



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ 12Θ ΣΧΟΛΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΖΩΓΡΑΦΟΥ, ΜΕΣΩ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ
EnergyPlus
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ**

Μαρία Μυλωνά

Επιβλέπων: Ι. Τζουβαδάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ 12Θ ΣΧΟΛΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΖΩΓΡΑΦΟΥ, ΜΕΣΩ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ
EnergyPlus
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ**

Μαρία Μυλωνά

Επιβλέπων: Ι. Τζουβαδάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15η Μαρτίου 2016

.....
Ι.Τζουβαδάκης

.....
Α.Σωτηροπούλου

.....
Μ.Βουγιούκας

Αθήνα, Μάρτιος 2016

.....
Μαρία Μυλωνά

Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Μαρία Μυλωνά, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνεύονται ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον κ. Τζουβαδάκη Ιωάννη, Αναπληρωτή Καθηγητή της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για τις συμβουλές και την καθοδήγηση που μου πρόσφερε καθ' όλη τη διάρκεια της παρούσας Διπλωματικής.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την Κυριακή Μυλωνά και τον Αλέξανδρο Παραθύρα για την βοήθεια και στήριξη τους όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Η Διπλωματική αυτή αφιερώνεται στους γονείς μου, Ειρήνη και Γιάννη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στον προσδιορισμό των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου 12Θ των Πολιτικών Μηχανικών για την παροχή θέρμανσης και ψύξης και στη διερεύνηση της δυνατής εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της εγκατάστασης γεωθερμικού συστήματος παροχής θέρμανσης και ψύξης, το οποίο περιλαμβάνει κατακόρυφο γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου με το λογισμικό EnergyPlus σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο της προσομοίωσης θεωρήθηκε, ότι υφίσταται ένα ιδανικό σύστημα θέρμανσης και ψύξης, ικανό να καλύπτει πλήρως το θερμικό και το ψυκτικό φορτίο του κτιρίου, δίχως να καταναλώνει ενέργεια από κάποια συγκεκριμένη πηγή. Η κατανάλωση ενέργειας για την παροχή θέρμανσης και ψύξης που υπολογίστηκε με τον τρόπο αυτό χρησιμοποιήθηκε ως βάση σύγκρισης για την αξιολόγηση της προτεινόμενης επέμβασης. Στο δεύτερο στάδιο της προσομοίωσης θεωρήθηκε, ότι η παροχή θέρμανσης και ψύξης πραγματοποιείται από μία γεωθερμική αντλία θερμότητας, η οποία συναλλάσσει θερμότητα με το έδαφος μέσω ενός κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας.

ABSTRACT

This thesis concerns the determination of the heating and the cooling load of the residential building 12Θ which belongs to the department of Civil Engineers, NTUA, Attica, and the investigation of the potential energy saving, through the incorporation of ground source heat pump system, which includes a vertical ground heat exchanger. For this purpose, an energy simulation of the building has been conducted, using the EnergyPlus simulation program. During the first stage of the simulation, an ideal system was considered, which can meet the entire building load and does not correspond to a specific energy source. The total energy consumed by the ideal system was used as a reference for comparing the energy saving achieved by the incorporation of the ground source heat pump system. During the second stage of the simulation a ground source heat pump was considered, which is coupled to a vertical ground heat exchanger.

Περιεχόμενα

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
1. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ	17
1.1 Γενικά	17
1.2 Ενεργειακός σχεδιασμός	18
1.3 Βιοκλιματικός σχεδιασμός	19
1.3.1 Στόχοι βιοκλιματικού σχεδιασμού	19
1.3.2 Αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού	20
1.4 Το κτίριο ως φυσικός ηλιακός συλλέκτης	20
1.5 Το κτίριο ως αποθήκη θερμότητας	21
1.6 Το κτίριο ως παγίδα θερμότητας	22
1.7 Το κτίριο ως συλλέκτης και αποθήκη ψύξης	22
1.8 Παθητικά συστήματα	23
1.8.1 Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης	23
1.8.2 Παθητικά συστήματα φυσικού δροσισμού	24
1.8.3 Παθητικά συστήματα φυσικού φωτισμού	25
1.9 Ενσωμάτωση τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα κτίρια	26
1.9.1 Φωτοβολταϊκά	26
1.9.2 Μικρές ανεμογεννήτριες	27
1.9.3 Βιομάζα	27
1.9.4 Θερμικά ηλιακά συστήματα	28
1.9.5 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας	28
2. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	31
2.1 Αντλία θερμότητας	31
2.1.1 Αρχή λειτουργίας	31
2.1.2 Λειτουργία μιας ΑΘ στις δύο περιπτώσεις: θέρμανσης και ψύξης	32
2.2 Κατηγορίες αντλιών θερμότητας	33
2.3 Οι πηγές θερμότητας	34
2.4 Εφαρμογές αντλιών θερμότητας	35
2.4.1 Διαιρούμενη Μονάδα (SPIT) αντλίας θερμότητας	35
2.4.2 Διάφορες άλλες εφαρμογές	37
2.4.3 Αντλία θερμότητας με θέρμανση δαπέδου	39
2.4.4 Αντλία θερμότητας και γεωθερμία	40
2.4.5 Αντλία θερμότητας συζευγμένη με κεντρική θέρμανση	40
2.5 Οικονομική ανάλυση αντλίας θερμότητας	41
2.5.1 Εξοικονόμηση ενέργειας με τη χρήση ΑΘ	41
2.5.2 Συμπεράσματα	42
3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	44

3.1 Προδιαγραφές γεωθερμικών αντλιών θερμότητας	44
3.2 Τρόπος λειτουργίας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας	46
3.2.1 Το καλοκαίρι	46
3.2.2 Τον χειμώνα	47
3.3 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας υπόγειας σύζευξης	47
3.3.1 Εισαγωγή	47
3.3.2 Συστήματα ανοικτού βρόχου	48
3.3.3 Συστήματα κλειστού βρόχου	49
3.3.3.1 Οριζόντια διάταξη	49
3.3.3.2 Κάθετη διάταξη	50
3.3.3.3 Συστήματα άμεσης εκτόνωσης	51
3.4 Παράμετροι μελέτης γεωθερμικών αντλιών θερμότητας	52
3.4.1 Οφέλη εξοικονόμησης ενέργειας από τη χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας	53
3.4.2 Μη ενεργειακά οφέλη από τη χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας	53
3.4.3 Μειονεκτήματα από τη χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας	54
3.4.4 Δαπάνη και περίοδος απόσβεσης γεωθερμικών αντλιών θερμότητας	54
4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENERGY PLUS	56
4.1 Εισαγωγή	56
4.2 Σχεδίαση του κτιριακού κελύφους με χρήση του προσθέτου Open Studio στο λογισμικό Sketch Up	56
4.2.1 Σχεδίαση κελύφους	56
4.2.2 Θερμικές Ζώνες	65
4.2.3 Δημιουργία αρχείου δεδομένων εισόδου	67
4.3 Εισαγωγή κύριων μεταβλητών στο Energy Plus	67
4.3.1 Εισαγωγή κλιματικών δεδομένων και δεδομένων τοποθεσίας	69
4.3.1.1 Τοποθεσία:	69
4.3.1.2 Run Period:	69
4.3.1.3 SizingPeriod: DesignDay	70
4.3.1.4 Site:GroundTemperature: BuildingSurface	71
4.4 Εισαγωγή των υλικών	72
4.4.1 Ομαδοποίηση των θερμικών ζωνών	81
4.4.2 Ορισμός επιφανειών	81
4.5 Χρονοδιαγράμματα (Schedules)	82
4.5.1 Schedule Type Limits:	83
4.5.2 Schedule:Day: Interval	83
4.5.3 Schedule: Week: Compact	84
4.5.4 Schedule: Year	85
4.5.5 Schedule: Compact	86
4.6 Κέρδη θερμότητας από Χρήστες	87
4.7 Κέρδη θερμότητας από Τεχνητό Φωτισμό (Lights)	88
4.8 Διείσδυση αέρα μέσα από τους τοίχους (Infiltration)	89
4.9 Φυσικός αερισμός του κτιρίου (Ventilation)	91

4.10 Ορισμός δεδομένων συστήματος θέρμανσης- ψύξης- κλιματισμού	92
4.10.1 Εφαρμογή θερμοστατικού ελέγχου	93
4.10.2 Περιγραφή ιδανικού συστήματος	94
4.10.3 Ορισμός συντελεστών σχεδιασμού	97
5.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	98
5.1 Εισαγωγή	98
5.2 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικών ζωνών	98
5.3 Εσωτερικά θερμικά κέρδη	103
5.4 Αθέλητος αερισμός	104
5.5 Φυσικός αερισμός	105
5.6 Ιδανικό σύστημα παροχής θέρμανσης και ψύξης	106
6.ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	111
6.1 Ορισμός παραμέτρων προσομοίωσης	111
6.2 Θερμοκρασία εδάφους σε βάθος 4 m	112
6.3 Ορισμός παραμέτρων σχεδιασμού συστημάτων θέρμανσης- ψύξης-κλιματισμού	112
6.3.1 Προδιαγραφές σχεδιασμού για τον εξωτερικό αέρα	112
6.3.2 Προδιαγραφές σχεδιασμού για τη διανομή του αέρα στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών	113
6.3.3 Καθολικοί συντελεστές σχεδιασμού	113
6.3.4 Παράμετροι σχεδιασμού θερμικής ζώνης	114
6.3.5 Παράμετροι σχεδιασμού συστήματος	114
6.3.6 Παράμετροι σχεδιασμού εγκαταστάσεων	115
6.3.7 Ορισμός θερμοστατικού ελέγχου θερμικών ζωνών	116
6.4 Ορισμός τοπολογίας συστήματος θέρμανσης- ψύξης- κλιματισμού	117
6.4.1 Κλάδοι συστήματος	117
6.4.2 Ομάδες κλάδων συστήματος	118
6.4.3 Διαίρετες ροής	119
6.4.4 Μίκτες ροής	120
6.4.5 Ομάδες διαίρετων και μικτών ροής	121
6.4.6 Ομάδες κόμβων	122
6.4.7 Αγωγοί συστήματος	123
6.6 Ορισμός ανεμιστήρα	129
6.7 Ορισμός ψυκτικών και θερμαντικών στοιχείων	129
6.8 Διαμόρφωση συστήματος θέρμανσης- ψύξης με εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα	131
6.9 Διαθεσιμότητα συστήματος	132
6.10 Διαδρομή παροχής βρόχου αέρα	134
6.11 Διαδρομή επιστροφής βρόχου αέρα	136
6.12 Διαμόρφωση βρόχου αέρα	138
6.13 Ορισμός αντλιών	139
6.14 Περιγραφή εξοπλισμού θέρμανσης και ψύξης εγκαταστάσεων	140
6.14.1 Γεωθερμική αντλία θερμότητας παροχής θέρμανσης	140
6.14.2 Γεωθερμική αντλία θερμότητας παροχής ψύξης	141

6.14.3 Εξωτερική πηγή παροχής θερμού νερού για θέρμανση	142
6.14.4 Εξωτερική πηγή παροχής κρύου νερού για ψύξη	143
6.15 Περιγραφή κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας	144
6.16 Διαμόρφωση βρόχων εγκαταστάσεων	145
6.16.1 Βρόχος νερού θέρμανσης, βρόχος νερού ψύξης και βρόχος συμπύκνωσης	145
7. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	147
7.1 Εισαγωγή	147
7.2 Εσωτερική θερμοκρασία θερμικών ζωνών	147
7.3 Συναλλασσόμενα ποσά θερμότητας	152
7.4 Κατακόρυφος γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας 4×4, συμβατικός (Vertical GHE 4×4 Standard)	157
8. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΣΧΟΛΙΑ	161
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	165
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	168
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	168
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	172
ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΛΑΔΩΝ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	172

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ

A/Θ= Αντλία Θερμότητας

A.Π.Ε= Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

E.E= Ευρωπαϊκή Ένωση

E.Μ.Π.= Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

H/M εξοπλισμός = Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός

H/Y= Ηλεκτρονικός Υπολογιστής

T.O.T.E.E= Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος

EU= European Union (Ευρωπαϊκή Ένωση)

HVAC= heating, ventilation, and air conditioning (θέρμανσης, εξαερισμού και δροσισμού)

U.S.= United States (Ηνωμένες Πολιτείες)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν ο προσδιορισμός της ενέργειας που καταναλώνεται για την παροχή θέρμανσης και ψύξης στο κτίριο 12Θ των Πολιτικών Μηχανικών και η διερεύνηση της εξοικονόμησης ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί, μέσω της εγκατάστασης ενός συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Στο πλαίσιο αυτό, πραγματοποιήθηκε ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου κατοικίας με το λογισμικό EnergyPlus.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση του κτιρίου κατοικίας στο λογισμικό EnergyPlus, αρχικά σχεδιάστηκε το κέλυφος του κτιρίου στο λογισμικό τρισδιάστατης σχεδίασης Sketch Up, αξιοποιώντας τα εργαλεία του προσθέτου Open Studio, ώστε το αρχείο δεδομένων της προσομοίωσης να τροφοδοτηθεί με όλα τα δεδομένα της γεωμετρίας του κελύφους. Στη συνέχεια, το κτίριο διαχωρίστηκε σε δέκα θερμικές ζώνες και ακολούθως το αρχείο δεδομένων εμπλουτίστηκε με τα δεδομένα που αφορούν στα υλικά κατασκευής των αδιαφανών και των διαφανών επιφανειών, στα εσωτερικά θερμικά κέρδη, λόγω της παρουσίας των χρηστών, του ηλεκτροφωτισμού, στον αθέλητο και το φυσικό αερισμό και στα συστήματα παροχής θέρμανσης και ψύξης. Συνδυάζοντας όλα τα παραπάνω δεδομένα με τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής του κτιρίου, καταστρώθηκε από το λογισμικό ένα θερμικό ισοζύγιο για κάθε θερμική ζώνη, βάσει του οποίου υπολογίστηκαν οι απαιτήσεις της για θέρμανση και ψύξη, αλλά και η ενέργεια που καταναλώνεται από το σύστημα για το σκοπό αυτό.

Στο πρώτο στάδιο της εφαρμογής, το κτίριο προσομοιώθηκε θεωρώντας ότι υφίσταται ένα ιδανικό σύστημα παροχής θέρμανσης και ψύξης, ικανό να καλύπτει πλήρως το θερμικό και το ψυκτικό φορτίο των θερμικών ζωνών, χωρίς να καταναλώνει ενέργεια από κάποια συγκεκριμένη πηγή. Τοιουτοτρόπως, υπολογίστηκε η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη του υπόψη κτιρίου, η οποία χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια ως βάση σύγκρισης, ώστε να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα των επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας.

Στο δεύτερο στάδιο της εφαρμογής, εξετάστηκε η εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί, μέσω της εγκατάστασης γεωθερμικών συστημάτων για την παροχή θέρμανσης και ψύξης. Συγκεκριμένα, προτάθηκε η παροχή θέρμανσης και ψύξης από μία γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού- νερού, η οποία συναλλάσσει θερμότητα με το έδαφος μέσω ενός κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας. Για τις ανάγκες της προσομοίωσης θεωρήθηκε, ότι η γεωθερμική αντλία θερμότητας αποτελείται από δύο συνιστώσες, για την παροχή θέρμανσης και ψύξης αντίστοιχα. Η γεωθερμική αντλία παροχής θέρμανσης τροφοδοτεί ισάριθμα με τις θερμικές ζώνες του κτιρίου θερμαντικά στοιχεία νερού, ενώ η γεωθερμική αντλία παροχής ψύξης τροφοδοτεί ένα ψυκτικό στοιχείο νερού, το οποίο εξυπηρετεί το σύνολο των θερμικών ζωνών. Ως εφεδρικές παροχές θέρμανσης και ψύξης υφίστανται εξωτερικές πηγές ζεστού και κρύου νερού αντίστοιχα. Ο αέρας θέρμανσης ή ψύξης διανέμεται στις θερμικές ζώνες μέσω τερματικών μονάδων αναθέρμανσης σταθερού όγκου. Οι βρόχοι νερού θέρμανσης, νερού ψύξης και συμπύκνωσης εξυπηρετούνται από ισάριθμες αντλίες κυκλοφορίας και ο βρόχος αέρα από έναν ανεμιστήρα. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη προκύπτει ως το άθροισμα της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, τις αντλίες κυκλοφορίας και τον ανεμιστήρα και της κατανάλωσης ενέργειας από εξωτερικές πηγές.

1. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

1.1 Γενικά

Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η ενέργεια που καταναλώνεται από τα κτίρια για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης, ανέρχεται στο 40% περίπου της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρώπη. Ο κτιριακός τομέας καταλαμβάνει πλέον την πρώτη θέση ανάμεσα στους τελικούς καταναλωτές ενέργειας, έχοντας εκτοπίσει τους παραδοσιακά μεγαλύτερους καταναλωτές, δηλαδή τις μεταφορές και τη βιομηχανία [1], [21].

Επιπλέον, η παραγωγή και η κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα ευθύνεται για το 45% των εκπομπών CO₂. Παράλληλα, η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας έχει δυσμενείς επιπτώσεις και στον τομέα της ασφάλειας ενεργειακού ανεφοδιασμού. Η ενεργειακή εξάρτηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης προβλέπεται να φτάσει το 70% έως το 2030, εάν δεν ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα.

Ωστόσο, η εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια είναι εφικτή, εφόσον εκτιμάται, ότι με την εφαρμογή απλών και ενεργειακά αποδοτικών τεχνικών μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας έως 22% μέχρι το 2020. Σύμφωνα με την Πράσινη Βίβλο, η χρήση διαθέσιμων και ενεργειακά αποδοτικών, αλλά και οικονομικά βιώσιμων τεχνολογιών στα ευρωπαϊκά κτίρια, δύναται να οδηγήσει σε μείωση της χρήσης του πετρελαίου κατά 10% και μείωση της εκπομπής αέριων ρύπων κατά 20%. Συγκεκριμένα, οι τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας περιλαμβάνουν:

- Η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση μπορεί να μειωθεί έως 5%, με την αντικατάσταση 10.000.000 λεβήτων παροχής θέρμανσης σε κτίρια κατοικίας, οι οποίοι είναι ηλικίας άνω των 20 ετών.
- Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια για κλιματισμό αναμένεται να διπλασιαστεί έως το 2020. Παρ' όλα αυτά, το ποσοστό αυτό θα μπορούσε να μειωθεί κατά 25% με την εγκατάσταση συστημάτων κλιματισμού, που πληρούν ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης.
- Η κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό αποτελεί το 14% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης στον κτιριακό τομέα. Χρησιμοποιώντας ενεργειακά αποδοτικό εξοπλισμό και εφαρμόζοντας τεχνικές αυτόματου ελέγχου και αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού, εκτιμάται, ότι μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας της τάξεως του 30-50%.
- Η εφαρμογή των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού, καθώς και η ενσωμάτωση παθητικών και ενεργητικών συστημάτων στα κτίρια εκτιμάται, ότι μπορεί να επιφέρει εξοικονόμηση ενέργειας της τάξεως του 60%.
- Επιπρόσθετη εξοικονόμηση ενέργειας είναι εφικτή μέσω της ενσωμάτωσης τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα κτίρια και μέσω της εγκατάστασης

συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού- θερμότητας, τηλεθέρμανσης και αντλιών θερμότητας.

Προκειμένου να περισταλούν οι δυσμενείς επιπτώσεις σε θέματα ασφαλείας του ενεργειακού ανεφοδιασμού, είναι κρίσιμη η ύπαρξη και η εφαρμογή κατάλληλου θεσμικού πλαισίου, βάσει του οποίου θα διασφαλίζεται η εφαρμογή του ενεργειακού σχεδιασμού των κτιρίων. Ο ενεργειακός σχεδιασμός οδηγεί σε μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων των κτιρίων, κυρίως μέσω της εφαρμογής των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Σημειώνεται, ότι η εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού συμβάλλει επίσης στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Παράλληλα, κομίζει σημαντικά ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη στον τομέα της ανακαίνισης κτιρίων, εφόσον- σύμφωνα με εκθέσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης- η ανακαίνιση των παλαιότερων κτιρίων στην Ευρώπη με την προσθήκη απλής θερμομόνωσης, μπορεί να επιφέρει μείωση των εκπομπών του CO₂ κατά 42%.

1.2 Ενεργειακός σχεδιασμός

Ο ενεργειακός σχεδιασμός των κτιρίων αποσκοπεί στην ποιοτική και την ποσοτική βελτίωση της χρήσης ενέργειας, ώστε να εξασφαλίζεται η βέλτιστη λειτουργία των κτιρίων και η κάλυψη των αναγκών για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης. Η μεθοδολογία εφαρμογής των επιταγών του ενεργειακού σχεδιασμού συνοψίζεται στα ακόλουθα σημεία [1]:

- Στην εφαρμογή των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού, κατά το σχεδιασμό του κελύφους και του περιβάλλοντος χώρου του κτιρίου, ώστε να επιτυγχάνεται μείωση των ενεργειακών αναγκών.
- Στην ενσωμάτωση τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την μερική ή την ολική κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου.
- Στην εγκατάσταση ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και υψηλής ενεργειακής απόδοσης.
- Στην ενεργειακή διαχείριση με κατάλληλα συστήματα, σε επίπεδο παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας.

Εύλογα συμπεραίνεται, ότι η εφαρμογή του ενεργειακού σχεδιασμού συνεπάγεται πολλαπλά οφέλη. Αναφορικά με τα ενεργειακά οφέλη, επιτυγχάνεται μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας και παράλληλα εξασφαλίζονται οι απαραίτητες συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης στο εσωτερικό των κτιρίων. Παράλληλα, μειώνεται το κόστος της κατανάλωσης καυσίμων, ενώ λόγω της εφαρμογής ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών, μειώνεται το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας των συστημάτων παροχής θέρμανσης, ψύξης, αερισμού και φωτισμού. Ο περιορισμός της κατανάλωσης ενέργειας σε συνδυασμό με την ενσωμάτωση τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οδηγεί σε μείωση των ρύπων από την καύση συμβατικών καυσίμων, ενώ παράλληλα συνεπικουρεί στην αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου και της κλιματικής αλλαγής. Τέλος, ο ενεργειακός σχεδιασμός συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας ζωής και στη βιώσιμη ανάπτυξη των πόλεων.

1.3 Βιοκλιματικός σχεδιασμός

Ως αντίμετρο στην αλόγιστη κατανάλωση φυσικών πόρων και στα συνεπακόλουθα περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά προβλήματα έχει προταθεί τα τελευταία χρόνια το μοντέλο της αειφόρου ή βιώσιμης ανάπτυξης. Θεμελιώδη στοιχεία της βιώσιμης ανάπτυξης είναι η διατήρηση της ισορροπίας ανάμεσα στην οικονομική ανάπτυξη και την προστασία του περιβάλλοντος, η προσπάθεια για αποτελεσματική αποκατάσταση των οικοσυστημάτων του πλανήτη, ο περιορισμός της κατανάλωσης αγαθών και φυσικών πόρων, η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η δικαιότερη κατανομή του φυσικού πλούτου [2].

Υπό το πρίσμα αυτό, διαμορφώθηκε η βιοκλιματική αντίληψη για το σχεδιασμό των κτιρίων και των οικιστικών συνόλων, η οποία αφορά στην ήπια, συμβιωτική διαχείριση του περιβάλλοντος, με την εφαρμογή τεχνικών που θα συντείνουν στην διατήρηση της ισορροπίας των οικοσυστημάτων του πλανήτη. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποσκοπεί στην προσαρμογή των κτιρίων στο περιβάλλον και το τοπικό κλίμα, ούτως ώστε να περιορίζεται η κατανάλωση ενέργειας, ενώ παράλληλα εξασφαλίζονται οι συνθήκες θερμικής άνεσης για τους χρήστες του κτιρίου. Κύριος στόχος του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι η ελάττωση της εκπομπής ρύπων, που οφείλονται στην υπέρμετρη κατανάλωση ενέργειας για την εξυπηρέτηση της θέρμανσης, της ψύξης και του φωτισμού των κτιρίων. Τοιουτοτρόπως, προωθείται η προστασία του περιβάλλοντος και η εξοικονόμηση φυσικών πόρων [2].

1.3.1 Στόχοι βιοκλιματικού σχεδιασμού

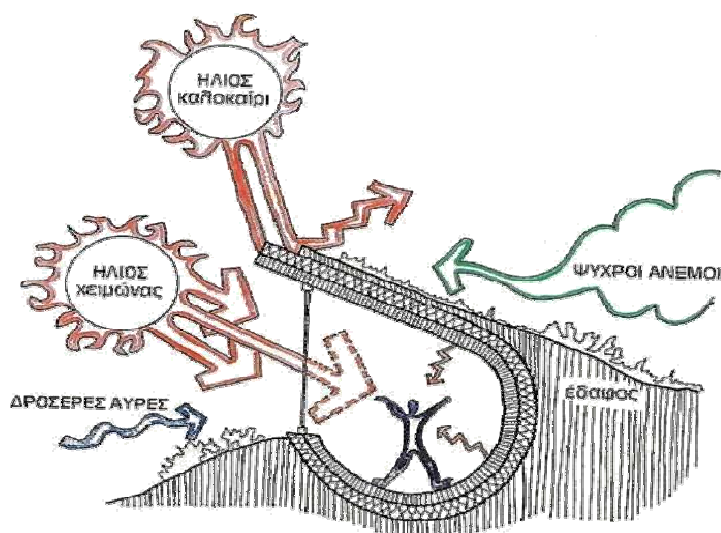
Η επιδίωξη για εξοικονόμηση ενέργειας και για αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ευνοεί την υιοθέτηση των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού, κατά τη διαμόρφωση τόσο μεμονωμένων κτιρίων, όσο και οικιστικών συνόλων, εφόσον με τον τρόπο αυτό, τα κτίρια ανταποκρίνονται στις εποχιακές κλιματικές μεταβολές και καθίσταται δυνατή η μεταβολή του καθιερωμένου τρόπου εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων. Κατά την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού τίθενται τρεις βασικοί στόχοι [2]:

1. **Η ανεξάρτηση από το πετρέλαιο.** Κατά τη διάρκεια της πρώτης πετρελαϊκής κρίσης, το 1973, κατέστη σαφές στις χώρες της Δύσης, ότι η οικονομική και η κοινωνική τους ανάπτυξη ήταν άμεσα συναρτημένες με τη χρήση του πετρελαίου. Αυτό αποτέλεσε την αφορμή, για να εκκινήσει η αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, άρα και η ανάπτυξη των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
2. **Η εξοικονόμηση χρήματος.** Η παροχή θέρμανσης στα κτίρια με την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας ή παροχή ψύξης μέσω της εκμετάλλευσης των δροσερών ανέμων, αποτελεί πρόσφορο πεδίο για την περιστολή των δαπανών που αφορούν στην κατανάλωση πετρελαίου ή και ηλεκτρικής ενέργειας για τη θέρμανση και την ψύξη των κτιρίων. Ειδικά για τους χρήστες των κτιρίων, η ανακούφιση είναι σημαντική, δεδομένης της αυξητικής τάσης που σημειώνει τιμή του πετρελαίου τα τελευταία χρόνια.

3. **Η προστασία του περιβάλλοντος.** Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και των δροσερών ανέμων για την παροχή θέρμανσης και ψύξης αντίστοιχα στα κτίρια, έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της χρήσης ορυκτών καυσίμων για το σκοπό αυτό, άρα και τη μείωση των εκπεμπόμενων κατά την καύση αέριων ρύπων.

1.3.2 Αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού

Σύμφωνα με τη βιοκλιματική αντίληψη για το σχεδιασμό, το κτίριο οφείλει να προσαρμόζεται στα τοπικά κλιματικά δεδομένα και το φυσικό περιβάλλον, ώστε να μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας, δίχως να διαταράσσονται οι συνθήκες θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του. Αναφορικά με τα τοπικά κλιματικά δεδομένα, είναι εκμεταλλεύσιμη αφενός η ηλιακή ενέργεια για την παροχή θέρμανσης στο κτίριο και αφετέρου οι δροσερές αύρες για την παροχή ψύξης σε αυτό. Αντιθέτως, οι ψυχροί χειμερινοί άνεμοι, καθώς και η έντονη θερινή ηλιακή ακτινοβολία οφείλουν να αποφεύγονται, ούτως ώστε να μην αυξάνεται υπέρμετρα το θερμικό και το ψυκτικό φορτίο του κτιρίου αντίστοιχα. Τα παραπάνω μπορούν να φανούν και στην Εικόνα 1.1. Ακολουθώντας παρουσιάζονται οι βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού [2].



Εικόνα 1.1 Αξιοποίηση των θετικών κλιματικών στοιχείων από το κέλυφος του κτιρίου [2]

1.4 Το κτίριο ως φυσικός ηλιακός συλλέκτης

Ο σχεδιασμός του κτιρίου οφείλει να ακολουθεί ορισμένες προϋποθέσεις, ούτως ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργία του κτιρίου το χειμώνα ως φυσικού ηλιακού συλλέκτη. Οι προϋποθέσεις αυτές συνοψίζονται στα ακόλουθα [2]:

- **Κατάλληλος προσανατολισμός- χωροθέτηση του κτιρίου στο οικόπεδο.** Ο ήλιος κατά τη διάρκεια του χειμώνα παρέχει θερμική ενέργεια ικανή να καλύψει ολικώς ή εν μέρει τις θερμαντικές ανάγκες του κτιρίου, κατά τις ώρες 9:00 πμ έως 3:00 πμ. Επομένως, η χωροθέτηση του κτιρίου στο οικόπεδο, όπως και ο προσανατολισμός του, οφείλουν να είναι προς το νότο, ώστε να εξασφαλίζεται

επαρκής ηλιασμός κατά τους χειμερινούς μήνες. Επιπλέον, ο νότιος προσανατολισμός παρουσιάζει σημαντικά οφέλη και κατά τους θερινούς μήνες, διότι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι σημαντικά μειωμένη συγκριτικά με τον ανατολικό ή το δυτικό προσανατολισμό, ενώ εξασφαλίζεται η ευμενής επίδραση των δροσερών ανέμων. Ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για τον καθορισμό και τον έλεγχο της ορθής χωροθέτησης του κτιρίου αποτελούν οι ηλιακοί χάρτες.

- **Κατάλληλο σχήμα του κτιρίου.** Το σχήμα ενός κτιρίου καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τις ανάγκες του για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό. Σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, το βέλτιστο σχήμα κτιρίου είναι το επίμηκες κατά τον άξονα ανατολής-δύσης, διότι διαθέτει μεγαλύτερη επιφάνεια στραμμένη προς το νότο, για τη συλλογή θερμότητας το χειμώνα. Παράλληλα, το καλοκαίρι η σκίαση της νότιας όψης επιτυγχάνεται συγκριτικά πιο εύκολα, ενώ η ανατολική και η δυτική όψη, που δέχονται τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία, καταλαμβάνουν μικρότερη επιφάνεια.
- **Κατάλληλο μέγεθος των ανοιγμάτων ανάλογα με τον προσανατολισμό.** Τα υαλοστάσια, αποτελούν για το κτίριο μία πηγή θερμικών απωλειών, αλλά και μία πηγή σημαντικών θερμικών κερδών. Υπό την προϋπόθεση ότι είναι προσανατολισμένα προς το νότο, με μία ανοχή $\pm 30^\circ$ προς τα ανατολικά ή προς τα δυτικά, τα υαλοστάσια αποτελούν τον πλέον οικονομικό και αποδοτικό ηλιακό συλλέκτη που μπορεί να διαθέτει ένα κτίριο. Επομένως συνίσταται, η τοποθέτηση ανοιγμάτων μεγάλου μεγέθους στις νότιες όψεις, με μονό ή διπλό υαλοστάσιο, ανοιγμάτων μετρίου μεγέθους στις ανατολικές και τις δυτικές όψεις και ανοιγμάτων μικρού μεγέθους, με διπλό υαλοστάσιο, στις βορινές όψεις.
- **Λειτουργική διάρθρωση των εσωτερικών χώρων.** Ο προσανατολισμός των εσωτερικών χώρων του κτιρίου έχει ιδιαίτερη σημασία για την προσαρμογή του κτιρίου στο τοπικό κλίμα. Η βορινή πλευρά ηλιάζεται μόνο για λίγες ώρες το πρωί και το απόγευμα κατά τους θερινούς μήνες, ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες δεν ηλιάζεται καθόλου, αποτελώντας την πλέον ψυχρή και σκοτεινή πλευρά του κτιρίου. Η ανατολική και η δυτική πλευρά δέχονται ισόποση ηλιακή ακτινοβολία, η οποία είναι μεγαλύτερη κατά τους θερινούς μήνες. Ωστόσο, η δυτική πλευρά είναι πιο επιβαρυνόμενη, επειδή δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία κατά τις μεταμεσημβρινές ώρες, που η ατμοσφαιρική θερμοκρασία είναι ήδη αυξημένη. Η νότια πλευρά του κτιρίου δέχεται τη μικρότερη ηλιακή ακτινοβολία κατά τους θερινούς μήνες και τη μεγαλύτερη κατά τους χειμερινούς μήνες, αποτελώντας έτσι την πλέον φωτεινή και ευχάριστη πλευρά του κτιρίου. Συνεπώς, η βέλτιστη διάταξη των χώρων υπαγορεύει οι χώροι που χρησιμοποιούνται περισσότερο (καθιστικό, κουζίνα, δωμάτια, κλπ) να τοποθετούνται προς το νότο, ενώ προς το βορρά να τοποθετούνται χώροι με πρόσκαιρη χρήση (σκάλες, αποθήκη, κλπ). Σημειώνεται, ότι οι χώροι της βόρειας πλευράς συντελούν στην εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς προστατεύουν τους υπόλοιπους χώρους του κτιρίου από την βορεινή ψυχρή επιφάνεια, περιορίζοντας έτσι τις θερμικές απώλειες.

1.5 Το κτίριο ως αποθήκη θερμότητας

Εφόσον το κτίριο λειτουργεί ως ηλιακός συλλέκτης, η θερμότητα που συλλέγεται οφείλει να αποθηκεύεται στη μάζα του, ώστε να αποδίδεται ξανά στο εσωτερικό του κατά τη διάρκεια

της νύχτας. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ίδιας της κατασκευής του κτιρίου, δηλαδή των δαπέδων, των τοίχων και των οροφών. Τα δομικά υλικά του κτιρίου απορροφούν και αποθηκεύουν θερμότητα, σε βαθμό που εξαρτάται από την πυκνότητα και την ειδική θερμοχωρητικότητα. Τα υλικά μεγαλύτερης πυκνότητας, όπως το μπετόν, οι πέτρες και τα τούβλα, χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ικανότητα θερμικής αποθήκευσης. Σημειώνεται, ότι όσο αυξάνεται η μάζα της κατασκευής που αποθηκεύει θερμότητα, τόσο η θερμοκρασία του χώρου παραμένει σταθερή χωρίς έντονες διακυμάνσεις, κυμαινόμενη σε επίπεδα θερμικής άνεσης για πολλές ώρες. Τοιουτοτρόπως, περιορίζεται η ανάγκη για θέρμανση το χειμώνα και αποτρέπεται η υπερθέρμανση του εσωτερικού του κτιρίου το καλοκαίρι. Συνεπώς, η ορθή λειτουργία του κτιρίου ως αποθήκη θερμότητας προϋποθέτει την ύπαρξη υλικών αυξημένης θερμοχωρητικότητας, τα οποία επιπλέον κατανέμονται εξίσου σε ολόκληρη την κατασκευή [2].

1.6 Το κτίριο ως παγίδα θερμότητας

Η θερμότητα που συλλέγεται και αποθηκεύεται στις επιφάνειες του κτιρίου, είναι απαραίτητο να παγιδεύεται στο εσωτερικό του και να μην διασκορπίζεται προς το εξωτερικό περιβάλλον κατά τους χειμερινούς μήνες, υπό τη μορφή των θερμικών απωλειών. Αντιστρόφως, κατά τους θερινούς μήνες οφείλει να αποφεύγεται η υπέρμετρη απορρόφηση θερμότητας από το κτίριο, η οποία προκαλεί συνθήκες υπερθέρμανσης στο εσωτερικό του.

Τα φαινόμενα αυτά μπορούν να αντιμετωπιστούν με την τοποθέτηση επαρκούς πάχους μόνωσης στις εξωτερικές επιφάνειες του κελύφους. Η ύπαρξη θερμομόνωσης, πέρα από την περιστολή των θερμικών απωλειών το χειμώνα και την αποτροπή της υπερθέρμανσης του κτιρίου το καλοκαίρι, συντελεί και στην εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του κτιρίου. Αυτό συμβαίνει, διότι περιορίζεται η ακτινοβολία θερμότητας από το σώμα των χρηστών προς τις περιβάλλουσες επιφάνειες του χώρου, που είναι συνήθως ψυχρότερες από τον εσωτερικό αέρα [2].

1.7 Το κτίριο ως συλλέκτης και αποθήκη ψύξης

Το καλοκαίρι οι υψηλές ατμοσφαιρικές θερμοκρασίες και η έντονη ηλιακή ακτινοβολία έχουν ως αποτέλεσμα το κτίριο να απορροφά μεγάλα ποσά θερμότητας, που συνεπάγονται τη δημιουργία στο εσωτερικό του συνθηκών υπερθέρμανσης, οι οποίες υπερβαίνουν τα όρια της θερμικής άνεσης. Οι τεχνικές που συντελούν στη λειτουργία του κτιρίου ως φυσικού συλλέκτη δροσισμού κατά τους θερινούς μήνες είναι συνοπτικά οι εξής [2]:

- Η προστασία του κτιρίου από τον ήλιο και κυρίως η σκίαση των ανοιγμάτων, ώστε να αποφεύγεται η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας στον εσωτερικό χώρο.
- Η εξασφάλιση επαρκούς φυσικού αερισμού, ειδικά κατά τη διάρκεια της νύχτας, προκειμένου να απομακρύνεται το πρόσθετο θερμικό φορτίο, που απορροφάται από τα δομικά υλικά κατά τη διάρκεια της μέρας.
- Η εξασφάλιση θερμικής αδράνειας στην κατασκευή, μέσω της χρήσης υλικών υψηλής θερμοχωρητικότητας.

- Η εφαρμογή ανοιχτών χρωμάτων στις εξωτερικές επιφάνειες, ώστε να μειώνεται η απορροφώμενη θερμότητα.
- Η εφαρμογή φυσικής ψύξης, μέσω της διαδικασίας της εξάτμισης, σε περιπτώσεις ζεστού και ξηρού κλίματος.

1.8 Παθητικά συστήματα

Τα παθητικά συστήματα θέρμανσης, δροσισμού και φωτισμού αξιοποιούν τις φυσικές πηγές, όπως ο ήλιος και ο άνεμος, για την παροχή θέρμανσης, ψύξης και φυσικού φωτισμού στα κτίρια, δίχως να παρεμβάλλονται μηχανικά μέσα. Η λειτουργία τους στηρίζεται στη συναλλαγή ενέργειας με το περιβάλλον και περιλαμβάνει κατάλληλες τεχνικές αποθήκευσης και διανομής της θερμότητας στο εσωτερικό των κτιρίων. Τα παθητικά συστήματα αποτελούν αναπόσπαστα στοιχεία του κελύφους και ακολουθούν τις επιταγές του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Στην περίπτωση που η λειτουργία των παθητικών συστημάτων υποβοηθείται από μηχανικά συστήματα χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, τότε αυτά καλούνται υβριδικά. Η επιλογή και η διαστασιολόγηση των παθητικών συστημάτων οφείλει να συντείνει στην εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης στο εσωτερικό των χώρων και ταυτόχρονα να συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους [3].

1.8.1 Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο θερμικής λειτουργίας τους στα συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους, τα συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους και τα συστήματα απομονωμένου ηλιακού κέρδους [2-6].

- Στα **συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους** περιλαμβάνονται τα νότια ανοίγματα του κτιρίου. Προκειμένου να εξασφαλίζεται αποτελεσματική λειτουργία των συστημάτων άμεσου κέρδους, οι γυάλινες επιφάνειες νότιου προσανατολισμού οφείλουν να συνδυάζονται με επαρκή θερμική μάζα του κτιρίου, ώστε να απορροφάται και να αποθηκεύεται η θερμότητα που συλλέγεται, με εξωτερική θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους και με νυχτερινή μόνωση των ανοιγμάτων, δηλαδή με μονωμένα κινητά εξώφυλλα.
- Στα **συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους** συμπεριλαμβάνονται:
 - ✓ Οι ηλιακοί τοίχοι μάζας, όπου πραγματοποιείται διαδοχικά συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας από υαλοστάσια νότιου προσανατολισμού, θέρμανση του αέρα - που παρεμβάλλεται μεταξύ του υαλοστασίου και του τοίχου μάζας - και απορρόφηση της θερμότητας από τον τοίχο. Η υψηλή θερμοχωρητικότητα του τοίχου εξασφαλίζει την αποθήκευση μεγάλης ποσότητας θερμότητας στη μάζα του και την απόδοσή της στο εσωτερικό του κτιρίου με χρονική υστέρηση.

- ✓ Ο τοίχος Trombe, που αποτελείται επίσης από έναν τοίχο μάζας, ο οποίος συνδυάζεται με μία γυάλινη επιφάνεια σε απόσταση περίπου 4 cm και με θυρίδες στο πάνω και το κάτω μέρος του, που εξυπηρετούν την είσοδο του ψυχρού αέρα από κάτω και την έξοδο του ζεστού αέρα από πάνω. Η λειτουργία του τοίχου Trombe στηρίζεται στο φαινόμενο του θερμοσιφωνισμού, δηλαδή στην κυκλοφορία του αέρα στο διάκενο λόγω της προκύπτουσας θερμοκρασιακής διαφοράς. Δηλαδή, την ημέρα ο αέρας που θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία, ως ελαφρύτερος κινείται προς τα πάνω και οδηγείται από την πάνω θυρίδα προς τον εσωτερικό χώρο. Το κενό που δημιουργείται καλύπτεται από ψυχρότερο αέρα, που εισέρχεται από την κάτω θυρίδα. Έτσι επιτυγχάνεται ροή θερμού αέρα προς το εσωτερικό, ενώ παράλληλα τμήμα της θερμότητας αποθηκεύεται στη μάζα του τοίχου. Τη νύχτα, η διαδικασία αυτή αντιστρέφεται, οπότε είναι απαραίτητο οι θυρίδες να κλείνουν, ενώ η θέρμανση του χώρου συνεχίζεται μέσω της ακτινοβολίας θερμότητας από τον τοίχο.
- ✓ Ο ηλιακός χώρος, που αποτελεί ένα συνδυασμό παθητικού συστήματος άμεσου κέρδους και τοίχου θερμικής αποθήκευσης. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο ηλιακός χώρος συλλέγει ηλιακή ακτινοβολία, η οποία αποθηκεύεται υπό τη μορφή θερμότητας στο δάπεδο και τους διαχωριστικούς τοίχους μεταξύ του ηλιακού χώρου και του κτιρίου. Το χειμώνα, το θερμικό ισοζύγιο του θερμοκηπίου καταλήγει να είναι αρνητικό, καθώς τη νύχτα αποβάλλει συνεχώς θερμότητα προς τα έξω. Αντίστροφα, το καλοκαίρι το θερμικό ισοζύγιο του θερμοκηπίου είναι θετικό, καθώς το εσωτερικό του διέρχεται από συνθήκες υπερθέρμανσης κατά τη διάρκεια της ημέρας σε συνθήκες ανεπαρκούς ψύξης κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η απόδοση του συστήματος μπορεί να βελτιωθεί με την πρόβλεψη νυχτερινής προστασίας το χειμώνα, ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες, και ηλιοπροστασίας συνδυασμένης με αερισμό το καλοκαίρι, ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση.
- ✓ Το ηλιακό αίθριο, που αποτελεί έναν ενδιάμεσο χώρο, ο οποίος καλύπτεται από γυάλινη οροφή. Ενδέχεται να περιβάλλεται από κτίρια αποτελώντας ένα κλειστό χώρο ή να αποτελεί ένα μεταβατικό χώρο ανάμεσα στο ύπαιθρο και τα κτίρια. Το ηλιακό αίθριο εξασφαλίζει τη φωτεινότητα, ενώ παράλληλα συμβάλλει στην αύξηση των θερμικών κερδών και τη μείωση των θερμικών απωλειών.
- ✓ Τα υβριδικά συστήματα, στα οποία η επιφάνεια συλλογής ηλιακής ακτινοβολίας διαχωρίζεται από το κτίριο και για τη μεταφορά θερμότητας χρησιμοποιούνται απλά μηχανικά μέσα, όπως για παράδειγμα ανεμιστήρες

1.8.2 Παθητικά συστήματα φυσικού δροσισμού

Οι πλέον συνηθισμένες τεχνικές φυσικού δροσισμού συνοψίζονται στα εξής [3], [5-7]:

- Ηλιοπροστασία, η οποία επιτυγχάνεται με τη χρήση διάφορων τεχνικών, όπως είναι η φυσική βλάστηση, οι προεξοχές του κτιριακού κελύφους, τα μόνιμα ή κινητά σκίαστρα, που τοποθετούνται εσωτερικά ή εξωτερικά των ανοιγμάτων και οι υαλοπίνακες ειδικής επεξεργασίας (ανακλαστικοί, επιλεκτικοί, ηλεκτροχρωμικοί, κλπ).
- Φυσικός αερισμός, ο οποίος πραγματοποιείται μέσω των ανοιγμάτων του κτιρίου ή μέσω κατάλληλων θυρίδων στο επάνω και το κάτω μέρος των διαχωριστικών τοίχων.
- Νυχτερινός διαμπερής αερισμός, ιδιαίτερα κατά τις θερμές μέρες, μέσω του οποίου αποβάλλεται μέρος του θερμικού φορτίου που συσσωρεύεται στο εσωτερικό κατά τη διάρκεια της ημέρας, εμποδίζοντας την υπερθέρμανση του κτιρίου.
- Χρήση ανεμιστήρων οροφής, η οποία ενισχύει τη λειτουργία του φυσικού αερισμού καταναλώνοντας ελάχιστη ηλεκτρική ενέργεια, ενώ παράλληλα συμβάλλει στη δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης.
- Χρήση της θερμικής μάζας για την εξομάλυνση των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων κατά τη διάρκεια της ημέρας.
- Μείωση των εσωτερικών θερμικών κερδών του κτιρίου.
- Θερμική προστασία του κελύφους με την εφαρμογή τεχνικών όπως φυτεμένο δώμα, αεριζόμενο κέλυφος, ανακλαστικά επιχρίσματα εξωτερικών επιφανειών, φράγμα ακτινοβολίας.
- Ενίσχυση του φυσικού αερισμού με πύργους αερισμού ή ηλιακές καμινάδες.
- Εξατμιστικός δροσισμός μέσω επιφανειών νερού, πύργου δροσισμού, ψυκτικών μονάδων εξάτμισης ή και βλάστησης.
- Δροσισμός με απόρριψη θερμότητας από το κτίριο στο νυχτερινό ουρανό με ακτινοβολία. Δροσισμός με απόρριψη θερμότητας από το κτίριο στη γη με αγωγή (υπόσκαφα κτίρια).

1.8.3 Παθητικά συστήματα φυσικού φωτισμού

Η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού αποσκοπεί στον περιορισμό της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και στην επίτευξη συνθηκών οπτικής άνεσης στο εσωτερικό των κτιρίων, ενώ παράλληλα συμβάλλει στη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης, συνδυάζοντας φως, θέα, δυνατότητα αερισμού και ρύθμιση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Σε κάθε περίπτωση, επιδιώκεται αύξηση του ποσοστού των απαιτήσεων σε φωτισμό, που καλύπτονται μέσω της αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού [1], [3], [5-7].

Η οπτική άνεση επιτυγχάνεται μέσω της εξασφάλισης της απαιτούμενης στάθμης φωτισμού, ανάλογα με τη χρήση του χώρου, αλλά και της ομοιόμορφης κατανομής του φωτισμού στο εσωτερικό, ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο της θάμβωσης. Η επάρκεια και η κατανομή του φωτισμού εξαρτώνται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του χώρου και των ανοιγμάτων, αλλά και από τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά των αδιαφανών (χρώμα και υφή) και των διαφανών επιφανειών (φωτοδιαπερατότητα και ανακλαστικότητα).

Τα συστήματα φυσικού φωτισμού περιλαμβάνουν τα ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία, τα ανοίγματα οροφής, τα αίθρια και τους φωταγωγούς. Η απόδοση των παραπάνω συστημάτων μπορεί να βελτιωθεί αν συνδυαστούν με κατάλληλες τεχνικές, όπως οι ειδικοί υαλοπίνακες, τα πρισματικά φωτοδιαπερατά υλικά, τα διαφανή μονωτικά υλικά, τα ράφια φωτισμού-ανακλαστήρες, οι περσίδες και τα σκίαστρα.

1.9 Ενσωμάτωση τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα κτίρια

Η εκμετάλλευση της τεχνολογικής προόδου για την εγκατάσταση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα κτίρια μπορεί να συμβάλλει αποτελεσματικά στον περιορισμό της κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων, συνδυάζοντας με τον τρόπο αυτό περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι δυνατές μέθοδοι ενσωμάτωσης τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον κτιριακό τομέα [8].

1.9.1 Φωτοβολταϊκά

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστοιχιών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί μία ευρέως διαδεδομένη και συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε **διασυνδεδεμένα συστήματα**, τα οποία είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και σε **αυτόνομα συστήματα**, στα οποία η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται σε συσσωρευτές. Τα αυτόνομα συστήματα ενδέχεται να συνδυάζονται και με άλλες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως ανεμογεννήτριες ή και μικρά ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη.

Στην περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων η περίσσεια της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας πωλείται στην εταιρεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αντίθετα, στην περίπτωση των αυτόνομων συστημάτων είναι απαραίτητη η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές, μέσω των οποίων εξυπηρετούνται οι ανάγκες του κτιρίου κατά τις ώρες που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Οι χρησιμοποιούμενοι συσσωρευτές είναι ειδικού τύπου, ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν στους διαδοχικούς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης, ενώ η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται από 3 έως 8 έτη.

Και στις δύο περιπτώσεις απαιτείται η ύπαρξη ενός αντιστροφέα ισχύος (inverter), μέσω του οποίου το συνεχές ρεύμα που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο για την εξυπηρέτηση της κτιριακής κατανάλωσης. Η ισχύς του αντιστροφέα ισχύος οφείλει να ισούται με το 80-90% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος των φωτοβολταϊκών, ώστε να λειτουργεί στη μέγιστη δυνατή ισχύ, παρέχοντας τη μέγιστη απόδοση.

Οι συστοιχίες φωτοβολταϊκών αποτελούνται από φωτοβολταϊκά πλαίσια, τα οποία συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους. Τα ευρέως χρησιμοποιούμενα φωτοβολταϊκά έχουν ισχύ που κυμαίνεται από 50 W έως 200 W, ενώ είναι κατασκευασμένα από μονοκρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό ή άμορφο πυρίτιο. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 4-15%. Προκειμένου να βελτιστοποιείται η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων επιδιώκεται να τοποθετούνται με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, καθώς και να αποφεύγεται η σκίαση του χώρου τοποθέτησής τους.

1.9.2 Μικρές ανεμογεννήτριες

Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών είναι από τις πλέον διαδεδομένες εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ευρώπη. Εκτός από τα αιολικά πάρκα, στα οποία ανεμογεννήτριες υψηλής ονομαστικής ισχύος (800 kW - 3 MW) τροφοδοτούν απευθείας το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, πραγματοποιούνται και εγκαταστάσεις μικρών ανεμογεννητριών για εφαρμογές μικρής κλίμακας, όπως για την κάλυψη των ηλεκτρικών καταναλώσεων των κτιρίων.

Οι μικρές ανεμογεννήτριες (400 W - 3 kW) συνίσταται να τοποθετούνται σε μη αστικές περιοχές, ενώ οφείλουν να περιβάλλονται από επαρκή έκταση γης χωρίς εμπόδια, ώστε να μην επηρεάζεται η λειτουργία τους. Η ισχύς της ανεμογεννήτριας που εγκαθίσταται σε κάθε περίπτωση, εξαρτάται από τις ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας που επιδιώκεται να καλυφθούν. Το βασικότερο κριτήριο για την αποδοτικότητα μίας επένδυσης μικρών ανεμογεννητριών είναι η ύπαρξη του απαιτούμενου αιολικού δυναμικού στην περιοχή εγκατάστασης. Μία ένδειξη αναφορικά με το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό παρέχεται από τη μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή.

Οι μικρές ανεμογεννήτριες παράγουν συνεχή τάση, οπότε καθίσταται αναγκαία η ύπαρξη ενός αντιστροφέα ισχύος (inverter), μέσω του οποίου πραγματοποιείται η μετατροπή της σε εναλλασσόμενη, για την τροφοδότηση του δικτύου ή των κτιριακών καταναλώσεων. Στην περίπτωση κτιρίων μη διασυνδεδεμένων στο δίκτυο απαιτείται επίσης η ύπαρξη ενός συσσωρευτή για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο συνδυασμός μικρών ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών συστοιχιών ενισχύει την αυτονομία του συστήματος, ενώ ελαχιστοποιεί την ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας.

1.9.3 Βιομάζα

Η βιομάζα περιλαμβάνει υλικά φυτικής και ζωικής προέλευσης, όπως δασικά, γεωργικά και αγρό-βιομηχανικά υπολείμματα, προϊόντα ενεργειακών καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Ο απλούστερος τρόπος εκμετάλλευσης της βιομάζας είναι η παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας μέσω καύσης. Εναλλακτικά, μπορεί να μετατραπεί σε στερεό, υγρό ή αέριο βιοκαύσιμο μέσω φυσικής, βιοχημικής ή θερμοχημικής μετατροπής. Τα βιοκαύσιμα μπορούν ακολούθως να καούν για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας ή να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα μεταφορών.

Στον κτιριακό τομέα, η βιομάζα κυρίως αξιοποιείται υπό τη μορφή στερεού καυσίμου για θέρμανση και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Η χρησιμοποιούμενη βιομάζα ενδέχεται να είναι σε ακατέργαστη μορφή, όπως καυσόξυλα, ελαιοπυρηνόξυλο, πυρήνες φρούτων ή να έχει υποστεί κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να μετατραπεί σε μπρικέτες ή συσσωματώματα βιομάζας (pellets). Οι μπρικέτες και τα pellets διευκολύνουν την χρήση, την αποθήκευση και τη μεταφορά, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο σε ενεργειακά τζάκια, σόμπες και κατάλληλα διαμορφωμένους λέβητες βιομάζας.

1.9.4 Θερμικά ηλιακά συστήματα

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα συλλέγουν ηλιακή ακτινοβολία, η οποία ακολούθως χρησιμοποιείται για τη θέρμανση νερού, αέρα ή κάποιου άλλου ρευστού. Η εφαρμοζόμενη τεχνολογία είναι αρκετά απλή και υφίσταται πληθώρα εφαρμογών, σε τομείς που απαιτείται θέρμανση χαμηλών θερμοκρασιών. Η πλέον συνηθισμένη εφαρμογή ενεργητικών ηλιακών συστημάτων είναι οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης αποτελείται από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, ένα δοχείο αποθήκευσης της θερμότητας και ένα σύστημα αγωγών. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τους ηλιακούς συλλέκτες και η ενέργεια αποθηκεύεται υπό τη μορφή θερμότητας στο δοχείο αποθήκευσης. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως στην οροφή του κτιρίου. Ο βέλτιστος προσανατολισμός για μεγιστοποίηση της απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών είναι ο νότιος, ενώ η κλίση του ως προς το οριζόντιο επίπεδο οφείλει να ισούται με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής εγκατάστασης.

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπου απαιτείται θερμότητα χαμηλής θερμοκρασιακής στάθμης, όπως για παράδειγμα για την παροχή ψύξης ή κλιματισμού σε κτίρια. Επίσης, μία άλλη διαδεδομένη εφαρμογή των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων είναι ο συνδυασμός παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και παροχής θέρμανσης. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να εξοικονομηθεί συμβατική ενέργεια σε νέα ή παλιά κτίρια, υπό την προϋπόθεση ότι έχουν ληφθεί όλα τα απαραίτητα μέτρα για την ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών και την αύξηση της οικονομικότητας της εγκατάστασης.

1.9.5 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας αξιοποιούν το γεγονός ότι η θερμοκρασία του εδάφους διατηρείται περίπου σταθερή, χωρίς ιδιαίτερες διακυμάνσεις, κάτω από ορισμένο βάθος, ούτως ώστε να παρέχουν θέρμανση και ψύξη στο εσωτερικό των κτιρίων με υψηλή ενεργειακή απόδοση.

Αντίθετα με τις αερόψυκτες αντλίες θερμότητας, οι οποίες χρησιμοποιούν ως δεξαμενή πρόσληψης ή αποβολής θερμότητας τον εξωτερικό αέρα, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας συναλλάσσουν θερμότητα με το υπέδαφος. Αυτό καθίσταται δυνατό, με τη χρησιμοποίηση ενός γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας, δηλαδή ενός δικτύου αγωγών, στο εσωτερικό του οποίου κυκλοφορεί νερό ή διάλυμα νερού και αντιψυκτικού υγρού. Ο γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας τοποθετείται εντός του εδάφους είτε σε οριζόντια διάταξη, με βάθος

τοποθέτησης 1-5 m, είτε σε κατακόρυφη διάταξη, με βάθος τοποθέτησης 30-120 m. Εναλλακτικά, ο γεωθερμικός εναλλάκτης μπορεί να τοποθετείται στο εσωτερικό ενός υδάτινου αποδέκτη.

Τοιουτοτρόπως, κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης η γεωθερμική αντλία θερμότητας απορροφά θερμότητα από το έδαφος με τη βοήθεια του γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας και την αποδίδει στο εσωτερικό του κτιρίου. Αντιστρόφως, κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης η γεωθερμική αντλία θερμότητας απάγει θερμότητα από το εσωτερικό του κτιρίου και την αποβάλλει στο υπέδαφος μέσω του γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας.

Το κόστος εγκατάστασης των γεωθερμικών συστημάτων ενδέχεται να υπερβαίνει σημαντικά το αντίστοιχο των αερόψυκτων συστημάτων, αλλά ταυτόχρονα μπορεί να είναι έως και 45% πιο αποδοτικά συγκριτικά με τα αερόψυκτα συστήματα διότι το έδαφος απομειώνει την εποχιακή διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας συνδυάζονται με σύστημα παροχής θέρμανσης και ψύξης χαμηλής θερμοκρασίας, όπως για παράδειγμα ενδοδαπέδιο, fan-coils, παροχή αέρα μέσω αεραγωγών, αλλά και με τυπικές μονάδες άμεσης απόδοσης (καλοριφέρ).

Με τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, οι οποίες είναι συστήματα υδρόψυκτων αντλιών θερμότητας σε συνδυασμό με εναλλάκτες θερμότητας εδάφους (κλειστό σύστημα) ή τροφοδοτούμενες από υδρογεώτρηση (ανοιχτό σύστημα), γίνεται η εκμετάλλευση της αβαθούς γεωθερμίας. Οι εναλλάκτες εδάφους αποτελούνται από σωλήνα τοποθετημένο εντός του εδάφους, και μπορεί να είναι είτε σε οριζόντια διάταξη εντός τάφρου ή εκσκαφής, είτε σε κατακόρυφη διάταξη σε σχήμα U εντός γεωτρήσεων.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας τροφοδοτούν εσωτερικά συστήματα θέρμανσης χαμηλής θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούν τη γη σαν πηγή θερμότητας όταν παρέχουν θέρμανση, χρησιμοποιώντας νερό (με ή χωρίς αντιψυκτικό) ως το μέσον που μεταφέρει τη γήινη θερμότητα στον εξαμιστή της αντλίας θερμότητας. Τα ίδια συστήματα μπορούν να παρέχουν και ψύξη, χρησιμοποιώντας τη γη ως αποδέκτη θερμότητας.

Εφαρμογές και έρευνα εδώ και 50 χρόνια στις ΗΠΑ και σε χώρες της Κεντρικής Ευρώπης, έχουν οδηγήσει στην καθιέρωση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας ως αξιόπιστη τεχνολογία. Σε λειτουργία για θέρμανση, μια τυπική γεωθερμική αντλία θερμότητας που είναι διαθέσιμη στο εμπόριο αξιοποιεί 3 μέρη γεωθερμική ενέργεια και 1 μέρος ηλεκτρική ενέργεια, προκειμένου να παρέχει 4 μέρη ωφέλιμης θερμότητας. Γι' αυτό το λόγο τα συστήματα αυτά καταναλώνουν 25%-50% λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια από εκείνα των αερόψυκτων αντλιών θερμότητας.

Το βασικό πλεονέκτημα των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, απέναντι στα κλασικά γεωθερμικά συστήματα με απευθείας (χωρίς την παρεμβολή αντλίας θερμότητας) χρήση υπόγειων ρευστών, είναι ότι οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας μπορούν να εγκατασταθούν οπουδήποτε, χωρίς να απαιτείται η ύπαρξη υπόγειων υδροφόρων υψηλής θερμοκρασίας σε οικονομικό βάθος.

Παρόλο που η χρήση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες σε χώρες όπως οι ΗΠΑ, Γερμανία, Σουηδία, Αυστρία, Ελβετία και αλλού, στη χώρα μας υπάρχουν μερικές μόνον, πιλοτικές κυρίως εφαρμογές. Μεγάλης κλίμακας διάδοση των τεχνολογιών αυτών για θέρμανση και κλιματισμό στη χώρα μας, θα συνέβαλε ουσιαστικά προς την εκπλήρωση των στόχων του πρωτοκόλλου του Κιότο, δηλαδή στη διάδοση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

2. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

2.1 Αντλία θερμότητας

Αντλία θερμότητας είναι κάθε συσκευή που με οποιοδήποτε τρόπο, μηχανικό ή θερμικό, αντλεί θερμότητα από μια χαμηλή θερμοκρασιακή στάθμη και την αποδίδει σε μια υψηλή θερμοκρασιακή στάθμη καταναλώνοντας για αυτό το σκοπό ενέργεια, ηλεκτρική ή θερμική.

Πιο ειδικά, στην εμπορική ορολογία, αντλία θερμότητας είναι η συσκευή, που έχει τη δυνατότητα επέμβασης στον ψυκτικό κύκλο του συστήματος, έτσι ώστε να δίνει άλλοτε ζεστό και άλλοτε κρύο αέρα, ανάλογα πάντα με τις κλιματιστικές ανάγκες του χώρου.

Μία αντλία θερμότητας εξάγει τη θερμότητα από μία πηγή και τη μεταφέρει σε μία λεκάνη, σε μεγαλύτερη θερμοκρασία. Με βάση αυτόν τον ορισμό, όλοι οι εξοπλισμοί ψύξης, συμπεριλαμβανομένων των κλιματιστικών και των ψυκτών, είναι αντλίες θερμότητας. Ωστόσο, από τεχνικής άποψης ο όρος «αντλία θερμότητας» αναφέρεται γενικά μόνο σε εξοπλισμό που θερμαίνει για συγκεκριμένο σκοπό και δεν χρησιμοποιείται μόνο για ψύξη. Οι αντλίες θερμότητας που παρέχουν θέρμανση και ψύξη, είναι ουσιαστικά κλιματιστικά ή ψύκτες με αναστρέψιμο κύκλο λειτουργίας.

Είναι σε όλους γνωστό, ότι η θερμότητα έχει φυσική ροή από καταστάσεις υψηλότερων θερμοκρασιών σε αντίστοιχες χαμηλότερων θερμοκρασιών. Η ΑΘ έχει την ικανότητα να μεταφέρει τη θερμότητα αντίθετα από τη φυσική της ροή. Αντλεί δηλαδή θερμότητα – γι' αυτό ονομάζεται έτσι - από μια χαμηλότερη στάθμη θερμοκρασίας προς μια υψηλότερη. Την ίδια εξ' άλλου ικανότητα έχει και ένα ψυγείο, μόνο που στην περίπτωση της ΑΘ ενδιαφερόμαστε για την απορριπτόμενη θερμότητα και όχι για την παραγόμενη ψύξη στο στοιχείο του εξατμιστή.

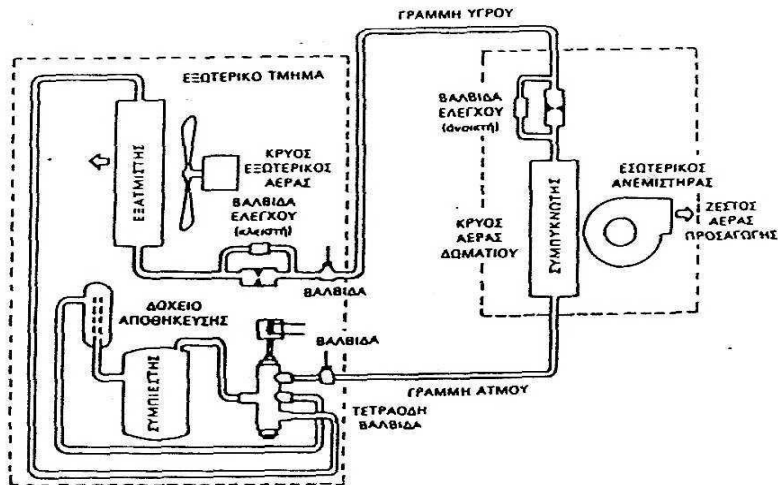
2.1.1 Αρχή λειτουργίας

Η αρχή λειτουργίας της Αντλίας Θερμότητας είναι η ίδια που εφαρμόζεται στα ψυγεία, όπου η θερμότητα μεταφέρεται από το χώρο του ψυγείου $\{+5\text{ }^{\circ}\text{C}\}$ στο χώρο του περιβάλλοντος ($30\text{ }^{\circ}\text{C}$), ή στις κλιματιστικές συσκευές παραθύρου, όπου η θερμότητα μεταφέρεται από το δωμάτιο ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) στο υπαίθρο ($35\text{ }^{\circ}\text{C}$). Έτσι λοιπόν, αν ο χώρος Α είναι το εσωτερικό ενός κτιρίου και ο Β το περιβάλλον, η αντλία θερμότητας έχει τη δυνατότητα - με κατάλληλο χειρισμό - να μεταφέρει θερμότητα από το χώρο Α προς το χώρο Β (ΨΥΞΗ του κτιρίου) ή αντίστροφα από τον χώρο Β προς το χώρο Α (ΘΕΡΜΑΝΣΗ του κτιρίου) [20].

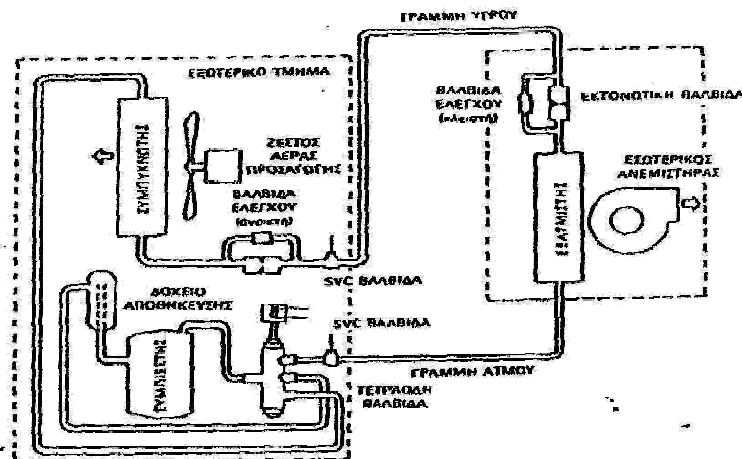
Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται μια αντλία θερμότητας είναι (Εικόνα 2.1 και 2.2):

- Το τμήμα συμπιεστή-συμπυκνωτή, που απορρίπτει (ή απορροφά) θερμότητα στο (ή από) το περιβάλλον.
- Το τμήμα ανεμιστήρα - εξατμιστή, που απορροφά (ή προσθέτει) θερμότητα από τον (ή στον) εσωτερικό χώρο.

- Ο μηχανισμός αντιστροφής, που είναι μια τετράοδη βαλβίδα, η οποία αναστρέφει τη ροή του ψυκτικού μέσου έτσι ώστε να έχουμε ψύξη ή θέρμανση, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας.
- Οι αυτοματισμοί για τον έλεγχο και λειτουργία του συστήματος θέρμανσης ή ψύξης.
- Η συμπληρωματική ηλεκτρική αντίσταση, που αυξάνει τη θερμική απόδοση του συστήματος, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή.



Εικόνα 2.1 Κύκλος αντλίας θερμότητας για ψύξη [20]



Εικόνα 2.2 Κύκλος αντλίας θερμότητας για θέρμανση [20]

2.1.2 Λειτουργία μιας ΑΘ στις δύο περιπτώσεις: θέρμανσης και ψύξης

Συχνά στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι η ΑΘ "αντιστρέφει" η "αναστρέφει" τον κύκλο του ψυκτικού μέσου και ανάλογα με την περίπτωση ακολουθεί "ψυκτικό κύκλο" το καλοκαίρι η

"θερμικό" ή "θερμαντικό" κύκλο το χειμώνα. Πρέπει να τονίσουμε ότι μια ΑΘ δουλεύει πάντα με ψυκτικό κύκλο και ποτέ με θερμικό. Το μόνο που αντιστρέφεται είναι ο ρόλος των στοιχείων του συμπυκνωτή και του εξατμιστή. Έτσι, το καλοκαίρι ο εξατμιστής είναι μέσα στο ψυχόμενο χώρο και μας ψύχει, ενώ το χειμώνα ο εξατμιστής είναι στον εξωτερικό χώρο και ψύχει το περιβάλλον. Αντί να κάνουμε λοιπόν εμείς τις μεταφορές των συσκευών εξατμιστή-συμπυκνωτή από το δωμάτιο μας στο μπαλκόνι, η ΑΘ με μια ειδική βαλβίδα αντιστρέφει τη ροή του ψυκτικού μέσου διατηρώντας φυσικό τον ψυκτικό κύκλο, στον οποίο συνεχίζεται κανονικά η προσφορά μηχανικού έργου [9-14].

Η μελέτη του κύκλου για ψύξη μπορεί να γίνει ξεκινώντας από οποιοδήποτε σημείο του συστήματος. Ας αρχίσουμε λοιπόν από τη στιγμή που το ψυκτικό υγρό εισέρχεται στον εξατμιστή. Υπενθυμίζουμε εδώ ότι την ίδια λειτουργία έχουν και τα ψυγεία (οικιακά, επαγγελματικά, ψυκτικοί θάλαμοι, κ.α.).

Η είσοδος του ψυκτικού υγρού στον εξατμιστή ελέγχεται από μια εκτονωτική - στραγγαλιστική βαλβίδα. Η βαλβίδα αυτή ελαττώνει την πίεση του υγρού, το οποίο στη συνέχεια εξατμίζεται σε χαμηλή θερμοκρασία. Κατά την εξάτμιση, ποσά θερμότητας προσδίδονται στο υγρό που βρίσκεται σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία.

Το ψυκτικό υγρό έχει μετατραπεί σε αέριο, το οποίο αποκτά υψηλή πίεση και θερμοκρασία με τη βοήθεια του συμπιεστή.

Το συμπιεσμένο αέριο φθάνει στο συμπυκνωτή και προσδίδει ποσά θερμότητας στο μέσο συμπύκνωσης (αέρας ή νερό). Στο στάδιο αυτό το συμπιεσμένο αέριο υγροποιείται.

Το ψυκτικό υγρό φθάνει στην εκτονωτική βαλβίδα και ο κύκλος ξαναρχίζει.

Ο κύκλος θέρμανσης περιλαμβάνει τα ίδια στάδια με αυτόν της ψύξης. Μόνο που στην περίπτωση αυτή ο εξατμιστής εργάζεται σα συμπυκνωτής και ο συμπυκνωτής σαν εξατμιστής. Η μετατροπή του κύκλου από τη φάση θέρμανσης στη φάση ψύξης γίνεται με τη βοήθεια τετράοδης βαλβίδας.

2.2 Κατηγορίες αντλιών θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας κατατάσσονται:

- Ανάλογα με το μέσο που αντλείται και το μέσο που αποβάλλεται η θερμότητα, οι αντλίες θερμότητας χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες [20]:
 - ✓ Αέρα - Αέρα (A - A)
 - ✓ Αέρα - Νερού {A - N}
 - ✓ Νερού - Νερού {N - N}
 - ✓ Νερού - Αέρα (N - A)
 - ✓ Εδάφους - Αέρα (E - A)
 - ✓ Εδάφους - Νερού (E - N)
- Ανάλογα με το είδος της κινητήριας μηχανής, οι αντλίες θερμότητας κατατάσσονται σε 3 κατηγορίες:

- ✓ Ηλεκτροκίνητοι συμπιεστές,
 - ✓ Συμπιεστές κινούμενοι από μηχανές εσωτερικής καύσης (πετρέλαιο, ατμός, αέριο, κ.λπ.),
 - ✓ Συμπιεστές απορρόφησης και προσρόφησης (θερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας).
- Ανάλογα με τη θέση των διαφόρων μηχανισμών της αντλίας θερμότητας, διακρίνουμε δύο κατηγορίες:
 - ✓ Ενιαίες ή αυτόνομες (COMPACT): όλοι οι μηχανισμοί βρίσκονται σε κοινό κέλυφος,
 - ✓ Διαιρούμενες (SPIT): ο συμπυκνωτής είναι ανεξάρτητος του υπόλοιπου συστήματος.
 - Ανάλογα με τον τρόπο εναλλαγής της λειτουργίας των στοιχείων τους οι αντλίες θερμότητας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:
 - ✓ Σταθερού κυκλώματος (Σ.Κ.) ψυκτικού μέσου: Η ροή του ψυκτικού μέσου διατηρείται σταθερή και αλλάζει η θέση των μέσων προσαγωγής ή απαγωγής της θερμότητας,
 - ✓ Μεταβλητού κυκλώματος (Μ.Κ.) ψυκτικού μέσου: Γίνεται αναστροφή της ροής του ψυκτικού μέσου.

