ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Ενεργειακή προσομοίωση και μελέτη βελτίωσης κολυμβητηρίου εσωτερικού χώρου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Ι. Νταής

Επιβλέπων: Σταυρακάκης Γεώργιος

Καθηγητής τμήματος Η.Μ.Μ.Υ. Πολυτεχνείου Κρήτης

Συν-Επιβλέπων: Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος

Καθηγητής τμήματος Η.Μ.Μ.Υ. Πολυτεχνείου Κρήτης

Συν-Επιβλέπουσα: Σεργάκη Ελευθερία

Διδάκτωρ τμήματος Η.Μ.Μ.Υ. Πολυτεχνείου Κρήτης

Χανιά, Ιούλιος 2019

Copyright © Νταής Ι. Γεώργιος 2019
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 το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν, καθένας με τον τρόπο του, στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ τον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Γεώργιο Σταυρακάκη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Ακόμη, οφείλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Καλαϊτζάκη για την πρόθυμη συμμετοχή του και τις πολύ σημαντικές παρατηρήσεις του.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω βαθύτατα την Συν-Επιβλέπουσα Διδάκτωρ Ελευθερία Σεργάκη, υπό την επίβλεψη της οποίας πραγματοποιήθηκε η παρούσα διπλωματική εργασία. Είχε καθόλη τη διάρκεια συντονιστικό ρόλο, καθώς βρισκόταν σε διαρκή επικοινωνία μαζί μου, παρέχοντας μου υλικό για μελέτη και δίνοντας πολύτιμες συμβουλές για την επίλυση όποιου προβλήματος παρουσιάστηκε. Η συνεργασία μας ήταν άριστη.

Καταλήγοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη της οικογένειας μου για την αμέριστη συμπαράσταση που μου έχουν προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια, όπως επίσης τους φίλους και την κοπέλα μου, που στηρίζουν τις προσπάθειες μου και με εμπνέουν συνεχώς.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η έννοια της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου σχετίζεται άμεσα με τη μεταβολή της θερμικής του ισορροπίας και το βαθμό αναγκαιότητας για επιπλέον θέρμανση ή ψύξη με σκοπό τη διατήρηση συνθηκών άνεσης. Τα χαρακτηριστικά ενός κτιρίου επηρεάζουν την ενεργειακή του απόδοση με διαφορετικό τρόπο κατά την πάροδο του χρόνου. Για το λόγο αυτό, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη για ανάπτυξη τεχνικών πρόβλεψης της απόδοσης των κτιρίων και εύρεσης του πιο αποδοτικού μέσου για μείωση της ενεργειακής τους κατανάλωσης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη διατύπωση ακριβούς μεθοδολογίας για τη «γρήγορη» ανάπτυξη και ανάλυση της αλληλεπίδρασης των θερμικών φορτίων ενός κτιρίου. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η μεγάλη οικονομική δαπάνη που απαιτείται από τις εκτενείς ενεργειακές μελέτες, που συχνά είναι αδύνατο να πραγματοποιηθούν. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία εστιάζει στην ανάλυση του ενεργειακού ισοζυγίου του εκάστοτε κτιρίου και την μεταβολή των συνιστωσών που το καθορίζουν (όταν κρίνεται απαραίτητο) για την επίτευξη θερμικής άνεσης.

Για την ανάπτυξη της, το μοντέλο βασίστηκε στο Ολυμπιακών διαστάσεων κλειστό κολυμβητήριο των Χανίων, τηρώντας τις διαστάσεις του, όπως αυτές είχαν αποτυπωθεί σε σχέδια AutoCAD. Ο σχεδιασμός του πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Google SketchUp και μέσω του Openstudio plug-in, αφού πρώτα, έγιναν ορισμένες παραδοχές για όσα στοιχεία του κολυμβητηρίου δεν ήταν γνωστά. Στη συνέχεια, με τη χρήση του προγράμματος EnergyPlus έγινε δήλωση όλων των απαραίτητων παραμέτρων για την ενεργειακή προσομοίωση του μοντέλου, ενώ δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στον τρόπο ορισμού του συστήματος μεταβλητού όγκου αέρα που χρησιμοποιήθηκε για τον κλιματισμό των εσωτερικών χώρων. Μετά την αναλυτική αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης και συμπεριφοράς του κολυμβητηρίου, παρουσιάστηκαν οι προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης, που έχουν ως σκοπό τόσο την εξοικονόμηση ενέργειας και των λειτουργικών εξόδων όσο και τη μείωση εκπομπής ρύπων στην ατμόσφαιρα. Πιο συγκεκριμένα, προτάθηκε η εφαρμογή συστήματος έξυπνου φυσικού δροσισμού, η χρήση υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής Low-E και η τοποθέτηση σκίαστρων στη νότια πλευρά του κολυμβητηρίου. Μετά την κατά σειρά αναφοράς προσομοίωση της κάθε επέμβασης μέσω των ίδιων προγραμμάτων, προέκυψε μείωση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης κατά 1,39%, 2,15% και 1,44%, με τα ετήσια οικονομικά οφέλη να ανέρχονται στα 1070,87 €, 1655,59 € και 1159,400 €. Τέλος, υπολογίστηκε ο χρόνος απόσβεσης του κόστους εφαρμογής τους στα 9, 17 και 7 έτη αντίστοιχα.

Λέξεις Κλειδιά

Ενεργειακή Προσομοίωση Κτιρίων, Ανάλυση Θερμικών Φορτίων, Κολυμβητική Δεξαμενή Εσωτερικού Χώρου, Google SketchUp, Openstudio plug-in, EnergyPlus, Variable Air Volume Systems (VAV), Υαλοπίνακες Χαμηλής Εκπομπής

ABSTRACT

A building's overall energy performance is related to the variation of its energy balance and the extent to which additional heating or cooling energy is needed to maintain comfort. The characteristics of a building impact the energy performance in ways that vary over time. For this reason, there is a need for development of techniques that estimate buildings' performance and reduce their overall energy consumption.

This diploma thesis deals with the formulation of a strength methodology for quick development and analysis of the interaction between building loads. In this way, exorbitant amounts of financial costs that may arise from extensive energy analysis, which frequently become unaffordable, can be eliminated. The proposed methodology allows to understand building's energy performance as a variation of its energy balance needed to maintain comfort.

For its development, the case study used is the Olympic size swimming pool in Chania (located in university campus), maintaining its dimensions, as mentioned in the AutoCAD architectural drawings. The building envelope was designed using the Google SketchUp program and the Openstudio plug-in software, after taking some necessary admissions of its unknown operating parameters. Furthermore, the simulation parameters for the conduction of the thermal analysis were implanted using the EnergyPlus software, while special care was given to the exact definition of the Variable Air Volume System (VAV) used for the air conditioning of the internal spaces. After the analytical evaluation of the energy performance and the behavior of the natatorium in the requirements, proposals for energy upgrading were presented, aiming both at saving energy and operating costs and also in reducing the emission of pollutants in the atmosphere. In specific, proposals referred to the installation of an Efficient Natural Ventilation System, the use of Low-Emissivity Glasses and the construction of South Oriented Shadings. After being simulated through the same software, the results showed energy savings per 1.39%, 2.15% and 1.44%, while the operating costs' savings were 1070.87 €, 1655,59 € and 1159,400 €, in correspondence to the order that the proposals were previously mentioned. In conclusion, the time period during which, amortization of the initial capital spent for every proposal will be achieved, was calculated and resulted in 9, 17 and 7 years.

Key Words

Residential Energy Analysis, Building Envelope Load Analysis, Indoor Swimming Pool, Google SketchUp, Openstudio plug-in, EnergyPlus, Variable Air Volume Systems (VAV), Low Emissivity Glasses

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ v
ABSTRACT vii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ix
ΕΙΣΑΓΩΓΗ 1
1. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ 5
1.1 Εισαγωγή 5
1.2 Είδη μορφών ενέργειας 7
1.2.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) 8
1.3 Ενέργεια κτιρίων 9
1.3.1 Ενεργειακό Ισοζύγιο κτιρίων 10
1.3.2 Εξοικονόμηση ενέργειας κτιρίων 11
1.4 Βιοκλιματικός σχεδιασμός 13
1.4.1 Ανάγκη εφαρμογής βιοκλιματικού σχεδιασμού 14
1.4.2 Βασικές αρχές-στόχοι βιοκλιματικού σχεδιασμού 15
1.4.3 Παθητικά συστήματα βιοκλιματικού σχεδιασμού 16
2. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΕΣΗΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ 27
2.1 Εισαγωγή 27
2.2 Θερμική άνεση 27
2.2.1 Θερμοκρασία του αέρα 28
2.2.2 Υγρασία 29
2.2.3 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας 30
2.2.4 Ταχύτητα αέρα 30
2.2.5 Μεταβολισμός 31
2.2.6 Ρουχισμός 32
2.3 Οπτική άνεση 32
2.4 Ακουστική άνεση 34
2.5 Ποιότητα αέρα 34

2.5.1 Αναγκαιότητα αερισμού για την ανθρώπινη υγεία.....35
3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΕΡΑ (VARIABLE AIR VOLUME).....37
3.1 Εισαγωγή στα συστήματα HVAC.....37
3.1.1 Συνοπτική παρουσίαση συστημάτων HVAC.....38
3.2 Παρουσίαση των VAV συστημάτων.....44
3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης VAV συστημάτων.....46
3.4 Είδη VAV συστημάτων.....48
3.4.1 Single duct VAV.....48
3.4.2 Dual duct VAV.....49
3.4.3 Reheat VAV.....49
3.4.4 Fan powered VAV.....50
3.5 Επιλογή κατάλληλου συστήματος VAV.....53
4. ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΚΟΛΥΜΒΗΤΙΚΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ.....55
4.1 Εισαγωγή.....55
4.2 Διεθνείς προδιαγραφές και τεχνικά χαρακτηριστικά αγωνιστικών κολυμβητικών δεξαμενών.....55
4.3 Ελληνικά κολυμβητήρια.....57
4.3.1 Ποιότητα νερού.....59
4.3.2 Ανακυκλοφορία και καθαρισμός νερού.....60
4.3.3 Απολύμανση νερού.....60
4.4 Τεχνικές που χρησιμοποιούνται σήμερα.....61
4.4.1 Λέβητες.....61
4.4.2 Καυστήρες.....62
4.4.3 Εναλλάκτες θερμότητας.....62
4.4.4 Αντλίες θερμότητας.....64
4.5 Ενέργεια στα κολυμβητήρια.....65
4.5.1 Απαιτήσεις ενέργειας στα ανοικτά και κλειστά κολυμβητήρια...66
4.6 Κύριες αιτίες απώλειας ενέργειας στα κολυμβητήρια.....67
4.6.1 Εξάτμιση νερού πισίνας.....67
4.6.2 Αγωγή.....69
4.6.3 Ανανέωση νερού.....69
4.6.4 Ηλιακή ακτινοβολία.....70
4.7 Θερμικά κέρδη.....70

4.7.1 Ηλιακή ακτινοβολία 71
4.7.2 Σύστημα θέρμανσης 71
4.8 Αερισμός κολυμβητηρίων 72
4.8.1 Φυσικός αερισμός 72
4.8.2 Τεχνητός αερισμός 73
4.8.3 Εναλλαγές αέρα 74
5. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΡΙΟΥ ΧΑΝΙΩΝ . 77
5.1 Εισαγωγή 77
5.2 Παρουσίαση του κολυμβητηρίου και της θέσης του 77
5.2.1 Περιγραφή των χώρων του κολυμβητηρίου 80
5.3 Περιγραφή του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε στην προσομοίωση 81
5.3.1 Google SketchUp και Openstudio Plug-in 82
5.3.2 EnergyPlus 83
5.4 Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου 85
5.4.1 Χωρισμός του κολυμβητηρίου σε θερμικές ζώνες 85
5.4.2 Σχεδίαση του κολυμβητηρίου μέσω του προγράμματος Google Sketchup 88
5.4.3 Ρυθμίσεις στο υπό μελέτη μοντέλο 102
5.5 Καθορισμός παραμέτρων μοντέλου 106
5.5.1 Κατηγορία Simulation Parameters 108
5.5.2 Κατηγορία Location and Climate 109
5.5.3 Κατηγορία Schedules 112
5.5.4 Κατηγορία Surface Construction Elements 121
5.5.5 Κατηγορία Thermal Zones and Surfaces 126
5.5.6 Κατηγορία Internal Gains 131
5.5.7 Κατηγορία Zone Air Flow 140
5.5.8 Κατηγορία HVAC Templates 141
5.5.9 Ρυθμίσεις στο υπό μελέτη μοντέλο προσομοίωσης 177
5.5.10 Ζήτηση αποτελεσμάτων 182
5.6 Εκτέλεση του προγράμματος 184
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΡΙΟΥ 187
6.1 Εισαγωγή 187
6.2 Γενικά αποτελέσματα 187

6.3 Εσωτερικά θερμικά κέρδη 188
6.4 Καταναλώσεις ενέργειας 193
6.5 Θερμικά κέρδη και απώλειες λόγω παραθύρων 198
6.6 Θερμικά κέρδη και απώλειες λόγω της διήθησης του αέρα και της εξάτμισης του νερού των κολυμβητικών δεξαμενών 201
6.7 Θερμική άνεση 205
6.8 Μέσες τιμές της ημερήσιας θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας για τη ζώνη της κάθε πισίνας 205
6.9 Σκίαση του κτιρίου 215
7. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΥ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΡΙΟΥ 219
7.1 Εισαγωγή 219
7.2 Εφαρμογή συστήματος έξυπνου φυσικού δροσισμού 219
7.2.1 Εισαγωγή παραμέτρων προσομοίωσης 219
7.2.2 Αποτελέσματα εφαρμογής συστήματος έξυπνου φυσικού δροσισμού και υπολογισμός κόστους επένδυσης 221
7.3 Προσθήκη υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής (Low emissivity) 228
7.3.1 Εισαγωγή παραμέτρων προσομοίωσης 228
7.3.2 Αποτελέσματα εφαρμογής υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής (Low emissivity) και υπολογισμός κόστους επένδυσης 231
7.4 Τοποθέτηση σκίαστρων στο νότιο τμήμα του κολυμβητηρίου 235
7.4.1 Εισαγωγή παραμέτρων προσομοίωσης 235
7.4.2 Αποτελέσματα τοποθέτησης σκίαστρων στο νότιο τμήμα του κολυμβητηρίου και υπολογισμός κόστους επένδυσης 238
7.5 Ταυτόχρονη εφαρμογή όλων των προτεινόμενων επεμβάσεων 244
7.6 Συμπεράσματα και σχολιασμός των αποτελεσμάτων 249
7.7 Μελλοντικές προοπτικές 251
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ 253
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ 255
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α 259
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β 267

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξέταση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και η μελέτη της ενεργειακής αποδοτικότητάς τους αποτελούν αντικείμενα έρευνας, τα οποία τις τελευταίες δεκαετίες παρουσιάζουν αξιοσημείωτη ζήτηση. Στο γεγονός αυτό, συνέβαλε η ενεργειακή κρίση που άρχισε το 1973 και σύμφωνα με τις προβλέψεις θα συνεχιστεί με αυξανόμενο ρυθμό.

Τα περισσότερα κτίρια στις μέρες είναι κατασκευασμένα σε παλαιότερες εποχές ύπαρξης φτηνής ενέργειας και έτσι σήμερα παρουσιάζονται τρεις φορές περισσότερο ενεργοβόρα από ότι θα έπρεπε να είναι αν προϋπήρχε σωστός σχεδιασμός. Αποτέλεσμα της απερίσκεπτης χρήσης ενέργειας ήταν η μείωση των αποθεμάτων συμβατικών μορφών αυτής (πετρέλαιο, λιγνίτης κ.α.), ενώ παράλληλα η ραγδαία αύξηση της οικοδόμησης και της τεχνολογίας απαιτούσαν την κατανάλωση ακόμη περισσότερης ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών των νέων οικοδομημάτων. Έτσι ξεκίνησε η συστηματική ερευνητική δραστηριότητα σε πολλά κράτη, με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας στην κατασκευή και μετέπειτα λειτουργία των κτιρίων. Γεννήθηκε η έννοια της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, που αφορά την εναρμόνιση του εκάστοτε κτιρίου με το φυσικό του περιβάλλον και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας βρέθηκαν στην κορυφή της λίστας εναλλακτικών επιλογών λόγω των πολλαπλών οφελών τους.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσίαζαν ανέκαθεν εκτός από τα δημόσια και ιδιωτικά κτίρια, οι εγκαταστάσεις με υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις, όπως οι αθλητικοί χώροι, τα κέντρα αναψυχής και τα εκπαιδευτικά ιδρύματα. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται και τα κολυμβητήρια, των οποίων η ενεργειακή μελέτη, διαχείριση και ομαλή λειτουργία αποτελούν ένα μεγάλο στοίχημα ακόμα και σήμερα.

Συγκεκριμένα για το κλειστό κολυμβητήριο στα Κουνουπιδιανά Χανίων, κρίνεται απαραίτητη η ανάλυση της ενεργειακής του συμπεριφοράς μιας και παρά τη μεγάλη δαπάνη που έγινε για την κατασκευή του, δεν τέθηκε ποτέ σε λειτουργία. Το Πολυτεχνείο Κρήτης τα τελευταία χρόνια έχει διεξάγει πολυάριθμες και εκτενείς οικονομικές-ενεργειακές μελέτες σε μία ύστατη προσπάθεια ανέγερσης της εγκατάστασης.

Η πολυπλοκότητα που παρουσιάζουν οι αθλητικές εγκαταστάσεις (ιδιαίτερα τα κολυμβητήρια) στον τρόπο λειτουργίας τους σε συνδυασμό με την συνολική προσπάθεια εκμετάλλευσης του συγκεκριμένου έργου από το Πολυτεχνείο Κρήτης, ήταν μάλιστα οι βασικοί παράγοντες στην επιλογή του συγκεκριμένου κολυμβητηρίου ως case study στη διεξαγωγή της συγκεκριμένης μελέτης.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάπτυξη μίας πολύ συγκεκριμένης μεθοδολογίας για την ακριβή αλλά και «γρήγορη» μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου χωρίς να απαιτείται η μεγάλη οικονομική

δαπάνη που είναι αναπόφευκτη στις εκτενείς ενεργειακές αναλύσεις. Οι πρακτικές που αναπτύσσονται αφορούν την επίτευξη θερμοκρασιακής άνεσης στους εσωτερικούς χώρους και την ταυτόχρονη μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων.

Το πρώτο κεφάλαιο της εργασίας περιλαμβάνει το θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με την έννοια της ενέργειας, τις μορφές στις οποίες τη συναντάμε και τη σχέση της με τα κτίρια. Επίσης, παρουσιάζονται οι βασικές αρχές και τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια, ενώ γίνεται εκτενής αναφορά στις πιο διαδεδομένες μεθόδους βιοκλιματικού σχεδιασμού και χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναφέρονται όλοι οι παράγοντες που σχετίζονται με τη διασφάλιση συνθηκών άνεσης στο εσωτερικό των κτιρίων. Περαιτέρω ανάλυση γίνεται κυρίως στη θερμική άνεση και στη σπουδαιότητα του αερισμού σε χώρους συνάθροισης, ενώ τονίζονται οι εναλλαγές αέρα που βάση κανόνων πρέπει να τηρούνται σε κάθε είδος κτιρίου, εστιάζοντας στον αερισμό των αθλητικών εγκαταστάσεων.

Το τρίτο κατά σειρά κεφάλαιο, αποτελεί την εισαγωγή στον τρόπο λειτουργίας των HVAC συστημάτων και ειδικότερα των συστημάτων μεταβλητού όγκου αέρα που θα χρησιμοποιηθούν μετέπειτα. Αρχικά, γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των πιο διαδεδομένων συστημάτων θέρμανσης-ψύξης και αερισμού, αναλύοντας τόσο τις κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται όσο και τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα καθεμιάς. Τέλος, μεγάλο μέρος του κεφαλαίου σχετίζεται με την επεξήγηση του τρόπου λειτουργίας των VAV συστημάτων, των διαφορετικών ειδών που υπάρχουν στην αγορά και των κριτηρίων επιλογής του κατάλληλου ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται.

Το τέταρτο κεφάλαιο πραγματεύεται τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες που έχουν τα κολυμβητήρια σήμερα, ενώ παράλληλα αναφέρονται οι προδιαγραφές που υπάρχουν για την κατασκευή των αγωνιστικών δεξαμενών αλλά και για τη σωστή συντήρηση τους. Επίσης, αναλύονται οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σήμερα για την εξασφάλιση καλής ποιότητας, απολύμανσης και ανακυκλοφορίας του νερού των κολυμβητικών δεξαμενών. Το δεύτερο μέρος του κεφαλαίου αφορά τις ενεργειακές απαιτήσεις, τις κύριες αιτίες απώλειας ενέργειας και τις πηγές θερμικών κερδών των κολυμβητηρίων. Τέλος, αναλύονται τα είδη αερισμού και οι απαραίτητες εναλλαγές αέρα ανάλογα με τον προσανατολισμό και τη δραστηριότητα που παρατηρείται στον εκάστοτε χώρο του κολυμβητηρίου.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, γίνεται αρχικά μία μικρή παρουσίαση του κλειστού κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά που αποτέλεσε το case study για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης μεθοδολογίας. Ακολουθεί ο χωρισμός του κτιρίου σε ζώνες και η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου μέσω του SketchUp και του Openstudio plug-in. Για την ενεργειακή προσομοίωση του υπό μελέτη μοντέλου, δηλώθηκαν οι απαραίτητοι παράμετροι στο λογισμικό EnergyPlus. Ο τρόπος ορισμού του

συστήματος θέρμανσης και κλιματισμού με τη χρήση κιβωτίων μεταβλητού όγκου αέρα περιγράφεται άκρως αναλυτικά, έτσι ώστε να μπορεί κάθε επίδοξος σχεδιαστής να δημιουργήσει το αντίστοιχο σύστημα που αφορά το δικό του υπό μελέτη μοντέλο. Τέλος, γίνεται αναφορά στον ακριβή τρόπο ένταξης των κολυμβητικών δεξαμενών στο υπόλοιπο δίκτυο θέρμανσης του κολυμβητηρίου.

Εφαρμόζοντας όσα έχουν αναλυθεί παραπάνω, το επόμενο κεφάλαιο πραγματεύεται την ενεργειακή ανάλυση των δεδομένων που προέκυψαν από την προσομοίωση του κλειστού κολυμβητηρίου. Τα αποτελέσματα που εξάγονται αφορούν τα εσωτερικά θερμικά κέρδη του κτιρίου από τους χρήστες, τον τεχνητό φωτισμό και τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό. Επίσης, αναφέρονται τα θερμικά κέρδη και οι απώλειες λόγω των παραθύρων, της διήθησης του αέρα, του φυσικού αερισμού και της εξάτμισης του νερού των δύο πισινών. Στη συνέχεια, εξάγονται αποτελέσματα σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας για τον τεχνητό φωτισμό, τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό και το σύστημα θέρμανσης-ψύξης του κτιρίου και των δύο πισινών. Ακόμη, ως αποτελέσματα δίνονται και η μέση θερμοκρασία και σχετική υγρασία των χώρων του κτιρίου.

Κλείνοντας, στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τρεις διαφορετικές προτάσεις για την ενεργειακή αναβάθμιση του κολυμβητηρίου, οι οποίες εφαρμόζονται και προσομοιώνονται ξεχωριστά αλλά και ταυτόχρονα μέσω του EnergyPlus. Στη συνέχεια, αξιολογούνται τα αποτελέσματα που προέκυψαν και διεξάγονται τα αντίστοιχα συμπεράσματα, ενώ αναφέρονται και μελλοντικές προοπτικές.

1. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

1.1 Εισαγωγή

Η ενέργεια αποτελεί μία έννοια υψηλού βαθμού αφαίρεσης, γεγονός που την κάνει δύσκολα κατανοητή. Η λέξη ενέργεια είναι αποτέλεσμα σύνθεσης δύο λέξεων, «εν» και «έργο», που γενικά σημαίνει το έργο μέσα σε ένα σώμα. Για το χώρο της επιστήμης βέβαια ορίζεται ως το ποσό του έργου που απαιτείται, ώστε ένα σύστημα να μεταβεί από μία αρχική κατάσταση σε μία τελική. [1]

Ο άνθρωπος συνδέθηκε με την έννοια της ενέργειας από την πρώτη στιγμή της ύπαρξης του στη Γη. Σύμφωνα με επιστημονικές θεωρίες άλλωστε, η ενέργεια αποτέλεσε το εναρκτήριο λάκτισμα για την δημιουργία του πλανήτη μας. Εδώ και χιλιάδες χρόνια, αγωνιζόμαστε διαρκώς για να ελέγξουμε και να χρησιμοποιήσουμε την ενέργεια, προκειμένου να κάνουμε τη ζωή μας πιο εύκολη.

Αρχικά, ο πρωτόγονος άνθρωπος όπως και άλλοι ζωντανοί οργανισμοί, μέσω της τροφής συσσώρευε στις κατάλληλες αποθήκες του σώματος του ενέργεια, την οποία χρησιμοποιούσε για να ικανοποιήσει τις ανάγκες του, όπως να κινηθεί και να κυνηγήσει. Στη συνέχεια, κατάφερε να ανάψει φωτιά αξιοποιώντας την ενέργεια για να ζεσταθεί, για να φωτίσει τους χώρους που ζούσε και για να ψήσει την τροφή του.

Παρατηρώντας καλύτερα την φύση, διαπίστωσε πως η ενέργεια υπήρχε σε αφθονία και η εκμετάλλευση της ήταν απαραίτητη μιας και η ζωή του ανθρώπου ήταν και είναι πλήρως ταυτισμένη με αυτήν. Για να την αξιοποιήσει κατασκεύασε διάφορες συσκευές και μηχανές, άλλες απλές και άλλες πιο σύνθετες όπως ανεμόμυλους, νερόμυλους και κάτοπτρα. Η ενέργεια αποτέλεσε για τον ίδιο το όχημα που μαζί με την ανάπτυξη των ιδιαίτερων ψυχοπνευματικών του ικανοτήτων, του έδωσαν την δυνατότητα να ακολουθήσει τη μεγαλειώδη εξελικτική του πορεία.

Η πραγματική επανάσταση όμως στην αξιοποίηση των διαφόρων μορφών ενέργειας ξεκίνησε, μόλις πριν από δύο αιώνες, με την εξέλιξη της τεχνολογίας. Ο άνθρωπος κατασκεύασε σύνθετες συσκευές, που καθημερινά την μετατρέπουν από μία μορφή σε μία άλλη, διευκολύνοντας ακόμη περισσότερο τη ζωή του. Παράλληλα με την εξέλιξη του ανθρώπου και της τεχνολογίας αυξήθηκε και η ανάγκη να καταναλώνεται όλο και περισσότερη ενέργεια. Μέχρι το 1850 η κύρια πηγή ενέργειας ήταν το ξύλο. Τα επόμενα χρόνια και μέχρι το 1910, το ξύλο αντικαταστάθηκε από τον άνθρακα. Στο διάστημα 1910-1960, ο άνθρακας έδωσε τη θέση του στο πετρέλαιο και στο φυσικό αέριο, πηγές ενέργειας με μικρότερο κόστος και πιο εύχρηστες.

Τις τελευταίες δεκαετίες όμως, η άμετρη χρήση των ανωτέρω έφερε σωρεία από κινδύνους προ των πυλών. Ο άνθρωπος με σκοπό να επιφέρει την ευημερία και τη συνεχή αύξηση του βιοτικού του επιπέδου τείνει να μετατρέπει διαρκώς την

ενέργεια σε μορφές που δεν μπορεί αργότερα να αξιοποιήσει. Με άλλα λόγια την υποβαθμίζει και καταναλώνει τους φυσικούς και ορυκτούς πόρους χωρίς όρια και περιορισμούς.

Κατά την δεκαετία του 1970, αποφασίστηκε για πρώτη φόρα να ληφθούν κάποια σημαντικά μέτρα για την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων, έχοντας γίνει αντιληπτό πως κτίριο και ενέργεια ήταν πλέον δύο έννοιες πολύ στενά συνδεδεμένες μεταξύ τους. Το θερμικό ισοζύγιο ενός κτιρίου θεωρήθηκε ως το ενεργειακό του ισοζύγιο, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται λιγότερη ενέργεια για την θέρμανση των εσωτερικών του χώρων. Ο αρχικός στόχος επετεύχθη, αλλά παρουσιάστηκαν νέα προβλήματα που αφορούσαν τον ανεπαρκή εσωτερικό φωτισμό, την χαμηλή ποιότητα εσωτερικού αέρα καθώς και τα υψηλά επίπεδα υγρασίας.

Για το λόγο αυτό, την δεκαετία του 1980 εμφανίστηκαν τα πρώτα κτίρια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και η έννοια του βιοκλιματικού σχεδιασμού αυτών, που θα αναλυθεί εκτενέστερα στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου. Ήταν η πρώτη προσπάθεια του ανθρώπου να αξιοποιήσει το φυσικό περιβάλλον του εκάστοτε κτιρίου χωρίς να το απομονώνει από αυτό.

Κατ' αυτό τον τρόπο, οδηγηθήκαμε στην δεκαετία του 1990 όπου ο άνθρωπος προσπάθησε να αναλύσει την συμπεριφορά των κτιρίων που κατασκεύαζε καθ'όλη τη διάρκεια της ζωής τους. Παράλληλα η θέσπιση ολοένα και αυστηρότερων μέτρων όσον αφορά στην ενεργειακή κατανάλωση και στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα των κτιρίων είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της ενέργειας που χρειάζονται τα σύγχρονα κτίρια για να λειτουργήσουν έως και 80% σε σχέση με εκείνα που χτίστηκαν σε παλαιότερες δεκαετίες.

Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως στην Ευρωπαϊκή Ένωση σήμερα το 50% των ενεργειακών αναγκών καλύπτεται από εισαγόμενη ενέργεια, ενώ αν δεν είχαν παρθεί τα αναγκαία μέτρα το ποσοστό αυτό θα έφτανε το 70% μέχρι το 2022. Η αρχή για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής έγινε με το πρωτόκολλο του Κιότο. Πρώτουπογραφτηκε από 191 χώρες το 1997, ενώ το Μάιο του 2002 η Ευρωπαϊκή Ένωση των 15, επικύρωσε τη συμφωνία που προνοούσε την μείωση των αέριων ρύπων του θερμοκηπίου για την περίοδο 2008-2012 κατά 8% με βάση τα δεδομένα του 1990. [2] Το πιο σημαντικό βήμα όμως έγινε τον Ιανουάριο του 2007, όπου η επιτροπή υιοθέτησε την πολιτική 20-20-20. Η πολιτική αυτή αφορούσε τη λήψη αναγκαίων μέτρων για:

- τη μείωση κατά 20% των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990.
- τη διείσδυση στο 20% των ανανεώσιμών πηγών ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας.
- τη μείωση κατά 20% της κατανάλωσης ενέργειας πρωτογενούς τομέα. Ειδικά για την Ελλάδα, ο στόχος για τις εκπομπές αέριων ρύπων του θερμοκηπίου είναι μείωση κατά 4% στους τομείς εκτός εμπορίας σε

σχέση με τα επίπεδα του 2005 και 18% διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση. [3]

Συνεπώς, η προοπτική για ένα βιώσιμο μέλλον εξαρτάται από το πόσο πιστές θα είναι οι κοινωνίες στη στροφή που προσπαθούν να κάνουν από τα ορυκτά καύσιμα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1.2 Είδη μορφών ενέργειας

Σύμφωνα με τους νόμους θερμοδυναμικής και πιο συγκεκριμένα του 1ου θερμοδυναμικού αξιώματος, η ενέργεια βρίσκεται παντού με διαφορετικές μορφές και έχει το πλεονέκτημα να αποθηκεύεται και να μετατρέπεται από την μία μορφή στην άλλη, χωρίς όμως να χάνεται. Με τον όρο μορφές ενέργειας χαρακτηρίζουμε την ενέργεια ανάλογα με την προέλευση της και τον τρόπο με τον οποίο τη χρησιμοποιούμε. Οι μορφές ενέργειας που συναντάμε στην φύση είναι οι εξής:

- Κινητική
- Δυναμική
- Πυρηνική
- Ηλιακή
- Ηλεκτρική
- Θερμική
- Χημική

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διάκριση τους με βάση την προέλευση τους. Οι «αποθήκες» ή αλλιώς πηγές ενέργειας διακρίνονται σύμφωνα με τις διαδικασίες που απαιτούνται ώστε η ενέργεια που έχουν αποθηκεύσει να είναι έτοιμη για χρήση. [4] Έτσι οι πηγές ενέργειας χωρίζονται ως εξής:

- **Πρωτογενείς**, στις οποίες η αποθηκευμένη ενέργεια αποκτιέται κατευθείαν από τη φύση, όπως η ηλιακή ακτινοβολία και το φυσικό αέριο.
- **Δευτερογενείς**, στις οποίες η ενέργεια που θα αποκτηθεί έχει περάσει ορισμένες επεξεργασίες, πριν την χρησιμοποιήσουμε, όπως το πετρέλαιο, η βενζίνη και ο ηλεκτρισμός.

Η πιο σημαντική διάκριση των πηγών ενέργειας, κυρίως λόγω της περιβαλλοντικής κρίσης που περιγράφτηκε νωρίτερα, αφορά στη διάρκεια της διαθεσιμότητας τους. Ο διαχωρισμός έχει ως εξής:

- **Συμβατικές ή μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**, οι οποίες υπάρχουν αυτούσιες στη φύση σε ορισμένες ποσότητες και δεν ανανεώνονται ή ανανεώνονται πάρα πολύ αργά με βάση τα ανθρώπινα μέτρα. Οι συμβατικές μορφές ενέργειας είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την καταστροφή που προκαλούν στο περιβάλλον, όμως χρησιμοποιούνται σε τεράστιο βαθμό στις κοινωνίες της Δύσης. Σε αυτή την κατηγορία

ανήκουν τα στερεά καύσιμα όπως το πετρέλαιο, οι γαιάνθρακες, το φυσικό αέριο που χρησιμοποιούνται περισσότερο και άλλα όπως το ουράνιο και το προπάνιο που κυρίως βρίσκονται υπό μελέτη.

- **Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**, οι οποίες δεν εξαντλούνται ποτέ, υπάρχουν σε αφθονία και η χρησιμοποίηση τους δεν επιβαρύνει καθόλου το περιβάλλον. Καλούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς ανανεώνονται σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και η αξιοποίησή τους περιορίζεται μόνο από την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα έχουν σαν σκοπό τη δέσμευση του δυναμικού τους.

1.2.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής αλλά και ο κίνδυνος της εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων οφείλεται κατά κύριο λόγο στην χρήση συμβατικών καυσίμων για την κάλυψη των αυξημένων απαιτήσεων των ανθρώπων σε ενέργεια. Για το λόγο αυτό, η τεχνολογία έχει προσανατολιστεί να εξελίξει συστήματα που εκμεταλλεύονται πλήρως τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν ήδη μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Τα διάφορα είδη που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι τα εξής:

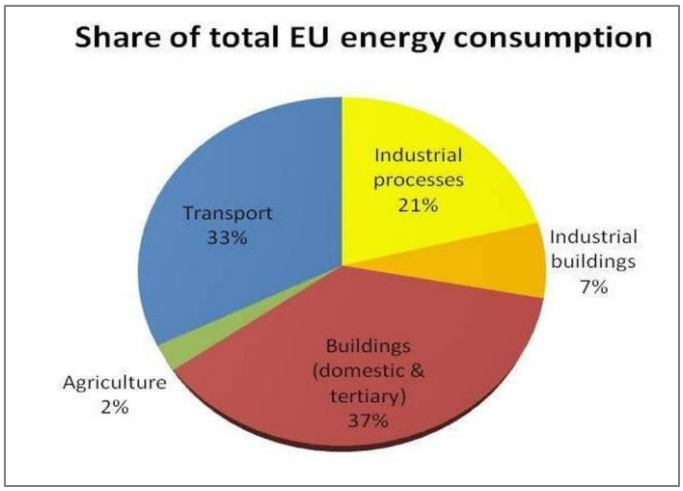
- **Αιολική**, η οποία παρέχει δυναμικό για μεγάλης κλίμακας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση ανεμογεννητριών χωρίς σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- **Ηλιακή**, η οποία χρησιμοποιείται τόσο για τη θέρμανση των κτιρίων με άμεσο ή έμμεσο τρόπο και στη χρήση ενεργητικών ή παθητικών συστημάτων όσο και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Γεωθερμική**, η οποία παράγεται με τη μετατροπή ζεστού νερού ή υδρατμού που βρίσκεται σε αρκετό βάθος από την επιφάνεια της γης σε ηλεκτρική ενέργεια. Ανάλογα με τη θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού αποφασίζεται και η χρήση του. Χαμηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται για θέρμανση, ενώ μεγαλύτερες κυρίως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Βιομάζα**, η οποία αφορά τα κατάλοιπα διαφόρων διεργασιών που άμεσα ή έμμεσα προέρχονται από το φυτικό κόσμο και χρησιμοποιούνται για θέρμανση, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και κίνηση.
- **Θαλάσσια**, η οποία προκύπτει από την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας και είναι εκμεταλλεύσιμη σε περιοχές με υψηλούς ανέμους.

- **Υδροηλεκτρική**, η οποία δημιουργείται στα υδροηλεκτρικά έργα από την πτώση του νερού με τη βοήθεια μιας τουρμπίνας. Βέβαια τα μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα δεν θεωρούνται πάντα περιβαλλοντικά «αθώα», καθώς επηρεάζουν αισθητά την ποιότητα του ύδατος και της ζωής των ψαριών του ποταμού.

1.3 Ενέργεια κτιρίων

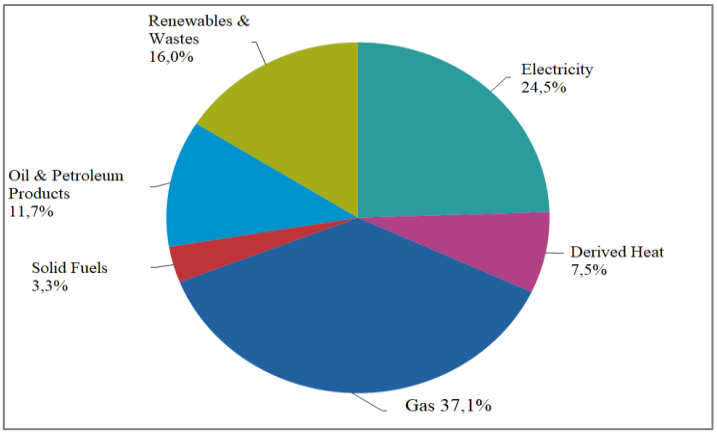
Τα κτίρια καθόλη την διάρκεια του κύκλου της ζωής τους συνδέονται με την έννοια της ενέργειας. Από τη στιγμή της κατασκευής τους μέχρι και τη στιγμή που κατεδαφίζονται καταναλώνουν ενέργεια. Στην Ευρώπη μάλιστα, η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας εντοπίζεται στον κτιριακό τομέα με ποσοστό περίπου 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, ενώ αντίστοιχα υψηλό είναι και το ποσοστό των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα λόγω των κτιρίων. Τα κτίρια ευθύνονται ακόμη για το 65% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και το 10% της συνολικής κατανάλωσης νερού.

Στην Εικόνα 1.1 διακρίνονται τα αποτελέσματα της επίσημης έρευνας της Eurostat για την κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ευρώπη για το έτος 2016.



Εικόνα 1.1: Ποσοστά κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα, [Πηγή Eurostat]

Όσον αφορά στις μορφές ενέργειας που καλύπτουν τις ανάγκες του εκάστοτε κτιρίου, χρησιμοποιούνται κυρίως το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο, ο ηλεκτρισμός και τα στερεά καύσιμα. Στην Εικόνα 1.2 φαίνεται πιο συγκεκριμένα ο ποσοστιαίος καταμερισμός των μορφών ενέργειας στον οικιακό τομέα για το έτος 2016 σύμφωνα πάλι με τις επίσημες μετρήσεις της Eurostat.

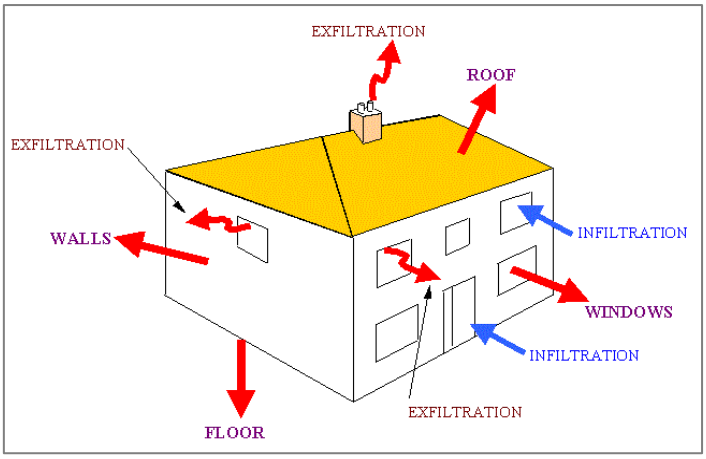


Εικόνα 1.2: Ποσοστά χρήσης μορφών ενέργειας στον οικιακό τομέα για το έτος 2016, [Πηγή Eurostat]

Οι επιπτώσεις που προκύπτουν από τη σχέση κτίριο-ενέργεια, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, την περιβαλλοντική ανάλωση και την περιβαλλοντική υποβάθμιση. Η περιβαλλοντική ανάλωση αναφέρεται στην χρησιμοποίηση των πρώτων υλών από τη φύση και την επεξεργασία τους τόσο σε οικοδομικά υλικά όσο και σε καύσιμα για την κάλυψη των αναγκών του κτιρίου. Όσον αφορά στην περιβαλλοντική υποβάθμιση, αναφέρεται σε όλο τον κύκλο ζωής του κτιρίου και είναι αποτέλεσμα της παραγωγής κυρίως ρύπων και αποβλήτων που συμβάλλουν στην αλλαγή του κλίματος. [5]

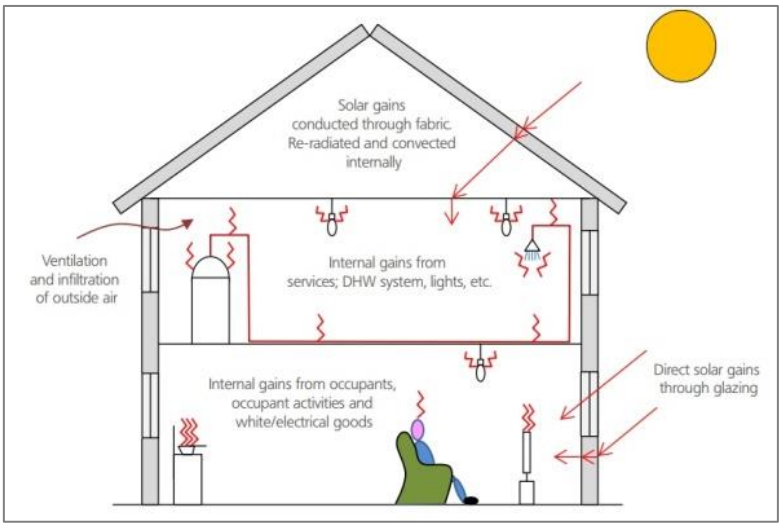
1.3.1 Ενεργειακό Ισοζύγιο κτιρίων

Κάθε ενεργειακό ισοζύγιο αφορά την ισορροπία στη σχέση μεταξύ της παραγωγής και της κατανάλωσης. Έτσι και το ισοζύγιο που σχετίζεται με τον κλάδο των κτιρίων επηρεάζεται από την σχέση των ενεργειακών απωλειών και των ενεργειακών κερδών. Υπό την ευρεία έννοια του όρου, ενεργειακό κέρδος συναντάται όταν η μετάδοση θερμότητας γίνεται από το περιβάλλον προς το εσωτερικό του κτιρίου, ενώ στην αντίθετη περίπτωση έχουμε ενεργειακές απώλειες. Ο ορισμός αυτός όμως δεν είναι απόλυτος, καθώς υπάρχουν περιπτώσεις όπου το λεγόμενο ως «κέρδος» για το εκάστοτε κτίριο είναι μη επιθυμητό από τους χρήστες του κτιρίου. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η θερμότητα που μεταφέρεται από το περιβάλλον στο κτίριο τους καλοκαιρινούς μήνες, η οποία όχι μόνο δεν είναι επιθυμητή, αλλά μας αναγκάζει να δαπανήσουμε επιπλέον ενέργεια για κλιματισμό. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως δεν μπορεί να θεωρηθεί ενεργειακό κέρδος. Επομένως, κρίνεται αναγκαίος ο προσεκτικός και ακριβής καθορισμός των πρόσημων που συμμετέχουν στο ενεργειακό ισοζύγιο.



Εικόνα 1.3: Ισοζύγιο ενέργειας για τα κτίρια, [6]

Οι κύριες πηγές ενέργειας, που χρησιμοποιεί ένα κτίριο για να καλύψει τις ανάγκες του, είναι η ηλιακή που εξαρτάται από την τοποθεσία του και το κλίμα της περιοχής, η θερμότητα που μεταφέρεται με αγωγιμότητα και η χημική ενέργεια των καυσίμων. Επίσης, είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψιν και η ενέργεια που παράγεται στο εσωτερικό του κτιρίου από τις ηλεκτρικές συσκευές, την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, τον τεχνητό φωτισμό καθώς και από τη δραστηριότητα των ανθρώπων μέσα σε αυτό. Τα στοιχεία αυτά αποτυπώνονται στην Εικόνα 1.4.



Εικόνα 1.4: Θερμικά κέρδη για τα κτίρια, [6]

1.3.2 Εξοικονόμηση ενέργειας κτιρίων

Τα κτίρια αποτελούν ένα μεγάλο ενεργειακό καταναλωτή που, ταυτοχρόνως, διαθέτει υψηλό δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και θερινό κλιματισμό εξαρτάται από τον τύπο και την κατασκευή του κτιρίου, από τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής, από τις ώρες λειτουργίας του κτιρίου, από τα συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού, από τις συσκευές και τον υπόλοιπο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό αλλά σε σημαντικό βαθμό από τη συμπεριφορά των χρηστών. Ιδιαίτερη σημασία βέβαια για την ενεργειακή

συμπεριφορά ενός κτιρίου έχει η χρήση των τεχνικών του βιοκλιματικού σχεδιασμού, ο οποίος περιγράφεται λεπτομερώς στη συνέχεια του κεφαλαίου.

1.3.2.1 Εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη

Όπως αναφέρθηκε, η κατανάλωση ενέργειας για κεντρική θέρμανση αποτελεί ένα σημαντικό μέρος της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στον οικιακό και τριτογενή τομέα, ενώ δεν πρέπει να παραβλέπονται και οι εκπομπές ρύπων. [7] Από τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης, το πλέον διαδεδομένο είναι το σύστημα με κυκλοφορία θερμού νερού. Εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με τους παρακάτω τρόπους:

- Σωστή επιλογή συστήματος χαμηλής θερμοκρασίας νερού, λέβητα και διαστασιολόγηση του συστήματος.
- Εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών ελέγχου και αυτονομίας.
- Επιλογή κατάλληλης μόνωσης των μερών του συστήματος και τακτική συντήρηση αυτών.

Όσον αφορά στο σύστημα κλιματισμού, εξοικονόμηση ενέργειας μπορούμε να επιφέρουμε με τους εξής τρόπους:

- Επιλογή κατάλληλου συστήματος κλιματισμού (ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή), συσκευών με υψηλό βαθμό απόδοσης και σωστή διαστασιολόγηση των αγωγών και του δικτύου γενικότερα.
- Εγκατάσταση συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων (BMS), αντλιών θερμότητας αντί λέβητα, ψυκτικής μονάδας και χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας από τον απορριπτόμενο αέρα των κλιματιζόμενων χώρων (εναλλάκτες).
- Επιλογή κατάλληλης μόνωσης των αεραγωγών του συστήματος και τακτική συντήρηση αυτών.

1.3.2.2 Εξοικονόμηση ενέργειας για φωτισμό

Σημαντικές δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας μπορούν να επιτευχθούν και στο σύστημα τεχνητού φωτισμού. [8] Σύμφωνα με μελέτες, η αντικατάσταση του τεχνητού φωτισμού από φυσικό, μπορεί να αποφέρει εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 30%-70% όταν η ένταση των λαμπτήρων εναλλάσσεται ανάλογα με τη στάθμη του φυσικού φωτισμού στο χώρο. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό αν αναλογιστεί κανείς πως η κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό αντιστοιχεί περίπου στο 20% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού παγκοσμίως και χρόνο με το χρόνο αυξάνεται με σταθερό ρυθμό (περίπου 2.5%). Οι κυριότερες επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας στον τεχνητό φωτισμό είναι οι εξής:

- Αντικατάσταση παλαιού εγκατεστημένου υλικού, όπως οι λαμπτήρες πυράκτωσης και στραγγαλιστικών διατάξεων με νέο, δηλαδή λαμπτήρες φθορισμού και σύγχρονων ηλεκτρονικών διατάξεων.

- Μείωση υπερβολικής στάθμης φωτισμού σε χώρους γενικής χρήσης και αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού είτε με ανοίγματα οροφής είτε με πλευρικά ανοίγματα.
- Χρήση εξωτερικών και εσωτερικών διατάξεων σκίασης προς αποτροπή υπερθέρμανσης και μείωση των προβλημάτων θάμβωσης από τις ανακλάσεις των φωτιστικών.
- Εγκατάσταση συστήματος σύζευξης φυσικού και τεχνητού φωτισμού για την καλύτερη αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού. Η λειτουργία του γίνεται με φωτοκύτταρο, το οποίο ανιχνεύει τα επίπεδα φυσικού φωτισμού και τεχνητού εάν υπάρχει στο επίπεδο εργασίας και στέλνει το ανάλογο σήμα στη μονάδα ελέγχου για να αυξομειώσει την ένταση των λαμπτήρων αν αυτό κριθεί απαραίτητο.

1.3.2.3 Συμπεριφορά χρηστών κτιρίου

Η σωστή ή μη ενεργειακή συμπεριφορά των χρηστών ενός κτιρίου καθορίζει σε πολύ μεγάλο βαθμό τη συνολική ενεργειακή απόδοση του ίδιου του κτιρίου. Επομένως ακόμη και μετά την εγκατάσταση του οποιοδήποτε συστήματος εξοικονόμησης ενέργειας, απαιτείται πλήρης ενημέρωση των χρηστών του κτιρίου για τις δυνατότητες που αυτό προσφέρει και την όσο το δυνατόν καλύτερη αξιοποίηση του. Μάλιστα σε κτίρια τριτογενούς τομέα όπως ξενοδοχεία, εμπορικά κτλ., κρίνεται πολλές φορές απαραίτητη η εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου και αυτοματισμού προς διευκόλυνση του ίδιου του χρήστη. Εν κατακλείδι, ο βαθμός επιτυχίας οποιουδήποτε συστήματος εξαρτάται τελικά από τον ίδιο τον άνθρωπο.

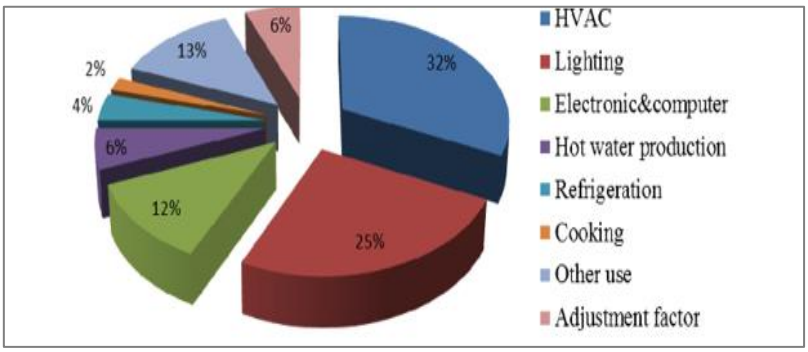
1.4 Βιοκλιματικός σχεδιασμός

Ως βιοκλιματικός σχεδιασμός ή βιοκλιματική αρχιτεκτονική νοείται ο σχεδιασμός κτιρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών-υπαίθριων), ο οποίος επιδιώκει την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης με την όσο το δυνατόν πιο εκτεταμένη χρήση παθητικών συστημάτων δροσισμού & θέρμανσης. Για το σκοπό αυτό αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια και άλλες ανανεώσιμες πηγές, όπως το τοπικό κλίμα, συνήθως αναφερόμενο ως μικροκλίμα καθώς και τις ιδιότητες των υλικών δόμησης και των αρχιτεκτονικών στοιχείων. Η βιοκλιματική είναι κλάδος της αρχιτεκτονικής που λαμβάνει υπόψιν τις επιταγές της οικολογίας και της βιωσιμότητας, ενώ παράλληλα αποσκοπεί στην προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων. [Web1]

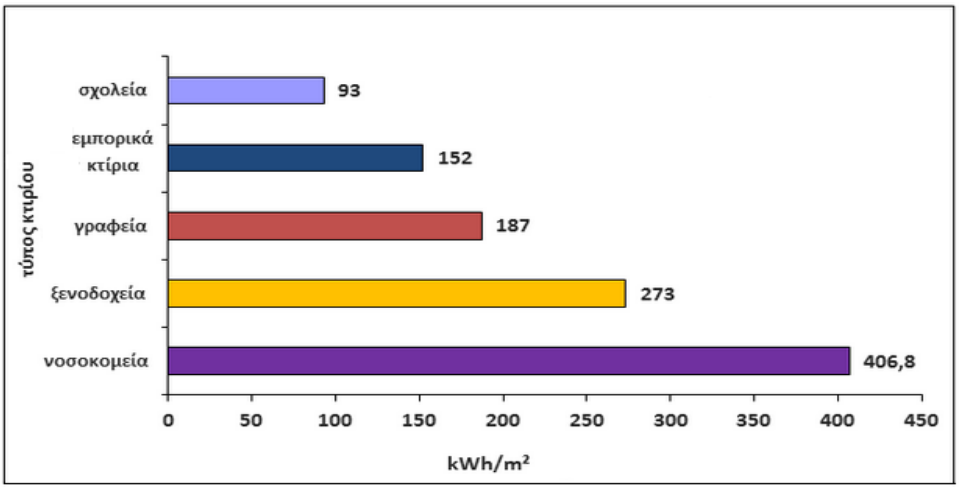
Τι ακριβώς ορίζουμε όμως με τον όρο μικροκλίμα; Το μικροκλίμα μιας περιοχής είναι η διαφοροποίηση του μακροκλίματος και του μεσοκλίματος, η οποία οφείλεται κυρίως σε ανθρώπινες παρεμβάσεις, όπως το δομημένο περιβάλλον ή οι γεωργικές καλλιέργειες.

1.4.1 Ανάγκη εφαρμογής βιοκλιματικού σχεδιασμού

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, το 40% περίπου της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας στην Ευρώπη αλλά και στη χώρα μας προέρχεται από τον κτιριακό τομέα. Το μεγαλύτερο μέρος μάλιστα αυτής της ενέργειας σχετίζεται με τη χρήση καυσίμων και το υπόλοιπο με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη αναγκών θέρμανσης και κλιματισμού. Στις Εικόνες 1.5, 1.6 αντίστοιχα, παρουσιάζονται η κατανομή της ενεργειακής κατανάλωσης στον οικιακό τομέα και τα συγκεντρωτικά στοιχεία για τα μέσες ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας στην Ελλάδα, ανάλογα τον τύπο του κτιρίου.



Εικόνα 1.5: Κατανομή ενεργειακής κατανάλωσης στον οικιακό τομέα για το έτος 2016, [10]



Εικόνα 1.6: Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας σε διάφορους τύπους κτιρίων στην Ελλάδα, [Web2]

Δεδομένης αυτής της υπερκατανάλωσης ενέργειας από τα κτίρια, των κλιματικών αλλαγών, της υποβάθμισης της ενέργειας και της αποψίλωσης του πρασίνου στα μεγάλα αστικά κέντρα, γίνεται ακόμη πιο σοβαρό το ζήτημα της διασφάλισης ευνοϊκών συνθηκών διαβίωσης για τον άνθρωπο. Επομένως, ο ίδιος ο άνθρωπος στην προσπάθεια του για ευημερία δημιουργεί τόσο μεγάλα σε έκταση προβλήματα στο περιβάλλον που καθιστούν αδύνατη την επίτευξη του αρχικού του στόχου. Αντίθετα δημιουργείται ακόμη μεγαλύτερη ανάγκη για ενέργεια. Η μόνη

διέξοδος σε αυτό το φαύλο κύκλο δεν είναι η αλόγιστη χρήση κλιματιστικών και συμβατικών, ξεπερασμένων μέσων, αλλά ο βιοκλιματικός σχεδιασμός.

1.4.2 Βασικές αρχές-στόχοι βιοκλιματικού σχεδιασμού

Η γενικότερη αρχή του βιοκλιματικού σχεδιασμού θέτει ότι η νότια πλευρά του κτιρίου οφείλει να χρησιμοποιείται για παθητική ηλιακή θέρμανση, ενώ αντιθέτως η βόρεια για προστασία από ανέμους και ανάσχεση της θερμότητας. Επιπλέον παράμετροι όπως ο προσανατολισμός, το έδαφος, τα περιβάλλοντα κτίρια, τα κλιματικά και φυσικά φαινόμενα καθώς και οι επιθυμίες, οι απαιτήσεις και οι συνήθειες των χρηστών πρέπει να λαμβάνονται πάντα υπόψιν. Ειδικότερα, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός βασίζεται στις εξής αρχές:

- Θερμική προστασία των κτιρίων καθ'όλη την διάρκεια του έτους με χρήση κυρίως θερμομόνωσης στο εξωτερικό κέλυφος των κτιρίων και σωστής αεροστεγάνωσης των ανοιγμάτων του.
- Σωστός προσανατολισμός και διαρρύθμιση των εσωτερικών χώρων ανάλογα με τις θερμικές ανάγκες με σκοπό την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των κτιρίων κατά τη χειμερινή περίοδο και το φυσικό φωτισμό όλο το χρόνο.
- Προστασία των κτιρίων από τον ήλιο το καλοκαίρι, κυρίως μέσω σκίαστρων.
- Απομάκρυνση της θερμότητας που συσσωρεύεται εντός των κτιρίων το καλοκαίρι με τεχνικές παθητικού δροσισμού.
- Εξασφάλιση ομαλής κατανομής του φωτός στους εσωτερικούς χώρους.
- Βελτίωση του κλίματος έξω και γύρω από τα κτίρια ακολουθώντας τις αρχές που μόλις αναφέρθηκαν.

Όσον αφορά στους στόχους του βιοκλιματικού σχεδιασμού, προκύπτουν τα εξής:

- Η εξασφάλιση ηλιασμού το χειμώνα.
- Η προστασία από τους δυνατούς ανέμους του χειμώνα.
- Η ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας το χειμώνα.
- Η προστασία από τον ήλιο του καλοκαιριού.
- Η εκμετάλλευση των δροσερών ανέμων το καλοκαίρι.
- Η απομάκρυνση της πλεονάζουσας θερμότητας το καλοκαίρι.

Σε ένα ευρύτερο πλαίσιο βέβαια και σκεπτόμενοι τις αιτίες που αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα και οδήγησαν τον άνθρωπο στον βιοκλιματικό σχεδιασμό, ο κυριότερος στόχος είναι η απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα που εξαντλούνται σιγά-σιγά και η στροφή σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Καταυτό τον τρόπο, ο άνθρωπος θα εξοικονομήσει και χρήματα μέσω της ηλιακής ενέργειας, θα προστατέψει το περιβάλλον λόγω μείωσης των ρύπων και επιτέλους θα διασφαλίσει

συνθήκες βιολογικής άνεσης και ποιότητας αέρα εντός των κτιρίων που κατασκευάζει.

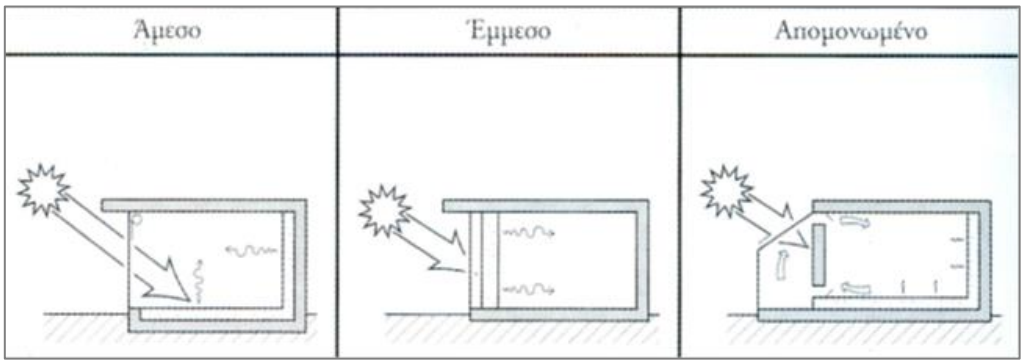
1.4.3 Παθητικά συστήματα βιοκλιματικού σχεδιασμού

Για να συμβούν βέβαια όλα τα παραπάνω πρέπει να αναλυθούν τα βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων, δηλαδή τα παθητικά συστήματα. Τα συστήματα αυτά είναι ικανά να θερμάνουν αλλά και να δροσίσουν τα κτίρια χωρίς τη χρήση μηχανολογικών εξαρτημάτων ή πρόσθετη παροχή ενέργειας. Οι κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται είναι:

- Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης.
- Τα συστήματα και οι τεχνικές φυσικού δροσισμού.
- Τα συστήματα και οι τεχνικές φυσικού φωτισμού.

1.4.3.1 Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης βασίζονται στη φυσική ροή της θερμικής ενέργειας και εκμεταλλεύονται τις φυσικές ιδιότητες των υλικών (κυρίως των διάφανων) του κτιρίου. Παράλληλα χρησιμοποιούν τα δομικά στοιχεία του κελύφους (τοίχους, δάπεδα, οροφές, δώμα), για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας και την αποθήκευση της θερμότητας στο χώρο με σκοπό την απόδοση της στους χώρους του κτιρίου με χρονική υστέρηση. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η ομαλοποίηση στην κατανομή θερμοκρασίας. Τα συστήματα αυτά βέβαια θα ήταν προτιμότερο το καλοκαίρι να συνδυάζονται με ηλιοπροστασία και ίσως κατάλληλο αερισμό για να αποφευχθεί πιθανή υπερθέρμανση των εσωτερικών χώρων. [11]



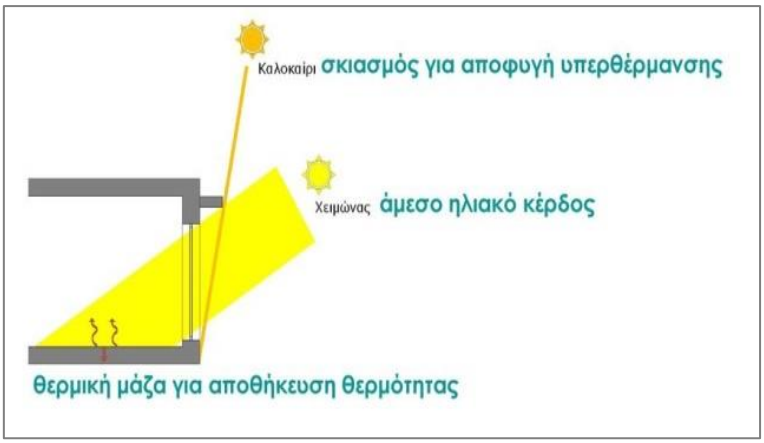
Εικόνα 1.7: Κατηγορίες ηλιακών παθητικών συστημάτων

Στην Εικόνα 1.7 παρουσιάζονται τα είδη παθητικών ηλιακών συστημάτων:

I. Συστήματα άμεσου κέρδους
II. Συστήματα έμμεσου κέρδους
III. Συστήματα απομονωμένου κέρδους

Ι. Συστήματα άμεσου κέρδους

Στην Εικόνα 1.8 φαίνεται ο πιο συνηθισμένος τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας για τη θέρμανση των κτιρίων, δηλαδή η δέσμευση της μέσα από τα μεγάλα γυάλινα ανοίγματα του κτιρίου, τα οποία είναι προσανατολισμένα κυρίως προς το νότο. Είναι σημαντικό εδώ να αναφερθεί πως τα νότια ανοίγματα συμμετέχουν πάντα θετικά στο θερμικό ισοζύγιο ενός κτιρίου. Τέλος, η σωστή μελέτη για τον προσανατολισμό , τη θέση και το μέγεθος τους σε συνδυασμό με την κατάλληλη επιλογή υλικών μεγάλης θερμοχωρητικότητας στα δομικά στοιχεία του κτιρίου μπορεί να επιφέρει εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση από 30% μέχρι και 100%.



Εικόνα 1.8: Παθητικά ηλιακά συστήματα άμεσου κέρδους, [9]

ΙΙ. Ηλιακά συστήματα έμμεσου κέρδους

Στα ηλιακά συστήματα έμμεσου κέρδους ανήκουν τα συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στο κέλυφος και την αποδίδουν έμμεσα στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου. Τα συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους διακρίνονται στα εξής:

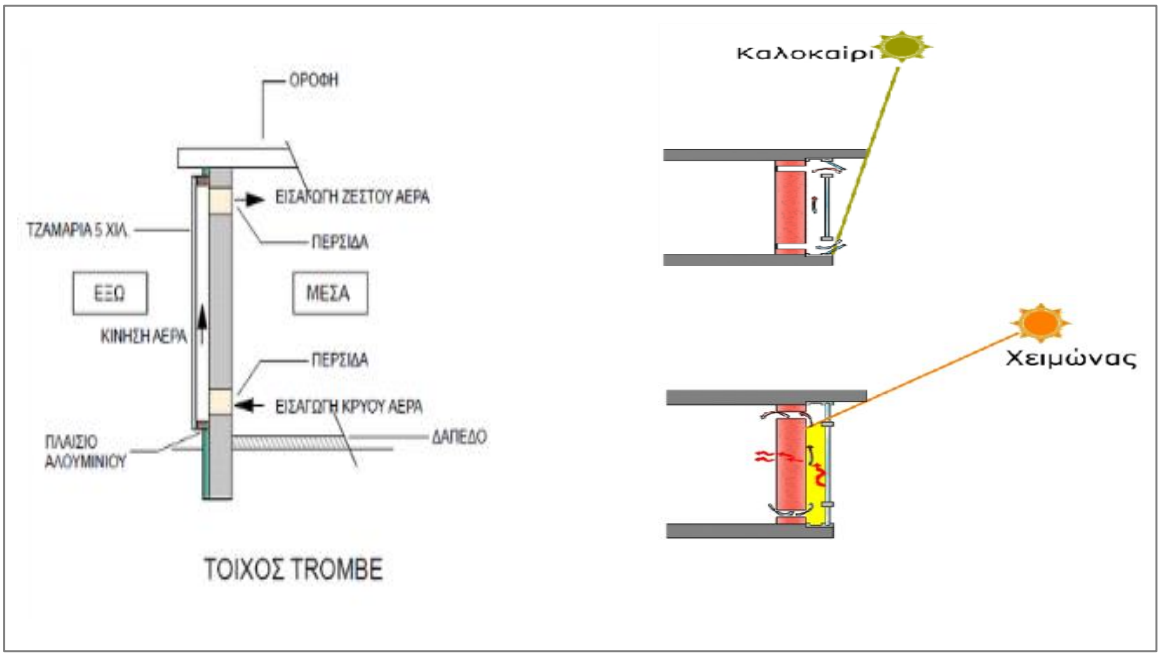
- Στους τοίχους συλλέκτες που πρέπει να αποτελούνται από γυάλινα ανοίγματα προσανατολισμένα στο νότο.
- Στα νότια προσαρτημένα θερμοκήπια του κτιρίου.
- Στα ηλιακά αίθρια.

Οι τοίχοι συλλέκτες αποτελούν συνδυασμένη κατασκευή τοίχου και υαλοπίνακα και μπορούν να είναι είτε μη θερμοσιφωνικής ροής (τοίχος μάζας ή νερού), είτε θερμοσιφωνικής ροής (τοίχος Trombe-Michelle).

Ο τοίχος μάζας ή νερού είναι ένας νότιος τοίχος του κτιριακού κελύφους, κατασκευασμένος από βαριά υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας ή νερό αντίστοιχα και καλυμμένος στην εξωτερική του πλευρά από υαλοστάσιο. Η θερμική ενέργεια που δημιουργείται από τη θέρμανση του τοίχου ή του νερού αντίστοιχα (λόγω της

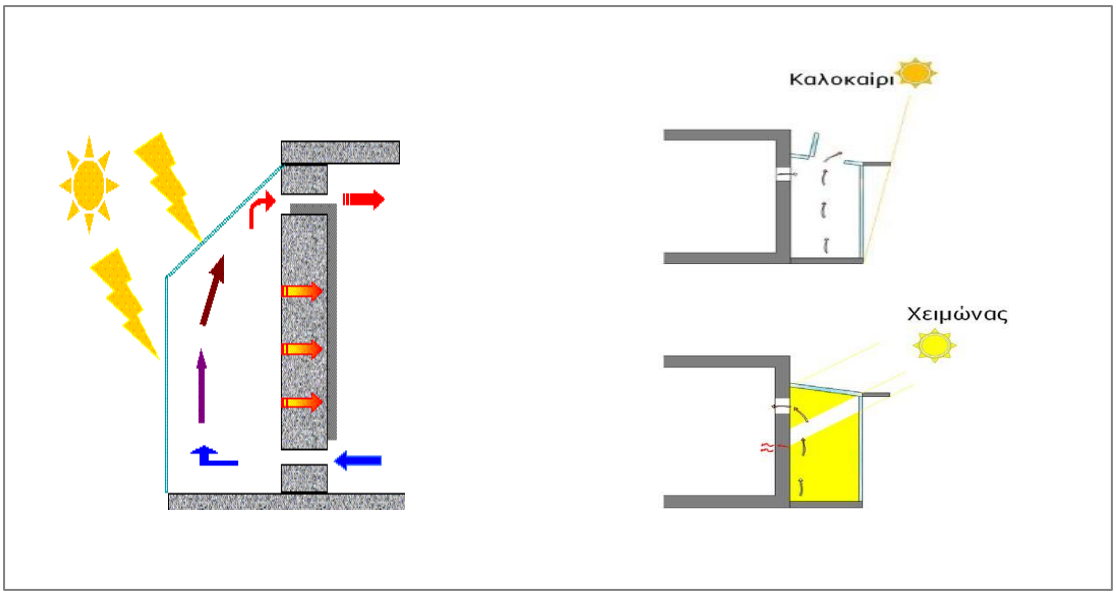
ηλιακής ακτινοβολίας που παγιδεύεται στο υαλοστάσιο) μεταφέρεται στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου με αγωγή.

Στην περίπτωση του τοίχου Trombe-Michelle που παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.9, συναντάμε ένα τοίχο με θυρίδες στο επάνω και το κάτω μέρος του. Επομένως, μέρος της συλλεγόμενης θερμότητας στο διάκενο μεταξύ τοίχου και υαλοπίνακα μεταφέρεται μέσω των θυρίδων στον εσωτερικό χώρο. Ο αέρας κινείται προφανώς λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας.



Εικόνα 1.9: Χειμερινή και θερινή λειτουργία θερμικής αποθήκευσης με θυρίδες, Τοίχος Trombe-Michelle, [Web4]

Ο ηλιακός χώρος ή αλλιώς θερμοκήπιο είναι κλειστός χώρος με μεγάλο ποσοστό γυάλινης επιφάνειας, ο οποίος προσαρτάται σε κάποιο νότιο τμήμα του κτιρίου. Η ηλιακή ακτινοβολία διερχόμενη από τα υαλοστάσια του θερμοκηπίου μετατρέπεται σε θερμική και μέρος αυτής αποδίδεται άμεσα στους χώρους του κτιρίου, ενώ ένα άλλο μέρος της αποθηκεύεται στα δομικά υλικά του χώρου. Και σε αυτή την περίπτωση η μεταφορά ενέργειας προς το εσωτερικό του κτιρίου γίνεται μέσω θυρίδων. Στην Εικόνα 1.10 γίνεται ξεκάθαρη η εναλλαγή στον τρόπο λειτουργίας του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του χρόνου.

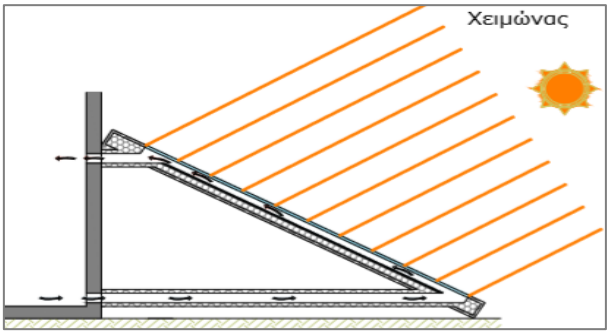


Εικόνα 1.10: Χειμερινή και θερινή λειτουργία θερμοκηπίου, με ανοιγόμενα υαλοστάσια, [Web3]

Τα ηλιακά αίθρια αποτελούν επιφάνειες του κτιρίου (κυρίως την οροφή του), που έχουν επικαλυφτεί με υαλοστάσια. Η ηλιακή ακτινοβολία συλλέγεται και εκμεταλλεύεται με παρόμοιο τρόπο όπως στα θερμοκήπια. Το βασικό πλεονέκτημα των ηλιακών αίθριων είναι πως συμβάλλουν στην δημιουργία ενός χώρου θερμικά πιο άνετου και λειτουργικά χρήσιμου, ενώ παράλληλα τον προστατεύουν από τη βροχή.

ΙΙΙ. Συστήματα απομονωμένου κέρδους

Στα συστήματα απομονωμένου κέρδους, όπως το θερμοσιφωνικό πάνελ της Εικόνας 1.11, η επιφάνεια συλλογής ηλιακής ακτινοβολίας έχει νότιο προσανατολισμό, αλλά δεν βρίσκεται σε επαφή με το χώρο που θέλουμε να θερμάνουμε. Επομένως η μετάδοση της θερμότητας γίνεται με τη χρήση απλών μηχανισμών όπως ο ανεμιστήρας που οδηγεί τον θερμό αέρα στον εσωτερικό χώρο. Στα «καθαρά» παθητικά ηλιακά συστήματα απομονωμένου κέρδους βέβαια, η μετάδοση δεν γίνεται με μηχανικά μέσα, αλλά μέσω θυρίδων με τη βοήθεια του φαινομένου του θερμοσιφωνισμού που περιγράφηκε νωρίτερα.



Εικόνα 1.11: Αρχή λειτουργίας θερμοσιφωνικού πανέλου, [Web5]

1.4.3.2 Συστήματα και τεχνικές φυσικού δροσισμού

Ο φυσικός δροσισμός έχει ως στόχο την αποτροπή της υπερθέρμανσης του κτιρίου, δηλαδή να κρατήσει δροσερό το κτίριο τους καλοκαιρινούς μήνες εξασφαλίζοντας τη συνεχή ανανέωση του εσωτερικού αέρα με φρέσκο. Οι λόγοι που τον καθιστούν αναγκαίο είναι η μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, ο περιορισμός στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και η διασφάλιση θερμικής άνεσης εντός των κτιρίων.

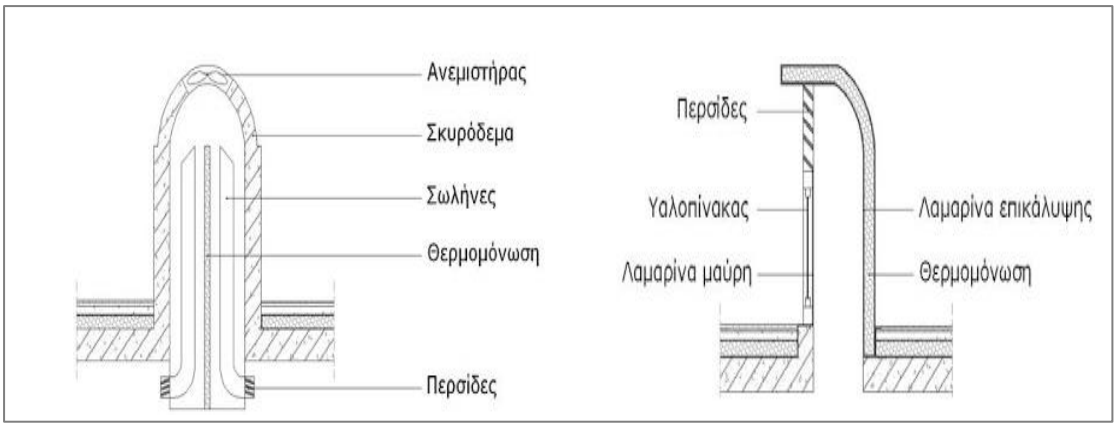
Η αποτελεσματικότητα των τεχνικών φυσικού αερισμού που εφαρμόζονται σε ένα κτίριο, εξαρτώνται από τα φυσικά κλιματικά στοιχεία της περιοχής, όπως είναι η θερμοκρασία, η υγρασία και η ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου, από την καλή γνώση του μοντέλου ροής του αέρα γύρω και μέσα στο κτίριο και από κατασκευαστικά στοιχεία του κτιρίου, όπως είναι ο προσανατολισμός, το μέγεθος και η θέση των ανοιγμάτων.

Η κίνηση του αέρα γύρω από το κτίριο οφείλεται κυρίως στη διαφορά πίεσης που προκαλεί ο άνεμος και στη διαφορά θερμοκρασίας. Η διαφορά πίεσης δημιουργείται όταν ο άνεμος προσπίπτει κάθετα σε μία πλευρά του κτιρίου αυξάνοντας την πίεση αυτής και προκαλώντας αρνητική πίεση στη γεωμετρικά αντίθετη της. Όσον αφορά στο φαινόμενο της διαφοράς θερμοκρασίας, είναι επιστημονικά αποδεδειγμένο πως ο αέρας με την υψηλότερη θερμοκρασία όντας ελαφρύτερος και πιο αραιός από τον αέρα χαμηλότερης θερμοκρασίας κινείται προς τα επάνω. Έτσι δημιουργείται ρεύμα αέρα και φυσικός αερισμός με εναλλαγή.

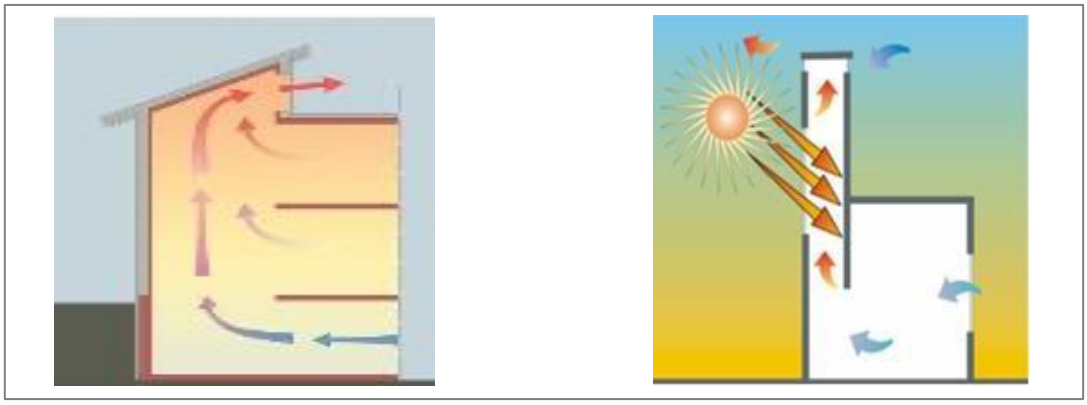
Οι βασικοί τύποι συστημάτων δροσισμού είναι:

- **Ο μονόπλευρος αερισμός**, ο οποίος απαιτεί τα ανοίγματα εισόδου και εξόδου του αέρα να βρίσκονται στην ίδια κατακόρυφο, στην ίδια πλευρά, αλλά σε διαφορετικές στάθμες.
- **Ο διαμπερής αερισμός**, που προϋποθέτει τα ανοίγματα να βρίσκονται στις απέναντι πλευρές του χώρου.
- **Ο αερισμός με ανοίγματα σε διαφορετικά επίπεδα**. Ανοίγματα που υπάρχουν ψηλά στους τοίχους ή στην οροφή του κτιρίου εξυπηρετούν την έξοδο του θερμού αέρα, ενώ ο ψυχρός αέρας εισέρχεται στο κτίριο από ανοίγματα που βρίσκονται χαμηλότερα στα τοιχώματα του κτιρίου.
- **Ο αερισμός με ειδικές αρχιτεκτονικές κατασκευές**, όπως η καμινάδα αερισμού, η ηλιακή καμινάδα και ο πύργος αερισμού. Η λειτουργία της καμινάδας βασίζεται στο φαινόμενο του φυσικού ελκυσμού. Ο θερμός αέρας του χώρου είναι αραιός και ελαφρύς και έτσι κινείται προς τα επάνω. Το κενό που αφήνει, καλύπτεται από το ψυχρό αέρα που είναι βαρύτερος. Στην ηλιακή καμινάδα, το φαινόμενο ενισχύεται με την χρήση υαλοπινάκων στη νότια και νοτιοδυτική επιφάνεια της και περσίδες στο άνω μέρος της ίδιας

πλευράς. Οι πύργοι αερισμού από την άλλη, κατασκευάζονται έτσι ώστε να κατευθύνουν τον αέρα μέσω καμινάδων από το δώμα στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου. Η κυκλοφορία του αέρα βασίζεται στη διαφορά πίεσης στις πλευρές εισόδου και εξόδου του αέρα. Στις Εικόνες 1.12 και 1.13 αναλύονται τα υλικά κατασκευής μίας καμινάδας αερισμού (ηλιακής ή μη) καθώς και η ροή του αέρα κατά τη λειτουργία της.

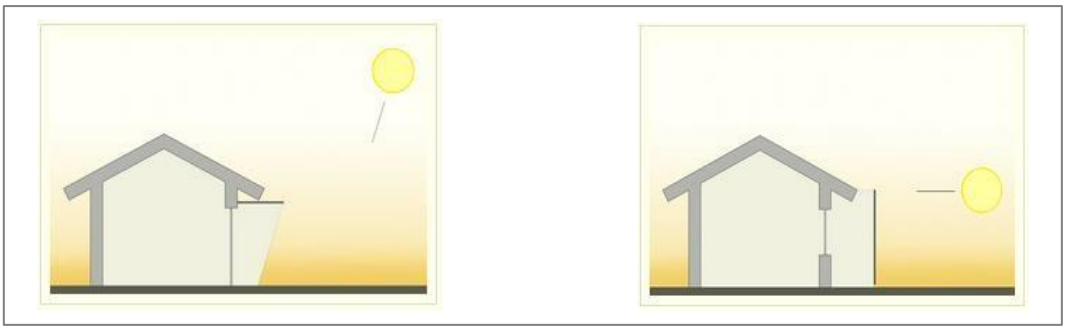


Εικόνα 1.12: Ενδεικτική μορφή καμινάδας αερισμού και τομή ηλιακής καμινάδας, [Web4]



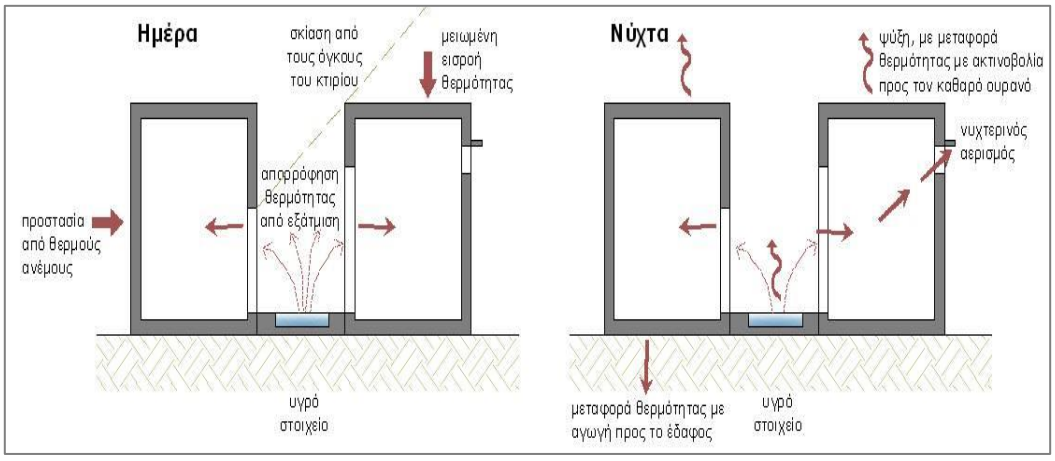
Εικόνα 1.13: Τρόπος λειτουργίας καμινάδας αερισμού και ηλιακής καμινάδας, [Web4]

- **Η Ηλιοπροστασία**, η οποία αφορά κυρίως την σκίαση των ανοιγμάτων του κτιρίων, την τοποθέτηση ανακλαστικών επιχρισμάτων στις εξωτερικές επιφάνειες και φυτεμένα δώματα περιμετρικά του κτιρίου. Ιδιαίτερη σημασία στην τοποθέτηση των σκίαστρων έχει ο προσανατολισμός της επιφάνειας που πρέπει να σκιαστεί. Το γεγονός αυτό παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.14.



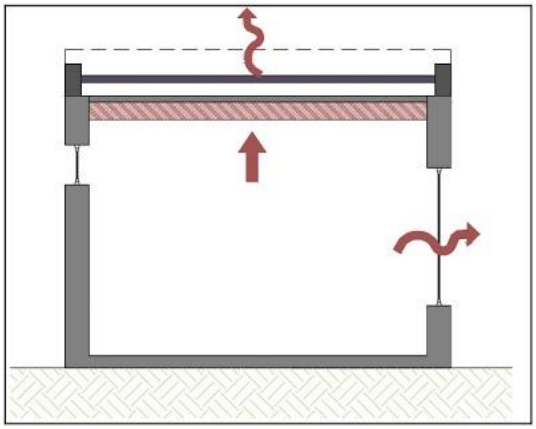
Εικόνα 1.14: Νότια και ανατολική-δυτική ηλιοπροστασία, [Web4]

- **Ο δροσισμός μέσω του εδάφους**, δηλαδή με την ημιυπόσκαφη κατασκευή του κτιρίου εξαρχής και τη χρήση εναλλακτών εδάφους αέρα. Η ημιυπόσκαφη κατασκευή χρησιμοποιείται σε κτίρια με επικλινές έδαφος και αποσκοπεί στην μείωση των φορτίων θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η απομάκρυνση της θερμότητας από το μέρος του κτιρίου, που βρίσκεται μέσα στο έδαφος, προς τη γη ευκολότερα το καλοκαίρι, ενώ το χειμώνα αντιστρέφεται η ροή θερμότητας και μεταδίδεται θερμότητα από το έδαφος προς το κτίριο, θερμαίνοντας το εσωτερικό του. Από την άλλη, οι εναλλάκτες εδάφους είναι ένα σύστημα μεταλλικών ή πλαστικών (PVC) αεραγωγών, οι οποίοι τοποθετούνται κάτω από το έδαφος σε βάθος 1-3m. Με τη βοήθεια ανεμιστήρων, εισάγεται εξωτερικός αέρας στο δίκτυο, ψύχεται από τη χαμηλότερη θερμοκρασία του εδάφους και στη συνέχεια εισέρχεται στο εσωτερικό του κτιρίου δροσίζοντας το.
- **Ο εξατμιστικός δροσισμός**, που εφαρμόζεται κυρίως με ψυκτικές μονάδες εξάτμισης και την κατασκευή πύργου δροσισμού. Στην Εικόνα 1.15 παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας ενός συστήματος φυσικής ψύξης μέσω εξάτμισης νερού καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας.



Εικόνα 1.15: Φυσική ψύξη κτιρίου μέσω εξάτμισης νερού την ημέρα και ακτινοβολία θερμότητας τη νύχτα, [Web4]

- **Ο δροσισμός μέσω νυχτερινής ακτινοβολίας** με τη χρήση μεταλλικού ακτινοβολητή ή λευκής οροφής. Ο μεταλλικός ακτινοβολητής αποτελείται από διπλή μεταλλική αυλακωτή πλάκα, η οποία τοποθετείται στην εξωτερική πλευρά της οροφής. Η εξωτερική πλευρά της πλάκας έχει ανακλαστική επιφάνεια, ενώ η εσωτερική πλευρά διαθέτει θερμομόνωση. Τη νύχτα, η εξωτερική πλευρά ακτινοβολεί μεγάλες ποσότητες θερμότητας προς τον ουρανό, ενώ παράλληλα ο θερμός αέρας από το εσωτερικό του κτιρίου εισάγεται στο σύστημα του μεταλλικού ακτινοβολητή. Αυτός ο αέρας έρχεται σε επαφή με την κρύα εξωτερική πλευρά του ακτινοβολητή, ψύχεται και επαναδιοχετεύεται στο κτίριο όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.16.



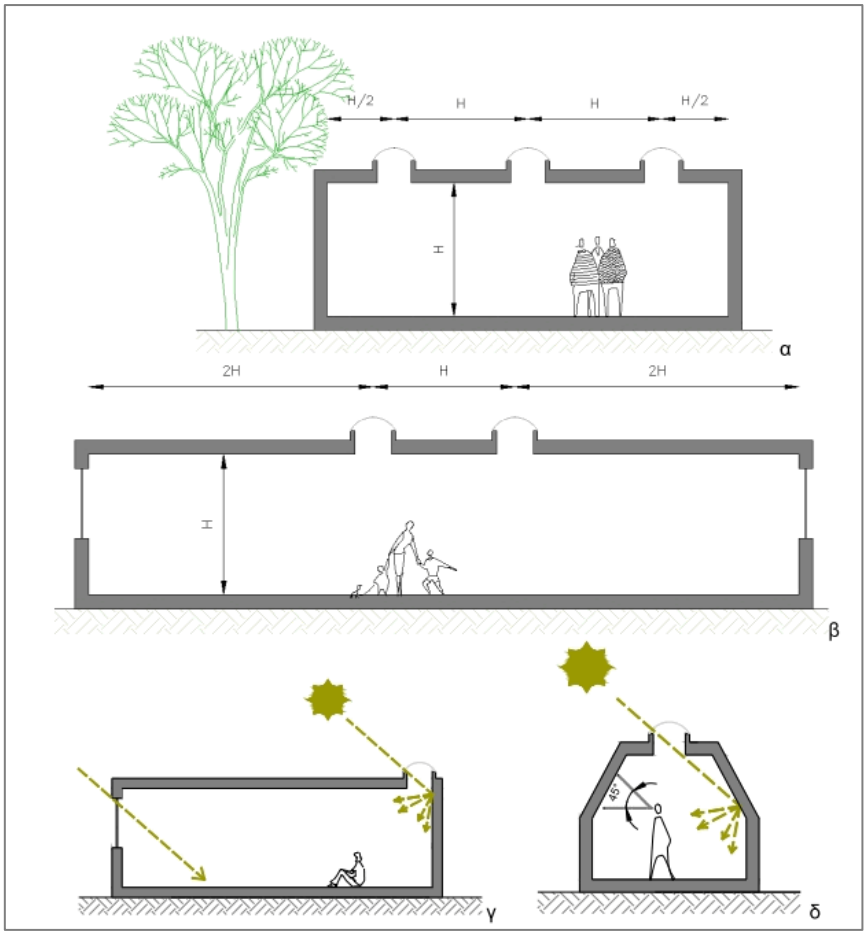
Εικόνα 1.16: Ακτινοβολία της συσσωρευμένης θερμότητας προς τον ουρανό, [Web4]

1.4.3.3 Συστήματα και τεχνικές φυσικού φωτισμού

Οι τεχνικές φυσικού φωτισμού στοχεύουν στην επίτευξη οπτικής άνεσης και βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης μέσα σε χώρους, ενώ παράλληλα μειώνοντας τη λειτουργία του συστήματος τεχνητού φωτισμού και αξιοποιώντας το υψηλό δυναμικό διάθεσης εξωτερικής φωτεινής ακτινοβολίας εξοικονομούν ηλεκτρική ενέργεια. Σημαντική είναι η συμβολή του φυσικού φωτισμού και στη μείωση του ψυκτικού φορτίου αυξάνοντας τα εσωτερικά θερμικά κέρδη, αφού ο τεχνητός φωτισμός παράγει θερμότητα. Η επάρκεια όσο και η κατανομή του φωτισμού εξαρτώνται άμεσα από τα γεωμετρικά στοιχεία του χώρου και των ανοιγμάτων και από τις ιδιότητες των υλικών κατασκευής. [12]

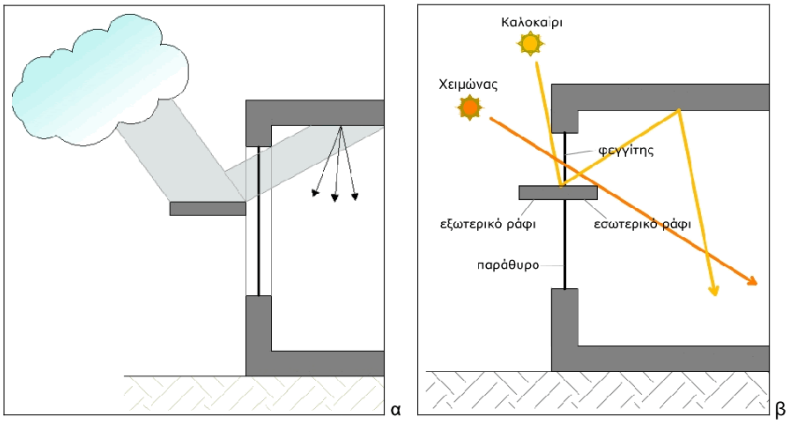
Με τον όρο συστήματα φυσικού φωτισμού, ορίζεται το σύνολο του εκάστοτε υαλοπίνακα, πλαισίου και δομικού στοιχείου. Τα συστήματα αυτά χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία (Εικόνα 1.17)
- Ανοίγματα οροφής (Εικόνα 1.17)

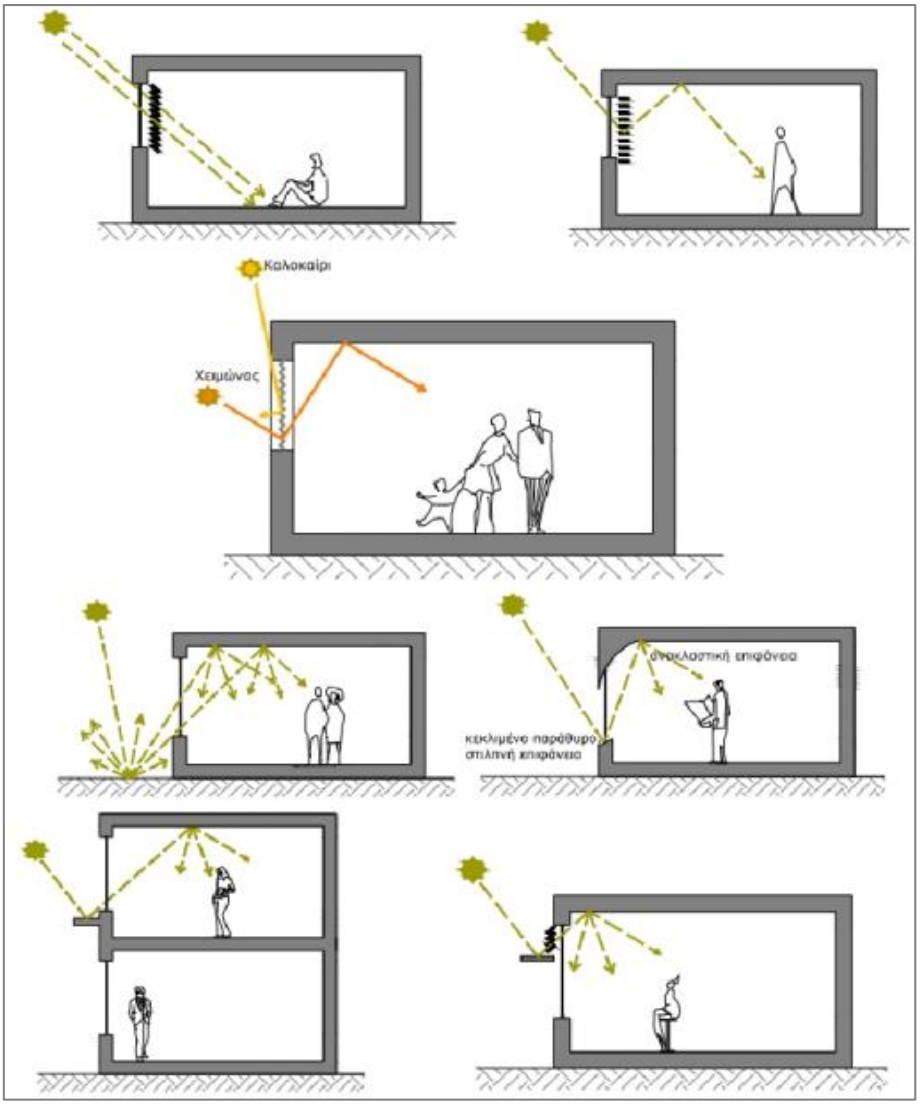


Εικόνα 1.17: (α) Χώρος με ανοίγματα οροφής, (β) Χώρος με πλευρικά ανοίγματα, (γ) Άνοιγμα οροφής κοντά στο βορεινό τοίχο με σκοπό την καλύτερη κατανομή φυσικού φωτός, (δ) Άνοιγμα οροφής σε χώρους με μεγάλο ύψος για αποτροπή θάμβωσης από την θέαση του ουρανού, [Web3]

- Αίθρια
- Φωταγωγοί
- Σκίαστρα
- Ράφια φωτισμού, ανακλαστήρες, περσίδες (Εικόνα 1.18, Εικόνα 1.19)



Εικόνα 1.18: Ανακλαστικά ράφια (α) εξωτερικά ή (β) εκατέρωθεν του ανοίγματος, [Web3]



Εικόνα 1.19: Διατάξεις περσίδων με ανακλαστική την άνω παρειά τους, που οδηγούν το φυσικό φως στην οροφή του χώρου, [Web3]

2. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΕΣΗΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός ενός κτιρίου θα πρέπει να έχει ως στόχο τη βελτιστοποίηση των περιβαλλοντολογικών παραμέτρων στο εσωτερικό του. Σύμφωνα με την Αμερικανική Επιστημονική Εταιρία Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning), ως άνεση ορίζεται η κατάσταση του μυαλού κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος. Εκφράζει δηλαδή ικανοποίηση με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες, την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, την παρουσία του φωτός στο χώρο και νιώθει προστατευμένος από εξωγενείς θορύβους. [Web6]

2.2 Θερμική άνεση

Ο άνθρωπος θεωρεί το περιβάλλον του θερμικά άνετο, όταν δεν υπάρχει κάποιο σήμα από τα αισθητήρια όργανα για πτώση ή άνοδο της θερμοκρασίας του σώματος. Αυτή η κατάσταση μπορεί να περιγραφεί ως θερμική ισορροπία (Εικόνα 2.1), αφού το άτομο δεν αισθάνεται ούτε κρύο ούτε ζέστη.

