

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κτίρια Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας
και Υπολογιστική Μελέτη με χρήση του
Λογισμικού EnergyPlus

Αταλιώτη Δέσπω

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Κορωνάκη Ειρήνη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2020

Ευχαριστίες..

Η παρούσα διπλωματική εργασία διεκπεραιώθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου , στον Τομέα Θερμότητας κατά το έτος 2020.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτρια Κορωνάκη Ειρήνη τόσο για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας, όσο και για τη συνεχή υποστήριξη, βοήθεια και καθοδήγηση καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της.

Επίσης, να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την συνεχή στήριξη που μου παρείχαν σε κάθε προσπάθεια μου, καθ' όλη την διάρκεια της φοίτησης μου, και την δύναμη που μου έδωσαν ώστε να ολοκληρώσω τις σπουδές μου.

Αταλιώτη Δέσπω,

Αθήνα, Ιούλιος 2020

Περίληψη

Το ενεργειακό ζήτημα και οι έντονες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που πλήττουν την ανθρωπότητα, με τον κτιριακό τομέα να αποτελεί ένα μεγάλο ποσοστό της τελικής χρήσης ενέργειας και των εκπομπών CO₂, οδήγησαν στην άμεση ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας. Απαιτούνται προσπάθειες για να το πετύχουμε αυτό, με εφαρμογή νέων τεχνολογιών και χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στόχος λοιπόν της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη και ο υπολογισμός των φορτίων θέρμανσης και ψύξης, καθώς και η επιλογή συστημάτων HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), ώστε να επιτευχθεί ο σχεδιασμός ενός κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Το κτίριο που θα μελετηθεί δόθηκε στα πλαίσια του διαγωνισμού της ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), ωστόσο η μελέτη στα πλαίσια της διπλωματικής εργασία αφορά την λειτουργία του κτιρίου κατά την διάρκεια ενός τυπικού έτους στην Ελλάδα, συγκεκριμένα στην Αθήνα.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι το *EnergyPlus*, ένα λογισμικό προσομοίωσης και ενεργειακής ανάλυσης κτιρίου, το οποίο υπολογίζει τα φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου και τις ενεργειακές απαιτήσεις για την κάλυψη αυτών των φορτίων ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές συνθήκες στο εσωτερικό του κτιρίου. Ωστόσο, χρησιμοποιήθηκαν πρόσθετα λογισμικά όπως το *SketchUp 2017* για τον σχεδιασμό του κτιρίου και των επιφανειών σε τρισδιάστατη μορφή, και το *OpenStudio 2.9.1* το οποίο αποτελεί ένα εύχρηστο γραφικό περιβάλλον για την εισαγωγή απαραίτητων δεδομένων σχετικά με την γεωμετρία του κελύφους, τα δομικά υλικά, τα εσωτερικά φορτία και τα επιμέρους συστήματα του κτιρίου.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν θα παρουσιαστούν τα βήματα για τον σχεδιασμό ενός κτιρίου μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (ZEB- Zero Energy Building) και η σημασία του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Συγκεκριμένα θα αναπτυχθούν κεφάλαια σχετικά με τα παθητικά ηλιακά συστήματα, παθητικά συστήματα και τεχνικές φυσικού δροσισμού και φυσικού φωτισμού, η σημασία της θερμομόνωσης στο κέλυφος του κτιρίου, οι επιλογές συστημάτων HVAC και θα δοθεί μεγάλη έμφαση στην χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και την ανάγκη εφαρμογής τους για την αντιμετώπιση του ενεργειακού ζητήματος και την προστασία του περιβάλλοντος.

Abstract

The global energy problem and the environmental impact affects people's life and health, with the building sector being responsible for a high percentage of the total energy consumption and total CO₂ emissions. This fact have led to an immediate need to save energy. To achieve this we have to implement new technologies and use renewable energy sources.

The aim of this diploma thesis is to calculate the heating and cooling loads and design an HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) system, in order to achieve a zero energy building. The facility under consideration was given by ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), within the 2020 Design Competition. However, the study concerns the operation of the building during a typical year in Greece and more specifically in Athens.

The software used to prepare this thesis was EnergyPlus, a building simulation and energy analysis software that calculates the building's heating and cooling loads and the energy consumption needed to meet these loads in order to achieve the desired interior conditions of the building. However, additional softwares were used, such as SketchUp 2017, to design the building's 3D view and the surfaces , and OpenStudio 2.9.1, a graphical user interface of Energy Plus, which assigned all the information about geometry, building envelope's materials, the internal loads and the individual systems of the building.

In the following chapters we will analyze the steps for a zero energy building (ZEB-Zero Energy Building) design and the importance of bioclimatic architecture. Specifically, chapters will be developed on passive solar systems, natural cooling and natural lighting techniques, the importance of the thermal insulation of the building envelope, HVAC system design and much emphasis will be placed on the use of Renewable Energy Sources (RES) .

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	i
Περίληψη.....	iii
Abstract.....	v
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή.....	1
1.1 Ενεργειακές Καταναλώσεις και Κτιριακός Τομέας.....	2
1.2 Κλιματικά Δεδομένα Ελλάδα.....	4
1.3 Επιθυμητές Εσωτερικές Συνθήκες.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Κτίρια Μηδενικής Ενέργειας και Βιοκλιματικός Σχεδιασμός.....	9
2.1 Κτίρια Μηδενικής Ενέργειας (Zero Energy Building-ZEB).....	9
2.1.1 Βήματα για το σχεδιασμό ZEB.....	11
2.2 Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων.....	13
2.3 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα.....	14
2.3.1 Παθητικά ηλιακά συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους.....	14
2.3.2 Παθητικά ηλιακά συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους.....	16
2.4 Παθητικά Συστήματα και τεχνικές φυσικού δροσισμού.....	17
2.5 Συστήματα και τεχνικές φυσικού φωτισμού.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Δομικά Στοιχεία και Θερμομόνωση.....	20
3.1 Νομοθετικό Πλαίσιο.....	22
3.2 Ιδιότητες θερμομονωτικών υλικών.....	24
3.2.1 Φυσικές Ιδιότητες.....	24
3.2.2 Περιβαλλοντικές Ιδιότητες :.....	25
3.3 Κύρια Θερμομονωτικά Υλικά.....	26
3.4 Θερμομόνωση Τοιχοποιίας.....	28
3.5 Θερμομόνωση Οροφής.....	29
3.6 Θερμομόνωση Κουφωμάτων.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Συστήματα HVAC.....	33
4.1 Θερμικές ζώνες.....	35
4.2 Συστήματα Θέρμανσης και Ψύξης.....	36
4.2.1 Συστήματα Θέρμανσης.....	36
4.2.2 Συστήματα Ψύξης.....	38
4.2.3 Συστήματα σταθερής παροχής αέρα (Constant Air Volume – CAV).....	40
4.2.4 Συστήματα μεταβαλλόμενης παροχής αέρα (VAV).....	41

4.2.5	Συστήματα αέρα-νερού	43
4.2.6	Συστήματα Μεταβλητής Ροής Ψυκτικού Μέσου (Variable Refrigeration Flow – VRF).....	44
4.3	Συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	46
4.3.1	Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (Ground Source Heat Pumps-GSHP).....	46
4.3.2	Φωτοβολταϊκά Συστήματα	50
4.3.3	Ενεργητικά Θερμικά Ηλιακά Συστήματα	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 :Υπολογισμός θερμικών και ψυκτικών φορτίων κατά ASHRAE [42]		59
5.1	Ρυθμοί Ροής θερμότητας.....	59
5.2	Διαδικασία Υπολογισμού Ψυκτικού Φορτίου Χώρου	61
5.2.1	Μέθοδος θερμικής ισορροπίας – Heat Balance Method	62
5.3	Εσωτερικά θερμικά κέρδη (Internal Heat Gains).....	63
5.3.1	Εσωτερικά θερμικά κέρδη από φωτισμό	63
5.3.2	Εσωτερικά θερμικά κέρδη από ανθρώπους.....	65
5.3.3	Εσωτερικά θερμικά κέρδη από συσκευές και ηλεκτρομηχανικό εξοπλισμό	66
5.4	Κέρδη θερμότητας λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα και υγρασίας	68
5.4.1	Ανανέωση και διείσδυση αέρα.....	68
5.5	Θερμικό κέρδος μέσω Υαλοπινάκων (Fenestration Heat Gains)	69
5.6	Ανάλυση Μεθόδου RTS – Radiant Time Series Method.....	70
5.6.1	Θερμικά κέρδη μέσω εξωτερικών επιφανειών	72
5.6.2	Θερμικά κέρδη μέσω εσωτερικών επιφανειών.....	74
5.7	Υπολογισμός Ψυκτικού Φορτίου	74
5.8	Υπολογισμός Θερμικού Φορτίου	76
5.8.1	Υπολογισμός θερμικών απωλειών	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Παρουσίαση κτιρίου και συστημάτων και προσομοίωση με το λογισμικό EnergyPlus		79
6.1	Παρουσίαση κτιρίου	79
6.2	Σχεδιαστικές Απαιτήσεις.....	82
6.2.1	Εσωτερικές επιθυμητές συνθήκες.....	83
6.3	Θερμικές Ζώνες.....	83
6.4	Επιλογή Συστημάτων	85
6.4.1	Σενάρια συστημάτων HVAC.....	85
6.4.2	Σύστημα αγωγών (Duct Systems)	85
6.5	Χρήση Λογισμικού EnergyPlus.....	87
6.6	Τρισδιάστατη μορφή κτιρίου στο SketchUp.....	87

6.7	OpenStudio	89
6.7.1	Κλιματικά Δεδομένα – Site	89
6.7.2	Χρονοδιαγράμματα – Schedule Sets & Schedule	90
6.7.3	Σετ Κατασκευής – Υλικά Κατασκευής (Construction – Construction Sets & Materials)	92
6.7.4	Εσωτερικά Φορτία (Internal Loads)	96
6.7.5	Τύποι Χώρων (Space Types)	97
6.7.6	Γεωμετρία (Geometry)	99
6.7.7	Εγκατάσταση (Facility)	99
6.7.8	Χώροι Κτιρίου (Spaces)	100
6.7.9	Θερμικές Ζώνες (Thermal Zones)	100
6.7.10	Συστήματα HVAC (HVAC Systems)	101
6.7.11	Μετρήσεις (Measures)	108
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ		110
7.1	Ψυκτικά και θερμικά φορτία	110
7.2	Ηλεκτρικές Καταναλώσεις	112
7.2.1	Σενάριο 1 – Boiler & Electric Chiller	112
7.2.2	Σενάριο 2 – Ground Heat Exchanger	114
7.2.3	Σενάριο 3 – Ηλιοθερμική Ψύξη	115
7.3	Παραγωγή ενέργειας με χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ	117
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ		119
Βιβλιογραφία		120

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

Για να έχουμε τη σημερινή ποιότητα ζωής, χρειαζόμαστε τεράστιες ποσότητες ενέργειας, και η ταχέως αναπτυσσόμενη αυτή παγκόσμια ενεργειακή χρήση έχει ήδη προκαλέσει ανησυχίες σχετικά με τις δυσκολίες εφοδιασμού, την εξάντληση των ενεργειακών πόρων και τις βαριές περιβαλλοντικές επιπτώσεις (κλιματική αλλαγή, μείωση της στιβάδας του όζοντος, υπερθέρμανση του πλανήτη κ.λπ.).

Η κλιματική αλλαγή συνιστά τη μεγαλύτερη πρόκληση που αντιμετωπίζει αυτή τη στιγμή η ανθρωπότητα. Η μαζική καύση ορυκτών καυσίμων, όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο μετατρέπει τη Γη σε θερμοκήπιο. Καταρρακτώδεις βροχές και πλημμύρες, παρατεταμένοι καύσωνες και πυρκαγιές είναι μερικά από τα φαινόμενα που προκύπτουν από τη μεγαλύτερη συγκέντρωση των φυσικών αερίων που συμβάλουν στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου». Οι μεταβολές αυτές θα επιφέρουν με τη σειρά τους σοβαρές επιπτώσεις στην ακεραιότητα των οικοσυστημάτων, τους υδατικούς πόρους, τη δημόσια υγεία, την προσφορά τροφής, τη βιομηχανία, τις γεωργικές καλλιέργειες, τις μεταφορές και τις υποδομές. Θεωρείται δεδομένο ότι για τα παραπάνω ευθύνεται ο άνθρωπος.

Διακεκριμένοι επιστήμονες απέδειξαν το τεράστιο κόστος της κλιματικής αλλαγής, αν ο κόσμος δεν καταφέρει να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η προστασία του περιβάλλοντος και των πρώτων υλών αποκτά λοιπόν, τόσο σε εθνικό όσο και διεθνές επίπεδο ολόένα και μεγαλύτερη σημασία. Το θέμα είναι στενά συνδεδεμένο με την αυξανόμενη ζήτηση για καινοτόμες τεχνικές λύσεις και είναι πλέον κοινά αποδεκτό ότι η ορθολογική χρήση των ενεργειακών πόρων αποτελεί πρωταρχική έννοια για την προστασία του περιβάλλοντος. Συνεπώς, το μέλλον του τομέα της ενέργειας στην Ευρώπη εξαρτάται από τη μείωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων και την αύξηση της χρήσης πηγών ενέργειας με χαμηλές ανθρακούχες εκπομπές καθώς και την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Ένωσης, σύμφωνα με την οδηγία που είχε δοθεί από το 2010, στόχος ήταν μέχρι το 2020 η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 20%, την αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατά τουλάχιστον 20% της κατανάλωσης και την επίτευξη της κατανάλωσης ενέργειας της τάξης του 20% και περισσότερο. Με την επίτευξη αυτών των στόχων η ΕΕ μπορεί να συμβάλει στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, να μειώσει την εξάρτησή της από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων και να διατηρήσει την παροχή ενέργειας οικονομικά προσιτή για τους καταναλωτές και τις επιχειρήσεις. Με βάση την πρόοδο των κρατών μελών για την επίτευξη του στόχου, η ΕΕ βρίσκεται σε πολύ καλή πορεία, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια, που όπως θα δούμε στη συνέχεια αποτελεί ένα σημαντικό ποσοστό των ενεργειακών καταναλώσεων. [1]

Σύμφωνα με τους ειδικούς, η Ελλάδα συνιστά μια από τις χώρες που πλήττονται ισχυρότερα από την κλιματική αλλαγή. Το ενεργειακό σύστημα της χώρας χαρακτηρίζεται σήμερα από την κυριαρχία των συμβατικών πηγών (λιγνίτης και εισαγόμενοι υδρογονάνθρακες) για την παραγωγή ηλεκτρισμού και την κατανάλωση σε όλους τους τομείς. Το στοιχείο αυτό οδηγεί στην υψηλή εξάρτηση από τις εισαγωγές καυσίμων και την αβεβαιότητα που αυτό συνεπάγεται από την έκθεση σε ένα πλήθος αστάθμητων παραγόντων, ενώ σημαντική είναι επίσης η περιβαλλοντική επιβάρυνση από την καύση των ορυκτών αυτών καυσίμων. Για την επίτευξη των υποχρεωτικών στόχων της χώρας το 2020 και τη μείωση της εξάρτησής της από εισαγόμενους ενεργειακούς πόρους, απαιτείται αύξηση του μεριδίου των

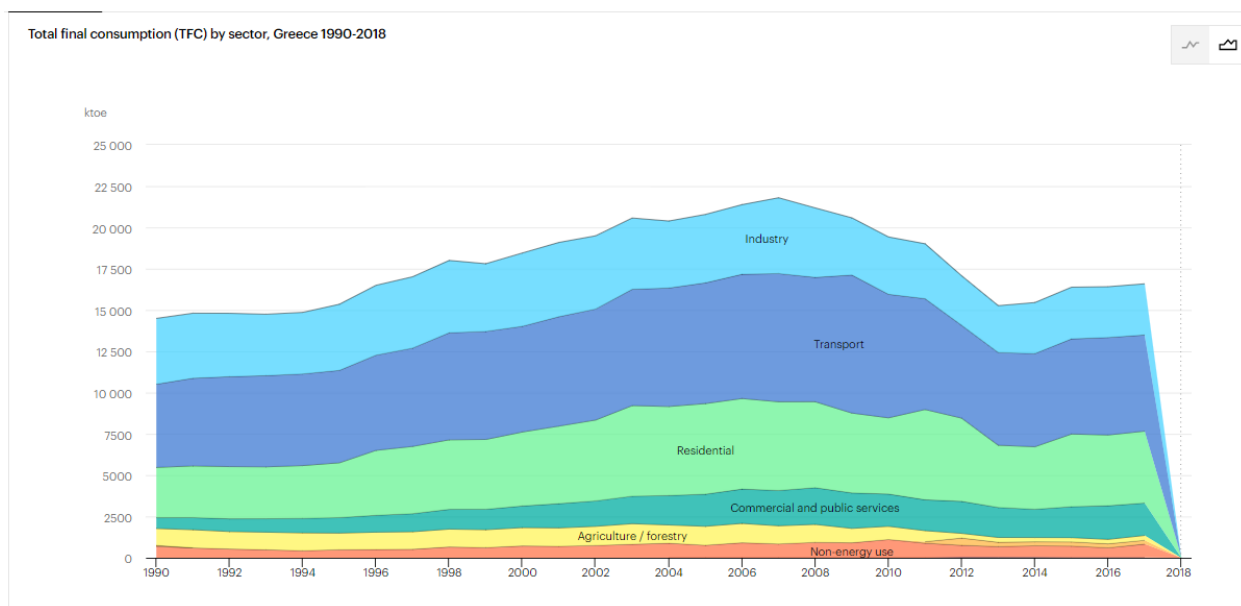
ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στο ενεργειακό μείγμα της χώρας και της εξ αυτών παραγόμενης ενέργειας.

Η περαιτέρω έμφαση στην ανάπτυξη των ΑΠΕ αποτελεί μία κατεύθυνση και μία πολιτική επιλογή για την εξέλιξη του ενεργειακού συστήματος, η οποία μπορεί να συμβάλλει θετικά στην προσπάθεια εξόδου από την κρίση και να στηρίξει ένα βιώσιμο μέλλον σε ευρωπαϊκό, αλλά και εθνικό επίπεδο. Η πορεία δεν είναι εύκολη και απαιτούνται συντονισμένες και συστηματικές προσπάθειες για την αντιμετώπιση των παραγόντων, που “απειλούν” την ένταση της αξιοποίησης των ΑΠΕ και της εξοικονόμησης ενέργειας και τη μετάβαση σε ένα απανθρακοποιημένο ευρωπαϊκό ενεργειακό μοντέλο.

1.1 Ενεργειακές Καταναλώσεις και Κτιριακός Τομέας

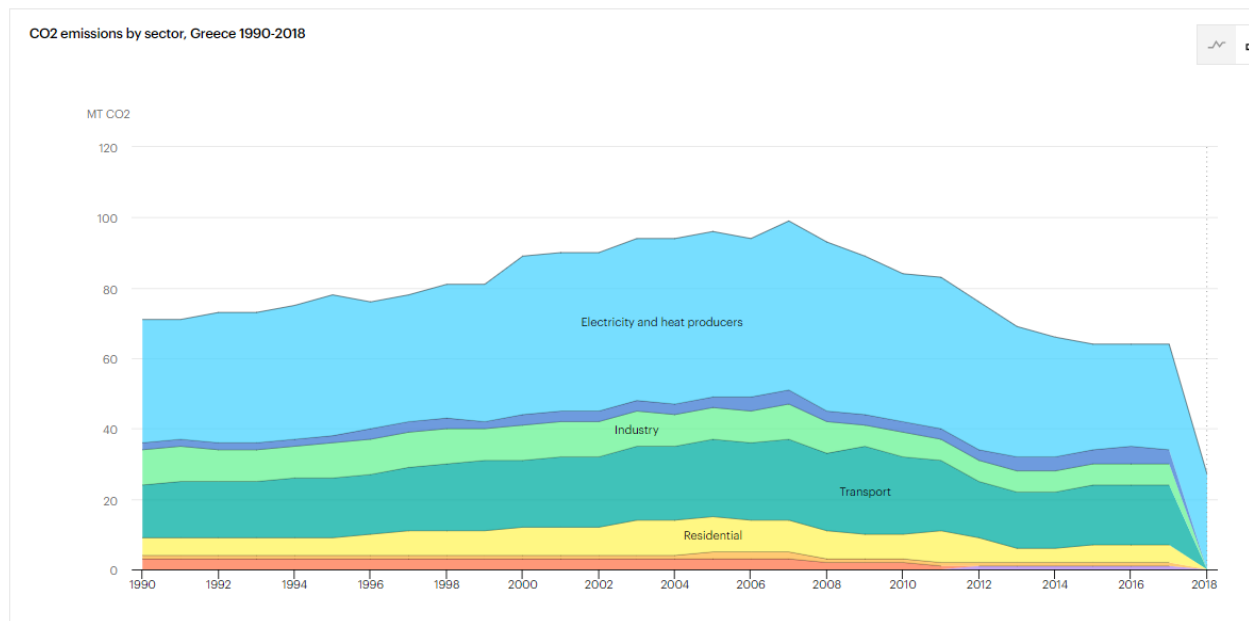
Ο κτιριακός τομέας έχει έντονο ενεργειακό, αλλά και περιβαλλοντικό αποτύπωμα, λόγω χρήσης πρωτογενών υλικών, κατανάλωσης φυσικών πόρων και παραγωγής ρύπων και αποβλήτων. Τα κτίρια αντιπροσωπεύουν περίπου το 40% της τελικής χρήσης ενέργειας και είναι υπεύθυνα για το 36% των εκπομπών CO₂ στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Συνεπώς η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον κτιριακό τομέα αποτελούν σημαντικά μέτρα που απαιτούνται για την μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου και την ενδυνάμωση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού, δίνοντας μας το κλειδί για ένα βιώσιμο μέλλον.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, βλέπουμε την τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα, παρατηρώντας ότι ο κτιριακός τομέας, οικιακός (Residential) και τριτογενής (Commercial and Public Services), αποτελεί όπως αναφέραμε τον τομέα με το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας.



Διάγραμμα 1 : Τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα - IEA [2]

Η ενέργεια , ιδίως η ηλεκτρική ενέργεια, και τα καύσιμα θέρμανσης, έχουν υψηλό αποτύπωμα άνθρακα και συγκεκριμένα αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών CO₂ στην Ελλάδα, όπως παρατηρούμε και στο διάγραμμα που ακολουθεί. Ως εκ τούτου, η μείωση της χρήσης ενέργειας είναι ένας σημαντικός τρόπος για την μείωση του αποτυπώματος του άνθρακα του κτιρίου.



Διάγραμμα 2 : Συνολικές Εκπομπές CO₂ στην Ελλάδα – IEA [2]

Αν και η μείωση κατανάλωσης ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με ένα κτίριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, μπορεί ωστόσο οι ενεργειακές πηγές και τα καύσιμα που χρησιμοποιεί να είναι συμβατικά ορυκτά καύσιμα και να ελκύουν διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Έχοντας υπόψη την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και τη μετρίαση του κινδύνου της κλιματικής αλλαγής , σε συνδυασμό με την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας πρέπει να γίνεται χρήση ανανεώσιμων καυσίμων που δεν θα επιφέρουν εκπομπές αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Στόχος λοιπόν είναι η λήψη δράσεων για την επίτευξη της εξάλειψης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στον κτιριακό τομέα, με ένα τολμηρό όραμα όπως αναφέρει το *World Green Building Council* για το πώς τα κτίρια και οι υποδομές σε όλο τον κόσμο μπορούν να πετύχουν μείωση 40% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα έως το 2030 και να επιτευχθούν 100% κτίρια μηδενικών εκπομπών το 2050. [3]

Συγκεκριμένα, τα κτίρια και οι κατασκευές ευθύνονται για το 39% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στον κόσμο , με το 28% να αντιπροσωπεύουν τις λειτουργικές εκπομπές, τις εκπομπές δηλαδή κατά την χρήση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου, και το 11% να προέρχεται από ενσωματωμένες εκπομπές του άνθρακα που σχετίζονται με τα υλικά και τις κατασκευαστικές διαδικασίες. [3]

Το όραμα για την επίτευξη κτιρίων μηδενικών εκπομπών απαιτεί λοιπόν την εξάλειψη τόσο των λειτουργικών, όσο και των ενσωματωμένων εκπομπών άνθρακα στον κτιριακό τομέα.

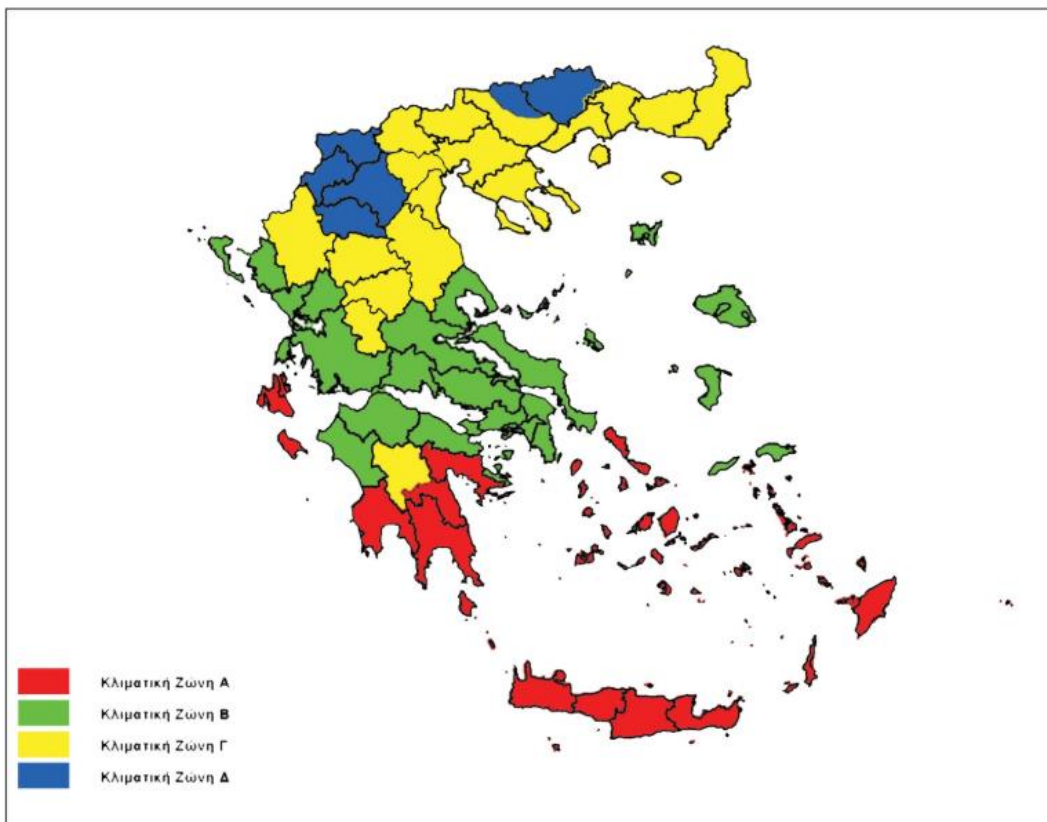
1.2 Κλιματικά Δεδομένα Ελλάδας

Σημαντικός παράγοντας για τη μείωση της ζήτησης ενέργειας στα κτίρια είναι ο σχεδιασμός και η κατασκευή του να ανταποκρίνεται στις κλιματικές συνθήκες του τόπου όπου θα τοποθετηθεί το κτίριο. Οι κλιματολογικές συνθήκες είναι διαφορετικής ανά γεωγραφική περιοχή και τοποθεσία, και ως εκ τούτου πρέπει να γίνετε η αποτύπωση των συνθηκών και να χρησιμοποιούνται ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες των χρηστών του κτιρίου για φυσικό δροσισμό και φυσικό φωτισμό. Επομένως μπορεί στη συνέχεια να γίνει και η επιλογή των κατάλληλων συστημάτων HVAC.

Για την εκπόνηση της μελέτης ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμομέρες θέρμανσης. Στον πίνακα που ακολουθεί προσδιορίζονται οι νομοί που αντιστοιχούν σε κάθε μια από τις τέσσερις κλιματικές ζώνες (από τη θερμότερη στην ψυχρότερη) και ακολουθεί σχηματική απεικόνιση των παραπάνω ζωνών και ακολουθεί σχηματική απεικόνιση των παραπάνω ζωνών στο Σχήμα 1.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή).
ΖΩΝΗ Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας.
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος),
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας.

Πίνακας 1 : Διαχωρισμός της ελληνικής επικράτειας σε κλιματικές ζώνες κατά νομούς [4]



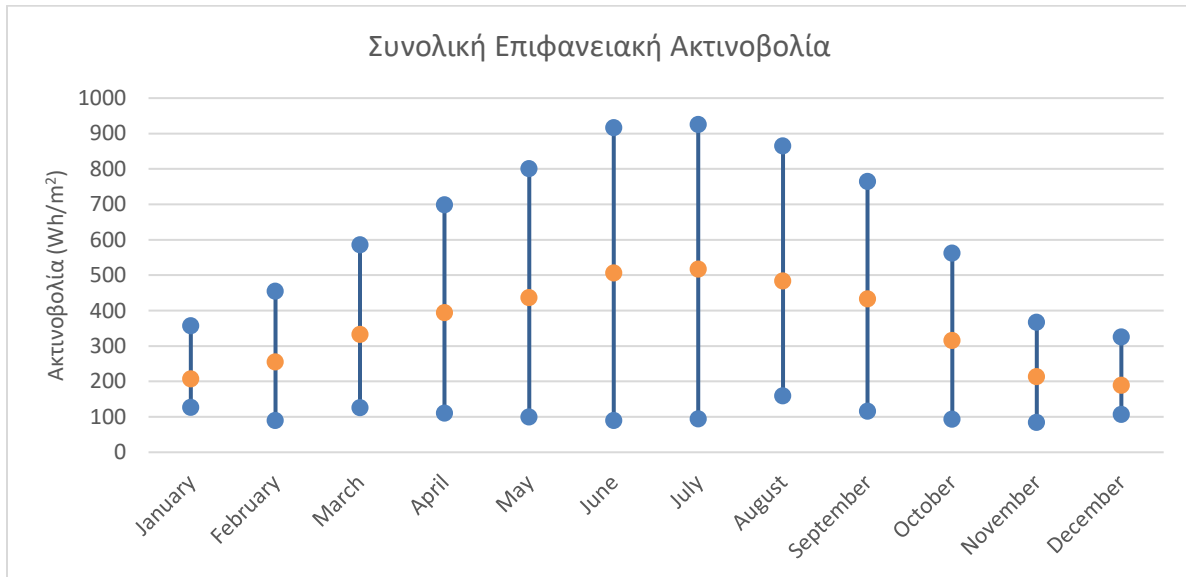
Σχήμα 1 Σχηματική απεικόνιση των κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας [4]

Στην περιοχή της Αττικής το κλίμα είναι εύκρατο και χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό, ενώ είναι γενικά ήπιο το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου. Παρόλο όμως που είναι μεσογειακό, το κλίμα της Αθήνας έχει αρκετά μεγάλη διαφορά στο εύρος των θερμοκρασιών μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα σε σχέση με άλλες περιοχές της χώρας. Έχει μέση ετήσια θερμοκρασία 18,3 βαθμούς Κελσίου.

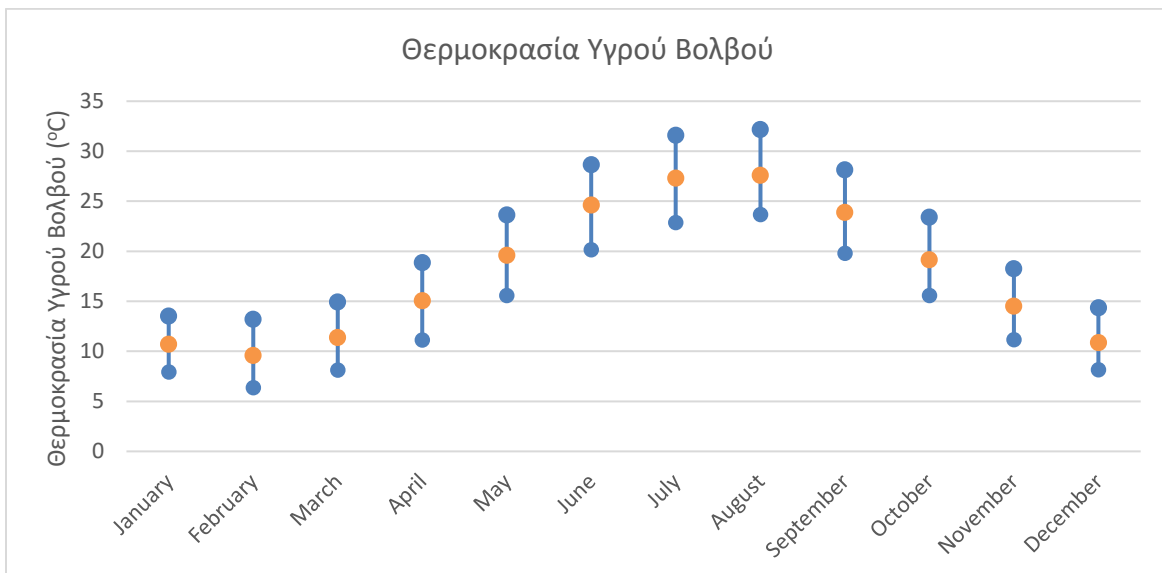
Δεν είναι λίγες οι φορές που η θερμοκρασία φτάνει αλλά και υπερβαίνει τους 40 βαθμούς (καύσωνας). Θερμότερος μήνας θεωρείται ο Ιούλιος, ενώ ψυχρότερος είναι μάλλον ο Ιανουάριος. Κατά τον Νοέμβριο το κρύο στην πόλη γίνεται αισθητό, αλλά οι χιονοπτώσεις ξεκινούν συνήθως μετά την τελευταία εβδομάδα του Νοεμβρίου. Η Αθήνα φημίζεται για τα ιδιαίτερα θερμά καλοκαίρια της και μάλιστα η υψηλότερη θερμοκρασία που έχει ποτέ καταγραφεί στην Αθήνα αλλά και στην Ευρώπη είναι αυτή των 48,0 βαθμών Κελσίου στις 10 Ιουλίου του 1977. Οι χιονοπτώσεις το χειμώνα εντός της Αθήνας είναι σπάνιες και όποτε συμβαίνουν, τα χιόνια λιώνουν συνήθως μετά από μερικές ώρες. Βροχοπτώσεις έχουμε από τα τέλη Σεπτεμβρίου έως και τα μέσα Απριλίου. Την υπόλοιπη διάρκεια του έτους οι βροχοπτώσεις είναι σπάνιες.

Κλιματικές Παράμετροι

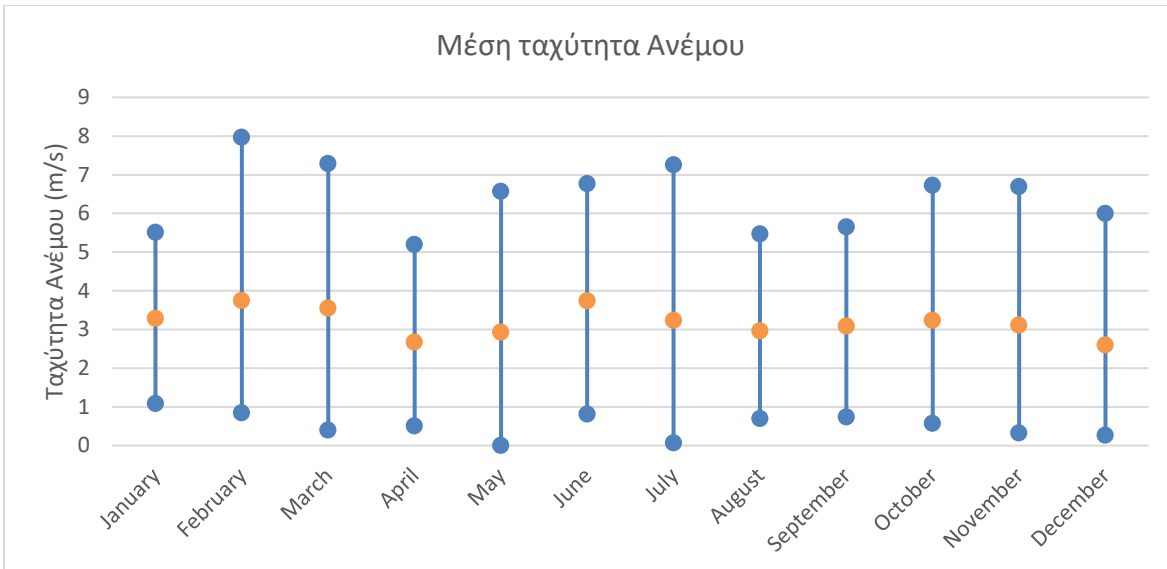
Το κλίμα περιγράφεται από τις ατμοσφαιρικές μεταβλητές που είναι γνωστές ως κλιματικές παράμετροι. Αυτές οι παράμετροι, οι οποίες θα αξιολογηθούν, είναι η υγρασία, η θερμοκρασία ξηρού και υγρού βολβού, η ηλιακή ακτινοβολία και ο άνεμος.



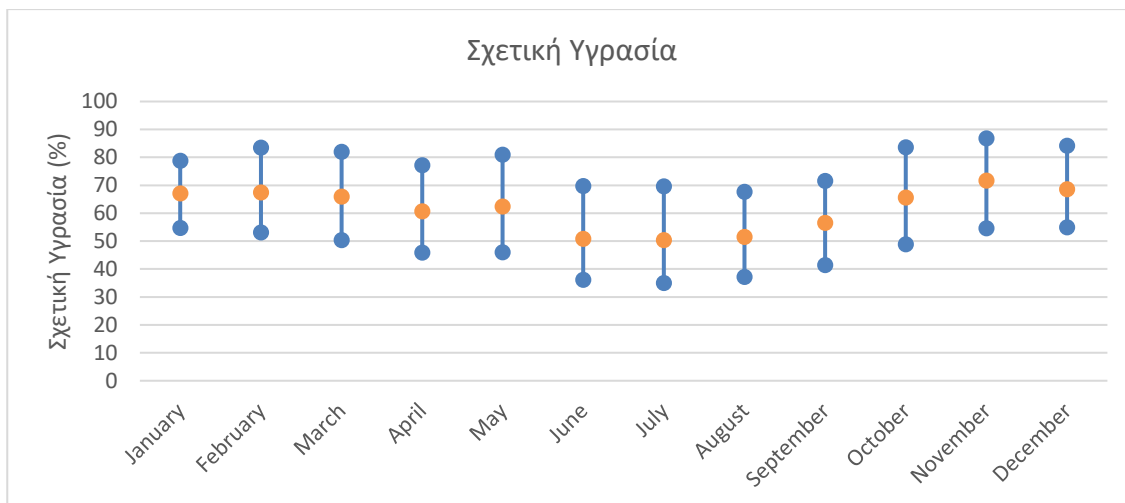
Διάγραμμα 3 : Συνολική Ακτινοβολία - Αθήνα, Ελλάδα [5]



Διάγραμμα 4 : Θερμοκρασία Υγρού Βολβού – Αθήνα, Ελλάδα [5]



Διάγραμμα 5 : Μέση ταχύτητα ανέμου - Αθήνα, Ελλάδα [5]



Διάγραμμα 6 : Σχετική Υγρασία - Αθήνα, Ελλάδα [5]

1.3 Επιθυμητές Εσωτερικές Συνθήκες

Όπως θα δούμε και σε επόμενη ενότητα, σχετικά με την επιλογή και τον σχεδιασμό συστημάτων ψύξης και θέρμανσης, σημαντικός παράγοντας είναι η επίτευξη θερμικής άνεσης.

Σύμφωνα με το πρότυπο *ASHRAE Standard 55* [6] αλλά και το KENAK[4] η θερμική άνεση επηρεάζεται από την αλληλεπίδραση περιβαλλοντικών και προσωπικών παραγόντων. Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες αναφέρονται στη θερμοκρασία, την θερμική ακτινοβολία, την υγρασία και την ταχύτητα του ανέμου, ενώ οι προσωπικοί παράγοντες αφορούν την δραστηριότητα και την ένδυση των χρηστών του κτιρίου.

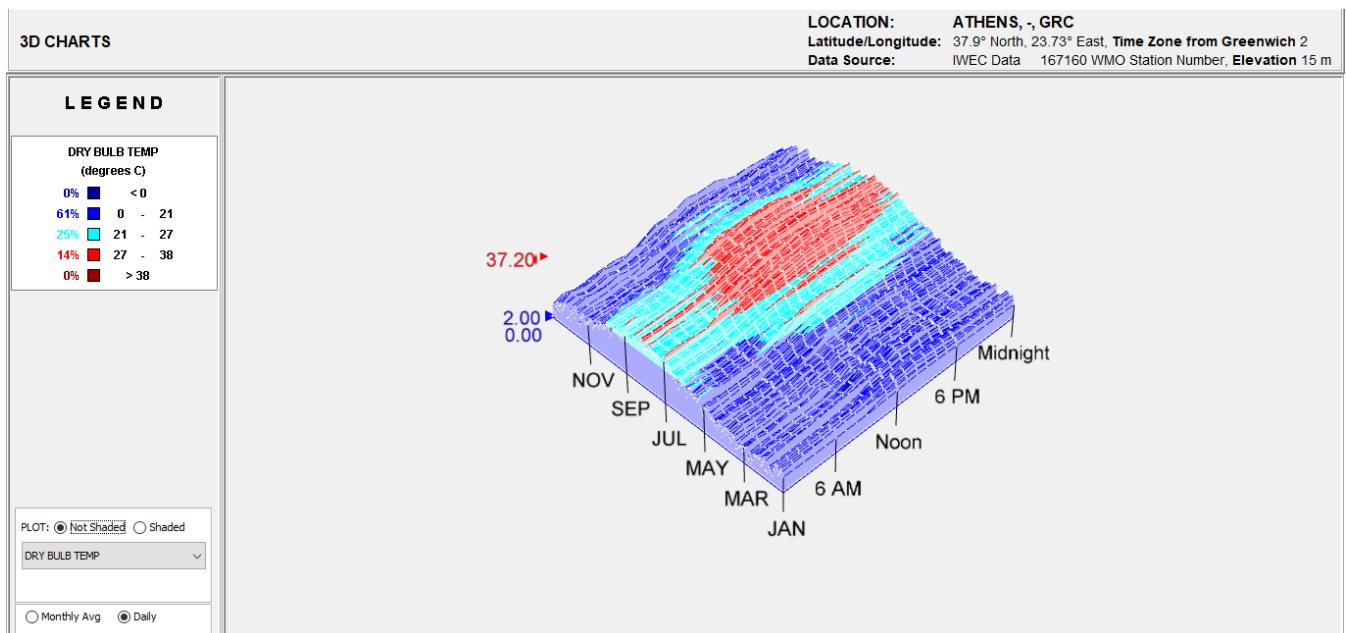
Θεωρώντας σταθερές παραμέτρους την ένδυση και την δραστηριότητα των χρηστών , καθώς και τις ταχύτητες εσωτερικών ρευμάτων αέρα, οι βασικότερες παράμετροι που διαμορφώνουν την θερμική άνεση σε ένα χώρο είναι η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία.

Βασικότερη παράμετρος για την διαμόρφωση της θερμική άνεσης ενός χώρου είναι η εσωτερική θερμοκρασία, η οποία ποικίλλει ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη. Ωστόσο, για τις ανάγκες της εκτίμησης της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου πρέπει να καθοριστούν σε εθνικό επίπεδο τα επιθυμητά όρια εσωτερικής θερμοκρασίας ανά χρήση, με στόχο την επίτευξη της θερμικής άνεσης με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας. Οι τιμές αυτές καθορίζονται με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15251:2007 για την χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο. Για το βέλτιστο έλεγχο των εσωτερικών συνθηκών στα κτίρια, εγκαθίστανται συστήματα κλιματισμού, στα οποία εκτός της θερμοκρασίας του αέρα, ελέγχεται επίσης και η σχετική υγρασία. [4]

Χρήσεις Κτιρίων ή Θερμικών ζωνών	Θερμοκρασία (°C)		Σχετική Υγρασία (%)	
	Χειμερινή Περίοδος	Καλοκαιρινό Περίοδος	Χειμερινή Περίοδος	Καλοκαιρινή Περίοδος
Γραφείο	20	26	35	45
Βιβλιοθήκη	20	26	35	50

Πίνακας 2 : Επιθυμητά όρια εσωτερικής θερμοκρασίας και υγρασίας [4]

Συγκρίνοντας το εύρος θερμοκρασίας ξηρού βολβού, το οποίο λήφθηκε από το λογισμικό “Climate Consultant 6.0” , με τα επιθυμητά θερμοκρασιακά όρια του πιο πάνω πίνακα, παρατηρείται τόσο η ανάγκη ψύξης τους καλοκαιρινούς μήνες όπου εμφανίζονται θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 27 μέχρι 38°C , όσο και ανάγκη θέρμανσης για μεγάλο εύρος χρόνου όπου εμφανίζονται θερμοκρασίες από 0 μέχρι 21°C.



Διάγραμμα 7 : Εύρος θερμοκρασίας ξηρού βολβού [5]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Κτίρια Μηδενικής Ενέργειας και Βιοκλιματικός Σχεδιασμός

2.1 Κτίρια Μηδενικής Ενέργειας (Zero Energy Building-ZEB)

Τα Κτίρια Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας (Zero Energy Building – ZEB) συνδυάζουν υπερσύγχρονες ενεργειακά αποδοτικές κατασκευές και συστήματα, με χρήση διαθέσιμων πηγών ανανεώσιμης ενέργειας, ο συνδυασμός των οποίων οδηγεί σε ένα κτίριο που παράγει ενέργεια ίση με την ενέργεια που καταναλώνει σε ετήσια βάση.

Ο ορισμός του ZEB εμφανίστηκε έντονα τα τελευταία χρόνια ως μια νέα ιδέα για αειφόρο και ενεργειακά ουδέτερη ανάπτυξη στο δομημένο περιβάλλον. Η σημασία αυτής της έννοιας έγκειται στην ικανότητά της να επιλύει μέρος της τρέχουσας περιβαλλοντικής μας κρίσης περιορίζοντας την εξάρτησή μας από τα ορυκτά καύσιμα και αντικαθιστώντας την με ανανεώσιμη ενέργεια μέσω αποκεντρωμένης προσέγγισης. Οι ιστορικοί ορισμοί της μηδενικής ενέργειας βασίζονται κυρίως στην εξισορρόπηση της χρήσης ενέργειας λειτουργίας κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων θέρμανσης, ψύξης, εξαερισμού, φωτισμού, φορτίων βύσματος κ.λπ.

Ένα κτίριο μηδενικής ενέργειας μπορεί να οριστεί με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τους στόχους και τα όρια που έχει θέσει η ομάδα σχεδιασμού και ο ιδιοκτήτης του κτιρίου. Κάποιος οργανισμός για παράδειγμα μπορεί να ενδιαφέρεται για την πρωτογενή πηγή ενέργειας, κάποιος σχεδιαστής μπορεί να ενδιαφέρεται για την χρήση και της απαιτήσιμης ενέργειας στο χώρο ή κάποιος να ανησυχούν για τους ρύπους που προέρχονται από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και από την καύση ορυκτών καυσίμων και ενδιαφέρονται για την μείωση των εκπομπών. Οι τέσσερις ορισμοί που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι: [8]

- Net Zero Site Energy: Ένα site ZEB παράγει από ΑΠΕ διαθέσιμες στο χώρο της εγκατάστασης του κτιρίου, τόση ενέργεια όση καταναλώνει στη διάρκεια ενός έτους. Τα κτίρια αυτά αγνοούν την πηγή ενέργειας, δεν γίνεται διάκριση μεταξύ των τύπων καυσίμου, δεν λαμβάνεται υπόψη η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή και μετάδοση ηλεκτρικού ρεύματος, ούτε η ενέργεια που δαπανάται για τη μεταφορά ανανεώσιμων καυσίμων. Αυτό καθιστά τον ορισμό αυτό ευκολότερο να εφαρμοσθεί, καθώς μπορεί να επαληθευτεί μέσω επιτόπιων μετρήσεων. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με βάση τον ορισμό είναι τα φωτοβολταϊκά, ηλιακοί συλλέκτες, μικρές ανεμογεννήτριες και βιοκαύσιμα. Η ανανεώσιμη ενέργεια που παράγεται τροφοδοτείται απευθείας στο σύστημα διανομής ενέργειας του κτιρίου και η πλεονάζουσα ενέργεια είτε μπορεί να αποθηκευτεί σε μπαταρίες είτε να τροφοδοτηθεί στο δίκτυο.
- Net Zero Source Energy: Ένα source ZEB παράγει τουλάχιστον όση πρωτογενή ενέργεια χρειάζεται κατά τη διάρκεια ενός έτους. Η ενέργεια αυτή αναφέρεται στην πρωτογενή ενέργεια που καταναλώνεται για την εξαγωγή και την επεξεργασία ενεργειακών φυσικών πόρων και για την παραγωγή και τη διανομή της ενέργειας στο κτίριο. Για τον υπολογισμό της συνολικής πρωτογενούς ενέργειας, η εισαγομένη ενέργεια από το δίκτυο στο κτίριο και η εξαγόμενη ενέργεια από το κτίριο προς το δίκτυο πολλαπλασιάζονται με κατάλληλους συντελεστές

μετατροπής που σχετίζονται με τους συμβατικούς πόρους ή τις ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται. Τείνει να είναι μια καλύτερη αναπαράσταση του συνολικού ενεργειακού αντίκτυπου. Ωστόσο, προκαλείται από δυσκολίες στην απόκτηση μετατροπών από τοποθεσία σε πηγή και από τους περιορισμούς αυτών των μετατροπών.

Στην Ελλάδα, οι χρησιμοποιούμενοι συντελεστές πρωτογενούς ενέργειας παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί.

ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΡΕΦ)
Τηλεθέρμανση από ΑΠΕ	0.50
Τηλεθέρμανση από Θερμικούς σταθμούς Ηλεκτροπαραγωγής	0.70
Βιομάζα	1.00
Υγραέριο	1.05
Ηλεκτρική ενέργεια	2.90
Πετρέλαιο Θέρμανσης	1.10
Φυσικό αέριο	1.05

Πίνακας 3 : Συντελεστές πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα

- Net Zero Energy Cost: Στο κτίριο μηδενικού ενεργειακού κόστους, το κόστος αγοράς ενέργειας αντισταθμίζεται από το εισόδημα από τις πωλήσεις ηλεκτρικής ενέργειας, από ΑΠΕ που παράγεται επί τόπου, στο δίκτυο κατά την διάρκεια του έτους. Πρόκειται για ένα μοντέλο ZEB εύκολο στην εφαρμογή και στη μέτρηση, που όμως απαιτεί μετρητικές διατάξεις και διάφορες χρεώσεις. Τα κτίρια με καθαρό μηδενικό ενεργειακό κόστος πρέπει να έχουν χαμηλές απαιτήσεις αιχμής και υψηλότερη εξοικονόμηση ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνολογία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Net Zero Energy Emissions : Σε ένα κτίριο κτίριο μηδενικών εκπομπών, η εκπομπή ρύπων από τη χρήση συμβατικών καυσίμων αντισταθμίζεται από τη χρήση ΑΠΕ. Ο ορισμός αυτός λοιπόν εξετάζει τις εκπομπές που παράγονται από τις ανάγκες του κτιρίου και είναι ένα καλύτερο μοντέλο για βιώσιμες πηγές ενέργειας. Οξείδια του άνθρακα, του αζώτου και του θείου είναι οι πιο συνηθισμένοι ρύπου που στοχεύουν να αντισταθμίζουν τα NZEB. Για τον προσδιορισμό της παραγωγής εκπομπών από ένα κτίριο, η ενέργεια που χρησιμοποιείται στο κτίριο πολλαπλασιάζεται με έναν παράγοντα εκπομπών που ζυγίζει τις εκπομπές που προκύπτουν από τη μεταφορά και την παραγωγή στην πηγή.

2.1.1 Βήματα για το σχεδιασμό ZEB

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή κτιρίων μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, περιλαμβάνει κάποια βασικά και ολοκληρωμένα βήματα, με χρήση κοινώς διαθέσιμων δομικών υλικών και εξοπλισμού, σε συνδυασμό με οικοδομικές κατασκευές. Πρέπει να εφαρμοσθούν όλα τα εφικτά σχεδιαστικά και κατασκευαστικά μέτρα που θα μειώσουν τη ζήτηση ενέργειας. Στη συνέχεια, θα πρέπει να εγκατασταθούν τα καταλληλότερα, ανάλογα με την περίπτωση, συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που θα καλύπτουν τις εναπομείνουσες ανάγκες.

Τα βήματα αυτά παρουσιάζονται συνοπτικά τα βήματα που ακολουθούμε για την επίτευξη ενός κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. [9]

1^ο Στάδιο σχεδιασμού: Μείωση της ζήτησης ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό

Στα κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας θα πρέπει να καταβάλλεται κάθε δυνατή προσπάθεια ώστε να ικανοποιούνται οι συνθήκες θερμικής άνεσης με τη λιγότερη δυνατή χρήση των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού.

Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτείται το κέλυφος του κτιρίου να είναι κατασκευασμένο με τρόπο που να περιορίζει τις απώλειες προς το εξωτερικό περιβάλλον και ταυτόχρονα απαιτείται ένας αρχιτεκτονικός σχεδιασμός που να επιτρέπει στον χρήστη του κτιρίου να εκμεταλλεύεται τις τοπικές συνθήκες για σκοπούς δροσισμού, θέρμανσης, ηλιοπροστασίας και φυσικού φωτισμού. Πιο συγκεκριμένα συστήνονται τα ακόλουθα:

1. Ανάλυση τοπικών συνθηκών όπως ο ηλιασμός, ο άνεμος και ο προσανατολισμός.
2. Βελτιστοποίηση της γεωμετρίας, του σχήματος και της διαρρύθμισης των χώρων μέσα στο κτίριο με βάση την ανάλυση των τοπικών συνθηκών.
3. Επαρκής θερμομόνωση και ελαχιστοποίηση των θερμογεφυρών.
4. Τοποθέτηση κουφωμάτων σε συνδυασμό με συστήματα σκίασης που θα μειώνουν τις θερμικές απώλειες αλλά θα επιτρέπουν την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για σκοπούς θέρμανσης ή/και φυσικού φωτισμού, όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο και αποφεύγοντας την πιθανότητα υπερθέρμανσης.
5. Καλή στεγάνωση του κτιρίου για αποφυγή απωλειών θερμότητας μέσω αέρα που εισέρχεται από τα κουφώματα ή άλλα στοιχεία του κελύφους.

2ο Στάδιο σχεδιασμού: Τεχνικά συστήματα κτιρίου υψηλής ενεργειακής απόδοσης

Αφού με βάση την κατασκευή και τον σχεδιασμό η ζήτηση ενέργειας για το κτίριο έχει περιοριστεί σε μεγάλο βαθμό, θα πρέπει να επιλεγθούν τα κατάλληλα τεχνικά συστήματα, όπου αυτά χρειάζονται, για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση, κλιματισμό, ζεστό νερό χρήσης, φωτισμό και εξαερισμό. Πιο συγκεκριμένα συστήνονται τα ακόλουθα:

1. Κλιματισμός και θέρμανση: Σε ένα κτίριο με μηδενική κατανάλωση ενέργειας οι ανάγκες για κλιματισμό και θέρμανση θα είναι πολύ περιορισμένες. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη σωστή διαστασιολόγηση των τεχνικών συστημάτων. Ο σχεδιασμός του συστήματος θέρμανσης και του συστήματος κλιματισμού θα πρέπει να έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη δυνατή συνολική ενεργειακή απόδοση του συστήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την

επιλογή των πιο αποδοτικών επί μέρους στοιχείων, όπως για παράδειγμα αντλίες θερμότητας και λέβητες υψηλής απόδοσης, με την εφαρμογή των βέλτιστων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, όπως η θερμομόνωση των σωληνώσεων διανομής της θέρμανσης, και με τη βέλτιστη διάταξη του συστήματος.

2. Ζεστό νερό χρήσης: Οι ανάγκες σε ζεστό νερό χρήσης εξαρτώνται αποκλειστικά από τον τρόπο ζωής των χρηστών του κτιρίου. Ωστόσο, η ενέργεια που απαιτείται μπορεί να μειωθεί σημαντικά με την επιλογή και τον σχεδιασμό του κατάλληλου συστήματος παραγωγής ζεστού νερού. Τα ηλιακά θερμικά που χρησιμοποιούνται ευρέως σε κατοικίες, εφόσον εγκατασταθούν στον σωστό προσανατολισμό και κλίση, μπορούν να παράγουν τη μεγαλύτερη ποσότητα ζεστού νερού που χρειάζεται. Επίσης, υπάρχουν τεχνολογίες οι οποίες κατά την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική χρησιμοποιούν τις απώλειες για την παραγωγή ζεστού νερού. Ζεστό νερό μπορεί να παραχθεί και από απορριπτόμενη ενέργεια από τη θέρμανση ή τον κλιματισμό ή άλλες θερμικές διεργασίες που μπορεί να γίνονται στο κτίριο. Όπως και στα συστήματα κλιματισμού και θέρμανσης, είναι σημαντικό κατά τον σχεδιασμό να γίνεται η σωστή διαστασιολόγηση και να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή συνολική ενεργειακή απόδοση του συστήματος παραγωγής ζεστού νερού.
3. Φωτισμός: Ο φωτισμός μπορεί να αποτελεί μεγάλο μέρος της κατανάλωσης ενέργειας για ορισμένους τύπους κτιρίων, όπως τα γραφεία. Ο περιορισμός της μπορεί να γίνει με τον σχεδιασμό ενός συστήματος φωτισμού που λαμβάνει υπόψη τη λειτουργία του κτιρίου, τις ανάγκες των χρηστών του και τη συνεισφορά του φυσικού φωτισμού. Η αξιολόγηση όλων των δεδομένων δίνει την δυνατότητα να εγκατασταθεί σε κάθε χώρο μόνο η απαιτούμενη ισχύς φωτισμού. Η εφαρμογή αυτοματισμών μπορεί να δώσει επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας, ωστόσο είναι σημαντικό οι εφαρμογές αυτές να λαμβάνουν υπόψη τον τρόπο χρήσης του κτιρίου.

3ο Στάδιο σχεδιασμού: Κάλυψη της ενέργειας που απαιτείται σε πολύ μεγάλο βαθμό από ΑΠΕ.

Τα συστήματα ΑΠΕ εγκαθίστανται σε ένα κτίριο με μηδενική κατανάλωση για να παράγουν την ποσότητα ενέργειας που χρειάζεται το κτίριο. Με βάση τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά δεδομένα θα πρέπει να αποφασισθεί κατά πόσον το σύστημα ΑΠΕ που θα επιλεγεί θα καλύπτει μέρος της ενέργειας που χρειάζεται για θέρμανση, κλιματισμό, ζεστό νερό χρήσης, ηλεκτρισμό ή συνδυασμό τους. Εφόσον είναι τεχνικά εφικτό, συστήματα που θα παρέχουν ανανεώσιμη ενέργεια στον χρόνο που χρειάζεται να γίνει χρήση της, είναι πιο κατάλληλα καθώς οδηγούν στην ενεργειακή αυτονομία του κτιρίου. Ίσως το πιο σημαντικό τεχνικό κριτήριο για την επιλογή του πιο κατάλληλου συστήματος ΑΠΕ είναι η ποσότητα της ενέργειας που θα παράγει σε σχέση με τις ανάγκες του κτιρίου. Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τεχνικοί περιορισμοί που μπορούν να αφορούν το κάθε κτίριο ξεχωριστά, όπως για παράδειγμα η έλλειψη διαθέσιμου χώρου και οι γενικότεροι ρυθμιστικοί περιορισμοί όπως πολεοδομικοί κανόνες και τα καθεστώτα στήριξης των ΑΠΕ.

2.2 Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων

Αποστολή της αρχιτεκτονικής ήταν πάντα η προστασία του ανθρώπου από το εξωτερικό περιβάλλον και σε αυτή την περίπτωση η βιοκλιματική αρχιτεκτονική έχει στόχο να επιτύχει την εξασφάλιση των απαραίτητων εσωκλιματικών συνθηκών, όπως θερμική και οπτική άνεση των χρηστών του κτιρίου, ποιότητα νερού, με την όσο το δυνατόν πιο εκτεταμένη χρήση παθητικών συστημάτων δροσισμού και θέρμανσης. Αξιοποιεί λοιπόν το τοπικό κλίμα, την ηλιακή ενέργεια και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς και τις ιδιότητες των υλικών δόμησης και αρχιτεκτονικά στοιχεία.

Σε αυτές τις περιόδους περιβαλλοντικής κρίσης και επιταχυνόμενης αστικής ανάπτυξης, φαίνεται λογικό και απαραίτητο να εφαρμόζεται βιώσιμος οικολογικός σχεδιασμός.

