



Μελέτη επιπτώσεων κλιματικής
αλλαγής στην ενεργειακή
συμπεριφορά τυπικού κτηρίου
ξενοδοχείου πόλης

Τομέας Θερμότητας

Επιβλέπων: Σωτήριος Καρέλλας, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2025



Climate change impact on energy performance of typical city hotel building

Thermal Engineering Section

Supervisor: Sotirios Karellas, Professor, NTUA

Athens 2025

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Σωτήριο Καρέλλα καθώς και τον κ. Πλάτων Πάλλη για την ανάθεση της παρούσας εργασίας, δίνοντάς μου την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα που μας αφορά όλους και όλες στη σημερινή εποχή.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω επίσης στον Παναγιώτη Ρηγόπουλο, ο οποίος με τη συνεχή βοήθειά του, τις συμβουλές του, την προθυμία του να μοιραστεί τις γνώσεις και την εμπειρία του και την καλή του διάθεση συνέβαλλε καθοριστικά στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας και μου δημιούργησε την επιθυμία να μελετήσω περαιτέρω το συγκεκριμένο τομέα.

Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική εργασία είναι του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευριπίδης Καινούργιος

Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή	11
2.	Η κλιματική αλλαγή	12
2.1	Το φαινόμενο της μεταβολής του κλίματος.....	12
2.2	Ευρωπαϊκή και εθνική πολιτική για την κλιματική αλλαγή	14
2.3	Κλιματικά δεδομένα της Ελλάδας	15
2.4	Τα κτήρια ως παράγοντας της κλιματικής αλλαγής.....	16
2.5	Χαρακτηριστικά και ενεργειακές καταναλώσεις κτηρίων στην Ελλάδα	17
2.6	Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)	18
2.7	Κλιματική θωράκιση των κτηρίων.....	19
3.	Συστήματα θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού	21
3.1	Σχεδιασμός της εγκατάστασης.....	21
3.2	Τύποι συστημάτων HVAC	22
3.3	Επιλογή συστημάτων HVAC	29
4.	Δομικά υλικά και θερμομόνωση	30
4.1	Βασικά υπολογιστικά μεγέθη.....	30
4.2	Συνήθη θερμομονωτικά υλικά	31
5.	Μελλοντικά κλιματικά δεδομένα.....	34
5.1	Τα σενάρια για την κλιματική αλλαγή	34
5.2	Λογισμικά προσομοίωσης μελλοντικών κλιματικών δεδομένων.....	37
5.2.1	CCWorldWeatherGen	37
5.2.2	Meteonorm.....	39
5.3	Αποτελέσματα υπολογισμών μελλοντικών κλιματικών δεδομένων	42
6.	Μοντελοποίηση εξεταζόμενου κτηρίου.....	45
6.1	Χαρακτηριστικά του κτηρίου.....	45
6.2	Μοντελοποίηση στο Sketchup Pro με το πρόσθετο του Openstudio.....	47
6.2.1	Σχεδιασμός κτηριακού κελύφους	48
6.2.2	Χωρισμός σε θερμικές ζώνες.....	52
6.2.3	Εισαγωγή φωτοβολταϊκών συστημάτων και ηλιακών συλλεκτών	55
7.	Εισαγωγή μοντέλου στο Openstudio	57
7.1	Τοποθεσία (Site)	58
7.2	Χρονοδιαγράμματα (Schedules).....	59
7.3	Κατασκευές (Constructions).....	65
7.3.1	Θερμομονωτικό υλικό και τοποθέτηση	65
7.3.2	Διαδικασία υπολογισμού θερμομονωτικής επάρκειας.....	66
7.3.3	Υπολογισμός θερμομονωτικής επάρκειας αδιαφανών στοιχείων	69
7.3.4	Υπολογισμός θερμομονωτικής επάρκειας διαφανών στοιχείων	72
7.3.5	Υπολογισμός της θερμομονωτικής επάρκειας όλου του κτηρίου	73
7.3.6	Δημιουργία κατασκευών στο Openstudio	76
7.4	Φορτία (Loads).....	80

7.5	Τύποι Χώρων (Space types)	82
7.6	Γεωμετρία (Geometry)	82
7.7	Εγκατάσταση (Facility)	83
7.8	Χώροι (Spaces)	84
7.9	Θερμικές Ζώνες (Thermal Zones)	85
7.10	Συστήματα HVAC (HVAC Systems)	86
7.10.1	Σύστημα VRF με DOAS	86
7.10.2	Σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με DOAS	89
7.10.3	Σύστημα ζεστού νερού χρήσης	92
7.11	Μεταβλητές Εξόδου (Output Variables)	96
7.12	Ρυθμίσεις Προσομοίωσης (Simulation Settings)	97
7.13	Μετρήσεις (Measures)	98
7.14	Εκτέλεση Προσομοίωσης (Run Simulation)	99
7.15	Σύνοψη Αποτελεσμάτων (Results Summary)	100
8.	Αποτελέσματα	101
8.1	Φωτοβολταϊκά συστήματα	101
8.2	Παραγωγή ZNX	104
8.3	Σενάριο 1: Σύστημα VRF	106
8.4	Σενάριο 2: Σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας	112
8.5	Σύγκριση των διαφορετικών συστημάτων	118
9.	Παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας	124
9.1	Τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης	124
9.2	Τοποθέτηση μεμβράνης χαμηλής εκπομπής (low-e) στους υαλοπίνακες	128
9.3	Τοποθέτηση επιπλέον σκίασης στο κτηριακό κέλυφος	132
9.4	Συνολικά αποτελέσματα ενεργειακών παρεμβάσεων	135
10.	Συμπεράσματα – Συζήτηση	137

Περίληψη

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει κάθε πτυχή της ανθρώπινης δραστηριότητας και σε σημαντικό βαθμό τον κτηριακό τομέα. Οι ενεργειακές καταναλώσεις των κτηρίων αποτελούν ήδη ένα μεγάλο ποσοστό των συνολικών καταναλώσεων ενέργειας και αναμένεται να αυξηθούν τις επόμενες δεκαετίες με τη μεταβολή του κλίματος. Ιδιαίτερα στην Ελλάδα, όπου τα κτήρια χαρακτηρίζονται από έλλειψη τόσο επαρκούς θερμομόνωσης όσο και ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (Heating, Ventilation and Air-Conditioning – HVAC), η ανάγκη για κλιματική θωράκιση των κτηριακών υποδομών είναι αναγκαία.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην ενεργειακή συμπεριφορά ενός τυπικού κτηρίου ξενοδοχείου πόλης στο μέλλον. Αρχικά, εξετάζονται αποτελέσματα των λογισμικών Meteonorm και CCWorldWeatherGen για την προσομοίωση μελλοντικών κλιματικών δεδομένων για τα έτη 2020, 2050 και 2080, με σκοπό την επιλογή του κατάλληλου για την πραγματοποίηση των ενεργειακών προσομοιώσεων. Έπειτα, μοντελοποιείται το εξεταζόμενο κτήριο μέσω των λογισμικών Sketchup Pro και Openstudio.

Εξάγονται συμπεράσματα για τη μεταβολή των ενεργειακών καταναλώσεων του ξενοδοχείου πόλης για τα έτη 2030, 2050 και 2070 καθώς και της απόδοσης των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών στοιχείων και ηλιακών συλλεκτών. Συγκρίνονται τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 για την κλιματική αλλαγή και συστήματα VRF και γεωθερμίας για τον κλιματισμό του κτηρίου. Εξετάζονται παρεμβάσεις στο κτήριο για εξοικονόμηση ενέργειας και μελετάται το κατά πόσο η τοποθέτηση επιπλέον εξωτερικής θερμομόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους, η τοποθέτηση αντανakλαστικών μεμβρανών χαμηλής εκπομπής στους υαλοπίνακες και η εγκατάσταση επιπλέον σκίασης αποτελούν οικονομικά συμφέρουσες επιλογές.

Σύμφωνα με τις ενεργειακές προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν, προκύπτει ότι οι ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις σημειώνουν αύξηση από 4,71% μέχρι 18,82% το 2080 σε σχέση με την παρούσα κατάσταση για το σύστημα VRF και από 5,08% μέχρι 21,53% για το σύστημα γεωθερμίας, ανάλογα με το σενάριο κλιματικής αλλαγής. Επιπλέον, παρατηρείται ότι κτήριο με εγκατεστημένο σύστημα γεωθερμίας έχει μικρότερες ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις, οι οποίες προκύπτουν από τις μικρότερες απαιτήσεις για ψύξη. Τέλος, επιτυγχάνεται μικρότερη αύξηση των ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων από το 2030 μέχρι το 2070 για κτήριο με σύστημα VRF μέσω συγκεκριμένων παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας. Οι καταναλώσεις αυξάνονται κατά 6,89% στο υφιστάμενο κτήριο και κατά 0,73% στο κτήριο που πραγματοποιήθηκαν οι παρεμβάσεις, καθιστώντας το ανθεκτικό στις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής.

Abstract

Climate change affects every aspect of human activity and to a significant extent the building sector. The energy consumption of buildings already constitutes a large percentage of total energy consumption and is expected to increase in the coming decades with climate change. Particularly in Greece, where buildings are characterized by a lack of both adequate thermal insulation and energy-efficient heating, ventilation and air-conditioning systems (HVAC), the need for climate proofing of building infrastructure is necessary.

The purpose of this thesis is to study the impacts of climate change on the energy performance of a typical city hotel building in the future. Initially, results of the Meteonorm and CCWorldWeatherGen software are examined for the simulation of future climate data for the years 2020, 2050 and 2080, in order to select the appropriate one for carrying out the energy simulations. Then, the building under consideration is modeled using the Sketchup Pro and Openstudio software.

Conclusions are drawn on the change in the energy consumption of the city hotel for the years 2030, 2050 and 2070, as well as the efficiency of the installed photovoltaic cells and solar collectors. The RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios for climate change and VRF and geothermal systems for the building's air conditioning are compared. Interventions in the building for energy saving are examined and it is studied whether increasing the thickness of the thermal insulation material, installing more efficient glazing and installing additional shading are economically advantageous options.

According to the energy simulations carried out, it appears that annual energy consumption increases from 4.71% to 18.82% in 2080 compared to the current situation for the VRF system and from 5.08% to 21.53% for the geothermal system, depending on the climate change scenario. In addition, it is observed that a building with an installed geothermal system has lower annual energy consumption, which results from the lower cooling requirements. Finally, a smaller increase in annual energy consumption is achieved from 2030 to 2070 for a building with a VRF system through specific energy saving interventions. Consumption increases by 6.89% in the existing building and by 0.73% in the building where the interventions were carried out, making it resilient to the consequences of climate change.

Συντομεύσεις – Αρκτικόλεξα

Α.Π.Ε.: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Δ.Ο.Ε.: Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας

Ε.Μ.Υ.: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία

Ζ.Ν.Χ.: Ζεστό Νερό Χρήσης

Κ.Εν.Α.Κ.: Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων

Κ.Π.Α.: Καθαρή Παρούσα Αξία

Π.Ε.Α.: Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης

Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.: Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας

Φ/Β: Φωτοβολταϊκά

CAV: Constant Air Volume (Σταθερός Όγκος Αέρα)

COP: Coefficient of Performance (Συντελεστής Ενεργειακής Απόδοσης)

DOAS: Dedicated Outdoor Air System (Αποκλειστικό Σύστημα Εξωτερικού Αέρα)

HVAC: Heating, Ventilation and Air-Conditioning (Θέρμανση, Εξαερισμός και Κλιματισμός)

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή)

SHGC: Solar Heat Gain Coefficient (Συντελεστής Θερμικού Ηλιακού Κέρδους)

VAV: Variable Air Volume (Μεταβλητός Όγκος Αέρα)

VRF: Variable Refrigerant Flow (Μεταβλητή Ροή Ψυκτικού μέσου)

VRV: Variable Refrigerant Volume (Μεταβλητός Όγκος Ψυκτικού μέσου)

1. Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις του 21^{ου} αιώνα. Η διαρκής αύξηση της θερμοκρασίας τα τελευταία χρόνια και οι εκτιμήσεις για τον όλο και εντεινόμενο ρυθμό αύξησής της επηρεάζουν κάθε πτυχή της ανθρώπινης δραστηριότητας. Σημαντική ανησυχία προκαλείται για τον κτηριακό τομέα και το πώς αυτός θα επηρεαστεί από τη μεταβολή του κλίματος τα επόμενα χρόνια, καθώς μόλις τις πρόσφατες δεκαετίες έχουν αρχίσει να μελετώνται βιώσιμες λύσεις, οι οποίες μάλιστα μέχρι στιγμής δεν είναι σε θέση να φτάσουν στην πλατιά πλειονότητα των υποδομών. Ειδικά οι μεγάλες εγκαταστάσεις, όπως είναι ο τριτογενής τομέας και τα ξενοδοχεία, ως σημαντικά ενεργοβόρες, επηρεάζονται άμεσα από τις μεταβολές στο κλίμα, καθώς η αύξηση της θερμοκρασίας, η υγρασία και τα ακραία καιρικά φαινόμενα επηρεάζουν τη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC) αλλά και τη συνολική ενεργειακή κατανάλωσή τους.

Ειδικά στην Ελλάδα με την αυξημένη τουριστική κίνηση, ιδιαίτερα τα καλοκαίρια και τους θερμούς μήνες, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των ξενοδοχειακών μονάδων αποτελεί σημαντικό πρόβλημα και προβάλλει την ανάγκη για την εύρεση μίας βιώσιμης λύσης, η οποία θα βελτιώσει τόσο το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της δραστηριότητας του τουρισμού, όσο και την καθημερινότητα των πολιτών που επηρεάζονται από αυτόν.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός τυπικού κτηρίου ξενοδοχείου πόλης στις μελλοντικές κλιματικές συνθήκες. Μέσα από την ενεργειακή προσομοίωση με διαφορετικά μελλοντικά σενάρια για την κλιματική αλλαγή, καθώς και ένα πλήθος χρονολογιών στο μέλλον, εκτιμώνται οι καταναλώσεις ενέργειας που έχει ένα τέτοιο κτήριο, τόσο συνολικά όσο και ανά χρήση. Επιπλέον, μελετώνται διαφορετικά συστήματα κλιματισμού, ούτως ώστε να εξαχθεί η λιγότερο ενεργειακά κοστοβόρα και περισσότερο περιβαλλοντικά φιλική λύση για τη λειτουργία του κτηρίου. Τέλος, εξετάζονται λύσεις και πρακτικές εξοικονόμησης ενέργειας, οι οποίες συμβάλλουν στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του ξενοδοχείου αλλά και στη μείωση του κόστους λειτουργίας τους.

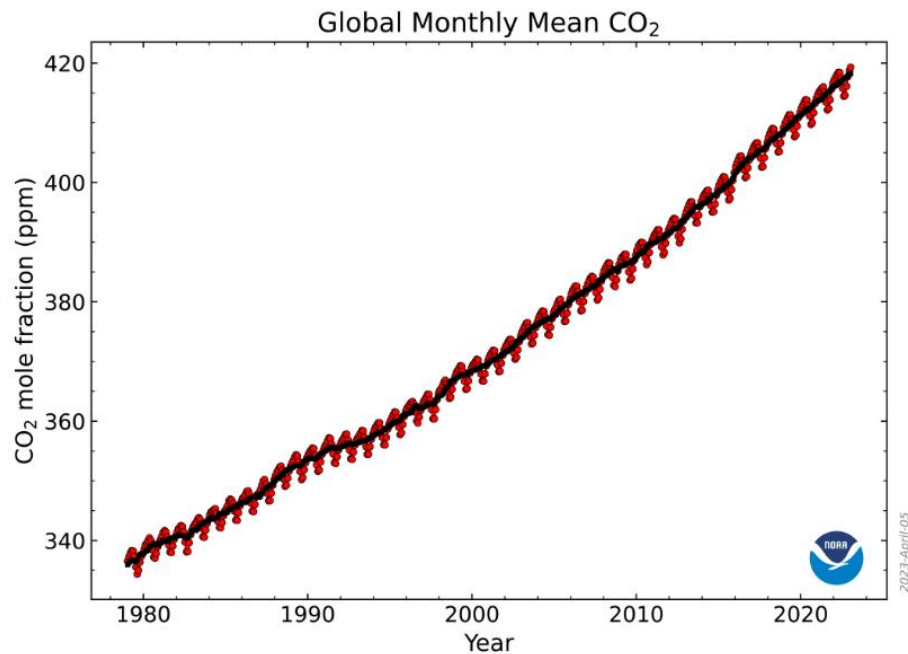
2. Η κλιματική αλλαγή

2.1 Το φαινόμενο της μεταβολής του κλίματος

Το κλίμα συνήθως περιγράφεται με τη μέση θερμοκρασία, βροχόπτωση και άνεμο, καθώς και από τη μεταβλητότητα αυτών. Με βάση αυτά προκύπτουν και τα κλιματικά δεδομένα για μία περιοχή [1]. Η θερμοκρασία της επιφάνειας και της ατμόσφαιρας της Γης καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα αέρια του θερμοκηπίου, τα οποία δρουν σαν μία προστατευτική μεμβράνη, αφού απορροφούν τη θερμότητα του ήλιου, την συγκρατούν στην ατμόσφαιρα και την εμποδίζουν να διαφύγει. Τα αέρια του θερμοκηπίου με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα είναι οι υδρατμοί (H_2O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) και το όζον (O_3). Αυτό το φαινόμενο αποκαλείται και φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, και αποτελεί τον κύριο λόγο της υψηλής θερμοκρασίας της Γης και άρα και της ανάπτυξης ζωής σε αυτή.

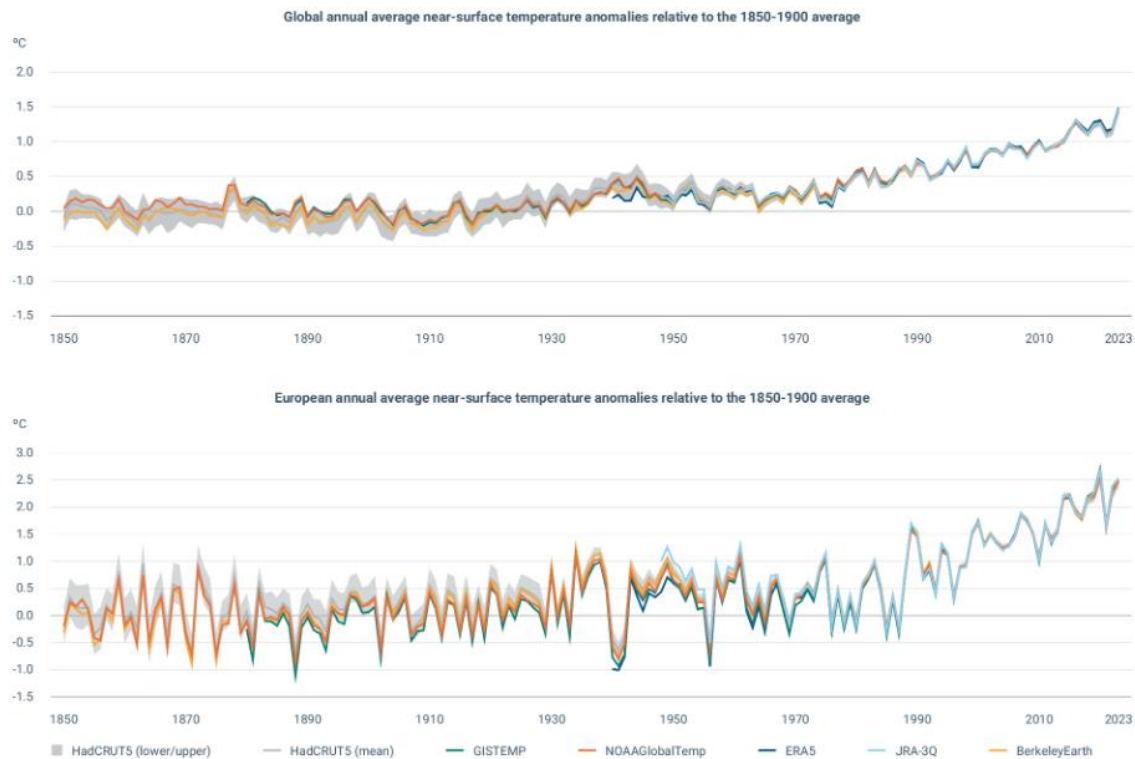
Το κλίμα αλλάζει και εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου, ακόμα και χωρίς την παρουσία του έντονου ανθρώπινου παράγοντα, λόγω των αλλαγών στους εξωτερικούς παράγοντες που επηρεάζουν το κλίμα [1]. Τέτοιοι φυσικοί παράγοντες μπορεί να είναι η ηφαιστειακή δραστηριότητα, οι δασικές πυρκαγιές ή οι σεισμικές δραστηριότητες, λόγω των οποίων εκλύονται αέρια του θερμοκηπίου και διαχέονται στην ατμόσφαιρα. Κάτι τέτοιο αποδεικνύει ότι το κλίμα μεταβαλλόταν ακόμα και πριν την παρουσία της ανθρώπινης δραστηριότητας, και θα συνεχίσει να αλλάζει ακόμα και με την παύση αυτής. Τα αέρια του θερμοκηπίου παράγονται και από την ανθρώπινη δραστηριότητα και αποτελούν την κύρια αιτία της κλιματικής αλλαγής [2]. Για αυτό το λόγο, από τη βιομηχανική επανάσταση και έπειτα, ο ρυθμός μεταβολής των κλιματικών συνθηκών παρουσίασε μία κατακόρυφη αύξηση, η οποία παρατηρείται μέχρι και σήμερα.

Η παραγωγή CO_2 σε ένα μεγάλο πλήθος των ανθρώπινων δραστηριοτήτων αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα, όπως φαίνεται και από την αύξηση του συγκεκριμένου αερίου στην ατμόσφαιρα τα τελευταία 60 χρόνια, στο *Σχήμα 2.1*. Το πιο ανησυχητικό γεγονός είναι αυτό της δημιουργίας ενός αέναου κύκλου: όσο η θερμοκρασία της Γης αυξάνεται λόγω των αερίων του θερμοκηπίου, τα χιόνια και ο πάγος λιώνουν, αυξάνοντας τη στάθμη της θάλασσας, αποκαλύπτοντας πιο σκουρόχρωμες επιφάνειες και υδάτινες επιφάνειες που ήταν κάτω από τον πάγο ή το χιόνι, οι οποίες απορροφούν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία, θερμαίνοντας έτσι όλο και περισσότερο την επιφάνεια και την ατμόσφαιρα της Γης, αυξάνοντας περαιτέρω τη στάθμη της θάλασσας κ.ο.κ. [1]. Η κατάσταση αυτή εντείνει την ανησυχία σχετικά με την αναστροφή αυτής της κατάστασης και δημιουργεί ακόμα μεγαλύτερες απαιτήσεις.



Σχήμα 2.1: Μέση μηνιαία συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα σε περιοχές θαλάσσιας επιφάνειας. Πηγή: Εθνική Διοίκηση Ωκεανών και Ατμόσφαιρας, Υπουργείο Εμπορίου των ΗΠΑ (U.S. NOAA).

Η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης έχει αυξηθεί κατά $1,19^{\circ}\text{C}$ έως $1,22^{\circ}\text{C}$ από τα προβιομηχανικά επίπεδα, αύξηση η οποία όλο και επιταχύνεται, όπως φανερώνουν οι μετρήσεις τις τελευταίες δεκαετίες. Συγκεκριμένα, το 2024 ήταν η θερμότερη χρονιά που έχει καταγραφεί καθόλη τη διάρκεια των 174 χρόνων μετρήσεων, με μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης στους $1,55^{\circ}\text{C}$. Ειδικότερα στην Ευρώπη, ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας είναι υψηλότερος [3], όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.2, καθώς η θερμοκρασία των χερσαίων εκτάσεων στην Ευρώπη έχει αυξηθεί κατά $2,12^{\circ}\text{C}$ έως $2,19^{\circ}\text{C}$ κατά την περίοδο 2013-2023 σε σύγκριση με την προβιομηχανική περίοδο [4]. Επιπλέον, παρατηρούνται όλο και περισσότερα ακραία καιρικά φαινόμενα (όπως έντονες βροχοπτώσεις), τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα φυσικές καταστροφές και κοινωνικοοικονομικές συνέπειες. Περίπου 60.000 άνθρωποι πέθαναν παγκοσμίως από φυσικές καταστροφές κάθε χρόνο κατά μέσο όρο την τελευταία δεκαετία, σχεδόν το 0,1% των συνολικών θανάτων παγκοσμίως [2].



Σχήμα 2.2: Παγκόσμιες (επάνω) και ευρωπαϊκές (κάτω) μέσες ετήσιες θερμοκρασίες κοντά στην επιφάνεια, σε σχέση με την προβιομηχανική περίοδο (1850-1900). Πηγή: [4].

2.2 Ευρωπαϊκή και εθνική πολιτική για την κλιματική αλλαγή

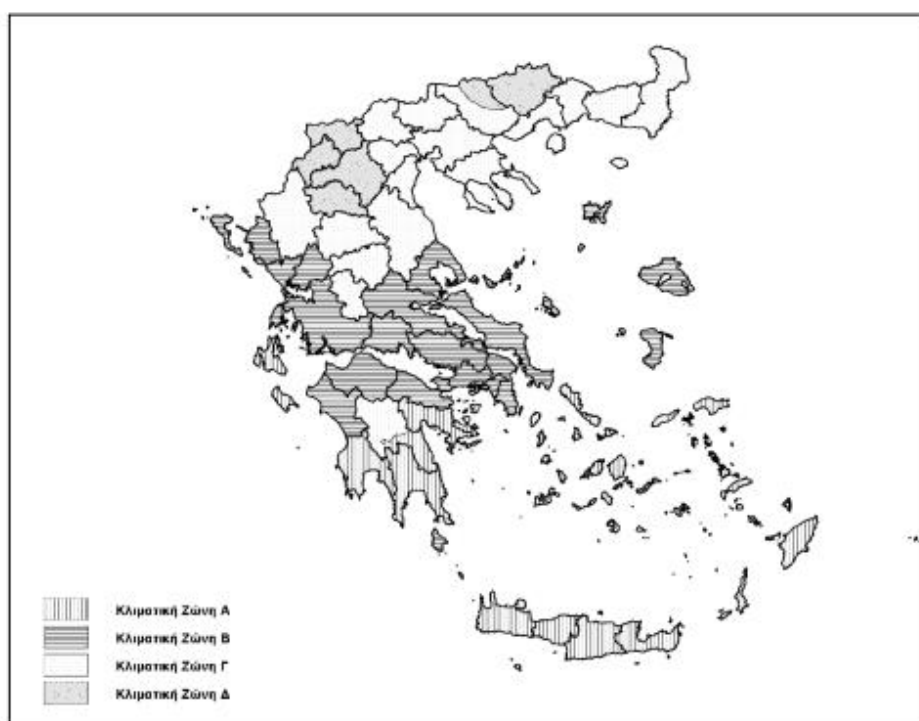
Ο βασικός πυλώνας της Ευρωπαϊκής πολιτικής για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή βασίζεται στο στόχο της κλιματικής ανθεκτικότητας για το 2050. Τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης συμμετείχαν στην παγκόσμια κλιματική σύσκεψη του ΟΗΕ το 2021 στη Γλασκόβη, στην οποία συμφωνήθηκε η κοινή δράση για τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής. Κύριος σκοπός είναι ο περιορισμός της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη κάτω από τους 2°C με κύριο στόχο τον περιορισμό στον 1,5°C, κάτι που φαίνεται ήδη να ξεπερνιέται. Μεταξύ άλλων, αποφασίστηκε η σταδιακή μείωση της χρήσης άνθρακα παγκοσμίως, ο διπλασιασμός της χρηματοδότησης των αναπτυσσόμενων χωρών από τις αναπτυγμένες για την προσαρμογή των πρώτων στην κλιματική αλλαγή κ.ά. [5]. Η ΕΕ ήταν ανέκαθεν δραστήρια στον τομέα των δράσεων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, όπως φαίνεται και από την έναρξη της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας (European Green Deal) το 2019, η οποία περιγράφει τη μετατροπή της ΕΕ στην πρώτη κλιματικά ουδέτερη ζώνη μέχρι το 2050 [5].

Αναφορικά με τη δράση της Ελλάδας, το 2016, συντάχθηκε η Εθνική Στρατηγική για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή. Σκοπός είναι η ενίσχυση της ανθεκτικότητας της χώρας όσον αφορά τις επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή, μέσω της ανάπτυξης και εφαρμογής περιφερειακών/τοπικών σχεδίων δράσης, της βελτίωσης της διαδικασίας λήψης αποφάσεων, της προώθησης δράσεων και πολιτικών προσαρμογής κ.ά.

2.3 Κλιματικά δεδομένα της Ελλάδας

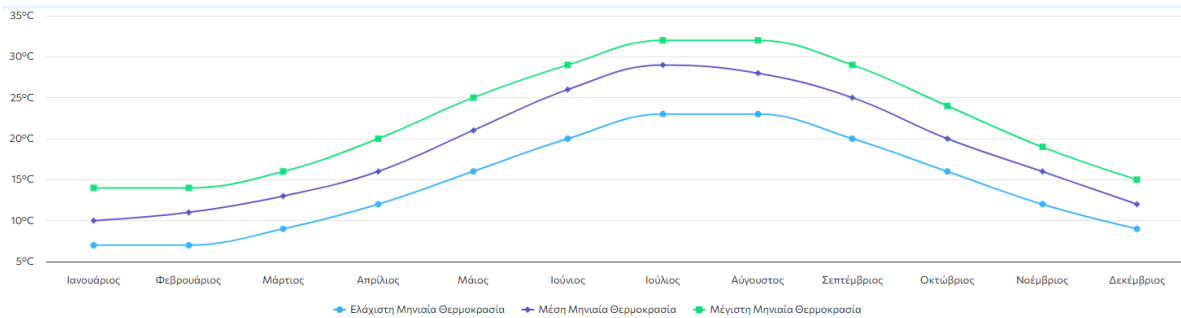
Το Μεσογειακό κλίμα της Ελλάδας χαρακτηρίζεται από θερμά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους και βροχερούς χειμώνες. Από κλιματολογικής πλευράς το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές: Την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου και μέχρι το τέλος Μαρτίου και τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο. Το τοπικό κλίμα επηρεάζεται λόγω της μεγάλης γεωμορφολογικής ποικιλομορφίας. Η θερμοκρασία κυμαίνεται από 0-5 °C στις ηπειρωτικές περιοχές και από 5-10°C στις παραθαλάσσιες περιοχές το χειμώνα (Ιανουάριος – Φεβρουάριος) και από 29-35°C τους θερμούς καλοκαιρινούς μήνες (Ιούλιος – Αύγουστος).

Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 ([6]), που συνοδεύει τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ.), η ελληνική επικράτεια χωρίζεται σε 4 κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμομημέρες θέρμανσης, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3: Σχηματική απεικόνιση των κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας.
Πηγή: [6].

Στο Σχήμα 2.4 απεικονίζονται γραφικά οι τυπικές τιμές μηνιαίας θερμοκρασίας (ελάχιστη, μέση και μέγιστη) για το μετεωρολογικό σταθμό της Ε.Μ.Υ. στο Ελληνικό.



Σχήμα 2.4: Στατιστικά για την ελάχιστη, μέση και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία για όλο το χρόνο από δεδομένα του σταθμού της Ε.Μ.Υ. στο Ελληνικό. Πηγή: Ε.Μ.Υ.

Όσον αφορά τη μεταβολή των κλιματολογικών συνθηκών ανά τα χρόνια και τη μέση επιφάνεια του εδάφους στην Ελλάδα, παρατηρούνται αυξητικές τάσεις σε όλες τις περιοχές της επικράτειας καθώς και καθόλη τη διάρκεια του χρόνου. Η μέση θερμοκρασία την άνοιξη, το καλοκαίρι καθώς και η ετήσια μέση θερμοκρασία παρουσιάζουν μεγαλύτερη αυξητική τάση στην περιοχή της Αττικής. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου παρατηρείται σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας στις κεντρικές και βορειοανατολικές χερσαίες περιοχές της Ελλάδας [7].

Αναφορικά με τις δύο μεγαλύτερες πόλεις στην ελληνική επικράτεια, η μέση θερμοκρασία αυξάνεται γρηγορότερα στη Θεσσαλονίκη σε σχέση με την Αθήνα, ενώ η μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας σημειώνεται τους καλοκαιρινούς μήνες. Ο Αύγουστος είναι ο μήνας με τη μέγιστη αυξητική τάση θερμοκρασίας (0,077°C/έτος για την Αθήνα και 0,109°C/έτος για τη Θεσσαλονίκη) [7]. Είναι σημαντικό, όπως φανερώνεται και από πρόσφατη έρευνα [7], πως οι καταγραφές για την ελάχιστη μέση θερμοκρασία ανά μήνα εντοπίζονται κυρίως στις χρονιές 1979-2003, ενώ οι αντίστοιχες για τη μέγιστη μέση θερμοκρασία στις χρονιές 2001-2017, φανερώνοντας τη διαρκή αύξηση της θερμοκρασίας στις 2 πόλεις και την επικράτεια.

2.4 Τα κτήρια ως παράγοντας της κλιματικής αλλαγής

Τα κτήρια αποτελούν έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή. Ο συγκεκριμένος τομέας είναι υπεύθυνος σχεδόν για το 30% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας και για το 26% των παγκόσμιων εκπομπών, σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (Δ.Ο.Ε.). Ειδικότερα, μέσω της άμεσης καύσης ορυκτών καυσίμων για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών (κυρίως της θέρμανσης), και λόγω της έλλειψης των χρηματοδοτικών πόρων για την αναβάθμιση των συστημάτων σε

πιο ενεργειακά αποδοτικά και φιλικά προς το περιβάλλον, συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στην εκπομπή CO₂ στην ατμόσφαιρα.

Η μεταβολή του κλίματος, τα όλο και εντονότερα καιρικά φαινόμενα και η αύξηση της θερμοκρασίας έχουν άμεσο αντίκτυπο στη συμπεριφορά και την απόδοση των υφιστάμενων και μελλοντικών κτηρίων. Τυπικοί τομείς που επηρεάζονται είναι η ενεργειακή κατανάλωση και οι εκπομπές καθώς και η αναποτελεσματικότητα και η δυσλειτουργία που προκαλούνται από συστήματα που αντιμετωπίζουν αλλαγές στις συνθήκες λειτουργίας [8].

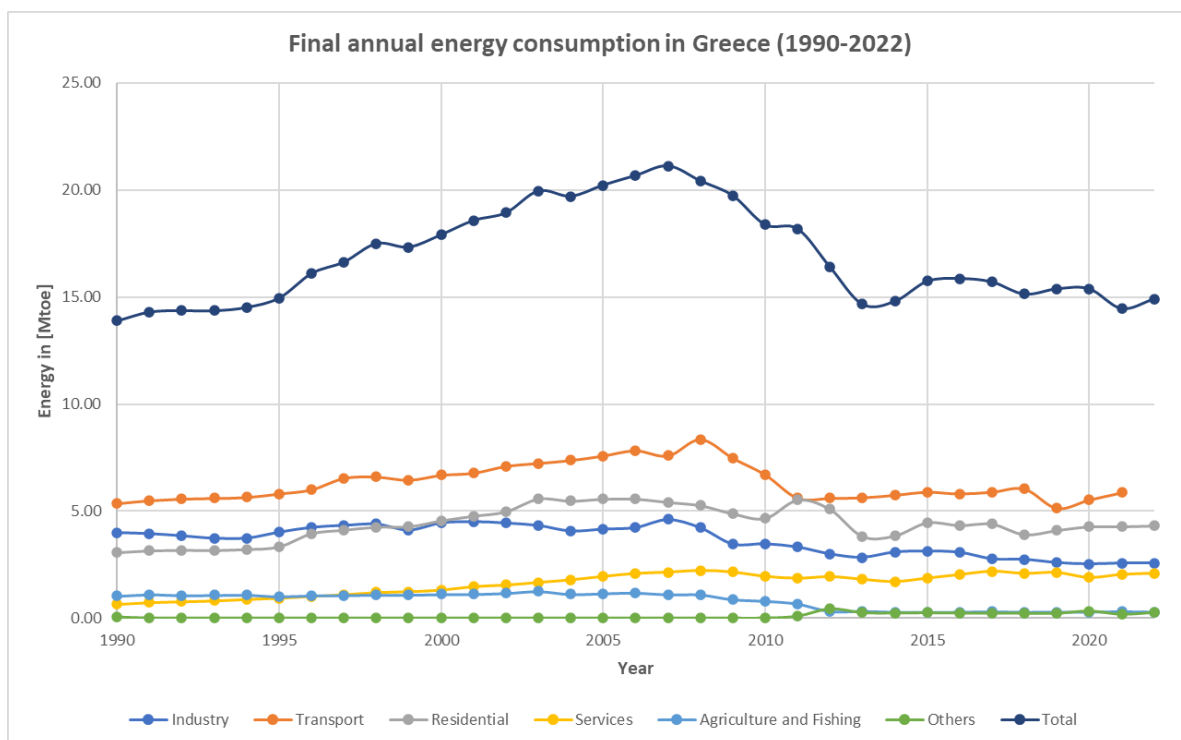
Η μείωση των εκπομπών και των ενεργειακών απαιτήσεων και άρα η μείωση του άνθρακα στη λειτουργία των κτηρίων αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις. Η υπόθεση χαμηλών εκπομπών άνθρακα του Δ.Ο.Ε. ότι απαιτούνται πρόσθετες επενδύσεις 7,9 τρισεκατομμυρίων δολαρίων σε κτήρια στον οικιακό τομέα από τώρα έως το 2050 και 4,4 τρισεκατομμύρια δολάρια στον τομέα των υπηρεσιών [9] για να επιτευχθούν οι στόχοι.

2.5 Χαρακτηριστικά και ενεργειακές καταναλώσεις κτηρίων στην Ελλάδα

Οι καταναλώσεις στον κτηριακό τομέα διαφέρουν ανάλογα με το κτήριο, τα δομικά υλικά του, τα συστήματα ψύξης, θέρμανσης και κλιματισμού και σχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με τη χρονολογία κατασκευής του.

Στην Ελλάδα, σχεδόν το 45% των κτηρίων έχουν κτιστεί πριν το 1980, κάτι που σημαίνει πως υστερούν θερμομόνωσης, διπλών υαλοπινάκων, ηλιοπροστασίας ενώ υπάρχει και ανεπαρκής συντήρηση συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού, λόγω έλλειψης ενιαίου κανονισμού κατά την περίοδο δόμησης [10]. Επιπλέον, τα κύρια δομικά υλικά κατασκευής των κτηρίων κατοικιών στην Ελλάδα είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα, τα τούβλα και οι τσιμεντόλιθοι, καθώς και η πέτρα. Το ποσοστό των εκάστοτε δομικών υλικών διαφέρει ανά κλιματική ζώνη σε μεγάλο βαθμό. Στην κλιματική ζώνη Β', όπου ανήκει και η Αττική και το εξεταζόμενο κτήριο, η μεγάλη πλειονότητα των κτηρίων είναι κατασκευασμένα κυρίως με δομικό υλικό το οπλισμένο σκυρόδεμα. Η θέσπιση του Κ.Εν.Α.Κ. θα βελτιώσει σε μεγάλο βαθμό σε μακροπρόθεσμο επίπεδο τη θερμική μόνωση των κτηρίων και την αποδοτικότητα των συστημάτων τους, κάτι που θα οδηγήσει και στη μείωση των καταναλώσεών τους.

Αναφορικά με τις ενεργειακές καταναλώσεις, το 2022, χρονιά στην οποία η συνολική ενεργειακή κατανάλωση στην Ελλάδα ήταν 173403,3 GWh, οι καταναλώσεις των κτηρίων (τόσο οικιακών όσο και υπηρεσιών) αποτέλεσαν το 43% αυτής, ενώ διαφαίνεται μία μικρή αύξηση από το 1990 έως το 2022, όπως αποτυπώνεται και στο Σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5: Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση στην Ελλάδα (1990-2022) σε τόνους ισοδύναμου πετρελαίου. Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, energy.ec.europa.eu.

Όσον αφορά τη θέρμανση των χώρων, το 67,7% χρησιμοποιεί συστήματα κεντρικής θέρμανσης με καύση πετρελαίου ή φυσικού αερίου, το 20,3% χρησιμοποιεί άλλα συστήματα θέρμανσης χώρου (τοπικά συστήματα χαμηλής θερμικής ισχύος, ηλεκτρικός θερμοσίφωνας, αντλίες θερμότητας, θερμάστρες κ.λπ.) και το 12% δεν έχει ούτε χρησιμοποιεί θέρμανση [10]. Τέλος, το 33,2% των κτηρίων κατοικίας στην Ελλάδα χρησιμοποιεί ηλιακούς συλλέκτες για την παραγωγή Ζ.Ν.Χ., ποσοστό που διαφέρει σε έναν βαθμό ανάλογα με την εκάστοτε κλιματική ζώνη [10].

2.6 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)

Στο πλαίσιο της Κοινοτικής Οδηγίας 91/2002/ΕΚ «για την Ενεργειακή Απόδοση Κτηρίων», η Ελλάδα είχε την υποχρέωση να εναρμονιστεί μέχρι τον Ιανουάριο του 2006 με την έκδοση και την εφαρμογή σχετικών νομοθετικών διατάξεων. Ο νόμος 3661/2008 οδήγησε στην έκδοση του «Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης κτηρίων» (Κ.Εν.Α.Κ.). Στην έκδοση του 2017 καθορίζονται οι ελάχιστες τεχνικές προδιαγραφές και απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης των νέων και ριζικά ανακαινιζόμενων κτηρίων.

Στις Τεχνικές Οδηγίες του ΤΕΕ, περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων οι προδιαγραφές για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών

υλικών και στοιχεία για τον έλεγχο της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων, στοιχεία παθητικής θέρμανσης και ψύξης, κλιματικά δεδομένα των ελληνικών περιοχών, προδιαγραφές για λέβητες και εγκαταστάσεις θέρμανσης, κλιματισμού και συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε κτήρια.

Ο Κ.Εν.Α.Κ. παρέχει όλα τα δεδομένα και τις οδηγίες για την έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ), υποχρεωτικό για την πώληση και ενοικίαση κάθε κτηρίου. Σε αυτό δίνονται πληροφορίες σχετικά με την τυπική ενεργειακή απόδοση του κτηρίου, αλλά και οικονομικά συμφέροντες συμβουλές σχετικά με τη βελτίωση της απόδοσης του. Επιπλέον, δίνονται στοιχεία για την ενεργειακή κατάταξη του κτηρίου.

Συνοπτικά, οι ελάχιστες απαιτήσεις κτηρίου περιλαμβάνουν:

- Σχεδιασμό κτηρίου: κατάλληλη χωροθέτηση και προσανατολισμός, διαμόρφωση περιβάλλοντα χώρου, χωροθέτηση των ανοιγμάτων και λειτουργιών, τοποθέτηση τουλάχιστον ενός ηλιακού παθητικού συστήματος, τεχνικές φυσικού αερισμού και δροσισμού
- Κτηριακό κέλυφος: συνυπολογισμός εξωτερικών κλιματικών συνθηκών, θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων, αεροστεγανότητα, φυσικός αερισμός, παθητικά ηλιακά συστήματα, ηλιακή προστασία
- Η/Μ εγκαταστάσεις: συστήματα θέρμανσης και ψύξης, συστήματα ΖΝΧ, συστήματα τεχνητού φωτισμού

2.7 Κλιματική Θωράκιση των κτηρίων

Βασική πρόκληση στον τομέα των κατασκευών είναι ο βέλτιστος τρόπος θωράκισης των νέων κτηρίων από την κλιματική αλλαγή. Σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), τα κτήρια έχουν τη μεγαλύτερη δυνατότητα να προσφέρουν σημαντικές, μακροπρόθεσμες και οικονομικά αποδοτικές μειώσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με άλλους σημαντικούς τομείς. Κάτι τέτοιο περιλαμβάνει έναν σχεδιασμό που θα ανταποκριθεί στην αύξηση της θερμοκρασίας και στην αβεβαιότητα των κλιματικών συνθηκών, επιτυγχάνοντας όσο το δυνατόν μικρότερη αύξηση των ενεργειακών καταναλώσεων και έχοντας τη δυνατότητα να εκμεταλλευτεί τις μελλοντικές τεχνολογίες που θα προκύψουν. Τα νέα κτήρια πρέπει να είναι ευέλικτα και ανταποκρίνονται όσο το δυνατόν καλύτερα σε ενδεχόμενες αλλαγές στις απαιτήσεις των συστημάτων τους.

Σύμφωνα με έρευνα, η προστασία των κτηρίων για το μέλλον μπορεί να περιγραφεί ως η διαδικασία σχεδιασμού που περιλαμβάνει «δοκιμές ανθεκτικότητας» διαφόρων επιλογών, λαμβάνοντας υπόψη ποικίλα σενάρια για το μέλλον. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η διατήρηση της λειτουργικότητάς τους καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους,

αποφεύγοντας έτσι υψηλές δαπάνες για ανακαινίσεις ή τον πρόωρο τερματισμό της χρήσης τους [11].

Η ίδια μελέτη, παρουσιάζει 4 διαφορετικές εναλλακτικές περιπτώσεις σχεδιασμού κλιματικής θωράκισης των νέων κτηρίων, οι οποίες είναι:

- Βραχυπρόθεσμη περίπτωση: ο συγκεκριμένος σχεδιασμός δεν λαμβάνει υπόψη τις ενδεχόμενες μελλοντικές συνθήκες, περιλαμβάνει συμβατικές διαδικασίες σχεδιασμού και βασίζεται σε ένα εύρος οικονομικά βιώσιμων και άμεσα διαθέσιμων λύσεων για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.
- Περίπτωση βασισμένη στον κύκλο ζωής: ο συγκεκριμένος σχεδιασμός ενέχει την παρακολουθήσει των ενεργειακών απαιτήσεων και καταναλώσεων και της επιλογής λύσεων με βάση το στόχο για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο κύκλο ζωής του κτηρίου.
- Περίπτωση βασισμένη στην αβεβαιότητα: ο συγκεκριμένος σχεδιασμός ξεπερνάει τα υπάρχοντα δεδομένα και ενισχύει την προσαρμοστικότητα με σκοπό το κτήριο να παραμείνει λειτουργικό μακροπρόθεσμα. Λαμβάνει υπόψη ένα φάσμα πιθανών μελλοντικών σεναρίων. Χρησιμοποιεί στέγες, σκίαστρα, μόνωση και φυσικό αερισμό για την ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων ψύξης με βάση μελλοντικά κλιματικά δεδομένα. Είναι επίσης προσαρμοστικό σε μελλοντικές αλλαγές και απαιτήσεις των χρηστών, είναι ευέλικτο όσον αφορά το κέλυφος (δηλαδή την ύπαρξη χώρου για συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, περισσότερα φωτοβολταϊκά κλπ.) και τους εσωτερικούς χώρους για την προσαρμογή πιθανών αλλαγών της συμπεριφοράς των χρηστών.
- Ολοκληρωμένη περίπτωση: ο συγκεκριμένος σχεδιασμός ενσωματώνει τόσο την λογική του κύκλου ζωής, όσο και την ανάγκη για την αντιμετώπιση μελλοντικών κινδύνων και αβεβαιοτήτων [11].

Με βάση τα παραπάνω, δεν είναι ακόμα ορισμένες με σαφήνεια και βεβαιότητα οι βέλτιστες λύσεις για το σχεδιασμό των κτηρίων με βάση την κλιματική τους θωράκιση. Σίγουρα, ο σχεδιασμός για τη μελλοντική προστασία πρέπει να γίνεται σε ένα αρχικό στάδιο και να υπάρξει απομάκρυνση από τη λογική της κατασκευής στο παρόν και της διόρθωσης και ενίσχυσης των κτηρίων στο μέλλον [11].

3. Συστήματα θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού

Η επίτευξη της θερμικής άνεσης στο εσωτερικό των κτηρίων όπως περιγράφηκε παραπάνω, επιτυγχάνεται μέσω των συστημάτων θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού που θα επιλεγθούν, ή αλλιώς HVAC (Heating, Ventilation & Air Conditioning). Μέσω αυτών ελέγχεται η θερμοκρασία μέσω της θέρμανσης και της ψύξης (θερμικός έλεγχος), καθώς και η ποιότητα του εσωτερικού αέρα και τα επίπεδα υγρασίας. Υπάρχουν πολλοί τύποι συστημάτων HVAC που επιλέγονται ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε κτηρίου και συμπεριλαμβάνουν διαφορετικά στοιχεία, όπως μονάδες κλιματισμού, αντλίες θερμότητας, καυστήρες, υγραντήρες και αφυγραντήρες.

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζονται τα διαφορετικά είδη συστημάτων HVAC, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του καθενός, καθώς και τα κριτήρια επιλογής του εκάστοτε συστήματος για διαφορετικές χρήσεις.

Τα συστήματα HVAC διακρίνονται σε συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού, ψύξης και κλιματισμού:

- Τα συστήματα θέρμανσης προσθέτουν θερμική ενέργεια σε ένα χώρο ή κτήριο και αντισταθμίζουν τις απώλειες θερμότητας.
- Τα συστήματα εξαερισμού στοχεύουν στην κυκλοφορία του αέρα στο χώρο, βελτιώνοντας την ποιότητα του εσωτερικού αέρα και τα επίπεδα άνεσης των χρηστών.
- Τα συστήματα ψύξης αφαιρούν θερμική ενέργεια από ένα χώρο ή κτήριο.
- Τα συστήματα κλιματισμού είναι μία συνάθροιση συνιστωσών, με μία καθορισμένη δομή και λειτουργία που πρέπει να ελέγχει τη θερμοκρασία, την υγρασία, την κυκλοφορία και την ποιότητα του αέρα [12].

3.1 Σχεδιασμός της εγκατάστασης

Πέρα από την επιλογή εξοπλισμού, ο διαρκής έλεγχος ενός συστήματος HVAC είναι κρίσιμος για την επιτυχή λειτουργία του. Για να γίνει αυτό, είναι αναγκαίος ο χωρισμός του κτηρίου σε θερμικές ζώνες. Μία θερμική ζώνη ορίζεται ως μία περιοχή ενός κτηρίου που απαιτεί χωριστό έλεγχο, εάν πρόκειται να παρασχεθεί με τον αποδοτικότερο δυνατό τρόπο θερμική άνεση στους ενοίκους κάθε περιοχής του κτηρίου. Σύμφωνα με την TOTE 20701-1/2017, ο χωρισμός σε θερμικές ζώνες γίνεται σε χώρους με παρόμοια χρήση, ίδιο προφίλ λειτουργίας ή/και κοινά ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα. Άρα, για τον χωρισμό, πρέπει να γίνουν κατανοητές οι πραγματικές λειτουργίες των χώρων και οι συνθήκες πληρότητάς τους. Έτσι, οι χώροι που έχουν ασύμβατες μεταξύ τους απαιτήσεις υπάγονται σε διαφορετικές ζώνες και ο έλεγχος καθίσταται απλούστερος και αποδοτικότερος [6].

Ο σωστός χωρισμός των θερμικών ζωνών είναι σημαντικός ούτως ώστε να μειωθεί ακόμα περισσότερο η κατανάλωση ενέργειας μέσω ενός κεντρικού συστήματος ελέγχου, που να διαχειρίζεται αυτόνομα τη θερμοκρασία του μέσου μεταφοράς της θερμότητας με το οποίο τροφοδοτείται η κάθε ζώνη. Έτσι, ολόκληρες ζώνες μπορούν ακόμα και να κλείνουν όταν δεν είναι κατειλημμένες, ενώ το υπόλοιπο δίκτυο μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί κανονικά.

3.2 Τύποι συστημάτων HVAC

Στο παρόν υποκεφάλαιο εξετάζονται τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού. Αν και τα περισσότερα κτήρια οικιακής χρήσης στην Ελλάδα δεν χρησιμοποιούν ολοκληρωμένα κεντρικά συστήματα κλιματισμού, οι απαιτήσεις άνεσης των χρηστών πλέον απαιτούν τη χρήση αυτών, ειδικά στα μεγαλύτερα συγκροτήματα με χρήσεις εκτός της οικιακής (ξενοδοχεία, γραφεία κλπ.).

Συστήματα θέρμανσης

Τα συστήματα αποκλειστικής θέρμανσης χώρων χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό σε κτήρια οικιακής χρήσης και αποτελούνται από μία κεντρικά τοποθετημένη θερμαντική μονάδα, στην οποία αυξάνεται η θερμοκρασία του μέσου που χρησιμοποιείται για τη διανομή θερμότητας στους χώρους που πρέπει να θερμανθούν.

Οι συνήθεις μονάδες παραγωγής στα συστήματα θέρμανσης είναι:

Λέβητας: είναι οι πιο συνήθεις μονάδες παραγωγής που συναντώνται σε κεντρικές μονάδες θέρμανσης, με συχνό ορυκτό καύσιμο το πετρέλαιο. Τα τελευταία χρόνια όμως αυτό έχει αρχίσει να αλλάζει και αυτό οφείλεται στη συνεχώς αυξανόμενη τιμή του συγκεκριμένου καυσίμου αλλά και στο γεγονός ότι το πετρέλαιο δεν αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και η καύση του έχει σημαντικές επιπτώσεις στον πλανήτη. Υπάρχουν και λέβητες φυσικού αερίου, λέβητες μαζούτ και λέβητες ανθράκων ή βιομάζας.

Αποτελείται από το θάλαμο καύσης, στον οποίο προσαρμόζεται κατάλληλος καυστήρας (ή στην περίπτωση λέβητα βιομάζας ενδεχομένως να βρίσκεται προσαρμοσμένος εντός του θαλάμου), έναν εναλλάκτη θερμότητας, την έξοδο των καυσαερίων (καπνοδόχος) και την είσοδο και έξοδο του νερού προς τα σώματα.

Αντλία θερμότητας: είναι ένας τύπος θερμαντικών μονάδων που γίνεται όλο και πιο δημοφιλής και χρησιμοποιούνται τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη των χώρων. Είναι θερμοδυναμικά συστήματα και η λειτουργία τους βασίζεται στον ψυκτικό κύκλο, που είναι ένας αένας κύκλος εκτόνωσης και συμπίεσης ενός ρευστού (εργαζόμενο μέσο).

Ανάλογα με το ρευστό στο οποίο αποβάλει (ή από το οποίο προσλαμβάνει) την ενέργεια η αντλία, μπορεί να ταξινομηθεί σε αντλίες θερμότητας αέρος/αέρος, αέρος/νερού ή

νερού/νερού (χρήση σε εγκαταστάσεις με γεωεναλλάκτη, γεωθερμικές αντλίες θερμότητας).

Επειδή οι αντλίες θερμότητας λειτουργούν αντλώντας τη διαθέσιμη θερμότητα από τον αέρα του περιβάλλοντος, είναι πολύ πιο αποδοτικές ακόμα και από τα πλέον αποδοτικά συστήματα θέρμανσης ορυκτών καυσίμων.

Μονάδα συμπαραγωγής: Στην περίπτωση που υπάρχει ταυτόχρονη ζήτηση για ζεστό νερό και ηλεκτρισμό, είναι συχνά επιθυμητό να εγκατασταθεί μία μονάδα για τη συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ). Τέτοιες εγκαταστάσεις επιτυγχάνουν υψηλή απόδοση, καθώς η πλεονάζουσα θερμότητα από τον κύκλο παραγωγής του ηλεκτρισμού χρησιμοποιείται για τη θέρμανση χώρων και δεν απορρίπτεται ανεκμετάλλευτη στο περιβάλλον. Είναι οι πλέον κατάλληλες μονάδες για την περίπτωση σταθερών φορτίων, τόσο ηλεκτρικών όσο και θερμικών [12].

Συστήματα ψύξης

Αντίστοιχα με τα συστήματα θέρμανσης, τα συστήματα αποκλειστικά ψύξης τείνουν να χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στον οικιακό τομέα, λόγω και των όλο και αυξανόμενων θερμοκρασιών και των πιο θερμών θερινών μηνών. Τα συστήματα αποκλειστικά ψύξης λειτουργούν συνήθως τοπικά, χωρίς πολύπλοκα συστήματα διανομής και αποτελούνται από τις παρακάτω πιο συνηθισμένες μονάδες παραγωγής:

Κλιματιστικά αποκλειστικά ψύξης: χρησιμοποιούνται σε μικρούς χώρους όπου απαιτείται μόνο ψύξη (γραφεία, σπίτια κλπ.) και για αυτό υστερούν και σε σχέση με τις αντλίες θερμότητας. Περιλαμβάνουν συστήματα διαιρούμενου (split) ή πολυδιαιρούμενου (multi split) τύπου με ψυκτικό μέσο. Το ψυκτικό απορροφά θερμότητα από τον χώρο μέσω εξατμιστή και την αποβάλλει μέσω του συμπυκνωτή.

Απορροφητικά συστήματα ψύξης (Absorption Chillers): χρησιμοποιούνται όπου υπάρχει διαθέσιμη θερμική ενέργεια, π.χ. σε βιομηχανίες ή συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Αντί για συμπιεστή, χρησιμοποιούν θερμική ενέργεια για να ενεργοποιήσουν την κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου. Έχουν χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση αλλά προσφέρονται για χρήση απορριπτόμενης θερμότητας.

Κεντρικά συστήματα ψύξης (Chillers): Βρίσκουν εφαρμογή σε μεγάλα κτήρια (π.χ. εμπορικά κέντρα, νοσοκομεία) και βιομηχανικές εγκαταστάσεις για την ψύξη χώρων ή εξοπλισμού. Οι αερόψυκτοι ψύκτες (air-cooled chillers) αποβάλλουν τη θερμότητα μέσω αέρα, ενώ οι υδρόψυκτοι ψύκτες (water-cooled chillers) απορρίπτουν θερμότητα μέσω νερού, χρησιμοποιώντας πύργους ψύξης (cooling towers).

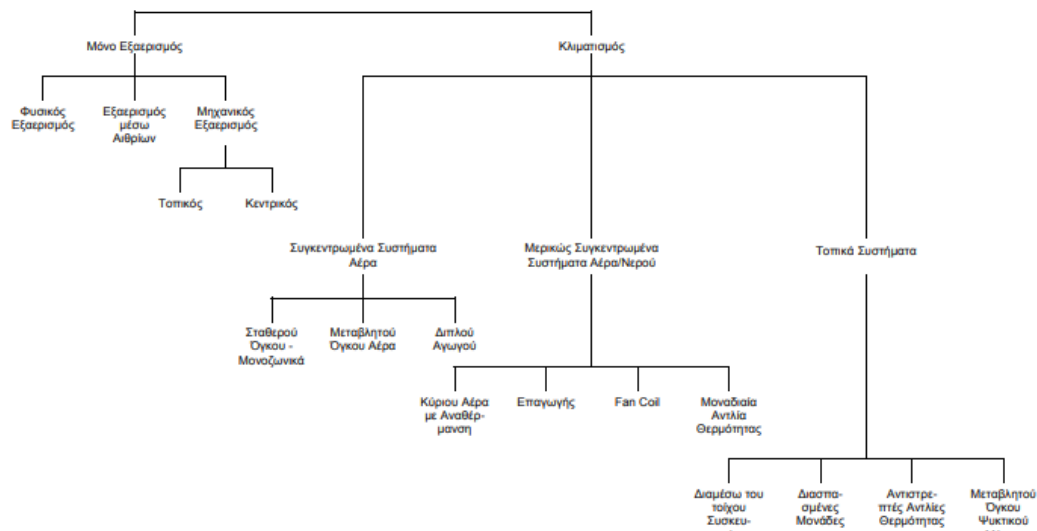
Συστήματα κλιματισμού

Στα νεόκτιστα κτήρια και ειδικά σε αυτά με μεγάλο μέγεθος, πολλαπλές χρήσεις και άρα αυξημένες απαιτήσεις των χρηστών αναφορικά με τη θερμική άνεση, είναι αναγκαία η

χρήση συστημάτων κλιματισμού, τα οποία επιτυγχάνουν τον έλεγχο της θερμοκρασίας καθόλη τη διάρκεια του χρόνου (θέρμανση και ψύξη).