Εικόνα 2.1: Κατάσταση θερμικής ισορροπίας, [Web6]

Το ανθρώπινο σώμα διαθέτει ένα αποτελεσματικό σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας, η οποία διατηρείται περίπου στους 37^0C. Όταν η θερμοκρασία του σώματος αρχίσει να αυξάνεται προκαλείται η εφίδρωση, η οποία είναι ο βασικός μηχανισμός ψύξης του δέρματος. Αντιθέτως, όταν η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος μειώνεται, αυξάνονται οι εσωτερικές καύσεις, ενεργοποιούνται οι μύες και παρουσιάζονται ρίγη, έτσι ώστε να μειωθεί η απώλεια θερμότητας και να επανέλθουμε σε φυσιολογικά επίπεδα.

Σύμφωνα με τη φυσιολογία, η θερμοκρασία του δέρματος είναι ο κατάλληλος δείκτης για τη θερμική αίσθηση του περιβάλλοντος. Η θερμική άνεση όμως είναι μια ολοκληρωτική μονάδα και απεικονίζει τη συνολική θερμική κατάσταση του σώματος. Συμπληρωματικά, έχει προταθεί η εισαγωγή και άλλων φυσικών παραμέτρων για την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης όπως:

- Μέση θερμοκρασία δέρματος
- Ρυθμός εφίδρωσης

- Ξηρότητα του δέρματος

Ο όρος θερμική άνεση εμπεριέχει και έναν υποκειμενικό χαρακτήρα, καθώς στον ίδιο χώρο την ίδια στιγμή που ένα άτομο αισθάνεται ικανοποίηση, κάποιο άλλο μπορεί να αισθάνεται δυσφορία. Παρόλα αυτά, σε ένα ευρύτερο πλαίσιο οι βασικοί παράμετροι που την επηρεάζουν είναι οι εξής:

- Η θερμοκρασία του αέρα
- Η υγρασία
- Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας εσωτερικών επιφανειών
- Η ταχύτητα του εσωτερικού αέρα σε συνδυασμό με την πίεση της ατμόσφαιρας
- Οι βιολογικές παράμετροι, που αφορούν το φύλλο του ατόμου, την ηλικία του, τον μεταβολισμό του και τις συνήθειες του
- Οι εξωτερικές παράμετροι, όπως ο ρουχισμός

2.2.1 Θερμοκρασία του αέρα

Η θερμοκρασία του αέρα αποτελεί έναν από τους πιο καθοριστικούς παράγοντες για την εξασφάλιση υγιούς εσωτερικού περιβάλλοντος σε ένα χώρο. Αποτελεί το κλειδί για το ενεργειακό ισοζύγιο μας, την αίσθηση του θερμικού περιβάλλοντος, την άνεση, τη δυσφορία και την αίσθηση της ποιότητας εσωτερικού αέρα. [13]

Οι παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία στο εσωτερικό των κτιρίων μπορούν να ενταχθούν στις παρακάτω κατηγορίες [Web6]:

- Το εξωτερικό περιβάλλον
- Ο προσανατολισμός του κτιρίου
- Τα υλικά κατασκευής και θερμομόνωσης του κτιρίου
- Ο τρόπος αερισμού του κτιρίου
- Ο τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης ενός μηχανικά αεριζόμενου κτιρίου
- Ο τρόπος σχεδιασμού ενός φυσικά αεριζόμενου κτιρίου
- Ο τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης ενός συστήματος θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου
- Ο τύπος και ο αριθμός των ηλεκτρικών συσκευών, μηχανημάτων ή εξοπλισμού γραφείων που υπάρχουν στο κτίριο και παράγουν θερμότητα (π.χ. οθόνες Η/Υ)
- Ο τρόπος λειτουργίας του κτιρίου και των συστημάτων αερισμού, θέρμανσης και ψύξης από τους χρήστες του κτιρίου

Η προδιαγραφή της θερμοκρασίας άνεσης είναι ιδιαίτερα δύσκολη εξαιτίας κυρίως του μεγάλου αριθμού παραγόντων που επηρεάζουν τη διατήρηση μιας θερμοκρασίας σε ένα χώρο και την καταγραφή αυτής ως άνετης ή όχι από το σώμα

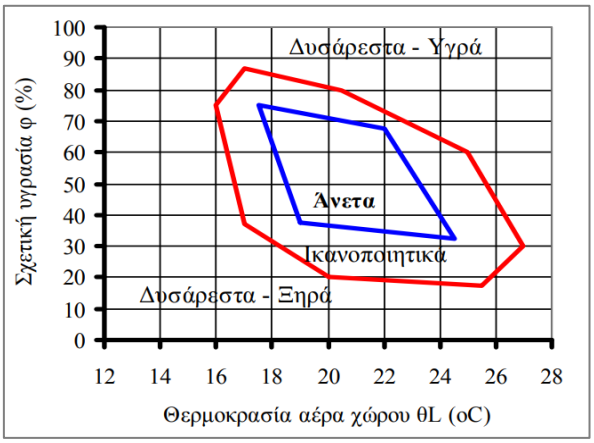
μας. Σε γενικές γραμμές όμως, άνετη θερμοκρασία αέρα για τον άνθρωπο συναντάμε μεταξύ 18^0C και 22^0C σε συνδυασμό με σχετική υγρασία από 30% έως 60% και ασθενή άνεμο 2 m/sec.

2.2.2 Υγρασία

Η υγρασία αφορά το ποσό των υδρατμών που υπάρχει στον αέρα. Για την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης χρησιμοποιείται κυρίως ο όρος της σχετικής υγρασίας που εκφράζει το ποσό του κορεσμένου αέρα σε υδρατμούς. Η σχετική υγρασία επενεργεί στην εξάτμιση του νερού από την επιδερμίδα μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του δέρματος και επηρεάζοντας το θερμικό ισοζύγιο του σώματος.

Σε γενικές γραμμές, η ανοσοποιητική ικανότητα του δέρματος μειώνεται όταν το δέρμα δεν υγραίνεται επαρκώς. Από την άλλη μεριά το αίσθημα της δυσαρέσκειας εμφανίζεται όταν το δέρμα είναι έντονα βρεγμένο, υπό την παρουσία υψηλών θερμοκρασιών, υψηλής σχετικής υγρασίας και δραστηριότητας εντονότερης της καθιστικής.

Τα αποδεκτά όρια σχετικής υγρασίας του αέρα είναι λιγότερο σαφή από αυτά της θερμοκρασίας, καθώς εξαρτώνται από μεγαλύτερο συνδυασμό παραμέτρων. Όπως αναλύθηκε νωρίτερα, η πιο σημαντική παράμετρος οριοθέτησης επιτρεπτής σχετικής υγρασίας είναι η θερμοκρασία αέρα του χώρου. Η Εικόνα 2.2 και ο Πίνακας 2.1 παρουσιάζουν τη σχετική υγρασία σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του αέρα και τις οδηγίες για τα επιτρεπτά επίπεδα των τιμών αυτών σύμφωνα με το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.



Εικόνα 2.2: Διάγραμμα θερμικής άνεσης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, [Web6]

ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ (ΤΟΤΕΕ 2425/86)			
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΩΡΟΥ		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ
Κατοικίες		22	30-50
Κτίρια γραφείων		21-23	30-35
Βιβλιοθήκες - Μουσεία		20-22	40-50
Νοσοκομεία		24	30
Εστιατόρια και Κέντρα διασκέδασης		21-23	30-40
ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΟ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ (ΤΟΤΕΕ 2425/86)			
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΩΡΟΥ		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ
Κατοικίες		25-26	40-50
Κτίρια γραφείων		25-26	40-50
Βιβλιοθήκες - Μουσεία		22	40-55
Εστιατόρια και Κέντρα διασκέδασης		23-26	50-60
Εκπαιδευτικά κτίρια		26	45-50
Νοσοκομεία	Αίθουσες	24	45-50
	Χειρουργεία	20-24	50-60
	Αναρρωτήρια	24	50-60

Πίνακας 2.1: Συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους σύμφωνα με την τεχνική οδηγία 2425/86 του ΤΕΕ, [Web6]

2.2.3 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ενός χώρου ορίζεται ως εκείνη η θερμοκρασία μιας συμπαγούς μαύρης επιφάνειας για την οποία παρατηρείται η ίδια απώλεια θερμότητας μέσω ακτινοβολίας, σε σχέση με την εξεταζόμενη επιφάνεια. [Web6]

Ο υπολογισμός της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας είναι ιδιαίτερα επίπονος και απαιτεί τη χρήση Η/Υ και των πινάκων που εμπεριέχονται στα πρότυπα που έχουν δημιουργηθεί από την Αμερικανική Επιστημονική Εταιρία Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού για τους συντελεστές γωνίας.

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας διαφοροποιείται από τη θερμοκρασία του αέρα, γιατί είναι πρωτίστως υπεύθυνη για τις χωροταξικές διαφορές της θερμοκρασίας σε ένα χώρο και τη δημιουργία τοπικής δυσφορίας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σύμφωνα με την ASHRAE κάθε διαφορά 0,55^{0}C μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα και της μέσης ακτινοβολούμενης, αντισταθμίζεται με μεταβολή της αισθητής θερμοκρασίας κατά 0,28 ^{0}C. [14]

2.2.4 Ταχύτητα αέρα

Η κίνηση του αέρα είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ταχύτητα του αέρα και τη μορφής της ροής του (στρωτή ή τυρβώδης). [Web6]

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος είναι αυτός που προσδιορίζει έμμεσα την ταχύτητα του αέρα από τις μεταβολές της θερμοκρασίας στο δέρμα. Σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και υψηλής σχετικής υγρασίας, η αύξηση της ταχύτητας του αέρα

προσφέρει αυξημένες απώλειες θερμότητας με αποτέλεσμα ισορροπημένο θερμικό ισοζύγιο. Αντίθετα, σε χαμηλές θερμοκρασίες, η αυξημένη ταχύτητα αέρα μπορεί να προκαλέσει δυσφορία επιταχύνοντας τις απώλειες θερμότητας στο σώμα. Είναι προφανές λοιπόν πως η ταχύτητα του αέρα είναι ικανή να μεταβάλλει τις απώλειες θερμότητας του σώματος είτε αρνητικά είτε θετικά. Η ταχύτητα του αέρα σε φυσικά αεριζόμενα κτίρια είναι κοντά στα 0,1m/s, ενώ σε χώρους με μηχανικό αερισμό μεταβάλλεται ανάλογα με το σύστημα που έχει τοποθετηθεί.

Όσον αφορά στον τύπο της ροής του αέρα, έχει αποδειχθεί μετά από έρευνες πως η περιοδικά μεταβαλλόμενη ροή του αέρα προκαλεί συναισθήματα δυσφορίας, συγκρινόμενη με τη στρωτή ροή. Ο τύπος της ροής επηρεάζει τη θερμοκρασία του δέρματος ακόμη και με τη μέση ταχύτητα του αέρα σταθερή.

Ο άνθρωπος στην προσπάθεια του να κρατήσει χαμηλά τα επίπεδα τύρβης παρέχοντας τη ροή του αέρα στην εκάστοτε ζώνη, δημιούργησε συστήματα μηχανικού αερισμού. Τα συστήματα αυτά όμως προσφέροντας μόνο στρωτή ροή αέρα δεν είχαν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά ανάμιξης του εξωτερικού αέρα με τον εσωτερικό, γεγονός που δημιούργησε περισσότερους ρύπους και ανομοιογένεια στην εσωτερική ατμόσφαιρα. Προς επίλυση αυτού του ζητήματος, χρησιμοποιείται πλέον συνδυασμός μεθόδων φυσικού και τεχνητού αερισμού, ενώ παράλληλα έχουν συνταχθεί και σχετικές οδηγίες για την κάθε προσέγγιση. Σε γενικές γραμμές, για τα φυσικά αεριζόμενα κτίρια δίνεται η προτεινόμενη τιμή εναλλαγών αέρα ανάλογα με τον αριθμό των χρηστών και το μέγεθος του χώρου, ενώ στα μηχανικά αεριζόμενα κτίρια η ταχύτητα του αέρα μετριέται σε m/s.

2.2.5 Μεταβολισμός

Ο μεταβολισμός ενός οργανισμού εκφράζει τον ρυθμό μετασχηματισμού χημικής ενέργειας (τροφής) σε έργο W και θερμότητα Q. Εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την δραστηριότητα του οργανισμού. Για παράδειγμα, σε κατάσταση χαλάρωσης ένας ενήλικος άνδρας παράγει περίπου 100 W ή 58,1 W/m^2 αν δεχτούμε ότι η μέση επιφάνειά του είναι 1,8m^2. Βασική μονάδα μέτρησης του μεταβολισμού είναι το met, όπου 1 met = 58,1 W/m^2. [Web7]

Ο μεταβολισμός και γενικά οι δραστηριότητες του ανθρώπινου σώματος οδηγούν σε έκλυση θερμότητας, η οποία στη συνέχεια διοχετεύεται στο περιβάλλον με σκοπό να παραμένει η θερμοκρασία του σώματος σε επιτρεπτά επίπεδα. Ενδεικτικά η θερμοκρασία του δέρματος σε ηρεμία για την επίτευξη θερμικής άνεσης είναι από 33^0C έως 34^0C και μειώνεται όσο αυξάνεται η δραστηριότητα. Αντιθέτως, η εσωτερική θερμοκρασία ενός ανθρώπου σε ανάπαυση είναι $36,6^0$C και είναι ανάλογη της αύξησης της δραστηριότητας.

2.2.6 Ρουχισμός

Ο ρουχισμός αποτελεί θερμική αντίσταση (μόνωση) μεταξύ της επιδερμίδας και του περιβάλλοντος. Η θερμότητα από το δέρμα στα ρούχα μεταφέρεται με αγωγή και στη συνέχεια με ακτινοβολία μεταδίδεται στο περιβάλλον.

Εμπειρικά, ο άνθρωπος σε ζεστό περιβάλλον φορά ελαφριά ρούχα, που έχουν δηλαδή μικρή αντίσταση και δεν απορροφούν την ακτινοβολία, ενώ σε κρύο περιβάλλον προτιμά τα βαριά ρούχα που έχουν μεγαλύτερη αντίσταση. Για να μετρηθεί όμως η αντίσταση του ρουχισμού με ακρίβεια χρησιμοποιείται η μονάδα μέτρησης clo. Το 1 clo είναι η απαραίτητη ποσότητα ρουχισμού ώστε να διατηρηθεί σε συνθήκες ευεξίας ένα άτομο σε χώρο θερμοκρασίας 21,1^{0}C. Σε αντιστοιχία με την αίσθηση που δίνουν τα ρούχα στον άνθρωπο όταν τα χρησιμοποιεί, ένα clo θα μπορούσε να αντιστοιχηθεί στην ενδυμασία ενός χειμερινού κουστουμιού. [Web7]

2.3 Οπτική άνεση

Οι διάφορες λειτουργίες της ανθρώπινης όρασης, όπως η ανάγνωση, η κατασκευή σχεδίων, οι σπιτικές εργασίες και η παρακολούθηση τηλεόρασης έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε φωτισμό. Επομένως, ανάλογα με το είδος των εργασιών ή των δραστηριοτήτων που εκτελούνται στο εσωτερικό ενός κτιρίου απαιτείται και ο κατάλληλος σχεδιασμός του συστήματος φωτισμού (φυσικού, τεχνητού ή συνδυασμού αυτών), ώστε να επιταχύνονται τα επιθυμητά αποτελέσματα. [Web8]

Η οπτική άνεση ορίζεται ως η δυνατότητα εύκολης, απρόσκοπτης και ουσιαστικής αναγνώρισης των αντικειμένων του χώρου και επιτέλεσης των προβλεπόμενων δραστηριοτήτων. Ο καθορισμός της οπτικής άνεσης ενός χώρου εξαρτάται από τις εξής παραμέτρους:

- **Την ποσότητα του φυσικού φωτισμού**. Τα ποσοτικά κριτήρια του φωτισμού στα κτίρια αναφέρονται στις τιμές φωτισμού (lux) κυρίως για τεχνητό αλλά και για φυσικό φωτισμό, ή στον Συντελεστή Φυσικού Φωτισμού (%) για φυσικό φωτισμό, συνήθως στο επίπεδο εργασίας, δηλαδή σε ύψος 70-80cm από το δάπεδο. Το lux είναι η μονάδα μέτρησης της φωτεινότητας και της φωτεινής εκπομπής στο SI, η οποία προσδιορίζει την φωτεινή ροή ανά μονάδα επιφάνειας. Στη φωτομετρία, χρησιμοποιείται ως μέτρο της έντασης (όπως την αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι) του φωτός που χτυπά ή διέρχεται από μια επιφάνεια. Ο Συντελεστής Φυσικού Φωτισμού (Daylight Factor) είναι ο λόγος του φωτισμού που δέχεται ένα σημείο του εσωτερικού χώρου, συνήθως στο ύψος του επιπέδου εργασίας, προς τον αντίστοιχο φωτισμό σε εξωτερικό ανεμπόδιστο σημείο σε συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού, εκφρασμένος επί τοις εκατό. Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται τα όρια έντασης φωτισμού σύμφωνα με την Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού.

Κύρια δραστηριότητα	Τύπος κτιρίου	Ένταση φωτισμού (lux)
Αίθουσες διδασκαλίας	Πανεπιστήμια	300-500
Αμφιθέατρα	Πανεπιστήμια	500
Γραφεία	Κτίρια γραφείων, εκπαίδευσης	500
Δακτυλογράφηση Σχεδιαστήρια	Κτίρια γραφείων, εκπαίδευσης	500-750 1000
Χρήση Η/Υ	Κτίρια γραφείων, εκπαίδευσης	500-750
Βοηθητικοί χώροι Διάδρομοι	Κτίρια γραφείων, εκπαίδευσης	100-300

Πίνακας 2.2: Όρια έντασης φωτισμού σύμφωνα με την Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού, [Web9]

- **Την κατανομή του φυσικού φωτισμού στο χώρο**. Η ομοιόμορφη κατανομή του φωτισμού στο χώρο μειώνει τις αντιθέσεις σε φωτεινότητα και προσφέρει τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας, αφού είναι επιστημονικά αποδεδειγμένο πως ένας χώρος φαίνεται φωτεινότερος όταν είναι ομοιόμορφα φωτισμένος ακόμα και όταν ποσοτικά το φως είναι λιγότερο. Επομένως, η ομοιόμορφη κατανομή φωτισμού πρέπει να λαμβάνεται πολύ σοβαρά υπόψιν κατά το σχεδιασμό των ανοιγμάτων και των τεχνητών φωτιστικών πηγών σε ένα χώρο. Τις περισσότερες φορές επιτυγχάνεται με την εφαρμογή είτε μεγάλων γυάλινων επιφανειών, είτε αμφίπλευρου φωτισμού, είτε συνδυασμού πλευρικού φωτισμού και φωτισμού οροφής.
- **Την ύπαρξη ή μη θάμβωσης**. Η ύπαρξη ή όχι φαινομένων θάμβωσης σε ένα χώρο είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ποιότητα φωτισμού και την πλήρωση συνθηκών οπτικής άνεσης σε έναν εσωτερικό χώρο. Η θάμβωση είναι η έλλειψη οπτικής άνεσης ή η μείωση της ικανότητας να διακρίνονται οι λεπτομέρειες των αντικειμένων λόγω εισαγωγής έντονης φωτεινής πηγής ή δέσμης στο οπτικό πεδίο. Αυτή συνήθως οφείλεται είτε σε ακατάλληλες αναλογίες λαμπρότητας των γύρω επιφανειών είτε σε πολύ έντονες αντιθέσεις στην φωτεινότητα τους. Η εκτίμηση των φαινομένων θάμβωσης είναι μία περίπλοκη διαδικασία, καθώς εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως είναι η διάρκεια, η αναλογία λαμπροτήτων των γύρω επιφανειών αλλά και η υποκειμενική αντίληψη του κάθε χρήστη. Δύο σχετικά απλές μέθοδοι για την αποφυγή της θάμβωσης από φυσικό φωτισμό είναι η χρήση ανοιχτόχρωμων κουφωμάτων στα ανοίγματα, ώστε να μειώνεται η αντίθεση μεταξύ φωτεινού ουρανού και κουφώματος και η αποφυγή των έντονα ανακλαστικών επιφανειών, που προκαλούν έμμεση θάμβωση αναδημιουργώντας την αρχική φωτεινή πηγή (συνήθως τον ήλιο). Απαραίτητος κρίνεται βέβαια και ο σωστός και επαρκής σκιασμός των ανοιγμάτων του χώρου.

2.4 Ακουστική άνεση

Η ακουστική άνεση ενός κτιρίου εκφράζει την ικανότητα του να προστατεύει τους χρήστες του από εξωγενείς θορύβους και να παρέχει κατάλληλο ακουστικό περιβάλλον για διαμονή και πραγματοποίηση διαφόρων ειδών δραστηριοτήτων. Καθορίζεται από ένα σύνολο ηχητικών παραμέτρων που αφορούν την ηχοπροστασία του χώρου από:

- **Αερόφερτους ήχους**, είτε αυτοί παράγονται σε γειτονικούς χώρους από εξωτερικές πηγές, είτε από τις ίδιες τις εγκαταστάσεις του κτιρίου
- **Κτυπογενείς ήχους**, οι οποίοι συνήθως παράγονται σε γειτονικούς χώρους

Τα κτίρια ανάλογα με την χρήση τους χωρίζονται σε κτίρια υψηλής, κανονικής και χαμηλής ακουστικής άνεσης. [15]

2.5 Ποιότητα αέρα

Σε μέρη όπου δραστηριοποιούνται και ζουν άνθρωποι, ο αερισμός του χώρου για την διασφάλιση καλής ποιότητας αέρα είναι απαραίτητος. Άλλωστε, η εσωτερική ατμοσφαιρική ποιότητα είναι στενά συνδεδεμένη τόσο με την υγεία όσο και με την άνεση των ανθρώπων που ζουν ή εργάζονται μέσα στο χώρο. Οι βασικοί παράγοντες που την επηρεάζουν είναι:

- Οι εσωτερικές συγκεντρώσεις ραδιενεργών στοιχείων
- Οι τιμές της εσωτερικής θερμοκρασίας
- Οι τιμές της εσωτερικής υγρασίας
- Ο φωτισμός του χώρου
- Ο θόρυβος και η ύπαρξη οσμών στο χώρο
- Η ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
- Τα οικοδομικά υλικά και οι συσκευές του κτιρίου
- Τα συστήματα ψύξης και θέρμανσης
- Ο ρυθμός ανανέωσης του εσωτερικού αέρα

Ο αερισμός σε αυτούς τους χώρους γίνεται είτε με φυσικό τρόπο (εισαγωγή αέρα απευθείας από το περιβάλλον) είτε τεχνικά (εξαναγκασμένος ή μηχανικός αερισμός), ενώ σε περιπτώσεις απουσίας του παρατηρούνται αυξημένη υγρασία και φαινόμενα εσωτερικής ρύπανσης. Σε επόμενο κεφάλαιο θα αναλυθεί εκτενώς ο τρόπος λειτουργίας του φυσικού και τεχνητού αερισμού.

Η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα νωπού αέρα είναι 1,8m^3/h ανά άτομο. Όσον αφορά στην ποσότητα νωπού αέρα στο χώρο, το μέγεθος ACH δίνει τις απαιτούμενες εναλλαγές αέρα ανά ώρα ανάλογα με τον όγκο του χώρου. Μονάδα μέτρησης του αριθμού εναλλαγών αέρα είναι 1/h. Ενδεικτικά αναφέρεται πως σε χώρους όπως το υπνοδωμάτιο, τα γραφεία και οι αίθουσες διδασκαλίας μία εναλλαγή

αέρα την ώρα είναι αρκετή, ενώ σε χώρους με πιο έντονη δραστηριότητα, όπως το γυμναστήριο και οι χώροι εστίασης, απαιτούνται δύο ή και περισσότερες εναλλαγές.

2.5.1 Αναγκαιότητα αερισμού για την ανθρώπινη υγεία

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες ενότητες, η άνεση και η υγεία των ανθρώπων μέσα σε ένα χώρο επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από την έλλειψη αερισμού. Δεδομένου ότι σχεδόν τα 2/3 της ζωής του, ο άνθρωπος βρίσκεται μέσα σε κάποιο κτίριο, είτε αυτό είναι η οικία του είτε ο χώρος εργασίας του, κρίνεται απαραίτητη η σωστή μελέτη και λειτουργία ενός συστήματος εξαερισμού. Ο εξαερισμός χρειάζεται για να αραιώσει και να εξαλείψει τους εσωτερικούς ρύπους, όπως το διοξείδιο του άνθρακα και τις πτητικές οργανικές ενώσεις.

Η κακή ποιότητα εσωτερικού αέρα αποτελεί την αιτία δημιουργίας του «άρρωστου κτιρίου». [16] Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για τα κτίρια που προκαλούν στους χρήστες τους δυσφορία ή ακόμα και σοβαρά προβλήματα υγείας, λόγω των αυξημένων συγκεντρώσεων οσμών και μικροοργανισμών. Τα συμπτώματα που συνήθως παρουσιάζουν οι άνθρωποι που περνούν μεγάλο χρονικό διάστημα σε τέτοιου είδους κτίρια είναι τα εξής:

- **Αναπνευστικά**, όπως δύσπνοια, ξηρός βήχας, πονόλαιμος, βράχνιασμα, ρινική καταρροή ή συμφόρηση και φτάρνισμα.
- **Οφθαλμολογικά**, όπως ερεθισμός ματιών, πονοκέφαλοι και πρήξιμο βλεφάρων.
- **Δερματικά**, όπως αναφυλαξία προσώπου ή χεριών, εκζέματα, ερεθισμός του δέρματος και σπυράκια.
- **Ψυχολογικά**, όπως λήθαργος, υπνηλία, πνευματική κόπωση, κακή διάθεση και δυσκολία στη συγκέντρωση.
- **Γενικά συμπτώματα**, όπως ζαλάδες και ναυτία.

Μερικοί από τους κυριότερους ρύπους που σχετίζονται με την ποιότητα του αέρα και του περιβάλλοντος των εσωτερικών χώρων προκαλώντας το φαινόμενου του «άρρωστου κτιρίου», που αναφέρθηκε νωρίτερα, είναι οι παρακάτω [17]:

- **Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)**, που παράγεται από τον ίδιο τον άνθρωπο μέσω του μεταβολισμού και εκκρίνεται από το σώμα με την εκπνοή. Το CO_2 είναι επίσης αποτέλεσμα των καύσεων.
- **Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)**, που αποτελεί προϊόν ατελούς καύσης και εκπέμπεται κυρίως από τα αέρια των συστημάτων θέρμανσης.
- **Τα οξείδια του αζώτου (NO_x)**, που προέρχονται από την καύση φυσικού αερίου, την καύση ξύλων, τα θερμαντικά σώματα πετρελαίου και σε μικρότερες ποσότητες από τα τσιγάρα.
- **Το διοξείδιο του θείου (SO_2)**, το οποίο παράγεται από την καύση υλικών όπως το ξύλο και το φυσικό αέριο, ενώ παράλληλα εισέρχεται

στα κτίρια από τον εξωτερικό αέρα. Το SO_2 υπάρχει σε αφθονία στον εξωτερικό αέρα εξαιτίας της λειτουργίας των διυλιστηρίων, των εργοστασίων παραγωγής ενέργειας και φυσικών διεργασιών όπως τα ηφαίστεια.

- **Το όζον**, το οποίο παράγεται από τη χρήση εκτυπωτών laser, φωτοτυπικών μηχανημάτων και λάμπες UV.
- **Ο αμίαντος**, τον οποίο χρησιμοποιούσε ο άνθρωπος σε μεγάλο βαθμό ως δομικό υλικό στα κτίρια του λόγω της θερμομόνωσης που προσέφερε. Η χρήση του μάλιστα απαγορεύτηκε με την πάροδο του χρόνου λόγω των σοβαρών προβλημάτων υγείας που προκαλεί στον άνθρωπο, όπως ο καρκίνος του πνεύμονα.
- **Η σκόνη**, που προέρχεται είτε από τον εξωτερικό αέρα είτε από εσωτερικές διεργασίες του κτιρίου. Ιδιαίτερα στα μεγάλα αστικά κέντρα των χωρών της Μεσογείου, όπως η Αθήνα, τα ποσοστά σκόνης στην ατμόσφαιρα αυξάνονται κάθε χρόνο.

3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΕΡΑ (VARIABLE AIR VOLUME)

3.1 Εισαγωγή στα συστήματα HVAC

Το σύστημα HVAC αποτελεί μεταξύ άλλων (θεμέλια και δομές στήριξης, ηλεκτρικός εξοπλισμός, σύστημα αγωγών και σωληνώσεων) ένα αναπόσπαστο κομμάτι κάθε μεγάλου σύγχρονου κτιρίου στις μέρες μας. Το HVAC (που προφέρεται ως τέσσερα χωριστά γράμματα) είναι αρκτικόλεξο που αντιπροσωπεύει τη θέρμανση (H), τον εξαερισμό (V) και τον κλιματισμό (AC) και περιλαμβάνει ποικίλα μηχανολογικά και ηλεκτρολογικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί ο θερμικός έλεγχος των κτιρίων. [23]

Ένα σύστημα θέρμανσης σχεδιάζεται για να προσθέτει θερμική ενέργεια σε ένα χώρο με σκοπό τη διατήρηση κάποιας επιλεγμένης θερμοκρασίας αέρα, η οποία δεν θα μπορούσε να επιτευχθεί «φυσικά» λόγω της ροής θερμότητας προς το εξωτερικό περιβάλλον ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες (θερμικές απώλειες).

Ένα σύστημα αερισμού έχει ως σκοπό να κυκλοφορεί τον αέρα σε ένα χώρο με τέτοιο ρυθμό, ώστε να μην χρειάζεται να αλλάξει η θερμοκρασία του. Είναι υπεύθυνο ακόμη για τη βελτίωση του επιπέδου άνεσης των ενοίκων, μειώνοντας τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα και απαλλάσσοντας τον εσωτερικό αέρα από σκόνη και οποιαδήποτε άλλα μολυσματικά υπολείμματα.

Τέλος, ένα σύστημα ψύξης σχεδιάζεται για να αφαιρεί θερμική ενέργεια από ένα χώρο ή κτίριο. Σκοπός του είναι επίσης να διατηρείται κάποια επιλεγμένη θερμοκρασία του αέρα, χαμηλότερη συγκριτικά με αυτή που θα επικρατούσε λόγω της αναπόφευκτης ροής θερμότητας τόσο από τις εσωτερικές πηγές της όσο και από το εξωτερικό περιβάλλον προς το εσωτερικό του χώρου (θερμικά κέρδη).

Όπως αναλύθηκε εκτενώς σε όλα τα προηγούμενα κεφάλαια, ο έλεγχος του θερμικού περιβάλλοντος αποτελεί βασικό στόχο για όλα τα κτίρια. Στο σύγχρονο κόσμο, οι προσδοκίες του θερμικού έλεγχου πηγαίνουν αρκετά πέρα από την επιβίωση και περιλαμβάνουν τις σύνθετες θεωρήσεις για θερμική άνεση και ποιότητα του αέρα, που επηρεάζουν την υγεία, την ικανοποίηση και την παραγωγικότητα των ατόμων που καταλαμβάνουν τους χώρους του κάθε κτιρίου. Στην έννοια των HVAC συστημάτων, εμπεριέχονται όλες οι τεχνικές θέρμανσης-ψύξης, αερισμού και ο συνδυασμός όλων αυτών, όπως αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 1. Το είδος όμως του HVAC συστήματος που θα επιλεγεί για το εκάστοτε κτίριο εξαρτάται από τις ανάγκες του.

Τα συστήματα HVAC είναι μεγάλης σπουδαιότητας και από την πλευρά του σχεδιασμού ενός κτιρίου στο σύνολό του, για τους εξής λόγους:

- Απαιτούν συχνά σημαντικό χώρο δαπέδου για την εγκατάσταση του εξοπλισμού και των διατάξεων διανομής.
- Αποτελούν σημαντικό στοιχείο του προϋπολογισμού για το σχεδιασμό των κτιρίων λόγω του κόστους εγκατάστασης αλλά και της λειτουργίας τους.
- Η επιτυχία ή αποτυχία των προσπαθειών θερμικής άνεσης σχετίζεται άμεσα με την επιτυχία ή αποτυχία των συστημάτων HVAC των κτιρίων.
- Αποτελούν σημαντική παράμετρο για την κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων.

Το ζήτημα του συνεχούς ελέγχου των συστημάτων HVAC οδηγεί στην έννοια του χωρισμού των κτιρίων σε θερμικές ζώνες. Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού, μία θερμική ζώνη ορίζεται ως μία περιοχή ενός κτιρίου που απαιτεί χωριστό έλεγχο από τις υπόλοιπες, με σκοπό την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης θερμικής άνεσης στους χρήστες της.

Επομένως, κάθε χώρος οφείλει να τροφοδοτείται με την δική του διακριτή διάταξη ελέγχου. Τα δύο βασικά στοιχεία που πρέπει να εξετάζονται κατά των διαχωρισμό των θερμικών ζωνών είναι η διαφορετική έκθεση των περιοχών ενός κτιρίου στην ηλιακή ακτινοβολία και τα διαφορετικά προγράμματα λειτουργίας και απαιτήσεων φορτίου. Κατ' αυτό τον τρόπο, οι χώροι που έχουν ασύμβατες μεταξύ τους απαιτήσεις υπάγονται σε διαφορετικές ζώνες και ο έλεγχος τους καθίσταται πιο εύκολος και πιο αποδοτικός.

3.1.1 Συνοπτική παρουσίαση συστημάτων HVAC

Η ταξινόμηση των HVAC συστημάτων αφορά τα συστήματα μόνο θέρμανσης, μόνο εξαερισμού, μόνο δροσισμού ή τέλος τα συστήματα κλιματισμού. Όταν γίνεται αναφορά στα συστήματα κλιματισμού, εννοούνται τα συστήματα εκείνα που μπορούν κατ' ελάχιστο να προσφέρουν δροσισμό του αέρα. Στα περισσότερα κτίρια σήμερα, οι προσδοκίες/απαιτήσεις άνεσης των κατόχων τους απαιτούν εν γένει τη χρήση των συστημάτων κλιματισμού. [24]

3.1.1.1 Συστήματα θέρμανσης χώρων

Τα συστήματα μόνο θέρμανσης χώρων στηρίζονται συνήθως σε μία κεντρικά τοποθετημένη θερμαντική μονάδα, στην οποία αυξάνεται η θερμοκρασία του μέσου που χρησιμοποιείται για την μεταφορά της θερμότητας στους χώρους που πρέπει να θερμανθούν. Σήμερα, οι περισσότερες, αν όχι όλες, κτιριακές μονάδες χρησιμοποιούν κεντρική θέρμανση. Τα επιμέρους στοιχεία που συνθέτουν ένα τέτοιο σύστημα αφορούν κυρίως:

- **Τη μονάδα παραγωγής**, η οποία αποτελείται συνήθως από ένα λέβητα, μία αντλία θερμότητας ή το συνδυασμό αυτών. Η λειτουργία της μονάδας παραγωγής εστιάζεται στη θέρμανση του νερού με τη

βοήθεια της καύσης κάποιου ορυκτού καυσίμου μέσω του λέβητα και του καυστήρα.

- **Το δίκτυο αγωγών διανομής**, για τη μεταφορά του θερμαινόμενου μέσου, το οποίο συνήθως είναι το νερό.
- **Τις συσκευές απόδοσης θερμότητας στο χώρο**, οι οποίες περιλαμβάνουν θερμαντικά σώματα, μεταγωγείς αλλά και θερμαντήρες πατώματος χαμηλής θερμοκρασίας.

3.1.1.2 Τεχνικές επιλογές κλιματισμού

Υπάρχουν τρεις γενικοί τύποι συστημάτων κλιματισμού, με πολλές διαθέσιμες παραλλαγές για τον καθένα. [Web24] Ο διαχωρισμός έχει ως εξής:

I. **Συγκεντρωμένα-κεντρικά συστήματα αέρα**, στα οποία όλα τα φορτία θέρμανσης και ψύξης παράγονται σε ένα κεντρικό δωμάτιο εγκαταστάσεων και μεταβιβάζονται στους υπόλοιπους χώρους του κτιρίου με τη βοήθεια ενός δικτύου αγωγών.

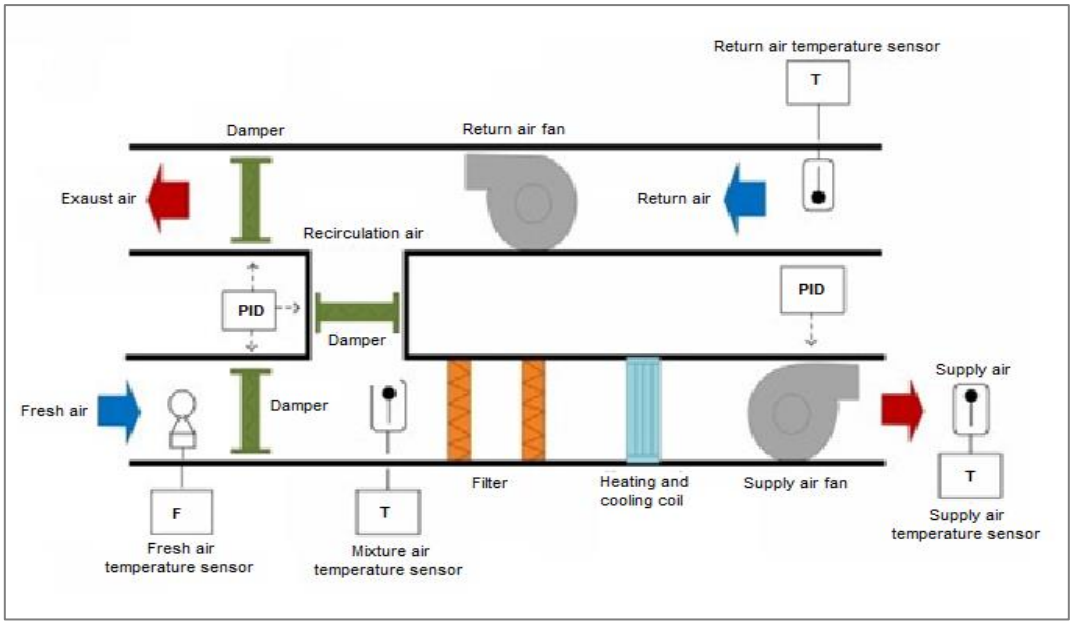
II. **Μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα αέρα/νερού**, στα οποία ο κεντρικά δροσισμένος ή ζεσταμένος αέρας υπόκειται σε περαιτέρω επεξεργασία τη στιγμή που εισέρχεται στους χώρους του κτιρίου

III. **Τοπικά συστήματα**, στα οποία όλες οι διαδικασίες εκτελούνται τοπικά, στους χώρους που υπάρχει ανάγκη για κλιματισμό.

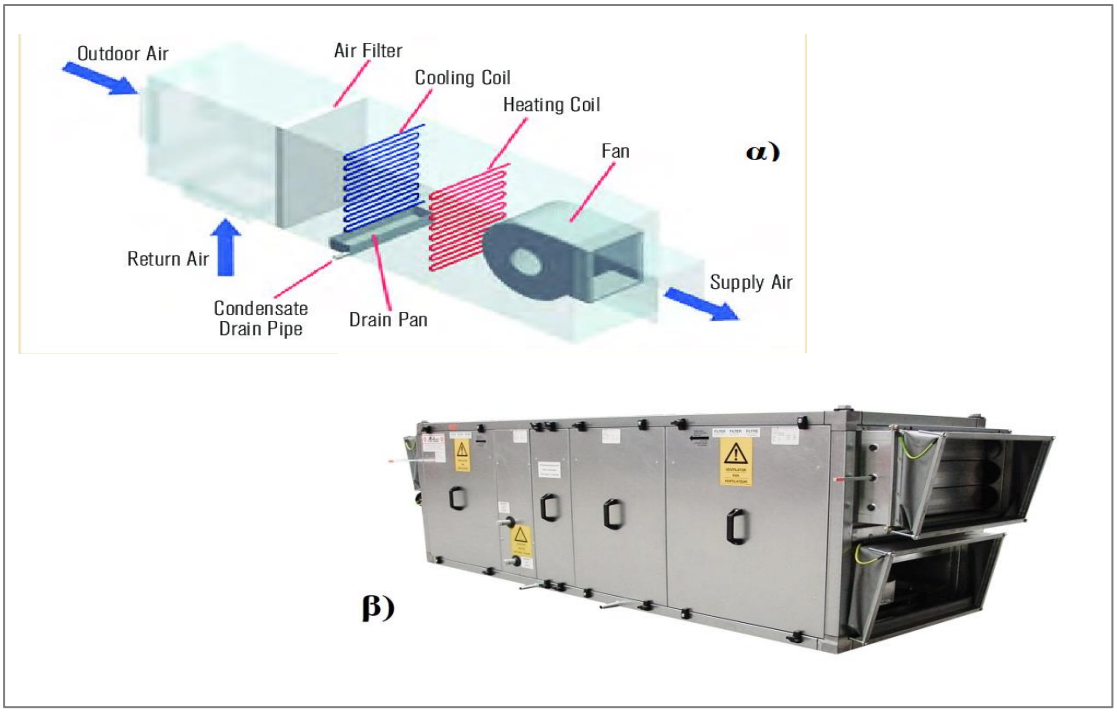
Οι παραλλαγές και ο συνδυασμός των παραπάνω συστημάτων καθορίζονται μόνο από τις ανάγκες του εκάστοτε κτιρίου που εξετάζεται καθώς και από τις προτιμήσεις του ίδιου του σχεδιαστή.

I. Συγκεντρωμένα-κεντρικά συστήματα αέρα

Τα συγκεντρωμένα συστήματα αέρα κτίζονται γύρω από μία προκατασκευασμένη μονάδα διαχείρισης αέρα (Air Handling Unit-AHU), η οποία αποτελείται από έναν ανεμιστήρα, μία αντλία θέρμανσης, συνδυασμούς σπειρών θέρμανσης και δροσισμού και φίλτρα για την καταστροφή βακτηρίων και σκόνης. Τα βασικά μέρη μίας μονάδας διαχείρισης αέρα διακρίνονται στις Εικόνες 3.1, 3.2.



Εικόνα 3.1: Διάγραμμα λειτουργίας τυπικού συστήματος διαχείρισης αέρα, [25]

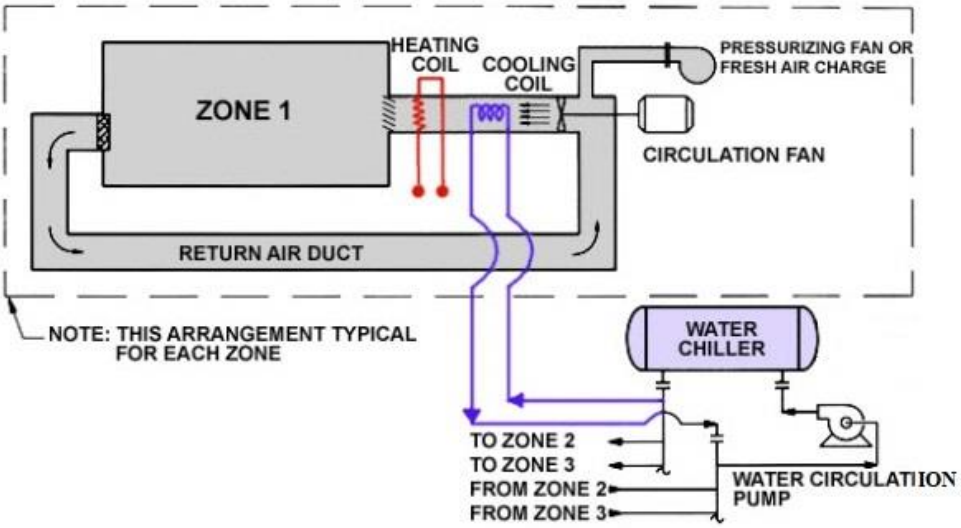


Εικόνα 3.2:α) Σχηματικό διάγραμμα και β) Πραγματική απεικόνιση μονάδας διαχείρισης αέρα, [25]

Η μονάδα διαχείρισης του αέρα τοποθετείται συνήθως μέσα σε ένα κεντρικό δωμάτιο εγκαταστάσεων, με τις ψυκτικές μονάδες και τους λέβητες τοποθετημένους σε γειτονικές θέσεις. Επίσης, μπορεί να διαμορφωθεί κατάλληλα ώστε να εξυπηρετεί μία σειρά από διαφορετικούς τύπους συστημάτων διανομής.

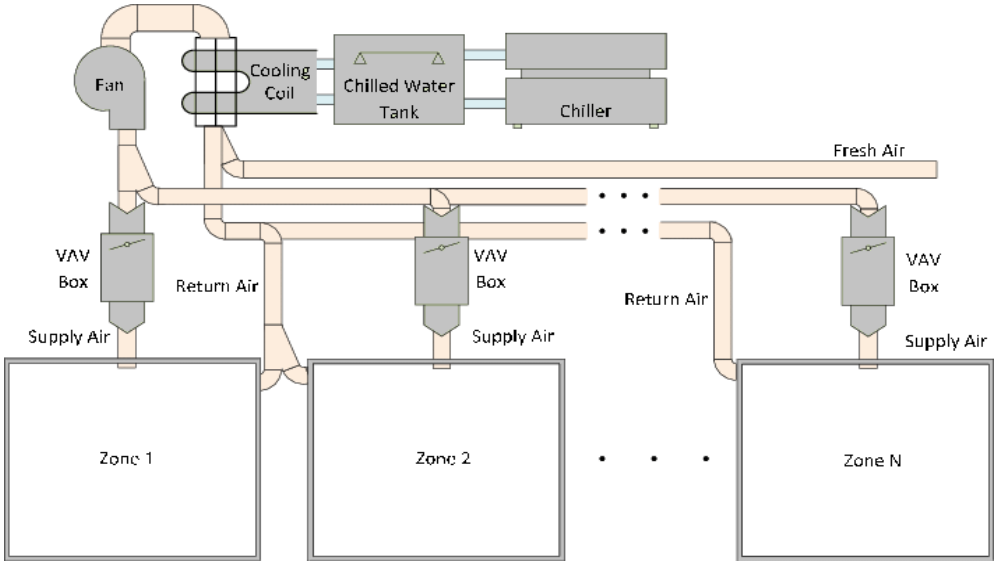
Τα συστήματα ενιαίας ζώνης σταθερού όγκου είναι σχετικά απλά στην εγκατάσταση και χαμηλού κόστους, αλλά δεν είναι ικανά να παρέχουν επαρκή έλεγχο

για τις περιοχές του κτιρίου που παρουσιάζουν διαφορετικές ανάγκες θέρμανσης ή ψύξης σε σχέση με τις υπόλοιπες. Τα συστήματα αυτά δεν διαθέτουν κιβώτια ή κάποιο άλλο μέσο ελέγχου της παροχής αέρα σε κάθε χώρο του κτιρίου ξεχωριστά, αλλά βασίζονται στην ενιαία παροχή. Με άλλα λόγια, όλες οι ζώνες του κτιρίου, όπως αυτές που φαίνονται στην Εικόνα 3.3 αντιμετωπίζονται το ίδιο, σαν να έχουν τις ίδιες λειτουργικές ανάγκες.



Εικόνα 3.3: Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ψύξης ενιαίας ζώνης, [Web23]

Με **τα συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα (VAV)**, το πρόβλημα των ζωνών με διαφορετικές απαιτήσεις αντιμετωπίζεται μεταβάλλοντας την ποσότητα του αέρα που παρέχεται σε κάθε χώρο του κτιρίου με διαφορετικές ανάγκες. Ο αέρας παρέχεται σε μία σταθερή θερμοκρασία μέσω των θερμοστατικά ελεγχόμενων μονάδων απόσβεσης, που ονομάζονται κιβώτια VAV (Variable Air Volume), όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.4. Παρόλο που λεπτομερής ανάλυση του τρόπου λειτουργίας των συστημάτων VAV θα γίνει στη συνέχεια του κεφαλαίου, είναι ήδη εύκολα κατανοητό, πως η δυνατότητα μεταβολής του ψυκτικού φορτίου που προσφέρουν για την κάλυψη των αναγκών της κάθε ζώνης, τα καθιστά ιδιαίτερα ευφυή.



Εικόνα 3.4: Σχηματικό Διάγραμμα VAV συστήματος N-ζωνών, [25]

Τα συστήματα διπλού αγωγού παρουσιάζουν την δυνατότητα να ενσωματώνουν τις αρχές είτε του σταθερού είτε του μεταβλητού όγκου αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση δύο αγωγών, ένας που μεταφέρει τον ζεσταμένο και ένας το δροσισμένο αέρα στο χώρο. Εκεί, ο αέρας αναμιγνύεται σε ένα θερμοστατικά ελεγμένο κιβώτιο ανάμειξης, που τοποθετείται συνήθως σε μια ψευδοροφή και έτσι παρέχεται ακριβής έλεγχος της θερμοκρασίας των χώρων του κτιρίου. Παρόλα αυτά, δεν είναι εφικτός ο επαρκής έλεγχος της υγρασίας, ενώ το σύστημα αυτό παραμένει μη ενεργειακά ευφυές, καθώς ψύχει και θερμαίνει ξεχωριστά εντός του AHU (Air Handling Unit) άσκοπα πολλές φορές αέρα που αναμιγνύεται στη συνέχεια πριν εισέλθει στην εκάστοτε ζώνη.

ΙΙ. Μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα αέρα/νερού

Κοινός παράγοντας αυτών των συστημάτων με τα κεντρικά συγκεντρωμένα συστήματα, είναι η χρήση μίας κεντρικής μονάδας διαχείρισης του αέρα. Ο περαιτέρω κλιματισμός όμως της εκάστοτε ζώνης μπορεί να είναι τοπικά ελεγχόμενος. Τα μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα και τα συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα καθιστούν δυνατή την «ελεύθερη ψύξη», δηλαδή τον δροσισμό του κτιρίου από το περιβάλλον και όχι με μηχανικά μέσα, όταν ο εξωτερικός αέρας είναι αρκούντως πιο δροσερός από το επιθυμητό επίπεδο.

Τα συγκεντρωμένα συστήματα αέρα με αναθέρμανση είναι κατάλληλα σχεδιασμένα για τις περιπτώσεις όπου ο αέρας που παρέχεται από το κεντρικό σύστημα πρέπει να θερμαίνεται ή να δροσίζεται περαιτέρω, προκειμένου να καλυφθούν οι διαφορετικές απαιτήσεις της κάθε ζώνης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση πρόσθετων σπειρών θέρμανσης ή δροσισμού, οι οποίες εγκαθίστανται είτε μέσα στους ελεύθερους χώρους της οροφής της κάθε ζώνης είτε στο δωμάτιο της κεντρικής εγκατάστασης. Στην περίπτωση των VAV συστημάτων με αναθέρμανση,

γίνεται χρήση μόνο σπειρών αναθέρμανσης, οι οποίες τοποθετούνται μέσα στο κιβώτιο VAV.

Τα συστήματα επαγωγής χρησιμοποιούν τον αέρα από την κεντρική μονάδα της εγκατάστασης, με σκοπό την ανάμειξη του με τον αέρα της εκάστοτε ζώνης και την κυκλοφορία αυτών γύρω από μία σπείρα (coil), στην οποία εφαρμόζεται θέρμανση ή δροσισμός. Μόνο τα συστήματα επαγωγής πολλών σωληνώσεων για παροχή και επιστροφή ζεστού και παγωμένου νερού παρέχουν δυνατότητες καλού ελέγχου και ενεργειακής αποδοτικότητας. Αυτό βέβαια δεν αποτελεί πρόβλημα, καθώς η εγκατάσταση τέτοιου είδους συστημάτων δεν απαιτεί ιδιαίτερα μεγάλο χώρο εγκατάστασης και είναι σχετικά οικονομική.

Τα συστήματα fan-coil είναι παρόμοια με τις μονάδες επαγωγής, με τη διαφορά ότι σε αυτά ο αέρας κινείται με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα και όχι λόγω του φαινομένου της επαγωγής. Οι μονάδες fan-coil συνήθως τοποθετούνται στην περίμετρο ή στην οροφή του κτιρίου για να εφοδιάζονται πλήρως με φρέσκο αέρα και να αποφεύγονται τυχόν ενοχλήσεις των χρηστών του κτιρίου από το θόρυβο που προκαλεί η λειτουργία του ανεμιστήρα.

III. Τοπικά συστήματα

Τα τοπικά συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως για την παροχή ψύξης στα κτίρια κατά τους θερινούς μήνες. Χαρακτηρίζονται από την εγκατάσταση μίας μονάδας ανά κλιματιζόμενη ζώνη, όταν μόνο μερικά μέρη ενός κτιρίου απαιτούν κλιματισμό ή εάν ο κλιματισμός πρόκειται να εισάγεται σε μία ζώνη κάθε φορά. Οι μονάδες αυτές είναι στις περισσότερες περιπτώσεις απλές, χαμηλού κόστους κτήσεως, εύκολες στην χρήση και προσφέρουν την δυνατότητα για τοπική ρύθμιση από το χρήστη. Τα πιο διαδεδομένα και σε ευρεία χρήση τοπικά συστήματα σήμερα είναι οι διαμέσου του τοίχου συσκευασμένες μονάδες και οι συσκευασμένες διαιρούμενες μονάδες.

Οι διαμέσου του τοίχου συσκευασμένες μονάδες αποτελούνται από μικρού μεγέθους ψυκτική μονάδα με έναν ενσωματωμένο ανεμιστήρα για την κυκλοφορία του αέρα. Ο αέρας απορροφάται από το χώρο, δροσίζεται καθώς διέρχεται από την μονάδα και επιστρέφει στον κλιματιζόμενο χώρο. Η θερμότητα που αφαιρείται από τον αέρα περνά μέσω του τοίχου και απορρίπτεται στον εξωτερικό αέρα. Οι μονάδες αυτές βέβαια συνήθως είναι θορυβώδεις, ενώ παράλληλα απαιτούν προσαρμογή στον τοίχο.

Οι συσκευασμένες διαιρούμενες μονάδες αποτελούνται από μία μονάδα που είναι τοποθετημένη στην εκάστοτε ζώνη και παρέχει ψύξη από κάποιο ψυκτικό μέσο και από το ψυκτικό μέρος των μονάδων που βρίσκεται σε χώρο εκτός κτιρίου. Και σε αυτή την περίπτωση, παρουσιάζονται προβλήματα έντονου θορύβου κατά την λειτουργία της μονάδας.

Με την πάροδο του χρόνου, εξελίσσονται συνεχώς νέες τεχνολογίες που επιτρέπουν την παρουσία πολλών δοχείων ψύξης συνδεδεμένων με μία ενιαία εξωτερική υπαίθρια ψυκτική μονάδα, η οποία είναι ικανή να μεταβάλλει την παροχή του ψυκτικού μέσου που χρησιμοποιεί σε ανταπόκριση με τις αλλαγές των απαιτήσεων ψύξης. Ακόμη πιο πολύπλοκες εκδόσεις, επιτρέπουν την εναλλαγή των λειτουργιών θέρμανσης και ψύξης, δίνοντας μάλιστα την δυνατότητα στην εσωτερική μονάδα της εκάστοτε ζώνης να λειτουργεί σε κατάσταση ψύξης ή θέρμανσης ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες.

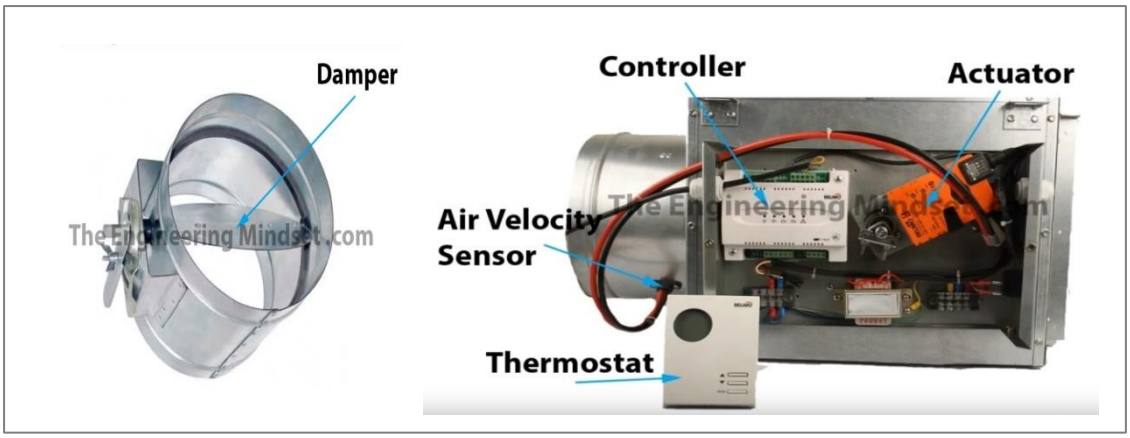
3.2 Παρουσίαση των VAV συστημάτων

Όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα, τα συστήματα που αφορούν τον κλιματισμό ενός χώρου διακρίνονται μεταξύ άλλων σε συστήματα ενιαίας ζώνης σταθερού όγκου αέρα (CAV) και συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα (VAV).

Η λειτουργία των CAV συστημάτων βασίζεται στην εναλλαγή της θερμοκρασίας του αέρα που εισέρχεται στην κάθε ζώνη και όχι στην μεταβολή του όγκου του. Επομένως, γίνεται μεταφορά συγκεκριμένου όγκου αέρα εντός της ζώνης ανεξαρτήτως του φορτίου (από δεδομένα καιρού, λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών, δραστηριότητες των ανθρώπων και άλλα) που υπάρχει σε αυτή.

Από την άλλη πλευρά, τα VAV συστήματα είναι σχεδιασμένα για την ταυτόχρονη επίτευξη θερμικών και ψυκτικών φορτίων με ευφυή τρόπο. Δηλαδή με την εναλλαγή της ποσότητας του αέρα που εισέρχεται στην εκάστοτε ζώνη συναρτήσει των φορτίων αυτής. Αυτή η δυνατότητα μεταβολής του όγκου του αέρα επιτρέπει την αυτόνομη ρύθμιση της θερμοκρασίας κάθε ζώνης, χωρίς να επηρεάζεται η θερμοκρασία του αέρα στο υπόλοιπο σύστημα. Έτσι αποφεύγονται πιο εύκολα ακραία φαινόμενα, όπως η υπερθέρμανση ή ο υπερδροσισμός των κτιρίων, γεγονός που καθιστά τα VAV συστήματα ιδιαίτερα δημοφιλή στις μέρες μας. [Web25]

Το κύριο χαρακτηριστικό των VAV συστημάτων, που τα διαχωρίζει από όλα τα υπόλοιπα είναι η χρήση των θερμοστατικά ελεγχόμενων μονάδων απόσβεσης, δηλαδή των κιβώτιων VAV (VAV boxes). Βασικό στοιχείο του κιβώτιου είναι ο αποσβεστήρας (damper), ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον ρυθμό παροχής αέρα στο χώρο ανάλογα με τις τιμές που δέχεται από τον θερμοστάτη που διαθέτει η κάθε ζώνη. Στην Εικόνα 3.5 παρουσιάζονται και τα υπόλοιπα μέρη του κιβώτιου.



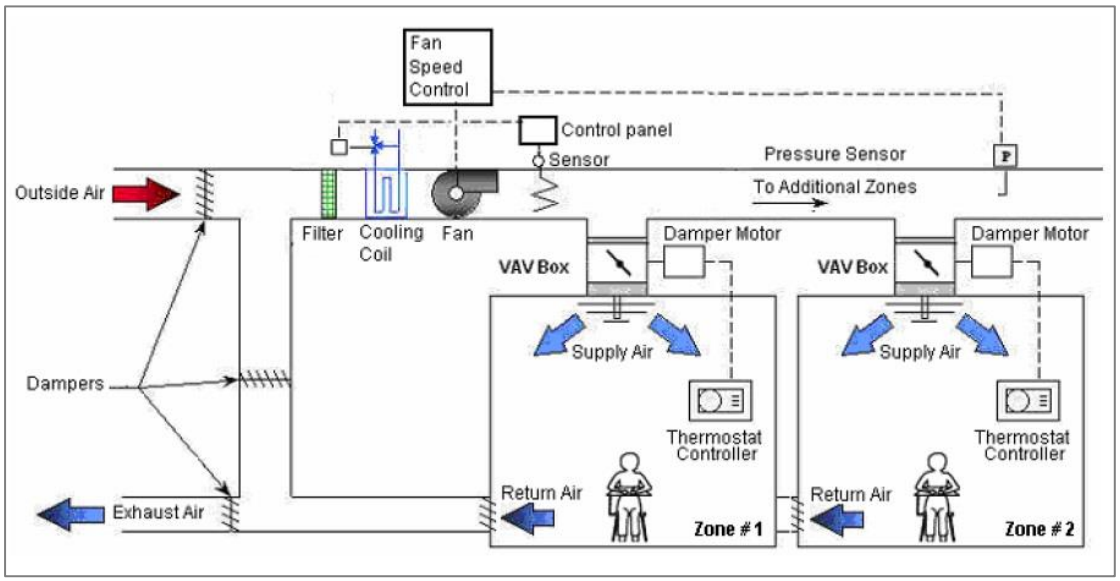
Εικόνα 3.5:Παρουσίαση του αποσβεστήρα και της τομής ενός τυπικού VAV box, [Web26]

Σε ένα σύστημα VAV, η μονάδα διαχείρισης αέρα (AHU) είναι υπεύθυνη για τη θέρμανση ή ψύξη του αέρα και τη μεταφορά του μέσω του δικτύου αγωγών σε όλους τους χώρους του κτιρίου. Στη συνέχεια, σε κάθε ζώνη χωριστά επιδρά ο αποσβεστήρας στο κιβώτιο VAV, όπως περιγράψαμε νωρίτερα. Πιο συγκεκριμένα, όταν το φορτίο της εκάστοτε ζώνης μειώνεται, ο αποσβεστήρας «κλείνει» μειώνοντας την παροχή αέρα. Αντίθετα, όταν ο αισθητήρας θερμοκρασίας που διαθέτει κάθε ζώνη αναγνωρίσει άνοδο στη θερμοκρασία του χώρου, στέλνεται αυτομάτως εντολή στον αποσβεστήρα να «ανοίξει» έτσι ώστε να αυξηθεί η ροή φρέσκου πιο κρύου αέρα. Εξετάζοντας όμως λίγο αναλυτικότερα αυτή τη διαδικασία, παρατηρούνται αρκετά προβλήματα, η αποφυγή των οποίων απαιτεί περισσότερο έλεγχο του συστήματος.

Όταν ένα κιβώτιο VAV διακόπτει την ροή αέρα εντός κάποιας ζώνης, δημιουργεί στατική πίεση αυξάνοντας τη ροή αέρα εντός του δικτύου των αγωγών αερισμού. Αυτή η αλλαγή θα γίνει αισθητή στην επόμενη προς εξέταση ζώνη, καθώς η είσοδος μεγαλύτερου όγκου αέρα θα αλλάξει την θερμοκρασία της σχετικά γρήγορα. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας της συγκεκριμένης ζώνης θα μετρήσει την απότομη αλλαγή και θα επανατοποθετήσει τον αποσβεστήρα σε λειτουργία μειωμένης ροής. Ακολούθως, η μειωμένη ροή αέρα σε άλλη μία ζώνη του κτιρίου προκαλεί νέα αύξηση της στατικής πίεσης και της ροής αέρα εντός του δικτύου. Αν δεν υπάρξει περαιτέρω έλεγχος, ο φαινόμενο αυτό συνεχίζεται χωρίς διακοπή και μπορεί να προκαλέσει μεγάλη ανισορροπία σε όλο το σύστημα.

Είναι εμφανές πως μόνο οι θερμοστάτες της κάθε ζώνης δεν είναι ικανοί να προσφέρουν θερμική ισορροπία. Επομένως, κρίνεται απαραίτητος ο επιπρόσθετος έλεγχος της στατικής πίεσης, έτσι ώστε να διατηρείται η πίεση εντός των αγωγών του συστήματος μέσα σε ένα προκαθορισμένο εύρος τιμών. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός αισθητήρα, ο οποίος όταν μετρήσει αύξηση της πίεσης εντός των αγωγών αέρα θα στέλνει άμεσα σήμα στον ελεγκτή του ανεμιστήρα (μέσα στην μονάδα διαχείρισης αέρα) για να μειώσει την ταχύτητα του. Η μείωση της ταχύτητας λειτουργίας του ανεμιστήρα προκαλεί άμεση ελάττωση της ροής του αέρα εντός του δικτύου. [26]

Στην Εικόνα 3.6, δίνεται ένα παράδειγμα σωστής λειτουργίας ενός VAV συστήματος.



Εικόνα 3.6: Σύστημα μεταβλητού όγκου αέρα (VAV), [Web26]

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, το σύστημα εισάγει στη μονάδα διαχείρισης αέρα εξωτερικό αέρα αλλά και αέρα επιστροφής από τις διάφορες ζώνες του κτιρίου. Αφού πρώτα γίνει το φιλτράρισμα για την αποβολή σκόνης και μικροβίων, ο αέρας διέρχεται από τη σπείρα ψύξης, η οποία είναι υπεύθυνη για τη μείωση της θερμοκρασίας του και επίτευξη της επιθυμητής. Η επιθυμητή θερμοκρασία διαφέρει ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε κτιρίου, αλλά σε γενικές γραμμές είναι σχετικά χαμηλή, γύρω στους 13-15^{0}C. Παράλληλα οι θερμοστάτες των ζωνών μετρούν την θερμοκρασία του χώρου και ελέγχουν τους αντίστοιχους αποσβεστήρες. Μόνο όταν αυτοί «κλείσουν», η πίεση των αγωγών αυξάνεται και πολλές φορές ξεπερνά το επιθυμητό επίπεδο ρύθμισης. Σε αυτή την περίπτωση, ο αντίστοιχος αισθητήρας πίεσης στέλνει σήμα στον ανεμιστήρα για να μειώσει ταχύτητα. Βασική προϋπόθεση αποτελεί επομένως και η επιλογή του κατάλληλου ελεγκτή μεταβλητής συχνότητας οδήγησης για την λειτουργία του ανεμιστήρα, έτσι ώστε να προσφέρει γρήγορες εναλλαγές της ταχύτητας όταν κρίνεται απαραίτητο. Μόνο έτσι επιτυγχάνεται η διατήρηση της πίεσης του δικτύου εντός των επιθυμητών ορίων που ορίστηκαν κατά τη δημιουργία του συστήματος.

3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης VAV συστημάτων

Σε μία προσπάθεια απαρίθμησης των πλεονεκτημάτων χρήσης των συστημάτων μεταβλητού όγκου αέρα, πρέπει να αναφερθούν τα εξής: [26]

- **Υψηλή ενεργειακή απόδοση**. Τα συστήματα VAV είναι χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς βασίζονται στην εναλλαγή του όγκου και όχι της θερμοκρασίας του αέρα για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος. Όπως αναλύθηκε και νωρίτερα, σε

περιόδους που δεν υπάρχει ανάγκη, ο ανεμιστήρας του συστήματος διαχείρισης αέρα δουλεύει σε χαμηλότερες ταχύτητες, ενώ παράλληλα μειώνεται η ανάγκη συνεχούς χρήσης των ψυκτικών και θερμικών μέσων που χρησιμοποιούνται.

- **Αυτόνομος έλεγχος της θερμοκρασίας**. Τα συστήματα VAV προσφέρουν αυτόνομη διαχείριση της θερμοκρασίας ακόμα και σε χώρους με μεγάλες εναλλαγές φορτίων. Αυτό είναι δυνατό με την προσάρτηση ενός θερμοστάτη σε κάθε κιβώτιο VAV. Έτσι χώροι με τελείως διαφορετικά θερμικά φορτία μπορούν να εξυπηρετούνται από την ίδια μονάδα διαχείρισης αέρα. Κατά την φάση του σχεδιασμού βέβαια, θα ήταν φρόνιμο τα δωμάτια με κοινά χαρακτηριστικά να τοποθετούνται κάτω από την επίβλεψη του ίδιου κιβώτιου VAV.
- **Δυνατότητα ελέγχου της υγρασίας**. Ο έλεγχος της υγρασίας ενός χώρου αποτελεί βασικό συστατικό για την εξασφάλιση συνθηκών άνεσης. Τα συστήματα VAV προσφέρουν αυτή την δυνατότητα, καθώς εισάγουν συνεχώς στο κτίριο αέρα χαμηλής και σταθερής θερμοκρασίας ανεξαρτήτως των υψηλών ή χαμηλών φορτιών της κάθε ζώνης.
- **Οικονομικά οφέλη**. Τα συστήματα VAV δεν απαιτούν την εγκατάσταση τεράστιων σε διαστάσεις συστημάτων για τη λειτουργία τους. Επίσης παρουσιάζουν χαμηλό κόστος λειτουργίας, καθώς οι ανεμιστήρες που χρησιμοποιούν δουλεύουν συνεχώς σε χαμηλή ένταση, η ψύξη και η θέρμανση του κάθε χώρου ανταποκρίνεται πλήρως στις ανάγκες του και δίνεται η δυνατότητα πλήρους αποκλεισμού δωματίων που δεν χρησιμοποιούνται από τους χρήστες του κτιρίου.
- **Ευελιξία**. Τα συστήματα VAV προσφέρουν ευελιξία στη χρήση τους. Είναι ικανά να διαχειριστούν με ιδιαίτερα οικονομικό τρόπο πολλές διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας, ενώ παράλληλα κρίνεται ιδιαίτερα εύκολη η προσθήκη ενός χώρου στις ελεγχόμενες ζώνες του κτιρίου ή η απόρριψη αυτής.

Όσο ιδανικά και αν φαίνονται τα συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα, δεν παύει η χρήση τους να παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα:

- **Ανάγκη ύπαρξης κιβώτιου VAV σε κάθε ζώνη και εύκολης πρόσβασης σε αυτό**. Ακόμη και οι χώροι που αποφασίστηκε κατά τον αρχικό σχεδιασμό να μην είναι θερμικά ελεγχόμενοι οφείλουν να διαθέτουν VAV box για πιθανό έλεγχο τους στο μέλλον. Το γεγονός αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα διαχείρισης χώρου ιδιαίτερα στις μικρές ζώνες του κτιρίου. Παράλληλα η ανάγκη εύκολης πρόσβασης καθιστά την σχεδίαση του συστήματος ακόμη πιο πολύπλοκη.

- **Ανάγκη χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία του κιβωτίου VAV και συχνής συντήρησής τους**. Κρίνονται απαραίτητα η εκτεταμένη χρήση καλωδίωσης και η σπατάλη επιπλέον χρημάτων για συντήρηση.
- **Δυσκολία συνεχούς διατήρησης θερμικής ισορροπίας**. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται όταν υπάρχουν πολύ μεγάλες θερμικές αποκλίσεις μεταξύ των ζωνών που βρίσκονται υπό έλεγχο.
- **Θορυβώδης λειτουργία**. Το φαινόμενο αυτό έχει σχεδόν εξαφανιστεί στις μέρες μας με τη χρήση σύγχρονων ανεμιστήρων.
- **Δυσμενής ανανέωση του αέρα υπό συγκεκριμένες συνθήκες**. Είναι γεγονός πως αν και σπάνια, υπάρχει πιθανότητα μη ικανοποιητικής ανακύκλωσης του αέρα στο χώρο λόγω της ικανοποίησης των απαιτήσεων των ζωνών του κτιρίου με ιδιαίτερα χαμηλή ροή αέρα.

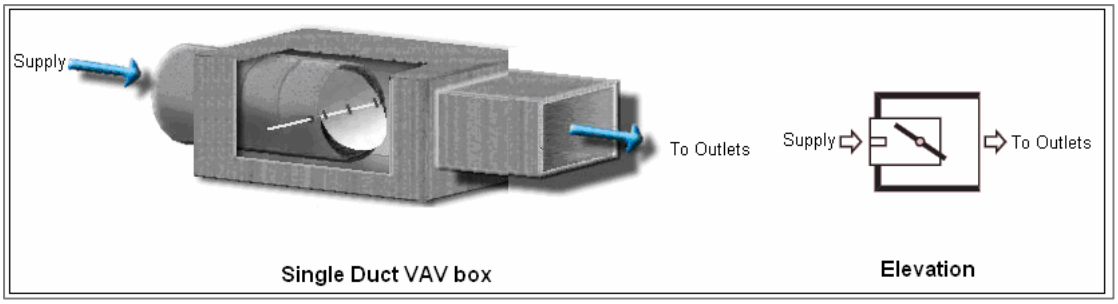
Εν κατακλείδι, τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χρήση των Variable Air Volume συστημάτων είναι πολύ περισσότερα και πιο σημαντικά από τα μειονεκτήματα που μόλις περιγράφτηκαν. Τα VAV συστήματα είναι τα πιο ενεργειακά ευφυή συστήματα κλιματισμού στις μέρες μας και η χρήση τους είναι ευρέως διαδεδομένη σε μεσαίας έως μεγάλης κλίμακας κτίρια, όπως εκπαιδευτικά, εμπορικά και αθλητικά κέντρα καθώς και πολυώροφα κτίρια εταιρειών με πολλά γραφεία.

3.4 Είδη VAV συστημάτων

Αυτά τα συστήματα παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία στον σχεδιασμό και τη λειτουργία τους. Παρόλα αυτά, η γενικότερη φιλοσοφία τους είναι η μεταφορά αέρα σε σταθερή χαμηλή θερμοκρασία σε ένα τερματικό ελέγχου (VAV box) για περαιτέρω επεξεργασία. Όσο μειώνεται το φορτίο της εκάστοτε ζώνης που ελέγχει το εκάστοτε τερματικό μειώνεται και ο όγκος αέρα που εισέρχεται σε αυτή. Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις όπου κρίνεται απαραίτητη η αναθέρμανση του αέρα πριν εισέλθει στη ζώνη και έτσι προκύπτουν τα διαφορετικά είδη VAV συστημάτων που αναλύονται στη συνέχεια. [26]

3.4.1 Single duct VAV

Το σύστημα μονού αγωγού, αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα και ευρέως χρησιμοποιημένα τερματικά συστήματα VAV. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.7 αποτελείται από έναν αποσβεστήρα, έναν ενεργοποιητή, έναν αισθητήρα ελέγχου ροής αέρα και μερικά ακόμη στοιχεία ελέγχου. Ουσιαστικά είναι ένα κουτί με μία είσοδο, μία έξοδο και μία βαλβίδα ελέγχου αέρα ανάμεσα τους. Στο σύστημα αυτό δεν δίνεται η δυνατότητα αναθέρμανσης του αέρα και αυτός είναι ο λόγος που συνήθως χρησιμοποιείται στους χώρους ενός κτιρίου που επιζητούν την ψύξη χωρίς να αποτελεί πρόβλημα ο μη ικανοποιητικός αερισμός τους.

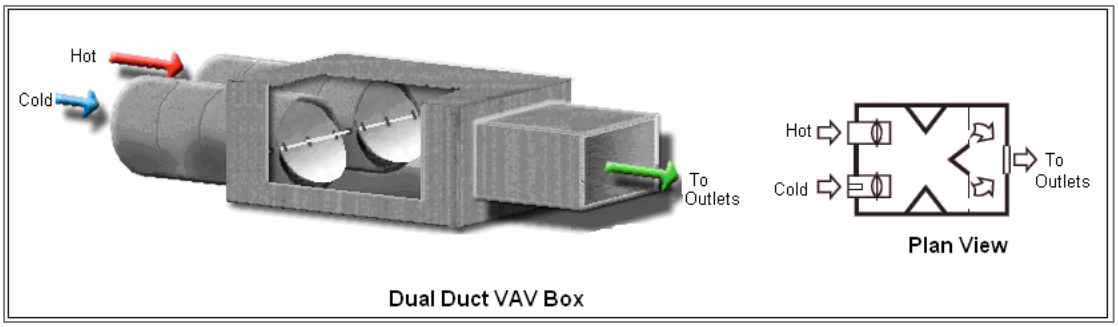


Εικόνα 3.7: Single duct VAV system, [Web26]

3.4.2 Dual duct VAV

Το σύστημα διπλού αγωγού, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.8, αποτελείται από δύο βασικές εισόδους αέρα, δύο αποσβεστήρες, δύο αισθητήρες ταχύτητας (έναν για την κάθε είσοδο) και έναν ελεγκτή συνδεδεμένο με τον θερμοστάτη της υπό επεξεργασία ζώνης. Το τερματικό ενός Dual Duct VAV συστήματος τροφοδοτείται με θερμό και κρύο αέρα ταυτόχρονα. Όταν ο θερμοστάτης στείλει σήμα για πλήρη ψύξη της ζώνης, τότε ανοίγει ο αποσβεστήρας του κρύου αέρα και κλείνει ο αντίστοιχος του θερμού. Η αντίθετη διαδικασία ακολουθείται όταν η ζώνη απαιτεί άμεση θέρμανση. Όταν όμως η θερμοκρασία της ζώνης δεν χρειάζεται καμία αλλαγή, το τερματικό αναμιγνύει τον θερμό και των κρύο αέρα των αγωγών του, παράγοντας σταθερή ροή αέρα χωρίς να υπερθερμαίνει ή να ψύχει υπερβολικά το χώρο.

Αυτή η δυνατότητα αποτελεί το βασικό συστατικό του συγκεκριμένου συστήματος. Είναι ένας έξυπνος τρόπος αποφυγής της στασιμότητας του αέρα, ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται συνεχής ροή και ανανέωση του αέρα εντός της ζώνης, Παρόλα αυτά υπάρχουν συνέπειες, όπως η ανάγκη για συνεχή λειτουργία του AHU και των λεβήτων θέρμανσης, της ψύξης καθόλη τη διάρκεια του έτους και η δημιουργία πιο σύνθετου δικτύου αγωγών.



Εικόνα 3.8: Dual duct VAV system, [Web26]

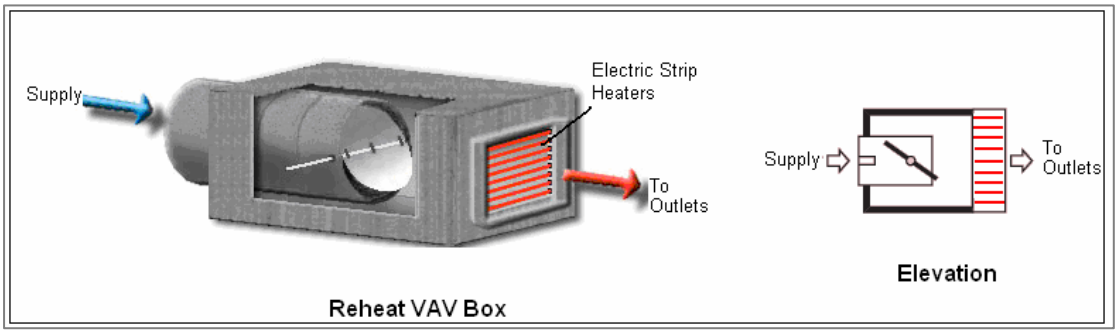
3.4.3 Reheat VAV

Η λειτουργία του τερματικού που χρησιμοποιείται από αυτό το σύστημα παρουσιάζει πολλά κοινά χαρακτηριστικά με αυτή του μονού αγωγού. Η μοναδική ουσιαστική διαφορά είναι πως σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται θερμικά

μέσα (νερό, ηλεκτρικό θερμικό σύστημα) για να θερμάνουν τον αέρα πριν την είσοδο του στην εκάστοτε ζώνη. Όταν υπάρχει μείωση της θερμοκρασίας της ζώνης, ο θερμοστάτης στέλνει σήμα για την εξασφάλιση της ελάχιστης παροχής αέρα. Σε περίπτωση όμως περαιτέρω πτώσης της θερμοκρασίας και μόνο τότε, ο θερμοστάτης ξαναστέλνει εντολή στο τερματικό για να ανοιχτεί η βαλβίδα αναθέρμανσης.

Καταυτό τον τρόπο και με την προϋπόθεση πως η παροχή αέρα δεν σταματάει ποτέ, εξασφαλίζονται ο επαρκής αερισμός της ζώνης και η αποφυγή προβλημάτων από την έλλειψη κατάλληλης ποιότητας αέρα. Το Reheat VAV box καθιστά επίσης, δυνατή την παροχή θερμότητας ή ψύξης σε ένα χώρο χωρίς να επηρεάζει την θερμοκρασία στους υπόλοιπους. Παράλληλα, φιλτράρεται ο αέρας και απορροφάται η υγρασία καλύτερα, καθώς όλες οι διεργασίες λαμβάνουν χώρα στην κεντρική μονάδα διαχείρισης αέρα.

Όσον αφορά στα μειονεκτήματα της χρήσης ενός τέτοιου είδους τερματικού, αξίζει να σημειωθεί η σπατάλη ενέργειας που προκαλείται όταν συμβαίνει αναθέρμανση του αέρα που έχει ήδη αποκτήσει χαμηλή θερμοκρασία από την κεντρική κλιματιστική μονάδα και από την συνεχή λειτουργία του λέβητα θέρμανσης.



Εικόνα 3.9: Reheat VAV system, [Web26]

3.4.4 Fan powered VAV

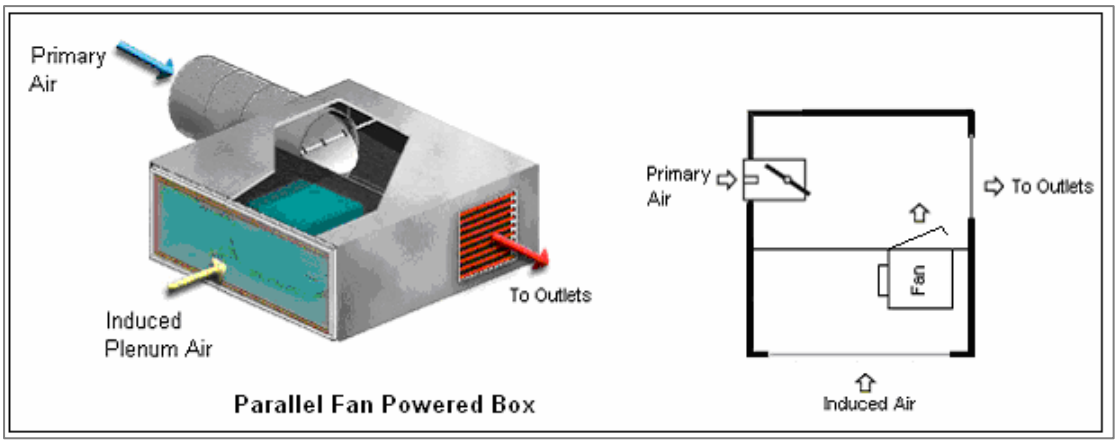
Τα Fan powered VAV συστήματα περιλαμβάνουν εντός του κιβώτιου έναν ανεμιστήρα. Αυτές οι μονάδες σχεδιάστηκαν και έγιναν ευρέως γνωστές για την εξοικονόμηση ενέργειας που προσφέρουν. Χρησιμοποιούν τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χρήση ενός τυπικού VAV συστήματος για ψύξη, αλλά πραγματική εξοικονόμηση ενέργειας συμβαίνει όταν υπάρχει ανάγκη για θέρμανση. Σε αυτή την περίπτωση και αφού πρώτα ο αποσβεστήρας «κλείσει», η μονάδα του τερματικού που διαθέτει τον ανεμιστήρα εισάγει θερμό αέρα από την οροφή της ζώνης και τον αναμιγνύει με αυτόν που έρχεται από την κεντρική μονάδα διαχείρισης αέρα. Έτσι επιτυγχάνεται η άμεση αξιοποίηση όλης της θερμότητας που παράγεται εντός της ζώνης από την ηλιακή ακτινοβολία, τον τεχνητό φωτισμό, τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών και τις δραστηριότητες των ανθρώπων χωρίς να αποστέλλεται πίσω στην κεντρική μονάδα για περαιτέρω επεξεργασία.

Παρόλα αυτά γίνεται εύκολα κατανοητό πως η λειτουργία ενός επιπλέον ανεμιστήρα απαιτεί περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια. Τα δύο βασικά είδη διατάξεων και τρόπων λειτουργίας των Fan powered VAV κιβώτιων είναι τα εξής:

I. Parallel Units
II. Series Units

I. Parallel Units

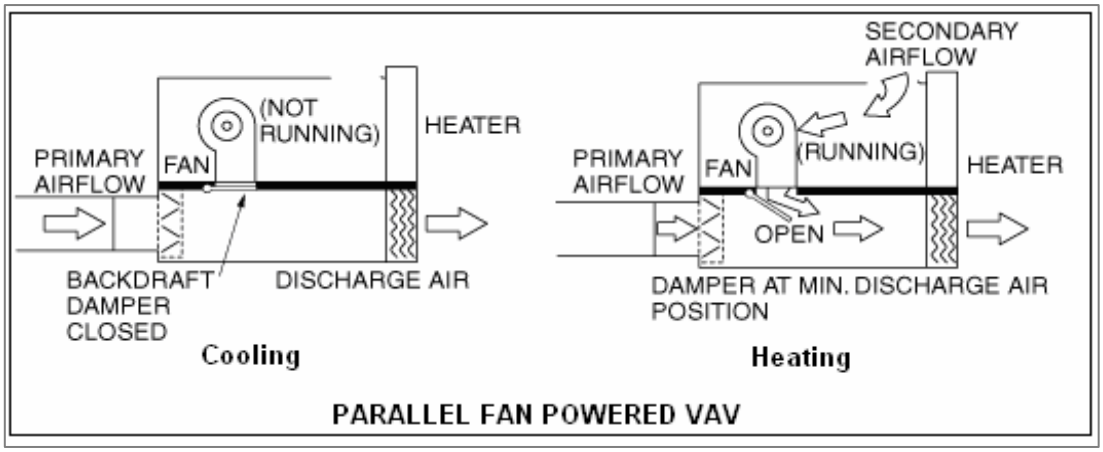
Ένα κιβώτιο τέτοιου είδους αποτελείται από την βασική τροφοδοσία αέρα από την κεντρική μονάδα, τον αποσβεστήρα, τον αισθητήρα ταχύτητας, τον ανεμιστήρα και το σύστημα αναθέρμανσης, όπως φαίνονται στην Εικόνα 3.10.



Εικόνα 3.10: Parallel fan powered system, [Web26]

Σε περίπτωση πτώσης της θερμοκρασίας που βρίσκεται υπό επεξεργασία, ο αποσβεστήρας που αφορά την κεντρική ροή αέρα «κλείνει» και ο ανεμιστήρας τροφοδοτεί με το θερμό αέρα, που λαμβάνει από την οροφή του χώρου, την ίδια τη ζώνη. Ενδεχόμενη επιπλέον πτώση της θερμοκρασίας θέτει σε λειτουργία και το σύστημα αναθέρμανσης του κιβωτίου.

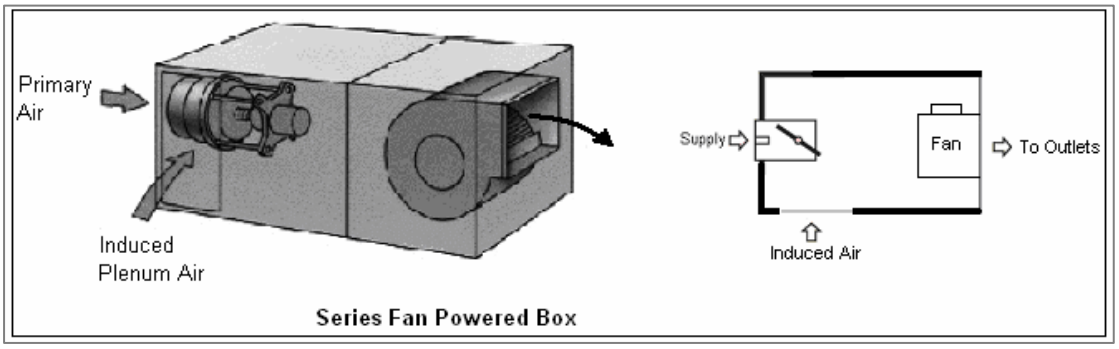
Αξίζει να σημειωθεί πως μεγάλο πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι ότι ο ανεμιστήρας του κιβωτίου τίθεται σε λειτουργία μόνο όταν υπάρχει ανάγκη αύξησης της θερμοκρασίας του χώρου. Σε αντίθετη περίπτωση, παραμένει κλειστός. Επίσης, η διάταξη του κιβωτίου δεν επιτρέπει την μίξη του αέρα που έρχεται από την κεντρική μονάδα με αυτόν που επιστρέφεται στο κιβώτιο από την ίδια τη ζώνη, πριν ο δεύτερος περάσει από τον ανεμιστήρα. Οι δύο φάσεις λειτουργίας του κιβωτίου γίνονται πιο ξεκάθαρες στην Εικόνα 3.11.



Εικόνα 3.11: Λειτουργία parallel fan powered συστήματος, [Web26]

II. Series Units

Ο συγκεκριμένος τύπος κιβώτιου VAV χρησιμοποιεί διάταξη των βασικών στοιχείων που τον αποτελούν σε σειρά. Δηλαδή η μονάδα του ανεμιστήρα συνδέεται άμεσα με τον παρεχόμενο αέρα από την κεντρική μονάδα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.12. Ακόμα μία βασική διαφορά με τον τύπο κιβώτιου σε παράλληλη διάταξη που αναλύθηκε νωρίτερα είναι η συνεχής λειτουργία του ανεμιστήρα.



Εικόνα 3.12: Series fan powered system, [Web26]

Όταν ο χώρος απαιτεί άμεση ψύξη, ο αποσβεστήρας της βασικής ροής «ανοίγει» πλήρως και ο ανεμιστήρας λαμβάνει όλο αυτόν τον αέρα αυξάνοντας την ροή του. Μόνο σε περίπτωση που δεν υπάρχει επαρκής ροή αέρα, χρησιμοποιεί ο ανεμιστήρας τον πιο θερμό αέρα επιστροφής που λαμβάνει από την ζώνη. Αντιθέτως, όταν ο χώρος απαιτεί άμεση θέρμανση «κλείνει» ο αποσβεστήρας και ενεργοποιείται ο θερμαντήρας που είναι εργοστασιακά εγκατεστημένος στην μονάδα του ανεμιστήρα και ζεσταίνει τον αέρα επιστροφής από τη ζώνη. Σε περίπτωση που υπάρχει ικανοποιητική θερμοκρασία στο χώρο, ο αποσβεστήρας βασικής ροής τίθεται σε λειτουργία πολύ χαμηλής ροής και ο ανεμιστήρας φροντίζει για την ανακύκλωση του αέρα.

