικών BIM μοντέλων από άλλα προγράμματα (Revit, Archicad, SketchUp Pro κ.ά.). Έτσι, οποιοδήποτε υπάρχον σχέδιο ή μοντέλο του κτιρίου μπορεί να αξιοποιηθεί άμεσα στο FineGreen, διευκολύνοντας σημαντικά τη διαδικασία προσομοίωσης.

Βασικές λειτουργίες: Το FineGreen προσφέρει πλούσιες βιβλιοθήκες και εργαλεία που καλύπτουν όλες τις πτυχές μιας ενεργειακής μελέτης. Διαθέτει εκτεταμένες βιβλιοθήκες δομικών υλικών και στοιχείων (τοιχοποιίες, μονώσεις, υαλοστάσια κ.λπ.) σύμφωνα με διεθνή πρότυπα όπως το ASHRAE 90.1. Επιπλέον, περιλαμβάνει βιβλιοθήκες Η/Μ συστημάτων – από απλές μονάδες κλιματισμού μέχρι σύνθετα κεντρικά συστήματα HVAC

– καθώς και πρότυπα σενάρια δραστηριότητας (occupancy templates) βάσει ASHRAE 62.1 και τυπικά ημερήσια/εβδομαδιαία χρονοδιαγράμματα λειτουργίας βάσει ASHRAE 90.1. Ο μελετητής μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτές τις έτοιμες βάσεις δεδομένων (ή να τις τροποποιήσει) ώστε να προσομοιώσει με ρεαλισμό τη λειτουργία του κτιρίου. Παράλληλα, το FineGreen δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης πολλαπλών εναλλακτικών σεναρίων ενεργειακού σχεδιασμού, βοηθώντας στην αξιολόγηση διαφορετικών λύσεων και την επιλογή της βέλτιστης, ανάλογα με τα κριτήρια του έργου. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τη διερεύνηση παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς ο χρήστης μπορεί να δει συγκριτικά την απόδοση κάθε σεναρίου (π.χ. αλλαγή συστημάτων, βελτίωση μόνωσης κ.τ.λ.) [11].

Σχέση με EnergyPlus και συμμόρφωση με KENAK: Όπως αναφέρθηκε, η “καρδιά” των υπολογισμών του FineGreen είναι η μηχανή EnergyPlus, η οποία είναι αναγνωρισμένη διεθνώς και συμμορφώνεται πλήρως με πρότυπα οργανισμών όπως η ASHRAE και το CIBSE. Το γεγονός αυτό διασφαλίζει ότι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι αξιόπιστα και σύμφωνα με τις βέλτιστες πρακτικές. Στο ελληνικό πλαίσιο, το FineGreen και το EnergyPlus ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK). Ο KENAK επιβάλλει να λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως ο προσανατολισμός, οι σκιάσεις, οι κλιματικές συνθήκες κάθε περιοχής, τα προφίλ χρήσης του κτιρίου κ.ά. – στοιχεία που η δυναμική προσομοίωση του FineGreen ενσωματώνει με ακρίβεια.

Επιπλέον, το λογισμικό υπολογίζει τους απαραίτητους δείκτες ενεργειακής απόδοσης (π.χ. την ετήσια κατανάλωση ανά τετραγωνικό μέτρο, τις επιμέρους καταναλώσεις ανά χρήση, τον δείκτη πρωτογενούς ενέργειας) βάσει των οποίων γίνεται η ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου. Έτσι, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ), όπου το κτίριο κατατάσσεται σε ενεργειακή κατηγορία (από A+ έως H) ανάλογα με την απόκλιση του από ένα πρότυπο κτίριο αναφοράς.

Με άλλα λόγια, το FineGreen παράγει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τη συμμόρφωση με τον KENAK και την τεκμηρίωση ότι μια μελέτη πληροί τις εθνικές απαιτήσεις.

Καταλληλότητα για προσομοίωση υγειονομικών δομών: Οι δομές υγείας, όπως μια ψυχιατρική κλινική, παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες που τις καθιστούν ενεργοβόρες και απαιτητικές στη μοντελοποίηση. Συγκεκριμένα, χαρακτηρίζονται από συνεχή λειτουργία 24/7, δηλαδή το κτίριο λειτουργεί αδιάκοπα μέρα-νύχτα, σε αντίθεση με άλλα κτίρια (π.χ. γραφεία) που έχουν διακοπή λειτουργίας τη νύχτα ή τα Σαββατοκύριακα. Αυτό συνεπάγεται ότι δεν υπάρχουν μεγάλα περιθώρια για νυχτερινές μειώσεις θέρμανσης/κλιματισμού ή για πλήρη διακοπή φωτισμού – οι ενεργειακές απαιτήσεις παραμένουν υψηλές καθ' όλο το 24ωρο.

Επιπλέον, σε μια ψυχιατρική κλινική υπάρχει ανάγκη για αυξημένο αερισμό και συνεχή παροχή φρέσκου αέρα για λόγους υγιεινής και άνεσης των ασθενών. Οι πρότυπες απαιτήσεις νωπού αέρα για κτίρια του τριτογενούς τομέα (όπου ανήκουν και τα κτίρια υγείας) καλύπτονται σχεδόν αποκλειστικά μέσω μηχανικού αερισμού/κλιματισμού, πράγμα που σημαίνει ότι μεγάλοι όγκοι αέρα πρέπει να θερμαίνονται ή να ψύχονται συνεχώς.

Επίσης, οι απαιτήσεις θερμικής άνεσης είναι ιδιαίτερα αυστηρές: σε χώρους νοσηλείας απαιτείται η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία να διατηρούνται εντός στενών ορίων για την ευεξία και ασφάλεια ευπαθών ασθενών. Το FineGreen δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης αυτών των παραμέτρων – για παράδειγμα, μπορεί κανείς να εξαγάγει τις ωριαίες μεταβολές της θερμοκρασίας και της υγρασίας ανά ζώνη, ώστε να επαληθεύσει ότι τηρούνται οι συνθήκες άνεσης.

Τέλος, στις υγειονομικές μονάδες προβλέπεται φωτισμός ασφαλείας και γενικά υψηλά επίπεδα φωτισμού για λόγους ασφαλείας (π.χ. φωτισμός διαδρόμων τη νύχτα, εφεδρικά φώτα σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης). Αυτές οι ιδιαίτερες συνθήκες (24ωρη λειτουργία, συνεχής αερισμός, αυξημένος φωτισμός, κ.α.) οδηγούν σε σημαντικές ενεργειακές καταναλώσεις.

Η χρήση ενός λεπτομερούς εργαλείου όπως το FineGreen είναι απαραίτητη ώστε να μοντελοποιηθούν με ακρίβεια όλα τα παραπάνω και να ποσοτικοποιηθεί η επίδρασή τους στην ενεργειακή απόδοση της κλινικής. Με το FineGreen, ο μηχανικός μπορεί να εισάγει λεπτομερώς αυτές τις απαιτήσεις (π.χ. υψηλές παροχές νωπού αέρα, λειτουργία χωρίς διακοπή, ελάχιστα επίπεδα φωτισμού ασφαλείας τη νύχτα) και να αξιολογήσει τόσο τη

συνολική κατανάλωση όσο και πιθανές βελτιώσεις ή σενάρια εξοικονόμησης που θα ήταν δύσκολο να εκτιμηθούν με απλούστερες μεθόδους.

Το FineGreen είναι ένα ολοκληρωμένο λογισμικό ενεργειακής προσομοίωσης και πιστοποίησης κτιρίων, σχεδιασμένο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK) και βασισμένο στο δυναμικό υπολογιστικό μοντέλο του EnergyPlus. Ανήκει στην οικογένεια προγραμμάτων της 4M, μιας ελληνικής εταιρείας με ειδίκευση σε λογισμικά τεχνικών εφαρμογών, και προσφέρει εργαλεία τόσο για την ενεργειακή μελέτη όσο και για την επιθεώρηση υφιστάμενων ή νέων κτιρίων.

Το FineGreen επιτρέπει την προσομοίωση όλων των επιμέρους στοιχείων ενός κτιρίου — από τη γεωμετρία και τον προσανατολισμό, έως τα υλικά κατασκευής και τα ηλεκτρομηχανολογικά (Η/Μ) συστήματα — με στόχο τον υπολογισμό της ενεργειακής του απόδοσης. Παρέχει δυνατότητα καταχώρησης σεναρίων χρήσης, καθορισμού προφίλ λειτουργίας των συστημάτων, και σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών επιλογών σχεδιασμού.

Η αλληλεπίδραση με τον χρήστη γίνεται σε περιβάλλον BIM (Building Information Modeling), ενώ η σύνδεση με το EnergyPlus εξασφαλίζει υψηλή ακρίβεια υπολογισμών και συμμόρφωση με διεθνή πρότυπα προσομοίωσης.

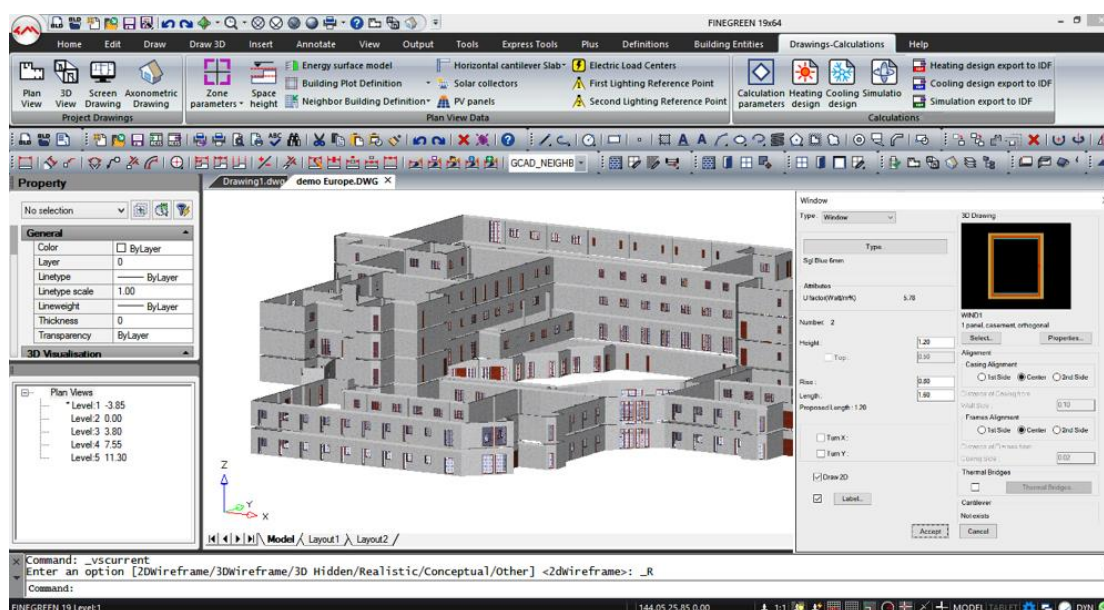
4.2 Βήματα προσομοίωσης

Η ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου με το FineGreen πραγματοποιήθηκε ακολουθώντας μια σειρά βημάτων, από τον ορισμό της γεωμετρίας του κτιρίου έως την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Στην ενότητα αυτή περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε:

4.2.1 Ορισμός γεωμετρίας και κατασκευαστικών στοιχείων

Το πρώτο βήμα είναι η δημιουργία του γεωμετρικού μοντέλου του κτιρίου στο περιβάλλον του FineGreen (Εικόνα 2). Χρησιμοποιώντας την 3D BIM πλατφόρμα του λογισμικού, εισάγεται η κάτοψη και τα αρχιτεκτονικά στοιχεία του κτιρίου. Στην παρούσα μελέτη, το κτίριο της κλινικής μοντελοποιήθηκε σε τρεις διαστάσεις, συμπεριλαμβανομένων όλων των περυγών και ορόφων, των εξωτερικών τοίχων, των διαχωριστικών, των δαπέδων/οροφών και των ανοιγμάτων (παράθυρα, πόρτες, υαλοστάσια). Ο σχεδιασμός

μπορεί να γίνει απευθείας στο FineGreen με τα διαθέσιμα εργαλεία σχεδίασης (τα οποία μιμούνται τη λειτουργικότητα ενός συστήματος CAD) ή εναλλακτικά μπορεί να εισαχθεί μια έτοιμη αρχιτεκτονική κάτοψη/μοντέλο μέσω DWG ή IFC αρχείου, εφόσον υπάρχει διαθέσιμο από τον αρχιτέκτονα. Στο στάδιο αυτό ορίζονται και τα θερμικά κέλυφη: δηλαδή ποιοι χώροι ανήκουν σε θερμικές ζώνες που κλιματίζονται και ποιοι είναι μη θερμαινόμενοι/μη κλιματιζόμενοι χώροι (π.χ. αποθήκες, κλιμακοστάσια αν δεν θερμαίνονται κλπ). Ο χειρισμός αυτός γίνεται εύκολα με επιλογή των χώρων στο 3D μοντέλο και χαρακτηρισμό τους ως ζώνες ή μη κλιματιζόμενοι χώροι. Παράλληλα, το FineGreen επιτρέπει τον ορισμό γειτονικών κτιρίων ή εμποδίων γύρω από το εξεταζόμενο κτίριο για τη σωστή μοντελοποίηση των σκιάσεων. Αυτό ήταν ιδιαίτερα σημαντικό αν το κτίριο βρίσκεται σε αστικό περιβάλλον με γειτονικές κατασκευές [11].



Εικόνα 2: Το περιβάλλον εργασίας του FineGreen κατά τη δημιουργία του BIM μοντέλου

Αφότου διαμορφωθεί η βασική γεωμετρία, πραγματοποιείται η εισαγωγή των κατασκευαστικών στοιχείων και υλικών για το κέλυφος του κτιρίου. Για κάθε επιφάνεια (εξωτερικοί τοίχοι, οροφή, δάπεδο επαφής με έδαφος, κουφώματα) καθορίζεται η σύνθεση των δομικών υλικών. Το FineGreen παρέχει έτοιμα πρότυπα τοιχοποιιών, οροφών και ανοιγμάτων, με προκαθορισμένες ιδιότητες σύμφωνα με τους κανονισμούς (π.χ. U-value, θερμοχωρητικότητα). Ειδικά, υπάρχει μεγάλη βιβλιοθήκη υλικών (δομικών

και μονωτικών) από διεθνείς βάσεις δεδομένων, όμως ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επεξεργαστεί ή να εισάγει νέα υλικά ώστε να αποτυπώσει με ακρίβεια τα πραγματικά υλικά της υπό μελέτη κλινικής (π.χ. πάχος και τύπος θερμομόνωσης στους τοίχους, είδος υαλοπίνακα κ.λπ.).

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στον υπολογισμό των θερμογεφυρών. Οι θερμογέφυρες (π.χ. στα σημεία σύνδεσης τοίχου-πλάκας, περιμετρικά κουφωμάτων, προβόλους κ.ά.) μπορεί να αυξάνουν σημαντικά τις θερμικές απώλειες σε ένα κτίριο υγείας, ειδικά αν η κατασκευή έχει πολλά ανοίγματα ή σύνθετη μορφολογία. Στο FineGreen οι θερμογέφυρες μπορούν να ληφθούν υπόψη είτε με άμεση μοντελοποίησή τους (σχεδιαστικά, μέσω λεπτομερούς μοντέλου) είτε έμμεσα, προσθέτοντας έναν προσαύξηση στις απώλειες των αντίστοιχων επιφανειών βάσει των συντελεστών ψ που δίνονται στις τεχνικές οδηγίες. Στην μελέτη μας ακολουθήθηκε η μεθοδολογία του KENAK: για κάθε τύπο θερμογέφυρας υπολογίστηκε το γραμμικό θερμικό ισοδύναμο και οι επιπλέον απώλειες προστέθηκαν στις ζώνες. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίστηκε ότι η προσομοίωση λαμβάνει υπόψη τη συνολική θερμική συμπεριφορά του κελύφους, χωρίς υποεκτίμηση των απωλειών.

Τέλος, στον ορισμό του κελύφους περιλαμβάνεται και η εισαγωγή των τοπικών κλιματικών δεδομένων. Επιλέχθηκε το κατάλληλο μετεωρολογικό αρχείο για την περιοχή όπου βρίσκεται η κλινική (κλίμα Λάρισας, δεδομένα TMY), το οποίο φορτώθηκε στο FineGreen. Το λογισμικό υποστηρίζει λεπτομερή κλιματικά δεδομένα (ωριαίες τιμές θερμοκρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας, υγρασίας, ανέμου κ.λπ. για όλο το έτος) για μεγάλο πλήθος πόλεων, τα οποία μπορούν να ληφθούν από τη βιβλιοθήκη του EnergyPlus ή τον ιστότοπό του. Έτσι, η προσομοίωση διεξάγεται υπό ρεαλιστικές συνθήκες περιβάλλοντος, όπως απαιτείται και από τον KENAK (που ορίζει τυπικά κλιματολογικά δεδομένα ανά κλιματική ζώνη της Ελλάδας).

4.2.2 Καθορισμός ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων

Αφού ολοκληρωθεί η μοντελοποίηση του κτιριακού κελύφους, το επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή όλων των Ηλεκτρομηχανολογικών (Η/Μ) συστημάτων που επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση. Το FineGreen προσφέρει έναν εξειδικευμένο HVAC Editor που

καθοδηγεί τον μελετητή στον ορισμό των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, αερισμού κ.λπ., σε διασύνδεση πάντα με τις δυνατότητες και τα μοντέλα του EnergyPlus.

Σύστημα Θέρμανσης-Ψύξης (HVAC)

Για το κτίριο επιλέχθηκε ένα σύστημα HVAC που καλύπτει αξιόπιστα τις ανάγκες όλων των χώρων σε θέρμανση και δροσισμό. Το FineGreen επιτρέπει την περιγραφή ολοκληρωμένων διατάξεων HVAC, συμπεριλαμβανομένων των στοιχείων παραγωγής (ψύκτες, λέβητες), διανομής (δίκτυα αέρα ή νερού, αντλίες, ανεμιστήρες) και απόδοσης (τερματικές μονάδες όπως fan coils, VAV terminals κ.ά.), καθώς και τον καθορισμό των αποδόσεων τους (π.χ. βαθμοί απόδοσης, COP, βαθμοί θερμικών αποδόσεων λεβήτων, βαθμολογίες SEER/SCOP αν πρόκειται για αντλίες θερμότητας κλπ.).