2.3 Οι πηγές θερμότητας

Υπάρχουν αρκετές πηγές θερμότητας, μερικές από τις οποίες στη συνέχεια θα μελετήσουμε χωριστά [20], [29]:

1. Ο αέρας

Το πλεονέκτημα της πηγής αυτής είναι ότι βρίσκεται σε αφθονία στη φύση. Αν η εξωτερική θερμοκρασία το χειμώνα είναι πολύ χαμηλή, η αντλία δεν μπορεί να αντλήσει αρκετή θερμότητα από τον αέρα. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα εφεδρικό συμβατικό σύστημα για να καλύπτει το φορτίο αιχμής. Το εφεδρικό σύστημα μπορεί να είναι λέβητας πετρελαίου ή αερίου, νυχτερινή ή ημερήσιο ηλεκτρική ενέργεια κ.λπ.

Ένα άλλο πρόβλημα είναι το πάγωμα του εξατμιστή, όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι μικρότερη από τους $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Όσο αυξάνεται η ποσότητα του δημιουργούμενου πάγου, τόσο μειώνεται η παροχή του αέρα που περνά από τον εξατμιστή. Αρχικό το πρόβλημα αυτό λύθηκε με ηλεκτρικές αντιστάσεις, που έλιωναν τον πάγο. Σήμερα όμως η πιο γνωστή μέθοδος είναι η αντιστροφή του κύκλου. Με τον τρόπο αυτό, όταν χρειαστεί

απόψυξη, η τετράοδη βαλβίδα ενεργοποιείται και μπαίνει σε λειτουργία ο κύκλος σε φάση ψύξης, οπότε το ζεστό αέριο οδηγείται στον εξατμιστή και λιώνει τον πάγο. Κατά την απόψυξη ο εξωτερικός ανεμιστήρας σταματά να παρέχει κρύο αέρα, με αποτέλεσμα ο συμπιεστής να αντιμετωπίζει μόνο τα φορτία του πάγου. Ο εσωτερικός ανεμιστήρας είναι επίσης κλειστός.

2. Το νερό

Επειδή το νερό του δημόσιου δικτύου είναι ακριβό, συχνά προτιμάται νερό από ιδιωτικές αντλήσεις. Προκύπτουν βέβαια αρκετές δαπάνες λειτουργίας, όπως είναι η συντήρηση των αντλιών φρεάτων, οι αποχετεύσεις του απορριπτόμενου νερού κ.λπ. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί το νερό μιας λίμνης, ενός ποταμού ή ακόμα και το νερό της θάλασσας (έχει ήδη εφαρμοσθεί σε παραθαλάσσια ξενοδοχεία). Στην τελευταία περίπτωση πρέπει να μελετηθεί ιδιαίτερα ο τρόπος της υδροληψίας, γιατί αφενός μεν οι θαλάσσιοι οργανισμοί κλείνουν συχνά τις εισόδους των σωλήνων, αφετέρου δε η αναρρόφηση της άμμου με το νερό, προκαλεί προβλήματα φθοράς στις αντλίες και στους εναλλάκτες του συστήματος.

3. Το έδαφος

Η συγκεκριμένη πηγή παρουσιάζει δύο βασικά προβλήματα:

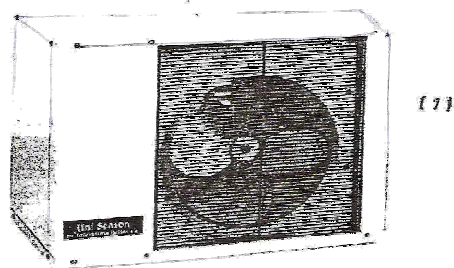
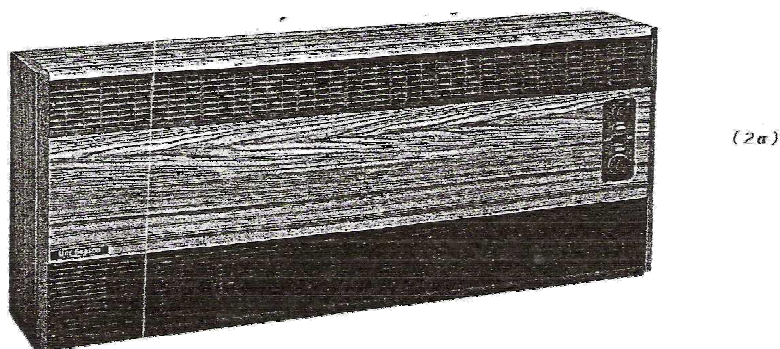
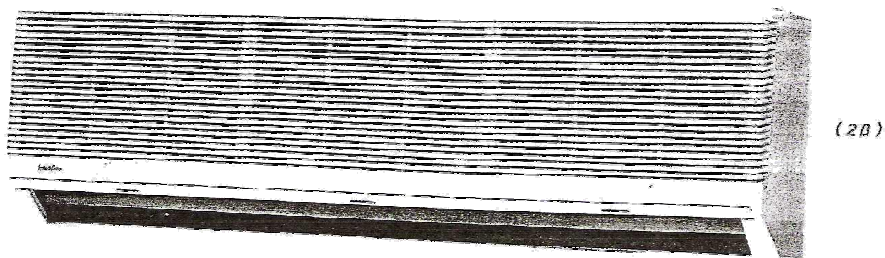
- ✓ Την συντήρηση του στοιχείου και την αντιμετώπιση της διάβρωσης και των διαρροών,
- ✓ Την απαιτούμενη μεγάλη έκταση για την παραλαβή και απόρριψη της θερμότητας στο έδαφος.

4. Ο ήλιος, η γεωθερμική ενέργεια κ.α.

2.4 Εφαρμογές αντλιών θερμότητας

2.4.1 Διαιρούμενη Μονάδα (SPIT) αντλίας θερμότητας

Η Εικόνα 2.3 παρακάτω παρουσιάζει ένα σύστημα αντλίας θερμότητας, όπου ο συμπυκνωτής (1) και ο εξατμιστής (2α, 2β) αποτελούν δύο ξεχωριστές και ανεξάρτητες μονάδες οι οποίες τοποθετούνται σε δύο διαφορετικούς χώρους που δεν επικοινωνούν.



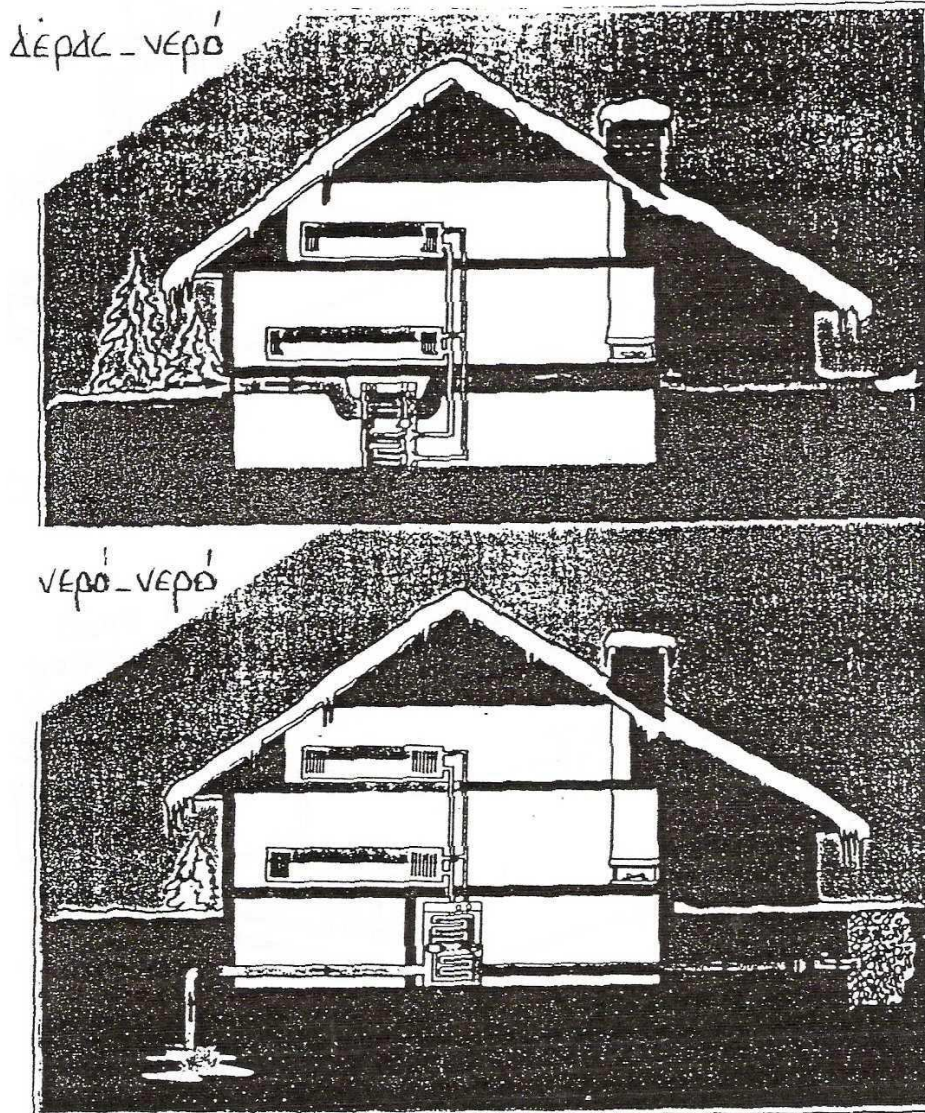
Εικόνα 2.3 Αντλία θερμότητας μορφής SPLIT [20]

Αν λοιπόν αυτή η ΑΘ, τύπου SPIT, λειτουργεί σε κύκλωμα ψύξης (το καλοκαίρι), ο συμπυκνωτής (1) βρίσκεται στον εξωτερικό χώρο (μαπακόνι). Ο εξατμιστής μπορεί να έχει τις εξής μορφές: την μορφή 2α δαπέδου ή τη μορφή 2β για τον τοίχο. Μπορεί επίσης να έχει τη μορφή μοντέλου για την οροφή. Ο χώρος στον οποίο λειτουργούν αυτές οι τρεις μορφές εξατμιστών είναι ο ψυχόμενος χώρος (π.χ. δωμάτιο ή γραφείο). Οι δύο ανεξάρτητες μονάδες του SPIT SYSTEM (δηλ. ο εξατμιστής και ο συμπυκνωτής) επικοινωνούν με τους σωλήνες κυκλοφορίας φρέον καθώς και με το καλώδιο τροφοδοσίας ηλεκτρισμού και ελέγχου λειτουργίας. Όπως είπαμε κιόλας, το χειμώνα ο ρόλος αυτών των μονάδων αντιστρέφεται: Η μονάδα (1) γίνεται εξατμιστής και η μονάδα (2α) γίνεται συμπυκνωτής, λειτουργεί δε μέσα στο δωμάτιο, θερμαίνοντας το.

2.4.2 Διάφορες άλλες εφαρμογές

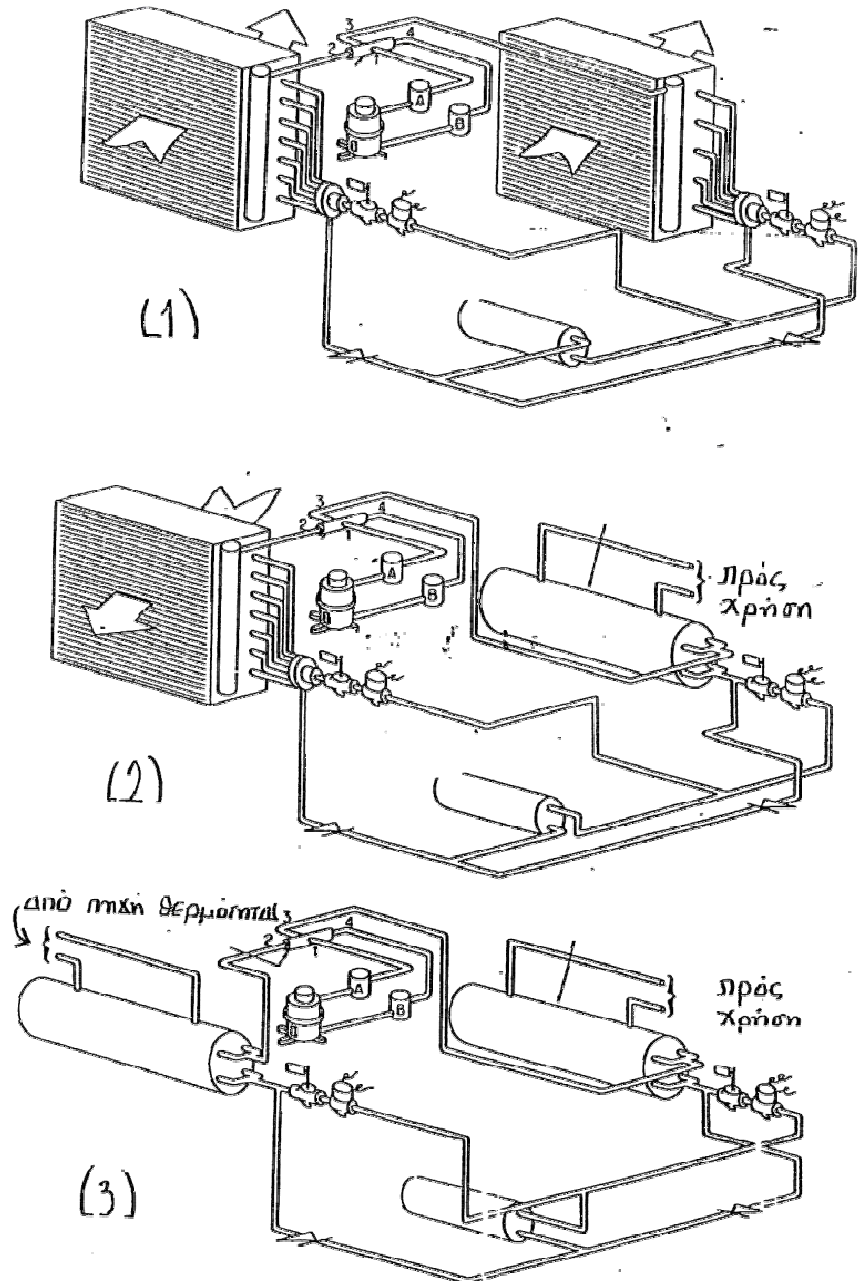
Στην Εικόνα 2.4 παρατηρούμε δύο βασικούς τύπους ΑΘ με δύο διαφορετικές πηγές θερμότητας, εγκατεστημένες στο ίδιο σπίτι:

1. ΑΘ αέρα/νερού.
Αντλεί θερμότητα από τον αέρα και θερμαίνει το νερό θέρμανσης που κυκλοφορεί στα σώματα.
2. ΑΘ νερού/νερού.
Αντλεί θερμότητα από τον νερό μιας ιδιωτικής άντλησης και θερμαίνει το νερό θέρμανσης.



Εικόνα 2.4 Αντλίες θερμότητας αέρα / νερού και νερού / νερού [30]

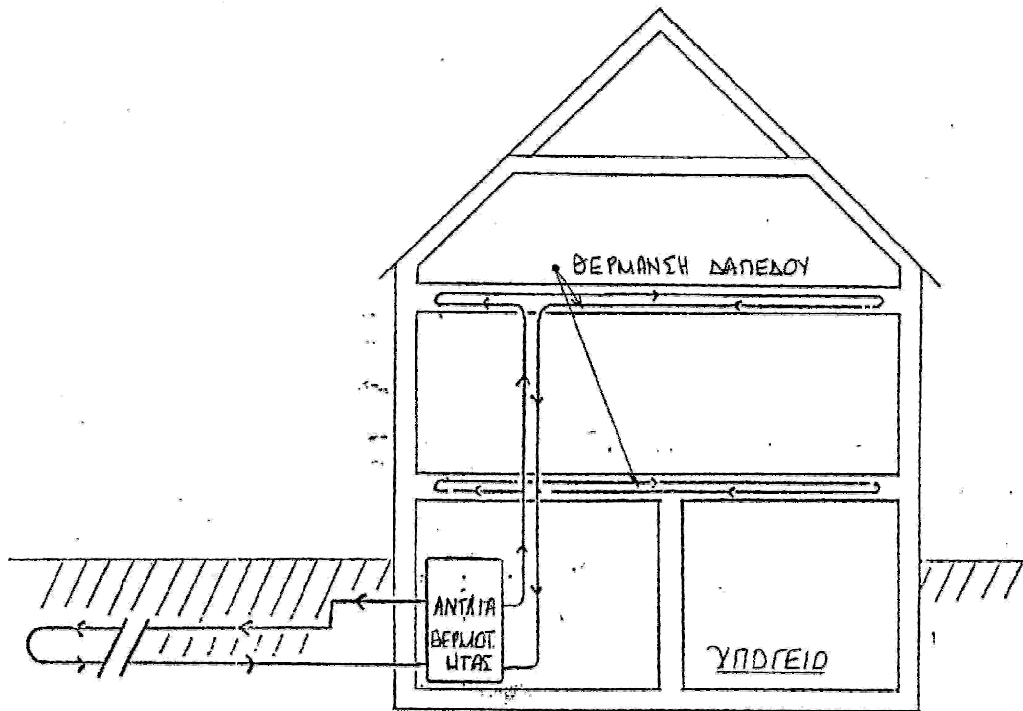
Μπορούμε να μελετήσουμε τώρα τις σχηματικές παραστάσεις των ΑΘ αέρα/αέρα (1), αέρα/νερού (2) και νερού/νερού (3). Πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι το μειονέκτημα του αέρα σαν πηγή θερμότητας είναι η χαμηλή θερμοκρασία του το χειμώνα, η οποία μειώνει τον βαθμό απόδοσης COA της ΑΘ τη στιγμή που οι ανάγκες σε θέρμανση είναι αυξημένες. Ένα άλλο μειονέκτημα του αέρα είναι η υγρασία του που μπορεί να παγώσει μέσα στα πτερύγια του εξατμιστή κατά τη διάρκεια των ψυχρών ημερών του χειμώνα, με αποτέλεσμα να μειωθεί ή και να μηδενισθεί η ταχύτητα του αέρα κυκλοφορίας και να αυξηθεί πολύ η θερμική αντίσταση του εξατμιστή λόγω του στρώματος του πάγου.



Εικόνα 2.5 Αντλίες θερμότητας (1) αέρα/αέρα, (2) αέρα/νερού, (3) νερού/νερού [20]

2.4.3 Αντλία θερμότητας με θέρμανση δαπέδου

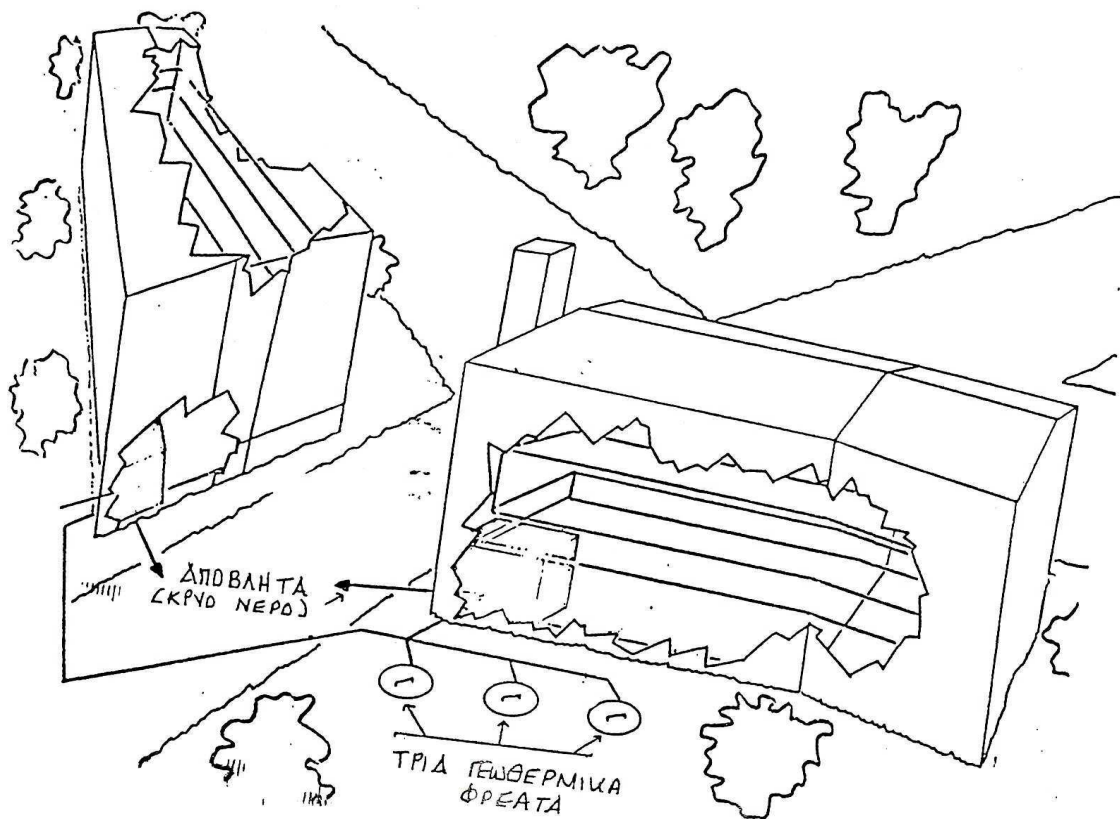
Εδώ όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.6, η αντλία θερμότητας αντλεί θερμότητα από το έδαφος και θερμαίνει νερό (π.χ. σε 40 οC) το οποίο στη συνέχεια κυκλοφορεί μέσα σε ένα ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης, που ως γνωστό διαχέει τη θερμότητα προς το θερμαινόμενο χώρο πιο εύκολα. Το έδαφος σαν πηγή θερμότητας έχει το πλεονέκτημα να διατηρεί ετησίως περίπου σταθερή θερμοκρασία.



Εικόνα 2.6 Αντλία θερμότητας με θέρμανση δαπέδου [24]

2.4.4 Αντλία θερμότητας και γεωθερμία

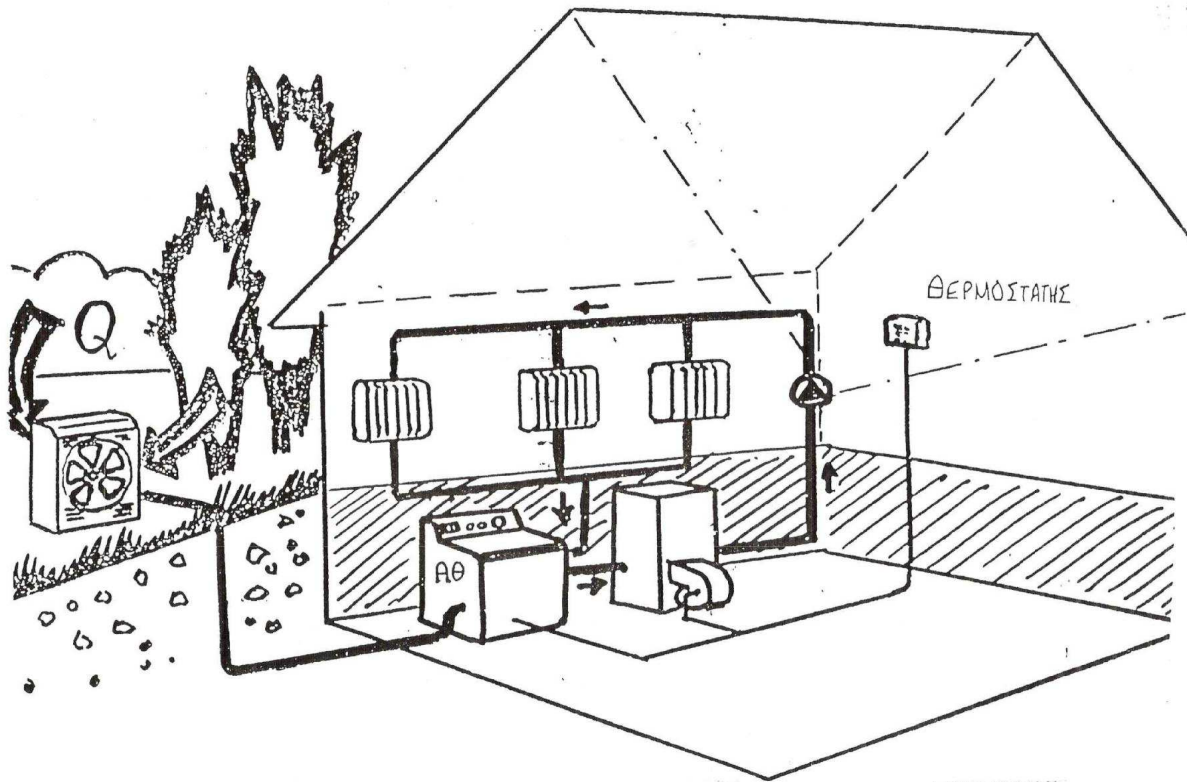
Εδώ όπως φαίνεται και στη Εικόνα 2.7 το μηχανοστάσιο των αντλιών θερμότητας που θερμαίνουν 2 πολυκατοικίες, αντλεί θερμική ενέργεια από τρεις γεωτρήσεις γεωθερμικού πεδίου. Η γεωθερμική ενέργεια θερμαίνει τον εξατμιστή του συστήματος των αντλιών θερμότητας.



Εικόνα 2.7 Αντλίες θερμότητας και γεωθερμία [28]

2.4.5 Αντλία θερμότητας συζευγμένη με κεντρική θέρμανση

Εδώ όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.8 η αντλία θερμότητας έχει συνδεθεί εν σειρά με την κεντρική θέρμανση με σκοπό τη θέρμανση της κατοικίας. Η ΑΘ είναι συστήματος αέρα/νερού, λειτουργεί δε σαν φορτίο βάσης χωρίς η κεντρική θέρμανση να λειτουργεί. Όταν εμφανίζεται φορτίο αιχμής (π.χ. πολύ ψυχρή χειμωνιάτικη περίοδος), τότε η κεντρική θέρμανση μπαίνει σε λειτουργία για την κάλυψη του φορτίου αιχμής.

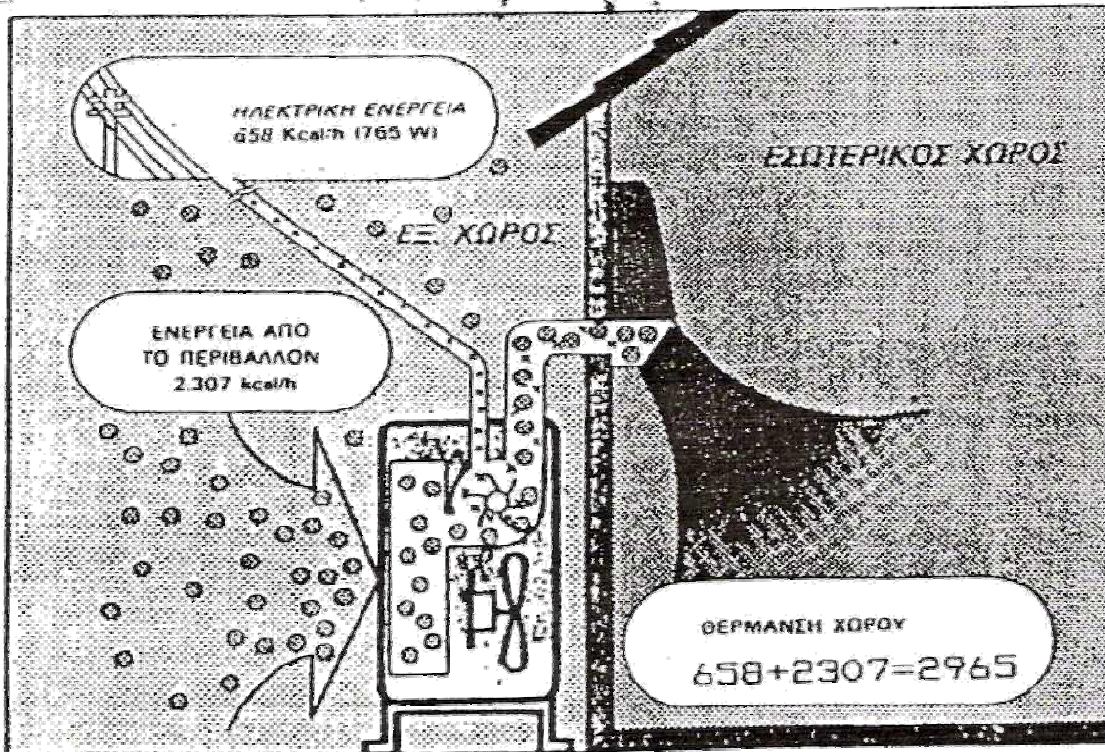


Εικόνα 2.8 Αντλία θερμότητας δίπλα σε κεντρική θέρμανση [28]

2.5 Οικονομική ανάλυση αντλίας θερμότητας

2.5.1 Εξοικονόμηση ενέργειας με τη χρήση ΑΘ

Η Εικόνα 2.9 παρουσιάζει μια σχηματική παράσταση λειτουργίας αντλίας θερμότητας. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα του σχήματος, η ΑΘ καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια (με το συμπιεστή ατμών R22) ίση με 658 Kcal / h, κερδίζει θερμότητα από το περιβάλλον (στον εξατμιστή, όπου η ροή θερμότητας προς την ΑΘ είναι αυθόρμητη) ίση με 2307 Kcal / h και αποδίδει στον θερμαινόμενο χώρο ενέργεια ίση με 2965 Kcal / h. Η απόδοση αυτής της θερμικής ενέργειας προς τον εσωτερικό χώρο γίνεται με τη βοήθεια του συμπυκνωτή [20].



Εικόνα 2.9 Σχηματική παράσταση λειτουργίας αντλίας θερμότητας [20]

Η ηλεκτρική ενέργεια δηλαδή που καταναλώνεται από την ΑΘ περίπου πενταπλασιάζεται όταν μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια με την βοήθεια της αντλίας θερμότητας. Η οικονομία ρεύματος είναι εμφανής, όταν συγκρίνουμε το σύστημα ΑΘ με μια απλή ηλεκτρική θερμάστρα, η οποία στην περίπτωση του παραδείγματος μας θα κατανάλωνε 2965 Kcal / h, για να καλύψει τις θερμικές ανάγκες του χώρου. Ενδιαφέρον θα έχει η σύγκριση της ΑΘ με ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης (καυστήρας υγρού ή αερίου καυσίμου).

Γενικά η αντλία θερμότητας εκμεταλλευόμενη ποσά θερμότητας του φυσικού περιβάλλοντος δίνει την οικονομικότερη λύση για τον κλιματισμό μεμονωμένων χώρων ή μικρών κτιρίων.

Ειδικότερα στη θέρμανση είναι οπωσδήποτε φθηνότερη από την θερμοσυσσώρευση και ανταγωνίζεται τις μικρές εγκαταστάσεις του κλασσικού καλοριφέρ.

Ο έντονος ανταγωνισμός μεγάλων κατασκευαστών έχει ήδη επιτύχει υψηλούς βαθμούς απόδοσης στις αντλίες θερμότητας.

2.5.2 Συμπεράσματα

- ✓ Το κόστος της αρχικής εγκατάστασης μιας αντλίας θερμότητας, είναι μεγαλύτερο από αυτό του συμβατικού καλοριφέρ.
- ✓ Το κόστος λειτουργίας της ΑΘ εξαρτάται μόνο από την κατανάλωση του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτό είναι αισθητά χαμηλότερο από το σημερινό κόστος λειτουργίας και

συντήρησης μικρής εγκατάστασης καλοριφέρ, με αποτέλεσμα να ισοσκελίζεται σύντομα το μικτό κόστος (λειτουργίας και αρχικής εγκατάστασης) προς το αντίστοιχο του καλοριφέρ σε πολλές περιπτώσεις.

- ✓ Η ΑΘ δεν συμβάλλει στην ρύπανση του περιβάλλοντος.
- ✓ Η εγκατάσταση δεν απαιτεί μεγάλους χώρους.
- ✓ Έχει την ικανότητα να ψύχει ή να θερμαίνει ένα χώρο, ανάλογο με τις απαιτήσεις του καταναλωτή πράγμα που βέβαια δεν προσφέρει το κοινό καλοριφέρ.
- ✓ Για ήπια κλίματα, σαν της χώρας μας, η αντλία θερμότητας παρουσιάζει υψηλό συντελεστή απόδοσης COP. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις αντλιών θερμότητας, η κίνηση δίνεται από μια μηχανή DIESEL. Στην περίπτωση αυτή, ο βαθμός απόδοσης μεταξύ της καύσης του πετρελαίου και της προσφερόμενης θερμικής ενέργειας της αντλίας θερμότητας, είναι σημαντικά υψηλότερος από αυτόν που περιλαμβάνει τις σοβαρές απώλειες παραγωγής και μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από τους ΘΗΣ μέχρι την ηλεκτροκινούμενη αντλία θερμότητας.
- ✓ Τα πλεονεκτήματα της αντλίας θερμότητας, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι εκμεταλλεύεται πάρα πολύ χαμηλές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος, δείχνουν πως θα αποτελέσει ένα σοβαρό αντίπαλο, για οποιοδήποτε άλλο σύστημα θερμάνσεως στο μέλλον.

3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

3.1 Προδιαγραφές γεωθερμικών αντλιών θερμότητας

Η αντλία θερμότητας μπορεί να [20], [29]:

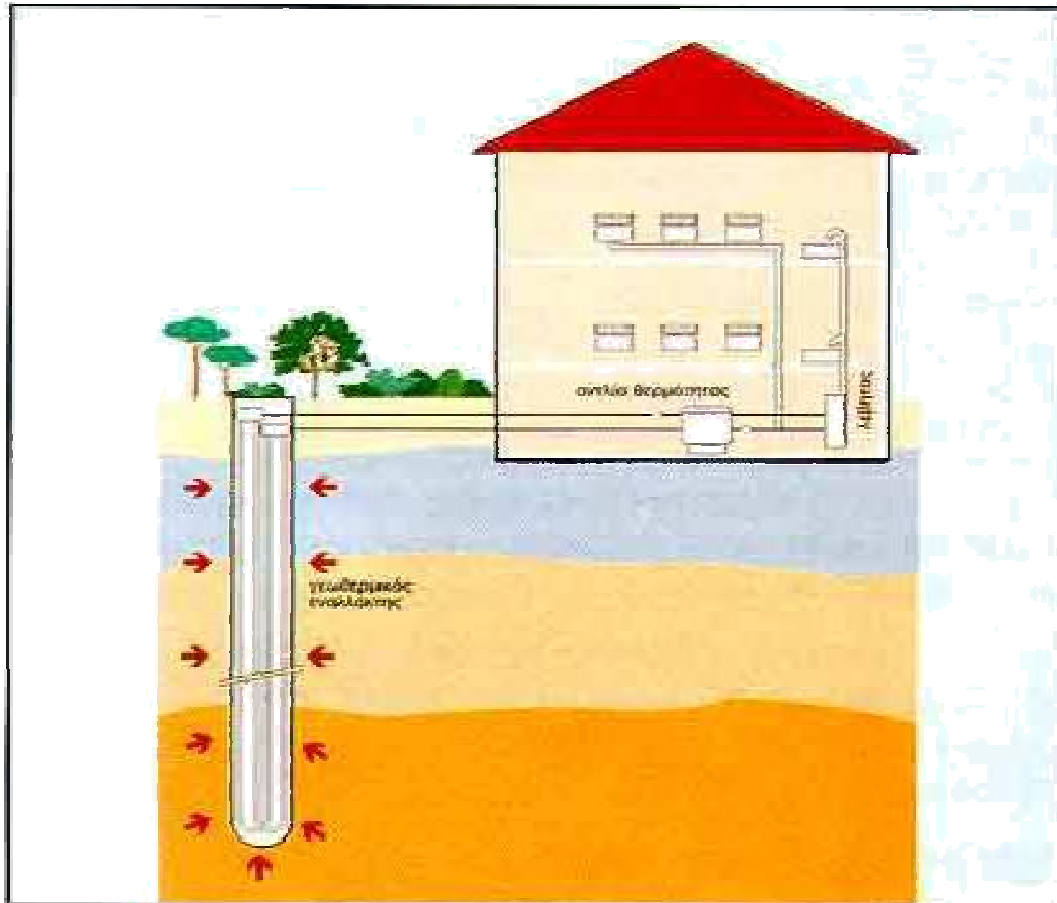
- ✓ είναι καναλάτη
- ✓ αναστρέψιμη
- ✓ τοπικά ελέγξιμη
- ✓ είναι ικανή να συμπυκνώνει με έξοδο συμπυκνωτή 50 °C, ώστε να είναι δυνατή ταυτόχρονη παραγωγή κλιματισμού και ζεστού νερού (το καλοκαίρι)
- ✓ είναι ικανή να λειτουργεί με είσοδο εξατμιστή 25 °C (υψηλή εξάτμιση), ώστε να είναι δυνατή η διασύνδεση στο ίδιο δίκτυο νερού ορισμένων Α/Θ σε λειτουργία θέρμανσης και άλλων Α/Θ σε λειτουργία ψύξης
- ✓ έχει υψηλή διαθέσιμη στατική πίεση αεραγωγών
- ✓ παρουσιάζει υψηλό EER με στόχο την εξοικονόμηση της απορροφούμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το συμπιεστή (πχ περίπου 15)
- ✓ περιέχει ψυκτικό R407C (οδηγία EC 2037/2000 ,29-06-2000, L-144)

Το σημαντικότερο είναι ότι η προσφερόμενη ενέργεια είναι περιβαλλοντικά καθαρή, απεριόριστα ανανεώσιμη και εξοικονομεί το 50% έως 60% της ενέργειας, που θα καταναλώνει η μονάδα για τη λειτουργία και τη συντήρησή της, χρησιμοποιώντας μόνο ηλεκτρική ενέργεια ή άλλα συμβατικά μέσα θέρμανσης.

Η εγκατάσταση του προαναφερόμενου γεωθερμικού συστήματος ψύξης-θέρμανσης (και παροχής θερμού νερού) στηρίζεται σε ένα λεπτομερή σχεδιασμό που θα περιλαμβάνει, εκτός από τις αντλίες θερμότητας, και εφεδρικό εξοπλισμό, τον εναλλάκτη γεωθερμικής επαφής.

Ειδικότερα οι γήινοι εναλλάκτες θερμότητας αποτελούν ένα κλειστό κύκλωμα νερού τοποθετημένο μέσα σε μια γεώτρηση ή μέσα σε οριζόντιες τάφρους και τροφοδοτούν την αντλία θερμότητας με νερό σταθερής θερμοκρασίας 14-18°C περίπου.

Μια εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας συνδεδεμένης με σύστημα με γήινο εναλλάκτη θερμότητας [κατακόρυφος μέχρι βάθους 20-40 m (αποκαλούμενος και ως γεωθερμικός πάσσαλος) οριζόντιο μέσα σε τάφρο βάθους μέχρι 2 m ή μέσα σε μικρές γεωτρήσεις βάθους μέχρι 40 m] μπορεί να προσφέρει σε ένα κτίριο, σε οποιοδήποτε γεωγραφικό σημείο και αν βρίσκεται, ενέργεια για θέρμανση, δροσισμό και ζεστό νερό. Στην ουσία προσλαμβάνεται η υπεδαφική θερμότητα με τον κατάλληλα υπολογισμένο μηχανισμό (ρυθμός άντλησης, μήκος σωληνώσεων κλπ.) και προσφέρεται στον εξατμιστή ή τον συμπυκνωτή μίας αντλίας θερμότητας.



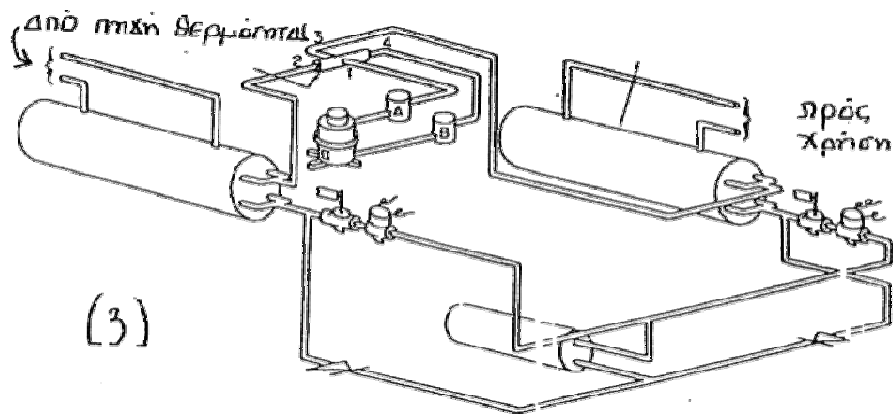
3.2 Τρόπος λειτουργίας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας

3.2.1 Το καλοκαίρι

Για να απορρίψει την απορριπτόμενη από το συμπυκνωτή (υψυγείο) θερμότητά της, αυτή η Α/Θ νερού-αέρα τροφοδοτείται από ρεύμα νερού. Το τελευταίο, λόγω της προστιθέμενης σ' αυτό θερμότητας, θερμαίνεται (πχ στους 45 οC) και έχει ανάγκη ψύξης για να επανέλθει στην κανονική του θερμοκρασία (40 οC) και για να εξασφαλίσει έτσι την απρόσκοπτη λειτουργία της Α/Θ [27-28], [30].

Η επιθυμητή ψύξη του κυκλώματος αυτού από 45 σε 40 οC γίνεται μέσω μιας γεωθερμικής επαφής:

- ✓ φρεατικού νερού στους 25 °C
- ✓ θαλασσινού νερού στους 18 °C (ή νερού ποταμών, λιμνών, κλπ)
- ✓ ενός γεωθερμικού πάσαλου, στον οποίο οι σωλήνες αποτελούν κλειστό κύκλωμα και ψύχονται από τη γη, αφού η θερμοκρασία της είναι περίπου 18 οC (η προσαρμογή των σωλήνων του κλειστού κυκλώματος νερού πάνω στον πάσαλο είναι συγκεκριμένη και δοκιμασμένη τεχνοτροπία και αποτελεί αντικείμενο ευρεσιτεχνιών).
- ✓ Ειδικότερα όταν υπάρχει γεωθερμικό νερό θερμοκρασίας άνω των 60 οC, υπάρχει δυνατότητα ψύξης χώρων, χωρίς τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για την κίνηση Α/Θ, παρά μόνο με τη χρήση θερμικών αντλιών θερμότητας.



Εικόνα 3.2 Αρχή λειτουργίας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας [24]

3.2.2 Τον χειμώνα

Τον χειμώνα, για τη θέρμανση του χώρου, τα φορτία θέρμανσης του χώρου καλύπτονται από την θερμαντική ικανότητα της ίδιας αντλίας (Α/Θ) θερμότητας νερού-αέρα αρκεί αυτή να είναι και αναστρέψιμη .

Για να αναρροφήσει την αναζητούμενη από τον εξατμιστή θερμότητα, η Α/θ νερού-αέρα τροφοδοτείται από το ίδιο ρεύμα νερού. Το τελευταίο, λόγω της αναρροφούμενης απ' αυτό θερμότητας, ψύχεται (πχ στους 13 °C) και έχει ανάγκη θέρμανσης για να επανέλθει στην κανονική του θερμοκρασία (18 °C) και για να εξασφαλίσει έτσι την απρόσκοπτη λειτουργία της Α/Θ [27-28], [30] .

Η επιθυμητή θέρμανση του κυκλώματος αυτού από 13 σε 18 °C γίνεται μέσω της ίδιας γεωθερμικής επαφής:

- ✓ φρεατικού νερού στους 25 °C
- ✓ θαλασσινού νερού στους 18 °C (ή νερού ποταμών, λιμνών, κλπ)
- ✓ του γεωθερμικού πάσαλου, στον οποίο οι σωλήνες αποτελούν κλειστό κύκλωμα και θερμαίνονται από τη γη, αφού η θερμοκρασία της γης το χειμώνα είναι πάνω από 18 °C.
- ✓ Ειδικότερα όταν υπάρχει γεωθερμικό νερό θερμοκρασίας άνω των 45 °C, η δυνατότητα θέρμανσης χώρων είναι άμεση, χωρίς τη χρήση Α/Θ και ηλεκτρικής ενέργειας για την κίνηση των συμπιεστών τους.

3.3 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας υπόγειας σύζευξης

3.3.1 Εισαγωγή

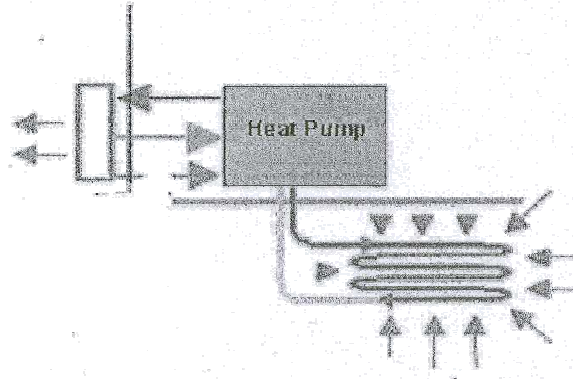
Οι αντλίες θερμότητας υπόγειας σύζευξης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν κυρίως για λόγους θέρμανσης στα ξενοδοχεία (ζεστό νερό, πισίνες). Αυτός ο εξοπλισμός έχει ένα σαφές δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας αλλά ωστόσο, τα οφέλη πέρα από την εξοικονόμηση ενέργειας είναι επίσης ιδιαίτερα ενδιαφέροντα.

Μία αντλία θερμότητας υπόγειας σύζευξης χρησιμοποιεί τη θερμότητα που υπάρχει στη γη, κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, ως πηγή θερμότητας για την ανταλλαγή με την αντλία θερμότητας. Η θερμοκρασία της γης σε κάποιο βάθος είναι όλο το έτος σταθερή, γεγονός που εξασφαλίζει σταθερή λειτουργία με άριστη ενεργειακή απόδοση.

Η ίδια η αντλία θερμότητας αποτελεί ένα κλασικό σύστημα συμπίεσης με ένα συμπιεστή, έναν εξατμιστήρα, ένα συμπυκνωτή, μία βαλβίδα εκτόνωσης και άλλα εξαρτήματα ελέγχου και ρύθμισης. Η ιδιαιτερότητα του συστήματος υπόγειας σύζευξης είναι ότι ο εξατμιστήρας είναι θαμμένος μέσα στο έδαφος, γεγονός που επιφέρει μια σειρά οφέλη.

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι συστημάτων υπόγειας σύζευξης [20] :

- ✓ συστήματα ανοικτού βρόχου
- ✓ συστήματα κλειστού βρόχου
- ✓ συστήματα άμεσης εκτόνωσης



Εικόνα 3.3 Αρχή σχεδιασμού [20]

Ο τύπος της υπόγειας σύζευξης που θα επιλεγεί, επηρεάζει την απόδοση του συστήματος της αντλίας θερμότητας, τις ενεργειακές απαιτήσεις της βοηθητικής άντλησης και το κόστος εγκατάστασης. Για τον λόγο αυτό, για την επιλογή του πλέον κατάλληλου τύπου υπόγειας σύζευξης σε μία συγκεκριμένη θέση πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη θέματα όπως, η γεωγραφική περιοχή, η διαθέσιμη οικοπεδική έκταση και το κόστος κύκλου ζωής.

3.3.2 Συστήματα ανοικτού βρόχου

Τα συστήματα ανοικτού βρόχου χρησιμοποιούν τα υπάρχοντα υπόγεια ύδατα ως μέσο άμεσης μεταφοράς θερμότητας. Βασικά αποτελούνται από φρέατα εξαγωγής και φρέατα επανεισαγωγής ή από επιφανειακά ύδατα. Τα ύδατα που αντλούνται από τα φρέατα εξαγωγής επιστρέφονται ξανά στη γη. Ωστόσο, πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένες ειδικές παράμετροι, όπως η ποιότητα του νερού. Στα συστήματα ανοικτού βρόχου ο ανταλλακτήρας θερμότητας μεταξύ του ψυκτικού και του υπόγειου ύδατος μπορεί να σαπίσει, να σκουριάσει ή να μπλοκάρει. Επιπλέον πρέπει να υπάρχει επαρκής ποσότητα νερού (συνήθως 0,03 έως 0,05 l/s/kW).

Σε ιδανικές συνθήκες, τα συστήματα ανοικτού βρόχου μπορεί να είναι ο πιο οικονομικός τύπος από τα συστήματα υπόγειας σύζευξης. Ο σχεδιασμός είναι εύκολος, το κόστος εγκατάστασης χαμηλό και τα έξοδα λειτουργίας μπορεί να είναι πολύ χαμηλά, εφόσον το νερό αντλείται ήδη για άλλους λόγους όπως π.χ. την άρδευση. Ωστόσο, συνήθως δεν υπάρχει νερό σε αρκετές ποσότητες και οι

κανονισμοί για την χρήση του νερού σε πολλές περιοχές είναι περιοριστικοί. Για το λόγο αυτό το σύστημα ανοικτού βρόχου χρησιμοποιείται σπανιότατα.

3.3.3 Συστήματα κλειστού βρόχου

Τα συστήματα κλειστού βρόχου αποτελούνται από ένα υπόγειο δίκτυο στεγανών, πλαστικών σωλήνων μεγάλης αντοχής που λειτουργούν ως ανταλλακτήρες θερμότητας. Οι σωλήνες είναι γεμάτοι με νερό ή με ένα διάλυμα νερού και αντιψυκτικού. Δεν υπάρχει επικοινωνία με τα υπόγεια ύδατα.

Από το υλικό των σωλήνων εξαρτάται η διάρκεια ζωής τους, το κόστος συντήρησης, η ισχύς της άντλησης, το κόστος κεφαλαίου και η απόδοση της αντλίας θερμότητας. Για το λόγο αυτό, το μέγεθος, η αντοχή και το υλικό των σωλήνων πρέπει να έχει μελετηθεί ειδικά για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Γενικά χρησιμοποιούνται σωληνώσεις από πολυαιθυλένιο ή πολυβουτυλένιο υψηλής πυκνότητας και διάμετροι σωλήνων μεταξύ 20 και 40 mm. Τα υλικά αυτά είναι εύκαμπτα και οι ενώσεις των σωλήνων μπορεί να γίνουν εύκολα με θερμική σύντηξη, προκειμένου να δημιουργηθούν δίκτυα στεγανά, που είναι αξιόπιστα, δεν παρουσιάζουν διαρροές και δεν χρειάζονται συντήρηση.

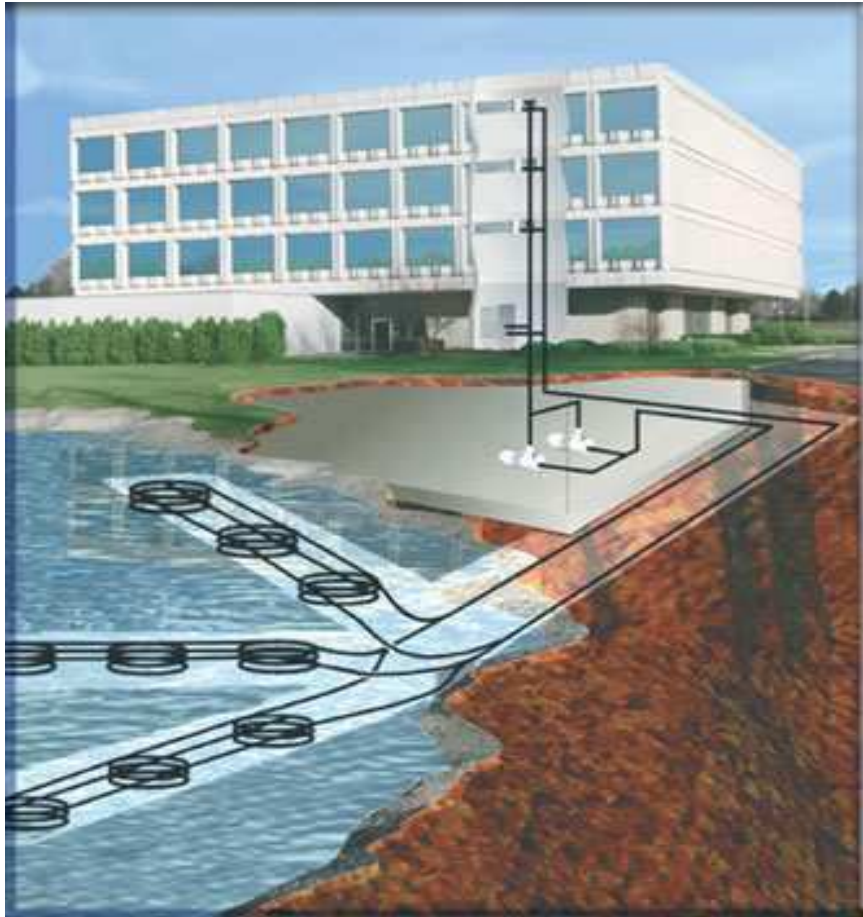
Υπάρχουν διάφοροι τρόποι διάταξης των κλειστών βρόχων αλλά οι πλέον συνηθισμένοι είναι η οριζόντια και η κάθετη διάταξη.

3.3.3.1 Οριζόντια διάταξη

Εδώ οι σωλήνες τοποθετούνται μέσα σε ορύγματα βάθους 1,2 έως 3,0 μέτρων συνήθως. Το μήκος των ορυγμάτων κυμαίνεται από 9 έως 35 μέτρα ανά kW θερμικού δυναμικού, ανάλογα με τις συνθήκες του εδάφους και τον αριθμό των σωλήνων μέσα στο όρυγμα. Τα ορύγματα συνήθως απέχουν μεταξύ τους 2 έως 4 μέτρα. Οι σωλήνες πρέπει να τοποθετηθούν σε ένα υπόστρωμα άμμου στο πυθμένα του ορύγματος, μετά να καλυφθούν με μία στρώση άμμου 15 cm και στη συνέχεια τα ορύγματα κλείνονται με το χώμα που είχε εκσκαφθεί. Η εγκατάσταση πρέπει να «ποτιστεί» και να συμπιεστεί, προκειμένου να αποφευχθούν οι καθιζήσεις. Τα συστήματα κλειστού βρόχου μπορούν να κατασκευαστούν κάτω από επιφάνειες πρασίνου και χώρους στάθμευσης.

Για τη να βελτίωση της μεταφοράς της θερμότητας έχουν αναπτυχθεί κάποια νέα συστήματα. Η σπειροειδής περιέλιξη δημιουργείται τεντώνοντας μια σφικτή περιέλιξη σωληνώσεων πολυαιθυλενίου μικρής διαμέτρου και έτσι διαμορφώνεται μία εκτεταμένη περιέλιξη με διάμετρο περίπου 600 mm. Στη συνέχεια η σπείρα τοποθετείται σε ένα στενό όρυγμα ή οριζοντίως στον πυθμένα ενός πλατύτερου ορύγματος. Η επιφάνεια ανταλλαγής θερμότητας αποτελεί ουσιαστικά, με τον τρόπο αυτό, έναν κύλινδρο με διάμετρο αυτήν της σπειροειδούς περιέλιξης και το απαιτούμενο μήκος ορύγματος είναι πολύ πιο μικρό : τρεις με τέσσερις φορές μικρότερο από τη διάταξη με μονό σωλήνα.

Τα πλεονεκτήματα της οριζόντιας διάταξης είναι το πολύ χαμηλότερο κόστος για την εκσκαφή των ορυγμάτων και οι ευέλικτες εναλλακτικές λύσεις εγκατάστασης. Ωστόσο, χρειάζεται μεγαλύτερη επιφάνεια διαθέσιμου χώρου και το έδαφος υπόκειται σε μεγαλύτερες διακυμάνσεις θερμοκρασίας και ξηρασίας, καθώς βρίσκεται σχετικά κοντά στην επιφάνεια.



Εικόνα 3.4 Οριζόντια διάταξη [20]

3.3.3.2 Κάθετη διάταξη

Εδώ ανοίγονται πηγάδια σε βάθος από 20 έως 100 μέτρα και μερικές φορές ακόμη πιο βαθιά. Οι αγωγοί κλειστού βρόχου εισάγονται στο κάθετο πηγάδι. Χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί ειδικός εξοπλισμός και σε πολύ βαθιές οπές ακόμη και το υλικό πλήρωσης των πηγαδιών πρέπει να αντληθεί μέχρι τον πυθμένα της οπής για να αποτελέσει μία ρευστή μάζα, που θα γεμίζει το κενό μεταξύ της επιφάνειας της οπής και του αγωγού. Το κατάλληλο υλικό ρευστής πλήρωσης θα πρέπει να επιλεγεί ανάλογα με τη θερμοκρασία και τις αναμενόμενες συνθήκες εργασίας. Οι χαρακτηριστικές απαιτήσεις μήκους είναι από 17 έως 52 μέτρα ανά kW θερμικού δυναμικού, ανάλογα με τις συνθήκες του εδάφους και της θερμοκρασίας. Τα πολλαπλά πηγάδια χρειάζονται συνήθως μια απόσταση μεταξύ τους από 3 έως 5 μέτρα.

Τα πλεονεκτήματα της κάθετης διάταξης είναι το μικρότερο μήκος των αγωγών, η χαμηλότερη ενέργεια άντλησης όλων των συστημάτων κλειστού βρόχου και η μικρότερη απαιτούμενη διαθέσιμη επιφάνεια. Η θερμοκρασία του εδάφους δεν αποτελεί καθόλου αντικείμενο εποχιακών διακυμάνσεων. Ωστόσο, το κόστος των γεωτρήσεων είναι πολύ μεγαλύτερο από το κόστος διάνοιξης οριζόντιων οργμάτων και απαιτούνται ειδικά μηχανήματα διάτρησης.



Εικόνα 3.5 Κάθετη διάταξη [20]

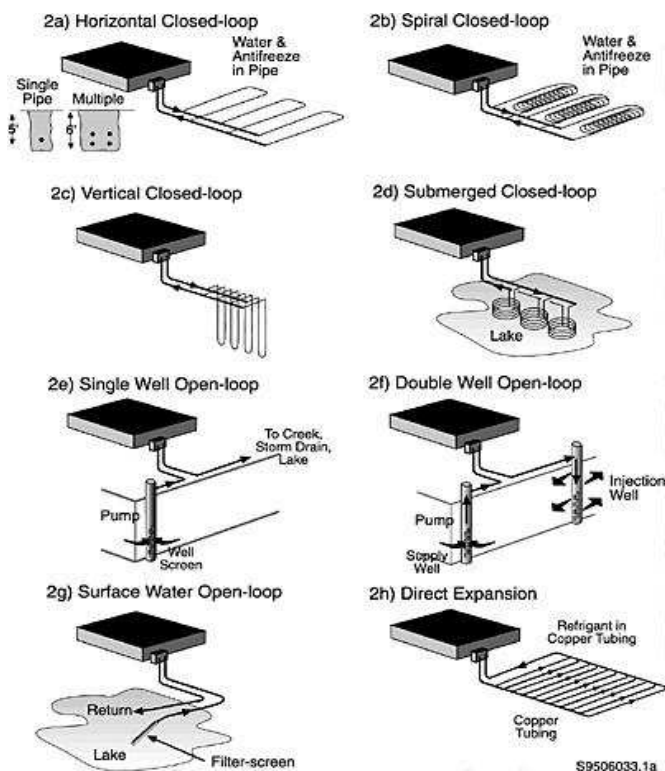
3.3.3.3 Συστήματα άμεσης εκτόνωσης

Τα συστήματα άμεσης εκτόνωσης δεν χρειάζονται ένα μέσο μεταφοράς θερμότητας και αντλία κυκλοφορίας. Οι χάλκινες σπείρες εγκαθίστανται μέσα στο έδαφος για να υπάρξει άμεση ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ ψυκτικού και εδάφους. Τα χαρακτηριστικά μεταφοράς θερμότητας και η απόδοση της αντλίας θερμότητας βελτιώνονται.

Οι σπείρες μπορούν να τοποθετηθούν μέσα στο έδαφος σε κάθετα ορύγματα ή σε πλατιά οριζόντια εκσκαφή. Τα κάθετα ορύγματα συνήθως απαιτούν επιφάνεια εδάφους 2,5 έως 4 τετραγωνικά μέτρα ανά kW θερμικού δυναμικού και βρίσκονται συνήθως σε βάθος 3 έως 4 μέτρα. Οι οριζόντιες εγκαταστάσεις απαιτούν επιφάνεια εδάφους 12 έως 15 τετραγωνικά μέτρα ανά kW θερμικού δυναμικού και βρίσκονται συνήθως σε 1,5 έως 3 μέτρα βάθος.

Επειδή η υπόγεια σπείρα είναι μεταλλική, διαβρώνεται. Σε μερικές περιπτώσεις απαιτείται ένα καθοδικό σύστημα προστασίας. Το έδαφος υπόκειται σε μεγαλύτερες διακυμάνσεις θερμοκρασίας. Για τον λόγο αυτό, στα συστήματα άμεσης εκτόνωσης πρέπει να γίνει κατάλληλη μελέτη. Η χαμηλότερη θερμοκρασία στην υπόγεια σπείρα μπορεί να μετατρέψει την υγρασία του εδάφους σε πάγο.

Άλλα μειονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι η μεγαλύτερη ποσότητα ψυκτικού που απαιτείται, η πιθανότητα διαρροής του ψυκτικού – που μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες – και το υψηλότερο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, λόγω του πιο εξειδικευμένου προσωπικού που απαιτείται.



Εικόνα 3.6 Διάφορες διατάξεις συστημάτων αντλιών θερμότητας υπόγειας σύζευξης [12]

3.4 Παράμετροι μελέτης γεωθερμικών αντλιών θερμότητας

Η σωστή διαστασιολόγηση της υπόγειας σπείρας είναι σημαντική στα συστήματα αντλιών θερμότητας υπόγειας σύζευξης, γιατί το κόστος κεφαλαίου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον ανταλλακτήρα θερμότητας μέσα στο έδαφος. Η υπερδιαστασιολόγηση οδηγεί σε υψηλότερο κόστος και η υποδιαστασιολόγηση σε έλλειψη θερμικού δυναμικού και μειωμένη συνολική απόδοση. Για να βοηθηθούν οι μελετητές υπάρχουν εγχειρίδια μελέτης και ηλεκτρονικά μοντέλα σχεδιασμού. Σε αυτά τα συστήματα είναι πολύ σημαντικό πολύ περισσότερο απ' ό,τι σε άλλα – να γίνει ο σωστός συνδυασμός των διαφόρων στοιχείων και για το λόγο αυτό, είναι καλύτερα να αναλάβει τον σχεδιασμό και την επίβλεψη της κατασκευής της εγκατάστασης μία και μόνο εταιρία [25], [27-32].

3.4.1 Οφέλη εξοικονόμησης ενέργειας από τη χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας υπόγειας σύζευξης μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς επωφελούνται της σταθερής θερμοκρασίας του εδάφους. Η απόδοση της αντλίας θερμότητας εξαρτάται βασικά από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των εσωτερικών χώρων του κτιρίου και του περιβάλλοντος. Εάν αυτή η διαφορά μπορεί να ελαχιστοποιηθεί, η απόδοση και το δυναμικό της αντλίας θερμότητας θα βελτιωθεί. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, όταν η εξωτερική θερμοκρασία στις χώρες της Μεσογείου κυμαίνονται από 0°C έως 15°C, η θερμοκρασία του εδάφους σε κάποιο βάθος παραμένει σταθερή στους 16°C. Έτσι η θερμοκρασία του εδάφους είναι πιο κοντά στη θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων, απ' ό,τι στην εξωτερική θερμοκρασία του αέρος. Κατά συνέπεια οι αντλίες θερμότητας υπόγειας σύζευξης είναι εκ των πραγμάτων πιο αποδοτικές απ' ό,τι οι μονάδες που χρησιμοποιούν τον εξωτερικό αέρα σαν πηγή θερμότητας. Η απόδοση ολόκληρου του συστήματος έχει βελτιωθεί σημαντικά. Μάλιστα η λειτουργία σε συνθήκες μερικού φορτίου είναι πιο αποδοτική. Όταν η υπόγεια σπείρα έχει μόνο μερικό φορτίο, η θερμοκρασία του νερού του βρόχου είναι πιο κοντά στη θερμοκρασία του εδάφους, γεγονός που αυξάνει την απόδοση.

Οι απαιτήσεις για βοηθητικό ρεύμα μπορούν να μειωθούν σημαντικά σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα. Καθώς χρειάζεται μόνο μια αντλία κυκλοφορίας, η συνολική απόδοση του συστήματος μπορεί να είναι υψηλότερη από αυτήν του συστήματος που χρησιμοποιεί ψύκτη υψηλής απόδοσης με ψυκτικό πύργο.

Για τους λόγους αυτούς, τα συστήματα με αντλίες θερμότητας υπόγειας σύζευξης λειτουργούν με μεγαλύτερη απόδοση απ' ό,τι οι συμβατικές θερμικές αντλίες αέρος και ο εξοπλισμός που τροφοδοτείται με ορυκτά καύσιμα. Σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, οι εγκαταστάσεις υπόγειας σύζευξης μπορούν να λειτουργούν με υψηλότερο θερμικό δυναμικό και συνήθως έχουν ένα συντελεστή απόδοσης από 20% έως 30% μεγαλύτερο από τα αντίστοιχα συστήματα αέρος.

3.4.2 Μη ενεργειακά οφέλη από τη χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας εξαλείφουν τον θόρυβο και τον οπτικά «ενοχλητικό» εξοπλισμό, που τοποθετείται συνήθως εξωτερικά ή στο δώμα. Καθώς όλα τα εξαρτήματα τοποθετούνται είτε εσωτερικά, είτε υπόγεια, το σύστημα είναι απόλυτα προστατευμένο από τις καιρικές συνθήκες και απαιτεί ελάχιστη συντήρηση. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, σε περιοχές όπου προκαλείται μεγάλη διάβρωση π.χ. κοντά στη θάλασσα, όπου το αλάτι μειώνει τη διάρκεια ζωής του εξωτερικού εξοπλισμού.

Καθώς η θερμοκρασία μέσα στο έδαφος είναι πολύ πιο σταθερή από τη θερμοκρασία του αέρος, το σύστημα μπορεί γενικά να λειτουργεί με χαμηλότερη αναλογία πίεσης από το συμπιεστή και μικρότερη θερμική και μηχανική καταπόνηση. Η σχετικά υψηλή θερμοκρασία του εδάφους αποτρέπει τη δημιουργία πάγου στη σπείρα του εξαμιστήρα και δεν χρειάζεται κύκλος απόψυξης. Έτσι αποφεύγεται η έναρξη μετά την απόψυξη, που είναι η πιο κρίσιμη φάση για το συμπιεστή της αντλίας θερμότητας.

Τα συστήματα αυτά που αντλούν από τη θερμότητα του εδάφους, εφόσον προστατεύονται από το περιβάλλον και έχουν ήπιες συνθήκες λειτουργίας, είναι ιδιαίτερα αξιόπιστα και έχουν διάρκεια ζωής 25 έως 30 χρόνια. Το γεγονός αυτό συμβάλλει στο χαμηλό κόστος του κύκλου ζωής τους.

3.4.3 Μειονεκτήματα από τη χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας

Παρότι οι αντλίες θερμότητας υπόγειας σύζευξης είναι γνωστές εδώ και χρόνια και τα πλεονεκτήματά τους έχουν παρουσιαστεί και αποδειχθεί, η χρήση τους είναι περιορισμένη. Το πρώτο εμπόδιο είναι εμπορικό, καθώς τα συστήματα αυτά δεν έχουν ακόμη τυποποιηθεί, πολλοί εν δυνάμει πελάτες διστάζουν να επιλέξουν ένα σύστημα που μοιάζει να εφαρμόζει μια πειραματική τεχνολογία. Οι προμηθευτές συμβατικών συστημάτων θέρμανσης δεν ενδιαφέρονται να παρέχουν ένα σύστημα που δεν γνωρίζουν καλά και όπου οι αβεβαιότητες σχετικά με την κερδοφορία είναι μεγαλύτερες. Επιπροσθέτως, η έλλειψη εξειδικευμένων εταιριών και τεχνικών για τις βαθιές γεώτρηση που απαιτούνται στην κάθετη διάταξη αποτελεί πρόβλημα στις χώρες, στις οποίες οι τεχνικές αυτές δεν έχουν ακόμη αναπτυχθεί.

Υπάρχουν επίσης και κάποια τεχνικά μειονεκτήματα, όπως ο τύπος του εδάφους, η περιεκτικότητά του σε υγρασία, η σύνθεσή του, η πυκνότητά του και η ανομοιομορφία της επιφάνειας γύρω από το κτίριο, που μπορεί να επηρεάζουν αρνητικά τη λειτουργία. Η διάβρωση από το έδαφος μπορεί σε ορισμένα υλικά σωληνώσεων να επηρεάσει την μεταφορά θερμότητας και τη διάρκεια ζωής τους. Ωστόσο, καθώς εγκαθίστανται όλο και περισσότερα συστήματα τα τελευταία 20 χρόνια και καθώς έχουν ολοκληρωθεί μια σειρά ερευνητικών έργων, οι αρνητικές αυτές πτυχές σταδιακά εξαλείφονται.

3.4.4 Δαπάνη και περίοδος απόσβεσης γεωθερμικών αντλιών θερμότητας

Η συνολική δαπάνη κεφαλαίου ενός συστήματος αντλίας θερμότητας υπόγειας σύζευξης αποτελείται από τη δαπάνη για τον εξοπλισμό δηλ. τη μονάδα της αντλίας θερμότητας, τη δαπάνη για τις σωληνώσεις της υπόγειας σπείρας και την εγκατάσταση, τη δαπάνη για το σύστημα διανομής και το αντίστοιχο κόστος εγκατάστασης. Τα έξοδα για τον ανταλλακτήρα θερμότητας στο έδαφος καθώς και οι γεωτρήσεις ή οι εκσκαφές που απαιτούνται για την εγκατάστασή του αποτελούν συνήθως το 20% – 50% της συνολικής επένδυσης. Οι γεωτρήσεις και οι εκσκαφές ορυγμάτων γενικά κοστίζουν πολύ περισσότερο από την εγκατάσταση σωλήνων και για το λόγο αυτό είναι σημαντικό να μεγιστοποιηθεί η εξαγωγή θερμότητας ανά μονάδα μήκους. Συνιστάται ιδιαίτερα η χρήση προηγμένων συστημάτων όπως σωλήνων σπирάλ [20].

Οι τοπικές γεωλογικές συνθήκες επηρεάζουν καθοριστικά το κόστος για τις γεωτρήσεις ή τις εκσκαφές ορυγμάτων. Για την κάθετη εγκατάσταση πρέπει προηγουμένως να έχει γίνει μία γεώτρηση μικρής διαμέτρου για να διαπιστωθεί η ακριβής σύνθεση του εδάφους σε μεγαλύτερο βάθος. Αυτό φυσικά αυξάνει το συνολικό κόστος της εγκατάστασης.

Η εγκατάσταση σωλήνων πολυαιθυλενίου μέσα σε ορύγματα για την οριζόντια διάταξη κοστίζει συνήθως από 6 έως 12 € ανά μέτρο, μπορεί μάλιστα να κοστίζει και λιγότερο για νέα ξενοδοχεία, όταν τα μηχανήματα εκσκαφής βρίσκονται ήδη επιτόπου. Το συνολικό κόστος για μία κάθετη εγκατάσταση συμπεριλαμβανομένων των υλικών, των γεωτρήσεων και της πλήρωσης είναι συνήθως στις Ηνωμένες Πολιτείες και τις Σκανδιναβικές Χώρες 40 – 70 € ανά μέτρο. Ωστόσο,

καθώς για τις κάθετες εγκαταστάσεις χρειάζεται εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό, το οποίο δεν υπάρχει σε όλες τις χώρες, δεν είναι δυνατόν να δοθούν ακριβείς τιμές για όλες τις περιοχές της Μεσογείου. Γενικά η μέση δαπάνη της ίδιας της αντλίας θερμότητας μπορεί να εκτιμηθεί ότι ανέρχεται σε 300 €/kW, αλλά σίγουρα υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην αγορά. Το συνολικό κόστος της επένδυση εξαρτάται πολύ από διάφορες παραμέτρους και πρέπει να υπολογίζεται ειδικά για κάθε συγκεκριμένη εγκατάσταση.

Η εξοικονόμηση των δαπανών για την ενέργεια και ως εκ τούτου, η περίοδος απόσβεσης εξαρτάται από το σχετικό κόστος του φυσικού αερίου ή άλλων καυσίμων. Οι αντλίες θερμότητας υπόγειας σύζευξης λειτουργούν με μέση απόδοση (COP- Coefficient of Performance = Συντελεστής Απόδοσης) που μπορεί να φθάνει το 4,5. Έτσι, εάν το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος για την ίδια θερμική ενέργεια είναι λιγότερο από το τετραπλάσιο του κόστους άλλων καυσίμων, τα συστήματα αντλιών θερμότητας υπόγειας σύζευξης καθίστανται ιδιαίτερα ανταγωνιστικά.