Σε σύγκριση με τον τύπο κιβώτιου σε παράλληλη διάταξη, προφανώς η συνεχής λειτουργία του ανεμιστήρα είναι πιο ενεργοβόρα και λιγότερο ευφυής, αλλά

αξίζει να αναφερθεί πως η γενικότερη λειτουργία αυτού του συστήματος απαιτεί χαμηλή ροή αέρα από την κεντρική μονάδα, αφού η τελική μίξη του με τον αέρα του ανεμιστήρα συμβαίνει πάντα στο τερματικό κουτί. Αντιθέτως, στην παράλληλη διάταξη η μίξη συμβαίνει μόνο όταν υπάρχει ζήτηση για επιπλέον θέρμανση. Επομένως η σχετικά υψηλή ροή του αέρα από την κεντρική μονάδα είναι απαραίτητη, με ότι ενεργειακό κόστος επιφέρει η επίτευξη αυτής.

3.5 Επιλογή κατάλληλου συστήματος VAV

Η επιλογή του κατάλληλου συστήματός VAV αποτελεί ένα μεγάλο στοίχημα για οποιοδήποτε σχεδιαστή στις μέρες μας. Είναι μία διαδικασία που απαιτεί αναλυτική μελέτη των αναγκών του εκάστοτε κτιρίου και του χρηματικού ποσού που θα δαπανηθεί για την επένδυση, συναρτήσει του χρόνου απόσβεσης. Στην πραγματικότητα, δεν υπάρχει λειτουργικά άρτιο σύστημα. Όλες οι τεχνικές παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Υπάρχουν όμως οι κατάλληλοι συνδυασμοί που φαντάζουν ιδανικοί για το εκάστοτε κτίριο και πληρούν τις προϋποθέσεις που έβαλε ο σχεδιαστής του. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται κάποιοι γενικοί κανόνες επιλογής συστήματος, χωρίς αυτό να σημαίνει πως είναι απόλυτοι.

Τα κιβώτια που προσφέρουν μόνο δροσισμό πρέπει να χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου ο ελάχιστος δυνατός αερισμός του χώρου κρίνεται αρκετός. Κτίρια τηλεπικοινωνιών και ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων συγκαταλέγονται σε αυτή την κατηγορία.

Τα κιβώτια που χρησιμοποιούν μονάδα ανεμιστήρα με διάταξη σε σειρά χαρακτηρίζονται από την παροχή σταθερού όγκου αέρα στην υπό επεξεργασία ζώνη. Φαντάζουν επομένως ιδανικά για χώρους με προβλήματα ροής αέρα, όπως τα πολύ ψηλά κτίρια.

Αντιθέτως, τα κιβώτια που χρησιμοποιούν μονάδα ανεμιστήρα με παράλληλη διάταξη πρέπει να χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις ζωνών με υψηλές θερμικές απαιτήσεις, όπως αυτές που βρίσκονται περιμετρικά του κτιρίου και εκτεθειμένες στο βορρά.

Τέλος, τα κιβώτια VAV με αναθέρμανση είναι τα πιο εμπορικά, καθώς πληρούν σε μεγάλο βαθμό τις προδιαγραφές των περισσότερων κτιρίων. Είναι ενεργειακά ευφυή, έχουν μικρό κόστος εγκατάστασης αλλά και συντήρησης σε σχέση με τα υπόλοιπα, ενώ παράλληλα είναι και σχετικά αθόρυβα.

4. ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΚΟΛΥΜΒΗΤΙΚΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

4.1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες, αποτέλεσε ένα πολύ δυνατό στοίχημα για τον άνθρωπο η μελέτη και βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, όχι μόνο των «συμβατικών» κτιρίων αλλά και πιο σύνθετων, όπως τα εκπαιδευτικά και αθλητικά κέντρα. Σε αυτό τον τομέα εντάσσονται και τα κολυμβητήρια που αποτελούν χώρους πολύ μεγάλης ενεργειακής κατανάλωσης εξαιτίας κυρίως των κολυμβητικών δεξαμενών και των αναγκών που αυτές έχουν.

Μία πισίνα έχει πολλά λειτουργικά μέρη, όπως αντλίες, φώτα, φίλτρα κλπ, τα οποία καταναλώνουν αρκετή ενέργεια για να λειτουργήσουν. Παράλληλα για τις περισσότερες εφαρμογές της πισίνας πρέπει το νερό να είναι θερμαινόμενο, γεγονός που καθιστά τη θέρμανση της πισίνας την πιο ενεργοβόρα λειτουργία ενός κολυμβητηρίου. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η καταναλισκόμενη ενέργεια μιας κολυμβητικής δεξαμενής είναι πέντε φορές υψηλότερη από εκείνη ενός συγκροτήματος γραφείων ίδιας επιφάνειας. Συνακόλουθα, τροχοπέδη αποτελούν οι μεγάλες ενεργειακές απώλειες που παρατηρούνται λόγω των φαινομένων της εξάτμισης κατά πρώτο λόγο, της ακτινοβολίας και της αγωγής.

Επομένως, οι μηχανικοί επικεντρώθηκαν στη διερεύνηση μεθόδων μείωσης του κόστους και της κατανάλωσης ενέργειας για τις κλειστές ή ανοιχτές κολυμβητικές δεξαμενές, ήδη από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα. Αρχικά μελετήθηκαν τα θερμικά κέρδη από την απευθείας ηλιακή ακτινοβολία σε ανοικτή πισίνα και τη χρήση θερμικού καλύμματος για την αποθήκευση αυτής της ενέργειας και την μείωση της εξάτμισης. Μετέπειτα επιστημονικές μελέτες βέβαια, αναπτύσσουν συνεχώς νέους τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας στα κολυμβητήρια. [18]

4.2 Διεθνείς προδιαγραφές και τεχνικά χαρακτηριστικά αγωνιστικών κολυμβητικών δεξαμενών

Με γνώμονα τα Ολυμπιακά ιδεώδη του «ευ αγωνίζεσθαι» και τη διασφάλιση συνθηκών ασφαλείας και άνεσης αναπτύχθηκε ένα σύνολο προδιαγραφών και συγκεκριμένων κατασκευαστικών τεχνικών για τις Ολυμπιακών διαστάσεων αγωνιστικές πισίνες. Έτσι κάθε κολυμβητήριο ανά τον κόσμο είναι υποχρεωμένο να πληροί τις προδιαγραφές της Παγκόσμιας Ομοσπονδίας Υγρού Στίβου (Federation Internationale de Natation, FINA). [Web10]

Κατά την ανέγερση ενός κολυμβητηρίου, η αρμόδια αρχή είναι αυτή που καθορίζει τον ακριβή αριθμό των πισινών που θα διαθέτει καθώς και τις διαστάσεις αυτών. Οι πισίνες διεξαγωγής αγώνων διακρίνονται σε «μεγάλες», οι λεγόμενες long course, σε «μικρές» ή αλλιώς short course και σε πισίνες εκμάθησης.

Στον Πίνακα 4.1 που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των πισινών, όπως οι διαστάσεις τους, η απαιτούμενη θερμοκρασία νερού, οι διαδρομές και άλλα.

Τεχνικές Προδιαγραφές Αγωνιστικών Κολυμβητικών Δεξαμενών		
Είδος Πισίνας	**Long course**	**Short course**
Μήκος	50 m	25 m
Πλάτος	21 m	15 m
Ελάχιστο βάθος	2 m	2 m
Ελάχιστος όγκος	2100 m^3	750 m^3
Ελάχιστος αριθμός διαδρομών	8	6
Πλάτος διαδρομής	2,5 m	2,5 m
Θερμοκρασία νερού	25 -28 °C	25 -28 °C
Ελάχιστη ένταση φωτός	1500 lux	1500 lux
Σχετική υγρασία (κλειστά κολυμβητήρια)	50 – 70%	50 – 70%
Θερμοκρασία αέρα (κλειστά κολυμβητήρια)	28 – 32 °C	28 – 32 °C
Ελάχιστος ρυθμός αερισμού στον χώρο της πισίνας (κλειστά κολυμβητήρια)	12 L/sec/άτομο	12 L/sec/άτομο

Πίνακας 4.1: Τεχνικές προδιαγραφές αγωνιστικών κολυμβητικών δεξαμενών, [Web10], [Web11]

Όσον αφορά στις πισίνες εκμάθησης που αναφέρθηκαν προηγουμένως, οι διαστάσεις τους συνήθως ανέρχονται σε 12,5 μέτρα μήκος και 5 μέτρα πλάτος. Το βάθος τους ξεκινά από τα 60 εκατοστά και αυξάνει σταδιακά μέχρι 1,3 μέτρα. Αξίζει να σημειωθεί πως για τις πισίνες εκμάθησης παραμένει δεσμευτικό μόνο το μήκος, με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά να τίθενται στη διακριτική ευχέρεια της αρμόδιας αρχής.

Για τη σωστή λειτουργία ενός κολυμβητηρίου, το στοιχείο στο οποίο πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή είναι η θερμοκρασία του νερού. Με βάση τις διατάξεις του National Swimming Pools Federation, οι πρότυπες θερμοκρασίες που έχουν προκύψει ύστερα από μελέτες και έρευνες σε βάθος χρόνου ορίστηκαν αναλόγως με τη χρήση της εκάστοτε πισίνας και τα άτομα τα οποία προορίζεται να την χρησιμοποιήσουν. Οι προτεινόμενες θερμοκρασίες νερού παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.

Προτεινόμενες Θερμοκρασίες Νερού	
Δραστηριότητα	**Προτεινόμενη Θερμοκρασία**
Διεξαγωγή αγώνων κολύμβησης και καταδύσεων, προπόνηση αθλητών	26 – 28 °C
Κολύμβηση αναψυχής, εκμάθηση ενηλίκων	27 – 29 °C
Κέντρα αναψυχής	28 – 30 °C
Εκμάθηση ανηλίκων	29 – 31 °C
Baby swimming, παιδιά προσχολικής ηλικίας, ΑΜΕΑ	30 – 32 °C

Πίνακας 4.2: Προτεινόμενες θερμοκρασίες νερού,[Web10]

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η χρήση της πισίνας από μικρές ηλικίες και άτομα με περιορισμένη δυνατότητα κινήσεων, απαιτεί την επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών νερού. Επομένως, είναι προτιμότερο οι ομάδες αυτές να κάνουν χρήση των πισινών εκμάθησης, έτσι ώστε να δαπανηθεί λιγότερη ενέργεια για την επίτευξη της ιδανικής, σχετικά υψηλής θερμοκρασίας. Αντιθέτως, στις περιπτώσεις προπόνησης και διεξαγωγής αγώνων κρίνεται απαραίτητη η διατήρηση της θερμοκρασίας του νερού σε πιο χαμηλά επίπεδα εξαιτίας της συνεχούς κολύμβησης και της παραγωγής περισσότερης θερμότητας από τους ίδιους τους χρήστες της πισίνας. Γίνεται εύκολα αντιληπτό λοιπόν, πως οι short και long course πισίνες χρησιμοποιούνται κυρίως από αθλητές ή άτομα που κάνουν πιο έντονη άσκηση.

4.3 Ελληνικά κολυμβητήρια

Σύμφωνα με την Ελληνική Κολυμβητική Ομοσπονδία, ο αριθμός των κολυμβητικών δεξαμενών στην Ελλάδα ανέρχεται σε 197 από 116 διαφορετικές περιοχές της χώρας μας. Αυτές οι κολυμβητικές δεξαμενές αντιστοιχούν σε 60 κολυμβητήρια, τα οποία ανήκουν στο Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, Πολιτισμού και Αθλητισμού. Σύμφωνα με την επίσημη καταγραφή το 2008 (τη νεότερη χρονικά καταγραφή που έχει γίνει μέχρι σήμερα), ο διαχωρισμός των κολυμβητηρίων στη χώρα μας ανά γεωγραφικό διαμέρισμα και ανά τύπο έχει ως εξής:

- **Αττική:** 22 κολυμβητήρια, εκ των οποίων τα 12 είναι ανοικτά, τα 9 κλειστά και 1 συγκαταλέγεται στην κατηγορία ανοικτά-κλειστά
- **Μακεδονία-Θράκη:** 11 κολυμβητήρια, εκ των οποίων τα 6 είναι ανοικτά, τα 4 κλειστά και 1 συγκαταλέγεται στην κατηγορία ανοικτά-κλειστά
- **Κεντρική Ελλάδα:** 10 κολυμβητήρια, εκ των οποίων τα 7 είναι ανοικτά, τα 2 κλειστά και 1 συγκαταλέγεται στην κατηγορία ανοικτά-κλειστά

- **Νησιά:** 7 κολυμβητήρια, εκ των οποίων τα 4 είναι ανοικτά και τα 3 κλειστά
- **Πελοπόννησος**: 10 κολυμβητήρια, εκ των οποίων τα 9 είναι ανοικτά και το 1 κλειστό

Η ελληνική νομοθεσία έχει μεριμνήσει για την περίπτωση κατασκευής νέου κολυμβητηρίου καθώς και για τον καθορισμό των προτεινόμενων συνθηκών σε όσα είναι ήδη σε λειτουργία. Σύμφωνα με την Υπουργική Απόφαση Γ1/443/1973 (ΦΕΚ 87/Β/24-1-73) και όπως τροποποιήθηκε από την υπ' αριθμόν Γ4 1150/76 (ΦΕΚ 937 Β [19]), με την ιδιότητα «περί Κολυμβητικών Δεξαμενών μετά οδηγιών κατασκευής και λειτουργίας αυτών» (Υγειονομική Διάταξη [19]), καθορίζονται οι κατασκευαστικές απαιτήσεις των νεοανεγερθέντων πισινών. Με βάση την επιφάνεια τους χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- **Τις μικρές**, οι οποίες έχουν επιφάνεια μέχρι 350 m^2
- **Τις μεσαίες**, εφόσον έχουν επιφάνεια μεγαλύτερη των 350 m^2 και μικρότερη των 1250 m^2
- **Τις μεγάλες**, οι οποίες έχουν επιφάνεια μεγαλύτερη των 1250 m^2

Στην Υγειονομική Διάταξη, καθορίζονται ο απαιτούμενος αριθμός προσωπικού λειτουργίας, η διαδικασία έκδοσης άδειας λειτουργίας, οι απαιτήσεις των βοηθητικών εγκαταστάσεων όπως αποδυτήρια, ντους, τουαλέτες, διάδρομοι, γραφεία, κερκίδες, χώρος προπόνησης με βάρη, λεβητοστάσια, μηχανοστάσια, χώροι δεξαμενών και άλλα.

Όσον αφορά στις κατασκευαστικές απαιτήσεις, ιδιαίτερη μνεία γίνεται για τα παρακάτω:

- Τους περιορισμούς στο σχήμα των δεξαμενών για τη σωστή κυκλοφορία του νερού
- Τις απαιτήσεις σήμανσης για το βάθος του πυθμένα
- Τους περιορισμούς στο ακριβές μέγεθος των πισινών
- Τους περιορισμούς για την κλίση του πυθμένα της δεξαμενής
- Την επιτρεπόμενη επίστρωση του πυθμένα και των περιμετρικών τοιχωμάτων και κλίση αυτών
- Το μέγιστο φορτίο της κολυμβητικής δεξαμενής
- Τα στόμια εισροής και εκροής
- Τους αύλακες υπερχειλίσεως
- Τις βαθμίδες και κλίμακες
- Τις απαιτήσεις στεγανοποίησης της κολυμβητικής δεξαμενής και σωστής τοποθέτησης της στον κατάλληλο χώρο

Στον Πίνακα 4.3. παρουσιάζονται αναλυτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τα ακριβή όρια στις κατασκευαστικές απαιτήσεις των κολυμβητικών δεξαμενών, όπως αυτά ορίζονται από την νομοθεσία.

Κατασκευαστικές Απαιτήσεις Κολυμβητικών Δεξαμενών		
Κλίση πυθμένα	Για βάθος < 1,5 m	1 : 12,5 (8%)
	Για βάθος > 1,5 m	1 : 3
Μέγιστο φορτίο δεξαμενών (μέγιστος αριθμός λουόμενων)	Για βάθος < 1 m	1 άτομο / 1 m^2 νερού
	Για βάθος > 1 m	1 άτομο / 2,5 m^2 νερού
Για κάθε σημείο κατάδυσης		Επιπλέον επιφάνεια 30 m^2
Αντιστοιχία ποσότητας νερού ανά λουόμενου		>500 L χλωριωμένου/ανακυκλωμένου νερού ανά λουόμενο
Τοποθέτηση στομίων εισροής για δεξαμενές > 150 m^2		Ανά 4,5 m στα τοιχώματα
Τοποθέτηση στομίων εκροής για δεξαμενές > 150 m^2		Ανά 6 m στα τοιχώματα
Δεξαμενές επιφάνειας > 200 m^2		Επιβάλλεται σε όλη τη περίμετρο κατασκευή αύλακα υπερχειλίσεως
Δεξαμενές επιφάνειας < 200 m^2		Στόμια υπερχειλίσεως (skimmers), τουλάχιστον 1/50 m^2

Πίνακας 4.3: Κατασκευαστικές απαιτήσεις κολυμβητικών δεξαμενών, [Web12]

Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στα όρια που ορίζει η νομοθεσία για τη διασφάλιση της υγιεινής του βασικού συστατικού των κολυμβητηρίων, δηλαδή του νερού.

4.3.1 Ποιότητα νερού

Η ποιότητα του νερού αποτελεί μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους για την ύπαρξη ενός άνετου και υψηλά ποιοτικού κολυμβητηρίου. Για να επιτευχθεί αυτό, κρίνεται απαραίτητη η σωστή χλωρίωση, το φιλτράρισμα και η ανανέωση του νερού της εκάστοτε πισίνας. Άξιο αναφοράς κρίνεται το γεγονός ότι στις περιπτώσεις των πισινών που ακόμη λειτουργούν με χρήση θαλασσινού νερού, ισχύουν οι ίδιες διατάξεις υπό την προϋπόθεση ότι τα τελικά φυσικά, χημικά και μικροβιολογικά χαρακτηριστικά του νερού, ακολουθούν τις προδιαγραφές που ισχύουν και για τις συμβατικές πισίνες . Οι προδιαγραφές αυτές περιγράφονται στον Πίνακα 4.4.

Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Νερού	
Όψη	Διαυγής
Τιμή	Ph 7,2 – 7,8
Αλκαλικότητα	100 – 200 mg/L
Σκληρότητα	50 – 100 mg/L
Θειϊκά	< 600 mg/L
Total Suspended Solids (TSS) **Ολικά Αιωρούμενα Στερεά**	< 3000 mg/L
Περιεκτικότητα σε χλώριο	1 – 4 mg/ L
E. Coli	0 / 100 ml νερού
Κολοβακτηρίδια	< 15 / 100 ml νερού

Πίνακας 4.4: Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού κολυμβητικών δεξαμενών, [Web12], [19]

4.3.2 Ανακυκλοφορία και καθαρισμός νερού

Η ανακυκλοφορία και ο καθαρισμός του νερού της πισίνας αποτελούν απαραίτητες διεργασίες στην προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας και για την αποφυγή υπερβολικής κατανάλωσης υδάτινων πόρων. Η ανακυκλοφορία του νερού είναι αναγκαία τόσο σε ιδιωτικές όσο και σε δημόσιες πισίνες. Σύμφωνα με την παράγραφο 1 του άρθρου 15 της Υγειονομικής Διάταξης, το νερό της πισίνας είναι απαραίτητο να ανανεώνεται σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας της, αλλά και μετά το πέρας αυτής, με ρυθμό που να εγγυάται την πλήρη αλλαγή του μέσα σε διάστημα 4 έως 6 ωρών. Η εξασφάλιση της διαύγειας του νερού επιτυγχάνεται είτε με ανακυκλοφορία του νερού της πισίνας που υπόκειται συνεχείς καθαρισμούς είτε με συνεχή ροή νέου, «καθαρού» νερού. Για την επικράτηση σωστών συνθηκών υγιεινής, απαιτείται η εισροή 30 λίτρων φρέσκου νερού (νέου ή ανακυκλούμενου) ανά άτομο την ημέρα. [Web13]

Τα σημαντικότερα στοιχεία που συμβάλλουν στην ρύπανση της πισίνας που εξυπηρετεί πολλούς χρήστες είναι τα εξής:

- **Ανθρώπινα εκκρίματα**, όπως ο ιδρώτας, το σάλιο, οι τρίχες και τα ούρα
- **Καλλυντικά**, όπως έλαια, κρέμες και διαφόρων τύπων λοσιόν
- **Μολυσματικές ουσίες**, είτε αυτές είναι ανόργανες είτε όχι
- Η μη τήρηση κανόνων υγιεινής από τους χρήστες

4.3.3 Απολύμανση νερού

Ανεξάρτητα με τον τύπο νερού (θαλασσινό ή μη) που χρησιμοποιεί η εκάστοτε κολυμβητική δεξαμενή, κρίνεται απαραίτητη με βάση την Υγειονομική Διάταξη [Web12] η συνεχής απολύμανση του. Η πραγματοποίηση αυτής στις περισσότερες περιπτώσεις γίνεται με την διοχέτευση χλωρίου μέσω κατάλληλης

δοσομετρικής αντλίας. Για να αποφευχθούν προβλήματα στην υγεία των λουόμενων, το υπολειμματικό χλώριο είναι αναγκαίο να βρίσκεται μεταξύ των 0,4 έως 0,7mg/lt. Σε περιπτώσεις που χρησιμοποιείται διαφορετική μέθοδος απολύμανσης του νερού (π.χ. αργιλίου, χαλκού) απαιτείται έγκριση από την Υγειονομική Υπηρεσία.

4.4 Τεχνικές που χρησιμοποιούνται σήμερα

Εκτός από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κολυμβητικών δεξαμενών, ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την λειτουργία των κολυμβητηρίων έχει η έρευνα και κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων των πισινών. Με το πέρασμα των χρόνων, ο άνθρωπος έχει δοκιμάσει πολλές διαφορετικές τεχνικές και μέσα για την ικανοποίηση αυτών των απαιτήσεων, όπως λέβητες, καυστήρες, εναλλάκτες και αντλίες θερμότητας.

4.4.1 Λέβητες

Λέβητας ονομάζεται κάθε κλειστή μεταλλική συσκευή ή δοχείο, εντός του οποίου η χημική ενέργεια του καυσίμου (υγρό, αέριο ή στερεό) που χρησιμοποιείται, μετατρέπεται σε θερμότητα. Η θερμότητα παράγεται από την καύση του καυσίμου, με το οποίο τροφοδοτείται ο λέβητας, χάρη στο εργαζόμενο μέσο, που ανακυκλοφορεί μέσα σε σωληνώσεις και μεταφέρει τη θερμότητα αυτή στο σημείο που θα καταναλωθεί, είτε για θέρμανση είτε για παραγωγή έργου. [Web14]

Ο τύπος του λέβητα που θα χρησιμοποιηθεί σε μια εφαρμογή καθορίζεται κυρίως από την απαιτούμενη θερμοκρασία και πίεση του παραγόμενου ατμού ή νερού. Ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους, οι λέβητες διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Συνήθη λέβητα
- Λέβητα χαμηλών θερμοκρασιών
- Αεριολέβητα συμπύκνωσης
- Λέβητα που τοποθετείται σε κατοικημένο χώρο
- Ατμολέβητα

Επίσης, οι λέβητες μπορούν να χωριστούν και σε περαιτέρω κατηγορίες ανάλογα με την πίεση λειτουργίας τους, το καύσιμο που χρησιμοποιούν, το μέσο μεταφοράς θερμότητας που χρησιμοποιούν, την ισχύ τους αλλά και τον βαθμό απόδοσης τους. Ο πιο απλός, αλλά ιδιαίτερα σημαντικός διαχωρισμός τους αφορά το υλικό κατασκευής τους, που κυρίως είναι χυτοσίδηρος ή χάλυβας. Οι λέβητες φτιαγμένοι από χυτοσίδηρο αντέχουν καλύτερα στη διάβρωση, μπορούν να επιδεχθούν προσθήκες στοιχείων και χρειάζονται μικρότερες ποσότητες νερού κατά τη λειτουργία τους. Οι χαλύβδινοι έχουν μικρότερο βάρος και αντέχουν καλύτερα στις πιέσεις και στις απότομες αλλαγές θερμοκρασίας. Ακόμη, οι διαστάσεις τους προσαρμόζονται καλύτερα στις διάφορες απαιτήσεις και έχουν χαμηλό κόστος. [Web14]

Τα βασικά μέρη ενός λέβητα είναι η εστία καύσης, ο υδροθάλαμος, ο φλογοθάλαμος, οι αυλοί και ο καπνοθάλαμος. Τα κυκλώματα που αφορούν τη σωστή λειτουργία του είναι το κύκλωμα καυσαερίου, το οποίο είναι υπεύθυνο για την καύση του καυσίμου και τη θέρμανση του εργαζόμενου μέσου (συνήθως νερό) και το κύκλωμα νερού, που αφορά την μεταφορά της θερμότητας στα θερμαντικά σώματα με τη βοήθεια του κυκλοφορητή και του δικτύου διανομής.

4.4.2 Καυστήρες

Ο καυστήρας αποτελεί το παρελκόμενο τμήμα της εγκατάστασης ενός λέβητα και είναι υπεύθυνο για τη χρήση κάποιου καύσιμου υλικού για να παράγει θερμότητα και να ζεστάνει το νερό του λέβητα. Πιο συγκεκριμένα, ο καυστήρας σε συνεργασία με την εστία καύσης του λέβητα πρέπει να εξασφαλίζει πλήρη και ασφαλή καύση του καυσίμου και να παρέχει την προβλεπόμενη από τον κατασκευαστή ισχύ λειτουργίας και το κατάλληλο επίπεδο πίεσης.

Συνεπώς, γίνεται εύκολα κατανοητό πως η οικονομία του καυσίμου και η απόδοση του λέβητα εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την σωστή επιλογή καυστήρα. Για να γίνει αυτή, είναι απαραίτητη η γνώση της ισχύος και της αντίστασης καυσαερίου του λέβητα. Οι σύγχρονοι καυστήρες οφείλουν να εξασφαλίζουν ομαλή και ασφαλή καύση, ενώ παράλληλα ελαχιστοποιούν την ρύπανση του περιβάλλοντος. [Web15]

4.4.3 Εναλλάκτες θερμότητας

Ο εναλλάκτης θερμότητας είναι η συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά της θερμικής ενέργειας μεταξύ δύο ρευστών που έχουν διαφορετική θερμοκρασία. [Web16] Διακρίνονται δύο τύποι εναλλακτών θερμότητας ανάλογα με την διαδικασία μεταφοράς θερμότητας:

- ο άμεσης επαφής
- ο έμμεσης επαφής

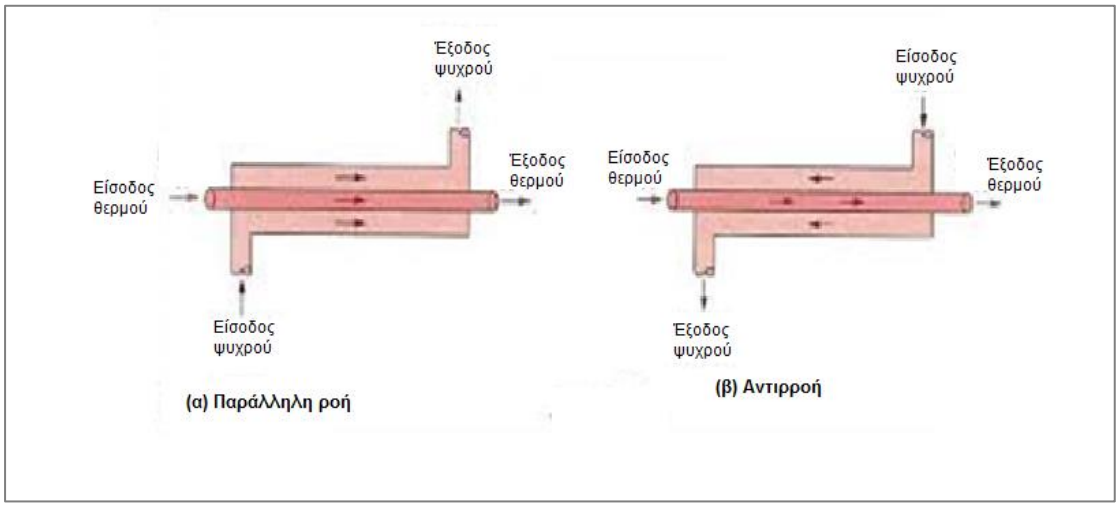
Στον άμεσης επαφής, υπάρχουν ρευστά σε διαφορετική φάση που έρχονται σε άμεση επαφή, ανταλλάσσουν θερμότητα και στη συνέχεια διαχωρίζονται πάλι.

Στον έμμεσης επαφής, τα δύο ρευστά παραμένουν συνεχώς χωρισμένα και η θερμότητα μεταφέρεται μέσω διαχωριστικής επιφάνειας. Αυτός ο τύπος του εναλλάκτη μπορεί να φέρει είτε ένα απλό επίπεδο τοίχωμα για να διαχωρίζονται τα δύο ρευστά, είτε πιο πολύπλοκες γεωμετρίες με πολλαπλές διαδρομές, όπως πτερύγια και ανακλαστήρες. Σε αυτή την περίπτωση, για να περιγραφεί η μεταφορά ενέργειας, χρησιμοποιούνται οι αρχές μετάδοσης της θερμότητας με αγωγή, συναγωγή και σπανιότερα με ακτινοβολία.

Οι εναλλάκτες θερμότητας μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τη μορφή της ροής των ρευστών ή με βάση τις κατασκευαστικές τους ιδιαιτερότητες. Τυπικοί

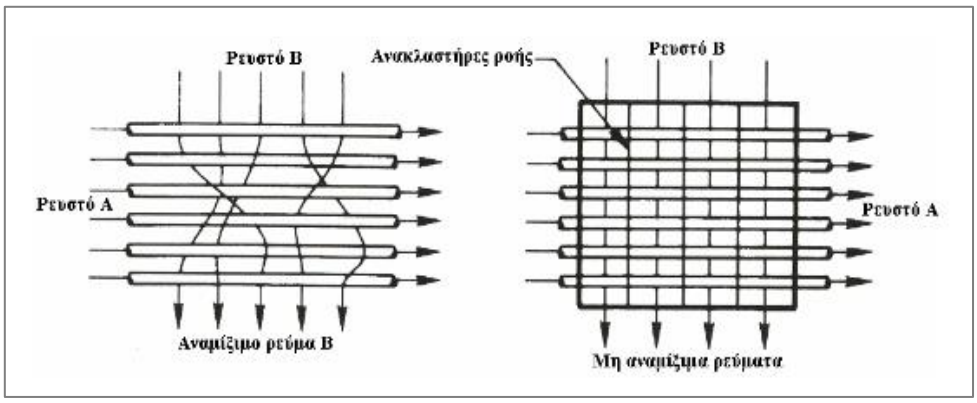
εναλλάκτες θερμότητας είναι οι πλακοειδείς (plate & frame), αυλών-κελύφους (shell & tube) και οι εναλλάκτες σταυρωτής ροής (crossflow).

Αν και τα δύο ρευστά κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση, τότε έχουμε παράλληλη ροή και των δύο ρευστών, δηλαδή ομορροή (parallel-flow). Αν κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις, τότε έχουμε αντιρροή (counter-flow). Στην Εικόνα 4.1, παρουσιάζονται (α) η πλάγια όψη ενός εναλλάκτη διπλού σωλήνα ομορροής και (β) η πλάγια όψη ενός εναλλάκτη διπλού σωλήνα αντιρροής.



Εικόνα 4.1: (α) Πλάγια όψη ενός εναλλάκτη διπλού σωλήνα παράλληλης ροής, (β) Πλάγια όψη ενός εναλλάκτη διπλού σωλήνα αντίθετης ροής, [Web16]

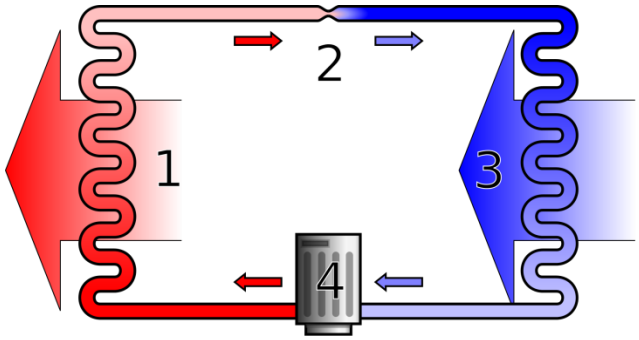
Σε εναλλάκτες θερμότητας σταυρωτής ροής, τα ρευστά κινούνται κάθετα το ένα ως προς το άλλο. Σταυρωτή ροή μπορούμε να έχουμε με χρήση ή όχι πτερυγίων. Αν το ρευστό μπορεί να κινηθεί ελεύθερα, καθώς περνά από τον εναλλάκτη, τότε υπάρχει ανάμειξη του ρευστού. Η χρήση πτερυγίων εμποδίζει την κίνηση του ρευστού στην διεύθυνση του άξονα y, που είναι κάθετη προς την κύρια ροή και έτσι δεν επιτρέπεται η ανάμειξη του ρευστού. Στην Εικόνα 4.2, παρουσιάζονται (α) ένας εναλλάκτης σταυρωτής ροής χωρίς πτερύγια και (β) ένας εναλλάκτης σταυρωτής ροής με πτερύγια.



Εικόνα 4.2: (α) Εναλλάκτης σταυρωτής ροής χωρίς πτερύγια και (β) εναλλάκτης σταυρωτής ροής με πτερύγια, [Web17]

4.4.4 Αντλίες θερμότητας

Αντλία θερμότητας (Heat Pump) ονομάζεται η μηχανολογική διάταξη που επιτρέπει τη μεταφορά ενέργειας από ένα χώρο χαμηλής θερμοκρασίας, σε ένα χώρο υψηλότερης θερμοκρασίας. Λόγω της προσπάθειας για μεταφορά θερμότητας με φορά αντίθετη από αυτής της φυσικής ροής, οι αντλίες θερμότητας καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια. Η λειτουργία των αντλιών θερμότητας βασίζεται στις ίδιες αρχές που εφαρμόζονται στα κλιματιστικά μηχανήματα, δηλαδή στον ψυκτικό κύκλο, που είναι ένας αέναος κύκλος εκτόνωσης και συμπίεσης ενός ρευστού (εργαζόμενο ψυκτικό μέσο). Στην Εικόνα 4.3 παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας μίας αντλίας θερμότητας.



Εικόνα 4.3: Κύκλος λειτουργίας αντλίας θερμότητας (ψυκτικός κύκλος), (1)Συμπυκνωτής, (2) Βαλβίδα εκτόνωσης, (3) Εξατμιστής, (4) Συμπιεστής, [Web18]

Αναλύοντας το παραπάνω σχήμα, παρατηρεί κανείς πως ο κύκλος λειτουργίας μίας αντλίας θερμότητας έχει ως βασικό συστατικό το ψυκτικό μέσο που ρέει μέσα στις σωλήνες και τις ιδιότητες του. Αρχικά είναι ένα αέριο, το οποίο μετά το πέρασμα του από το συμπιεστή έχει αποκτήσει ιδιαίτερα μεγάλη πίεση και θερμοκρασία. Στη συνέχεια, κατευθύνεται προς τον εναλλάκτη θερμότητας που λειτουργεί σαν συμπυκνωτής βοηθώντας το ψυκτικό μέσο να μετατραπεί υγρό υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Ακολούθως, αποβάλλεται μέρος της θερμότητας που του απέδωσε ο συμπιεστής κατά την συμπίεση. Το ψυκτικό μέσο εκτονώνεται, δηλαδή μειώνεται η πίεση του μέσω της βαλβίδας εκτόνωσης και εξατμίζεται μέσω της θερμότητας που προσλαμβάνει από ένα δεύτερο εναλλάκτη θερμότητας, που λειτουργεί ως εξατμιστής. Ολοκληρώνοντας τον κύκλο του, το κρύο πλέον ψυκτικό μέσο, έχοντας γίνει αέρας, συμπιέζεται στον συμπιεστή, υγροποιείται και όλη η διαδικασία ξεκινά και πάλι από την αρχή. [Web18]

Επομένως, γίνεται εύκολα αντιληπτό, πως ο διαρκής και επαναλαμβανόμενος κύκλος λειτουργίας της αντλίας θερμότητας σε συνδυασμό με τη συνεχή μεταφορά θερμότητας από το περιβάλλον στο σύστημα και το αντίθετο, καθιστούν δυνατή τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο σημείων.

Ανάλογα με τη θέση των διαφόρων στοιχείων τους, οι αντλίες θερμότητας ταξινομούνται σε:

- **Ενιαίες ή αυτόνομες (Compact)**, όπου όλοι οι μηχανισμοί βρίσκονται σε κοινό κέλυφος.
- **Διαιρούμενες ή διμερούς τύπου (Split Units)**, όπου ο συμπυκνωτής είναι ανεξάρτητος του υπολοίπου συστήματος.

Ανάλογα με το είδος του κινητήρα, μπορούν επίσης να ταξινομηθούν σε αντλίες κινούμενες από ηλεκτρική ενέργεια, από μηχανές εσωτερικής καύσης και σε πιο σύγχρονες αντλίες με συμπιεστές χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας.

Κλείνοντας, οι αντλίες χωρίζονται σε αέρος-αέρος, αέρος-νερού, νερού-νερού και σε γεωθερμικές ανάλογα με το μέσο, με το οποίο κατά κάποιο τρόπο συνεργάζεται (αποβάλει ή προσλαμβάνει ενέργεια) η αντλία θερμότητας.

4.5 Ενέργεια στα κολυμβητήρια

Από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον προκάλεσε στους ερευνητές ο κλάδος της ενέργειας στα κολυμβητήρια και γενικότερα στα αθλητικά κέντρα. Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν μελέτες γύρω από την ενέργεια που καταναλώνουν οι κολυμβητικές δεξαμενές, οι οποίες λειτουργούσαν με θερμαινόμενο νερό. Η ταχεία όμως ανάπτυξη της τεχνολογίας, τόσο στον μηχανολογικό, όσο και στον κατασκευαστικό τομέα, οδήγησε στην εγκατάσταση θερμαινόμενων συστημάτων. Έτσι, στα μέσα του 20ου αιώνα άρχισε η λειτουργία των πρώτων θερμαινόμενων κολυμβητικών δεξαμενών.

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, η συνεχής θέρμανση και το φιλτράρισμα του μεγάλου όγκου νερού που διαθέτουν οι πισίνες, καθιστά τα κολυμβητήρια ως δύσκολες περιπτώσεις κτιρίων για μελέτη. Παράλληλα, η πολύωρη λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού για εξασφάλιση ποιοτικού νερού κολύμβησης και η διατήρηση συνθηκών άνεσης στο εσωτερικό περιβάλλον αποδυτηρίων και λοιπών εγκαταστάσεων των κολυμβητηρίων, αποτελούν ορισμένες μόνο διεργασίες, οι οποίες καταναλώνουν σημαντικά ποσά ενέργειας, αρκετές φορές μεγαλύτερα από ότι εγκαταστάσεις κατοικιών ή γραφείων αντίστοιχης επιφάνειας με αυτή των κολυμβητηρίων. Ενδεικτικά αναφέρεται πως τα κολυμβητήρια είναι υπεύθυνα για πέντε φορές μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας από τα συμβατικά κτίρια.

Βασικό αντικείμενο στις πρώτες επιστημονικές μελέτες κολυμβητηρίων αποτέλεσε ο ακριβής προσδιορισμός των απαιτούμενων καταναλώσεων μιας κολυμβητικής δεξαμενής, με σκοπό την εύρεση τρόπων για εξοικονόμηση ενέργειας. Στον Πίνακα 4.5, φαίνονται οι τυπικές καταναλώσεις ενέργειας σε αθλητικά κέντρα υγρού στίβου σε σχέση με τις αντίστοιχες των υπόλοιπων αθλητικών εγκαταστάσεων.

Αθλητικά κέντρα υγρού στίβου		
Χαμηλής κατανάλωσης	*Συνήθης κατανάλωση*	*Υψηλής κατανάλωσης*
<510	510 – 745	>745
Αθλητικές εγκαταστάσεις		
Χαμηλής κατανάλωσης	*Συνήθης κατανάλωση*	*Υψηλής κατανάλωσης*
<290	290 – 410	>410

Πίνακας 4.5: Τυπικές τιμές κατανάλωσης ενέργειας στα αθλητικά κέντρα (kWh/m^2), [Web19]

Παρατηρείται ότι η ενέργεια που καταναλώνουν τα αθλητικά κέντρα υγρού στίβου είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Αυτό συμβαίνει λόγω των λειτουργιών που αναφέρθηκαν νωρίτερα αλλά και για την κάλυψη των αναγκών φωτισμού και την ορθή λειτουργία του συστήματος αερισμού και ελέγχου των επιπέδων υγρασίας στο χώρο. Ιδιαίτερα στα κλειστά κολυμβητήρια, όπως αυτό που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική, υπάρχει πολύ μεγάλη ανάγκη διατήρησης χαμηλών επιπέδων υγρασίας για την διατήρηση ενός υγιούς εσωτερικού περιβάλλοντος.

4.5.1 Απαιτήσεις ενέργειας στα ανοικτά και κλειστά κολυμβητήρια

Με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν από της πρώτες ενεργειακές μελέτες, έγινε κατανοητό, πως παρόλο που τα κλειστά κολυμβητήρια είναι προτιμότερα από τους αθλητές και το κολυμβητικό κοινό, λόγω των καλύτερων συνθηκών που προσφέρουν σε σχέση με τα ανοικτά, απαιτούν πολύ μεγαλύτερα ποσά ενέργειας για την λειτουργία τους. Συγκεκριμένα, το 1997, ύστερα από μελέτες Ελλήνων ερευνητών, προέκυψαν αποτελέσματα που αποτύπωναν ότι οι κλειστές πισίνες της Μεσογείου απαιτούν για θέρμανση της πισίνας και του περιβάλλοντος χώρου 4300 kWh/m^2 για 12ωρη ημερήσια λειτουργία, με την αντίστοιχη τιμή για τις πισίνες της βορειότερης Ευρώπης να ανέρχονται στις 5200 kWh/m^2 λόγω ψυχρότερου κλίματος. Παράλληλα η ενεργειακή απαίτηση των ανοικτών πισινών στη Μεσόγειο υπολογίστηκε στις 1450 kWh/m^2.

Η μεγάλη αυτή διαφορά προέρχεται κυρίως από το μεγάλο μειονέκτημα των κλειστών πισινών, ότι δηλαδή δεν εκμεταλλεύονται την απευθείας ηλιακή ενέργεια για θέρμανση της πισίνας. Επίσης δημιουργείται αυτομάτως η ανάγκη για εντονότερη λειτουργία του τεχνητού συστήματος θέρμανσης. Ακόμη, μεγάλα ποσά ενέργειας απαιτούνται για τη θέρμανση/ψύξη του περιβάλλοντα χώρου γύρω από την πισίνα όπως επίσης και για τη λειτουργία του συστήματος αερισμού, το οποίο καλύπτει περισσότερα φορτία σε σχέση με ένα εστιατόριο, ξενοδοχείο, βιβλιοθήκη ή και άλλα δημόσια κτίρια ίδιας επιφάνειας. Τα φορτία αυτά υπάρχουν λόγω της εξάτμισης του νερού, την υγρασία που υπάρχει στον χώρο της πισίνας, των ντους αλλά και των αποδυτηρίων. Τα στοιχεία αυτά πρέπει να ελέγχονται συνεχώς και να εξισορροπούνται για την εξασφάλιση συνθηκών άνεσης για τους χρήστες. Ο

απαιτούμενος ρυθμός αερισμού στο χώρο των ντους ανέρχεται σε 220 m^3/h/ανά ντους, τη στιγμή που η αντίστοιχη τιμή για ένα χώρο καπνιστών είναι περίπου 75 m^3/h/ανά άτομο. [20]

Σε γενικές γραμμές, η συνολική ενεργειακή κατανάλωση ενός κλειστού κολυμβητηρίου διαχωρίζεται κατά:

- 45% για αερισμό του περιβάλλοντα χώρου της πισίνας
- 33% για θέρμανση της πισίνας
- 10% για το σύστημα ψύξης/θέρμανσης και αερισμού των υπόλοιπων χώρων
- 9% κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος για τον μηχανολογικό εξοπλισμό και τον φωτισμό
- 3% αντιστοιχεί σε ζεστό νερό χρήσης για τις τουαλέτες, το κυλικείο κλπ

4.6 Κύριες αιτίες απώλειας ενέργειας στα κολυμβητήρια

Με σκοπό την ισοστάθμιση των απωλειών-κερδών αλλά και τη διατήρηση των επιθυμητών συνθηκών άνεσης εντός και εκτός της πισίνας, απαιτείται η συνεχής παρακολούθηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών των δεξαμενών. Το γεγονός αυτό καθιστά τα κολυμβητήρια ιδιαίτερα απαιτητικά ως κτίρια και δύσκολα στη διαχείριση τους, τόσο σε ενεργειακό όσο και οικονομικό επίπεδο. Οι κύριες αιτίες ενεργειακών απωλειών αφορούν το τμήμα της πισίνας και τη συμπεριφορά του μεγάλου όγκου νερού που εμπεριέχεται σε αυτή. Φαινόμενα όπως η εξάτμιση, η αγωγή και η ανανέωση του νερού, θα αναλυθούν σε αύτη την ενότητα.

4.6.1 Εξάτμιση νερού πισίνας

Ανεξαρτήτως της ιδιότητας της πισίνας (εσωτερική ή εξωτερική), το σημαντικότερο πρόβλημα που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι επιστήμονες για τη λειτουργία του εκάστοτε κολυμβητηρίου αποτελεί η εξάτμιση του νερού. Στα κλειστά κολυμβητήρια βέβαια λόγω του ελέγχου της θερμοκρασίας του περιβάλλοντα χώρου, που αποτρέπει την άμεση επίδραση του ατμοσφαιρικού αέρα, το φαινόμενο της εξάτμισης είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμο σε σχέση με τα ανοικτά κολυμβητήρια. Στον Πίνακα 4.6 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι τυπικές τιμές εξάτμισης νερού σε κλειστά και ανοικτά κολυμβητήρια αντίστοιχα.

Εξωτερική πισίνα	
0,5 kg νερό / h / m^2 υδάτινης επιφάνειας	
Εσωτερική πισίνα	
13 gr / h / m^2 (κατά την διάρκεια χρήσης)	6,5 gr / h / m^2 (όταν δεν χρησιμοποιείται)

Πίνακας 4.6: Τυπικές τιμές εξάτμισης υδάτινης επιφάνειας, [22]

Σύμφωνα με αναλύσεις και μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε πισίνα ολυμπιακών διαστάσεων οι συνολικές απώλειες λόγω εξάτμισης ανέρχονται σε 10.000 kWh/day, ενώ οι αντίστοιχες από τα φαινόμενα της αγωγής, επαφής με το έδαφος και ακτινοβολίας μετρήθηκαν συνολικά μόλις 600 kWh/day. [21]

Οι κύριοι λόγοι που προκαλούν το φαινόμενο της εξάτμισης του νερού της πισίνας είναι:

- **Η διαφορά της θερμοκρασίας νερού και ατμόσφαιρας**, όπου όπως είναι λογικό, όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα του έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του νερού και του ίδιου του νερού, τόσο περισσότερο εντείνεται το φαινόμενο της εξάτμισης. Επομένως, τις βραδινές ώρες (ειδικά στα ανοικτά κολυμβητήρια) που η ατμοσφαιρική θερμοκρασία είναι πιο χαμηλή παρατηρούμε ότι η εξάτμιση του νερού φτάνει στις μέγιστες τιμές της. Σημειώνεται επίσης πως σε ιδανικές συνθήκες όπου το σύστημα θέρμανσης του νερού λειτουργεί κατάλληλα, επιτυγχάνεται η διαρκής διατήρηση της θερμοκρασίας από 26^0C μέχρι 28^0C.
- **Τα επίπεδα υγρασίας στην ατμόσφαιρα**, που αντιστοιχούν σε μεγάλη ποσότητα υδρατμών του ατμοσφαιρικού αέρα. Η σχέση της υγρασίας και της εξάτμισης του νερού είναι αντιστρόφως ανάλογη, καθώς όσο αυξάνεται η υγρασία μειώνεται η εξάτμιση του νερού και το αντίθετο.
- **Η επιφάνεια της πισίνας**, όπου όπως είναι λογικό, όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια της πισίνας, τόσο μεγαλύτερος όγκος νερού είναι διαθέσιμος για εξάτμιση.
- **Η ταχύτητα του αέρα στην επιφάνεια του νερού**, η οποία επηρεάζει την εξάτμιση του νερού ακόμα περισσότερο στις εξωτερικές πισίνες λόγω ύπαρξης περισσότερου αέρα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ένα μικρό φύσημα του αέρα για λίγα δεύτερα μπορεί να προκαλέσει διπλάσιο ρυθμό εξάτμισης του νερού της πισίνας. Για το λόγο αυτό, με το πέρασμα των χρόνων αναπτύχθηκαν διάφορες τεχνικές και μέθοδοι μελέτης και εξισορρόπησης του «κλίματος» που επικρατεί κοντά στο νερό της πισίνας.

4.6.2 Αγωγή

Άλλη μία αιτία απωλειών θερμότητας και μάζας από το νερό της πισίνας αποτελεί το φαινόμενο της αγωγής. Σύμφωνα με τον Νόμο του Φουριέ, η μεταφορά θερμότητας με αγωγή εκφράζει τη ροή θερμότητας από ένα σώμα στο άλλο μέσω επαφής και είναι ανάλογη με τη διαφορά θερμοκρασίας τους. Πιο συγκεκριμένα, λόγω της άμεσης επαφής των μορίων του αέρα με αυτών του ανώτερου στρώματος του νερού της πισίνας και της διαφοράς στην θερμοκρασία μεταξύ τους, προκαλείται μεταφορά θερμότητας και μάζας από το υψηλότερο σε θερμοκρασία σύστημα στο χαμηλότερο. Η καθορισμός της ροής θερμότητας γίνεται κυρίως από την εκάστοτε εποχή που καθορίζει την θερμότητα του εξωτερικού αέρα κυρίως αλλά και της υδάτινης επιφάνειας.

Οι βασικοί παράμετροι που επηρεάζουν το φαινόμενο της αγωγής είναι η ταχύτητα του αέρα στην επιφάνεια της πισίνας και η επιφάνεια της εκάστοτε εξεταζόμενης πισίνας. Όπως συνέβαινε και με την εξάτμιση του νερού της πισίνας που περιγράψαμε νωρίτερα, όσο μεγαλύτερη είναι η υδάτινη επιφάνεια τόσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες. Βέβαια, για το σωστό υπολογισμό των απωλειών πρέπει να καθορίζονται επίσης οι ώρες χρήσης της πισίνας αλλά και ο αριθμός των κολυμβητών και ο ρυθμός κολύμβησής τους. Είναι προφανές πως οι αναταράξεις του νερού που οφείλονται στις κινήσεις των κολυμβητών, αλλά και η θερμοκρασιακή διαφορά νερού (26-28°C) με αυτή του ανθρώπινου σώματος (36,6°C περίπου), συμβάλλουν στη μεταφορά θερμότητας και μάζας.

Το φαινόμενο της αγωγής δεν αποτελεί όμως καθόλη τη διάρκεια του χρόνου περίπτωση απώλειας θερμότητας. Αντιθέτως, ανάλογα με την κατάσταση και κυρίως την περίοδο μπορεί να συνεισφέρει σε μεταφορά θερμότητας στο νερό της πισίνας. Απόδειξη αυτού, αποτελεί το γεγονός πως κατά τη θερινή περίοδο, θερμότητα μεταφέρεται από τον πιο ζεστό ατμοσφαιρικό αέρα στην επιφάνεια του νερού προκαλώντας αύξηση της θερμοκρασίας του. Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι ιδιαίτερα σημαντική η αποφυγή υπερθέρμανσης του νερού της πισίνας.

4.6.3 Ανανέωση νερού

Η ανανέωση του νερού, είτε με την εισαγωγή φρέσκου νερού από το υπάρχον σύστημα της περιοχής ή μέσω γεωτρήσεων, είτε μέσω του συστήματος φιλτραρίσματος και ανακυκλοφορίας νερού της πισίνας αποτελούν προαπαιτούμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά, τα οποία επιβάλλονται από την νομοθεσία, ώστε να διατηρείται καθαρό το νερό της πισίνας. Η συγκεκριμένη διαδικασία αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ορθής λειτουργίας κάθε είδους κολυμβητικής δεξαμενής.

Απαραίτητη κρίνεται επίσης και η αναπλήρωση της ποσότητας του νερού που χάνεται λόγω της εξάτμισης, που αναλύθηκε νωρίτερα και των απωλειών στην μάζα του νερού της πισίνας που προκύπτουν κατά την είσοδο και έξοδο των χρηστών της.

Η θερμοκρασία του νερού αναπλήρωσης δεν είναι στα ίδια επίπεδα του θερμαινόμενου της πισίνας. Στις περισσότερες περιπτώσεις μάλιστα, τα κολυμβητήρια χρησιμοποιούν σύνδεση με το υπάρχον σύστημα ύδρευσης της περιοχής με θερμοκρασία νερού συνήθως 13^0C έως 18^0C. Παρά την ανάμιξη του νερού που λαμβάνει χώρο στο σύστημα αντλιών του κολυμβητηρίου και την προσπάθεια ομογενοποίησης του νερού, μέρος της θερμότητας του ήδη πιο ζεστού νερού της πισίνας απορροφάται από το νερό που εισάγεται. Αυτή η απώλεια ενέργειας καθιστά απαραίτητη τη χρήση του μηχανισμού θέρμανσης για να επανέλθει το νερό της πισίνας στα επιθυμητά επίπεδα. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως η απαραίτητη ποσότητα φρέσκου νερού αναπλήρωσης διαφέρει σε κάθε πισίνα και όσον αφορά στις αγωνιστικές πισίνες κινείται περίπου στο 2% του συνολικού όγκου της πισίνας κάθε εβδομάδα.

4.6.4 Ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία εξαιτίας της μετάδοσης θερμότητας στο νερό από τον ήλιο είναι ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα των κολυμβητικών δεξαμενών και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις πισίνες που έχουν μεγάλο μέρος της επιφάνειας τους εκτεθειμένη στον ήλιο. Ωστόσο, παρατηρούνται και θερμικές απώλειες λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας, οι οποίες αν και δεν είναι μεγάλες, αποτελούν μετρήσιμο μέγεθος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από το νερό δεν είναι πλήρης, καθώς το υπέρυθρο ηλιακό φάσμα απορροφάται σε λίγα χιλιοστά νερού μόνο, ενώ το ορατό για πολλά μέτρα, φτάνοντας μέχρι τον πυθμένα της πισίνας. Η εισερχόμενη ακτινοβολία που φτάνει στον πυθμένα δεν απορροφάται εξολοκλήρου από τα τοιχώματα της κολυμβητικής δεξαμενής, αλλά μέρος αυτής ανακλάται προς την επιφάνεια της πισίνας. Επομένως, οι απώλειες ενέργειας της πισίνας εξαρτώνται από την ανταλλαγή της υπέρυθρης ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα και από το φαινόμενο της ανάκλασης. Αναφορικά, τα οφέλη και τα κέρδη σε θερμότητα, από την απευθείας ακτινοβολία του ήλιου στην επιφάνεια της πισίνας, είναι αρκετά μεγαλύτερα ποσοτικά από τις απώλειες που προσδίδει, όμως αυτό δεν σημαίνει πως και οι απώλειες πρέπει να μην συνυπολογίζονται.

4.7 Θερμικά κέρδη

Η ολοκληρωμένη και αποτελεσματική ενεργειακή μελέτη ενός κολυμβητηρίου προϋποθέτει την εξέταση του ενεργειακού ισοζυγίου της κάθε πισίνας ξεχωριστά, ανεξάρτητα αν σε ένα κολυμβητήριο υπάρχει ενδεχομένως κοινός ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός για την λειτουργία των πισινών, για την θέρμανση/ψύξη των υπολοίπων χώρων και τις υπόλοιπες απαιτήσεις. Οι ενεργειακές απώλειες που περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα, για την ομαλή λειτουργία των κολυμβητηρίων, πρέπει απαραίτητα να αντισταθμίζονται από τα θερμικά κέρδη αυτών. Το ενεργειακό τους ισοζύγιο με λίγα λόγια θα πρέπει να ισορροπεί έτσι ώστε να μην υπάρχει έλλειμμα ενέργειας.

Για το λόγο αυτό, κρίνεται σκόπιμη η αναφορά και ανάλυση των θερμικών κερδών των πισινών. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται τα ηλιακά θερμικά κέρδη και η θερμότητα που προκύπτει από το σύστημα θέρμανσης, τους ηλιακούς συλλέκτες (αν υπάρχουν) και σε μικρότερο βαθμό από τις δραστηριότητες των χρηστών του εσωτερικού χώρου.

4.7.1 Ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ικανή να διαδραματίσει πολύ σημαντικό ρόλο στη θέρμανση του νερού μίας πισίνας, ειδικά αν αυτή είναι εξωτερική. Όσον αφορά στις εσωτερικές πισίνες, η ηλιακή ακτινοβολία μελετάται από την πλευρά της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος, το οποίο προσπίπτει σε οριζόντιες επιφανειών όπως γυαλί ή πλαστικό και στην οροφή του κολυμβητηρίου. Σε αυτή τη περίπτωση λαμβάνεται υπόψη για τους υπολογισμούς το πάχος του υλικού και οι συντελεστές εκπομπής, απορρόφησης και θερμικής αγωγιμότητάς του.

Η απορρόφηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην υδάτινη επιφάνεια πραγματοποιείται μέσω δύο μηχανισμών:

- την απορρόφηση από το ίδιο το νερό
- την απορρόφηση από τα πλευρικά τοιχώματα και τον πυθμένα της πισίνας

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα για τα αίτια απώλειας ενέργειας, η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει επιλεκτική συμπεριφορά. Εξαιτίας του σχετικά μικρού βάθους των πισινών το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτει στον πυθμένα και στα τοιχώματα της πισίνας. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως οι ανακλώμενες ακτίνες που επιστρέφουν στην υδάτινη επιφάνεια απορροφούνται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από εκείνες που διαφεύγουν. Έτσι προκύπτουν τα τεράστια θερμικά κέρδη για την επεξεργασία του νερού της πισίνας, ειδικά όταν αναφερόμαστε σε κάποια εσωτερική.

4.7.2 Σύστημα θέρμανσης

Το σύστημα θέρμανσης ενός κολυμβητηρίου αποτελεί μέρος της μεγάλης ηλεκτρομηχανολογικής μελέτης που γίνεται πριν την κατασκευή του. Η μελέτη και η μετέπειτα εγκατάσταση του κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού ακολουθεί τις οδηγίες της νομοθεσίας και της Διεθνούς Ομοσπονδίας Κολύμβησης, ενώ παράλληλα εξετάζει τις ανάγκες του εκάστοτε κολυμβητηρίου. Τα κατασκευαστικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του κολυμβητηρίου, το πρόγραμμα λειτουργίας του και τα κλιματικά δεδομένα στο εξωτερικό του περιβάλλον αποτελούν μόνο μερικά από τα στοιχεία που συνθέτουν τις ανάγκες ενός κολυμβητηρίου.

Το σύστημα θέρμανσης των περισσότερων κολυμβητηρίων στον Ελλαδικό χώρο αποτελείται από το λέβητα, την δεξαμενή αποθήκευσης καυσίμου, τον ή τους

εναλλάκτες θερμότητας, τα συστήματα ανακυκλοφορίας και φίλτρανσης και το σύστημα αντλιών.

Όσον αφορά στην λειτουργία του συστήματος θέρμανσης, στις περισσότερες περιπτώσεις κολυμβητηρίων, είναι διαρκής τουλάχιστον 8 με 10 ώρες την ημέρα. Ιδιαίτερα στα κλειστά κολυμβητήρια και εκείνα που δεν εκμεταλλεύονται καθόλου την ηλιακή ενέργεια, το σύστημα θέρμανσης παράγει τη συνολική ποσότητα θερμότητας που απαιτείται, γεγονός που απαιτεί την σπατάλη τεράστιας ποσότητας καυσίμων και ακολούθως μεγάλη οικονομική δαπάνη.

4.8 Αερισμός κολυμβητηρίων

Η ποιότητα του αέρα που βρίσκεται στο εσωτερικό ενός κλειστού κολυμβητηρίου είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την άνεση των αθλητών, των θεατών και του προσωπικού στον χώρο. Τα κολυμβητήρια απαιτούν αερισμό με μεγάλες ποσότητες αέρα, παρεχόμενες σε χαμηλές ταχύτητες και χωρίς ρεύματα που προκαλούν δυσάρεστη αίσθηση στα γυμνά σώματα των κολυμβητών. Εξάλλου, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, μεγάλη ταχύτητα αέρα προκαλεί μεγάλη εξάτμιση στην επιφάνεια της πισίνας η οποία δεν είναι επιθυμητή.

Δεν είναι λίγες οι φορές βέβαια, που αυτή η ανάγκη των κολυμβητηρίων για αερισμό παραμελείται λόγω μειωμένου προϋπολογισμού και δημιουργούνται φαινόμενα κακής ποιότητας αέρα, που καθιστά σχεδόν αναγκαία την χρήση αναπνευστικών φαρμάκων από τους χρήστες του χώρου. Στην χειρότερη περίπτωση, δημιουργείται το «Σύνδρομο της άρρωστης πισίνας», που επιτρέπει στα χλωριούχα αέρια να συγκεντρώνονται στον χώρο επάνω από το νερό της πισίνας. Αν σκεφτεί κανείς πως η επιφάνεια του νερού της πισίνας αποτελεί και το σημείο όπου οι αθλητές παίρνουν τις περισσότερες ανάσες, γίνονται εύκολα αντιληπτά τα μεγάλα αναπνευστικά προβλήματα που μπορεί να προκληθούν. Εκτός όμως από τον ανεπαρκή αερισμό του κολυμβητηρίου, υπεύθυνη για την πρόκληση αυτού του συνδρόμου μπορεί να είναι και η ακαταλληλότητα στη χημεία του νερού.

Κλείνοντας με την ανάλυση της σημασίας του αερισμού, είναι άξιο αναφοράς πως ο κατάλληλα σχεδιασμένος αερισμός ενός κολυμβητηρίου μπορεί ακόμη να αποτρέψει τη μεταφορά των χλωραμινών του νερού στον περιβάλλοντα χώρο και τη διαστρωμάτωση θερμοκρασίας σε χώρους με υψηλή οροφή.

Οι μέθοδοι αερισμού που χρησιμοποιούνται σήμερα στα κολυμβητήρια αλλά και στα μεγάλα αθλητικά κέντρα είναι ο φυσικός αερισμός, ο τεχνητός αερισμός και ο συνδυασμός αυτών των δύο.

4.8.1 Φυσικός αερισμός

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, Ο φυσικός αερισμός αποτελεί τη βασικότερη τεχνική απομάκρυνσης της θερμότητας από το κτίριο τους θερμούς

μήνες και μεγάλο μέρος της υγρασίας τους χειμερινούς, ενώ παράλληλα μπορεί να επιτευχθεί με φυσικά μέσα. Είναι η σημαντικότερη και συνηθέστερη μέθοδος φυσικού δροσισμού και αποβολής βλαβερών ουσιών για την υγεία των ανθρώπων, εφόσον γίνεται με τον κατάλληλο τρόπο. [Web20]

Με το φυσικό δροσισμό επιτυγχάνονται τρία πράγματα:

- Απομακρύνεται η θερμότητα από το κτίριο προς το εξωτερικό περιβάλλον, όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες το επιτρέπουν.
- Απομακρύνεται η αποθηκευμένη θερμότητα από τα δομικά στοιχεία του κτιρίου, όταν αυτά αποτελούνται από επαρκή θερμική μάζα.
- Απομακρύνεται θερμότητα από το ανθρώπινο σώμα, με αποτέλεσμα την αύξηση του επιπέδου θερμικής άνεσης ενός χώρου ακόμα και σε σχετικά ψηλές θερμοκρασίες.

Πιο ειδικά, με το φυσικό αερισμό εννοείται η πραγματοποίηση εναλλαγών του αέρα με κατάλληλα ανοίγματα (πόρτες και παράθυρα), χωρίς τη χρήση αεραγωγών. Αυτό μπορεί να συμβεί μέσω των τοιχωμάτων του κτιρίου ή μη μονωμένων επαρκώς στοιχείων αυτών αλλά και ύστερα από επιθυμητές ρυθμίσεις, μέσω των οπών αερισμού ή μέσω ανοιγμάτων των κουφωμάτων.

Τέλος, ο φυσικός αερισμός των κτιρίων μπορεί να εξοικονομήσει μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας. Από μετρήσεις, ενεργειακές καταγραφές και προσομοιώσεις σε κατοικίες στην Ελλάδα, προκύπτει μείωση της τάξης του 75 με 100% του ψυκτικού φορτίου λόγω του αερισμού (εφόσον εφαρμόζεται επαρκής ηλιοπροστασία στα κτίρια), γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να υποκαταστήσει ένα κλιματιστικό σύστημα, καθώς δημιουργούνται συνθήκες θερμικής άνεσης μέσα στους χώρους. [Web20]

4.8.2 Τεχνητός αερισμός

Ο τεχνητός (εξαναγκασμένος) αερισμός είναι απαραίτητος στις περιπτώσεις κατά τις οποίες ο φυσικός αερισμός είναι είτε δυσχερής είτε ανεπαρκής. Επί πλέον, συνιστάται για χρήσεις χώρων κατά τις οποίες απαιτείται ακριβής έλεγχος των εναλλαγών αέρα είτε για λόγους θερμικούς, είτε για λόγους ποιότητα αέρα (υγιεινής) και ιδιαίτερα στα κτίρια του τριτογενή τομέα. [Web21]

Με τη χρήση τεχνητού αερισμού, ιδιαίτερα όταν αυτός συμβαίνει τις νυχτερινές ώρες, μειώνονται σημαντικά τα ψυκτικά φορτία των κτιρίων. Αποβάλλεται η θερμότητα που αποθηκεύτηκε κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ παράλληλα «αποθηκεύει» δροσιά εμποδίζοντας την υπερθέρμανση την επόμενη μέρα.

Ο τεχνητός αερισμός αποτελεί, όπως και ο φυσικός αερισμός, εναλλακτική τεχνική δροσισμού, υποκαθιστώντας ή μειώνοντας τη χρήση των κλιματιστικών. Επί πλέον, μπορεί να συμβάλει και στην εξοικονόμηση ενέργειας τη χειμερινή περίοδο,

με τον έλεγχο των θερμικών απωλειών από αερισμό. Όσον αφορά στις μεθόδους τεχνητού αερισμού, εξελίσσονται συνεχώς με το πέρασμα των χρόνων και πλέον έχουμε οδηγηθεί στην χρήση μεθόδων πλήρους ελέγχου της ροής του αέρα εντός και εκτός των κτιρίων, όπως τα Variable Air Volume συστήματα που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

4.8.3 Εναλλαγές αέρα

Οι εναλλαγές αέρα έχουν στόχο την παροχή των απαραίτητων συνθηκών άνεσης, όσον αφορά στην ποιότητα αέρα για μια τυπική πισίνα που χρησιμοποιεί χλώριο ως βασικό μέσο απολύμανσης. Βάσει των οδηγιών της Παγκόσμιας Ομοσπονδίας Υγρού Στίβου και της FINA, έχουν τεθεί αυστηρά όρια για τα κολυμβητήρια δημόσιας χρήσης ανεξαρτήτως είδους.

Τα περισσότερα κολυμβητήρια απαιτούν ως ελάχιστη τιμή 6 ACH με εξαίρεση τις περιπτώσεις όπου γίνεται χρήση μηχανικής ψύξης. Βέβαια η τιμή αυτή δεν είναι απόλυτη για όλους τους χώρους του κολυμβητηρίου και πολλές φορές κρίνεται απαραίτητη η εξέταση του κάθε χώρου ξεχωριστά λαμβάνοντας υπόψιν τη χωρητικότητα και τη χρήση του. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί σε περιπτώσεις όπου υπάρχει μηχανική αφύγρανση του χώρου, έτσι ώστε να οριστούν οι κατάλληλες εναλλαγές αέρα για τη διατήρηση ισορροπίας μεταξύ θερμοκρασίας και υγρασίας. Στον Πίνακα 4.7 παρουσιάζονται τα τυπικά όρια εναλλαγών αέρα όπως αυτά ορίζονται από την ASHRAE:

Πισίνες χωρίς χώρο θεατών	*4-6 ACH*
Χώρος θεατών (κερκίδες)	*6-8 ACH*
Θεραπευτικές πισίνες	*4-6 ACH*

Πίνακας 4.7: Επιθυμητά όρια εναλλαγών αέρα υπό την οδηγία της ASHRAE, [Web22]

Αντίστοιχα, στον Πίνακα 4.8 παρουσιάζονται τα όρια για την θερμοκρασία του αέρα και του νερού που ορίζει η οδηγία της ASHRAE.

Type of Pool	Air Temperature, °C	Water Temperature, °C
Recreational	24-30	24-30
Physical Therapy	26-30	30-32
Competition	26-29	24-28
Diving	27-29	27-32
Elderly Swimmers	29-32	29-32
Hotel	28-29	28-30
Whirlpool / Spa	27-29	36-40

Πίνακας 4.8: Επιθυμητά όρια θερμοκρασίας αέρα και νερού υπό την οδηγία της ASHRAE, [Web22]

Επομένως, για τη σωστή και εύρυθμη λειτουργία ενός κολυμβητηρίου οφείλουν να λαμβάνονται υπόψιν όλα τα παραπάνω και η λήψη αποφάσεων για κάθε επιμέρους σύστημα που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί να γίνεται με γνώμονα την γενικότερη επίδραση και συνεισφορά αυτού στο συνολικό σύστημα. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που κριθεί απαραίτητη η χρήση συστήματος αερισμού χαμηλής παροχής πρέπει οπωσδήποτε να εξασφαλιστούν η αποβολή των τοξινών που παράγονται από το νερό της πισίνας, ο επαρκής αερισμός και η διατήρηση της θερμοκρασίας του αέρα στα επιτρεπτά από την νομοθεσία όρια. Λύσεις που είναι οικονομικότερες, αλλά δεν πληρούν τις παραπάνω προϋποθέσεις δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να γίνονται αποδεκτές.

5. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΡΙΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

5.1 Εισαγωγή

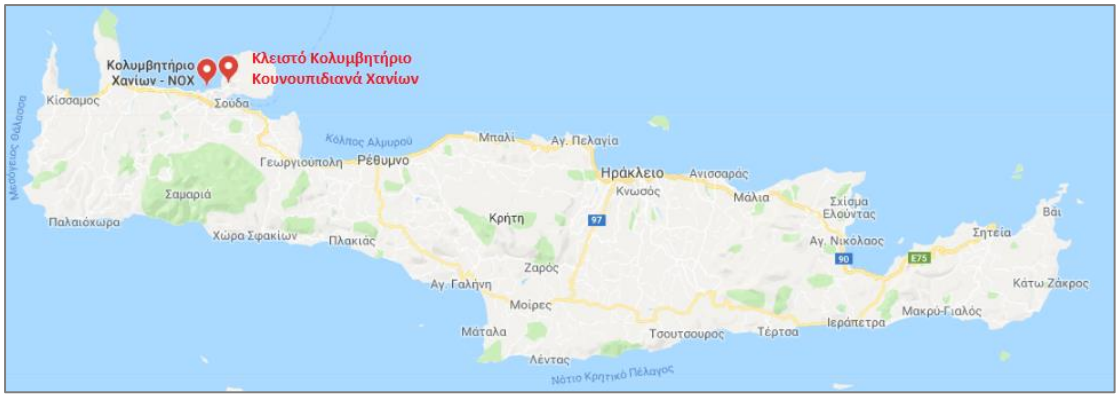
Όπως αναλύθηκε και στο εισαγωγικό κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής, στόχος είναι η διατύπωση ακριβούς μεθοδολογίας με σκοπό την «γρήγορη» ανάπτυξη και ανάλυση της αλληλεπίδρασης των θερμικών φορτίων ενός κτιρίου. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η μεγάλη οικονομική δαπάνη που απαιτείται από τις εκτενείς ενεργειακές αναλύσεις κτιρίων. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία εστιάζει στην μελέτη του ενεργειακού ισοζυγίου του εκάστοτε κτιρίου και την μεταβολή των συνιστωσών που το καθορίζουν (όταν κρίνεται απαραίτητο) για την επίτευξη θερμικής άνεσης.

Για την ανάπτυξη της, το μοντέλο μας στηρίχτηκε στο Ολυμπιακών διαστάσεων κλειστό κολυμβητήριο των Χανίων, τηρώντας τις διαστάσεις του, όπως αυτές είχαν αποτυπωθεί σε σχέδια AutoCAD στις αντίστοιχες τομές, όψεις και κατόψεις. Παράλληλα, έγιναν ορισμένες παραδοχές για όσα στοιχεία δεν ήταν γνωστά, ειδικότερα για ορισμένες κατασκευαστικές λεπτομέρειες, για το ωράριο λειτουργίας, για τις τιμές της ανθρώπινης παρουσίας του κάθε χώρου καθώς και για τον μηχανολογικό εξοπλισμό του κολυμβητηρίου. Ο σχεδιασμός του μοντέλου και οι προσομοιώσεις στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν με την βοήθεια των προγραμμάτων Google SketchUp, Openstudio και EnergyPlus, με στόχο να εκτιμηθεί η ενεργειακή συμπεριφορά του κολυμβητηρίου σε συνθήκες λειτουργίας. Εκτενής ανάλυση για τη χρήση και λειτουργία αυτών των προγραμμάτων θα γίνει στη συνέχεια του κεφαλαίου.

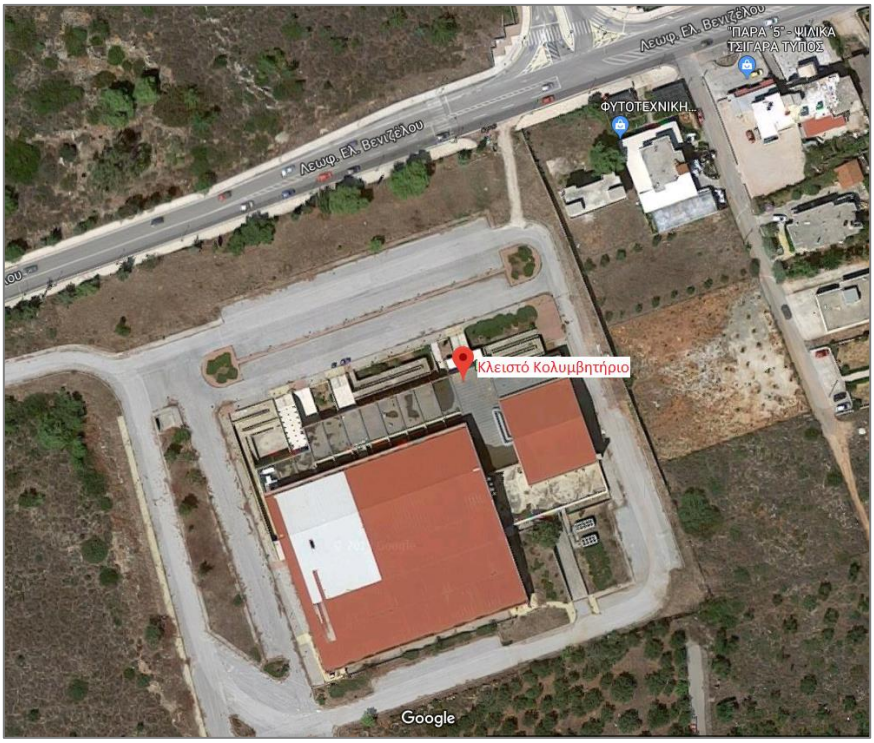
5.2 Παρουσίαση του κολυμβητηρίου και της θέσης του

Το προς μελέτη κτίριο είναι ένα κλειστό κολυμβητήριο Ολυμπιακών διαστάσεων, που βρίσκεται στην Λεωφόρο Ελευθερίου Βενιζέλου στα Κουνουπιδιανά Χανίων απέναντι από το Πολυτεχνείο Κρήτης. Τα Κουνουπιδιανά είναι προάστιο των Χανίων, στην δυτική Κρήτη. Σύμφωνα με την απογραφή του 2011 έχουν 6.334 κατοίκους και ανήκουν στο δήμο Ακρωτηρίου. Επίσης, βρίσκονται σε υψόμετρο 120 μέτρων και 8 χιλιόμετρα μακριά από την πόλη των Χανίων. [Web27]

Πιο συγκεκριμένα, το κτίριο του κολυμβητηρίου έχει συντεταγμένες 35^0 31’27.3 N (γεωγραφικό πλάτος) και 24^0 04’03.2 E (γεωγραφικό μήκος). Στις Εικόνες 5.1 και 5.2 παρουσιάζονται η ακριβής γεωγραφική θέση του κολυμβητηρίου στο χάρτη της Κρήτης και η αντίστοιχη λήψη από το δορυφόρο.



Εικόνα 5.1: Γεωγραφική θέση κολυμβητηρίου στο χάρτη της Κρήτης, [Web27]



Εικόνα 5.2: Δορυφορική απεικόνιση της θέσης του κολυμβητηρίου, [Web27]

Όσον αφορά στην ιστορία του, είναι άξιο απορίας το γεγονός πως παρόλο που ο σχεδιασμός και η κατασκευή του αποτέλεσαν μία τεράστια δαπάνη για το ελληνικό κράτος (υπολογίζεται γύρω στα 5 εκατομμύρια ευρώ), είναι ένα κτίριο που δεν τέθηκε σε λειτουργία ποτέ. Υπενθυμίζεται ότι, όπως αναφέρουν οι σχετικές μελέτες, το κλειστό κολυμβητήριο στα Κουνουπιδιανά Ακρωτηρίου θα έπρεπε να είχε ολοκληρωθεί και να λειτουργεί πριν από τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2004. Ωστόσο, το έργο ουδέποτε ολοκληρώθηκε, μένοντας μετέωρο μεταξύ Γενικής Γραμματείας Αθλητισμού, Πολυτεχνείου Κρήτης και Νομού Χανίων, με αποτέλεσμα να υποστεί εγκληματική λεηλασία και φθορές που το έχουν καταστήσει ερείπιο. Το έργο ουσιαστικά δεν ελέγχθηκε ποτέ, κατασκευάστηκε με επιστασία εκ του μακρόθεν και δεν παραλήφθηκε ποτέ επισήμως. Οι κατασκευαστικές ατέλειες, αλλά και η αδιαφορία των τοπικών φορέων οδήγησαν στην εγκατάλειψη της εγκατάστασης και

ακολούθησε το σύνηθες πλιάτσικο από διάφορους, οι οποίοι έβαλαν στο μάτι τον πανάκριβο εξοπλισμό.

Σε μία ύστατη προσπάθεια σωτηρίας του κολυμβητηρίου, τον Ιούλιο του 2014 υπεγράφη Προγραμματική Σύμβαση μεταξύ της τότε Πρυτανείας του Πολυτεχνείου Κρήτης και της Γενικής Γραμματείας Αθλητισμού (ΓΓΑ) με αντικείμενο την εκπόνηση ειδικών μελετών για την αποκατάσταση του κλειστού κολυμβητηρίου στο Ακρωτήρι. Οι μελέτες αυτές καταρτίστηκαν από την Τεχνική Υπηρεσία του Πολυτεχνείου Κρήτης, ολοκληρώθηκαν και παραδόθηκαν στην Πρυτανεία τον Νοέμβριο του 2016. Τα αποτελέσματα των μελετών έδειξαν πως το κόστος αποκατάστασης των φθορών και της ενεργειακής αναβάθμισης του κολυμβητηρίου που απαιτείται, μιας και η τεχνολογία πλέον έχει προχωρήσει ραγδαία, ανέρχεται στο ποσό των 3,5 εκατομμυρίων ευρώ. Ένα ποσό που μέχρι σήμερα δεν έχει βρεθεί και έτσι η τοπική κοινωνία καλύπτει μη ικανοποιητικά τις ανάγκες της με τη χρήση του μοναδικού κολυμβητηρίου στην πόλη των Χανίων, που βρίσκεται στην περιοχή της Νέας Χώρας. [Web27]

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ορισμένες εικόνες του εσωτερικού και εξωτερικού χώρου του κολυμβητηρίου σήμερα:

Εικόνα 5.3: Διαφορετικές όψεις του κλειστού κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά Ακρωτηρίου, [Web27]

Εικόνα 5.4: Φωτογραφίες της κολυμβητικής δεξαμενής του κολυμβητηρίου μετά τις λεηλασίες, [Web27]

Κλείνοντας την ενότητα της παρουσίασης του κολυμβητηρίου, αναφέρεται για ακόμη μία φορά πως η συγκεκριμένη διπλωματική δεν πραγματεύεται το ζήτημα της ανέγερσης του χώρου. Το συγκεκριμένο κολυμβητήριο αποτέλεσε το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη μίας πολύ συγκεκριμένης μεθοδολογίας μελέτης της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων. Η πολυπλοκότητα που παρουσιάζουν οι αθλητικές εγκαταστάσεις (ιδιαίτερα τα κολυμβητήρια) στον τρόπο λειτουργίας τους σε συνδυασμό με την συνολική προσπάθεια εκμετάλλευσης του συγκεκριμένου έργου από το Πολυτεχνείο Κρήτης, ήταν οι βασικοί παράγοντες στην επιλογή του συγκεκριμένου κολυμβητηρίου ως case study.

5.2.1 Περιγραφή των χώρων του κολυμβητηρίου

Το συγκεκριμένο κλειστό κολυμβητήριο περιλαμβάνει δύο πισίνες, την αγωνιστική πισίνα Ολυμπιακών διαστάσεων (50m X 25m) με σταθερό βάθος 3 μέτρα και μία μικρή πισίνα αποθεραπείας αθλητών και εκπαίδευσης μικρών παιδιών (12,60m X 10,10m) με βάθος που ξεκινά από τα 60 εκατοστά και αυξάνεται σταδιακά μέχρι το 1 μέτρο και 30 εκατοστά. Οι πισίνες πλαισιώνονται από πολλούς κοινόχρηστους, μηχανολογικούς χώρους, γραφεία και αίθουσες προπόνησης. Πιο αναλυτικά, το κτίριο χωρίζεται σε τρία επίπεδα:

- Υπόγειο
- Ισόγειο
- Υπερυψωμένος χώρος κερκίδων και δημοσιογραφικών θεωρείων

Μέσα από την μελέτη των σχεδίων, που δόθηκαν από την Διεύθυνση της Τεχνικής Υπηρεσίας του Πολυτεχνείου Κρήτης [Web32], καθορίστηκαν η χρήση και οι διαστάσεις κάθε χώρου του κολυμβητηρίου.

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι χώροι του υπογείου με τα αντίστοιχα εμβαδά τους:

Χώροι Υπογείου	**Εμβαδόν (m^2)**
Αίθουσες αθλητών	278.45
Τουαλέτες	585.97
Αίθουσες κλιματιστικών μονάδων/υψηλής τάσης	494.20
Μηχανοστάσια/λεβητοστάσια/δεξαμενές	625.44
Χώροι χωρίς χρήση	719.32
Διάδρομοι	515.19
Μηχανόδρομοι/Αποθήκες	2286.54

Πίνακας 5.1: Χώροι Υπογείου, [Web32]

Αντίστοιχα στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι χώροι του ισογείου και των κερκίδων με τα δημοσιογραφικά θεωρεία:

Χώροι Ισογείου – Κερκίδων	**Εμβαδόν (m^2)**
Αποθήκες καθαρισμού	136.14
Τουαλέτες κοινού	129.36
Τουαλέτες εργαζομένων	120.77
Τουαλέτες αθλητών	194.07
Γραφεία – αίθουσες εργαζομένων	441.46
Χώρος μικρής πισίνας	499.97
Χώρος μεγάλης πισίνας	2358.41
Ακάλυπτοι χώροι	259.77
Κερκίδες – δημοσιογραφικά θεωρεία	641.7
Εσωτερικοί διάδρομοι	673.97

Πίνακας 5.2: Χώροι ισογείου-κερκίδων, [Web32]

Ειδική αναφορά στις πισίνες του κολυμβητηρίου και τα χαρακτηριστικά τους θα γίνει στη συνέχεια του κεφαλαίου. Για να αποκτηθεί μία καλύτερη γενική εικόνα του κολυμβητηρίου και της διαμόρφωσης των χώρων του προτείνεται η μελέτη των αρχιτεκτονικών σχεδίων του που παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.

5.3 Περιγραφή του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε στην προσομοίωση

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου, ο σχεδιασμός του μοντέλου και οι μετέπειτα προσομοιώσεις, πραγματοποιήθηκαν με την βοήθεια των προγραμμάτων Google SketchUp, Openstudio και EnergyPlus. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν με την σειρά που αναφέρονται οι εκδόσεις SketchUp Make 2017, Legacy Openstudio Plug-in for SketchUp (Version 2.4.0) και το EnergyPlus (Version

8.8). Στη συνέχεια, παρατίθενται κάποια γενικά στοιχεία σχετικά με τα τρία προγράμματα και τον τρόπο αλληλεπίδρασης μεταξύ τους.

Αρχικά, παρουσιάζεται βήμα προς βήμα η αποτύπωση του τρισδιάστατου μοντέλου του κολυμβητηρίου μέσω του προγράμματος Google SketchUp. Ακολουθεί η προσθήκη θερμικών ζωνών και μερικών ακόμη χαρακτηριστικών στο κολυμβητήριο μέσω του Legacy Openstudio Plug-in και τέλος παρουσιάζεται ο τρόπος εισαγωγής των στοιχείων της προσομοίωσης μέσω του EnergyPlus.

5.3.1 Google SketchUp και Openstudio Plug-in

Το λογισμικό SketchUp είναι ένα πρόγραμμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης ευρείας χρήσης, με εφαρμογές αξιοποιήσιμες τόσο στην αρχιτεκτονική, την εσωτερική διακόσμηση, τις ταινίες και τον σχεδιασμό βιντεοπαιχνιδιών όσο και από πολιτικούς και μηχανολόγους μηχανικούς. Είναι διαθέσιμες εκδόσεις του είναι οι εξής:

- **SketchUp Free**, όπου αφορά την Web-based εφαρμογή του.
- **SketchUp Make**, η οποία είναι εντελώς δωρεών.
- **SketchUp Pro**, η οποία είναι επί πληρωμή και προσφέρει ορισμένες δυνατότητες επιπλέον στο χρήστη.

Προσφέρει ακόμη, δωρεάν βιβλιοθήκη με έτοιμα μοντέλα, όπως παράθυρα, πόρτες και αυτοκίνητα, η οποία ονομάζεται 3D Warehouse και εμπλουτίζεται συνεχώς από τα έργα των ίδιων των χρηστών του προγράμματος. Τέλος, είναι συμβατό με αρκετά plug-ins προσφέροντας τεράστιες δυνατότητες, όπως ο φωτορεαλισμός του εκάστοτε μοντέλου και η γεωγραφική τοποθέτησή του στο χάρτη. Όλα τα παραπάνω σε συνδυασμό με το αρκετά αναλυτικό και με παραδείγματα εγχειρίδιο χρήσης που διαθέτει, καθιστούν το SketchUp ιδιαίτερα δημοφιλές. [Web33]

Όσον αφορά στη λειτουργία του Legacy Openstudio Plug-in, που προσφέρει το Openstudio, δημιουργήθηκε από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (National Renewable Energy Laboratory) για το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α., προκειμένου να διευκολύνει τη χρήση του EnergyPlus. Αποτελεί ένα μέσο γραφικής ενεργειακής μοντελοποίησης που υποστηρίζεται και «φιλοξενείται» στον περιβάλλοντα χώρο του SketchUp με τη μορφή μιας επιπρόσθετης ηλεκτρονικής εργαλειοθήκης. Παράλληλα, το Legacy Openstudio Plug-in είναι ικανό να μετατρέπει το αρχείο σχεδιασμού που περιέχει το εκάστοτε μοντέλο σε μορφή (.idf) αναγνωρίσιμη από το EnergyPlus. [Web34] Οι βασικές λειτουργίες του συγκεκριμένου λογισμικού παρέχουν την δυνατότητα για:

- Δημιουργία και επεξεργασία θερμικών ζωνών και επιφανειών στο EnergyPlus.
- Ενοποίηση των επιφανειών που βρίσκονται σε γειτονικές θερμικές ζώνες.
- Αναζήτηση επιφανειών πληκτρολογώντας το όνομα τους.

- Ρύθμιση και αλλαγή λανθασμένων κατασκευών.
- Προσθήκη δεδομένων καιρού, στοιχείων ελέγχου φυσικού φωτισμού.
- Προσθήκη υλικών κατασκευής, θερμικών κερδών και ιδανικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης.
- Εισαγωγή δεδομένων στο EnergyPlus, εκτέλεση του προγράμματος και παρακολούθηση των αποτελεσμάτων μέσω του Sketchup.

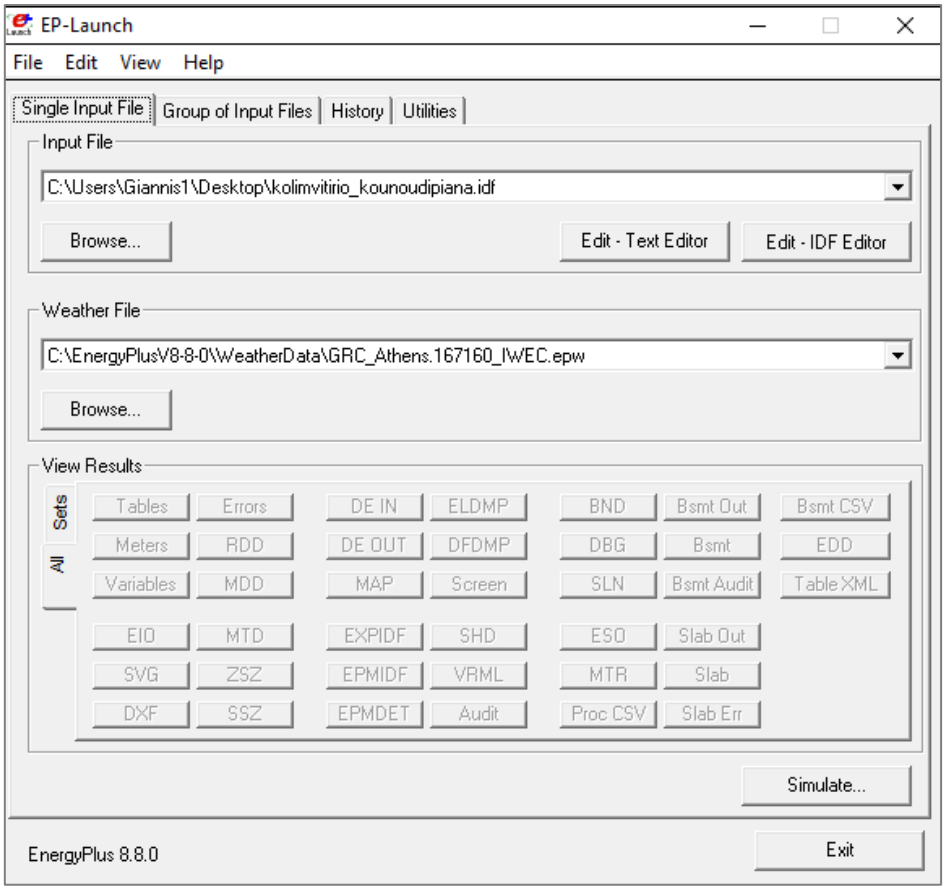
5.3.2 EnergyPlus

Το EnergyPlus είναι ένα λογισμικό που αναπτύχθηκε από το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α. σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran, αποσκοπώντας στην προσομοίωση και την ενεργειακή ανάλυση κτιρίων. Είναι βασισμένο σε δύο προηγούμενα λογισμικά, το BLAST (Building Loads and System Thermodynamics) και το DOE-2 (Department Of Energy-2), που κατασκευάστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του ’80. Ωστόσο, έχει καταφέρει να αντιμετωπίσει τις περισσότερες αδυναμίες των παραπάνω προγραμμάτων εφαρμόζοντας τεχνικές, όπως η προσομοίωση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των θερμικών ζωνών του εξεταζόμενου κτιρίου και η εξαγωγή αποτελεσμάτων με χρονικά βήματα μικρότερα της μίας ώρας. [Web35]

Χρησιμοποιείται κυρίως από μηχανικούς, αρχιτέκτονες και ερευνητές προσφέροντας τους την επιλογή ανάλυσης ενός μεγάλου εύρους παραμέτρων, γεγονός που οδηγεί τελικά σε μια αρκετά αντιπροσωπευτική προσομοίωση του κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα, εισάγοντας τα δεδομένα που αφορούν τα γεωμετρικά και δομικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης-κλιματισμού, των μηχανολογικών εγκαταστάσεων καθώς και τα κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής του κτιρίου, το EnergyPlus έχει τη δυνατότητα υπολογισμού πληθώρας αποτελεσμάτων. Αυτά αφορούν τη θερμοκρασία και το ποσοστό υγρασίας που επικρατούν στους χώρους του κτιρίου, την ενεργειακή κατανάλωσή του, τα θερμικά και ψυκτικά φορτία που απαιτούνται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του και πολλά άλλα που θα αναλυθούν στη συνέχεια. Βάσει αυτών των αποτελεσμάτων, ο χρήστης μπορεί να προβεί στις απαραίτητες επεμβάσεις για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου και την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

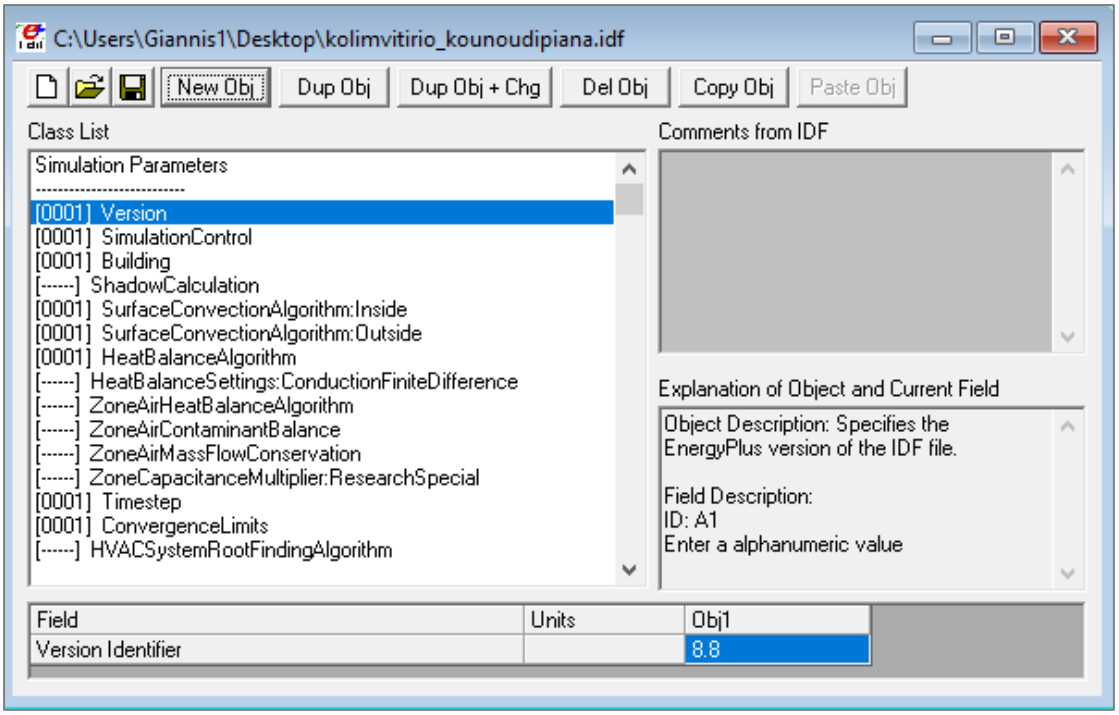
Για την υλοποίηση της κτιριακής προσομοίωσης το EnergyPlus παρέχει, μεταξύ άλλων, τα υποπρογράμματα: IDF Editor και EP-Launch τα οποία αντίστοιχα εξυπηρετούν στη δημιουργία/επεξεργασία αρχείων εισόδου και την εκτέλεση προσομοιώσεων.