Τα συστήματα κλιματισμού μπορούν να χωριστούν σε 3 γενικούς τύπους, όπως παρουσιάζονται και στο Σχήμα 3.1, ανάλογα με το σημείο εκτέλεσης των διαδικασιών ψύξης ή θέρμανσης του μέσου:

1. Συγκεντρωμένα (ή κεντρικά) συστήματα αέρα, στα οποία όλα τα φορτία θέρμανσης ή/και ψύξης παράγονται σε ένα κεντρικό δωμάτιο εγκαταστάσεων και μεταβιβάζονται στα δωμάτια με τη βοήθεια ενός δικτύου αγωγών. Συνήθως κτίζονται γύρω από μια κεντρική μονάδα διαχείρισης του αέρα (Air Handling Unit - AHU).
2. Μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα αέρα/νερού, στα οποία ο κεντρικά δροσισμένος ή ζεσταμένος αέρας δροσίζεται ή θερμαίνεται περαιτέρω τη στιγμή που εισέρχεται στα δωμάτια
3. Τοπικά συστήματα, στα οποία όλες οι διαδικασίες εκτελούνται τοπικά, στους χώρους που υπάρχει ανάγκη να κλιματισθούν [12].



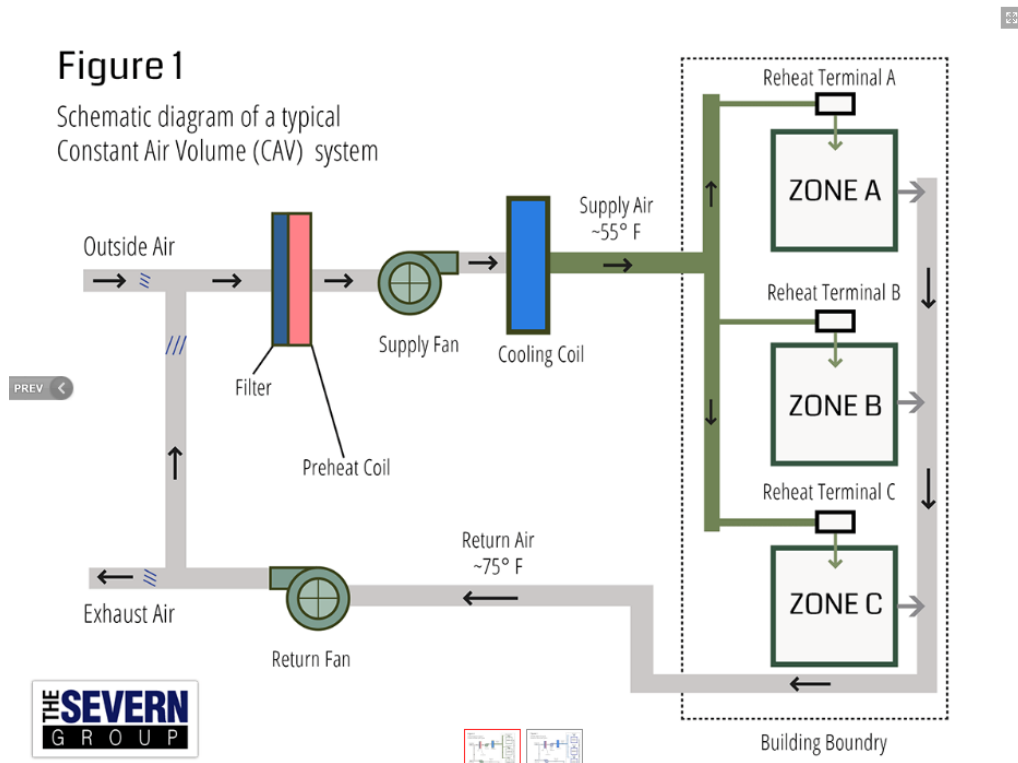
Σχήμα 3.1: Τύποι των συστημάτων κλιματισμού. Πηγή: [12].

Τα βασικά συστήματα κλιματισμού είναι:

Συστήματα σταθερού όγκου αέρα (Constant Air Volume - CAV)

Τα συστήματα CAV βασίζονται στην αρχή της πλήρους λειτουργίας συμπιεστή και ανεμιστήρων μέχρι την ρύθμιση της θερμοκρασίας σε ένα συγκεκριμένο βαθμό και την παύση λειτουργίας του συμπιεστή μετά την επίτευξη αυτής, όπως απεικονίζεται και σε διάγραμμα στο Σχήμα 3.2.

Παρέχουν σταθερή ροή αέρα στους εξυπηρετούμενους χώρους, ανεξάρτητα από τις θερμικές απαιτήσεις και έτσι δεν μπορούν να παράσχουν επαρκή έλεγχο για τις ζώνες που παρουσιάζουν διαφορετικές ή ταυτόχρονες ανάγκες θέρμανσης ή ψύξης. Επιπλέον, οι ανεμιστήρες που συμβάλλουν στη διανομή του αέρα λειτουργούν συνεχώς στη μέγιστη απόδοση, οδηγώντας σε μεγάλες καταναλώσεις ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα CAV είναι απλά, εύκολα και οικονομικά στην εγκατάσταση και τη συντήρηση και κατάλληλα για χώρους με σταθερές απαιτήσεις θέρμανσης/ψύξης, όπως αποθήκες ή αίθουσες συνεδριάσεων με σταθερή πληρότητα.

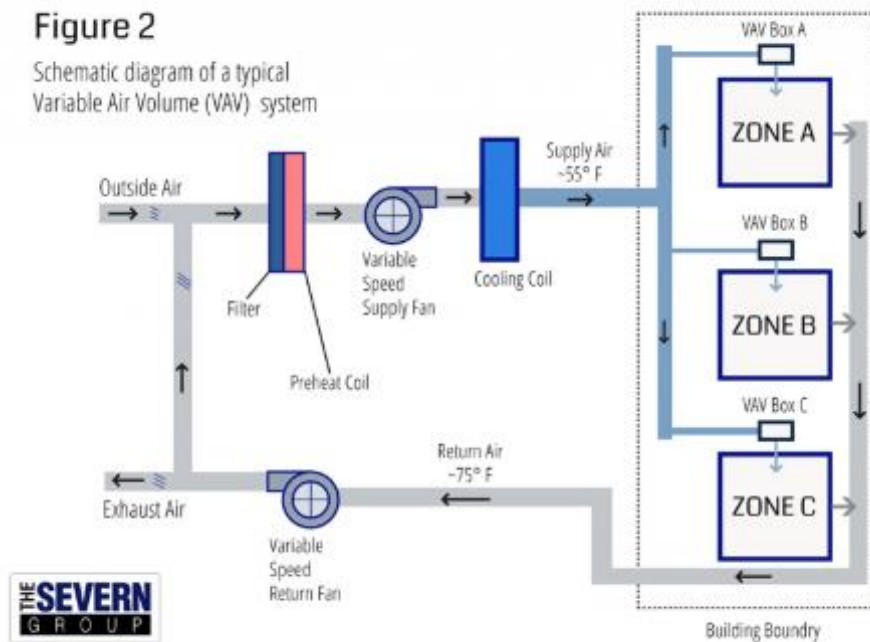


Σχήμα 3.2: Διάγραμμα τυπικής διάταξης συστήματος CAV. Πηγή: The Severn Group

Συστήματα μεταβαλλόμενου όγκου αέρα (Variable Air Volume - VAV)

Τα συστήματα VAV σχεδιάστηκαν για να ανταποκρίνονται στις μεταβαλλόμενες ανάγκες για ψύξη και θέρμανση των εκάστοτε θερμικών ζωνών, ρυθμίζοντας τη ροή αέρα που παρέχεται σε αυτές ανάλογα με τις απαιτήσεις τους. Σε αυτά τα συστήματα, η θερμοκρασία του αέρα παραμένει συνήθως σταθερή, ενώ η ροή αέρα προσαρμόζεται δυναμικά, επιτρέποντας υψηλότερη ενεργειακή αποδοτικότητα και καλύτερο έλεγχο των συνθηκών άνεσης. Η ροή αέρα σε κάθε χώρο ρυθμίζεται μέσω των κιβωτίων τερματικών VAV, δηλαδή βαλβίδων με ενσωματωμένα συστήματα ελέγχου, τα οποία φαίνονται και στο Σχήμα 3.3.

Τα συστήματα VAV έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν τη θερμική άνεση με μειωμένες καταναλώσεις ενέργειας και ακρίβεια ελέγχου. Η μείωση της λειτουργίας σε χώρους που δε χρησιμοποιούνται συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας ειδικά σε μεγάλα κτήρια (ξενοδοχεία, εμπορικά κέντρα κλπ.), καθιστώντας τα ως τα πλέον κατάλληλα για τέτοιες χρήσεις και εφαρμογές.

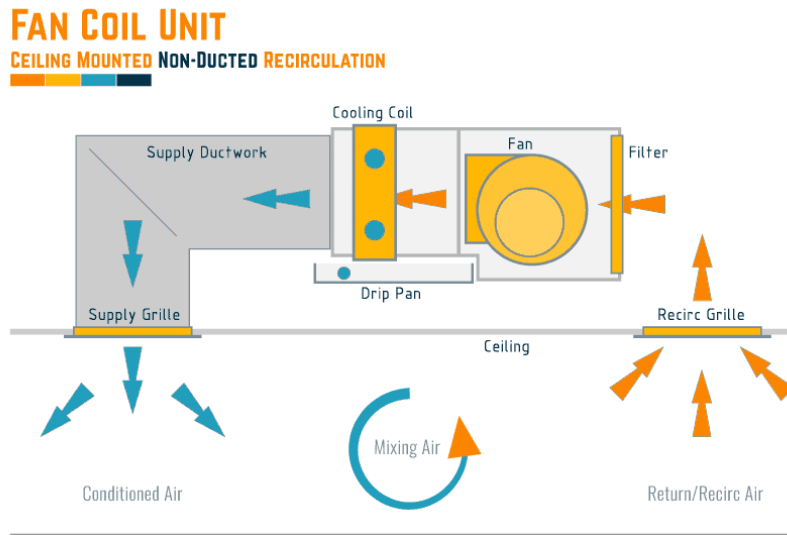


Σχήμα 3.3: Διάγραμμα τυπικής διάταξης συστήματος VAV. Πηγή: The Severn Group

Συστήματα σωμάτων εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα (fan coil)

Τα συστήματα fan coil ανήκουν στα μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα κλιματισμού, καθώς είναι εσωτερικές κλιματιστικές μονάδες ψύξης και θέρμανσης οι οποίες συνδέονται σε κύκλωμα νερού και αποτελούν το σύστημα μετάδοσης της θερμικής ενέργειας εντός των χώρων του κτηρίου. Η λειτουργία τους βασίζεται στην εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αέρα που δημιουργείται από τον ανεμιστήρα που διαθέτουν, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.4.

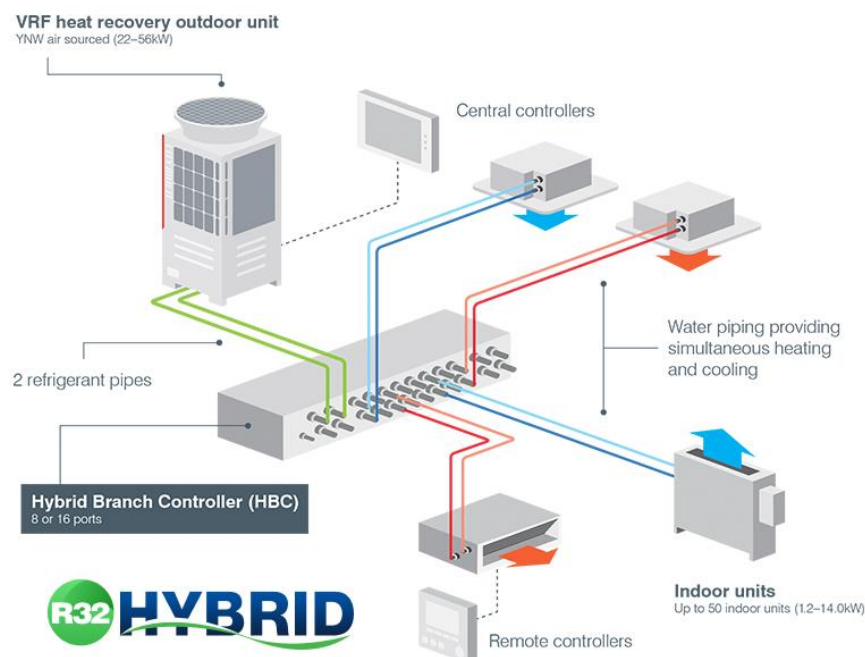
Τα συστήματα fan coil παρουσιάζουν μειωμένες καταναλώσεις ενέργειας, εύκολη τοποθέτηση, αυξημένη απόδοση στη θέρμανση και την ψύξη και δυνατότητα αυτονομίας ανά κλιματιζόμενο χώρο με τη χρήση θερμοστατών στα δωμάτια.



Σχήμα 3.4: Διάγραμμα τυπικής διάταξης συστήματος fan coil με ανακυκλοφορία χωρίς αγωγούς. Πηγή: constructandcommission.com

Συστήματα μεταβλητής παροχής ψυκτικού μέσου (Variable Refrigerant Flow/Volume - VRF/VRV)

Τα συστήματα VRF ή VRV είναι προηγμένα συστήματα κλιματισμού που βασίζονται στην τεχνολογία των αντλιών θερμότητας, χρησιμοποιώντας μεταβλητή παροχή ψυκτικού μέσου για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις των διαφορετικών ζωνών ενός κτηρίου. Τα συστήματα VRF ρυθμίζουν τη ροή του ψυκτικού μέσου ώστε να προσαρμόζονται στη ζήτηση ψύξης ή θέρμανσης κάθε ζώνης. Ένα εξωτερικό σύστημα VRF μπορεί να συνδέεται με πολλές εσωτερικές μονάδες (terminals), που επιτρέπουν ανεξάρτητη ρύθμιση θερμοκρασίας σε διαφορετικούς χώρους, προσφέροντας ευελιξία. Παράλληλα, είναι δυνατή η θέρμανση και ψύξη ταυτόχρονα σε διαφορετικές ζώνες, ενώ ορισμένα συστήματα VRF μπορεί να έχουν και τη δυνατότητα ανάκτησης θερμότητας. Ωστόσο, έχουν υψηλότερο αρχικό κόστος εγκατάστασης και απαιτούν εξειδικευμένη συντήρηση. Επιπλέον, η αποδοτικότητά τους μπορεί να μειωθεί σε ακραίες κλιματικές συνθήκες. Η βασική διάταξη ενός τυπικού συστήματος VRF φαίνεται στο Σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5: Διάγραμμα τυπικής διάταξης συστήματος VRF/VRV. Πηγή: Mitsubishi Electric

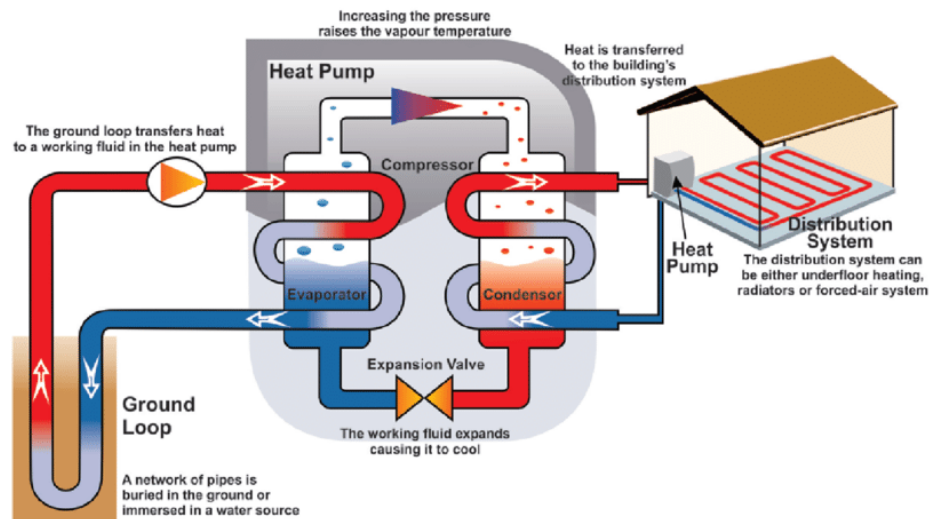
Γεωθερμικά συστήματα

Τα γεωθερμικά συστήματα βασίζονται στη σχετική διατήρηση της θερμοκρασίας του εδάφους και τη χρησιμοποιούν για τη θέρμανση, ψύξη και τον κλιματισμό των κτηρίων. Η βασική αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται σε έναν γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας, που είναι συνδεδεμένος με σωληνώσεις τοποθετημένες υπόγεια (σε οριζόντια ή κάθετη διάταξη). Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, το σύστημα αντλεί θερμότητα από το έδαφος και την κατευθύνει στο εσωτερικό του κτηρίου. Το καλοκαίρι, αντιστρέφεται η διαδικασία, με το σύστημα να αποβάλλει τη θερμότητα του κτηρίου στο έδαφος. Η λειτουργία τους στηρίζεται σε μια αντλία θερμότητας που μεταφέρει τη θερμική ενέργεια με μεγάλη αποδοτικότητα. Η διάταξη αυτή φαίνεται στο Σχήμα 3.6.

Η εγκατάσταση ή όχι γεωθερμικών συστημάτων εξαρτάται από την περιοχή, τη μορφολογία του εδάφους. Γι' αυτό το λόγο, είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα επιλογή σε περιοχές όπου υπάρχει ευνοϊκή γεωλογική σύσταση ή υψηλό κόστος ενέργειας. Αποτελούν ιδανική επιλογή για νέα κτήρια λόγω της ευκολότερης ενσωμάτωσης του γεωθερμικού εναλλάκτη κατά την κατασκευή, αν και μπορούν να προσαρμοστούν και σε υφιστάμενες κατασκευές.

Καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια από τα παραδοσιακά συστήματα HVAC, Η λειτουργία τους είναι αθόρυβη, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και παρέχουν σταθερή απόδοση ανεξάρτητα από τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Ωστόσο, το υψηλό αρχικό κόστος

εγκατάστασης αποτελεί το βασικό τους μειονέκτημα, καθώς περιλαμβάνει τη διάνομιση γεωτρήσεων ή τη δημιουργία οριζόντιων δικτύων.



Σχήμα 3.6: Διάγραμμα τυπικής διάταξης γεωθερμικού συστήματος με κάθετο γεωθερμικό εναλλάκτη, σε λειτουργία θέρμανσης. Πηγή: [13]

3.3 Επιλογή συστημάτων HVAC

Σημαντική παράμετρος για την επιλογή συστήματος HVAC είναι αυτή που σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά και τις ανάγκες του εκάστοτε κτηρίου. Ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και τα θερμικά φορτία μπορεί το σύστημα να χρειάζεται να είναι πιο ικανό στο να ανταπεξέρχεται στις απαιτήσεις θέρμανσης ή ψύξης. Ειδικά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, μπορεί να υπάρχουν πολύ υψηλά θερμικά φορτία σε συγκεκριμένες ζώνες, όπως για παράδειγμα από ηλεκτρονικό εξοπλισμό ή λόγω της υψηλής πυκνότητας παρουσίας ανθρώπων σε έναν χώρο.

Επιπλέον, ένα από τα βασικά κριτήρια είναι η εξασφάλιση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Έτσι, επιλέγονται συστήματα με υψηλό συντελεστή απόδοσης (COP) και είναι αναγκαίο να εξετάζεται η δυνατότητα ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως γεωθερμικά ή ηλιακά συστήματα.

Βασικό ρόλο έχει και το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος. Το αρχικό κόστος εγκατάστασης περιλαμβάνει τη δαπάνη για τον εξοπλισμό και την εγκατάσταση, ενώ τα λειτουργικά κόστη περιλαμβάνουν την κατανάλωση ενέργειας, τη συντήρηση και τις πιθανές επισκευές. Γι' αυτό το λόγο, εξετάζεται η περίοδος απόσβεσης μέσω ανάλυσης κόστους-οφέλους και προτιμώνται συστήματα που παρέχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος, ακόμα κι αν το αρχικό κόστος είναι υψηλό.

4. Δομικά υλικά και θερμομόνωση

Βασικός στόχος σε κάθε σχεδιασμό ενός κτηρίου είναι η κάλυψη των απωλειών θερμότητας προς το περιβάλλον, οι οποίες μπορεί να οφείλονται στην αγωγιμότητα από τους τοίχους, τα δάπεδα, τις στέγες και τα δώματα, από τους υαλοπίνακες των κουφωμάτων ή από τις σχισμές μεταξύ κουφωμάτων και κελύφους. Ο περιορισμός όλων αυτών των απωλειών μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά στην εξοικονόμηση ενέργειας από τα συστήματα ψύξης, θέρμανσης και κλιματισμού και μπορεί να επιλυθεί σε έναν βαθμό με τη θερμομόνωση του κτηρίου.

Η ύπαρξη της θερμομόνωσης είναι πλέον αναγκαία για τα κτήρια, τόσο για τη μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων από τα συστήματα κλιματισμού, όσο και για τη συμβολή της στην άμβλυνση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, μέσω της μείωσης των καταναλώμενων ενεργειακών πόρων και άρα της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Έχει εκτιμηθεί ότι με τη θερμική προστασία ενός συνηθισμένου κτηρίου μπορεί να εξοικονομηθεί μέχρι και 45% της ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία του. Σε ορισμένες μάλιστα ακραίες περιπτώσεις αυτό το ποσοστό μπορεί να φθάσει και το 60%. Από την άλλη, έχει υπολογισθεί ότι η αγορά και τοποθέτηση των θερμομονωτικών υλικών σε ένα νεοανεγειρόμενο κτήριο σπανίως υπερβαίνει το 2% με 4% του αρχικού συνολικού κόστους κατασκευής [14].

Η μελέτη ενός κτηρίου πρέπει να περιλαμβάνει σε μεγάλο βαθμό την επιλογή της κατάλληλης θερμομόνωσης, όπως περιγράφεται και από την ΤΟΤΕΕ 20701-2/2021 περί «θερμοφυσικών ιδιοτήτων των δομικών υλικών και έλεγχο της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων». Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζονται τα υπολογιστικά μεγέθη που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε κάθε μελέτη καθώς και τα συνηθέστερα μονωτικά δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται.

4.1 Βασικά υπολογιστικά μεγέθη

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (λ)

Ένα από τα κύρια μεγέθη που καθορίζουν τη θερμομονωτική ικανότητα ενός υλικού είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (λ), που αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος για κάθε υλικό. Ορίζεται ως η ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται στη μονάδα του χρόνου με αγωγιμότητα και σε σταθερή θερμική κατάσταση μέσω μοναδιαίας επιφάνειας (1 m^2) ενός ομογενούς υλικού, πάχους 1 m , όταν η διαφορά θερμοκρασίας κατά τη διεύθυνση της ροής θερμότητας μεταξύ των δύο επιφανειών του υλικού διατηρείται σταθερή και ισούται με τη μονάδα (1 K ή 1°C). Μονάδα μέτρησης είναι το $\text{W}/(\text{mK})$. Στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2021 δίνονται οι ενδεικτικές τιμές των συνηθέστερα χρησιμοποιούμενων δομικών υλικών.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U)

Επιπλέον βασικό υπολογιστικό μέγεθος είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U). Ορίζει την ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται στη μονάδα του χρόνου σε σταθερό θερμοκρασιακό πεδίο μέσω της μοναδιαίας επιφάνειας ενός δομικού στοιχείου, όταν η διαφορά θερμοκρασίας του ακίνητου αέρα, που εφάπτεται στις δύο επιφάνειες του δομικού στοιχείου κατά τη διεύθυνση της ροής θερμότητας, διατηρείται σταθερή και ισούται με τη μονάδα (1 K ή 1°C). Συμβολίζεται με U και μονάδα μέτρησης στο SI είναι το W/(m²K). Ο συντελεστής θερμοπερατότητας εξαρτάται από τα πάχη των στρώσεων του δομικού στοιχείου και από τη συναγωγή που παρουσιάζει το δομικό στοιχείο με τα στρώματα αέρα εκατέρωθεν των όψεών του. Αύξηση ή μείωση του πάχους της στρώσης ενός υλικού επηρεάζει την τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου, καθώς το πάχος της κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου υπεισέρχεται ως μέγεθος στον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας.

Η θερμική αντίσταση (R)

Κατ' αντιστοιχία με τα παραπάνω ορίζονται και οι θερμικές αντιστάσεις, που προβάλλουν στη ροή θερμότητας τόσο οι επιμέρους στρώσεις του δομικού στοιχείου και το δομικό στοιχείο στο σύνολό του, όσο και οι εφαπτόμενες στρώσεις αέρα στις δύο επιφάνειές του. Η αντίσταση που προβάλλει κάθε στρώση πάχους d του δομικού στοιχείου στη ροή θερμότητας που διέρχεται στη μονάδα του χρόνου και σε σταθερό θερμοκρασιακό πεδίο μέσω της μοναδιαίας επιφάνειας, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο επιφανειών της στρώσης του υλικού είναι ίση με τη μονάδα (1 K ή 1°C), ορίζεται από τον λόγο:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j}$$

Μονάδα μέτρησης είναι το m²K/W. Το σύνολο των θερμικών αντιστάσεων, που προβάλλουν όλες οι στρώσεις ενός πολυστρωματικού δομικού στοιχείου στη ροή θερμότητας που διέρχεται μέσω αυτών και με την προϋπόθεση ότι αυτές οι στρώσεις αποτελούνται από ομογενή υλικά, ορίζει την αντίσταση θερμοδιαφυγής R_Λ.

4.2 Συνήθη θερμομονωτικά υλικά

Ο υαλοβάμβακας

Ο υαλοβάμβακας είναι βασικό μονωτικό υλικό που αποτελείται από λεπτές ίνες γυαλιού. Κύρια συστατικά του είναι το διοξείδιο του πυριτίου, η ανθρακική σόδα και ο δολομίτης. Όσο μικρότερο πάχος έχουν οι ίνες του υαλοβάμβακα και όσο μεγαλύτερο μήκος έχουν, τόσο καλύτερη θερμική προστασία προσφέρει, όμως και τόσο ακριβότερο είναι το υλικό.

Ο υαλοβάμβακας δεν προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά και δεν καταστρέφεται από χημικές ενώσεις, ενώ δεν φθείρεται ούτε αποσυντίθεται με την πάροδο του χρόνου. Είναι άκαυστος και αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες (250°C - 400°C). Δεν είναι κατάλληλος για δάπεδα και δώματα με ισχυρές φορτίσεις, καθώς έχει μικρή αντοχή σε συμπίεση. Επιπλέον, δεν πρέπει να τοποθετείται στην εξωτερική όψη κατακόρυφων δομικών στοιχείων, όταν αυτά δεν προστατεύονται από τη βροχή [14].

Χρησιμοποιείται κυρίως για τη θερμομόνωση του πυρήνα δικέλυφων εξωτερικών τοιχοποιιών, ξύλινων πατωμάτων, ηλιακών θερμοσιφώνων, κλιβάνων αλλά και για τη μόνωση δεξαμενών, δοχείων, αεραγωγών, σωληνώσεων κλπ. [14].

Ο πετροβάμβακας

Ο πετροβάμβακας παράγεται από δολομίτη, ασβεστόλιθο, βωξίτη και πετρώματα που δεν περιέχουν χαλαζία. Σε γενικά πλαίσια παρουσιάζει παρόμοιες ιδιότητες με τον υαλοβάμβακα, με τη διαφορά ότι έχει μεγαλύτερη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες (έως και 750°C). Χρειάζεται προσοχή στα αντίστοιχα σημεία με τον υαλοβάμβακα, καθώς έχει αντίστοιχη συμπεριφορά όσον αφορά την προσβολή του από υγρασία [14].

Όσον αφορά τη χρήση του, είναι και αυτή αντίστοιχη με τη χρήση του υαλοβάμβακα. Βέβαια, λόγω της μεγαλύτερης αντοχής του σε υψηλές θερμοκρασίες, χρησιμοποιείται περισσότερο σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις για τη μόνωση λεβήτων, δεξαμενών, σωληνώσεων κλπ. [14].

Η διογκωμένη πολυστερίνη

Είναι από τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα θερμομονωτικά υλικά στον κτηριακό τομέα στην Ελλάδα και μπορεί υπάρχει σε μορφή κόκκων και πλακών. Αποτελείται κυρίως από αέρα ή άλλα αέρια, που αποτελούν και το μέσο διόγκωσης. Είναι οικονομικό υλικό, εύκολο στην παραγωγή και εύχρηστο.

Όσον αφορά τις ιδιότητές της, προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά, από ένα εύρος χημικών διαλυτών και καταστρέφεται από τη ρευστή ασφαλτο και από υλικά που έχουν πίσσα. Φθείρεται όταν μένει για καιρό εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία και γι' αυτό συνίσταται να αποθηκεύεται σε υπόγειους ή σκοτεινούς χώρους μέχρι τη χρήση της. Δεν έχει μεγάλη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες (το εύρος της είναι -70°C έως +80°C), καθώς σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες μαλακώνει και αποσυντίθεται, κάτι το οποίο μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα όταν τοποθετείται σε δώματα, στην επιφάνεια των οποίων αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό η θερμοκρασία κυρίως τις θερμές ημέρες του καλοκαιριού [14].

Η διογκωμένη πολυστερίνη χρησιμοποιείται κυρίως για τη θερμομόνωση τοιχοποιίας με μόνωση στον πυρήνα, δοκού, υποστύλματος και τοιχίου, δαπέδου επί εδάφους και δώματος, ψευδοροφής και πλάκας οριζόντιας οροφής κάτω από στέγη [14].

Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη

Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη είναι συγγενές υλικό με τη διογκωμένη πολυστερίνη, καθώς έχει την ίδια χημική σύσταση αλλά διαφορετική μέθοδο επεξεργασίας.

Αναφορικά με τις ιδιότητές της, προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά, όπως και η διογκωμένη πολυστερίνη, καθώς και από ποικιλία διαλυτών. Αντίστοιχη συμπεριφορά έχει και με την ηλιακή ακτινοβολία, και έτσι πρέπει επίσης να προστατεύεται σε σκιερούς χώρους πριν τοποθετηθεί, καθώς και να καλύπτεται από τις υπόλοιπες στρώσεις του δομικού στοιχείου σε σύντομο χρονικό διάστημα. Πρέπει να υπάρχει προσοχή όταν τοποθετείται σε δώματα λόγω της μικρής αντοχής της σε υψηλές θερμοκρασίες (-50°C έως +75°C). Παρόλα αυτά, ένα χαρακτηριστικό των πλακών εξηλασμένης πολυστερίνης είναι η καλή αντοχή σε συμπίεση και συνεπώς έχει υψηλή φέρουσα ικανότητα, που είναι σημαντική στα δώματα, στα δάπεδα κτηρίων κλπ. Τέλος, έχει πολύ χαμηλή απορρόφηση νερού, που την καθιστά ιδανικό μονωτικό υλικό σε εφαρμογές περιμέτρου υπογείων, συμβατικού ή αντεστραμμένου δώματος κλπ. [14].

Χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών. Η χρήση της εντοπίζεται κυρίως στη θερμομόνωση εξωτερικών τοιχοποιιών με μόνωση στον πυρήνα, δοκάρια, τοιχία και υποστυλώματα, δάπεδα, δώματα συμβατικού ή αντεστραμμένου τύπου, ψευδοροφές, πλάκες οροφής κάτω από τη στέγη και σε κεκλιμένες στέγες.

5. Μελλοντικά κλιματικά δεδομένα

Η ανάγκη για τη θωράκιση των κτηρίων αναφορικά με τις μελλοντικές κλιματικές συνθήκες περνάει μέσα από τις εκτιμήσεις για την αλλαγή του κλίματος και των χαρακτηριστικών του στο μέλλον. Για αυτό το λόγο, έχει κατασκευαστεί ένα πλήθος λογισμικών προσομοίωσης μελλοντικών κλιματικών δεδομένων, τα οποία λειτουργούν πολλές φορές με βάση διαφορετικές λογικές και προσεγγίσεις, και με βάση τα οποία είναι δυνατόν να μελετηθεί με καλύτερο τρόπο η μελλοντική ενεργειακή συμπεριφορά και ανάγκες ενός κτηρίου. Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται μία συνοπτική παρουσίαση 2 τέτοιων λογισμικών μαζί με τα μελλοντικά σενάρια για το κλίμα από την IPCC και στη συνέχεια παρουσιάζεται το επιλεγμένο λογισμικό για την παρούσα εργασία.

5.1 Τα σενάρια για την κλιματική αλλαγή

Στην παρούσα κατάσταση, η πρόβλεψη του μεγέθους της αλλαγής του κλίματος με ασφάλεια και σαφήνεια είναι μία δύσκολη διαδικασία, η οποία ενέχει μεγάλη αβεβαιότητα, καθώς δεν υπάρχει ακριβής γνώση για τις μελλοντικές εκπομπές CO₂ από την ανθρώπινη δραστηριότητα και την καύση ορυκτών καυσίμων. Για αυτό τον λόγο, δημιουργήθηκαν σενάρια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ούτως ώστε να μελετηθεί η κλιματική αλλαγή σε ένα εύρος διαφορετικών μελλοντικών περιπτώσεων. Τα σενάρια αυτά εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι η αύξηση του πληθυσμού, το ποσοστό διείσδυσης ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα και οι μελλοντικές ενεργειακές ανάγκες. Εξαιτίας αυτού, είναι αδύνατο να προβλεφθεί το πιθανότερο σενάριο. Είναι δυνατόν όμως τα σενάρια αυτά να επανεξετάζονται και να δημιουργούνται νέα και καλύτερα κλιματικά μοντέλα.

Τα τελευταία σενάρια, που παρουσιάστηκαν στην αναφορά της IPCC το 2013, παρουσιάζουν ένα εύρος πιθανών εκβάσεων και βρίσκονται σε σχετική αναλογία με τα παλαιά σενάρια. Κυμαίνονται από μία πιθανή έκβαση που περιλαμβάνει δραστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (ΑτΘ), μέχρι και ένα σενάριο στο οποίο η αύξηση αυτών συνεχίζεται διαρκώς. Τα δεδομένα για κάθε σενάριο αφορούν μέχρι το έτος 2100. Τα διαφορετικά σενάρια αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1.

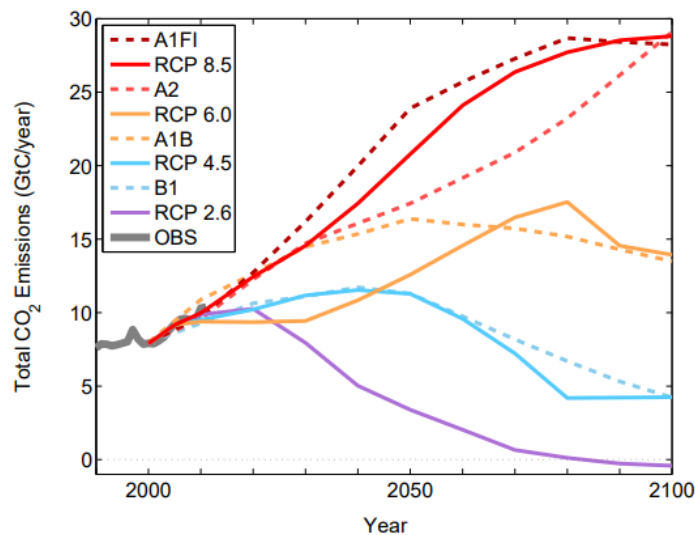
Πίνακας 5.1: Σενάρια της IPCC για την κλιματική αλλαγή

Σενάρια	Χαρακτηριστικά σεναρίων
RCP 2.6	Δραστική μείωση των ΑτΘ και προσπάθειες δέσμευσής τους
RCP 4.5	Οι εκπομπές των ΑτΘ σταθεροποιούνται στο μισό του αιώνα και μειώνονται έκτοτε

Σενάρια	Χαρακτηριστικά σεναρίων
RCP 6.0	Οι εκπομπές ΑτΘ σταθεροποιούνται προς το τέλος του αιώνα
RCP 8.5	Οι εκπομπές ΑτΘ αυξάνονται συνεχώς μέχρι και το τέλος του αιώνα

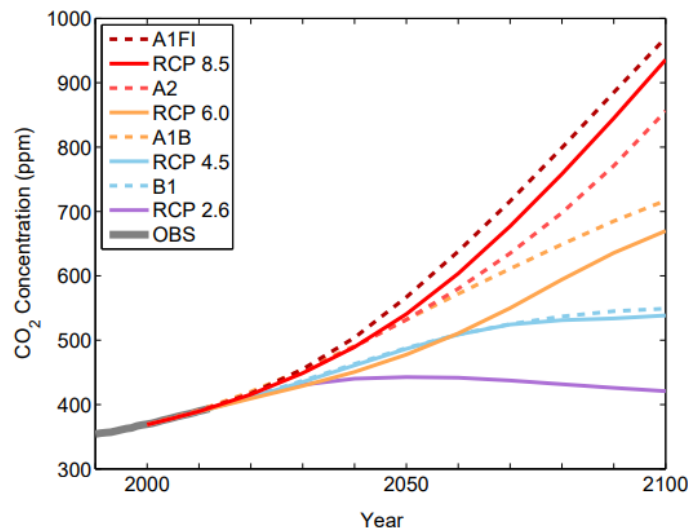
Πηγή: [15]

Στο Σχήμα 5.1 και στο Σχήμα 5.2, παρουσιάζονται οι συνολικές εκπομπές CO₂ (σε Gt άνθρακα/χρόνο) και η συνολική συγκέντρωση του CO₂ (σε ppm) αντίστοιχα μέχρι το 2100, με βάση τα νέα και παλαιά σενάρια της IPCC. Με διακεκομμένη γραμμή εμφανίζονται τα παλαιά σενάρια, τα οποία βρίσκονται σε σχετική αναλογία με τα πρόσφατα. Η διαφορά στα νέα σενάρια είναι το σενάριο RCP 2.6, το οποίο απαιτεί μείωση περίπου 50% στις εκπομπές μέχρι το 2050 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 ούτως ώστε να πραγματοποιηθεί. Σε όλα τα σενάρια, το κρίσιμο σημείο παρατηρείται μετά το 2050, καθώς μέχρι τότε οι αλλαγές στο κλίμα προέρχονται από την ήδη πραγματοποιούμενη υπερθέρμανση λόγω των προηγούμενων εκπομπών. Αντίθετα, το πόσο θα μεταβληθούν οι κλιματικές συνθήκες μετά το 2050, εξαρτάται από τις εκπομπές των επερχόμενων δεκαετιών.



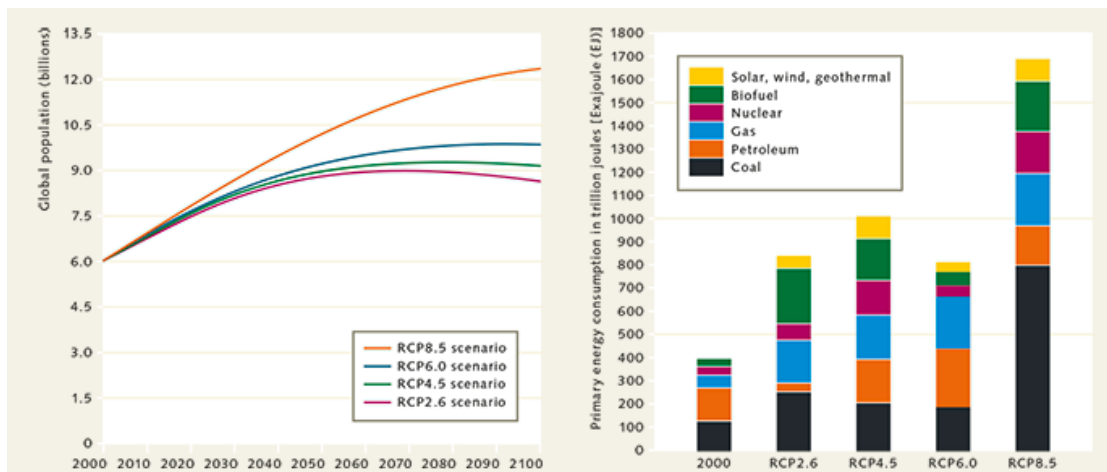
Σχήμα 5.1: Μελλοντικά σενάρια της IPCC για τις εκπομπές CO₂ (σε Gt άνθρακα/χρόνο). Με γκρι χρώμα αποτυπώνονται οι πραγματικές εκπομπές στο διάστημα 1990-2010.

Πηγή: [15].



Σχήμα 5.2: Μελλοντικά σενάρια της IPCC για τη συγκέντρωση CO₂ (σε ppm). Με γκρι χρώμα αποτυπώνεται η πραγματική συγκέντρωση στο διάστημα 1990-2005. Πηγή: [15].

Για να παραχθούν τα αναφερθέντα σενάρια, η IPCC έχει λάβει υπόψη πολλούς παράγοντες. Βασικός είναι ο ρυθμός αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού, με βάση το οποίο το πιο απαισιόδοξο σενάριο ενέχει και τη μεγαλύτερη αύξηση. Επιπλέον, σημαντικός παράγοντας είναι η ενεργειακή κατανάλωση μέχρι το 2100, όπου όσο πιο απαισιόδοξο είναι το σενάριο, τόσο μεγαλύτερα είναι και τα ποσοστά εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και οι ενεργειακές ανάγκες και τόσο μικρότερη η διείσδυση των ΑΠΕ, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.3.



Σχήμα 5.3: Τα σενάρια της IPCC για την κλιματική αλλαγή με βάση την αύξηση του πληθυσμού και τις ενεργειακές καταναλώσεις (σε τρις. J [Exajoule]). Πηγή: [16]

5.2 Λογισμικά προσομοίωσης μελλοντικών κλιματικών δεδομένων

Τα λογισμικά προσομοίωσης μελλοντικών κλιματικών δεδομένων βασίζονται στην εισαγωγή αρχείων με κλιματικά δεδομένα πρόσφατων ετών για μία συγκεκριμένη περιοχή, τη χρήση μοντέλων για τον υπολογισμό παραμέτρων του κλίματος και την εξαγωγή του αρχείου με τα μελλοντικά κλιματικά δεδομένα για ένα συγκεκριμένο έτος, για την ίδια περιοχή. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο μελετώνται 2 διαφορετικά λογισμικά και η μεθοδολογία με βάση την οποία εξάγουν τα μελλοντικά δεδομένα.

5.2.1 CCWorldWeatherGen

Το συγκεκριμένο λογισμικό έχει δημιουργηθεί από το Πανεπιστήμιο του Southampton. Είναι ένα λογισμικό που έχει ως βάση λειτουργίας το λογισμικό Microsoft Excel, μέσω του οποίου εισάγονται αρχεία σε μορφή EPW σύγχρονων κλιματικών δεδομένων και εξάγονται αρχεία σε μορφή EPW ή TMY2 που περιέχουν κλιματικά δεδομένα με βάση το σενάριο A2 της IPCC για την κλιματική αλλαγή. Τα δεδομένα αυτά μπορούν έπειτα να χρησιμοποιηθούν για την ενεργειακή προσομοίωση κτηρίων. Τα δεδομένα των αρχείων που εισάγονται μπορούν να προέρχονται από οποιαδήποτε τοποθεσία.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο λογισμικό είναι αυτή της τροποποίησης (morphing), η οποία έχει αναπτυχθεί από τους Belcher, Hacker and Powell, ενώ περιλαμβάνει και άλλους υπολογισμούς για την δημιουργία των αρχείων. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία τροποποιεί τα αρχεία των σύγχρονων κλιματικών δεδομένων με βάση τις αλλαγές στο κλίμα από μοντέλα παγκόσμιας κυκλοφορίας και τοπικά κλιματικά μοντέλα. Ένα μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθοδολογίας είναι το γεγονός ότι αδυνατεί να προβλέψει και να ενσωματώσει κάποιους υποκειμενικούς και αβέβαιους παράγοντες, καθώς τα παραγόμενα αρχεία βασίζονται στα αρχεία με τα σύγχρονα κλιματικά δεδομένα, άρα ακολουθούν και τη λογική που τα διέπουν.

Παρέχεται δωρεάν, χωρίς όμως ενσωματωμένα τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής, τα οποία ο χρήστης πρέπει να μεταφορτώσει. Δεν παρέχει άλλο σενάριο πέρα από το A2 της IPCC και απαιτεί από το χρήστη την εισαγωγή ενός δικού του αρχείου EPW με σύγχρονα κλιματικά δεδομένα. Το λογισμικό μπορεί να παράξει αρχεία με μελλοντικά δεδομένα για το 2020, το 2050 και το 2080. Στην *Εικόνα 5.1* φαίνεται το, ενσωματωμένο στο Microsoft Excel, γραφικό περιβάλλον του CCWorldWeatherGen.

CCWorldWeatherGen climate change weather file generator V1.9 [manual](#)

For transforming EPW weather files into climate change TMY2/EPW files. (Acknowledgements & disclaimer of warranties below)

Specify the HadCM3 data file path: C:\CCWorldWeatherGen\HadCM3data

Summary of combined HadCM3 A2 ensemble climate change predictions for the selected weather site

No scenario selected

		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
Daily mean temperature	TEMP (°C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum temperature	TMAX (°C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Minimum temperature	TMIN (°C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Horizontal solar irradiation	DSWF W/m²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total cloud cover	TCLW % points	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total precipitation rate	PREC %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Relative humidity	RHUM % points	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mean sea level pressure	MSLP hpa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wind speed*	WIND %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

* Please note that wind speed resides on a 96x72 grid whilst all the other data is on a 96x73 grid

EPW weather file selection

(1) Please specify the EPW file you want to transform

Select EPW File for Morphing

Current EPW baseline weather file for morphing:

No weather file selected Latitude: 0.00 N Longitude: 0.00 E Elevation: 0 m

HadCM3 scenario timeframe selection

(2) Please select a HadCM3 A2 scenario ensemble timeframe

☐ 2020's ☐ 2050's ☐ 2080's Load Scenario

Closest four HadCM3 96x73 grid points to

	Latitude:	Longitude:
No weather file selected	A 0.00 N	0.00 E
	B 0.00 N	0.00 E
	C 0.00 N	0.00 E
No scenario selected	D 0.00 N	0.00 E

EPW weather file morphing

(3) Click button to start morphing procedure

Start Morphing Procedure

Current morphed EPW weather file:

No morphed weather file

EPW/TMY2 weather file generation

(4) Click the appropriate button for EPW / TMY2 file generation

Generate Climate Change EPW Weather File

Generate Climate Change TMY2 Weather File

To create a TMY2 file of the original EPW file click the button below:

Generate Present-Day TMY2 Weather File from EPW data

Convert File EPW HadCM3 Morphed Weather CC EPW CC TMY2 PD TMY2

Εικόνα 5.1: Γραφικό περιβάλλον λογισμικού CCWorldWeatherGen, καρτέλα «Μετατροπή Αρχείου» («Convert File»).

Το αρχικό βήμα για τη διαδικασία μετατροπής είναι η εισαγωγή ενός αρχείου EPW με σύγχρονα κλιματικά δεδομένα για τροποποίηση. Αφού εισαχθεί, φορτώνεται ένα από τα 3 σενάρια (2020, 2050, 2080) και αρχίζει η διαδικασία τροποποίησης. Τέλος, επιλέγεται η παραγωγή του αρχείου σε μορφή EPW με τα μελλοντικά κλιματικά δεδομένα. Στο υπολογιστικό φύλλο για τη μετατροπή του αρχείου εμφανίζονται τα δεδομένα του επιλεγμένου σεναρίου καθώς και τα βήματα μαζί με τα δεδομένα τους που περιγράφηκαν παραπάνω. Πέρα από το φύλλο για την μετατροπή του αρχείου, είναι δυνατόν να παρουσιαστεί στα υπόλοιπα φύλλα του προγράμματος το εισαχθέν αρχείο EPW, τα δεδομένα HadCM3 που αφορούν τα μελλοντικά σενάρια, το μορφοποιημένο αρχείο καθώς και τα παραχθέντα αρχεία σε μορφή EPW ή TMY2.

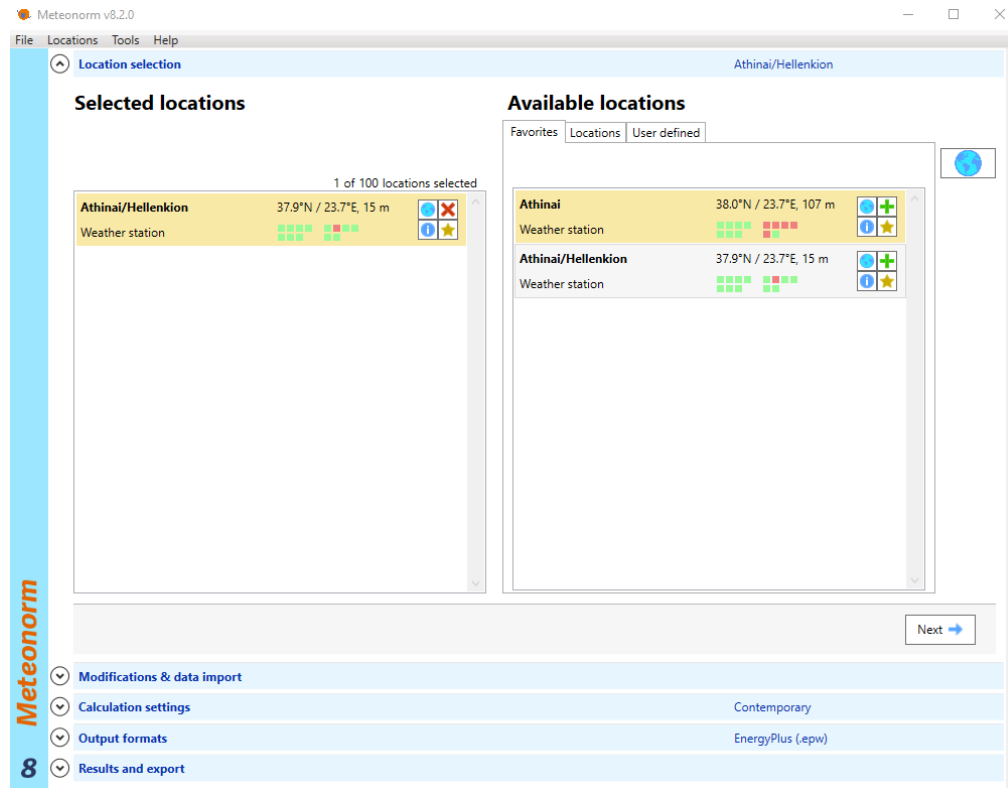
5.2.2 Meteonorm

Το Meteonorm χαρακτηρίζεται ως μία ολοκληρωμένη βάση κλιματικών δεδομένων για διάφορες εφαρμογές που αφορούν την ηλιακή ενέργεια. Το συγκεκριμένο λογισμικό περιέχει μία μεγάλη βάση κλιματικών δεδομένων από κάθε τοποθεσία καθώς και έναν μεγάλο αριθμό υπολογιστικών μοντέλων που έχουν αναπτυχθεί σε διεθνή προγράμματα έρευνας. Η κύρια λειτουργία του είναι ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας επιφανειών αυθαίρετου προσανατολισμού σε οποιαδήποτε τοποθεσία. Ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη, το Meteonorm χρησιμοποιεί από ένα έως τέσσερα υπολογιστικά μοντέλα: παρεμβολή με το μοντέλο μέσης μηνιαίας τιμής, παραγωγή τιμών ώρας και λεπτού, ανάλυση ακτινοβολίας, ακτινοβολία σε κεκλιμένη επιφάνεια με το μοντέλο τιμής ώρας και λεπτού. Τα δεδομένα για τα μελλοντικά σενάρια περιλαμβάνουν τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 της IPCC, ενώ δίνονται οι επιλογές για τις χρονιές 2020, 2030, 2040, ..., 2100.

Το λογισμικό και συγκεκριμένα η έκδοση Meteonorm 8 που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία λειτουργεί με δύο βασικά βήματα. Αρχικά, γίνεται αναζήτηση των μετεωρολογικών σταθμών και γίνεται παρεμβολή των μέσων μηνιαίων δεδομένων στη συγκεκριμένη τοποθεσία. Επιπλέον δεδομένα που προέρχονται από εικόνες δορυφόρων είναι χρήσιμα ούτως ώστε να βελτιωθούν οι παράμετροι της ακτινοβολίας σε περιοχές με λιγότερα διαθέσιμα δεδομένα από τους επίγειους σταθμούς. Στο δεύτερο βήμα, παράγονται τα ωριαία δεδομένα μέσω των μηνιαίων και μέσω ενός στοχαστικού παραγωγού κλιματικών δεδομένων. Έτσι, εξάγεται το ζητούμενο αρχείο σε πολλαπλές μορφές.

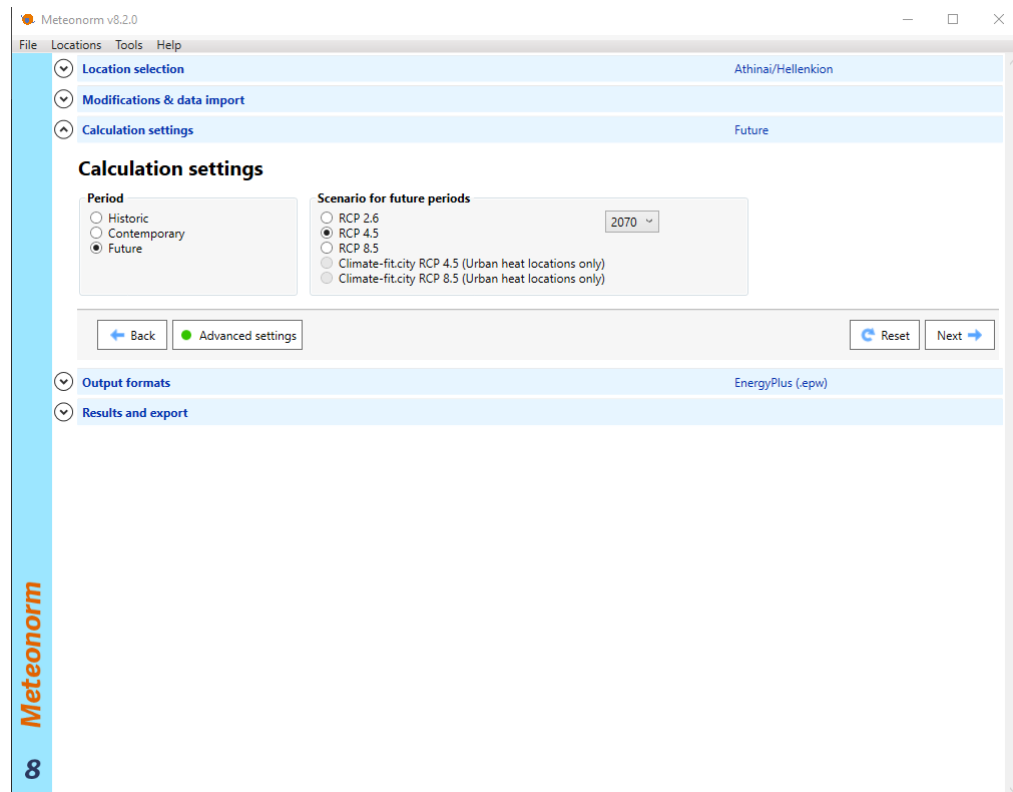
Το Meteonorm 8 διατίθεται με ετήσια συνδρομή και έχει τη δική του επιφάνεια εργασίας, η οποία θα παρουσιαστεί παρακάτω.

Αρχικά, ο χρήστης επιλέγει τον μετεωρολογικό σταθμό από τον οποίο θα αντλήσει το λογισμικό τα κλιματικά δεδομένα ούτως ώστε να εκκινήσει η οποιαδήποτε διαδικασία. Παρέχει κλιματικά δεδομένα για περιοχές σε όλο τον κόσμο καθώς και σε τιμές ανά μήνα, μέρα, ώρα και λεπτό. Στην πρώτη καρτέλα (Επιλογή Τοποθεσίας - Location Selection) επιλέγεται η τοποθεσία (Εικόνα 5.2) ενώ στη δεύτερη (Τροποποιήσεις και Εισαγωγή Δεδομένων - Modifications & Data Import) μπορούν να γίνουν τροποποιήσεις σχετικά με το επίπεδο προσανατολισμού, τη θέση του ορίζοντα κ.ά. Επιπλέον, επιλέγεται το κατά πόσο τα δεδομένα που εισάγονται θα είναι από το Meteonorm ή θα εισάγονται από το χρήστη, καθώς και τη συχνότητα εμφάνισης των τιμών (μήνας, ημέρα, λεπτό).



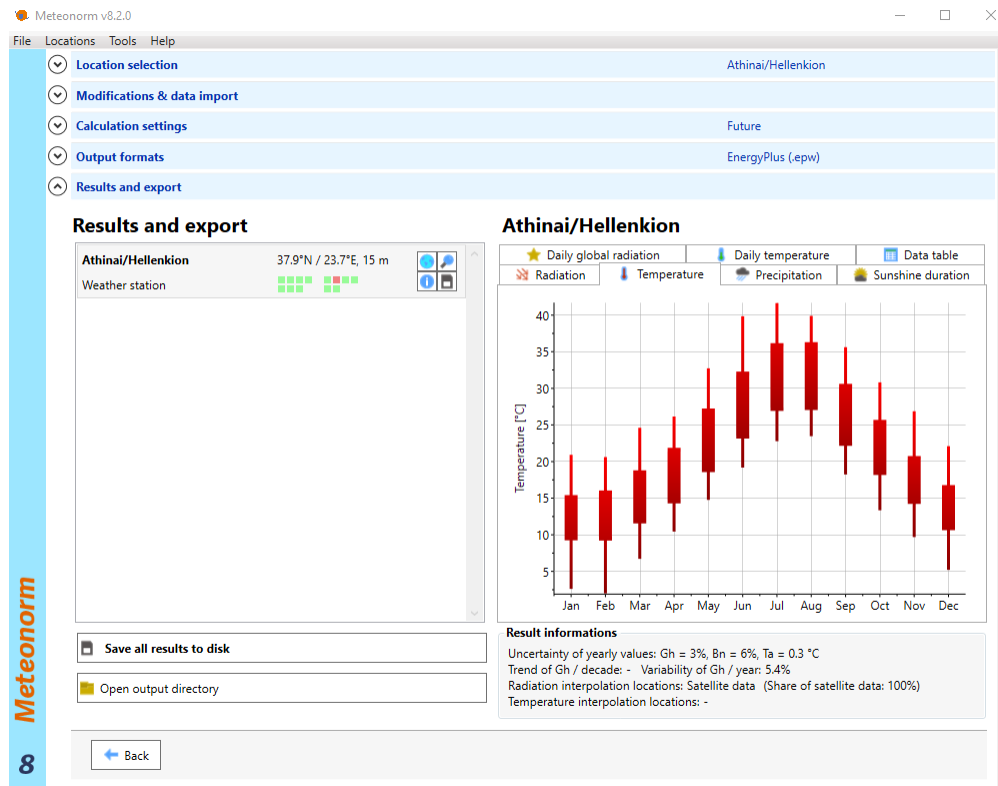
Εικόνα 5.2: Καρτέλα «Επιλογή Τοποθεσίας» («Location Selection») στο Meteonorm.

Στην τρίτη καρτέλα (Ρυθμίσεις Υπολογισμών - Calculations Settings) επιλέγεται από το χρήστη η περίοδος κατά την οποία θα παραχθούν τα κλιματικά δεδομένα. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.3, διακρίνεται σε «Ιστορική» (Historic) η οποία αφορά τα έτη 1981-1990 για τις παραμέτρους της ακτινοβολίας και 1961-1990 για τη θερμοκρασία, «Σύγχρονη» (Contemporary), η οποία αφορά τα έτη 2001-2020 για την ακτινοβολία και 2000-2019 για τη θερμοκρασία καθώς και «Μελλοντική» (Future), η οποία διακρίνεται σε 3 από τα σενάρια κλιματικής αλλαγής της IPCC (RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5) και μπορούν να επιλεγθούν οι δεκαετίες 2020 έως 2100.



Εικόνα 5.3: Καρτέλα «Ρυθμίσεις υπολογισμών» («Calculation settings») στο Meteonorm.

Στην τέταρτη καρτέλα (Τύπος Αρχείων Εξόδου – Output Formats), ο χρήστης επιλέγει τη μορφή του παραγόμενου αρχείου. Στην πέμπτη καρτέλα (Αποτελέσματα και Εξαγωγή – Results and Export), παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα καθώς και οι επιλογές για τη λήψη διαφορετικών αρχείων που έχουν παραχθεί. Όπως φαίνεται στην *Εικόνα 5.4* ο χρήστης μπορεί να δει σε πίνακα και σε διαγράμματα τα αποτελέσματα για την ακτινοβολία, τη θερμοκρασία, την βροχόπτωση, τη διάρκεια ηλιοφάνειας, την ημερήσια κοσμική ακτινοβολία και την ημερήσια θερμοκρασία.