Μία μελέτη που διεξήχθη στις ΗΠΑ δείχνει ότι το κόστος συντήρησης ενός συστήματος με αντλία θερμότητας υπόγειας σύζευξης είναι κατά μέσο όρο περίπου το ένα τρίτο του αντίστοιχου κόστους του συμβατικού συστήματος ψύξης και θέρμανσης. Κατά συνέπεια, σε σύγκριση με ένα κλασσικό αερόψυκτο σύστημα, το σύστημα με αντλία θερμότητας υπόγειας σύζευξης έχει χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής, παρότι η αρχική δαπάνη είναι σχεδόν διπλάσια. Η περίοδος απόσβεσης μίας συγκεκριμένης εγκατάστασης είχε εκτιμηθεί σε 7 έως 9 χρόνια.

4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENERGY PLUS

4.1 Εισαγωγή

Η ενεργειακή ανάλυση του κτιρίου θα γίνει με το Energy plus. Το Energy plus είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης και ενεργειακής ανάλυσης θερμικών φορτίων. Με βάση τη φυσική περιγραφή της κατασκευής και των άλλων συναφών ενεργειακών και μηχανικών συστημάτων, το Energyplus υπολογίζει τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου, τα θερμικά και ψυκτικά φορτία που απαιτούνται ώστε να γίνει η κάλυψη των θερμικών και ψυκτικών απαιτήσεων. Δηλαδή υπολογίζει τα φορτία θέρμανσης και ψύξης που είναι απαραίτητα για να διατηρηθούν συγκεκριμένες επιθυμητές τιμές στη θερμοκρασία, τις συνθήκες ενός δευτερεύοντος συστήματος θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού και την ενεργειακή κατανάλωση του υπάρχοντος Η/Μ εξοπλισμού. Το λογισμικό αυτό έχει κατασκευαστεί από το Υπουργείο Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών (U.S Department of Energy).

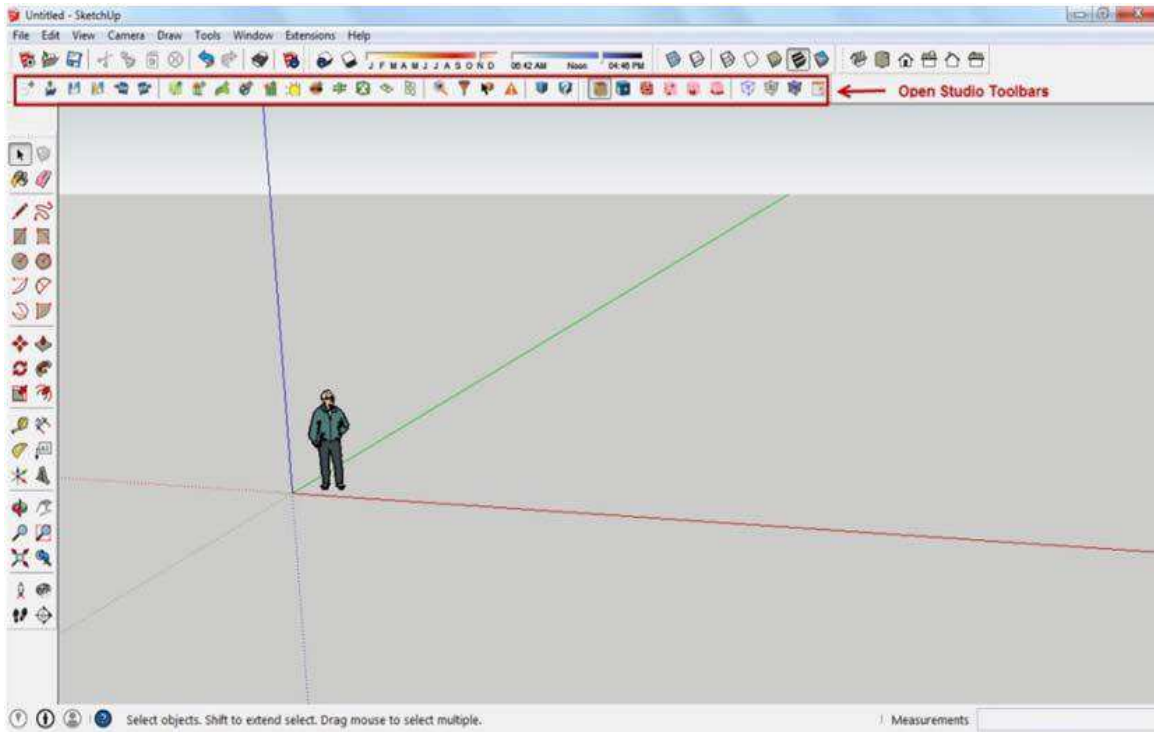
Το Energy plus προέρχεται από δύο άλλα προγράμματα τα οποία σχεδιάστηκαν στην Αμερική στα τέλη του 1970 με αρχές του 1980, το BLAST και το DOE-2. Το Energy plus σχεδιάστηκε με σκοπό τον εκσυγχρονισμό δύο αυτών προγραμμάτων, ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες της εποχής και να μπορούν να ακολουθήσουν τις εξελίξεις στον επιστημονικό τομέα της ενέργειας που αφορά κτιριακές εγκαταστάσεις. Σημαντικό μειονέκτημα του, είναι ότι το περιβάλλον εργασίας του δεν είναι ιδιαίτερα φιλικό για τον χρήστη. Έτσι έχουν δημιουργηθούν προγράμματα όπως το Open Studio που δίνουν στο χρήστη τη δυνατότητα να εισαγωγής δεδομένων στο δικό τους περιβάλλον που είναι πιο εύχρηστο και εν συνεχεία να παράγουν αρχεία σε μορφή αναγνωρίσιμη από το λογισμικό του Energy plus. Ακόμα, χρειάζεται κάποιο πρόγραμμα που να εισάγει την τρισδιάστατη ενεργειακή μοντελοποίηση των κτιρίων και να είναι συμβατό με επεκτάσεις προγραμμάτων όπως το Open Studio. Έτσι χρησιμοποιήσα το Open Studio και το Sketch up για την ενεργειακή μοντελοποίηση του κτιρίου 12Θ των Πολιτικών Μηχανικών και τον καθορισμό των θερμικών του ζωνών.

4.2 Σχεδίαση του κτιριακού κελύφους με χρήση του προσθέτου Open Studio στο λογισμικό Sketch Up

4.2.1 Σχεδίαση κελύφους

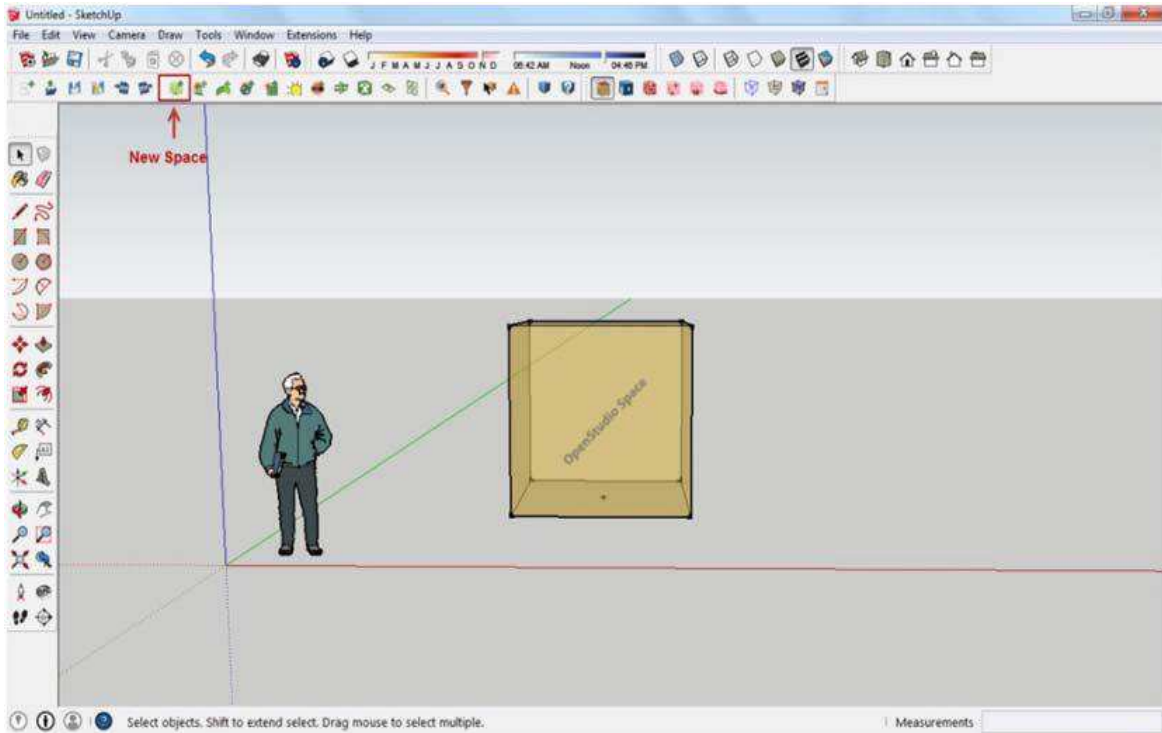
Το πρώτο βήμα της ενεργειακής προσομοίωσης ενός κτιρίου με το λογισμικό EnergyPlus είναι η εισαγωγή στο αρχείο δεδομένων εισόδου όλων των δεδομένων εκείνων, τα οποία αφορούν στη γεωμετρία του κελύφους του κτιρίου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της σχεδίασης του κελύφους στο λογισμικό τρισδιάστατης σχεδίασης Sketch Up, κάνοντας ταυτόχρονη χρήση των εργαλείων του πρόσθετου Open Studio, ούτως ώστε να προσδίδεται στους σχεδιαζόμενους χώρους ενεργειακό περιεχόμενο, δηλαδή η πληροφορία που είναι απαραίτητη για την πραγματοποίηση της ενεργειακής προσομοίωσης με το EnergyPlus [16-17], [27].

Στην Εικόνα 4.1 φαίνεται το σχεδιαστικό περιβάλλον του λογισμικού Sketch Up, στο οποίο έχουν επισημανθεί τα εργαλεία του προσθέτου Open Studio. Ο χρήστης καλείται να σχεδιάσει το υπό μελέτη κτίριο σε ένα τρισδιάστατο γραφικό περιβάλλον, καθοδηγούμενος από τον άξονα του Βορρά και της Ανατολής στο οριζόντιο επίπεδο, οι οποίοι παριστάνονται με πράσινο και κόκκινο χρώμα αντιστοίχως, καθώς και από τον κατακόρυφο άξονα, ο οποίος παριστάνεται με μπλε χρώμα.

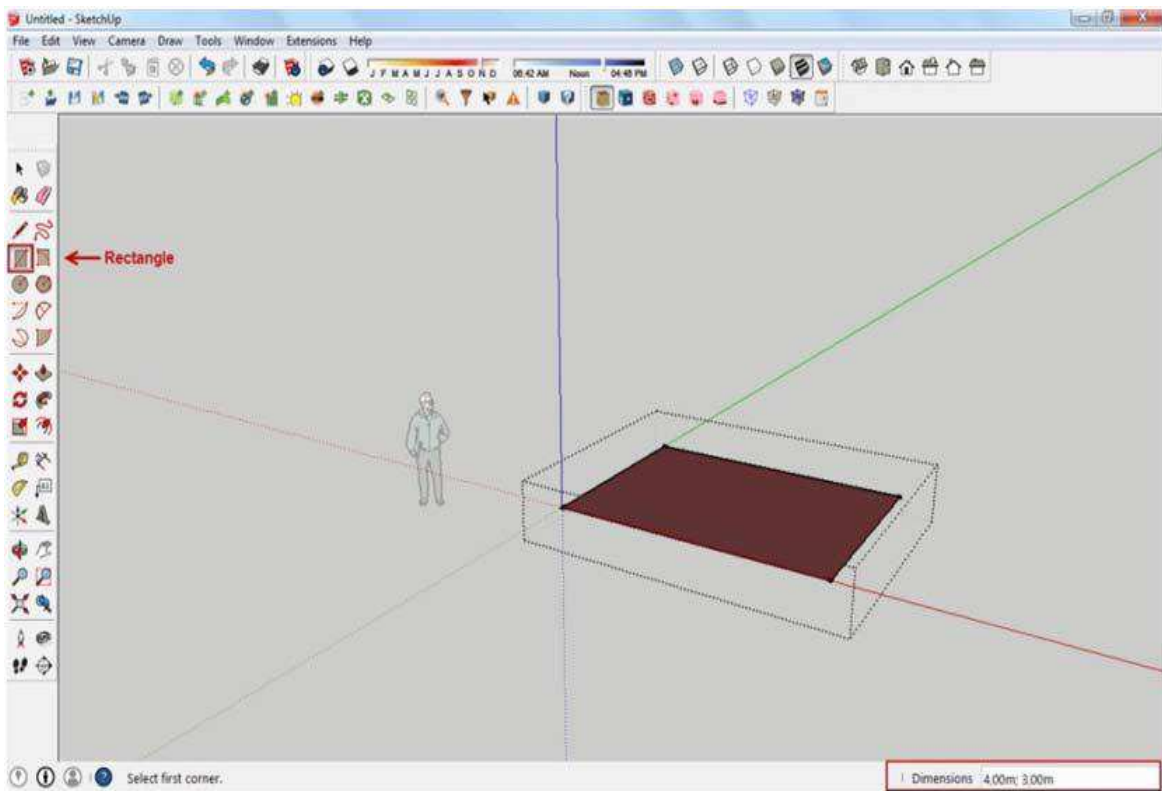


Εικόνα 4.1 Γραφικό περιβάλλον λογισμικού Sketch Up

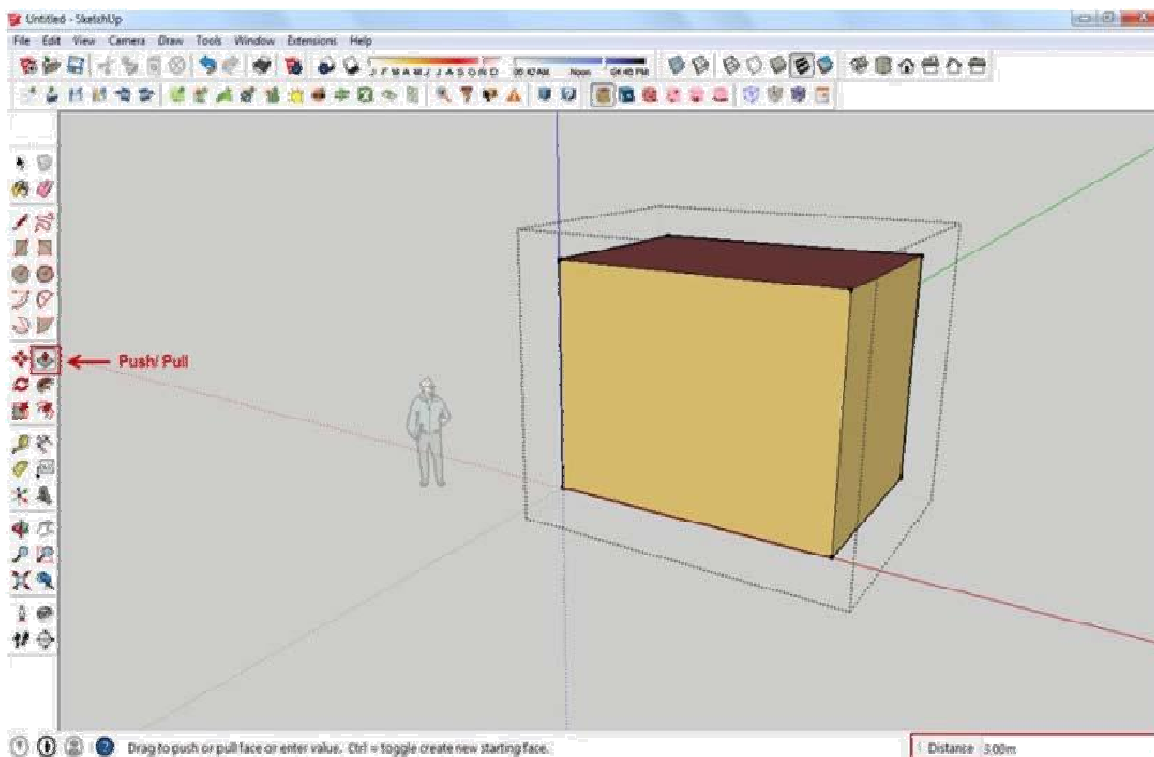
Επιλέγοντας την εντολή “New Space”, από την εργαλειοθήκη του προσθέτου Open Studio και πατώντας στη συνέχεια σε ένα τυχαίο σημείο του οριζοντίου επιπέδου, εμφανίζεται σε αυτό ένας κύβος με τον χαρακτηρισμό “Open Studio Space”. Με διπλό κλικ πάνω στον κύβο, ο χρήστης μπορεί να εισέλθει στο εσωτερικό του και να σχεδιάσει ένα νέο χώρο, ο οποίος θα έχει ενεργειακό περιεχόμενο. Ένας χώρος σχεδιάζεται κάνοντας συνδυασμένη χρήση των εντολών “Rectangle” και “Push/ Pull”, όπως φαίνεται στις Εικόνες 4.2 και 4.3 αντιστοίχως. Συγκεκριμένα, επιλέγοντας την εντολή “Rectangle” σχεδιάζεται το περίγραμμα της κάτοψης του χώρου και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας την εντολή “Push/ Pull”, ο χώρος υψώνεται στο επιθυμητό ύψος. Σε κάθε περίπτωση, παρέχεται η δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει απευθείας τις επιθυμητές διαστάσεις των χώρων, πληκτρολογώντας τις στο πλαίσιο που βρίσκεται στο κάτω δεξιά μέρος της οθόνης. Υπογραμμίζεται, ότι οι επιφάνειες των χώρων ορίζονται πάντοτε θεωρώντας έναν παρατηρητή, ο οποίος βρίσκεται στο εξωτερικό των θερμικών ζωνών στις οποίες ανήκουν. Δηλαδή, ο χρήστης θα πρέπει πάντοτε να χρησιμοποιεί κατά τον σχεδιασμό στο Sketch Up τις εξωτερικές διαστάσεις του κτιρίου, δίχως να αφαιρεί το πάχος των εκάστοτε επιφανειών.



Εικόνα 4.2 Σχεδίαση νέου χώρου, η εντολή “New Space”

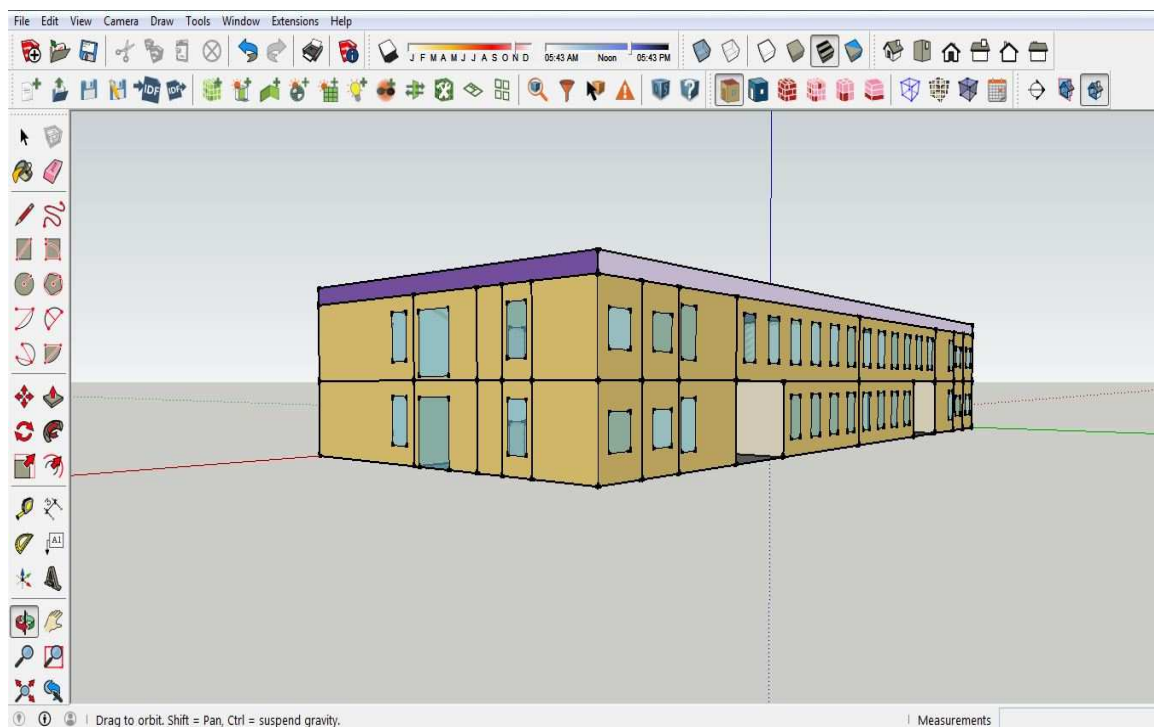


Εικόνα 4.3 Σχεδίαση νέου χώρου, η εντολή “Rectangle”

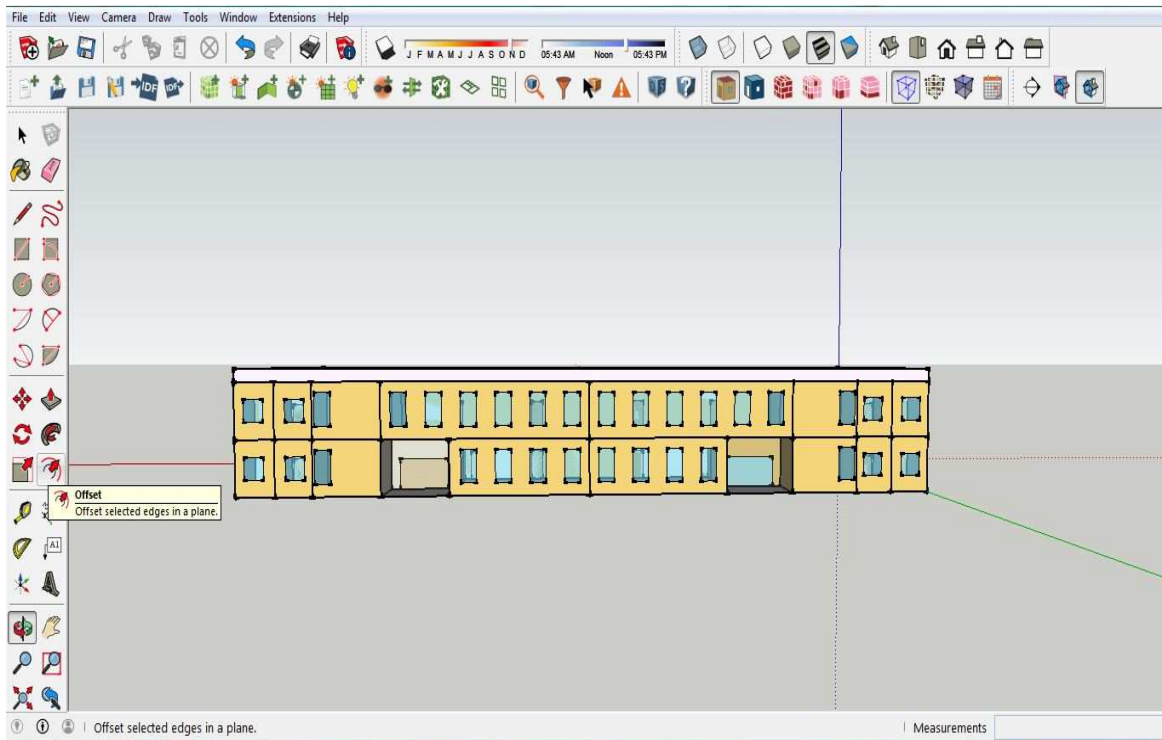


Εικόνα 4.4 Σχεδίαση νέου χώρου, η εντολή "Push/Pull"

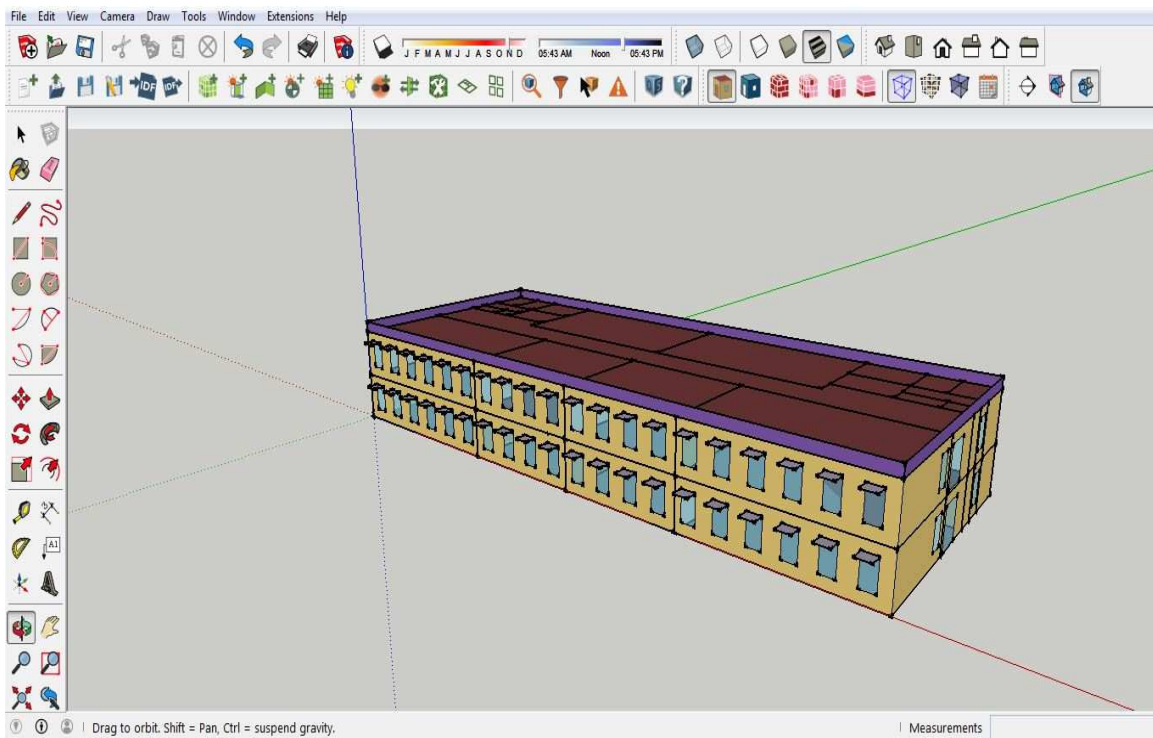
Επαναλαμβάνοντας διαδοχικά τα παραπάνω βήματα σχεδιάστηκε αρχικά το κέλυφος του κτιρίου, όπως μπορεί να φανεί στην Εικόνα 4.5 έως 4.7.



Εικόνα 4.5 Βορειοανατολική πλευρά κτιρίου



Εικόνα 4.6 Βόρεια πλευρά του κτιρίου



Εικόνα 4.7 Νοτιοανατολική πλευρά κτιρίου

Επισημαίνεται, ότι το λογισμικό Sketch Up, επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξει μεταξύ διαφορετικών τύπων προβολής του σχεδιαζόμενου κτιρίου, καθένας από τους οποίους επικοινωνεί μία διαφορετική πληροφορία. Για παράδειγμα, στις παραπάνω Εικόνες 4.5, 4.6 και 4.7 έχει επιλεγεί η προβολή κατά τύπο επιφάνειας (“Render by Surface Type”), οπότε οι επιφάνειες, οι οποίες αποτελούν οροφές χώρων επισημαίνονται με βαθύ κόκκινο χρώμα, ενώ εκείνες που αποτελούν τοίχους και δάπεδα χώρων επισημαίνονται με καφέ και γκρι χρώμα αντιστοίχως. Συνεπώς, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ελέγξει εύκολα, αν έχουν χαρακτηριστεί σωστά όλες οι σχεδιαζόμενες επιφάνειες.

Όπως έχει αναλυθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, ένα πολύ σημαντικό στάδιο κατά την ενεργειακή προσομοίωση κτιρίου με το λογισμικό EnergyPlus, είναι ο διάκριση των επιφανειών που το συνιστούν σε επιφάνειες μεταφοράς θερμότητας και σε επιφάνειες αποθήκευσης θερμότητας. Η εν λόγω διάκριση είναι αναγκαία για τον ορθό διαχωρισμό του υπό μελέτη κτιρίου σε θερμικές ζώνες, άρα και για την ορθή κατάστρωση του θερμικού ισοζυγίου κάθε θερμικής ζώνης κατά την εκτέλεση της προσομοίωσης.

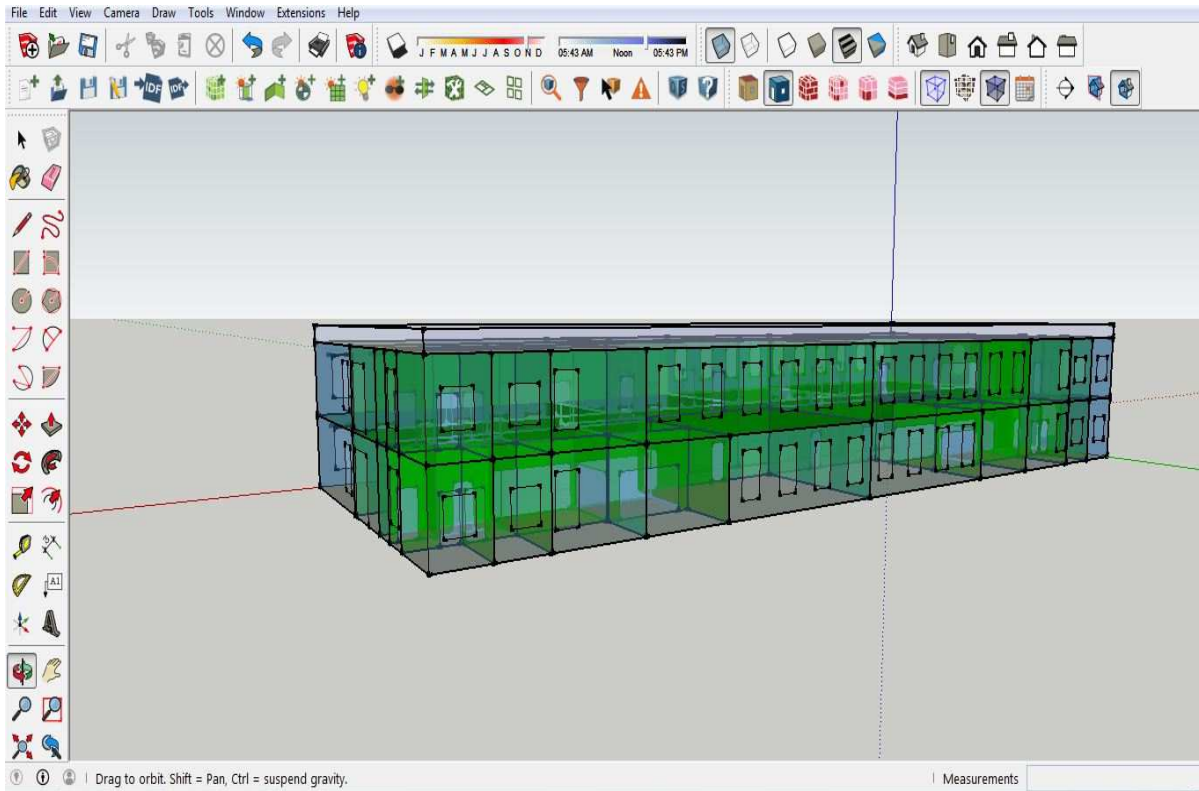
Ως επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας ορίζεται κάθε επιφάνεια, η οποία διαχωρίζει χώρους με σημαντική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ τους. Στις επιφάνειες μεταφοράς θερμότητας κατατάσσονται όλες οι εξωτερικές επιφάνειες του κτιρίου, όπως εξωτερικοί τοίχοι, εκτεθειμένα δάπεδα και δώματα, τοίχοι και δάπεδα υπογείων, αλλά και οι επιφάνειες που διαχωρίζουν χώρους ελεγχόμενης με χώρους μη ελεγχόμενης θερμοκρασίας ή διαχωρίζουν θερμικές ζώνες, οι οποίες διατηρούνται σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Οι παραπάνω περιπτώσεις διαφοροποιούνται μεταξύ τους αναφορικά με τις οριακές τους συνθήκες, καθώς οι εξωτερικές επιφάνειες έχουν ως οριακή συνθήκη το εξωτερικό περιβάλλον, δεχόμενες την πλήρη επίδραση του ήλιου και του ανέμου, οι επιφάνειες που περικλείουν υπόγειους χώρους έχουν ως οριακή συνθήκη το έδαφος και οι επιφάνειες που συνορεύουν με χώρο μη ελεγχόμενης θερμοκρασίας ή με μία θερμική ζώνη με διαφορετική θερμοκρασία, έχουν ως οριακή συνθήκη την ομόλογη επιφάνεια του γειτονικού χώρου.

Ως επιφάνεια αποθήκευσης θερμότητας ορίζεται κάθε επιφάνεια, η οποία διαχωρίζει χώρους, οι οποίοι διατηρούνται στην ίδια θερμοκρασία. Οι επιφάνειες αποθήκευσης θερμότητας ενδέχεται να είναι οροφές, δάπεδα και διαχωριστικοί τοίχοι, που διαχωρίζουν χώρους ελεγχόμενης θερμοκρασίας. Οι εν λόγω επιφάνειες δηλώνουν τον εαυτό τους ως οριακή συνθήκη.

Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό, ότι κατά την σχεδίαση του κτιριακού κελύφους στο λογισμικό Sketch Up, είναι κρίσιμο να αποδοθούν σε κάθε σχεδιαζόμενη επιφάνεια οι ορθές εξωτερικές οριακές συνθήκες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση της εντολής “Surface Matching”, αφού έχει σχεδιαστεί το κέλυφος του κτιρίου. Επιλέγοντας την εντολή αυτή, αντιστοιχίζονται αυτομάτως σε κάθε επιφάνεια του κτιρίου οι ορθές οριακές συνθήκες, οι οποίες μπορεί να είναι το εξωτερικό περιβάλλον ή το έδαφος, στην περίπτωση των εξωτερικών επιφανειών του κτιρίου ή η αντίστοιχη επιφάνεια του γειτονικού χώρου, στην περίπτωση των εσωτερικών διαχωριστικών επιφανειών.

Προκειμένου να εξασφαλίζεται η άμεση εποπτεία και ο έλεγχος των οριακών συνθηκών, διατίθεται η επιλογή του τύπου προβολής του κελύφους κατά είδος οριακής συνθήκης (“Render by Boundary Condition”), όπως φαίνεται στο Σχήμα. Επιλέγοντας αυτόν τον τύπο προβολής, οι εξωτερικές επιφάνειες του κτιρίου, οι οποίες είναι εκτεθειμένες στον ήλιο και τον άνεμο επισημαίνονται με μπλε χρώμα, οι εξωτερικές επιφάνειες, οι οποίες βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, άρα δεν

δέχονται την επίδραση του ήλιου και του ανέμου, επισημαίνονται με καφέ χρώμα, ενώ οι εσωτερικές επιφάνειες, οι οποίες διαχωρίζουν διαφορετικούς χώρους του κτιρίου επισημαίνονται με πράσινο χρώμα. Σημειώνεται, ότι στην Εικόνα 4.8 έχει επίσης επιλεγεί να προβάλλονται διάφανες οι επιφάνειες του κτιρίου, ώστε να καθίσταται δυνατή η άμεση εποπτεία του εσωτερικού του. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση της εντολής “View Model in X-Ray Mode”.



Εικόνα 4.8 Εφαρμογή της εντολής “Render by Boundary Condition” σε συνδυασμό με την εντολή “View Model in X-Ray Mode”

Σημειώνεται, ότι τόσο στο λογισμικό Sketch Up, όσο και στο EnergyPlus, οι επιφάνειες του κτιρίου χαρακτηρίζονται ως «επιφάνειες», ενώ οι επιφάνειες των ανοιγμάτων ως «υπό-επιφάνειες», ενώ καθεμία από αυτές φέρει ένα μοναδικό αριθμό, ώστε να διακρίνεται από τις υπόλοιπες. Επιλέγοντας την εντολή “Info Tool” και αφήνοντας τον δείκτη του ποντικιού να αιωρηθεί πάνω από μία επιφάνεια του κελύφους, εμφανίζεται ένα πλαίσιο κειμένου, στο οποίο αναγράφεται το είδος και ο αριθμός της επιφάνειας, καθώς και κάποιες πληροφορίες σχετικά με αυτή, όπως αν πρόκειται για τοίχο, δάπεδο ή οροφή, το είδος της οριακής συνθήκης, αν είναι εκτεθειμένη στον ήλιο και στον άνεμο, καθώς και οι συντεταγμένες των κορυφών της.

Επιπροσθέτως, το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα για μία πιο λεπτομερή επισκόπηση των ιδιοτήτων των επιφανειών του κτιρίου, μέσω της εντολής “Inspector”. Επιλέγοντας μία επιφάνεια του κελύφους και κατόπιν την εντολή αυτή, εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο, στο οποίο εμφανίζονται αναλυτικές πληροφορίες αναφορικά με την επιλεγμένη επιφάνεια, με τις σημαντικότερες εξ αυτών αν είναι:

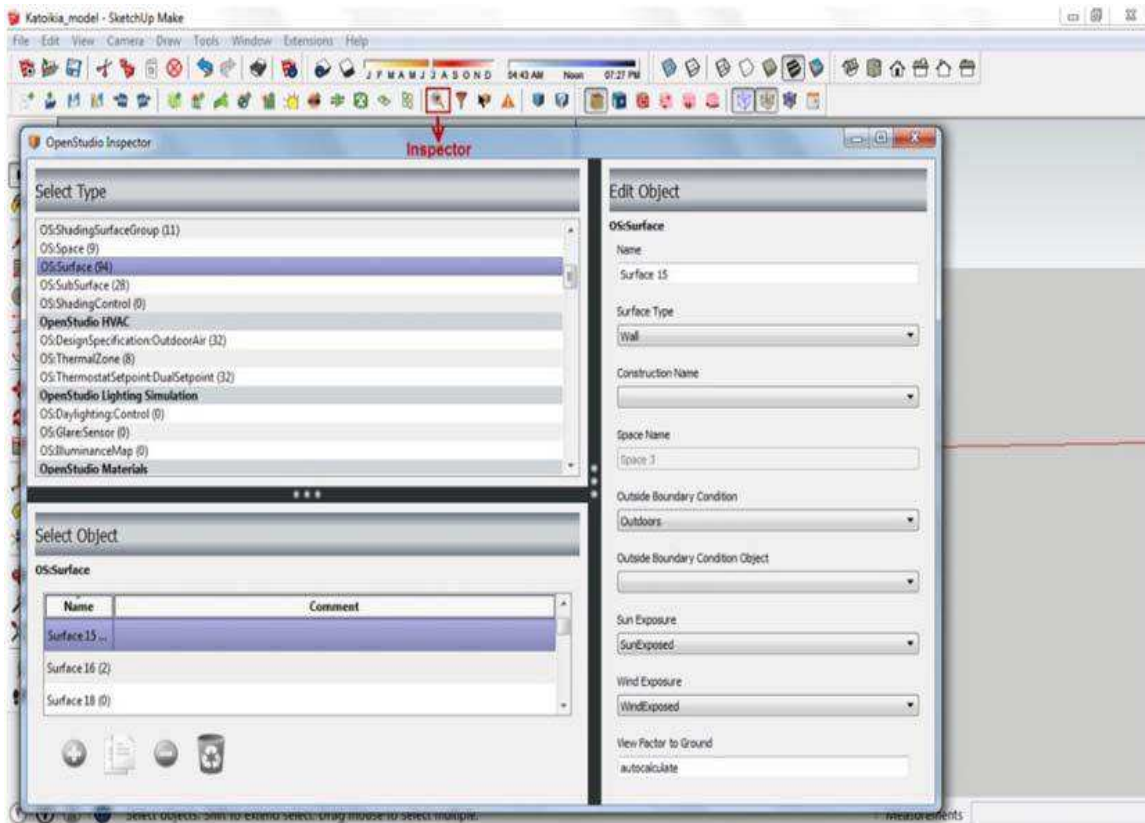
- ✓ Το όνομα της επιλεγμένης επιφάνειας

- ✓ Ο τύπος της επιφάνειας, δηλαδή στην περίπτωση των επιφανειών του κτιρίου αν πρόκειται για τοίχο, δάπεδο ή οροφή και στην περίπτωση των ανοιγμάτων του κτιρίου, αν πρόκειται για παράθυρο σταθερό ή ανοιγόμενο, πόρτα αδιαφανή ή γυάλινη, φεγγίτη, θόλο, κλπ.
- ✓ Η κατασκευαστική δομή της επιφάνειας, εάν αυτή έχει οριστεί στο λογισμικό Sketch Up

Στην περίπτωση που έχει επιλεγθεί κάποιο από τα ανοίγματα του κτιρίου, το όνομα της επιφάνειας στην οποία ανήκει.

Στην περίπτωση που έχει επιλεγθεί κάποια επιφάνεια του κελύφους, το είδος της εξωτερικής οριακής συνθήκης, το όνομα της επιφάνειας με την οποία συνορεύει εάν είναι εσωτερική διαχωριστική επιφάνεια, καθώς και αν είναι εκτεθειμένη στον ήλιο και στον άνεμο.

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επέμβει στα δεδομένα των επιφανειών που εμφανίζονται και να τα αλλάξει, εάν είναι επιθυμητό. Για παράδειγμα, μπορεί να αλλάξει την οριακή συνθήκη μίας επιφάνειας από εξωτερική και δεχόμενη την επίδραση του ηλίου και του ανέμου, σε επαφή με το έδαφος και χωρίς να είναι εκτεθειμένη στον ήλιο και τον άνεμο. Επιπλέον, ενδέχεται να αλλάξει τον τύπο μίας υπό-επιφάνειας, η οποία έχει αναγνωριστεί από το λογισμικό ως αδιαφανής πόρτα και να τη μετατρέψει σε γυάλινη πόρτα. Η εφαρμογή της εντολής “Inspector” παρουσιάζεται στην Εικόνα:

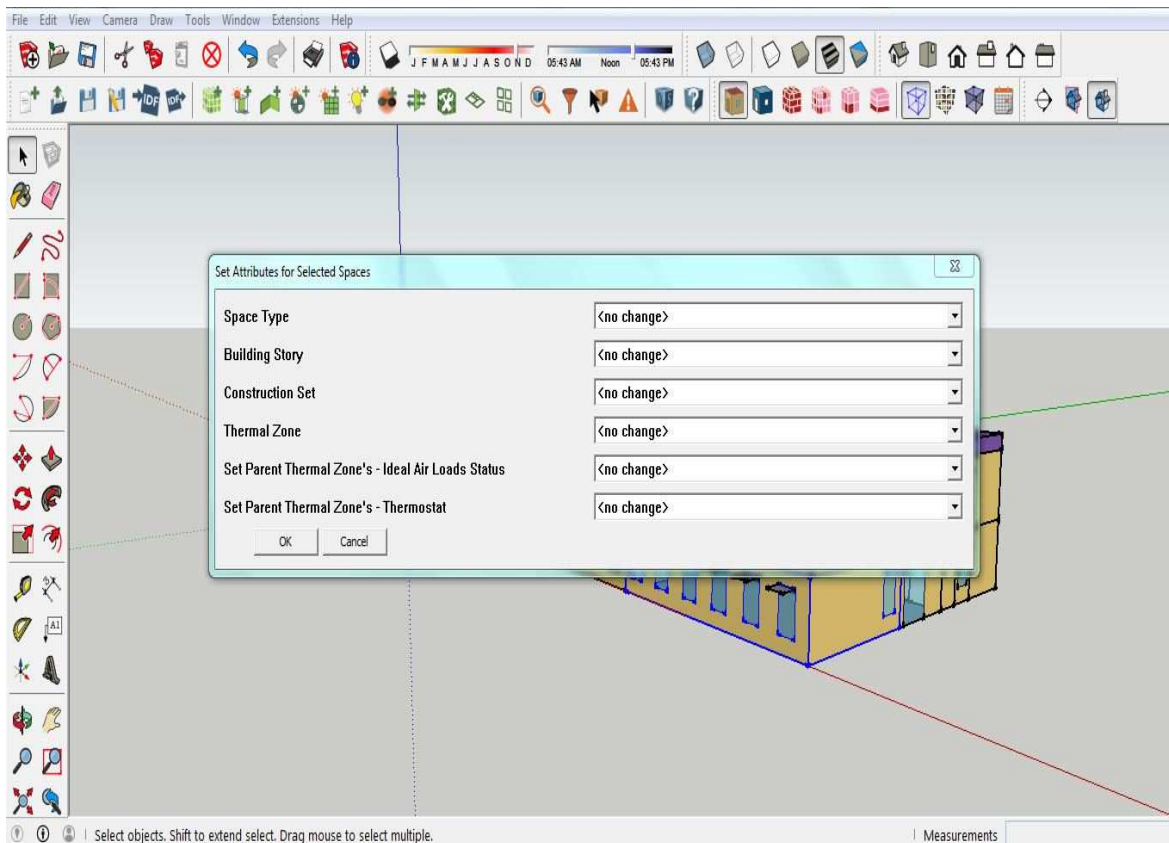


Εικόνα 4.9 Εφαρμογή της εντολής “Inspector”

Τέλος, η σχεδίαση του κελύφους του υπό μελέτη κτιρίου ολοκληρώνεται με τη σχεδίαση των επιφανειών σκίασης. Στις επιφάνειες σκίασης συγκαταλέγονται τα σταθερά και κινητά σκίαστρα

των ανοιγμάτων, οι κατασκευές πέργκολας, αλλά και οι εξώστες, οι οποίοι αν και αποτελούν επιφάνειες του κελύφους, δεν συμμετέχουν στην κατάστρωση των θερμικών ισοζυγίων για κάθε θερμική ζώνη. Η σχεδίαση μίας επιφάνειας σκίασης επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της εντολής “New Shading Surface Group”. Έχοντας επιλέξει την εν λόγω εντολή και πατώντας σε κάποιο σημείο του χώρου σχεδίασης, εμφανίζεται ένας κύβος, με την αναγραφόμενη ονομασία “Open Studio Shading Group”. Με διπλό κλικ πάνω στον κύβο, ο χρήστης μπορεί να εισέλθει στο εσωτερικό του και να σχεδιάσει την επιφάνεια σκίασης, κάνοντας συνδυασμένη χρήση των εντολών “Rectangle” και “Push/ Pull”, όπως ακριβώς πραγματοποιείται και η σχεδίαση των χώρων του κτιρίου. Σημειώνεται, ότι όταν έχει επιλεγθεί προβολή κατά τύπο επιφάνειας, οι επιφάνειες σκίασης επισημαίνονται με μωβ χρώμα, ενώ στην περίπτωση της προβολής κατά είδος οριακής συνθήκης επισημαίνονται με λευκό χρώμα.

Ο ορισμός των θερμικών ζωνών πραγματοποιείται εντός του λογισμικού Sketch Up, αφού έχει ολοκληρωθεί η σχεδίαση του κελύφους του κτιρίου, κάνοντας χρήση την εντολής “Set Attributes for Selected Spaces”, όπως μπορεί να φανεί στην Εικόνα 4.10. Ο χρήστης, αφού επιλέξει τον επιθυμητό χώρο, ορίζει στη συνέχεια στο πλαίσιο που εμφανίζεται, τη θερμική ζώνη στην οποία αυτός ανήκει.



Εικόνα 4.10 Ορισμός θερμικών ζωνών με χρήση της εντολής “Set Attributes for Selected Spaces”

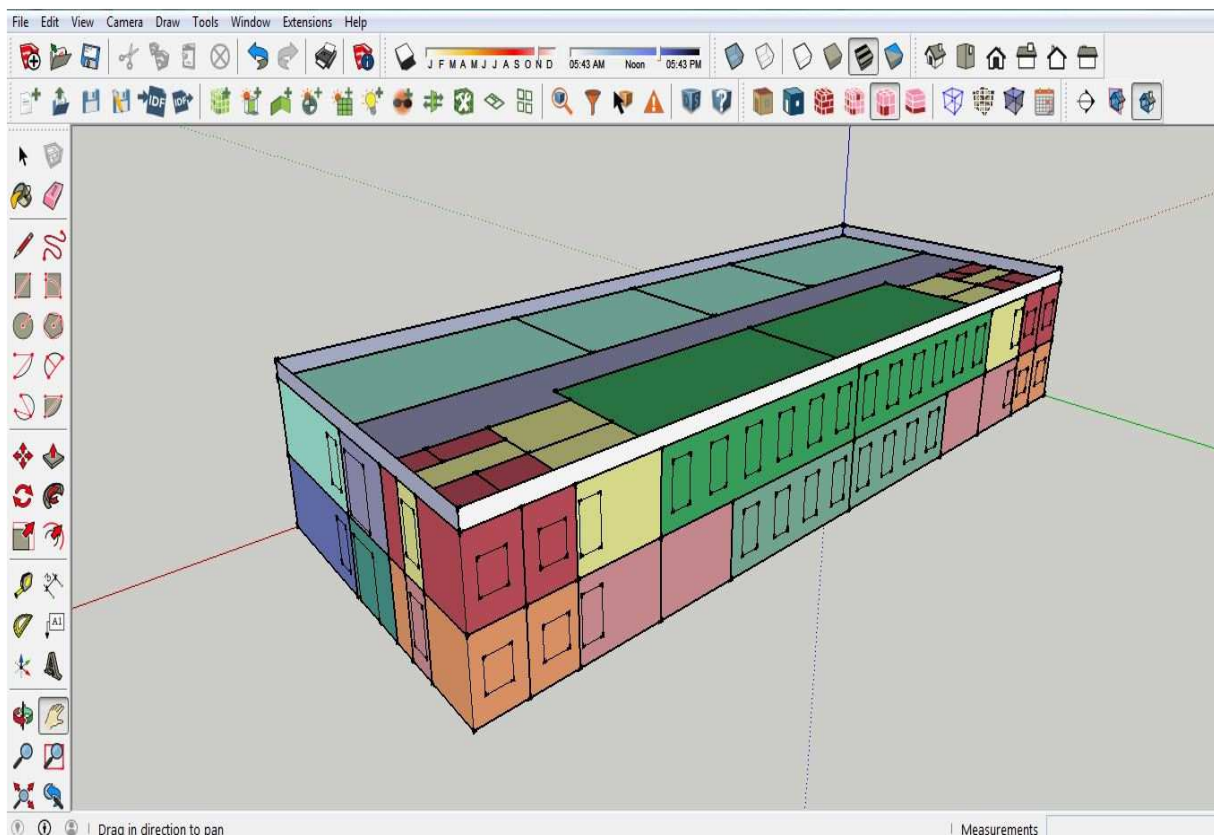
4.2.2 Θερμικές Ζώνες

Το κτίριο 12Θ της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, όπως αναφέραμε προηγουμένως, περιλαμβάνει χώρους με ποικίλες λειτουργίες και χρήσεις. Προτού, λοιπόν, πραγματοποιηθεί η προσομοίωσή του στο Energy Plus απαιτείται χωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες. Ο διαχωρισμός των κτιρίων σε θερμικές ζώνες αποτελεί σημαντικό κομμάτι του ενεργειακού τους σχεδιασμού και τεχνική ορθολογικής χρήσης και αφορά δύο επίπεδα:

- ✓ Τον ορθολογικό αρχιτεκτονικό σχεδιασμό βάσει ενεργειακών κριτηρίων (π.χ. βιοκλιματικό σχεδιασμό)
- ✓ Το σχεδιασμό και τη λειτουργία των μηχανολογικών συστημάτων θέρμανσης/ψύξης

Με τον διαχωρισμό, επομένως, του κτιρίου σε θερμικές ζώνες επιτυγχάνουμε μια πιο ρεαλιστική προσομοίωσή του.

Μία σύντομη επισκόπηση των θερμικών ζωνών στις οποίες έχει χωριστεί το εκάστοτε κτίριο, μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τον τύπο προβολής κατά θερμική ζώνη (“Render by Thermal Zone”), κατά τον οποίο κάθε θερμική ζώνη παρίσταται με διαφορετικό χρώμα. Η εφαρμογή της παραπάνω εντολής για το υπό μελέτη κτίριο μπορεί να φανεί στην Εικόνα 4.11.



Εικόνα 4.11 Η εντολή “Render by Thermal Zone”

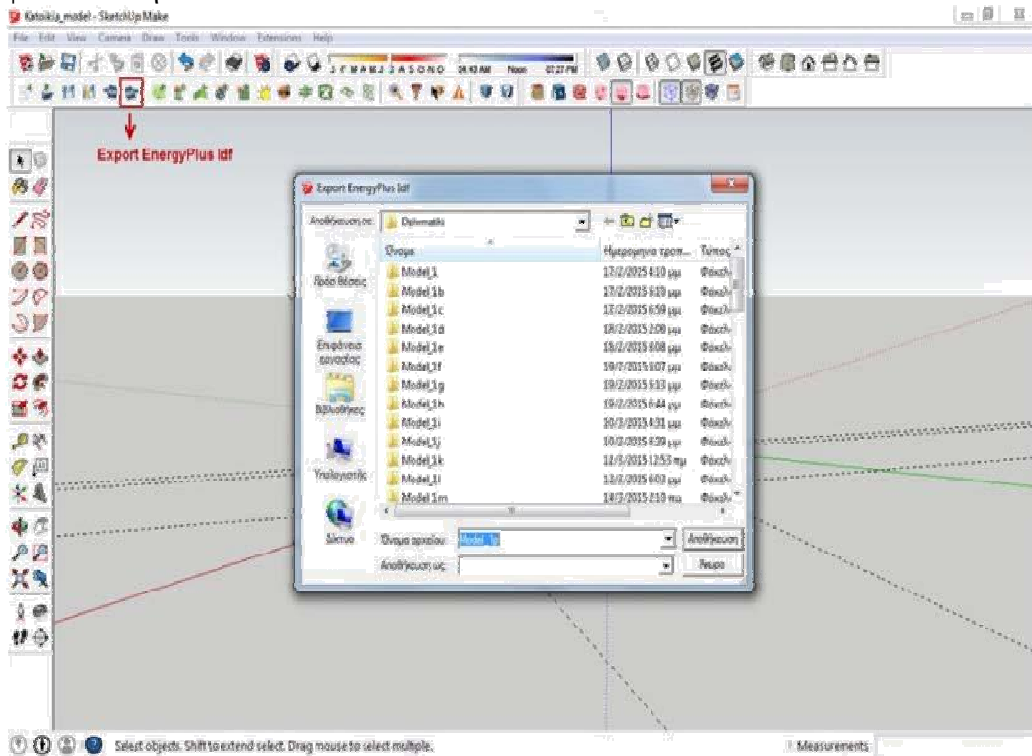
Επιλέξαμε να χωρίσουμε το κτίριο σε 10 θερμικές ζώνες, οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω στην Εικόνα 4.12:

Θερμική ζώνη 1	Αίθουσες διδασκαλίας ισογείου-Νότιο τμήμα
Θερμική ζώνη 2	Αίθουσες διδασκαλίας ισογείου-Βόρειο τμήμα
Θερμική ζώνη 3	Αίθουσες διδασκαλίας ορόφου-Νότιο τμήμα
Θερμική ζώνη 4	Αίθουσες διδασκαλίας ορόφου-Βόρειο τμήμα
Θερμική ζώνη 5	Κύριος διάδρομος κυκλοφορίας ισογείου
Θερμική ζώνη 6	Κύριος διάδρομος κυκλοφορίας ορόφου
Θερμική ζώνη 7	Δευτερεύων διάδρομος κυκλοφορίας ισογείου
Θερμική ζώνη 8	WC ισογείου
Θερμική ζώνη 9	Δευτερεύων διάδρομος κυκλοφορίας ορόφου
Θερμική ζώνη 10	WC ορόφου

Εικόνα 4.12 Θερμικές ζώνες κτιρίου.

4.2.3 Δημιουργία αρχείου δεδομένων εισόδου

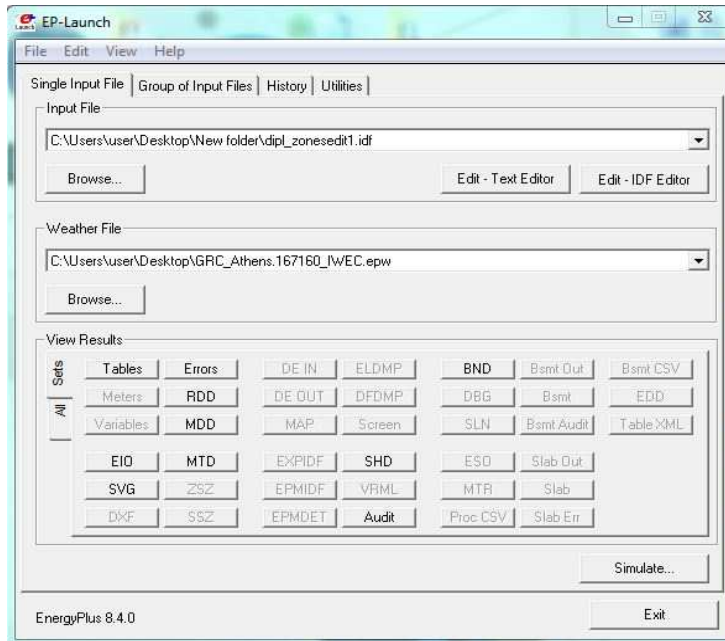
Το βήμα που ακολουθεί την ολοκλήρωση της σχεδίασης του κελύφους του κτιρίου και τον διαχωρισμό του κτιρίου σε θερμικές ζώνες, είναι η δημιουργία ενός αρχείου δεδομένων εισόδου για την προσομοίωση με το λογισμικό EnergyPlus, το οποίο να είναι επεξεργάσιμο από την εφαρμογή IDF Editor, στην οποία θα ολοκληρωθεί η συμπλήρωσή του. Η εξαγωγή και η αποθήκευση του εν λόγω αρχείου πραγματοποιείται κάνοντας χρήση της εντολής “Export EnergyPlus Idf”, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.13:



Εικόνα 4.13 Δημιουργία αρχείου δεδομένων εισόδου, η εντολή “Export EnergyPlus Idf”

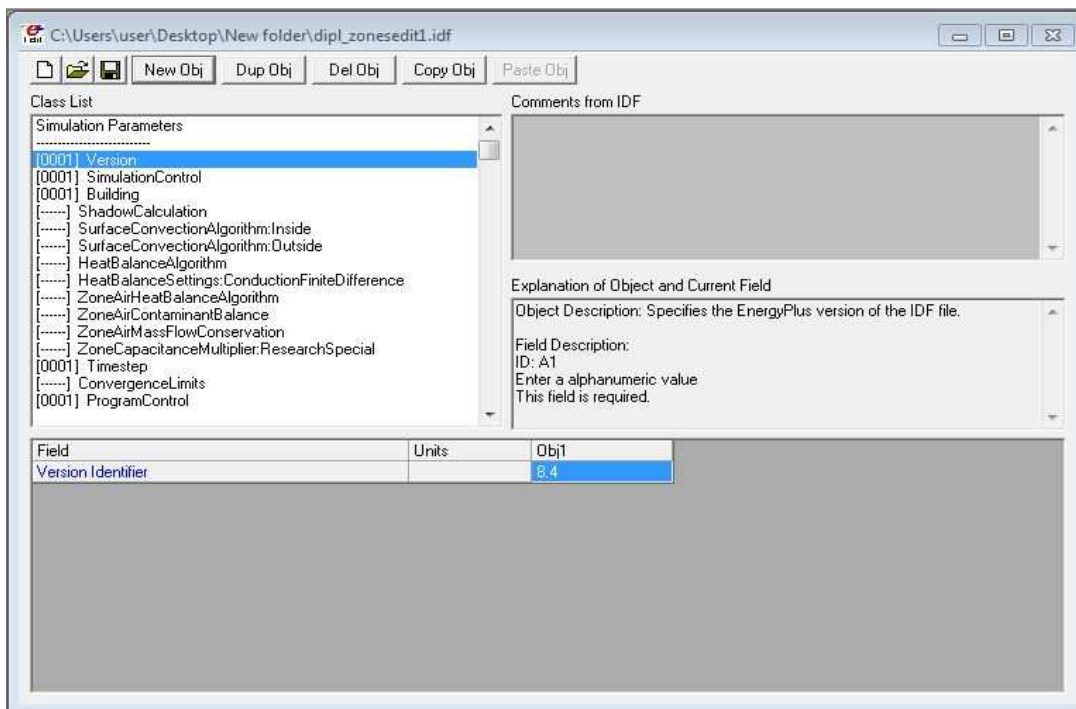
4.3 Εισαγωγή κύριων μεταβλητών στο Energy Plus

Ανοίγοντας το αρχείο Idf που έχουμε εξάγει από το Sketch up, βγαίνουμε στο περιβάλλον του προγράμματος που φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 4.14:



Εικόνα 4.14 Το περιβάλλον του EnergyPlus.

Στη συνέχεια πατάμε στο "Edit - Idf Editor" και μπαίνουμε στο παράθυρο διαλόγου που περιέχει όλα τα πιθανά πεδία που μπορούν να συμπληρωθούν.



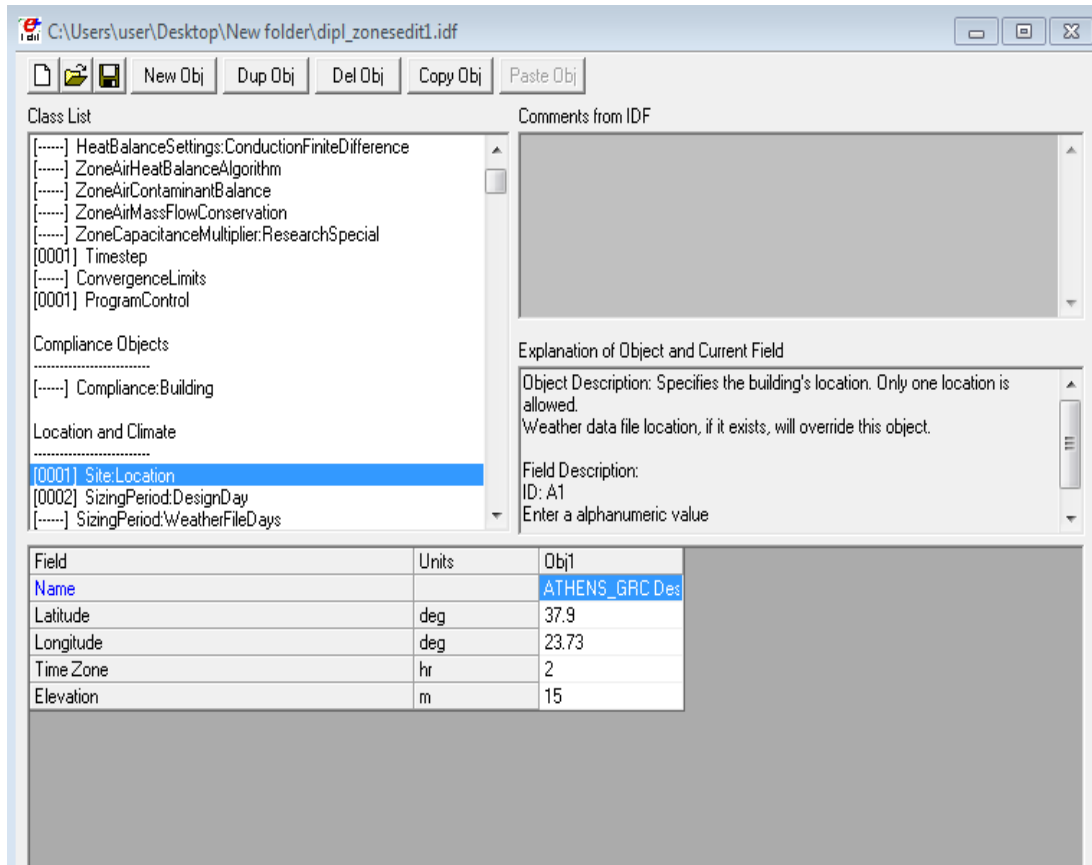
Εικόνα 4.15 Idf Editor

Στην καρτέλα timestep ορίσαμε το χρονικό βήμα προσομοίωσης ίσο με 6, το οποίο είναι το προτεινόμενο από το πρόγραμμα.

4.3.1 Εισαγωγή κλιματικών δεδομένων και δεδομένων τοποθεσίας

4.3.1.1 Τοποθεσία:

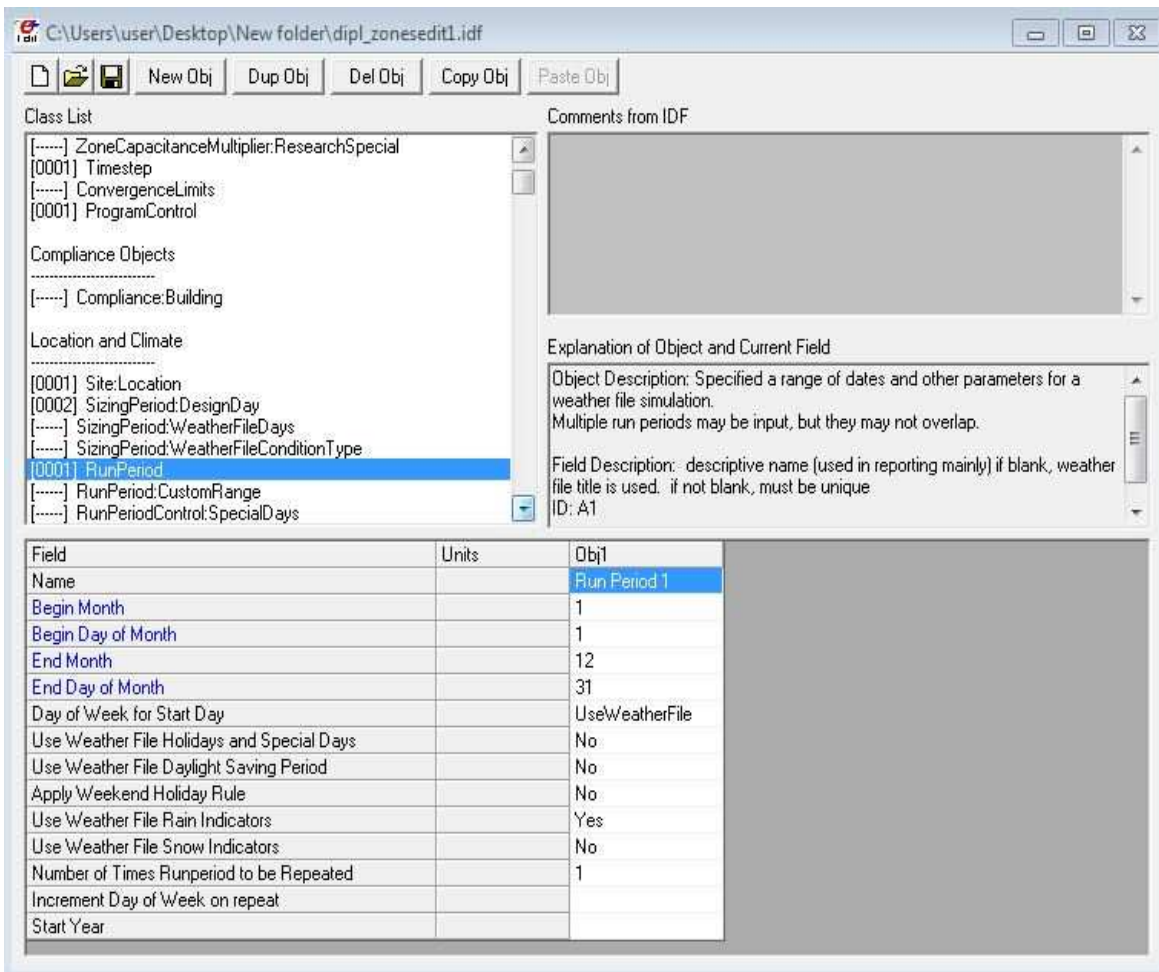
Πηγαίνουμε στην καρτέλα "Location and Climate" και πατάμε στην κατηγορία "Site:Location". Εδώ συμπληρώνουμε στοιχεία της τοποθεσίας του κτιρίου όπως είναι το γεωγραφικό μήκος και πλάτος, το υψόμετρο και η ζώνη ώρας. Δεν έχω τα στοιχεία αυτά για την τοποθεσία του κτιρίου και έτσι χρησιμοποιώ το αρχείο καιρού για την Αθήνα που κατεβάσαμε από την ιστοσελίδα του Energy plus.



Εικόνα 4.16 Location

4.3.1.2 Run Period:

Πατώντας στο "Run Period" εισάγουμε δεδομένα που αφορούν το αρχείο καιρού και άλλα δεδομένα που είναι επιθυμητό να χρησιμοποιηθούν. Οι τιμές που χρησιμοποιήσαμε φαίνονται στην παρακάτω Εικόνα:

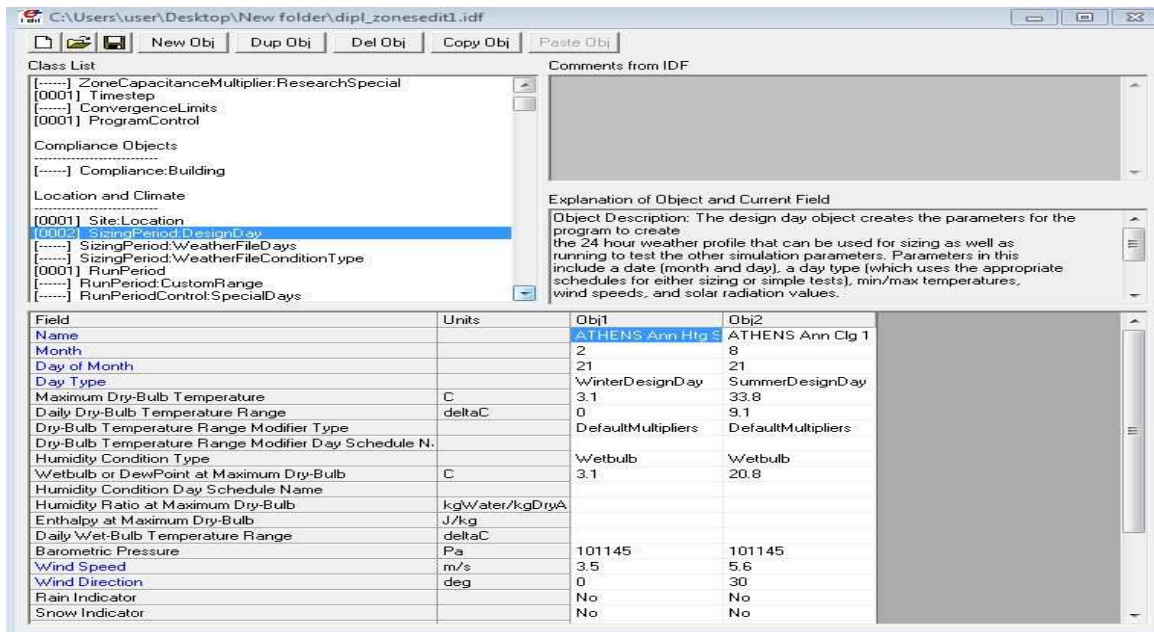


Εικόνα 4.17 RunPeriod

Στην παράμετρο « Use Weather File Rain Indicators » επιλέγουμε το Yes γιατί οι δείκτες βροχής του αρχείου καιρού υποδηλώνουν υγρές επιφάνειες με διαφορετική συμπεριφορά στη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή απ' ότι οι στεγνές. Την παράμετρο « Use Weather File Snow Indicators » την απενεργοποιούμε διότι αναφέρεται στη διαφορετική ανακλαστικότητα που έχει το έδαφος όταν επικαλύπτεται από χιόνι και αυτό είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει σπάνια στην τοποθεσία αυτή.

4.3.1.3 SizingPeriod: DesignDay

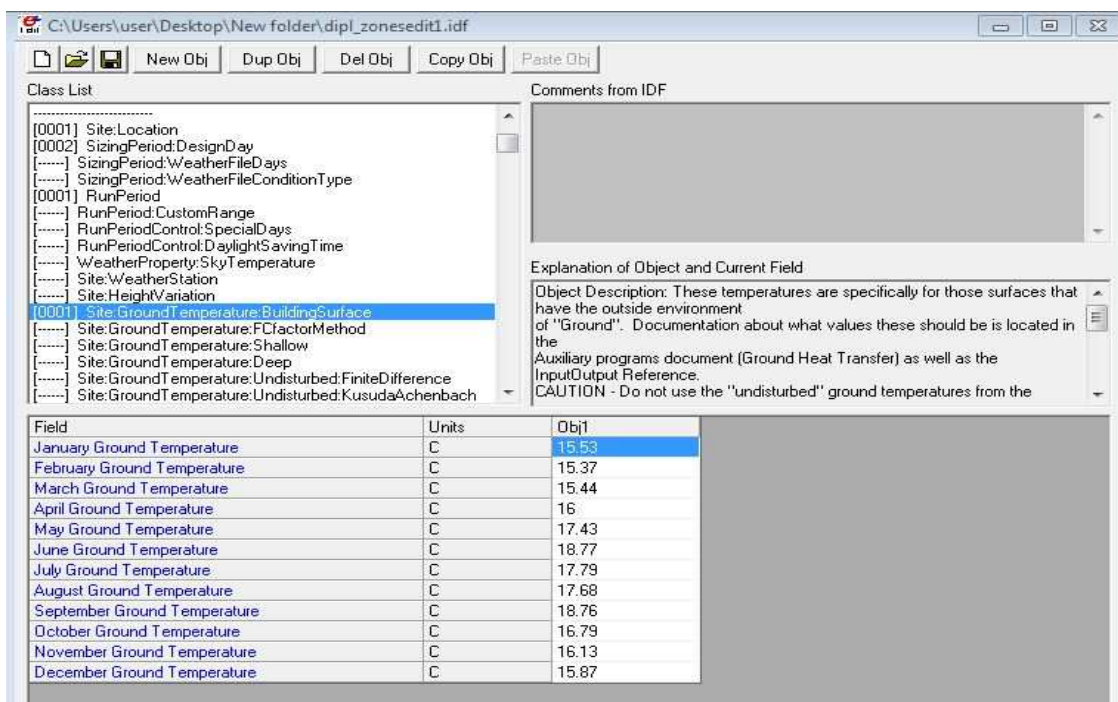
Χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα που φαίνονται στην Εικόνα 4.18, τα οποία πήρα από το Weatherfile για την περιοχή της Αθήνας.