Βασικά στοιχεία λοιπόν του βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων αποτελούν τα παθητικά συστήματα, τα οποία αποτελούν δομικά στοιχεία ενός κτιρίου. Τα παθητικά συστήματα λειτουργούν χωρίς μηχανολογικά εξαρτήματα ή πρόσθετη παροχή ενέργειας και με φυσικό τρόπο θερμαίνουν, αλλά και δροσίζουν τα κτίρια. Μπορούν να χωριστούν στις εξής τρεις κατηγορίες:

1. Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης
2. Παθητικά συστήματα και τεχνικές φυσικού δροσισμού
3. Συστήματα και τεχνικές φυσικού φωτισμού

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτιρίου συνεπάγεται τη συνύπαρξη και συνδυασμένη λειτουργία όλων των παραπάνω συστημάτων, ώστε να συνδυάζουν θερμικά και οπτικά οφέλη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική με τις παρεμβάσεις της στο σχεδιασμό, στον τρόπο και στα υλικά κατασκευής, ικανοποιεί τις ανάγκες των κτιρίων για θέρμανση, φωτισμό και δροσισμό, τα εναρμονίζει με το φυσικό περιβάλλον, χρησιμοποιώντας στοιχεία από αυτό και εξασφαλίζει την εξοικονόμηση ενέργειας.

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός βασίζεται κυρίως στις πιο κάτω αρχές [10] :

- Θερμική προστασία και εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση βελτιωμένης προστασίας του κελύφους και συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων.
- Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, για συμβολή στις θερμικές ανάγκες του κτιρίου και για κάλυψη απαιτήσεων θέρμανσης του κτιρίου και για φυσικό φωτισμό. Για να το πετύχουμε αυτό πρέπει να επιλεγεί σωστός προσανατολισμός του κτιρίου, ιδιαίτερα των ανοιγμάτων, και σωστή διαρρύθμιση των εσωτερικών χώρων.
- Απομάκρυνση της θερμότητας που συσσωρεύεται το καλοκαίρι μέσα στο κτίριο με τεχνικές παθητικού δροσισμού και αντίστοιχα διατήρηση της θερμοκρασίας σε υψηλά επίπεδα τον χειμώνα.

Στην Ελλάδα τα βιοκλιματικά κτίρια, όπως προκύπτει από μετρήσεις, ενεργειακές καταγραφές και προσομοιώσεις, παρουσιάζουν εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 30% σε σχέση με συνήθη συμβατικά κτίρια, ενώ σε σχέση με παλαιότερα αμόνωτα κτίρια η αντίστοιχη εξοικονόμηση ενέργειας ανέρχεται σε ποσοστό της τάξης του 80%.

2.3 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός κτιρίου, ανέκαθεν επηρεαζόταν από τις κλιματολογικές συνθήκες κάθε τόπου, και ιδιαίτερα από τον ήλιο, καθώς η ηλιακή ενέργεια αποτελεί σημαντική συνεισφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας για την θέρμανση ενός κτιρίου. Με το πέρασ των χρόνων, οι εσωτερικές συνθήκες του κτιρίου βελτιώνονταν καθώς οι άνθρωποι έμαθαν να εκμεταλλεύονται τον ήλιο, με την σωστή επιλογή υλικών κατασκευής και τον προσανατολισμό του κτιρίου. Το κλειδί για το σχεδιασμό ενός παθητικού ηλιακού κτιρίου είναι να εκμεταλλευτείτε καλύτερα το τοπικό κλίμα πραγματοποιώντας μια ακριβή ανάλυση τοποθεσίας.

Στον παθητικό σχεδιασμό ηλιακών κτιρίων, τα παράθυρα, οι τοίχοι και τα δάπεδα κατασκευάζονται για να συλλέγουν, να αποθηκεύουν, να αντανακλούν και να διανέμουν ηλιακή ενέργεια με τη μορφή θερμότητας το χειμώνα και να απορρίπτουν την ηλιακή θερμότητα το καλοκαίρι. Αυτό ονομάζεται παθητικός ηλιακός σχεδιασμός επειδή, σε αντίθεση με τα ενεργά συστήματα ηλιακής θέρμανσης, δεν περιλαμβάνει τη χρήση μηχανικών και ηλεκτρικών συσκευών.

Από τις πολλές κατασκευές που έγιναν τα τελευταία χρόνια σε πολλά μέρη του κόσμου και από τις μαρτυρίες των ατόμων που κατοικούν σ' αυτές, αποδεικνύεται ότι η παθητική συλλογή ενέργειας δίνει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα, αναφορικά με τη θερμική άνεση και ιδιαίτερα την ελάττωση της δαπάνης καυσίμων. Το σύστημα αυτό είναι το πλέον οικονομικό για τη θέρμανση όπως και τον δροσισμό των κτιρίων, γιατί δεν απαιτεί μηχανικά μέσα, όπως συλλέκτες, αντλίες, ανεμιστήρες κτλ. Με τη χρησιμοποίηση κατάλληλων υλικών και της σχετικής τεχνολογίας αφήνεται στη φύση να εκτελέσει τα υπόλοιπα. Πράγματι, το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ένα κτίριο μέσα από τα μεσημβρινά παράθυρα μετατρέπεται σε θερμότητα, απορροφάται και αποταμιεύεται στα βαριά υλικά της κατασκευής, το μπετόν, την πέτρα, τα τούβλα για να χρησιμοποιηθεί αργότερα. [12]

2.3.1 Παθητικά ηλιακά συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους

Ο στόχος των συστημάτων παθητικής ηλιακής θέρμανσης είναι να συλλάβει τη θερμότητα του ήλιου μέσα στα στοιχεία του κτιρίου και να απελευθερώσει αυτήν τη θερμότητα σε περιόδους που ο ήλιος απουσιάζει, διατηρώντας παράλληλα μια άνετη θερμοκρασία δωματίου.

Το σύστημα άμεσου ηλιακού κέρδους είναι το απλούστερο καθώς δεν απαιτεί παρά μόνο μεγάλο υαλοπίνακα με νότιο προσανατολισμό που εισάγει ηλιακή ενέργεια στο σπίτι και μια μονωμένη εξωτερικά κατασκευή. Η ηλιακή ενέργεια «χτυπά» του τοίχους, και απορροφούν και αποθηκεύουν την ηλιακή θερμότητα. Κάποιοι από τους παράγοντες επομένως που καθορίζουν την λειτουργία του συστήματος είναι όπως αναφέραμε οι μεγάλες γυάλινες επιφάνειες στην νότια πρόσοψη, η σωστή διαμόρφωση και διαχωρισμός των εσωτερικών χώρων, η θερμική μάζα στο εσωτερικό του κτιρίου και η θερμική προστασία στην εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου.

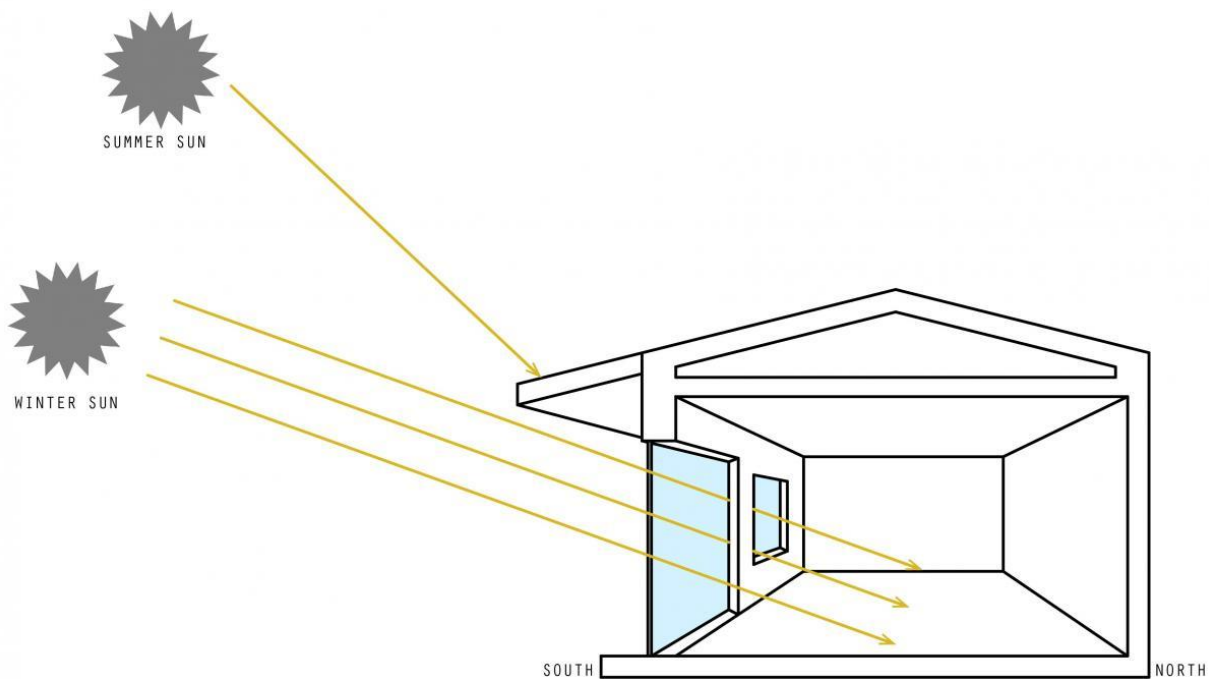
Η θερμική μάζα στο εσωτερικό του κτιρίου λειτουργεί ως ένας ηλιακός συλλέκτης, απορροφητής θερμότητας και σύστημα διανομής. Η θερμική μάζα του κτιρίου μπορεί να αποδώσει την περίσσεια ενέργεια που απορροφάει κατά την διάρκεια της μέρας και να την αποδώσει σταδιακά στο χώρο αργότερα, έτσι ώστε να μην υπάρχουν σημαντικές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις κατά την διάρκεια της

ημέρα. Τόσο το χειμώνα, όσο και το καλοκαίρι, η θερμική μάζα παίζει το ρόλο του «ρυθμιστή» της θερμοκρασίας. [13]

Εκτός από τη θερμική μάζα ουσιαστικό ρόλο στην απόδοση του συστήματος έχει η κλίση και το είδος των υαλοπινάκων που θα χρησιμοποιηθούν για τα ανοίγματα. Το κατακόρυφο υαλοστάσιο είναι προτιμότερο γιατί δέχεται την περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα ενώ το θέρος τα κέρδη από ένα κατακόρυφο υαλοστάσιο είναι μικρότερα από αυτά που εξασφαλίζονται αν το υαλοστάσιο ήταν υπό άλλες γωνίες επειδή ο ήλιος είναι ψηλά στον ουρανό και η ηλιακή δέσμη έχει κατά συνέπεια υψηλή γωνία πρόσπτωσης. Κεκλιμένο υαλοστάσιο με μικρή γωνία ως προς τον ορίζοντα (π.χ. 30°) μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση το θέρος ενώ δίνει χαμηλά κέρδη το χειμώνα.

Ολόκληρη η κατασκευή γίνεται ένας συλλέκτης ηλιακής ενέργειας μέσα στον οποίο κατοικούν οι άνθρωποι. Η μεσημβρινή υαλόφρακτη επιφάνεια δέχεται τη μέγιστη ποσότητα ηλιακής ενέργειας τους ψυχρούς χειμωνιάτικους μήνες, που ο ήλιος βρίσκεται χαμηλά στον ουρανό και την ελάχιστη ποσότητα το καλοκαίρι, όταν ο ήλιος βρίσκεται ψηλά. Έτσι υπάρχει από τη φύση ο βασικός εποχιακός έλεγχος του συστήματος.

PASSIVE SOLAR DIRECT GAIN



Εικόνα 1 : Παθητικά Συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους [14]

2.3.2 Παθητικά ηλιακά συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους

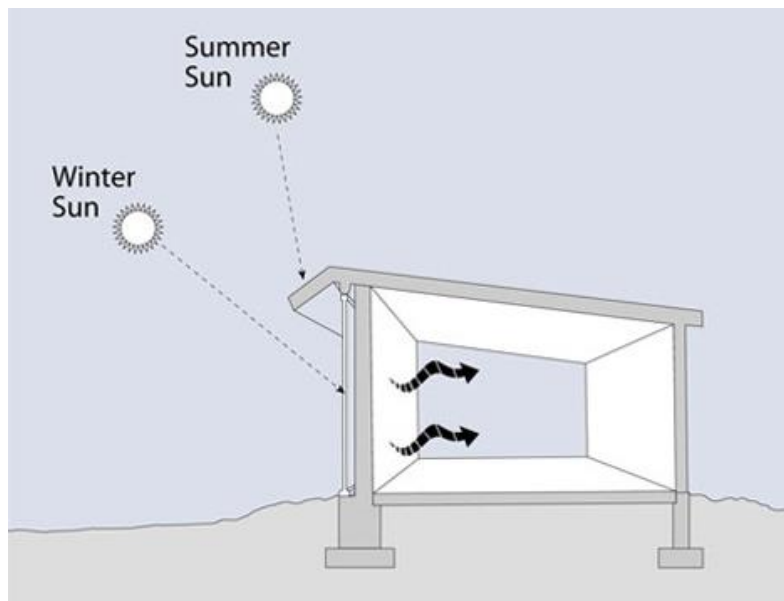
Υπάρχουν επίσης και παθητικά ηλιακά συστήματα έμμεσου κέρδους τα οποία αποτελούν διαδομένη επιλογή παθητικού ηλιακού σχεδιασμού, η επιλογή του οποίου λειτουργεί σε κάθε κλίμα και σε κάθε τοποθεσία, από τα πιο καυτά και ηλιόλουστα έως τα πιο κρύο και πιο σκοτεινά.

Στα συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους ανήκουν οι τοίχοι-συλλέκτες θερμικής αποθήκευσης, γνωστό ως «τοίχος Trombe». Ο τοίχος αυτός δεσμεύει την ηλιακή ενέργεια που περνάει από το τζάμι και την αποταμιεύει. Η ενέργεια αυτή, ύστερα από ένα χρονικό διάστημα που εξαρτάται από το υλικό και το πάχος του τοίχου, εμφανίζεται στην εσωτερική του επιφάνεια και προκαλεί ανύψωση της θερμοκρασίας αέρα του εσωτερικού χώρου. Ο τοίχος βρίσκεται ακριβώς πίσω από τζάμι μονής ή διπλής στρώσης, με νότιο προσανατολισμό και η ηλιακή θερμότητα απορροφάται από τη σκούρα εξωτερική επιφάνεια του τοίχου και αποθηκεύεται στη μάζα του. [14]

Η ηλιακή θερμότητα μετακινείται μέσω του τοίχου, φτάνοντας στην πίσω επιφάνεια του αργά το απόγευμα ή νωρίς το βράδυ. Όταν η εσωτερική θερμοκρασία πέσει κάτω από εκείνη της επιφάνειας του τοίχου, ο τοίχος αρχίζει να απελευθερώνει την θερμότητα του και παρατείνει την άνετη θερμή περίοδο μέχρι το βράδυ.

Ο χρόνος μεταβίβασης της θερμότητας από την εξωτερική στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου εξαρτάται από το πάχος του τοιχώματος, την πυκνότητα και τον σχεδιασμό του και κυμαίνεται από μερικές ώρες έως μια ολόκληρη ημέρα. Συγκεκριμένα μπορεί να φτάσει τις 9-10 ώρες για πάχος τοίχου 40cm περίπου και υλικό μπετόν. Κατά τον σχεδιασμό ενός τέτοιου είδους συστήματος, μια χρονική υστέρηση της τάξεως των 6-8 ωρών είναι αρκετή ώστε το κτίριο να επωφελείται από την μέγιστη θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του τοίχου στην αρχή της νύχτας.

Όπως με κάθε είδους ηλιακά τζάμια, οι τοίχοι Trombe πρέπει να είναι σχεδιασμένοι για να αποτρέπουν την υπερθέρμανση.



Εικόνα 2 : Παθητικά Συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους [14]

2.4 Παθητικά Συστήματα και τεχνικές φυσικού δροσισμού

Σε μια εποχή όπου η αύξηση της εγκατάστασης και χρήσης κλιματιστικών μονάδων και συστημάτων είναι ραγδαία και επιφέρει σημαντικά ενεργειακά, περιβαλλοντικά και οικονομικά προβλήματα, ο φυσικός δροσισμός αποτελεί την εναλλακτική πρακτική για την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης στα κτίρια. Η εφαρμογή τεχνικών φυσικών δροσισμού προσφέρουν σημαντική μείωση των ψυκτικών φορτίων, ή ακόμα και κατάργηση ανάγκης εγκατάστασης συστήματος κλιματισμού σε μικρές κατοικίες. Με τον φυσικό δροσισμό, εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας, βελτιώνονται σημαντικά οι συνθήκες άνεσης μέσα στους χώρους, ακόμα και σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, όπως για παράδειγμα συνήθεις θερμοκρασίες στην Ελλάδα κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών. [15]

Μια από τις βασικές τεχνικές φυσικού δροσισμού είναι η ηλιοπροστασία του κτιρίου από την έντονη ηλιακή ακτινοβολία και κυρίως η σκίαση των ανοιγμάτων, ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του εσωτερικού χώρου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με φυσική βλάστηση, με προεξοχές στο κτίριο, μόνιμα ή κινητά σκίαστρα και ειδικούς υαλοπίνακες. Μια άλλη συνήθης και απλή τεχνική είναι ο φυσικός δροσισμός με κατάλληλο σχεδιασμό και λειτουργία ανοιγμάτων στο κέλυφος και θυρίδες στο πάνω και κάτω τμήμα των διαχωριστικών εσωτερικών τοίχων που επιτρέπουν την κίνηση του αέρα στους εσωτερικούς χώρους. Επίσης σημαντικός είναι ο ρόλος της θερμομόνωσης του κελύφους, ώστε να επιτευχθεί η μείωση των ψυκτικών φορτίων.

Κάποιες άλλες τεχνικές φυσικού δροσισμού είναι :

- Νυχτερινός διαμπερής αερισμός είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός, ιδιαίτερα τις θερμές ημέρες, κατά τις οποίες ο ημερήσιος αερισμός δεν είναι δυνατός. Ο νυχτερινός αερισμός συνεισφέρει στην αποθήκευση «δροσιάς» στη θερμική μάζα του κτιρίου, με αποτέλεσμα την μειωμένη επιβάρυνση του κτιρίου κατά την επόμενη μέρα.
- Η χρήση ανεμιστήρων, ιδιαίτερα ανεμιστήρων οροφής, ενισχύει το φαινόμενο του φυσικού αερισμού, με ελάχιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Επί πλέον, συνεισφέρει στην επίτευξη θερμικής άνεσης σε θερμοκρασίες υψηλότερες από τις συνήθεις (περίπου 2-3°C), καθώς με την κίνηση του αέρα που δημιουργείται μεταφέρεται θερμότητα από το ανθρώπινο σώμα.
- Η χρήση της θερμικής μάζας, καθώς λειτουργεί ως «ρυθμιστής» και βοηθά στη μείωση των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων.

Άλλες μέθοδοι παθητικού δροσισμού πιο σύνθετες και όχι τόσο ευρείας εφαρμογής, επιφέρουν επιπρόσθετα οφέλη ψύξης, και είναι [16]:

- Θερμική προστασία του κτιριακού περιβλήματος με τεχνικές όπως φυτεμένο δώμα, αεριζόμενο κέλυφος, ανακλαστικά επιχρίσματα εξωτερικών επιφανειών, φράγμα ακτινοβολίας.
- Ενίσχυση του φυσικού εξαερισμού με πύργους αερισμού ή ηλιακές καμινάδες
- Δροσισμός με εξάτμιση νερού με τεχνικές όπως: επιφάνειες νερού, πύργος δροσισμού, ψυκτικές μονάδες εξάτμισης (άμεσης, έμμεσης ή συνδυασμένης εξάτμισης), ή και βλάστηση (μέσω της εξατμισοδιαπνοής των φυτών)
- Δροσισμός με απόρριψη της θερμότητας στην ατμόσφαιρα με ακτινοβολία στο νυχτερινό ουρανό

- Δροσισμός με απόρριψη της θερμότητας από το κτίριο στη γη με αγωγή, (υπόσκαφα ή ημιυπόσκαφα κτίρια, ή υπεδάφιο σύστημα αγωγών και εναλλάκτες εδάφους-αέρα).

2.5 Συστήματα και τεχνικές φυσικού φωτισμού

Ο φυσικός φωτισμός είναι ένα ισχυρό αρχιτεκτονικό εργαλείο. Μέσα από έρευνες που έχουν γίνει α τελευταία χρόνια, έδειξαν ότι το φως της ημέρας έχει σημαντικά οφέλη για την υγεία και την ευεξία για τους χρήστες. Στοχεύει στην επίτευξη οπτικής άνεσης μέσα στα κτίρια, αλλά και στη γενικότερη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης μέσα στους χώρους, συνδυάζοντας φως, θέα, δυνατότητα αερισμού, αξιοποίηση και ρύθμιση της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας. Ιδιαίτερη σημασία έχει η σωστή εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού, ώστε να πετύχουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη των απαιτήσεων σε φωτισμό από το φυσικό φως και να αντικαταστήσουμε σε μεγάλο ποσό το τεχνητό φωτισμό, ώστε να συμβάλλει σημαντικά στην ενεργειακή αποδοτικότητα και στην εξοικονόμηση ενέργειας του κτιρίου. [17]

Τα παθητικά συστήματα φυσικού φωτισμού προωθούν την ποιότητα και την ομοιόμορφη κατανομή του φωτός της ημέρας σε ένα κτίριο. Όπως είδαμε και στα προηγούμενα παθητικά συστήματα, δεν απαιτείται ειδικός μηχανικός εξοπλισμός ή πηγές ενέργειας. Μόλις ανατέλλει ο ήλιος, οι παθητικές στρατηγικές φωτισμού συλλέγουν και αντανακλούν το φως σε όλο το κτίριο.

Όπως αναφέραμε και πιο πάνω μια σημαντική παράμετρος γενικά για το σχεδιασμό του κτιρίου είναι ο προσανατολισμός του. Ομοίως για τον φυσικό φωτισμό ο προσανατολισμός του κτιρίου είναι ένα σημαντικό στοιχείο σχεδίασης που χρησιμοποιείται ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν περισσότερο φυσικό φως, καθώς το κτίριο πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε τα δωμάτια που χρειάζονται φως για μεγαλύτερη διάρκεια της μέρας να βλέπουν νότια ή βόρεια, ενώ δωμάτιο που χρειάζονται λιγότερο φως (όπως οι αποθήκες) να βλέπουν ανατολικά ή δυτικά.

Τα συστήματα φυσικού φωτισμού διακρίνονται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες:

- **Ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία (παράθυρα, φεγγίτες) :** Τα ανοίγματα πρέπει να κατανέμονται σωστά στην όψη και να έχουν το κατάλληλο μέγεθος και σχήμα. Οι σχεδιαστικές πρακτικές που αφορούν στην επιλογή των πλευρικών ανοιγμάτων είναι το μέγεθος του ανοίγματος, το σχήμα του ανοίγματος και η θέση του.
- **Ανοίγματα οροφής :** Τα ανοίγματα οροφής είναι διατάξεις που επιτρέπουν το φωτισμό των χώρων από ψηλά. Κατά κανόνα, σε σχέση με τα πλευρικά ανοίγματα, επιτρέπουν την εισχώρηση μεγαλύτερης ποσότητας φυσικού φωτός και ο φωτισμός κατανέμεται ομοιόμορφα στο χώρο παρέχοντας καλύτερες οπτικές συνθήκες. Ωστόσο, επειδή δεν συνεισφέρουν στην οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον δεν αποτελούν τα μοναδικά ανοίγματα, αλλά χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικά για το φωτισμό του χώρου.
- **Αίθρια :** Πρόκειται για ενδιάμεσο χώρο ο οποίος καλύπτεται με γυάλινη οροφή και λειτουργούν ως χώροι θερμικής ανάσχεσης, ως αρχιτεκτονικές ρυθμίσεις, που αυξάνουν την ποσότητα του φυσικού φωτός και ως χώροι που διευκολύνουν το φυσικό αερισμό στα μεγάλα και πολύπλοκα

κτιριακά συγκροτήματα. Τα αίθρια είτε ανοιχτά, είτε με κάλυψη, συνεισφέρουν στη βελτίωση των συνθηκών φυσικού φωτισμού, ιδιαίτερα σε κτίρια μεγάλης επιφάνειας καθώς: α) Επιτρέπουν την είσοδο της φωτεινής ακτινοβολίας στο κτίριο, β) Βοηθούν στην αύξηση της στάθμης του φωτισμού των χώρων και γ) Παρέχουν διάχυτο φώς συντελώντας στην ομοιόμορφη κατανομή του. Οι οπτικές ιδιότητες του γυαλιού επηρεάζουν την ποιότητα του φωτός και το ποσοστό εξοικονόμησης τεχνητού φωτισμού. Οι δύο κύριοι τύποι του γυαλιού που χρησιμοποιούνται για τα αίθρια είναι τα διαφανή και ημιδιαφανή. Το διαφανές γυαλί εξασφαλίζει την ορατότητα του ουρανού, ενώ το ημιδιαφανές δεν επιτρέπει την άμεση θέα του. Ο σχεδιασμός των τοίχων του αίθριου επηρεάζει την κατανομή της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Οι τοίχοι που καλύπτονται από ένα αντανakλαστικό υλικό προσδίδουν περισσότερο φώς στο κτίριο. Αυτό μπορεί ωστόσο να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα υπερθέρμανσης κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, ακόμα και σε ήπια κλίματα. Για την αποφυγή των φαινομένων αυτών απαιτείται η εφαρμογή κατάλληλων συστημάτων σκίασης και αερισμού του αιθρίου.

- Φωταγωγοί: Οι φωταγωγοί εισάγουν το φυσικό φώς σε χώρους όπου είναι δύσκολη η διείσδυσή του με άλλο τρόπο. Η απόδοση των φωταγωγών μπορεί να βελτιωθεί με την προσθήκη ανακλαστήρα στην κορυφή τους (είσοδο του φωτός), ο οποίος οδηγεί τις ηλιακές ακτίνες προς τα κάτω. Για ακόμα μεγαλύτερη απόδοση μπορεί να συνοδεύονται από ηλιοστάτη (συσκευή η οποία φέρει καθρέπτη και ακολουθεί την πορεία του ήλιου κατά τη διάρκεια τις ημέρας). Για το φωτισμό ενός ή και περισσότερων ορόφων μπορεί να χρησιμοποιηθούν σωλήνες-φωταγωγοί.

Τα συστήματα αυτά συνδυάζονται με συγκεκριμένες τεχνικές που αφορούν στο σχεδιασμό των ανοιγμάτων, στις οπτικές ιδιότητες των υαλοπινάκων, στα φωτομετρικά χαρακτηριστικά επιφανειών του χώρου και των ανοιγμάτων του (υφή, χρώμα, φωτοδιαπερατότητα υλικών) και στη χρήση ανακλαστήρων, για την εξασφάλιση επάρκειας και ομαλής κατανομής του φυσικού φωτός. Οι συνηθέστερες τεχνολογίες φυσικού φωτισμού αφορούν υαλοπίνακες με συγκεκριμένες ιδιότητες, πρισματικά φωτοδιαπερατά στοιχεία, διαφανή μονωτικά υλικά και ανακλαστήρες (ράφια φωτισμού ή ανακλαστικές περσίδες).

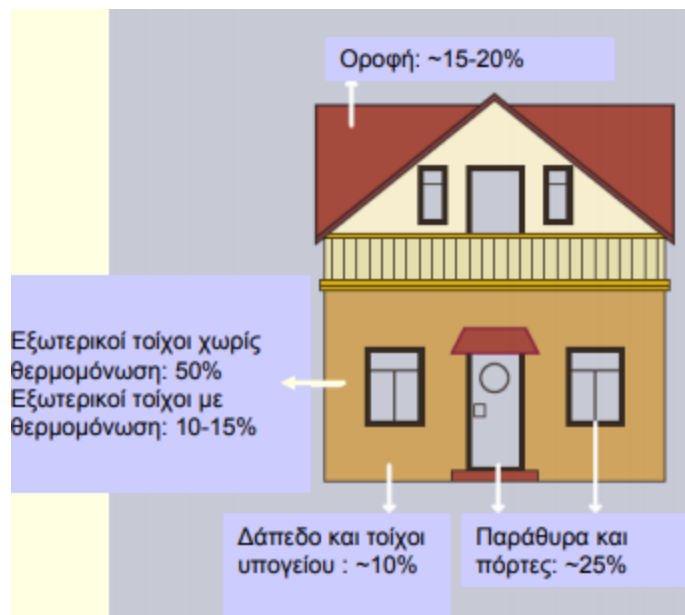
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Δομικά Στοιχεία και Θερμομόνωση

Η επιλογή κατάλληλων δομικών στοιχείων που αποτελούν μέρος του κελύφους του κτιρίου αποτελούν κρίσιμο παράγοντα στην επίτευξη ενός ΖΕΒ. Η επίδραση των δομικών στοιχείων στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου είναι εμφανής σε μεγάλο βαθμό, και οφείλεται επίσης σε άλλους εξίσου σημαντικούς παράγοντες όπως η θερμογέφυρες, η θερμοχωρητικότητα και η έκθεση τους στην ακτινοβολία, τα οποία θα αναπτύξουμε στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Το σύνολο των επιφανειών των δομικών στοιχείων που διαχωρίζουν το θερμαινόμενο χώρο, στον οποίο απαιτείται ενέργεια για την επίτευξη και την διατήρηση συνθηκών θερμικής άνεσης από το εξωτερικό περιβάλλον ή μη θερμαινόμενους χώρους, αποτελούν το κέλυφος του κτιρίου. Για να ανταποκριθεί το κέλυφος του κτιρίου στον ρόλο του, δηλαδή την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης, πρέπει να κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί τη μετάδοση θερμότητας από τον εσωτερικό στον εξωτερικό χώρο και αντιστρόφως. Όπως θα δούμε και στη συνέχεια του κεφαλαίου, η επιλογή των δομικών υλικών και των συστημάτων για την κατασκευή ενός κτιρίου επηρεάζει τόσο την ενεργειακή του συμπεριφορά όσο και τις επιπτώσεις στο περιβάλλον. Για τον λόγο αυτό, η χρήση ενεργειακά αποδοτικών δομικών υλικών και στοιχείων συμβάλλει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια.

Σε παλαιότερες εποχές, η ανάγκη για την πρόβλεψη θερμομόνωσης δεν ήταν τόσο επιτακτική. Σε πέτρινες παραδοσιακές κατασκευές το πρόβλημα αντιμετωπιζόταν από μόνο του. Τα μεγάλα πάχη των τοίχων, οι ξύλινες στέγες, τα φυσικά υλικά και τα ενστικτώδη κατασκευαστικά συστήματα, εξασφάλιζαν συνθήκες απόλυτης ή περίπου άνεσης στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου. Με το πέρασμα των χρόνων όμως, οι κατασκευές έγιναν πιο ελαφριές, πιο σύνθετες και λιγότερο ανθεκτικές στις καιρικές συνθήκες, με τις θερμικές μεταβολές να ρυθμίζονται πλέον με τεχνητά συστήματα ελέγχου όπως η κεντρική θέρμανση και ο κλιματισμός. Η κατανάλωση ενέργειας για την λειτουργία των συστημάτων αυτών δεν αποτελούσε αρχικά πρόβλημα, μέχρι την στιγμή που η ενεργειακή κρίση έγινε μια σκληρή πραγματικότητα για όλους. Έτσι άρχισε να γίνεται αντιληπτή η μεγάλη σημασία που είχε η θερμομόνωση στην εξοικονόμηση ενέργειας. [18]

Ο κύριος σκοπός της χρήσης θερμικών μονωτικών υλικών είναι η μείωση της μεταφοράς θερμότητας μέσω αγωγής. Η σωστή επιλογή πρόσθετων προϊόντων και η βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς του κελύφους του κτιρίου, έχει ως στόχο την μείωση των απωλειών θερμότητας από και προς το εσωτερικό του, που έχει ως συνέπεια και την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, και δημιουργία ενιαίων συνθηκών θερμικής άνεσης εντός του κτιρίου. Οι θερμικές απώλειες δημιουργούνται λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των εσωτερικών χώρων και του εξωτερικού περιβάλλοντος, καθώς και λόγω της εισαγωγής αέρα από το περιβάλλον στο κτίριο. Είναι αδύνατο να μηδενιστούν, μπορούν όμως να μειωθούν με την εφαρμογή συστημάτων θερμομόνωσης στο κέλυφος του κτιρίου, με την εφαρμογή σκιάστρων και με την αύξηση της αεροστεγανότητας του κελύφους. Η μείωση αυτή μπορεί να είναι σημαντική, αρκεί η θερμομόνωση να εφαρμόζεται με βάση μια σωστή μελέτη και τις ακριβείς προδιαγραφές που καθορίζουν τις ιδιότητες και τον τρόπο σύνθεσης των υλικών κατασκευής της.



Εικόνα 3 : Θερμικές Απώλειες Κτιριακού Κελύφους

Με την σωστή θερμομόνωση του κελύφους του κτιρίου , πρέπει λοιπόν να εξασφαλίζεται [20] :

- Αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, μειώνοντας την απώλεια θερμότητας του κτιρίου και αντίστοιχα τις ενεργειακές ανάγκες για κλιματισμό και παροχή θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου καθώς και τα έξοδα λειτουργίας τους.
- Έλεγχος των θερμοκρασιών της επιφάνειας με αποτέλεσμα την βελτίωση της θερμικής άνεσης εντός του κτιρίου.
- Δυνατότητα διαμόρφωσης της θερμοκρασίας σε μη κλιματιζόμενους ή μερικώς κλιματιζόμενους χώρους.

Κύρια ιδιότητα ενός θερμομονωτικού υλικού όπως αναφέραμε είναι η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Ωστόσο, μπορούν επίσης να εξυπηρετηθούν επιπρόσθετες λειτουργίες, όπως η παροχή στήριξης, η παρεμπόδιση μετάδοσης υδρατμών και διαρροής αέρα μέσα ή έξω από ελεγχόμενους χώρους, μείωση κινδύνου πυρκαγιάς με χρήση μη εύφλεκτων υλικών και η παροχή ελέγχου του θορύβου μέσω ηχομόνωσης. Για το λόγο αυτό, το πρόβλημα της θερμομόνωσης δεν μπορεί να εξετάζεται μεμονωμένα, αλλά σε συνδυασμό με άλλες απαιτήσεις προστασίας και πάντοτε σε συνεργασία με τον αρχιτέκτονα του έργου.

Επίσης, η αποτελεσματικότητα της θερμομόνωσης του κελύφους είναι συνυφασμένη και με την αποφυγή δημιουργίας θερμογεφυρών. Θερμογέφυρες είναι τα σημεία ή επιφάνεια του κατασκευαστικού στοιχείου στα οποία ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι σημαντικά χαμηλότερος από τη μέση τιμή του συνόλου του στοιχείου. Η σημασία της αποφυγής τους είναι πολύ μεγάλη στα ZEB, καθώς με την απαίτηση για επίτευξη χαμηλών συντελεστών θερμοπερατότητας, περιορίζονται όπως αναφέραμε σημαντικά οι απώλειες θερμότητας διαμέσου των επιφανειών του κελύφους, και οι θερμογέφυρες προκαλούν μείωση της θερμικής αντίστασης του στοιχείου. Οι θερμογέφυρες εμφανίζονται κυρίως στα σημεία σύνδεσης δυο διαφορετικών δομικών στοιχείων κυρίως όταν έχουν διαφορετικό συντελεστή θερμοπερατότητας ή δυο ίδιων δομικών στοιχείων με διαφορετικό πάχος. Για

την αντιμετώπιση των θερμογεφυρών, πρέπει να επιδιώκεται ένα ομοιόμορφο και συνεχιζόμενο επίπεδο θερμομόνωσης, δίνοντας έμφαση στις ενώσεις ανόμοιων υλικών και στις απολήξεις τοίχων ή οροφής.

Στη συνέχεια γίνεται συνοπτική αναφορά στα πιο ευάλωτα στοιχεία ενός κτιρίου, που έχουν ανάγκη θερμικής προστασίας. Αυτά είναι:

- Η οροφή (επίπεδη ή κεκλιμένη) και η στέγη, που παρουσιάζουν μεγάλες θερμικές απώλειες, μια και είναι τα μέρη εκείνα του κτιρίου που δέχονται άμεσα όλες τις επιδράσεις των καιρικών συνθηκών.
- Τα εξωτερικά τοιχώματα, που υπόκεινται σε μια σειρά επιδράσεων και τα οποία ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους, προκαλούν μεγάλες θερμικές απώλειες. Η προστασία των εξωτερικών τοιχωμάτων μπορεί να γίνει εσωτερικά ή εξωτερικά, ανάλογα με τη χρήση των χώρων που προστατεύουν και το βασικό μέρος της δομής τους. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις τοιχωμάτων στις οποίες η θερμική μόνωση τοποθετείται ανάμεσα σε δυο κατακόρυφα στρώματα ομοιογενών ή ανομοιογενών υλικών και είναι σχετικά απλή λύση.
- Τα ανοίγματα, που είναι από τα πιο ευάλωτα στοιχεία ενός κτιρίου. Για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών πρέπει οι αρμοί συναρμογής των πλαισίων να είναι απόλυτα αδιαπέραστοι από τον αέρα. Τα υλικά που συγκροτούν το κούφωμα (ξύλο, αλουμίνιο, πλαστικό) να είναι αρίστης ποιότητας ώστε να αποφεύγονται οι παραμορφώσεις των φύλλων. Επιπλέον τα υαλοστάσια των ανοιγμάτων θα πρέπει να έχουν χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας.

3.1 Νομοθετικό Πλαίσιο

Οι απαιτήσεις της θερμομόνωσης του κελύφους του κτιρίου καθορίζονται από τους Κανονισμούς Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων – Κ.Ε.ν.Α.Κ. Βάση του άρθρου 8 του Κ.Ε.ν.Α.Κ, ο συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/m^2K] των δομικών στοιχείων στα νέα κτίρια δεν πρέπει να υπερβαίνει τις τιμές του πιο κάτω πίνακα.

Δομικό Στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [$W/(m^2K)$]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
Εσωτερική 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 (πilotή)	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 μερικών 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

Πίνακας 4 : Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ανέγερσης νέου κτηρίου στην Ελλάδα [4]

Ωστόσο για την επίτευξη κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας πρέπει να τηρούνται πιο αυστηρές απαιτήσεις για τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα.

New Buildings – Part L 2011

Building Element	Minimum U-Value
Ground Floor (No Underfloor Heating)	0.21W/m ² K
Ground Floor (Underfloor Heating)	0.15W/m ² K
External Walls	0.21W/m ² K
Flat Roof	0.20W/m ² K
Pitched Roof	0.16W/m ² K
Cold Roof (Ceiling Level)	0.16W/m ² K

New Buildings – Part L 2019

Building Element	Minimum U-Value
Ground Floor (No Underfloor Heating)	0.18W/m ² K
Ground Floor (Underfloor Heating)	0.15W/m ² K
External Walls	0.18W/m ² k
Flat Roof	0.20W/m ² K
Pitched Roof (Sloping Ceilings; Rafter Level)	0.16W/m ² K
Cold Roof (Ceiling Level)	0.16W/m ² K

Πίνακας 5 : Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας για επίτευξη ZEB

Συντελεστή Θερμοπερατότητας αδιαφανών επιφανειών :

Για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία του κτιρίου που αποτελούνται από ομοιογενείς στρώσεις υλικών και διαχωρίζουν το εσωτερικό από εξωτερικό περιβάλλον, ο υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας $U(W/m^2K)$ δίνεται από την σχέση :

Όπου,

- R_{si} : η εσωτερική επιφανειακή αντίσταση (ανάμεσα στο εσωτερικό [m^2K/W] περιβάλλον και στην εσωτερική επίπεδη επιφάνεια του στοιχείου)
- R_{se} : η εξωτερική επιφανειακή αντίσταση (ανάμεσα στο εξωτερικό [m^2K/W] περιβάλλον και στην εξωτερική επίπεδη επιφάνεια του στοιχείου)
- d_i : πάχος υλικού [m]
- λ_i : θερμική αγωγιμότητα υλικού [W/mK]

Συντελεστή Θερμοπερατότητας διαφανών επιφανειών :

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός κουφώματος U_w εξαρτάται από το υλικό του πλαισίου, το σύστημα υαλοπινάκων που φέρει, το ποσοστό επιφανείας πλαισίου και υαλοπινάκων επί του κουφώματος και το μήκος της θερμογέφυρας που σχηματίζεται στα σημεία ένωσης της υάλωσης με το πλαίσιο.

3.2 Ιδιότητες θερμομονωτικών υλικών

Μέσα από ένα σύνολο ιδιοτήτων που έχει το κάθε υλικό, ορίζεται κατά πόσο το υλικό αυτό καθιστάτε περισσότερο ή λιγότερο κατάλληλο για χρήση, αποτελώντας το βασικό κριτήριο επιλογής έναντι εναλλακτικών προϊόντων. Οι τρεις κύριες ιδιότητες που χρησιμοποιούνται κατά τους υπολογισμούς της θερμομόνωσης των κτιρίων είναι η πυκνότητα του υλικού, ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας και η ειδική θερμοχωρητικότητα του υλικού. Επιπλέον ιδιότητες που καθορίζουν τα κριτήρια επιλογής του υλικού είναι η μηχανική, φυσική και χημική συμπεριφορά του υλικού, και η επίδραση των κλιματικών συνθηκών και η αλλοίωση του υλικού στο χρόνο. Μεγάλη έμφαση τα τελευταία χρόνια γίνεται επίσης στην συμπεριφορά και τις επιπτώσεις του υλικού προς το περιβάλλον, όπως για παράδειγμα η πιθανή χρήση ανακυκλώσιμων υλικών, η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή του και οι εκπομπές αέριων ρύπων.

3.2.1 Φυσικές Ιδιότητες

Οι κύριες φυσικές ιδιότητες των θερμομονωτικών υλικών περιγράφονται παρακάτω. [20]

Πυκνότητα : Η πυκνότητα (kg/m^3) επηρεάζει το βάρος του υλικού και το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του υλικού, ανάλογα με τον όγκο του τον αέρα που περικλείεται στο υλικό. Πρακτικά καθορίζει τη θερμομονωτική ικανότητα του υλικού.

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (λ) : Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ($W/m \cdot K$) είναι χαρακτηριστικό μέγεθος του υλικού που καθορίζει την ιδιότητα του υλικού να ελέγχει την ποσότητα της θερμότητας που διαρρέει από τη μονάδα επιφάνειας του υλικού κάτω από σταθερή θερμική κατάσταση,

όταν υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά των δύο απέναντι επιφανειών ίση με τη μονάδα. Όσο μικρότερη είναι η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας τόσο πιο θερμομονωτικό είναι το υλικό. Πρέπει να τονιστεί ότι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας πρέπει πάντα να δίνεται σε συνάρτηση με το πάχος του υλικού, εφόσον είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας (U-value) του δομικού στοιχείου.

Ειδική θερμοχωρητικότητα : Η ειδική θερμότητα ή ειδική θερμοχωρητικότητα (J/Kg·K) καθορίζει την ιδιότητα των υλικών να δεσμεύουν και να αποθηκεύουν την θερμότητα του περιβάλλοντος στο υλικό και αντιπροσωπεύει την ποσότητα θερμότητας (J) που πρέπει να λάβει ένα σώμα μάζας ενός κιλού (kg) για να ανυψωθεί η θερμοκρασία της μονάδας μάζας του σώματος αυτού κατά ένα βαθμό Kelvin (K).

Πέρα από τις πιο πάνω φυσικές ιδιότητες, θα αναφερθούμε επίσης σε επιπλέον χαρακτηριστικά των δομικών προϊόντων που αποτελούν βασικές προϋποθέσεις – απαιτήσεις που πρέπει να τηρούν τα δομικά προϊόντα. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι :

- Μηχανική αντοχή και ευστάθεια – Αντοχή σε κάμψη και θλίψη : Η αντοχή των υλικών σε θλιπτικά φορτία είναι σημαντική, κυρίως στα βαριά υλικά που αποτελούν την φέρουσα τοιχοποιία του κτιρίου. Η αντοχή σε κάμψη είναι σημαντική και επηρεάζει κυρίως στις εφαρμογές δαπέδων, ψευδοροφών και στέγης.
- Πυρασφάλεια – Αντίδραση στη φωτιά : Σημαντική είναι αντίδραση των υλικών σε περίπτωση πυρκαγιάς, ως προς το χρονικό διάστημα που το υλικό διατηρεί τις βασικές του ιδιότητες και η αναφλεξιμότητα του υλικού.
- Ηχομονωτική Ικανότητα : Επιθυμητή είναι η ιδιότητα των υλικών στον περιορισμό της μετάδοσης του ήχου από το εξωτερικό περιβάλλον ή από παραπλήσιο χώρο του κτιρίου.
- Αντοχή στην ηλιακή ακτινοβολία : Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει αλλοίωση σε κάποια θερμομονωτικά υλικά και κατά συνέπεια να μειωθούν οι θερμομονωτικές του ιδιότητες.
- Αντοχή στην υγρασία : Πρέπει να αποφεύγονται επίσης υλικά στα οποία η αύξηση υγρασία μπορεί να εκτοπίσει τον περιεχόμενο αέρα στο υλικό και να εγκλωβιστεί στη θέση του συμπυκνωμένο νερό, το οποίο έχει μεγαλύτερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας από τον αέρα. Η αύξηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του υλικού θα οδηγήσει σε ένα υλικό που δεν θα συμπεριφέρεται πλέον ως μονωτικό.

3.2.2 Περιβαλλοντικές Ιδιότητες :

Όπως αναφέραμε η εφαρμογή μονωτικών υλικών είναι μια αποτελεσματική μέθοδος μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας που σχετίζεται με τη θέρμανση και την ψύξη στα κτίρια. Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια είναι το κλειδί για τη μείωση ή τον περιορισμό των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τον κατασκευαστικό τομέα .

Παρόλα αυτά, τα θερμομονωτικά υλικά δεν παύουν να επιβαρύνουν το περιβάλλον, κατά την παραγωγή τους, κατά τη διάρκεια της ζωής τους αλλά και κατά την τελική τους απόρριψη. Περιβαλλοντική επιβάρυνση συντελείται συνεπώς, τόσο άμεσα όσο και έμμεσα.

Η έμμεση περιβαλλοντική επιβάρυνση, προέρχεται από την εγκλωβισμένη ενέργεια των θερμομονωτικών υλικών, που οφείλεται αθροιστικά, στην ίδια την εσωτερική ενέργεια τους αλλά και της ενέργειας που δαπανήθηκε κατά την παραγωγή τους.

Τα βασικά στάδια του κύκλου ζωής των μονωτικών υλικών είναι η απόκτηση, κατασκευή, εγκατάσταση και χρήση πρώτων υλών, η απόρριψη και η μεταφορά. Αυτοί οι όροι ορίζονται περαιτέρω παρακάτω.

Απόκτηση πρώτων υλών : Η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές που σχετίζονται με την απόκτηση και επεξεργασία πρωτογενών ή δευτερογενών υλικών (συμπεριλαμβανομένων παρθένων και ανακυκλωμένων υλικών) που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μόνωσης.

Κατασκευή : Η κύρια κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές που σχετίζονται με την παραγωγή και τη συσκευασία ενός μονωτικού προϊόντος που χρησιμοποιεί πρώτες ύλες. Αυτή η φάση κύκλου ζωής εξετάζει επίσης την ενέργεια και τις εκπομπές που σχετίζονται με τα απόβλητα κατασκευής.

Εγκατάσταση και χρήση : Η κύρια κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές που σχετίζονται με την εγκατάσταση του προϊόντος μόνωσης, που αντιπροσωπεύουν τυχόν απόβλητα που παράγονται κατά τη διαδικασία εγκατάστασης. Αυτή η φάση κύκλου ζωής εξηγεί επίσης τυχόν εκπομπές που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια ζωής του προϊόντος και κατά τη διάρκεια συντήρησης υπό κανονικές συνθήκες.

Απόρριψη : Η κύρια κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές που σχετίζονται με την αποσυναρμολόγηση και την κατεδάφιση ενός μονωτικού προϊόντος στο τέλος της διάρκειας ζωής του προϊόντος.

Μεταφορά : Η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές που σχετίζονται με τη μεταφορά των πρώτων υλών στο εργοτάξιο, τη μεταφορά του τελικού προϊόντος από τον κατασκευαστή στο εργοτάξιο και τη μεταφορά αποβλήτων και αποικοδομημένων προϊόντων σε εγκαταστάσεις διάθεσης στο τέλος του κύκλου ζωής τους ή χώρο υγειονομικής ταφής. Όταν έγινε επαναχρησιμοποίηση, αυτή η φάση κύκλου ζωής εξηγούσε επίσης την ενέργεια και τις εκπομπές που σχετίζονται με τη μεταφορά του αποσυναρμολογημένου προϊόντος στο δεύτερο εργοτάξιο.

3.3 Κύρια Θερμομονωτικά Υλικά

Στην αγορά υπάρχει πληθώρα θερμομονωτικών υλικών, τα οποία έχουν διαφορετικές ιδιότητες. Για κάθε εφαρμογή πρέπει να επιλέγονται τα κατάλληλα υλικά που θεωρούνται κατάλληλα βάση των ιδιοτήτων τους.

Τα θερμομονωτικά υλικά, ανάλογα με την χρήση τους χωρίζονται σε ελαφρά ή βαριά θερμομονωτικά υλικά. Τα βαριά θερμομονωτικά υλικά αποτελούν το κύριο δομικό υλικό, ενώ τα ελαφρά αποτελούν συμπληρωματικό δομικό υλικά που τοποθετείται πρόσθετα στο δομικό στοιχείο.

Πιο κάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τις ιδιότητες ελαφριών θερμομονωτικών υλικών :

Θερμομονωτικό υλικό	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m ³)	Θερμική Αγωγιμότητα – λ (W/mK)	Ειδική Θερμοχωρητικότητα (J/KgK)	Περιβαλλοντικός αντίκτυπος
Διογκωμένη πολυστερίνη (expanded polystyrene – EPS)	20-100	8-30	0.03-0.045	1450	Μικρός
Αφρώδη εξηλασμένη πολυστερίνη (extruded polystyrene- XPS)	20-200	20-80	0.03-0.032	1500	Μικρός
Άκαμπος αφρός πολυουρεθάνης (polyurethane foam)	50-75	30-80	0.023-0.03	1450	Μικρός
Υαλοβάμβακας (glasswool, fiberglass)	20-80	30-180	0.035-0.041	840	Ναι
Πετροβάμβακας (Stonewool)	20-80	30-100	0.032-0.041	840	Ναι
Διογκωμένος Περγλίτης (Expanded Perlite)	20-120	30-140	0.01-0.065	1470	Μικρός

Πίνακας 6 : Ιδιότητες ελαφρών θερμομονωτικών υλικών [21]

Πιο αναλυτικά οι ιδιότητες και η σύγκριση των θερμομονωτικών υλικών φαίνονται στον Πίνακα 8 που ακολουθεί.

Στην αγορά υπάρχει επίσης πληθώρα βαριών θερμομονωτικών υλικών, τα οποία όπως αναφέραμε και πιο πάνω, δεν χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για να προσδώσουν τις απαιτούμενες θερμομονωτικές ιδιότητες στο υλικό, αλλά λειτουργούν ταυτόχρονα και ως φέρουσα τοιχοποιία ή τοιχοποιία πλήρωσης.

Θερμομονωτικό υλικό	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m ³)	Θερμική Αγωγιμότητα – λ (W/mK)	Περιβαλλοντικός αντίκτυπος
Θερμομονωτικό τούβλο	200-300	700-1000	0.2-0.25	Μεγάλος
Ελαφροβαρείς τσιμεντόλιθοι	240-300	300-800	0.08-0.22	Ελάχιστος

Πίνακας 7 : Ιδιότητες Βαριών θερμομονωτικών υλικών [21]

Ιδιότητες	Μονάδες	EPS	XPS	PUR	GW	Πετροβάμ βακας	PF	CG	WW	EPB	ICB	WF
Πρότυπο		EN13163	EN13164	EN13165	EN13162	EN13162	EN13166	EN13167	EN13168	EN13169	EN13170	EN13171
Πάχος	mm	20-100	20-200	50-75	20-80	20-80	20-120	25-120	25-80	20-120	20-100	20-200
Πυκνότητα	Kg/m ³	8-30	20-80	30-80	30-180	30-100	32-200	90-180	380-460	30-140	100-150	35-200
Μηχανικές ιδιότητες												
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	kPa	30-500	100-1000	25-800	3,5	5-80	60-150	500	20-1000	100-800	90-110	20-200
Ιδιότητες θερμικής προστασίας												
Θερμική αγωγιμότητα (συντελεστής λ)	W/mk	0.03-0.045	0.03-0.032	0.023-0.03	0.035- 0.041	0.032- 0.041	0.02-0.024	0.04-0.06	0.09-0.1	0.01-0.065	0.04-0.045	0.034- 0.052
Ειδική Θερμοχωρητικότητα	J/KgK	1450	1500	1450	840	840	1400	1000	1470	900	1500	
Θερμοκρασιακό εύρος	°C	-50-75	-50-75	-50-110	-100-500	-100-750	-160-200	-260-430	200	-200-1000	-200-130	-150-100
Ιδιότητες υγραπροστασίας												
Συντελεστής Διάχυσης Υδρατμών		20-100	100-150	50-100	1-15	1-15	50	3-4	2-5	5	10-30	5-10
Γενικές Ιδιότητες												
Κατηγορία πυραντοχής		E,F / B	E,F / B	E,F / B	A2	A1	B	A1	B,C	A1, A2	D	D,E
Ηχομόνωση		ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΟΧΙ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΑΡΙΣΤΗ	ΟΧΙ	ΑΡΙΣΤΗ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΑΡΙΣΤΗ	ΑΡΙΣΤΗ
Αντοχή στη χρήση		ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ (πλάκες)	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ
Αντοχή στην ηλιακή ακτινοβολία		ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ

Πίνακας 8 : Σύγκριση ιδιοτήτων θερμομονωτικών υλικών [21]

3.4 Θερμομόνωση Τοιχοποιίας

Για την θερμομόνωση των τοίχων έχουμε την επιλογή της εξωτερικής θερμομόνωσης, της εσωτερικής θερμομόνωσης, της θερμομόνωσης στο διάκενο μεταξύ δύο τοίχων της εξωτερικής τοιχοποιίας και την θερμομόνωση της τοιχοποιίας με χρήση βαριών θερμομονωτικών υλικών, τα οποία θα αναλύσουμε πιο κάτω.

- Εξωτερική θερμομόνωση : Το θερμομονωτικό υλικό τοποθετείται στην εξωτερική πλευρά και στερεώνεται στο κέλυφος του κτιρίου. Δηλαδή “ντύνουμε” εξωτερικά το κτίριο με θερμομονωτικό υλικό. Με αυτή την εφαρμογή ελαχιστοποιείται το πρόβλημα των θερμογεφυρών, παρέχει μεγάλη αντοχή στο χρόνο, τις καιρικές συνθήκες, τις μηχανικές καταπονήσεις και οποιαδήποτε επίδραση μπορεί να επηρεάσει την λειτουργία της και εκμεταλλεύεται τη θερμοχωρητικότητα των τοίχων με αποτέλεσμα τη διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας μετά τη διακοπή του κλιματισμού. Ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι ότι δεν μειώνεται ο ωφέλιμος εσωτερικός χώρος. Για την προστασία του μονωτικού υλικού, ακολουθεί μια επιπλέον στρώση από κάποιο στερεό δομικό (επίχρισμα).

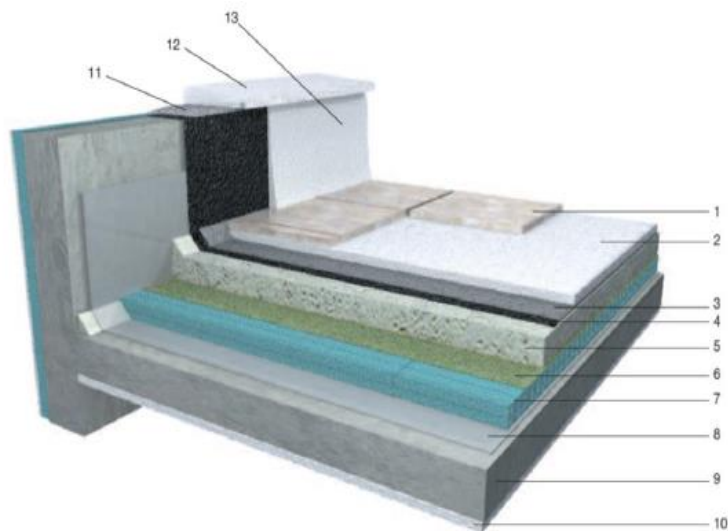
- Εσωτερική θερμομόνωση : Το θερμομονωτικό υλικό τοποθετείται στην πλευρά το εσωτερικού χώρου. Τοποθετείται εύκολα και οικονομικά, χωρίς να αλλοιώνει την εξωτερική όψη του κτιρίου. Ωστόσο περιορίζεται ο εσωτερικός χώρος, μένει ανεκμετάλλευτη η θερμοχωρητικότητα του εξωτερικού τοίχου με αποτέλεσμα την ταχεία απώλεια θερμότητας από αερισμό και δεν λύνεται το πρόβλημα των θερμογεφυρών.
- Θερμομόνωση στο διάκενο : Το μονωτικό υλικό τοποθετείται μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού τοίχου. Είναι μια τεχνική που βρίσκει εφαρμογές κυρίως σε νέα κτίρια. Δεν απαιτείται επιπλέον προστασία, πέραν της εσωτερικής και εξωτερικής στρώσης επιχρίσματος στην τοιχοποιία.
- Χρήση βαριών θερμομονωτικών υλικών : Ο τοίχος του κελύφους μπορεί να κτιστεί με την χρήση θερμομονωτικών τούβλων ή αντίστοιχα βαριά θερμομονωτικά υλικά, τα οποία εξασφαλίζουν τις τιμές του συντελεστέι θερμικής διαπερατότητας που επιβάλλουν οι κανονισμοί θερμομόνωσης. Με τον τρόπο αυτό δεν απαιτείται επιπλέον χρήση θερμομόνωσης, αλλά ακόμη και στην περίπτωση που αυτό είναι απαραίτητο μπορεί να βελτιωθεί ο θερμομονωτικός τους χαρακτήρας με επιπλέον εσωτερική ή εσωτερική θερμομόνωση.

3.5 Θερμομόνωση Οροφής

Η θερμομόνωση της οροφής αποτελεί μια από τις πιο αποτελεσματικές παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα κτίριο. Το δώμα αποτελεί ένα πολύ ευπαθές δομικό στοιχείο του κτιρίου, καθώς καταπονείται από τον ήλιο, τον άνεμο, τη βροχή και το χιόνι. Επίσης η χρήση θερμομόνωση στην οροφή την προστατεύει από τη διάβρωση και τις καιρικές μεταβολές. Ωστόσο για να αποφευχθούν τυχόν φθορές και προβλήματα, απαιτείται η συνεχής συντήρηση και προστασία καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του.

Η θερμομόνωση ενός δώματος μπορεί να εφαρμοσθεί εξωτερικά με το συμβατικό τρόπο ή τον αντεστραμμένο τρόπο ή εσωτερικά πάνω από την πλάκα. Οι κύριες στρώσεις που τοποθετούνται κατά την κατασκευή του θερμομονωμένου δώματος είναι η πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος, η οποία συγκρατεί τα υπόλοιπα δομικά υλικά της μόνωσης, το θερμομονωτικό υλικό, το υλικό υγραμόνωσης/στεγανοποίησης, το οποίο προστατεύει όλα τα στρώματα που βρίσκονται κάτω από αυτό, η στρώση κλίσεων, ώστε να οδηγούνται τα νερά προς τις υδρορροές, καθώς και όλα τα απαραίτητα επιχρίσματα και η τελική επικάλυψη.

