



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ
ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ**

Διπλωματική Εργασία

Κωνσταντίνος Καρράς

Επιβλέπων: Δημήτριος Μπαργιώτας

Σεπτέμβριος 2021



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

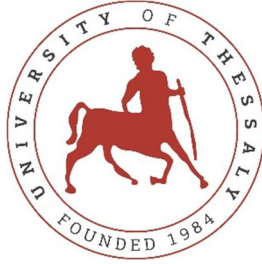
**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ
ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ**

Διπλωματική Εργασία

Κωνσταντίνος Καρράς

Επιβλέπων: Δημήτριος Μπαργιώτας

Σεπτέμβριος 2021



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

**SIMULATION OF UPGRADING ENERGY
INTERVENTIONS IN THE BUILDING SECTOR USING
SOFTWARE**

Diploma Thesis

Konstantinos Karras

Supervisor: Dimitrios Bargiotas

September 2021

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων **Μπαργιώτας Δημήτριος**
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος **Τσουκαλάς Ελευθέριος**
Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος **Σταμούλης Γεώργιος**
Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την ολοκλήρωση της μακροχρόνιας, και γεμάτης γνώσεις και εμπειρίες, πορείας μου στον πανεπιστημιακό χώρο η οποία επισημοποιείται με την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, συνέβαλαν αρκετά άτομα τα οποία αισθάνομαι την ανάγκη στο σημείο αυτό να ευχαριστήσω θερμά. Αρχικά, τον επιβλέποντα καθηγητή Μπαργιώτα Δημήτριο του οποίου η καθοδήγηση και οι επισημάνσεις ήταν καθοριστικές για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Στη συνέχεια ευχαριστώ τον κύριο Δημήτριο Ζημέρη, ο οποίος όχι μόνο προσέφερε απλόχερα τις πολύτιμες γνώσεις του, αλλά κατάφερε να γεννήσει μέσα μου την αγάπη για το κομμάτι των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων και της κτιριακής αναβάθμισης, αντικείμενα στα οποία θα επιχειρήσω να εμβαθύνω και στο επαγγελματικό μου μέλλον. Τέλος, ένα ευχαριστώ σε όλους τους καθηγητές του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας που συνάντησα στην πορεία μου, μα πάνω απ' όλα ευχαριστώ τους γονείς μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους στα χρόνια των σπουδών μου.

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

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

Ο Δηλών

Κωνσταντίνος Καρράς

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη ενεργειακής απόδοσης αποτελεί ίσως το σημαντικότερο στάδιο για την κατασκευή ενός κτιρίου. Ο εκάστοτε μηχανικός καλείται με τη μελέτη του να παρέχει στους χρήστες τόσο την επιθυμητή ασφάλεια, όσο και την ανάλογη άνεση για την κάλυψη των αναγκών τους. Με την πάροδο του χρόνου ωστόσο, το έργο αυτό γίνεται ολοένα και δυσκολότερο καθώς παράγοντες όπως η μείωση των ενεργειακών πόρων, οι ραγδαίες κλιματικές αλλαγές, μα πάνω απ' όλα η αυξανόμενη ζήτηση σε ενέργεια από τους χρήστες, δημιουργούν συνεχώς την ανάγκη εύρεσης αποδοτικότερων τρόπων αντιμετώπισης των κτιρίων. Ο Κ.Εν.Α.Κ. (Κανονισμός Ενεργειακής Ανάλυσης Κτιρίων) αποτελεί θεσμικό μέτρο που πρέπει να εφαρμόζεται με αξιοπιστία από τους μηχανικούς για την ορθή ενεργειακή αντιμετώπιση ενός κτιρίου, ώστε να καταταχθεί στην αντίστοιχη κατηγορία ενεργειακής απόδοσης. Η τρέχουσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την μελέτη ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου γραφείων επί της οδού Κουντουριώτου και μεταξύ των οδών Θρακών και Ορφανοτροφείου στο Βόλο. Διαχωρίζεται σε τρία τμήματα. Αρχικά, παρουσιάζεται σχετικό θεωρητικό υπόβαθρο με πληροφορίες για τα συστήματα και τα δομικά στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και λεπτομερέστερη αναφορά στους κανονισμούς του Κ.Εν.Α.Κ. Στη συνέχεια, ακολουθεί περιγραφή του προγράμματος FINEGREEN-4M στο οποίο γίνεται η προσομοίωση με αναλυτικά βήματά της. Στο τελικό στάδιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης τόσο για το υπάρχον σενάριο λειτουργίας όσο και για επιμέρους σενάρια με στόχο τη σύγκριση αυτών και την αναζήτηση οικονομικότερης αντιμετώπισης.

ABSTRACT

The study of energy efficiency is perhaps the most important stage in the construction of a building. The respective engineer with his study is responsible to provide the users the desired safety, as well as the appropriate comfort to meet their needs. Over time, however, this task becomes more and more difficult with factors such as declining energy resources, rapid climate change, but mostly the increasing energy demand from the users, constantly create the need to find more efficient ways to deal with the study of the buildings. K.Ev.A.K. is an institutional measure that must be reliably implemented by engineers for the proper energy treatment of a building, in order to be classified in the respective energy efficiency category. The current thesis deals with the study of energy efficiency of an office building in Kountouriotou Street and between Orfanotrofeiou and Thrakon Streets in Volos. It is divided in three parts. Firstly, a relevant theoretical background is presented with information about the systems and structural elements that will be used as well as a more detailed reference to the regulations of K.Ev.A.K. The following is a description of the FINEGREEN-4M program in which the simulation is done with detailed steps. In the final stage, the results of the simulation are presented for both the existing operation scenario, as well as other individual scenarios in order to compare them and search for a more economical solution.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	vii
ABSTRACT	viii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	ix
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	xii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xvi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ.....	1
1.1 Κτίριο Αναφοράς.....	2
1.2 Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου	2
1.3 Κλιματικές Ζώνες.....	3
1.4 Κατηγορίες Κτιρίων	5
1.5 Θερμικές Ζώνες.....	6
1.6 Επιθυμητές Εσωτερικές Συνθήκες	7
1.6.1 Απαιτήσεις Θερμοκρασίας και Σχετικής Υγρασίας	7
1.6.2 Απαιτήσεις Νωπού Αέρα	8
1.6.3 Απαιτήσεις και στάθμες φωτισμού	9
1.7 Κατανάλωση Ζεστού Νερού Χρήσης	11
1.8 Θερμικά Κέρδη Πληθυσμού και Εξοπλισμού	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	13
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ.....	13
2.1 Θερμοπερατότητα	14
2.2 Θερμογέφυρες	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	17
ASHRAE	17
3.1 ASHRAE Standard 62.1	18
3.2 ASHRAE Standard 90.1	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	21
ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ	21
4.1 Ψυχομετρία.....	22
4.2 Φορτία Χώρου.....	26
4.3 Αερισμός.....	29
4.3.1 Φυσικός Αερισμός.....	30
4.3.2 Μηχανικός Αερισμός	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	39
ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	39

5.1 Κύκλοι Carnot	40
5.2 Συντελεστές απόδοσης συστημάτων	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	44
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ-ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ-ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ	44
6.1 Λέβητας	44
6.1.1 Λέβητας Ζεστού Νερού	45
6.1.2 Λέβητας Ατμού	46
6.1.3 Σύγκριση Συστημάτων με Λέβητα Ζεστού Νερού και Ατμού	48
6.2 Ψύκτης	49
6.2.1 Αερόψυκτος Ψύκτης	51
6.2.2 Υδρόψυκτος Ψύκτης	52
6.2.3 Σύγκριση Συστημάτων Υδρόψυκτου και Αερόψυκτου Ψύκτη	54
6.3 Αντλίες Θερμότητας	54
6.3.1 Αερόψυκτες αντλίες θερμότητας	56
6.3.2 Υδρόψυκτες Αντλίες Θερμότητας	56
6.3.3 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας	57
6.4 Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα (ΚΚΜ)	60
6.4.1 Συστήματα Παροχής Σταθερού Όγκου Αέρα	62
6.4.2 Συστήματα Παροχής Μεταβλητού Όγκου Αέρα	63
6.4.3 Σύγκριση Συστημάτων CAV και VAV	64
6.5 Τερματικές μονάδες Fan-Coil (FCU)	65
6.6 Τερματικά συστήματα Ψυχρών Δοκών	67
6.7 Συστήματα Μεταβλητής Ροής Ψυκτικού	69
6.8 Συστήματα Ανάκτησης Θερμότητας	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	76
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	76
7.1 Τεχνολογία	76
7.2 Χρήση στον κτιριακό τομέα	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	80
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9	82
ENERGY PLUS ΚΑΙ FINEGREEN	82
9.1 Εισαγωγικές Ρυθμίσεις	84
9.2 Δημιουργία Κτιριακού Κελύφους	87
9.3 Ορισμός Θερμικών Ζωνών	98
9.4 Παράμετροι Εξαγωγής Αποτελεσμάτων	100
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10	103

ΣΕΝΑΡΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	103
10.1 Σενάριο 1 - Βασικό Σενάριο Λειτουργίας	104
10.1.1 Ορισμός και Ανάλυση Παραμέτρων	104
10.1.2 Heating Design	114
10.1.3 Cooling Design	115
10.1.4 Simulation	118
10.2 Σενάριο 2 - Αλλαγή Χρονοδιαγραμμάτων (Schedules)	128
10.3 Σενάριο 3 – Μειωμένες Απαιτήσεις	139
10.4 Σενάριο 4 – Προσθήκη Φωτοβολταϊκών Μονάδων.....	149
10.5 Σενάριο 5 - Σύστημα VRF με Ανάκτηση Θερμότητας.....	155
10.6 Σενάριο 6 - Σύστημα Γεωθερμίας με Ψυχρούς Δοκούς και Φυσικό Αερισμό	165
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11	174
ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	174
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	176

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης.....	3
Εικόνα 2: Διαχωρισμός των κλιματικών ζωνών στον ελληνικό χάρτη.....	4
Εικόνα 3: Η εταιρία ASHRAE	17
Εικόνα 4: Τα 7 καταστατικά μεγέθη του υγρού ατμοσφαιρικού αέρα σε διανυσματική αποϊκόνιση ψυχομετρικού χάρτη.....	23
Εικόνα 5: Ψυχομετρικός χάρτης ASHRAE	25
Εικόνα 6: Χρονική συσχέτιση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμικής ισχύος για τη δημιουργία θερμικού κέρδους και ψυκτικού φορτίου	28
Εικόνα 7: Διασταυρούμενος αερισμός με την κίνηση του ανέμου.....	31
Εικόνα 8: Κατακόρυφος αερισμός.....	31
Εικόνα 9: Αερισμός μονής όψης.....	32
Εικόνα 10: Συνδυασμοί τοπικού-γενικού/κατακόρυφου και συστήματος υποπλακών/κατακόρυφου αερισμού	33
Εικόνα 11: Συστήματα εξάτμισης μοναδικού σημείου και αεραγωγών απομάκρυνσης... ..	35
Εικόνα 12: Μικτό σύστημα εξάτμισης και παροχής	37
Εικόνα 13: Συναλλαγή θερμότητας και μηχανικού έργου σε κύκλο Carnot.....	40
Εικόνα 14: Κύκλος Carnot θέρμανσης σε διαγράμματα P-V και T-S.....	40
Εικόνα 15: Κύκλος Carnot ψύξης σε διαγράμματα P-V και T-S.....	41
Εικόνα 16: Λέβητας ζεστού νερού φυσικό αερίου	45
Εικόνα 17: Λέβητας ατμού πετρελαίου	47
Εικόνα 18: Σύστημα θέρμανσης με λέβητα ατμού και σώματα καλοριφέρ.....	47
Εικόνα 19: Τυπική απεικόνιση ψύκτη	50
Εικόνα 20: Διάγραμμα αερόψυκτου ψύκτη.....	52
Εικόνα 21: Διάγραμμα υδρόψυκτου ψύκτη.....	53
Εικόνα 22: Σχηματική απεικόνιση αντλίας θερμότητας.....	55
Εικόνα 23: Σύστημα κλειστού βρόγχου υδρόψυκτης αντλίας θερμότητας.....	57
Εικόνα 24: Γεωθερμική αντλία θερμότητας πριζόντιου κλειστού βρόγχου.....	58
Εικόνα 25: Γεωθερμική αντλία θερμότητας κατακόρυφου βρόγχου	59
Εικόνα 26: Κάτοψη Κεντρικής Κλιματιστικής Μονάδας.....	61
Εικόνα 27: Blow-Through και Draw-Through ΚΚΜ	62

Εικόνα 28: Σύστημα CAV με τερματικές μονάδες επαναθέρμανσης.....	63
Εικόνα 29: Σύστημα VAV.....	64
Εικόνα 30: Fan-Coil Unit.....	66
Εικόνα 31: Ενεργητικό σύστημα ψυχρών δοκών.....	68
Εικόνα 32: Παθητικό σύστημα ψυχρών δοκών.....	68
Εικόνα 33: Σύστημα VRF παρέχοντας θέρμανση και ψύξη αξιοποιώντας ανάκτηση θερμότητας.....	71
Εικόνα 34: Συστήματα δύο και τριών αγωγών ανάκτησης θερμότητας σε σύστημα VRF71	
Εικόνα 35: Σύστημα ανάκτησης θερμότητας σε οικιακή κατοικία.....	73
Εικόνα 36: Εναλλάκτης θερμότητας περιστρεφόμενου τροχού.....	74
Εικόνα 37: Εναλλάκτης θερμότητας σταθερών πλακών.....	74
Εικόνα 38: Τεχνολογία φωτοβολταϊκών.....	77
Εικόνα 39: Εξέλιξη φωτοβολταϊκών προσεγγίσεων.....	78
Εικόνα 40: Συνδυασμός κτιρίου και φωτοβολταϊκών.....	79
Εικόνα 41: Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών στα κτίρια.....	79
Εικόνα 42: Παθητική κατοικία.....	81
Εικόνα 43: Το EnergyPlus με τις εσωτερικές του μονάδες υπολογισμού.....	83
Εικόνα 44: Καρτέλα 'Levels Management' για τον ορισμό ορόφων'.....	84
Εικόνα 45: Καρτέλα 'Layers Management' με επιλογές μορφής της εκάστοτε κάτοψης..	85
Εικόνα 46: Προσανατολισμός κτιρίου.....	86
Εικόνα 47: Καρτέλα 'Location and Weather Options'.....	87
Εικόνα 48: Καρτέλα ορισμού εξωτερικής τοιχοποιίας.....	88
Εικόνα 49: Αλληλουχία δομικών υλικών πέτρινης τοιχοποιίας.....	89
Εικόνα 50: Αλληλουχία δομικών στοιχείων τοιχοποιίας τούβλου.....	90
Εικόνα 51: Αλληλουχία δομικών υλικών δαπέδων και ορόφων.....	91
Εικόνα 52: Χαρακτηριστικά εξωτερικών πορτών.....	92
Εικόνα 53: Χαρακτηριστικά παραθύρων.....	93
Εικόνα 54: Χαρακτηριστικά δομικών υλικών φερόντων στοιχείων.....	93
Εικόνα 55: Είδος και χαρακτηριστικά σκεπής.....	94
Εικόνα 56: Κάτοψη υπογείου.....	95
Εικόνα 57: Κάτοψη ισογείου.....	95
Εικόνα 58: Κάτοψη α' ορόφου.....	96
Εικόνα 59: Κάτοψη β' ορόφου.....	96
Εικόνα 60: Κάτοψη γ' ορόφου.....	97

Εικόνα 61: Κάτοψη σοφίτας.....	97
Εικόνα 62: Τρισδιάστατη (3D) κτιριακή απεικόνιση	98
Εικόνα 63: Ορισμός θερμικής ζώνης.....	99
Εικόνα 64: Γενικές ρυθμίσεις εξαγωγής.....	100
Εικόνα 65: Ρυθμίσεις εξαγωγής Cooling Design	101
Εικόνα 66: Ρυθμίσεις εξαγωγής Heating Design.....	101
Εικόνα 67: Ρυθμίσεις εξαγωγής προσομοίωσης.....	102
Εικόνα 68: Καρτέλα 'Activity'	106
Εικόνα 69: Καρτέλα 'Lighting'	108
Εικόνα 70: Καρτέλα 'HVAC'	111
Εικόνα 71: Καρτέλα 'DHW'.....	112
Εικόνα 72: Καρτέλα 'Zone Data'	113
Εικόνα 73: Default τιμές διήθησης αέρα.....	113
Εικόνα 74: Temperature and Heat Loss Charts του Heating Design.....	114
Εικόνα 75: Temperature and Heat Loss-Gains Charts του Cooling Design.....	116
Εικόνα 76: Cooling and Relative Humidity Charts του Cooling Design	117
Εικόνα 77: Temperature and Heat Loss-Gains Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 1	119
Εικόνα 78: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 1	119
Εικόνα 79: Temperature and Heat Loss-Gains Charts Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 1	124
Εικόνα 80: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 1	125
Εικόνα 81: Χρονοδιαγράμματα πληθυσμού (αριστερά) και λειτουργίας μονάδων HVAC (δεξιά) βασικού σεναρίου για χρήση γραφείων	128
Εικόνα 82: Χρονοδιαγράμματα πληθυσμού καταστήματος λιανεμπορίου (αριστερά) και λειτουργίας μονάδων HVAC 24/7 (δεξιά) για εφαρμογή στο Σενάριο 2	129
Εικόνα 83: Temperature and Heat Loss-Gains Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 2	130
Εικόνα 84: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 2	131
Εικόνα 85: Temperature and Heat Loss-Gains Charts Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 2	135

Εικόνα 86: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 2	136
Εικόνα 87: Temperature and Heat Loss-Gains Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 3	141
Εικόνα 88: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 3	141
Εικόνα 89: Temperature and Heat Loss-Gains Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 3	145
Εικόνα 90: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 3	146
Εικόνα 91: Καρτέλα 'PV Collectors'	149
Εικόνα 92: Καρτέλα 'Electric Load Centers'	150
Εικόνα 93: Produced Electric Power Chart Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 4	151
Εικόνα 94: Produced Electric Power Chart Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 4	153
Εικόνα 95: Καρτέλα 'Heat Recovery'	155
Εικόνα 96: Temperature and Heat Loss-Gains Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 5	157
Εικόνα 97: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 5	157
Εικόνα 98: Temperature and Heat Loss-Gains Charts Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 5	161
Εικόνα 99: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 5	162
Εικόνα 100: Temperature and Heat Loss-Gains Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 6	166
Εικόνα 101: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 6	167
Εικόνα 102: Temperature and Heat Loss-Gains Charts Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 6	170
Εικόνα 103: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 6	171

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Κατηγορίες Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων	2
Πίνακας 2: Κατάταξη των ελληνικών νομών κατά κλιματική ζώνη	4
Πίνακας 3: Βασικές κατηγορίες κτιρίων και οι ανάλογες χρήσεις τους.....	5
Πίνακας 4: Τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας για χώρους χρήσης γραφείων	8
Πίνακας 5: Απαιτούμενος νωπός αέρας για χώρους μη καπνίζόντων χρήσης γραφείων	8
Πίνακας 6: Στάθμη γενικού φωτισμού κτιρίου αναφοράς χρήσης γραφείων.....	9
Πίνακας 7: Εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού ανάλογα με τη στάθμη τους	10
Πίνακας 8: Κατανάλωση ζεστού νερού χρήσεις θερμοκρασίας 45 για κτίρια γραφείων .	11
Πίνακας 9: Θερμότητα χρηστών για κτίρια γραφείων	12
Πίνακας 10: Θερμική ισχύς ηλεκτρικών συσκευών για κτίρια γραφείων.....	12
Πίνακας 11: Πηγές και κατηγορίες θερμικών κερδών	27
Πίνακας 12: Βαθμοί απόδοσης βασικών συστημάτων.....	43
Πίνακας 13: Heating Design Grid	115
Πίνακας 14: Summary Grid του Cooling Design.....	117
Πίνακας 15: Αποτελέσματα Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 1	120
Πίνακας 16: Report Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 1	123
Πίνακας 17: Αποτελέσματα Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 1	125
Πίνακας 18: Report Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 1	127
Πίνακας 19: Αποτελέσματα Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 2	131
Πίνακας 20: Report Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 2	133
Πίνακας 21: Αποτελέσματα Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 2	136
Πίνακας 22: Report Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 2.....	138
Πίνακας 23: Αποτελέσματα Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 3	142
Πίνακας 24: Report Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 3	144
Πίνακας 25: Αποτελέσματα Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 3	146
Πίνακας 26: Report Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 3.....	148
Πίνακας 27: Αποτελέσματα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 4	151
Πίνακας 28: Report Ενέργειας Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 4.....	152
Πίνακας 29: Report Ηλεκτρικών Φορτίων Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 4	152
Πίνακας 30: Αποτελέσματα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας Θερινής Προσομοίωσης	

Σεναρίου 4	153
Πίνακας 31: Report Ενέργειας Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 4	154
Πίνακας 32: Report Ηλεκτρικών Φορτίων Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 4	154
Πίνακας 33: Αποτελέσματα Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 5	158
Πίνακας 34: Report Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 5	160
Πίνακας 35: Αποτελέσματα Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 5	162
Πίνακας 36: Report Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 5	164
Πίνακας 37: Αποτελέσματα Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 6	167
Πίνακας 38: Report Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 6	169
Πίνακας 39: Αποτελέσματα Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 6	171
Πίνακας 40: Report Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 6	173

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

Η θέσπιση του ευρωπαϊκού νόμου περί ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων οδήγησε την Ελλάδα στην έκδοση του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης (Κ.Εν.Α.Κ.) και στο αντίστοιχο προεδρικό διάταγμα που καθορίζει τις απαραίτητες προδιαγραφές και διαδικασίες εφαρμογής του συστήματος Ενεργειακών Επιθεωρητών των Κτιρίων του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.). Ο κανονισμός υπακούει στους κανόνες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ενεργειακή επιθεώρηση κτιρίων, και επιχειρεί να αναλάβει το δύσκολο έργο κάλυψης των αναγκών ενέργειας στον κτιριακό τομέα, μεριμνώντας για το περιβάλλον με όσο το δυνατόν μικρότερη κατανάλωση. (Helble & Majoe, 2020) Οι τεχνικές οδηγίες αναθεωρούνται τακτικά για την προσαρμογή τους στα νεότερα δεδομένα ενεργειακών μελετών.

Οι παράμετροι του Κ.Εν.Α.Κ. χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, καθώς επίσης και για την ενεργειακή επιθεώρησή τους. Στα πλαίσια της μελέτης, ο μηχανικός καλείται να αξιολογήσει και την εφαρμογή εναλλακτικών τεχνολογιών υψηλής απόδοσης στο κτίριο που μελετά, προκειμένου να προσδιορίσει την ενεργειακή απόδοσή του και να εξετάσει τα πιθανά πλαίσια βελτίωσής της.

Ο κανονισμός παρέχει προδιαγραφές παραμέτρων που ορίζονται σε εθνικό επίπεδο και υποστηρίζουν τη μεθοδολογία υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης, διευκολύνοντας παράλληλα και το πλαίσιο διαδικασίας ενεργειακής επιθεώρησης των κτιρίων και των συστημάτων που χρησιμοποιούν. (Ries et al., 2009) Οι παράμετροι περιλαμβάνουν προδιαγραφές για τις συνθήκες λειτουργίας (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, νωπός αέρας κλπ.), τα στοιχεία του κτιριακού κελύφους, τεχνικά στοιχεία συστημάτων ψύξης θέρμανσης και κλιματισμού, καθώς και τεχνικές προδιαγραφές ηλεκτρικών και ηλεκτρολογικών συστημάτων.

Ο μελετητής ή και ο επιθεωρητής επιλέγει τις παραμέτρους για να προσεγγίσει όσο το δυνατόν περισσότερο την πραγματική κατάσταση του κτιρίου. Ο επιθεωρητής ελέγχει την ισχύ των πληροφοριών που συλλέγει από τις μελέτες προκειμένου να επιβεβαιώσει την ακρίβεια των δεδομένων που πρόκειται να χρησιμοποιήσει.

Ο μελετητής ή ο ενεργειακός επιθεωρητής συντάσσει τεχνική έκθεση, στην οποία αναφέρεται λεπτομερώς το πλήθος των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την

πραγματοποίηση της μελέτης ενεργειακής απόδοσης, με τις αντίστοιχες σχετικές διευκρινήσεις. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2017)

1.1 Κτίριο Αναφοράς

Κάθε νέο κτίριο, αλλά και κάθε ήδη υπάρχον που πρόκειται να ανακαινιστεί ριζικά πρέπει να πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης, που αναφέρονται στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό τους, στα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κελύφους τους και στα τεχνικά τους συστήματα.

Το 'κτίριο αναφοράς' καθορίζεται να είναι ίδιο με το υπό μελέτη κτίριο, έχοντας ίδια γεωμετρία, προσανατολισμό, θέση, χρήση και χαρακτηριστικά λειτουργίας με το κτίριο που μελετάται. (Luther, 2004) Πληροί τις ελάχιστες προδιαγραφές του Κ.Εν.Α.Κ. με καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν τα εξωτερικά δομικά στοιχεία και τα τεχνικά συστήματα χρήσης και φωτισμό. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2017)

1.2 Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου

Μετά την εκπόνηση της μελέτης του κτιρίου από το μελετητή, το οποίο είναι σύμφωνο με τις ελάχιστες προδιαγραφές του κτιρίου αναφοράς, ο ενεργειακός επιθεωρητής εκδίδει το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (Π.Ε.Α) της Εικόνας 1 (<http://www.kenak.gr/pea.htm>) για το κτίριο, του οποίου οι κατηγορίες ενεργειακής ταξινόμησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Κατηγορίες Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων

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

Ο δείκτης R_R αντιπροσωπεύει την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς. Η τιμή T προσδιορίζει το πηλίκο του λόγου της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου μελέτης (EP), ως προς την αντίστοιχη κατανάλωση του κτιρίου αναφοράς (R_R). Όσο μικρότερο το πηλίκο, δηλαδή όσο μικρότερη είναι η κατανάλωση του κτιρίου σε σχέση με αυτήν του κτιρίου αναφοράς, τόσο υψηλότερα στον πίνακα ενεργειακής απόδοσης θα καταταχθεί. Στον πίνακα φαίνεται επιλεγμένη η κατηγορία που αντιστοιχεί στο κτίριο αναφοράς (άνω όριο κατηγορίας B) με μοναδιαίο πολλαπλασιαστή στον δείκτη R_R .



Εικόνα 1: Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης

Στην περίπτωση που το υπό μελέτη κτίριο διαθέτει περισσότερα τμήματα που το καθένα ανήκει σε διαφορετική ενεργειακή κατηγορία, τότε κάθε τμήμα αντιμετωπίζεται μεμονωμένα με την έκδοση διαφορετικού Π.Ε.Α. για κάθε τμήμα ξεχωριστά. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2017)

1.3 Κλιματικές Ζώνες

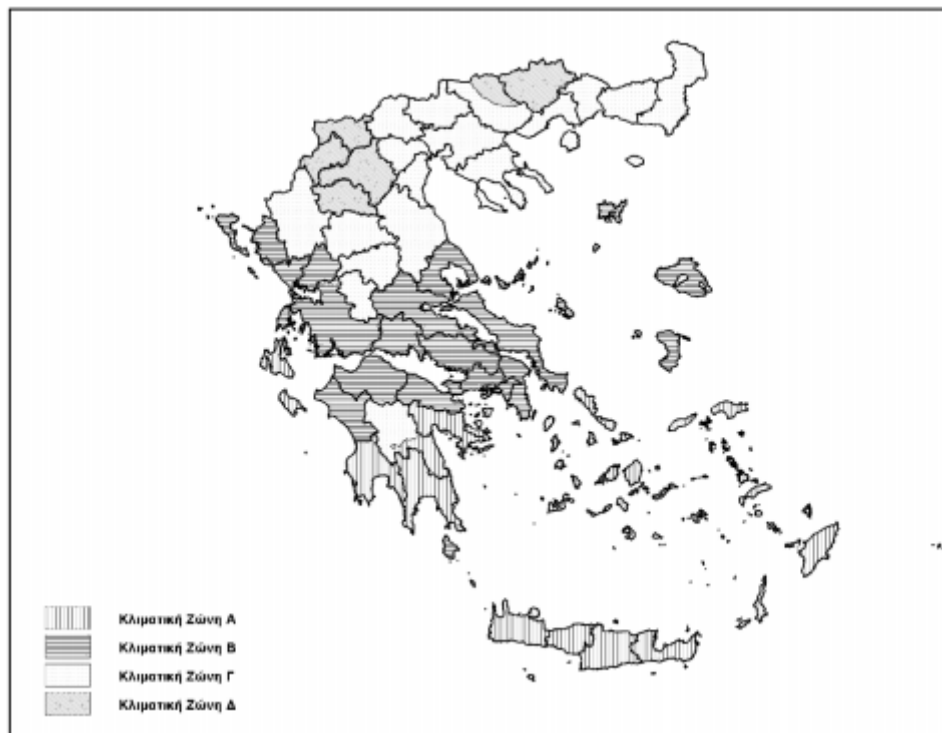
Σε κάθε ενεργειακή μελέτη είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής στην οποία ανήκει το κτίριο, καθώς παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες κάθε περιοχής καθ' όλη τη διάρκεια του έτους μπορούν να έχουν τεράστια επιβολή στην ενεργειακή κατανάλωση. (Mancini & Basso, 2020) Η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες, από τη θερμότερη στην ψυχρότερη, με κριτήριο τις βαθμομέρες θέρμανσης. Κάθε νομός ανήκει σε μια κλιματική ζώνη, ενώ κάθε

νομός δεν μπορεί να ανήκει σε δύο κλιματικές ζώνες. Ωστόσο, τα κτίρια κάθε νομού που βρίσκονται σε υψόμετρο άνω των 500 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας, κατατάσσονται στην αμέσως χαμηλότερη ζώνη. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2017)

Στον Πίνακα 2, φαίνονται οι τέσσερις κλιματικές ζώνες με τους αντίστοιχους ελληνικούς νομούς που περιλαμβάνουν, ενώ στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται ο διαχωρισμός των ζωνών αυτών στον ελληνικό χάρτη.

Πίνακας 2: Κατάταξη των ελληνικών νομών κατά κλιματική ζώνη

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, Φθιώπιδας, 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), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου.
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας.



Εικόνα 2: Διαχωρισμός των κλιματικών ζωνών στον ελληνικό χάρτη

1.4 Κατηγορίες Κτιρίων

Ανάλογα με τις χρήσεις και τις καθημερινές τους ανάγκες, τα κτίρια διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες. Τα κτίρια της κάθε κατηγορίας μοιράζονται κοινά ενεργειακά χαρακτηριστικά και έτσι διευκολύνεται η αντιμετώπισή τους από το μηχανικό για να εκπονήσει όσο το δυνατόν υψηλότερης απόδοσης μελέτη. (Sattrup & Andersen, 2013) Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι βασικές κατηγορίες κτιρίων με τις αντίστοιχες χρήσεις τους. Σημειώνεται, πως για κτίρια πολλαπλών χρήσεων από όροφο σε όροφο πραγματοποιείται διαφορετική μελέτη για τον καθένα από αυτούς, ενώ για περιπτώσεις κτιρίων ενιαίας χρήσης επιλέγεται μία από αυτές. Κατηγορίες που δεν συμπεριλαμβάνονται στον πίνακα, κατατάσσονται στην πλησιέστερη από αυτές κατηγορία. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2017)

Πίνακας 3: Βασικές κατηγορίες κτιρίων και οι ανάλογες χρήσεις τους

Βασικές κατηγορίες κτηρίων	Χρήσεις κτηρίων που περιλαμβάνονται στις κατηγορίες
Κατοικίας	Μονοκατοικία, πολυκατοικία (κτήριο με περισσότερα του ενός ανεξάρτητα διαμερίσματα).
Προσωρινής διαμονής	Ξενοδοχείο, ξενώνας, οικότροφείο και κοιτώνας.
Συνάθροισης κοινού	Χώρος συνεδρίων, χώρος εκθέσεων, μουσείο, χώρος συναυλιών, θέατρο, κινηματογράφος, αίθουσα δικαστηρίων, κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο, εστιατόριο, ζαχαροπλαστείο, καφενείο, τράπεζα, αίθουσα πολλαπλών χρήσεων.
Εκπαίδευσης	Νηπιαγωγείο, πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμια εκπαίδευση, τριτοβάθμια εκπαίδευση, αίθουσα διδασκαλίας, φροντιστήριο.
Υγείας και κοινωνικής πρόνοιας	Νοσοκομείο, κλινική, αγροτικό ιατρείο, υγειονομικός σταθμός, κέντρο υγείας, ιατρείο, ψυχιατρείο, ίδρυμα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρονίως πασχόντων, οίκος ευγηρίας, βρεφοκομείο, βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός.
Σωφρονισμού	Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή.
Εμπορίου	Κατάστημα, εμπορικό κέντρο, αγοράς και υπεραγοράς, φαρμακείο, κουρείο και κομμωτήριο, ινστιτούτο γυμναστικής.
Γραφείων	Γραφείο, βιβλιοθήκη.

1.5 Θερμικές Ζώνες

Για την όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματική εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου, είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός του σε θερμικές ζώνες, δηλαδή σε επιμέρους ενιαίους χώρους παρόμοιας χρήσης και αξιοποίησης κοινών ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων (Dascalaki et al., 2012). Ο διαχωρισμός γίνεται με όσο το δυνατόν μικρότερο αριθμό θερμικών ζωνών για επίτευξη οικονομίας στο πλήθος δεδομένων εισόδου και στον υπολογιστικό χρόνο. Ο καθορισμός ανεξάρτητων θερμικών ζωνών σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. και το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2009 επιβάλλεται στις εξής περιπτώσεις (Kokogiannakis et al. 2008):

- Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των χώρων μεγαλύτερη από 4°C για τις χειμερινές και θερινές περιόδους.
- Ύπαρξη χώρων διαφορετικής χρήσης ή λειτουργίας λόγω των διαφορετικών εσωτερικών τους συνθηκών (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, νωπός αέρας κ.λπ.).
- Ύπαρξη χώρων με διαφορετικά συστήματα ψύξης, θέρμανσης και κλιματισμού, επίσης λόγω διαφορετικών εσωτερικών συνθηκών.
- Ύπαρξη χώρων με πολύ μεγαλύτερη συναλλαγή ενέργειας (θερμικά κέρδη και θερμικές απώλειες) συγκριτικά με άλλους χώρους στο κτίριο, όπως χώροι νότιου προσανατολισμού που ανάλογα και με την κλιματική ζώνη του κτιρίου μπορούν να αξιοποιήσουν μεγάλα ποσά ηλιακής ενέργειας.
- Ύπαρξη χώρων με σύστημα μηχανικού αερισμού που καλύπτει λιγότερο από το 80% της έκτασης τους

Οι χώροι των οποίων η έκταση αποτελεί λιγότερο του 10% της συνολικής έκτασης του κτιρίου, είναι αδύνατο να απαιτούν ουσιαστικά ποσά ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών τους και γι' αυτό ομαδοποιούνται με την πλησιέστερη θερμική ζώνη. Το ίδιο συμβαίνει και με τους δευτερεύοντες βοηθητικούς μη θερμαινόμενους χώρους (αποθηκευτικοί χώροι, ψευδοροφές που διαχωρίζονται από το θερμαινόμενο χώρο με μη θερμομονωμένο δομικό στοιχείο, κλιμακοστάσια κ.λπ.). (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2017)

1.6 Επιθυμητές Εσωτερικές Συνθήκες

Η εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης σε έναν εσωτερικό χώρο, που αποτελεί και το βασικό στόχο των συστημάτων ψύξης, θέρμανσης και κλιματισμού, επηρεάζεται άμεσα από πλήθος παραμέτρων που σχετίζονται με τη θερμοκρασία ξηρού βολβού του αέρα, τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας περιβαλλουσών επιφανειών (θερμοκρασία και δομικά υλικά επιφανειών, εγκατεστημένη ισχύς εξοπλισμού και πληθυσμός), τη σχετική υγρασία και ταχύτητα εσωτερικών ρευμάτων του αέρα, καθώς και από το ρουχισμό και τη δραστηριότητα των χρηστών. (Akpinar & Akpinar, 2010)

Σε μια μελέτη για τον τυπικό σχεδιασμό ενός συστήματος ψύξης, θέρμανσης και κλιματισμού, οι μεταβολές ταχύτητας του αέρα, ο ρουχισμός και η δραστηριότητα των χρηστών θεωρούνται αμελητέες, με αποτέλεσμα η θερμική άνεση να εξαρτάται από τη θερμοκρασία και σχετική υγρασία του αέρα, και τη θερμοκρασία των περιβαλλουσών επιφανειών. Ωστόσο λόγω θερμομονωτικής προστασίας η θερμοκρασία επιφανειών τείνει να είναι ίση με τη θερμοκρασία του αέρα. Επομένως οι κύριοι παράγοντες θερμικής άνεσης είναι η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα στον εσωτερικό χώρο. (De Biasse, 2010)

Ο μελετητής οφείλει να προσαρμόζει τις παραμέτρους ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του εκάστοτε κτιρίου, καθώς υπάρχουν περιπτώσεις που οι συνθήκες θερμικής άνεσης επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό από τις προβλεπόμενες τιμές των πινάκων του Κ.Εν.Α.Κ.

1.6.1 Απαιτήσεις Θερμοκρασίας και Σχετικής Υγρασίας

Η εσωτερική θερμοκρασία αποτελεί τη βασικότερη παράμετρο που διαμορφώνει τη θερμική άνεση σε ένα κτιριακό χώρο, παρουσιάζοντας μεγάλη ποικιλία λόγω των διαφορετικών απαιτήσεων των χρηστών. Παρά την υποκειμενικότητα του επιπέδου της, έχουν καθοριστεί συγκεκριμένα όρια για την εσωτερική θερμοκρασία με σκοπό την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου σε συνδυασμό με την όσο το δυνατόν μικρότερη κατανάλωση. (Albatayneh et al., 2018)

Τα περισσότερα κλιματιστικά συστήματα ρυθμίζουν τόσο τη θερμοκρασία του αέρα, όσο και τα επίπεδα σχετικής υγρασίας, τα οποία πρέπει και αυτά να βρίσκονται εντός προκαθορισμένων ορίων για τη εξασφάλιση ιδανικών συνθηκών. (Wulf, 2016)

Στον Πίνακα 4 βλέπουμε το επιθυμητό εύρος τιμών θερμοκρασίας και ποσοστών σχετικής υγρασίας, μεταξύ θερινών και χειμερινών περιόδων, που έχει ορισθεί από τον Κ.Εν.Α.Κ. με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15251:2007 για κτίρια χρήσης γραφείων, την κατηγορία στην οποία ανήκει και το κτίριο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Πίνακας 4: Τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας για χώρους χρήσης γραφείων

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Θερμοκρασία [°C]		Σχετική υγρασία [%]	
	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος
Γραφείο	20	26	35	45

1.6.2 Απαιτήσεις Νωπού Αέρα

Για την εξασφάλιση συνθηκών υγιεινής των χρηστών στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων είναι απαραίτητη η ανανέωση του αέρα, δηλαδή η αντικατάστασή του από νωπό αέρα του περιβάλλοντος, οι απαιτήσεις του οποίου διαφέρουν από κτίριο σε κτίριο και καθορίζονται από τη χρήση του, τον πληθυσμό του, και το ποσοστό των παραγόμενων ρύπων του. Συγκεκριμένα τα κριτήρια υπολογισμού της ανανέωσης αέρα σχετίζονται με την εξασφάλιση των απαραίτητων συνθηκών υγιεινής και την ελάχιστη ανανέωση αέρα βάσει όγκου και χρήσης του κτιρίου. Για το λόγο αυτό, ο υπολογισμός πραγματοποιείται ώστε να καλύπτεται ο ελάχιστος απαιτούμενος αερισμός ($m^3/h/άτομο$) αναλογικά με την πυκνότητα του πληθυσμού ($άτομα/m^2$) στο κτίριο.

Στον Πίνακα 5 βλέπουμε τις απαιτήσεις νωπού αέρα για κτίρια χρήσης γραφείων ανάλογα με την πυκνότητα ατόμων ανά $100m^2$ επιφάνειας, τόσο ανά αριθμό ατόμων στο χώρο, όσο και ανά μονάδα επιφάνειας, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15251:2007 και το πρότυπο της ASHRAE 62.1 περί αερισμού εσωτερικών χώρων. Η επιλογή του κριτηρίου είναι υποκειμενική με το μελετητή να επιλέγει την τιμή που προσεγγίζει περισσότερο την υπάρχουσα κατάσταση στο χώρο.

Πίνακας 5: Απαιτούμενος νωπός αέρας για χώρους μη καπνίζοντων χρήσης γραφείων

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Άτομα / $100 m^2$ επιφ. δαπέδου	Νωπός αέρας [$m^3/h/άτομο$]	Νωπός αέρας [$m^3/h/m^2$]
Γραφείο	10	30	3,00

1.6.3 Απαιτήσεις και στάθμες φωτισμού

Για την εξασφάλιση οπτικής άνεσης εντός του χώρου είναι απαραίτητη η παροχή απαιτούμενης ποσότητας και ποιότητας φωτισμού, διασφαλίζοντας ευχάριστη διαμονή και επιτυχή άσκηση της εκάστοτε προβλεπόμενης δραστηριότητας από τους χρήστες, αποφεύγοντας φαινόμενα κόπωσης και οπτικής δυσφορίας. (Pathak et al., 2015) Ο Κ.Εν.Α.Κ. έχει ορίσει την ελάχιστη φωτεινή απόδοση για συστήματα φωτισμού στα 60lm/W για όλα τα νέα ή τα ριζικά ανακαινισμένα κτίρια τριτογενούς τομέα, ενώ για τα αντίστοιχα κτίρια αναφοράς, στα 55lm/W. Με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12464.1 – 2011, στον Πίνακα 6 βλέπουμε τη μέση ελάχιστη στάθμη γενικού φωτισμού για κτίρια αναφοράς γραφείων, την απόσταση του επιπέδου αναφοράς από την επιφάνεια του δαπέδου, το μέγιστο επιτρεπτό βαθμό θάμβωσης (βαθμός R) και την ελάχιστη τιμή ομοιομορφίας U_0 ως τον λόγο της ελάχιστης προς τη μέση ένταση φωτισμού. Σημειώνεται, πως δεν επιτρέπεται υπέρβαση της στάθμης φωτισμού σε ποσοστό άνω του 30%, ενώ για ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης να μην υπερβαίνει περισσότερο από 20%.

Πίνακας 6: Στάθμη γενικού φωτισμού κτιρίου αναφοράς χρήσης γραφείων

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Στάθμη φωτισμού [lx]	Επίπεδο αναφοράς μέτρησης [m]	Δείκτης θάμβωσης UGR	Ομοιομορφία φωτισμού U_0 (min/μέση τιμή)
Γραφείο	500	0,8	19	0,6

Αντίστοιχα στον Πίνακα 7 βλέπουμε τις μέγιστες επιτρεπτές τιμές εγκατεστημένης ισχύος φωτισμού (W/m^2 ωφέλιμης επιφάνειας) του κτιρίου αναφοράς για την κάλυψη της μέσης ελάχιστης στάθμης (lx) γενικού φωτισμού. Συγκεκριμένα, οι χώροι γραφείων αντιμετωπίζονται με διαφορετική προσέγγιση, όπου προτείνεται περιορισμός των φωτιστικών σωμάτων με μη αποδοτική κατανομή φωτισμού, ενώ το 70% φωτεινής ροής πρέπει να κατευθύνεται προς τα κάτω, στην επιφάνεια όπου εκτελούνται οι εργασίες. Ο πίνακας αυτός δεν αντιπροσωπεύει τιμές φωτιστικών που χρησιμοποιούνται για ειδικό φωτισμό ανάδειξης εμπορευμάτων ή μουσειακών εκθεμάτων, για φωτισμό ασφαλείας και για ειδικό φωτισμό χώρων με εξειδικευμένη χρήση σε χειρουργεία, κινηματογράφους και θέατρα. Στις περιπτώσεις αυτές, διεξάγεται ξεχωριστή μελέτη ειδικού φωτισμού, με το μελετητή να διευκρινίζει με ακρίβεια την ανάγκη χρήσης ειδικού φωτισμού αναφέροντας παράλληλα την αντίστοιχη εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ του.

Πίνακας 7: Εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού ανάλογα με τη στάθμη τους

Ζώνες τεχνητού φωτισμού / Στάθμη φωτισμού [lx]	Ισχύς για κτήριο αναφοράς [W/m ²]	Ισχύς για ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης κτιρίων [W/m ²]
1000	32	28,0
500	16	14,0
400	12,8	11,2
300	9,6	8,4
250	8,0	7,0
200	6,4	5,6
100	3,2	2,8

Αξίζει να σημειωθεί, πως η θερμοκρασία χρώματος (K) του εκάστοτε φωτιστικού μπορεί να επηρεάσει σε αρκετό βαθμό τις συνθήκες γενικού ή ειδικού φωτισμού εντός του χώρου, καθώς σχετίζεται έμμεσα με τη φωτεινή τους απόδοση (lm/W) και το φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας, επηρεάζοντας τον ημερήσιο βιορυθμό των χρηστών. Σε κτίρια γραφείων προτείνεται η χρήση φωτιστικών σωμάτων με θερμοκρασία χρώματος μικρότερη των 4200K.

Η μελέτη φωτισμού πραγματοποιείται για κάθε εσωτερικό χώρο ξεχωριστά λόγω διαφορετικού εμβαδού και πλήθους άλλων χαρακτηριστικών για τα οποία διαφέρουν. Ωστόσο για τη συνολική κατανάλωση ενέργειας η μελέτη γίνεται ανά θερμική ζώνη, όπου συσχετίζονται τα ποσοστά κάλυψης με την αντίστοιχη ισχύ σε W/m² και αθροίζονται για τη διεξαγωγή της συνολικής ισχύος που θα οδηγήσει στα επιθυμητά ποσά ενεργειακής κατανάλωσης. (T.O.T.E.E., 2017)

1.7 Κατανάλωση Ζεστού Νερού Χρήσης

Η ποσότητα ζεστού νερού που παρέχεται σε ένα κτίριο ή σε ανεξάρτητο τμήμα του, εξαρτάται κυρίως από τη χρήση του αλλά και από τους ίδιους τους χρήστες. Ο Κ.Εν.Α.Κ. ορίζει τις τιμές ημερήσιας και ετήσιας κατανάλωσης ζεστού νερού για όλες τις κατηγορίες κτιρίων με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15316.3.1:2008, τόσο ανά αριθμό ατόμων στο κτίριο, όσο και ανά μονάδα δομημένης επιφάνειας. Οι τιμές αφορούν θερμοκρασία ζεστού νερού 45°C, ενώ συγκεκριμένα για οικιακά κτίρια και κτίρια προσωρινής διαμονής ή περίθαλψης, ο υπολογισμός πραγματοποιείται ανά υπνοδωμάτιο και ανά κλίνη αντίστοιχα, αντί ανά μονάδα δομημένης επιφάνειας.

Ορισμένα κτίρια, λόγω περιορισμένων απαιτήσεων σε ζεστό νερό χρήσης οι τιμές παροχής λαμβάνονται μηδενικές (Hildebrand, 2015), μια κατηγορία στην οποία ανήκουν και τα κτίρια γραφείων όπως επιβεβαιώνεται και από τον Πίνακα 8. Επίσης, στον υπολογισμό προσμετρώνται μόνο τα τετραγωνικά επιφάνειας που έχουν απαίτηση ζεστού νερού και όχι όλη η έκταση του κτιρίου, καθώς ένα τέτοιο γεγονός θα οδηγούσε σε περιττή παροχή και άσκοπη κατανάλωση ενέργειας.

Πίνακας 8: Κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης θερμοκρασίας 45 για κτίρια γραφείων

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Ημερήσια κατανάλωση Ζ.Ν.Χ.		Ετήσια κατανάλωση Ζ.Ν.Χ.	
	[ℓ/άτομο/ημέρα]	ανά δομημένη επιφάνεια [ℓ/m ² /ημέρα]	ανά υπνοδωμάτιο [m ³ /υπν./έτος]	ανά δομημένη επιφάνεια [m ³ /m ² /έτος]
Γραφείο	--	--	--	--

Βασικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την παροχή είναι η μέση θερμοκρασία νερού δικτύου ανά κλιματική ζώνη, καθώς εξαρτάται άμεσα από τη μέση εξωτερική θερμοκρασία του αέρα αλλά και τη θερμοκρασία του εδάφους, η οποία διαφέρει ανάλογα με τις καιρικές και κλιματικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής. Για το λόγο αυτό υπάρχει επιμέρους κατάταξη της μέσης θερμοκρασίας νερού κάθε μήνα ξεχωριστά, για κάθε μια από τις τέσσερις κλιματικές ζώνες. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2017)

1.8 Θερμικά Κέρδη Πληθυσμού και Εξοπλισμού

Ο κάθε χρήστης ελκύει ένα ποσό αισθητούς θερμότητας το οποίο εξαρτάται από τη δραστηριότητά του και το ρουχισμό του ανάλογα με την εποχή, καθώς και λανθάνοντος που οφείλεται στην αναπνοή και την εφίδρωσή του. Ο συνυπολογισμός της θερμότητας αυτής επιτυγχάνεται μέσω ετεροχρονισμού, με μέσο συντελεστή παρουσίας χρηστών για την αντιστοίχιση της πραγματικής παρουσίας τους στο χώρο κατά τη διάρκεια μιας λειτουργικής ημέρας. Ο Κ.Εν.Α.Κ. ορίζει τη θερμική ισχύ πληθυσμού τόσο ανά άτομο ξεχωριστά όσο και ανά μονάδα επιφάνειας, με τον αντίστοιχο συντελεστή παρουσίας για όλες τις κατηγορίες κτιρίων σύμφωνα με τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2009 και ΕΛΟΤ EN 13779:2008. Οι τιμές κτιρίου γραφείων φαίνονται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9: Θερμότητα χρηστών για κτίρια γραφείων

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Θερμική ισχύς ανά άτομο [W/άτομο]	Θερμική ισχύς ανά μονάδα δομημένης επιφάνειας [W/m ²]	Μέσος συντελεστής παρουσίας
Γραφείο	80	8	0,30

Αντίστοιχα, οι ηλεκτρικές συσκευές ελκύουν θερμική ισχύ με ακτινοβολία και μεταφορά, και εισέρχονται στο χώρο υπό τη μορφή αισθητής θερμότητας. Η αύξηση των εφαρμογών των ηλεκτρικών συσκευών, της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών, καθιστά τα εσωτερικά κέρδη εξοπλισμού πολύ σημαντικά, ιδιαίτερα σε κτίρια αυξημένων εμπορικών και διοικητικών δραστηριοτήτων, όπως τα γραφεία και άλλα υπηρεσιακά κτίρια. (Wago et al., 2016) Στον Πίνακα 10 βλέπουμε τη συνολική ισχύ εξοπλισμού για κτίρια γραφείων με το μέσο συντελεστή ετεροχρονισμού τους, την ετεροχρονισμένη ισχύ, και το μέσο συντελεστή λειτουργίας τους. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2017)

Πίνακας 10: Θερμική ισχύς ηλεκτρικών συσκευών για κτίρια γραφείων

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Ισχύς εξοπλισμού [W/m ²]	Μέσος συντελεστής ετερίσμου	Ετεροχρον. ισχύς εξοπλ. [W/m ²]	Μέσος συντελεστής λειτουργίας
Γραφείο	15	0,3	4,5	0,30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ

Για την ελαχιστοποίηση του πλήθους απαιτούμενων φορτίων χώρου είναι απαραίτητος ένας ορθός σχεδιασμός του κτιρίου, ξεκινώντας από τα αρχιτεκτονικά σχέδια. Ο υπεύθυνος για το σχεδιασμό του κτιρίου μηχανικός, αξιοποιεί όλες τις δυνατές τεχνικές θωράκισης του κτιριακού περιβλήματος με σκοπό να περιορίσει τις ροές θερμότητας, για να αποδώσει στο κτίριο τη βέλτιστη ενεργειακή λειτουργία.

Κατά τον Κ.Εν.Α.Κ. (άρθρο 8) η διαμόρφωση του κτιριακού περιβλήματος καθιστά απαραίτητη την συμπερίληψη παραμέτρων με τη βασικότερη να αφορά την κατάλληλη χωρομέτρηση και τον προσανατολισμό του κτιρίου από τα οποία μπορούμε να εκμεταλλευτούμε προς όφελός μας τις τοπικές κλιματικές συνθήκες. Η κατάλληλη διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου μπορεί να έχει πρόσθετες ευεργετικές ιδιότητες στη βελτίωση του μικροκλίματος. Ο ορθός σχεδιασμός και χωροθέτηση των ανοιγμάτων του κελύφους σε συνδυασμό με τον υπάρχοντα προσανατολισμό μπορεί να λειτουργήσει επικουρικά στις διεργασίες ηλιασμού και αερισμού των εσωτερικών χώρων. Η ενσωμάτωση ενός παθητικού ηλιακού συστήματος (Π.Η.Σ.) μπορεί να επιφέρει κέρδη και εξοικονόμηση ενέργειας εκμεταλλευόμενη τον ήλιο, ενώ με κατάλληλη ηλιοπροστασία αποφεύγονται οι αρνητικές του επιπτώσεις. Μια αξιόπιστη προσέγγιση φυσικού αερισμού μπορεί να επιφέρει τεράστια εξοικονόμηση ενέργειας καθώς επιτυγχάνεται δίχως μηχανικές τεχνικές, ενώ μπορεί να επιτευχθεί και κατάλληλη οπτική άνεση μέσω τεχνικών φυσικού φωτισμού. (Lovins, 2010)

Πέραν των ελάχιστων αυτών απαιτήσεων σχεδιασμού ο μελετητής οφείλει να λάβει υπ' όψιν τη χρήση του κτιρίου με το αντίστοιχο ωράριο λειτουργίας του (εφόσον είναι εξ' αρχής καθορισμένα), τη διαμόρφωση των θερμικών ζωνών (λόγω διαφορετικότητας συνθηκών λειτουργίας και εσωτερικών φορτίων), τη θερμική θωράκιση του μέσω μόνωσης των δομικών του στοιχείων και επιλογής κατάλληλων διάφανων στοιχείων, καθώς επίσης και να συμπεριλάβει κατά πόσο είναι δυνατή η εφαρμογή τεχνητού δροσισμού και φυσικού σκιασμού (πχ. δενδροφύτευση). (Ahsanullah et al., 2014)

Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2009, ο Κ.Εν.Α.Κ. καθορίζει όλες τις παραμέτρους σχετικά με τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου, που σχετίζονται με τις θερμοφυσικές ιδιότητες των δομικών υλικών και στοιχείων, τη σκίαση και τον αερισμό. Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η διευκρίνηση των δομικών στοιχείων

ως διαφανή ή αδιαφανή, που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα, το έδαφος και πιθανούς εσωτερικούς μη θερμαινόμενους χώρους. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2017)

2.1 Θερμοπερατότητα

Με τον όρο θερμοπερατότητα (U-value) περιγράφεται η ποσότητα θερμότητας ανά μονάδα χρόνου που περνά μέσα από 1m² δομικού στοιχείου πάχους d (m) με διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των επιφανειών του ίση με 1K. Μετριέται σε W/m^2K . Όσο καλύτερα μονωμένο είναι ένα δομικό στοιχείο, τόσο χαμηλότερος ο συντελεστής θερμοπερατότητάς του και το αντίστροφο. Στην τιμή του συντελεστή συμπεριλαμβάνονται όλες οι μορφές θερμικής απώλειας, δηλαδή απώλειες θερμικής ακτινοβολίας, συναγωγής θερμότητας και θερμικής αγωγιμότητας. (Pagliarini, 2014)

Βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του U-value είναι (Bienvenido, 2018):

- η εξωτερική θερμοκρασία σε πολύ μικρή επίδραση
- το πάχος του υλικού και η αλληλουχία στρώματων του
- η ταχύτητα του ανέμου, όπου έχει μεγαλύτερη επίδραση σε δομές χαμηλής μόνωσης (πχ κουφώματα)

Για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας ενός ομογενούς δομικού στοιχείου πρέπει να γνωρίζουμε την αντίσταση που προβάλλει η στρώση αυτή στη ροή θερμότητας (Bienvenido, 2018):

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

όπου R η αντίσταση που προβάλλει η στρώση στη ροή θερμότητας, d το πάχος της στρώσης και λ ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της στρώσης.

Για αντίστοιχα πολυστρωματικά στοιχεία υπολογίζεται το σύνολο των θερμικών αντιστάσεων των επί μέρους n στρώσεων και των αντιστάσεων του στρώματος αέρα εκατέρωθεν των όψεων του ως:

$$R_{ολ} = R_i + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_a$$

όπου $R_{ολ}$ η συνολική αντίσταση, ενώ R_i και R_a οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο και από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον αντίστοιχα.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πολυστρωματικού δομικού στοιχείου είναι το αντιστρόφως ανάλογο μέγεθος της συνολικής θερμικής του αντίστασης ως (Baldissera et al., 2019):

$$U = \frac{1}{R_{o\lambda}}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου n στρώσεων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\frac{1}{U} = R_i + \sum_{j=1}^n R_j + R_a$$

Από τη στιγμή που ο συντελεστής θερμοπερατότητας εξαρτάται από το πάχος των στρώσεων του δομικού υλικού μέσω της θερμικής του αντίστασης, και τη συναγωγή που παρουσιάζει μέσω των στρωμάτων αέρα εκατέρωθεν των όψεων του, είναι εύλογο να αντιληφθούμε πως η αύξηση ή η μείωση του πάχους ενός δομικού υλικού μεταφράζεται σε άμεση μείωση ή αύξηση του συντελεστή θερμοπερατότητάς του. (TOTEE, 2010)

Για να ικανοποιεί ένα δομικό στοιχείο τις απαραίτητες απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας θα πρέπει η τιμή του U να μην υπερβαίνει το μέγιστο επιτρεπτό όριο που έχει ορισθεί για κάθε κατηγορία κλιματικής ζώνης και δομικού στοιχείου ($U_{εξ} \leq U_{max}$).

Αξίζει να σημειωθεί πως ο συντελεστής θερμοπερατότητας μπορεί να έχει τιμή και για ολόκληρο κτίριο (U_m). Στην περίπτωση αυτή το U-value φτάνει την ύψιστη τιμή του και ορίζεται από το λόγο της εξωτερικής περιμέτρου ολόκληρου του κτιριακού κελύφους ως προς τον αντίστοιχο όγκο ($U_m = A/V$) αρκεί να μην υπερβαίνει την οριοθεσία του κανονισμού για την αντίστοιχη κλιματική του ζώνη.

2.2 Θερμογέφυρες

Θερμογέφυρες είναι οι θέσεις του κτιριακού κελύφους στις οποίες εμφανίζεται διαφοροποίηση της θερμικής αντίστασης των δομικών στοιχείων, συγκριτικά με τις γειτονικές θέσεις, γεγονός που οφείλεται κυρίως σε ασυνέχεια της θερμομονωτικής στρώσης, σε διαφοροποίηση του υλικού κατά μήκος του δομικού στοιχείου και σε αλλαγή της γεωμετρίας της διατομής. (Alhawari & Mukhopadhyaya, 2018).

Αποτελούν τα ‘ασθενή’ σημεία στο κέλυφος του κτιρίου με επιβαρυντική λειτουργία στη θερμική του προστασία, επηρεάζοντας παράλληλα την ενεργειακή του συμπεριφορά και δυσχεραίνοντας τις συνθήκες θερμικής άνεσης των εσωτερικών του χώρων. Οδηγούν σε φθορές λόγω επιφανειακής συμπύκνωσης των υδρατμών από την πτώση της επιφανειακής

θερμοκρασίας των δομικών στοιχείων σε τιμές χαμηλότερες της θερμοκρασίας δρόσου, γεγονός που συχνά μεταφράζεται σε μούχλα. (Charvatova & Subrt, 2020)

Οι θερμογέφυρες έχουν αποδειχθεί ότι προσαυξάνουν την ενεργειακή κατανάλωση από 5% έως και 30% σε σχέση με τη θεωρητικά υπολογιζόμενη, ένα εύρος που σχετίζεται με το μέγεθος του κτιρίου, τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά και τα αρχιτεκτονικές του προδιαγραφές. Ανάλογα με τα σημεία που εμφανίζονται στο κτίριο διακρίνονται σε (Charvatova & Subrt, 2020):

- **γραμμικές (2D)**, με ομοιόμορφη διατομή κατά μια διάσταση και οφείλονται στη δημιουργία θέσεων όπου η ροή θερμότητας παρουσιάζει δισδιάστατη φύση, αναιρώντας την παραδοχή μονοδιάστατης φύσης. Έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στη θερμική συμπεριφορά του κτιριακού κελύφους.
- **σημειακές (3D)**, που εμφανίζονται στις ενώσεις των γραμμικών θερμογεφυρών με τη ροή θερμότητας να αποκτά τρισδιάστατη φύση. Στην ουσία ωστόσο δεν έχουν καμία διάσταση και η επίδρασή τους στις συναλλαγές θερμότητας θεωρείται αμελητέα.

Με κριτήριο την αιτία εμφάνισης τους διακρίνονται σε:

- **γεωμετρικές**, που δημιουργούνται σε θέσεις όπου η γεωμετρία του δομικού στοιχείου τείνει να είναι γραμμική (πχ γωνίες)
- **κατασκευαστικές**, που δημιουργούνται σε θέσεις όπου σταματά η συνέχεια του θερμομονωτικού υλικού, όπως στις ενώσεις δοκών εξωτερικής θερμομόνωσης με τοιχοποιία θερμομόνωσης στον πυρήνα, αναπτύσσοντας δισδιάστατη ροή θερμότητας (TOTEE, 2010)

Βασικό στόχο των υπολογισμών αποτελεί ο προσδιορισμός των θερμικών απωλειών κατά μήκος της κάθε θερμογέφυρας, για τον οποίο απαιτείται ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας Ψ που μετριέται σε W/mK και το συνολικό μήκος της θερμογέφυρας l που μετριέται σε m. Οι θερμικές απώλειες κατά μήκος μιας θερμογέφυρας περιγράφονται ως:

$$\Psi * l$$

ενώ οι θερμικές απώλειες όλου του κτιριακού κελύφους ισοδυναμούν με το άθροισμα απωλειών όλων των θερμογεφυρών ως:

$$q = \sum_{i=0}^n \Psi_i * l_i$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ASHRAE

Η ASHRAE είναι η γνωστή Αμερικανική Εταιρία Μηχανικών Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). Ιδρύθηκε το 1894 από μηχανικούς της Νέας Υόρκης με το τότε όνομα ASHVE ως η Αμερικανική Εταιρία Θέρμανσης και Κλιματισμού. Απαρτίζεται από μηχανικούς εργολάβους, αρχιτέκτονες, κατασκευαστές εξοπλισμού και άλλους που ασχολούνται με την κατασκευή κλιματιστικών συστημάτων (HVAC). Κοινός τους στόχος είναι να δημιουργούν πρωτόκολλα για τους μηχανικούς πάνω στα οποία θα πρέπει να συμμορφώνεται τόσο η κτιριακή κατασκευή, όσο και η κατασκευή των HVAC. Το σημερινό όνομα της εταιρίας ASHRAE προέκυψε με τη συγχώνευση δύο εταιρειών, της Αμερικανικής Εταιρίας Ψυκτικών Μηχανικών (ASRE) και της Αμερικανικής Εταιρίας Μηχανικών Θέρμανσης και Κλιματισμού (ASHAE), το 1959 και συνεχίζουν μέχρι σήμερα να προωθούν τη σχεδίαση κατάλληλων συστημάτων ψύξης, θέρμανσης, κλιματισμού και εξαερισμού. Το αναγνωριστικό της φαίνεται στην Εικόνα 3 (<https://www.ashrae.org/>). Σαν εταιρία επίσης έχει χρηματοδοτήσει πλήθος ερευνητικών προγραμμάτων αποσκοπώντας στη διαρκή εκπαίδευση και εξέλιξη των ενεργειακών τεχνικών, τόσο των μελών της όσο και όλων των ενεργών μηχανικών, με απώτερο στόχο τη βελτίωση των εξοπλιστικών συστημάτων ώστε να ανταποκρίνονται στην εξέλιξη της τεχνολογίας και παράλληλα μεριμνώντας για το περιβάλλον. Τα έντυπα της ASHRAE χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Από τη μια έχουμε το εγχειρίδιο, που αποτελείται από τέσσερις επιμέρους τόμους: τις Βασικές Αρχές, εφαρμογές HVAC, συστήματα και εφαρμογές HVAC και Ψύξη. Από την άλλη, τα πρότυπα είναι σετ οδηγιών και μεθόδων που οι μηχανικοί, οι σύμβουλοι μηχανικοί, οι αρχιτέκτονες και οι υπεύθυνοι κυβερνητικών υπηρεσιών συμβουλευονται και ακολουθούν.



Εικόνα 3: Η εταιρία ASHRAE

Τα βασικότερα πρωτόκολλα της εταιρίας κατά σειρά είναι τα εξής:

- **Standard 55** - Πρωτόκολλο θερμικών και περιβαλλοντικών συνθηκών
- **Standard 62.1** - Πρωτόκολλο εξαερισμού για αποδεκτή ποιότητα αέρα εσωτερικού χώρου
- **Standard 62.2** - Πρωτόκολλο εξαερισμού και αποδεκτής ποιότητας αέρα εσωτερικού χώρου για οικιακά κτίρια χαμηλής κατανάλωσης
- **Standard 90.1** - Ενεργειακό πρωτόκολλο για κτίρια εκτός από οικιακά κτίρια χαμηλής κατανάλωσης
- **Standard 189.1** - Πρωτόκολλο για τον σχεδιασμό υψηλής απόδοσης πράσινων κτιρίων εκτός από οικιακά κτίρια χαμηλής κατανάλωσης

3.1 ASHRAE Standard 62.1

Η συγκεκριμένη έκδοση του πρωτόκολλου Standard 62, έχει ως σκοπό να καθορίσει τους ελάχιστους ρυθμούς αερισμού και άλλα μέτρα που προορίζονται για την παροχή υψηλής ποιότητας αέρα στους εσωτερικούς χώρους, ελαχιστοποιώντας τις αρνητικές επιπτώσεις για την υγεία των κατοίκων. Προορίζεται για την εφαρμογή σε νέα κτίρια και για προσθήκες σε ήδη υπάρχοντα κτίρια τα οποία ωστόσο πληρούν και αυτά τις βασικές προδιαγραφές του πρωτοκόλλου. Χρησιμοποιείται επίσης και ως οδηγός βελτίωσης της ποιότητας εσωτερικού αέρα στις κτιριακές μονάδες.

Οι 3 βασικές διαδικασίες που καθορίζουν την ποιότητα αερισμού σύμφωνα με το πρωτόκολλο είναι:

- Ventilation Rate Procedure - VPR: Ορίζονται τα απαραίτητα ποσοστά παροχής εξωτερικού αέρα με βάση τον τύπο του χώρου ή την εφαρμογή του, τον αριθμό των χρηστών και την επιφάνεια του χώρου για οποιαδήποτε θερμική ζώνη ή σύστημα.
- Indoor Air Quality (IAQ) Procedure: Η διαδικασία αφορά την απόδοση των διεργασιών αερισμού. Οι ρυθμοί εισαγωγής εξωτερικού αέρα στο κτίριο και άλλοι παράμετροι σχεδιασμού του συστήματος, βασίζονται στην ανάλυση των πηγών των ρύπων, τα όρια συγκέντρωσής τους και το επίπεδο της αποδεκτής ποιότητας εσωτερικού αέρα. Πρέπει να ακολουθείται για κάθε θερμική ζώνη ή σύστημα.
- Natural Ventilation Procedure – NVP: Αφορά το φυσικό αερισμό, με τη διαδικασία παροχής εξωτερικού νεπού αέρα από τα ανοίγματα του κτιριακού κελύφους

επιτρέποντας τη χρήση του σε οποιαδήποτε θερμική ζώνη ή τμήμα της, σε συνδυασμό με διεργασίες μηχανικού αερισμού.

Το πρωτόκολλο ASHRAE 62.1 δεν καλύπτει μονοκατοικίες, κατοικίες με τρία ή λιγότερα επίπεδα, οχήματα και αεροσκάφη. Επίσης δεν αναφέρεται σε χώρους καπνιστών ή χώρους που δεν καλύπτουν τις προδιαγραφές καπνίσματος. Τέλος, δεν λαμβάνει υπ' όψιν τον έλεγχο θερμικής άνεσης εντός των χώρων. (ANSI/ASHRAE, 2013)

3.2 ASHRAE Standard 90.1

Το πρωτόκολλο Standard 90.1 δημιουργήθηκε με σκοπό τον ξεκάθαρο και αναλυτικότερο καθορισμό των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης των κτιριακών μονάδων, εκτός των οικιακών κατοικιών περιορισμένου αριθμού επιπέδων. Ειδικεύεται στο σχεδιασμό, την κατασκευή και λειτουργία – συντήρηση νέων συστημάτων και εξοπλισμών που χρησιμοποιούνται στα κτίρια, καθώς και στη βελτίωση της διαχείρισης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και αξιοποίησης τους από αυτά.

Παρέχει τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης για το σχεδιασμό-κατασκευή και σχέδιο λειτουργίας-συντήρησης σε νέα κτίρια και στα συστήματά τους, σε νέα κτιριακά τμήματα και στα συστήματά τους, σε νέα συστήματα και εξοπλισμό ήδη υπαρχόντων κτιρίων, και σε νέους εξοπλισμούς και κτιριακά συστήματα ειδικά προορισμένα από το πρωτόκολλο ως τμήματα βιομηχανικών ή εργοστασιακών διεργασιών. Επίσης παρέχει κριτήρια για να προσδιοριστεί ο τρόπος συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις αυτές.

Δεν απευθύνεται σε μονοκατοικίες, σε πολυκατοικίες κάτω των τεσσάρων ορόφων, σε κινητά ή αρθρωτά σπίτια, καθώς και σε κτίρια που δεν αξιοποιούν ούτε ηλεκτρική ενέργεια ούτε ορυκτά καύσιμα. (ANSI/ASHRAE, 2010)

Διακρίνεται σε δύο 'μονοπάτια' που πρέπει οι αρχές τους να ακολουθηθούν από κοινού ώστε η εκάστοτε μελέτη να υπακούει στις αρχές του πρωτοκόλλου:

- **Prescriptive Path:** Εδώ συμπεριλαμβάνονται όλες οι προδιαγραφές που αφορούν το κατασκευαστικό κομμάτι της μελέτης. Αναλυτικότερα, περιέχει τις ελάχιστες απαιτήσεις για:
 - i. το κτιριακό κέλυφος (ελάχιστη μόνωση τοιχοποιίας, ανάκλαση και ελάχιστη μόνωση οροφής, ελάχιστες σταθερές απόδοσης ανοιγμάτων κλπ.)

- ii. τις κλιματιστικές μονάδες – HVAC (ελάχιστη αποδοτικότητα και χαρακτηριστικά συστήματος, περιορισμός αναθέρμανσης και ισχύος κλπ)
 - iii. το ζεστό νερό οικιακής χρήσης (αντίστοιχα ελάχιστη απόδοση εξοπλισμού και ελάχιστα χαρακτηριστικά συστήματος)
 - iv. την ηλεκτρική ενέργεια στην εγκατάσταση (αποδοτικότητα μετασχηματιστή, αυτόματοι έλεγχοι υποδοχής κλπ)
 - v. τον φωτισμό (μέγιστη πυκνότητα ισχύος, ελάχιστα χειριστήρια φωτισμού, φωτισμός εξωτερικών χώρων και χώρων στάθμευσης κλπ)
 - vi. τον υπόλοιπο ηλεκτρικό εξοπλισμό (υπολογιστές και λοιπός εξοπλισμός γραφείου, ηλεκτρικοί κινητήρες, ανελκυστήρες, κυλιόμενες σκάλες κλπ)
- **Performance Path:** Παρουσιάζεται μια προτεινόμενη κτιριακή σχεδιαστική προσέγγιση (energy cost budget - ECB), μέσω προσομοίωσης απόδοσης, για χρήση λιγότερης ενέργειας συγκριτικά με ένα τυπικό κτίριο κατασκευασμένο με τις προδιαγραφές του πρωτοκόλλου ASHRAE 90.1. Η νέα προσέγγιση αφορά κτίριο ίδιου μεγέθους με το συγκρινόμενο και με τη χρήση ίδιων συστημάτων HVAC.

Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό, παρόλο που θα γίνει εκτενέστερη αναφορά σε επόμενη ενότητα πρακτικού μέρους, πως η τρέχουσα διπλωματική εργασία ακολουθεί πιστά τα μοντέλα της ASHRAE 90.1 για τη μελέτη του κτιρίου γραφείων και χρησιμοποιεί το αντίστοιχο λογισμικό πρόγραμμα FineGreen της εταιρίας 4M για την προσομοίωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ

Η έννοια του κλιματισμού περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες που αφορούν τη ρύθμιση της θερμοκρασίας και υγρασίας καθώς και την κίνηση και καθαρισμό του αέρα σε έναν εσωτερικό χώρο, με απώτερο σκοπό τη δημιουργία βολικών και υγιεινών συνθηκών για τους χρήστες. Αποτελεί μια από τις δαπανηρότερες εγκαταστάσεις του κτιρίου καθώς καλύπτει περίπου το 40% της ενεργειακής κατανάλωσης χρησιμοποιώντας στις περισσότερες περιπτώσεις ηλεκτρική ενέργεια. Αναλυτικότερα, οι βασικές λειτουργίες που καλύπτει ένα σύστημα κλιματισμού είναι οι εξής (Ohashi et al., 2007):

- **Θέρμανση:** η διαδικασία μέσω της οποίας προστίθεται θερμική ενέργεια με τη μορφή θερμότητας στον αέρα ενός εσωτερικού κλιματιζόμενου χώρου με στόχο είτε της άνοδου θερμοκρασίας, είτε της διατήρησής της σε επιθυμητά επίπεδα
- **Ψύξη:** αντίθετα με τη θέρμανση, στην ψύξη αφαιρείται θερμική ενέργεια από το χώρο με στόχο την πτώση θερμοκρασίας ή διατήρησής της σε επιθυμητά επίπεδα
- **Ύγρανση:** αφορά τη διαδικασία προσθήκης νερού σε μορφή υγρασίας στον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου με στόχο είτε την άνοδο είτε τη διατήρηση της υγρασίας στα επιθυμητά επίπεδα
- **Αφύγρανση:** το αντίθετο της ύγρανσης, όπου εδώ αφαιρείτε υγρασία από τον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου για άνοδο ή διατήρηση της σχετικής υγρασίας στα επιθυμητά όρια
- **Ανανέωση Αέρα:** λαμβάνεται εξωτερικός αέρας και απορρίπτεται αέρας των εσωτερικών χώρων του κτιρίου, με στόχο την αραίωση των αέριων προσμίξεων για να εξασφαλιστεί η καλύτερη δυνατή ποιότητα αέρα στον εσωτερικό χώρο
- **Καθαρισμός Αέρα:** στο στάδιο αυτό αφαιρούνται σωματιδιακές και βιολογικά μολυσματικές προσμίξεις από τον αέρα με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητάς του

Ως επί το πλείστον, ο κλιματισμός επιτυγχάνει τη διατήρηση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων μεταξύ 20°C και 27°C και της σχετική υγρασίας μεταξύ 35% και 65%, τις οποίες ορίζει και ως ιδανικές συνθήκες. Ανάλογα με το μέγεθος του κτιρίου και της απαιτήσεώς του, τοποθετούνται διαφορετικά συστήματα κλιματισμού με κριτήριο την οικονομικότερη κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών. Για παράδειγμα, έχουμε την τοποθέτηση τοπικών

συστημάτων σε μικρές κατοικίες ενώ για κτίρια του τριτογενούς τομέα επιλέγονται κεντρικά συστήματα για λόγους πληρότητας. (Chen et al., 2014)

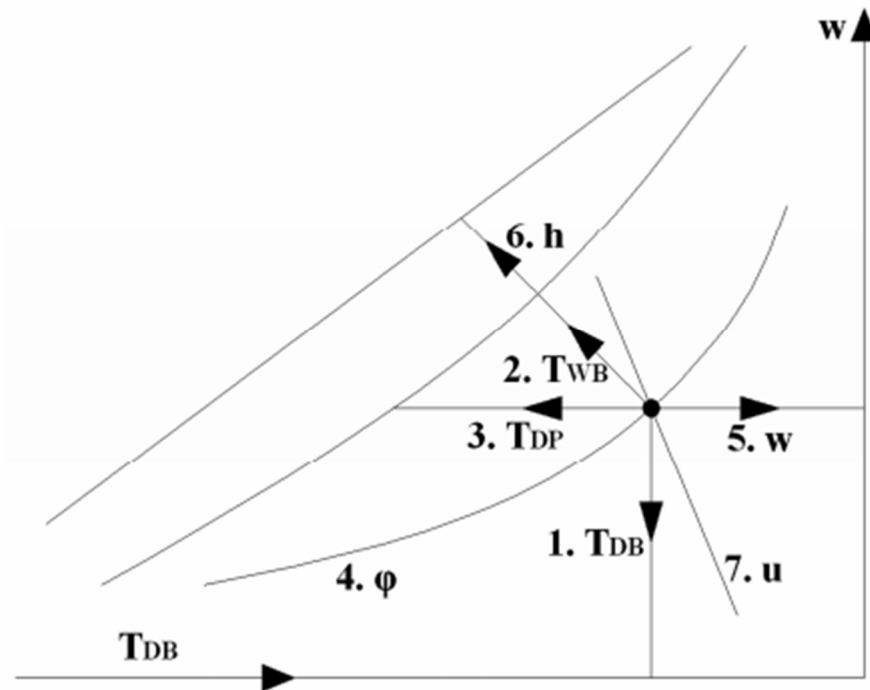
4.1 Ψυχομετρία

Ο κλάδος της Ψυχομετρίας ειδικεύεται στην μέτρηση των υδρατμών (υγρασία) που υπάρχουν στον αέρα μελετώντας την επίδρασή τους στις κτιριακές μονάδες. Η παρουσία υδρατμών στην ατμόσφαιρα αποτελεί καθοριστικό παράγοντα που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν για το σχεδιασμό κλιματιστικών συστημάτων, τα οποία θα κρατούν το ποσοστό υγρασίας εντός των επιθυμητών επιπέδων και κατ' επέκταση θα εξασφαλίζουν τις απαραίτητες συνθήκες θερμικής άνεσης και υγιεινής στους εσωτερικούς χώρους. (Sarkar & Bose, 2015) Οι κλιματιστικές μονάδες διασφαλίζουν στα κρύα και ξηρά κλίματα την πρόσθεση μάζας υδρατμών στον αέρα πέραν της θέρμανσης του ενώ αντίθετα, για τα αντίστοιχα θερμά και υγρά απαιτείται αφαίρεση των υδρατμών από τον αέρα πέραν της αναμενόμενης μείωσης της θερμοκρασίας του. Οι διεργασίες ύγρανσης και αφύγρανσης πραγματοποιούνται σε συνεργασίες με τη θέρμανση και την ψύξη από τις κλιματιστικές μονάδες. Σημειώνεται, πως ο έλεγχος των ποσοστών υγρασίας συμβάλει και στην προστασία των δομικών στοιχείων κατασκευής του κτιρίου καθώς αποφεύγονται ανεπιθύμητες φθορές που θα επηρέαζαν τη μακροζωία του. (Callahan et al., 2019)

Ο ατμοσφαιρικός αέρας πέραν των υδρατμών που συνήθως περιέχει αποτελείται από μίγμα αερίων (άζωτο, οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα και αργό) καθώς και από μικρό ποσοστό από ίχνη αερίων υδρογόνου, ηλίου, ξένου κλπ. Για συνθήκες κανονικής ατμοσφαιρικής πίεσης, η σύσταση της μάζας του αέρα περιλαμβάνει 76% άζωτο (N₂), 23% οξυγόνο O₂ και 1% αργό (A). Ο απαλλαγμένος από υδρατμούς αέρας ονομάζεται 'ξηρός ατμοσφαιρικός αέρας'. Ο αέρας στον οποίον εμπεριέχεται υγρασία, η οποία καλύπτει ποσοστό 3% της παραπάνω σύστασης κατά μάζα, ονομάζεται 'υγρός ατμοσφαιρικός αέρας'. Το ποσοστό δεν φαίνεται μεγάλο αλλά είναι αρκετό για να επηρεάσει τις συνθήκες υγιεινής, για το λόγο αυτό άλλωστε η υγρασία έχει οριστεί ως θεμελιώδες μέγεθος του κλιματισμού. (Κατσαπράκης, 2015)

Ο κλάδος της Ψυχομετρίας έχει ορίσει αρκετά βασικά μεγέθη για τη μέτρηση των επιπέδων θερμοκρασίας και του ποσοστού υγρασίας, για την πλησιέστερη προσέγγιση των επιμέρους καταστάσεων. Οι ψυχομετρικοί χάρτες προσφέρουν γραφική απεικόνιση των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων του αέρα, με τον υπολογισμό τους σε μια αρχική και σε μια

τελική κατάσταση. Ο υπολογισμός των ιδιοτήτων αυτών μας οδηγεί στον προσδιορισμό των βασικών μεγεθών που εμπλέκονται σε μια διεργασία κλιματισμού. Σε έναν χάρτη



Εικόνα 4: Τα 7 καταστατικά μεγέθη του υγρού ατμοσφαιρικού αέρα σε διανυσματική απεικόνιση ψυχομετρικού χάρτη

ψυχομετρίας περιγράφεται η συμπεριφορά των 7 βασικότερων μεγεθών που καθορίζουν την κατάσταση υγρασίας στον εσωτερικό χώρο. Στο στιγμιότυπο της Εικόνας 4 παρουσιάζεται η γραφική αναπαράσταση των βασικών μεγεθών σε διανυσματική απεικόνιση ψυχομετρικού χάρτη.

Τα βασικά μεγέθη που παρουσιάζονται σε έναν ψυχομετρικό χάρτη είναι τα εξής (Strong, 2009):

- **Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού T_{DB} (Dry Bulb Temperature):** Πρόκειται για τη συνήθη θερμοκρασία υγρού αέρα που αισθανόμαστε στο χώρο του περιβάλλοντος. Μετριέται με τα γνωστά υδραργυρικά θερμόμετρα μέσω μιας διαδικασίας που απαιτεί ξηρό βολβό (απαλλαγμένο από υγρασία). Η έννοια του βολβού διαφέρει από θερμόμετρο σε θερμόμετρο και αναφέρεται είτε σε δεξαμενή υδραργύρου, είτε σε σημείο επαφής με τον αέρα όπου λαμβάνονται οι τιμές της θερμοκρασίας. Η έκθεση σε οποιαδήποτε μορφή ακτινοβολίας οδηγεί σε λανθασμένες ενδείξεις.
- **Θερμοκρασία Υγρού Βολβού T_{WB} (Wet Bulb Temperature):** Πρόκειται για την ελάχιστη θερμοκρασία που είναι σε θέση να φτάσει η θερμοκρασία του υγρού αέρα

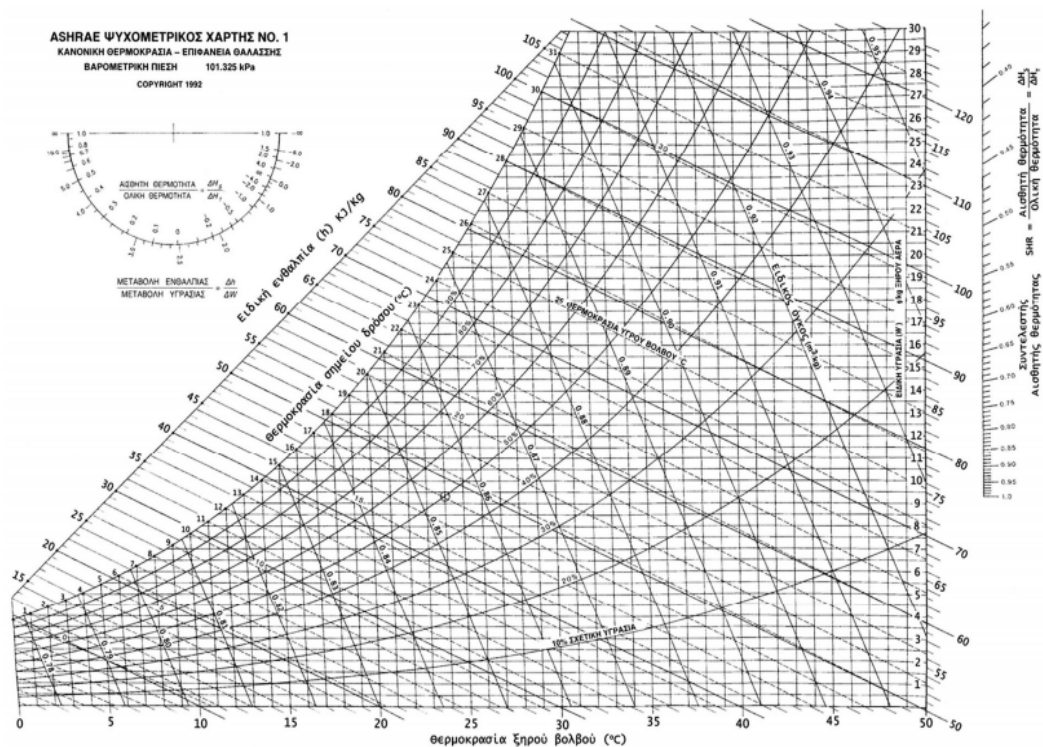
ως αποτέλεσμα εξάτμισης του νερού. Μετριέται και αυτή με τα κλασικά θερμόμετρα υδραργύρου, όπου ο βολβός τους εκτίθεται σε ρεύμα αέρα αφού τυλιχτεί πρώτα με βρεγμένη γάζα. Η μέθοδος έχει ως σκοπό την παρατήρηση της πτώσης της θερμοκρασίας μέχρι να φτάσει σε ενδεικτικά επίπεδα ισορροπίας, λόγω των συνθηκών ταχείας εξάτμισης του νερού που δημιουργούνται. Η αίσθηση της θερμοκρασίας υγρού βολβού είναι ανάλογη αυτής του βρεγμένου ανθρωπίνου σώματος έπειτα από έκθεση σε ρεύμα αέρα.

- **Θερμοκρασία Σημείου Δρόσου T_{DP} (Temperature Dew Point):** Ονομάζεται η θερμοκρασία του σημείου συμπύκνωσης των υδρατμών καθώς αρχίζει να ψύχεται χωρίς μεταβολή της ειδικής υγρασίας. Στη θερμοκρασία αυτή ο αέρας είναι κορεσμένος (saturation) και δεν μπορεί να συκρατήσει άλλους υδρατμούς αέριας μορφής στη μάζα του (σχετική υγρασία 100%). Μπορεί να πάρει τιμές άνω των 0°C και εξαρτάται από τα μεγέθη της θερμοκρασίας υγρού ατμοσφαιρικού αέρα και της ειδικής υγρασίας. Με τη σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας υγρού αέρα σε συνδυασμό με την αμετάβλητη τιμή της ειδικής υγρασίας, προσεγγίζεται όλο και περισσότερο η κατάσταση κορεσμού.
- **Σχετική Υγρασία ϕ (Relative Humidity):** Πρόκειται για το λόγο μερικής πίεσης υδρατμών σε υγρό ατμοσφαιρικό αέρα ως προς την αντίστοιχη μερική πίεση των υδρατμών σε κατάσταση κορεσμού του ίδιου αέρα. Έχουμε δηλαδή τις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Οι επιθυμητές του τιμές για την εξασφάλιση ανθρώπινης υγιεινής είναι μεταξύ 35% και 60%.
- **Ειδική Υγρασία w (Humidity Ratio):** Συναντάται και ως λόγος υγρότητας, της μάζας δηλαδή των υδρατμών ως προς την αντίστοιχη μάζα του υγρού ατμοσφαιρικού αέρα στον οποίον εμπεριέχεται. Παίζει καθοριστικό ρόλο στην εύρεση του σημείου δρόσου, καθώς αποτελεί το σταθερό μέγεθος της εξίσωσης.
- **Ειδική Ενθαλπία Αέρα h :** Αρχικά, ο όρος Ενθαλπία (H) είναι ένα μέγεθος που εξαρτάται από την εσωτερική ενέργεια ενός σώματος ή συστήματος, την πίεση και τον όγκο που καταλαμβάνει ($H = U + p * V$). Από την ετυμολογία της λέξης ('θάλπω' = ζεσταίνω) συνειδητοποιούμε πως αναφέρεται στην ενέργεια που προσφέρεται κατά τη θέρμανση ουσιών και εγκλωβίζεται στα μόριά τους, τα οποία αποκτούν μεγαλύτερο ενεργειακό περιεχόμενο από τα αρχικά μόρια. Μετριέται σε Joule (SI). Ο όρος της ειδικής ενθαλπίας ωστόσο, αναφέρεται στο λόγο της

ενθαλπίας του υγρού αέρα προς τη μάζα του αντίστοιχου ξηρού αέρα. Εξαρτάται από τα επιμέρους μεγέθη της ειδικής ενθαλπίας ξηρού αέρα h_{da} , της ειδικής υγρασίας w , και της ειδικής ενθαλπίας υδρατμών h_g . ($h = h_{da} + w * h_g$).

- **Ειδικός Όγκος Αέρα u** : Απευθύνεται στον όγκο του υγρού αέρα προς τη μάζα του ξηρού αέρα και μετριέται σε m^3/kg . (Κατσαπράκης, 2015)

Μέχρι σήμερα, η εταιρεία ASHRAE έχει συντάξει 7 διαγράμματα ψυχομετρικού χάρτη τύπου Mollier, που ήταν ο πρώτος που κατάφερε να διατυπώσει σε διαγραμματική απεικόνιση τη συσχέτιση της ειδικής ενθαλπίας και ειδικής υγρασίας υγρού ατμοσφαιρικού αέρα. Κάθε ένα καλύπτει ορισμένη περιοχή θερμοκρασιών ξηρού βολβού. Στους χάρτες αποτυπώνονται τα 7 βασικά θερμοδυναμικά μεγέθη που αναφέραμε και που ονομάστηκαν 'καταστατικά μεγέθη'. Για τον προσδιορισμό του σημείου που αναπαριστά την κατάσταση του ατμοσφαιρικού αέρα, αρκεί να είναι γνωστές δύο τιμές για την εύρεση και των υπολοίπων έπειτα από μαθηματικούς υπολογισμούς. Στην Εικόνα 5 παρουσιάζεται ο επίσημος ψυχομετρικός χάρτης της ASHRAE για θερμοκρασιακές τιμές ξηρού βολβού από 0°C έως 50°C.



Εικόνα 5: Ψυχομετρικός χάρτης ASHRAE

4.2 Φορτία Χώρου

Η ανακατανομή των ψυκτικών και θερμικών φορτίων σε ένα χώρο αποτελεί καθοριστικό παράγοντα που επηρεάζει τις θερμοκρασιακές συνθήκες ενός εσωτερικού χώρου και κατ' επέκταση την επιλογή των κατάλληλων κλιματιστικών συστημάτων και εξοπλισμού. Σύμφωνα με το 2ο Νόμο Θερμοδυναμικής, η θερμότητα έχει την τάση να ρέει από χώρους ή σώματα υψηλών θερμοκρασιών σε χώρους ή σώματα χαμηλών θερμοκρασιών. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι τους καλοκαιρινούς μήνες που η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη από την εσωτερική έχουμε θερμικά κέρδη, καθώς η θερμότητα μεταφέρεται από το εξωτερικό προς το εσωτερικό του χώρου. Αντίθετα τους χειμερινούς μήνες, η χαμηλότερη θερμοκρασία του περιβάλλοντος συγκριτικά με αυτή των εσωτερικών χώρων επιφέρει θερμικές απώλειες, καθώς η θερμότητα ρέει προς το εξωτερικό του χώρου.

Συγκεκριμένα, το **θερμικό κέρδος** ενός χώρου είναι το σύνολο των θερμικών ροών που εισέρχονται σε αυτόν ή δημιουργούνται σε μια δεδομένη χρονική στιγμή και ανάλογα με την προέλευσή τους διακρίνονται σε (Helble & Majoe, 2020):

- Εξωτερικά: προκύπτουν από την εξωτερική τοιχοποιία, τα δάπεδα, τις οροφές, και από τα ανοίγματα στο κέλυφος (πόρτες, παράθυρα κλπ)
- Εσωτερικά: πρόκειται για τον πληθυσμό του χώρου με τον αντίστοιχο εξοπλισμό του (πχ ρουχισμός), τις ηλεκτρικές συσκευές και το φωτισμό

Ένας επιπλέον διαχωρισμός τους γίνεται με βάση το είδος της θερμότητας που προκαλούν, η οποία μπορεί να είναι (Helble & Majoe, 2020):

- Αισθητή: Προκύπτει δηλαδή από απώλειες λόγω θερμοπερατότητας και σχετίζεται με τη μεταφορά της θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού χώρου και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Επηρεάζεται κυρίως από τους παράγοντες που ρυθμίζουν την ανακατανομή των θερμικών κερδών, τόσο εξωτερικούς (κτιριακό περίβλημα) όσο και εσωτερικούς (πληθυσμός, εξοπλισμός, φωτισμός)
- Λανθάνουσα: Προκύπτει από τη διαφορά στα επίπεδα υγρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Όπως και το αισθητό, επηρεάζεται από τους χρήστες, το φωτισμό τις συσκευές κλπ.

Ο Πίνακας 11 μας δείχνει τις βασικότερες πηγές θερμικού κέρδους σε έναν εσωτερικό χώρο με τις επιμέρους προαναφερόμενες διακρίσεις τους.

Πίνακας 11: Πηγές και κατηγορίες θερμικών κερδών

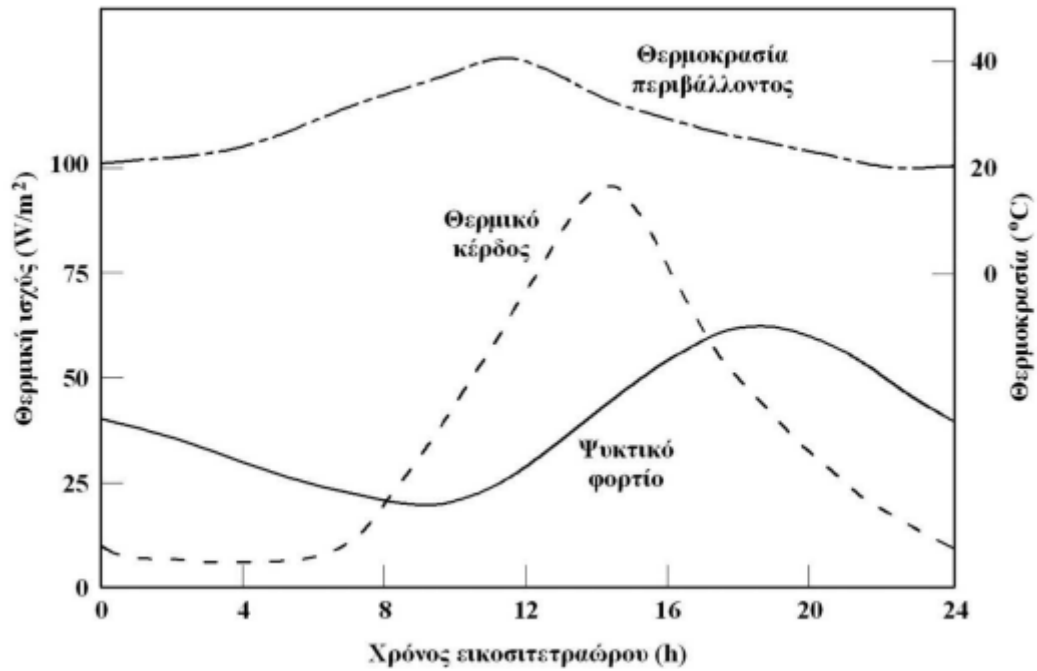
Πηγή θερμικού κέρδους	Κατηγορία	Είδος
Αγωγιμότητα από εξωτερικά τοιχώματα	Εξωτερικά	Αισθητά
Αγωγιμότητα από εσωτερικά τοιχώματα	Εξωτερικά	Αισθητά
Ηλιακή ακτινοβολία μέσω τζαμιών	Εξωτερικά	Αισθητά
Φωτισμός	Εσωτερικά	Αισθητά
Άτομα	Εσωτερικά	Αισθητά και λανθάνοντα
Συσκευές & εξοπλισμός	Εσωτερικά	Αισθητά ή / και λανθάνοντα
Ηλεκτροκινητήρες	Εσωτερικά	Αισθητά
Εισαγωγή εξωτερικού αέρα	Εξωτερικά	Αισθητά και λανθάνοντα

Ως **ψυκτικό φορτίο** ονομάζεται η θερμική ισχύς που πρέπει να αφαιρεθεί από έναν εσωτερικό χώρο προκειμένου ο αέρας του να διατηρηθεί σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. (Wago et al. 2016)

Το ψυκτικό φορτίο δεν είναι ταυτόσημο με το αντίστοιχο θερμικό για δεδομένη χρονική στιγμή λόγω χρονικής καθυστέρησης μεταξύ της χρονικής στιγμής εισροής του θερμικού κέρδους και της χρονικής στιγμής μεταφοράς του ως ψυκτικό φορτίο στον εσωτερικό χώρο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ένα τμήμα των θερμικών κερδών απελευθερώνεται στο περιβάλλον μέσω των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους, ενώ παράλληλα τα αντίστοιχα φορτία αγωγιμότητας και ακτινοβολίας παρουσιάζουν επίσης χρονική καθυστέρηση για να εισέλθουν στον εσωτερικό χώρο από το εξωτερικό περιβάλλον. Ο συνδυασμός της ανταλλαγής φορτίων οδηγεί σε μόνιμη χρονική καθυστέρηση μεταξύ θερμικού και ψυκτικού φορτίου. (Wulf, 2016)

Το θερμικό κέρδος που απελευθερώνεται στο περιβάλλον και δεν εμφανίζεται ως ψυκτικό, προκύπτει μόνο από τις πηγές αισθητών φορτίων χώρου. Το αντίστοιχο λανθάνον θερμικό κέρδος επηρεάζει άμεσα τις συνθήκες υγρασίας του χώρου και ταυτίζεται χρονικά και ποσοτικά με το λανθάνον ψυκτικό φορτίο. (Κατσαπράκης, 2015)

Η ανακατανομή των ψυκτικών και θερμικών φορτίων κατά τη διάρκεια μιας ημέρας παρουσιάζεται στην Εικόνα 6 όπου είναι εμφανείς οι χρονικές τους καθυστερήσεις και οι ποσοτικές τους διαφορές, σε διάγραμμα συσχέτισης θερμικής ισχύος και θερμοκρασίας ως προς το χρόνο.



Εικόνα 6: Χρονική συσχέτιση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμικής ισχύος για τη δημιουργία θερμικού κέρδους και ψυκτικού φορτίου

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει οδηγήσει στην ανακάλυψη μεθόδων για τη μέτρηση των φορτίων χώρου με τη χρήση λογισμικών για τη καλύτερη δυνατή προσέγγιση της συμπεριφοράς τους. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος μέχρι σήμερα είναι η CLTD/CLF, η οποία υπολογίζει τα ψυκτικά φορτία του χώρου χρησιμοποιώντας τα μεγέθη της θερμοκρασιακής διαφοράς ψυκτικού φορτίου (Cooling Load Temperature Difference) και του αντίστοιχου συντελεστή ψυκτικού φορτίου (Cooling Load Factor). (Pagliarini et al., 2014)

4.3 Αερισμός

Για τη σχεδίαση ενός κτιρίου σημαντικό κομμάτι αποτελεί η ανανέωση του αέρα του εσωτερικού χώρου, μια διαδικασία που περιγράφεται με τον όρο του αερισμού. Πρόκειται ουσιαστικά για την αντικατάσταση μέρους του εσωτερικού αέρα με νωπό αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον. Μέσω της διαδικασίας του αερισμού επιτυγχάνεται η διατήρηση των βαθμών θερμοκρασίας και ποσοστών υγρασίας στα επιθυμητά για τον άνθρωπο επίπεδα, η ανανέωση του οξυγόνου και η αποβολή μορίων σκόνης και αέριων ρύπων που συγκεντρώνονται σε έναν εσωτερικό χώρο (πχ. εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO₂ από τον άνθρωπο κατά την αναπνοή). (Dascalaki et al., 2012)

Η ανανέωση του αέρα επιτυγχάνεται με 2 τρόπους. Από τη μια με το φυσικό αερισμό, με τη χρήση δηλαδή φυσικών μέσων ανεξαρτήτως ώρας και συνθηκών και από την άλλη με το μηχανικό αερισμό που λειτουργεί στις ώρες λειτουργίας όπου στο κτίριο υπάρχουν άτομα.

Αναλυτικότερα και οι δύο μέθοδοι είναι υπεύθυνοι για :

- Έλεγχο Ποιότητας Αέρα (Air Quality Control), αραιώνοντας τους εσωτερικά παραγόμενους ρύπους με καθαρότερο εξωτερικό αέρα.
- Άμεση Ευνοϊκή Ψύξη (Direct Advective Cooling), για την άμεση ψύξη κτιρίων αντικαθιστώντας ή αραιώνοντας ζεστό αέρα εσωτερικού χώρου με ψυχρό εξωτερικό αέρα όταν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές.
- Άμεση Προσωπική Ψύξη (Direct Personal Cooling), για την άμεση ψύξη των χρηστών μέσω κατευθυνόμενου δροσερού εξωτερικού αέρα που περνά πάνω από τους χρήστες με επαρκή ταχύτητα για την ενίσχυση της μεταφοράς θερμότητας και υγρασίας.
- Έμμεση Νυχτερινή Ψύξη (Indirect Night Cooling), που επιτυγχάνεται με την πρόψυξη θερμικά μεγάλου μεγέθους στοιχείων της κτιριακής κατασκευαστικής δομής, ή μέσω συστήματος αποθήκευσης θερμότητας με δροσερό νυχτερινό αέρα.

Η άμεση ευνοϊκή και προσωπική ψύξη είναι εύλογο να επιτυγχάνονται με ολοκληρωμένο τρόπο με μια σωστά σχεδιασμένη στρατηγική άμεσης ψύξης. Επομένως, οι βασικοί ευρύτεροι σκοποί του αερισμού συνοψίζονται ως έλεγχος της ποιότητας του αέρα, άμεση και έμμεση ψύξη. (Emerich, 2001)

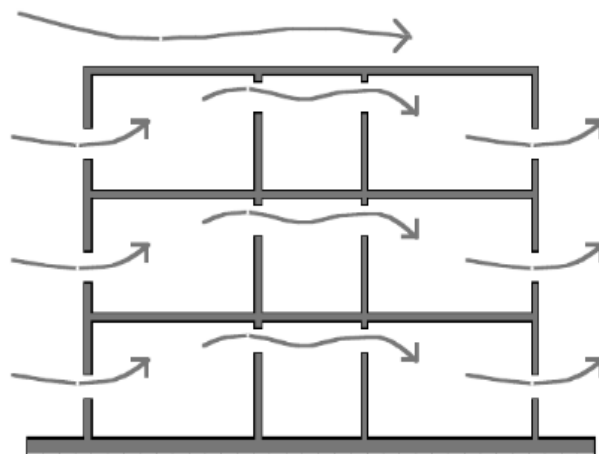
4.3.1 Φυσικός Αερισμός

Μέσω του φυσικού αερισμού, το κτίριο εκμεταλλεύεται τις συνθήκες περιβάλλοντος της περιοχής με θερμικές, αιολικές ή διάχυτες μεθόδους μέσω πορτών, παραθύρων και άλλων ανοιγμάτων του κτιρίου, διατηρώντας την ποιότητα αέρα στον εσωτερικό χώρο σε υψηλά επίπεδα με μειωμένο βασικό και λειτουργικό κόστος.

Η ποικιλία και το εύρος διαφορετικών συστημάτων φυσικού αερισμού που επιλέγονται στα κτίρια αυξάνεται συνεχώς με τη πάροδο του χρόνου, με την ανάπτυξη τεχνολογιών υβριδικών συστημάτων με ενσωματωμένες μηχανικές συσκευές για τη βελτίωση της απόδοσης και καλύτερο έλεγχο. Ωστόσο, τέτοιες περιπτώσεις αναπτυσσόμενων τεχνικών με χρήση μηχανικών μέσων αποτελεί παραλλαγή των 3 θεμελιωδών προσεγγίσεων του φυσικού αερισμού.

Wind-driven Cross Ventilation

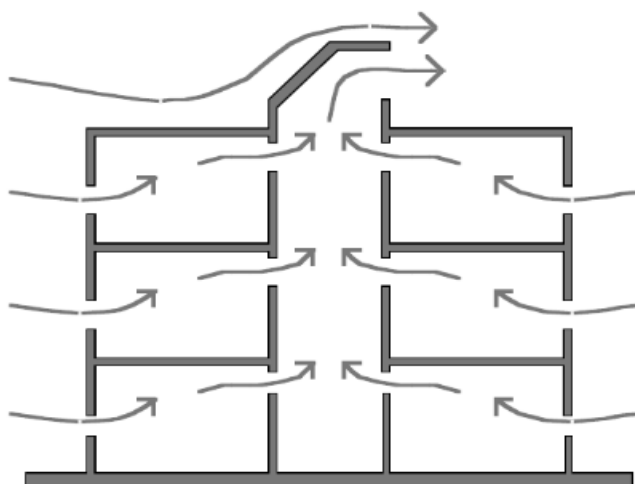
Ο διασταυρούμενος αερισμός με κίνηση του ανέμου, πραγματοποιείται μέσω ανοιγμάτων αερισμού σε αντίθετες πλευρές ενός κλειστού εσωτερικού χώρου. Μια τυπική αναπαράσταση φαίνεται στην Εικόνα 7 για ένα κτίριο πολλαπλών δωματίων. Το βάθος της κάτοψης του κτιρίου προς την κατεύθυνση της ροής αερισμού πρέπει να περιορίζεται για την αποτελεσματική απομάκρυνση της θερμότητας και των ρύπων από το χώρο με τις τυπικές κινητήριες δυνάμεις. Απαιτείται σημαντική διαφορά πίεσης ανέμου μεταξύ των ανοιγμάτων εισόδου και εξόδου, καθώς και μια ελάχιστη εσωτερική αντίσταση στη ροή για εξασφάλιση της επαρκούς ροής αερισμού. (Aunsley, 2014) Τα ανοίγματα που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως παράθυρα.



Εικόνα 7: Διασταυρούμενος αερισμός με την κίνηση του ανέμου

Buoyancy-driven Stack Ventilation

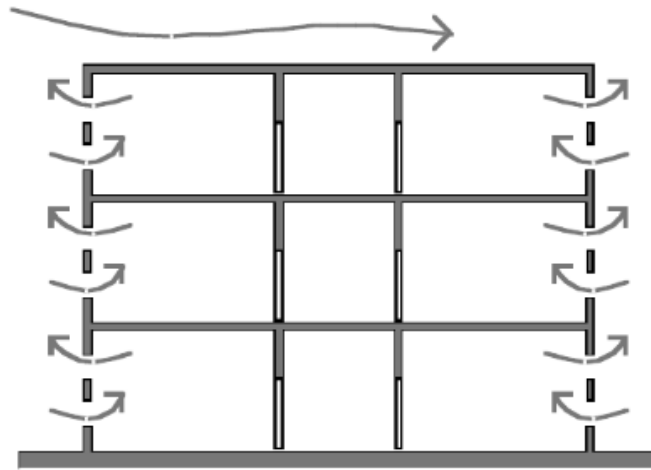
Ο κατακόρυφος αερισμός βασίζεται στις διαφορές πυκνότητας για την άντληση δροσερού εξωτερικού αέρα σε χαμηλά ανοίγματα αερισμού και θερμού εσωτερικού αέρα εξάτμισης σε υψηλότερα ανοίγματα αερισμού (Εικόνα 8). Συχνά, μια καμινάδα ή αίθριο χρησιμοποιείται για τη δημιουργία επαρκών δυνάμεων πλευστότητας για την επίτευξη της απαιτούμενης ροής. Ωστόσο, ακόμα και ο μικρότερος άνεμος μπορεί να προκαλέσει ανακατανομές πίεσης στο κτιριακό κέλυφος και να ενεργήσει και αυτός στην κίνηση της ροής του αέρα στο εσωτερικό. Στην πραγματικότητα ο εξωτερικός άνεμος είναι στην εφαρμογή σημαντικότερος απ' ό,τι η εσωτερική πλευστότητα σε τεχνικές κατακόρυφου αερισμού, επομένως ο επιτυχημένος σχεδιασμός του προϋποθέτει προσεγμένη αξιοποίηση και των δύο παραγόντων. (Emerich, 2001)



Εικόνα 8: Κατακόρυφος αερισμός

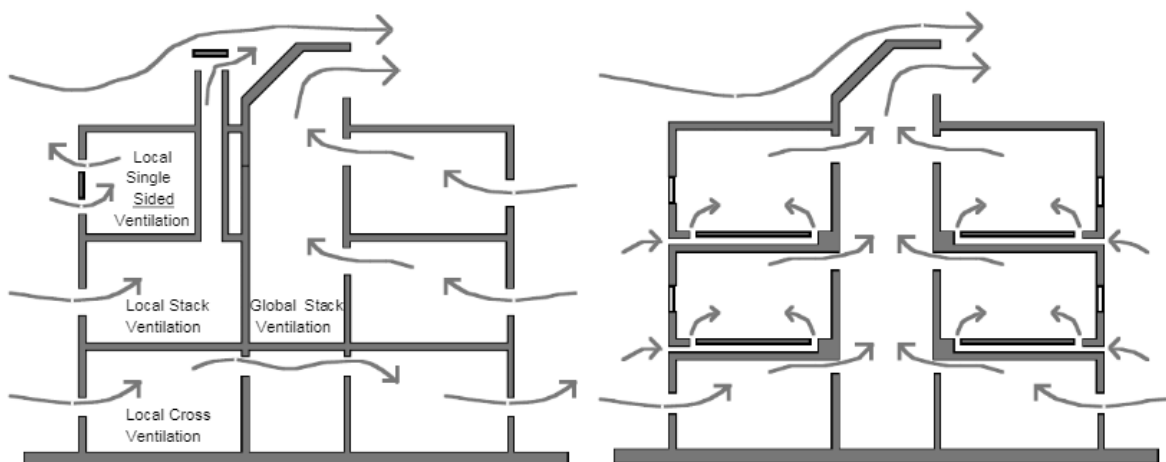
Single-sided Ventilation

Ο αερισμός μονής όψης εξυπηρετεί συνήθως μονόκλινα δωμάτια παρέχοντας μια τοπική λύση φυσικού αερισμού. Η μέθοδος φαίνεται στην Εικόνα 9 για κτίριο πολλαπλών δωματίων με τη ροή αέρα να οφείλεται σε διεργασίες πλευστότητας κλίμακας δωματίου, μικρές διαφορές πίεσης αέρα στο κτιριακό κέλυφος και άλλες διαταραχές. Κατά συνέπεια, οι κινητήριες δυνάμεις αερισμού μονής όψης είναι μικρές και μεταβλητές. Συγκριτικά αποτελεί τη λιγότερο αποτελεσματική εκδοχή φυσικού αερισμού, ωστόσο αρκετά ελκυστική για περιπτώσεις μεμονωμένων εσωτερικών χώρων. (Aflaki et al., 2016)



Εικόνα 9: Αερισμός μονής όψης

Σε πολλές περιπτώσεις, οι τρεις θεμελιώδεις μέθοδοι χρησιμοποιούνται συνδυαστικά σε μεμονωμένα κτίρια για την αντιμετώπιση ποικίλων αναγκών αερισμού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο συνδυασμός τοπικού-γενικού και κατακόρυφου αερισμού στο Queen's Building του Πανεπιστημίου De Monford στο Leicester της Αγγλίας που θεωρείται ίσως η πιο διαδραστική προσέγγιση μικτού φυσικού αερισμού στη νεότερη γενιά κτιρίων. (Lomas et al., 2007) Άλλες περιπτώσεις βασίζονται σε λεπτομέρειες τακτικής εισαγωγής, εξάτμισης και διανομής, με κοινή προσέγγιση τη διανομή φρέσκου αέρα στο δάπεδο ή το πάτωμα πρόσβασης για την παροχή μεγαλύτερου ελέγχου διανομής σε ολόκληρη την κτιριακή μονάδα. Στην Εικόνα 10 φαίνονται οι δύο αυτές εφαρμογές μικτού αερισμού με συνδυασμό τοπικού-γενικού και κατακόρυφου αερισμού (αριστερά) και συνδυασμό συστήματος υποπλακών και κατακόρυφου αερισμού (δεξιά). (Emerich, 2001)



Εικόνα 10: Συνδυασμοί τοπικού-γενικού/κατακόρυφου και συστήματος υποπλακών/κατακόρυφου αερισμού

Συμπερασματικά, αξίζει να σημειωθεί πως μέσω του φυσικού αερισμού μπορούν να εξοικονομηθούν μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας καθώς έχει διαπιστωθεί ύστερα από μετρήσεις ότι μπορεί να μειώσει τα ψυκτικά φορτία στο χώρο από 75% έως 100%, σε βαθμό δηλαδή που μπορεί να αντικαταστήσει ένα ολοκληρωμένο σύστημα κλιματισμού. Ωστόσο παρά τα οφέλη του, παρουσιάζει πλήθος δυσκολιών στην εφαρμογή του αν αναλογιστούμε πως παράγοντες όπως ο προσανατολισμός του κτιρίου, η τοποθέτηση των ανοιγμάτων και η συνολική γεωμετρία των χώρων, μπορούν να καταστήσουν την τεχνική πλήρως αναξιόπιστη. (Lomas et al., 2007)

4.3.2 Μηχανικός Αερισμός

Όπως αναφέραμε, η μέθοδοι φυσικού αερισμού παρά το πλήθος πλεονεκτημάτων τους, συχνά δεν είναι επαρκείς και γι' αυτό γίνεται εγκατάσταση συστήματος μηχανικού αερισμού. Πρόκειται για τη σκόπιμη εισροή εξωτερικού αέρα που μέσω εγκατεστημένων αγωγών και ανεμιστήρων, διαπερνά όλο το κτίριο. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία συστημάτων μηχανικού αερισμού για κτιριακές μονάδες τα οποία διακρίνονται σε συστήματα εξάτμισης, παροχής ή μικτά συστήματα. Κάθε ένα από αυτά μπορεί να είναι συνεχούς ή διακοπτόμενης λειτουργίας, να έχει μια ή περισσότερες θύρες, ή να μπορεί να εγκατασταθεί σε ένα ήδη υπάρχον σύστημα HVAC. (Gerding Edlen Development, & GBD Architects and Interface Engineering, 2019) Οι στρατηγικές μηχανικού αερισμού παρέχουν πιο ομοιόμορφα ποσοστά αερισμού από ότι ο φυσικός αερισμός, ωστόσο είναι εύλογο να απαιτούν επιπλέον ενέργεια για την λειτουργία τους. Συγκριτικές μελέτες συστημάτων μηχανικού αερισμού σε νέα κτίρια έχουν δείξει ότι τα ποσά διήθησης αέρα από χαραμάδες περιορίζονται από 0,1ac/h σε 0,07ac/h το καλοκαίρι και από 0,35ac/h σε 0,15ac/h το χειμώνα, ενισχύοντας την αξιοπιστία τους. (Turns, 2013) Αναλυτικότερα τα χαρακτηριστικά μηχανικού αερισμού περιλαμβάνουν:

Συνεχής Εξάτμιση

Τα συστήματα αυτά παρέχουν αερισμό στο κτίριο χρησιμοποιώντας έναν κεντρικό ανεμιστήρα ενός ή πολλαπλών σημείων για την αφαίρεση αέρα από το κτίριο. Ο αέρας εισέρχεται μέσω κενών στο περίβλημα ή μέσω ειδικά τοποθετημένων αεραγωγών. Όσο λιγότερα είναι τα κενά στο περίβλημα, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα δημιουργίας αρνητικής πίεσης στον εσωτερικό χώρο που οδηγεί σε οπίσθια ρεύματα από τις συσκευές

καύσης. Συχνά ενσωματώνονται ειδικοί αποσβεστήρες (dumpers) για τον περιορισμό των ανισορροπιών πίεσης. Η παροχή αέρα εισέρχεται με ανεξέλεγκτο τρόπο και υπάρχει ενδεχόμενο να τραβηχτεί από ανεπιθύμητες περιοχές (πχ. γκαράζ, υπόγεια, σοφίτες). Ως συστήματα δεν ενδείκνυνται για κτίρια περιοχών με υψηλά ποσοστά περιβαλλοντικών ρύπων. Σε κλίματα ακραίων θερμοκρασιακών συνθηκών, ο πολύ κρύος αέρας παροχής μπορεί να δημιουργήσει ρεύματα, ενώ σε κλίματα υψηλής υγρασίας τα συστήματα εξάτμισης αυξάνουν τα επίπεδα υγρασίας και στο κτιριακό κέλυφος. Λόγω σχεδιασμού, δεν πραγματοποιείται φιλτράρισμα του αέρα. Είναι εφικτή ωστόσο η αξιοποίηση ανάκτησης θερμότητας είτε παθητικά από το ίδιο το κτιριακό κέλυφος, είτε ενεργά μέσω αντλίας θερμότητας για την ανάκτηση της ενέργειας από τον αέρα εξάτμισης. Οι ανεμιστήρες παρόλο που κατασκευαστικά ακολουθούν τα πρότυπα της ASHRAE συχνά αδυνατούν να διατηρήσουν τον αναμενόμενο ρυθμό αερισμού λόγω παραγόντων που σχετίζονται με τη μόνωση του κελύφους, το μέγεθος, την ποιότητα και την τοποθέτηση των αγωγών. (Russel, 2005)

Τα συστήματα εξάτμισης ενός σημείου χρησιμοποιούν στην ουσία έναν ανεμιστήρα μπάνιου και έχουν χαμηλό κόστος εγκατάστασης. Ωστόσο, ένας ανεμιστήρας και ένα απλό σύστημα αγωγών δεν είναι ικανά να καλύψουν τις ανάγκες ομοιόμορφου αερισμού σε ολόκληρο κτίριο. Από την άλλη τα συστήματα με πολλαπλά σημεία εξάτμισης αποτελούν μια αποτελεσματικότερη εκδοχή βελτιώνοντας την ομοιομορφία από χώρο σε χώρο με οριακά αυξημένο κόστος εγκατάστασης.

Διακοπτόμενη Εξάτμιση

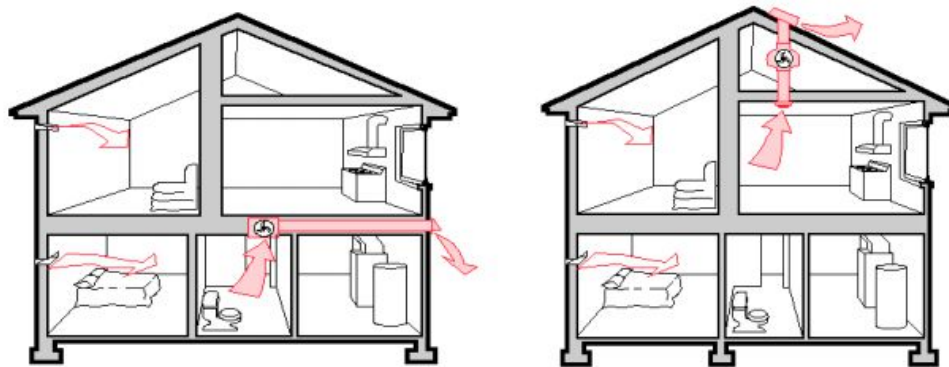
Ένα σύστημα διακοπτόμενης εξάτμισης εγκαθίσταται όπως και ένα σύστημα συνεχούς εξάτμισης. Αποτελείται από ένα κεντρικό ανεμιστήρα για την απομάκρυνση του παλιού αέρα, αλλά διαθέτει και επιπλέον ανεμιστήρες σε χώρους όπου οι ανάγκες αερισμού το απαιτούν. Στην περίπτωση αυτή ο ανεμιστήρας λειτουργεί σε υψηλότερο βαθμό μόνο για συγκεκριμένο χρόνο. Η ιδιαιτερότητα αυτή προϋποθέτει μεγαλύτερο ρυθμό αερισμού απ' ό,τι όταν θα λειτουργούσε συνεχώς. Βασικό πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι οι χρήστες μπορούν να μειώσουν όποτε επιθυμούν την ποσότητα εξωτερικού αέρα που εισέρχεται στο κτίριο μέσω χρονομέτρου όταν αυτή είναι χαμηλής ποιότητας ανάλογα με το χρονικό σημείο της ημέρας, ωστόσο οφείλουν να γνωρίζουν το πότε ο αερισμός είναι απαραίτητος ώστε να τον εφαρμόσουν. (Tanabe & Kimura, 1997) Για μεγαλύτερη αξιοπιστία και προσπάθεια

προσέγγισης αυτοματισμού, τα συστήματα διαθέτουν συχνά αισθητήρες ποσότητας χρηστών, υγρασίας και CO₂.

Άλλα συστήματα χρησιμοποιούν ανεμιστήρες, αλλά η παροχή του αέρα ελέγχεται από ειδικά ανοίγματα (make-up air inlets) αποκλειστικά για την παροχή του αέρα, τα οποία τοποθετούνται σε χώρους υψηλών απαιτήσεων αερισμού, όπως τα μπάνια.

Όλα τα συστήματα εξάτμισης μηχανικού αερισμού, μπορούν αξιοποιηθούν από ένα ολοκληρωμένο σύστημα HVAC με τη χρήση ειδικών εισόδων αέρα στο σύστημα αγωγών επιστροφής της κεντρικής κλιματιστικής μονάδας (Κ.Κ.Μ.) του συστήματος. Χρησιμοποιείται το ήδη υπάρχον σύστημα αγωγών εξαγωγής αέρα από μεμονωμένες περιοχές του κτιρίου, κρατώντας το κόστος εγκατάστασης σε χαμηλά επίπεδα. (Russel, 2005)

Στην Εικόνα 11 φαίνονται οι τυπικές αναπαραστάσεις ενός συστήματος συνεχούς εξάτμισης ενός σημείου (αριστερά) και ενός συστήματος εξάτμισης με επιπλέον αξιοποίηση ειδικών αεραγωγών (δεξιά).



Εικόνα 11: Συστήματα εξάτμισης μοναδικού σημείου και αεραγωγών απομάκρυνσης (Russel et al., 2007)

Συνεχής Παροχή

Στα συστήματα αυτά ο αέρας τροφοδοτείται από έναν κεντρικό ανεμιστήρα σε μερικούς ή και σε όλους τους εσωτερικούς χώρους απομακρύνοντας τον παλιό αέρα μέσω ανοιγμάτων του κτιριακού κελύφους. Επιτρέπουν στους χρήστες να ελέγχουν τη θέση του αέρα τροφοδοσίας και για τη βελτιστοποίηση της ποιότητάς του καθώς και τη δυνατότητα φιλτραρίσματος ή και κλιματισμού του. Το σύστημα δημιουργεί θετική πίεση μέσα στο κτίριο, της οποίας ο βαθμός εξαρτάται κυρίως από τη ροή της παροχής και τη μόνωση του κελύφους, εμποδίζοντας τους εξωτερικούς ρύπους να εισέλθουν στο κτίριο αλλά

ταυτόχρονα μπορεί να διοχετεύσει αέρα υψηλής υγρασίας εντός των δομών του. Ο υγρός αυτός αέρας μπορεί να συμπυκνωθεί στους τοίχους και να δημιουργήσει μούχλα. (Russel et al., 2007)

Το σύστημα διακρίνεται επίσης σε σύστημα παροχής ενός σημείου κατά το οποίο ένας ανεμιστήρας παρέχει φρέσκο αέρα μέσω μικρού συστήματος αγωγών σε κεντρικό εσωτερικό χώρο του κτιρίου με συχνό αγωγό επιστροφής σε ξεχωριστό εσωτερικό χώρο, και σε σύστημα πολλαπλών σημείων με ενισχυμένες επιδόσεις μηχανικού αερισμού λόγω περισσότερων ανεμιστήρων και πολυπλοκότερου συστήματος αγωγών.

Διακοπτόμενη Παροχή

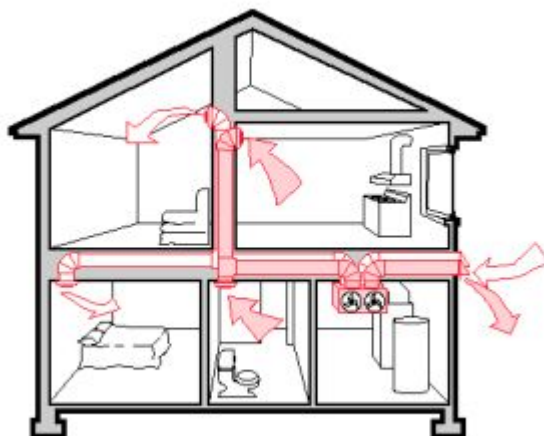
Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί το ήδη υπάρχον κεντρικό σύστημα προώθησης αέρα για την παροχή φρέσκου αέρα στο κτίριο μέσω συστήματος αγωγών. Ειδική είσοδος τοποθετείται στο κύκλωμα επιστροφής του HVAC επιτρέποντας την εισαγωγή φρέσκου κατά τη διάρκεια λειτουργίας του ανεμιστήρα τροφοδοσίας. Η ενσωμάτωση αυτή παρέχει μια επιλογή χαμηλού κόστους και την εξασφάλιση ομοιόμορφης κατανομής καθαρού αέρα από τους αγωγούς, αποτελώντας την αποτελεσματικότερη λύση εξαερισμού για μεγάλες κατοικίες. Η λειτουργία του ως διακοπτόμενη επιφέρει μεγάλα κέρδη κατανάλωσης τόσο συγκριτικά με τα συστήματα συνεχούς παροχής, όσο και με τα αυτόνομα συστήματα που δεν είναι εγκατεστημένα σε HVAC. (Russel et al., 2007)

Τα συστήματα δημιουργούν θετική πίεση εντός του κτιρίου οπότε ενσωματώνεται συχνά εξαέρωση πίεσης η οποία επιτυγχάνεται κυρίως μέσω αποσβεστήρων και αγωγών εξαερισμού σε μπάνια και κουζίνες, καθώς και από διηθήσεις από χαραμάδες στα ανοίγματα του κελύφους. Μπορεί να τοποθετηθεί επίσης φίλτρο αέρα για την απομάκρυνση ρύπων. Κοστολογικά, η εγκατάσταση δεν αλλάζει συγκριτικά με τα άλλα συστήματα, παρά μόνο για τις επιπλέον απαιτήσεις αγωγών και συσκευών ελέγχου.

Ένα σύστημα διακοπτόμενης παροχής αέρα σε σύστημα HVAC έχει περιορισμένες δυνατότητες αξιοποίησης ανάκτησης θερμότητας καθώς η ανταλλαγή θερμότητας συμβαίνει μόνο όταν ο εξατμιζόμενος αέρας εξέρχεται από το κτίριο μέσω των χαραμάδων στο κέλυφος. Για τη λειτουργία αποκλειστικά του συστήματος αερισμού υπάρχει ειδικός χρονοδιακόπτης για την παροχή αέρα χωρίς τη λειτουργία του υπόλοιπου συστήματος HVAC για θέρμανση ή ψύξη. (Russel, 2005)

Συνδυασμός Εξάτμισης και Παροχής

Τα συνδυαστικά συστήματα αερισμού χρησιμοποιούν δύο ανεμιστήρες με δύο διαφορετικά συστήματα αγωγών, ένα για την παροχή φρέσκου αέρα και ένα για την απομάκρυνση του παλιού αέρα από το κτίριο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 12. Στην περίπτωση αυτή δεν δημιουργείται πίεση θετικού ή αρνητικού πρόσημου παρά μόνο σε περιπτώσεις όπου το μονοπάτι μεταξύ παροχής και εξάτμισης έχει φραγεί. Είναι επίσης εφικτή η ενσωμάτωση εναλλάκτη θερμότητας για ανάκτηση από τον αέρα εξάτμισης, προθερμαίνοντας το τον αέρα παροχής. Χρησιμοποιείται σύνθετο σύστημα αγωγών για την παροχή φρέσκου αέρα σε χώρους δωματίων ή τραπεζαρίες, ενώ παράλληλα ένα ξεχωριστό σύστημα εξάτμισης αφαιρεί τον παλιό αέρα συνήθως από μπάνια και κουζίνες. Ένα από τα προτερήματα αποτελεί το προφιλτράρισμα του παρεχόμενου αέρα εξοικονομώντας ενέργεια από την ανάκτηση θερμότητας του εξατμιζόμενου αέρα. Ωστόσο στα μειονεκτήματα του συστήματος συμπεριλαμβάνεται το αυξημένο κόστος εγκατάστασης, συντήρησης και ο αυξημένος θόρυβος.



Εικόνα 12: Μικτό σύστημα εξάτμισης και παροχής (Russel et al., 2007)

Ο εξατμιζόμενος αέρας μπορεί και εδώ να διακριθεί σε συνεχής ή διακοπτόμενος, με το υποσύστημα συνεχούς εξάτμισης να απαιτεί επιπλέον ανεμιστήρα απομάκρυνσης του παλιού αέρα που λειτουργεί συνεχώς με υψηλότερο κόστος κατανάλωσης, ενώ το αντίστοιχο διακοπτόμενης εξάτμισης να ρυθμίζει λειτουργία του ανεμιστήρα με χρονοδιακόπτη εξοικονομώντας ενέργεια. (Russel, 2005)

Συμπερασματικά, ο μηχανικός αερισμός είναι εύλογο να αντιληφθούμε πως με την εξέλιξη των συστημάτων και των μεθόδων αξιοποίησής του μπορεί να συμβάλλει πολύ πιο

αποτελεσματικά στις συνολικές διεργασίες αερισμού ενός εσωτερικού χώρου απ' ότι ο φυσικός αερισμός, με αντάλλαγμα αυξημένο κόστος και μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Από τον 1^ο Θερμοδυναμικό Νόμο γνωρίζουμε η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας της συνολικής μάζας ενός συστήματος (ΔU) ισοδυναμεί με τη διαφορά θερμότητας που προσδίδεται προς το σύστημα (Q) και του μηχανικού έργου που παράγεται από αυτό (W).

$$Q - W = \Delta U$$

Ωστόσο από το 2^ο Θερμοδυναμικό Νόμο μπορούμε να αντιληφθούμε πως τα μεγέθη προσδιδόμενης θερμότητας και παραγόμενου έργου κατά τη διάρκεια θερμοκρασιακής μεταβολής δεν είναι ισοδύναμες «ποιοτικά» μορφές ενέργειας με τη θερμότητα να μην μετατρέπεται σε ισόποσο θερμοδυναμικό έργο και αντίστροφα. Συγκεκριμένα οι Kelvin – Planck διατύπωσαν πως:

“Είναι αδύνατον να κατασκευαστεί θερμική μηχανή, η οποία κατά τη διάρκεια πλήρους κυκλικής διεργασίας να έχει ως μοναδικό αποτέλεσμα την παραλαβή θερμότητας από μοναδικό θερμοδοχείο και την παραγωγή ισόποσου μηχανικού έργου, χωρίς την απόρριψη μέρους θερμότητας σε ψυχροδοχείο”.

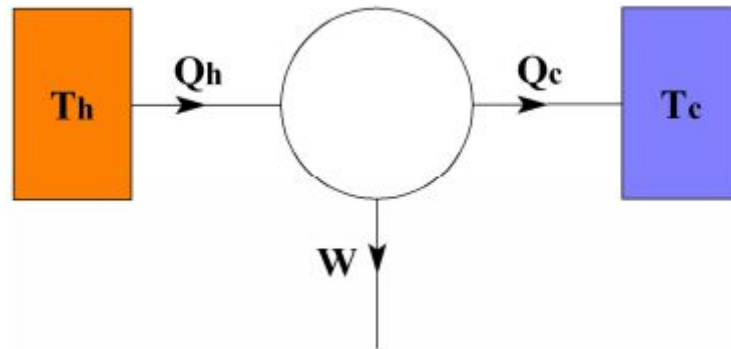
Η ισοδύναμη διατύπωση του Clausius για τη ψύξη αναφέρει πως:

“Είναι αδύνατον να κατασκευαστεί ψυκτική μηχανή, η οποία κατά τη διάρκεια πλήρους κυκλικής διεργασίας να έχει ως αποτέλεσμα την αφαίρεση θερμότητας από ψυχροδοχείο και τη απόρριψη ισόποσης θερμότητας σε θερμοδοχείο, χωρίς την πρόσδοση μηχανικού έργου”.

Επομένως είναι κατανοητό πως όλα τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης που είναι υπεύθυνα για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών στις κτιριακές εγκαταστάσεις διαφέρουν ανάλογα με τη διαφορά απόδοσής τους ως προς το πόση θερμότητα προσδίδεται ή αφαιρείται σε σχέση με την αντίστοιχη θερμότητα που απορρίπτεται αντίστοιχα. Είναι σημαντικό να έχουμε επίγνωση της συμπεριφοράς των θερμικών διεργασιών που ρυθμίζουν την απόδοση, καθώς ορίζουν το βαθμό με τον οποίο ένα σύστημα είναι ικανό να μετατρέψει τη θερμότητα σε έργο και κατ’ επέκταση να επηρεάσει άμεσα και σε μεγάλο βαθμό την ενεργειακή κατανάλωση.

5.1 Κύκλοι Carnot

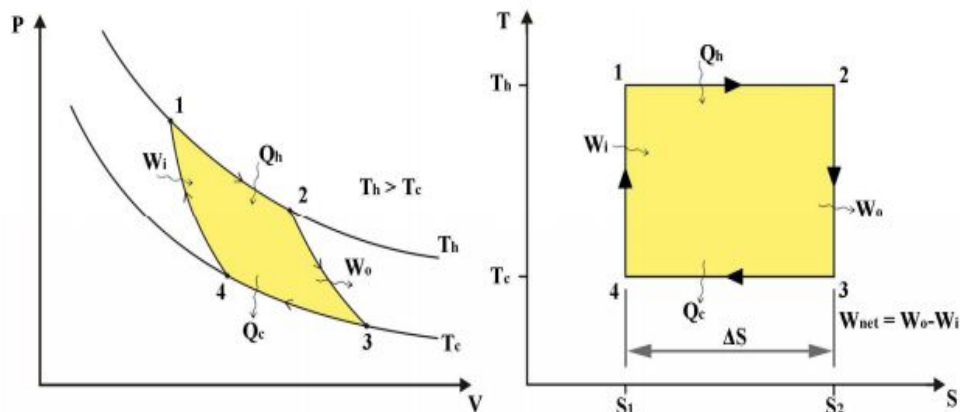
Οι θερμοδυναμικές κυκλικές διεργασίες που αποτυπώνουν το 2^ο θερμοδυναμικό νόμο περιγράφονται από τους αντιστρεπτούς κύκλους Carnot κατά τους οποίους ο συνδυασμός άντλησης και αποβολής θερμότητας οδηγεί στην παραγωγή έργου. Η διαδικασία περιγράφει την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ ίδιων θερμοδοχείων διαφορετικών θερμοκρασιών με αποτέλεσμα την παραγωγή έργου σε ένα κύκλο Carnot, όπως αποτυπώνεται στην Εικόνα 13



Εικόνα 13: Συναλλαγή θερμότητας και μηχανικού έργου σε κύκλο Carnot

Κάθε κύκλος Carnot περιγράφεται αναλυτικά μέσω διαγραμμάτων πίεσης-όγκου (P-V) και θερμοκρασίας εντροπίας (T-S) με διαδικασίες εκτονώσεων και συμπίεσεων για καταστάσεις ίσης θερμοκρασίας και ίσης εντροπίας.

Αρχικά, στα διαγράμματα της Εικόνας 14 παρατηρούμε τον κύκλο Carnot κατά τη θέρμανση με τις επιμέρους μεταβολές του. (Κατσαπράκης, 2015)



Εικόνα 14: Κύκλος Carnot θέρμανσης σε διαγράμματα P-V και T-S

- 1-2: Πραγματοποιείται ‘αναστρέψιμη ισοθερμοκρασιακή εκτόνωση’ κατά την οποία προσδίδεται θερμότητα Q_h για την παραγωγή έργου ως:

$$S_{12} = \left(\int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \right) \rightarrow S_2 - S_1 = \frac{Q_{12}}{T_h} \rightarrow Q_h = (S_2 - S_1) * T_h$$

- 2-3: Πραγματοποιείται ‘αναστρέψιμη ισεντροπική εκτόνωση’ κατά την οποία παράγεται το μηχανικό έργο χωρίς τη συναλλαγή θερμότητας μεταξύ συστήματος και περιβάλλοντος.

- 3-4: Πραγματοποιείται ‘αναστρέψιμη ισοθερμοκρασιακή συμπίεση’ όπου αποβάλλεται θερμότητα Q_c και καταναλώνεται μηχανικό έργο για τη συμπίεση ως:

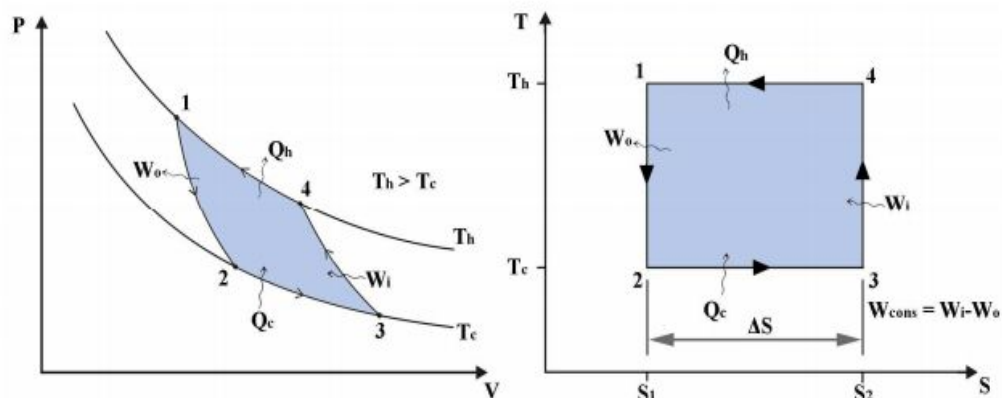
$$S_{34} = \left(\int_3^4 \frac{\delta Q}{T} \right) \rightarrow S_4 - S_3 = \frac{Q_{34}}{T_c} \rightarrow -Q_c = (S_4 - S_3) * T_c$$

- 4-1: Πραγματοποιείται ‘αναστρέψιμη ισεντροπική συμπίεση’ κατά την οποία καταναλώνεται επιπλέον μηχανικό έργο για τη συμπίεση του μέσου και την επαναφορά στην αρχική κατάσταση χωρίς τη συναλλαγή θερμότητας μεταξύ συστήματος και περιβάλλοντος.

Συνολικά, το έργο που παράγεται ισούται με το άθροισμα των διανυσματικών μεγεθών των θερμότητων ως:

$$W = Q_h - Q_c \rightarrow W = (S_2 - S_1) * (T_h - T_c)$$

Αντίστοιχα οι μεταβολές του κύκλου Carnot για την ψύξη φαίνονται στα διαγράμματα της Εικόνας 15, όπου εκτελείται με την αντίστροφη φορά ως ψυκτικός κύκλος. (Κατσαπράκης, 2015)



Εικόνα 15: Κύκλος Carnot ψύξης σε διαγράμματα P-V και T-S

- 1-2: Πραγματοποιείται ‘αναστρέψιμη ισεντροπική εκτόνωση’ κατά την οποία παράγεται το μηχανικό έργο χωρίς τη συναλλαγή θερμότητας μεταξύ συστήματος και περιβάλλοντος, όπως στο δεύτερο βήμα στον κύκλο θέρμανσης.
- 2-3: Πραγματοποιείται ‘αναστρέψιμη ισοθερμοκρασιακή εκτόνωση’ κατά την οποία απορροφάται θερμότητα Q_c για την παραγωγή έργου, όπως στο πρώτο βήμα κατά τη θέρμανση, ως:

$$S_{23} = \left(\int_2^3 \frac{\delta Q}{T} \right) \rightarrow S_3 - S_2 = \frac{Q_{23}}{T_c} \rightarrow Q_c = (S_3 - S_2) * T_c$$

- 3-4: Πραγματοποιείται ‘αναστρέψιμη ισεντροπική συμπίεση’ κατά την οποία καταναλώνεται επιπλέον μηχανικό έργο για τη συμπίεση του μέσου χωρίς τη συναλλαγή θερμότητας μεταξύ συστήματος και περιβάλλοντος.
- 4-1: Πραγματοποιείται ‘αναστρέψιμη ισοθερμοκρασιακή συμπίεση’ όπου αποβάλλεται θερμότητα Q_h και καταναλώνεται μηχανικό έργο για τη συμπίεση του μέσου και την επαναφορά στην αρχική κατάσταση ως:

$$S_{41} = \left(\int_4^1 \frac{\delta Q}{T} \right) \rightarrow S_4 - S_1 = \frac{Q_{41}}{T_h} \rightarrow Q_h = (S_4 - S_1) * T_h$$

Επομένως το μηχανικό έργο που παράγεται ισοδυναμεί με:

$$W = Q_h - Q_c \rightarrow W = (S_3 - S_2) * (T_h - T_c)$$

5.2 Συντελεστές απόδοσης συστημάτων

Μέσω των κύκλων Carnot για τις διεργασίες θέρμανσης και ψύξης είμαστε σε θέση να προσδιορίσουμε τόσο τα ποσά θερμότητας που απορροφάται ή αποβάλλεται αντίστοιχα, όσο και το παραγόμενο μηχανικό έργο. Από τα μεγέθη αυτά συμπεραίνουμε πόσο αποδοτικό είναι ένα σύστημα, μέσω του λόγου παραγόμενου μηχανικού έργου προς την απορροφούμενη θερμότητα κατά τη θέρμανση και μέσω του λόγου παραγόμενης ψυκτικής ισχύος προς το καταναλισκόμενο μηχανικό έργο κατά την ψύξη. Έχουμε:

$$\eta_c = \frac{W}{Q_h} \rightarrow \eta_c = 1 - \frac{T_c}{T_h} \quad \text{στον κύκλο θέρμανσης}$$

$$\eta_{cr} = \frac{Q_c}{W} \rightarrow \eta_{cr} = \frac{T_c}{T_h - T_c} \quad \text{στον κύκλο ψύξης}$$

Για να διατηρηθεί η έννοια του βαθμού απόδοσης ως μέγεθος έκφρασης του ποσοστού μετατροπής μια αρχικής διαθέσιμης μορφής ενέργειας σε μια τελική, χρησιμοποιούμε το ‘συντελεστή απόδοσης’ CoP (Coefficient of Performance), ενώ για την ψύξη χρησιμοποιείται ο ‘βαθμός ενεργειακής απόδοσης’ EER (Energy Efficient Ratio). (Κατσαπράκης, 2015)

Έχουμε για τη θέρμανση:

$$CoP = \frac{Qh}{W} = \frac{Th}{Th - Tc}$$

Και αντίστοιχα για την ψύξη:

$$EER = \frac{Qc}{W} = \frac{Tc}{Th - Tc}$$

Μέσα από του κύκλους Carnot οδηγούμαστε σε θεωρητικές τιμές των συντελεστών απόδοσης, οι οποίες δεν αντιπροσωπεύουν απαραίτητα την απόδοση συστημάτων σε πρακτικό επίπεδο. Για παράδειγμα, σε μια αντλία θερμότητας οι θεωρητικές τιμές των συντελεστών απόδοσης μπορούν φθάσουν σε πολύ υψηλές τιμές υπό ανάλογες συνθήκες ενώ στην πράξη κυμαίνονται μεταξύ 2 και 6. Στον Πίνακα 12, παρουσιάζονται οι βαθμοί απόδοσης των πιο βασικών συστημάτων που είναι υπεύθυνα για τη θέρμανση και την ψύξη ενός εσωτερικού χώρου.

Πίνακας 12: Βαθμοί απόδοσης βασικών συστημάτων

ΤΥΠΟΣ ΨΥΚΤΗ-ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΨΥΞΗ COP _{cool} - EER
ΑΕΡΟΨΥΚΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΕΡΑ-ΝΕΡΟΥ	2.8 – 3.2
ΑΕΡΟΨΥΚΤΗ ΑΜΕΣΟΥ ΕΚΤΟΝΩΣΕΩΣ – SPLIT TYPE	3.00 – 3.80
ΑΕΡΟΨΥΚΤΗ ΑΜΕΣΟΥ ΕΚΤΟΝΩΣΕΩΝ ΤΥΠΟΥ VRV - VRF	3.10 – 4.30
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ	4.00 – 5.00
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΤΥΠΟΥ VRV	4.10 – 4.90
ΤΥΠΟΣ ΨΥΚΤΗ-ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗ COP _{heat}
ΑΕΡΟΨΥΚΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΕΡΑ-ΝΕΡΟΥ	2.8 – 3.2
ΑΕΡΟΨΥΚΤΗ ΑΜΕΣΟΥ ΕΚΤΟΝΩΣΕΩΣ – SPLIT TYPE	3.30 – 4.00
ΑΕΡΟΨΥΚΤΗ ΑΜΕΣΟΥ ΕΚΤΟΝΩΣΕΩΝ ΤΥΠΟΥ VRV - VRF	3.70 – 4.55
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ	4.30 – 5.50
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΤΥΠΟΥ VRV	5.10 – 5.80

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ-ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ-ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

Ο όρος HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) αναφέρεται στο σύνολο των συστημάτων θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού που χρησιμοποιούνται σε κτίρια και οχήματα με στόχο την παροχή των κατάλληλων συνθηκών διαβίωσης για τον άνθρωπο. Αναλαμβάνουν τη ρύθμιση της θερμοκρασίας στα επιθυμητά επίπεδα και των ποσοστών υγρασίας στο χώρο, ώστε να υπάρχουν συνθήκες θερμικής άνεσης και υγιεινής. Ο σχεδιασμός τους βασίζεται στις αρχές της θερμοδυναμικής, της μηχανικής ρευστών και της μεταφοράς θερμότητας. Η επιλογή των συστημάτων γίνεται ανάλογα με τις ανάγκες του κτιρίου, που σχετίζονται κυρίως με το μέγεθος και τη χρήση του, παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται κατ' επέκταση ο πληθυσμός του. Τα HVAC περιλαμβάνουν και τεχνικές ψύξης (Refrigeration) γι' αυτό και πολλές φορές δηλώνονται ανεπίσημα ως HVACR. (Mustafaraj et al., 2010)

6.1 Λέβητας

Ο λέβητας είναι ένα κλειστό δοχείο στο οποίο μπορεί να θερμαίνεται ή και να βράζεται το νερό, το οποίο θα κυκλοφορήσει σε μορφή ζεστού νερού ή ατμού αντίστοιχα, για διεργασίες θέρμανσης ή ισχύος. Υπάρχουν δύο κατηγορίες λεβήτων που χρησιμοποιούνται για κατοικίες ή εμπορικά συστήματα θέρμανσης, οι λέβητες ζεστού νερού και οι λέβητες ατμού. Και οι δύο τύποι χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με θερμοσίφωνες, καλοριφέρ ή και γυμνούς σωλήνες για τη μεταφορά θερμότητας στο κτίριο μέσω μεταγωγής. Η πυροδότηση γίνεται κυρίως με την καύση πετρελαίου ή φυσικού αερίου.

Ο βαθμός απόδοσης (CoP) ενός λέβητα είναι μικρότερος του 1, και κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0,8 και 0,9. Αυτό σημαίνει πως είναι αδύνατον για την ενέργεια που παράχθηκε να μετατραπεί όλη σε ωφέλιμη, πράγμα που θα ήταν ιδανικό. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχουν αναπόφευκτες απώλειες καυσαερίων, θερμικές απώλειες λέβητα και απώλειες λόγω διακοπής λειτουργίας της εγκατάστασης που συγκεντρωτικά ξεπερνούν το ποσοστό του 10%. Για τη βελτίωση της απόδοσης, επιδιώκεται ισχυρή μόνωση στις σωληνώσεις και ελαχιστοποίηση του χρόνου αναμονής λειτουργίας. (Xi et al., 2007)

6.1.1 Λέβητας Ζεστού Νερού

Ένας λέβητας ζεστού νερού (Εικόνα 16) αποτελείται από έναν καυστήρα, μια πηγή ανάφλεξης, έναν ανεμιστήρα τροφοδοσίας, μια ειδική πυρίμαχη επένδυση για την προστασία του δαπέδου στο οποίο είναι τοποθετημένος, έναν εναλλάκτη θερμότητας, μια αντλία κυκλοφορίας, μια δεξαμενή διαστολής και τουλάχιστον ένα σώμα καλοριφέρ.



Εικόνα 16: Λέβητας ζεστού νερού φυσικό αερίου

Γενικότερα, ένα σύστημα θέρμανσης ελέγχεται από ένα θερμοστάτη ανεξάρτητα από το καύσιμο που καίγεται ή το αν παράγει ζεστό νερό ή ατμό. Ο θερμοστάτης μετρά τη θερμοκρασία στο δωμάτιο ή τα δωμάτια που απαιτούν θέρμανση και αν η ένδειξη είναι υπό του προκαθορισμένου ορίου σηματοδοτεί το σύστημα θέρμανσης για την παροχή επιπλέον θερμότητας. (Wu & Sin, 2012a)

Στα συστήματα ζεστού νερού, το νερό εντός του λέβητα διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία 180°F καθόλη τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης. Όταν ο θερμοστάτης δίνει σήμα για περισσότερη θερμότητα, η αντλία κυκλοφορίας ενεργοποιείται, επιτρέποντας την κυκλοφορία του ζεστού νερού στα καλοριφέρ των δωματίων. Όσο αφαιρείται θερμότητα από το νερό εντός των καλοριφέρ, η θερμοκρασία του πέφτει με τον καυστήρα να ανάβει ξανά για να επαναφέρει τη θερμοκρασία στους 180°F εντός του λέβητα. Επομένως, η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του καυστήρα αφορά την διατήρηση τη επιθυμητής θερμοκρασίας, ενώ η αντίστοιχη της αντλίας κυκλοφορίας αφορά τη διανομή της θερμότητας στα δωμάτια. (Wu & Sun, 2012b)

Πιο συγκεκριμένα στους λέβητες ζεστού νερού, όταν η θερμοκρασία πέσει υπό της επιθυμητής, ένας ειδικός ελεγκτής θα ξεκινήσει την καύση. Στους λέβητες καύσης πετρελαίου αυτό επιτυγχάνεται με μια αντλία καυσίμου που τραβά το υγρό καύσιμο από τη

δεξαμενή αποθήκευσης μέσω ενός φίλτρου, και αντλώντας το στο συγκρότημα του καυστήρα που βρίσκεται στο θάλαμο καύσης. Το συγκρότημα καυστήρα ψεκάζει το καύσιμο σε μια λεπτή ομίχλη, η οποία αναμιγνύεται με τον ωθούμενο αέρα από τον ανεμιστήρα τροφοδοσίας όσο το σύστημα ανάφλεξης δημιουργεί σπινθήρα. Η σπίθα αυτή πυροδοτεί το μίγμα αέρα. Μόλις ανάψει, η φλόγα διατηρείται σταθερή ωστόσο το σύστημα καύσης εξακολουθεί να επισφαλίζει συνεχή λειτουργία.

Η φλόγα κατευθύνεται με χρήση πυρίμαχων τούβλων προς τον εναλλάκτη θερμότητας και τους επαγωγείς στροβιλισμού. Αφού περάσουν από τον εναλλάκτη τα παραγόμενα αέρια καύσης κατευθύνονται σε μια στοίβα εξάτμισης (καμινάδα) που συνήθως διαπερνά το επίπεδο στέγης. Ο εναλλάκτης θερμότητας αποτελείται από μια σειρά συνδεδεμένων μεταλλικών σωλήνων που συγκρατούν το νερό και μια κυκλοφορητική αντλία το μετακινεί εντός του συστήματος. Όσο η φλόγα και τα καυσαέρια περνούν πάνω από τους σωλήνες του εναλλάκτη, το νερό στο εσωτερικό απορροφά θερμότητα η οποία αντλείται στα καλοριφέρ του χώρου για να απελευθερωθεί, πριν το νερό επιστρέφει στον εναλλάκτη θερμότητας για την επανάληψη της διαδικασίας. (Wu, 2013)

Για λέβητες ζεστού νερού καύσης φυσικού αερίου, σχεδόν όλα τα εξαρτήματα είναι ίδια εκτός από τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για την παροχή του καυσίμου στον καυστήρα. Ο θερμοαντής φυσικού αερίου δεν περιλαμβάνει αντλία καυσίμου από τη στιγμή που το μέσο δεν είναι υγρό. Αντίθετα περιλαμβάνει ειδική συνδεσμολογία στην παροχή μια βαλβίδα ρύθμισης πίεσης για τον έλεγχο της ροής του συμπιεσμένου αέρα. Η διαμόρφωση του καυστήρα είναι επίσης διαφορετική, καθώς το καύσιμο δεν χρειάζεται να ψεκασθεί πριν αναμιχθεί με αέρα. (EDF, 2009)

6.1.2 Λέβητας Ατμού

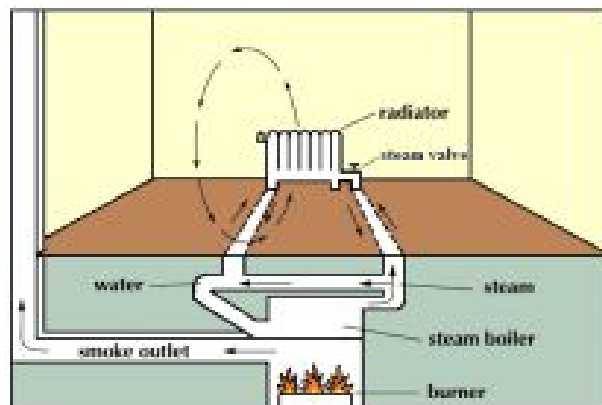
Ένας λέβητας ατμού (Εικόνα 17), αποτελείται εξίσου από έναν καυστήρα, μια πηγή ανάφλεξης, έναν ανεμιστήρα τροφοδοσίας, ειδική πυρίμαχη επένδυση προστασίας, εναλλάκτη θερμότητας, έναν ρυθμιστή για το νερό, μια αντλία επιστροφής συμπυκνωμάτων και τουλάχιστον ένα σώμα καλοριφέρ με βαλβίδα ελέγχου του ατμού.