Σύστημα Μηχανικού Αερισμού

Σε ένα κτίριο υγείας ο νωπός αέρας που απαιτείται είναι σημαντικός. Για κάθε ζώνη ορίστηκε στο FineGreen η παροχή νωπού αέρα (l/s ανά άτομο ή εναλλαγές αέρα ανά ώρα - ACH) σύμφωνα με τους κανονισμούς και τα πρότυπα σχεδιασμού (ενδεικτικά, για θαλάμους νοσηλείας ~6 ACH, για γραφεία ~4 ACH κ.ο.κ., ενώ ειδικοί χώροι όπως αποδυτήρια, λουτρά ή κουζίνες έχουν ξεχωριστές απαιτήσεις εξαγωγής/εισαγωγής αέρα). Το FineGreen δίνει τη δυνατότητα να εισάγουμε αυτές τις ροές ως χαρακτηριστικά κάθε ζώνης, είτε ως σταθερή παροχή φρέσκου αέρα είτε ως ποσοστό επί του συνολικού αέρα τροφοδοσίας.

Σύστημα Φωτισμού

Ο τεχνητός φωτισμός συνιστά σημαντικό μέρος της ηλεκτρικής κατανάλωσης, ιδίως σε χώρους που λειτουργούν όλο το 24ωρο.

Σύστημα Παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)

Οι ανάγκες ZNX σε μια ψυχιατρική κλινική είναι σημαντικές (θερμό νερό για ντους ασθενών, καθαριότητα, κουζίνα, πλυντήρια κλπ.).

Αυτοματισμοί και Έλεγχοι

Ένα σύγχρονο κτίριο υγείας διαθέτει συνήθως Σύστημα Διαχείρισης Κτιρίου (BMS) που επιβλέπει και ρυθμίζει τη λειτουργία των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων.

4.2.3 Σενάρια χρήσης, ωράρια λειτουργίας και εσωτερικά φορτία

Αφού οριστεί η υλική υποδομή του κτιρίου (κέλυφος και συστήματα), πρέπει να καθοριστεί πώς αυτό χρησιμοποιείται στην πράξη, δηλαδή τα σενάρια χρήσης. Εδώ περιλαμβάνονται τα ωράρια λειτουργίας των χώρων, ο αριθμός και η συμπεριφορά των χρηστών, καθώς και τα εσωτερικά κέρδη από τον εξοπλισμό και τους ανθρώπους. Η σωστή αποτύπωση των παραμέτρων αυτών είναι ιδιαίτερα σημαντική για μια ρεαλιστική προσομοίωση, ειδικά σε ένα κτίριο υγείας όπου η χρήση δεν είναι ομοιόμορφη σε όλους τους χώρους.

Ωράρια λειτουργίας και πληρότητα χώρων

Για κάθε θερμική ζώνη ορίστηκε ένα ημερήσιο και εβδομαδιαίο πρόγραμμα λειτουργίας.

Πληθυσμός και δραστηριότητα χρηστών

Στη συνέχεια, ορίστηκαν οι εσωτερικές φορτίσεις από τους ανθρώπους. Για κάθε χώρο, το FineGreen (μέσω EnergyPlus) υπολογίζει τα θερμικά κέρδη από τους ανθρώπους ανάλογα με τον αριθμό τους και το είδος δραστηριότητας.

Εσωτερικά κέρδη από εξοπλισμό

Ένα νοσηλευτικό ίδρυμα περιλαμβάνει ποικίλο ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό που εκπέμπει θερμότητα.

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία εισαγωγής όλων των απαιτούμενων δεδομένων (γεωμετρία, κατασκευαστικά στοιχεία, συστήματα, φορτία και ωράρια), το μοντέλο της κλινικής ήταν έτοιμο για την εκτέλεση της προσομοίωσης. Το FineGreen, μέσω του ενσωματωμένου υπολογιστικού πυρήνα του EnergyPlus, επιλύει το ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου σε ωριαία βάση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η διαδικασία αυτή υπολογίζει τις ροές θερμότητας διαμέσου του κελύφους, τις ανταλλαγές θερμότητας με τον αέρα, την απόδοση των συστημάτων HVAC και την κατανάλωση ενέργειας για κάθε σύστημα (θέρμανση, ψύξη, ανεμιστήρες, φωτισμός, συσκευές, ZNX) ώρα με την ώρα, λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές συνθήκες κάθε ώρας από το κλιματικό αρχείο. Η προσομοίωση ολοκληρωμένου έτους διασφαλίζει ότι αποτυπώνονται τόσο οι χειρότερες συνθήκες (ακραίο ψύχος, καύσωνας) όσο και η τυπική λειτουργία (με ενδιάμεσες εποχές,

νύχτα/μέρα κλπ.), κάτι που είναι απαραίτητο για έναν τόσο ευμετάβλητο χρήστη όπως ένα νοσοκομειακό κτίριο.

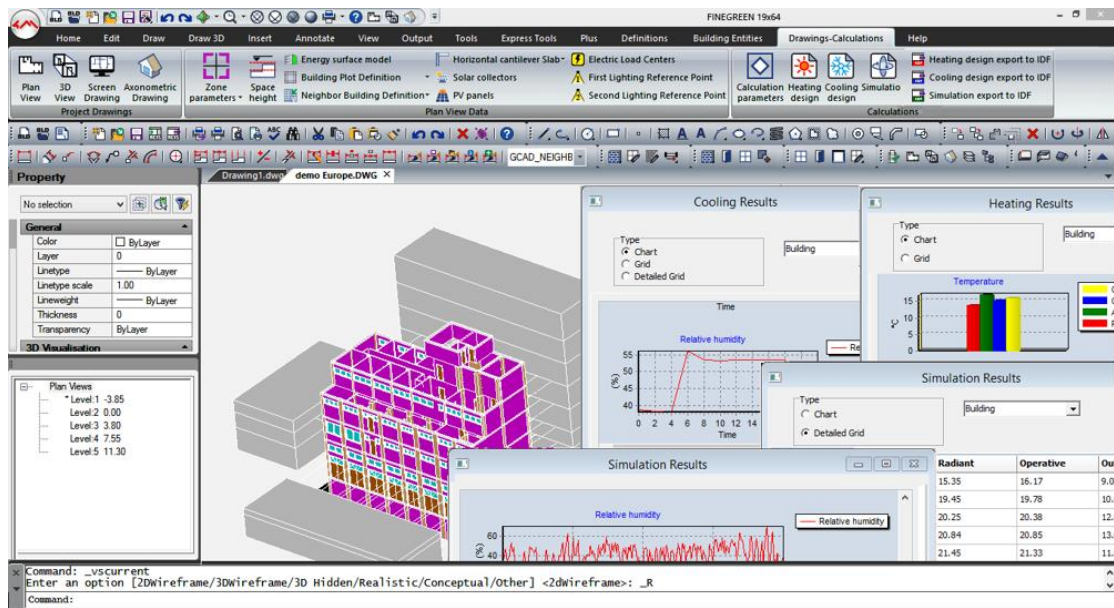
Με την ολοκλήρωση του υπολογισμού, το FineGreen παράγει μια πληθώρα αποτελεσμάτων (Εικόνα 3). Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης οργανώνονται σε αναλυτικούς πίνακες, γραφήματα και διαγράμματα, ώστε να διευκολύνεται η κατανόησή τους. Συγκεκριμένα, για την ψυχιατρική κλινική εξήχθησαν τα εξής βασικά στοιχεία:

Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις

Ο συνολικός ετήσιος καταναλισκόμενος ενεργειακός όγκος για θέρμανση (kWh θερμικής ενέργειας στον λέβητα), για ψύξη (kWh ηλεκτρικής ενέργειας στον ψύκτη), για ανεμιστήρες/αντλίες, για φωτισμό, για εξοπλισμό και για ZNX. Τα μεγέθη αυτά αποτελούν κρίσιμες πληροφορίες, διότι αποκαλύπτουν πού δαπανάται η ενέργεια στο κτίριο.

Μηνιαία κατανομή φορτίων και καταναλώσεων

Το FineGreen παρήγαγε διαγράμματα που δείχνουν την κατανομή των φορτίων θέρμανσης και ψύξης ανά μήνα. Αυτό μας επέτρεψε να δούμε, για παράδειγμα, ότι η κλινική έχει τη μέγιστη ανάγκη θέρμανσης τον Ιανουάριο (λόγω χαμηλών θερμοκρασιών) και μηδενική τον Ιούλιο-Αύγουστο, ενώ αντίστροφα η ψύξη κορυφώνεται τον Ιούλιο. Παράλληλα, σε πίνακες παρουσιάστηκαν οι μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις (π.χ. ηλεκτρικής ενέργειας) ανά χρήση. Αυτή η πληροφορία είναι χρήσιμη για τον ενεργειακό επιθεωρητή διότι συνδυάζεται και με το εποχικό κόστος ενέργειας (αν υπάρχουν διαφορετικές τιμές ρεύματος χειμώνα/καλοκαίρι κλπ.).



Εικόνα 3: Παράδειγμα αποτελεσμάτων προσομοίωσης στο FineGreen

Δείκτες ενεργειακής απόδοσης & KENAK

Με βάση τις συνολικές ετήσιες καταναλώσεις, υπολογίστηκε ο δείκτης συνολικής πρωτογενούς ενέργειας της κτιρικής (kWh/m^2 πρωτογενούς ενέργειας). Ο υπολογισμός αυτός έλαβε υπόψη τους συντελεστές πρωτογενούς ενέργειας για τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα (ηλεκτρισμός, πετρέλαιο) σύμφωνα με τον KENAK. Συγκρίνοντας τον δείκτη αυτόν με τον αντίστοιχο δείκτη του κτιρίου αναφοράς (όπως ορίζεται από τον KENAK για κτίρια υγείας και πρόνοιας), προσδιορίστηκε η ενεργειακή κατηγορία του κτιρίου. Η κατάταξη έγινε στην κλίμακα A+ έως H, όπου η κατηγορία A+ αντιστοιχεί σε εξαιρετικά αποδοτικό κτίριο (με σχεδόν μηδενική κατανάλωση), ενώ η κατηγορία H σε εξαιρετικά ενεργοβόρο.

Εν κατακλείδι, το λογισμικό FineGreen μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τις ανάγκες μιας λεπτομερούς ενεργειακής μελέτης σε κτίριο υγείας. Μέσω της διεξοδικής περιγραφής του κτιρίου και των συστημάτων του και της αξιόπιστης επίλυσης με τον υπολογιστικό πυρήνα του EnergyPlus, μπορούμε να ποσοτικοποιήσουμε με ακρίβεια την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου, να την συγκρίνουμε με τα πρότυπα και να εντοπίσουμε τα πεδία προς βελτίωση, διασφαλίζοντας παράλληλα ότι οι ιδιαίτερες απαιτήσεις λειτουργίας (συνθήκες άνεσης, 24ωρη λειτουργία κλπ.) ικανοποιούνται.

Κεφάλαιο 5 Ενεργειακή Επιθεώρηση και Προσομοίωση Κτιρίου Υγείας και Πρόνοιας

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η ενεργειακή επιθεώρηση του υπό μελέτη κτιρίου και η προσομοίωσή του με το λογισμικό FineGreen. Η διαδικασία περιλαμβάνει τη συλλογή και ανάλυση όλων των απαραίτητων δεδομένων του κτιρίου, τη μοντελοποίηση του κελύφους και των χώρων στο περιβάλλον του FineGreen, την εισαγωγή των ενεργειακών και λειτουργικών στοιχείων (όπως χαρακτηριστικά δομικών υλικών, συστημάτων και προφίλ χρήσης) και τέλος την εξαγωγή των υπολογιστικών αποτελεσμάτων και τον προσδιορισμό της ενεργειακής κατάταξης του κτιρίου. Στόχος της ενεργειακής επιθεώρησης είναι η καταγραφή της ενεργειακής κατανάλωσης, η αναγνώριση τυχόν απωλειών ενέργειας και η πρόταση μέτρων βελτίωσης, ενώ η διαδικασία οδηγεί στην έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) που κατατάσσει το κτίριο σε ενεργειακή κλάση από A+ έως H. Σημειώνεται ότι το ΠΕΑ δεν αποτυπώνει την πραγματική μετρούμενη κατανάλωση, αλλά μια εκτίμηση βάσει προσομοίωσης με τυποποιημένες συνθήκες χρήσης. Στις επόμενες ενότητες περιγράφονται αναλυτικά τα στάδια της μελέτης.

5.1 Συλλογή και Ανάλυση Δεδομένων

Το υπό μελέτη κτίριο είναι νεόδμητο, ευρισκόμενο στο στάδιο της κατασκευής, και βρίσκεται στην περιοχή της Λάρισας. Προορίζεται για χρήση ως κτίριο Υγείας και Πρόνοιας, με σύγχρονο σχεδιασμό που ακολουθεί τις αρχές βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής. Πρόκειται για 3οροφο κτίριο με υπόγειο, ισόγειο και έναν όροφο. Η συνολική επιφάνεια δόμησης κάθε ορόφου ανέρχεται σε περίπου 2.000 m².

Η φέρουσα κατασκευή είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα (πλαισιακό σύστημα υποστυλωμάτων και δοκών), σύμφωνα με τα εγκεκριμένα στατικά σχέδια εφαρμογής. Οι εξωτερικοί τοίχοι είναι τοιχοποιία πλήρωσης με διπλή οπτοπλινθοδομή και ενδιάμεση θερμομόνωση, εξασφαλίζοντας υψηλή θερμική απόδοση. Το κέλυφος του κτιρίου έχει μελετηθεί ώστε να πληροί τις απαιτήσεις του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK) για νέα κτίρια.

Ενδεικτικά, η θερμοπερατότητα των δομικών στοιχείων διατηρείται εντός των επιτρεπόμενων ορίων για την κλιματική ζώνη Β: οι εξωτερικοί τοίχοι επιτυγχάνουν $U \approx 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ (λαμβάνοντας υπόψιν και τις θερμογέφυρες) και η οροφή $U \approx 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$. Τα κουφώματα αποτελούνται από διπλούς υαλοπίνακες χαμηλής εκπεμψής σε πλαίσια με θερμοδιακοπή, επιτυγχάνοντας συντελεστή θερμοπερατότητας $U \sim 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, τιμή που ικανοποιεί τις προδιαγραφές (μέγιστο $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ για τη ζώνη Β). Ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί στη λεπτομερή μόνωση θερμογεφυρών και στην αεροστεγανότητα του κελύφους, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι θερμικές απώλειες και διεισδύσεις αέρα.

Από αρχιτεκτονικής πλευράς, το κτίριο σχεδιάστηκε με γνώμονα την ενεργειακή αποδοτικότητα και την άνεση των χρηστών. Έχει επιλεγεί κατάλληλη χωροθέτηση και προσανατολισμός του κτιρίου, με κύριες όψεις στραμμένες προς τον νότο και ανατολή για μέγιστη αξιοποίηση του ηλιακού φωτός και των τοπικών κλιματικών συνθηκών. Ο σχεδιασμός των ανοιγμάτων (παράθυρα, υαλοπετάσματα) ανά προσανατολισμό έγινε έτσι ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής ηλιασμός τον χειμώνα και φυσικός φωτισμός, χωρίς όμως να προκαλείται υπερθέρμανση το καλοκαίρι.

Παράλληλα, προβλέπονται τεχνικές φυσικού δροσισμού και αερισμού (π.χ. ανοίγματα για διαμπερή αερισμό, φυτεύσεις στον περιβάλλοντα χώρο) που συμβάλλουν στη βελτίωση του μικροκλίματος.

5.2 Επιλογή Συστημάτων Θέρμανσης, Ψύξης και Αερισμού

Για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, ψύξης και αερισμού του κτιρίου εξετάζονται διάφορες εναλλακτικές επιλογές συστημάτων, με στόχο τη βέλτιστη ενεργειακή απόδοση και συμμόρφωση με τα σύγχρονα πρότυπα. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κύριες διαθέσιμες επιλογές για κάθε υποσύστημα (θέρμανση, ψύξη, αερισμός) και στη συνέχεια γίνεται μια προκαταρκτική αξιολόγηση της καταλληλότερης λύσης με βάση το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο (ΚΕΝΑΚ και απαίτηση κτιρίων nZEB) [5].

Προκαταρκτική Αξιολόγηση: Με βάση τις παραπάνω εναλλακτικές, η πλέον συμφέρουσα επιλογή από άποψη ενεργειακής απόδοσης για το υπό μελέτη κτίριο είναι η εφαρμογή συστήματος θέρμανσης/ψύξης με αντλίες θερμότητας υψηλής απόδοσης, σε συνδυασμό με μηχανικό αερισμό με ανάκτηση θερμότητας. Τα συστήματα αντλιών θερμότητας (όπως

τα VRF) επιτυγχάνουν εξαιρετικά υψηλό βαθμό εκμετάλλευσης της καταναλισκόμενης ενέργειας και μπορούν να μειώσουν δραστικά την πρωτογενή κατανάλωση σε σύγκριση με συμβατικές λύσεις. Σύγχρονες μελέτες σε ελληνικά κτίρια δείχνουν ότι τα συστήματα VRV/VRF αντλιών θερμότητας όχι μόνο αποτελούν την πιο οικονομικά συμφέρουσα λύση θέρμανσης/ψύξης, αλλά συνδέονται και με τις χαμηλότερες τιμές κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (PEC) στο κτίριο. Αντίθετα, οι λύσεις που βασίζονται σε λέβητες ορυκτών καυσίμων – ακόμα και αν συνδυάζονται με αποδοτικούς ψύκτες για την ψύξη – έχουν υψηλότερες απαιτήσεις πρωτογενούς ενέργειας και εκπομπών για να επιτύχουν το ίδιο επίπεδο θερμικής άνεσης.

Επιπλέον, το ισχύον θεσμικό πλαίσιο στην Ελλάδα απαιτεί όλα τα νέα κτίρια από το 2021 και έπειτα να είναι σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB), δηλαδή να κατατάσσονται τουλάχιστον στην ενεργειακή κατηγορία A [9].

Αυτό σημαίνει ότι τα νέα κτίρια πρέπει να παρουσιάζουν εξαιρετικά υψηλή ενεργειακή απόδοση και πολύ χαμηλές ανάγκες σε συμβατική ενέργεια. Ένα μεγάλο μέρος της απαιτούμενης ενέργειας οφείλει να καλύπτεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ιδανικά με παραγωγή επιτόπου ή κοντά στο κτίριο (π.χ. μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων ή/και ηλιακών θερμικών).