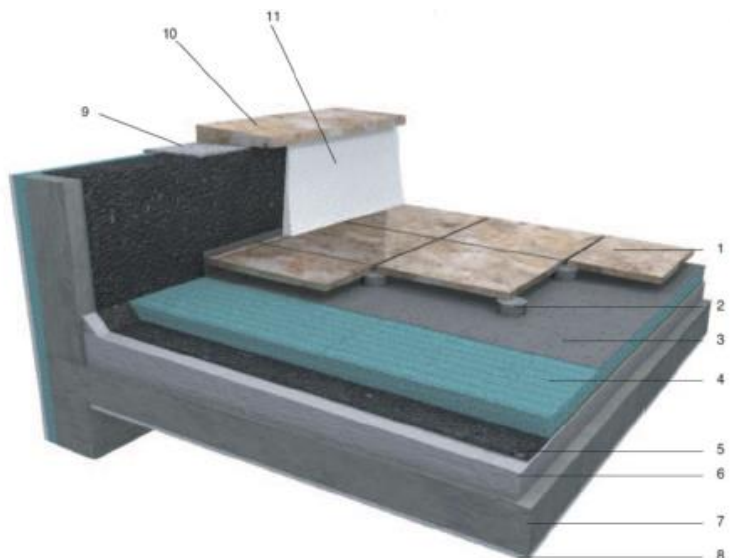
Στη συμβατική μόνωση, τα στεγανωτικά υλικά είναι τοποθετημένα πάνω από το στρώμα θερμομόνωση και η θερμομόνωση προστατεύεται. Η στεγανοποίηση είναι η τελική στρώση του κελύφους και βρίσκεται σε άμεση επαφή με το περιβάλλον, εκτιθέμενη στα καιρικά φαινόμενα και στην ηλιακή ακτινοβολία, προστατεύοντας το θερμομονωτικό υλικό από το νερό και την υγρασία. Ως θερμομονωτική στρώση μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν όλα τα θερμομονωτικά υλικά, και το φράγμα υδρατμών τοποθετείται κάτω από τη θερμομόνωση.



1. Κεραμικά πλακίδια
2. Στρώση τελικής επικάλυψης.
3. Προστατευτικό φύλλο στεγανοποιητικής στρώσης
4. Στρώση στεγανοποίησης
5. Στρώση κλίσεων
6. Προστατευτικό φύλλο πολυαιθυλενίου
7. Θερμομονωτική στρώση
8. Φράγμα υδρατμών
9. Πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος
10. Οροφοκονίαμα

Σχήμα 2 : Παράδειγμα Συμβατικής Μόνωσης Οροφής

Στη ανεστραμμένη μόνωση, τα στεγανωτικά υλικά είναι τοποθετημένα σε θέση κατώτερη από αυτήν της θερμομονωτικής στρώσης, τοποθετημένα απευθείας στη φέρουσα κατασκευή και ως θερμομονωτικά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο όσα θερμομονωτικά υλικά δεν προσβάλλονται από την υγρασία. Το ρόλο του φράγματος υδρατμών παίζει ταυτόχρονα η στεγανοποιητική στρώση, για αυτό και δεν χρειάζεται η επιπρόσθετη τοποθέτηση άλλης στρώσης.



1. Κεραμικά πλακίδια
2. Βάσεις κεραμικών
3. Προστατευτικό φύλλο στεγανοποιητικής στρώσης
4. Θερμομονωτικές πλάκες XPS
5. Στρώση στεγανοποίησης
6. Στρώση κλίσεων
7. Πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος
8. Οροφοκονίαμα

Σχήμα 3 : Παράδειγμα Ανεστραμμένης Μόνωσης Οροφής

3.6 Θερμομόνωση Κουφωμάτων

Η ύπαρξη των ανοιγμάτων, όπως τα παράθυρα, οι φεγγίτες και οι πόρτες, στο κέλυφος του κτιρίου είναι απαραίτητη για τους ανθρώπους ώστε να παρέχει θερμική άνεση. Ανοίγματα όπως τα παράθυρα επιτρέπουν τον φυσικό φωτισμό στο σπίτι και μπορούν να προωθήσουν την παθητική ηλιακή θέρμανση και ψύξη, καθώς και να παρέχουν φυσικά σημεία εξαερισμού και κυκλοφορίας αέρα, κάτι το οποίο έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο ως προς τον βιοκλιματικό σχεδιασμό του κτιρίου. Οι πόρτες είναι επίσης ζωτικής σημασίας για ένα σχεδιασμό κτιρίων για να παρέχουν ένα σημείο εισόδου και εξόδου στο κτίριο. Οι φεγγίτες παρέχουν παρόμοια οφέλη με τα παράθυρα, ωστόσο γενικά δεν ανοίγουν.

Παράθυρα :

Τα παράθυρα των κτιρίων συντελούν σε ένα μεγάλο ποσοστό στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και ψύξη των χώρων γιατί από αυτά μεταφέρεται μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Η διαδικασία αυτή μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση κατάλληλα κατασκευασμένων, ενεργειακά αποδοτικών κουφωμάτων. Τα κουφώματα αυτά θα πρέπει να έχουν υαλοπίνακες και σκελετούς με καλές θερμομονωτικές ιδιότητες και επί πλέον, θα πρέπει να είναι αεροστεγανά, ώστε να εμποδίζουν τη διαφυγή θερμότητας από χαραμάδες οι οποίες μπορούν να φέρουν σημαντικές απώλειες θερμότητας, όπως παρατηρείται σε παλαιά κτίρια ή κτίρια κακής κατασκευής.

- Πλαίσια :

Από πλευράς υλικού κατασκευής των πλαισίων των κουφωμάτων, υπάρχει τρεις κύριες κατηγορίες υλικών, το ξύλο, το αλουμίνιο και συνθετικά πολυμερή πλαστικά πλαίσια. Το ξύλο έχει χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας και καλή δομική ακεραιότητα, αλλά χαμηλή αντοχή στις καιρικές συνθήκες. Το αλουμίνιο είναι ανθεκτικό και έχει εξαιρετικά δομικά στοιχεία, αλλά έχει τις μεγαλύτερες θερμικές απώλειες, εκτός αν υπάρχει φράγμα ροής θερμότητας (aluminium with thermal break). Τα συνθετικά πλαστικά έχουν θερμική και δομική απόδοση παρόμοια με εκείνη του ξύλου.

- Σκίαση :

Οι συσκευές σκίασης διατίθενται σε ένα ευρύ φάσμα προϊόντων που διαφέρουν πολύ στην εμφάνιση και την ενεργειακή τους απόδοση. Οι συσκευές σκίασης μπορεί να είναι είτε εσωτερικές είτε εξωτερικές. Περιλαμβάνουν περσίδες, ρολά , κουρτίνες, πάνελ, σε διάφορες αποχρώσεις. Η ικανότητα σκίασης των συσκευών να ελέγχουν τα ηλιακά κέρδη εξαρτάται κυρίως από τη θέση της συσκευής. Οι συσκευές σκίασης στην εξωτερική πλευρά των υαλοπινάκων μπορούν να μειώσουν αποτελεσματικά τα κέρδη της ηλιακής θερμότητας, αλλά χρειάζονται συχνότερη συντήρηση και συχνά είναι δύσκολο να προσαρμοστούν. Αντίθετα, οι εσωτερικές συσκευές είναι πανταχού παρούσες και ευκολότερες στη συντήρηση και τη λειτουργία τους, αλλά ενδέχεται να μην είναι τόσο αποτελεσματικές στην παροχή σημαντικού ελέγχου απόδοσης ηλιακής θερμότητας, ανάλογα με τον τύπο υαλοπινάκων, τις ιδιότητες σκίασης και τον έλεγχο.

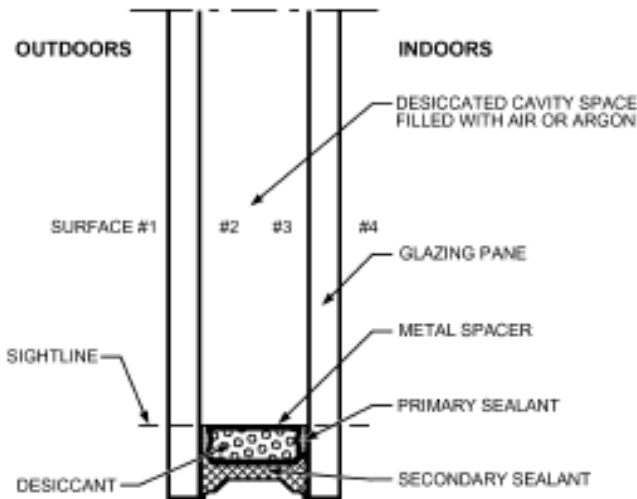
- Υαλοπίνακες :

Η χρήση των διπλών υαλοστασίων με ή χωρίς χαμηλό συντελεστή εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας ή/ και με θερμομονωτικό αέριο (αέρας ή argon) στο διάκενο, προσφέρουν εκτός από θερμομόνωση και ηχοπροστασία. Το γυαλί με επικάλυψη χαμηλού συντελεστή (low-e) είναι

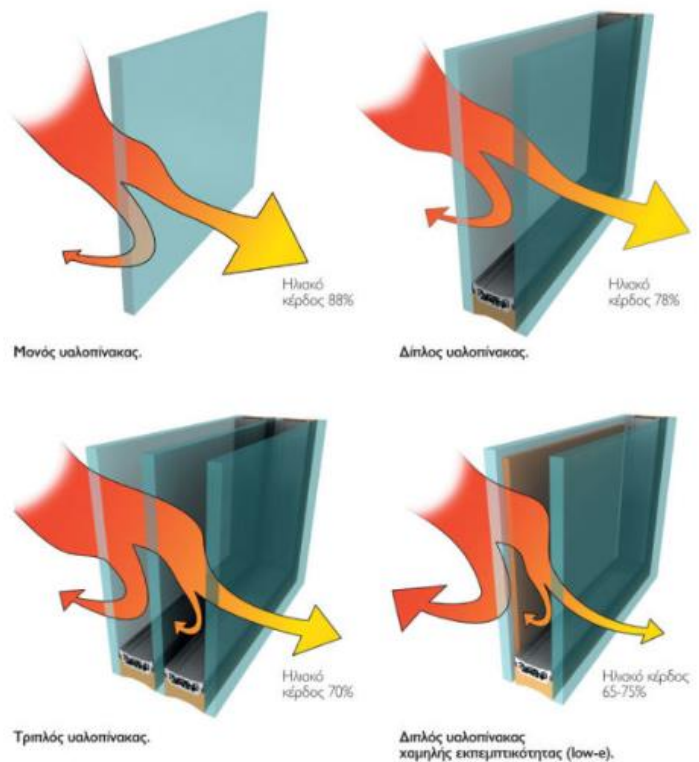
ενεργειακά αποδοτικό, βελτιώνει το δυναμικό φωτισμού της ημέρας και βελτιώνει την άνεση των επιβατών Έτσι, χρησιμοποιείται πλέον στη συντριπτική πλειοψηφία των προϊόντων. Οι επιστρώσεις low-e συνήθως εφαρμόζονται σε μία από τις προστατευμένες εσωτερικές επιφάνειες της μονάδας υαλοπινάκων .

Πέρα από τον συντελεστή θερμοπερατότητας ενός υαλοπινάκα, μεγάλη σημασία έχουν και τα πιο κάτω μεγέθη.

- Συντελεστής σκίασης (shading coefficient) : Ο συντελεστής σκίασης είναι ίσος με το λόγο της ηλιακής θερμικής ενέργειας που διαπερνά έναν υαλοπίνακα προς την ηλιακή θερμική ενέργεια που διαπερνά το διάφανο γυαλί.
- Συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους (solar heat gain coefficient) : Ο συντελεστής ηλιακής θερμικής απολαβής είναι ίσος με το λόγο της θερμικής ηλιακής ενέργειας που διαπερνά έναν υαλοπίνακα προς το συνολικό ποσό της ηλιακής θερμικής ενέργειας που προσπίπτει στον υαλοπίνακα. Η τιμή του κυμαίνεται από 0 έως 1.
- Φωτοδιαπερατότητα : Η φωτοδιαπερατότητα είναι ίση με το ποσοστό της ορατής ηλιακής ακτινοβολίας που διαπερνά έναν υαλοπίνακα. Γενικά, η επιθυμητή φωτοδιαπερατότητα είναι ίση με 70%.



Εικόνα 4 : Λεπτομέρειες κατασκευής τυπικής μονάδας διπλών υαλοπινάκων [22]



Εικόνα 5 : Τύποι Υαλοπινάκων [23]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Συστήματα HVAC

Τα βασικά συστήματα ενός ολοκληρωμένου συστήματος αυτοματισμού κτιρίου είναι η θέρμανση, ο εξαερισμός και ο κλιματισμός, γνωστά και ως συστήματα HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning Systems).

Στο κεφάλαιο αυτό θα συνοψίσουμε τις διαθέσιμες τεχνολογίες και συστήματα που χρησιμοποιούνται προκειμένου να επιτευχθεί ο θερμικός έλεγχος του κτιρίου, να καλυφθούν οι ανάγκες άνεσης, υγείας και ασφάλειας των χρηστών του κτιρίου και να διατηρηθούν οι επιθυμητές περιβαλλοντικές συνθήκες σε ένα χώρο.

Τα υψηλής απόδοσης ενεργειακά συστήματα και η βέλτιστη λειτουργία φορτίων πρέπει να βασίζεται σε σωστά μεγέθη και στη σωστή εγκατάσταση των συστημάτων HVAC καθώς και των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στόχος κατά τον σχεδιασμό του κτιρίου είναι να επιτραπούν παθητικές στρατηγικές σχεδιασμού, να βελτιώνεται η απόδοση του κελύφους του κτιρίου, να μειώνονται τα εσωτερικά φορτία και να σχεδιάζονται τα κατάλληλα συστήματα HVAC που ταιριάζει.

Ένα σύστημα θέρμανσης ("H" του HVAC) σχεδιάζεται για να προσθέτει θερμική ενέργεια σε ένα χώρο ή κτίριο, προκειμένου να διατηρείται κάποια επιλεγμένη θερμοκρασία αέρα, η οποία ειδάλλως δεν θα μπορούσε να επιτευχθεί λόγω της ροής της θερμότητας προς το εξωτερικό περιβάλλον (απώλεια θερμότητας).

Ένα σύστημα εξαερισμού ("V") έχει ως σκοπό του το να κυκλοφορεί τον αέρα σε ένα χώρο, ώστε να τον κινεί χωρίς να χρειάζεται να αλλάξει η θερμοκρασία του. Τα συστήματα εξαερισμού μπορούν, και σε ορισμένες περιπτώσεις πρέπει, να χρησιμοποιούνται για να βελτιώνουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα και, κατ' αυτόν τον τρόπο, τα επίπεδα άνεσης των ενοίκων.

Ένα σύστημα ψύξης (ή, αλλιώς, δροσισμού), που δεν περιλαμβάνεται ρητά ως έννοια στο αρκτικόλεξο HVAC, σχεδιάζεται για να αφαιρεί θερμική ενέργεια από ένα χώρο ή κτίριο. Αυτό είναι ανάγκη να γίνεται προκειμένου να διατηρείται κάποια επιλεγμένη θερμοκρασία του αέρα, χαμηλότερη συγκριτικά με αυτή που, αλλιώς, θα επικρατούσε λόγω της αναπόφευκτης ροής θερμότητας τόσο από τις εσωτερικές πηγές της, όσο και από το εξωτερικό περιβάλλον προς το εσωτερικό του χώρου (κέρδος θερμότητας). Οι ψυκτικές διατάξεις εξετάζονται συνήθως ως τμήμα του "AC", σε σχέση με τα αρχικά HVAC. Το "AC" υποδηλώνει τον κλιματισμό (Air-Conditioning).

Ένα σύστημα κλιματισμού, σύμφωνα με τον ορισμό της ASHRAE είναι μία συνάθροιση συνιστωσών, με μια καθορισμένη δομή και λειτουργία, που πρέπει να εκπληρώνει τέσσερις στόχους ταυτόχρονα. Οι στόχοι αυτοί είναι ο έλεγχος:

- της θερμοκρασίας του αέρα,
- της υγρασίας του αέρα,
- της κυκλοφορίας του αέρα και
- της ποιότητας του αέρα.

Αν και η λέξη "έλεγχος" αφορά μια πολύ αόριστη έννοια, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει από τον εξαιρετικά ακριβή έλεγχο των εγκαταστάσεων κεντρικών υπολογιστών μέχρι τον έλεγχο για νυχτερινή λειτουργία στις κατοικίες, η απαίτηση από ένα σύστημα κλιματισμού να είναι σε θέση να τροποποιεί ταυτόχρονα και τις ανωτέρω τέσσερις ιδιότητες του αέρα καταδεικνύει το βαθμό της πολυπλοκότητας των εν λόγω συστημάτων. Η φράση "κλιματισμός" συχνά χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια μεγάλη ποικιλία επιπέδων υπηρεσιών, από το μηχανικό εξαερισμό μέχρι τα σύνθετα συστήματα που παρέχουν και τους τέσσερις προαναφερθέντες ελέγχους. [24]

Οι παράγοντες που διέπουν την επιλογή συστήματος HVAC και τον απόλυτο σχεδιασμό συστήματος HVAC περιλαμβάνουν:

- Τύποι συστημάτων HVAC που είναι διαθέσιμοι για την κάλυψη των αναγκών του έργου
- Οι προτιμήσεις ή τα πρότυπα του ιδιοκτήτη κτιρίου
- Προϋπολογισμός ιδιοκτήτη κτιρίου
- Εγκατεστημένο κόστος, κόστος λειτουργίας και κόστος συντήρησης των πιθανών επιλογών συστήματος HVAC
- Περιορισμοί χώρου, τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους, και συντονισμός με άλλα δομικά στοιχεία όπως τα αρχιτεκτονικά, δομικά και ηλεκτρικά συστήματα.

Οι υπολογισμοί φορτίου HVAC είναι το θεμέλιο πάνω στο οποίο βασίζεται ο σχεδιασμός συστήματος HVAC. Επομένως, είναι επιτακτική ανάγκη ο σχεδιαστής συστήματος HVAC να υπολογίσει με ακρίβεια τα μέγιστα φορτία θέρμανσης και ψύξης για το έργο, προκειμένου να σχεδιαστεί σωστά τα συστήματα HVAC.

Ο σχεδιαστής συστήματος HVAC πρέπει να έχει καλή κατανόηση αυτής της μεθόδου για να κατανοήσει πώς η γεωμετρία, ο προσανατολισμός και οι εσωτερικές λειτουργίες ενός κτιρίου επηρεάζουν τα φορτία HVAC εντός των διαφόρων περιοχών του κτιρίου και να γίνει επίσης σωστός διαχωρισμός των χώρων σε θερμικές ζώνες.

Οι δύο λοιπόν στρατηγικές στις οποίες βασίζεται ένα κρίσιμο μέρος ενός κτιρίου μηδενικής ενέργειας για την επίτευξη υψηλής απόδοσης HVAC συστήματος είναι ο διαχωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες και οι υπολογισμοί των φορτίων για να καθορίσουμε το μέγεθος των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.

Τα συστήματα εξαερισμού για το ZEB εξυπηρετούν πολλές λειτουργίες, όπως φιλτράρισμα αέρα, αραίωση και αφαίρεση ρύπων εσωτερικού χώρου μέσω ρυθμιζόμενων από τον κώδικα ρυθμών αλλαγής αέρα και εξωτερικού αέρα, καθώς και τον ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας χώρου, της υγρασίας και της. Ο μηχανικός αερισμός είναι υποχρεωτικός σε οποιοδήποτε ZEB σύμφωνα με τους ευρωπαϊκούς και αμερικανικούς κανονισμούς. Επομένως, η επιλογή και το μέγεθος των συστημάτων εξαερισμού πρέπει

να πραγματοποιούνται το συντομότερο δυνατό κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού. Ο μηχανικός αερισμός δεν λειτουργεί μόνος του και πρέπει να ενσωματωθεί με άλλες λειτουργίες και εξοπλισμό, όπως υπηρεσίες ζεστού νερού χρήσης, θέρμανση, υγρασία ψύξης, έλεγχος αλλεργίας και ούτω καθεξής. Ο μηχανικός εξαερισμός θα πρέπει να χρησιμοποιείται για την εξασφάλιση καλής ποιότητας αέρα εσωτερικού χώρου και διανομής αέρα.

4.1 Θερμικές ζώνες

Ο διαχωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες αποτελεί σημαντικό κομμάτι του ενεργειακού του σχεδιασμού και του ελέγχου των συστημάτων HVAC όπως αναφέραμε πιο πάνω.

Σημαντική παράμετρος για τον διαχωρισμό των θερμικών ζωνών είναι οι ενεργειακές του απαιτήσεις, οι οποίες εξαρτώνται από την χρήση του κτιρίου, τις απαιτήσεις του ιδιοκτήτη σχετικά με την συνθήκες άνεσης, τον θόρυβο, την διακύμανση της θερμοκρασίας, την ποιότητα φωτισμού και άλλα, καθώς και τα ωράρια λειτουργίας του κτιρίου. Αν και ορισμένοι χώροι μπορεί να έχουν τις ίδιες θερμοκρασιακές απαιτήσεις, ωστόσο διαφέρουν τα ωράρια λειτουργίας και η πληρότητα του χώρου, τότε θεωρούνται ως μεμονωμένες θερμικές ζώνες.

Κατά τον καθορισμό των θερμικών ζωνών, πρέπει επίσης να εξεταστεί η θέση και ο προσανατολισμός του κτιρίου και οι έκθεση των εξωτερικών επιφανειών του κτιρίου στην ηλιακή ακτινοβολία, τοίχων και παραθύρων, καθώς υπάρχει μεγάλη διακύμανση στα φορτία ψύξης και θέρμανσης.

Για παράδειγμα, χώροι οι οποίοι χρησιμοποιούνται πολλές ώρες, ή χώροι που απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες συνιστάται να προσανατολίζονται στη νότια πλευρά, ενώ στο βορινό προσανατολισμό μπορεί να τοποθετηθούν χώροι που χρησιμοποιούνται περιστασιακά ή βοηθητικοί χώροι, οι οποίοι το χειμώνα λειτουργούν ως ζώνες θερμικής ανάσχεσης (buffer), αλλά και χώροι που χρησιμοποιούνται κυρίως το καλοκαίρι. Στο βόρειο προσανατολισμό ενδέχεται να τοποθετούνται χώροι με ιδιαίτερες απαιτήσεις σε σταθερό, ομοιογενή φωτισμό.

Κατά το σχεδιασμό των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης η κάθε θερμική ζώνη προσδιορίζεται ως μια περιοχή που λειτουργεί με βάση ένα σημείο ή κόμβο ελέγχου (π.χ. θερμοστάτη), που μπορεί να διαφοροποιείται ανάλογα με τη χρήση (π.χ. διαφορετική ρύθμιση θερμοκρασίας). Έτσι, ο έλεγχος των συστημάτων καθίσταται απλούστερος και αποδοτικότερος. [24]

Εκτός από τις θερμικές παραμέτρους των ζωνών, οι συγκεκριμένες ανάγκες ορισμένων χώρων σε φιλτράρισμα αέρα, έλεγχο πίεσης και μετρήσεις CO και CO₂, μπορεί να οδηγήσουν στον ορισμό αυτών των χώρων ως διαφορετικού θερμικού ζώνη από τον παρακείμενο χώρο, ο οποίος έχει τις ίδιες ανάγκες θερμικής άνεσης. Αυτός ο διαχωρισμός επιτρέπει τη χρήση διαφορετικών συστημάτων ή τερματικών μονάδων που εξυπηρετούν την καθορισμένη αυξημένη καθαρότητα αέρα και ποιότητα που απαιτείται από την καθορισμένη χρήση του χώρου.

Τα όρια μιας θερμικής ζώνης με το περιβάλλον ή με μια διαφορετική θερμική ζώνη καθορίζουν τα θερμικά κέρδη της ζώνης ως συνάρτηση του χρόνου, και επομένως τα ψυκτικά και θερμικά φορτία για διαφορετική περίοδο του έτους. Ωστόσο, τα θερμικά κέρδη εξαρτώνται επίσης από τις υπάρχουσες κατασκευές (όπως τοίχοι ή χωρίσματα) που διαχωρίζουν τις ζώνες.

4.2 Συστήματα Θέρμανσης και Ψύξης

Σε όλες σχεδόν της κατηγορίες, αλλά ιδιαίτερα σε πολύ μεγάλα κτίρια και συγκροτήματα χρησιμοποιούνται κεντρικά τοποθετημένες μονάδες ψύξης και θέρμανσης. Οι κεντρικές μονάδες θέρμανσης και ψύξης είναι αποτελούν ιδιαίτερα κατάλληλες εφαρμογές για εφαρμογές όπου η αποτελεσματική χρήση ενέργειας και η μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού είναι σημαντικές. Ένα κεντρικό σύστημα αποτελείται από την μονάδα παραγωγής θερμότητας, το δίκτυο αγωγών για την μεταφορά του θερμαινόμενου ή του ψυκτικού μέσου και τις συσκευές απόδοσης της θερμότητας, ή ψύξης αντίστοιχα, στον χώρο. Οι αντλίες και τα βοηθητικά εξαρτήματά τους, που απαιτούνται για συστήματα θέρμανσης και ψύξης, αποτελούν επίσης μέρος των κεντρικών εγκαταστάσεων.

4.2.1 Συστήματα Θέρμανσης

Για να πετύχουμε την επιθυμητή θερμοκρασία στους χώρους ενός κτιρίου, πρέπει να εξασφαλιστεί κατάλληλη μονάδα παραγωγής θερμότητας, καθώς και το σύστημα μεταφοράς της παραγόμενης θερμότητας στους χώρους αυτούς.

Κύριες τεχνολογίες παραγωγής θερμότητας είναι η θέρμανση με χρήση :

- Λέβητες/καυστήρες πετρελαίου, φυσικού αερίου και βιομάζας
- Αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα ή αέρα-νερού
- Ηλεκτρικές Αντιστάσεις
- Ακτινοβολίας
- Αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας μέσω ηλιακών συλλεκτών
- Μονάδα συνδυασμένου κύκλου παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Λέβητες

Οι λέβητες αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης. Είναι το παλαιότερο και δημοφιλέστερο σύστημα θέρμανσης. Ένας λέβητας επιτυγχάνει την παραγωγή και πρόσδοση θερμότητας μέσα από την καύση καυσίμου, το οποίο μπορεί να είναι πετρέλαιο, φυσικό αέρα, ξύλο, πέλλετ και βιομάζα. Οι λέβητες είναι δοχεία όπου θερμαίνεται το νερό και στη συνέχεια το εργαζόμενο μέσο που μπορεί να είναι είτε ζεστό νερό είτε ατμός, διανέμεται στις συσκευές απόδοσης της θερμότητας στο χώρο. Η κυκλοφορία του ζεστού νερού μέσω του δικτύου αγωγών επιτυγχάνεται με την χρήση αντλίας.

Βασικό στοιχείο αποτελεί επίσης ο καυστήρας, που είναι η συσκευή στην οποία γίνεται ή διανομή ή έγχυση και καύση του καυσίμου για την παραγωγή της φλόγας και των καυσαερίων στο θάλαμο καύσης του λέβητα. Η φλόγα και τα παραγόμενα καυσαέρια κατά τη διαδρομή τους προς την καπνοδόχο θερμαίνουν τα τοιχώματα του θαλάμου καύσης και, μέσω καταλλήλων διατάξεων σωληνώσεων, το νερό του δικτύου που διέρχεται από το λέβητα.

Οι συνήθεις λέβητες των κεντρικών θερμάνσεων που χρησιμοποιούνται σε κτιριακές εγκαταστάσεις τις οποίες καλύπτει η Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος ΤΟΤΕΕ 2421/2 προορίζονται για τη θέρμανση νερού μέχρι θερμοκρασίας 100°C και πίεση λειτουργίας μέχρι 6bar.

Πηγή ενέργειας ενός λέβητας μπορεί να είναι επίσης και η ηλεκτρική ενέργεια, γνωστοί και ως ηλεκτρικοί λέβητες, μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμική. Αυτό επιτυγχάνεται με ηλεκτρικές αντιστάσεις, οι οποίες θερμαίνουν το νερό. Ωστόσο οι λέβητες που χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια ως πηγή καυσίμου σπάνια χρησιμοποιούνται σε κεντρικά συστήματα θέρμανσης, επειδή είναι συνήθως πιο πρακτικό να χρησιμοποιούνται (αποκεντρωμένοι) θερμαντήρες ηλεκτρικής αντίστασης στα συστήματα αέρα και τον τερματικό εξοπλισμό εάν χρησιμοποιείται ηλεκτρισμός για τη θέρμανση του κτιρίου. [24]

Αντλίες Θερμότητας

Η αντλία θερμότητας είναι μια θερμική εγκατάσταση που βασίζεται στον καλούμενο αντίστροφο θερμοδυναμικό κύκλο Carnot (καταναλώνει ενέργεια κίνησης και παράγει θερμικό αποτέλεσμα). Κατά τη διάρκεια του κύκλου αφαιρείται θερμότητα σε χαμηλή θερμοκρασία, που είναι διαθέσιμη σε μία ψυχρή πηγή, αυξάνει τη θερμοκρασία της με τη συμπίεση και κατόπιν την αποδίδει για τη θέρμανση χώρων. Είναι μια συσκευή που έχει τη δυνατότητα αξιοποίησης του κύκλου ψύξης έτσι ώστε να δίνει άλλοτε ζεστό και άλλοτε κρύο αέρα ή νερό, ανάλογα πάντα με τις κλιματιστικές ανάγκες του χώρου. Όπως είναι γνωστό, η θερμότητα έχει φυσική ροή από καταστάσεις υψηλότερων θερμοκρασιών σε αντίστοιχες χαμηλότερων θερμοκρασιών. Το σύστημα όμως αυτό, έχει την ικανότητα να μεταφέρει τη θερμότητα αντίθετα προς τη φυσική της ροή. Αντλεί δηλαδή θερμότητα από χαμηλότερη στάθμη θερμοκρασίας προς μια υψηλότερη. Την ίδια ικανότητα έχει και ένα ψυγείο, μόνο που στην περίπτωση των αντλιών θερμότητας το ενδιαφέρον παρουσιάζεται για τη θερμότητα και όχι για την ψύξη

Η πηγή θερμότητας μπορεί να είναι:

- αέριο ή αέρας (υπαίθριος αέρας, ζεστός αέρας από τη διαδικασία εξαερισμού, καυτά αέρια από βιομηχανικές διεργασίες) ·
- νερό, από επιφανειακά ύδατα (ποτάμι, λίμνη, θάλασσα), υπόγεια ύδατα, ζεστό νερό απόρριψης (οικιακά, τεχνολογικά και ανακυκλοφορούνται σε πύργους ψύξης) ·
- έδαφος, με το πλεονέκτημα της προσβασιμότητας.

Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται μια αντλία θερμότητας είναι :

- Το τμήμα συμπιεστή - συμπυκνωτή, που απορρίπτει θερμότητα στο περιβάλλον (ή κατά την αντίστροφη λειτουργία απορροφά θερμότητα).
- Το τμήμα ανεμιστήρα - ατμοποιητή, που απορροφά θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο (ή κατά την αντίστροφη λειτουργία προσδίδει θερμότητα).
- Ο μηχανισμός αντιστροφής, που αποτελείται από μια τετράοδη βαλβίδα, η οποία μετατρέπει τον ψυκτικό κύκλο, σε θερμαντικό (κύκλο θέρμανσης) και αντίστροφα.
- Οι αυτοματισμοί για τον έλεγχο και τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης ή ψύξης.
- Η συμπληρωματική ηλεκτρική αντίσταση, που αυξάνει τη θερμική απόδοση του συστήματος, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή. Μερικές φορές το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με αντιστροφή του κύκλου για περιορισμένο χρόνο.

Κατηγορίες Αντλιών Θερμότητας:

- Αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα, οι οποίες είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος αντλίας θερμότητας.
- Αντλίες θερμότητας νερού-αέρα, οι οποίες βασίζουν το νερό ως πηγή θερμότητας και χρησιμοποιούν το αέρα για τη μετάδοση θερμότητας προς ή από τον κλιματιζόμενο χώρο.
- Αντλία θερμότητας νερού-νερού, οι οποίες χρησιμοποιούν νερό ως πηγή θερμότητας και την αποδίδουν σε νερό εσωτερικού δικτύου.
- Αντλία θερμότητας αέρα-νερού, οι οποίες αντλούν θερμότητας από την ατμόσφαιρα και την αποδίδουν σε νερό εσωτερικού δικτύου.
- Γεωθερμικές Αντλίες θερμότητας (αντλίες εδάφους-αέρα και αντλίες εδάφους-νερού) , όπου η άντληση θερμότητας το χειμώνα και αντίστοιχα η απόρριψη θερμότητας κατά την περίοδο θέρους γίνεται άμεσα με το έδαφος.

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.

Με τη δέσμευση και τη χρήση της ανακτημένης θερμικής ενέργειας από ένα ρεύμα εκροών που διαφορετικά θα απορρίπτονταν στο περιβάλλον, τα συστήματα CHP (ή συμπαραγωγή) μπορούν να λειτουργήσουν σε αποδόσεις αξιοποίησης μεγαλύτερες από αυτές που επιτυγχάνονται όταν η θερμότητα και η ισχύς παράγονται σε ξεχωριστές διαδικασίες, συμβάλλοντας έτσι σε βιώσιμες οικοδομικές λύσεις.[26] Είναι οι πλέον κατάλληλες μονάδες για την περίπτωση σταθερών φορτίων, τόσο ηλεκτρικών όσο και θερμικών. [24]

4.2.2 Συστήματα Ψύξης

Η ανάγκη για ψύξη στα κτίρια δείχνει να αυξάνεται τα τελευταία χρόνια. Αυτό οφείλεται εν μέρει στις ακραίες κλιματικές αλλαγές που βιώνουμε, με την εμφάνιση πιο θερμών καλοκαιριών, στις απαιτήσεις των ατόμων για εσωτερική άνεση, αλλά και στα κτίρια χαμηλού ενεργειακού κώδικα με αυστηρότερες απαιτήσεις για την στεγανότητα και την μόνωση να έχουν επιφέρει σημαντικά φορτία ψύξης κατά τις θερμότερες εποχές.

Υπάρχουν τρεις γενικοί τύποι συστημάτων κλιματισμού, με πολλές διαθέσιμες παραλλαγές για τον κάθε έναν. Είναι τα συγκεντρωμένα (ή κεντρικά) συστήματα αέρα, στα οποία όλα τα φορτία θέρμανσης ή/και ψύξης παράγονται σε ένα κεντρικό δωμάτιο εγκαταστάσεων στο οποίο βρίσκονται η μονάδα επεξεργασίας αέρα και ο ψύκτης ή αντίστοιχα ο θερμαντήρας νερού και οι συνθήκες άνεσης επιτυγχάνονται παρέχοντας μόνο αέρα μέσω αεραγωγών στους κλιματιζόμενους χώρους. Σε χώρους με διαφορετικά φορτία και σε περιπτώσεις οι οποίες απαιτούν ακριβή έλεγχο των συνθηκών χώρου χρησιμοποιείται αναθέρμανση. Υπάρχουν επίσης τα μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα αέρα/νερού, στα οποία ο κεντρικά δροσισμένος ή ζεσταμένος αέρας δροσίζεται ή θερμαίνεται περαιτέρω τη στιγμή που εισέρχεται στα δωμάτια. Και τέλος, τα τοπικά συστήματα, στα οποία όλες οι διαδικασίες εκτελούνται τοπικά, στους χώρους που υπάρχει ανάγκη να κλιματισθούν. [24]

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα ψύξης κτιρίου , αποτελείται από τις εξής συνιστώσες :

1. Κεντρική Μονάδα Παραγωγής Ψύξης
2. Συστήματα Διανομής Ψύξης
3. Τερματικά Σώματα
4. Μονάδα Ελέγχου

Μονάδα Παραγωγής Ψύξης

Οι μηχανικές συσκευές ψύξης (chillers) είναι συνδυασμός συγκεκριμένων συνιστωσών με σκοπό την παραγωγή κρύου νερού ή αέρα για την ψύξη κτηρίων. Λέγονται «ψυκτικά συγκροτήματα». Ο εξοπλισμός που απαρτίζει μία συσκευή ψύξης είναι μια μηχανή η οποία αφαιρεί τη θερμότητα από ένα υγρό μέσω ενός κύκλου ψύξης με συμπίεση ή απορρόφηση.

Κατ' ελάχιστο, και στις δύο περιπτώσεις απαντάται ένας συμπυκνωτής, ένας ατμοποιητής και μία εκτονωτική διάταξη. Επιπλέον, για την περίπτωση κύκλου ψύξης συμπίεσης, θα πρέπει να είναι διαθέσιμος ένας μηχανικός συμπιεστής, ενώ για την περίπτωση του κύκλου απορρόφησης θα πρέπει να είναι διαθέσιμο το σύνολο απορροφητή, γεννήτριας και αντλίας. Πέραν των ανωτέρω συνιστωσών, που σκοπό έχουν την παραγωγή ψύξης, στις συσκευές αυτές θα πρέπει να ενσωματώνονται όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα του ψυκτικού κυκλώματος (κυκλοφορίας του ψυκτικού ρευστού) καθώς και διατάξεις αυτοματισμών λειτουργίας και ασφάλειας.

Η ψύξη δημιουργεί ένα απορριπτόμενο ποσό θερμότητας, το οποίο απορρίπτεται στο περιβάλλον, ή μπορεί επίσης να ανακτηθεί για σκοπούς θέρμανσης για καλύτερη απόδοση του συστήματος.

Συστήματα Διανομής Ψύξης

Η διανομή του ψυχρού αέρα προς τους κλιματιζόμενους χώρους επιτυγχάνεται με το σύστημα διανομής ψύξης τα οποία παραλαμβάνουν την παραγόμενη ψύξη από τη συσκευή ψύξης. Τα συστήματα διανομής αποτελούνται από αεραγωγούς, στόμια προσαγωγής ψυχρού αέρα και επιστροφής κλιματιζόμενου αέρα, φίλτρα αέρα, ανεμιστήρες για την εξασφάλιση της ροής εντός των αεραγωγών, μηχανισμούς ρύθμισης των παροχών αέρα κλπ.

Κύρια παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη για την σωστή σχεδίαση των συστημάτων διανομής ψύξης είναι οι κανονισμοί για τις συνθήκες άνεσης, οι οποίες αναφέρονται στη θερμοκρασία και την υγρασία του κλιματιζόμενου χώρου, τα χαρακτηριστικά της ροής αέρα προς και από αυτόν, τον προκαλούμενο θόρυβο από το σύστημα διανομής και την όποια προκαλούμενη ρύπανση του χώρου.

Ο ψυχρός αέρα μπορεί είτε να παράγεται απευθείας στην κεντρική συσκευή ψύξης με άμεση εκτόνωση του ψυκτικού ρευστού, είτε στα τερματικά κλιματιστικά σώματα με μέσο μεταφορά ψύξης νερό, το οποίο παράγεται σε ψυκτικό συγκρότημα.

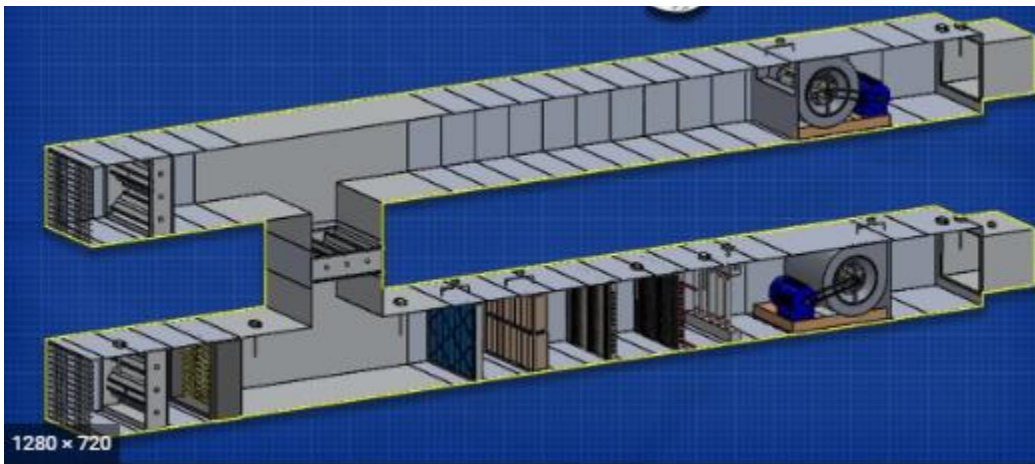
Σκοπός της προσαγωγής και της επιστροφής του αέρα προς και από τον σύστημα διανομής είναι τόσο η παραλαβή της πλεονάζουσας θερμικής ισχύος από τον κλιματιζόμενο χώρο, αλλά και η παροχή νωπού

αέρα στον εσωτερικό χώρο για την ικανοποίηση των απαιτήσεων ανανέωσης του αέρα για λόγου υγιεινής.

Επειδή τα θερμικά κέρδη και οι απαιτήσεις ψύξης διαφέρουν ανάλογα με τον χρόνο, είναι απαραίτητος ένας μηχανισμός για τη μεταβολή της θερμότητας που αφαιρείται από τον χώρο από τον αέρα τροφοδοσίας.

Μονάδα Διαχείρισης Αέρα (Air Handling Unit – AHU)

Για την ρύθμιση, την κυκλοφορία και την διανομή του αέρα σε ένα κτίριο χρησιμοποιείται μια μονάδα διαχείρισης του αέρα (Air Handling Unit – AHU) , που αποτελεί μέρος ενός συστήματος HVAC. Παίρνει φρέσκο αέρα περιβάλλοντος από έξω, φιλτράρεται, θερμαίνεται ή ψύχεται και στην συνέχεια μέσω αγωγών διανέμεται στους χώρους του κτιρίου. Η μονάδα διαχείρισης του αέρα μπορεί να είναι σχεδιασμένη ώστε να παρέχει σταθερό ή μεταβλητό όγκο αέρα για διανομή αέρα χαμηλής, μεσαίας ή υψηλής ταχύτητας. Αποτελείται από έναν ανεμιστήρα και συνδυασμούς σπειρών θέρμανσης και δροσισμού, φίλτρων, υγραντών και αποσβεστήρων ελέγχου. Ο εξοπλισμός τοποθετείται έξω από την κλιματιζόμενη περιοχή, σε ένα κεντρικό δωμάτιο εγκαταστάσεων, με τον κύριο εξοπλισμό θέρμανσης και ψύξης τοποθετημένους σε γειτονικές θέσεις. Οι περισσότερες μονάδες έχουν έναν επιπλέον αγωγό για να τραβήξουν έπειτα τον χρησιμοποιημένο αέρα από τον κλιματιζόμενο χώρο, πίσω στο AHU, όπου με την βοήθεια ενός ανεμιστήρα επιστρέφει πίσω στην ατμόσφαιρα. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο αέρας επιστροφής ενδέχεται να ανακυκλοφορήσει πίσω στην κλιματιζόμενη περιοχή για εξοικονόμηση ενέργειας, διαφορετικά τροφοδοτείται με την εισαγωγή φρέσκου αέρα. [27]

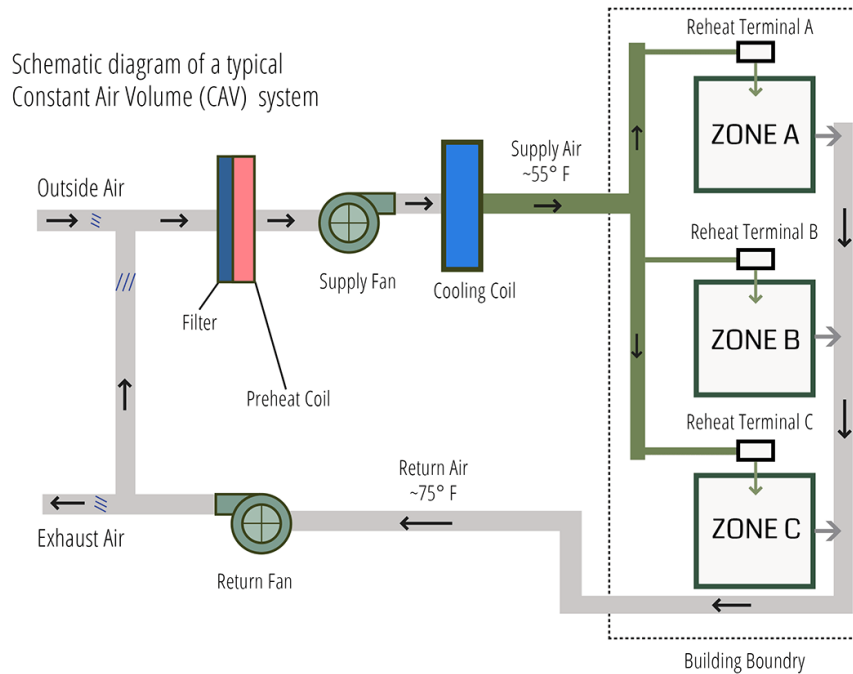


Εικόνα 6 : Μονάδα Διαχείρισης Αέρα - AHU [27]

4.2.3 Συστήματα σταθερής παροχής αέρα (Constant Air Volume – CAV)

Τα συστήματα σταθερής παροχής αέρα είναι συστήματα απλούστερης εγκατάστασης και λειτουργίας και χαμηλού κόστους, ωστόσο δεν συνηθίζεται η εγκατάστασή τους σε νέα κτίρια. Δεν μπορούν να

ικανοποιήσουν τις ανάγκες ελέγχου για τις διαφορετικές ανάγκες θέρμανσης ή ψύξης που παρουσιάζει κάθε ζώνη με αποτέλεσμα την απαίτηση εισαγωγής διάφορων διαιρούμενων συστημάτων για την εξυπηρέτηση των διαφορετικών ζωνών αυξάνοντας έτσι τις δαπάνες αγοράς και τον απαραίτητο χώρο της εγκατάστασης. Όλοι οι χώροι είναι συνδεδεμένοι με τον κύριο αγωγό και η μόνη μορφή ελέγχου θερμοκρασίας είναι στην μονάδα διαχείρισης του αέρα (AHU). Ωστόσο ο σχεδιασμός ενός συστήματος CAV θα μπορούσε να λειτουργήσει πολύ καλά εάν όλα τα δωμάτια είναι παρόμοια κατάσταση και έχουν τις ίδιες απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης.



Εικόνα 7 : Σύστημα σταθερής παροχής αέρα - CAV [28]

4.2.4 Συστήματα μεταβαλλόμενης παροχής αέρα (VAV)

Τα συστήματα μεταβλητής παροχής αέρα (VAV) μπορούν να ικανοποιήσουν τις διαφορετικές απαιτήσεις κάθε θερμικής ζώνης, ελέγχοντας την θερμοκρασία ενός χώρου μεταβάλλοντας την ποσότητα παροχής αέρα και όχι μεταβάλλοντας την θερμοκρασία του αέρα τροφοδοσίας.

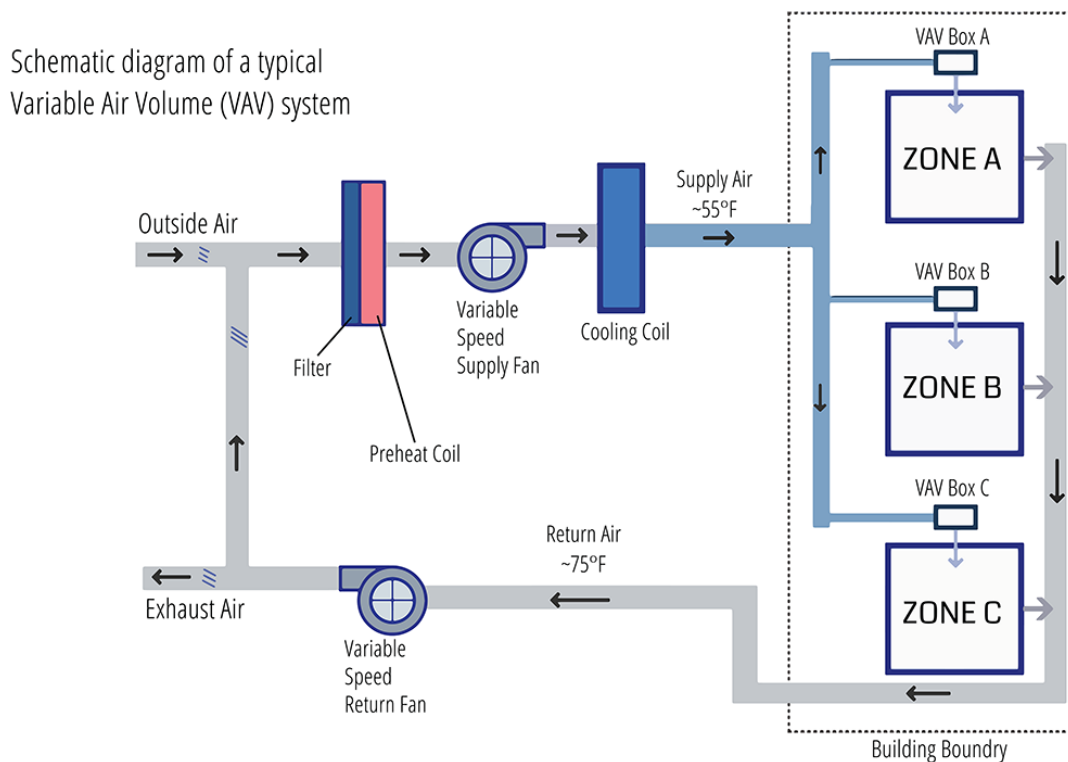
Εφαρμογές των συστημάτων VAV εμφανίζονται σε χώρους όπου έχουμε διακύμανση φορτίων, όπως γραφεία, πολυκαταστήματα, αμφιθέατρα κλπ.

Ο αέρας τροφοδοσίας ερχόμενος από τον αγωγό τροφοδοσίας ενός συστήματος VAV, θέρμανσης ή ψύξης, εκκενώνεται στα διάφορα κιβώτια τερματικών VAV (VAV boxes) μέσω εύκαμπτων ή συνδεδεμένων αγωγών. Σύμφωνα με την κατάσταση του χώρου και τις απαιτήσεις φορτίου διαμορφώνεται ο ρυθμός ροής του όγκου αέρα. Ο έλεγχος και η διαμόρφωση της ροής επιτυγχάνεται από το κιβώτιο VAV, το οποίο αποτελείται από ένα βαθμονομημένο αποσβεστήρα αέρα με αυτόματο

ενεργοποιητή. Ο όγκος του αέρα στη ζώνη ρυθμίζεται δηλαδή ανοίγοντας ή κλείνοντας ένα αποσβεστήρα. Ο διαμορφωμένος αέρας από το κιβώτιο VAV στη συνέχεια ρέει σε έναν ή περισσότερους διαχύτες (diffusers) υποδοχής μέσω το αγωγού και τροφοδοτείται στις διάφορες υποδιαιρεμένες ζώνες.

Κρίσιμος είναι επίσης ο έλεγχος της χωρητικότητας του ανεμιστήρα του συστήματος στα συστήματα VAV. Χωρίς κατάλληλο και γρήγορο έλεγχο ρυθμού ροής, ο αγωγός του συστήματος ή η στεγανοποίησή του μπορεί εύκολα να υποστεί βλάβη λόγω υπερπίεσης. Στον τρόπο λειτουργίας ψύξης, καθώς ικανοποιείται η θερμοκρασία στο χώρο, ένα κουτί VAV κλείνει για να περιορίσει τη ροή του ψυχρού αέρα στο χώρο. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται στο χώρο, το κουτί ανοίγει για να επαναφέρει τη θερμοκρασία. Ο ανεμιστήρας διατηρεί σταθερή στατική πίεση στον αγωγό εκκένωσης ανεξάρτητα από τη θέση του κουτιού VAV. Επομένως, καθώς τα κουτιά κλείνουν, ο ανεμιστήρας επιβραδύνει ή περιορίζει την ποσότητα αέρα που εισέρχεται στον αγωγό τροφοδοσίας. Καθώς ανοίγουν τα κουτιά, ο ανεμιστήρας επιταχύνει και επιτρέπει περισσότερη ροή αέρα στον αγωγό, διατηρώντας μια σταθερή στατική πίεση.

Μία από τις προκλήσεις για τα συστήματα VAV είναι η παροχή επαρκούς ελέγχου θερμοκρασίας για πολλές ζώνες με διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Τα συστήματα διπλού αγωγού παρέχουν δροσερό αέρα σε έναν αγωγό και ζεστό αέρα σε έναν δεύτερο αγωγό για την παροχή κατάλληλης θερμοκρασίας μικτού αέρα παροχής για οποιαδήποτε ζώνη. Ένας επιπλέον αγωγός, ωστόσο, είναι δυσκίνητος και ακριβός. Για τον λόγο αυτό επιλέγεται συνήθως η θέρμανση του αέρα από έναν μόνο αγωγό, χρησιμοποιώντας ηλεκτρική θέρμανση (σπείρες θέρμανσης) ή ζεστό νερό, αποτελώντας πιο οικονομική λύση. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται συστήματα VAV με αναθέρμανση.



Εικόνα 8: Σύστημα μεταβαλλόμενης παροχής αέρα [28]

4.2.5 Συστήματα αέρα-νερού

Με τα συστήματα αέρα-νερού, οι συνθήκες άνεσης επιτυγχάνονται παρέχοντας στους χώρους αέρα και νερό κατάλληλης θερμοκρασίας και παροχής. Η ψύξη και η θέρμανση του αέρα και του νερού παράγονται χρησιμοποιώντας μια κεντρική μονάδα διαχείρισης του αέρα (AHU), αλλά ο περαιτέρω κλιματισμός του δωματίου μπορεί να είναι τοπικά ελεγχόμενος.

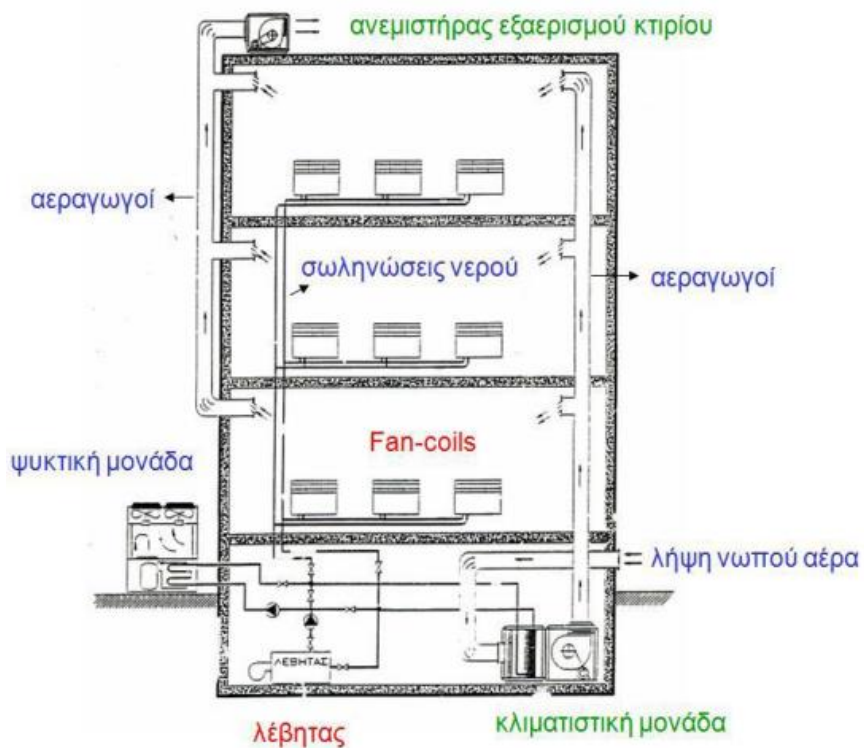
Στα συστήματα αυτά παρέχεται κλιματισμένος αέρας και ψυχρό ή θερμό νερό σε κατάλληλες τερματικές συσκευές, οι οποίες είναι εγκατεστημένες στους χώρους του κτιρίου. Απαιτείται επομένως η εγκατάσταση ενός δικτύου αεραγωγών και ενός δικτύου σωληνώσεων νερού. Σε πολλές περιπτώσεις η παροχή του αέρα στους χώρους γίνεται έξω από τις τερματικές συσκευές (π.χ. Fan-coils) με ανεξάρτητο δίκτυο αεραγωγών.

Το τμήμα του αέρα ενός συστήματος αέρα-νερού αποτελείται από την κεντρική κλιματιστική συσκευή, το δίκτυο αεραγωγών και τις τερματικές μονάδες των χώρων. Ο αέρας προσαγωγής από την κεντρική κλιματιστική συσκευή στους χώρους είναι υπό σταθερή παροχή και ονομάζεται πρωτεύον αέρα σε αντιαδιαστολή προς τον αέρα των χώρων ο οποίος κυκλοφορεί συνεχώς δια του στοιχείου της τερματικής μονάδας. Η παροχή του πρωτεύοντος αέρα καθορίζεται κυρίως από τις ανάγκες για ανανέωση του αέρα αλλά και από το φορτίο του χώρου. Κατά το θέρος γίνεται επαρκής αφύγρανση στην κεντρική κλιματιστική συσκευή, ώστε να επιτυγχάνεται η υγρασία άνεσης στους κλιματιζόμενους χώρους και ώστε να αποφεύγεται η συμπύκνωση στα ψυκτικά στοιχεία των χώρων. Κατά τον χειμώνα ο πρωτεύων αέρας υγραίνεται στην κεντρική κλιματιστική συσκευή.

Το τμήμα νερού του συστήματος αποτελείται από την αντλία κυκλοφορίας και το δίκτυο σωληνώσεων από το οποίο προσάγεται το νερό από τον κεντρικό σταθμό στη συσκευή συναλλαγής θερμότητας των τερματικών μονάδων, η οποία μπορεί να είναι :

- Ψυκτικό ή θερμαντικό στοιχείο ενσωματωμένο στην τερματική μονάδα του αέρα.
- Μονάδα εντελώς ανεξάρτητη του προσαγόμενου αέρα.
- Στοιχείο τοπικής κλιματιστικής μονάδας (fan-coil unit), στην οποία ο αέρας είναι δυνατό είτε να προσάγεται είτε όχι.

Ο λόγος για τη χρήση νερού σε συστήματα θέρμανσης ή ψύξης είναι η ειδική θερμοχωρητικότητά του που είναι περίπου 4 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του αέρα, σε συνδυασμό με τον αυξημένο συντελεστή μετάδοσης θερμότητας, ο οποίος είναι 20 με 80 φορές μεγαλύτερος από αυτόν του αέρα (σε εξαναγκασμένη συναγωγή). Κατά συνέπεια, η διατομή του σωλήνα μεταφοράς νερού είναι κατά πολύ μικρότερη από τη διατομή του αεραγωγού που θα ήταν απαραίτητη για το ίδιο ψυκτικό φορτίο και έτσι το κύκλωμα διανομής ενός συστήματος αέρα-νερού καταλαμβάνει μικρότερο χώρο από το κύκλωμα διανομής του ισοδύναμου συστήματος αέρα.



Εικόνα 9 : Σύστημα αέρα-νερού

4.2.6 Συστήματα Μεταβλητής Ροής Ψυκτικού Μέσου (Variable Refrigeration Flow – VRF)

Το σύστημα μεταβλητής ροής ψυκτικού μέσου (VRF) πρόκειται για ένα καινοτόμο σύστημα κλιματισμού το οποίο μεταβάλλει τη ροή του ψυκτικού προς τις εσωτερικές μονάδες με βάση τη ζήτηση.

Το βασικό χαρακτηριστικό που καθιστά την εγκατάσταση ενός συστήματος μεταβλητής ροής ψυκτικού μέσου ελκυστική όσον αφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας είναι η «ελαστική» συμπεριφορά του όταν μεταβάλλεται το απαιτούμενο φορτίο, και το καθιστά ιδανικό για χώρους όπου το απαιτούμενο φορτίο δεν είναι συνεχώς το ίδιο αλλά μεταβάλλεται συνεχώς και όπου απαιτείται ο διαχωρισμός του χώρου σε θερμικές ζώνες. Εκτός από την παροχή ανώτερης άνεσης, τα συστήματα VRF προσφέρουν ευελιξία σχεδιασμού, εξοικονόμηση ενέργειας και οικονομική σχέση εγκατάστασης. Τα συστήματα VRF επιτυγχάνουν έλεγχο θερμοκρασίας σε κάθε ζώνη κυρίως με χρήση ελέγχου από πλευράς ψυκτικού μέσου. Οι εσωτερικές μονάδες αντιδρούν συνεχώς σε αλλαγές στα φορτία θέρμανσης / ψύξης της ζώνης και διατηρούν συνθήκες ελέγχοντας την υπερθέρμανση στόχου με ηλεκτρονική βαλβίδα εκτόνωσης ή γραμμική βαλβίδα διαστολής.

Η εξωτερική μονάδα διαθέτει έναν ή περισσότερους συμπιεστές που κινούνται με αντιστροφή, οπότε η ταχύτητά τους μπορεί να μεταβάλλεται αλλάζοντας τη συχνότητα της παροχής ισχύος στον συμπιεστή.

Καθώς αλλάζει η ταχύτητα του συμπιεστή, το ίδιο συμβαίνει και με την ποσότητα ψυκτικού που παρέχεται από τον συμπιεστή.