Εικόνα 17: Λέβητας ατμού πετρελαίου

Στα συστήματα ατμού (Εικόνα 18), το νερό στο λέβητα διατηρείται επίσης στους 180°F, δηλαδή χαμηλότερα από την απαραίτητη θερμοκρασία παραγωγής ατμού. Η ένδειξη του θερμοστάτη για ανάγκη θερμότητας, ενεργοποιεί τον καυστήρα και αυτός ανεβάζει τη θερμοκρασία του νερού στο λέβητα στους 212°F παράγοντας ατμό. Ο ατμός διαπερνά το σύστημα κυκλοφορίας φθάνοντας στα καλοριφέρ των δωματίων. Τα συστήματα ατμού δεν διαθέτουν αντλία κυκλοφορίας και έτσι ο καυστήρας μπορεί να ενεργοποιηθεί ή να απενεργοποιηθεί αυτόματα τόσο για τη διατήρηση της θερμοκρασίας στους 180°F όσο και για την αύξησή της στους 212°F για την παραγωγή ατμού. (Crawley et al., 2000)

Οι λέβητες ατμού λειτουργούν όπως και οι λέβητες ζεστού νερού εκτός του ότι η έναρξη της καύσης ελέγχεται είτε από το θερμοστάτη ζεστού νερού, είτε από τη θερμοκρασία δωματίου, είτε από θερμοστάτη εξωτερικού αέρα. Μπορούν και κάψουν είτε υγρό μαζούτ είτε φυσικό αέριο με την επιλογή καυσίμου να ορίζει και το ανάλογο συγκρότημα καυστήρα.



Εικόνα 18: Σύστημα θέρμανσης με λέβητα ατμού και σώματα καλοριφέρ

Ένα διαφορετικό χαρακτηριστικό που διαχωρίζει του λέβητες ατμού αφορά το σχεδιασμό του εναλλάκτη θερμότητας και του θαλάμου καύσης, όπου στους λέβητες ατμού οι σωλήνες του εναλλάκτη περιβάλλουν το θάλαμο καύσης. Οι σωλήνες αυτοί είναι γεμάτοι νερό, αλλά υπάρχει πάνω από αυτό, χώρος συγκέντρωσης του ατμού ο οποίος διοχετεύεται από το εξαμιζόμενο νερό. Ο ατμός αυτός είναι ελαφρύτερος από τον αέρα και θα ανέλθει μέσω των σωλήνων για να διανεμηθεί στα καλοριφέρ των εσωτερικών χώρων χωρίς την ανάγκη κυκλοφορητικής αντλίας. (Yin et al., 2007) Στα σύγχρονα κτίρια, τα καλοριφέρ είναι εξοπλισμένα με χειροκίνητες βαλβίδες on-off για να καθοριστεί αν θα διαπεράσει ατμός ή όχι, ενώ επιπλέον βαλβίδες ελέγχουν και την ποσότητα ατμού για καλύτερο έλεγχο της θερμοκρασίας στο χώρο. Αφού ο ατμός προσδώσει την επιθυμητή θερμότητα στο χώρο μέσω των καλοριφέρ, συμπυκνώνεται σε νερό και απορροφάται πίσω στο λέβητα. (EDF, 2009)

6.1.3 Σύγκριση Συστημάτων με Λέβητα Ζεστού Νερού και Ατμού

Τόσο οι λέβητες ζεστού νερού όσο και οι λέβητες ατμού παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τα οποία καθορίζουν ποια κατηγορία συστήματος είναι κατάλληλη για κάθε τύπο κτιρίου και η επισημάνσή τους μπορεί να οδηγήσει σε συμπεράσματα σχετικά με τη συντήρηση και τη λειτουργικότητά τους.

Το ζεστό νερό παρέχει γενικότερα μια ομοιόμορφη κατανομή θερμότητας καθ' όλη την έκταση του κτιρίου από τη στιγμή που το νερό ωθείται στο σύστημα μέσω αντλιών κυκλοφορίας. Για ακόμη μεγαλύτερο έλεγχο είναι ωφέλιμο κάθε θερμική ζώνη εντός του κτιρίου να ελέγχεται από ξεχωριστό θερμοστάτη. Τα συστήματα είναι ιδιαίτερα αθόρυβα λόγω απουσίας αέρα στο εσωτερικό του κυκλώματος και απαιτούν μικρή συντήρηση λόγω περιορισμένου αριθμού κινούμενων τμημάτων. (Aynsley, 2014)

Ωστόσο, είναι αρκετά αργά στη διαδικασία παροχής θερμότητας και λόγω μικρού μεγέθους δεξαμενής και μπορούν να φθάσουν σε υψηλά ποσά κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της ισχύος που απαιτείται από τις αντλίες κυκλοφορίας για τη διασφάλιση της ροής του νερού στο κύκλωμα. Γενικότερα, δεν χρησιμοποιούνται σε κτίρια μεγάλου ύψους λόγω της υψηλής στατικής πίεσης νερού που αναπτύσσεται στο σύστημα, όμως θεωρούνται αξιόλογη επιλογή για χαμηλότερου ύψους κτίρια λόγω της αποτελεσματικότητάς τους.

Τα συστήματα ατμού έχουν μεγάλη χωρητικότητα αποθήκευσης θερμότητας καθώς απαιτείται αρκετή ενέργεια για τη μετατροπή του νερού σε ατμό, καθιστώντας τα αρκετά

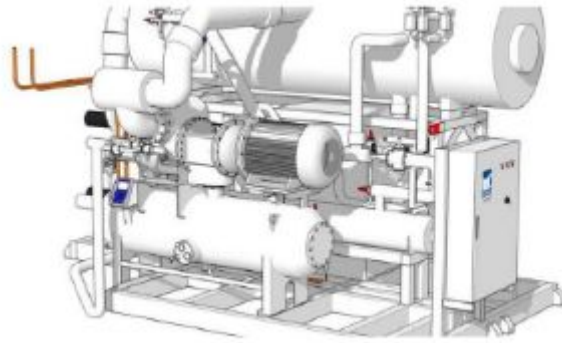
γρήγορα συστήματα στην απόδοση θερμότητας λόγω της αποθηκευμένης ενέργειας. Καταναλώνουν μικρά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας λόγω αξιοποίησης της φυσικής πλευστότητας του ατμού για τη διανομή χωρίς την ανάγκη ηλεκτρικών κυκλοφορικών αντλιών, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για κτιριακές μονάδες μεγάλου ύψους.

Ωστόσο, συχνά παράγουν ανομοιόμορφη θέρμανση στο κτίριο αφού δεν υπάρχει αντλία για να ωθεί τη θερμότητα στα καλοριφέρ, τα οποία θα πρέπει να έχουν μεγάλο μέγεθος για να εξασφαλίσουν όσο το δυνατόν περισσότερο την εξαγωγή θερμότητας από τον ατμό. Τα κτίρια που αξιοποιούν συστήματα θέρμανσης ατμού δεν είναι εύκολο να χωριστούν σε αρκετές θερμικές ζώνες όπως τα συστήματα θέρμανσης ζεστού νερού, δυσκολεύοντας τη διεξαγωγή αξιόπιστης και ομοιόμορφης παροχής θερμότητας. (Baldissera & Delprete, 2019) Από πλευράς θορύβου, τα συστήματα ατμού θεωρούνται αρκετά θορυβώδη λόγω ενός φαινομένου κατά το οποίο το νερό συμπυκνώνεται σε ένα οριζόντιο τμήμα του σωλήνα και αδυνατεί να επιστρέψει πίσω στο λέβητα. Όταν το σύστημα ενεργοποιηθεί ξανά, το νερό αυτό θα συναντήσει τον ερχόμενο ατμό και να περάσει μαζί του στα εξαρτήματα των σωληνώσεων δημιουργώντας ισχυρό θόρυβο. (EDF, 2009)

Συμπερασματικά, τα συστήματα ατμού είναι γενικότερα λιγότερο αποτελεσματικά απ'ότι τα συστήματα ζεστού νερού καθώς απαιτούν περισσότερο καύσιμο για τη θέρμανση ενός χώρου, ένα κόστος που μπορεί να αντισταθμιστεί από τις μειωμένες απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας.

6.2 Ψύκτης

Ο ψύκτης (Εικόνα 19) είναι μια μηχανή που απομακρύνει θερμότητα από ένα υγρό στοιχείο μέσω συμπίεσης ατμών ή απορρόφησης. Το ψυκτικό αυτό υγρό μπορεί να απομακρυνθεί από τον εξοπλισμό του συστήματος, να εξατμιστεί στην ατμόσφαιρα ή και να ανακτηθεί ως θερμότητα για εκ νέου ψύξη λειτουργώντας ως απαραίτητο υποπροϊόν και ενισχύοντας την απόδοση του συστήματος.



Εικόνα 19: Τυπική απεικόνιση ψύκτη

Ανάλογα με τον τύπο του μέσου διακρίνονται κυρίως σε ψύκτες νερού και αέρα, αποτελώντας τις δύο υψηλότερες κατηγορίες σε προτίμηση στη βιομηχανία. Στους ψύκτες νερού, ο ψύκτης γενικότερα ψύχεται από επιμέρους επαγόμενο πύργο ψύξης και το νερό που ψύχεται χρησιμοποιείται για ανάγκες ψύξης και αφύγρανσης του εσωτερικού χώρου. Οι ψύκτες νερού διακρίνονται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες (Pagliarini et al., 2014):

- Αερόψυκτοι
- Υδροψυκτοι
- Εξαμιζόμενης ψύξης

Ο συντελεστής απόδοσης (CoP) ενός ψύκτη κυμαίνεται πρακτικά μεταξύ 3 και 4, γεγονός που σημαίνει ότι παράγεται τριπλάσια ή και τετραπλάσια ισχύς από αυτή που του δίνεται, καθιστώντας τον ένα σύστημα υψηλής απόδοσης. Το γεγονός ότι έχουμε κέρδος απόδοσης με τιμές άνω της μονάδας ερμηνεύεται από τους αντίστροφους θερμοδυναμικούς κύκλους ψύξης.

Ο ρόλος ενός ψύκτη στο κομμάτι του κλιματισμού είναι να απομακρύνει τη θερμότητα και την υγρασία από τον εσωτερικό κλιματιζόμενο χώρο παρέχοντας συνθήκες άνεσης για τους χρήστες. Συγκεκριμένα στα κλιματιστικά συστήματα, το κρύο νερό διοχετεύεται σε τερματικές μονάδες που αναλαμβάνουν την ψύξη του αέρα και στη συνέχεια το νερό ανακυκλώνεται πίσω στον ψύκτη για να ψυχθεί εκ νέου καθώς θα έχει απορροφήσει τη θερμότητα του χώρου. Οι μονάδες αυτές μεταφέρουν αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα από τον αέρα στο κρύο νερό, ψύχοντας τον αέρα και απορροφώντας υγρασία.

Ένας ψύκτης αποτελείται από (Lovins, 2010)

- i. τον εξαμιστή
- ii. τον συμπυκνωτή

- iii. τον συμπιεστή
- iv. τη βαλβίδα διαστολής

Αρχικά ο εξατμιστής είναι μια συσκευή υπεύθυνη για τη μετατροπή μιας χημικής ουσίας υγρής μορφής, όπως το νερό, στην αντίστοιχη αέρια μορφή του (ατμός). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και διαφορετικός εξατμιστής για τη θέρμανση ή και το βρασμό ενός προϊόντος που περιέχει υγρό με σκοπό την εξάτμιση του υγρού από τον προϊόν, με τη διαδικασία αυτή να βρίσκει εφαρμογή σε περιπτώσεις απομάκρυνσης του νερού από άλλα υγρά μίγματα.

Ο συμπιεστής είναι υπεύθυνος για την αύξηση πίεσης στο αέριο μέσω μηχανολογικών διεργασιών. Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές χρησιμοποιούνται σε πλήθος χημικών βιομηχανικών διεργασιών και η απόδοσή τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του συστήματος, μια μεταβλητότητα που οδηγεί συχνά σε ψευδή συμπεράσματα απόδοσης. Οι συμπιεστές αερίων συμμετέχουν εκτός τις από διεργασίες ψύξης, και στην έγχυση, μεταφορά και την ανύψωση αερίων, καθώς και στην ενίσχυση μονάδων διαχωρισμού φρεόντος. (Akpinar & Akpinar, 2010)

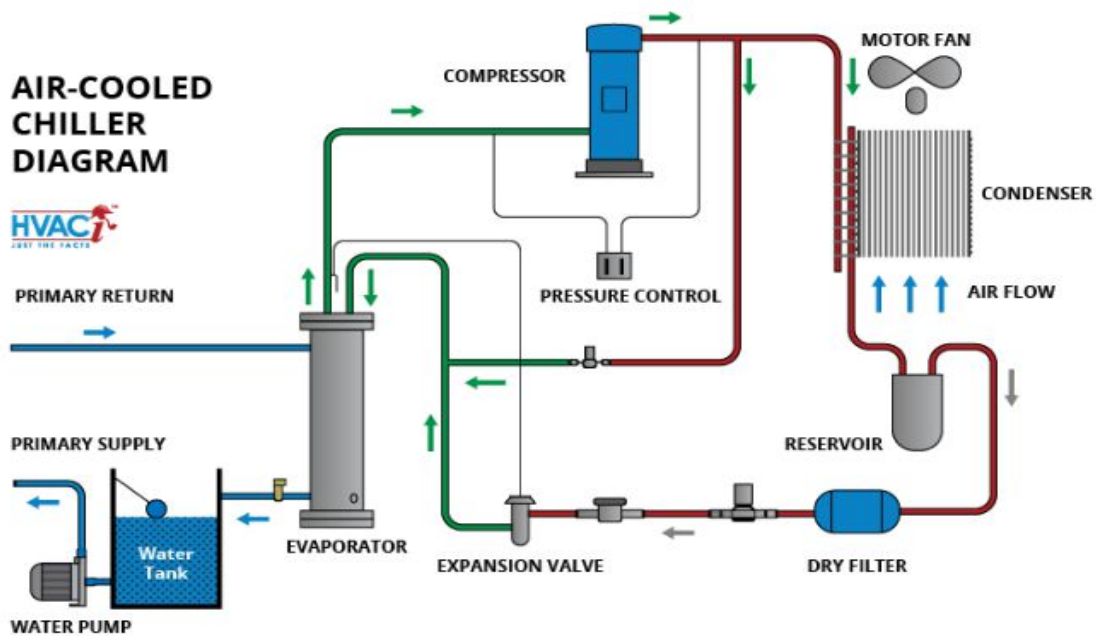
Οι συμπυκνωτές χρησιμοποιούνται σε διεργασίες ψύξης, απόσταξης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στην ψύξη συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται για την υγροποίηση του υψηλής πίεσης ψυκτικού αερίου.

Η βαλβίδα διαστολής ελέγχει τη ροή του ψυκτικού υγρού. Μόλις περάσει τη βαλβίδα το υγρό διογκώνεται σε πολύ χαμηλότερη πίεση και θερμοκρασία. Σε κυκλώματα άμεσης διαστολής, διακρίνονται σε θερμοστατικές και ηλεκτρονικές. (Kanat, 2020)

6.2.1 Αερόψυκτος Ψύκτης

Οι αερόψυκτοι ψύκτες απομακρύνουν τη θερμότητα με ανεμιστήρες που ωθούν τον αέρα σε εκτεθειμένους σωλήνες του συμπυκνωτή. Ο κύκλος ψύξης ξεκινά από τον εξατμιστή ο οποίος έχει το υγρό ψυκτικό που ρέει πάνω από τη δέσμη του σωλήνα του εξατμιστή όπου και εξατμίζεται. Κατά τη διαδικασία, θερμότητα απορροφάται από το κρύο νερό που κυκλοφορεί μέσω της δέσμης. Στη συνέχεια ο συμπιεστής τραβάει τον ψυγμένο ατμό από τον εξατμιστή και αναλαμβάνει την άντλησή του στον συμπυκνωτή, ο οποίος θα του αυξήσει τη θερμοκρασία και την πίεση. Το ψυκτικό συμπυκνώνεται όταν βρίσκεται στους σωλήνες

του συμπυκνωτή απελευθερώνοντας την εσωτερική του θερμότητα στον αέρα ή στο κρύο νερό. Έπειτα, το υγρό υψηλής πίεσης κινείται μέσω της συσκευής διαστολής στον εξατμιστή σε μια διαδικασία που θα του μειώσει εκ νέου τη θερμοκρασία και την πίεση. Ο κύκλος ολοκληρώνεται με το ψυκτικό να ρέει πίσω στις αρχικές μονάδες κρύου νερού για να απορροφήσει εκ νέου θερμότητα. (Kanat, 2020) Στην Εικόνα 20 (<https://www.hvacinvestigators.com>) βλέπουμε τον κύκλο ψύξης με χρήση αερόψυκτου ψύκτη.



Εικόνα 20: Διάγραμμα αερόψυκτου ψύκτη

6.2.2 Υδρόψυκτος Ψύκτης

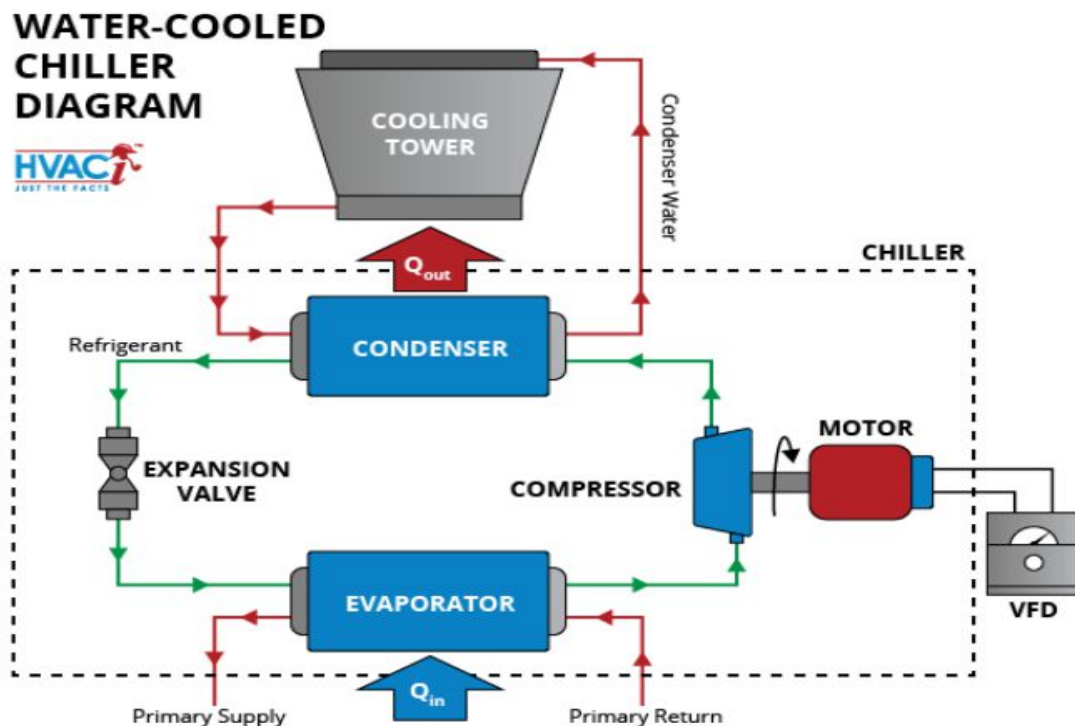
Πρόκειται για μια συσκευή υπεύθυνη για τη μεταφορά θερμότητας από ένα στοιχείο σε ένα άλλο, με την περισσότερη ενέργεια να καταναλώνεται για τη μεταφορά του ψυχρού αερίου από τον εξατμιστή που έχει χαμηλή πίεση προς τον συμπυκνωτή με υψηλή πίεση. Χαμηλώνοντας τη θερμοκρασία του νερού στο συμπυκνωτή, μειώνεται και η διαφορά πίεσης μειώνοντας έτσι τη συμβολή του συμπιεστή. (Dascalaki et al., 2012)

Ένας υδρόψυκτος ψύκτης χρησιμοποιεί ανακυκλώσιμο νερό συμπυκνωτή από ένα πύργο ψύξης για να επιτευχθεί η συμπύκνωση του ψυκτικού. Περιέχει ένα ψυκτικό που εξαρτάται από τη θερμοκρασία του νερού που εισέρχεται στο συμπυκνωτή καθώς και την ταχύτητα

ροής του, λειτουργώντας σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία υγρού βολβού του περιβάλλοντος. Δεδομένου ότι η θερμοκρασία υγρού βολβού είναι πάντα χαμηλότερη από την αντίστοιχη ξηρού βολβού, η θερμοκρασία και η πίεση συμπύκνωσης του ψυκτικού σε έναν υδρόψυκτο ψύκτη επηρεάζει σημαντικά λιγότερο απ' ό τι στους αερόψυκτους ψύκτες. (Kanat, 2020)

Ο πύργος ψύξης είναι μια συσκευή όπου το κρύο νερό έρχεται σε επαφή με τον αέρα του περιβάλλοντος για τη μεταφορά της απορριπτόμενης θερμότητας από το ψυκτικό μέσο στον αέρα. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι πύργων ψύξης. Τα συστήματα ανοιχτού κυκλώματος με άμεση επαφή του κεντρικού κυκλώματος κρύου νερού με τον αέρα, και τα συστήματα κλειστού κυκλώματος με έμμεση επαφή των δύο υγρών κατά μήκος τοίχων που λειτουργούν ως εναλλάκτες θερμότητας. Τα συστήματα ανοιχτού κυκλώματος μεταφέρουν κυρίως λανθάνουσα θερμότητα. (Chin et al., 2017)

Στην Εικόνα 21 (<https://www.hvacinvestigators.com>) βλέπουμε τον κύκλο ψύξης με χρήση υδρόψυκτου ψύκτη.



Εικόνα 21: Διάγραμμα υδρόψυκτου ψύκτη

6.2.3 Σύγκριση Συστημάτων Υδρόψυκτου και Αερόψυκτου Ψύκτη

Οι αερόψυκτοι ψύκτες έχουν χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης λόγω μικρότερου αριθμού εξοπλισμού και κατ' επέκταση χρειάζονται λιγότερη συντήρηση. Το σύστημά τους είναι αρκετά πιο απλό από πλευράς σχεδιασμού καθιστώντας περιττή την χρήση επιπλέον αντλιών στο συμπυκνωτή. Ωστόσο, είναι επιρρεπείς σε ζητήματα βλάβης, μπλοκαρίσματος της ροής και κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου. Επιπλέον η χρήση ανεμιστήρων στη δομή τους δημιουργεί συχνά ενοχλητικό θόρυβο. Είναι κατάλληλα για οικιακά και μικρού μεγέθους εμπορικά κτίρια, ωστόσο πλήθος αυτών μπορεί να λειτουργήσει συνδυαστικά για την κάλυψη αναγκών ψύξης μεγαλύτερης κλίμακας από το προκαθορισμένο όριο. (De BIASSE, 2010)

Αντίθετα οι υδρόψυκτοι ψύκτες έχουν υψηλότερη απόδοση από τους αερόψυκτους και λειτουργούν αρκετά πιο αθόρυβα. Είναι κατάλληλα τόσο για μεσαίου μεγέθους κτιριακές μονάδες, όσο και για μεγαλύτερα κτίρια εμπορικής χρήσης, διαθέτοντας και φορητές λύσεις για εγκαταστάσεις περιορισμένων χώρων. Ωστόσο, κοστίζουν αρκετά περισσότερο για τη εγκατάσταση και τη συντήρησή τους, ενώ η ανάγκη συνεχούς παροχής νερού για ψύξη τα καθιστά ακατάλληλα για κτίρια που βρίσκονται σε τοποθεσίες με έλλειψη νερού ή περιορισμούς. (Kanat, 2020)

Συμπερασματικά, οι υδρόψυκτοι ψύκτες λόγω μεγαλύτερης απόδοσης και πλεονεκτημάτων φιλικών προς το περιβάλλον είναι συχνά η πρώτης προτεραιότητας επιλογή από τους μηχανικούς.

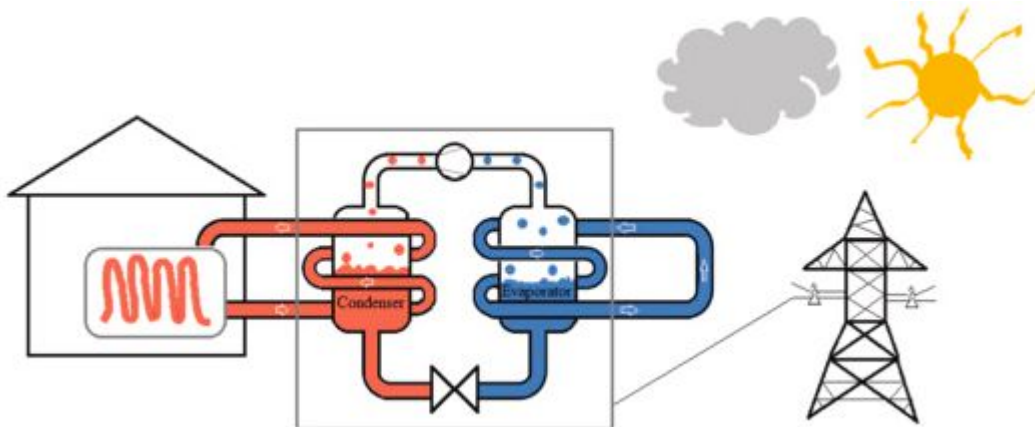
6.3 Αντλίες Θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας (Heat Pumps - HP), προωθούνται ως μια ελκυστική εναλλακτική λύση για του καταναλωτές να αντικαταστήσουν τα κλασικά συστήματα θέρμανσης ορυκτών καυσίμων. Προωθούνται ως συστήματα χαμηλής συντήρησης που προσφέρουν χαμηλότερο κόστος και συμβάλλουν στη μείωση του άνθρακα και στη βελτίωση της ποιότητας του τοπικού αέρα. Η χρήση αντλίας θερμότητας για θέρμανση μειώνει τη ζήτηση για μη ανανεώσιμων πηγών καύσιμα (ορυκτά ή πυρηνικά) συμβάλλοντας στη διασφάλιση ενέργειας. Πρόσθετα οφέλη προκύπτουν όταν ο ηλεκτρισμός που χρησιμοποιείται για την κίνηση των αντλιών θερμότητας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε).

Ως προς τη λειτουργία τους, χαρακτηρίζονται ως συσκευές που μεταφέρουν θερμότητα από μια περιοχή χαμηλής θερμοκρασίας σε μια περιοχή υψηλής θερμοκρασίας, εκτελώντας τον

αντίστροφο κύκλο από έναν κινητήρα θερμότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μικρής ποσότητας ηλεκτρισμού για την άντληση ψυκτικού υγρού μέσω του συστήματος και κατ' επέκταση για τη μεταφορά της θερμότητας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση ή ψύξη του χώρου, καθώς και για τη θέρμανση νερού χρήσης. (Kokogiannakis et al., 2008)

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 22 η αντλία θερμότητας μέσω ενός συμπιεστή κατευθύνει το ψυκτικό μεταξύ του εξατμιστή και του συμπυκνωτή, χρησιμοποιώντας μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο παροχής. Καθώς περνά από τον εξατμιστή (μπλε) απορροφά θερμότητα από το γύρω περιβάλλον του, αλλάζοντας κατάσταση από υγρό σε αέριο. Ο συμπιεστής στη συνέχεια μετακινεί το ψυκτικό αέριο χαμηλής πίεσης στο συμπυκνωτή (κόκκινο) όπου συμπιέζεται σε αέριο υψηλής πίεσης. Η θερμότητα που απορροφάται στο στάδιο της εξάτμισης απελευθερώνεται παρέχοντας θερμότητα στα ανάλογα τερματικά. Καθώς το υγρό υψηλής πίεσης προσδίδει θερμότητα, ο ατμός στη συνέχεια συμπυκνώνεται σε υγρό υψηλής πίεσης. Στο τελευταίο στάδιο το υγρό υψηλής πίεσης εκτείνεται στη βαλβίδα διαστολής επιτρέποντας στο ψυκτικό να γίνει υγρό χαμηλής πίεσης, προετοιμάζοντας το για τον επόμενο κύκλο. (Ohashi et al., 2007)



Εικόνα 22: Σχηματική απεικόνιση αντλίας θερμότητας

Η αποδοτικότητα μιας αντλίας θερμότητας μετριέται με το δείκτη CoP ως λόγος ενέργειας που καταναλώνεται ως προς την αντίστοιχη που αντλείται. Η εποχική απόδοση μιας αντλίας θερμότητας λαμβάνει υπ' όψιν πόσο καλά λειτουργεί ολόκληρο το σύστημα για μια χρονική περίοδο. Είναι ένας σταθμισμένος μέσος όρος του CoP σε μια περίοδο πλήρους θέρμανσης, δηλαδή η απόδοση της αντλίας θερμότητας σε τυπικές συνθήκες λειτουργίας σταθμισμένη με τον αριθμό των ημερών κατά τις οποίες συμβαίνουν, σε ένα καθορισμένο όριο του συστήματος θέρμανσης. Το προκύπτον μέτρο είναι ο εποχιακός συντελεστής απόδοσης

(Seasonal Coefficient of Performance - SCOP), ή εποχιακός παράγοντας απόδοσης (Seasonal Performance Factor - SPF). Αυτό επιτρέπει τον καθορισμό μιας σημαντικής ενεργειακής ετικέτας για τον οικολογικό σχεδιασμό. (Carrol et al., 2020)

6.3.1 Αερόψυκτες αντλίες θερμότητας

Οι αερόψυκτες αντλίες θερμότητας (Air-Source Heat Pumps - ASHP) εξάγουν ενέργεια από τον εξωτερικό αέρα. Διακρίνονται σε συστήματα αέρα/νερού τα οποία χρησιμοποιούν ένα υδρονικό σύστημα για τη διανομή της θερμότητας μέσω καλοριφέρ τοίχου ή υποδαπέδιων σωλήνων, και στα συστήματα αέρα/αέρα τα οποία διανέμουν τη θερμική ενέργεια στο κτίριο μέσω αεραγωγών. Μπορούν να λειτουργούν σε περίβλημα υψηλής πυκνότητας όπου η εγκατάσταση γεωθερμικών αντλιών θα ήταν ανέφικτη, προσφέροντας σημαντικές δυνατότητες για σχέδια μετασκευής. Ωστόσο η εκτεθειμένη θέση της εξωτερικής μονάδας τις αφήνει σε κίνδυνο παγετού κυρίως στα υγρά και κρύα κλίματα, με τον κίνδυνο να μειώνεται τοποθετώντας τις σε προστατευμένη ή εκτεθειμένη στον ήλιο περιοχή. (Carrol et al., 2020)

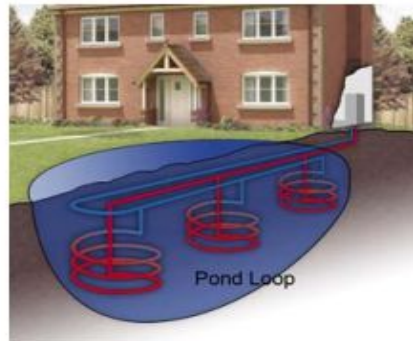
6.3.2 Υδροψυκτες Αντλίες Θερμότητας

Η κατηγορία αυτή (Water-Source Heat Pumps - WSHP) αξιοποιεί φυσικές πηγές νερού για να ζεστάνει το ψυκτικό υγρό. Το σώμα του νερού λειτουργεί ως δεξαμενή απόρριψης θερμότητας για ψύξη το καλοκαίρι και πηγή θερμότητας για θέρμανση το χειμώνα. Η σταθερή θερμοκρασία των υπόγειων υδάτων επιτρέπει στα συστήματα να φθάσουν υψηλότερες τιμές CoP από τις ASHP. Ωστόσο οι γεωγραφικές τοποθεσίες των υδάτινων σωμάτων, οι δυσκολίες στην εκτίμηση πιθανής μεταφοράς θερμότητας σε σχέση με τα ρεύματα του νερού και πιθανά ζητήματα καθίζησης με γεώτρηση περιορίζουν την πρόσληψη για αστική χρήση. (Carrol et al., 2020)

Η συλλογή της θερμότητας από τις πηγές νερού πραγματοποιείται μέσω σωλήνων που σχηματίζουν βρόγχους, των οποίων η τοποθέτηση τις διακρίνει σε:

Κλειστού βρόγχου

Τοποθετούνται κυρίως σε λίμνες (Εικόνα 23) και αποτελούν ιδιαίτερα οικονομική λύση καθώς δεν απαιτούν κάποιας μορφής γεώτρηση ή επεξεργασία του περιβάλλοντα χώρου. Ωστόσο χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή καθώς εάν ο συλλέκτης αντλεί συνεχώς υπερβολική θερμότητα από το νερό, μπορεί να μειώσει σημαντικά τη συνολική θερμοκρασία του διαταράσσοντας το φυσικό οικοτόπο. (Callahan, 2019)



Εικόνα 23: Σύστημα κλειστού βρόγχου υδρόψυκτης αντλίας θερμότητας

Ανοιχτού βρόγχου

Τοποθετούνται κυρίως σε πηγές και υπόγεια νερά απορροφώντας θερμότητα και στη συνέχεια διοχετεύουν το κρύο νερό σε άλλο τμήμα νερού ή πηγή. Είναι ιδιαίτερα αποδοτικά συστήματα και εκμεταλλεύονται την καθ' όλη τη διάρκεια του έτους σταθερή θερμοκρασία του νερού της πηγής. Η επιφάνεια του νερού είναι ψυχρότερη το χειμώνα και το σύστημα απαιτεί λιγότερη ενέργεια για την αύξηση της θερμοκρασίας του ερχόμενου νερού μέχρι να φθάσει την επιθυμητή θερμοκρασία θέρμανσης ή ζεστού νερού. (Ground Source Heat Pumps, 2010)

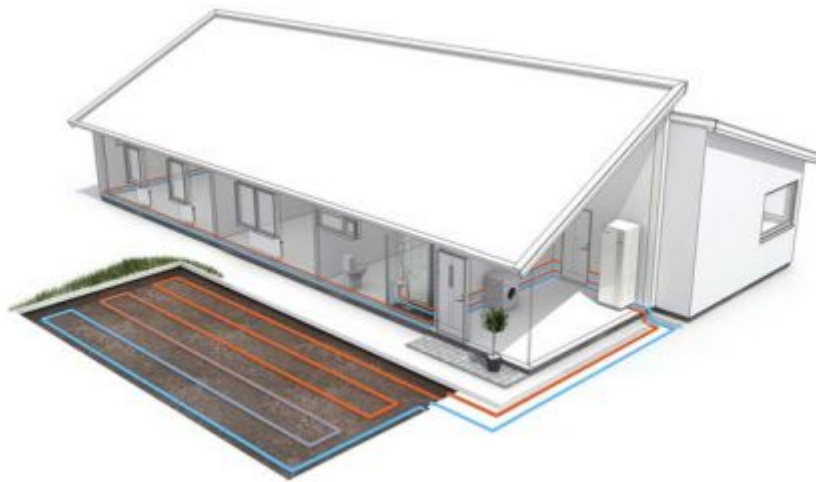
6.3.3 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Είναι γνωστές και ως γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (Ground-Source Heat Pumps - GSHP) που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξοικονομώντας μεγάλο τμήμα των καθημερινών μας αναγκών ετησίως. Λειτουργούν όπως και οι υδρόψυκτες με εξαίρεση ότι η πηγή θερμότητας είναι ο φλοιός της γης αντί τοπικών υδάτων. Σε αυτή την κατηγορία, η ανάλογη θερμότητα απορροφάται ή απορρίπτεται κάτω από το έδαφος αξιοποιώντας τη

σταθερή του θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, με τη βοήθεια ενός γεωθερμικού εναλλάκτη ο οποίος αποτελείται από σωλήνες τοποθετημένους κάτω από το έδαφος. Ο δεύτερος εναλλάκτης μπορεί να έχει ως ψυκτικό μέσο νερό ή αέρα και είναι υπεύθυνος για την παροχή θέρμανσης ή ψύξης στο εσωτερικό του κτιρίου. Η τοποθέτηση ενός πρόσθετου εναλλάκτη στο κύκλωμα ψύξης καθιστά εφικτή και την παροχή ζεστού νερού. Μπορούν να είναι ανοιχτού ή κλειστού βρόγχου, οριζόντιες ή κατακόρυφες με τους δημοφιλέστερους συνδυασμούς να είναι (Sarkar & Bose, 2015):

Οριζόντιου βρόγχου

Ένα οριζόντιο σύστημα βρόγχου (Εικόνα 24) είναι δημοφιλές σε εγκαταστάσεις όπου το έδαφος είναι κατάλληλο για όρυγμα. Η εγκατάστασή του ενδέχεται να μην είναι δυνατή εάν η βάση του έχει απόσταση μικρότερη του 1,5 μέτρου από την επιφάνεια ή εάν υπάρχουν μεγάλες πέτρες. Ο βρόγχος τοποθετείται στο βάθος του ρηχού ορύγματος, συνήθως μεταξύ 1 με 2 μέτρων για να φθάσει αρκετά χαμηλότερα από το επίπεδο παγετού του εδάφους.

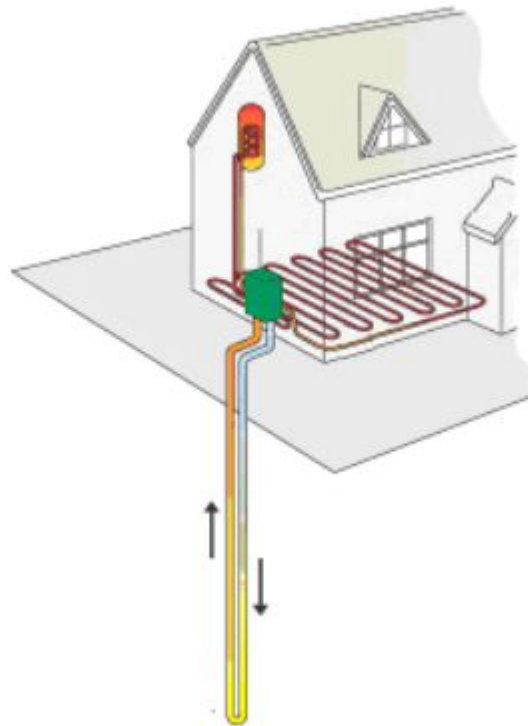


Εικόνα 24: Γεωθερμική αντλία θερμότητας οριζόντιου κλειστού βρόγχου

Κατακόρυφου βρόγχου

Στα συστήματα αυτά εγκαθίστανται ειδικοί σωλήνες σχήματος 'U' σε κατακόρυφα διατρήματα στο έδαφος και αξιοποιούνται σε περιοχές περιορισμένης έκτασης γης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 25. Σε κτίρια υψηλών απαιτήσεων θερμότητας, πραγματοποιούνται πρόσθετες γεωτρήσεις για την εγκατάσταση περισσότερων κατακόρυφων βρόγχων για συνδυαστική λειτουργία, με την επιλογή να εξαρτάται από το πλήθος των ψυκτικών και

θερμικών του φορτίων, τον υδραυλικό σχεδιασμό των συστοιχιών του και τις τοπικές γεωλογικές συνθήκες της περιοχής. Το βάθος της γεώτρησης μπορεί να διαφέρει αλλά τυπικά κυμαίνεται μεταξύ 50 και 100 μέτρων. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο κατακόρυφων βρόγχων στην ίδια εγκατάσταση κυμαίνεται μεταξύ 5 και 10 μέτρων. (Ground Source Heat Pumps, 2010)



Εικόνα 25: Γεωθερμική αντλία θερμότητας κατακόρυφου βρόγχου

Μέσω γεωθερμικής αντλίας θερμότητας μπορούμε να εξοικονομήσουμε ως 70% των καθημερινών μας αναγκών για την ετήσια ενέργεια θέρμανσης και παροχής ζεστού νερού. Ο βαθμός απόδοσής τους είναι σταθερός ανεξαρτήτως εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος και κυμαίνεται από 4 ως 6, καθιστώντας τα ιδιαίτερα αποδοτικά συστήματα. Ωστόσο λόγω άμεσης ανάγκης αξιοποίησης του εδάφους, καθίστανται ακατάλληλα για εγκατάσταση σε αστικές περιοχές. (Sarkar & Bose, 2015)

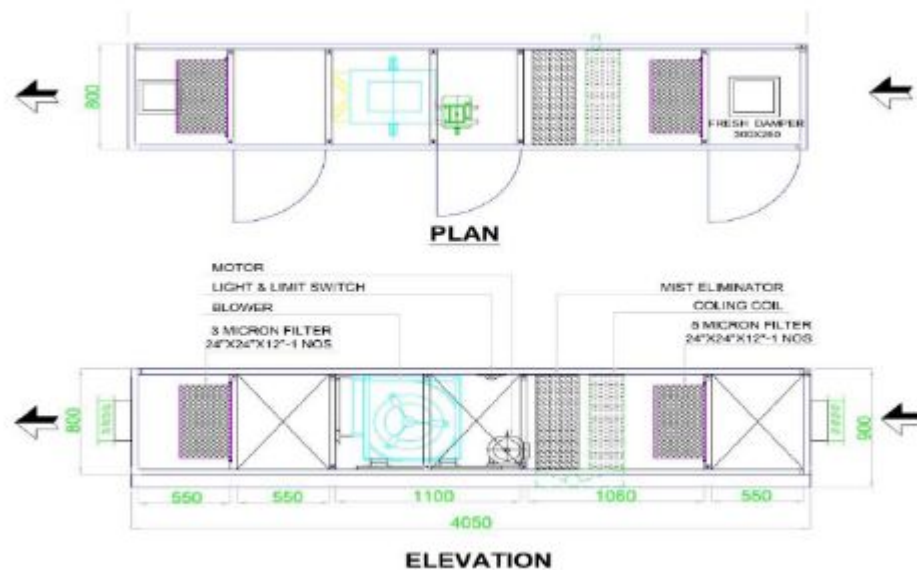
6.4 Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα (ΚΚΜ)

Η Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα (ΚΚΜ) αποτελεί μια από τις σημαντικότερες εξοπλιστικές μονάδες ενός HVAC συστήματος σε μεγαλύτερου μεγέθους κτιριακές μονάδες που διαχειρίζεται τον αέρα ώστε να έχει κατάλληλες τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας για να προσαχθεί στον εσωτερικό χώρο μέσω ειδικών αγωγών εξαερισμού με τους οποίους είναι συνδεδεμένη, παρέχοντας στους χρήστες ιδανικές συνθήκες υγιεινής και θερμικής άνεσης. Τοποθετείται συνήθως σε υπόγεια ή ταράτσες. Γενικότερα σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα HVAC μπορεί να αναλάβει διεργασίες φιλτραρίσματος, ψύξης, θέρμανσης, ύγρανσης και αφύγρανσης του αέρα. Πέραν του εξωτερικού κατασκευασμένου από ατσάλινο πλαίσιο μονωμένου περιβλήματος, περιλαμβάνει (Xi et al., 2007):

- τον ανεμιστήρα, με τον κύριο φυγοκεντρικό ανεμιστήρα να είναι υπεύθυνος για την κυκλοφορία του αέρα στα διάφορα τμήματα του κτιρίου. Οι βασικοί τύποι ανεμιστήρων είναι με εμπρόσθια ή οπίσθια ανύψωση, με εμπρόσθια ή οπίσθια καμπύλη, ή με αεροτομή, με την επιλογή να εξαρτάται από τον όγκο του αέρα και την απαραίτητη στατική πίεση για τη λειτουργία του συστήματος. Η ταχύτητα του ανεμιστήρα ποικίλει χρησιμοποιώντας μετατροπέα συχνότητας ο οποίος παρέχει καλύτερο έλεγχο ταχύτητας αντί του απλού συμβατικού κινητήρα, μια μετατροπή που συνδυάζει υψηλή απόδοση και φιλικότητα προς το περιβάλλον.
- το πηνίο ψύξης, που είναι υπεύθυνο για την ψύξη απομακρύνοντας αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα από τον αέρα, καθώς και την αφύγρανση του αέρα. Το ψυκτικό μέσο μπορεί να είναι κρύο νερό ή και ψυκτικό υγρό με το ψυκτικό πηνίο να λειτουργεί ως εξατμιστής. Υπάρχουν συχνά και πηνία προθέρμανσης και επαναθέρμανσης τοποθετημένα σε σειρά.
- τα φίλτρα, υπεύθυνα για την απομάκρυνση μολυσματικών ουσιών διαφόρων μεγεθών από τον αέρα, των οποίων ο τύπος (απλά ή υψηλής απόδοσης) εξαρτάται από την εφαρμογή του συστήματος
- το κουτί μίξης, που διαθέτει εισόδους αέρα που είναι προσαρτημένοι στους αποσβεστήρες θορύβου. Εδώ, ο εξωτερικός αέρας και ο αέρας επιστροφής αναμιγνύονται για την παροχή της σωστής αναλογίας αέρα που θα προσαχθεί στο χώρο

Η ΚΚΜ (Εικόνα 26) αρχικά αντλεί καθαρό αέρα από το περιβάλλον, το οποίο θα περάσει από τα φίλτρα καθαρισμού και θα αναμιχθεί με επιστρεφόμενο αέρα του δωματίου. Στη

συνέχεια θα εισέλθει από το ψυκτικό πηνίο και άλλα φίλτρα, όπου θα μειωθεί η θερμοκρασία του. Ο επεξεργασμένος αέρας θα εισέλθει ξανά από τα τελικά φίλτρα καθαρισμού και θα φτάσει στις τερματικές μονάδες όπου θα διοχετευθεί στον εσωτερικό χώρο επιτυγχάνοντας αραίωση της συγκέντρωσης των σωματιδίων στο δωμάτιο. Ο αέρας επιστροφής παραλαμβάνεται από επίπεδο μικρής απόστασης από το δάπεδο μέσω ανυψωτικών μέσων εγκατεστημένων σε κατάλληλα σημεία των τοίχων, και αποστέλλεται πίσω στην ΚΚΜ για ανακυκλοφορία και εκ νέου φιλτράρισμα. (Bhagat & Teli, 2017)



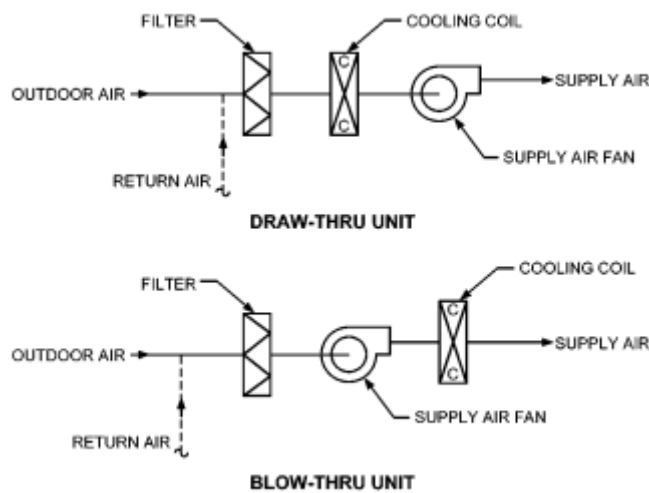
Εικόνα 26: Κάτοψη Κεντρικής Κλιματιστικής Μονάδας

Ανάλογα με την τοποθέτηση του ανεμιστήρα παροχής τους διακρίνονται σε (Crawley et al., 2000):

- **Draw-Through**, όπου ο ανεμιστήρας τοποθετείται πριν το ψυκτικό πηνίο και ο αέρας προωθείται προς αυτό. Τα συστήματα που τις χρησιμοποιούν παρέχουν συνήθως πιο ομοιόμορφη κατανομή αέρα σε όλα τα μέρη του πηνίου. Ωστόσο προστίθεται επιπλέον θερμότητα από τον ανεμιστήρα στο ρεύμα του αέρα, μετά τη διέλευσή του από το πηνίο, που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν για τον υπολογισμό της επιθυμητής θερμοκρασίας του αέρα παροχής. Τα συστήματα αυτά παρέχουν πιο αποτελεσματική αφύγρανση για μια δεδομένη θερμοκρασία του αποχωρούμενου αέρα, επειδή υπερψύχουν τον αέρα και τον αναθερμαίνουν με τη θερμότητα του ανεμιστήρα.

- **Blow-Through**, όπου ο ανεμιστήρας τοποθετείται μετά το ψυκτικό πηνίο. Τα συστήματα που τις χρησιμοποιούν χρειάζονται αυξημένη προσοχή από πλευράς σχεδίασης, καθώς κρουστικά φαινόμενα στην έξοδο του ανεμιστήρα τροφοδοσίας μπορεί να συγκεντρώσει μεγάλο ποσοστό του αέρα παροχής σε μικρό ποσοστό των χαμηλότερων τμημάτων του ψυκτικού πηνίου. Έχουν μεγαλύτερο μήκος με τη διάταξη του ανεμιστήρα να επιτρέπει στο ψυκτικό πηνίο να απομακρύνει τη θερμότητα του ανεμιστήρα από το σύστημα. Η επιλογή τους είναι απαραίτητη όπου χρησιμοποιούνται εναλλάκτες θερμότητας φυσικού αερίου για θέρμανση. (ASHRAE, 2017)

Στην Εικόνα 27 βλέπουμε σε σχηματική απεικόνιση τη διάταξη των δύο κατηγοριών.



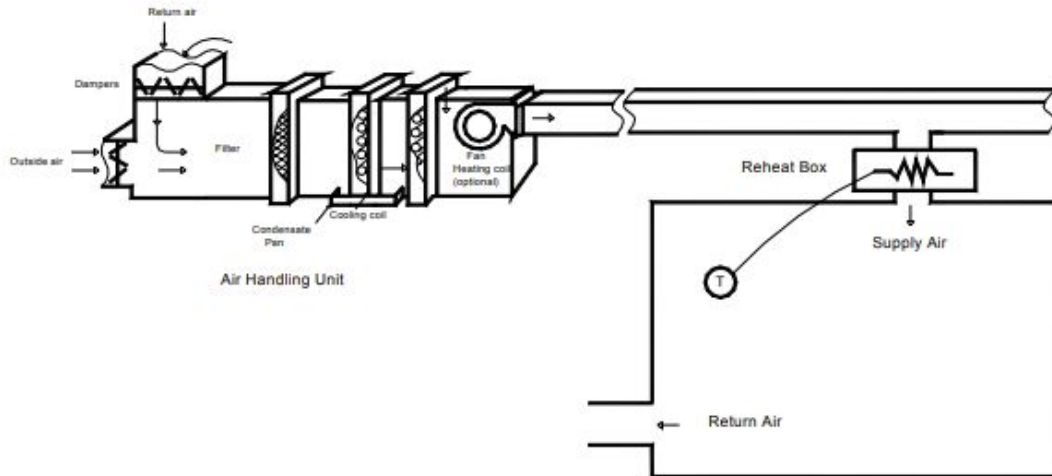
Εικόνα 27: Blow-Through και Draw-Through ΚΚΜ

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι συστημάτων αξιοποίησης μιας κεντρικής κλιματιστικής μονάδας. Το σύστημα παροχής σταθερού όγκου αέρα που διοχετεύει αέρα στο χώρο ανεξαρτήτως θερμοκρασιακών συνθηκών και το σύστημα παροχής μεταβλητού όγκου αέρα που ρυθμίζει τη ροή της παροχής ανάλογα με το πλήθος των φορτίων στο χώρο.

6.4.1 Συστήματα Παροχής Σταθερού Όγκου Αέρα

Τα συστήματα παροχής σταθερού όγκου αέρα (Constant Air Volume - CAV) βασίζονται στην αρχή παροχής σταθερού όγκου αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο με τη θερμοκρασία του αέρα παροχής να ποικίλλει ανάλογα ανάλογα με το πλήθος των φορτίων χώρου. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτού του τύπου συστήματος είναι ότι είναι αρκετά απλά στο σχεδιασμό,

την εγκατάσταση και τη λειτουργία τους με αρκετά υψηλό βαθμό ευελιξίας. Τα συστήματα CAV τύπου θερματικής επαναθέρμανσης (Εικόνα 28) προσφέρουν επιπλέον έλεγχο των συνθηκών της θερμικής ζώνης για χώρους άνισων φορτίων χώρου με ενσωμάτωση ειδικών θερματικών πηνίων υπεύθυνων για την επαναθέρμανση του αέρα. (Tebal & Pinang, 2005)

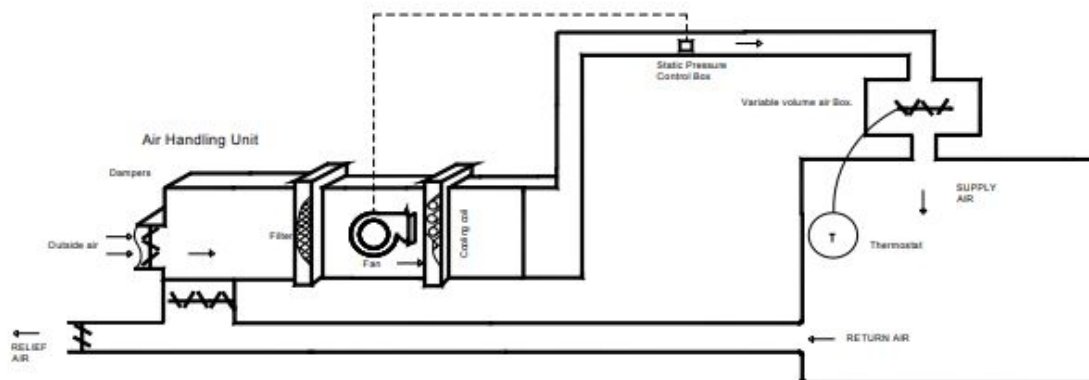


Εικόνα 28: Σύστημα CAV με θερματικές μονάδες επαναθέρμανσης

Μπορούν να χρησιμοποιούν έναν αγωγό, για την παροχή σε μια θερμική ζώνη ή σε περισσότερες με θερματικά επαναθέρμανσης, καθώς και δύο αγωγούς χρησιμοποιώντας ανεμιστήρα τροφοδοσίας, με ή χωρίς επαναθέρμανση. (ASHRAE, 2017)

6.4.2 Συστήματα Παροχής Μεταβλητού Όγκου Αέρα

Στα συστήματα παροχής μεταβλητού όγκου αέρα (Variable Air Volume - VAV) της Εικόνας 29, εξωτερικός αέρας και αέρας επιστροφής αναμιγνύονται εντός της κεντρικής κλιματιστικής μονάδας και περνούν από ψυκτικό πηνίο για να αφυγραθούν, να ψυχθούν και να διοχετευθούν μέσω των αγωγών παροχής στον κλιματιζόμενο χώρο. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται μια θερματική συσκευή για κάθε θερμική ζώνη, προγραμματισμένη να μεταβάλλει τον όγκο του κρύου αέρα που μεταφέρεται στο χώρο σύμφωνα με τις ενδείξεις του θερμοστάτη. (Tebal & Pinang, 2005)



Εικόνα 29: Σύστημα VAV

Σε συστήματα με έναν αγωγό, αν και η θερμοκρασία του αέρα τροφοδοσίας μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με την εποχιακή περίοδο, πρέπει πάντα να είναι αρκετά χαμηλή για να ανταποκριθεί στο φορτίο ψύξης της πιο απαιτητικής θερμικής ζώνης και να διατηρήσει την κατάλληλη υγρασία. Μπορούν να εφαρμοστούν σε εσωτερικές ή περιμετρικές ζώνες, με κοινούς ή ξεχωριστούς ανεμιστήρες, με κοινό ή ξεχωριστό θερμοκρασιακό έλεγχο, με ή χωρίς βοηθητικές συσκευές θέρμανσης. Τα συστήματα δύο αγωγών συνδυάζουν παροχή ζεστού και κρύου αέρα με ποικιλία όγκων, περιλαμβάνοντας ειδικές τερματικές μονάδες ενός αγωγού συνδεδεμένες στο σύστημα αεραγωγών διανομής κρύου αέρα για την ψύξη των εσωτερικών χώρων, με τον αγωγό κρύου αέρα να εξυπηρετεί τα περιμετρικά σημεία σε συνδυασμό με τον αγωγό ζεστού αέρα. Έτσι υπάρχει εξοικονόμηση ενέργειας που θα απαιτούνταν για επαναθέρμανση του αέρα που προορίζεται για τις προς ψύξη ζώνες, επειδή ο θερμοκρασιακός έλεγχος πραγματοποιείται μέσω μεταβολής του όγκου και όχι μέσω της θερμοκρασίας του αέρα παροχής, εξοικονομώντας και επιπλέον ενέργεια από τον ανεμιστήρα ο οποίος δε θα λειτουργεί όταν η ροή αέρα ισοδυναμεί με τα φορτία στο χώρο. Για τις διεργασίες αυτές, μπορούν να χρησιμοποιούν έναν ανεμιστήρα και για τα δύο πηνία θέρμανσης και ψύξης ή δύο ανεμιστήρες έναν για το κάθε πηνίο ξεχωριστά. (ASHRAE, 2017)

6.4.3 Σύγκριση Συστημάτων CAV και VAV

Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο συστημάτων βρίσκεται στην εξοικονόμηση ενέργειας με τα συστήματα VAV να εξοικονομούν έως και 30% περισσότερη ενέργειας καθώς μεταβάλλουν τον όγκο του αέρα ανάλογα με τις περιστάσεις, έναντι των συστημάτων CAV

που διοχετεύουν στα σταθερό όγκο ανεξαρτήτως συνθηκών. Τα συστήματα CAV επομένως βρίσκουν περισσότερες εφαρμογές για τον κλιματισμό χώρων μιας ενιαίας θερμικής ζώνης σε κτίρια μικρότερου μεγέθους, όπου η ανακατανομή φορτίων είναι μικρότερη ενώ τα συστήματα VAV επιλέγονται κυρίως για κτίρια πολυθερμικών ζωνών τριτογενούς τομέα όπου η ανακατανομή των φορτίων είναι συχνότερη. (Jin et al., 2007)

Τα πλεονεκτήματα που σχετίζονται με τα συστήματα VAV αφορούν την ευελιξία τους σε θερμικές ζώνες ξεχωριστού ελέγχου μέσω των δυνατοτήτων επαναθέρμανσης και της γενικότερα ενεργειακά αποδοτικής λειτουργίας τους. Καθώς ο όγκος του αέρα μειώνεται με τη μείωση των φορτίων χώρου, το κέντρο ψύξης και η ισχύς του ανεμιστήρα μειώνουν και αυτά τη λειτουργία τους σε αντίστοιχο ποσοστό. Επιπλέον, έχουν χαμηλό αρχικό κόστος συγκριτικά με πολλά αντίστοιχα συστήματα κλιματισμού και από πλευρά ποιότητας αποδίδουν καλύτερα σε σχέση με ανάλογες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις.

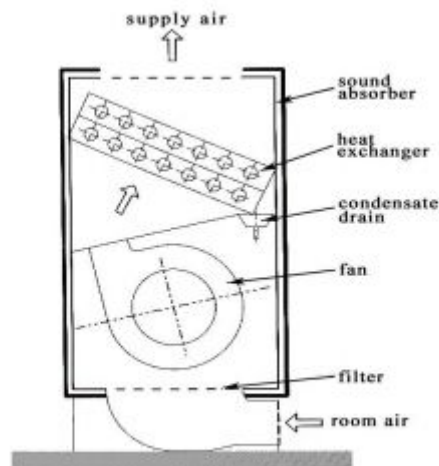
Ωστόσο, στα μειονεκτήματά τους περιλαμβάνεται η άνιση κατανομή της θερμοκρασίας και του αέρα, έλλειψη καθαρού αέρα σε λειτουργία μερικών φορτίων, πολυπλοκότητα σχεδιασμού, κακή ισορροπία του αέρα, εξοικονόμηση ενέργειας που δεν ανταποκρίνεται στις προσδοκίες, και αυξημένος θόρυβος του οποίου τα μεγέθη βελτιώνονται χρόνο με το χρόνο. (Tebal & Pinang, 2005)

6.5 Τερματικές μονάδες Fan-Coil (FCU)

Τα συστήματα fan-coil units (FCU) της Εικόνας 30 είναι τερματικές μονάδες που τοποθετούνται εντός του εσωτερικού χώρου για την παροχή θερμότητας. Αποτελούνται από έναν εναλλάκτη θερμότητας και έναν ανεμιστήρα ο οποίος του προωθεί τον εσωτερικό αέρα, ενώ εξοπλίζονται με ανάλογο φίλτρο και μειωτή θορύβου. Στον εναλλάκτη θερμότητας παρέχεται κρύο νερό. Κάθε μονάδα έχει ξεχωριστό θερμοστατικά ελεγχόμενο ενσωματωμένο ανεμιστήρα, ικανό να αντλεί αέρα από τον εσωτερικό χώρο και να τον προωθεί πάνω στα κατάλληλα σημεία του εναλλάκτη που κυκλοφορεί κρύο νερό για ψύξη. Το ψυχρό μέσο παράγεται από τον ανάλογο ψύκτη του συστήματος. Μπορούν να τοποθετηθούν σε οροφές, σε κάθετες εσοχές ή να είναι κρυμμένα. Μέχρι στιγμής υπάρχουν δύο κατηγορίες συστημάτων fan-coil διαθέσιμα στην αγορά (Turns, 2013):

- 2-σωλήνων: που χρησιμοποιούν ένα σωλήνα για την παροχή και έναν δεύτερο για την επιστροφή του ψυκτικού μέσου στον εναλλάκτη θερμότητας.

- 4-σωλήνων: που είναι εξοπλισμένα με δύο ανεξάρτητα πηνία, ένα για θέρμανση και ένα για ψύξη. Οι αντίστοιχες βαλβίδες ελέγχου των αντίστοιχων πηνίων συνήθως εγκαθίστανται στο εργοστάσιο, με τις συσκευές ελέγχου να βρίσκονται είτε εντός του πλαισίου της μονάδας, είτε τοποθετημένα σε τοίχο, είτε τοποθετημένα εξ' αποστάσεως.



Εικόνα 30: Fan-Coil Unit

Στα πλεονεκτήματα των συστημάτων fan-coil συμπεριλαμβάνονται (Turns, 2013):

- η εγκατάσταση των σωλήνων που καλύπτουν αρκετά μικρότερο χώρο απ' ότι οι κλασικοί αεραγωγοί
- οι άδειοι χώροι του κτιρίου μπορούν να διαχωριστούν από το σύστημα με απλή απενεργοποίηση των τοπικών fan-coil ή απλά εκτρέποντας τη ροή του ψυκτικού μέσου
- οι θερμικές ζώνες μπορούν να ελέγχονται ξεχωριστά και η διαχείρισή τους να επιτυγχάνεται μέσω κεντρικής μονάδας ελέγχου

Τα βασικότερα μειονεκτήματά τους είναι ότι

- τα συμπυκνώματα πρέπει να αφαιρούνται από κάθε μονάδα ξεχωριστά
- οι εσωτερικές θερμικές ζώνες μπορεί να χρειάζονται επιπλέον αερισμό με φρέσκο αέρα μέσω ξεχωριστών αεραγωγών
- η ανάκτηση θερμότητας ενδέχεται να είναι δυσκολότερη

- υψηλά επίπεδα θορύβου καθώς οι επιμέρους ανεμιστήρες είναι επι της ουσίας τοποθετημένοι εντός του χώρου.

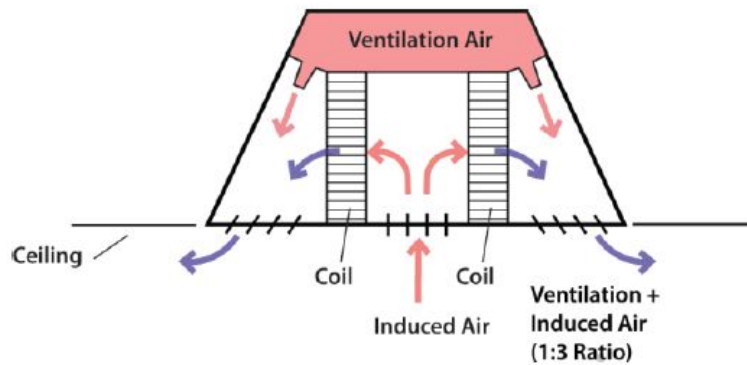
Οι περισσότερες μονάδες fan-coil είναι εξοπλισμένες με μια συσκευή απόρριψης των συμπυκνωμάτων όταν ο έλεγχος της εσωτερικής υγρασίας είναι εφικτός. Το φαινόμενο συμπύκνωσης εμφανίζεται ανάλογα με τις εσωτερικές συνθήκες όταν ο αέρας ψύχεται κάτω από το σημείο δρόσου. (Chin et al., 2017)

6.6 Τερματικά συστήματα Ψυχρών Δοκών

Τα συστήματα ψυχρών δοκών (chilled beams) είναι τερματικές μονάδες που τοποθετούνται εντός του εσωτερικού χώρου κυρίως για την παροχή ψύξης, καθώς οι ανάγκες για θέρμανση θα πρέπει να καλυφθούν από άλλο σύστημα. Μια δοκός αποτελείται από εναλλάκτες θερμότητας τοποθετημένους σε ένα μεταλλικό πλαίσιο αναρτημένο σε ψευδοροφή του εσωτερικού χώρου, συνδεδεμένο με σωλήνες παροχής κρύου νερού. Η ψύξη επιτυγχάνεται παρέχοντας κρύο νερό σε μονάδες ανταλλαγής θερμότητας με νερό αέρα μειώνοντας τη θερμοκρασία ξηρού βολβού. Για την αποφυγή συμπύκνωσης, τα συστήματα ενδείκνυνται για χώρους με μέτρια ποσότητα εσωτερικών φορτίων υγρασίας. Τα συστήματα chilled beams διακρίνονται σε (Iomas et al., 2007):

Ενεργητικά

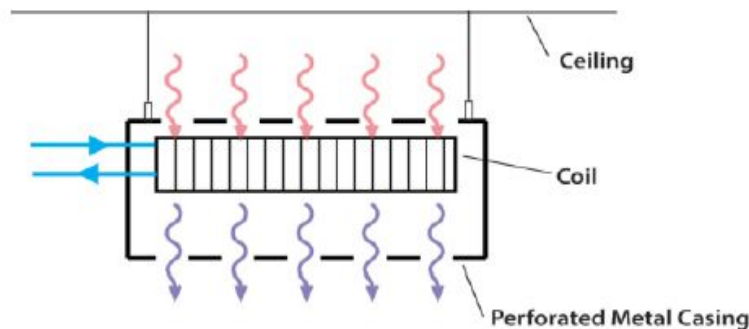
Είναι γνωστά και ως επαγωγείς διάχυσης και είναι λίγο πιο πολύπλοκα από τα αντίστοιχα παθητικά. Διαθέτουν δύο εναλλάκτες θερμότητας και μια επιπλέον παροχή αέρα σχεδιασμένη να συμβαδίζει με τις ελάχιστες απαιτήσεις εξωτερικού αέρα. Η παροχή περνά από ειδικά στόμια προσφέροντας επιπλέον ροή αέρα προς τους εναλλάκτες, και από εκεί απελευθερώνεται στο χώρο. Η κατηγορία αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί και για θέρμανση σε εξειδικευμένες περιπτώσεις ωστόσο αποφεύγεται λόγω συχνής συγκράτησης της θερμότητας κάτω από την οροφή. Η λειτουργία τους φαίνεται στην Εικόνα 31.



Εικόνα 31: Ενεργητικό σύστημα ψυχρών δοκών

Παθητικά

Έχουν απλούστερο σχεδιασμό και λειτουργία (Εικόνα 32), με έναν εναλλάκτη θερμότητας εντός διάτρητου μεταλλικού πλαισίου που κρέμεται από την οροφή. Ο αέρας γύρω από το σύστημα ψύχεται από το κρύο νερό που περνά από τον εναλλάκτη σε θερμοκρασίες συνήθως μεταξύ 13°C και 17°C. Στη συνέχεια ο κρύος αυτός αέρας γύρω από το σύστημα πέφτει σταδιακά προς το δάπεδο λόγω αύξησης της μάζας του από τη θερμοκρασιακή μεταβολή. Η χωρητικότητα ενός παθητικού συστήματος ψυχρών δοκών είναι περίπου 60W/m². Σε αντίθεση με τα ενεργητικά συστήματα, είναι αποκλειστικά συνδεδεμένο με ένα σύστημα κρύου νερού ψύχοντας το χώρο μέσω φυσικής μεταγωγής. Ένας βασικός λόγος για τον οποίον μπορούν να προτιμηθούν είναι η αθόρυβη ψύξη τους. (Aflaki et al., 2016)



Εικόνα 32: Παθητικό σύστημα ψυχρών δοκών

Η ενσωμάτωση των συστημάτων ψυχρών δοκών σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα HVAC, προϋποθέτει εκτεταμένη προσοχή στο σχεδιασμό για τη παρεμπόδιση των συμπυκνωμάτων

υγρασίας στους σωλήνες παροχής κρύου νερού και τους εναλλάκτες που προέρχονται κυρίως από την παροχή εξωτερικού νερού αέρα και τον αέρα διήθησης από χαλαράδες. Για την επίτευξη του σκοπού, το σημείο δρόσου του εσωτερικού αέρα πρέπει να είναι χαμηλότερο από τη θερμοκρασία του κρύου νερού.

Από τη στιγμή που καλύπτουν λιγότερο από το 50% της οροφής και μπορούν να είναι ορατά από τους χρήστες, ενσωματώνουν συχνά ειδικό φωτισμό, καλωδίωση ισχύος και ανιχνευτές καπνού προσδίδοντας αισθητική στο χώρο, ενώ για λόγους οπτικής αντίθεσης συχνά επιλέγονται με μαύρο χρώμα. (Reza, 2013)

Τα κυριότερα πλεονέκτημα των συστημάτων ψυχρών δοκών είναι:

- Άμεση μεταφορά αισθητής ψύξης στο χώρο
- Μειωμένη κατανάλωση ενέργειας ανεμιστήρα αερισμού
- Μειωμένη ποσότητα του εξωτερικού αέρα που πρόκειται να ψυχθεί
- Μεγαλύτερη απόδοση συγκριτικά με άλλα συμβατικά συστήματα
- Μηδενική απαίτηση κατανάλωσης ενέργειας για επαναθέρμανση του κρύου αέρα

Τα μειονεκτήματά τους σχετίζονται κυρίως με (Aflaki et al. 2016):

- Αυξημένο αρχικό κόστος εγκατάστασης συγκριτικά με άλλα συστήματα
- Περιορισμοί για το σύστημα HVAC λόγω απουσίας διεργασιών θέρμανσης

6.7 Συστήματα Μεταβλητής Ροής Ψυκτικού

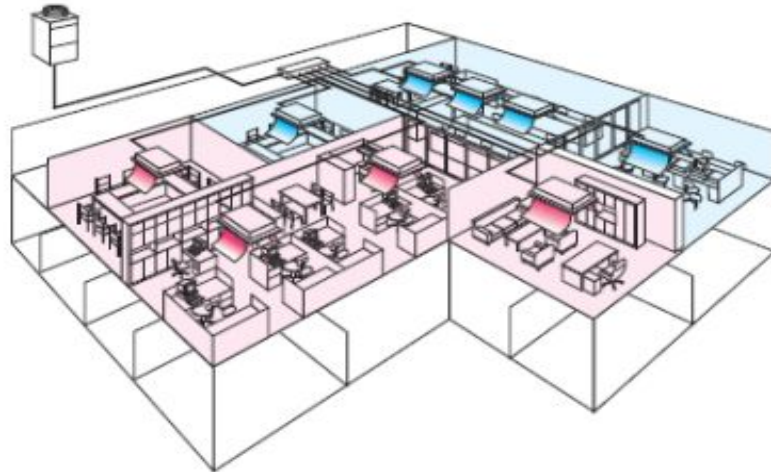
Τα συστήματα VRF αναπτύχθηκαν από την ιαπωνική εταιρεία Daikin Industries το 1982, η οποία ειδικευόταν στην παραγωγή κλιματιστικών συστημάτων HVAC, από την οποία πήραν την ονομασία VRV (Variable Refrigerant Volume). Όλες οι άλλες εταιρείες ωστόσο που ανέπτυξαν στο μέλλον την ίδια τεχνολογία, τα αποκαλούν VRF (Variable Refrigerant Flow) για αποφυγή λογοκλοπής. Τα συστήματα περιλαμβάνουν δύο κύρια μέρη, μια κύρια μονάδα συμπιεστή και πολλές εσωτερικές μονάδες fan-coil.

Η μονάδα συμπιεστή που συνήθως βρίσκεται στην οροφή του κτιρίου, ψύχει και θερμαίνει το ψυκτικό μέσο το οποίο μεταφέρεται μέσω δικτύου σωληνώσεων στους εσωτερικούς χώρους. Οι συμπιεστές που επιλέγονται είναι συνήθως αερόψυκτοι ωστόσο μερικές φορές επιλέγονται και αντίστοιχοι υδρόψυκτοι που συνδέονται με πύργο ψύξης και λέβητα. Συχνά

τα συστήματα είναι ικανά για ψύξη ορισμένων θερμικών ζωνών και ταυτόχρονη θέρμανση άλλων, έχοντας τη δυνατότητα να ανακτήσουν θερμότητα από τους προς ψύξη χώρους διοχετεύοντας την στους αντίστοιχους προς θέρμανση χώρους και το αντίστροφο. Η μονάδα συμπίεστη είναι μεταβλητής ροής ψυκτικού και ελέγχεται από δίσκο μεταβλητής ταχύτητας (Variable Speed Drive - VSD) λειτουργώντας αποτελεσματικότερα απ' ότι άλλοι συμβατικοί συμπίεστες παρόμοιου μεγέθους, ωστόσο η πολυπλοκότητα στην παροχή μεταβλητής ροής ψυκτικού την καθιστά αρκετά ακριβότερη σε κόστος. Μπορούν να λειτουργήσουν σε χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες καθιστώντας συχνά περιττή τη συμπληρωματική παροχή θερμότητας από άλλες μονάδες, όταν οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής το επιτρέπουν. (Ausley, 2014)

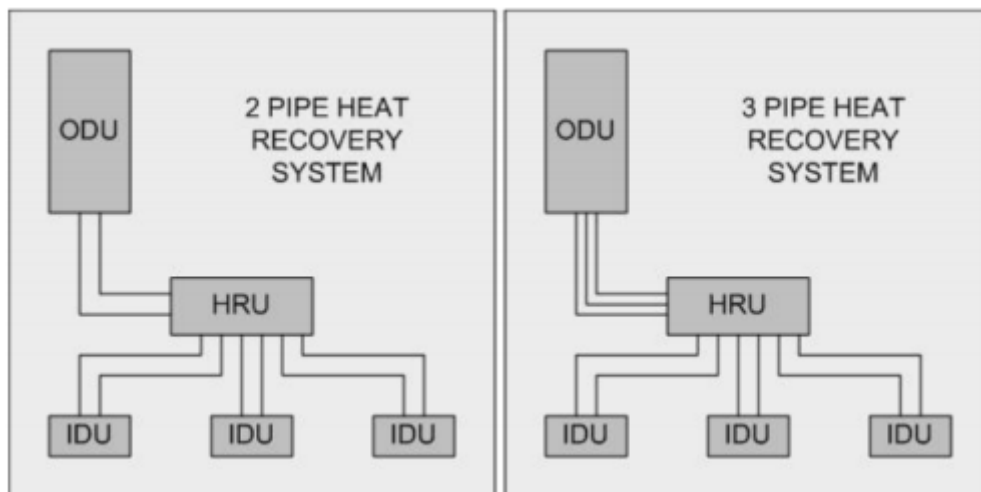
Οι μονάδες fan-coil μπορούν να τοποθετηθούν απευθείας στο χώρο με ποικίλες διαμορφώσεις σε οροφή, τοίχους, δάπεδο ή και κρυμμένες πάνω από την οροφή εκτός του κλιματιζόμενου χώρου και να συνδέονται με αυτόν μέσω αγωγών, επιτελώντας λειτουργίες κλιματισμού και ανακυκλοφορίας του αέρα στο χώρο με έλεγχο μεταβλητής ταχύτητας μέσω ειδικών ηλεκτρικών κινητήρων (electronically-commutated motors - ECM). Δεν υπάρχει κεντρικό σύστημα παροχής αέρα με ολοκληρωμένο δίκτυο αγωγών, ωστόσο μπορεί να υπάρχει μικρότερο σύστημα για την παροχή εξωτερικού νωπού αέρα. Η χρήση ψυκτικού μέσου για τη μεταφορά θερμότητας απαιτεί λιγότερη ενέργεια λόγω μεγαλύτερης θερμικής χωρητικότητας του ψυκτικού συγκριτικά με τον αέρα ή το νερό. Ωστόσο το ψυκτικό χρειάζεται περισσότερη ενέργεια για να ωθηθεί από τον συμπίεστη μέσω των αγωγών και να διατηρηθεί η ροή του σταθερή, ειδικά σε μεγάλα κτίρια με μεγάλου μήκους αγωγών. Οι τιμές στατικής πίεσης των ανεμιστήρων είναι αρκετά μικρότερη απ' ότι άλλα συστήματα κεντρικής παροχής λόγω του περιορισμένου δικτύου αεραγωγών με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η διαρροή αέρα και να δίνεται η δυνατότητα περιορισμού του όγκου παροχής στο χώρο. (Thornton, 2012)

Τα εξελιγμένα συστήματα ταυτόχρονης παροχής ψύξης και θέρμανσης από ζώνη σε ζώνη παρέχουν παράλληλα ανάκτηση θερμότητας μέσω ανακύκλωσης του ψυκτικού μέσου. Στην Εικόνα 33 βλέπουμε ένα ολοκληρωμένο σύστημα VRF με το συμπίεστη, το συλλέκτη ψυκτικού για ανάκτηση, και τις εσωτερικές μονάδες fan-coil που διαχωρίζονται χρωματικά ανάλογα με το αν παρέχουν ψύξη ή θέρμανση.