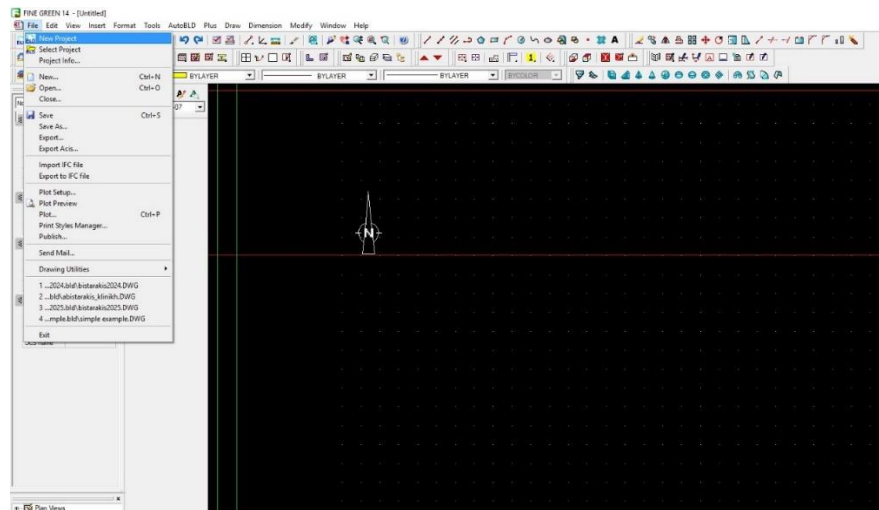
5.3 Μοντελοποίηση Κτιρίου στο FineGreen

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία δημιουργίας του ενεργειακού μοντέλου για το υπό μελέτη νεόδμητο κτίριο, χρησιμοποιώντας το λογισμικό FineGreen. Το FineGreen είναι ένα λογισμικό ενεργειακής προσομοίωσης με φιλοσοφία BIM, που επιτρέπει την άμεση εργασία πάνω σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο του κτιρίου και ενσωματώνει την υπολογιστική μηχανή EnergyPlus για την επίλυση της ενεργειακής προσομοίωσης.

Η ανάπτυξη του μοντέλου πραγματοποιήθηκε βήμα-βήμα, ξεκινώντας από την εισαγωγή των αρχιτεκτονικών σχεδίων και συνεχίζοντας με τη δημιουργία του 3D μοντέλου, τον καθορισμό ζωνών, την ανάθεση υλικών και συστημάτων, την εισαγωγή κλιματικών δεδομένων και λοιπών παραμέτρων, έως ότου το μοντέλο καταστεί έτοιμο για προσομοίωση [12].

5.3.1 Εισαγωγή γεωμετρίας από αρχείο DWG

Με την έναρξη του λογισμικού, ο χρήστης οδηγείται στην αρχική οθόνη. Από την εντολή "File > New Project" (Εικόνα 4), δημιουργείται ένα νέο έργο, στο οποίο το FineGreen δημιουργεί αυτόματα δύο βασικά αρχεία: ένα αρχείο τύπου .BLD που περιέχει την ενεργειακή μελέτη και ένα αρχείο τύπου .DWG που συνδέεται με το αρχιτεκτονικό υπόβαθρο του κτιρίου.



Εικόνα 4: Δημιουργία Νεας Μελέτης

5.3.2 Επεξήγηση Λειτουργιών του FineGreen

Πριν ξεκινήσει η διαδικασία μοντελοποίησης, είναι απαραίτητο να κατανοηθούν οι βασικές ενότητες του περιβάλλοντος εργασίας:

File: Διαχείριση αρχείων μελέτης (νέο έργο, αποθήκευση, εξαγωγή).

Edit: Επεξεργασία δεδομένων (αντιγραφή, αναίρεση, επανάληψη).

View: Ρυθμίσεις οπτικής αναπαράστασης του μοντέλου.

Insert: Εισαγωγή στοιχείων από τον χρήστη.

Format: Ορισμός μονάδων, χρωμάτων και άλλων παραμέτρων απεικόνισης.

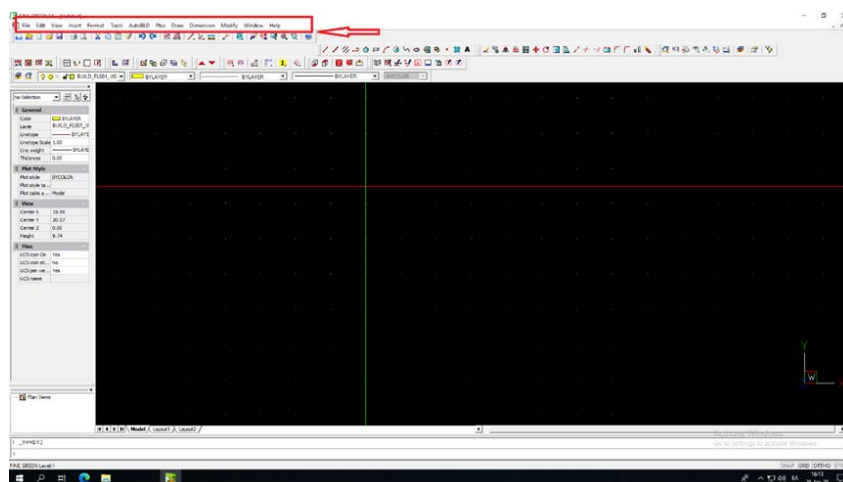
Tools: Υποστηρικτικά εργαλεία σχεδίασης.

AutoBLD: Κύρια λειτουργία εισαγωγής γεωμετρίας, κατασκευαστικών στοιχείων και συστημάτων.

Draw / Modify / Dimension: Εντολές σχεδίασης και επεξεργασίας αντικειμένων.

Help: Τεκμηρίωση και βοήθεια για τον χρήστη.

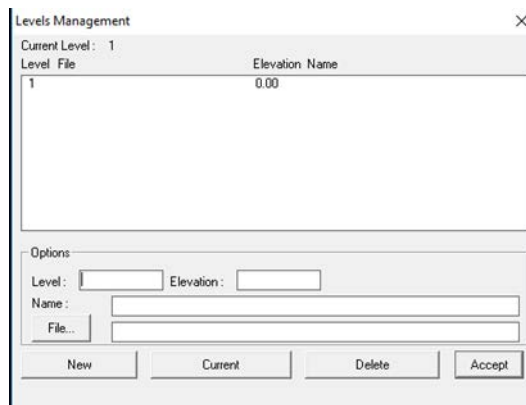
Ιδιαίτερη σημασία έχει η ομάδα εντολών AutoBLD, μέσω της οποίας πραγματοποιείται ο βασικός σχεδιασμός, η διαχείριση επιπέδων, η εισαγωγή βιβλιοθηκών και ο καθορισμός θερμικών ζωνών. Οι παραπάνω εντολές φαίνονται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5: Μενού FINEGREEN

5.3.3 Ορισμός Κτιρίου και Εισαγωγή Κατόψεων

Η διαδικασία ξεκινά με την επιλογή "Building Definition", όπου γίνεται ο καθορισμός των επιπέδων του κτιρίου (όροφοι, ισόγειο, δώμα) όπως φαίνεται στην Εικόνα 6 και Εικόνα 7.

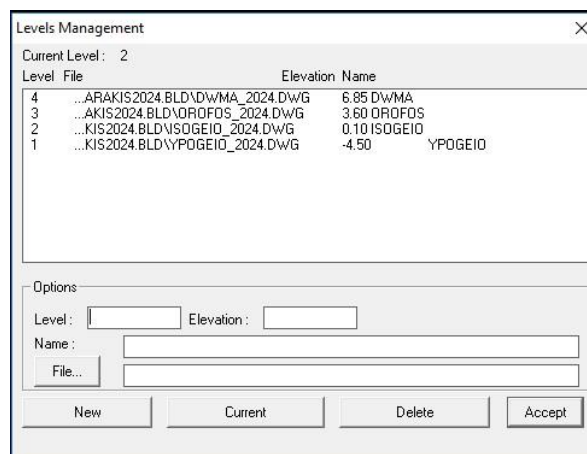


Εικόνα 6: Εισαγωγή επιπέδων

Για κάθε επίπεδο, ορίζονται ο αριθμός, η ονομασία του επιπέδου και το υψόμετρο δαπέδου (elevation).

Η σύνδεση γίνεται με το αντίστοιχο αρχείο DWG (με την εντολή WBLOCK).

Καθορίζεται επίσης κοινό σημείο αναφοράς ώστε οι όροφοι να στοιχιστούν με ακρίβεια στο τρισδιάστατο μοντέλο. Για το υπο μελέτη κτίριο ο καθορισμός επιπέδων γίνεται ως εξής (Εικόνα 7):



Εικόνα 7: Επίπεδα κτιρίου Υγείας κ Προνοια

5.3.4 Σχεδιασμός Κελύφους Κτιρίου

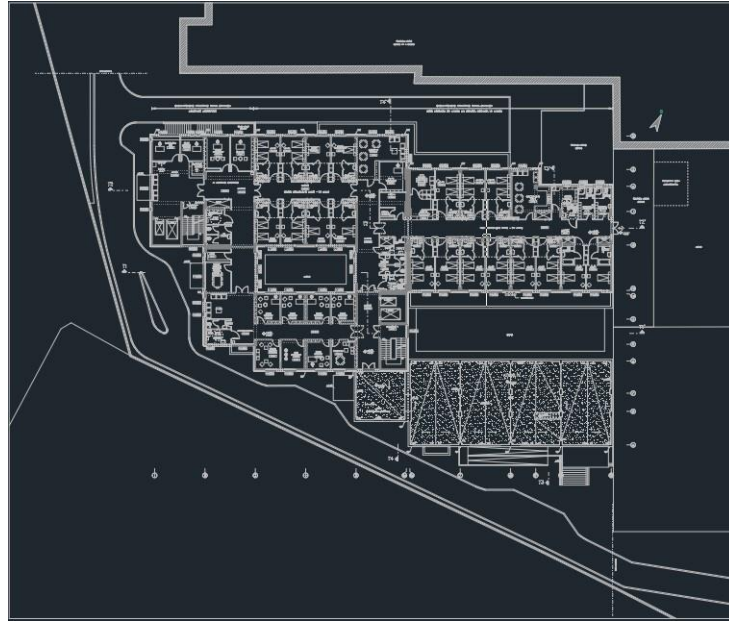
Ο σχεδιασμός του κελύφους πραγματοποιείται με βάση τις διαθέσιμες κατόψεις ανά επίπεδο. Για το κτίριο που μελετάμε, οι κατόψεις κάθε ορόφου απεικονίζονται στις Εικόνες 8, 9, 10 και 11.



Εικόνα 8: Κάτοψη υπογείου



Εικόνα 9: Κάτοψη ισογείου



Εικόνα 10: Κάτοψη Α' ορόφου



Εικόνα 11: Κάτοψη δώματος

Στη συνέχεια ο χρήστης επιλέγει όλα τα δομικά στοιχεία που συνθέτουν το κέλυφος του κτιρίου. Οι βασικές κατηγορίες δομικών στοιχείων που εισάγονται περιλαμβάνουν:

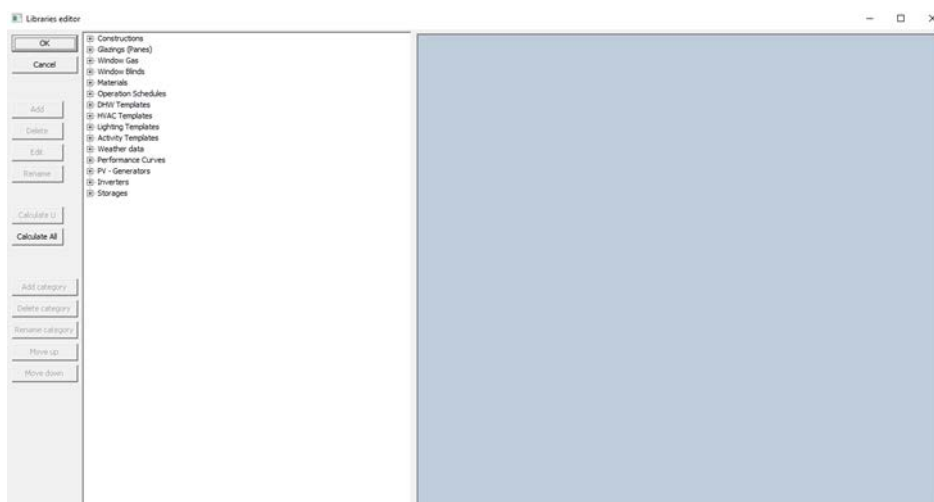
Εξωτερική τοιχοποιία: Χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι. Ο κύριος τύπος έχει πάχος 30 εκ., πενταστρωματική δομή, με υπολογιζόμενο συντελεστή θερμοπερατότητας $U = 0.328 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ο δεύτερος τύπος για τις κολώνες έχει πάχος 35 εκ. και $U = 0.385 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Ανοίγματα: Παράθυρα με $U = 2.665 \text{ W/m}^2\text{K}$, τριών στρώσεων, και εξωτερικές πόρτες με $U = 1.620 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Δάπεδα και οροφές: Κατασκευές πάχους 31 εκ., τετραστρωματικές ή πενταστρωματικές, με $U = 0.562$ και $U = 0.394$ αντίστοιχα.

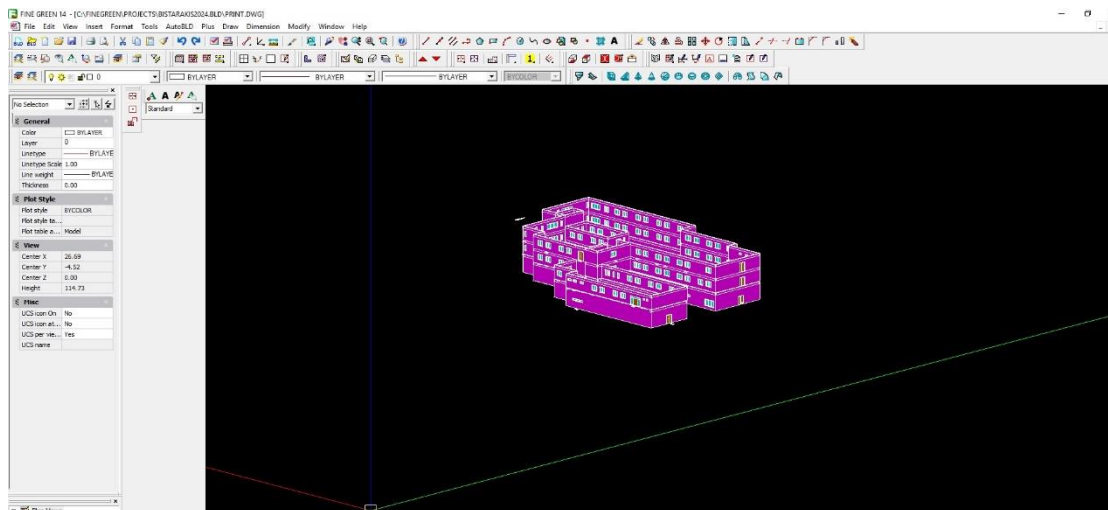
Τα στοιχεία επιλέγονται μέσω της εντολής AutoBLD → Typical Data και στη συνέχεια προσαρμόζονται με την εντολή Element Parameters. Ο σχεδιασμός ολοκληρώνεται με την ανάθεση των στοιχείων στις αντίστοιχες επιφάνειες μέσω AutoBLD → Wall/Floor/Ceiling.

Σε περίπτωση που χρειαστεί να δημιουργήσουμε κάποιο στοιχείο που δεν υπάρχει στην βιβλιοθήκη του FineGreen το κάνουμε μέσω της επιλογής Libraries. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 12, η επιλογή αυτή ανοίγει ένα παράθυρο που περιλαμβάνει τις διαθέσιμες βιβλιοθήκες του FineGreen, 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 12: Βιβλιοθήκη υλικών

Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία του πλήρους τρισδιάστατου κελύφους όπως φαίνεται στην Εικόνα 13, επί του οποίου στηρίζεται η υπόλοιπη ενεργειακή προσομοίωση.



Εικόνα 13: Τρισδιάστατη απεικόνιση κτιρίου

5.3.5 Διαμόρφωση Θερμικών Ζωνών

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η διαμόρφωση των θερμικών ζωνών του κτιρίου, δηλαδή ο διαχωρισμός του σε περιοχές με ανεξάρτητο έλεγχο ως προς τη θέρμανση και την ψύξη. Ο καθορισμός των θερμικών ζωνών αποτελεί κρίσιμο βήμα για τη στοχευμένη διαχείριση της ενέργειας, καθώς επιτρέπει την προσαρμογή των μηχανολογικών συστημάτων στις πραγματικές ανάγκες χρήσης κάθε ζώνης, μειώνοντας τη σπατάλη.

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, το κτίριο προσομοιώθηκε με δύο θερμικές ζώνες, εκ των οποίων η καθεμία αντιστοιχεί σε έναν πλήρη όροφο: ισόγειο και Α' όροφος. Το υπόγειο και ο χώρος του δώματος δεν συμπεριλήφθηκαν στην προσομοίωση, καθώς το μεν υπόγειο χαρακτηρίζονται ως μη θερμαινόμενος βοηθητικός χώρος και το δε δώμα δεν επηρεάζει ουσιαστικά την ενεργειακή συμπεριφορά του κελύφους [12].

Ο καθορισμός των ζωνών έγινε μέσω της εντολής AutoBLD → Element Parameters → Zones/Systems στο περιβάλλον του FineGreen.

Στην Εικόνα 14 βλέπουμε την καρτέλα Ζώνες/Συστήματα η οποία αποτελείται από:

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.

No	Zone Name	Prototype zone
1	zone 1	X
2	zone 2	

Zone Name :

☐ Use zone as Prototype

Zone Use :

Εικόνα 14: Καθορισμός ζωνών

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 από το παράθυρο καθορισμού των ζωνών, εμφανίζεται ένα παράθυρο με μια σειρά παραμέτρων όπως φαίνεται στην Εικόνα 15, 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.

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.