Το EP-Launch ζητά από το χρήστη να επιλέξει το αρχείο εισόδου που επιθυμεί να εκτελεστεί, μορφής .idf, (όπως αυτό που δημιουργήθηκε με τη βοήθεια των SketchUp και Legacy Openstudio plug-in) καθώς και το αρχείο καιρού, το οποίο δίνει πληροφορίες σχετικά με τις μετεωρολογικές συνθήκες της τοποθεσίας που ευρίσκεται το κτίριο. Με βάση αυτά, θα προκύψει η ενεργειακή προσομοίωση με την επιλογή simulate.



Εικόνα 5.5: Υποπρόγραμμα EP-Launch του EnergyPlus

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.5, το EP-Launch δίνει την επιλογή Edit-IDF Editor. Η συγκεκριμένη επιλογή προσφέρει στο χρήστη δυνατότητες περαιτέρω επεξεργασίας και ανάλυσης του αρχείου εισόδου δεδομένων πριν την τελική προσομοίωση.



Εικόνα 5.6: Υποπρόγραμμα IDF Editor του EnergyPlus

Το IDF Editor, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.6, παρέχει μία λίστα στοιχείων ταξινομημένων σε ευρύτερες κατηγορίες (groups) αρχικά και στη συνέχεια σε υποκατηγορίες (classes) ανάλογα με την λειτουργικότητά τους. Στο φάκελο εγκατάστασης του λογισμικού, περιέχονται αρκετά χρήσιμα παραδείγματα υλοποιημένων προσομοιώσεων που χρησιμοποιούν αυτές τις κατηγορίες. Τέλος, για οποιαδήποτε επιπλέον απορία του χρήστη σε σχέση με την λειτουργικότητα και τη χρήση των κατηγοριών αυτών, το EnergyPlus παρέχει ένα pdf με τίτλο EnergyPlus Input/Output Reference, το οποίο είναι ιδιαίτερα αναλυτικό.

5.4 Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου

Για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου κρίθηκε απαραίτητη η επικοινωνία με την Τεχνική Υπηρεσία του Πολυτεχνείου Κρήτης για την εξασφάλιση της αρχιτεκτονικής και ηλεκτρολογικής μελέτης του κολυμβητηρίου. Λόγω του μεγάλου όγκου του κτιρίου, των πολλών επιπέδων και της πολυπλοκότητας που παρουσιάζει η διαρρύθμιση των εσωτερικών του χώρων, απαιτήθηκαν ώρες ενασχόλησης με τις κατόψεις, τομές και όψεις που περιείχε η μελέτη. Άλλωστε, είναι γεγονός πως η λανθασμένη αποτύπωση των διαστάσεων του κτιρίου που σχεδιάζεται, μπορεί να επιφέρει μεγάλες αποκλίσεις στα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

5.4.1 Χωρισμός του κολυμβητηρίου σε θερμικές ζώνες

Το πρώτο βήμα μετά τη μελέτη των σχεδίων, ήταν ο χωρισμός μόνο των εσωτερικών χώρων του κολυμβητηρίου σε θερμικές ζώνες σύμφωνα με τους κανονισμούς που ορίζει η Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010,

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α). Αρχικά, πρέπει να καταστεί σαφές στον αναγνώστη, το ακριβές περιεχόμενο του όρου θερμική ζώνη. Ως θερμική ζώνη ορίζεται το σύνολο των χώρων μέσα στο κτίριο με όμοιες απαιτούμενες εσωτερικές συνθήκες, με παρόμοια χρήση, ίδιο προφίλ λειτουργίας και κοινά ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα.

Για την εξαγωγή όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικών αποτελεσμάτων, το κλειστό κολυμβητήριο χωρίστηκε σε 16 θερμικές ζώνες. Η αρχική προσέγγιση αφορούσε το διαχωρισμό σε ακόμη περισσότερες ζώνες λόγω της πολυπλοκότητας της γεωμετρίας και της έκτασης του. Παρόλα αυτά, προτιμήθηκε η περαιτέρω ομαδοποίηση των θερμικών ζωνών με παρόμοιο προσανατολισμό και κοινά χαρακτηριστικά και η ενοποίηση των αρκετά μικρών χώρων με γειτονικούς μεγαλύτερους. Η συγκεκριμένη μέθοδος πρέπει να ακολουθείται για την επίτευξη οικονομίας στο πλήθος των δεδομένων εισόδου και στον υπολογιστικό χρόνο αργότερα. Πιο συγκεκριμένα ο διαχωρισμός έγινε ως εξής:

- 3 ζώνες αφορούν τους χώρους άθλησης του κολυμβητηρίου (οι χώροι των δύο πισινών και το γυμναστήριο)
- 2 ζώνες σχετίζονται με τις μηχανολογικές εγκαταστάσεις
- 2 ζώνες αφορούν τις αποθήκες καθαρισμού και τα φρεάτια του κολυμβητηρίου
- 1 ζώνη για τα γραφεία των εργαζομένων του κτιρίου
- 2 ζώνες για τους διαδρόμους του υπογείου και του ισογείου αντίστοιχα
- 4 ζώνες για τις τουαλέτες και τα αποδυτήρια του κτιρίου
- 2 ζώνες αφορούν τους ακάλυπτους χώρους και τους χώρους χωρίς χρήση του κολυμβητηρίου.

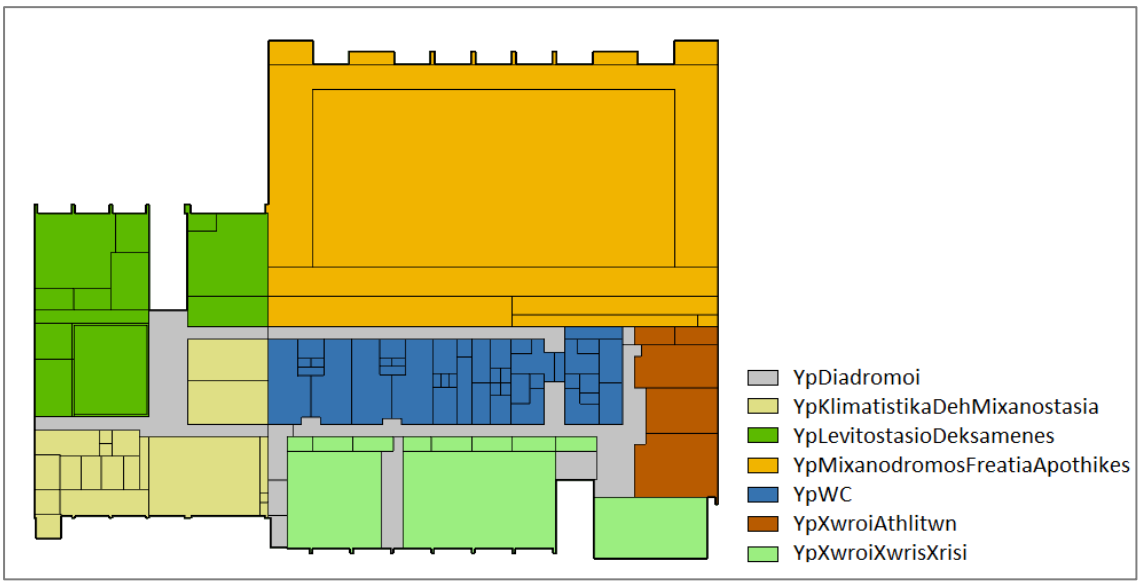
Σημειώνεται πως θα μπορούσε ενδεχομένως να επιτευχθεί εκ νέου ομαδοποίηση ορισμένων από τις παραπάνω ζώνες, αλλά δεν γινόταν να παραβλεφθεί το γεγονός ότι παρά τις σχετικά κοινές συνθήκες που επικρατούσαν σε αυτές, ο γεωγραφικός τους προσανατολισμός διέφερε αρκετά.

Στον παρακάτω Πίνακα 5.3, παρατίθενται οι ονομασίες των τελικών θερμικών ζωνών που προέκυψαν και οι αντίστοιχοι χώροι του κτιρίου που αντιπροσωπεύει η καθεμία:

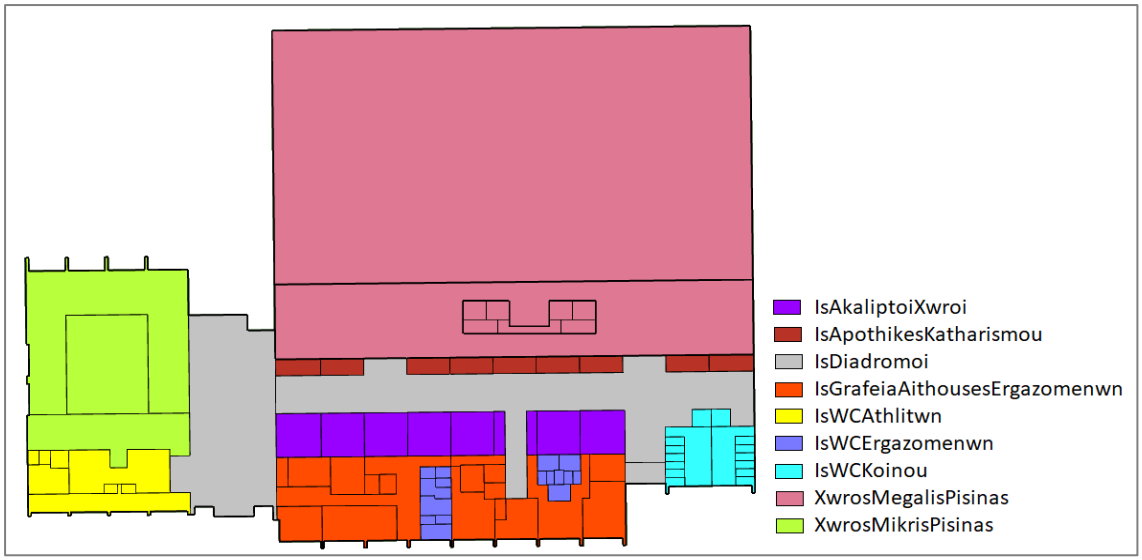
Χώροι Κολυμβητηρίου	Ονομασίες ζωνών όπως εισήχθησαν στα προγράμματα
1. Διάδρομοι υπογείου	YpDiadromoi
2. Τουαλέτες υπογείου	YpWC
3. Αθλητικές εγκαταστάσεις υπογείου	YpXwroiAthlitwn
4. Ανεκμετάλλευτες αίθουσες υπογείου	YpXwroiXwrisXrisi
5. Χώροι χαμηλής/υψηλής τάσης, κλιματιστικών, μηχανοστάσια υπογείου	YpKlimatistikaDehMixanostasia
6. Λεβητοστάσιο – δεξαμενές υπογείου	YpLevitostasioDeksamenes
7. Μηχανόδρομος, φρεάτια, αποθήκες υπογείου	YpMixanodromosFreatiaApothikes
8. Διάδρομοι ισογείου	IsDiadromoi
9. Αίθουσες εργαζομένων ισογείου	IsGrafeiaAithousesErgazomenwn
10. Τουαλέτες εργαζομένων ισογείου	IsWCErgazomenwn
11. Αποδυτήρια αθλητών ισογείου	IsWCAthlitwn
12. Κοινόχρηστες τουαλέτες ισογείου	IsWCKoinou
13. Αποθήκες καθαρισμού ισογείου	IsApothikesKatharismou
14. Ακάλυπτοι χώροι ισογείου	IsAkaliptoiXwroi
15. Αίθουσα μεγάλης πισίνας κολυμβητηρίου	XwrosMegalisPisinas
16. Αίθουσα μικρής πισίνας κολυμβητηρίου	XwrosMikrisPisinas

Πίνακας 5.3: Θερμικές ζώνες κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά Ακρωτηρίου

Στις παρακάτω Εικόνες 5.7, 5.8, παρουσιάζονται οι θερμικές ζώνες σχεδιασμένες πάνω στις κατόψεις του κολυμβητηρίου, όπως εισήχθησαν στο Google SketchUp:



Εικόνα 5.7: Θερμικές ζώνες κάτοψης υπογείου κολυμβητηρίου

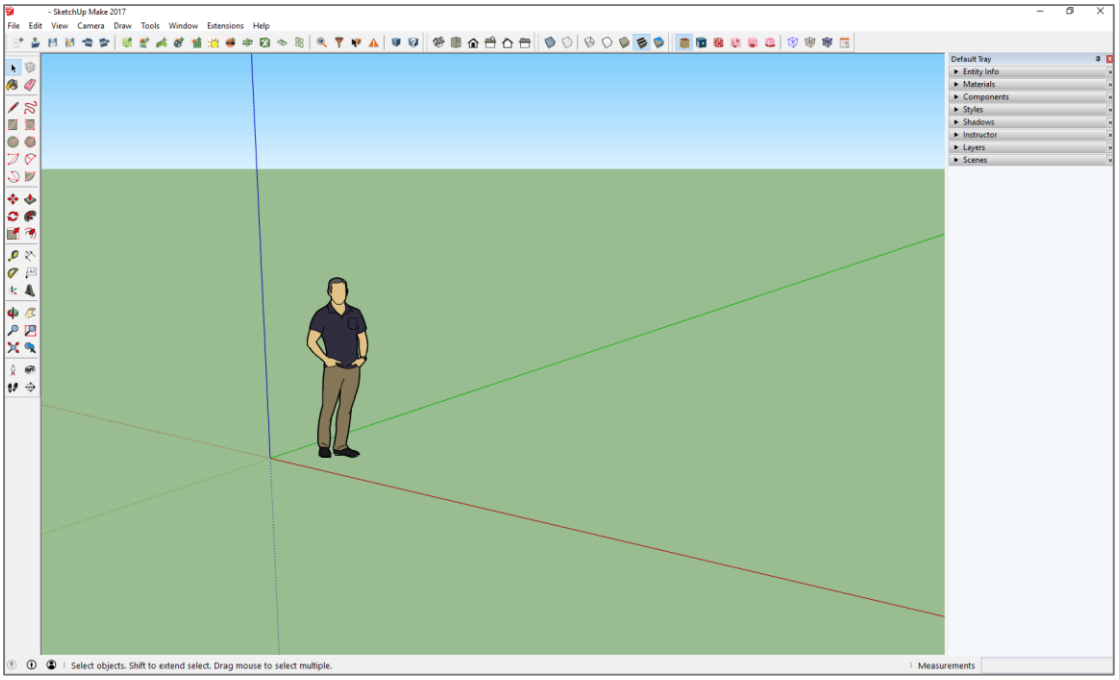


Εικόνα 5.8: Θερμικές ζώνες ισογείου-κερκίδων κολυμβητηρίου

5.4.2 Σχεδίαση του κολυμβητηρίου μέσω του προγράμματος Google Sketchup

Μετά τον καθορισμό των θερμικών ζωνών, έγινε η σχεδίαση του κλειστού κολυμβητηρίου στο Google Sketchup σε συνδυασμό με το λογισμικό Openstudio plug-in. Δηλαδή, η δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου προσομοίωσης του κτιρίου, με τον αντίστοιχο προσανατολισμό και διαστάσεις.

Το Google SketchUp διαθέτει, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.9, ένα σύστημα τριών αξόνων, τον μπλε, τον κόκκινο και τον πράσινο. Οι άξονες αυτοί αντιστοιχούν στο ύψος, το μήκος και το πλάτος, με τον πράσινο άξονα να έχει προσανατολισμό προς τον Βορρά. Κρίνεται απαραίτητο, η σχεδίαση των πλευρών του εκάστοτε κτιρίου να γίνεται αρχικά κατά μήκος των τριών αξόνων και στη συνέχεια να δίνεται ο ακριβής γεωγραφικός προσανατολισμός. Έτσι αποφεύγονται τυχόν αστοχίες κατά τη σχεδίαση που είναι ιδιαίτερα δύσκολο να διορθωθούν μετέπειτα.

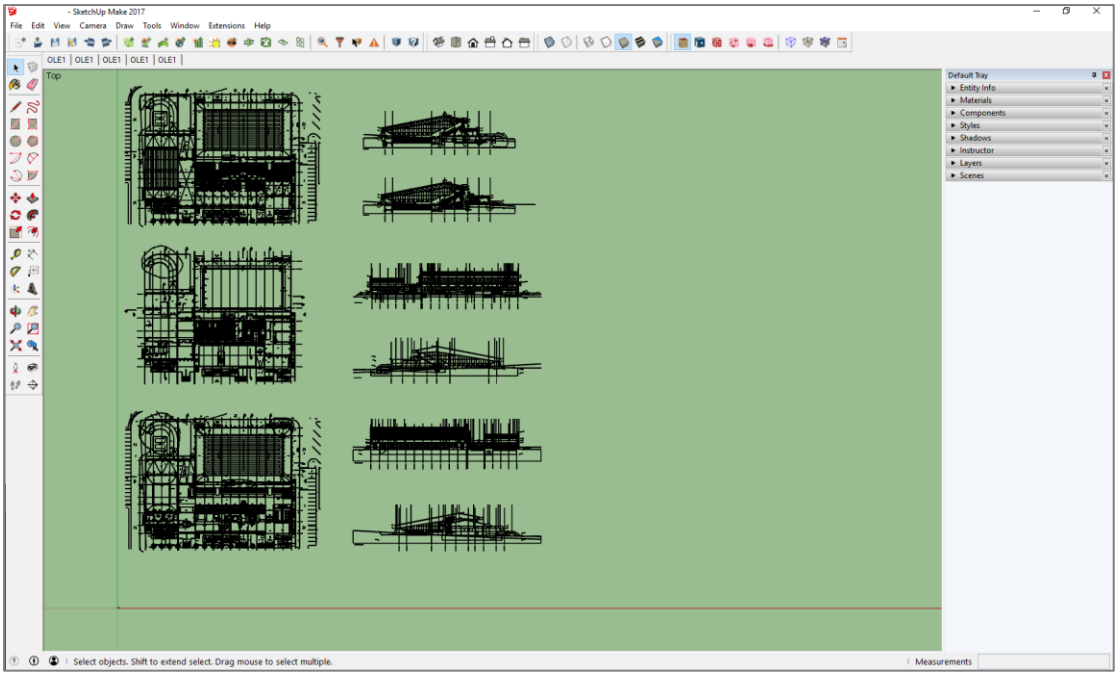


Εικόνα 5.9: Το περιβάλλον του προγράμματος Google SketchUp με το Openstudio plug-in

Οι βασικές εντολές του προγράμματος, που οφείλει να γνωρίζει κάθε επίδοξος σχεδιαστής καθώς και ορισμένες συμβουλές-τεχνάσματα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη φάση της προσομοίωσης, περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω. [Web36]

5.4.2.1 Εισαγωγή κατόψεων στο Google SketchUp

Απαραίτητο συστατικό μίας σωστής σχεδίασης, αποτελεί η σωστή προεργασία πριν ξεκινήσει η διαδικασία της προσομοίωσης. Αφού πρώτα έγινε η μελέτη και κατανόηση των αρχιτεκτονικών σχεδίων του κολυμβητηρίου στο AutoCAD (κατόψεις, όψεις και τομές), πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή τους στο πρόγραμμα Google SketchUp με την χρήση της εντολής import.



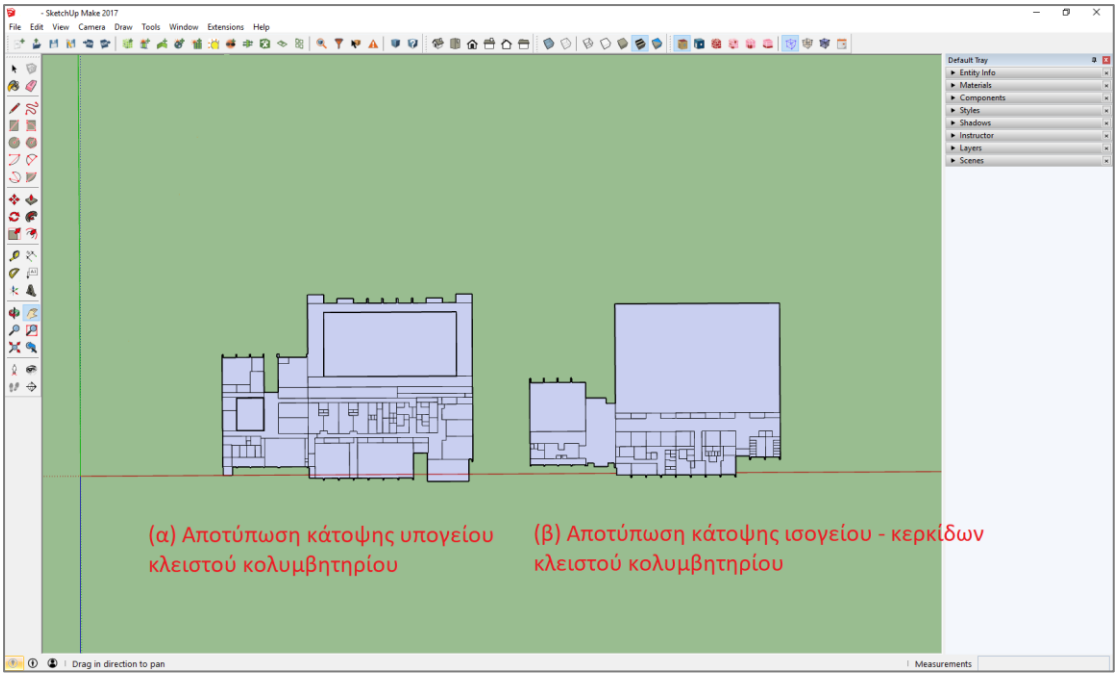
Εικόνα 5.10: Εισαγωγή των αρχιτεκτονικών σχεδίων του κτιρίου στο Google SketchUp

5.4.2.2 Έλεγχος των διαστάσεων

Με το εργαλείο **Tape Measure Tool** , μετρήθηκαν οι διαστάσεις των κατόψεων αρχικά και των τομών-όψεων στη συνέχεια. Οι τομές και οι όψεις ήταν ιδιαίτερα χρήσιμες για να βρεθούν τα ύψη του κάθε ορόφου και οι συνολικές διαστάσεις του κολυμβητηρίου. Για την επίτευξη μετρήσεων και σχεδίασης μεγαλύτερης ακρίβειας, έγινε χρήση του παραθύρου Length, το οποίο επιτρέπει στο χρήστη να εισάγει τα μέτρα ο ίδιος.

5.4.2.3 Σχεδίαση δαπέδου

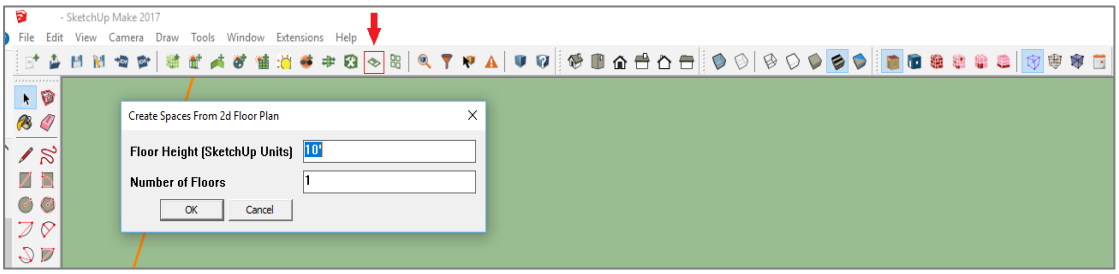
Η σχεδίαση του δαπέδου έγινε με τη χρήση του εργαλείου **Line** . Αφού επιλέχθηκε το εργαλείο σχεδιάστηκαν διαδοχικά γραμμές παράλληλες στο οριζόντιο επίπεδο (x,y) με τις κατάλληλες διαστάσεις. Αρχικά, ξεκίνησε η σχεδίαση του περιγράμματος της κάτοψης του υπογείου και του ισογείου-κερκίδων αντίστοιχα και στη συνέχεια σχεδιάστηκε η εσωτερική διαρρύθμιση του κάθε επιπέδου. Όταν ολοκληρώθηκε η σχεδίαση και με κλειστές τις γραμμές του εκάστοτε περιγράμματος, οι επιφάνειες απέκτησαν το χαρακτηριστικό γκρι χρώμα που δηλώνει την δημιουργία του δαπέδου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.11:



Εικόνα 5.11: (α) Σχεδίαση του δαπέδου του υπογείου του κολυμβητηρίου, (β) Σχεδίαση του δαπέδου του ισογείου-κερκίδες του κολυμβητηρίου.

5.4.2.4 Δημιουργία χώρων (spaces)

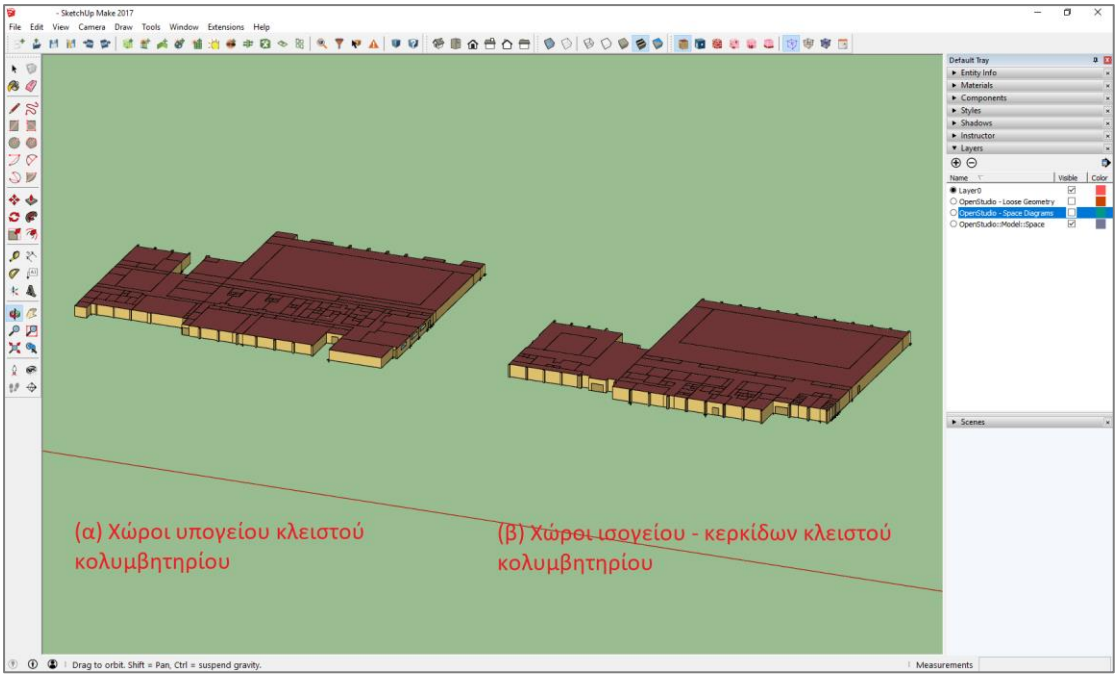
Μετά τον σχεδιασμό των δαπέδων του υπογείου και του ισογείου του κολυμβητηρίου από τις κατόψεις και την μέτρηση του ύψους του καθενός από τον συνδυασμό τομών-όψεων, χρησιμοποιήθηκε η εντολή **Create Spaces From Diagram** για την δημιουργία των χώρων του κολυμβητηρίου. Οι χώροι αυτοί αναγνωρίζονται ως spaces μοντέλου από το Openstudio plug-in. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.12, η συγκεκριμένη εντολή δίνει την δυνατότητα στον χρήση να ορίσει το ύψος και την ύπαρξη ή μη ορόφων με την ίδια διαρρύθμιση στο εκάστοτε μοντέλο. Ουσιαστικά αντικαθιστά μια σειρά εντολών, που υπήρχαν σε παλαιότερες εκδόσεις για την δημιουργία spaces διευκολύνοντας την όλη διαδικασία.



Εικόνα 5.12: Ορισμός ύψους και αριθμού ορόφων για την δημιουργία των χώρων του κολυμβητηρίου με την εντολή Create Spaces From Diagram

Στην περίπτωση του συγκεκριμένου μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε και λόγω της διαφορετικής διαρρύθμισης του υπογείου και του ισόγειου, δημιουργήθηκαν πρώτα οι χώροι του κάθε επιπέδου ξεχωριστά μετρώντας τα αντίστοιχα ύψη (Εικόνα

5.13) και στη συνέχεια τοποθετήθηκε το ισόγειο πάνω από το χώρο του υπογείου δίνοντας στο κολυμβητήριο μορφή. Σημειώνεται ότι η οροφή του μοντέλου συμβολίζεται με το χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα και οι περιμετρικοί τοίχοι με κίτρινο.



Εικόνα 5.13: (α) Χώροι υπογείου κλειστού κολυμβητηρίου, (β) Χώροι ισογείου-κερκίδων κλειστού κολυμβητηρίου

5.4.2.5 Περαιτέρω σχεδίαση της οροφής

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, η πραγματική οροφή του σχεδιαζόμενου μοντέλου διαφέρει από την επίπεδη οροφή που δημιουργεί το SketchUp. Αντίστοιχα, για να δημιουργηθεί η κεκλιμένη οροφή του κολυμβητηρίου χρησιμοποιήθηκαν κατά σειρά τα εργαλεία:

- **Measure Tool** για την εύρεση του ύψους από το οποίο αρχίζει η κλίση της οροφής.
- **Protractor** για την μέτρηση της κλίσης σε μοίρες.
- **Line Tool** .για την αποτύπωση της κλίσης επάνω στην επιφάνεια που πρόκειται να «κοπεί». Είναι ιδιαίτερα σημαντικό η σχεδίαση επάνω στην εκάστοτε επιφάνεια να γίνεται αφού ο χρήστης έχει πρώτα εισέλθει (με διπλό αριστερό κλικ του ποντικιού) στον χώρο (space), στον οποίο υπάγεται η συγκεκριμένη επιφάνεια.
- **Push/Pull** για την μετακίνηση της επιφάνειας που θέλουμε να «κοπεί». Ο τρόπος για να συμβεί αυτό, είναι να εισέλθουμε στον χώρο της, να επιλέξουμε την εντολή push και πηγαίνοντας επάνω της, να

σύρουμε τον κέρσορα μέχρι το σημείο που ορίζει την παράλληλη προς αυτήν επιφάνεια του χώρου.

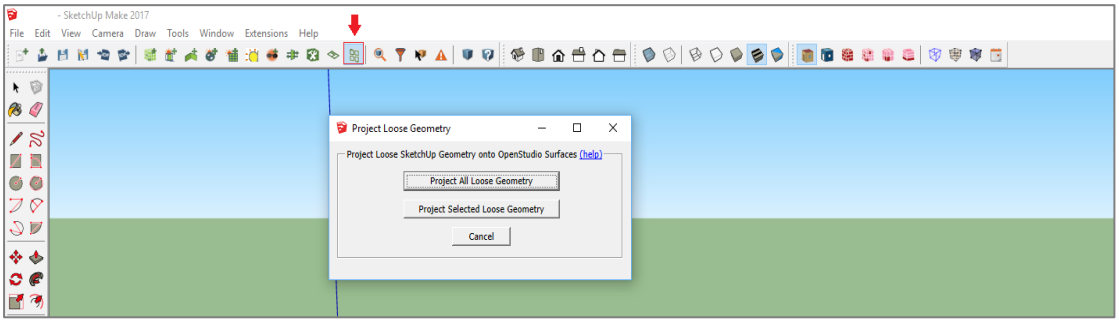
Με τη χρήση της εντολής push/pull έγιναν ορισμένες διορθώσεις ακόμα στο μοντέλο μας με σκοπό να αποτυπώνει όσο το δυνατόν καλύτερα την γεωμετρία του κλειστού κολυμβητηρίου.

5.4.2.6 Σχεδίαση στοιχείων γεωμετρίας (πόρτες, παράθυρα)

Για την σχεδίαση των στοιχείων γεωμετρίας του κολυμβητηρίου, χρησιμοποιήθηκε αρχικά το **Measure Tool** για τον προσδιορισμό των σωστών διαστάσεων και στη συνέχεια το **Line Tool** για την σχεδίαση.

Για την δημιουργία μίας πόρτας, απαιτείται ο χρήστης του SketchUp να εισέλθει στον χώρο της, να φέρει κατακόρυφη γραμμή ξεκινώντας από το δάπεδο και να συνεχίσει σχηματίζοντας ένα ορθογώνιο με τις διαστάσεις της πόρτας. Μετά το τέλος των εντολών, η πόρτα αποκτά το χαρακτηριστικό χρώμα. Με την ίδια διαδικασία, ξεκινώντας από το σωστό ύψος σύμφωνα με τα σχέδια, γίνεται ο σχεδιασμός των παραθύρων, που αποκτούν το χαρακτηριστικό γαλάζιο χρώμα.

Ένας άλλος τρόπος σχεδιασμού των γεωμετρικών στοιχείων του κτιρίου είναι η χάραξη τους με τη χρήση του Line Tool χωρίς ο σχεδιαστής να εισέλθει στο χώρο του εκάστοτε σχεδιαζόμενου στοιχείου. Απαραίτητη προϋπόθεση όμως, για να ολοκληρωθεί σωστά η σχεδίαση και αποκτήσουν τα στοιχεία τα χρώματα που περιγράφτηκαν νωρίτερα, είναι η επιπλέον χρήση της εντολής **Project Loose Geometry** , όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.14. Μόνο έτσι, η γεωμετρία που σχεδιάστηκε μπορεί να αναγνωριστεί ως υποεπιφάνεια (sub-surface) στο μοντέλο.

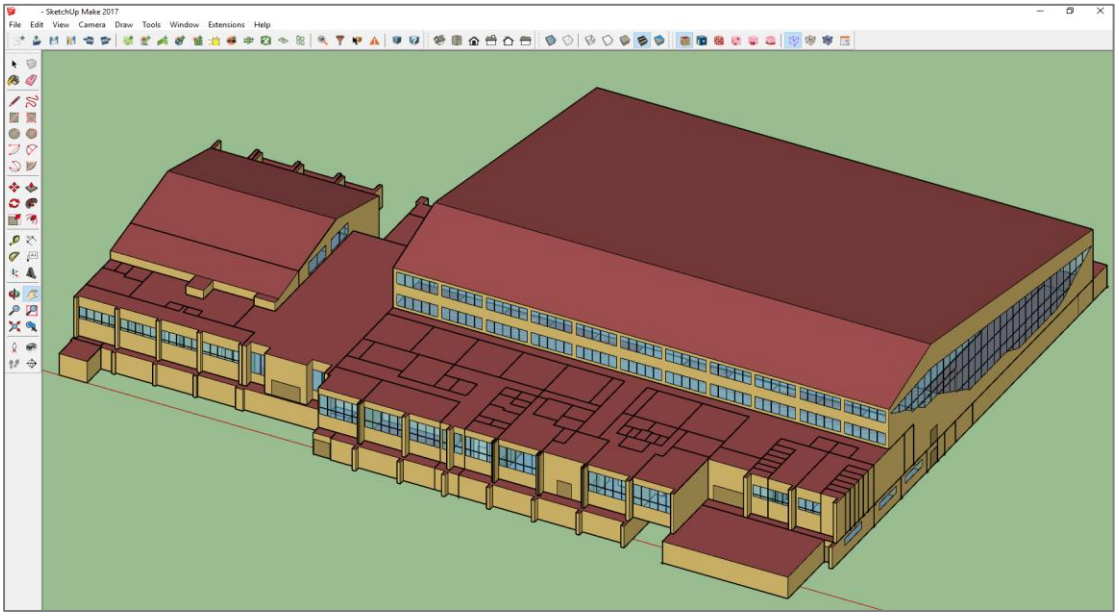


Εικόνα 5.14: Χρήση της εντολής Project Loose Geometry για τον σχεδιασμό της γεωμετρίας του μοντέλου

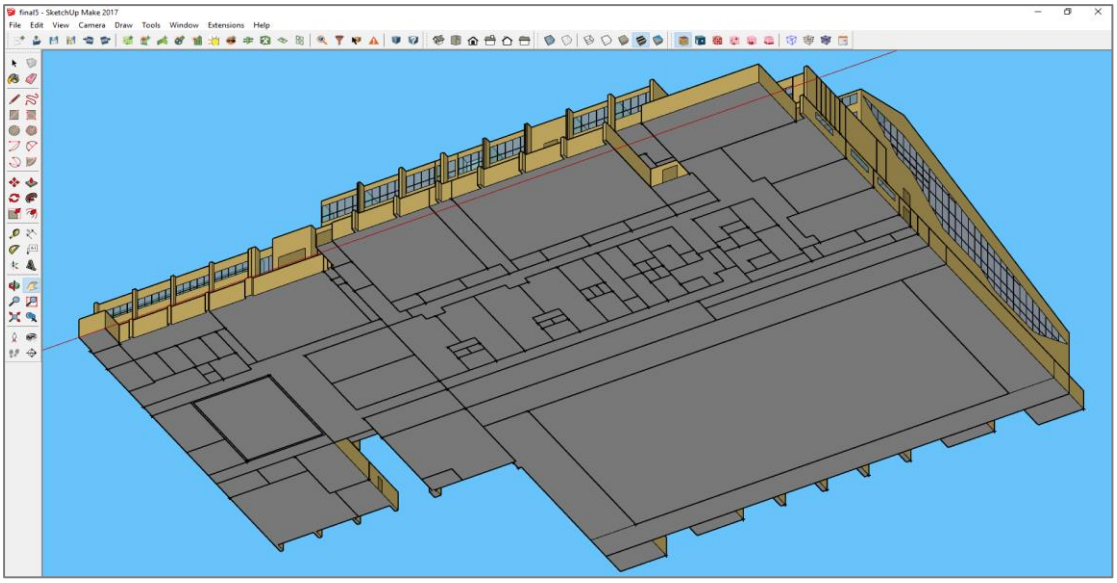
Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε ο πρώτος τρόπος, καθώς δίνει την δυνατότητα άμεσης προβολής του αποτελέσματος της σχεδίασης και πιο εύκολης διόρθωσης πιθανών λαθών.

Όσον αφορά στις εσωτερικές πόρτες και στα εσωτερικά παράθυρα, κρίνεται απαραίτητη μετά την σχεδίαση του εκάστοτε γεωμετρικού στοιχείου στην επιφάνεια του τοίχου, η δημιουργία του αποτυπώματος του και στον εφαπτόμενο σε αυτόν. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιούνται οι εντολές copy, με σκοπό την αντιγραφή της υποεπιφάνειας που σχεδιάστηκε και paste in place για να δημιουργηθεί το περίγραμμα της στον εφαπτόμενο τοίχο. Θα εξηγηθεί εκτενέστερα στη συνέχεια η λειτουργικότητα αυτής της ενέργειας.

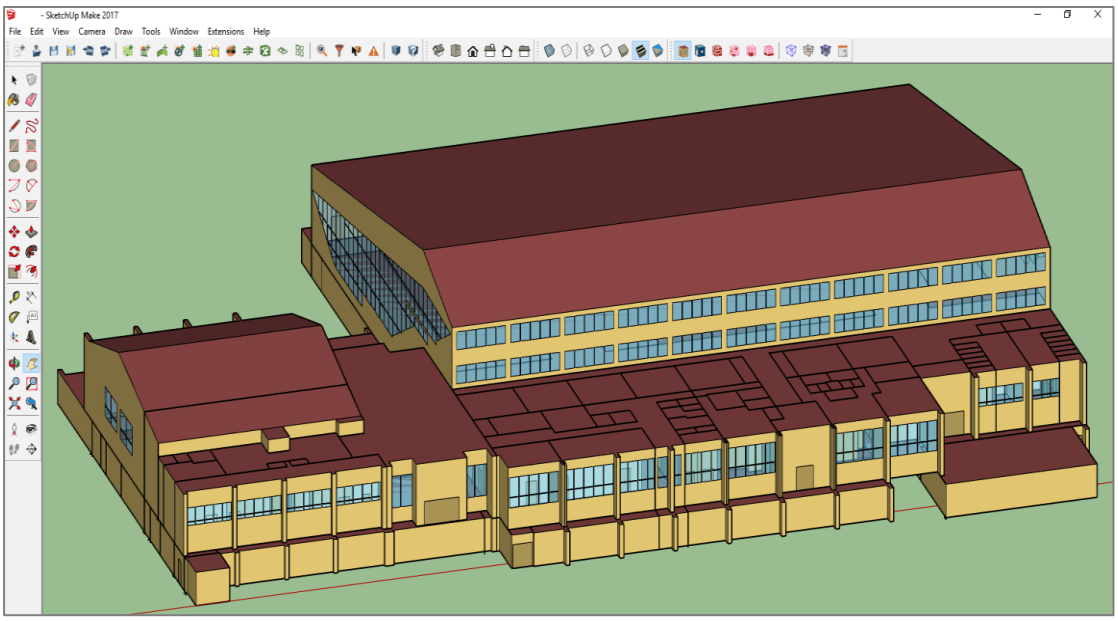
Στις παρακάτω εικόνες, παρουσιάζονται οι διάφορες όψεις του κολυμβητηρίου σε τρισδιάστατη μορφή, όπως προέκυψε μετά την «ένωση» των δύο ορόφων και την τοποθέτηση γεωμετρικών στοιχείων.



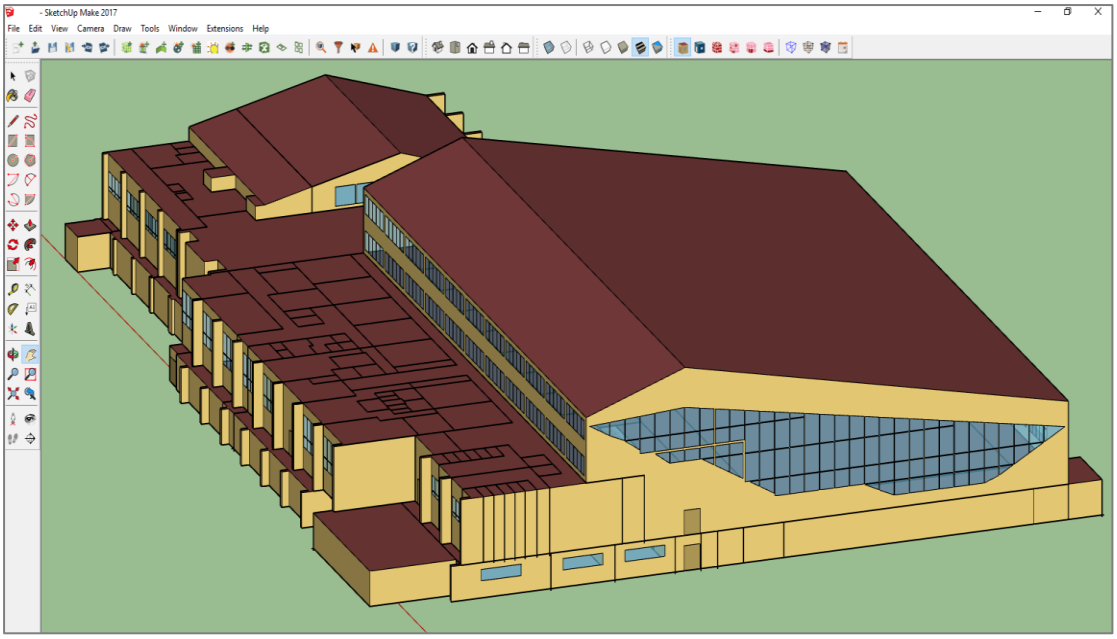
Εικόνα 5.15: Άποψη της προσομοίωσης του κολυμβητηρίου μετά την τοποθέτηση γεωμετρικών στοιχείων



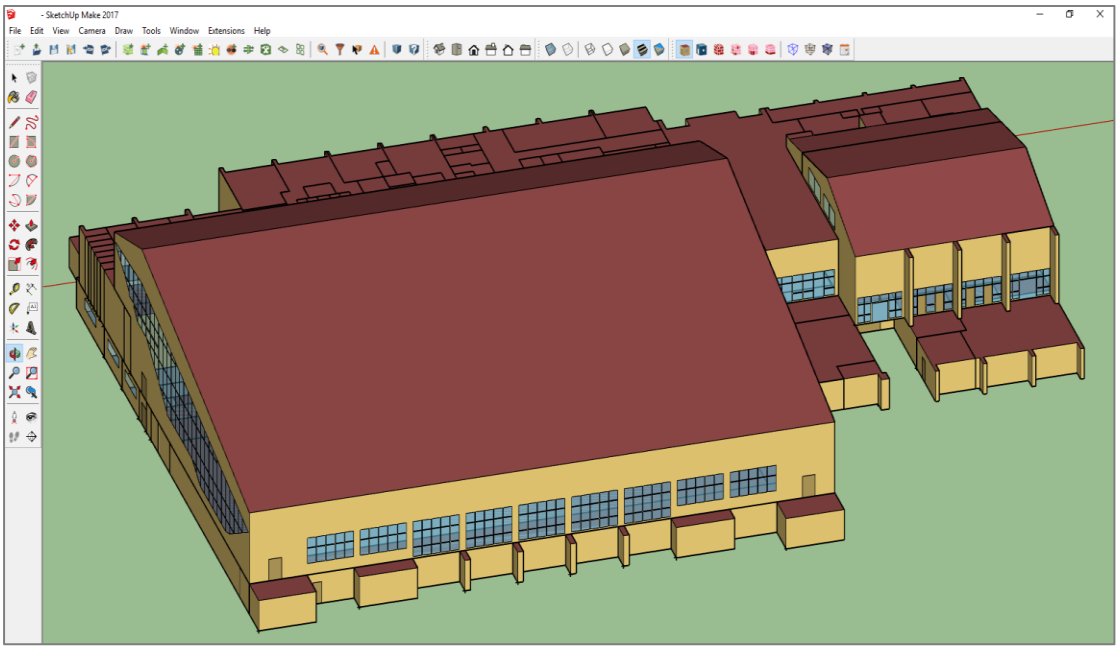
Εικόνα 5.16: Άνοψη του κολυμβητηρίου



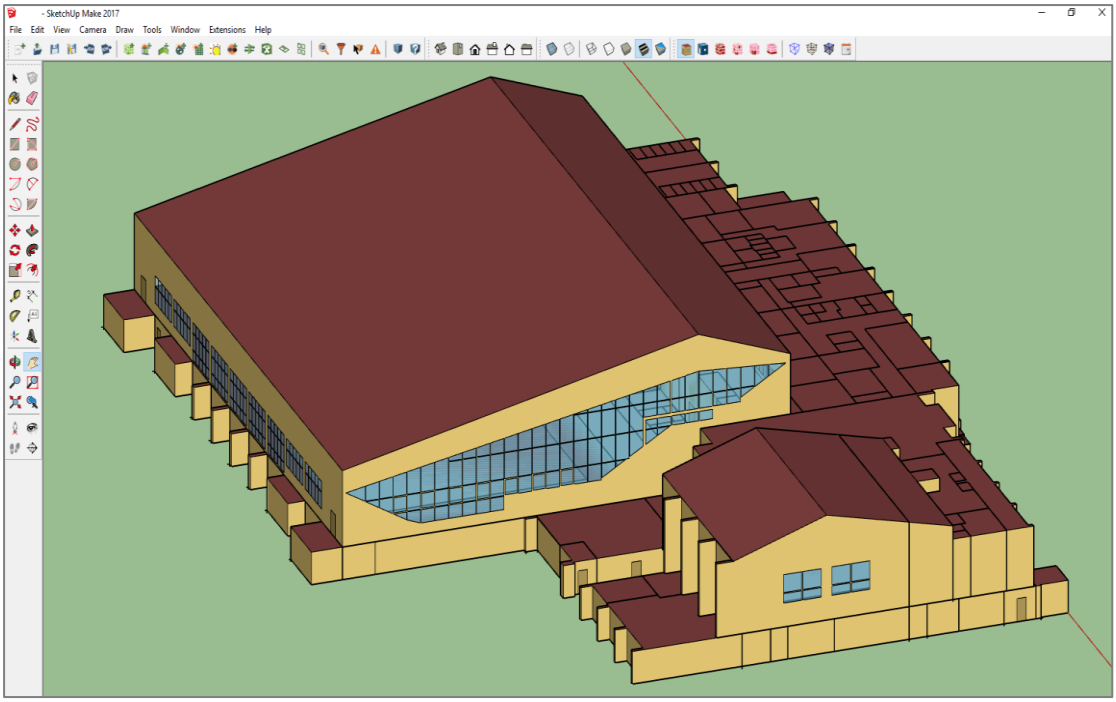
Εικόνα 5.17: Νότια όψη του κολυμβητηρίου



Εικόνα 5.18: Ανατολική όψη του κολυμβητηρίου



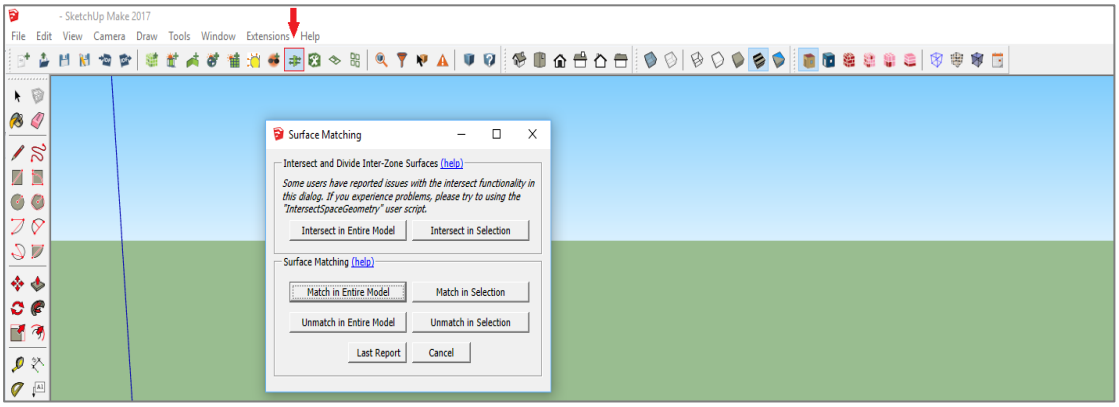
Εικόνα 5.19: Βόρεια όψη του κολυμβητηρίου



Εικόνα 5.20: Δυτική όψη του κολυμβητηρίου

5.4.2.7 Ταυτοποίηση επιφανειών

Για την μετέπειτα σωστή λειτουργία του προγράμματος EnergyPlus, θα πρέπει οι επιφάνειες επαφής μεταξύ των διαφορετικών ζωνών να αναγνωριστούν ως μία κοινή επιφάνεια, δηλαδή ως εσωτερικοί τοίχοι. Για να συμβεί αυτό, εκτελείται η εντολή **Surface Matching** ,η οποία είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία του αποτυπώματος της μίας από τις επιφάνειες επαφής επάνω στην άλλη, εκτελώντας την εντολή intersect και για την ταυτοποίηση αυτών με την εντολή match. Οι δύο αυτές εντολές έχουν δυνατότητα εφαρμογής σε όλο το μοντέλο ή ακόμη και σε ένα μέρος του. Σημειώνεται επίσης πως με την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας, γίνεται αυτόματα ταυτοποίηση και των εσωτερικών γεωμετρικών στοιχείων που βρίσκονται σε επαφή.



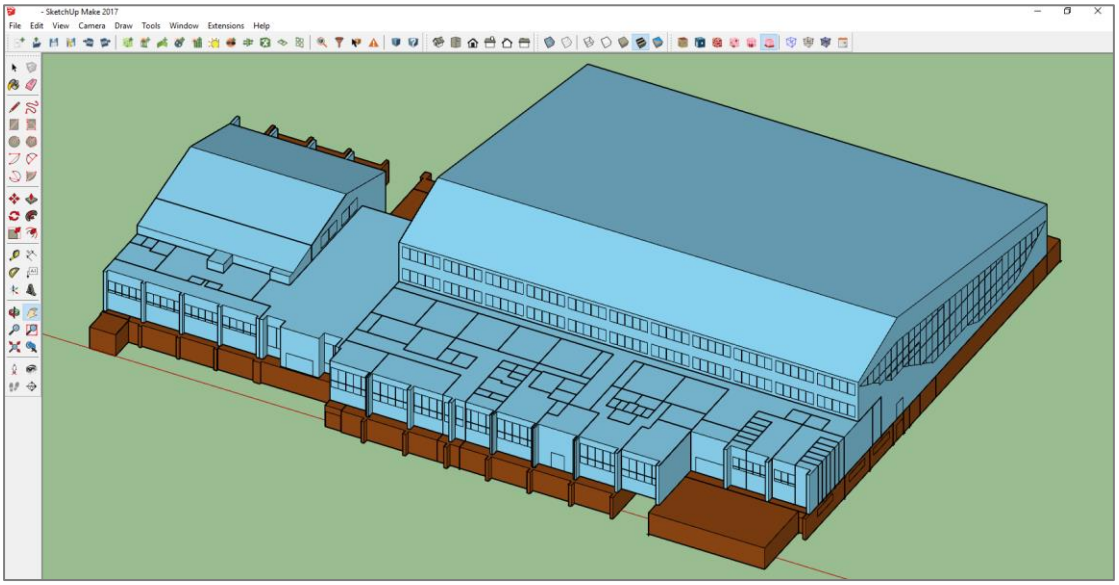
Εικόνα 5.21: Χρήση της εντολής Surface Matching για την εύρεση και αναγνώριση επιφανειών σε επαφή μεταξύ των ζωνών ως κοινή επιφάνεια

Όσον αφορά στο κολυμβητήριο όμως, η χρήση της εντολής Surface Matching δεν είχε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Παρόλο που η εντολή intersect λειτούργησε κανονικά, δεν έγινε ποτέ σωστή ταυτοποίηση όλων των εσωτερικών τοίχων με την εντολή match. Ελλείψει άλλων λύσεων, η συνέχεια της διαδικασίας ταυτοποίησης έγινε χειροκίνητα με την χρήση του λογισμικού Openstudio plug-in, γεγονός που προκάλεσε αρκετή χρονική καθυστέρηση στη συνέχεια της προσομοίωσης.

5.4.2.8 Χρήση εντολών SketchUp για την εμφάνιση του μοντέλου

Η λήψη των εικόνων που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα έγινε, ενώ ήταν επιλεγμένη η εντολή **Render By Surface Type** . Έτσι οι επιφάνειες εμφανίζονται με διαφορετικά χρώματα ανάλογα με το είδος τους. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα δάπεδα εμφανίζονται με γκρι χρώμα, οι τοίχοι με κίτρινο, οι οροφές με κόκκινο, οι πόρτες με καφέ, τα παράθυρα με γαλάζιο και τα σκίαστρα (όταν υπάρχουν) με μωβ. Παρόλα αυτά, υπάρχουν και άλλες επιλογές εμφάνισης του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της σχεδίασης.

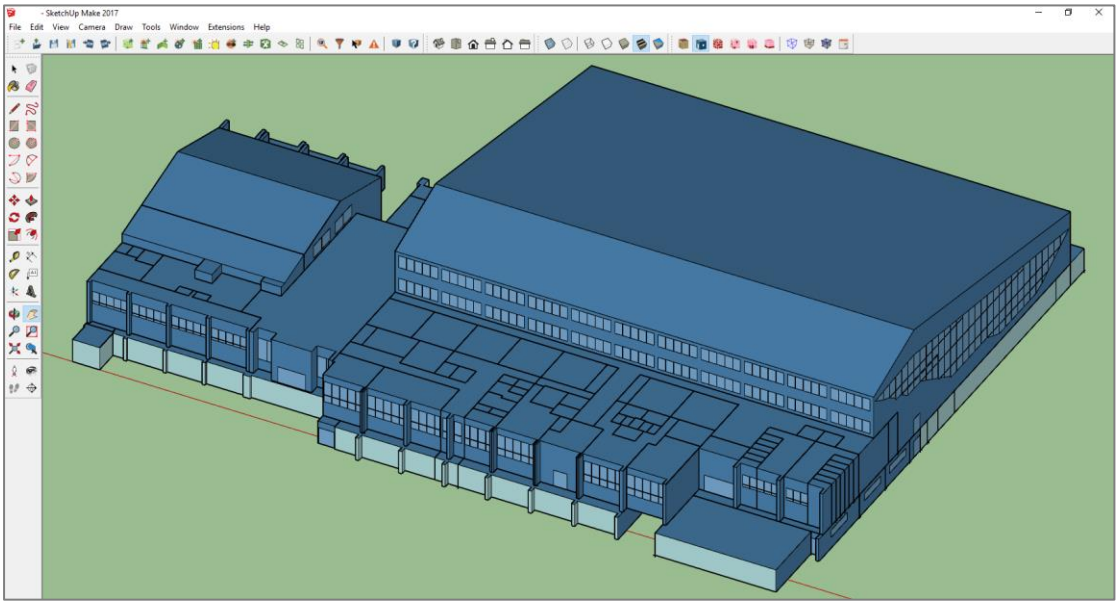
Η εντολή **Render By Building Story** , αφορά την εμφάνιση των επιφανειών του κτιρίου που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο με κοινό χρώμα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.22.



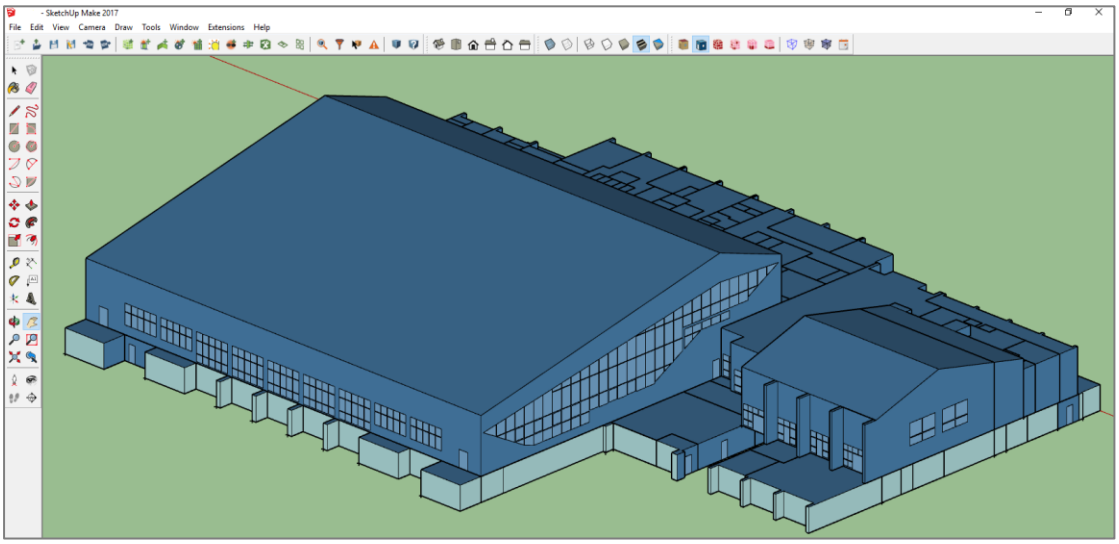
Εικόνα 5.22: Χρήση της εντολής Render By Building Story για την υπόδειξη των επιφανειών του ίδιου επιπέδου

Με την επιλογή της εντολής **Render By Boundary Condition** , οι επιφάνειες εμφανίζονται με διαφορετικά χρώματα ανάλογα με τις συνοριακές τους συνθήκες. Οι εξωτερικές επιφάνειες εμφανίζονται με μπλε χρώμα, οι επιφάνειες επαφής με πράσινο χρώμα και οι επιφάνειες επαφής με το έδαφος με μπεζ χρώμα. Τέλος, οι εξωτερικές επιφάνειες που δεν είναι εκτεθειμένες σε ήλιο και αέρα έχουν

ανοικτό μπλε χρώμα. Με τον τρόπο αυτό, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να ελέγξει τυχόν λάθη που έγιναν κατά την χρήση της εντολής matching και κατά τη δήλωση των χαρακτηριστικών της εκάστοτε επιφάνειας. Παρακάτω δίνονται μερικές ενδεικτικές εικόνες του κλειστού κολυμβητηρίου μετά τη χρήση της συγκεκριμένης εντολής.



Εικόνα 5.23:Άποψη κολυμβητηρίου μετά τη χρήση της εντολής Render By Boundary Condition



Εικόνα 5.24: Βορειοδυτική όψη κολυμβητηρίου μετά τη χρήση της εντολής Render By Boundary Condition

Η εντολή **Hide Rest of Model** δίνει την δυνατότητα να εμφανίζεται μόνο η επιλεγμένη ζώνη και να αποκρύπτονται οι υπόλοιπες.

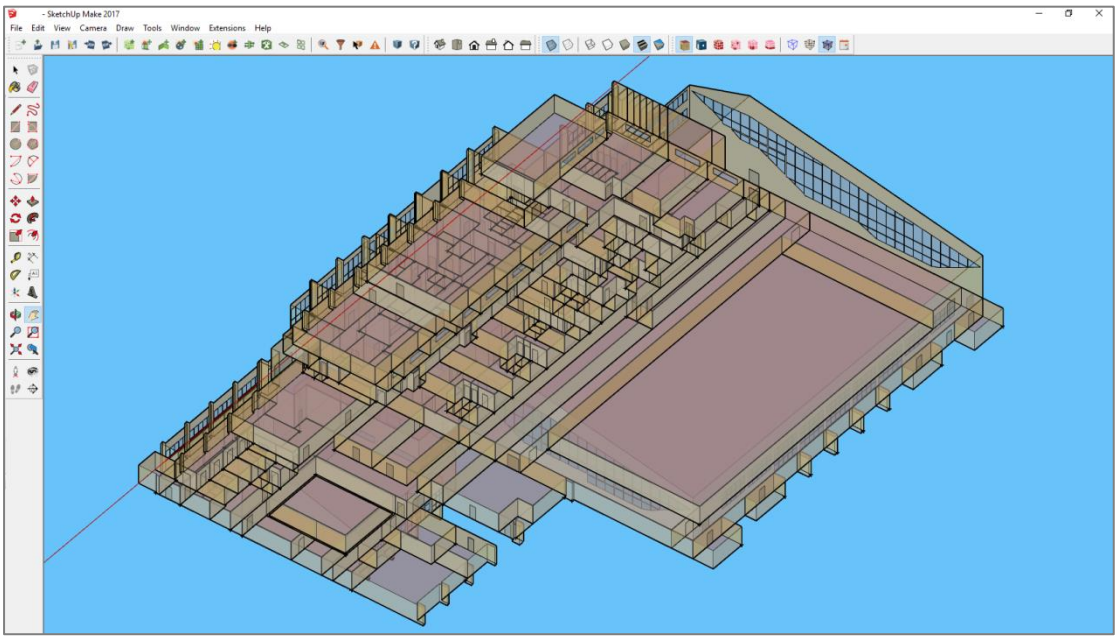
Αντιθέτως με την επιλογή της εντολής **View Hidden Geometry** παρέχεται η δυνατότητα στο χρήστη να δει και τις επιφάνειες που είχε αποκρύψει νωρίτερα.

Η εντολή **View Model In X-Ray Mode** , μετατρέπει το κτίριο σε διάφανη μορφή, παρουσιάζοντας έτσι και τους εσωτερικούς τοίχους και δείχνοντας την πολυπλοκότητα της διαρρύθμισης του εκάστοτε κτιρίου.

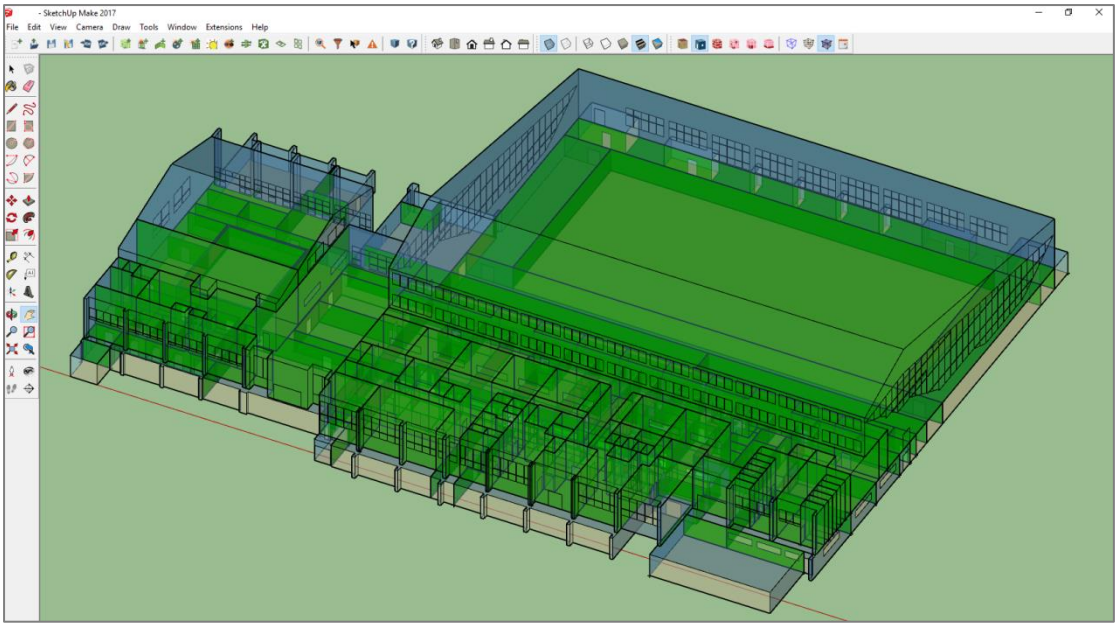
Ιδιαίτερα χρήσιμη είναι επίσης, η εντολή **Section Plane** , με την οποία μπορεί ο χρήστης να δημιουργήσει τομές στο κτίριο, εμβαθύνοντας έτσι στην παρουσίαση των λεπτομερειών του εσωτερικού του.

Τέλος, υπάρχουν και οι εντολές **Render By Thermal Zone** και **Render By Construction Type** , οι οποίες αφορούν την εμφάνιση των επιφανειών του κτιρίου με βάση την θερμική ζώνη, στην οποία ανήκουν και τα υλικά κατασκευής τους. Εκτενέστερη αναφορά σε αυτές θα γίνει στη συνέχεια, αφού πρώτα περιγραφεί η απόδοση των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών στο κολυμβητήριο από το EnergyPlus.

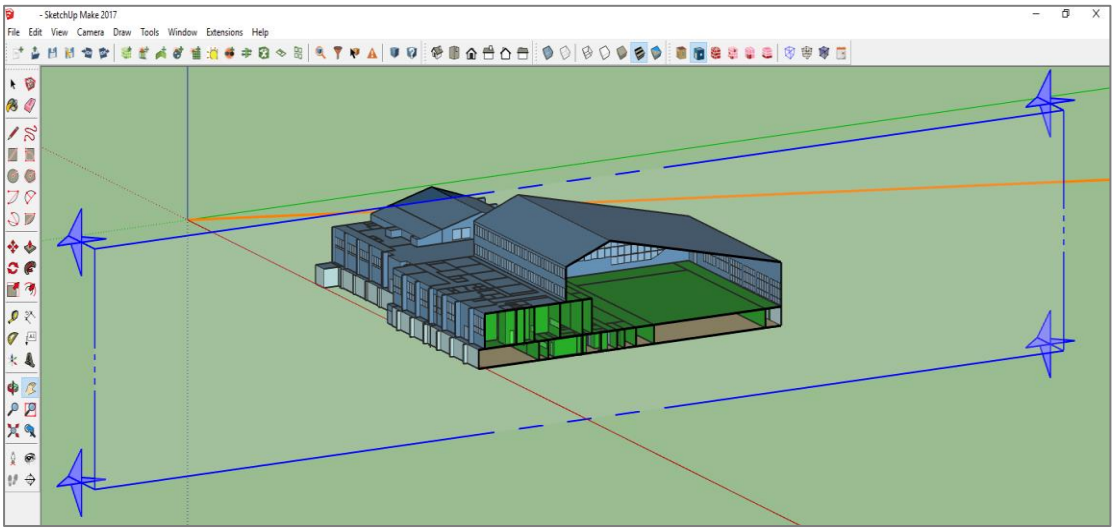
Στις παρακάτω εικόνες, παρουσιάζεται χρήση των παραπάνω εντολών σε συνδυασμό και τα αποτελέσματα τους όσον αφορά στο κολυμβητήριο.



Εικόνα 5.25: Άνοψη κολυμβητηρίου μετά την χρήση των εντολών Render By Surface Type και View Model In X-Ray Mode



Εικόνα 5.26: Άποψη κολυμβητηρίου μετά την χρήση των εντολών Render By Boundary Condition Type και View Model In X-Ray Mode



Εικόνα 5.27: Ανατολική τομή κολυμβητηρίου μετά την χρήση των εντολών Render By Boundary Condition Type και Section Plane

5.4.2.9 Χρήση εντολών Openstudio plug-in

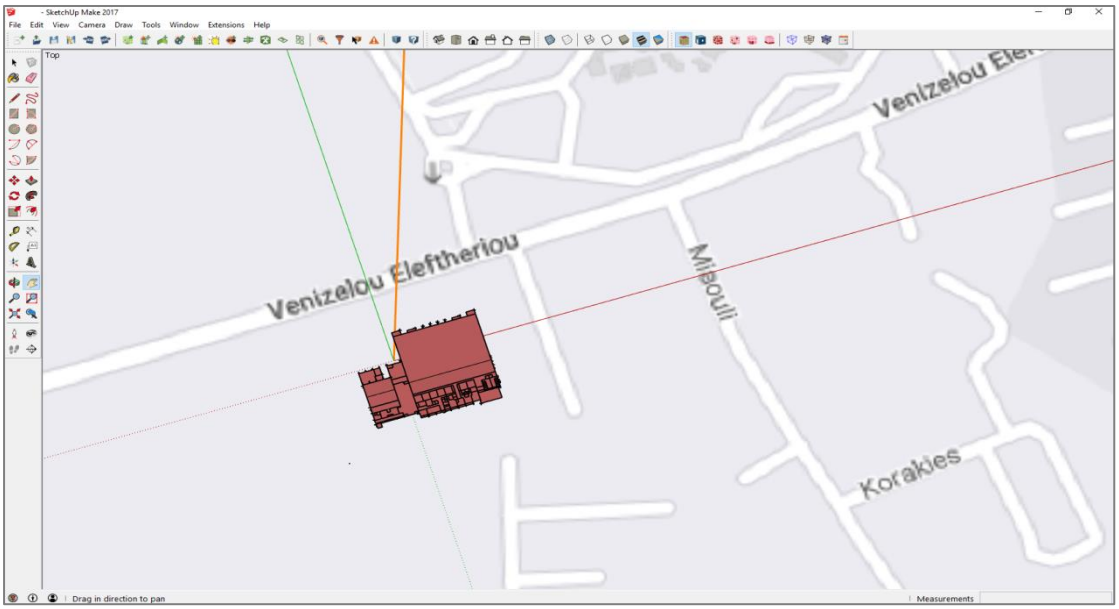
Το Openstudio plug-in έπαιξε πολύ σημαντικό ρόλο καθόλη τη διάρκεια της σχεδίασης και κυρίως του ελέγχου ορθότητας του μοντέλου του κολυμβητηρίου. Οι βασικότερες εντολές του που χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς, είναι οι εξής:

- Εντολή **Inspector** , η οποία δίνει την δυνατότητα εύκολης εποπτείας, ελέγχου και διόρθωσης τυχόν λαθών στην γεωμετρία του μοντέλου.

- **Search Surfaces** , που χρησιμοποιείται κυρίως για την αναζήτηση επιφανειών με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.
- **Info Tool** , το οποίο δίνει τη δυνατότητα γρήγορης πρόσβασης στα βασικά γνωρίσματα κάθε επιφάνειας.
- **Show Errors And Warnings** , που αφορά την εμφάνιση και διόρθωση τυχόν λαθών κατά την σχεδίαση του μοντέλου.

5.4.2.10 Ορισμός γεωγραφικής τοποθεσίας

Το Google SketchUp δίνει τη δυνατότητα με τη χρήση της εντολής **Geo-locating** να οριστεί η γεωγραφική τοποθεσία του εκάστοτε μοντέλου, εισάγοντας τον χάρτη στην περιοχή που έχει επιλεγεί. Με τον τρόπο αυτό, προσδιορίστηκε αυτομάτως σωστά και ο γεωγραφικός βορράς, ο οποίος συμβολίζεται με τον πορτοκαλί άξονα που φαίνεται στην Εικόνα 5.28 και βρέθηκαν οι γεωγραφικές συντεταγμένες του κολυμβητηρίου, που θα χρειαστούν αργότερα στο EnergyPlus.



Εικόνα 5.28: Γεωγραφική τοποθεσία κολυμβητηρίου μετά την χρήση της εντολής Geo-locating

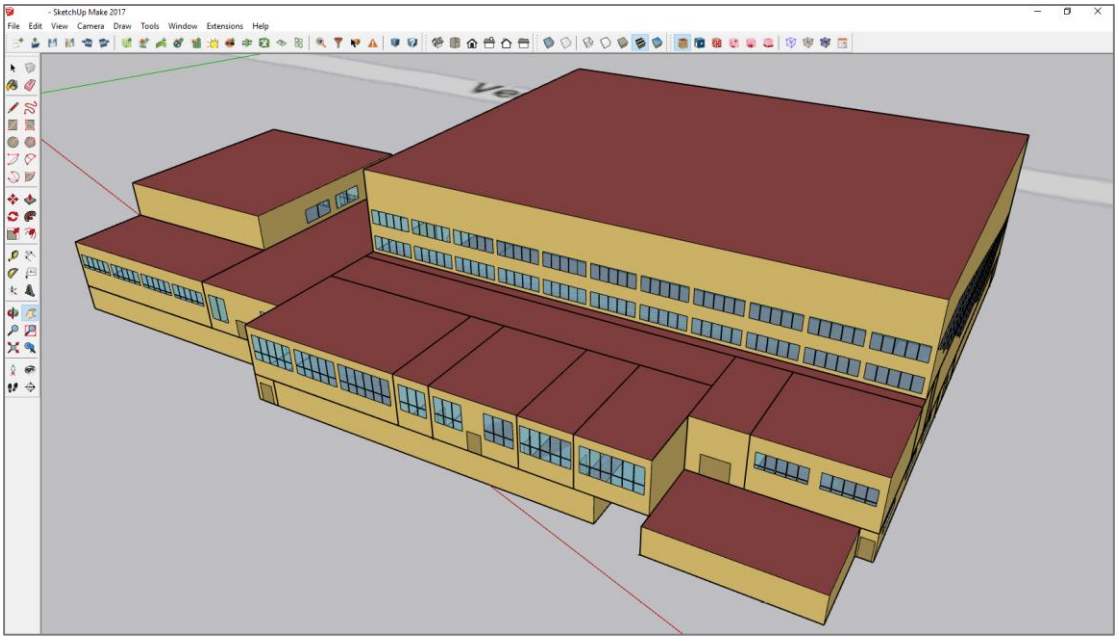
5.4.3 Ρυθμίσεις στο υπό μελέτη μοντέλο

Στην τελική φάση της δημιουργίας του κολυμβητηρίου, κρίθηκε απαραίτητο να γίνουν ορισμένες μετατροπές στη γεωμετρία του. Ο λόγος ήταν πως μετά από ενδελεχή έλεγχο του μοντέλου, παρατηρήθηκε η αυτόματη δημιουργία εσοχών ανάμεσα σε ορισμένες επιφάνειες που είχαν σχεδιαστεί, γεγονός που καθιστούσε αδύνατο τον πλήρη εγκλεισμό ενός χώρου. Αυτή η αστοχία ήταν ιδιαίτερα σοβαρή, καθώς θα γινόταν η αιτία μεγάλων αποκλίσεων στις μετέπειτα ενεργειακές μετρήσεις από το EnergyPlus.

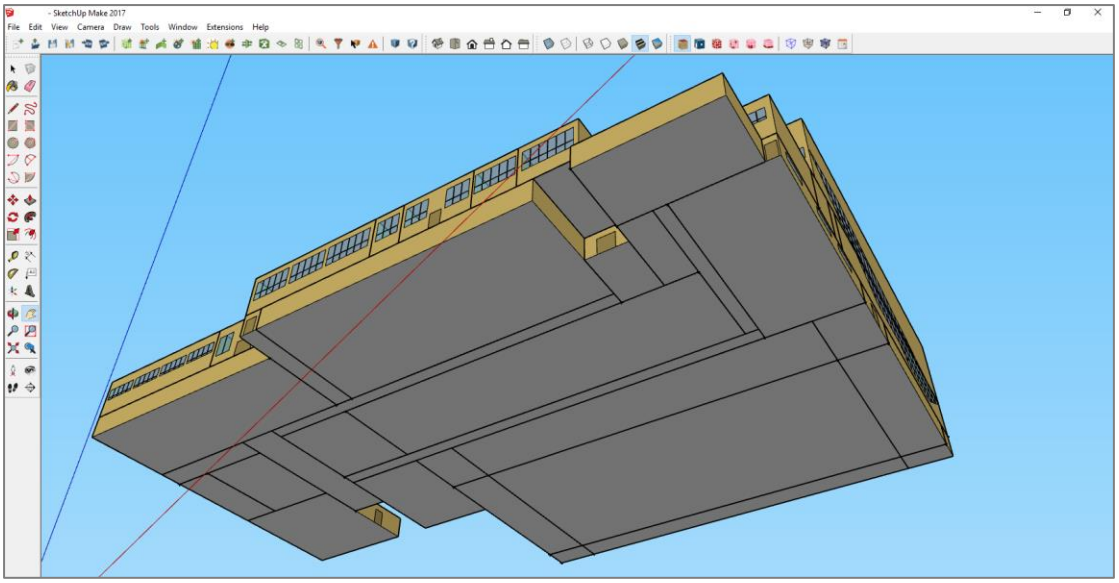
Το πρόβλημα αυτό, προέκυψε από τη χρήση των Matching εντολών του Openstudio plug-in. Κάθε φορά που το Google SketchUp αδυνατεί να κάνει σωστή ταυτοποίηση των εσωτερικών επιφανειών του κτιρίου που βρίσκονται σε επαφή, δημιουργεί επιπλέον γραμμές επηρεάζοντας την γενική γεωμετρία του. Αυτό συνέβη λόγω:

- της μεγάλης πολυπλοκότητας στη γεωμετρία του κολυμβητηρίου
- της αδυναμίας που παρουσιάζει το SketchUp στη διαχείριση κτιρίων με μεγάλες αποκλίσεις στην εσωτερική διαρρύθμιση των ορόφων τους
- της ύπαρξης non-convex επιφανειών στο κολυμβητήριο. Non-convex θεωρούνται οι επιφάνειες, των οποίων ορισμένες από τις εσωτερικές γωνίες που προκύπτουν μεταξύ των σημείων που τις οριοθετούν, έχουν άνοιγμα μεγαλύτερο των 180^0.

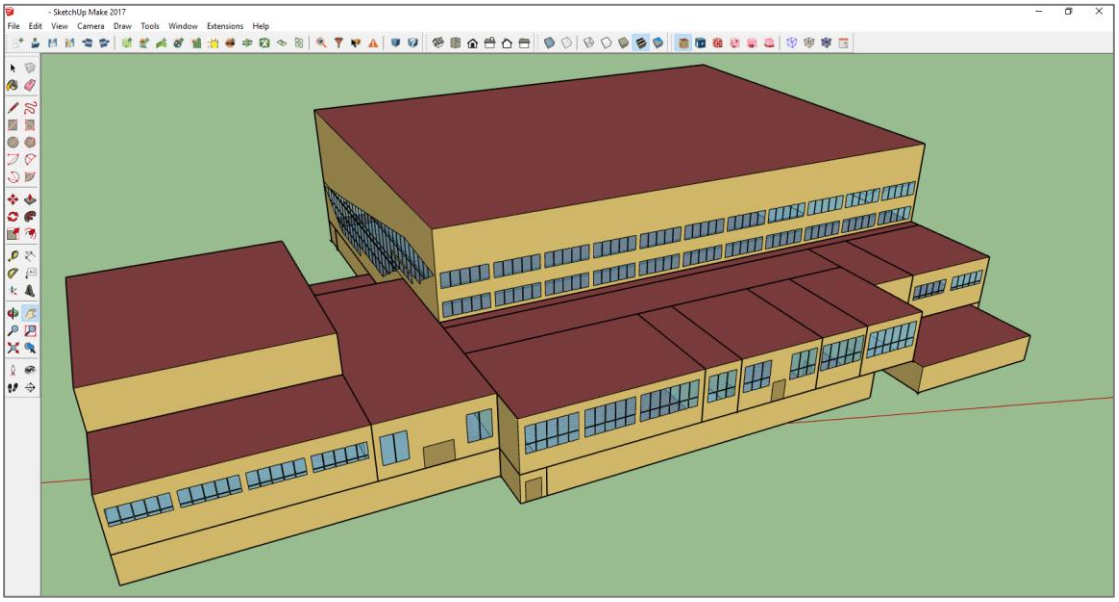
Η μοναδικός τρόπος για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος ήταν η επανασχεδίαση του κολυμβητηρίου απλοποιώντας πρώτα μερικά στοιχεία των εσωτερικών του χώρων και της γενικότερης αρχιτεκτονικής του. Η απλοποίηση έγινε με γνώμονα την επίτευξη των ελάχιστων δυνατών αλλαγών, έτσι ώστε να μην παραποιηθεί το τελικό αποτέλεσμα της προσομοίωσης. Το μοντέλο που προέκυψε μετά τις αλλαγές παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες:



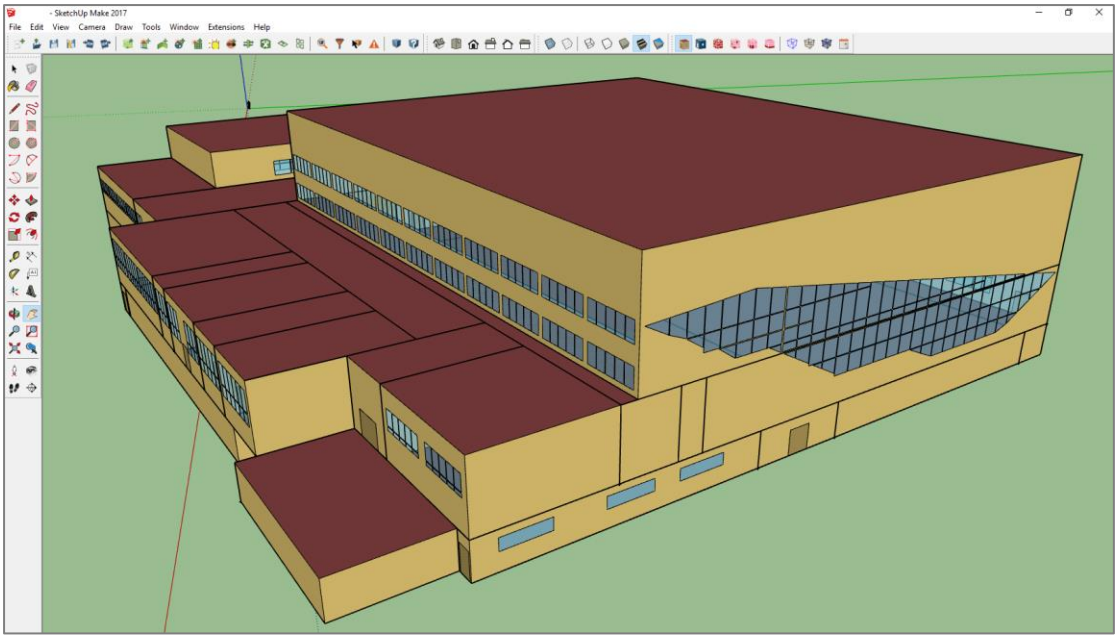
Εικόνα 5.29: Άποψη της προσομοίωσης του κολυμβητηρίου μετά την πραγματοποίηση τροποποιήσεων στην γεωμετρία του



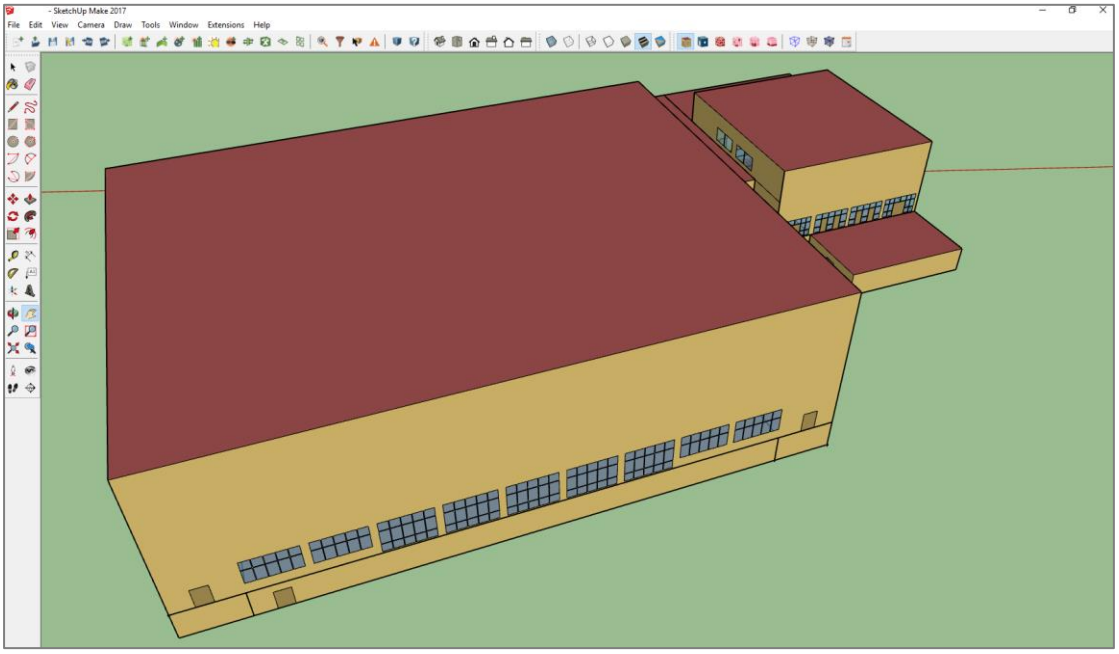
Εικόνα 5.30: Άνοψη της προσομοίωσης του κολυμβητηρίου μετά την πραγματοποίηση τροποποιήσεων στην γεωμετρία του



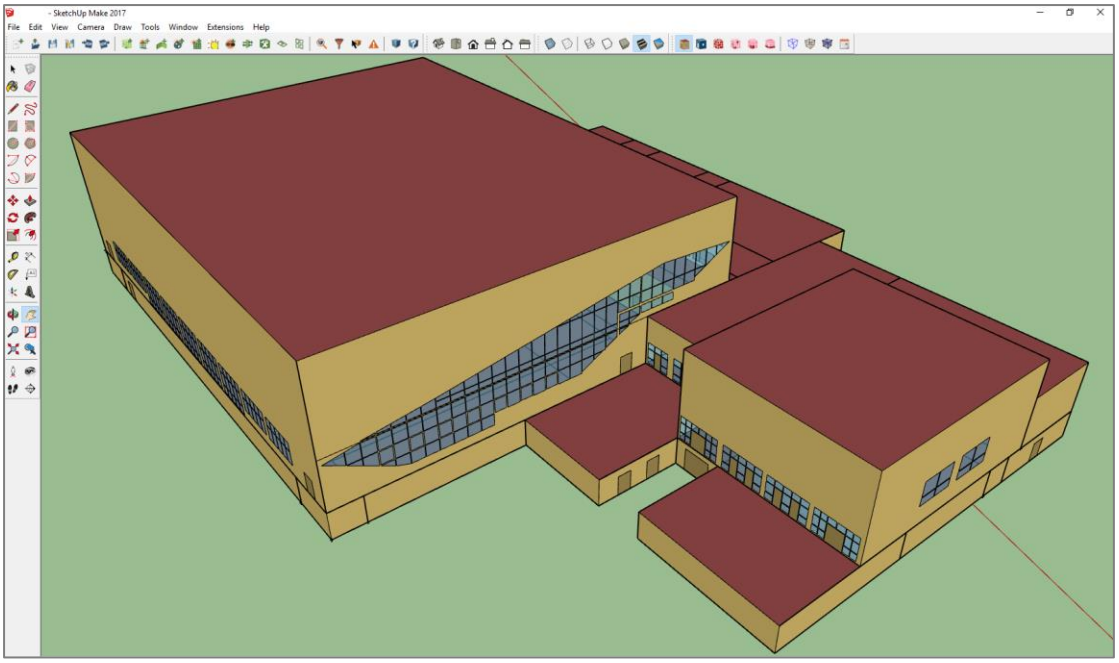
Εικόνα 5.31: Νότια όψη της προσομοίωσης του κολυμβητηρίου μετά την πραγματοποίηση τροποποιήσεων στην γεωμετρία του



Εικόνα 5.32: Ανατολική όψη της προσομοίωσης του κολυμβητηρίου μετά την πραγματοποίηση τροποποιήσεων στην γεωμετρία του



Εικόνα 5.33: Βόρεια όψη της προσομοίωσης του κολυμβητηρίου μετά την πραγματοποίηση τροποποιήσεων στην γεωμετρία του



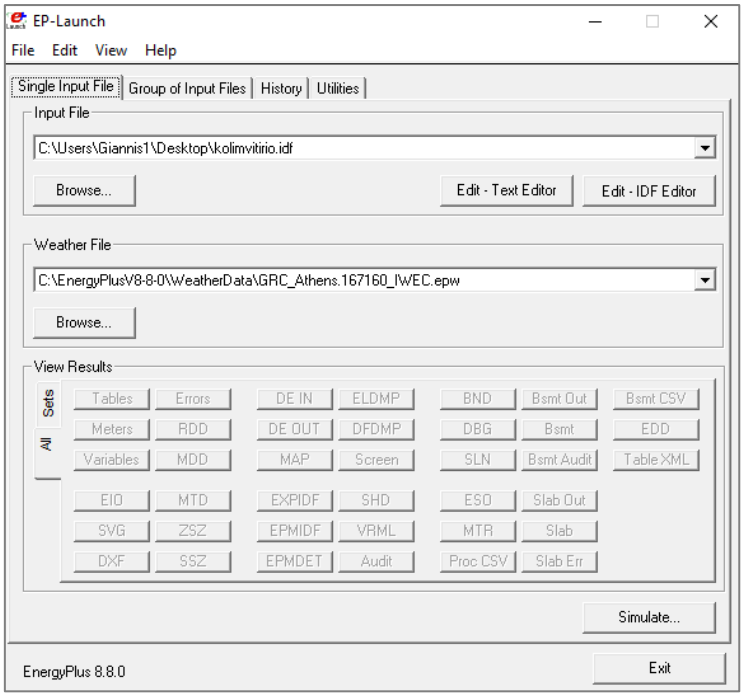
Εικόνα 5.34: Δυτική όψη της προσομοίωσης του κολυμβητηρίου μετά την πραγματοποίηση τροποποιήσεων στην γεωμετρία του

Επομένως, κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική η πραγματοποίηση της διαδικασίας απλοποίησης του εκάστοτε κτιρίου, όταν αυτή είναι αναγκαία, πριν την έναρξη της φάσης της σχεδίασης του μοντέλου.

Τέλος, εξαιτίας των πολλαπλών εφαρμογών στην χρήση του Google SketchUp, οφείλει κάθε επίδοξος σχεδιαστής να ορίζει εξαρχής τον τρόπο με τον οποίο θα χρησιμοποιήσει το συγκεκριμένο εργαλείο, ανάλογα με το σκοπό της προσομοίωσης που θέλει να εκτελέσει. Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β, παρουσιάζεται μία πρώιμη αρχική προσπάθεια τρισδιάστατης αρχιτεκτονικής μοντελοποίησης του κολυμβητηρίου βάσει των σχεδίων του, που παρέμεινε όμως ημιτελής. Αυτό συνέβη, διότι δεν υπήρχε η δυνατότητα προσδιορισμού των χαρακτηριστικών της εκάστοτε σχεδιασμένης επιφάνειας για τη διεξαγωγή ενεργειακής μελέτης, χωρίς να έχουν τεθεί εξαρχής οι βάσεις που περιγράφτηκαν νωρίτερα.

5.5 Καθορισμός παραμέτρων μοντέλου

Την ολοκλήρωση της σχεδίασης του μοντέλου και των ρυθμίσεων στο πρόγραμμα Google SketchUp, ακολούθησαν οι αντίστοιχες ρυθμίσεις στο λογισμικό EnergyPlus. Αρχικά, έγινε η εισαγωγή του αρχείου (.idf), που προέκυψε από τα παραπάνω σχεδιαστικά προγράμματα, στο Ep-Launch του EnergyPlus όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.35.



Εικόνα 5.35: Εισαγωγή του αρχείου kolimvitirio.idf στο περιβάλλον του EnergyPlus

Παράλληλα, εισήχθη το αρχείο καιρού (Weather File) με τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής, στην οποία βρίσκεται το κολυμβητήριο. Η επιλογή του κατάλληλου αρχείου έγινε από τη βάση κλιματικών στοιχείων του EnergyPlus που προέρχεται από μετρήσεις της ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc Atlanta, GA, USA 2001) και είναι σε μορφή .epw.

Σημειώνεται πως για την Ελλάδα, η βάση που είναι διαθέσιμη στο διαδίκτυο, παρέχει κλιματικά δεδομένα για την περιοχή της Θεσσαλονίκης, της Αθήνας και της Ανδραβίδας του Νομού Ηλείας. Επομένως, για την προσομοίωση του κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά επιλέχτηκαν τα δεδομένα καιρού που αφορούν την Αθήνα, όντας η πιο κοντινή χιλιομετρικά περιοχή στην Κρήτη και αυτή που παρουσιάζει τις μικρότερες κλιματικές αποκλίσεις σε σχέση με τις υπόλοιπες διαθέσιμες. [Web37]

Η περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση του αρχείου εισόδου δεδομένων πριν την τελική προσομοίωση έγινε από την επιλογή Edit-IDF Editor που διαθέτει το EP-Launch. Στον Πίνακα 5.4, παρουσιάζονται οι βασικές κατηγορίες των παραμέτρων που αναλύθηκαν, από την ευρεία λίστα που παρέχεται στο χρήστη μέσω του IDF Editor.