Εικόνα 33: Σύστημα VRF παρέχοντας θέρμανση και ψύξη αξιοποιώντας ανάκτηση θερμότητας

Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων (Εικόνα 34). Το σύστημα δύο αγωγών όπου η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται από χώρο σε χώρο μέσω ενός αγωγού προς τα fan-coils, με το δεύτερο αγωγό να επιστρέφει το ψυκτικό στον συμπιεστή. Τα αντίστοιχα συστήματα τριών αγωγών περιλαμβάνουν ξεχωριστές οδούς για ψύξη και θέρμανση και μια οδό επιστροφής. (Hildebrand, 2015)



Εικόνα 34: Συστήματα δύο και τριών αγωγών ανάκτησης θερμότητας σε σύστημα VRF

Τόσο στα συστήματα δύο και στα συστήματα τριών αγωγών, περιλαμβάνονται μια ή περισσότερες μονάδες ανάκτησης θερμότητας μεταξύ του συμπιεστή και των fan-coils, που ελέγχουν την ροή του υγρού και αέριου ψυκτικού μεταξύ των διασυνδέσεων των fan-coils

στην κατάσταση θέρμανση και ψύξης, ελαχιστοποιώντας τη ροή στον συμπιεστή. Διάφοροι μέθοδοι περιλαμβάνουν επιπλέον, βαλβίδες, εναλλάκτες θερμότητας, συσκευές ελέγχου κλπ.

Από πλευράς απόδοσης, είναι αρκετά δύσκολο να διευκρινιστεί με ακρίβεια η απόδοση ενός συστήματος VRF λόγω αυξημένης πολυπλοκότητας, η οποία εξαρτάται από το μέγεθος και τον αριθμό των τερματικών μονάδων, το πρόσθετο σύστημα αεραγωγών αν υπάρχει, το μέγεθος των αγωγών ροής ψυκτικού, και τις συνθήκες φορτίου κάθε τερματικής μονάδας. Για το λόγο αυτό υπάρχουν πολλοί συντελεστές απόδοσης για ψύξη και για θέρμανση ανάλογα με το αν έχουν ή όχι πρόσθετο αεραγωγό, και ανάλογα με το αν είναι ικανά να ανακτήσουν θερμότητα. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται συνδυασμός των δεικτών EER και IEER (Integrated Energy-Efficiency Ratio) που μετριέται σε για τη μέτρηση της παραγόμενης ψύξης (btu) για το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για να παραχθεί ($W * h$) και το COP για θέρμανση. Οι τιμές IEER για συστήματα VRF κυμαίνονται κυρίως μεταξύ 16 και 20. Το COP των κλασσικών αερόψυκτων VRF είναι από 3,2 ως 3,5. (Thornton, 2012)

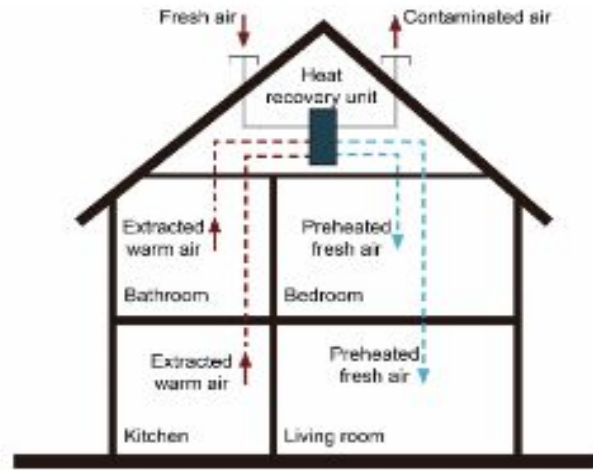
6.8 Συστήματα Ανάκτησης Θερμότητας

Μέσω ενός συστήματος ανάκτησης θερμότητας επιτυγχάνεται η συλλογή και επαναχρησιμοποίηση της θερμότητας που έχει παραχθεί από επιμέρους λειτουργίες στο χώρο, η οποία θα χανόταν υπό άλλες συνθήκες, εξοικονομώντας σημαντικά ποσά ενέργειας και μειώνοντας το κόστος λειτουργίας. Αξιοποιείται από πλήθος συστημάτων HVAC με ιδιαίτερη εφαρμογή σε συστήματα VRF όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη υποενότητα.

Ο όρος 'ανάκτηση θερμότητας' αναφέρεται συχνά στη συσκευή που λειτουργεί μεταξύ δύο πηγών παροχής αέρα διαφορετικής θερμοκρασίας μεταφέροντας ενέργεια από τη μια στην άλλη, βασίζεται δηλαδή στην προθέρμανση του παρεχόμενου αέρα στον εσωτερικό χώρο ανακυκλώνοντας τη χαμένη θερμότητα. Γενικότερα τα συστήματα ανάκτησης θερμότητας διακρίνονται σε συστήματα ανάκτησης αισθητών φορτίων και συστήματα ανάκτησης ενθαλπίας. Το γεγονός ότι τα συστήματα ανάκτησης ενθαλπίας μπορούν ανακτήσουν τόσο αισθητή όσο και λανθάνουσα θερμότητα, καθιστά τους εναλλάκτες θερμότητάς τους, πιο βιώσιμους εξαιτίας της μεγάλης αναλογίας υγρού φορτίου στο σύστημα εξαερισμού και των τυπικών απαιτήσεων υγρασίας του εσωτερικού αέρα. (Wulf, 2016)

Ένα αντιπροσωπευτικό σύστημα εναλλάκτη σε οικιακά κτίρια (Εικόνα 35), αποτελείται από τον κεντρικό εναλλάκτη θερμότητας, έναν ανεμιστήρα και ξεχωριστά ανοίγματα εισόδου

και εξόδου αέρα για την αποφυγή μόλυνσης του αέρα. Τα συστήματα αυτά μπορούν να ανακτήσουν έως και 95% της χαμένης ενέργειας, ένα ποσοστό που μπορεί να επηρεάσει σε τεράστιο βαθμό την ενεργειακή κατανάλωση. (Xu et al., 2019)

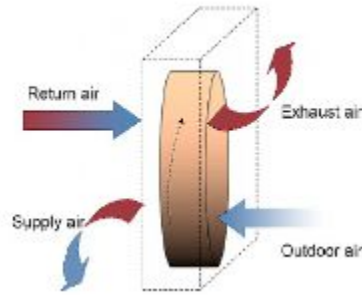


Εικόνα 35: Σύστημα ανάκτησης θερμότητας σε οικιακή κατοικία

Τα συστήματα ανάκτησης θερμότητας διακρίνονται στις εξής τέσσερις κατηγορίες: (Wulf, 2016)

Περιστρεφόμενος τροχός (Rotary Wheel)

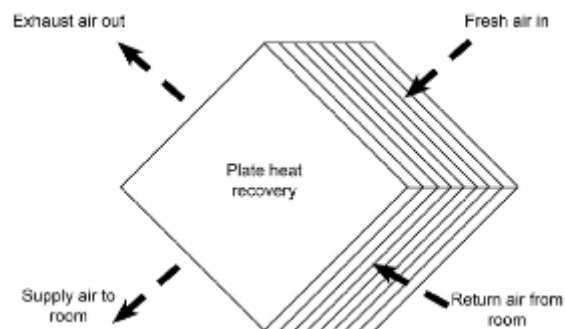
Το σύστημα ανάκτησης με περιστρεφόμενο τροχό, είναι στην ουσία ένας μηχανοκίνητα περιστρεφόμενος πορώδης τροχός. Όταν επιτυγχάνεται ανταλλαγή θερμότητας και υγρασίας, τα δύο ρεύματα περνούν εναλλάξ από τον τροχό (Εικόνα 36) με την ταχύτητα του τροχού να είναι αρκετά μικρή (μεταξύ 3 και 15 περιστροφές ανά λεπτό - rpm). Η συνολική απόδοση του συστήματος είναι μεγαλύτερα από κάθε άλλο σύστημα ανάκτησης θερμότητας λόγω της φύσης του τροχού που επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας από το εξατμιζόμενο ρεύμα στο παρεχόμενο ρεύμα αέρα χωρίς την ανάγκη άμεσης διαπέρασης από τον εναλλάκτη. Μπορεί να αυξήσει την απόδοση του εναλλάκτη ως και 80% και αποτελεί μια από τις αποτελεσματικότερες λύσεις διαχείρισης της υγρασίας στον εξαεριζόμενο αέρα. Ωστόσο ανακτά μόλις το 40% της ενθαλπίας και επηρεάζεται άμεσα από παράγοντες που σχετίζονται με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, το ρυθμό ανάμιξης των αέριων ρευμάτων, την ταχύτητα περιστροφής και το υλικό κατασκευής του τροχού. (Xu et al., 2019)



Εικόνα 36: Εναλλάκτης θερμότητας περιστρεφόμενου τροχού

Σταθερές Πλάκες (Fixed-Plate)

Οι εναλλάκτες θερμότητας σταθερών πλακών χρησιμοποιούν λεπτές στοιβαγμένες πλάκες για τη δημιουργία καναλιών ροής (Εικόνα 37). Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι ροής αέρα, αυτοί της αντίθετης ροής, της διασταυρούμενης ροής και της παράλληλης ροής. Όταν οι πλάκες είναι κατασκευασμένες από υλικό με θερμική αγωγιμότητα και διαπερατότητα υγρασίας, αποτελούν έναν εναλλάκτη θερμότητας ενθαλπίας. Όταν οι πλάκες δεν μπορούν να απορροφήσουν υγρασία η θερμική αγωγιμότητα του υλικού και η αντίστοιχη γεωμετρία είναι υψίστης σημασίας στην ανάκτηση αισθητής θερμότητας, η οποία μπορεί να επιτευχθεί σε ποσοστό μεταξύ 50% και 80%. Οι βασικότεροι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη αποδοτικότητα ενός συστήματος εναλλάκτη σταθερών πλακών σχετίζονται με τον τύπο και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των πλακών (διάταξη, προσανατολισμός), με τα υλικά του εναλλάκτη θερμότητας και με το μοτίβο ροής του αέρα. (Xu et al., 2019)



Εικόνα 37: Εναλλάκτης θερμότητας σταθερών πλακών

Αγωγοί Θερμότητας (Heat Pipes)

Τα συστήματα ανάκτησης θερμότητας που χρησιμοποιούν αγωγούς για τη μεταφορά θερμότητας, συνδυάζουν τις αρχές θερμικής αγωγιμότητας και αλλαγής φάσης για την αποτελεσματική μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο σταθερών διεπαφών. Το βασικός αγωγός αποτελείται από δύο εσωτερικούς σωλήνες που περιέχουν το εργάσιμο υγρό. Ο αγωγός θερμότητας μεταφέρει θερμική ενέργεια από τη μια πλευρά στην άλλη με μικρή θερμοκρασιακή διαφορά. Κατά τη διάρκεια της διεργασίας, το συμπυκνωμένο υγρό από το τμήμα εξάτμισης είτε λόγω ειδικής δομής που ασκεί τριχοειδή δράση, είτε λόγω βαρυτικής δύναμης. Οι κλασσικοί εναλλάκτες με αγωγό θερμότητας επιτυγχάνουν ανάκτηση θερμότητας κατά 50%. (De Biasse, 2010)

Κύκλωμα ανάκτησης (Run-Around)

Πρόκειται για την πιο σπάνια εφαρμογή ανάκτησης θερμότητας, με ένα σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί δύο ξεχωριστούς εναλλάκτες θερμότητας και το υγρό μέσο. Με τη χρήση αντλίας, επιτρέπεται στο υγρό να μεταφέρει απορροφούμενη θερμότητα από το ένα ρεύμα στο απέναντι. Στα συστήματα αυτά δεν υπάρχει ανησυχία για διασταύρωση των ροών αέρα λόγω της χρήσης δύο διαφορετικών εναλλάκτων θερμότητας, ενώ η θερμότητα που μπορούν να ανακτήσουν κυμαίνεται μεταξύ 45% και 65%. (De Biasse, 2010)

Τα συστήματα ανάκτησης θερμότητας αξιοποιούνται εκτενώς σε συστήματα αποκεντρωμένου εξαερισμού (χωρίς κεντρικό σύστημα κλιματισμού) και από συστήματα αφύγρανσης. Συνδυάζονται με παθητικά συστήματα αξιοποίησης των δομών του κτιριακού κελύφους και θερμοηλεκτρικές μονάδες. (Xu et al., 2019)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

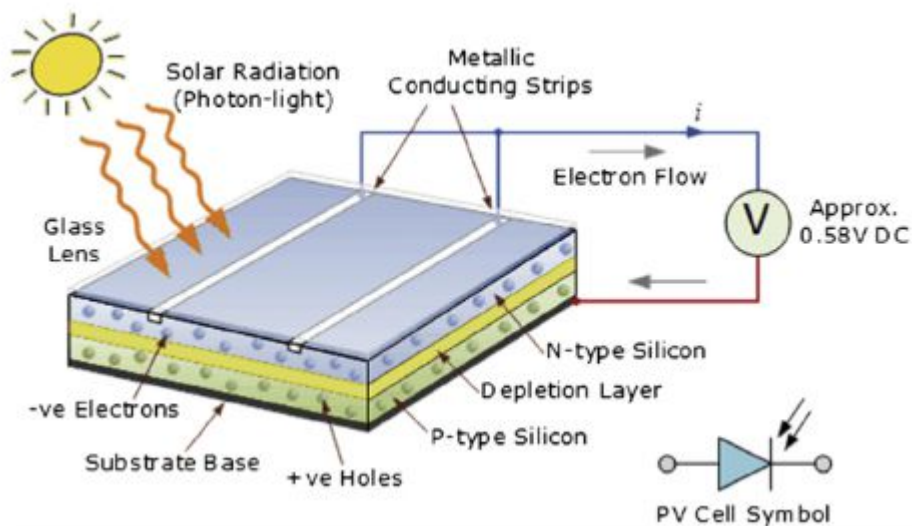
Ο όρος ‘φωτοβολταϊκά’ (photovoltaics - PV) αναφέρεται στη βιομηχανική κατά σειρά διάταξη πλήθους τεχνικών ημιαγωγών (συνήθως πυριτίου), οι οποίοι ενώνονται με σκοπό τη δημιουργία ηλεκτρικού κυκλώματος σε σειρά. Οι ημιαγωγοί απορροφούν φωτόνια από την ηλιακή ακτινοβολία παράγοντας ηλεκτρική τάση, μια διαδικασία από την οποία ερμηνεύεται και η ετυμολογία της λέξης (‘φωτο’→ηλιακή ενέργεια και ‘βολτ’→ηλεκτρική ενέργεια). Ανήκουν στην κατηγορία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).

7.1 Τεχνολογία

Τα φωτοβολταϊκά κελιά, ή αλλιώς ηλιακά κελιά, κατασκευάζονται από τα ίδια ημιαγωγικά υλικά που κατασκευάζονται και τα ηλεκτρονικά τσιπ. Η ποικιλομορφία των υλικών, τα διαφορετικά επιμέρους χαρακτηριστικά τους και το χαμηλό τους κόστος έχουν οδηγήσει πλήθος ευέλικτων τεχνολογιών κατασκευής.

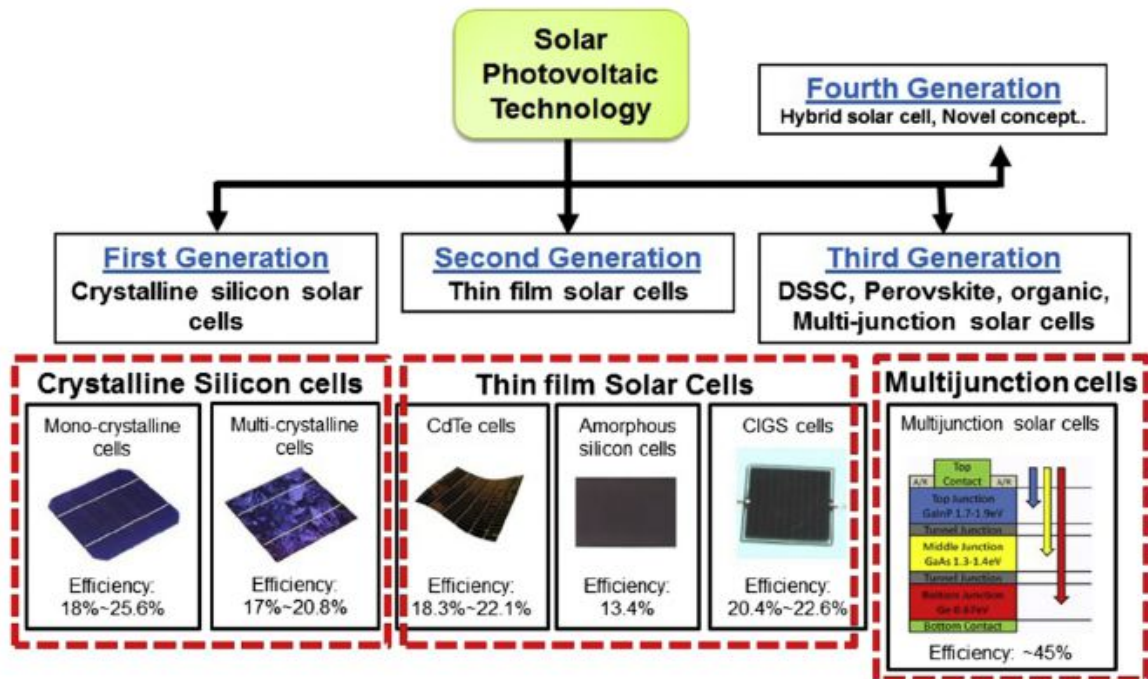
Αναλυτικά, τα ηλιακά κελιά είναι μια εκτενής επιφάνεια ένωσης PN, που δημιουργείται από την ένωση ημιαγωγών τύπου-p και τύπου-n. Πιθανή ασυμμετρία στην ένωση μπορεί να δημιουργήσει φραγμό μεταξύ της ηλεκτρικής ροής μεταξύ των περιοχών. Αυτό οδηγεί σε περιοχή εξάντλησης όταν το πεδίο βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας, όπου η ροή ηλεκτρονίων και οπών σταματά όταν οι χημικές δυνάμεις διάχυσης εξισορροπούνται σε απόλυτη ακρίβεια από τις ηλεκτροστατικές δυνάμεις του παραγόμενου ηλεκτρικού πεδίου. Αυτή η βαθμίδα συγκέντρωσης παρέχει μια ηλεκτρονική ασύμμετρη κατάσταση που είναι απαραίτητα για τη φωτοβολταϊκή δράση. Από την Εικόνα 38 παρατηρούμε ότι όταν το φως του ήλιου πέφτει σε ένα κομμάτι ηλιακού κελιού, φωτόνια διαφορετικών μηκών κύματος χτυπούν την επιφάνεια του ημιαγωγού. Μόνο ένα ποσοστό φωτονίων μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, καθώς απορροφούνται μόνο φωτόνια με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από την ενεργειακή ζώνη του ημιαγωγού. Η απορρόφηση φωτονίων οδηγεί στη δημιουργία ζεύγους ηλεκτρονίων-οπών. Οι συγκεντρώσεις πλειοψηφίας-φορέων, δηλαδή ο συνολικός αριθμός ηλεκτρονίων σε ένα ημιαγωγό τύπου-n ή ο συνολικός αριθμός οπών σε ημιαγωγό τύπου-p, δεν επηρεάζονται από τις συνεισφορές των πρόσθετων φωτονίων επειδή οι συγκεντρώσεις που παράγουν οι ηλεκτρικές αντλίες θερμότητας είναι ασήμαντες συγκριτικά με τις συγκεντρώσεις πλειοψηφίας-φορέων. Ωστόσο οι συγκεντρώσεις

μειοψηφίας-φορέων, δηλαδή ο συνολικός αριθμός ηλεκτρονίων σε ημιαγωγό τύπου-p ή ο συνολικός αριθμός οπών σε ημιαγωγό τύπου-n, επηρεάζονται σημαντικά και παρουσιάζουν αύξηση. Αυτή η αλλαγή δημιουργεί αναστάτωση στην κατάσταση ισορροπίας μεταξύ της δύναμης διάχυσης και της ηλεκτροστατικής δύναμης. Τα ηλεκτρόνια που προέρχονται από την περιοχή-p, τελικά διαχέονται στην περιοχή εξάντλησης όπου το ενεργειακό φράγμα στην ένωση μειώνεται και επιτρέπεται στο ρεύμα να ρέει και να δημιουργεί τάση στους εξωτερικούς ακροδέκτες. Οι οπές που δημιουργούνται στην περιοχή-n ακολουθούν την αντίθετη κατεύθυνση προς την περιοχή-p. Γενικότερα τα ηλιακά κελιά λειτουργούν με βάση το να είναι σε θέση να παράγουν αυτήν την κίνηση φορτίων, η οποία θα οδηγήσει στην παραγωγή ρεύματος. (Amin et al., 2017)



Εικόνα 38: Τεχνολογία φωτοβολταϊκών

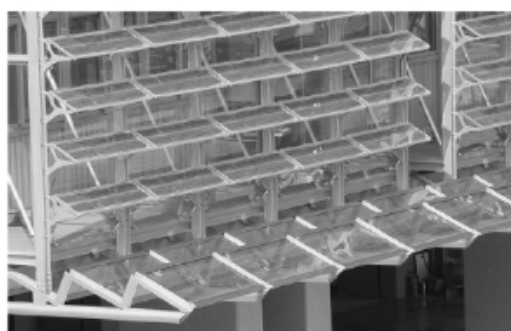
Τα υλικά κατασκευής και οι τεχνολογίες (Εικόνα 39) των φωτοβολταϊκών μεταβάλλονται από γενιά σε γενιά. Αρχικά οι πρώτες προσεγγίσεις είναι με μονοκρυσταλλικό και πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (crystalline silicon). Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν τα ηλιακά κελιά λεπτής μεμβράνης (thin-film). Πιο πρόσφατες είναι οι κατασκευές με ευαισθητοποίηση χρώματος (DSSC), οι οργανικές μόλυβδου και κατασκευές που επιτυγχάνουν την ένωση περισσότερων ημιαγωγών (multi-junction). Υβριδικές προσεγγίσεις βρίσκονται σε πειραματικά στάδια. (Amin et al., 2017)



Εικόνα 39: Εξέλιξη φωτοβολταϊκών προσεγγίσεων

7.2 Χρήση στον κτιριακό τομέα

Στον κτιριακό τομέα, η αξιοποίηση τεχνολογιών φωτοβολταϊκών αφορά κυρίως για διεργασίες μετατροπής των φωτοβολταϊκών και για φωτισμό. Το BIPV (Building Integrated Photovoltaic) είναι μια νέα ιδέα εφαρμογής της ηλιακής ενέργειας, μέσω εγκατάστασης ηλιακής φωτοβολταϊκής ‘φάλαγγας’ στην επιφάνεια δομής συντήρησης του κτιρίου για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι συστοιχίες αυτές δεν καταλαμβάνουν επιπλέον χώρο στο δάπεδο όταν ενσωματώνονται στην κατασκευή και είναι ο καλύτερος τρόπος εγκατάστασης του συστήματος, προσελκύοντας ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Το BIPV χωρίζεται σε δύο κατηγορίες σύμφωνα με τις μορφές που ενσωματώνεται η φωτοβολταϊκή συστοιχία στα κτίρια. Η μια αφορά το συνδυασμό της φωτοβολταϊκής συστοιχίας με το κτίριο, εγκαθιστώντας τις συστοιχίες πάνω στο κτίριο, το οποίο αποκτά υποστηρικτικό ρόλο ως φωτοβολταϊκός φορέας (Εικόνα 40). Η άλλη αφορά την ενσωμάτωση της συστοιχίας στο κτίριο, με τις φωτοβολταϊκές μονάδες να εμφανίζονται ως δομικό υλικό και η φωτοβολταϊκή συστοιχία να γίνεται αναπόσπαστο μέρος της κατασκευής (Εικόνα 41), όπως σε περιπτώσεις οροφής φωτοηλεκτρικών πλακιδίων, φωτοηλεκτρικού τοίχου-κουρτίνας, και φωτοηλεκτρική οροφή φωτισμού. (Ma & Xue, 2013)



Εικόνα 40: Συνδυασμός κτιρίου και φωτοβολταϊκών



Εικόνα 41: Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών στα κτίρια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

Τόσο το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο όσο και η Κεντρική του Επιτροπή αποφάσισαν πως οφείλουν να αναλάβουν νομοθετική δράση, λόγω της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από τον καταναλωτικά βεβαρυμμένο σχεδιασμό των κτιρίων, θεσπίζοντας μια οδηγία κατά την οποία τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα αναπτύξουν ένα νομοθετικό πλαίσιο σύμφωνα με το οποίο η κατασκευή και μελέτη των κτιρίων θα ακολουθεί τις αρχές Παθητικού Κτιρίου, με απώτερο στόχο οι νέες παθητικές κατοικίες να είναι όσο το δυνατόν πιο φιλικές προς το περιβάλλον.

Επομένως ο όρος 'παθητικό σπίτι' αναφέρεται στις κατηγορίες κατοικιών χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης που επιτυγχάνουν τη διατήρηση επιθυμητών θερμοκρασιών εντός του χώρου, ανεξαρτήτου εποχής, χωρίς την ανάγκη πρόσθετης παροχής θέρμανσης ή ψύξης. Οι βασικές ενεργειακές προδιαγραφές των παθητικών κτιρίων αφορούν:

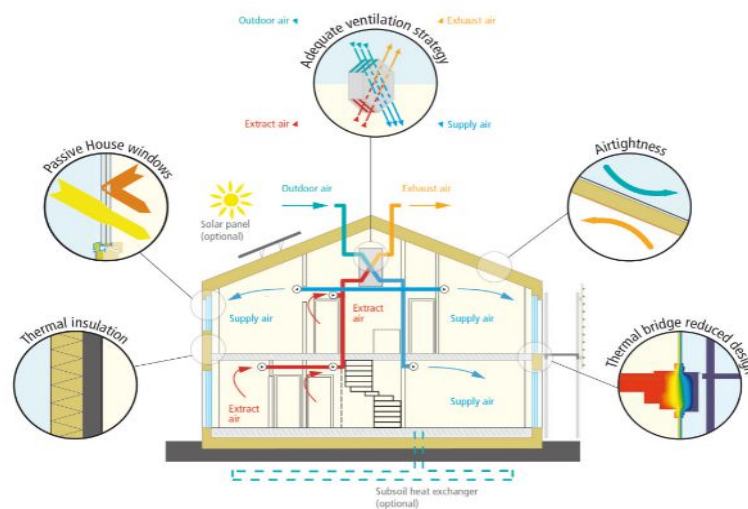
- Μέγιστες απαιτήσεις θέρμανσης στις **15kWh/m²a**, με ανάλογες απαιτήσεις ψύξης για ορισμένα κλίματα και πρόσθετη αφύγρανση
- Μέγιστες απαιτήσεις πρωτογενούς ενέργειας στις **120kWh/m²a**

Τα παθητικά κτίρια πρέπει να πληρούν πολύ αυστηρές απαιτήσεις τόσο για το σχεδιασμό όσο και για την κατασκευή τους και πιστοποιούνται ανάλογα με την ποιότητα των προδιαγραφών αυτών. Τα 5 βασικά κριτήρια που πρέπει να πληρούν τα παθητικά κτίρια από σχεδιαστικής και κατασκευαστικής σκοπιάς σύμφωνα με το Passive House Standard είναι τα εξής:

- **Θερμομόνωση:** Συνεχές μονωτικό στρώμα περικλείει πλήρως το θερμαινόμενο κτιριακό όγκο ελαχιστοποιώντας τις απώλειες θερμοπερατότητας. Ο μέγιστος συντελεστής θερμοπερατότητας U-value πρέπει να έχει μέγιστη τιμή **0,15W/m²K**. Συχνά ενδείκνυται επιπλέον επίπεδο θερμικής προστασίας (κυρίως στις οροφές) με ανάλογη οικονομικά ωφέλιμη προσέγγιση.
- **Απουσία θερμογεφυρών:** Τα κενά και οι θερμικές αντιστάσεις στο θερμομονωτικό στρώμα δημιουργούν θερμογέφυρες οι οποίες πρέπει να αποφευχθούν. Το ίδιο ισχύει και για τις διεισδύσεις του μονωτικού στρώματος, οι οποίες αποκαθίστανται με τη χρήση υλικών χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας όταν καθίσταται εφικτό.

- **Στεγανότητα:** Αεροστεγές περίβλημα περικλείει το θερμαινόμενο κτιριακό όγκο. Συνήθως βρίσκεται από την εσωτερική πλευρά της θερμομόνωσης και αποτρέπει τις απώλειες θερμότητας εξαερισμού λόγω διήθησης και αποβολής. Εντός του χώρου, υπάρχει μεγίστη τιμή εναλλαγών αέρα την ώρα $n_{50}=0,6ac/h$ για τιμή πίεσης 50Pa.
- **Παράθυρα:** Τα παράθυρα των παθητικών κτιρίων αναφέρονται και ως ‘παράθυρα ενεργειακού κέρδους’ επειδή με έναν κυρίως νότιο προσανατολισμό κατά τη διάρκεια της περιόδου που απαιτείται θέρμανση, επιτρέπουν περισσότερη θερμότητα να εισέλθει στο χώρο με τη μορφή ηλιακής ακτινοβολίας, συγκριτικά με τις θερμικές τους απώλειες. Με τον τρόπο αυτό συμβάλλουν στη θέρμανση του κτιρίου. Αυτό επιτυγχάνεται κυρίως με χρήση χαμηλού τύπου-e τριπλού υαλοπίνακα και θερμομονωτικά κουφώματα. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας τους U_w με ταυτόχρονη υψηλή ηλιακή διαπερατότητα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα **0,85W/m²K**.
- **Ανάκτηση Θερμότητας:** Μέσω της απομάκρυνσης ατμοσφαιρικών ρύπων, οσμών και υγρασίας, το σύστημα εξαερισμού παρέχει αξιόπιστα καθαρό αέρα. Το σύστημα ανάκτησης θερμότητας μεταφέρει τη θερμότητα του χρησιμοποιημένου εξαγόμενου αέρα στον αέρα παροχής μειώνοντας τις απώλειες θερμότητας εξαερισμού ως 90%. Με τη βοήθεια απλού εναλλάκτη στον αγωγό παροχής, το σύστημα εξαερισμού μπορεί να αξιοποιηθεί και για τη θέρμανση του χώρου εξοικονομώντας ενέργεια. Η απόδοση του συστήματος ανάκτησης θερμότητας η_{HRV} δεν πρέπει να είναι μικρότερη από **75%**. (Kah et al., 2010)

Στην Εικόνα 42 βλέπουμε μια οικιακή κατοικία σχεδιασμένη σύμφωνα με τα κριτήρια παθητικού κτιρίου.



Εικόνα 42: Παθητική κατοικία

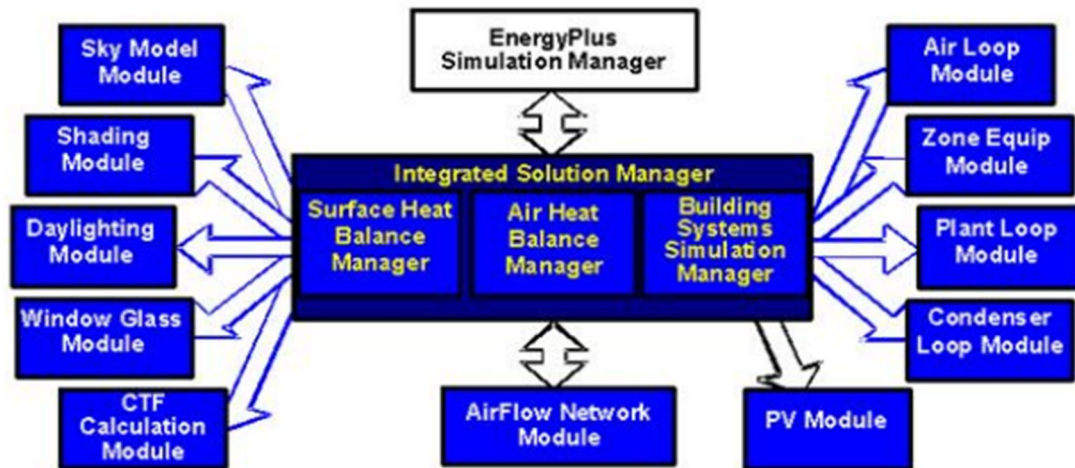
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ENERGY PLUS ΚΑΙ FINEGREEN

Η παρούσα διπλωματική βασίζεται στο λογισμικό FineGreen της εταιρίας 4M, η οποία παρέχει πλήθος Τεχνικών Λογισμικών τόσο στην εγχώρια όσο και στην παγκόσμια αγορά.

Το EnergyPlus είναι ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων που χρησιμοποιείται από μηχανικούς, αρχιτέκτονες και αναλυτές που επιθυμούν να μοντελοποιήσουν την κατανάλωση ενέργειας στο κτίριο επιλέγοντας το κατάλληλο HVAC σύστημα και να αναπτύξουν μελέτες ανάλυσης του κόστους κύκλου ζωής του. Το πρόγραμμα, έχει ως προκάτοχους του τα προγράμματα BLAST (Building Loads Analysis And System Thermodynamics) και DOE-2 τα οποία αναπτύχθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1970 ως εργαλεία προσομοίωσης ενέργειας και φορτίων, με σκοπό να επιλύσουν το πρόβλημα της ενεργειακής κρίσης που είχε προκαλέσει ανησυχίες στους μελετητές των ΗΠΑ, σε μια εποχή που γινόταν όλο και πιο αντιληπτή η αξία της μελέτης ενεργειακής κατανάλωσης για το κράτος. Ο συνδυασμός των δύο διαφορετικών τρόπων μελέτης, οδήγησε στη δημιουργία του EnergyPlus το οποίο με βάση τη φυσική σύνθεση του κτιρίου και των μηχανικών του συστημάτων καλείται να υπολογίσει τα απαραίτητα ψυκτικά και θερμικά φορτία για τη διασφάλιση των επιθυμητών συνθηκών στο χώρο, να ορίσει τις απαραίτητες προδιαγραφές των επικουρικών συστημάτων HVAC και να προσδιορίσει την κατανάλωση ενέργειας από πρωτογενείς εγκαταστάσεις.

Από την πρώτη του έκδοση μέχρι και σήμερα, το EnergyPlus περιλαμβάνει βασικά χαρακτηριστικά που περιλαμβάνουν την ικανότητα να συνδέει την απόκριση του κτιρίου με τα πρωτεύοντα και δευτερεύοντα εσωτερικά του συστήματα, την απόδοση των ψυκτικών και θερμικών φορτίων των επιμέρους θερμικών ζωνών στον επιθυμητό χρονικό βηματισμό και τη δυνατότητα υπολογισμού επιμέρους παραγόντων που επηρεάζουν την κατανάλωση όπως, οι κλιματολογικές συνθήκες, ο προσανατολισμός, οι εκπομπές CO₂ κλπ, μέσω εγκατεστημένων μοντέλων στο σύστημά του. Στην Εικόνα 43 παρατηρούμε τον τρόπο με τον οποίο το λογισμικό συνδέεται και αλληλοεπιδρά με τις επιμέρους μονάδες υπολογισμού και πληροφοριών για τη διεξαγωγή μιας μελέτης ενεργειακής κατανάλωσης. (EnergyPlus Documentation, 2021)



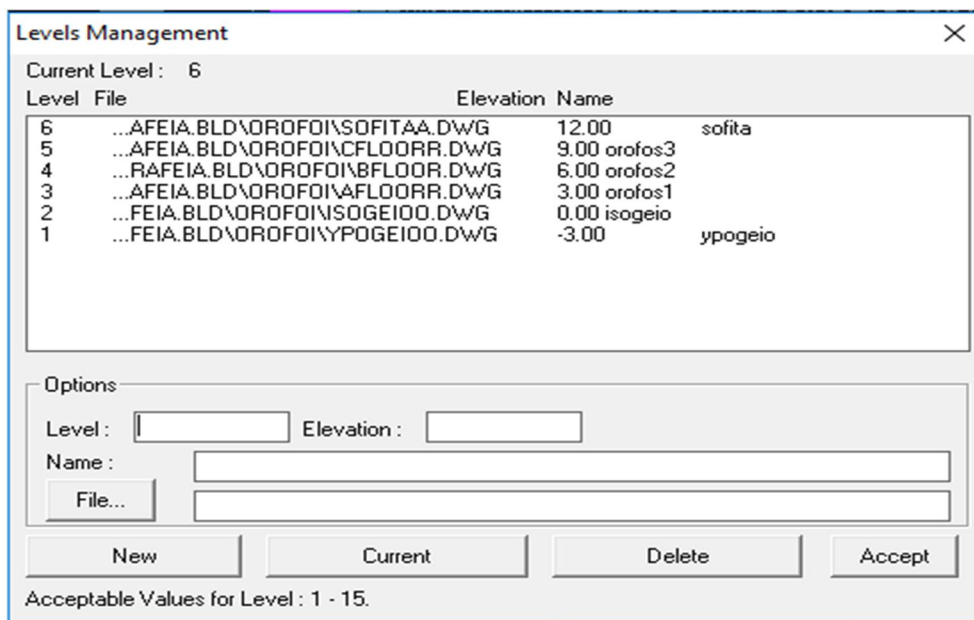
Εικόνα 43: Το EnergyPlus με τις εσωτερικές του μονάδες υπολογισμού

Το λογισμικό FineGreen με τη σειρά του, είναι ένα λογισμικό γραφικού περιβάλλοντος GUI (Graphical User Interface) που βασίζεται στον κώδικα του EnergyPlus για να αναπαραστήσει γραφικά και διαγραμματικά τους υπολογισμούς ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου. Στο FineGreen ο μελετητής εισάγει τις κατόψεις του κτιρίου από αρχεία μορφής DWG ή IFC και σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE 90.1, θα συνθέσει το κέλυφος του κτιρίου χρησιμοποιώντας δεδομένα υλικών και δομικών στοιχείων που είναι διαθέσιμα στο πλήθος βιβλιοθηκών του προγράμματος. Στις βιβλιοθήκες εμπεριέχονται πέραν των δομικών πληροφοριών, και προγράμματα λειτουργίας (schedules) τα οποία ορίζουν τόσο το πλήθος των χρηστών στο κτίριο όσο και τα ποσοστά λειτουργίας ισχύος των μηχανικών συστημάτων (κλιματιστικών, φωτιστικών, ζεστού νερού κλπ) για κάθε επιθυμητό χρονικό πλαίσιο. Στη συνέχεια, διαμορφώνεται το προφίλ του κτιρίου ορίζοντας τα βασικά χαρακτηριστικά δραστηριότητάς του (Activity Data), το φωτισμό (Lighting), τα συστήματα HVAC και τον τρόπο με τον οποίο θα λειτουργούν (HVAC systems), την παροχή ζεστού νερού (DHW) και δευτερεύουσες πληροφορίες που επηρεάζουν τη κατανάλωση ενέργειας στις θερμικές ζώνες (Zone Data). Το σύνολο των πληροφοριών θα οδηγήσουν στη διεξαγωγή αριθμητικών και διαγραμματικών αποτελεσμάτων βασισμένων στο πρότυπο ενεργειακής αξιολόγησης LEED, για χρονική διάρκεια ενός έτους. Το πλήθος πληροφοριών στις βιβλιοθήκες δίνουν τη δυνατότητα στο μελετητή να εφαρμόσει εναλλακτικά σενάρια λειτουργίας του κτιρίου προκειμένου να διαπιστώσει με ποιο τρόπο το κάθε κτίριο εμφανίζει βέλτιστη ενεργειακή απόδοση, όπως θα πράξουμε και εμείς στη συνέχεια.

9.1 Εισαγωγικές Ρυθμίσεις

Αρχικά, γίνεται εισαγωγή των κατόψεων των αρχιτεκτονικών σχεδίων μορφής DWG στο πρόγραμμα. Ξεκινάμε μια νέα μελέτη (Create Project) και ορίζοντας το όνομά της, δημιουργείται ένα αρχείο τύπου BLD (όνομα_μελέτης.blc). Στη συνέχεια, η εισαγωγή των επιμέρους κατόψεων τύπου DWG γίνεται κάθε μια ξεχωριστά και μέσα στο ήδη υπάρχον BLD αρχείο ως όνομα_μελέτης.dwg έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία που περιλαμβάνει τον ορισμό της κάτοψης ως μια οντότητα (block) και τεχνικές σμίκρυνσης του μεγέθους των αρχείων, με στόχο την ευκολότερη διαχείρισή τους σε επόμενα στάδια.

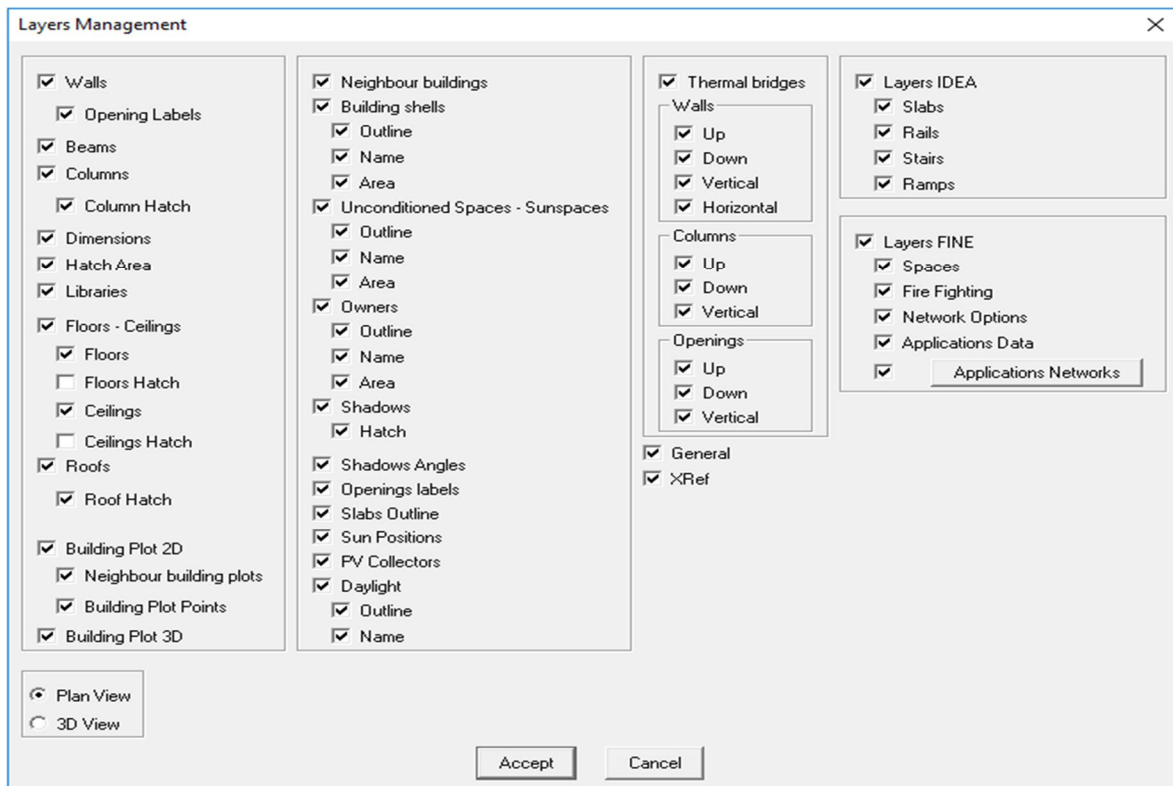
Είναι απαραίτητη η προσεγμένη στοίχιση των κατόψεων στο νέο αρχείο, με την κάθε μια να αποτελεί έναν όροφο του κτιρίου, προκειμένου να εξασφαλιστεί μια σωστή διάταξη για τη δημιουργία του κελύφους στη συνέχεια. Ο ορισμός των ορόφων γίνεται από την καρτέλα Levels Management (AutoBLD → Building Definition) δίνοντας όνομα και απόσταση ύψους από το επίπεδο αναφοράς (elevation), από το χαμηλότερο επίπεδο προς το υψηλότερο. Στο κτίριό μας λαμβάνουμε ως επίπεδο αναφοράς το ισόγειο με ύψος 0.00 και κάθε ανώτερος όροφος θα απέχει από τον προηγούμενο κατά 3 μέτρα. Άρα θα έχουμε το υπόγειο με elevation -3.00, τον α' όροφο 3.00, τον β' όροφο 6.00, τον γ' όροφο 9.00 και τέλος την σοφίτα με elevation 12.00 (Εικόνα 44).



Εικόνα 44: Καρτέλα 'Levels Management' για τον ορισμό ορόφων'

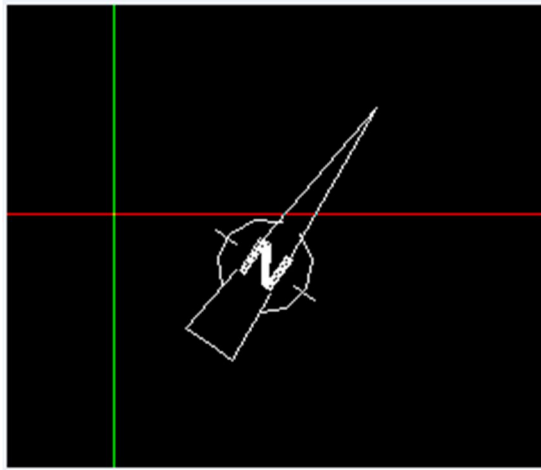
Η πρόοδος της επεξεργασίας κάθε ορόφου ξεχωριστά αλλά και ολόκληρου του κτιρίου μπορεί να γίνει εμφανής από την καρτέλα Layers Management, στην οποία παρέχεται

πλήθος επιλογών που σχετίζονται με την οπτική αναπαράσταση του κτιρίου τόσο σε δισδιάστατη μορφή (Plan View) όσο και σε τρισδιάστατη (3D View) βοηθώντας μας να κατανοήσουμε πλήρως τη μορφή του και να το επεξεργαστούμε ανάλογα (Εικόνα 45).



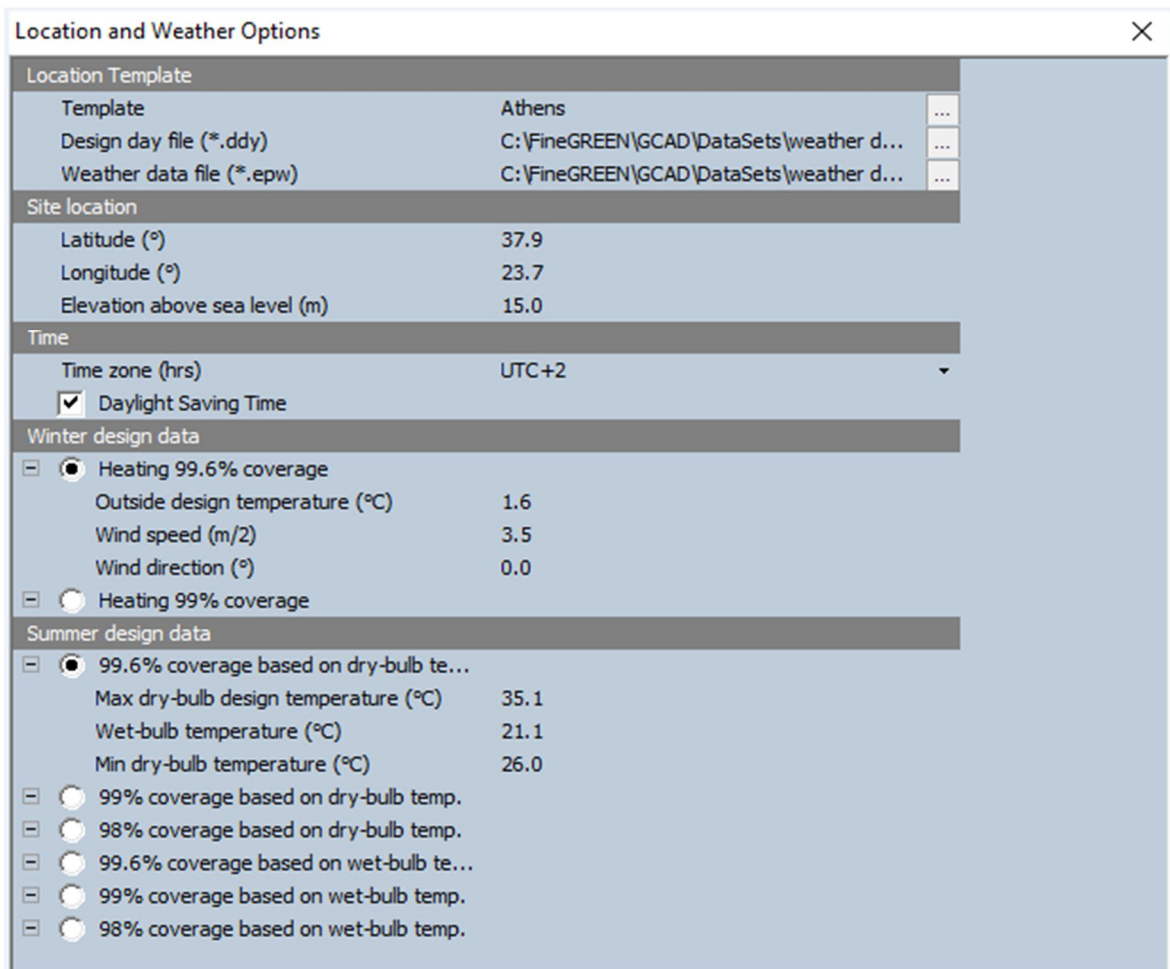
Εικόνα 45: Καρτέλα 'Layers Management' με επιλογές μορφής της εκάστοτε κάτοψης

Σημαντικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα της ενεργειακής μας μελέτης είναι ο προσανατολισμός του κτιρίου (AutoBLD → NorthDirection), τον οποίο ορίζουμε ως βορειοανατολικό (Εικόνα 46). Ο προσδιορισμός του είναι απαραίτητος καθώς συνδέεται άμεσα με τα θερμικά κέρδη που μπορεί να έχει το κτίριο από τον ήλιο, του οποίου οι ακτίνες όσο περισσότερο χρόνο κατευθύνονται προς το κτίριο, τόσο περισσότερο περιορίζουν τις ανάγκες θέρμανσής του στους χειμερινούς μήνες έως και κατά 70% αν είναι σε νότια όψη. Αντίστοιχα επηρεάζει και ο άνεμος ο οποίος ανάλογα με την κατεύθυνσή του (πχ βοριάς) μπορεί να γίνει πολύτιμος για την διατήρηση των επιθυμητών συνθηκών το καλοκαίρι.



Εικόνα 46: Προσανατολισμός κτιρίου

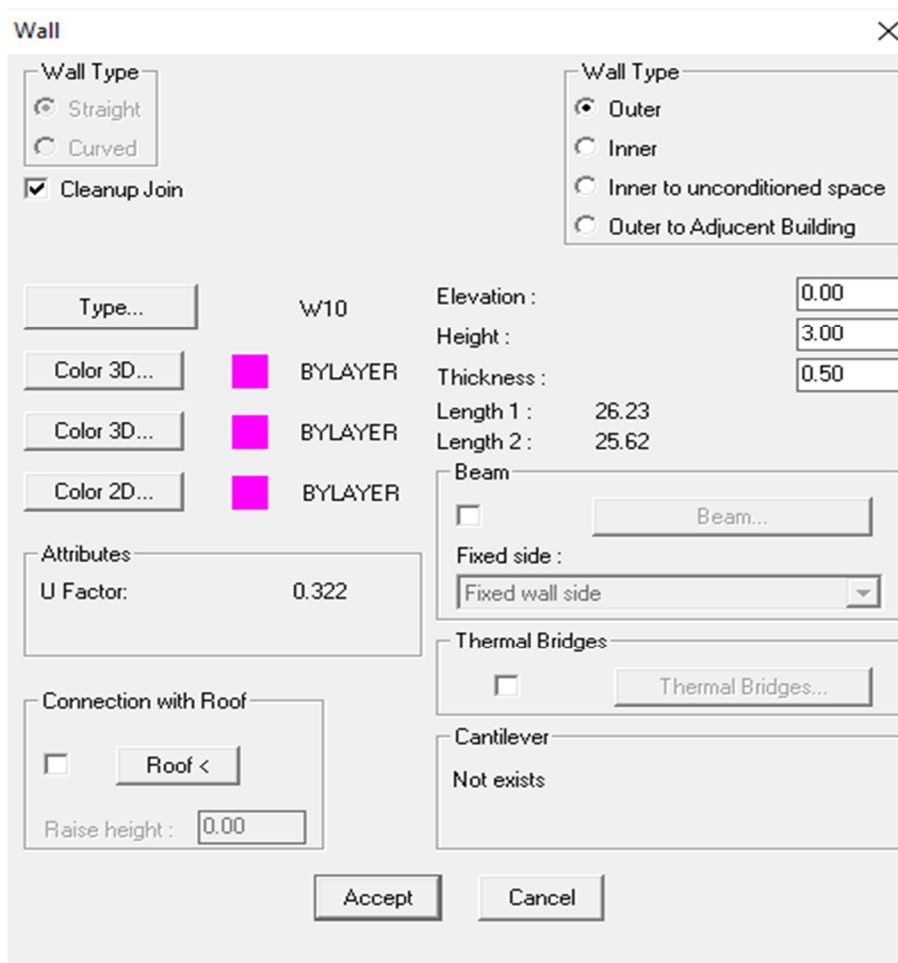
Επιπλέον, ορίζουμε την τοποθεσία του κτιρίου (AutoBLD → ElementParameters → Other Functions → EnergyPlus location and weather) επιλέγοντας την ανάμεσα στο πλήθος επιλογών των βιβλιοθηκών, προσδιορίζοντας έτσι τις ανάλογες καιρικές και κλιματολογικές συνθήκες που επηρεάζουν την καθημερινότητα στο κτίριο. Τα γραφεία μας βρίσκονται στην πόλη του Βόλου ωστόσο επειδή η περιοχή δεν βρίσκεται στη βιβλιοθήκη του προγράμματος θα επιλέξουμε την Αθήνα, καθώς οι δύο πόλεις ανήκουν στην ίδια κλιματική ζώνη και επομένως θα αντιμετωπίζουν τις ίδιες συνθήκες. Στην Εικόνα 47 βλέπουμε την καρτέλα 'Location and Weather Options' στην οποία φαίνεται η επιλογή της πόλης από το αντίστοιχο σημείο της βιβλιοθήκης, οι συντεταγμένες του σημείου με την απόσταση ύψους από την επιφάνεια της θάλασσας, ο ορισμός της ώρας, και επιμέρους πληροφορίες σχετικά με τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.



Εικόνα 47: Καρτέλα 'Location and Weather Options'

9.2 Δημιουργία Κτιριακού Κελύφους

Στο στάδιο αυτό είμαστε έτοιμοι να δημιουργήσουμε το εξωτερικό περίβλημα του κτιρίου, ξεκινώντας από τη βασική τοιχοποιία (AutoBLD → Wall → Outer Wall) της Εικόνας 48, οριοθετώντας το μήκος και το πάχος της τοιχοποιίας για κάθε όροφο ύψους 3 μέτρων και επιλέγοντας τον κατάλληλο τύπο από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος. Σημειώνεται, ότι δεν υπολογίζουμε τις απώλειες θερμογεφυρών.

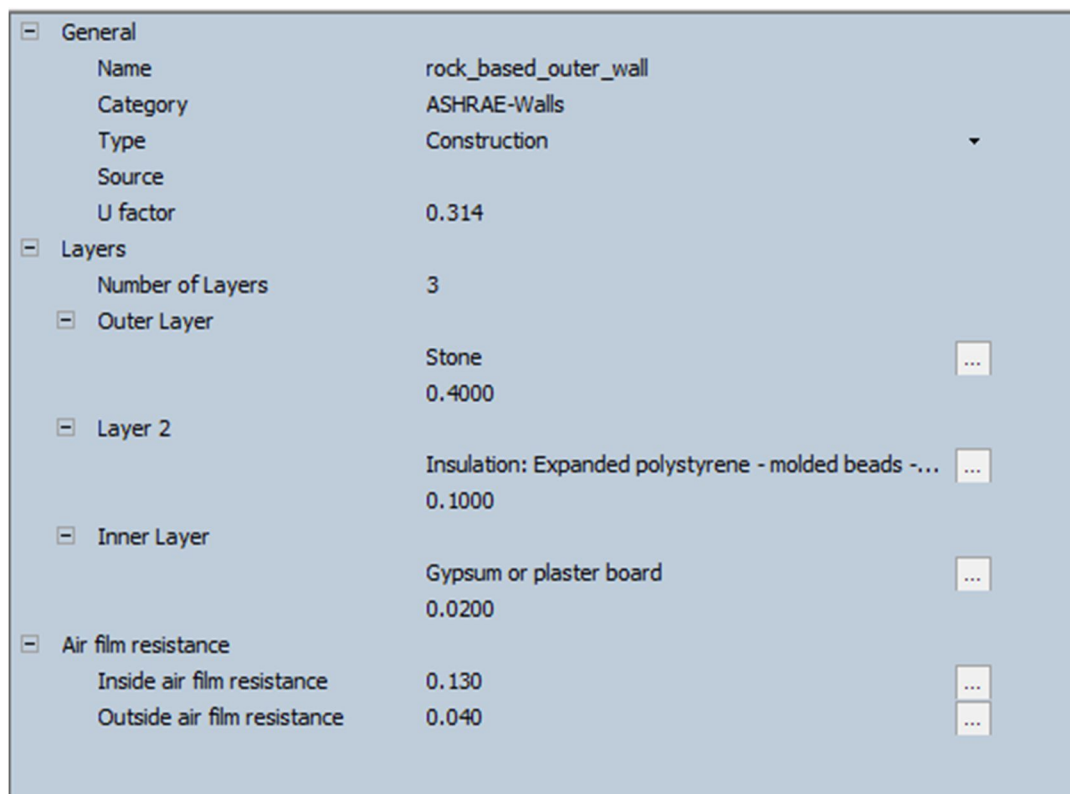


Εικόνα 48: Καρτέλα ορισμού εξωτερικής τοιχοποιίας

Για να είμαστε ακριβείς στους υπολογισμούς μας δεν αρκεστήκαμε σε κάποια υπάρχουσα τοιχοποιία και γι' αυτό ορίσαμε ένα νέο τύπο της, επιλέγοντας την κατάλληλη αλληλουχία δομικών και μονωτικών υλικών. Το εξωτερικό περίβλημα του κτιρίου έχει κατά βάση το πέτρινο στοιχείο στο μεγαλύτερο ποσοστό του, ενώ ένα τμήμα του τελευταίου ορόφου στη σοφίτα είναι κυρίως φτιαγμένο από τούβλο.

Πιο συγκεκριμένα η πέτρινη τοιχοποιία της Εικόνας 49, ξεκινώντας από έξω προς τα μέσα αποτελείται από:

- Πέτρα πάχους 40 εκατοστών
- Μόνωση διογκωμένης πολυστερίνης με πυκνότητα 24kg/m^3 πάχους 10 εκατοστών
- Επικάλυψη από σοβά ή γυψοσανίδα πάχους 2 εκατοστών



Εικόνα 49: Αλληλουχία δομικών υλικών πέτρινης τοιχοποιίας

Η σταθερότητα που παρέχει η πέτρινη τοιχοποιία καθ' όλη την έκτασή της καθιστά περιττή την ύπαρξη δοκαριών στο κτίριο και γι' αυτό δεν τα επιλέγουμε. Με την παραπάνω αλληλουχία το πρόγραμμα υπολογίζει τον συντελεστή θερμοπερατότητας (U-value) ο οποίος στην περίπτωση αυτή έχει τιμή $0,314 \text{ W/m}^2\text{K}$. Επιπλέον, ορίζουμε τις κατάλληλες τιμές αντίστασης του αέρα ως προς τη διάδοση της θερμότητας μέσα από την αλληλουχία των δομικών υλικών (R-value). Όπως είδαμε ο συντελεστής αυτός είναι αντιστρόφως ανάλογος του συντελεστή θερμοπερατότητας και εκφράζει το πόσο δύσκολα ο αέρας μπορεί να διαπεράσει την τοιχοποιία. Από τις ήδη πρότυπες τιμές του προγράμματος επιλέγουμε για αντίσταση του αέρα στο εσωτερικό του τοίχου $0,13\text{m}^2\text{K/W}$ και για το αντίστοιχο εξωτερικό $0,04\text{m}^2\text{K/W}$.

Αντίστοιχα δημιουργήσαμε και την τοιχοποιία από τούβλα της Εικόνας 50 η οποία περιέχει:

- Επικάλυψη από σοβά ή γυψοσανίδα πάχους 2 εκατοστών
- Τούβλο πάχους 9 εκατοστών
- Μόνωση διογκωμένης πολυστερίνης με πυκνότητα 24kg/m^3 πάχους 8 εκατοστών
- Τούβλο πάχους 9 εκατοστών

- Επικάλυψη από σοβά ή γυψοσανίδα πάχους 2 εκατοστών

[-] General	
Name	regular_brick_wall
Category	ASHRAE-Walls
Type	Construction
Source	
U factor	0.367
[-] Layers	
Number of Layers	5
[-] Outer Layer	
	Gypsum or plaster board
	0.0200
[-] Layer 2	
	Brick
	0.0900
[-] Layer 3	
	Insulation: Expanded polystyrene - molded beads -...
	0.0800
[-] Layer 4	
	Brick
	0.0900
[-] Inner Layer	
	Gypsum or plaster board
	0.0200
[-] Air film resistance	
Inside air film resistance	0.130
Outside air film resistance	0.040

Εικόνα 50: Αλληλουχία δομικών στοιχείων τοιχοποιίας τούβλου

Το U-value της συγκεκριμένης τοιχοποιίας υπολογίζεται $0,367\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, ενώ η αντίσταση του αέρα για το εσωτερικό και το εξωτερικό του επιλέγονται όπως και πριν, $0,13\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ και $0,04\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ αντίστοιχα.

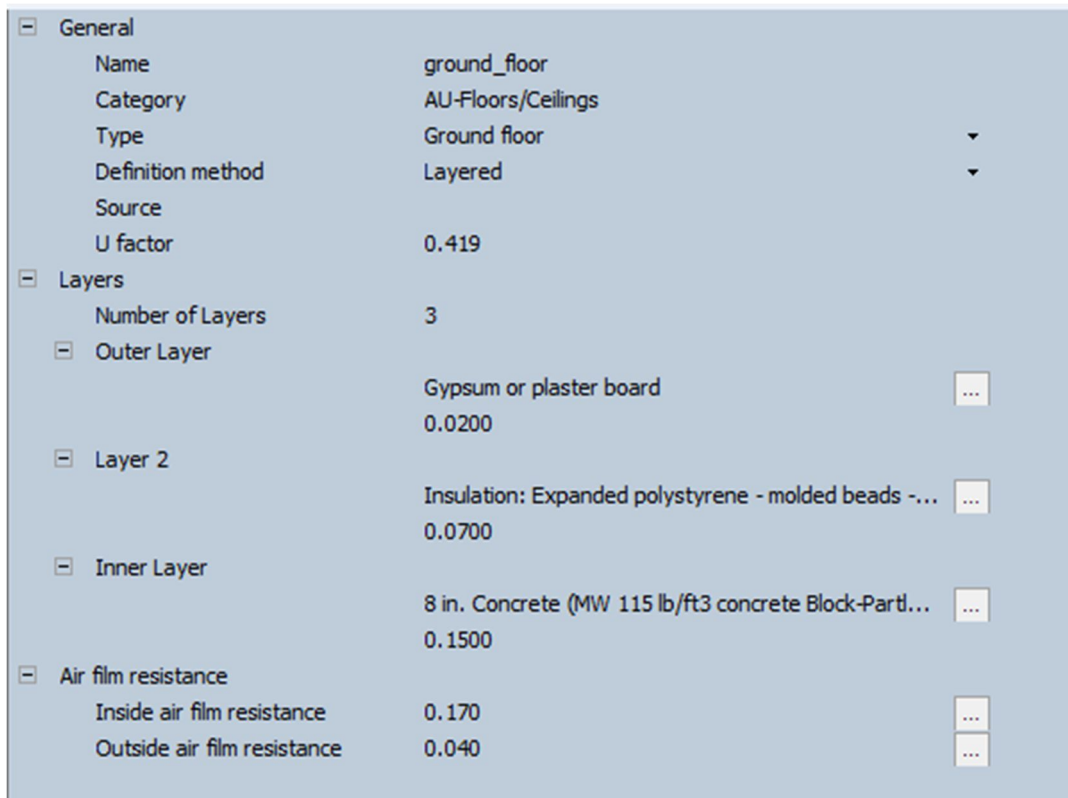
Αφού δημιουργηθούν οι τοιχοποιίες, τις τοποθετούμε στην αντίστοιχη πρότυπη λίστα (AutoBLD → Typical Data → Outer Walls) από όπου θα τις επιλέξουμε από τη βιβλιοθήκη για να τις εισάγουμε. Η πέτρινη τοιχοποιία αντιστοιχεί στην επιλογή W10 ενώ η αντίστοιχη από τούβλο στην επιλογή W11.

Στη συνέχεια, ορίζουμε τα δάπεδα και τις οροφές στο κτίριο με ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε αυτά που το χωρίζουν από εξωτερικούς μη θερμαινόμενους χώρους, δηλαδή τα δάπεδα υπογείου και ισογείου, η οροφή τμήματος του 3ου ορόφου και η οροφή της σοφίτας.

Ακολουθούμε AutoBLD → Floors-Ceilings → Floor/Ceiling και επιλέγουμε περιμετρικά την επιφάνεια κάλυψής τους, η οποία θα γίνει εμφανής ως σκιασμένη επιφάνεια (hatch).

Αντίστοιχα ορίζουμε στη βιβλιοθήκη τη δομή των δαπέδων και ορόφων (Εικόνα 51) από έξω προς τα μέσα ως εξής:

- Επικάλυψη από σοβά ή γυψοσανίδα πάχους 2 εκατοστών
- Μόνωση διογκωμένης πολυστερίνης με πυκνότητα 24kg/m^3 πάχους 7 εκατοστών
- Σκυρόδεμα 115lb/ft^3 μερικώς ενωμένων κενών και πάχους 15 εκατοστών



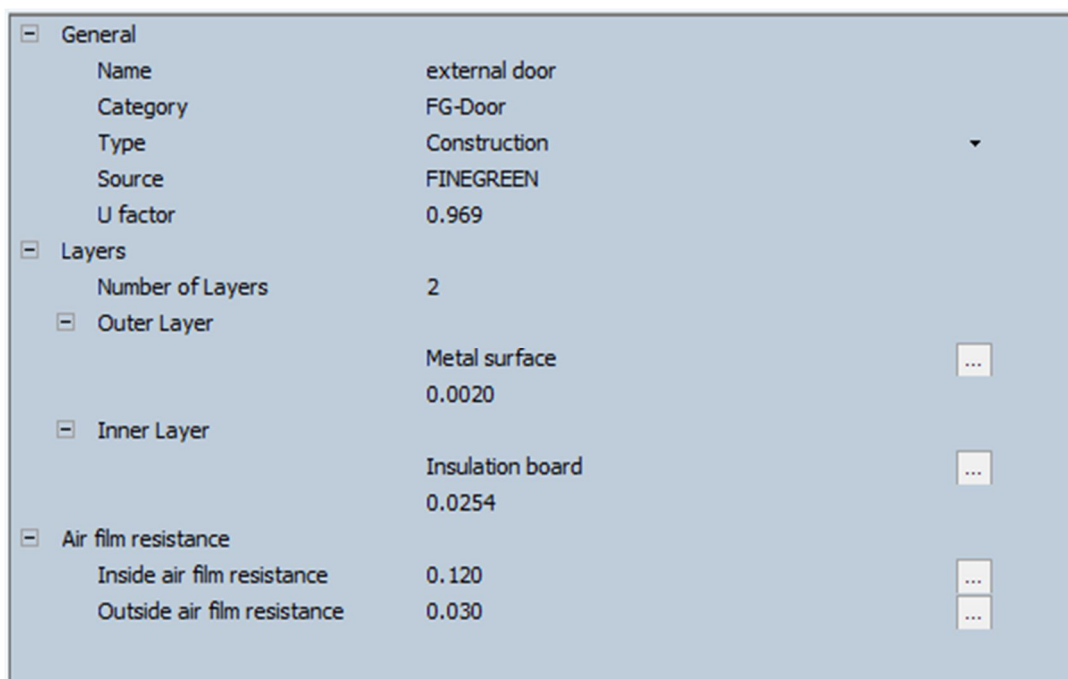
Εικόνα 51: Αλληλουχία δομικών υλικών δαπέδων και ορόφων

Το U-value της δομής υπολογίστηκε $0,419\text{W/m}^2\text{K}$ ενώ οι συντελεστές αντίστασης του αέρα από το εσωτερικό και το εξωτερικό του δαπέδου/οροφής ορίστηκε ως $0,17\text{m}^2\text{K/W}$ και $0,04\text{m}^2\text{K/W}$ αντίστοιχα.

Επομένως η τοποθέτηση των δαπέδων/ορόφων στην λίστα επιλογής γίνεται AutoBLD → Typical Data → Floors/Ceilings όπου στην περίπτωση μας αντιστοιχούν στην επιλογή F6 και C6 αντίστοιχα.

Επόμενο βήμα, είναι η τοποθέτηση των επιθυμητών ανοιγμάτων (πόρτες και παράθυρα) στην ήδη υπάρχουσα τοιχοποιία. Ακολουθώντας AutoBLD → Opening → Window/Door και ορίζοντας τα σημεία τοποθέτησης στην τοιχοποιία, επιλέγουμε τις διαστάσεις των ανοιγμάτων (ύψος, πρέκι, ποδιά) καθώς και το είδος του ανοίγματος από τη βιβλιοθήκη. Στην περίπτωση μας οι πόρτες που επιλέχθηκαν, της Εικόνας 52, ανήκουν στην κατηγορία FG-Door και αποτελούνται από:

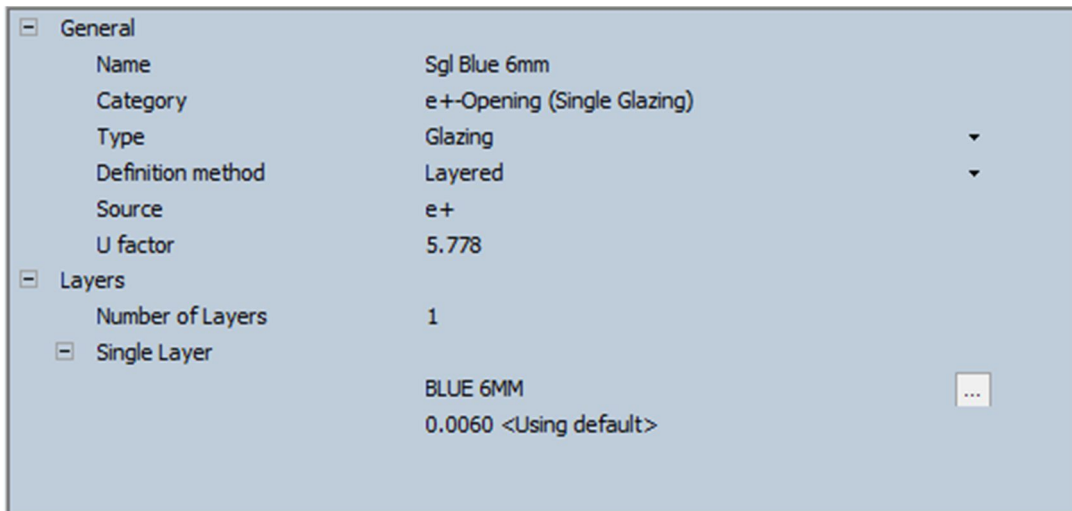
- εξωτερική μεταλλική επιφάνεια πάχους 2 χιλιοστών
- εσωτερική μόνωση πάχους 2,54 εκατοστών



Εικόνα 52: Χαρακτηριστικά εξωτερικών πορτών

Το U-value τους υπολογίστηκε $0,969\text{W/m}^2\text{K}$ από το πρόγραμμα και οι τιμές αντίστασης αέρα ως προς τη θερμότητα των υλικών, ορίστηκαν εσωτερικά $0,12\text{m}^2\text{K/W}$ και εξωτερικά $0,03\text{m}^2\text{K/W}$.

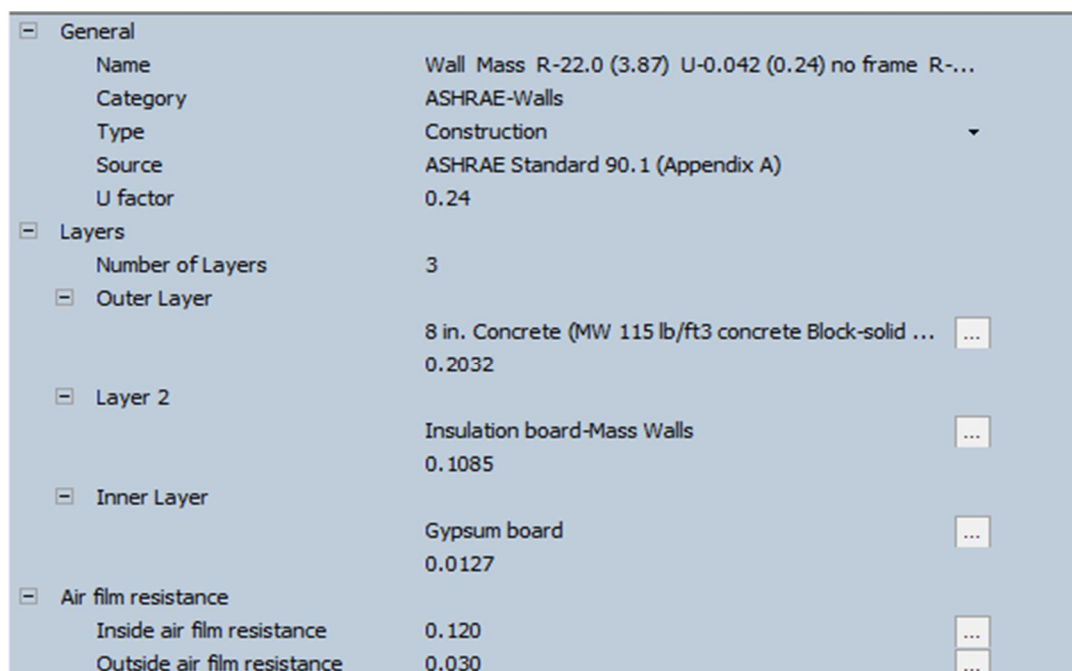
Αντίστοιχα τα παράθυρα (Εικόνα 53) επιλέχθηκαν από την κατηγορία e+-Opening (Single Glazing) με ένα μοναδικό επίπεδο τζαμιού 6 χιλιοστών (blue 6mm). Το U-value τους υπολογίζεται $5,778\text{W/m}^2\text{K}$ με την υψηλή αυτή τιμή να υποδηλώνει το μεγάλο μέγεθος απωλειών που μπορούν να επιφέρουν και να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό την κατανάλωση στο κτίριο.