Activity

Activity template	
Template	Educational Facilities - Daycare s...
☐ Exclude zone from thermal calculations	
Floor Areas and Volumes	
Floor area (m2)	1978.69
Occupancy	
Density (people/m2)	0.2500
Schedule	Daycare Occupancy
Metabolic	
Metabolic rate per person (W/person)	81.000
Factor (men=1.00, women=0.85, children=0.75)	0.75
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	
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

Εικόνα 15: Καρτέλα Activity

Δεδομένα Φωτισμού (Lighting Data)

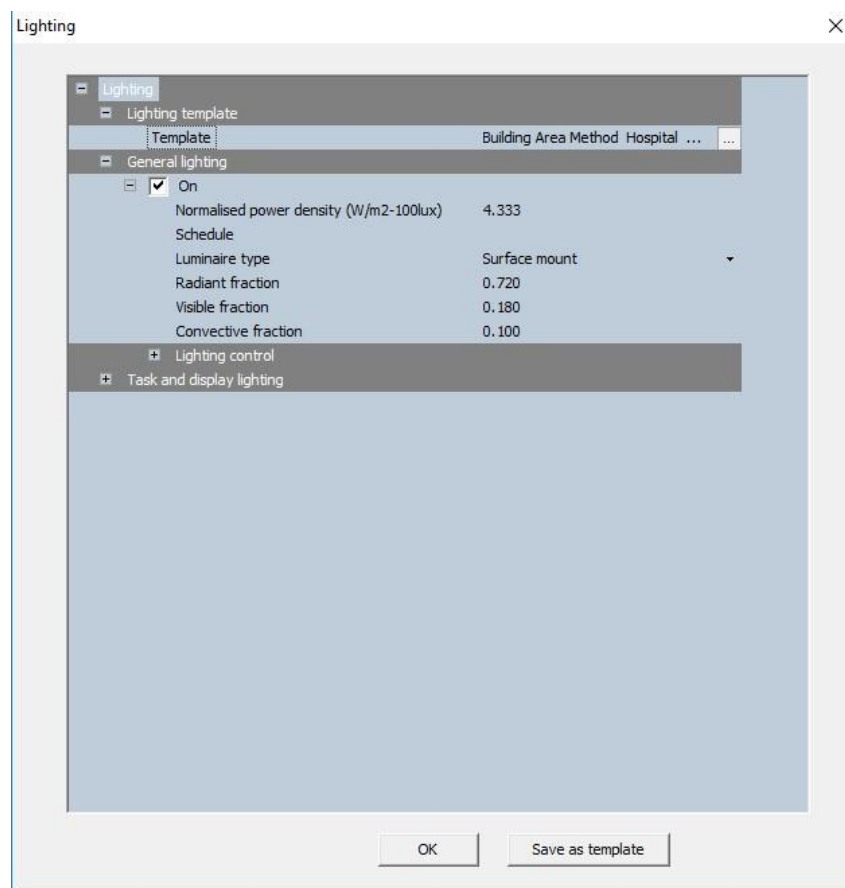
Η επιλογή της καρτέλας Lighting όπως φαίνεται στην Εικόνα 16, ανοίγει ένα παράθυρο για τη ρύθμιση παραμέτρων φωτισμού:

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.



Εικόνα 16: Καρτέλα φωτισμού

Σύστημα Κλιματισμού (HVAC)

Η επιλογή της καρτέλας HVAC (Εικόνα 17) 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:** Template: AU H/C VENTILATION
- Mechanical ventilation:**
 - ☒ On
 - Outside Air Definition Method: By Zone
 - Outside Air (ac/h): 0.0
 - Operation: Schedule: Daycare Occupancy
 - Heat Recovery: ☐ On
- Economiser:**
 - Type: None
- Auxiliary Energy:**
 - Pump etc. energy (W/m2): 0.0000
 - Schedule: Daycare Occupancy
- Heating:**
 - ☒ Heated
 - Fuel: Electricity
 - Heating system CoP: 4.000
 - 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: 4.000

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

Εικόνα 17: Καρτέλα HVAC

Ζεστό Νερό Χρήσης (DHW)

Επιλέγοντας την καρτέλα DHW (Εικόνα 18), εμφανίζεται ένα παράθυρο για τις παραμέτρους του ζεστού νερού:

DHW: Ρύθμιση COP και καυσίμου για θέρμανση νερού.

Operation Schedule: Επιλογή χρονοπρογράμματος λειτουργίας.

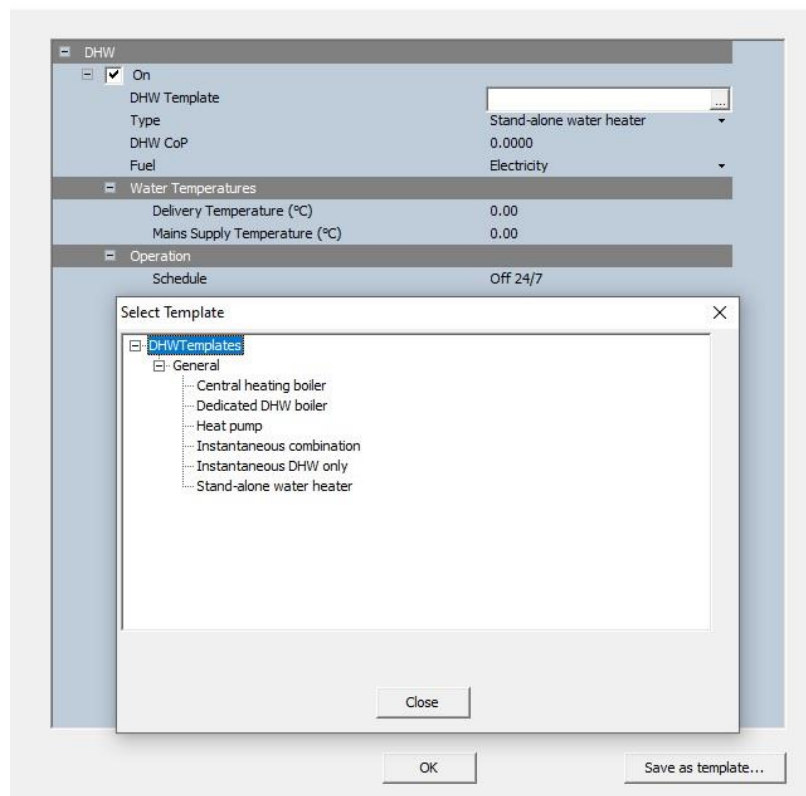
Δεδομένα Ζώνης (Zone Data)

Η καρτέλα Zone Data αφορά την ανεπιθύμητη ροή αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον λόγω φυσικών απωλειών. Εάν ενεργοποιηθεί, πρέπει να καθοριστούν:

Εναλλαγές αέρα ανά ώρα.

Χρονοπρόγραμμα λειτουργίας.

Επιπλέον Ρυθμίσεις (Other Functions).



Εικόνα 18: Ζεστό νερό χρήσης Template

Τα ίδια βήματα ακολουθούνται για να οριστούν και τα δεδομένα για τον α' όροφο. Επίσης όταν αλλάξουμε σενάριο θα πρέπει να αλλάξουμε στην καρτέλα Hvac το template.

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 της Λάρισας 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/>

5.4 Ανάλυση Θερμικών Απωλειών-Ενεργειακών Φορτίων

Το κτίριο έχει διαχωριστεί σε δύο βασικές θερμικές ζώνες:

Ζώνη 1: Ισόγειο

Ζώνη 2: Α' Όροφος

Κάθε ζώνη παρουσιάζει διαφορετικά θερμικά χαρακτηριστικά με βάση την επιφάνειά της, τη χρήση (παραμονής ασθενών, γραφεία, βοηθητικοί χώροι) και την έκθεση σε εξωτερικές απώλειες.

Το FineGreen παρουσιάζει τις θερμικές απώλειες και τα ενεργειακά φορτία μέσω γραφημάτων και πινάκων όπως φαίνεται στις Εικόνες 19, 20, 21, 22, 23 και 24.

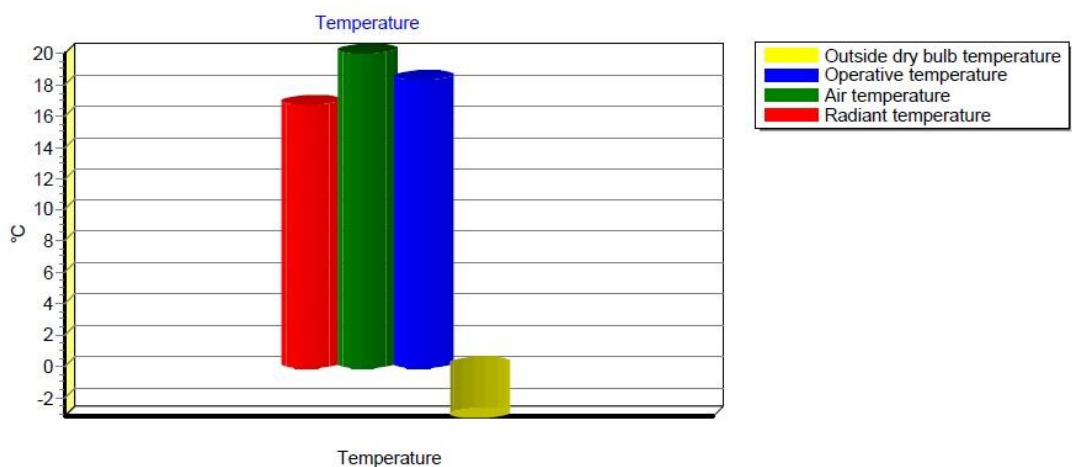
Η ανάλυση των θερμικών απωλειών και ενεργειακών φορτίων του κτιρίου αποτελεί βασικό στάδιο για την κατανόηση της ενεργειακής συμπεριφοράς κάθε θερμικής ζώνης. Οι απώλειες αυτές οφείλονται κυρίως στη μεταφορά θερμότητας από το κέλυφος (τοιχούς, οροφές, δάπεδα, υαλοστάσια), στον αερισμό και στην ακούσια διείσδυση εξωτερικού αέρα.

Θερμικές Απώλειες Ισογείου

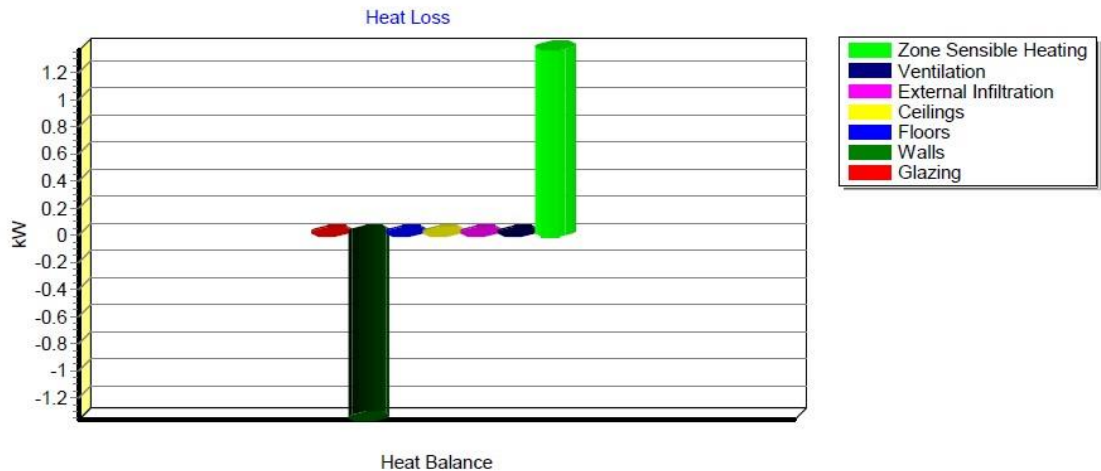
Σύμφωνα με τα διαγράμματα του FineGreen, οι κύριες πηγές απωλειών για τη θερμική ζώνη του ισογείου όπως φαίνεται στις Εικόνες 19 και 20, είναι:

- Τοίχοι & Υαλοστάσια: Σημαντικό ποσοστό των απωλειών προκαλείται από το εξωτερικό κέλυφος (τοίχοι, κουφώματα), ιδιαίτερα σε περιόδους χαμηλής εξωτερικής θερμοκρασίας.
- Διείσδυση Αέρα (Infiltration): Οι απώλειες από ανεξέλεγκτη διείσδυση αποτελούν κρίσιμο παράγοντα, ειδικά σε κτίρια με αυξημένες εναλλαγές αέρα.
- Απώλειες από οροφές και δάπεδα: Καταγράφηκαν επίσης απώλειες λόγω θερμικής μεταφοράς μέσω μη μονωμένων δαπέδων και οροφών, αν και μικρότερες σε ένταση.

Η συνολική απαίτηση για θέρμανση στο ισόγειο δεν ξεπερνά τα $1,2 \text{ Kw/m}^2$, με τις θερμικές απώλειες να ακολουθούν την εξωτερική θερμοκρασία, εμφανίζοντας αυξημένη ένταση κάτω από τους 5°C .



Εικόνα 19: Ραβδόγραμμα θερμοκρασιών ισογείου



Εικόνα 20: Θερμικές απώλειες ισογείου

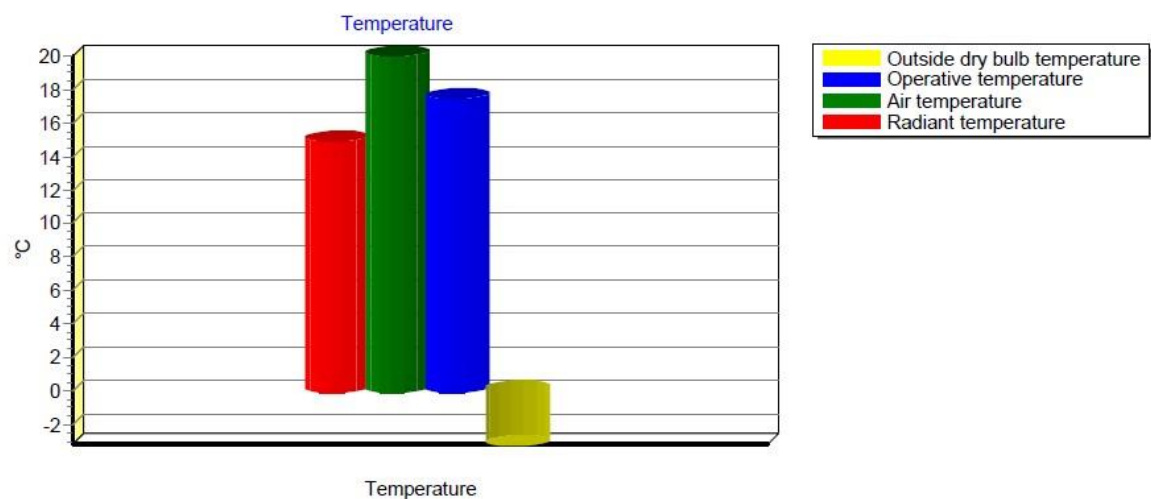
Θερμικές Απώλειες Α' Ορόφου

Η θερμική ζώνη του Α' ορόφου όπως φαίνεται στην Εικόνες 21 και 22 εμφανίζει υψηλότερο φορτίο θέρμανσης, με τις μέγιστες απαιτήσεις να αγγίζουν περίπου 8 kW/m^2 .

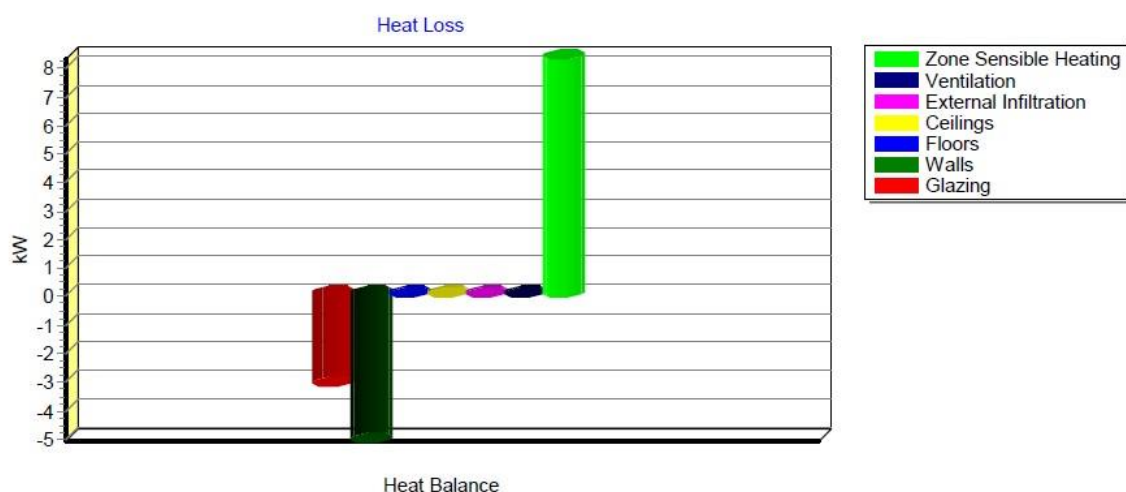
Οι κυριότερες συνιστώσες θερμικών απωλειών είναι:

- Εξωτερικά τοιχώματα και υαλοστάσια: Οι απώλειες από αυτούς τους δομικούς φορείς είναι πιο έντονες λόγω αυξημένου εμβαδού και έκθεσης.
- Απώλειες από την οροφή: Καθώς η οροφή έρχεται σε άμεση επαφή με τον εξωτερικό αέρα, οι θερμικές απώλειες είναι εντονότερες σε σύγκριση με τις υπόλοιπες επιφάνειες του κελύφους.
- Αερισμός και Διείσδυση: Παρά την ύπαρξη ανάκτησης θερμότητας, το σύστημα αερισμού συνεχίζει να συνεισφέρει σε απώλειες θερμότητας, αν και σε μικρότερο βαθμό από την ακούσια διείσδυση.

Το διάγραμμα στην Εικόνα 22 υποδεικνύει πως οι θερμικές απώλειες ακολουθούν την πτώση της εξωτερικής θερμοκρασίας, με σαφείς αυξήσεις όταν αυτή πέφτει κάτω από $\sim 10^\circ\text{C}$.