Τα συστήματα VRF διατίθενται είτε ως συστήματα αντλίας θερμότητας (όπου απαιτείται είτε θέρμανση είτε ψύξη) είτε ως συστήματα ανάκτησης θερμότητας για εκείνες τις εφαρμογές όπου απαιτείται ταυτόχρονη θέρμανση και ψύξη. Όλες οι εσωτερικές μονάδες που είναι συνδεδεμένες σε ένα σύστημα αντλίας θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιούν μεμονωμένα σημεία ελέγχου και ρύθμισης, αλλά λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο είτε θέρμανσης είτε ψύξης ανά πάσα στιγμή. Οι μονάδες ανάκτησης θερμότητας είναι συστήματα αντλίας θερμότητας που μπορούν να παρέχουν ταυτόχρονη θέρμανση και ψύξη. Όλες οι εσωτερικές μονάδες που είναι συνδεδεμένες σε σύστημα ανάκτησης θερμότητας όχι μόνο μπορούν να χρησιμοποιήσουν ατομικά στοιχεία ελέγχου και σημεία ρύθμισης, αλλά μπορούν επίσης να λειτουργούν μεμονωμένα σε λειτουργία θέρμανσης ή ψύξης ανά πάσα στιγμή.

Η αποτελεσματική διατήρηση των συνθηκών άνεσης μπορεί να είναι δύσκολη για τα συστήματα HVAC κατά τη διάρκεια των εποχών «ώμου», συνήθως περιόδους κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και της άνοιξης, όταν απαιτείται θέρμανση και ψύξη. Η ιδανική μετάβαση από τη λειτουργία κυρίως θέρμανσης σε λειτουργία ψύξης, ή το αντίστροφο, καθορίζεται συχνά από μια προκαθορισμένη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Πολλά παραδοσιακά ενιαία συστήματα HVAC λειτουργούν ταυτόχρονα συστήματα θέρμανσης και ψύξης για παρατεταμένες περιόδους κατά τη διάρκεια των ωμών, παρέχοντας θέρμανση και ψύξη μέσω ενός δικτύου τεσσάρων σωλήνων. Με αποκεντρωμένα συστήματα όπως το VRF, τα κτίρια μπορούν να χωριστούν έτσι ώστε η εναλλαγή να είναι απρόσκοπτη και να διατηρείται η άνεση.

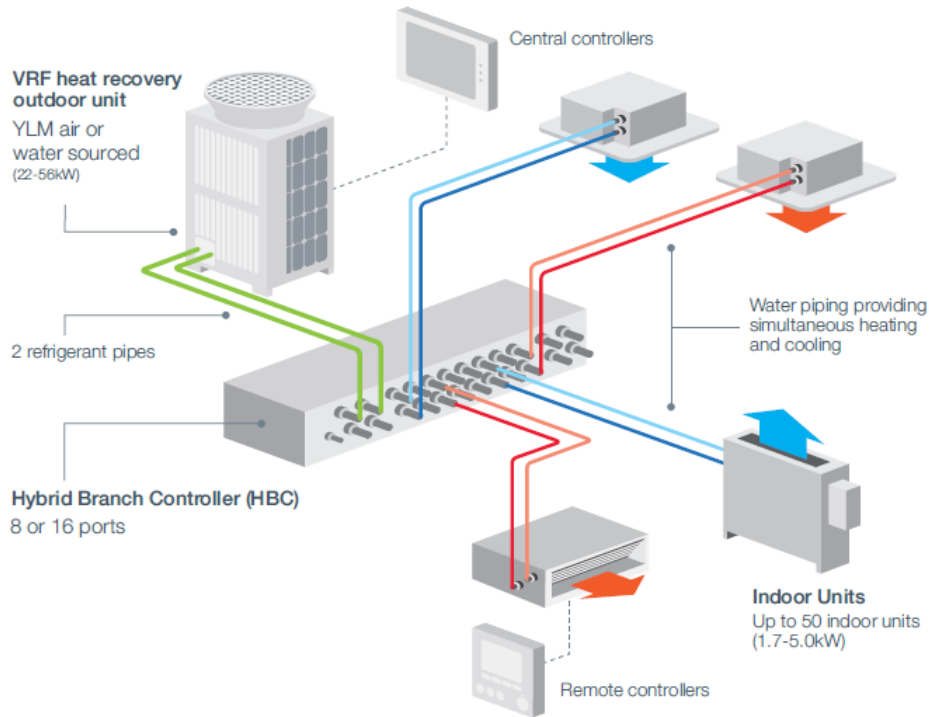
Κατάλληλες πληροφορίες για τα συστήματα VRF, για τον σχεδιασμό, την κατασκευή, τη δοκιμή, την εγκατάσταση, την λειτουργία και την επιθεώρηση του συστήματος, παρέχουν δύο πρότυπα της ASHRAE. Το πρότυπο *ANSI/ASHRAE Standard 15* [29], ακολουθεί μια δυναμική προσέγγιση στο σχεδιασμό του συστήματος και καθορίζει τον ασφαλή σχεδιασμό, κατασκευή, εγκατάσταση και λειτουργία του συστήματος. Ορίζει δηλαδή τις απαιτήσεις ασφαλείας. Το πρότυπο *ANSI/ASHRAE Standard 34* [30], παραθέτει τις πιο πρόσφατες πληροφορίες που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του ψυκτικού μέσου, τις ταξινομήσεις ασφαλείας και τα όρια συγκέντρωσης (RCL). Αναφέρεται επίσης σε κοινά ονόματα ψυκτικών που χρησιμοποιούνται στα διάφορα συστήματα HVAC, αντί να χρησιμοποιούν τη χημική ονομασία τους.

Τα συστήματα VRF χρησιμοποιούν συνήθως το ψυκτικό μέσο R-410A το οποίο είναι ενεργειακά αποδοτικό ψυκτικό, χαμηλής τοξικότητας και δεν είναι εύφλεκτο. Ωστόσο, έχει σχετικά υψηλό GWP και έτσι συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη όταν ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Καθώς η Ευρώπη και ο υπόλοιπος κόσμος στοχεύει στην μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μέσω εφαρμογής κανονισμών, μεταβαίνουν μακριά από το ψυκτικό R-410A, και κυκλοφόρησε μια νέα σειρά συστημάτων VRF με χρήση ψυκτικού R32, παρέχοντας μια πραγματική λύση που προσφέρει υψηλή λειτουργική απόδοση ενώ ελαχιστοποιεί το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη των ψυκτικών που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα συστήματα. Στην πραγματικότητα, η μετάβαση από το R410A στο R32 πραγματοποιεί μια τεράστια μείωση 66% του δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Η τελευταία τεχνολογία VRF, τα υβριδικά VRF (Hybrid VRF- HVRF), λειτουργεί σε ένα σύστημα ανάκτησης θερμότητας δύο σωλήνων με νερό μεταξύ του υβριδικού συστήματος διακλάδωσης (HBC – Hybrid Branch Circuit) και των εσωτερικών μονάδων. Το γεγονός ότι αυτό το υβριδικό σύστημα αφαιρεί εντελώς το ψυκτικό από τους αγωγούς που βρίσκονται στους κατειλημμένους χώρους του κτιρίου, ελαχιστοποιεί

την ανάγκη για ακριβή και συνεχή εξυπηρέτηση ανίχνευσης διαρροών, και επιτρέπει τον καλύτερο έλεγχο της θερμοκρασίας στους χώρους.

Hybrid VRF System Example



Εικόνα 10 : Σύστημα Hybrid VRF [31]

4.3 Συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Σήμερα, έχουμε την τεχνογνωσία, την εμπειρία και την τεχνολογία για να αξιοποιήσουμε τις άφθονες διαθέσιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) και να παρέχουμε την ενέργεια με αποτελεσματικό τρόπο.

Η ηλιακή ενέργεια είναι μία από τις σημαντικότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιείται στα κτίρια μηδενικής ενέργειας. Μια άλλη δημοφιλής επιλογή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας είναι η γεωθερμική ενέργεια. Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που βοηθά στη σημαντική μείωση του κόστους θέρμανσης και ψύξης.

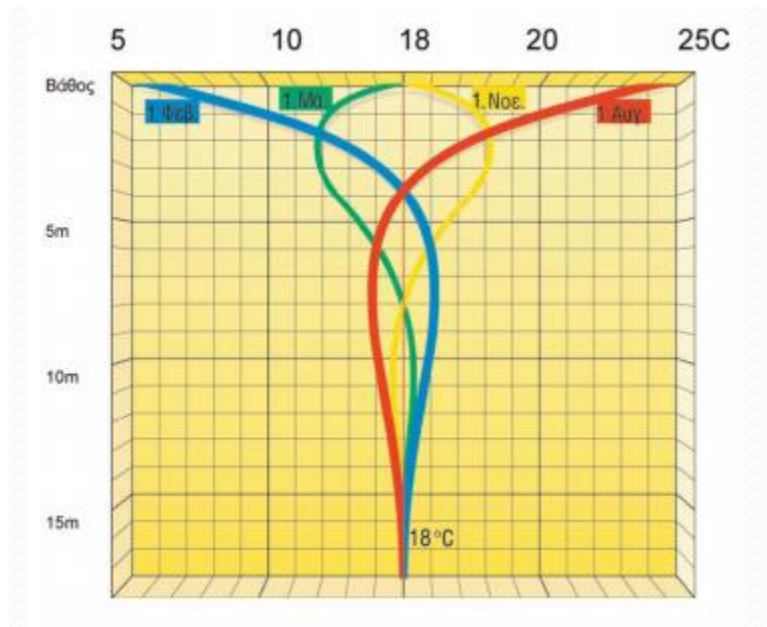
4.3.1 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (Ground Source Heat Pumps-GSHP)

Οι αντλίες θερμότητας εδάφους ή γεωθερμίας, είναι μια εξαιρετικά αποτελεσματική, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας για θέρμανση και ψύξη χώρου καθώς και ζεστού νερού χρήσης. Οι γεωθερμικές αντλία θερμότητας λαμβάνουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της δυνατότητας τους να μειώσουν την

κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και έτσι να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Παρέχουν επίσης υψηλά επίπεδα άνεσης και χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας εξάγουν ανανεώσιμη ενέργεια από τη θερμότητα που υπάρχει στο έδαφος, χρησιμοποιώντας τη σταθερή θερμοκρασία της γης ως μέσο ανταλλαγής αντί της εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα μπορεί να μεταφέρει θερμότητα που είναι αποθηκευμένη στο έδαφος για θέρμανση, και κατά την διάρκεια του καλοκαιριού να εξάγει θερμότητα από το κτίριο και να την αποδίδει στο περιβάλλον.

Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια της Γης, η θερμοκρασία του εδάφους είναι σταθερή στους 18 βαθμούς Κελσίου. Το έδαφος είναι δηλαδή πιο ζεστό στα μέσα του χειμώνα και πιο δροσερό στα μέσα του καλοκαιριού από τον εξωτερικό αέρα. Έτσι, το έδαφος είναι μια αποτελεσματική πηγή θερμότητας. Αν συνεπώς εκμεταλλευτούμε τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ υπέρδαφους και επιφάνειας, μπορούμε να θερμαίνουμε χώρους το χειμώνα και να ψύξουμε αντίστοιχα το καλοκαίρι.

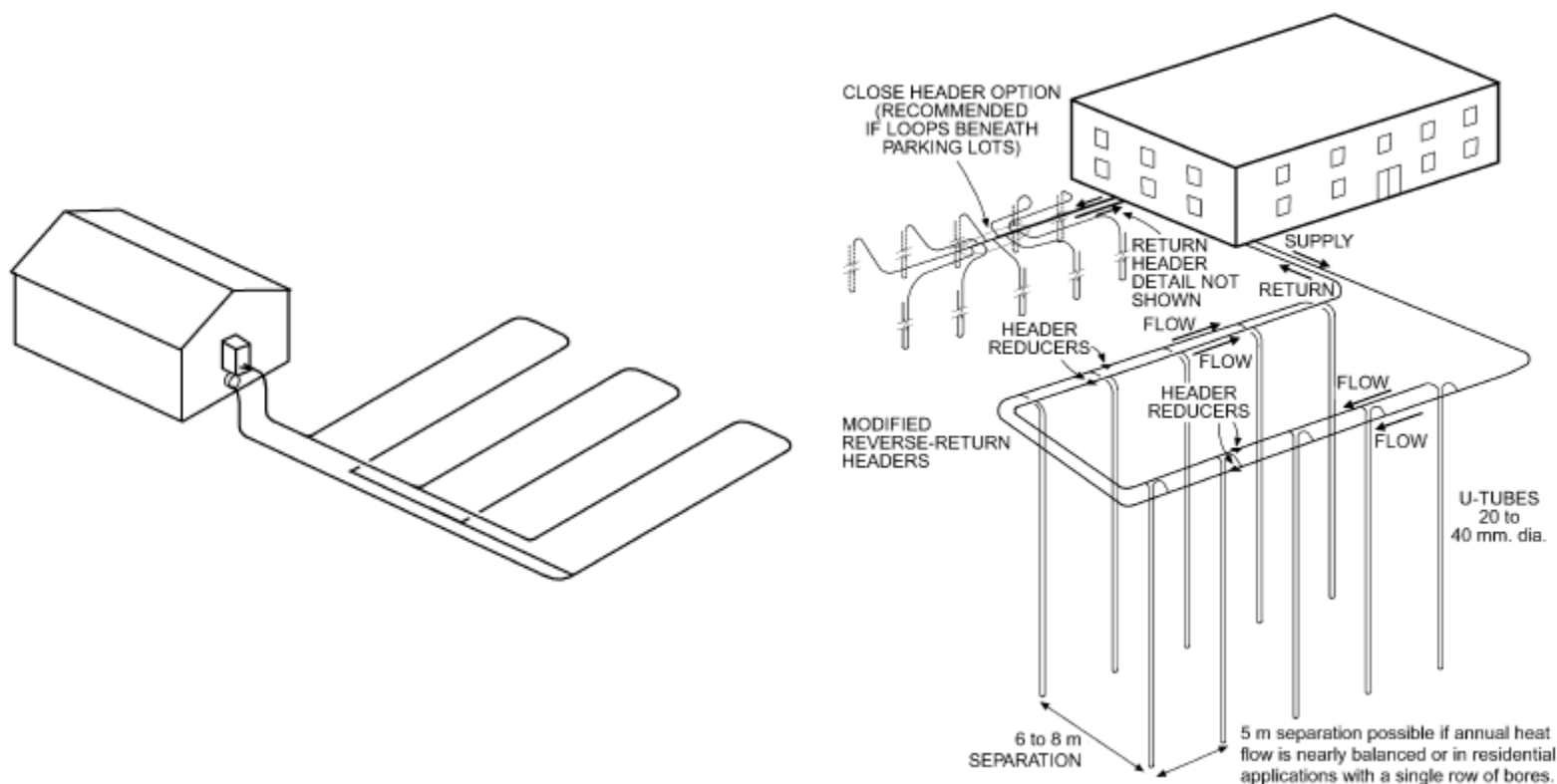


Διάγραμμα 8 : Μηνιαία Θερμοκρασιακή Διακύμανση Εδάφους [32]

Το σύστημα περιλαμβάνει τρία βασικά χαρακτηριστικά :

1. Σύστημα εναλλαγής θερμότητας εντός του εδάφους, το οποίο είναι είτε γεωεναλλάκτης θερμότητας είτε υδρογεώτρηση. Ένας κάθετος ή οριζόντιος συλλέκτης τοποθετείται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και συνδέεται στην μονάδα αντλίας θερμότητας.
2. Γεωθερμική αντλία θερμότητας. Για θέρμανση μια γεωθερμική αντλία θερμότητας αφαιρεί τη θερμότητα, τη συμπυκνώνει και στη συνέχεια τη μεταφέρει στο κτίριο. Για ψύξη η διαδικασία αντιστρέφεται εξάγοντας θερμότητα από το κτίριο και την αποδίδει στο περιβάλλον.
3. Σύστημα κατανομής της θερμότητας

Το σύστημα απορροφά τη θερμότητα σε επίπεδο χαμηλής θερμοκρασίας και την απορρίπτει σε υψηλότερο επίπεδο θερμοκρασίας. Οι ΓΑΘ χρησιμοποιούν τη θερμική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στη γη μέσω δύο κύριων διαφορετικών γεωμετριών των κυκλωμάτων, κάθετα ή οριζόντια συστήματα ανταλλαγής θερμότητας που είναι θαμμένα στο έδαφος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4. Το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει τόσο ως σύστημα ψύξης όσο και ως σύστημα θέρμανσης και με τη δυνατότητα απόκτησης συστημάτων ΓΑΘ διπλής λειτουργίας χρησιμοποιώντας μια βαλβίδα αναστροφής για εναλλαγή μεταξύ τρόπων θέρμανσης και ψύξης, αναστρέφοντας την κατεύθυνση ροής ψυκτικού.



Σχήμα 4 : Κάθετα και οριζόντια συστήματα συναλλαγής θερμότητας [34]

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας σύμφωνα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται έχουν ομαδοποιηθεί σύμφωνα με την ASHRAE, σε τρεις κατηγορίες : [33] [34]

1. Συστήματα Αντλίας θερμότητας υπόγειου νερού (Ground Water Heat Pump-GWHP) επίσης γνωστά ως συστήματα ανοικτού βρόχου. Πρόκειται για κατακόρυφα συστήματα ΓΑΘ, τα οποία περιλαμβάνουν αντλίες φρεατίων για την παροχή υπόγειου νερού στην αντλία θερμότητας ή απευθείας στις εφαρμογές. Ο σχεδιασμός βασίζεται στη γνώση ορισμένων συνθηκών που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα υπόγειων υδάτων και τη χημική του ποιότητα. Είναι ενδιαφέροντα συστήματα ως προς το χαμηλό κόστος τους, την απλότητα τους και την απαίτηση μικρής έκτασης. Τα μειονεκτήματα και τα προβλήματα

τους σχετίζονται με την πιθανή περιορισμένη διαθεσιμότητα και την κακή χημική ποιότητα και με την απόσυρση και την έγχυση υπόγειου νερού.

2. Συστήματα Αντλίας θερμότητας επιφανειακού νερού (Surface Water Heat Pump-SWHP)
Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Σε συστήματα κλειστού βρόχου στον οποίο το σύστημα απόρριψης-εξαγωγής θερμότητας τοποθετείται σε βελτιστοποιημένο βάθος μέσα σε μια λίμνη, δεξαμενή ή ανοιχτό κανάλι και σε συστήματα ανοικτού βρόχου, στον οποίο χρησιμοποιείται η περιοχή εισαγωγής που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή νερού από το σώμα επιφανειακών υδάτων. Στη συνέχεια, το νερό αποβάλλεται σε έναν υποδοχέα.
3. Αντλία θερμότητας συνδεδεμένης εδάφους (Ground-coupled Heat Pump-GCHP)
Συστήματα αντλίας θερμότητας συνδεδεμένα με το έδαφος, γνωστά ως συστήματα ΓΑΘ κλειστού βρόχου. Αναπτύχθηκαν κατά τη δεκαετία του 1970 με το πλεονέκτημα να ξεπεράσουν τα προβλήματα που σχετίζονται με την ποιότητα και τη διαθεσιμότητα των υπόγειων υδάτων. Επιπλέον, χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια άντλησης από τα προηγούμενα συστήματα λόγω της μικρότερης απαιτούμενης ανύψωσης. Σε αυτά τα συστήματα, η απόρριψη θερμότητας και η εκχύλιση επιτυγχάνεται με έναν εναλλάκτη θερμότητας σωλήνα πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας που είναι θαμμένος σε κατακόρυφες οπές ή οριζόντιες τάφρους. Αυτό το υγρό που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι νερό ή αντιψυκτικό διάλυμα. Ένα μειονέκτημα αυτού του συστήματος είναι μια λιγότερο σταθερή θερμοκρασία πηγής θερμότητας και μια μεταβλητή COP κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης.

Τα σχήματα των πιο πάνω συστημάτων φαίνονται στο πιο κάτω σχήμα

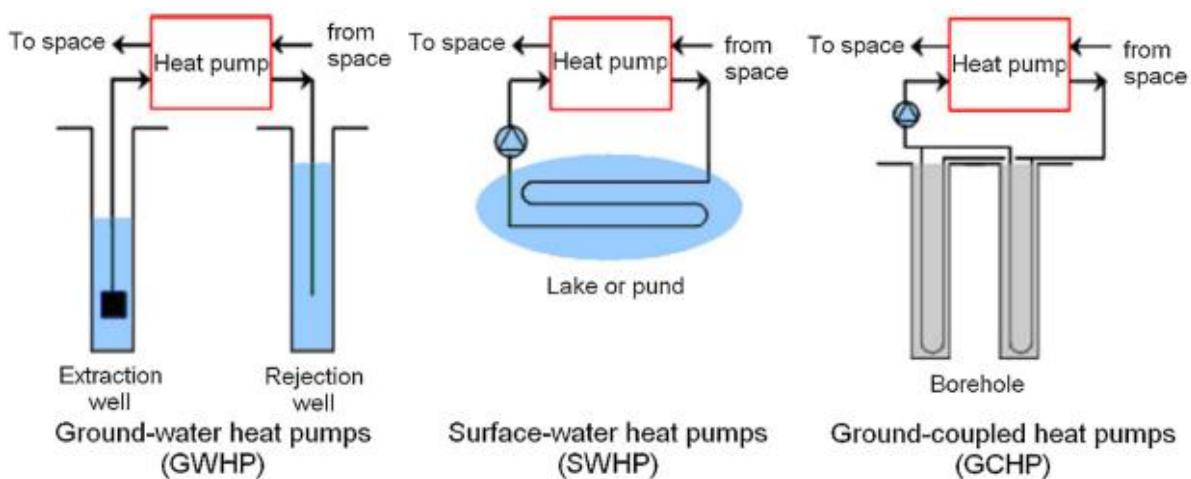


Fig. 3. Schematics of different ground-source heat pumps.

Εικόνα 11 : Συστήματα γεωθερμικών αντλιών [35]

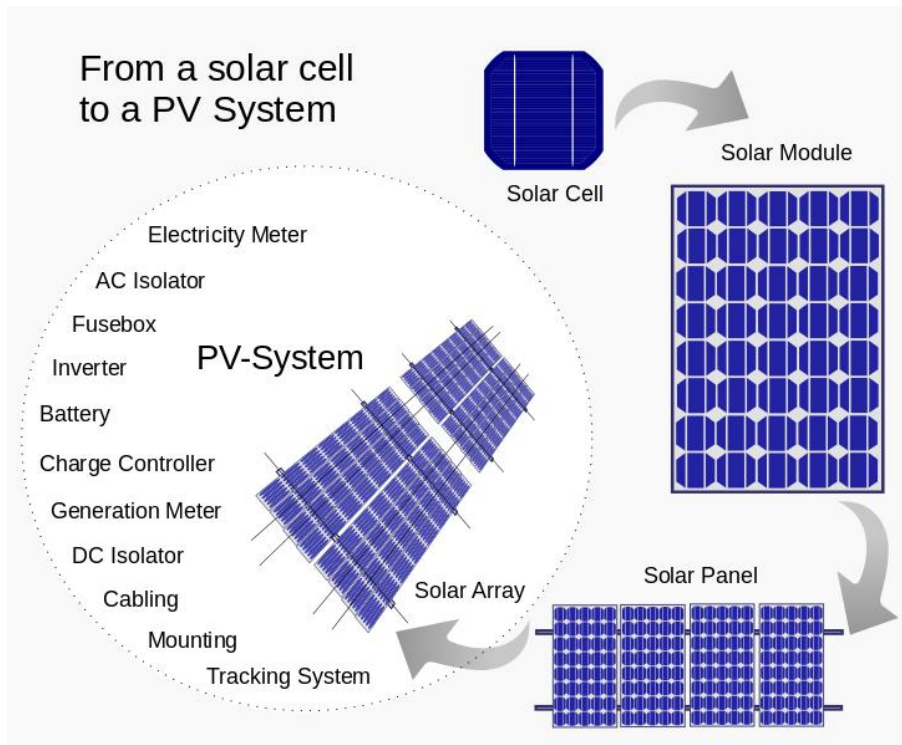
Σημαντικό ρόλο στην απόδοση ενός συστήματος έχει και η κλιματική ζώνη όπου είναι εγκατεστημένο. Στην Ελλάδα, για ήπιες κλιματικά περιοχές, όπως είναι αυτές που ανήκουν στην κλιματική Ζώνη Α, η απόδοση των συστημάτων ΓΑΘ είναι μεγαλύτερη κατά την περίοδο θέρμανσης, όμως σε αυτές τις

περιοχές η περίοδος θέρμανσης έχει μικρή διάρκεια. Αντιθέτως, στις ψυχρότερες περιοχές (Κλιματικές Ζώνες Γ & Δ) τα συστήματα έχουν μικρότερο COP για την ίδια ισχύ συστήματος ΓΑΘ, ενώ η περίοδος θέρμανσης είναι σαφώς μεγαλύτερη. Στις παραπάνω περιπτώσεις τα συστήματα ΓΑΘ είναι αποδοτικά και υπερτερούν σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης. Η εφαρμογή συστημάτων ΓΑΘ με υψηλή απόδοση έχει ως αποτέλεσμα τη μέγιστη εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση και ψύξη χώρων, αλλά και τη μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Ο συντελεστής COP των ΓΑΘ ορίζεται ως ο λόγος της αποδιδόμενης ενέργειας προς την ηλεκτρική κατανάλωση και αφορά σε μια συγκεκριμένη στιγμή, ή συνθήκες. Ο εποχιακός συντελεστής απόδοσης SPF είναι το ολοκλήρωμα του COP κατά την περίοδο θέρμανσης και ψύξης. Τυπικές τιμές των COP για συνδυασμό της αντλίας θερμότητας με γεωεναλλάκτη θερμότητας και ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης είναι μεταξύ 3,5 και 5,0. Στην περίπτωση που η αντλία θερμότητας συνδέεται με ανοικτό σύστημα δηλαδή με υδρογεώτρηση, οι τυπικές τιμές των COP είναι μεταξύ 4,0 και 6,5.

4.3.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

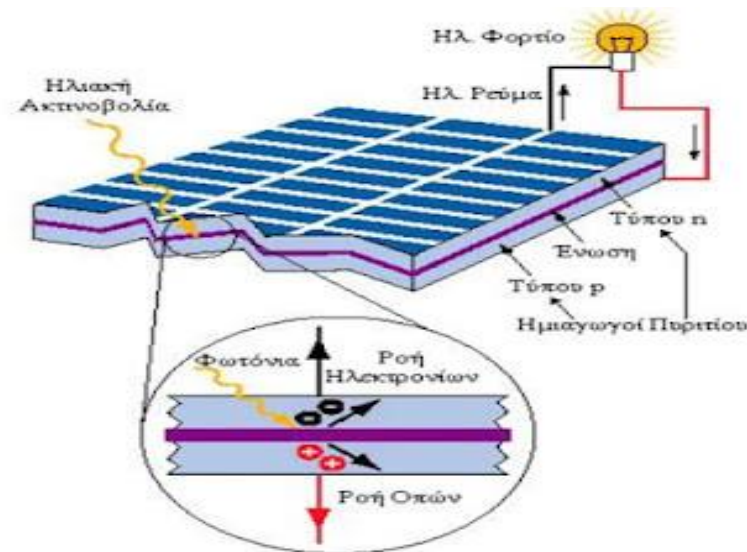
Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα αποτελούν μια από τις εφαρμογές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, με τεράστιο ενδιαφέρον για την Ελλάδα. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν το φως από τον ήλιο απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, και αποτελούν το πιο διαδεδομένο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμη πηγή.

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (PV) αποτελείται από έναν ή περισσότερους ηλιακούς συλλέκτες σε συνδυασμό με έναν μετατροπέα και ηλεκτρομηχανικό εξοπλισμό που τροφοδοτείται από ενέργεια. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι υπεύθυνα για την ορθή απορρόφηση των ηλιακών ακτινοβολιών και την αποστολή τους στον ειδικό μετατροπέα, ο οποίος μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια και είναι υπεύθυνος για την αποστολή της ενέργειας. Η ενέργεια αυτή μπορεί είτε να σταλεί απευθείας για την κάλυψη φορτίων, ή να σταλεί στην μπαταρία η οποία ευθύνεται για την ορθή αποθήκευση της ενέργειας, σε περιπτώσεις που η ηλιακή ακτινοβολία αδυνατεί να φορτίσει ολοκληρωμένα το φωτοβολταϊκό σύστημα όπως για παράδειγμα σε μέρες με συνεφιά ή βροχοπτώσεις.



Εικόνα 12 : Φωτοβολταϊκό Σύστημα [36]

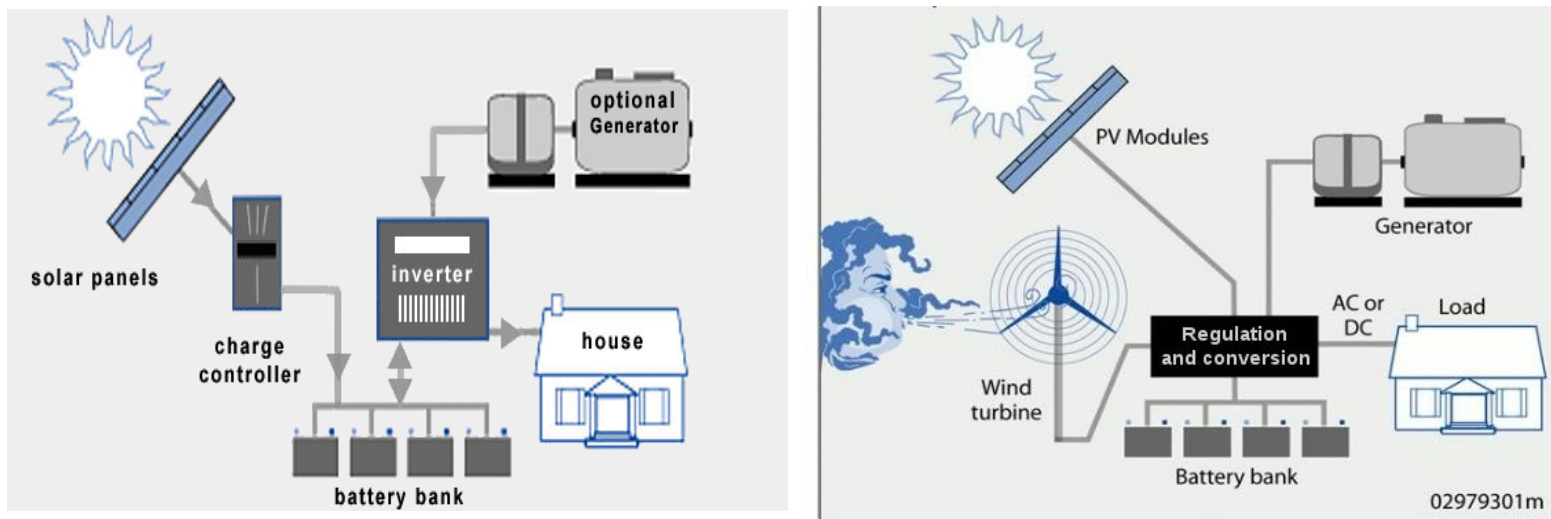
Η λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος βασίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Τα Φ/Β είναι μια βιομηχανική διάταξη πολλών φωτοβολταϊκών κυττάρων σε μία σειρά. Πρόκειται στην ουσία για τεχνητούς ημιαγωγούς (συνήθως από πυρίτιο) οι οποίοι ενώνονται με σκοπό να δημιουργήσουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα σε σειρά. Οι ημιαγωγοί απορροφούν τα φωτόνια από την ηλιακή ακτινοβολία και παράγουν μια ηλεκτρική τάση.



Εικόνα 13 : Λειτουργία Φωτοβολταϊκού Συστήματος [37]

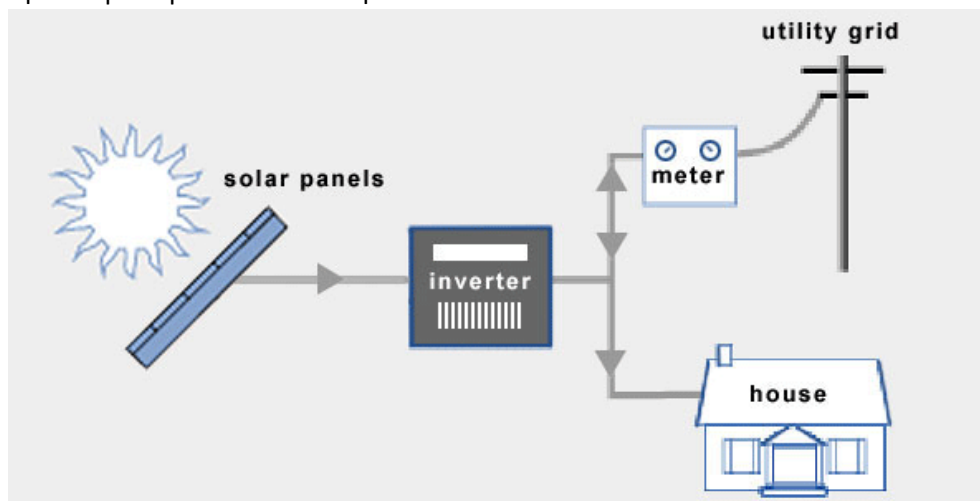
Δύο είναι τα βασικά είδη των φωτοβολταϊκών συστημάτων[38]:

- 1) Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία όπως δηλώνεται και από την ονομασία τους είναι αυτόνομα, χωρίς να συνδέονται δηλαδή με το δίκτυο. Με αποτέλεσμα η παραγόμενη ενέργειά τους να μη μπορεί να πουληθεί. Ακόμη και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας (συμβατικές ή ανανεώσιμες) και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας.



Εικόνα 14 : Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα [38]

- 2) Και τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο. Σε αυτή την περίπτωση, η επιπλέον παραγόμενη ενέργεια από το φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να αξιοποιηθεί περαιτέρω και να πουληθεί στο δίκτυο.



Εικόνα 15 : Φωτοβολταϊκά Συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο [38]

Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων , τα οποία αποδεικνύουν και τα βασικά τους πλεονεκτήματα είναι :

- Φιλικά προς το περιβάλλον, εκπέμπουν μηδενικούς ρύπους
- Λειτουργούν αθόρυβα
- Χρήση ηλιακής ενέργειας η οποία είναι ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, και με σωστή κατανομή μπορούν να καλύψουν όλες τις απαιτήσεις των φορτίων χωρίς να απαιτείται ενίσχυση από το δίκτυο διανομής
- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Σχεδόν μηδενικές οι απαιτήσεις συντήρησης
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία κατά την λειτουργία τους. Οι κατασκευαστές εγγυώνται για τις Φ/Β γεννήτριες περισσότερα από 25 χρόνια καλής λειτουργίας.
- Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές, μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα)

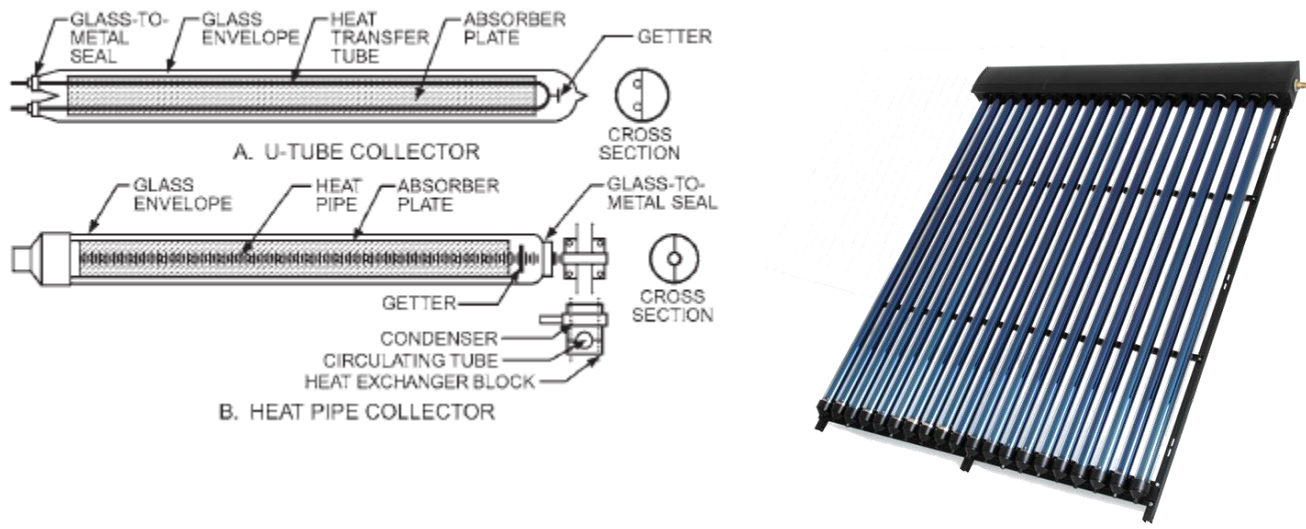
4.3.3 Ενεργητικά Θερμικά Ηλιακά Συστήματα

Τα ενεργητικά θερμικά ηλιακά συστήματα αποτελούν μια ακόμη βασική κατηγορία τεχνολογίας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργεια, τα οποία εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας. Η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης με ηλιακούς θερμοσίφωνες είναι η πιο δεδομένη τεχνολογία αξιοποίησης της ηλιοθερμικής ενέργειας και έχει μεγάλη εφαρμογή, ωστόσο τα τελευταία χρόνια έχει εφαρμοστεί και η χρήση ηλιακής ενέργειας για θέρμανση και ψύξη χώρων.

Μέσω των θερμικών ηλιακών συστημάτων επιτυγχάνεται η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα. Χρησιμοποιούν συλλέκτες και δεξαμενές αποθήκευσης ως χωριστά υποσυστήματα, ενώ η μεταφορά της ενέργειας μέσω ενός θερμαινόμενου ρευστού (πχ νερό, αέρα) πραγματοποιείται είτε με φυσική ροή είτε με κυκλοφορητή.

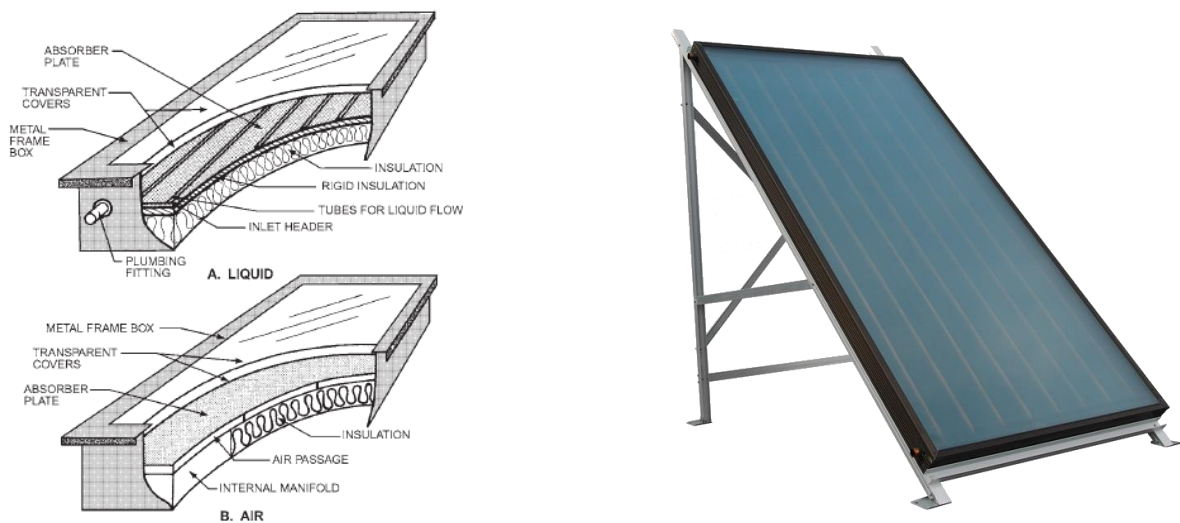
Ο ηλιακός συλλέκτης αποτελεί την «καρδιά» ενός ενεργητικού ηλιοθερμικού συστήματος. Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά τον συλλέκτη, παγιδεύεται στο εσωτερικό του και απορροφάται από την επιφάνεια που βρίσκεται μέσα στον συλλέκτη, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας της. Δύο κύριες εφαρμογές ηλιακών συλλεκτών είναι οι επίπεδοι συλλέκτες και οι συλλέκτες με σωλήνες κενού.

- Συλλέκτες με σωλήνες κενού: Είναι το πιο αποτελεσματικό και κοινό μέσο παραγωγής ηλιακής θερμικής ενέργειας με ποσοστό απόδοσης 70%. Ο ρυθμός απόδοσης επιτυγχάνεται λόγω του τρόπου με τον οποίο κατασκευάζονται τα συστήματα των σωλήνων που εκκενώνονται, πράγμα που σημαίνει ότι έχουν εξαιρετική μόνωση και ουσιαστικά δεν επηρεάζονται από τις θερμοκρασίες του αέρα. Αποτελείται από σειρές μονωμένων γυάλινων σωλήνων που περιέχουν χαλκοσωλήνες στον πυρήνα τους. Το νερό θερμαίνεται στο συλλέκτη και στη συνέχεια αποστέλλεται μέσω των σωλήνων στη δεξαμενή νερού. Αυτό ο τύπος συλλέκτη είναι ο πιο αποτελεσματικός, αλλά και ο πιο ακριβός.



Εικόνα 16 : Ηλιακοί συλλέκτες κενού [39]

- Επίπεδοι συλλέκτες : Είναι ακόμη ένας κοινός τύπου ηλιακού συλλέκτη, ο πιο διαδεδομένος τύπος. Αποτελείται από επίπεδο μονωμένο πλαίσιο, το οποίο καλύπτεται από τη μια πλευρά με διαφανές κάλυμμα από τζάμι ή πλαστικό. Το πλαίσιο περιέχει μια μαύρη/σκουρόχρωμη πλάκα που απορροφά την ηλιακή ενέργεια. Το ρευστό μεταφοράς θερμότητας κυκλοφορεί μέσω σωλήνων χαλκού ή πυριτίου που περιέχονται μέσα στην επίπεδη επιφάνεια.

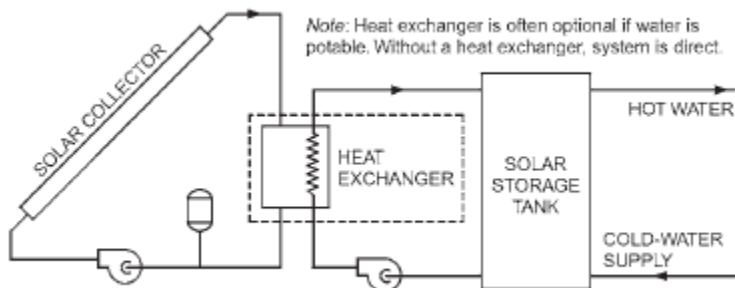


Εικόνα 17 : Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες [39]

Η αυξανόμενη ανάγκη για θερμότητα κατά τη χειμερινή περίοδο και μετά από αυτή αντίστοιχα αυξανόμενη ανάγκη για ψύξη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, είναι δυνατόν να επιτευχθεί μέσω της ηλιοθερμικής τεχνολογίας, και όπως αναφέραμε συγκεκριμένα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ζεστό νερό χρήση και για θέρμανση και ψύξη χώρων. [40]

1. Σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης :

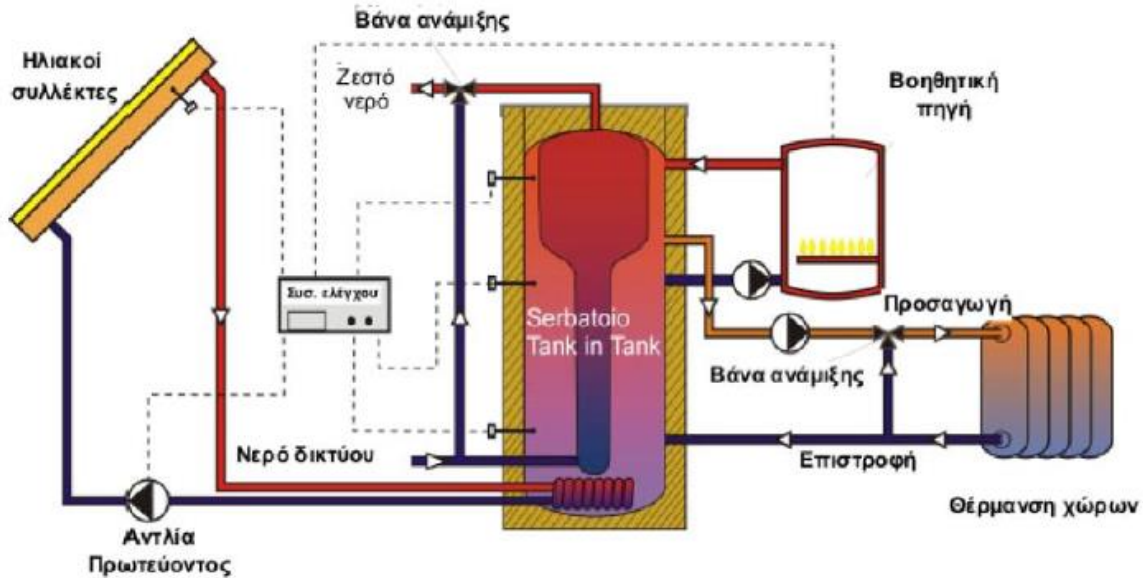
Ένα σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης – ο γνωστός ηλιακός θερμοσίφωνας – αποτελείται από ηλιακούς συλλέκτες που τοποθετούνται συνήθως στην οροφή του κτιρίου, μια δεξαμενή αποθήκευσης για το ζεστό νερό, τις απαραίτητες σωληνώσεις και το σύστημα ελέγχου. Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες διακρίνονται σε: ανοικτού κυκλώματος, με απευθείας θέρμανση του νερού χρήσης (το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε) και κλειστού κυκλώματος με έμμεση θέρμανση του νερού χρήσης (το θερμαινόμενο μέσο κυκλοφορεί σε ιδιαίτερο κύκλωμα το οποίο θερμαίνει το νερό χρήσης χωρίς να γίνεται ανάμιξη τους, μέσω εναλλάκτη θερμότητας. Οι θερμοσίφωνες ανοικτού κυκλώματος είναι απλούστεροι και φθηνότεροι, όμως οι θερμοσίφωνες κλειστού κυκλώματος αντέχουν περισσότερο στις χαμηλές θερμοκρασίες το χειμώνα καθώς λειτουργούν με αντιψυκτικό το οποίο προστατεύει το συλλέκτη. Για τη θέρμανση ζεστού νερού χρήσης μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σύστημα θέρμανσης νερού βεβιασμένης κυκλοφορίας, το οποίο διαθέτει ηλεκτρικές αντλίες, βαλβίδες, διαφορικούς θερμοστάτες και συστήματα ελέγχου για να κυκλοφορήσει το ρευστό μεταφοράς θερμότητας μέσα στους συλλέκτες.



Εικόνα 18 : Σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης κλειστού κυκλώματος [39]

2. Ηλιακά συστήματα θέρμανσης χώρου:

Εκτός από την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε την θερμική ενέργεια που παράγεται από τους ηλιακούς συλλέκτες, για το συνδυασμό παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων. Η λειτουργία αυτών των συστημάτων, είναι σχετικά απλή και αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες και δύο δοχεία αποθήκευσης ζεστού νερού. Τα ηλιακά αυτά συστήματα είναι γνωστά με τον όρο “solar combi systems” ή απλά “combi”. Το νερό θέρμανσης χώρων (ρευστό που ρέει στα σώματα κεντρικής θέρμανσης ή σε υποδαπέδια θέρμανση), το οποίο προορίζεται για τη θέρμανση χώρων, θερμαίνεται από τους ηλιακούς συλλέκτες και αποθηκεύεται σε ένα δοχείο θερμού νερού. Το ζεστό νερό χρήσης αποθηκεύεται σε ένα δεύτερο δοχείο θερμού νερού μικρότερου όγκου. [40]



Εικόνα 19 : Ηλιακό σύστημα "solar combi" [40]

Τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης αέρα, αποτελούνται από συλλέκτες, ανεμιστήρες, αεραγωγούς και συστήματα ελέγχου. Τα συστήματα αυτά είναι αποτελεσματικά επειδή δεν απαιτείται εναλλάκτης θερμότητας και η θερμοκρασία εισόδου του συλλέκτη είναι χαμηλή, ίση περίπου με την θερμοκρασία δωματίου, καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Δεν χρειάζονται προστασία, ωστόσο οι αγωγοί αέρα και ο εξοπλισμός χειρισμού του αέρα απαιτούν περισσότερο χώρο. Επίσης οι ανεμιστήρες καταναλώνουν περισσότερη ισχύ από τις αντλίες ενός συστήματος νερού, αλλά εάν η μονάδα είναι εγκατεστημένη σε μια εγκατάσταση που χρησιμοποιεί διανομή αέρα, επιβάλλεται μόνο ένα μικρός κόστος ισχύος έναντι του ηλιακού συστήματος θέρμανσης.

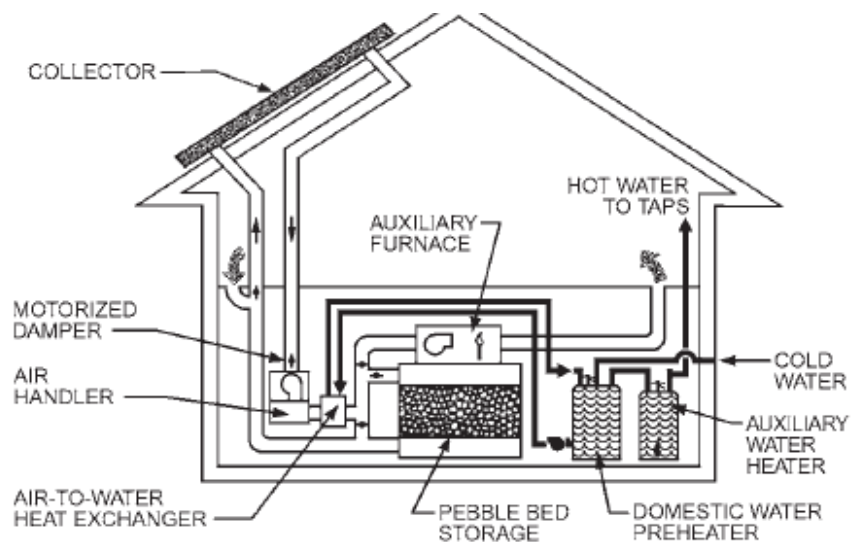


Fig. 1 Air-Heating Space and Domestic Water Heater System

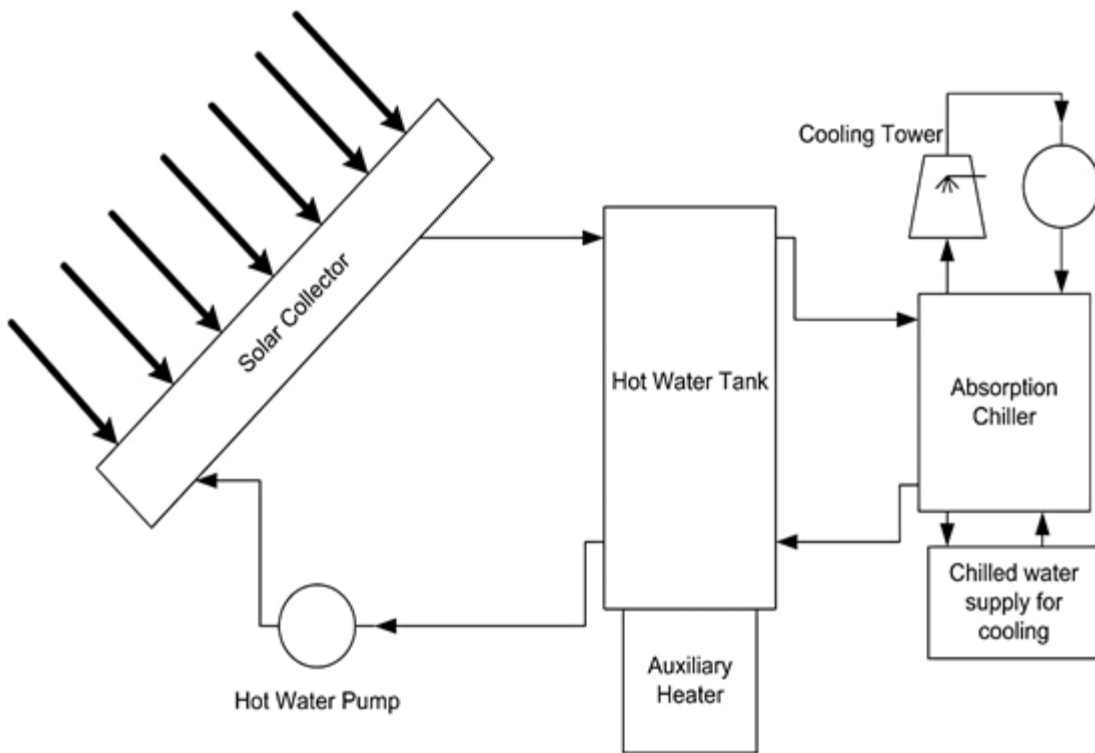
Εικόνα 20 : Ηλιακό σύστημα θέρμανσης αέρα και ζεστού νερού χρήσης, ASHARE Handbook [39]

3. Ηλιακός Κλιματισμός (Ηλιοθερμική Ψύξη)

Η χρήση ηλιακών συστημάτων ψύξης, έχει ύψιστη σημασία για την αειφορικότητα των κτιρίων με εγκαταστάσεις κλιματισμού, ιδιαίτερα σε χώρες με θερμό κλίμα. Είναι μια υποσχόμενη τεχνολογία, η οποία αντί για χρήση ηλεκτρικών μηχανημάτων ψύξης, αποφορτίζει το ηλεκτρικό δίκτυο, ιδιαίτερα τις ώρες αιχμής. Ένα τυπικό σύστημα Ηλιακού Κλιματισμού αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες, τη δεξαμενή αποθήκευσης, τη μονάδα ελέγχου, σωληνώσεις, αντλίες και ένα θερμοοδηγούμενο ψύκτη (chiller). Οι ψύκτες αποτελούν τον πυρήνα των εγκαταστάσεων ηλιακού κλιματισμού. Αν και οι ηλιακοί συλλέκτες είναι αυτοί που παρέχουν την αναγκαία ενέργεια σε μια εγκατάσταση, οι ψύκτες αποτελούν το μηχανισμό που παράγει ψυκτικά φορτία χρησιμοποιώντας το θερμό νερό που έρχεται από τους ηλιακούς συλλέκτες ως κύρια πηγή ενέργειας. Το παραγόμενο ψυχρό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κλιματισμό του αέρα (αφύγρανση, ρύθμιση θερμοκρασίας) ή για ψύξη/δροσισμό χώρων (fan coil, chilled ceilings κα.). Τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού διακρίνονται σε κλειστά συστήματα για ψύξη νερού και σε ανοιχτά συστήματα για κλιματισμό αέρα.

Οι κλειστές μονάδες ψύξης με βάση την ηλιακή ψύξη βασίζονται σε μια εξειδικευμένη τεχνική διαδικασία. Η εν λόγω διαδικασία βασίζεται στην κυκλοφορία ενός ρευστού (ψυκτικό μέσο), το οποίο απορροφά τη θερμότητα από ένα χώρο και την εξατμίζει. Στο επόμενο βήμα ο ατμός απορροφάται από ένα ρευστό ή σταθερό ροφητικό μέσο και μέσω της ηλιακής θερμότητας μεταβαίνει σε ένα υψηλότερο επίπεδο πίεσης και θερμοκρασίας. Στη συνέχεια, το ψυκτικό μέσο μεταδίδει ενέργεια στο περιβάλλον και η θερμοκρασία μειώνεται. Ταυτόχρονα πραγματοποιείται η υγροποίηση και το μέσο φτάνει στην αρχική του κατάσταση. Ανάλογα με τον τύπο του ροφητικού μέσου υφίσταται η διάκριση μεταξύ τεχνικής προσρόφησης και απορρόφησης. Τα συστήματα απορρόφησης λειτουργούν σαν μια αντλία απορρόφησης θερμότητας, στην οποία ένα ρευστό μέσο απορροφά τους ατμούς του ψυκτικού μέσου. Αντίθετα, στην περίπτωση των συστημάτων ηλιακής ψύξης με προσρόφηση, το ψυκτικό μέσο αποθηκεύεται στην πορώδη επιφάνεια των στερεών υλικών (ζεόλιθος, silica gel). [41]

Τα ανοικτά συστήματα χρησιμοποιούν υγρό αποβαλλόμενο αέρα ως ψυκτικό μέσο και έχουν συγκριτικά περιορισμένη ψυκτική απόδοση. Κατά την λειτουργία τους ο εξωτερικός αέρας ξηραίνεται και μετατρέπεται μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας καθώς επίσης και μέσω ενός ψύκτη εξάτμισης στην απαιτούμενη κατάσταση. Παράλληλα, ένας ψύκτης εξάτμισης ψύχραίνει τον καταναλωθέντα αέρα στον εναλλάκτη θερμότητας. Στη συνέχεια η ηλιακή ενέργεια θερμαίνει τον αποβαλλόμενο αέρα σε τέτοιο βαθμό, ώστε να μπορεί να απορροφήσει το νερό από τον εισαγόμενο αέρα, πριν διαφύγει στο περιβάλλον. Τα ανοικτά συστήματα χρησιμοποιούνται για τον άμεσο κλιματισμό του αέρα βάσει της θερμοκρασίας και της υγρασίας, δεν παράγεται παγωμένο νερό και συνδυάζουν γενικά μια λειτουργία ροφητικής αφύγρανσης και απώλειας θερμότητας δια της εξαερώσεως. [41]



Εικόνα 21 : Σύστημα ηλιοθερμικής ψύξης με χρήση απορρόφησης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 :Υπολογισμός θερμικών και ψυκτικών φορτίων κατά ASHRAE [42]

Ο υπολογισμός των θερμικών και ψυκτικών φορτίων, αποτελεί την κύρια βάση σχεδιασμού για τα περισσότερα συστήματα κλιματισμού, καθώς αποτελούν κριτήριο ως προς τον καθορισμό του μεγέθους της κλιματιστικής συσκευής, και τον επιμέρους εξαρτημάτων όπως οι αγωγοί, οι σωληνώσεις, οι διαχύτες, οι συμπιεστές, οι ανεμιστήρες και άλλα. Οι υπολογισμοί των φορτίων μπορούν να επηρεάσουν επίσης σημαντικά το πρώτο κόστος της κατασκευής, την άνεση των χρηστών του κτιρίου και το λειτουργικό κόστος και το ποσό κατανάλωσης ενέργειας.

Όπως αναφέραμε και στα προηγούμενα κεφάλαια, στόχος μας είναι τόσο η επίτευξη χαμηλών καταναλώσεων ενέργειας, όσο και η επίτευξη ενός επιθυμητού εσωτερικού περιβάλλοντος που θα παρέχει την κατάλληλη θερμική άνεση στους χρήστες του κτιρίου. Τα φορτία θέρμανσης και ψύξης είναι ο ρυθμός εισόδου θερμότητας (για θέρμανσης) ή ο ρυθμός αφαίρεσης θερμότητας (ψύξη) που απαιτούνται για την διατήρηση του εσωτερικού περιβάλλοντος σε επιθυμητή θερμοκρασία και ποσοστό υγρασίας.

Τα φορτία προκύπτουν από πολλές διαδικασίες μεταφοράς θερμότητας, όπως η μεταφορά θερμότητας μέσω αγωγιμότητας και ακτινοβολίας στο κέλυφος τους κτιρίου και από εσωτερικές πηγές και μηχανολογικά εξαρτήματα. Οι παράγοντες που επιδρούν στον υπολογισμό των φορτίων είναι πολλοί, αλληλοσυνδεδεμένοι και συχνά ο ακριβής προσδιορισμός τους είναι δύσκολος. Πολλές από τις συνιστώσες των φορτίων μεταβάλλονται κατά την διάρκεια του 24ώρου και μάλιστα με διαφορά φάσης έτσι ώστε ο υπολογισμός της συνισταμένης μέγιστης τιμές για κάθε ζώνη και για ολόκληρο το κτίριο, απαιτεί ειδική μεθοδολογία. Σε ένα σύστημα με ζώνες, όπου δηλαδή η κάθε περιοχή του κτιρίου φέρει ανεξάρτητο έλεγχο θερμοκρασίας, είναι δυνατόν την ίδια χρονική στιγμή κάποιες ζώνες να απαιτούν θέρμανση ενώ κάποιες άλλες ψύξη.

5.1 Ρυθμοί Ροής Θερμότητας

Στον κλιματισμό γίνεται διάκριση μεταξύ τεσσάρων , σχετιζόμενων αλλά σαφώς διακεκριμένων, ρυθμών ροής θερμότητας, ο καθένας από τους οποίους ποικίλλει ανάλογα με το χρόνο.