Εικόνα 4.18 SizingPeriod: DesignDay

4.3.1.4 Site:GroundTemperature: BuildingSurface

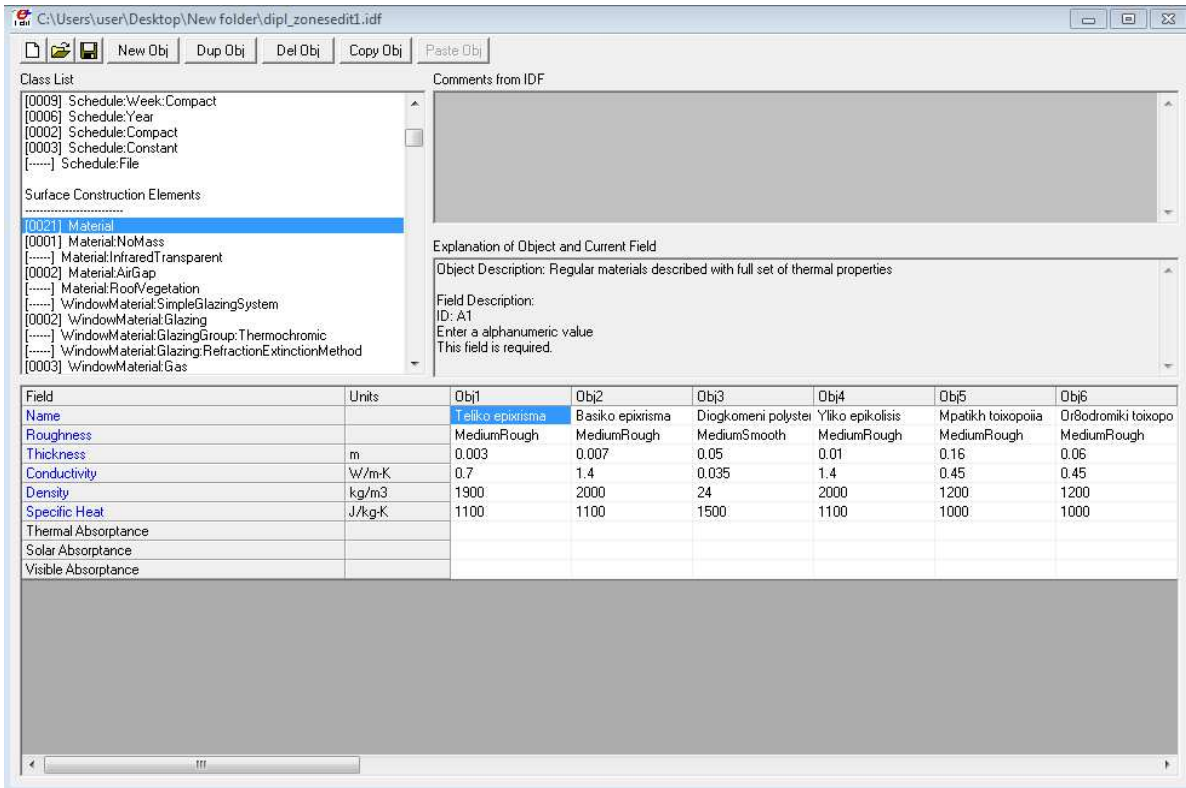
Εδώ συμπληρώνουμε τη μέση θερμοκρασία του εδάφους, κατά τη διάρκεια κάθε μήνα. Χρησιμοποιήσαμε προσεγγιστικά τις θερμοκρασίες που βρήκαμε από το Weather file της Αθήνας. Οι θερμοκρασίες που συμπληρώσαμε φαίνονται στην παρακάτω Εικόνα 4.19:



Εικόνα 4.19 Μέση θερμοκρασία εδάφους για τους μήνες του έτους

4.4 Εισαγωγή των υλικών

Στο Energyplus εισάγουμε τα υλικά από τα οποία αποτελούνται τα δομικά στοιχεία του κτιρίου. Για να προχωρήσουμε στην εισαγωγή των υλικών πηγαίνουμε στην καρτέλα "Surface Construction Elements" και επιλέγουμε το "Material". Η κατηγορία "Material" χρησιμοποιείται για την περιγραφή των αδιαφανών υλικών.



Εικόνα 4.20 Εισαγωγή αδιαφανών υλικών και ιδιοτήτων τους

Για τον προσδιορισμό του material είναι απαραίτητη η εισαγωγή των εξής δεδομένων:

Name: Όνομα του υλικού

Roughness: Τραχύτητα του υλικού

Thickness: Πάχος του υλικού σε μέτρα (m)

Conductivity: Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας σε W/(m·K)

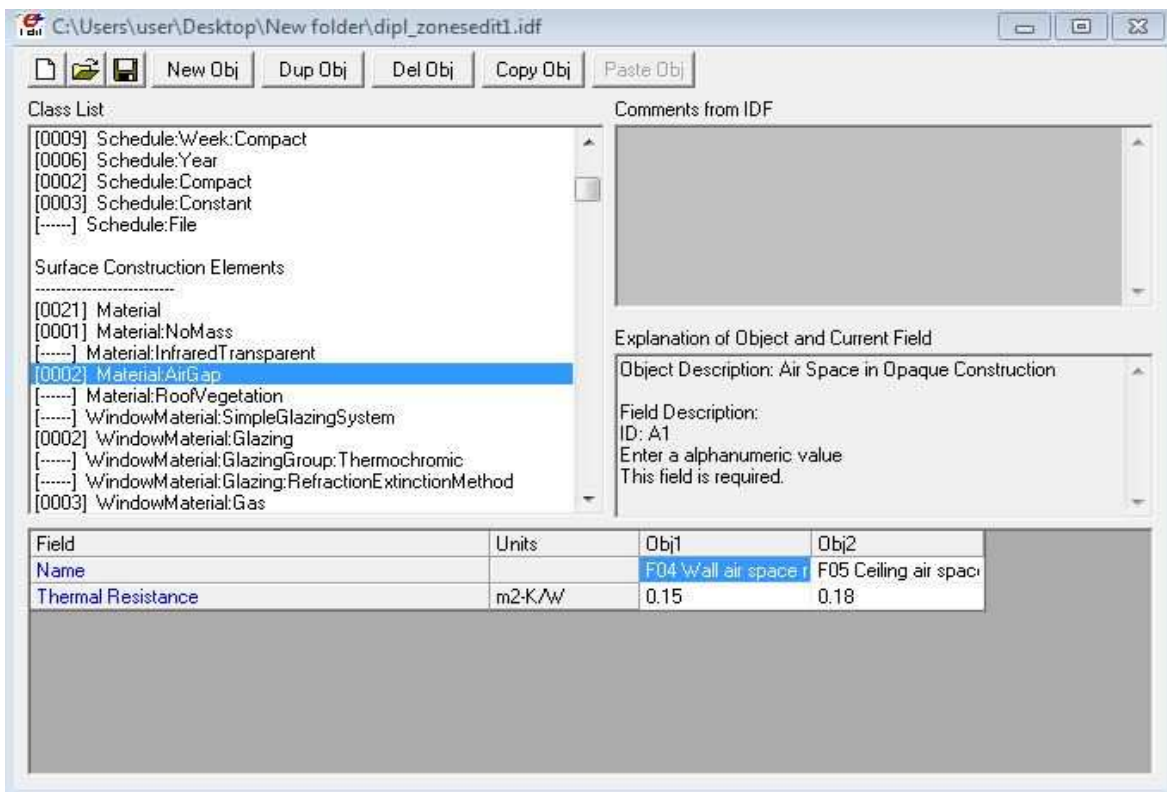
Density: Πυκνότητας του υλικού σε kg/m³

Specific: Ειδική θερμοχωρητικότητα του υλικού σε J/(kg·K)

Οι ιδιότητες των υλικών: συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/m*K), της πυκνότητας ρ (kg/m³) και της ειδικής θερμοχωρητικότητας c_p (J/kg*K) κάθε υλικού λήφθηκαν από την Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας 20701-2/2010.

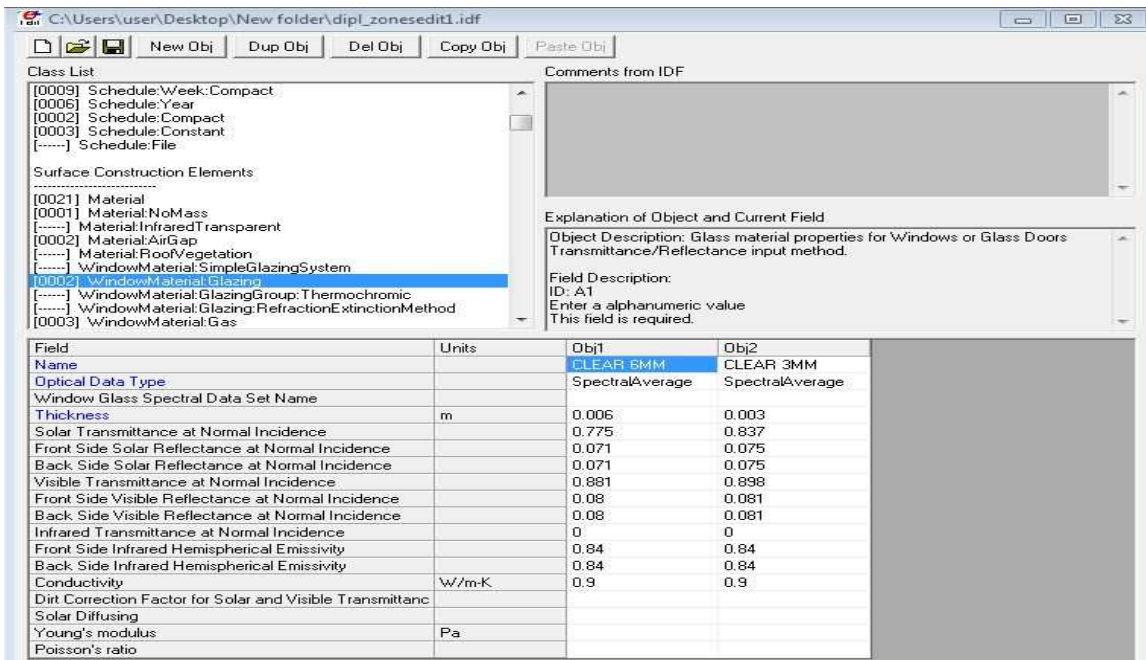
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/m*K): είναι η ποσότητα θερμότητας (σε Watt) που περνά από τις απέναντι πλευρές ενός υλικού, πάχους ενός μέτρου, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των επιφανειών αυτών είναι ίση με ένα βαθμό Κέλβιν 1K. Ο συντελεστής (λ) ενός υλικού μετριέται σε βατ ανά μέτρο και βαθμό κέλβιν (W/m*K) επηρεάζεται από τη φύση του ίδιου του υλικού, τη δομή του, τη θερμοκρασία, την υγρασία και την πίεση. Όσο μικρότερος είναι ο συγκεκριμένος συντελεστής ενός υλικού τόσο καλύτερη θερμομόνωση έχει.

Για την περιγραφή κενών αέρος μέσα σε μια αδιαφανή στρώση υλικών χρησιμοποιούμε την κατηγορία "Material: AirGap".



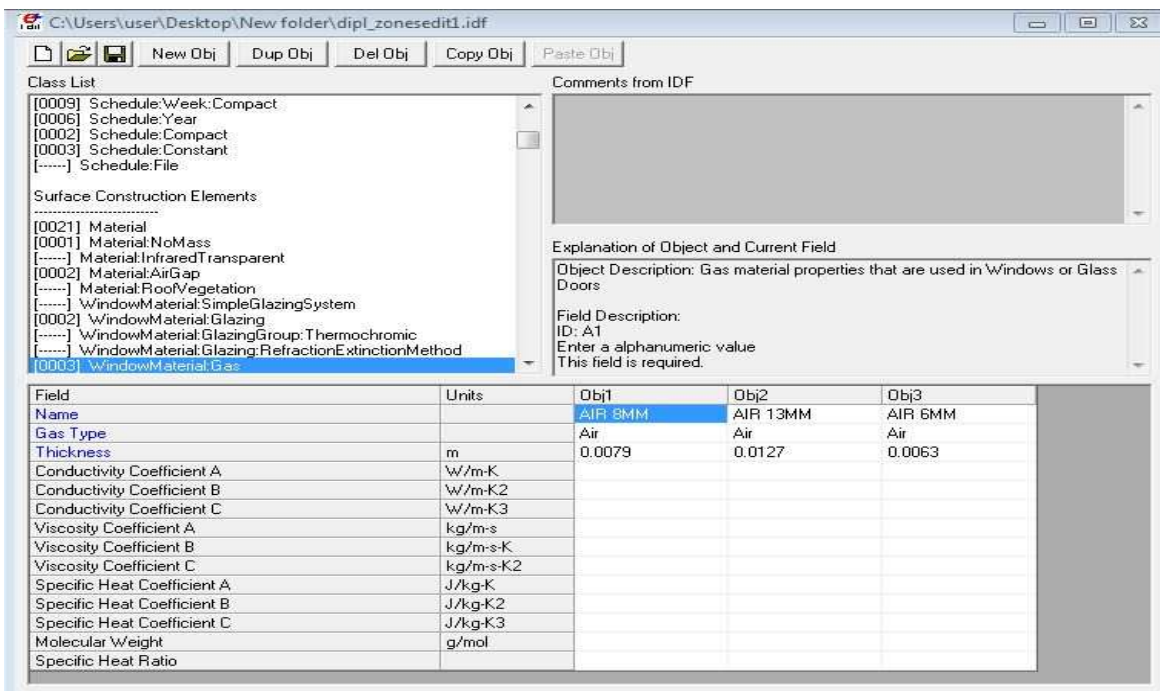
Εικόνα 4.21 Material AirGap

Για τα υλικά των υαλοπινάκων πατάμε στην κατηγορία: "WindowMaterial:Glazing", όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 4.22 WindowMaterial: Glazing

Για τα κενά με αέρα ή αέρια ανάμεσα σε υαλοπίνακες χρησιμοποιούμε το: "WindowMaterial:Gas", όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί:



Εικόνα 4.23 WindowMaterial: Gas

Οι στρώσεις των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε δομικό στοιχείο φαίνονται παρακάτω:

ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

Στρώσεις δομικού στοιχείου	Σκληρότητα	Πάχος στρώσης d(m)	Συντ.θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(mK))	Πυκνότητα δομικού στοιχείου ρ (kg/m ³)	Ειδική θερμοχωρητικότητα Cp (J/(kgK))
ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ					
Τελικό έγχρωμο ακρυλικό επίχρισμα	Medium Rough	0.003	0.7	1900	1100
Βασικό επίχρισμα Thermoprosopsis multi	Medium Rough	0.007	1.4	2000	1100
Διογκωμένη πολυστερίνη σε πλάκες	Medium Smooth	0.05	0.035	24	1500
Υλικό επικόλλησης Thermoprosopsis multi	Medium Rough	0.01	1.4	2000	1100
Μπατική τοιχοποιία	Medium Rough	0.16	0.45	1200	1000
Στρώμα αέρα	-	0.04			
Ορθοδρομική τοιχοποιία	Medium Rough	0.06	0.45	1200	1000
Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	Medium Rough	0.02	0.87	1800	1000
ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ					

ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

Στρώσεις δομικού στοιχείου	Σκληρότητα	Πάχος στρώσης d(m)	Συντ.θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(mK))	Πυκνότητα δομικού στοιχείου ρ (kg/m ³)	Ειδική θερμοχωρητικότητα Cp (J/(kgK))
ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ					
Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	Medium Rough	0.02	0.87	1800	1000
Μπατική τοιχοποιία	Medium Rough	0.16	0.45	1200	1000
Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	Medium Rough	0.02	0.87	1800	1000
ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ					

ΔΑΠΕΔΟ ΙΣΟΓΕΙΟΥ

Στρώσεις δομικού στοιχείου	Σκληρότητα	Πάχος στρώσης d(m)	Συντ.θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(mK))	Πυκνότητα δομικού στοιχείου ρ (kg/m ³)	Ειδική θερμοχωρητικότητα Cp (J/(kgK))
ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ					
Φύλλο πολυαιθυλενίου	Rough	0.0002	0.33	920	2200
Ελαφρώς οπλισμένο σκυρόδεμα	Medium Rough	0.1	1.15	1800	1000
Γεούφασμα	Rough	0.0015	0.04	100	1030
Ασφαλτόπανο	Very Rough	0.003	0.23	1100	1000
Οπλισμένο σκυρόδεμα	Medium Rough	0.2	2.5	2400	1000
Περλιτόδεμα	Medium Rough	0.05	0.094	350	1000
Τσιμεντοκονίαμα	Medium Rough	0.02	1.4	2000	1100
Μάρμαρο ή	Medium Smooth	0.03	3.5	2800	1000
Πλαστική επίστρωση	Medium Smooth	0.0095	0.58	800	1090
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ					

ΔΑΠΕΔΟ ΟΡΟΦΟΥ

Στρώσεις δομικού στοιχείου	Σκληρότητα	Πάχος στρώσης d(m)	Συντ.θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(mK))	Πυκνότητα δομικού στοιχείου ρ (kg/m ³)	Ειδική θερμοχωρητικότητα Cp (J/(kgK))
ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ					
Γυψοσανίδα	Medium Smooth	0.0159	0.16	800	1090
F05 Ceiling air space resistance					
Οπλισμένο σκυρόδεμα	Medium Rough	0.2	2.5	2400	1000
Περλιτόδεμα	Medium Rough	0.05	0.094	350	1000
Τσιμεντοκονίαμα	Medium Rough	0.02	1.4	2000	1100
Μάρμαρο ή	Medium Smooth	0.03	3.5	2800	1000
Πλαστική επίστρωση	Medium Smooth	0.0095	0.58	800	1090
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ					

ΔΑΠΕΔΟ ΔΩΜΑΤΟΣ

Στρώσεις δομικού στοιχείου	Σκληρότητα	Πάχος στρώσης d(m)	Συντ.θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(mK))	Ποκνότητα δομικού στοιχείου ρ (kg/m ³)	Ειδική θερμοχωρητικότητα Cp (J/(kgK))
ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ					
Τσιμεντοκονίαμα	Medium Rough	0.02	1.4	2000	1100
Γεωφάσμα	Rough	0.0015	0.04	100	1030
Ασφαλτόπανο	Very Rough	0.003	0.23	1100	1000
Ελαφροσκυρόδεμα κλίσεων	Medium Rough	0.05	0.2	500	
Προστατευτικό φύλλο πολυαιθυλενίου	Rough	0.0002	0.33	920	2200
Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	Medium Smooth	0.07	0.035	35	1450
Φράγμα υδρατμών (ασφαλτόπανο)	Very Rough	0.003	0.23	1100	1000
Οπλισμένο σκυρόδεμα	Medium Rough	0.2	2.5	2400	1000
F05 Ceiling air space resistance					
Γυψοσανίδα	Medium Smooth	0.0159	0.16	800	1090

ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΠΑΡΑΘΥΡΑ

ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ	
Καθαρό γυαλί	0.006
Αέρας	0.013
Καθαρό γυαλί	0.006
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ	

ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΓΥΑΛΙΝΗ ΠΟΡΤΑ

ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ	
Καθαρό γυαλί	0.006
Αέρας	0.008
Καθαρό γυαλί	0.006
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ	

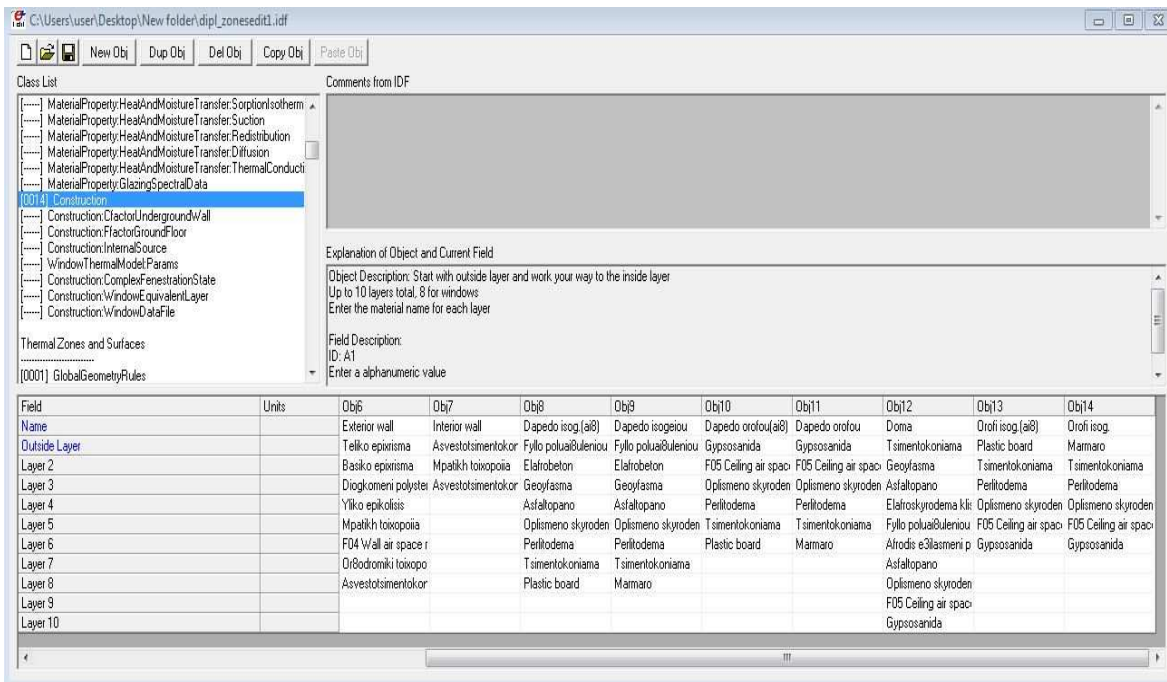
ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΓΥΑΛΙΝΗ ΠΟΡΤΑ

ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ	
Καθαρό γυαλί	0.006
Αέρας	0.006
Καθαρό γυαλί	0.003
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ	

ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΠΟΡΤΑ

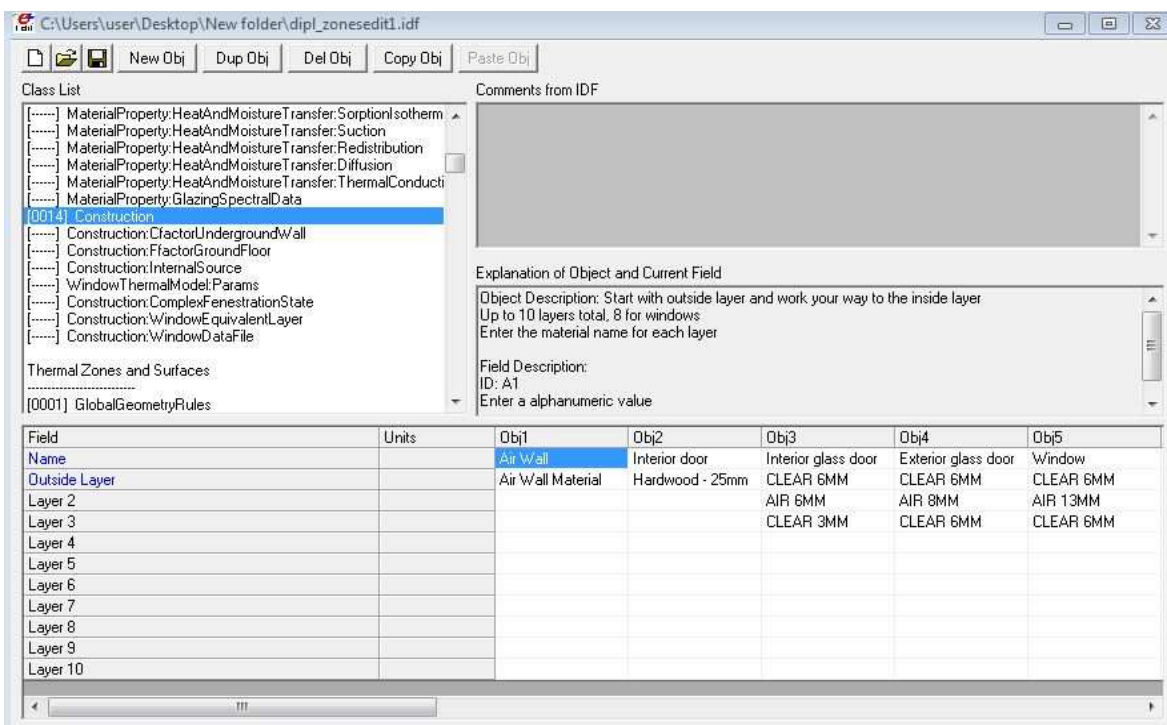
Ξύλο	0.025
-------------	-------

Φτιάχνουμε, επομένως, τις κατασκευαστικές δομές που θα αντιστοιχήσουμε αργότερα στις επιφάνειες του κτιρίου, κάνοντας χρήση των υλικών που ορίσαμε προηγουμένως. Αυτό γίνεται στην κατηγορία "Construction". Προσέχουμε, ώστε οι στρώσεις των υλικών να συμπληρώνονται κάθε φορά από την εξωτερική στρώση προς την εσωτερική, για όλων των ειδών τις επιφάνειες που σχεδιάζουμε (τοιίχους, παράθυρα, δάπεδα, κ.ά.)



Εικόνα 4.24 Ορισμός κατασκευαστικών δομών των επιφανειών του κτιρίου 12Θ στο Energyplus

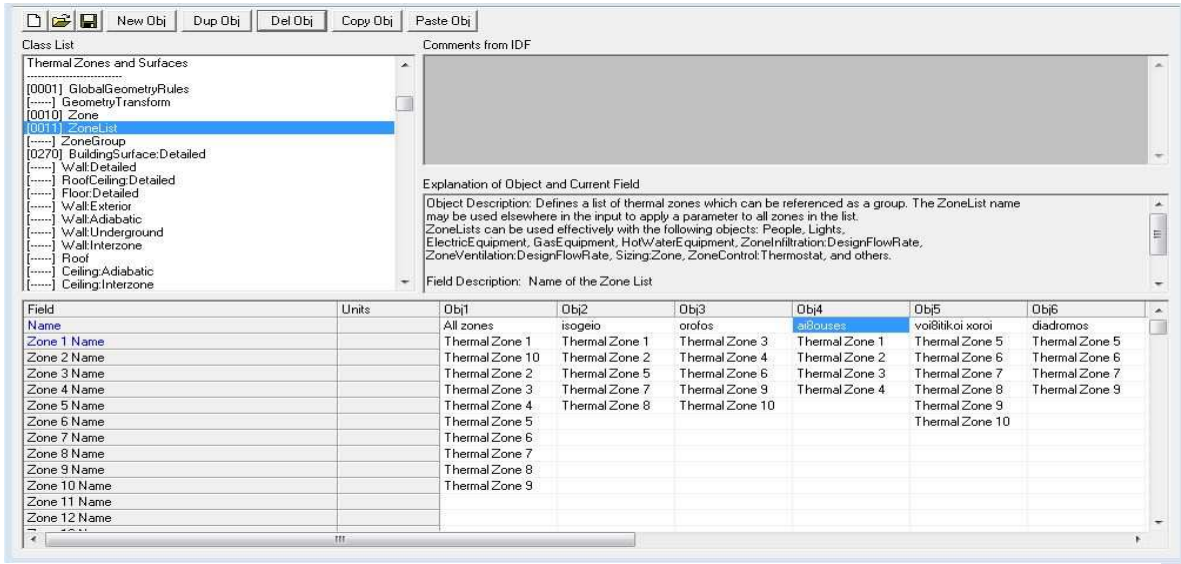
Στην ίδια ενότητα (Construction), εισάγουμε και τις κατασκευαστικές δομές των παραθύρων του κτιρίου, των εσωτερικών πορτών του καθώς και των γυάλινων εσωτερικών ή εξωτερικών πορτών, όπως φαίνεται και από την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.25 Ορισμός κατασκευαστικών δομών των κουφομάτων του κτιρίου 12Θ στο Energyplus

4.4.1 Ομαδοποίηση των θερμικών ζωνών

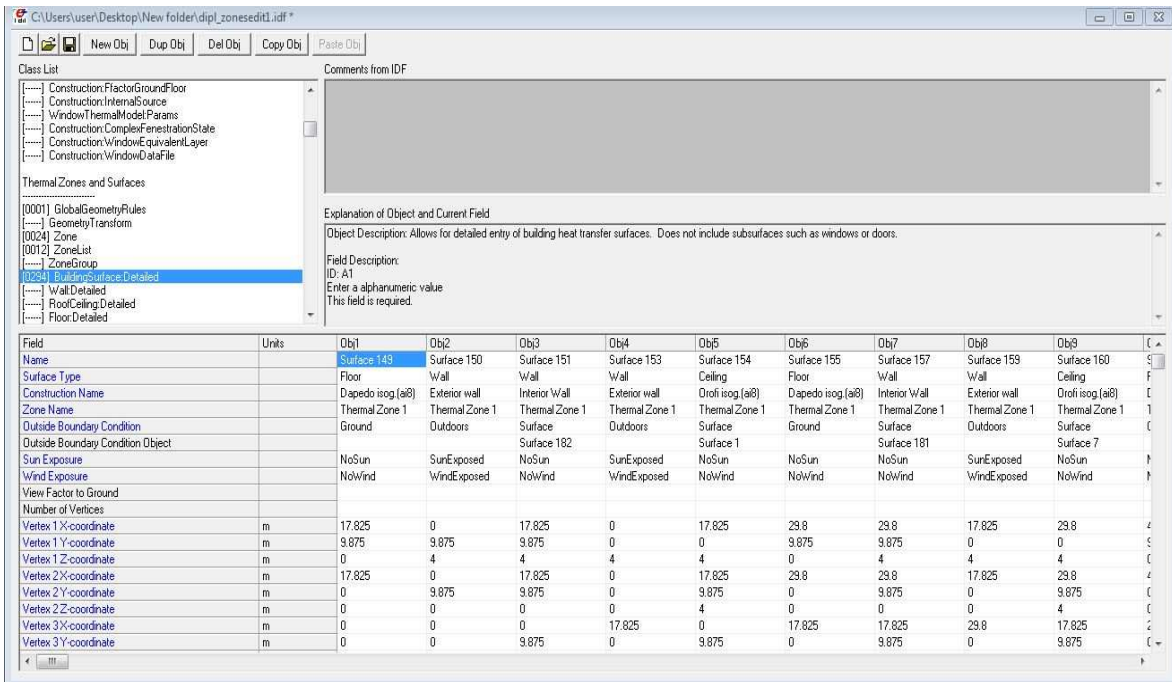
Επειδή κάποιες ζώνες εμφανίζουν παρόμοια χαρακτηριστικά (όπως π.χ. αριθμό χρηστών, τεχνητό φωτισμό κ.α.) ομαδοποιήθηκαν. Αυτή η διαδικασία έγινε στην καρτέλα "Thermal Zones and Surfaces" στην κατηγορία "ZoneList".



Εικόνα 4.26 Ομαδοποίηση θερμικών ζωνών

4.4.2 Ορισμός επιφανειών

Πατώντας πάνω στο "BuildingSurface:Detailed" που βρίσκεται στην καρτέλα "Thermal Zones and Surfaces" αντιστοιχούμε σε κάθε επιφάνεια την κατασκευαστική δομή της.



Εικόνα 4.27 Επιφάνειες με τα χαρακτηριστικά τους

Σε αυτό το πεδίο φαίνεται ο τύπος της κάθε επιφάνειας (αν είναι πάτωμα, τοίχος κ.λπ.), οι συνοριακές της συνθήκες (επιφάνεια που συνορεύει) και οι εξωτερικές συνθήκες στις οποίες εκτίθεται (αν έρχεται σε επαφή με χώμα, αν εκτίθεται στον ήλιο ή σε αέρα). Είναι πολύ σημαντικό να ελεγχθούν οι παραπάνω συνθήκες για το σύνολο των επιφανειών, καθώς το πρόγραμμα τις παίρνει έτοιμες από το αρχείο του Sketch up- Open studio. Έτοιμες βγαίνουν και οι συντεταγμένες κάθε επιφάνειας. Εμείς ορίζουμε την κατασκευαστική δομή της επιφάνειας στο "Construction Name".

Όσον αφορά τις επιφάνειες των ανοιγμάτων, πηγαίνουμε στο "Fenestration Surface:Detailed" και ορίζουμε τις δομές τους. Η συνοριακή συνθήκη για την κάθε επιφάνεια βγαίνει αυτόματα από το πρόγραμμα με βάση το αρχείο του Sketch up-Open studio και για αυτό καλό θα είναι να γίνεται μία επαλήθευση. Η εισαγωγή της δομής της επιφάνειας γίνεται στη γραμμή "Construction Name".

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Name		Sub Surface 181	Sub Surface 5	Sub Surface 6	Sub Surface 101	Sub Surface 102	Sub Surface 103	Sub Surface 104	Sub Surface 105	Sub Surface 106
Surface Type		Window	Door	Door	Window	Window	Window	Window	Window	Window
Construction Name		Window	Interior door	Interior Door	Window	Window	Window	Window	Window	Window
Building Surface Name		Surface 150	Surface 151	Surface 151	Surface 153	Surface 153	Surface 153	Surface 153	Surface 153	Surface 153
Outside Boundary Condition Object			Sub Surface 62	Sub Surface 60						
View Factor to Ground										
Shading Control Name										
Frame and Divider Name										
Multiplier										
Number of Vertices										
Vertex 1 X-coordinate	m	0	13.6	5.8	1.1	4.05000000E+00	7.00000000E+00	9.95000000E+00	12.9	15.85
Vertex 1 Y-coordinate	m	9.2	9.875	9.875	0	0	0	0	0	0
Vertex 1 Z-coordinate	m	3.25	2.25	2.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25
Vertex 2 X-coordinate	m	0	13.6	5.8	1.1	4.05000000E+00	7.00000000E+00	9.95000000E+00	12.9	15.85
Vertex 2 Y-coordinate	m	9.2	9.875	9.875	0	0	0	0	0	0
Vertex 2 Z-coordinate	m	0.9	0	0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Vertex 3 X-coordinate	m	0	12.5	4.7	2.45000000E+00	5.40000000E+00	8.35000000E+00	11.3	14.25	17.2
Vertex 3 Y-coordinate	m	7.85	9.875	9.875	0	0	0	0	0	0

Εικόνα 4.28 Ορισμός δομών ανοιγμάτων

4.5 Χρονοδιαγράμματα (Schedules)

Εδώ ορίζουμε τα χρονοδιαγράμματα της διαμονής των χρηστών, της χρήσης του τεχνητού φωτισμού, της χρήσης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, της θέρμανσης ζεστού νερού κ.α. για τους διάφορους χώρους του κτιρίου.

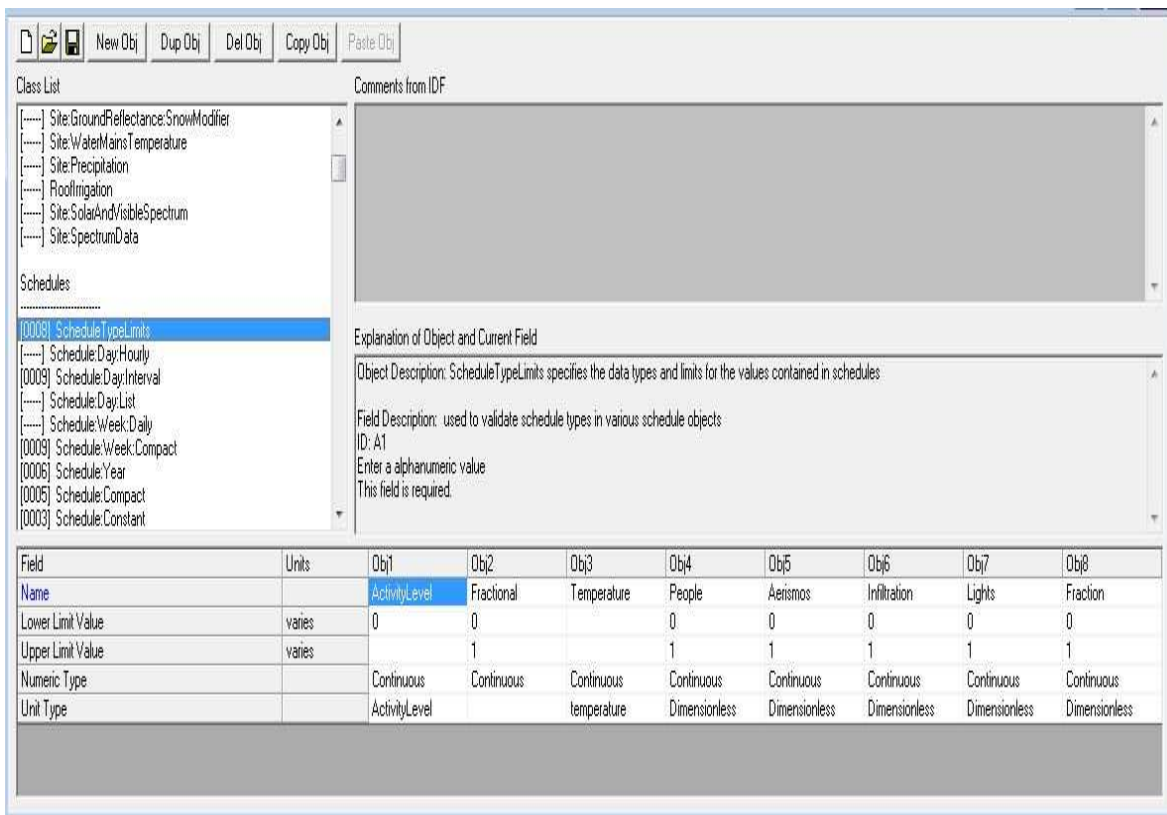
Τα χρονοδιαγράμματα που αφορούν τους χρήστες, τον τεχνητό φωτισμό και το φυσικό αερισμό προέκυψαν έπειτα από παρατήρηση. Η είσοδος των δεδομένων αυτών γίνεται στην καρτέλα "Schedules".

4.5.1 Schedule Type Limits:

Εδώ συμπληρώνουμε τους συντελεστές μοντελοποίησης για την προσομοίωση, το εύρος των τιμών που μπορούμε να δώσουμε στις μεταβλητές, τις μονάδες των τιμών αυτών και το αν αυτές είναι δεκαδική ή μόνο ακέραιοι αριθμοί.

Εμείς φτιάξαμε τους εξής τύπους συντελεστών:

- πυκνότητα ανθρώπων σε σχέση με τη μέγιστη τιμή που επικρατεί την ώρα αιχμής
- ηθελημένο φυσικό αερισμό
- αθέλητη διείσδυση αέρα
- επίπεδο δραστηριότητας
- φωτισμός
- θερμοκρασία



Εικόνα 4.29 Schedule Type Limits

4.5.2 Schedule:Day: Interval

Εισάγουμε χρονικές πληροφορίες για τις κατηγορίες συντελεστών που προσδιορίσαμε πριν. Συγκεκριμένα, καθορίζονται τα ημερήσια χρονικά προγράμματα λειτουργίας των συντελεστών που αφορούν τις καθημερινές μέρες, τα Σάββατα, τις Κυριακές και τις αργίες.

Class List

- Site:GroundReflectance:SnowModifier
- Site:WaterMains Temperature
- Site:Precipitation
- RooFrigigation
- Site:SolarAndVisibleSpectrum
- Site:SpectrumData

Schedules:

- [0008] Schedule:Type:Limits
- [-----] Schedule:Day:Hourly
- [0009] Schedule:Day:Interval
- [-----] Schedule:Day:List
- [-----] Schedule:Week:Daily
- [0009] Schedule:Week:Compact
- [0006] Schedule:Year
- [0005] Schedule:Compact
- [0003] Schedule:Constant

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: A Schedule:Day:Interval contains a full day of values with specified end times for each value. Currently, is set up to allow for 10 minute intervals for an entire day.

Field Description:

ID: A1

Enter a alphanumeric value

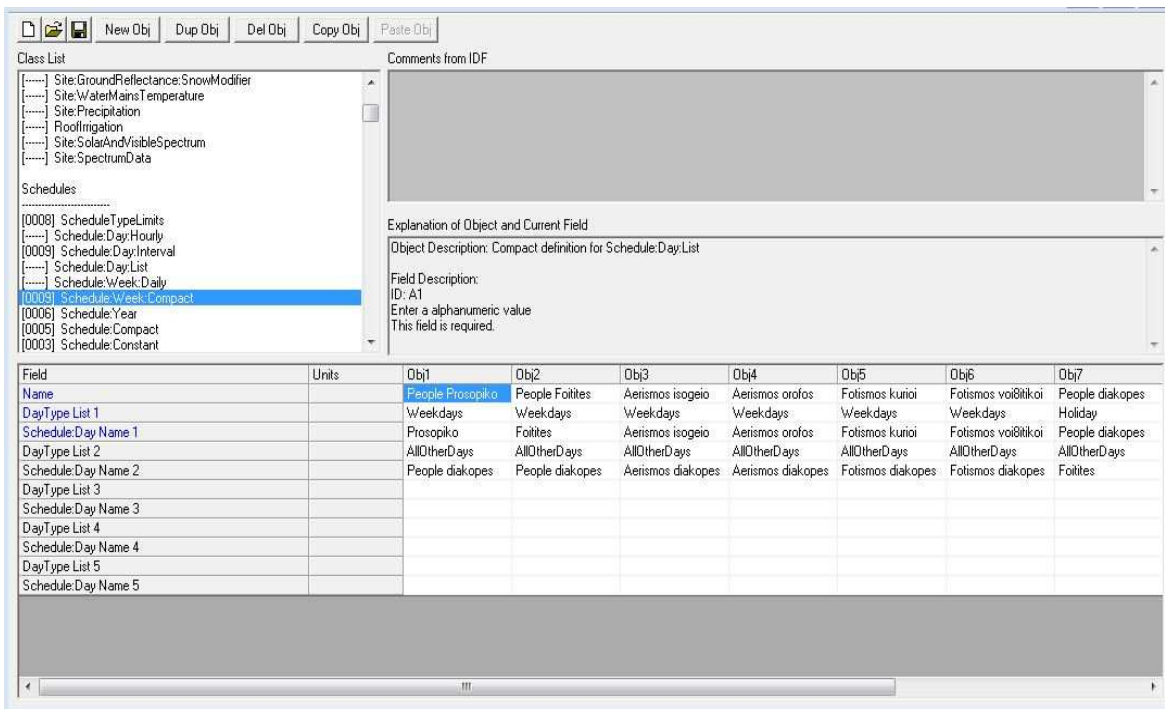
This field is required.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Name		Aerismos orlos	Fotismos kuatoi	Fotismos voithikoi	People diakopes	Aerismos diakopes	Fotismos diakopes	Prosopiko	Fotites	Aerismos isogio
Schedule Type Limits Name		Aerismos	Lights	Lights	People	Aerismos	Lights	People	People	Aerismos
Interpolate to Timestep		No	No	No	No	No	No	No	No	No
Time 1		Unit: 08:00	Unit: 08:00	Unit: 08:00	Unit: 08:00	Unit: 08:00	Unit: 08:00	Unit: 08:00	Unit: 08:50	Unit: 08:00
Value Until Time 1	varies	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0
Time 2		Unit: 16:00	Unit: 15:00	Unit: 16:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00	Unit: 14:00	Unit: 10:50	Unit: 16:00
Value Until Time 2	varies	0.3	1	0.2	0	0.2	0	1	0.6	0.7
Time 3		Unit: 20:00	Unit: 18:00	Unit: 20:00				Unit: 16:00	Unit: 12:50	Unit: 20:00
Value Until Time 3	varies	0.1	0.3	0.1				0.75	1	0.3
Time 4		Unit: 24:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00				Unit: 20:00	Unit: 14:50	Unit: 24:00
Value Until Time 4	varies	0	0	0				0.5	1	0
Time 5								Unit: 24:00	Unit: 16:50	
Value Until Time 5	varies							0	0.3	
Time 6									Unit: 18:50	
Value Until Time 6	varies								0.1	
Time 7									Unit: 24:00	
Value Until Time 7	varies								0	
Time 8										

Εικόνα 4.30 Εισαγωγή ημερήσιων χρονοδιαγραμμάτων στο Energyplus

4.5.3 Schedule: Week: Compact

Σε αυτή την ενότητα, δημιουργούμε τα εβδομαδιαία προγράμματα χρησιμοποιώντας τα ημερήσια χρονοδιαγράμματα που φτιάξαμε προηγουμένως. Αντιστοιχίζονται οι μέρες της βδομάδας με το αντίστοιχο ημερήσιο πρόγραμμα.



Εικόνα 4.31 Schedule: Week: Compact

4.5.4 Schedule: Year

Εδώ αντιστοιχίζουμε τις χρονικές περιόδους του χρόνου με τα κατάλληλα εβδομαδιαία χρονοδιαγράμματα για τον κάθε συντελεστή μοντελοποίησης. Η λειτουργία του κτιρίου προσδιορίζεται ως εξής:

Από 1/9 ξεκινάει η ακαδημαϊκή χρονιά και τα μαθήματα διαρκούν μέχρι και τις 23/12. Στις 24/12 διακόπτονται για τις διακοπές των Χριστουγέννων μέχρι και τις 7/1. Στις 8/1 που ξαναρχίζουν τα μαθήματα μέχρι να αρχίσουν οι διακοπές του Πάσχα. Για να οριστεί η ημερομηνία του Πάσχα, χρησιμοποιήσαμε την ημερομηνία του Πάσχα για το έτος 2015. Έτσι, θεωρήσαμε ότι τα μαθήματα συνεχίζονται μέχρι και τις 3/4. Από τις 4/4 μέχρι και τις 19/4 έχουμε τις διακοπές για το Πάσχα. Τα μαθήματα ξεκινούν ξανά στις 20/4 και συνεχίζονται μέχρι και τις 31/7. Στις 1/8 η σχολή κλείνει για καλοκαίρι και το κτίριο παραμένει κλειστό μέχρι και τις 31/8.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Προσπικό	Φοιττες	Aerismos isogeio	Aerismos orofos	Fotismos kurioi	Fotismos voi8itikoι
Schedule Type Limits Name		People	People	Aerismos	Aerismos	Lights	Lights
Schedule:Week Name 1		People Προσπικό	People Φοιττες	Aerismos isogeio	Aerismos orofos	Fotismos kurioi	Fotismos voi8itikoι
Start Month 1		9	9	9	9	9	9
Start Day 1		1	1	1	1	1	1
End Month 1		12	12	12	12	12	12
End Day 1		23	23	23	23	23	23
Schedule:Week Name 2		People diakopes	People diakopes	Aerismos diakopes	Aerismos diakopes	Fotismos diakopes	Fotismos diakopes
Start Month 2		12	12	12	12	12	12
Start Day 2		24	24	24	24	24	24
End Month 2		1	1	1	1	1	1
End Day 2		7	7	7	7	7	7
Schedule:Week Name 3		People Προσπικό	People Φοιττες	Aerismos isogeio	Aerismos orofos	Fotismos kurioi	Fotismos voi8itikoι
Start Month 3		1	1	1	1	1	1
Start Day 3		8	8	8	8	8	8
End Month 3		4	4	4	4	4	4
End Day 3		3	3	3	3	3	3
Schedule:Week Name 4		People diakopes	People diakopes	Aerismos diakopes	Aerismos diakopes	Fotismos diakopes	Fotismos diakopes
Start Month 4		4	4	4	4	4	4
Start Day 4		4	4	4	4	4	4

Εικόνα 4.32 Schedule: Year

4.5.5 Schedule: Compact

Εδώ ορίζουμε τις λειτουργίες Always on και Always off, οι οποίες αντιστοιχούν σε λειτουργία όλο το χρόνο και μη λειτουργία όλο το χρόνο. Τις χρησιμοποιήσουμε αργότερα για τη διείσδυση του αέρα μέσα από τους τοίχους. Επιπλέον ορίσαμε το επίπεδο δραστηριότητας των χρηστών, που μας βοηθάει στον προσδιορισμό των εσωτερικών θερμικών κερδών από αυτούς αργότερα. Τέλος ορίσαμε το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του θερμοστάτη θέρμανσης και ψύξης, χρήσιμο για τον ορισμό του ιδανικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης όπως θα δούμε παρακάτω.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		activity level	Always off	Always on	heating temperature	cooling temperature
Schedule Type Limits Name		ActivityLevel	Fraction	Fraction	Temperature	Temperature
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 4/30	Through: 4/30
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00
Field 4	varies	80	0	1	20	100
Field 5	varies				Through: 9/30	Through: 9/30
Field 6	varies				For: AllDays	For: AllDays
Field 7	varies				Until: 24:00	Until: 24:00
Field 8	varies				-100	25
Field 9	varies				Through: 12/31	Through: 12/31
Field 10	varies				For: AllDays	For: AllDays
Field 11	varies				Until: 24:00	Until: 24:00
Field 12	varies				20	100
Field 13	varies					
Field 14	varies					
Field 15	varies					
Field 16	varies					
Field 17	varies					
Field 18	varies					

Εικόνα 4.33 Schedule: Compact

4.6 Κέρδη θερμότητας από Χρήστες

Ο αριθμός χρηστών του κτιρίου είναι ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση του κτιρίου. Ως δεδομένο το εισάγουμε στην καρτέλα "Internal Gains" στην κατηγορία "People".

Εδώ περιγράφονται τα θερμικά κέρδη στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών που προκύπτουν από τη θερμότητα που παράγουν οι άνθρωποι όταν βρίσκονται σε αυτές. Ο κάθε άνθρωπος ανάλογα με την εργασία που κάνει εκείνη τη στιγμή εκλύει θερμότητα υπό τη μορφή αισθητού και λανθάνοντος φορτίου, το αισθητό φορτίο οφείλεται στην ακτινοβολία του σώματος του και τη μεταφορά θερμότητας από το σώμα του στον αέρα. Το λανθάνον φορτίο οφείλεται στην αναπνοή και στην εφίδρωση του κάθε ανθρώπου και μεγαλώνει όσο αυξάνεται η δραστηριότητα του ατόμου.

Τα χαρακτηριστικά που εισάγουμε είναι τα εξής:

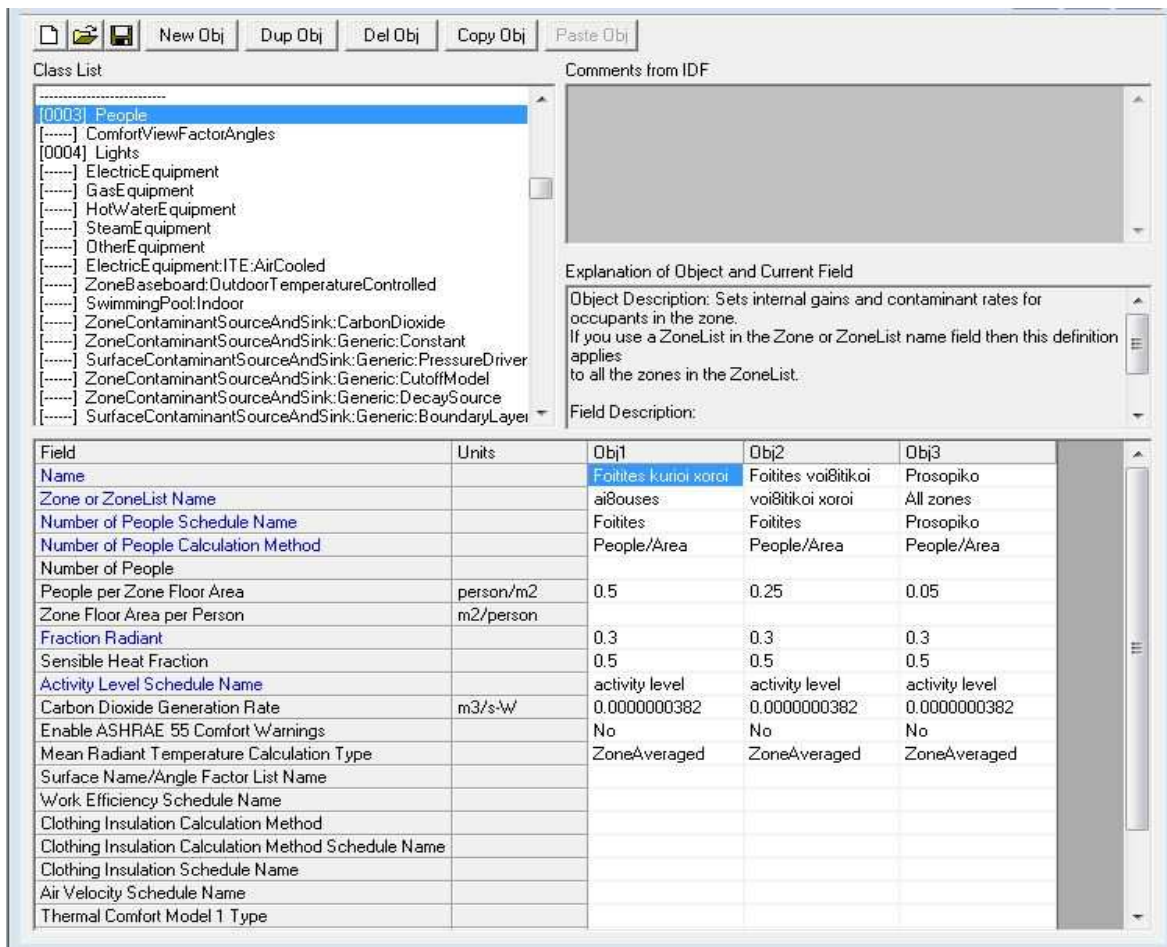
Name: όνομα της ομάδας χρηστών

Zone or Zone List Name: ζώνη ή ομάδα ζωνών στην οποία κατατάσσονται οι χρήστες

Number of People Schedule Name: το χρονοδιάγραμμα διαμονής των χρηστών στη συγκεκριμένη ζώνη ή ομάδα ζωνών

Number of People Calculation Method: εδώ μπορούμε να εισάγουμε είτε τον αριθμό χρηστών, είτε χρήστες ανά m^2 , είτε m^2 ανά χρήστη. Εμείς εισάγαμε χρήστες ανά m^2 , ο οποίος είναι ο μέγιστος αριθμός χρηστών ανά m^2 που μπορεί να βρεθούν στη συγκεκριμένη ζώνη/ομάδα ζωνών. Η τιμή για την κάθε ομάδα χρηστών φαίνεται στην παρακάτω εικόνα και προέκυψε από τις οδηγίες του από την Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας 20701-2/2010 σύμφωνα με τη χρήση του κτιρίου.

Fraction Radiant: Ο αριθμός αυτός βρίσκεται μεταξύ του 0 και του 1 και πολλαπλασιάζει τη συνολική αισθητή θερμότητα που εκπέμπεται από τους χρήστες και έχει ως αποτέλεσμα την ποσότητα κερδών ακτινοβολίας μεγάλου μήκους από τους χρήστες. Υποθέσαμε την τιμή 0,3.



Εικόνα 4.34 Εισαγωγή δεδομένων για τους χρήστες στην καρτέλα εσωτερικά θερμικά κέρδη

4.7 Κέρδη θερμότητας από Τεχνητό Φωτισμό (Lights)

Ο τεχνητός φωτισμός δίνει και αυτός θερμικά κέρδη στο κτίριο. Στην κατηγορία "Lights" της καρτέλας "Internal Gains" εισάγουμε πληροφορίες που αφορούν το σύστημα φωτισμού μιας ζώνης ή ομάδας ζωνών.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά που δίνουμε είναι:

Name: Όνομα του συστήματος φωτισμού

Zone or Zone List Name: Ζώνη (ή Ομάδα Ζωνών) στην οποία ανήκει το σύστημα
Schedule name: Χρονοδιάγραμμα χρήσης του συστήματος τεχνητού φωτισμού

Design Level Calculation Method: Εδώ μπορούμε να εισάγουμε το επίπεδο φωτισμού είτε σε Watt, είτε σε W ανά επιφάνεια, είτε σε W ανά χρήστη. Εμείς επιλέξαμε να εισάγουμε τα W ανά επιφάνεια, επειδή έπειτα από μετρήσεις βρήκαμε το συνολικό αριθμό Watt σε κάθε ζώνη του κτιρίου και έτσι με γνωστή την κατάλληλη επιφάνεια μπορέσαμε να υπολογίσουμε τα Watt ανά επιφάνεια ζώνης/ομάδας ζωνών.

Fraction Radiant: Το ποσοστό της θερμότητας από τον τεχνητό φωτισμό που εισέρχεται στη ζώνη ως ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (θερμική ακτινοβολία). Δώσαμε την τιμή 0,42 που τη βρήκαμε στο Energy Plus Documentation Main Menu.

Fraction Visible: Το ποσοστό της θερμότητας από τον τεχνητό φωτισμό που εισέρχεται στη ζώνη ως ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (ορατή ακτινοβολία). Δώσαμε την τιμή 0,18 που αναφέρεται στο εγχειρίδιο GettingStarted του Energyplus.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Lights isogeio	Lights orofos	Lights wc	Lights diadromos
Zone or ZoneList Name		aiθouses isogeio	aiθouses orofos	wc	diadromos
Schedule Name		Fotismos kurioi	Fotismos kurioi	Fotismos voiθitikoi	Fotismos voiθitikoi
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area
Lighting Level	W				
Watts per Zone Floor Area	W/m2	36.7	27.5	4.3	10.6
Watts per Person	W/person				
Return Air Fraction		0	0	0	0
Fraction Radiant		0.42	0.42	0.42	0.42
Fraction Visible		0.18	0.18	0.18	0.18
Fraction Replaceable		1	1	1	1
End-Use Subcategory					
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature		No	No	No	No
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co					
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co	1/K				

Εικόνα 4.35 Εισαγωγή δεδομένων για τον ηλεκτροφωτισμό στην καρτέλα εσωτερικά θερμικά κέρδη

4.8 Διείσδυση αέρα μέσα από τους τοίχους (Infiltration)

Η διείσδυση αέρα είναι η αθέλητη ροή αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον απευθείας σε μία θερμική ζώνη.

Προκαλείται από το άνοιγμα και το κλείσιμο των εξωτερικών πορτών, από τις ρωγμές γύρω από τα παράθυρα και σε μικρές ποσότητες ακόμα και μέσα από δομικά υλικά του κτιρίου.

Για να προσδιορίσουμε τη διείσδυση αέρα στους χώρους του κτιρίου, πάμε στην καρτέλα "Zone Airflow" και πατάμε το "ZoneInfiltration: DesignFlowRate".

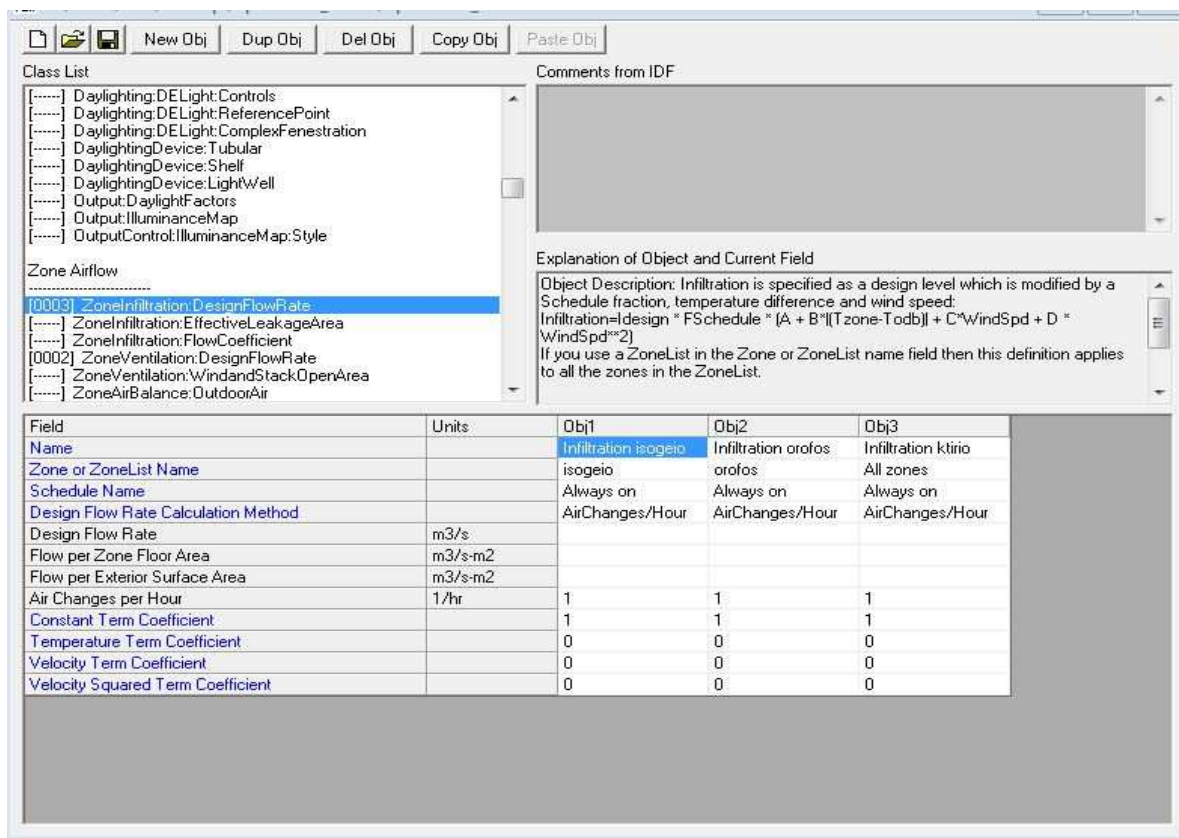
Τα κύρια χαρακτηριστικά που εισάγουμε είναι τα εξής:

Name: όνομα παραμέτρου

Zone or Zonelist Name: ζώνη ή ομάδα ζωνών στην οποία έχουμε διήθηση αέρα **Schedule:** το χρονοδιάγραμμα διείσδυσης αέρα (χρησιμοποιήσαμε το Always on)

Design Flow Rate Calculation Method: επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε τις αλλαγές αέρα ανά ώρα (Air Changes per Hour)

Θεωρούμε ότι σε όλες τις ζώνες θα έχουμε διήθηση αέρα. Επίσης θεωρήσαμε ότι η αλλαγή αέρα θα συμβαίνει όλο το χρόνο ακόμα και όταν το κτίριο παραμένει κλειστό, και αυτό το δηλώσαμε στο Schedule Name όπου βάλαμε το Always on. Τέλος επιλέξαμε 1 εναλλαγή αέρα την ώρα.



Εικόνα 4.36 Διείσδυση αέρα στο κτίριο (Infiltration)

4.9 Φυσικός αερισμός του κτιρίου (Ventilation)

Ο αερισμός είναι η σκόπιμη ροή αέρα από το εξωτερικό του κτιρίου σε μια θερμική ζώνη, που παρέχει κάποια ποσότητα μη μηχανικού αερισμού. Επηρεάζεται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού περιβάλλοντος και από την ταχύτητα του ανέμου.

Ο φυσικός αερισμός εξαρτάται από τη χρήση του χώρου. Έπειτα από παρατήρηση φτιάξαμε το κατάλληλο χρονοδιάγραμμα αερισμού για το ισόγειο και για τον όροφο του κυλικείου.

Όσον αφορά τον αερισμό, μέχρι τις 08:00 που είναι κλειστό το κτίριο ο φυσικός αερισμός είναι μηδενικός. Από το χρονικό διάστημα 08:00 μέχρι τις 16:00, όπου παρουσιάζεται ο μέγιστος αριθμός χρηστών ο φυσικός αερισμός έχει το ποσοστό 0,3. Από τις 16:00 μέχρι τις 20:00 το ποσοστό μειώνεται αρκετά, διότι η θερμοκρασία αρχίζει και πέφτει και ο αριθμός των χρηστών είναι ελάχιστος και έτσι αφήνουν λίγα ανοίγματα ανοιχτά. Από τις 20:00 και μετά ο φυσικός αερισμός είναι μηδενικός. Τα παραπάνω ισχύουν τις καθημερινές μέρες που το κτίριο είναι ανοιχτό.

Για να εισάγουμε τα δεδομένα του φυσικού αερισμού στο Energyplus, μένουμε στην καρτέλα "Zone Airflow" και πατάμε στην κατηγορία "ZoneVentilation:DesignFlowRate".

Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που εισάγουμε είναι:

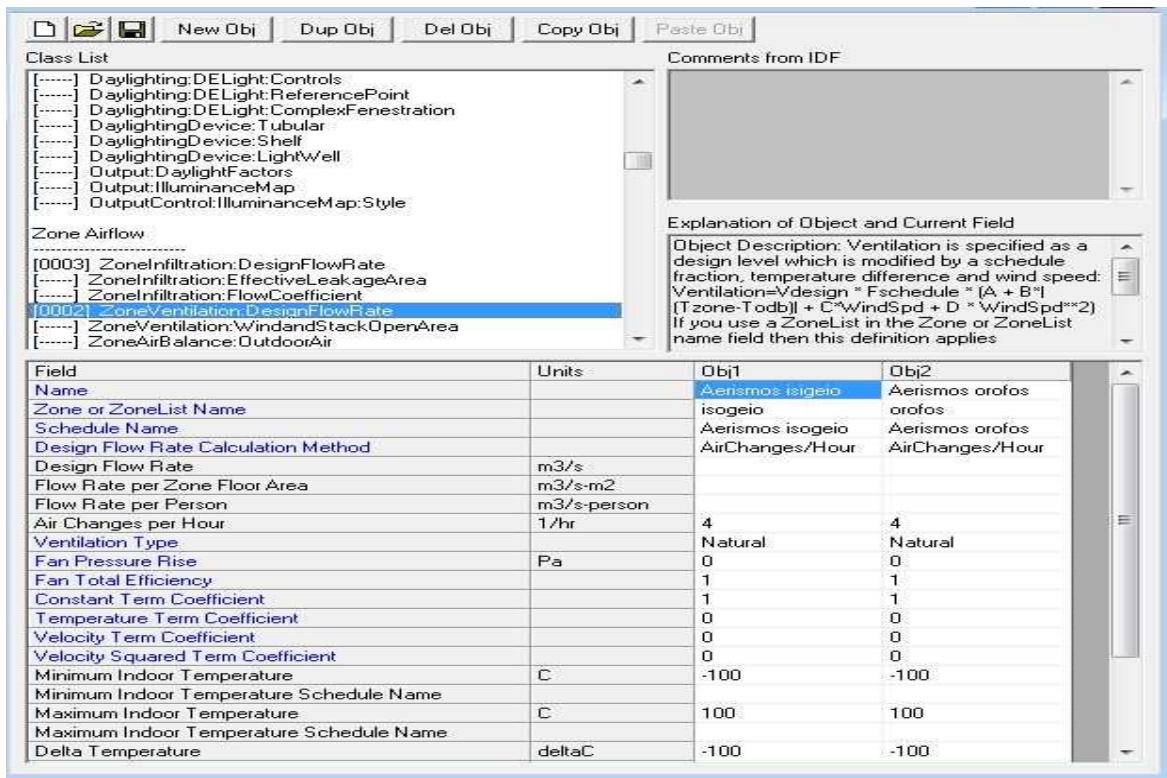
Name: όνομα παραμέτρου

Zone or ZoneList Name: ζώνη ή ομάδα ζωνών

Schedule Name: χρονοδιάγραμμα φυσικού αερισμού για τις διάφορες ζώνες/ομάδες ζωνών

Design Flow Rate Calculation Method: επιλέξαμε τη μέθοδο με τις εναλλαγές αέρα ανά ώρα (Air Changes per Hour). Δώσαμε την τιμή 4 στον αερισμό των χώρων τόσο του ισόγειου όσο και του ορόφου, διότι τα ανοίγματα είναι ίδια και στους δύο ορόφους.

Ventilation Type: επιλέξαμε το φυσικό αερισμό (Natural), καθώς το κτίριο δεν έχει σύστημα τεχνητού αερισμού.



Εικόνα 4.37 Εισαγωγή δεδομένων φυσικού αερισμού (Ventilation)

4.10 Ορισμός δεδομένων συστήματος θέρμανσης- ψύξης- κλιματισμού

Όπως έχει αναπτυχθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, η εισαγωγή των δεδομένων αναφορικά με τα συστήματα θέρμανσης- ψύξης- κλιματισμού (HVAC Systems) του υπό μελέτη κτιρίου στην εφαρμογή IDF Editor αποτελεί το πλέον πολύπλοκο στάδιο στη σύνταξη του αρχείου δεδομένων εισόδου. Ωστόσο, το λογισμικό είναι εφοδιασμένο με ορισμένα πρότυπα, τα οποία ο χρήστης μπορεί να αξιοποιήσει για την περιγραφή ορισμένων συνήθων συστημάτων, δίχως την απαίτηση να καθορίσει αναλυτικά τους σχετικούς βρόχους και κόμβους, καθώς αυτοί προσδιορίζονται αυτόματα από το λογισμικό.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε ένα εξ αυτών των προτύπων, το οποίο προσομοιώνει ένα ιδανικό σύστημα παροχής κλιματιζόμενου αέρα στο εσωτερικό κάθε θερμικής ζώνης. Το ιδανικό αυτό σύστημα καλύπτει πλήρως το θερμικό και το ψυκτικό φορτίο, χωρίς να καταναλώνει ενέργεια από κάποια συγκεκριμένη πηγή (HVAC Template: Zone: Ideal Loads Air System). Επίσης, μπορεί να θεωρηθεί ως μία ιδανική μονάδα, η οποία αναμιγνύει το εξερχόμενο ρεύμα αέρα κάθε ζώνης με την κατάλληλη ποσότητα εξωτερικού αέρα και ακολούθως προσθέτει ή αφαιρεί θερμότητα και υγρασία με απόδοση 100%, ούτως ώστε να παραχθεί ένα ρεύμα παροχής αέρα στις προκαθορισμένες από το χρήστη επιθυμητές συνθήκες. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ζητήσει την αναφορά στα αποτελέσματα της προσομοίωσης, της ενέργειας που καταναλώθηκε για να δημιουργηθεί το εν λόγω ρεύμα παροχής αέρα.

Το ιδανικό σύστημα αυτό μπορεί να λειτουργεί, θεωρώντας άπειρη ή πεπερασμένη θερμική και ψυκτική ικανότητα. Σε κάθε περίπτωση, δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα να ορίσει χρονοδιαγράμματα λειτουργίας της παροχής θέρμανσης και ψύξης, καθώς και να ελέγξει την

παροχή εξωτερικού αέρα. Επιπλέον, μπορούν να οριστούν κατάλληλες παράμετροι ελέγχου αναφορικά με την αφύγρανση και την ύγρανση του παρεχόμενου αέρα, τη λειτουργία οικονομητήρα και τη λειτουργία συστήματος ανάκτησης θερμότητας.

4.10.1 Εφαρμογή θερμοστατικού ελέγχου

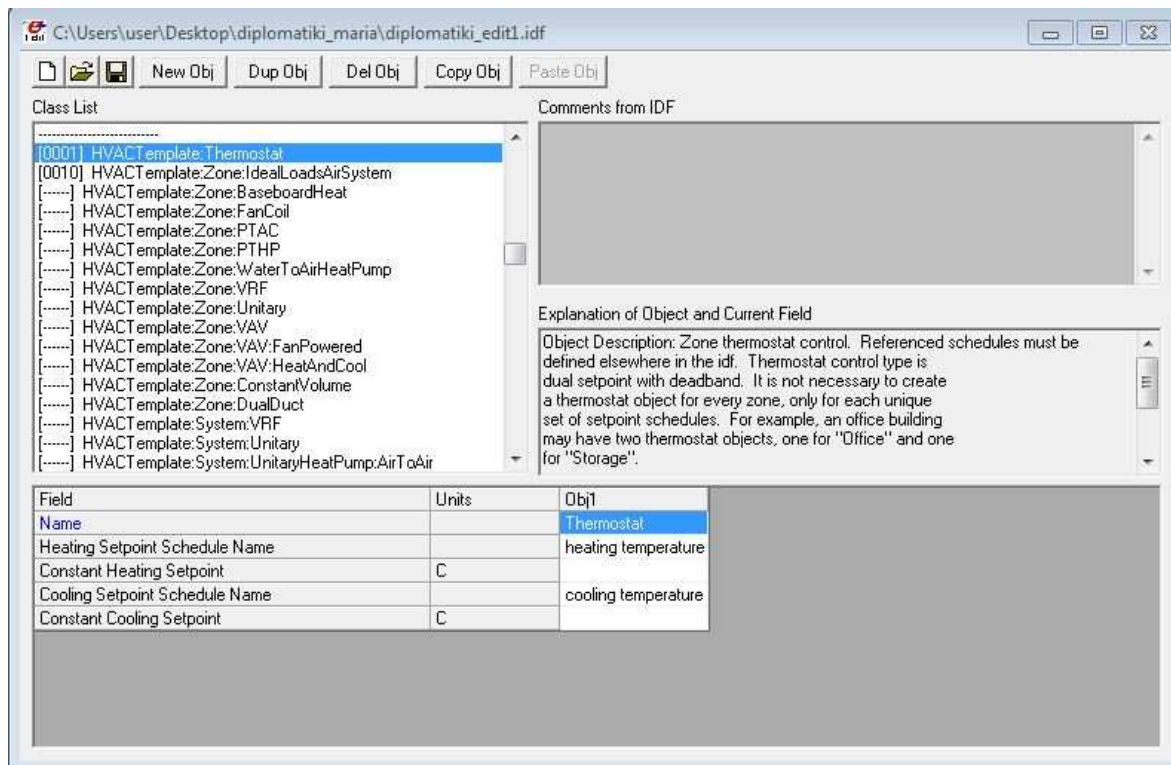
Κάθε θερμική ζώνη στην οποία εφαρμόζεται το ιδανικό σύστημα που περιγράφηκε παραπάνω, οφείλει να χαρακτηρίζεται και από ένα αντικείμενο περιγραφής του θερμοστατικού ελέγχου που ισχύει σε αυτήν. Σε κάθε αντικείμενο ορίζονται τα σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας του συστήματος θέρμανσης και του συστήματος ψύξης κάθε θερμικής ζώνης. Τα σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας περιγράφονται, είτε χρησιμοποιώντας μία σταθερή τιμή καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου της προσομοίωσης, είτε χρησιμοποιώντας μία τιμή που μεταβάλλεται βάσει ενός συγκεκριμένου χρονοδιαγράμματος.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας θεωρείται, ότι η περίοδος θέρμανσης του υπό μελέτη κτιρίου διαρκεί από την 1η Ιανουαρίου έως την 30η Απριλίου και από την 1η Οκτωβρίου έως την 31η Δεκεμβρίου, ενώ η περίοδος ψύξης διαρκεί από την 1η Μαΐου έως την 30η Σεπτεμβρίου. Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, η επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία κτιρίων για τη χειμερινή περίοδο ορίζεται στους 20°C για τους κύριους χώρους και στους 18°C για τους βοηθητικούς χώρους. Αντιστοίχως, η επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία κτιρίων για τη θερινή περίοδο ορίζεται στους 26°C τόσο για τους κύριους, όσο και για τους βοηθητικούς χώρους.