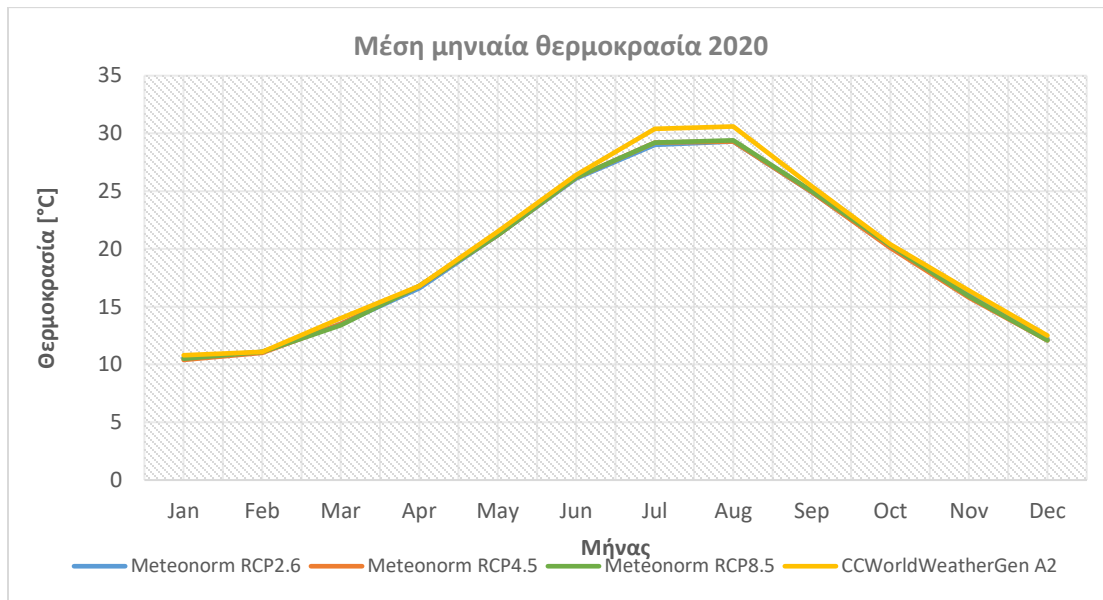


Εικόνα 5.4: Καρτέλα «Αποτελέσματα και εξαγωγή» («Results and export») στο Meteonorm.

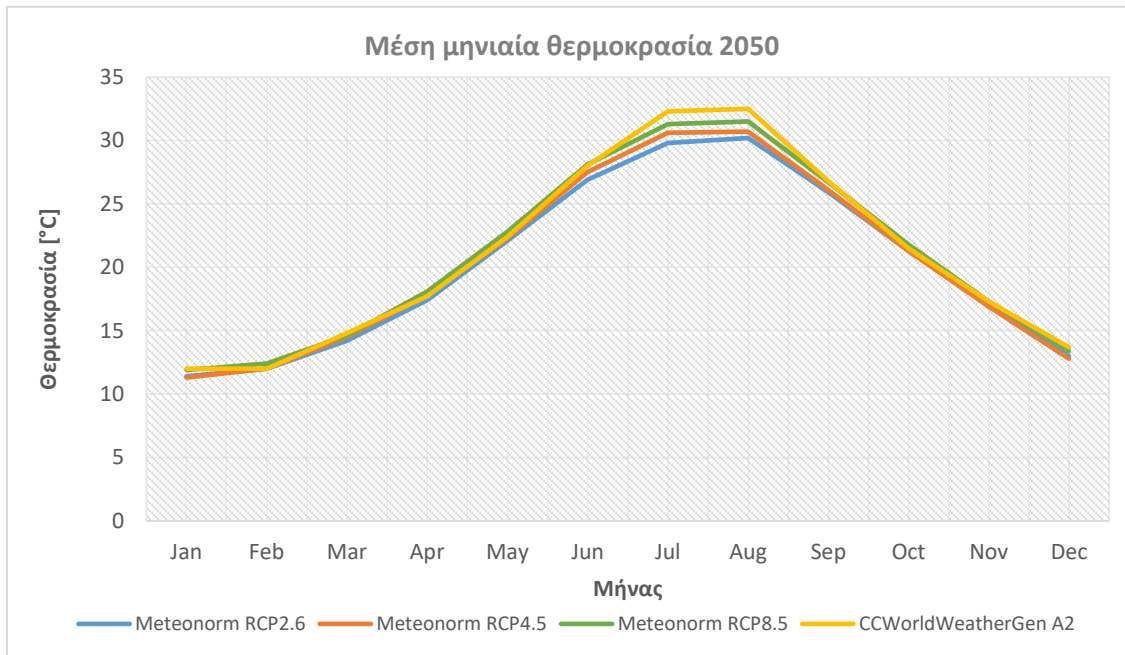
5.3 Αποτελέσματα υπολογισμών μελλοντικών κλιματικών δεδομένων

Με σκοπό τη βέλτιστη επιλογή του κατάλληλου λογισμικού για τις ανάγκες του εξεταζόμενου κτηρίου και της παρούσας μελέτης, θα συγκριθούν τα αποτελέσματα των λογισμικών CCWorldWeatherGen και Meteonorm.

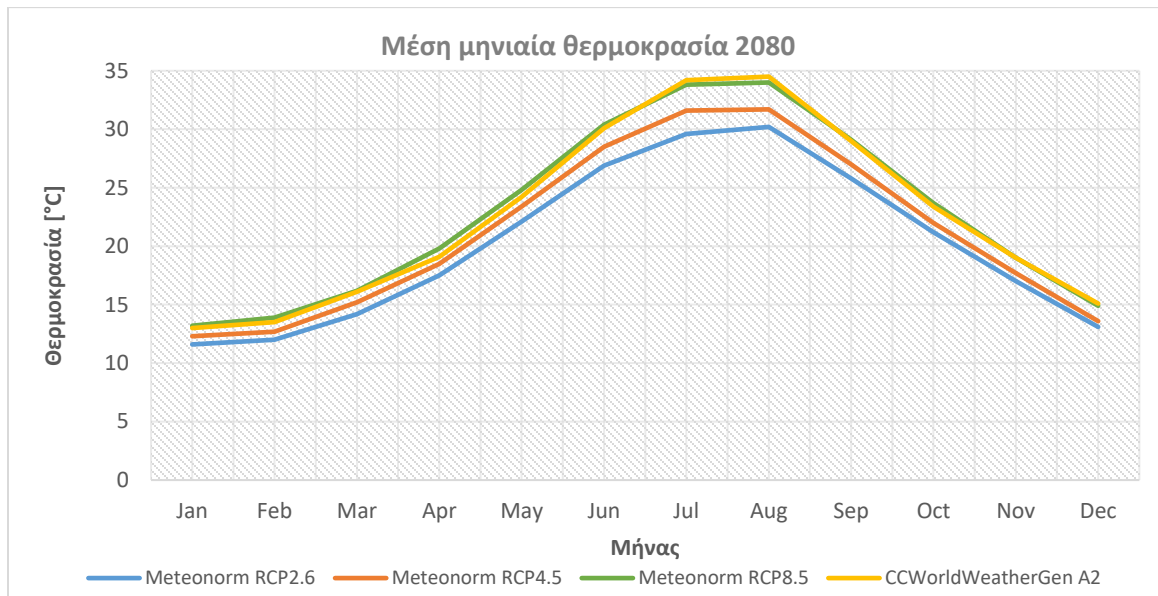
Καθώς τα 2 λογισμικά δεν υποστηρίζουν τα ίδια σενάρια της IPCC για την κλιματική αλλαγή, η σύγκριση των μελλοντικών κλιματικών δεδομένων θα γίνει με βάση όλα τα πιθανά σενάρια, για τις χρονολογίες 2020, 2050 και 2080. Όταν αναφέρονται σε μία συγκεκριμένη χρονολογία, τα λογισμικά έχουν παράξει τα δεδομένα για τις χρονολογίες ενός συγκεκριμένου εύρους, και αυτή προκύπτει από υπολογισμούς στο εύρος αυτό. Για παράδειγμα, το έτος 2020 στο Meteonorm προκύπτει από τη γραμμική παρεμβολή στο μέσο των ετών 2011-2030. Αντίστοιχα, η χρονολογία του 2020 στο CCWorldWeatherGen προκύπτει από την περίοδο 2011-2040. Στο Σχήμα 5.4, Σχήμα 5.5 και Σχήμα 5.6 παρουσιάζονται οι μηνιαίες θερμοκρασίες σε για τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5, RPP8.5 στο Meteonorm και A2 στο CCWorldWeatherGen της IPCC για τα έτη 2020, 2050 και 2080.



Σχήμα 5.4: Μέση μηνιαία θερμοκρασία [°C] μελλοντικών κλιματικών δεδομένων των λογισμικών Meteonorm (για τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5, RPP8.5) και CCWorldWeatherGen (για το σενάριο A2) για το έτος 2020.



Σχήμα 5.5: Μέση μηνιαία θερμοκρασία [°C] μελλοντικών κλιματικών δεδομένων των λογισμικών Meteonorm (για τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5, RPP8.5) και CCWorldWeatherGen (για το σενάριο A2) για το έτος 2050.



Σχήμα 5.6: Μέση μηνιαία θερμοκρασία [°C] μελλοντικών κλιματικών δεδομένων των λογισμικών Meteororm (για τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5, RPP8.5) και CCWorldWeatherGen (για το σενάριο A2) για το έτος 2080.

Το σενάριο A2 βρίσκεται ανάμεσα στα σενάρια RCP6.0 και RCP8.5 για την κλιματική αλλαγή, άρα και αρκετά πιο πάνω από το σενάριο RCP4.5. Παρατηρούμε πως:

- Οι θερμοκρασίες του Meteororm για τα 3 σενάρια έχουν διαφορετικό ρυθμό αύξησης όσο αυξάνεται η χρονολογία, κάτι που είναι αναμενόμενο, αναφορικά και με τα χαρακτηριστικά των 3 διαφορετικών σεναρίων και της συγκέντρωσης ΑτΘ στην ατμόσφαιρα στο καθένα από αυτά.
- Το σενάριο A2 του CCWorldWeatherGen θα έπρεπε να είναι πιο κοντά και πιο κάτω από το σενάριο RCP8.5 και πιο πάνω από το σενάριο RCP4.5. Η πρώτη συνθήκη δεν ικανοποιείται, και η καμπύλη του συγκεκριμένου λογισμικού αρχίζει να προσεγγίζει το σενάριο RCP8.5 μόνο όσο αυξάνονται οι χρονολογίες. Εν τέλει, το 2080 τα 2 σενάρια από τα διαφορετικά λογισμικά σχεδόν ταυτίζονται.
- Στους θερμότερους μήνες παρουσιάζεται μεγαλύτερη διαφορά στις θερμοκρασίες των διαφορετικών σεναρίων, ενώ στους ψυχρότερους μήνες η διαφορά μειώνεται. Αυτό συνεπάγεται και μεγαλύτερη αύξηση των θερμοκρασιών τους θερινούς μήνες όσο πιο απαισιόδοξο είναι το σενάριο, όπως φαίνεται και από τις κλίσεις των καμπυλών.

Στις ενεργειακές προσομοιώσεις του εξεταζόμενου κτηρίου θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό Meteororm, λόγω της ποικιλίας επιλογών για χρονολογίες και σενάρια για την κλιματική αλλαγή που προσφέρει. Έτσι, θα προκύψει μία πιο συνολική θεώρηση για τις καταναλώσεις και τα συστήματα που πρέπει να χρησιμοποιηθούν ανά περίπτωση.

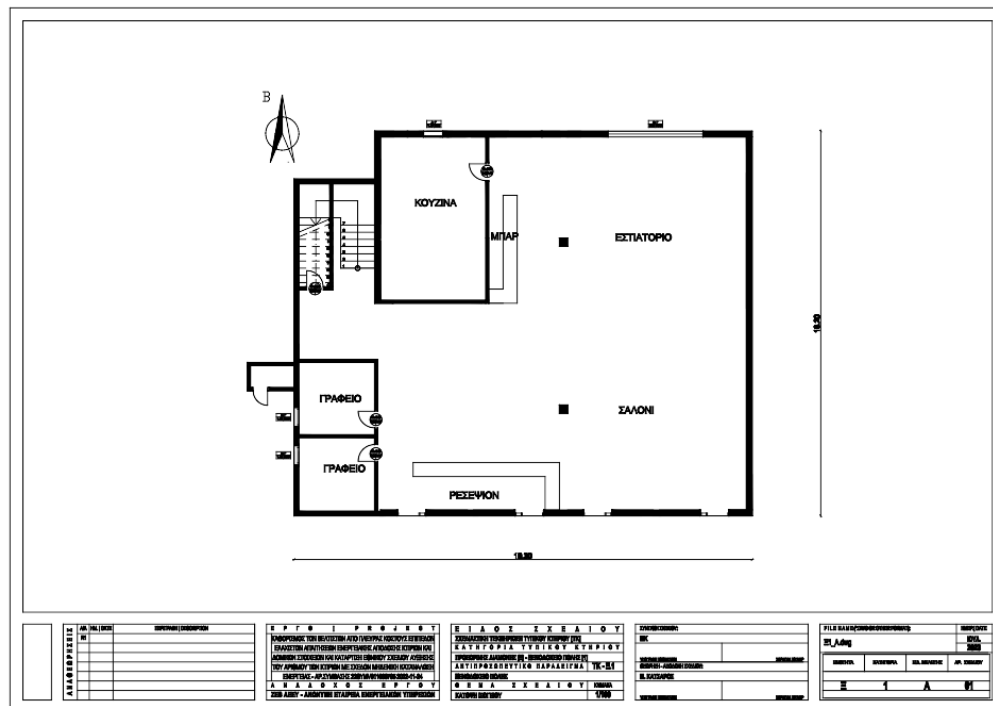
6. Μοντελοποίηση εξεταζόμενου κτηρίου

6.1 Χαρακτηριστικά του κτηρίου

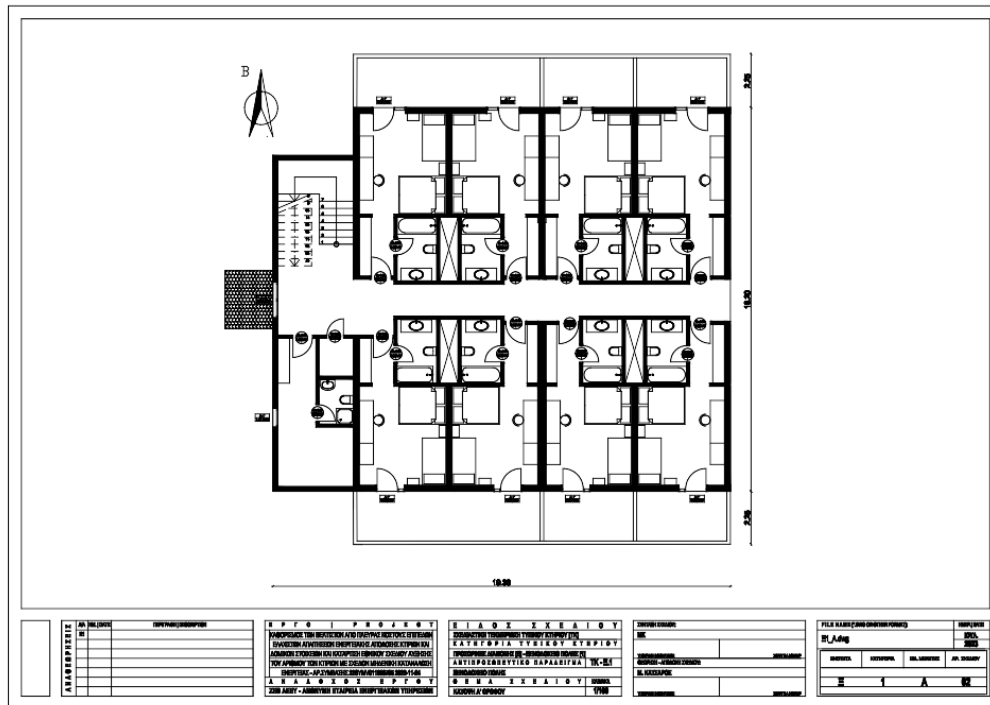
Το εξεταζόμενο κτήριο είναι ένα τυπικό κτήριο ξενοδοχείου πόλης, το οποίο βρίσκεται στην Αττική, κατασκευασμένο μετά το 2017. Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ., βρίσκεται στην κλιματική ζώνη Β. Αποτελείται από ένα ισόγειο και 2 ορόφους, με ύψος 3m ο κάθε όροφος. Συγκεκριμένα:

- Ισόγειο με εμβαδό $306,2 \text{ m}^2$ και ύψος 3m, αποτελούμενο από μία κουζίνα, δύο γραφεία, μία αποθήκη, ένα εστιατόριο, ένα σαλόνι και μία ρεσεψιόν.
- Α' και Β' όροφος με εμβαδό $377,8 \text{ m}^2$ και ύψος 3m ο κάθε ένας, αποτελούμενοι ο κάθε ένας από 8 υπνοδωμάτια στο εσωτερικό των οποίων υπάρχουν 8 τουαλέτες, έναν κοινόχρηστο διάδρομο και μία κοινόχρηστη τουαλέτα.
- Δώμα με εμβαδό $377,8 \text{ m}^2$, το οποίο περιλαμβάνει εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά στοιχεία και ηλιακούς συλλέκτες.

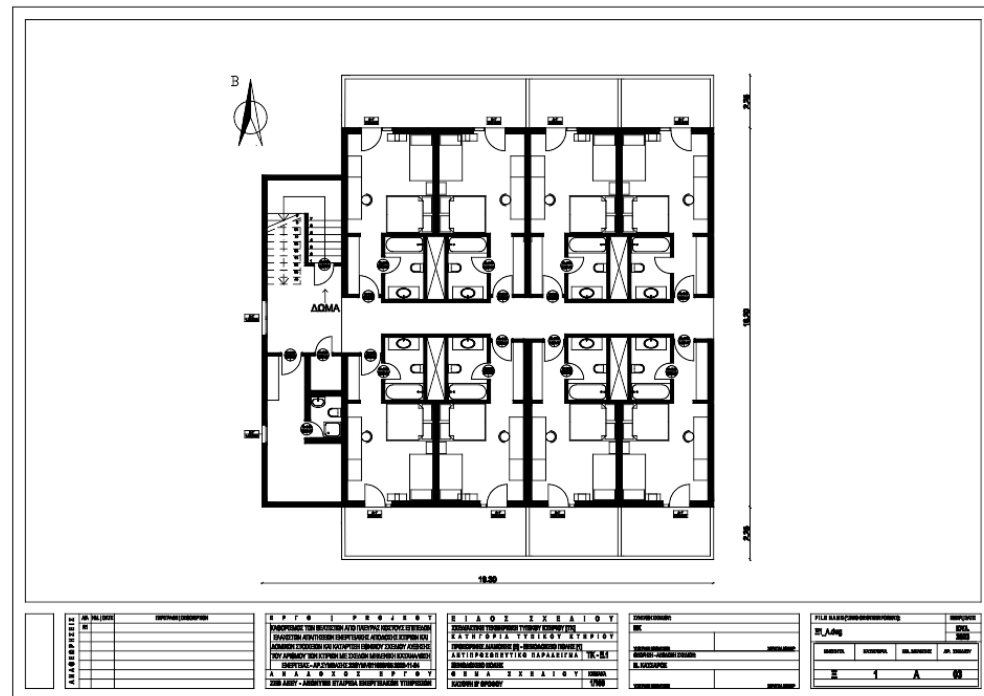
Στο Σχήμα 6.1, Σχήμα 6.2, Σχήμα 6.3 και Σχήμα 6.4 παρατίθενται οι κατόψεις του ισογείου, του Α' ορόφου, του Β' ορόφου και του δώματος αντίστοιχα.



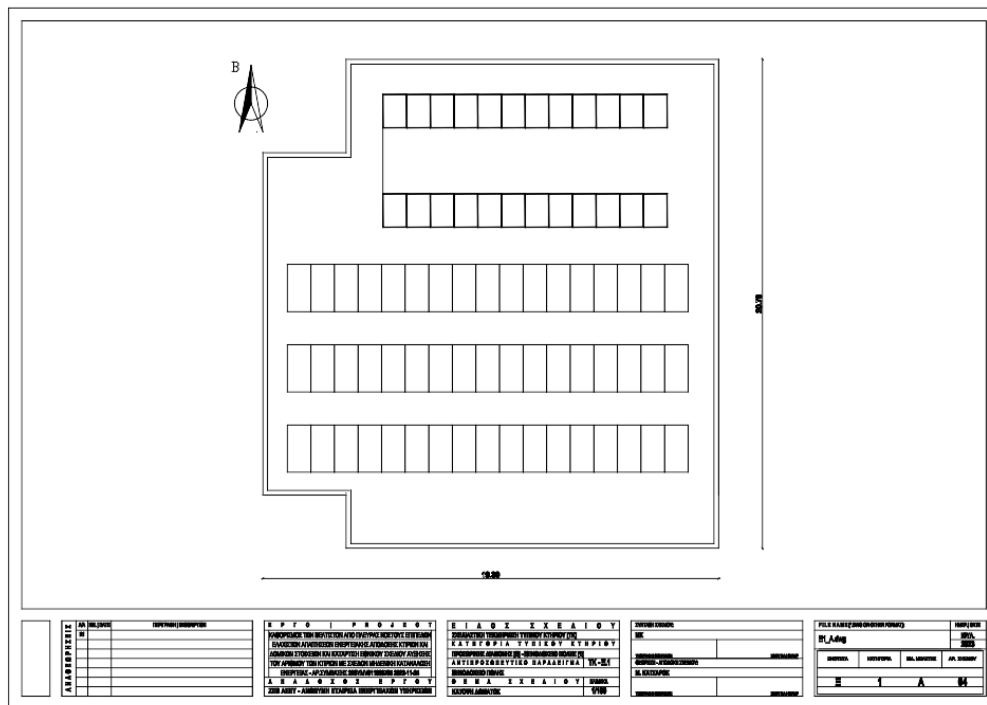
Σχήμα 6.1: Κάτοψη ισογείου του εξεταζόμενου κτηρίου.



Σχήμα 6.2: Κάτοψη Α' ορόφου του εξεταζόμενου κτηρίου.



Σχήμα 6.3: Κάτοψη Β' ορόφου του εξεταζόμενου κτηρίου.



Σχήμα 6.4: Κάτοψη δώματος του εξεταζόμενου κτηρίου.

6.2 Μοντελοποίηση στο Sketchup Pro με το πρόσθετο του Openstudio

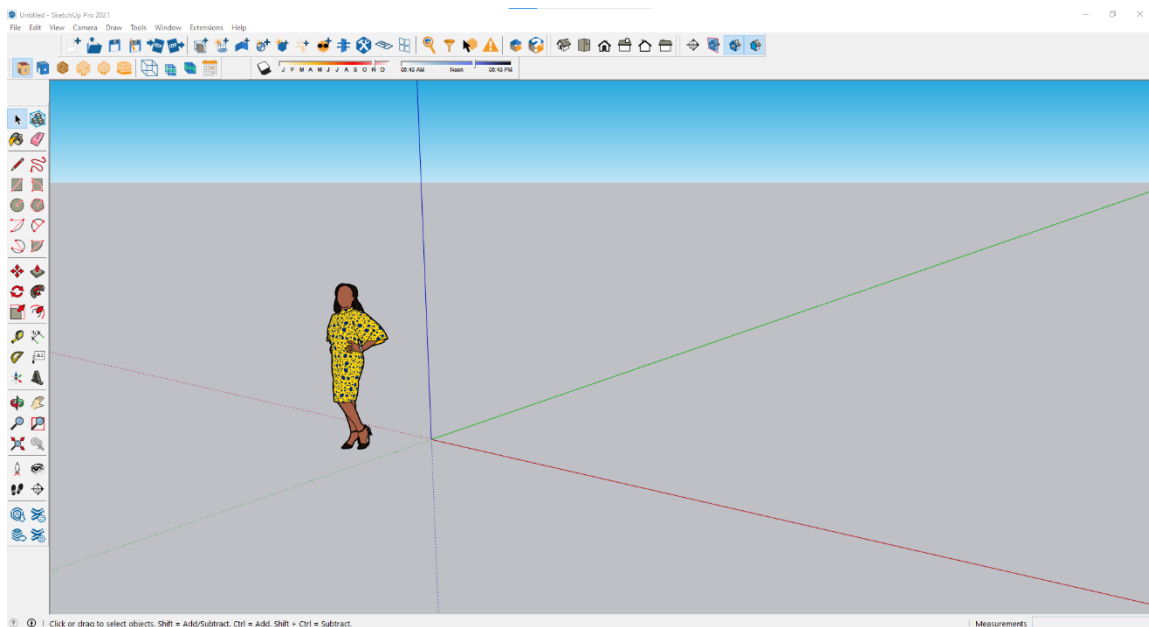
Το Sketchup Pro που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του κτηριακού κελύφους είναι ένα λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης από την Trimble Inc., που χρησιμοποιείται για την κατασκευή αρχιτεκτονικών μοντέλων, εσωτερικών χώρων ή ακόμα και γραφικών στοιχείων παιχνιδιών ή ταινιών. Είναι ένα από τα πιο δημοφιλή λογισμικά αρχιτεκτονικής σχεδίασης, λόγω της ευκολίας εκμάθησής του αλλά και των πολυπληθών επιλογών παραμετροποίησης, του μεγάλου αριθμού πρόσθετων εφαρμογών (plugins) και της ύπαρξης μίας μεγάλης βιβλιοθήκης με έτοιμα τρισδιάστατα αντικείμενα. Παρέχεται επί πληρωμή με ετήσια συνδρομή. Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιείται η έκδοση Sketchup Pro 2021.

Για τη σχεδίαση του κτηρίου χρησιμοποιείται το Openstudio Plugin για το Sketchup, ένα πρόσθετο που εισάγει πολλά από τα χαρακτηριστικά του λογισμικού Openstudio απευθείας στο Sketchup. Έτσι, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει τη γεωμετρία του Openstudio μέσω των εργαλείων που προσφέρει το Sketchup, κάνοντας έτσι τη διαδικασία πολύ πιο φιλική σε αυτόν. Αναλυτικότερα, ο χρήστης μπορεί να ορίσει μία πληθώρα από χαρακτηριστικά απευθείας στο Sketchup από τη γεωμετρία του μοντέλου, όπως θερμικές ζώνες, ονομασία και ταξινόμηση χώρων, ορισμός κατασκευαστικών προτύπων κλπ. Επιπλέον, δίνει τη δυνατότητα της αλλαγής της γεωμετρίας και των ιδιοτήτων χωρίς να χρειαστεί

επανασχεδίαση του κτηρίου. Έπειτα, ο χρήστης μπορεί να μεταφέρει αυτούσιο το μοντέλο στο Openstudio, με τις επιλογές αυτές να διατηρούνται και να αλληλοτροφοδοτούνται και στα δύο λογισμικά. Περαιτέρω πληροφορίες για το Openstudio θα αναφερθούν στην επόμενη υποενότητα. Το συγκεκριμένο πρόσθετο κυρίως εξυπηρετεί τις ανάγκες του ενεργειακού σχεδιασμού, ο οποίος γίνεται μέσα από το Openstudio, και όχι του αρχιτεκτονικού.

6.2.1 Σχεδιασμός κτηριακού κελύφους

Το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού Sketchup Pro 2021 μαζί με το πρόσθετο Openstudio Plugin φαίνεται στην *Εικόνα 6.1*. Τα εργαλεία της αριστερής πλευράς αφορούν τις λειτουργίες του Sketchup, οι οποίες περιλαμβάνουν τη σχεδίαση γραμμών και γεωμετρικών σχεδίων, το σβήσιμο αυτών, την περιστροφή και μετακίνηση των γεωμετρικών αντικειμένων, τη μέτρηση αυτών και άλλα εργαλεία που συμβάλλουν στην θέαση του υπό σχεδίαση αντικειμένου. Τα εργαλεία της πάνω πλευράς αφορούν τις λειτουργίες του Openstudio, με τις πιο βασικές να είναι η αποθήκευση και το άνοιγμα των .osm αρχείων (τύπος αρχείου Openstudio), η αλλαγή των χρωμάτων του κτηρίου, συμβολίζοντας διαφορετικές κατηγορίες ταξινόμησης των χώρων (με βάση τον τύπο επιφάνειας, τις οριακές συνθήκες, τον τύπο κατασκευής, τον τύπο χώρου, τη θερμική ζώνη και τον όροφο), η δημιουργία νέων χώρων, επιφανειών σκίασης και ο καθορισμός των χαρακτηριστικών τους και η αλλαγή όψης του υπό σχεδίαση κτηρίου.

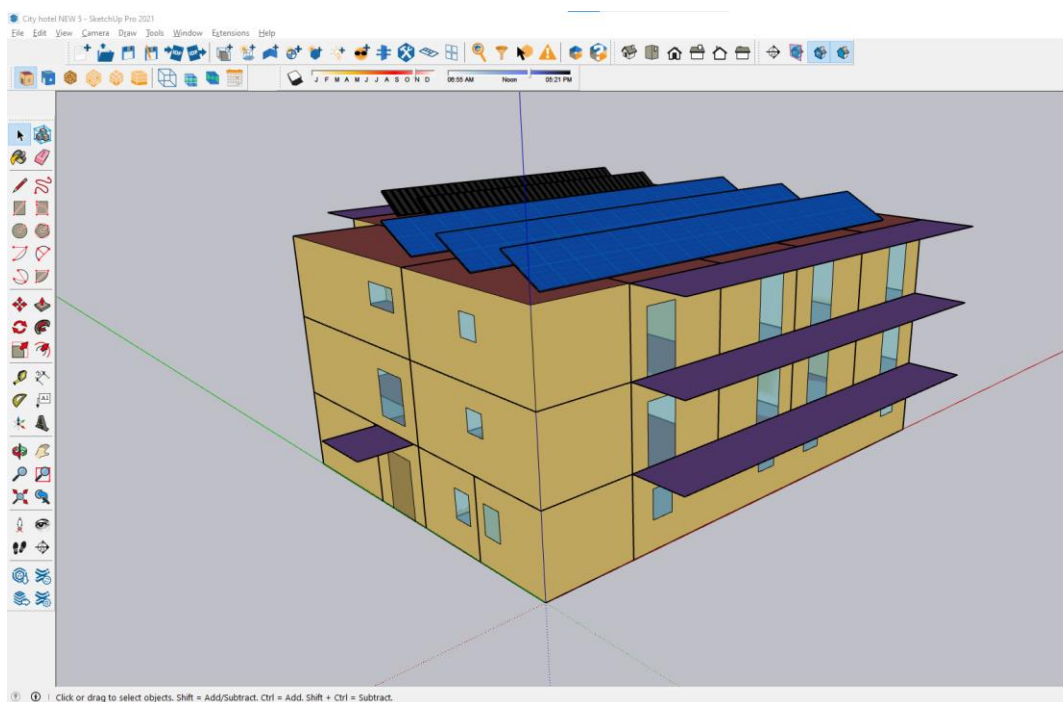


Εικόνα 6.1: Γραφικό περιβάλλον λογισμικού Sketchup Pro 2021 με το πρόσθετο του Openstudio.

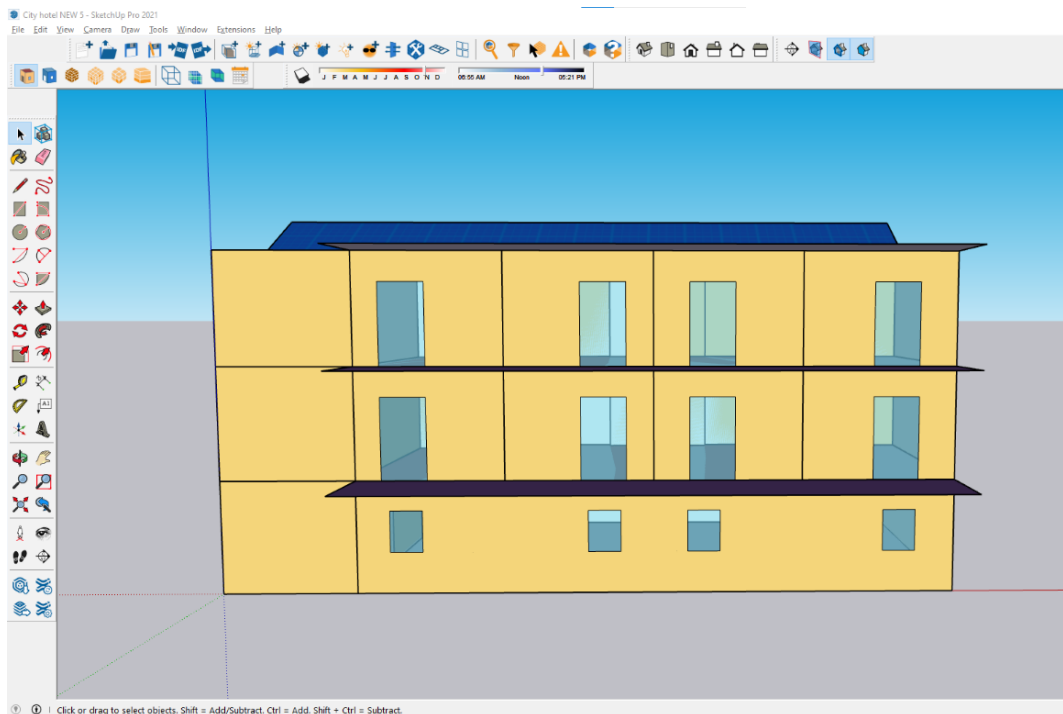
Για τη δημιουργία του κτηριακού κελύφους στο λογισμικό, ακολουθούνται τα εξής βήματα:

- Σχεδιάζεται με τα εργαλεία του Sketchup η κάτοψη των χώρων του κάθε ορόφου ξεχωριστά, σύμφωνα και με τις οδηγίες της TOTEE 20701-1/2017 για τον καθορισμό των χώρων του κάθε κτηρίου.
- Για κάθε όροφο, επιλέγονται όλοι οι χώροι που έχουν δημιουργηθεί, και επιλέγεται από τα εργαλεία του Openstudio το «Create Spaces from Diagram». Επιλέγεται από το παράθυρο που εμφανίζεται το ύψος του επιλεγμένου ορόφου και ο αριθμός των ορόφων θα δημιουργηθούν.
- Αφού έχει πραγματοποιηθεί η αντίστοιχη διαδικασία για κάθε όροφο, μετακινείται με το εργαλείο «Move» του Sketchup ο ένας όροφος πάνω από τον άλλον, ούτως ώστε να προκύψει το τελικό κτήριο.
- Τα μπαλκόνια του κτηριακού κελύφους θεωρούνται επιφάνειες σκίασης, και άρα επιλέγεται το «New Shading Surface Group» και προστίθεται μία επιφάνεια σκίασης ίση με κάθε μπαλκόνι που εμφανίζεται στην κάτοψη.
- Για τη δημιουργία των παραθύρων, με διπλό αριστερό κλικ πάνω σε όποια επιφάνεια θα γίνει η τοποθέτηση επιλέγεται ο συγκεκριμένος χώρος από το Openstudio. Έπειτα, με τα εργαλεία του Sketchup, σχεδιάζεται το γεωμετρικό σχήμα ανάλογα με τις διαστάσεις του παραθύρου, και το Openstudio αναγνωρίζει αυτόματα για το ότι πρόκειται για τη συγκεκριμένη κατασκευή. Πατώντας διπλό κλικ πάνω στην επιφάνεια, γίνεται αλλαγή των χαρακτηριστικών του (για παράδειγμα να γίνει αλλαγή από παράθυρο σε ανακλινόμενη γυάλινη πόρτα). Αντίστοιχα πραγματοποιείται η δημιουργία πορτών, όπως αυτή που υπάρχει στην είσοδο του κτηριακού κελύφους που μελετάται.
- Επιλέγεται από τα εργαλεία του Openstudio το «Surface Matching», ούτως ώστε να είναι δυνατόν το EnergyPlus μέσω του Openstudio να αντιληφθεί τη μεταφορά θερμότητας ανάμεσα στους χώρους που έχουν δημιουργηθεί. Προϋπόθεση είναι η γεωμετρία σε κάθε πλευρά του κάθε χώρου να ταυτίζεται. Για να καλύπτεται αυτή η προϋπόθεση, επιλέγεται από το παράθυρο που εμφανίζεται «Intersect in Entire Model». Έπειτα, επιλέγεται «Match in Entire Model», ούτως ώστε οι επιφάνειες να μεταφραστούν σε εσωτερικές, εξωτερικές, πατώματα και οροφές για τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ τους.
- Τέλος, επιλέγεται από τα εργαλεία του Openstudio το «Set Attributes for Selected Spaces», ούτως ώστε να οριστούν χαρακτηριστικά όπως ο τύπος των χώρων, της κατασκευής και οι θερμικές ζώνες του κάθε χώρου. Η διαδικασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί και αυτόνομα μέσα από το λογισμικό του Openstudio.

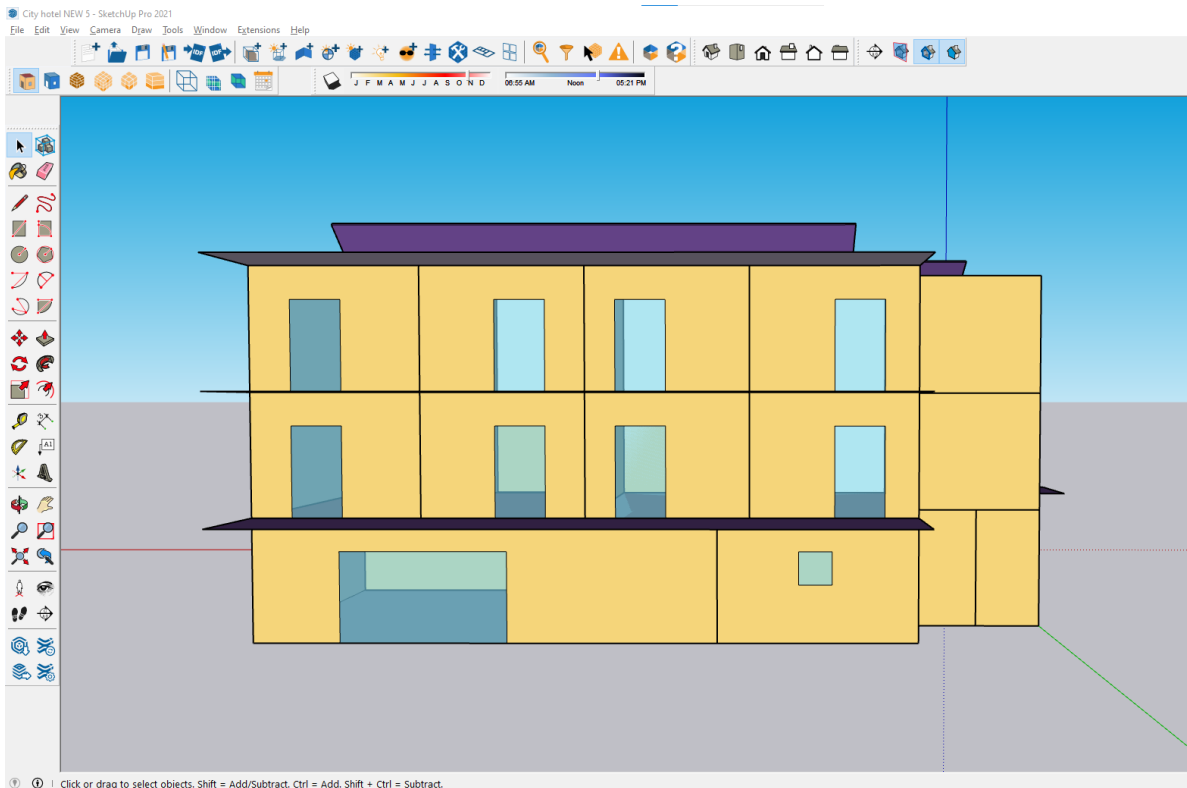
Το μοντέλο του υπό μελέτη κτηριακού κελύφους παρουσιάζεται ολοκληρωμένο σε τρισδιάστατη όψη, μπροστά και πίσω όψη στην *Εικόνα 6.2*, *Εικόνα 6.3* και *Εικόνα 6.4*, μετά από την εκτέλεση όλων των παραπάνω βημάτων στο λογισμικό Sketchup Pro 2021 με το Openstudio Plugin.



Εικόνα 6.2: Τρισδιάστατη όψη μοντέλου εξαταζόμενου κτηρίου στο Sketchup Pro με το πρόσθετο του Openstudio.

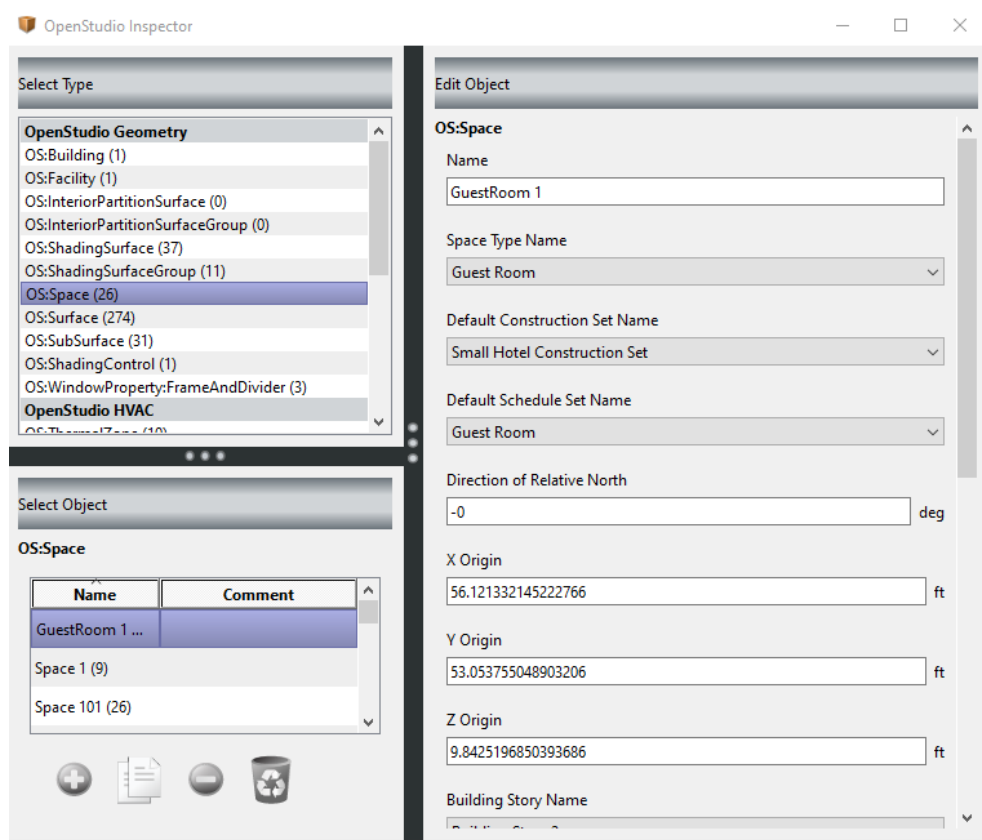


Εικόνα 6.3: Μπροστά όψη μοντέλου εξαταζόμενου κτηρίου στο Sketchup Pro με το πρόσθετο του Openstudio.



Εικόνα 6.4: Πίσω όψη μοντέλου εξεταζόμενου κτηρίου στο Sketchup Pro με το πρόσθετο του Openstudio.

Αφού κατασκευαστεί η γεωμετρία, αντιστοιχίζεται κάθε χώρος που έχει κατασκευαστεί με έναν συγκεκριμένο τύπο χώρου, οι οποίοι έχουν δημιουργηθεί προηγουμένως. Με αυτόν τον τρόπο, κάθε χώρος συνδέεται αυτόματα με τα χρονοδιαγράμματα του τύπου χώρου στον οποίο αντιστοιχεί. Πατώντας πάνω σε οποιονδήποτε χώρο, εμφανίζεται το παράθυρο όπως φαίνεται στην *Εικόνα 6.5*, στην οποία έχει επιλεχθεί ο τύπος «Υπνοδωμάτιο» για τον χώρο «Υπνοδωμάτιο 1».

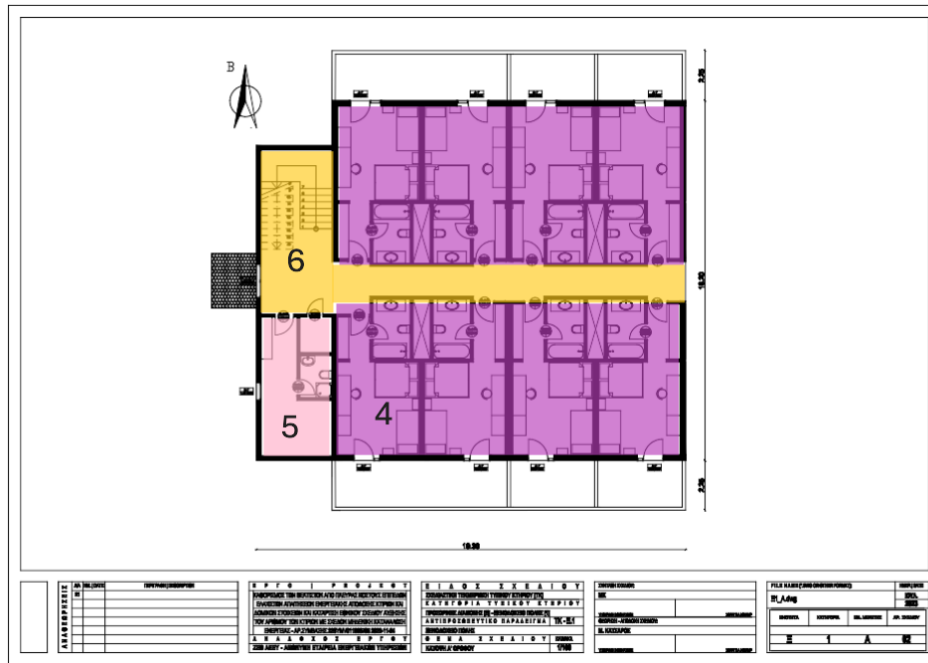


Εικόνα 6.5: Παράθυρο επιλογής Τύπου Χώρου του προσθέτου Openstudio για τον κάθε χώρο του εξεταζόμενου κτηρίου, στο λογισμικό Sketchup Pro 2021.

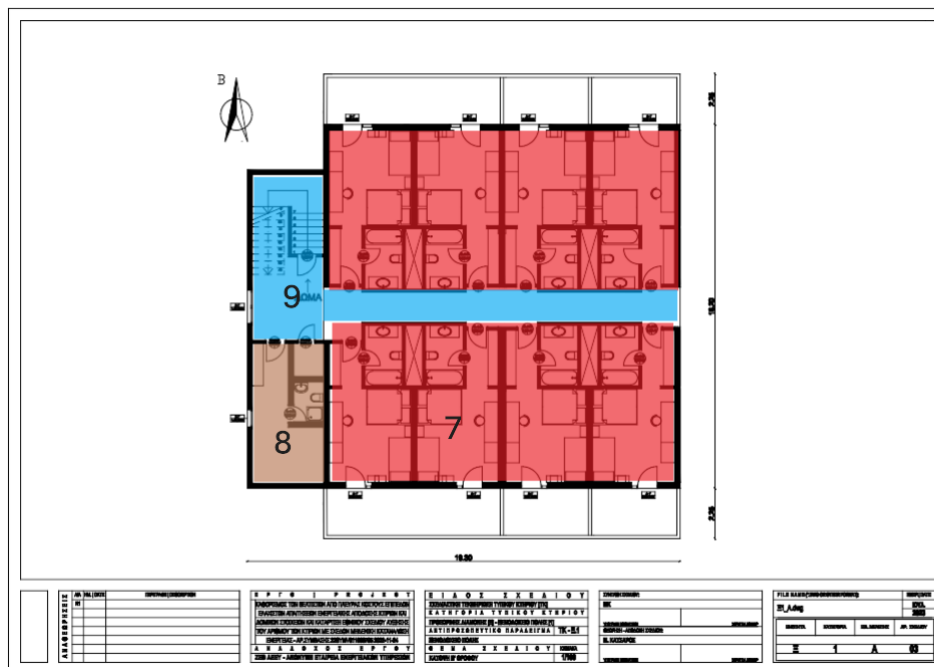
6.2.2 Χωρισμός σε θερμικές ζώνες

Αναγκαία στη μοντελοποίηση είναι η δημιουργία θερμικών ζωνών και η αντιστοίχισή τους στους εκάστοτε χώρους. Θερμικές ζώνες ορίζονται οι χώροι με παρόμοια χρήση, ίδιο προφίλ λειτουργίας ή/και κοινά ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα. Σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017, για το διαχωρισμό των θερμικών ζωνών συνίσταται να ακολουθούνται οι παρακάτω γενικοί κανόνες:

- Ο διαχωρισμός του κτηρίου να γίνεται στο μικρότερο δυνατό αριθμό ζωνών, προκειμένου να επιτυγχάνεται οικονομία στο πλήθος των δεδομένων εισόδου και στον υπολογιστικό χρόνο.
- Κατά τη μελέτη ή την επιθεώρηση ο προσδιορισμός των θερμικών ζωνών να γίνεται καταγράφοντας την πραγματική εικόνα λειτουργίας του κτηρίου.
- Τμήματα του κτηρίου με όγκο μικρότερο από το 10% του συνολικού όγκου του κτηρίου να εξετάζονται ενταγμένα σε άλλες θερμικές ζώνες, κατά το δυνατόν



Σχήμα 6.6: Κάτοψη χώρων Α' ορόφου, χωρισμένων σε θερμικές ζώνες με διαφορετικό αριθμό και χρώμα.



Σχήμα 6.7: Κάτοψη χώρων Β' ορόφου, χωρισμένων σε θερμικές ζώνες με διαφορετικό αριθμό και χρώμα,

Πατώντας στην επιλογή του Openstudio «Set Attributes for Selected Spaces» και «Thermal Zone», είναι δυνατόν να δημιουργηθεί μία νέα θερμική ζώνη, πατώντας «New Thermal Zone», όπως φαίνεται στο παράθυρο του προσθέτου του Openstudio στο Sketchup Pro στην *Εικόνα 6.6*. Έτσι δημιουργούνται νέες θερμικές ζώνες, ενώ για χώρους που πρέπει να αντιστοιχηθούν με υπάρχουσες θερμικές ζώνες, επιλέγεται η θερμική ζώνη από τις υπάρχουσες.

Εικόνα 6.6: Παράθυρο «Set Attributes for Selected Spaces» του προσθέτου Openstudio στο Sketchup Pro.

6.2.3 Εισαγωγή φωτοβολταϊκών συστημάτων και ηλιακών συλλεκτών

Για τη σχεδίαση των φωτοβολταϊκών και των ηλιακών συλλεκτών, σχεδιάζονται επιφάνειες σκίασης (shading surfaces) για κάθε φωτοβολταϊκό στοιχείο και ηλιακό συλλέκτη ξεχωριστά. Έπειτα, με το εργαλείο του Sketchup Pro «Περιστροφή» («Rotate») δίνεται στο κάθε στοιχείο η απαιτούμενη κλίση που θα αναφερθεί παρακάτω, με βάση την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017.

Η εισαγωγή των φωτοβολταϊκών πλαισίων πραγματοποιείται επιλέγοντας την κάθε επιφάνεια σκίασης που είναι προορισμένη για αυτή τη χρήση, και από την επιλογή Extensions, Openstudio User Scripts, Alter or Add Model Elements επιλέγεται το Add Photovoltaics, όπου εμφανίζεται το παράθυρο με τις επιλογές που φαίνεται στην *Εικόνα 6.7*.

Εικόνα 6.7: Παράθυρο επιλογής χαρακτηριστικών φωτοβολταϊκού στοιχείου στο λογισμικό Sketchup Pro με το πρόσθετο Openstudio.

Η εγκατεστημένη επιφάνεια των 3 φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι 102 m^2 . Επιλέγονται πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία, τα οποία σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017 έχουν βαθμό απόδοσης 12-19% και συντελεστή μείωσης λόγω παλαιότητας 1.0% για κάθε έτος λειτουργίας. Επιλέγεται ένας τυπικός βαθμός απόδοσης 18% για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Ο βέλτιστος προσανατολισμός των Φ/Β είναι ο νότιος. Όσον αφορά την κλίση των φωτοβολταϊκών στοιχείων, σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017, σε περίπτωση νέας εγκατάστασης Φ/Β με σταθερή κλίση, λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της βέλτιστης κλίσης των Φ/Β για ετήσια περίοδο. Για γεωγραφικό πλάτος $\phi=38^\circ$ στην περιοχή της Αττικής, η βέλτιστη κλίση είναι 28° για ετήσια περίοδο.

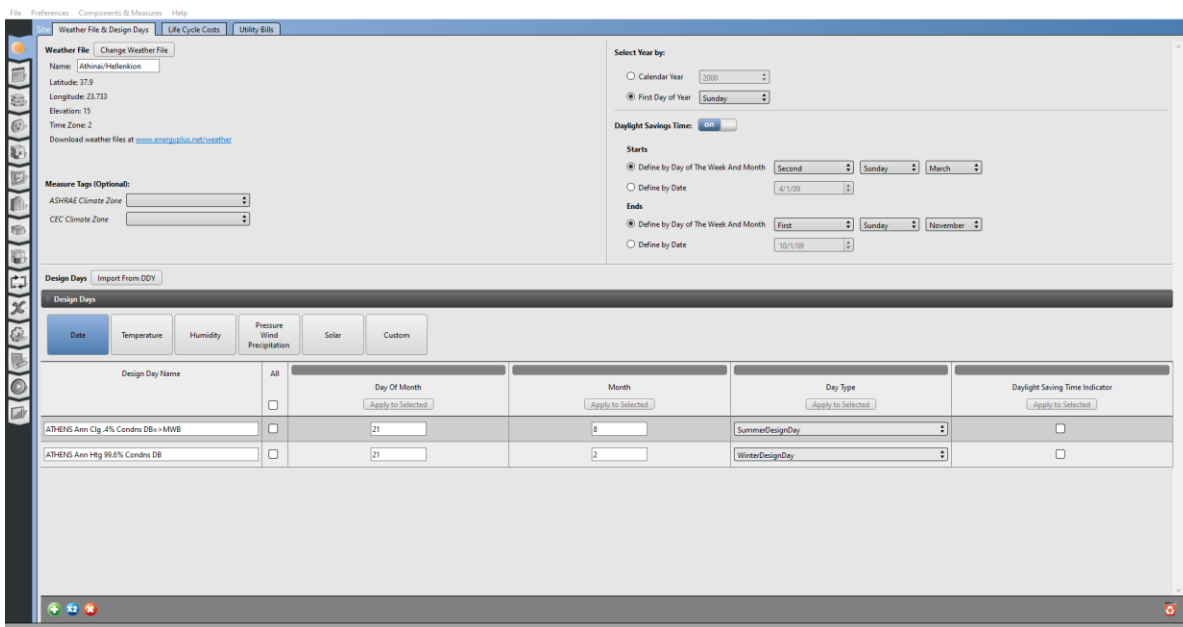
Η εισαγωγή των ηλιακών συλλεκτών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (Ζ.Ν.Χ.) θα γίνει μέσα από το λογισμικό Openstudio και εξηγείται λεπτομερώς στην ενότητα 7.10.3. Η εγκατεστημένη επιφάνεια των 2 ηλιακών συλλεκτών είναι $34,90 \text{ m}^2$.

Στο λογισμικό Sketchup Pro καθορίζεται ο προσανατολισμός και η κλίση τους. Ο βέλτιστος προσανατολισμός των ηλιακών συλλεκτών είναι ο νότιος. Ενδεικτικές τιμές της βέλτιστης κλίσης εγκατάστασης των ηλιακών συλλεκτών για την Ελλάδα, με βάση την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017, είναι η β = γεωγραφικό πλάτος $\pm 5^\circ$. Στην εξεταζόμενη περίπτωση επιλέγεται η κλίση $\beta=38^\circ$. Τέλος, ο συντελεστής αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης σε κτήρια του τριτογενούς τομέα είναι 0,324, με βάση τη γωνία κλίσης των ηλιακών συλλεκτών στην περιοχή της Αθήνας.

7. Εισαγωγή μοντέλου στο Openstudio

Το Openstudio είναι ένα δωρεάν εργαλείο λογισμικού ανοιχτού κώδικα (open-source) που χρησιμοποιείται για την ενεργειακή μοντελοποίηση κτηρίων. Το Openstudio κάνει χρήση του λογισμικού EnergyPlus για την ενεργειακή προσομοίωση των κτηρίων, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η θέρμανση, η ψύξη, ο φωτισμός, ο αερισμός κ.ά. για να υπολογίσει τις ενεργειακές καταναλώσεις. Βγήκε σε κυκλοφορία τον Απρίλιο του 2008 από την Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας (National Renewable Energy Laboratory) του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ. Κύρια χρήση του είναι η ενσωμάτωσή του ως πρόσθετο (plugin) στο Sketchup, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, κάτι που βοήθησε σε μεγάλο βαθμό την αρχιτεκτονική μελέτη, καθώς είναι δυνατόν να εξεταστεί η ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτηρίου πριν αρχίσει η κατασκευή. Παράλληλα, με το Openstudio απλοποιείται αρκετά η μοντελοποίηση του κτηρίου, σε σχέση με την μοντελοποίηση στο λογισμικό EnergyPlus, το οποίο βασίζεται στη συγγραφή κώδικα και δεν είναι τόσο φιλικό σε αρχάριους χρήστες. Με άλλα λόγια, το Openstudio αποτελεί απλά ένα γραφικό περιβάλλον, που συμβάλλει στη δημιουργία, επεξεργασία και διαχείριση των μοντέλων και τα μεταφέρει για προσομοίωση στο EnergyPlus.

Το γραφικό περιβάλλον του Openstudio και της έκδοσης 1.7.1. είναι αυτό που φαίνεται στην **Εικόνα 7.1**, και αποτελεί την καρτέλα «Τοποθεσία» («Site»).



Εικόνα 7.1: Γραφικό περιβάλλον λογισμικού Openstudio, έκδοσης 1.7.1., καρτέλα «Τοποθεσία» («Site»).

Περιέχει τις διάφορες καρτέλες που αφορούν τα ξεχωριστά μέρη του σχεδιασμού και της μοντελοποίησης του κτηρίου στα αριστερά καθώς και επιλογές για τη διαχείριση του αρχείου, προτιμήσεις για το πρόγραμμα, στοιχεία και πρόσθετα από τη βιβλιοθήκη και έναν οδηγό βοήθειας στο πάνω μέρος.

Στις παρακάτω υποενότητες παρουσιάζονται αναλυτικά οι καρτέλες του γραφικού περιβάλλοντος του Openstudio μαζί με τις επιλογές που πάρθηκαν για το υπό μελέτη κτήριο για κάθε παράμετρο της μοντελοποίησης.

7.1 Τοποθεσία (Site)

Το γραφικό περιβάλλον της καρτέλας «Site» είναι αυτό που φαίνεται στην *Εικόνα 11*.

Στην καρτέλα «Site» ο χρήστης επιλέγει αρχικά το αρχείο με τα κλιματικά δεδομένα με βάση το οποίο θα γίνει η ενεργειακή προσομοίωση του κτηρίου. Σε αυτό θα εισαχθούν τόσο τα σύγχρονα κλιματικά δεδομένα, όσο και τα μελλοντικά για τα διάφορα σενάρια και χρονολογίες όταν πραγματοποιηθεί η ενεργειακή προσομοίωση, επιλέγοντας το «Change Weather File». Τα αρχεία που εισάγονται είναι σε μορφή .erw (EnergyPlus Weather), δηλαδή αρχεία που περιέχουν κλιματικά δεδομένα όπως η θερμοκρασία ξηρού βολβού, θερμοκρασία σημείου δρόσου, σχετική υγρασία, ατμοσφαιρική πίεση, οριζόντια ακτινοβολία κλπ. Από κάτω, εμφανίζονται πληροφορίες, όπως το γεωγραφικό μήκος και πλάτος τις επιλεγείσας περιοχής στο αρχείο erw, τα οποία για την Αττική και τον μετεωρολογικό σταθμό του Ελληνικού, με τα δεδομένα του οποίου θα γίνουν οι ενεργειακές προσομοιώσεις αποτυπώνονται στην *Εικόνα 7.2*.