Εικόνα 53: Χαρακτηριστικά παραθύρων

Επίσης, όσον αφορά τα φέροντα στοιχεία (κολώνες) στο κτίριο, η παρουσία τους είναι σχεδόν ανύπαρκτη λόγω της πέτρινης τοιχοποιίας. Ωστόσο στην τοιχοποιία τούβλου στον τελευταίο όροφο διακρίνονται 2 από αυτά, ορθογώνιου σχήματος και ύψους 3 μέτρων, τα οποία αποτελούνται από τα εξής δομικά υλικά που παρουσιάζονται και στην Εικόνα 54:

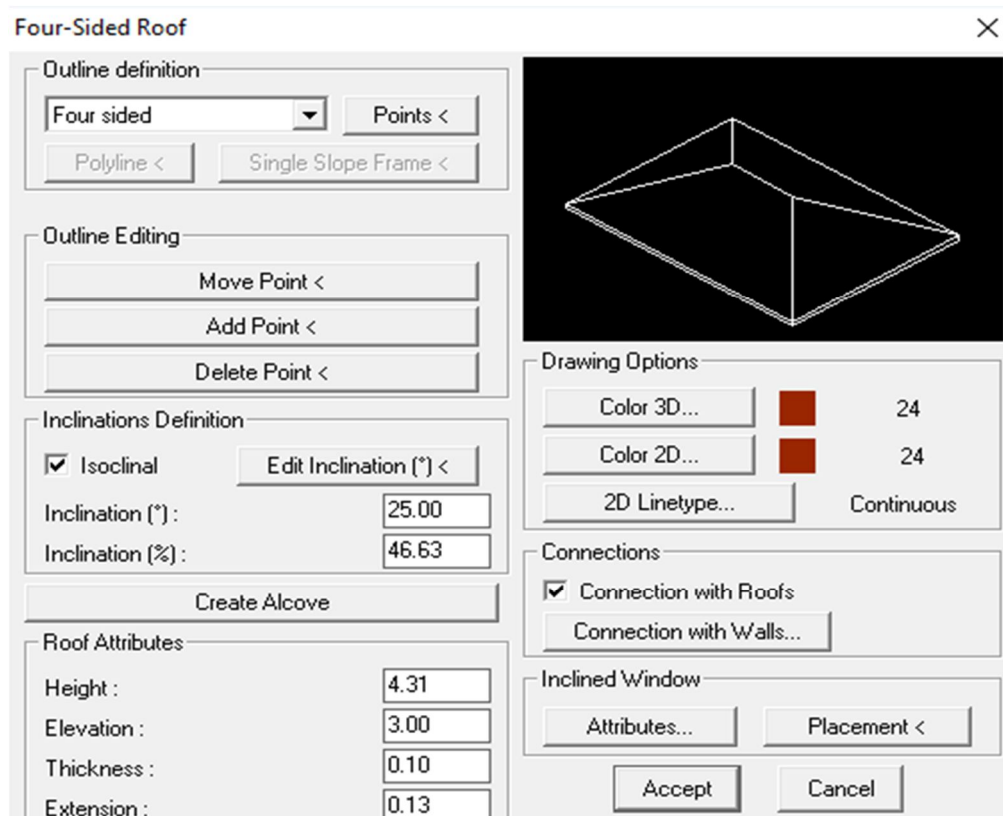
- Σκυρόδεμα 115lb/ft³ μερικώς ενωμένων κενών και πάχους 20,32 εκατοστών
- Μόνωση πάχους 10,85 εκατοστών
- Γυψοσανίδα πάχους 1,27 εκατοστών



Εικόνα 54: Χαρακτηριστικά δομικών υλικών φερόντων στοιχείων

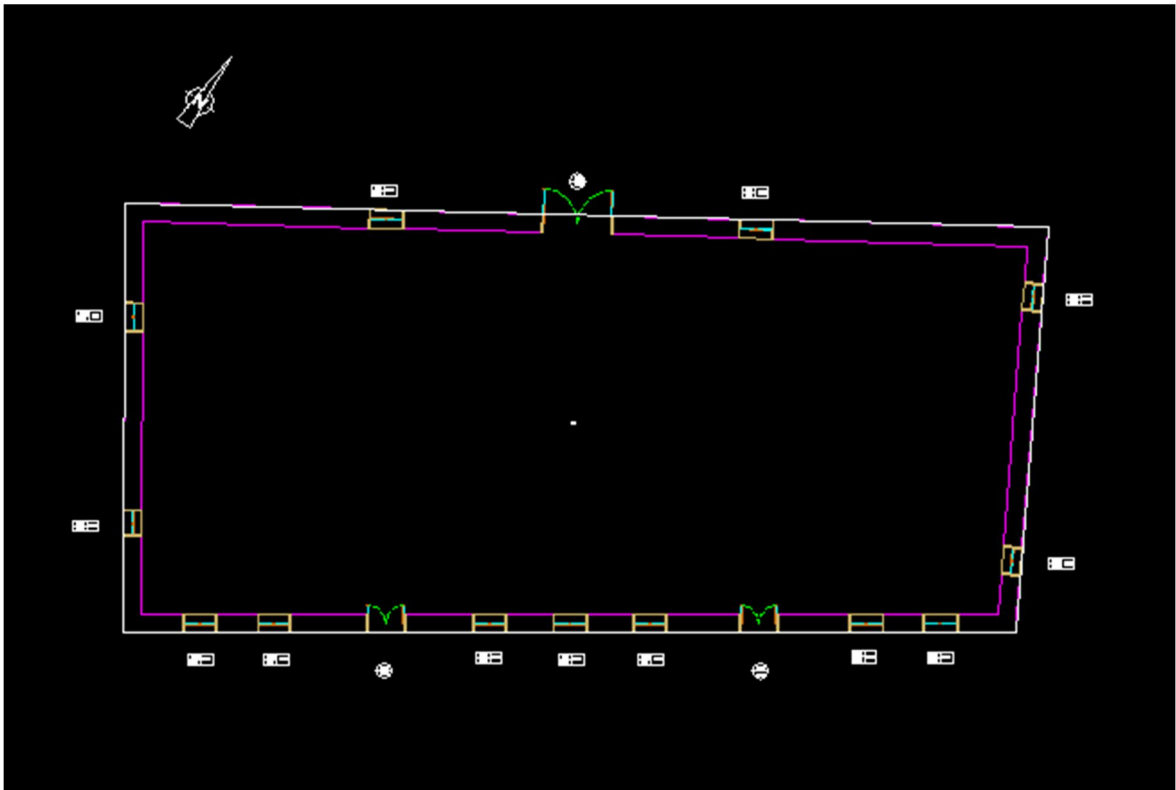
Το U-value υπολογίζεται $0,24\text{W/m}^2\text{K}$ και τα R-value εσωτερικά ορίζεται $0,12\text{m}^2\text{K/W}$ ενώ εξωτερικά $0,03\text{m}^2\text{K/W}$ σύμφωνα με τους υπολογισμούς του προτύπου ASHRAE Standard 90.1 (Appendix A).

Τέλος, τοποθετούμε την κατάλληλη σκεπή για το κτίριό μας ακολουθώντας AutoBLD → Floors-Ceilings → Roof (Εικόνα 55). Επιλέγουμε τα σημεία της οροφής του τελευταίου ορόφου πάνω στα οποία θα τοποθετηθεί η σκεπή και τα συνδέουμε μαζί της ενεργοποιώντας 'Connection with Roofs'.

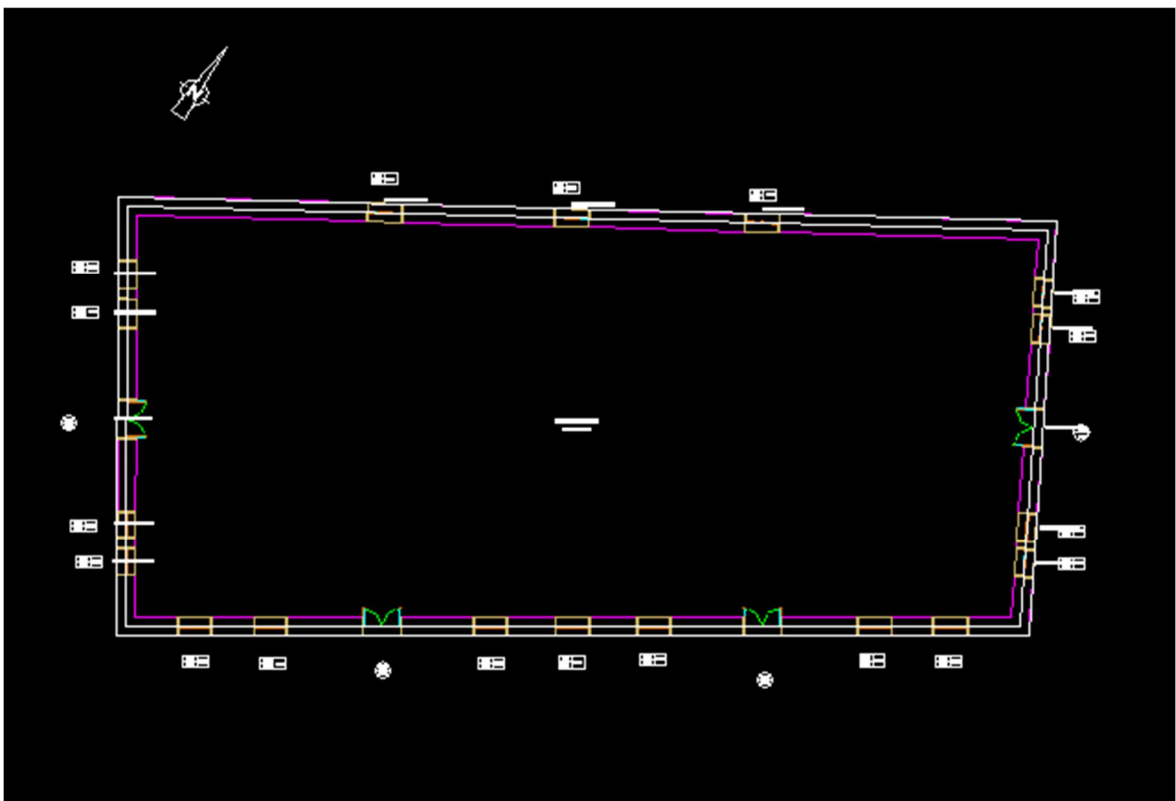


Εικόνα 55: Είδος και χαρακτηριστικά σκεπής

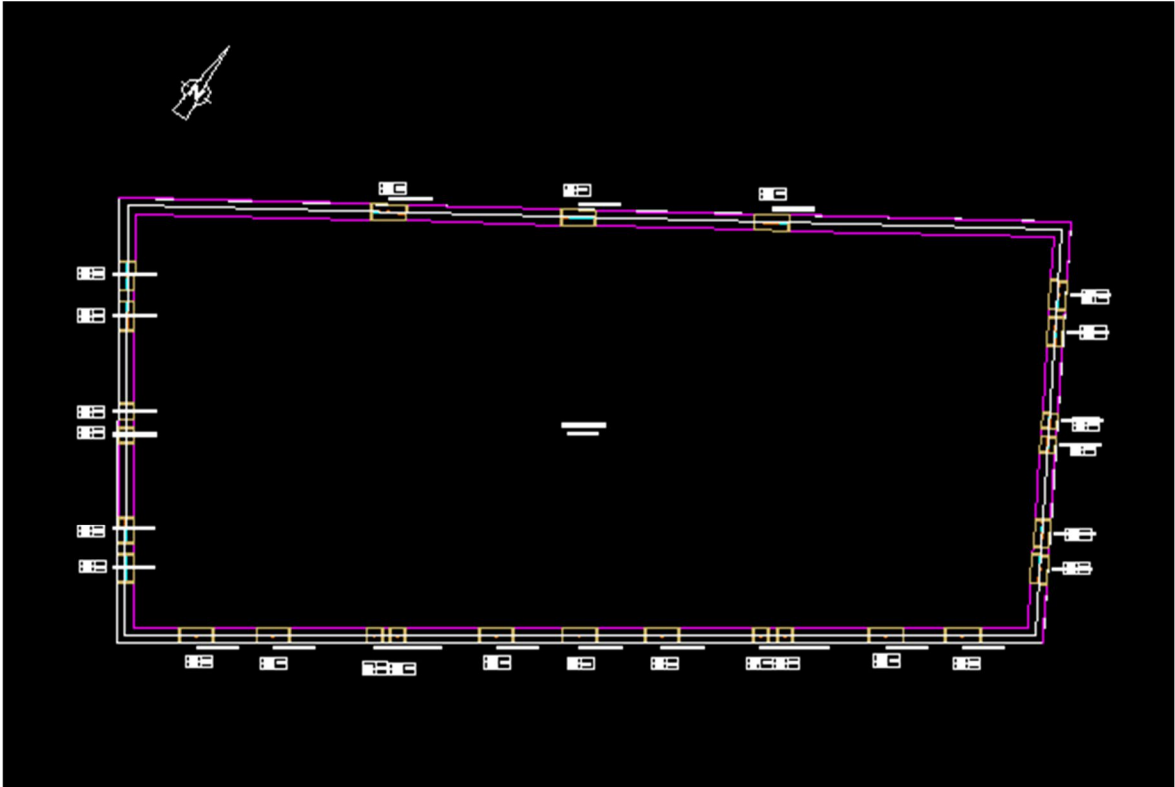
Με την διεκπεραίωση των παραπάνω διαδικασιών ολοκληρώνουμε τη δόμηση των νέων κατόψεων από το FineGreen που προσδιορίζουν το κέλυφος κάθε ορόφου ξεχωριστά στις Εικόνες 56, 57, 58, 59, 60 και 61.



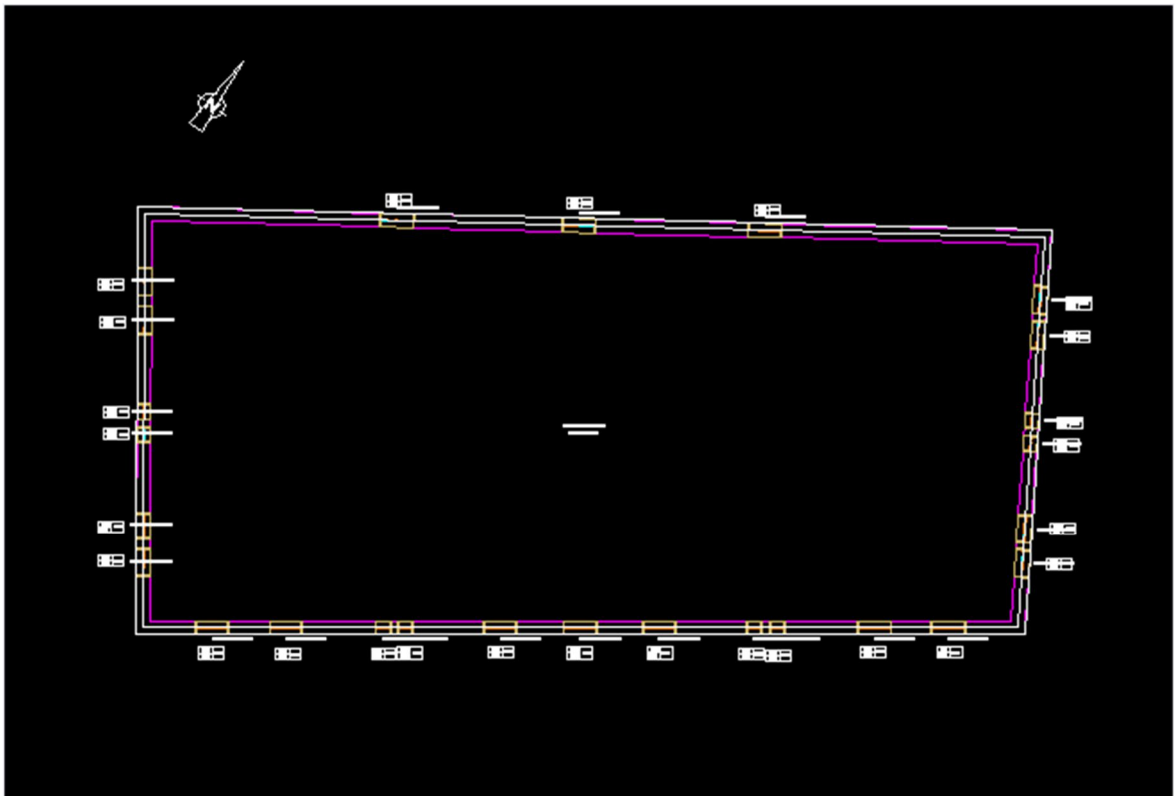
Εικόνα 56: Κάτοψη υπογείου



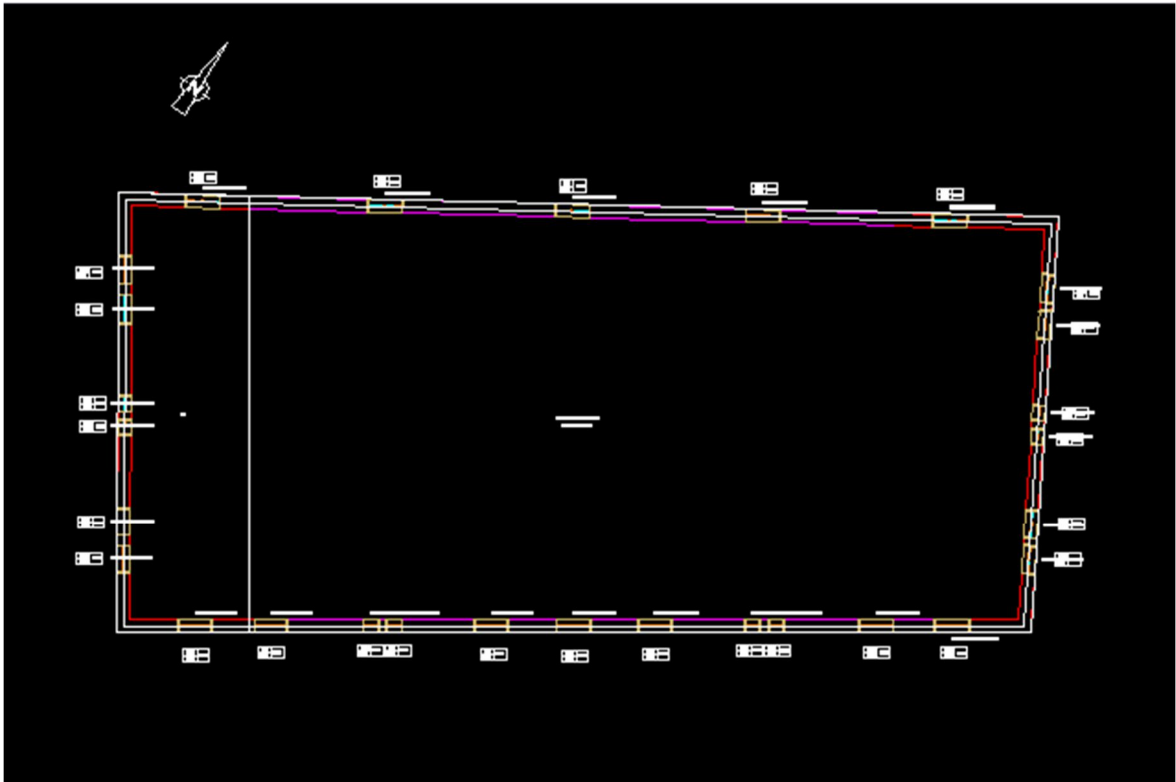
Εικόνα 57: Κάτοψη ισογείου



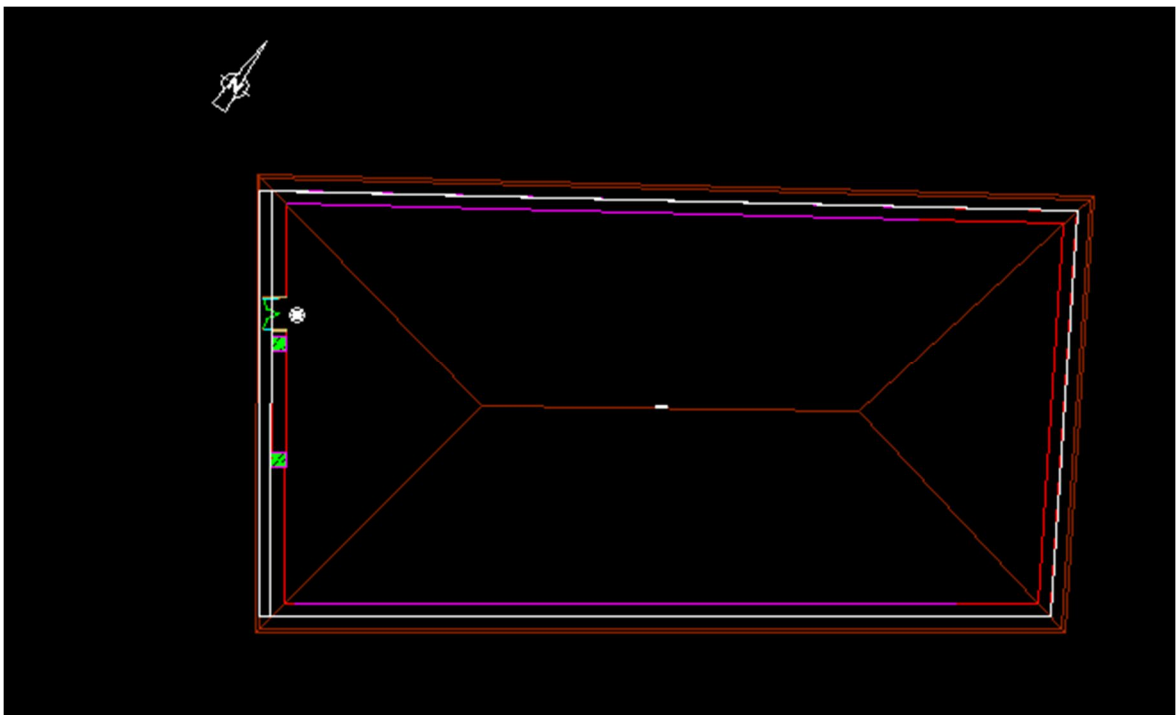
Εικόνα 58: Κάτοψη α' ορόφου



Εικόνα 59: Κάτοψη β' ορόφου

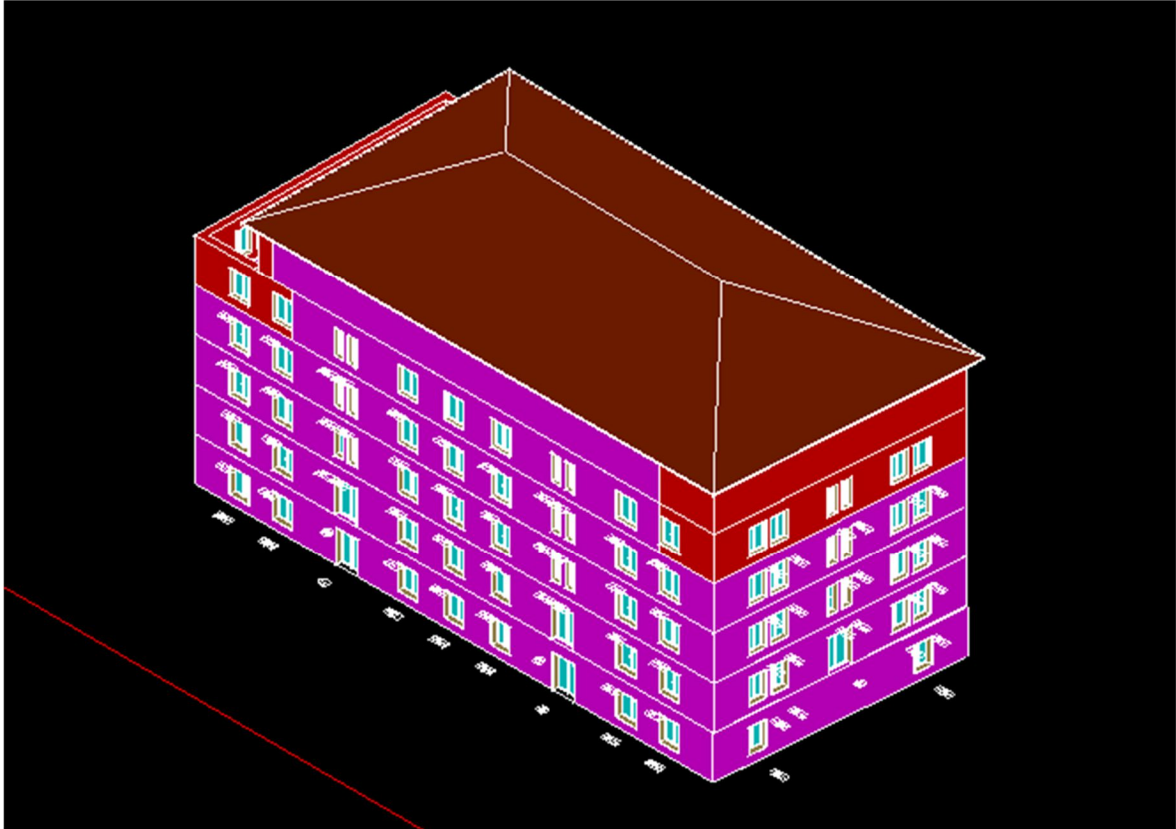


Εικόνα 60: Κάτοψη γ' ορόφου



Εικόνα 61: Κάτοψη σοφίτας

Ακολουθώντας AutoBLD → Αποχometric παρατηρούμε την τρισδιάστατη μορφή όλου του κτιρίου και μέσω View → Shade → 256 ColorEdgeHighlight μπορούμε να προσθέσουμε σκίαση για αισθητικότερη οπτική αναπαράσταση (Εικόνα 62).



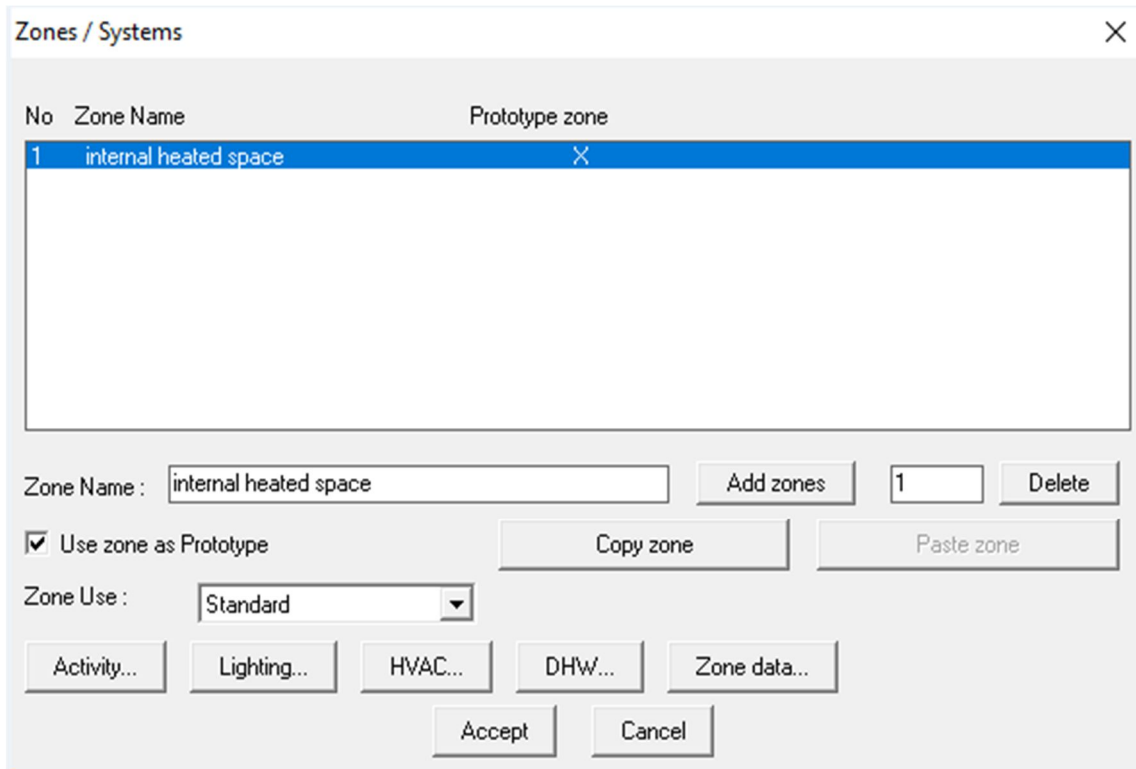
Εικόνα 62: Τρισδιάστατη (3D) κτιριακή απεικόνιση

9.3 Ορισμός Θερμικών Ζωνών

Στο σημείο αυτό, έχοντας ολοκληρώσει το σχεδιασμό του κτιριακού περιβλήματος, θα ορίσουμε τις θερμικές ζώνες που περιλαμβάνει. Όπως αναφέρθηκε και στην αντίστοιχη θεωρητική ενότητα, το πλήθος των θερμικών ζωνών ενός κτιρίου εξαρτάται από τη διαφορά ενεργειακών απαιτήσεων από όροφο σε όροφο. Αν δηλαδή ένα ισόγειο είχε αισθητά μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις συγκριτικά με τον α' όροφο ενός κτιρίου, θα ήταν εύλογο ο κάθε όροφος να ανήκε σε διαφορετικές θερμικές ζώνες με σκοπό να αντιμετωπιστεί με διαφορετικό τρόπο και κατ' επέκταση η μελέτη να είναι πιο ακριβής. Στο κτίριο που μελετάμε, το υπόγειο και η σοφίτα αποτελούν εσωτερικούς μη θερμαινόμενους χώρους και

δεν θα ενταχθούν σε κάποια θερμική ζώνη για να μελετηθούν. Οι υπόλοιποι όροφοι (ισόγειο, α' όροφος, β' όροφος, γ' όροφος) αποτελούνται από χώρους κοινών ενεργειακών απαιτήσεων κατά μέσο όρο, αφού περιλαμβάνουν όλοι κυρίως γραφεία, γι' αυτό θα ενταχθούν σε μια θερμική ζώνη η οποία θα είναι και η μοναδική στη μελέτη.

Για τον ορισμό της, ακολουθούμε AutoBLD → Element Parameters → Zones/Systems, και στο παράθυρο που εμφανίζεται (Εικόνα 63) επιλέγουμε όνομα (*internal heated space*) και τύπο (Standard).



Εικόνα 63: Ορισμός θερμικής ζώνης

Τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν μια θερμική ζώνη χωρίζονται στις εξής 5 κατηγορίες:

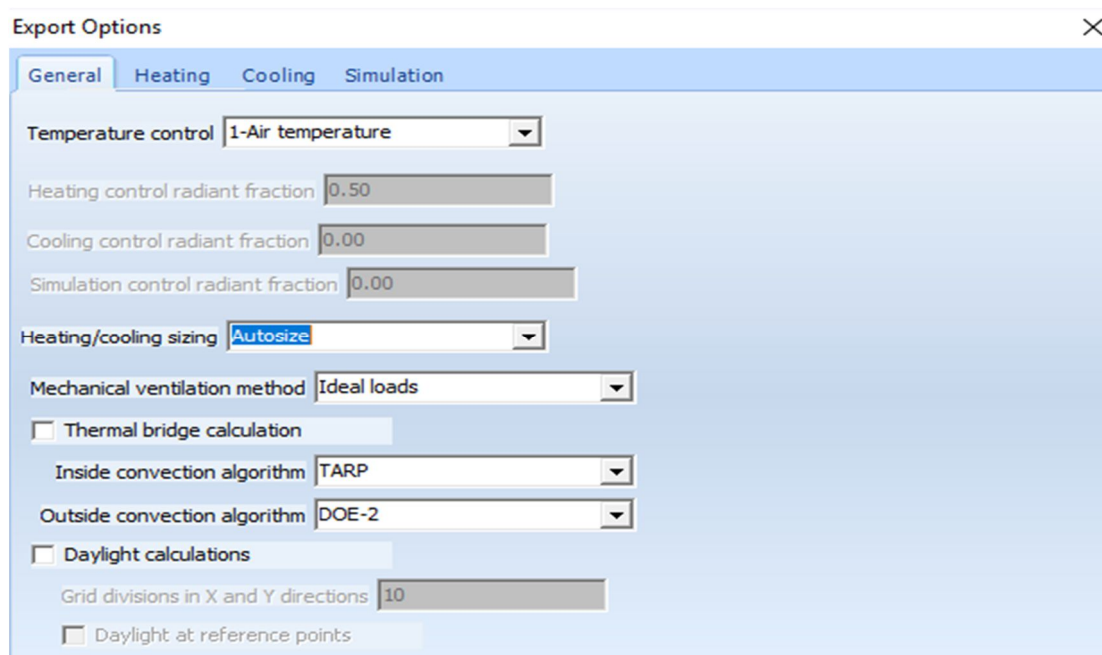
- **Activity:** με πληροφορίες για τα προγράμματα λειτουργίας της θερμικής ζώνης και επιμέρους λεπτομερείς που σχετίζονται κυρίως με το πλήθος χρηστών σε αυτήν
- **Lighting:** για την εισαγωγή τύπου και προγράμματος λειτουργίας φωτισμού
- **HVAC:** για την επιλογή συστήματος κλιματισμού, προγράμματος λειτουργίας τους και παραμέτρων που επηρεάζουν την κατανάλωση στη θερμική ζώνη
- **DHW:** που αφορά την παροχή ζεστού νερού χρήσης

- **Zone Data:** με πληροφορίες που αφορούν δευτερεύουσες απώλειες, όπως τον αέρα χαραμάδων με τα χαρακτηριστικά του (ταχύτητα κλπ.)

Στη συνέχεια ακολουθώντας, AutoBLD → Definition of Plan View Elements → Building Zone Definition → By Walls / By Point, θα αντιστοιχίσουμε τη θερμική ζώνη που δημιουργήσαμε με τον επιθυμητό χώρο. Επιλέγοντας 'By Walls' ορίζουμε τη θερμική ζώνη επιλέγοντας όλους του τοίχους που περικλείουν το χώρο, ενώ 'By Point' αρκεί η επιλογή μιας τοιχοποιίας και ενός σημείο στον εσωτερικό της χώρο.

9.4 Παράμετροι Εξαγωγής Αποτελεσμάτων

Ακολουθώντας AutoBLD → Element Parameters → Other Functions → EnegyPlus export settings, οδηγούμαστε στην καρτέλα Export Options που περιλαμβάνει τις διαθέσιμες επιλογές που ρυθμίζουν τον τρόπο εξαγωγής των αποτελεσμάτων της μελέτης. Σε αυτήν εμπεριέχονται γενικές παράμετροι που αφορούν την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου (General), παράμετροι που θα ορίσουν τους υπολογισμούς θέρμανσης (Heating) και ψύξης (Cooling), καθώς και ειδικοί παράμετροι προσομοίωσης (Simulation). Στην παρούσα διπλωματική, κρατήσαμε τις default προεπιλεγμένες παραμέτρους του FineGreen, αλλάζοντας μόνο τις ημερομηνίες για εξαγωγή αποτελεσμάτων σε διαφορετικές χρονικές περιόδους ανάλογα με την περίσταση. Στις Εικόνες 64, 65, 66 και 67 παρατηρούμε τις παραμέτρους με βάση τις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί.



Εικόνα 64: Γενικές ρυθμίσεις εξαγωγής

Export Options ✕

General Heating Cooling Simulation

Exclude all zone natural ventilation

Exclude all zone mechanical ventilation

Heating design margin

Winter design day

Day

Month

Εικόνα 66: Ρυθμίσεις εξαγωγής Heating Design

Export Options ✕

General Heating Cooling Simulation

Summer design day

Day

Month

DayOfWeek

Exclude all zone natural ventilation

Exclude all zone mechanical ventilation

Cooling design margin

Solar distribution

Shadow polygon clipping method

Max figures in shadow overlap calculations

Εικόνα 65: Ρυθμίσεις εξαγωγής Cooling Design

Export Options

General Heating Cooling Simulation

Simulation start date 22/02

Simulation end date 22/02

Simulation interval for reporting Hourly

Time steps per hour 2

Solar distribution Full Exterior

Shadow calculation frequency 20

Shadow polygon clipping method SutherlandHodgman

Max figures in shadow overlap calculations 15000

Reporting tolerance for time heating setpoint not met 0.2

Reporting tolerance for time cooling setpoint not met 0.2

Εικόνα 67: Ρυθμίσεις εξαγωγής προσομοίωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΣΕΝΑΡΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Έχοντας ορίσει τις θερμικές ζώνες των ορόφων στο εσωτερικό του κτιρίου μπορούμε να ορίσουμε τις λεπτομερέστερες παραμέτρους που επηρεάζουν τις συνθήκες που επικρατούν εντός της θερμικής ζώνης και κατ' επέκταση την ενεργειακή κατανάλωση σε αυτήν. Το πλήθος των παραμέτρων αυτών διαμορφώνουν ένα σενάριο σύμφωνα με το οποίο συμπεριφέρεται ενεργειακά το κτίριο σε χρονικό διάστημα ενός έτους. Αρχικά θα παρουσιάσουμε το βασικό σενάριο, με βάση το οποίο λειτουργεί το κτίριο στην πραγματικότητα (ή έστω είναι προγραμματισμένο να εφαρμοστεί σε αυτό). Οι παράμετροι που λειτουργούν ως βασικά γνωρίσματα του σεναρίου, περιληπτικά, αφορούν κυρίως τον πληθυσμό του ο οποίος επηρεάζει την κατανάλωση άμεσα ως ποσότητα προσφέροντας θερμικά φορτία και έμμεσα μέσω παραμέτρων υγρασίας, αερισμού κλπ, τις ηλεκτρικές συσκευές του χώρου, το φωτισμό, την παροχή ζεστού νερού, το σύστημα HVAC με βάση το οποίο λειτουργεί ο χώρος καθώς και τα αντίστοιχα προγράμματα που ορίζουν την ανακατανομή ποσότητας των χρηστών και τα ποσοστά ισχύος λειτουργίας των συστημάτων κλιματισμού. Πάνω σε αυτές τις παραμέτρους θα γίνουν οι ανάλογες αλλαγές που θα διαμορφώσουν τα εναλλακτικά σενάρια, τα οποία θα συγκρίνουμε με το υπάρχον βασικό, για να δούμε αν υπάρχουν ρεαλιστικά περιθώρια περιορισμού της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης στο κτίριο.

Οι μελέτη περιγράφεται σε 3 διαφορετικά στάδια που από το κάθε ένα πηγάζουν συμπεράσματα διαφορετικής σκοπιάς. Ακολουθώντας AutoBLD → Calculations και βασισμένοι στις παραμέτρους εξαγωγής αποτελεσμάτων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη υποενότητα έχουμε:

- **Heating Design:** για το οποίο θα επιλεχθεί η δυσμενέστερη μέρα του χειμώνα κατά την οποία οι απαιτήσεις θέρμανσης είναι οι υψηλότερες. Σε αυτό παρουσιάζονται οι διαφορετικοί τύποι θερμοκρασιών εντός της θερμικής ζώνης και οι θερμικές απώλειες από τις διαφορετικές δομές του κελύφους, τόσο διαγραμματικά (charts) όσο και αριθμητικά (grid) με τη συνολική κατανάλωση ισχύος σε kW.
- **Cooling Design:** όπου επιλέγεται η ημέρα του καλοκαιριού με τις υψηλότερες θερμοκρασίες για την οποία απαιτείται υψηλή παροχή ψύξης. Εδώ παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις θερμοκρασίας, ισχύος δομών κελύφους και εσωτερικών

παραγόντων, φορτίων ψύξης και υγρασίας συναρτήσει του χρόνου. Αντίστοιχα και εδώ, τα αποτελέσματα δίνονται ανά θερμική ζώνη σε μορφή γραφικών παραστάσεων (charts) και αριθμητικού πίνακα (grids).

- **Simulation:** που αποτελεί την προσομοίωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Πρόκειται για το σημαντικότερο τμήμα των αποτελεσμάτων μας, καθώς παρουσιάζεται πλήθος πληροφοριών με περισσότερες λεπτομέρειες. Για να είμαστε ακριβείς στα συμπεράσματά μας, προσομοιώνουμε αρχικά τη μελέτη για χρονικό διάστημα ενός έτους προκειμένου να εντοπίσουμε τις 2 ημέρες δυσμενέστερων καταστάσεων για χειμώνα και καλοκαίρι. Στην περίπτωση μας, πρόκειται για τις 22 Φεβρουαρίου και για τις 4 Αυγούστου αντίστοιχα. Στη συνέχεια, επιτελούμε διαφορετική προσομοίωση για κάθε μια από αυτές τις ημέρες, χρονικού βήματος 1 ώρας, για κάθε σενάριο ξεχωριστά, ώστε να παρατηρηθούν εκτενέστερα οι διακυμάνσεις ψυκτικών και θερμικών φορτίων καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Πέραν της διεξαγωγής αποτελεσμάτων ημερήσιας διαγραμματικής (charts) και αριθμητικής (grid) αναπαράστασης, από το simulation απορρέει και μια ενδεικτική αναφορά (report) με επιπλέον λεπτομερείς κατανάλωσης που σε αρκετές περιπτώσεις θα μας φανούν χρήσιμες.

10.1 Σενάριο 1 - Βασικό Σενάριο Λειτουργίας

Το πρώτο σενάριο που θα εξετάσουμε αποτελεί και το βασικό σενάριο του οποίου ο σύνολο των αποτελεσμάτων θα τεθεί ως μέτρο σύγκρισης για τα υπόλοιπα εναλλακτικά σενάρια λειτουργίας. Το σύστημα κλιματισμού προκύπτει από τη συνεργασία 3 ξεχωριστών μονάδων, ενός λέβητα πετρελαίου (Boiler-Diesel) για τη θέρμανση, αερόψυκτος ψύκτης (Air-Cooled Chiller) για την προσφορά φορτίων ψύξης και επιμέρους Fan-Coil Units υπεύθυνα για τη μετάδοση της θερμότητας στους εσωτερικούς χώρους.

10.1.1 Ορισμός και Ανάλυση Παραμέτρων

Για τον ορισμό των προδιαγραφών του σεναρίου πηγαίνουμε στην καρτέλα ορισμού της θερμικής ζώνης (Zones/Systems) για τη συμπλήρωση των επιθυμητών παραμέτρων:

Activity

Στην καρτέλα αυτή (Εικόνα 68) θα συμπληρώσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν τη λειτουργία του κτιρίου, όπως πληθυσμός, συσκευές, ωράρια εργασίας κλπ. Όλες οι τιμές δίνονται έπειτα από υπολογισμούς με βάση τις σταθερές των πινάκων του Κ.Εν.Α.Κ. ώστε η μελέτη να ακολουθεί την Τεχνική Οδηγία.

Activity template		
Template	Office Buildings - Office space	...
<input type="checkbox"/> Exclude zone from thermal calculations		
Floor Areas and Volumes		
Floor area (m2)	2488.07	
Occupancy		
Density (people/m2)	0.1000	
Schedule	ASHRAE 90.1 Occupancy - Office	...
Metabolic		
Metabolic rate per person (W/person)	80.000	...
Factor (men=1.00, women=0.85, children=0.75)	0.90	
CO2 generation rate (m3/s-W)	0.0000000000	
Clothing		
Winter clothing (do)	1.00	
Summer clothing (do)	0.50	
Generic Contaminant Generation		
<input type="checkbox"/> Generic contaminant generation/removal		
Generation		
Design generation rate (m3/s)	0.0000000000	
Schedule	ASHRAE 90.1 Occupancy - Office	...
Removal		
Design generation rate (m3/s)	0.0000000000	
Schedule		...
DHW		
Consumption Rate (l/m2-day)	0.000	
Environmental Control		
Heating Setpoint Temperatures		
Heating (°C)	20.0	
Heating set back (°C)	13.0	

Cooling Setpoint Temperatures		
Cooling (°C)	26.0	
Cooling set back (°C)	32.0	
Humidity Control		
RH Humidification Setpoint (%)	35.0	
RH Dehumidification Setpoint (%)	45.0	
Ventilation Setpoint Temperatures		
Natural Ventilation		
<input type="checkbox"/> Indoor Min Temperature Control		
Min Temperature (°C)	22.0	
<input type="checkbox"/> Indoor Max Temperature Control		
Max Temperature (°C)	100.0	
Minimum Fresh Air		
Fresh Air (l/s-person)	2.500	
Mech vent per area (l/s-m ²)	0.833	

Lighting		
Target Illuminance (lux)	500	
Default display lighting density (W/m ²)	14.0	
Computers		
<input checked="" type="checkbox"/> On		
Gain (W/m ²)	5.00	
Schedule	7:00 - 18:00 Monday - Friday	...
Radiant fraction	0.200	
Office Equipment		
<input checked="" type="checkbox"/> On		
Gain (W/m ²)	5.00	
Schedule	7:00 - 18:00 Monday - Friday	...
Radiant fraction	0.200	

Miscellaneous		
<input type="checkbox"/> On		
Catering		
<input type="checkbox"/> On		
Process		
<input type="checkbox"/> On		
Schedules		
Mechanical ventilation schedule	ASHRAE 90.1 Occupancy - Office	...
Auxiliary energy schedule	ASHRAE 90.1 Occupancy - Office	...
Natural ventilation schedule	ASHRAE 90.1 Occupancy - Office	...
Heating schedule	ASHRAE 90.1 HVAC Availability -
Cooling schedule	ASHRAE 90.1 HVAC Availability -
DHW schedule	Off 24/7	...
General lighting schedule	ASHRAE 90.1 Lighting Receptad...	...
Task and display lighting schedule	ASHRAE 90.1 Lighting Receptad...	...

Εικόνα 68: Καρτέλα 'Activity'

Πιο συγκεκριμένα:

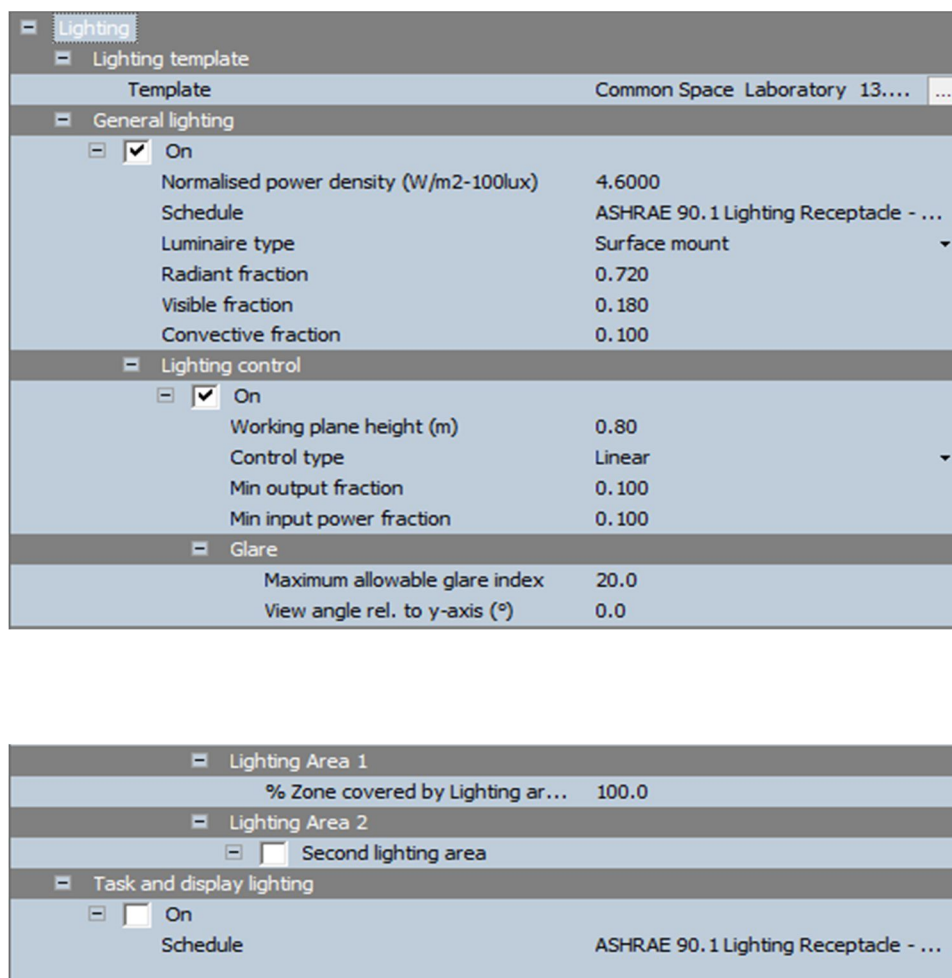
- Activity Template: ορίζουμε το χώρο ως 'Office Buildings – Office space' δηλαδή ως χώρο γραφείων που αποτελεί και το βασικό ορισμό για τη χρήση του και θα επηρεάσει τις υπόλοιπες παραμέτρους
- Floor Areas and Volumes: υπολογίστηκε αυτομάτως το άθροισμα των εσωτερικών χώρων από το πρόγραμμα σε 2488m²
- Occupancy: ο πληθυσμός των εσωτερικών χώρων ορίζεται ως 10 άτομα ανά 100m² σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. για χώρους γραφείων ενώ επιλέγεται και το αντίστοιχο πρόγραμμα λειτουργίας πληθυσμού για γραφεία βασισμένο στο πρότυπο ASHRAE 90.1
- Metabolic: αφορά το ποσό θερμικών κερδών από τους χρήστες στο χώρο ορισμένο ως 80W/άτομο, το συντελεστή ομοιομορφίας τους και τα ποσά διοξειδίου του άνθρακα που παράγουν

- Clothing: οι συντελεστές χειμερινού και καλοκαιρινού ρουχισμού των χρηστών
- Generic Contaminant Generation: αναφέρεται στο ρυθμό παραγωγής και απομάκρυνσης μολυσματικών ουσιών από το χώρο με τα αντίστοιχα προγράμματα τους, παράμετροι που δεν μας απασχολούν
- DHW: η κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. για τα γραφεία είναι μηδενική. Στην πραγματικότητα είναι πολύ μικρή αν μετρηθεί είτε ημερησίως, είτε ετησίως δεδομένης της ποσότητας χρηστών και γι' αυτό θεωρείται αμελητέα
- Environmental Control: περιέχονται παράμετροι με βάση τις οποίες εξασφαλίζονται οι ιδανικές συνθήκες στον εσωτερικό χώρο και περιλαμβάνουν:
 - i. *Heating/Cooling setpoint temperatures*: Θερμοκρασίες σημείων αναφοράς στους 20°C για θέρμανση με setback στους 13°C και 26°C για ψύξη με setback στους 32°C.
 - ii. *Humidity Control*: Υγρασία της οποίας τα ποσοστά καλύπτουν εύρος 35% ως 45%
 - iii. *Ventilation setpoint temperatures*: αναφέρεται στο επιθυμητό εύρος θερμοκρασιών όπου θα πραγματοποιείται φυσικός αερισμός, μια ρύθμιση που δεν εφαρμόζεται στη μελέτη μας
 - iv. *Minimum Fresh Air*: είναι οι ελάχιστες απαιτήσεις νωπού αέρα που ορίσαμε 2,5lt/s-άτομο και οι ελάχιστες απαιτήσεις μηχανικού αερισμού ανά μονάδα επιφάνειας που ορίσαμε 0,833lt/s-m² σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ.
 - v. *Lighting*: δηλώνουμε τα απαιτούμενα 500lux που προορίζονται για χώρους γραφείου και την κατανάλωση που αντιστοιχεί σε 14W/m²
- Οι ηλεκτρικές συσκευές, δηλαδή οι υπολογιστές (computers) και ο λοιπός εξοπλισμός γραφείου (office equipment), αποτελούν πηγή θερμικών κερδών για το χώρο της τάξης των 5W/m² με συντελεστή ακτινοβολίας 0,2 για κάθε κατηγορία και με πρόγραμμα λειτουργίας αντίστοιχο του ωραρίου λειτουργίας γραφείων. Το πλήθος των συσκευών προσφέρει αρκετή ενέργεια ώστε να καθιστά περιττή την ενεργοποίηση άλλων διαφόρων θερμικών κερδών (miscellaneous).
- Schedules: ορίζεται κάθε πρόγραμμα προγραμμάτων λειτουργίας στη θερμική ζώνη που με βάση το οποίο θα επιτυγχάνονται οι διαδικασίες μηχανικού αερισμού, παροχή

βοηθητικής ενέργειας, φυσικού αερισμού, θέρμανσης, ψύξης, παροχής ζεστού νερού, γενικού φωτισμού και επικουρικού φωτισμού διεργασιών. Όπως αναφέραμε η παροχή ζεστού νερού είναι μηδενική γι' αυτό το αντίστοιχο πρόγραμμα λειτουργίας της είναι απενεργοποιημένο (Off 24/7). Όλα τα υπόλοιπα schedules δηλώνονται με βάση το πρότυπο ASHRAE 90.1 για χώρους γραφείων.

Lighting

Στην Εικόνα 69 βλέπουμε την καρτέλα εισαγωγής των στοιχείων φωτισμού της θερμικής ζώνης που επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση. Οι μελέτες φωτοτεχνίας που σχετίζονται με λεπτομέρειες για κάθε εσωτερικό χώρο ξεχωριστά, πραγματοποιούνται από άλλα λογισμικά όπως αναφέραμε στη θεωρητική ενότητα του φωτισμού.



Εικόνα 69: Καρτέλα 'Lighting'

Έχουμε:

- Lighting Template: όπου καθορίζεται η λειτουργία ζώνης φωτισμού. Επειδή η βιβλιοθήκη φωτισμού στο πρόγραμμα δεν περιέχει επιλογή που να αντιστοιχεί στα πρότυπα 500lux για χώρους γραφείων, η επιλογή μας γίνεται με βάση την κατανάλωση με τον τυπικό χώρο εργαστηρίων (Common Space Laboratory) να προσεγγίζει περισσότερο την τάξη των $14\text{W}/\text{m}^2$ που απαιτούνται.
- General lighting: ενεργοποιούμε τον γενικό φωτισμό με πρότυπη πυκνότητα ισχύος που αντιστοιχεί σε $4,6\text{W}/\text{m}^2 - 100\text{lux}$, για την επιλογή εργαστηριακού χώρου και με πρόγραμμα λειτουργίας γραφείου όπως επιλέχθηκε στην καρτέλα 'Activity'. Ο τύπος φωτιστικού επιλέγεται ως επιφανειακά αναρτημένος και οι συντελεστές ορατής και λανθάνουσας ακτινοβολίας ως 0,72 και 0,18 αντίστοιχα, με την λανθάνουσα ακτινοβολία να αποτελεί το 25% της ορατής. Επίσης, υπάρχει ειδικός συντελεστής μεταφοράς ενέργειας στο 0,1.
- Lighting control: αφορά ρυθμίσεις ελέγχου του φωτισμού. Μας ενδιαφέρει κυρίως το ύψος επιφάνειας εργασίας να είναι 0,8m καθώς μπορεί να επηρεάσει τις εργασίες που γίνονται στο γραφείο και ο τύπος ελέγχου να είναι γραμμικός. Οι συντελεστές ελάχιστης στάθμης ενέργειας εισόδου και εξόδου είναι από κοινού 0,1. Το πεδίο 'Glare' περιλαμβάνει τον μέγιστο επιτρεπόμενο δείκτη αντηλιάς που προεπιλέγεται ως 20 και την γωνία οπτικής από τον y' άξονα. Στη συνέχεια, υπάρχει δυνατότητα ελέγχου του φωτισμού από δύο διαφορετικές περιοχές στη ζώνη, ωστόσο στην περίπτωση μας θα αρκεστούμε στη μια (Lightning Area 1) η οποία θα καλύπτει το 100% του ελέγχου, με την αντίστοιχη δεύτερη να μην είναι απαραίτητη.
- Task and display lighting: μας δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού θερμικών φορτίων που προέρχονται από επιπλέον διεργασίες, όπως φωτισμό προβολής σε οθόνη κλπ, ωστόσο δεν θα μας απασχολήσει διότι παρόλο που κάποιοι χώροι γραφείου είναι εύλογο να εξυπηρετήσουν τέτοιες δραστηριότητες, τα θερμικά τους κέρδη είναι αμελητέα μπροστά στα αντίστοιχα που προσθέσαμε για τις ηλεκτρικές συσκευές και μπορούν να παραληφθούν.

HVAC

Το στάδιο αυτό θα ορίσουμε το σύστημα που αναλαμβάνει τη θέρμανση, ψύξη και αερισμό της θερμικής ζώνης. Πρόκειται για την καρτέλα (Εικόνα 70) στην οποία θα πραγματοποιηθούν οι περισσότερες αλλαγές από σενάριο σε σενάριο, καθορίζοντας έτσι τη σημασία που έχει η επιλογή συστήματος HVAC και οι επιμέρους παράμετροι που ορίζουν τη συμπεριφορά του, για την ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου.

[-] HVAC Template		
Template	Fan Coil Unit+ Boiler - Diesel + A...	...
[-] Mechanical ventilation		
<input checked="" type="checkbox"/> On		
Outside Air Definition Method	By Zone	▼
Outside Air (ac/h)	4.0	
[-] Operation		
Schedule	ASHRAE 90.1 Occupancy - Office	
[-] Heat Recovery		
<input checked="" type="checkbox"/> On		
Heat Recovery Type	Sensible	▼
Sensible Heat Recovery effective	0.400	
Latent Heat Recovery effective	0.350	
[-] Economiser		
Type	None	▼
[-] Auxiliary Energy		
Pump etc. energy (W/m2)	0.0000	
Schedule	ASHRAE 90.1 Occupancy - Office	
[-] Heating		
<input checked="" type="checkbox"/> Heated		
Fuel	Oil	▼
Heating system CoP	0.900	
[-] Type		
[-] Supply Air Condition		
Maximum supply air temperature	35.00	
Maximum supply air humidity	0.0156	
HeatingLimitType	LimitCapacity	▼
[-] Operation		
Schedule	ASHRAE 90.1 HVAC Availability - Office	

Cooling	
<input checked="" type="checkbox"/> Cooled	
Fuel	Electricity
Cooling system CoP	3.000
Supply Air Condition	
Minimum Supply Air Temperature	12.00
Minimum Supply Air Humidity ratio	0.0077
CoolingLimitType	LimitFlowRateAndCapacity
Operation	
Schedule	ASHRAE 90.1 HVAC Availibility - Office
Humidity Control	
<input checked="" type="checkbox"/> Humidification	
Humidification control type	Humidistat
<input checked="" type="checkbox"/> Dehumidification	
Dehumidification control type	Humidistat
Natural Ventilation	
<input type="checkbox"/> On	

Εικόνα 70: Καρτέλα 'HVAC'

Αναλυτικότερα έχουμε:

- HVAC Template: που όπως αναφέραμε και στην αρχική αναφορά του σεναρίου επιλέγουμε το σύστημα HVAC που επιτελεί τις λειτουργίες θέρμανσης, ψύξης και αερισμού στη θερμική ζώνη. Το σύστημα περιλαμβάνει ένα λέβητα πετρελαίου (Boiler-Diesel) για θέρμανση, έναν αερόψυκτο ψύκτη (Air-Cooled Chiller) για την ψύξη και σύνολο μονάδων Fan-Coil μέσω των οποίων θα επιτυγχάνεται η μετάδοση των φορτίων στους επιμέρους εσωτερικούς χώρους.
- Mechanical Ventilation: όπου επιλέγονται οι παράμετροι μηχανικού αερισμού. Ο εξωτερικός αέρας παραδίδεται κατά θερμική ζώνη με πρόγραμμα λειτουργίας χώρων γραφείου, και οι εναλλαγές αέρα την ώρα επιλέγονται να είναι 4 (ac/h) έπειτα από υπολογισμούς βασισμένους στις σταθερές νοπού αέρα του Κ.Εν.Α.Κ. για χώρους γραφείων. Το σενάριο δεν αξιοποιεί την ανάκτηση θερμότητας (heat recovery) και γι' αυτό η επιλογή παραμένει απενεργοποιημένη.
- Economizer: η συγκεκριμένη επιλογή δίνει την δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας η οποία χάνεται κατά την ψύξη όταν η θερμοκρασία στον εσωτερικό χώρο είναι υψηλότερη από αυτήν του εξωτερικού περιβάλλοντος, ωστόσο δεν θα μας απασχολήσει. Ο εξοικονομητής μπορεί να είναι τύπου διαφορικού ξηρού βολβού ή ενθαλπίας.

- Auxiliary Energy: επιλογή ποσού βοηθητικής ενέργειας (W/m^2) την οποία δεν θα αξιοποιήσουμε γι' αυτό την αφήνουμε μηδενική
- Heating: επιλέγεται το ορυκτό καύσιμο που είναι το πετρέλαιο και ο πρότυπος συντελεστής απόδοσης του λέβητα 0,9. Επιπλέον έχουμε τις μέγιστες τιμές θερμοκρασίας ($35^{\circ}C$) και υγρασίας (0,0156) του αέρα για την πραγματοποίηση θέρμανσης καθώς και ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η εύρεση των ορίων θέρμανσης (LimitCapacity). Το πρόγραμμα λειτουργίας του συστήματος HVAC συμβαδίζει με τα ωράρια λειτουργίας γραφείων.
- Cooling: ο αερόψυκτος ψύκτης λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια και έχει συντελεστή απόδοσης 3. Εδώ, αντίθετα με τις επιλογές θέρμανσης ζητάμε τις ελάχιστες τιμές θερμοκρασίας ($12^{\circ}C$) και υγρασίας (0,0077) του αέρα για να πραγματοποιηθεί ψύξη και τύπο LimitFlowRateandCapacity καθώς μας αφορά και ο ρυθμός παροχής του ψυκτικού υγρού εκτός της χωρητικότητας της μονάδας. Το πρόγραμμα λειτουργίας είναι το ίδιο.
- Humidity Control: ενεργοποιούμε τις δυνατότητες ύγρανσης και αφύφρασης του χώρου όταν είναι απαραίτητο με τρόπο ελέγχου Humidistat, μέσω δηλαδή μιας ηλεκτρικής συσκευής ανάλογης του θερμοστάτη αλλά για τον έλεγχο υγρασίας
- Natural Ventilation: ο φυσικός αερισμός τον οποίο δε θα ενεργοποιήσουμε

DHW

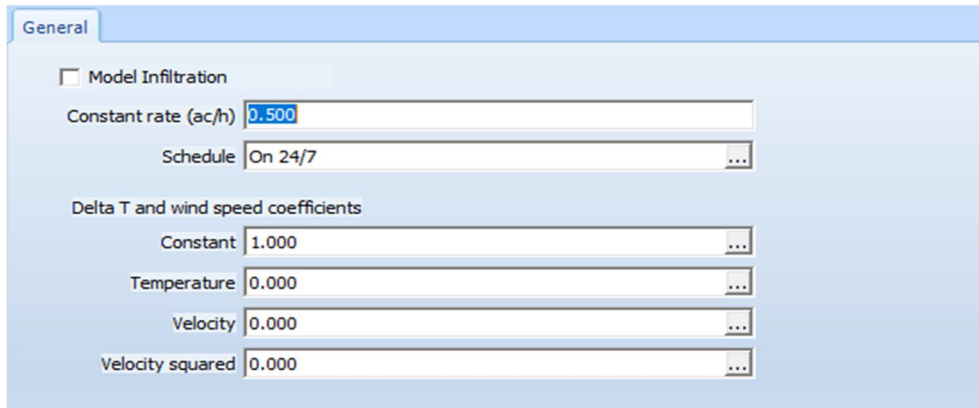
Το συγκεκριμένο στάδιο αφορά την παροχή ζεστού νερού στους χώρους της θερμικής ζώνης όπου εμπεριέχονται περισσότερες λεπτομέρειες για τον τρόπο παροχής και τους συντελεστές απόδοσης. Όπως αναφέραμε και στην περιγραφή της καρτέλας 'Activity' η χρήση ζεστού νερού σε ένα κτίριο γραφείων είναι ελάχιστη ετησίως σε σχέση με τον πληθυσμό του οπότε ο Κ.Εν.Α.Κ. τη θεωρεί αμελητέα. Οι επιλογές της αντίστοιχης καρτέλας (Εικόνα 71) λοιπόν θα παραμείνουν απενεργοποιημένες.



Εικόνα 71: Καρτέλα 'DHW'

Zone Data

Τέλος, θα ορίσουμε και τις συμπληρωματικές παραμέτρους που επηρεάζουν τη γενική συμπεριφορά της θερμικής ζώνης ανεξαρτήτου χρήσης του κτιρίου που σχετίζονται με δευτερεύουσες απώλειες όπως φαίνεται στην Εικόνα 72.



Εικόνα 72: Καρτέλα 'Zone Data'

Συγκεκριμένα:

- Constant rate: αφορά τη διήθηση αέρα εντός του κτιρίου, όπως αέρας που εισχωρεί από χαραμάδες, ανοίγματα κλπ. Ορίζεται συναρτήσει των εναλλαγών αέρα την ώρα που θα τις επιλέξουμε ως το 12,5% των πρότυπων εναλλαγών κατά το μηχανικό αερισμό (0,5ac/h).
- Schedule: θα επιλέξουμε 'On' 24/7 ως πρόγραμμα λειτουργίας καθώς πρόκειται για απώλειες και μπορούν να πραγματοποιηθούν ανά πάσα στιγμή
- Οι συντελεστές Constant, Temperature, Velocity και Velocity squared επηρεάζουν τη διήθηση του αέρα και έχουν τις πρότυπες default τιμές του FineGreen (Εικόνα 73). Όπως βλέπουμε παραθέτονται και οι default τιμές των θεμελιωδών προγραμμάτων μελέτης κατανάλωσης.

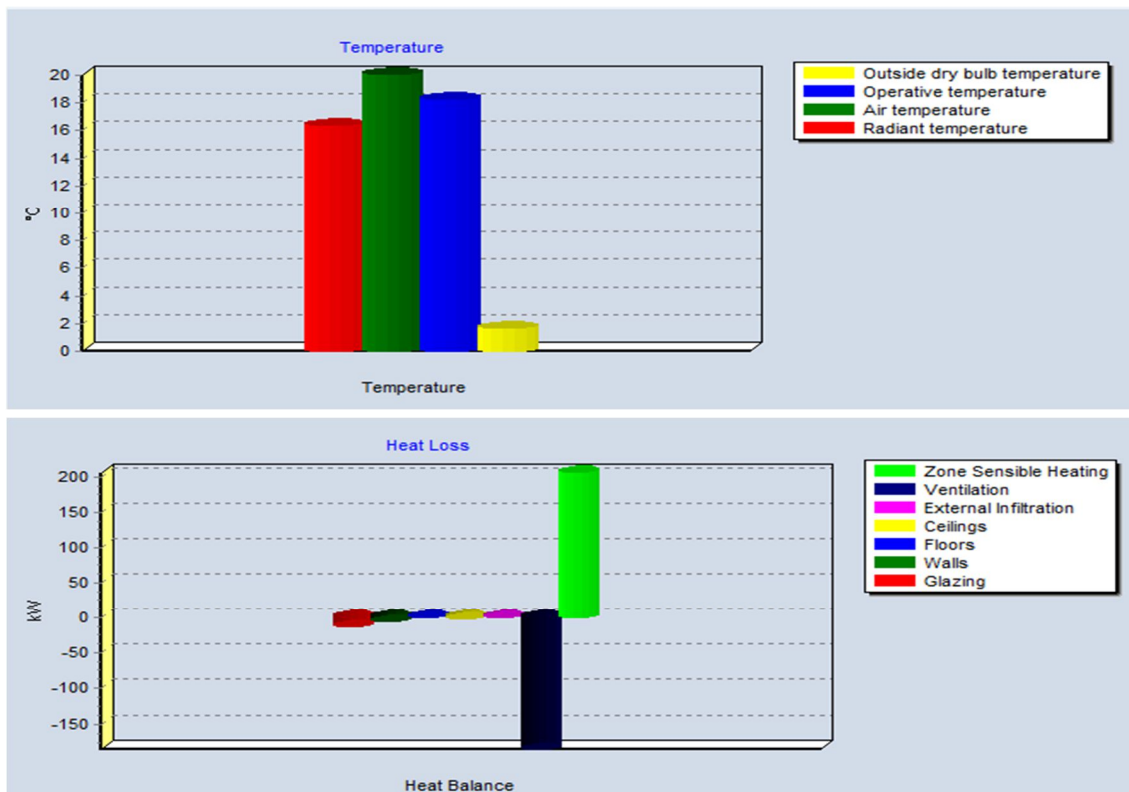
$$\text{Infiltration} = I_{\text{design}} * O_{\text{schedule}} * [A + B * (T_{\text{in}} - T_{\text{out}}) + C * (\text{Wind Speed}) + D * (\text{Wind Speed})^2]$$

Source	A (Constant)	B (Temperature)	C (Velocity)	D (Velocity squared)
EnergyPlus (default)	1	0	0	0
DOE-2	0.606	0.03636	0.1177	0
BLAST	0	0	0.224	0

Εικόνα 73: Default τιμές διήθησης αέρα

10.1.2 Heating Design

Με την ολοκλήρωση των παραμετροποιήσεων εντός της θερμικής ζώνης είμαστε έτοιμοι να εξάγουμε τα αποτελέσματα ξεκινώντας από το heating design. Στα γραφήματα (charts) της Εικόνας 74 βλέπουμε τις τιμές των θερμοκρασιών στο χώρο και τις καταναλώσεις των επιμέρους φορτίων σε kW. Αρχικά, παρατηρούμε πως η θερμοκρασία του αέρα εντός της θερμικής ζώνης (πράσινο χρώμα) φτάνει τους 20°C όπως ακριβώς ορίσαμε στην καρτέλα 'Activity' ενώ οι θερμοκρασίες λειτουργίας και ακτινοβολίας να έχουν ελάχιστα χαμηλότερες τιμές. Η εξωτερική θερμοκρασία ξηρού βολβού (κίτρινο χρώμα) είναι μόλις 1,6°C και το γεγονός ότι το σύστημά μας κατάφερε να ανταποκριθεί στις σχετικά υψηλές απαιτήσεις θέρμανσης που ορίσαμε παρά τη χαμηλή θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος υποδηλώνει το πόσο αποδοτικό είναι. Το γράφημα καταναλώσεων δείχνει τις απώλειες από το κέλυφος, τη διήθηση αέρα και τον αερισμό του κτιρίου που εκφράζονται με αρνητικά μεγέθη, ενώ με θετικές τιμές υποδηλώνεται η ποσότητα θερμικών φορτίων που απαιτείται για να καλύψει το σύστημά μας τις υπάρχουσες απώλειες (Zone Sensible Heating). Φαίνεται ξεκάθαρα πως ο εξαερισμός καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα των απωλειών. Εξάριση αποτελεί το σύνολο των δαπέδων που λόγω της επαφής τους με το έδαφος αποφέρει μικρά θερμικά κέρδη.



Εικόνα 74: Temperature and Heat Loss Charts του Heating Design

Στον Πίνακα 13 παρατηρούμε και αριθμητικά (grid) τις θερμοκρασίες, το ποσοστό υγρασίας, τις εναλλαγές αέρα ανα ώρα και τα θερμικά κέρδη/απώλειες για μια συγκεκριμένη μέρα δυσμενών συνθηκών. Οι περισσότερες απώλειες κελύφους προέρχονται από τα κουφώματα (Glazing) κατά 12,18kW ενώ οι απώλειες εξαερισμού (Ventilation), που αποτελεί τη δαπανηρότερη διαδικασία, φτάνουν τα 185,79kW. Αν εστιάσουμε στην περιληπτική αναφορά (Summary) θα δούμε τη θερμοκρασία θερμικής άνεσης να βρίσκεται στους 18,16°C, τις σταθερές απώλειες θερμότητας στα 204,8kW, τη μέγιστη απόδοση βάση κτιριακού σχεδιασμού στα 256kW και την αντίστοιχη ανά μονάδα επιφάνειας στα 102,89W/m².

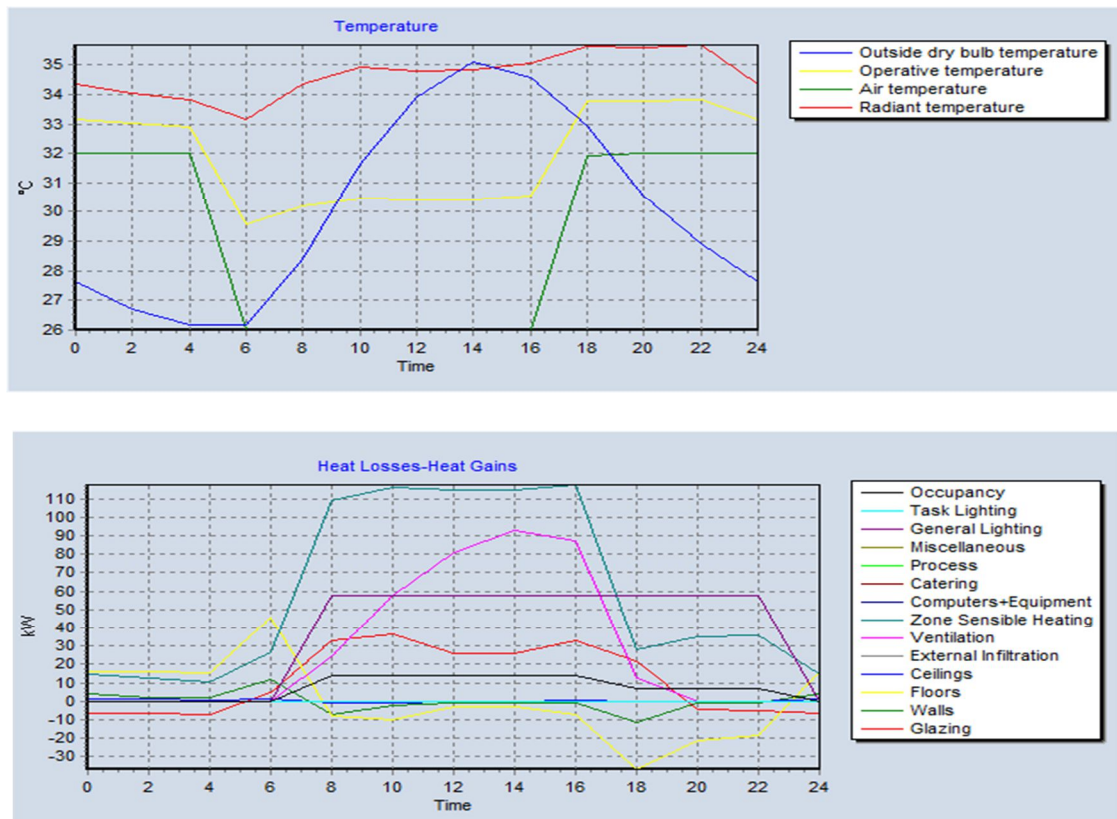
Πίνακας 13: Heating Design Grid

Steady State							
Comfort							
Zone	Air temperature (°C)	Radiant temperature (°C)	Operative temperature (°C)	Outside dry bulb temperature (°C)	Relative humidity (%)	Mech vent + nat vent + Infiltration (ac/h)	
internal heated	20.000	16.32560	18.16280	1.60000	29.3324190	4.27725	
Heat loss							
Zone	Glazing (kW)	Walls (kW)	Floors (kW)	Ceilings (kW)	External Infiltration (kW)	Ventilation (kW)	Zone sensible heating (kW)
internal heated	-12.1830807	-5.9414104	0.0382062	-0.8162043		-185.7890353	204.8074731
Building total	-12.1830807	-5.9414104	0.0382062	-0.8162043	0.0000000	-185.7890353	204.8074731
Summary							
	Comfort temperature (°C)	Steady state heat loss (kW)	Design capacity (kW)	Design capacity (W/m ²)			
	18.162800	204.8074731	256.0093413	102.8947503			

10.1.3 Cooling Design

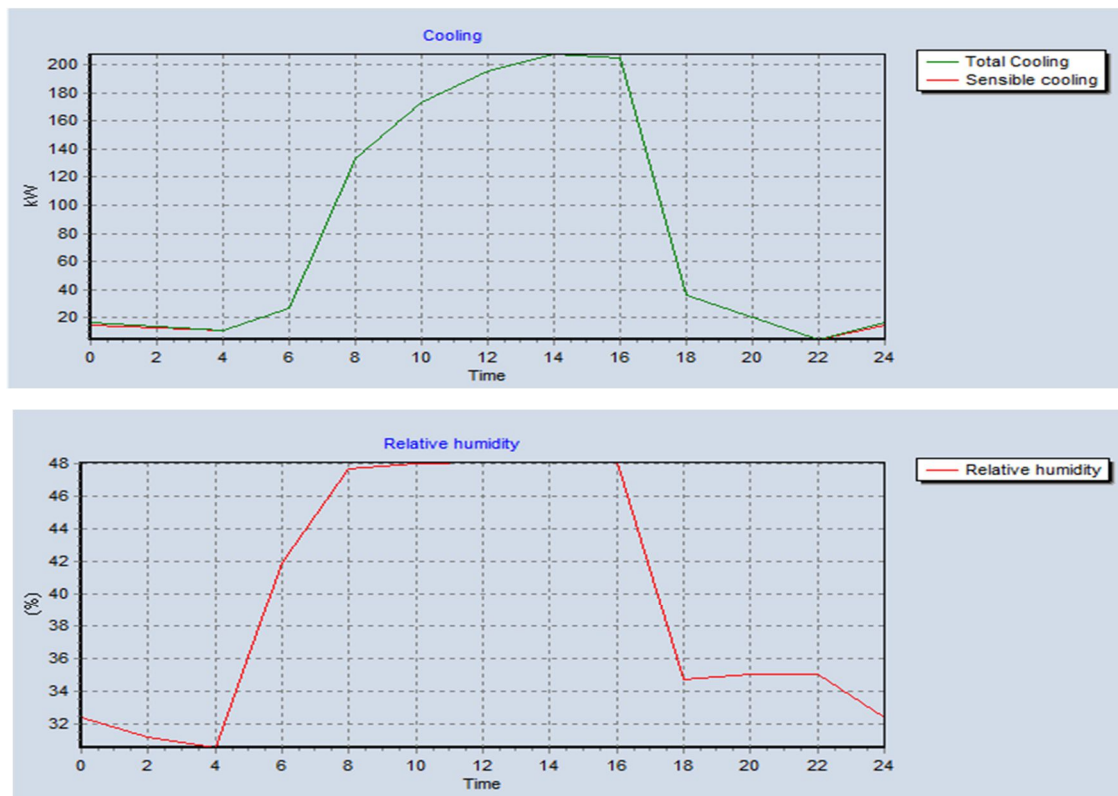
Στο στάδιο αυτό θα παρατηρήσουμε το σύνολο ψυκτικών φορτίων για μια δυσμενή καταναλωτικά ημέρα που απαιτείται ψύξη της θερμικής ζώνης. Η αποτύπωση της συμπεριφοράς της διαδικασίας ψύξης γίνεται με τη μορφή γραφικών παραστάσεων των μεγεθών συναρτήσεως του χρόνου (24 ώρες). Στην Εικόνα 75 βλέπουμε τη συμπεριφορά των θερμοκρασιών με τη θερμοκρασία του αέρα στο χώρο (πράσινο χρώμα) να κυμαίνεται μεταξύ 26°C και 32°C επιβεβαιώνοντας τον ορισμό μας στην καρτέλα 'Activity' και η

διατήρησή της στις χαμηλότερες δυνατές τιμές στο χρονικό διάστημα 6:00 και 18:00 που είναι το διάστημα αυξημένης λειτουργίας του κτιρίου, δηλώνει επιτυχή ψύξη παρά την ξεκάθαρη αύξηση της θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος (μπλε χρώμα) κατά το ίδιο χρονικό διάστημα. Τις ίδιες ώρες παρατηρείται και ανοδική πορεία των περισσότερων καμπυλών φορτίων χώρου, τα οποία προσφέρουν θερμικά κέρδη στο χώρο, τα οποία όμως θα καταφέρει να αντισταθμίσει το σύστημα ψύξης.