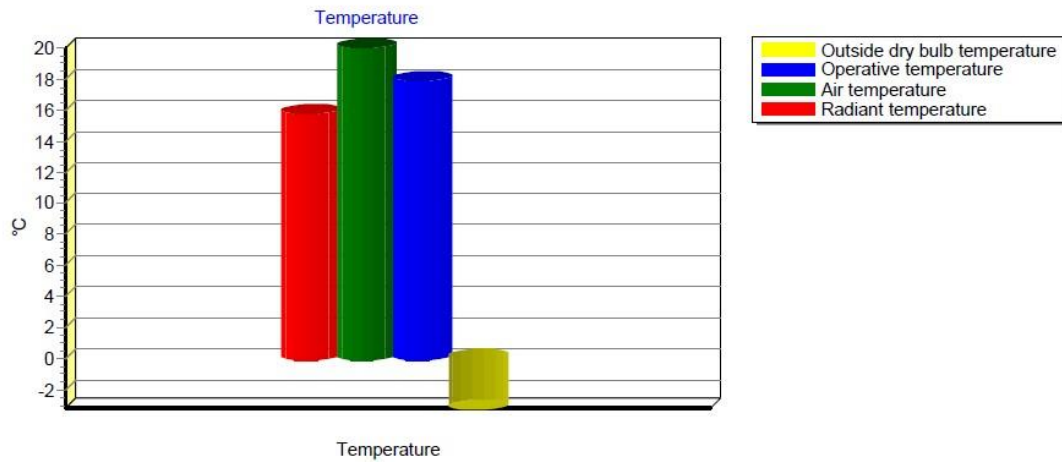
Εικόνα 21: Ραβδόγραμμα θερμοκρασιών Α' ορόφου



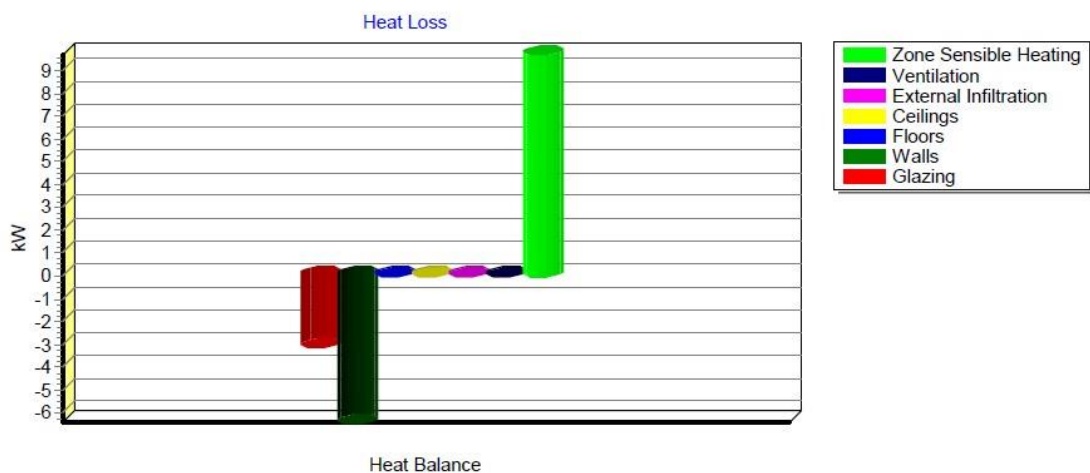
Εικόνα 22: Θερμικές απώλειες Α' ορόφου

Συνολικές Θερμικές Απώλειες Κτιρίου

Στο σύνολο του κτιρίου, οι συνολικές απώλειες θερμότητας και το απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης κορυφώνονται στις χαμηλότερες εξωτερικές θερμοκρασίες, με τις συνολικές ανάγκες να φτάνουν έως και 9 kW/m^2 όπως φαίνεται στον Πίνακα 8 του Παραρτήματος Α. Το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου αποδίδεται στα δομικά στοιχεία κελύφους (τοιχοί, υαλοστάσια, οροφές), ενώ μικρότερη αλλά σημαντική είναι η συνεισφορά του συστήματος αερισμού και της διείσδυσης αέρα.



Εικόνα 23: Ραβδόγραμμα θερμοκρασιών συνολικού κτιρίου



Εικόνα 24: Συνολικές θερμικές απώλειες κτιρίου

Συμπεράσματα Ανάλυσης Θερμικών Απωλειών

Μελετώντας τα γραφήματα του FineGreen, παρατηρούμε ότι οι μεγαλύτερες απώλειες προέρχονται από τα εξωτερικά δομικά στοιχεία (τοιίχους και υαλοστάσια), ιδιαίτερα στον Α' όροφο. Αυτό μπορεί να επιλυθεί με σωστή μόνωση και χρήση ενεργειακών κουφωμάτων. Μια τέτοια ενέργεια θα μπορούσε να μειώσει το θερμικό φορτίο έως και 30%. Η θερμική απόκριση του κτιρίου αποδεικνύει τη σημασία του κελύφους στην κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και υπογραμμίζει τη βαρύτητα της αρχιτεκτονικής διαμόρφωσης και επιλογής υλικών.

5.5 Ενεργειακή Προσομοίωση και Εναλλακτικά Σενάρια HVAC

Το λογισμικό FineGreen λειτουργεί βάσει του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK) και πραγματοποιεί σειρά υπολογισμών για να αποτυπώσει την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου. Αρχικά, υπολογίζει τα θερμικά κέρδη και τις απώλειες του κελύφους (εξωτερικοί τοίχοι, δάπεδα, οροφές, κουφώματα) για κάθε θερμική ζώνη του κτιρίου. Στη συνέχεια, προσμετρά τις εσωτερικές φορτίσεις (χρήστες, φωτισμός, εξοπλισμός) και υπολογίζει τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου για θέρμανση, ψύξη, ζεστό νερό χρήσης (ZNX) και φωτισμό.

Ανάλογα με το σύστημα HVAC που έχει επιλεγεί σε κάθε σενάριο, το FineGreen υπολογίζει την τελική κατανάλωση ενέργειας (σε kWh/m²·έτος), συνυπολογίζοντας τους βαθμούς απόδοσης των συστημάτων (COP, SEER, SCOP κ.λπ.) και τις όποιες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (όπως φωτοβολταϊκά). Στο τέλος, το πρόγραμμα κατατάσσει το κτίριο σε ενεργειακή κατηγορία (A+, A, B+, κ.λπ.), με βάση τα συνολικά αποτελέσματα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το FineGreen δεν «αποφασίζει» ποιο σενάριο είναι το πιο αποδοτικό, αλλά παρέχει συγκριτικά αποτελέσματα για κάθε προσομοίωση. Η τελική αξιολόγηση γίνεται από τον μελετητή, βάσει των τιμών ενεργειακής κατανάλωσης, κόστους λειτουργίας και περιβαλλοντικών παραμέτρων.

5.5.1 Περιγραφή Εναλλακτικών Σεναρίων

Στο παρόν κεφάλαιο αξιολογείται η ενεργειακή απόδοση του εξεταζόμενου κτιρίου (ψυχιατρική κλινική), μέσω προσομοίωσης με το λογισμικό FineGreen. Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για δύο διαφορετικά σενάρια θέρμανσης, ψύξης, αερισμού και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (ZNX), με στόχο τη συγκριτική ανάλυση και επιλογή της βέλτιστης λύσης HVAC.

Σενάριο 1: Αντλία Θερμότητας και Αερισμός με Ανάκτηση Θερμότητας

Στο πρώτο σενάριο εφαρμόζεται σύστημα αντλίας θερμότητας αέρα-νερού, που τροφοδοτεί τερματικές μονάδες τύπου fan coil. Ο μηχανικός αερισμός ενσωματώνει μονάδα ανάκτησης θερμότητας με βαθμό ανάκτησης 85%. Η κάλυψη των αναγκών ZNX γίνεται με ηλιακούς θερμοσίφωνες. Η απόδοση της αντλίας θερμότητας λαμβάνεται με COP 4.0 για θέρμανση και EER 4.0 για ψύξη.

Η ενεργειακή συμπεριφορά του ισογείου υπό το Σενάριο 1 (Αντλία Θερμότητας) παρουσιάζεται μέσω διαγραμμάτων στις Εικόνες 25 και 26 και Πίνακα 2.

Στην Εικόνα 25, στο επάνω διάγραμμα, αποτυπώνεται η ημερήσια μεταβολή θερμοκρασιών (εξωτερική, αέρα, ακτινοβολίας, λειτουργική) ενώ στο κάτω διάγραμμα τα θερμικά κέρδη και απώλειες ανά επιμέρους κατηγορία φορτίου (φωτισμός, κατοίκηση, εξοπλισμός, δομικά στοιχεία κ.λπ.).

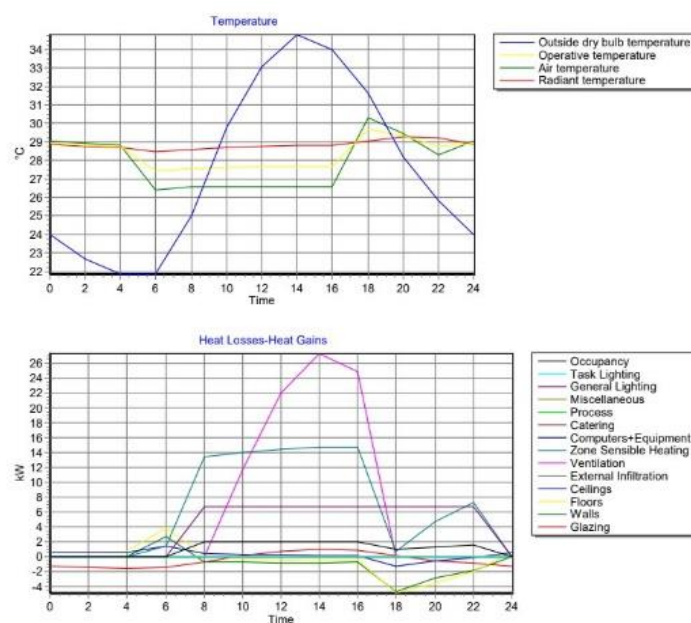
Στην Εικόνα 26, στο επάνω διάγραμμα, καταγράφονται οι ημερήσιες απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης του αέρα προσαγωγής ενώ στο κάτω διάγραμμα η μεταβολή της σχετικής υγρασίας καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας για τη Θερμική Ζώνη 1 (Ισόγειο).

Για τον Α' Όροφο (Θερμική Ζώνη 2), στην Εικόνα 29 του Παραρτήματος Α, το επάνω διάγραμμα, παρουσιάζει την ημερήσια διακύμανση των εσωτερικών και εξωτερικών θερμοκρασιών ενώ το κάτω διάγραμμα τα στιγμιαία θερμικά φορτία ανά πηγή.

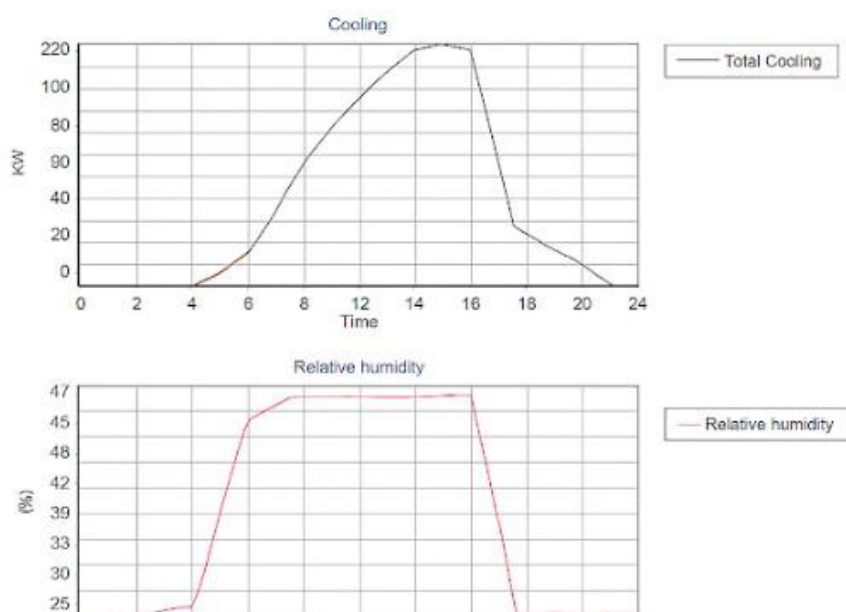
Στην Εικόνα 30 του Παραρτήματος Α, στο επάνω διάγραμμα φαίνεται η διακύμανση των απαιτήσεων ψύξης ενώ στο κάτω διάγραμμα η σχετική υγρασία εντός του χώρου κατά τη διάρκεια μιας ημέρας με μέγιστο φορτίο.

Οι προαναφερόμενες εικόνες (Εικόνα 29 και Εικόνα 30) έχουν τοποθετηθεί στο Παράρτημα Α, ώστε να διατηρηθεί η ροή του κειμένου ομαλή και να διευκολυνθεί η ανάλυση με αναφορά σε επεξηγημένες λεζάντες.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα κλιματικών συνθηκών για το εσωτερικό του κτιρίου συνολικά, υπό το Σενάριο 1 (ΑΘ). Καθώς το κτίριο παρουσιάζει ήπιες διαφοροποιήσεις μεταξύ ισογείου και ορόφου σε επίπεδο φορτίων και χρήσεων, ο πίνακας θεωρείται επαρκώς αντιπροσωπευτικός για την περιγραφή της μικροκλιματικής συμπεριφοράς και των δύο θερμικών ζωνών κατά την επιλεγμένη ημέρα αναφοράς.



Εικόνα 25: Ημερήσια εξέλιξη θερμοκρασιών και θερμικών φορτίων για τη Θερμική Ζώνη Ισογείου – Σενάριο ΑΘ



Εικόνα 26: Ημερήσια κατανομή απαιτήσεων ψύξης και σχετικής υγρασίας για τη Θερμική Ζώνη Ισογείου– Σενάριο ΑΘ

Πίνακας 2: Ωριαία δεδομένα θερμοκρασίας Κτιρίου- Σενάριο ΑΘ

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

Σενάριο 2: Σύστημα VRF με Ζωνικό Έλεγχο Θερμοκρασίας

Το δεύτερο σενάριο αφορά σύστημα μεταβλητής ροής ψυκτικού μέσου (VRF) με εσωτερικές μονάδες ανά θερμική ζώνη, προσφέροντας ανεξάρτητο ζωνικό έλεγχο θερμοκρασίας. Ο αερισμός πραγματοποιείται μηχανικά χωρίς ανάκτηση θερμότητας, ενώ το ZNX καλύπτεται πλήρως από ηλεκτρικούς θερμοσίφωνες. Οι αποδόσεις του συστήματος θεωρούνται COP 4.0 και EER 4.0.

Για τη Θερμική Ζώνη 1 (Ισόγειο), το επάνω διάγραμμα της Εικόνας 27 παρουσιάζει τη μεταβολή των θερμοκρασιών (εσωτερικών και εξωτερικών), ενώ το κάτω τα θερμικά κέρδη και απώλειες ανά κατηγορία φορτίου σε ετήσια βάση. Το πρώτο διάγραμμα της Εικόνας 28 εστιάζει στις ημερήσιες απαιτήσεις θέρμανσης-ψύξης του αέρα προσαγωγής και το δεύτερο στη σχετική υγρασία του χώρου.

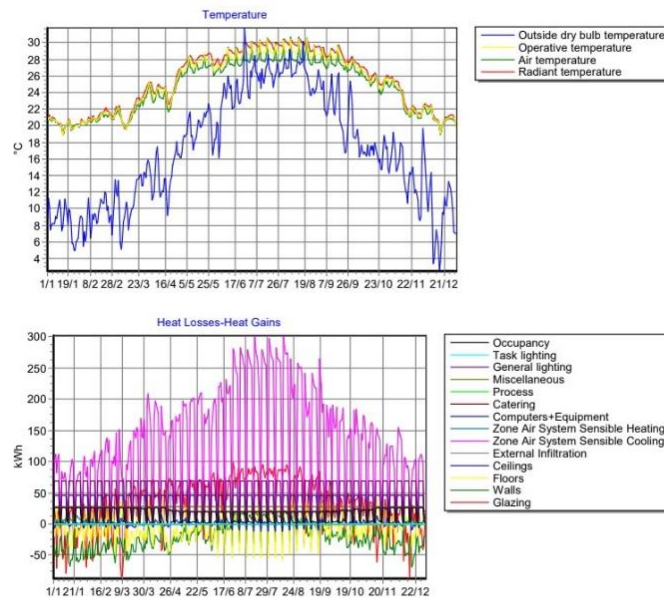
Αντίστοιχα, για τη Θερμική Ζώνη 2 (Α' Όροφος), η Εικόνα 31 απεικονίζει την ημερήσια μεταβολή θερμοκρασιών και θερμικών φορτίων, ενώ η Εικόνα 32 δείχνει τις απαιτήσεις ψύξης (αισθητής και συνολικής) και την πορεία της σχετικής υγρασίας. Τα προαναφερόμενα διαγράμματα των Εικόνων 31 και 32, τοποθετήθηκαν στο Παράρτημα Α ώστε να διατηρηθεί η ροή του κυρίως κειμένου καθαρή, χωρίς υπερφόρτωση από επιπλέον γραφήματα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαφοροποίηση ως προς τη χρονική κλίμακα των αποτελεσμάτων (ημερήσια στο Σενάριο 1 με ΑΘ και ετήσια στο Σενάριο 2 με VRF) αποτελεί συνειδητή επιλογή στο πλαίσιο της τεχνικής αξιολόγησης των συστημάτων HVAC.

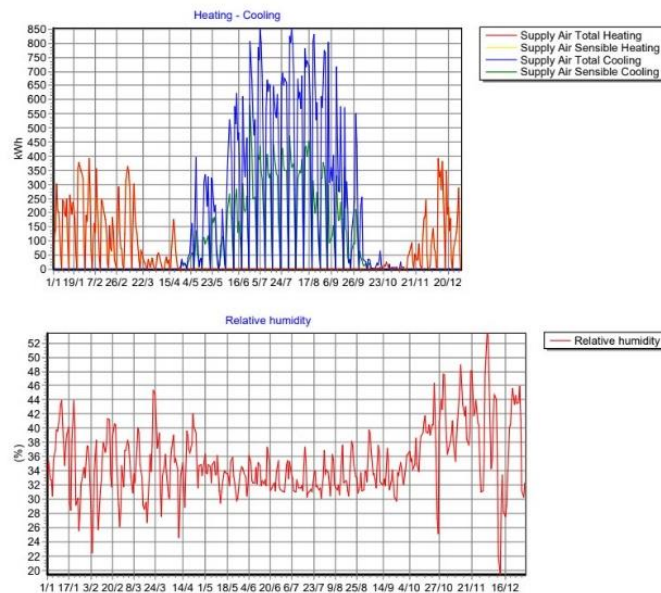
Στο Σενάριο 1 (Αντλία Θερμότητας), πραγματοποιήθηκε ημερήσια προσομοίωση κατά την ημέρα μέγιστης θερμικής καταπόνησης, ώστε να αναλυθεί λεπτομερώς η θερμική απόκριση του κτιρίου.

Αντίθετα, στο Σενάριο 2 (VRF), επιλέχθηκε ετήσια ανάλυση, με σκοπό την εκτίμηση της συνολικής ενεργειακής απόδοσης και την καταγραφή της κατανάλωσης ανά μήνα. Η χρονική αυτή κλίμακα είναι καταλληλότερη για τη σύγκριση σεναρίων βάσει συνολικών ενεργειακών δεικτών και κατηγοριοποίησης ΚΕνΑΚ.

Τέλος οι λεπτομερείς ωριαίες τιμές για το σύνολο του κτιρίου με VRF και την περιγραφή της συμπεριφοράς των θερμικών ζωνών (Ισόγειο-Α΄ Όροφος) παρατίθενται στον Πίνακα 3, ο οποίος περιλαμβάνει δεδομένα θερμοκρασίας, υγρασίας και διείσδυσης αέρα.