The image shows a software interface for selecting a weather file. It has a title bar 'Weather File' and a button 'Change Weather File'. Below the button is a text input field labeled 'Name:' containing the text 'Athina/Hellenikon'. Underneath are four labels with corresponding values: 'Latitude: 37.9', 'Longitude: 23.733', 'Elevation: 15', and 'Time Zone: 2'. At the bottom, there is a link: 'Download weather files at www.energyplus.net/weather'.

Εικόνα 7.2: Δεδομένα τοποθεσίας μετεωρολογικού σταθμού στο λογισμικό Openstudio στην καρτέλα «Τοποθεσία».

Ο χρήστης έχει επίσης τη δυνατότητα να:

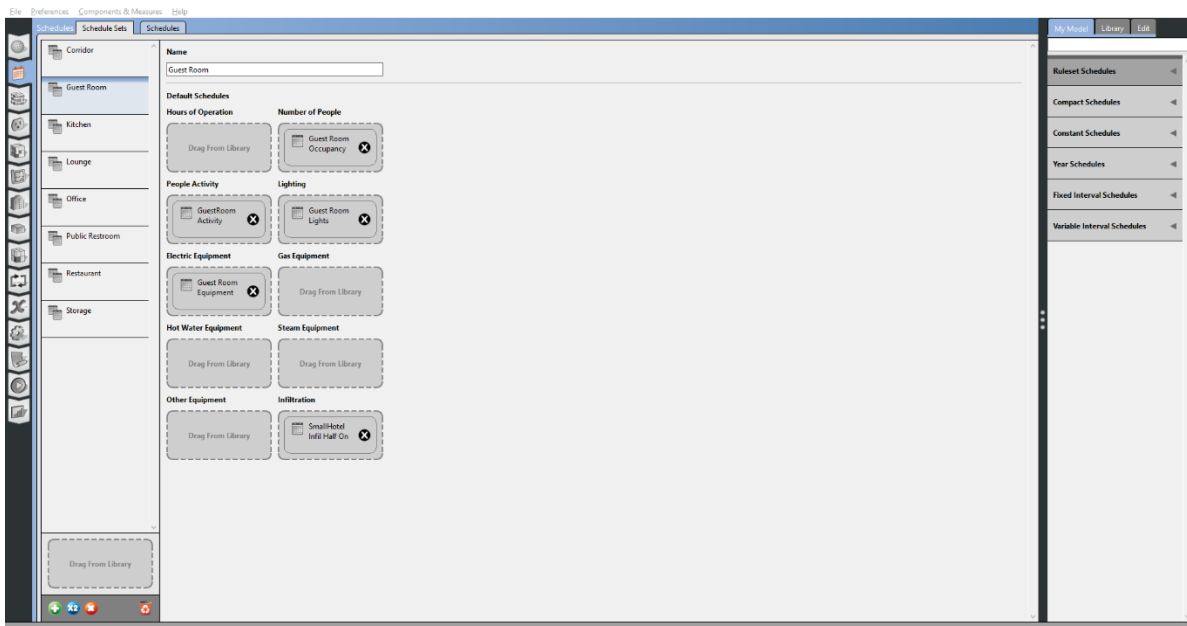
- Αλλάξει δεδομένα όπως η πρώτη ημέρα της εβδομάδας και την ημερομηνία εκκίνησης και τέλους της θερινής ώρας.

- Να καθορίσει τις ημέρες σχεδιασμού (design days) για τη διαστασιολόγηση των συστημάτων, εισάγοντας το αρχείο .ddy. Στην παρούσα περίπτωση, εισάγεται το συγκεκριμένο αρχείο για την τοποθεσία της Αθήνας από τον ιστότοπο climate.onebuilding.org, ο οποίος περιέχει αρχεία με κλιματικά δεδομένα από ένα πλήθος μετεωρολογικών σταθμών ανά τον κόσμο.
- Να καθορίσει το κόστος του κύκλου ζωής του κτηρίου και το λογαριασμό κοινής ωφέλειας.

7.2 Χρονοδιαγράμματα (Schedules)

Η συγκεκριμένη καρτέλα αποτελεί βασικό στοιχείο για την ενεργειακή προσομοίωση του κτηρίου, καθώς είναι δυνατόν να καθοριστούν τα χρονοδιαγράμματα για τη λειτουργία πολλών από των πτυχών λειτουργίας του. Μέσα από τη ρύθμιση των χρονοδιαγραμμάτων καθορίζεται το πότε και πώς χρησιμοποιούνται διαφορετικά στοιχεία του κτηρίου, όπως ο φωτισμός, ο εξοπλισμός, η θερμοκρασία χώρων και τα συστήματα HVAC.

Το βασικό περιβάλλον της συγκεκριμένης καρτέλας φαίνεται στην *Εικόνα 7.3*.



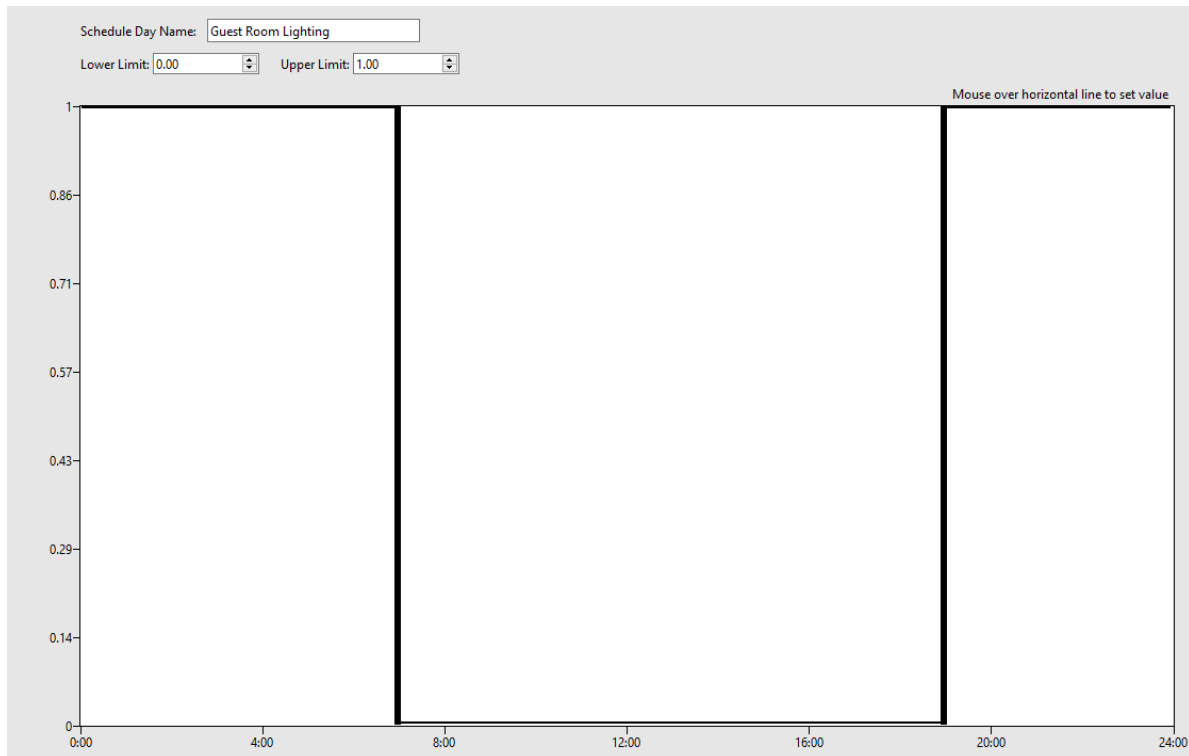
Εικόνα 7.3: Καρτέλα «Χρονοδιαγράμματα» («Schedules») στο λογισμικό Openstudio.

Μέσα από αυτή την καρτέλα είναι δυνατόν να καθοριστούν τα χρονοδιαγράμματα καθώς και να ομαδοποιηθούν συγκεκριμένα χρονοδιαγράμματα ανά τύπο χώρου. Στην παραπάνω εικόνα φαίνονται όλα τα χρονοδιαγράμματα που αντιστοιχούν στα υπνοδωμάτια του υπό μελέτη κτηρίου. Αυτά περιλαμβάνουν:

- Την πληρότητα των χώρων (Number of people), δηλαδή την ποσοστιαία τιμή των ανθρώπων που βρίσκονται στον χώρο ανάλογα με την ώρα της ημέρας.
- Το επίπεδο δραστηριότητας των ατόμων (people activity), δηλαδή την εκλυόμενη θερμότητα (σε W/άτομο) από τη δραστηριότητά τους.
- Τις ώρες λειτουργίας του φωτισμού (Lighting) σε ποσοστιαία τιμή.
- Τις ώρες λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών (Electric Equipment) σε ποσοστιαία τιμή.

Επιπλέον χρονοδιαγράμματα που μπορούν να ρυθμιστούν είναι οι ώρες λειτουργίας του κάθε τύπου χώρου (Hours of Operation), ο εξοπλισμός αερίου (Gas Equipment), ζεστού νερού χρήσης (Hot Water Equipment), ατμού (Steam Equipment), άλλου εξοπλισμού (Other Equipment) και τη διείσδυση του αέρα (Infiltration).

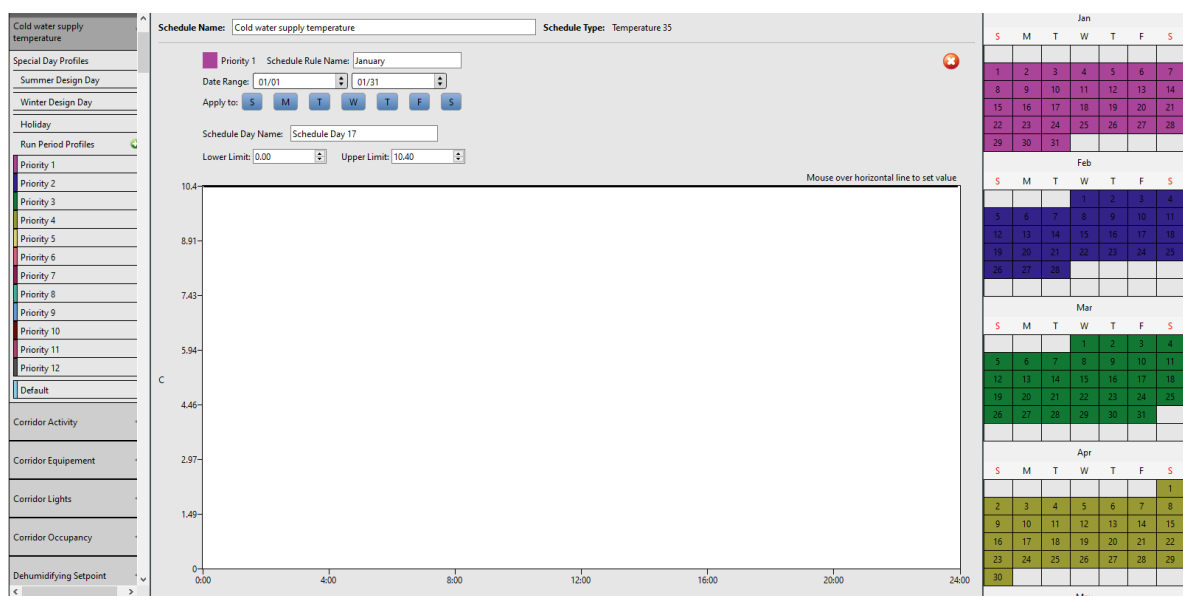
Τα χρονοδιαγράμματα υπάρχουν έτοιμα από τη βιβλιοθήκη του Openstudio ή μπορούν να δημιουργηθούν από το χρήστη ανάλογα με τις ανάγκες του στην υποκαρτέλα Schedules. Ένα τυπικό χρονοδιάγραμμα του φωτισμού ενός υπνοδωματίου στο γραφικό περιβάλλον του Openstudio είναι όπως φαίνεται στην *Εικόνα 7.4*.



Εικόνα 7.4: Χρονοδιάγραμμα φωτισμού υπνοδωματίου στο λογισμικό Openstudio.

Εκτός από την παραμετροποίηση του χρονοδιαγράμματος κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο χρήστης είναι δυνατόν να προσαρμόσει το χρονοδιάγραμμα κατά τη διάρκεια του χρόνου,

προσθέτοντας περιοδικά προφίλ με άλλες συνθήκες λειτουργίας. Για παράδειγμα, στην *Εικόνα 7.5* φαίνεται το χρονοδιάγραμμα Θερμοκρασίας Νερού Δικτύου (Cold Water Supply Temperature), το οποίο σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017 είναι διαφορετικό κάθε μήνα του χρόνου και για αυτό το λόγο οι μήνες στα δεξιά της καρτέλας αποτυπώνονται με διαφορετικά χρώματα.



Εικόνα 7.5: Περιοδικό χρονοδιάγραμμα Θερμοκρασίας Νερού Δικτύου στο λογισμικό Openstudio.

Παρακάτω θα αναφερθούν οι συνθήκες λειτουργίας του υπό μελέτη κτηρίου με βάση την TOTEE 20701-1/2017.

Το κτήριο πρόκειται για ξενοδοχείο ετήσιας λειτουργίας. Επομένως λειτουργεί 24 ώρες, 7 ημέρες την εβδομάδα και 12 μήνες καθόλη τη διάρκεια του χρόνου. Οι ώρες λειτουργίας για κάθε χώρο συγκεκριμένα σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017 φαίνονται στον *Πίνακα 7.1*.

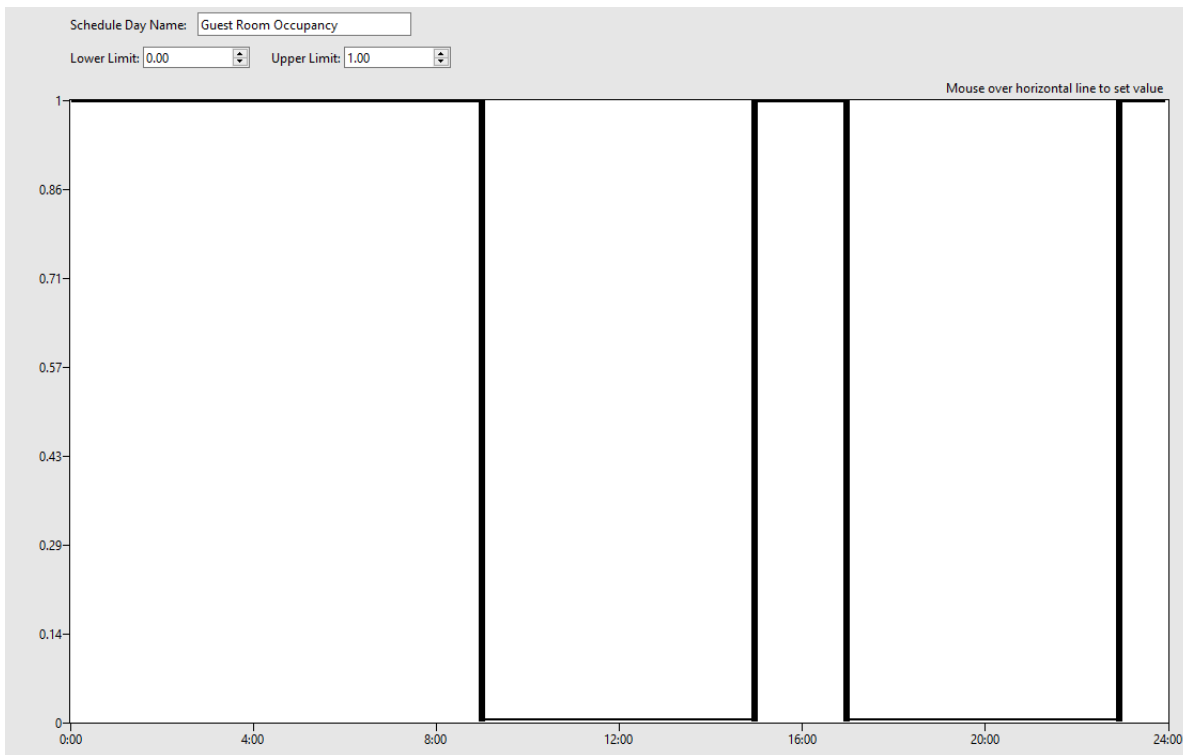
Πίνακας 7.1: Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας εξεταζόμενου κτηρίου.

Χρήση χώρου	Ώρες λειτουργίας	Ημέρες λειτουργίας ανά εβδομάδα	Περίοδος λειτουργίας σε μήνες
Διάδρομος	24	7	12
Υπνοδωμάτιο	12	7	12
Κουζίνα	12	7	12
Σαλόνι	24	7	12

Χρήση χώρου	Ώρες λειτουργίας	Ημέρες λειτουργίας ανά εβδομάδα	Περίοδος λειτουργίας σε μήνες
Γραφείο	10	7	12
Κοινόχρηστο WC	24	7	12
Εστιατόριο	12	7	12
Αποθήκη	3	7	12

Πηγή: [6]

Αντίστοιχα προκύπτουν τα χρονοδιαγράμματα για την πληρότητα των χώρων (Number of People - Occupancy). Για παράδειγμα, η πληρότητα των υπνοδωματίων καθόλη τη διάρκεια της ημέρας είναι αυτή που φαίνεται στην *Εικόνα 7.6*.



Εικόνα 7.6: Χρονοδιάγραμμα πληρότητας υπνοδωματίων.

Σε αυτό φαίνεται πως οι χρήστες του χώρου δεν παραμένουν στο χώρο καθόλη τη διάρκεια της ημέρας, παρά τη λειτουργία αυτού επί 24 ώρες, αλλά μόνο κάποιες συγκεκριμένες ώρες, κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας και κάποιες ώρες το απόγευμα. Αντίστοιχα δομήθηκαν και τα χρονοδιαγράμματα πληρότητας των υπόλοιπων χώρων.

Η εκλυόμενη θερμότητα χρηστών (People Activity) ανά χρήση χώρου σε W/άτομο φαίνεται στον Πίνακα 7.2, σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017.

Πίνακας 7.2: Εκλυόμενη θερμική ισχύς χρηστών (W/άτομο) ανά χρήση χώρου.

Χρήση χώρου	Θερμική ισχύς ανά άτομο (W/άτομο)
Διάδρομος	80
Υπνοδωμάτιο	60
Κουζίνα	75
Σαλόνι	80
Γραφείο	80
Κοινόχρηστο WC	80
Εστιατόριο	75
Αποθήκη	80

Πηγή: [6]

Οι ετήσιες ώρες λειτουργίας του φωτισμού (Lighting) ανά χρήση χώρου φαίνονται στον Πίνακα 7.3, σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017.

Πίνακας 7.3: Ετήσιες ώρες, ημέρας, νύκτας, και συνολικής λειτουργίας του φωτισμού ανά χρήση χώρου.

Χρήση χώρου	Ώρες λειτουργίας ημέρας (T_D)	Ώρες λειτουργίας νύκτας (T_N)	Σύνολο ωρών ($T_T=T_D+T_N$)
Διάδρομος	3000	2000	5000
Υπνοδωμάτιο	1456	2912	4368
Κουζίνα	1250	1250	5000
Σαλόνι	3000	2000	5000
Γραφείο	2250	250	2500
Κοινόχρηστο WC	3000	2000	5000
Εστιατόριο	1250	1250	5000
Αποθήκη	3000	2000	5000

Πηγή: [6]

Οι ώρες λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών (Electric Equipment) ανά ημέρα, ανά χρήση χώρου φαίνονται στον Πίνακα 7.4, σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017.

Πίνακας 7.4: Ημερήσιες ώρες λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών ανά χρήση χώρου.

Χρήση χώρου	Ώρες λειτουργίας/ημέρα
Διάδρομος	12
Υπνοδωμάτιο	12
Κουζίνα	12
Σαλόνι	12
Γραφείο	12
Κοινόχρηστο WC	0
Εστιατόριο	12
Αποθήκη	0

Πηγή: [6]

Ορίζεται επίσης το χρονοδιάγραμμα Θερμοκρασίας Νερού Δικτύου όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.5, σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017.

Πίνακας 7.5: Θερμοκρασία νερού δικτύου ανά μήνα στην κλιματική ζώνη Β'.

Μήνας	Θερμοκρασία Νερού Δικτύου (°C)
Ιανουάριος	10,4
Φεβρουάριος	10,1
Μάρτιος	11,7
Απρίλιος	14,8
Μάιος	18,9
Ιούνιος	23,1
Ιούλιος	25,6
Αύγουστος	25,8
Σεπτέμβριος	23,5
Οκτώβριος	19,7
Νοέμβριος	15,5
Δεκέμβριος	12,2

Πηγή: [6]

Τέλος, εισάγεται η θερμοκρασία που ορίζουν οι θερμοστάτες για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο. Για τη ζώνη Β' η περίοδος θέρμανσης είναι από την 1η Νοεμβρίου μέχρι και τις 15

Απριλίου και η περίοδος ψύξης από τις 15 Μαΐου μέχρι και τις 15 Σεπτεμβρίου. Ορίζεται σε όλους τους χώρους 20°C για τη χειμερινή περίοδο και το σημείο ρύθμισης θέρμανσης (heating setpoint) και 26°C για τη θερινή περίοδο και το σημείο ρύθμισης ψύξης (cooling setpoint).

7.3 Κατασκευές (Constructions)

Η συγκεκριμένη καρτέλα αφορά όλα τα μέρη του κτηριακού κελύφους και τα δομικά υλικά κατασκευής τους. Είναι ανάγκη να γίνει προσεκτική επιλογή αυτών, με σκοπό την ελαχιστοποίηση των απαιτούμενων ψυκτικών και θερμικών φορτίων. Από την ΤΟΤΕΕ 20701-2/2021, που συνοδεύει τον Κ.Εν.Α.Κ., ορίζονται οι βασικές παράμετροι που απαιτούνται για τους υπολογισμούς και αφορούν κυρίως στις θερμοφυσικές ιδιότητες των δομικών υλικών και στοιχείων (θερμοπερατότητα, θερμογέφυρες, θερμοχωρητικότητα κ.ά.), στη σκίαση και στον αερισμό του κτηρίου.

7.3.1 Θερμομονωτικό υλικό και τοποθέτηση

Βασικό στάδιο για την κατασκευή του κτηρίου και τη θερμομονωτική του επάρκεια αποτελεί η επιλογή του κατάλληλου θερμομονωτικού υλικού. Με βάση τη σχετική αναφορά στα μονωτικά υλικά σε προηγούμενη ενότητα, τη χρήση τους και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του καθενός, θα επιλεγεί η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες για τη θερμική μόνωση του εξεταζόμενου κτηρίου. Το συγκεκριμένο υλικό είναι κατάλληλο τόσο για μονώσεις εξωτερικής τοιχοποιίας όσο και δωματίων, λόγω της καλής αντοχής του σε συμπίεση και της υψηλής φέρουσας ικανότητας, ενώ το εύρος αντοχής σε θερμοκρασίες είναι ικανοποιητικό για την περιοχή στην οποία τοποθετείται.

Η εξηλασμένη πολυστερίνη που επιλέγεται έχει τα εξής χαρακτηριστικά, σύμφωνα με τον κατασκευαστή:

- Πυκνότητα υλικού: $\rho=30 \text{ kg/m}^3$
- Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας: $\lambda=0,033 \text{ W/(mK)}$

Επιπλέον, επιλέγεται η τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης από την εξωτερική πλευρά της τοιχοποιίας. Το σύνολο της μάζας της τοιχοποιίας βρίσκεται άρα εσωτερικά της θερμομονωτικής στρώσης και καλύπτεται εξωτερικά από μικρού πάχους ασβεστοκονίαμα. Η μέθοδος αυτή είναι που προτιμάται κατά το πλείστον στις νεόκτιστες κατασκευές, κυρίως λόγω του ότι η εξωτερική θερμομόνωση εκμεταλλεύεται τη θερμοχωρητικότητα της τοιχοποιίας, διατηρεί υψηλά τη θερμοκρασία ακόμα και μετά τη διακοπή λειτουργίας των θερμαντικών σωμάτων, μειώνει στο ελάχιστο την πιθανότητα δημιουργίας θερμογεφυρών κ.ά. Παρόλα αυτά, καθυστερεί την αρχική θέρμανση του χώρου και δημιουργεί δυσκολίες στην περίπλοκη αρχιτεκτονική σχεδίαση.

Όσον αφορά το δώμα, επιλέγεται τύπος συμβατικού δώματος, στο οποίο τοποθετείται στεγανοποιητική στρώση πάνω από τη θερμομονωτική, ώστε να προστατεύεται η

τελευταία από την προσβολή της βροχής. Η στεγανοποιητική στρώση που επιλέγεται είναι φύλλο πολυαιθυλενίου.

7.3.2 Διαδικασία υπολογισμού θερμομονωτικής επάρκειας

Για το κάθε κτήριο που κατασκευάζεται ορίζονται οι ελάχιστες απαιτήσεις από τον Κ.Εν.Α.Κ. προκειμένου να επιτυγχάνεται θερμομονωτική επάρκεια. Αυτές περιγράφουν ότι ο συντελεστής θερμοπερατότητας U (σε W/m^2K) των δομικών στοιχείων δεν πρέπει να υπερβαίνει τις τιμές του πίνακα 3.3α., όπως ορίζονται στο άρθρο 8 του Κ.Εν.Α.Κ., ενώ θα πρέπει να υπολογίζεται και ο μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας U_m του κτηρίου, ο οποίος δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τις τιμές του πίνακα 3.3β. Ειδικότερα, η μεθοδολογία ελέγχου της θερμομονωτικής επάρκειας είναι η εξής:

- Στο πρώτο στάδιο, ελέγχεται η θερμομονωτική επάρκεια των επιμέρους δομικών στοιχείων του κτηρίου. Θα πρέπει η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας του κάθε δομικού στοιχείου ($U_{\text{εξεταζ.}}$) να μην υπερβαίνει την τιμή του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή θερμοπερατότητας (U_{max}) που ορίζει ο κανονισμός ανά κλιματική ζώνη για κάθε κατηγορία δομικών στοιχείων για νέο ή υφιστάμενο κτήριο. Δηλαδή θα πρέπει:

$$U_{\text{εξεταζ.}} \leq U_{\text{max}}$$

- Στο δεύτερο στάδιο, ελέγχεται η θερμομονωτική επάρκεια όλου του κτηρίου. Θα πρέπει η μέση τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας του κτηρίου (U_m) να μην υπερβαίνει τα όρια που θέτει ο κανονισμός για κάθε κτήριο ($U_{m,\text{max}}$), ανάλογα με την εκάστοτε κλιματική ζώνη του ελλαδικού χώρου. Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας ($U_{m,\text{max}}$) υπολογίζεται λαμβανομένου υπόψη του λόγου του συνόλου των εξωτερικών επιφανειών του κτηρίου (κατακόρυφων και οριζόντιων, είτε αυτές έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα, είτε με μη θερμαινόμενο χώρο, είτε με έδαφος) προς το συνολικό όγκο, που αυτές οι επιφάνειες περικλείουν (A/V). Δηλαδή θα πρέπει:

$$U_m \leq U_{m,\text{max}}$$

Αρχικά, υπολογίζονται ως προς τη θερμομονωτική τους επάρκεια όλα τα αδιαφανή δομικά στοιχεία, δηλαδή ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κάθε δομικού στοιχείου, ο οποίος ορίζεται ως:

$$U = \frac{1}{R_{o\lambda}} \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

Ως $R_{o\lambda}$ ορίζεται η συνολική θερμική αντίσταση που προβάλλει ένα δομικό στοιχείο και είναι το άθροισμα των αντιστάσεων των επιμέρους στρώσεων και των αντιστάσεων του στρώματος αέρα εκατέρωθεν των όψεών του κατά την εξίσωση:

$$R_{o\lambda} = R_i + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_a \quad \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

όπου: $R_{o\lambda}$ [$m^2 \cdot K/W$] η συνολική αντίσταση που προβάλλει στη ροή θερμότητας το δομικό στοιχείο,

n [–] το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου,

R_n [$m^2 \cdot K/W$] η θερμική αντίσταση που προβάλλει στη μετάδοση θερμότητας η n -οστή ομογενής στρώση,

R_i [$m^2 \cdot K/W$] η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο,

R_a [$m^2 \cdot K/W$] η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, η αντίσταση που προβάλλει μία ομογενής στρώση ενός δομικού στοιχείου στη ροή θερμότητας υπολογίζεται από το γενικό τύπο:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

όπου: R [$m^2 \cdot K/W$] η αντίσταση που προβάλλει στη ροή θερμότητας η στρώση,

d [m] το πάχος της στρώσης,

λ [$W/(m \cdot K)$] ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της στρώσης.

Στον Πίνακα 7.6 φαίνονται οι τιμές συντελεστών και αντιστάσεων θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο (R_i) και από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον (R_a), ανά δομικό στοιχείο, που θα χρησιμοποιηθούν και στον υπολογισμό των συντελεστών θερμοπερατότητας των στρώσεων των δομικών υλικών και του κτηρίου.

Πίνακας 7.6: Τιμές αντιστάσεων θερμικής μετάβασης (σε m^2K/W) ανά δομικό στοιχείο και αντίστοιχες τιμές συντελεστών θερμικής μετάβασης $1/R_i$ και $1/R_a$ (σε W/m^2K).

Α/Α	Δομικό στοιχείο	Συντελεστές θερμικής μετάβασης		Αντιστάσεις θερμικής μετάβασης	
		$1/R_i$	$1/R_a$	R_i	R_a
		$W/(m^2 \cdot K)$	$W/(m^2 \cdot K)$	$(m^2 \cdot K)/W$	$(m^2 \cdot K)/W$
1	Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	7,70	25,00	0,13	0,04
2	Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	7,70	7,70	0,13	0,13
3	Τοίχος σε επαφή με έδαφος	7,70	–	0,13	0,00
4	Στέγη, δώμα (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	25,00	0,10	0,04
5	Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	10,00	0,10	0,10
6	Οροφή σε επαφή με το έδαφος	10,00	–	0,10	0,00
7	Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (πυλωτή) (κατερχόμενη ροή θερμότητας)	5,88	25,00	0,17	0,04
8	Δάπεδο επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή θερμότητας)	5,88	5,88	0,17	0,17
9	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	5,88	–	0,17	0,00

Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2021

Τέλος, το σύνολο των θερμικών αντιστάσεων όλων των στρώσεων ενός δομικού στοιχείου, που αποτελείται από ομογενείς στρώσεις υλικών, ορίζει την αντίσταση θερμοδιαφυγής (R_L) και προκύπτει από το άθροισμα των επί μέρους αντιστάσεων της κάθε στρώσης κατά τη γενικευμένη σχέση:

$$R_L = \sum_{j=1}^v \frac{d_j}{\lambda_j} = \sum_{j=1}^v R_j \quad \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

Στις παρακάτω υποενότητες παρουσιάζονται οι υπολογισμοί για το συντελεστή θερμοπερατότητας για κάθε μέρος του κτηριακού κελύφους, μαζί με τις στρώσεις των δομικών υλικών για κάθε ένα από αυτά. Οι απαιτήσεις υπολογίζονται με βάση τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων στην κλιματική ζώνη Β' σε περίπτωση ανέγερσης νέου κτηρίου. Αυτές φαίνονται στον Πίνακα 7.7.

Πίνακας 7.7: Τιμές μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή θερμοπερατότητας U [W/m^2K] για τις κλιματικές ζώνες της ελληνικής επικράτειας.

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [$W/(m^2 \cdot K)$]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,55	0,45	0,40	0,35
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20
Γυάλινη πρόσοψη κτιρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,10	1,90	1,75	1,70
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,00	4,60	4,30	4,00
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,00	4,60	4,30	4,00
Γυάλινη πρόσοψη κτιρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	3,80	3,40	3,00	2,80

Πηγή: [6]

7.3.3 Υπολογισμός θερμομονωτικής επάρκειας αδιαφανών στοιχείων

Εξωτερικός τοίχος

Στον Πίνακα 7.8 φαίνονται όλα τα στοιχεία του υπολογισμού του συντελεστή θερμοπερατότητας U του εξωτερικού τοίχου του εξεταζόμενου κτηρίου.

Πίνακας 7.8: Στοιχεία για τον υπολογισμό της θερμομονωτικής επάρκειας του εξωτερικού τοίχου του εξεταζόμενου κτηρίου.

Στρώσεις δομικού στοιχείου	d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	Cp [J/kgK]	R [m ² K/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	1800	0,87	1000	0,023
Εξηλασμένη Πολυστερίνη	0,07	30	0,033	1450	2,121
Τούβλο	0,09	900	0,58	1000	0,155
Τούβλο	0,09	900	0,58	1000	0,155
Ασβεστοκονίαμα	0,02	1800	0,87	1000	0,023

Για τον εξωτερικό τοίχο προκύπτει ότι $U_{\text{εξεταζ.}} = 0,378 \frac{W}{m^2K} < U_{\text{max}} = 0,45 \frac{W}{m^2K}$, ο οποίος είναι ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας για εξωτερικό τοίχο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα.

Εξωτερικό Δάπεδο (Έδαφος)

Στον Πίνακα 7.9 φαίνονται όλα τα στοιχεία του υπολογισμού του συντελεστή θερμοπερατότητας U του εξωτερικού δαπέδου σε επαφή με το έδαφος του εξεταζόμενου κτηρίου.

Πίνακας 7.9: Στοιχεία για τον υπολογισμό της θερμομονωτικής επάρκειας του εξωτερικού δαπέδου του εξεταζόμενου κτηρίου.

Στρώσεις δομικού στοιχείου	d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	Cp [J/kgK]	R [m ² K/W]
Εξηλασμένη Πολυστερίνη	0,035	30	0,033	1450	1,06
Σκυρόδεμα	0,2	2400	2,5	1000	0,08

Επομένως $U_{\text{εξεταζ.}} = 0,763 \frac{W}{m^2K} < U_{\text{max}} = 0,80 \frac{W}{m^2K}$, ο οποίος είναι ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας για δάπεδο σε επαφή με το έδαφος.

Εξωτερική Οροφή (Δώμα)

Στον Πίνακα 7.10 φαίνονται όλα τα στοιχεία του υπολογισμού του συντελεστή θερμοπερατότητας U της εξωτερικής οροφής (δώμα) του εξεταζόμενου κτηρίου.

Πίνακας 7.10: Στοιχεία για τον υπολογισμό της θερμομονωτικής επάρκειας της εξωτερικής οροφής του εξεταζόμενου κτηρίου.

Στρώσεις δομικού στοιχείου	d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	Cp [J/kgK]	R [m ² K/W]
Πλάκες Πεζοδρομίου	0,02	2100	1,5	1000	0,013
Τσιμεντοκονίαμα	0,02	2000	1,4	1100	0,014

Στρώσεις δομικού στοιχείου	d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	Cp [J/kgK]	R [m ² K/W]
Γεωύφασμα	0,001	100	0,04	1030	0,025
Διπλό Ασφαλτόπανο (στεγάνωση)	0,007	1100	0,23	1000	0,030
Γαρμπιλόδεμα και εξομ. στρώση	0,08	1700	0,81	1000	0,099
Φύλλο πολυαιθανίου	0,0005	980	0,5	1800	0,001
Εξηλασμένη πολυστερίνη	0,07	30	0,033	1450	2,121
Φύλλο πολυαιθανίου	0,0005	980	0,5	1800	0,001
Οπλισμένο Σκυρόδεμα	0,15	2400	2,5	1000	0,060
Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	0,015	1800	0,87	1000	0,017

Επομένως $U_{\text{εξεταζ.}} = 0,396 \frac{W}{m^2K} < U_{\text{max}} = 0,40 \frac{W}{m^2K}$, ο οποίος είναι ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας για εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή).

Εξωτερική πόρτα

Στον Πίνακα 7.11 φαίνονται όλα τα στοιχεία του υπολογισμού του συντελεστή θερμοπερατότητας U της εξωτερικής πόρτας του εξεταζόμενου κτηρίου.

Πίνακας 7.11: Στοιχεία για τον υπολογισμό της θερμομονωτικής επάρκειας της εξωτερικής πόρτας του εξεταζόμενου κτηρίου.

Στρώσεις δομικού στοιχείου	d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	Cp [J/kgK]	R [m ² K/W]
Αλουμίνιο Κράμα Αλουμινίου	0,03	2800	160		0,0001875
Εξηλασμένη Πολυστερίνη	0,01	30	0.033	1450	0,3030303
Αλουμίνιο Κράμα Αλουμινίου	0,03	2800	160		0,0001875

Επομένως $U_{\text{εξεταζ.}} = 2,112 \frac{W}{m^2K} < U_{\text{max}} = 2,60 \frac{W}{m^2K}$, ο οποίος είναι ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας για κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα.

Τα παραπάνω δομικά στοιχεία είναι τα αδιαφανή δομικά στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας του εξεταζόμενου κτηρίου. Οι υπόλοιπες αδιαφανείς επιφάνειες που δεν έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα, με το έδαφος ή με μη θερμαινόμενους χώρους δεν υπεισέρχονται στον υπολογισμό, αλλά παρουσιάζονται τα δομικά τους υλικά μαζί με τα χαρακτηριστικά τους παρακάτω.

Εσωτερικός τοίχος

Στον Πίνακα 7.12 φαίνονται οι στρώσεις δομικών υλικών του εσωτερικού τοίχου του εξεταζόμενου κτηρίου και χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 7.12: Στρώσεις δομικών υλικών του εσωτερικού τοίχου του εξεταζόμενου κτηρίου και χαρακτηριστικά τους.

Στρώσεις δομικού στοιχείου	d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	Cp [J/kgK]	R [m ² K/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	1800	0,87	1000	0,02298851
Τούβλο	0,09	900	0,58	1000	0,15517241
Ασβεστοκονίαμα	0,02	1800	0,87	1000	0,02298851

Εσωτερικό δάπεδο

Στον Πίνακα 7.13 φαίνονται οι στρώσεις δομικών υλικών του εσωτερικού δαπέδου του εξεταζόμενου κτηρίου και χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 7.13: Στρώσεις δομικών υλικών του εσωτερικού δαπέδου του εξεταζόμενου κτηρίου και χαρακτηριστικά τους.

Στρώσεις δομικού στοιχείου	d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	Cp [J/kgK]	R [m ² K/W]
Σκυρόδεμα	0,2	2400	2,5	1000	0,08

7.3.4 Υπολογισμός θερμομονωτικής επάρκειας διαφανών στοιχείων

Ο υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας ενός κουφώματος σε κατακόρυφη θέση με διπλό υαλοπίνακα επί ενιαίου πλαισίου γίνεται με την εξής σχέση:

$$U_w = \frac{U_f \cdot A_f + U_g \cdot A_g + \Psi_g \cdot l_g}{A_f + A_g} \quad \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

όπου U_w [W/(m²·K)] ο συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κουφώματος,

U_f [W/(m²·K)] ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πλαισίου του κουφώματος,

U_g [W/(m²·K)] ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος (μονού, διπλού ή περισσότερων φύλλων),

A_f [m²] το εμβαδό επιφάνειας του πλαισίου του κουφώματος,

A_g [m²] το εμβαδό επιφάνειας του υαλοπίνακα του κουφώματος,

l_g [m] το μήκος της θερμογέφυρας του υαλοπίνακα του κουφώματος (το μήκος συναρμογής πλαισίου - υαλοπίνακα, δηλαδή η περίμετρος του υαλοπίνακα),

Ψ_g [W/(m·K)] ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος.

Οι 6 υαλοπίνακες του εξεταζόμενου κτηρίου είναι διπλής υάλωσης, με επίστρωση χαμηλής εκπομπής ενός φύλλου και συντελεστή εκπομπής $\leq 0,10$. Έχουν πάχος 16mm, εκ των οποίων 4mm είναι η πρώτη υάλωση, 8mm το διάκενο αέρα και 4mm η δεύτερη υάλωση. Το πλαίσιο των υαλοπινάκων είναι μεταλλικό με θερμοδιακοπή. Άρα από τους Πίνακες 8, 9, 10^α της ΤΟΤΕΕ 20701-2/2021 έχουμε αντίστοιχα:

- Συντελεστής θερμοπερατότητας υαλοπίνακα: $U_g = 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου: $U_f = 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Γραμμική θερμοπερατότητα στη συναρμογή πλαισίου – υαλοπίνακα: $\Psi_g = 0,08 \text{ W/mK}$

Όλοι οι υαλοπίνακες έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα, άρα ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας είναι $U_{\max} = 2,60 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Με βάση τα παραπάνω, οι υπολογισμοί για τους συντελεστές θερμοπερατότητας των κουφωμάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.14.

Πίνακας 7.14: Υπολογισμός θερμομονωτικής επάρκειας υαλοπινάκων εξεταζόμενου κτηρίου.

Τοποθεσία υαλοπινάκων	Διαστάσεις [m]	A_f [m ²]	A_g [m ²]	l_g [m]	U_w [W/m ² K]
Κουζίνα, Κοινόχρηστα WC	0,80x0,80 ($d_f=0,075$)	0,2175	0,4225	2,6	2,525
Γραφεία, Σαλόνι	0,80x1,10 ($d_f=0,075$)	0,2625	0,6175	3,2	2,491
Διάδρομος 1ου ορόφου	1,50x1,70 ($d_f=0,075$, $d_{div}=0,1$)	0,6125	1,9375	5,6	2,376
Διάδρομος 2ου ορόφου	1,50x0,80 ($d_f=0,075$, $d_{div}=0,1$)	0,3875	0,8125	3,8	2,453
Υπνοδωμάτια	1,20x2,20 ($d_f=0,17$)	1,0404	1,5996	5,44	2,365
Εστιατόριο	4,00x2,20 ($d_f=0$)	0	8.8	12,4	2,313

Όλα τα κουφώματα με υαλοπίνακες ικανοποιούν τη συνθήκη $U_w < U_{\max}$.

7.3.5 Υπολογισμός της θερμομονωτικής επάρκειας όλου του κτηρίου

Η θερμομονωτική επάρκεια όλου του εξεταζόμενου κτηρίου ελέγχεται μέσα από τον υπολογισμό του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας όλου του κτηρίου (U_m) προκύπτει από το συνυπολογισμό των συντελεστών όλων των επί μέρους δομικών στοιχείων του

περιβλήματος του θερμαινόμενου χώρου του κτηρίου κατά την ποσοστιαία αναλογία των αντίστοιχων εμβαδών τους. Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n U_j A_j b_j + \sum_{i=1}^v \Psi_i l_i b_{\theta\gamma}}{\sum_{j=1}^n A_j} \quad \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

όπου U_m [$W/(m^2 \cdot K)$] ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κελύφους όλου του κτηρίου,

n [–] το πλήθος των επί μέρους δομικών στοιχείων στο κέλυφος του κτηρίου,

v [–] το πλήθος των θερμογεφυρών που αναπτύσσονται στα εξωτερικά ή εσωτερικά όρια κάθε επιφάνειας A_j του κελύφους,

A_j [m^2] το εμβαδό επιφάνειας που καταλαμβάνει το κάθε δομικό στοιχείο στη συνολική επιφάνεια του κελύφους του κτηρίου,

U_i [$W/(m^2 \cdot K)$] ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κάθε δομικού στοιχείου j του κελύφους του κτηρίου,

L_i [m] το συνολικό μήκος του κάθε τύπου θερμογέφυρας που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτηρίου,

Ψ_i [$W/(m \cdot K)$] ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του κάθε τύπου θερμογέφυρας που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτηρίου,

b_j [–] μειωτικός συντελεστής (όπως αναλύεται στην επόμενη ενότητα για κάθε τύπο δομικού στοιχείου),

$b_{\theta\gamma}$ [–] μειωτικός συντελεστής του συντελεστή γραμμικής θερμοπερατότητας (Ψ) σε κάθε θέση θερμογέφυρας.

Οι θερμογέφυρες είναι οι θέσεις στο κέλυφος του κτηρίου στις οποίες εμφανίζεται σε σχέση με τις γειτονικές τους διαφοροποίηση στη θερμική αντίσταση των δομικών στοιχείων είτε λόγω ασυνέχειας της στρώσης θερμομόνωσης είτε λόγω διαφοροποίησης του υλικού κατά μήκος του δομικού στοιχείου είτε λόγω αλλαγής της γεωμετρίας της διατομής. Με την εφαρμογή της εξωτερικής θερμομόνωσης οι θερμογέφυρες ελαχιστοποιούνται, οπότε στην παρούσα μελέτη δεν λαμβάνονται υπόψη. Στον Πίνακα 7.15 φαίνονται οι υπολογισμοί των επιμέρους εμβαδών όλων των δομικών στοιχείων.

Πίνακας 7.15: Υπολογισμός εμβαδών του εξεταζόμενου κτηρίου

Διαστάσεις	Anet [m^2]
Πλευρά Α (Βόρεια)	161,553
Πλευρά Β (Δυτική)	117.607

Διαστάσεις	Anet [m ²]
Πλευρά Γ (Νότια)	149,293
Πλευρά Δ (Ανατολική)	145,800
Οροφή	305,949
Πάτωμα σε επαφή με έδαφος	305,949
Παράθυρα (3) 0,80x0,80	1,920
Παράθυρα (6) 0,80x1,10	5,280
Παράθυρο 1,50x1,70	2,550
Παράθυρο 1,50x0,80	1,200
Παράθυρα (16) 1,20x2,20	42,24
Παράθυρο 4,00x2,20	8,800
Πόρτα	3,222

Επομένως προκύπτει ότι ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτηρίου είναι:

$$U_m = 0,6487 \frac{W}{m^2 K}.$$

Το αποτέλεσμα αυτό θα πρέπει να συγκριθεί με τον μέγιστο επιτρεπόμενο συντελεστή θερμοπερατότητας $U_{m,max}$, ο οποίος προκύπτει με βάση τον Πίνακα 7.16 στην περίπτωση ανέγερσης νέου κτηρίου.

Πίνακας 7.16: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U_m (σε W/m²K) για διάφορους λόγους A/V

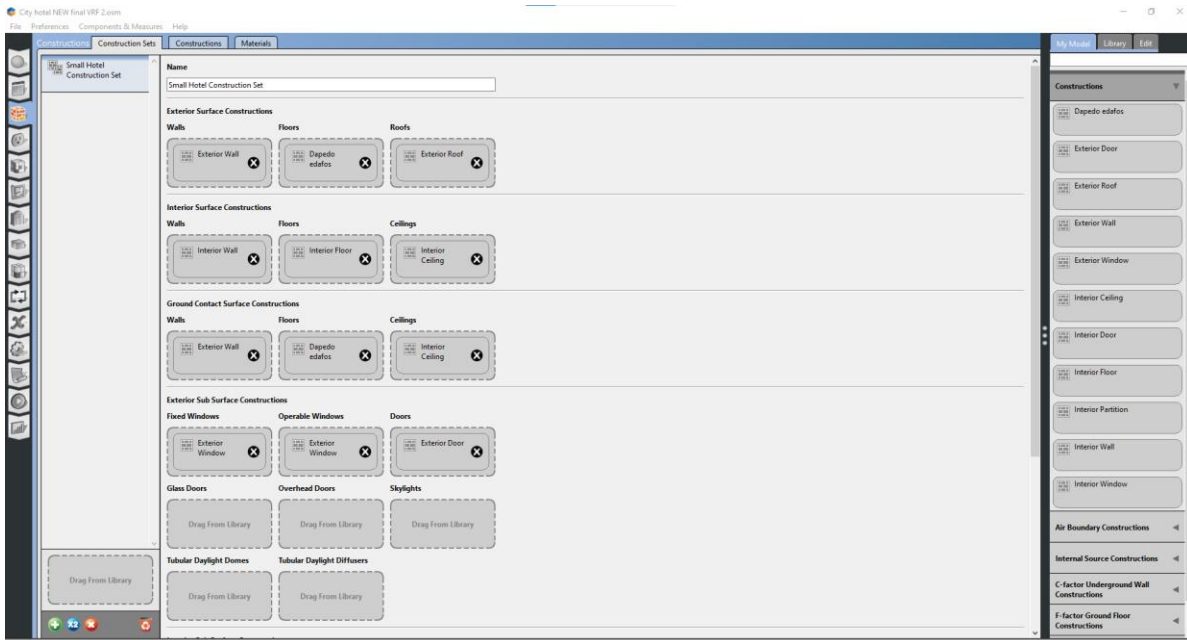
Λόγος A/V [m ⁻¹]	Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U_m [W/(m ² ·K)]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
≤ 0,2	1,25	1,13	1,04	0,95
0,3	1,17	1,05	0,96	0,88
0,4	1,10	0,99	0,91	0,83
0,5	1,04	0,93	0,86	0,78
0,6	0,98	0,89	0,81	0,73
0,7	0,92	0,83	0,76	0,68
0,8	0,86	0,77	0,71	0,63
0,9	0,80	0,73	0,65	0,59
≥ 1,0	0,77	0,69	0,62	0,55

Πηγή: [6]

Στο εξεταζόμενο κτήριο έχουμε ότι ο λόγος A/V= 0,11 m⁻¹, άρα $U_{m,max}= 1,13$ W/m²K. Επομένως πληρείται το κριτήριο, καθώς $U_m=0,6487$ W/m²K < $U_{m,max}= 1,13$ W/m²K.

7.3.6 Δημιουργία κατασκευών στο Openstudio

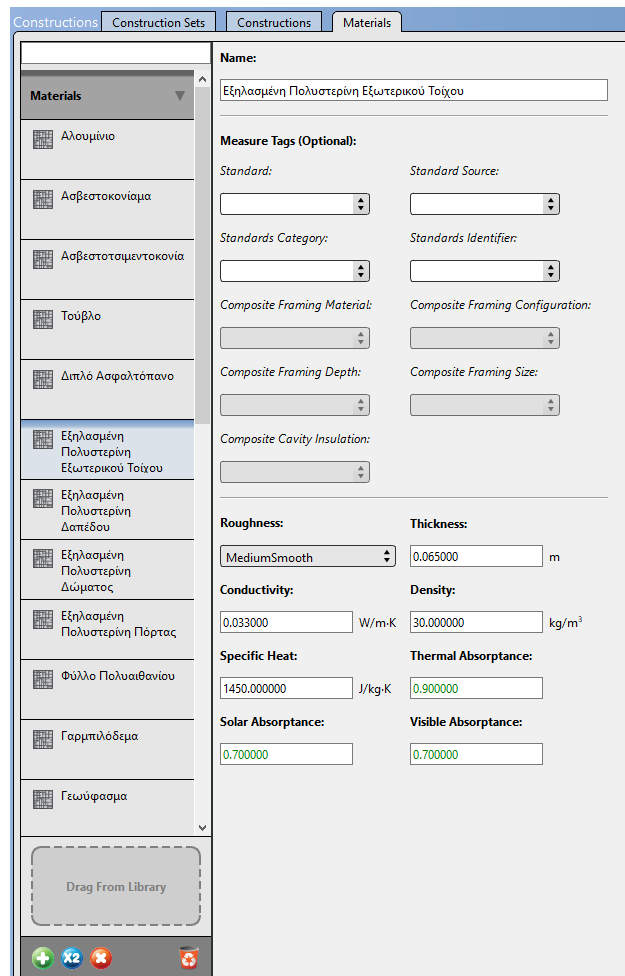
Το γραφικό περιβάλλον της καρτέλας «Κατασκευές» φαίνεται στην *Εικόνα 7.7*.



Εικόνα 7.7: Καρτέλα «Κατασκευές» («Constructions») στο Openstudio.

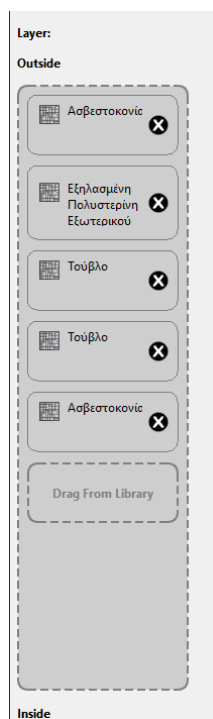
Όπως διακρίνεται, υπάρχουν 3 διαφορετικές υποκαρτέλες, όπου ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει τα δικά του υλικά, κατασκευές και σετ κατασκευών.

Το πρώτο βήμα είναι η δημιουργία των δομικών υλικών που θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή του κτηρίου, στην υποκαρτέλα «Υλικά» («Materials»). Δημιουργώντας ένα υλικό, είναι αναγκαίος ο καθορισμός της πυκνότητας (σε kg/m^3), του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (σε W/mK) και της ειδικής θερμοχωρητικότητας (σε J/kgK). Όλα τα παραπάνω βρίσκονται για ένα πλήθος υλικών από την TOTE 20701-2/2021. Επιπλέον, καθορίζεται το πάχος του υλικού (σε m), ανάλογα με το δομικό στοιχείο στο οποίο θα χρησιμοποιηθεί κάθε φορά. Για παράδειγμα, στην *Εικόνα 7.8* φαίνεται η δημιουργία της εξηλασμένης πολυστερίνης που χρησιμοποιείται στην εξωτερική τοιχοποιία.



Εικόνα 7.8: Δημιουργία του υλικού της εξηλασμένης πολυστερίνης του εξωτερικού τοίχου στο Openstudio.

Στο επόμενο βήμα, ο χρήστης συνεχίζει με τη δημιουργία των κατασκευών, τοποθετώντας τις απαιτούμενες στρώσεις των δομικών υλικών που έχει δημιουργήσει, στην υποκαρτέλα «Κατασκευές» («Constructions»). Για παράδειγμα, στην *Εικόνα 7.9* φαίνεται η κατασκευή του εξωτερικού τοίχου και στην *Εικόνα 7.10* η κατασκευή των υαλοπινάκων.



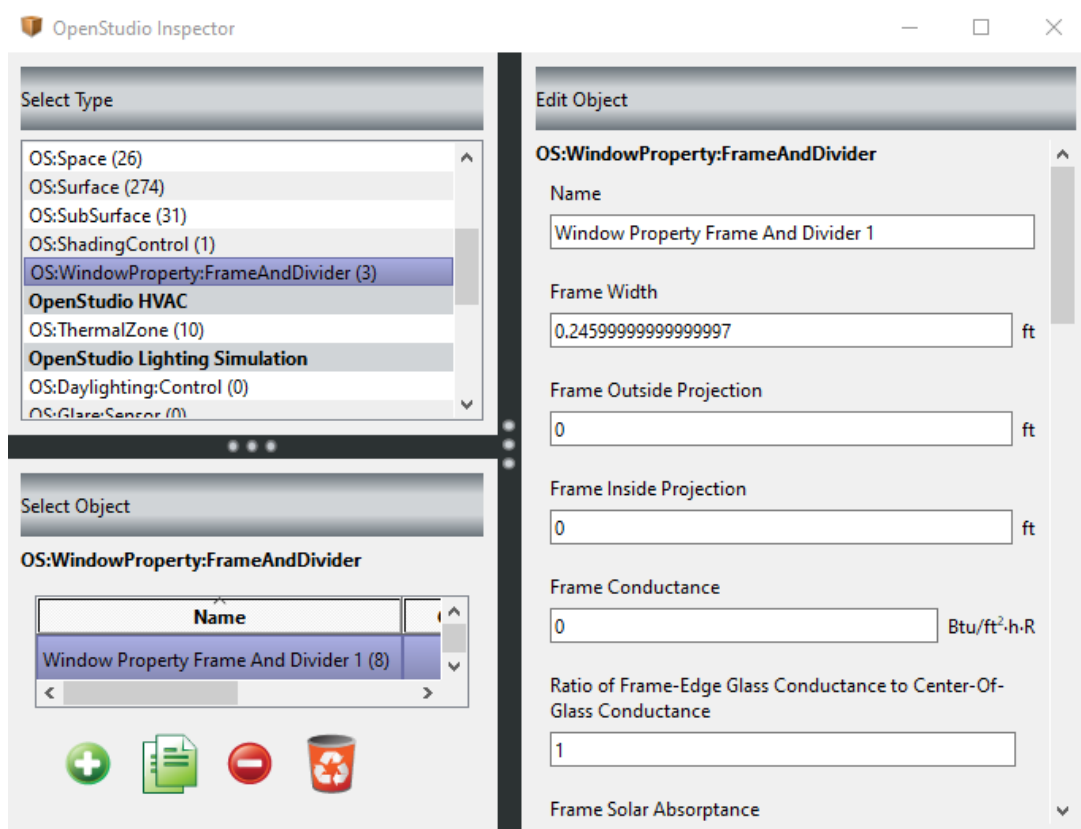
Εικόνα 7.9: Κατασκευή και στρώσεις υλικών εξωτερικού τοίχου στο Openstudio.



Εικόνα 7.10: Κατασκευή και στρώσεις υλικών υαλοπινάκων στο Openstudio.

Στο τελευταίο βήμα, στην καρτέλα «Σετ κατασκευών» («Construction Sets»), ο χρήστης εισάγει την κατασκευή για κάθε δομικό στοιχείο στην αντίστοιχη θέση για ολόκληρη την κατασκευή. Όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 7.7*, για το ίδιο σετ κατασκευών δεν γίνεται να υπάρχουν διαφορετικές κατασκευές για ίδια δομικά στοιχεία.

Τέλος, είναι αναγκαία η εισαγωγή των πλαισίων των κουφωμάτων με υαλοπίνακες καθώς και των καθώς και τα διαχωριστικά αυτών, όπου υπάρχουν. Η διαδικασία αυτή γίνεται με ευκολία μέσα από το λογισμικό Sketchup Pro και το πρόσθετο του Openstudio. Μέσα από την επιλογή Extensions -> Openstudio Userscripts -> Alter or Add Model Elements -> Set Window Property Frame and Divider καθορίζονται όλα τα χαρακτηριστικά, από το παράθυρο που εμφανίζεται όπως φαίνεται στην *Εικόνα 7.11*.



Εικόνα 7.11: Παράθυρο καθορισμού των πλαισίων και διαχωριστικών των κουφωμάτων με υαλοπίνακες στο πρόσθετο Openstudio στο Sketchup Pro.

Επιπλέον, η επεξεργασία των πλαισίων και των διαχωριστών μπορεί να γίνει στο γραφικό περιβάλλον του Openstudio, στην καρτέλα Spaces, στην επιλογή Frame and Divider κάτω από την υποκαρτέλα Subsurfaces.

7.4 Φορτία (Loads)

Στη συγκεκριμένη καρτέλα καθορίζονται τα φορτία του κτηρίου στους διάφορους χώρους, που παίζουν ρόλο στην ενεργειακή προσομοίωση. Στα φορτία αυτά συγκαταλέγονται θερμικά, ηλεκτρικά και εσωτερικά φορτία που προκύπτουν από τους χρήστες, τον εξοπλισμό, το φωτισμό και άλλα στοιχεία. Στο υπό μελέτη κτήριο ορίζονται τα παρακάτω φορτία:

Φορτία ατόμων (People Definitions): ορίζεται ο αριθμός των ατόμων ανά m^2 σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017 για τον εκάστοτε τύπο χώρου, όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.17. Ο συνυπολογισμός της έκλυσης θερμότητας στα φορτία του κτηρίου θα πρέπει γίνεται βάσει συντελεστή ετεροχρονισμού (μέσου συντελεστή παρουσίας χρηστών), μέσω του οποίου αντιστοιχίζεται η πραγματική –κατά μέσο όρο– παρουσία των ατόμων στους χώρους, κατά τη διάρκεια της λειτουργικής ημέρας. Ο συντελεστής αυτός αποτυπώνεται στη δημιουργία των χρονοδιαγραμμάτων πληρότητας των χώρων, που περιγράφηκε στην προηγούμενη υποενότητα.

Πίνακας 7.17: Αριθμός των ατόμων ανά m^2 και ανά χρήση χώρου στο εξεταζόμενο κτήριο.

Χρήση χώρου	Άτομα/ m^2
Διάδρομος	0,25
Υπνοδωμάτιο	0,08
Κουζίνα	0,7
Σαλόνι	0,25
Γραφείο	0,1
Κοινόχρηστο WC	0,25
Εστιατόριο	0,7
Αποθήκη	0,25

Πηγή: [6]

Φορτία φωτισμού (Lights Definitions): Σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017, σε κάθε χώρο πρέπει να παρέχεται ο φωτισμός που εξασφαλίζει στους χρήστες οπτική άνεση, δηλαδή ένα περιβάλλον με την απαιτούμενη ποσότητα και ποιότητα φωτισμού, που επιτρέπει την ευχάριστη διαμονή και την άσκηση προβλεπόμενης δραστηριότητά τους, χωρίς φαινόμενα που να οδηγούν στην οπτική δυσφορία ή/και κόπωση. Ορίζονται έτσι τα W ανά m^2 από τις συσκευές φωτισμού για τον εκάστοτε χώρο και φαίνονται στον Πίνακα 7.18. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τα συγκεκριμένα φορτία προέρχονται από τη μελέτη για το φωτισμό του συγκεκριμένου ξενοδοχείου με λαμπτήρες LED χαμηλής κατανάλωσης.