Ονομασίες των κατηγοριών του IDF Editor	Επεξήγηση
Simulation Parameters	Παράμετροι προσομοίωσης
Location and Climate	Τοποθεσία και κλίμα
Schedules	Χρονοδιαγράμματα λειτουργίας
Surface Construction Elements	Κατασκευαστικά στοιχεία επιφανειών
Thermal Zones and Surfaces	Θερμικές ζώνες και επιφάνειες
Internal Gains	Εσωτερικά θερμικά κέρδη
Zone Airflow	Ροή αέρα
HVAC templates	Πρότυπα θέρμανσης/αερισμού/κλιματισμού

Πίνακας 5.4: Κατηγορίες παραμέτρων που αναλύθηκαν στο IDF Editor

5.5.1 Κατηγορία Simulation Parameters

Σε αυτή την κατηγορία, ορίζονται από τον χρήστη γενικά στοιχεία ελέγχου του τρόπου προσέγγισης της προσομοίωσης που πρόκειται να εκτελεστεί. Για την προσομοίωση του κολυμβητηρίου, εισήχθησαν πληροφορίες για τις παρακάτω υποκατηγορίες:

5.5.1.1 Version

Σε αυτή την ενότητα, γίνεται αναφορά στην έκδοση που χρησιμοποιήθηκε στην υπό μελέτη προσομοίωση.

5.5.1.2 Simulation Control

Στη συγκεκριμένη υποκατηγορία, δίνονται τιμές στα διάφορα πεδία της σύμφωνα με τον τρόπο που επιθυμείται να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στο τελευταίο στάδιο

5.5.1.3 Building

Στην επιλογή Building, ορίστηκαν τα γενικά στοιχεία του κτιρίου, δηλαδή:

- **το όνομα**
- **ο τύπος του εδάφους**, το οποίο ανάλογα με την τιμή που θα του δοθεί δηλώνει πως επηρεάζεται το κτίριο από την κίνηση του ανέμου Στο πεδίο Terrain δόθηκε η τιμή city, εφόσον το κολυμβητήριο βρίσκεται στα προάστια της πόλης των Χανίων.
- **ο τρόπος έκθεσης του στην ηλιακή ακτινοβολία**. Στο πεδίο Solar Distribution δόθηκε η τιμή FullExterior, καθώς η εξωτερική ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο κολυμβητήριο διαχέεται στο εσωτερικό του και απορροφάται είτε από το δάπεδο είτε από τις εσωτερικές επιφάνειες στις οποίες ανακλάται.
- **ο μέγιστος και ελάχιστος αριθμός θέρμων ημερών ανά μήνα**. Σε αυτά τα πεδία δόθηκαν οι προτεινόμενες τιμές του προγράμματος, δηλαδή 25 και 6 αντίστοιχα.

5.5.1.4 Timestep

Στην υποκατηγορία Timestep, ορίστηκε το βήμα εκτέλεσης του προγράμματος. Η συγκεκριμένη μεταβλητή χρησιμοποιείται στο μοντέλο υπολογισμού του θερμικού ισοζυγίου της κάθε θερμικής ζώνης ως το βασικό βήμα για τη μεταφορά θερμότητας. Στην παρούσα προσομοίωση, τέθηκε ως βήμα εκτέλεσης του προγράμματος το τέταρτο της ώρας.

5.5.1.5 SurfaceConvectionAlgorithm: Inside

Στο συγκεκριμένο πεδίο, ορίστηκε ο τρόπος μεταφοράς της εσωτερικής θερμότητας. Στο πεδίο Algorithm δόθηκε η τιμή Simple, δηλαδή η μεταφορά της θερμότητας βασίστηκε στον προσανατολισμό της εκάστοτε επιφάνειας.

5.5.1.6 SurfaceConvectionAlgorithm: Outside

Αντίστοιχα, στο συγκεκριμένο πεδίο ορίστηκε ο τρόπος μεταφοράς της εξωτερικής θερμότητας. Στο πεδίο Algorithm δόθηκε η τιμή SimpleCombined, δηλαδή η μεταφορά της θερμότητας βασίστηκε στην τραχύτητα της εκάστοτε εξωτερικής επιφάνειας και στην ταχύτητα του εξωτερικού αέρα.

5.5.1.7 HeatBalanceAlgorithm

Η υποκατηγορία HeatBalanceAlgorithm σχετίζεται με τον καθορισμό του αλγορίθμου υπολογισμού μεταφοράς θερμότητας και υγρασίας στο κτίριο. Στην προσομοίωση του κολυμβητηρίου, δόθηκε στο πεδίο Algorithm η τιμή ConductionTransfer.

5.5.1.8 ConvergenceLimits

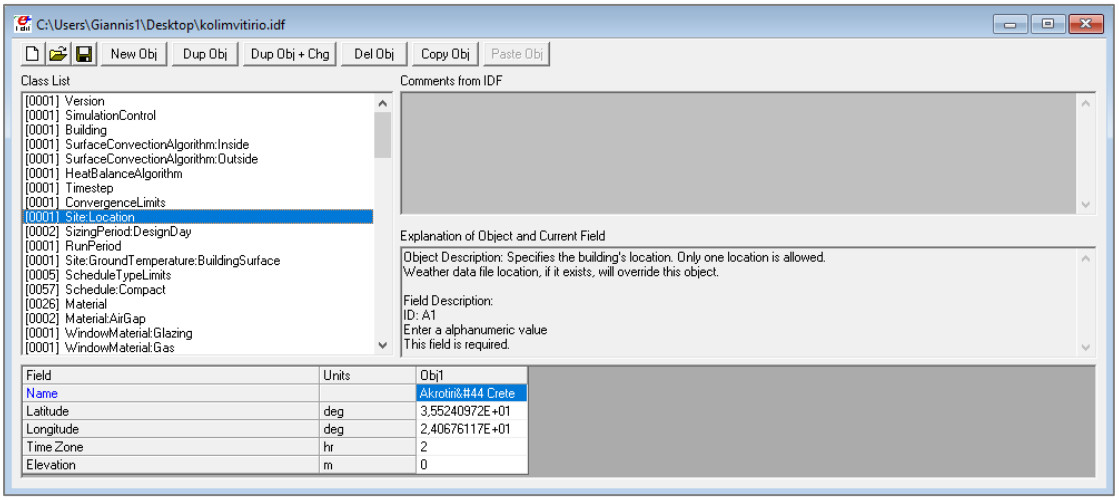
Η χρήση της συγκεκριμένης υποκατηγορίας απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Ουσιαστικά δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να κάνει την προσομοίωση του μοντέλου του ταχύτερη και πιο ακριβή, αλλάζοντας τις οριακές τιμές επιτρεπτών επαναλήψεων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Όσον αφορά στο κολυμβητήριο, ο καθορισμός αυτών των τιμών έγινε με βάση τα λάθη που προέκυψαν μετά τις αρχικές εκτελέσεις της προσομοίωσης. Σημειώνεται επίσης, πως υπάρχουν περιπτώσεις όπου ο χρήστης οφείλει να προτιμά την μείωση της ταχύτητας εκτέλεσης για την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας στα αποτελέσματα που επιζητά.

5.5.2 Κατηγορία Location and Climate

Η συγκεκριμένη κατηγορία περιγράφει τις συνθήκες περιβάλλοντος που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή του κλειστού κολυμβητηρίου και είναι απαραίτητες να δηλωθούν για την εκτέλεση της προσομοίωσης.

5.5.2.1 Site: Location

Στην επιλογή Site: Location ορίζεται η ακριβής τοποθεσία του κτιρίου, δηλαδή το όνομα της περιοχής όπου βρίσκεται, το γεωγραφικό πλάτος, το γεωγραφικό μήκος, η διαφορά ώρας σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Ωρολογιακό Χάρτη, που για την Ελλάδα είναι οι 2 ώρες, και το υψόμετρο της περιοχής. Στην περίπτωση της προσομοίωσης του κολυμβητηρίου, όλα τα παραπάνω είχαν ήδη καθοριστεί από την εντολή Geo-locating που χρησιμοποιήθηκε στο Google SketchUp.

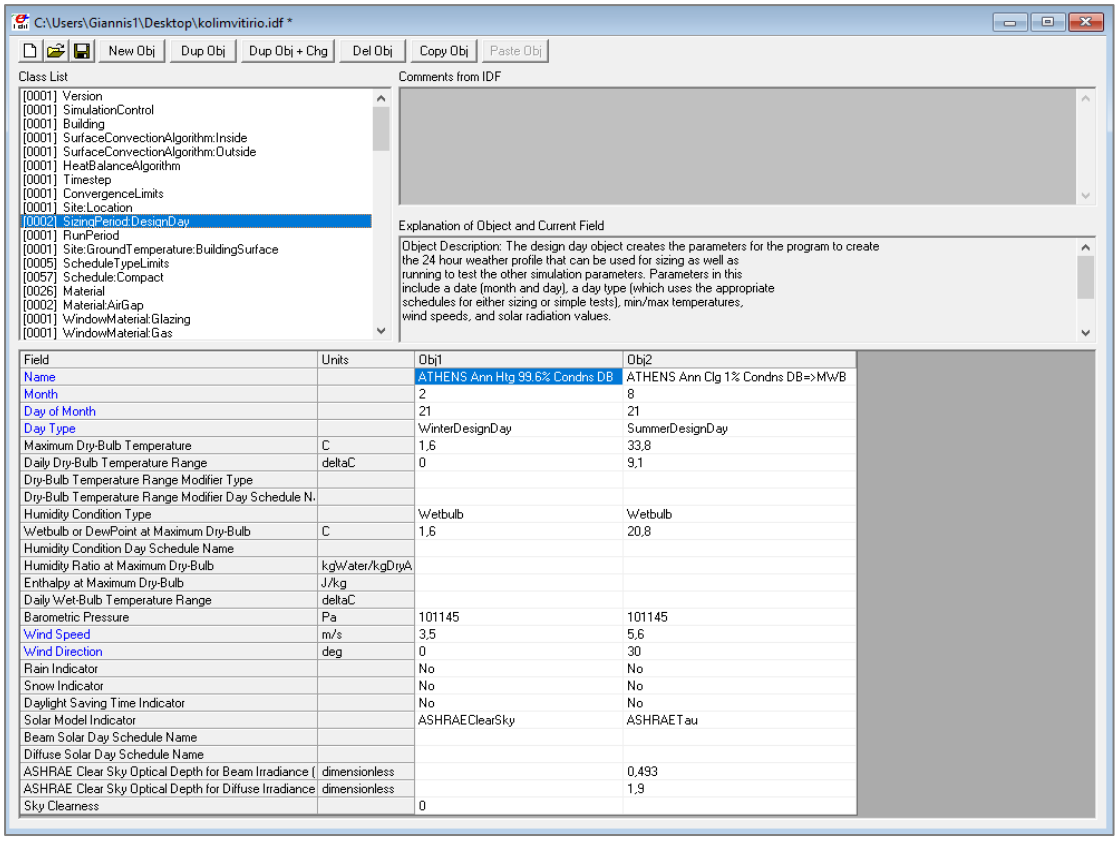


Εικόνα 5.36: Παράμετροι υποκατηγορίας Site: Location

5.5.2.2 SizingPeriod: DesignDay

Η συγκεκριμένη υποκατηγορία είναι ιδιαίτερη και αφορά τον καθορισμό παραμέτρων υπολογισμού φορτίων για συγκεκριμένες ημέρες μέσα στο χρόνο. Τα αρχεία που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των παραμέτρων, ονομάζονται design day files και παρέχονται από το ίδιο το EnergyPlus στο φάκελο με τα δεδομένα καιρού.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.37, στην προσομοίωση του κολυμβητηρίου, επιλέχτηκαν από τα συγκεκριμένα αρχεία οι πληροφορίες που αφορούσαν την πιο θερμή και την πιο κρύα μέρα του έτους. Σύμφωνα με το EnergyPlus η υψηλότερη θερμοκρασία εξωτερικού ξηρού αέρα ήταν 33,8^{0}C και σημειώθηκε στις 21/8, ενώ η χαμηλότερη ήταν 1,6^{0}C στις 21/2. Καταυτό τον τρόπο, δόθηκε η δυνατότητα ορισμού ειδικής μεταχείρισης των συγκεκριμένων ημερών από το σύστημα κλιματισμού μέσω της κατηγορίας Schedules που θα αναλυθεί παρακάτω.



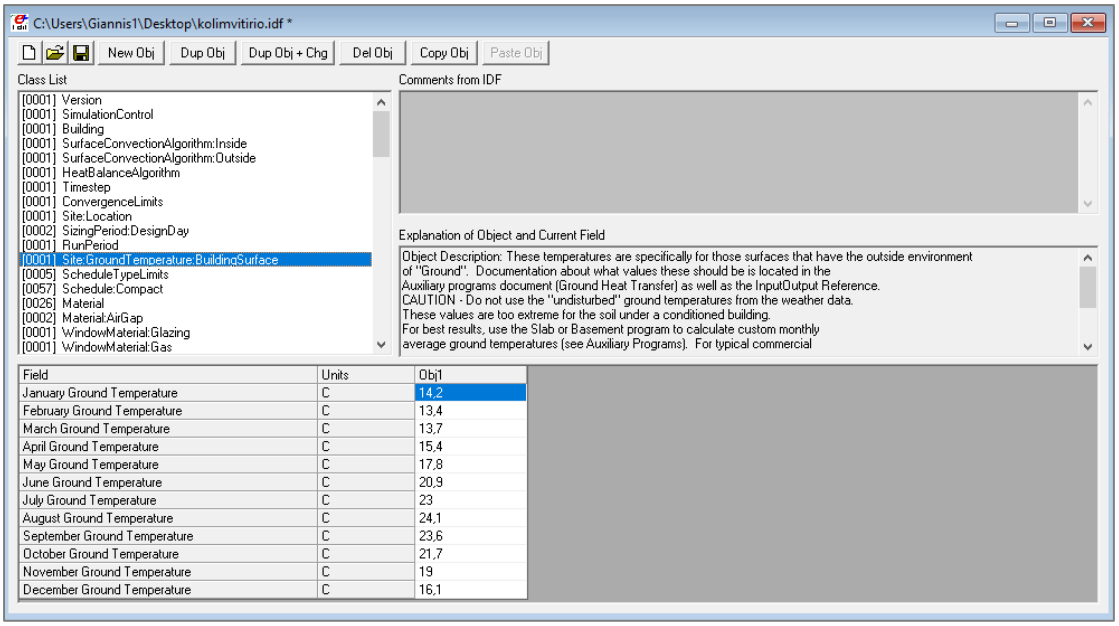
Εικόνα 5.37: Παράμετροι υποκατηγορίας SizingPeriod: DesignDay

5.5.2.3 RunPeriod

Στην επιλογή RunPeriod, ορίστηκε η περίοδος για την οποία ζητήθηκε να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση, όπου τέθηκε για όλη τη διάρκεια του έτους. Μήνας έναρξης της προσομοίωσης τέθηκε ο Ιανουάριος και ημέρα έναρξης του τέθηκε η $1^{η}$ Ιανουαρίου, ενώ ως μήνας λήξης της προσομοίωσης τέθηκε ο Δεκέμβριος και ημέρα λήξης η $31^{η}$ Δεκεμβρίου. Προφανώς κατά τη διάρκεια της σχεδίασης, είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τον εκάστοτε ερευνητή να δοκιμάζει και προσομοιώσεις για μικρότερα χρονικά διαστήματα, ώστε να εμβαθύνει σε λεπτομέρειες.

5.5.2.4 Site: GroundTemperature: BuildingSurface

Στη συγκεκριμένη υποκατηγορία, εισήχθη η θερμοκρασία του εδάφους της περιοχής που βρίσκεται το κολυμβητήριο για όλους τους μήνες του έτους. Η θερμοκρασία αυτή είναι σημαντική για την θερμική συμπεριφορά των χώρων, των οποίων οι εξωτερικές επιφάνειες έρχονται σε επαφή με το έδαφος. Στην Εικόνα 5.38 δίνονται οι τιμές της θερμοκρασίας εδάφους της πόλης των Χανίων, που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση [Web38]:



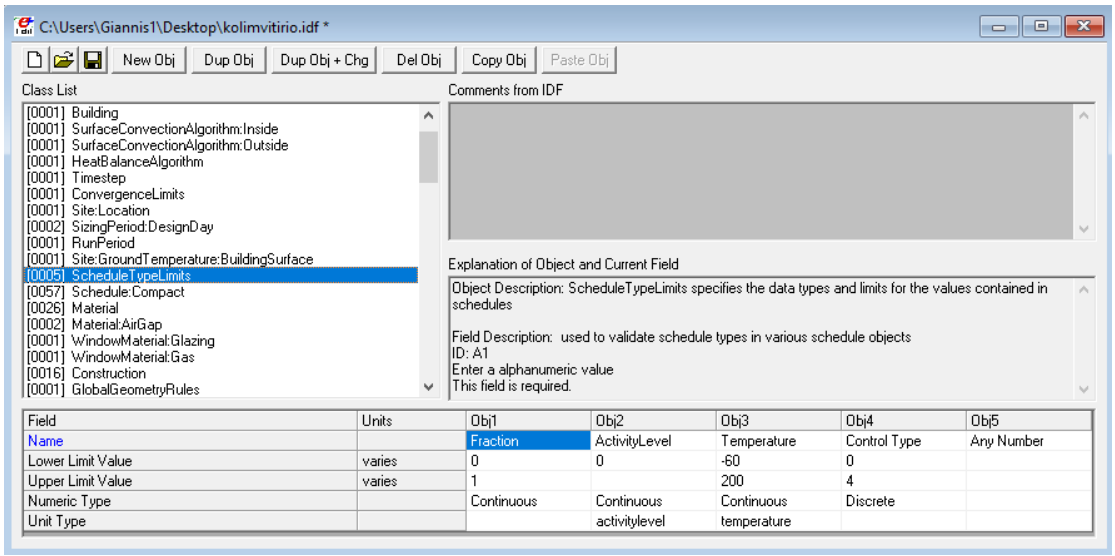
Εικόνα 5.38: Παράμετροι υποκατηγορίας Site: GroundTemperature: BuildingSurface

5.5.3 Κατηγορία Schedules

Η κατηγορία Schedules δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να καθορίσει χρονοδιαγράμματα για τη χρονική μεταβολή διαφόρων παραμέτρων, που επηρεάζουν τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου.

5.5.3.1 ScheduleTypeLimits

Στην επιλογή ScheduleTypeLimits, ορίστηκαν τα όρια των τιμών των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας του κολυμβητηρίου και ο τύπος της μεταβλητής του κάθε χρονοδιαγράμματος, δηλαδή συνεχής (Continuous) ή διακριτή (Discrete).



Εικόνα 5.39: Παράμετροι υποκατηγορίας ScheduleTypeLimits

5.5.3.2 Schedule: Compact

Αυτή η υποκατηγορία επιτρέπει στο χρήστη να ρυθμίζει τον προγραμματισμό πολλών παραμέτρων, όπως η πυκνότητα ανθρώπινης ύπαρξης, η ανθρώπινη δραστηριότητα, ο τεχνητός φωτισμός, ο φυσικός ή τεχνητός αερισμός του κτιρίου, η διήθηση του αέρα και τέλος η λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών και των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης. Ο προσδιορισμός όλων αυτών των παραμέτρων έγινε σε χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου.

Στην προσομοίωση του κολυμβητηρίου δημιουργήθηκαν συνολικά 57 χρονοδιαγράμματα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν σε ποικίλες κατηγορίες. Λόγω της μη λειτουργίας του κλειστού κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά, χρειάστηκε περαιτέρω έρευνα και αναζήτηση στο διαδίκτυο για την δημιουργία αντιπροσωπευτικών διαγραμμάτων, με βάση το πρόγραμμα λειτουργίας των υπολοίπων κολυμβητηρίων της Ελλάδας. Παρακάτω, αναλύονται ενδελεχώς τα περισσότερα από αυτά, αφού πρώτα χωρίστηκαν σε ομάδες ανάλογα με την πληροφορία που διαθέτουν και τη χρήση τους.

I. Χρονοδιαγράμματα πυκνότητας ανθρώπινης ύπαρξης

Ο καθορισμός της πυκνότητας ανθρώπινης ύπαρξης έγινε με βάση τον συντελεστή Fraction (τύπου Continuous), δηλαδή πραγματοποιήθηκε αντιστοίχιση του ποσοστού της ανθρώπινης παρουσίας ανά ώρα σε συνεχείς τιμές από το 0 έως το 1. Επίσης, για την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας στον καθορισμό των συγκεκριμένων χρονοδιαγραμμάτων, αντιμετωπίστηκε η κάθε ζώνη του κολυμβητηρίου ξεχωριστά.

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, λόγω μη ύπαρξης πληροφοριών για το συγκεκριμένο κολυμβητήριο και μετά από εκτενή αναζήτηση στο διαδίκτυο, αποφασίστηκε η δημιουργία των συγκεκριμένων χρονοδιαγραμμάτων βάσει των στοιχείων του ανοικτού κολυμβητηρίου των Χανίων και του κολυμβητηρίου της Πτολεμαΐδας. Το πρώτο επιλέχτηκε, καθώς βρίσκεται στην ίδια πόλη, δηλαδή αφορά το ίδιο κοινό και το δεύτερο, διότι παρουσιάζει παρόμοια γεωμετρικά χαρακτηριστικά με το κολυμβητήριο στα Κουνουπιδιανά. Έτσι καθορίστηκε το βασικό ωράριο λειτουργίας, που ξεκινά στις 09:00 και τελειώνει στις 22:00 εκτός Κυριακής, όπου το κολυμβητήριο παραμένει κλειστό. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε το εβδομαδιαίο πρόγραμμα του κολυμβητηρίου της Πτολεμαΐδας, σύμφωνα με το οποίο έγινε η εξαγωγή ενός υποτιθέμενου εβδομαδιαίου παρουσιολόγιου των αθλητών, των εργαζομένων του κολυμβητηρίου και του κοινού. [Web39]

Όσον αφορά στα χρονοδιαγράμματα που αφορούν τους διαδρόμους υπογείου και ισογείου του κολυμβητηρίου (YpDiadromoi, IsDiadromoi), τέθηκαν τιμές συντελεστή διάφορες του μηδενός καθόλη τη διάρκεια λειτουργίας του κολυμβητηρίου. Η τιμή αυτή υποδηλώνει ότι στους συγκεκριμένους χώρους παρατηρείται συνεχής κίνηση ατόμων, η οποία όμως αυξομειώνεται με διαφορετικό ρυθμό στον καθένα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Όπως είναι λογικό, οι διάδρομοι

του ισογείου χρησιμοποιούνται από μεγαλύτερο αριθμό ατόμων, ενώ οι ώρες αιχμής και για τις δύο ζώνες σημειώνονται το χρονικό διάστημα από 14:00 έως 20:00.

Οι χώροι εργασίας των υπαλλήλων του κλειστού κολυμβητηρίου χωρίστηκαν σε αυτούς που βρίσκονται στο υπόγειο: YpKlimatistikaDehMixanostasia, YpLevitostasioDeksamenes, YpMixanodromosFreatiaApothikes και σε αυτούς που βρίσκονται στο ισόγειο: IsApothikesKatharismou, IsGrafeiaAithousesErgazomenwn. Στις συγκεκριμένες ζώνες, τέθηκε μη μηδενικός συντελεστής πυκνότητας ανθρώπινης παρουσίας μόνο για τις ώρες εργασίας των υπαλλήλων, οι οποίες χωρίστηκαν σε δύο βάρδιες (πρωινή, απογευματινή). Για τις ζώνες YpKlimatistikaDehMixanostasia, YpMixanodromosFreatiaApothikes και IsGrafeiaAithousesErgazomenwn η πρωινή βάρδια έχει ωράριο 09:00 έως 17:00, ενώ η απογευματινή 14:00 έως 22:00 τις καθημερινές, ενώ τα Σάββατα δεν υπάρχει καθόλου απογευματινή βάρδια. Στις ζώνες YpLevitostasioDeksamenes, IsApothikesKatharismou, ισχύει το ίδιο πρόγραμμα πρωινής και απογευματινής βάρδιας για όλες τις μέρες εκτός Κυριακής, με την διαφορά ότι τα Σάββατα και οι δύο βάρδιες αποτελούνται από λιγότερα άτομα. Είναι προφανές πως για όλες τις ζώνες, οι ώρες αιχμής σημειώνονται το χρονικό διάστημα από 14:00 έως 17:00, κατά το οποίο δουλεύουν οι εργαζόμενοι και από τις δύο βάρδιες ταυτόχρονα.

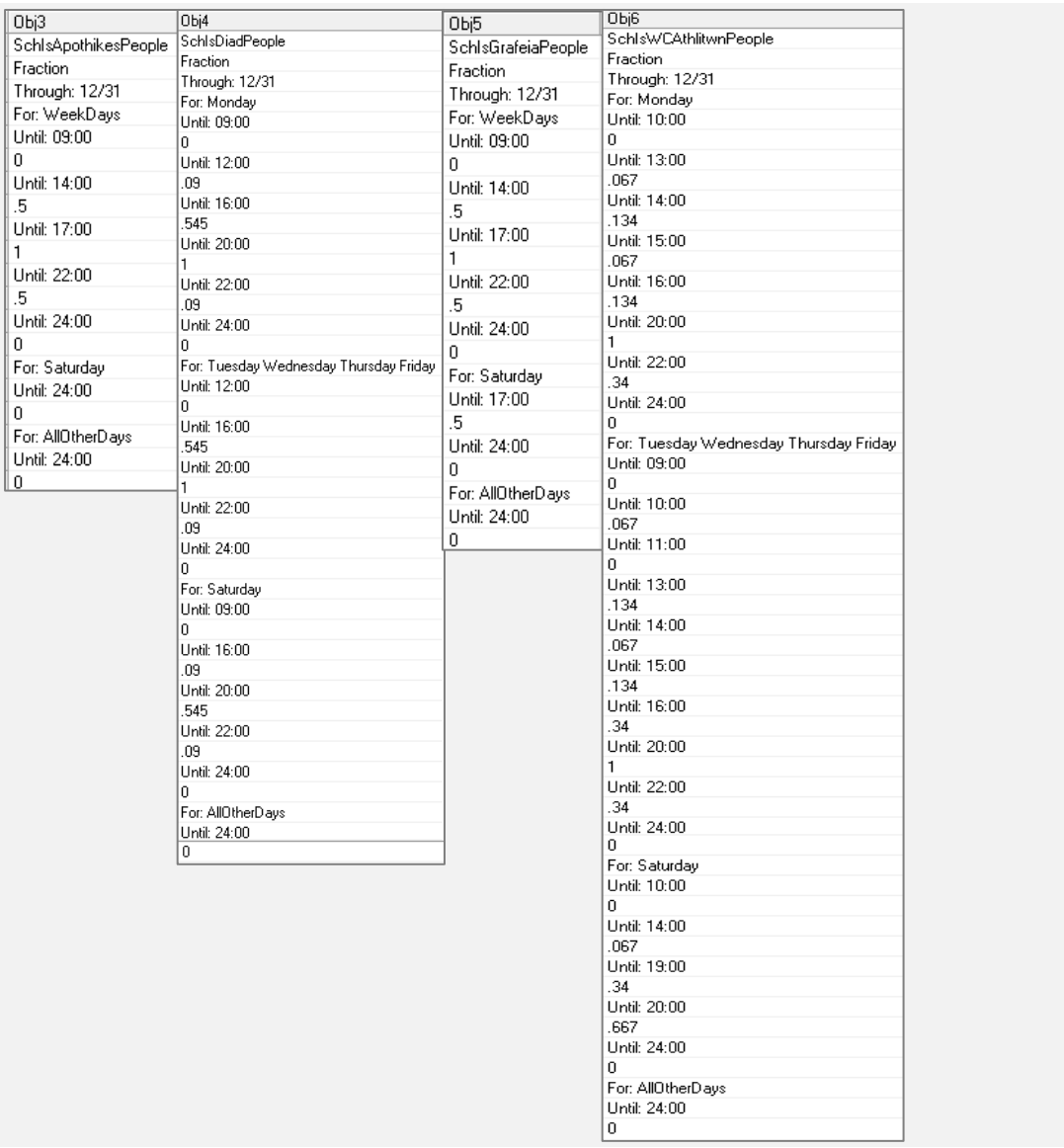
Οι κοινόχρηστοι χώροι υγιεινής του υπό μελέτη κολυμβητηρίου, που αφορούν τουαλέτες κοινού, εργαζομένων, αθλητών και τα αποδυτήρια, αντιστοιχούν στις ζώνες: IsWCAthlitwn, IsWCErgazomenwn, IsWCKoinou, YpWC. Η ανθρώπινη παρουσία στην ζώνη IsWCErgazomenwn ορίστηκε με βάση το ωράριο λειτουργίας των εργαζομένων που περιγράφτηκε νωρίτερα και έτσι παρουσιάζει μόνιμα μη μηδενικό συντελεστή και ώρες αιχμής από 14:00 έως 17:00. Αντιθέτως, η ζώνη YpWC παρουσιάζει μόνιμα σταθερό μη μηδενικό συντελεστή χωρίς ώρες αιχμής, ενώ οι ζώνες IsWCAthlitwn, IsWCKoinou καθορίστηκαν από το ρυθμό προσέλευσης αθλητών και κοινού αντίστοιχα στο κολυμβητήριο. Τα αποδυτήρια των αθλητών έχουν μηδενικό συντελεστή μόνο κάποιες πρωινές ώρες μέσα στην εβδομάδα, όπου οι λιγοστοί αθλητές που υπάρχουν στο κολυμβητήριο βρίσκονται στους χώρους προπόνησης, ενώ οι ώρες αιχμής παρουσιάζονται το χρονικό διάστημα 16:00 έως 20:00. Τέλος, οι χώροι υγιεινής του κολυμβητηρίου παραμένουν άδειοι τις πρωινές και τις βραδινές ώρες, παρουσιάζοντας τις ίδιες ώρες αιχμής με τα αποδυτήρια των αθλητών.

Οι χώροι που αποτελούν τις αθλητικές εγκαταστάσεις του κολυμβητηρίου είναι: η αίθουσα της μεγάλης πισίνας (XwrosMegalisPisinas), η αίθουσα της μικρής πισίνας (XwrosMikrisPisinas) και το υπόγειο γυμναστήριο (YpXwroiAthlitwn). Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η πυκνότητα ανθρώπινης ύπαρξης στις δύο πισίνες του κολυμβητηρίου ήταν αποτέλεσμα μελέτης του εβδομαδιαίου προγράμματος του κολυμβητηρίου της Πτολεμαΐδας. Έτσι προέκυψε μη μηδενικός συντελεστής (εκτός από το διάστημα 09:00 έως 10:00 της Δευτέρας και του Σαββάτου) για την ζώνη XwrosMegalisPisinas, με ώρες αιχμής το χρονικό διάστημα 16:00 έως 20:00. Αντίστοιχα η ζώνη XwrosMikrisPisinas παρουσιάζει κοινές ώρες αιχμής με την

διαφορά ότι απαρτίζεται από λιγότερα άτομα και έχει μηδενικό συντελεστή παρουσίας για τις δύο τελευταίες ώρες λειτουργίας του κλειστού κολυμβητηρίου (20:00 έως 22:00). Όσο για το υπόγειο γυμναστήριο, η χρήση του είναι εκτενής κατά το χρονικό διάστημα 16:00 έως 21:00, ενώ παρουσιάζει μικρή προσέλευση κυρίως τις πρωινές ώρες. Αξίζει να σημειωθεί, πως για τον χώρο της μεγάλης πισίνας δημιουργήθηκαν δύο χρονοδιαγράμματα, καθώς διαθέτει και κερκίδες. Συνεπώς το ένα χρονοδιάγραμμα αφορά τους αθλητές που κολυμπούν και το άλλο το κοινό που παρακολουθεί.

Στις υπόλοιπες ζώνες του κολυμβητηρίου που αφορούν τους ακάλυπτους χώρους και τους χώρους χωρίς χρήση, τέθηκε, όπως είναι προφανές, μηδενικός συντελεστής πυκνότητας ανθρώπινης παρουσίας.

Στις παρακάτω εικόνες, παρουσιάζονται τα χρονοδιαγράμματα όπως ακριβώς εισήχθησαν στην υποκατηγορία Schedule: Compact.



Obj3
SchlsApothikesPeople
Fraction
Through: 12/31
For: WeekDays
Until: 09:00
0
Until: 14:00
.5
Until: 17:00
1
Until: 22:00
.5
Until: 24:00
0
For: Saturday
Until: 24:00
0
For: AllOtherDays
Until: 24:00
0

Obj4
SchlsDiadPeople
Fraction
Through: 12/31
For: Monday
Until: 09:00
0
Until: 12:00
.09
Until: 16:00
.545
Until: 20:00
1
Until: 22:00
.09
Until: 24:00
0
For: Tuesday Wednesday Thursday Friday
Until: 12:00
0
Until: 16:00
.545
Until: 20:00
1
Until: 22:00
.09
Until: 24:00
0
For: Saturday
Until: 09:00
0
Until: 16:00
.09
Until: 20:00
.545
Until: 22:00
.09
Until: 24:00
0
For: AllOtherDays
Until: 24:00
0

Obj5
SchlsGrafeiaPeople
Fraction
Through: 12/31
For: WeekDays
Until: 09:00
0
Until: 14:00
.5
Until: 17:00
1
Until: 22:00
.5
Until: 24:00
0
For: Saturday
Until: 17:00
.5
Until: 24:00
0
For: AllOtherDays
Until: 24:00
0

Obj6
SchlsWCAthlitwnPeople
Fraction
Through: 12/31
For: Monday
Until: 10:00
0
Until: 13:00
.067
Until: 14:00
.134
Until: 15:00
.067
Until: 16:00
.134
Until: 20:00
1
Until: 22:00
.34
Until: 24:00
0
For: Tuesday Wednesday Thursday Friday
Until: 09:00
0
Until: 10:00
.067
Until: 11:00
0
Until: 13:00
.134
Until: 14:00
.067
Until: 15:00
.134
Until: 16:00
.34
Until: 20:00
1
Until: 22:00
.34
Until: 24:00
0
For: Saturday
Until: 10:00
0
Until: 14:00
.067
Until: 19:00
.34
Until: 20:00
.667
Until: 24:00
0
For: AllOtherDays
Until: 24:00
0

Εικόνα 5.40: Χρονοδιαγράμματα μεταβολής ανθρώπινης παρουσίας

Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12	Obj13
SchIsWCErgazomenwnPeople	SchIsWCKoinouPeople	SchYpDiadPeople	SchYpKliDehMixPeople	SchYplLevDeksPeople	SchMixFreatApothPeople	SchYpWCPeople
Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction
Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
For: WeekDays	For: WeekDays	For: WeekDays	For: WeekDays	For: WeekDays	For: WeekDays	For: WeekDays Sat
Until: 09:00	Until: 12:00	Until: 09:00	Until: 09:00	Until: 09:00	Until: 09:00	Until: 09:00
0	0	0	0	0	0	0
Until: 14:00	Until: 16:00	Until: 14:00	Until: 14:00	Until: 14:00	Until: 14:00	Until: 22:00
.5	.4	.5	.5	.5	.5	1
Until: 17:00	Until: 20:00	Until: 17:00	Until: 17:00	Until: 17:00	Until: 17:00	Until: 24:00
1	1	1	1	1	1	0
Until: 22:00	Until: 24:00	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 22:00	For: AllOtherDays
.5	0	.5	.5	.5	.5	Until: 24:00
Until: 24:00	For: Saturday	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	0
0	Until: 16:00	0	0	0	0	
For: Saturday	0	For: Saturday	For: Saturday	For: Saturday	For: Saturday	
Until: 09:00	Until: 20:00	Until: 09:00	Until: 09:00	Until: 09:00	Until: 09:00	
0	.2	0	0	0	0	
Until: 22:00	Until: 24:00	Until: 17:00	Until: 17:00	Until: 22:00	Until: 17:00	
.5	0	.5	.5	.25	.5	
Until: 24:00	For: AllOtherDays	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	
0	Until: 24:00	0	0	0	0	
For: AllOtherDays	0	For: AllOtherDays	For: AllOtherDays	For: AllOtherDays	For: AllOtherDays	
Until: 24:00		Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	
0		0	0	0	0	

Obj14	Obj15	Obj16
SchYpXwroiAthPeople	SchMegaliPisinaPeople	SchMikriPisinaPeople
Fraction	Fraction	Fraction
Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
For: Monday	For: Monday	For: Monday
Until: 10:00	Until: 10:00	Until: 10:00
0	0	0
Until: 11:00	Until: 12:00	Until: 11:00
.267	.265	.636
Until: 15:00	Until: 15:00	Until: 13:00
0	.326	.545
Until: 16:00	Until: 16:00	Until: 14:00
.267	.428	0
Until: 20:00	Until: 20:00	Until: 16:00
1	.795	.545
Until: 21:00	Until: 21:00	Until: 20:00
.667	.51	1
Until: 24:00	Until: 22:00	Until: 24:00
0	.306	0
For: Tuesday Thursday	Until: 24:00	For: Tuesday Thursday
Until: 09:00	0	Until: 11:00
0	For: Tuesday Thursday	0
Until: 10:00	Until: 09:00	Until: 12:00
.134	0	.272
Until: 11:00	Until: 10:00	Until: 13:00
.667	.244	.545
Until: 15:00	Until: 11:00	Until: 14:00
.267	.51	.727
Until: 16:00	Until: 12:00	Until: 15:00
.667	.367	.545
Until: 20:00	Until: 13:00	Until: 16:00
1	.428	0
Until: 21:00	Until: 14:00	Until: 20:00
.667	.326	1
Until: 24:00	Until: 15:00	Until: 24:00
0	.428	0
For: Wednesday Friday	Until: 16:00	For: Wednesday Friday
Until: 09:00	.571	Until: 09:00
0	Until: 20:00	0
Until: 10:00	1	Until: 10:00
.34	Until: 21:00	.272
Until: 11:00	.714	Until: 11:00
.667	Until: 22:00	0
Until: 15:00	.51	Until: 13:00
.267	Until: 24:00	.545
Until: 16:00	0	Until: 14:00
.667	For: Wednesday Friday	.727
Until: 20:00	Until: 09:00	Until: 15:00
1	0	.545
Until: 21:00	Until: 10:00	Until: 16:00
.667	.224	0
Until: 24:00	Until: 11:00	Until: 20:00
0	.51	1
For: Saturday	Until: 12:00	Until: 24:00
Until: 10:00	.367	0
0	Until: 13:00	For: Saturday
Until: 14:00	.428	Until: 10:00
.267	Until: 14:00	0
Until: 19:00	.326	Until: 14:00
.34	Until: 15:00	.636
Until: 24:00	.428	Until: 20:00
0	Until: 16:00	1
For: AllOtherDays	.571	Until: 24:00
Until: 24:00	Until: 20:00	0
0	1	For: AllOtherDays
	Until: 21:00	Until: 24:00
	.714	0
	Until: 22:00	
	.51	
	Until: 24:00	
	0	
	For: Saturday	
	Until: 10:00	
	0	
	Until: 14:00	
	.265	
	Until: 16:00	
	.489	
	Until: 20:00	
	.571	
	Until: 24:00	
	0	
	For: AllOtherDays	
	Until: 24:00	
	0	

Obj17
SchKerkidesMegaliPisinaPeople
Fraction
Through: 12/31
For: WeekDays
Until: 12:00
0
Until: 16:00
.5
Until: 20:00
1
Until: 24:00
0
For: Saturday
Until: 16:00
0
Until: 20:00
1
Until: 24:00
0
For: AllOtherDays
Until: 24:00
0

Εικόνα 5.41: Χρονοδιαγράμματα μεταβολής ανθρώπινης παρουσίας (συνέχεια)

ΙΙ. Χρονοδιαγράμματα ανθρώπινης δραστηριότητας

Ο καθορισμός της ανθρώπινης δραστηριότητας έγινε με βάση τον συντελεστή ActivityLevel (τύπου Continuous), ο οποίος παίρνει τιμές από 0, χωρίς να του έχει τεθεί ανώτατο όριο και η μονάδα μέτρησης του είναι Watt/person.

Για την πιο εύκολη δημιουργία των συγκεκριμένων διαγραμμάτων, προτιμήθηκε η ομαδοποίηση των χώρων του κολυμβητηρίου, που αποτελούνται από ανθρώπους με παρόμοια δραστηριότητα. Οι τιμές των συντελεστών που προέκυψαν για την κάθε ζώνη είναι οι εξής:

- 450 Watt/person, που αφορά τις ζώνες XwrosMegalisPisinas, XwrosMikrisPisinas και YpXwroiAthlitwn, στις οποίες πραγματοποιείται έντονη άσκηση.
- 300 Watt/person, που αφορά τις ζώνες YpLevitostasioDeksamenes, και YpKlimatistikaDehMixanostasia, στις οποίες πραγματοποιούνται χειρονακτικές εργασίες.
- 180 Watt/person, που αφορά τις ζώνες IsDiadromoi, YpDiadromoi, οι οποίες απαρτίζονται από άτομα που βρίσκονται συνήθως σε χαλαρή κίνηση.
- 130 Watt/person για τη ζώνη IsGrafeiaAithousesErgazomenwn, η οποία αποτελείται από ανθρώπους που επιτελούν εργασίες γραφείου.
- 100 Watt/person, για το κοινό που βρίσκεται στις κερκίδες του χώρου της μεγάλης πισίνας
- 0 Watt/person, που αφορά τις ζώνες IsAkaliptoiXwroi, YpXwroiXwrisXrisi που έχουν οριστεί ως ζώνες χωρίς ανθρώπινη δραστηριότητα.

Οι συγκεκριμένες τιμές συντελεστών αντιπροσωπεύουν τον μέσο όρο των δραστηριοτήτων των ανθρώπων στον εκάστοτε χώρο και επιλέχτηκαν με βάση τον πίνακα ASHRAE 55, που παρουσιάζεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.

Obj34	Obj35	Obj36	Obj37	Obj38	Obj39
SchActivityExercise	SchActivityMechanicalStorage	SchActivityCorridor	SchActivityOffice	SchActivityKerkidesRestRoom	SchActivityNoUsageRoom
ActivityLevel	ActivityLevel	ActivityLevel	ActivityLevel	ActivityLevel	ActivityLevel
Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00
450	300	180	130	100	0

Εικόνα 5.42: Χρονοδιαγράμματα ανθρώπινης δραστηριότητας θερμικών ζωνών

ΙΙΙ. Χρονοδιαγράμματα λειτουργίας τεχνητού φωτισμού

Ο καθορισμός της λειτουργίας τεχνητού φωτισμού έγινε με βάση τον συντελεστή Fraction (τύπου Continuous). Και σε αυτή την περίπτωση εξετάστηκε ξεχωριστά η λειτουργία του τεχνητού φωτισμού για κάθε ζώνη του κολυμβητηρίου. Με εξαίρεση τα χρονοδιαγράμματα που αφορούν τους διαδρόμους και τους χώρους

των δύο πισινών του κολυμβητηρίου, όλα τα υπόλοιπα σχεδιάστηκαν συναρτήσει της ανθρώπινης παρουσίας στον εκάστοτε χώρο.

Στο διάδρομο του υπογείου, όλα τα φώτα παραμένουν ανοικτά καθόλη τη διάρκεια του ωραρίου λειτουργίας του κολυμβητηρίου, ενώ τα φώτα του διαδρόμου του ισογείου παρουσιάζουν ώρες αιχμής το χρονικό διάστημα 16:00 έως 20:00. Αντίστοιχα, οι χώροι των δύο πισινών λειτουργούν με «χαμηλό» τεχνητό φωτισμό μέχρι τις 12:00, στη συνέχεια ο συντελεστής αιχμής τους αυξάνεται μέχρι τις 16:00, όπου φτάνει στη μέγιστη τιμή του και διατηρείται σχεδόν μέχρι το κλείσιμο του κολυμβητηρίου. Τέλος, οι ακάλυπτοι και οι χώροι χωρίς χρήση θεωρήθηκε ότι δεν έχουν εγκατεστημένο σύστημα τεχνητού φωτισμού, ενώ έγινε μία προσπάθεια αποτύπωσης της λειτουργίας του εξωτερικού εξοπλισμού φωτισμού του κολυμβητηρίου, εισάγοντας καλοκαιρινό και χειμερινό ωράριο λειτουργίας..

Obj18	Obj19	Obj20
SchIsApothikesLights	SchIsDiadLights	SchIsGrafeiaLights
Fraction	Fraction	Fraction
Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
For: WeekDays	For: WeekDays Saturday	For: WeekDays
Until: 09:00	Until: 09:00	Until: 09:00
0	0	0
Until: 14:00	Until: 16:00	Until: 14:00
.5	.5	.507
Until: 17:00	Until: 22:00	Until: 17:00
1	1	1
Until: 22:00	Until: 24:00	Until: 22:00
.5	0	.507
Until: 24:00	For: AllOtherDays	Until: 24:00
0	Until: 24:00	0
For: Saturday	0	For: Saturday
Until: 24:00		Until: 24:00
.278		0
For: AllOtherDays		For: AllOtherDays
Until: 24:00		Until: 24:00
0		0

Obj21
SchIsWCAthlitwnLights
Fraction
Through: 12/31
For: Monday
Until: 10:00
0
Until: 13:00
.074
Until: 14:00
.148
Until: 15:00
.074
Until: 16:00
.148
Until: 20:00
1
Until: 22:00
.34
Until: 24:00
0
For: Tuesday Wednesday Thursday Friday
Until: 09:00
0
Until: 10:00
.074
Until: 11:00
0
Until: 13:00
.148
Until: 14:00
.074
Until: 15:00
.148
Until: 16:00
.34
Until: 20:00
1
Until: 22:00
.34
Until: 24:00
0
For: Saturday
Until: 10:00
0
Until: 14:00
.074
Until: 19:00
.34
Until: 20:00
.667
Until: 24:00
0
For: AllOtherDays
Until: 24:00
0

Εικόνα 5.43: Χρονοδιαγράμματα λειτουργίας τεχνητού φωτισμού

Obj22	Obj23	Obj24	Obj25	Obj26	Obj27	Obj28	Obj29	Obj30
SchIsWCErgazomenwnLights	SchIsWCKoinouLights	SchYpDiadLights	SchYpKliDehMixLights	SchYpiLevDeksLights	SchMixFreatApothLights	SchYpWCLights	SchIsAkaliptosLights	SchYpXXXrisiLights
Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction
Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
For: WeekDays	For: WeekDays	For: WeekDays Saturday	For: WeekDays	For: WeekDays	For: WeekDays	For: WeekDays Saturday	For: AllDays	For: AllDays
Until: 09:00	Until: 12:00	Until: 09:00	Until: 09:00	Until: 09:00	Until: 09:00	Until: 09:00	Until: 24:00	Until: 24:00
0	0	0	0	0	0	0	0	0
Until: 14:00	Until: 16:00	Until: 22:00	Until: 14:00	Until: 14:00	Until: 14:00	Until: 16:00		
.521	.409	1	.51	.509	.5	.5		
Until: 17:00	Until: 20:00	Until: 24:00	Until: 17:00	Until: 17:00	Until: 17:00	Until: 22:00		
1	1	0	1	1	1	1		
Until: 22:00	Until: 24:00	For: AllOtherDays	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 24:00		
.521	0	Until: 24:00	.51	.509	.5	0		
Until: 24:00	For: Saturday	0	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	For: AllOtherDays		
0	Until: 09:00		0	0	0	Until: 24:00		
For: Saturday	0		For: Saturday	For: Saturday	For: Saturday	0		
Until: 09:00	Until: 22:00		Until: 09:00	Until: 09:00	Until: 09:00			
0	.521		0	0	0			
Until: 22:00	Until: 24:00		Until: 17:00	Until: 22:00	Until: 17:00			
.521	0		.51	.254	.5			
Until: 24:00	For: AllOtherDays		Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00			
0	Until: 24:00		0	0	0			
For: AllOtherDays	0		For: AllOtherDays	For: AllOtherDays	For: AllOtherDays			
Until: 24:00			Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00			
0			0	0	0			

Obj31	Obj32	Obj33
SchYpXwroiAthLights	SchMikriPisinaLights	SchMegaliPisinaLights
Fraction	Fraction	Fraction
Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
For: Monday	For: Monday Saturday	For: Monday
Until: 10:00	Until: 10:00	Until: 10:00
0	0	0
Until: 11:00	Until: 13:00	Until: 11:00
.28	.625	.25
Until: 15:00	Until: 16:00	Until: 12:00
0	.875	.375
Until: 16:00	Until: 20:00	Until: 15:00
.28	1	.437
Until: 20:00	Until: 24:00	Until: 16:00
1	0	.575
Until: 21:00	For: Tuesday Thursday	Until: 20:00
.68	Until: 11:00	1
Until: 24:00	0	Until: 21:00
0	Until: 13:00	.725
For: Tuesday Thursday	.625	Until: 22:00
Until: 09:00	Until: 16:00	.512
0	.875	Until: 24:00
Until: 10:00	Until: 20:00	0
.16	1	For: Tuesday Wednesday Thursday Friday
Until: 11:00	Until: 24:00	Until: 09:00
.68	0	0
Until: 15:00	For: Wednesday Friday	Until: 10:00
.28	Until: 09:00	.012
Until: 16:00	0	Until: 11:00
.68	Until: 11:00	.25
Until: 20:00	.375	Until: 12:00
1	Until: 13:00	.375
Until: 21:00	.625	Until: 15:00
.68	Until: 16:00	.437
Until: 24:00	.875	Until: 16:00
0	Until: 20:00	.575
For: Wednesday Friday	1	Until: 20:00
Until: 09:00	Until: 24:00	1
0	0	Until: 21:00
Until: 10:00	For: AllOtherDays	.725
.36	Until: 24:00	Until: 22:00
Until: 11:00	0	.512
.68		Until: 24:00
Until: 15:00		0
.28		For: Saturday
Until: 16:00		Until: 10:00
.68		0
Until: 20:00		Until: 14:00
1		.275
Until: 21:00		Until: 16:00
.68		.5
Until: 24:00		Until: 20:00
0		1
For: Saturday		Until: 24:00
Until: 10:00		0
0		For: AllOtherDays
Until: 14:00		Until: 24:00
.28		0
Until: 19:00		
.36		
Until: 24:00		
0		
For: AllOtherDays		
Until: 24:00		
0		

Obj40
SchExteriorLights
Fraction
Through: 3/25
For: WeekDays Sat
Until: 08:00
.8
Until: 15:00
0
Until:17:00
.5
Until: 22:00
1
Until: 24:00
.8
For: AllOtherDays
Until: 24:00
0
Through: 9/25
For: WeekDays Sat
Until: 07:00
.8
Until: 17:00
0
Until: 19:00
.5
Until: 22:00
1
Until: 24:00
.8
For: AllOtherDays
Until: 24:00
0
Through: 12/31
For: WeekDays Sat
Until: 08:00
.8
Until: 15:00
0
Until: 17:00
.5
Until: 22:00
1
Until: 24:00
.8
For: AllOtherDays
Until: 24:00
0

Εικόνα 5.44: Χρονοδιαγράμματα λειτουργίας τεχνητού φωτισμού (συνέχεια)

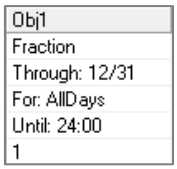
IV. Χρονοδιαγράμματα λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών

Λόγω της μη ύπαρξης πολλών ηλεκτρικών συσκευών και της μικρής συμμετοχής αυτών στη συνολική κατανάλωση ενός κολυμβητηρίου (περίπου 3%), κρίθηκε σκόπιμη η σχεδίαση των συγκεκριμένων χρονοδιαγραμμάτων συναρτήσει της ανθρώπινης παρουσίας, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στις Εικόνες 5.40, 5.41.

Έτσι, για τους χώρους που διαθέτουν ηλεκτρικές συσκευές, όπως τα γραφεία (υπολογιστές, εκτυπωτές κλπ), οι χώροι υγιεινής (πιστολάκια, στεγνωτήρια κλπ), οι αποθήκες καθαρισμού και τα μηχανοστάσια, η λειτουργία αυτών ρυθμίζεται αυτόματα ανάλογα με την ύπαρξη ή μη ανθρώπων στον εξεταζόμενο χώρο.

V. Χρονοδιάγραμμα διήθησης αέρα

Χρησιμοποιήθηκε το προτεινόμενο χρονοδιάγραμμα Always On, που παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα, σύμφωνα με το οποίο δηλώθηκε σταθερή διαφυγή αέρα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.



Εικόνα 5.45:Χρονοδιάγραμμα διήθησης αέρα στις θερμικές ζώνες

VI. Πρόσθετα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας των δύο πισινών και του συστήματος κλιματισμού

Η λειτουργία των πισινών καθιστά απαραίτητες τις λειτουργίες φιλτραρίσματος, ανανέωσης και καθαρισμού του νερού, ενώ παράλληλα υπάρχει ανάγκη να διατηρηθεί η θερμοκρασία του σταθερή. Έτσι δημιουργήθηκαν τα απαραίτητα χρονοδιαγράμματα σωστής λειτουργίας της πισίνας. Το ίδιο συνέβη και για τον καθορισμό των συστημάτων κλιματισμού και αερισμού του κολυμβητηρίου, όπου ήταν απαραίτητη η δημιουργία χρονοδιαγραμμάτων για τη σωστή λειτουργία του θερμοστάτη, του ανεμιστήρα, του μίκτη εξωτερικού αέρα και των υπόλοιπων εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζοντα τα συγκεκριμένα χρονοδιαγράμματα, αλλά η περαιτέρω επεξήγησή τους θα γίνει αφού πρώτα αναλυθούν καλύτερα τα συστήματα που τα χρησιμοποιούν.

Obj41	Obj42	Obj43	Obj44	Obj45	Obj46	Obj47	Obj48
SchCoolingCoilAvail	SchCWLoopTemp	SchReheatCoilAvail	SchMinOA	SchFanAvail	SchHtg-SetP	SchHtg-SetP-Pool	SchClg-SetP
Fraction	Temperature	Fraction	Fraction	Fraction	Temperature	Temperature	Temperature
Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 3/31	Through: 12/31	Through: 3/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
For: WeekDays	For: AllDays	For: AllDays	For: Weekdays Saturday	For: AllDays	For: SummerDesignDay	For: WeekDays Saturday	For: SummerDesignDay
Until: 6:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 6:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 6:00	Until: 24:00
0	7,22	1	0,02	1	16,7	20	23,9
Until: 20:00		Through: 9/30	Until: 20:00	Through: 9/30	For: WinterDesignDay	Until: 20:00	For: WinterDesignDay
1		For: WeekDays Saturday	1	For: WeekDays	Until: 24:00	24	Until: 24:00
Until: 24:00		Until: 6:00	Until: 24:00	Until: 6:00	22,2	Until: 24:00	29,4
0		0	0,02	0	For: WeekDays	20	For: WeekDays
For: SummerDesignDay WinterDesignDay		Until: 20:00	For: AllOtherDays	Until: 20:00	Until: 6:00	For: AllOtherDays	Until: 6:00
Until: 24:00		1	Until: 24:00	1	16,7	Until: 24:00	29,4
1		Until: 24:00	0,02	Until: 24:00	Until: 20:00	20	Until: 20:00
For: AllOtherDays		0		0	22,2		23,9
Until: 24:00		For: SummerDesignDay WinterDesignDay		For: SummerDesignDay WinterDesignDay	Until: 24:00		Until: 24:00
0		Until: 24:00		Until: 24:00	16,7		29,4
		1		1	For: WeekEnds Holiday		For: WeekEnds Holiday
		For: AllOtherDays		For: AllOtherDays	Until: 24:00		Until: 24:00
		Until: 24:00		Until: 24:00	16,7		29,4
		0		0	For: AllOtherDays		For: AllOtherDays
		Through: 12/31		Through: 12/31	Until: 24:00		Until: 24:00
		For: AllDays		For: AllDays	16,7		29,4
		Until: 24:00		Until: 24:00			
		1		1			

Obj49	Obj50	Obj51	Obj52	Obj53	Obj54	Obj55	Obj56	Obj57
SchClg-SetP-Pool	SchZoneControlType	SchMakeUpWater	SchPoolSetpointTemp	SchPoolActivity	Seasonal Reset Supply Air Temp Sch	SchOACoolingSupplyAirTemp	SchOAHeatingSupplyAirTemp	SchHWLoopTemp
Temperature	Control Type	Any Number	Any Number	Fraction	Temperature	Temperature	Temperature	Temperature
Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 3/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
For: AllDays	For: SummerDesignDay	For: AllDays	For: AllDays	For: WeekDays Saturday SummerDesignDay	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 6:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00
30	2	16,67	27	0,1	16	11,5	4,5	82
	For: WinterDesignDay			Until: 20:00	Through: 9/30			
	Until: 24:00			0,5	For: AllDays			
	1			Until: 24:00	Until: 24:00			
	For: AllOtherDays			0,1	13			
	Until: 24:00			For: AllOtherDays	Through: 12/31			
	4			Until: 24:00	For: AllDays			
				0,1	Until: 24:00			
					16			

Εικόνα 5.46: Χρονοδιαγράμματα λειτουργίας των δύο πισινών και του συστήματος κλιματισμού

5.5.4 Κατηγορία Surface Construction Elements

Αυτή η κατηγορία περιγράφει τις φυσικές ιδιότητες και τη σύνθεση του κτιριακού κελύφους και των εσωτερικών του στοιχείων. Τα στοιχεία που προσδιορίστηκαν είναι τα δομικά υλικά και η σύνθεση τους. Οι συνθέσεις αυτές αφορούν τους εσωτερικούς/εξωτερικούς τοίχους, τα δάπεδα/οροφές καθώς και τις πόρτες και τα παράθυρα του κολυμβητηρίου. Στη συνέχεια αναλύονται οι πληροφορίες που εισήχθησαν σε κάθε υποκατηγορία της συγκεκριμένης ενότητας.

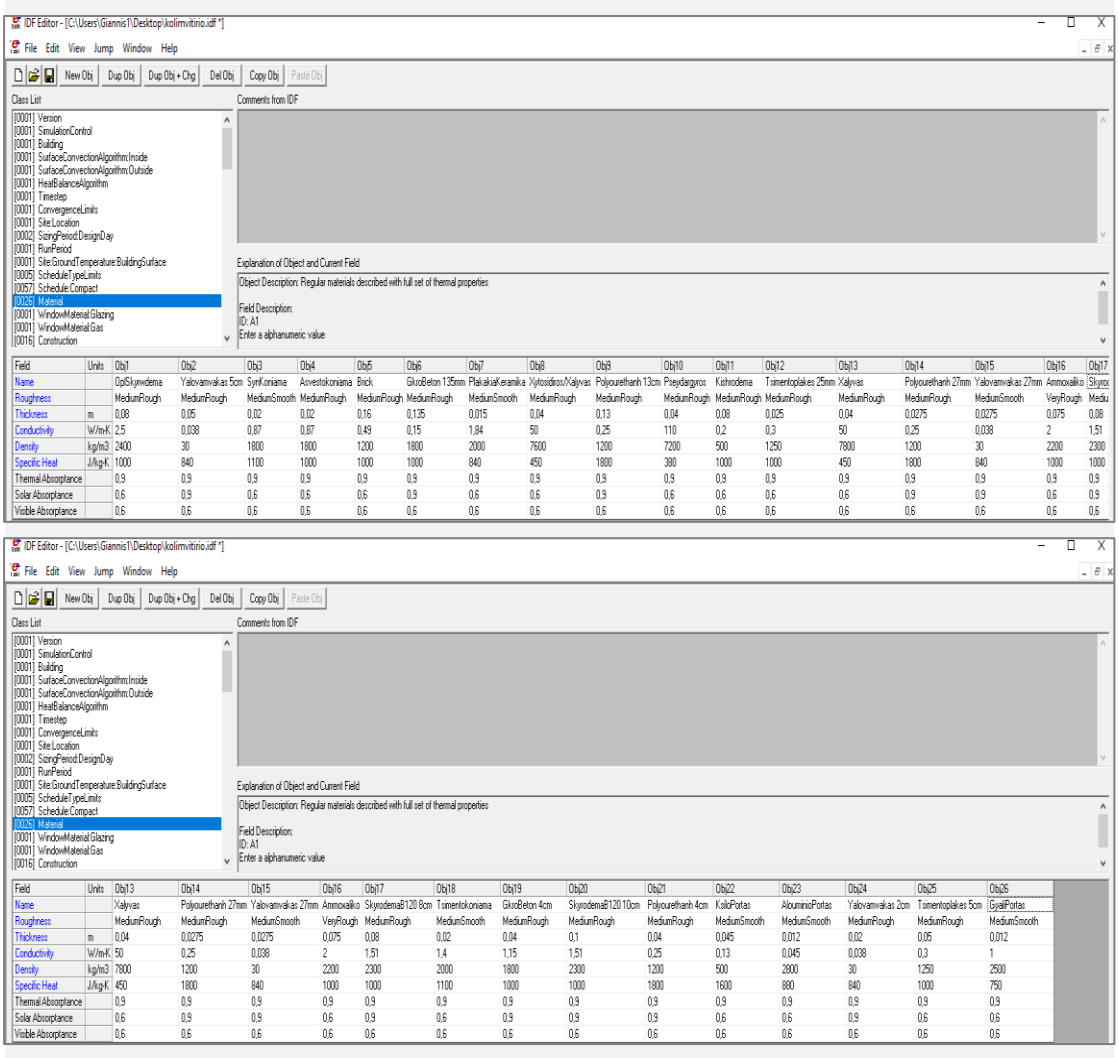
5.5.4.1 Material

Στην επιλογή Material, ορίστηκαν τα επιμέρους δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή κάθε επιφάνειας του κτιρίου. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.47 και τον Πίνακα 5.5, το κάθε υλικό που εισήχθη συνοδεύεται από τις πέντε βασικές θερμικές του ιδιότητες:

- **Η τραχύτητα του**, που μπορεί να οριστεί ως Very Rough, Medium Rough, Rough, Smooth, Medium Smooth και Very Smooth.
- **Το πάχος του**, που μετριέται σε μέτρα.

- **Ο συντελεστής της θερμικής του αγωγιμότητας**, που μετριέται σε W/m*k.
- **Η πυκνότητα του**, που μετριέται σε kg/m^3.
- **Η ειδική θερμότητα του**, με μονάδα μέτρησης J/(g-K).

Οι τιμές για τις ιδιότητες αυτές λήφθηκαν από τους πίνακες, που δίνονται στην Τεχνική Οδηγία του Επιμελητηρίου Ελλάδος (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α).



Εικόνα 5.47: Παράμετροι υποκατηγορίας Material

Υλικό (material)	Τραχύτητα (roughness)	Πάχος (Thickness) (m)	Αγωγιμότητα (conductivity) (W/m*k)	Πυκνότητα (density) (kg/m^3)	Ειδική Θερμότητα (special heat) (J/(kg*K))
Οπλισμένο Σκυρόδεμα	Μεσαία	0.08	2.5	2400	1000
Υαλοβάμβακας	Μεσαία	0.05 & 0.0275 & 0.02	0.038	30	840
Συνθετικό Κονίαμα	Μεσαία	0.02	0.87	1800	1100
Ασβεστοκονίαμα	Μεσαία	0.02	0.87	1800	1000
Οπτόπλινθος	Μεσαία	0.16	0.49	1200	1000
Γκρο Μπετόν	Μεσαία	0.135 & 0.04	0.15	1800	1000
Κεραμικά πλακάκια	Λίγο	0.015	1.84	2000	840
Χυτοσίδηρος/Χάλυβας	Μεσαία	0.04	50	7600	450
Πολυουρεθάνη	Μεσαία	0.13 & 0.0275 & 0.04	0.25	1200	1800
Ψευδάργυρος	Μεσαία	0.04	110	7200	380
Κισηρόδεμα	Μεσαία	0.08	0.2	500	1000
Τσιμεντόπλακες	Μεσαία	0.025 & 0.05	0.3	1250	1000
Χάλυβας	Μεσαία	0.04	50	7800	450
Αμμοχάλικο	Πολύ	0.075	2	2200	1000
Τσιμεντοκονίαμα	Λίγο	0.02	1.4	2000	1100
Ξύλο πόρτας	Λίγο	0.045	0.13	500	1600
Αλουμίνιο πόρτας	Λίγο	0.012	0.045	2800	880
Γυαλί πόρτας	Λίγο	0.012	1	2500	750
Σκυρόδεμα B120	Μεσαίο	0.08 & 0.1	1.51	2300	1000

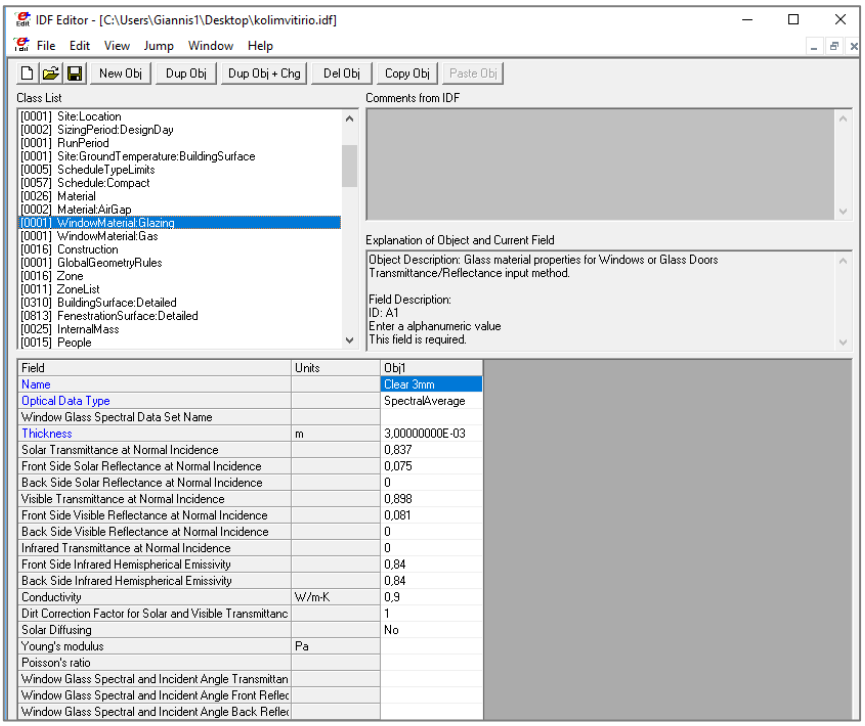
Πίνακας 5.5: Δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση του κλειστού κολυμβητηρίου

Στην προσομοίωση του κολυμβητηρίου δημιουργήθηκαν συνολικά 26 υλικά κατασκευής, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν σε ποικίλες επιφάνειες. Λόγω της μη ολοκλήρωσης του έργου κατασκευής του κλειστού κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά, χρειάστηκε περαιτέρω έρευνα στις κατασκευαστικές προδιαγραφές που θα έπρεπε να πληρούνται από αυτό για να τεθεί σε λειτουργία, όπως αυτές είχαν κατατεθεί από τους αρμόδιους φορείς στις αρχές του 2000. Παράλληλα, λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας, κρίθηκε σκόπιμη η δημιουργία μερικών ακόμη δομικών υλικών που εφαρμόζονται πλέον στα περισσότερα κολυμβητήρια της Ελλάδος μεταγενέστερης κατασκευής. Οι επιπλέον πληροφορίες και σε αυτή την περίπτωση, συλλέχτηκαν από τη μελέτη του ανοικτού κολυμβητηρίου των Χανίων και της Πτολεμαΐδας, ενώ παράλληλα διατηρήθηκε το πάχος των εσωτερικών/εξωτερικών τοίχων και των δαπέδων/οροφών αντίστοιχα, όπως αυτά ορίζονταν στα αρχιτεκτονικά σχέδια του κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά. Η εν λόγω διαδικασία

πραγματοποιήθηκε για την διασφάλιση αποτελεσμάτων προσομοίωσης με όσο το δυνατόν μικρότερες ενεργειακές αποκλίσεις από τη σημερινή πραγματικότητα των κλειστών κολυμβητηρίων.

5.5.4.2 WindowMaterial: Glazing

Στην επιλογή WindowMaterial: Glazing, προστέθηκε το είδος του υαλοπίνακα που φέρουν τα παράθυρα καθώς και οι ιδιότητες του, για τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν οι προτεινόμενες ρυθμίσεις από το λογισμικό EnergyPlus. Επιλέχτηκε γυαλί πάχους τριών χιλιοστών με τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στην Εικόνα 5.48



Εικόνα 5.48: Παράμετροι υποκατηγορίας WindowMaterial: Glazing

5.5.4.3 WindowMaterial: Gas

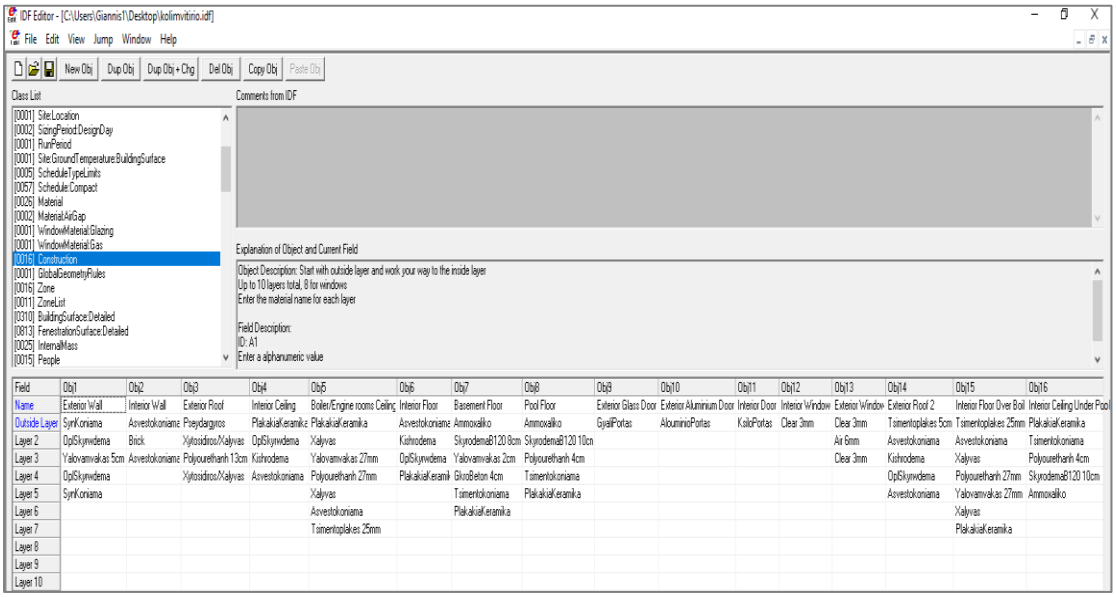
Στην επιλογή WindowMaterial: Gas, ορίστηκε το είδος του αερίου που υπάρχει στο κενό του υαλοπίνακα, που είναι ο αέρας και το πάχος της στρώσης του αερίου που είναι 0.006m.

5.5.4.4 Construction

Στη συγκεκριμένη υποκατηγορία, ορίζονται οι στρώσεις των υλικών, από τις οποίες αποτελούνται τα διάφορα στοιχεία της κατασκευής. Τα υλικά για τους τοίχους, τα δάπεδα, τις οροφές και τις πόρτες αντλήθηκαν από την υποκατηγορία Material, ενώ για την κατασκευή των παραθύρων από τις υποκατηγορίες WindowMaterial: Glazing και WindowMaterial: Gas.

Σημαντικό στοιχείο για την σωστή δήλωση της εκάστοτε κατασκευής είναι ο ορισμός των στοιχείων της ξεκινώντας από την εξωτερική στρώση προς την εσωτερική. Αυτό πρακτικά σημαίνει, πως η εξωτερική και η εσωτερική επιφάνεια του ίδιου τοίχου οφείλουν να έχουν τα ίδια υλικά κατασκευής δηλωμένα με ανάποδη σειρά. Το ίδιο ισχύει και για το δάπεδο του ισογείου με την οροφή του υπογείου.

Στις Εικόνες 5.49 και 5.50, παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα αντικείμενα κατασκευής που δημιουργήθηκαν.



Εικόνα 5.49: Παράμετροι υποκατηγορίας Construction

Εξωτερική τοιχοποιία (Exterior Wall) Συνθετικό Κονίαμα 0.02m Οπλισμένο Σκυρόδεμα 0.08m Υαλοβάμβακας 0.05m Οπλισμένο Σκυρόδεμα 0.08m Συνθετικό Κονίαμα 0.02m	**Εσωτερική οροφή (Interior Ceiling)** Κεραμικά πλακάκια 0.015m Οπλισμένο Σκυρόδεμα 0.08m Κισηρόδεμα 0.08m Ασβεστοκονίαμα 0.02m	**Εσωτερικό δάπεδο (Interior Floor)** Ασβεστοκονίαμα 0.02m Κισηρόδεμα 0.08m Οπλισμένο Σκυρόδεμα 0.08m Κεραμικά πλακάκια 0.015m
Εξωτερική οροφή (Exterior Roof) Φύλλα ψευδάργυρου 0.04m Χυτοσίδηρος & Χάλυβας 0.04m Πολυουρεθάνη 0.13m Χυτοσίδηρος & Χάλυβας 0.04m	**Εσωτερική τοιχοποιία (Interior Wall)** Ασβεστοκονίαμα 0.02m Οπτοπλινθοδομή 0.16m	**Δάπεδο πισινών (Pool Floor)** Αμμοχάλικο 0.075m Σκυρόδεμα B120 0.1m Πολυουρεθάνη 0.04m Τσιμεντοκονίαμα 0.02m Κεραμικά Πλακάκια 0.015m
Εξωτερική οροφή υπογείου/ισογείου (Exterior Roof 2) Τσιμεντόπλακες 0.05m Ασβεστοκονίαμα 0.02m Κισηρόδεμα 0.08m Οπλισμένο Σκυρόδεμα 0.08m Ασβεστοκονίαμα 0.02m	**Εσωτερική οροφή μηχανοστασίων (Boiler/Engine rooms Ceiling)** Κεραμικά πλακάκια 0.015m Χάλυβας 0.04m Υαλοβάμβακας 0.0275m Πολυουρεθάνη 0.0275m Χάλυβας 0.04m Ασβεστοκονίαμα 0.02m Τσιμεντόπλακες 0.025m	**Δάπεδο υπογείου (Basement Floor)** Αμμοχάλικο 0.075m Σκυρόδεμα B120 0.08m Υαλοβάμβακας 0.02m Γκρο Μπετόν 0.04m Τσιμεντοκονίαμα 0.02m Κεραμικά Πλακάκια 0.015m
Εσωτερική οροφή μηχανοστασίων (Boiler/Engine rooms Ceiling) Κεραμικά πλακάκια 0.015m Χάλυβας 0.04m Υαλοβάμβακας 0.0275m Πολυουρεθάνη 0.0275m Χάλυβας 0.04m Ασβεστοκονίαμα 0.02m Τσιμεντόπλακες 0.025m	**Εσωτερική οροφή υπογείου κάτω από τις πισίνες (Interior Ceiling Under Pool)** Κεραμικά πλακάκια 0.015m Τσιμεντοκονίαμα 0.02m Πολυουρεθάνη 0.04m Σκυρόδεμα B120 0.1m Αμμοχάλικο 0.075m	**Εσωτερικό δάπεδο άνωθεν μηχανοστασίων (Interior Floor Over Boiler/Engine Rooms)** Τσιμεντόπλακες 0.025m Ασβεστοκονίαμα 0.02m Χάλυβας 0.04m Πολυουρεθάνη 0.0275m Υαλοβάμβακας 0.0275m Χάλυβας 0.04m Κεραμικά πλακάκια 0.015m
Εξωτερική γυάλινη πόρτα (Exterior Glass Door) Γυαλί 0.012m	**Εξωτερική πόρτα αλουμινίου (Exterior Aluminium Door)** Αλουμίνιο 0.045m	**Εσωτερική πόρτα (Interior Door)** Ξύλο 0.045m
Εξωτερικό παράθυρο (Exterior Window) Γυαλί 0.003m Αέρας 0.012m Γυαλί 0.003m	**Εσωτερικό παράθυρο (Interior Window)** Γυαλί 0.003m	

Πίνακας 5.6: Αναλυτική περιγραφή της δομής κατασκευής της κάθε επιφάνειας του κολυμβητηρίου

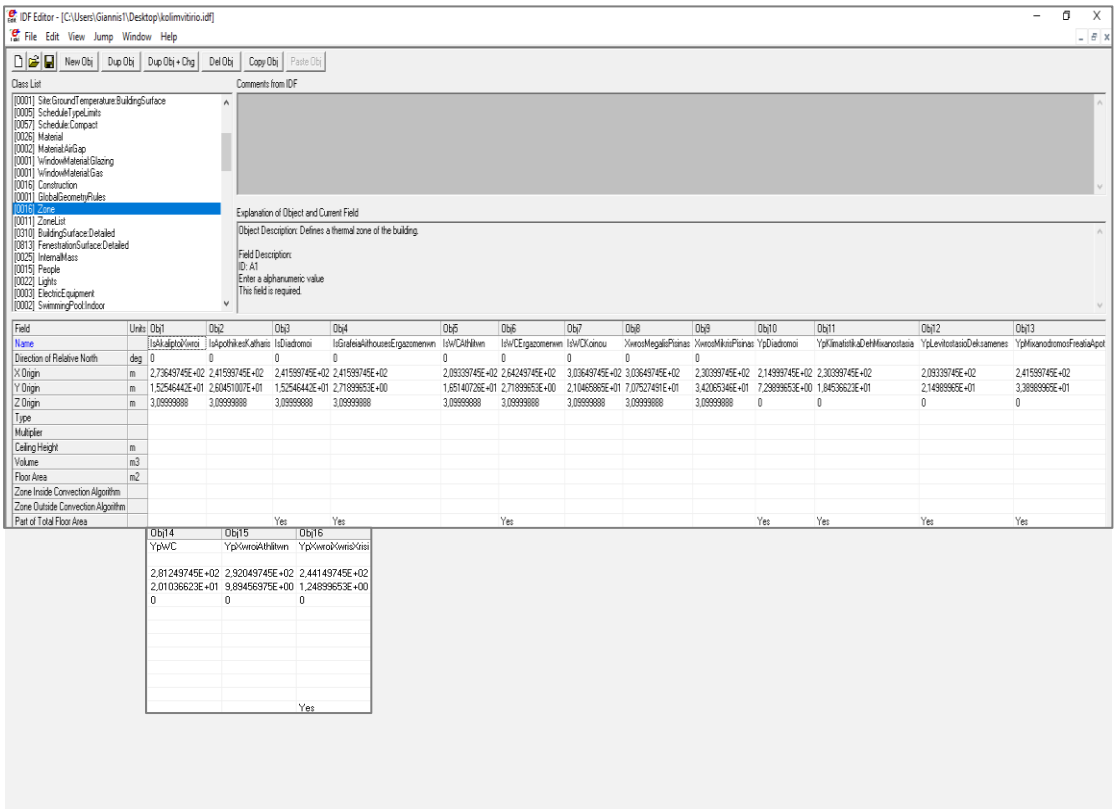
5.5.5 Κατηγορία Thermal Zones and Surfaces

Στην κατηγορία Thermal Zones and Surfaces, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των θερμικών ζωνών καθώς και όλες οι λεπτομέρειες κάθε επιφάνειας του κολυμβητηρίου.

5.5.5.1 Zone

Στη συγκεκριμένη υποκατηγορία, εμφανίζονται όλες οι θερμικές ζώνες, από τις οποίες αποτελείται το κολυμβητήριο. Ο καθορισμός τους έγινε με κριτήριο τους

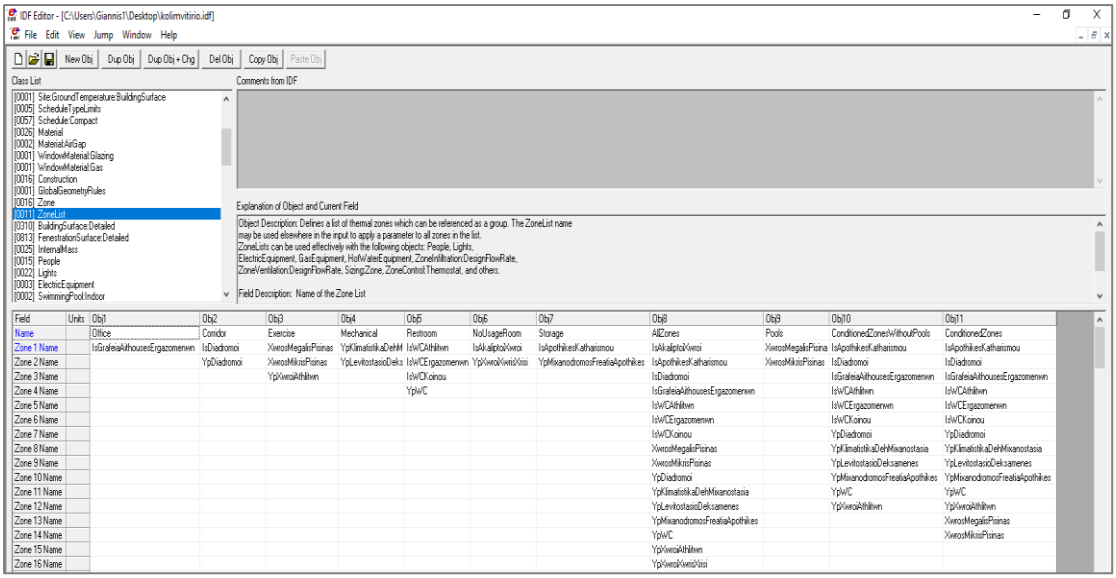
κανόνες που αναλύθηκαν στην ενότητα **Χωρισμός του κολυμβητηρίου σε θερμικές ζώνες** και παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.50, όπου φαίνονται και οι συντεταγμένες της κάθε ζώνης (όπως αυτές εισήχθησαν από το Openstudio plug-in).



*Εικόνα 5.50: Παράμετροι υποκατηγορίας Zone**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της ναφοράς δεν βρέθηκε.***

5.5.5.2 Zonelist

Δεν είναι λίγες οι θερμικές ζώνες του κολυμβητηρίου, που περιλαμβάνουν παρόμοια χαρακτηριστικά, όπως η χρήση και η γεωμετρία του χώρου, τα εσωτερικά θερμικά κέρδη και οι απώλειες από τους χρήστες, ο ηλεκτρολογικός/μηχανολογικός εξοπλισμός και το σύστημα θέρμανσης/ψύξης. Έτσι, κρίθηκε αναγκαία η περαιτέρω ομαδοποίηση των ζωνών αυτών, γεγονός που καθιστά ευκολότερη την επεξεργασία τους. Η ομαδοποίηση έγινε μέσω της εντολής Zonelist, ενώ πρέπει να επισημανθεί πως κάθε ζώνη μπορεί να περιλαμβάνεται από περισσότερες από μία ομάδες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.51.



Εικόνα 5.51: Παράμετροι υποκατηγορίας Zonelist

5.5.5.3 BuildingSurface: Detailed

Στην επιλογή BuildingSurface: Detailed, εμφανίζονται όλες οι επιφάνειες που έχουν σχεδιαστεί νωρίτερα στο Google SketchUp με τη βοήθεια του Openstudio plug-in. Τα δεδομένα στη συγκεκριμένη υποκατηγορία διαβάζονται αυτόματα από το αρχείο .idf, αλλά δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα περαιτέρω επεξεργασίας αυτών, διορθώνοντας πιθανά λάθη ή εισάγοντας επιπλέον στοιχεία.

Όσον αφορά στην προσομοίωση του κολυμβητηρίου, ελέγχθηκαν αρχικά οι συνοριακές συνθήκες της κάθε επιφάνειας. Δηλαδή, αν αυτή έρχεται σε επαφή με το έδαφος, αν είναι άμεσα εκτεθειμένη με το εξωτερικό περιβάλλον ή τέλος αν αποτελεί διεπαφή μεταξύ δύο διαφορετικών θερμικών ζωνών. Παράλληλα, ορίστηκε ο τύπος της δομής της κάθε επιφάνειας του κολυμβητηρίου, όπως αυτές ορίστηκαν στην υποκατηγορία Construction. Ενδεικτικά, παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.52 ένα μέρος των επιφανειών της επιλογής BuildingSurface: Detailed.

Field	Units	Obj249	Obj250	Obj251	Obj252	Obj253	Obj254	Obj255
Name		Surface 164	Surface 165	Surface 166	Surface 171	Surface 172	Surface 176	Surface 177
Surface Type		Wall	Ceiling	Floor	Ceiling	Floor	Wall	Ceiling
Construction Name		Exterior Wall	Interior Ceiling Unde	Basement Floor	Interior Ceiling Unde	Basement Floor	Exterior Wall	Interior Ceiling Unde
Zone Name		YpMixanodromosFre	YpMixanodromosFre	YpMixanodromosFre	YpMixanodromosFre	YpMixanodromosFre	YpMixanodromosFre	YpMixanodromosFre
Outside Boundary Condition		Outdoors	Surface	Ground	Surface	Ground	Outdoors	Surface
Outside Boundary Condition Object			Surface 356		Surface 357			Surface 348
Sun Exposure		NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun
Wind Exposure		NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind
View Factor to Ground								
Number of Vertices								
Vertex 1 X-coordinate	m	9,00968189E-12	6,03000000E+00	56,03	56,03	6,20500000E+01	6,20500000E+01	6,20500000E+01
Vertex 1 Y-coordinate	m	3,33100000E+01	8,31000000E+00	3,33100000E+01	8,31000000E+00	3,33100000E+01	8,31000000E+00	8,31000000E+00
Vertex 1 Z-coordinate	m	3,09999888	3,09999888	0	3,09999888	0	3,09999888	3,09999888
Vertex 2 X-coordinate	m	9,00968189E-12	6,03000000E+00	56,03	56,03	6,20500000E+01	6,20500000E+01	6,20500000E+01
Vertex 2 Y-coordinate	m	3,33100000E+01	3,33100000E+01	8,31000000E+00	3,33100000E+01	8,31000000E+00	8,31000000E+00	3,33100000E+01
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	3,09999888	0	3,09999888	0	0	3,09999888
Vertex 3 X-coordinate	m	8,08563527E-12	9,00968189E-12	6,03000000E+00	6,03000000E+00	5,60300000E+01	6,20500000E+01	5,60300000E+01
Vertex 3 Y-coordinate	m	1,59500000E+01	3,33100000E+01	8,31000000E+00	3,33100000E+01	8,31000000E+00	3,33100000E+01	3,33100000E+01
Vertex 3 Z-coordinate	m	0	3,09999888	0	3,09999888	0	0	3,09999888
Vertex 4 X-coordinate	m	8,08563527E-12	-2,27373675E-13	6,03000000E+00	6,03000000E+00	5,60300000E+01	6,20500000E+01	5,60300000E+01
Vertex 4 Y-coordinate	m	1,59500000E+01	8,31000000E+00	3,33100000E+01	8,31000000E+00	3,33100000E+01	3,33100000E+01	8,31000000E+00
Vertex 4 Z-coordinate	m	3,09999888	3,09999888	0	3,09999888	0	3,09999888	3,09999888

Εικόνα 5.52: Παράμετροι υποκατηγορίας BuildingSurface: Detailed

5.5.5.4 FenestrationSurface: Detailed

Κατά τον ίδιο τρόπο, στην επιλογή FenestrationSurface: Detailed, εμφανίζονται τα ανοίγματα του κολυμβητηρίου, που σχεδιάστηκαν νωρίτερα στο Google SketchUp με τη βοήθεια του Openstudio plug-in. Και σε αυτή την υποκατηγορία, μπορεί ο χρήστης να ορίσει τις συνοριακές συνθήκες των παραθύρων/πορτών του προς μελέτη κτιρίου και την δομή αυτών επιλέγοντας τον τύπο από την υποκατηγορία Construction.

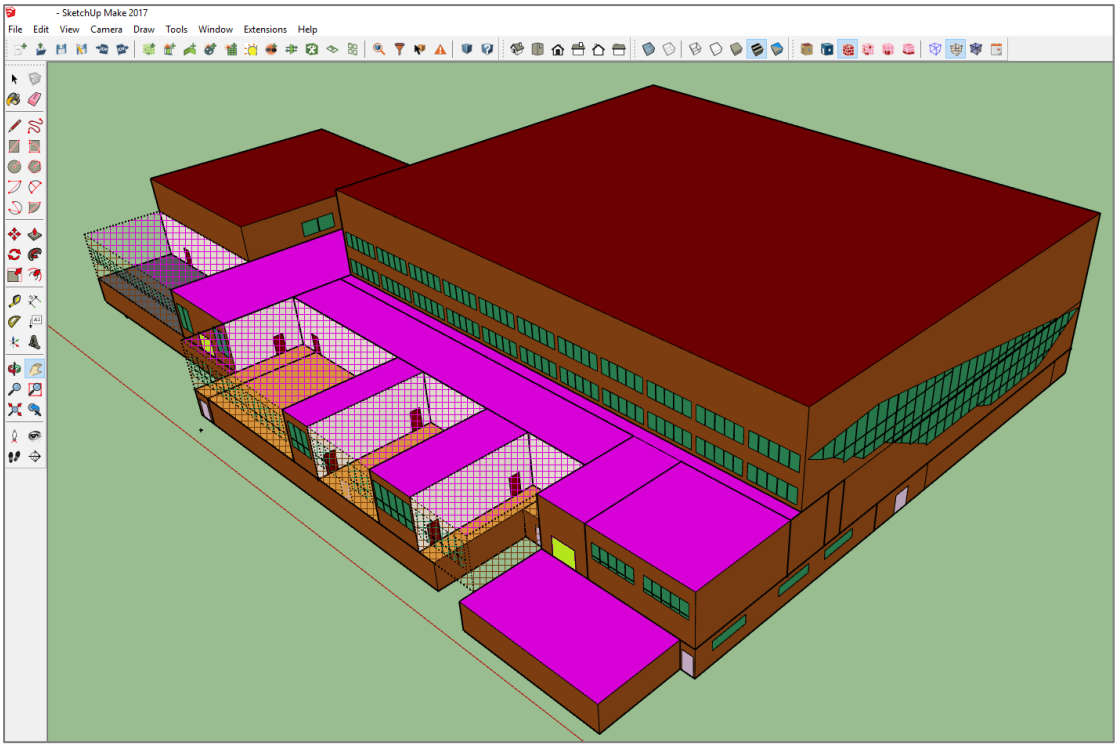
5.5.5.5 InternalMass

Η υποκατηγορία Internal Mass εισάγεται αυτόματα στο EnergyPlus από το .idf αρχείο. Ουσιαστικά αφορά την περιγραφή των εσωτερικών επιφανειών κάθε ζώνης, οι οποίες ανταλλάσουν ενέργεια μόνο μεταξύ τους, χωρίς να αλληλεπιδρούν με τις εσωτερικές επιφάνειες άλλων ζωνών.

Ο σχεδιασμός όλων των επιφανειών για κάθε ζώνη ενός κτιρίου, μπορεί να προκαλέσει αισθητή αύξηση του χρόνου προσομοίωσης και στη χειρότερη των περιπτώσεων αδυναμία εκτέλεσης λόγω υπερβολικής πολυπλοκότητας. Παρόλα αυτά, δεν συνίσταται η καθολική παράληψη της σχεδίασης τους, καθώς έτσι μειώνεται αρκετά η μάζα της κάθε ζώνης που είναι ικανή να αποθηκεύσει ενέργεια, γεγονός που θα επιφέρει αλλοιώσεις στα τελικά αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης.

Στην προσομοίωση του κολυμβητηρίου επιλέχτηκε μία μέση λύση, δηλαδή η απλοποίηση του εσωτερικού της κάθε ζώνης, έτσι ώστε να μην επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό ο χρόνος προσομοίωσης μετά τη σχεδίαση τους και τα αποτελέσματα της μελέτης να παραμείνουν όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά.

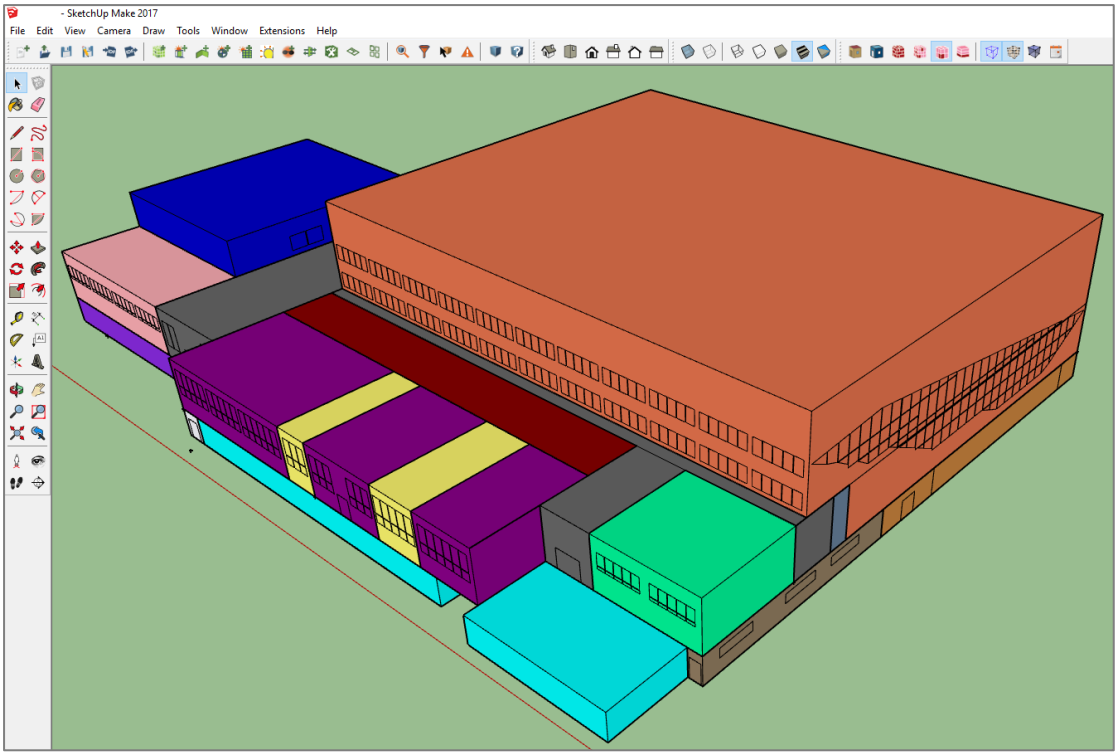
Η ολοκλήρωση και αυτής της ενότητας σηματοδοτεί την πλήρη απόδοση χαρακτηριστικών σε όλες τις επιφάνειες και τον ορισμό των ζωνών του κολυμβητηρίου. Για να γίνει ένας επιπλέον οπτικός έλεγχος όλων αυτών, κρίθηκε σκόπιμη η εξαγωγή του ανανεωμένου πλέον .idf αρχείου από το EnergyPlus και η εισαγωγή του στο Google SketchUp. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά τη χρήση των εντολών Render By Construction Type , Render By Thermal Zone του Openstudio plug-in, όπως αυτές περιγράφτηκαν νωρίτερα.