Εικόνα 27: Ετήσια θερμική συμπεριφορά Θερμικής Ζώνης Ισογείου – Σενάριο VRF



Εικόνα 28: Ετήσια εξέλιξη απαιτήσεων θέρμανσης/ψύξης και σχετικής υγρασίας για τη Θερμική Ζώνη Ισογείου – Σενάριο VRF

Πίνακας 3: Ωριαία δεδομένα θερμοκρασίας Κτιρίου- Σενάριο VRF

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

5.5.2 Αποτελέσματα Ενεργειακής Προσομοίωσης

Το FineGreen υπολόγισε την κατανομή των ψυκτικών φορτίων ανά ώρα και ανά θερμική ζώνη για την ημέρα σχεδιασμού (μεγίστης θερμικής καταπόνησης).

Στους Πίνακες 6 και 7 του Παραρτήματος Α, παρατίθενται αναλυτικά οι τιμές θερμοκρασίας (αέρα, ακτινοβολίας, λειτουργικής), η εξωτερική θερμοκρασία και η σχετική υγρασία για τα δυο διαφορετικά σενάρια μας, ενώ την ίδια στιγμή καταγράφονται τα θερμικά φορτία από το κέλυφος και τις εσωτερικές πηγές.

Για την πληρέστερη κατανόηση των αναλυτικών δεδομένων που προέκυψαν από το FineGreen, στους Πίνακες 4 και 5 παρουσιάζονται με συνοπτικό τρόπο οι καταναλώσεις ενέργειας ανά θερμική ζώνη.

Πίνακας 4: Κατανάλωση Αντλίας Θερμότητας

Θερμική Ζώνη	Θέρμανση (kWh)	Ψύξη (kWh)	ZNX (kWh)	Αερισμός (kWh)	Συνολική (kWh)
Ισόγειο	9.637	14.308	1.500	600	26.045
Α' Όροφος	2.650	6.858	1.500	600	11.608
Σύνολο	12.287	21.166	3.000	1.200	37.653

Πίνακας 5: Κατανάλωση συστήματος VRF

Θερμική Ζώνη	Θέρμανση (kWh)	Ψύξη (kWh)	ZNX (kWh)	Αερισμός (kWh)	Συνολική (kWh)
Ισόγειο	9.637	19.532	2.500	1.750	33.419
Α' Όροφος	2.650	11.262	2.500	1.750	18.162
Σύνολο	12.287	30.794	5.000	3.500	51.581

Σημειώνεται ότι τα ψυκτικά και θερμικά φορτία που παρήχθησαν από το FineGreen κρίθηκαν υποεκτιμημένα, γεγονός που αποδίδεται κυρίως στη χρήση περιορισμένων καιρικών δεδομένων, απλοποιημένων εσωτερικών φορτίων και μη ρεαλιστικών ρυθμίσεων αερισμού.

Για τον λόγο αυτό, εφαρμόστηκε συντελεστής διόρθωσης $\times 4$ στα φορτία προσομοίωσης, ώστε να προσεγγιστεί ρεαλιστικότερο επίπεδο θερμικής καταπόνησης, βασισμένο σε τυπικούς συντελεστές φορτίου (W/m^2) για κτίρια Υγείας και Πρόνοιας.

Συγκεκριμένα, η συνολική ετήσια κατανάλωση του Σεναρίου 1 ανέρχεται σε 150.612 kWh/έτος, ενώ του Σεναρίου 2 φθάνει τις 206.324 kWh/έτος, καταγράφοντας διαφορά της τάξης του 30%.

Η ενεργειακή υπεροχή του πρώτου σεναρίου αποδίδεται κυρίως στην αποδοτική ανάκτηση θερμότητας στον αερισμό, η οποία μειώνει σημαντικά τις απαιτήσεις για πρόσθετη θέρμανση ή ψύξη του νωπού αέρα, ιδιαίτερα σε περιόδους έντονων εξωτερικών θερμοκρασιακών μεταβολών. Επιπλέον, η χρήση ηλιακών συλλεκτών για την κάλυψη μέρους των αναγκών σε Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX) συμβάλλει περαιτέρω στη μείωση του ηλεκτρικού φορτίου. Αντιθέτως, στο Σενάριο 2, η απουσία συστήματος ανάκτησης θερμότητας και η εξ ολοκλήρου ηλεκτρική παραγωγή ZNX επιβαρύνουν την τελική κατανάλωση.

Συμπερασματικά, η υλοποίηση συστήματος αντλίας θερμότητας σε συνδυασμό με αερισμό και ανάκτηση θερμότητας συνιστά την πλέον συμφέρουσα επιλογή για την υπό μελέτη εγκατάσταση, καθώς προσφέρει καλύτερη ενεργειακή συμπεριφορά, μειωμένο λειτουργικό κόστος και δυνατότητα υψηλότερης ενεργειακής κατάταξης βάσει ΚΕνΑΚ.

Κεφάλαιο 6 Ενεργειακή Αναβάθμιση και Αποτίμηση

Η ενεργειακή αξιολόγηση του εξεταζόμενου κτιρίου ανέδειξε σημαντικά περιθώρια βελτίωσης όσον αφορά την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, τις εκπομπές ρύπων και την κατηγορία ενεργειακής κατάταξης. Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει ένα σύνολο τεχνικά εφικτών και οικονομικά αποδοτικών παρεμβάσεων, με στόχο την αναβάθμιση του κτιρίου, τόσο ως προς τη λειτουργική του απόδοση, όσο και ως προς τη συμμόρφωση με τους στόχους ενεργειακής αποδοτικότητας που θέτει ο ΚΕΝΑΚ και η ευρωπαϊκή πολιτική [9].

6.1 Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού Συστήματος 33 kW

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος στην οροφή του κτιρίου αποτελεί μια βασική στρατηγική για τη μείωση της εξάρτησης από την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου και την αύξηση της ενεργειακής αυτονομίας. Προτείνεται η εγκατάσταση 55 φωτοβολταϊκών πλαισίων ισχύος 600 W έκαστο, με νότιο προσανατολισμό και σταθερή κλίση 25°, ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή παραγωγή κατά το έτος. Η μετατροπή της παραγόμενης ενέργειας θα πραγματοποιείται μέσω τριφασικού inverter συνολικής ισχύος 30–33 kW, με απόδοση άνω του 97%.

Το σύστημα θα λειτουργεί με καθεστώς net-billing, διασυνδεδεμένο με το δημόσιο δίκτυο, επιτρέποντας το συμψηφισμό παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας. Βάσει της προσομοίωσης με PV-SOL, η ετήσια παραγωγή εκτιμάται στις 51.400 kWh, ποσότητα ικανή να καλύψει περίπου το 55% των ηλεκτρικών απαιτήσεων του κτιρίου. Η επένδυση, με ενδεικτικό κόστος περί τις 35.000 €, αναμένεται να αποσβεστεί εντός 4,5 έως 6 ετών, με ετήσιο οικονομικό όφελος 9.000–10.000 €, ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται μείωση εκπομπών CO₂ κατά περίπου 55 τόνους [6].

Στο Παράρτημα Β συμπεριλαμβάνεται η πλήρης μελέτη του προτεινόμενου φωτοβολταϊκού συστήματος η οποία περιλαμβάνει τη διαστασιολόγηση της εγκατάστασης, την επιλογή των φωτοβολταϊκών πλαισίων και του αντιστροφέα, την εκτίμηση της ετήσιας και μηνιαίας παραγωγής ενέργειας, καθώς και την τεχνικοοικονομική αξιολόγηση του συστήματος.

6.2 Τοποθέτηση Εξωτερικών Σκιάστρων

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί σημαντική πηγή θερμικού φορτίου, ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες. Η απουσία σκίασης στα νοτιοδυτικά ανοίγματα επιβαρύνει το κτίριο με πρόσθετο ψυκτικό φορτίο και μειώνει τη θερμική άνεση. Η τοποθέτηση εξωτερικών σκιάστρων, όπως περσίδες μεταβλητής κλίσης, συστήματα τύπου brise-soleil ή ρυθμιζόμενα ρολά αλουμινίου, συντελεί στη μείωση των αισθητών θερμικών κερδών έως και 30%, περιορίζοντας ταυτόχρονα την κατανάλωση για ψύξη [3].

Η σκίαση μπορεί να σχεδιαστεί κατάλληλα ώστε να αποτρέπει την είσοδο ηλιακής ακτινοβολίας το καλοκαίρι, αλλά να την επιτρέπει το χειμώνα, συμβάλλοντας στην εποχιακή ενεργειακή ισορροπία του κτιρίου. Η παρέμβαση αυτή δεν απαιτεί σημαντικές επεμβάσεις στον φέροντα οργανισμό και μπορεί να ενσωματωθεί αισθητικά στην αρχιτεκτονική του κτιρίου, ενισχύοντας ταυτόχρονα την περιβαλλοντική ποιότητα και την οπτική άνεση των χρηστών [1].

6.3 Εγκατάσταση Αυτοματισμών και Έξυπνων Συστημάτων Ελέγχου

Η ενεργειακή αποδοτικότητα των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων εξαρτάται άμεσα από την ικανότητα προσαρμογής τους στις πραγματικές απαιτήσεις χρήσης. Η εγκατάσταση συστήματος αυτοματισμού τύπου BMS (Building Management System) ή η χρήση προγραμματιζόμενων θερμοστατών με δυνατότητα ζωνικού ελέγχου, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

Μέσω δυναμικού ελέγχου των συστημάτων HVAC και φωτισμού, βάσει παρουσίας, θερμοκρασίας και ωραρίων, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση της τάξεως του 10%–20%. Η ενσωμάτωση αισθητήρων σε κάθε θερμική ζώνη και η δυνατότητα ρύθμισης διαφορετικών θερμοκρασιών ανά χώρο περιορίζουν τη σπατάλη ενέργειας, ιδιαίτερα σε χώρους με ασυνεχή ή περιορισμένη χρήση [1].

6.4 Αναβάθμιση Συστήματος Φωτισμού με Αισθητήρες

Ο φωτισμός αποτελεί ένα από τα κύρια ηλεκτρικά φορτία ενός κτιρίου υγειονομικής φροντίδας. Παρόλο που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί αποδοτικά φωτιστικά τύπου LED, η χρήση τους μπορεί να βελτιστοποιηθεί με την προσθήκη αισθητήρων παρουσίας και φωτοαισθητήρων. Οι αισθητήρες παρουσίας εξασφαλίζουν ότι ο φωτισμός λειτουργεί μόνο όταν ο χώρος καταλαμβάνεται, ενώ οι φωτοαισθητήρες προσαρμόζουν τη φωτεινότητα των φωτιστικών βάσει του φυσικού φωτός που εισέρχεται στον χώρο.

Η παρέμβαση μπορεί να εφαρμοστεί σε κοινόχρηστους χώρους, αποθήκες, διάδρομους και χώρους υγιεινής, μειώνοντας την κατανάλωση φωτισμού έως και 50%. Παράλληλα, η επέμβαση είναι χαμηλού κόστους, δεν απαιτεί εκτεταμένες εργασίες, και παρουσιάζει ιδιαίτερα μικρό χρόνο απόσβεσης, μικρότερο των 2 ετών. Επιπλέον, ενισχύεται η βαθμολόγηση του κτιρίου στην παράμετρο φωτισμού κατά την έκδοση ΠΕΑ [1].

6.5 Αποτίμηση

Η διπλωματική εργασία κατέδειξε ότι η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου εξαρτάται καθοριστικά από την επιλογή των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων και τη συμπληρωματική χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Η ολιστική προσέγγιση, που περιλαμβάνει ενεργειακή προσομοίωση με το FineGreen, αποδείχθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη για τη συγκριτική αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων HVAC και στρατηγικών ενεργειακής εξοικονόμησης.

Το σενάριο με αντλία θερμότητας και ανάκτηση θερμότητας οδήγησε σε κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας 50,2 kWh/m²-έτος και κατάταξη στην Κατηγορία Α, ενώ το σενάριο με VRF κατέληξε σε Κατηγορία B+ με 68,77 kWh/m²-έτος. Η προσθήκη Φ/Β συστήματος 33 kW ενίσχυσε περαιτέρω την κατηγορία του κτιρίου, προσεγγίζοντας τα πρότυπα NZEB. Η συνολική εφαρμογή των προτάσεων δύναται να μειώσει την τελική κατανάλωση ενέργειας άνω του 35% και να αποφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη.

Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα και Προοπτικές

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως αντικείμενο τη διερεύνηση της ενεργειακής απόδοσης ενός νεόδμητου κτιρίου Υγείας και Πρόνοιας μέσω προσομοίωσης με το λογισμικό FineGreen. Η μελέτη επικεντρώθηκε σε δύο σενάρια ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων (HVAC) με σκοπό τη συγκριτική αξιολόγηση των επιδόσεων τους ως προς την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, τις εκπομπές CO₂ και τη γενική ενεργειακή κατάταξη. Παράλληλα προτάθηκαν παθητικές και ενεργητικές παρεμβάσεις, όπως σκίαση, αυτοματισμοί και φωτοβολταϊκό σύστημα, προκειμένου να ενισχυθεί περαιτέρω η ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου.

7.1 Πρωτοτυπία και Συμβολή της Έρευνας

Η διπλωματική εισφέρει στη βιβλιογραφία της ενεργειακής αποτίμησης κτιρίων ειδικής χρήσης, όπως οι μονάδες υγείας, που διακρίνονται από αυξημένες λειτουργικές απαιτήσεις και συνεχές ωράριο. Η επιλογή δύο τεχνολογικά ευρέως χρησιμοποιούμενων σεναρίων HVAC επιτρέπει την απεικόνιση ρεαλιστικών επιλογών για μελετητές, ενώ η χρήση λογισμικού FineGreen προσφέρει ακρίβεια, αξιοπιστία και πλήρη εναρμόνιση με τις απαιτήσεις του KENAK και της ευρωπαϊκής οδηγίας 2010/31/ΕΕ.

Η πρωτοτυπία της έρευνας εντοπίζεται κυρίως στη συγκριτική ανάλυση δύο σεναρίων με σαφώς διακριτά χαρακτηριστικά:

Σενάριο 1: Αντλία Θερμότητας με σύστημα αερισμού και ανάκτηση θερμότητας

Σενάριο 2: Σύστημα VRF με ζωνικό έλεγχο θερμοκρασίας

Επιπλέον, η ενσωμάτωση μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας και ΑΠΕ επέτρεψε τη μελέτη συνδυασμένων επιπτώσεων σε μια ρεαλιστική βάση εφαρμογής.

7.2 Γενικά Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έδειξαν ότι το Σενάριο 1 υπερέχει σε όλους τους κρίσιμους δείκτες:

1. Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας: 50,2 kWh/m²·έτος (Κατηγορία Α).

2. Ομοιομορφία θερμοκρασιών και θερμική άνεση.
3. Μειωμένες εκπομπές CO₂ και βελτιωμένη απόκριση στον φυσικό αερισμό.

Αντιθέτως, το Σενάριο 2 κατέγραψε κατανάλωση 68,77 kWh/m²-έτος, γεγονός που το τοποθετεί στην Κατηγορία B+, λόγω της απουσίας συστήματος ανάκτησης και αυξημένης ηλεκτρικής κατανάλωσης.

Η εφαρμογή των επιπλέον παρεμβάσεων (Φ/Β 33 kW, εξωτερικά σκίαστρα, BMS, έξυπνος φωτισμός) ενίσχυσε τη συνολική ενεργειακή εικόνα του κτιρίου, οδηγώντας το στο κατώφλι της Κατηγορίας A+, ενώ συντέλεσε σε ουσιαστική μείωση των λειτουργικών δαπανών και των εκπομπών ρύπων.

7.3 Δυσκολίες και Περιορισμοί

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του ενεργειακού μοντέλου και της προσομοίωσης, παρουσιάστηκαν αρκετές δυσκολίες, κυρίως σχετιζόμενες με την πιστή απόδοση της πραγματικής λειτουργίας του κτιρίου. Ειδικότερα, η ακριβής απεικόνιση των ωραρίων λειτουργίας ανά θερμική ζώνη απαιτούσε λεπτομερή τεκμηρίωση, που σε αρκετές περιπτώσεις δεν ήταν διαθέσιμη, με αποτέλεσμα να χρειαστεί χρήση τυποποιημένων προφίλ λειτουργίας.

Παρόμοια προβλήματα προέκυψαν και στον διαχωρισμό των χώρων ανά χρήση, καθώς στο κτίριο εξετάζονται χώροι με πολύ διαφορετικά θερμικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά, γεγονός που καθιστά δύσκολη τη γενίκευση παραμέτρων. Το ίδιο ισχύει και για τα φορτία χρήσης (φωτισμός, εξοπλισμός, ZNX), όπου η απουσία καταγεγραμμένων στοιχείων από αντίστοιχες λειτουργικές μονάδες επέβαλε την προσφυγή σε προσεγγιστικές τιμές από τη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία [7].

7.4 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Η παρούσα διπλωματική μπορεί να λειτουργήσει ως θεμέλιο για περαιτέρω διερεύνηση της ενεργειακής αποδοτικότητας κτιρίων υγειονομικής χρήσης, με έμφαση στη βελτιστοποίηση των Η/Μ συστημάτων και τη δυναμική διαχείριση της ενέργειας. Μελλοντικές έρευνες θα μπορούσαν να επικεντρωθούν στην αξιολόγηση της απόδοσης

συστημάτων BEMS (Building Energy Management Systems), τα οποία επιτρέπουν την αυτόνομη και ευφυή προσαρμογή των λειτουργιών του κτιρίου σε πραγματικό χρόνο, με βάση πραγματικά δεδομένα χρήσης και περιβαλλοντικές συνθήκες. Η ενσωμάτωσή τους θα μπορούσε να οδηγήσει σε περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας και βελτίωση της λειτουργικής ευστάθειας των συστημάτων HVAC.

Παράλληλα, η μελέτη της προσθήκης συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, όπως μπαταρίες λιθίου ή θερμικές δεξαμενές, σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκά συστήματα, θα μπορούσε να ενισχύσει την ενεργειακή αυτάρκεια και να μειώσει την εξάρτηση από το δίκτυο, κυρίως κατά τις περιόδους αιχμής ή διακοπής ρεύματος. Επιπλέον, η προσομοίωση μελλοντικών σεναρίων που βασίζονται σε δυναμικές προβλέψεις κατανάλωσης και νέες κλιματικές συνθήκες, μπορεί να προσφέρει μία πιο ολιστική και μακροπρόθεσμη εκτίμηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η ενίσχυση της ακρίβειας της ενεργειακής μοντελοποίησης μέσω διασταύρωσης των αποτελεσμάτων με άλλα λογισμικά προσομοίωσης όπως το IES-VE ή το IDA ICE. Μια συγκριτική αξιολόγηση ανά μοντέλο, θα μπορούσε να εντοπίσει μεθοδολογικές αποκλίσεις και να επιβεβαιώσει την αξιοπιστία των υπολογισμών του FineGreen.