Πίνακας 7.18: Εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού σε W/m^2 ανά χρήση χώρου.

Χρήση χώρου	W/m^2
Διάδρομος	2,0
Υπνοδωμάτιο	2,5
Κουζίνα	5,8
Σαλόνι	3,4
Γραφείο	4,0
Κοινόχρηστο WC	4,3
Εστιατόριο	3,6
Αποθήκη	8,0

Πηγή: [6]

Φορτία ηλεκτρικού εξοπλισμού (Electric Equipment Definitions): ορίζονται τα W ανά m^2 από τις ηλεκτρικές συσκευές για τον εκάστοτε χώρο, σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017. Ο συνυπολογισμός του εξοπλισμού στα φορτία του κτηρίου γίνεται βάσει του συντελεστή ετεροχρονισμού μέσω του οποίου αντιστοιχίζεται η πραγματική –κατά μέσο όρο– λειτουργία των συσκευών στους χώρους κατά τη διάρκεια της λειτουργικής ημέρας. Στον Πίνακα 7.19 δίνονται η μέση ετεροχρονισμένη ισχύς εξοπλισμού και ο μέσος συντελεστής πραγματικού χρόνου λειτουργίας του κτηρίου και κατά συνέπεια των ηλεκτρικών συσκευών.

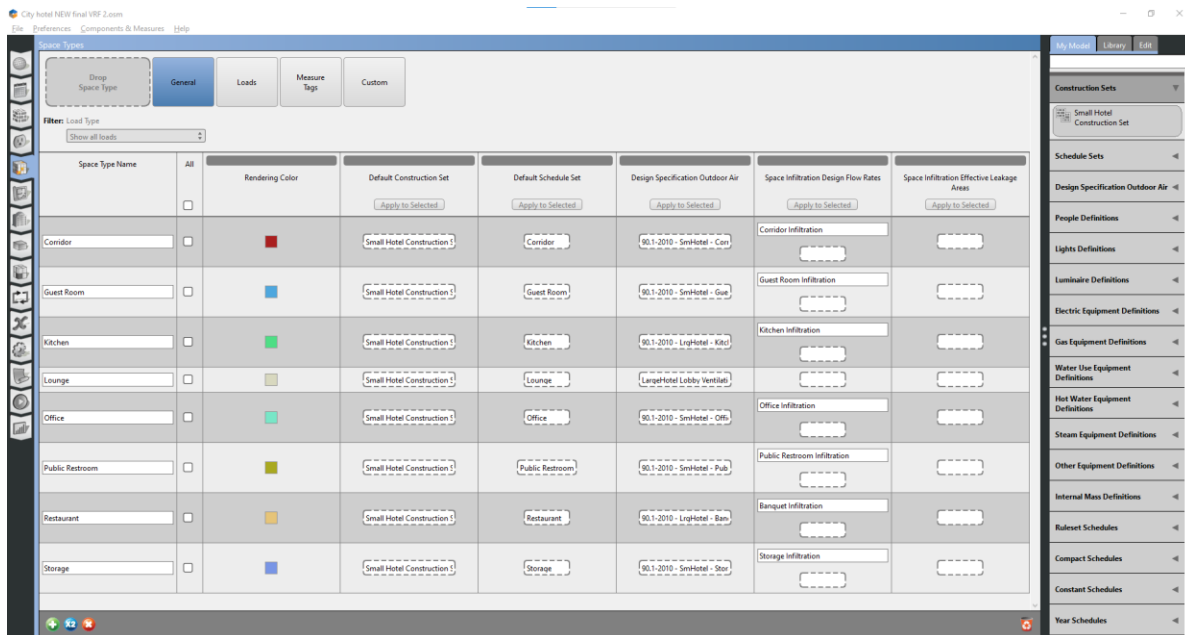
Πίνακας 7.19: Θερμική ισχύς ηλεκτρικών συσκευών/εξοπλισμού ανά χρήση χώρου σε W/m^2 .

Χρήση χώρου	Ετεροχρον. Ισχύς Εξοπλισμού (W/m^2)	Μέσος Συντελεστής Λειτουργίας
Διάδρομος	1,0	1,0
Υπνοδωμάτιο	2,0	0,5
Κουζίνα	10,0	0,5
Σαλόνι	1,0	1,0
Γραφείο	4,5	0,3
Κοινόχρηστο WC	1,0	1,0
Εστιατόριο	10,0	0,5

Πηγή: [6]

7.5 Τύποι Χώρων (Space types)

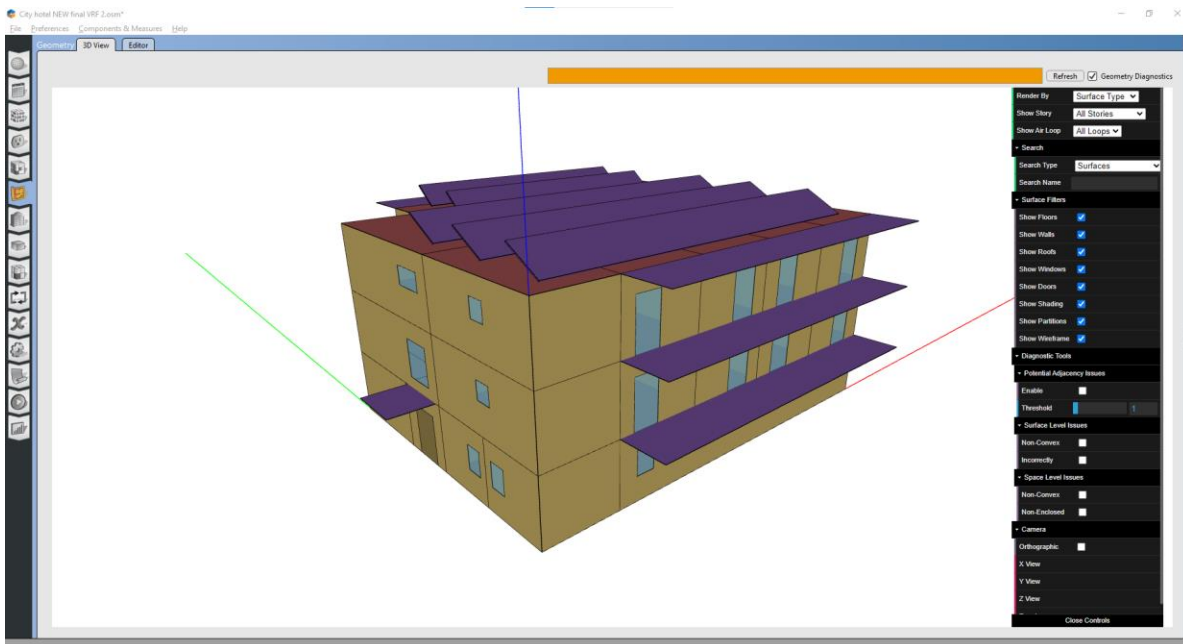
Στη συγκεκριμένη καρτέλα εμφανίζονται όλοι οι τύποι χώρων. Στην περίπτωση του εξεταζόμενου κτηρίου υπάρχουν οι χώροι: Διάδρομος, Υπνοδωμάτιο, Κουζίνα, Σαλόνι, Γραφείο, Κοινόχρηστο WC, Εστιατόριο και Αποθήκη. Ο χρήστης μπορεί να παραμετροποιήσει τον κάθε χώρο, αλλάζοντας στοιχεία όπως το προεπιλεγμένο σετ κατασκευής (Construction Set), το προεπιλεγμένο σετ χρονοδιαγράμματος για τον κάθε χώρο κλπ. στην καρτέλα «General». Επιπλέον, στην καρτέλα «Loads», μπορεί να δει όλα τα φορτία που επιβάλλονται σε κάθε χώρο, να προσθέσει ή να αφαιρέσει φορτία καθώς και να αλλάξει τα χρονοδιαγράμματα που καθορίζουν τη λειτουργία του εκάστοτε χώρου. Το γραφικό περιβάλλον της καρτέλας φαίνεται στην *Εικόνα 7.12*.



Εικόνα 7.12: Καρτέλα «Τύποι Χώρων» («Space Types») στο Openstudio.

7.6 Γεωμετρία (Geometry)

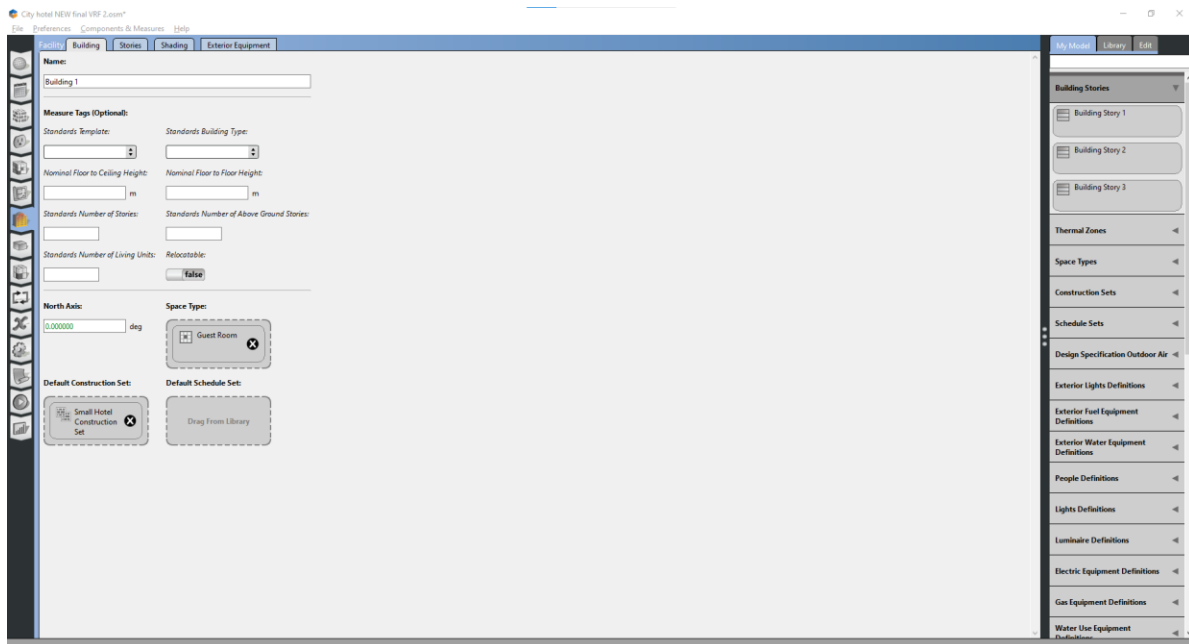
Στη συγκεκριμένη καρτέλα εμφανίζεται σε τρισδιάστατη μορφή το μοντέλο του κτηρίου που έχει εισαχθεί στο λογισμικό. Υπάρχουν αντίστοιχες επιλογές για την εμφάνιση του κτηρίου, όπως αυτές που περιγράφηκαν στο λογισμικό Sketchup Pro. Για παράδειγμα, είναι δυνατή η όψη του κτηρίου ανά επιφάνεια, συντομία συνθήκη, κατασκευή, τύπο χώρου κλπ. Επιπλέον, είναι δυνατή η απόκρυψη στοιχείων του κτηρίου (πόρτες, παράθυρα, όροφοι κλπ.), καθώς και η αναζήτηση στοιχείων με το όνομά τους. Τέλος, είναι δυνατή η εύρεση σφαλμάτων αυτόματα από το λογισμικό, που αφορούν λανθασμένη τοποθέτηση επιφανειών ή χώρων. Το γραφικό περιβάλλον της καρτέλας φαίνεται στην *Εικόνα 7.13*.



Εικόνα 7.13: Καρτέλα «Γεωμετρία» («Geometry») στο Openstudio.

7.7 Εγκατάσταση (Facility)

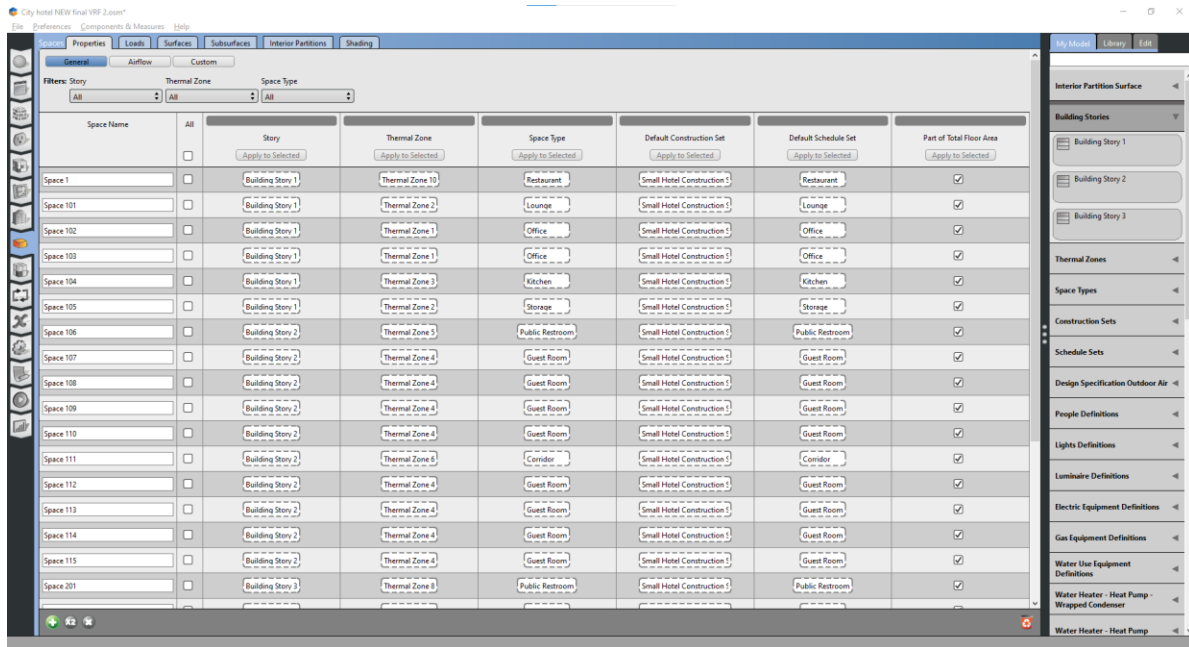
Στην καρτέλα αυτή είναι δυνατή η παραμετροποίηση και ο ορισμός στοιχείων που αφορούν το κτήριο συνολικότερα. Αυτά αφορούν τον καθορισμό της τυποποίησης του κτηρίου, τα ύψη από το έδαφος στην οροφή και από όροφο σε όροφο, τον αριθμό των ορόφων, τον προεπιλεγμένο τύπο κατασκευής, χώρου και χρονοδιαγράμματος. Οι επιλογές αυτές είναι προαιρετικές, όπως φαίνεται και στο γραφικό περιβάλλον της καρτέλας στην Εικόνα 7.14. Τέλος, στην υποκαρτέλα Σκίαση (Shading), εμφανίζονται όλες οι αντιστοιχήσεις των Επιφανειών Σκίασης (Shading Surface) στις Ομάδες Επιφανειών Σκίασης (Shading Surface Group) που έχουν δημιουργηθεί.



Εικόνα 7.14: Καρτέλα «Εγκατάσταση» («Facility») στο Openstudio.

7.8 Χώροι (Spaces)

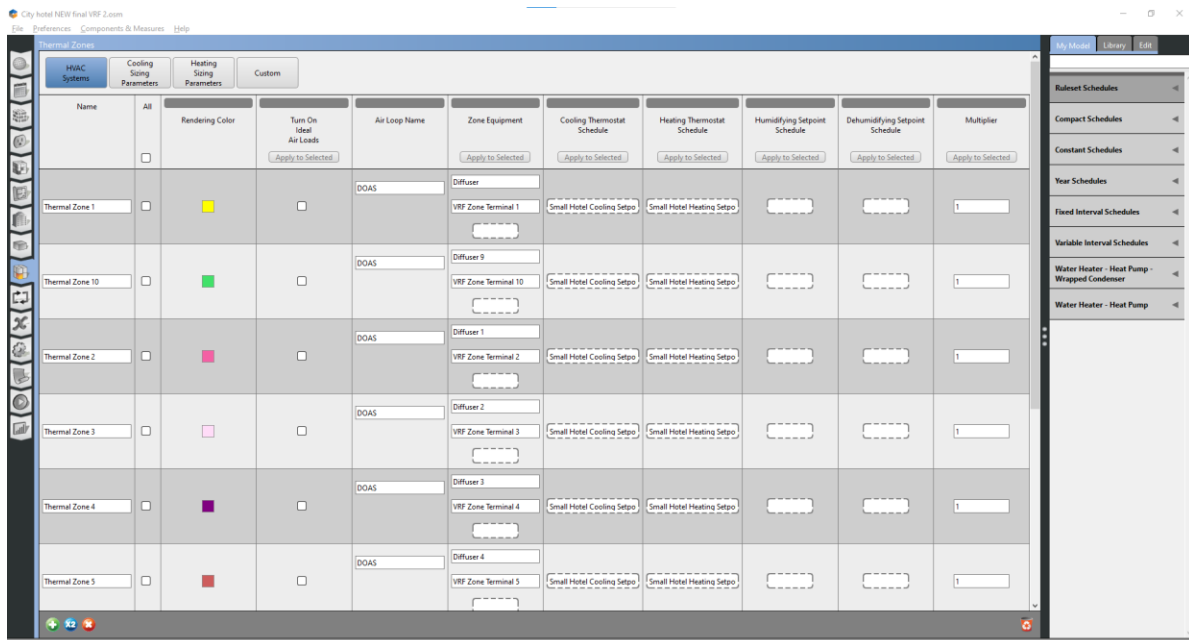
Στην καρτέλα αυτή (Εικόνα 7.15) εμφανίζονται τα χαρακτηριστικά όλων των χώρων που υπάρχουν στο υπό μελέτη κτήριο, τα οποία έχουν καθοριστεί στη διαδικασία σχεδίασης στο Sketchup Pro, αλλά μπορούν να τροποποιηθούν και από το Openstudio. Αυτά είναι η θερμική ζώνη στην οποία ανήκει ο κάθε χώρος, ο τύπος του, το προεπιλεγμένο σετ κατασκευής και χρονοδιαγράμματος καθώς και όλα τα φορτία που επιβάλλονται σε κάθε χώρο και όλες οι επιφάνειες και οι επιφάνειες σκίασης σε κάθε χώρο και τα χαρακτηριστικά τους (εκτιθέμενες ή όχι στον ήλιο ή στον αέρα).



Εικόνα 7.15: Καρτέλα «Χώροι» («Spaces») στο Openstudio.

7.9 Θερμικές Ζώνες (Thermal Zones)

Αφού έχουν δημιουργηθεί οι θερμικές ζώνες όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα, σε αυτή την καρτέλα μπορεί να γίνει η επεξεργασία κάποιων από των παραμέτρων τους. Είναι δυνατόν να επιλεγεί το όνομα του βρόχου εξαερισμού που συνδέεται σε κάθε θερμική ζώνη, ο εξοπλισμός του εξαερισμού που έχει η κάθε μία, καθώς και τα χρονοδιαγράμματα για τους θερμοστάτες θέρμανσης και ψύξης και αυτά για τα σημεία ρύθμισης της υγρανσης και αφύγρανσης. Οι θερμικές ζώνες αποτυπώνονται με διαφορετικά χρώματα δίπλα στις ονομασίες τους, όπως φαίνεται και στο γραφικό περιβάλλον της καρτέλας στην Εικόνα 7.16.



Εικόνα 7.16: Καρτέλα «Θερμικές Ζώνες» («Thermal Zones») στο Openstudio.

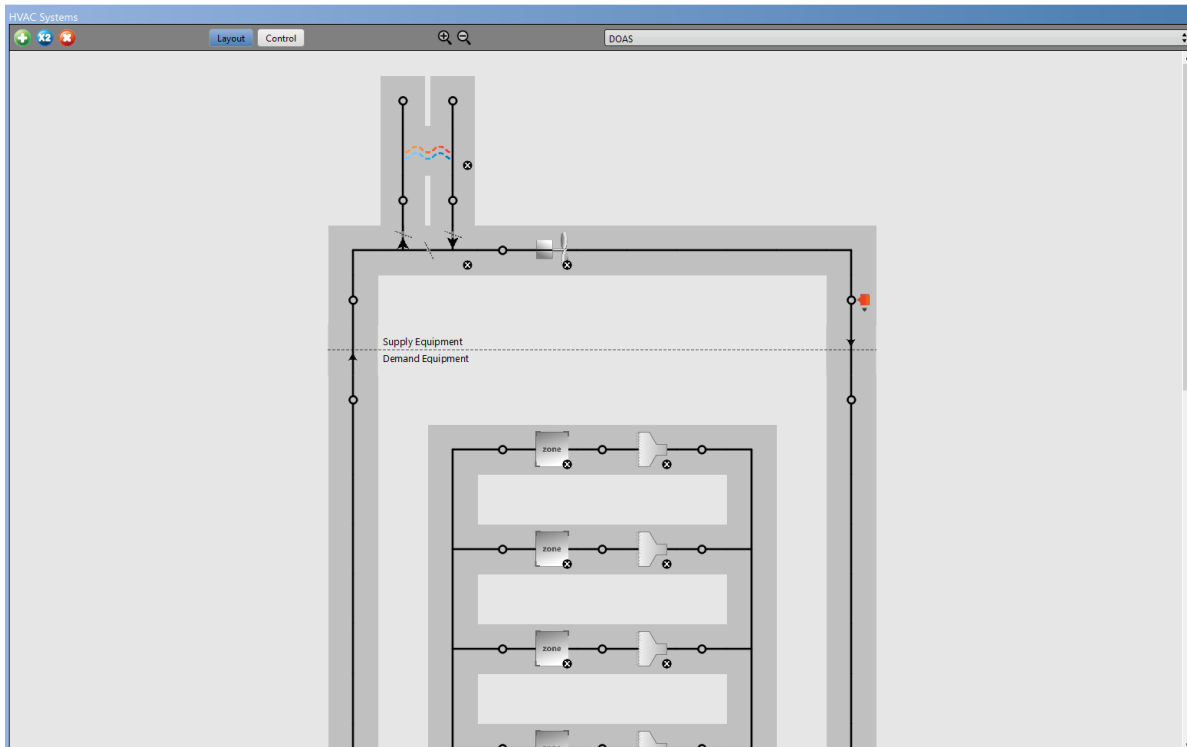
7.10 Συστήματα HVAC (HVAC Systems)

Στη βασική αυτή καρτέλα εισάγονται τα συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού που θα χρησιμοποιηθούν στο εξεταζόμενο κτήριο και είναι δυνατόν να τροποποιηθούν πολλά από τα χαρακτηριστικά τους. Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστούν τα 2 συστήματα που θα μελετηθούν στο μοντέλο της παρούσας εργασίας.

7.10.1 Σύστημα VRF με DOAS

Όπως αναφέρθηκε στην υποενότητα 3.2, ένα από τα πιο συμφέροντα συστήματα για κτήρια με υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις είναι το VRF, το οποίο θα μελετηθεί και στην παρούσα εργασία. Το σύστημα εξαερισμού που θα χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το VRF είναι το DOAS (Dedicated Outdoor Air System), το οποίο χρησιμοποιείται για να διασφαλιστεί η κατάλληλη ποιότητα του εσωτερικού αέρα, ανεξάρτητα από το σύστημα θέρμανσης ή ψύξης του χώρου. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς ρυθμίζει την ποιότητα εξωτερικό αέρα πριν αυτός εισαχθεί στο περιβάλλον του κτηρίου, μειώνοντας έτσι το φορτίο που πρέπει να διαχειριστεί το σύστημα HVAC. Πέρα από την κάλυψη των αναγκών εξαερισμού του κτηρίου με τη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, αποτελεί ένα σημαντικό σύστημα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτηρίου, καθώς συνδυαζόμενο με ένα σύστημα ανάκτησης θερμότητας μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας.

Στην Εικόνα 7.17 παρουσιάζεται το σύστημα DOAS που μοντελοποιήθηκε για το εξεταζόμενο κτήριο.



Εικόνα 7.17: Σύστημα DOAS στο Openstudio.

Για τη δημιουργία του συστήματος εξαερισμού επιλέγεται το «Empty Air Loop» από το κουμπί «+» στην καρτέλα HVAC Systems. Έπειτα εισάγεται από τη Βιβλιοθήκη (Library) ένα «OA System» ούτως ώστε να γίνεται η εισαγωγή του εξωτερικού αέρα στο σύστημα, ένας «Variable Speed Fan» για τη διακίνηση του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου, ένα «Setpoint Manager: Outdoor Air Reset» και «Diffuser» που αντιστοιχίζεται σε κάθε θερμική ζώνη στο «Demand Equipment», ούτως ώστε να διακινείται ο αέρας στην κάθε θερμική ζώνη. Τέλος, εισάγεται ένας πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας, κατάλληλος για κτήρια από τούβλα ή σκυρόδεμα («Air-to-Air Plate HX»), με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας, ανάμεσα στις 2 ροές εισαγωγής και εξαγωγής του αέρα.

Στις επιλογές για τη διαστασιολόγηση του κυκλώματος, επιλέγεται «Ventilation Requirement» στην επιλογή «Type of Load to Size on», καθώς και «Yes» στις επιλογές «100% Outdoor Air in Cooling» και «100% Outdoor Air in Heating», ούτως ώστε το κύκλωμα εξαερισμού να αποτελεί τύπου DOAS καθώς εισέρχεται σε αυτό μόνο αέρας από το εξωτερικό περιβάλλον.

Στη συνέχεια, δημιουργείται το σύστημα VRF, εισάγοντας από τη βιβλιοθήκη το «VRF System». Έπειτα, εισάγονται όλες οι θερμικές ζώνες του κτηρίου στο εσωτερικό του

συστήματος και αντιστοιχίζεται η κάθε μία με ένα τερματικό από τη βιβλιοθήκη («VRF Terminal»), όπως απεικονίζεται στην *Εικόνα 7.18*.



Εικόνα 7.18: Δημιουργία συστήματος VRF στο Openstudio, με το σύστημα, τα τερματικά και τις αντίστοιχες θερμικές ζώνες.

Σημαντική και αναγκαία είναι η αλλαγή των τερματικών VRF, καθώς από προεπιλογή είναι ρυθμισμένα για να εισάγουν τον εξωτερικό αέρα, κάτι που στην συγκεκριμένη περίπτωση επιτελείται από το σύστημα εξαερισμού DOAS. Για να αποφευχθεί η εισαγωγή αέρα και από τα 2 συστήματα, επιλέγεται το κάθε ένα τερματικό της αντίστοιχης τερματικής ζώνης και τροποποιούνται οι επιλογές «Outdoor Air Flow Rate during Cooling Operation», «Outdoor Air Flow Rate during Heating Operation» και «Outdoor Air Flow Rate When No Cooling or Heating is Needed» σε Hard Sized και στα 0 m³/s.

Το σύστημα VRF που θα χρησιμοποιηθεί στις ενεργειακές προσομοιώσεις είναι ένα τυπικό σύστημα με ανάκτηση θερμότητας, με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Ονομαστική Ψυκτική Ισχύς: 40,4 kW
- Ονομαστική Θερμαντική Ισχύς: 44,5 kW
- Συντελεστής Ενεργειακής Απόδοσης Ψύξης (Cooling COP): 3,2
- Συντελεστής Ενεργειακής Απόδοσης Θέρμανσης (Heating COP): 3,5

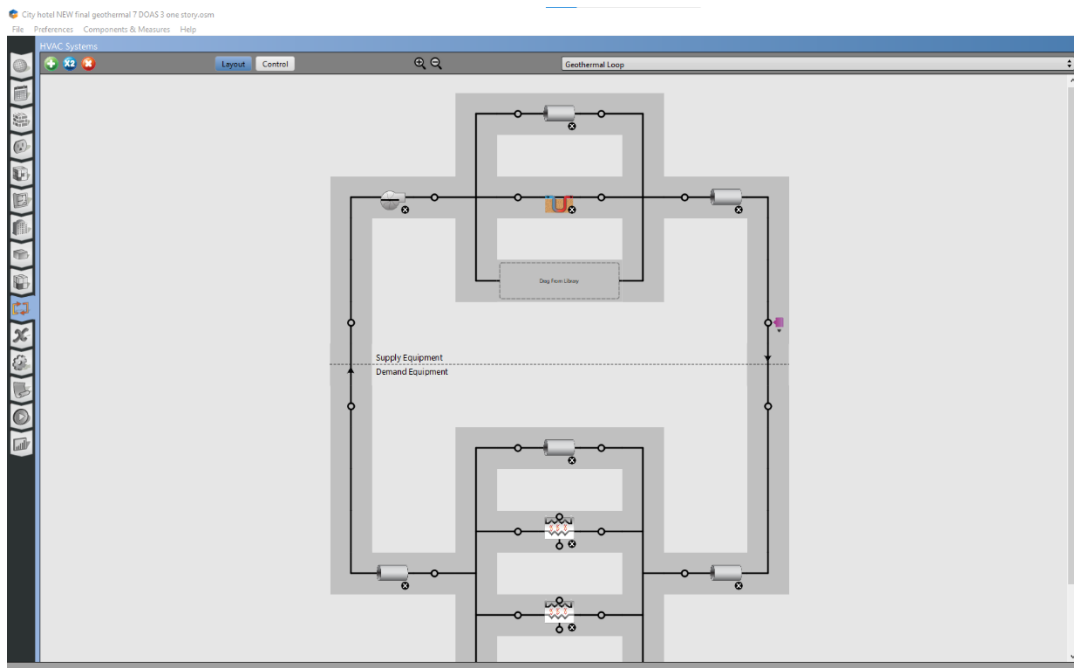
7.10.2 Σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με DOAS

Στο συγκεκριμένο σύστημα θα χρησιμοποιηθεί ξανά πανομοιότυπο σύστημα DOAS ως κύκλωμα αερισμού, όπως χρησιμοποιήθηκε και σε συνδυασμό με το σύστημα VRF, με σκοπό την βελτίωση της ποιότητας του παρεχόμενου αέρα στους χρήστες και τα υπόλοιπα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Το κύκλωμα αερισμού είναι αυτό που απεικονίζεται στην *Εικόνα 7.17*, παραπάνω.

Το σύστημα με γεωθερμική αντλία θερμότητας βασίζεται στις εξής αρχές:

- Ανταλλαγή θερμότητας (αποβολή ή απορρόφηση) ενός κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη με το έδαφος, του οποίου η θερμοκρασία παραμένει σχετικά σταθερή καθόλη τη διάρκεια του έτους.
- Χρήση της θερμότητας που παρέχει το ρευστό του γεωθερμικού εναλλάκτη από μία αντλία θερμότητας και περαιτέρω ρύθμιση της θερμοκρασίας του ρευστού, είτε μέσω της απορρόφησης θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον, είτε μέσω της αποβολής της θερμότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος, με βάση τις αρχές λειτουργίας της αντλίας θερμότητας.
- Κυκλοφορία του ζεστού ή ψυχρού νερού στα fan coils, θερμαίνοντας ή ψύχοντας τον αέρα που κυκλοφορεί στους εσωτερικούς χώρους του κτηρίου.

Με βάση τα παραπάνω, μοντελοποιείται το κύκλωμα της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με την αντλία θερμότητας («Geothermal Loop»), όπως φαίνεται στην *Εικόνα 7.19*.



Εικόνα 7.19: Κύκλωμα συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με κάθετο γεωθερμικό εναλλάκτη στο Openstudio.

Σε αυτό εισάγεται μία αντλία σταθερών στροφών («Const Spd Pump»), ένας κάθετος γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας (από τη βιβλιοθήκη στην επιλογή Ground Heat Exchanger – Vertical επιλέγεται το Vertical Bore Field), ένα Setpoint Manager: Follow OA Temperature και μία αντλία θερμότητας στα 2 μέρη της, Heat Pump – Water to Water – Cooling και Heat Pump – Water to Water – Heating.

Τα χαρακτηριστικά του κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη φαίνονται στην *Εικόνα 7.20* και ορίζονται ως εξής:

- Αριθμός γεωτρήσεων: 20
- Βάθος γεώτρησης: 150 m
- Ακτίνα γεώτρησης: 0,063508 m
- Θερμική αγωγιμότητα εδάφους: 2,415 W/mK
- Θερμοκρασία εδάφους: 17°C

Ο αριθμός των γεωτρήσεων και το βάθος γεώτρησης αποτελούν τυπικές τιμές για τις ενεργειακές απαιτήσεις του εξεταζόμενου κτηρίου, με βάση και τη θερμική αγωγιμότητα του εδάφους.

OS:GroundHeatExchanger:Vertical	
Name	Vertical Bore Field
Design Flow Rate	0.0033 m ³ /s
Number of Bore Holes	20
Bore Hole Length	150 m
Bore Hole Radius	0.063508 m
Ground Thermal Conductivity	2.415 W/m-K
Ground Thermal Heat Capacity	2227500 Pa/K
Ground Temperature	17 C
Grout Thermal Conductivity	0.692626 W/m-K
Pipe Thermal Conductivity	0.391312 W/m-K
Pipe Out Diameter	0.0266667 m
U-Tube Distance	0.0253977 m
Pipe Thickness	0.00241285 m

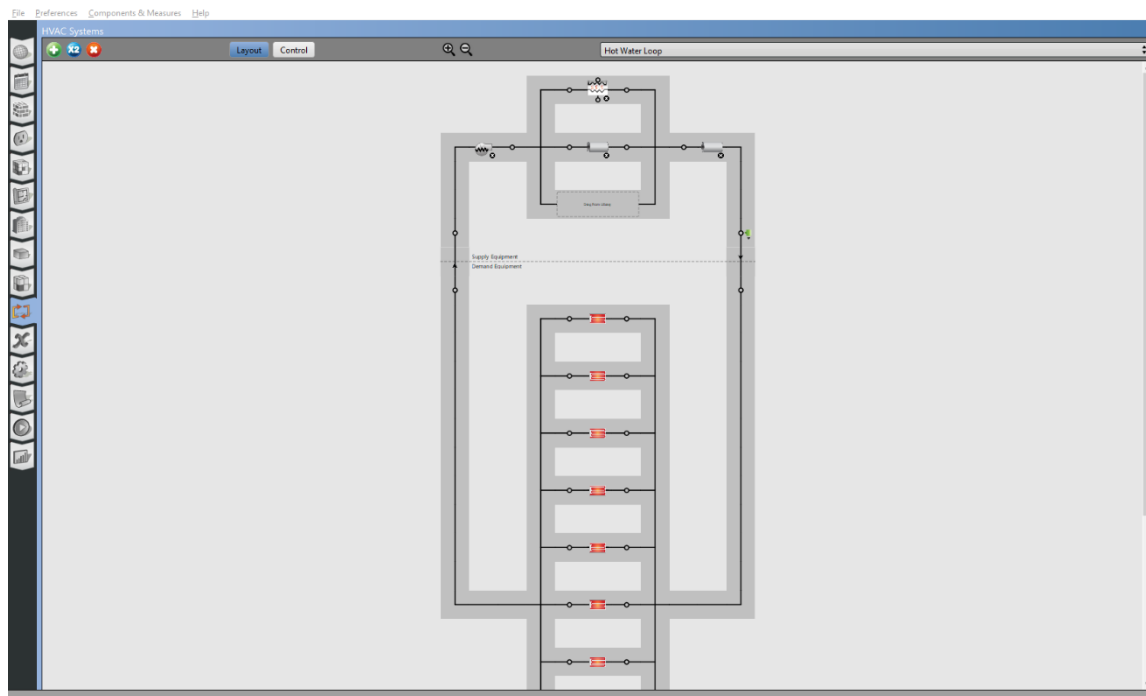
Εικόνα 7.20: Χαρακτηριστικά κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη στο σύστημα γεωθερμίας στο Openstudio.

Τέλος, δημιουργούνται οι βρόχοι ψυχρού (Chilled Water Loop) και ζεστού (Hot Water Loop) νερού, στους οποίους εισάγονται στο Supply Equipment οι αντλίες θερμότητας ψύξης και θέρμανσης αντίστοιχα, μία αντλία σταθερής παροχής και ένα Setpoint Manager: Scheduled για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας.

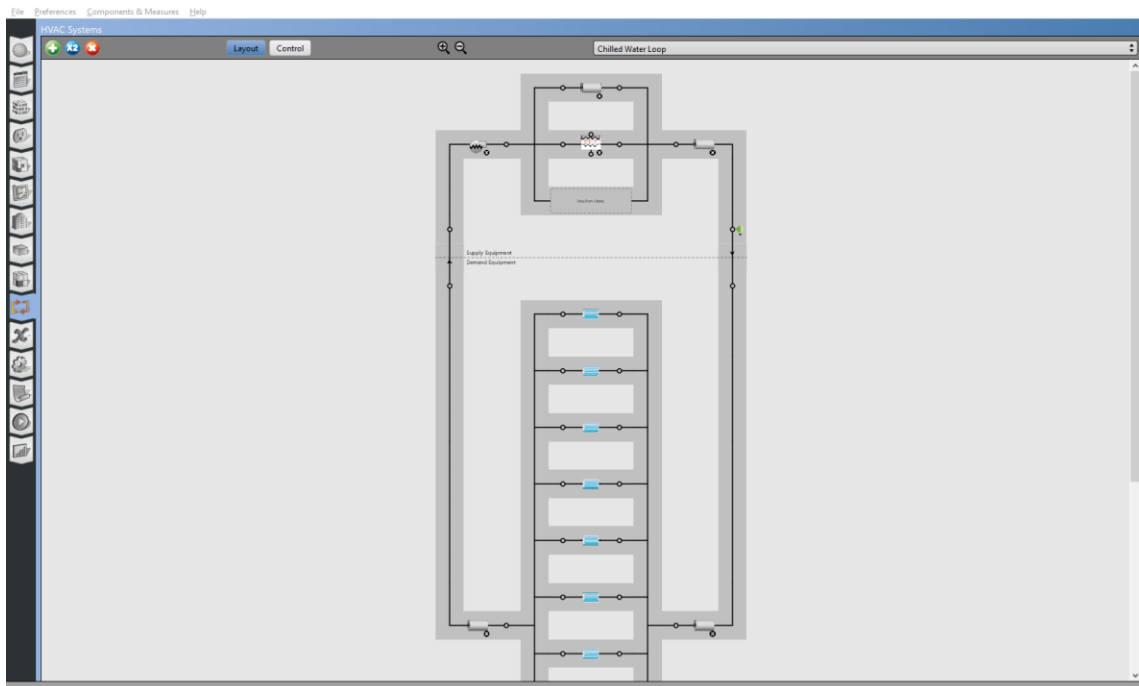
Η αντλία θερμότητας έχει τα εξής χαρακτηριστικά, σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017 και έπειτα από τη διαστασιολόγησή της:

- Συντελεστής ενεργειακής απόδοσης ψύξης (cooling COP): 5,0
- Συντελεστής ενεργειακής απόδοσης θέρμανσης (heating COP): 5,5
- Ψυκτική ισχύς: 140,4 kW
- Θερμαντική ισχύς: 85,5 kW

Εισάγονται επιπλέον και τα fan coils στην κάθε θερμική ζώνη στην επιλογή «Εξοπλισμός Ζώνης» («Zone Equipment») στην καρτέλα «Θερμικές Ζώνες» («Thermal Zones»). Το είδος fan coil που επιλέγεται από τη βιβλιοθήκη του Openstudio είναι το «Fan coil with Var Fan Const Fluid Flow», με σταθερή παροχή ρευστού. Το fan coil της εκάστοτε θερμικής ζώνης αντιστοιχίζεται στο κύκλωμα ψυχρού και ζεστού νερού και εμφανίζονται αυτόματα στους δύο βρόχους, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 7.21* και στην *Εικόνα 7.22*.



Εικόνα 7.21 Κύκλωμα ψυχρού νερού αντλίας θερμότητας στο σύστημα HVAC γεωθερμίας στο Openstudio.



Εικόνα 7.22: Κύκλωμα ζεστού νερού αντλίας θερμότητας στο σύστημα HVAC γεωθερμίας στο Openstudio.

7.10.3 Σύστημα ζεστού νερού χρήσης

Με σκοπό τον υπολογισμό της κατανάλωσης θερμικής ενέργειας για την παραγωγή Ζ.Ν.Χ. υπολογίζεται αρχικά η κατανάλωση Ζ.Ν.Χ. στο εξεταζόμενο κτήριο με χρήση των προσεγγιστικών τιμών της TOTEE 20701-1/2017. Καθώς το εξεταζόμενο κτήριο αποτελεί κτήριο προσωρινής διαμονής, ο υπολογισμός θα γίνει με βάση την ετήσια κατανάλωση Ζ.Ν.Χ. ανά κλίνη ή την ημερήσια κατανάλωση ανά άτομο. Οι καταναλώσεις που λαμβάνονται υπόψη αναφέρονται σε θερμοκρασία Ζ.Ν.Χ. 45°C, η οποία λαμβάνεται και κατά τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων. Τέλος, σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017, η επιφάνεια των κοινόχρηστων βοηθητικών χώρων των κτηρίων, π.χ. διάδρομοι, κλιμακοστάσια, λουτρά (WC), δεν συνυπολογίζεται για τον καθορισμό των απαιτήσεων Ζ.Ν.Χ. και στην περίπτωση κατά την οποία αυτοί οι χώροι οριστούν ως ξεχωριστές θερμικές ζώνες, η κατανάλωση Ζ.Ν.Χ. λαμβάνεται μηδενική [6]. Επομένως, υπολογίζονται για την κατανάλωση Ζ.Ν.Χ. αποκλειστικά τα υπνοδωμάτια του εξεταζόμενου κτηρίου. Αυτή, με βάση τα παραπάνω, ανέρχεται στα 29,20 m³/κλίνη/έτος ή στα 80 l/άτομο/ημέρα, για ξενοδοχείο ετήσιας λειτουργίας Α' και Β' κατηγορίας.

Σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017, το ημερήσιο θερμικό φορτίο Q_d σε (kWh/ημέρα) για Ζ.Ν.Χ. δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q_d = V_d \cdot \frac{c}{3600} \rho \cdot \Delta T$$

όπου: V_d [ℓ /ημέρα] το ημερήσιο φορτίο, $V_d = 2560$ ℓ για 32 κλίνες,

ρ [kg/ ℓ] η πυκνότητα του νερού, $\rho = 1$ kg/ ℓ,

c [kJ/(kgK)] η ειδική θερμότητα, $c = 4,18$ kJ/(kgK),

ΔT [K] ή [°C] θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της χαμηλότερης θερμοκρασίας του νερού δικτύου και της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ. (45°C), $\Delta T = 45 - 10,1 = 34,9^\circ\text{C}$

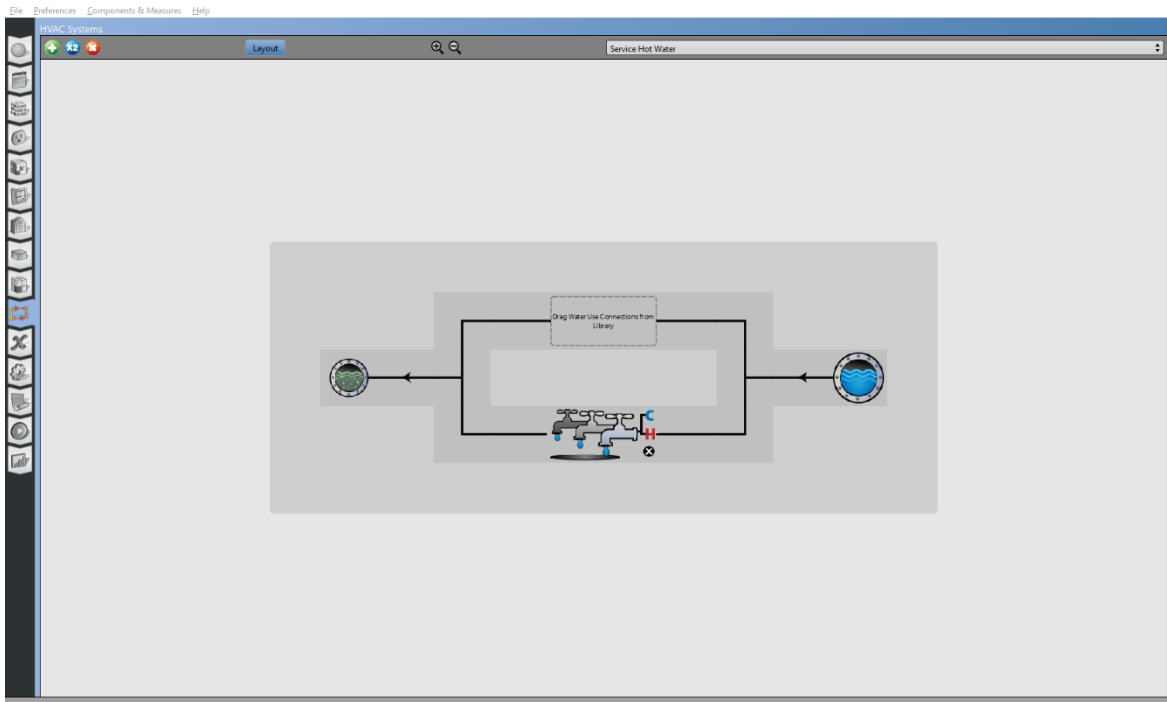
Επομένως $Q_d = 103,7$ kWh/ημέρα ή 37850,5 kWh/έτος.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η δημιουργία του συστήματος Ζ.Ν.Χ. στο λογισμικό Openstudio. Σύμφωνα και με το άρθρο 8 του Κ.Εν.Α.Κ., σε όλα τα νέα ή ριζικώς ανακαινιζόμενα κτήρια είναι υποχρεωτική η κάλυψη σημαντικού μέρους των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης από ηλιοθερμικά συστήματα. Το ελάχιστο ποσοστό του ηλιακού μεριδίου σε ετήσια βάση καθορίζεται σε 60% της συνολικής κατανάλωσης ΖΝΧ.

Επιπλέον, σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017, στις περιπτώσεις κτηρίων με μεγάλες απαιτήσεις σε Ζ.Ν.Χ., η παραγωγή θερμότητας για Ζ.Ν.Χ. συνιστάται να γίνεται μέσω κεντρικών μονάδων θέρμανσης, με χρήση πετρελαίου ή αερίου, με παράλληλη χρήση ηλιακών συλλεκτών και εφεδρική ηλεκτρική αντίσταση. Γι' αυτή τη διάταξη απαιτείται εγκατάσταση θερμαντήρα (boiler) διπλής ή τριπλής ενέργειας.

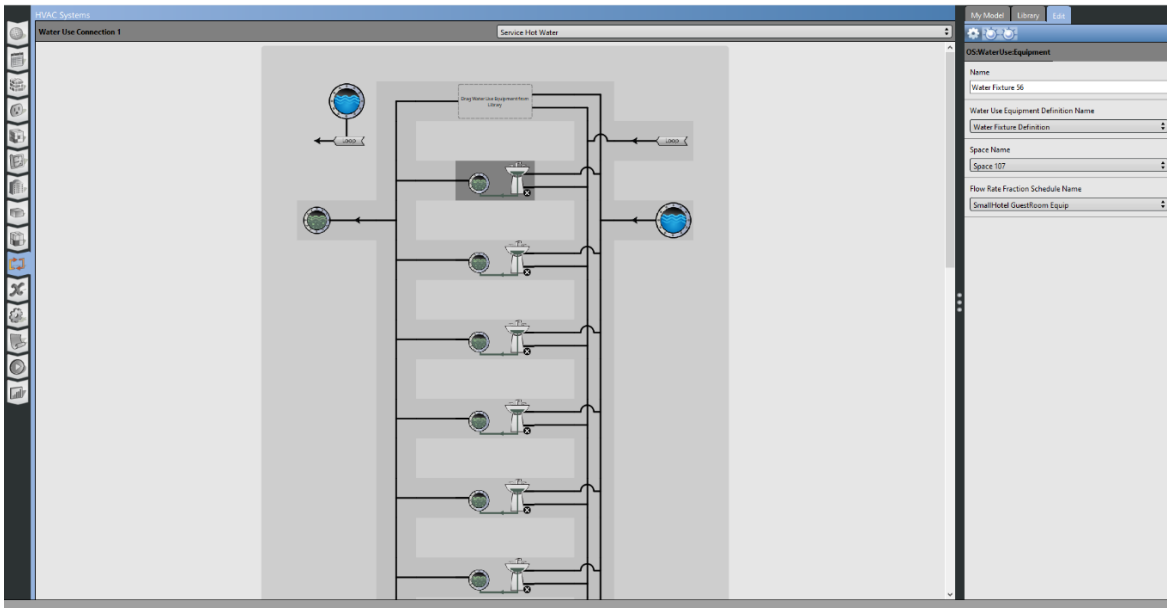
Με βάση τα παραπάνω, στο εξεταζόμενο κτήριο η παραγωγή Ζ.Ν.Χ. θα πραγματοποιείται κυρίως μέσω των ηλιακών συλλεκτών που τοποθετούνται στην οροφή του κτηρίου καθώς και από έναν θερμαντήρα (boiler), σε περίπτωση που το θερμικό φορτίο δεν καλύπτεται από την αποκλειστική λειτουργία των ηλιακών συλλεκτών.

Η μοντελοποίηση των παραπάνω γίνεται αρχικά μέσω της εισαγωγής ενός συστήματος διανομής Ζ.Ν.Χ. από τη βιβλιοθήκη του Openstudio («Water Use Connection»), στο κύκλωμα του Ζ.Ν.Χ. («Service Hot Water»), όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 7.23*.



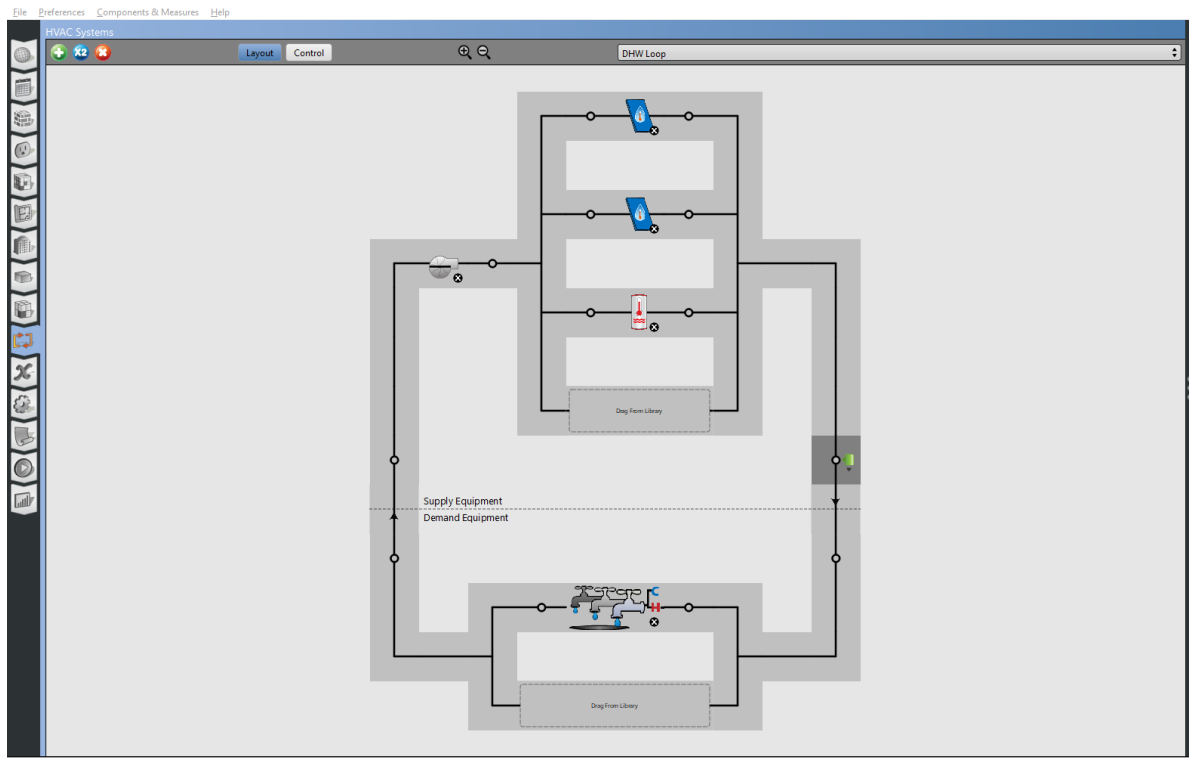
Εικόνα 7.23: Κύκλωμα Συστήματος Διανομής Z.N.X. στο Openstudio.

Στο επόμενο βήμα, εισάγεται από τη βιβλιοθήκη στο κύκλωμα του Συστήματος Διανομής Z.N.X. («Water Use Equipment») ο εξοπλισμός για τη διανομή του Z.N.X. που αντιστοιχεί σε κάθε χώρο, δηλαδή σε κάθε υπνοδωμάτιο, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 7.24*.



Εικόνα 7.24: Κύκλωμα διανομής Z.N.X. με τον εξοπλισμό για κάθε χώρο του κτηρίου.

Τέλος, δημιουργείται μέσω ενός «Empty Plant Loop» το κύκλωμα παραγωγής Z.N.X. του εξεταζόμενου κτηρίου, όπως φαίνεται στην . Σε αυτό προστίθενται από τη βιβλιοθήκη μία αντλία σταθερών στροφών («Constant Speed Pump»), οι δύο ηλιακοί συλλέκτες («Solar Collector Flat Plate Water»), ο θερμαντήρας («Water Heater: Mixed»), ένας ρυθμιστής θερμοκρασίας («Setpoint Manager: Scheduled») στον Εξοπλισμό Παροχής («Supply Equipment») καθώς και το σύστημα διανομής Z.N.X. στον Εξοπλισμό Ζήτησης («Demand Equipment»). Η μοντελοποίηση φαίνεται στην *Εικόνα 7.25*.



Εικόνα 7.25: Κύκλωμα παραγωγής Z.N.X. με ηλιακούς συλλέκτες και θερμαντήρα.

Στις επιλογές των ηλιακών συλλεκτών, αντιστοιχίζεται ο κάθε ένας με την αντίστοιχη επιφάνεια σκίασης που δημιουργήθηκε προηγουμένως στο λογισμικό Sketchup Pro.

Επιπλέον, επιλέγεται ως καύσιμο του θερμαντήρα το φυσικό αέριο, ενώ ορίζονται τα σημεία θερμοκρασίας στο κύκλωμα διανομής και στον θερμαντήρα ως εξής:

- Θερμοκρασία στο κύκλωμα διανομής: 45°C
- Θερμοκρασία στο θερμαντήρα: 60°C

Η χωρητικότητα του θερμαντήρα παραγωγής Z.N.X. V_{store} καθορίζεται, σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017, ως εξής:

$$V_{store} = \frac{V_d}{5} = 512 \text{ l}$$

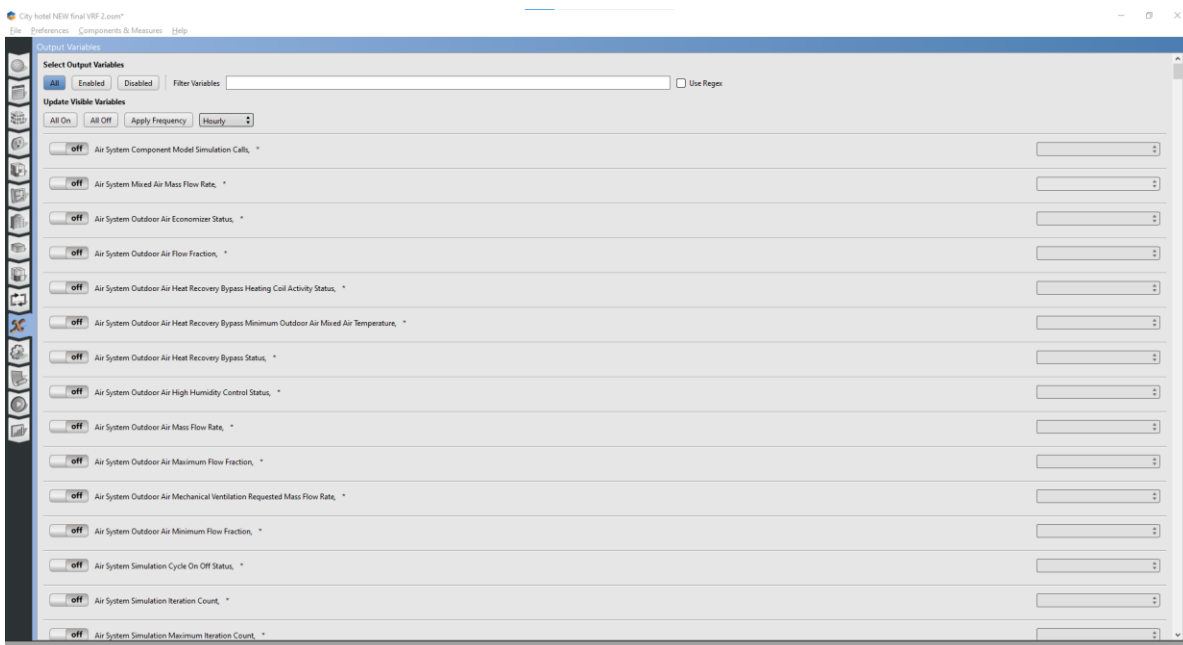
Τέλος, η θερμική ισχύς P_n , ενός τοπικού θερμαντήρα παραγωγής Z.N.X., συνήθως υπολογίζεται για μέσο χρόνο απόδοσης της συνολικής ημερήσια θερμικής ενέργειας σε 5 ώρες, όπως δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$P_n = \frac{Q_d}{5} = 20,74 \text{ kW}$$

Τα παραπάνω στοιχεία εισάγονται στα χαρακτηριστικά του θερμαντήρα στο κύκλωμα παραγωγής Z.N.X.

7.11 Μεταβλητές Εξόδου (Output Variables)

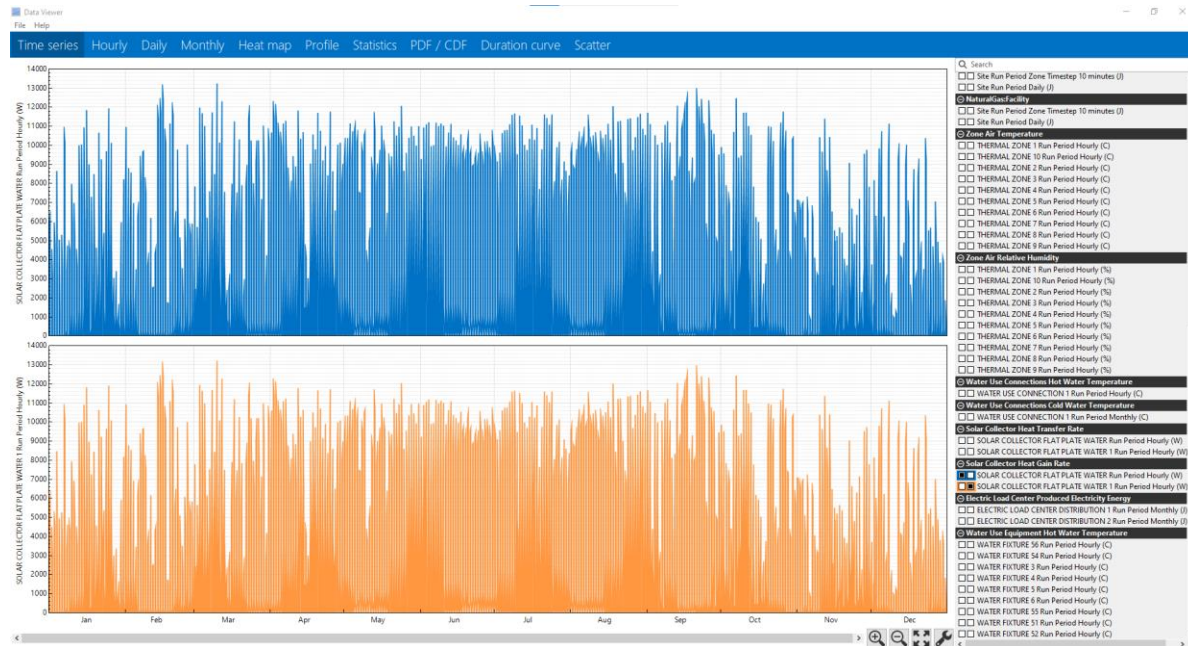
Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ανάμεσα από ένα μεγάλο πλήθος μεταβλητών εξόδου, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7.26, ούτως ώστε να μελετηθούν συγκεκριμένες πτυχές του κτηρίου στην πάροδο του χρόνου. Είναι δυνατή η έξοδος των αρχείων με χρονικό βήμα ώρας, ημέρας, μήνα ή χρόνου.