Εικόνα 75: Temperature and Heat Loss-Gains Charts του Cooling Design

Στην Εικόνα 76 βλέπουμε την κατανάλωση ενέργειας από το σύστημα ψύξης στο χρονικό διάστημα των 24 ωρών καθώς και τα επίπεδα υγρασίας. Η γραφική παράσταση της κατανάλωσης ερμηνεύει τις παρατηρήσεις μας σχετικά με τις υψηλές θερμοκρασίες και τα αυξημένα φορτία στο χρονικό διάστημα από τις 6:00 έως 18:00 όπου το σύστημα καλείται να ανταπεξέλθει στις υψηλές απαιτήσεις των ωρών λειτουργίας. Τα επίπεδα υγρασίας κυμαίνονται εντός των ορίων που έχουμε ρυθμίσει (35%-45%) με διακυμάνσεις ανάλογες της κατανάλωσης, αφού τα αυξημένα ψυκτικά φορτία που προστίθενται επιφέρουν ύγρανση στο χώρο.



Εικόνα 76: Cooling and Relative Humidity Charts του Cooling Design

Στο αντίστοιχο grid υπάρχουν οι ακριβείς τιμές των ποσοτήτων που περιγράψαμε οι οποίες παρατίθενται ανά χρονικό διάστημα 2 ωρών μέσα στη μέρα. Αξίζει να επικεντρωθούμε ωστόσο στον Πίνακα 14 με τις επιπλέον περιληπτικές πληροφορίες που μας δείχνει τη μέγιστη απόδοση βάση κτιριακού σχεδιασμού που φθάνει τα 240,52kW, το συνολικό φορτίο ψύξης 209,15kW που προκύπτει από το άθροισμα του αισθητού (116,33kW) και του λανθάνοντος (92,81kW), καθώς και τις τιμές θερμοκρασίας, υγρασίας, ώρας μέγιστης ψύξης (15:00) και μέγιστης θερμοκρασίας λειτουργίας.

Πίνακας 14: Summary Grid του Cooling Design

Summary	Design capacity (kW)	Total cooling load (kW)
internal heated space	240.5248870	209.1520756
Building total	240.5248870	209.1520756

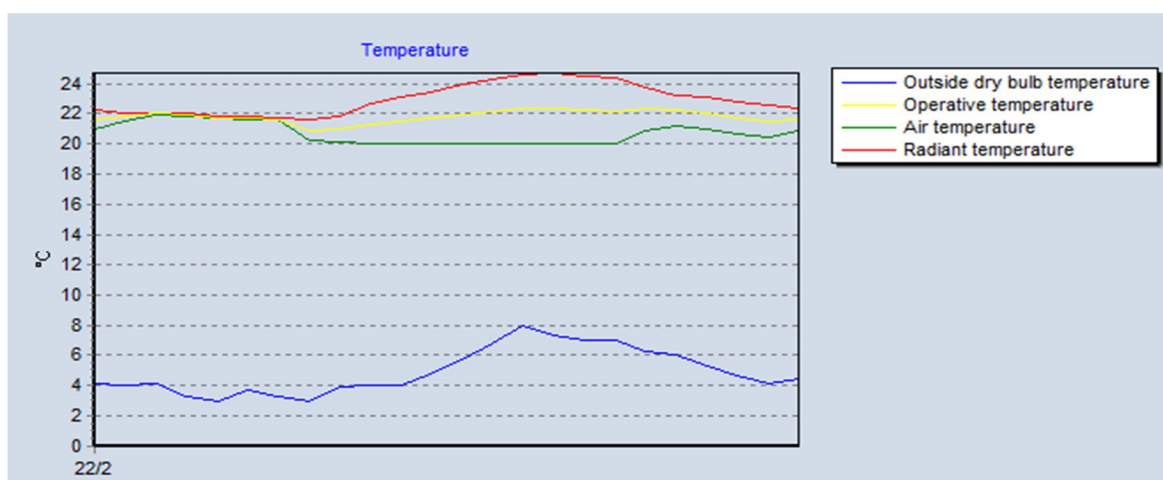
Sensible (kW)	Latent (kW)	Air temperature (°C)	Humidity (%)	Time of max cooling	Maximum operative temperature in day (°C)
116.3334390	92.8186366	26.00000	48.1180644	15:00	33.88586
116.3334390	92.8186366	26.00000	48.1180644	15:00	33.88586

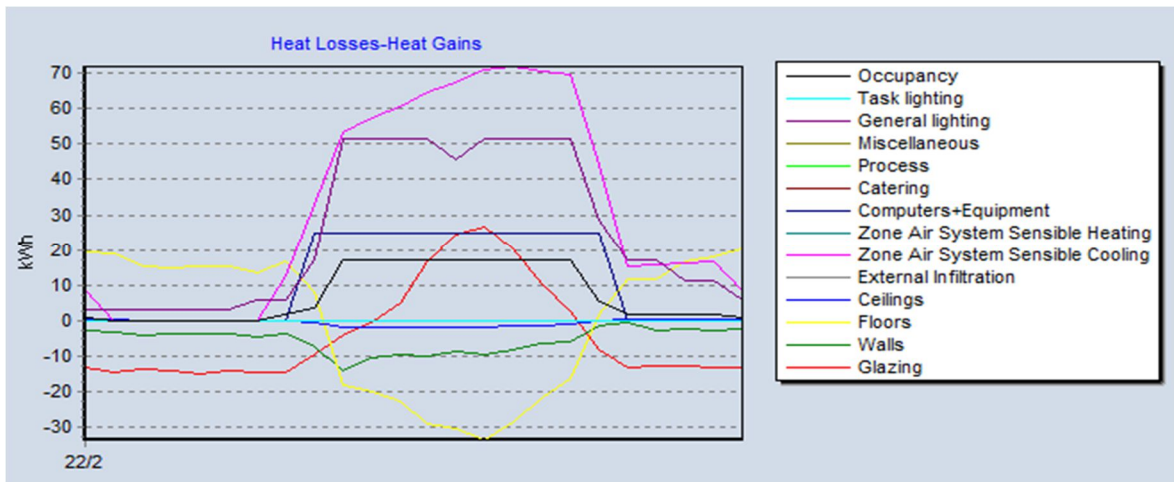
10.1.4 Simulation

Τέλος, θα εξετάσουμε την προσομοίωση της μελέτης που μας παραθέτει αποτελέσματα ενεργειακής κατανάλωσης για ολόκληρο ημερολογιακό έτος, σε μορφή αντίστοιχης του cooling design. Ωστόσο, για λόγους ακρίβειας όπως αναφέραμε στην αρχική περιγραφή, θα εξετάσουμε τις δυσμενότερες ημέρες του έτους που είναι η 22 Φεβρουαρίου ως η χειμερινή ημέρα με τις υψηλότερες απαιτήσεις θερμικών φορτίων και η 4 Αυγούστου ως η αντίστοιχη καλοκαιρινή με ψυκτικές απαιτήσεις. Αφού εξετάσουμε τις μετρήσεις από τα διαγράμματα (charts) και τους αριθμητικούς πίνακες (grid), θα αναλύσουμε και ορισμένες πληροφορίες που μας παρέχει η συνοπτική αναφορά (report) της προσομοίωσης με λεπτομέρειες που δεν αναφέρθηκαν στα αποτελέσματα αλλά συνέβαλλαν στη διεξαγωγή τους.

Χειμερινή Προσομοίωση – 22/02

Αρχικά, βλέπουμε διαγραμματική συμπεριφορά τόσο των τιμών θερμοκρασίας και των φορτίων χώρου στην Εικόνα 77, όσο και της κατανάλωσης για θέρμανση και των μεγεθών υγρασίας στην Εικόνα 78. Οι θερμοκρασίες παραμένουν στα υψηλά επιθυμητά επίπεδα παρά τη χαμηλή θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Τα φορτία στο χώρο, τόσο από το κέλυφος όσο και από εσωτερικούς παράγοντες πληθυσμού και άλλων μονάδων, στην περίπτωση αυτή λειτουργούν ως θερμικά κέρδη καθώς προσφέρουν θερμότητα εξοικονομώντας ενέργεια. Η κατανάλωση κυμαίνεται σε αρκετά αρεστές τιμές και η υγρασία βρίσκεται σε αρκετά χαμηλά αλλά επιτρεπτά επίπεδα λόγω της θέρμανσης που επιφέρει αφύγρανση στο χώρο.





Εικόνα 77: Temperature and Heat Loss-Gains Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 1



Εικόνα 78: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 1

Στον Πίνακα 15 βλέπουμε και αριθμητικά την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου όπως αποτυπώθηκε στα παραπάνω γραφήματα. Εδώ βλέπουμε καθαρά τις τιμές όλων των παραγόντων για κάθε ώρα της ημέρας ώστε να διαπιστώσουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια τις αυξομειώσεις τους. Παρατηρούμε τις διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας, τις εναλλαγές αέρα για κάθε ώρα ξεχωριστά, και τα εσωτερικά φορτία χώρου. Πιο πολύ όμως μας ενδιαφέρουν οι τιμές κατανάλωσης από τα κλιματιστικά συστήματα εστιάζοντας στην συνολική παροχή θέρμανσης από το λέβητα πετρελαίου (Supply air total heating) η οποία ξεκινά να πραγματοποιείται σύμφωνα με το επιλεγμένο πρόγραμμα λειτουργίας για ώρες γραφείου και αγγίζει τις 141,87kWh στις 9:00, μια αρκετά πρωινή ώρα όπου το σύστημα καλείται να επαναφέρει τις ιδανικές συνθήκες έπειτα από αρκετές ώρες αδράνειας. Μπορούμε να αγνοήσουμε την προσφορά εσωτερικών θερμικών κερδών παρατηρώντας την παροχή αισθητών φορτίων θέρμανσης (Supply air sensible heating). Είναι λογικό οι αντίστοιχες τιμές ψύξης να είναι μηδενικές αφού οι απαιτήσεις ψύξης σε μια χαμηλής θερμοκρασίας χειμερινή μέρα θα ήταν παράλογη, ωστόσο φαίνεται να υπάρχουν ποσά αισθητής ψύξης στη ζώνη (Zone air system sensible cooling rate), τα οποία όμως προέρχονται από την ύγρανση του χώρου και δεν μας ανησυχούν.

Πίνακας 15: Αποτελέσματα Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 1

Time	Air temperature (°C)	Radiant temperature (°C)	Operative temperature (°C)	Outside dry bulb temperature (°C)	Relative humidity (%)	Mech vent + nat vent + Infiltration (ac/h)
22/2 00:00	20.98997	22.26326	21.62661	4.15000	29.8627584	0.20065
22/2 01:00	21.56630	22.07348	21.81989	4.00000	28.4590527	0.00000
22/2 02:00	21.94078	22.07860	22.00969	4.15000	27.7332657	0.00000
22/2 03:00	21.84214	21.99273	21.91744	3.30000	27.8709379	0.00000
22/2 04:00	21.68202	21.85465	21.76834	3.00000	28.1262913	0.00000
22/2 05:00	21.58891	21.77931	21.68411	3.75000	28.2812591	0.00000
22/2 06:00	21.57123	21.72153	21.64638	3.25000	28.3326805	0.00000
22/2 07:00	20.27158	21.56968	20.92063	3.00000	34.7478886	0.39878
22/2 08:00	20.17266	21.80472	20.98869	3.90000	33.3755882	0.79915
22/2 09:00	20.07159	22.63275	21.35217	4.05000	34.5791771	3.79551
22/2 10:00	20.01022	23.06168	21.53595	4.00000	34.9873965	3.79215
22/2 11:00	20.00143	23.40846	21.70495	4.75000	35.0111993	3.79111
22/2 12:00	20.00020	23.91947	21.95983	5.75000	35.0046127	3.79108
22/2 13:00	20.00003	24.29061	22.14532	6.75000	34.9905075	3.79387
22/2 14:00	20.00000	24.63752	22.31876	7.90000	34.9953618	3.79481
22/2 15:00	20.00000	24.69336	22.34668	7.30000	34.9988050	3.79482
22/2 16:00	20.00000	24.49653	22.24827	7.00000	34.9887512	3.79762
22/2 17:00	20.00000	24.35062	22.17531	7.00000	34.9948682	3.79856
22/2 18:00	20.88875	23.73004	22.30940	6.25000	34.5844954	1.20195
22/2 19:00	21.19772	23.24461	22.22117	6.00000	34.6777464	0.40170
22/2 20:00	21.01599	23.06617	22.04108	5.25000	35.2260956	0.40147
22/2 21:00	20.69513	22.82300	21.75906	4.62500	35.3936652	0.40098
22/2 22:00	20.43896	22.61923	21.52910	4.12500	35.2707137	0.40086
22/2 23:00	20.91436	22.39712	21.65574	4.45000	32.7961302	0.20053

Glazing (kWh)	Walls (kWh)	Floors (kWh)	Ceilings (kWh)	External Infiltration (kWh)	Zone air system sensible heating rate (kWh)	Zone air system sensible cooling rate (kWh)
-13.1838619	-2.8724800	19.5086916	0.2295037	0.0000000	0.0000000	8.5103000
-14.3746357	-3.2094197	18.9397799	0.1491226	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-13.6614148	-4.0749031	15.2119967	-0.0106584	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.1665409	-3.9207818	14.8087744	-0.0681941	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.9179688	-3.7184141	15.3747911	-0.0959277	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.2260456	-3.8287968	15.3520131	-0.1441826	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.4184630	-4.4654069	13.6725301	-0.2534388	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.6957236	-3.4994890	16.7610905	-0.2256629	0.0000000	0.0000000	12.4683647
-9.7271163	-7.3173018	7.8806291	-0.7296134	0.0000000	0.0000000	32.9056250
-3.9709504	-14.1970767	-17.9707910	-1.8778609	0.0000000	0.0000000	53.4036642
-0.4675504	-10.3096018	-19.8614372	-1.9017595	0.0000000	0.0000000	57.4536403
4.9941476	-9.5257302	-22.7496823	-1.9431152	0.0000000	0.0000000	60.4326914
16.4880915	-10.0112777	-29.2200287	-2.0638745	0.0000000	0.0000000	64.5556560
24.3891241	-8.8456167	-30.2021730	-1.9262961	0.0000000	0.0000000	67.2923511
26.5116073	-9.4459352	-33.5872892	-1.9100872	0.0000000	0.0000000	71.0406282
20.3186556	-8.0151992	-28.4993084	-1.6271074	0.0000000	0.0000000	71.8880980
10.2521289	-6.5863925	-21.7413832	-1.2498594	0.0000000	0.0000000	70.6841051
2.4598783	-5.9526448	-16.1934741	-0.9559862	0.0000000	0.0000000	69.5092440
-8.4473957	-1.4733902	1.8367247	-0.1038335	0.0000000	0.0000000	44.4178124
-13.2419399	-0.6767497	11.6825952	0.3278750	0.0000000	0.0000000	15.3766595
-12.8256893	-2.8853963	11.8484545	0.2341745	0.0000000	0.0000000	15.9527361
-12.8962446	-2.1359861	16.4387689	0.3270065	0.0000000	0.0000000	16.2596283
-13.0305916	-2.6288025	18.0216463	0.2728287	0.0000000	0.0000000	16.5032504
-13.0961787	-2.2758718	20.4593115	0.3122929	0.0000000	0.0000000	8.3252063

Supply air sensible cooling (kWh)	Supply air total cooling (kWh)	Supply air sensible heating (kWh)	Supply air total heating (kWh)	Computers+ Equipment (kWh)	Catering (kWh)
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	4.8776308	14.0474125	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	7.4191061	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	100.1678463	141.8776477	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	96.0489590	135.6985705	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	85.8455131	120.3587542	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	72.1287279	108.8793096	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	59.8133916	97.7941001	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	45.0510394	86.0875870	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	49.9246749	97.8643718	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	53.9884565	103.8268660	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	55.1875278	98.3991846	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	20.8086648	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	6.7344435	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	6.5626302	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	6.0567578	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	5.8881438	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000

Process (kWh)	Miscellaneous (kWh)	General Lighting (kWh)	Task Lighting (kWh)	Occupancy (kWh)
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.8957040
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	5.7225531	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	5.7225531	0.0000000	1.7914079
0.0000000	0.0000000	17.1676592	0.0000000	3.5828158
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	45.7804246	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	28.6127654	0.0000000	5.3742238
0.0000000	0.0000000	17.1676592	0.0000000	1.7914079
0.0000000	0.0000000	17.1676592	0.0000000	1.7914079
0.0000000	0.0000000	11.4451062	0.0000000	1.7914079
0.0000000	0.0000000	11.4451062	0.0000000	1.7914079
0.0000000	0.0000000	5.7225531	0.0000000	0.8957040

Report: Το report λειτουργίας μας προσφέρει πληροφορίες που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας τόσο από πλευράς ορυκτών καυσίμων όσο και ηλεκτρικής ενέργειας, για να καταλάβουμε τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η διαχείριση τους από τα ανάλογα συστήματα. Θα εστιάσουμε σε ένα τμήμα της αναφοράς που βλέπουμε στον Πίνακα 16 όπου φαίνεται ο κύριος διαχωρισμός της ενέργειας στο κτίριο. Οι δύο βασικές κατηγορίες στις οποίες το πρόγραμμα διαχωρίζει την ενέργεια είναι η Source και η Site. Η Site Energy αναφέρεται στο άθροισμα πρωτογενούς (βασικό καύσιμο) και δευτερογενούς (παράγωγο βασικού καυσίμου) ενέργειας που μπορούμε να αγοράσουμε απευθείας για χρήση στο κτίριο. Η Source Energy είναι η συνολική κατανάλωση πρωτογενούς και δευτερογενούς ενέργειας μαζί με τις απώλειες μεταφοράς και παραγωγής. Κάθε μια από τις κατηγορίες αυτές χωρίζεται σε Net και Total, όπου Net Energy είναι η τελική ενέργεια που καταλήγει στο κτίριο έπειτα από τις αναφερόμενες απώλειες και Total Energy το άθροισμα της Net και των απωλειών. Οι τιμές της κάθε ενέργειας δίνονται κατά συνολική έκταση κτιρίου και κατά έκταση θερμαινόμενων χώρων, αλλά επειδή ο χώρος που εξετάζουμε αποτελεί ολόκληρος μια θερμική ζώνη, οι τιμές θα είναι ταυτόσημες. Στην περίπτωση μας παρατηρούμε πως οι απώλειες είναι αμελητέες, με την συνολική ενέργεια να φθάνει τις 6575,6kWh από τις οποίες

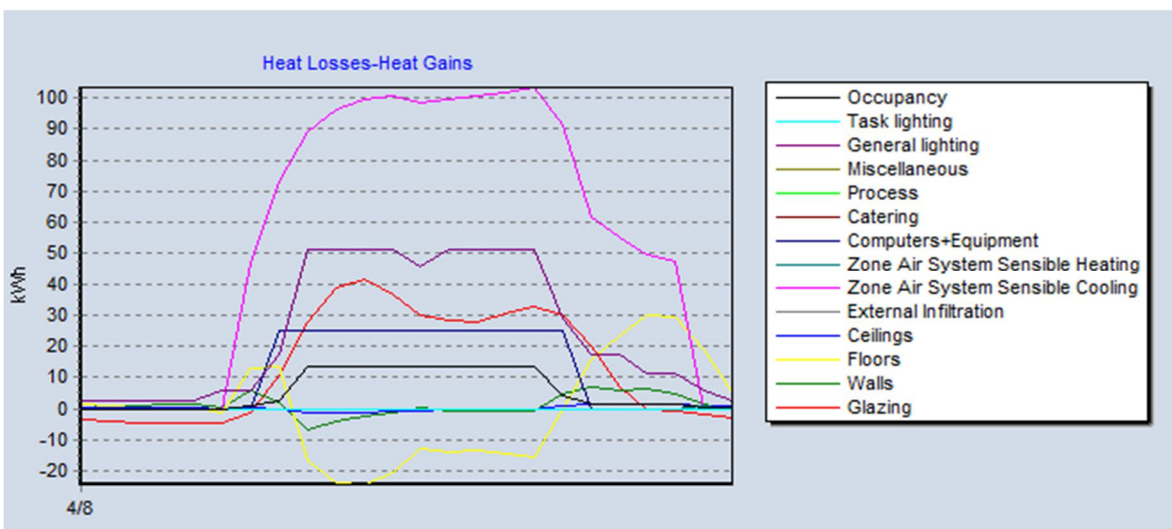
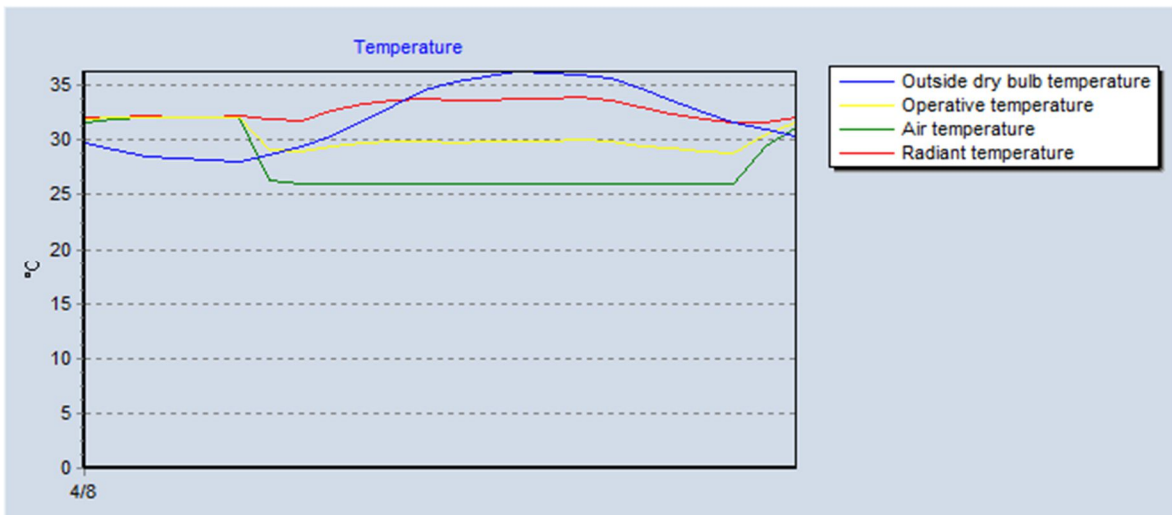
οι 1927,14kWh πρέπει να αγορασθούν για τη συγκεκριμένη χειμερινή ημέρα. Ανά μονάδα επιφάνειας οι τιμές αντιστοιχούν σε 2,64kWh/m² και 0,77kWh/m² αντίστοιχα.

Πίνακας 16: Report Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 1

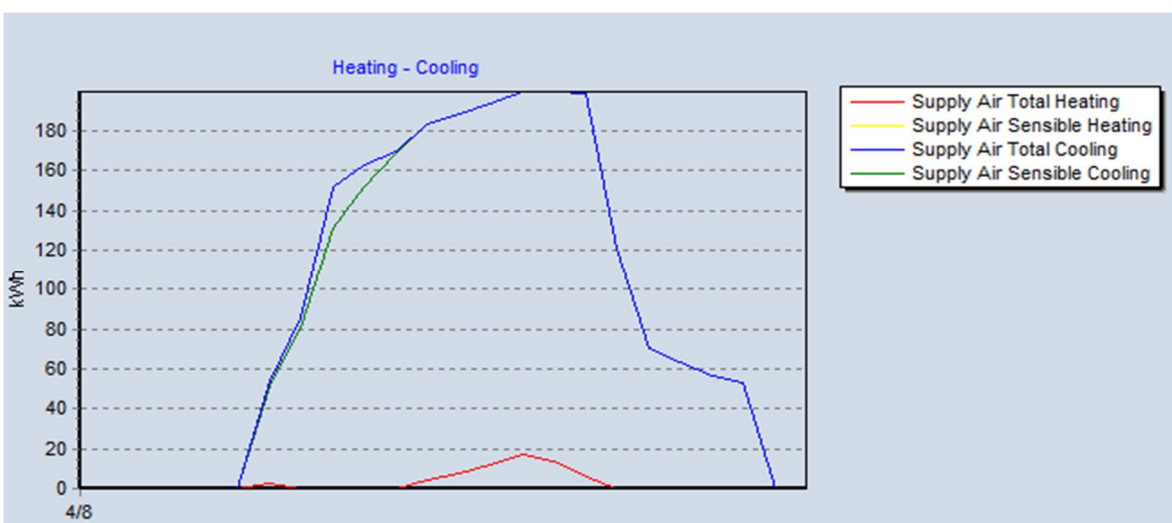
	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	1927.14	0.77	0.77
Net Site Energy	1927.14	0.77	0.77
Total Source Energy	6575.60	2.64	2.64
Net Source Energy	6575.60	2.64	2.64

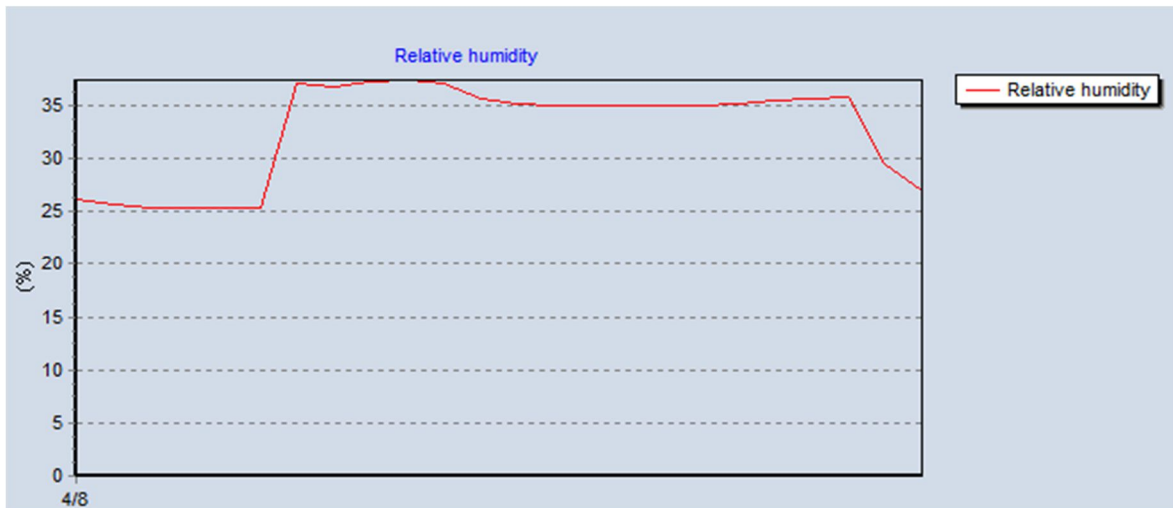
Καλοκαιρινή Προσομοίωση – 04/08

Αντίστοιχα εφαρμόσαμε προσομοίωση για τη θερινή ημέρα με τις περισσότερες ενεργειακές απαιτήσεις όπως φαίνονται στα γραφήματα των Εικόνων 79, 80 και στον Πίνακα 17. Παρατηρούμε της διακυμάνσεις θερμοκρασιών με τη θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος να φθάνει τους 36°C, αρκετά υψηλότερη δηλαδή από την επιθυμητή που ορίσαμε για τη θερμική μας ζώνη, ωστόσο η θερμοκρασία του αέρα στον εσωτερικό χώρο να κυμαίνεται εντός των ορίων 26°C και 32°C. Τα φορτία χώρου δείχνουν να είναι αισθητά περισσότερα απ' ότι το χειμώνα, ιδιαίτερα από τα πατώματα (Floors), τους τοίχους (Walls) και τα κουφώματα (Glazings) κατά τη διάρκεια των ωρών λειτουργίας του κτιρίου λόγω της υψηλότερης εξωτερικής θερμοκρασίας συγκριτικά με την απαιτούμενη εσωτερική των 26°C. Τα ποσά αισθητής ψύξης είναι αρκετά μεγαλύτερα και φθάνουν τις 103,38kWh σε σχέση με τα αντίστοιχα χειμερινά των 71,88kWh, λόγω των υψηλότερων απαιτήσεων ύγρανσης το καλοκαίρι. Τα άτομα στο χώρο ωστόσο δείχνουν να παράγουν λιγότερη θερμότητα το καλοκαίρι κυρίως λόγω του υποδιπλάσιου συντελεστή ρουχισμού (0,5 αντί για 1). Οι παράγοντες φωτισμού και εσωτερικών ηλεκτρικών συσκευών δεν αλλάζουν τα φορτία τους καθώς λειτουργούν σταθερά και ανεξάρτητα των συνθηκών στο χώρο. Η συνολική κατανάλωση (Supply air total cooling) φθάνει τις 199kWh μεταξύ 14:00 και 16:00, και βλέπουμε πως προσεγγιστικά το ποσό προέρχεται όλο από την κλιματιστική μονάδα με την παροχή αισθητών φορτίων θέρμανσης (Supply air sensible heating) να έχει την ίδια τιμή, καθώς το σύνολο των θερμικών εσωτερικών φορτίων δεν λειτουργούν προς όφελός μας προσθέτοντας επιπλέον θερμότητα. Τα επίπεδα υγρασίας βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα λόγω των ξηρών καλοκαιρινών καιρικών συνθηκών, ωστόσο μέσω της ύγρανσης φθάνουν το κατώτερο επιθυμητό όριο του 35% στις ώρες λειτουργίας.



Εικόνα 79: Temperature and Heat Loss-Gains Charts Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 1





Εικόνα 80: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 1

Πίνακας 17: Αποτελέσματα Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 1

Time	Air temperature (°C)	Radiant temperature (°C)	Operative temperature (°C)	Outside dry bulb temperature (°C)	Relative humidity (%)	Mech vent + nat vent + Infiltration (ac/h)
4/8 00:00	31.60105	32.13389	31.86747	29.75000	26.1268309	0.00000
4/8 01:00	31.89710	32.13937	32.01823	29.07500	25.6746803	0.00000
4/8 02:00	32.07012	32.14979	32.10995	28.52500	25.4285370	0.00000
4/8 03:00	32.06864	32.14799	32.10831	28.32500	25.4128694	0.00000
4/8 04:00	32.05375	32.13156	32.09265	28.15000	25.4280926	0.00000
4/8 05:00	32.09358	32.15955	32.12656	28.02500	25.3708985	0.00000
4/8 06:00	26.28671	31.92160	29.10416	28.67500	37.0950095	0.41289
4/8 07:00	26.00072	31.80403	28.90237	29.50000	36.7896278	0.82850
4/8 08:00	26.00007	32.76103	29.38055	30.37500	37.2047115	3.93594
4/8 09:00	26.00001	33.36586	29.68294	31.72500	37.4031048	3.93620
4/8 10:00	26.00000	33.65769	29.82884	33.15000	37.0371232	3.93571
4/8 11:00	26.00000	33.72080	29.86040	34.62500	35.6699381	3.93390
4/8 12:00	26.00000	33.58224	29.79112	35.37500	35.1794951	3.93325
4/8 13:00	26.00000	33.66416	29.83208	35.80000	35.0480789	3.93307
4/8 14:00	26.00000	33.72743	29.86372	36.27500	35.0015694	3.93597
4/8 15:00	26.00000	33.84791	29.92395	36.17500	34.9980942	3.93695
4/8 16:00	26.00000	33.99208	29.99604	35.95000	34.9994891	3.93696
4/8 17:00	26.00000	33.63196	29.81598	35.67500	35.0277107	1.24326
4/8 18:00	26.00000	32.98747	29.49374	34.77500	35.2120858	0.41445
4/8 19:00	26.00000	32.41221	29.20610	33.60000	35.4209149	0.41448
4/8 20:00	26.00000	31.91524	28.95762	32.47500	35.5638555	0.41450
4/8 21:00	26.00000	31.67072	28.83536	31.67500	35.7683531	0.41452
4/8 22:00	29.43334	31.66011	30.54672	31.05000	29.4606738	0.20838
4/8 23:00	31.06721	32.00650	31.53685	30.37500	26.9232710	0.20974

Glazing (kWh)	Walls (kWh)	Floors (kWh)	Ceilings (kWh)	External Infiltration (kWh)	Zone air system sensible heating rate (kWh)	Zone air system sensible cooling rate (kWh)
-3.4339010	0.3874200	1.6400173	0.5032754	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-3.8803136	1.1402285	1.2152042	0.4008983	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-4.3127159	1.1488431	0.3840192	0.2912030	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-4.4548488	1.2337264	0.2737934	0.2130293	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-4.5855343	1.2496709	0.4323656	0.1513239	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-4.6520534	0.6095261	-1.0672027	0.0215055	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-1.2437624	5.6506246	12.8532024	0.3363714	0.0000000	0.0787931	46.9554492
10.6333118	2.1384726	13.2741249	0.0818060	0.0000000	0.0000000	73.1732799
27.8469161	-6.7026285	-16.8310879	-1.1806141	0.0000000	0.0000000	89.1126678
38.8902134	-3.8897963	-23.6383480	-1.2876244	0.0000000	0.0000000	96.1024502
41.2312070	-2.3581488	-24.2513486	-1.1939333	0.0000000	0.0000000	99.5235834
36.7228883	-1.1030064	-20.5648161	-0.9288458	0.0000000	0.0000000	100.3934090
30.1100479	0.6159246	-12.7479041	-0.4727990	0.0000000	0.0000000	98.5018007
28.3248684	-0.9066961	-13.7332465	-0.4022924	0.0000000	0.0000000	99.6622504
27.8282886	-0.5561152	-13.0553685	-0.2108583	0.0000000	0.0000000	100.4414058
30.3438317	-0.6361631	-14.2161201	-0.0943710	0.0000000	0.0000000	101.7679203
32.9479519	-0.5328823	-15.3762883	-0.0016903	0.0000000	0.0000000	103.3837774
30.1619290	4.5215417	0.0948803	0.7792207	0.0000000	0.0000000	91.3194795
19.8467832	6.6996174	15.8543786	1.4137694	0.0000000	0.0000000	61.5301986
6.8800022	5.6928526	23.3859866	1.5930721	0.0000000	0.0000000	55.4119307
-0.3896008	6.1621471	29.8587948	1.7636682	0.0000000	0.0000000	49.9329573
-0.8257946	4.8318493	29.2533380	1.6042758	0.0000000	0.0000000	47.2809975
-1.6370911	1.2689705	18.8927040	1.2184878	0.0000000	0.8211074	0.0000000
-2.7871167	-0.3261037	5.1188468	0.7161179	0.0000000	0.0362433	0.3878540

Supply air sensible cooling (kWh)	Supply air total cooling (kWh)	Supply air sensible heating (kWh)	Supply air total heating (kWh)	Computers+ Equipment (kWh)	Catering (kWh)
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
51.2987897	54.3679630	0.0000000	2.3375909	0.0000000	0.0000000
80.3477032	85.8854933	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
131.5379743	151.6469049	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
151.4746475	163.1791096	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
168.4843274	169.2925926	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
183.4746403	183.4746403	0.0000000	4.0326586	24.8806656	0.0000000
188.7729874	188.7729874	0.0000000	7.8096218	24.8806656	0.0000000
193.9658169	193.9658169	0.0000000	12.3250969	24.8806656	0.0000000
199.2515870	199.2515870	0.0000000	17.0433979	24.8806656	0.0000000
199.6694553	199.6694553	0.0000000	13.3365365	24.8806656	0.0000000
199.2214720	199.2214720	0.0000000	6.3601263	24.8806656	0.0000000
120.7739971	120.7739971	0.0000000	0.2433770	24.8806656	0.0000000
70.4450742	70.4450742	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
63.1295286	63.1295286	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
56.5102971	56.5102971	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
53.0460713	53.0460713	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000

Process (kWh)	Miscellaneous (kWh)	General Lighting (kWh)	Task Lighting (kWh)	Occupancy (kWh)
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	5.7225531	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	5.7225531	0.0000000	1.0300679
0.0000000	0.0000000	17.1676592	0.0000000	2.8398741
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	13.4922468
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	13.4924082
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	13.4924293
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	13.4924320
0.0000000	0.0000000	45.7804246	0.0000000	13.4924323
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	13.4924323
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	13.4924323
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	13.4924323
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	13.4924323
0.0000000	0.0000000	28.6127654	0.0000000	4.2607681
0.0000000	0.0000000	17.1676592	0.0000000	1.4202560
0.0000000	0.0000000	17.1676592	0.0000000	1.4202560
0.0000000	0.0000000	11.4451062	0.0000000	1.4202560
0.0000000	0.0000000	11.4451062	0.0000000	1.4202560
0.0000000	0.0000000	5.7225531	0.0000000	0.5720966
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.4073366

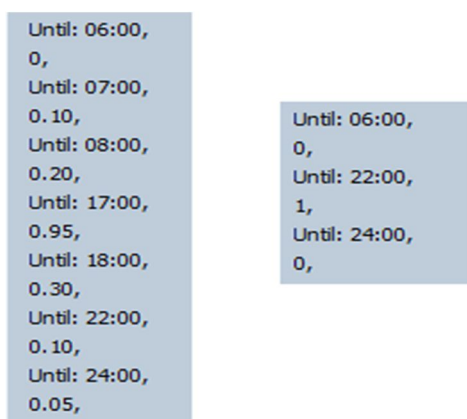
Report: Η αναφορά της καλοκαιρινής προσομοίωσης (Πίνακας 18) μας δείχνει τα αντίστοιχα ποσά ενέργειας που απαιτήθηκαν για ψύξη. Λόγω περισσότερων απαιτήσεων ενέργειας για την ψύξη ενός κτιρίου είναι εύλογο να διαπιστώσουμε αυξημένα ποσά ενέργειας 3084,95kWh που έπρεπε να αγορασθούν (Site Energy) τη συγκεκριμένη ημέρα συγκριτικά με της αντίστοιχης χειμερινής. Ωστόσο τα ποσά συνολικής ενέργειας (Source Energy) είναι λιγότερα, μόλις 5253,46kWh. Και εδώ βλέπουμε τις απώλειες απόδοσης και παραγωγής να είναι αμελητέες. Αντίστοιχα ανά μονάδα επιφάνειας έχουμε 1,24kWh/m² και 2,11kWh/m² αντίστοιχα.

Πίνακας 18: Report Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 1

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	3084.95	1.24	1.24
Net Site Energy	3084.95	1.24	1.24
Total Source Energy	5253.46	2.11	2.11
Net Source Energy	5253.46	2.11	2.11

10.2 Σενάριο 2 - Αλλαγή Χρονοδιαγραμμάτων (Schedules)

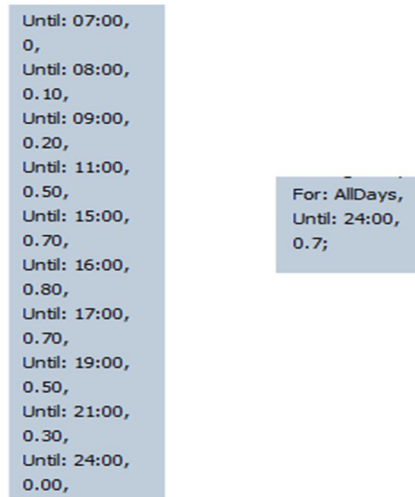
Αφού εξετάσαμε τα αποτελέσματα του βασικού σεναρίου και αντιληφθήκαμε την αρχική ενεργειακή του συμπεριφορά κατά τη διάρκεια του χρόνου, θα συνεχίσουμε με τροποποιήσεις οι οποίες ευελπιστούμε να μας οδηγήσουν σε διαφορετικά αλλά κυρίως αποδοτικότερα αποτελέσματα ξεκινώντας με την αλλαγή προγραμμάτων καθημερινής λειτουργίας (schedules). Στο βασικό σενάριο όπως είχαμε αναφέρει, είχε επιλεγθεί πρόγραμμα λειτουργίας γραφείων του προτύπου ASHRAE 90.1 που ορίζει την ανακατανομή του πληθυσμού στο χώρο και με αντίστοιχο πρόγραμμα λειτουργίας κλιματιστικών μονάδων για απαιτήσεις χώρων γραφείου (Εικόνα 81) προκειμένου η ισχύς λειτουργίας των μονάδων να είναι ανάλογη των χρηστών, οι οποίοι αποτελούν τη βασική πηγή μεταβλητών εσωτερικών θερμικών κερδών κατά τη διάρκεια της ημέρας.



Εικόνα 81: Χρονοδιαγράμματα πληθυσμού (αριστερά) και λειτουργίας μονάδων HVAC (δεξιά) βασικού σεναρίου για χρήση γραφείων

Στην περίπτωση μας θα επιλέξουμε πρόγραμμα λειτουργίας ωραρίου καταστήματος λιανεμπορίου (Retail) το οποίο είναι ανάλογο των γραφείων αλλά οι χρήστες κατανέμονται σε μεγαλύτερο εύρος μέσα στη μέρα φθάνοντας ωστόσο σε μέγιστη κινητικότητα 80%, σε αντίθεση με το πρόγραμμα γραφείων που οι χρήστες συσσωρεύονται στο χώρο για λιγότερες ώρες αλλά σε μεγαλύτερο πλήθος (ως 95%). Αντί του αναμενόμενου χρονοδιαγράμματος λιανεμπορίου για τις κλιματιστικές μονάδες που συμβαδίζει με την ανακατανομή του πληθυσμού, θα επιλέξουμε ένα πρόγραμμα που δημιουργήσαμε οι ίδιοι (*hvac_alldayopen*) κατά το οποίο το σύστημα HVAC λειτουργεί ακατάπαυστα σε μέτρια ισχύ κατά το 70% της μέγιστης. Η σκέψη προήλθε από το γεγονός ότι ένα χρονοδιάγραμμα πληθυσμού με μέτριο εύρος κινητικότητας που καλύπτει τις περισσότερες ώρες της μέρας, θα είχε ενδιαφέρον να παρατηρηθεί η συνεργασία του με ένα πρόγραμμα κλιματιστικών μονάδων που λειτουργεί

σε αντίστοιχη μέτρια ισχύ, παρά το γεγονός ότι είναι μόνιμα ενεργό. Η Εικόνα 82 μας δείχνει τα χρονοδιαγράμματα πληθυσμού και λειτουργίας συστημάτων που θα εφαρμοστούν στο σενάριο.

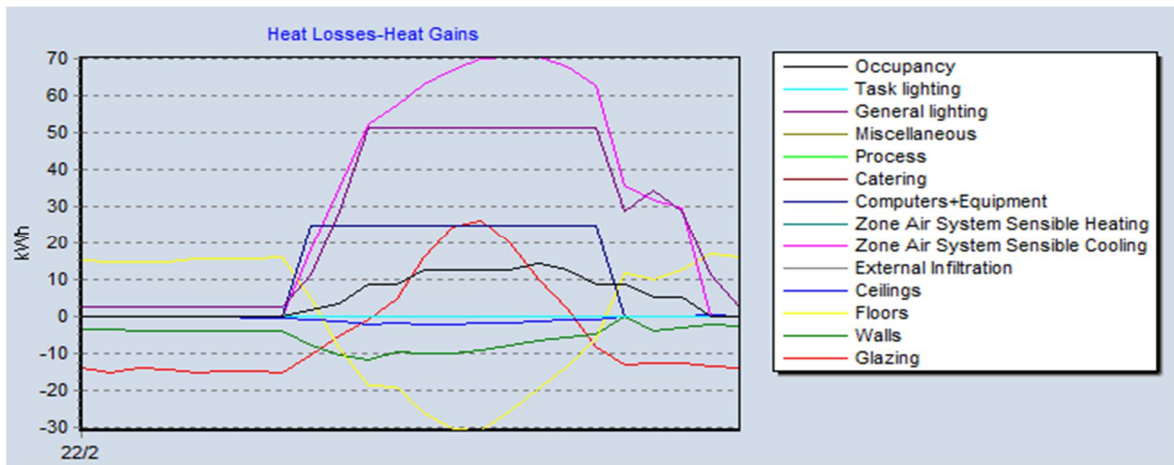
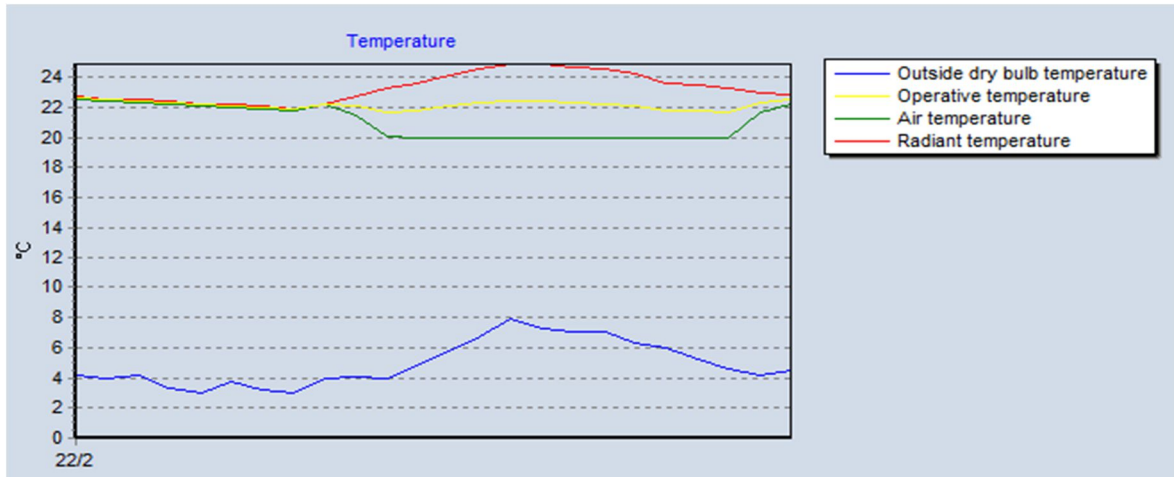


Εικόνα 82: Χρονοδιαγράμματα πληθυσμού καταστήματος λιανεμπορίου (αριστερά) και λειτουργίας μονάδων HVAC 24/7 (δεξιά) για εφαρμογή στο Σενάριο 2

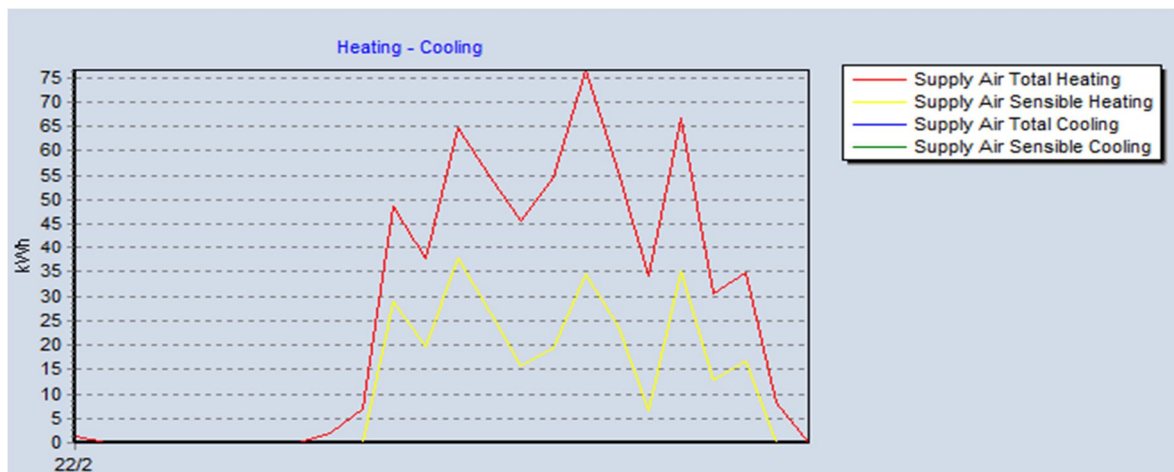
Χειμερινή Προσομοίωση – 22/02

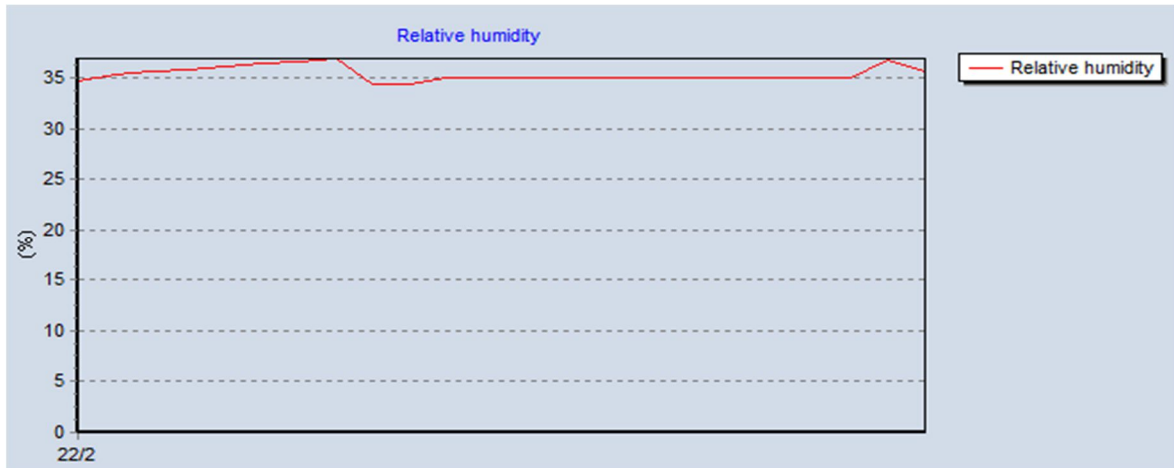
Με τις αλλαγές προγραμμάτων λειτουργίας προχωράμε στη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων προσομοίωσης ξεκινώντας από την ίδια χειμερινή ημέρα. Στο διάγραμμα της Εικόνας 83 και συνδυαστικά με τον Πίνακα 19 παρατηρούμε αρχικά τη θερμοκρασία στο χώρο η οποία διατηρείται επιτυχώς στους επιθυμητούς 20°C και με τις θερμοκρασίες ακτινοβολίας και λειτουργίας να κυμαίνονται στα ίδια πλαίσια, παρά τη χαμηλή θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος. Στα φορτία χώρου, επιβεβαιώνουμε την αλλαγή στην κατανομή του πληθυσμού (occupancy), το γενικό φωτισμό (general lighting) να έχει προσαρμοστεί στο νέο πρόγραμμα και αντίστοιχα η αισθητή ψύξη στη ζώνη λόγω ύγρανσης (Zone air system sensible cooling rate) να ακολουθεί αντίστοιχη πορεία του προγράμματος λειτουργίας. Οι παράγοντες κτιριακού κελύφους είναι λογικό να μην παρουσιάζουν αισθητές διαφορές. Στην Εικόνα 84 παρατηρούμε την κατανάλωση θέρμανσης διαπιστώνοντας ότι πραγματοποιείται επιτυχώς. Η μέγιστη συνολική παροχή θέρμανσης (Supply air total heating) φθάνει μόλις τις 76,55kWh στις 16:00 με μόλις τις προσεγγιστικά 35kWh να προέρχονται από το λέβητα (Supply air sensible heating), δύο ποσά πολύ μικρότερα του βασικού μας σεναρίου. Αυτό συμβαίνει διότι στην περίπτωση αυτή η υπεύθυνη μονάδα λειτουργεί μόλις στο 70% της ισχύος της με πληθυσμό 80% του μεγίστου, σε αντίθεση με το βασικό σενάριο που έφθανε

στο 100% της ισχύος με πληθυσμιακή πυκνότητα 95%. Η υγρασία φαίνεται και εκείνη να διατηρείται στα επιθυμητά ποσοστά του 35% και μάλιστα καθόλη τη διάρκεια της ημέρας αφού το σύστημα κλιματισμού επιλέχθηκε μόνιμα ενεργό.



Εικόνα 83: Temperature and Heat Loss-Gains Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 2





Εικόνα 84: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 2

Πίνακας 19: Αποτελέσματα Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 2

Time	Air temperature (°C)	Radiant temperature (°C)	Operative temperature (°C)	Outside dry bulb temperature (°C)	Relative humidity (%)	Mech vent + nat vent + Infiltration (ac/h)
22/2 00:00	22.49727	22.72305	22.61016	4.15000	34.7187602	0.00000
22/2 01:00	22.41452	22.56083	22.48768	4.00000	35.4053879	0.00000
22/2 02:00	22.28314	22.49493	22.38903	4.15000	35.7770465	0.00000
22/2 03:00	22.22722	22.37711	22.30217	3.30000	35.8930899	0.00000
22/2 04:00	22.06274	22.23027	22.14651	3.00000	36.2256298	0.00000
22/2 05:00	21.95313	22.14845	22.05079	3.75000	36.4599727	0.00000
22/2 06:00	21.88021	22.03726	21.95873	3.25000	36.6497167	0.00000
22/2 07:00	21.74161	21.90581	21.82371	3.00000	36.9704090	0.00000
22/2 08:00	22.15317	22.21548	22.18433	3.90000	34.4512596	0.40234
22/2 09:00	21.41912	22.73115	22.07513	4.05000	34.4056723	0.80125
22/2 10:00	20.05476	23.28204	21.66840	4.00000	35.1216803	1.99326
22/2 11:00	20.00002	23.58317	21.79160	4.75000	35.0041989	1.99530
22/2 12:00	20.00000	24.09471	22.04735	5.75000	35.0006961	2.79342
22/2 13:00	20.00000	24.54470	22.27235	6.75000	34.9911200	2.79549
22/2 14:00	20.00000	24.83397	22.41699	7.90000	34.9967347	2.79618
22/2 15:00	20.00000	24.85905	22.42952	7.30000	34.9993888	2.79618
22/2 16:00	20.00000	24.65373	22.32687	7.00000	34.9900282	3.19800
22/2 17:00	20.00000	24.48974	22.24487	7.00000	34.9963440	2.79894
22/2 18:00	20.00000	24.17834	22.08917	6.25000	34.9994727	1.99925
22/2 19:00	20.00000	23.57688	21.78844	6.00000	34.9999354	1.99925
22/2 20:00	20.00000	23.43161	21.71581	5.25000	34.9999938	1.19955
22/2 21:00	20.00000	23.25766	21.62883	4.62500	35.0000009	1.19955
22/2 22:00	21.64002	22.96158	22.30080	4.12500	36.8401800	0.00000
22/2 23:00	22.15071	22.84216	22.49643	4.45000	35.7533744	0.00000

Glazing (kWh)	Walls (kWh)	Floors (kWh)	Ceilings (kWh)	External Infiltration (kWh)	Zone air system sensible heating rate (kWh)	Zone air system sensible cooling rate (kWh)
-13.7394708	-3.4027373	15.2573936	0.1502459	0.0000000	0.0000000	0.0082921
-15.0153537	-3.5818645	14.9211016	0.0729754	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.0100743	-3.7404537	14.9834056	-0.0026824	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.4606265	-3.7712251	15.0580764	-0.0509840	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-15.2297959	-3.7256327	15.5540243	-0.0815098	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.5245062	-3.8645340	15.6438057	-0.1301697	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.7339762	-3.9304413	15.6527711	-0.1645571	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-15.2148929	-3.9216531	15.9640162	-0.1877913	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-10.5067613	-7.8365489	5.0343148	-0.7087199	0.0000000	0.0000000	18.4830565
-4.9360393	-10.5255963	-8.5039885	-1.3304883	0.0000000	0.0000000	35.1567960
-0.7532499	-11.7640908	-18.7896637	-1.9063379	0.0000000	0.0000000	52.1436281
4.8386219	-9.3201157	-18.8710651	-1.8657958	0.0000000	0.0000000	57.2850000
16.3592132	-10.0292879	-26.1383932	-2.0171924	0.0000000	0.0000000	63.1234842
24.3090705	-9.7698020	-30.3025619	-2.0225957	0.0000000	0.0000000	67.1075050
26.3525924	-8.8569098	-30.7715318	-1.8561503	0.0000000	0.0000000	69.9674000
20.1927067	-7.7534164	-25.7136036	-1.5746424	0.0000000	0.0000000	70.4645306
10.1460199	-6.5314108	-19.3592213	-1.2135395	0.0000000	0.0000000	70.4091221
2.3487712	-5.7819213	-13.5962120	-0.9062491	0.0000000	0.0000000	67.8172194
-8.1429618	-4.7590723	-6.1333546	-0.5986030	0.0000000	0.0000000	62.8432922
-12.9442753	0.0452278	11.9822391	0.2062393	0.0000000	0.0000000	35.5524036
-12.4158919	-3.6475819	9.9197801	0.0124071	0.0000000	0.0000000	31.8284596
-12.5806026	-3.1398121	12.8905778	0.0761276	0.0000000	0.0000000	29.7918021
-13.3573356	-2.1247755	17.1539009	0.3074120	0.0000000	0.0000000	0.0787417
-13.7791101	-2.6941286	15.9839311	0.2637300	0.0000000	0.0000000	0.0000000

Supply air sensible cooling (kWh)	Supply air total cooling (kWh)	Supply air sensible heating (kWh)	Supply air total heating (kWh)	Computers+ Equipment (kWh)	Catering (kWh)
0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.3516188	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.8482166	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	6.8682475	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	28.9467858	48.6467505	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	19.7636577	37.7587986	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	37.6336618	64.6593613	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	26.6000667	54.5470271	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	15.6292412	45.8137677	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	19.3565452	54.6177809	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	34.6198455	76.5568367	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	24.1196216	55.9082183	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	6.6478326	34.0834822	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	35.0676380	66.6941994	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	12.8611210	30.4038153	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	16.7744511	34.8883776	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	8.3239019	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000

Process (kWh)	Miscellaneous (kWh)	General Lighting (kWh)	Task Lighting (kWh)	Occupancy (kWh)
0.000000	0.000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.000000	0.000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.000000	0.000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.000000	0.000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.000000	0.000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.000000	0.000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.000000	0.000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.000000	0.000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.000000	0.000000	11.4451062	0.0000000	1.7914079
0.000000	0.000000	28.6127654	0.0000000	3.5452456
0.000000	0.000000	51.5029777	0.0000000	8.9570396
0.000000	0.000000	51.5029777	0.0000000	8.9570396
0.000000	0.000000	51.5029777	0.0000000	12.5398554
0.000000	0.000000	51.5029777	0.0000000	12.5398554
0.000000	0.000000	51.5029777	0.0000000	12.5398554
0.000000	0.000000	51.5029777	0.0000000	12.5398554
0.000000	0.000000	51.5029777	0.0000000	14.3312634
0.000000	0.000000	51.5029777	0.0000000	12.5398554
0.000000	0.000000	51.5029777	0.0000000	8.9570396
0.000000	0.000000	28.6127654	0.0000000	8.9570396
0.000000	0.000000	34.3353185	0.0000000	5.3742238
0.000000	0.000000	28.6127654	0.0000000	5.3742238
0.000000	0.000000	11.4451062	0.0000000	0.0000000
0.000000	0.000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000

Report: Η αναφορά της προσομοίωσης για τη χειμερινή ημέρα του Πίνακα 20 επιβεβαιώνει της χαμηλές απαιτήσεις θέρμανσης του σεναρίου. Οι τιμές ενέργειας που πρέπει να αγορασθεί (Site Energy) είναι 1529kWh με 0,61kWh/m² μονάδας επιφάνειας, ενώ η συνολική απαιτούμενη ενέργεια (Source Energy) είναι 5120,39kWh με 2,06kWh/m² μονάδας επιφάνειας. Όλες οι τιμές είναι αισθητά μικρότερες των αντίστοιχων του βασικού σεναρίου για την ίδια ημέρα του χειμώνα.

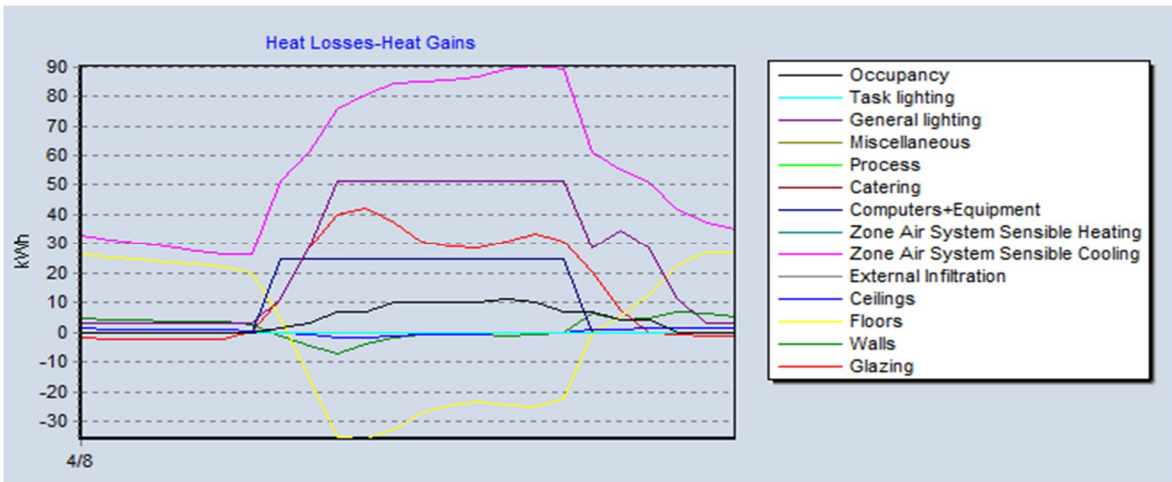
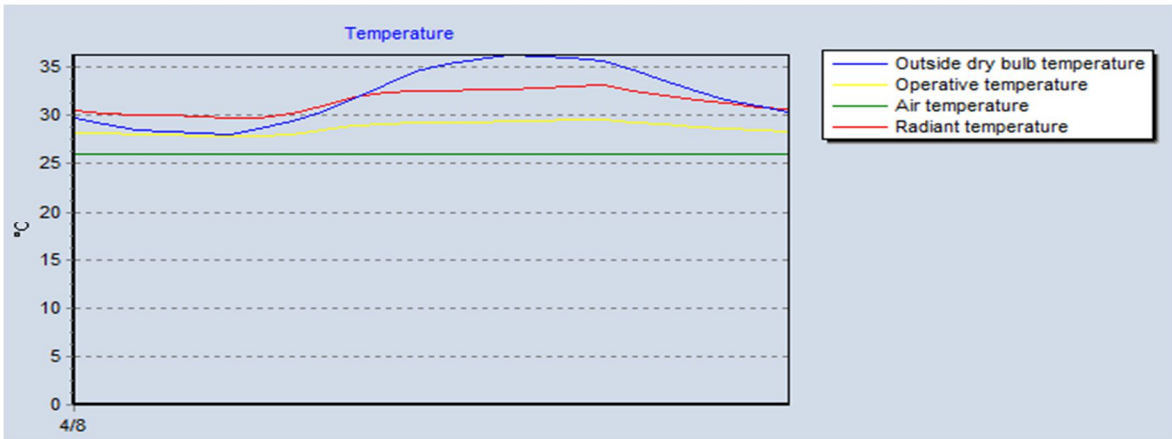
Πίνακας 20: Report Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 2

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	1529.00	0.61	0.61
Net Site Energy	1529.00	0.61	0.61
Total Source Energy	5120.39	2.06	2.06
Net Source Energy	5120.39	2.06	2.06

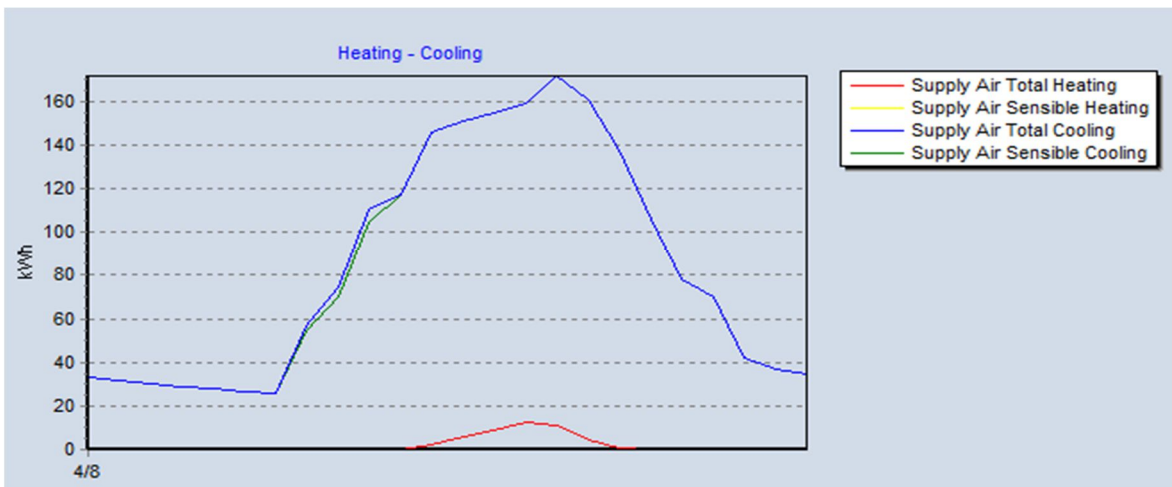
Καλοκαιρινή Προσομοίωση – 04/08

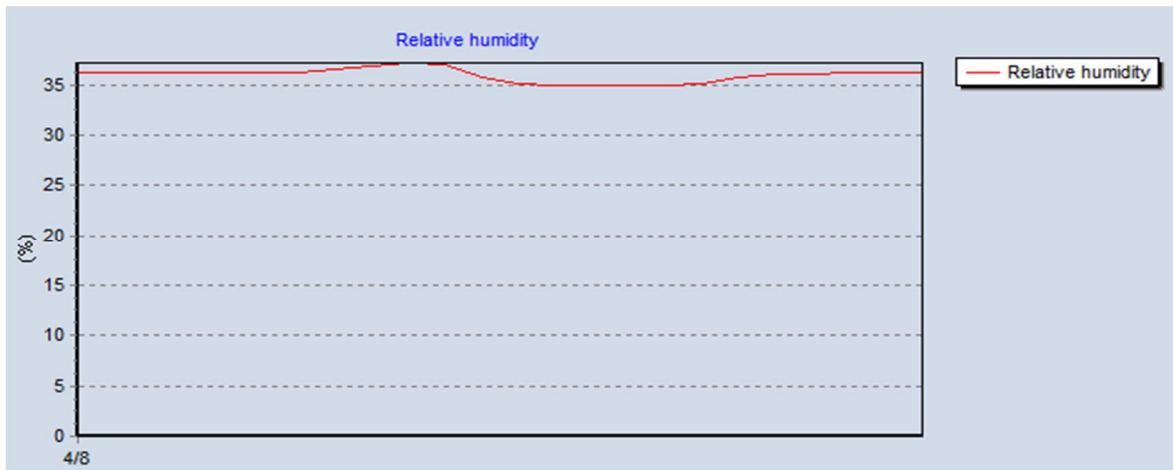
Από τα αποτελέσματα της καλοκαιρινής προσομοίωσης που βλέπουμε από τα διαγράμματα των Εικόνων 85, 86 και του Πίνακα 21, εξάγουμε παρεμφερή συμπεράσματα με το βασικό σενάριο κοιτώντας τις δύο ημέρες του χρόνου. Η θερμοκρασία εσωτερικού χώρου διατηρείται αυστηρά στο κατώτερο επιθυμητό όριο των 26°C καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Από τα φορτία χώρου παρατηρούμε υψηλότερα θερμικά κέρδη κελύφους, ιδιαίτερα από τους τοίχους (Walls) και τα κουφώματα (Glazing) λόγω της υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος από την αντίστοιχη στον εσωτερικό χώρο, μικρότερη παραγωγή θερμότητας από τους χρήστες λόγω συντελεστή ρουχισμού, και υψηλότερη κατανάλωση αισθητής ψύξης στη ζώνη (Zone air system sensible cooling rate) που φθάνει τις 90,33kWh λόγω υψηλότερων θερινών απαιτήσεων ύγρανσης σε σύγκριση με τις 70,46kWh του χειμώνα.

Από πλευράς κατανάλωσης, παρατηρούμε ότι υψηλότερες συνολικές απαιτήσεις ψύξης (Supply air total cooling) φθάνουν τις 171,76kWh στις 15:00 με το ποσό να καλύπτεται όλο από τον αερόψυκτο ψύκτη (Supply air sensible cooling). Το ποσό είναι σαφώς μικρότερο του βασικού σεναρίου λόγω χαμηλότερης ισχύος του υπεύθυνου συστήματος, ωστόσο αρκετά μικρότερης κλίμακας απ' ότι η διαφορά των αντίστοιχων ποσών θέρμανσης στη χειμερινή προσομοίωση όπου είδαμε σχεδόν υποδιπλάσιες τιμές. Αυτό συμβαίνει λόγω των θερμικών κερδών που το καλοκαίρι λειτουργούν εις βάρος της κατανάλωσης και το σύστημα ψύξης πρέπει να τα καλύψει ούτως ή άλλως. Η αισθητή παρουσία των θερμικών κερδών φαίνεται και από την καμπύλη ψύξης στις ώρες χαμηλής κινητικότητας (πχ. βραδινές ώρες) όπου η εκμετάλλευση του 24 ωρών ενεργού συστήματος κλιματισμού είναι απαραίτητη για την αντιστάθμιση των φορτίων θέρμανσης οπότε υπάρχει κατανάλωση περίπου 35kWh κατά μέσο όρο. Το φαινόμενο δεν παρουσιάστηκε το χειμώνα διότι η θερμότητα των εσωτερικών παραγόντων και του κελύφους μπορούσαν από μόνα τους να αντισταθμίσουν χαμηλά φορτία χωρίς να είναι απαραίτητη η λειτουργία της μονάδας. Τέλος, τα επίπεδα υγρασίας διατηρούνται στα επιθυμητά επίπεδα καθ' όλη τη μέρα λόγω του ενεργού συστήματος κλιματισμού.



Εικόνα 85: Temperature and Heat Loss-Gains Charts Θερμικής Προσομοίωσης Σεναρίου 2





Εικόνα 86: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 2

Πίνακας 21: Αποτελέσματα Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 2

Time	Air temperature (°C)	Radiant temperature (°C)	Operative temperature (°C)	Outside dry bulb temperature (°C)	Relative humidity (%)	Mech vent + nat vent + Infiltration (ac/h)
4/8 00:00	26.00000	30.44383	28.22191	29.75000	36.2119436	0.00000
4/8 01:00	26.00000	30.27386	28.13693	29.07500	36.2390167	0.00000
4/8 02:00	26.00000	30.12161	28.06081	28.52500	36.2479873	0.00000
4/8 03:00	26.00000	29.98863	27.99432	28.32500	36.2210696	0.00000
4/8 04:00	26.00000	29.86213	27.93106	28.15000	36.2120973	0.00000
4/8 05:00	26.00000	29.74158	27.87079	28.02500	36.2120984	0.00000
4/8 06:00	26.00000	29.71848	27.85924	28.67500	36.2120974	0.00000
4/8 07:00	26.00000	30.17101	28.08550	29.50000	36.5147652	0.41421
4/8 08:00	26.00000	30.99542	28.49771	30.37500	36.8824324	0.82853
4/8 09:00	26.00000	31.91896	28.95948	31.72500	37.1819741	2.07153
4/8 10:00	26.00000	32.36498	29.18249	33.15000	37.0970465	2.07147
4/8 11:00	26.00000	32.52405	29.26202	34.62500	35.7171407	2.89871
4/8 12:00	26.00000	32.53451	29.26726	35.37500	35.1398207	2.89814
4/8 13:00	26.00000	32.62486	29.31243	35.80000	35.0272510	2.89803
4/8 14:00	26.00000	32.72033	29.36017	36.27500	34.9959575	2.90018
4/8 15:00	26.00000	32.88982	29.44491	36.17500	34.9972721	3.31533
4/8 16:00	26.00000	33.07343	29.53672	35.95000	34.9994407	2.90091
4/8 17:00	26.00000	33.12061	29.56031	35.67500	35.0465473	2.07212
4/8 18:00	26.00000	32.52603	29.26302	34.77500	35.6871632	2.07256
4/8 19:00	26.00000	32.07686	29.03843	33.60000	36.1256150	1.24372
4/8 20:00	26.00000	31.67663	28.83831	32.47500	36.0745562	1.24370
4/8 21:00	26.00000	31.23239	28.61619	31.67500	36.1746284	0.00000
4/8 22:00	26.00000	30.85806	28.42903	31.05000	36.2051174	0.00000
4/8 23:00	26.00000	30.62439	28.31219	30.37500	36.2119333	0.00000

Glazing (kWh)	Walls (kWh)	Floors (kWh)	Ceilings (kWh)	External Infiltration (kWh)	Zone air system sensible heating rate (kWh)	Zone air system sensible cooling rate (kWh)
-1.7207973	4.5798046	26.1676393	1.3118013	0.0000000	0.0000000	33.1368262
-2.0442224	4.2824585	25.3509899	1.1723025	0.0000000	0.0000000	31.5500690
-2.3408027	4.0660512	24.6007725	1.0467772	0.0000000	0.0000000	30.1541655
-2.3778814	3.8400162	23.7491194	0.9286275	0.0000000	0.0000000	28.9097278
-2.4132197	3.6406900	22.9209952	0.8223001	0.0000000	0.0000000	27.7397025
-2.4209814	3.4465306	22.1129380	0.7272508	0.0000000	0.0000000	26.6308188
0.5302563	2.7360958	19.6907359	0.5745548	0.0000000	0.0000000	26.1638068
11.4751709	-1.3526015	4.8067441	-0.0885281	0.0000000	0.0000000	51.2283584
28.3042739	-4.6951345	-15.2486571	-0.8747023	0.0000000	0.0000000	61.2189343
39.7252509	-7.0910364	-35.1353863	-1.6189006	0.0000000	0.0000000	75.4446709
41.9311318	-3.6858338	-35.9000977	-1.5090372	0.0000000	0.0000000	80.5939468
37.3980980	-1.9809579	-32.4633720	-1.2483758	0.0000000	0.0000000	84.4393864
30.8025020	-0.9095869	-27.2259046	-0.9090105	0.0000000	0.0000000	84.6464011
28.8954536	-0.8739277	-24.7388732	-0.6677225	0.0000000	0.0000000	85.5107483
28.3981263	-0.8024566	-23.5278971	-0.4580275	0.0000000	0.0000000	86.5357524
30.8948906	-1.0143031	-24.4778883	-0.3353035	0.0000000	0.0000000	89.3196381
33.4579327	-0.7867062	-24.9590055	-0.2141530	0.0000000	0.0000000	90.3350751
30.9161299	0.1097381	-22.1730290	-0.0204451	0.0000000	0.0000000	89.0096921
20.3139211	6.1733795	-0.3513045	0.9337883	0.0000000	0.0000000	61.3016971
7.3746568	4.1190358	5.4933573	1.0334125	0.0000000	0.0000000	54.9936039
0.0371967	4.9538454	12.7265618	1.2468484	0.0000000	0.0000000	50.6348134
-0.6445447	6.9630127	22.7329870	1.5776581	0.0000000	0.0000000	41.7606824
-1.0341365	6.5121063	27.2145061	1.6273676	0.0000000	0.0000000	37.2099839
-1.3781295	5.1251822	26.8260951	1.4633671	0.0000000	0.0000000	34.8568101

Supply air sensible cooling (kWh)	Supply air total cooling (kWh)	Supply air sensible heating (kWh)	Supply air total heating (kWh)	Computers+ Equipment (kWh)	Catering (kWh)
33.1368262	33.1368262	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
31.5500690	31.5500690	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
30.1541655	30.1541655	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
28.9097278	28.9097278	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
27.7397025	27.7397025	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
26.6308188	26.6308188	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
26.1638068	26.1638068	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
54.8172621	56.6507339	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
70.1666643	74.4396022	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
104.6106297	110.8137339	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
116.8835215	117.3995994	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
145.6428919	145.6428919	0.0000000	2.2632182	24.8806656	0.0000000
151.1514885	151.1514885	0.0000000	5.6043255	24.8806656	0.0000000
154.9837609	154.9837609	0.0000000	8.9823693	24.8806656	0.0000000
159.3240533	159.3240533	0.0000000	12.5381182	24.8806656	0.0000000
171.7584889	171.7584889	0.0000000	11.2239486	24.8806656	0.0000000
160.9417277	160.9417277	0.0000000	4.6801833	24.8806656	0.0000000
138.1005545	138.1005545	0.0000000	0.4052019	24.8806656	0.0000000
105.8705302	105.8705302	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
78.1345301	78.1345301	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
70.3572863	70.3572863	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
41.7606824	41.7606824	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
37.2099839	37.2099839	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
34.8568101	34.8568101	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000

Process (kWh)	Miscellaneous (kWh)	General Lighting (kWh)	Task Lighting (kWh)	Occupancy (kWh)
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	11.4451062	0.0000000	1.4202560
0.0000000	0.0000000	28.6127654	0.0000000	2.8405121
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	7.1012802
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	7.1012802
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	9.9417923
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	9.9417923
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	9.9417923
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	9.9417923
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	11.3620483
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	9.9417923
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	7.1012802
0.0000000	0.0000000	28.6127654	0.0000000	7.1012802
0.0000000	0.0000000	34.3353185	0.0000000	4.2607681
0.0000000	0.0000000	28.6127654	0.0000000	4.2607681
0.0000000	0.0000000	11.4451062	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000

Report: Από τον Πίνακα 22 συμπεραίνουμε ότι η ενέργεια που πρέπει να αγορασθεί (Site Energy) τη συγκεκριμένη μέρα είναι 2965,41kWh, ένα ποσό σαφώς μεγαλύτερο της χειμερινής μέρας λόγω υψηλότερης κατανάλωσης μέσω ψύξης και ελάχιστα μικρότερο του αντίστοιχου ποσού στο βασικό σενάριο. Αντίστοιχη συμπεριφορά παρουσιάζει και η συνολική ενέργεια (Source Energy) με τιμή 5160,29kWh. Οι αντίστοιχες τιμές ανά μονάδα επιφάνειας είναι 1,19kWh/m² και 2,07kWh/m² αντίστοιχα. Και εδώ οι απώλειες παραγωγής και απόδοσης δεν είναι αισθητές.