Τέλος, η προσομοίωση με βάση πραγματικά μετρητικά δεδομένα από αντίστοιχα λειτουργούντα κτίρια θα ενίσχυε σημαντικά την εγκυρότητα των εκτιμήσεων. Τέτοια δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν μέσω εγκατεστημένων αισθητήρων (monitoring systems), επιτρέποντας την προσαρμογή των μοντέλων στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας και τη δημιουργία πιο αντιπροσωπευτικών σεναρίων. Αυτή η προσέγγιση θα συμβάλει ουσιαστικά στη δημιουργία βιώσιμων, ευέλικτων και ενεργειακά αποδοτικών υποδομών υγείας, προσαρμοσμένων στις αυξανόμενες ανάγκες του τομέα και στις προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής.

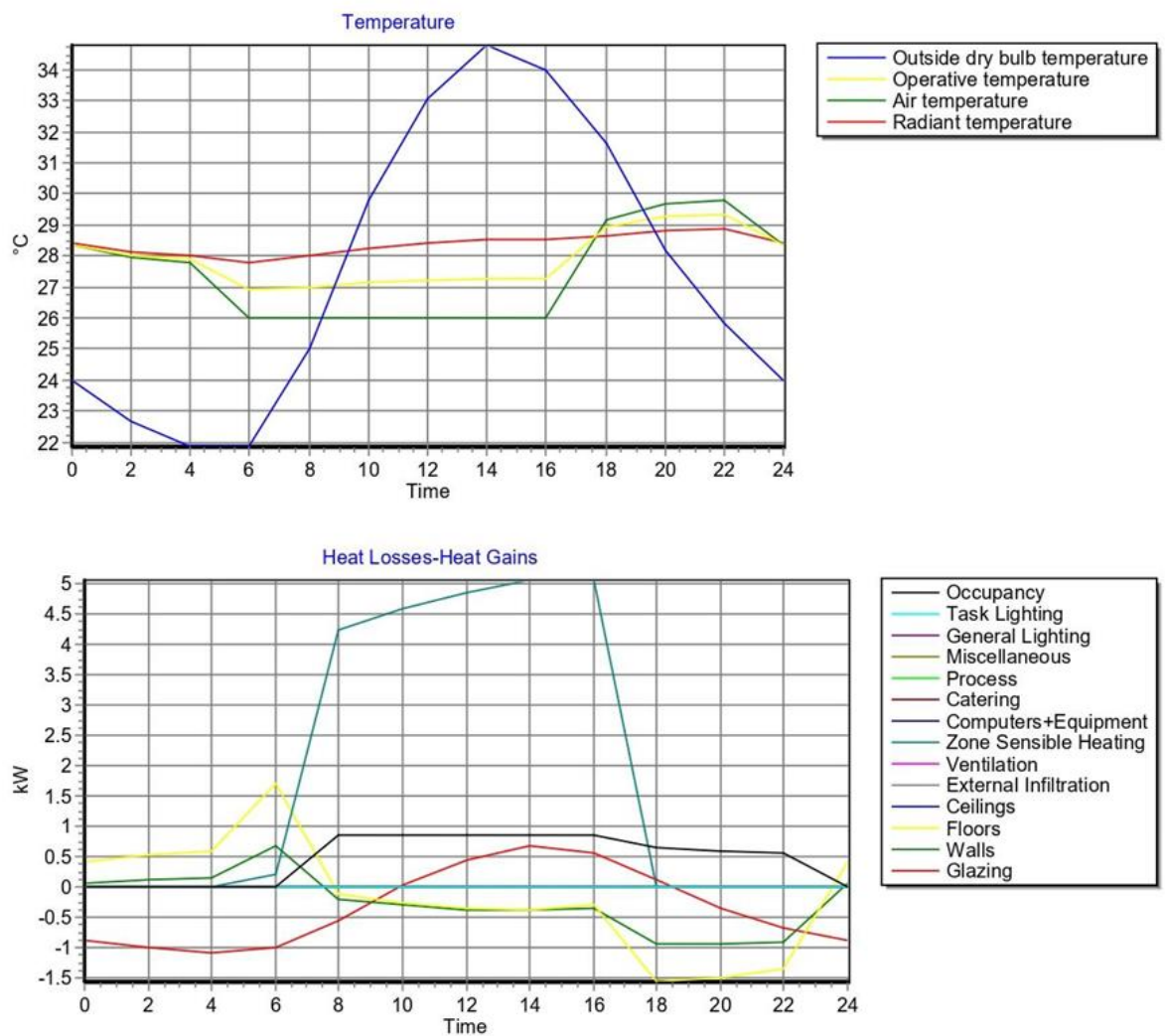
Βιβλιογραφία

- [1] M. Santamouris, *Energy Performance of Residential Buildings: A Practical Guide for Energy Rating and Efficiency*, UK: Earthscan, 2005.
- [2] D. Kolokotsa, *A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings*, Solar Energy, Dept. of Electronic and Computer Eng., Technical Univ. of Crete, Crete, 2010.
- [3] K. J. Kontoleon and D. K. Bikas, *The effect of shading devices on building thermal comfort and energy use*, Solar Energy, 2007.
- [4] Ε. Κορωνάκη, *Ψύξη–Κλιματισμός Κτηρίων και Βιομηχανικών Εφαρμογών*, Θεσσαλονίκη: Εκδ. Τζιόλα, 2023.
- [5] Β. Μπιτζιώνης, *Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός*, Θεσσαλονίκη: Εκδ. Τζιόλα, 2021.
- [6] S. Kalogirou, *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*, 2nd ed., Academic Press, 2009.
- [7] Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, 20701-2/2017, 20701-3/2010, *Τεχνικός Κανονισμός για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων*, ΥΠΕΝ, Ελλάδα, 2017.
- [8] ΦΕΚ Β' 2367/12.07.2017, *Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)*, ΥΠΕΝ, Ελλάδα, 2017.
- [9] Ευρωπαϊκή Ένωση, *Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων*, Επίσημη Εφημερίδα της ΕΕ, 2010.
- [10] FineGreen, *Εγχειρίδιο Χρήσης και Τεκμηρίωση Λογισμικού*, Τεχνική Τεκμηρίωση, 4Μ, Ελλάδα.
- [11] 4Μ, *Παραδείγματα εφαρμογών με το FineGreen*. [Online]. Available: <https://www.4m.gr> [Accessed: Jun. 20, 2025].
- [12] Ι. Κόρδης, *Ενεργειακή μελέτη ξενοδοχείου κλασικού τύπου με χρήση λογισμικού*, B.Sc. thesis, Dept. of Electrical and Computer Eng., Univ. of Thessaly, Volos, Greece, 2019.

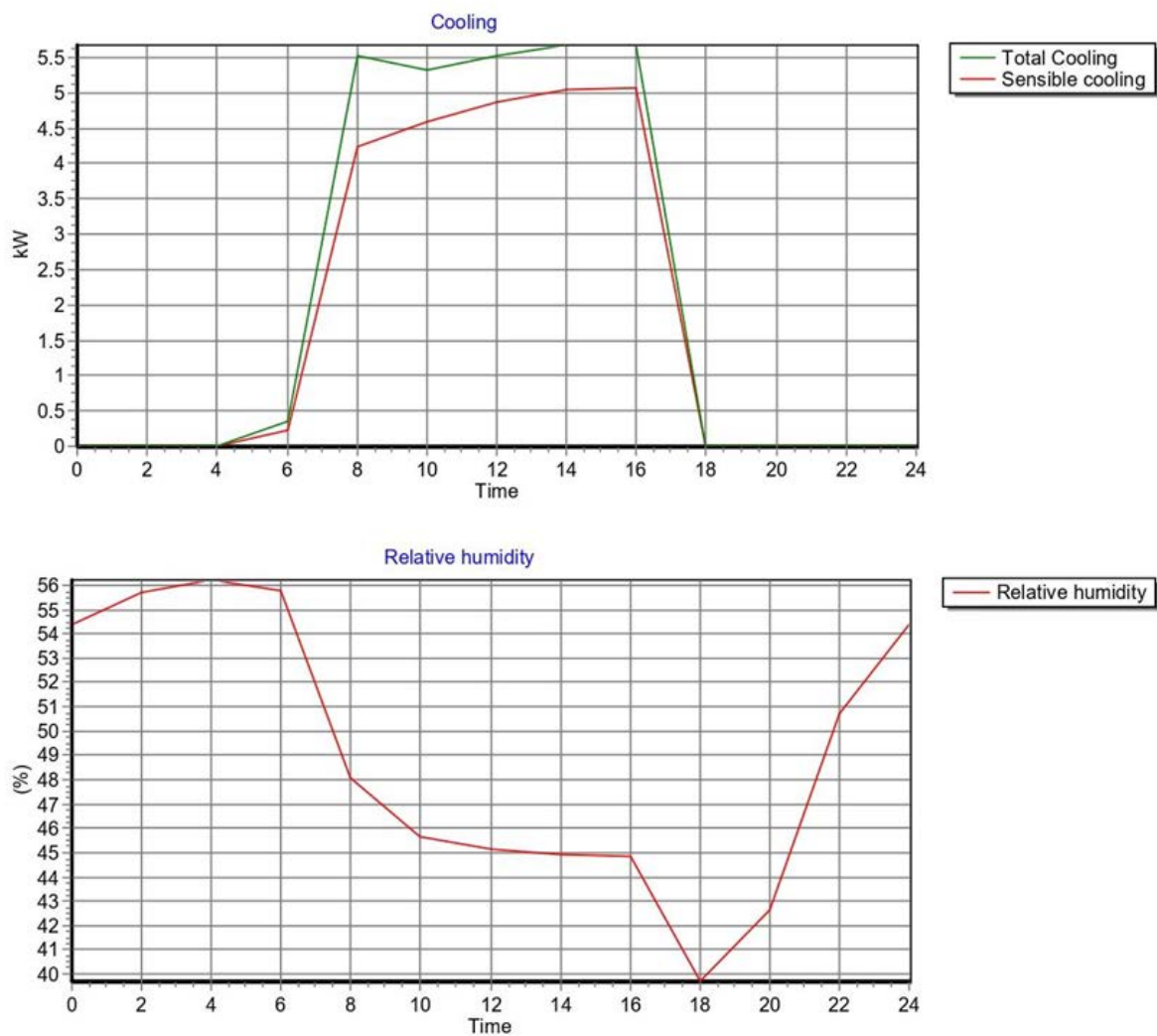
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

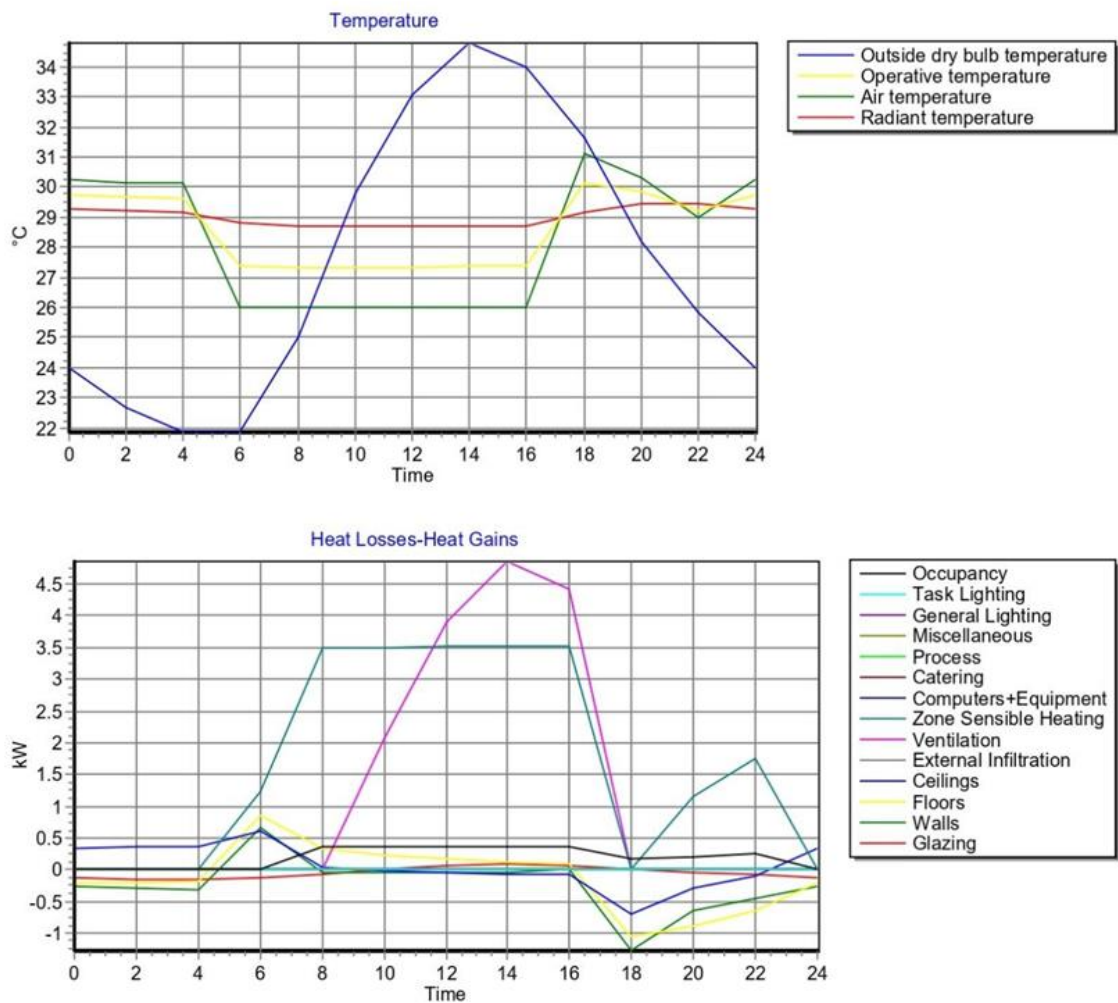
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ



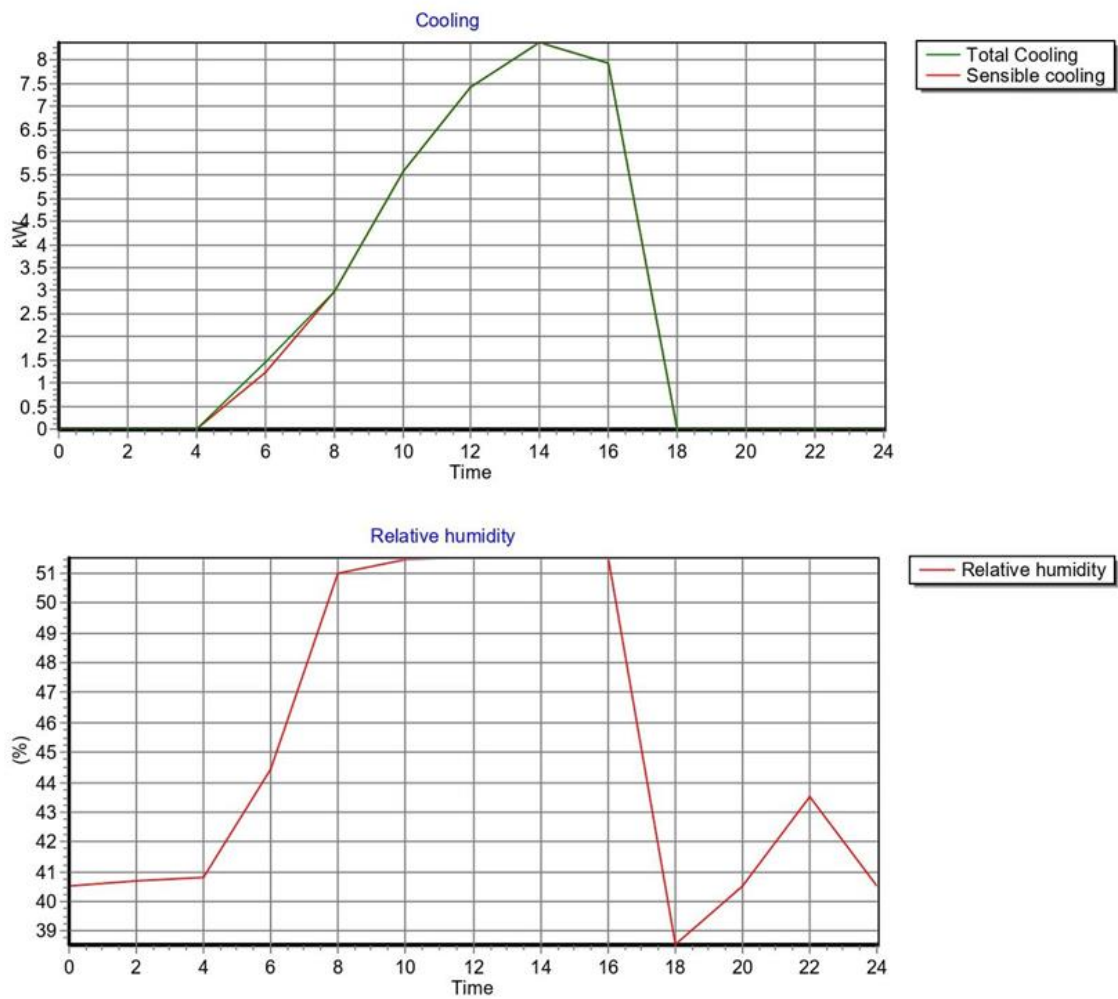
Εικόνα 29: Ημερήσια εξέλιξη θερμοκρασιών και θερμικών φορτίων για τη Θερμική Ζώνη Α ορόφου – Σενάριο ΑΘ



Εικόνα 30: Ημερήσια κατανομή απαιτήσεων ψύξης και σχετικής υγρασίας για τη Θερμική Ζώνη Α' ορόφου– Σενάριο ΑΘ



Εικόνα 31: Ημερήσια εξέλιξη θερμοκρασιών και θερμικών φορτίων για τη Θερμική Ζώνη Α ορόφου – Σενάριο VRF



Εικόνα 32: Ημερήσια κατανομή απαιτήσεων ψύξης και σχετικής υγρασίας για τη Θερμική Ζώνη Α' ορόφου– Σενάριο VRF