Εικόνα 7.26: Καρτέλα «Μεταβλητές Εξόδου» («Output Variables») στο Openstudio.

Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται όλα στο αρχείο .sql, το οποίο πρέπει να εισαχθεί σε ένα πρόγραμμα ανάγνωσης τέτοιων αρχείων, όπως το λογισμικό dview που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Εκτός από την ενεργειακή μελέτη, τα αποτελέσματα αυτά είναι χρήσιμα για την εύρεση τυχόν σφαλμάτων στην ενεργειακή προσομοίωση που δεν είναι

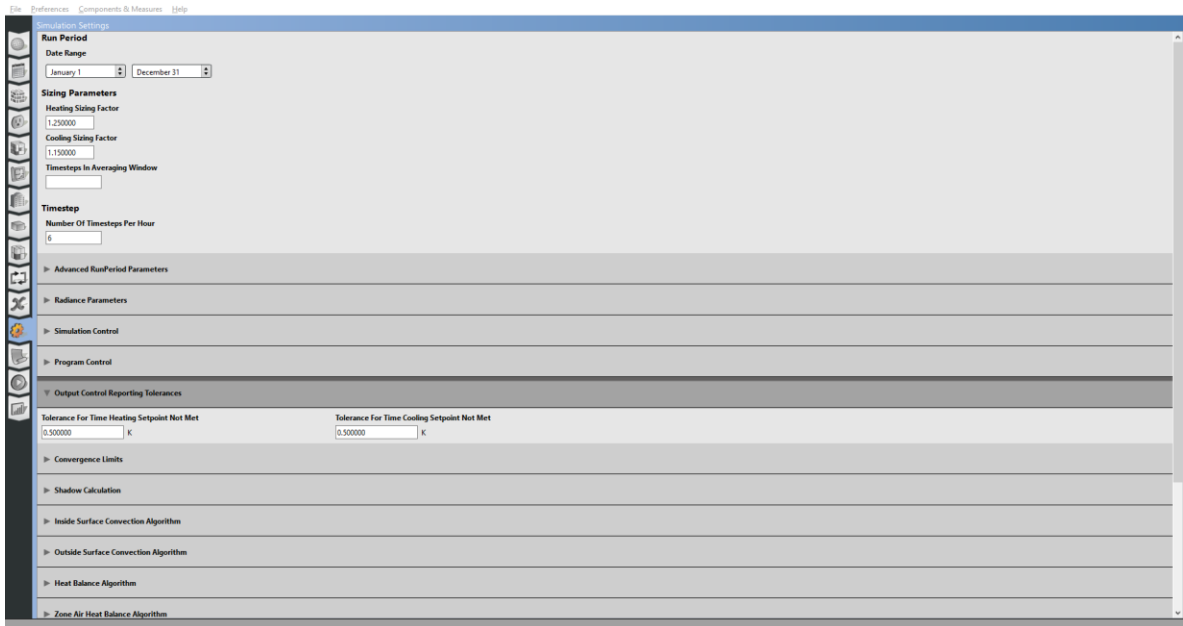
δύσκολο να εντοπιστούν αν αυτή εκτελείται κανονικά. Στην *Εικόνα 7.27* φαίνεται η αποτύπωση της παραγόμενης ενέργειας σε W από τους 2 ηλιακούς συλλέκτες στην οροφή του κτηρίου, σε ωριαίο βήμα, για χρονικό διάστημα ενός έτους. Στη δεξιά πλευρά του γραφικού περιβάλλοντος ο χρήστης μπορεί να επιλέξει από όλα τα αποτελέσματα που περιέχονται στο αρχείο που παράχθηκε από την προσομοίωση.



Εικόνα 7.27: Γραφικό περιβάλλον λογισμικού dview. Γραφήματα παραγόμενης ενέργειας σε W από τους 2 ηλιακούς συλλέκτες στην οροφή του κτηρίου, σε ωριαίο βήμα, για χρονικό διάστημα ενός έτους.

7.12 Ρυθμίσεις Προσομοίωσης (Simulation Settings)

Σε αυτή την καρτέλα περιέχονται πολλές επιλογές για την προσομοίωση του κτηρίου. Σημαντική επιλογή αποτελεί ο αριθμός των χρονικών βημάτων ανά ώρα για την προσομοίωση. Ο αριθμός αυτός επηρεάζει την ακρίβεια της προσομοίωσης αλλά αυξάνει και σημαντικά το χρόνο που παίρνει αυτή για να πραγματοποιηθεί. Στην εξεταζόμενη περίπτωση, ο αριθμός των χρονικών βημάτων ανά ώρα που επιλέχθηκε είναι τα 6. Μία ακόμα σημαντική παράμετρος είναι η τιμή ανοχής της θερμοκρασίας για τις ανικανοποίητες ώρες (unmet hours), όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 7.28*. Η προεπιλεγμένη ανοχή θερμοκρασίας στο Openstudio είναι οι 0,2 °C, τιμή η οποία είναι αρκετά μικρή, καθώς υπάρχει η πιθανότητα εμφάνισης πολλών ανικανοποίητων ωρών οι οποίες μπορεί να αφορούν μία πολύ μικρή διαφορά στην πραγματική θερμοκρασία από την απαιτούμενη, που ουσιαστικά δεν επηρεάζει τη θερμική άνεση στον χώρο. Στην εξεταζόμενη περίπτωση η τιμή ορίζεται στους 0,5 °C.



Εικόνα 7.28: Καρτέλα «Ρυθμίσεις Προσομοίωσης» («Simulation Settings») στο Openstudio, με την επιλογή για την τιμή ανοχής της θερμοκρασίας.

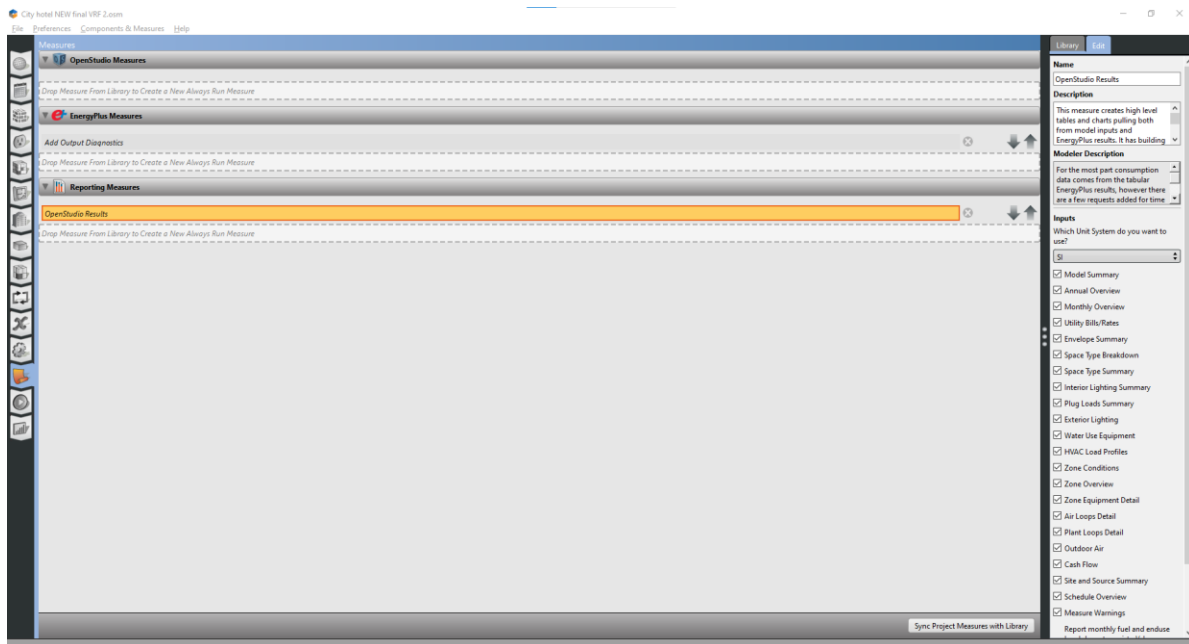
7.13 Μετρήσεις (Measures)

Στη συγκεκριμένη καρτέλα είναι δυνατόν να προστεθούν επιλογές που αφορούν τα αποτελέσματα και τις μετρήσεις.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, προστίθεται η επιλογή «Add Output Diagnostics» από τη βιβλιοθήκη του Openstudio στα αποτελέσματα του EnergyPlus («EnergyPlus Measures»), ούτως ώστε μαζί με τα αποτελέσματα να εμφανίζονται και τυχόν σφάλματα στη μοντελοποίηση. Η επιλογή αυτή συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στην κατανόηση των σφαλμάτων που τερματίζουν την προσομοίωση.

Επιπλέον, στην Αναφορά Αποτελεσμάτων (Reporting Measures), προστίθεται από τη βιβλιοθήκη η επιλογή «Openstudio Results» ούτως ώστε να παράγεται και η αναφορά του Openstudio, η οποία είναι καλύτερη οπτικά και πιο φιλική για παρουσίαση από αυτή του EnergyPlus και θα παρουσιαστεί παρακάτω. Τέλος, επιλέγεται η συγκεκριμένη επιλογή και τροποποιούνται οι μονάδες μέτρησης των αποτελεσμάτων από IP σε SI.

Το γραφικό περιβάλλον της καρτέλας μαζί με τις επιλογές που αναφέρθηκαν φαίνεται στην Εικόνα 7.29.



Εικόνα 7.29: Καρτέλα «Μετρήσεις» («Measures») στο Openstudio.

7.14 Εκτέλεση Προσομοίωσης (Run Simulation)

Αποτελεί τη βασική καρτέλα, στην οποία μόλις έχει ολοκληρωθεί η μοντελοποίηση του κτηρίου, εκτελείται η ενεργειακή προσομοίωση. Σε αυτή παρουσιάζεται όλη η διαδικασία της προσομοίωσης μαζί με πληροφορίες όπως ο χρόνος αυτής και τυχόν σφάλματα που τερματίζουν την εκτέλεση. Στην Εικόνα 7.30 φαίνεται το γραφικό περιβάλλον τη στιγμή ολοκλήρωσης της ενεργειακής προσομοίωσης.



8. Αποτελέσματα

Η μελέτη των αποτελεσμάτων αφορά την ενεργειακή συμπεριφορά του ξενοδοχείου πόλης που περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες, αναφορά με τις αλλαγές στο κλίμα, όπως αυτές αποτυπώνονται μέσα από την προσομοίωση των μελλοντικών κλιματικών δεδομένων από το λογισμικό του Meteonom. Η προσομοίωση γίνεται στο λογισμικό του Openstudio, το οποίο με τη σειρά του χρησιμοποιεί το Energy Plus για να πραγματοποιηθεί αυτή.

Όπως έχει αναφερθεί, θα εξεταστούν τα εξής δύο σενάρια:

- Σενάριο 1: Κτήριο με σύστημα VRF και σύστημα εξαερισμού DOAS
- Σενάριο 2: Κτήριο με σύστημα γεωθερμίας (γεωθερμική αντλία θερμότητας) και σύστημα εξαερισμού DOAS.

8.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα

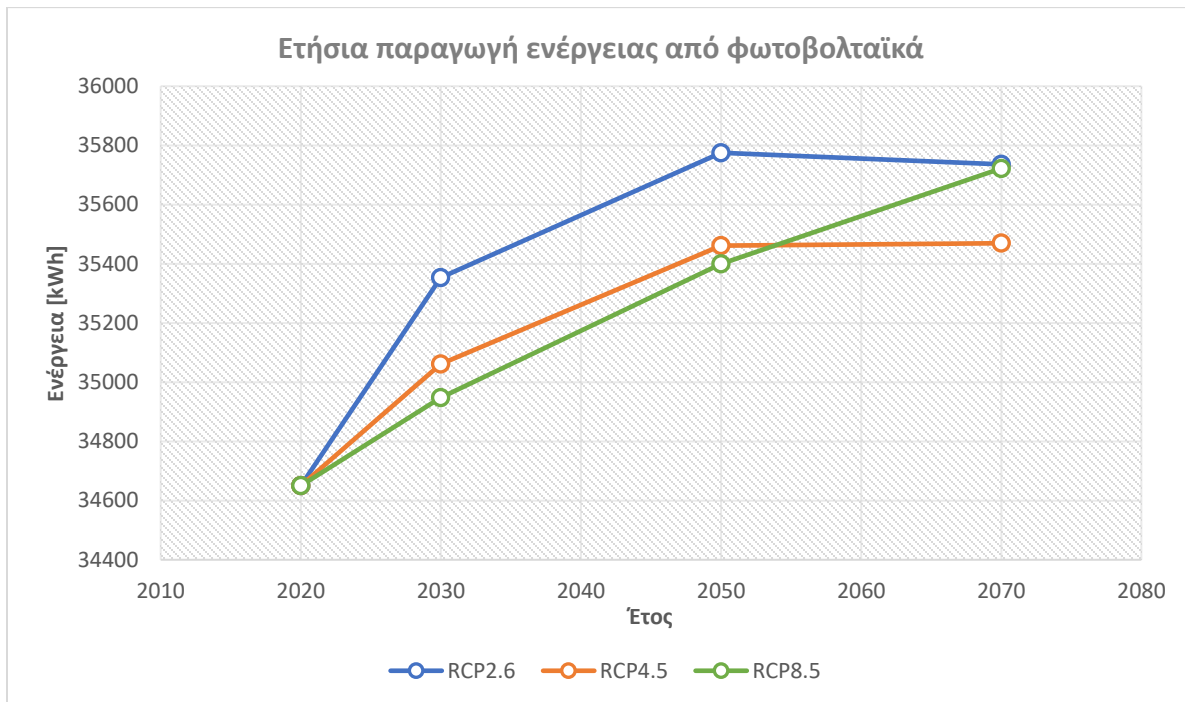
Στην παρούσα κατάσταση, με τα σύγχρονα κλιματικά δεδομένα, η παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ στο εξεταζόμενο κτήριο είναι 34650 kWh, ενώ οι ενεργειακές καταναλώσεις του κτηρίου συνολικά είναι 52575 kWh όσον αφορά το κτήριο με εγκατεστημένο σύστημα VRF και 49756 kWh όσον αφορά το κτήριο με εγκατεστημένο σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, όπως παρουσιάζεται και στον Πίνακα 8.1.

Πίνακας 8.1: Ετήσια παραγόμενη ενέργεια από Φ/Β, ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις και ποσοστό κάλυψής τους από Φ/Β για σενάριο κτηρίου με σύστημα VRF και σενάριο με σύστημα γεωθερμίας, για σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).

Σύστημα HVAC	Ετήσια παραγόμενη ενέργεια από Φ/Β [kWh]	Ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις [kWh]	Ποσοστό κάλυψης καταναλώσεων από Φ/Β [%]
VRF	34650	52575	65,9
Γεωθερμική αντλία θερμότητας	34650	49756	69,6

Συνεπώς, το εγκατεστημένο σύστημα φωτοβολταϊκών στο εξεταζόμενο κτήριο είναι ικανό να καλύπτει ένα μεγάλο μέρος των ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων και στις δύο περιπτώσεις.

Σημαντική είναι η εξέταση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων με την πάροδο του χρόνου, καθώς και σε αναλογία με τα σενάρια της IPCC για την κλιματική αλλαγή. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 8.1.



Σχήμα 8.1: Ετήσια παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά για τα σενάρια κλιματικής αλλαγής RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5.

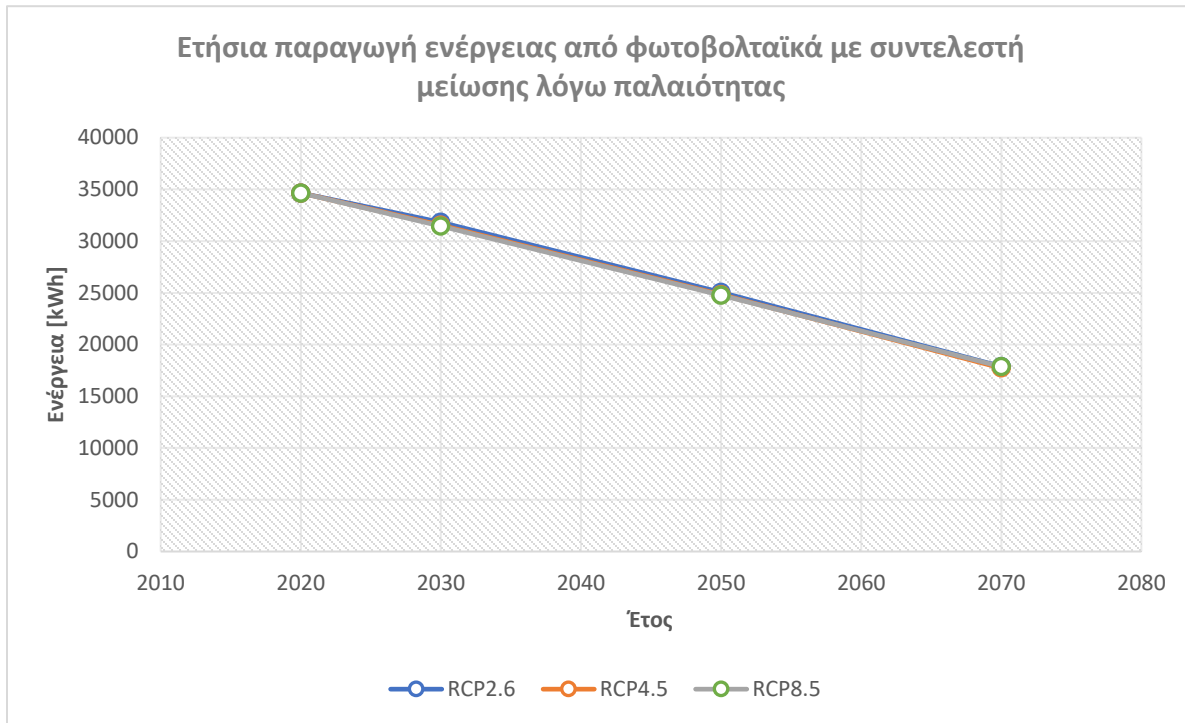
Από το Σχήμα 8.1 εξάγονται τα εξής συμπεράσματα για την ετήσια παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ:

1. Η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά αυξάνεται, όσο αυξάνεται και η ηλιακή ακτινοβολία. Το συμπέρασμα αυτό αποτυπώνεται στη μεταβολή των καμπυλών των τριών σεναρίων με την πάροδο του χρόνου. Αρχικά παρατηρείται ότι και στα τρία σενάρια υπάρχει αύξηση της παραγωγής μέχρι το 2050, καθώς η ηλιακή ακτινοβολία αυξάνεται. Έπειτα, οι μεταβολές στις καμπύλες της ετήσιας παραγωγής αντικατοπτρίζουν την αλλαγή στην ηλιακή ακτινοβολία στις μελλοντικές συνθήκες, η οποία μειώνεται μετά το 2050 στο αισιόδοξο σενάριο RCP2.6 καθώς μετριάζονται οι εκπομπές CO₂, παραμένει σταθερή στο σενάριο RCP4.5 και αυξάνεται συνεχώς στο απαισιόδοξο σενάριο RCP8.5, στο οποίο οι εκπομπές CO₂ αυξάνονται συνεχώς μέχρι και το 2100.
2. Ο ρυθμός αύξησης της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά είναι μικρότερος, όσο πιο απαισιόδοξο είναι το σενάριο για τις μελλοντικές κλιματικές συνθήκες. Συγκεκριμένα, στα έτη 2030 και 2050, παρόλο που η ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη στο απαισιόδοξο σενάριο RCP8.5, η ετήσια παραγωγή των φωτοβολταϊκών είναι μικρότερη από τα άλλα δύο σενάρια. Επίσης, στο έτος 2070, παρόλο που η ηλιακή ακτινοβολία στο σενάριο

RCP8.5 είναι κατά πολύ αυξημένη σε σχέση με το σενάριο RCP2.6, στο οποίο μετά το 2050 τείνει μειούμενη, η ετήσια παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά είναι μόλις σχεδόν η ίδια. Το αποτέλεσμα αυτό συμβαίνει λόγω της δυνατότητας των φωτοβολταϊκών στοιχείων να λειτουργήσουν με τη μέγιστη αποδοτικότητά τους σε ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών, το οποίο κυμαίνεται από τους 15°C μέχρι τους 35°C, ενώ συνήθως η δοκιμή τους γίνεται στους 25°C. Αυτό αποτυπώνεται στο συντελεστή θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών πάνελ, τον οποίο δίνει ο κατασκευαστής του, και εκφράζει το ποσοστό μείωσης της απόδοσης ανά °C, όταν η θερμοκρασία βρίσκεται πάνω από τους 25°C. Όσον αφορά τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία που έχουν εισαχθεί στο εξεταζόμενο κτήριο, ο συντελεστής θερμοκρασίας κυμαίνεται από -0,44 έως -0,50%/°C. Συνεπώς, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες που αποτυπώνονται όσο πιο απαισιόδοξο είναι το σενάριο μειώνουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών.

Συμπερασματικά, η παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά στοιχεία φαίνεται να παραμένει σχετικά σταθερή στο μέλλον, καθώς οι παράγοντες της αύξησης της ηλιακής ακτινοβολίας και της αύξησης των θερμοκρασιών λειτουργούν αντίρροπα.

Τα παραπάνω αποτελέσματα δεν περιέχουν τον συντελεστή μείωσης της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων λόγω παλαιότητας, ούτως ώστε να μελετηθεί η απόδοσή τους με βάση την κλιματική αλλαγή. Εισάγοντας την εξίσωση και τον συντελεστή μείωσης της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων λόγω παλαιότητας (1,0% για τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία για κάθε έτος λειτουργίας, σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017) καθώς και λαμβάνοντας υπόψη τη μείωση του συντελεστή απόδοσης με βάση την εξωτερική θερμοκρασία από το ίδιο το λογισμικό, τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι αυτά που φαίνονται στο Σχήμα 8.2. Όπως φαίνεται, η παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά μειώνεται συνεχώς, εξουδετερώνοντας πλήρως την όποια αύξηση προκύπτει από την κλιματική αλλαγή και την αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων λήφθηκε υπόψη ίση με 18% το 2020, 16,2% το 2030, 12,6% το 2050 και 9,0% το 2070.



Σχήμα 8.2: Ετήσια παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά για τα σενάρια κλιματικής αλλαγής RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 με συντελεστή μείωσης απόδοσης φωτοβολταϊκών στοιχείων λόγω παλαιότητας.

Είναι σημαντική, λοιπόν, η αντικατάσταση των φωτοβολταϊκών στοιχείων, καθώς ο κύκλος ζωής τους κυμαίνεται στα 25-40 έτη.

8.2 Παραγωγή ZNX

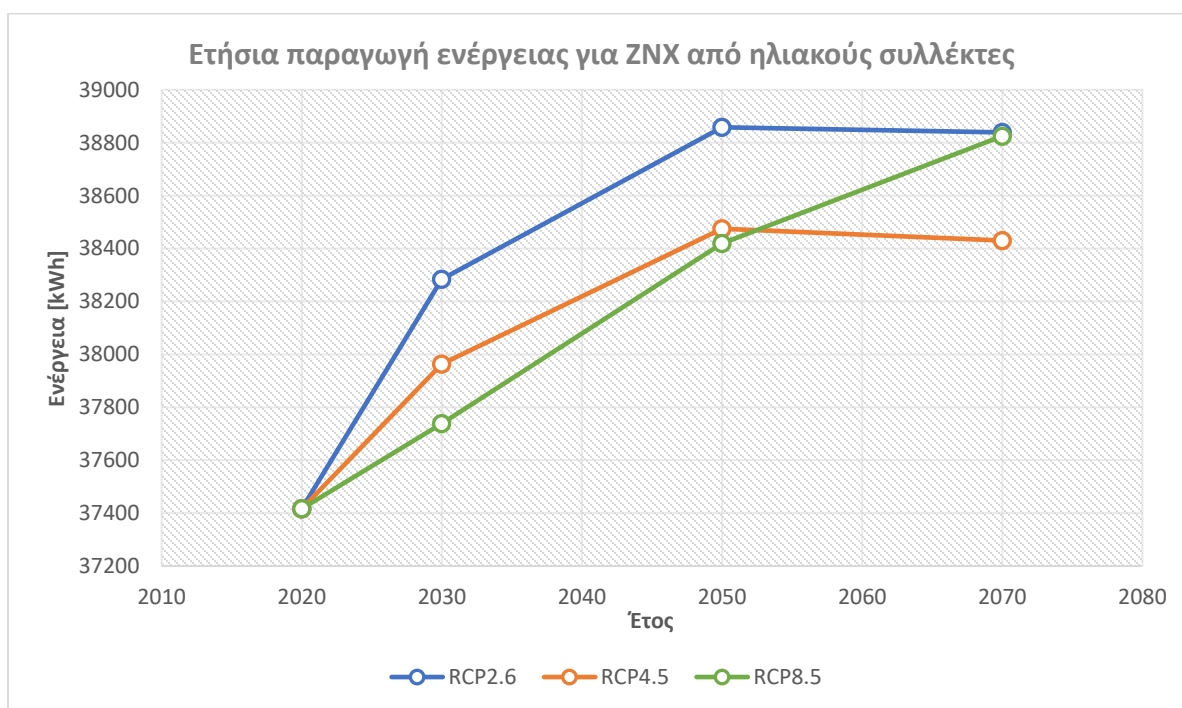
Αρχικά, θα μελετηθεί η ποσοστιαία κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων για ZNX στο εξεταζόμενο κτήριο, ούτως ώστε να διερευνηθεί το αν καλύπτονται οι ελάχιστες προδιαγραφές των νέων κτηρίων σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017. Με βάση αυτή, οι ανάγκες σε ZNX θα καλύπτονται από ηλιοθερμικά συστήματα σε ποσοστό κατ' ελάχιστο 60% σε ετήσια βάση.

Στον Πίνακα 8.2 φαίνονται τα ποσοστά κάλυψης των αναγκών για ZNX από τους ηλιακούς συλλέκτες και από τον θερμαντήρα που χρησιμοποιεί ως καύσιμο το φυσικό αέριο, καθώς και οι συνολικές καταναλώσεις για παραγωγή ZNX. Τα παρακάτω αποτελέσματα αφορούν ενεργειακή προσομοίωση με σύγχρονα κλιματικά δεδομένα, τα οποία αφορούν τα έτη 2001-2020 για την ακτινοβολία και 2000-2019 για τη θερμοκρασία.

Πίνακας 8.2: Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (kWh) από ηλιακούς συλλέκτες και κατανάλωση ενέργειας από τον θερμαντήρα (kWh) για την παραγωγή ZNX και ποσοστό κάλυψης του κάθε μέσου για σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).

Πηγή	Παραγόμενη ενέργεια (kWh)	Ποσοστό κάλυψης (%)
Ηλιακοί Συλλέκτες	37416,6	93,9
Θερμαντήρας	2430,5	6,1
Σύνολο	39847,1	100

Επιπλέον, στο Σχήμα 8.3 φαίνεται η παραγωγή ZNX σε kWh από τους ηλιακούς συλλέκτες για τα έτη 2030, 2050 και 2070 και για τα σενάρια για την κλιματική αλλαγή από την IPCC RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5.



Σχήμα 8.3: Ετήσια παραγωγή ενέργειας από ηλιακούς συλλέκτες για τα σενάρια κλιματικής αλλαγής RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5.

Όπως φαίνεται, η παραγωγή ZNX από το ηλιοθερμικό σύστημα έχει μεταβολές μικρής τάξης μεγέθους και ακολουθεί πανομοιότυπη εξέλιξη ανά σενάριο και ανά έτος με τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Σε γενικές γραμμές, αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου λόγω της μεγαλύτερης ηλιακής ακτινοβολίας που προσπέφτει στην επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών. Επιπλέον, η θερμοκρασία του νερού του συλλέκτη αυξάνεται λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας περισσότερο από την εξωτερική θερμοκρασία και γι' αυτό ενισχύονται σε μικρό βαθμό οι θερμικές απώλειες και μειώνεται η απόδοση στο απαισιόδοξο σενάριο.

Σε κάθε περίπτωση, η παραγωγή ZNX από ηλιοθερμικά συστήματα δεν προβλέπεται να αντιμετωπίσει κάποιο πρόβλημα όσον αφορά τα μελλοντικά κλιματικά δεδομένα. Συνεπώς, δεν υπάρχει ανάγκη για κάποια παρέμβαση στο συγκεκριμένο πεδίο, όπως η τοποθέτηση περισσότερων ηλιακών συλλεκτών στην οροφή του κτηρίου.

8.3 Σενάριο 1: Σύστημα VRF

Το πρώτο σενάριο αφορά το κτήριο που περιλαμβάνει ένα σύστημα VRF για τον κλιματισμό του και ένα σύστημα DOAS για τον εξαερισμό, όπως έχουν περιγραφεί στην Ενότητα 7.10.1.

Αρχικά, θα εξεταστεί η απόδοση του συστήματος και οι καταναλώσεις του κτηρίου στην παρούσα κατάσταση, με σύγχρονα κλιματικά δεδομένα.

Τα αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης είναι τα εξής, όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 8.1* από τα αποτελέσματα του Openstudio:

- Συνολικές καταναλώσεις: 52575 kWh
- Καθαρές καταναλώσεις (χωρίς να υπολογίζεται η παραγόμενη ενέργεια από τα Φ/Β): 18219
- Καταναλώσεις ανά μονάδα επιφάνειας: 57,23 kWh/m²
- Καθαρές καταναλώσεις ανά μονάδα επιφάνειας: 19,83 kWh/m²

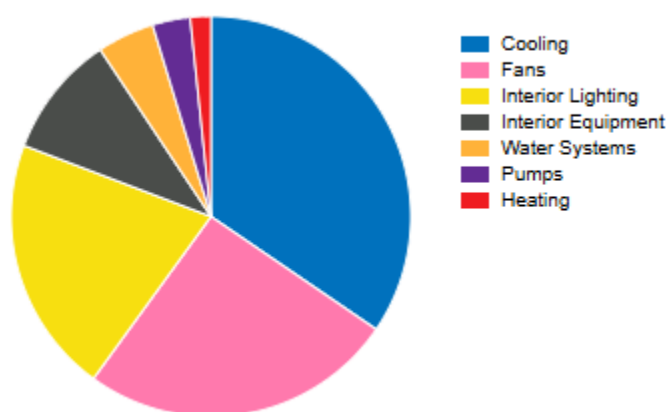
Building Summary	
Data	Value
Building Name	Building 1
Total Site Energy	52,575 kWh
Net Site Energy	18,219 kWh
Total Building Area	919 m ²
Total Site EUI	57.23 kWh/m ²
Net Site EUI	19.83 kWh/m ²
OpenStudio Standards Building Type	n/a

Εικόνα 8.1: Αποτελέσματα Openstudio για τις ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις κτηρίου με σύστημα VRF και σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).

Οι ενεργειακές καταναλώσεις χωρίζονται στις επιμέρους χρήσεις του κτηρίου όπως φαίνεται στον *Πίνακα 8.3* και στο *Σχήμα 8.4*:

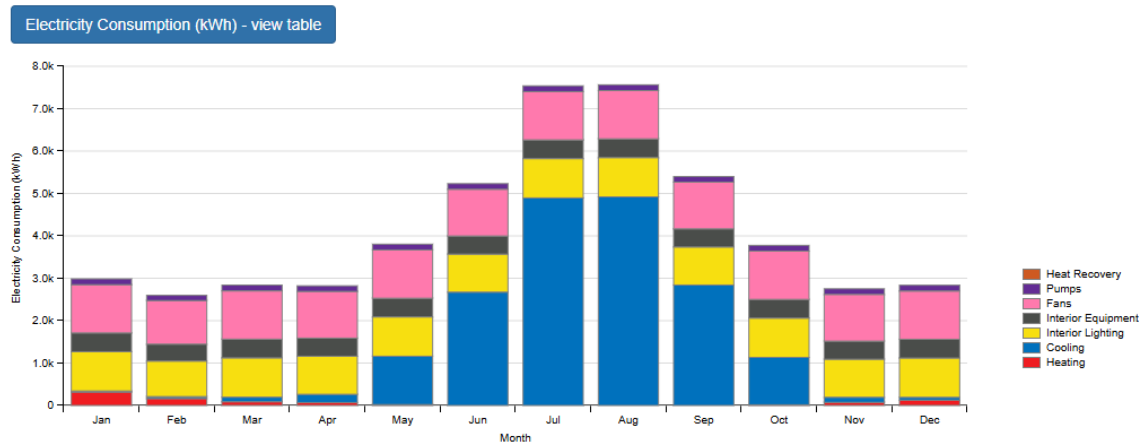
Πίνακας 8.3: Επιμέρους τελικές χρήσεις ενεργειακών καταναλώσεων και ποσοστό της κάθε μίας επί της συνολικής κατανάλωσης για κτήριο με σύστημα VRF και σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).

Τελική χρήση	Κατανάλωση (kWh)	Ποσοστό επί συνολικής κατανάλωσης (%)
Θέρμανση	872	1,66
Ψύξη	18150	34,52
Εσωτερικός φωτισμός	10914	20,76
Ηλεκτρικές συσκευές	5203	9,90
Ανεμιστήρες	13397	25,48
Αντλίες	1608	3,06
Συστήματα ZNX	2431	4,62

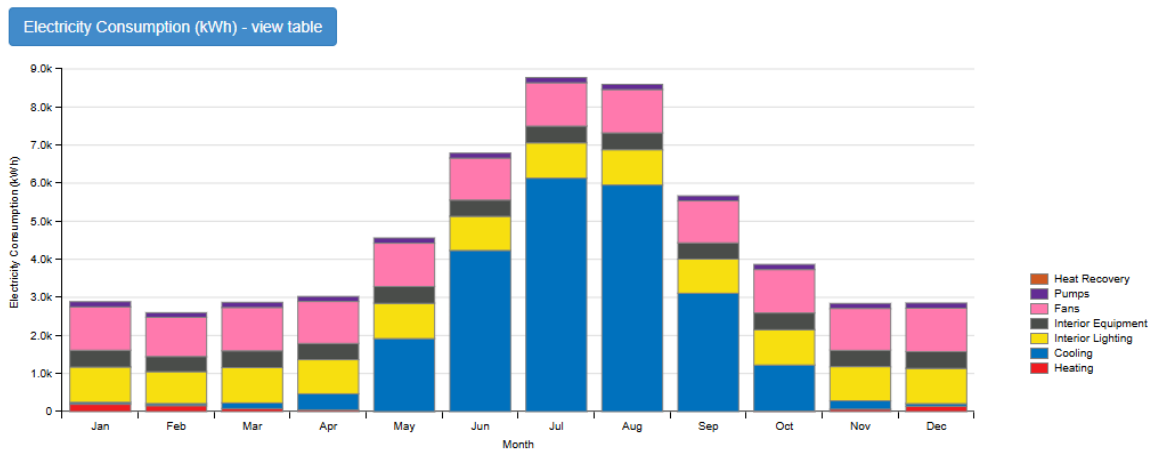


Σχήμα 8.4: Επιμέρους τελικές χρήσεις ενεργειακών καταναλώσεων για κτήριο με σύστημα VRF και σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).

Στο Σχήμα 8.5 φαίνονται οι μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις με τα σύγχρονα κλιματικά δεδομένα, ενώ στο Σχήμα 8.6 φαίνονται οι μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις για το 2070 και το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5, με σκοπό τη σύγκρισή τους.



Σχήμα 8.5: Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις για κτήριο με σύστημα VRF και σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).

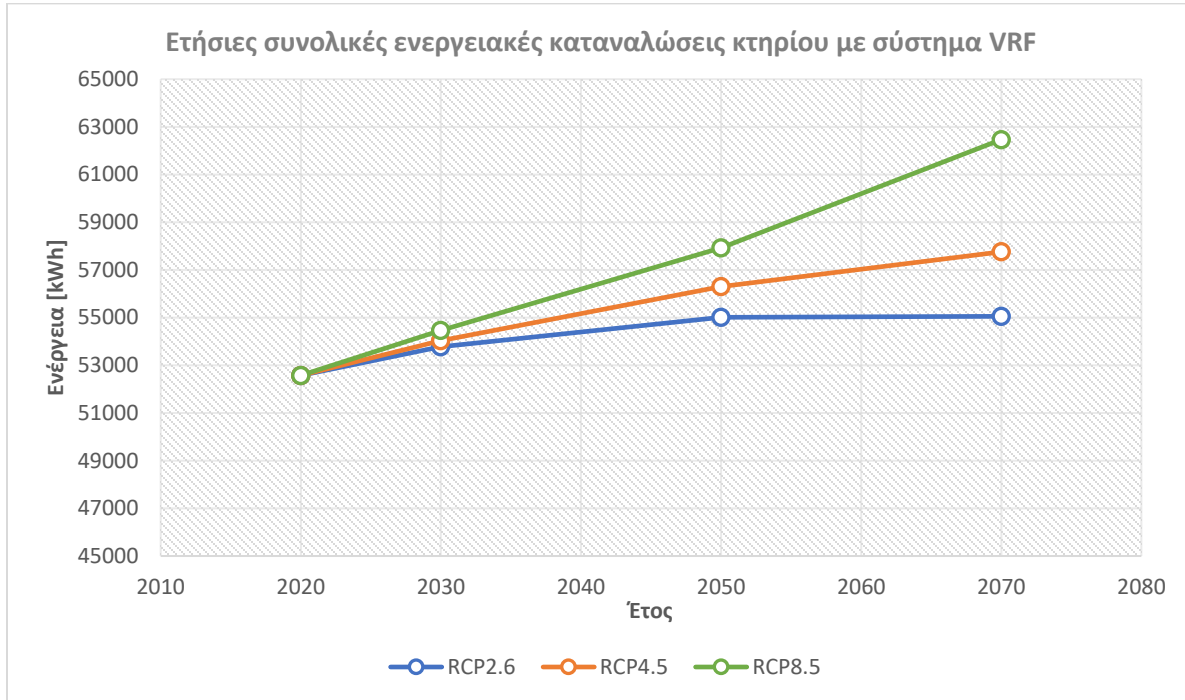


Σχήμα 8.6: Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις για κτήριο με σύστημα VRF, κλιματικά δεδομένα για το έτος 2070 και σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.

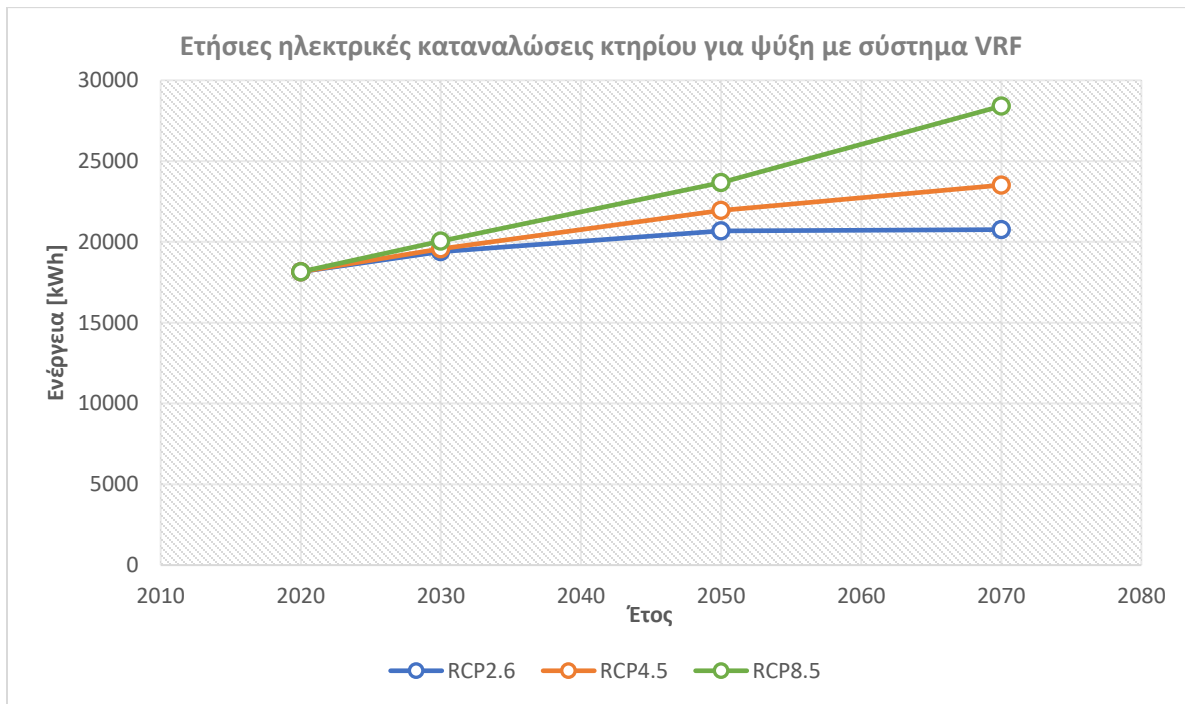
Όπως φαίνεται από τα παραπάνω δεδομένα, η κύρια πηγή καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας στο εξεταζόμενο κτήριο είναι η ψύξη του, η οποία πρέπει να είναι το κύριο αντικείμενο μελέτης με σκοπό τη μείωση των ηλεκτρικών καταναλώσεων και της αύξησης της μελλοντικής προστασίας του κτηρίου. Επιπλέον, αυξάνεται το εύρος στο οποίο υπάρχουν καταναλώσεις για ψύξη, καθώς παρατηρείται ότι το 2070 υπάρχουν αυξημένες ανάγκες σε σχέση με αυτές για θέρμανση και τον Απρίλιο και το Νοέμβριο, μήνες δηλαδή πιο κοντά στους χειμερινούς.

Έπειτα, θα εξεταστεί η συμπεριφορά του κτηρίου με σύστημα VRF εισάγοντας τα μελλοντικά κλιματικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για τα

έτη 2030, 2050 και 2070 και για τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5. Στο Σχήμα 8.7 παρουσιάζεται η μεταβολή των ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων του κτηρίου με σύστημα VRF, ενώ στο Σχήμα 8.8 παρουσιάζεται η μεταβολή των ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων του κτηρίου για ψύξη.



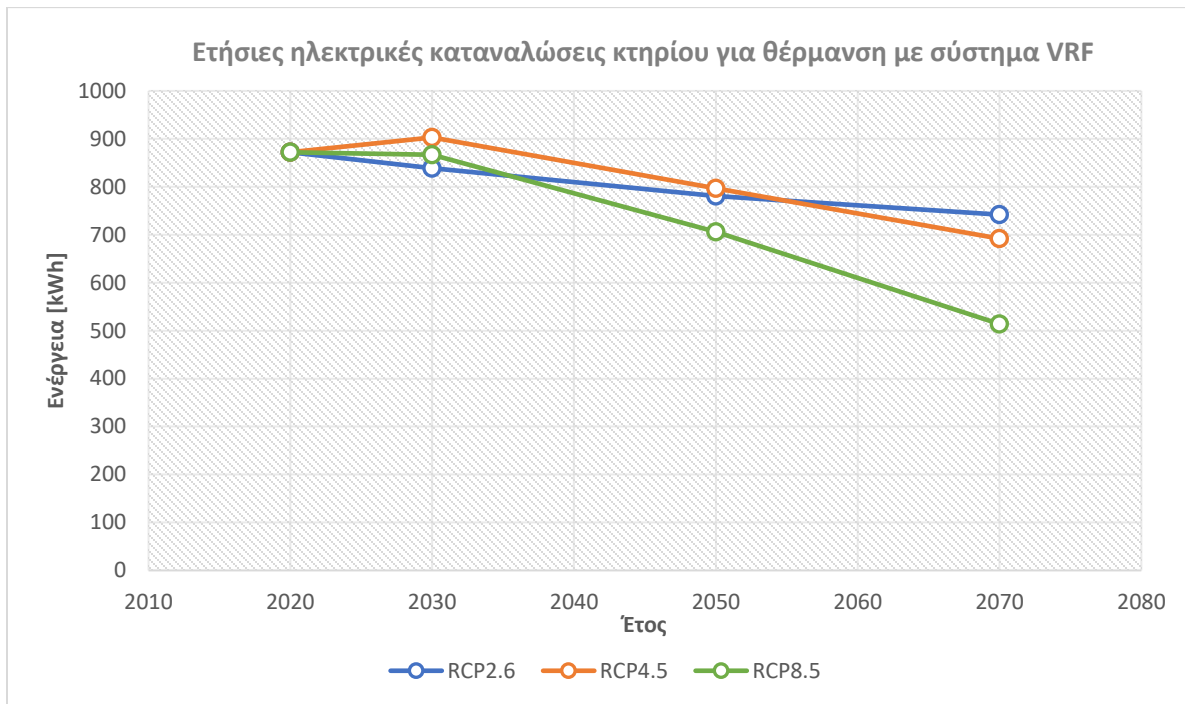
Σχήμα 8.7: Μεταβολή ετήσιων συνολικών ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου με σύστημα VRF.



Σχήμα 8.8: Μεταβολή ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη κτηρίου με σύστημα VRF.

Από τα παραπάνω διαγράμματα εξάγεται το συμπέρασμα ότι η τάση των καμπυλών που αφορούν τις συνολικές ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις καθώς και τις ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις για ψύξη αποτυπώνει την συνεχή αύξηση της θερμοκρασίας στα μελλοντικά κλιματικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, στο απαισιόδοξο σενάριο RCP8.5, τείνει να ενισχύεται ο ρυθμός αύξησης των καταναλώσεων, στο μετριοπαθές σενάριο RCP4.5 τείνει να σταθεροποιείται, ενώ και στο αισιόδοξο σενάριο RCP2.6 τείνει να σταθεροποιείται, ίσως με μία μικρή μείωση των καταναλώσεων από το 2050 και έπειτα.

Όσον αφορά τις ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις για θέρμανση, παρόλο που το ποσό ενέργειας είναι αμελητέο σε σχέση με τις καταναλώσεις για άλλες χρήσεις, τείνουν να μειώνονται με την πάροδο του χρόνου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.9.



Σχήμα 8.9: Μεταβολή ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για θέρμανση κτηρίου με σύστημα VRF.

Λόγω της πολύ μικρής τάξης μεγέθους δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο βέβαιο συμπέρασμα για τις καταναλώσεις για θέρμανση από την τάση των καμπυλών, πέρα από τη μείωση αυτών για κάθε πιθανό σενάριο για την κλιματική αλλαγή.

Τέλος, θα μελετηθεί το ποσοστό μεταβολής των συνολικών ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων καθώς και αυτό των ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη, από την παρούσα κατάσταση μέχρι το έτος 2070 και για τα τρία σενάρια για την κλιματική αλλαγή. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης φαίνεται στον Πίνακα 8.4 και στον Πίνακα 8.5.

Πίνακας 8.4: Απόλυτη και ποσοστιαία μεταβολή συνολικών ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων από την παρούσα κατάσταση (2020) μέχρι το 2070 για κτήριο με σύστημα VRF.

Σενάριο	Μεταβολή (kWh)	Ποσοστό μεταβολής (%)
RCP2.6	2478	4,71
RCP4.5	5183	9,86
RCP8.5	9892	18,82

Πίνακας 8.5: Απόλυτη και ποσοστιαία μεταβολή ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη από την παρούσα κατάσταση (2020) μέχρι το 2070 για κτήριο με σύστημα VRF.

Σενάριο	Μεταβολή (kWh)	Ποσοστό μεταβολής (%)
RCP2.6	2608	14,37
RCP4.5	5361	29,54
RCP8.5	10250	56,47

Συμπερασματικά, στο κτήριο με σύστημα VRF η ψύξη ευθύνεται στον μεγαλύτερο βαθμό για την αύξηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων στη μελλοντική κατάσταση. Επιπλέον, σε κάθε σενάριο, ακόμα και στο αισιόδοξο, οι ηλεκτρικές καταναλώσεις αυξάνονται μέχρι το 2070, ακόμα και αν αυτή η μεταβολή δεν είναι ανησυχητική.

8.4 Σενάριο 2: Σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

Το δεύτερο σενάριο αφορά το κτήριο που περιλαμβάνει ένα σύστημα γεωθερμίας (γεωθερμική αντλία θερμότητας) για τον κλιματισμό του και ένα σύστημα DOAS για τον εξαερισμό, όπως έχουν περιγραφεί στην Ενότητα 7.10.2.

Όπως και στο πρώτο σενάριο, θα εξεταστεί η απόδοση του συστήματος και οι καταναλώσεις του κτηρίου στην παρούσα κατάσταση, με σύγχρονα κλιματικά δεδομένα.

Τα αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης είναι τα εξής, όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 8.2* από τα αποτελέσματα του Openstudio:

- Συνολικές καταναλώσεις: 49756 kWh
- Καθαρές καταναλώσεις (χωρίς να υπολογίζεται η παραγόμενη ενέργεια από τα Φ/Β): 15400
- Καταναλώσεις ανά μονάδα επιφάνειας: 54,16 kWh/m²
- Καθαρές καταναλώσεις ανά μονάδα επιφάνειας: 16,76 kWh/m²

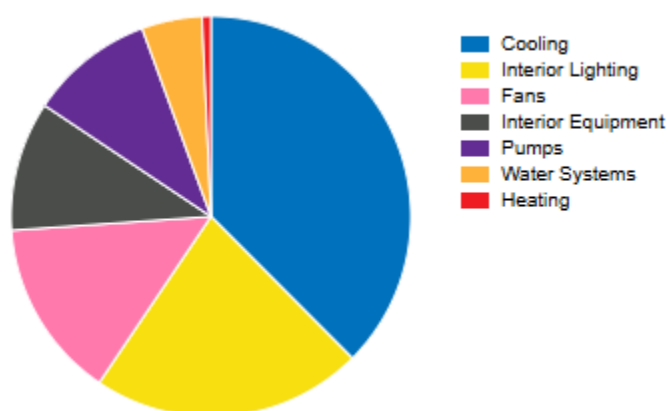
Building Summary	
Data	Value
Building Name	Building 1
Total Site Energy	49,756 kWh
Net Site Energy	15,400 kWh
Total Building Area	919 m ²
Total Site EUI	54.16 kWh/m ²
Net Site EUI	16.76 kWh/m ²
OpenStudio Standards Building Type	n/a

Εικόνα 8.2: Αποτελέσματα Openstudio για τις ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις κτηρίου με σύστημα γεωθερμίας και σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).

Οι ενεργειακές καταναλώσεις χωρίζονται στις επιμέρους χρήσεις του κτηρίου όπως φαίνεται στον Πίνακα 8.6 και στο Σχήμα 8.10:

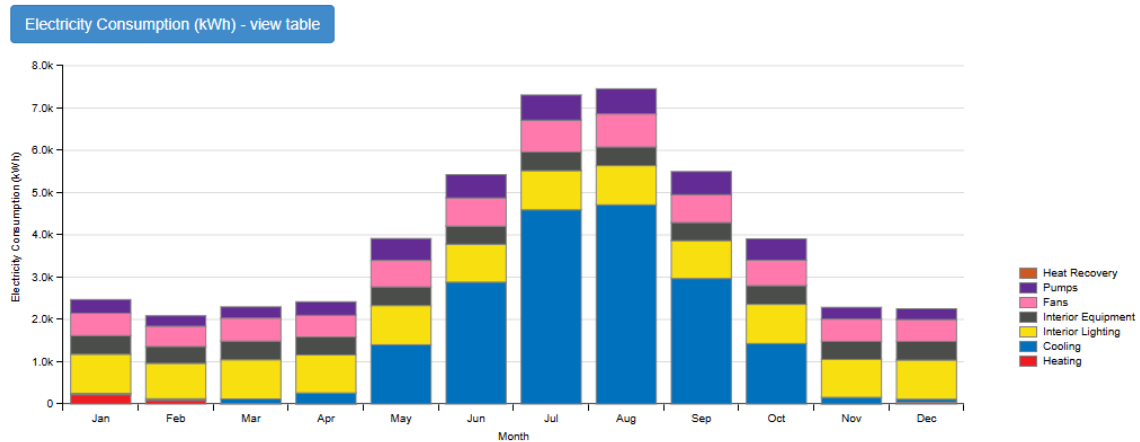
Πίνακας 8.6: Επιμέρους τελικές χρήσεις ενεργειακών καταναλώσεων και ποσοστό της κάθε μίας επί της συνολικής κατανάλωσης για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας και σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).

Τελική χρήση	Κατανάλωση (kWh)	Ποσοστό επί συνολικής κατανάλωσης (%)
Θέρμανση	356	0,72
Ψύξη	18664	37,51
Εσωτερικός φωτισμός	10914	21,94
Ηλεκτρικές συσκευές	5203	10,46
Ανεμιστήρες	7194	14,46
Αντλίες	4997	10,04
Συστήματα ZNX	2431	4,89

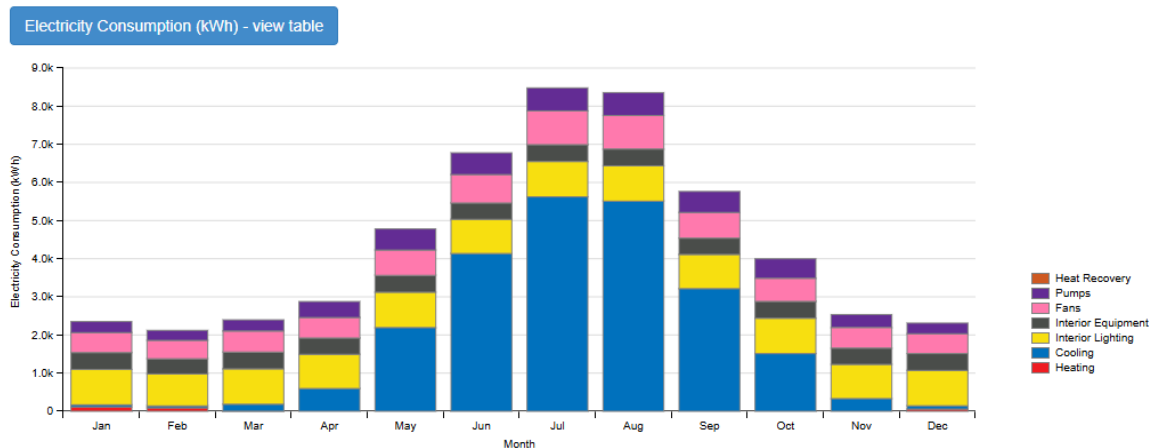


Σχήμα 8.10: Επιμέρους τελικές χρήσεις ενεργειακών καταναλώσεων για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας και σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).

Στο Σχήμα 8.11 φαίνονται οι μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις με τα σύγχρονα κλιματικά δεδομένα, ενώ στο Σχήμα 8.12 φαίνονται οι μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις για το 2070 και το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5, με σκοπό τη σύγκρισή τους.



Σχήμα 8.11: Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας και σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).



Σχήμα 8.12: Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας, κλιματικά δεδομένα για το έτος 2070 και σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.

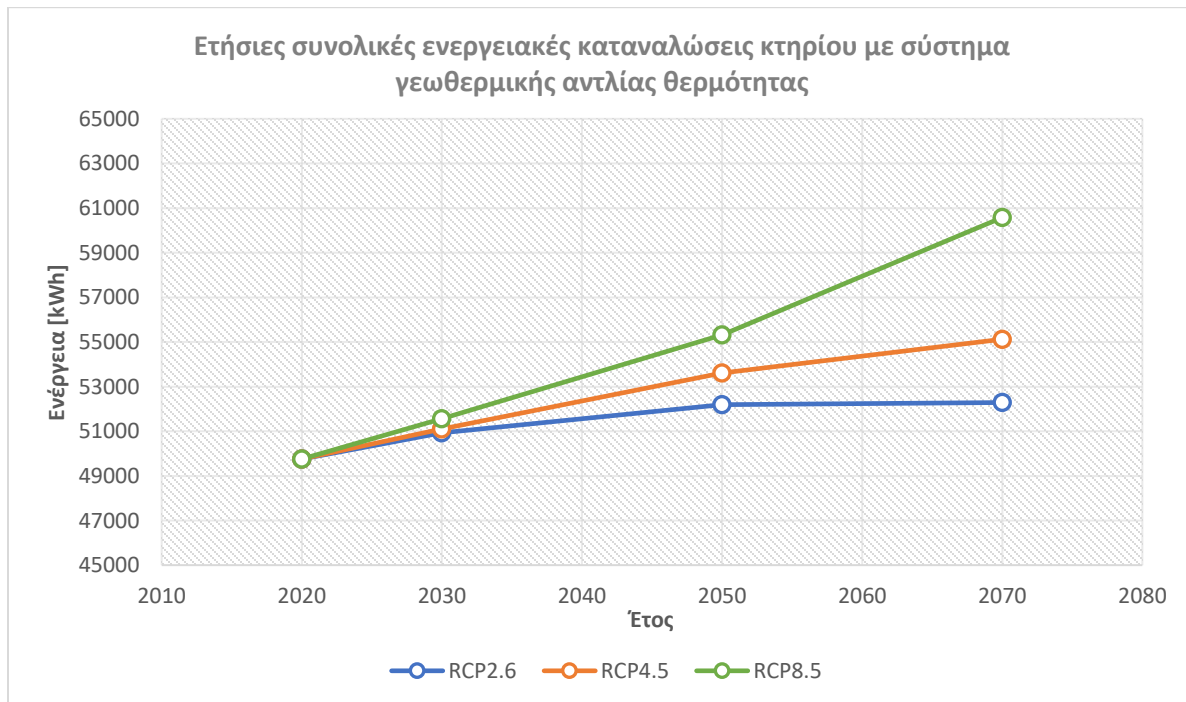
Όπως φαίνεται υπάρχει αντιστοιχία στα ποσοστά των επιμέρους καταναλώσεων επί των συνολικών ηλεκτρικών καταναλώσεων με το σύστημα VRF. Αναμενόμενα, λόγω της χρήσης της γεωθερμίας για την θέρμανση και ψύξη του κτηρίου, οι καταναλώσεις για θέρμανση είναι κατά 59,17% μικρότερες από αυτές με σύστημα VRF, καθώς η διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία του υπεδάφους και στη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι σημαντική κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Όσον αφορά την εξέλιξη των καταναλώσεων στην πάροδο του χρόνου, φαίνεται επίσης ότι το 2070 οι καταναλώσεις για ψύξη διευρύνονται περισσότερο και στους μήνες που είναι πλησιέστεροι στους χειμερινούς, σε μεγαλύτερο

βαθμό από το κτήριο με σύστημα VRF, καθώς παρατηρούνται αυξημένες καταναλώσεις για ψύξη σε σχέση με αυτές για θέρμανση και το Μάρτιο και τον Νοέμβριο.