Εικόνα 5.53: Νοτιοανατολική όψη του κολυμβητηρίου μετά τη χρήση των εντολών Render By Construction Type και View Hidden Geometry

Στην Εικόνα 5.53, γίνεται αντιληπτό πως όλα τα στοιχεία του κολυμβητηρίου (τοίχοι, δάπεδα, παράθυρα, πόρτες, οροφές) με την ίδια δομή υλικών παρουσιάζονται με το ίδιο χρώμα. Ο πιο εμφανής διαχωρισμός είναι στα δύο διαφορετικά είδη οροφών. Επίσης, διαφορά φαίνεται και στο χρωματισμό των εσωτερικών οροφών των μηχανοστασίων, λεβητοστάσιων (γκρι χρώμα) από την εσωτερική οροφή του κολυμβητηρίου (πορτοκαλί).

Όσον αφορά στην Εικόνα 5.54, παρουσιάζει μία οπτική αναπαράσταση του διαχωρισμού των ζωνών που έγινε νωρίτερα. Κάθε ζώνη αντιστοιχίζεται σε ένα διαφορετικό τυχαίο χρώμα.



Εικόνα 5.54: Νοτιοανατολική όψη του κολυμβητηρίου μετά τη χρήση της εντολής Render By Thermal Zone

5.5.6 Κατηγορία Internal Gains

Επιρροή στην ενεργειακή συμπεριφορά και κατανάλωση ενός κτιρίου, εκτός από τις εξωτερικές συνθήκες του περιβάλλοντος και τα δομικά υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένο έχουν και άλλοι παράγοντες, που υπάγονται στην κατηγορία εσωτερικά θερμικά κέρδη. Στην περίπτωση του υπό μελέτη κολυμβητηρίου, οι παράγοντες αυτοί είναι οι άνθρωποι, ο τεχνητός φωτισμός, οι ηλεκτρικές συσκευές και οι δύο εσωτερικές πισίνες.

5.5.6.1 People

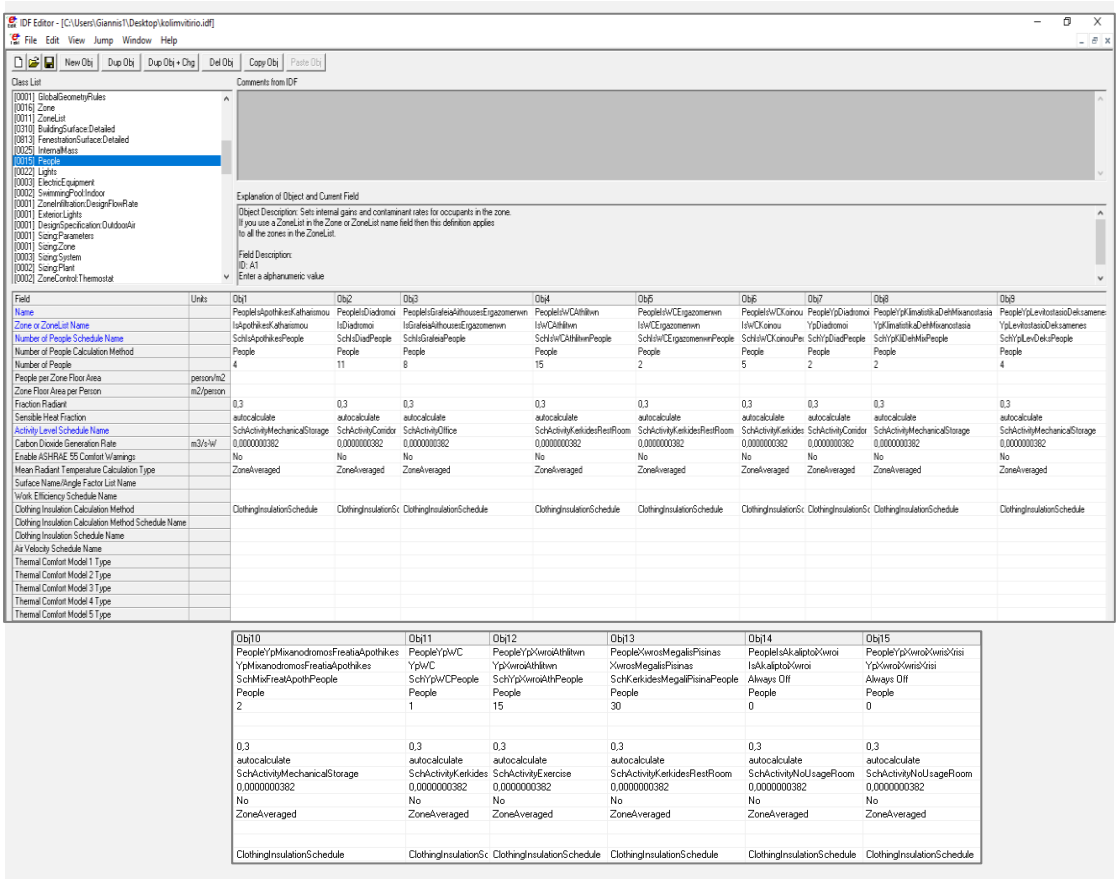
Στην υποκατηγορία People, που παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.55, προσδιορίζονται οι παράμετροι των εσωτερικών θερμικών κερδών κάθε θερμικής ζώνης, που προκύπτουν συναρτήσει της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Πιο συγκεκριμένα οι απαραίτητοι παράμετροι που εισήχθησαν είναι:

- **Το όνομα της θερμικής ζώνης**, στην οποία εξετάζεται η ανθρώπινη δραστηριότητα.
- Το χρονοδιάγραμμα μεταβολής της ανθρώπινης ύπαρξης (**Number of People Schedule Name**), που λαμβάνει πληροφορίες από την υποκατηγορία Schedule Compact στην οποία έχει προσδιορισθεί.

- Ο εκτιμώμενος αριθμός ατόμων της εκάστοτε θερμικής ζώνης (**People per Zone Floor Area**), όπως ορίστηκε από τα προγράμματα λειτουργίας του ανοικτού κολυμβητηρίου Χανίων και της Πτολεμαΐδας.
- Η εκτιμώμενη τιμή της ανθρώπινης ακτινοβολίας (**Fraction Radiant**), δηλαδή το ποσοστό της ακτινοβολίας που έρχεται σε επαφή με τον άνθρωπο και επιστρέφει στη θερμική ζώνη ως θερμότητα. Δόθηκε η προτεινόμενη από το EnergyPlus τιμή 0.3.
- Το χρονοδιάγραμμα μεταβολής της ανθρώπινης δραστηριότητας (**Activity Level Schedule Name**) σε κάθε ζώνη, όπως αυτό ορίστηκε στην υποκατηγορία Schedule Compact.

Στις υπόλοιπες παραμέτρους που διακρίνονται συμπληρωμένες στην Εικόνα 6.55, δόθηκαν αυτόματα ενδεικτικές τιμές από το EnergyPlus, σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE 62, 1 – 2007.



Εικόνα 5.55: Παράμετροι υποκατηγορίας People

5.5.6.2 Lights

Στην επιλογή Lights, καθορίζονται στοιχεία σχετικά με το ηλεκτρικό σύστημα φωτισμού της κάθε ζώνης, όπως είναι η εγκατεστημένη ισχύς του, το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του καθώς και το πως διανέμεται η θερμότητα που προέρχεται από τα φώτα.

Για την επίτευξη πιο ρεαλιστικών αποτελεσμάτων στην προσομοίωση, έγινε πολύωρη μελέτη των ηλεκτρομηχανολογικών σχεδίων του κολυμβητηρίου (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β) στα Κουνουπιδιανά. Ακολούθησε η καταγραφή των ειδών τεχνητού φωτισμού που έχουν χρησιμοποιηθεί, καταλήγοντας στα εξής:

- Μακρόστενα φωτιστικά φθορισμού δύο ειδών με κατανάλωση 58W και 72W αντίστοιχα.
- Φωτιστικά φθορισμού τύπου τετράγωνο με κατανάλωση 54W.
- Επίτοιχα φωτιστικά φθορισμού με κατανάλωση 36W
- Φωτιστικά σώματα τύπου χελώνα με κατανάλωση 100W.
- Εξωτερικά σποτάκια με κατανάλωση 125W.
- Προβολείς Philips με κατανάλωση 400W.
- Υποβρύχιους προβολείς Philips με κατανάλωση 300W.

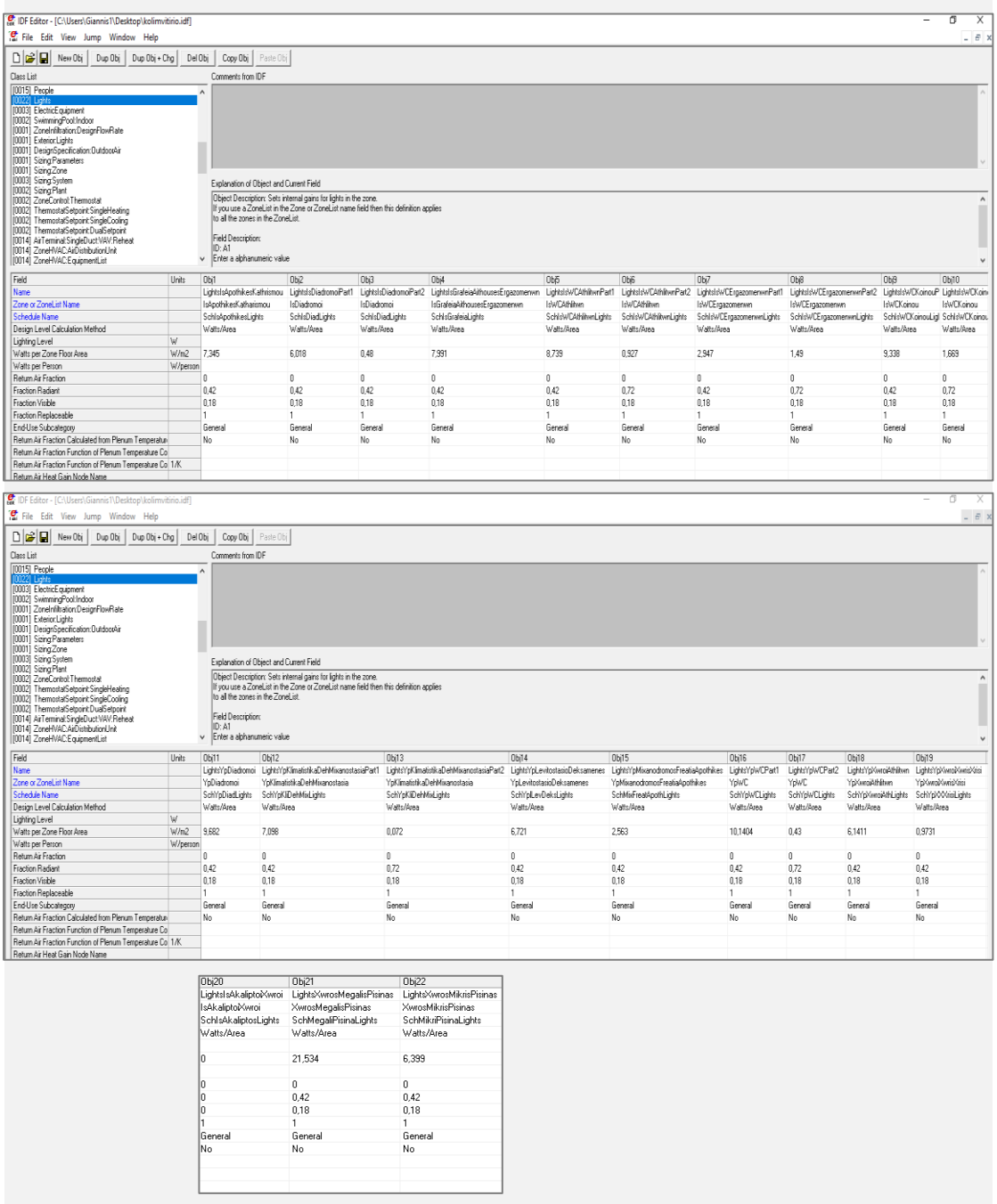
Πριν γίνει η δήλωση του τεχνητού φωτισμού στο EnergyPlus, ήταν απαραίτητος ο υπολογισμός της ενεργειακής κατανάλωσης κάθε ζώνης με βάση το είδος του τεχνητού φωτισμού και τον αριθμό των φωτιστικών/προβολέων που χρησιμοποιεί. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι πιο ενεργοβόρες αλλά ταυτόχρονα πιο καλά φωτισμένες ζώνες του κολυμβητηρίου είναι αυτές που αφορούν τις δύο πισίνες (λόγω κυρίως των προβολέων) και τους διαδρόμους του ισογείου και του υπογείου (λόγω πολύωρης χρήσης τεχνητού φωτισμού).

Οι απαραίτητοι παράμετροι που εισήχθησαν στο EnergyPlus στη συνέχεια, είναι οι εξής:

- **Το όνομα της θερμικής ζώνης**, στην οποία εξετάζεται η λειτουργία του τεχνητού φωτισμού.
- Το χρονοδιάγραμμα (**Schedule Name**), που λαμβάνει πληροφορίες από την υποκατηγορία Schedule Compact στην οποία έχει προσδιορισθεί.
- Στην επιλογή **Design Level Calculation Method,** ορίστηκε ο τρόπος υπολογισμού του υπάρχοντος συστήματος φωτισμού, όπου επιλέχθηκε να γίνει σε Watt ανά μονάδα επιφάνειας (Watt/Area).
- Στην επιλογή **Watts per Zone Floor Area**, ορίστηκαν οι τιμές ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας που τέθηκαν σε κάθε ζώνη. Στο σημείο αυτό, αξιοποιήθηκαν οι υπολογισμοί ενεργειακής κατανάλωσης της κάθε ζώνης λόγω φωτισμού, που έγιναν νωρίτερα.
- Οι επιλογές **Return Air Fraction, Fraction Radiant, Fraction Visible** και **Fraction Replaceable** αφορούν το ποσοστό της θερμότητας που παράγεται από τα φωτιστικά σώματα και φεύγει εκτός της θερμικής ζώνης μέσω του αέρα, το κλάσμα της θερμότητας που παράγεται από τα φωτιστικά σώματα και εκπέμπεται ως μεγάλου ή μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία και την ύπαρξη ή όχι dimmer. Οι τιμές που τέθηκαν στα συγκεκριμένα πεδία, καθορίζονται ανάλογα με τον τύπο των φωτιστικών που χρησιμοποιούνται σε κάθε ζώνη και έγινε με βάση τον παρακάτω πίνακα.

FIELD NAME	SUSPENDED	SURFACE MOUNT	RECESSED	LUMINOUS & LOUVERED CEILING	RETURN-AIR DUCTED
RETURN AIR FRACTION	0	0	0	0	0.54
FRACTION RADIANT	0.42	0.72	0.37	0.37	0.18
FRACTION VISIBLE	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18

Πίνακας 5.7: Χαρακτηριστικά διαφορετικών ειδών τεχνητού φωτισμού



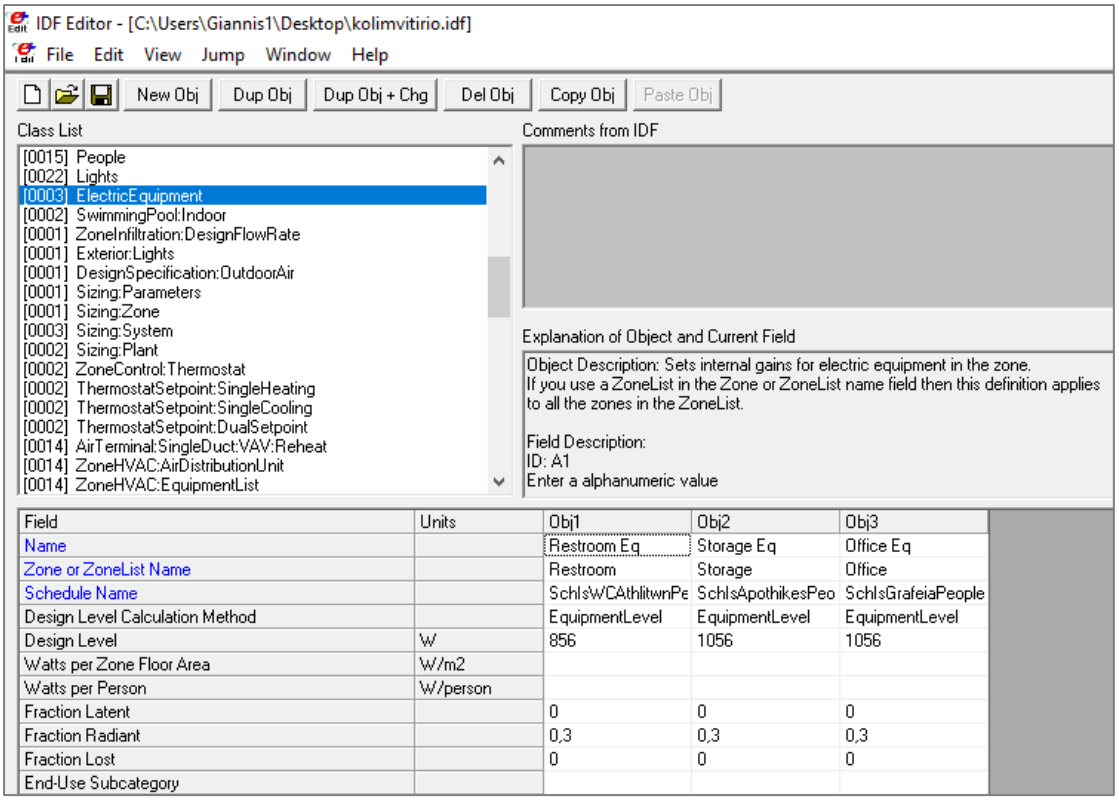
Εικόνα 5.56: Παράμετροι υποκατηγορίας Lights

Οι συμβολισμοί Part1 και Part2 που χρησιμοποιούνται για ορισμένες ζώνες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.56, εκφράζουν την ύπαρξη δύο ειδών τεχνητού φωτισμού με διαφορετικά χαρακτηριστικά στο συγκεκριμένο χώρο.

5.5.6.3 ElectricEquipment

Στην επιλογή Electric Equipment, εξετάζονται τα εσωτερικά θερμικά κέρδη των ζωνών λόγω της λειτουργίας των ηλεκτρικών τους συσκευών, χωρίς να περιλαμβάνονται σε αυτές τα συστήματα που αφορούν τη θέρμανση και την ψύξη. Για κάθε ζώνη ή ομάδα θερμικών ζωνών, οφείλει ο χρήστης να ορίσει το όνομα και το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας καθώς και τον τρόπο υπολογισμού του υπάρχοντος συστήματος ηλεκτρικού εξοπλισμού. Όσον αφορά στις μεταβλητές Fraction Latent, Fraction Radiant και Fraction Lost, συνήθως εισάγονται οι προτεινόμενες από το EnergyPlus τιμές 0, 0.3, 0 αντίστοιχα.

Στην προσομοίωση του κολυμβητηρίου, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, δεν κρίθηκε απαραίτητη η εκτενής ανάλυση της λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών κάθε ζώνης λόγω του μικρού ποσοστού ενέργειας που καταναλώνουν σε σχέση με τις συνολικές καταναλώσεις του οικοδομήματος. Έτσι, για τους χώρους που διαθέτουν ηλεκτρικές συσκευές, όπως τα γραφεία (υπολογιστές, εκτυπωτές κλπ), οι χώροι υγιεινής (πιστολάκια, στεγνωτήρια κλπ), οι αποθήκες καθαρισμού και τα μηχανοστάσια, ορίστηκαν ενδεικτικές τιμές για τη συνολική ισχύ που καταναλώνει η λειτουργία τους. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.57, έγινε χρήση και των στοιχείων που δημιουργήθηκαν νωρίτερα στην υποκατηγορία Zonelist για την διευκόλυνση της όλης διαδικασίας.



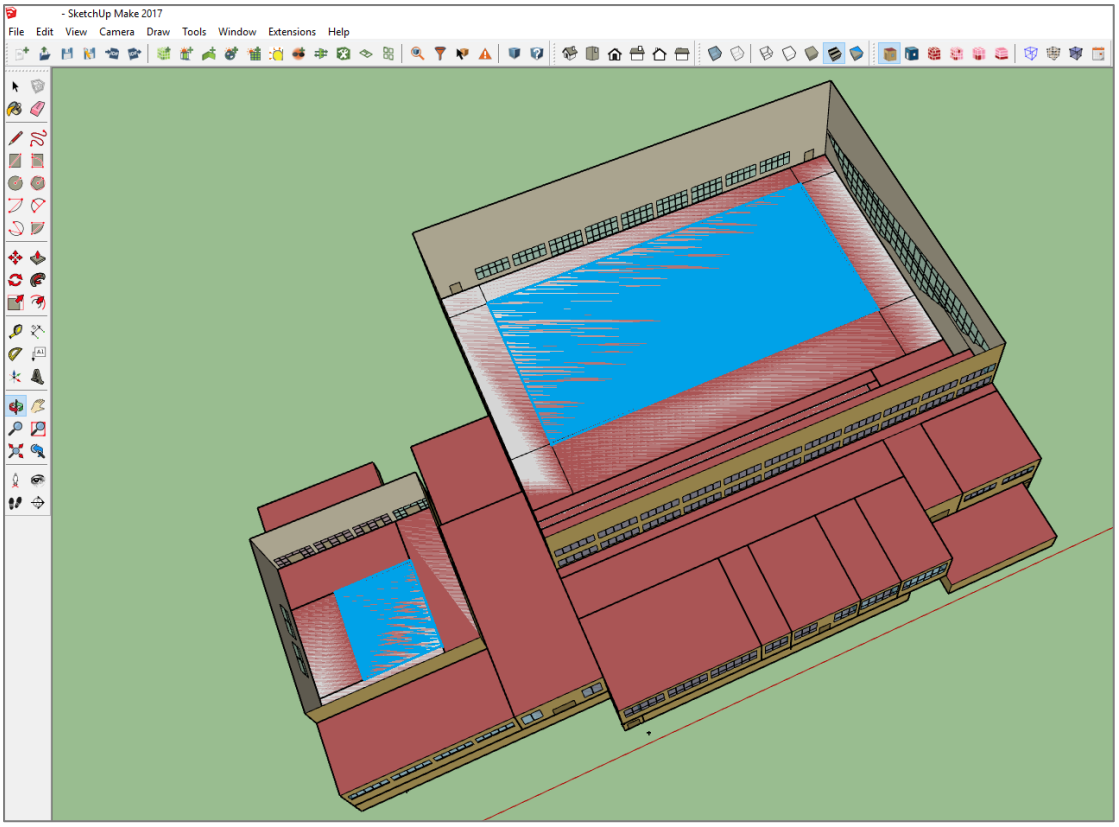
Εικόνα 5.57: Παράμετροι υποκατηγορίας ElectricEquipment

5.5.6.4 SwimmingPool: Indoor

Στην υποκατηγορία SwimmingPool: Indoor, προσδιορίζονται οι παράμετροι των πισινών, οι οποίες είναι εκτεθειμένες στο εσωτερικό περιβάλλον του εκάστοτε κτιρίου. Υπάρχουν αρκετοί κανόνες που πρέπει να τηρηθούν για το σωστή προσομοίωση μίας πισίνας στο λογισμικό EnergyPlus.

Αρχικά, ο χρήστης οφείλει να αντιστοιχίσει το χώρο της πισίνας σε μία επιφάνεια με χαρακτηριστικά δαπέδου. Η πισίνα πρέπει να καλύπτει όλο το εύρος της συγκεκριμένης επιφάνειας και σε περίπτωση που δεν συμβαίνει αυτό, απαιτείται ο περαιτέρω διαμερισμός της.

Το πρόβλημα αυτό υπήρξε και στην προσομοίωση του κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά και έτσι αποφασίστηκε η δημιουργία του περιγράμματος της κάθε πισίνας στο δάπεδο της ζώνης, στην οποία ανήκει. Ο ακριβής προσδιορισμός των θέσεων των κολυμβητικών δεξαμενών, που φαίνονται στην Εικόνα 5.58 με γαλάζιο χρώμα, έγινε με βάση τα αρχιτεκτονικά σχέδια του κτιρίου.



Εικόνα 5.58: Παρουσίαση των κολυμβητικών δεξαμενών του κολυμβητηρίου μετά τη χρήση της εντολής Hide για την απόκρυψη της οροφής

Στη συνέχεια, έγινε ο ορισμός των υπόλοιπων παραμέτρων των δύο πισινών του κολυμβητηρίου (Εικόνα 5.59), που είναι οι εξής:

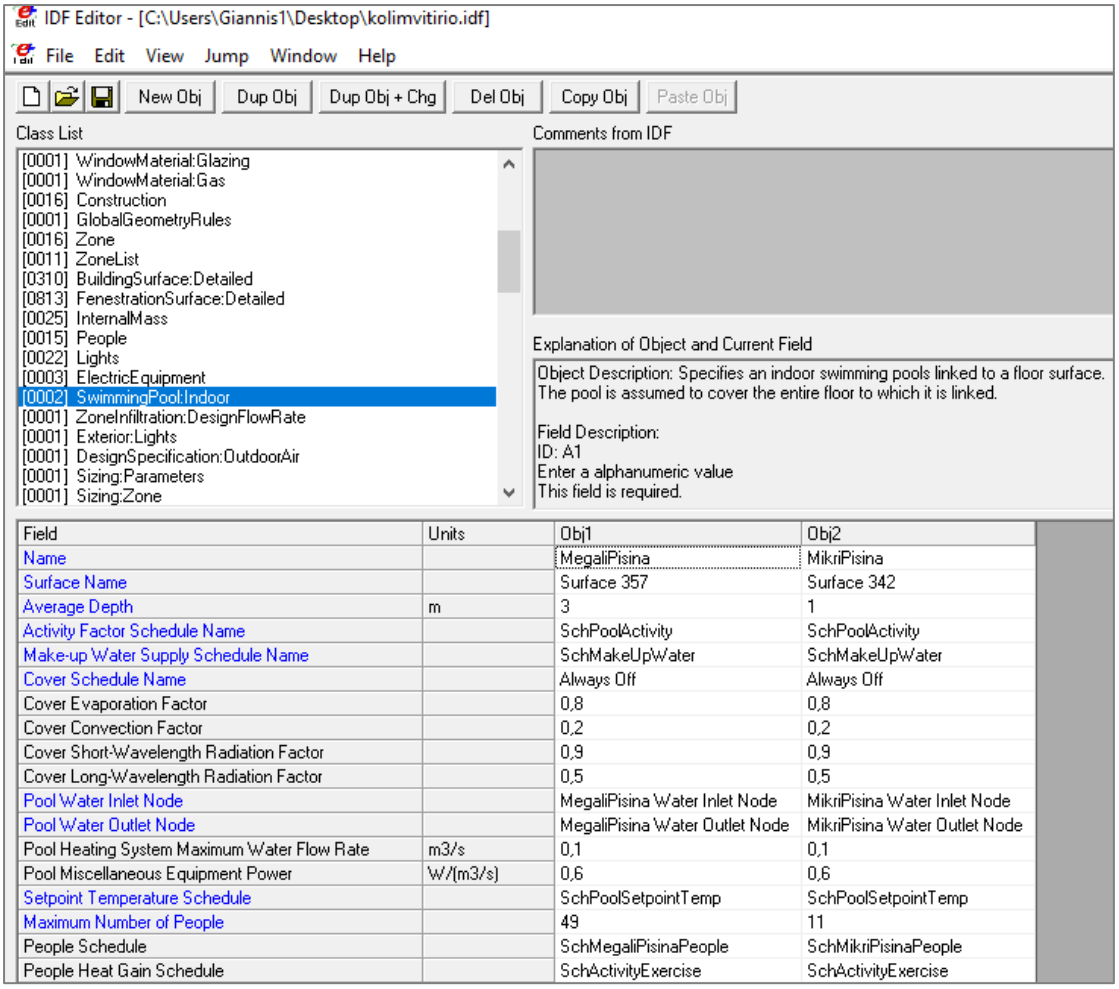
- **Το μέσο βάθος της κάθε πισίνας**, που δηλώνεται στο πεδίο Average Depth. Όπως έχει αναφερθεί και στην αρχή του κεφαλαίου, το βάθος της πισίνας Ολυμπιακών διαστάσεων του κολυμβητηρίου είναι σταθερό με τιμή 3 μέτρα. Αντιθέτως το βάθος της μικρής πισίνας κυμαίνεται από τα 60 εκατοστά, μέχρι το 1 μέτρο και 30 εκατοστά. Επομένως, αποφασίστηκε ο ορισμός του πεδίου Average Depth για τη μικρή πισίνα στο 1 μέτρο.
- **Το χρονοδιάγραμμα που αφορά την δραστηριότητα του νερού της κάθε πισίνας**, το οποίο δηλώνεται στο πεδίο Activity Factor Schedule Name και παίρνει πληροφορίες από την υποκατηγορία Schedule: Compact. Κρίνεται πολύ σημαντικός ο διαχωρισμός της έννοιας του χρονοδιαγράμματος της δραστηριότητας του νερού με εκείνο της ανθρώπινης δραστηριότητας στις δύο πισίνες. Εδώ περιγράφονται οι ώρες και ο ρυθμός, κατά τον οποίο εξατμίζεται το νερό των δύο πισινών στον εσωτερικό αέρα της εκάστοτε ζώνης. Επομένως, θεωρείται λανθασμένη προσέγγιση ο ορισμός μηδενικής τιμής στο συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα, καθώς κάτι τέτοιο θα σήμαινε μηδενική εξάτμιση του νερού, που πρακτικά είναι αδύνατο να συμβεί.

Στη συγκεκριμένη προσομοίωση, δηλώθηκε αύξηση της εξάτμισης του νερού τις ώρες της ημέρας (αυξάνεται και η ηλιακή ακτινοβολία) και μείωση αυτής τις νυχτερινές ώρες.

- **Το χρονοδιάγραμμα που αφορά το ρυθμό ανανέωσης του νερού της κάθε πισίνας**, το οποίο δηλώνεται στο πεδίο Make-up Water Supply Schedule Name και παίρνει πληροφορίες από την υποκατηγορία Schedule: Compact. Η ανανέωση του νερού της κάθε πισίνας είναι απαραίτητη για λόγους υγιεινής αλλά και για την αναπλήρωση του νερού που εξατμίζεται. Έτσι, στην προσομοίωση του κολυμβητηρίου ορίστηκε συνεχής ανανέωση του νερού καθόλη τη διάρκεια της ημέρας με τις τιμές που προτείνονται από το λογισμικό EnergyPlus.
- **Το χρονοδιάγραμμα εφαρμογής του ισοθερμικού καλύμματος του νερού της κάθε πισίνας,** το οποίο δηλώνεται στο πεδίο Cover Schedule Name και παίρνει πληροφορίες από την υποκατηγορία Schedule: Compact. Η χρήση του καλύμματος έχει την ικανότητα να δεσμεύει την θερμότητα από τις προσπίπτουσες ηλιακές ακτίνες εμποδίζοντας την αντανάκλαση τους εκτός πισίνας ή την απορρόφησή τους. Παρόλα αυτά, για την συγκεκριμένη προσομοίωση δεν τοποθετήθηκε κάλυμμα σε καμία από τις δύο πισίνες του κολυμβητηρίου. Έτσι, το συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα παρουσιάζει μηδενικές τιμές καθόλη τη διάρκεια της ημέρας.
- **Ο καθορισμός του μέγιστου ρυθμού ροής νερού μεταξύ της κάθε πισίνας και του συστήματος θέρμανσης του νερού,** που δηλώνεται στο πεδίο Pool Heating System Maximum Water Flow Rate. Ο σωστός καθορισμός του συγκεκριμένου πεδίου σε συνδυασμό με την τιμή της θερμοκρασίας του νερού που προσφέρει το σύστημα θέρμανσης εξασφαλίζουν το μέγιστο θερμικό κέρδος για την κάθε πισίνα. Στη συγκεκριμένη προσομοίωση, χρησιμοποιήθηκε η ενδεικτική τιμή του EnergyPlus για το συγκεκριμένο πεδίο, δηλαδή 0,1m^3/s.
- **Ο καθορισμός του ρυθμού κατανάλωσης ενέργειας του εξοπλισμού της κάθε πισίνας ανά ροή νερού**, που γίνεται στα πεδίο Pool Miscellaneous Equipment Power. Το συγκεκριμένο πεδίο αφορά τις ενεργειακές σπατάλες που προκύπτουν από διεργασίες όπως το φιλτράρισμα και η χλωρίωση του νερού και ο πολλαπλασιασμός του με το ρυθμό παροχής νερού υπολογίζει τις συνολικές ενεργειακές καταναλώσεις του εξοπλισμού της κάθε πισίνας. Στη συγκεκριμένη προσομοίωση, χρησιμοποιήθηκε η ενδεικτική τιμή του EnergyPlus για το συγκεκριμένο πεδίο, δηλαδή 0,6W/(m^3/s).
- **Το χρονοδιάγραμμα επιθυμητής θερμοκρασίας νερού**, που δηλώνεται στο πεδίο Setpoint Temperature Schedule και παίρνει τιμές από την υποκατηγορία Schedule: Compact. Στη συγκεκριμένη προσομοίωση, δηλώθηκε σταθερή επιθυμητή θερμοκρασία νερού καθόλη τη διάρκεια της ημέρας στους 27^0C και για τις δύο πισίνες.

- **Ο μέγιστος αριθμός ατόμων εντός νερού**, που δηλώνεται στο πεδίο Maximum Number of People. Για την μικρή πισίνα δόθηκε η τιμή 11 στο συγκεκριμένο πεδίο και για την μεγάλη η τιμή 49. Οι τιμές αυτές προέκυψαν από τη μελέτη του προγράμματος λειτουργίας του ανοικτού κολυμβητηρίου Χανίων και του κλειστού κολυμβητηρίου της Πτολεμαΐδας.
- **Τα χρονοδιαγράμματα ανθρώπινης δραστηριότητας και πυκνότητας ανθρώπινης ύπαρξης για την κάθε πισίνα**, που δηλώνονται στα πεδία People Heat Gain και People Schedule αντίστοιχα και αντλούν πληροφορίες από την υποκατηγορία Schedule: Compact. Αναλυτική περιγραφή των χρονοδιαγραμμάτων αυτού του τύπου, που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη του κολυμβητηρίου, έγινε νωρίτερα.
- **Οι κόμβοι εισόδου και εξόδου του νερού**, που ενώνουν την κάθε πισίνα με το δίκτυο αγωγών παροχής ζεστού νερού.

Με αφορμή την τελευταία παράμετρο που αναφέρθηκε, πρέπει να γίνει κατανοητό στον αναγνώστη πως η υποκατηγορία SwimmingPool: Indoor αφορά μόνο τον προσδιορισμό και τη μοντελοποίηση μίας κολυμβητικής δεξαμενής σαν οντότητα, χωρίς να περιγράφει το σύστημα με το οποίο αυτή συνδέεται και την αλληλεπίδραση της με αυτό. Ουσιαστικά, η κάθε πισίνα αποτελεί μέρος της Demand side (πλευράς ζήτησης) ενός κλειστού κυκλώματος, το οποίο στην Supply side (πλευρά προσφοράς) διαθέτει εξοπλισμό θέρμανσης με σκοπό την κάλυψη των απαιτήσεων της πισίνας. Εκτενέστερη αναφορά για τη λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος καθώς και του συστήματος αερισμού του κολυμβητηρίου θα γίνει στην ενότητα HVAC Templates.



Εικόνα 5.59: Παράμετροι υποκατηγορίας SwimmingPool: Indoor

5.5.7 Κατηγορία Zone Air Flow

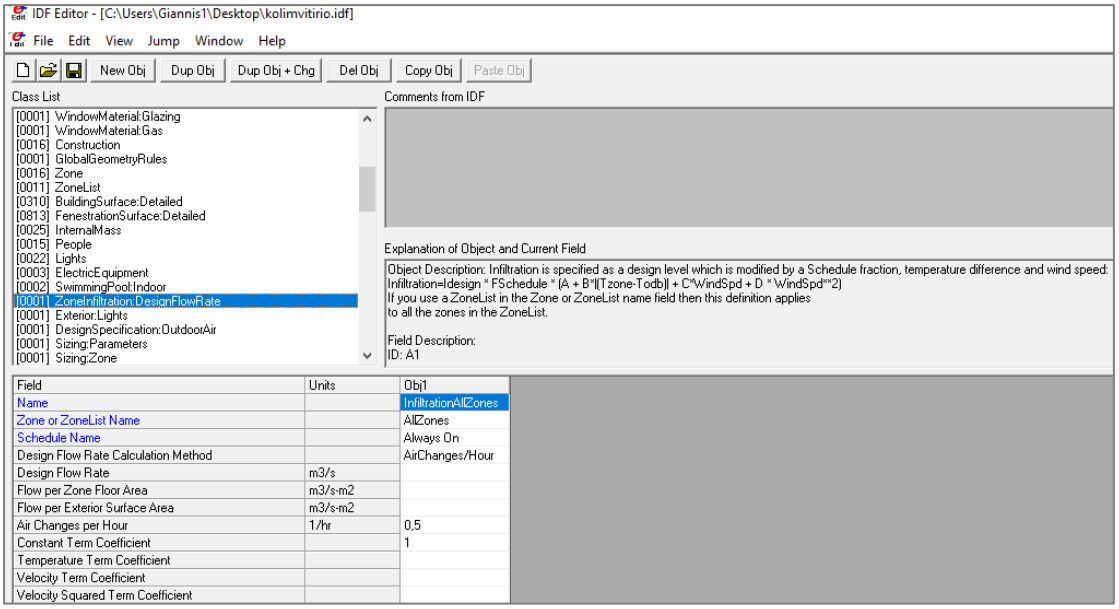
Η ροή του αέρα στους χώρους του κτιρίου αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα για τον καθορισμό της θερμικής τους άνεσης. Όπως αναλύθηκε εκτενώς και σε προηγούμενες ενότητες, υπάρχουν δύο διαφορετικού τρόποι αερισμού ενός κτιρίου, ο φυσικός και ο τεχνητός αερισμός. Ο φυσικός αερισμός στηρίζεται είτε στην ακούσια ροή του αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον απευθείας σε μία θερμική ζώνη, χωρίς αυτό να είναι σκόπιμο (διήθηση -infiltration), είτε στην σκόπιμη ροή αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον απευθείας σε μία θερμική ζώνη (άμεσος αερισμός-ventilation).

5.5.7.1 ZoneInfiltration: DesignFlowRate

Η διήθηση του αέρα σε ένα κτίριο προκαλείται συνήθως από τις ρωγμές των τοίχων και των κουφωμάτων, των παραθύρων, από το άνοιγμα και το κλείσιμο των εξωτερικών πορτών καθώς και από τα μικρά κενά μεταξύ των δομικών στοιχείων της εκάστοτε επιφάνειας. Η συγκεκριμένη υποκατηγορία είναι υπεύθυνη για τον ορισμό των παραμέτρων που περιγράφουν το φαινόμενο της διήθησης.

Στην προσομοίωση του κολυμβητηρίου, θεωρήθηκε ότι πραγματοποιείται μη ελεγχόμενη διείσδυση του εξωτερικού αέρα όλες τις ώρες σε όλη τη διάρκεια του έτους, ακόμη και τις μέρες που το κτίριο παραμένει κλειστό. Συνεπώς επιλέχθηκε το αντίστοιχο χρονοδιάγραμμα από την κατηγορία Schedule και εφαρμόστηκε σε όλες τις ζώνες του κτιρίου.

Όσον αφορά στην τιμή της διήθησης, πρέπει να αναφερθεί πως ο υπολογισμός της είναι ιδιαίτερα δύσκολος, καθώς εξαρτάται από την ποιότητα κατασκευής, την ταχύτητα του αέρα και αρκετούς ακόμη παράγοντες. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέχτηκε ο τρόπος υπολογισμού να είναι οι εναλλαγές του αέρα στο χώρο ανά ώρα. Λόγω της σχετικής παλαιότητας του κτιρίου, ορίστηκε στο πεδίο Air Changes per Hour η τιμή 0.5, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 5.60: Παράμετροι υποκατηγορίας ZoneInfiltration: DesignFlowRate

5.5.8 Κατηγορία HVAC Templates

Το λογισμικό EnergyPlus έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει την ενέργεια που καταναλώνεται μέσω της λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης και κλιματισμού σε ένα κτίριο, ώστε να εξασφαλιστεί η θερμική άνεση στους εσωτερικούς του χώρους.

Η κατηγορία HVAC Templates σχετίζεται άμεσα με τη λειτουργία τέτοιου είδους συστημάτων και αποτελεί τον πιο απλοϊκό τρόπο ορισμού τους. Ουσιαστικά, δίνει στον εκάστοτε χρήστη τη δυνατότητα να επιλέξει μέσα από μία λίστα «έτοιμων» πρότυπων συστημάτων, εκείνο που παρουσιάζει τα πιο πολλά κοινά χαρακτηριστικά με το ήδη υπάρχον στο κτίριο που προσπαθεί να μοντελοποιήσει. Παρέχει μάλιστα και περαιτέρω πληροφορίες (μέσω της επιλογής EnergyPlus Input/Output Reference του Ep-Launch) όσον αφορά στον κατάλληλο συνδυασμό των υποκατηγοριών που πρέπει να οριστούν, για τη δημιουργία των συστημάτων που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Το πιο ευρέως χρησιμοποιημένο πρότυπο από τους σχεδιαστές του

EnergyPlus στις μέρες μας είναι το «ιδανικό σύστημα θέρμανσης και κλιματισμού». Η μόνη βασική προϋπόθεση για τη σωστή λειτουργία του είναι ο ορισμός ενός θερμοστάτη, ο οποίος θέτει το σύστημα σε λειτουργία όταν οι θερμοκρασίες στο χώρο ξεπεράσουν τα επιτρεπτά όρια που έχουν οριστεί.

Στην προσομοίωση του κολυμβητηρίου βέβαια, προτιμήθηκε να μην γίνει χρήση κανενός από τα έτοιμα templates του EnergyPlus. Όπως έχει επισημανθεί πολλάκις, βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η πλήρης ανάπτυξη μίας μεθοδολογίας για τη γρήγορη και λιγότερο δαπανηρή ενεργειακή μελέτη ενός κτιρίου. Επομένως, κρίθηκε αναγκαία η αναλυτική περιγραφή των βημάτων που οφείλει να ακολουθήσει κάθε επίδοξος σχεδιαστής, για να ορίσει ένα ολοκληρωμένο σύστημα HVAC με όλα τα στοιχεία που το αποτελούν (αγωγοί, λέβητες, αντλίες, ανεμιστήρες, ψυκτικά και θερμικά μέσα κλπ), γεγονός που θα επιφέρει και πιο ακριβή αποτελέσματα. Πρακτικά, ήταν ούτως ή άλλως αδύνατο να χρησιμοποιηθεί αυτούσιο ένα έτοιμο πρότυπο συστήματος καθώς και σε αυτή την περίπτωση θα έπρεπε να γίνουν αρκετές μετατροπές για την ένταξη των δύο πισινών στο δίκτυο που δημιουργείται αυτόματα.

5.5.8.1 Επιλογή κατάλληλου συστήματος HVAC

Η μελέτη για την επιλογή του κατάλληλου προς υλοποίηση συστήματος ξεκίνησε από τα ηλεκτρομηχανολογικά σχέδια του κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά που αποκτήθηκαν από τη Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών Πολυτεχνείου Κρήτης. Παρόλα αυτά, οι πληροφορίες που συλλέχτηκαν από αυτά ήταν ελλιπείς και αφορούσαν ξεπερασμένες μεθόδους του παρελθόντος. Έτσι, με στόχο την επίτευξη μιας όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικής προσέγγισης της κατάστασης που επικρατεί στα κολυμβητήρια του σήμερα, επιλέχτηκε η προσομοίωση ενός συστήματος μεταβλητού όγκου αέρα (Variable Air Volume) με ότι αυτό συνεπάγεται για το δίκτυο θέρμανσης και ψύξης του κολυμβητηρίου.

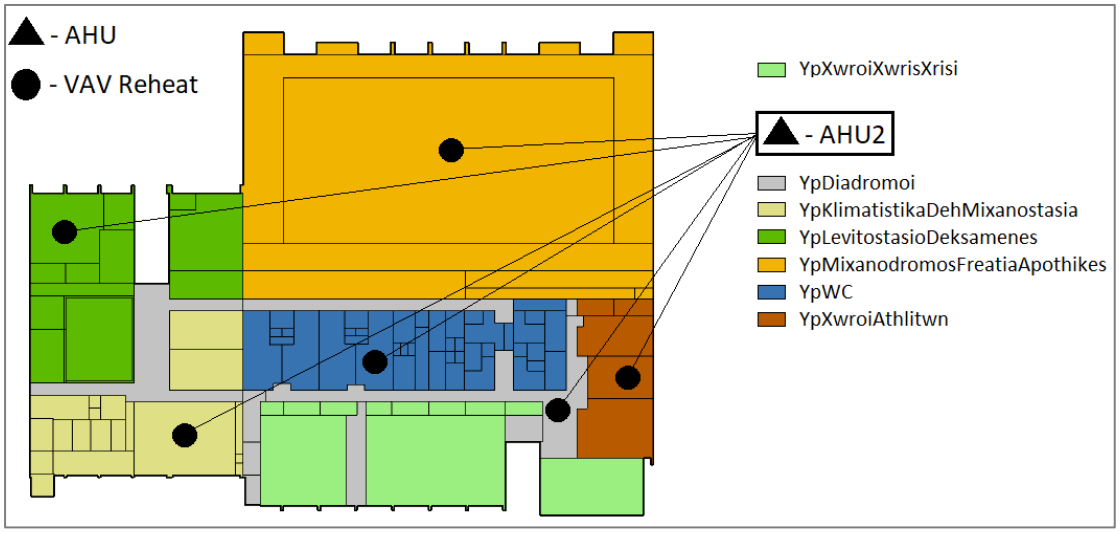
Όσον αφορά στον τύπο του κιβωτίου που χρησιμοποιήθηκε, το VAV Reheat Box κρίθηκε το πλέον κατάλληλο για την κάλυψη των αναγκών του κολυμβητηρίου, καθώς είναι ικανό να παρέχει θερμότητα ή ψύξη σε ένα χώρο με διαφορετικές ανάγκες χωρίς να επηρεάζει την θερμοκρασία στους υπόλοιπους, ενώ παράλληλα, φιλτράρει καλύτερα τον αέρα και απορροφά την υγρασία. Επίσης, είναι ενεργειακά πιο ευφυές από ένα απλό κιβώτιο VAV, χωρίς να έχει πολύ μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης-συντήρησης και παραμένοντας σχετικά αθόρυβο.

Το επόμενο βήμα ήταν ο καθορισμός του αριθμού των κεντρικών κλιματιστικών μονάδων, που έγινε με βάση τα σχέδια του κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά. Όπως φαίνεται στις Εικόνες 5.61, 5.62, ορίστηκαν τρεις κεντρικές μονάδες διαχείρισης αέρα (AHU) για την κάλυψη των αναγκών κάθε χώρου του κολυμβητηρίου. Η αντιστοίχηση των ζωνών στα AHUs, έγινε με βάση το γεωγραφικό τους προσανατολισμό (για τη διευκόλυνση δημιουργίας δικτύου αγωγών) και με

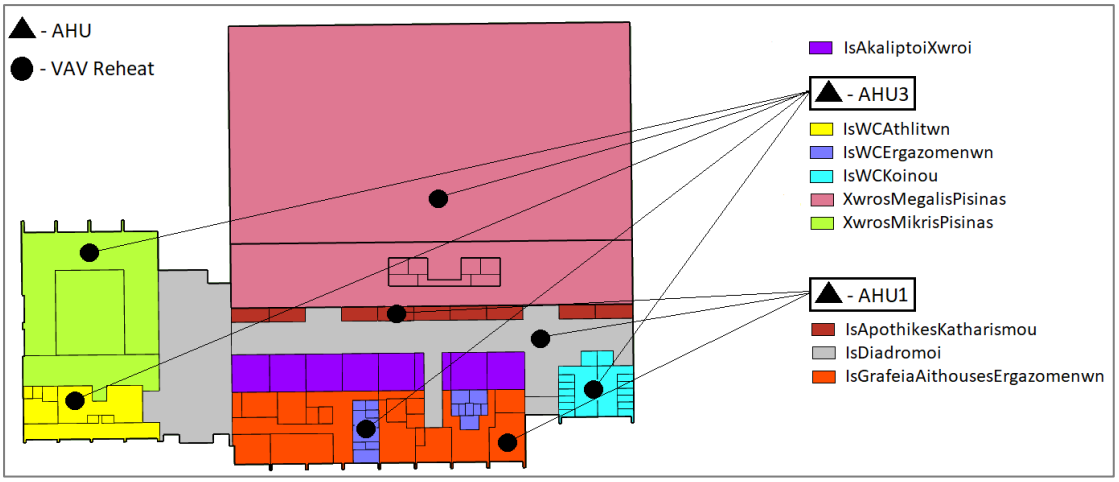
σκοπό την ομαδοποίηση αυτών που παρουσιάζουν παρόμοιες εσωτερικές συνθήκες και ανάγκες. Έτσι προέκυψαν τα εξής:

- Η μονάδα AHU1 αντιστοιχεί στις ζώνες: IsApothikesKatharismou, IsDiadromoi, IsGrafeiaAithousesErgazomenwn.
- Η μονάδα AHU2 αντιστοιχεί στις ζώνες του υπογείου, δηλαδή: YpDiadromoi, YpLevitostasioDeksamenes, YpXwroiAthlitwn, YpKlimatistikaDehMixanostasia, YpMixanodromosFreatiaApothikes, YpWC.
- Η μονάδα AHU3 αντιστοιχεί στις ζώνες του ισογείου που αφορούν τις αθλητικές εγκαταστάσεις και τους χώρους υγιεινής, δηλαδή: XwrosMikrisPisinas, XwrosMegalisPisinas, IsWCAthlitwn, IsWCErgazomenwn, IsWCKoinou.
- Οι ζώνες YpXwroiXwrisXrisi, IsAkaliptoiXwroi αφορούν χώρους του κτιρίου που δεν χρησιμοποιούνται και έτσι έμειναν εκτός δικτύου HVAC.

Όσον αφορά στη διάταξη που επιλέχτηκε για τα VAV Reheat Boxes, τοποθετήθηκε ένα στην είσοδο κάθε ζώνης.



Εικόνα 5.61: Σχεδιάγραμμα συστήματος αερισμού του υπογείου με τη χρήση VAV Reheat για κάθε ζώνη



Εικόνα 5.62: Σχεδιάγραμμα συστήματος αερισμού του ισογείου με τη χρήση VAV Reheat για κάθε ζώνη

5.5.8.2 Βασική ορολογία για τη δημιουργία HVAC συστημάτων στο EnergyPlus

Πριν την έναρξη της περιγραφής και σχεδίασης των μερών του HVAC συστήματος, είναι απαραίτητη η αναφορά στην ορολογία που χρησιμοποιεί το εγχειρίδιο του EnergyPlus, για την περιγραφή της συνδεσμολογίας και των μερών ενός τέτοιου συστήματος.

Οι βρόχοι (Loops) είναι βασικά δομικά στοιχεία του λογισμικού EnergyPlus. Ουσιαστικά αποτελούν την κλειστή διαδρομή, μέσα στην οποία κινείται το ψυκτικό ή θερμικό μέσο που χρησιμοποιείται από το σύστημα. Υπάρχουν τρία διαφορετικά είδη βρόχων. Το πρώτο αφορά τους βρόχους κρύου ή θερμού νερού αντίστοιχα(Chilled Water Loop, Hot Water Loop), το δεύτερο τους βρόχους συμπύκνωσης (Condenser Loop) και το τρίτο τους βρόχους αέρα (Air Loop).

Κάθε βρόχος μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη: την πλευρά ζήτησης (Demand Side) και την πλευρά προσφοράς (Supply Side). Η πλευρά της ζήτησης αφορά τα μέρη του συστήματος που απαιτούν ικανοποίηση κάποιων συγκεκριμένων συνθηκών για τη λειτουργία τους, ενώ η πλευρά της προσφοράς αναφέρεται στον εξοπλισμό που εξασφαλίζει την ικανοποίηση αυτών των συνθηκών. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να αντιληφθεί κανείς, πως μέρη του συστήματος που ανήκουν σε περισσότερους από έναν βρόχους, υπάρχει πιθανότητα να βρίσκονται στη Demand Side για τον έναν και στη Supply Side για τον άλλο. Στην Εικόνα 6.63 για παράδειγμα, όταν αναφερόμαστε στο Chilled Water Loop, το Big Chiller1 ανήκει στη Supply Side, καθώς πρέπει να παγώσει το νερό για να το στείλει στα κλιματιστικά, ενώ όταν αναφερόμαστε στο Condenser Loop, το Big Chiller1 ανήκει στη Demand Side, αφού περιμένει τη συμπύκνωση του νερού για να λειτουργήσει.

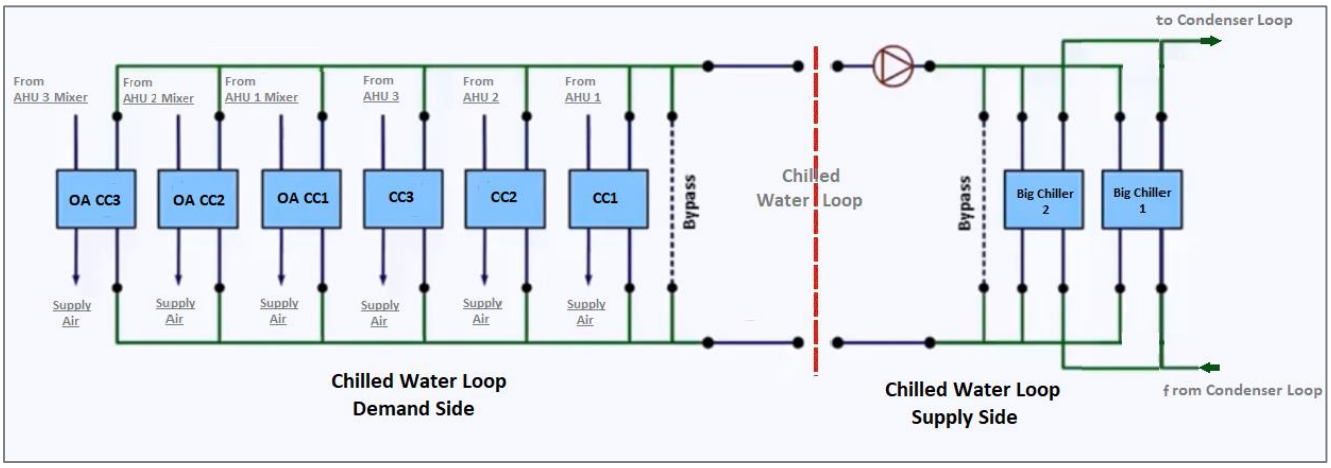
Οι διακλαδώσεις (Branches) είναι και αυτές με τη σειρά τους βασικά δομικά στοιχεία του λογισμικού EnergyPlus, κατώτερης όμως ιεραρχίας. Στην πράξη, είναι τμήματα διαφόρων βρόχων, τα οποία οριοθετούνται από έναν αρχικό και ένα τελικό

κόμβο (Node). Ο προσδιορισμός ενός κόμβου ως αρχικός ή τελικός, γίνεται με βάση τη φορά της ροής του μέσου (υγρό ή αέρας) που κινείται μέσα στον εκάστοτε βρόχο. Ενδιάμεσα των δύο κόμβων μίας διακλάδωσης ορίζεται ο **εξοπλισμός (Equipment)** αυτής και απαραίτητα **ένας αγωγός παράκαμψης (Bypass pipe)**, που χρησιμοποιείται μόνο όταν όλα τα μέρη του εξοπλισμού βρίσκονται εκτός λειτουργίας.

Τελευταίο, αλλά πολύ σημαντικό στοιχείο ενός βρόχου αποτελεί **η αντλία θερμότητας (Heat pump)**, η οποία τοποθετείται απαραιτήτως στην αρχή της πλευράς προσφοράς και είναι υπεύθυνη για τον καθορισμό της φοράς της ροής του μέσου (υγρό ή αέρας) που χρησιμοποιεί ο συγκεκριμένος βρόχος. Μόνο με τη χρήση αυτής, μπορεί να επιτευχθεί στο σημείο που ορίζεται, μεταφορά ενέργειας με φορά «αντίθετή του φυσιολογικού», δηλαδή από το πιο ψυχρό μέσο της Demand Side στο πιο θερμό της Supply Side.

5.5.8.3 Δημιουργία συστήματος ψύξης

Μετά την ολοκλήρωση της περιγραφής των βασικών στοιχείων θεωρίας, στα οποία θα γίνεται συχνή αφορά στη συνέχεια, σειρά έχει η ανάλυση του τρόπου σχεδίασης του συστήματος ψύξης (Εικόνα 5.63). Στόχος είναι η δημιουργία όλων των Branches, Nodes και Equipments που συνθέτουν το κάθε Loop.



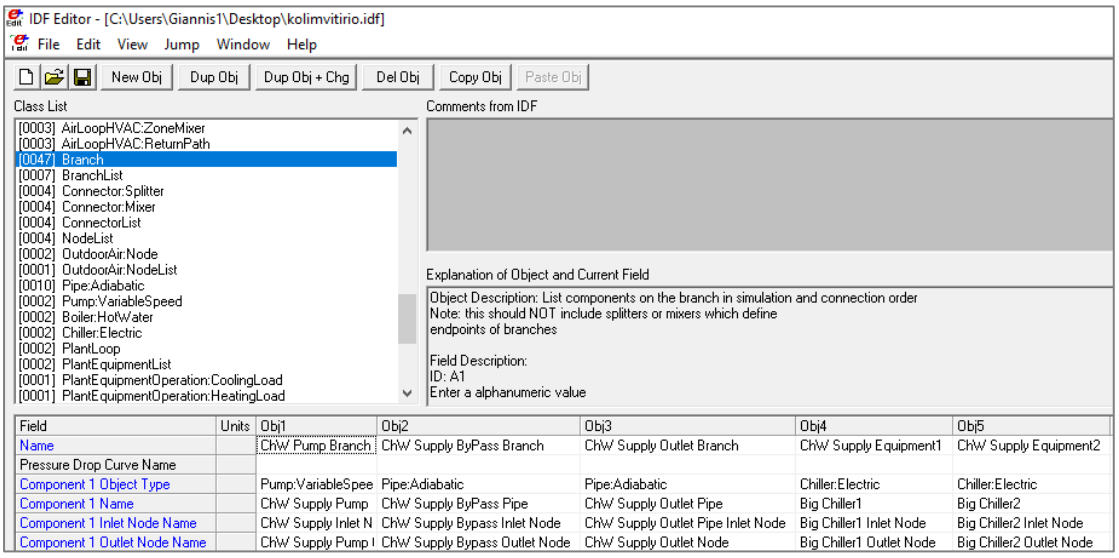
Εικόνα 5.63: Σχηματικό διάγραμμα Chilled Water Loop

Αρχικά, σχεδιάστηκε το Chilled Water Loop και πιο συγκεκριμένα η Supply Side αυτού, η οποία αποτελείται από πέντε στοιχεία: την αντλία θερμότητας, τους δύο λέβητες ψύξης, τον αγωγό παράκαμψης και τον αγωγό εξόδου. Η μοντελοποίηση αυτών στο EnergyPlus έγινε με την εισαγωγή πληροφοριών στις εξής υποκατηγορίες:

I. Branch

Στη συγκεκριμένη υποκατηγορία, δηλώθηκαν αρχικά όλα τα μέρη που συνθέτουν την πλευρά προσφοράς του συγκεκριμένου βρόχου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.64. Τα βασικά πεδία που πρέπει να συμπληρωθούν για το σωστό καθορισμό

ενός Branch, είναι το όνομα του, το όνομα του στοιχείου που περιέχει και των κόμβων του.



Εικόνα 5.64: Παράμετροι υποκατηγορίας Branch για την περιγραφή της Supply Side του Chilled Water Loop

Στη συνέχεια, είναι απαραίτητη η δημιουργία όλων των επιμέρους στοιχείων που συνθέτουν το κάθε Branch της Supply Side του Chilled Water Loop.

II. Pump: VariableSpeed

Οι αντλίες χρησιμοποιούνται τόσο στους βρόχους υγρού μέσου όσο και στους βρόχους αέρα. Για τη δήλωση της αντλίας, απαιτήθηκε εκτός από τον ορισμό του ονόματος της και των κόμβων εισόδου και εξόδου αυτής, η εισαγωγή επιπλέον πληροφοριών στα πεδία που αφορούν τη λειτουργία της. Τα περισσότερα από αυτά τα πεδία συμπληρώθηκαν με βάση τις ενδεικτικές τιμές που αναφέρονται στο EnergyPlus Input/Output Reference. Ιδιαίτερη προσοχή βέβαια δόθηκε στα πεδία Pump Control Type και Design Power Consumption, που επηρεάζουν άμεσα την ενεργειακή συμπεριφορά της αντλίας.

Το πρώτο πεδίο αφορά τον τρόπο ελέγχου της λειτουργίας της και η τιμή του ορίστηκε ως Intermittent. Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι η αντλία χρησιμοποιείται διακοπτόμενα, δηλαδή όταν υπάρχει φορτίο στο βρόχο λειτουργεί κανονικά προσπαθώντας να επιτύχει τιμή ροής σύμφωνα με τα επιθυμητά όρια που θέτει η πλευρά ζήτησης, ενώ σε αντίθετη περίπτωση η λειτουργία της σταματά.

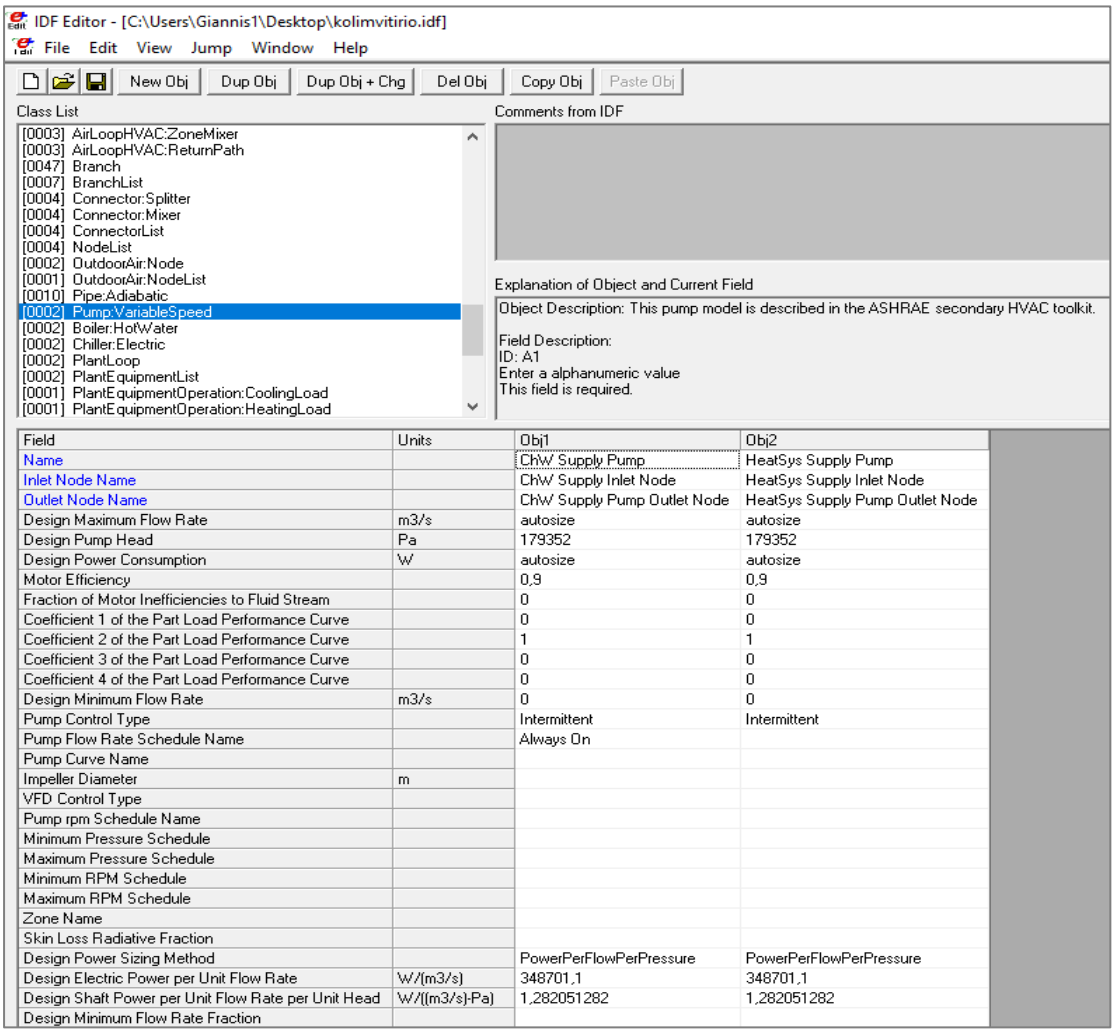
Το δεύτερο πεδίο σχετίζεται με την κατανάλωση ενέργειας της αντλίας και μετριέται σε Watts. Ο υπολογισμός του ορίστηκε ως autosize, δηλαδή θα πραγματοποιηθεί από το ίδιο το λογισμικό του EnergyPlus. Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η επιλογή αρχικά του τρόπου υπολογισμού από το χρήστη στο πεδίο Design Power Sizing Method. Στην περίπτωση του κολυμβητηρίου, δόθηκε η επιλογή

PowerPerFlowPerPressure και έτσι ο υπολογισμός της κατανάλωσης ενέργειας της αντλίας έγινε σύμφωνα με την εξίσωση:

Design Power Consumption = Design Maximum Flow Rate * Design Pump Head * scaling factor/Motor Efficiency

, όπου η τιμή στη μεταβλητή scaling factor δίνεται από το πεδίο Design Shaft Power per Unit Flow Rate per Unit Head και αφορά τον βαθμό απόδοσης του στροφείου και η μεταβλητή Motor Efficiency την απόδοση του οδηγού της αντλίας. Αντίστοιχα η τιμή στη μεταβλητή Design Pump Head σχετίζεται με μετρούμενη σε Pascal πίεση.

Όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.65, στην οποία φαίνεται και η δεύτερη αντλία που δημιουργήθηκε αργότερα με τον ίδιο τρόπο για τις ανάγκες του συστήματος θέρμανσης.



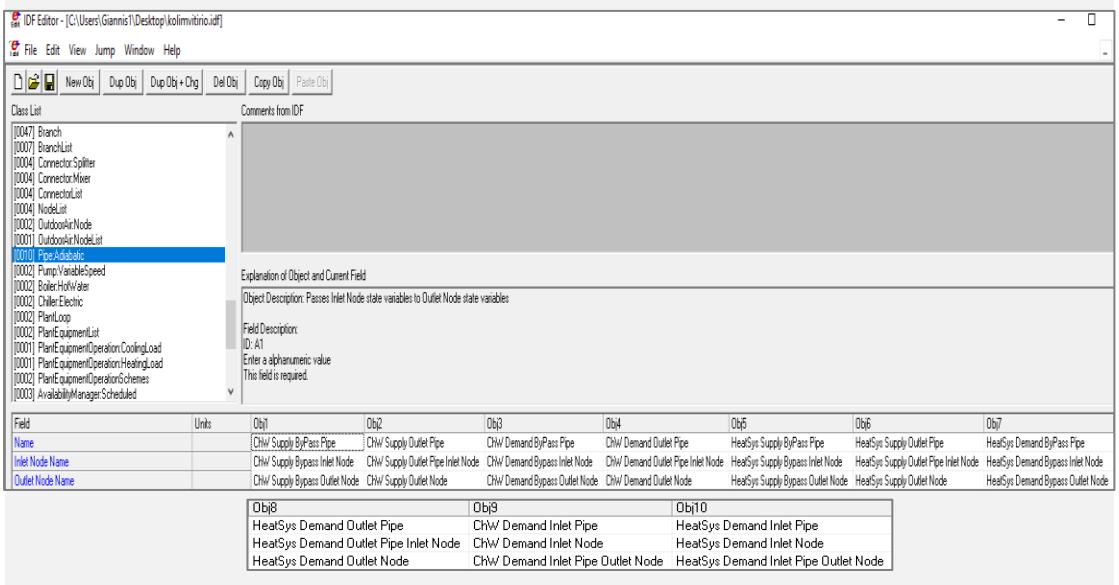
Field	Units	Obj1	Obj2
Name		ChW Supply Pump	HeatSys Supply Pump
Inlet Node Name		ChW Supply Inlet Node	HeatSys Supply Inlet Node
Outlet Node Name		ChW Supply Pump Outlet Node	HeatSys Supply Pump Outlet Node
Design Maximum Flow Rate	m3/s	autosize	autosize
Design Pump Head	Pa	179352	179352
Design Power Consumption	W	autosize	autosize
Motor Efficiency		0,9	0,9
Fraction of Motor Inefficiencies to Fluid Stream		0	0
Coefficient 1 of the Part Load Performance Curve		0	0
Coefficient 2 of the Part Load Performance Curve		1	1
Coefficient 3 of the Part Load Performance Curve		0	0
Coefficient 4 of the Part Load Performance Curve		0	0
Design Minimum Flow Rate	m3/s	0	0
Pump Control Type		Intermittent	Intermittent
Pump Flow Rate Schedule Name		Always On	
Pump Curve Name			
Impeller Diameter	m		
VFD Control Type			
Pump rpm Schedule Name			
Minimum Pressure Schedule			
Maximum Pressure Schedule			
Minimum RPM Schedule			
Maximum RPM Schedule			
Zone Name			
Skin Loss Radiative Fraction			
Design Power Sizing Method		PowerPerFlowPerPressure	PowerPerFlowPerPressure
Design Electric Power per Unit Flow Rate	W/(m3/s)	348701,1	348701,1
Design Shaft Power per Unit Flow Rate per Unit Head	W/((m3/s)-Pa)	1,282051282	1,282051282
Design Minimum Flow Rate Fraction			

Εικόνα 5.65: Παράμετροι υποκατηγορίας Pump: VariableSpeed

III. Pipe: Adiabatic

Στην υποκατηγορία Pipe: Adiabatic, δηλώθηκαν ο αγωγός παράκαμψης και ο αγωγός εξόδου της πλευράς προσφοράς του Chilled Water Loop, ορίζοντας το όνομα

του καθενός και τον κόμβο εισόδου και εξόδου αυτού (Εικόνα 5.66). Στη συγκεκριμένη εικόνα, παρουσιάζονται και οι αγωγοί που χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια.



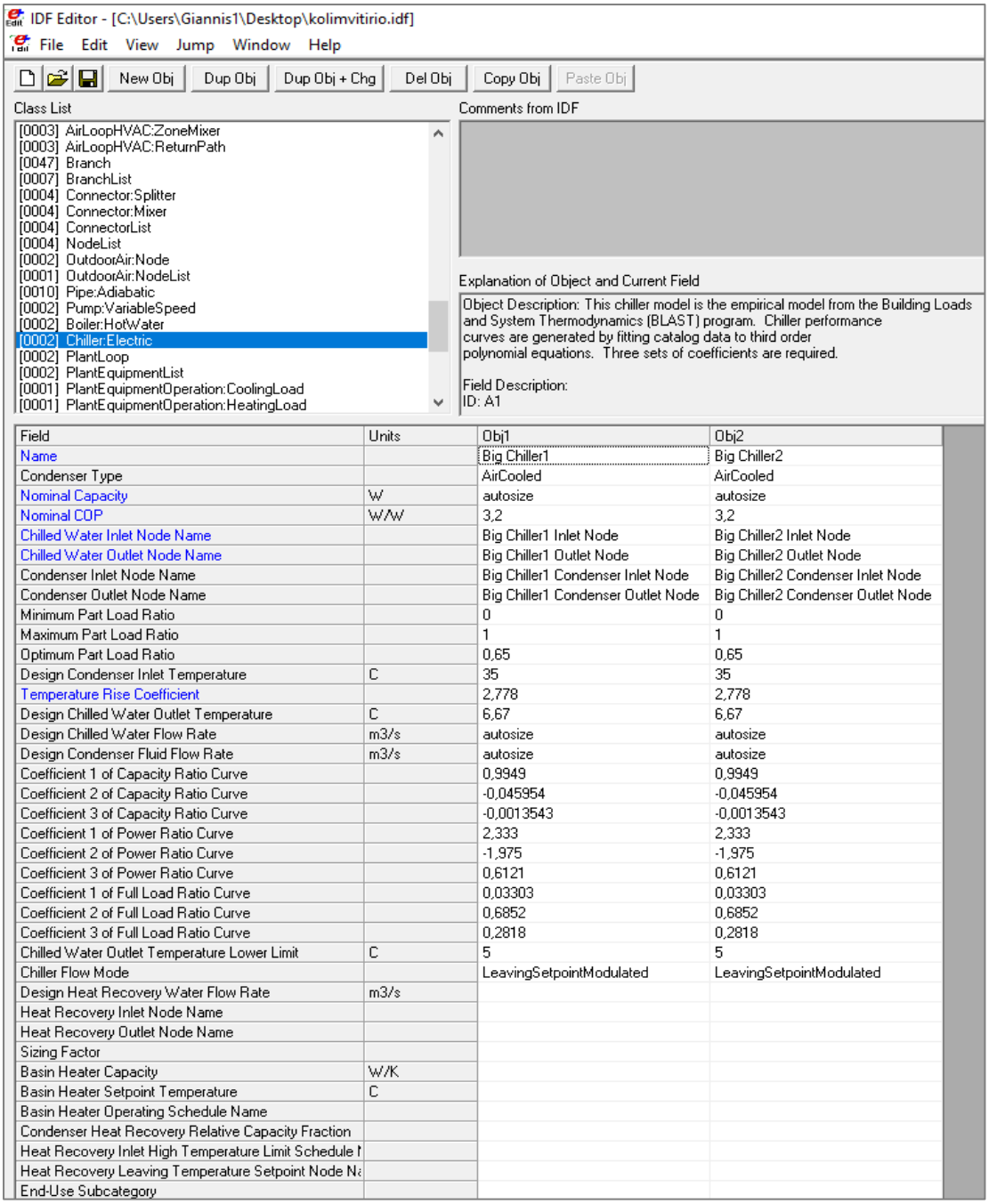
Εικόνα 5.66: Παράμετροι υποκατηγορίας Pipe: Adiabatic

IV. Chiller: Electric

Στη συγκεκριμένη κατηγορία, δηλώθηκαν τα χαρακτηριστικά των δύο Chillers που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση του κολυμβητηρίου. Αρχικά, ορίστηκε το όνομα και οι κόμβοι εισόδου, εξόδου του καθενός. Στη συνέχεια, ο συμπυκνωτής που επιλέχτηκε για τη σωστή λειτουργία του ψύκτη, ορίστηκε ως αερόψυκτος.

Η επιλογή του τύπου έγινε με βάση τα σχέδια του κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά, που περιείχαν τέτοιου είδους συμπυκνωτές και αξιολογώντας τα θετικά που προσφέρει η συγκεκριμένη επιλογή, όπως η απαίτηση μικρού χώρου εγκατάστασης, ο υψηλός συντελεστής απόδοσης και η εύκολη εφαρμογή σε μεσαίου μεγέθους κτίρια. Παράλληλα, δεν χρειάστηκε η αναλυτική σχεδίαση του Condenser Loop που θα ήταν απαραίτητη στην περίπτωση του υδρόψυκτου Chiller, καθώς δεν υπάρχει πύργος ψύξης.

Όσον αφορά στα λειτουργικά χαρακτηριστικά, το EnergyPlus επιχειρεί τον προσδιορισμό της χωρητικότητας, της ισχύος και του πλήρους φορτίου με βάση τη μελέτη συγκεκριμένων καμπυλών απόδοσης. Ο χρήστης οφείλει να ορίσει τα απαραίτητα σημεία για τη δημιουργία των καμπυλών απόδοσης, που στην περίπτωση του κολυμβητηρίου, αυτό έγινε με βάση τις προτεινόμενες τιμές του EnergyPlus.

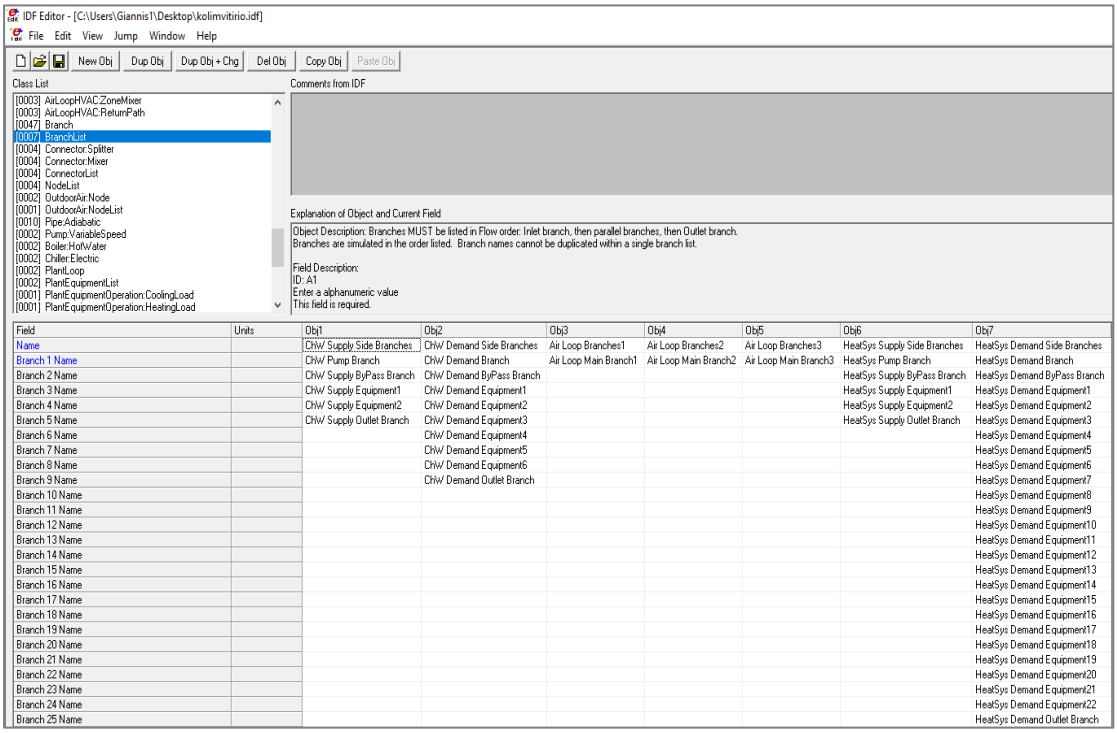


Εικόνα 5.67: Παράμετροι υποκατηγορίας Chiller: Electric

V. BranchList

Μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας όλων των επιμέρους στοιχείων, είναι απαραίτητος ο ορισμός της πλευράς προσφοράς του Chilled Water Loop. Αυτό γίνεται με τη δημιουργία μίας λίστας, που εμπεριέχει όλα αυτά τα στοιχεία, μέσω της υποκατηγορίας BranchList. Σημειώνεται ότι για το σωστό καθορισμό αυτής, πρέπει η αναφορά των στοιχείων να γίνεται με σειρά ροής, δηλαδή πρώτα το Inlet Branch, μετά τα παράλληλα Branches και τέλος το Outlet Branch.

Στην Εικόνα 5.68, παρουσιάζονται όλες οι λίστες από Branches που δημιουργήθηκαν για τη συνολική λειτουργία του HVAC συστήματος. Οι λίστες που αφορούν την πλευρά ζήτησης του συστήματος ψύξης, την πλευρά προσφοράς και ζήτησης του συστήματος θέρμανσης και του συστήματος αερισμού θα αναλυθούν στη συνέχεια.

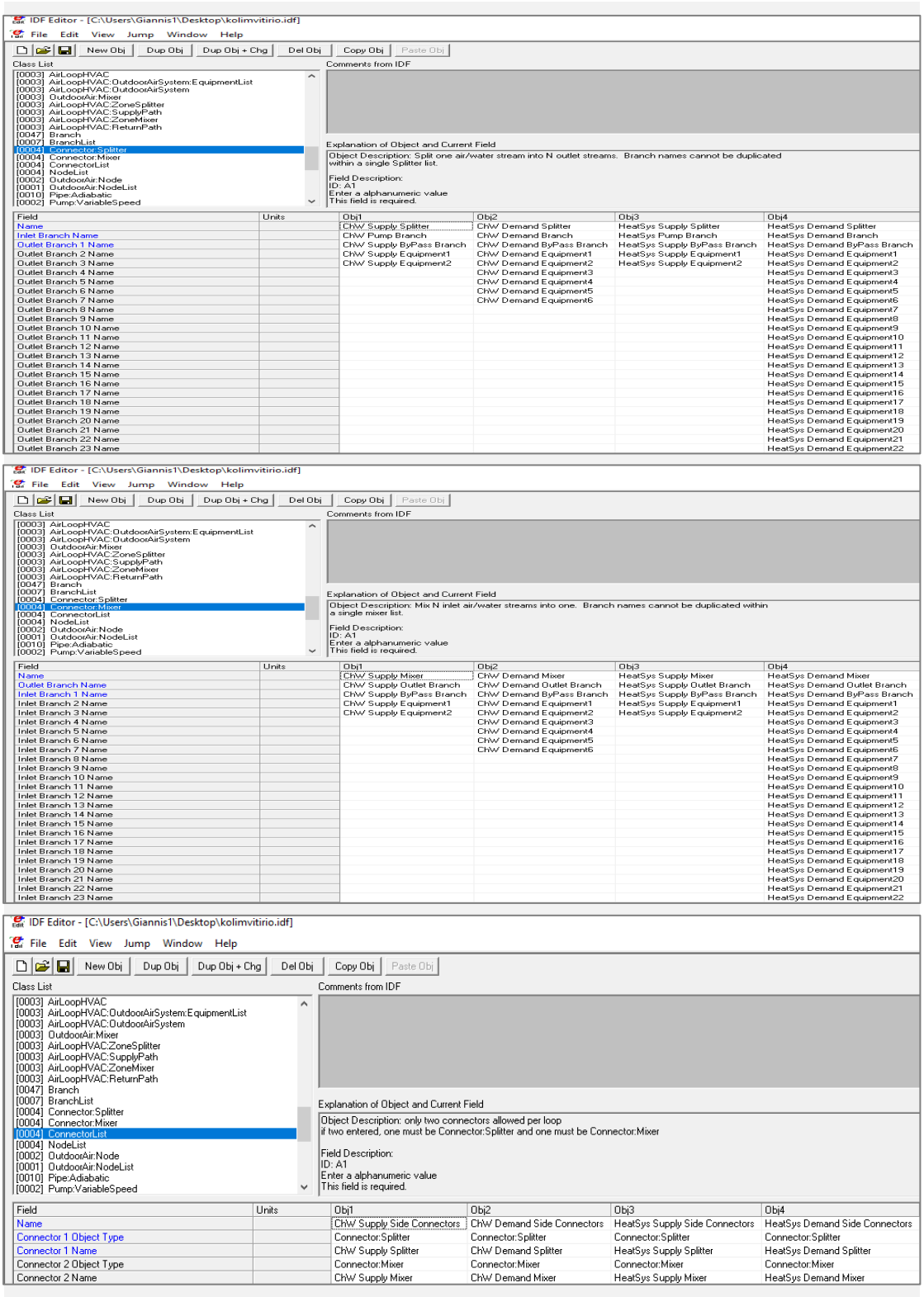


Εικόνα 5.68: Παράμετροι υποκατηγορίας BranchList

VI. Connector: Splitter, Mixer – ConnectorList

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.63, που αναλύθηκε νωρίτερα, όταν το νερό του συστήματος ψύξης περάσει το Branch της θερμικής αντλίας της Supply Side, διανέμεται κατάλληλα σε τρία Branches (δύο για τα Chillers και ένα για τον αγωγό παράκαμψης), ενώ στη συνέχεια αναμιγνύεται ξανά και μεταφέρεται στη πλευρά ζήτησης μέσω του αγωγού εξόδου.

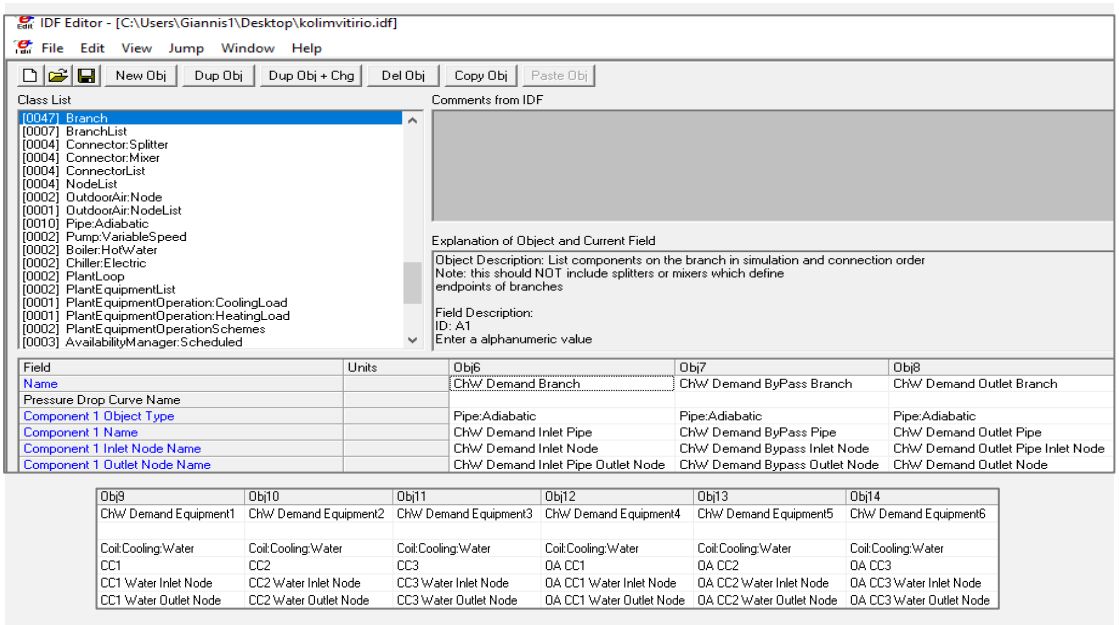
Για την προσομοίωση της συγκεκριμένης διαδικασίας, απαιτήθηκε η δήλωση ενός διασπαστή (Splitter) αρχικά και ενός αναμίκτη (Mixer) στη συνέχεια, όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.69. Πρέπει να αναφερθεί πως για τη σωστή αποτύπωση του συστήματος, ο χρήστης οφείλει να χρησιμοποιεί ένα Splitter και ένα Mixer για κάθε πλευρά του βρόχου που περιγράφει. Παράλληλα το EnergyPlus επιβάλλει την δημιουργία μία λίστας στην υποκατηγορία ConnectorList, στην οποία θα αναφέρονται όλοι οι διασπαστές και αναμίκτες που χρησιμοποιούνται στο σύστημα. Σημειώνεται ότι στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται και στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό βρόχων που θα αναλυθούν στη συνέχεια.



Εικόνα 5.69: Παράμετροι υποκατηγοριών: Connector: Splitter, Connector: Mixer, ConnectorList

Μετά τη συμπλήρωση και των συγκεκριμένων υποκατηγοριών, ολοκληρώθηκε η ο ορισμός της Supply Side του Chilled Water Loop. Για τον ορισμό της Demand Side αντίστοιχα, χρησιμοποιήθηκε ακριβώς η ίδια διαδικασία με τη

σειρά που περιγράφτηκε νωρίτερα. Η μόνη διαφορά αφορά ορισμένα από τα Branches του συγκεκριμένου μέρους του βρόχου που φαίνονται στην Εικόνα 5.70.



Εικόνα 5.70: Παράμετροι υποκατηγορίας Branch για την περιγραφή της Demand Side του Chilled Water Loop

Παρατηρείται η απουσία θερμικής αντλίας, καθώς ενδεχόμενη χρήση της και στην πλευρά ζήτησης θα προκαλούσε υπερθέρμανση του συστήματος, ενώ παράλληλα τα στοιχεία που αφορούσαν τα Chillers έχουν αντικατασταθεί από τα Cooling Coils. Ο ορισμός των συγκεκριμένων ψυκτικών μέσων είναι απαραίτητος για τη λειτουργία τόσο του συστήματος αερισμού που θα αναλυθεί στη συνέχεια όσο και του συστήματος μίξης εσωτερικού-εξωτερικού αέρα που αυτό χρησιμοποιεί.

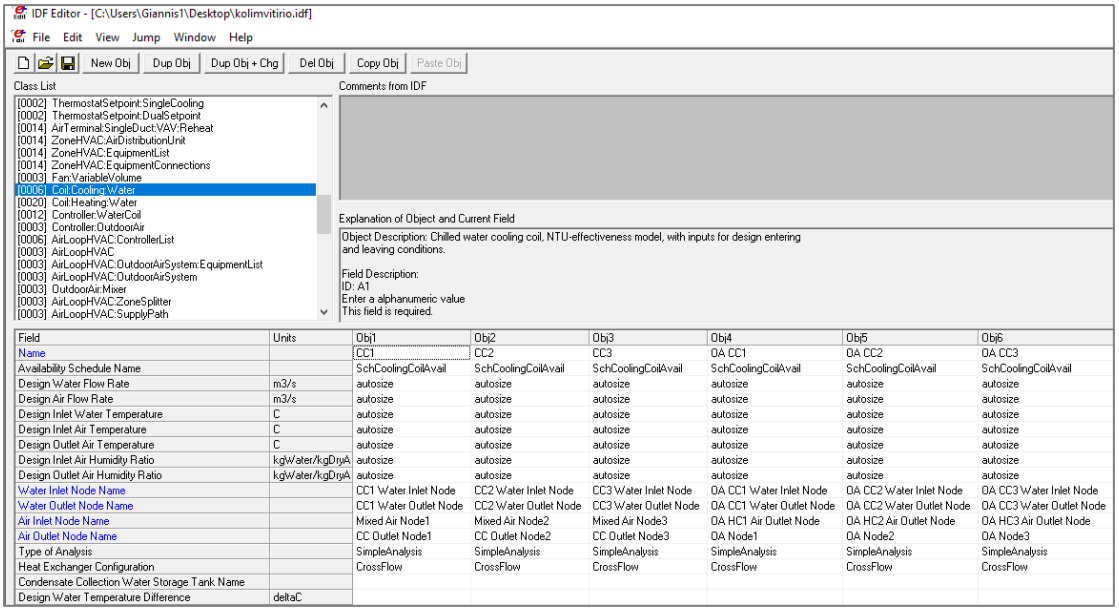
VII. Coil: Cooling: Water

Η υποκατηγορία Coil: Cooling: Water (Εικόνα 5.71) είναι υπεύθυνη για τον ορισμό όλων των ψυκτικών μέσων που αναφέρθηκαν, έχοντας τη δυνατότητα έκδοσης αναλυτικών αποτελεσμάτων χωρίς να επιβαρύνει το χρήστη με τον ορισμό πολύπλοκης γεωμετρίας. Αντιθέτως ο ορισμός ενός ψυκτικού μέσου απαιτεί στοιχεία θερμοδυναμικού τύπου, όπως η θερμοκρασία, ο ρυθμός ροής και τα ποσοστά υγρασίας που υπολογίζονται αυτόματα από το EnergyPlus. Το λογισμικό αξιοποιεί αυτά τα στοιχεία σε συνδυασμό με τις συνθήκες λειτουργίας και έτσι υπολογίζει το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας.

Στην περίπτωση της προσομοίωσης του κολυμβητηρίου, ορίστηκαν για κάθε κεντρική μονάδα δύο Cooling Coils (ένα για τη λειτουργία της μονάδας και ένα για τη λειτουργία του μίκτη με τον οποίο αυτή συνεργάζεται), δηλαδή συνολικά το σύστημα ψύξης διαθέτει έξι Cooling Coils. Για τη δημιουργία τους, αρχικά χρειάστηκε να ορίσουμε το χρονοδιάγραμμα διαθεσιμότητας τους. Αυτό αφορά το διάστημα 06:00 έως 20:00, όπου αυξάνονται οι ανάγκες ψύξης-αερισμού του

κολυμβητηρίου, ενώ για τις ημέρες με ακραία καιρικά φαινόμενα δεν υπάρχει κανένας περιορισμός στο χρόνο επεξεργασίας τους.

Επιπλέον, ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στα πεδία Type of Analysis Heat και Exchanger Configuration. Στο πρώτο, ορίστηκε η τιμή SimpleAnalysis, έτσι ώστε να αποφευχθεί ο πρόσθετος χρόνος υπολογισμού σύνθετων παραμέτρων κατά την προσομοίωση. Στο δεύτερο πεδίο, που αφορά τους εναλλάκτες που χρησιμοποιεί το σύστημα, ορίστηκε η τιμή CrossFlow, καθώς τα περισσότερα συστήματα κλιματισμού στις μέρες μας χρησιμοποιούν εναλλάκτες σταυρωτής ροής. Κλείνοντας, ορίστηκε και το σύστημα αγωγών που συνδέει το κάθε ψυκτικό μέσο με την αντίστοιχη κεντρική μονάδα διαχείρισης αέρα στις υποκατηγορίες Air Inlet Node Name και Air Outlet Node Name.