1. Θερμικό κέρδος χώρου (Space Heat Gain)
2. Ψυκτικό Φορτίο χώρου (Space Cooling Load)
3. Ρυθμός απομάκρυνσης θερμότητας χώρου (Space Heat Extraction Rate)
4. Φορτίο Ψυκτικού στοιχείου (Cooling Coil Load)

1. Θερμικό κέρδος χώρου

Θερμικό κέρδος χώρου είναι το σύνολο των θερμικών ροών (ισχύων) που εισέρχονται σε ένα χώρο ή και δημιουργούνται σε αυτόν σε δεδομένη χρονική στιγμή (ρυθμός εισροής ή παραγωγής θερμότητας).

Αυτές οι ροές θερμότητας διακρίνονται σε επιμέρους συνιστώσες ανάλογα με τις πηγές (παράγοντες) που τις δημιουργούν και με την επίπτωση που έχουν στις συνθήκες του χώρου.

Οι πηγές θερμικού κέρδους περιλαμβάνουν:

1. Ηλιακή ακτινοβολία μέσω διαφανών επιφανειών
2. Αγωγιμότητα από εξωτερικά τοιχώματα (τοίχοι και οροφές)
3. Αγωγιμότητα από εσωτερικά χωρίσματα (τοίχοι, δάπεδα, οροφές)
4. Θερμότητα που παράγεται μέσα στο χώρο (άνθρωποι, φωτισμός, συσκευές)
5. Μεταφορά θερμότητας μέσω ανανέωσης και διείσδυσης εξωτερικού αέρα.

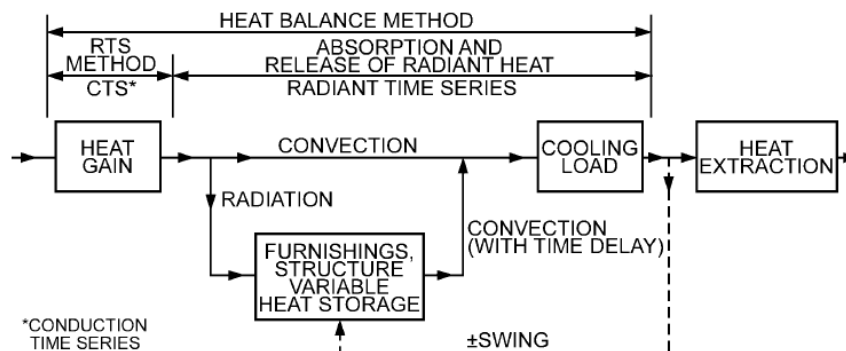
Τα θερμικά κέρδη διαχωρίζονται επίσης σε αισθητά και λανθάνοντα φορτία. Το θερμικό κέρδος ονομάζεται αισθητό όταν πρόκειται για άμεση προσθήκη στον κλιματιζόμενο χώρο, μέσω αγωγής, συναγωγής ή και ακτινοβολίας. Τα λανθάνοντα θερμικά φορτία εμφανίζονται όταν προστίθεται στο χώρο υγρασία. Κατά την επιλογή της ψυκτικής συσκευής πρέπει να υπολογίζεται τόσο το αισθητό όσο και το λανθάνον θερμικό κέρδος και να γίνεται η διάκριση τους, καθώς οι συσκευές έχουν διαφορετική μέγιστη ικανότητα απομάκρυνσης αισθητού και λανθάνοντος φορτίου.

2. Ψυκτικό φορτίο χώρου

Το ψυκτικό φορτίο χώρου είναι ο ρυθμός με τον οποίον η θερμότητα πρέπει να απομακρύνεται από τον χώρο, προκειμένου να διατηρηθεί ο αέρας του χώρου σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.

Το ψυκτικό φορτίο χώρου δεν ταυτίζεται με το θερμικό φορτίο χώρου σε δεδομένη χρονική στιγμή, διαφέρουν μεταξύ τους. Υπάρχει μια χρονική καθυστέρηση μεταξύ της χρονικής στιγμής εισροής του θερμικού κέρδους και της χρονικής στιγμής μεταφοράς του στο χώρο ως ψυκτικό φορτίο. Το θερμικό κέρδος που οφείλεται στην ακτινοβολία απορροφάται μερικώς από τα δομικά στοιχεία και το περιεχόμενο του χώρου με αποτέλεσμα της αύξηση της θερμοκρασίας του, και όταν η θερμοκρασία τους γίνει μεγαλύτερη της θερμοκρασίας του αέρα στο χώρο, τότε μέρος της θερμότητας του μεταφέρεται δια συναγωγής στον αέρα του χώρου. Αυτή η χρονική καθυστέρηση, δημιουργεί μια διαφορά φάσης μεταξύ του μέγιστου θερμικού κέρδους και μέγιστου ψυκτικού φορτίου.

Στο Σχήμα 5 αιτιολογείται σχηματικά η διαφορά μεταξύ των στιγμιαίων τιμών θερμικού κέρδους και ψυκτικού φορτίου.



Σχήμα 5 : Διαφορά μεταξύ στιγμιαίων τιμών θερμικού κέρδους και ψυκτικού φορτίου

3. Ρυθμός απομάκρυνσης θερμότητας χώρου

Ο ρυθμός απομάκρυνσης θερμότητας είναι ο ρυθμός με τον οποίο απομακρύνεται η θερμότητα από τον κλιματιζόμενο χώρο και ταυτίζεται με το ψυκτικό φορτίο χώρου μόνο εάν η θερμοκρασία και η υγρασία του δωματίου διατηρούνται σταθερές, πράγμα που σπάνια συμβαίνει. Στην πραγματικότητα συνήθως το σύστημα ελέγχου (θερμοστάτης) σε συνδυασμό με την διακοπτόμενη λειτουργία της ψυκτικής συσκευής προκαλεί ταλάντωση της θερμοκρασίας του δωματίου.

4. Φορτίο ψυκτικού στοιχείου

Φορτίο ψυκτικού στοιχείου είναι ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα αφαιρείται από το ψυκτικό στοιχείο της κλιματιστικής συσκευής, που εξυπηρετεί έναν ή περισσότερους κλιματιζόμενους χώρους σε κεντρική εγκατάσταση κλιματισμού. Το φορτίο αυτό ισούται για κάθε χρονική στιγμή με το άθροισμα των τιμών του ρυθμού απομάκρυνσης θερμότητας όλων των κλιματιζόμενων χώρων, επιπλέον άλλων φορτίων που πιθανώς επιβαρύνουν το σύστημα κλιματισμού.

5.2 Διαδικασία Υπολογισμού Ψυκτικού Φορτίου Χώρου

Δύο γνωστές μέθοδοι για τον υπολογισμό των φορτίων είναι :

- Μέθοδος θερμικής ισορροπίας (Heat Balance Method - HBM)
- Μέθοδος Χρονικών σειρών ακτινοβολίας (Radiant Time Series - RTS)

Οι δύο αυτές μέθοδοι βασίζονται σε θεμελιώδεις αρχές θερμικής ισορροπίας, άμεσα στην περίπτωση της μεθόδου HB και λιγότερο άμεσα στην περίπτωση RTS.

Ωστόσο, ο υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων ενός κτιρίου, το οποίο αποτελείται από πλήθος δωματίων, απαιτεί ένα πολύπλοκο λογισμικό ώστε να εφαρμόζει τις αρχές κάθε μεθόδου με ακρίβεια. Η πρόκληση στον υπολογισμό των φορτίων είναι να διασφαλιστεί ότι δεν αποκλείονται σημαντικές πτυχές.

Γενικά, για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων απαιτεί λεπτομερείς πληροφορίες ως προς τον σχεδιασμό του κτιρίου και τα καιρικά δεδομένα. Συγκεκριμένα απαιτούνται :

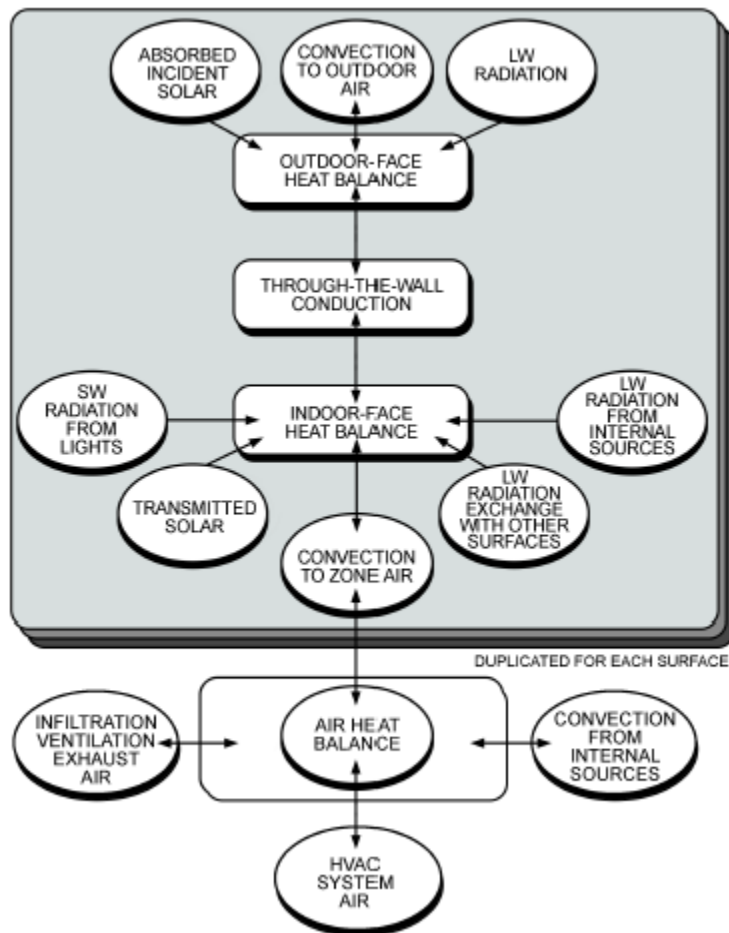
1. Τα χαρακτηριστικά του κτιρίου (σχέδιο, υλικά, χρώματα)
2. Καθορισμός θέσης, προσανατολισμού και εξωτερικής σκίασης του κτιρίου
3. Γνώση των μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής και των εξωτερικών συνθηκών.
4. Εσωτερικές επιθυμητές συνθήκες (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ρυθμός ανανέωσης αέρα)
5. Λειτουργίες εσωτερικών χώρων (ώρες λειτουργίας φωτισμού και συσκευών, πλήθος ατόμων)
6. Υπολογισμός επιμέρους συνιστωσών ψυκτικού φορτίου από τις πηγές θερμικού κέρδους οι οποίες αναφέρθηκαν πιο πάνω

5.2.1 Μέθοδος θερμικής ισορροπίας – Heat Balance Method

Οι διαδικασίες που απαρτίζουν το μοντέλο θερμικής ισορροπίας μπορούν να απεικονιστούν χρησιμοποιώντας το Σχήμα 6. Αποτελείται από τέσσερις ξεχωριστές διαδικασίες :

1. Θερμική ισορροπία εξωτερικού περιβλήματος
2. Θερμική αγωγιμότητα τοίχων
3. Θερμική ισορροπία εσωτερικού περιβλήματος
4. Θερμική ισορροπία αέρα.

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται η μέθοδος θερμικής ισορροπίας για μία μόνο αδιαφανή επιφάνεια. Το σκιασμένο μέρος του σχήματος επαναλαμβάνεται για κάθε μια από τις επιφάνειες που περικλείουν τη ζώνη. Η διαδικασία για τις διαφανείς επιφάνειες είναι παρόμοια, ωστόσο δεν έχει το απορροφημένο ηλιακό στοιχείο στην εξωτερική επιφάνεια, αλλά χωρίζεται στο κλάσμα θερμότητας που ρέει προς τα μέσα και ένα κλάσμα που ρέει προς τα έξω.



Σχήμα 6 : Μοντέλο θερμικής ισορροπίας

Σχετικά με την μέθοδο RTS ακολουθεί ανάλυση της σε επόμενη ενότητα.

5.3 Εσωτερικά θερμικά κέρδη (Internal Heat Gains)

Τα εσωτερικά θερμικά κέρδη από τον φωτισμό, τους ανθρώπους, τις συσκευές και τον εργαστηριακό εξοπλισμό, μπορούν να συμβάλουν στην πλειονότητα του ψυκτικού φορτίου σε ένα σύγχρονο κτίριο. Μπορεί το κέλυφος των κτιρίων να έχει βελτιωθεί σημαντικά με βάση νέα πρότυπα και περιορισμούς, ωστόσο τα εσωτερικά φορτία έχουν αυξηθεί λόγω διάφορων παραγόντων όπως η αυξημένη χρήση υπολογιστών και αυξημένης πληρότητας των χώρων.

Οι τεχνικές για τον προσδιορισμό των φορτίων λόγω εσωτερικών πηγών θερμότητας είναι πανομοιότυπες τόσο για την μέθοδο HB όσο και για την μέθοδο RTS και μπορούν να υπολογιστούν ανεξάρτητα από την μέθοδο που θα επιλεγεί για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων.

5.3.1 Εσωτερικά θερμικά κέρδη από φωτισμό

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. Ο φωτισμός συχνά αποτελεί ένα σημαντικό ποσοστό του συνολικού ψυκτικού φορτίου χώρου και απαιτείται ακριβής εκτίμηση του εσωτερικού θερμικού κέρδους που επιβάλλει. Η ακτινοβολία που προέρχεται από τον ηλεκτροφωτισμό ενός χώρου απορροφάται από τα δομικά στοιχεία, αποθηκεύεται και επιδρά στο ψυκτικό φορτίο αφού περάσει κάποιο χρονικό διάστημα, ακόμη και μετά την διακοπή του φωτισμού.

Το στιγμιαίο θερμικό κέρδος από τον φωτισμό μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση :

$$q_{el} = W \cdot F_{ul} \cdot F_{sa} ,$$

Όπου, W : Ηλεκτρική ισχύς των εγκατεστημένου φωτισμού

F_{ul} : Συντελεστής χρήσης, δηλαδή το κλάσμα των εγκατεστημένων φωτιστικών που είναι σε λειτουργία υπό τις συνθήκες του υπολογισμού.

F_{sa} : Ειδικός συντελεστής επιτρεπόμενου φωτισμού. Για τους λαμπτήρες πυρακτώσεως ο συντελεστής αυτός είναι ίσος με 1.

Σύμφωνα με το πρότυπο της *ASHRAE, Standard 90.1 [43]* στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται οι μέγιστες τιμές πυκνότητα ισχύος φωτισμού (LPD - Light Power Densities), δηλαδή το θερμικό κέρδος φωτισμού ανά τετραγωνικό μέτρο, που επιτρέπονται για διάφορους χώρους.

Επίσης, μετά από μελέτες διάφορων τύπων φωτιστικών και των διαχωρισμό τους σε κατηγορίες (Fisher and Chantrasrisalai, 2006), όπως βλέπουμε στον Πίνακα 9, δίνεται για κάθε κατηγορία το κλάσμα χώρου, το οποίο αποτελεί το κλάσμα αύξησης θερμότητας φωτισμού που προσδίδεται στον χώρο, και το ακτινοβολίο κλάσμα, το οποίο αποτελεί το κλάσμα ακτινοβολουμένης θερμότητας και το θερμικό κέρδος που προσδίδεται στο χώρο μέσω συναγωγής είναι ίσο με 1 μείον το ακτινοβολουμένο κλάσμα.

Common Space Types*	LPD, W/m ²	Common Space Types ^a	LPD, W/m ²	Building-Specific Space Types*	LPD, W/m ²
Atrium		Loading Dock, Interior	5.1	Health Care Facility	
≤12.2 m high	1.1/m total height	Lobby		In exam/treatment room	18.0
>12.2 m high	4.3 + 0.7/m total height	In facility for the visually impaired (and not used primarily by staff) ^c	19.4	In imaging room	16.3
		For elevator	7.0	In medical supply room	
Audience Seating Area		In hotel	11.5	In nursery	9.5
In auditorium	6.8	In motion picture theater	6.4	In nurses' station	7.6
In convention center	8.9	In performing arts theater	21.6	In operating room	26.8
In gymnasium	7.1	All other lobbies	9.7	In patient room	6.7
In motion picture theater	12.3	Locker Room	8.1	In physical therapy room	9.9
In penitentiary	3.1	Lounge/Breakroom		In recovery room	12.4
In performing arts theater	26.2	In health care facility	10.0	Library	
In religious building	16.5	All other lounges/breakrooms	7.9	In reading area	11.5
In sports arena	4.7	Office		In stacks	18.4
All other audience seating areas	4.7	Enclosed	12.0	Manufacturing Facility	
Banking Activity Area	11.9	Open plan	10.6	In detailed manufacturing area	13.9
Breakroom (See Lounge/Breakroom)		Parking Area, Interior	2.1	In equipment room	8.0
Classroom/Lecture Hall/Training Room		Pharmacy Area	18.1	In extra-high-bay area (15.2 m floor-to-ceiling height)	11.3
In penitentiary	14.5	Restroom		In high-bay area (7.6 to 15.2 m floor-to-ceiling height)	13.3
All other classrooms/lecture halls/training rooms	13.4	In facility for the visually impaired (and not used primarily by staff) ^c	13.1	In low-bay area (<7.6 m floor-to-ceiling height)	12.9
Conference/Meeting/Multipurpose Room	13.3	All other restrooms	10.6	Museum	
Confinement Cells	8.8	Sales Area^d	15.5	In general exhibition area	11.4
Copy/Print Room	7.8	Seating Area, General	5.9	In restoration room	11.0
Corridor^b		Stairway		Performing Arts Theater, Dressing Room	6.6
In facility for visually impaired (and not used primarily by staff) ^c	9.9	Space containing stairway determines LPD and control requirements for stairway.		Post Office, Sorting Area	10.2
In hospital	10.7	Stairwell	7.4	Religious Buildings	
In manufacturing facility	4.4	Storage Room		In fellowship hall	6.9
All other corridors	7.1	<4.65 m ²	13.3	In worship/pulpit/choir area	16.5
Courtroom	18.6	All other storage rooms	6.8	Retail Facilities	
Computer Room	18.4	Vehicular Maintenance Area	7.3	In dressing/fitting room	7.7
Dining Area		Workshop	17.2	In mall concourse	11.9
In penitentiary	10.4	Building-Specific Space Types* LPD, W/m²		Sports Arena, Playing Area	
In facility for visually impaired (and not used primarily by staff) ^c	28.5 W/m ²	Facility for Visually Impaired^e		For Class I facility	39.7
In bar/lounge or leisure dining	11.6	In chapel (used primarily by residents)	23.8	For Class II facility	25.9
In cafeteria or fast food dining	7.0	In recreation room/common living room (and not used primarily by staff)	26.0	For Class III facility	19.4
In family dining	9.6	Automotive (See Vehicular Maintenance Area)		For Class IV facility	13.0
All other dining areas	7.0	Convention Center: Exhibit Space	15.7	Transportation Facility	
Electrical/Mechanical Room^f	4.6	Dormitory/Living Quarters	4.2	In baggage/carousel area	5.7
Emergency Vehicle Garage	6.1	Fire Station: Sleeping Quarters	0.22	In an airport concourse	3.9
Food Preparation Area	13.1	Gymnasium/Fitness Center		At a terminal ticket counter	8.7
Guest Room	9.8	In exercise area	7.8	Warehouse—Storage Area	
Laboratory		In playing area	13.0	For medium to bulky, palletized items	6.2
In or as classroom	15.5			For smaller, hand-carried items ^e	10.2
All other laboratories	19.5				
Laundry/Washing Area	6.5				

Πίνακας 9 : Μέγιστες τιμές πυκνότητας ισχύος για διάφορους χώρους χρήσης, ASHRAE Standard 90.1 [43]

Luminaire Category	Space Fraction	Radiative Fraction	Notes
Recessed fluorescent luminaire without lens	0.64 to 0.74	0.48 to 0.68	<ul style="list-style-type: none"> • Use middle values in most situations • May use higher space fraction, and lower radiative fraction for luminaire with side-slot returns • May use lower values of both fractions for direct/indirect luminaire • May use higher values of both fractions for ducted returns
Recessed fluorescent luminaire with lens	0.40 to 0.50	0.61 to 0.73	<ul style="list-style-type: none"> • May adjust values in the same way as for recessed fluorescent luminaire without lens
Downlight compact fluorescent luminaire	0.12 to 0.24	0.95 to 1.0	<ul style="list-style-type: none"> • Use middle or high values if detailed features are unknown • Use low value for space fraction and high value for radiative fraction if there are large holes in luminaire's reflector
Downlight incandescent luminaire	0.70 to 0.80	0.95 to 1.0	<ul style="list-style-type: none"> • Use middle values if lamp type is unknown • Use low value for space fraction if standard lamp (i.e. A-lamp) is used • Use high value for space fraction if reflector lamp (i.e. BR-lamp) is used
Non-in-ceiling fluorescent luminaire	1.0	0.5 to 0.57	<ul style="list-style-type: none"> • Use lower value for radiative fraction for surface-mounted luminaire • Use higher value for radiative fraction for pendant luminaire
Recessed LED troffer partial aperture diffuser	0.49 to 0.64	0.37 to 0.47	<ul style="list-style-type: none"> • Use middle value in most cases. • May use higher space fraction for ducted return configuration and lower space fraction for high supply air temperature. • May use higher radiant value for ducted return configuration and lower value for large supply airflow rate.
Recessed LED troffer uniform diffuser	0.44 to 0.66	0.32 to 0.41	<ul style="list-style-type: none"> • Use middle value in most cases. • May use higher space fraction for smaller supply airflow rate and lower value for larger supply airflow rate. • May use higher radiant value for ducted return configuration and lower value for larger supply airflow rate.
Recessed high-efficacy LED troffer	0.59	0.51	
Recessed LED downlight	0.40 to 0.56	0.15 to 0.18	<ul style="list-style-type: none"> • Use middle value in most cases. • May use higher space fraction value for high supply air temperature and lower value for smaller air flowrate. • May use higher radiant value for dimming control and lower value for large supply air flowrate.
Recessed LED retrofit kit 2x4	0.41 to 0.53	0.31 to 0.42	<ul style="list-style-type: none"> • Use middle value in most cases. • May use higher space fraction value for large supply air flowrate and lower value for ducted return configuration. • May use higher radiant value for ducted return configuration and lower value for larger supply airflow rate.
Recessed LED color tuning fixture	0.53 to 0.56	0.40 to 0.42	Use middle value in most cases.
High-bay LED fixture	1.0	0.42 to 0.51	Use middle value in most cases.
Linear pendant LED fixture	1.0	0.55 to 0.60	Use middle value in most cases.

Sources: Fisher and Chantrasrisalai (2006); Zhou et al. 2016.

Πίνακας 10 : Παράμετροι αύξησης θερμότητας φωτισμού για τυπικές συνθήκες λειτουργίας

5.3.2 Εσωτερικά θερμικά κέρδη από ανθρώπους

Ο ρυθμός με τον οποίον το ανθρώπινο σώμα αποδίδει θερμότητα και υγρασία, εξαρτάται από τον βαθμό δραστηριότητας (είδος εργασίας), το είδος της ενδυμασίας και τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Τα αισθητά θερμικά φορτία δεν μετατρέπεται ολόκληρο αμέσως σε ψυκτικό φορτία, καθώς κάποιο ποσοστό του αισθητού φορτίου αποδίδεται σε μορφή ακτινοβολίας, απορροφάται πρώτα από το κέλυφος του κτιρίου και μεταφέρεται μέσω συναγωγής στο χώρο μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Αντίθετα, τα λανθάνοντα θερμικά κέρδη θεωρούνται συνήθως στιγμιαία ψυκτικά φορτία.

Στον Πίνακα 11 δίδονται αντιπροσωπευτικά ποσοστά με τα οποία εκπέμπεται θερμότητα και υγρασία από ανθρώπους, για διάφορες συνθήκες περιπτώσεις.

Degree of Activity	Location	Total Heat, W		Sensible Heat, W	Latent Heat, W	% Sensible Heat that is Radiant ^b	
		Adult Male	Adjusted, M/F ^a			Low V	High V
Seated at theater	Theater	115	105	70	35	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	130	115	70	45		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	140	130	75	55	58	38
Standing, light work; walking	Department store; retail store	160	130	75	55		
Walking, standing	Drug store, bank	160	145	75	70		
Sedentary work	Restaurant ^c	145	160	80	80		
Light bench work	Factory	235	220	80	140	49	35
Moderate dancing	Dance hall	265	250	90	160		
Walking 4.8 km/h; light machine work	Factory	295	295	110	185		
Bowling ^d	Bowling alley	440	425	170	255	54	19
Heavy work	Factory	440	425	170	255		
Heavy machine work; lifting	Factory	470	470	185	285		
Athletics	Gymnasium	585	525	210	315		

Πίνακας 11 : Θερμικά κέρδη από ανθρώπους για διάφορες δραστηριότητες

Το συνολικό αισθητό και λανθάνον θερμικό κέρδος από ανθρώπους εκφράζεται λοιπόν από τις σχέσεις:

$$q_s = q_{s,per} \cdot N$$

$$q_l = q_{l,per} \cdot N$$

Όπου N , το πλήθος ατόμων

q_s και $q_{s,per}$: αισθητό θερμικό κέρδος από ανθρώπους, ολικό και ανά άτομο αντίστοιχα

q_l και $q_{l,per}$: λανθάνον θερμικό κέρδος από ανθρώπους, ολικό και ανά άτομο αντίστοιχα

5.3.3 Εσωτερικά θερμικά κέρδη από συσκευές και ηλεκτρομηχανικό εξοπλισμό

Κατά την εκτίμηση του ψυκτικού φορτίου πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα θερμικά κέρδη από όλες τις συσκευές. Λόγω της ποικιλίας συσκευών, των εφαρμογών τους και το πρόγραμμα χρήσης τους, μπορεί οι εκτιμήσεις αυτές να είναι πολύ υποκειμενικές.

Ο μέσος ρυθμός κατανάλωσης ενέργεια μιας συσκευής μπορεί να εκτιμηθεί από την ονομαστική ενέργεια της συσκευής, εφαρμόζοντας ένα συντελεστή χρήσης. Τα αισθητά θερμικά κέρδη για ηλεκτρικές συσκευές γενικής χρήσης μπορούν να εκτιμηθούν χρησιμοποιώντας μια από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$q_s = q_{input} \cdot F_U \cdot F_R$$

Όπου, q_{input} η ονομαστική ισχύς

F_U , ο συντελεστής χρήσης

F_R : ο συντελεστής ακτινοβολίας, ο οποίος είναι συναρτήσε τόσο του τύπου της συσκευής όσο και της πηγής καυσίμου.

Διάφορες περιπτώσεις θερμικών κερδών, κυρίως για εξοπλισμό γραφείων, δίνονται στους πίνακες που ακολουθούν.

Recommended Heat Gain for Typical Desktop Computers

Description	Nameplate Power, ^a W	Peak Heat Gain, ^{b, d} W
Manufacturer 1		
3.0 GHz processor, 4 GB RAM, $n = 1$	NA	83
3.3 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 8$	NA	50
3.5 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 2$	NA	42
3.6 GHz processor, 16 GB RAM, $n = 2$	NA	66
3.3 GHz processor, 16 GB RAM, $n = 2$	NA	52
4.0 GHz processor, 16 GB RAM, $n = 1$	NA	83
3.3 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA	84
3.7 GHz processor, 32 GB RAM, $n = 1$	750	116
	NA	102
3.5 GHz processor, 16 GB RAM, $n = 3^c$	550	144
	NA	93
Manufacturer 2		
3.6 GHz processor, 32 GB RAM, $n = 8$	NA	80
3.6 GHz processor, 16 GB RAM, $n = 1$	NA	78
3.4 GHz processor, 32 GB RAM, $n = 1$	NA	72
3.4 GHz processor, 24 GB RAM, $n = 1$	NA	86
3.50 GHz processor, 4 GB RAM, $n = 1$	NA	26
3.3 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA	78
3.20 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA	61
3.20 GHz processor, 4 GB RAM, $n = 1$	NA	44
2.93 GHz processor, 16 GB RAM, $n = 1$	NA	151
2.67 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA	137
Average 15-min peak power consumption (range)	82 (26-151)	

Source: Bach and Sarfraz (2017)

n = number of tested equipment of same configuration.

^aNameplate for desktop computer is present on its power supply, which is mounted inside desktop, hence not accessible for most computers, where NA = not available.

^bFor equipment peak heat gain value, highest 15-min interval of recorded data is listed in tables.

^cFor tested equipment with same configuration, increasing power supply size does not increase average power consumption.

^dApproximately 90% convective heat gain and 10% radiative heat gain.

Recommended Heat Gain for Typical Laptops and Laptop Docking Station

Equipment Description	Nameplate Power, ^a W	Peak Heat Gain, ^{b, c} W
Laptop computer	Manufacturer 1, 2.6 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA 46
	Manufacturer 2, 2.4 GHz processor, 4 GB RAM, $n = 1$	NA 59
Average 15-min peak power consumption (range)		53 (46-59)
Laptop with docking station	Manufacturer 1, 2.7 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA 38
	1.6 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 2$	NA 45
	2.0 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA 50
	2.6 GHz processor, 4 GB RAM, $n = 1$	NA 51
	2.4 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA 40
	2.6 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA 35
	2.7 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA 59
	3.0 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 3$	NA 70
	2.9 GHz processor, 32 GB RAM, $n = 3$	NA 58
	3.0 GHz processor, 32 GB RAM, $n = 1$	NA 128
	3.7 GHz processor, 32 GB RAM, $n = 1$	NA 63
	3.1 GHz processor, 32 GB RAM, $n = 1$	NA 89
Average 15-min peak power consumption (range)		61 (26-151)

Source: Bach and Sarfraz (2017)

n = number of tested equipment of same configuration.

Recommended Heat Gain for Typical Tablet PC

Description	Nameplate Power, ^a W	Peak Heat Gain, ^b W
1.7 GHz processor, 4 GB RAM, $n = 1$	NA	42
2.2 GHz processor, 16 GB RAM, $n = 1$	NA	40
2.3 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA	30
2.5 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA	31
Average 15-min peak power consumption (range)		36 (31-42)

Πίνακας 12 : Θερμικά κέρδη από υπολογιστές και λάπτοπ

Recommended Heat Gain for Typical Monitors

Description ^a	Name-plate Power, W	Peak Heat Gain, ^{b, c} W
Manufacturer 1		
1397 mm LED flat screen, <i>n</i> = 1 (excluded from average because atypical size)	240	50
686 mm LED flat screen, <i>n</i> = 2	40	26
546 mm LED flat screen, <i>n</i> = 2	29	25
Manufacturer 2		
1270 mm 3D LED flat screen, <i>n</i> = 1 (excluded from average because atypical size)	94	49
Manufacturer 3		
864 mm LCD curved screen, <i>n</i> = 1 (excluded from average because atypical size and curved)	130	48
584 mm LED flat screen, <i>n</i> = 3	50	17
584 mm LED flat screen, <i>n</i> = 1	38	21
584 mm LED flat screen, <i>n</i> = 1	38	14
Manufacturer 4		
610 mm LED flat screen, <i>n</i> = 1	42	25
Manufacturer 5		
600 mm LED flat screen, <i>n</i> = 1	26	17
546 mm LED flat screen, <i>n</i> = 1	29	22
Manufacturer 6		
546 mm LED flat screen, <i>n</i> = 1	28	24
Average 15-min peak power consumption (range)	21 (14-26)	

Source: Bach and Sarfraz (2017)

n = number of tested equipment of same configuration.

^aScreens with atypical size and shape are excluded for calculating average 15-min peak power consumption.

^bFor equipment peak heat gain value, highest 15-min interval of recorded data is listed in tables.

^cApproximately 60% convective heat gain and 40% radiative heat gain.

Πίνακας 13 : Θερμικά κέρδη από οθόνες

Recommended Heat Gain for Typical Printers

Equipment	Description	Max. Printing Speed, Pages per Minute	Name-plate Power, W	Peak Heat Gain, ^a W
Multifunction printer (copy, print, scan)	Large, multiuser, office type	40	1010	540 (Idle 29 W)
		30	1300	303 (Idle 116 W)
		28	1500	433 (Idle 28 W)
Average 15-min peak power consumption (range)		425 (303-540)		
	Multiuser, medium-office type	35	900	732 (Idle 18 W)
	Desktop, small-office type	25	470	56 (Idle 3 W)
Monochrome printer	Desktop, medium-office type	55	1000	222
		45	680	61
Average 15-min peak power consumption (range)		142 (61-222)		
Color printer	Desktop, medium-office type	40	620	120
Laser printer	Desktop, small-office type	14	310	89
		24	495	67
		26	1090	65
Average 15-min peak power consumption (range)		74 (65-89)		
Plotter	Manufacturer 1		1600	571
	Manufacturer 2		270	173
Average 15-min peak power consumption (range)		372 (173-571)		
Fax machine	Medium		1090	92
	Small		600	46
Average 15-min peak power consumption (range)		69 (46-92)		

Source: Bach and Sarfraz (2017)

^aApproximately 70% convective heat gain and 30% radiative heat gain.

Πίνακας 14 : Θερμικά κέρδη από εκτυπωτές

5.4 Κέρδη θερμότητας λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα και υγρασίας

5.4.1 Ανανέωση και διείσδυση αέρα

Ανανέωση του αέρα στο χώρο είναι η ηθελημένη προσαγωγή αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος στον κλιματιζόμενο χώρο μέσω της κλιματιστικής συσκευής, ενώ η διείσδυση του αέρα είναι η είσοδος του από διάκενα και ανοίγματα. Όταν η πίεση στον κλιματιζόμενο χώρο είναι θετική, η διείσδυση του αέρα μηδενίζεται και δεν περιλαμβάνεται στους υπολογισμούς του ψυκτικού φορτίου.

Κατά την πρόσδοση θερμότητας σε ένα χώρο λόγω ανανέωσης ή διείσδυσης του αέρα, το ψυκτικό φορτίο ταυτίζεται με το θερμικό κέρδος διότι η προσδιδόμενη θερμότητα παραλαμβάνεται αμέσως από τον αέρα του χώρου.

Το συνολικό ψυκτικό φορτίο (Q_t) λόγω παροχής εξωτερικού αέρα (Q), λόγω διαφοράς ενθαλπίας μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα (Δh) υπολογίζεται από την σχέση :

$$Q_t = 1.2 \cdot Q \cdot \Delta h$$

Το αισθητό ψυκτικό φορτίο (Q_s), που αντιστοιχεί στην διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα (Δt), υπολογίζεται από την σχέση :

$$Q_s = 1.2 \cdot (1.006 + 1.84 \cdot W) \cdot Q \cdot \Delta t$$

Όπου, 1.006 = ειδική θερμότητα ξηρού αέρα (KJ/(Kg·K))

W : ο λόγος υγρασίας,

Και επειδή μια τιμή $W=0.01$ προσεγγίζει τις συνθήκες στα περισσότερα προβλήματα κλιματισμού, το αισθητό ψυκτικό φορτίο μπορεί να εκφραστεί από την σχέση :

$$Q_s = 1.23 \cdot Q \cdot \Delta t$$

Το λανθάνον ψυκτικό φορτίο (Q_l), αντιστοιχεί στην αναλογία της αλλαγής του λόγου υγρασίας (ΔW), και υπολογίζεται από την σχέση :

$$Q_l = 1300 \cdot Q \cdot \Delta W$$

5.5 Θερμικό κέρδος μέσω Υαλοπινάκων (Fenestration Heat Gains)

Όπως πολύ καλά γνωρίζουμε και έχουμε προαναφέρει, μια σημαντική, καιρική, παράμετρος, που επηρεάζει το ψυκτικό φορτίο είναι η ηλιακή ακτινοβολία.

Πίσω από τον προσδιορισμό του ηλιακού κέρδους και της μεταφοράς θερμότητας δι' αγωγής υπάρχει μεγάλη και αναλυτική διαδικασία που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Μια μεθοδολογία την οποία και η ASHRAE εξηγεί αναλυτικά, και δίνει την δυνατότητα υπολογισμού του ηλιακού κέρδους θερμότητας και της αγωγίμης μεταφοράς θερμότητας μέσω διαφόρων υαλοπινάκων, λαμβάνοντας υπόψη τα πλαίσια στήριξης και διάφορους τύπους σκίασης, είτε εσωτερική είτε εξωτερική. Ωστόσο στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούν τα απαραίτητα για τον υπολογισμό του θερμικού κέρδους και τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου χώρου.

Το συνολικό θερμικό κέρδος μέσω Υαλοπινάκων αντιστοιχεί στο άθροισμα του θερμικού κέρδους λόγω άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, θερμικού κέρδους διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας και το θερμικό κέρδος δι' αγωγής λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς. Συγκεκριμένα τα θερμικά κέρδη υπολογίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

1. Θερμικά κέρδη άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας (Direct beam solar heat gain) :

$$q_b = A \cdot E_{t,b} \cdot SHGC(\theta) \cdot IAC(\theta, \Omega)$$

Όπου, A : Επιφάνεια υαλοπίνακα (m^2)

$E_{t,b}$: διάχυτη ακτινοβολία δέσμης (Beam diffuse irradiance)

$SHGC(\theta)$: Συντελεστής θερμικού κέρδους ηλιακής ακτινοβολίας (beam Solar Heat Gain Coefficient)

$IAC(\theta, \Omega)$: Συντελεστής σκίασης (Indoor Solar Attenuation coefficient)

2. Θερμικά κέρδη διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας (Diffuse Solar heat gain)

$$q_d = A \cdot (E_{t,d} + E_{t,r}) \cdot (SHGC)_D \cdot IAC_D$$

Όπου, $(E_{t,d} + E_{t,r})$: διάχυτη ακτινοβολία και διάχυτη ακτινοβολία από ανάκλαση εδάφους

$(SHGC)_D$: Συντελεστής θερμικού κέρδους διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας

IAC_D : Συντελεστής σκίασης διάχυτης ακτινοβολίας (Indoor Solar Attenuation coefficient)

3. Θερμικό κέρδος συναγωγής λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς (Conductive Heat Gain)

$$q_c = U \cdot A \cdot (T_{out} - T_{in})$$

5.6 Ανάλυση Μεθόδου RTS – Radiant Time Series Method

Η μέθοδος χρονικών σειρών είναι μια απλοποιημένη μέθοδος για τους υπολογισμούς ψυκτικών φορτίων, η οποία προέρχεται από την μέθοδο θερμικής ισορροπίας (heat balance method). Αντικαθιστά αποτελεσματικά όλες τις άλλες απλοποιημένες μεθόδους, όπως την μέθοδο συνάρτησης μεταφοράς (TFM), Μέθοδος Θερμοκρασιακής Διαφοράς Ψυκτικού Φορτίου (CLTD) κ.α.

Η ηλιακή ενέργεια μεταδίδεται στο εσωτερικό του κτιρίου και μέρος της θερμότητας αυτής απορροφάται από εσωτερικές επιφάνειες, οι οποίες εκπέμπουν αργότερα αυτή τη θερμότητα. Υπάρχει δηλαδή η ακτινοβολία καθυστέρησης όπως αναφέραμε και πιο πάνω. Η μέθοδος θερμικής ισορροπίας (heat balance method) υπολογίζει αυτές τις επιδράσεις χρονικής καθυστέρησης με ορισμένες βασικές παραδοχές, όπως για παράδειγμα ομοιόμορφες θερμοκρασίες στην επιφάνεια. Αντίθετα, η μέθοδος RTS χρησιμοποιεί συντελεστές χρόνου ακτινοβολίας και συντελεστές χρόνου αγωγιμότητας για την κατανομή ωριαίων θερμικών κερδών σε περίοδο 24 ωρών.

Η μέθοδος RTS αναπτύχθηκε έτσι ώστε να προσφέρει μια αυστηρή προσέγγιση, αφού υπολογίζει την συνεισφορά κάθε στοιχείου στο συνολικό φορτίο ψύξης, αλλά δεν απαιτεί επαναληπτικούς και χρονοβόρους υπολογισμούς. Επίσης βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η δυνατότητα που δίνεται στον χρήστη να ελέγχει και να τροποποιεί τους διάφορους συντελεστές επιτρέποντας του να συγκρίνει και την επίδρασή τους στο αποτέλεσμα. Αυτά τα χαρακτηριστικά της RTS μεθόδου διευκολύνουν την εφαρμογή τεχνικής κρίσης κατά τον υπολογισμό ψυκτικού φορτίου.

Η μέθοδος RTS είναι κατάλληλη για τον υπολογισμό φορτίων αιχμής αλλά δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για ετήσιες ενεργειακές προσομοιώσεις λόγω των εγγενών περιοριστικών υποθέσεων-παραδοχών της. Παρόλο που είναι απλή στην σύλληψή της, η μέθοδος RTS περιλαμβάνει πάρα πολλά υπολογιστικά

εργαλεία που την καθιστούν ιδιαιτέρως πρακτική για χειρωνακτική χρήση, αν και μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί σε κάποιο υπολογιστικό φύλλο υπολογιστή.

Τα ψυκτικά φορτία υπολογίζονται με βάση την υπόθεση των σταθερών περιοδικών συνθηκών (δηλαδή ο ημερήσιος καιρός, τα θερμικά κέρδη να είναι πανομοιότυπα με εκείνα των προηγούμενων ημερών έτσι ώστε τα θερμικά φορτία να επαναλαμβάνονται ανά 24ωρο σε κυκλική βάση).Επομένως το θερμικό κέρδος για ένα συγκεκριμένο στοιχείο, μια συγκεκριμένη ώρα είναι το ίδιο με πριν 24 ώρες, με πριν 48 ώρες κ.τ.λ.

Κατά τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου, παρουσιάζονται και πρέπει να αντιμετωπιστούν, δύο φαινόμενα καθυστέρησης χρόνου, τα όποια σχετίζονται με τις διαδικασίες μεταφοράς θερμότητας. Τα δύο αυτά φαινόμενα καθυστέρησης είναι :

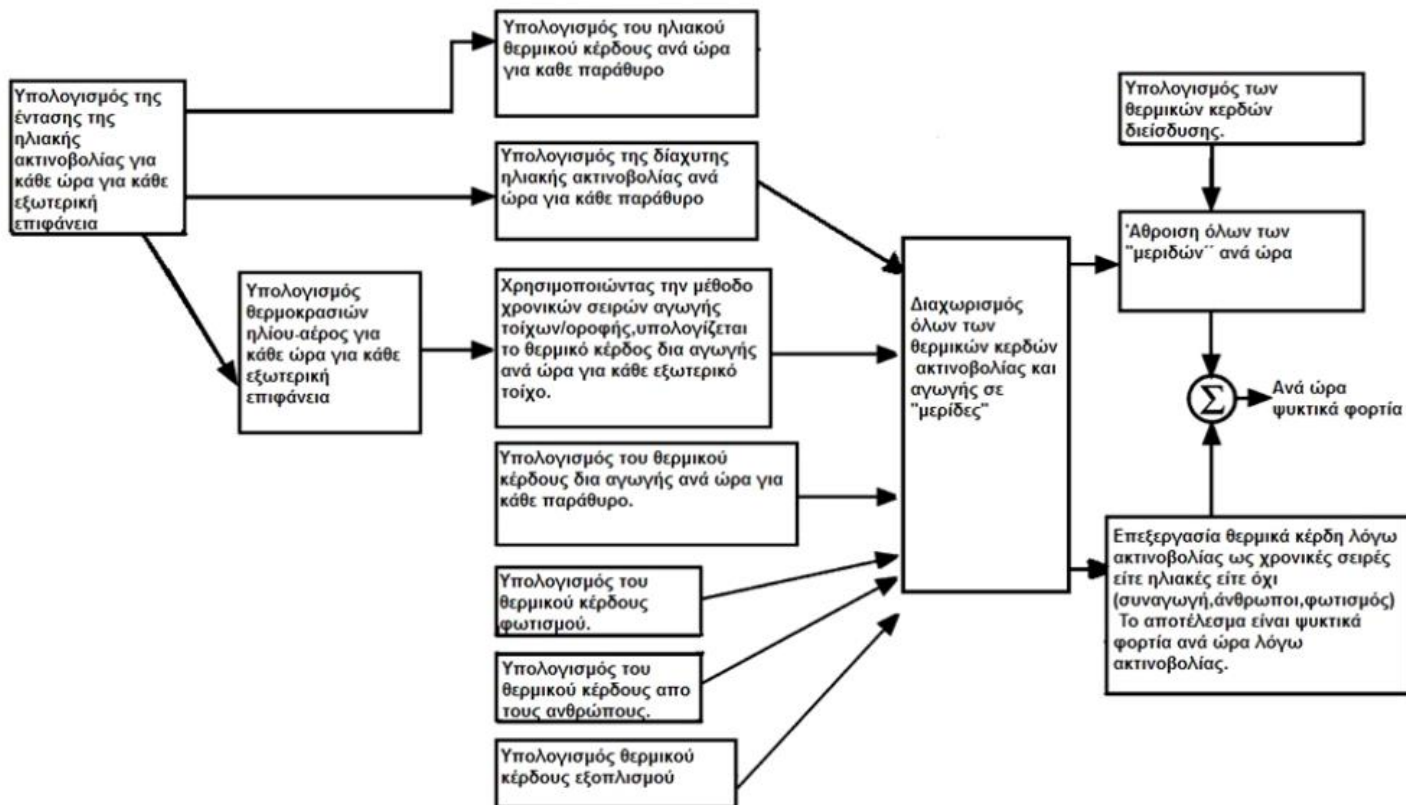
- Καθυστέρηση αύξησης θερμότητας συναγωγής μέσω των αδιαφανών εξωτερικών επιφανειών, όπως οι τοίχοι , οι οροφές και το δάπεδο. Λόγω της μάζας και της θερμικής χωρητικότητας των υλικών κατασκευής τοίχου και οροφής, υπάρχει σημαντική χρονική καθυστέρηση.
- Καθυστέρηση αύξησης θερμότητας ακτινοβολίας σε ψυκτικά φορτία.

Μια γενική εικόνα της μεθόδου RTS φαίνεται στο Σχήμα 7.

Η βασική διαδικασία για τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου για κάθε στοιχείο (φώτα, άνθρωποι, τοίχοι, στέγες, παράθυρα, συσκευές κ.τ.λ.) με την μέθοδο RTS, είναι η εξής:

- Υπολογισμός του 24ωρου προφίλ όλων των συνιστωσών θερμικού κέρδους.
- Διαχωρισμός των θερμικών κερδών σε κέρδη ακτινοβολίας και συναγωγής.
- Εφαρμογή χρονικών σειρών ακτινοβολίας για τον υπολογισμό της χρονικής καθυστέρησης στην μετατροπή της ακτινοβολίας σε ψυκτικά φορτία.
- Άθροιση του θερμικού κέρδους συναγωγής με το χρονικά καθυστερημένο θερμικό κέρδος λόγω ακτινοβολίας για κάθε ώρα για κάθε στοιχείο.

Αφού υπολογιστούν τα φορτία ψύξης για κάθε εξάρτημα/πηγή ξεχωριστά, για κάθε ώρα, αθροίζουμε στη συνέχεια όλα μαζί για να προσδιορίσουμε το συνολικό ψυκτικό φορτίο για κάθε ώρα και να επιλεγεί στη συνέχεια η ώρα αιχμής ώστε να ακολουθήσει ο σχεδιασμός του συστήματος κλιματισμού. Ωστόσο η διαδικασία αυτή θα πρέπει να επαναληφθεί για πολλούς μήνες ώστε να προσδιοριστεί ο μήνας κατά τον οποίον εμφανίζεται το μέγιστο φορτίο.



Σχήμα 7 : Μέθοδος RTS (Radiant Time Series)

5.6.1 Θερμικά κέρδη μέσω εξωτερικών επιφανειών

Θερμοκρασία Sol-Air (Sol-Air Temperature)

“Θερμοκρασία ηλίου-αέρα” ή “Ισοδύναμη θερμοκρασία” , , είναι η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα η οποία σε απουσία όλων των θερμικών συναλλαγών δι’ ακτινοβολίας, δίνει τον ίδιο ρυθμό εισερχόμενης θερμότητας στην επιφάνεια με αυτήν που προκύπτει με τον πραγματικό συνδυασμό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, με την συναλλαγή θερμότητας δι’ ακτινοβολίας με τον ουρανό και με τον εξωτερικό αέρα.

Η εισερχόμενη θερμοροή, $q/A \left(\frac{W}{m^2} \right)$, σε επιφάνεια που δέχεται ηλιακή ακτινοβολία είναι :

$$\frac{q}{A} = \alpha \cdot E_t + h_0(t_0 - t_s) - \varepsilon \cdot \Delta R$$

Όπου, α : Συντελεστής απορρόφησης της επιφάνειας για ηλιακή ακτινοβολία

E_t : προσπίπτουσα ολική ακτινοβολία, W/m^2

h_o : Συντελεστής μετάδοσης θερμότητας που περιλαμβάνει συναγωγή και ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, $W/(m^2K)$

$\varepsilon \cdot \Delta R$: Εκπεμπόμενη ακτινοβολία, W/m^2

t_o : Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα, $^{\circ}C$

t_s : Θερμοκρασία επιφάνειας, $^{\circ}C$

Σύμφωνα με τον ορισμό της θερμοκρασίας Sol-Air, t_e , η θερμορροή, εκφράζεται από την σχέση :

$$\frac{q}{A} = h_o \cdot (t_e - t_s)$$

Και προκύπτει η σχέση :

$$t_e = t_o + \frac{a \cdot E_t}{h_o} - \frac{\varepsilon \cdot \Delta R}{h_o}$$

Στην μέθοδο RTS, η αγωγιμότητα μέσω εξωτερικών τοίχων και οροφών, υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τιμές CTS (Conduction Time Series). Η θερμότητα δια αγωγής που εισέρχεται στις επιφάνειες τοίχου και οροφής, ορίζεται από την εξίσωση αγωγιμότητας ως :

$$q_{i,\theta-n} = U \cdot A \cdot (t_{e,\theta-n} - t_{rc})$$

Όπου, $q_{i,\theta-n}$: εισερχόμενη θερμότητας δια αγωγής επιφάνειας n ώρες πριν, W

A : επιφάνεια τοίχου ή οροφής, m^2

$t_{e,\theta-n}$: θερμοκρασία ατμοσφαιρικού αέρα πριν από n ώρες, $^{\circ}C$

t_{rc} : σταθερή θερμοκρασία αέρα δωματίου, $^{\circ}C$

Το θερμικό κέρδος δια αγωγής μέσω τοίχων ή οροφών μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τα εισερχόμενα ποσά θερμότητας δια αγωγής για τις τρέχουσες ώρες και τις τελευταίες 23 ώρες :

$$q_{\theta} = c_0 \cdot q_{i,\theta} + c_1 \cdot q_{i,\theta-1} + c_2 \cdot q_{i,\theta-2} + \dots + c_{23} \cdot q_{i,\theta-23}$$

Όπου, q_{θ} : ωριαίο θερμικό κέρδος δια αγωγής για επιφάνεια

$q_{i,\theta}$: είσοδος θερμότητας για την τρέχουσα ώρα

$q_{i,\theta-n}$: είσοδος θερμότητας πριν από ώρες

c_0, c_1, \dots, c_{23} : συντελεστές χρόνου αγωγής

5.6.2 Θερμικά κέρδη μέσω εσωτερικών επιφανειών

Για χώρους οι οποίοι βρίσκονται δίπλα δίπλα και είναι ρυθμισμένοι ώστε να διατηρούν διαφορετική θερμοκρασία εσωτερικού αέρα, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η μεταφορά θερμότητας μέσω του τμήματος που διαχωρίζει τους δύο χώρους.

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας υπολογίζεται από την σχέση :

$$q = U \cdot A \cdot (t_b - t_i)$$

Όπου, U : ο συντελεστής συνολικής μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του παρακείμενου και κλιματιζόμενου χώρου $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$

A : Διαχωριστική επιφάνεια, m^2

$(t_b - t_i)$: θερμοκρασιακή διαφορά δύο χώρων

Για δάπεδα που έρχονται σε άμεση επαφή με το έδαφος ή βρίσκονται πάνω από ένα υπόγειο που δεν απαιτείται αερισμός του, μπορεί να παραμεληθεί το αισθητό ποσό θερμότητας, επειδή συνήθως υπάρχει απώλεια θερμότητας παρά κέρδος. Εξαιρέση γίνεται σε θερμά κλίματα, όπου η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα υπερβαίνει την κατάσταση εσωτερικού σχεδιασμού και η θετική διαφορά θερμοκρασίας εδάφους και εσωτερικού χώρου προκαλεί αισθητά θερμικά κέρδη. Σημαντική σε πολλά κλίματα είναι και η μεταφορά υγρασίας, η οποία συμβάλλει στο λανθάνον μέρος θερμότητας του ψυκτικού φορτίου.

5.7 Υπολογισμός Ψυκτικού Φορτίου

Το στιγμιαίο ψυκτικό φορτίο είναι ο ρυθμός με τον οποίο η θερμική ενέργεια μεταφέρεται στον αέρα της θερμικής ζώνης, μια δεδομένη χρονική στιγμή. Ο υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου περιπλέκεται από την εναλλαγή ακτινοβολίας μεταξύ επιφανειών, επιπλών και άλλων μαζών που βρίσκονται θερμική ζώνη. Οι περισσότερες πηγές που προκαλούν αύξηση θερμότητας, μεταφέρουν τόσο θερμότητα δια αγωγής όσο και από ακτινοβολία. Η θερμότητα μέσω ακτινοβολίας εισάγει μια χρονική εξάρτηση και είναι δύσκολο να προσδιοριστεί.

Το φορτίο ψύξης για κάθε στοιχείο που προσδίδει ψυκτικό φορτίο (φώτα, άτομα, τοίχοι, οροφές, παράθυρα και συσκευές) για μια συγκεκριμένη ώρα, είναι ίσο με το άθροισμα του θερμικού κέρδους συναγωγής, την συγκεκριμένη ώρα, και το χρονικά καθυστερημένο τμήμα του θερμικού κέρδους ακτινοβολίας την συγκεκριμένη ώρα και τις προηγούμενες 23 ώρες. Τα θερμικά κέρδη ακτινοβολίας οφείλονται τόσο σε ηλιακά κέρδη, όσο και μη ηλιακά, όπως ο τοίχος, οροφή, δάπεδο, άνθρωποι, φωτισμός κλπ.

Η μέθοδος RTS μετατρέπει τα ωριαία θερμικά κέρδη ακτινοβολίας σε ωριαία φορτία ψύξης χρησιμοποιώντας συντελεστές χρόνου ακτινοβολίας, ώστε να υπολογιστεί το ψυκτικό φορτίο την

τρέχουσα ώρα. Οι χρονικές σειρές ακτινοβολίας για μια συγκεκριμένη ζώνη δίνουν την χρονικά εξαρτώμενη απόκριση της ζώνης σε έναν μόνο παλμό ακτινοβολούμενης ενέργειας.

Για να μετατρέψουμε το τμήμα ακτινοβολίας των ωριαίων θερμικών κερδών σε ωριαία ψυκτικά φορτία, χρησιμοποιείται η σχέση:

$$Q_{r,\theta} = r_0 \cdot q_{r,\theta} + r_1 \cdot q_{r,\theta-1} + r_2 \cdot q_{r,\theta-2} + \dots + r_{23} \cdot q_{r,\theta-23}$$

Όπου, $Q_{r,\theta}$: Ψυκτικό φορτίο ακτινοβολίας Q_r για την τρέχουσα ώρα θ , W

$q_{r,\theta}$: θερμικά κέρδη λόγω ακτινοβολίας την τρέχουσα ώρα, W

$q_{r,\theta-n}$: θερμικά κέρδη ακτινοβολίας n ώρες πριν, W

r_0, r_1, \dots, r_{23} : χρονικοί συντελεστές ακτινοβολίας

Επομένως, το στιγμιαίο ψυκτικό φορτίο του χώρου, υπολογίζεται από την σχέση :

$$Q_s = \sum Q_{i,r} + Q_{i,c}$$

$$Q_i = \sum q_{i,l}$$

Όπου, Q_s : το αισθητό ψυκτικό φορτίο του δωματίου

$Q_{i,r}$: το αισθητό ψυκτικό φορτίο ακτινοβολίας για την τρέχουσα ώρα

$Q_{i,c}$: το αισθητό ψυκτικό φορτίο συναγωγής που προκύπτει από το στοιχείο που προσδίδει θερμότητα

$q_{i,l}$: το λανθάνον ψυκτικό φορτίο που προκύπτει από το στοιχείο που προσδίδει θερμότητα

Το ποσό αισθητού ψυκτικού φορτίου ακτινοβολίας ισούται με :

$$Q_{i,r} = Q_{r,\theta}$$

Και το ποσό αισθητού ψυκτικού φορτίου συναγωγής ισούται με :

$$Q_{i,c} = q_{i,c}$$

Όπου, $q_{i,c}$: ποσό αισθητού θερμικού κέρδους συναγωγής από το στοιχείο

$$q_{i,c} = q_{i,s} \cdot (1 - F_r)$$

$q_{i,s}$: το αισθητό θερμικό κέρδος από το στοιχείο

F_r : κλάσμα θερμικού κέρδους που είναι ακτινοβολούμενο

Προτεινόμενες τιμές για κλάσματα ακτινοβολούμενου θερμικού κέρδους και θερμικού κέρδους συναγωγής δίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

Heat Gain Type	Recommended Radiative Fraction	Recommended Convective Fraction
Occupants, typical office conditions	0.60	0.40
Equipment	0.1 to 0.8	0.9 to 0.2
Office, with fan	0.10	0.90
Without fan	0.30	0.70
Lighting		
Conduction heat gain		
Through walls and floors	0.46	0.54
Through roof	0.60	0.40
Through windows	0.33 (SHGC > 0.5) 0.46 (SHGC < 0.5)	0.67 (SHGC > 0.5) 0.54 (SHGC < 0.5)
Solar heat gain through fenestration		
Without interior shading	1.00	0.00
With interior shading		
Infiltration	0.00	1.00

Source: Nigusse (2007).

Πίνακας 15 : Τιμές κλάσματος ακτινοβολίας και κλάσματος συναγωγής για διάφορες περιπτώσεις θερμικού κέρδους

5.8 Υπολογισμός Θερμικού Φορτίου

Οι τεχνικές για την εκτίμηση του θερμικού φορτίου είναι ουσιαστικά ίδιες με τις τεχνικές για τον προσδιορισμό των ψυκτικών φορτίων με τις εξαιρέσεις ότι δεν περιλαμβάνονται τα ηλιακά ή τα εσωτερικά θερμικά κέρδη και το φαινόμενο της αποθήκευσης θερμότητας στο κέλυφος του κτιρίου ή στο εσωτερικό του αγνοείται.

Οι απώλειες θερμότητας θεωρούνται στιγμιαίες και η μεταφορά θερμότητας αντιμετωπίζεται μόνο ως συνάρτηση της αντικατάστασης της υγρασίας χώρου που έχει χαθεί στο εξωτερικό περιβάλλον.

5.8.1 Υπολογισμός θερμικών απωλειών

Ένα ιδανικό σύστημα θέρμανση παρέχει αρκετή θερμότητα ώστε να καλύπτει τις απώλειες θερμότητας της κατασκευής και να διατηρούνται οι επιθυμητές εσωτερικές συνθήκες ώστε να παρέχεται η θερμική άνεση στους χρήστες. Κατά τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων χρησιμοποιούνται πιο απλοποιημένες υποθέσεις και ακολουθεί μια πιο απλούστερη διαδικασία υπολογισμού. Συνήθως κατά τους υπολογισμούς θερμικού φορτίου δεν λαμβάνεται υπόψη κάποια αύξηση θερμότητας λόγω ηλιακών ή εσωτερικών πηγών, αλλά μια μόνο εξωτερική θερμοκρασία. Έτσι το θερμικό φορτίο του χώρου προσδιορίζεται με τον υπολογισμό του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας μέσω των στοιχείων

Για όλες επιφάνειες οι οποίες εκτίθενται στο εξωτερικό περιβάλλον (τοιχοί, πόρτες, οροφές κλπ.), χρησιμοποιείται η σχέση :

$$q = A \cdot HF$$

$$HF = U \cdot \Delta t$$

Όπου, HF : συντελεστής θερμικού φορτίου

Ένα ακόμη φορτίο που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι το φορτίο λόγω διήθησης (infiltration). Κατά την διάρκεια του χειμώνα, η διείσδυση εξωτερικού αέρα έχει ως αποτέλεσμα θερμικές απώλειες, λόγω του ότι ο κρύος αέρας πρέπει να θερμανθεί στην επιθυμητή θερμοκρασία δωματίου και να προστεθεί υγρασία. Τα φορτία λόγω διείσδυσης αέρα ωστόσο έχουν αναφερθεί για τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου πιο πάνω.