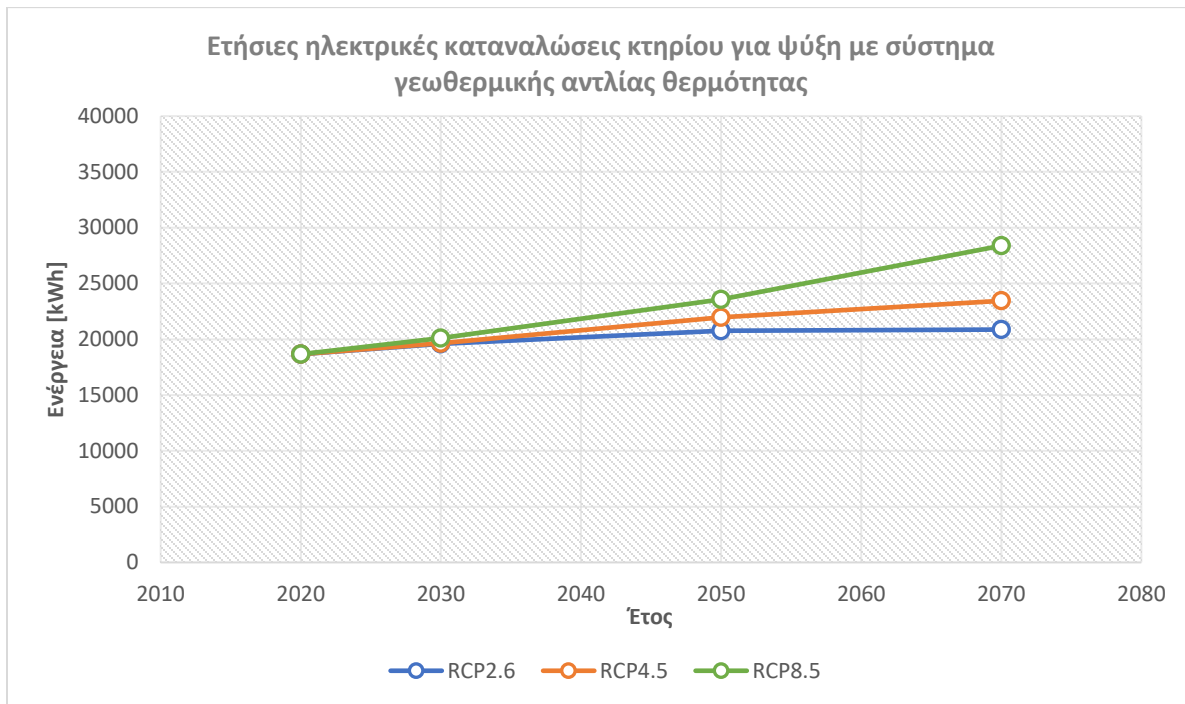
Σε αντιστοιχία με τα αποτελέσματα για το σύστημα VRF, θα μελετηθεί η συμπεριφορά του κτηρίου με σύστημα γεωθερμίας για τα έτη 2030, 2050 και 2070 και τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 για την κλιματική αλλαγή.

Σημαντικός παράγοντας στα αποτελέσματα αυτά είναι η θερμοκρασία του εδάφους στα 150m που αποτελούν το βάθος γεώτρησης στη συγκεκριμένη περίπτωση. Στα αποτελέσματα για την παρούσα κατάσταση, λήφθηκε υπόψη η θερμοκρασία του εδάφους σε αυτό το βάθος στους 17°C. Με βάση μελέτες που εξετάζουν τόσο ιστορικά δεδομένα συγκεκριμένων τοποθεσιών σε μεγάλα βάθη [17], όσο και άλλες που προβάλλουν τα δεδομένα αυτά στο μέλλον για διάφορα σενάρια της κλιματικής αλλαγής από την IPCC [18], διαφαίνεται πως η μεταβολή στη θερμοκρασία του υπεδάφους σε βάθος 150m πρόκειται να είναι αμελητέα μέχρι το έτος 2070. Συνεπώς, η θερμοκρασία του υπεδάφους θα ληφθεί υπόψη ως σταθερή.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, στο *Σχήμα 8.13* παρουσιάζεται η μεταβολή των ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων του κτηρίου με σύστημα γεωθερμίας, ενώ στο *Σχήμα 8.14* παρουσιάζεται η μεταβολή των ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων του κτηρίου για ψύξη.

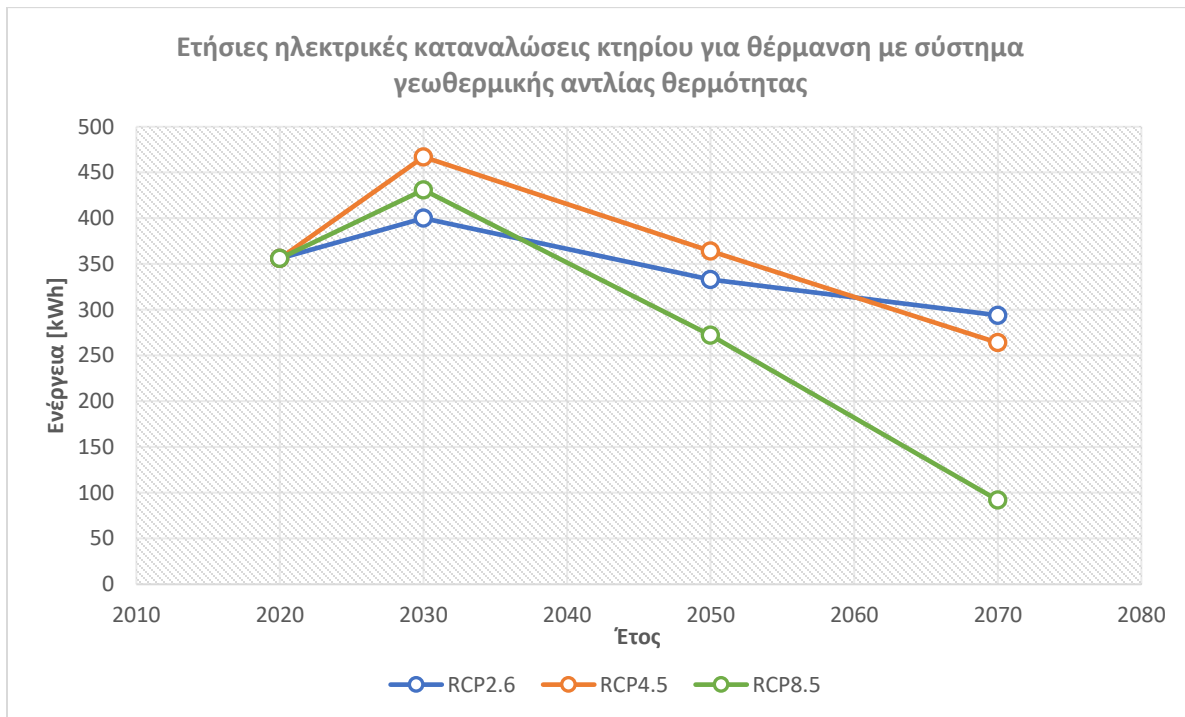


Σχήμα 8.13: Μεταβολή ετήσιων συνολικών ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου με σύστημα γεωθερμίας.



Σχήμα 8.14: Μεταβολή ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη κτηρίου με σύστημα γεωθερμίας.

Σε σχετική αντιστοιχία με τη μεταβολή των καταναλώσεων του κτηρίου για θέρμανση με το σύστημα VRF βρίσκεται και αυτή του κτηρίου με σύστημα γεωθερμίας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.15. Οι καταναλώσεις για θέρμανση είναι μειωμένες σε μεγάλο βαθμό, ενώ και στα 3 σενάρια αγγίζουν ένα πολύ μικρό ποσό ενέργειας στο έτος 2070.



Σχήμα 8.15: Μεταβολή ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για θέρμανση κτηρίου με σύστημα γεωθερμίας.

Τέλος, μελετάται και για αυτό το σύστημα το ποσοστό μεταβολής των συνολικών ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων καθώς και αυτό των ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη, από την παρούσα κατάσταση μέχρι το έτος 2070 και για τα τρία σενάρια για την κλιματική αλλαγή. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης φαίνεται στον Πίνακα 8.7 και στον Πίνακα 8.8.

Πίνακας 8.7: Απόλυτη και ποσοστιαία μεταβολή συνολικών ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων από την παρούσα κατάσταση μέχρι το 2070 για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας.

Σενάριο	Μεταβολή (kWh)	Ποσοστό μεταβολής (%)
RCP2.6	2530	5,08
RCP4.5	5366	10,78
RCP8.5	10713	21,53

Πίνακας 8.8: Απόλυτη και ποσοστιαία μεταβολή ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη από την παρούσα κατάσταση μέχρι το 2070 για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας.

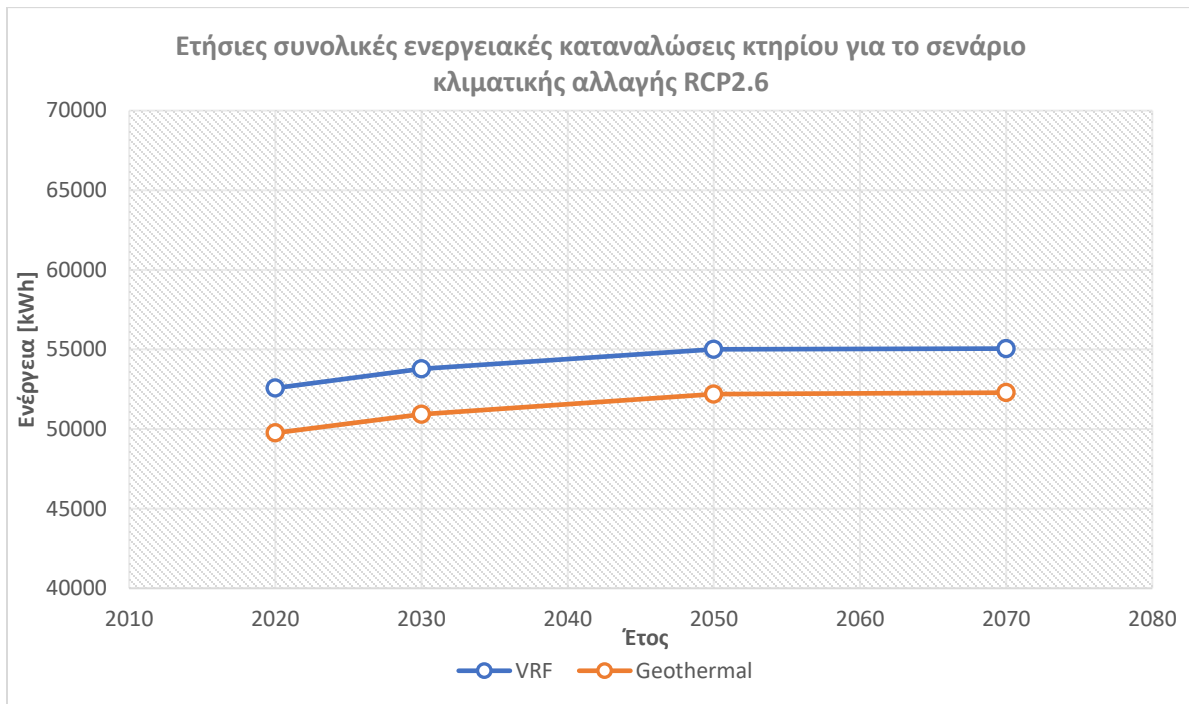
Σενάριο	Μεταβολή (kWh)	Ποσοστό μεταβολής (%)
RCP2.6	2203	11,80
RCP4.5	4780	25,61
RCP8.5	9636	51,63

Συμπερασματικά, και σε αυτό το σενάριο, παρά τις μειωμένες καταναλώσεις, η ψύξη αποτελεί την μεγαλύτερη πηγή κατανάλωσης ενέργειας και συμβάλλει και στην αύξηση των καταναλώσεων στο μέλλον.

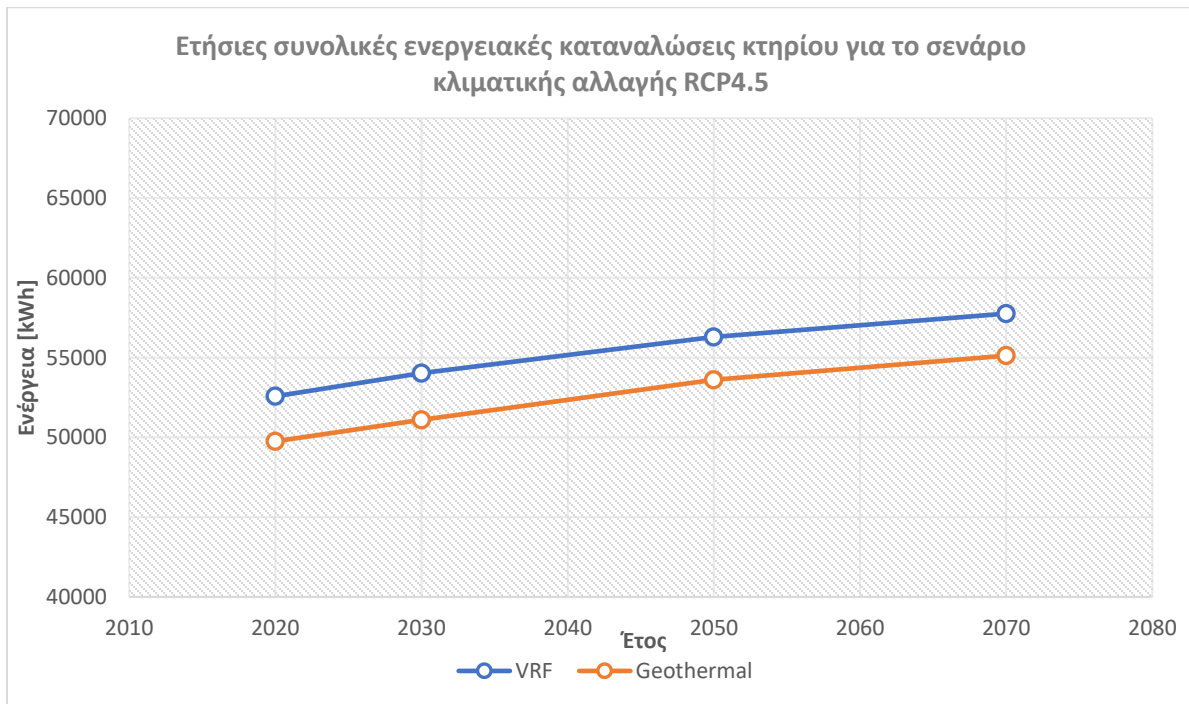
8.5 Σύγκριση των διαφορετικών συστημάτων

Τέλος, θα πραγματοποιηθεί η σύγκριση των δύο διαφορετικών συστημάτων, ούτως ώστε να διαπιστωθεί ποιο σύστημα είναι το πιο αποδοτικό και αυτό που συνεπάγεται μικρότερες ενεργειακές καταναλώσεις. Παράλληλα, θα εξεταστεί το ποιο σύστημα είναι πιο συμφέρον για μελλοντική χρήση, ανάλογα με τη μεταβολή των ενεργειακών καταναλώσεων του καθενός στα μελλοντικά σενάρια και έτη.

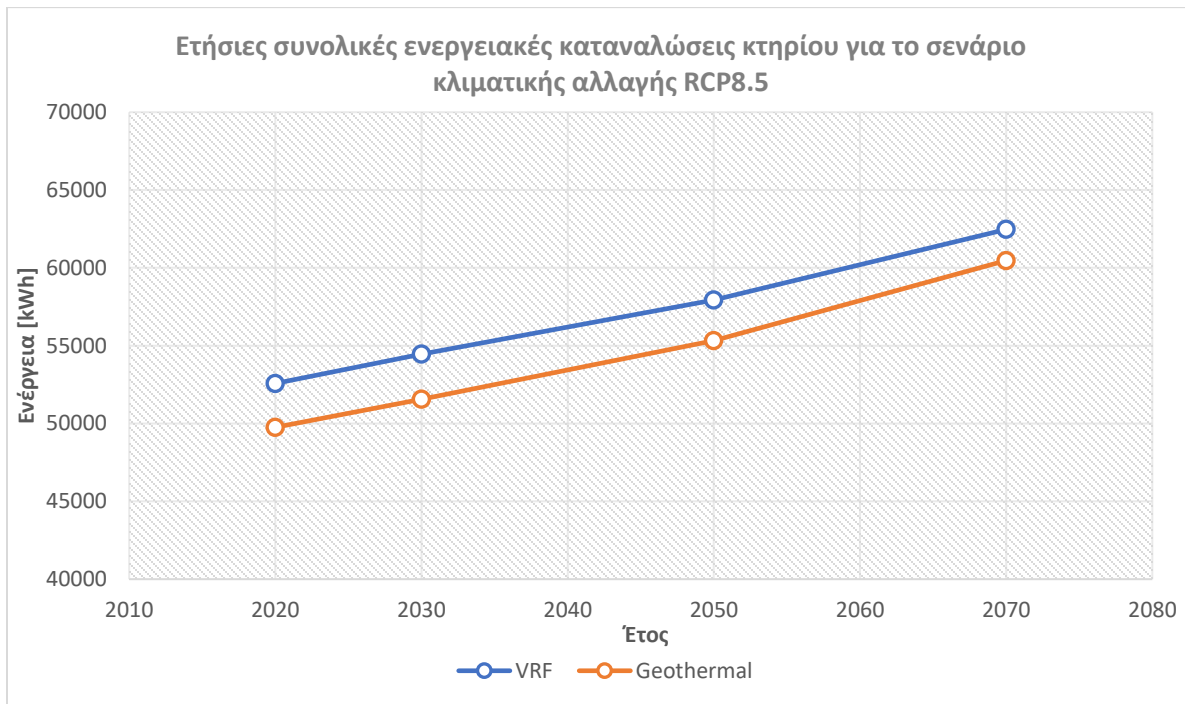
Αρχικά, παρουσιάζεται η σύγκριση των ετήσιων συνολικών ενεργειακών καταναλώσεων των δύο συστημάτων για τα έτη 2030, 2050 και 2070 και για τα τρία σενάρια για την κλιματική αλλαγή. Στο Σχήμα 8.16 φαίνεται το σενάριο RCP2.6, στο Σχήμα 8.16 το σενάριο RCP4.5 και στο Σχήμα 8.17 το σενάριο RCP8.5.



Σχήμα 8.16: Σύγκριση συνολικών ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου των συστημάτων VRF και γεωθερμίας για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP2.6.



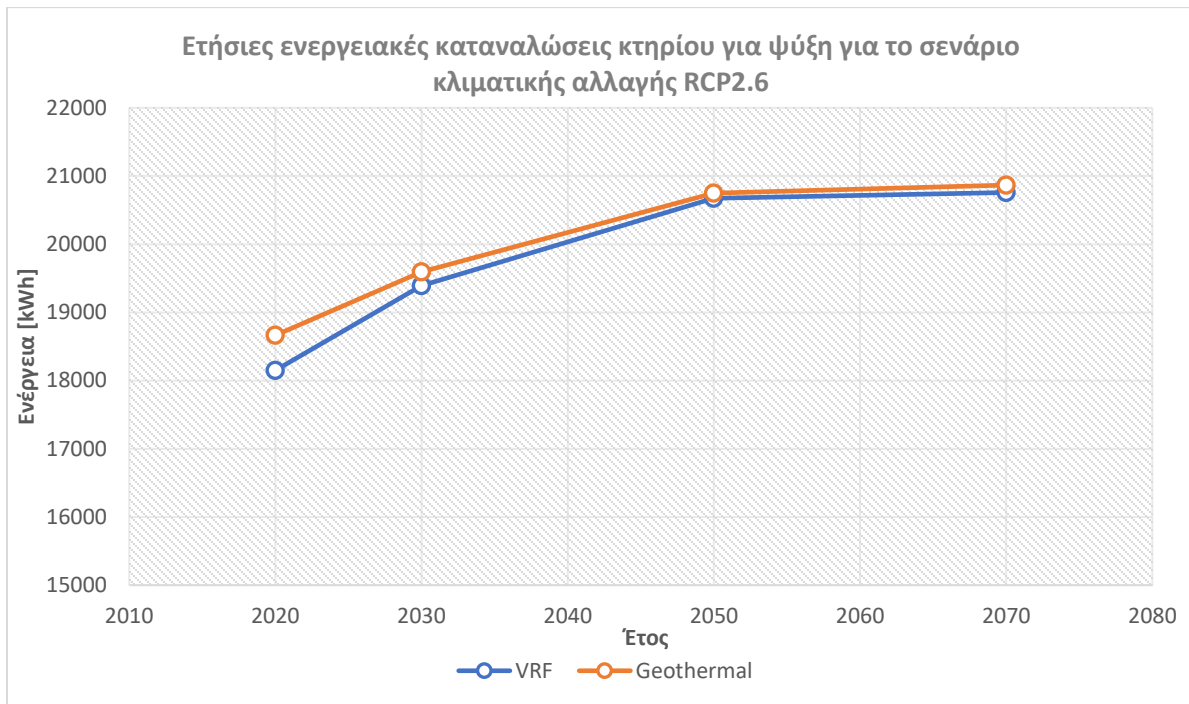
Σχήμα 8.17: Σύγκριση συνολικών ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου των συστημάτων VRF και γεωθερμίας για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.



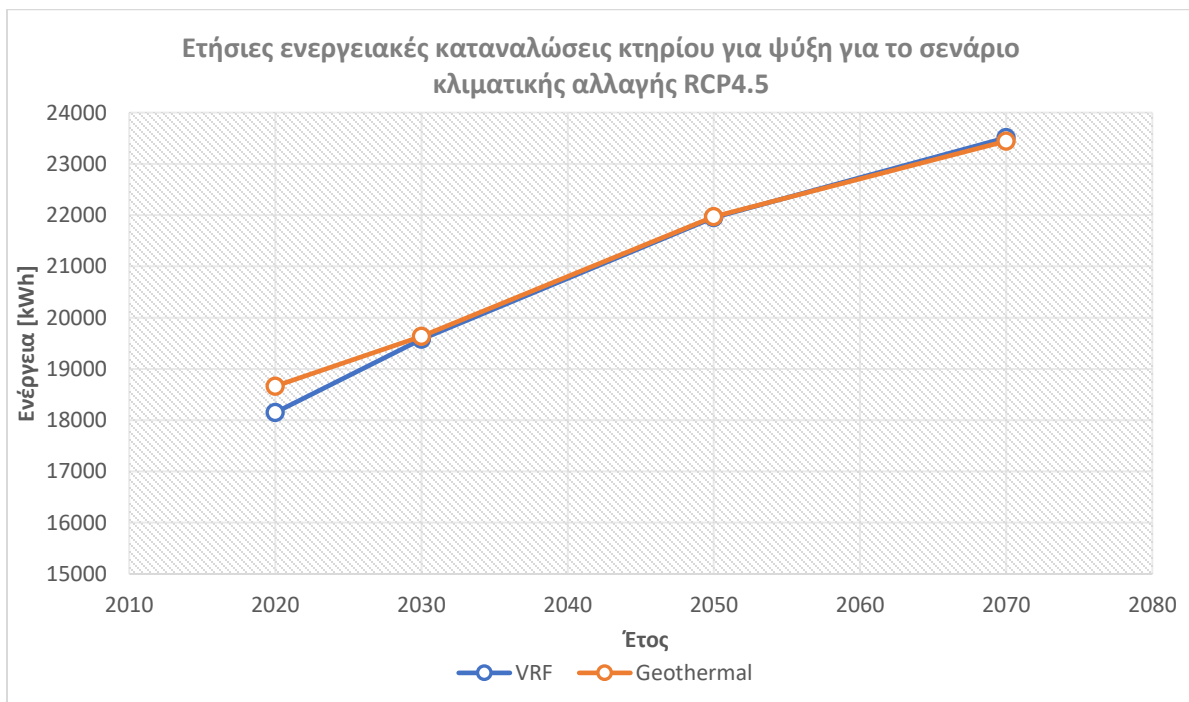
Σχήμα 8.18: Σύγκριση συνολικών ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου των συστημάτων VRF και γεωθερμίας για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP8.5.

Παρατηρείται πως και στα 3 σενάρια για την κλιματική αλλαγή, το σύστημα της γεωθερμίας είναι αυτό που συνεπάγεται μικρότερες ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις για το εξεταζόμενο κτήριο, παρά το ότι ο ρυθμός αύξησής τους είναι κατά ένα μικρό ποσοστό υψηλότερος.

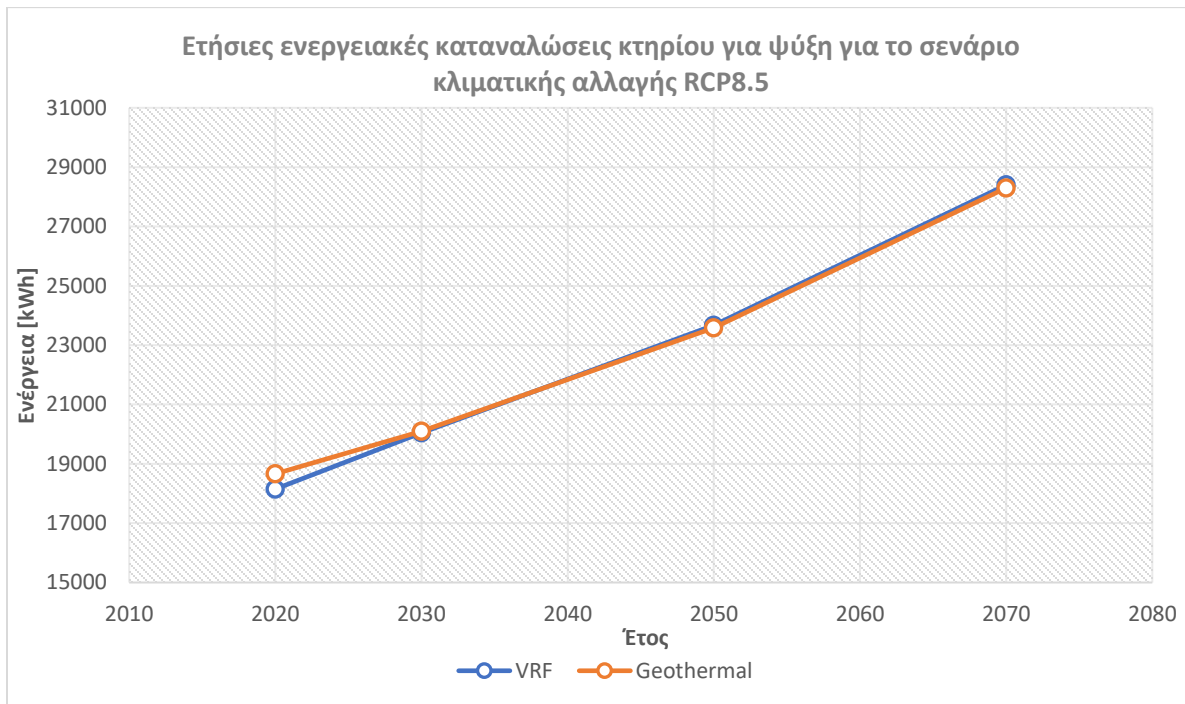
Επίσης, παρουσιάζεται η σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων για ψύξη των δύο συστημάτων για τα έτη 2030, 2050 και 2070 και για τα τρία σενάρια για την κλιματική αλλαγή. Στο Σχήμα 8.19 φαίνεται το σενάριο RCP2.6, στο Σχήμα 8.20 το σενάριο RCP4.5 και στο Σχήμα 8.21 το σενάριο RCP8.5.



Σχήμα 8.19: Σύγκριση ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου για ψύξη των συστημάτων VRF και γεωθερμίας για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP2.6.



Σχήμα 8.20: Σύγκριση ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου για ψύξη των συστημάτων VRF και γεωθερμίας για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.



Σχήμα 8.21: Σύγκριση ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου για ψύξη των συστημάτων VRF και γεωθερμίας για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP8.5.

Έπειτα, στον Πίνακα 8.9 και στον Πίνακα 8.10 φαίνεται η απόλυτη μεταβολή στις ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις και στις καταναλώσεις για ψύξη αντίστοιχα, ενώ στον Πίνακα 8.11 και στον Πίνακα 8.12 η αντίστοιχη ποσοστιαία μεταβολή από την παρούσα κατάσταση μέχρι το 2070 και για τα δύο συστήματα.

Πίνακας 8.9: Απόλυτη μεταβολή ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων για κτήριο με σύστημα VRF και για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας.

Σύστημα	Μεταβολή RCP2.6	Μεταβολή RCP4.5	Μεταβολή RCP8.5
VRF	2478	5183	9892
Γεωθερμία	2530	5366	10713

Πίνακας 8.10: Απόλυτη μεταβολή ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη για κτήριο με σύστημα VRF και για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας.

Σύστημα	Μεταβολή RCP2.6	Μεταβολή RCP4.5	Μεταβολή RCP8.5
VRF	2608	5361	10250
Γεωθερμία	2203	4780	9636

Πίνακας 8.11: Ποσοστιαία μεταβολή ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων για κτήριο με σύστημα VRF και για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας.

Σύστημα	Μεταβολή RCP2.6	Μεταβολή RCP4.5	Μεταβολή RCP8.5
VRF	4,71	9,86	18,82
Γεωθερμία	5,08	10,78	21,53

Πίνακας 8.12: Ποσοστιαία μεταβολή ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη για κτήριο με σύστημα VRF και για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας.

Σύστημα	Μεταβολή RCP2.6	Μεταβολή RCP4.5	Μεταβολή RCP8.5
VRF	14,37	29,54	56,47
Γεωθερμία	11,80	25,61	51,63

Συμπερασματικά, το κτήριο που λειτουργεί με τη γεωθερμική αντλία θερμότητας συνεπάγεται μικρότερες ετήσιες καταναλώσεις μέχρι και το 2070, ενώ η αύξηση αυτών είναι κατά ένα μικρό ποσοστό μεγαλύτερη και στα τρία σενάρια για την κλιματική αλλαγή. Παρόλα αυτά, η αύξηση των καταναλώσεων για ψύξη του κτηρίου με σύστημα γεωθερμίας είναι μικρότερη και στα τρία σενάρια από το κτήριο με σύστημα VRF, λόγω της λειτουργίας του συστήματος με μία πιο σταθερή θερμοκρασία, αυτή του υπεδάφους. Η μεγαλύτερη μεταβολή, λοιπόν, στις συνολικές ενεργειακές καταναλώσεις υπάρχει λόγω της μεγαλύτερης αύξησης των καταναλώσεων από τις αντλίες και τους ανεμιστήρες.

Παρά τις μειωμένες καταναλώσεις, είναι ανάγκη να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες για την εγκατάσταση ή μη ενός συστήματος γεωθερμίας συγκριτικά με ένα σύστημα VRF, κυριότερος εκ των οποίων είναι το κόστος και ο χρόνος της εγκατάστασης. Το σύστημα γεωθερμίας απαιτεί την κοστοβόρα εγκατάσταση του γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας σε μεγάλο βάθος, η οποία συνεπάγεται και ένα μεγαλύτερο χρονικό διάστημα κατασκευής του κτηρίου. Η γεωθερμική αντλία θερμότητας, οι σωληνώσεις καθώς και ο κατάλληλος σχεδιασμός του συστήματος αλλά και ο κατάλληλος εξοπλισμός και οι γεωτρήσεις έχουν υψηλό αρχικό κόστος. Επιπλέον, απαιτείται η μελέτη και η αξιολόγηση της καταλληλότητας του εδάφους και η αδειοδότηση για γεώτρηση, στοιχεία που αυξάνουν τον χρόνο κατασκευής του κτηρίου.

Επιπλέον, σημαντικός παράμετρος είναι και η τοποθεσία κατασκευής του κτηρίου, καθώς σε μεγάλα αστικά κέντρα, όπου βρίσκεται και το ξενοδοχείο πόλης που εξετάζεται στη συγκεκριμένη περίπτωση, η εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος στο απαιτούμενο βάθος μπορεί να μην είναι δυνατή. Σημαντικό πρόβλημα μπορεί να αποτελέσει η έλλειψη διαθέσιμου χώρου για τις γεωτρήσεις αλλά και η πιθανότητα υπόγειων εγκαταστάσεων, όπως σωληνώσεις, αποχετεύσεις, ηλεκτρικά καλώδια κ.ά., δυσχεραίνοντας ή ακόμα και εμποδίζοντας την εγκατάσταση.

9. Παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας

Το σύνολο των αποτελεσμάτων των ενεργειακών προσομοιώσεων αποδεικνύει με ξεκάθαρο τρόπο πως η δράση για την προστασία των κτηρίων από την κλιματική αλλαγή είναι αναγκαία. Η συνεχής αύξηση των ενεργειακών καταναλώσεων σε μεγάλο βαθμό τις επόμενες δεκαετίες συνεπάγεται μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας των κτηρίων, και ειδικά του τριτογενούς τομέα, στον οποίο οι καταναλώσεις είναι ακόμα μεγαλύτερες, καθώς και ακόμα πιο οξυμένη επιβάρυνση του κλίματος. Δημιουργείται έτσι, ένας κύκλος, στον οποίο οι ενεργειακές καταναλώσεις των κτηρίων αυξάνονται σε σημαντικό βαθμό λόγω της κλιματικής αλλαγής, επιβαρύνοντας με τη σειρά τους ακόμα περισσότερο το κλίμα λόγω των μεγαλύτερων εκπομπών. Καθώς αυτά τα ανησυχητικά αποτελέσματα ισχύουν ακόμα και για τα μετριοπαθή σενάρια, η μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων και η αύξηση της ανθεκτικότητας των κτηρίων στην κλιματική αλλαγή, δηλαδή και στην αύξηση της θερμοκρασίας, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζονται κάποιες βασικές λύσεις εξοικονόμησης ενέργειας και περιορισμού των καταναλώσεων με σκοπό την αντιστάθμιση ενός μέρους των αυξημένων καταναλώσεων λόγω των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Για την πραγματοποίηση των παρακάτω παρεμβάσεων λαμβάνονται, σε όλες τις περιπτώσεις, οι εξής παραδοχές:

- Το κτήριο είναι κτισμένο το 2017, με τα χαρακτηριστικά που έχουν αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα.
- Οι παρεμβάσεις πραγματοποιούνται σε κτήριο με εγκατεστημένο σύστημα VRF με DOAS.
- Οι ενεργειακές προσομοιώσεις πραγματοποιούνται για τα έτη 2030, 2050 και 2070 και για το σενάριο κλιματικής αλλαγής της IPCC RCP4.5.
- Για τον υπολογισμό της περιόδου απόσβεσης των παρεμβάσεων λαμβάνεται υπόψη ετήσιο επιτόκιο αναγωγής 6% για την ετήσια εξοικονόμηση χρημάτων καθώς και ετήσια αύξηση της τιμής της ενέργειας 3%, με αρχική τιμή το 2025 0,30€/kWh. Η οικονομική μελέτη πραγματοποιείται με ορίζοντα 30 ετών (μέχρι το 2055).

9.1 Τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης

Στην πρώτη περίπτωση, θα μελετηθεί η τοποθέτηση επιπλέον εξωτερικής θερμομόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους με το ίδιο θερμομονωτικό υλικό, την εξηλασμένη πολυστερίνη. Η αύξηση αυτή θα πραγματοποιηθεί μόνο στους εξωτερικούς τοίχους, καθώς η περαιτέρω θερμομόνωση και στεγανοποίηση του δώματος κρίνεται εκ των προτέρων ασύμφορη διαδικασία, καθώς το κτήριο έχει εγκατεστημένα Φ/Β πλαίσια και ηλιακούς συλλέκτες, τα οποία καθιστούν μεγάλη τη δυσκολία παρέμβασης.

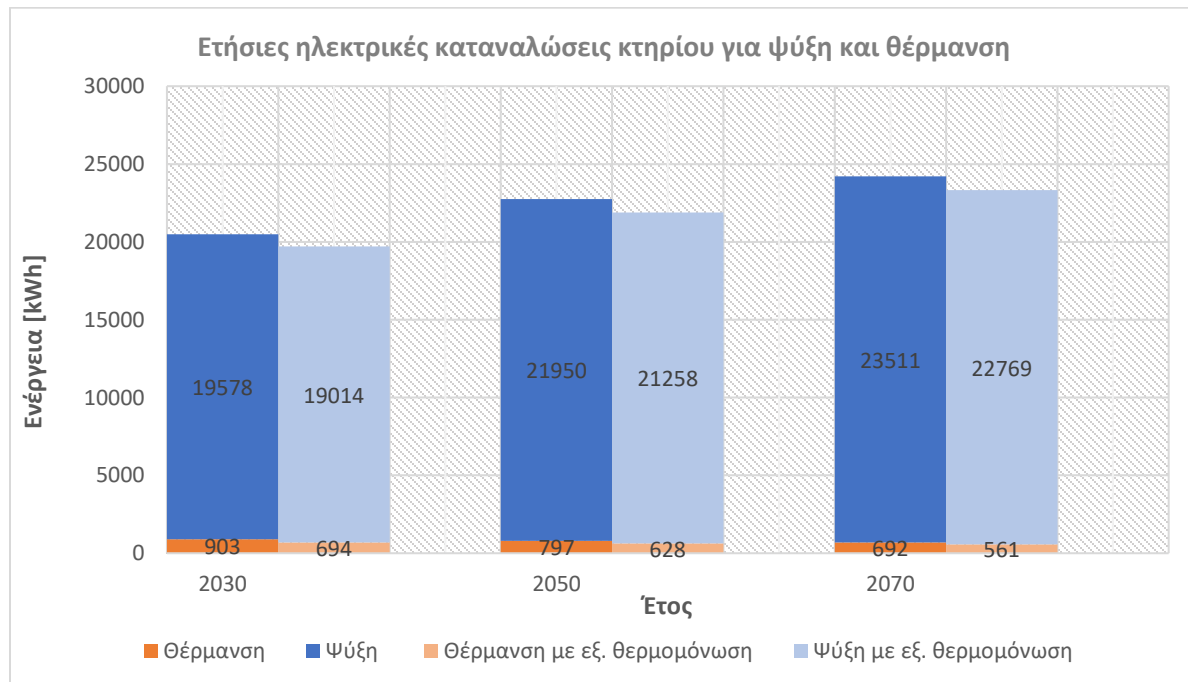
Συγκεκριμένα, θα προστεθεί εξωτερική θερμομόνωση εξηλασμένης πολυστερίνης πάχους 5mm. Αύξηση του πάχους της θερμομόνωσης συνεπάγεται αύξηση της θερμικής αντίστασης του υλικού και μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας U του εξωτερικού τοίχου, άρα και του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του κτηρίου. Αναλυτικά για τον εξωτερικό τοίχο:

- Νέος συντελεστής θερμοπερατότητας εξωτερικού τοίχου: $U=0,24 < U_{\max}=0,45$ W/m^2K

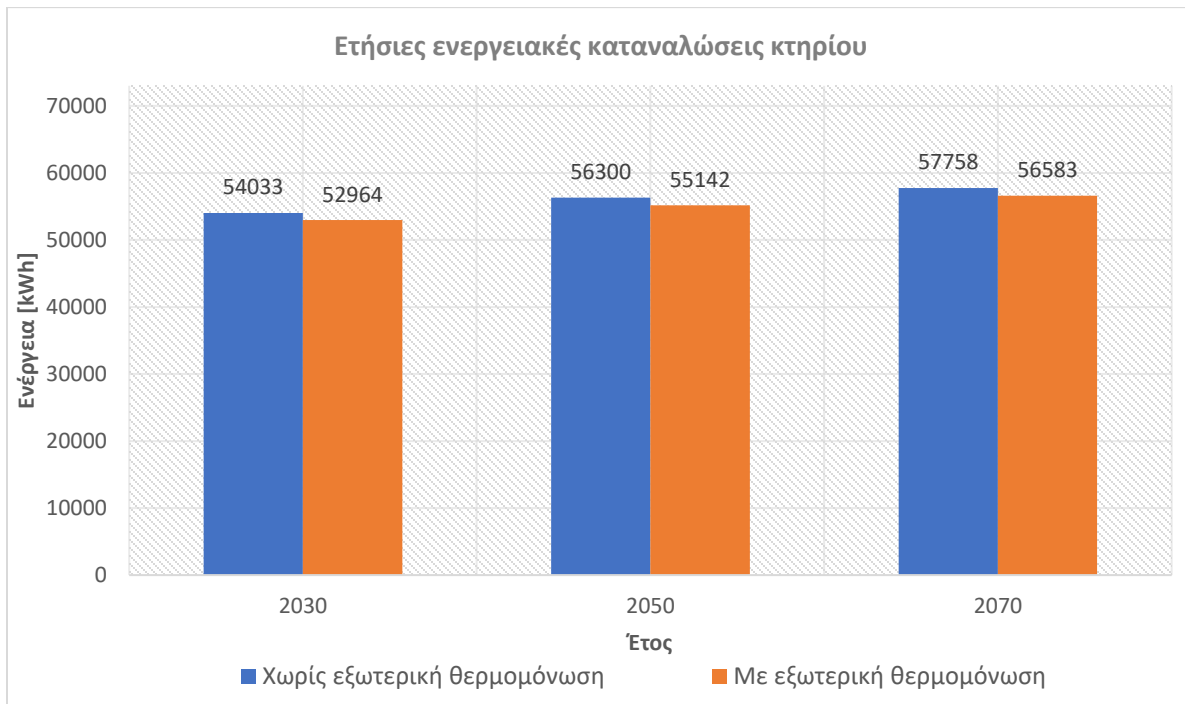
Ο νέος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας για το κτήριο είναι $U_m=0,588 < U_{\max}=1,13$ W/m^2K .

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, θα μελετηθεί τόσο η επίδραση της αλλαγής αυτής στη ψύξη και τη θέρμανση του κτηρίου, όσο και στις συνολικές ενεργειακές καταναλώσεις για την παρούσα κατάσταση και τα έτη 2030, 2050 και 2070.

Στο Σχήμα 9.1 παρουσιάζονται οι ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις για ψύξη και θέρμανση, ενώ στο Σχήμα 9.2 οι ετήσιες συνολικές ενεργειακές καταναλώσεις.



Σχήμα 9.1: Σύγκριση ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη και θέρμανση κτηρίου χωρίς και με εξωτερική θερμομόνωση και σύστημα VRF για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.



Σχήμα 9.2: Σύγκριση ετήσιων συνολικών ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου χωρίς και με εξωτερική θερμομόνωση και σύστημα VRF για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.

Παρατηρείται ότι η τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης επιδρά στη μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων του κτηρίου σε έναν μικρό βαθμό. Επιπλέον, η μείωση των καταναλώσεων παρουσιάζει έναν ρυθμό αύξησης με το πέρασμα του χρόνου.

Στη συνέχεια, θα μελετηθεί το αν η αλλαγή αυτή αποτελεί συμφέρουσα λύση, λαμβάνοντας υπόψη τις ενεργειακές καταναλώσεις για τα επόμενα 30 έτη (μέχρι το 2055) και τη διαφορά στις ετήσιες καταναλώσεις ανάμεσα στα δύο σενάρια.

Λαμβάνονται υπόψη τα εξής δεδομένα για τις χρονιές που δεν απεικονίζονται στα διαγράμματα:

- Για τα έτη 2025-2040, η διαφορά στις καταναλώσεις που λαμβάνεται υπόψη για κάθε έτος είναι αυτή του 2030.
- Για τα έτη 2040-2055, η διαφορά στις καταναλώσεις που λαμβάνεται υπόψη για κάθε έτος είναι αυτή του 2050.

Επιπλέον, το κόστος της kWh ορίζεται στα 0,30€, σύμφωνα με το Γ22 Επαγγελματικό τιμολόγιο της ΔΕΗ το Φεβρουάριο του 2025 (<https://www.dei.gr/el/gia-tin-epixeirisi/revma/epaggelmaties-epixeiriseis/g22/>), λαμβάνοντας υπόψη την Τελική Τιμή Προμήθειας καθώς και τις Ρυθμιζόμενες Χρεώσεις προσεγγιστικά. Ο ρυθμός αύξησης της

τιμής ενέργειας καθώς και το επιτόκιο αναγωγής λαμβάνονται υπόψη στο 3% και 6% αντίστοιχα ετησίως.

Έπειτα, υπολογίζεται το κόστος τοποθέτησης της εξωτερικής θερμομόνωσης. Λαμβάνεται ως κόστος που περιλαμβάνει όλα τα απαιτούμενα υλικά καθώς και το κόστος της εργασίας η τιμή των 60€/m². Η επιφάνεια του κτηρίου που λαμβάνεται υπόψη για την συγκεκριμένη παρέμβαση είναι 574,25 m², η καθαρή επιφάνεια δηλαδή των εξωτερικών τοίχων.

Άρα, το συνολικό κόστος εγκατάστασης της εξωτερικής θερμομόνωσης εξηλασμένης πολυστερίνης πάχους 5mm ανέρχεται στα 34.455,00 €.

Λαμβάνοντας υπόψη την Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) για κάθε έτος από την εξοικονόμηση ενέργειας καθώς και την Συνολική ΚΠΑ, η οποία περιέχει το αρχικό κόστος εγκατάστασης, υπολογίζεται ότι το 2055 η Συνολική ΚΠΑ είναι -27.889,02 €, όπως φαίνεται στον Πίνακα 9.1. Συνεπώς, η συγκεκριμένη παρέμβαση κρίνεται εντελώς ασύμφορη.

Πίνακας 9.1: Περίοδος απόσβεσης ενεργειακής παρέμβασης τοποθέτησης εξωτερικής θερμομόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους, λαμβάνοντας υπόψη το ετήσιο επιτόκιο αναγωγής 6% και την ετήσια αύξηση της τιμής της kWh 3%.

Περίοδος	Χρηματική ροή	Τιμή kWh	Εξοικονόμηση σε kWh	ΚΠΑ	ΚΠΑτ
0	-34,455.00 €	0.30000 €			-34,455.00 €
1	330.32 €	0.30900 €	1069	311.62 €	-34,143.38 €
2	340.23 €	0.31827 €	1069	302.80 €	-33,840.57 €
3	350.44 €	0.32782 €	1069	294.23 €	-33,546.34 €
4	360.95 €	0.33765 €	1069	285.91 €	-33,260.43 €
5	371.78 €	0.34778 €	1069	277.82 €	-32,982.62 €
6	382.93 €	0.35822 €	1069	269.95 €	-32,712.66 €
7	394.42 €	0.36896 €	1069	262.31 €	-32,450.35 €
8	406.25 €	0.38003 €	1069	254.89 €	-32,195.46 €
9	418.44 €	0.39143 €	1069	247.67 €	-31,947.79 €
10	430.99 €	0.40317 €	1069	240.66 €	-31,707.12 €
11	443.92 €	0.41527 €	1069	233.85 €	-31,473.27 €
12	457.24 €	0.42773 €	1069	227.24 €	-31,246.04 €
13	470.96 €	0.44056 €	1069	220.80 €	-31,025.23 €
14	485.09 €	0.45378 €	1069	214.55 €	-30,810.68 €
15	499.64 €	0.46739 €	1069	208.48 €	-30,602.19 €
16	557.48 €	0.48141 €	1158	219.45 €	-30,382.75 €
17	574.20 €	0.49585 €	1158	213.24 €	-30,169.51 €
18	591.43 €	0.51073 €	1158	207.20 €	-29,962.31 €
19	609.17 €	0.52605 €	1158	201.34 €	-29,760.97 €
20	627.44 €	0.54183 €	1158	195.64 €	-29,565.33 €
21	646.27 €	0.55809 €	1158	190.10 €	-29,375.23 €
22	665.65 €	0.57483 €	1158	184.72 €	-29,190.50 €
23	685.62 €	0.59208 €	1158	179.49 €	-29,011.01 €
24	706.19 €	0.60984 €	1158	174.41 €	-28,836.60 €
25	727.38 €	0.62813 €	1158	169.48 €	-28,667.12 €
26	749.20 €	0.64698 €	1158	164.68 €	-28,502.44 €
27	771.68 €	0.66639 €	1158	160.02 €	-28,342.42 €
28	794.83 €	0.68638 €	1158	155.49 €	-28,186.92 €
29	818.67 €	0.70697 €	1158	151.09 €	-28,035.83 €
30	843.23 €	0.72818 €	1158	146.82 €	-27,889.02 €

Καθώς το κτήριο είναι πρόσφατα κατασκευασμένο με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ. του 2017 και τις απαιτήσεις που αυτός περιλαμβάνει για τη θερμομονωτική επάρκεια των κτηρίων, είναι

λογικό μία τέτοια παρέμβαση να μην συνεπάγεται την απαιτούμενη μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων, ούτως ώστε, σε συνδυασμό με το κόστος της εγκατάστασης να έχει την προοπτική να αποτελέσει μία συμφέρουσα επένδυση.

9.2 Τοποθέτηση μεμβράνης χαμηλής εκπομπής (low-e) στους υαλοπίνακες

Η δεύτερη παρέμβαση που θα μελετηθεί με σκοπό τη μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων του κτηρίου είναι αυτή της τοποθέτησης αντανakλαστικής μεμβράνης χαμηλής εκπομπής (low-e) στους υαλοπίνακες. Συγκεκριμένα, θα προστεθεί στον εξωτερικό υαλοπίνακα μία τέτοια μεμβράνη και θα θεωρηθεί ο εξωτερικός υαλοπίνακας ως υαλοπίνακας low-e. Ο εξωτερικός υαλοπίνακας έχει πάχος 4mm, το διάκενο αέρα έχει πάχος 8mm ενώ αντίστοιχα ο εσωτερικός υαλοπίνακας έχει επίσης πάχος 4mm.

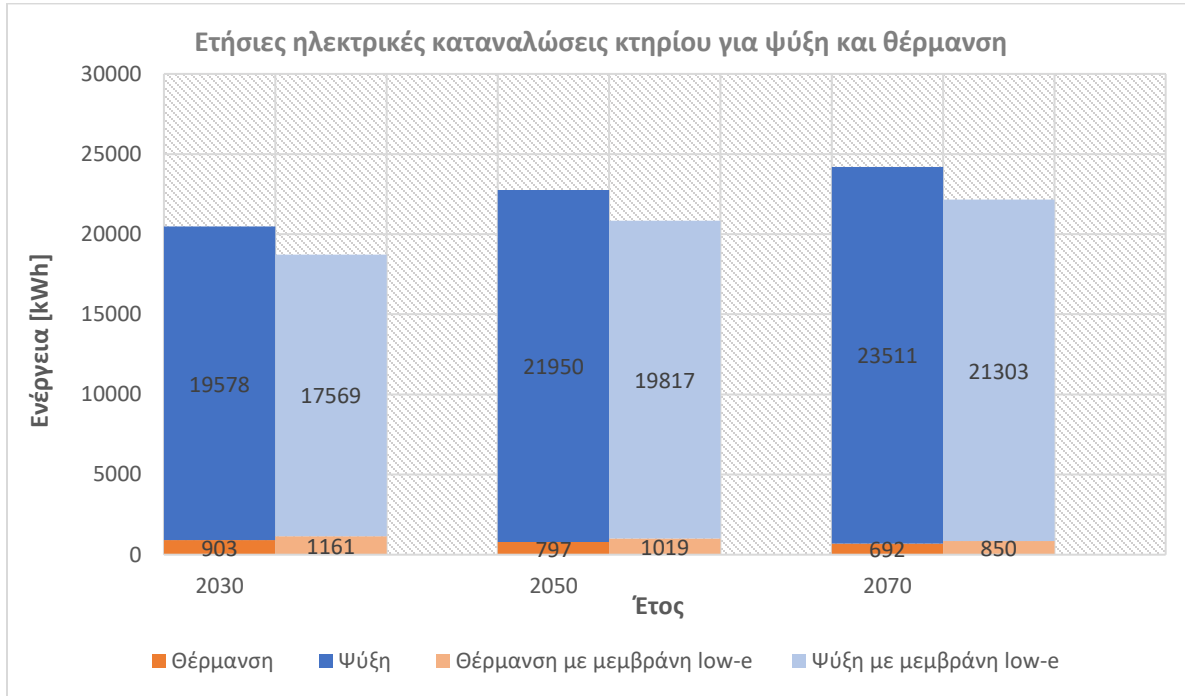
Για τον υαλοπίνακα low-e, εισάγεται ο συγκεκριμένος τύπος από τη βιβλιοθήκη του Openstudio (Building Components Library) στην κατηγορία «Glazing Window Materials» και έχει τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στην *Εικόνα 9.1*.

Window Glass Spectral Data Set Name:	
Thickness:	
	0.040000 m
Solar Transmittance At Normal Incidence:	
	0.450000
Front Side Solar Reflectance At Normal Incidence:	
	0.340000
Back Side Solar Reflectance At Normal Incidence:	
	0.370000
Visible Transmittance At Normal Incidence:	
	0.780000
Front Side Visible Reflectance At Normal Incidence:	
	0.070000
Back Side Visible Reflectance At Normal Incidence:	
	0.060000
Infrared Transmittance at Normal Incidence:	
	0.000000
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity:	
	0.840000
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity:	
	0.030000
Conductivity:	
	0.900000 W/m-K

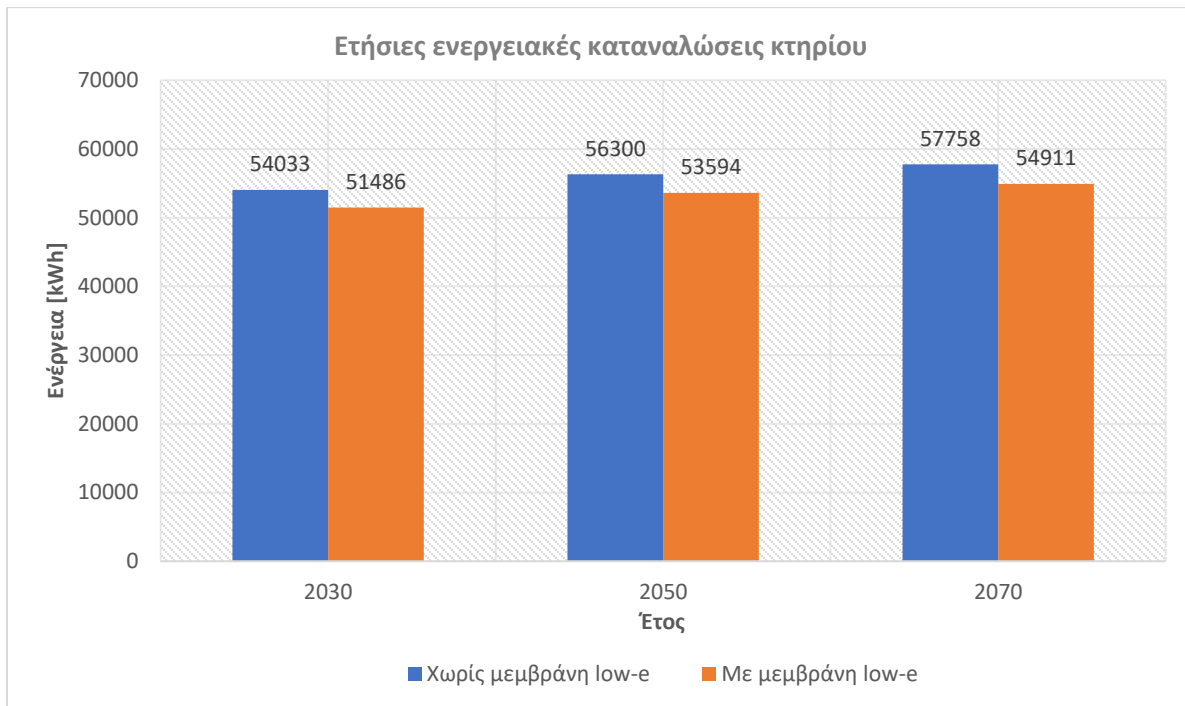
Εικόνα 9.1: Χαρακτηριστικά υαλοπίνακα low-e στο Openstudio.

Έπειτα, κατασκευάζεται ο νέος τύπος Εξωτερικού Παραθύρου, με 4mm υαλοπίνακα low-e από την εξωτερική πλευρά, 8mm αέρα και 4mm υαλοπίνακα από την εσωτερική πλευρά.

Στο *Σχήμα 9.3* φαίνονται τα αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης για τις ηλεκτρικές καταναλώσεις ψύξης και θέρμανσης, ενώ στο *Σχήμα 9.4* οι συνολικές ενεργειακές καταναλώσεις και για τις δύο περιπτώσεις.



Σχήμα 9.3: Σύγκριση ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη και θέρμανση κτηρίου με υαλοπίνακες χωρίς και με αντανakλαστική low-e μεμβράνη στον εξωτερικό υαλοπίνακα.



Σχήμα 9.4: Σύγκριση συνολικών ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου με υαλοπίνακες χωρίς και με αντανakλαστική low-e μεμβράνη στον εξωτερικό υαλοπίνακα.

Με βάση τα αποτελέσματα, φαίνεται ότι η μείωση στις ενεργειακές καταναλώσεις του κτηρίου είναι πολύ σημαντική, καθώς η μεμβράνη low-e μειώνει τις ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις έως και κατά 4,93% το 2070. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μεγάλη μείωση στις καταναλώσεις για ψύξη. Όσον αφορά τις καταναλώσεις για θέρμανση, αυτές αυξάνονται (+258 kWh το 2030, +222 kWh το 2050 και +158 kWh το 2070), λόγω της μείωσης του Συντελεστή Θερμικού Ηλιακού Κέρδους (Solar Heat Gain Coefficient – SHGC) για τα παράθυρα από 0,610 σε 0,370, κάτι που σημαίνει μείωση της θερμότητας που διαπερνάει τα παράθυρα και εισέρχεται στους χώρους του κτηρίου.

Για να μελετηθεί το κατά πόσο η τοποθέτηση αντανakλαστικής μεμβράνης στους υαλοπίνακες αποτελεί συμφέρουσα λύση θα ληφθεί υπόψη το κόστος της παρέμβασης αυτής. Λαμβάνονται τα εξής κόστη:

- Κόστος τυπικής αντανakλαστικής μεμβράνης χαμηλής εκπομπής (σύμφωνα με την ιστοσελίδα parva.gr): 40,92€/m²
- Κόστος εργασίας για τοποθέτηση της αντανakλαστικής μεμβράνης (σύμφωνα με την ιστοσελίδα aptinting.com): 43€/m²
- Συνολικό κόστος εγκατάστασης: 83,92€/m²

Η συνολική επιφάνεια των υαλοπινάκων ανέρχεται στα 61,99 m². Συνεπώς, το συνολικό κόστος της συγκεκριμένης παρέμβασης είναι 5202,20€.

Λαμβάνοντας υπόψη την ΚΠΑ για κάθε έτος από την εξοικονόμηση ενέργειας καθώς και την Συνολική ΚΠΑ, στην οποία συνυπολογίζεται και το αρχικό κόστος εγκατάστασης, υπολογίζεται ότι το 2055 η Συνολική ΚΠΑ είναι 11.318,58 €, ενώ σύμφωνα με τους υπολογισμούς η περίοδος απόσβεσης είναι τα 7 έτη, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 9.2.

Πίνακας 9.2: Περίοδος απόσβεσης ενεργειακής παρέμβασης τοποθέτησης αντανακλαστικής μεμβράνης χαμηλής εκπομπής στους υαλοπίνακες, λαμβάνοντας υπόψη το ετήσιο επιτόκιο αναγωγής 6% και την ετήσια αύξηση της τιμής της kWh 3%.