Πίνακας 22: Report Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 2

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	2965.41	1.19	1.19
Net Site Energy	2965.41	1.19	1.19
Total Source Energy	5160.29	2.07	2.07
Net Source Energy	5160.29	2.07	2.07

10.3 Σενάριο 3 – Μειωμένες Απαιτήσεις

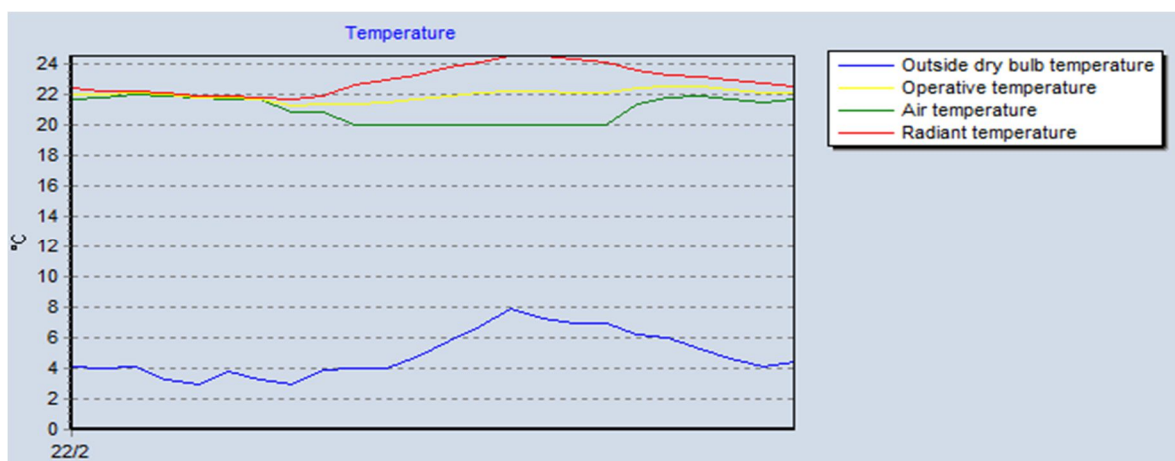
Ως επόμενο σενάριο θεωρήθηκε ενδιαφέρον να εξεταστεί η ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου όταν μειωθούν οι τιμές των βασικών εσωτερικών παραγόντων που επηρεάζουν την κατανάλωση εντός των χώρων, διατηρώντας το σύστημα κλιματισμού και τα χρονοδιαγράμματα του βασικού σεναρίου. Οι παράγοντες που επιλέχθηκαν να περιοριστούν είναι οι εξής:

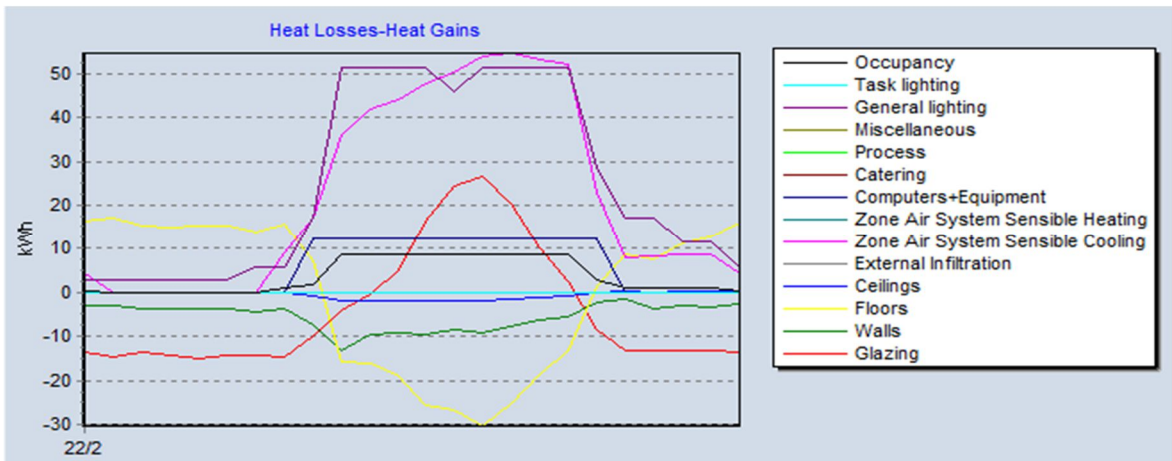
- Πληθυσμός (Occupancy): Εντός της θερμικής ζώνης είχε ορισθεί πλήθος 0,1 ατόμων/m² για χώρους γραφείων στην καρτέλα 'Activity' σύμφωνα με τον πίνακα του Κ.Εν.Α.Κ., μια τιμή που θα μειωθεί στη μισή ποσότητα των 0,05 ατόμων/m². Η αλλαγή θεωρούμε πως θα επιφέρει σημαντικές αλλαγές, καθώς το πλήθος των χρηστών μπορεί να επηρεάσει την κατανάλωση και άμεσα ως ποσότητα εσωτερικού θερμικού κέρδους αλλά και έμμεσα λόγω ανάγκης παραμετροποίησης λοιπών παραγόντων που εξαρτώνται από τους χρήστες.
- Ηλεκτρικός Εξοπλισμός (Computers/Equipment): Λιγότερα άτομα σε ένα χώρο είναι λογικό να χρησιμοποιούν και αναλογικά λιγότερες ηλεκτρικές συσκευές. Εξίσου από την καρτέλα 'Activity' λοιπόν θα υποδιπλασιάσουμε τα ποσά θερμικών κερδών που αφορούν τους υπολογιστές και το λοιπό εξοπλισμό γραφείου, ορίζοντάς τα σε 2,5W/m² από την αρχική τιμή των 5W/m².
- Εναλλαγές αέρα ανά ώρα (ac/h): Αποτελεί ίσως την πιο καθοριστική αλλαγή καθώς παρόλο που εξαρτάται από τον πληθυσμό, είναι αυτή που θα επηρεάσει ως ποσότητα την κατανάλωση στη θερμική ζώνη. Εφόσον τα άτομα είναι λιγότερα θα υπάρξουν και λιγότερες απαιτήσεις νωπού αέρα, του οποίου τα ποσά επηρεάζουν άμεσα τις εναλλαγές αέρα ανά ώρα όπως είδαμε στην αντίστοιχη θεωρητική ενότητα. Είναι εύλογο λοιπόν ο υποδιπλασιασμός πληθυσμού να μας οδηγήσει σε ανάλογο υποδιπλασιασμό των εναλλαγών, ορίζοντάς τις σε 2ac/h, από την αρχική τιμή των 4ac/h.

Τα στοιχεία κελύφους προφανώς και δεν μπορούν να παραμετροποιηθούν, ενώ η απουσία επιπλέον διαδικασιών (Process), τροφοδοσίας φαγητού (Catering), διαφόρων λοιπών θερμικών κερδών (Miscellaneous) και παροχής ζεστού νερού (DHW) στα κτίρια γραφείου, δεν μας αφήνει άλλα περιθώρια αλλαγών.

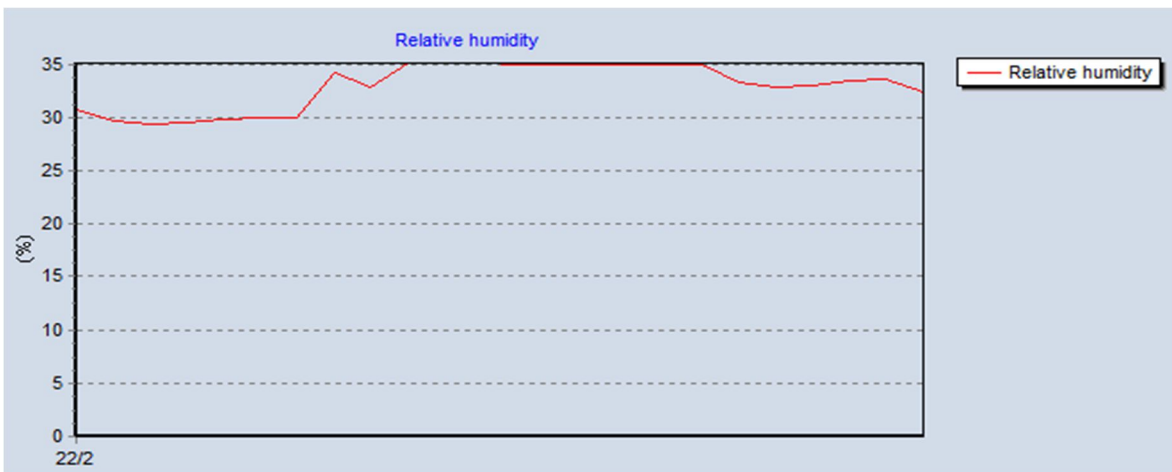
Χειμερινή Προσομοίωση – 22/02

Εξάγοντας τα αποτελέσματα της χειμερινής ημέρας που φαίνονται από τις Εικόνες 87, 88 και τον Πίνακα 23, είναι λογικό να παρατηρήσουμε κατά κύριο λόγο περιορισμένες ενεργειακές τιμές, καθώς όλες οι αλλαγές αφορούσαν μειώσεις παραγόντων. Αρχικά οι θερμοκρασίες διατηρούν τις επιθυμητές τιμές άνω των 20°C εντός του χώρου. Οι αλλαγές πληθυσμού (occupancy) και ηλεκτρικού εξοπλισμού (computers+equipment) φαίνονται από τις αντίστοιχες καμπύλες του διαγράμματος θερμικών κερδών/απωλειών να είναι σαφώς μειωμένες. Η μέγιστη θερμότητα που εκπέμπεται από τους χρήστες αντιστοιχεί σε 8,5kWh αντί 17kWh του αρχικού σεναρίου, ενώ ο εξοπλισμός εκπέμπει 12,44kWh θερμότητας, αντί 24,88kWh. Ξεκάθαρη πτώση βλέπουμε και στις τιμές αισθητής ψύξης στη ζώνη (Zone air system sensible cooling rate) με μέγιστη τιμή μόλις 54,62kWh, καθώς η μείωση του πληθυσμού και κατ' επέκταση των εναλλαγών αέρα την ώρα οδηγεί σε μικρότερα φορτία για ύγρανση από την κλιματιστική μονάδα. Τα χαρακτηριστικά κελύφους δεν παρουσίασαν αξιοσημείωτες μεταβολές κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η κατανάλωση θέρμανσης έχει τεράστια διαφορά από το βασικό σενάριο με μέγιστη τιμή συνολικής παροχής (Supply air total heating) μόλις 60,67kWh στις 9:00 εκ' των οποίων οι 40,62kWh να προέρχονται από το λέβητα (Supply air sensible heating) για 1,89ac/h. Οι τιμές είναι μικρότερες του μισού σε σχέση με το βασικό σενάριο και διαπιστώνουμε πόσο καθοριστικό παράγοντα αποτελούν οι εναλλαγές αέρα την ώρα για μια ενεργειακή μελέτη, διότι παρόλο που μειώθηκαν τα θερμικά κέρδη από τον πληθυσμό και τις συσκευές, οι μεταβολές τους τελικά υπερκαλύφθηκαν από τη μεταβολή στο μηχανικό αερισμό. Τα επίπεδα υγρασίας που θα μπορούσαν να μας ανησυχίσουν καθώς επηρεάζονται άμεσα από τη μεταβολή της αισθητής ψύξης ζώνης, δείχνουν να επανέρχονται στο επιθυμητό ποσοστό 35% στις ώρες λειτουργίας.





Εικόνα 87: Temperature and Heat Loss-Gains Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 3



Εικόνα 88: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 3

Πίνακας 23: Αποτελέσματα Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 3

Time	Air temperature (°C)	Radiant temperature (°C)	Operative temperature (°C)	Outside dry bulb temperature (°C)	Relative humidity (%)	Mech vent + nat vent + Infiltration (ac/h)
22/2 00:00	21.65822	22.43656	22.04739	4.15000	30.7506552	0.10061
22/2 01:00	21.83255	22.22721	22.02988	4.00000	29.6272695	0.00000
22/2 02:00	22.00409	22.18482	22.09446	4.15000	29.3242134	0.00000
22/2 03:00	21.93822	22.08389	22.01105	3.30000	29.4757093	0.00000
22/2 04:00	21.77163	21.94160	21.85662	3.00000	29.7570520	0.00000
22/2 05:00	21.67115	21.86317	21.76716	3.75000	29.9321729	0.00000
22/2 06:00	21.65311	21.80371	21.72841	3.25000	29.9871472	0.00000
22/2 07:00	20.84044	21.67329	21.25686	3.00000	34.2316274	0.19986
22/2 08:00	20.83462	21.90768	21.37115	3.90000	32.7907000	0.40055
22/2 09:00	20.02323	22.67243	21.34783	4.05000	35.0756725	1.89507
22/2 10:00	20.00006	23.01221	21.50613	4.00000	35.0131899	1.89601
22/2 11:00	20.00000	23.32929	21.66465	4.75000	35.0025889	1.89554
22/2 12:00	20.00000	23.82099	21.91050	5.75000	35.0003035	1.89554
22/2 13:00	20.00000	24.17595	22.08798	6.75000	34.9932008	1.89694
22/2 14:00	20.00000	24.50799	22.25400	7.90000	34.9982134	1.89741
22/2 15:00	20.00000	24.54908	22.27454	7.30000	34.9997922	1.89741
22/2 16:00	20.00000	24.33874	22.16937	7.00000	34.9931296	1.89881
22/2 17:00	20.00000	24.17916	22.08958	7.00000	34.9982018	1.89928
22/2 18:00	21.34326	23.61917	22.48121	6.25000	33.2148250	0.60089
22/2 19:00	21.82902	23.24948	22.53925	6.00000	32.8350288	0.20125
22/2 20:00	21.95761	23.14006	22.54884	5.25000	32.9307909	0.20136
22/2 21:00	21.70005	22.96035	22.33020	4.62500	33.4467593	0.20118
22/2 22:00	21.48381	22.79931	22.14156	4.12500	33.6256923	0.20117
22/2 23:00	21.66341	22.59334	22.12838	4.45000	32.3013105	0.10065

Glazing (kWh)	Walls (kWh)	Floors (kWh)	Ceilings (kWh)	External Infiltration (kWh)	Zone air system sensible heating rate (kWh)	Zone air system sensible cooling rate (kWh)
-13.4427431	-2.8668360	16.4966452	0.1373779	0.0000000	0.0000000	4.4259534
-14.5956586	-3.1196325	16.9888453	0.0856041	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-13.7423742	-3.7730299	15.1407426	-0.0264224	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.2358576	-3.8009073	14.8087958	-0.0792763	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.9919990	-3.6855097	15.3612920	-0.1056340	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.2940987	-3.8146106	15.4049619	-0.1518104	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.4845912	-4.4656872	13.7427889	-0.2602537	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.8510585	-3.8331492	15.6615773	-0.2547224	0.0000000	0.0000000	8.9704229
-10.0070627	-7.2054710	7.3495685	-0.7096326	0.0000000	0.0000000	17.1251526
-4.2062342	-13.3129751	-15.8119983	-1.7736931	0.0000000	0.0000000	35.9643213
-0.5503795	-9.5527157	-16.0328168	-1.7617056	0.0000000	0.0000000	41.9077097
4.9319361	-9.1049893	-19.0956673	-1.8126941	0.0000000	0.0000000	43.8758986
16.4364621	-9.6914026	-25.7019579	-1.9421815	0.0000000	0.0000000	47.7857619
24.3413994	-8.5598873	-26.8228234	-1.8127416	0.0000000	0.0000000	50.3441599
26.4677362	-9.1816852	-30.3540022	-1.8044441	0.0000000	0.0000000	53.9249104
20.2746816	-7.7590391	-25.4017509	-1.5284038	0.0000000	0.0000000	54.6228138
10.2214119	-6.3355098	-18.7796783	-1.1575849	0.0000000	0.0000000	53.2826587
2.4320940	-5.7045646	-13.3547806	-0.8690943	0.0000000	0.0000000	51.9799690
-8.5446221	-2.2358964	1.4975204	-0.1246709	0.0000000	0.0000000	22.8976534
-13.3910138	-1.6470646	8.5329302	0.2005093	0.0000000	0.0000000	8.0064359
-13.0636230	-3.7404807	7.4790623	0.0823775	0.0000000	0.0000000	8.4516551
-13.2070493	-2.8857741	11.2435529	0.1598516	0.0000000	0.0000000	8.6379563
-13.3740087	-3.2361644	12.6764316	0.1080569	0.0000000	0.0000000	8.7811419
-13.4235204	-2.5229657	16.0066642	0.1756186	0.0000000	0.0000000	4.3531851

Supply air sensible cooling (kWh)	Supply air total cooling (kWh)	Supply air sensible heating (kWh)	Supply air total heating (kWh)	Computers+ Equipment (kWh)	Catering (kWh)
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	5.7024792	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	3.7095530	12.4403328	0.000000
0.000000	0.000000	40.6248140	60.6736574	12.4403328	0.000000
0.000000	0.000000	34.8355669	54.9475945	12.4403328	0.000000
0.000000	0.000000	29.2922955	46.4888845	12.4403328	0.000000
0.000000	0.000000	20.5991135	38.9233499	12.4403328	0.000000
0.000000	0.000000	13.2570971	32.2230783	12.4403328	0.000000
0.000000	0.000000	4.1788496	24.6412249	12.4403328	0.000000
0.000000	0.000000	6.3522333	30.2552007	12.4403328	0.000000
0.000000	0.000000	9.1221028	33.9991825	12.4403328	0.000000
0.000000	0.000000	10.4255452	31.9768536	12.4403328	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	11.3256220	12.4403328	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	4.0528196	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	3.4529426	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	3.2499473	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	2.9807574	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Process (kWh)	Miscellaneous (kWh)	General Lighting (kWh)	Task Lighting (kWh)	Occupancy (kWh)
0.000000	0.000000	2.8612765	0.000000	0.4478520
0.000000	0.000000	2.8612765	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	2.8612765	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	2.8612765	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	2.8612765	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	2.8612765	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	5.7225531	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	5.7225531	0.000000	0.8957040
0.000000	0.000000	17.1676592	0.000000	1.7914079
0.000000	0.000000	51.5029777	0.000000	8.5091876
0.000000	0.000000	51.5029777	0.000000	8.5091876
0.000000	0.000000	51.5029777	0.000000	8.5091876
0.000000	0.000000	51.5029777	0.000000	8.5091876
0.000000	0.000000	45.7804246	0.000000	8.5091876
0.000000	0.000000	51.5029777	0.000000	8.5091876
0.000000	0.000000	51.5029777	0.000000	8.5091876
0.000000	0.000000	51.5029777	0.000000	8.5091876
0.000000	0.000000	51.5029777	0.000000	8.5091876
0.000000	0.000000	51.5029777	0.000000	8.5091876
0.000000	0.000000	28.6127654	0.000000	2.6871119
0.000000	0.000000	17.1676592	0.000000	0.8957040
0.000000	0.000000	17.1676592	0.000000	0.8957040
0.000000	0.000000	11.4451062	0.000000	0.8957040
0.000000	0.000000	11.4451062	0.000000	0.8957040
0.000000	0.000000	5.7225531	0.000000	0.4478520

Report: Οι τιμές τις αναφοράς χειμερινής προσομοίωσης του Πίνακα 24 επιβεβαιώνει τις παραπάνω παρατηρήσεις καθώς η ενέργεια αγοράς (Site Energy) και η συνολική (Source Energy) είναι αισθητά μικρότερη των αντίστοιχων του βασικού σεναρίου, και ισοδυναμούν με 1120,59kWh (0,45kWh/m² μονάδας επιφάνειας) και 3722,36kWh (1,5kWh/m² μονάδας επιφάνειας) αντίστοιχα. Οι απώλειες απόδοσης και παραγωγής που γίνονται αντιληπτές ως διαφορά των Total τιμών με τις επιμέρους Net, είναι σταθερά μηδενικές.

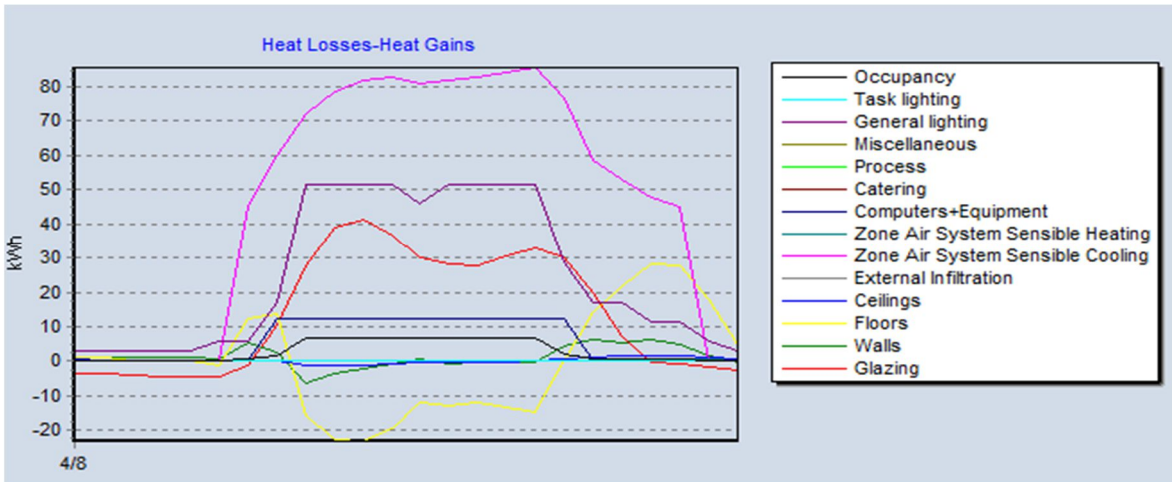
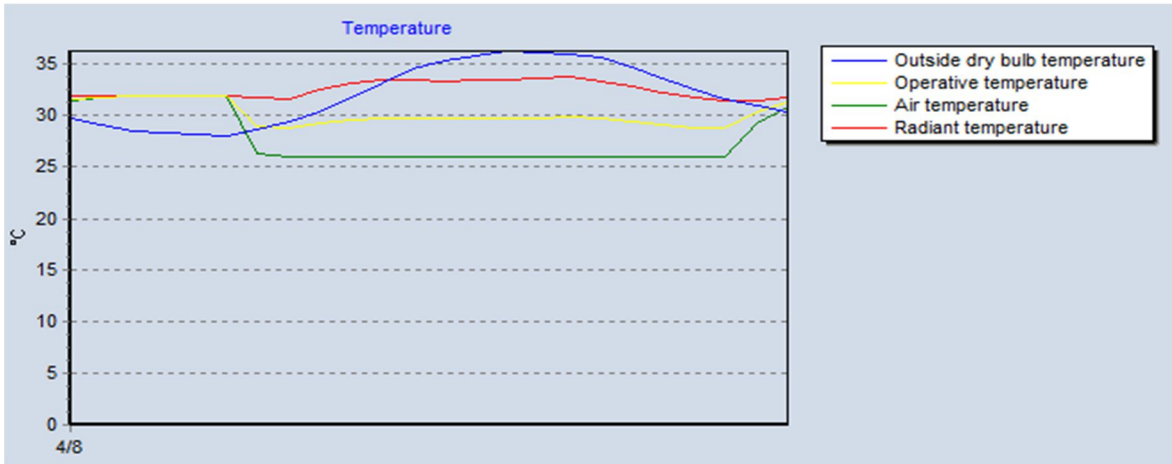
Πίνακας 24: Report Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 3

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	1120.59	0.45	0.45
Net Site Energy	1120.59	0.45	0.45
Total Source Energy	3722.36	1.50	1.50
Net Source Energy	3722.36	1.50	1.50

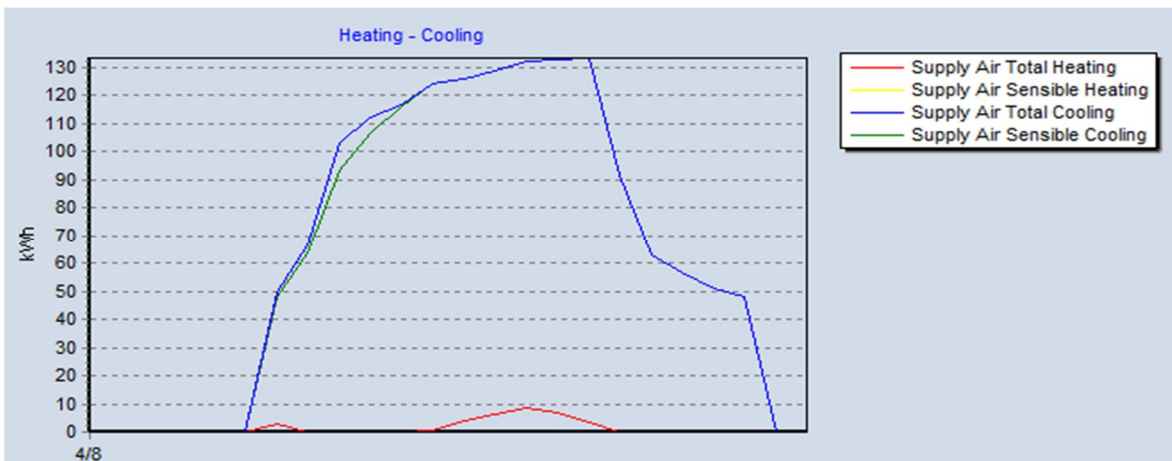
Καλοκαιρινή Προσομοίωση – 04/08

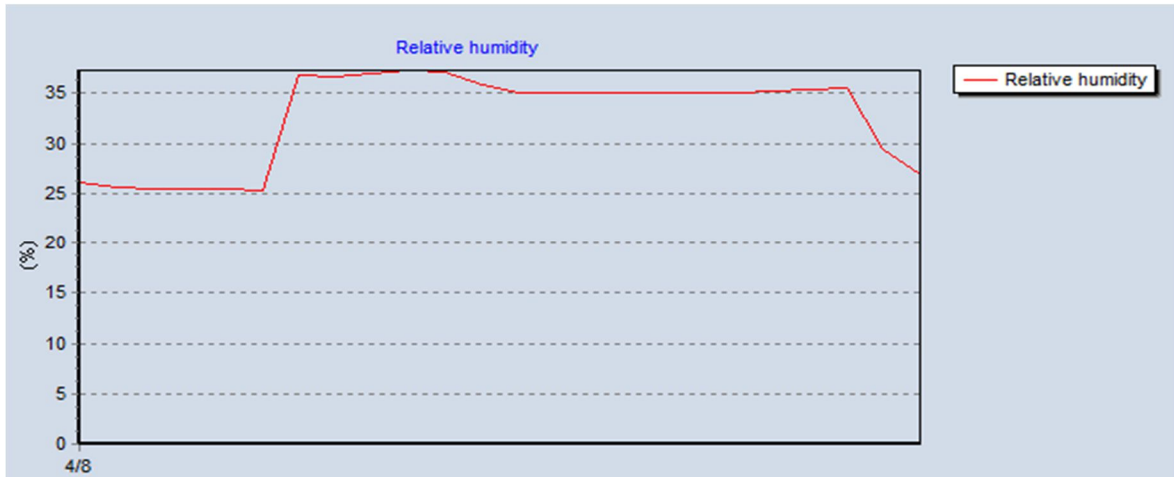
Αντίστοιχα οι Εικόνες 89, 90 και ο Πίνακας 25 μας δείχνουν τις καταναλώσεις ψύξης για την επιλεγμένη θερινή ημέρα. Η θερμοκρασία εσωτερικού χώρου διατηρείται στα κατώτερα όρια των 26°C. Στα φορτία χώρου, το κέλυφος παραμένει σταθερό ενεργειακά. Η καμπύλη συσκευών δεν αλλάζει ανάλογα με την εποχή, ενώ οι χρήστες δείχνουν να εκπέμπουν θερμότητα μόλις 6,74kWh λόγω υποδιπλασιασμού και της ποσότητας στο σενάριο αλλά και του συντελεστή ρουχισμού λόγω εποχής φθάνοντας σε ελάχιστα επίπεδα προσφοράς θερμότητας. Οι τιμές αισθητής ψύξης λόγω ύγρανσης στη ζώνη (Zone air system sensible cooling rate) μειώνονται αισθητά με ανώτερη τιμή τις 85,51kWh καθώς όπως αναφέραμε οι μειωμένες απαιτήσεις λειτουργίας είναι λογικό να οδηγήσουν σε ανάγκες μικρότερων ποσών ενέργειας. Αντίστοιχη λογική παρατηρείται και στην κατανάλωση ψύξης με τιμές συνολικής παροχής (Supply air total cooling) έως 133,42kWh στις 16:00 για 1,96 εναλλαγές αέρα την ώρα (ac/h), ένα ποσό που καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από τον αερόψυκτο ψύκτη (Supply air sensible cooling). Η διαφορά κατανάλωσης ψύξης μεταξύ του υπάρχοντος και του βασικού σεναρίου, είναι μικρότερης κλίμακας από την αντίστοιχη κατανάλωση ψύξης διότι λόγω εποχής τα θερμικά κέρδη λειτουργούν εις βάρος της κατανάλωσης, ακόμη κι αν κάποια έχουν περιοριστεί. Η καμπύλη υγρασίας είναι σχεδόν πανομοιότυπη του βασικού σεναρίου θερινής ημέρας, με τιμές που ξεκινούν χαμηλότερα απ' ότι το χειμώνα λόγω

εποχιακής ξηρότητας τις ώρες που δεν λειτουργεί η κλιματιστική μονάδα, αλλά στη συνέχεια να προσεγγίζουν τα επιθυμητά κατώτερα όρια, γεγονός που υποδηλώνει την ορθή λειτουργία του συστήματος ύγρανσης.



Εικόνα 89: Temperature and Heat Loss-Gains Θερμικής Προσομοίωσης Σεναρίου 3





Εικόνα 90: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 3

Πίνακας 25: Αποτελέσματα Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 3

Time	Air temperature (°C)	Radiant temperature (°C)	Operative temperature (°C)	Outside dry bulb temperature (°C)	Relative humidity (%)	Mech vent + nat vent + Infiltration (ac/h)
4/8 00:00	31.41282	31.94204	31.67743	29.75000	26.0935816	0.00000
4/8 01:00	31.70264	31.94581	31.82423	29.07500	25.6642872	0.00000
4/8 02:00	31.88004	31.95644	31.91824	28.52500	25.4123690	0.00000
4/8 03:00	31.88086	31.95571	31.91828	28.32500	25.3930106	0.00000
4/8 04:00	31.86689	31.94055	31.90372	28.15000	25.4068725	0.00000
4/8 05:00	31.90796	31.96978	31.93887	28.02500	25.3478813	0.00000
4/8 06:00	26.30148	31.74383	29.02266	28.67500	36.8286823	0.20644
4/8 07:00	26.00057	31.60674	28.80366	29.50000	36.6196648	0.41423
4/8 08:00	26.00003	32.52816	29.26409	30.37500	37.0037984	1.96783
4/8 09:00	26.00000	33.11949	29.55975	31.72500	37.2965691	1.96803
4/8 10:00	26.00000	33.40476	29.70238	33.15000	37.0762196	1.96788
4/8 11:00	26.00000	33.46284	29.73142	34.62500	35.8293255	1.96705
4/8 12:00	26.00000	33.31914	29.65957	35.37500	35.1283638	1.96659
4/8 13:00	26.00000	33.39647	29.69823	35.80000	35.0197916	1.96652
4/8 14:00	26.00000	33.45557	29.72779	36.27500	34.9948548	1.96798
4/8 15:00	26.00000	33.57214	29.78607	36.17500	34.9978022	1.96848
4/8 16:00	26.00000	33.71271	29.85636	35.95000	34.9996440	1.96848
4/8 17:00	26.00000	33.37078	29.68539	35.67500	35.0148380	0.62163
4/8 18:00	26.00000	32.77914	29.38957	34.77500	35.1128358	0.20722
4/8 19:00	26.00000	32.22618	29.11309	33.60000	35.2324408	0.20722
4/8 20:00	26.00000	31.74025	28.87012	32.47500	35.3284595	0.20723
4/8 21:00	26.00000	31.50369	28.75184	31.67500	35.4630633	0.20724
4/8 22:00	29.26530	31.48774	30.37652	31.05000	29.4570223	0.10413
4/8 23:00	30.88466	31.81568	31.35017	30.37500	26.8898844	0.10480

Glazing (kWh)	Walls (kWh)	Floors (kWh)	Ceilings (kWh)	External Infiltration (kWh)	Zone air system sensible heating rate (kWh)	Zone air system sensible cooling rate (kWh)
-3.2971903	0.4551712	1.3637670	0.4927881	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-3.7394566	1.2135471	1.0175415	0.3944681	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-4.1731143	1.2086813	0.2009935	0.2862363	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-4.3147891	1.2876286	0.0892869	0.2089772	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-4.4441328	1.3022219	0.2455326	0.1481016	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-4.5093980	0.6615968	-1.2553155	0.0190411	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-1.1261263	5.5282699	12.1192790	0.3214242	0.0000000	0.0879276	44.9103165
10.6592998	2.4957255	13.5616664	0.1247106	0.0000000	0.0000000	59.9691075
27.8508183	-6.2415418	-15.5962952	-1.0996182	0.0000000	0.0000000	71.9655252
38.9112911	-3.6410360	-22.4372006	-1.2142441	0.0000000	0.0000000	78.7054463
41.2612979	-2.1670617	-23.1075283	-1.1272548	0.0000000	0.0000000	82.0118546
36.7610992	-0.9272359	-19.4789263	-0.8680543	0.0000000	0.0000000	82.8101180
30.1530860	0.7906505	-11.7090128	-0.4168352	0.0000000	0.0000000	80.8704424
28.3725515	-0.7405833	-12.7463520	-0.3508684	0.0000000	0.0000000	81.9702706
27.8803366	-0.3964728	-12.1205121	-0.1635097	0.0000000	0.0000000	82.6910160
30.3962454	-0.4814485	-13.3324394	-0.0505811	0.0000000	0.0000000	83.9581742
32.9997999	-0.3825593	-14.5431759	0.0389723	0.0000000	0.0000000	85.5152391
30.2398799	4.4314189	0.0862658	0.7814404	0.0000000	0.0000000	76.8862654
19.9720164	6.2084685	14.1212119	1.3407436	0.0000000	0.0000000	58.6322973
6.9837715	5.5061970	21.6735762	1.5279156	0.0000000	0.0000000	52.8450124
-0.2935478	6.0692268	28.2156836	1.7055129	0.0000000	0.0000000	47.5317190
-0.7349377	4.7696894	27.6884481	1.5523270	0.0000000	0.0000000	44.9907436
-1.5296794	1.4132461	18.0330671	1.1887713	0.0000000	0.4531681	0.0000000
-2.6515432	-0.1635888	4.8790558	0.7060095	0.0000000	0.0297867	0.1592089

Supply air sensible cooling (kWh)	Supply air total cooling (kWh)	Supply air sensible heating (kWh)	Supply air total heating (kWh)	Computers+ Equipment (kWh)	Catering (kWh)
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
48.0024205	49.7969787	0.0000000	2.7499400	0.0000000	0.0000000
63.5611477	66.4354419	0.0000000	0.0000000	12.4403328	0.0000000
93.2168045	103.2514860	0.0000000	0.0000000	12.4403328	0.0000000
106.4079730	112.4694775	0.0000000	0.0000000	12.4403328	0.0000000
116.4866232	117.0508929	0.0000000	0.0000000	12.4403328	0.0000000
124.3289750	124.3289750	0.0000000	0.6400242	12.4403328	0.0000000
125.9890966	125.9890966	0.0000000	3.8010896	12.4403328	0.0000000
129.1014134	129.1014134	0.0000000	6.0250173	12.4403328	0.0000000
132.0694590	132.0694590	0.0000000	8.5118732	12.4403328	0.0000000
132.8876247	132.8876247	0.0000000	6.6514739	12.4403328	0.0000000
133.4221727	133.4221727	0.0000000	3.1739749	12.4403328	0.0000000
91.6135233	91.6135233	0.0000000	0.1217977	12.4403328	0.0000000
63.0898640	63.0898640	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
56.7042389	56.7042389	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
50.8209612	50.8209612	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
47.8740300	47.8740300	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000

Process (kWh)	Miscellaneous (kWh)	General Lighting (kWh)	Task Lighting (kWh)	Occupancy (kWh)
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	5.7225531	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	5.7225531	0.0000000	0.5218924
0.0000000	0.0000000	17.1676592	0.0000000	1.4199608
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	6.7461575
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	6.7462130
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	6.7462160
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	6.7462162
0.0000000	0.0000000	45.7804246	0.0000000	6.7462162
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	6.7462162
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	6.7462162
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	6.7462162
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	6.7462162
0.0000000	0.0000000	28.6127654	0.0000000	2.1303841
0.0000000	0.0000000	17.1676592	0.0000000	0.7101280
0.0000000	0.0000000	17.1676592	0.0000000	0.7101280
0.0000000	0.0000000	11.4451062	0.0000000	0.7101280
0.0000000	0.0000000	11.4451062	0.0000000	0.7101280
0.0000000	0.0000000	5.7225531	0.0000000	0.2898803
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.2103622

Report: Ο Πίνακας 26 δείχνει πως και σε αυτή την περίπτωση η ενέργεια που αγοράζουμε για καλοκαιρινή ψύξη είναι περισσότερη της ενέργειας για χειμερινή θέρμανση, με 2300,57kWh να πρέπει να αγοραστούν (Site Energy) και 4055,12kWh συνολικά (Source Energy). Αντίστοιχα ανά μονάδα επιφάνειας 0,92kWh/m² και 1,63kWh/m². Ωστόσο οι τιμές είναι και εδώ εύλογα μικρότερες των αντίστοιχων του βασικού σεναρίου λόγω περιορισμένης κατανάλωσης που διαπιστώθηκε στην προσομοίωση.

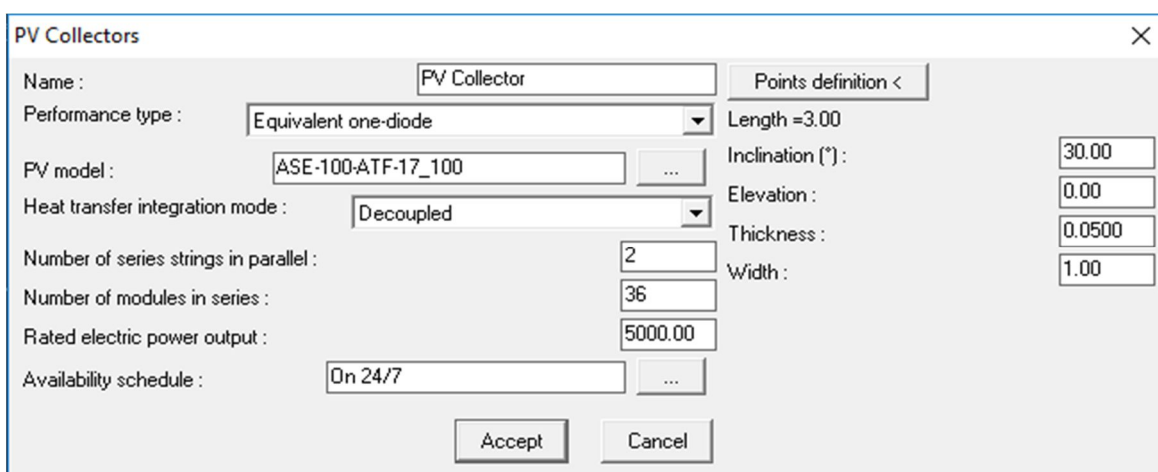
Πίνακας 26: Report Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 3

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	2300.57	0.92	0.92
Net Site Energy	2300.57	0.92	0.92
Total Source Energy	4055.12	1.63	1.63
Net Source Energy	4055.12	1.63	1.63

10.4 Σενάριο 4 – Προσθήκη Φωτοβολταϊκών Μονάδων

Επαναφέροντας ξανά τις ρυθμίσεις μας ώστε να αντιστοιχούν στις προδιαγραφές του βασικού σεναρίου, θα εισάγουμε φωτοβολταϊκά πάνελ που θα τοποθετηθούν στην οροφή του κτιρίου. Η προσθήκη τους δεν αποσκοπεί στην εξοικονόμηση ποσών ενέργειας για μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, αλλά στο να διαπιστώσουμε πόση από την απαραίτητη ενέργεια μπορεί να παραχθεί μέσω εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας της περιοχής. Στην περίπτωση αυτή εκμεταλλευόμαστε τις ακτίνες του ήλιου οι οποίες απορροφώνται από τα τοποθετημένα πάνελ και μετατρέπονται σε ηλεκτρική ενέργεια.

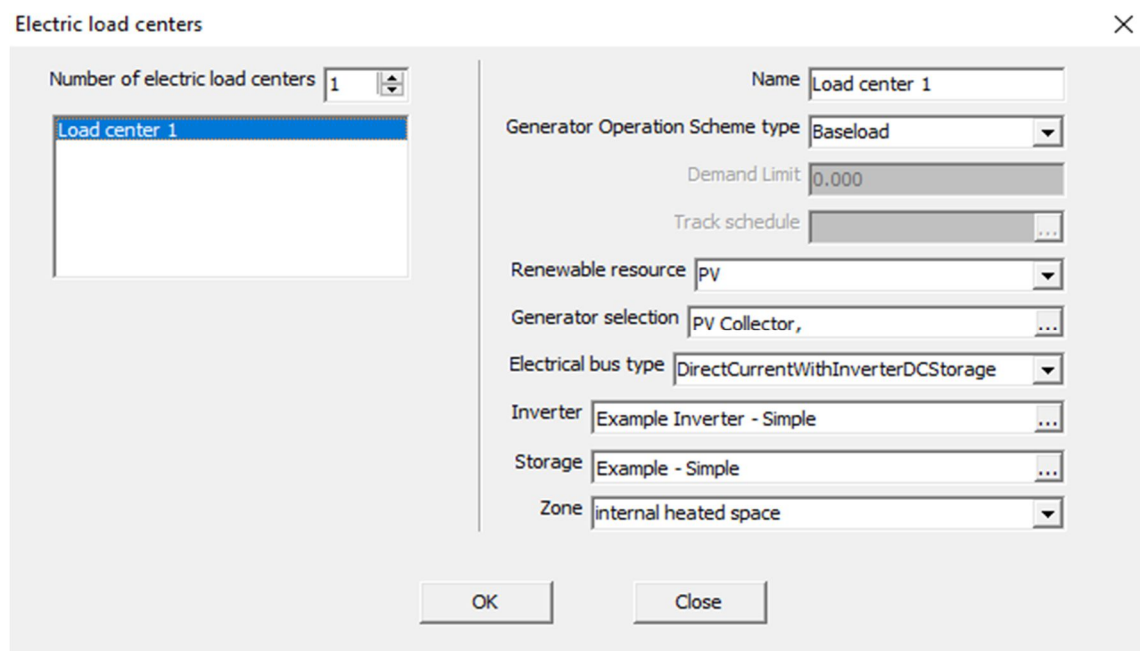
Για τον ορισμό των χαρακτηριστικών των φωτοβολταϊκών πάνελ ακολουθούμε AutoBLD → Definition of Plan View Elements → Solar Panel όπου θα οδηγηθούμε στην καρτέλα 'PV Collectors' της Εικόνας 91. Επιλέγουμε τον τύπο απόδοσης (Performance type) να είναι ισοδύναμο μιας διόδου (Equivalent one-diode) και το επιθυμητό μοντέλο (PV model) από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος με την ενσωμάτωση λειτουργίας μεταφοράς θερμότητας (heat-transfer integration mode) ως αποσυνδεδεμένη (decoupled). Θα τοποθετηθούν 2 σειρές ηλιακών πάνελ με 36 μονάδες στην κάθε σειρά συνολικής ισχύος εξόδου 5000W. Κάθε πάνελ μήκους 3 μέτρων, πλάτους 1 μέτρου και πάχους 5 εκατοστών, θα έχει κλίση (inclination) 30° από την επιφάνεια τοποθέτησης και μηδενική ανύψωση (elevation). Ως πρόγραμμα λειτουργίας επιλέγουμε 24/7 για να αξιοποιήσουμε τον ήλιο όσο το δυνατόν περισσότερο κατά τη διάρκεια της ημέρας.



Field	Value
Name	PV Collector
Performance type	Equivalent one-diode
PV model	ASE-100-ATF-17_100
Heat transfer integration mode	Decoupled
Number of series strings in parallel	2
Number of modules in series	36
Rated electric power output	5000.00
Availability schedule	On 24/7
Length	3.00
Inclination (°)	30.00
Elevation	0.00
Thickness	0.0500
Width	1.00

Εικόνα 91: Καρτέλα 'PV Collectors'

Η συστοιχία που δημιουργήθηκε θα επιλεγεί στην καρτέλα 'Electric load centers' της Εικόνας 92 στην οποία φθάνουμε ακολουθώντας AutoBLD → Definition of Plan View Elements → Electric Load Centers, ως επιλογή τύπου γεννήτριας (Generator selection) ηλεκτρικού φορτίου. Ορίζουμε ένα σύνολο παραγωγής ηλεκτρικών φορτίων (Load center 1), βασικού τύπου λειτουργίας φορτίων (Baseload) με ανανεώσιμη πηγή ενέργειας την ηλιακή (PV). Το ρεύμα θα μετατρέπεται από συνεχές (DC) σε εναλλασσόμενο (AC) με απλό μετατροπέα τύπου Inverter και θα διοχετεύεται σε απλό αποθηκευτικό μέσο μπαταρίας (Storage) εντός της θερμικής μας ζώνης.

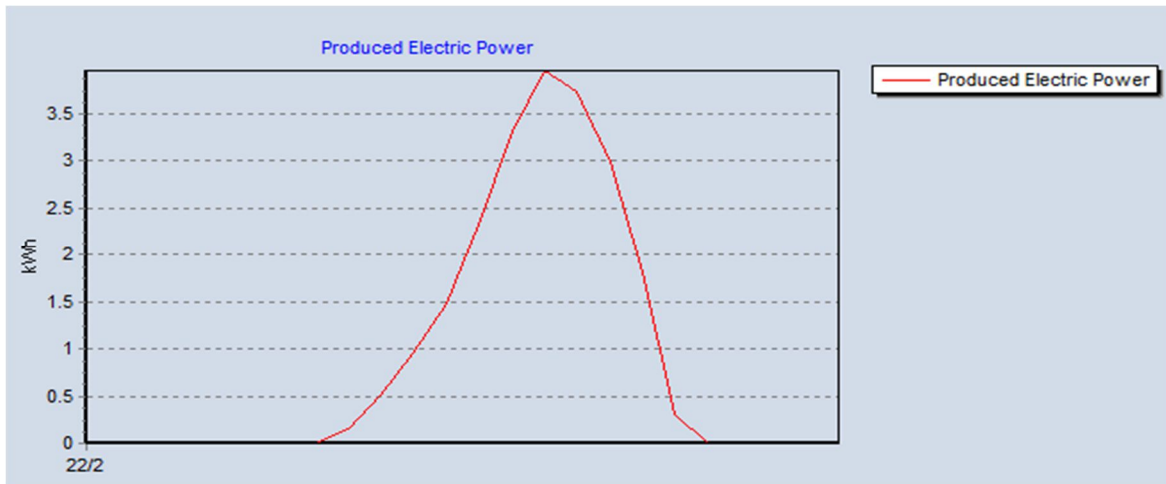


Εικόνα 92: Καρτέλα 'Electric Load Centers'

Χειμερινή Προσομοίωση – 22/02

Όπως αναφέραμε, η προσθήκη των ηλιακών πάνελ δεν αλλάζει ουσιαστικά την κατανάλωση παρά μόνο την ανακατανομή της ενέργειας στη μελέτη του κτιρίου. Τα ήδη υπάρχοντα γραφήματα και οι πίνακες του βασικού σεναρίου λοιπόν, παρουσιάζουν αμελητέες μεταβολές και γι' αυτό δεν υπάρχει λόγος να τα παρουσιάσουμε ξανά. Ωστόσο, γίνεται προσθήκη γραφήματος και με αντίστοιχη νέα στήλη τιμών στον πίνακα αποτελεσμάτων για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (Produced Electric Power) συναρτήσει του χρόνου. Από την Εικόνα 93 και τον Πίνακα 27 λοιπόν παρατηρούμε τα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας που προήλθαν από τον ήλιο κατά τη διάρκεια της χειμερινής ημέρας. Οι τιμές είναι

μηδενικές κατά τις νυχτερινές ώρες που δεν υπάρχει ήλιος, ενώ παραγωγή έχουμε μεταξύ 08:00 και 19:00, όπου το μεσημέρι στις 14:00 φθάνει στα ανώτερα επίπεδα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας 3,95kWh.



Εικόνα 93: Produced Electric Power Chart Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 4

Πίνακας 27: Αποτελέσματα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 4

Time	Produced Electric Power (kWh)
22/2 00:00	0.0000000
22/2 01:00	0.0000000
22/2 02:00	0.0000000
22/2 03:00	0.0000000
22/2 04:00	0.0000000
22/2 05:00	0.0000000
22/2 06:00	0.0000000
22/2 07:00	0.0000000
22/2 08:00	0.1500925
22/2 09:00	0.5163929
22/2 10:00	0.9553963
22/2 11:00	1.4681960
22/2 12:00	2.3171925
22/2 13:00	3.3086197
22/2 14:00	3.9525800
22/2 15:00	3.7371424
22/2 16:00	2.9872417
22/2 17:00	1.8087101
22/2 18:00	0.3050544
22/2 19:00	0.0000000
22/2 20:00	0.0000000
22/2 21:00	0.0000000
22/2 22:00	0.0000000
22/2 23:00	0.0000000

Report: Στην αναφορά προσομοίωσης του Πίνακα 28 παρατηρούνται σχετικά μειωμένες τιμές συγκριτικά με το βασικό σενάριο, που μεταφράζονται σε εξοικονόμηση ενέργειας. Επίσης βλέπουμε για πρώτη φορά απώλειες μεταφοράς και παραγωγής, κυρίως λόγω της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική και των επιμέρους διεργασιών διανομής και αξιοποίησής της. Η ενέργεια προς αγορά (Site Energy) αντιστοιχεί σε 1925,03kWh, εκ των οποίων οι 1903,52kWh καταλήγουν στο κτίριο (Net Site Energy), ενώ η συνολική ενέργεια (Total Source Energy) αντιστοιχεί σε 6567,99kWh εκ των οποίων οι 6499,87kWh θα καταλήξουν στο κτίριο (Total Net Energy).

Πίνακας 28: Report Ενέργειας Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 4

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	1925.03	0.77	0.77
Net Site Energy	1903.52	0.77	0.77
Total Source Energy	6567.99	2.64	2.64
Net Source Energy	6499.87	2.61	2.61

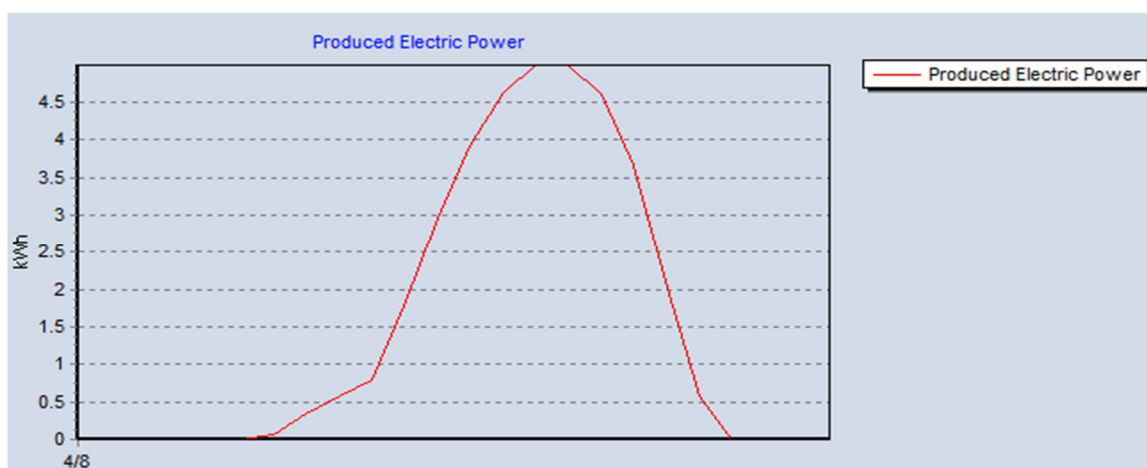
Στο υπάρχον σενάριο αξίζει να παρατηρήσουμε και τον Πίνακα 29 της αναφοράς, όπου εστιάζουμε στη συνολική παραγωγή ενέργειας λόγω φωτοβολταϊκών πάνελ (Photovoltaic Power) που είναι 23,896kWh, στο ποσό απωλειών μετατροπής (Power Conversion) τάξης 2,39kWh, και στην ενέργεια από ηλεκτρικές πηγές για αγορά (Total On-Site Electric Sources) και για χρήση (Total Utility Electric Sources), οι οποίες αντιστοιχούν σε 21,507kWh και 847,326kWh αντίστοιχα καλύπτοντας μαζί το 100% των 868,833kWh.

Πίνακας 29: Report Ηλεκτρικών Φορτίων Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 4

	Electricity [kWh]	Percent Electricity [%]
Fuel-Fired Power Generation	0.000	0.00
High Temperature Geothermal*	0.000	0.00
Photovoltaic Power	23.896	2.75
Wind Power	0.000	0.00
Power Conversion	-2.39	-0.3
Net Decrease in On-Site Storage	0.000	0.00
Total On-Site Electric Sources	21.507	2.48
Electricity Coming From Utility	847.326	97.52
Surplus Electricity Going To Utility	0.000	0.00
Net Electricity From Utility	847.326	97.52
Total On-Site and Utility Electric Sources	868.833	100.00
Total Electricity End Uses	868.833	100.00

Καλοκαιρινή Προσομοίωση – 04/08

Αντίστοιχα θα παρατηρήσουμε τα ωριαία ποσά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας της θερινής ημέρας στην Εικόνα 94 και τον Πίνακα 30. Το εύρος των ωρών κατά το οποίο παράγεται ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγαλύτερο απ' ότι το χειμώνα, διότι λόγω εποχής ο ήλιος βρίσκεται στον ουρανό περισσότερο μεταξύ 06:00 και 20:00. Τα υψηλότερα επίπεδα παρατηρούνται το μεσημέρι ξανά στις 14:00 φθάνοντας τις 4,99kWh, μια τιμή μεγαλύτερη της μέγιστης χειμερινής διότι είναι λογικό οι υψηλές θερινές θερμοκρασίες να δημιουργούν μεγαλύτερη ηλιακή θερμότητα που θα μεταφραστεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι η προσθήκη ηλιακών πάνελ αποδίδει περισσότερο το καλοκαίρι παράγοντας σε μια μέρα συνολικά μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας απ' ότι το χειμώνα.



Εικόνα 94: Produced Electric Power Chart Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 4

Πίνακας 30: Αποτελέσματα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 4

Time	Produced Electric Power (kWh)	Time	Produced Electric Power (kWh)
4/8 00:00	0.0000000	4/8 12:00	3.9277988
4/8 01:00	0.0000000	4/8 13:00	4.6243024
4/8 02:00	0.0000000	4/8 14:00	4.9917271
4/8 03:00	0.0000000	4/8 15:00	4.9861511
4/8 04:00	0.0000000	4/8 16:00	4.6086225
4/8 05:00	0.0000000	4/8 17:00	3.6540119
4/8 06:00	0.0596960	4/8 18:00	2.1060349
4/8 07:00	0.3394775	4/8 19:00	0.5850473
4/8 08:00	0.5727750	4/8 20:00	0.0000000
4/8 09:00	0.7923543	4/8 21:00	0.0000000
4/8 10:00	1.7833269	4/8 22:00	0.0000000
4/8 11:00	2.9582916	4/8 23:00	0.0000000

Report: Από τον Πίνακα 31 της αντίστοιχης αναφοράς, εξάγουμε παρόμοια συμπεράσματα, καθώς παρατηρούμε και εδώ την ποσότητα αγορασμένης ενέργειας που καταλήγει στο κτίριο (Net Site Energy) που αντιστοιχεί σε 3052,75kWh να είναι μικρότερη από αυτήν του βασικού σεναρίου. Το ίδιο ισχύει και για τη συνολική ενέργεια που καταλήγει στο κτίριο (Net Source Energy) με 5143,47kWh.

Πίνακας 31: Report Ενέργειας Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 4

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	3088.74	1.24	1.24
Net Site Energy	3052.75	1.23	1.23
Total Source Energy	5257.45	2.11	2.11
Net Source Energy	5143.47	2.07	2.07

Από τον Πίνακα 32 παρατηρούμε αναμενόμενα μεγαλύτερες τιμές ενέργειας φωτοβολταϊκών (Photovoltaic Power) απ' ότι το χειμώνα που φθάνουν τις 39,988kWh, αναλογικά μεγαλύτερες απώλειες μετατροπής (Power Conversion) 4kWh και μεγαλύτερη συνεισφορά της ενέργειας προς αγορά από ηλεκτρικές πηγές (Total On-Site Electric Sources) 35,99kWh καλύπτοντας μεγαλύτερο ποσοστό του αθροίσματος ενέργειας αγοράς και χρήσης. Όλες οι παρατηρήσεις επιβεβαιώνουν το συμπέρασμα περί μεγαλύτερης απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων το καλοκαίρι.

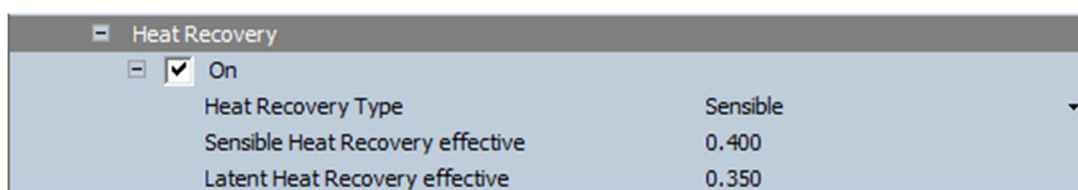
Πίνακας 32: Report Ηλεκτρικών Φορτίων Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 4

	Electricity [kWh]	Percent Electricity [%]
Fuel-Fired Power Generation	0.000	0.00
High Temperature Geothermal*	0.000	0.00
Photovoltaic Power	39.988	4.60
Wind Power	0.000	0.00
Power Conversion	-4.00	-0.5
Net Decrease in On-Site Storage	0.000	0.00
Total On-Site Electric Sources	35.990	4.14
Electricity Coming From Utility	832.843	95.86
Surplus Electricity Going To Utility	0.000	0.00
Net Electricity From Utility	832.843	95.86
Total On-Site and Utility Electric Sources	868.833	100.00
Total Electricity End Uses	868.833	100.00

10.5 Σενάριο 5 - Σύστημα VRF με Ανάκτηση Θερμότητας

Στο επόμενο σενάριο η βασική ιδέα περιλαμβάνει την εκμετάλλευση της δυνατότητας ανάκτησης θερμότητας από το υπάρχον σύστημα HVAC με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας. Όπως περιγράψαμε στην αντίστοιχη θεωρητική ενότητα, ένα ποσοστό της θερμότητας που απορρίπτεται θα επανέλθει στο σύστημα για να ανακυκλωθεί και να επαναχρησιμοποιηθεί για εκ νέου θέρμανση όπου καταστεί απαραίτητο. Είχαμε αναφέρει πως τη διεργασία ανάκτησης θερμότητας, τη χρησιμοποιούν συχνότερα τα ολοκληρωμένα συστήματα VRF τα οποία μπορούν να την εκμεταλλευτούν και πιο αποδοτικά. Αξίζει λοιπόν στο σενάριο να αλλάξουμε και εξ' ολοκλήρου το σύστημα HVAC προκειμένου να παρατηρήσουμε κατά πόσο ο συνδυασμός του νέου συστήματος και της ενεργοποίησης ανάκτησης θερμότητας, μπορούν να επηρεάσουν την ενεργειακή κατανάλωση.

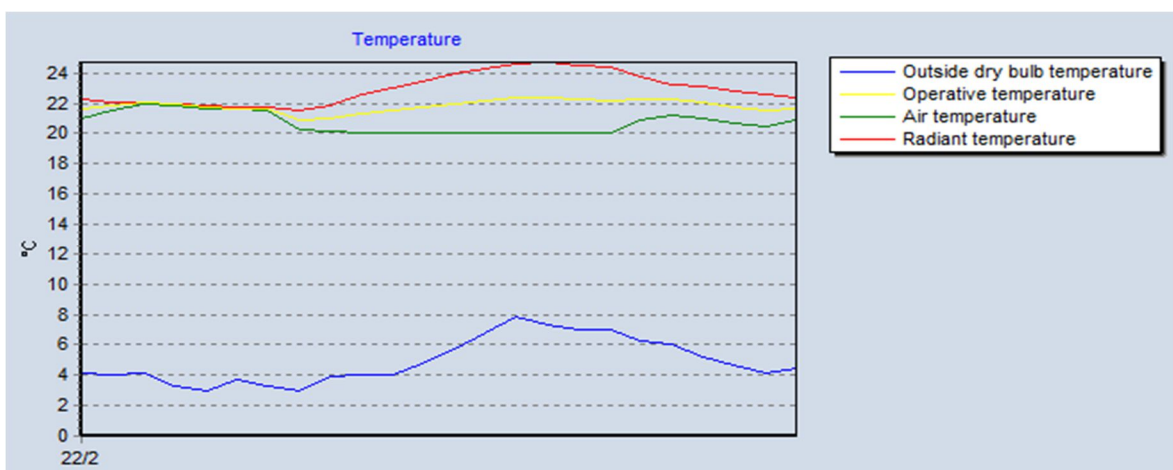
Αρχικά, η αλλαγή συστήματος σε VRF θα γίνει από την καρτέλα 'HVAC' της θερμικής ζώνης ορίζοντας την αντίστοιχη μονάδα στην επιλογή 'Template'. Το νέο σύστημα έχει και νέους συντελεστές απόδοσης (CoP) οι οποίοι επιλέγονται ως 4,1 για θέρμανση με αξιοποίηση ηλεκτρικής ενέργειας αντί ορυκτού καυσίμου που απαιτούσε η χρήση λέβητα στο βασικό σενάριο, και 3,7 για ψύξη. Στη συνέχεια, ενεργοποιούμε από την ίδια καρτέλα την επιλογή 'Heat Recovery' της Εικόνας 95 όπου εμφανίζονται οι επιμέρους ρυθμίσεις της, στις οποίες θα ορίσουμε ενεργοποίηση βάση αισθητήρων (Sensible) αντί βάση διακυμάνσεων ενθαλπίας (Enthalpy), με συντελεστές αισθητής και λανθάνουσας ανάκτησης θερμότητας 0,4 και 0,35 αντίστοιχα. Το 40% λοιπόν της απορριπτόμενης θερμότητας θα ανακτάται για εκ νέου αξιοποίηση. Το ποσοστό είναι αρκετά μικρό απ' ότι συνήθως επαναχρησιμοποιείται για ανάκτηση θερμότητας, όμως επειδή το κτίριό μας είναι σχετικά μικρό σε συνολική έκταση και αν αναλογιστούμε ότι η συγκεκριμένη διεργασία ενδείκνυται για εκτενέστερα κτίρια, η επιλογή μεγαλύτερων ποσοστών θα οδηγούσε σε αποτελέσματα που δεν αντιστοιχούν σε ρεαλιστικές μελέτες.

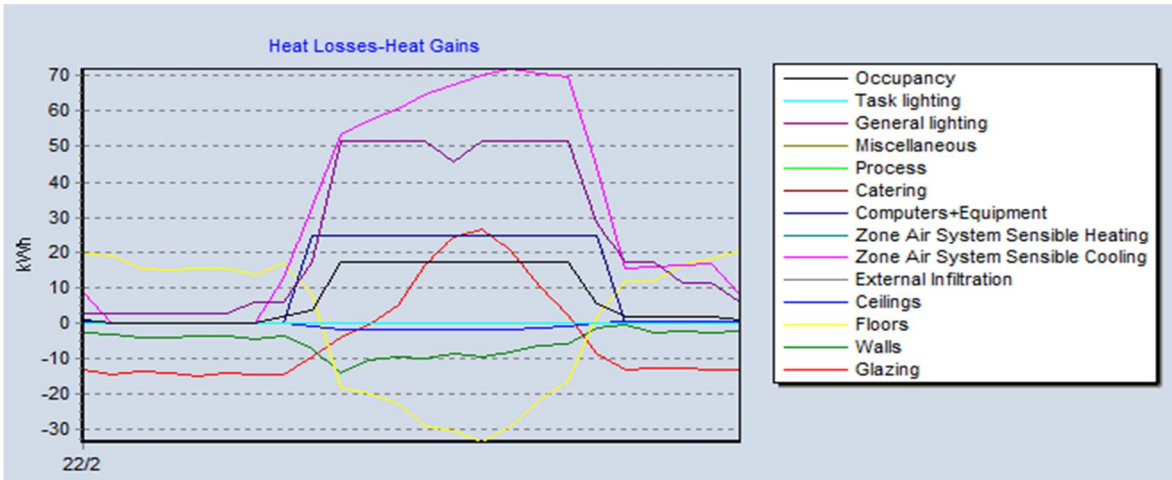


Εικόνα 95: Καρτέλα 'Heat Recovery'

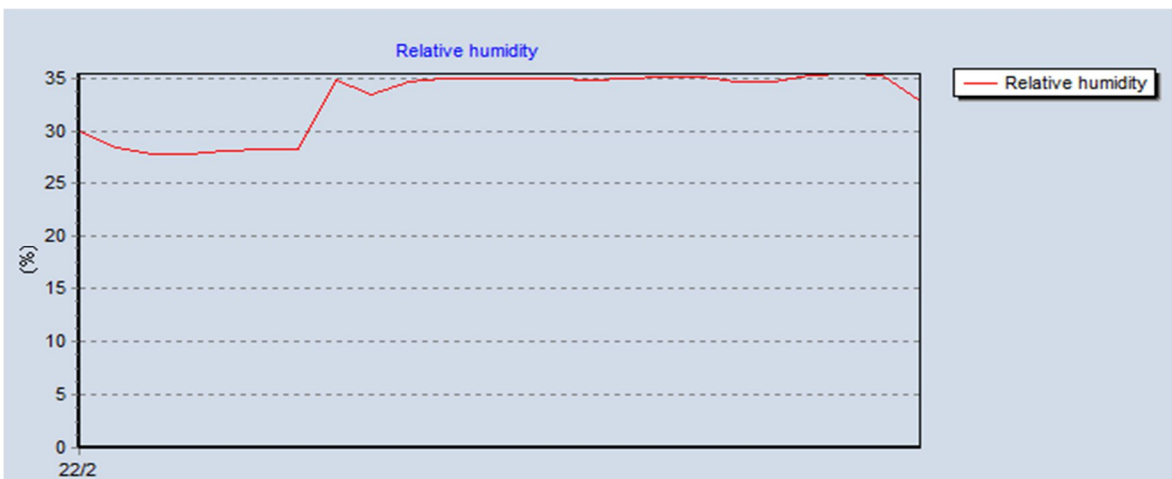
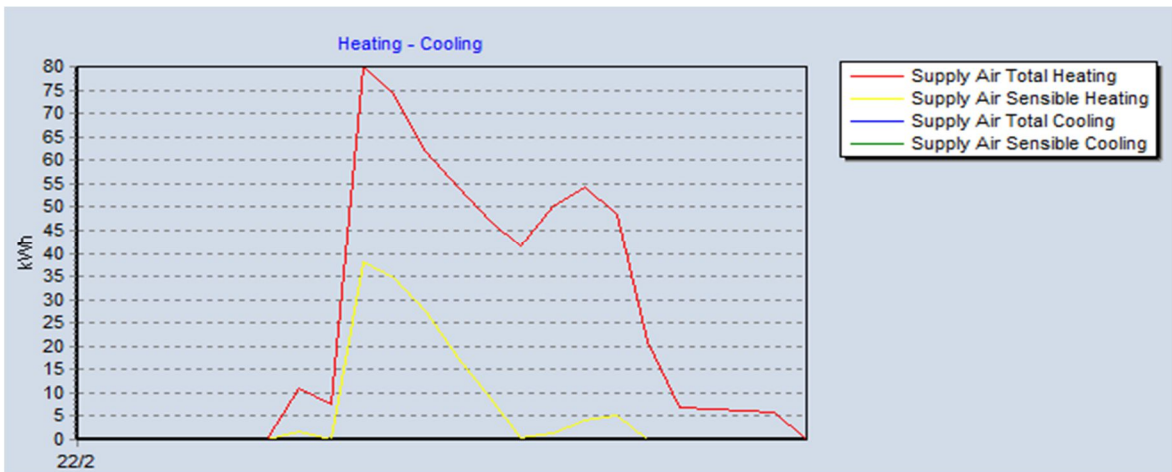
Χειμερινή Προσομοίωση – 22/02

Από τις Εικόνες 96, 97 σε συνδυασμό με τον Πίνακα 32 οδηγούμαστε σε πολύ θετικά συμπεράσματα για την αξιοποίηση του συστήματος στο κτίριό μας. Αρχικά, οι θερμοκρασία του αέρα στον εσωτερικό χώρο διατηρείται στα ανώτερα επιτρεπτά επίπεδα των 20°C κατά τις ώρες λειτουργίας όπως και στο βασικό σενάριο. Αντίστοιχα από τις καμπύλες θερμικών κερδών και απωλειών, δεν διακρίνουμε αισθητές μεταβολές. Τα χαρακτηριστικά κελύφους παρουσιάζουν αντίστοιχη συμπεριφορά με το βασικό σενάριο, οι εσωτερικοί θερμικοί παράγοντες πληθυσμού, συσκευών και φωτισμού εκπέμπουν ίδια ποσά θερμότητας, ενώ τα ποσά αισθητής ψύξης στη ζώνη λόγω ύγρανσης παραμένουν σταθερά με μέγιστη τιμή τις 71,9kWh στις 15:00 ως συνήθως. Η αναμενόμενη μεγάλη διαφορά αφορά την κατανάλωση θερμότητας, όπου η καμπύλη συνολικής παροχής θέρμανσης (Supply Air Total Heating) παρουσιάζει αντίστοιχες διακυμάνσεις με το βασικό σενάριο αλλά σε μικρότερη κλίμακα. Μέγιστη τιμή κατανάλωσης θέρμανσης παρατηρείται σταθερά στις 09:00 και φθάνει μόλις τις 80,04kWh αντί των 141,87kWh του βασικού σεναρίου, ένα ποσό περίπου 40% μικρότερο επαληθεύοντας το συντελεστή ανάκτησης θερμότητας που ορίσαμε. Τα ποσά θερμότητας που προέρχονται από το σύστημα θέρμανσης (Supply Air Sensible Heating) είναι μικρότερα της μισής μέγιστης συνολικής τιμής και καλύπτουν 38,29kWh. Η περιορισμένη αξιοποίηση του συστήματος για θέρμανση είναι αναμενόμενη καθώς κατά την ανάκτηση θερμότητας επαναχρησιμοποιείται ο ίδιος αέρας που έχει θερμανθεί χωρίς να χρειάζεται το σύστημα να παρέχει επιπλέον ποσά. Τέλος, τα ποσοστά υγρασίας βρίσκονται στα επιθυμητά επίπεδα των 35% ως συνήθως. Βασικό συμπέρασμα, είναι ότι καταφέραμε να μειώσουμε την κατανάλωση και να εξοικονομήσουμε ενέργεια, χωρίς να μεταβληθούν οι τιμές φορτίων και οι ιδανικές εσωτερικές συνθήκες στο χώρο.