External Heat Gain**Sol-Air Temperature**

$$t_e = t_o + \frac{\alpha E_t}{h_o} - \frac{\epsilon \Delta R}{h_o}$$

where

- t_e = sol-air temperature, °C
 t_o = outdoor air temperature, °C
 α = absorptance of surface for solar radiation
 E_t = total solar radiation incident on surface, W/m²
 h_o = coefficient of heat transfer by long-wave radiation and convection at outer surface, W/(m²·K)
 ϵ = hemispherical emittance of surface
 ΔR = difference between long-wave radiation incident on surface from sky and surroundings and radiation emitted by blackbody at outdoor air temperature, W/m²; 20 for horizontal surfaces; 0 for vertical surfaces

Wall and Roof Transmission

$$q_{t,b-n} = c_0 q_{t,b} + c_1 q_{t,b-1} + c_2 q_{t,b-2} + \dots + c_{23} q_{t,b-23}$$

$$q_{t,b-n} = UA(t_{e,b-n} - t_{rc})$$

where

- $q_{t,b}$ = hourly conductive heat gain for surface, W
 $q_{t,b}$ = heat input for current hour
 $q_{t,b-n}$ = conductive heat input for surface n hours ago, W
 c_0, c_1, \dots = conduction time factors
 U = overall heat transfer coefficient for surface, W/(m²·K)
 A = surface area, m²

Fenestration Transmission

$$q_c = UA(T_{out} - T_{in})$$

where

- q = fenestration transmission heat gain, W
 U = overall U-factor, including frame and mounting orientation

 A = window area, m²
 T_{in} = indoor temperature, °C
 T_{out} = outdoor temperature, °C

Fenestration Solar

T_{out} = outdoor temperature, °C

$$q_b = AE_{t,b} \text{SHGC}(\theta) \text{IAC}(\theta, \Omega) \quad (12)$$

$$q_d = A(E_{t,d} + E_{t,r}) (\text{SHGC})_D \text{IAC}_D \quad (13)$$

where

- q_b = beam solar heat gain, W
 q_d = diffuse solar heat gain, W
 A = window area, m²
 $E_{t,b}, E_{t,d},$ and $E_{t,r}$ = beam, sky diffuse, and ground-reflected diffuse irradiance,
 $\text{SHGC}(\theta)$ = beam solar heat gain coefficient as a function of incident angle θ ;
 $\text{IAC}(\theta, \Omega)$ = indoor solar attenuation coefficient for beam solar heat gain coefficient; = 1.0 if no indoor shading device. $\text{IAC}(\theta, \Omega)$ is a function of shade type and, depending on type, may also be a function of beam solar angle of incidence θ and shade geometry
 IAC_D = indoor solar attenuation coefficient for diffuse solar heat gain coefficient; = 1.0 if not indoor shading device. IAC_D is a function of shade type and, depending on type, may also be a function of shade geometry

Partitions, Ceilings, Floors Transmission

$$q = UA(t_b - t_i)$$

where

- q = heat transfer rate, W
 U = coefficient of overall heat transfer between adjacent and conditioned space, W/(m²·K)
 A = area of separating section concerned, m²
 t_b = average air temperature in adjacent space, °C
 t_i = air temperature in conditioned space, °C

Internal Heat Gain**Occupants**

$$q_s = q_{s,per} N$$

$$q_l = q_{l,per} N$$

where

- q_s = occupant sensible heat gain, W
 q_l = occupant latent heat gain, W
 $q_{l,per}$ = latent heat gain per person, W/person;
 N = number of occupants

Lighting

$$q_{el} = WF_{ul} F_{sa}$$

where

- q_{el} = heat gain, W
 W = total light wattage, W
 F_{ul} = lighting use factor
 F_{sa} = lighting special allowance factor

Electric Motors

$$q_{em} = (P/E_M) F_{UM} F_{LM}$$

where

- q_{em} = heat equivalent of equipment operation, W
 P = motor power rating, W
 E_M = motor efficiency, decimal fraction <1.0
 F_{UM} = motor use factor, 1.0 or decimal fraction <1.0
 F_{LM} = motor load factor, 1.0 or decimal fraction <1.0

Hooded Cooking Appliances

$$q_s = q_{input} F_U F_R$$

where

- q_s = sensible heat gain, W
 q_{input} = nameplate or rated energy input, W
 F_U = usage factor;
 F_R = radiation factor;

For other appliances and equipment, find q_s for

Unhooded cooking appliances:

Other kitchen equipment:

Hospital and laboratory equipment:

Computers, printers, scanners, etc.:

Miscellaneous office equipment:

Find q_l for

Unhooded cooking appliances:

Other kitchen equipment

Ventilation and Infiltration Air Heat Gain

$$q_s = 1.23 Q_s \Delta t \quad (9)$$

$$q_l = 1.20 \times 2500 Q_s \Delta W = 3010 Q_s \Delta W \quad (10)$$

where

- q_s = sensible heat gain due to infiltration, W

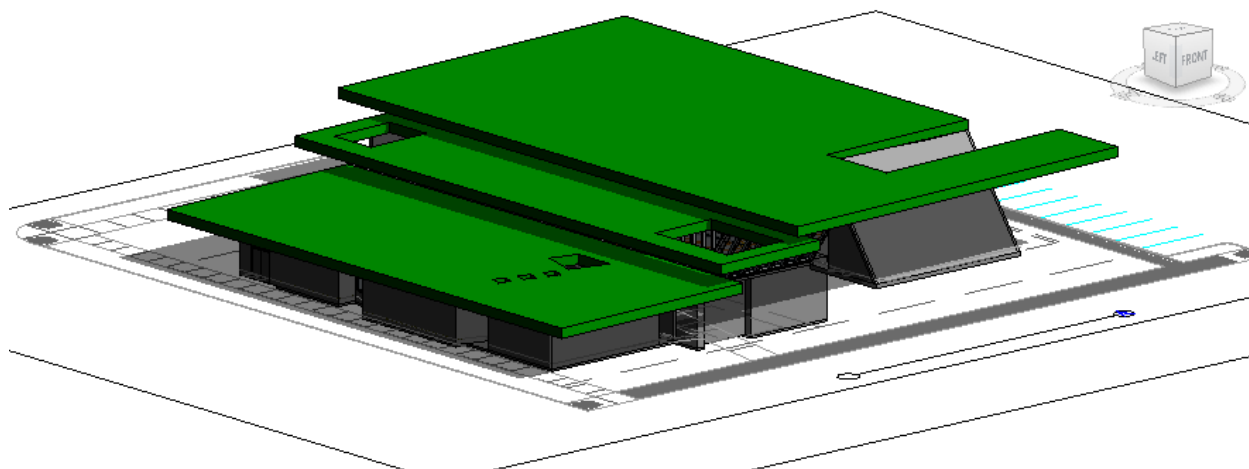
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Παρουσίαση κτιρίου και συστημάτων και προσομοίωση με το λογισμικό EnergyPlus

6.1 Παρουσίαση κτιρίου

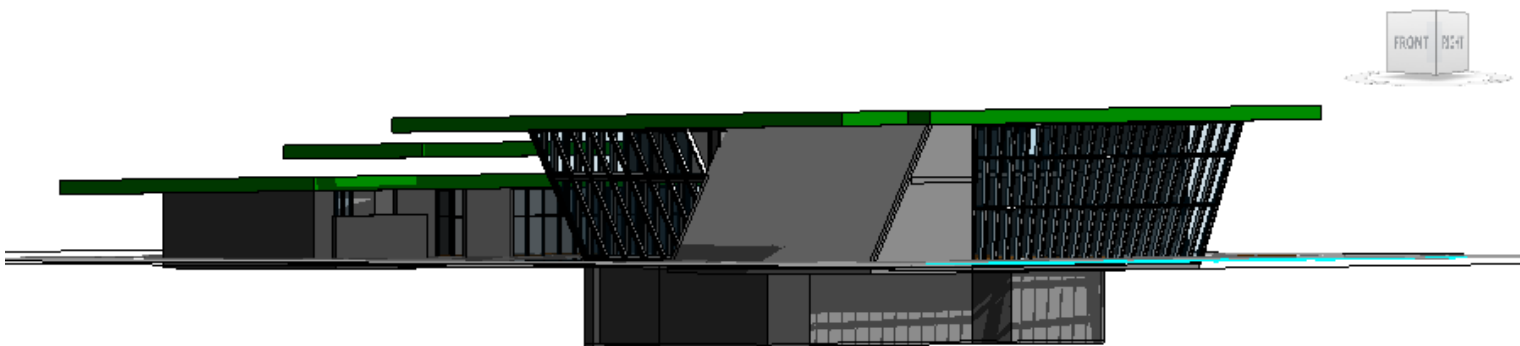
Το παρόν κτίριο που μελετάμε, δόθηκε στα πλαίσια του διαγωνισμού της *ASHRAE, 2020 DESIGN COMPETITION*.

Το υπό μελέτη κτίριο, έκτασης 1625m², έχει κύριο σκοπό να αποθηκεύσει σπάνια έγγραφα, βιβλία, χειρόγραφα, φωτογραφίες και ηχογραφήσεις, ώστε να διασφαλίσει την διατήρηση ιστορικών αρχείων για τις μελλοντικές χρονιές, και να δοθεί η δυνατότητα πρόσβασης τους στους επισκέπτες, με ασφαλή τρόπο που θα αποτρέπει την αλλοίωση τους από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

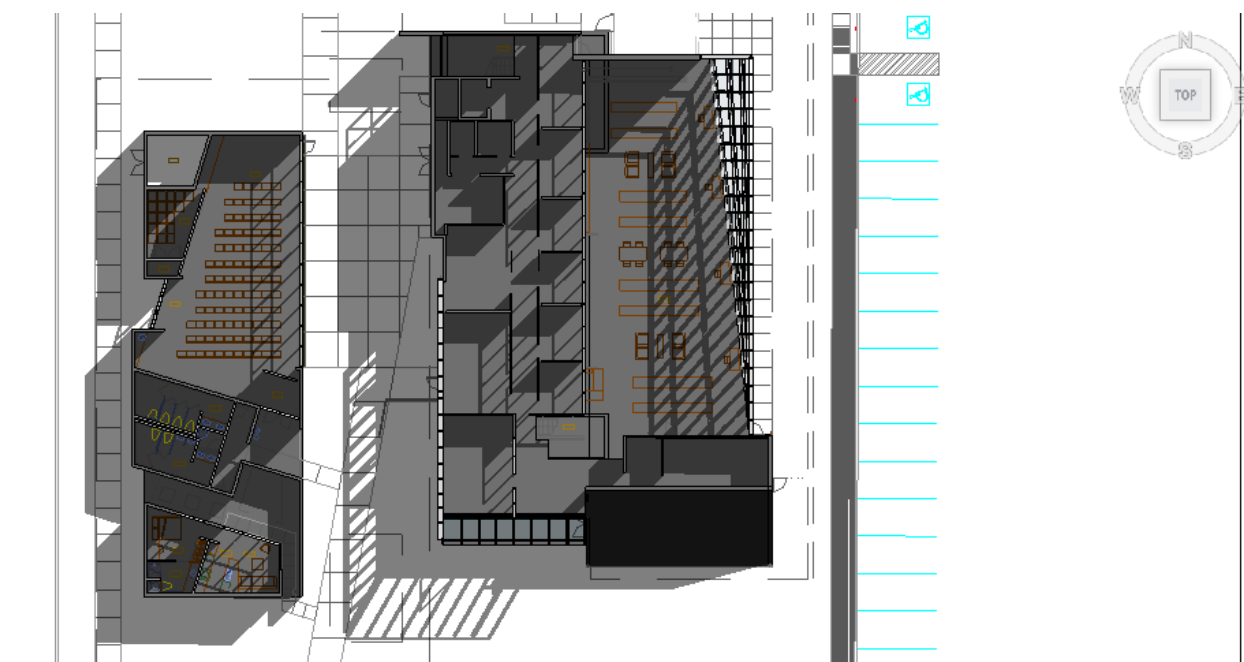
Η εγκατάσταση αποτελείται από ένα τριώροφο κτίριο, ένα ανεξάρτητο χώρο διαλέξεων και ένα μικρό διαμέρισμα για προσκεκλημένους ομιλητές και επισκέπτες. Οι χώροι του τριώροφου (υπόγειο, κύριος όροφος, πάνω όροφος) κεντρικού κτιρίου περιλαμβάνουν βιβλιοθήκες, χώρους αποθήκευσης αρχείων, αίθουσες διδασκαλίας, γραφεία, αίθουσες ανάγνωσης βιβλίων και μελέτης, αποθηκευτικούς χώρους, αίθουσες τηλεπικοινωνιών, ενώ το διαμέρισμα περιλαμβάνει ένα υπνοδωμάτιο, μπάνιο και μικρή κουζίνα. Ακολουθούν τα αρχιτεκτονικά σχέδια της εγκατάστασης, στα οποία μπορούμε να αναγνωρίσουμε τους χώρους, τους οποίους αναφέραμε πιο πάνω, από τους οποίους αποτελείται η εγκατάσταση.



Εικόνα 22 : Το υπό μελέτη κτίριο

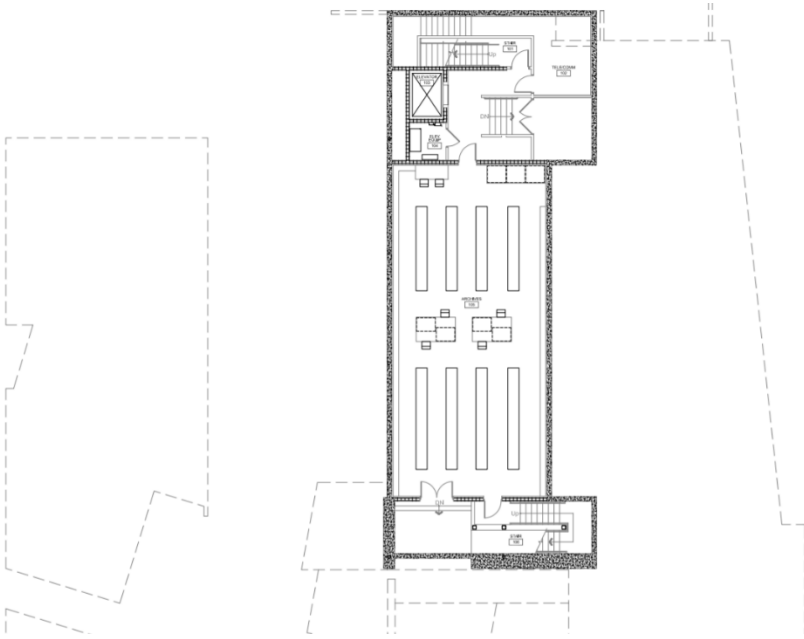


Εικόνα 23 : Το υπό μελέτη κτίριο



Εικόνα 24 : Κάτοψη του υπό μελέτη κτιρίου

Υπόγειο :

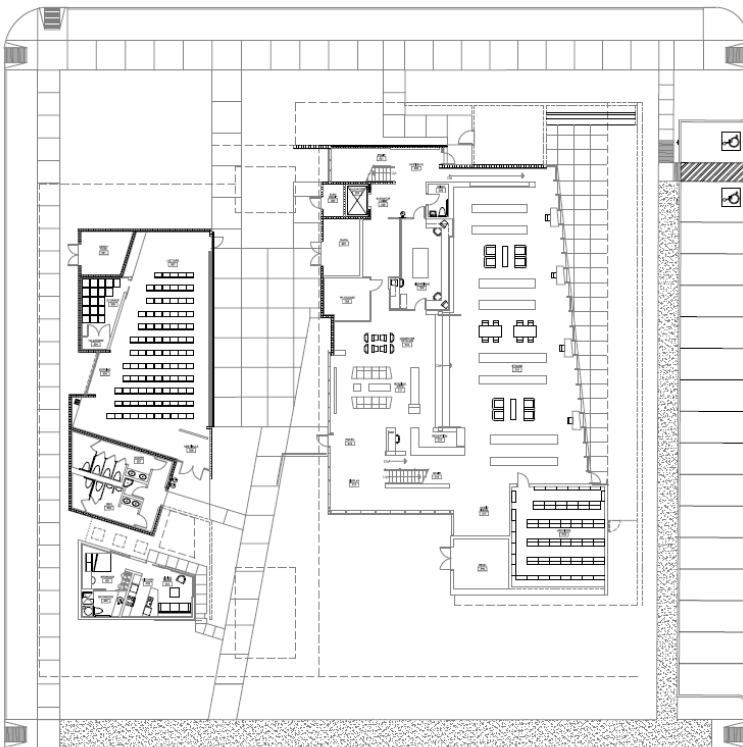


Χώροι :

- Αίθουσα τηλεπικοινωνιών
- Ανελκυστήρας
- Μηχανοστάσιο
- Αρχεία

Εικόνα 25 : Αρχιτεκτονικό Σχέδιο Κτιρίου – Υπόγειο [38]

Κύριος όροφος :



Χώροι :

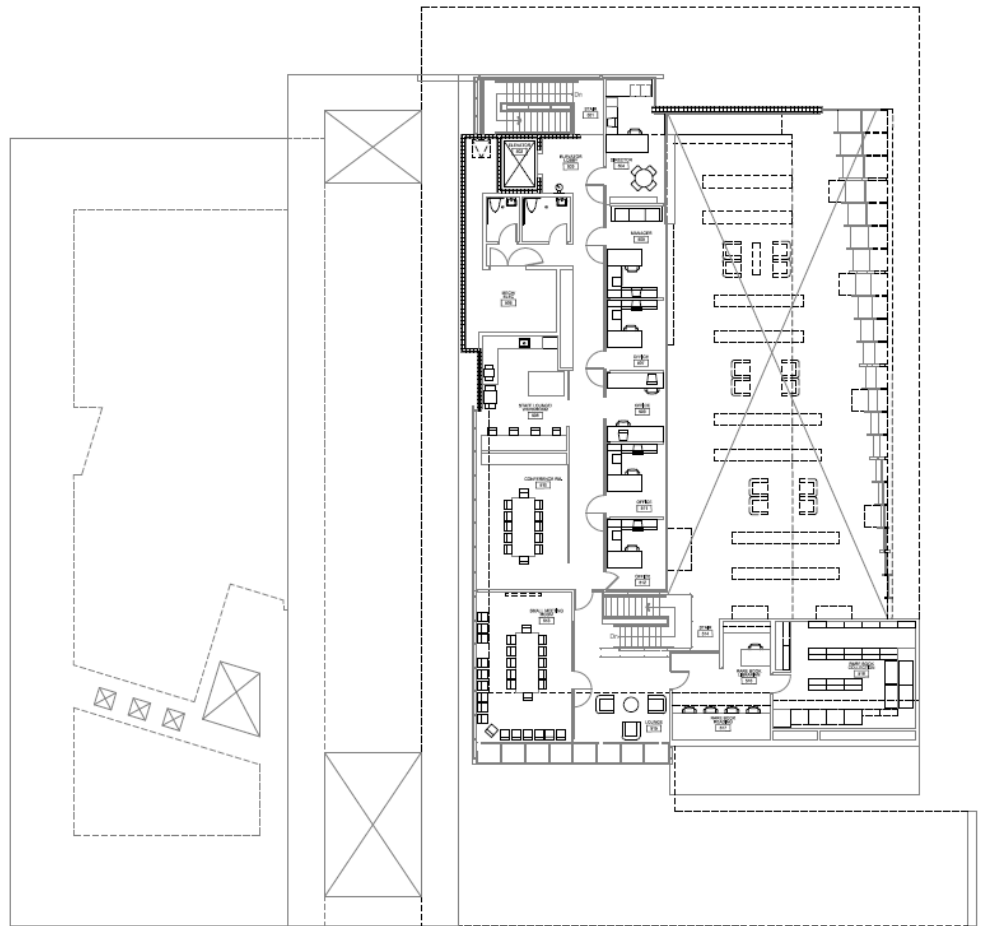
- Αίθουσα τηλεπικοινωνιών
- Αποθηκευτικός χώρος
- Χώροι υγιεινής
- Ανελκυστήρας
- Μηχανοστάσια
- Αρχεία
- Ρεσεψιόν
- Αίθουσα μελέτης
- Αίθουσα υπολογιστών
- Χώρος διαλέξεων
- Χώρος διαμονής

Εικόνα 26 : Αρχιτεκτονικό Σχέδιο κτιρίου - Κύριος Όροφος [38]

Πάνω όροφος :

Χώροι :

- Αίθουσα τηλεπικοινωνιών
- Αποθηκευτικός χώρος
- Κοινόχρηστοι χώροι
- Χώροι υγιεινής
- Ανελκυστήρας
- Αίθουσα συνεδριάσεων
- Χώροι αποθήκευσης αρχείων
- Χώροι Μελέτης αρχείων
- Γραφεία



Εικόνα 27 : Αρχιτεκτονικό Σχέδιο Κτιρίου - Πάνω όροφος [38]

6.2 Σχεδιαστικές Απαιτήσεις

Κύριος στόχος είναι να καταβάλουμε κάθε προσπάθεια ώστε να παρέχουμε ένα βιώσιμο σχεδιασμό, λαμβάνοντας υπόψη την ενεργειακή απόδοση, την υγεία, την ασφάλεια και την άνεση των χρηστών του κτιρίου, την λειτουργικότητα, την ευελιξία και την μακροζωία του.

Πρέπει να επιλεγούν συστήματα τόσο ενεργειακά αποδοτικά, όσο και με το χαμηλότερο κόστος κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής τους, το οποίο αποτελείται από τον πρώτο κόστος εγκατάστασης αλλά και το μακροπρόθεσμο λειτουργικό κόστος. Επίσης τα συστήματα πρέπει να ικανοποιούν και τις απαιτήσεις του ιδιοκτήτη.

Ο στόχος και οι απαιτήσεις του ιδιοκτήτη για το παρόν κτίριο είναι :

- Χρήση καινοτόμων τεχνολογιών , ώστε να πληροί το πρότυπο *ASHRAE Standard 189.1*
- Πλήρης, επίσης, συμμόρφωση με τα πρότυπα *ASHRAE Standard 55* , *ASHRAE Standard 62.1* και *ASHRAE Standard 90.1* .

- Εξαιρετική ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος, ώστε να μην υποστούν ζημιά τα υλικά και τα αρχεία που φυλάσσονται στη βιβλιοθήκη.
- Εξαιρετική ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος , ώστε να παρέχει ένα ασφαλές και άνετο περιβάλλον για τους χρήστες του κτιρίου.
- Το κόστος κύκλου ζωής του κτιρίου να ανταποκρίνεται στον προϋπολογισμό του ιδιοκτήτη.
- Να πληρούνται οι απαιτήσεις διατήρησης της θερμοκρασίας και της υγρασίας κάθε χώρου όπως ο ιδιοκτήτης επιθυμεί, καθώς και όπως ορίζουν αντίστοιχα πρότυπα.
- Το κτίριο θα πρέπει να λειτουργεί σε πίεση ώστε να αποφευχθεί ανεπιθύμητη διείσδυση αέρα.
- Φιλτράρισμα του αέρα εξαερισμού ώστε να αποφευχθούν βλαβερές ουσίες και σωματίδια.

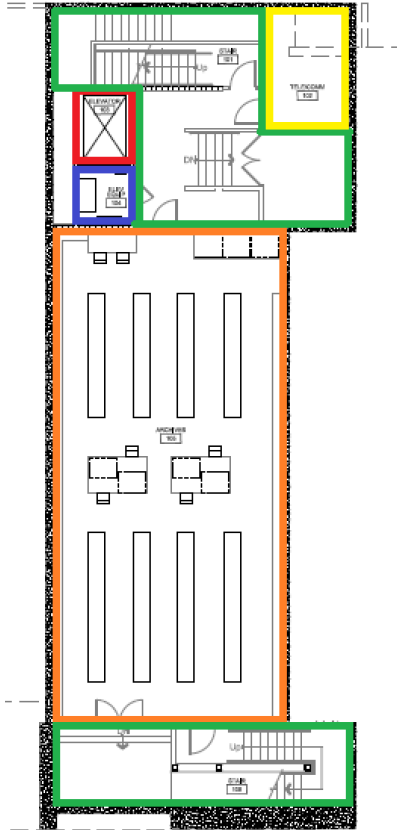
6.2.1 Εσωτερικές επιθυμητές συνθήκες

Χώρος	Θερμοκρασία Ψύξης	Θερμοκρασία Θέρμανσης	Σχετική Υγρασία
Αρχεία (Archives)	18.33 °C (=65°F)	18.33 °C (=65°F)	40%±10%
Χώροι μελέτης σπάνιων βιβλίων (Rare Book Reading and Librarians)	21.11 °C (=70°F)	21.11 °C (=70°F)	50%±10%
Υπόλοιποι χώροι	Περίοδος λειτουργίας κτιρίου : 23.88 °C (=75°F)	Περίοδος λειτουργίας κτιρίου : 21.11 °C (=70°F)	
	Περίοδος εκτός λειτουργίας κτιρίου : 26.67 °C (=80°F)	Περίοδος εκτός λειτουργίας κτιρίου : 15.57 °C (=60°F)	

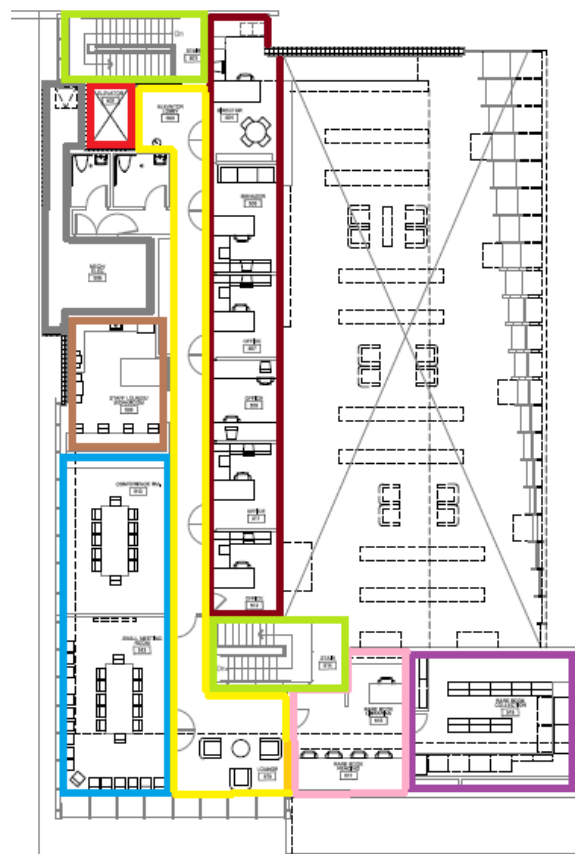
6.3 Θερμικές Ζώνες

Πριν να προχωρήσουμε στην επιλογή συστημάτων HVAC, πρέπει πρώτα να προσδιορίσουμε τις θερμικές ζώνες του κτιρίου. Αρχικά όπως είδαμε κάποιοι χώροι έχουν διαφορετικές θερμοκρασιακές απαιτήσεις οπότε πρέπει να αποτελούν ξεχωριστές θερμικές ζώνες. Ωστόσο, χώροι που έχουν τις ίδιες απαιτήσεις θερμοκρασίας και σχετική υγρασίας, η χωρητικότητα και το ωράριο χρήσης τους πιθανόν να διαφέρουν και θα πρέπει επίσης να θεωρούνται μεμονωμένες θερμικές ζώνες. Επίσης ορισμένοι χώροι παρατηρούμε πώς πρέπει να οριστούν ως διαφορετικές θερμικές ζώνες λόγω διαφορετικών αναγκών σε φιλτράρισμα αέρα ή έλεγχος πίεσης , όπως τα αρχεία (archives) , σπάνια βιβλία (Rare Book Reading) , γραφεία κλπ. Αυτός ο διαχωρισμός επιτρέπει την χρήση διαφορετικών συστημάτων ή τερματικών μονάδων που εξυπηρετούν τον κάθε χώρο, αφού υπολογιστούν πρώτα τα ψυκτικά και θερμικά φορτία κάθε ζώνης ξεχωριστά.

Ο διαχωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες παρουσιάζεται πιο κάτω για κάθε ένα από τους τρεις ορόφους.



Εικόνα 28 : Θερμικές Ζώνες - Υπόγειο



Εικόνα 29 : Θερμικές Ζώνες - Πάνω Όροφος



Εικόνα 30 : Θερμικές Ζώνες - Κύριος όροφος

6.4 Επιλογή Συστημάτων

Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι το κλειδί ώστε να πετύχουμε την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών καταναλώσεων. Η Ελλάδα είναι μια χώρα στην οποία μπορούμε να αξιοποιήσουμε τόσο τα γεωθερμικά πεδία αλλά κυρίως μπορούμε να εκμεταλλευτούμε την υψηλή ακτινοβολία λόγω της γεωγραφικής της θέσης στη Μεσόγειο για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων και μονάδων ηλιοθερμικής τεχνολογίας. Για να καλύψουμε τις ανάγκες των συστημάτων HVAC θα χρησιμοποιήσουμε μονάδα χειρισμού αέρα (Air Handling Unit) και συστημάτων VAV.

6.4.1 Σενάρια συστημάτων HVAC

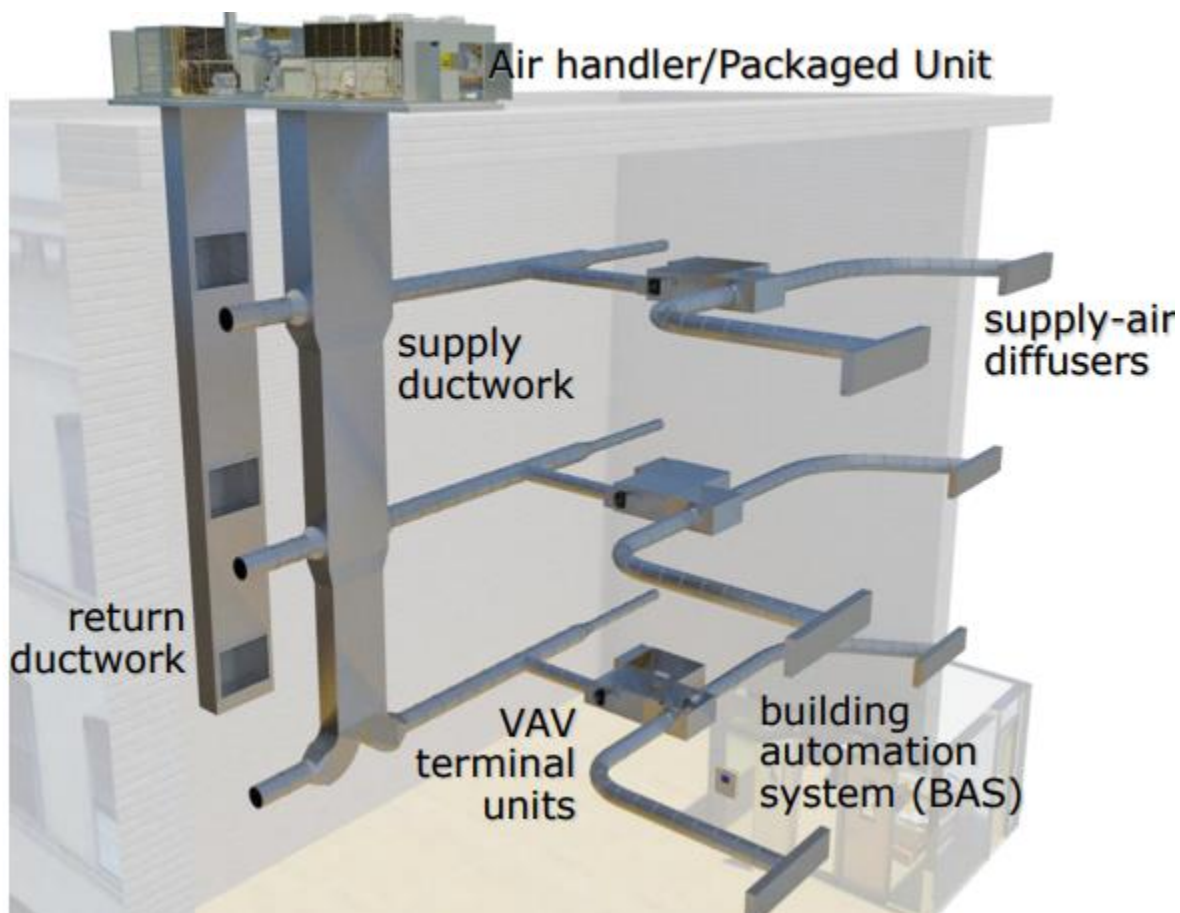
Για τα συστήματα παραγωγής θέρμανσης και ψύξης θα μελετήσουμε 3 σενάρια.

1. Απλή εφαρμογή λέβητα (boiler) για την θέρμανση του κτιρίου και μια μηχανική συσκευής ψύξης (chiller) για την παροχή κρύου νερού στο σύστημα VAV. Αφορά ένα σενάριο χωρίς την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σε αντίθεση με τα επόμενα σενάρια που ακολουθούν. Αυτό το σενάριο επιλέχθηκε ώστε στη συνέχεια να μπορεί να γίνει μια σύγκριση σε συστήματα με εφαρμογή ΑΠΕ και χωρίς και να δούμε τα οφέλη των ανανεώσιμων πηγών.
2. Στο σενάριο αυτό θα αξιοποιήσουμε την φυσική θερμική ενέργεια της γης, μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Όπως ήδη αναφέραμε είναι μια εξαιρετικά αποτελεσματική πηγή ενέργειας για θέρμανση και ψύξη, η οποία εκμεταλλεύεται την σταθερή θερμοκρασία του εδάφους και την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ υπέρδαφους και επιφάνειας ώστε να θερμαίνουμε χώρους το χειμώνα και να ψύχουμε αντίστοιχα το καλοκαίρι.
3. Σε ένα τρίτο σενάριο στόχος είναι να αξιοποιήσουμε την ηλιακή ενέργεια. Όπως αναφέραμε είναι σημαντικό να αξιοποιήσουμε την υψηλή ακτινοβολία της χώρας, για αυτό αδιαμφισβήτητα θα χρησιμοποιηθούν φωτοβολταϊκά πάνελ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και ηλιακοί συλλέκτες κενού. Οι ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται τόσο για την θέρμανση και την παραγωγή ζεστού νερού, όσο και ηλιοθερμική ψύξη. Συγκεκριμένα θα μπορούσε να εγκατασταθεί ένα σύστημα ψύκτη απορρόφησης, το οποίο θα χρησιμοποιεί την θερμική ενέργεια που θα παράγεται από τους ηλιακούς συλλέκτες, και με την σειρά του ο ψύκτης απορρόφησης θα παρέχει κρύο νερό στο σύστημα VAV. Ωστόσο θα υπάρχει μια αντλία θερμότητας ως εφεδρικό σύστημα για να παρέχει την υπόλοιπη ισχύ για την κάλυψη της ζήτησης φορτίου ψύξης.

6.4.2 Σύστημα αγωγών (Duct Systems)

Σχετικά με το σύστημα αγωγών (duct system) σχεδιάστηκε λαμβάνοντας υπόψη ότι η εγκατάσταση HVAC θα τοποθετηθεί στην οροφή του κτιρίου. Συγκεκριμένα θα χρησιμοποιήσουμε δύο συστήματα αγωγών που θα εξυπηρετούν το κεντρικό κτίριο και ένα σύστημα αγωγών που θα εξυπηρετεί το κτίριο όπου βρίσκεται η αίθουσα διαλέξεων. Το ένα σύστημα που θα εξυπηρετεί το κεντρικό κτίριο θα εξυπηρετεί συγκεκριμένα την δυτική πλευρά του κτιρίου. Συγκεκριμένα θα εξυπηρετεί και τους τρεις ορόφους, όλο

τον κάτω όροφο και τους δυτικούς χώρους του κυρίου και πάνω ορόφου. Η σύνδεση του αγωγού από τον κύριο όροφο στον κάτω όροφο και τον πάνω όροφο γίνεται τους χώρους “Mech 209” και “Mech 506” αντίστοιχα. Το δεύτερο σύστημα που θα εξυπηρετεί το κεντρικό κτίριο θα εξυπηρετεί συγκεκριμένα την ανατολική πλευρά του κτιρίου και θα εξυπηρετεί τον κύριο όροφο και τον πάνω όροφο. Το σύστημα ξεκινάει από την βορειοανατολική πλευρά του κτιρίου και θα εξυπηρετεί τους εναπομείναντες χώρους οι οποίοι είναι συγκεκριμένα οι χώροι “Stacks 212”, “Librarians 209” και “Archives 218” για τον κύριο όροφο και οι χώροι “Rare Book Librarian 518”, “Rare Book Reading 517”, “Rare Book Collection 518” και όλα τα γραφεία για τον πάνω όροφο. Οι υπόλοιποι χώροι του κεντρικού κτιρίου εξυπηρετούνται από το πρώτο σύστημα. Υπάρχει επίσης ένα τρίτο σύστημα αγωγών το οποίο θα εξυπηρετεί το κτίριο στο οποίο βρίσκεται η αίθουσα διαλέξεων και οι εξωτερικές τουαλέτες του κτιρίου.



Εικόνα 31 : Παράδειγμα συστήματος VAV [45]

6.5 Χρήση Λογισμικού EnergyPlus

Για την ενεργειακή ανάλυση του κτιρίου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό *EnergyPlus*. Το *EnergyPlus* είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης και ενεργειακής ανάλυσης κτιρίου, το οποίο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των φορτίων θέρμανσης και ψύξης, και τις ενεργειακές απαιτήσεις για την κάλυψη αυτών των φορτίων, ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές συνθήκες στο εσωτερικό του κτιρίου. Το *EnergyPlus* δεν διαθέτει γραφικό περιβάλλον, αλλά διαβάζει αρχεία κειμένου τα οποία εισάγει ο χρήστης, ωστόσο είναι διαθέσιμα πλέον πολλά και διαφορετικά GUI (Graphical User Interface – Γραφικό Περιβάλλον Χρήση), με το πιο γνωστό και διαδεδομένο να είναι το *OpenStudio*.

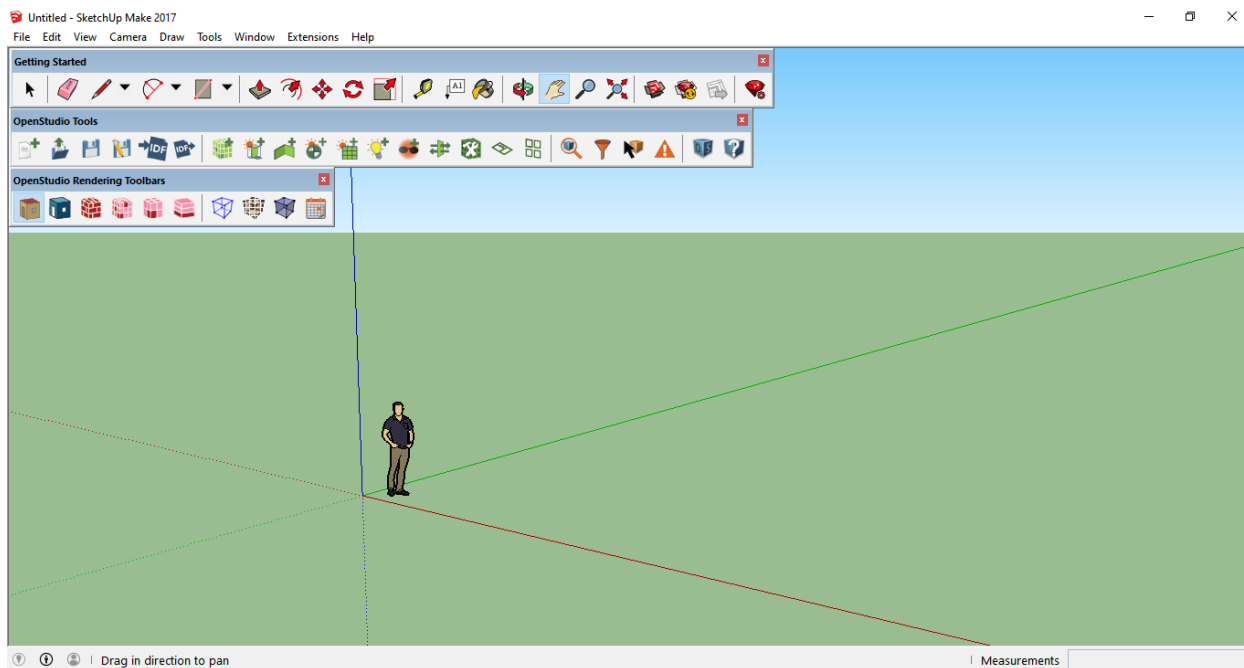
Το *OpenStudio* δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει δεδομένα σε ένα πιο εύχρηστο περιβάλλον. Αφού αρχικά σχεδιαστεί η τρισδιάστατη μορφή του κτιρίου στο πρόγραμμα σχεδίασης *SketchUp* και γίνει η μοντελοποίηση του κτιριακού κελύφους και του εσωτερικού του κτιρίου, το *OpenStudio* μπορεί να τροφοδοτηθεί με όλα τα απαραίτητα δεδομένα της γεωμετρίας τους κελύφους, και αφού γίνουν οι απαραίτητες επεξεργασίες εισάγονται στο λογισμικό προσομοίωσης *EnergyPlus*. Η χρήση του *OpenStudio* ως πρόσθετο δίνει την δυνατότητα στους χρήστες, μηχανικούς, να επεξεργαστούν τις ζώνες, τις επιφάνειες, τα εσωτερικά φορτία κάθε χώρου και να υπολογιστούν τα φορτία του κτιρίου. Επίσης επιτρέπει την προσθήκη συστημάτων HVAC και την επεξεργασία των χαρακτηριστικών τους για την κατάλληλη επιλογή και εγκατάσταση συστημάτων.

6.6 Τρισδιάστατη μορφή κτιρίου στο SketchUp

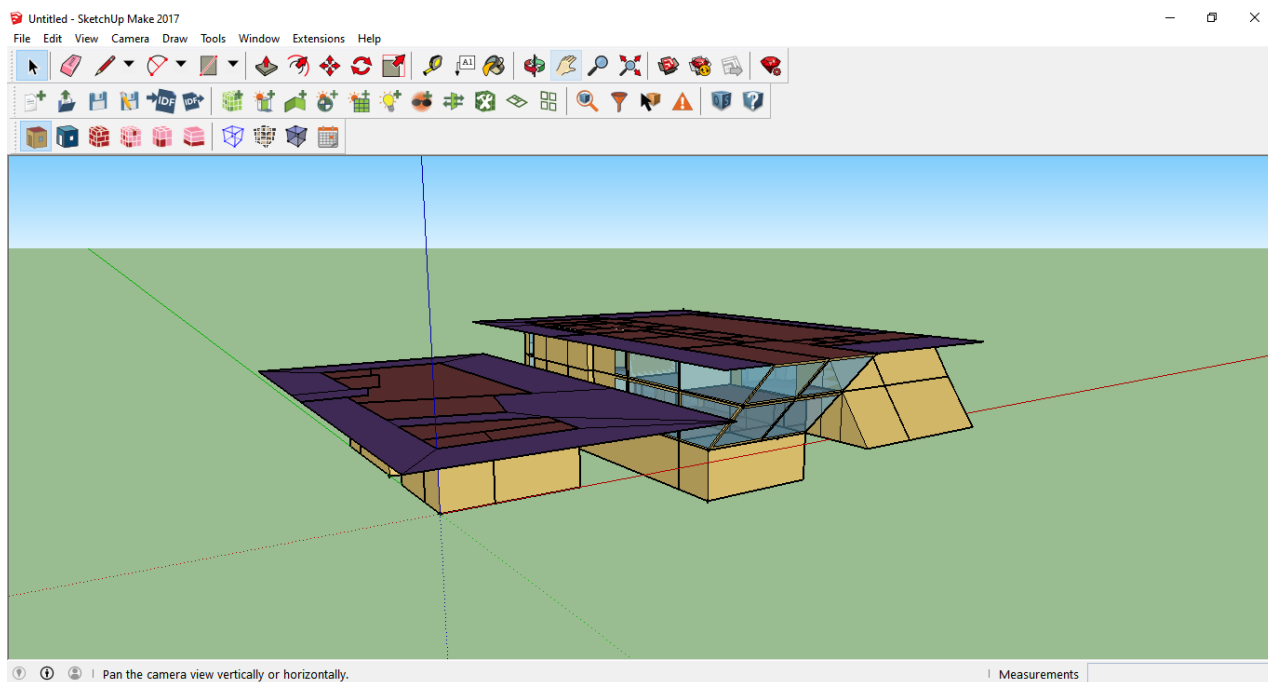
Το πρώτο βήμα της ενεργειακής προσομοίωσης ενός κτιρίου με την χρήση του λογισμικού *EnergyPlus* είναι όπως αναφέραμε η εισαγωγή της γεωμετρίας του κτιρίου, το οποίο επιτυγχάνεται με την χρήση του *SketchUp* σε συνδυασμό με την μετέπειτα επεξεργασία του κτιρίου ως προς τα υλικά, τις επιφάνειες και τον προσανατολισμό του κτιρίου με την χρήση του *OpenStudio*.

Ξεκινάμε δηλαδή με την τρισδιάστατη σχεδίαση του κτιρίου με την χρήση του *SketchUp*. Όπως βλέπουμε στην εικόνα που ακολουθεί, το γραφικό περιβάλλον του *SketchUp*, διακρίνουμε τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν (toolbars), τα οποία αποτελούνται από τα σχεδιαστικά εργαλεία του *SketchUp* (Getting Started) για τον σχεδιασμό του κτιρίου σε τρισδιάστατη μορφή και τα εργαλεία του *OpenStudio* (*OpenStudio Tools* και *OpenStudio Rendering Toolbars*), για την εισαγωγή απαραίτητων δεδομένων και στοιχείων της ενεργειακής προσομοίωσης.

Να σημειωθεί πως η σχεδίαση του κτιρίου στο *SketchUp* επιτεύχθηκε σε συνεργασία με ομάδα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στα πλαίσια του διαγωνισμού της ASHRAE, 2020 Design Competition.



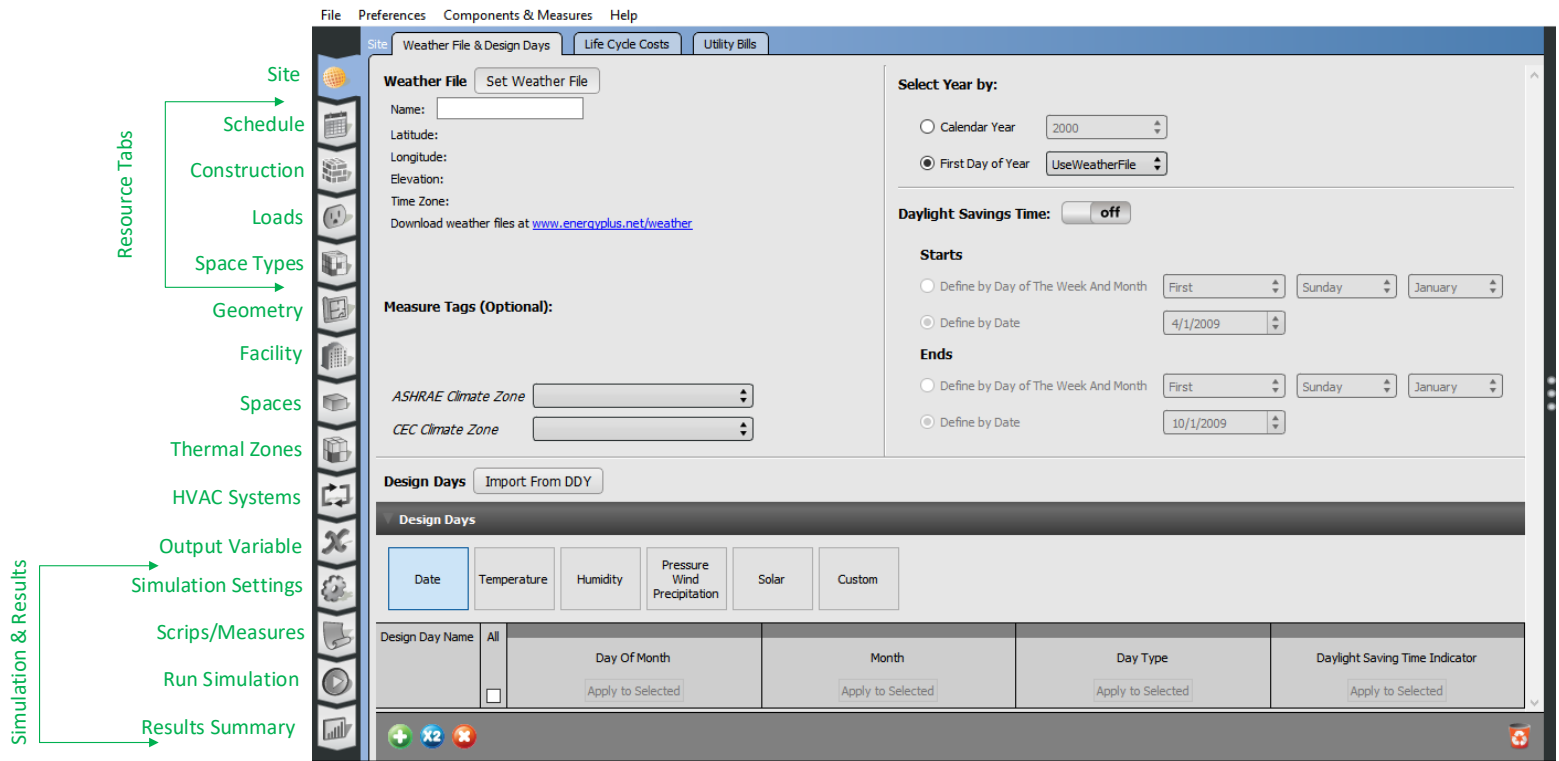
Εικόνα 32 : Γραφικό περιβάλλον του SketchUp



Εικόνα 33 : Τρισδιάστατη σχεδίαση κτιρίου με την χρήση του SketchUp

6.7 OpenStudio

Αφού ολοκληρωθεί η σχεδίαση του κτιρίου στο SketchUp και αποθηκευτεί ως αρχείο του OpenStudio (.osm αρχείο) , μπορούμε να προχωρήσουμε σε περαιτέρω επεξεργασία του κτιρίου ώστε να ολοκληρωθεί η προσομοίωση. Ανοίγουμε λοιπόν το αποθηκευμένο αρχείο του τρισδιάστατου σχεδίου στο OpenStudio. Στην πιο κάτω εικόνα βλέπουμε το περιβάλλον του OpenStudio. Στα αριστερά υπάρχουν καρτέλες για κάθε κατηγορία.



Εικόνα 34 : Περιβάλλον του OpenStudio

6.7.1 Κλιματικά Δεδομένα – Site

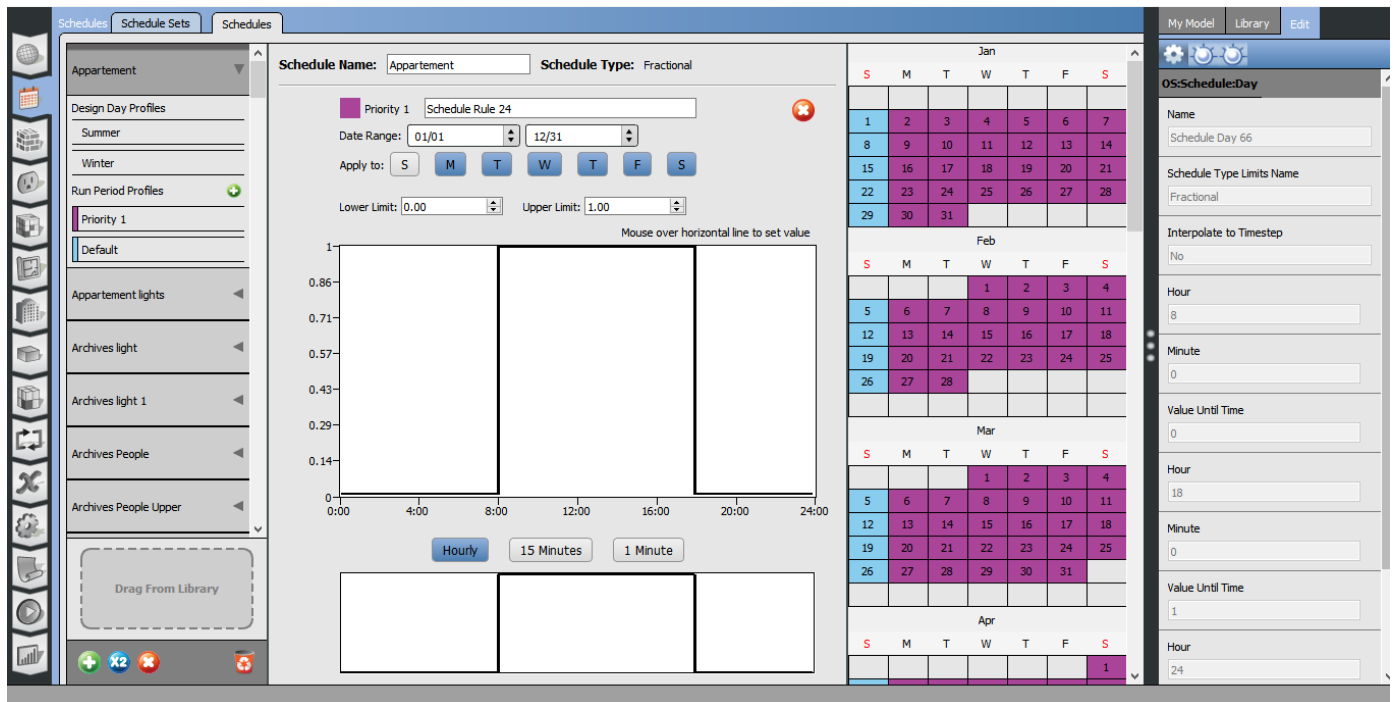
Η πρώτη καρτέλα που εμφανίζεται στα αριστερά , “Site” , μας επιτρέπει να ορίσουμε τα κλιματολογικά δεδομένα που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε για την προσομοίωση μας. Εάν δεν υπάρχει κάποιο σχετικό αρχείο για τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής που εξετάζουμε, μπορούμε να βρούμε και να αποθηκεύσουμε τα δεδομένα που χρειαζόμαστε από τον ιστότοπο <https://www.energyplus.net/weather>. Στην περίπτωση του υπό μελέτη κτιρίου επιλέγουμε τα δεδομένα της Αθήνας όπου θα τοποθετηθεί το κτίριο μας. Το ίδιο ισχύει και για τις Design Days.

6.7.2 Χρονοδιαγράμματα – Schedule Sets & Schedule

Ακολουθεί η δημιουργία χρονοδιαγραμμάτων , κάτι το οποίο αποτελεί σημαντικό κομμάτι για την προσομοίωση του κτιρίου. Συγκεκριμένα οι παράμετροι που μεταβάλλονται συναρτήσει του χρόνου και είναι σημαντικό να οριστούν από τον χρήστη του κτιρίου είναι το ωράριο λειτουργίας, η χρήση φωτισμού και ηλεκτρικών συσκευών, η πληρότητα χώρου και η επιθυμητή θερμοκρασία θερμοστάτη.

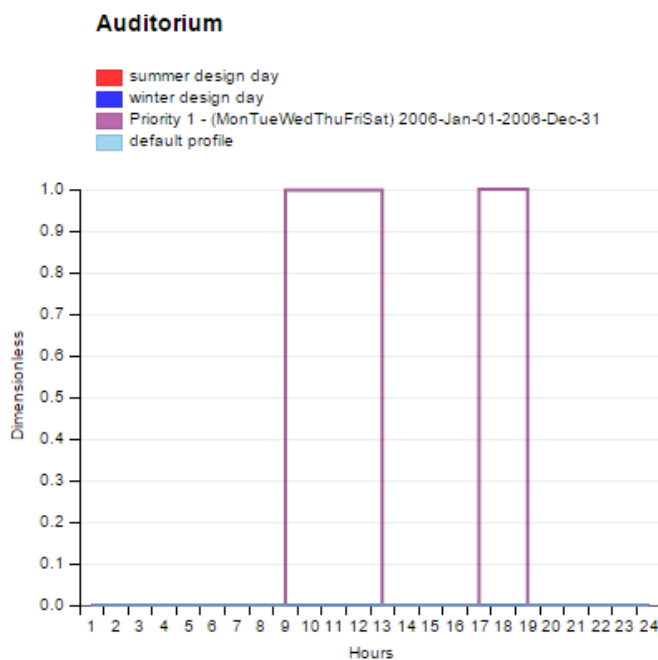
Σε αυτό το στάδιο λάβαμε υπόψη το ωράριο λειτουργίας του κτιρίου που είναι 8:00-18:00 από Δευτέρα μέχρι Σάββατο και κλειστό την Κυριακή. Θα πρέπει ωστόσο για κάθε χώρο να οριστούν χρονοδιαγράμματα με πιο συγκεκριμένες απαιτήσεις του χρήστη, καθώς και με βάση τα απαραίτητα πρότυπα. Ωστόσο το OpenStudio περιλαμβάνει γενικά χρονοδιαγράμματα, τα περισσότερα από τα οποία ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της ASHRAE και πέρα από ορισμένους χώρους που ήταν απαραίτητο να δημιουργηθούν συγκεκριμένα χρονοδιαγράμματα, για αρκετούς χώρους τα δοσμένα χρονοδιαγράμματα κρίθηκαν ακριβή και ικανοποιητικά.

Στην εικόνα που ακολουθεί βλέπουμε το χρονοδιάγραμμα του χώρου διαμονής / διαμερίσματος που ορίζεται στην καρτέλα Schedules. Όπως παρατηρείται ο χώρος θεωρείται πλήρης μεταξύ των ωρών 8:00-18:00 ,



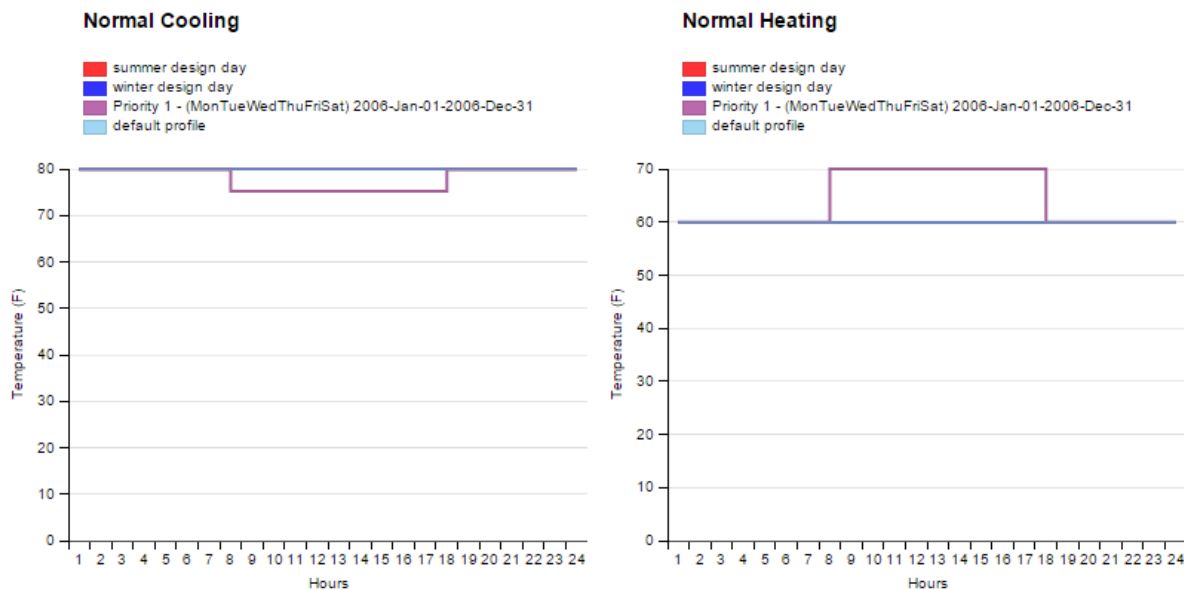
Εικόνα 35 : Χρονοδιάγραμμα πληρότητας διαμερίσματος

Παρουσιάζεται επίσης το χρονοδιάγραμμα για την αίθουσα διαλέξεων , η οποία βρίσκεται σε λειτουργία τόσο ως προς την πληρότητα της αλλά και ως προς τον φωτισμό , τις ώρες 9:00-13:00 και 17:00-19:00.



Διάγραμμα 9 : Χρονοδιάγραμμα αίθουσας διαλέξεων

Ορίζουμε επίσης του θερμοστάτες θέρμανσης και ψύξης. Ο θερμοστάτης που αφορά την θέρμανση τίθεται στους 21.11°C (=70°F) για την διάρκεια λειτουργίας του κτιρίου ενώ για τις υπόλοιπες ώρες στους 15.57°C (=60°F) και ο θερμοστάτης που αφορά την ψύξη τίθεται στους 23.88°C (=75°F) για την διάρκεια λειτουργίας του κτιρίου ενώ τις υπόλοιπες ώρες στους 26.67°C (=80°F). Τα χρονοδιαγράμματα αυτά ισχύουν για τους πλείστους χώρους του κτιρίου, ωστόσο πρέπει όμοια να ορίσουμε αντίστοιχα χρονοδιαγράμματα για τους χώρους Archives, Rare Book Reading, Rare Book Collection και Rare Book Librarians, στους οποίους ζητούνται διαφορετικές εσωτερικές συνθήκες σε σχέση με τους υπόλοιπους χώρους, οι τιμές των οποίων έχουν δοθεί σε πιο πάνω πίνακα.