Συνεπώς, με βάση τα παραπάνω ορίστηκε το χρονοδιάγραμμα, στο οποίο αποτυπώνεται η χρονική μεταβολή του σημείου ρύθμισης θερμοκρασίας του συστήματος θέρμανσης του κτιρίου. Επιπροσθέτως, ορίστηκε ένα χρονοδιάγραμμα στο οποίο αποτυπώνεται η χρονική μεταβολή του σημείου ρύθμισης θερμοκρασίας του συστήματος ψύξης του κτιρίου. Οι τιμές των χρονοδιαγραμμάτων αυτών έχουν μονάδες θερμοκρασίας (°C), ενώ οφείλουν να βρίσκονται εντός του διαστήματος [-100°C, 100°C]. Τα χρονοδιαγράμματα αυτά παρουσιάζονται στην καρτέλα Schedules: Compact που αναφέραμε παραπάνω.

Όπως παρατηρείται, κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης το σημείο ρύθμισης της θερμοκρασίας του συστήματος θέρμανσης ορίζεται στους 20°C για τους χώρους του κτιρίου. Αυτό πρακτικά σημαίνει, ότι εάν η θερμοκρασία στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών πέσει κάτω από τους 20°C, τότε δίνεται εντολή να τεθεί σε λειτουργία στο σύστημα θέρμανσης. Αντιθέτως, κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης, το σημείο ρύθμισης της θερμοκρασίας του συστήματος θέρμανσης ορίζεται στους -100°C για όλους τους χώρους του κτιρίου, άρα το σύστημα θέρμανσης βρίσκεται ουσιαστικά εκτός λειτουργίας, αφού για να εκκινήσει η εσωτερική θερμοκρασία θα έπρεπε να πέσει κάτω από τους -100°C.

Κατά τον ίδιο τρόπο, κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης το σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας του συστήματος ψύξης ορίζεται στους 26°C για όλους τους χώρους του κτιρίου. Συνεπώς, εάν η εσωτερική θερμοκρασία υπερβεί τους 26°C, τότε δίνεται εντολή να τεθεί σε λειτουργία το σύστημα ψύξης. Αντιθέτως, κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης το σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας του συστήματος ψύξης ορίζεται στους 100°C για όλους τους χώρους του κτιρίου, οπότε το σύστημα ψύξης βρίσκεται ουσιαστικά εκτός λειτουργίας, αφού για να εκκινήσει η εσωτερική θερμοκρασία θα έπρεπε να υπερβεί τους 100°C.



Εικόνα 4.38 Ορισμός θερμοστάτη

4.10.2 Περιγραφή ιδανικού συστήματος

Η περιγραφή του ιδανικού συστήματος θέρμανσης- ψύξης- κλιματισμού πραγματοποιείται μέσω ενός ξεχωριστού αντικειμένου για κάθε θερμική ζώνη στην οποία εφαρμόζεται. Το αντικείμενο αυτό περιγράφει τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του συστήματος που ισχύουν για κάθε ζώνη και συνοψίζονται στα ακόλουθα:

Το όνομα του αντικειμένου θερμοστατικού ελέγχου (Template Thermostat Name). Δηλαδή, σε κάθε ζώνη αντιστοιχίζεται ένα από τα αντικείμενα θερμοστατικού ελέγχου που έχουν κατασκευαστεί με τον τρόπο που περιγράφεται παραπάνω.

Χρονοδιάγραμμα διαθεσιμότητας του συστήματος (System Availability Schedule Name). Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει αν το ιδανικό σύστημα θα βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία, σύμφωνα με το θερμοστατικό έλεγχο που έχει επιβληθεί, ή αν θα λειτουργεί συγκεκριμένες περιόδους του έτους βάσει ενός προκαθορισμένου χρονοδιαγράμματος. Στην παρούσα εργασία, επιλέχθηκε το σύστημα να λειτουργεί συνεχώς, σύμφωνα με τις επιταγές του θερμοστατικού ελέγχου που εφαρμόζεται σε κάθε θερμική ζώνη.

Μέγιστη θερμοκρασία παρεχόμενου αέρα θέρμανσης (Maximum Heating Supply Air Temperature), (°C): Η μέγιστη θερμοκρασία του αέρα που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση κάθε θερμικής ζώνης. Η θερμοκρασία αυτή επιλέχθηκε να ισούται με 50°C, δηλαδή ίση με την προκαθορισμένη τιμή του λογισμικού.

Ελάχιστη θερμοκρασία παρεχόμενου αέρα ψύξης (Minimum Cooling Supply Air Temperature), (°C): Η ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα που χρησιμοποιείται για την ψύξη κάθε θερμικής ζώνης. Η θερμοκρασία αυτή επιλέχθηκε να ισούται με 13°C, δηλαδή ίση με την προκαθορισμένη τιμή του λογισμικού.

Μέγιστο ποσοστό υγρασίας παρεχόμενου αέρα θέρμανσης (Maximum Heating Supply Air Humidity Ratio), (kgwater/ kgdry_air): Το μέγιστο ποσοστό υγρασίας του αέρα που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση κάθε θερμικής ζώνης. Εν προκειμένω, επιλέχθηκε να είναι ίσο προς την προκαθορισμένη τιμή του λογισμικού, δηλαδή 0,0156 kgwater/ kgdry_air, τιμή που αντιστοιχεί σε ποσοστό υγρασίας 20% για θερμοκρασία ξηρού βολβού ίση με 50°C.

Ελάχιστο ποσοστό υγρασίας παρεχόμενου αέρα ψύξης (Minimum Cooling Supply Air Humidity Ratio), (kgwater/ kgdry_air): Το ελάχιστο ποσοστό υγρασίας του αέρα που χρησιμοποιείται για την ψύξη κάθε θερμικής ζώνης. Εν προκειμένω, επιλέχθηκε να είναι ίσο προς την προκαθορισμένη τιμή του λογισμικού, δηλαδή 0,0077 kgwater/ kgdry_air, τιμή που αντιστοιχεί σε σημείο δρόσου 10°C.

Περιορισμός λειτουργίας συστήματος θέρμανσης (Heating Limit): Στο πεδίο αυτό επιλέγεται αν θα υφίσταται κάποιος περιορισμός στη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης. Ο περιορισμός αυτός μπορεί να επιβληθεί θεσπίζοντας ένα άνω όριο στην παροχή αέρα θέρμανσης (m^3/s) ή και στην αισθητή θερμική ικανότητα του συστήματος (W). Εδώ, επιλέχθηκε να μην υφίσταται κανενός είδους περιορισμός στη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης.

Περιορισμός λειτουργίας συστήματος ψύξης (Cooling Limit): Στο πεδίο αυτό επιλέγεται αν θα υφίσταται κάποιος περιορισμός στη λειτουργία του συστήματος ψύξης. Ο περιορισμός αυτός μπορεί να επιβληθεί θεσπίζοντας ένα άνω όριο στην παροχή αέρα ψύξης (m^3/s) ή και στη συνολική ψυκτική ικανότητα του συστήματος (W). Εδώ, επιλέχθηκε να μην υφίσταται κανενός είδους περιορισμός στη λειτουργία του συστήματος ψύξης.

Χρονοδιάγραμμα διαθεσιμότητας συστήματος θέρμανσης (Heating Availability Schedule Name): Στο πεδίο αυτό επιλέγεται το όνομα του χρονοδιαγράμματος βάσει του οποίου καθορίζεται η διαθεσιμότητα του συστήματος θέρμανσης και ύγρανσης. Στην προκειμένη περίπτωση δεν ορίστηκε κάποιο χρονοδιάγραμμα, συνεπώς θεωρείται ότι το σύστημα θέρμανσης και ύγρανσης είναι συνεχώς διαθέσιμο.

Χρονοδιάγραμμα διαθεσιμότητας συστήματος ψύξης (Cooling Availability Schedule Name): Στο πεδίο αυτό επιλέγεται το όνομα του χρονοδιαγράμματος βάσει του οποίου καθορίζεται η διαθεσιμότητα του συστήματος ψύξης και αφύγρανσης. Στην προκειμένη περίπτωση δεν ορίστηκε κάποιο χρονοδιάγραμμα, συνεπώς θεωρείται ότι το σύστημα ψύξης και αφύγρανσης είναι συνεχώς διαθέσιμο.

Μέθοδος ελέγχου αφύγρανσης (Dehumidification Control Type): Στο πεδίο αυτό καθορίζεται ο τρόπος με τον οποίο ελέγχεται η αφύγρανση στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών. Στην παρούσα εργασία, επιλέχθηκε ο έλεγχος να γίνεται μέσω του σταθερού κλάσματος αισθητής θερμότητας (Constant Sensible Heat Ratio). Δηλαδή, σε κάθε περίπτωση το ιδανικό σύστημα θα λειτουργεί με σκοπό να καλύψει το αισθητό ψυκτικό φορτίο, ενώ το λανθάνον κλάσμα της ψύξεως θα υπολογίζεται βάσει της τιμής του σταθερού κλάσματος αισθητής θερμότητας, το οποίο έχει οριστεί

ίσο προς 0,7, δηλαδή ίσο με την προκαθορισμένη τιμή του συστήματος.

Μέθοδος ελέγχου υγρανσης (Humidification Control Type): Στο πεδίο αυτό καθορίζεται ο τρόπος με τον οποίο ελέγχεται η υγρανση στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών. Στο πλαίσιο της παρούσας εφαρμογής, θεωρήθηκε ότι δεν πραγματοποιείται υγρανση του αέρα στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών, άρα δεν υφίσταται μέθοδος ελέγχου.

Μέθοδος παροχής εξωτερικού αέρα (Outdoor Air Method): Στο πεδίο αυτό καθορίζεται ο τρόπος με τον οποίο παρέχεται ο αέρας από το εξωτερικό του κτιρίου στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών. Στην εν λόγω εφαρμογή, επιλέχθηκε να μην παρέχεται εξωτερικός αέρας από το σύστημα, όπως άλλωστε υπαγορεύει και η προκαθορισμένη επιλογή του λογισμικού.

Τύπος οικονομητήρα εξωτερικού αέρα (Outdoor Air Economizer Type): Στο πεδίο αυτό καθορίζεται ο τύπος του οικονομητήρα εξωτερικού αέρα. Εν προκειμένου, επιλέχθηκε η μη ύπαρξη οικονομητήρα, αφού άλλωστε δεν υφίσταται παροχή εξωτερικού αέρα από το σύστημα.

Τύπος ανάκτησης θερμότητας (Heat Recovery Type): Στο πεδίο αυτό ορίζεται ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται ανάκτηση θερμότητας από το σύστημα. Εν προκειμένου, επιλέχθηκε να μην πραγματοποιείται ανάκτηση θερμότητας από το σύστημα, σύμφωνα και με την προκαθορισμένη επιλογή του λογισμικού για το πεδίο αυτό.

Η περιγραφή του ιδανικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης- κλιματισμού για κάθε θερμική ζώνη στην εφαρμογή IDF Editor, μπορεί να φανεί στο σχήμα

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Zone Name		Thermal Zone 1	Thermal Zone 2	Thermal Zone 3	Thermal Zone 4	Thermal Zone 5	Thermal Zone 6
Template Thermostat Name		Thermostat	Thermostat	Thermostat	Thermostat	Thermostat	Thermostat
System Availability Schedule Name							
Maximum Heating Supply Air Temperature	C	50	50	50	50	50	50
Minimum Cooling Supply Air Temperature	C	13	13	13	13	13	13
Maximum Heating Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156
Minimum Cooling Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077
Heating Limit		NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit
Maximum Heating Air Flow Rate	m3/s						
Maximum Sensible Heating Capacity	W						
Cooling Limit		NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit
Maximum Cooling Air Flow Rate	m3/s						
Maximum Total Cooling Capacity	W						
Heating Availability Schedule Name							
Cooling Availability Schedule Name							
Dehumidification Control Type		ConstantSensibleHe	ConstantSensibleHe	ConstantSensibleHe	ConstantSensibleHe	ConstantSensibleHe	ConstantSensibleHe
Cooling Sensible Heat Ratio	dimensionless	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Dehumidification Setpoint	percent	60	60	60	60	60	60

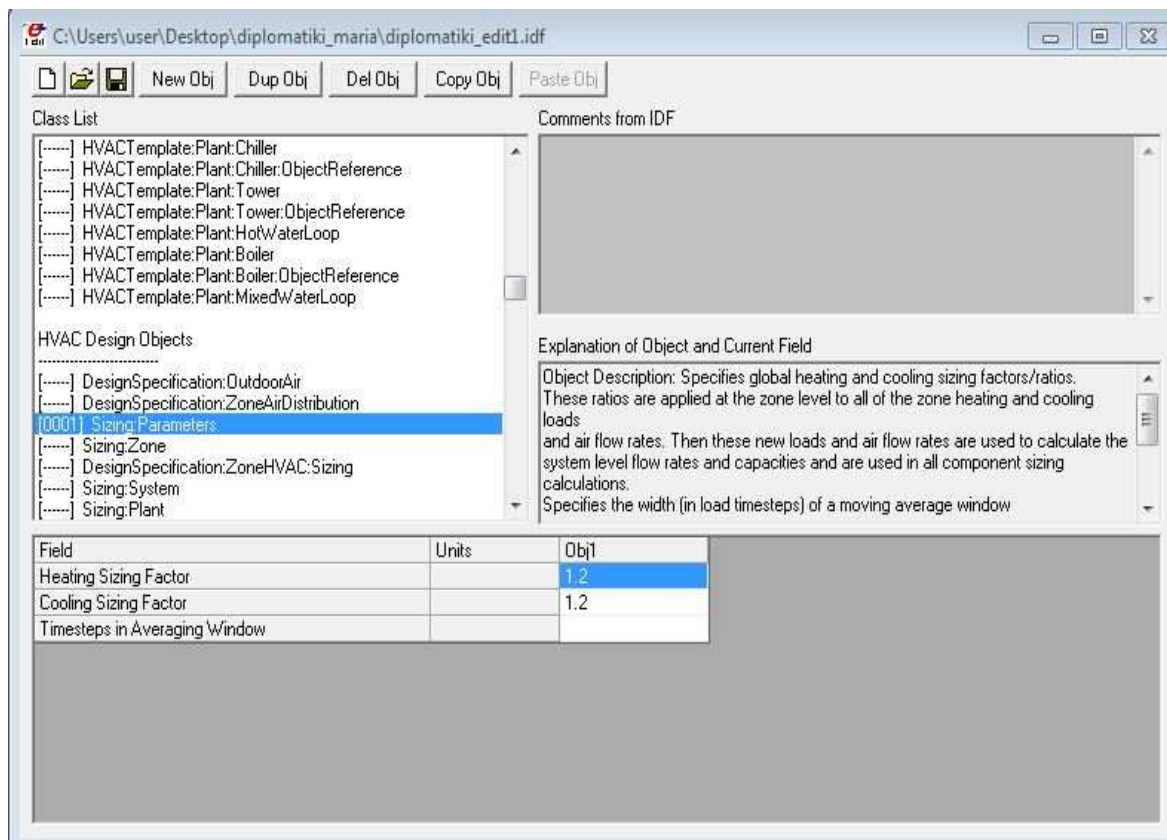
Εικόνα 4.39 Ορισμός ιδανικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης-κλιματισμού

4.10.3 Ορισμός συντελεστών σχεδιασμού

Προκειμένου να υπολογιστούν επιτυχώς τα θερμικά και ψυκτικά φορτία σχεδιασμού κάθε θερμικής ζώνης, καθώς και οι αντίστοιχες απαιτούμενες παροχές αέρα και να καταστεί δυνατή η διαστασιολόγηση των συνιστωσών των συστημάτων θέρμανσης- ψύξης- κλιματισμού, είναι αναγκαίο να έχουν προηγουμένως οριστεί ορισμένοι συντελεστές σχεδιασμού.

Στην απλή περίπτωση, όπως η παρούσα, κατά την οποία αξιοποιούνται τα πρότυπα συστήματα που διαθέτει το EnergyPlus, αρκεί ο ορισμός δύο μόνον καθολικών συντελεστών σχεδιασμού, ενός αναφορικά με τη θέρμανση και ενός αναφορικά με την ψύξη. Οι συντελεστές αυτοί εφαρμόζονται σε επίπεδο θερμικής ζώνης επί όλων των θερμικών και ψυκτικών φορτίων, καθώς και επί των αντίστοιχων παροχών αέρα. Οι νέες τιμές των φορτίων και των παροχών που προκύπτουν, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ικανοτήτων και των παροχών αέρα σε επίπεδο συστήματος και ακολούθως για τη διαστασιολόγηση των συνιστωσών των συστημάτων θέρμανσης- ψύξης- κλιματισμού.

Στο πλαίσιο της παρούσας εφαρμογής ορίστηκε ο συντελεστής σχεδιασμού τόσο για τη θέρμανση, όσο και για την ψύξη, να λαμβάνει την τιμή 1,2.



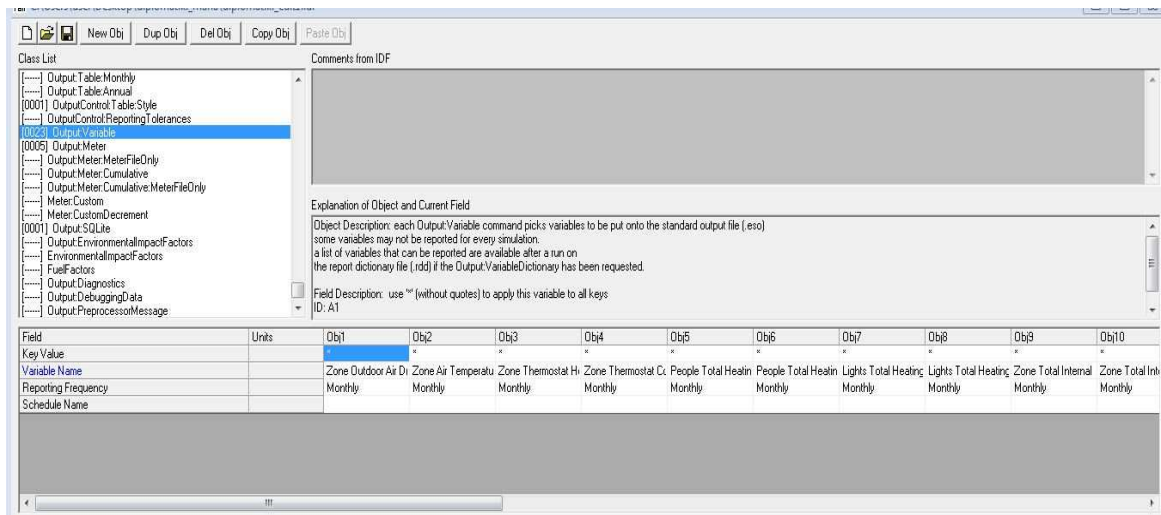
Εικόνα 4.40 Ορισμός συντελεστή σχεδιασμού θέρμανσης και ψύξης

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

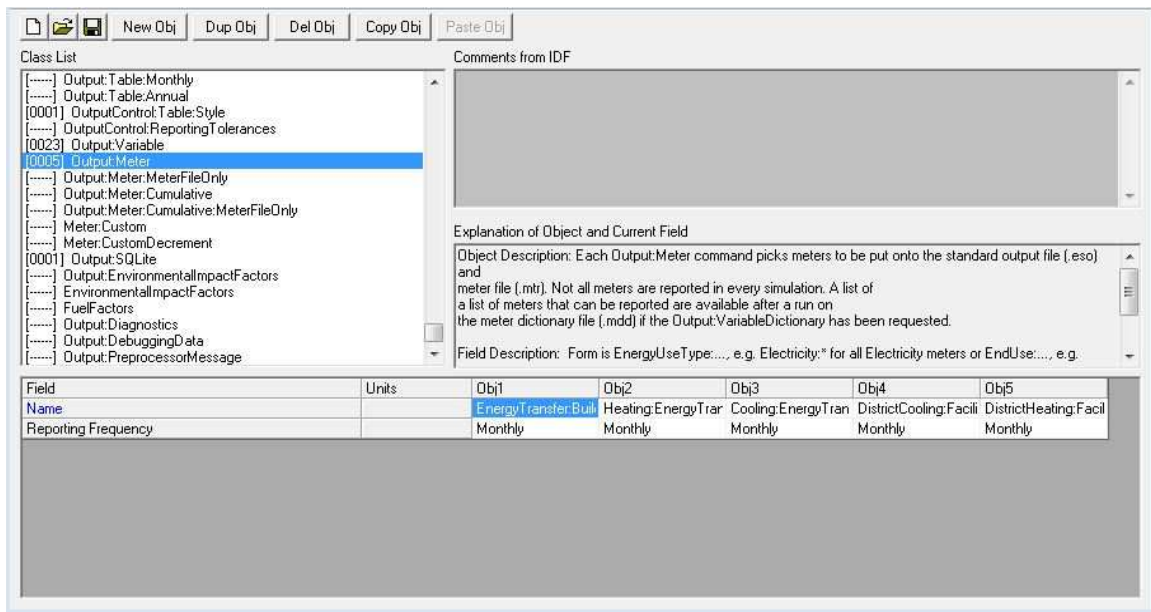
5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, σύμφωνα με τα δεδομένα που δώσαμε προηγουμένως.

Αφού ολοκληρωθεί η παραμετροποίηση, πατήσουμε "Simulation" και τρέξουμε με επιτυχία μία φορά το πρόγραμμα, πηγαίνουμε στην καρτέλα "Output Reporting". Στις κατηγορίες "Output:Variable" και "Output:Meter" επιλέγουμε τα αποτελέσματα που θέλουμε να μας δώσει το πρόγραμμα.



Εικόνα 5.1 Ζήτηση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Εικόνα 5.2 Ζήτηση αποτελεσμάτων μετρητών ενέργειας

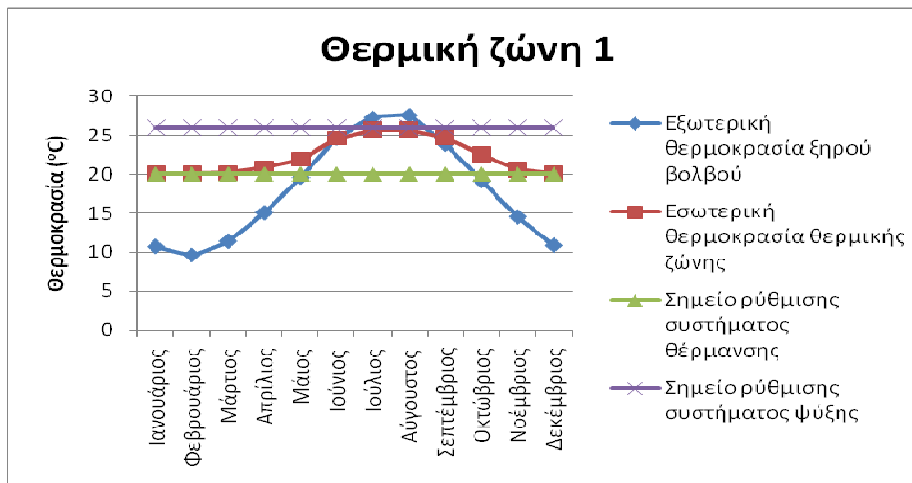
5.2 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικών ζωνών

Μετά το πέρας της ενεργειακής προσομοίωσης του κτιρίου, το πρώτο μέγεθος που κρίθηκε σκόπιμο να εξεταστεί, ούτως ώστε να διαπιστωθεί η ικανοποιητική λειτουργία του ιδανικού συστήματος θέρμανσης και ψύξης, ήταν η διακύμανση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών.

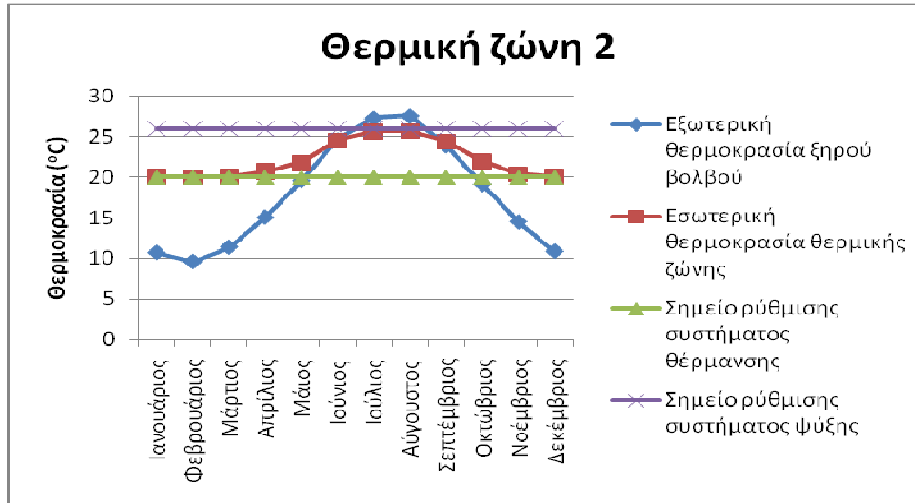
Σύμφωνα με τα ορισθέντα στα αντικείμενα θερμοστατικού ελέγχου του αρχείου δεδομένων εισόδου, το σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας του ιδανικού συστήματος θέρμανσης ισούται με 20°C. Αντιστοίχως, το σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας του ιδανικού συστήματος ψύξης ισούται με 26°C. Οι θερμοκρασιακές τιμές αυτές ταυτίζονται με τις επιθυμητές εσωτερικές συνθήκες για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο, αντιστοίχως. Όσον αφορά στις συνθήκες θερμοκρασίας που επικρατούν στο εξωτερικό και στο εσωτερικό του υπό μελέτη κτιρίου, υπολογίστηκαν για κάθε θερμική ζώνη οι μέσες μηνιαίες τιμές των ακόλουθων μεγεθών:

- ✓ Εξωτερική θερμοκρασία ξηρού βολβού (Zone Outdoor Air Dry Bulb Temperature), (°C): Η εξωτερική θερμοκρασία ξηρού βολβού, υπολογιζόμενη σε ύψος ίσο με το ύψος του κεντροειδούς της εκάστοτε θερμικής ζώνης.
- ✓ Εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης (Zone Air Temperature), (°C): Η μέση θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό της εκάστοτε θερμικής ζώνης. Το μέγεθος αυτό ορίζεται μονοσήμαντα για ολόκληρο τον όγκο του αέρα της θερμικής ζώνης, εφόσον κατά τον υπολογισμό του θερμικού ισοζυγίου κάθε θερμικής ζώνης ο αέρας στο εσωτερικό της θεωρείται καλά αναμεμιγμένος.

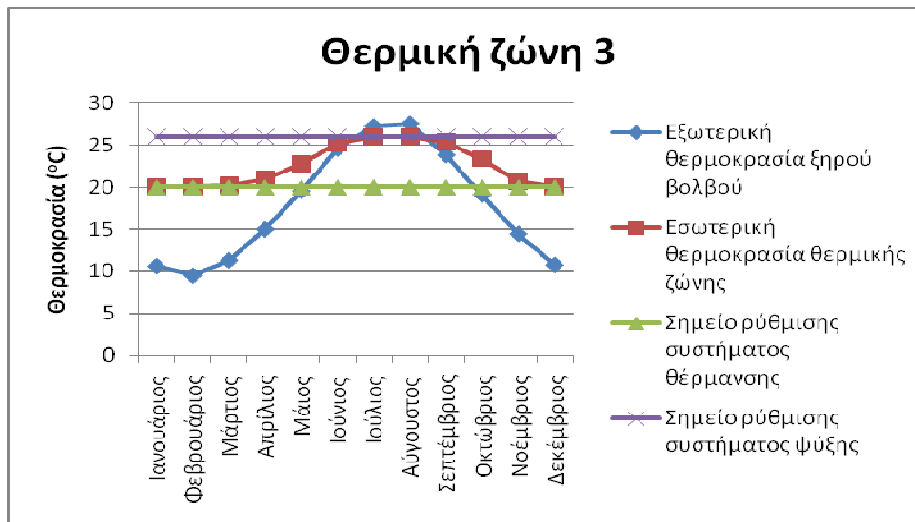
Στα σχήματα 5.3 έως 5.12 παριστάνονται γραφικά, για κάθε θερμική ζώνη, η μέση μηνιαία εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία (°C), καθώς και τα σημεία ρύθμισης της θερμοκρασίας του ιδανικού συστήματος θέρμανσης και ψύξης (°C), όπως είχαν οριστεί για κάθε θερμική ζώνη. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, η εσωτερική θερμοκρασία των θερμικών ζωνών βρίσκεται σε κάθε περίπτωση εντός του επιθυμητού εύρους, γεγονός που καταδεικνύει την εύρυθμη και αποτελεσματική λειτουργία του ιδανικού συστήματος παροχής θέρμανσης και ψύξης.



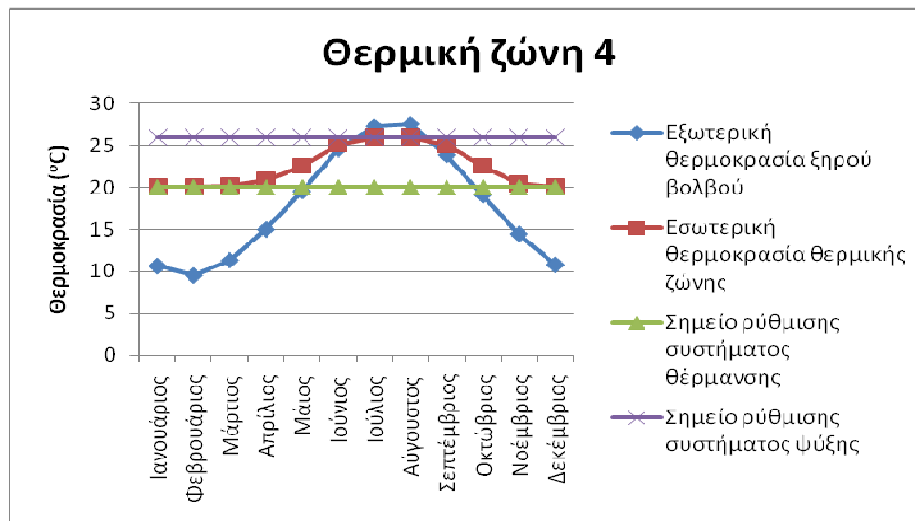
Εικόνα 5.3 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 1



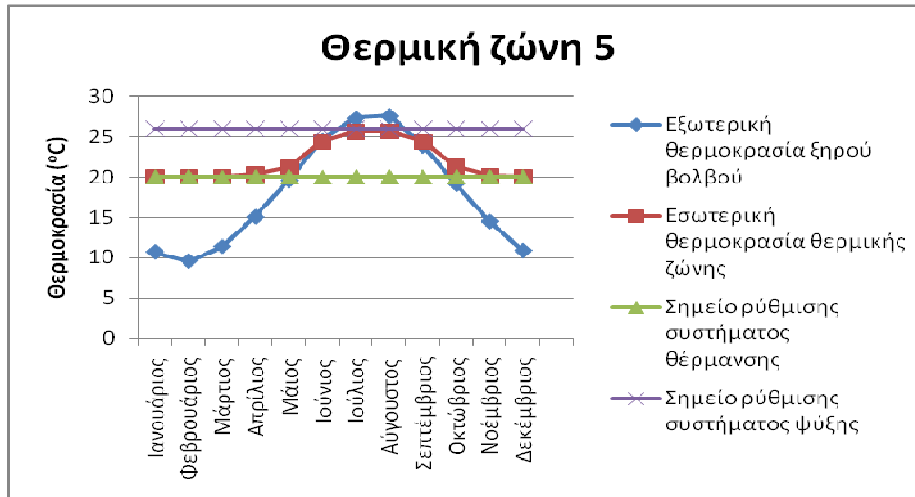
Εικόνα 5.4 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 2



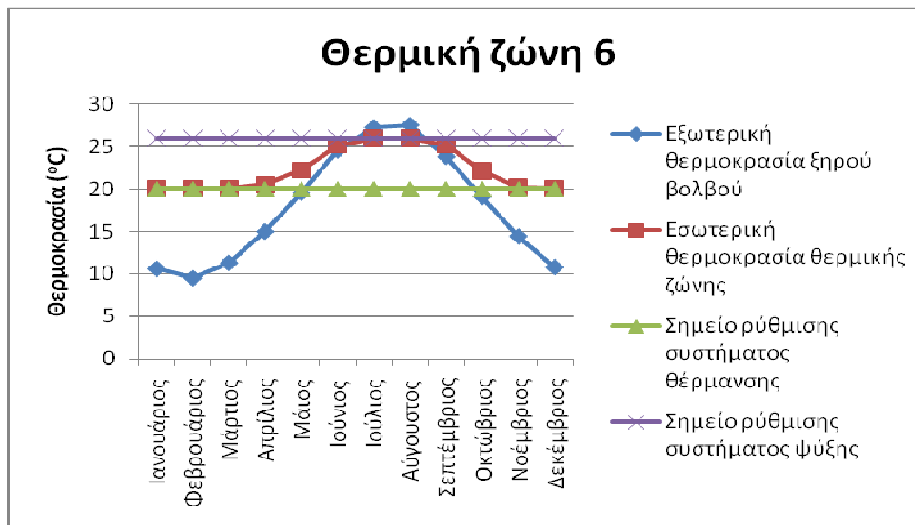
Εικόνα 5.5 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 3



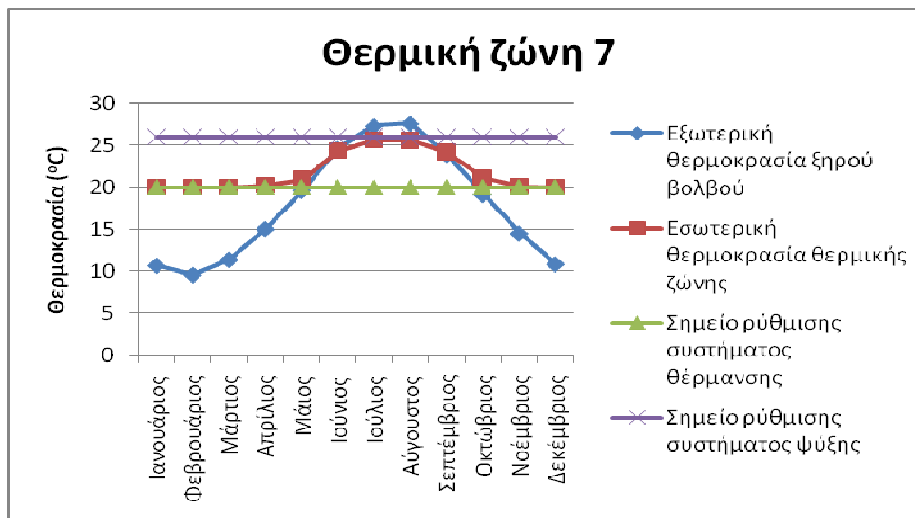
Εικόνα 5.6 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 4



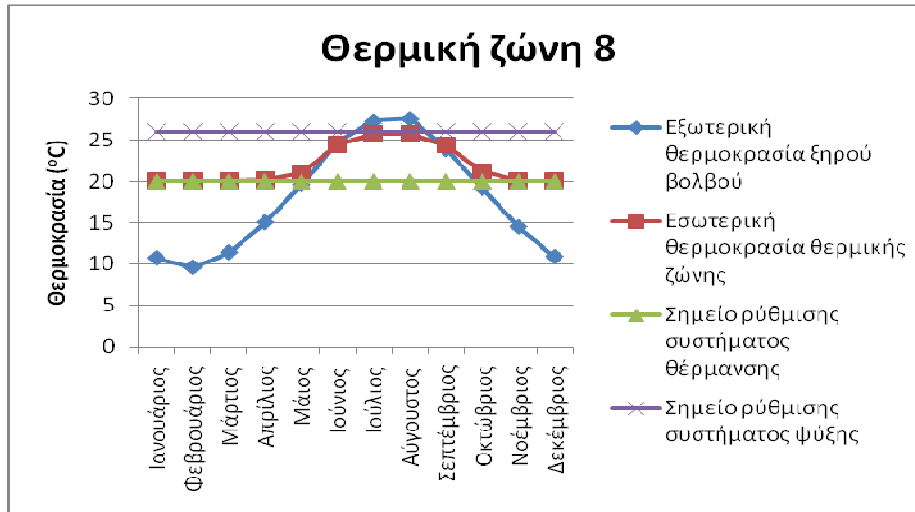
Εικόνα 5.7 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 5



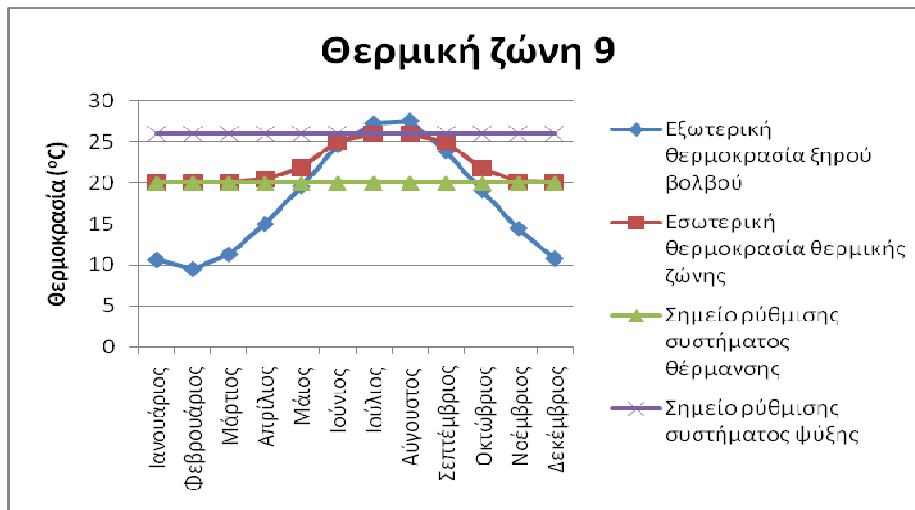
Εικόνα 5.8 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 6



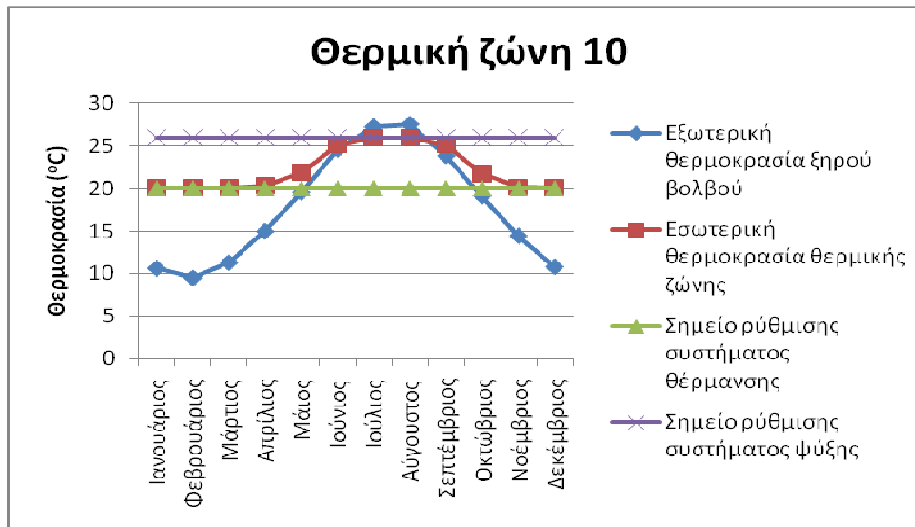
Εικόνα 5.9 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 7



Εικόνα 5.10 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 8



Εικόνα 5.11 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 9



Εικόνα 5.12 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 10

5.3 Εσωτερικά θερμικά κέρδη

Ως εσωτερικά θερμικά κέρδη ορίζονται όλα τα εκλυόμενα ποσά θερμότητας στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών από διάφορες πηγές, με τις κυριότερες εξ αυτών να είναι οι χρήστες του κτιρίου, ο ηλεκτροφωτισμός και ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός. Αναφορικά με τα εσωτερικά θερμικά κέρδη, υπολογίστηκαν για κάθε θερμική ζώνη του υπό μελέτη κτιρίου οι μηνιαίες τιμές των ακόλουθων μεγεθών:

- ✓ Συνολική εκλυόμενη θερμότητα από τους χρήστες του κτιρίου (People Total Heating Energy), (J) και συνολική εκλυόμενη θερμική ισχύς από τους χρήστες του κτιρίου (People Total Heating Rate), (W). Πρόκειται για τη συνολική, αισθητή και λανθάνουσα, θερμότητα και θερμική ισχύ αντίστοιχα, που εκλύονται στο εσωτερικό κάθε θερμικής ζώνης, λόγω της παρουσίας των χρηστών του κτιρίου και της δραστηριότητάς τους.
- ✓ Συνολική εκλυόμενη θερμότητα από τον ηλεκτροφωτισμό (Lights Total Heating Energy), (J) και συνολική εκλυόμενη θερμική ισχύς από τον ηλεκτροφωτισμό (Lights Total Heating Rate), (W). Πρόκειται για τη θερμότητα και τη θερμική ισχύ αντίστοιχα, που εκλύονται στο εσωτερικό κάθε θερμικής ζώνης, λόγω της λειτουργίας του ηλεκτροφωτισμού. Η εκλυόμενη θερμική ισχύς ισούται με την εγκατεστημένη ισχύ του ηλεκτροφωτισμού σε λειτουργία κάθε χρονική στιγμή, όπως αυτή είχε οριστεί για κάθε θερμική ζώνη στο αρχείο δεδομένων εισόδου.

Στον παρακάτω πίνακα της Εικόνας 5.13 φαίνονται τα ετήσια εσωτερικά θερμικά κέρδη από τους χρήστες του κτιρίου, τον ηλεκτροφωτισμό καθώς και το σύνολο αυτών για κάθε θερμική ζώνη κατά την διάρκεια ενός έτους.

ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΚΕΡΔΗ (Watt)					
	People			Lights	GRAND TOTAL
	Φοιτητές	Προσωπικό	<u>Σύνολο</u>		
Θερμική ζώνη 1	53559.858	7787.763	61347.621	64702.540	126050.161
Θερμική ζώνη 2	21522.795	3129.478	24652.274	26000.434	50652.707
Θερμική ζώνη 3	53559.858	7787.763	61347.621	48482.830	109830.451
Θερμική ζώνη 4	31857.332	4632.151	36489.482	28837.522	65327.005
Θερμική ζώνη 5	12615.472	3668.654	16284.126	3686.117	19970.243
Θερμική ζώνη 6	11738.998	3413.770	15152.769	3430.020	18582.789
Θερμική ζώνη 7	9764.743	2839.645	12604.389	2853.162	15457.551
Θερμική ζώνη 8	3536.721	1028.499	4565.220	419.207	4984.427
Θερμική ζώνη 9	5473.949	1591.857	7065.805	1599.434	8665.239
Θερμική ζώνη 10	3536.721	1028.499	4565.220	419.207	4984.427
TOTAL	207166.446	36908.080	244074.526	180430.475	424505.001

Εικόνα 5.13 Ετήσια εσωτερικά κέρδη

Από τον παραπάνω πίνακα, συμπεραίνουμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των θερμικών κερδών υπάρχει στους χώρους των αιθουσών διδασκαλίας και προέρχεται κυρίως από τους ίδιους τους χρήστες. Τέλος, βλέπουμε ότι το ποσοστό των εσωτερικών θερμικών κερδών από τον τεχνητό φωτισμό είναι αρκετά υψηλό στους χώρους των αιθουσών του κτιρίου και στον κύριο διάδρομο κυκλοφορίας ενώ σημαντικά χαμηλότερο στους βοηθητικούς χώρους του κτιρίου. Τα αποτελέσματα αυτά οφείλονται στο γεγονός ότι οι αίθουσες διδασκαλίας χρίζουν μεγαλύτερης ανάγκης για φωτισμό αφού εκεί λαμβάνουν χώρα οι δραστηριότητες για τις οποίες προορίζεται το κτίριο.

5.4 Αθέλητος αερισμός

Αναφορικά με τα κέρδη και τις απώλειες θερμότητας λόγω του αθέλητου αερισμού, υπολογίστηκαν για κάθε θερμική ζώνη του υπό μελέτη κτιρίου οι μηνιαίες τιμές των ακόλουθων μεγεθών:

- ✓ Συνολική απώλεια θερμότητας λόγω αθέλητου αερισμού (Zone Infiltration Total Heat Loss Energy), (J). Πρόκειται για την συνολική απώλεια θερμότητας που προκύπτει ως αποτέλεσμα του αθέλητου αερισμού, όταν το άθροισμα των απωλειών αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας υπερβαίνει το αντίστοιχο άθροισμα των κερδών αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας.

- ✓ Συνολικό κέρδος θερμότητας λόγω αθέλητου αερισμού (Zone Infiltration Total Heat Loss Energy), (J). Πρόκειται για την συνολικό θερμικό κέρδος που προκύπτει ως αποτέλεσμα του αθέλητου αερισμού, όταν το άθροισμα των κερδών αισθητής λανθάνουσας θερμότητας υπερβαίνει το αντίστοιχο άθροισμα των απωλειών αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας

5.5 Φυσικός αερισμός

Αναφορικά με τα κέρδη και τις απώλειες θερμότητας λόγω του φυσικού αερισμού, υπολογίστηκαν για κάθε θερμική ζώνη του υπό μελέτη κτιρίου τα ακόλουθα μεγέθη:

- ✓ Συνολική απώλεια θερμότητας λόγω φυσικού αερισμού (Zone Ventilation Total Heat Loss Energy), (J). Πρόκειται για την συνολική απώλεια θερμότητας που προκύπτει ως αποτέλεσμα του φυσικού αερισμού, όταν το άθροισμα των απωλειών αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας υπερβαίνει το αντίστοιχο άθροισμα των κερδών αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας.
- ✓ Συνολικό κέρδος θερμότητας λόγω φυσικού αερισμού (Zone Infiltration Total Heat Loss Energy), (J). Πρόκειται για την συνολικό θερμικό κέρδος που προκύπτει ως αποτέλεσμα του φυσικού αερισμού, όταν το άθροισμα των κερδών αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας υπερβαίνει το αντίστοιχο άθροισμα των απωλειών αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας.

5.6 Ιδανικό σύστημα παροχής θέρμανσης και ψύξης

Η προσομοίωση του υπό μελέτη κτιρίου πραγματοποιήθηκε θεωρώντας παροχή θέρμανσης και ψύξης από ένα ιδανικό σύστημα. Το σύστημα αυτό καλύπτει πλήρως το θερμικό και το ψυκτικό φορτίο κάθε θερμικής ζώνης, χωρίς η ενέργεια που καταναλώνει να αντιστοιχεί σε κάποια συγκεκριμένη πηγή. Αναφορικά με την παροχή θέρμανσης και ψύξης από ιδανικό σύστημα, υπολογίστηκαν για κάθε θερμική ζώνη του υπό μελέτη κτιρίου, οι μηνιαίες τιμές των ακόλουθων μεγεθών:

- ✓ Παρεχόμενη αισθητή θερμική ισχύς (Zone Air System Sensible Heating Rate), (W). Πρόκειται για την αισθητή θερμική ισχύ, η οποία πράγματι παρέχεται από το σύστημα στον αέρα κάθε θερμικής ζώνης, κατά το επιλεγμένο χρονικό βήμα.
- ✓ Παρεχόμενο αισθητό θερμικό φορτίο (Zone Air System Sensible Heating Energy), (J). Πρόκειται για το αισθητό θερμικό φορτίο, το οποίο πράγματι παρέχεται από το σύστημα στον αέρα κάθε θερμικής ζώνης, κατά το επιλεγμένο χρονικό βήμα. Προκύπτει, ως το γινόμενο της αισθητής θερμικής ισχύος επί το χρονικό βήμα της προσομοίωσης.
- ✓ Παρεχόμενη αισθητή ψυκτική ισχύς (Zone Air System Sensible Cooling Rate), (W). Πρόκειται για την αισθητή ψυκτική ισχύ, η οποία πράγματι παρέχεται από το σύστημα στον αέρα κάθε θερμικής ζώνης, κατά το επιλεγμένο χρονικό βήμα.
- ✓ Παρεχόμενο αισθητό ψυκτικό φορτίο (Zone Air System Sensible Cooling Energy), (J). Πρόκειται για το αισθητό ψυκτικό φορτίο, το οποίο πράγματι παρέχεται από το σύστημα στον αέρα κάθε θερμικής ζώνης, κατά το επιλεγμένο χρονικό βήμα. Προκύπτει, ως το γινόμενο της αισθητής ψυκτικής ισχύος επί το χρονικό βήμα της προσομοίωσης.

Σημειώνεται, ότι το συνολικά παρεχόμενο αισθητό θερμικό φορτίο σε όλες τις θερμικές ζώνες του υπό μελέτη κτιρίου, αναφέρεται στα αποτελέσματα της προσομοίωσης με τη βοήθεια του μετρητή ενέργειας “Heating: Energy Transfer”. Αντιστοίχως, το συνολικά παρεχόμενο αισθητό ψυκτικό φορτίο σε όλες τις θερμικές ζώνες του κτιρίου, αναφέρεται με τη βοήθεια του μετρητή ενέργειας “Cooling: Energy Transfer”. Το άθροισμα των δύο παραπάνω μεγεθών αποδίδεται, με τη βοήθεια του μετρητή ενέργειας “Energy Transfer: Building”. Τα αποτελέσματα των μετρητών ενέργειας επιλέχθηκε να δίνονται, ομοίως με τα υπόλοιπα, σε μηνιαία βάση.

Στον πίνακα της Εικόνας 5.14 παρατίθενται για τις ημέρες σχεδιασμού και για κάθε μήνα του έτους, το παρεχόμενο αισθητό θερμικό φορτίο και η παρεχόμενη αισθητή θερμική ισχύς, που αντιστοιχούν στο σύνολο των θερμικών ζωνών του υπό μελέτη κτιρίου καθώς και το παρεχόμενο αισθητό ψυκτικό φορτίο και η παρεχόμενη αισθητή ψυκτική ισχύς, που αντιστοιχούν στο σύνολο των θερμικών ζωνών του κτιρίου. Όπως παρατηρείται, το ιδανικό σύστημα παρέχει θέρμανση στο εσωτερικό του κτιρίου μόνο κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης, δηλαδή από 1η Ιανουαρίου έως 30 Απριλίου και από 1 Οκτωβρίου έως 31 Δεκεμβρίου. Αντίστοιχα, το ιδανικό σύστημα παρέχει ψύξη στο εσωτερικό του κτιρίου μόνο κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης, δηλαδή από 1η Μαΐου έως 30 Σεπτεμβρίου. Οι παρατηρήσεις αυτές συνάδουν με τα ορισθέντα στο αρχείο δεδομένων εισόδου, καθώς σύμφωνα με τα αντικείμενα θερμοστατικού ελέγχου των θερμικών ζωνών του κτιρίου, το σύστημα θέρμανσης και το σύστημα ψύξης οφείλουν να βρίσκονται εκτός λειτουργίας κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης και τη περίοδο θέρμανσης αντίστοιχα.

	Παρεχόμενο αισθητό θερμικό φορτίο		Παρεχόμενη αισθητή θερμική ισχύς	Παρεχόμενο αισθητό ψυκτικό φορτίο		Παρεχόμενη ψυκτική ισχύς	Σύνολο Παρεχόμενης
	[J]	[kWh]	[W]	[J]	[kWh]	[W]	[kWh]
21 Φεβρουαρίου	19075038384.88	5298.62	220775.91	0.00	0.00	0.00	5298.62
21 Αυγούστου	0.00	0.00	0.00	7230212422.42	2008.39	83683.01	2008.39
Ιανουάριος	235452796240.02	65403.55	87908.00	0.00	0.00	0.00	65403.55
Φεβρουάριος	246114295611.73	68365.08	101733.75	0.00	0.00	0.00	68365.08
Μάρτιος	205212481841.17	57003.47	76617.56	0.00	0.00	0.00	57003.47
Απρίλιος	94804755942.29	26334.65	36575.91	0.00	0.00	0.00	26334.65
Μάιος	0.00	0.00	0.00	5573750609.82	1548.26	2081.00	1548.26
Ιούνιος	0.00	0.00	0.00	75963853429.39	21101.07	29307.04	21101.07
Ιούλιος	0.00	0.00	0.00	127919629881.62	35533.23	47759.72	35533.23
Αύγουστος	0.00	0.00	0.00	183372270908.12	50936.74	68463.36	50936.74
Σεπτέμβριος	0.00	0.00	0.00	55821924928.38	15506.09	21536.24	15506.09
Οκτώβριος	15557673622.51	4321.58	5808.57	0.00	0.00	0.00	4321.58
Νοέμβριος	114457595023.53	31793.78	44158.02	0.00	0.00	0.00	31793.78
Δεκέμβριος	239745521576.38	66595.98	89510.72	0.00	0.00	0.00	66595.98

Εικόνα 5.14 Παρεχόμενο αισθητό θερμικό και ψυκτικό φορτίο καθώς και παρεχόμενη αισθητή θερμική και ψυκτική ισχύς από το ιδανικό σύστημα στο εσωτερικό του κτιρίου

Αναφορικά με την ενέργεια που καταναλώνει το ιδανικό σύστημα για την παροχή θέρμανσης και ψύξης υπολογίστηκαν για κάθε θερμική ζώνη οι μηνιαίες τιμές των ακόλουθων μεγεθών:

- ✓ Κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση του αέρα (Zone Ideal Loads Supply Air Total Heating Energy), (J) και κατανάλωση ισχύος για θέρμανση του αέρα (Zone Ideal Loads Supply Air Total Heating Rate), (W). Πρόκειται για την ενέργεια και την ισχύ αντίστοιχα, που καταναλώνει το ιδανικό σύστημα θέρμανσης, προκειμένου να θερμάνει τον αέρα που παρέχεται στο εσωτερικό κάθε θερμικής ζώνης.
- ✓ Κατανάλωση ενέργειας για ψύξη του αέρα (Zone Ideal Loads Supply Air Total Cooling Energy), (J) και κατανάλωση ισχύος για ψύξη του αέρα (Zone Ideal Loads Supply Air Total Cooling Rate), (W). Πρόκειται για την ενέργεια και την ισχύ αντίστοιχα, που καταναλώνει το ιδανικό σύστημα ψύξης, προκειμένου να ψύξει τον αέρα που παρέχεται στο εσωτερικό κάθε θερμικής ζώνης.

Η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας από το ιδανικό σύστημα για τη θέρμανση και την ψύξη του υπό μελέτη κτιρίου, μπορεί να αποδοθεί απευθείας στα αποτελέσματα της προσομοίωσης, με τη βοήθεια των μετρητών ενέργειας “District Heating: Facility” και “District Cooling: Facility” αντίστοιχα.

Στον πίνακα της εικόνας 5.15 δίνονται για τις ημέρες σχεδιασμού και για κάθε μήνα του έτους, η ενέργεια και η ισχύς που καταναλώνει το ιδανικό σύστημα για τη θέρμανση του συνόλου των θερμικών ζωνών του κτιρίου καθώς και η ενέργεια και η ισχύς που καταναλώνει το ιδανικό σύστημα για την ψύξη του συνόλου των θερμικών ζωνών του κτιρίου.

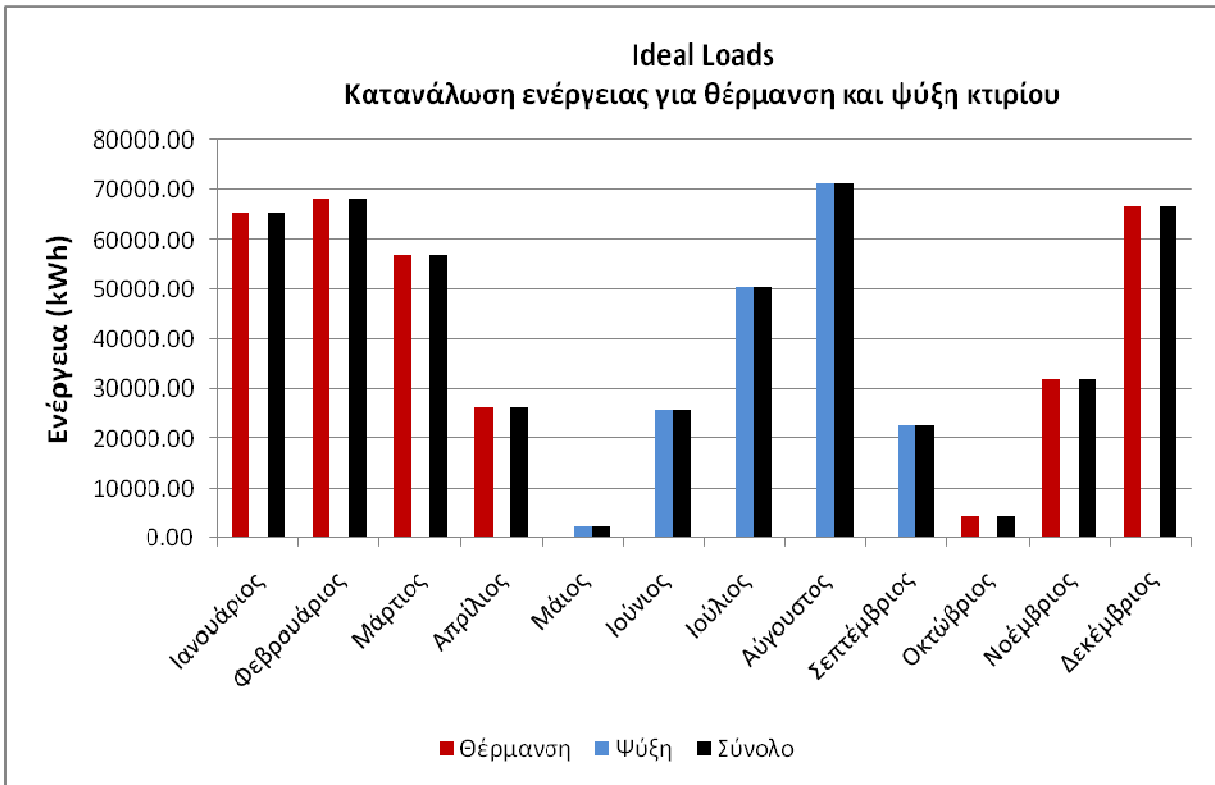
	Κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση		Κατανάλωση ισχύος για θέρμανση	Κατανάλωση ενέργειας για ψύξη		Κατανάλωση ισχύος για ψύξη	Σύνολο Κατανάλωσης
	[J]	[kWh]	[W]	[J]	[kWh]	[W]	[kWh]
21 Φεβρουαρίου	19075038384.88	5298.62	220775.91	0.00	0.00	0.00	5298.62
21 Αυγούστου	0.00	0.00	0.00	9625931720.97	2673.87	111411.25	2673.87
Ιανουάριος	235452582099.32	65403.50	87907.92	0.00	0.00	0.00	65403.50
Φεβρουάριος	246114104942.96	68365.03	101733.67	0.00	0.00	0.00	68365.03
Μάρτιος	205212250857.85	57003.40	76617.48	0.00	0.00	0.00	57003.40
Απρίλιος	94804550104.23	26334.60	36575.83	0.00	0.00	0.00	26334.60
Μάιος	0.00	0.00	0.00	8079757211.30	2244.38	3016.64	2244.38
Ιούνιος	0.00	0.00	0.00	92732740018.16	25759.09	35776.52	25759.09
Ιούλιος	0.00	0.00	0.00	181756850953.08	50488.01	67860.23	50488.01
Αύγουστος	0.00	0.00	0.00	256802760156.31	71334.10	95879.17	71334.10
Σεπτέμβριος	0.00	0.00	0.00	81643543809.07	22678.76	31498.28	22678.76
Οκτώβριος	15557618971.03	4321.56	5808.55	0.00	0.00	0.00	4321.56
Νοέμβριος	114457377432.67	31793.72	44157.94	0.00	0.00	0.00	31793.72
Δεκέμβριος	239745316509.83	66595.92	89510.65	0.00	0.00	0.00	66595.92

Εικόνα 5.15 Κατανάλωση ενέργειας και ισχύος από το ιδανικό σύστημα για τη θέρμανση και ψύξη του κτιρίου

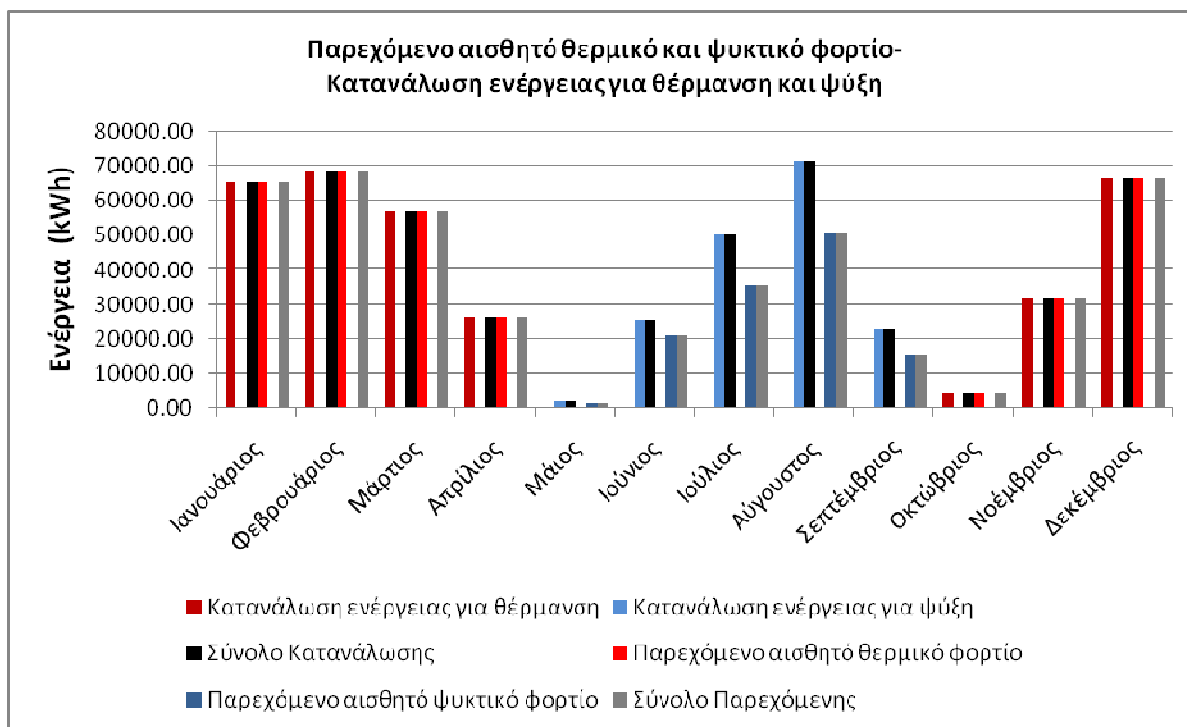
Όπως παρατηρείται, το ιδανικό σύστημα καταναλώνει ενέργεια για τη θέρμανση του κτιρίου, μόνο κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης, δηλαδή από 1η Ιανουαρίου έως 30 Απριλίου και από 1 Οκτωβρίου έως 31 Δεκεμβρίου. Αντίστοιχα, το ιδανικό σύστημα καταναλώνει ενέργεια για την ψύξη του κτιρίου, μόνο κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης, δηλαδή από 1η Μαΐου έως 30 Σεπτεμβρίου. Αυτό υπαγορεύεται από τα ορισθέντα στα αντικείμενα θερμοστατικού ελέγχου των θερμικών ζωνών του κτιρίου, σύμφωνα με τα οποία, το σύστημα θέρμανσης και το σύστημα ψύξης βρίσκονται ουσιαστικά εκτός λειτουργίας κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης και τη περιόδου θέρμανσης αντίστοιχα.

Στο διάγραμμα της Εικόνας 5.16 παριστάνονται οι μηνιαίες τιμές της ενέργειας που καταναλώνει το ιδανικό σύστημα για τη θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου, καθώς και οι μηνιαίες τιμές του αθροίσματος των δύο καταναλώσεων αυτών.

Στο διάγραμμα της Εικόνας 5.17 αντιπαραβάλλονται οι μηνιαίες τιμές του παρεχόμενου αισθητού θερμικού ή ψυκτικού φορτίου στο εσωτερικό του κτιρίου και οι αντίστοιχες τιμές της κατανάλωσης ενέργειας από το ιδανικό σύστημα για την παροχή θέρμανσης ή ψύξης.



Εικόνα 5.16 Κατανάλωση ενέργειας ιδανικού συστήματος για τη θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου



Εικόνα 5.17 Παρεχόμενο αισθητό θερμικό και ψυκτικό φορτίο, κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη κτιρίου

Όπως παρατηρείται, κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης, η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας για τη θέρμανση του κτιρίου είναι ίση με τη μηνιαία τιμή του αισθητού θερμικού φορτίου, το οποίο παρέχεται από το ιδανικό σύστημα στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης, η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας για την ψύξη του κτιρίου διαφοροποιείται από τη μηνιαία τιμή του αισθητού ψυκτικού φορτίου, το οποίο παρέχεται από το ιδανικό σύστημα στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην ύπαρξη των εσωτερικών θερμικών κερδών, λόγω των χρηστών, του ηλεκτροφωτισμού καθώς και στα θερμικά κέρδη που οφείλονται στον αθέλητο και το φυσικό αερισμό, αλλά και στα αυξημένα ηλιακά θερμικά κέρδη από τα ανοίγματα του κτιρίου.

6.ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έχοντας πλέον υπολογίσει την ενέργεια που καταναλώνεται από το ιδανικό σύστημα θέρμανσης- ψύξης- κλιματισμού για τη θέρμανση και την ψύξη του υπό μελέτη κτιρίου, καταστρώθηκε το σενάριο εξοικονόμησης της ενέργειας αυτής. Η προτεινόμενη επέμβαση επικεντρώθηκε στην εγκατάσταση ενός συστήματος θέρμανσης- ψύξης- κλιματισμού, το οποίο θα καταναλώνει εν μέρει ενέργεια προερχόμενη από ανανεώσιμες πηγές.

Συγκεκριμένα, προτάθηκε η εγκατάσταση ενός συστήματος, το οποίο αποτελείται από δύο αντλίες θερμότητας νερού- νερού, καθεμία από τις οποίες εξυπηρετεί το βρόχο εγκαταστάσεων θέρμανσης και το βρόχο εγκαταστάσεων ψύξης, αντίστοιχα. Η γεωθερμική αντλία παροχής θέρμανσης τροφοδοτεί ισάριθμα τις θερμικές ζώνες με θερμαντικά στοιχεία νερού και η γεωθερμική αντλία παροχής ψύξης ένα κεντρικό ψυκτικό στοιχείο νερού. Οι εν λόγω αντλίες θερμότητας μοιράζονται τον ίδιο βρόχο συμπύκνωσης, όπου συναλλάσσουν θερμότητα με το περιβάλλον μέσω ενός κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας. Ο αέρας θέρμανσης ή ψύξης διανέμεται στις θερμικές ζώνες μέσω τερματικών μονάδων αναθέρμανσης σταθερού όγκου. Σημειώνεται, ότι όλα τα υπόλοιπα δεδομένα της προσομοίωσης διατηρούνται αμετάβλητα.

Για την πρόταση βελτίωσης χρησιμοποιήσα κατακόρυφο γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας 4×4, συμβατικός (Vertical GHE 4×4 Standard), η εγκατάσταση του οποίου περιλαμβάνει 16 γεωτρήσεις. Το υλικό πληρώσεως των γεωτρήσεων έχει συμβατική θερμική αγωγιμότητα.

Ακολούθως, περιγράφεται αναλυτικά η εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων στην εφαρμογή IDF Editor, προκειμένου να περιγραφεί το προτεινόμενο σύστημα θέρμανσης- ψύξης-κλιματισμού.

6.1 Ορισμός παραμέτρων προσομοίωσης

Οι παράμετροι της προσομοίωσης του κτιρίου, στο οποίο έχει ενσωματωθεί το προτεινόμενο σύστημα θέρμανσης- ψύξης- κλιματισμού, δεν διαφοροποιούνται σε σχέση με εκείνες που ίσχυαν για την προσομοίωση του κτιρίου, όταν ήταν εξοπλισμένο με το ιδανικό σύστημα. Η μόνη διαφοροποίηση εντοπίζεται σε ορισμένα εκ των αντικειμένων, τα οποία περιλαμβάνονται στην κατηγορία δεδομένων ελέγχου της προσομοίωσης.

Πιο συγκεκριμένα επέλεξα στην καρτέλα ‘‘Simulation Control’’ τις εξής παραμέτρους: Do Zone Sizing Calculation, Do System Sizing Calculation και Do Plant Sizing Calculation όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

Field	Units	Obj1
Do Zone Sizing Calculation		Yes
Do System Sizing Calculation		Yes
Do Plant Sizing Calculation		Yes
Run Simulation for Sizing Periods		Yes
Run Simulation for Weather File Run Periods		Yes
Do HVAC Sizing Simulation for Sizing Periods		
Maximum Number of HVAC Sizing Simulation Passes		

Εικόνα 6.1 Ορισμός παραμέτρων προσομοίωσης

6.2 Θερμοκρασία εδάφους σε βάθος 4 m

Στην κατηγορία αυτή δεδομένων συμπληρώθηκε η μέση μηνιαία θερμοκρασία του εδάφους σε βάθος 4 m από την επιφάνεια, όπως είναι καταγεγραμμένη στο αρχείο καιρικών δεδομένων του EnergyPlus, για την περιοχή της Αθήνας. Οι τιμές της θερμοκρασίας ορίζονται στην καρτέλα "Location and Climate" του EnergyPlus φαίνονται στην παρακάτω εικόνα

Field	Units	Obj1
January Ground Temperature	C	14.02
February Ground Temperature	C	13.76
March Ground Temperature	C	14.5
April Ground Temperature	C	15.58
May Ground Temperature	C	18.29
June Ground Temperature	C	20.32
July Ground Temperature	C	21.64
August Ground Temperature	C	21.96
September Ground Temperature	C	21.14
October Ground Temperature	C	19.47
November Ground Temperature	C	17.31
December Ground Temperature	C	15.35

Εικόνα 6.2 Θερμοκρασία εδάφους σε βάθος 4 m

6.3 Ορισμός παραμέτρων σχεδιασμού συστημάτων θέρμανσης- ψύξης-κλιματισμού

Το λογισμικό EnergyPlus έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει για κάθε θερμική ζώνη του εξεταζόμενου κτιρίου το θερμικό και ψυκτικό φορτίο σχεδιασμού, καθώς και την παροχή αέρα σχεδιασμού. Ακολούθως, αξιοποιεί τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών, ούτως ώστε να διαστασιολογήσει αυτόματα, εφόσον του ζητηθεί, ορισμένες συνιστώσες των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης που εξυπηρετούν το κτίριο.

6.3.1 Προδιαγραφές σχεδιασμού για τον εξωτερικό αέρα

Στη κατηγορία αυτή ορίζονται μία ή περισσότερες απαιτήσεις σε εξωτερικό αέρα, ώστε να μπορούν εύκολα, βάσει ονόματος, να αντιστοιχηθούν σε διάφορα άλλα αντικείμενα του αρχείου δεδομένων εισόδου, εάν αυτό ζητηθεί.

Field	Units	Obj1
Name		outdoor air
Outdoor Air Method		Flow/Person
Outdoor Air Flow per Person	m3/s-person	0.00944
Outdoor Air Flow per Zone Floor Area	m3/s-m2	
Outdoor Air Flow per Zone	m3/s	
Outdoor Air Flow Air Changes per Hour	1/hr	

Εικόνα 6.3 Προδιαγραφές σχεδιασμού για τον εξωτερικό αέρα

6.3.2 Προδιαγραφές σχεδιασμού για τη διανομή του αέρα στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η αποτελεσματικότητα με την οποία διανέμεται ο αέρας ψύξης και θέρμανσης στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών. Στο πλαίσιο της παρούσας προσομοίωσης, η αποτελεσματικότητα κυκλοφορίας του αέρα τόσο σε λειτουργία ψύξης, όσο και σε λειτουργία θέρμανσης, προσδιορίστηκε με την τιμή 1, η οποία αποτελεί και την προκαθορισμένη τιμή του λογισμικού για τα συγκεκριμένα πεδία.