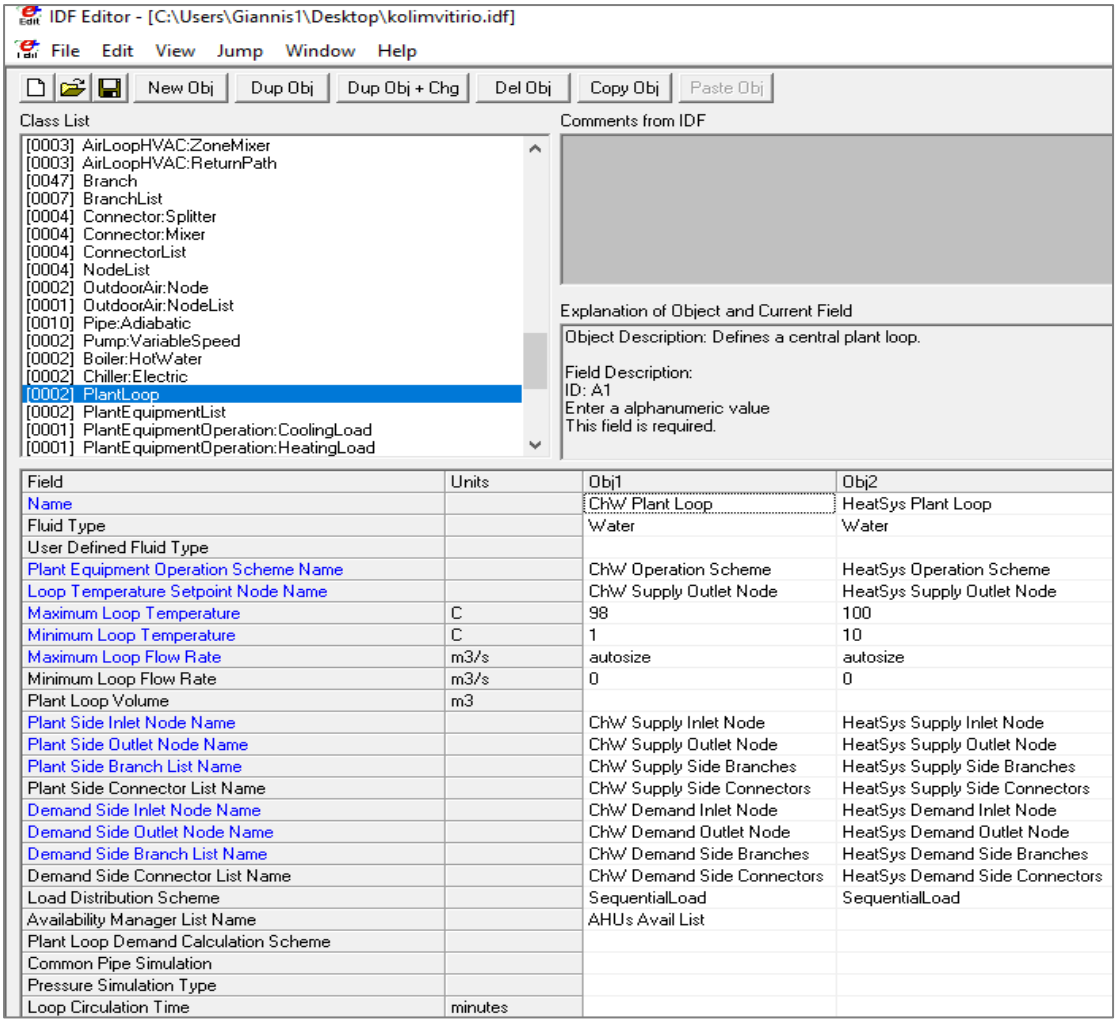


Εικόνα 5.71: Παράμετροι υποκατηγορίας Coil: Cooling: Water

VIII. PlantLoop

Το επόμενο βήμα μετά την ολοκλήρωση και της Demand Side, με τη χρήση των κατάλληλων Splitter και Mixer, όπως περιγράφτηκε νωρίτερα, σειρά είχε ο καθορισμός της συνδεσμολογίας μεταξύ των δύο πλευρών (Supply Side, Demand Side) του συστήματος ψύξης.

Στην υποκατηγορία PlantLoop, ορίστηκαν όλα τα μέρη που συνθέτουν το βρόχο ψύξης καθώς και η μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος ψύξης. Στην Εικόνα 5.72 παρουσιάζονται τόσο ο βρόχος ψύξης όσο και ο βρόχος θέρμανσης που θα περιγραφεί στη συνέχεια.

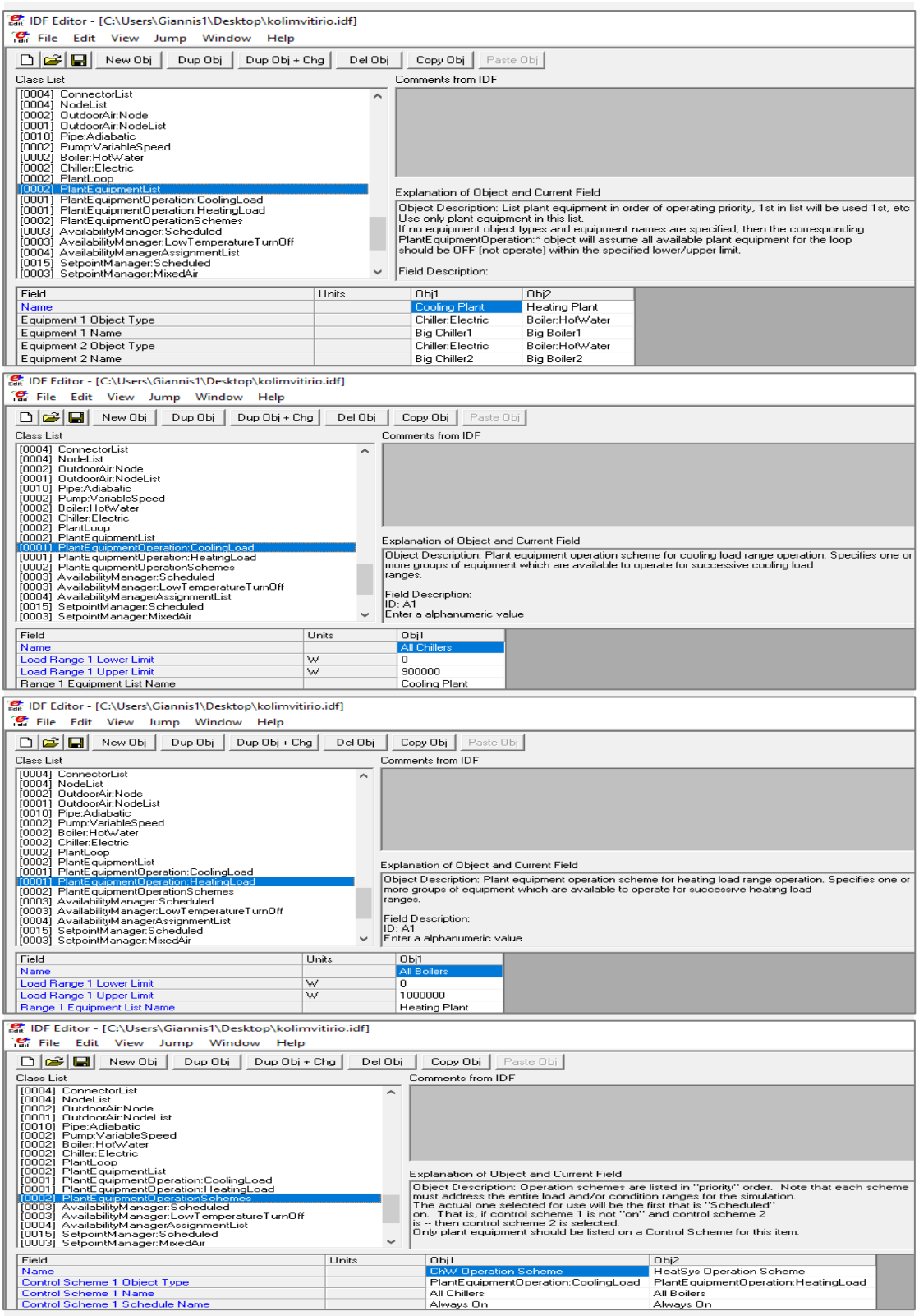


Εικόνα 5.72: Παράμετροι υποκατηγορίας PlantLoop

IX. PlantEquipmentOperationSchemes

Για τον καθορισμό του πεδίου Plant Equipment Operation Scheme Name της υποκατηγορίας PlantLoop, που αφορά το πλάνο λειτουργίας του συστήματος ψύξης, χρειάστηκε η περιγραφή των υποκατηγοριών PlantEquipmentList, PlantEquipmentOperation: CoolingLoad. Η πρώτη υποκατηγορία αναφέρεται σε όλα τα μέρη και τον συνδυασμό αυτών που χρησιμοποιεί το σύστημα σε κάθε πλάνο λειτουργίας του, ενώ η δεύτερη υποκατηγορία αφορά το όριο του φορτίου (Watts), μέχρι το οποίο χρησιμοποιείται το κάθε πλάνο λειτουργίας.

Στην περίπτωση του κολυμβητηρίου ορίστηκε μόνο ένα πιθανό σενάριο λειτουργίας, κατά το οποίο λειτουργούν και τα δυο Chillers καθόλη τη διάρκεια της ημέρας. Επομένως, σαν όριο χρησιμοποίησης αυτού του σεναρίου δηλώθηκε ένας πολύ μεγάλος αριθμός που πρακτικά είναι αδύνατο να επιτευχθεί, γεγονός που σημαίνει πως το συγκεκριμένο σενάριο χρησιμοποιείται μονίμως. Στη συνέχεια, στην υποκατηγορία PlantEquipmentOperationSchemes, δηλώθηκε η ύπαρξη του σεναρίου που μόλις περιγράφτηκε και το όνομα αυτού χρησιμοποιήθηκε στο αντίστοιχο πεδίο της υποκατηγορίας PlantLoop.



Εικόνα 5.73: Παράμετροι υποκατηγοριών PlantEquipmentList, PlantEquipmentOperation: CoolingLoad/HeatingLoad, PlantEquipmentOperationSchemes

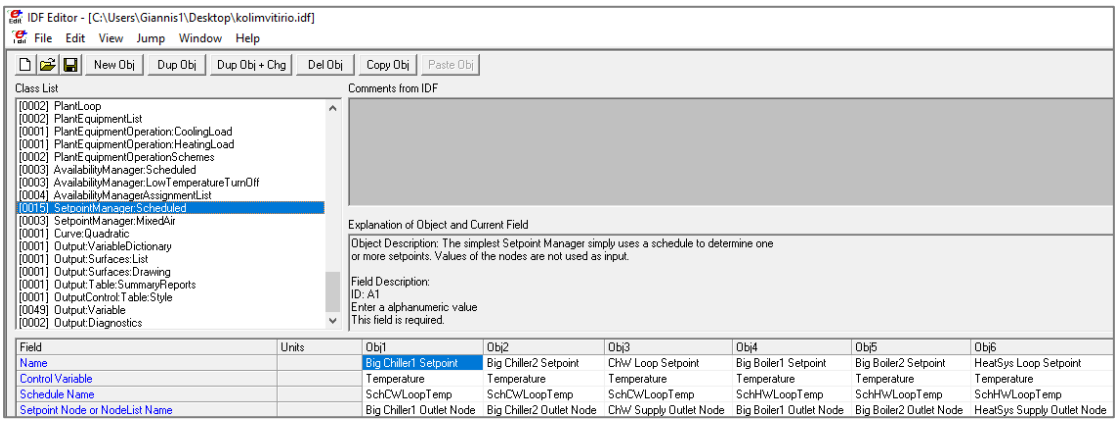
Στην Εικόνα 5.73 παρουσιάζονται όλες οι υποκατηγορίες που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό του πλάνου λειτουργίας του συστήματος ψύξης

αλλά και της θέρμανσης, για την οποία ακολουθήθηκε η ίδια λογική (τα Chillers αντικαθίστανται με Boilers).

X. SetpointManager: Scheduled

Στη συγκεκριμένη υποκατηγορία ορίστηκε το σημείο ρύθμισης τόσο για τα δύο Chillers που χρησιμοποιήθηκαν όσο και για το ολικό σύστημα ψύξης. Στο πεδίο Control Variable ορίστηκε η τιμή Temperature, καθώς η ρύθμιση γίνεται με βάση την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας, η οποία είναι 7,22^{0}C και καθορίζεται στο πεδίο Schedule Name. Τέλος, στο πεδίο Setpoint Node or NodeList Name δηλώθηκε το ακριβές σημείο ελέγχου της θερμοκρασίας, το οποίο για τα Chillers ήταν ο κόμβος εξόδου του καθενός, ενώ για το συνολικό σύστημα ψύξης ο κόμβος εξόδου της Supply Side.

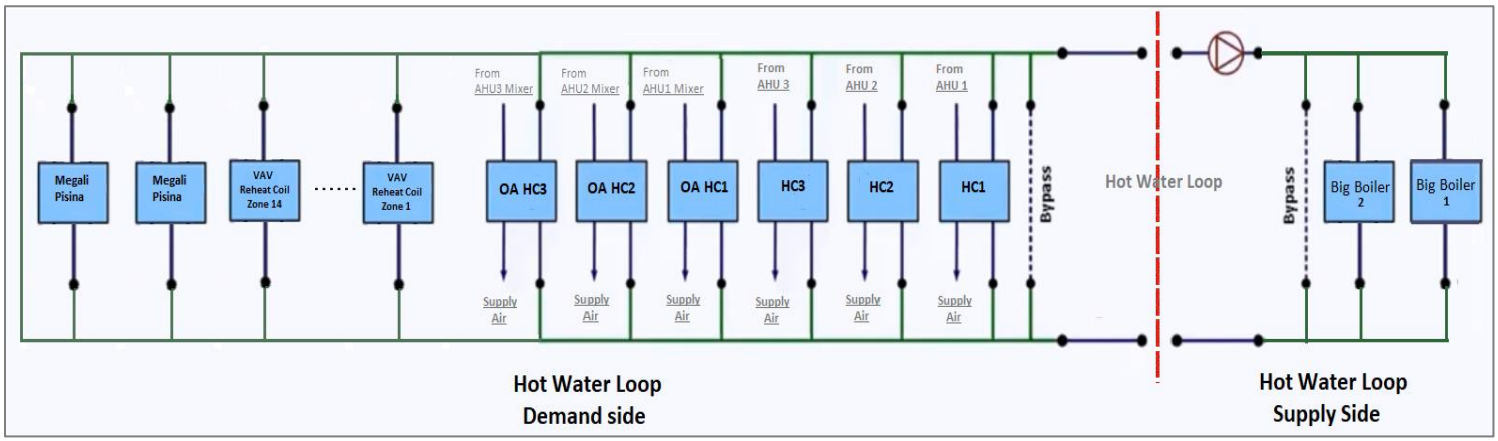
Στην Εικόνα 5.74, παρουσιάζονται οι παράμετροι της υποκατηγορίας SetpointManager: Scheduled τόσο για το σύστημα ψύξης όσο και για το σύστημα θέρμανσης και τα μέρη αυτών.



Εικόνα 5.74: Παράμετροι υποκατηγορίας SetpointManager: Scheduled

Με αυτό τον τρόπο ορίστηκε πλήρως το Chilled Water Loop της προσομοίωσης του κολυμβητηρίου και ακολούθησε η σχεδίαση του Hot Water Loop.

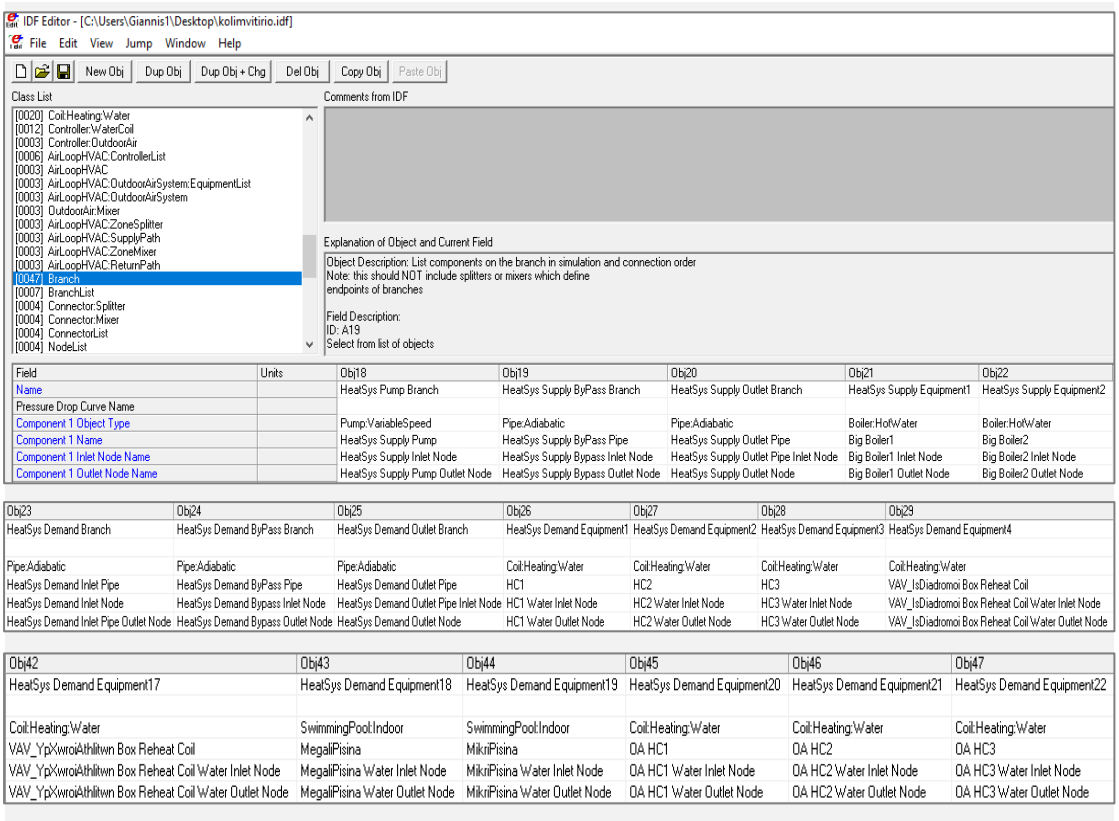
5.5.8.4 Δημιουργία συστήματος θέρμανσης



Εικόνα 5.75: Σχηματικό διάγραμμα Hot Water Loop

Για την προσομοίωση του συστήματος θέρμανσης του κολυμβητηρίου, χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια κατά σειρά βήματα με αυτά που περιγράφτηκαν στην υποενότητα 5.5.8.3 και αφορούσαν το σύστημα ψύξης. Οι μοναδικές διαφορές που συναντώνται στις δύο υλοποιήσεις δεν αφορούν τη μεθοδολογία σχεδίασης, αλλά τα στοιχεία που συνθέτουν τον εξοπλισμό των Supply και Demand Sides του κάθε Loop (Εικόνα 5.75).

Όσον αφορά στην πλευρά προσφοράς, τα δύο Chillers αντικαταστάθηκαν από δύο Boilers, ενώ στην πλευρά της ζήτησης τη θέση των έξι ψυκτικών μέσων που χρησιμοποιήθηκαν για την λειτουργία των AHUs και των μικτών εξωτερικού αέρα, πήραν τα αντίστοιχα θερμικά μέσα. Παράλληλα προστέθηκαν οι δύο πισίνες του κολυμβητηρίου και άλλα δεκαπέντε Heating Coils για τη λειτουργία των VAV Reheat Boxes που διαθέτουν οι περισσότεροι χώροι. Στη συγκεκριμένη ενότητα θα αναλυθούν με εικόνες μόνο τα συγκεκριμένα διαφορετικά στοιχεία, καθώς αναφορά και παρουσίαση για όλα τα υπόλοιπα έγινε νωρίτερα.

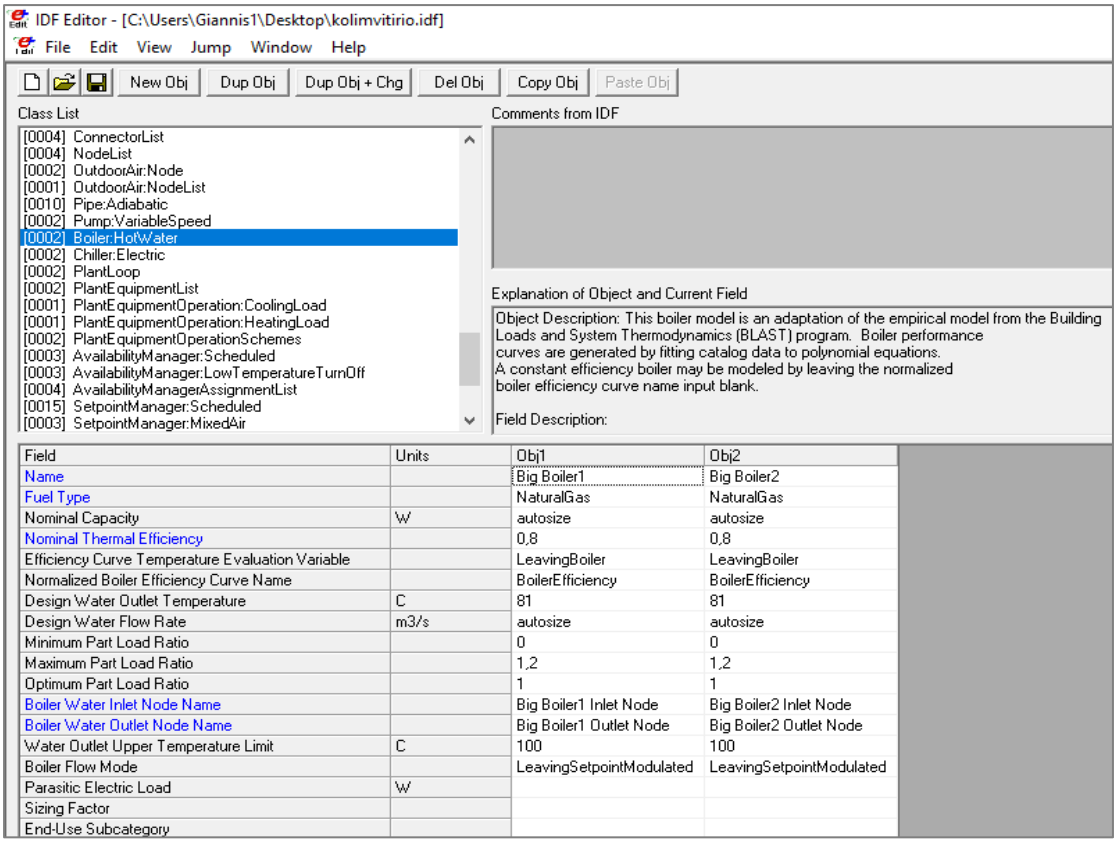


Εικόνα 5.76: Παράμετροι υποκατηγορίας Branch για την περιγραφή των Supply Side και Demand Side του Hot Water Loop

Στην Εικόνα 5.76 παρουσιάζονται τα Branches που συνθέτουν το Hot Water Loop. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση των διακλαδώσεων που αφορούν τα VAV Reheat Boxes, παρουσιάζονται ενδεικτικά μόνο δύο χώροι του κολυμβητηρίου λόγω του μεγάλου αριθμού αυτών.

I. Boiler: HotWater

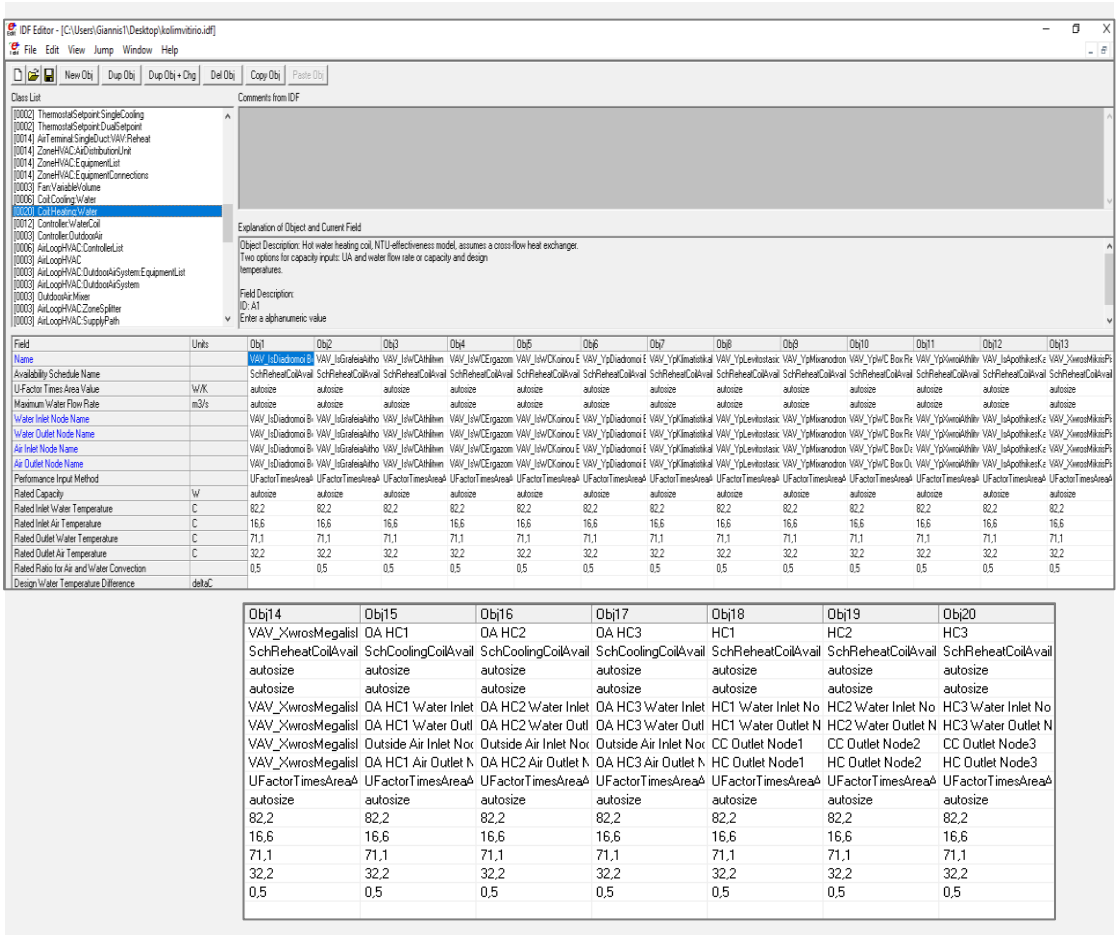
Στην Εικόνα 5.77, αναλύονται όλα τα στοιχεία που οφείλει να εισάγει ένας χρήστης για να ορίσει με το σωστό τρόπο ένα Boiler στην υποκατηγορία Boiler: HotWater. Το ίδιο το λογισμικό του EnergyPlus έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει την κατανάλωση καυσίμου του εκάστοτε λέβητα με βάση ονομαστική θερμική απόδοση αυτού. Στην περίπτωση του κολυμβητηρίου, επιλέχτηκε η χρήση ενός Boiler αερίου και δόθηκε στο συγκεκριμένο πεδίο (Nominal Thermal Efficiency) η τιμή 0.8, που εκφράζει την θερμική απόδοση του καυστήρα του λέβητα. Η συγκεκριμένη τιμή εκφράζει το λόγο της μέγιστης θερμοκρασία του καυστήρα και της θερμοκρασίας που τελικά εξέρχεται από το Boiler. Στα υπόλοιπα πεδία της συγκεκριμένης υποκατηγορίας δόθηκαν οι προτεινόμενες τιμές από το manual του EnergyPlus.



Εικόνα 5.77: Παράμετροι υποκατηγορίας Boiler: HotWater

II. Coil: Heating: Water

Στην υποκατηγορία Coil: Heating: Water, ορίστηκαν τα θερμικά μέσα που προσομοιώνουν την θέρμανση του αέρα μέσω των κεντρικών κλιματιστικών μονάδων και του μίκτη που χρησιμοποιούν και την αναθέρμανση αυτού μέσω των κιβωτίων VAV (Εικόνα 5.78). Το EnergyPlus δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει τα βασικά γνωρίσματα του κάθε θερμικού μέσου του συστήματος και χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο αποδοτικότητας-NTU προσομοιώνει τη λειτουργία ενός εναλλάκτη θερμότητας σταυρωτής ροής. [Web40] Οι τιμές στα πεδία που αφορούν αυτά τα γνωρίσματα δόθηκαν με βάση τις προτεινόμενες από το εγχειρίδιο του EnergyPlus.

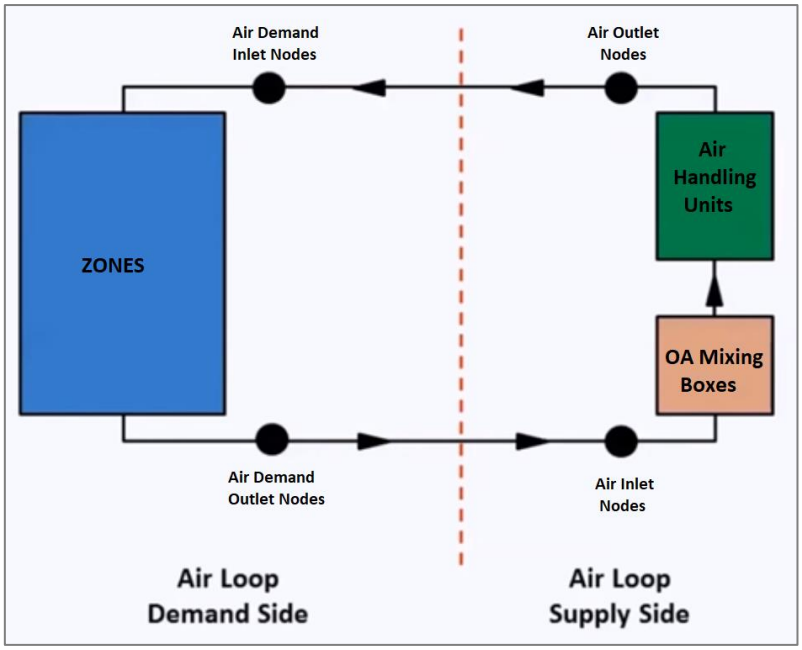


Εικόνα 5.78: Παράμετροι υποκατηγορίας Coil: Heating: Water

5.5.8.5 Δημιουργία συστήματος διαχείρισης αέρα

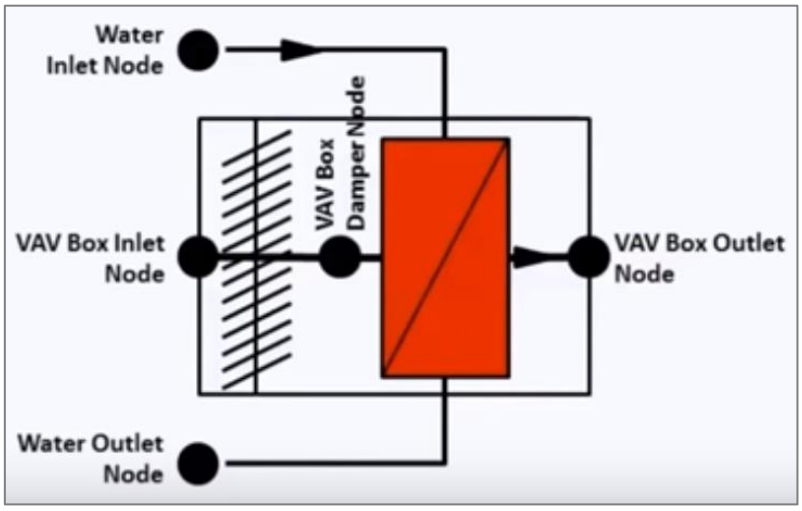
Έχοντας πλέον ορίσει όλες τις απαραίτητες παραμέτρους που αφορούν τα Plant Loops της προσομοίωσης του κολυμβητηρίου, σειρά έχει η δημιουργία του συστήματος διαχείρισης αέρα, που θα επιφέρει τον επαρκή αερισμό του κάθε χώρου και την εξασφάλιση συνθηκών άνεσης για κάθε χρήστη. Επισημαίνεται πως κάποια από τα απαραίτητα στοιχεία για τη λειτουργία του συστήματος κλιματισμού όπως τα Cooling και Heating Coils για τις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες και για τους μίκτες εξωτερικού αέρα έχουν ήδη οριστεί. Επομένως, στην συγκεκριμένη υποενότητα θα περιγραφούν όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά με τη σειρά που δημιουργήθηκαν στο EnergyPlus.

Πρώτο βήμα της σχεδίασης ήταν ο διαχωρισμός της πλευράς προσφοράς και της πλευράς ζήτησης του συστήματος κλιματισμού. Στην αριστερή πλευρά της Εικόνας 5.79 παρουσιάζεται η Demand Side, που αποτελείται από τις ζώνες του κολυμβητηρίου που απαιτούν την εξασφάλιση καλύτερων εσωτερικών συνθηκών, ενώ στη δεξιά πλευρά η Supply Side, που αφορά τις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες και τους μίκτες εξωτερικού αέρα που διαθέτουν.



Εικόνα 5.79: Σχηματικό διάγραμμα Air Loop

Σε αντίθεση με τη σειρά υλοποίησης που χρησιμοποιήθηκε στο σχεδιασμό των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, στη συγκεκριμένη περίπτωση θα αναλυθεί πρώτα η πλευρά ζήτησης. Το πιο βασικό στοιχείο που έπρεπε να σχεδιαστεί είναι το κάθε VAV Reheat Box που χρησιμοποιείται από τις ζώνες του κολυμβητηρίου. Η Εικόνα 5.80 παρουσιάζει ένα απλοποιημένο σχηματικό διάγραμμα της υλοποίησης των κιβωτίων, διαχωρίζοντας μάλιστα τους εσωτερικούς και εξωτερικούς κόμβους.



Εικόνα 5.80: Σχηματικό διάγραμμα VAV Reheat Box

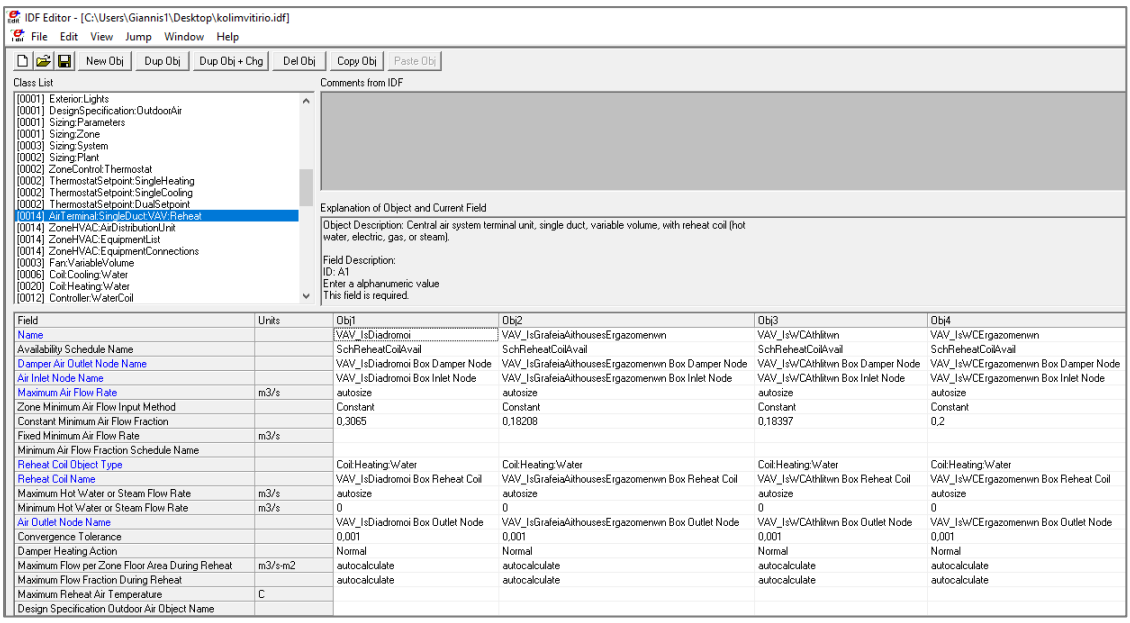
I. AirTeminal: SingleDuct: VAV: Reheat

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο σχετικά με τα VAV, τα συστήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν τη θερμοκρασία ξηρού βολβού ενός χώρου αλλάζοντας τον ρυθμό παροχής του επεξεργασμένου αέρα σε αυτόν. Σε ανάγκη

μεγάλης ψύξης του χώρου, ο αποσβεστήρας ανοίγει πλήρως, ενώ σε αντίθετη περίπτωση παραμένει κλειστός. Παράλληλα, υπάρχει δυνατότητα αναθέρμανσης του αέρα που παρέχεται στο χώρο με τη χρήση των κατάλληλων Heating Coils.

Στη συγκεκριμένη υποκατηγορία έγινε ο ορισμός των ιδιοτήτων των κιβωτίων αναθέρμανσης VAV για όλες τις ζώνες του κολυμβητηρίου. Δηλώθηκε αρχικά το όνομα της λειτουργίας αναθέρμανσης και το χρονοδιάγραμμα διαθεσιμότητάς της. Προτιμήθηκε ο ορισμός πλήρους διαθεσιμότητας τους χειμερινούς μήνες και τις ημέρες ακραίων καιρικών συνθηκών, ενώ το καλοκαίρι η χρήση περιορίστηκε στις ώρες αιχμής του κολυμβητηρίου κυρίως για εξοικονόμηση ενέργειας.

Στη συνέχεια, δηλώθηκαν οι κόμβοι που φαίνονται στην Εικόνα 5.80 στα πεδία Damper Air Outlet Node, Air Inlet Node και Air Outlet Node Name. Επίσης δηλώθηκαν τα ψυκτικά μέσα, που δημιουργήθηκαν νωρίτερα, στο κιβώτιο κάθε ζώνης, ενώ στα πεδία που αφορούν τον καθορισμό της μέγιστης ροής αέρα κιβωτίου, ορίστηκε η τιμή autosize (αυτόματος υπολογισμός από το EnergyPlus). Τέλος, το πεδίο Constant Minimum Air Flow Fraction, που είναι ιδιαίτερα σημαντικό, γιατί ο ορισμός της ελάχιστης τιμής ροής αέρα είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την διασφάλιση επαρκούς αερισμού σε ένα χώρο, καθορίστηκε σύμφωνα με τις προτεινόμενες τιμές που προέκυψαν μετά την προσομοίωση του συστήματος.



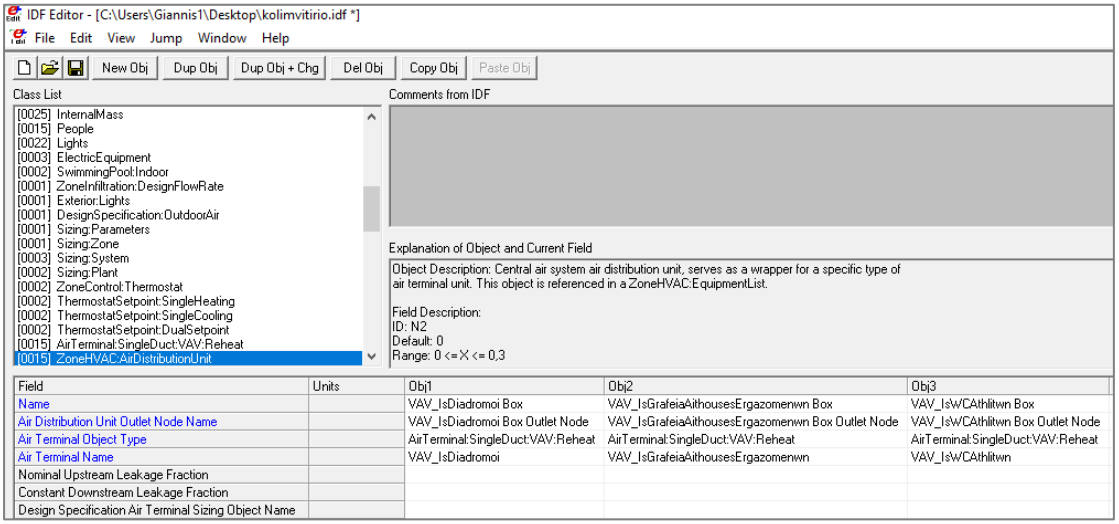
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		VAV_IsDiadromoi	VAV_IsGrafeiaAithousesErgazomenwn	VAV_IsWCAthlitwn	VAV_IsWCErgazomenwn
Availability Schedule Name		SchReheatCoilAvail	SchReheatCoilAvail	SchReheatCoilAvail	SchReheatCoilAvail
Damper Air Outlet Node Name		VAV_IsDiadromoi Box Damper Node	VAV_IsGrafeiaAithousesErgazomenwn Box Damper Node	VAV_IsWCAthlitwn Box Damper Node	VAV_IsWCErgazomenwn Box Damper Node
Air Inlet Node Name		VAV_IsDiadromoi Box Inlet Node	VAV_IsGrafeiaAithousesErgazomenwn Box Inlet Node	VAV_IsWCAthlitwn Box Inlet Node	VAV_IsWCErgazomenwn Box Inlet Node
Maximum Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize
Zone Minimum Air Flow Input Method		Constant	Constant	Constant	Constant
Constant Minimum Air Flow Fraction		0,3065	0,18208	0,18397	0,2
Fixed Minimum Air Flow Rate	m3/s				
Minimum Air Flow Fraction Schedule Name					
Reheat Coil Object Type		Coil:Heating:Water	Coil:Heating:Water	Coil:Heating:Water	Coil:Heating:Water
Reheat Coil Name		VAV_IsDiadromoi Box Reheat Coil	VAV_IsGrafeiaAithousesErgazomenwn Box Reheat Coil	VAV_IsWCAthlitwn Box Reheat Coil	VAV_IsWCErgazomenwn Box Reheat Coil
Maximum Hot Water or Steam Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize
Minimum Hot Water or Steam Flow Rate	m3/s	0	0	0	0
Air Outlet Node Name		VAV_IsDiadromoi Box Outlet Node	VAV_IsGrafeiaAithousesErgazomenwn Box Outlet Node	VAV_IsWCAthlitwn Box Outlet Node	VAV_IsWCErgazomenwn Box Outlet Node
Convergence Tolerance		0,001	0,001	0,001	0,001
Damper Heating Action		Normal	Normal	Normal	Normal
Maximum Flow per Zone Floor Area During Reheat	m3/s-m2	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Maximum Flow Fraction During Reheat		autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Maximum Reheat Air Temperature	C				
Design Specification Outdoor Air Object Name					

Εικόνα 5.81: Παράμετροι υποκατηγορίας AirTeminal: SingleDuct: VAV: Reheat

Στην παραπάνω εικόνα γίνεται ενδεικτική απεικόνιση της δήλωσης των χαρακτηριστικών μόνο τεσσάρων κιβωτίων αναθέρμανσης VAV για οικονομία χώρου. Είναι προφανές πως και η σχεδίαση των υπολοίπων έγινε με τον ίδιο τρόπο με σκοπό τον καλύτερο έλεγχο των συνθηκών που επικρατούν στο εσωτερικό τους.

II. ZoneHVAC: AirDistributionUnit

Στη συγκεκριμένη κατηγορία πραγματοποιήθηκε ο πλήρης ορισμός των VAV κιβωτίων κάθε ζώνης με την αναφορά του εξοπλισμού (δηλώθηκε προηγουμένως στην υποκατηγορία AirTeminal: SingleDuct: VAV: Reheat) που τα αποτελεί. Στην παρακάτω εικόνα γίνεται επίσης ενδεικτική απεικόνιση τριών μόνο κιβωτίων από τα δεκαπέντε που σχεδιάστηκαν συνολικά.

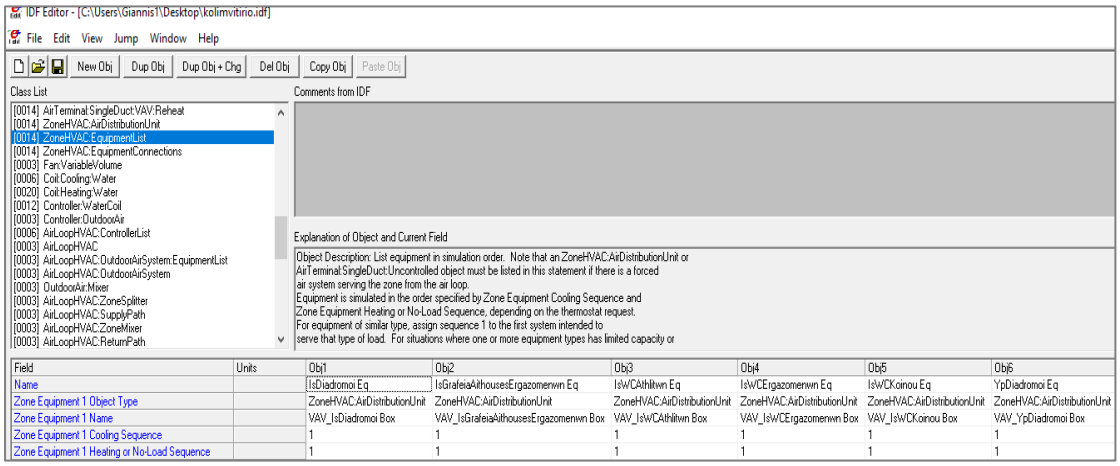


Εικόνα 5.82: Παράμετροι υποκατηγορίας ZoneHVAC: AirDistributionUnit

III. ZoneHVAC: EquipmentList

Η υποκατηγορία ZoneHVAC: EquipmentList σχετίζεται με τη δήλωση του αριθμού των VAV Reheat Boxes που διαθέτει η κάθε ζώνη σε μορφή λίστας. Παράλληλα ορίζεται η προτεραιότητα στη χρήση των κιβωτίων κάθε ζώνης (όταν είναι περισσότερα από ένα) σε συνθήκες ανάγκης για ψύξη και θέρμανση αντίστοιχα. Όπως έχει αναφερθεί και νωρίτερα βέβαια, στην περίπτωση του κολυμβητηρίου η κάθε ζώνη διαθέτει ένα μόνο κιβώτιο. Επομένως, ο αριθμός προτεραιότητας του εκάστοτε κιβωτίου είναι πάντα μονάδα.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ενδεικτικά ο τρόπος δήλωσης των συγκεκριμένων παραμέτρων για ορισμένες από τις ζώνες του κολυμβητηρίου.

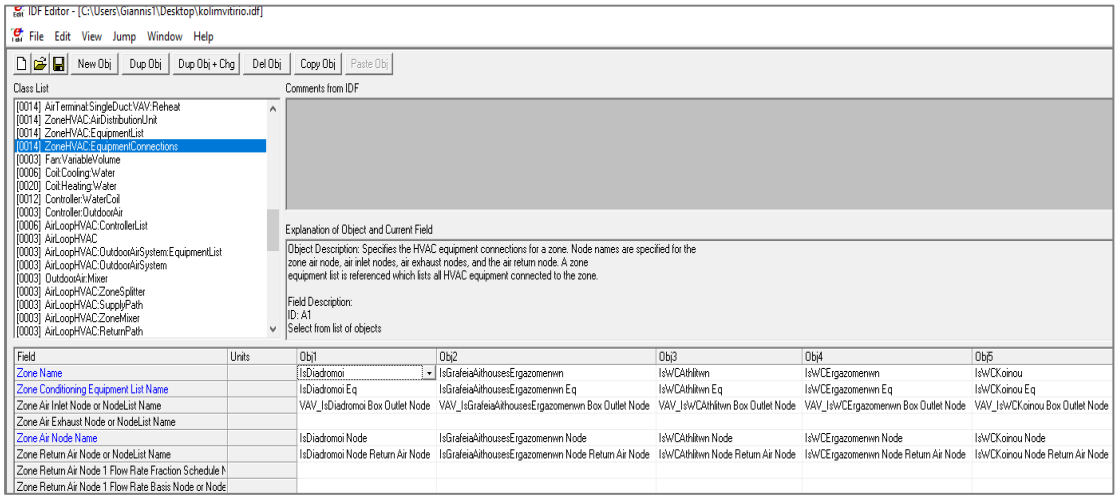


Εικόνα 5.83: Παράμετροι υποκατηγορίας ZoneHVAC: EquipmentList

IV. ZoneHVAC: EquipmentConnections

Στην υποκατηγορία ZoneHVAC: EquipmentConnections, έγινε η σύνδεση των λιστών που δημιουργήθηκαν νωρίτερα με τις αντίστοιχες ζώνες στο πεδίο Zone Conditioning Equipment List Name. Παράλληλα, ορίστηκε η έξοδος κάθε κιβωτίου αναθέρμανσης VAV ως το σημείο εισόδου αέρα στην κάθε ζώνη (μέσω του πεδίου Zone Air Inlet Node or NodeList Name), ενώ τέλος δηλώθηκε και το σημείο επιστροφής αέρα από την κάθε ζώνη στις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες.

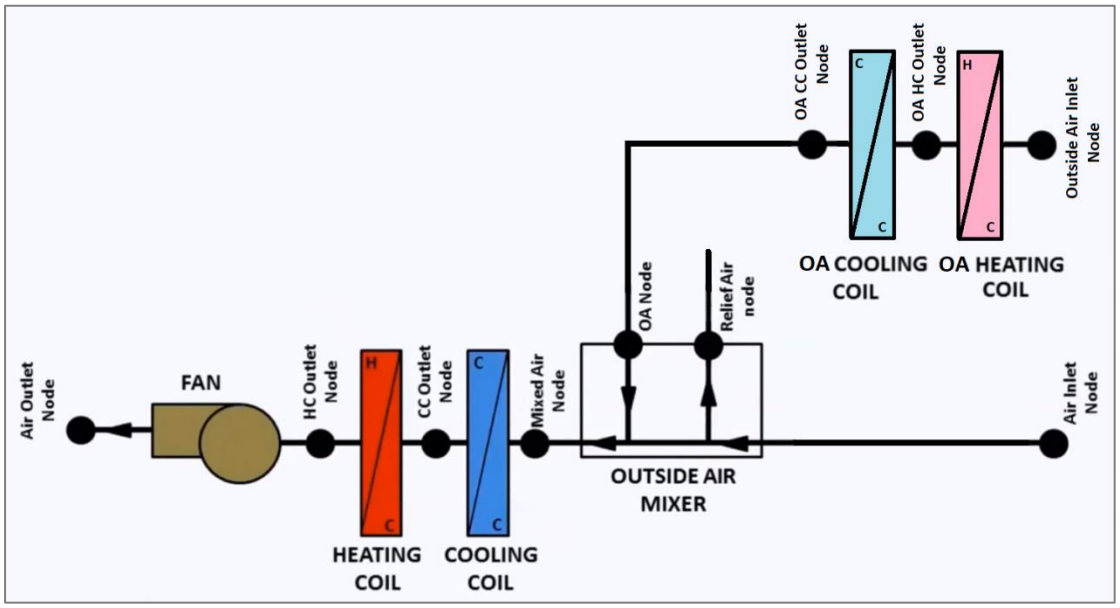
Στην Εικόνα 5.84 παρουσιάζεται ενδεικτικά ο τρόπος δήλωσης των συγκεκριμένων παραμέτρων για ορισμένες από τις ζώνες του κολυμβητηρίου.



Εικόνα 5.84: Παράμετροι υποκατηγορίας ZoneHVAC: EquipmentConnections

Μετά τη συμπλήρωση και των συγκεκριμένων υποκατηγοριών, ολοκληρώθηκε ο ορισμός της Demand Side του συστήματος κλιματισμού και σειρά είχε η σχεδίαση της Supply Side.

Η πλευρά προσφοράς του Air Loop αποτελείται από την εκάστοτε κεντρική κλιματιστική μονάδα και τον μίκτη εξωτερικού αέρα αυτής, που παρουσιάζουν τη δομή που φαίνεται στην Εικόνα 5.85.



Εικόνα 5.85: Σχηματικό διάγραμμα της Supply Side του Air Loop

Τα στοιχεία που συνθέτουν μία τέτοια μονάδα είναι με τη σειρά που αναφέρονται: το ψυκτικό μέσο, το θερμικό μέσο και ο ανεμιστήρας που χρησιμοποιείται για να διοχετεύει τον επεξεργασμένο αέρα στο δίκτυο κλιματισμού.

Υπενθυμίζεται ότι στην προσομοίωση του κολυμβητηρίου χρησιμοποιήθηκαν τρεις κεντρικές μονάδες διαχείρισης αέρα και επομένως τρεις μίκτες εξωτερικού αέρα. Για την επίτευξη ευκολότερης σχεδίασης δημιουργήθηκε ένα ενιαίο Branch (διακλάδωση) για τον ορισμό του συστήματος μονάδα-μίκτης, ξεκινώντας από τον κόμβο Air Inlet Node και καταλήγοντας στον κόμβο Air Outlet Node.

Η υλοποίηση του συγκεκριμένου Branch, ξεκίνησε με το σχεδιασμό του τμήματος του μίκτη και των εσωτερικών του στοιχείων. Ένας μίκτης εξωτερικού αέρα αποτελείται από τέσσερις αγωγούς, όπου:

- ένας αφορά την εισαγωγή του εσωτερικού αέρα από την εκάστοτε ζώνη σε αυτόν
- δύο σχετίζονται με την επικοινωνία του μίκτη με το εξωτερικό περιβάλλον
- ένας με την μεταφορά του αέρα μετά την ανάμιξη στην κεντρική μονάδα διαχείρισης αέρα με την οποία αυτός συνεργάζεται.

Η χρήση ενός μίκτη καθορίζει το ρυθμό ανανέωσης του αέρα σε κάθε ζώνη, ενώ τα πιθανά σενάρια λειτουργίας του είναι τα εξής:

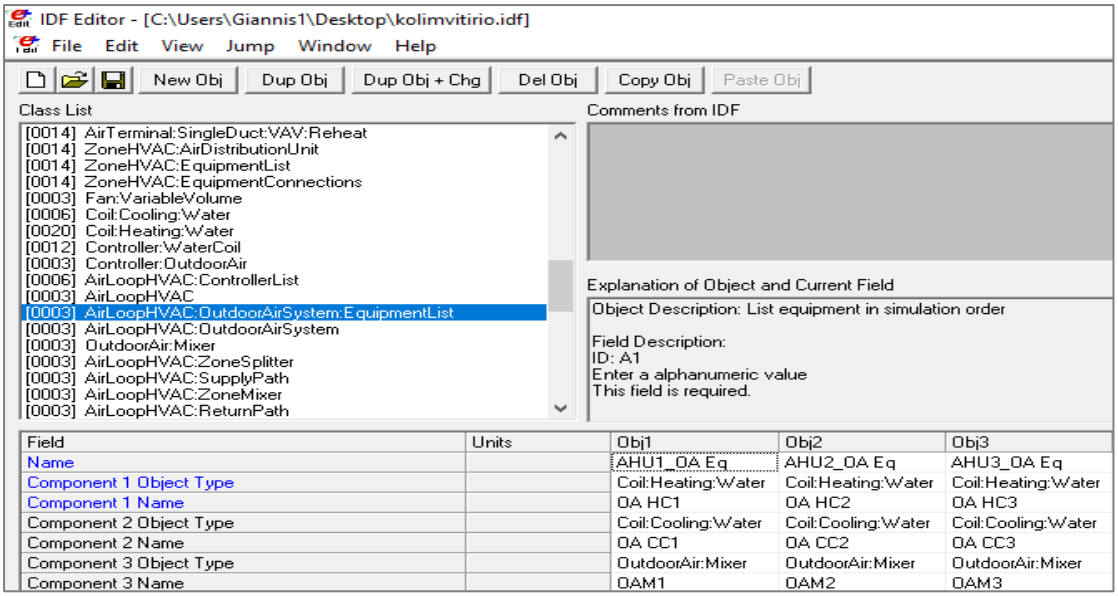
- Σε περίπτωση επιτακτικής ανάγκης για άμεσο αερισμό της ζώνης που ελέγχει, «κλείνει» τον αποσβεστήρα που αφορά τον αγωγό εσωτερικού αέρα, ώστε ο αέρας που θα εισαχθεί στην ζώνη να είναι μόνο εξωτερικός.
- Σε περίπτωση που δεν υπάρχει ανάγκη για επιπλέον αερισμό «κλείνει» τον αποσβεστήρα που αφορά τον εξωτερικό αέρα.
- Σε μία μέση κατάσταση, όπου ο αερισμός είναι επιθυμητός χωρίς να χρειάζεται η πλήρης ανανέωση του εσωτερικού αέρα, ο μίκτης ελέγχει τη ροή του αέρα που εισέρχεται στη ζώνη μετακινώντας κατάλληλα τους αποσβεστήρες χωρίς να «κλείνει» κανέναν από αυτούς.

Πριν αναλυθούν οι υποκατηγορίες που χρησιμοποιήθηκαν για τη δήλωση του μίκτη εξωτερικού αέρα, πρέπει να σημειωθεί πως κατά την προσομοίωση του κολυμβητηρίου χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον Heating, Cooling Coils για την θέρμανση ή ψύξη του εξωτερικού αέρα πριν αυτός εισέλθει στο μίκτη και μετέπειτα στην κεντρική κλιματιστική μονάδα για επιπλέον επεξεργασία. Ο σκοπός αυτής της μεθόδου ήταν η κανονικοποίηση των χαρακτηριστικών του εξωτερικού αέρα, έτσι ώστε η είσοδος του στο μίκτη και πιθανότατα στη ζώνη να γίνεται πιο ομαλά.

V. AirLoopHVAC: OutdoorAirSystem

Στη συγκεκριμένη υποκατηγορία, δηλώθηκαν τα τρία συστήματα μονάδας-μίκτη που χρησιμοποιήθηκαν κατά την προσομοίωση. Στη συνέχεια, γίνεται εκτενής περιγραφή της μεθοδολογίας ορισμού ενός από αυτά.

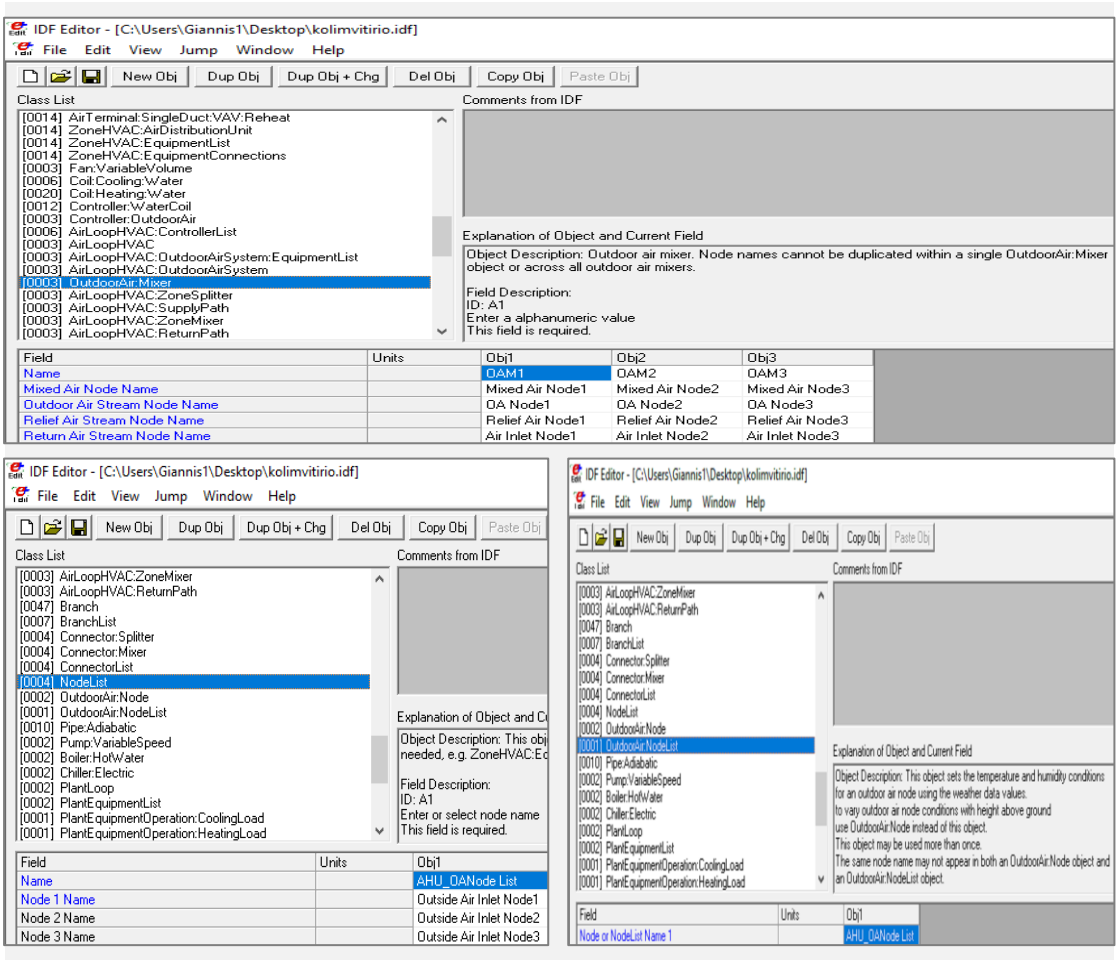
Το πρώτο πεδίο που συμπληρώθηκε κατά τη σχεδίαση, ήταν το Outdoor Air Equipment List Name με το όνομα της λίστας που δημιουργήθηκε στην υποκατηγορία AirLoopHVAC:OutdoorAirSystem: EquipmentList που φαίνεται στην Εικόνα 5.86.



Εικόνα 5.86: Παράμετροι υποκατηγορίας AirLoopHVAC:OutdoorAirSystem: EquipmentList

Σημειώνεται ότι η σειρά με την οποία είναι δηλωμένος ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται δεν είναι τυχαία, αλλά καθορίζει την πορεία του αέρα, όταν αυτός εισέρχεται για επεξεργασία. Ο προσδιορισμός των OA Heating, OA Cooling Coils περιγράφτηκε σε προηγούμενες ενότητες, ενώ του μίκτη έγινε στην υποκατηγορία OutdoorAir: Mixer σύμφωνα με την Εικόνα 5.85.

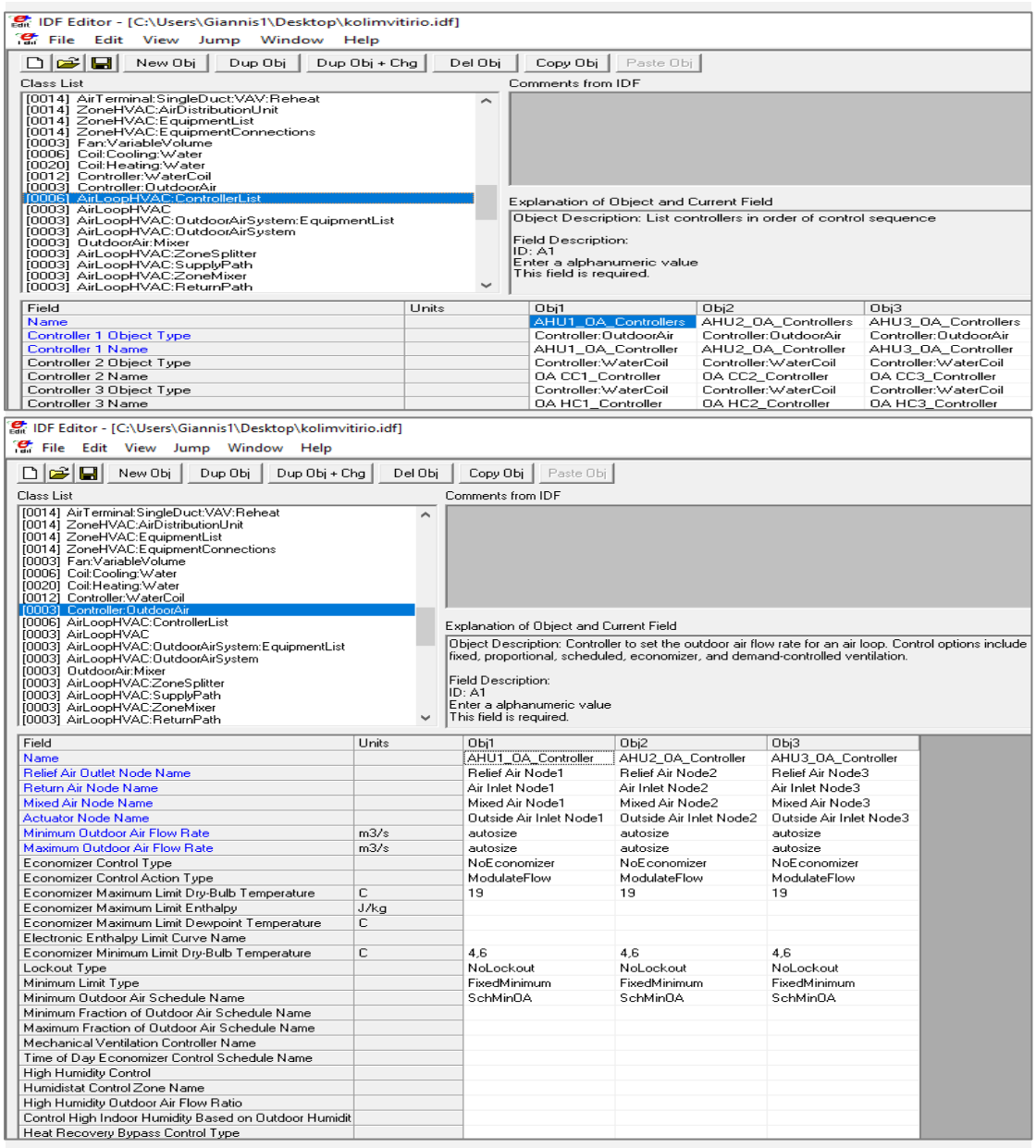
Απαραίτητη προϋπόθεση για το σωστό ορισμό του αγωγού εξωτερικού αέρα του μίκτη αποτελεί η σύνδεση του με το αρχείο καιρού της προσομοίωσης, έτσι ώστε να αποκτήσει πληροφορίες σχετικά με την εξωτερική θερμοκρασία και υγρασία. Στην Εικόνα 5.87 παρουσιάζεται τόσο ο τρόπος δήλωσης του μίκτη όσο και του αγωγού εξωτερικού αέρα με τη χρήση των αντίστοιχων υποκατηγοριών.



Εικόνα 5.87: Παράμετροι υποκατηγοριών OutdoorAir: Mixer, NodeList, OutdoorAir: NodeList

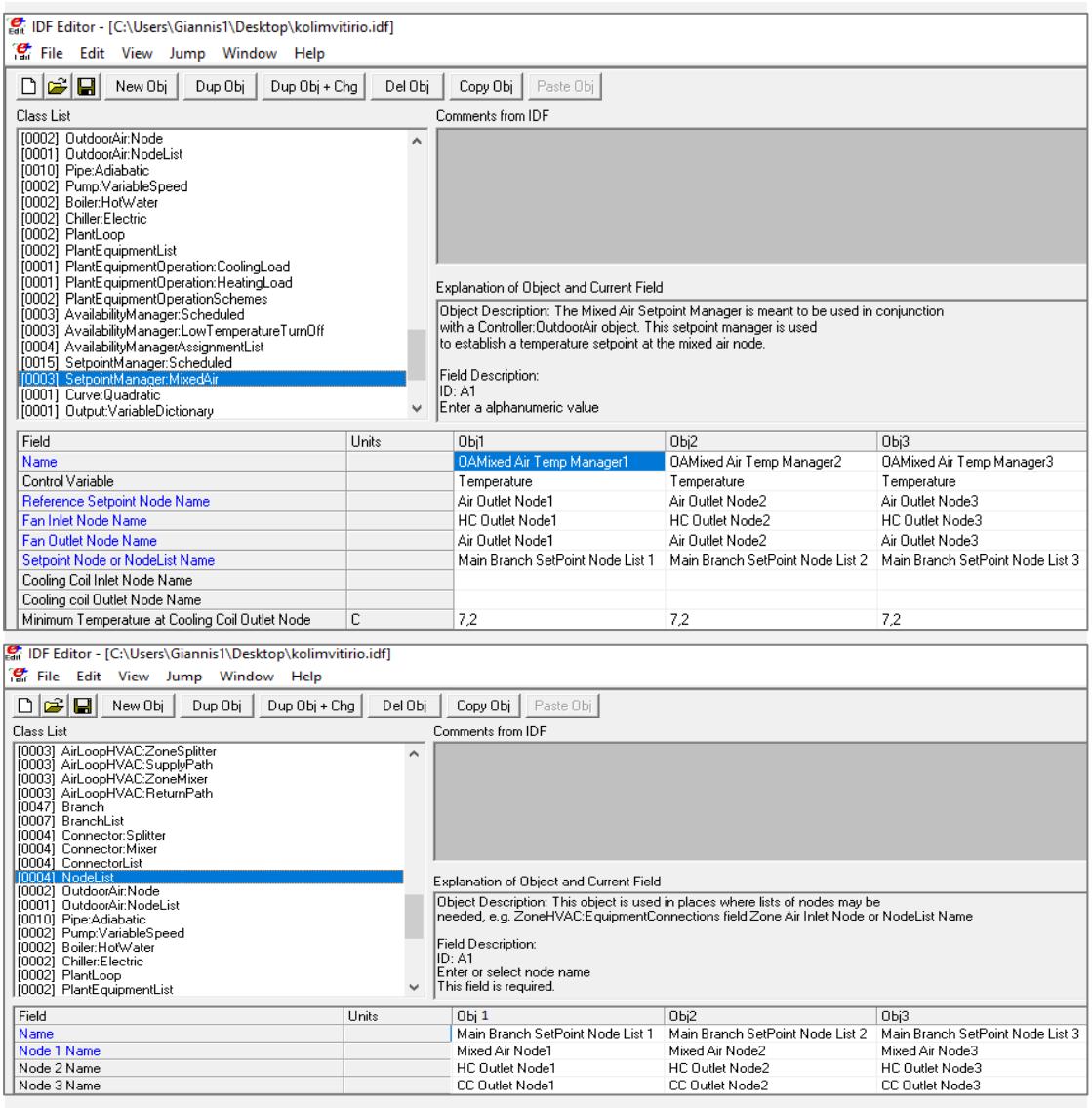
Μετά την ολοκλήρωση του ορισμού των παραμέτρων της υποκατηγορίας AirLoopHVAC: OutdoorAirSystem: EquipmentList, ακολούθησε η απόδοση τιμής στο πεδίο Controller List Name μέσω της υποκατηγορίας AirLoopHVAC: ControllerList.

Η συγκεκριμένη υποκατηγορία με τη σειρά της λαμβάνει τιμές από την Controller: OutdoorAir, που αφορά τον καθορισμό του ελεγκτή, ο οποίος σχετίζεται με τον καθορισμό του ρυθμού ανανέωσης του αέρα στη ζώνη που χρησιμοποιείται. Για τον ορισμό του ελεγκτή δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στον καθορισμό του πεδίου Actuator Node Name, που αφορά το σημείο που βρίσκεται ο αποσβεστήρας του εξωτερικού αέρα και στο πεδίο Minimum Outdoor Air Schedule Name, στο οποίο μειώθηκε αισθητά η ροή αέρα για τις Κυριακές και για το διάστημα 20:00 έως 06:00 τις καθημερινές και τα Σάββατα, όπου το κολυμβητήριο έχει λίγο κόσμο αρχικά και στη συνέχεια κλείνει.



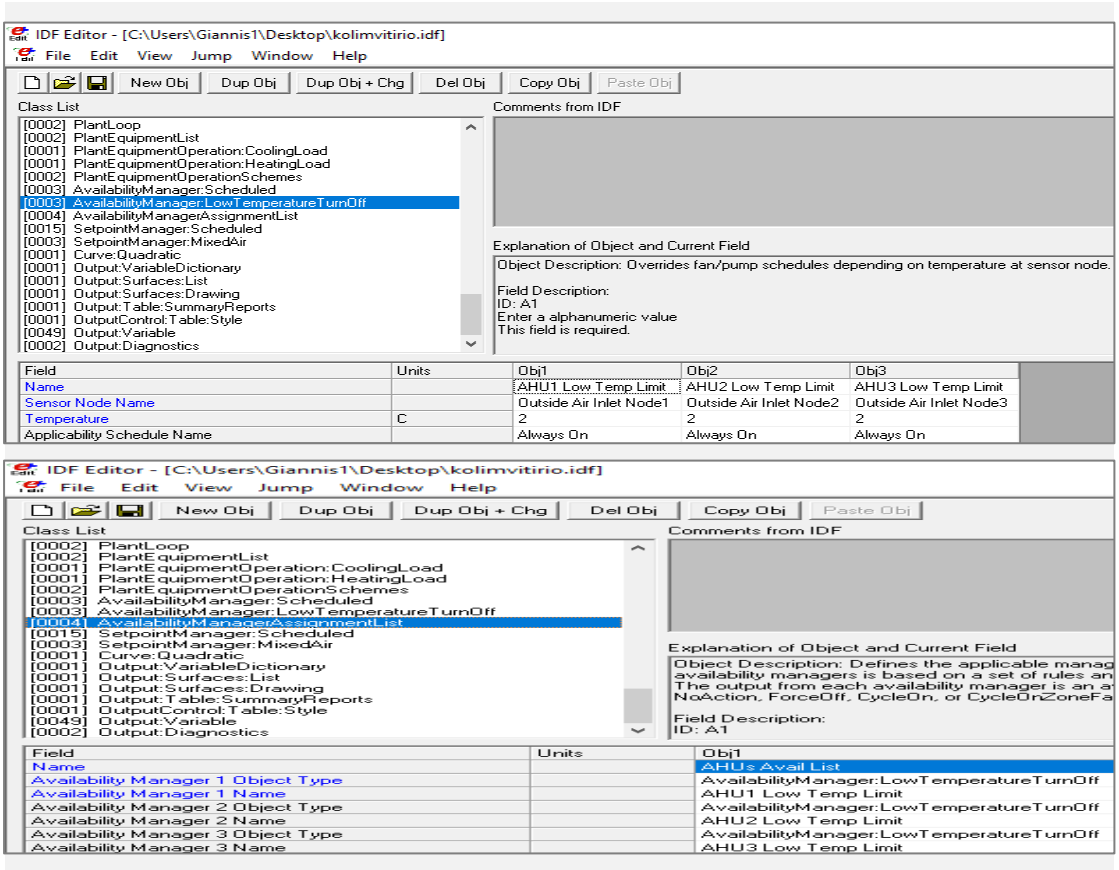
Εικόνα 5.88: Παράμετροι υποκατηγοριών AirLoopHVAC: ControllerList, Controller: OutdoorAir

Στη συνέχεια, ορίστηκε η υποκατηγορία SetpointManager: MixedAir, η οποία έχει στόχο τον καθορισμό της επιθυμητής θερμοκρασίας στον ανανεωμένο αέρα που θα πρόκειται να εισαχθεί στην ζώνη. Ως σημείο αναφοράς για τον ορισμό της επιθυμητής θερμοκρασίας ορίστηκε ο κόμβος εξόδου της Supply Side. Παράλληλα δηλώθηκαν τόσο οι κόμβοι εισόδου και εξόδου του ανεμιστήρα όσο και το όνομα της λίστας που αφορά το σημείο καθορισμού της θερμοκρασίας, όπως φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



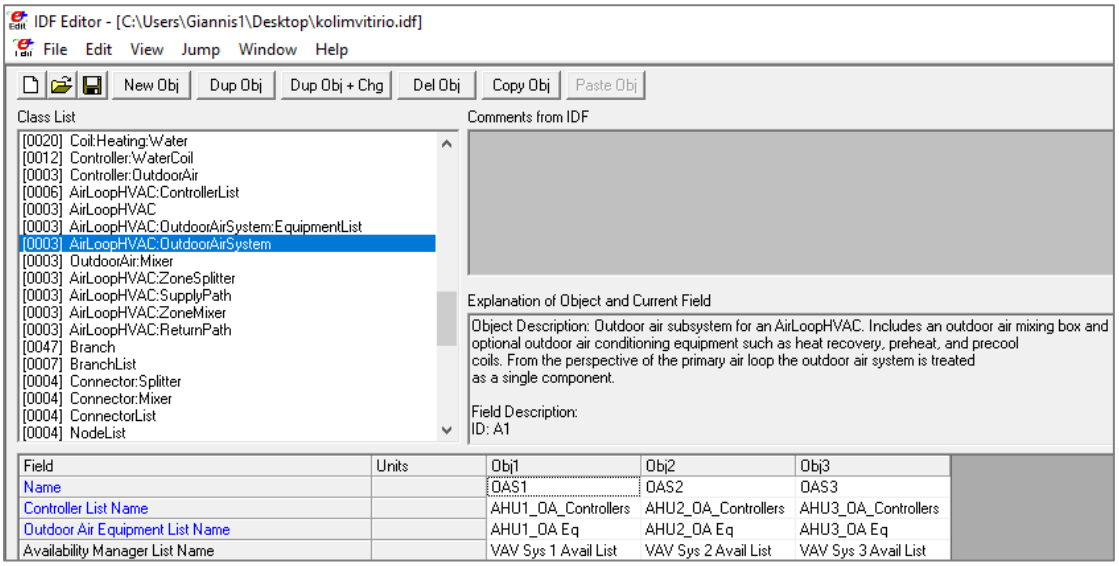
Εικόνα 5.89: Παράμετροι υποκατηγορίας SetpointManager: MixedAir

Το τελευταίο πεδίο που αφορά τον πλήρη καθορισμό της υποκατηγορίας AirLoopHVAC: OutdoorAirSystem είναι το Availability Manager List Name που λαμβάνει τιμές από τις υποκατηγορίες AvailabilityManager: AssignmentList και AvailabilityManager: LowTemperatureTurnOff. Στην περίπτωση του κολυμβητηρίου, ορίστηκε η κάθε κεντρική κλιματιστική μονάδα να σταματά τη λειτουργία της όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα που εισέρχεται στο μίκτη με τον οποίο επικοινωνεί είναι 2^0C.



Εικόνα 5.90: Παράμετροι υποκατηγοριών AvailabilityManager: AssignmentList και AvailabilityManager: LowTemperatureTurnOff

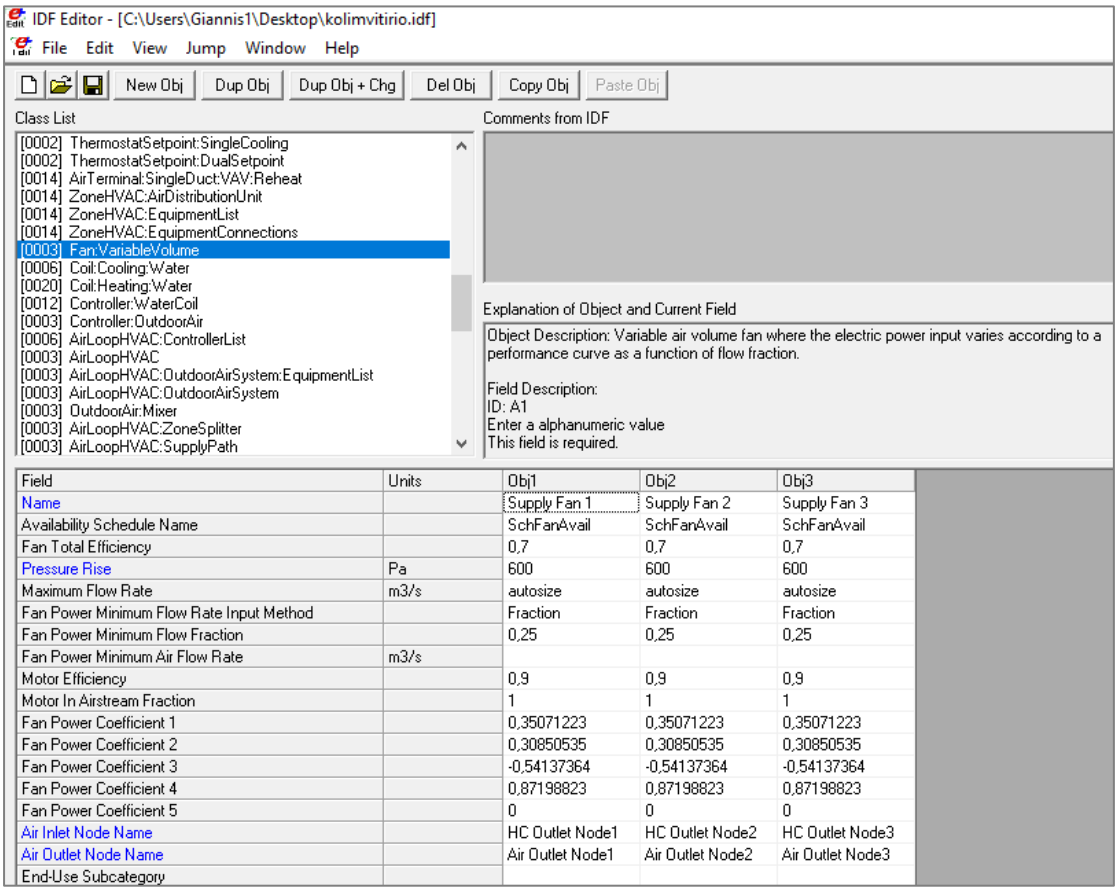
Στην Εικόνα 5.91 παρουσιάζεται η υποκατηγορία AirLoopHVAC: OutdoorAirSystem μετά τον ορισμό όλων των πεδίων της.



Εικόνα 5.91: Παράμετροι υποκατηγορίας AirLoopHVAC: OutdoorAirSystem

VI. Fan: VariableVolume

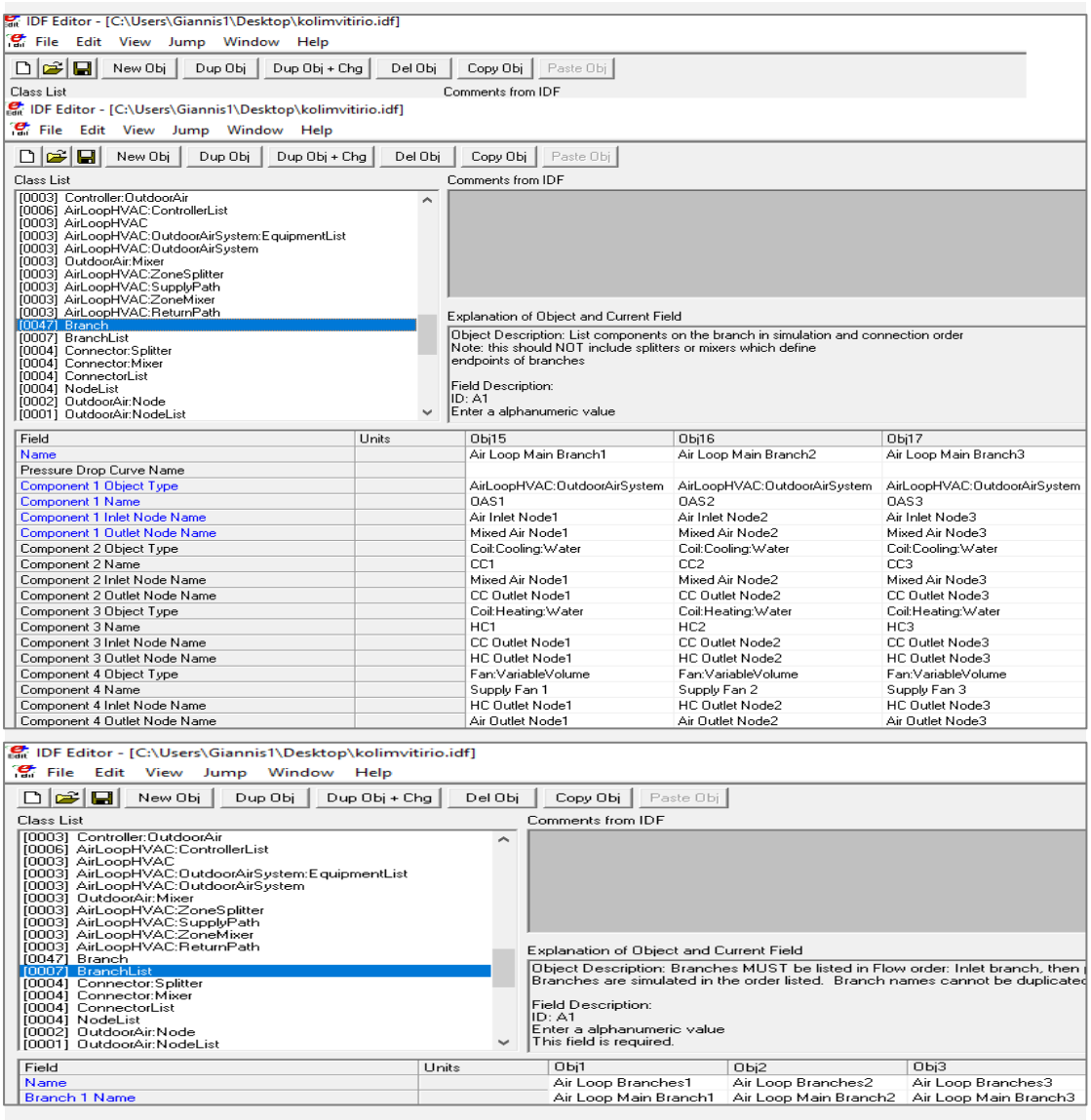
Έχοντας πλέον ορίσει τους μίκτες και τα OA Cooling, OA Heating Coils που χρησιμοποιούν καθώς και τα αντίστοιχα Cooling, Heating Coils (σε προηγούμενη ενότητα) των κεντρικών κλιματιστικών μονάδων, δηλώθηκαν οι παράμετροι των ανεμιστήρων στην υποκατηγορία Fan: VariableVolume. Στα περισσότερα πεδία που ορίστηκαν δόθηκαν τιμές σύμφωνα με τις προτεινόμενες του manual του EnergyPlus, ενώ παράλληλα ορίστηκε το χρονοδιάγραμμα διαθεσιμότητας του εκάστοτε ανεμιστήρα (Schedule: Compact) και η συνδεσμολογία του με την υπόλοιπη μονάδα.



Εικόνα 5.92: Παράμετροι υποκατηγορίας Fan: VariableVolume

VII. Branch, BranchList

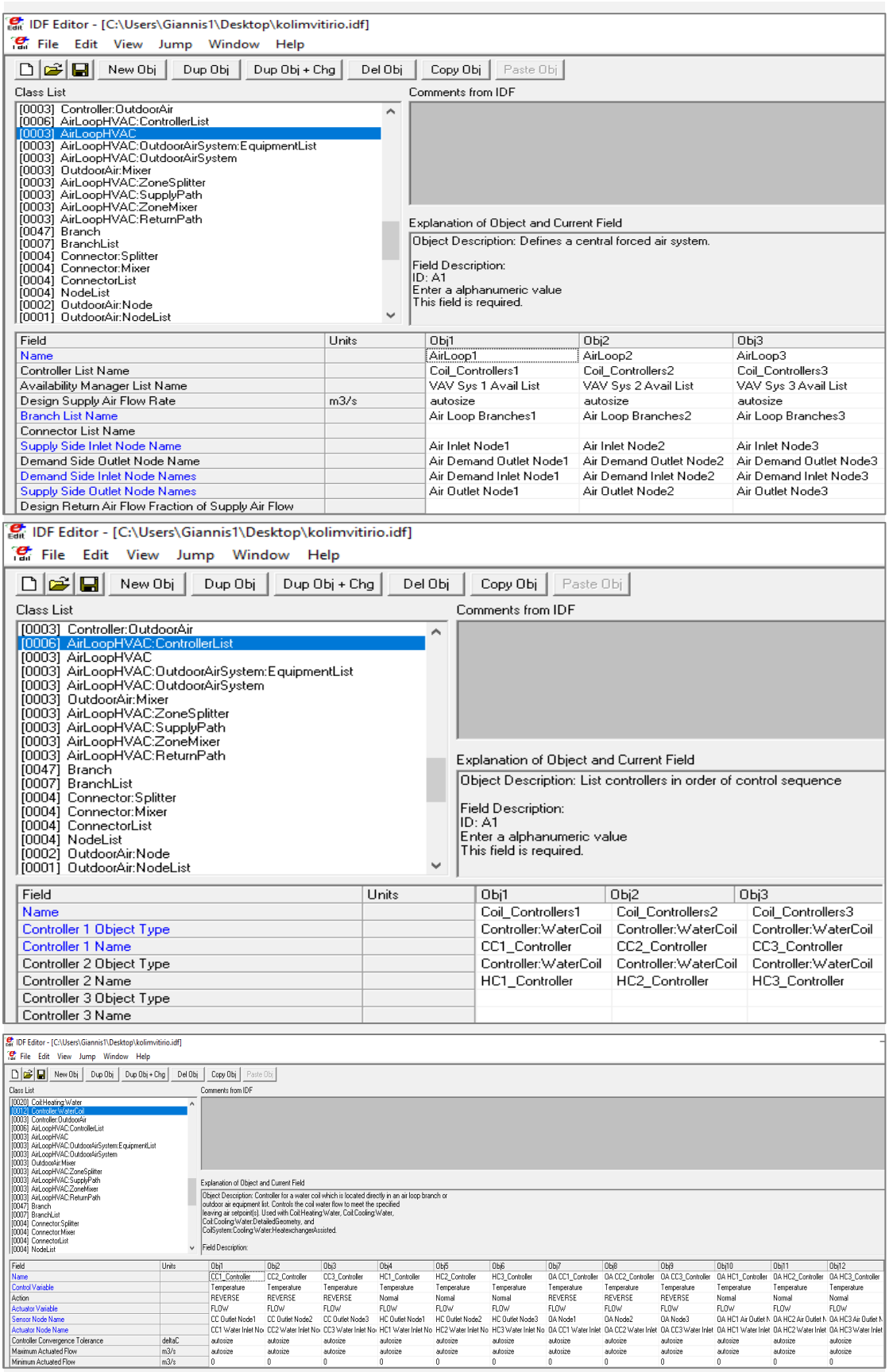
Μετά το τέλος της σχεδίασης όλων των μερών που συνθέτουν το σύστημα κλιματισμού , έγινε ο ορισμός αυτών στην υποκατηγορία Branch και η δημιουργία λιστών στην υποκατηγορία BranchList, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 5.93: Παράμετροι υποκατηγοριών Branch, BranchList

VIII. AirLoopHVAC

Στην υποκατηγορία AirLoopHVAC, ορίστηκαν όλα τα μέρη που συνθέτουν το σύστημα κλιματισμού καθώς και η διαθεσιμότητα του καθόλη τη διάρκεια της ημέρας. Επίσης, ορίστηκαν οι ελεγκτές των Cooling, Heating Coils με τη χρήση της υποκατηγορίας Controller: WaterCoil, οι οποίοι έχουν ως στόχο την ρύθμιση της ροής του ψυκτικού μέσου για την επίτευξη της επιθυμητής ροής αέρα. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στο πεδίο Action, όπου η τιμή normal αφορά τα Heating Coils, ενώ η τιμή reverse τα Cooling Coils. Αυτό συμβαίνει, διότι στα Heating Coils αυξάνεται η μεταφορά θερμότητας από το νερό στον αέρα με την αύξηση του ρυθμού ροής του νερού, ενώ στα Cooling Coils συμβαίνει το αντίθετο. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται και οι Controllers που χρησιμοποιήθηκαν νωρίτερα για τα Coils του ελεγκτή εξωτερικού αέρα.

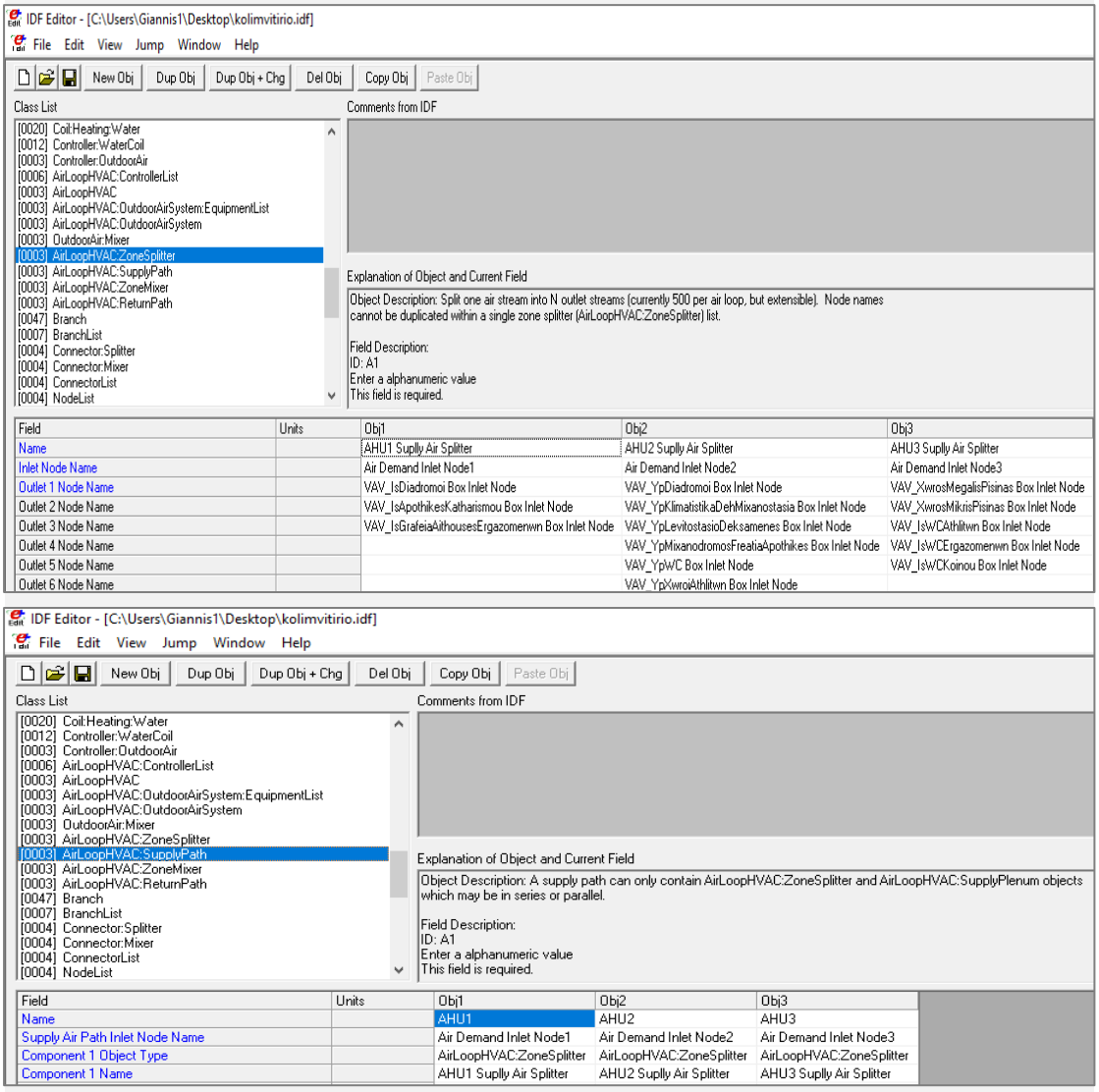


Εικόνα 5.94: Παράμετροι υποκατηγοριών AirLoopHVAC, AirLoopHVAC: ControllerList, Controller: WaterCoil

IX. AirLoopHVAC: ZoneSplitter – AirLoopHVAC: SupplyPath

Στην υποκατηγορία AirLoopHVAC: ZoneSplitter, γίνεται οι αντιστοίχιση των κεντρικών κλιματιστικών μονάδων στις ζώνες που εξυπηρετούν, όπως αυτές ορίστηκαν στις Εικόνες 5.61, 5.62 νωρίτερα. Η διαφορά στη δημιουργία ενός Splitter για ένα Water Loop σε σχέση με τη δημιουργία ενός για ένα Air Loop αφορά τη δήλωση Branches στο πρώτο και Nodes στο δεύτερο.