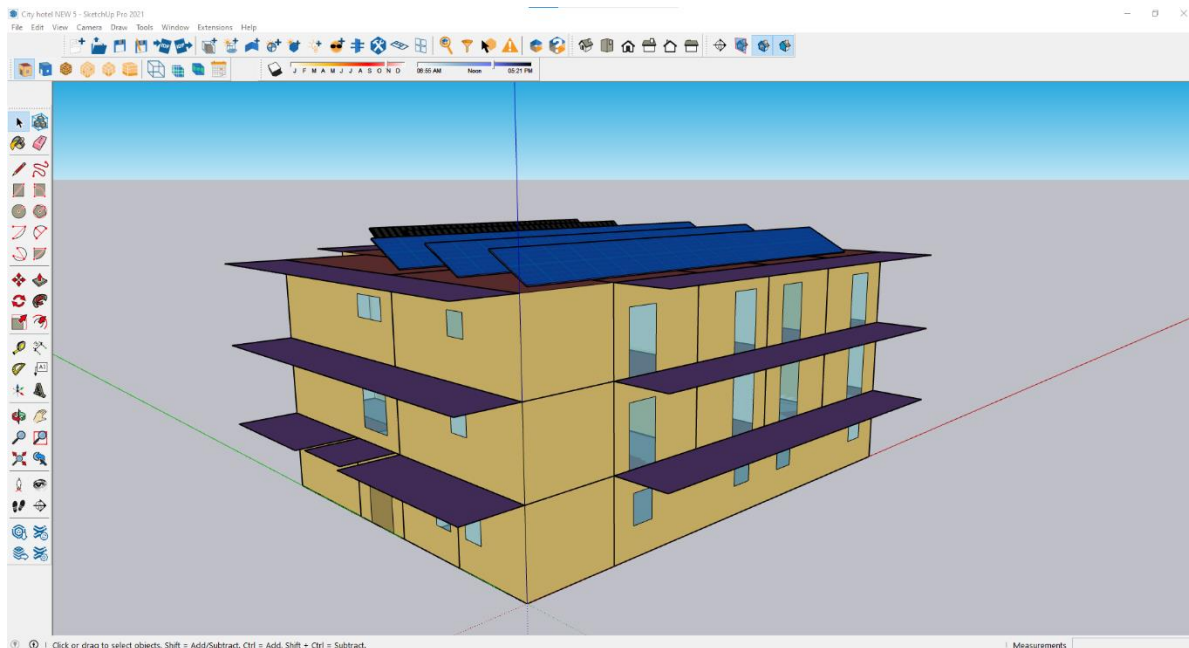
Περίοδος	Χρηματική ροή	Τιμή kWh	Εξοικονόμηση σε kWh	ΚΠΑ	ΚΠΑ _t
0	-5,202.20 €	0.30000 €			-5,202.20 €
1	787.02 €	0.30900 €	2547	742.47 €	-4,459.73 €
2	867.29 €	0.31827 €	2725	771.88 €	-3,687.84 €
3	893.30 €	0.32782 €	2725	750.04 €	-2,937.81 €
4	920.10 €	0.33765 €	2725	728.81 €	-2,209.00 €
5	947.71 €	0.34778 €	2725	708.18 €	-1,500.82 €
6	976.14 €	0.35822 €	2725	688.14 €	-812.68 €
7	1,005.42 €	0.36896 €	2725	668.66 €	-144.02 €
8	1,035.58 €	0.38003 €	2725	649.74 €	505.72 €
9	1,066.65 €	0.39143 €	2725	631.35 €	1,137.07 €
10	1,098.65 €	0.40317 €	2725	613.48 €	1,750.55 €
11	1,131.61 €	0.41527 €	2725	596.12 €	2,346.67 €
12	1,165.56 €	0.42773 €	2725	579.25 €	2,925.92 €
13	1,200.53 €	0.44056 €	2725	562.85 €	3,488.77 €
14	1,236.54 €	0.45378 €	2725	546.92 €	4,035.70 €
15	1,273.64 €	0.46739 €	2725	531.44 €	4,567.14 €
16	1,302.70 €	0.48141 €	2706	512.80 €	5,079.94 €
17	1,436.49 €	0.49585 €	2897	533.46 €	5,613.40 €
18	1,479.58 €	0.51073 €	2897	518.36 €	6,131.77 €
19	1,523.97 €	0.52605 €	2897	503.69 €	6,635.46 €
20	1,569.69 €	0.54183 €	2897	489.44 €	7,124.90 €
21	1,616.78 €	0.55809 €	2897	475.59 €	7,600.48 €
22	1,665.29 €	0.57483 €	2897	462.13 €	8,062.61 €
23	1,715.24 €	0.59208 €	2897	449.05 €	8,511.65 €
24	1,766.70 €	0.60984 €	2897	436.34 €	8,947.99 €
25	1,819.70 €	0.62813 €	2897	423.99 €	9,371.98 €
26	1,874.29 €	0.64698 €	2897	411.99 €	9,783.97 €
27	1,930.52 €	0.66639 €	2897	400.33 €	10,184.30 €
28	1,988.44 €	0.68638 €	2897	389.00 €	10,573.30 €
29	2,048.09 €	0.70697 €	2897	377.99 €	10,951.28 €
30	2,109.53 €	0.72818 €	2897	367.29 €	11,318.58 €

Συνεπώς, η τοποθέτηση αντανακλαστικής μεμβράνης χαμηλής εκπομπής στους υαλοπίνακες αποτελεί μία εξαιρετικά συμφέρουσα ενεργειακή παρέμβαση, συνυπολογίζοντας τόσο την ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας, όσο και τη μικρή περίοδο απόσβεσης.

9.3 Τοποθέτηση επιπλέον σκίασης στο κτηριακό κελύφος

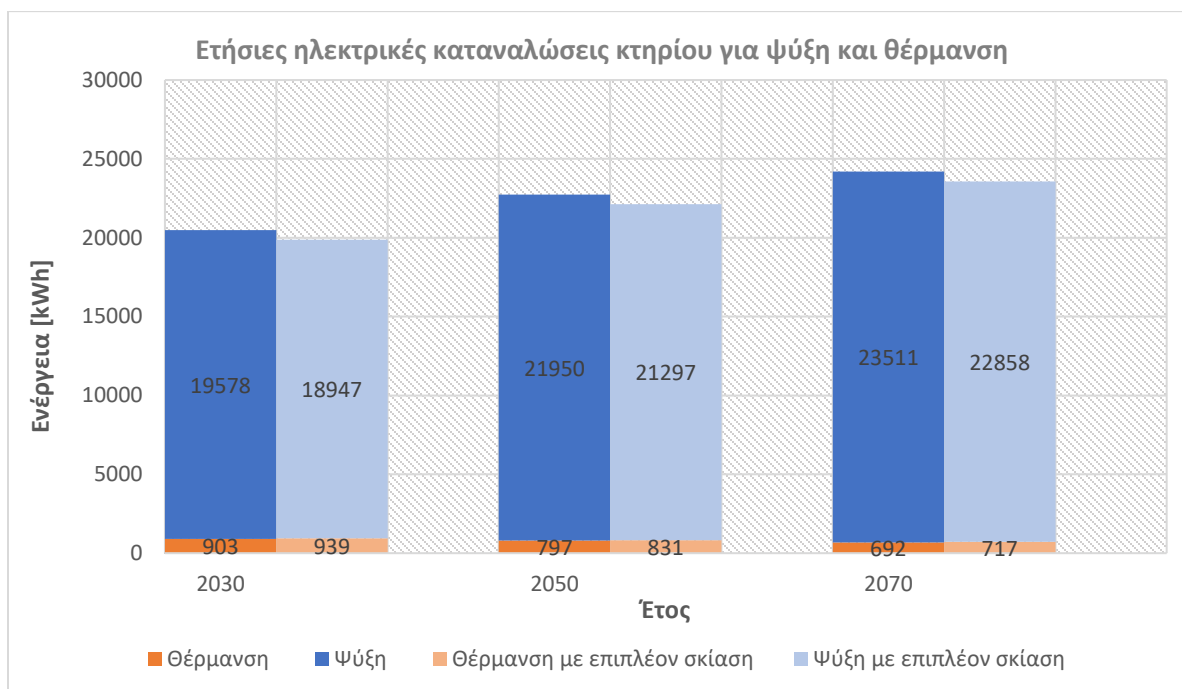
Η τελευταία παρέμβαση για μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων που θα μελετηθεί είναι η τοποθέτηση επιπλέον επιφανειών σκίασης στο εξωτερικό του κτηριακού κελύφους, και συγκεκριμένα στη δυτική πλευρά, στην οποία τα κουφώματα με υαλοπίνακες δεν καλύπτονται από επιφάνειες σκίασης.

Μέσα από το λογισμικό του Sketchup Pro με το πρόσθετο του Openstudio προστίθενται οι επιφάνειες σκίασης που φαίνονται στην *Εικόνα 9.2*, ίδιων διαστάσεων με τις επιφάνειες σκίασης της βόρειας και νότιας πλευράς του κτηρίου, οι οποίες καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος της συγκεκριμένης πλευράς και το σύνολο των κουφωμάτων με υαλοπίνακες.

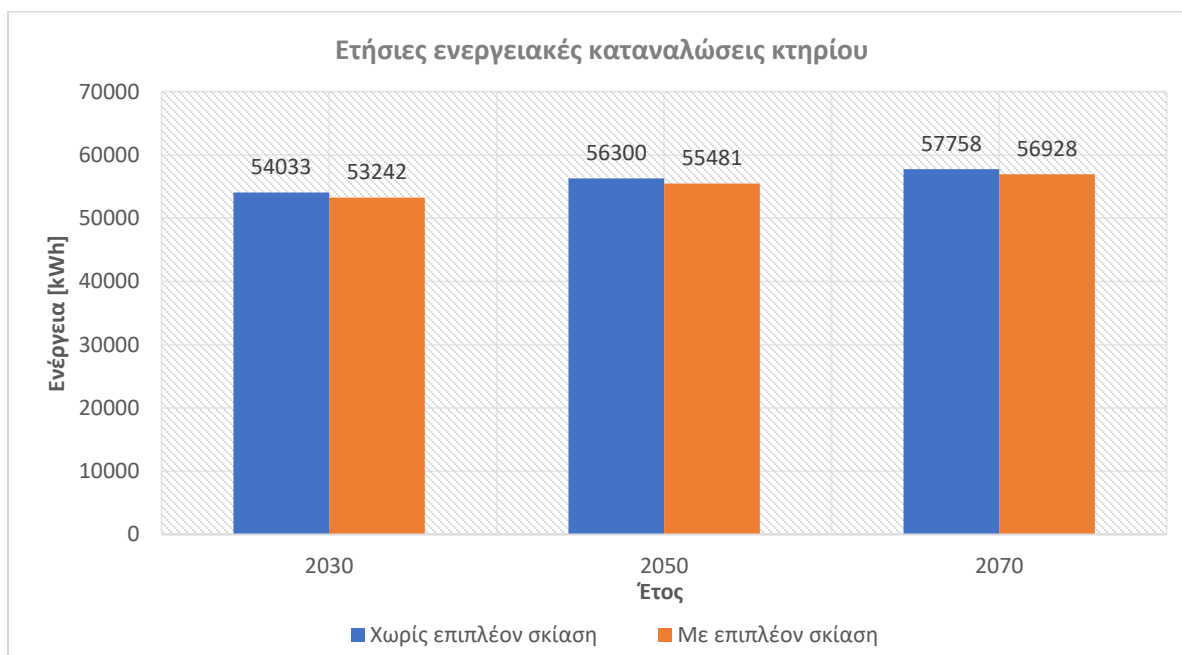


Εικόνα 9.2: Τρισδιάστατη απεικόνιση κτηρίου στο Sketchup Pro με το πρόσθετο Openstudio, στην οποία απεικονίζονται οι επιπλέον επιφάνειες σκίασης στη δυτική πλευρά του κτηριακού κελύφους.

Με βάση την παρούσα παρέμβαση, φαίνονται στο *Σχήμα 9.5* τα αποτελέσματα για τις ηλεκτρικές καταναλώσεις για ψύξη και θέρμανση και στο *Σχήμα 9.6* τα αποτελέσματα για τις συνολικές ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις για το κτήριο χωρίς και με την επιπλέον σκίαση.



Σχήμα 9.5: Σύγκριση ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη και θέρμανση κτηρίου χωρίς και με επιπλέον σκίαση και σύστημα VRF για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.



Σχήμα 9.6: Σύγκριση ετήσιων συνολικών ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου χωρίς και με επιπλέον σκίαση και σύστημα VRF για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.

Με βάση τα αποτελέσματα, φαίνεται ότι υπάρχει μικρή μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων για το κτήριο, μετά την τοποθέτηση της επιπλέον σκίασης. Επιπλέον, παρατηρείται ότι ο ρυθμός μείωσης των ενεργειακών καταναλώσεων αυξάνεται, καθώς η συγκεκριμένη παρέμβαση στοχεύει κυρίως στη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων για ψύξη του κτηρίου κατά τους θερινούς μήνες. Ως λογική συνεπαγωγή, οι απαιτήσεις για θέρμανση αυξάνονται σε ένα μικρό βαθμό, η οποία αύξηση όμως υπερκαλύπτεται από τη μείωση των απαιτήσεων για ψύξη.

Όσον αφορά το κόστος της παρέμβασης, λαμβάνεται υπόψη το σενάριο της τοποθέτησης συστήματος σκίασης τυπικών τεντών με βραχίονες στο εξωτερικό του κτηρίου. Σύμφωνα με την ιστοσελίδα tentes-skiasis.gr, η τοποθέτηση τεντών με βραχίονες κοστίζει 37€/m².

Η συνολική επιφάνεια της επιπλέον σκίασης που τοποθετείται είναι 89,105 m². Συμπερασματικά, το συνολικό κόστος είναι 3296,9 €.

Λαμβάνοντας υπόψη την ΚΠΑ για κάθε έτος από την εξοικονόμηση ενέργειας καθώς και την Συνολική ΚΠΑ, στην οποία συνυπολογίζεται και το αρχικό κόστος εγκατάστασης, υπολογίζεται ότι το 2055 η Συνολική ΚΠΑ είναι 1.472,87 €, ενώ σύμφωνα με τους υπολογισμούς η περίοδος απόσβεσης είναι τα 17 έτη, όπως φαίνεται στον Πίνακα 9.3.

Πίνακας 9.3: Περίοδος απόσβεσης ενεργειακής παρέμβασης εγκατάστασης σκίασης στη Δυτική πλευρά του κτηρίου, λαμβάνοντας υπόψη το ετήσιο επιτόκιο αναγωγής 6% και την ετήσια αύξηση της τιμής της kWh 3%.

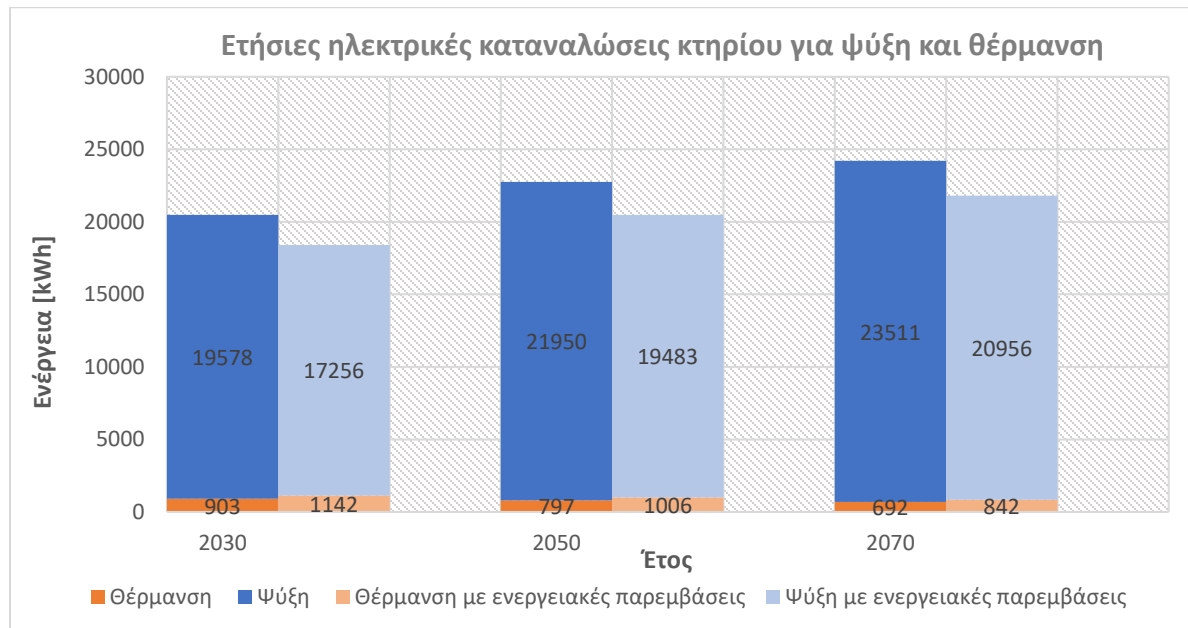
Περίοδος	Χρηματική ροή	Τιμή kWh	Εξοικονόμηση σε kWh	ΚΠΑ	ΚΠΑτ
0	-3,296.90 €	0.30000 €			-3,296.90 €
1	244.42 €	0.30900 €	791	230.58 €	-3,066.32 €
2	251.75 €	0.31827 €	791	224.06 €	-2,842.26 €
3	259.30 €	0.32782 €	791	217.72 €	-2,624.54 €
4	267.08 €	0.33765 €	791	211.55 €	-2,412.99 €
5	275.10 €	0.34778 €	791	205.57 €	-2,207.42 €
6	283.35 €	0.35822 €	791	199.75 €	-2,007.67 €
7	291.85 €	0.36896 €	791	194.10 €	-1,813.57 €
8	300.60 €	0.38003 €	791	188.60 €	-1,624.97 €
9	309.62 €	0.39143 €	791	183.27 €	-1,441.70 €
10	318.91 €	0.40317 €	791	178.08 €	-1,263.63 €
11	328.48 €	0.41527 €	791	173.04 €	-1,090.59 €
12	338.33 €	0.42773 €	791	168.14 €	-922.45 €
13	348.48 €	0.44056 €	791	163.38 €	-759.06 €
14	358.94 €	0.45378 €	791	158.76 €	-600.31 €
15	369.71 €	0.46739 €	791	154.27 €	-446.04 €
16	394.28 €	0.48141 €	819	155.21 €	-290.84 €
17	406.10 €	0.49585 €	819	150.81 €	-140.02 €
18	418.29 €	0.51073 €	819	146.54 €	6.52 €
19	430.84 €	0.52605 €	819	142.40 €	148.92 €
20	443.76 €	0.54183 €	819	138.37 €	287.29 €
21	457.07 €	0.55809 €	819	134.45 €	421.74 €
22	470.79 €	0.57483 €	819	130.65 €	552.38 €
23	484.91 €	0.59208 €	819	126.95 €	679.33 €
24	499.46 €	0.60984 €	819	123.36 €	802.69 €
25	514.44 €	0.62813 €	819	119.86 €	922.55 €
26	529.87 €	0.64698 €	819	116.47 €	1,039.02 €
27	545.77 €	0.66639 €	819	113.18 €	1,152.20 €
28	562.14 €	0.68638 €	819	109.97 €	1,262.17 €
29	579.01 €	0.70697 €	819	106.86 €	1,369.03 €
30	596.38 €	0.72818 €	819	103.84 €	1,472.87 €

Συνεπώς, η τοποθέτηση σκίασης αποτελεί μία σχετικά συμφέρουσα παρέμβαση, δεδομένης και της μικρής ανάγκης αντικατάστασής της λόγω φθοράς σε γρήγορο χρονικό διάστημα.

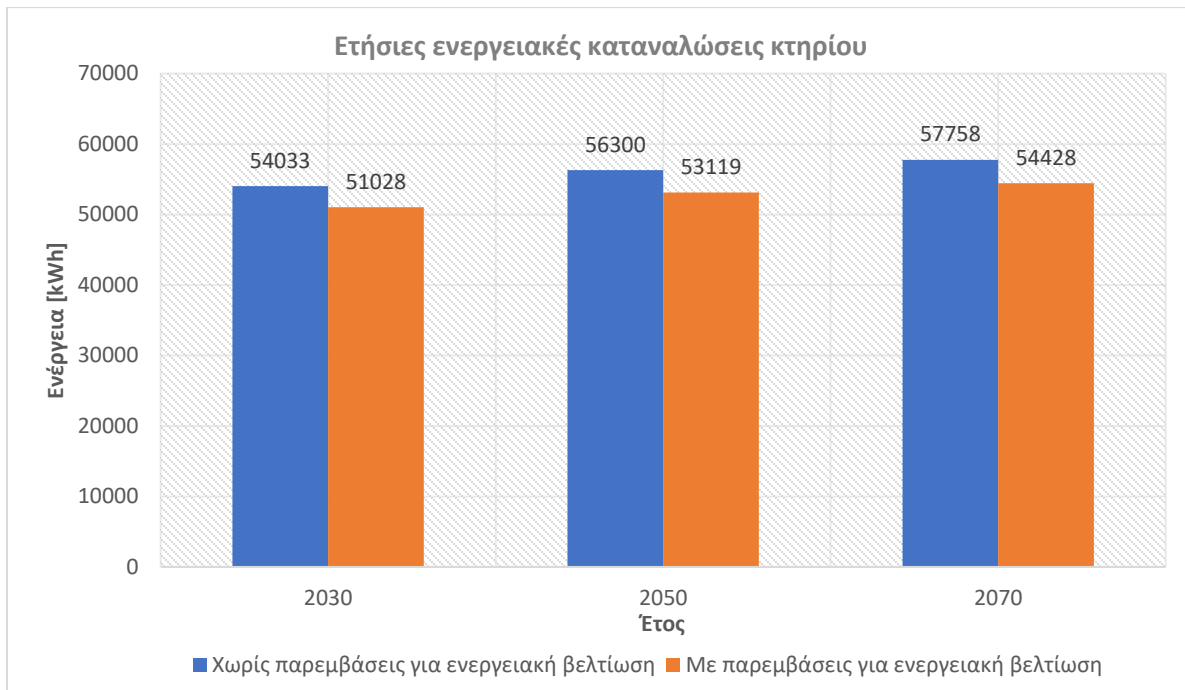
9.4 Συνολικά αποτελέσματα ενεργειακών παρεμβάσεων

Με σκοπό την αποτίμηση των δύο παρεμβάσεων για τη μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων του ξενοδοχείου πόλης, θα μελετηθούν τα αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης με υαλοπίνακες low-e καθώς και με τοποθετημένη την επιπλέον σκίαση στη δυτική πλευρά του κτηρίου.

Στο Σχήμα 9.7 φαίνονται οι ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις για θέρμανση και ψύξη και στο Σχήμα 9.8 οι συνολικές ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του κτηρίου.



Σχήμα 9.7: Σύγκριση ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη και θέρμανση κτηρίου χωρίς και με παρεμβάσεις για ενεργειακή βελτίωση και σύστημα VRF για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.



Σχήμα 9.8: Σύγκριση ετήσιων συνολικών ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου χωρίς και με παρεμβάσεις για ενεργειακή βελτίωση και σύστημα VRF για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα εξάγονται τα εξής συμπεράσματα για το αποτύπωμα της συνολικής ενεργειακής παρέμβασης που πραγματοποιήθηκε, με βάση τα δεδομένα για την κλιματική αλλαγή και τις αρχικές ενεργειακές καταναλώσεις:

- Χωρίς την πραγματοποίηση των ενεργειακών παρεμβάσεων, η κλιματική αλλαγή επιφέρει αύξηση 6,89% στις ενεργειακές καταναλώσεις του εξεταζόμενου κτηρίου σε σχέση με το 2030, ενώ με τις ενεργειακές παρεμβάσεις η αύξηση περιορίζεται στο 0,73%.
- Οι ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις το 2030 είναι 54033 kWh χωρίς τις παρεμβάσεις, ενώ το 2070 είναι 54428 kWh με τις παρεμβάσεις. Συνεπώς, με την υλοποίηση των παρεμβάσεων αυτών, η διαφορά στην ετήσια κατανάλωση ενέργειας είναι μόλις 395 kWh.
- Η περίοδος απόσβεσης των παρεμβάσεων πραγματοποιείται στα 11 έτη. Μέχρι το 2055, η εξοικονόμηση χρημάτων ως ΚΠΑ είναι 9.784,32€.

Συνεπώς, η τοποθέτηση αντανакλαστικής μεμβράνης χαμηλής εκπομπής στους υαλοπίνακες καθώς και η εγκατάσταση επιπλέον σκίασης στη δυτική πλευρά του κτηρίου σχεδόν αντισταθμίζουν την όποια αύξηση στις καταναλώσεις λόγω της κλιματικής αλλαγής, καθιστώντας το κτήριο ανθεκτικό στις συνέπειές της, τουλάχιστον μέχρι το έτος 2070 και για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5, το οποίο μελετήθηκε.

10. Συμπεράσματα – Συζήτηση

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στην μελέτη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην ενεργειακή συμπεριφορά ενός τυπικού κτηρίου ξενοδοχείου πόλης, καθώς και στην εύρεση και μελέτη πιθανών λύσεων εξοικονόμησης ενέργειας και κλιματικής θωράκισης του συγκεκριμένου κτηρίου.

Έπειτα από την παραγωγή των μελλοντικών κλιματικών δεδομένων από το λογισμικό Meteororm και από τη μοντελοποίηση του κτηρίου στα λογισμικά Sketchup Pro και Openstudio, πραγματοποιήθηκαν ενεργειακές προσομοιώσεις με τις εξής διαφορετικές παραμέτρους για κάθε μία:

- Μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτηρίου για την παρούσα κατάσταση (θεωρήθηκαν τα κλιματικά δεδομένα του έτους 2020) και τα έτη 2030, 2050 και 2070.
- Μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτηρίου για τα σενάρια κλιματικής αλλαγής RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5.
- Μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτηρίου για εγκατεστημένο σύστημα VRF και σύστημα γεωθερμίας (γεωθερμική αντλία θερμότητας με κάθετο γεωθερμικό εναλλάκτη).

Από τα παραπάνω σενάρια, εξάχθηκαν τα εξής συμπεράσματα:

1. Η παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά και τους ηλιακούς συλλέκτες αυξάνεται κατά μικρό ποσοστό με την πάροδο των ετών, λόγω της αύξησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο ρυθμός αύξησης είναι μικρότερος όσο πιο απαισιόδοξο είναι το σενάριο για την κλιματική αλλαγή, καθώς η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί στη μείωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων και των ηλιακών συλλεκτών. Όσο αφορά τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, αν ληφθεί υπόψη και ο συντελεστής μείωσης της απόδοσής τους λόγω παλαιότητας, φαίνεται ότι η μικρή παραπάνω αύξηση αναιρείται και παρατηρείται συνεχής μείωση της παραγόμενης ενέργειας και στα τρία σενάρια για την κλιματική αλλαγή μέχρι το 2070. Σημαντική είναι, λοιπόν, η αντικατάσταση των φωτοβολταϊκών στοιχείων, των οποίων ο χρόνος ζωής κυμαίνεται ούτως ή άλλως στα 25-40 έτη.
2. Το κτήριο με εγκατεστημένο σύστημα VRF έχει καταναλώσεις ίσες με 52575 kWh στην παρούσα κατάσταση, εκ των οποίων το 34,52% αφορά την ψύξη του κτηρίου και το 1,66% τη θέρμανση. Οι ενεργειακές καταναλώσεις αυξάνονται με την πάροδο των ετών και συγκεκριμένα κατά 4,71% για το σενάριο RCP2.6, κατά 9,86% για το σενάριο RCP4.5 και κατά 18,82% για το σενάριο RCP8.5 μέχρι το έτος 2070.
3. Το κτήριο με εγκατεστημένο σύστημα γεωθερμίας (γεωθερμική αντλία θερμότητας με κάθετο γεωθερμικό εναλλάκτη) έχει καταναλώσεις ίσες με 49756 kWh στην παρούσα κατάσταση, εκ των οποίων το 37,51% αφορά την ψύξη του κτηρίου και το 0,72% τη θέρμανση. Οι ενεργειακές καταναλώσεις αυξάνονται με την πάροδο των ετών και

συγκεκριμένα κατά 5,08% για το σενάριο RCP2.6, κατά 10,78% για το σενάριο RCP4.5 και κατά 21,53% για το σενάριο RCP8.5 μέχρι το έτος 2070.

4. Παρατηρείται πως σε όλα τα σενάρια για την κλιματική αλλαγή οι ενεργειακές καταναλώσεις για οποιοδήποτε από τα δύο εγκατεστημένα συστήματα σημειώνουν από μικρή έως μεγάλη αύξηση. Αύξηση παρατηρείται ακόμα και στο σενάριο RCP2.6, παρόλο που οι ετήσιες εκπομπές CO₂ μειώνονται από τα επόμενα χρόνια και ελαχιστοποιούνται μέχρι το έτος 2100. Κάτι τέτοιο δείχνει πως ακόμα και στην πιο αισιόδοξη περίπτωση, οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής και του αποτυπώματος στο περιβάλλον τις προηγούμενες δεκαετίες θα υπάρχουν για πολλά χρόνια ακόμα.
5. Το κτήριο με εγκατεστημένο σύστημα γεωθερμίας συνεπάγεται μικρότερες ενεργειακές καταναλώσεις μέχρι και το 2070, σε σχέση με το κτήριο με εγκατεστημένο σύστημα VRF, οι οποίες προκύπτουν κυρίως από τις μειωμένες καταναλώσεις για ψύξη. Συνεπάγεται επίσης μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης των καταναλώσεων, ο οποίος προκύπτει από τις αυξημένες καταναλώσεις των αντλιών και των ανεμιστήρων, αφού ο ρυθμός αύξησης των καταναλώσεων για ψύξη είναι μικρότερος. Παρόλα αυτά, η δυσκολία και η οικονομική επιβάρυνση της εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος καθώς και η ιδιαιτερότητα της τοποθέτησής του σε ένα κτήριο μέσα στον αστικό ιστό, ίσως δεν το καθιστούν πιο συμφέρον, ειδικά με το συγκεκριμένο μέγεθος διαφοράς ενεργειακών καταναλώσεων.

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν μελέτες για εξοικονόμηση ενέργειας του κτηρίου, ούτως ώστε αυτό να αποκτήσει κλιματική θωράκιση. Οι μελέτες αυτές έγιναν με κτήριο με εγκατεστημένο σύστημα VRF και σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5. Εξετάστηκε το αν αυτές οι παρεμβάσεις αποτελούν συμφέρουσες επιλογές, με βάση το κόστος τους και την εξοικονόμηση ενέργειας που προσφέρουν για τα επόμενα 30 έτη, από το 2025 μέχρι το 2055. Η οικονομική μελέτη πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη ετήσιο επιτόκιο αναγωγής 6% και ετήσια αύξηση της τιμής της kWh 3% με αρχική τιμή 0,30€/kWh. Εξάχθηκαν τα εξής συμπεράσματα:

1. Η τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης εξηλασμένης πολυστερίνης πάχους 5mm δεν αποτελεί συμφέρουσα παρέμβαση. Η ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας το 2070 είναι 975 kWh. Το κόστος εγκατάστασης (υλικά και εργασία) είναι 34.455,00 €. Γίνεται αντιληπτό ότι η απόσβεση πραγματοποιείται σε πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, το οποίο μπορεί να ξεπερνάει ακόμα και το χρόνο ζωής του κτηρίου. Η συγκεκριμένη παρέμβαση ίσως αποτελούσε συμφέρουσα επιλογή σε κτήριο που δεν είναι κτισμένο με βάση τις προϋποθέσεις του Κ.Εν.Α.Κ. 2017.
2. Η τοποθέτηση αντανakλαστικής μεμβράνης χαμηλής εκπομπής (low-e) στους υαλοπίνακες του κτηρίου αποτελεί εξαιρετικά συμφέρουσα παρέμβαση. Η συγκεκριμένη επιλογή μειώνει τις ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις έως και κατά 4,93% το 2070. Σε συνδυασμό με το κόστος των 5202,20€, η περίοδος απόσβεσης της

παρέμβασης είναι τα 7 έτη. Επίσης, μέχρι το 2055 έχουν εξοικονομηθεί συνολικά 11.318,58€ ως Καθαρή Παρούσα Αξία.

3. Η τοποθέτηση επιπλέον επιφανειών σκίασης στη δυτική πλευρά του κτηρίου, στην οποία βρίσκονται κουφώματα με υαλοπίνακες που δεν σκιάζονται, αποτελεί συμφέρουσα παρέμβαση. Η συγκεκριμένη επιλογή μειώνει τις ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις έως και κατά 1,44% το 2070. Με βάση την τιμή της εγκατάστασης τυπικού συστήματος τεντών με βραχίονα (3.296,9 €), η απόσβεση πραγματοποιείται σε περίπου 17 έτη. Μέχρι το 2055 έχουν εξοικονομηθεί συνολικά 1.472,87€ ως Καθαρή Παρούσα Αξία. Παρά τη σχετικά μακρά περίοδο απόσβεσης, η εγκατάσταση ενός ποιοτικού συστήματος σκίασης και η καλή συντήρησή του συνεπάγεται την έλλειψη ανάγκης για αντικατάστασή του στο άμεσο μέλλον. Για αυτό το λόγο, η συγκεκριμένη παρέμβαση είναι δυνατόν να παράγει αξία για πολύ μεγαλύτερο διάστημα.
4. Συνολικά, οι παραπάνω παρεμβάσεις οδηγούν στην ετήσια εξοικονόμηση 3005 kWh το 2030, 3181 kWh το 2050 και 3330 kWh το 2070. Επιφέρουν μείωση της αύξησης των καταναλώσεων από 6,89% στο 0,73%, αντισταθμίζοντας ουσιαστικά το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης που προκαλείται από τις συνέπειες τις κλιματικής αλλαγής τα επόμενα 45 έτη, καθιστώντας το κτήριο ανθεκτικό στις αλλαγές αυτές. Επιπλέον, η περίοδος απόσβεσής τους είναι τα 11 έτη, επιφέροντας εξοικονόμηση 9.784,32€ ως ΚΠΑ τα επόμενα 30 έτη.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μελετάται η αλλαγή στην ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτηρίου ξενοδοχείου πόλης με κύριο γνώμονα την κλιματική αλλαγή και τις μεταβολές που αυτή θα επιφέρει στις μελλοντικές κλιματικές συνθήκες.

Συνεπώς, δεν μελετώνται επιπλέον χαρακτηριστικά που μπορεί να επηρεάζουν την ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτηρίου όπως:

- Η μεταβολή στις ενεργειακές καταναλώσεις ανάλογα με την τοποθεσία του κτηρίου και τα περιβάλλοντα στοιχεία του. Είναι δεδομένο πως ένα ξενοδοχείο πόλης στον αστικό ιστό μπορεί να περιβάλλεται από άλλα κτήρια, που εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία να φτάνει στο εξεταζόμενο κτήριο συγκεκριμένες ώρες της ημέρας.
- Η εγκατάσταση πιο αποδοτικών συστημάτων HVAC με μελλοντική τεχνολογία. Τα συστήματα HVAC αναπτύσσονται με γρήγορους ρυθμούς τα τελευταία χρόνια, με την αποδοτικότητά τους να αυξάνεται και τις ενεργειακές καταναλώσεις για την κάλυψη των απαιτήσεων να μειώνονται. Συνεπώς, είναι αρκετά πιθανή η αλλαγή των υφιστάμενων συστημάτων στις επόμενες δεκαετίες, βελτιώνοντας σε μεγάλο βαθμό την ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου.
- Η τοποθεσία του κτηρίου, η οποία επηρεάζει ακόμα και τη δυνατότητα εγκατάστασης συγκεκριμένων συστημάτων HVAC, όπως το σύστημα γεωθερμίας που μελετήθηκε. Μία τοποθεσία με περισσότερο διαθέσιμο χώρο, μακριά από πυκνοκατοικημένες περιοχές

προβάλλει περισσότερες ευκολίες στην εγκατάστασή του και άρα την καθιστά πιο συμφέρουσα, από την εγκατάστασή του στο επίκεντρο του αστικού ιστού.

Τα παραπάνω αποτελούν και αντικείμενα περαιτέρω μελέτης, σε περίπτωση που γίνεται πιο συγκεκριμένη και η κατασκευή του κτηρίου, καθώς μπορεί να μεταβάλλουν σε ένα βαθμό την ενεργειακή του συμπεριφορά.

Συμπερασματικά, η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα υπάρχον, και όχι μελλοντικό ζήτημα για αντιμετώπιση. Οι συνέπειές της είναι ήδη παρούσες και είναι δεδομένο ότι θα ενταθούν τα επόμενα χρόνια. Ακόμα και αν οι κοινωνίες λάβουν άμεσα όλα τα κατάλληλα μέτρα για τη μείωση των εκπομπών CO₂, οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής θα είναι ακόμα ορατές στην καθημερινότητα όλων. Ωστόσο, η συλλογική δράση, γνώση και καινοτομία είναι δυνατόν να οδηγήσει στην ελαχιστοποίησή τους και στην οικοδόμηση ενός βιώσιμου μέλλοντος, στο οποίο ο σεβασμός στο περιβάλλον και οι κοινωνικές ανάγκες θα βρίσκονται στο επίκεντρο.

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 2.1: Μέση μηνιαία συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα σε περιοχές θαλάσσιας επιφάνειας. Πηγή: Εθνική Διοίκηση Ωκεανών και Ατμόσφαιρας, Υπουργείο Εμπορίου των ΗΠΑ (U.S. NOAA).	13
Σχήμα 2.2: Παγκόσμιες (επάνω) και ευρωπαϊκές (κάτω) μέσες ετήσιες θερμοκρασίες κοντά στην επιφάνεια, σε σχέση με την προβιομηχανική περίοδο (1850-1900). Πηγή: [4].....	14
Σχήμα 2.3: Σχηματική απεικόνιση των κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας. Πηγή: [6].....	15
Σχήμα 2.4: Στατιστικά για την ελάχιστη, μέση και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία για όλο το χρόνο από δεδομένα του σταθμού της Ε.Μ.Υ. στο Ελληνικό. Πηγή: Ε.Μ.Υ.	16
Σχήμα 2.5: Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση στην Ελλάδα (1990-2022) σε τόνους ισοδύναμου πετρελαίου. Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, energy.ec.europa.eu.	18
Σχήμα 3.1: Τύποι των συστημάτων κλιματισμού. Πηγή: [12].	24
Σχήμα 3.2: Διάγραμμα τυπικής διάταξης συστήματος CAV. Πηγή: The Severn Group	25
Σχήμα 3.3: Διάγραμμα τυπικής διάταξης συστήματος VAV. Πηγή: The Severn Group	26
Σχήμα 3.4: Διάγραμμα τυπικής διάταξης συστήματος fan coil με ανακυκλοφορία χωρίς αγωγούς. Πηγή: constructandcommission.com	27
Σχήμα 3.5: Διάγραμμα τυπικής διάταξης συστήματος VRF/VRV. Πηγή: Mitsubishi Electric	28
Σχήμα 3.6: Διάγραμμα τυπικής διάταξης γεωθερμικού συστήματος με κάθετο γεωθερμικό εναλλάκτη, σε λειτουργία θέρμανσης. Πηγή: [13]	29
Σχήμα 5.1: Μελλοντικά σενάρια της IPCC για τις εκπομπές CO ₂ (σε Gt άνθρακα/χρόνο). Με γκρι χρώμα αποτυπώνονται οι πραγματικές εκπομπές στο διάστημα 1990-2010. Πηγή: [15].	35
Σχήμα 5.2: Μελλοντικά σενάρια της IPCC για τη συγκέντρωση CO ₂ (σε ppm). Με γκρι χρώμα αποτυπώνεται η πραγματική συγκέντρωση στο διάστημα 1990-2005. Πηγή: [15].	36
Σχήμα 5.3: Τα σενάρια της IPCC για την κλιματική αλλαγή με βάση την αύξηση του πληθυσμού και τις ενεργειακές καταναλώσεις (σε τρις. J [Exajoule]). Πηγή: [16]	36
Σχήμα 5.4: Μέση μηνιαία θερμοκρασία [°C] μελλοντικών κλιματικών δεδομένων των λογισμικών Meteororm (για τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5, RPP8.5) και CCWorldWeatherGen (για το σενάριο A2) για το έτος 2020.	43
Σχήμα 5.5: Μέση μηνιαία θερμοκρασία [°C] μελλοντικών κλιματικών δεδομένων των λογισμικών Meteororm (για τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5, RPP8.5) και CCWorldWeatherGen (για το σενάριο A2) για το έτος 2050.	43
Σχήμα 5.6: Μέση μηνιαία θερμοκρασία [°C] μελλοντικών κλιματικών δεδομένων των λογισμικών Meteororm (για τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5, RPP8.5) και CCWorldWeatherGen (για το σενάριο A2) για το έτος 2080.	44
Σχήμα 6.1: Κάτοψη ισογείου του εξεταζόμενου κτηρίου.	45
Σχήμα 6.2: Κάτοψη Α' ορόφου του εξεταζόμενου κτηρίου.	46
Σχήμα 6.3: Κάτοψη Β' ορόφου του εξεταζόμενου κτηρίου.	46
Σχήμα 6.4: Κάτοψη δώματος του εξεταζόμενου κτηρίου.	47

Σχήμα 6.5: Κάτοψη χώρων ισογείου, χωρισμένων σε θερμικές ζώνες με διαφορετικό αριθμό και χρώμα.	53
Σχήμα 6.6: Κάτοψη χώρων Α' ορόφου, χωρισμένων σε θερμικές ζώνες με διαφορετικό αριθμό και χρώμα.	54
Σχήμα 6.7: Κάτοψη χώρων Β' ορόφου, χωρισμένων σε θερμικές ζώνες με διαφορετικό αριθμό και χρώμα, ...	54
Σχήμα 8.1: Ετήσια παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά για τα σενάρια κλιματικής αλλαγής RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5.	102
Σχήμα 8.2: Ετήσια παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά για τα σενάρια κλιματικής αλλαγής RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 με συντελεστή μείωσης απόδοσης φωτοβολταϊκών στοιχείων λόγω παλαιότητας.....	104
Σχήμα 8.3: Ετήσια παραγωγή ενέργειας από ηλιακούς συλλέκτες για τα σενάρια κλιματικής αλλαγής RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5.	105
Σχήμα 8.4: Επιμέρους τελικές χρήσεις ενεργειακών καταναλώσεων για κτήριο με σύστημα VRF και σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).	107
Σχήμα 8.5: Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις για κτήριο με σύστημα VRF και σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).	108
Σχήμα 8.6: Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις για κτήριο με σύστημα VRF, κλιματικά δεδομένα για το έτος 2070 και σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.	108
Σχήμα 8.7: Μεταβολή ετήσιων συνολικών ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου με σύστημα VRF.....	109
Σχήμα 8.8: Μεταβολή ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη κτηρίου με σύστημα VRF.....	110
Σχήμα 8.9: Μεταβολή ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για θέρμανση κτηρίου με σύστημα VRF.	111
Σχήμα 8.10: Επιμέρους τελικές χρήσεις ενεργειακών καταναλώσεων για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας και σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).	113
Σχήμα 8.11: Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας και σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).....	114
Σχήμα 8.12: Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας, κλιματικά δεδομένα για το έτος 2070 και σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.....	114
Σχήμα 8.13: Μεταβολή ετήσιων συνολικών ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου με σύστημα γεωθερμίας.	115
Σχήμα 8.14: Μεταβολή ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη κτηρίου με σύστημα γεωθερμίας.	116
Σχήμα 8.15: Μεταβολή ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για θέρμανση κτηρίου με σύστημα γεωθερμίας.	117
Σχήμα 8.16: Σύγκριση συνολικών ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου των συστημάτων VRF και γεωθερμίας για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP2.6.	119
Σχήμα 8.17: Σύγκριση συνολικών ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου των συστημάτων VRF και γεωθερμίας για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.	119

Σχήμα 8.18: Σύγκριση συνολικών ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου των συστημάτων VRF και γεωθερμίας για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP8.5.	120
Σχήμα 8.19: Σύγκριση ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου για ψύξη των συστημάτων VRF και γεωθερμίας για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP2.6.	121
Σχήμα 8.20: Σύγκριση ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου για ψύξη των συστημάτων VRF και γεωθερμίας για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.	121
Σχήμα 8.21: Σύγκριση ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου για ψύξη των συστημάτων VRF και γεωθερμίας για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP8.5.	122
Σχήμα 9.1: Σύγκριση ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη και θέρμανση κτηρίου χωρίς και με εξωτερική θερμομόνωση και σύστημα VRF για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.....	125
Σχήμα 9.2: Σύγκριση ετήσιων συνολικών ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου χωρίς και με εξωτερική θερμομόνωση και σύστημα VRF για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.	126
Σχήμα 9.3: Σύγκριση ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη και θέρμανση κτηρίου με υαλοπίνακες χωρίς και με αντανakλαστική low-e μεμβράνη στον εξωτερικό υαλοπίνακα.	129
Σχήμα 9.4: Σύγκριση συνολικών ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου με υαλοπίνακες χωρίς και με αντανakλαστική low-e μεμβράνη στον εξωτερικό υαλοπίνακα.	130
Σχήμα 9.5: Σύγκριση ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη και θέρμανση κτηρίου χωρίς και με επιπλέον σκίαση και σύστημα VRF για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.	133
Σχήμα 9.6: Σύγκριση ετήσιων συνολικών ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου χωρίς και με επιπλέον σκίαση και σύστημα VRF για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.....	133
Σχήμα 9.7: Σύγκριση ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη και θέρμανση κτηρίου χωρίς και με παρεμβάσεις για ενεργειακή βελτίωση και σύστημα VRF για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.	135
Σχήμα 9.8: Σύγκριση ετήσιων συνολικών ενεργειακών καταναλώσεων κτηρίου χωρίς και με παρεμβάσεις για ενεργειακή βελτίωση και σύστημα VRF για το σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5.....	136

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 5.1: Σενάρια της IPCC για την κλιματική αλλαγή	34
Πίνακας 7.1: Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας εξεταζόμενου κτηρίου	61
Πίνακας 7.2: Εκλυόμενη θερμική ισχύς χρηστών (W/άτομο) ανά χρήση χώρου.	63
Πίνακας 7.3: Ετήσιες ώρες, ημέρας, νύκτας, και συνολικής λειτουργίας του φωτισμού ανά χρήση χώρου.	63
Πίνακας 7.4: Ημερήσιες ώρες λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών ανά χρήση χώρου.	64
Πίνακας 7.5: Θερμοκρασία νερού δικτύου ανά μήνα στην κλιματική ζώνη Β'	64
Πίνακας 7.6: Τιμές αντιστάσεων θερμικής μετάβασης (σε m^2K/W) ανά δομικό στοιχείο και αντίστοιχες τιμές συντελεστών θερμικής μετάβασης $1/R_i$ και $1/R_a$ (σε W/m^2K).....	68
Πίνακας 7.7: Τιμές μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή θερμοπερατότητας U [W/m^2K] για τις κλιματικές ζώνες της ελληνικής επικράτειας.	69
Πίνακας 7.8: Στοιχεία για τον υπολογισμό της θερμομονωτικής επάρκειας του εξωτερικού τοίχου του εξεταζόμενου κτηρίου.	70
Πίνακας 7.9: Στοιχεία για τον υπολογισμό της θερμομονωτικής επάρκειας του εξωτερικού δαπέδου του εξεταζόμενου κτηρίου.	70
Πίνακας 7.10: Στοιχεία για τον υπολογισμό της θερμομονωτικής επάρκειας της εξωτερικής οροφής του εξεταζόμενου κτηρίου.	70
Πίνακας 7.11: Στοιχεία για τον υπολογισμό της θερμομονωτικής επάρκειας της εξωτερικής πόρτας του εξεταζόμενου κτηρίου.	71
Πίνακας 7.12: Στρώσεις δομικών υλικών του εσωτερικού τοίχου του εξεταζόμενου κτηρίου και χαρακτηριστικά τους.....	72
Πίνακας 7.13: Στρώσεις δομικών υλικών του εσωτερικού δαπέδου του εξεταζόμενου κτηρίου και χαρακτηριστικά τους.	72
Πίνακας 7.14: Υπολογισμός θερμομονωτικής επάρκειας υαλοπινάκων εξεταζόμενου κτηρίου.	73
Πίνακας 7.15: Υπολογισμός εμβαδών του εξεταζόμενου κτηρίου	74
Πίνακας 7.16: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U_m (σε W/m^2K) για διάφορους λόγους A/V	75
Πίνακας 7.17: Αριθμός των ατόμων ανά m^2 και ανά χρήση χώρου στο εξεταζόμενο κτήριο.	80
Πίνακας 7.18: Εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού σε W/m^2 ανά χρήση χώρου.	81
Πίνακας 7.19: Θερμική ισχύς ηλεκτρικών συσκευών/εξοπλισμού ανά χρήση χώρου σε W/m^2	81
Πίνακας 8.1: Ετήσια παραγόμενη ενέργεια από Φ/B , ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις και ποσοστό κάλυψής τους από Φ/B για σενάριο κτηρίου με σύστημα VRF και σενάριο με σύστημα γεωθερμίας, για σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).	101
Πίνακας 8.2: Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (kWh) από ηλιακούς συλλέκτες και κατανάλωση ενέργειας από τον θερμαντήρα (kWh) για την παραγωγή ZNX και ποσοστό κάλυψης του κάθε μέσου για σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).	105

Πίνακας 8.3: Επιμέρους τελικές χρήσεις ενεργειακών καταναλώσεων και ποσοστό της κάθε μίας επί της συνολικής κατανάλωσης για κτήριο με σύστημα VRF και σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).	107
Πίνακας 8.4: Απόλυτη και ποσοστιαία μεταβολή συνολικών ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων από την παρούσα κατάσταση (2020) μέχρι το 2070 για κτήριο με σύστημα VRF.....	111
Πίνακας 8.5: Απόλυτη και ποσοστιαία μεταβολή ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη από την παρούσα κατάσταση (2020) μέχρι το 2070 για κτήριο με σύστημα VRF. ..	112
Πίνακας 8.6: Επιμέρους τελικές χρήσεις ενεργειακών καταναλώσεων και ποσοστό της κάθε μίας επί της συνολικής κατανάλωσης για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας και σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).	113
Πίνακας 8.7: Απόλυτη και ποσοστιαία μεταβολή συνολικών ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων από την παρούσα κατάσταση μέχρι το 2070 για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας.	117
Πίνακας 8.8: Απόλυτη και ποσοστιαία μεταβολή ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη από την παρούσα κατάσταση μέχρι το 2070 για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας.	118
Πίνακας 8.9: Απόλυτη μεταβολή ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων για κτήριο με σύστημα VRF και για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας.....	122
Πίνακας 8.10: Απόλυτη μεταβολή ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη για κτήριο με σύστημα VRF και για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας.....	122
Πίνακας 8.11: Ποσοστιαία μεταβολή ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων για κτήριο με σύστημα VRF και για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας.....	123
Πίνακας 8.12: Ποσοστιαία μεταβολή ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη για κτήριο με σύστημα VRF και για κτήριο με σύστημα γεωθερμίας.	123
Πίνακας 9.1: Περίοδος απόσβεσης ενεργειακής παρέμβασης τοποθέτησης εξωτερικής θερμομόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους, λαμβάνοντας υπόψη το ετήσιο επιτόκιο αναγωγής 6% και την ετήσια αύξηση της τιμής της kWh 3%.	127
Πίνακας 9.2: Περίοδος απόσβεσης ενεργειακής παρέμβασης τοποθέτησης αντανakλαστικής μεμβράνης χαμηλής εκπομπής στους υαλοπίνακες, λαμβάνοντας υπόψη το ετήσιο επιτόκιο αναγωγής 6% και την ετήσια αύξηση της τιμής της kWh 3%.	131
Πίνακας 9.3: Περίοδος απόσβεσης ενεργειακής παρέμβασης εγκατάστασης σκίασης στη Δυτική πλευρά του κτηρίου, λαμβάνοντας υπόψη το ετήσιο επιτόκιο αναγωγής 6% και την ετήσια αύξηση της τιμής της kWh 3%.	134

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 5.1: Γραφικό περιβάλλον λογισμικού CCWorldWeatherGen, καρτέλα «Μετατροπή Αρχείου» («Convert File»).	38
Εικόνα 5.2: Καρτέλα «Επιλογή Τοποθεσίας» («Location Selection») στο Meteonorm.	40
Εικόνα 5.3: Καρτέλα «Ρυθμίσεις υπολογισμών» («Calculation settings») στο Meteonorm.	41
Εικόνα 5.4: Καρτέλα «Αποτελέσματα και εξαγωγή» («Results and export») στο Meteonorm.	42
Εικόνα 6.1: Γραφικό περιβάλλον λογισμικού Sketchup Pro 2021 με το πρόσθετο του Openstudio.	48
Εικόνα 6.2: Τρισδιάστατη όψη μοντέλου εξεταζόμενου κτηρίου στο Sketchup Pro με το πρόσθετο του Openstudio.	50
Εικόνα 6.3: Μπροστά όψη μοντέλου εξεταζόμενου κτηρίου στο Sketchup Pro με το πρόσθετο του Openstudio.	50
Εικόνα 6.4: Πίσω όψη μοντέλου εξεταζόμενου κτηρίου στο Sketchup Pro με το πρόσθετο του Openstudio.	51
Εικόνα 6.5: Παράθυρο επιλογής Τύπου Χώρου του προσθέτου Openstudio για τον κάθε χώρο του εξεταζόμενου κτηρίου, στο λογισμικό Sketchup Pro 2021.	52
Εικόνα 6.6: Παράθυρο «Set Attributes for Selected Spaces» του προσθέτου Openstudio στο Sketchup Pro.	55
Εικόνα 6.7: Παράθυρο επιλογής χαρακτηριστικών φωτοβολταϊκού στοιχείου στο λογισμικό Sketchup Pro με το πρόσθετο Openstudio.	55
Εικόνα 7.1: Γραφικό περιβάλλον λογισμικού Openstudio, έκδοσης 1.7.1., καρτέλα «Τοποθεσία» («Site»).	57
Εικόνα 7.2: Δεδομένα τοποθεσίας μετεωρολογικού σταθμού στο λογισμικό Openstudio στην καρτέλα «Τοποθεσία».	58
Εικόνα 7.3: Καρτέλα «Χρονοδιαγράμματα» («Schedules») στο λογισμικό Openstudio.	59
Εικόνα 7.4: Χρονοδιάγραμμα φωτισμού υπνοδωματίου στο λογισμικό Openstudio.	60
Εικόνα 7.5: Περιοδικό χρονοδιάγραμμα Θερμοκρασίας Νερού Δικτύου στο λογισμικό Openstudio.	61
Εικόνα 7.6: Χρονοδιάγραμμα πληρότητας υπνοδωματίων.	62
Εικόνα 7.7: Καρτέλα «Κατασκευές» («Constructions») στο Openstudio.	76
Εικόνα 7.8: Δημιουργία του υλικού της εξηλασμένης πολυστερίνης του εξωτερικού τοίχου στο Openstudio.	77
Εικόνα 7.9: Κατασκευή και στρώσεις υλικών εξωτερικού τοίχου στο Openstudio.	78
Εικόνα 7.10: Κατασκευή και στρώσεις υλικών υαλοπινάκων στο Openstudio.	78
Εικόνα 7.11: Παράθυρο καθορισμού των πλαισίων και διαχωριστικών των κουφωμάτων με υαλοπίνακες στο πρόσθετο Openstudio στο Sketchup Pro.	79
Εικόνα 7.12: Καρτέλα «Τύποι Χώρων» («Space Types») στο Openstudio.	82
Εικόνα 7.13: Καρτέλα «Γεωμετρία» («Geometry») στο Openstudio.	83

Εικόνα 7.14: Καρτέλα «Εγκατάσταση» («Facility») στο Openstudio.	84
Εικόνα 7.15: Καρτέλα «Χώροι» («Spaces») στο Openstudio.	85
Εικόνα 7.16: Καρτέλα «Θερμικές Ζώνες» («Thermal Zones») στο Openstudio.	86
Εικόνα 7.17: Σύστημα DOAS στο Openstudio.	87
Εικόνα 7.18: Δημιουργία συστήματος VRF στο Openstudio, με το σύστημα, τα τερματικά και τις αντίστοιχες θερμικές ζώνες.	88
Εικόνα 7.19: Κύκλωμα συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με κάθετο γεωθερμικό εναλλάκτη στο Openstudio.....	89
Εικόνα 7.20: Χαρακτηριστικά κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη στο σύστημα γεωθερμίας στο Openstudio.	90
Εικόνα 7.21 Κύκλωμα ψυχρού νερού αντλίας θερμότητας στο σύστημα HVAC γεωθερμίας στο Openstudio.	91
Εικόνα 7.22: Κύκλωμα ζεστού νερού αντλίας θερμότητας στο σύστημα HVAC γεωθερμίας στο Openstudio.	92
Εικόνα 7.23: Κύκλωμα Συστήματος Διανομής Ζ.Ν.Χ. στο Openstudio.....	94
Εικόνα 7.24: Κύκλωμα διανομής Ζ.Ν.Χ. με τον εξοπλισμό για κάθε χώρο του κτηρίου.	94
Εικόνα 7.25: Κύκλωμα παραγωγής Ζ.Ν.Χ. με ηλιακούς συλλέκτες και θερμαντήρα.....	95
Εικόνα 7.26: Καρτέλα «Μεταβλητές Εξόδου» («Output Variables») στο Openstudio.....	96
Εικόνα 7.27: Γραφικό περιβάλλον λογισμικού dview. Γραφήματα παραγόμενης ενέργειας σε W από τους 2 ηλιακούς συλλέκτες στην οροφή του κτηρίου, σε ωριαίο βήμα, για χρονικό διάστημα ενός έτους.	97
Εικόνα 7.28: Καρτέλα «Ρυθμίσεις Προσομοίωσης» («Simulation Settings») στο Openstudio, με την επιλογή για την τιμή ανοχής της θερμοκρασίας.	98
Εικόνα 7.29: Καρτέλα «Μετρήσεις» («Measures») στο Openstudio.	99
Εικόνα 7.30: Καρτέλα «Εκτέλεση Προσομοίωσης» («Run Simulation») στο Openstudio.	100
Εικόνα 7.31: Καρτέλα «Σύνοψη Αποτελεσμάτων» («Results Summary») στο Openstudio.	100
Εικόνα 8.1: Αποτελέσματα Openstudio για τις ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις κτηρίου με σύστημα VRF και σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).	106
Εικόνα 8.2: Αποτελέσματα Openstudio για τις ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις κτηρίου με σύστημα γεωθερμίας και σύγχρονα κλιματικά δεδομένα (2020).	112
Εικόνα 9.1: Χαρακτηριστικά υαλοπίνακα low-e στο Openstudio.....	128
Εικόνα 9.2: Τρισδιάστατη απεικόνιση κτηρίου στο Sketchup Pro με το πρόσθετο Openstudio, στην οποία απεικονίζονται οι επιπλέον επιφάνειες σκίασης στη δυτική πλευρά του κτηριακού κελύφους.	132

Κατάλογος αναφορών

- [1] H. Le Treut *et al.*, "Historical Overview of Climate Change," in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [2] K. Abbass, M. Z. Qasim, H. Song, M. Murshed, H. Mahmood, and I. Younis, "A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, no. 28, pp. 42539-42559, 2022/06/01 2022, doi: 10.1007/s11356-022-19718-6.
- [3] G. J. van Oldenborgh *et al.*, "Western Europe is warming much faster than expected," *Clim. Past*, vol. 5, no. 1, pp. 1-12, 2009, doi: 10.5194/cp-5-1-2009.
- [4] E. E. Agency. "Global and European temperatures." <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/global-and-european-temperatures?activeAccordion=ecdb3bcf-bbe9-4978-b5cf-0b136399d9f8> (accessed).
- [5] J. Cifuentes-Faura, "European Union policies and their role in combating climate change over the years," *Air Quality, Atmosphere & Health*, vol. 15, no. 8, pp. 1333-1340, 2022/08/01 2022, doi: 10.1007/s11869-022-01156-5.
- [6] Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας - Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 - Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές Παραμέτρων για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων και την Έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης, 2017.
- [7] C. G. Tzanis, I. Koutsogiannis, K. Philippopoulos, and D. Deligiorgi, "Recent climate trends over Greece," *Atmospheric Research*, vol. 230, p. 104623, 2019/12/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104623>.
- [8] P. de Wilde and D. Coley, "The implications of a changing climate for buildings," *Building and Environment*, vol. 55, pp. 1-7, 2012/09/01/ 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.03.014>.
- [9] N. Hirst, "Buildings and Climate Change," in *Design and Management of Sustainable Built Environments*, R. Yao Ed. London: Springer London, 2013, pp. 23-30.
- [10] A. G. Gaglia *et al.*, "Energy performance of European residential buildings: Energy use, technical and environmental characteristics of the Greek residential sector – energy conservation and CO₂ reduction," *Energy and Buildings*, vol. 183, pp. 86-104, 2019/01/15/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.042>.
- [11] M. C. Georgiadou, T. Hacking, and P. Guthrie, "A conceptual framework for future-proofing the energy performance of buildings," *Energy Policy*, vol. 47, pp. 145-155, 2012/08/01/ 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.039>.
- [12] Κ. Α. Π. κ. Ε. Ενέργειας, Οδηγός Εξοικονόμησης Ενέργειας στα Συστήματα HVAC, 2022.

- [13] M. Climo, L. Lind, S. Bendall, and B. Carey, *The rise and rise of geothermal heat pumps in New Zealand*. 2012.
- [14] Δ. Αραβαντινός, *Τα θερμομονωτικά υλικά και η θερμομονωτική προστασία των κτιρίων*. Kallipos, Open Academic Editions, 2024, p. 340.
- [15] G. S. Mauger *et al.*, "State of Knowledge: Climate Change in Puget Sound," 2015.
- [16] W. O. Review. "The IPCC Scenarios." <https://worldoceanreview.com/en/worldoceanreview/5/climate-change-threats-and-natural-hazards/climate-change-and-the-coasts/the-ipcc-scenarios/> (accessed).
- [17] H. Kooi, "Spatial variability in subsurface warming over the last three decades; insight from repeated borehole temperature measurements in The Netherlands," *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 270, no. 1, pp. 86-94, 2008/06/15/ 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.03.015>.
- [18] I. L. Novara, D. B. Berdichevsky, and R. D. Piacentini, "Subsurface temperature change attributed to climate change at the northern latitude site of Kapuskasing, Canada," *Atmósfera*, vol. 38, pp. 299–309, 2023.