Field	Units	Obj1
Name		dianomi aera
Zone Air Distribution Effectiveness in Cooling Mode	dimensionless	1
Zone Air Distribution Effectiveness in Heating Mode	dimensionless	1
Zone Air Distribution Effectiveness Schedule Name		
Zone Secondary Recirculation Fraction	dimensionless	

Εικόνα 6.4 Προδιαγραφές σχεδιασμού για την διανομή του αέρα στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών

6.3.3 Καθολικοί συντελεστές σχεδιασμού

Το λογισμικό παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα, να ορίσει καθολικούς συντελεστές σχεδιασμού κατά την προσομοίωση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Οι συντελεστές αυτοί πολλαπλασιάζονται με τα θερμικά και ψυκτικά φορτία, καθώς και τις παροχές αέρα, που υπολογίζονται για κάθε θερμική ζώνη.

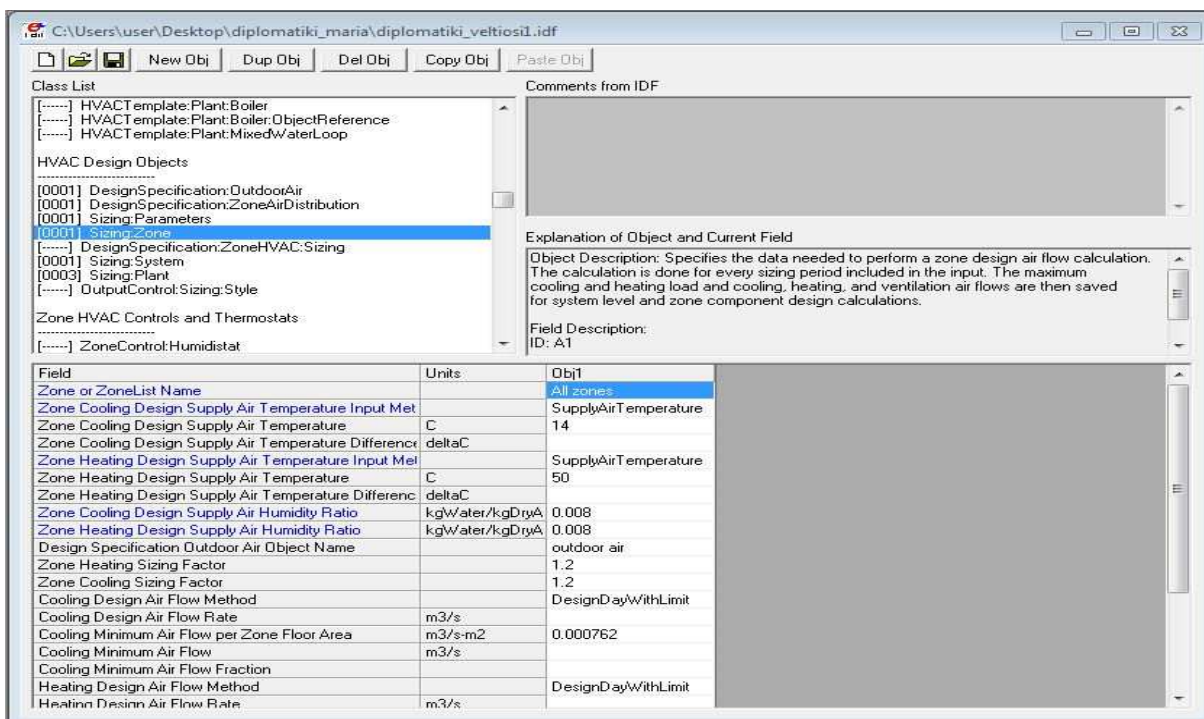
Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ορίστηκε κοινός συντελεστής σχεδιασμού για τη θέρμανση και την ψύξη, ίσος προς 1,2

Field	Units	Obj1
Heating Sizing Factor		1.2
Cooling Sizing Factor		1.2
Timesteps in Averaging Window		

Εικόνα 6.5 Ορισμός καθολικών συντελεστών σχεδιασμού

6.3.4 Παράμετροι σχεδιασμού θερμικής ζώνης

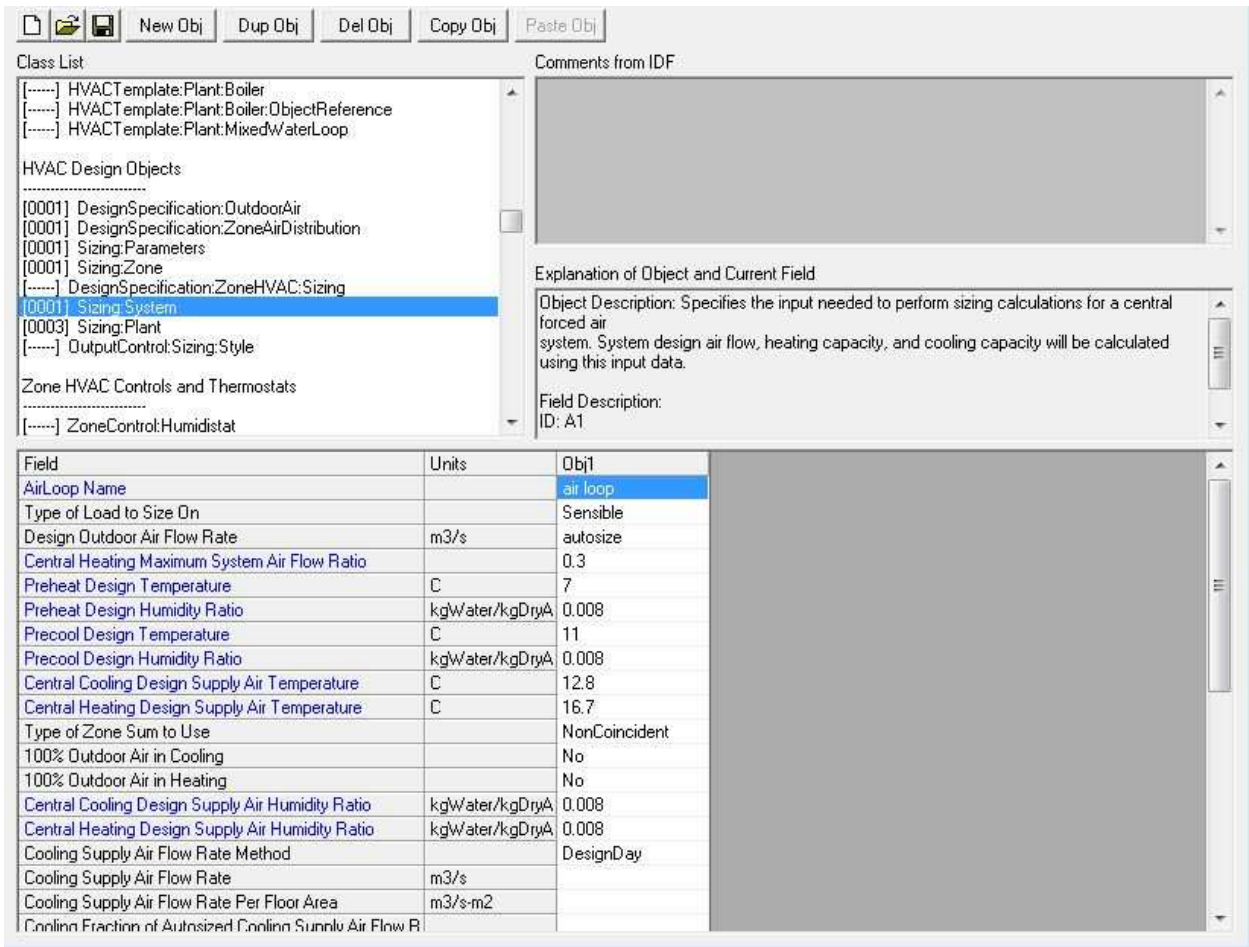
Οι παράμετροι σχεδιασμού θερμικής ζώνης συνιστούν τα απαιτούμενα δεδομένα για τον υπολογισμό της παροχής αέρα σχεδιασμού κάθε θερμικής ζώνης. Για τις ανάγκες της παρούσας προσομοίωσης δημιουργήθηκε ένα μόνο αντικείμενο παραμέτρων σχεδιασμού θερμικής ζώνης, το οποίο επιλέχθηκε να εφαρμοστεί σε όλες τις θερμικές ζώνες του υπό μελέτη κτιρίου. Οι παράμετροι που ορίστηκαν φαίνονται στην εικόνα:



Εικόνα 6.6 Παράμετροι σχεδιασμού θερμικής ζώνης

6.3.5 Παράμετροι σχεδιασμού συστήματος

Οι παράμετροι σχεδιασμού συστήματος αποτελούν όλα τα δεδομένα που απαιτούνται, προκειμένου να υπολογιστεί η παροχή αέρα σχεδιασμού, καθώς και η θερμική και η ψυκτική ικανότητα ενός συστήματος εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα, το οποίο ενδέχεται να εξυπηρετεί μία ή περισσότερες θερμικές ζώνες. Οι παράμετροι που ορίστηκαν φαίνονται στην εικόνα:



Εικόνα 6.7 Παράμετροι σχεδιασμού συστήματος

6.3.6 Παράμετροι σχεδιασμού εγκαταστάσεων

Οι παράμετροι σχεδιασμού αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται από το λογισμικό για τον αυτόματο υπολογισμό της παροχής νερού σε διάφορα σημεία του βρόχου εγκαταστάσεων, καθώς και των αντίστοιχων χωρητικοτήτων του εξοπλισμού. Προκειμένου να υπολογιστούν τιμές της παροχής νερού στο βρόχο εγκαταστάσεων, υπολογίζονται και στη συνέχεια αθροίζονται, οι μέγιστες παροχές νερού των στοιχείων εκείνων που χρησιμοποιούν νερό για θέρμανση ή για ψύξη (hot water coils, chilled water coils).

Ο χρήστης οφείλει να καθορίσει καταρχήν τον τύπο του κάθε βρόχου νερού του συστήματος, δηλαδή αν πρόκειται για βρόχο θέρμανσης, ατμού, ψύξης ή συμπύκνωσης. Ακολούθως, ορίζεται

θερμοκρασία σχεδιασμού του νερού που παρέχεται από τον εκάστοτε βρόχο στην έξοδό του, η οποία αποτελεί ταυτόχρονα και τη θερμοκρασία του νερού στην είσοδο των θερμαντικών και ψυκτικών στοιχείων που τροφοδοτεί ο υπόψη βρόχος. Επιπλέον για κάθε βρόχο ορίζεται η άνοδος, αν πρόκειται για βρόχο ψύξης ή συμπύκνωσης, ή η πτώση, αν πρόκειται για βρόχο θέρμανσης, τη θερμοκρασίας σχεδιασμού κατά μήκος της πλευράς της ζήτησης ενέργειας. Η θερμοκρασιακή διαφορά αυτή χρησιμοποιείται από τα μοντέλα διαστασιολόγησης των συνιστωσών, ώστε να καθοριστεί η απαιτούμενη παροχή κάθε στοιχείου για την κάλυψη της μέγιστης παροχής σχεδιασμού.

Το παρόν σύστημα περιλαμβάνει από έναν βρόχο θέρμανσης, ψύξης και συμπύκνωσης, οι παράμετροι σχεδιασμού των οποίων φαίνονται στην εικόνα:

The screenshot shows a software interface with a 'Class List' on the left and a 'Comments from IDF' pane on the right. The 'Class List' includes various HVAC design objects, with 'Sizing:Plant' selected. The 'Comments from IDF' pane shows the 'Explanation of Object and Current Field' for 'Sizing:Plant', describing its role in autosizing plant loop flow rates and equipment capacities. Below the panes is a table with the following data:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Plant or Condenser Loop Name		chilled water loop	hot water loop	chilled water condenser
Loop Type		Cooling	Heating	Condenser
Design Loop Exit Temperature	C	7.22	80	29.4
Loop Design Temperature Difference	deltaC	6.67	11	5.6
Sizing Option		NonCoincident	NonCoincident	NonCoincident
Zone Timesteps in Averaging Window		1	1	1
Coincident Sizing Factor Mode				

Εικόνα 6.8 Παράμετροι σχεδιασμού βρόχων εγκαταστάσεων

6.3.7 Ορισμός θερμοστατικού ελέγχου θερμικών ζωνών

Κάθε θερμική ζώνη ελεγχόμενης θερμοκρασίας του υπό μελέτη κτιρίου, είναι αναγκαίο να περιγράφεται από ένα αντικείμενο θερμοστατικού ελέγχου, εντός του οποίου καθορίζονται τα σημεία ρύθμισης της

θερμοκρασίας του συστήματος θέρμανσης και ψύξης της ζώνης, κάθε χρονική στιγμή της περιόδου προσομοίωσης.

Στο πλαίσιο της παρούσας προσομοίωσης ορίστηκε ένα αντικείμενο θερμοστατικού ελέγχου, για όλες τις θερμικές ζώνες του κτιρίου. Σε αυτό προδιαγράφηκε βάσει χρονοδιαγράμματος η λειτουργία του συστήματος θέρμανσης ή ψύξης, ανάλογα με το αν διανύεται η χρονική περίοδος θέρμανσης ή ψύξης, αντίστοιχα. Δηλαδή, ορίστηκε ότι κατά τη χρονική περίοδο από την 1η Ιανουαρίου έως την 30η Απριλίου και από την 1η Οκτωβρίου έως την 31η Δεκεμβρίου, θα βρίσκεται σε λειτουργία αποκλειστικά το σύστημα θέρμανσης, ενώ κατά τη χρονική περίοδο από την 1η Μαΐου έως την 30η Σεπτεμβρίου, θα λειτουργεί αποκλειστικά το σύστημα ψύξης.

6.4 Ορισμός τοπολογίας συστήματος θέρμανσης- ψύξης- κλιματισμού

Όπως έχει περιγραφεί, κάθε συνιστώσα ενός συστήματος θέρμανσης- ψύξης- κλιματισμού στο λογισμικό EnergyPlus οφείλει να διαθέτει έναν κόμβο εισόδου και έναν κόμβο εξόδου. Στο πλαίσιο της προσομοίωσης, κάθε κόμβος αποτελεί ένα σημείο προσδιορισμού ορισμένων χαρακτηριστικών μεγεθών του διερχόμενου ρευστού, αέρα ή νερού, τα οποία υπεισέρχονται ως δεδομένα εισόδου στον υπολογισμό των στοιχείων του εξοπλισμού που ακολουθούν.

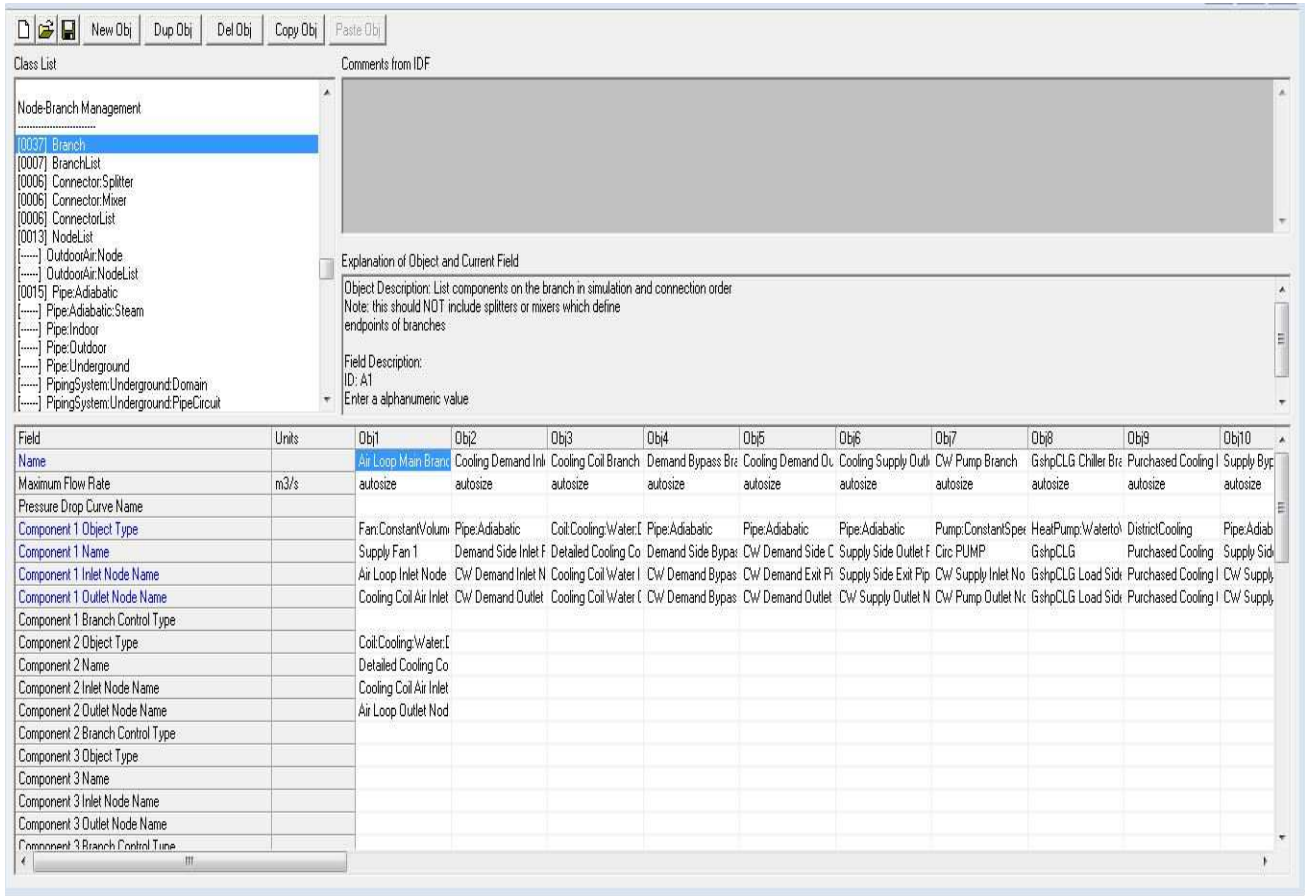
Οι συνιστώσες του εκάστοτε συστήματος συνδέονται μεταξύ τους μέσω των κόμβων, ώστε να σχηματίσουν βρόχους. Δηλαδή, σε ένα σύστημα θέρμανσης και ψύξης, ο κόμβος εξόδου ενός στοιχείου ταυτίζεται με τον κόμβο εισόδου του στοιχείου που ακολουθεί. Οι βρόχοι ενός συστήματος διακρίνονται σε βρόχους αέρα και σε βρόχους εγκαταστάσεων ή βρόχους νερού. Σε κάθε είδος βρόχων διακρίνεται επίσης σε δύο πλευρές ανάλογα με το αν η ενέργεια ζητείται ή παρέχεται από τις επιμέρους συνιστώσες.

6.4.1 Κλάδοι συστήματος

Προκειμένου να καταστεί εφικτή η κατασκευή των βρόχων ενός συστήματος, είναι απαραίτητο να έχει προηγηθεί ο συνδυασμός των συνιστωσών προς τη δημιουργία μικρότερων ομάδων, οι οποίες καλούνται κλάδοι του συστήματος. Κάθε κλάδος ενδέχεται να αποτελείται από ένα ή περισσότερα στοιχεία, σε μία σαφώς ορισμένη σειρά. Υπογραμμίζεται, ότι οι κόμβοι εισόδου και εξόδου, κάθε συνιστώσας ενός κλάδου, αποτελούν επίσης συστατικό στοιχείο του κλάδου αυτού. Συνδυάζοντας τους διάφορους κλάδους μεταξύ τους, κατασκευάζονται οι βρόχοι του υπόψη συστήματος.

Όσον αφορά στη δημιουργία βρόχων εγκαταστάσεων, δηλαδή των βρόχων εκείνων του συστήματος εντός των οποίων κυκλοφορεί νερό, χρησιμοποιούνται κλάδοι τόσο για την πλευρά της ζήτησης, όσο και για την πλευρά της παροχής ενέργειας. Αντιθέτως, αναφορικά με τους βρόχους αέρα του συστήματος, μόνο οι συνιστώσες που εντοπίζονται στην πλευρά της παροχής ενέργειας επιτρέπεται να σχηματίζουν κλάδους.

Στο πλαίσιο της παρούσας προσομοίωσης κατασκευάστηκαν τριάντα επτά κλάδοι, κάποιιοι από τους οποίους παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα. Σημειώνεται, ότι η μέγιστη παροχή όλων των κλάδων επιλέχθηκε να υπολογίζεται αυτόματα από το λογισμικό.

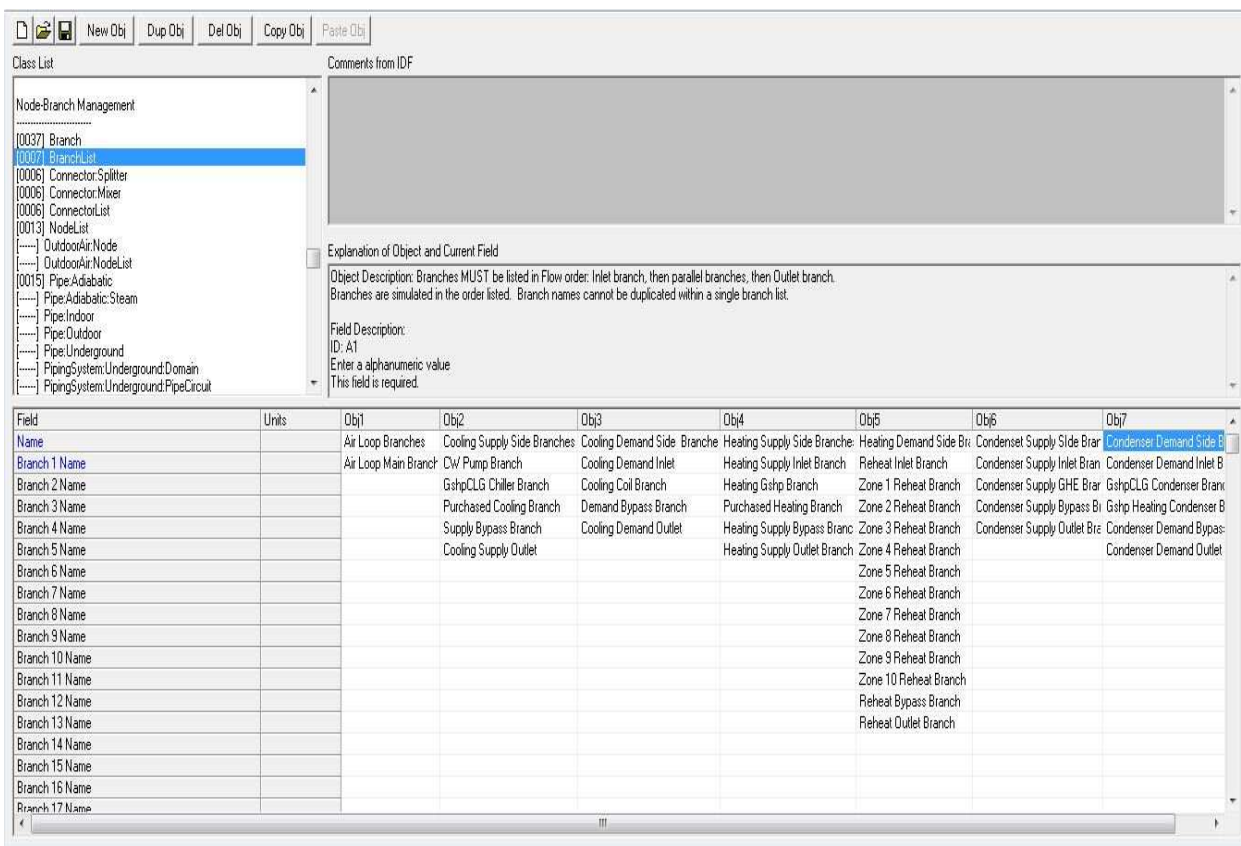


Εικόνα 6.9 Ορισμός κλάδων συστήματος

6.4.2 Ομάδες κλάδων συστήματος

Η προσομοίωση ενός συστήματος θέρμανσης- ψύξης- κλιματισμού διευκολύνεται από την οργάνωση των επιμέρους κλάδων σε μεγαλύτερες ομάδες, οι οποίες αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα τμήματα των βρόχων του συστήματος. Σε κάθε ομάδα, οι κλάδοι που τη συνιστούν, οφείλουν να απαριθμούνται στο αρχείο δεδομένων εισόδου ακολουθώντας την κατεύθυνση της ροής του αέρα ή του νερού, δηλαδή πρώτα οι κλάδοι εισόδου, έπειτα οι παράλληλοι κλάδοι και τέλος οι κλάδοι εξόδου.

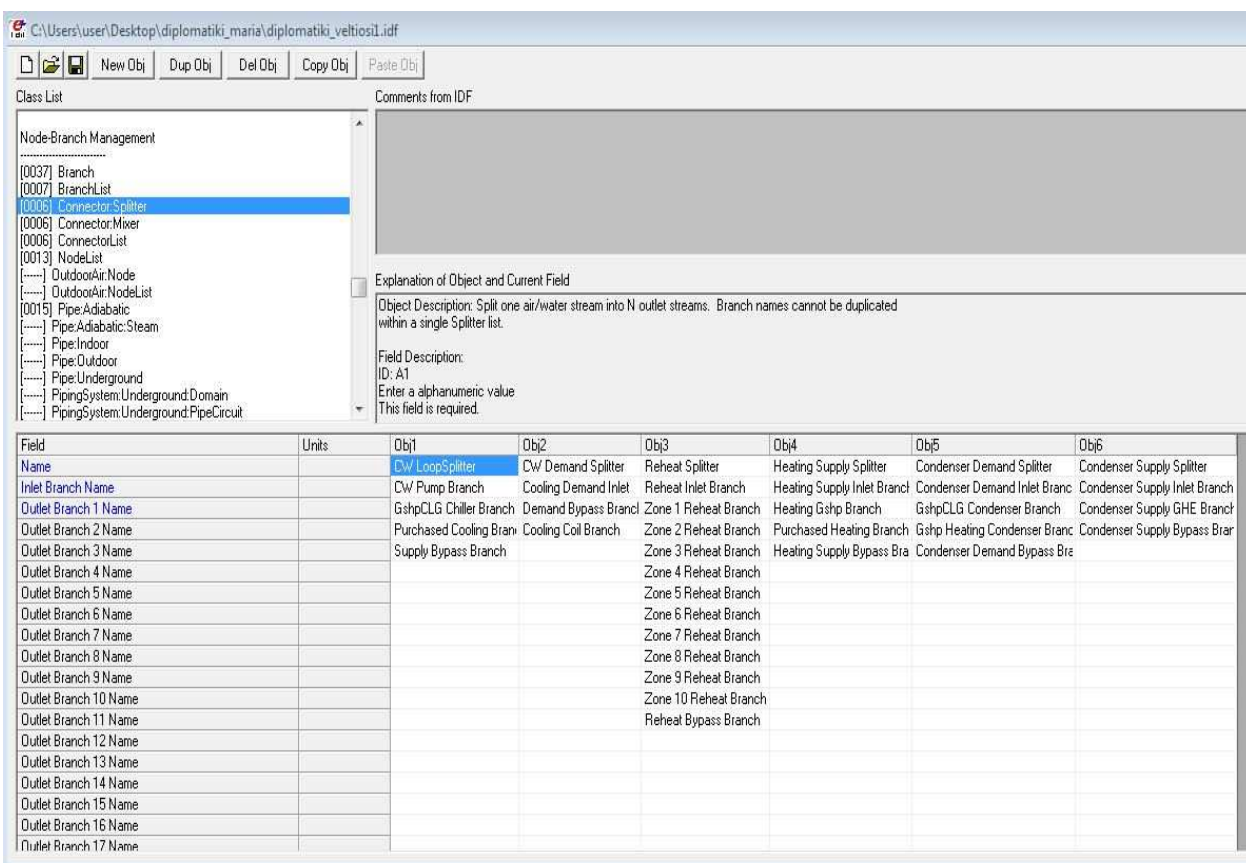
Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, οι κλάδοι αρχικά ομαδοποιήθηκαν ανάλογα με το αν ανήκουν στο βρόχο αέρα, στο βρόχο νερού ψύξης, στο βρόχο νερού θέρμανσης ή στο βρόχο συμπύκνωσης. Στη συνέχεια, οι κλάδοι που ανήκουν στις τρεις τελευταίες κατηγορίες, διακρίθηκαν περαιτέρω, ανάλογα με τον αν εντοπίζονται στην πλευρά της παροχής ή της ζήτησης ενέργειας.



Εικόνα 6.10 Ομαδοποίηση κλάδων συστήματος

6.4.3 Διαιρέτες ροής

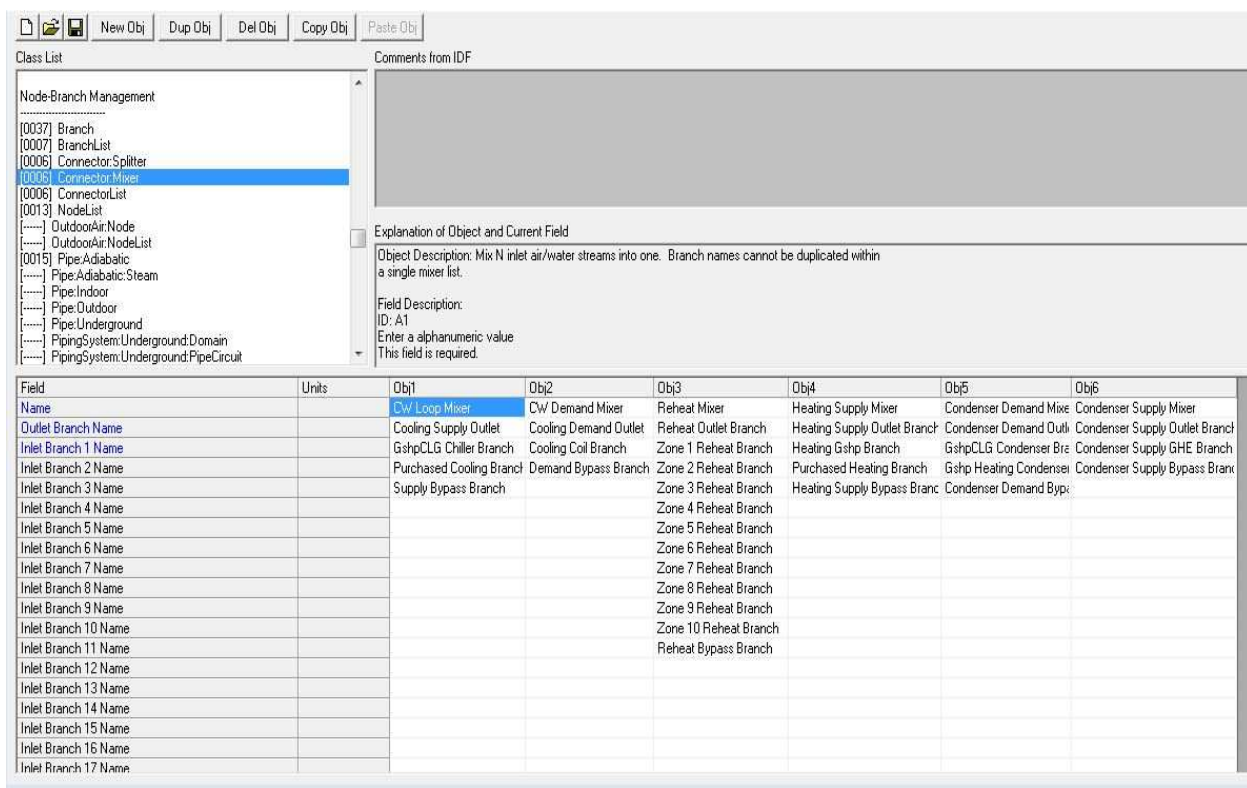
Οι διαιρέτες ροής αποτελούν συνιστώσες του συστήματος θέρμανσης- ψύξης- κλιματισμού, οι οποίες διαιρούν ένα ρεύμα αέρα ή νερού σε δύο ή περισσότερα ρεύματα. Τα στοιχεία αυτά περιγράφονται σε ξεχωριστή κατηγορία της εφαρμογής IDF Editor. Για κάθε στοιχείο οφείλει να οριστεί ένα μοναδικό όνομα, ώστε να διακρίνεται από τα υπόλοιπα, το όνομα του κλάδου στην είσοδο του στοιχείου και τα ονόματα των κλάδων στην έξοδο του στοιχείου. Το παρόν σύστημα περιλαμβάνει στη δομή του έξι διαιρέτες ροής οι οποίοι φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 6.11 Διαίρετες ροής συστήματος θέρμανσης-ψύξης-κλιματισμού

6.4.4 Μίκτες ροής

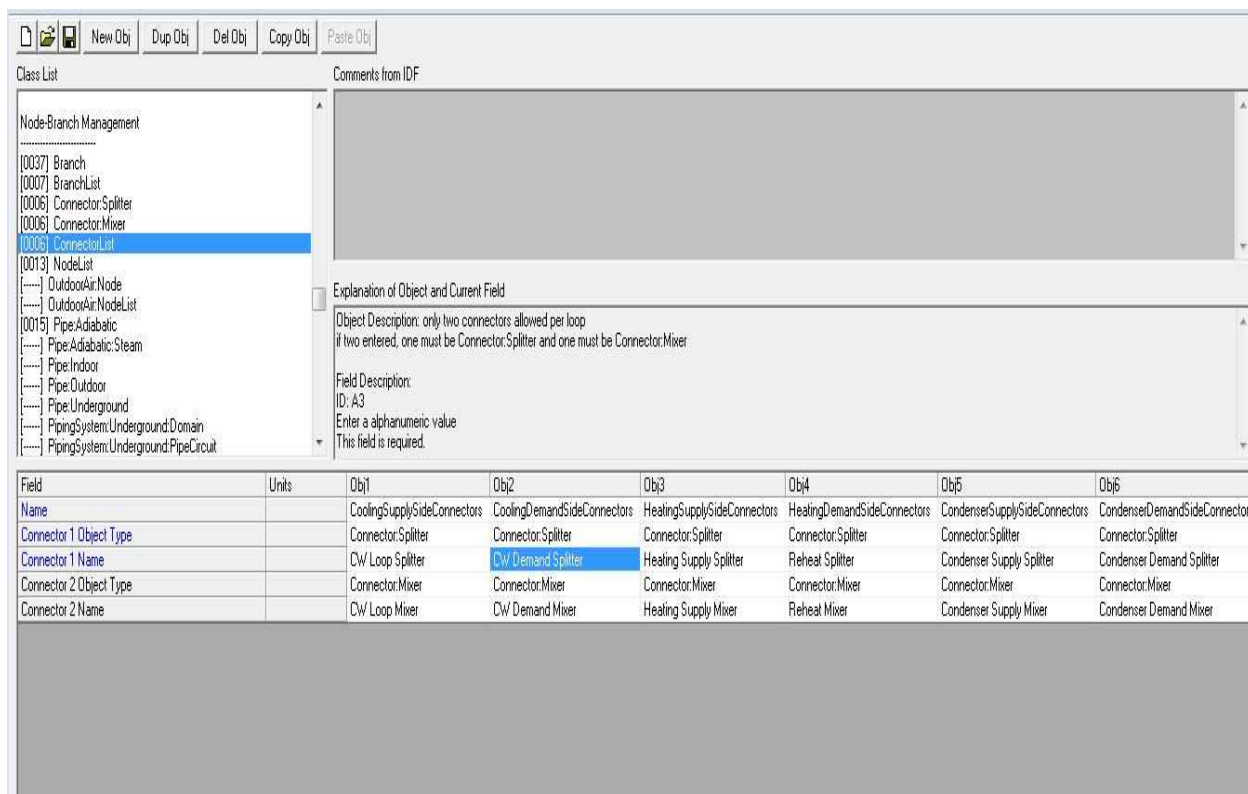
Οι μίκτες ροής αποτελούν συνιστώσες του συστήματος θέρμανσης- ψύξης- κλιματισμού, μέσω των οποίων δύο ή περισσότερα διαφορετικά ρεύματα αέρα ή νερού ενώνονται, σχηματίζοντας ένα ενιαίο ρεύμα. Η περιγραφή των στοιχείων αυτών γίνεται σε ξεχωριστή κατηγορία της εφαρμογής IDF Editor. Κάθε στοιχείο περιγράφεται βάσει του μοναδικού του ονόματος, των ονομάτων των εισερχόμενων κλάδων του συστήματος, καθώς και το όνομα του εξερχόμενου κλάδου. Στο παρόν σύστημα περιλαμβάνονται έξι μίκτες ροής οι οποίοι φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 6.12 Μίκτες ροής συστήματος θέρμανσης-ψύξης-κλιματισμού

6.4.5 Ομάδες διαιρετών και μικτών ροής

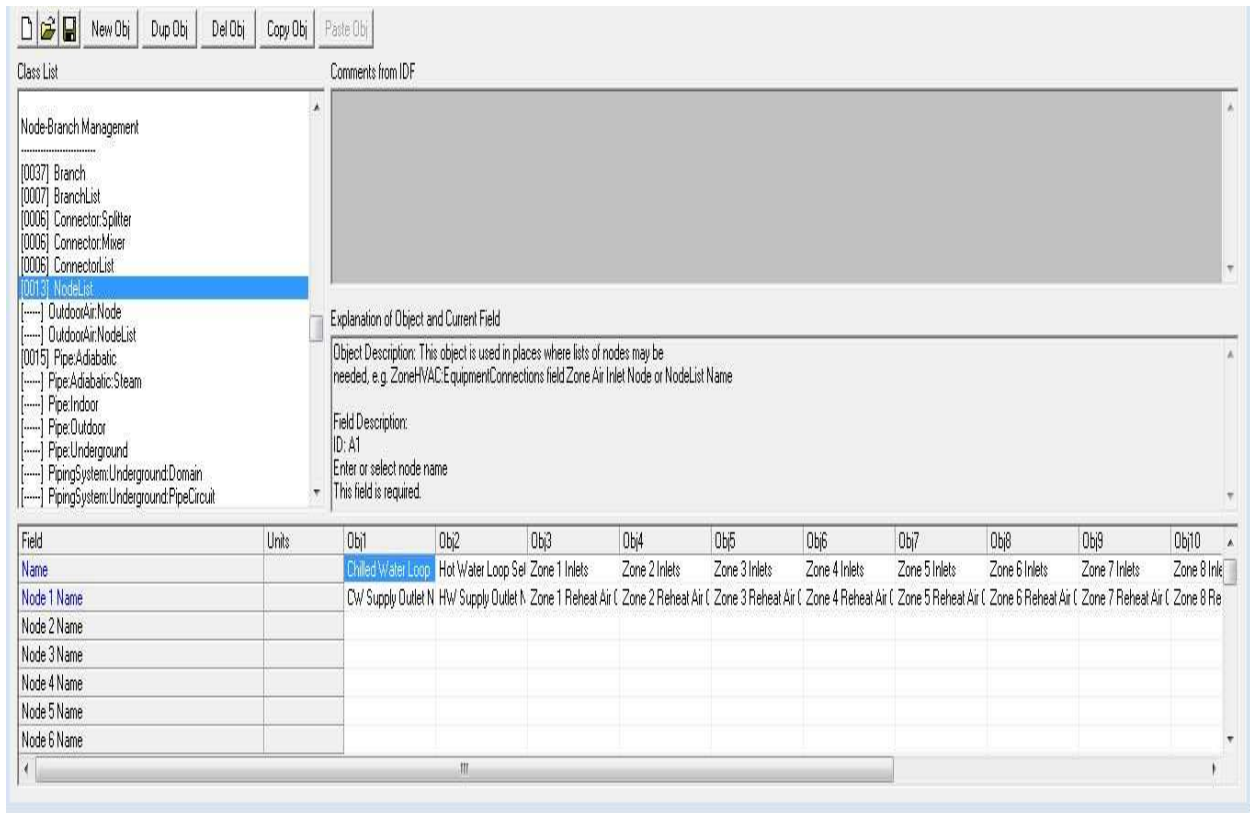
Το υπό μελέτη σύστημα περιλαμβάνει τρεις βρόχους νερού, καθένας εκ των οποίων εξυπηρετεί τη λειτουργία της θέρμανσης, της ψύξης και της συμπύκνωσης, αντίστοιχα. Κάθε βρόχος νερού υποδιαιρείται περαιτέρω σε δύο τμήματα, ανάλογα με το αν τα στοιχεία που περιλαμβάνει παρέχουν ή ζητούν ενέργεια. Το καθένα από τα τμήματα αυτά έχει τη δυνατότητα να περιλαμβάνει κατά μέγιστο ένα διαιρέτη και ένα μίκτη ροής. Συνεπώς, σε μία ξεχωριστή κατηγορία του αρχείου δεδομένων εισόδου, οι διαιρέτες και οι μίκτες του συστήματος πρέπει να ομαδοποιηθούν με κριτήριο το συγκεκριμένο τμήμα βρόχου νερού το οποίο εξυπηρετούν. Η ομαδοποίηση αυτή, όπως πραγματοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας προσομοίωσης, φαίνεται στην εικόνα:



Εικόνα 6.13 Ομάδες διαιρετών και μικτών ροής συστήματος θέρμανσης-ψύξης-κλιματισμού

6.4.6 Ομάδες κόμβων

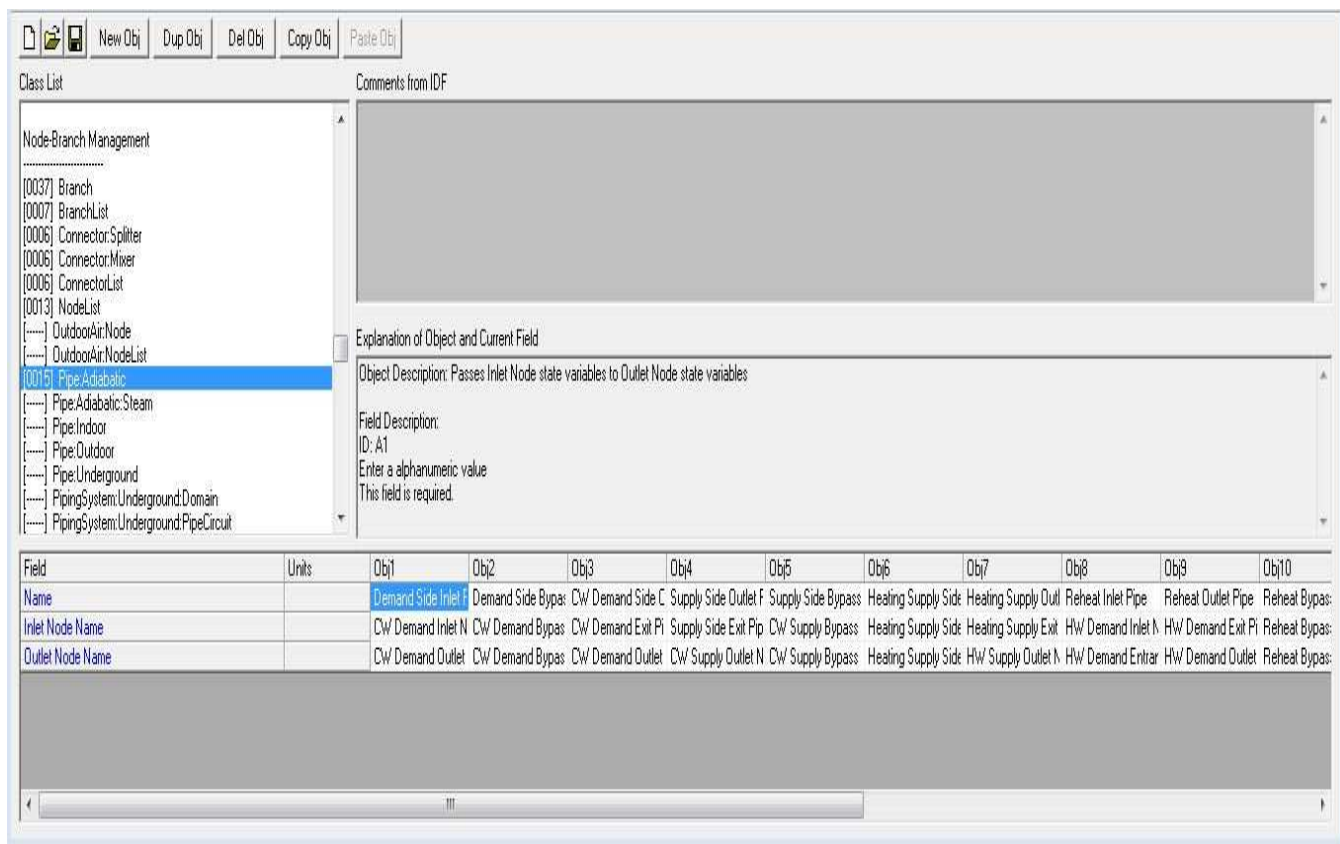
Οι κόμβοι εισόδου και εξόδου των διάφορων συνιστωσών ενός συστήματος θέρμανσης- ψύξης- κλιματισμού μπορούν επίσης να οργανωθούν σε ομάδες, ανάλογα με τη λειτουργία που εξυπηρετούν. Η ομαδοποίηση των κόμβων καθιστά πιο ευχερή την εισαγωγή των δεδομένων στην εφαρμογή IDF Editor, καθώς σε ορισμένες περιπτώσεις, ένα όρισμα που αντιστοιχίζεται σε μία ομάδα κόμβων, μπορεί να αντικαταστήσει πολλαπλά όρια για κάθε κόμβο χωριστά. Επιπλέον, ορισμένα αντικείμενα του αρχείου δεδομένων εισόδου απαιτούν να αντιστοιχίζονται σε μία ομάδα κόμβων, αντί σε διακριτούς κόμβους, γεγονός που καθιστά την κατάρτιση των ομάδων αυτών υποχρεωτική. Υπογραμμίζεται, ότι κάθε κόμβος αποτελεί ένα σημείο του συστήματος, στο οποίο αποδίδονται, ανάλογα με το είδος του, ορισμένα χαρακτηριστικά, όπως θερμοκρασία, παροχή μάζας και σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας. Στο πλαίσιο της παρούσας εφαρμογής καταρτίστηκαν δεκατρείς ομάδες κόμβων, οι οποίες παρουσιάζονται στην εικόνα:



Εικόνα 6.14 Ομάδες κόμβων συστήματος θέρμανσης-ψύξης-κλιματισμού

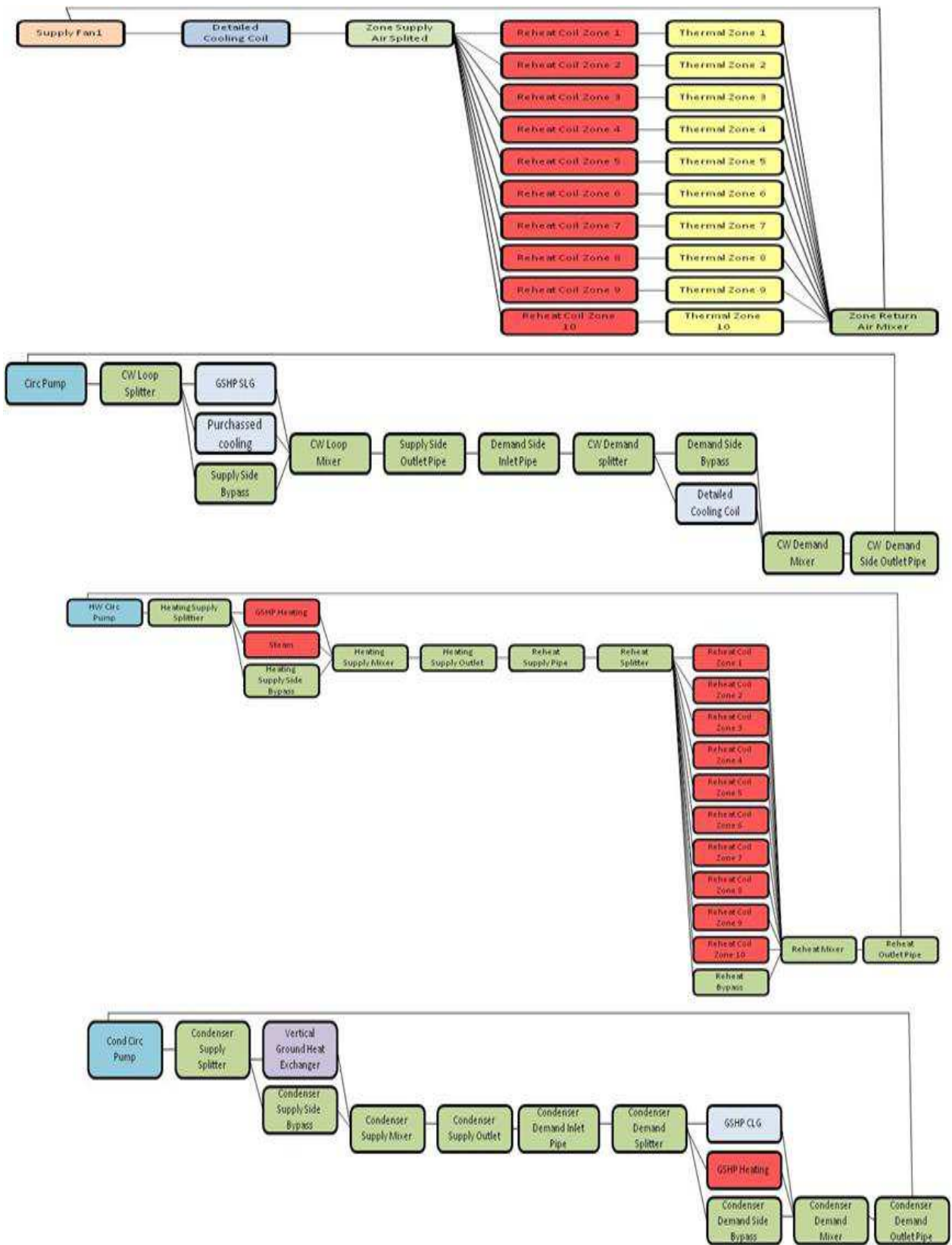
6.4.7 Αγωγοί συστήματος

Σε ένα πραγματικό σύστημα η σύνδεση κάθε συνιστώσας με τις γειτονικές της πραγματοποιείται μέσω αγωγών ή αεραγωγών, ανάλογα με το αν αυτές διαρρέονται από νερό ή από αέρα αντίστοιχα. Οι αγωγοί (pipes) και οι αεραγωγοί (ducts) δεν έχουν ιδιαίτερη σημασία για την προσομοίωση ενός συστήματος με το λογισμικό EnergyPlus. Ωστόσο, οι αγωγοί του κάθε συστήματος περιγράφονται σε μία ξεχωριστή κατηγορία στην εφαρμογή IDF Editor, έχοντας περισσότερο τη σημασία του συνδεδετικού κρίκου μεταξύ κλάδων που δεν περιέχουν άλλες συνιστώσες ή του παρακαμπτήριου μέσου (bypass). Η περιγραφή τους είναι πολύ απλή, όπως και ο αλγόριθμος που τους αντιστοιχεί, ο οποίος συνίσταται απλώς στην ταύτιση των συνθηκών στην έξοδο του αγωγού με τις αντίστοιχες στην είσοδό του. Στο εξεταζόμενο σύστημα θέρμανσης και ψύξης ενσωματώθηκαν δεκαπέντε αγωγοί, οι οποίοι φαίνονται στην εικόνα. Όπως παρατηρείται, η περιγραφή κάθε αγωγού συνίσταται στον καθορισμό ενός μοναδικού ονόματος, καθώς και στον ορισμό των κόμβων εισόδου και εξόδου.



Εικόνα 6.15 Αγωγοί συστήματος θέρμανσης-ψύξης-κλιματισμού

Συνδυάζοντας, βάσει των κόμβων εισόδου και εξόδου, όλους τους κλάδους, τους διαίρετες ροής, τους μίκτες ροής και τους αγωγούς καταστρώνεται το υπό μελέτη σύστημα θέρμανσης και ψύξης. Η διαγραμματική απεικόνιση των επιμέρους συνιστωσών του συστήματος και οι μεταξύ τους συνδέσεις μπορούν να παρατηρηθούν στην Εικόνα 6.16. Προκειμένου να ολοκληρωθεί η περιγραφή του συστήματος θέρμανσης- ψύξης, είναι απαραίτητο να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά κάθε συνιστώσας που περιλαμβάνεται στους κλάδους του συστήματος, η διαμόρφωση των επιμέρους βρόχων, καθώς και ορισμένα σημεία ελέγχου.



Εικόνα 6.16 Διαγραμματική απεικόνιση προτεινόμενου συστήματος θέρμανσης- ψύξης- κλιματισμού

6.5 Ορισμός τερματικών μονάδων βρόχου αέρα εξοπλισμού ζώνης

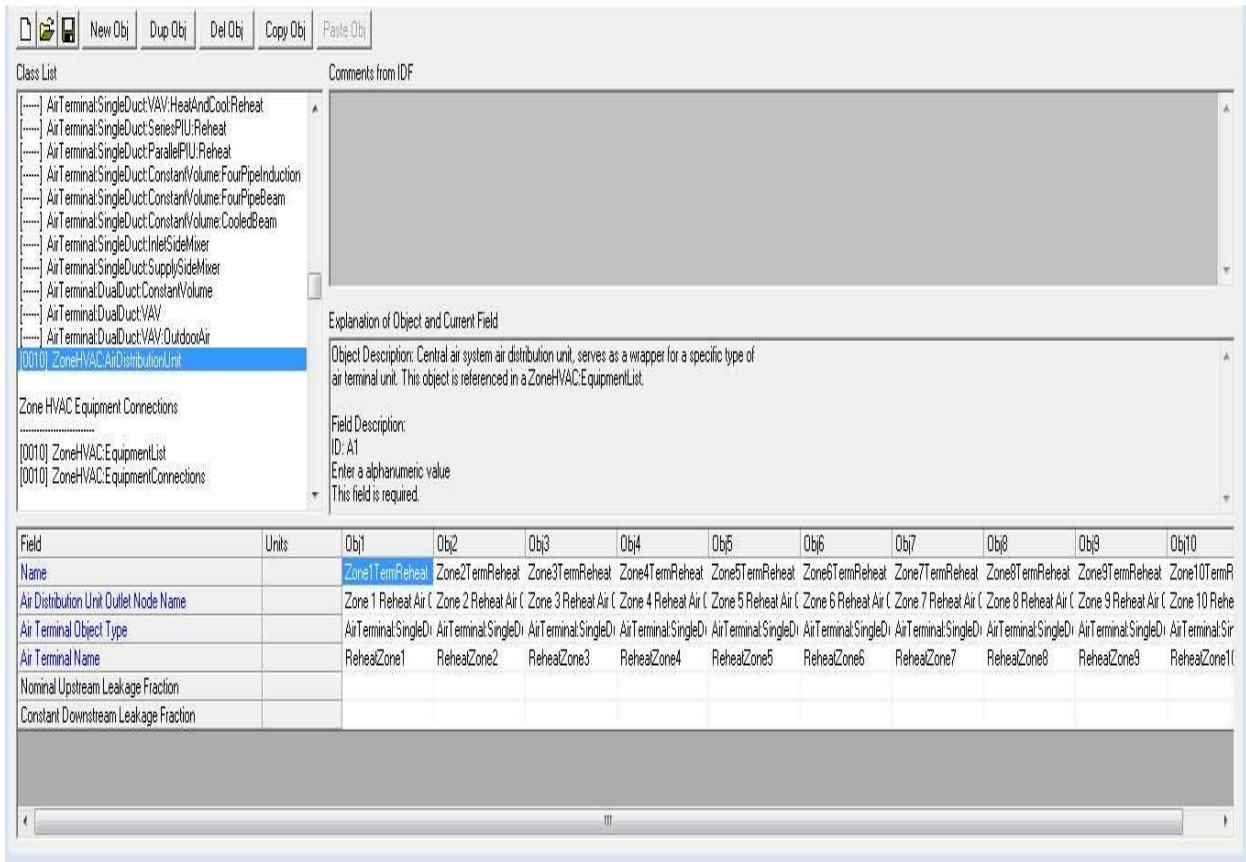
Το λογισμικό EnergyPlus διαθέτει μία μεγάλη ποικιλία τερματικών μονάδων αέρα, οι οποίες εξυπηρετούν τη σύνδεση των συστημάτων αέρα με τις θερμικές ζώνες του κτιρίου. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, επιλέχθηκε να τοποθετηθεί σε κάθε θερμική ζώνη του κτιρίου μία τερματική μονάδα αναθέρμανσης σταθερού όγκου (Air Terminal: Single Duct: Constant Volume: Reheat). Τοιουτοτρόπως, η παροχή ψύξης εξασφαλίζεται μέσω της ψύξης όλου του όγκου του παρεχόμενου αέρα από ένα ψυκτικό στοιχείο (cooling coil), του οποίου η λειτουργία ρυθμίζεται από ένα κατάλληλο αντικείμενο ελέγχου. Όσον αφορά στην παροχή θέρμανσης, ο παρεχόμενος αέρας κάθε ζώνης αναθερμαίνεται από ένα θερμαντικό στοιχείο νερού (hot water coil), όπως υπαγορεύεται από το αντικείμενο θερμοστατικού ελέγχου κάθε θερμικής ζώνης.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		Reheat Zone 1	Reheat Zone 2	Reheat Zone 3	Reheat Zone 4	Reheat Zone 5	Reheat Zone 6	Reheat Zone 7	Reheat Zone 8	Reheat Zone 9	Reheat Zone 10
Availability Schedule Name		Always on	Always on	Always on	Always on	Always on	Always on	Always on	Always on	Always on	Always on
Air Outlet Node Name		Zone 1 Reheat Air (Zone 2 Reheat Air (Zone 3 Reheat Air (Zone 4 Reheat Air (Zone 5 Reheat Air (Zone 6 Reheat Air (Zone 7 Reheat Air (Zone 8 Reheat Air (Zone 9 Reheat Air (Zone 10 Reheat Air (
Air Inlet Node Name		Zone 1 Reheat Air	Zone 2 Reheat Air	Zone 3 Reheat Air	Zone 4 Reheat Air	Zone 5 Reheat Air	Zone 6 Reheat Air	Zone 7 Reheat Air	Zone 8 Reheat Air	Zone 9 Reheat Air	Zone 10 Reheat Air
Maximum Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Hot Water or Steam Inlet Node Name		Zone 1 Reheat W/	Zone 2 Reheat W/	Zone 3 Reheat W/	Zone 4 Reheat W/	Zone 5 Reheat W/	Zone 6 Reheat W/	Zone 7 Reheat W/	Zone 8 Reheat W/	Zone 9 Reheat W/	Zone 10 Reheat W/
Reheat Coil Object Type		CoilHeating/Water	CoilHeating/Water	CoilHeating/Water	CoilHeating/Water	CoilHeating/Water	CoilHeating/Water	CoilHeating/Water	CoilHeating/Water	CoilHeating/Water	CoilHeating/Water
Reheat Coil Name		Reheat Coil Zone 1	Reheat Coil Zone 2	Reheat Coil Zone 3	Reheat Coil Zone 4	Reheat Coil Zone 5	Reheat Coil Zone 6	Reheat Coil Zone 7	Reheat Coil Zone 8	Reheat Coil Zone 9	Reheat Coil Zone 10
Maximum Hot Water or Steam Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Minimum Hot Water or Steam Flow Rate	m3/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Convergence Tolerance		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Maximum Reheat Air Temperature	C										

Εικόνα 6.17 Περιγραφή τερματικών μονάδων αναθέρμανσης

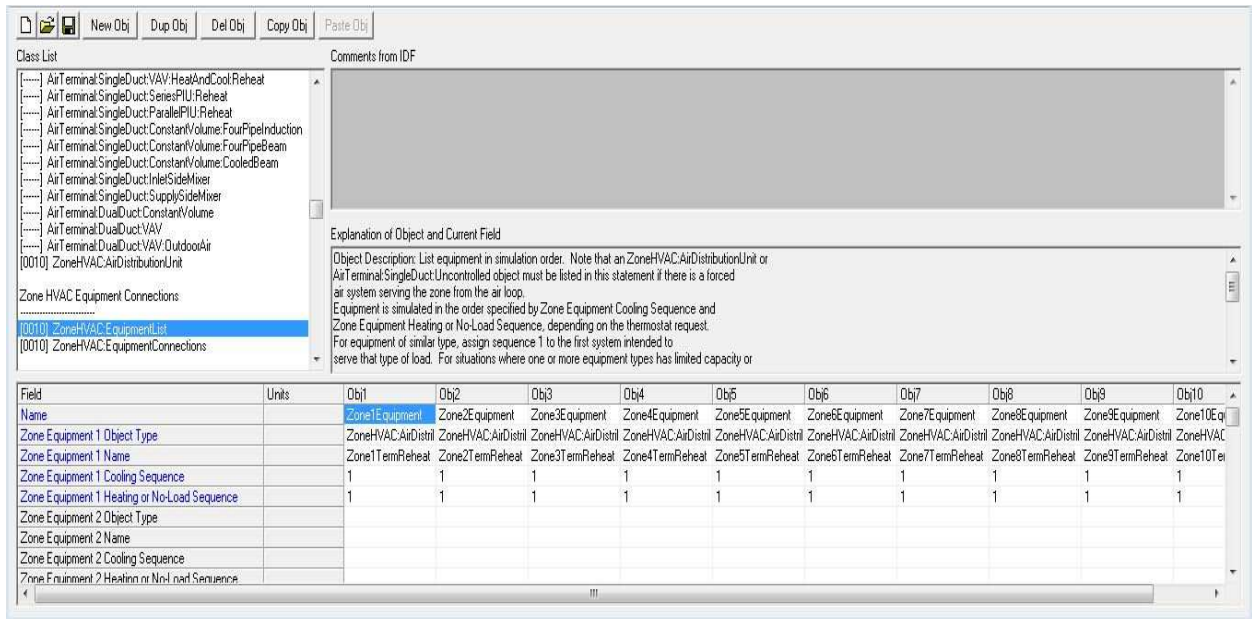
Ωστόσο, προκειμένου οι τερματικές μονάδες αναθέρμανσης αέρα σταθερού όγκου, που περιγράφηκαν παραπάνω, να μπορούν να αντιστοιχιστούν στις υπόψη θερμικές ζώνες, είναι αναγκαίο να οριστούν ως μονάδες διανομής αέρα των θερμικών ζωνών αυτών, μέσω της κατηγορίας δεδομένων με το όνομα “Zone HVAC: Air Distribution Unit” της εφαρμογής IDF Editor. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στην εικόνα, ορίστηκαν ισάριθμες με τις θερμικές ζώνες του κτιρίου μονάδες διανομής αέρα και σε καθεμία από αυτές

αντιστοιχίστηκε μία από τις παραπάνω τερματικές μονάδες αναθέρμανσης. Σημειώνεται, ότι ο κόμβος εξόδου της τερματικής μονάδας αναθέρμανσης ταυτίζεται πλέον με τον κόμβο εξόδου της ορισθείσας μονάδας διανομής αέρα.



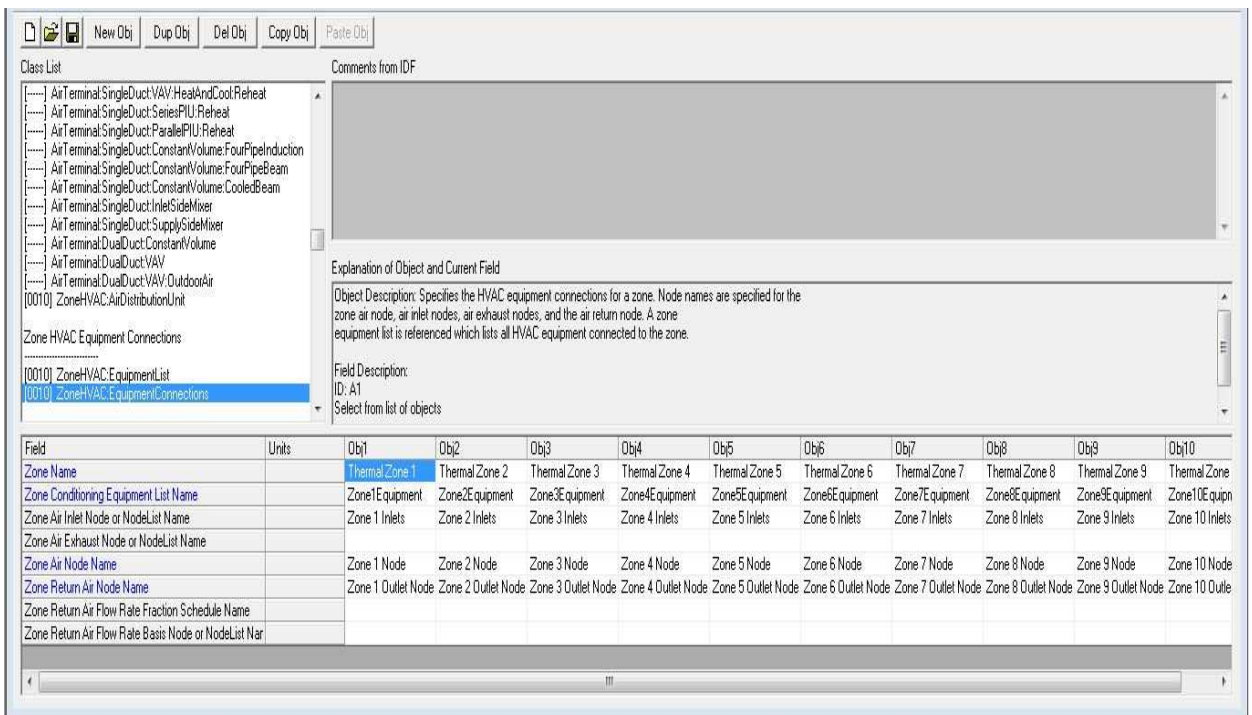
Εικόνα 6.18 Ορισμός μονάδων διανομής αέρα θερμικών ζωνών

Ακολούθως, οι ορισθείσες μονάδες διανομής αέρα θερμικών ζωνών οφείλουν να καταχωρηθούν στο αρχείο δεδομένων εισόδου ως εξοπλισμός θέρμανσης και ψύξης των θερμικών ζωνών του υπό μελέτη κτιρίου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της κατηγορίας δεδομένων “Equipment: List” της εφαρμογής IDF Editor, όπως μπορεί να φανεί στην εικόνα. Συγκεκριμένα, δημιουργείται ένα αντικείμενο εξοπλισμού για κάθε θερμική ζώνη, το οποίο περιλαμβάνει την αντίστοιχη μονάδα διανομής αέρα που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο βήμα.



Εικόνα 6.19 Ορισμός εξοπλισμού θερμικών ζωνών

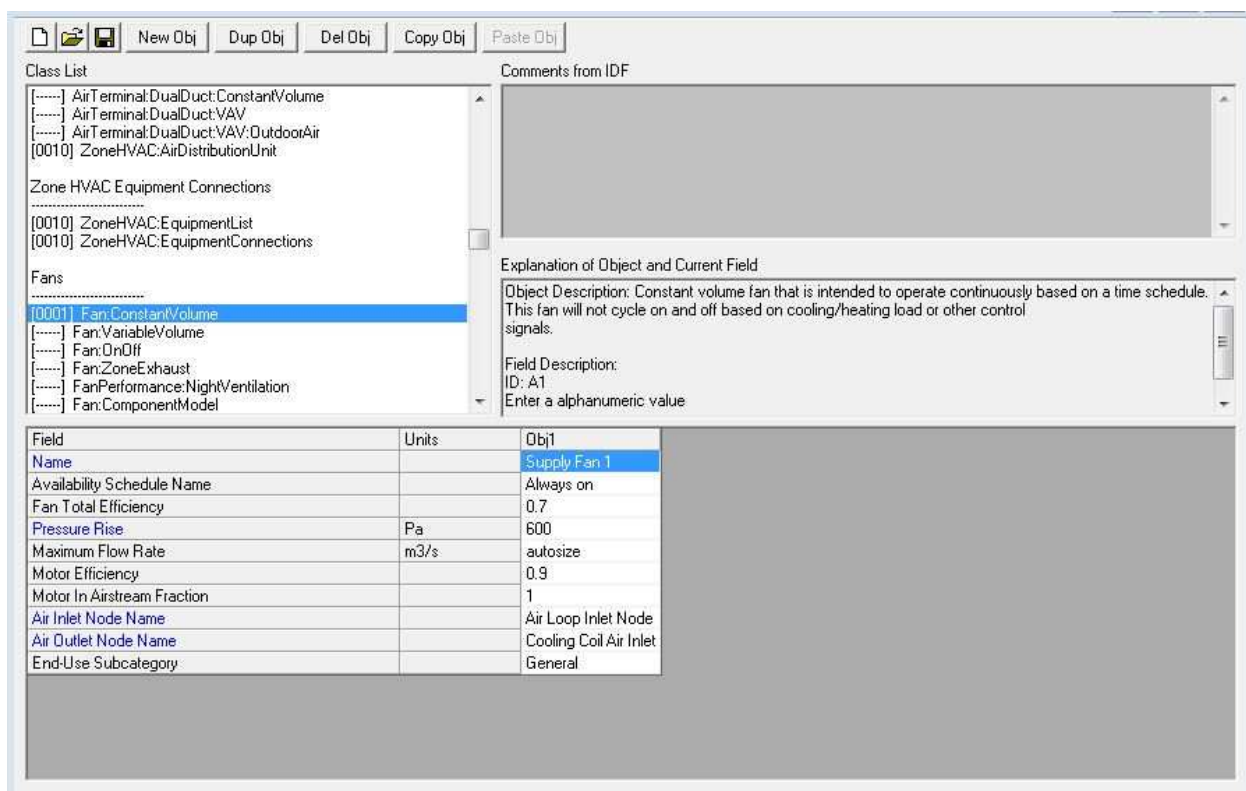
Τέλος, τα ορισθέντα αντικείμενα εξοπλισμού των θερμικών ζωνών αντιστοιχίστηκαν σε κάθε θερμική ζώνη μέσω της κατηγορίας δεδομένων “Zone HVAC: Equipment: Connections”, όπως παρατηρείται στην εικόνα



Εικόνα 6.20 Ορισμός συνδέσεων εξοπλισμού θερμικών ζωνών

6.6 Ορισμός ανεμιστήρα

Στο υπό μελέτη σύστημα επιλέχθηκε να ενσωματωθεί ένα ανεμιστήρας σταθερού όγκου αέρα (Fan: Constant Volume), ο οποίος προορίζεται να λειτουργεί συνεχόμενα, σύμφωνα με ένα προκαθορισμένο χρονοδιάγραμμα, δίχως να επηρεάζεται από το θερμικό και το ψυκτικό φορτίο, καθώς και τον έλεγχο της λειτουργίας του υπόλοιπου συστήματος. Το αντικείμενο του ανεμιστήρα που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα προσομοίωση λήφθηκε από τη βιβλιοθήκη δεδομένων του EnergyPlus.