Εικόνα 96: Temperature and Heat Loss-Gains Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 5



Εικόνα 97: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 5

Πίνακας 33: Αποτελέσματα Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 5

Time	Air temperature (°C)	Radiant temperature (°C)	Operative temperature (°C)	Outside dry bulb temperature (°C)	Relative humidity (%)	Mech vent + nat vent + Infiltration (ac/h)
22/2 00:00	21.00032	22.27425	21.63729	4.15000	29.8588771	0.20066
22/2 01:00	21.57688	22.08421	21.83054	4.00000	28.4546165	0.00000
22/2 02:00	21.95150	22.08933	22.02042	4.15000	27.7286793	0.00000
22/2 03:00	21.85279	22.00343	21.92811	3.30000	27.8664338	0.00000
22/2 04:00	21.69260	21.86527	21.77894	3.00000	28.1218394	0.00000
22/2 05:00	21.59943	21.78987	21.69465	3.75000	28.2768799	0.00000
22/2 06:00	21.58169	21.73203	21.65686	3.25000	28.3283959	0.00000
22/2 07:00	20.27661	21.57955	20.92808	3.00000	34.7581884	0.39879
22/2 08:00	20.17948	21.81370	20.99659	3.90000	33.3709936	0.79917
22/2 09:00	20.07363	22.64174	21.35768	4.05000	34.5852391	3.79555
22/2 10:00	20.01051	23.06969	21.54010	4.00000	34.9914077	3.79216
22/2 11:00	20.00147	23.41585	21.70866	4.75000	35.0125803	3.79111
22/2 12:00	20.00020	23.92642	21.96331	5.75000	35.0050171	3.79108
22/2 13:00	20.00003	24.29721	22.14862	6.75000	34.9906198	3.79387
22/2 14:00	20.06691	24.64380	22.35535	7.90000	34.8510208	3.79568
22/2 15:00	20.07337	24.71932	22.39634	7.30000	35.0048031	3.79591
22/2 16:00	20.00984	24.51601	22.26292	7.00000	35.0786114	3.79785
22/2 17:00	20.00131	24.36356	22.18244	7.00000	35.0299735	3.79861
22/2 18:00	20.89607	23.74092	22.31850	6.25000	34.5812371	1.20199
22/2 19:00	21.20771	23.25572	22.23172	6.00000	34.6751142	0.40172
22/2 20:00	21.02595	23.07738	22.05166	5.25000	35.2236679	0.40148
22/2 21:00	20.70513	22.83417	21.76965	4.62500	35.3935516	0.40099
22/2 22:00	20.44893	22.63032	21.53962	4.12500	35.2697472	0.40088
22/2 23:00	20.92465	22.40813	21.66639	4.45000	32.7932666	0.20054

Glazing (kWh)	Walls (kWh)	Floors (kWh)	Ceilings (kWh)	External Infiltration (kWh)	Zone air system sensible heating rate (kWh)	Zone air system sensible cooling rate (kWh)
-13.1918222	-2.8754017	19.5243403	0.2295272	0.0000000	0.0000000	8.5155718
-14.3834729	-3.2122441	18.9541306	0.1491009	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-13.6698558	-4.0781066	15.2235196	-0.0107538	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.1748924	-3.9237855	14.8199219	-0.0683064	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.9266693	-3.7212468	15.3860635	-0.0960417	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.2345809	-3.8316163	15.3632357	-0.1443038	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.4269351	-4.4682040	13.6836370	-0.2535705	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.7028222	-3.4944622	16.7991939	-0.2251745	0.0000000	0.0000000	12.5524540
-9.7324843	-7.3146101	7.9293181	-0.7288338	0.0000000	0.0000000	32.9195473
-3.9774569	-14.1965415	-17.9327119	-1.8773049	0.0000000	0.0000000	53.4740893
-0.4725090	-10.3026180	-19.7984541	-1.9005336	0.0000000	0.0000000	57.5259240
4.9896911	-9.5210786	-22.6833710	-1.9417744	0.0000000	0.0000000	60.5015848
16.4839570	-10.0081398	-29.1541064	-2.0625329	0.0000000	0.0000000	64.6221821
24.3853037	-8.8432541	-30.1377805	-1.9249910	0.0000000	0.0000000	67.3567309
26.5080415	-9.4439021	-33.5245947	-1.9088241	0.0000000	0.0000000	69.9925109
20.2851924	-8.2269937	-29.1728639	-1.6463655	0.0000000	0.0000000	71.9259418
10.2330692	-6.5253161	-21.8456411	-1.2531489	0.0000000	0.0000000	70.7127072
2.4510078	-5.9029812	-16.1395714	-0.9546392	0.0000000	0.0000000	69.6374274
-8.4545323	-1.4604282	1.8920699	-0.1024623	0.0000000	0.0000000	44.4401514
-13.2503281	-0.6795069	11.7086321	0.3283471	0.0000000	0.0000000	15.3868310
-12.8337966	-2.8884647	11.8696637	0.2344534	0.0000000	0.0000000	15.9628950
-12.9041607	-2.1384959	16.4592873	0.3272259	0.0000000	0.0000000	16.2698465
-13.0384766	-2.6311766	18.0413964	0.2729975	0.0000000	0.0000000	16.5134295
-13.1042113	-2.2784919	20.4774862	0.3123997	0.0000000	0.0000000	8.3304541

Supply air sensible cooling (kWh)	Supply air total cooling (kWh)	Supply air sensible heating (kWh)	Supply air total heating (kWh)	Computers+ Equipment (kWh)	Catering (kWh)
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	1.6843717	10.8599523	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	7.4191061	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	38.2964511	80.0426627	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	34.5801830	74.2429990	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	27.3202380	61.8368344	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	17.4601443	54.2114544	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	8.9849597	46.9657201	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.3890811	41.4311599	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	1.5094531	50.1849054	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	4.1930562	54.3093382	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	5.2731897	48.5815530	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	20.8034033	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	6.7413934	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	6.5764201	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	6.0611709	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	5.8921495	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000

Process (kWh)	Miscellaneous (kWh)	General Lighting (kWh)	Task Lighting (kWh)	Occupancy (kWh)
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.8957040
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	5.7225531	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	5.7225531	0.0000000	1.7914079
0.0000000	0.0000000	17.1676592	0.0000000	3.5828158
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	45.7804246	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	28.6127654	0.0000000	5.3742238
0.0000000	0.0000000	17.1676592	0.0000000	1.7914079
0.0000000	0.0000000	17.1676592	0.0000000	1.7914079
0.0000000	0.0000000	11.4451062	0.0000000	1.7914079
0.0000000	0.0000000	11.4451062	0.0000000	1.7914079
0.0000000	0.0000000	5.7225531	0.0000000	0.8957040

Report: Η αναφορά χειμερινής προσομοίωσης (Πίνακας 34) επαληθεύει τα βασικά μας συμπεράσματα με τιμές ενέργειας τόσο προς αγορά (Site Energy), όσο και συνολική (Source Energy) να είναι μικρότερες του βασικού σεναρίου ως 1444,99kWh (0,58kWh/m² ανά μονάδα επιφάνειας) και 4833,45kWh (1,94kWh/m² ανά μονάδα επιφάνειας) αντίστοιχα. Οι απώλειες παραγωγής και απόδοσης είναι μηδαμινές.

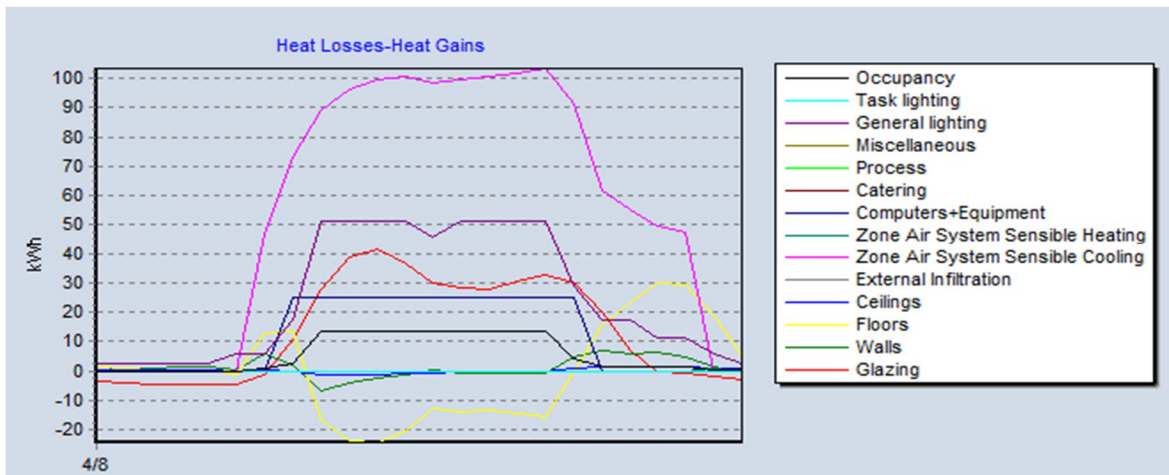
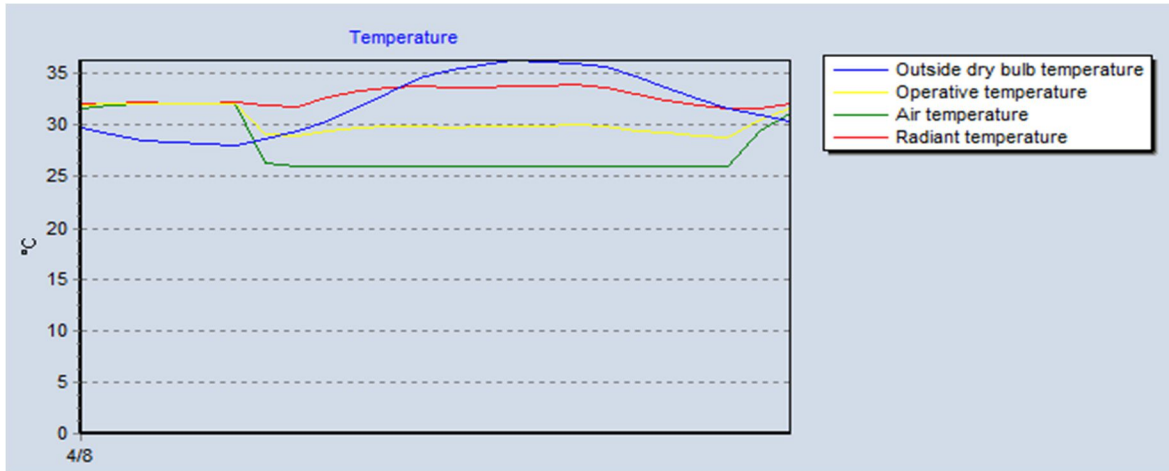
Πίνακας 34: Report Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 5

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	1444.99	0.58	0.58
Net Site Energy	1444.99	0.58	0.58
Total Source Energy	4833.45	1.94	1.94
Net Source Energy	4833.45	1.94	1.94

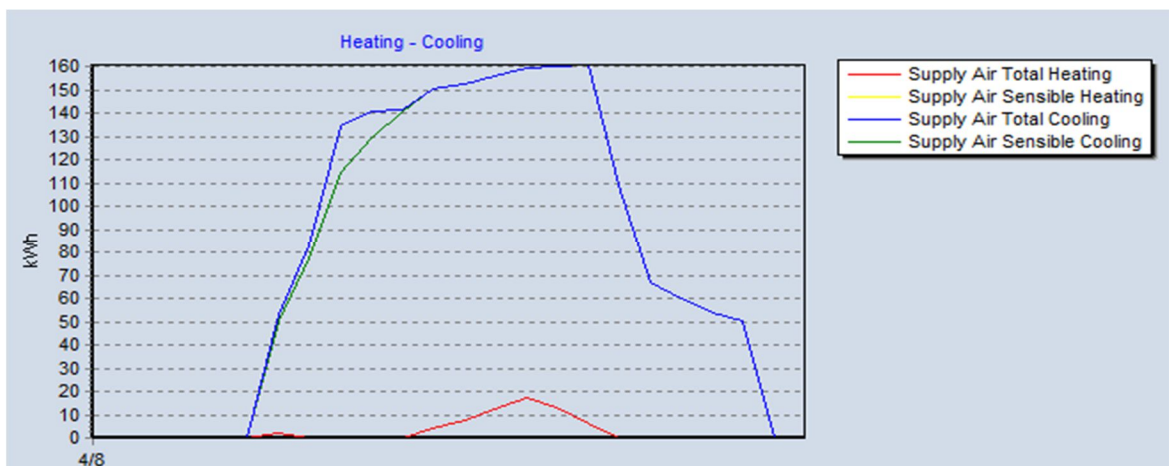
Καλοκαιρινή Προσομοίωση – 04/08

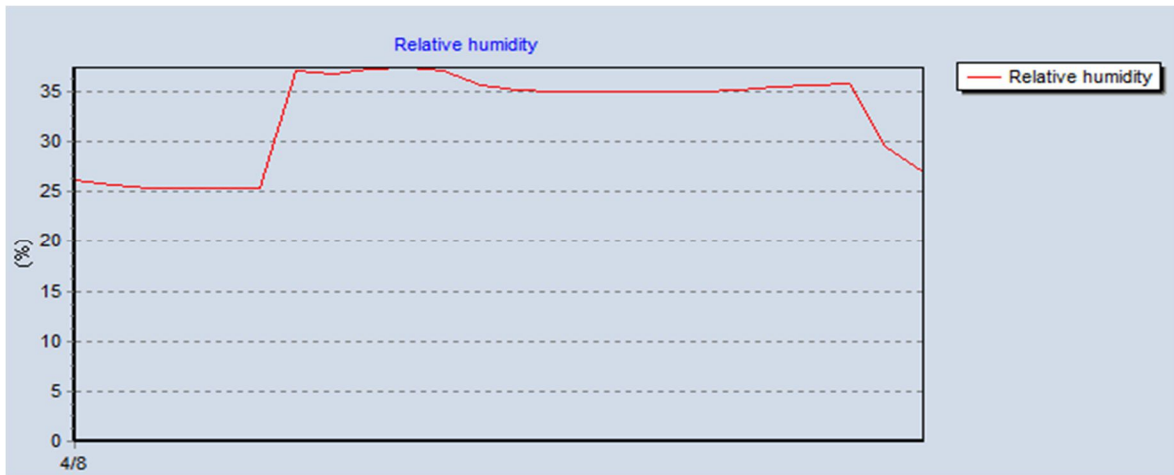
Όπως βλέπουμε από τις Εικόνες 98, 99 και τον Πίνακα 35 τα συμπεράσματά μας είναι αντίστοιχα της χειμερινής προσομοίωσης έπειτα από σύγκριση με το βασικό σενάριο. Η θερμοκρασία του αέρα στον εσωτερικό χώρο διατηρείται στους 26°C στις ώρες λειτουργία γραφείου που είναι το κατώτερο επιτρεπτό όριο. Το κέλυφος συμβάλλει στην κατανάλωση με τον ίδιο τρόπο όπως στο βασικό σενάριο και παράγοντες εσωτερικών θερμικών κερδών από τον πληθυσμό, τις συσκευές και το φωτισμό εκπέμπουν την ίδια θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Τα φορτία αισθητής ψύξης της ζώνης λόγω ύγρανσης (Zone Air System Sensible Cooling) παραμένουν σταθερά και αυξημένα σε σχέση με το χειμώνα λόγω καλοκαιρινής ξηρότητας, με μέγιστη τιμή ξανά τις 103,38kWh. Στο γράφημα κατανάλωσης ψύξης ωστόσο παρατηρείται μειωμένη κατανάλωση με την καμπύλη συνολικής ψύξης (Supply Air Total Cooling) να παρουσιάζει διακυμάνσεις αντίστοιχης συμπεριφοράς με του βασικού σεναρίου όπως και η χειμερινή, αλλά με μικρότερη μέγιστη τιμή κατανάλωσης των 160,85kWh σταθερά στις 4pm. Το ποσό καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από το σύστημα (Supply Air Sensible Cooling). Είναι εμφανής λοιπόν η συνεισφορά της ανάκτησης θερμότητας και το καλοκαίρι, απλά σε αρκετά μικρότερο βαθμό απ' ότι το χειμώνα, καθιστώντας το σύστημα αποδοτικότερο για τη θέρμανση των χειμερινών μηνών, λόγω μεγαλύτερης διαφοράς στην κατανάλωση και λιγότερης συνεισφοράς του συστήματος θέρμανσης

(Supply Air Sensible Heating). Τέλος, η καμπύλη υγρασίας δεν παρουσιάζει καμία μεταβολή διατηρώντας τα ποσοστά σε επιθυμητά επίπεδα.



Εικόνα 98: Temperature and Heat Loss-Gains Charts Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 5





Εικόνα 99: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 5

Πίνακας 35: Αποτελέσματα Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 5

Time	Air temperature (°C)	Radiant temperature (°C)	Operative temperature (°C)	Outside dry bulb temperature (°C)	Relative humidity (%)	Mech vent + nat vent + Infiltration (ac/h)
4/8 00:00	31.60105	32.13389	31.86747	29.75000	26.1268309	0.00000
4/8 01:00	31.89710	32.13937	32.01823	29.07500	25.6746803	0.00000
4/8 02:00	32.07012	32.14979	32.10995	28.52500	25.4285370	0.00000
4/8 03:00	32.06864	32.14799	32.10831	28.32500	25.4128694	0.00000
4/8 04:00	32.05375	32.13156	32.09265	28.15000	25.4280926	0.00000
4/8 05:00	32.09358	32.15955	32.12656	28.02500	25.3708985	0.00000
4/8 06:00	26.28671	31.92160	29.10416	28.67500	37.0950095	0.41289
4/8 07:00	26.00072	31.80403	28.90237	29.50000	36.7896278	0.82850
4/8 08:00	26.00007	32.76103	29.38055	30.37500	37.2047115	3.93594
4/8 09:00	26.00001	33.36586	29.68294	31.72500	37.4031048	3.93620
4/8 10:00	26.00000	33.65769	29.82884	33.15000	37.0371232	3.93571
4/8 11:00	26.00000	33.72080	29.86040	34.62500	35.6699381	3.93390
4/8 12:00	26.00000	33.58224	29.79112	35.37500	35.1794951	3.93325
4/8 13:00	26.00000	33.66416	29.83208	35.80000	35.0480789	3.93307
4/8 14:00	26.00000	33.72743	29.86372	36.27500	35.0015694	3.93597
4/8 15:00	26.00000	33.84791	29.92395	36.17500	34.9980942	3.93695
4/8 16:00	26.00000	33.99208	29.99604	35.95000	34.9994891	3.93696
4/8 17:00	26.00000	33.63196	29.81598	35.67500	35.0277107	1.24326
4/8 18:00	26.00000	32.98747	29.49374	34.77500	35.2120858	0.41445
4/8 19:00	26.00000	32.41221	29.20610	33.60000	35.4209149	0.41448
4/8 20:00	26.00000	31.91524	28.95762	32.47500	35.5638555	0.41450
4/8 21:00	26.00000	31.67072	28.83536	31.67500	35.7683531	0.41452
4/8 22:00	29.43334	31.66011	30.54672	31.05000	29.4606738	0.20838
4/8 23:00	31.06721	32.00650	31.53685	30.37500	26.9232710	0.20974

Glazing (kWh)	Walls (kWh)	Floors (kWh)	Ceilings (kWh)	External Infiltration (kWh)	Zone air system sensible heating rate (kWh)	Zone air system sensible cooling rate (kWh)
-3.4339010	0.3874200	1.6400173	0.5032754	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-3.8803136	1.1402285	1.2152042	0.4008983	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-4.3127159	1.1488431	0.3840192	0.2912030	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-4.4548488	1.2337264	0.2737934	0.2130293	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-4.5855343	1.2496709	0.4323656	0.1513239	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-4.6520534	0.6095261	-1.0672027	0.0215055	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-1.2437624	5.6506246	12.8532024	0.3363714	0.0000000	0.0787931	46.9554492
10.6333118	2.1384726	13.2741249	0.0818060	0.0000000	0.0000000	73.1732799
27.8469161	-6.7026285	-16.8310879	-1.1806141	0.0000000	0.0000000	89.1126678
38.8902134	-3.8897963	-23.6383480	-1.2876244	0.0000000	0.0000000	96.1024502
41.2312070	-2.3581488	-24.2513486	-1.1939333	0.0000000	0.0000000	99.5235834
36.7228883	-1.1030064	-20.5648161	-0.9288458	0.0000000	0.0000000	100.3934090
30.1100479	0.6159246	-12.7479041	-0.4727990	0.0000000	0.0000000	98.5018007
28.3248684	-0.9066961	-13.7332465	-0.4022924	0.0000000	0.0000000	99.6622504
27.8282886	-0.5561152	-13.0553685	-0.2108583	0.0000000	0.0000000	100.4414058
30.3438317	-0.6361631	-14.2161201	-0.0943710	0.0000000	0.0000000	101.7679203
32.9479519	-0.5328823	-15.3762883	-0.0016903	0.0000000	0.0000000	103.3837774
30.1619290	4.5215417	0.0948803	0.7792207	0.0000000	0.0000000	91.3194795
19.8467832	6.6996174	15.8543786	1.4137694	0.0000000	0.0000000	61.5301986
6.8800022	5.6928526	23.3859866	1.5930721	0.0000000	0.0000000	55.4119307
-0.3896008	6.1621471	29.8587948	1.7636682	0.0000000	0.0000000	49.9329573
-0.8257946	4.8318493	29.2533380	1.6042758	0.0000000	0.0000000	47.2809975
-1.6370911	1.2689705	18.8927040	1.2184878	0.0000000	0.8211074	0.0000000
-2.7871167	-0.3261037	5.1188468	0.7161179	0.0000000	0.0362433	0.3878540

Supply air sensible cooling (kWh)	Supply air total cooling (kWh)	Supply air sensible heating (kWh)	Supply air total heating (kWh)	Computers+ Equipment (kWh)	Catering (kWh)
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
50.4072852	53.4764585	0.0000000	2.3375909	0.0000000	0.0000000
77.5001439	83.0379340	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
114.6198602	134.7287908	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
129.3496345	141.0540967	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
140.8818694	141.6901346	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
150.2063213	150.2063213	0.0000000	4.0326586	24.8806656	0.0000000
152.6269629	152.6269629	0.0000000	7.8096218	24.8806656	0.0000000
156.1953541	156.1953541	0.0000000	12.3250969	24.8806656	0.0000000
159.6646567	159.6646567	0.0000000	17.0433979	24.8806656	0.0000000
160.4566760	160.4566760	0.0000000	13.3365365	24.8806656	0.0000000
160.8553623	160.8553623	0.0000000	6.3601263	24.8806656	0.0000000
108.9875743	108.9875743	0.0000000	0.2433770	24.8806656	0.0000000
66.8800579	66.8800579	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
60.0422263	60.0422263	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
53.8796215	53.8796215	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
50.7402643	50.7402643	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000

Process (kWh)	Miscellaneous (kWh)	General Lighting (kWh)	Task Lighting (kWh)	Occupancy (kWh)
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	5.7225531	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	5.7225531	0.0000000	1.0300679
0.0000000	0.0000000	17.1676592	0.0000000	2.8398741
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	13.4922468
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	13.4924082
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	13.4924293
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	13.4924320
0.0000000	0.0000000	45.7804246	0.0000000	13.4924323
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	13.4924323
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	13.4924323
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	13.4924323
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	13.4924323
0.0000000	0.0000000	28.6127654	0.0000000	4.2607681
0.0000000	0.0000000	17.1676592	0.0000000	1.4202560
0.0000000	0.0000000	17.1676592	0.0000000	1.4202560
0.0000000	0.0000000	11.4451062	0.0000000	1.4202560
0.0000000	0.0000000	11.4451062	0.0000000	1.4202560
0.0000000	0.0000000	5.7225531	0.0000000	0.5720966
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.4073366

Report: Τα ποσά ενέργειας κατανάλωσης το καλοκαίρι (Πίνακας 36) είναι εμφανώς αυξημένα σε σχέση με το χειμώνα αλλά μικρότερα αυτών της αντίστοιχης αναφοράς καλοκαιρινής προσομοίωσης του βασικού σεναρίου. Συγκεκριμένα, η ενέργεια προς αγορά (Site Energy) φθάνει τις 2766,84kWh (1,11kWh/m² ανά μονάδα επιφάνειας) ένα ποσό σχεδόν διπλάσιο του αντίστοιχου χειμερινού κυρίως λόγω κόστους ψυκτικού υγρού. Η συνολική ενέργεια (Source Energy) ανεβαίνει ελάχιστα στις 4917,64kWh (1,98kWh/m² ανά μονάδα επιφάνειας), ωστόσο παραμένει μικρότερη της συνολικής ενέργειας του βασικού σεναρίου (5253,46kWh) με αποτέλεσμα να έχουμε εξοικονόμηση.

Πίνακας 36: Report Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 5

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	2766.84	1.11	1.11
Net Site Energy	2766.84	1.11	1.11
Total Source Energy	4917.64	1.98	1.98
Net Source Energy	4917.64	1.98	1.98

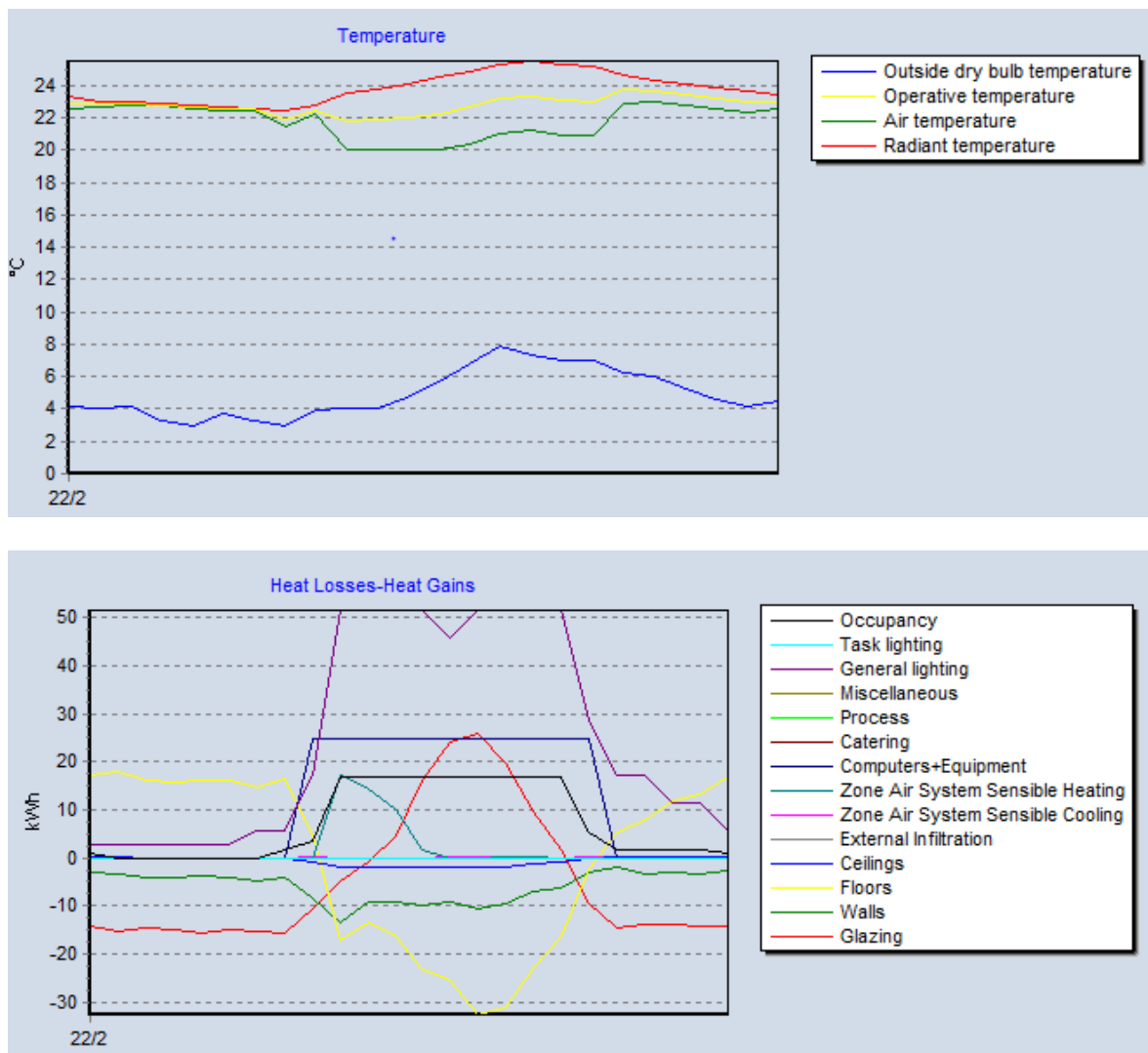
10.6 Σενάριο 6 - Σύστημα Γεωθερμίας με Ψυχρούς Δοκούς και Φυσικό Αερισμό

Στο έκτο και τελευταίο σενάριο, θα εγκαταστήσουμε ένα εντελώς διαφορετικό σύστημα. Για τη θέρμανση του χειμώνα θα χρησιμοποιηθεί γεωθερμική αντλία θερμότητας, για την αξιοποίηση της φυσικής θερμικής ενέργειας της γης (πρακτικά όχι ιδανικό καθώς το κτίριο βρίσκεται σε αστική περιοχή) με τη θερμότητα να διοχετεύεται στους εσωτερικούς χώρους μέσω εγκατεστημένου ενδοδαπέδιου συστήματος παροχής αντί κλασσικών τερματικών καλοριφέρ. Η ψύξη το καλοκαίρι θα παρέχεται στο χώρο μέσω τερματικών συστημάτων ενεργητικών ψυχρών δοκών, ενώ αντί μηχανικού επιλέχθηκε φυσικός αερισμός για να διαπιστώσουμε κατά πόσο θα διατηρηθούν οι ιδανικές εσωτερικές συνθήκες στα επιθυμητά πλαίσια, παρά την απουσία μηχανικού συστήματος, εγκατεστημένο στο HVAC. Ο συνδυασμός αυτός αποτελεί μια εξαιρετικά δαπανηρή εγκατάσταση τόσο λόγω της γεωθερμικής αντλίας που απαιτεί γεωτρήσεις, όσο και του συστήματος ψυχρών δοκών που θεωρείται από τις πιο σύγχρονες προσεγγίσεις συστημάτων ψύξης. Ωστόσο είναι ιδιαίτερα αποδοτικά και συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας, με το κόστος εγκατάστασης να αποσβένεται σε σύντομο χρονικό διάστημα. Ορίσαμε συντελεστή απόδοσης θέρμανσης της γεωθερμικής αντλίας CoP ίσο με 5, ενώ για το σύστημα ψυχρών δοκών κρατήσαμε το προβλεπόμενο από το πρόγραμμα συντελεστή CoP ίσο με 4,5 για την ψύξη. Για το φυσικό αερισμό δεν οριοθετήσαμε τις τιμές θερμοκρασίας ή υγρασίας για να δούμε κατά πόσο η εφαρμογή θα αποδώσει χωρίς περιορισμούς, καθώς επίσης δεν έγινε επιλογή κάποιου επικουρικού συστήματος αερισμού (mixed mode zone equipment). Η μέθοδος φυσικού αερισμού θα εξαρτάται από τον ελάχιστο νωπό αέρα ανά άτομο (min fresh air per person) και όχι μέσω σταθερής τιμής εναλλαγών αέρα ανά ώρα όπως στο μηχανικό αερισμό.

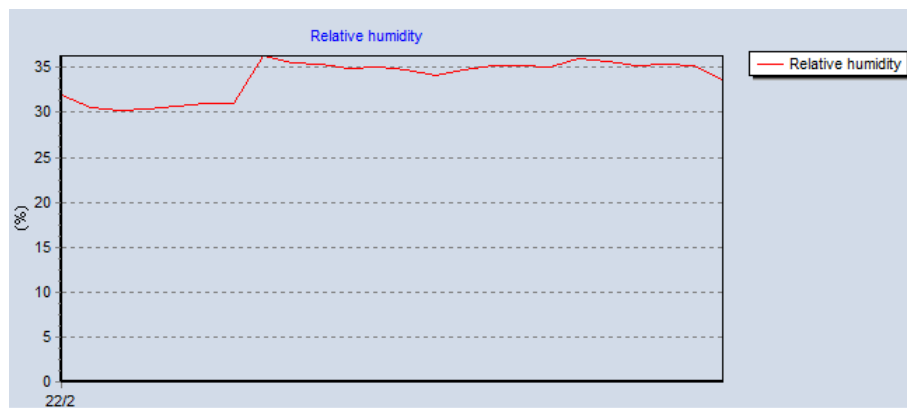
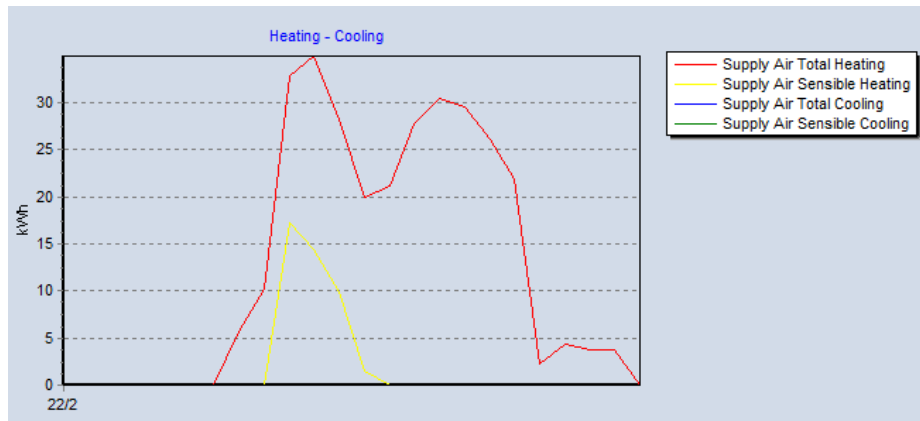
Χειμερινή Προσομοίωση – 22/02

Στις Εικόνες 100, 101 και από τον Πίνακα 37, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χειμερινής προσομοίωσης. Αρχικά η θερμοκρασία του αέρα στο χώρο διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα των 20°C για αρκετό χρονικό διάστημα ωστόσο μετά τις μεσημβρινές ώρες (14:00) και μέχρι το τέλος της λειτουργίας παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας κατά περίπου 3°C, αδυνατώντας οριακά να διατηρήσει το ανώτατο επιτρεπτό όριο των 20°C. Από τις καμπύλες φορτίων χώρου βλέπουμε το κτιριακό κέλυφος να μην παρουσιάζει μεταβολές στις τιμές των τμημάτων του, ενώ το φορτίο αισθητής ψύξης στη ζώνη (Zone Air Sensible Cooling Rate) είναι μηδενικό με μικρή εμφάνιση φορτίων αισθητής θέρμανσης

(Zone Air Sensible Heating Rate) στις αρχικές ώρες λειτουργίας. Από πλευράς κατανάλωσης είναι εύλογο να περιμένουμε περιορισμένες καταναλώσεις λόγω μεγάλης απόδοσης της γεωθερμικής αντλίας και απουσίας κλιματισμού, με μέγιστη τιμή κατανάλωσης θερμότητας μόλις 34,91kWh στις 8:00. Η υγρασία στο χώρο διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα 35% των ωρών λειτουργίας, ενώ τις υπόλοιπες νυχτερινές ώρες δεν πέφτει κάτω από το 30% σε αντίθεση με το αρχικό σενάριο (28%). Από πλευράς αερισμού, οι εναλλαγές αέρα ανά ώρα έχουν μέγιστη τιμή 1,989ac/h, μια τιμή υποδιπλάσια της επιθυμητής των πρότυπων 4ac/h για κτίρια γραφείων που θα εξασφάλιζε ο μηχανικός αερισμός με αντάλλαγμα μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας.



Εικόνα 100: Temperature and Heat Loss-Gains Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 6



Εικόνα 101: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 6

Πίνακας 37: Αποτελέσματα Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 6

Time	Air temperature (°C)	Radiant temperature (°C)	Operative temperature (°C)	Outside dry bulb temperature (°C)	Relative humidity (%)	Mech vent + nat vent + Infiltration (ac/h)
22/2 00:00	22.52275	23.32051	22.92163	4.15000	31.8759168	0.10550
22/2 01:00	22.66193	23.06233	22.86213	4.00000	30.5873213	0.00000
22/2 02:00	22.83117	23.01553	22.92335	4.15000	30.2786179	0.00000
22/2 03:00	22.76025	22.91005	22.83515	3.30000	30.4469130	0.00000
22/2 04:00	22.58721	22.76117	22.67419	3.00000	30.7478232	0.00000
22/2 05:00	22.48132	22.67744	22.57938	3.75000	30.9376513	0.00000
22/2 06:00	22.45863	22.61294	22.53579	3.25000	31.0030006	0.00000
22/2 07:00	21.42740	22.47962	21.95351	3.00000	36.2989105	0.21120
22/2 08:00	22.20330	22.78156	22.49243	3.90000	35.5415424	0.42218
22/2 09:00	20.02116	23.59911	21.81014	4.05000	35.4097018	1.98956
22/2 10:00	19.99919	23.79746	21.89832	4.00000	34.9574264	1.98903
22/2 11:00	20.00000	24.08267	22.04134	4.75000	34.9997171	1.98376
22/2 12:00	20.03524	24.55350	22.29437	5.75000	34.7459360	1.97685
22/2 13:00	20.41326	24.91743	22.66535	6.75000	34.1075781	1.97229
22/2 14:00	21.08098	25.34640	23.21369	7.90000	34.7859367	1.96911
22/2 15:00	21.22612	25.53013	23.37813	7.30000	35.2434479	1.97347
22/2 16:00	20.95088	25.33423	23.14256	7.00000	35.2291610	1.97375
22/2 17:00	20.87346	25.16361	23.01853	7.00000	35.0156381	1.97338
22/2 18:00	22.94233	24.62327	23.78280	6.25000	35.9524082	0.62943
22/2 19:00	23.01092	24.28736	23.64914	6.00000	35.6478813	0.20991
22/2 20:00	22.82586	24.09368	23.45977	5.25000	35.1590087	0.21036
22/2 21:00	22.59456	23.87696	23.23576	4.62500	35.2967522	0.21067
22/2 22:00	22.35572	23.70240	23.02906	4.12500	35.2290113	0.21088
22/2 23:00	22.53137	23.48358	23.00748	4.45000	33.6909970	0.10538

Glazing (kWh)	Walls (kWh)	Floors (kWh)	Ceilings (kWh)	External Infiltration (kWh)	Zone air system sensible heating rate (kWh)	Zone air system sensible cooling rate (kWh)
-14.0931941	-3.0696489	17.3171258	0.1458254	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-15.2948670	-3.2876216	17.8713419	0.0966556	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.3988551	-3.9723533	15.9752306	-0.0195215	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.8836137	-4.0089011	15.6320782	-0.0750593	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-15.6661682	-3.8901027	16.2018601	-0.1028181	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-14.9549311	-4.0212471	16.2512881	-0.1507033	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-15.1393883	-4.6735603	14.5834597	-0.2605623	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-15.5151015	-4.0795151	16.4317032	-0.2618147	0.0000000	0.0605457	0.0000000
-10.6320287	-8.4330075	5.1036441	-0.8176170	0.0000000	0.0000000	0.0956945
-4.8494886	-13.3633907	-16.9798613	-1.8710838	0.0000000	17.3278428	0.0000000
-0.8934736	-9.0815270	-13.3932852	-1.7680425	0.0000000	14.3808170	0.0000000
4.5889994	-9.0057457	-16.4822148	-1.8118294	0.0000000	9.8884150	0.0000000
16.1101880	-9.6913922	-23.0607966	-1.9351398	0.0000000	1.5228177	0.0265479
23.9945961	-8.9523201	-25.2626615	-1.8307824	0.0000000	0.0000000	0.2110829
25.9572983	-10.5642925	-32.5884041	-1.9231883	0.0000000	0.0000000	0.2643059
19.6196104	-9.4564491	-31.1056387	-1.7407797	0.0000000	0.1433882	0.0000000
9.5503493	-6.8678632	-22.6941378	-1.3158663	0.0000000	0.1170153	0.0000000
1.8137554	-6.0651725	-16.2324630	-0.9941110	0.0000000	0.0345135	0.0000000
-9.3399348	-3.1088247	-2.1319812	-0.2506490	0.0000000	0.0041061	0.2216881
-14.3945637	-2.0103743	5.2626560	0.1142553	0.0000000	0.0211807	0.0000000
-13.7884037	-3.3416546	7.6916343	0.0879125	0.0000000	0.0138769	0.0000000
-13.8752844	-2.8555092	11.8436411	0.1721530	0.0000000	0.0215732	0.0000000
-14.0343640	-3.3714196	13.3347321	0.1178541	0.0000000	0.0161552	0.0000000
-14.0892620	-2.6749646	16.8550268	0.1882802	0.0000000	0.0000000	0.0000000

Supply air sensible cooling (kWh)	Supply air total cooling (kWh)	Supply air sensible heating (kWh)	Supply air total heating (kWh)	Computers+ Equipment (kWh)	Catering (kWh)
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	5.6218144	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	10.1232127	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	17.1816826	32.8482961	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	14.3982515	34.9141997	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	9.8884435	28.2436341	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	1.5228178	19.8832135	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	21.1536903	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	27.7873780	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	30.4122321	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	29.4780119	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	25.9983456	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	21.8978493	24.8806656	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	2.2698320	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	4.4080421	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	3.7896904	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	3.7269125	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000

Process (kWh)	Miscellaneous (kWh)	General Lighting (kWh)	Task Lighting (kWh)	Occupancy (kWh)
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.8718618
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	2.8612765	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	5.7225531	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	5.7225531	0.0000000	1.7733306
0.0000000	0.0000000	17.1676592	0.0000000	3.5500701
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	16.6754487
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	45.7804246	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	51.5029777	0.0000000	17.0183752
0.0000000	0.0000000	28.6127654	0.0000000	5.1581211
0.0000000	0.0000000	17.1676592	0.0000000	1.6818430
0.0000000	0.0000000	17.1676592	0.0000000	1.7177017
0.0000000	0.0000000	11.4451062	0.0000000	1.7317595
0.0000000	0.0000000	11.4451062	0.0000000	1.7543037
0.0000000	0.0000000	5.7225531	0.0000000	0.8802048

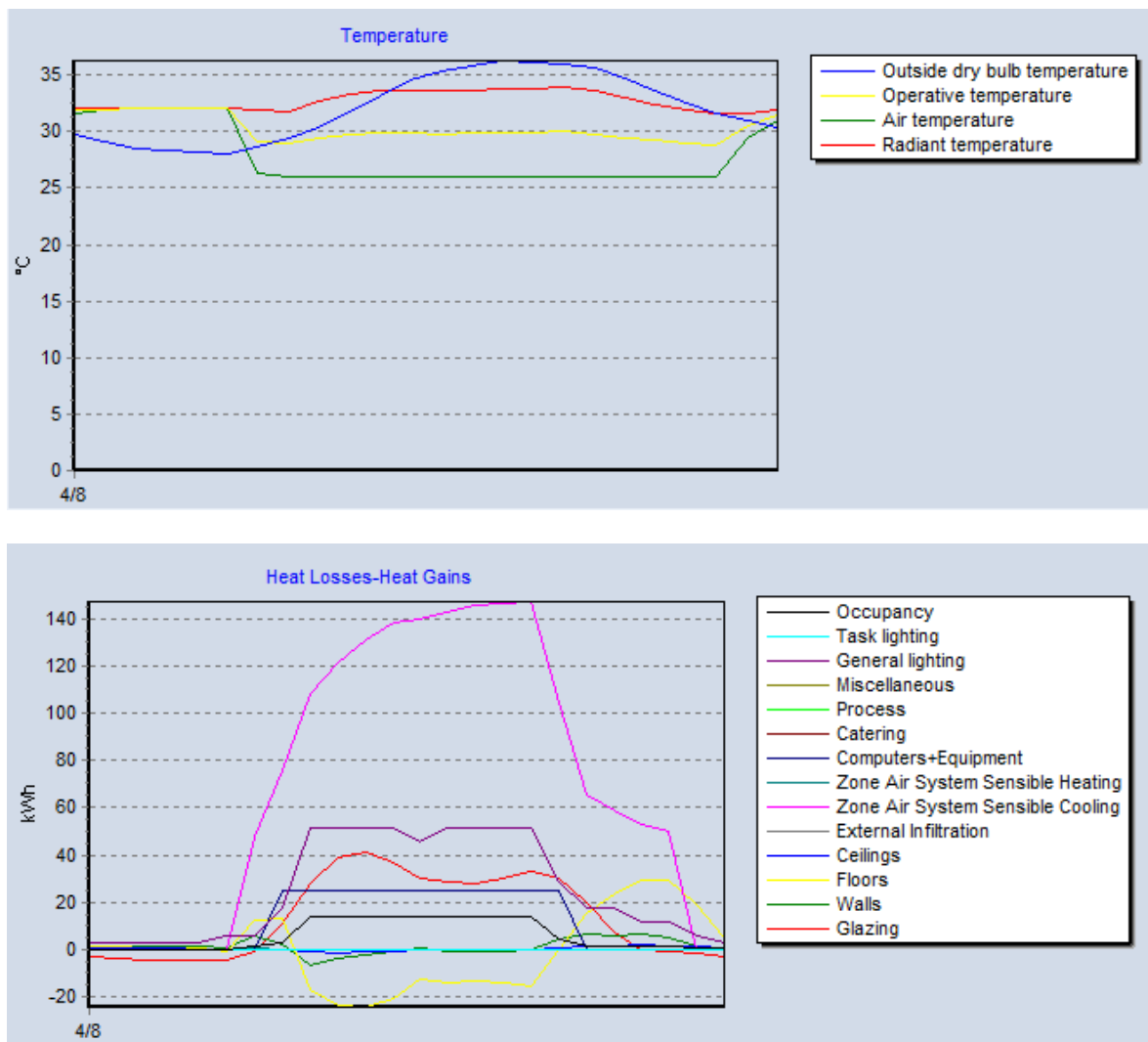
Report: Από την αναφορά της χειμερινής προσομοίωσης (Πίνακας 38) οι περιορισμένες καταναλώσεις επιβεβαιώνονται και από πλευράς συνολικής ενέργειας που είναι πολύ περιορισμένη σε σχέση με το βασικό σενάριο. Η ενέργεια που πρέπει να αγορασθεί (Total Site Energy) είναι 1171,39kWh (0,47kWh/m² μονάδας επιφάνειας) έναντι 1927,14 kWh του βασικού σεναρίου ενώ η συνολική ενέργεια (Total Source Energy) παρουσιάζει πτώση από 6575,6kWh σε 3844,83kWh (1,55kWh/m²).

Πίνακας 38: Report Χειμερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 6

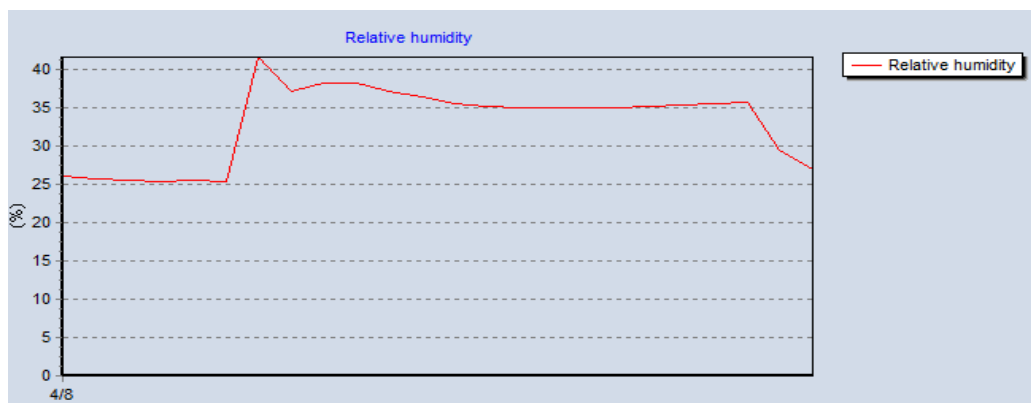
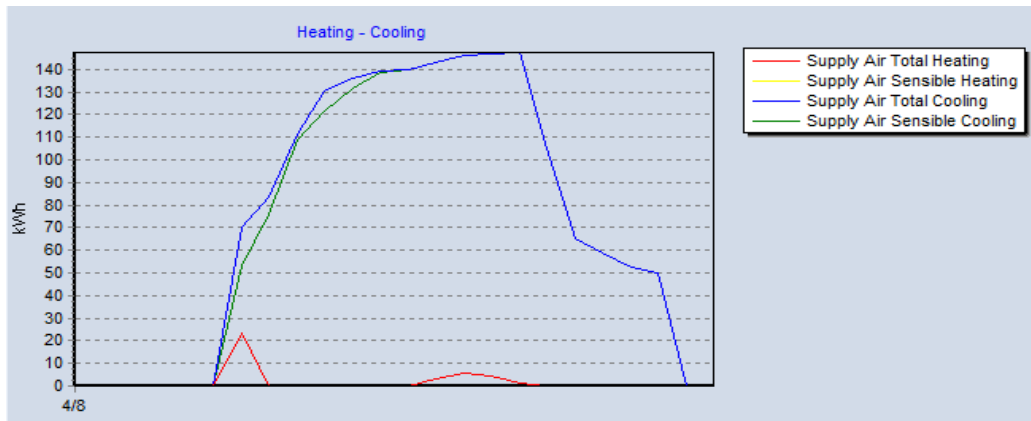
	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	1171.39	0.47	0.47
Net Site Energy	1171.39	0.47	0.47
Total Source Energy	3844.83	1.55	1.55
Net Source Energy	3844.83	1.55	1.55

Καλοκαιρινή Προσομοίωση - 04-08

Από τις Εικόνες 102, 103 και τον Πίνακα 39 διεξάγουμε αντίστοιχα συμπεράσματα και για την αντίστοιχη καλοκαιρινή ημέρα. Αυτή τη φορά η θερμοκρασία διατηρείται με ευκολία στους επιθυμητούς 26°C κατά τις ώρες λειτουργίας, ενώ και η σχετική υγρασία σταθεροποιείται στο 35% παρά τη μικρή έκρηξή της στο 40% τις αρχικές ώρες. Από πλευράς κατανάλωσης η μέγιστη παροχή πραγματοποιείται στις 16:00 με 147,41kWh, ένα ποσό αρκετά μικρότερο του αντίστοιχου των 199,36kWh του βασικού σεναρίου καθιστώντας το σύστημα ψυχρών δοκών αρκετά αποδοτικότερο ενός συστήματος με αερόψυκτο ψύκτη και fan-coils. Από πλευράς αερισμού, ο φυσικός αερισμός δεν καταφέρνει ούτε σε αυτή την περίπτωση να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις με εναλλαγές αέρα ανά ώρα μόλις 1,823ac/h που σημαίνει πως δεν επιτυγχάνεται η επαρκής ανανέωση του αέρα.



Εικόνα 102: Temperature and Heat Loss-Gains Charts Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 6



Εικόνα 103: Heating-Cooling and Relative Humidity Charts Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 6

Πίνακας 39: Αποτελέσματα Θερμής Προσομοίωσης Σεναρίου 6

Time	Air temperature (°C)	Radiant temperature (°C)	Operative temperature (°C)	Outside dry bulb temperature (°C)	Relative humidity (%)	Mech vent + nat vent + Infiltration (ac/h)
4/8 00:00	31.58102	32.11635	31.84869	29.75000	26.1457273	0.00000
4/8 01:00	31.84945	32.09830	31.97388	29.07500	25.7300907	0.00000
4/8 02:00	32.02961	32.10863	32.06912	28.52500	25.4728016	0.00000
4/8 03:00	32.02910	32.10726	32.06818	28.32500	25.4558271	0.00000
4/8 04:00	32.01404	32.09112	32.05258	28.15000	25.4713367	0.00000
4/8 05:00	32.05417	32.11935	32.08676	28.02500	25.4135814	0.00000
4/8 06:00	26.32224	31.88449	29.10336	28.67500	41.6468431	0.19662
4/8 07:00	26.00081	31.77302	28.88692	29.50000	37.2184772	0.39154
4/8 08:00	26.00005	32.73255	29.36630	30.37500	38.2815970	1.85430
4/8 09:00	26.00000	33.33919	29.66960	31.72500	38.2415863	1.84594
4/8 10:00	26.00000	33.63248	29.81624	33.15000	37.1686949	1.83719
4/8 11:00	26.00000	33.69690	29.84845	34.62500	36.3753743	1.82826
4/8 12:00	26.00000	33.55951	29.77976	35.37500	35.6321741	1.82378
4/8 13:00	26.00000	33.64255	29.82128	35.80000	35.1361291	1.82122
4/8 14:00	26.00000	33.70689	29.85345	36.27500	35.0164780	1.81835
4/8 15:00	26.00000	33.82839	29.91419	36.17500	35.0014947	1.81901
4/8 16:00	26.00000	33.97354	29.98677	35.95000	35.0002877	1.82046
4/8 17:00	26.00000	33.61430	29.80715	35.67500	35.0864242	0.57543
4/8 18:00	26.00000	32.97058	29.48529	34.77500	35.2667499	0.19238
4/8 19:00	26.00000	32.39603	29.19802	33.60000	35.4277117	0.19311
4/8 20:00	26.00000	31.89974	28.94987	32.47500	35.5680642	0.19383
4/8 21:00	26.00000	31.65589	28.82794	31.67500	35.7396196	0.19433
4/8 22:00	29.37845	31.64217	30.51031	31.05000	29.5262249	0.09854
4/8 23:00	31.04915	31.98530	31.51723	30.37500	26.9382028	0.09929

Glazing (kWh)	Walls (kWh)	Floors (kWh)	Ceilings (kWh)	External Infiltration (kWh)	Zone air system sensible heating rate (kWh)	Zone air system sensible cooling rate (kWh)
-3.4243525	0.3640487	1.5502807	0.5019356	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-3.8492491	1.1660073	1.1963006	0.4040207	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-4.2824411	1.1599238	0.3528307	0.2936245	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-4.4252406	1.2411441	0.2343117	0.2149669	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-4.5555587	1.2579802	0.3930562	0.1531254	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-4.6218433	0.6178865	-1.1064236	0.0231859	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-1.2182723	5.6148018	12.6776334	0.3343383	0.0000000	0.1850718	47.8580538
10.6507245	2.0971673	12.9635598	0.0760748	0.0000000	0.0000000	75.9684001
27.8627573	-6.7257622	-17.1367961	-1.1862843	0.0000000	0.0000000	108.5563930
38.9049969	-3.9065628	-23.9361513	-1.2931448	0.0000000	0.0000000	121.5781744
41.2455968	-2.3717865	-24.5382546	-1.1992243	0.0000000	0.0000000	131.3120798
36.7367578	-1.1148977	-20.8395105	-0.9338821	0.0000000	0.0000000	138.6529632
30.1232599	0.6053794	-13.0094572	-0.4775531	0.0000000	0.0000000	140.0366091
28.3376239	-0.9166559	-13.9828535	-0.4067938	0.0000000	0.0000000	143.0484862
27.8405435	-0.5655513	-13.2935874	-0.2151186	0.0000000	0.0000000	145.8546359
30.3554143	-0.6450871	-14.4435737	-0.0983975	0.0000000	0.0000000	146.7516786
32.9588592	-0.5413318	-15.5935087	-0.0054917	0.0000000	0.0000000	147.4102171
30.1721973	4.5142084	-0.1106478	0.7756883	0.0000000	0.0000000	104.7107466
19.8564790	6.6933536	15.6611034	1.4105266	0.0000000	0.0000000	65.4585156
6.8893314	5.6871073	23.2041535	1.5900965	0.0000000	0.0000000	58.8118325
-0.3806617	6.1568246	29.6877282	1.7609433	0.0000000	0.0000000	52.8228685
-0.8172582	4.8266763	29.0917676	1.6017653	0.0000000	0.0000000	49.8075392
-1.6231904	1.3220741	18.9183579	1.2214447	0.0000000	0.0000000	0.0000000
-2.7691283	-0.3082463	5.1705557	0.7194803	0.0000000	0.0000000	0.0000000

Supply air sensible cooling (kWh)	Supply air total cooling (kWh)	Supply air sensible heating (kWh)	Supply air total heating (kWh)	Computers+ Equipment (kWh)	Catering (kWh)
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
53.4447280	69.9254853	0.0000000	23.4897458	0.0000000	0.0000000
75.9828851	83.5054238	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
108.5574642	111.1414606	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
121.5782574	130.3031686	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
131.3120870	136.2581409	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
138.6529639	139.2404792	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
140.0366091	140.0366091	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
143.0484862	143.0484862	0.0000000	2.8917261	24.8806656	0.0000000
145.8546359	145.8546359	0.0000000	5.8646277	24.8806656	0.0000000
146.7516786	146.7516786	0.0000000	4.2633174	24.8806656	0.0000000
147.4102171	147.4102171	0.0000000	1.0595251	24.8806656	0.0000000
104.7107466	104.7107466	0.0000000	0.0000000	24.8806656	0.0000000
65.4585156	65.4585156	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
58.8118325	58.8118325	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
52.8228685	52.8228685	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
49.8075392	49.8075392	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000

Process (kWh)	Miscellaneous (kWh)	General Lighting (kWh)	Task Lighting (kWh)	Occupancy (kWh)
0.000000	0.000000	2.8612765	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	2.8612765	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	2.8612765	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	2.8612765	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	2.8612765	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	5.7225531	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	5.7225531	0.000000	1.0329889
0.000000	0.000000	17.1676592	0.000000	2.8397781
0.000000	0.000000	51.5029777	0.000000	13.4922395
0.000000	0.000000	51.5029777	0.000000	13.4924187
0.000000	0.000000	51.5029777	0.000000	13.4924312
0.000000	0.000000	51.5029777	0.000000	13.4924322
0.000000	0.000000	45.7804246	0.000000	13.4924323
0.000000	0.000000	51.5029777	0.000000	13.4924323
0.000000	0.000000	51.5029777	0.000000	13.4924323
0.000000	0.000000	51.5029777	0.000000	13.4924323
0.000000	0.000000	51.5029777	0.000000	13.4924323
0.000000	0.000000	28.6127654	0.000000	4.2607681
0.000000	0.000000	17.1676592	0.000000	1.4202560
0.000000	0.000000	17.1676592	0.000000	1.4202560
0.000000	0.000000	11.4451062	0.000000	1.4202560
0.000000	0.000000	11.4451062	0.000000	1.4202560
0.000000	0.000000	5.7225531	0.000000	0.5745731
0.000000	0.000000	2.8612765	0.000000	0.4098358

Report: Από τον Πίνακα 40 της αναφοράς θερινής προσομοίωσης παρατηρούμε και εδώ μειωμένα ποσά ενέργειας. Η ενέργεια που πρέπει να αγορασθεί (Total Site Energy) είναι μόλις 2631,49kWh (1,06kWh/m²), αρκετά λιγότερη από τις 3084,95kWh του βασικού σεναρίου. Η συνολική ενέργεια (Total Source Energy) φθάνει τις 4708,46kWh (1,89kWh/m²), ποσό επίσης μικρότερο των 5253,46kWh του βασικού σεναρίου. Αυτό αποδεικνύει το πόσο αποδοτικό μπορεί να είναι ένα σύστημα ψυχρών δοκών σε συνεργασία με τη γεωθερμική αντλία θερμότητας στις διεργασίες ψύξης του χώρου. Τα ποσά εξοικονόμησης είναι μικρότερης κλίμακας συγκριτικά με το χειμώνα, ωστόσο αυτό οφείλεται στις γενικά υψηλότερες απαιτήσεις ενέργειας για την ψύξη ενός χώρου αντί για θέρμανση.

Πίνακας 40: Report Θερινής Προσομοίωσης Σεναρίου 6

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	2631.49	1.06	1.06
Net Site Energy	2631.49	1.06	1.06
Total Source Energy	4708.46	1.89	1.89
Net Source Energy	4708.46	1.89	1.89

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας την παρούσα μελέτη ενεργειακής κατανάλωσης για το κτίριο γραφείων μεταξύ των οδών Θρακών και Ορφανοτροφείου, επί της οδού Κουντουριώτου στην πόλη του Βόλου, αξίζει να αναφερθούμε στους παράγοντες που επηρέασαν άμεσα και έμμεσα τα αποτελέσματα, μέσα από τα συμπεράσματα που εξάγαμε για το πλήθος διαφορετικών συνθηκών που εξετάστηκαν, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του EnergyPlus.

Αρχικά, ορίσαμε τις παραμέτρους γεωγραφικής θέσης και προσανατολισμού, οριοθετώντας τις κλιματολογικές συνθήκες και κατ' επέκταση το καιρικό πλαίσιο εντός ενός έτους, το οποίο καλείται να αντιμετωπίσει καταναλωτικά το κτίριό μας. Στη συνέχεια, δημιουργήσαμε το εξωτερικό περίβλημα του κτιρίου και διαμορφώσαμε τις κατάλληλες αλληλουχίες δομικών υλικών για κάθε επιμέρους δομή τοιχοποιίας, δαπέδου, οροφής, φερόντων στοιχείων και ανοιγμάτων, τα οποία επηρεάζουν την κατανάλωση ανάλογα με τη θερμοότητα που τα διαπερνά σύμφωνα με την τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας.

Επόμενο βήμα αποτέλεσε η διαμόρφωση των εσωτερικών ιδανικών συνθηκών και λειτουργίας κτιρίου γραφείων με βάση το πραγματικό σενάριο λειτουργίας το οποίο και αντιμετωπίσαμε ως βασικό. Πάνω σε αυτό πραγματοποιήσαμε αλλαγές που αφορούσαν τόσο ορισμένα χαρακτηριστικά συνθηκών όσο και ολόκληρου συστήματος HVAC ή τμήματος αυτού, προκειμένου να αντλήσουμε πληροφορίες για τη συμπεριφορά του κτιρίου εξετάζοντάς το σε διαφορετικά σενάρια, τις δύο δυσμενέστερες καταναλωτικά ημέρες του χρόνου για ψύξη και θέρμανση.

Το βασικό μας σενάριο χαρακτηρίζεται από ιδανικές εσωτερικές συνθήκες σύμφωνα με τον κανονισμό του Κ.Εν.Α.Κ., χρονοδιαγράμματα κτιρίου γραφείων μοντέλου ASHRAE 90.1 και από σύστημα λειτουργίας λέβητα πετρελαίου, αερόψυκτου ψύκτη και μονάδων fan-coil. Στο δεύτερο σενάριο πραγματοποιήθηκε αλλαγή χρονοδιαγράμματος πληθυσμού αντίστοιχο με ωράριο καταστήματος λιανεμπορίου και λειτουργίας κλιματιστικού συστήματος ελαττωμένης ισχύος καθ' όλο το 24ωρο, με το συνδυασμό να αποφέρει ενεργειακά κέρδη 1455,21kWh το χειμώνα και 93,17kWh το καλοκαίρι. Στο τρίτο σενάριο περιορίσαμε τις βασικές καταναλωτικές απαιτήσεις και οδηγηθήκαμε σε χειμερινό κέρδος 2853,24kWh και αντίστοιχο θερινό 1198,34kWh. Ως τέταρτο σενάριο δοκιμάσαμε προσομοίωση με προσθήκη φωτοβολταϊκών μονάδων ώστε να εκμεταλλευτούμε καταναλωτικά την ηλιακή ενέργεια, γεγονός που απέφερε χειμερινά κέρδη 75,73kWh και

θερινά 109,99kWh. Στο πέμπτο σενάριο αλλάξαμε το σύστημα σε VRF ώστε να εκμεταλλευτούμε με τον αποδοτικότερο τρόπο τη διαδικασία ανάκτησης θερμότητας με ενσωμάτωση ειδικού εναλλάκτη και εξοικονομήσαμε ενέργεια 1742,15kWh το χειμώνα και 335,82kWh το καλοκαίρι. Στο έκτο και τελευταίο σενάριο, εφαρμόσαμε ένα πλήρως διαφορετικό σύστημα με γεωθερμική αντλία, σύστημα ψυχρών δοκών και φυσικό αερισμό, με το οποίο εξοικονομήσαμε ποσά ενέργειας της τάξης των 2243,6kWh το χειμώνα και 545kWh το καλοκαίρι. Το σύστημα αυτό αποδείχθηκε ως το καταναλωτικά αποδοτικότερο για σταθερές προδιαγραφές απαιτήσεων χώρων γραφείου με αντάλλαγμα μικρές αποκλίσεις στις ιδανικές θερμοκρασιακές συνθήκες και στην επαρκή ανανέωση του αέρα λόγω φυσικού αερισμού.

Παρατηρούμε πως όλα τα εναλλακτικά σενάρια αποφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας για κάθε ημέρα του χρόνου με δυσμενείς συνθήκες. Ωστόσο, η παρούσα διπλωματική δεν αποσκοπεί απαραίτητα στη εύρεση του καλύτερου σεναρίου αλλά στην αποκόμιση χρήσιμων πληροφοριών που μπορούν να συμβάλλουν στη βελτίωση μιας μελέτης της υπάρχουσας κτιριακής μονάδας. Διατηρώντας λοιπόν το υπάρχον σύστημα κλιματισμού του βασικού σεναρίου, τα πρότυπα προγράμματα λειτουργίας και τις αρχικές βασικές απαιτήσεις, μπορούμε να εξοικονομήσουμε επιπλέον ενέργεια ενσωματώνοντας κατάλληλο εναλλάκτη ανάκτησης θερμότητας και τοποθετώντας φωτοβολταϊκά πάνελ, κατατάσσοντας το κτίριο στις υψηλότερες θέσεις του πίνακα ενεργειακής απόδοσης. Οι προσθήκες αυτές ωστόσο είναι λογικό να απαιτούν επιπλέον χρηματικό κόστος γι' αυτό σε κάθε περίπτωση δεν πρέπει να ξεχνάμε πως κάθε ρύθμιση πρέπει να συμβαδίζει και με την ανάλογη οικονομική άνεση του κατασκευαστή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ, Σεπτέμβριος 2017
2. <http://www.kenak.gr/pea.htm>
3. ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010, ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ, Νοέμβριος 2014
4. <https://www.ashrae.org/>
5. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, 2013
6. ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings I-P Edition, 2010
7. Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός, Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης Μύρων Μονιάκης Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας & Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων Τ.Ε.Ι. Κρήτης, 2015, σελ.183-194, σελ.370-372, σελ.174-179.
8. Natural Ventilation Review and Plan for Design and Analysis Tools, Steven J. Emerich W. Stuart Dols James W. Axley, August 2001
9. Review of Residential Mechanical Ventilation Technologies, ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY, Marion Russell, Max Sherman and Armin Rudd, August 2005
10. EDF, The bottom of the barrel: How the dirtiest heating oil pollutes our air and harms our health, Chapter 2, December 16, 2009
11. AIR COOLER AND CHILLER TYPES AND APPLICATIONS BEN214 FLUID MECHANICS, Gizem Kanat, Bahar Gezer, June 2020
12. <https://www.hvacinvestigators.com/webinars/the-basics-of-chillers-how-they-work-where-theyre-used-and-common-problems/>

13. An Overview of Solar Assisted Air-Conditioning System Application in Small Office Buildings in Malaysia LIM CHIN HAW, KAMARUZZAMAN SOPIAN, YUSOF SULAIMAN, Solar Energy Research Institute, University Kebangsaan Malaysia
14. Air Source Heat Pumps field studies: A systematic literature review, P.Carroll, M. Chesser, P. Lyons, August 2020
15. Low Carbon equipment and building regulations – A guide to safe and sustainable construction, Ground Source Heat Pumps and Water Source Heat Pumps, March 2010
16. Energy Efficient Air Distribution Systems for Air Handling Unit, Ajay N Bhagwat, S.N.Teli, Abhijeet Balasaheb Ranveer, Vijay S. Majali, March 2017
17. ASHRAE Handbook Systems and Equipment 2016
18. THE CHALLENGES OF AIR-CONDITIONING IN TROPICAL AND HUMID TROPICAL CLIMATES Ahmadul Ameen University Sains Malaysia, 14300 Nibong Tebal, Pulau Pinang, Malaysia, December 2005
19. STUDY THE ROLE OF CHILLED BEAMS IN IMPROVING COOLING EFFICIENCY OF BUILDINGS: LITERATURE REVIEW, Saeed Reza Mohandes¹, (Hossein Omrany²), October 2013
20. Variable Refrigerant Flow Systems, Brian Thornton, Anne Wagner, December 2012
21. Review of Heat Recovery Technologies for Building Applications, Qi Xu, Saffa Riffat, Shihao Zhang, April 2019
22. Solar Photovoltaic Technologies: From Inception Toward the Most Reliable Energy Resource, Nowshad Amin, Seyed Ahmad Shahahmadi, Puvaneswaran Chelvanthan, Kazi Sajedur Rahman, December 2017
23. Solar Energy and Residential Building Integration Technology and Application, Ding Ma, Yi-bing Xue, 2013
24. Handbook for energy-efficient educational-use buildings, Passive House Institute, Oliver Kah Tanja Schulz Susanne Winkel Dr. Jürgen Schnieders Zeno Bastian Dr. Berthold Kaufmann, July 2010
25. EnergyPlus™ Version 9.5.0 Documentation Getting Started U.S. Department of Energy, March 30, 2021
26. G. Mustafaraj, J. Chen, G. Lowry, Development of room temperature and relative humidity linear parametric models for an open office using BMS data, Energy and Buildings 42 (3) (2010) 348-356.

27. X.-C. Xi, A.-N. Poo, S.-K. Chou, Support vector regression model predictive control on a HVAC plant, *Control Engineering Practice* 15 (8) (2007) 897-908.
28. S. Wu, J. Q. Sun, A physics-based linear parametric model of room temperature in office buildings, *Building and Environment* 50 (2012) 1-9, DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.10.005.
S. Wu, J.-Q. Sun, Multi-stage regression linear parametric models of room temperature in office buildings, *Building and Environment* 56 (2012) 69-77.
29. S. Wu, J. Q. Sun, Two-stage regression model of thermal comfort in office buildings, *Building and Environment* 57 (2012) 88-96.
30. S. Wu, System-level monitoring and diagnosis of building hvac system, Ph.D. thesis, University of California, Merced (2013).
31. D. B. Crawley, L. K. Lawrie, C. O. Pedersen, F. C. Winkelmann, Energy plus: energy simulation program, *ASHRAE journal* 42 (4) (2000) 49-56.
32. T. Chow, G. Zhang, Z. Lin, C. Song, Global optimization of absorption chiller system by genetic algorithm and neural network, *Energy and buildings* 34 (1) (2002) 103-109.
33. G.-Y. Jin, W.-J. Cai, L. Lu, E. L. Lee, A. Chiang, A simplified modeling of mechanical cooling tower for control and optimization of HVAC systems, *Energy conversion and management* 48 (2) (2007) 355-365.
34. W. Wang, S. Katipamula, Y. Huang, M. R. Brambley, Energy savings and economics of advanced control strategies for packaged air conditioners with gas heat, *Energy and Buildings* 65 (2013) 497-507.
35. Aynsley, R. (2014). Natural Ventilation in Passive Design. *Environment Design Guide*, 1-16. Retrieved July 20, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/26151921>
36. Aflaki, Ardalan & Mahyuddin, Norhayati & Baharum, mohamad rizal. (2016). The influence of single-sided ventilation towards the indoor thermal performance of high-rise residential building: A field study. *Energy and Buildings*. 126. 10.1016/j.enbuild.2016.05.017.
37. Russell, Marion & Sherman, Max & Rudd, Armin. (2007). Review of Residential Ventilation Technologies. *Hvac&r Research*. 13. 325-348. 10.1080/10789669.2007.10390957.
38. Lomas, Kevin & Cook, Malcolm & Fiala, Dusan. (2007). Low energy architecture for a severe US climate: Design and evaluation of a hybrid ventilation strategy. *Energy and Buildings*. 39. 32-44. 10.1016/j.enbuild.2006.03.032.

39. Turns, M. (2013). Reducing Appliance Backdrafting Risks With HVAC-Integrated Makeup Air Systems. *Cityscape*, 15(1), 311-316. Retrieved July 20, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/41958973>
40. Tanabe, S. and Kimura, K. (1994) Effects of air temperature, humidity, and air movement on thermal comfort under hot and humid conditions. *ASHRAE Transactions*, 100(2), pp 953–969.
41. Gerding Edlen Development, & GBD Architects and Interface Engineering, Inc. (n.d.). *OHSU Center for Health and Healing; roof top HVAC system*. Retrieved July 20, 2021, from <https://jstor.org/stable/community.14754333>
42. Helble, M., & Majoe, A. (2020). Can Environmental Regulations Drive International Trade? Lessons for Asia from the European Union's Performance of Buildings Directive. *Journal of Economic Integration*, 35(1), 69-90. Retrieved July 20, 2021, from <https://www.jstor.org/stable/26891714>
43. Ries, C., Jenkins, J., & Wise, O. (2009). *Improving the Energy Performance of Buildings: Learning from the European Union and Australia*. Santa Monica, CA; Arlington, VA; Pittsburgh, PA: RAND Corporation. Retrieved July 20, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/10.7249/tr728rer-boma>
44. Luther, M. (2004). AN INTRODUCTION TO BUILDING ENERGY PERFORMANCE SOFTWARE. *Environment Design Guide*, 1-9. Retrieved July 20, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/26148789>
45. Mancini, F., & Lo Basso, G. (2020). How Climate Change Affects the Building Energy Consumptions Due to Cooling, Heating, and Electricity Demands of Italian Residential Sector. *Energies*, 13(2), 410. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/en13020410>
46. Strong JC. Psychrometric analysis of the environmental equivalency factor for aqueous tablet coating. *AAPS Pharmscitech*. 2009 ;10(1):303-309. DOI: 10.1208/s12249-009-9204-7.
47. Sattrup, P., & Strømman-Andersen, J. (2013). BUILDING TYPOLOGIES IN NORTHERN EUROPEAN CITIES: DAYLIGHT, SOLAR ACCESS, AND BUILDING ENERGY USE. *Journal of Architectural and Planning Research*, 30(1), 56-76. Retrieved July 20, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/43030993>
48. Pavlína Charvátová and Roman Šubrt "Point thermal bridges at ventilated facade and impact on economics of building operation", *AIP Conference Proceedings* 2305, 020003 (2020) <https://doi.org/10.1063/5.0034039>

49. Sarkar, A., & Bose, S. (2015). Thermal performance design criteria for bio-climatic architecture in Himachal Pradesh. *Current Science*, 109(9), 1590-1600. Retrieved July 20, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/24906182>
50. Callahan, Christopher & Elansari, Atef & Fenton, Donald. (2019). Psychrometrics. 10.1016/B978-0-12-813276-0.00008-0.
51. Chen, C., Lee, C., & Lin, Y. (2014). AIR CONDITIONING - OPTIMIZING PERFORMANCE BY REDUCING ENERGY CONSUMPTION. *Energy & Environment*, 25(5), 1019-1024. Retrieved July 20, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/43735299>
52. Ohashi, Yukitaka, et al. "Influence of Air-Conditioning Waste Heat on Air Temperature in Tokyo during Summer: Numerical Experiments Using an Urban Canopy Model Coupled with a Building Energy Model." *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 46, no. 1, 2007, pp. 66–81. JSTOR, www.jstor.org/stable/26171882. Accessed 20 July 2021.
53. Alhawari, Abdalhadi & Mukhopadhyaya, Phalguni. (2018). Thermal bridges in building envelopes – An overview of impacts and solutions. *International Review of Applied Sciences and Engineering*. 9. 31-40. 10.1556/1848.2018.9.1.5.
54. Bienvenido-Huertas, D., Rodríguez-Álvaro, R., Moyano, J., Rico, F., & Marín, D. (2018). Determining the U-Value of Façades Using the Thermometric Method: Potentials and Limitations. *Energies*, 11(2), 360. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/en11020360>
55. Baldissera, Paolo, and Cristiana Delprete. "Finite Element Thermo-Structural Methodology for Investigating Diesel Engine Pistons with Thermal Barrier Coating." *SAE International Journal of Engines*, vol. 12, no. 1, 2019, pp. 69–78. JSTOR, www.jstor.org/stable/26745565. Accessed 20 July 2021.
56. Ahsanullah, Saiful Islam, et al. "The Impact of Zoning Regulations on Thermal Comfort in Non-Conditioned Housing in Hot, Humid Climates: Findings from Dhaka, Bangladesh." *Journal of Housing and the Built Environment*, vol. 29, no. 4, 2014, pp. 677–745., www.jstor.org/stable/43907300. Accessed 20 July 2021.
57. Pagliarini, G., Rainieri, S., & Vocale, P. (2014). ENERGY EFFICIENCY OF EXISTING BUILDINGS: OPTIMIZATION OF BUILDING COOLING, HEATING AND POWER (BCHP) SYSTEMS. *Energy & Environment*, 25(8), 1423-1438. Retrieved July 20, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/43735611>
58. Dascalaki, Elena & Balaras, Constantinos & Gaglia, Athina & Droutsas, Popi &

- Kontoyiannidis, S.. (2012). Energy Performance of Buildings - EPBD in Greece. *Energy Policy*. 45. 469–477. 10.1016/j.enpol.2012.02.058.
59. Akpınar, S., & Akpınar, E. (2010). MODELING OF WEATHER DATA FOR THE EAST ANATOLIA REGION OF TURKEY. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 4(1), 9-22. Retrieved July 20, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/26203340>
60. Lovins, A. (2010). Profitable Solutions to Climate, Oil, and Proliferation. *Ambio*, 39(3), 236-248. Retrieved July 20, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/40730904>
61. Wågø, S., Hauge, B., & Støa, E. (2016). BETWEEN INDOOR AND OUTDOOR: NORWEGIAN PERCEPTIONS OF WELL-BEING IN ENERGY-EFFICIENT HOUSING. *Journal of Architectural and Planning Research*, 33(4), 326-346. Retrieved July 20, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/44987209>
62. Hildebrand, N. (2015). Low-energy hot water systems. *Environment Design Guide*, 1-16. Retrieved July 20, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/26152185>
63. Wulf Böer. (2016). Synthetic Air. *Future Anterior: Journal of Historic Preservation, History, Theory, and Criticism*, 13(2), 77-101. doi:10.5749/futuante.13.2.0077
64. Pathak, P., Dongre, A., & Shiwalkar, J. (2015). LIGHTING DESIGN AS A FUNCTION OF USER COMFORT AND PERFORMANCE IN INDIAN WORK SPACES. *Journal of Architectural and Planning Research*, 32(2), 168-179. Retrieved July 20, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/44113106>
65. Albatayneh, Aiman & Alterman, Dariusz & Page, Adrian & Moghtaderi, Behdad. (2018). The Impact of the Thermal Comfort Models on the Prediction of Building Energy Consumption. *Sustainability*. 10. 3609. 10.3390/su10103609.
66. DeBiasse, K. (2010). An Analysis of the Influences of Human Thermal Comfort on the Attendance of Indoor Versus Outdoor Shopping Malls as a Result of Afternoon and Evening Meteorological Conditions. *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science*, 42(1), 15-25. Retrieved July 20, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/20789455>
67. Kokogiannakis, Georgios & Strachan, Paul & Clarke, Joe. (2008). Comparison of the simplified methods of the ISO 13790 standard and detailed modelling programs in a regulatory context. *Journal of Building Performance Simulation*. 1. 209-219. 10.1080/19401490802509388.