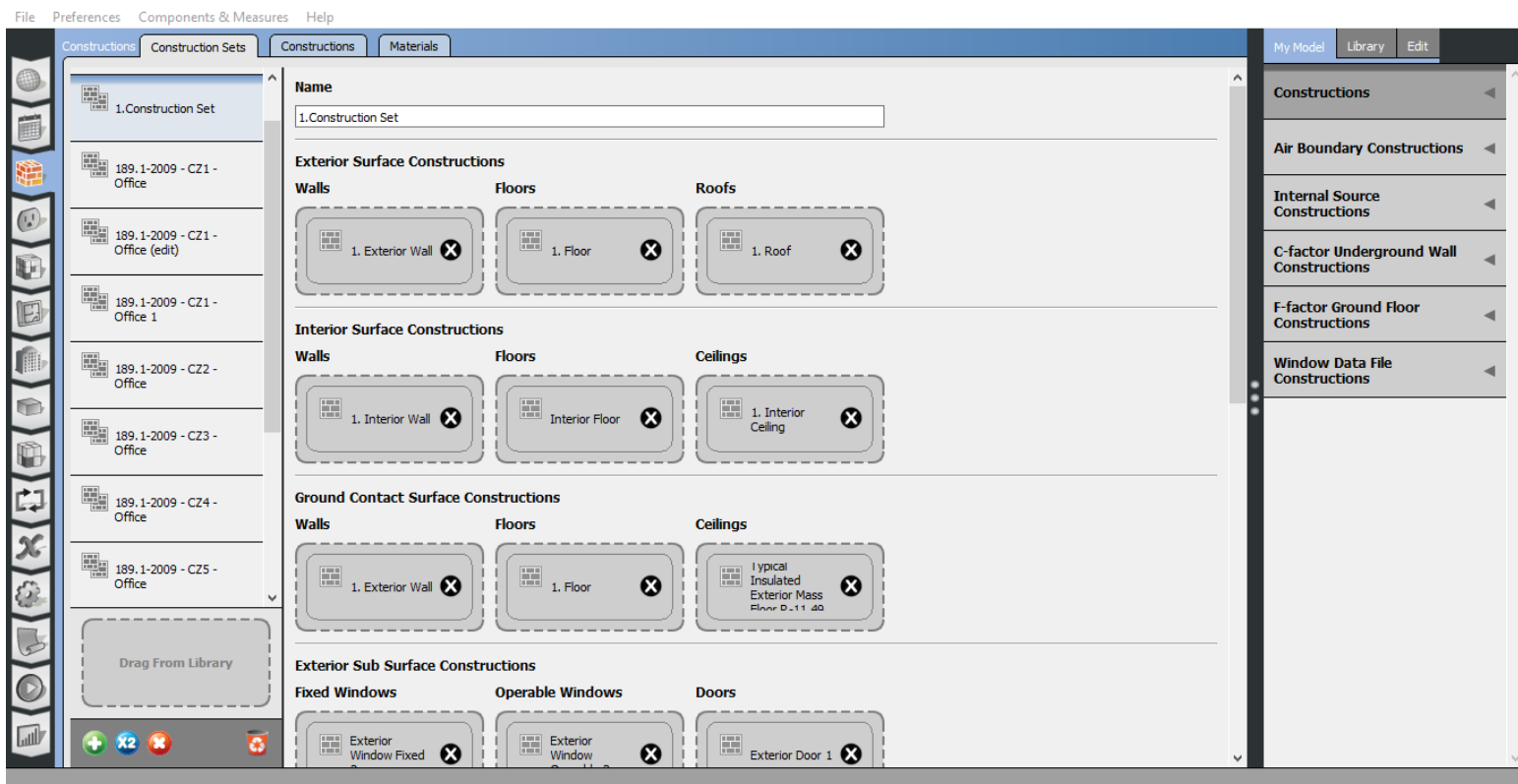
Διάγραμμα 10 : Χρονιάδιάγραμμα θερμοστάτη ψύξης και θέρμανσης

6.7.3 Σετ Κατασκευής – Υλικά Κατασκευής (Construction – Construction Sets & Materials)

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η επιλογή κατάλληλων υλικών για το κέλυφος του κτιρίου αποτελεί ένα κρίσιμο παράγοντα στην επίτευξη ενός ZEB, ώστε να περιοριστούν οι απώλειες θερμότητας, να επιτευχθεί η θερμική άνεση στους χώρους και να συμβάλει στην εξοικονόμηση ενέργειας. Επίσης πέρα από τους ισχύοντες ελληνικούς κανονισμούς καθώς και τα πρότυπα της ASHRAE για τις προδιαγραφές του κτιριακού κελύφους και της θερμομόνωσης που θα επιλεγεί, κύριος στόχος είναι να καλύψουμε τις προδιαγραφές ενός κτιρίου ZEB ως προς τις τιμές του συντελεστή διαπερατότητας.

Ως θερμομονωτικό υλικό για το κτίριο που μελετάμε επιλέχθηκε η εξηλασμένη πολυστερίνη (Extruded Polystyrene – XPS). Είναι ένα πολύ στιβαρό προϊόν, με πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες. Είναι το θερμομονωτικό υλικό που η υγρασία έχει τη μικρότερη επίδραση επί των θερμομονωτικών ιδιοτήτων της. Έχει μεγάλη αντοχή στην γήρανση με τις ιδιότητες της να παραμένουν αναλλοίωτες για το χρόνο ζωής των κτιρίων. Σημαντικό χαρακτηριστικό της είναι τόσο η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, όσο και οι περιβαλλοντικές της ιδιότητες. Ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος της κατασκευής της εξηλασμένης πολυστερίνης είναι μικρός, και μπορεί επίσης να ανακυκλωθεί για παραγωγή νέων προϊόντων με παραγωγή νέων κομματιών εξηλασμένης πολυστερίνης, κάτι το οποίο αποτελεί πολύ σημαντική περιβαλλοντική ιδιότητα [21]. Αυτό είναι κάτι το οποίο προτείνετε και από το πρότυπο της ASHRAE , Standard 189.1 , η επίτευξη δηλαδή ανακυκλωμένου περιεχομένου και ο μειωμένος περιβαλλοντικός αντίκτυπος των υλικών.

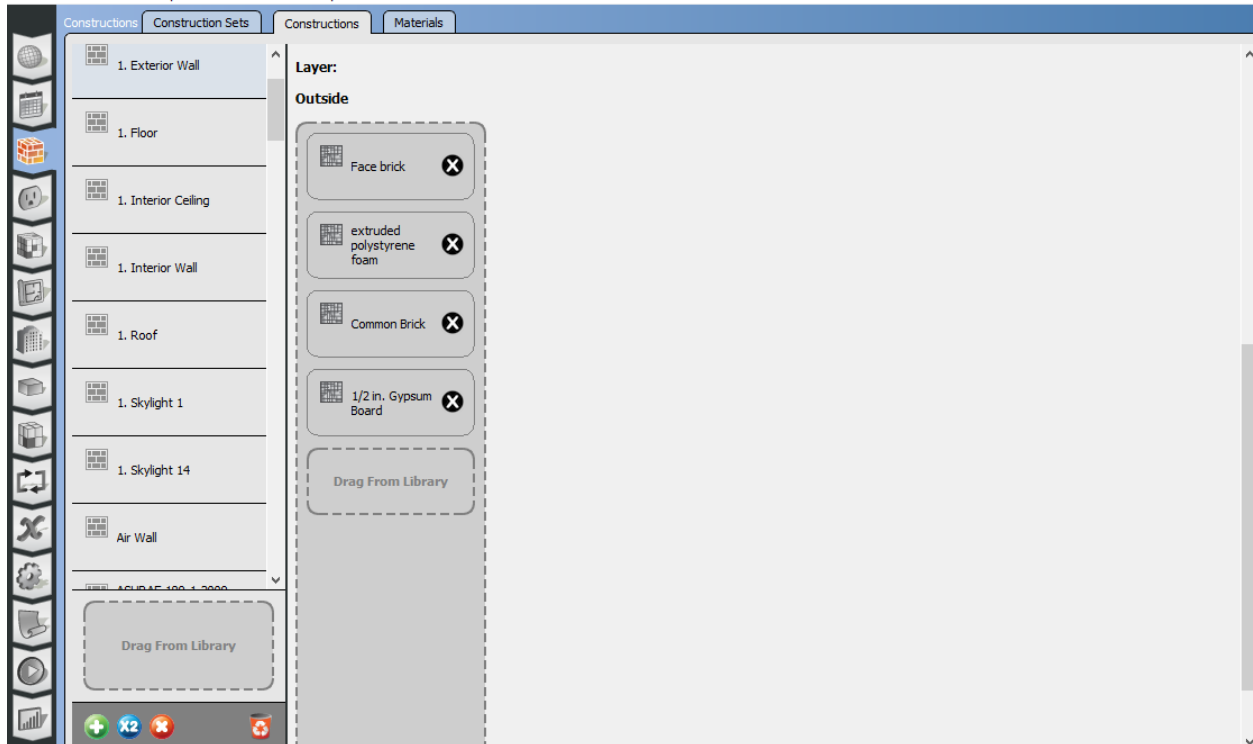
Προχωράμε λοιπόν στην καρτέλα “Construction” , για την κατασκευή των δομικών στοιχείων.



Εικόνα 36 : Καρτέλα "Construction"

Η καρτέλα αυτή αποτελείται από τρεις υποκαρτέλες. Ξεκινάμε αρχικά από τη καρτέλα "Materials", ώστε να εισάγουμε τα υλικά από τα οποία αποτελείται η κατασκευή μας. Επίσης πολλά υλικά είτε περιλαμβάνονται απευθείας στο λογισμικό είτε μπορούν να εγκατασταθούν από την βιβλιοθήκη BCL (Building Component Library), ωστόσο μπορούμε ακόμη και σε αυτά να επεξεργαστούμε τις ιδιότητες τους, όπως την πυκνότητα, το πάχος την θερμική αγωγιμότητα κλπ.

Προχωράμε στην καρτέλα Construction όπου μπορούμε να "χτίσουμε" κάθε δομική κατασκευή με τα υλικά που έχουμε κατασκευάσει. Αυτό επαναλαμβάνεται για όλες τις κατασκευές. Αναλυτικά στοιχεία τόσο για τα υλικά από τα οποία αποτελείται κάθε κατασκευή, όσο και για τις ιδιότητες κάθε υλικού δίνονται στους πίνακες που ακολουθούν για κάθε κατασκευή. Σκοπός είναι να περαστούν όλα τα απαραίτητα στοιχεία για όλες τις κατασκευές που χρειαζόμαστε, ώστε να ολοκληρώσουμε στην συνέχεια το Construction Set.



Εικόνα 37 : Καρτέλα Construction - Κατασκευή εξωτερικού τοίχου

Ακολουθούν πίνακες για τα κατασκευαστικά σετ για τα διάφορα στοιχεία του κτιρίου.

Εξωτερικοί τοίχοι (Exterior Wall)				
Στρώσεις Υλικών (Layers)	Πυκνότητα Density (kg/m ³)	Πάχος Thickness (mm)	Ειδική θερμοχωρητικότητα Specific Heat (J/Kgk)	Θερμική Αγωγιμότητα (thermal conductivity) W/mK
Γυψοσανίδα (Gypsum board)	800	12.7	1090	0.16
Τούβλο (Common Brick)	1922.2	101.6	840	0.72
Διογκωμένη πολυστερίνη (Extruded Polystyrene)	45	177.8	1300	0.031
Τούβλα πρόσοψης (Face Brick)	2002.3	101.6	920	1.3

Πίνακας 17 : Υλικά Κατασκευής Εξωτερικών Τοίχων

Εσωτερικοί τοίχοι / Χωρίσματα (Interior Wall/Partition)				
Στρώσεις Υλικών (Layers)	Πυκνότητα Density (kg/m ³)	Πάχος Thickness (mm)	Ειδική θερμοχωρητικότητα Specific Heat (J/Kgk)	Θερμική Αγωγιμότητα (Thermal Conductivity) W/mK
Γυψοσανίδα (Gypsum board)	800	12.7	1090	0.16
Διογκωμένη πολυστερίνη (Extruded Polystyrene)	45	50.8	1300	0.031
(Γυψοσανίδα) Gypsum board	800	12.7	1090	0.16

Πίνακας 18 : Υλικά Κατασκευής Εσωτερικών Τοίχων

Οροφή (Roof)				
Στρώσεις Υλικών (Layers)	Πυκνότητα Density (kg/m ³)	Πάχος Thickness (mm)	Ειδική θερμοχωρητικότητα Specific Heat (J/Kgk)	Θερμική Αγωγιμότητα (Thermal Conductivity) W/mK
Γυψοσανίδα (Gypsum board)	800	12.7	1090	0.16
Διογκωμένη πολυστερίνη (Extruded Polystyrene)	45	50.8	1300	0.031
Polywood	800	12.7	1090	0.12
Stucco	1858	25.3	837	0.0365

Πίνακας 19 : Υλικά Κατασκευής Οροφής

Εσωτερική οροφή (Interior Ceiling)				
Στρώσεις Υλικών (Layers)	Πυκνότητα Density (kg/m ³)	Πάχος Thickness (mm)	Ειδική θερμοχωρητικότητα Specific Heat (J/Kgk)	Θερμική Αγωγιμότητα (Thermal Conductivity) W/mK
Ελαφρύ Σκυρόδεμα (Lightweight Concrete)	608.7	101.6	840	0.53
Air Space Resistance	-	-	-	Thermal Resistance = 0.18 m ² K/W
Acoustic Tile	368	19.1	590	0.06

Πίνακας 20 : Υλικά Κατασκευής Εσωτερικής Οροφής

Δάπεδο (Floor)				
Στρώσεις Υλικών (Layers)	Πυκνότητα Density (kg/m ³)	Πάχος Thickness (mm)	Ειδική Θερμοχωρητικότητα Specific Heat (J/Kgk)	Θερμική Αγωγιμότητα (Thermal Conductivity) W/mK
Κεραμικά Πλακάκια (Ceramic Tiles)	2000	10	1000	0.1
Ελαφρύ Σκυρόδεμα (Lightweight Concrete)	608.7	101.6	840	0.53
Οπλισμένο Σκυρόδεμα (Reinforced Concrete)	2400	250	1000	2.5
Διογκωμένη πολυστερίνη (Extruded Polystyrene)	45	50.8	1300	0.031

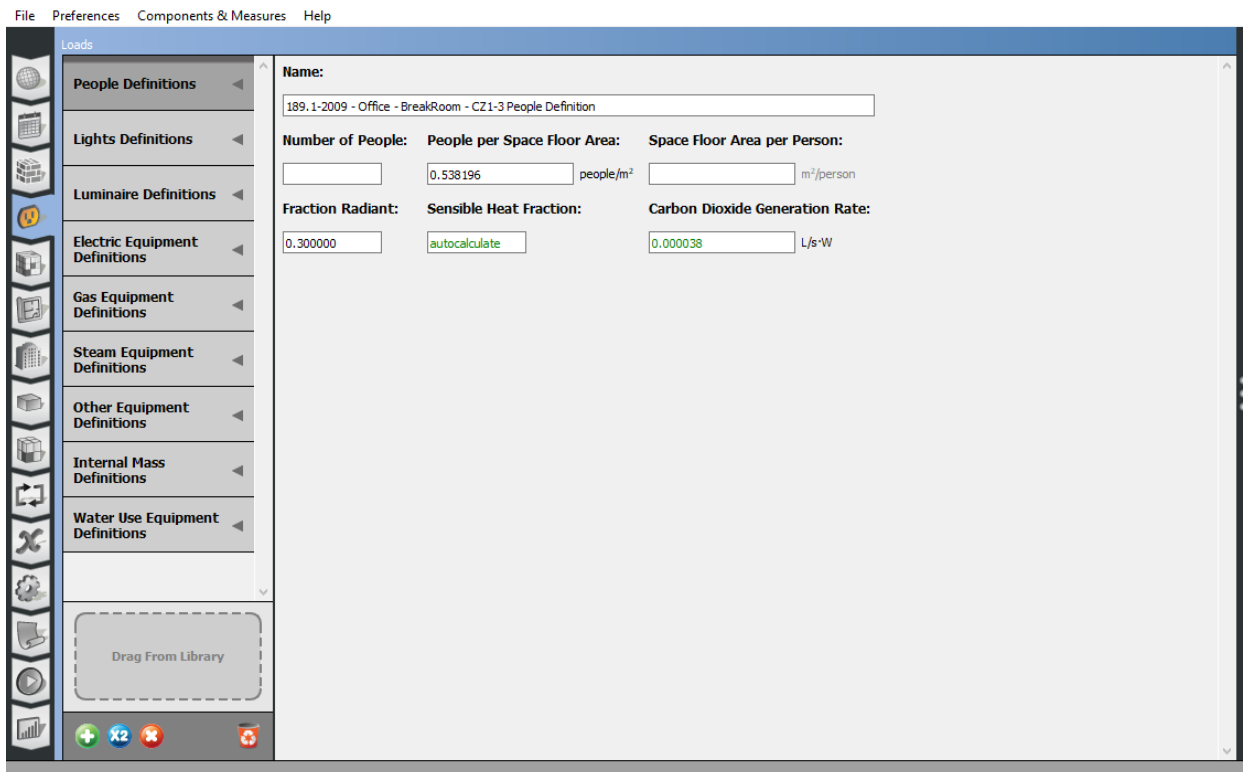
Πίνακας 21 : Υλικά Κατασκευής Δαπέδου

Υαλοπίνακες / Fenestration
Double Glazing with low-e
13mm argon space
Frame Material : Aluminum with thermal break

Πίνακας 22 : Κατασκευή Υαλοπίνακα

6.7.4 Εσωτερικά Φορτία (Internal Loads)

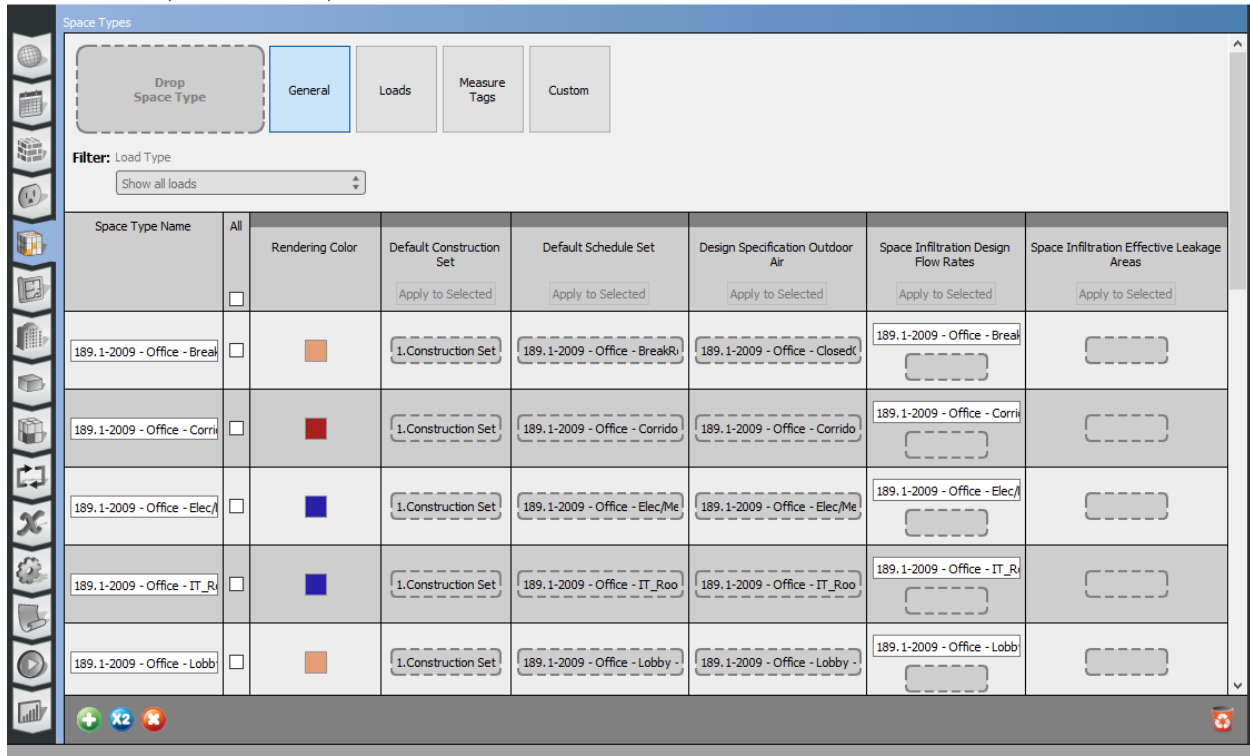
Συνεχίζουμε στην καρτέλα “Internal Loads” όπου πρέπει να εισάγουμε όλα τα εσωτερικά φορτία κάθε χώρου, όπως τον φωτισμό, την πληρότητα, ηλεκτρικές συσκευές και εξοπλισμό. Στην πραγματικότητα για να πετύχουμε την ακρίβεια στον ορισμό των εσωτερικών φορτίων πρέπει να καταγράψουμε κάθε συσκευή που υπάρχει το χώρο, αλλά και πόσα άτομα θα μπορούσε να εξυπηρετήσει. Το OpenStudio παρέχει επίσης μια βιβλιοθήκη για επιλογή εσωτερικών φορτίων, επιλογές οι οποίες είναι βασισμένες στα κριτήρια και τα πρότυπα της ASHRAE. Για τον λόγο αυτό στην παρούσα διπλωματική εργασία όπου ένα από τα κριτήρια μας για την κατασκευή του κτιρίου είναι να ανταποκρίνεται στα πρότυπα της ASHRAE, βασιστήκαμε στα δοσμένα εσωτερικά φορτία, κάνοντας βέβαια απαραίτητες αλλαγές σε ελάχιστα από αυτά.



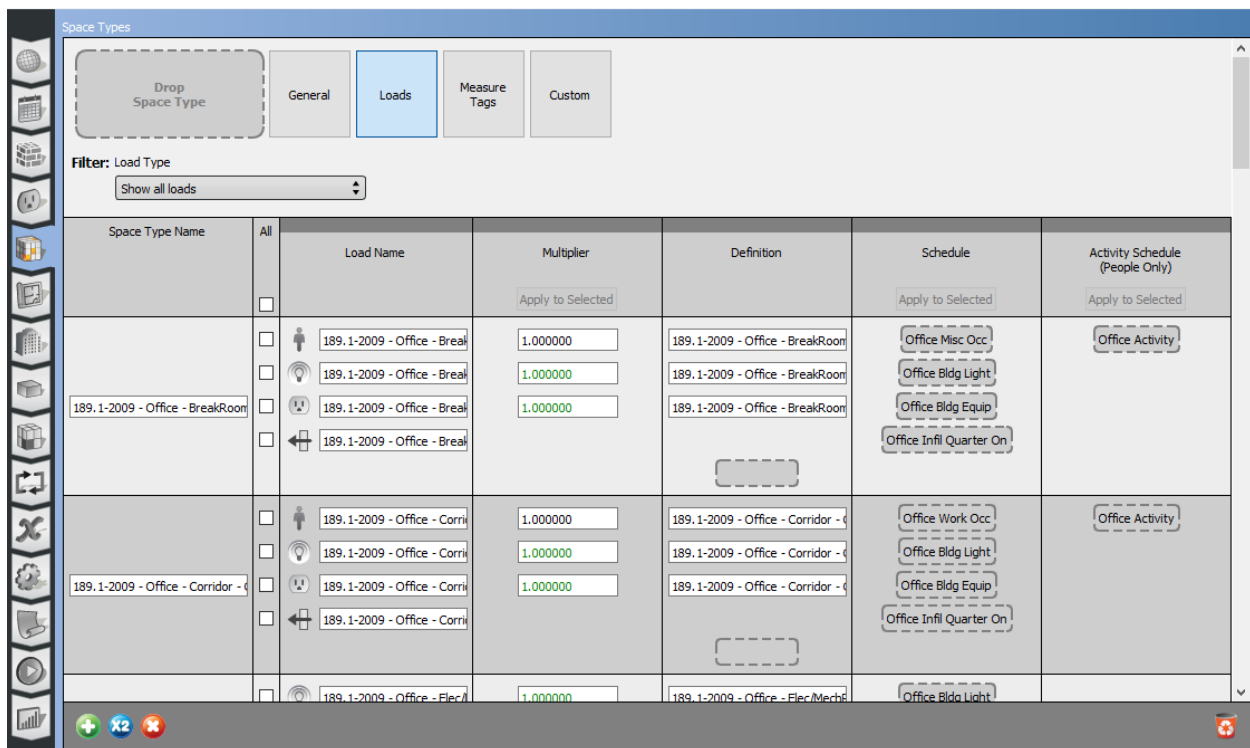
Εικόνα 38 : Καρτέλα Internal Loads

6.7.5 Τύποι Χώρων (Space Types)

Στην καρτέλα Space Types μπορούμε να ορίσουμε εσωτερικά φορτία, σύνολα χρονοδιαγραμμάτων και κατασκευών. Ορίζουμε δηλαδή συγκεκριμένους χώρους ή ομάδες συγκεκριμένων χώρων στο μοντέλο μας. Ορίζουμε αρχικά στην πρώτη υποκαρτέλα (General) τα είδη των χώρων του κτιρίου ως προς την κατασκευή και τα χρονοδιαγράμματα, και στην δεύτερη υποκαρτέλα (Internal Loads). Ωστόσο επειδή τα χρονοδιαγράμματα και τα εσωτερικά φορτία έχουν οριστεί σε προηγούμενα βήματα, δεν χρειάζεται να επεξεργαστούμε την συγκεκριμένη καρτέλα.



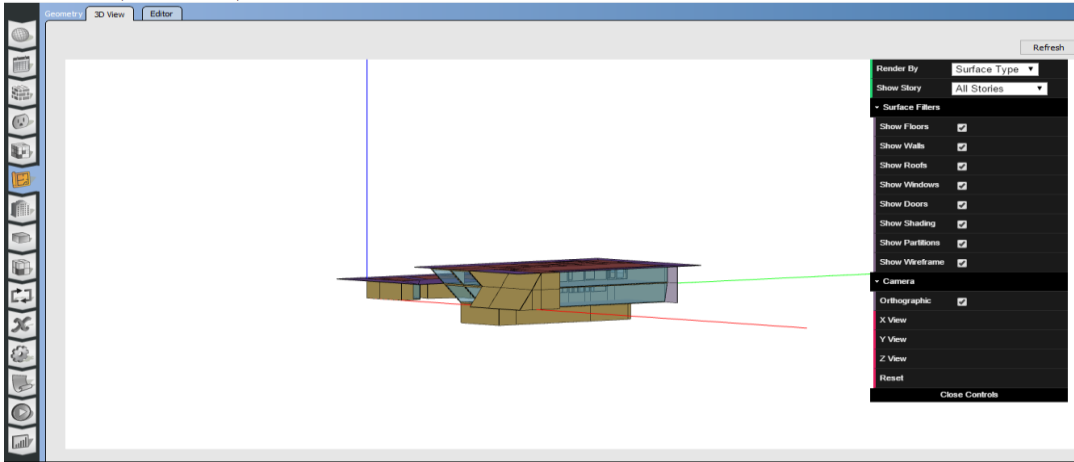
Εικόνα 39 : Καρτέλα Space Types – General



Εικόνα 40 : Καρτέλα Space Types – Loads

6.7.6 Γεωμετρία (Geometry)

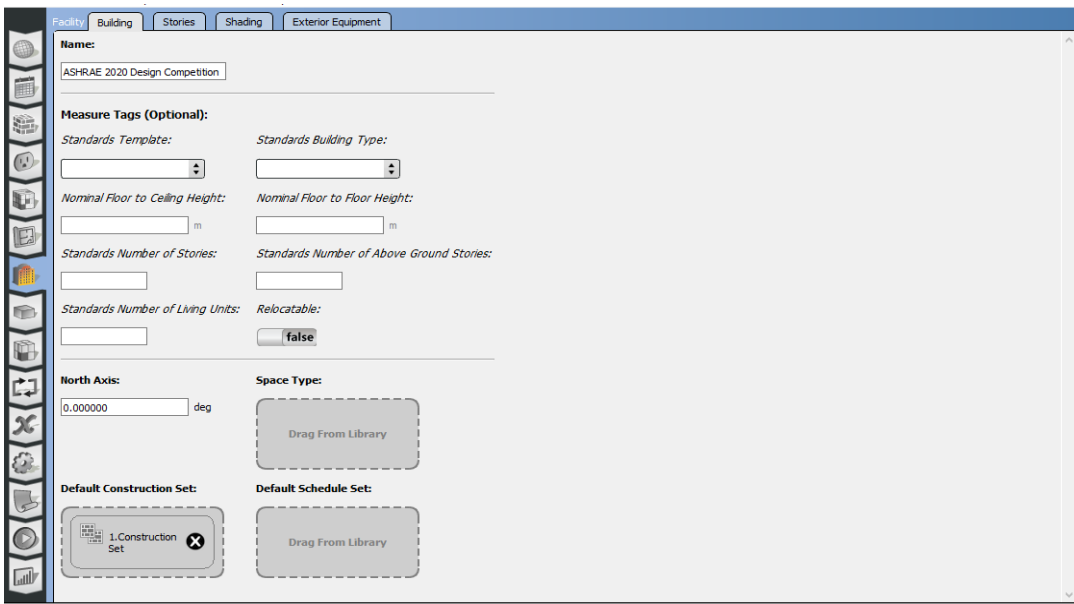
Η καρτέλα Geometry απεικονίζει την τρισδιάστατη μορφή του κτιρίου. Μπορούμε επίσης να δούμε συνοπτικά πληροφορίες για κάθε χώρο του κτιρίου που επιλέγουμε στο σχέδιο ή ακόμη να δούμε την απεικόνιση των θερμικών ζωνών όπως εμείς έχουμε ορίσει. Είναι μια καρτέλα που δεν χρειάζεται επεξεργασία.



Εικόνα 41 : Καρτέλα Geometry

6.7.7 Εγκατάσταση (Facility)

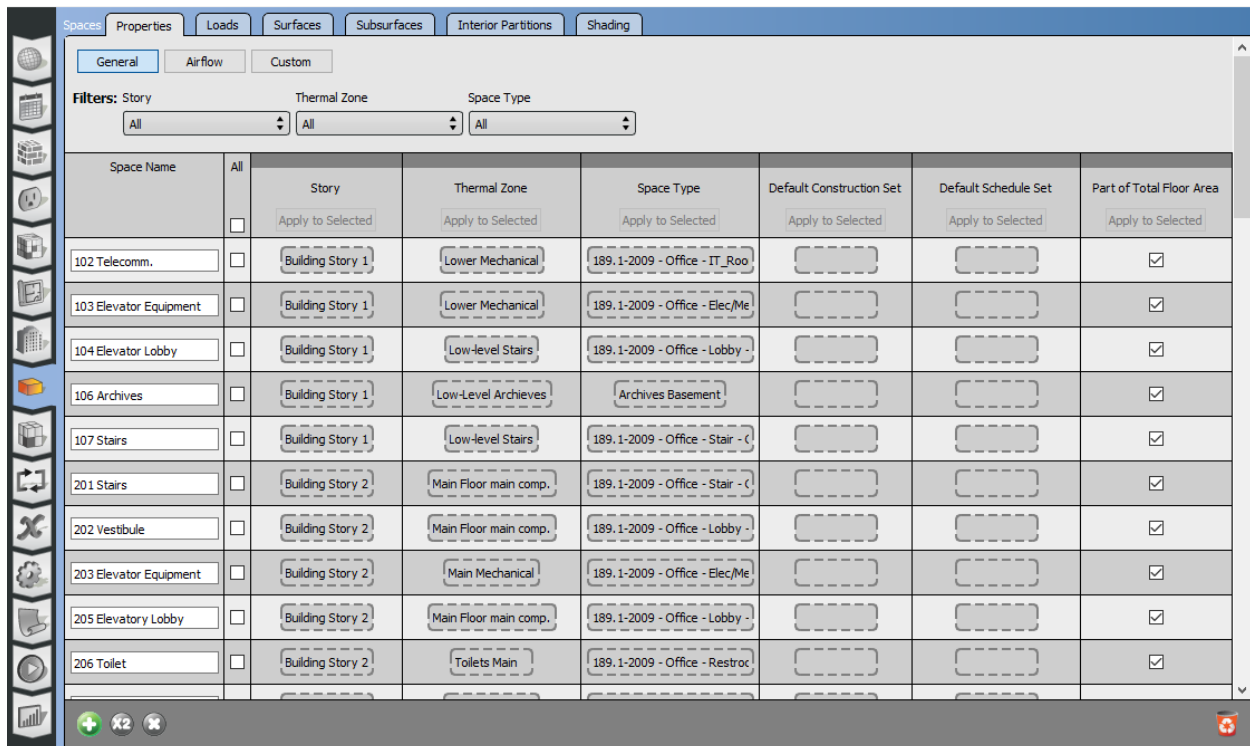
Η καρτέλα Facility βλέπουμε γενικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, όπως τους ορόφους (Stories), την σκίαση του κτιρίου (Shading) και τον εξωτερικό εξοπλισμό (Exterior Equipment). Μπορούμε επίσης να ορίσουμε τον κατάλληλο προσανατολισμό του κτιρίου, επιλέγοντας την θέση του Βόρειου Άξονα.



Εικόνα 42 : Καρτέλα Facility

6.7.8 Χώροι Κτιρίου (Spaces)

Στην καρτέλα Spaces παρουσιάζονται και ορίζονται όλοι οι χώροι του κτιρίου και τα χαρακτηριστικά του όπως για παράδειγμα ο όροφος (story), η θερμική ζώνη (thermal zone) στην οποία ανήκουν, ο τύπος του χώρου, το σετ κατασκευής του χώρου και τα χρονοδιαγράμματα. Ωστόσο, κάποια χαρακτηριστικά έχουν οριστεί σε προηγούμενες καρτέλες, όπως για παράδειγμα το Construction Set και το Schedule Set έχουν ήδη οριστεί στο Space Type, και δεν είναι αναγκαία η περαιτέρω επεξεργασία τους σε αυτή την καρτέλα. Μπορούμε επίσης να επεξεργαστούμε τα φορτία στην υποκαρτέλα Loads, τα οποία έχουν επίσης οριστεί ήδη σε προηγούμενα βήματα.



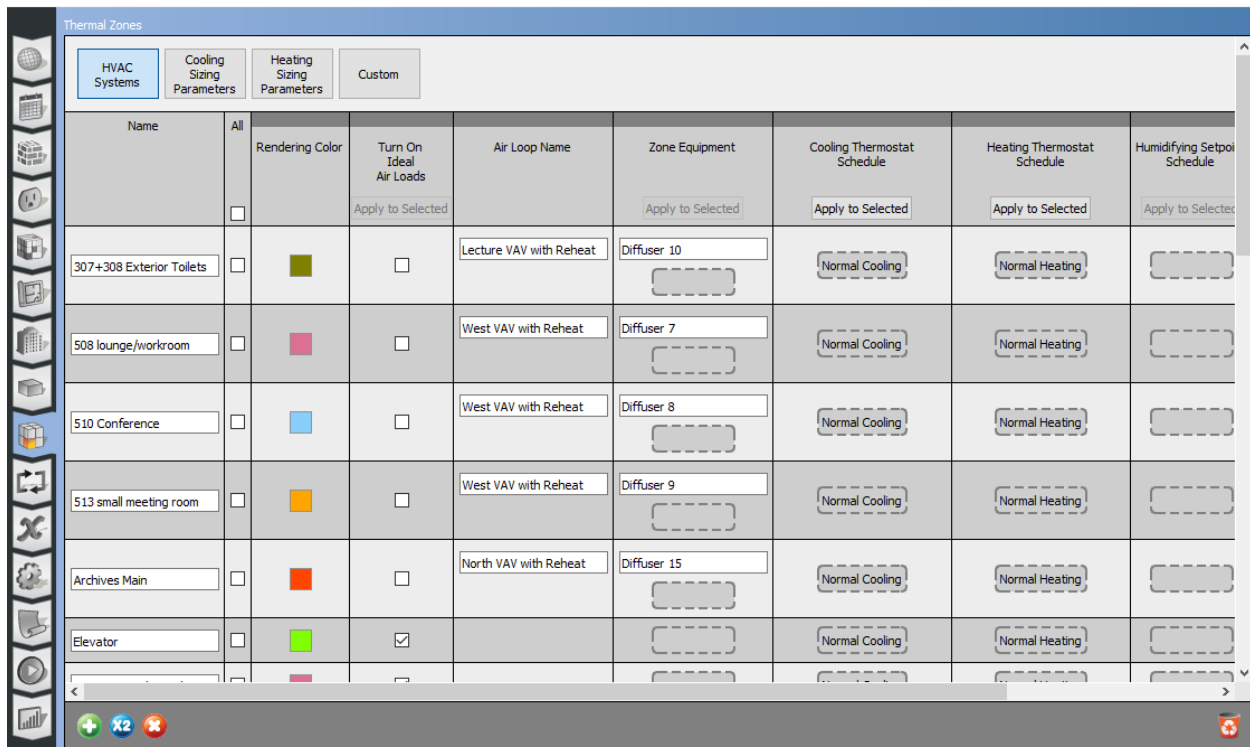
Space Name	All	Story	Thermal Zone	Space Type	Default Construction Set	Default Schedule Set	Part of Total Floor Area
102 Telecomm.	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Lower Mechanical	189.1-2009 - Office - IT_Roo			<input checked="" type="checkbox"/>
103 Elevator Equipment	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Lower Mechanical	189.1-2009 - Office - Elec/Me			<input checked="" type="checkbox"/>
104 Elevator Lobby	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Low-level Stairs	189.1-2009 - Office - Lobby			<input checked="" type="checkbox"/>
106 Archives	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Low-Level Archives	Archives Basement			<input checked="" type="checkbox"/>
107 Stairs	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Low-level Stairs	189.1-2009 - Office - Stair - C			<input checked="" type="checkbox"/>
201 Stairs	<input type="checkbox"/>	Building Story 2	Main Floor main comp.	189.1-2009 - Office - Stair - C			<input checked="" type="checkbox"/>
202 Vestibule	<input type="checkbox"/>	Building Story 2	Main Floor main comp.	189.1-2009 - Office - Lobby			<input checked="" type="checkbox"/>
203 Elevator Equipment	<input type="checkbox"/>	Building Story 2	Main Mechanical	189.1-2009 - Office - Elec/Me			<input checked="" type="checkbox"/>
205 Elevatory Lobby	<input type="checkbox"/>	Building Story 2	Main Floor main comp.	189.1-2009 - Office - Lobby			<input checked="" type="checkbox"/>
206 Toilet	<input type="checkbox"/>	Building Story 2	Toilets Main	189.1-2009 - Office - Restroc			<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 43 : Καρτέλα Spaces

6.7.9 Θερμικές Ζώνες (Thermal Zones)

Στην καρτέλα θερμικών ζωνών, αφού οριστούν οι θερμικές ζώνες εάν δεν έχουν οριστεί ήδη από το σχέδιο του SketchUp, καθορίζουμε τον εξοπλισμό της θερμικής ζώνης για κλιματισμό και τους θερμοστάτες θέρμανσης και ψύξης κάθε θερμικής ζώνης. Δίνεται επίσης η επιλογή “Turn on Ideal Air Loads”, ένας τρόπος ώστε να υπολογίζονται τα φορτία θέρμανσης και ψύξης χωρίς να χρειάζεται να ορίσουμε ένα λεπτομερές σύστημα HVAC.

Δεν είναι απαραίτητο να ορίσουμε σε αυτή την καρτέλα το σύστημα θέρμανσης και ψύξης καθώς θα ακολουθήσει η σχεδίαση συστήματος HVAC στην επόμενη καρτέλα.



Εικόνα 44 : Καρτέλα Thermal Zones

6.7.10 Συστήματα HVAC (HVAC Systems)

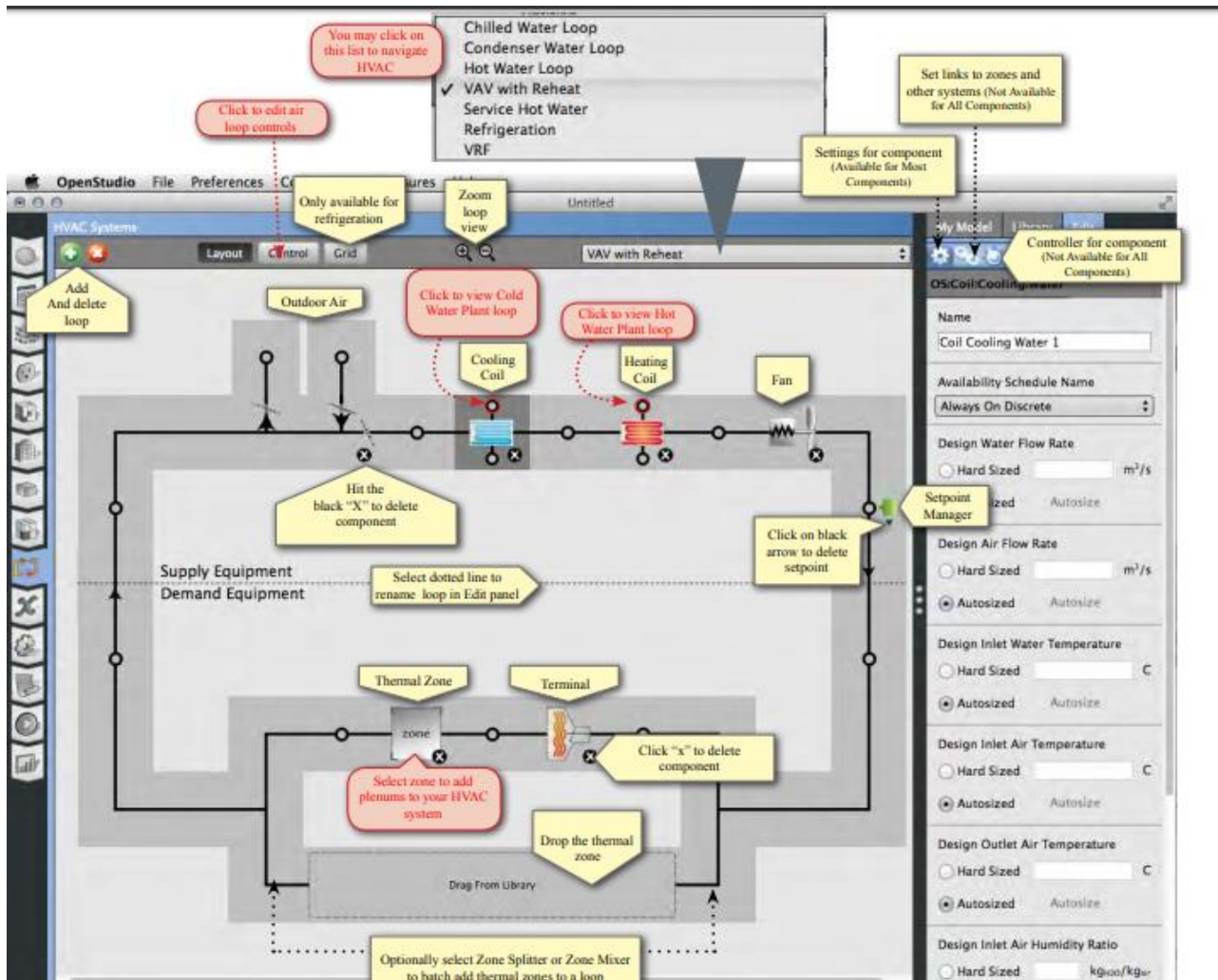
Η μεγαλύτερη πρόκληση ενός μηχανικού είναι να επιλέξει τεχνολογίες και συστήματα, ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές εσωτερικές συνθήκες του κτιρίου και να καλυφθούν οι ανάγκες άνεσης των χρηστών, λαμβάνοντας υπόψη την αποδοτικότητα του συστήματος και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στην καρτέλα HVAC Systems κατασκευάζουμε τα συστήματα HVAC που θα εξυπηρετούν το κτίριο για θέρμανση και ψύξη, παραμένοντας στο περιβάλλον του OpenStudio.

Όπως αναφέραμε πιο πάνω, τα τρία σενάρια που θα μελετήσουμε είναι :

1. Απλή εφαρμογή λέβητα (boiler) για την θέρμανση του κτιρίου και μια μηχανική συσκευής ψύξης (chiller).
2. Γεωθερμική αντλία θερμότητας, τόσο για θέρμανση όσο και ψύξη του κτιρίου.
3. Ηλιακοί Συλλέκτες για θέρμανση και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και ψύκτης απορρόφησης για την ψύξη του κτιρίου.

Το πρώτο βήμα για την κατασκευή του συστήματος HVAC , και για τα τρία σενάρια που αναφέραμε, είναι να προσθέσουμε ένα σύστημα VAV. Επιλέγουμε λοιπόν με την επιλογή προσθήκης συστήματος HVAC , το σύστημα “Packaged Rooftop VAV with Reheat” .

Στην εικόνα που ακολουθεί βλέπουμε την μορφή του συστήματος που επιλέξαμε. Όπως παρατηρείται και στην εικόνα το σύστημα αποτελείται από ένα βρόγχο κρύου νερού, ένα βρόγχο ζεστού νερού και ένα βρόγχο συμπυκνωτή. Για κάθε σενάριο που μελετά οι βρόγχοι αυτοί θα επεξεργάζονται ξεχωριστά, προσθέτοντας τις απαραίτητες πηγές θερμότητας και ψύξης.

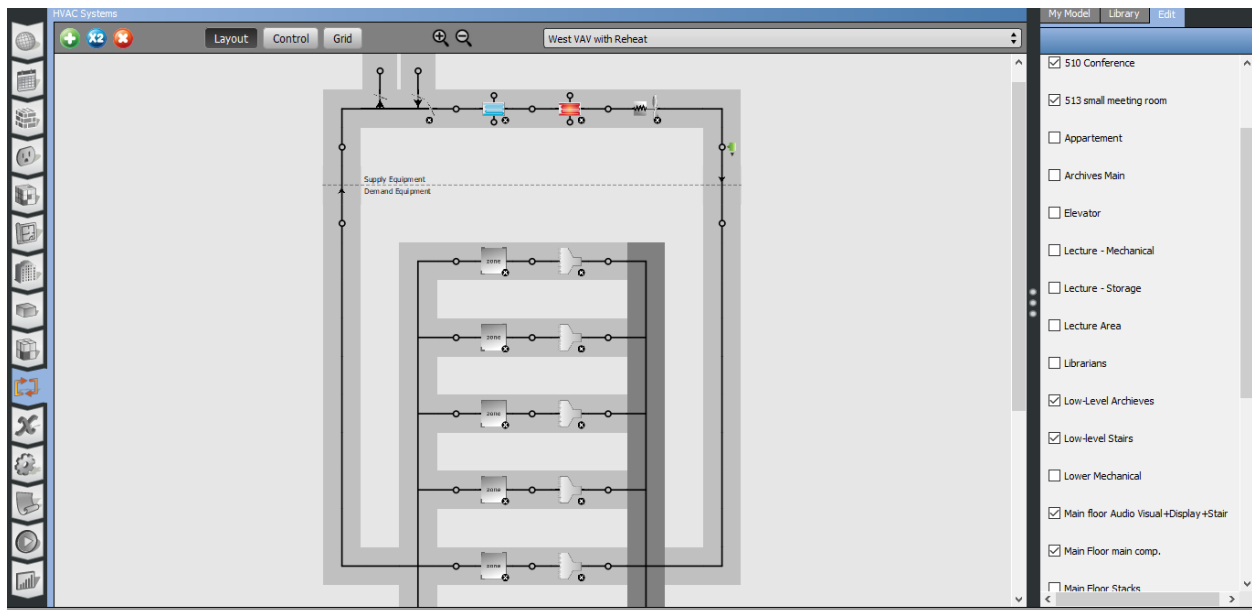


Εικόνα 45 : Δημιουργία Συστήματα "Packaged Rooftop VAV with Reheat" [45]

Αφού επεξεργαστούμε τα συστήματα παραγωγής θερμότητας και ψύξης , πρέπει να επιλέξουμε τις θερμικές ζώνες που θα εξυπηρετεί το κάθε σύστημα, όπως αναφέραμε στην Ενότητα 6.4.2 , και την αντίστοιχη τερματική μονάδα. Στην εικόνα που ακολουθεί βλέπουμε την περίπτωση του συστήματος VAV που θα εξυπηρετεί την Δυτική πλευρά του κτιρίου. Συγκεκριμένα επιλέγοντας το σημείο διαχωρισμού του αέρα προς τις θερμικές ζώνες εμφανίζεται στα δεξιά ένα παράθυρο με όλες τις θερμικές ζώνες και από εκεί επιλέγουμε όλες τις θερμικές ζώνες που θα εξυπηρετεί το σύστημα αυτό.

Επίσης επιλέγεται από το *Library*, στην κατηγορία *Air Terminal Single Duct Constant Volume*, ένα τερματικό τύπου *Diffuser*.

Αυτό επαναλαμβάνεται και για τα τρία συστήματα αγωγών όπως ακριβώς έχουν διαχωριστεί στην Ενότητα 6.4.2 , επιλέγοντας σε κάθε ένα από αυτά τις αντίστοιχες ζώνες. Θα δημιουργήσουμε δηλαδή τρία διαφορετικά συστήματα VAV , τα οποία θα χρησιμοποιούν όμοιο εξοπλισμό θέρμανσης και ψύξης.



Εικόνα 46 : Σύστημα VAV που εξυπηρετεί την Δυτική πλευρά του κεντρικού κτιρίου

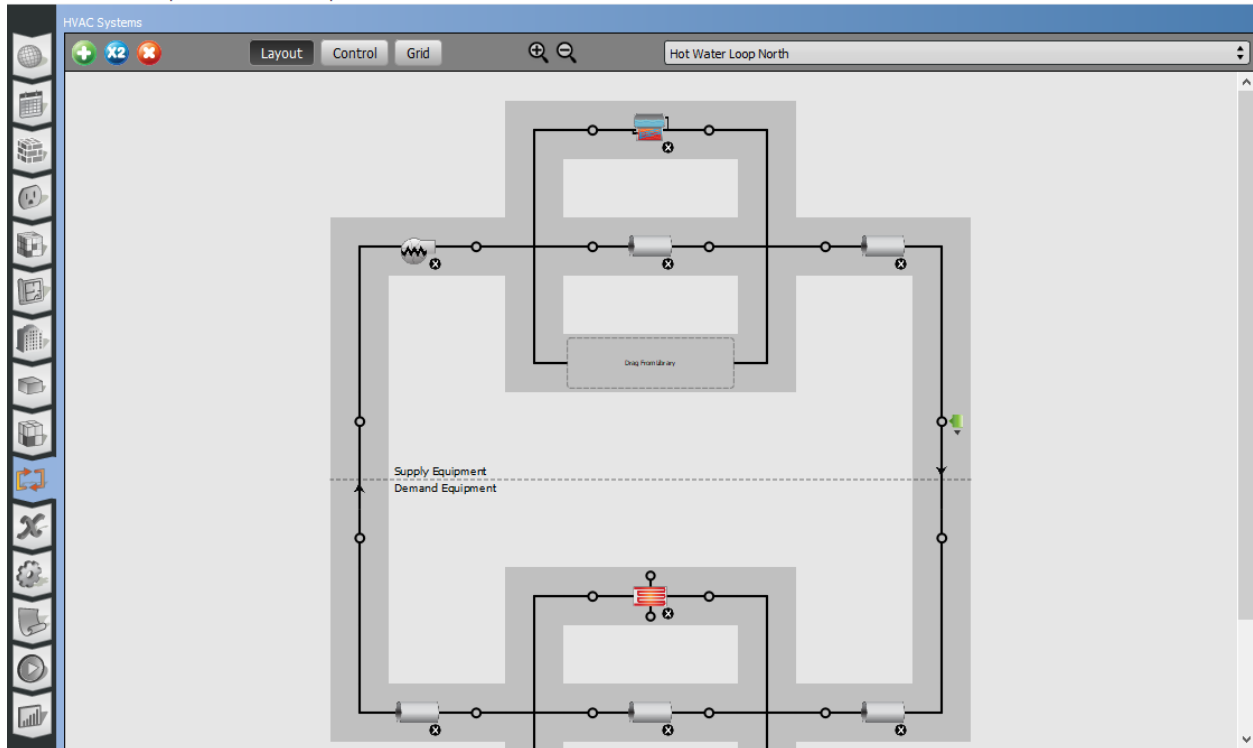
Συνεχίζουμε με τα συστήματα που θα επιλέξουμε για τους βρόχους θέρμανσης και ψύξης, αλλάζοντας σε κάθε περίπτωση την πηγή θερμότητας και ψύξης.

Σενάριο 1 :

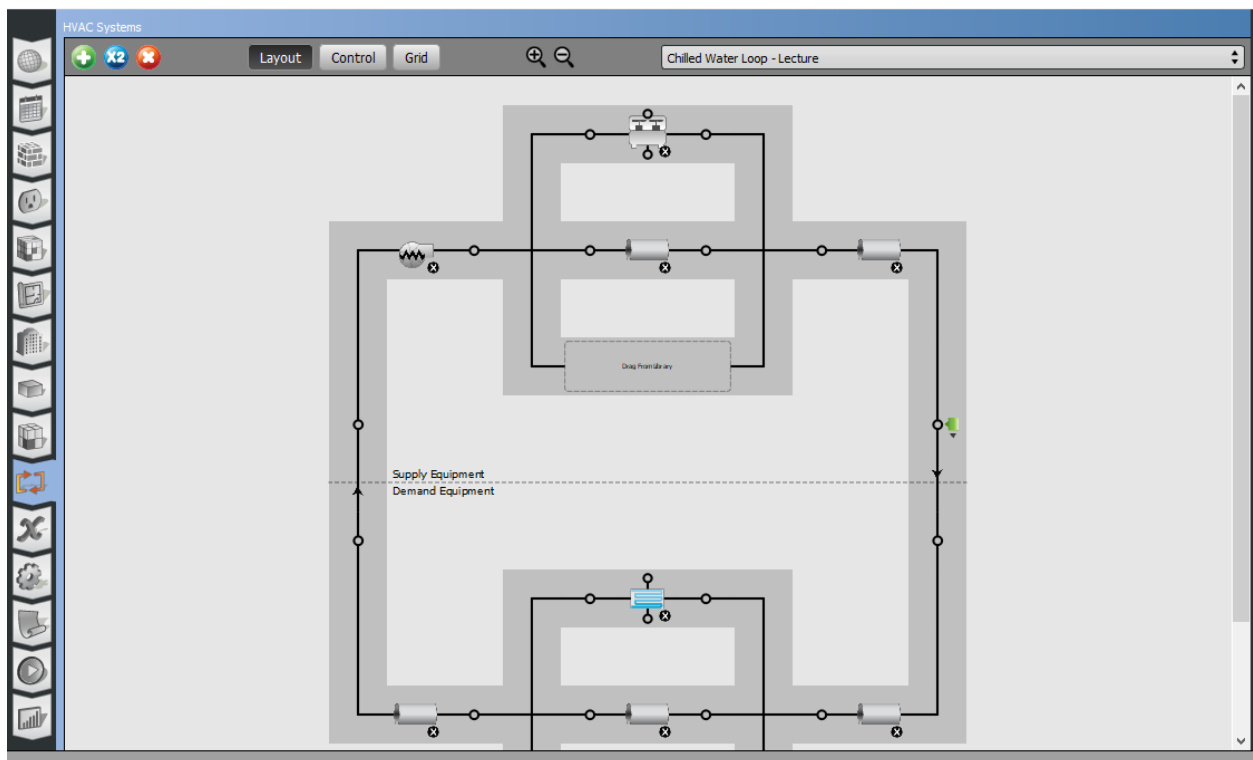
Στο πρώτο σενάριο όπως αναφέραμε θα εξεταστεί ένα σύστημα θέρμανσης με χρήση λέβητα (Boiler) και ένα σύστημα ψύξης με χρήση ηλεκτρικού ψύκτη (Electric Chiller). Το σύστημα αυτό συμπεριλαμβάνεται ήδη στην επιλογή συστήματος “Packaged Rooftop VAV with Reheat” , επομένως δεν χρειάζεται κάποια περαιτέρω επεξεργασία ως προς την συνδεσμολογία των Cooling Coil και Heating Coil με τους βρόγχους κρύου και ζεστού νερού αντίστοιχα.

Το κύκλωμα ψύξης αποτελείται από μια αντλία μεταβλητών στροφών (Variable Speed Pump), ο ψύκτης (Chiller Electric – EIR) για την παραγωγή κρύου νερού του κυκλώματος και ένας αισθητήρας.

Ομοίως το κύκλωμα ζεστού νερού αποτελείται από μια αντλία μεταβλητών στροφών, το Boiler και ένα αισθητήρα. Στα στοιχεία του Boiler επεξεργαζόμαστε την επιλογή Fuel Type και επιλέγουμε Electricity.

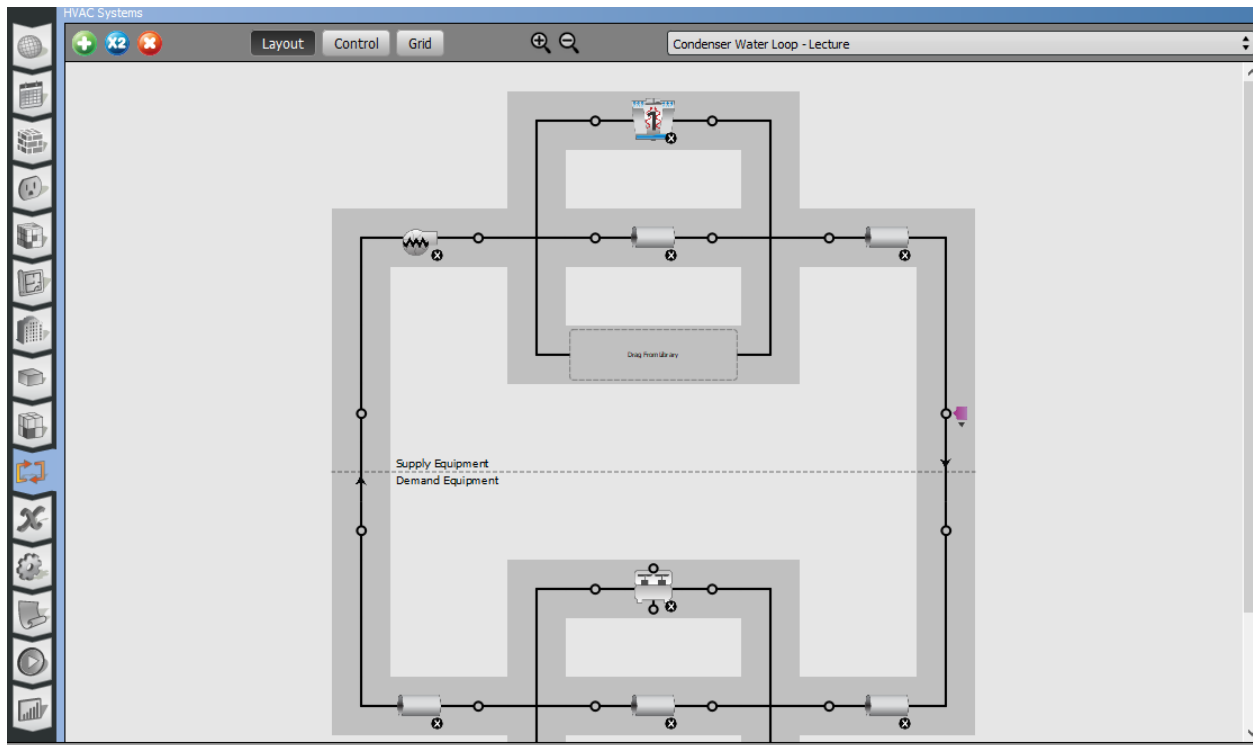


Εικόνα 47 : Κύκλωμα ζεστού νερού



Εικόνα 48 : Κύκλωμα νερού ψύξης

Ο ψύκτης στο κύκλωμα νερού ψύξη τροφοδοτείται από ένα πύργο ψύξης (Cooling Tower). Ακολουθεί λοιπόν ένας βρόγχος συμπυκνωτή νερού, όπου συνδέεται ο ψύκτης, ο οποίος είναι τοποθετημένος στο Demand Equipment με τον πύργο ψύξης που βρίσκεται στο Supply Equipment.