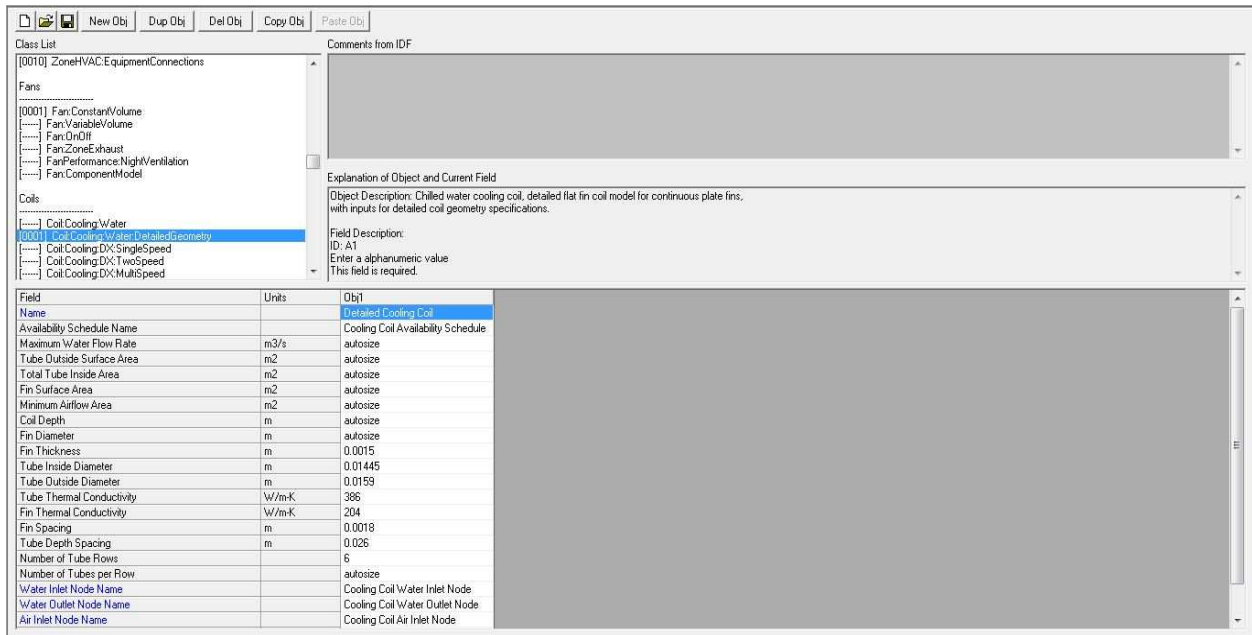


Εικόνα 6.21 Ορισμός ανεμιστήρα

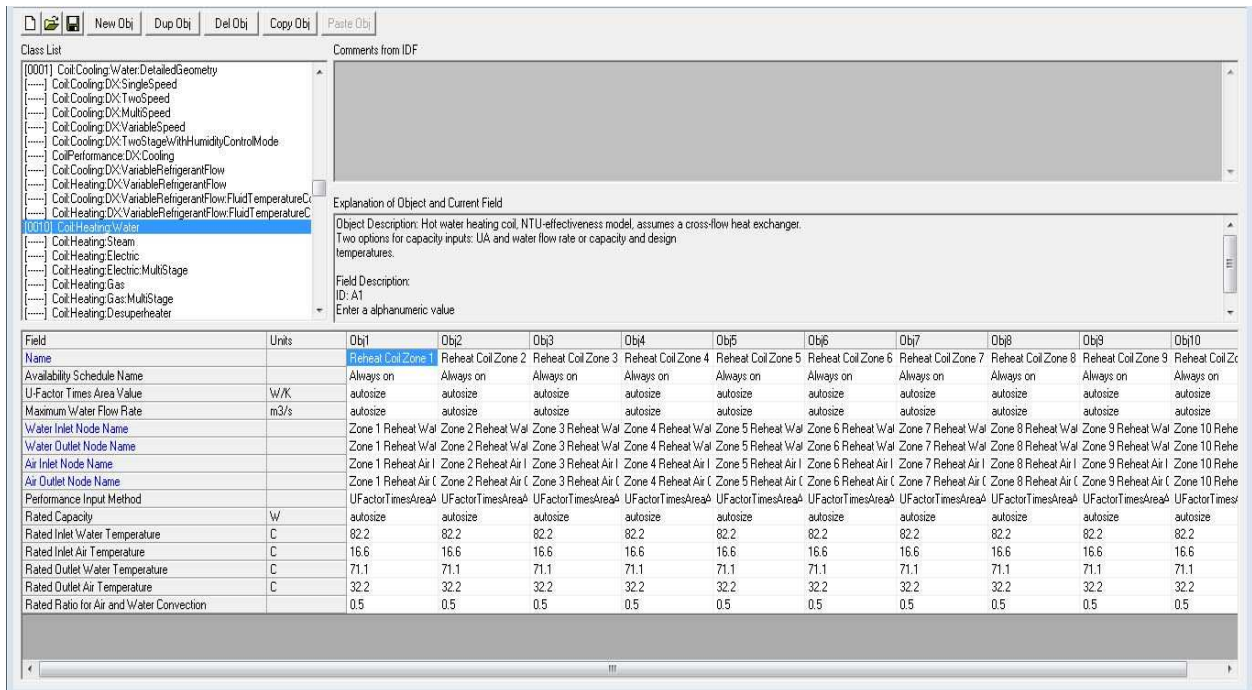
6.7 Ορισμός ψυκτικών και θερμαντικών στοιχείων

Το λογισμικό EnergyPlus παρέχει στο χρήστη μία πληθώρα επιλογών όσον αφορά στα ψυκτικά και τα θερμαντικά στοιχεία, τα οποία μπορεί να ενσωματώσει στο εκάστοτε μελετώμενο σύστημα θέρμανσης και ψύξης. Στο πλαίσιο της παρούσας προσομοίωσης, επιλέχθηκε να εγκατασταθεί ένα ψυκτικό στοιχείο κρύου νερού (chilled water cooling coil), το οποίο εξυπηρετεί την λειτουργία της ψύξης όλων των θερμικών ζωνών. Επίσης, θεωρήθηκαν ισάριθμα με τις θερμικές ζώνες θερμαντικά στοιχεία ζεστού νερού

(hot water heating coils), καθένα από τα οποία εξυπηρετεί τη λειτουργία της θέρμανσης κάθε θερμικής ζώνης.



Εικόνα 6.22 Ορισμός ψυκτικού στοιχείου νερού



Εικόνα 6.23 Ορισμός θερμαντικών στοιχείων νερού

6.8 Διαμόρφωση συστήματος θέρμανσης- ψύξης με εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα

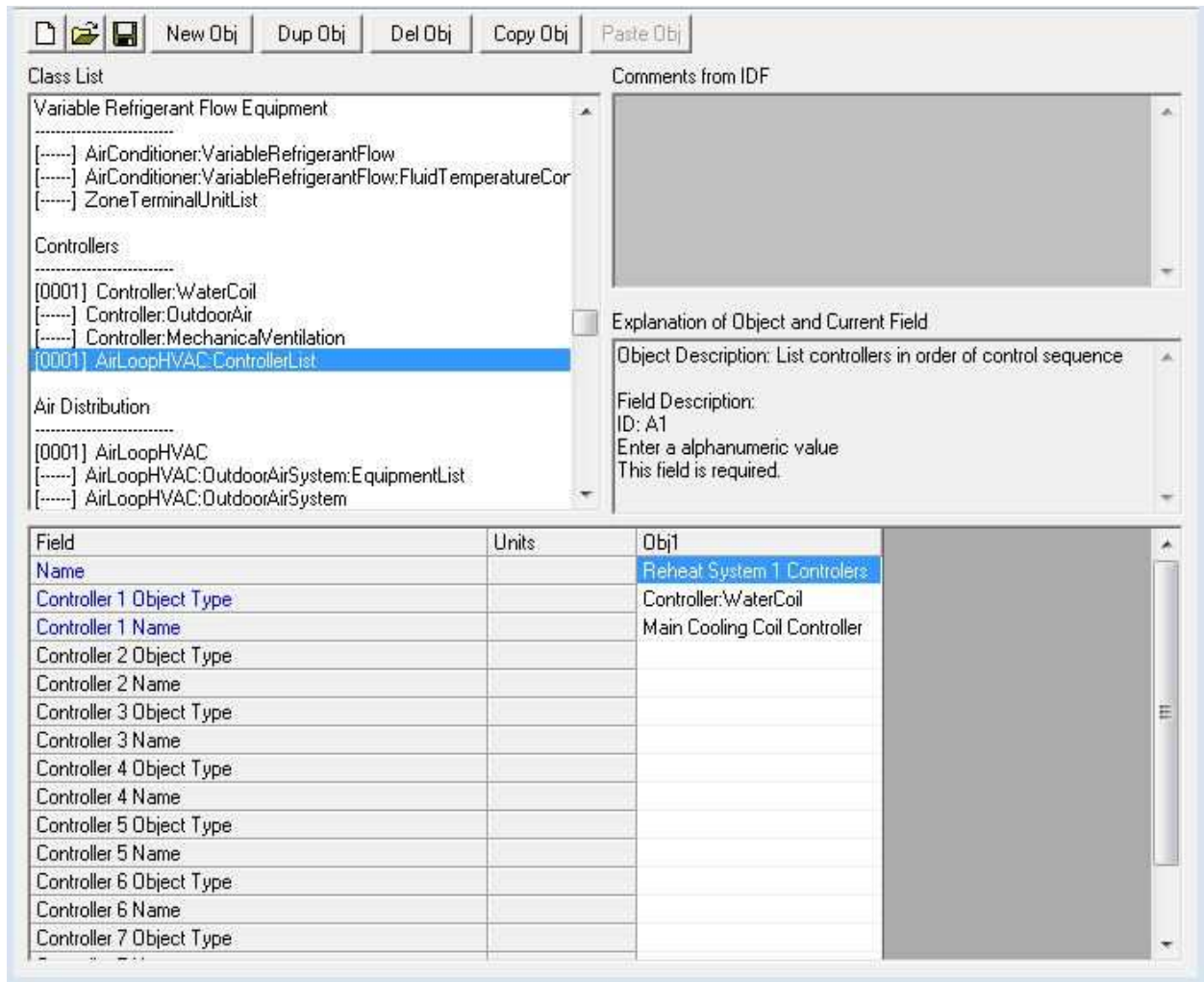
Ο βρόχος αέρα σε συνδυασμό με το βρόχο αέρα εξοπλισμού θερμικής ζώνης συνιστούν το σύστημα θέρμανσης και ψύξης με εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα. Προκειμένου να καταστεί δυνατή η περιγραφή του βρόχου αέρα στην εφαρμογή IDF Editor, είναι αναγκαίο να έχει προηγηθεί η προδιαγραφή ορισμένων άλλων στοιχείων, τα οποία υπηρετούνται σε αυτή. Τα στοιχεία αυτά αφορούν στον έλεγχο της λειτουργίας του συστήματος, στον καθορισμό των χρονικών περιόδων που είναι διαθέσιμο, αλλά και στον ορισμό των κόμβων εισόδου και εξόδου του υπόψη βρόχου αέρα.

Field	Units	Obj1
Name		Main Cooling Coil Controller
Control Variable		Temperature
Action		
Actuator Variable		Flow
Sensor Node Name		Air Loop Inlet Node
Actuator Node Name		Cooling Coil Water Inlet Node
Controller Convergence Tolerance	deltaC	autosize
Maximum Actuated Flow	m3/s	autosize
Minimum Actuated Flow	m3/s	0.0000001

Εικόνα 6.24 Αντικείμενο ελέγχου ψυκτικού στοιχείου νερού

Προκειμένου το αντικείμενο ελέγχου που δημιουργήθηκε, να μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για τον έλεγχο του βρόχου αέρα του υπό μελέτη συστήματος, θα πρέπει να συμπεριληφθεί στην κατάλληλη κατηγορία δεδομένων της εφαρμογής IDF Editor, όπου ομαδοποιούνται τα αντικείμενα ελέγχου του

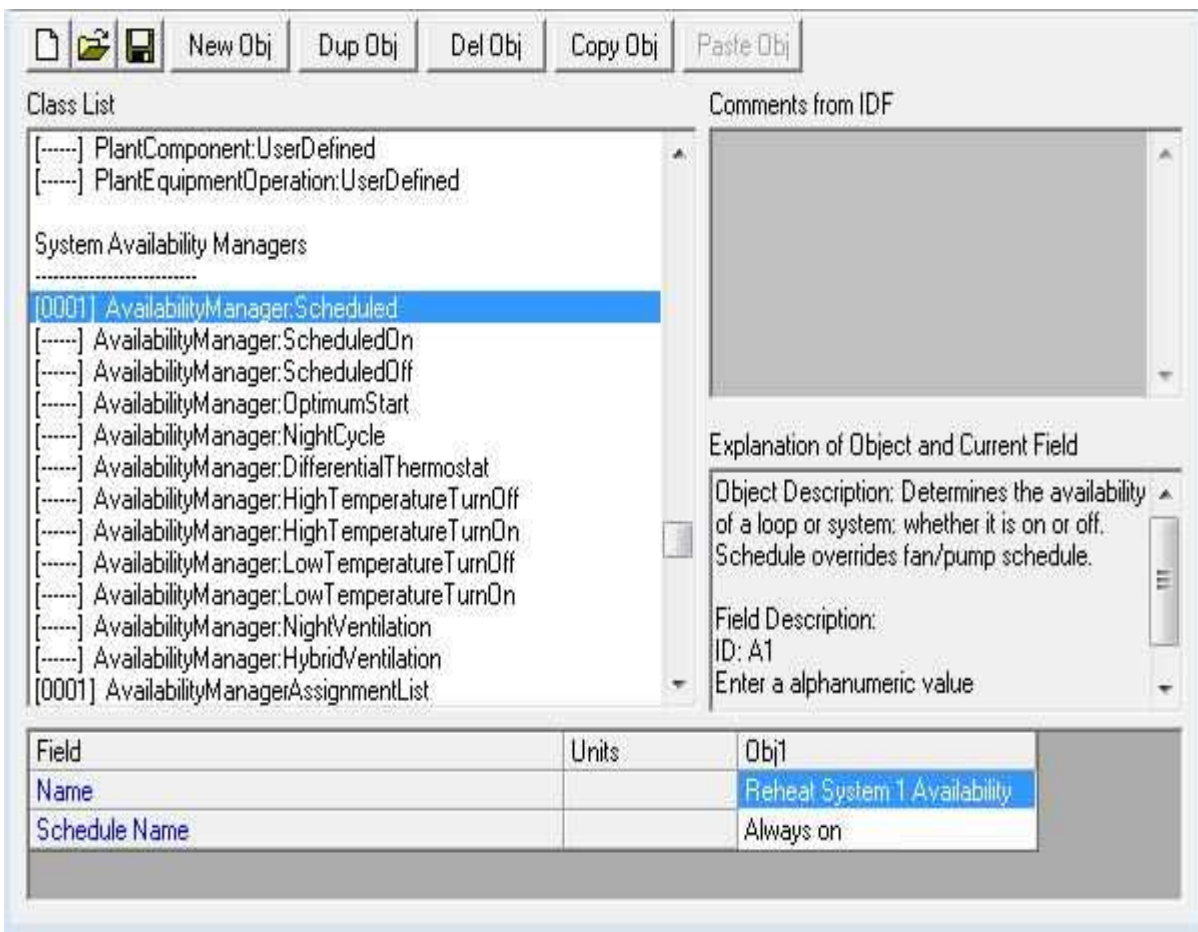
βρόχου αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται με την καταχώρησή του στην κατηγορία δεδομένων “Air Loop HVAC: Controller List”, όπως μπορεί να φανεί στην εικόνα



Εικόνα 6.25 Ορισμός ομάδας αντικειμένων ελέγχου βρόχου αέρα

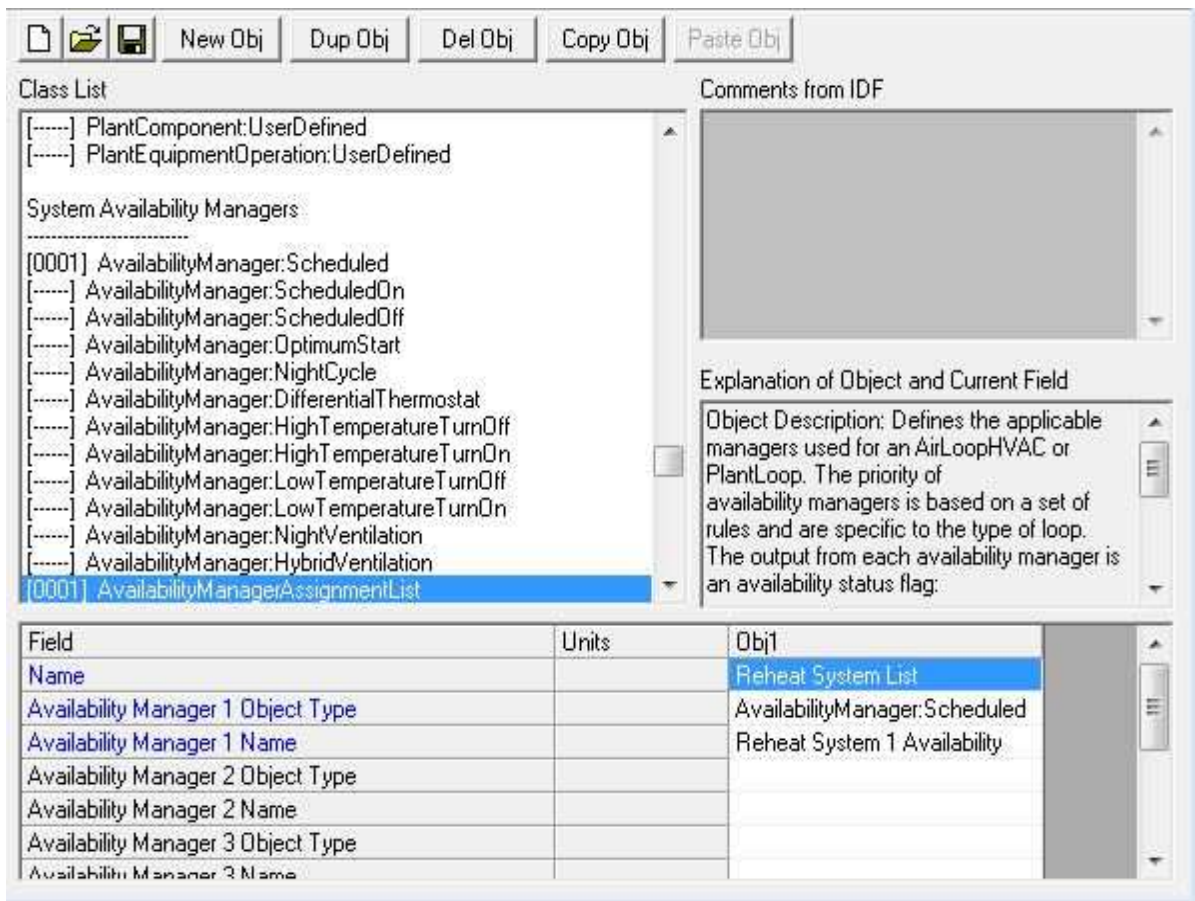
6.9 Διαθεσιμότητα συστήματος

Οι χρονικές περίοδοι κατά τις οποίες ο βρόχος αέρα είναι διαθέσιμος προς λειτουργία, προδιαγράφονται από ένα κατάλληλα ορισμένο αντικείμενο, στο αρχείο δεδομένων εισόδου της προσομοίωσης. Στην παρούσα προσομοίωση επιλέχθηκε η διαθεσιμότητα του συστήματος να καθορίζεται απλό τρόπο, βάσει ενός χρονοδιαγράμματος (Availability Manager: Scheduled), όπως μπορεί να φανεί στην εικόνα. Το χρονοδιάγραμμα που αναφέρεται στο συγκεκριμένο αντικείμενο, υποδεικνύει αδιάλειπτη λειτουργία του συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια του ημερολογιακού έτους, για το οποίο εκτελείται η προσομοίωση.



Εικόνα 6.26 Ορισμός διαθεσιμότητας βάσει χρονοδιαγράμματος

Ωστόσο, για να καταστεί εφικτή η αντιστοίχιση του ανωτέρω αντικειμένου στον βρόχο αέρα του συστήματος, είναι απαραίτητο να καταχωρηθεί στην κατηγορία δεδομένων “Availability Manager Assignment List” της εφαρμογής IDF Editor, όπου ομαδοποιούνται όλα τα αντικείμενα καθορισμού διαθεσιμότητας που εφαρμόζονται στο βρόχο αέρα. Όπως μπορεί να φανεί στην εικόνα, η ομάδα αυτή ονομάστηκε “Reheat System 1 Avail List” και το μόνο αντικείμενο που περιλαμβάνει, είναι αυτό που ορίστηκε παραπάνω.

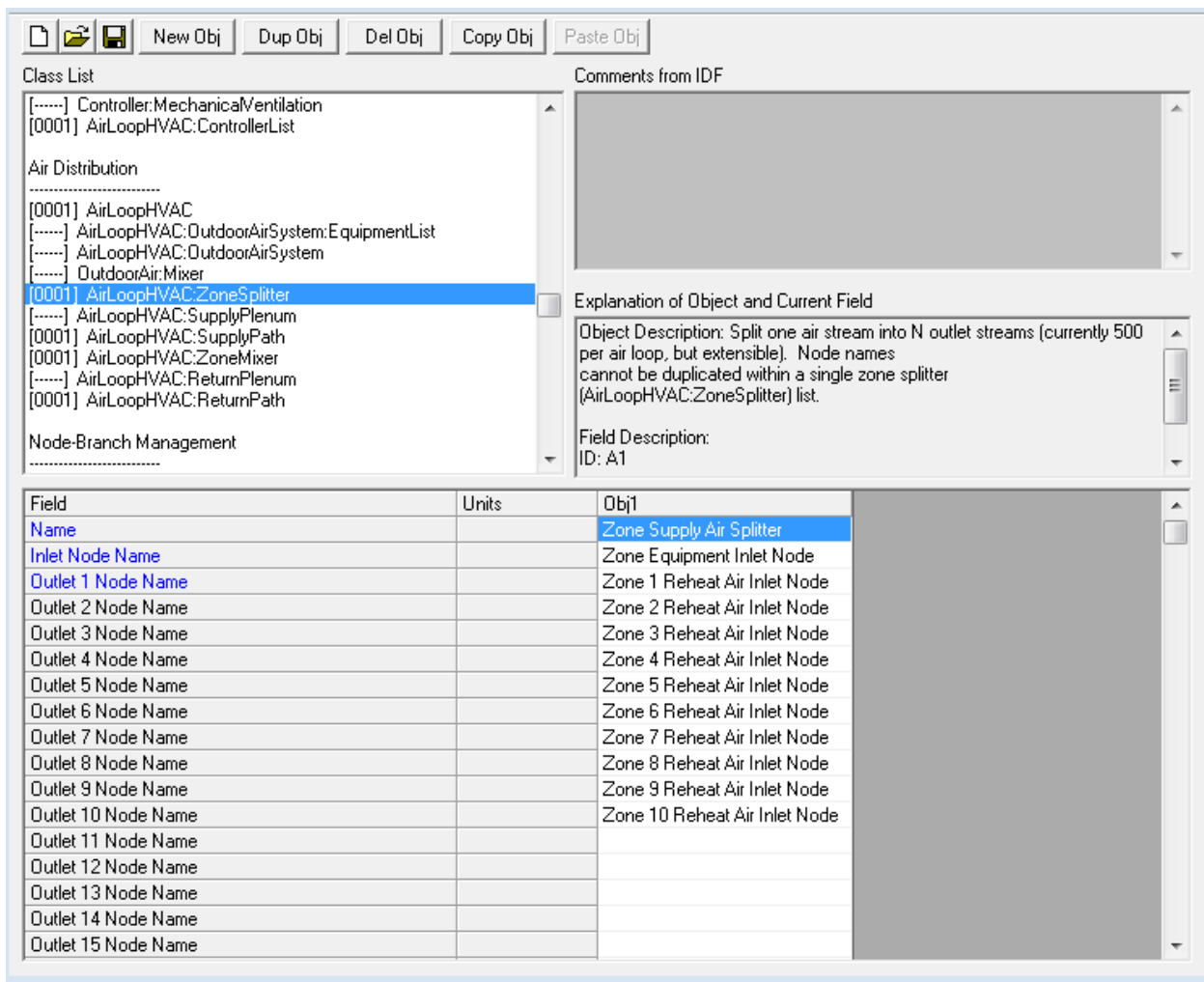


Εικόνα 6.27 Ορισμός ομάδας αντικειμένων διαθεσιμότητας βρόχου αέρα

6.10 Διαδρομή παροχής βρόχου αέρα

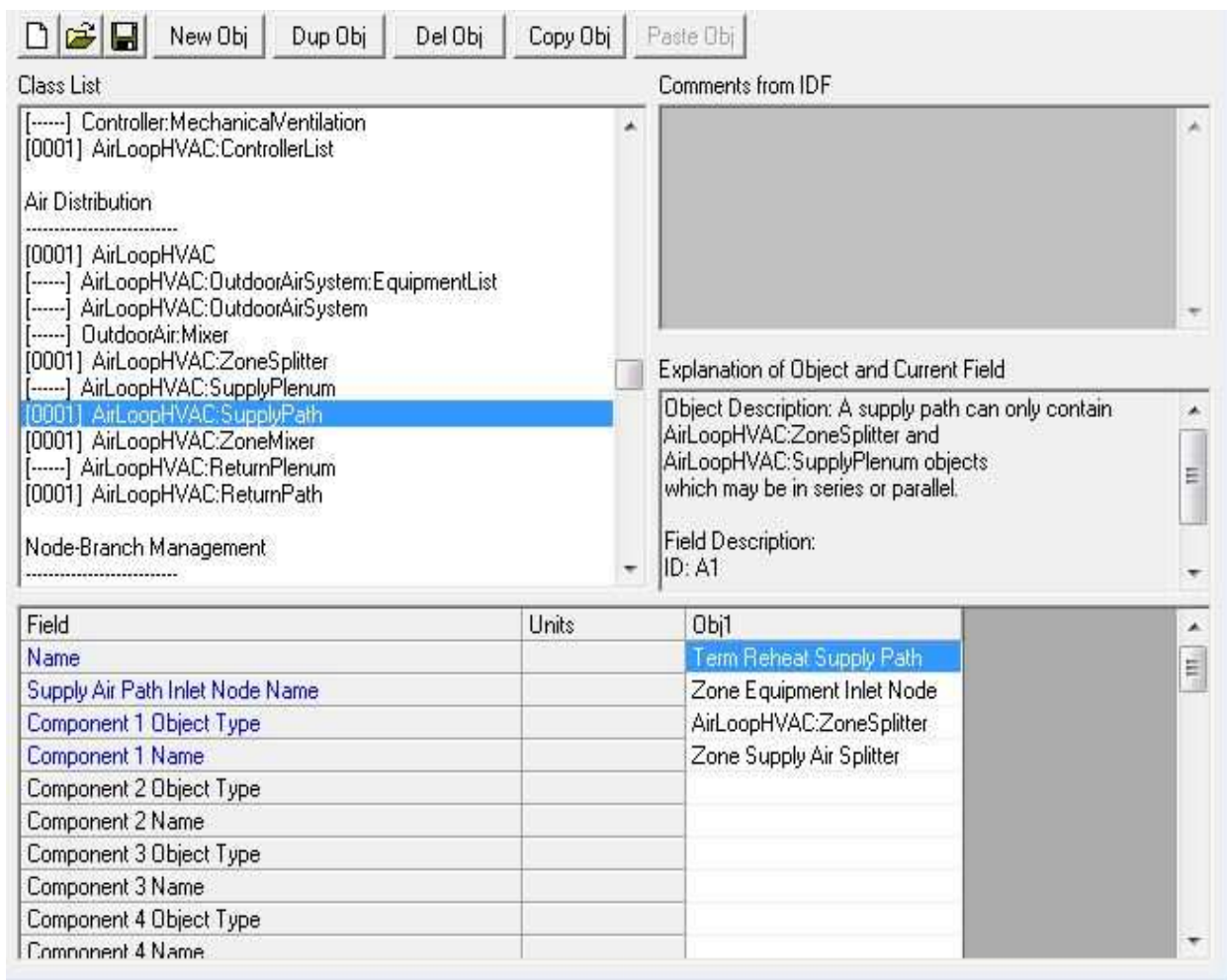
Η διαδρομή παροχής αέρα χρησιμοποιείται στο αρχείο δεδομένων εισόδου, για να περιγράψει τη διαδρομή που ακολουθεί ο παρεχόμενος αέρας, καθώς εξέρχεται από τον κύριο αεραγωγό του συστήματος και διακλαδίζεται στις επιμέρους θερμικές ζώνες.

Στην προκειμένη περίπτωση η διαδρομή παροχής αέρα αποτελείται από μία μόνο συνιστώσα, ήτοι έναν διαιρέτη ροής αέρα (Air Loop HVAC: Zone Splitter). Ο διαιρέτης ροής αέρα αποτελεί μία συνιστώσα του συστήματος, η οποία διαχωρίζει ένα εισερχόμενο ρεύμα αέρα σε δύο ή περισσότερα εξερχόμενα ρεύματα αέρα. Η περιγραφή του διαιρέτη ροής αέρα στην εφαρμογή IDF Editor, περιλαμβάνει ένα μοναδικό όνομα, το όνομα του κόμβου εισόδου και τα ονόματα των δύο ή περισσότερων κόμβων εξόδου. Ο διαιρέτης ροής αέρα που ενσωματώθηκε στην παρούσα προσομοίωση περιγράφεται στην εικόνα



Εικόνα 6.28 Διαιρέτης ροής αέρα

Στη συνέχεια, ο εν λόγω διαιρέτης αέρα συμπεριλήφθηκε στην περιγραφή της διαδρομής παροχής του αέρα, όπως μπορεί να φανεί στην παρακάτω εικόνα:

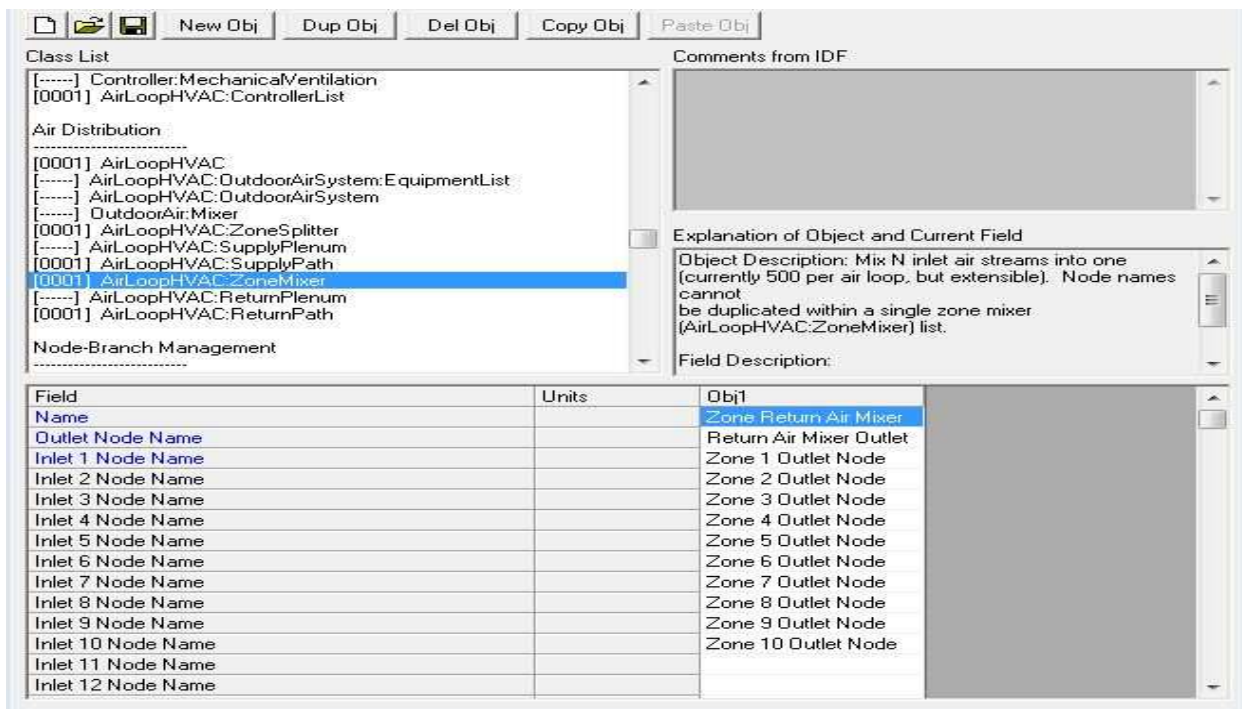


Εικόνα 6.29 Διαδρομή παροχής βρόχου αέρα

6.11 Διαδρομή επιστροφής βρόχου αέρα

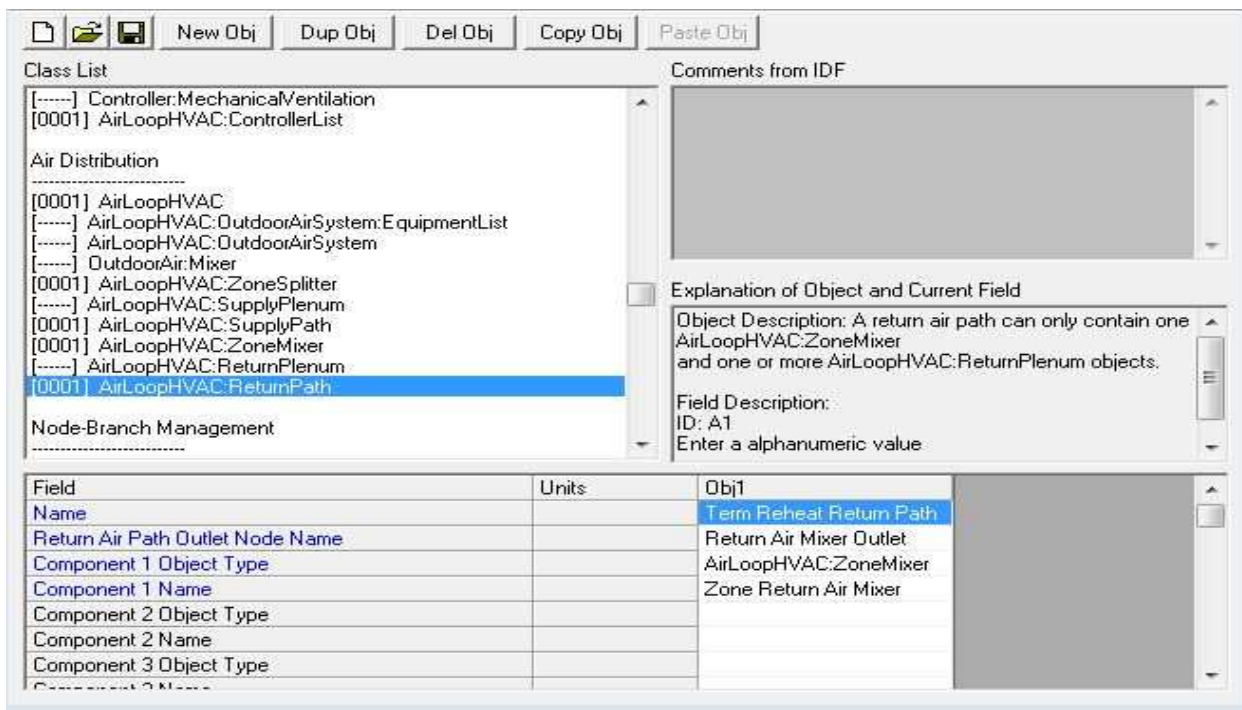
Η διαδρομή επιστροφής αέρα χρησιμοποιείται στο αρχείο δεδομένων εισόδου, για να περιγράψει τη διαδρομή που ακολουθεί ο αέρας επιστροφής, καθώς εξέρχεται από τις θερμικές ζώνες και οδηγείται στον κύριο αεραγωγό επιστροφής.

Στην προκειμένη περίπτωση η διαδρομή επιστροφής αέρα αποτελείται από μία μόνο συνιστώσα, ήτοι έναν μίκτη ροής αέρα (Air Loop HVAC: Zone Mixer). Ο μίκτης ροής αέρα αποτελεί μία συνιστώσα του συστήματος, η οποία ενώνει δύο ή περισσότερα εισερχόμενα ρεύματα αέρα σε ένα ενιαίο εξερχόμενο ρεύμα αέρα. Η περιγραφή του μίκτη ροής αέρα στην εφαρμογή IDF Editor, περιλαμβάνει ένα μοναδικό όνομα, το όνομα του κόμβου εξόδου και τα ονόματα των δύο ή περισσότερων κόμβων εισόδου. Ο μίκτης ροής αέρα που ενσωματώθηκε στην παρούσα προσομοίωση περιγράφεται στην εικόνα



Εικόνα 6.30 Μίκτης ροής αέρα

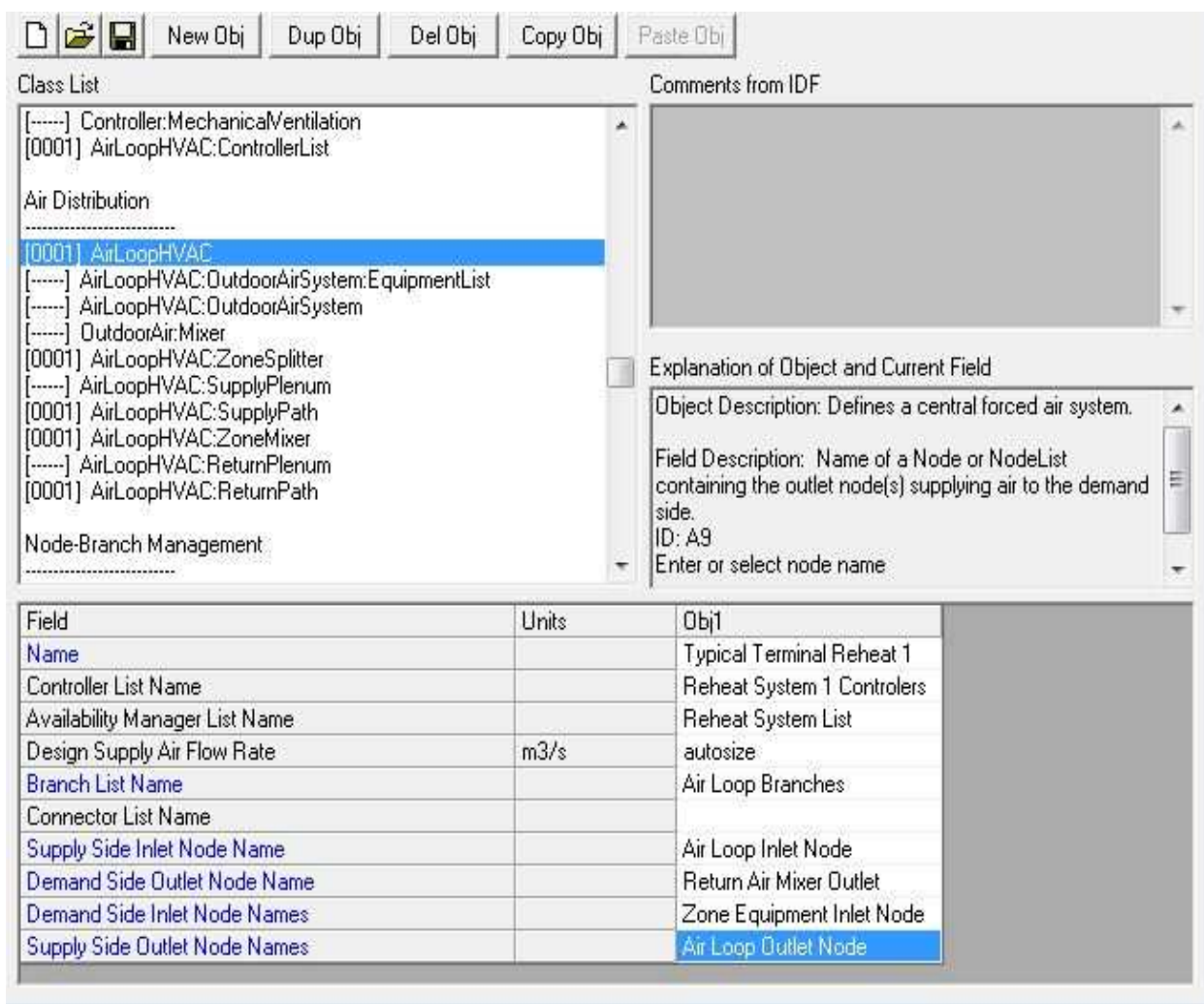
Στη συνέχεια, ο εν λόγω μίκτης ροής αέρα συμπεριλήφθηκε στην περιγραφή της διαδρομής επιστροφής του βρόχου αέρα, όπως μπορεί να φανεί στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 6.31 Διαδρομή επιστροφής βρόχου αέρα

6.12 Διαμόρφωση βρόχου αέρα

Η περιγραφή του βρόχου αέρα στην εφαρμογή IDF Editor μπορεί να φανεί στην εικόνα. Όπως παρατηρείται, περιλαμβάνει καταρχήν ένα μοναδικό όνομα, βάσει του οποίου ο βρόχος αέρα διακρίνεται κατά την εκτέλεση της προσομοίωσης.



Εικόνα 6.32 Παράμετροι περιγραφής βρόχου αέρα συστήματος

Τέλος, υπογραμμίζεται, ότι ορίστηκε ένα κατάλληλο σημείο ρύθμισης της θερμοκρασίας για τον κόμβο εξόδου της πλευράς παροχής ενέργειας του βρόχου αέρα συστήματος (Air Loop Outlet Node). Συγκεκριμένα, ορίστηκε βάσει χρονοδιαγράμματος, η θερμοκρασία του αέρα στον κόμβο αυτό, κατά την περίοδο θέρμανσης, δηλαδή από την 1η Ιανουαρίου έως την 30η Απριλίου και από την 1η Οκτωβρίου έως την 31η Δεκεμβρίου, να ισούται προς 20°C, ενώ κατά την περίοδο ψύξης, δηλαδή από την 1η Μαΐου έως την 30η Σεπτεμβρίου, να ισούται προς 16°C.

6.13 Ορισμός αντλιών

Οι βρόχοι νερού ενός συστήματος θέρμανσης και ψύξης, δηλαδή οι βρόχοι των εγκαταστάσεων και οι βρόχοι συμπίκνωσης, απαιτούν την ύπαρξη μίας αντλίας, η οποία θα θέτει σε κίνηση την παροχή νερού στο εσωτερικό τους.

Το υπό μελέτη σύστημα, διαθέτει τρεις βρόχους νερού, δηλαδή το βρόχο νερού θέρμανσης, το βρόχο νερού ψύξης και το βρόχο νερού συμπίκνωσης. Στο πλαίσιο της προσομοίωσης, συμπεριλήφθηκε σε καθέναν από τους βρόχους αυτούς μία αντλία σταθερής ταχύτητας. Τα αντικείμενα περιγραφής των αντλιών αυτών λήφθηκαν από τη βιβλιοθήκη δεδομένων του EnergyPlus.

The screenshot shows the EnergyPlus software interface. On the left, the 'Class List' pane shows the 'Pumps' category with 'Pump:ConstantSpeed' selected. The right pane shows the 'Explanation of Object and Current Field' for the selected object, including an 'Object Description' and a 'Field Description' for the 'ID' field. Below the panes is a table of parameters for the 'Circ Pump' object.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Circ Pump	HW Circ Pump	Cond Circ Pump
Inlet Node Name		CW Supply Inlet Node	HW Supply Inlet Node	Condenser Supply Inlet Node
Outlet Node Name		CW Pump Outlet Node	HW Pump Outlet Node	Condenser Pump Outlet Node
Rated Flow Rate	m ³ /s	autosize	autosize	autosize
Rated Pump Head	Pa	5000	5000	5000
Rated Power Consumption	W	autosize	autosize	autosize
Motor Efficiency		0.87	0.87	0.87
Fraction of Motor Inefficiencies to Fluid Stream		0	0	0
Pump Control Type		Continuous	Continuous	Continuous
Pump Flow Rate Schedule Name				
Pump Curve Name				
Impeller Diameter	m			
Rotational Speed	rev/min			
Zone Name				
Skin Loss Radiative Fraction				

Εικόνα 6.33 Παράμετροι περιγραφής αντλιών βρόχων νερού

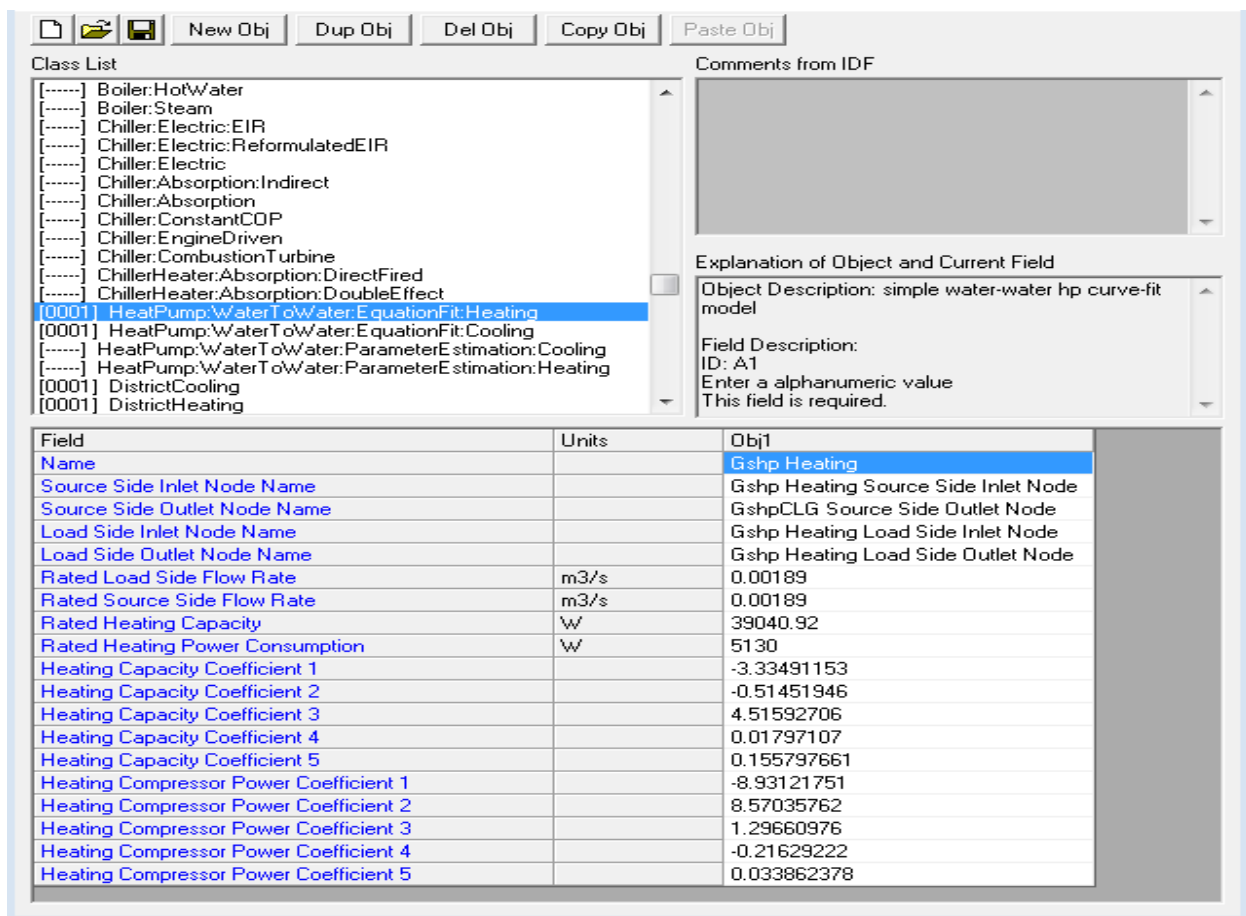
6.14 Περιγραφή εξοπλισμού θέρμανσης και ψύξης εγκαταστάσεων

Το υπό μελέτη σύστημα παροχής θέρμανσης και ψύξης διαθέτει δύο βρόχους εγκαταστάσεων, και συγκεκριμένα, το βρόχο νερού θέρμανσης και το βρόχο νερού ψύξης. Κάθε βρόχος χωρίζεται σε δύο τμήματα, με κριτήριο την παροχή ή τη ζήτηση ενέργειας από τις επιμέρους συνιστώσες του. Στον μεν βρόχο θέρμανσης, η ενέργεια παρέχεται από μία γεωθερμική αντλία

θερμότητας νερού- νερού, ενώ ως εφεδρεία αξιοποιείται μία εξωτερική πηγή παροχής ζεστού νερού. Στο δε βρόχο ψύξης, η ενέργεια παρέχεται από μία δεύτερη γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού- νερού, ενώ ως εφεδρεία αξιοποιείται μία εξωτερική πηγή παροχής κρύου νερού.

6.14.1 Γεωθερμική αντλία θερμότητας παροχής θέρμανσης

Το αντικείμενο περιγραφής της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας νερού- νερού, που χρησιμοποιείται για την παροχή θέρμανσης στο υπό μελέτη σύστημα, λήφθηκε από τη βιβλιοθήκη δεδομένων του λογισμικού EnergyPlus. Οι παράμετροι που οφείλουν να οριστούν κατά την περιγραφή της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας φαίνονται στην εικόνα:



Field	Units	Obj1
Name		Gshp Heating
Source Side Inlet Node Name		Gshp Heating Source Side Inlet Node
Source Side Outlet Node Name		GshpCLG Source Side Outlet Node
Load Side Inlet Node Name		Gshp Heating Load Side Inlet Node
Load Side Outlet Node Name		Gshp Heating Load Side Outlet Node
Rated Load Side Flow Rate	m3/s	0.00189
Rated Source Side Flow Rate	m3/s	0.00189
Rated Heating Capacity	W	39040.92
Rated Heating Power Consumption	W	5130
Heating Capacity Coefficient 1		-3.33491153
Heating Capacity Coefficient 2		-0.51451946
Heating Capacity Coefficient 3		4.51592706
Heating Capacity Coefficient 4		0.01797107
Heating Capacity Coefficient 5		0.155797661
Heating Compressor Power Coefficient 1		-8.93121751
Heating Compressor Power Coefficient 2		8.57035762
Heating Compressor Power Coefficient 3		1.29660976
Heating Compressor Power Coefficient 4		-0.21629222
Heating Compressor Power Coefficient 5		0.033862378

Εικόνα 6.34 Περιγραφή παραμέτρων γεωθερμικής αντλίας θερμότητας νερού-νερού (παροχή θερμότητας)

6.14.2 Γεωθερμική αντλία θερμότητας παροχής ψύξης

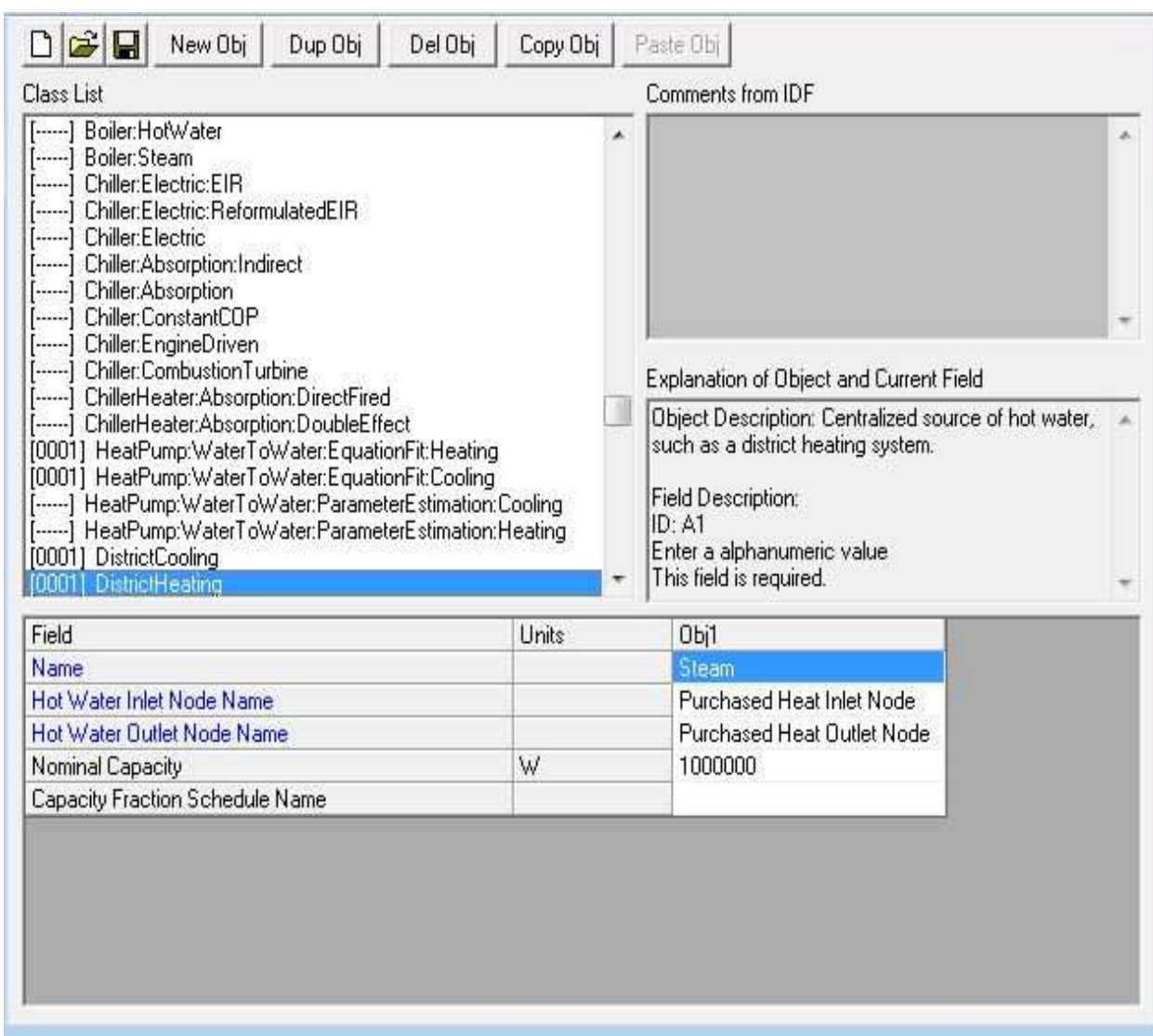
Το αντικείμενο περιγραφής της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας νερού- νερού, που χρησιμοποιείται για την παροχή ψύξης στο υπό μελέτη σύστημα, λήφθηκε από τη βιβλιοθήκη δεδομένων του λογισμικού EnergyPlus. Οι παράμετροι που οφείλουν να οριστούν κατά την περιγραφή της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας φαίνονται στην εικόνα

Field	Units	Obj1
Name		GshpCLG
Source Side Inlet Node Name		GshpCLG Load Side Inlet Node
Source Side Outlet Node Name		GshpCLG Load Side Outlet Node
Load Side Inlet Node Name		GshpCLG Source Side Inlet Node
Load Side Outlet Node Name		GshpCLG Source Side Outlet Node
Rated Load Side Flow Rate	m3/s	0.00189
Rated Source Side Flow Rate	m3/s	0.00189
Rated Cooling Capacity	W	39890.91
Rated Cooling Power Consumption	W	4790
Cooling Capacity Coefficient 1		-1.52030596
Cooling Capacity Coefficient 2		3.46625667
Cooling Capacity Coefficient 3		-1.32267797
Cooling Capacity Coefficient 4		0.09395678
Cooling Capacity Coefficient 5		0.038975504
Cooling Compressor Power Coefficient 1		-8.59564386
Cooling Compressor Power Coefficient 2		0.96265085
Cooling Compressor Power Coefficient 3		8.69489229
Cooling Compressor Power Coefficient 4		0.02501669
Cooling Compressor Power Coefficient 5		-0.20132665

Εικόνα 6.35 Περιγραφή παραμέτρων γεωθερμικής αντλίας θερμότητας νερού-νερού (παροχή ψύξης)

6.14.3 Εξωτερική πηγή παροχής θερμού νερού για θέρμανση

Ως εφεδρικός εξοπλισμός παροχής θέρμανσης στο βρόχο νερού θέρμανσης, επιλέχθηκε να τοποθετηθεί μία θεωρούμενη εξωτερική πηγή παροχής ζεστού νερού. Η εν λόγω πηγή ενέργειας, αποτελεί μία επιλογή που παρέχεται από το EnergyPlus, προκειμένου να μην περιπλέκεται υπερβολικά η προσομοίωση των εγκαταστάσεων, καθώς για την περιγραφή της απαιτείται ο ορισμός ελάχιστων μόνο παραμέτρων. Επιπλέον, σημειώνεται, ότι η συνιστώσα αυτή, συμμετέχει μόνο στην πλευρά παροχής ενέργειας του βρόχου νερού θέρμανσης και όχι στο βρόχο συμπύκνωσης, σε αντίθεση με τη γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού- νερού.



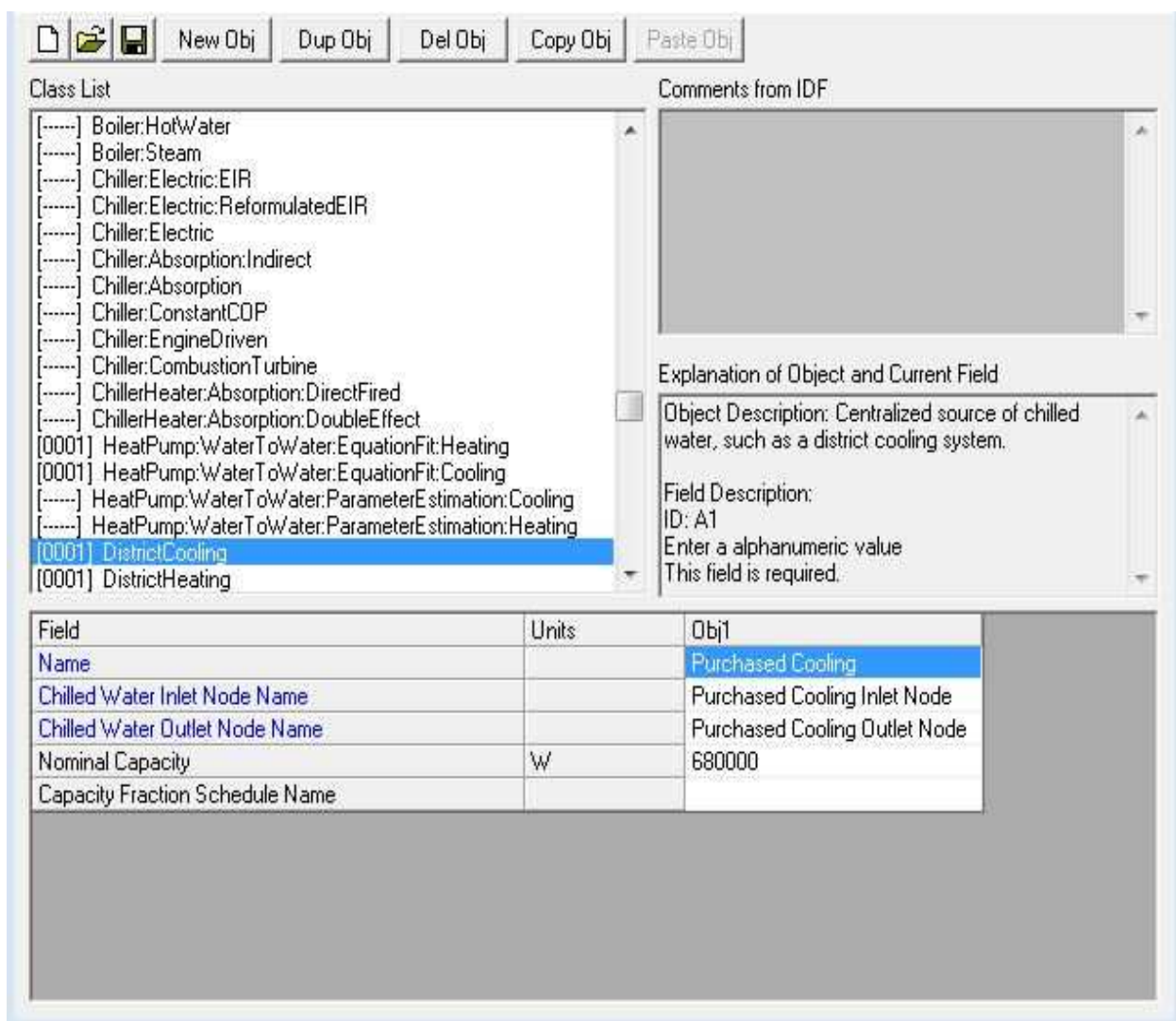
The screenshot displays the EnergyPlus software interface for configuring a 'District Heating' object. The 'Class List' on the left shows various object types, with 'DistrictHeating' selected. The 'Comments from IDF' pane on the right provides details for the selected object and its fields. The bottom table lists the fields for the object.

Field	Units	Obj1
Name		Steam
Hot Water Inlet Node Name		Purchased Heat Inlet Node
Hot Water Outlet Node Name		Purchased Heat Outlet Node
Nominal Capacity	W	1000000
Capacity Fraction Schedule Name		

Εικόνα 6.36 Περιγραφή εξωτερικής παροχής ζεστού νερού για θέρμανση

6.14.4 Εξωτερική πηγή παροχής κρύου νερού για ψύξη

Ως εφεδρικός εξοπλισμός παροχής ψύξης στο βρόχο νερού ψύξης, επιλέχθηκε να τοποθετηθεί μία θεωρούμενη εξωτερική πηγή παροχής κρύου νερού. Όπως και στην περίπτωση της θέρμανσης, η επιλογή της συνιστώσας αυτής απλοποιεί την προσομοίωση των εγκαταστάσεων, καθώς για την περιγραφή της απαιτείται ο ορισμός ελάχιστων μόνο παραμέτρων. Επιπροσθέτως, όμοια με την εξωτερική πηγή παροχής ζεστού νερού, η εξωτερική πηγή παροχής κρύου νερού συμμετέχει μόνο στην πλευρά παροχής ενέργειας του βρόχου νερού ψύξης, και όχι στο βρόχο συμπύκνωσης, σε αντίθεση με τη γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού- νερού.



Εικόνα 6.37 Περιγραφή εξωτερικής παροχής κρύου νερού για ψύξη

6.15 Περιγραφή κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας

Ο κατακόρυφος γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας εντοπίζεται στην πλευρά παροχής ενέργειας του βρόχου συμπύκνωσης του υπό μελέτη συστήματος. Συγκεκριμένα, μέσω του γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας νερού- νερού προσλαμβάνουν θερμότητα από το έδαφος, για τη μεν λειτουργία της θέρμανσης, και αποβάλλουν θερμότητα στο έδαφος, για τη δε λειτουργία της ψύξης.

The screenshot displays the software interface for configuring a Vertical Ground Heat Exchanger. The 'Class List' on the left shows the selected object: '0001: GroundHeatExchanger:Vertical'. The 'Explanation of Object and Current Field' pane provides a detailed description: 'Object Description: Variable short time step vertical ground heat exchanger model based on Yavuztruk, C., J.D. Spitler. 1999, A Short Time Step response Factor Model for Vertical Ground Loop Heat Exchangers. The Fluid Type in the associated condenser loop must be same for which the...'

Field	Units	Obj1
Name		Vertical Ground Heat Exchanger
Inlet Node Name		GHE Inlet Node
Outlet Node Name		GHE Outlet Node
Design Flow Rate	m3/s	0.00242
Number of Bore Holes		16
Bore Hole Length	m	76.2
Bore Hole Radius	m	0.05715
Ground Thermal Conductivity	W/m-K	2.493
Ground Thermal Heat Capacity	J/m3-K	2495700
Ground Temperature	C	17.778
Grout Thermal Conductivity	W/m-K	0.744
Pipe Thermal Conductivity	W/m-K	0.389
Pipe Out Diameter	m	0.0267
U-Tube Distance	m	0.0254
Pipe Thickness	m	0.00243
Maximum Length of Simulation	years	1
G-Function Reference Ratio	dimensionless	0.0005
Number of Data Pairs of the G Function		76

Εικόνα 6.38 Ορισμός κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας

6.16 Διαμόρφωση βρόχων εγκαταστάσεων

Οι βρόχοι εγκαταστάσεων του υπό μελέτη συστήματος, δηλαδή ο βρόχος νερού θέρμανσης και ο βρόχος νερού ψύξης, οφείλουν να περιγραφούν σε ξεχωριστή ενότητα του αρχείου δεδομένων, ώστε να καθοριστεί η δομή τους, το εύρος των επιτρεπόμενων τιμών για τη θερμοκρασία και την παροχή, κατάλληλα σημεία ρύθμισης της θερμοκρασίας σε συγκεκριμένους κόμβους, αλλά και το σχήμα της λειτουργίας τους.

6.16.1 Βρόχος νερού θέρμανσης, βρόχος νερού ψύξης και βρόχος συμπύκνωσης

Στο βρόχο νερού θέρμανσης εντοπίζονται δύο συνιστώσες στην πλευρά της παροχής ενέργειας, ήτοι η γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού- νερού και η παροχή ζεστού νερού από εξωτερική πηγή. Συνεπώς, ήταν αναγκαίο να καθοριστεί ένα σχήμα το οποίο θα υπαγορεύει τη λειτουργία τους κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου της προσομοίωσης.

Στο βρόχο νερού ψύξης στην πλευρά της παροχής ενέργειας εντοπίζονται η γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού- νερού και η παροχή κρύου νερού από εξωτερική πηγή. Συνεπώς, ήταν αναγκαίο να καθοριστεί ένα σχήμα το οποίο θα υπαγορεύει τη λειτουργία τους κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου της προσομοίωσης.

Ο βρόχος συμπύκνωσης περιγράφεται στο αρχείο δεδομένων εισόδου όμοια με τους βρόχους εγκαταστάσεων, δηλαδή ορίζοντας τη δομή του, τις μέγιστες και τις ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές για τη θερμοκρασία και την παροχή του νερού στο εσωτερικό του, κατάλληλα σημεία ρύθμισης της θερμοκρασίας για έναν συγκεκριμένο κόμβο και ένα σχήμα που υπαγορεύει τη λειτουργία του.

Στο βρόχο συμπύκνωσης, η ενέργεια που ζητείται από τις δύο γεωθερμικές αντλίες θερμότητας νερού-νερού παρέχεται από μία μοναδική συνιστώσα, δηλαδή τον κατακόρυφο γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας. Εύλογα λοιπόν, επιλέχθηκε η λειτουργία του κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη να είναι συνεχής και χωρίς περιορισμούς ως προς το μέγεθος του φορτίου, ούτως ώστε το ζητούμενο φορτίο να μπορεί να καλυφθεί οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

Class List

- [.....] ThermalStorage:ChilledWater:Stratified
- Plant-Condenser Loops
 - [0003] PlantLoop
 - [.....] CondenserLoop
- Plant-Condenser Control
- [0005] PlantEquipmentList
 - [.....] CondenserEquipmentList
 - [0001] PlantEquipmentOperation:Uncontrolled
 - [0001] PlantEquipmentOperation:CoolingLoad
 - [0002] PlantEquipmentOperation:HeatingLoad
 - [.....] PlantEquipmentOperation:OutdoorDryBulb
 - [.....] PlantEquipmentOperation:OutdoorWetBulb
 - [.....] PlantEquipmentOperation:OutdoorRelativeHumidity
 - [.....] PlantEquipmentOperation:OutdoorDewpoint

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Defines a central plant loop.

Field Description:
ID: A1
Enter a alphanumeric value
This field is required.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		hot water loop	chilled water loop	chilled water condenser loop
Fluid Type		Water	Water	Water
User Defined Fluid Type				
Plant Equipment Operation Scheme Name		hot water	chilled water	chilled water condenser
Loop Temperature Setpoint Node Name		HW Supply Outlet Node	CW Supply Outlet Node	Condenser Supply Outlet Node
Maximum Loop Temperature	C	100	98	80
Minimum Loop Temperature	C	10	1	10
Maximum Loop Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
Minimum Loop Flow Rate	m3/s	0	0	0
Plant Loop Volume	m3	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Plant Side Inlet Node Name		HW Supply Inlet Node	CW Supply Inlet Node	Condenser Supply Inlet Node
Plant Side Outlet Node Name		HW Supply Outlet Node	CW Supply Outlet Node	Condenser Supply Outlet Node
Plant Side Branch List Name		Heating Supply Side Branches	Cooling Supply Side Branches	Condenser Supply Side Branches
Plant Side Connector List Name		HeatingSupplySideConnectors	CoolingSupplySideConnectors	CondenserSupplySideConnectors
Demand Side Inlet Node Name		HW Demand Inlet Node	CW Demand Inlet Node	Condenser Demand Inlet Node
Demand Side Outlet Node Name		HW Demand Outlet Node	CW Demand Outlet Node	Condenser Demand Outlet Node
Demand Side Branch List Name		Heating Demand Side Branches	Cooling Demand Side Branches	Condenser Demand Side Branches
Demand Side Connector List Name		HeatingDemandSideConnectors	CoolingDemandSideConnectors	CondenserDemandSideConnectors
Load Distribution Scheme		Optimal	Optimal	Optimal

Εικόνα 6.39 Ορισμός παραμέτρων βρόχου νερού θέρμανσης, βρόχου νερού ψύξης και βρόχου συμπύκνωσης

7.ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

7.1 Εισαγωγή

Όπως έχει αναπτυχθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας εξετάστηκε η πιθανή εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί επιτευχθεί για το υπό μελέτη κτίριο, μέσω της παροχής θέρμανσης και ψύξης από γεωθερμικές αντλίες θερμότητας νερού- νερού.

Συγκεκριμένα, προτάθηκε η θέρμανση και η ψύξη του κτιρίου να εξυπηρετούνται από μία αντλία θερμότητας νερού- νερού αντίστοιχα, οι οποίες συναλλάσσουν θερμότητα με το έδαφος μέσω ενός κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας. Στο βρόχο νερού θέρμανσης η γεωθερμική αντλία θερμότητας παροχής θέρμανσης τροφοδοτεί ισάριθμα με τις θερμικές ζώνες του κτιρίου θερμαντικά στοιχεία νερού, ενώ στο βρόχο νερού ψύξης η γεωθερμική αντλία θερμότητας παροχής ψύξης τροφοδοτεί ένα ψυκτικό στοιχείο νερού, το οποίο καλύπτει όλες τις θερμικές ζώνες του κτιρίου. Καθένας από τους βρόχους νερού θέρμανσης ή ψύξης ενσωματώνει ως εφεδρική παροχή ενέργειας μία εξωτερική πηγή παροχής νερού για θέρμανση ή ψύξη αντίστοιχα. Ο αέρας που ψύχεται ή θερμαίνεται από το ψυκτικό στοιχείο νερού ή τα θερμαντικά στοιχεία νερού αντίστοιχα, παρέχεται σε κάθε θερμική ζώνη του κτιρίου μέσω κατάλληλων τερματικών μονάδων αναθέρμανσης σταθερού όγκου. Σημειώνεται, ότι η κυκλοφορία του νερού στους βρόχους νερού θέρμανσης και ψύξης, καθώς και στο βρόχο συμπύκνωσης εξασφαλίζεται με τη χρήση ισάριθμων αντλιών κυκλοφορίας. Αντίστοιχα, η κυκλοφορία του αέρα στο βρόχο αέρα εξασφαλίζεται με τη χρήση ενός ανεμιστήρα.

Μέσω των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης κάθε συστήματος με το λογισμικό EnergyPlus, κρίθηκε σκόπιμο καταρχήν να εξεταστεί, εάν το εν λόγω σύστημα λειτουργεί ικανοποιητικά, δηλαδή αν αποδίδει τις επιθυμητές θερμοκρασιακές συνθήκες εντός των χώρων του κτιρίου. Ακολούθως, εξετάστηκε η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται συνολικά για τη θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου, σε σύγκριση με το ιδανικό σύστημα παροχής θέρμανσης και ψύξης.

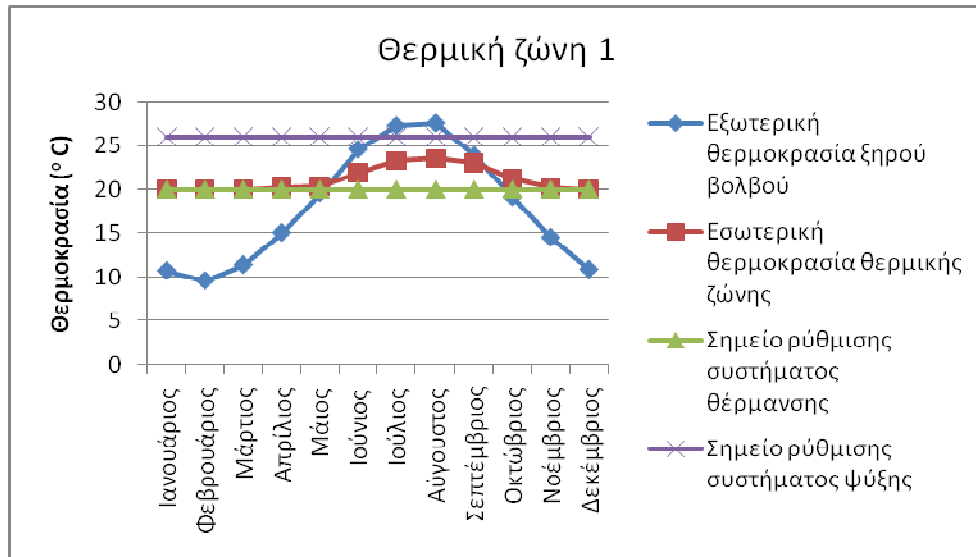
7.2 Εσωτερική θερμοκρασία θερμικών ζωνών

Πριν εξεταστεί το μέγεθος της εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση του γεωθερμικού συστήματος, κρίθηκε σκόπιμο να εξακριβωθεί, εάν το εν λόγω σύστημα εξυπηρετεί αποτελεσματικά τη θέρμανση και την ψύξη του υπό μελέτη κτιρίου. Αυτό κρίθηκε βάσει των θερμοκρασιακών συνθηκών στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

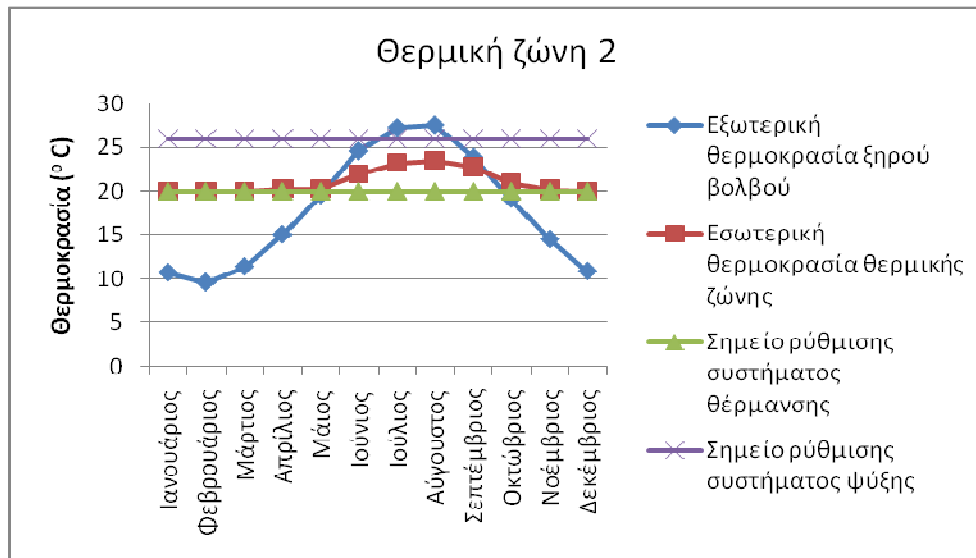
Όπως έχει επισημανθεί, κατά τη χειμερινή περίοδο η επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία των θερμικών ζωνών του κτιρίου ισούται με 20°C. Συνεπώς, ορίστηκε το σύστημα θέρμανσης να εκκινεί, όταν η εσωτερική θερμοκρασία υπολείπεται των τιμών αυτών. Κατά τον ίδιο τρόπο, εφόσον κατά τη θερινή περίοδο η επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία όλων των θερμικών ζωνών του κτιρίου ισούται με 26°C, ορίστηκε το σύστημα ψύξης να εκκινεί όταν η εσωτερική θερμοκρασία υπερβαίνει την τιμή αυτή.