Πίνακας 6 Αποτελέσματα προσομοίωσης συνολικού κτιρίου VRF

Comfort					
	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00
Air temperature (°C)	29.12645	29.03074	26.40467	26.55849	26.56249
Radiant temperature (°C)	28.95875	28.88388	28.62485	28.70216	28.81560
Operative temperature (°C)	29.04260	28.95731	27.51476	27.63032	27.68904
Outside dry bulb temperature (°C)	22.65600	21.86400	21.86400	25.03200	29.78400
Relative humidity (%)	48.6761689	48.9546303	49.5825727	45.4159326	44.4098733
Mech vent + nat vent + Exhaust	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Fabric and ventilation, Gains					
Glazing (kW)	-1.5491503	-1.6664731	-1.5113041	-0.7752921	0.0568562
Walls (kW)	-0.0426871	0.0038562	2.8587874	-0.4997280	-0.5341769
Floors (kW)	0.5439969	0.6810527	4.0782629	0.3367556	-0.0225703
Ceilings (kW)	0.6123730	0.6423947	1.5183499	0.5247009	0.4088889
External Infiltration (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Ventilation (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Zone sensible cooling (kW)	0.0000000	0.0000000	1.6248906	13.9870085	14.5169843
Sensible cooling (kW)	0.0000000	0.0000000	1.6248906	13.9869724	14.5169843
Total cooling (kW)	0.0000000	0.0000000	2.2656015	16.7268785	16.0580141
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	0.0000000	0.0000000
Task Lighting (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Occupancy (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	2.0020060	2.0019995
Summary	Design capacity (kW)		Total cooling load (kW)	Sensible (kW)	Latent (kW)
upogelo	0.0000000		0.0000000	0.0000000	0.0000000
isogelo	9.8688369		9.8688369	7.8574823	2.0113546
a orofos	8.4972411		8.4972411	6.9549384	1.5423027
Building total	18.366078		18.366078	14.8124207	3.5536573

Comfort						
	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	2
Air temperature (°C)	26.56458	26.56560	26.56615	30.14845	30.48151	3
Radiant temperature (°C)	28.87874	28.91816	28.91691	29.10614	29.40571	2
Operative temperature (°C)	27.72166	27.74188	27.74153	29.62729	29.94361	3
Outside dry bulb	33.08400	34.80000	34.00800	31.63200	28.20000	2
Relative humidity (%)	44.2458270	44.1881806	44.1694030	37.9845818	40.2612075	4
Mech vent + nat vent + Total	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0
Fabric and ventilation, Gains						
Glazing (kW)	0.6828338	1.0168040	0.8484378	0.1908499	-0.5574535	-
Walls (kW)	-0.6443980	-0.6504521	-0.5208571	-3.5501361	-3.4274004	-
Floors (kW)	-0.2495521	-0.3728223	-0.3235365	-3.7632067	-4.1188527	-
Ceilings (kW)	0.3130104	0.2535249	0.2490950	-0.7080690	-0.9094890	-
External Infiltration (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0
Ventilation (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0
Zone sensible cooling (kW)	14.8610362	15.0872778	15.0901395	1.1036443	1.6013108	1
Sensible cooling (kW)	14.8610362	15.0872778	15.0901395	1.1028513	1.6013108	1
Total cooling (kW)	16.2941722	16.4936706	16.4766502	1.2608313	1.9882076	2
Computers+Equipment (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0
Catering (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0
Process (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0
Miscellaneous (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0
General Lighting (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0
Task Lighting (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0
Occupancy (kW)	2.0019994	2.0019994	2.0019994	1.2910021	1.0894896	1
Summary	Air temperature (°C)	Humidity (%)	Time of max cooling	Maximum operative temperature in day (°C)		
upogelo	0.00000	0.00000	15:00	0.00000		
isogelo	26.00000	49.7430970	15:00	29.32697		
a orofos	26.00000	45.1999360	15:00	30.98893		
Building total	26.55712	46.3474358	15:00	30.02035		

Comfort	
	24:00
Air temperature (°C)	29.44200
Radiant temperature (°C)	29.14869
Operative temperature (°C)	29.29534
Outside dry bulb	23.97600
Relative humidity (%)	47.7041207
Mech vent + nat vent + Transmittance	0.00000
Fabric and ventilation, Gains	
Glazing (kW)	-1.3772219
Walls (kW)	-0.1163568
Floors (kW)	0.2181694
Ceilings (kW)	0.5202908
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	
upogelo	
isogelo	
a orofos	
Building total	

Πίνακας 7: Αποτελέσματα προσομοίωσης συνολικού κτιρίου ΑΘ

Comfort					
	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00
Air temperature (°C)	29.12648	29.04162	26.42562	26.55954	26.56251
Radiant temperature (°C)	28.95862	28.88392	28.62487	28.70225	28.81566
Operative temperature (°C)	29.04260	28.95731	27.51476	27.63032	27.78904
Outside dry bulb temperature (°C)	22.65600	21.86400	21.86400	25.03200	29.78400
Relative humidity (%)	48.6761689	48.9546303	49.5825727	45.4159326	44.4098733
Mech vent + nat vent + infiltration	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Fabric and ventilation, Gains					
Glazing (kW)	-1.5491503	-1.6664731	-1.5113041	-0.7752921	0.0568562
Walls (kW)	-0.0426871	0.0038562	2.8587874	-0.4997280	-0.5341769
Floors (kW)	0.5454969	0.6921527	4.0562629	0.3345256	-0.0231103
Ceilings (kW)	0.5122730	0.5323827	1.5225699	0.5456009	0.4195889
External Infiltration (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Ventilation (kW)	6.0000000	6.0000000	6.0000000	6.0000000	6.0000000
Zone sensible cooling (kW)	0.0000000	0.0000000	1.6248906	13.9870085	14.5169843
Sensible cooling (kW)	0.0000000	0.0000000	1.6248906	13.9869724	14.5169843
Total cooling (kW)	0.0000000	0.0000000	2.2656015	16.7268785	16.0580141
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	0.0000000	0.0000000
Task Lighting (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Occupancy (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	2.0020060	2.0019995
Summary	Design capacity (kW)		Total cooling load (kW)	Sensible (kW)	Latent (kW)
upogeio	0.0000000		0.0000000	0.0000000	0.0000000
isogeio	7.2309757		7.2309758	5.6589312	1.5720446
a orofos	4.9716735		4.9716735	4.3211638	0.6505097
Building total	12.202649		12.202649	9.9800950	2.2225543

Comfort						
	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	2
Air temperature (°C)	26.56251	26.56251	26.56251	31.14845	29.48151	3
Radiant temperature (°C)	28.87874	28.91816	28.91691	29.10614	29.40571	2
Operative temperature (°C)	27.82166	27.84188	27.84194	29.62729	29.34361	3
Outside dry bulb	33.08400	34.80000	34.00800	31.63200	28.20000	2
Relative humidity (%)	44.2458270	44.1881806	44.1694030	37.9845818	40.2612075	4
Mech vent + nat vent + Total Mech Loss	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0
Fabric and ventilation, Gains						
Glazing (kW)	0.6828338	1.0168040	0.8484378	0.1908499	-0.5574535	-
Walls (kW)	-0.6443980	-0.6504521	-0.5208571	-3.5501361	-3.4274004	-
Floors (kW)	-0.2495521	-0.3728223	-0.3235365	-3.7632067	-4.1188527	-
Ceilings (kW)	0.3130104	0.2535249	0.2490950	-0.7080690	-0.9094890	-
External Infiltration (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0
Ventilation (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0
Zone sensible cooling (kW)	14.8610362	15.0872778	15.0901395	1.1036443	1.6013108	1
Sensible cooling (kW)	14.8610362	15.0872778	15.0901395	1.1028513	1.6013108	1
Total cooling (kW)	16.2941722	16.4936706	16.4766502	1.2608313	1.9882076	2
Computers+Equipment (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0
Catering (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0
Process (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0
Miscellaneous (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0
General Lighting (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0
Task Lighting (kW)	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0
Occupancy (kW)	2.0019994	2.0019994	2.0019994	1.2910021	1.0894896	1
Summary	Air temperature (°C)	Humidity (%)	Time of max cooling	Maximum operative temperature in day (°C)		
upogelo	0.00000	0.00000	00:00	0.00000		
isogeio	26.00000	49.7430970	15:00	29.32697		
a orofos	26.00000	45.1999360	15:00	30.98893		
Building total	26.00000	46.3474358	15:00	30.02035		

Comfort	
	24:00
Air temperature (°C)	29.44200
Radiant temperature (°C)	29.14869
Operative temperature (°C)	29.19534
Outside dry bulb temperature (°C)	23.97600
Relative humidity (%)	47.7041207
Mech vent + nat vent + Transmittance	0.00000
Fabric and ventilation, Gains	
Glazing (kW)	-1.3772219
Walls (kW)	-0.1163568
Floors (kW)	0.2181694
Ceilings (kW)	0.5202908
External Infiltration (kW)	0.0000000
Ventilation (kW)	6.0000000
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	
upogelo	0.0000000
isogelo	
a orofos	
Building total	

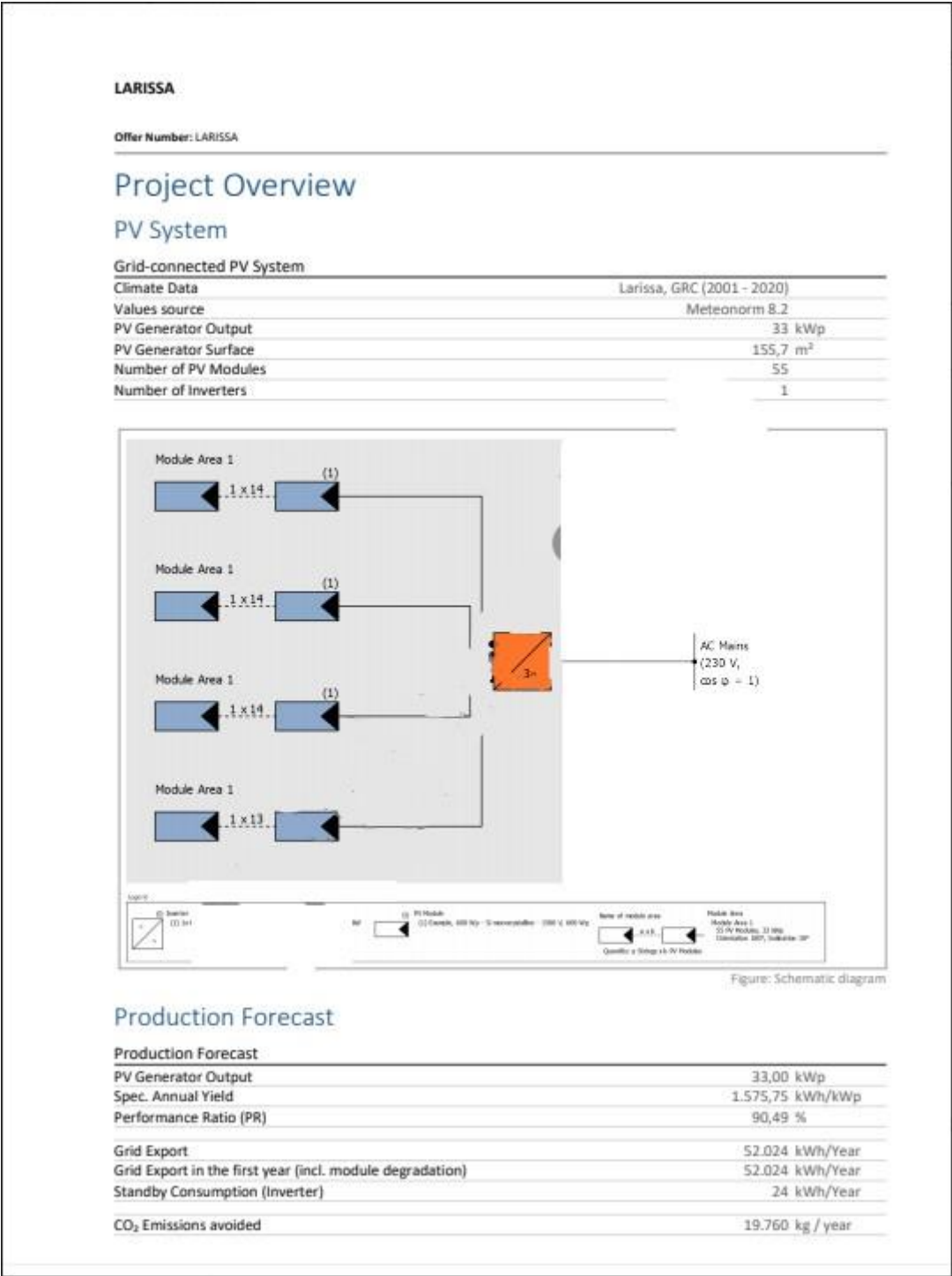
Πίνακας 8: Αποτελέσματα Θέρμανσης συνολικού κτιρίου simulation

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	17.907	17.89918	17.90292	-1.20000	26.9664816	0.00000
isogeio	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
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	-2.7855542	-1.2670038	-0.1353098	-0.0021010		-0.0000000
a orofos	-1.4582658	-1.1796459	0.0618157	-0.1078507		-0.0000000
Building total	-4.2438200	-2.4466469	0.0834956	-0.2654786		0.0000000
Summary						
	Comfort temperature (°C)	Steady state heat loss (kW)	Design capacity (kW)	Design capacity (W/m²)		
	18.507472	6.8704473	10.6755592	11.2397970		

Steady State	
Comfort	
Zone	
upogeio	
isogeio	
a orofos	
b orofos	
Heat loss	
Zone	Zone sensible heating (kW)
upogeio	0.0000000
isogeio	4.8796239
a orofos	1.9908234
Building total	6.8704473
Summary	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ



Set-up of the System

Overview

System Data

Type of System Grid-connected PV System

Climate Data

Location Larissa, GRC (2001 - 2020)

Values source Meteonorm 8.2

Data resolution 1 h

Simulation models used:

- Diffuse Irradiation onto Horizontal Plane * Hofmann
 - Irradiance onto tilted surface Hay & Davies

Module Areas

1. Module Area - Module Area 1

PV Generator, 1. Module Area - Module Area 1

Name	Module Area 1
PV Modules	55 x 600 Wp - Si monocrystalline - 1500 V (v1)
Manufacturer	Example
Inclination	30 °
Orientation	South 180 °
Installation Type	Mounted - Open Space
PV Generator Surface	155,7 m ²

Inverter

Configuration 1

Module Area	Module Area 1
Inverter 1	
Model	SUN2000-30KTL-M3 (440Vac) (v1)
Manufacturer	Huawei Technologies
Quantity	1
Sizing Factor	110 %
Configuration	MPP 1: 1 x 14
	MPP 2: 1 x 14
	MPP 3: 1 x 14
	MPP 4: 1 x 13



LARISSA

Offer Number: LARISSA

AC Mains

AC Mains

Number of Phases	3
Mains voltage between phase and neutral	230 V
Displacement Power Factor (cos phi)	+/- 1



Created with PV*SQL 2025 (R3) Trial version
Valentin Software GmbH

LARISSA

Offer Number: LARISSA

Simulation Results

Results Total System

PV System

PV Generator Output

33,00 kWp

Spec. Annual Yield

1.575,75 kWh/kWp

Performance Ratio (PR)

90,49 %

Grid Export

52.024 kWh/Year

Grid Export in the first year (incl. module degradation)

52.024 kWh/Year

Standby Consumption (Inverter)

24 kWh/Year

CO₂ Emissions avoided

19.760 kg / year

Energy Flow Graph

Project: LARISSA



Figure: Energy flow

Plans and parts list

Circuit Diagram

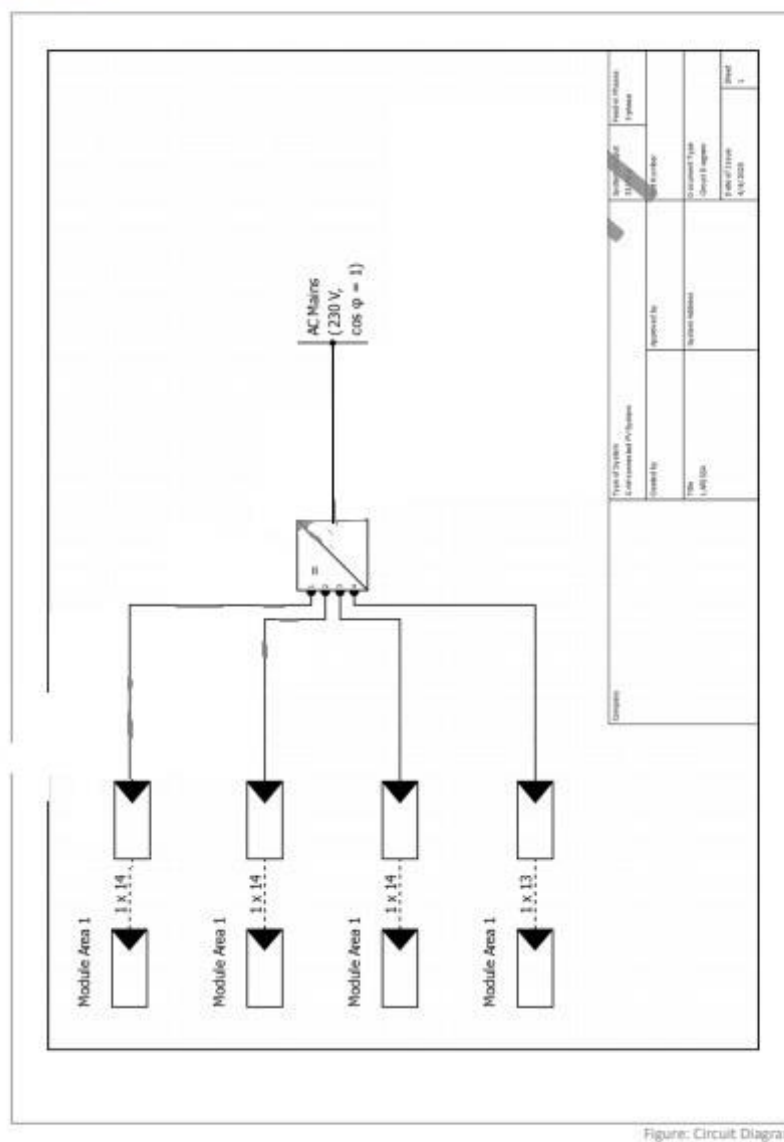


Figure: Circuit Diagram

LARISSA

Offer Number: LARISSA

Parts list

Parts list

#	Type	Item number	Manufacturer	Name	Quantity	Unit
1	PV Module		Example	600 Wp - Si monocrystalline - 1500 V	55	Piece
2	Inverter		Huawei Technologies	SUN2000-30KTL-M3 (440Vac)	1	Piece



Created with PV*SOL 2025 (R3) Trial version
Valentin Software GmbH