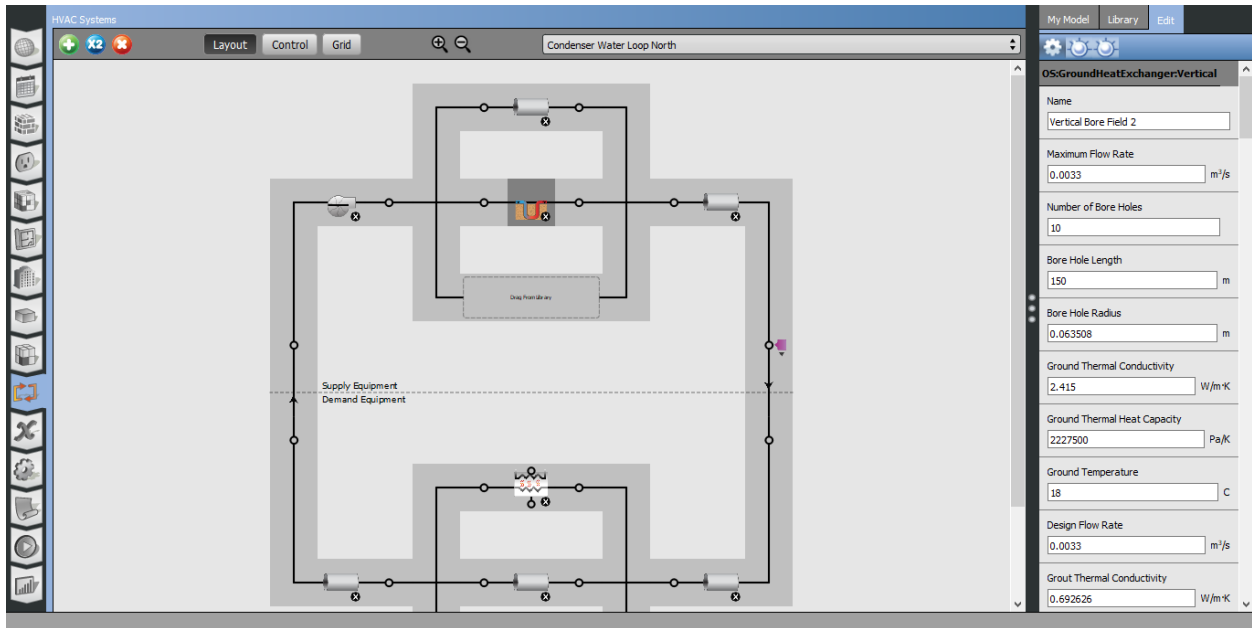
Εικόνα 49 : Κύκλωμα Συμπιεστή νερού ψύξης

Σενάριο 2 :

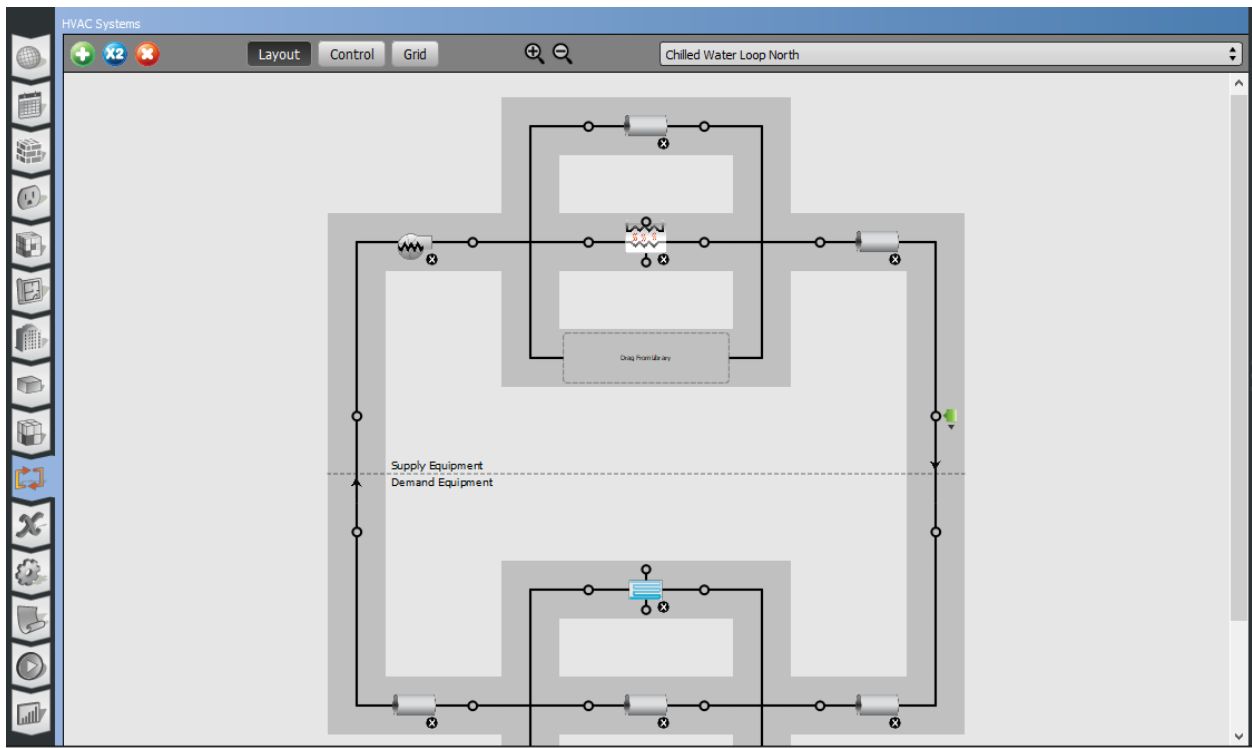
Στο δεύτερο σενάριο όπως αναφέραμε θα γίνει χρήση γεωθερμίας τόσο για την θέρμανση όσο και για την ψύξη του κτιρίου. Προχωράμε λοιπόν στην δημιουργία ενός κυκλώματος αντλίας θερμότητας νερού-νερού (Heat Pump – Water to Water), συνδεδεμένη με ένα γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας (Ground Heat Exchanger).

Συγκεκριμένα φτιάχνουμε ένα βρόγχο, στον οποίο στο Supply Equipment τοποθετείται μια αντλία σταθερών στροφών (Constant Speed Pump) και έναν γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας (Ground Heat Exchanger) και στο Demand Equipment τοποθετείται μια αντλία θερμότητας νερού-νερού (Heat Pump – Water to Water). Ως προς τα χαρακτηριστικά του γεωθερμικού εναλλάκτη, επεξεργαστήκαμε τις τιμές θερμικής αγωγιμότητας, θερμοχωρητικότητας και θερμοκρασίας εδάφους, καθώς και το πλήθος και το βάθος των οπών (Bore Hole Length και Number of Bore Holes). Ως προς την αντλία θερμότητας, στο κύκλωμα ψύξης προσθέτουμε Heat Pump – Water to Water – Cooling, και στο κύκλωμα θέρμανσης προσθέτουμε Heat Pump – Water to Water – Heating.

Παρουσιάζουμε στις επόμενες εικόνες το κύκλωμα νερού ψύξης. Ομοίως με τα χαρακτηριστικά που αναφέραμε πιο πάνω θα κατασκευάσουμε το κύκλωμα ζεστού νερού.



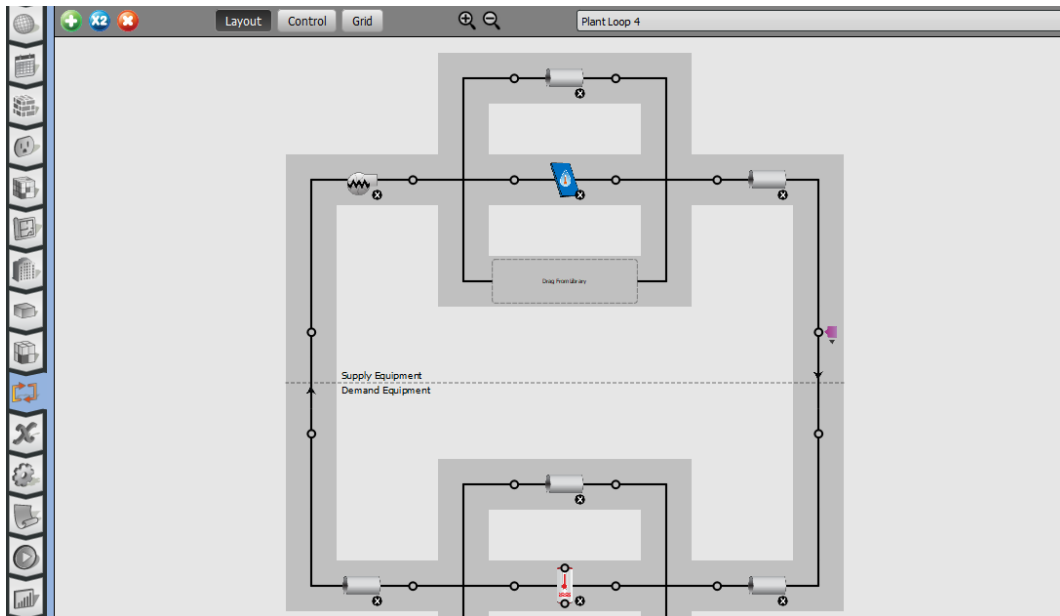
Εικόνα 50 : Κύκλωμα Συμπυκνωτή Αντλίας νερού-νερού ψύξης



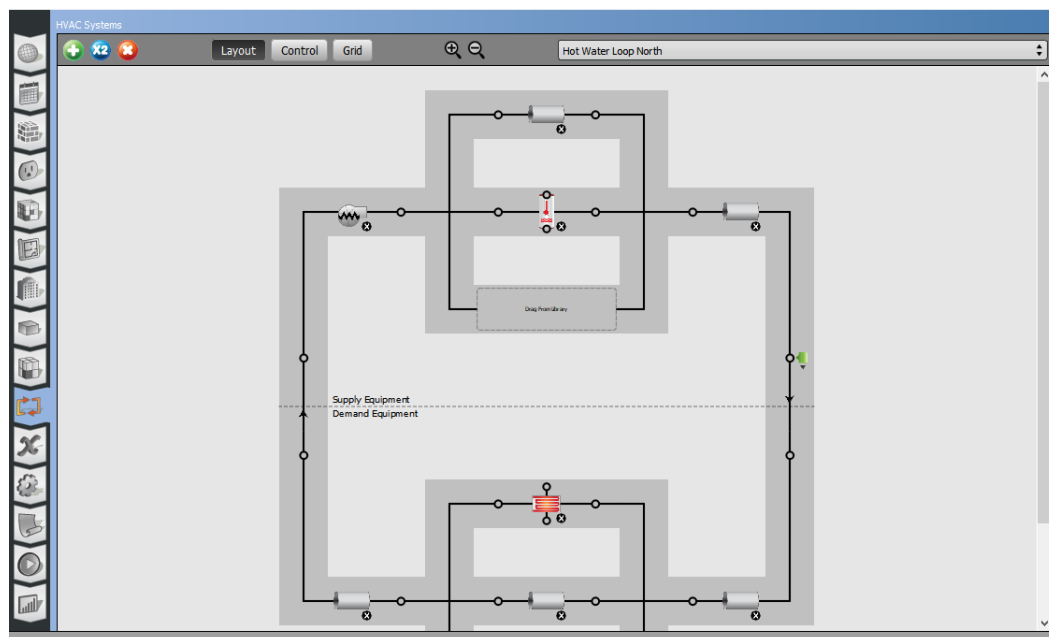
Εικόνα 51 : Κύκλωμα νερού ψύξης με αντλία θερμότητας νερού-νερού

Σενάριο 3 :

Στόχος μας στο τρίτο σενάριο είναι να εκμεταλλευτούμε την ηλιακή ακτινοβολία για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου. Ξεκινώντας από το κύκλωμα ζεστού νερού, φτιάχνουμε ένα κύκλωμα όπου θα υπάρχουν ηλιακοί συλλέκτες (Solar Collector Flat Plate Water) στο Supply Equipment και μια δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού, επιλέγοντας το WaterHeater:Mixed, στο Demand Equipment, η οποία στην συνέχεια θα εφαρμοστεί στο κύκλωμα ζεστού νερού στο Supply Equipment για να παρέχει ζεστό νερό στο Heating Coil του Demand Equipment.



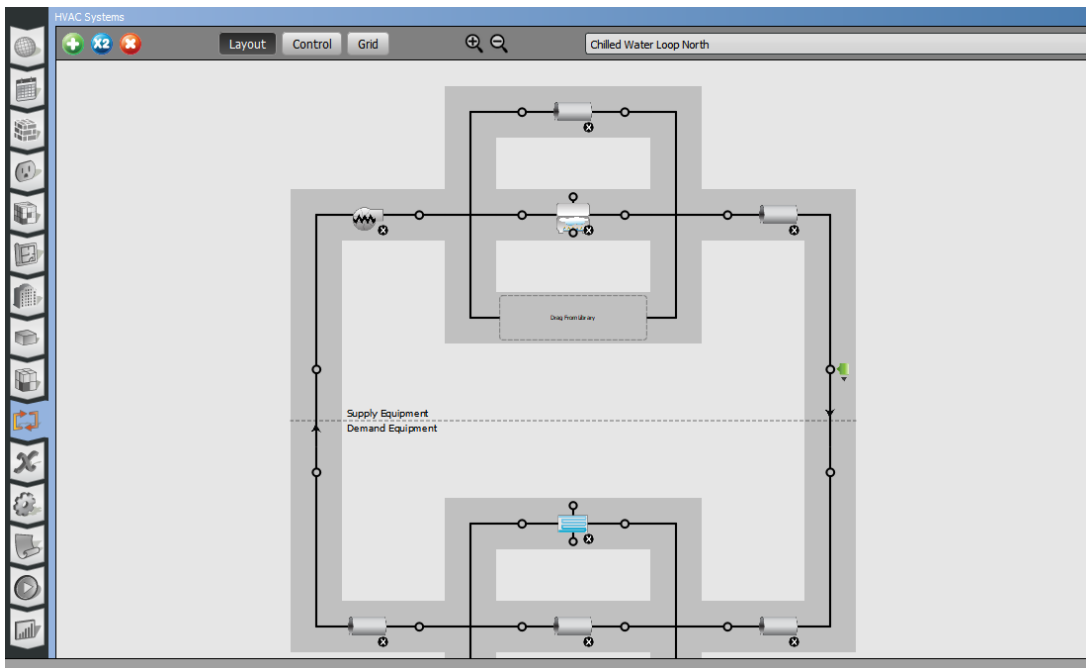
Εικόνα 52 : Σύστημα παραγωγής ζεστού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη.



Εικόνα 53 : Σύστημα ζεστού νερού

Για την ψύξη του κτιρίου θα χρησιμοποιήσουμε ένα ψύκτη απορρόφησης (Absorption Chiller). Στόχος μας ο ψύκτης απορρόφησης να χρησιμοποιεί την θερμική ενέργεια από τους ηλιακούς συλλέκτες ώστε να παράγει με την σειρά του κρύο νερό στο σύστημα και να μην χρειάζεται θερμότητα από το δίκτυο. Για να το πετύχουμε αυτό θα χρησιμοποιήσουμε ηλιακούς συλλέκτες και μια δεξαμενή αποθήκευσης.

Θα υπάρχει δηλαδή ένα όμοιο σύστημα παραγωγής ζεστού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη όμοια με την παραγωγή ζεστού νερού για την θέρμανση του κτιρίου, και το ζεστό νερό θα οδηγείται στον ψύκτη απορρόφησης (Chiller:Absorption), ώστε να παρέχουν τη θερμική ενέργεια που απαιτείται από ένα σύστημα ψύξης απορρόφησης. Ο ψύκτης απορρόφησης θα παρέχει λοιπόν το κρύο νερό στο σύστημα VAV , ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες ψύξης του κτιρίου.



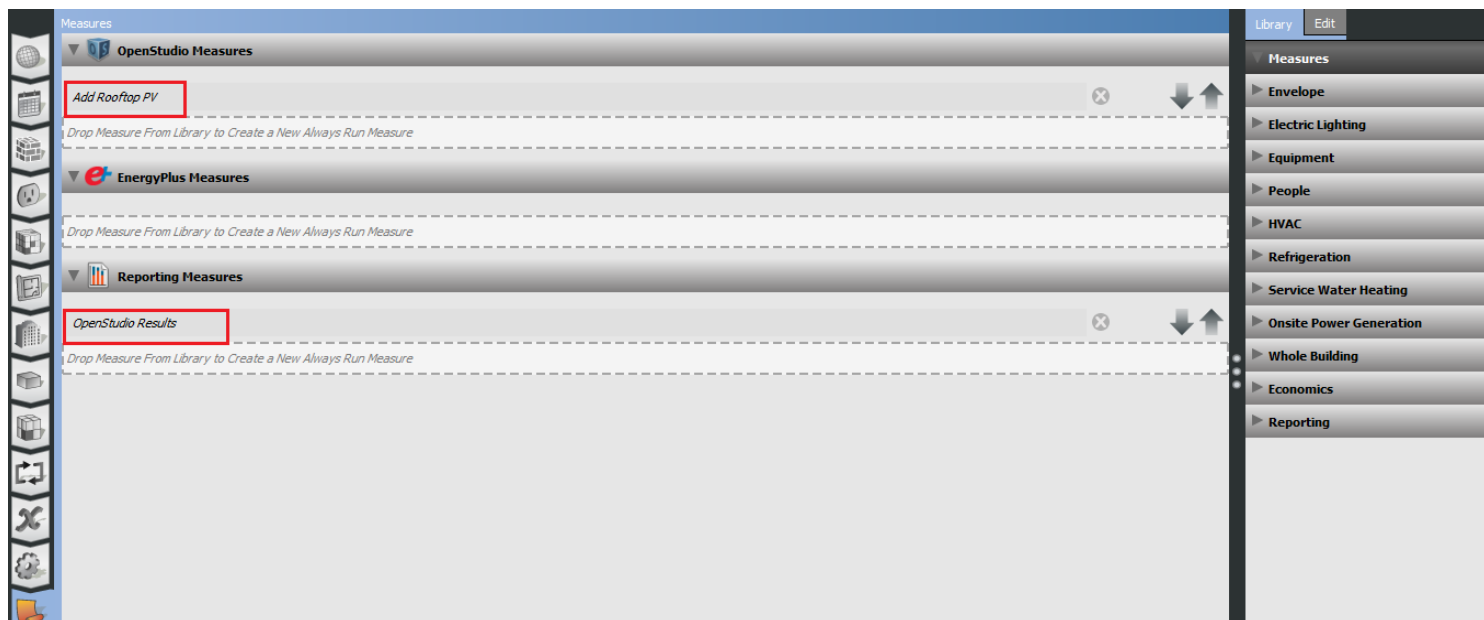
Εικόνα 54 : Σύστημα ψύξης με χρήση Absorption Chiller

6.7.11 Μετρήσεις (Measures)

Στην καρτέλα Measures , μπορούμε να εισάγουμε πρόσθετες μετρήσεις που θέλουμε να πραγματοποιηθούν από το πρόγραμμα.

Επιλέγουμε λοιπόν από την κατηγορία Onsite Power Generation , “Add Rooftop PV” , ώστε να εισάγουμε τα φωτοβολταϊκά πάνελ στην οροφή του κτιρίου και στο Reporting Measures εισάγουμε το “OpenStudio Results” που αφορά την έκθεση των αποτελεσμάτων.

Οι επιλογές που αναφέραμε ισχύουν και για τα 3 σενάρια που θα μελετήσαμε.



Εικόνα 55 : Καρτέλα Measures

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η επίτευξη ενός κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Θέλουμε δηλαδή μεν να ικανοποιούνται οι εσωτερικές επιθυμητές συνθήκες, αλλά αυτό να το πετύχουμε με όσο το δυνατόν λιγότερη χρήση συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, δηλαδή με όσο το δυνατόν λιγότερη ανάγκη για κατανάλωση ενέργειας. Για να το πετύχουμε αυτό θα στραφήκαμε στον βιοκλιματικό σχεδιασμό και προσπαθήσαμε να χρησιμοποιήσουμε τεχνικές μεθόδους όπως παθητικά συστήματα θέρμανσης, φυσικού δροσισμού και φυσικού φωτισμού, κάτι το οποίο μπορούμε να πετύχουμε με τον σωστό προσανατολισμό του κτιρίου. Συνεχίζοντας, επιλέξαμε τα κατάλληλα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ώστε να καλύψουμε τις υπόλοιπες απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω ηλιακής και γεωθερμικής ενέργειας.

7.1 Ψυκτικά και θερμικά φορτία

Σημαντικό βήμα κατά την διαδικασία σχεδιασμού συστημάτων είναι να προηγηθούν οι σωστοί υπολογισμοί των θερμικών και ψυκτικών φορτίων. Για να το πετύχουμε αυτό πρέπει να ορίσουμε με προσοχή της θερμικές ζώνες, τα χρονοδιαγράμματα, τα θερμικά κέρδη κλπ. Ένας ακόμη βασικός παράγοντας εμφάνισης ψυκτικών και θερμικών φορτίων είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η οποία προσδίδει θερμικά κέρδη μέσω των εξωτερικών επιφανειών όπως τοίχοι και οροφές, και μέσω των υαλοπινάκων.

Λαμβάνοντας υπόψη την σημαντική επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας ως προς την εμφάνιση των θερμικών κερδών και των ψυκτικών φορτίων αντίστοιχα, είναι σημαντικό να ορίσουμε τον σωστό προσανατολισμό του κτιρίου. Κάτι το οποίο αποτελεί ένα από τα βήματα βιοκλιματικού σχεδιασμού του κτιρίου, τόσο ως προς την ηλιακή ακτινοβολία όσο και ως προς άλλους επιπλέον παράγοντες οι οποίοι έχουν αναπτυχθεί στο Κεφάλαιο 2. Ως γνωστόν οι βόρειες όψεις δέχονται πολύ μικρό ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας και μόνο κατά την περίοδο των θερινών μηνών, σε αντίθεση με τις νότιες όψεις, οι οποίες απολαμβάνουν τον ήλιο το μεγαλύτερο μέρος της μέρας. Για να αποφύγουμε μεγάλα ποσά θερμικού κέρδους, τα οποία θα αυξήσουν τις απαιτήσεις ψύξης κυρίως τους θερινούς μήνες, τα παράθυρα και τα ανοίγματα θα πρέπει να τοποθετηθούν βόρεια ώστε ο συντελεστής SHFC, θερμικού κέρδους ηλιακής ακτινοβολίας, να είναι χαμηλός, άρα θα έχουμε πιο χαμηλά θερμικά κέρδη.

Επίσης, ένα σύστημα το οποίο θα σχεδιαστεί ώστε να εξυπηρετεί διάφορες θερμικές ζώνες, δεν χρειάζεται να παρέχει ψύξη μεγαλύτερη από το μέγιστο ωριαίο άθροισμα ταυτόχρονων φορτίων όλων των ζωνών καθ' όλη την διάρκεια της μέρας, ωστόσο πρέπει να χειρίζεται το μέγιστο φορτίο ψύξης για κάθε ζώνη στην ατομική ώρα αιχμής της. Τα μέγιστα φορτία θέρμανσης και ψύξης, φορτία αιχμής (peak loads), κάθε θερμικής ζώνης ξεχωριστά, δεν συμπίπτουν χρονικά με την στιγμή κορύφωσης συνολικών φορτίων. Για τον λόγο αυτό πρέπει να μελετάμε και τα φορτία αιχμής κάθε ζώνης ξεχωριστά, και την στιγμή κορύφωσης συνολικών φορτίων.

Όπως αναφέραμε ο προσδιορισμός των φορτίων είναι μεν εφικτό να γίνει με βάση της μεθόδους που αναπτύξαμε στο Κεφάλαιο 5, και συγκεκριμένα με την μέθοδο RTS, ωστόσο οι αρχές κάθε μεθόδου πρέπει να εφαρμόζονται με ακρίβεια, χωρίς να αμελείται καμία παράμετρος, και οδηγεί σε μια πολύπλοκη διαδικασία υπολογισμού. Για τον λόγο αυτό, για τον υπολογισμό θερμικών και ψυκτικών

φορτίων χρησιμοποιούνται συχνά διάφορα λογισμικά τα οποία μπορούν να εξάγουν ακριβή αποτελέσματα. Ένα από αυτά τα προγράμματα είναι και το EnergyPlus, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα φορτία αιχμής κάθε θερμικής ζώνης. Οι υπολογισμοί έχουν γίνει τόσο για τον κανονικό προσανατολισμό του κτιρίου, όσο και για τον προσανατολισμό του κτιρίου περιστρεφόμενο κατά 270° ωρολογιακά, ώστε δηλαδή η μεγάλη τζαμαρία του κτιρίου να βρίσκεται βόρεια.

Θερμική Ζώνη	Περιγραφή Χώρου	Κανονικός Προσανατολισμός Κτιρίου		Περιστροφή κτιρίου κατά 270° (Η τζαμαρία τοποθετείται βόρεια)	
		Ψυκτικό Φορτίο (Cooling Sensible Peak Load) - W	Θερμικό Φορτίο (Heating Sensible Peak Load) – W	Ψυκτικό Φορτίο (Cooling Sensible Peak Load) - W	Θερμικό Φορτίο (Heating Sensible Peak Load) - W
101	Stairs	629	239	581	233
105	Archives	4190	489	3890	488
106	Stairs	199	267	146	270
201 , 202	Stairs & Vestibule	1375	896	751	894
206	Toilet Main Floor	233	45	278	44
209	Librarians	2185	311	1531	323
210, 211, 213, 214	Computer Catalog, Reading Area, Entrance and Reception	7230	1124	4257	1120
212	Stacks	15437	10809	7676	11236
215 , 217	Display, Audio Visual	3250	2091	2347	2126
218	Archives	806	208	778	966
302,305,306	Lecture	13682	5182	13667	5167
307 , 308	Exterior Toilets	450	618	493	629
401 – 404	Apartment	514	284	512	282
504, 505, 507, 509, 511, 512	Offices	2373	530	1825	529
508	Staff Lounge/Workroom	1078	500	946	503
510	Conference Room	2255	556	1343	556
513	Small Meeting Room	5657	1072	3116	1077
516, 517	Rare Book Librarian & Reading	1003	922	994	992
518	Rare Book Collection	1224	293	1168	293
503-515	Elevator Lobby, Corridor, 515	7756	912	7717	917
	Συνολικό φορτίο αιχμής	71.8 kW	27.3 kW	54 kW	28.6 kW

Πίνακας 23 : Φορτία Αιχμής (Peak Loads) Θερμικών Ζωνών

Παρατηρούμε ότι αλλάζοντας τον προσανατολισμό του κτιρίου τα φορτία αιχμής, συγκεκριμένα τα ψυκτικά φορτία αιχμής, έχουν μειωθεί αρκετά. Πέρα από την σωστή επιλογή συστημάτων, πρέπει λοιπόν να προηγηθεί ο σωστός σχεδιασμός του κτιρίου, με τον προσανατολισμό να αποτελεί έναν από τους κύριους παράγοντες.

Επίσης είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι τα μέγιστα φορτία εμφανίζονται στους χώρους “Stacks” και στο χώρο των διαλέξεων “Lecture”. Αυτό οφείλεται γιατί ο χώρος Stacks αποτελείται από μια μεγάλη τζαμαρία, ή οποία δέχεται μεγάλα θερμικά κέρδη, κυρίως όταν βρίσκεται σε κανονικό προσανατολισμό το κτίριο και η τζαμαρία βρίσκεται στην ανατολική πλευρά του κτιρίου. Επίσης ο χώρος διαλέξεων εμφανίζει μεγάλες τιμές φορτίων λόγω του ότι κατά την λειτουργία του χώρου υπάρχει μεγάλο πλήθος ατόμων, συγκεκριμένα 110 άτομα, και για τον λόγο αυτό αυξάνονται τα θερμικά κέρδη από ανθρώπους.

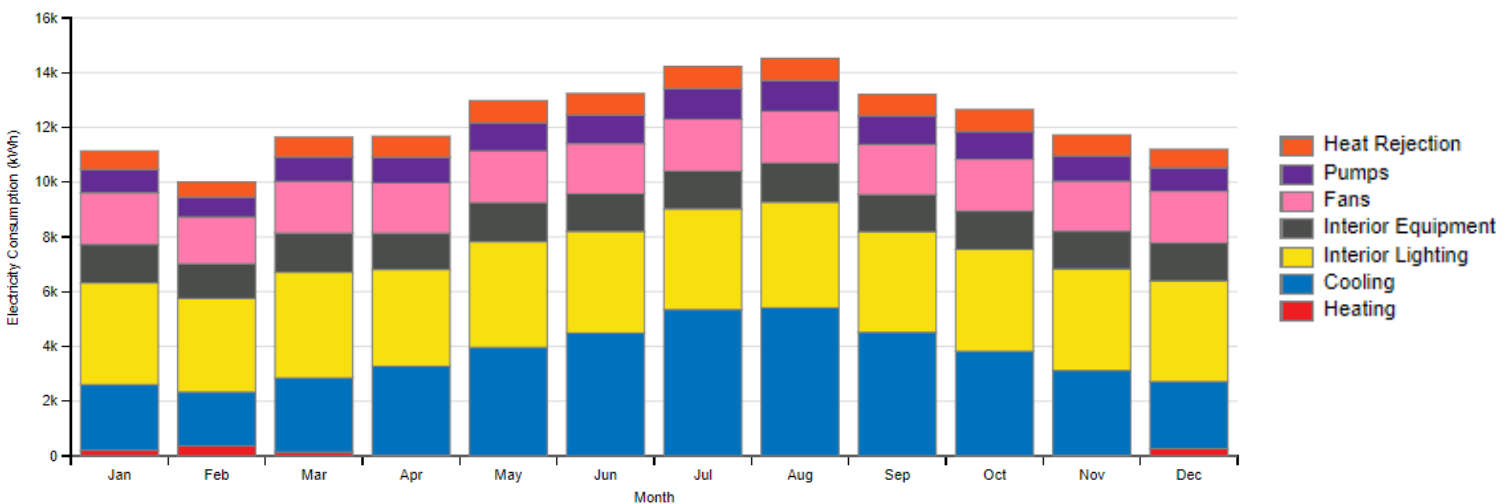
7.2 Ηλεκτρικές Καταναλώσεις

7.2.1 Σενάριο 1 – Boiler & Electric Chiller

Το πρώτο σενάριο περιλαμβάνει μια απλή εφαρμογή λέβητα (boiler) για την θέρμανση του κτιρίου και μια μηχανική συσκευή ψύξης (chiller). Για αυτό το σενάριο θα μελετήσουμε επίσης και την επίδραση του προσανατολισμού του κτιρίου στις ηλεκτρικές καταναλώσεις όπως αντίστοιχα μελετήθηκε πιο πάνω για τα φορτία αιχμής.

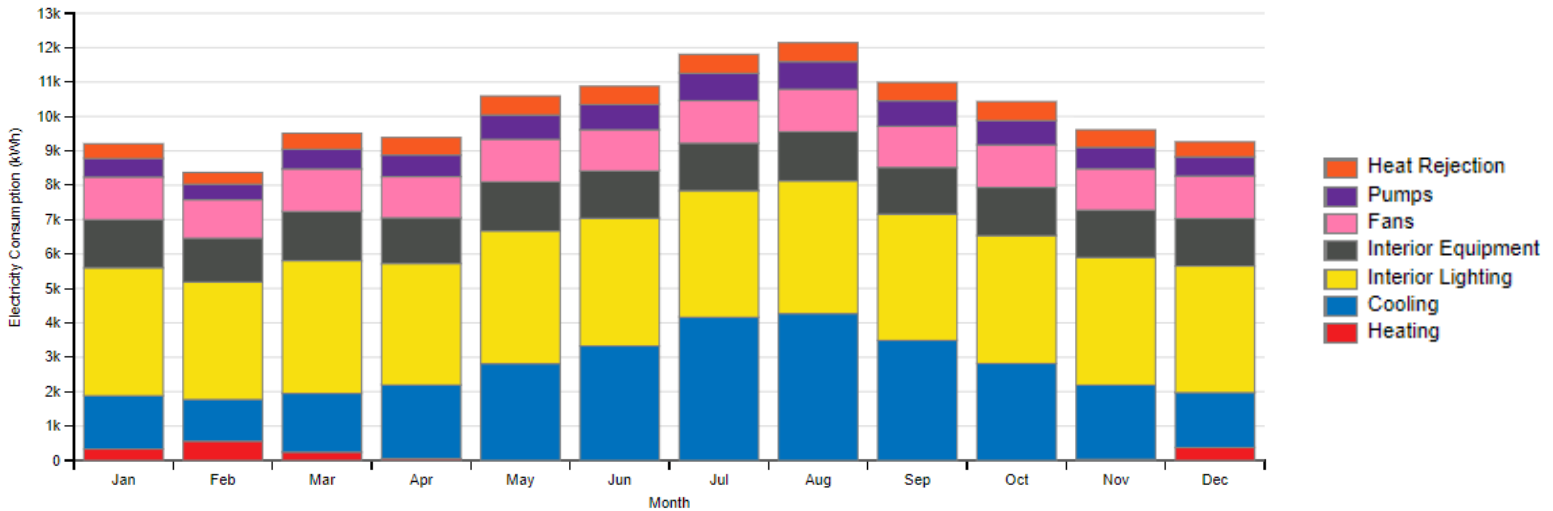
Ακολουθεί το διάγραμμα ηλεκτρικών καταναλώσεων του κτιρίου, όταν αυτό βρίσκεται στον κανονικό προσανατολισμό των σχεδίων, δηλαδή η μεγάλη τζαμαρία βλέπει Ανατολικά.

Οι συνολικές ηλεκτρικές καταναλώσεις ανέρχονται στις 148950 kWh.



Διάγραμμα 11 : Μηνιαίες Ηλεκτρικές Καταναλώσεις - Σενάριο 1 , Κανονικός Προσανατολισμός

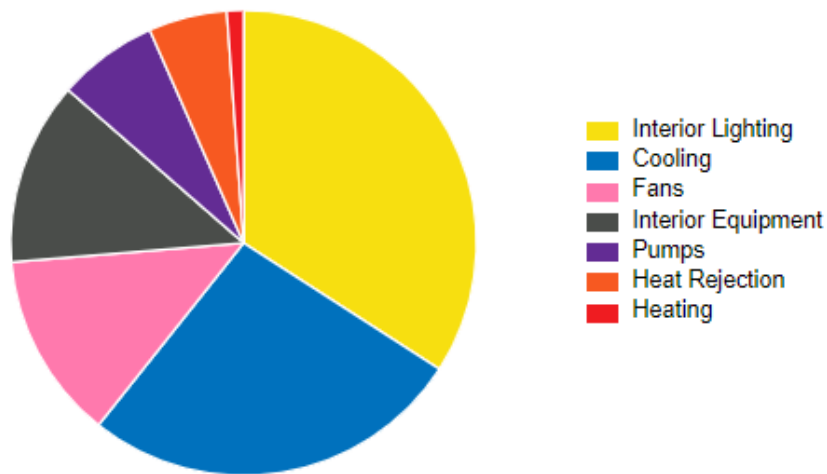
Αλλάζοντας τον προσανατολισμό του κτιρίου κατά 270° ωρολογιακά, δηλαδή η μεγάλη τζαμαρία να είναι τοποθετημένη Βόρεια, μειώνονται τα ψυκτικά φορτία, και η ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις ανέρχονται στις 122195kWh.



Διάγραμμα 12 : Μηνιαίες Ηλεκτρικές Καταναλώσεις - Σενάριο 2 , Αλλαγή προσανατολισμού

Όπως είναι λογικό τα φορτία θέρμανσης εμφανίζονται τους χειμερινούς μήνες, ενώ τα φορτία ψύξης αν και εμφανίζονται καθ' όλη την διάρκεια τους έτους, τα μεγαλύτερα φορτία εμφανίζονται τους καλοκαιρινούς μήνες. Επίσης οι ηλεκτρικές καταναλώσεις εσωτερικού φωτισμού και εσωτερικού εξοπλισμού παραμένουν σταθερές κατά την διάρκεια του έτους, με τις καταναλώσεις φωτισμού να αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό θερμικών καταναλώσεων.

Αναλυτικά οι ηλεκτρικές καταναλώσεις ανά τελική χρήση, δίνονται πιο κάτω.



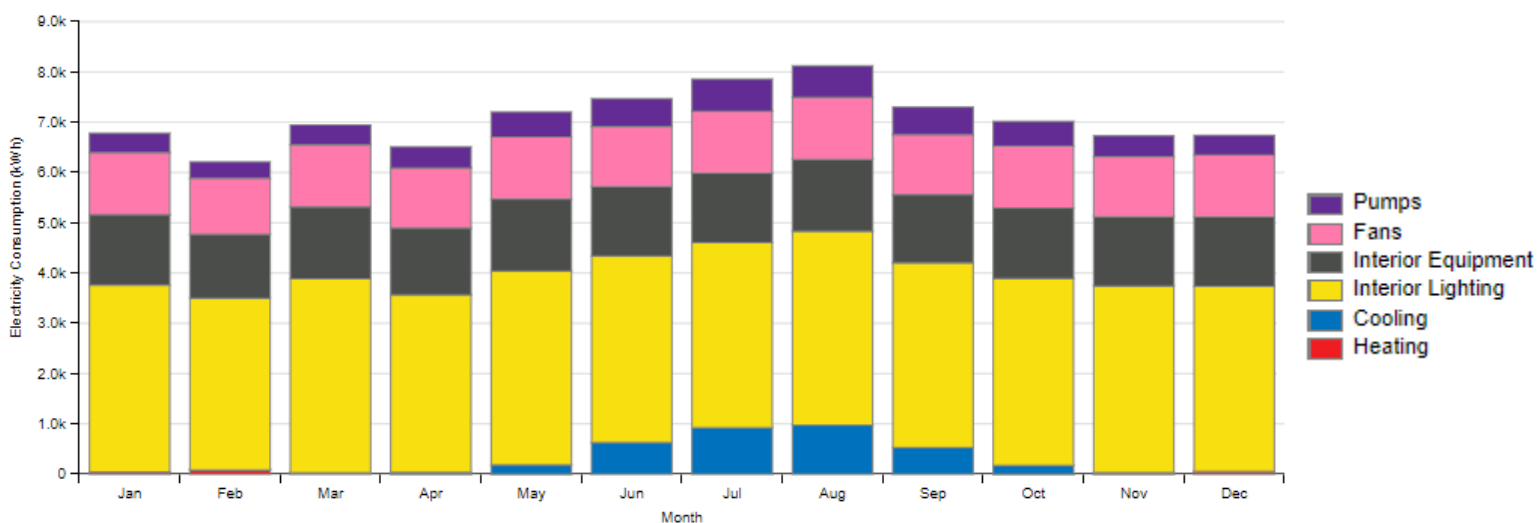
Διάγραμμα 13 : Ποσοστό κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά τελική χρήση- Σενάριο 1

Τελική Χρήση (End Use)	Καταναλώσεις (Consumption) - kWh	Ποσοστό συνολικών καταναλώσεων (%)
Θέρμανση (Heating)	1599.88	1.31
Ψύξη (Cooling)	31230.54	25.56
Εσωτερικός φωτισμός (Interior Lighting)	44411.12	36.34
Εσωτερικός εξοπλισμός (Interior Equipment)	16572.29	13.56
Ανεμιστήρες (Fans)	14561.24	11.92
Αντλίες (Pumps)	7841.70	6.42
Απόρριψη θερμότητας (Heat Rejection)	5975.13	4.89

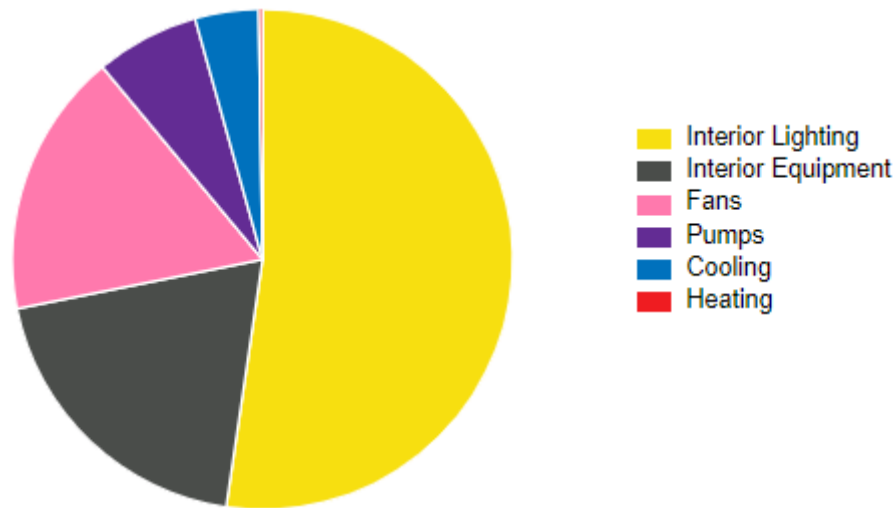
7.2.2 Σενάριο 2 – Ground Heat Exchanger

Το δεύτερο σενάριο περιλαμβάνει την χρήση γεωθερμίας. Διατηρώντας τον προσανατολισμό του κτιρίου προς τον επιθυμητό και ενεργειακά αποδοτικό προσανατολισμό που επιλέχθηκε, δηλαδή περιστρεφόμενο κατά 270°, χρησιμοποιήσαμε ένα γεωθερμικό εναλλάκτη και μια γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού-νερού για να την θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου.

Οι ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις για το παρόν σύστημα ανέρχονται στις 84880kWh.



Διάγραμμα 14 : Μηνιαίες Ηλεκτρικές Καταναλώσεις - Σενάριο 2, Χρήση Γεωθερμίας



Διάγραμμα 15 : Ποσοστό κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά τελική χρήση- Σενάριο 2

Τελική Χρήση (End Use)	Καταναλώσεις (Consumption) - kWh	Ποσοστό συνολικών καταναλώσεων (%)
Θέρμανση (Heating)	205.44	0.242
Ψύξη (Cooling)	3483.44	4.104
Εσωτερικός φωτισμός (Interior Lighting)	44411.12	52.323
Εσωτερικός εξοπλισμός (Interior Equipment)	16572.29	19.525
Ανεμιστήρες (Fans)	14522.26	17.11
Αντλίες (Pumps)	5683.23	6.696

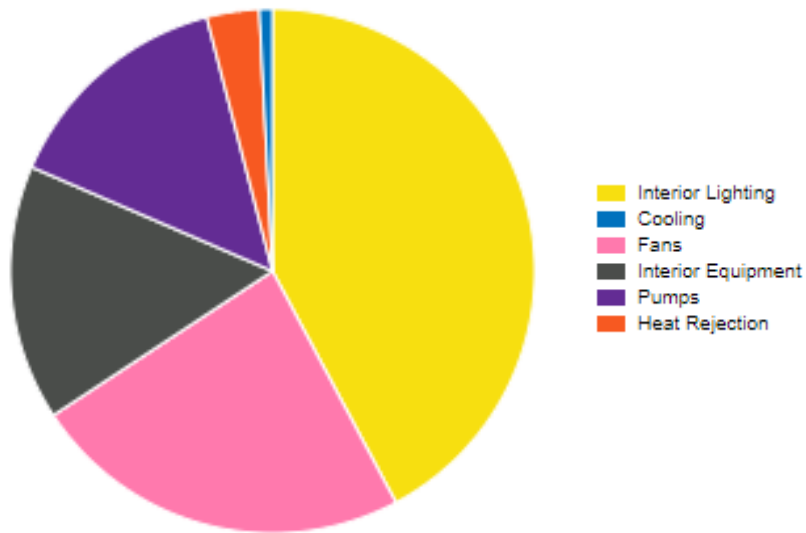
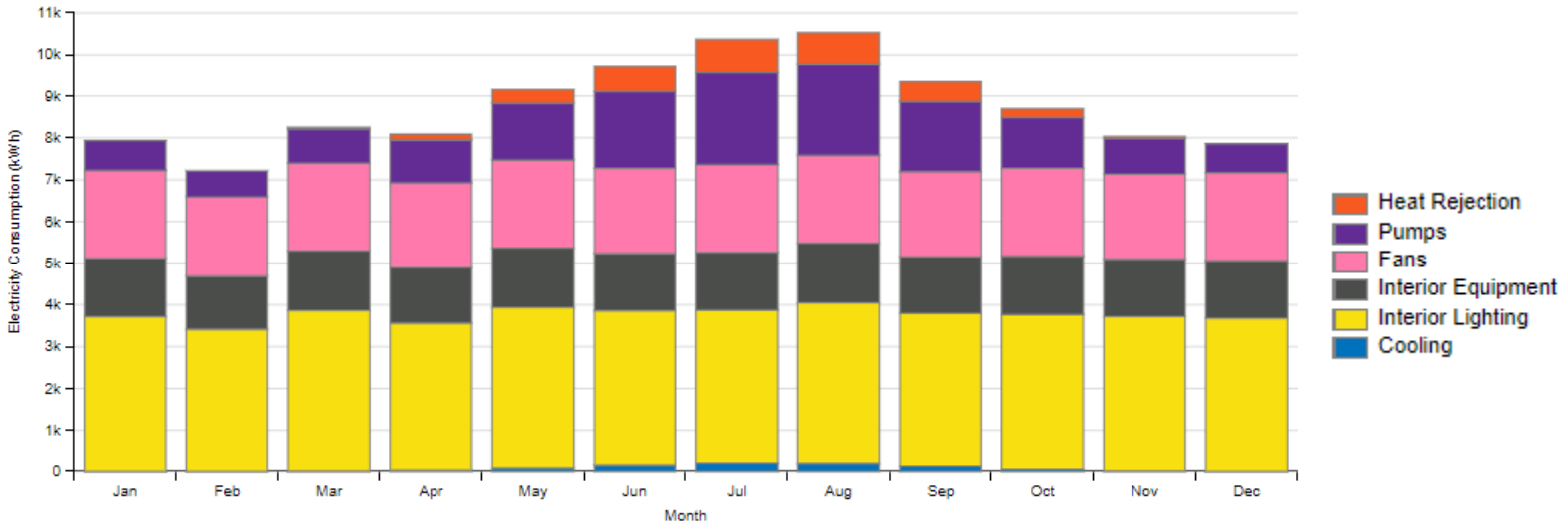
Παρατηρούμε πως τα φορτία, τόσο της θέρμανσης όσο και ψύξης έχουν μειωθεί σε μεγάλο βαθμό. Ο εσωτερικός φωτισμός και εσωτερικός εξοπλισμός παραμένουν σταθερά, με τον φωτισμό να αποτελεί πλέον το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρικών καταναλώσεων.

Η χρήση γεωθερμίας αποδεικνύεται μια αποδοτική λύση ως προς την επιλογή συστήματος HVAC, η οποία σε συνδυασμό με την χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ, ώστε να καλυφθούν οι υπόλοιπες ηλεκτρικές καταναλώσεις του κτιρίου, θα μπορούσε να οδηγήσει στην επίτευξη ενός κτιρίου μηδενικών καταναλώσεων.

7.2.3 Σενάριο 3 – Ηλιοθερμική Ψύξη

Στο τρίτο σενάριο σκοπός είναι να εκμεταλλευτούμε την ηλιακή ενέργεια ώστε να καλυφθούν οι απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης όσο το δυνατόν, με χρήση ηλιακών συλλεκτών που θα προσδίδουν θερμότητα για την θέρμανση του κτιρίου και για ζεστό νερό χρήσης καθώς και την απαιτούμενη θερμότητα σε ψύκτη προσρόφησης ο οποίος με την σειρά του θα καλύπτει την ψύξη του κτιρίου.

Οι ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις, για το σενάριο αυτό, ανέρχονται στις 105228kWh.



Διάγραμμα 16 : Ποσοστό κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά τελική χρήση- Σενάριο 3

Τελική Χρήση (End Use)	Καταναλώσεις (Consumption) - kWh	Ποσοστό συνολικών καταναλώσεων (%)
Θέρμανση (Heating)	0	0
Ψύξη (Cooling)	846.88	0.80
Εσωτερικός φωτισμός (Interior Lighting)	44411.75	42.21
Εσωτερικός εξοπλισμός (Interior Equipment)	16572.43	15.75
Ανεμιστήρες (Fans)	24763.91	23.53
Αντλίες (Pumps)	15226.72	14.47
Απόρριψη θερμότητας (Heat Rejection)	3405.35	3.24

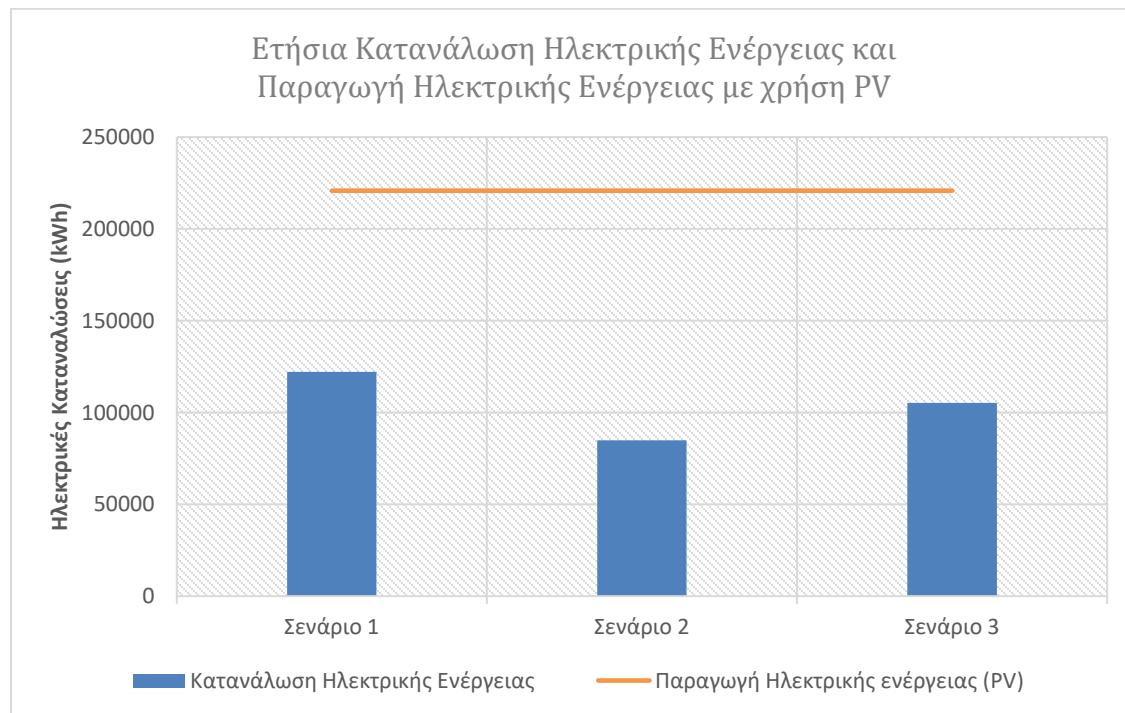
Παρατηρούμε πως τα φορτία θέρμανσης, καθώς και τα φορτία ψύξης σχεδόν, έχουν καλυφθεί πλήρως. Συγκρίνοντας όμως το σενάριο αυτό με το σενάριο γεωθερμίας, παρατηρούμε ότι η ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις είναι μεγαλύτερες.

Ωστόσο, η χρήση ηλιακής ενέργειας για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου αποτελεί επίσης μια αποτελεσματική και αποδοτική επιλογή συστήματος.

7.3 Παραγωγή ενέργειας με χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ

Σε κάθε ένα από τα σενάρια που μελετήσαμε, επιλέξαμε την τοποθέτηση πρόσθετων ηλιακών πάνελ, ώστε να καλύψουμε, ή έστω να μειώσουμε σε επιθυμητό βαθμό, την κατανάλωση ενέργειας.

Η ετήσια ενέργεια που μπορούμε να παράγουμε από φωτοβολταϊκά πάνελ φτάνει τις 220822.2 kWh. Κάτι το οποίο καλύπτει πλήρως τις απαιτήσεις κατανάλωσης ενέργειας και στα τρία σενάρια που μελετήσαμε.



Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ παρατηρούμε ότι ξεπερνάει κατά πολύ την ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό οφείλεται στο ότι χρησιμοποιήσαμε, κατά την εκτέλεση του λογισμικού OpenStudio, την επιλογή "Add Rooftop PV", για να εισάγουμε στην οροφή του κτιρίου τα φωτοβολταϊκά πάνελ, χωρίς να προηγηθεί κάποια μελέτη για το ποσό των φωτοβολταϊκών πάνελ που είναι απαραίτητα.

Θα μπορούσε δηλαδή, κάνοντας μια ολοκληρωμένη ενεργειακή μελέτη, να υπολογιστεί με ακρίβεια η απαιτούμενη ποσότητα φωτοβολταϊκών πάνελ ώστε να καλυφθεί ακριβώς η απαιτούμενη ποσότητα

ενέργειας, εξοικονομώντας τα αρχικά κόστη αγοράς των επιπλέον φωτοβολταϊκών. Ωστόσο, τα περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας που παράγουμε , μπορούν επίσης να δοθούν στο δίκτυο και να γίνετε διανομή ηλεκτρικής ενέργειας σε καταναλωτές της περιοχής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήσαμε τα κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, και τα βήματα που ακολουθούνται για την επίτευξη σχεδιασμού τους. Δόθηκε μεγάλη έμφαση τόσο στους τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας, όσο και στην χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και ψύξης και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Συγκεκριμένα μελετήσαμε το κτίριο που δόθηκε στα πλαίσια του διαγωνισμού της ASHRAE, τοποθετημένο στην περιοχή της Αθήνας, Ελλάδα. Για να πραγματοποιήσουμε την προσομοίωση του κτιρίου χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό EnergyPlus. Προηγήθηκε αρχικά η τρισδιάστατη σχεδίαση του κτιρίου στο Sketchup και χρησιμοποιήθηκε το πρόσθετο λογισμικό OpenStudio για την τροποποίηση και την εισαγωγή δεδομένων όπως τις επιφάνειες, τα εσωτερικά φορτία κάθε χώρου κλπ. Ακολούθησε η επιλογή συστημάτων και η σύγκριση αποτελεσμάτων για τρία σενάρια που μελετήσαμε.

Συνοψίζοντας, μέσα από τα σενάρια που μελετήσαμε, και μέσω της βιβλιογραφίας που προηγήθηκε, σε συνδυασμό με την παρούσα κατάσταση τόσο της χώρας μας αλλά και ολόκληρου του πλανήτη σχετικά κυρίως με την περιβαλλοντική κατάσταση, παρατηρούμε πόσο σημαντικό, και ταυτόχρονα εφικτό, είναι η εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παρατηρήσαμε επίσης ότι η Ελλάδα είναι μια χώρα που μπορεί να εκμεταλλευτεί ανεξάντλητες πηγές ενέργειας, όπως η γεωθερμική ενέργεια, μια φυσική θερμική ενέργεια της γης καθώς και την ηλιακή ενέργεια, λόγω της υψηλής ακτινοβολίας της χώρας. Πηγές ενέργειας που είναι εξίσου αποδοτικές και μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά στον κτιριακό τομέα, για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που λάβαμε για την μελέτη των σεναρίων που μελετήσαμε χρησιμοποιώντας το λογισμικό EnergyPlus, παρατηρήσαμε ότι και με την χρήση γεωθερμίας, αλλά και με την χρήση ηλιακής ενέργειας καταφέραμε να καλύψουμε ένα μεγάλο ποσοστό, φτάνοντας σχεδόν στην πλήρη κάλυψη, των απαιτήσεων θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου. Η χρήση γεωθερμίας ωστόσο φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματική με τις ηλεκτρικές καταναλώσεις να φτάνουν τις 84880kWh, έναντι των 105228kWh με χρήση ηλιακής ενέργειας. Στην μελέτη και των δύο σεναρίων βέβαια, σε συνδυασμό με την χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ, μια εφαρμογή ΑΠΕ με τεράστιο ενδιαφέρον στην Ελλάδα, παρατηρούμε πως μπορεί να οδηγήσει σε πλήρη κάλυψη των ηλεκτρικών καταναλώσεων. Μπορούμε δηλαδή με την σωστή επιλογή ΑΠΕ να καλύψουμε πλήρως την κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου και να επιτευχθεί ένα κτίριο μηδενικών καταναλώσεων ενέργειας, ZEB, το οποίο αποτελούσε και κύριο στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Δεν θα μπορούσαμε να μην επαναλάβουμε την σημασία και την ανάγκη για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον κτιριακό τομέα ώστε να μειωθούν οι εκπομπές του θερμοκηπίου και να καταφέρει ο άνθρωπος να αντιμετωπίσει την μεγάλη πρόκληση της κλιματικής αλλαγής που αντιμετωπίζει αυτή την στιγμή η ανθρωπότητα.

Βιβλιογραφία

- [1] Εθνικό Σχέδιο αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας (άρθρο 9, Οδηγίας 2010/31/ΕΕ για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων)
- [2] International Energy Agency - <https://www.iea.org/>
- [3] World Green Building Council – Report : “The building and construction sector can reach net zero carbon emissions by 2050”
- [4] Τεχνική Οδηγία Τεχνικού επιμελητήριου Ελλάδας – Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017
- [5] Climate Consultant 6.0
- [6] ASHRAE Standard 55, “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”
- [7] “Συντελεστής Μετατροπής Πρωτογενούς Ενέργεια”, Ενεργειακές Τεχνολογίες & Αποδοτικότητα, district-energy.gr
- [8] “Net Zero Energy Building (NZEB) : Concepts, Frameworks and Roadmap for Project Analysis and Implementation”, Shady Attia
- [9] Τεχνικός οδηγός για τα κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας
- [10] “Βιοκλιματικός Σχεδιασμός”, Εξοικονόμηση και Ορθολογική Χρήση Ενέργειας , ΚΑΠΕ
- [12] Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτηρίων: Σημειώσεις Μαθήματος Θερμικής Συμπεριφοράς Κτηρίων. Τζιβανίδης Χρήστος
- [13] “Θερμική Μάζα κτιρίου” , Ορθολογική Χρήση Ενέργειας , ΚΑΠΕ
- [14] “Passive Design” , Green Home Technology Center, Ohio State University
- [15] “Φυσικός δροσισμός” , ΚΑΠΕ
- [16] “Παθητικά Συστήματα και τεχνικές φυσικού δροσισμού”, ΚΑΠΕ
- [17] Passive Daylighting Systems Could Transform the Architecture of Natural Light, HMC Architects
- [18] Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας μέσω θερμομόνωσης , ΚΑΠΕ
- [19] “Building Envelope”, Chapter 25 , 2017 ASHRAE Handbook Fundamentals
- [20] 2017 ASHRAE Handbook – Fundamentals
- [21] Εγχειρίδιο για εγκαταστάτες εξωτερικής και συμβατικής θερμομόνωσης
- [22] “Fenestration”, Chapter 15 , 2017 ASHRAE Handbook Fundamentals
- [23] Κριτήρια επιλογής ενεργειακών υαλοπινάκων
- [24] Συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα HVAC – ΚΑΠΕ

- [25] Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός, Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης, Μύρων Μονιάκης Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας & Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων Τ.Ε.Ι. Κρήτης
- [26] 2016 ASHRAE Handbook Heating, Ventilating and Air-Conditioning Systems and Equipment
- [27] The engineering Mindset, “Air Handling Units Explained”
- [28] “CAV vs VAV HVAC Systems” , The Seven Group
- [29] ASHRAE Standard 15 , “Safety Standard for Refrigeration Systems”
- [30] ASHRAE Standard 34 , “Designation and Safety Classification of Refrigerants”
- [31] HVRF City Multi Air Conditioning Unit brochure, Mitsubishi Electric
- [32] Πολυτεχνική Σχολή Παν/μίου Πάτρας , “Εφαρμογές ΑΠΕ για παραγωγή θερμικής- Ψυκτικής Ενέργειας”
- [33] Lucia, U., Simonetti, M., Chiesa, G., & Grisolia, G. (2017). Ground-source pump system for heating and cooling: Review and thermodynamic approach. *Renewable and Sustainable Energy*
- [34] “Geothermal Energy”, Chapter 34 , ASHRAE 2011 Handbook HVAC Applications
- [35] Sarbu, I., & Sebarchievici, C. (2014). *General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings. Energy and Buildings*
- [36] “Photovoltaic System”, Wikipedia
- [37] “Όλα όσα πρέπει να ξέρετε για τα φωτοβολταϊκά” , ΒΑΡΝΑΣ Ε.Τ.Ε
- [38] “Types of Solar PV Systems” , Energytech
- [39] “Solar Energy Equipment”, Chapter 37, 2016 ASHRAE Handbook Heating, Ventilating and Air-Conditioning Systems and Equipment
- [40] “Θερμικά Ηλιακά Συστήματα” , Cyprus Energy Agency
- [41] “Ηλιακή Ψύξη κτιρίων” , Εκπαιδευτικό σεμινάριο Train-the-Teacher για Έλληνες διδάσκοντες στις Επαγγελματικές Σχολές , Roland Laabs
- [42] “Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations” , Chapter 18, 2017 ASHRAE Handbook – Fundamentals
- [43] ASHRAE Standard 90.1 , “Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings”
- [44] “ASHRAE 2020 Design Competition” , ASHRAE Student Competition
- [45] VAV Systems, Jeff Wotnosky, Trane Sales Engineer Raleigh, North Carolina
- [46] OpenStudio 1.9.0 Basic Workflow Guide