Έτσι υπολογίστηκε μετά το πέρας της προσομοίωσης η μέση μηνιαία θερμοκρασία στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών του κτιρίου. Στα διαγράμματα των εικόνων 7.1 έως 7.10 παριστάνονται για κάθε

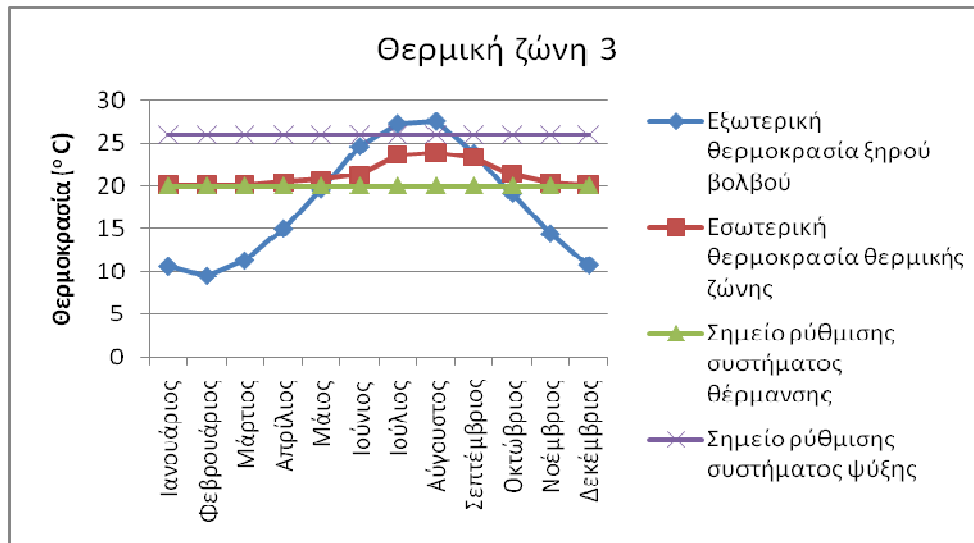
θερμική ζώνη του κτιρίου, οι μέσες μηνιαίες τιμές της εσωτερικής και της εξωτερικής θερμοκρασίας (°C), καθώς και οι επιθυμητές τιμές της θερμοκρασίας για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο (°C). Όπως παρατηρείται, η εσωτερική θερμοκρασία βρίσκεται σε κάθε περίπτωση εντός του επιθυμητού εύρους, γεγονός που υποδεικνύει ότι το προτεινόμενο γεωθερμικό σύστημα εξυπηρετεί αποτελεσματικά τη θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου.



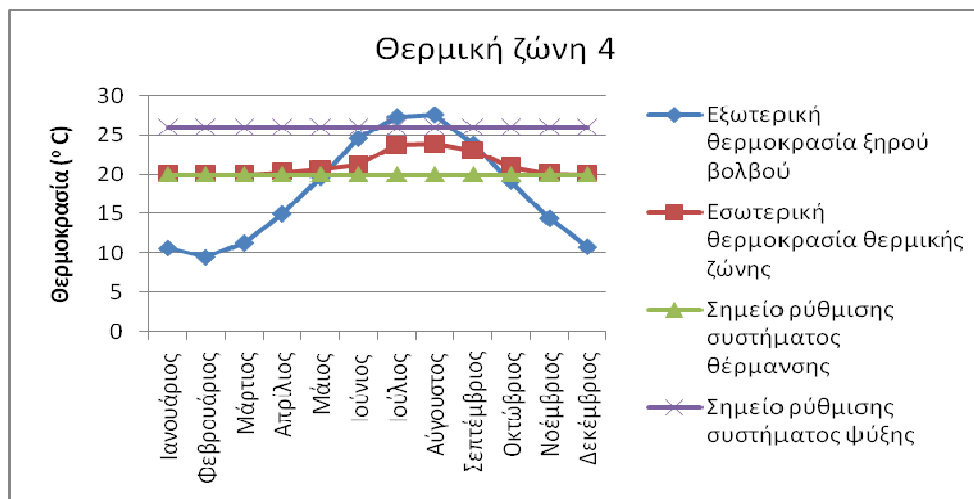
Εικόνα 7.1 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 1



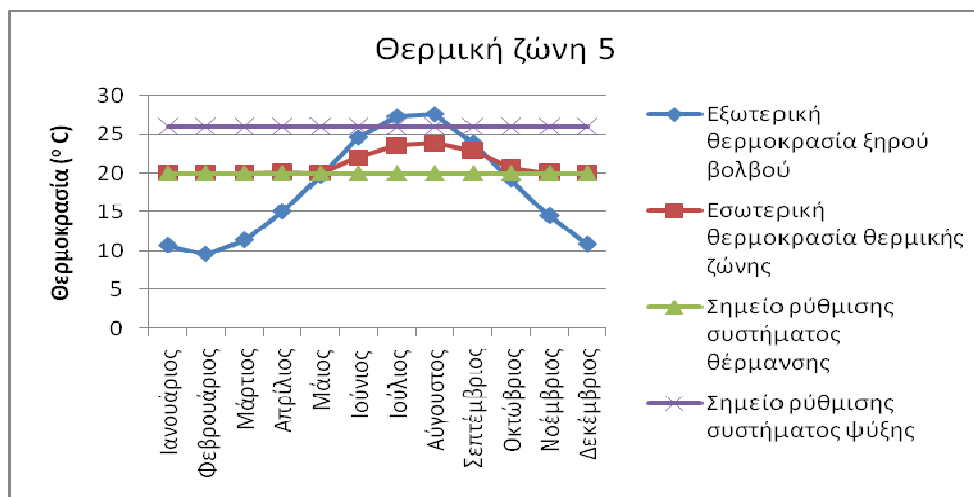
Εικόνα 7.2 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 2



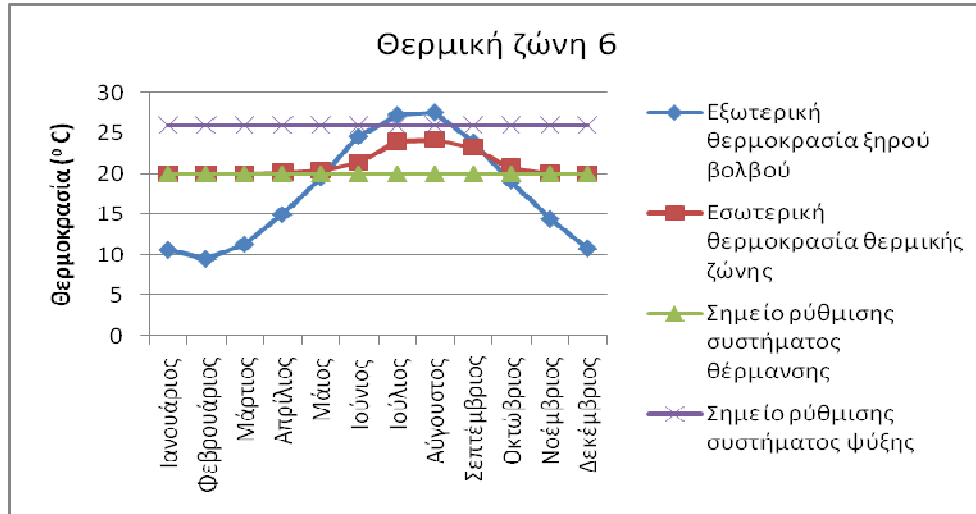
Εικόνα 7.3 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 3



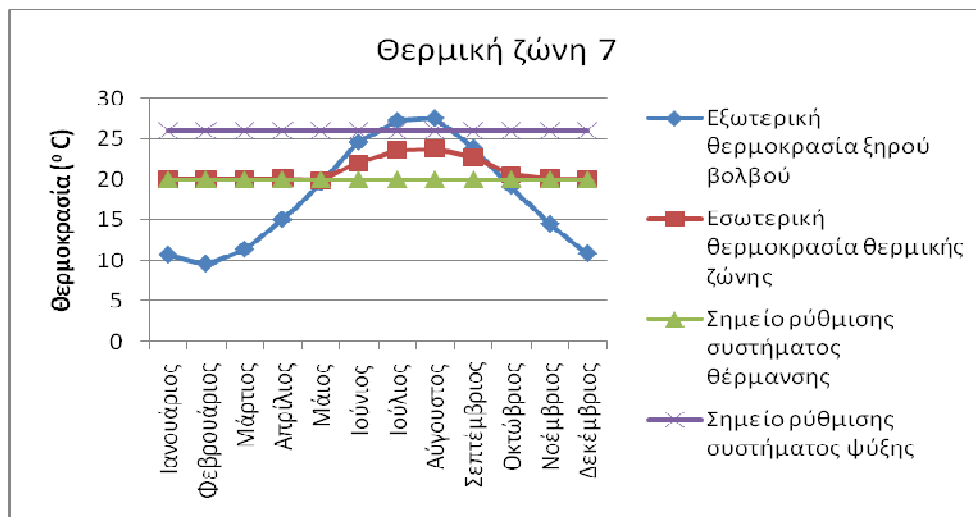
Εικόνα 7.4 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 4



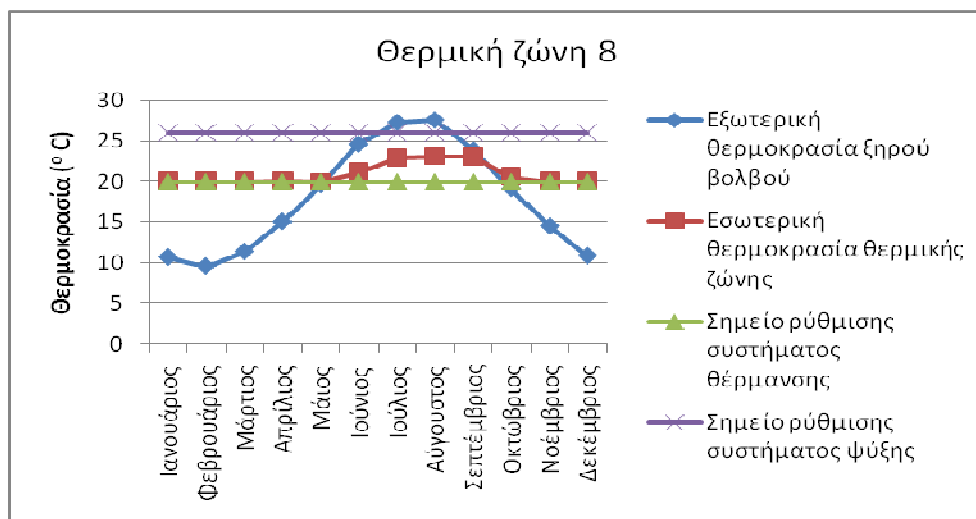
Εικόνα 7.5 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 5



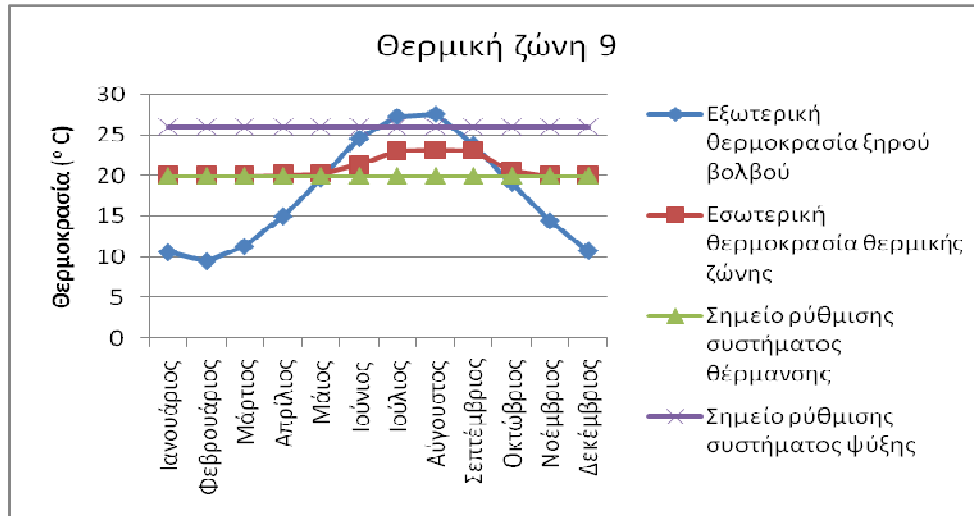
Εικόνα 7.6 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 6



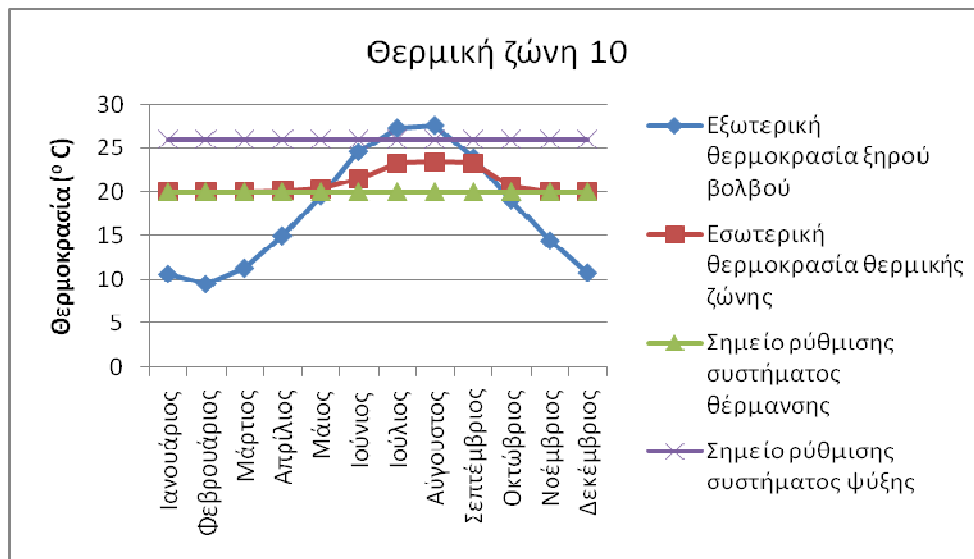
Εικόνα 7.7 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 7



Εικόνα 7.8 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 8



Εικόνα 7.9 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 9



Εικόνα 7.10 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 10

7.3 Συναλλασσόμενα ποσά θερμότητας

Κατά την προσομοίωση του προτεινόμενου γεωθερμικού συστήματος κρίθηκε σκόπιμο να υπολογιστούν τα συναλλασσόμενα ποσά θερμότητας μεταξύ συστήματος και θερμικών ζωνών, αλλά και μεταξύ ορισμένων συνιστωσών του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν οι μηνιαίες τιμές των εξής μεγεθών:

- ✓ Παρεχόμενο αισθητό θερμικό φορτίο (Zone Air System Sensible Heating Energy), (J) και παρεχόμενη αισθητή θερμική ισχύς (Zone Air System Sensible Heating Rate), (W).
- ✓ Πρόκειται για το αισθητό θερμικό φορτίο και την αισθητή θερμική ισχύ αντίστοιχα, που πράγματι παρέχονται από το σύστημα στον αέρα κάθε θερμικής ζώνης, κατά το επιλεγμένο χρονικό βήμα.
- ✓ Παρεχόμενο αισθητό ψυκτικό φορτίο (Zone Air System Sensible Cooling Energy), (J) και παρεχόμενη αισθητή ψυκτική ισχύς (Zone Air System Sensible Cooling Rate), (W).
- ✓ Πρόκειται για το αισθητό ψυκτικό φορτίο και την αισθητή ψυκτική ισχύ αντίστοιχα, που πράγματι παρέχονται από το σύστημα στον αέρα κάθε θερμικής ζώνης, κατά το επιλεγμένο χρονικό βήμα.
- ✓ Θερμικό φορτίο θερμαντικών στοιχείων νερού (Heating Coil Heating Energy), (J) και θερμική ισχύς θερμαντικών στοιχείων νερού (Heating Coil Heating Rate), (W). Πρόκειται για τη συναλλαγή θερμότητας και ισχύος αντίστοιχα, που λαμβάνουν χώρα σε κάθε θερμαντικό στοιχείο νερού, σε συνθήκες λειτουργίας.
- ✓ Ψυκτικό φορτίο ψυκτικού στοιχείου νερού (Cooling Coil Total Cooling Energy), (J) και ψυκτική ισχύς ψυκτικού στοιχείου νερού (Cooling Coil Total Cooling Rate), (W). Πρόκειται για τη συναλλαγή θερμότητας και ισχύος αντίστοιχα, που λαμβάνουν χώρα στο ψυκτικό στοιχείο νερού, σε συνθήκες λειτουργίας.

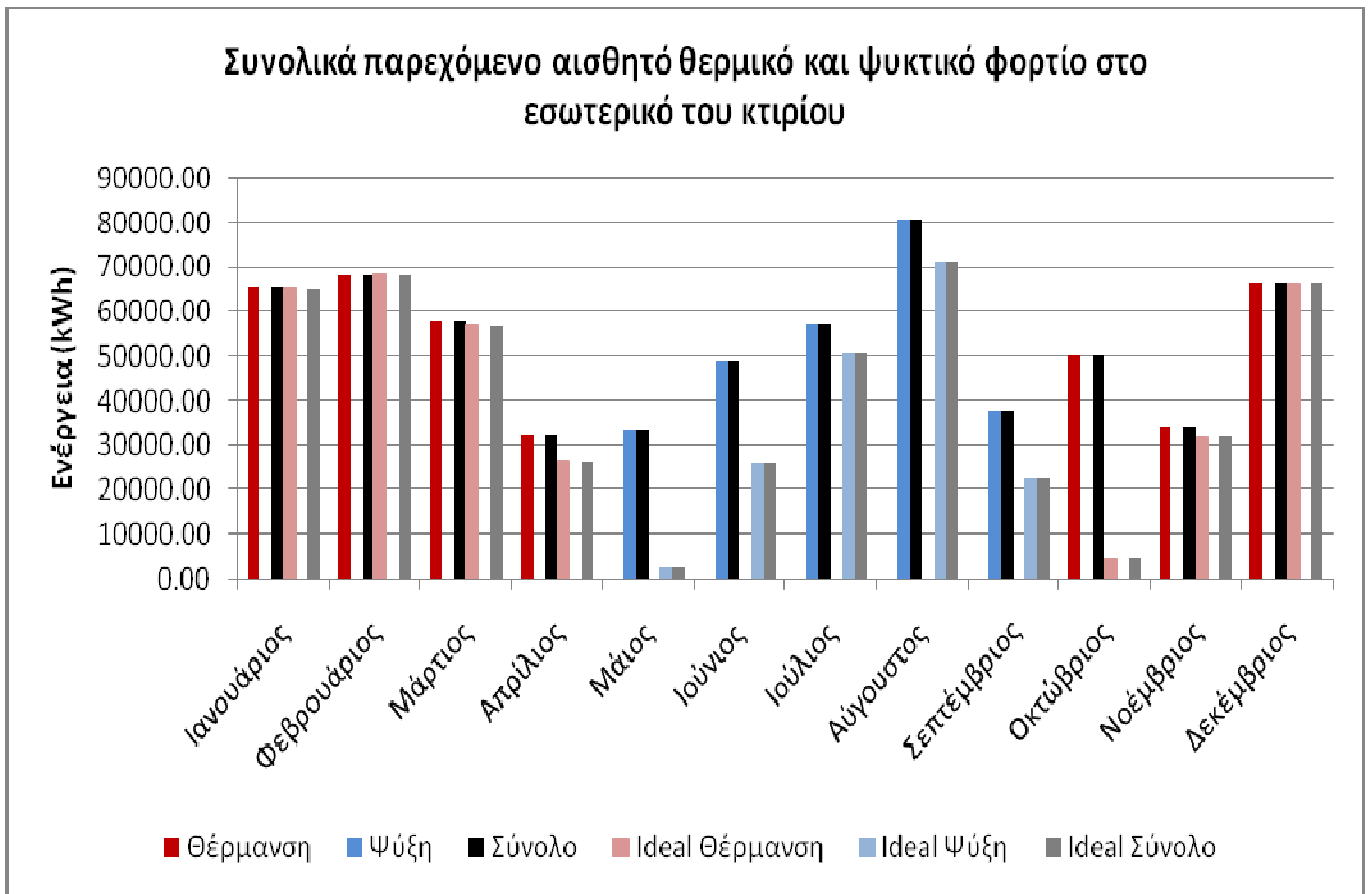
Σημειώνεται, ότι το συνολικά παρεχόμενο μηνιαίο αισθητό θερμικό ή ψυκτικό φορτίο σε όλες τις θερμικές ζώνες του υπό μελέτη κτιρίου, αποδίδεται με τη βοήθεια του μετρητή ενέργειας “Heating: Energy Transfer” ή “Cooling: Energy Transfer”, αντίστοιχα. Το άθροισμα των δύο παραπάνω μεγεθών αποδίδεται, με τη βοήθεια του μετρητή ενέργειας “Energy Transfer: Building”. Αντίστοιχα, η συνολική μηνιαία μεταφορά θερμότητας σε όλα τα θερμαντικά στοιχεία νερού ή στο ψυκτικό στοιχείο νερού αποδίδεται μέσω του μετρητή “Heating Coils: Energy Transfer” ή “Cooling Coils: Energy Transfer”, αντίστοιχα. Το άθροισμα των δύο παραπάνω μεγεθών αποδίδεται μέσω του μετρητή ενέργειας “Energy Transfer: HVAC”

Στον πίνακα της Εικόνας 7.11 παρατίθενται οι μηνιαίες τιμές του παρεχόμενου αισθητού θερμικού φορτίου (J), (kWh) και της παρεχόμενης αισθητής θερμικής ισχύος (W), καθώς και το παρεχόμενο αισθητό ψυκτικό φορτίο (J), (kWh) και την παρεχόμενη αισθητή ψυκτική ισχύ (W), οι οποίες αντιστοιχούν στο σύνολο των θερμικών ζωνών του υπό μελέτη κτιρίου.

	Παρεχόμενο αισθητό θερμικό φορτίο		Παρεχόμενη αισθητή θερμική ισχύς	Παρεχόμενο αισθητό ψυκτικό φορτίο		Παρεχόμενη αισθητή ψυκτική ισχύς	Σύνολο Παρεχόμενης
	[J]	[kWh]	[W]	[J]	[kWh]	[W]	[kWh]
21 Φεβρουαρίου	17560213836.06	4877.70	203243.29	0.00	0.00	0.00	4877.70
21 Αυγούστου	0.00	0.00	0.00	10074775447.73	2798.85	116605.89	2798.85
Ιανουάριος	24170834452.06	65720.22	88333.50	0.00	0.00	0.00	65720.22
Φεβρουάριος	24895082867.95	68144.01	101405.05	0.00	0.00	0.00	68144.01
Μάρτιος	207765545184.10	57712.36	77571.26	0.00	0.00	0.00	57712.36
Απρίλιος	115602398572.71	32111.57	44599.57	0.00	0.00	0.00	32111.57
Μάιος	0.00	0.00	0.00	119803160653.44	33279.93	44729.48	33279.93
Ιούνιος	0.00	0.00	0.00	175161338419.48	48656.44	67577.23	48656.44
Ιούλιος	0.00	0.00	0.00	206548671512.43	57374.75	77116.54	57374.75
Αύγουστος	0.00	0.00	0.00	289821866434.03	80506.03	108207.11	80506.03
Σεπτέμβριος	0.00	0.00	0.00	136790210212.62	37997.35	52773.85	37997.35
Οκτώβριος	180421524914.50	50065.81	666423.96	0.00	0.00	0.00	50065.81
Νοέμβριος	122487311855.75	34024.01	47256.71	0.00	0.00	0.00	34024.01
Δεκέμβριος	240333172442.13	66759.78	89730.59	0.00	0.00	0.00	66759.78

Εικόνα 7.11 Παρεχόμενο αισθητό θερμικό και ψυκτικό φορτίο καθώς και παρεχόμενη αισθητή θερμική και ψυκτική ισχύς στο εσωτερικό του κτιρίου

Επιπροσθέτως, στο διάγραμμα της Εικόνας 7.12, οι μηνιαίες τιμές του συνολικά παρεχόμενου αισθητού θερμικού φορτίου (kWh) και του συνολικά παρεχόμενου αισθητού ψυκτικού φορτίου (kWh) παριστάνονται γραφικά για το προτεινόμενο γεωθερμικό σύστημα, σε αντιπαραβολή με τις αντίστοιχες τιμές του φορτίου για το ιδανικό σύστημα παροχής θέρμανσης και ψύξης.



Εικόνα 7.12 Παρεχόμενο αισθητό θερμικό και ψυκτικό φορτίο, κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη κτιρίου

Στον πίνακα της Εικόνας 7.13 παρατίθενται οι μηνιαίες τιμές του θερμικού φορτίου (J), (kWh) και της θερμικής ισχύος (W), οι οποίες αντιστοιχούν στο σύνολο των θερμαντικών στοιχείων νερού αλλά και οι μηνιαίες τιμές του ψυκτικού φορτίου (J), (kWh) και της ψυκτικής ισχύος (W) του ψυκτικού στοιχείου νερού, που εξυπηρετεί όλες τις θερμικές ζώνες του υπό μελέτη κτιρίου.

	Θερμικό φορτίο θερμαντικών στοιχείων νερού		Θερμική ισχύς θερμαντικών στοιχείων νερού	Ψυκτικό φορτίο ψυκτικών στοιχείων νερού		Ψυκτική ισχύς ψυκτικών στοιχείων νερού
	[J]	[kWh]	[W]	[J]	[kWh]	[W]
21 Φεβρουαρίου	289818231.67	80.51	3354.38	0.00	0.00	0.00
21 Αυγούστου	0.00	0.00	0.00	194234367.27	53.95	2248.08
Ιανουάριος	3094854661.09	859.68	1155.49	0.00	0.00	0.00
Φεβρουάριος	3346872101.47	929.69	1383.46	0.00	0.00	0.00
Μάρτιος	2337574146.77	649.33	872.75	0.00	0.00	0.00
Απρίλιος	422748595.87	117.43	163.10	0.00	0.00	0.00
Μάιος	0.00	0.00	0.00	3462615155.97	961.84	1292.79
Ιούνιος	0.00	0.00	0.00	4783287822.62	1328.69	1845.40
Ιούλιος	0.00	0.00	0.00	6175422306.78	1715.40	2305.64
Αύγουστος	0.00	0.00	0.00	6387467869.89	1774.30	2384.81
Σεπτέμβριος	0.00	0.00	0.00	5180844790.01	1439.12	1998.78
Οκτώβριος	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Νοέμβριος	885264759.52	245.91	341.54	0.00	0.00	0.00
Δεκέμβριος	3307321064.48	918.70	1234.81	0.00	0.00	0.00

Εικόνα 7.13 Θερμικό φορτίο και ισχύς θερμαντικών στοιχείων νερού καθώς και ψυκτικό φορτίο και ισχύς ψυκτικών στοιχείων νερού



Εικόνα 7.14 Θερμικό φορτίο και ισχύς θερμαντικών στοιχείων νερού καθώς και ψυκτικό φορτίο και ισχύς ψυκτικών στοιχείων νερού

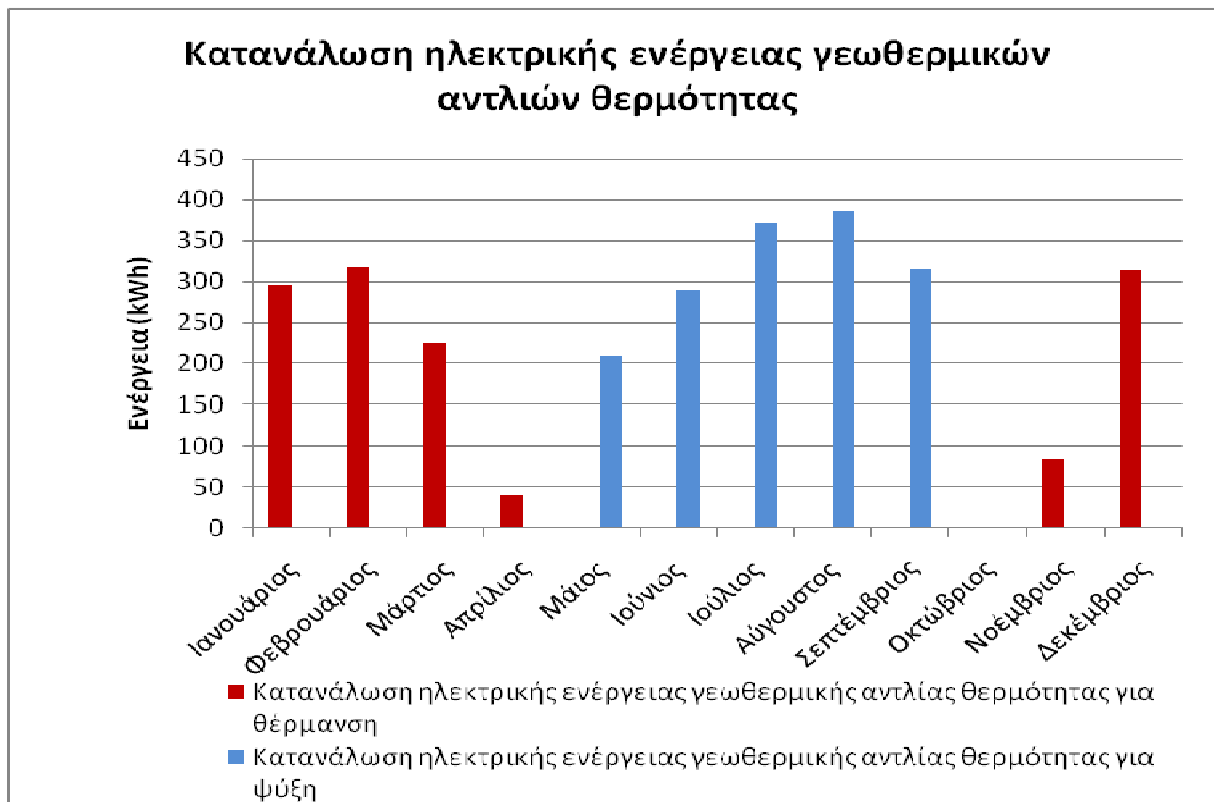
Αναφορικά με το θερμικό φορτίο των θερμαντικών στοιχείων νερού παρατηρείται, ότι είναι μηδενικό κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης, δηλαδή από την 1η Μαΐου έως την 30η Σεπτεμβρίου, αλλά και κατά τη διάρκεια του Οκτωβρίου, ο οποίος ανήκει στην περίοδο θέρμανσης. Όσον αφορά στο ψυκτικό φορτίο του ψυκτικού στοιχείου νερού παρατηρείται, ότι λαμβάνει θετικές τιμές κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης, δηλαδή από την 1η Μαΐου έως την 30η Σεπτεμβρίου, ενώ είναι μηδενικό κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης, δηλαδή από την 1η Ιανουαρίου έως την 30η Απριλίου και από την 1η Οκτωβρίου έως την 31η Δεκεμβρίου.

7.4 Κατακόρυφος γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας 4×4, συμβατικός (Vertical GHE 4×4 Standard)

Η εν λόγω διαμόρφωση κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη περιλαμβάνει 16 γεωτρήσεις, ενώ η θερμική αγωγιμότητα του υλικού πλήρωσης των γεωτρήσεων λαμβάνει την τιμή 0,7440 W/ (mK). Στον πίνακα της Εικόνας 7.15 παρατίθενται οι μηνιαίες τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας (J), (kWh) και της ηλεκτρικής ισχύος (W), που καταναλώνονται από τη γεωθερμική αντλία θερμότητας παροχής θέρμανσης και για τη γεωθερμική αντλία θερμότητας παροχής ψύξης στο κτίριο. Η ενεργειακή κατανάλωση των δύο αντλιών που αντιστοιχεί σε κάθε μήνα του έτους (kWh), παριστάνεται επίσης στο διάγραμμα της Εικόνας 7.16.

	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας για θέρμανση		Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος αντλίας θερμότητας	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας για ψύξη		Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας
	[J]	[kWh]	[W]	[J]	[kWh]	[W]
21 Φεβρουαρίου	93712415.68	26.03	1084.63	0	0	0
21 Αυγούστου	0	0	0	41629912.26	11.56	481.83
Ιανουάριος	1063637785	295.45	397.12	0	0	0
Φεβρουάριος	1143348583	317.6	472.61	0	0	0
Μάρτιος	808704566	224.64	301.94	0	0	0
Απρίλιος	148962691.5	41.38	57.47	0	0	0
Μάιος	0	0	0	753173722.1	209.21	281.2
Ιούνιος	0	0	0	1038751294	288.54	400.75
Ιούλιος	0	0	0	1340864566	372.46	500.62
Αύγουστος	0	0	0	1390774656	386.33	519.26
Σεπτέμβριος	0	0	0	1135147187	315.32	437.94
Οκτώβριος	0	0	0	0	0	0
Νοέμβριος	303677880.7	84.35	117.16	0	0	0
Δεκέμβριος	1129835390	313.84	421.83	0	0	0

Εικόνα 7.15 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας για θέρμανση και ψύξη



Εικόνα 7.16 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας για θέρμανση και ψύξη

Παρατηρείται, ότι η γεωθερμική αντλία θερμότητας παροχής θέρμανσης, καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια όλων των μηνών που βρίσκεται σε λειτουργία, δηλαδή όσο διαρκεί η περίοδος θέρμανσης. Εξάιρεση αποτελεί ο μήνας Οκτώβριος, για τον οποίο η καταναλισκόμενη ενέργεια μηδενίζεται. Αντίστοιχα, η γεωθερμική αντλία θερμότητας παροχής ψύξης, καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια όλων των μηνών που βρίσκεται σε λειτουργία, δηλαδή όσο διαρκεί η περίοδος ψύξης. Σημειώνεται, ότι η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας παροχής ψύξης, κατά την περίοδο ψύξης, υπερβαίνει την αντίστοιχη της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας παροχής θέρμανσης, κατά την περίοδο θέρμανσης.

Στον πίνακα της Εικόνας 7.17, η μηνιαία συνολική κατανάλωση ενέργειας του γεωθερμικού συστήματος (kWh) συγκρίνεται με την αντίστοιχη του ιδανικού συστήματος παροχής θέρμανσης και ψύξης (kWh), υπολογίζοντας τόσο την εξοικονομούμενη ενέργεια (kWh), όσο και την ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας (%), που επιτυγχάνεται.

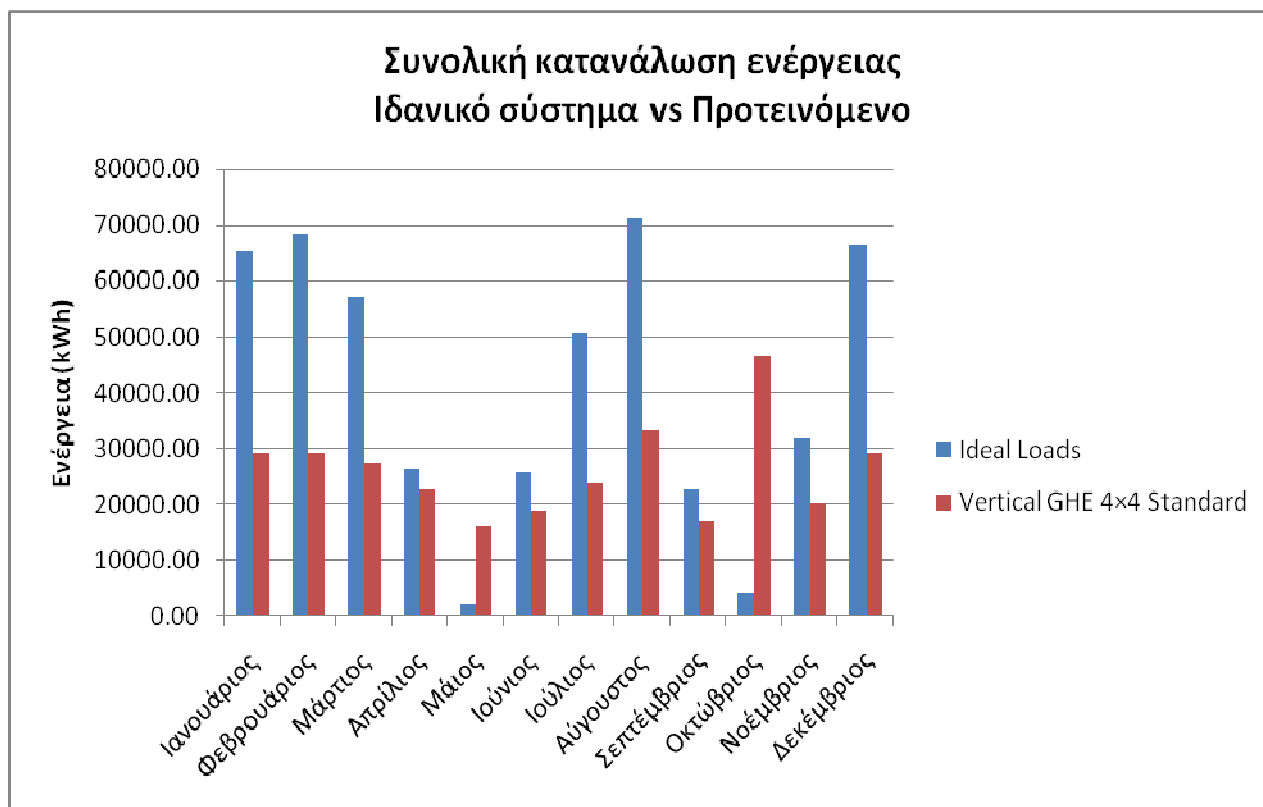
Παρατηρείται, ότι το προτεινόμενο γεωθερμικό σύστημα καταναλώνει ετησίως για τη θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου 314425,25 kWh, έναντι των 492322,07 kWh που καταναλώνει το ιδανικό σύστημα παροχής θέρμανσης και ψύξης. Συνεπώς, η επιτευχθείσα ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας ανέρχεται στις

3350,07 kWh, που αντιστοιχεί ποσοστιαία ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας 36,13%. Τα υψηλότερα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας παρατηρούνται κατά φθίνουσα σειρά τους μήνες Φεβρουάριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, που ανήκουν στην περίοδο θέρμανσης του κτιρίου, και Αύγουστο, που ανήκει στην περίοδο ψύξης. Τέλος, κατά το μήνα Οκτώβριο, το προτεινόμενο σύστημα καταναλώνει πολλαπλάσια ενέργεια σε σχέση με το ιδανικό σύστημα, παρόλο που δεν απαιτείται η ενεργοποίηση της γεωθερμική αντλίας θερμότητας για την παροχή θέρμανσης. Αυτό οφείλεται, στην κατανάλωση ενέργειας από τον ανεμιστήρα και τις αντλίες κυκλοφορίας, που έχουν ρυθμιστεί να λειτουργούν ανεξάρτητα με το αν υπάρχει ζήτηση για θέρμανση ή ψύξη του κτιρίου.

	Ideal Loads	Vertical GHE 4×4 Standard		
	Συνολική κατανάλωση ενέργειας (kWh)	Συνολική κατανάλωση ενέργειας (kWh)	Εξοικονόμηση ενέργειας (kWh)	Ποσοστιαία Εξοικονόμηση ενέργειας (%)
Ιανουάριος	65403.50	29235.36	36168.13	55.30
Φεβρουάριος	68365.03	29226.05	39138.98	57.25
Μάρτιος	57003.40	27327.43	29675.97	52.06
Απρίλιος	26334.60	22768.89	3565.70	13.54
Μάιος	2244.38	16236.72	-13992.34	-623.44
Ιούνιος	25759.09	19025.67	6733.43	26.14
Ιούλιος	50488.01	24027.25	26460.77	52.41
Αύγουστος	71334.10	33462.83	37871.27	53.09
Σεπτέμβριος	22678.76	17004.54	5674.23	25.02
Οκτώβριος	4321.56	46710.73	-42389.16	-980.88
Νοέμβριος	31793.72	20150.86	11642.86	36.62
Δεκέμβριος	66595.92	29248.93	37346.99	56.08
Σύνολο	492322.07	314425.24	177896.83	36.13

Εικόνα 7.17 Υπολογισμός εξοικονόμησης ενέργειας

Στο διάγραμμα της Εικόνας 7.18 παρουσιάζεται η συνολική κατανάλωση ενέργειας του προτεινόμενου συστήματος θέρμανσης σε σύγκριση με το ιδανικό σύστημα.



Εικόνα 7.18 Σύγκριση ιδανικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης με προτεινόμενο

8.ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΣΧΟΛΙΑ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν ο προσδιορισμός της ενέργειας που καταναλώνεται για την παροχή θέρμανσης και ψύξης στο κτίριο 12Θ των Πολιτικών Μηχανικών και η διερεύνηση της εξοικονόμησης ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί, μέσω της εγκατάστασης ενός συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Στο πλαίσιο αυτό, πραγματοποιήθηκε ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου κατοικίας με το λογισμικό EnergyPlus.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση του κτιρίου κατοικίας στο λογισμικό EnergyPlus, αρχικά σχεδιάστηκε το κέλυφος του κτιρίου στο λογισμικό τρισδιάστατης σχεδίασης Sketch Up, αξιοποιώντας τα εργαλεία του προσθέτου Open Studio, ώστε το αρχείο δεδομένων της προσομοίωσης να τροφοδοτηθεί με όλα τα δεδομένα της γεωμετρίας του κελύφους. Στη συνέχεια, το κτίριο διαχωρίστηκε σε δέκα θερμικές ζώνες και ακολούθως το αρχείο δεδομένων εμπλουτίστηκε με τα δεδομένα που αφορούν στα υλικά κατασκευής των αδιαφανών και των διαφανών επιφανειών, στα εσωτερικά θερμικά κέρδη, λόγω της παρουσίας των χρηστών, του ηλεκτροφωτισμού, στον αθέλητο και το φυσικό αερισμό και στα συστήματα παροχής θέρμανσης και ψύξης. Συνδυάζοντας όλα τα παραπάνω δεδομένα με τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής του κτιρίου, καταστρώθηκε από το λογισμικό ένα θερμικό ισοζύγιο για κάθε θερμική ζώνη, βάσει του οποίου υπολογίστηκαν οι απαιτήσεις της για θέρμανση και ψύξη, αλλά και η ενέργεια που καταναλώνεται από το σύστημα για το σκοπό αυτό.

Στο πρώτο στάδιο της εφαρμογής, το κτίριο προσομοιώθηκε θεωρώντας ότι υφίσταται ένα ιδανικό σύστημα παροχής θέρμανσης και ψύξης, ικανό να καλύπτει πλήρως το θερμικό και το ψυκτικό φορτίο των θερμικών ζωνών, χωρίς να καταναλώνει ενέργεια από κάποια συγκεκριμένη πηγή. Τοιούτοτρόπως, υπολογίστηκε η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη του υπόψη κτιρίου, η οποία χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια ως βάση σύγκρισης, ώστε να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα των επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας. Τα αποτελέσματα της αρχικής προσομοίωσης μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα σημεία:

- ✓ Η εσωτερική θερμοκρασία κάθε θερμικής ζώνης κυμαίνεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους εντός του επιθυμητού εύρους για την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης. Συνεπώς, το ιδανικό σύστημα εξυπηρετεί αποτελεσματικά τη θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου.
- ✓ Στις θερμικές ζώνες, όπου υφίσταται παρουσία των χρηστών του κτιρίου, η αντίστοιχη εκλυόμενη θερμική ισχύς βαίνει αυξανόμενη με την αύξηση του εμβαδού δαπέδου της θερμικής ζώνης, εφόσον σε κάθε θερμική ζώνη είχε οριστεί μέγιστος αριθμός χρηστών ανά μονάδα επιφανείας δαπέδου. Ομοίως ισχύει και για την εκλυόμενη θερμική ισχύ, λόγω του ηλεκτροφωτισμού.
- ✓ Η κατανάλωση ενέργειας του ιδανικού συστήματος για την παροχή θέρμανσης λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της το μήνα Φεβρουάριο, ενώ η κατανάλωση ενέργειας του ιδανικού συστήματος για την παροχή ψύξης λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της το μήνα Αύγουστο.

Στο δεύτερο στάδιο της εφαρμογής, εξετάστηκε η εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί, μέσω της εγκατάστασης γεωθερμικών συστημάτων για την παροχή θέρμανσης και ψύξης. Συγκεκριμένα,

προτάθηκε η παροχή θέρμανσης και ψύξης από μία γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού- νερού, η οποία συναλλάσσει θερμότητα με το έδαφος μέσω ενός κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας. Για τις ανάγκες της προσομοίωσης θεωρήθηκε, ότι η γεωθερμική αντλία θερμότητας αποτελείται από δύο συνιστώσες, για την παροχή θέρμανσης και ψύξης αντίστοιχα. Η γεωθερμική αντλία παροχής θέρμανσης τροφοδοτεί ισάριθμα με τις θερμικές ζώνες του κτιρίου θερμαντικά στοιχεία νερού, ενώ η γεωθερμική αντλία παροχής ψύξης τροφοδοτεί ένα ψυκτικό στοιχείο νερού, το οποίο εξυπηρετεί το σύνολο των θερμικών ζωνών. Ως εφεδρικές παροχές θέρμανσης και ψύξης υφίστανται εξωτερικές πηγές ζεστού και κρύου νερού αντίστοιχα. Ο αέρας θέρμανσης ή ψύξης διανέμεται στις θερμικές ζώνες μέσω τερματικών μονάδων αναθέρμανσης σταθερού όγκου. Οι βρόχοι νερού θέρμανσης, νερού ψύξης και συμπύκνωσης εξυπηρετούνται από ισάριθμες αντλίες κυκλοφορίας και ο βρόχος αέρα από έναν ανεμιστήρα. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη προκύπτει ως το άθροισμα της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, τις αντλίες κυκλοφορίας και τον ανεμιστήρα και της κατανάλωσης ενέργειας από εξωτερικές πηγές.

Τα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις που προέκυψαν από την ενεργειακή προσομοίωση του γεωθερμικού συστήματος συνοψίζονται στα ακόλουθα σημεία:

- ✓ Διαπιστώθηκε, ότι η εσωτερική θερμοκρασία κάθε θερμικής ζώνης κυμαίνεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους εντός του επιθυμητού εύρους για την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης. Συνεπώς, το προτεινόμενο γεωθερμικό σύστημα εξυπηρετεί αποτελεσματικά τη θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου.
- ✓ Το συνολικά παρεχόμενο αισθητό θερμικό φορτίο λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του το μήνα Δεκέμβριο, ενώ μηδενίζεται κατά την περίοδο ψύξης. Το συνολικά παρεχόμενο αισθητό ψυκτικό φορτίο λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του το μήνα Αύγουστο, σημειώνοντας ωστόσο ορισμένες χαμηλές τιμές κατά την περίοδο θέρμανσης. Το αισθητό ψυκτικό φορτίο που παρέχεται στο σύνολο των θερμικών ζωνών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους υπερβαίνει κατά το πολύ το αντίστοιχο αισθητό θερμικό φορτίο. Επομένως, μπορεί να εξαχθεί ότι οι ανάγκες του κτιρίου για ψύξη υπερβαίνουν τις αντίστοιχες για θέρμανση.
- ✓ Το συνολικό θερμικό φορτίο των θερμαντικών στοιχείων νερού λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του το μήνα Φεβρουάριο, ενώ μηδενίζεται κατά την περίοδο ψύξης. Το ψυκτικό φορτίο του ψυκτικού στοιχείου νερού λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του το μήνα Αύγουστο, ενώ μηδενίζεται κατά την περίοδο θέρμανσης. Το ετήσιο ψυκτικό φορτίο του ψυκτικού στοιχείου νερού υπερβαίνει αρκετά το ετήσιο θερμικό φορτίο των θερμαντικών στοιχείων νερού, γεγονός που επίσης υποδεικνύει, ότι οι ανάγκες του κτιρίου για ψύξη υπερβαίνουν τις αντίστοιχες για θέρμανση.
- ✓ Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τη γεωθερμική αντλία παροχής θέρμανσης λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της το μήνα Φεβρουάριο, ενώ μηδενίζεται κατά την περίοδο ψύξης. Αντίστοιχα, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τη γεωθερμική αντλία παροχής ψύξης λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της το μήνα Αύγουστο, ενώ μηδενίζεται κατά την περίοδο θέρμανσης. Επίσης

παρατηρείται ότι η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τη γεωθερμική αντλία παροχής ψύξης υπερβαίνει την αντίστοιχη της γεωθερμικής αντλίας παροχής θέρμανσης.

- ✓ Η κατανάλωση ενέργειας από εξωτερικές πηγές για θέρμανση είναι μηδενική καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, συνεπώς η γεωθερμική αντλία θερμότητας επαρκεί για την κάλυψη του θερμικού φορτίου και δεν εμφανίζεται ανάγκη για θέρμανση κατά την περίοδο ψύξης. Η κατανάλωση ενέργειας από εξωτερικές πηγές για ψύξη είναι μηδενική κατά την περίοδο ψύξης, άρα η γεωθερμική αντλία θερμότητας επαρκεί για την κάλυψη του ψυκτικού φορτίου.
- ✓ Η εγκατάσταση συστήματος κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη που περιλαμβάνει 16 γεωτρήσεις οδηγεί σε ετήσια ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας 36,13% για υλικό πλήρωσης συμβατικής θερμικής αγωγιμότητας. Τα υψηλότερα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας παρατηρούνται με φθίνουσα σειρά τους μήνες Φεβρουάριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, που ανήκουν στην περίοδο θέρμανσης και Αύγουστο, που ανήκει στην περίοδο ψύξης.

Συνοψίζοντας, η εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας για την παροχή θέρμανσης και ψύξης στο υπό μελέτη κτίριο αδιαμφισβήτητα οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας σε ετήσια βάση της τάξης του 36,13%.

9.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. *Τεχνολογίες Εξοικονόμησης Ενέργειας στα Κτίρια. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Πικέρμι, 2008.*
2. *Ανδρεαδάκη, Ε. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός- Περιβάλλον και Βιωσιμότητα. University Studio Press, Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών, Θεσσαλονίκη, 2006.*
3. *Λάζαρη, Ε. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός στην Ελλάδα: Ενεργειακή Απόδοση και Κατευθύνσεις Εφαρμογής. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Πικέρμι, Σεπτέμβριος, 2002.*
4. *Γεωργιάδου, Ε., Ε. Ανδρεαδάκη-Χρονάκη, και Ξ. Ζήσης. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός και Καθαρές Τεχνολογίες Δόμησης. Εκδόσεις Παρατηρητής, Θεσσαλονίκη, 1996.*
5. *Goulding, J., J.O. Lewis, and T.C. Steemers. Ενεργειακός Σχεδιασμός- Εισαγωγή για Αρχιτέκτονες. Εκδόσεις Μαλλιάρης Παιδεία, Θεσσαλονίκη, 1994.*
6. *Συλλογικό Έργο. Ενέργεια στην Αρχιτεκτονική- Το Ευρωπαϊκό Εγχειρίδιο για τα Παθητικά Ηλιακά Κτίρια. Εκδόσεις Μαλλιάρης Παιδεία, Θεσσαλονίκη, 1998.*
7. http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_bioclimatic.htm *Βιοκλιματικός Σχεδιασμός και Παθητικά Ηλιακά Συστήματα, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, 15 Δεκεμβρίου 2014.*
8. *Ενσωμάτωση Τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Εξοικονόμηση Ενέργειας στον Οικιακό Τομέα. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Πικέρμι, Αύγουστος 2006.*
9. *Βραχόπουλος, Μ. Γεωθερμική Ενέργεια. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας», Αθήνα, Ιούνιος 2014.*
10. *Βραχόπουλος, Μ. Γεωθερμία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας», Αθήνα, Ιούνιος 2014.*
11. *Βραχόπουλος, Μ. Εγκαταστάσεις Συστημάτων Κανονικής Γεωθερμίας στα Κτίρια. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας», Αθήνα, Ιούνιος 2014.*
12. *Lund, J., B. Sanner, L. Rybach, R. Curtis, G. Hellstrom. Geothermal (Ground-Source) Heat Pumps. A World Overview. GHC Bulletin, Vol. 25, Issue 3, September 2004, pp. 1-10.*

13. Sanner, B., C. Karytsas, D. Mendrinou, and L. Rybach. *Current Status of Ground Source Heat Pumps and Underground Thermal Energy Storage in Europe*. *Geothermics*, Vol. 32, Issues 4-6, Elsevier Ltd., August- December 2003, pp. 579-588.
14. <http://energy.gov/energysaver/articles/geothermal-heat-pumps> *Geothermal Pumps*, U.S. Department of Energy, 5 Φεβρουαρίου 2015.
15. Yang H., P. Cui, Z. Fang. *Vertical-Borehole Ground-Coupled Heat Pumps: A Review of Models and Systems*. *Applied Energy*, Vol. 87, Issue 1, Elsevier Ltd., January 2010, pp. 16-27.
16. <http://help.sketchup.com/en/article/116174> *Sketch Up User's Guide*, 2 Δεκεμβρίου 2014.
17. *Auxiliary EnergyPlus Programs. Extra programs for EnergyPlus*. University of Illinois and Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, United States of America, November 22, 2013.
18. *Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/ 2010. Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων*. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Ειδική Γραμματεία Επιθεώρησης Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Ενέργειας, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα, Ιούλιος 2010.
19. *Διπλωματική Εργασία: Καταγραφή Κατανάλωσης Ενέργειας Κτιρίων Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. και Ενεργειακός Ανασχεδιασμός Κτιρίου Κυλικείου Σχολής, Σφαέλλου Ιωάννα Ελένη και Αλευράς Παναγιώτης, Αθήνα, Νοέμβριος 2015.*
20. *Πτυχιακή Εργασία: Εξοικονόμηση Ενέργειας Θέρμανσης-Κλιματισμού με Γεωθερμία σε Κατοικία, Μπινιάρης Γεώργιος, Ηράκλειο 2012.*
21. *Μεταπτυχιακή Εργασία: Συμβολή στον Ενεργειακό Σχεδιασμό Κτιρίου Κατοικίας με Ενσωμάτωση Γεωθερμικών Συστημάτων και τη Χρήση του Λογισμικού EnergyPlus, Σπύρου Λουκία Δανάη, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2015.*
22. *Ανδρεαδάκη-Χρονάκη, Ε., «Βιοκλιματικός Σχεδιασμός – Περιβάλλον και Βιωσιμότητα», University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 2006*

ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ

23. www.cres.gr
24. en.wikipedia.org
25. www.ypeka.gr

26. www.civil.ntua.gr
27. www.energyplus.net
28. <http://www.eneroots.gr>
29. http://library.tee.gr/digital/m2351/m2351_fitikas.pdf
30. <http://www.tmltd.gr/geotherm/geotherm.htm>
31. http://www.tm.teiher.gr/Portals/23/Shmeioseis/anan_piges_enegeias/%CE%93%CE%B5%CF%89%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%AF%CE%B1.pdf
32. <http://www.amkat.gr/geoheatpumpsmain.htm>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 Αξιοποίηση των θετικών κλιματικών στοιχείων από το κέλυφος του κτιρίου [2]-----	20
Εικόνα 2.1 Κύκλος αντλίας θερμότητας για ψύξη [20]-----	32
Εικόνα 2.2 Κύκλος αντλίας θερμότητας για θέρμανση [20]-----	32
Εικόνα 2.3 Αντλία θερμότητας μορφής SPLIT [20]-----	36
Εικόνα 2.4 Αντλίες θερμότητας αέρα / νερού και νερού / νερού [30]-----	37
Εικόνα 2.5 Αντλίες θερμότητας (1) αέρα/αέρα, (2) αέρα/νερού, (3) νερού/νερού [20]-----	38
Εικόνα 2.6 Αντλία θερμότητας με θέρμανση δαπέδου [24]-----	39
Εικόνα 2.7 Αντλίες θερμότητας και γεωθερμία [28]-----	40
Εικόνα 2.8 Αντλία θερμότητας δίπλα σε κεντρική θέρμανση [28]-----	41
Εικόνα 2.9 Σχηματική παράσταση λειτουργίας αντλίας θερμότητας [20]-----	42
Εικόνα 3.2 Αρχή λειτουργίας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας [24]-----	46
Εικόνα 3.3 Αρχή σχεδιασμού [20]-----	48
Εικόνα 3.4 Οριζόντια διάταξη [20]-----	50
Εικόνα 3.5 Κάθετη διάταξη [20]-----	51
Εικόνα 3.6 Διάφορες διατάξεις συστημάτων αντλιών θερμότητας υπόγειας σύζευξης [12]-----	52
Εικόνα 4.1 Γραφικό περιβάλλον λογισμικού Sketch Up-----	57
Εικόνα 4.2 Σχεδίαση νέου χώρου, η εντολή “New Space”-----	58
Εικόνα 4.3 Σχεδίαση νέου χώρου, η εντολή “Rectangle”-----	58
Εικόνα 4.4 Σχεδίαση νέου χώρου, η εντολή “Push/ Pull”-----	59
Εικόνα 4.5 Βορειοανατολική πλευρά κτιρίου-----	59
Εικόνα 4.6 Βόρεια πλευρά του κτιρίου-----	60
Εικόνα 4.7 Νοτιοανατολική πλευρά κτιρίου-----	60
Εικόνα 4.8 Εφαρμογή της εντολής “Render by Boundary Condition” σε συνδυασμό με την εντολή “View Model in X-Ray Mode”-----	62
Εικόνα 4.9 Εφαρμογή της εντολής “Inspector”-----	63
Εικόνα 4.10 Ορισμός θερμικών ζωνών με χρήση της εντολής “Set Attributes for Selected Spaces”-----	64
Εικόνα 4.11 Η εντολή “Render by Thermal Zone”-----	66
Εικόνα 4.12 Θερμικές ζώνες κτιρίου.-----	66
Εικόνα 4.13 Δημιουργία αρχείου δεδομένων εισόδου, η εντολή “Export EnergyPlus Idf”-----	67
Εικόνα 4.14 Το περιβάλλον του EnergyPlus.-----	68
Εικόνα 4.15 Idf Editor-----	68
Εικόνα 4.16 Location-----	69
Εικόνα 4.17 RunPeriod-----	70
Εικόνα 4.18 SizingPeriod: DesignDay-----	71
Εικόνα 4.19 Μέση θερμοκρασία εδάφους για τους μήνες του έτους-----	71
Εικόνα 4.20 Εισαγωγή αδιαφανών υλικών και ιδιοτήτων τους-----	72
Εικόνα 4.21 Material AirGap-----	73

Εικόνα 4.22 WindowMaterial: Glazing	74
Εικόνα 4.23 WindowMaterial: Gas	74
Εικόνα 4.24 Ορισμός κατασκευαστικών δομών των επιφανειών του κτιρίου 12Θ στο Energyplus	80
Εικόνα 4.25 Ορισμός κατασκευαστικών δομών των κουφομάτων του κτιρίου 12Θ στο Energyplus	80
Εικόνα 4.26 Ομαδοποίηση θερμικών ζωνών	81
Εικόνα 4.27 Επιφάνειες με τα χαρακτηριστικά τους	81
Εικόνα 4.28 Ορισμός δομών ανοιγμάτων	82
Εικόνα 4.29 Schedule Type Limits	83
Εικόνα 4.30 Εισαγωγή ημερήσιων χρονοδιαγραμμάτων στο Energyplus	84
Εικόνα 4.31 Schedule: Week: Compact	85
Εικόνα 4.32 Schedule: Year	86
Εικόνα 4.33 Schedule: Compact	86
Εικόνα 4.34 Εισαγωγή δεδομένων για τους χρήστες στην καρτέλα εσωτερικά θερμικά κέρδη	88
Εικόνα 4.35 Εισαγωγή δεδομένων για τον ηλεκτροφωτισμό στην καρτέλα εσωτερικά θερμικά κέρδη	89
Εικόνα 4.36 Διείσδυση αέρα στο κτίριο (Infiltration)	90
Εικόνα 4.37 Εισαγωγή δεδομένων φυσικού αερισμού (Ventilation)	92
Εικόνα 4.38 Ορισμός θερμοστάτη	94
Εικόνα 4.39 Ορισμός ιδανικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης-κλιματισμού	96
Εικόνα 4.40 Ορισμός συντελεστή σχεδιασμού θέρμανσης και ψύξης	97
Εικόνα 5.1 Ζήτηση αποτελεσμάτων προσομοίωσης	98
Εικόνα 5.2 Ζήτηση αποτελεσμάτων μετρητών ενέργειας	98
Εικόνα 5.3 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 1	99
Εικόνα 5.4 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 2	100
Εικόνα 5.5 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 3	100
Εικόνα 5.6 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 4	100
Εικόνα 5.7 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 5	101
Εικόνα 5.8 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 6	101
Εικόνα 5.9 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 7	101
Εικόνα 5.10 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 8	102
Εικόνα 5.11 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 9	102
Εικόνα 5.12 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 10	102
Εικόνα 5.13 Ετήσια εσωτερικά κέρδη	104
Εικόνα 5.14 Παρεχόμενο αισθητό θερμικό και ψυκτικό φορτίο καθώς και παρεχόμενη αισθητή θερμική και ψυκτική ισχύς από το ιδανικό σύστημα στο εσωτερικό του κτιρίου	107
Εικόνα 5.15 Κατανάλωση ενέργειας και ισχύος από το ιδανικό σύστημα για τη θέρμανση και ψύξη του κτιρίου	108
Εικόνα 5.16 Κατανάλωση ενέργειας ιδανικού συστήματος για τη θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου	109
Εικόνα 5.17 Παρεχόμενο αισθητό θερμικό και ψυκτικό φορτίο, κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη κτιρίου	110
	111
Εικόνα 6.1 Ορισμός παραμέτρων προσομοίωσης	111
Εικόνα 6.2 Θερμοκρασία εδάφους σε βάθος 4 m	112

Εικόνα 6.3 Προδιαγραφές σχεδιασμού για τον εξωτερικό αέρα -----	113
Εικόνα 6.4 Προδιαγραφές σχεδιασμού για την διανομή του αέρα στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών-----	113
Εικόνα 6.5 Ορισμός καθολικών συντελεστών σχεδιασμού-----	114
Εικόνα 6.6 Παράμετροι σχεδιασμού θερμικής ζώνης -----	114
Εικόνα 6.7 Παράμετροι σχεδιασμού συστήματος-----	115
Εικόνα 6.8 Παράμετροι σχεδιασμού βρόγχων εγκαταστάσεων -----	116
Εικόνα 6.9 Ορισμός κλάδων συστήματος -----	118
Εικόνα 6.10 Ομαδοποίηση κλάδων συστήματος -----	119
Εικόνα 6.11 Διαιρέτες ροής συστήματος θέρμανσης-ψύξης-κλιματισμού -----	120
Εικόνα 6.12 Μίκτες ροής συστήματος θέρμανσης-ψύξης-κλιματισμού -----	121
Εικόνα 6.13 Ομάδες διαιρετών και μικτών ροής συστήματος θέρμανσης-ψύξης-κλιματισμού-----	122
Εικόνα 6.14 Ομάδες κόμβων συστήματος θέρμανσης-ψύξης-κλιματισμού-----	123
Εικόνα 6.15 Αγωγοί συστήματος θέρμανσης-ψύξης-κλιματισμού -----	124
Εικόνα 6.16 Διαγραμματική απεικόνιση προτεινόμενου συστήματος θέρμανσης- ψύξης- κλιματισμού-----	125
Εικόνα 6.17 Περιγραφή τερματικών μονάδων αναθέρμανσης -----	126
Εικόνα 6.18 Ορισμός μονάδων διανομής αέρα θερμικών ζωνών-----	127
Εικόνα 6.19 Ορισμός εξοπλισμού θερμικών ζωνών -----	128
Εικόνα 6.20 Ορισμός συνδέσεων εξοπλισμού θερμικών ζωνών-----	128
Εικόνα 6.21 Ορισμός ανεμιστήρα -----	129
Εικόνα 6.22 Ορισμός ψυκτικού στοιχείου νερού-----	130
Εικόνα 6.23 Ορισμός θερμαντικών στοιχείων νερού -----	130
Εικόνα 6.24 Αντικείμενο ελέγχου ψυκτικού στοιχείου νερού-----	131
Εικόνα 6.25 Ορισμός ομάδας αντικειμένων ελέγχου βρόχου αέρα-----	132
Εικόνα 6.26 Ορισμός διαθεσιμότητας βάσει χρονοδιαγράμματος-----	133
Εικόνα 6.27 Ορισμός ομάδας αντικειμένων διαθεσιμότητας βρόχου αέρα -----	134
Εικόνα 6.28 Διαιρέτης ροής αέρα -----	135
Εικόνα 6.29 Διαδρομή παροχής βρόχου αέρα -----	136
Εικόνα 6.30 Μίκτης ροής αέρα-----	137
Εικόνα 6.31 Διαδρομή επιστροφής βρόχου αέρα-----	137
Εικόνα 6.32 Παράμετροι περιγραφής βρόχου αέρα συστήματος -----	138
Εικόνα 6.33 Παράμετροι περιγραφής αντλιών βρόχων νερού -----	139
Εικόνα 6.34 Περιγραφή παραμέτρων γεωθερμικής αντλίας θερμότητας νερού-νερού (παροχή θερμότητας) -----	140
Εικόνα 6.35 Περιγραφή παραμέτρων γεωθερμικής αντλίας θερμότητας νερού-νερού (παροχή ψύξης)-	141
Εικόνα 6.36 Περιγραφή εξωτερικής παροχής ζεστού νερού για θέρμανση -----	142
Εικόνα 6.37 Περιγραφή εξωτερικής παροχής κρύου νερού για ψύξη-----	143
Εικόνα 6.38 Ορισμός κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας -----	144
Εικόνα 6.39 Ορισμός παραμέτρων βρόχου νερού θέρμανσης, βρόχου νερού ψύξης και βρόχου συμπίκνωσης-----	146
Εικόνα 7.1 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 1 -----	148
Εικόνα 7.2 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 2-----	148
Εικόνα 7.3 Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 3-----	149

Εικόνα 7.4	Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 4	149
Εικόνα 7.5	Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 5	149
Εικόνα 7.6	Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 6	150
Εικόνα 7.7	Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 7	150
Εικόνα 7.8	Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 8	150
Εικόνα 7.9	Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 9	151
Εικόνα 7.10	Εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία θερμικής ζώνης 10	151
Εικόνα 7.11	Παρεχόμενο αισθητό θερμικό και ψυκτικό φορτίο καθώς και παρεχόμενη αισθητή θερμική και ψυκτική ισχύς στο εσωτερικό του κτιρίου	153
Εικόνα 7.12	Παρεχόμενο αισθητό θερμικό και ψυκτικό φορτίο, κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη κτιρίου	154
Εικόνα 7.13	Θερμικό φορτίο και ισχύς θερμαντικών στοιχείων νερού καθώς και ψυκτικό φορτίο και ισχύς ψυκτικών στοιχείων νερού	155
Εικόνα 7.14	Θερμικό φορτίο και ισχύς θερμαντικών στοιχείων νερού καθώς και ψυκτικό φορτίο και ισχύς ψυκτικών στοιχείων νερού	156
Εικόνα 7.15	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας για θέρμανση και ψύξη	157
Εικόνα 7.16	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας για θέρμανση και ψύξη	158
Εικόνα 7.17	Υπολογισμός εξοικονόμησης ενέργειας	159
Εικόνα 7.18	Σύγκριση ιδανικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης με προτεινόμενο	160

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΛΑΔΩΝ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Όνομα	Τύπος στοιχείου		Όνομα στοιχείου	Κόμβος εισόδου	Κόμβος εξόδου
Air Loop Main Branch	1.	Fan: Constant Volume	Supply Fan 1	Air Loop Inlet Node	Cooling Coil Air Inlet Node
	2.	Coil: Cooling: Water: Detailed Geometry	Detailed Cooling Coil	Cooling Coil Air Inlet Node	Air Loop Outlet Node
Cooling Demand Inlet	Pipe: Adiabatic		Demand Side Inlet Pipe	CW Demand Inlet Node	CW Demand Outlet Entrance Pipe Outlet Node
Cooling Coil Branch	Coil: Cooling: Water: Detailed Geometry		Detailed Cooling Coil	Cooling Coil Water Inlet Node	Cooling Coil Water Outlet Node
Demand Bypass Branch	Pipe: Adiabatic		Demand Side Bypass	CW Demand Bypass Inlet Node	CW Demand Bypass Outlet Node
Cooling Demand Outlet	Pipe: Adiabatic		CW Demand Side Outlet Pipe	CW Demand Exit Pipe Inlet Node	CW Demand Outlet Node
Cooling Supply Outlet	Pipe: Adiabatic		Supply Side Outlet Pipe	Supply Side Exit Pipe Inlet Node	CW Supply Outlet Node
CW Pump Branch	Pump: Constant Speed		Circ Pump	CW Supply Inlet Node	CW Pump Outlet Node
GshpCLG Chiller Branch	Heat Pump: Water to Water: Equation Fit: Cooling		GshpCLG	GshpCLG Load Side Inlet Node	GshpCLG Load Side Outlet Node
Purchased Cooling Branch	District Cooling		Purchased Cooling	Purchased Cooling Inlet Node	Purchased Cooling Outlet Node
Supply Bypass Branch	Pipe: Adiabatic		Supply Side Bypass	CW Supply Bypass Inlet Node	CW Supply Bypass Outlet Node

Heating Supply Inlet	Pump: Constant	HW Circ Pump	HW Supply Inlet	HW Pump Outlet
----------------------	----------------	--------------	-----------------	----------------

Branch	Speed		Node	Node
Heating Gshp Branch	Heat Pump: Water to Water: Equation Fit: Heating	GshpHeating	GshpHeating Load Side Inlet Node	GshpHeating Load Side Outlet Node
Purchased Heating Branch	District Heating	Steam	Purchased Heat Inlet Node	Purchased Heat Outlet Node
Heating Supply Bypass Branch	Pipe: Adiabatic	Heating Supply Side Bypass	Heating Supply Side Bypass Inlet Node	Heating Supply Side Bypass Outlet Node
Heating Supply Outlet Branch	Pipe: Adiabatic	Heating Supply Outlet	Heating Supply Exit Pipe Inlet Node	HW Supply Outlet Node
Reheat Inlet Branch	Pipe: Adiabatic	Reheat Inlet Pipe	HW Demand Inlet Node	HW Demand Entrance Pipe Outlet Node
Reheat Outlet Branch	Pipe: Adiabatic	Reheat Outlet Pipe	HW Demand Exit Pipe Inlet Node	HW Demand Outlet Node
Zone 1 Reheat Branch	Coil: Heating: Water	Reheat Coil Zone 1	Zone 1 Reheat Water Inlet Node	Zone 1 Reheat Water Outlet Node
Zone 2 Reheat Branch	Coil: Heating: Water	Reheat Coil Zone 2	Zone 2 Reheat Water Inlet Node	Zone 2 Reheat Water Outlet Node
Zone 3 Reheat Branch	Coil: Heating: Water	Reheat Coil Zone 3	Zone 3 Reheat Water Inlet Node	Zone 3 Reheat Water Outlet Node
Zone 4 Reheat Branch	Coil: Heating: Water	Reheat Coil Zone 4	Zone 4 Reheat Water Inlet Node	Zone 4 Reheat Water Outlet Node
Zone 5 Reheat Branch	Coil: Heating: Water	Reheat Coil Zone 5	Zone 5 Reheat Water Inlet Node	Zone 5 Reheat Water Outlet Node
Zone 6 Reheat Branch	Coil: Heating: Water	Reheat Coil Zone 6	Zone 6 Reheat Water Inlet Node	Zone 6 Reheat Water Outlet Node
Zone 7 Reheat Branch	Coil: Heating: Water	Reheat Coil Zone 7	Zone 7 Reheat Water Inlet Node	Zone 7 Reheat Water Outlet Node
Zone 8 Reheat Branch	Coil: Heating: Water	Reheat Coil Zone 8	Zone 8 Reheat Water Inlet Node	Zone 8 Reheat Water Outlet Node
Zone 9 Reheat	Coil: Heating: Water	Reheat Coil Zone 9	Zone 9 Reheat	Zone 9 Reheat

Branch			Water Inlet Node	Water Outlet Node
Zone 10 Reheat Branch	Coil: Heating: Water	Reheat Coil Zone 10	Zone 10 Reheat Water Inlet Node	Zone 10 Reheat Water Outlet Node
Reheat Bypass Branch	Pipe: Adiabatic	Reheat Bypass	Reheat Bypass Inlet Node	Reheat Bypass Outlet Node
Condenser Supply Inlet Branch	Pump: Constant Speed	Cond Circ Pump	Condenser Supply Inlet Node	Condenser Pump Outlet Node
Condenser Supply GHE Branch	Ground Heat Exchanger: Vertical	Vertical Ground Heat Exchanger	GHE Inlet Node	GHE Outlet Node
Condenser Supply Bypass Branch	Pipe: Adiabatic	Condenser Supply Side Bypass	Cond Supply Bypass Inlet Node	Cond Supply Bypass Outlet Node
Condenser Supply Outlet Branch	Pipe: Adiabatic	Condenser Supply Outlet	Condenser Supply Exit Pipe Inlet Node	Condenser Supply Outlet Node
Condenser Demand Inlet Branch	Pipe: Adiabatic	Condenser Demand Inlet Pipe	Condenser Demand Inlet Node	Condenser Demand Entrance Pipe Outlet Node
GshpCLG Condenser Branch	Heat Pump: Water to Water: Equation Fit: Cooling	GshpCLG	GshpCLG Source Side Inlet Node	GshpCLG Source Side Outlet Node
Gshp Heating Condenser Branch	Heat Pump: Water to Water: Equation Fit: Heating	GshpHeating	GshpHeating Source Side Inlet Node	GshpHeating Source Side Outlet Node
Condenser Demand Bypass Branch	Pipe: Adiabatic	Condenser Demand Side Bypass	Cond Demand Bypass Inlet Node	Cond Demand Bypass Outlet Node
Condenser Demand Outlet Branch	Pipe: Adiabatic	Condenser Demand Outlet Pipe	Condenser Demand Exit Pipe Inlet Node	Condenser Demand Outlet Node