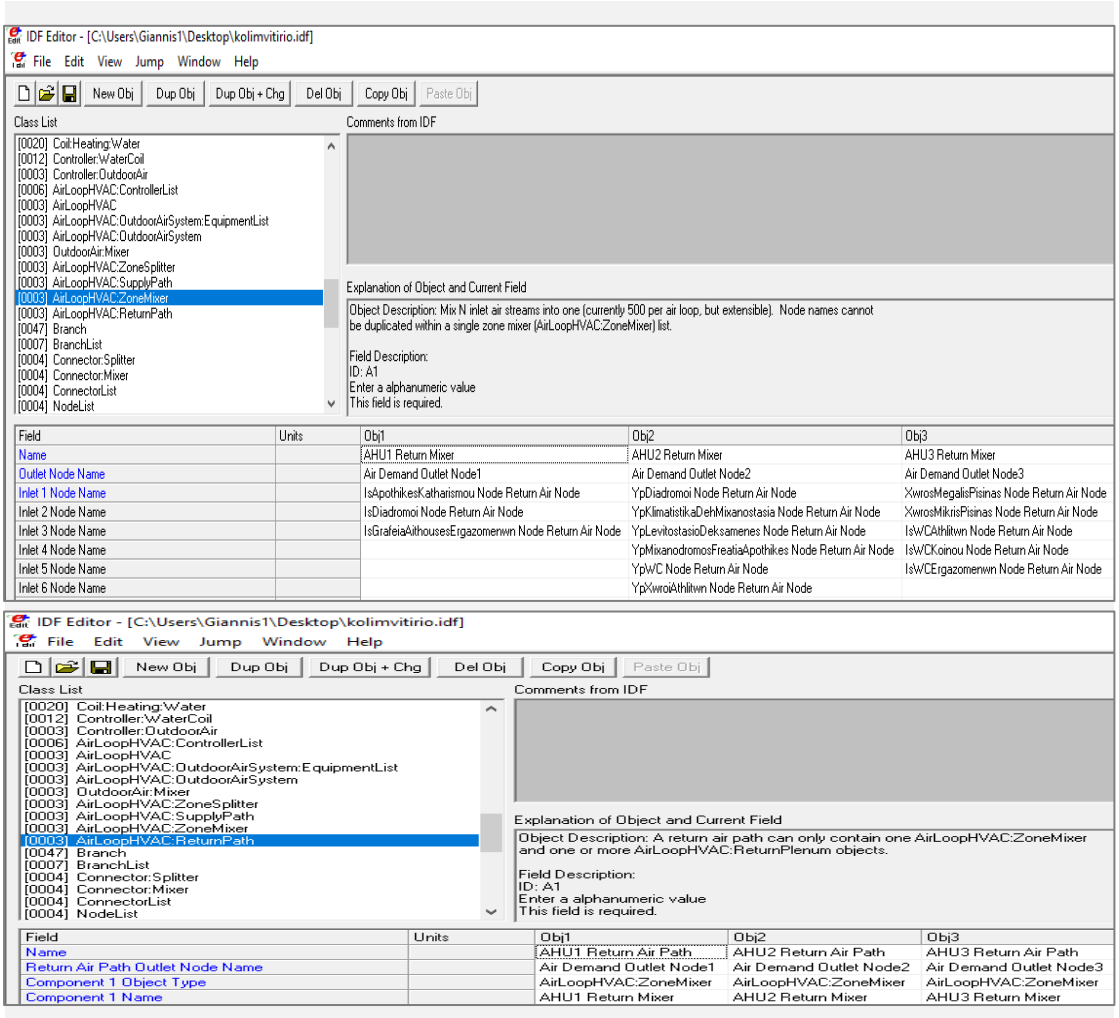
Η υποκατηγορία AirLoopHVAC: SupplyPath αφορά τον ορισμό του Splitter που μόλις δημιουργήθηκε. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην δήλωση του πεδίου Supply Air Path Inlet Node Name, καθώς αναφέρεται στον κόμβο εισόδου της Demand Side του Air Loop.



Εικόνα 5.95: Παράμετροι υποκατηγοριών AirLoopHVAC: ZoneSplitter - AirLoopHVAC: SupplyPath

X. AirLoopHVAC: ZoneMixer - AirLoopHVAC: ReturnPath

Η υποκατηγορία AirLoopHVAC: ZoneMixer αφορά τον ορισμό των αγωγών επιστροφής αέρα της κάθε ζώνης που τελικά οδηγούν στην έξοδο της Demand Side του Air Loop κάθε κεντρικής κλιματιστικής μονάδας. Στην υποκατηγορία AirLoopHVAC: ReturnPath από την άλλη πλευρά, γίνεται ο ορισμός του Mixer που μόλις σχεδιάστηκε.



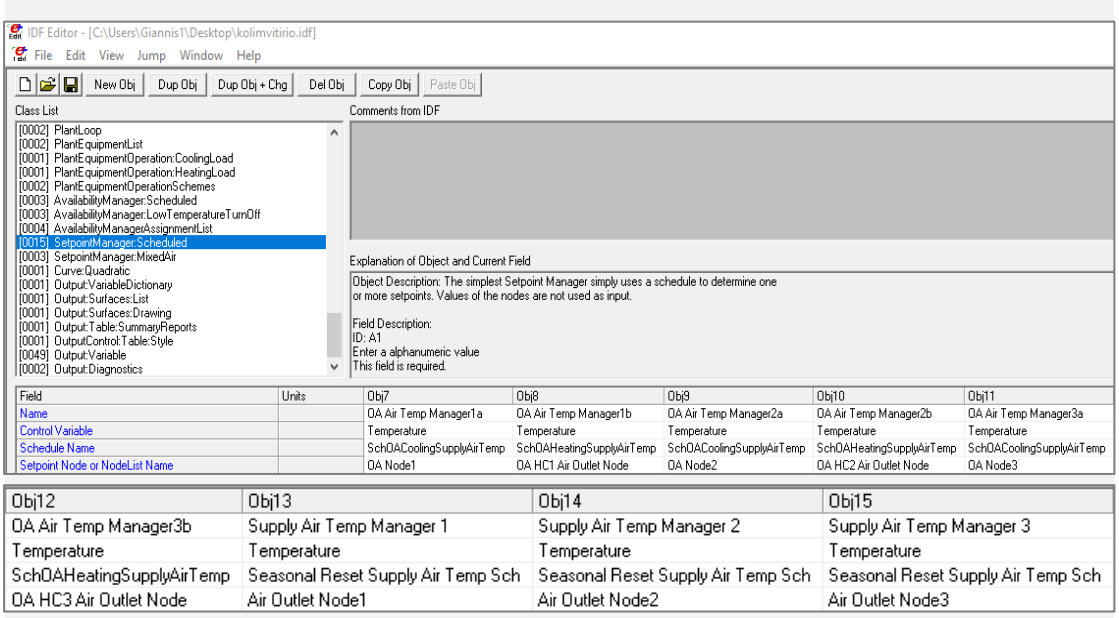
Εικόνα 5.96: Παράμετροι υποκατηγοριών AirLoopHVAC: ZoneMixer, AirLoopHVAC: ReturnPath

XI. SetpointManager: Scheduled

Στη συγκεκριμένη υποκατηγορία ορίστηκε το σημείο ρύθμισης τόσο για τα OA Cooling, OA Heating Coils των μικτών που χρησιμοποιήθηκαν όσο και για την ολική επαναφορά (reset) των τριών κεντρικών κλιματιστικών μονάδων. Στο πεδίο Control Variable ορίστηκε η τιμή Temperature, καθώς η ρύθμιση γίνεται με βάση την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας, η οποία εναλλάσσεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και καθορίζεται στο πεδίο Schedule Name. Τέλος, στο πεδίο Setpoint Node or

NodeList Name δηλώθηκε το ακριβές σημείο ελέγχου της θερμοκρασίας στην κάθε περίπτωση.

Αξίζει να σημειωθεί πως η τιμή θερμοκρασίας που αφορά το OA Cooling Coil του εξωτερικού αέρα του μίκτη είναι υψηλότερη από αυτήν του Main Cooling Coil του συστήματος. Κάτι παρόμοιο συμβαίνει και στη θερμοκρασία του OA Heating Coil του μίκτη, όπου είναι αισθητά μικρότερη από αυτή του Main Heating Coil του συστήματος.



Εικόνα 5.97: Παράμετροι υποκατηγορίας SetpointManager: Scheduled

5.5.9 Ρυθμίσεις στο υπό μελέτη μοντέλο προσομοίωσης

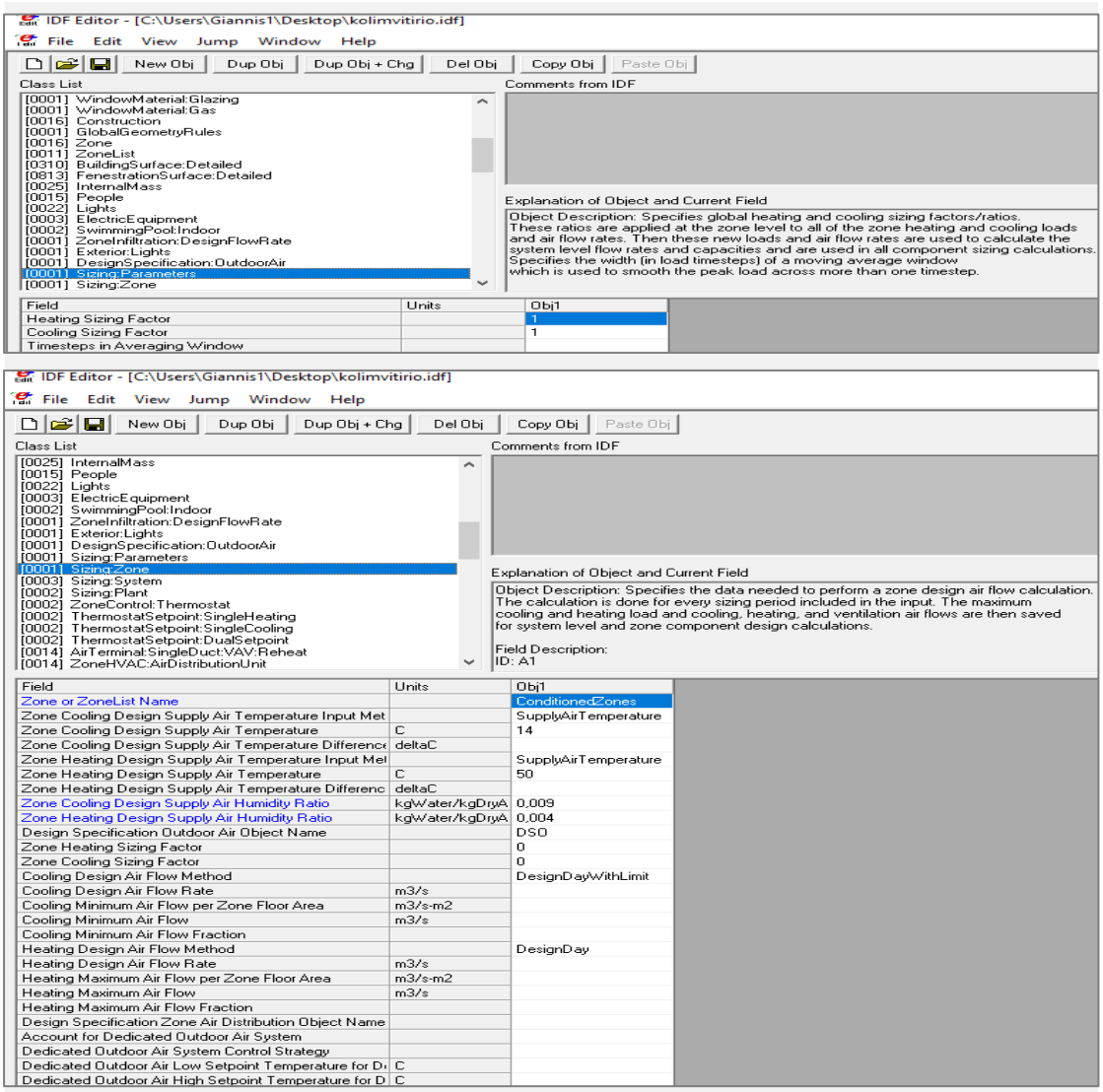
Ολοκληρώνοντας τη δήλωση όλων των στοιχείων που αφορούν τις βασικές κατηγορίες που περιγράφουν όλα τα χαρακτηριστικά του κολυμβητηρίου και των συστημάτων του, κρίθηκε απαραίτητο να γίνουν ορισμένες ακόμη τελευταίες ρυθμίσεις στο μοντέλο.

Αρχικά, εισήχθησαν επιπλέον χαρακτηριστικά στον εξωτερικό αέρα του κολυμβητηρίου μέσω της υποκατηγορίας DesignSpecification: Outdoor Air. Πιο συγκεκριμένα για τον τρόπο υπολογισμού της ροής του, χρησιμοποιήθηκε στο πεδίο Outdoor Air Method η τιμή sum, η οποία εκφράζει το άθροισμα του ρυθμού ροής αέρα ανά άτομο, ανά τετραγωνικό μέτρο δαπέδου και ανά ζώνη μετρήσιμα σε κυβικά μέτρα το δευτερόλεπτο. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά είναι οι προτεινόμενες από το EnergyPlus.

5.5.9.1 Sizing: Parameters, Zone, System, Plant

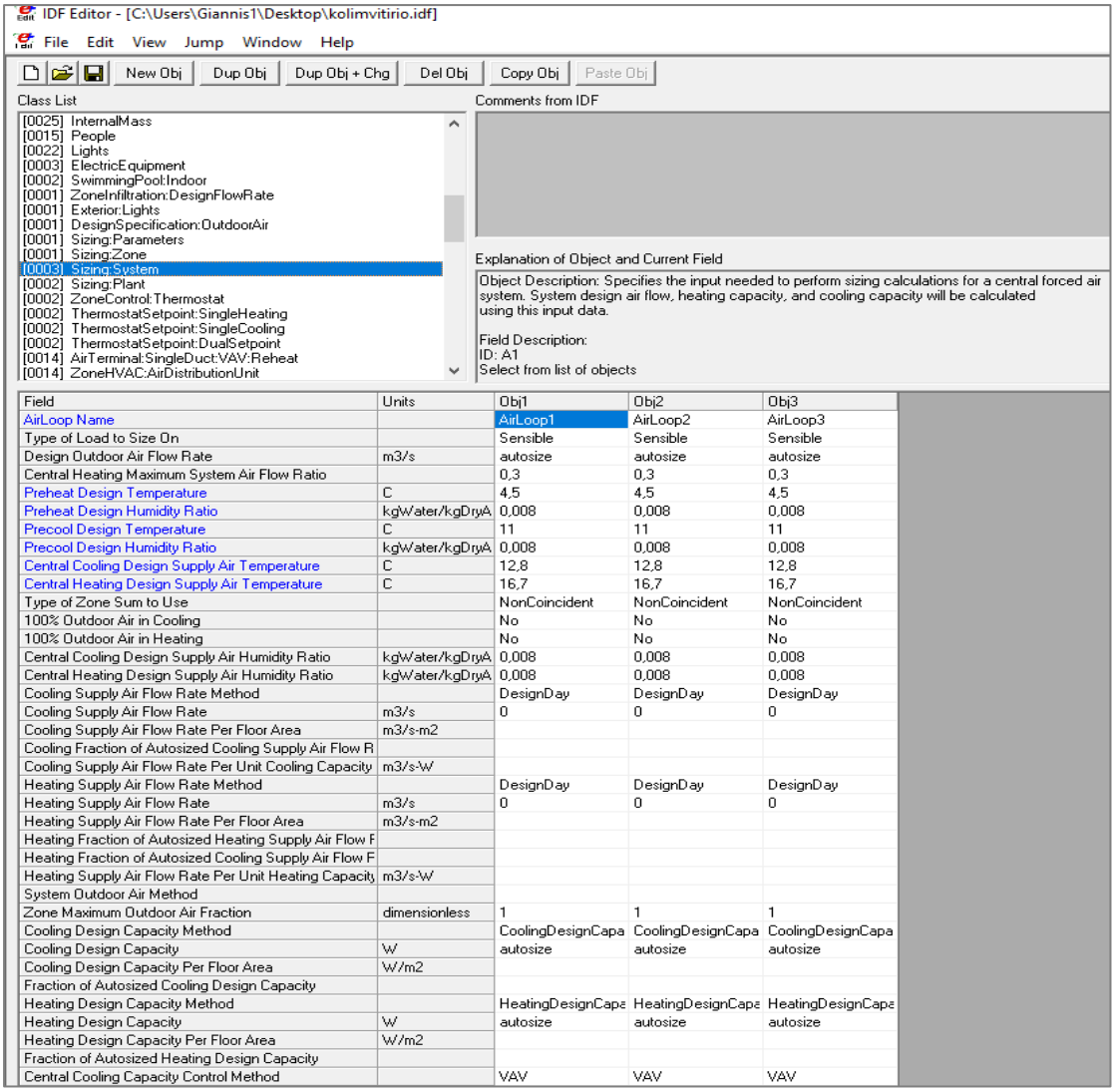
Στη συνέχεια, ορίστηκαν οι παράμετροι που αφορούν τις υποκατηγορίες Sizing: Parameters, Sizing: Zone, οι οποίες σχετίζονται με τον υπολογισμό της ροής αέρα για κάθε ζώνη του κολυμβητηρίου. Εδώ ορίστηκαν οι επιθυμητές θερμοκρασίες

θέρμανσης και ψύξης καθώς και το ποσοστό ύπαρξης υγρασίας στον αέρα κατά τη θέρμανση και την ψύξη αντίστοιχα. Προφανώς οι συγκεκριμένες υποκατηγορίες αφορούν μόνο τις ζώνες που ανήκουν στο δίκτυο του συστήματος HVAC.



Εικόνα 5.98: Παράμετροι υποκατηγοριών Sizing: Parameters, Sizing: Zone

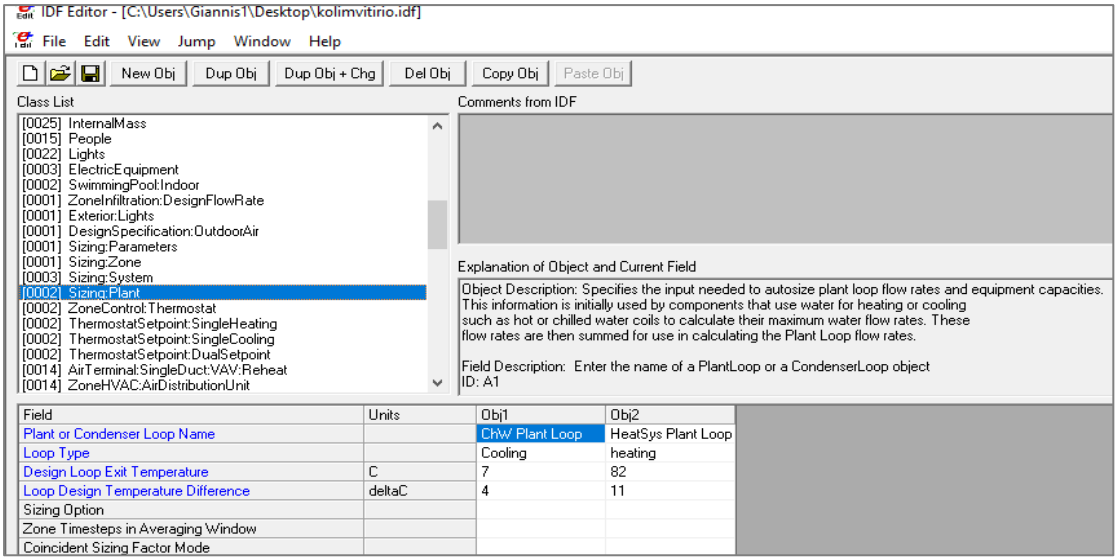
Αντίστοιχα στην υποκατηγορία Sizing: System, ορίστηκαν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για τον υπολογισμό του ρυθμού ροής αέρα και της χωρητικότητας για θέρμανση και ψύξη της κάθε κεντρικής κλιματιστικής μονάδας. Και σε αυτή την περίπτωση, οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, οι οποίες αφορούσαν κυρίως την κατάσταση του αέρα πριν την επεξεργασία του, είναι οι προτεινόμενες από το EnergyPlus.



Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
AirLoop Name		AirLoop1	AirLoop2	AirLoop3
Type of Load to Size On		Sensible	Sensible	Sensible
Design Outdoor Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
Central Heating Maximum System Air Flow Ratio		0,3	0,3	0,3
Preheat Design Temperature	C	4,5	4,5	4,5
Preheat Design Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0,008	0,008	0,008
Precool Design Temperature	C	11	11	11
Precool Design Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0,008	0,008	0,008
Central Cooling Design Supply Air Temperature	C	12,8	12,8	12,8
Central Heating Design Supply Air Temperature	C	16,7	16,7	16,7
Type of Zone Sum to Use		NonCoincident	NonCoincident	NonCoincident
100% Outdoor Air in Cooling		No	No	No
100% Outdoor Air in Heating		No	No	No
Central Cooling Design Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0,008	0,008	0,008
Central Heating Design Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0,008	0,008	0,008
Cooling Supply Air Flow Rate Method		DesignDay	DesignDay	DesignDay
Cooling Supply Air Flow Rate	m3/s	0	0	0
Cooling Supply Air Flow Rate Per Floor Area	m3/s-m2			
Cooling Fraction of Autosized Cooling Supply Air Flow R				
Cooling Supply Air Flow Rate Per Unit Cooling Capacity	m3/s-W			
Heating Supply Air Flow Rate Method		DesignDay	DesignDay	DesignDay
Heating Supply Air Flow Rate	m3/s	0	0	0
Heating Supply Air Flow Rate Per Floor Area	m3/s-m2			
Heating Fraction of Autosized Heating Supply Air Flow F				
Heating Fraction of Autosized Cooling Supply Air Flow F				
Heating Supply Air Flow Rate Per Unit Heating Capacity	m3/s-W			
System Outdoor Air Method				
Zone Maximum Outdoor Air Fraction	dimensionless	1	1	1
Cooling Design Capacity Method		CoolingDesignCapa	CoolingDesignCapa	CoolingDesignCapa
Cooling Design Capacity	W	autosize	autosize	autosize
Cooling Design Capacity Per Floor Area	W/m2			
Fraction of Autosized Cooling Design Capacity				
Heating Design Capacity Method		HeatingDesignCapa	HeatingDesignCapa	HeatingDesignCapa
Heating Design Capacity	W	autosize	autosize	autosize
Heating Design Capacity Per Floor Area	W/m2			
Fraction of Autosized Heating Design Capacity				
Central Cooling Capacity Control Method		VAV	VAV	VAV

Εικόνα 5.99: Παράμετροι υποκατηγορίας Sizing: System

Όσον αφορά στην υποκατηγορία Sizing: Plant, ορίστηκαν τα δύο Plant Loops που χρησιμοποιήθηκαν κατά την προσομοίωση του κολυμβητηρίου, δηλαδή ο βρόχος θέρμανσης και ο βρόχος ψύξης του νερού. Στην πρώτη περίπτωση, ορίστηκε επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου από αυτόν 82^0C με εσωτερική πτώση θερμοκρασίας εντός του βρόχου 11^0C. Οι αντίστοιχες τιμές που αφορούν το βρόχο ψύξης είναι 7^0C και 4^0C.



Εικόνα 5.100: Παράμετροι υποκατηγορίας Sizing: Plant

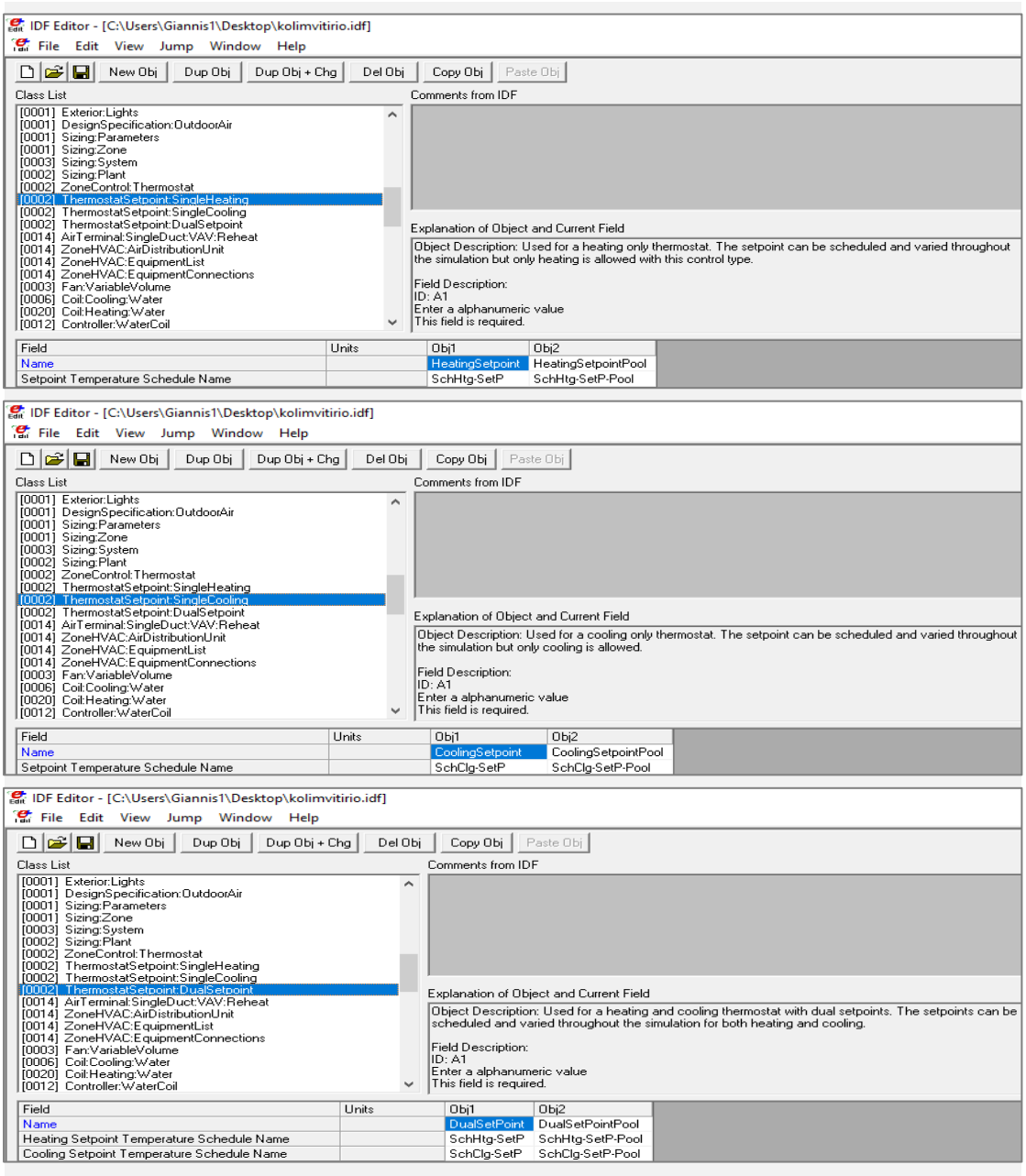
5.5.9.2 ZoneControl: Thermostat

Στην υποκατηγορία ZoneControl: Thermostat, έγινε ο ορισμός των θερμοστατών σύμφωνα με τους οποίους λειτουργεί το σύστημα HVAC του κολυμβητηρίου.

Για να συμβεί αυτό, δηλώθηκαν πρώτα στην υποκατηγορία ThermostatSetpoint: SingleHeating οι θερμοστάτες που αφορούν τη θέρμανση των δύο πισινών και των ζωνών που είναι ενταγμένες στο σύστημα θέρμανσης. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε η υποκατηγορία ThermostatSetpoint: SingleCooling για την δήλωση των αντίστοιχων θερμοστατών που αφορούν την ψύξη των δύο πισινών και των ζωνών που είναι ενταγμένες στο σύστημα ψύξης.

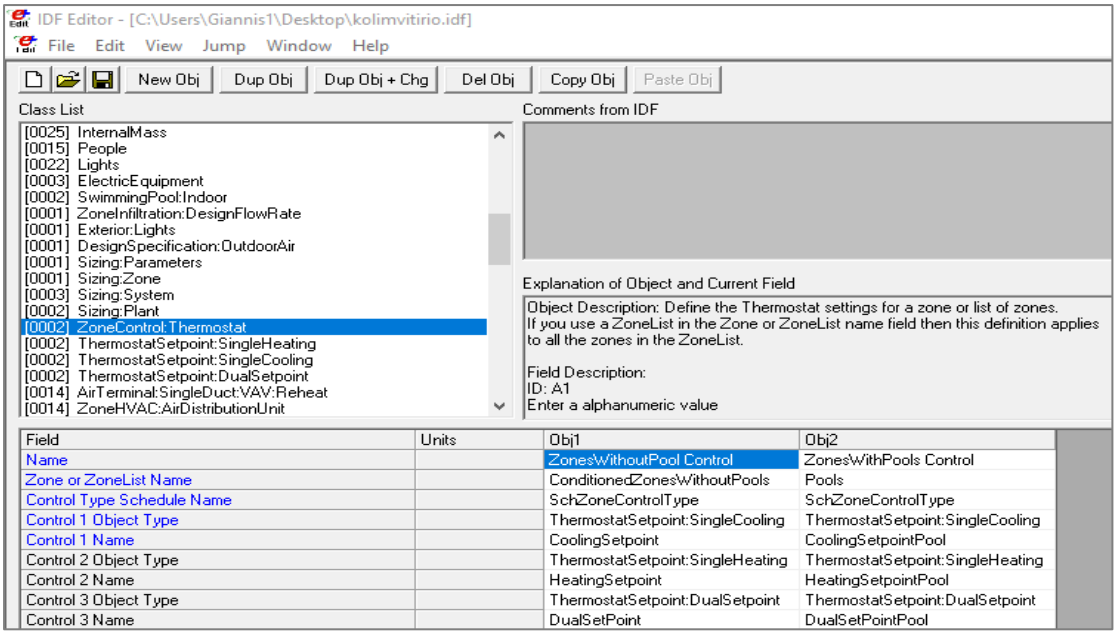
Οι πληροφορίες για τα χρονοδιαγράμματα που αφορούν τις ακριβείς θερμοκρασίες ελέγχου για την έναρξη της λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης των πισινών ή των ζωνών αντίστοιχα λήφθηκαν από την υποκατηγορία Schedule: Compact.

Τέλος, στην υποκατηγορία ThermostatSetpoint: DualSetpoint έγινε η δήλωση των θερμοστατών που μόλις περιγράφηκαν, αφού πρώτα διαχωρίστηκαν σε θερμοστάτες που αφορούν τον έλεγχο των ζωνών που συμμετέχουν στο HVAC σύστημα και σε αυτούς που αφορούν τις δύο πισίνες του κολυμβητηρίου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.101.



Εικόνα 5.101: Παράμετροι υποκατηγοριών ThermostatSetpoint: SingleHeating, ThermostatSetpoint: SingleCooling, ThermostatSetpoint: DualSetpoint

Ο ολοκληρωμένος ορισμός της υποκατηγορίας ZoneControl: Thermostat φαίνεται στην Εικόνα 5.102.



Εικόνα 5.102: Παράμετροι υποκατηγορίας ZoneControl: Thermostat

5.5.10 Ζήτηση αποτελεσμάτων

Για την εξαγωγή αποτελεσμάτων από την ενεργειακή προσομοίωση, ο χρήστης καλείται να καθορίσει στην κατηγορία Output: Reporting, του υποπρογράμματος IDF Editor του EnergyPlus, τα αρχεία εξόδου και συνεπώς τις πληροφορίες που επιθυμεί να αντλήσει. Κάθε υποκατηγορία αντιπροσωπεύει διαφορετικό είδος απαιτούμενων στοιχείων.

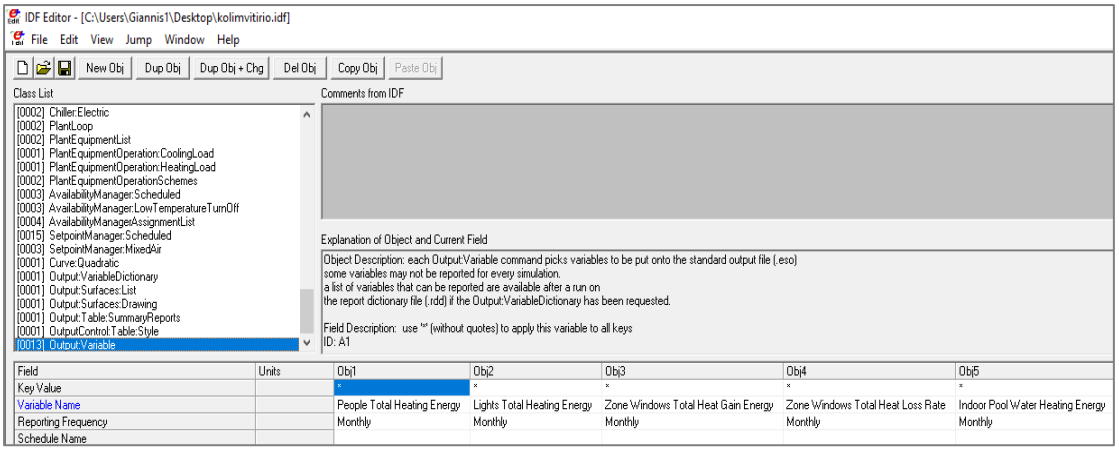
5.5.10.1 Output: Variable

Η συγκεκριμένη υποκατηγορία χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του μεγέθους, για το οποίο επιθυμεί ο χρήστης να λάβει γνώσεις (όπως θερμοκρασίες και καταναλώσεις ενέργειας) και το χρονικό βήμα εμφάνισης του (συνήθως ανά ώρα, ανά μέρα ή ανά μήνα).

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αντικείμενα που δημιουργήθηκαν για τη ζήτηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, ενώ στην Εικόνα 5.103, παρουσιάζεται ο τρόπος ορισμού ορισμένων από αυτά στο EnergyPlus. Σημειώνεται ότι το σύμβολο (*) στο πεδίο Key Value έχει τεθεί για να επιτρέπει την επιλογή όλων των παραμέτρων που διατίθενται από το πεδίο Variable Name.

Αντικείμενο	Όνομα μεταβλητής	Συχνότητα υποβολής αποτ/σμάτων
Object 1	Εσωτερικά θερμικά κέρδη από τους Χρήστες (People Total Heating Energy)	Μηνιαία (Monthly)
Object 2	Εσωτερικά θερμικά κέρδη από τους Χρήστες των δύο Πισινών (Indoor Pool People Heat Gain)	Μηνιαία (Monthly)
Object 3	Εσωτερικά θερμικά κέρδη από τον Τεχνητό Φωτισμό (Lights Total Heat Energy)	Μηνιαία (Monthly)
Object 4	Θερμικές Απώλειες λόγω εξάτμισης του νερού των δύο πισινών (Indoor Pool Evaporative Heat Loss Energy)	Μηνιαία (Monthly)
Object 5	Θερμικά κέρδη από τα Παράθυρα (Zone Windows Heat Gain Energy)	Μηνιαία (Monthly)
Object 6	Θερμικές Απώλειες από τα Παράθυρα (Zone Windows Heat Loss Energy)	Μηνιαία (Monthly)
Object 7	Θερμικά κέρδη λόγω Διήθησης του Αέρα (Zone Infiltration Total Heat Gain Energy)	Μηνιαία (Monthly)
Object 8	Θερμικές Απώλειες λόγω Διήθησης του Αέρα (Zone Infiltration Total Heat Loss Energy)	Μηνιαία (Monthly)
Object 9	Ενεργειακή Κατανάλωση του Τεχνητού Φωτισμού (Lights Electric Energy)	Μηνιαία (Monthly)
Object 10	Ενεργειακή Κατανάλωση του Ηλεκτρολογικού Εξοπλισμού (Electric Equipment Electric Energy)	Μηνιαία (Monthly)
Object 11	Ενεργειακή Κατανάλωση για Θέρμανση του Νερού των Πισινών (Indoor Pool Water Heating Energy)	Μηνιαία (Monthly)
Object 12	Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση Ενέργειας για Θέρμανση (Air System Total Heating Energy)	Μηνιαία (Monthly)
Object 13	Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση Ενέργειας για Ψύξη (Air System Total Cooling Energy)	Μηνιαία (Monthly)
Object 14	Μέση Θερμοκρασία Αέρα για κάθε Θερμική Ζώνη (Zone Mean Air Temperature)	Ημερήσια (Daily)
Object 15	Σχετική Υγρασία Αέρα για κάθε Θερμική Ζώνη (Zone Mean Relative Humidity)	Ημερήσια (Daily)
Object 16	Μέση Θερμοκρασία Νερού των δύο Πισινών (Indoor Pool Water Temperature)	Ημερήσια (Daily)

Πίνακας 5.8: Αντικείμενα ζήτησης αποτελεσμάτων

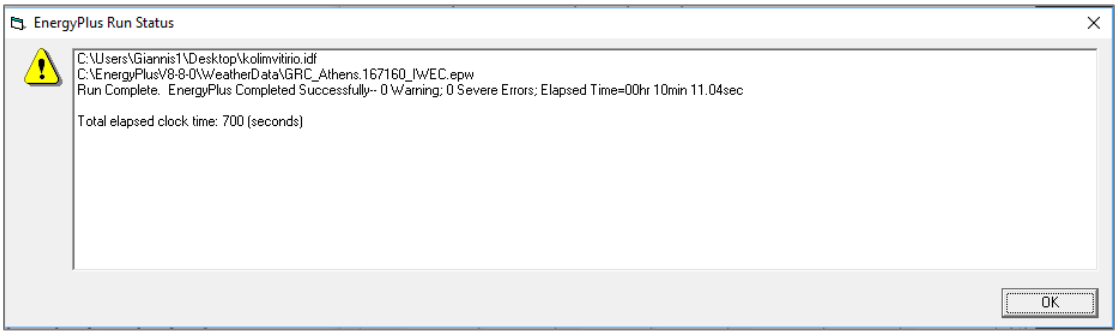


Εικόνα 5.103: Παράμετροι υποκατηγορίας Output: Variable

5.6 Εκτέλεση του προγράμματος

Μετά τον ορισμό όλων των απαραίτητων στοιχείων της προσομοίωσης του κολυμβητηρίου στην καρτέλα IDF Editor, έγινε επιστροφή στο περιβάλλον του προγράμματος EnergyPlus και ακολούθησε η εκτέλεση του μέσω της εντολής Simulate.

Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης, η οποία μπορεί να κρατήσει από λίγα δευτερόλεπτα έως αρκετή ώρα ανάλογα με την ύπαρξη ή μη λαθών και την πολυπλοκότητα της σχεδίασης, ανοίγει ένα παράθυρο εντολών DOS. Το παράθυρο κλείνει αυτόματα μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας και ανοίγει ένα νέο παράθυρο, στο οποίο γίνεται αναφορά στο .idf αρχείο που χρησιμοποιήθηκε, στο αρχείο με τα δεδομένα καιρού, στο χρόνο εκτέλεσης του προγράμματος και στα πιθανά λάθη, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.104.



Εικόνα 5.104: Μήνυμα ολοκλήρωσης της εκτέλεσης του προγράμματος.

Οι τρεις κατηγορίες λαθών που μπορεί να προκύψουν κατά την εκτέλεση του προγράμματος είναι οι εξής:

- **Warnings**, που είναι κυρίως προειδοποιήσεις, αφορούν πολλές φορές «λογικά λάθη» κατά τη σχεδίαση και συνήθως δεν αποτελούν πρόβλημα στην εκτέλεση του προγράμματος. Βέβαια η παράβλεψη τους μπορεί πολλές φορές να οδηγήσει σε πιο σοβαρά λάθη (όπως

αυτά που περιγράφονται στη συνέχεια) ή ακόμα και αλλοίωση των τελικών αποτελεσμάτων.

- **Severe Errors**, τα οποία είναι πολύ σοβαρά και καθοριστικά και πρέπει οπωσδήποτε να διορθωθούν.
- **Fatal Errors**, τα οποία δεν επιτρέπουν καν την έναρξη εκτέλεσης του προγράμματος και η διόρθωση τους αποτελεί επιτακτική ανάγκη.

Για την εμφάνιση των αποτελεσμάτων απαιτείται η διόρθωση των Severe και Fatal Errors, καθώς σε αντίθετη περίπτωση το πρόγραμμα δεν θα εμφανίσει τα αρχεία των αποτελεσμάτων. Ιδιαίτερα χρήσιμη για τη διόρθωση των λαθών κάθε τύπου είναι η κατηγορία Output: Diagnostics, η οποία παρέχει στο χρήστη επιπλέον πληροφορίες σχετικά με αυτά. Αφού γίνει η διόρθωση των λαθών θα πρέπει να εκτελεστεί και πάλι το πρόγραμμα με επιτυχία και έτσι θα εμφανιστούν τα αρχεία με τα αποτελέσματα σε μορφή Excel.

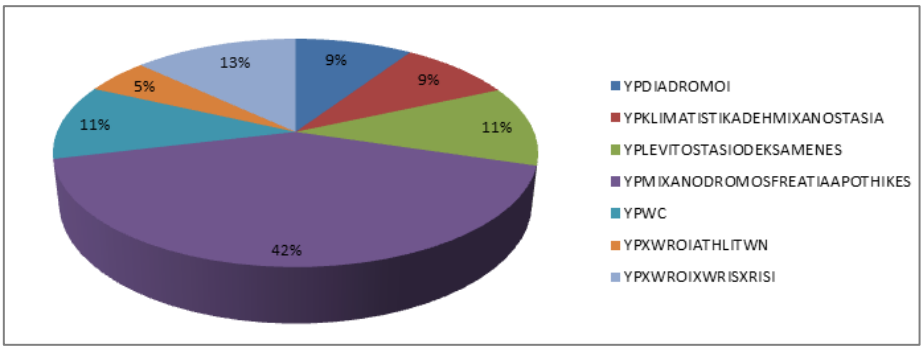
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΡΙΟΥ

6.1 Εισαγωγή

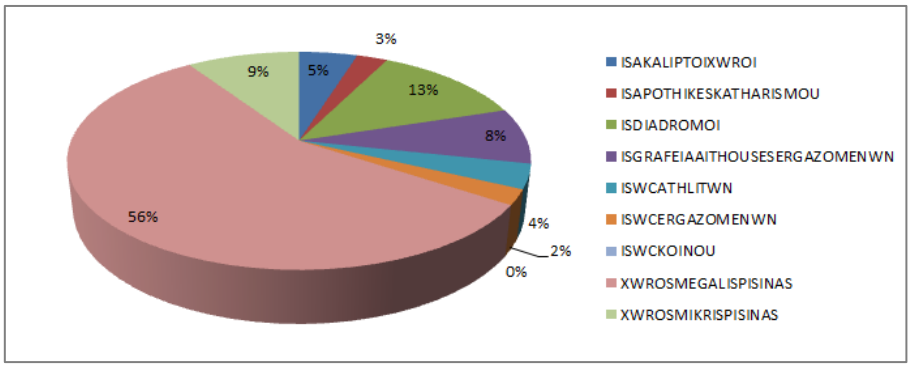
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του μοντέλου που δημιουργήθηκε, χρησιμοποιώντας τη γεωμετρία του κλειστού κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά Χανίων και επιπλέον πληροφορίες σχετικά με τα υλικά και τα συστήματα που διαθέτουν τα κολυμβητήρια στην Ελλάδα σήμερα. Αρχικά, γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση των γενικών αποτελεσμάτων και στη συνέχεια αναφορά σε συγκεκριμένες ζώνες του κολυμβητηρίου.

6.2 Γενικά αποτελέσματα

Στα παρακάτω διαγράμματα, εμφανίζεται το εμβαδόν κάλυψης κάθε θερμικής ζώνης του κολυμβητηρίου σύμφωνα με τα στοιχεία που προέκυψαν από τη μελέτη των αρχιτεκτονικών σχεδίων.



Εικόνα 6.1: Εμβαδόν κάλυψης κάθε θερμικής ζώνης του υπογείου του κολυμβητηρίου



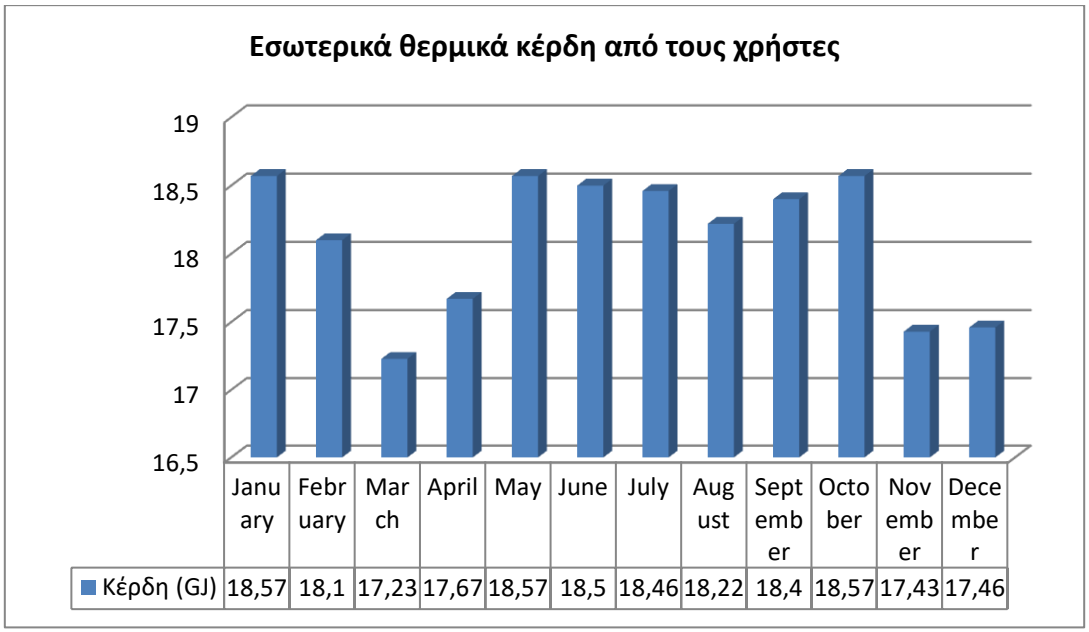
Εικόνα 6.2: Εμβαδόν κάλυψης κάθε θερμικής ζώνης του ισογείου του κολυμβητηρίου

Όσον αφορά το υπόγειο, το μεγαλύτερο εμβαδόν καταλαμβάνει ο μηχανόδρομος και ο χώρος των αποθηκών που βρίσκονται κάτω από τον πυθμένα της πισίνας Ολυμπιακών διαστάσεων και των κερκίδων. Παρόλα αυτά, οι συγκεκριμένοι χώροι δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενεργειακό ενδιαφέρον, καθώς η χρήση τους είναι

ελάχιστη. Αντιθέτως, το εμβαδόν του ισογείου καλύπτεται κυρίως από την αίθουσα της μεγάλης πισίνας, την αίθουσα της μικρής πισίνας και τους κοινόχρηστους χώρους, που χρησιμοποιούνται ιδιαιτέρως από τους αθλητές και τους υπόλοιπους χρήστες του κολυμβητηρίου, ενώ παρουσιάζουν και ενδιαφέροντα γεωγραφικό προσανατολισμό.

6.3 Εσωτερικά θερμικά κέρδη

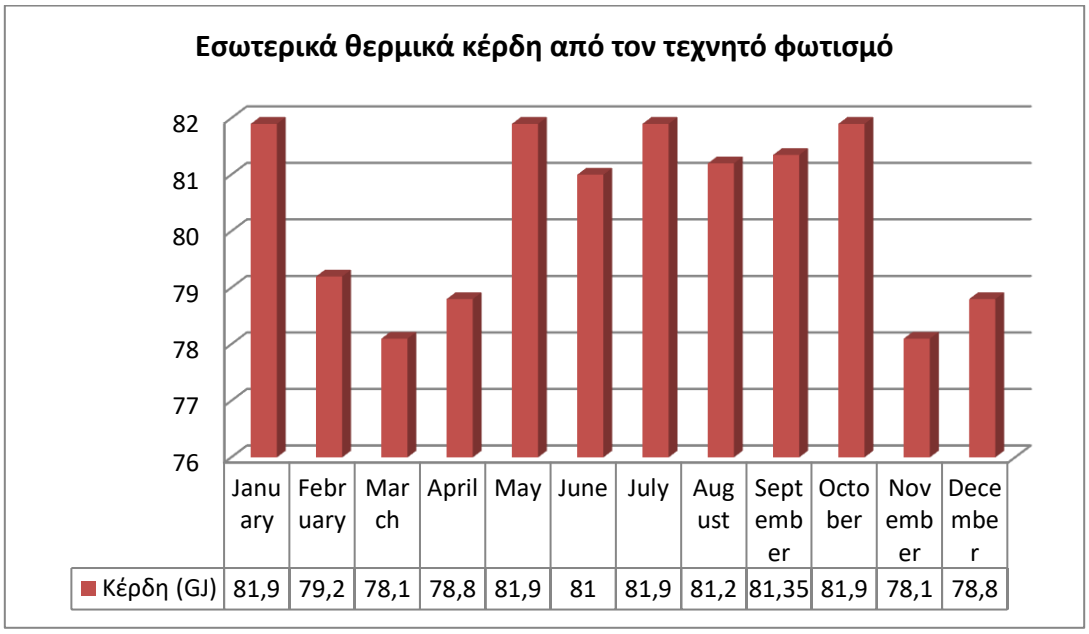
Όπως αναλύθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, η εξασφάλιση της θερμικής άνεσης σε ένα κτίριο είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τους χρήστες του, τον εγκατεστημένο τεχνητό φωτισμό και τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό. Στα παρακάτω διαγράμματα, παρουσιάζονται τα μηνιαία εσωτερικά κέρδη από τους συγκεκριμένους παράγοντες.



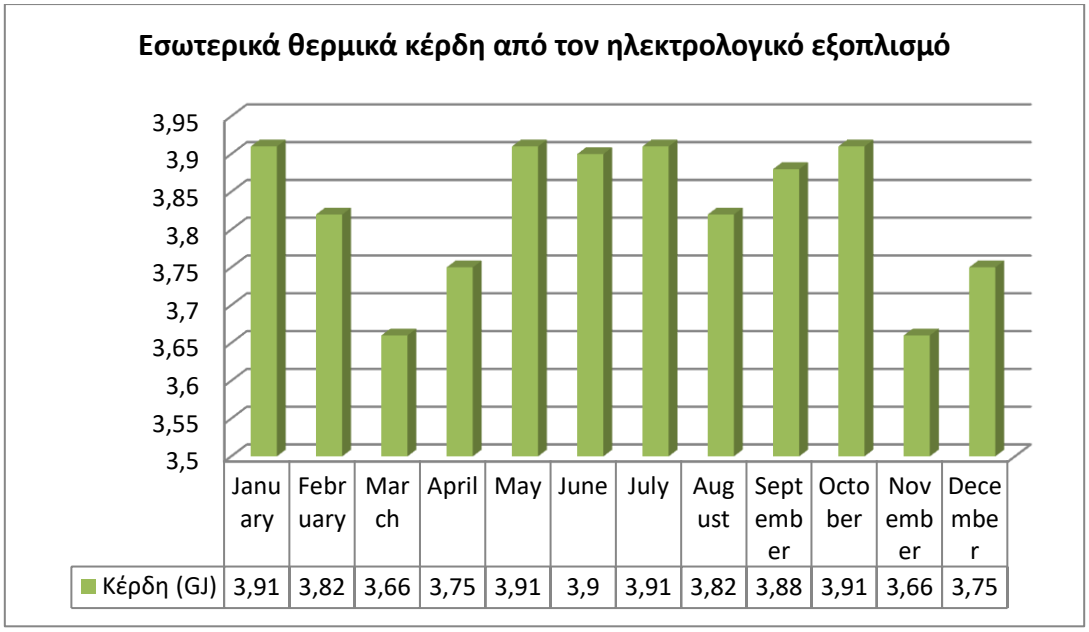
Εικόνα 6.3: Εσωτερικά θερμικά κέρδη από τους χρήστες του κολυμβητηρίου

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.4, οι αθλητές που δραστηριοποιούνται εντός των πισινών και του γυμναστηρίου είναι εκείνοι που συνεισφέρουν περισσότερο στα θερμικά κέρδη σε σχέση με τους υπόλοιπους χρήστες του κολυμβητηρίου.

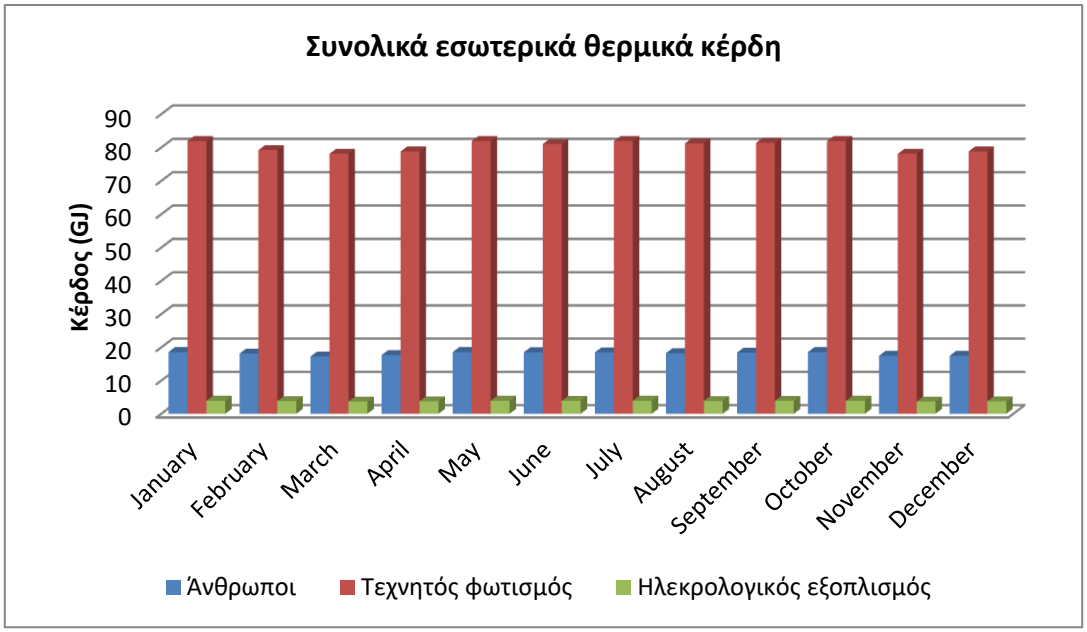
Εικόνα 6.4: Διαχωρισμός των εσωτερικών θερμικών κερδών από τους ανθρώπους σε αυτά που προέρχονται από χρήστες των αθλητικών εγκαταστάσεων (πισίνες, βάρη) και σε αυτά που αφορούν τους χρήστες των υπόλοιπων χώρων



Εικόνα 6.5: Εσωτερικά θερμικά κέρδη από τη χρήση του τεχνητού φωτισμού



Εικόνα 6.6: Εσωτερικά θερμικά κέρδη από τη χρήση ηλεκτρικών συσκευών



Εικόνα 6.7: Συνολικά εσωτερικά θερμικά κέρδη κολυμβητηρίου

Είναι προφανές πως η μεγαλύτερη πηγή εσωτερικών κερδών του κολυμβητηρίου που προσομοιώθηκε, προέρχεται από τον τεχνητό φωτισμό. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της ύπαρξης πολλών προβολέων στο χώρο της μεγάλης πισίνας. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές των εσωτερικών κερδών, όπως προέκυψαν από το EnergyPlus.

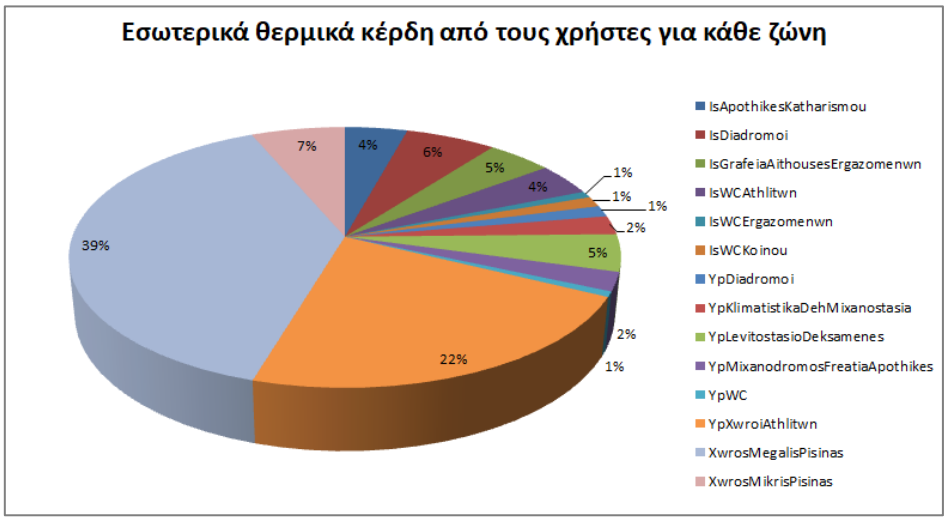
Εσωτερικά θερμικά κέρδη (MJ)				
Μήνες	**Χρήστες**	**Τεχνητός φωτισμός**	**Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός**	**Σύνολο**
Ιανουάριος	18570	81982	3916	104468
Φεβρουάριος	18100	79254	3820	101174
Μάρτιος	17232	78100	3661	98993
Απρίλιος	17671	78818	3752	100241
Μάιος	18578	81992	3916	104486
Ιούνιος	18500	81000	3900	103400
Ιούλιος	18463	81972	3911	104346
Αύγουστος	18222	81244	3821	103287
Σεπτέμβριος	18400	81350	3880	103630
Οκτώβριος	18570	81982	3916	104468
Νοέμβριος	17438	78100	3661	99199
Δεκέμβριος	17464	78843	3752	100059
Σύνολο	**217208**	**964637**	**45906**	**1227751**

Πίνακας 6.1: Εσωτερικά θερμικά κέρδη (MJ)

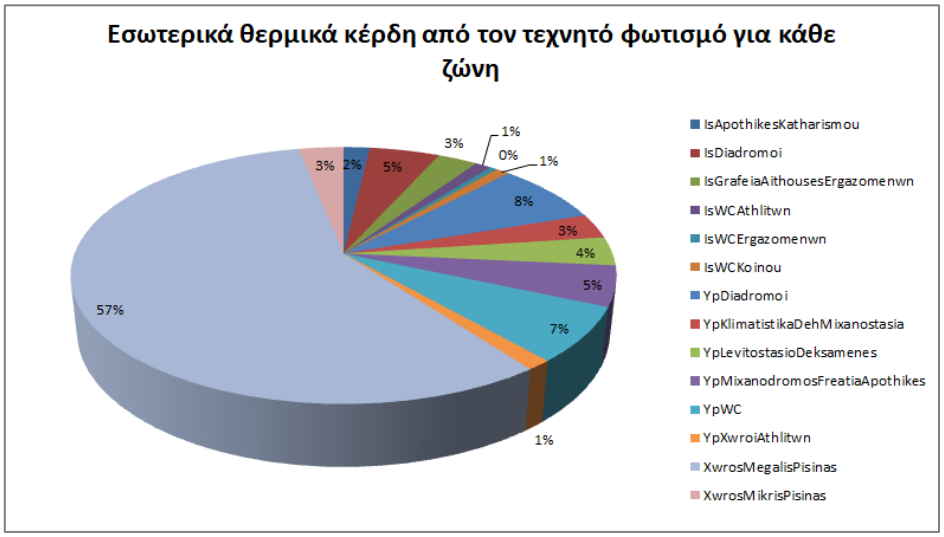
Εικόνα 6.8: Ποσοστιαία αναπαράσταση συνολικών εσωτερικών θερμικών κερδών

Τα συνολικά θερμικά κέρδη ανέρχονται στα **1227751 MJ**, εκ των οποίων τα **217208 MJ** (17%) προέρχονται από τους χρήστες του κολυμβητηρίου, τα **964637 MJ** (79%) από τον τεχνητό φωτισμό και τα υπόλοιπα **45906 MJ** (4%) από τις ηλεκτρικές συσκευές.

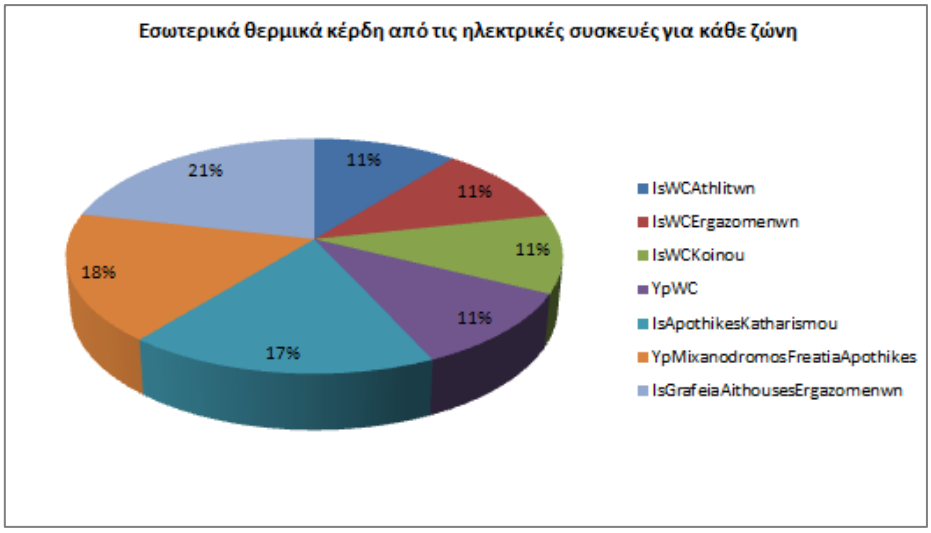
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα ετήσια ποσοστά εσωτερικών θερμικών κερδών για κάθε θερμική ζώνη.



Εικόνα 6.9: Εσωτερικά θερμικά κέρδη από τους χρήστες για κάθε ζώνη του κολυμβητηρίου



Εικόνα 6.10: Εσωτερικά θερμικά κέρδη από τον τεχνητό φωτισμό για κάθε ζώνη του κολυμβητηρίου



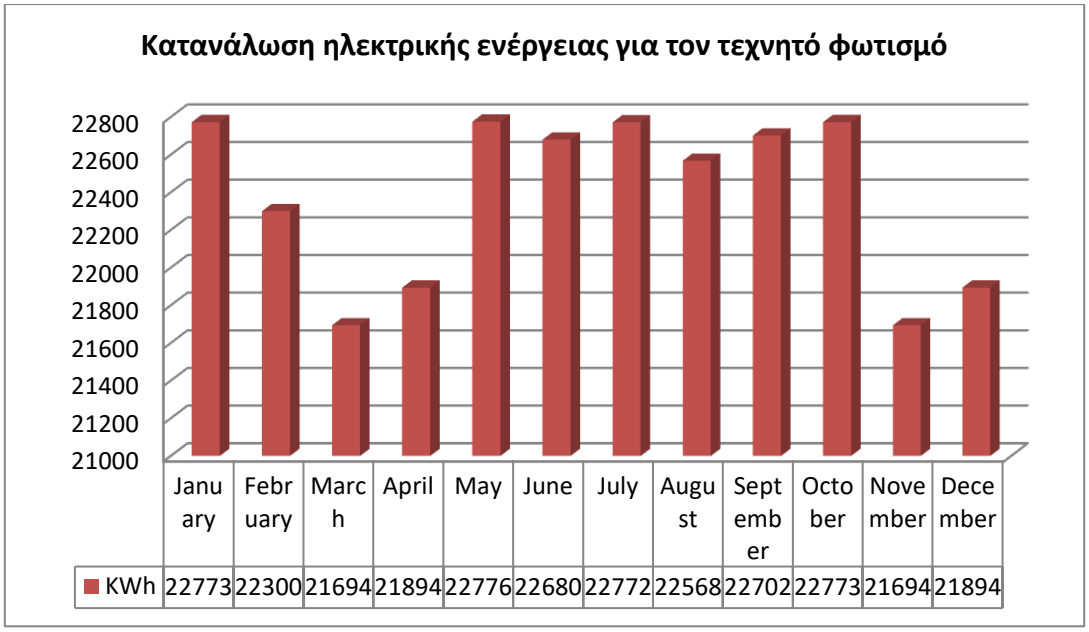
Εικόνα 6.11: Εσωτερικά θερμικά κέρδη από τις ηλεκτρικές συσκευές για κάθε ζώνη

Όσον αφορά στα θερμικά κέρδη μέσω της ανθρώπινης δραστηριότητας, το μεγαλύτερο τους ποσοστό (39%) προέρχεται από τον χώρο της πισίνας Ολυμπιακών διαστάσεων, ενώ ακολουθεί το γυμναστήριο του κολυμβητηρίου (22%) και στη συνέχεια η αίθουσα της πισίνας εκμάθησης (7%). Ομοίως ο χώρος της κεντρικής πισίνας παρουσιάζει τα περισσότερα θερμικά κέρδη από τον τεχνητό φωτισμό (όντας η πιο καλά φωτισμένη θερμική ζώνη) με 57% και ακολουθούν οι διάδρομοι του υπογείου με ένα πολύ μικρότερο ποσοστό της τάξης του 8%. Τέλος, τα κέρδη από τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό είναι σχεδόν μοιρασμένα στις ζώνες που διαθέτουν ηλεκτρικές συσκευές.

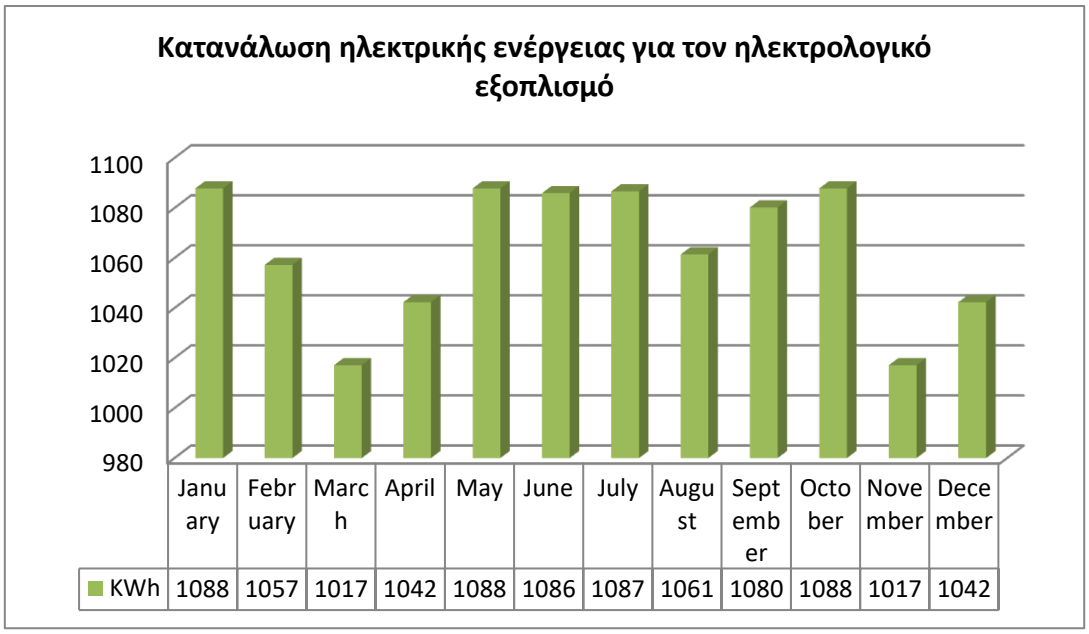
6.4 Καταναλώσεις ενέργειας

Στη συγκεκριμένη ενότητα, γίνεται εκτενής περιγραφή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από το κολυμβητήριο για την ικανοποίηση των αναγκών του. Πιο συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στις καταναλώσεις που σχετίζονται με τον τεχνητό φωτισμό, τις ηλεκτρολογικές, εγκαταστάσεις με τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης του εσωτερικού αέρα, και την θέρμανση της πισίνας. Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να αναφερθεί ότι κατά την προσομοίωση οι καταναλώσεις ενέργειας που προκύπτουν έχουν μονάδα μέτρησης τα Joules (J). Ωστόσο για τη μελέτη των αποτελεσμάτων κρίθηκε εύλογη η μετατροπή της μονάδας μέτρησης σε κιλοβατώρες (KWh), όπου 1J = 2,77777778 * 10^{-7} KWh.

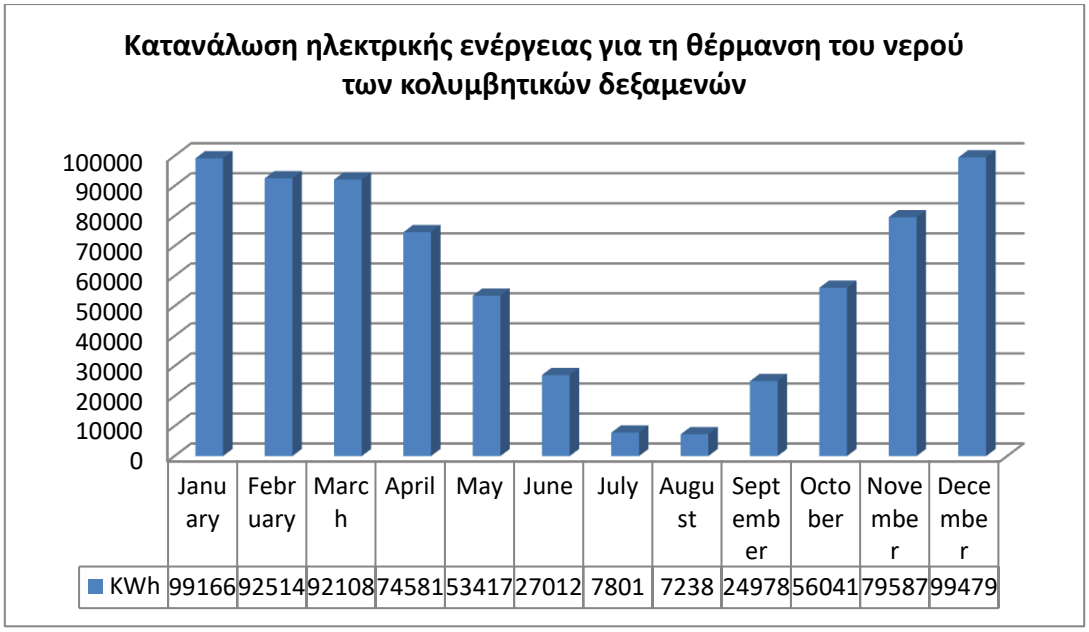
Στις Εικόνες 6.12, 6.13 που ακολουθούν, γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται για τον τεχνητό φωτισμό και τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, είναι σε αντιστοιχία ανάλογες των θερμικών κερδών που παρουσιάζουν.



Εικόνα 6.12: Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τον τεχνητό φωτισμό



Εικόνα 6.13: Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό



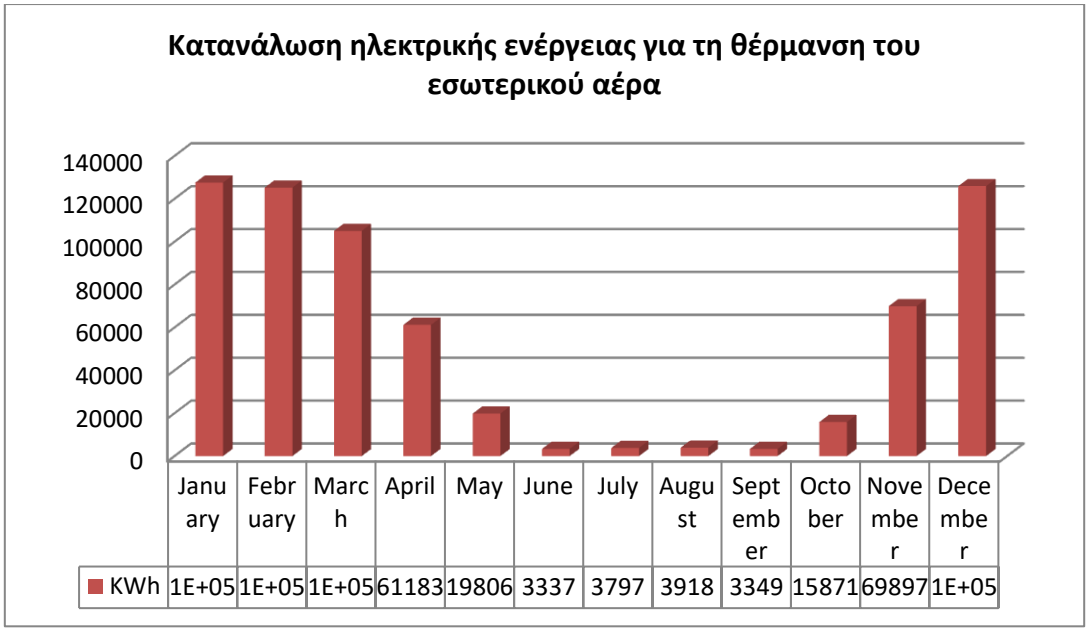
Εικόνα 6.14: Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την θέρμανση των κολυμβητικών δεξαμενών του κολυμβητηρίου

Όπως έχει περιγραφεί σε προηγούμενα κεφάλαια, κρίθηκε απαραίτητη η διατήρηση της θερμοκρασίας του νερού των δύο κολυμβητικών δεξαμενών καθόλη τη διάρκεια του έτους στους 27^0C. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται τόσο η διατήρηση συνθηκών άνεσης στο χώρο άθλησης όσο και η τήρηση της ισχύουσας Νομοθεσίας που ορίζει ως επιτρεπτά όρια θερμοκρασίας νερού πισίνας σε αθλητικές εγκαταστάσεις το διάστημα 26-28^0C.

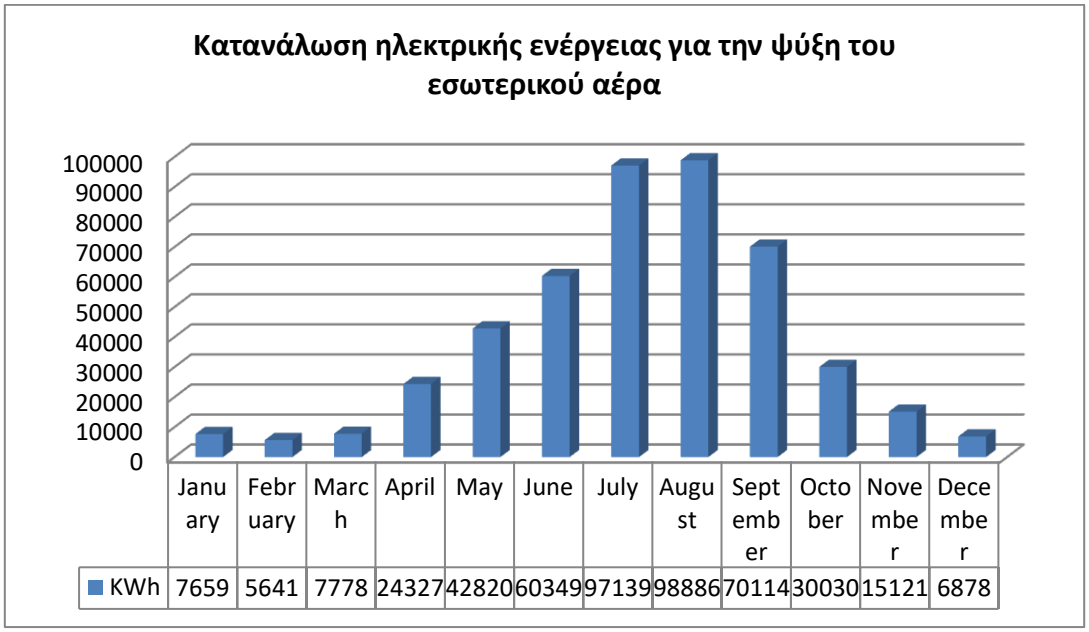
Στην Εικόνα 6.14, παρουσιάζεται η μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση του συστήματος που δημιουργήθηκε για τη θέρμανση του νερού των δύο πισινών. Παρά τις ομολογουμένως σχετικά μεγάλες καταναλώσεις για ορισμένους μήνες του έτους, παρατηρείται πως υπάρχει αισθητή μείωση της κατανάλωσης τους καλοκαιρινούς μήνες, δείγμα της σωστής λειτουργίας του συστήματος.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας που αφορούν τη θέρμανση και την ψύξη του εσωτερικού αέρα του κολυμβητηρίου. Υπενθυμίζεται ότι το σύστημα θέρμανσης και κλιματισμού που προσομοιώθηκε δεν είναι κάποιο «έτοιμο» προτεινόμενο του EnergyPlus, αλλά κατασκευάστηκε εξαρχής χρησιμοποιώντας ευφυή μέσα.

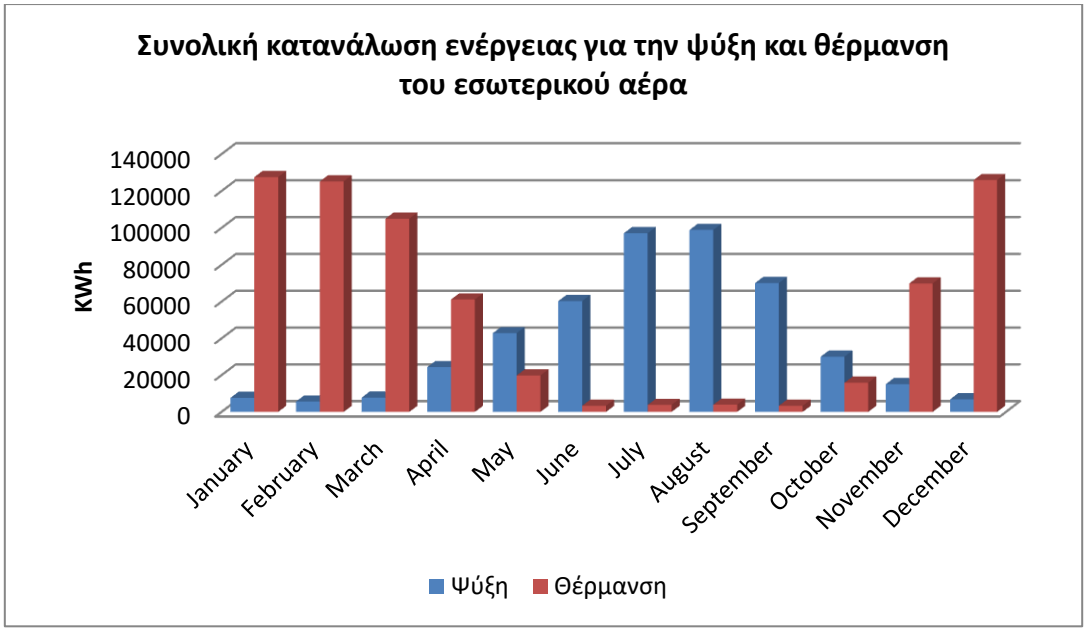
Για την πιο ομαλή λειτουργία των κεντρικών μονάδων διαχείρισης αέρα και την εξασφάλιση θερμικής άνεσης, δεν διακόπτεται ποτέ εντελώς η ροή θερμού ή κρύου αέρα αντίστοιχα. Επομένως, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.17, συναντώνται ορισμένα χρονικά διαστήματα μέσα στο έτος όπου τα συστήματα ψύξης και θέρμανσης δουλεύουν ταυτόχρονα προσαρμοσμένα βέβαια πάντα στις εκάστοτε ανάγκες.



Εικόνα 6.15: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη θέρμανση του εσωτερικού αέρα του κολυμβητηρίου



Εικόνα 6.16: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την ψύξη του εσωτερικού αέρα του κολυμβητηρίου

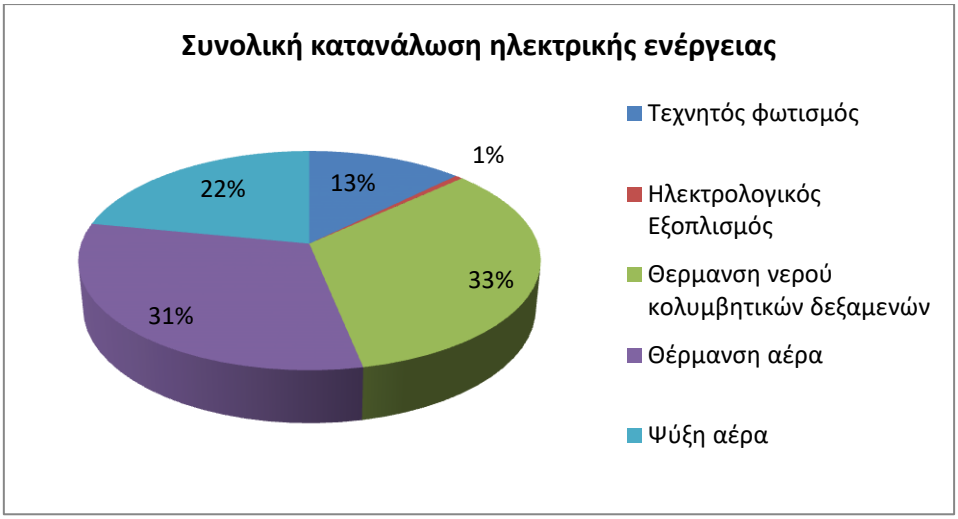


Εικόνα 6.17: Συνολική κατανάλωση ενέργειας για την ψύξη και τη θέρμανση του εσωτερικού αέρα του κολυμβητηρίου

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές των καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας, όπως αυτές προέκυψαν από το EnergyPlus.

Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (KWh)						
Μήνες	**Τεχνητός φωτισμός**	**Ηλεκτρο/γικός εξοπλισμός**	**Θέρμανση πισινών**	**Θέρμανση εσωτερικού αέρα**	**Ψύξη εσωτ/κού αέρα**	**Σύνολο**
Ιανουάριος	22773	1087	99166	127540	7658	258224
Φεβρουάριος	22300	1057	92514	125220	5641	246732
Μάρτιος	21694	1017	92108	105010	7777	227606
Απρίλιος	21894	1042	74581	61183	24327	183027
Μάιος	22776	1087	53417	19806	42820	139906
Ιούνιος	22680	1085	27012	3336	60349	114462
Ιούλιος	22772	1086	7801	3796	97139	132594
Αύγουστος	22568	1061	7238	3918	98886	133671
Σεπτέμβριος	22702	1080	24978	3348	70114	122222
Οκτώβριος	22773	1087	56041	15871	30030	125802
Νοέμβριος	21694	1017	79587	69897	15121	187316
Δεκέμβριος	21894	1042	99479	125910	6878	255203
Σύνολο	**268520**	**12748**	**713922**	**664835**	**466740**	**2126765**

Πίνακας 6.2: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (KWh)

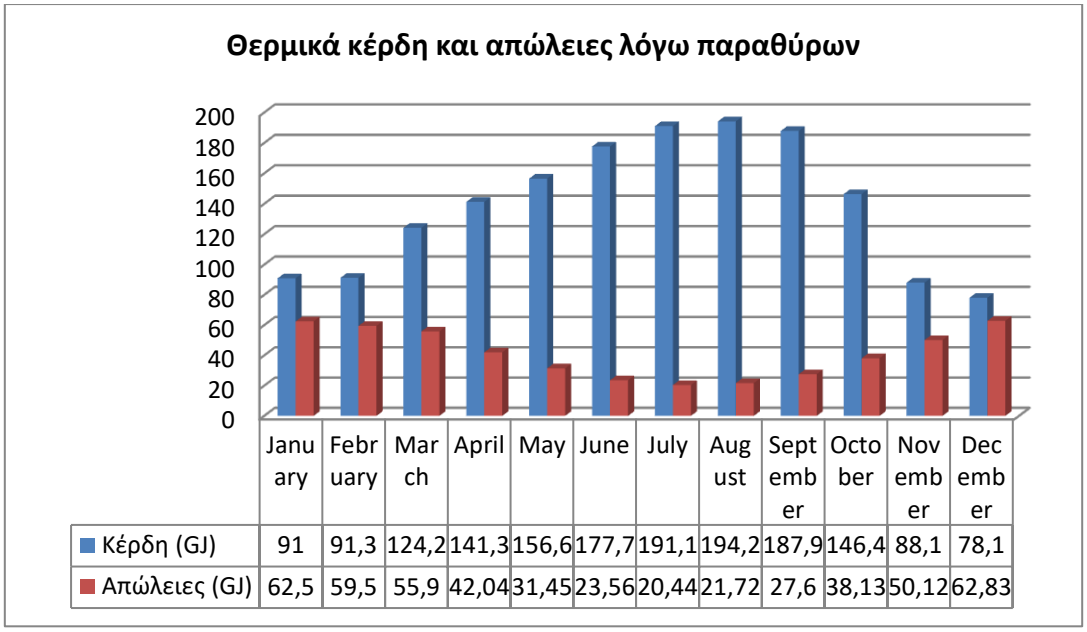


Εικόνα 6.18: Ποσοστιαία αναπαράσταση συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

Η συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του κολυμβητηρίου ανέρχεται στις **2126765 KWh**, εκ των οποίων τα **713922 KWh** (33%) οφείλονται στη θέρμανση των δύο κολυμβητικών δεξαμενών, τα **664835 KWh** (31%) στη θέρμανση του εσωτερικού αέρα και τα υπόλοιπα **735260 KWh** αφορούν το σύστημα ψύξης (22%) και τον τεχνητό φωτισμό (13%). Τέλος, σχεδόν αμελητέο θεωρείται το ποσοστό που αφορά τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό.

6.5 Θερμικά κέρδη και απώλειες λόγω παραθύρων

Ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο για την ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτιρίου, αποτελεί η σωστός προσανατολισμός των παραθύρων που διαθέτει έτσι ώστε να εκμεταλλεύονται πλήρως τα δεδομένα καιρού της εκάστοτε περιοχής. Στην περίπτωση του κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά, έχει γίνει ικανοποιητική σχεδίαση των παραθύρων, καθώς όλους τους μήνες του έτους τα θερμικά κέρδη αυτών είναι μεγαλύτερα από τις θερμικές απώλειες (Εικόνα 6.19). Τους καλοκαιρινούς μήνες βέβαια, τα θερμικά κέρδη των παραθύρων είναι τόσο υψηλά που μπορεί να επιφέρουν ανεπιθύμητα αποτελέσματα, όπως υπερθέρμανση και δυσφορία στο εσωτερικό του κολυμβητηρίου.

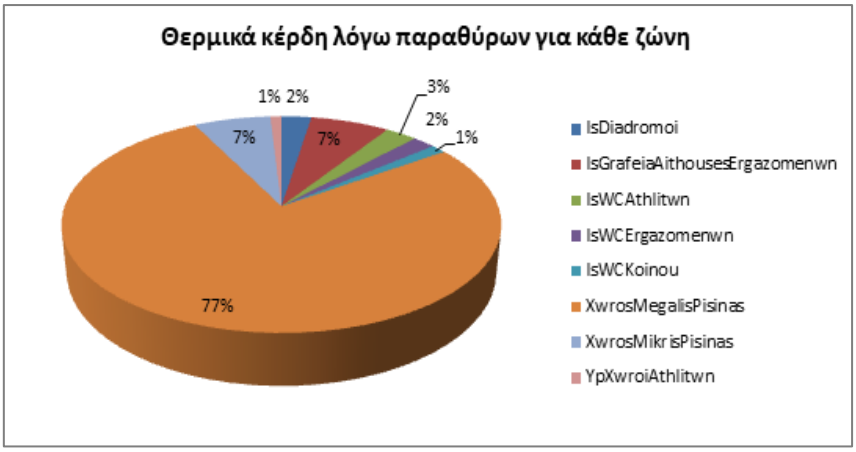


Εικόνα 6.19: Μηνιαία θερμικά κέρδη και απώλειες λόγω των παραθύρων του κολυμβητηρίου

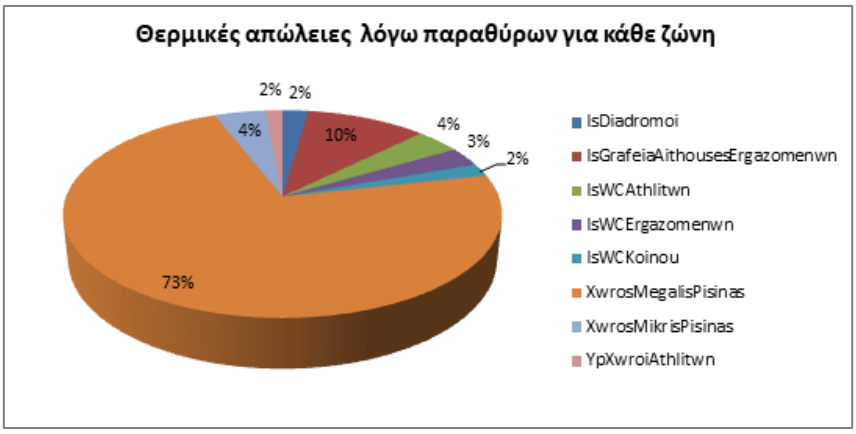
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές των θερμικών κερδών και απωλειών λόγω των παραθύρων, όπως αυτές προέκυψαν από το EnergyPlus.

Θερμικά κέρδη και απώλειες λόγω παραθύρων (MJ)		
Μήνες	**Θερμικά κέρδη**	**Θερμικές απώλειες**
Ιανουάριος	91004	62531
Φεβρουάριος	91354	59503
Μάρτιος	124232	55941
Απρίλιος	141346	42042
Μάιος	156649	31458
Ιούνιος	177732	23565
Ιούλιος	191153	20447
Αύγουστος	194274	21724
Σεπτέμβριος	187973	27609
Οκτώβριος	146408	38131
Νοέμβριος	88159	50120
Δεκέμβριος	78115	62835
Σύνολο	**1668399**	**495906**

Πίνακας 6.3: Θερμικά κέρδη και απώλειες λόγω παραθύρων (MJ)



Εικόνα 6.20: Θερμικά κέρδη λόγω παραθύρων για κάθε ζώνη του κολυμβητηρίου



Εικόνα 6.21: Θερμικές απώλειες λόγω παραθύρων για κάθε ζώνη του κολυμβητηρίου

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, τα συνολικά ετήσια θερμικά κέρδη είναι **1668399 MJ**, εκ των οποίων το 77% προέρχεται από το χώρο της μεγάλης πισίνας του κολυμβητηρίου, που περιβάλλεται από πολλά παράθυρα διαφόρων προσανατολισμών. Αξιοσημείωτο είναι και το ποσοστό 10% που οφείλεται στα μεγάλα σε μέγεθος παράθυρα που βρίσκονται στις αίθουσες των εργαζομένων με νοτιοανατολικό προσανατολισμό.

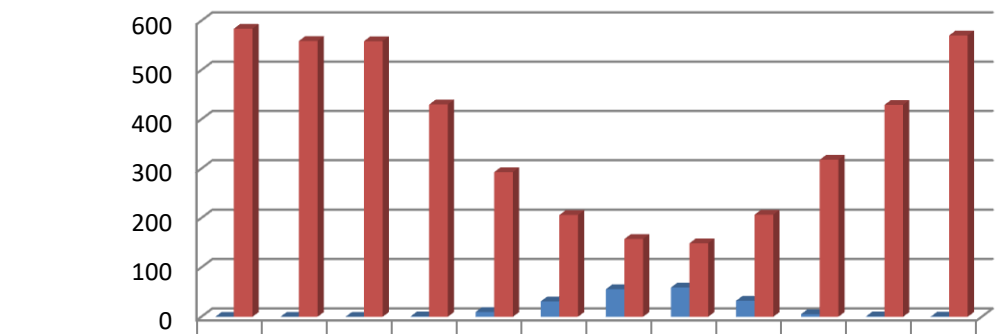
Οι συνολικές ετήσιες απώλειες είναι **495906 MJ**, εκ των οποίων το 73% αφορά και σε αυτή την περίπτωση το χώρο της μεγάλης πισίνας, με τις αίθουσες τον εργαζομένων να παρουσιάζουν πάλι το δεύτερο κατά σειρά μεγαλύτερο ποσοστό (10%). Επομένως, κρίνεται εντελώς λανθασμένη η μη σκίαση των συγκεκριμένων παραθύρων, γεγονός που θα μπορούσε να μειώσει αισθητά τις απώλειες.

6.6 Θερμικά κέρδη και απώλειες λόγω της διήθησης του αέρα και της εξάτμισης του νερού των κολυμβητικών δεξαμενών

Στη συγκεκριμένη ενότητα θα αναλυθούν τα αποτελέσματα της διήθησης του αέρα μέσα από τις ρωγμές των τοίχων, των κουφωμάτων και μεταξύ των δομικών στοιχείων της εκάστοτε επιφάνειας καθώς και οι επιπτώσεις της εξάτμισης του νερού των κολυμβητικών δεξαμενών.

Η ακούσια ροή του αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον απευθείας σε μία θερμική ζώνη είναι σπανίως επιθυμητή, καθώς επιφέρει εκτός από ελάχιστα θερμικά κέρδη το καλοκαίρι, τεράστιες θερμικά απώλειες τους χειμερινούς μήνες (Εικόνα 6.22). Ο μόνος τρόπος μείωσης του συγκεκριμένου φαινομένου είναι η χρήση θερμομονωτικών δομικών υλικών κατά την κατασκευή του εκάστοτε κτιρίου. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες ενότητες, για την προσομοίωση του κολυμβητηρίου χρησιμοποιήθηκαν κάποια επιπλέον δομικά υλικά (μεταξύ αυτών και θερμομονωτικά) από αυτά που αναφέρονται στην μη ολοκληρωμένη μελέτη του κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά. Η επιλογή τους έγινε με βάση τα στοιχεία των υπολοίπων κολυμβητηρίων της Ελλάδος.

Αντιθέτως η εξάτμιση του νερού των δύο πισινών είναι ένα φαινόμενο που δεν μπορεί να αποφευχθεί, αλλά πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψιν για την αναπλήρωση του νερού που χάνεται και τη διατήρηση των κατάλληλων συνθηκών υγιούς εσωτερικού περιβάλλοντος στους αντίστοιχους χώρους.



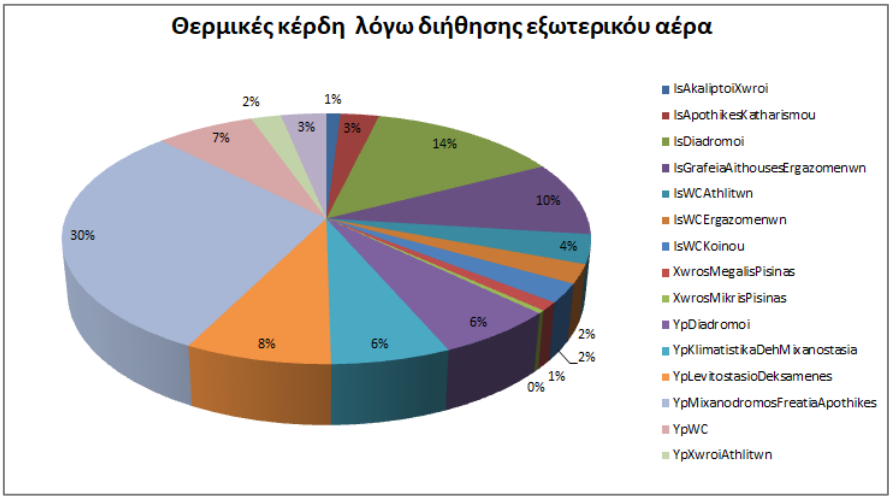
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Κέρδη (GJ)	0,01	0,01	0,01	0,68	9,77	31,1	55,7	59,2	32,3	5,3	0,8	0,2
Απώλειες (GJ)	583,9	559	558,7	430,1	293	206	157,6	149	206,8	317,9	429,5	570,3

Εικόνα 6.22: Μηνιαία θερμικά κέρδη και απώλειες λόγω διήθησης εξωτερικού αέρα εντός του κολυμβητηρίου

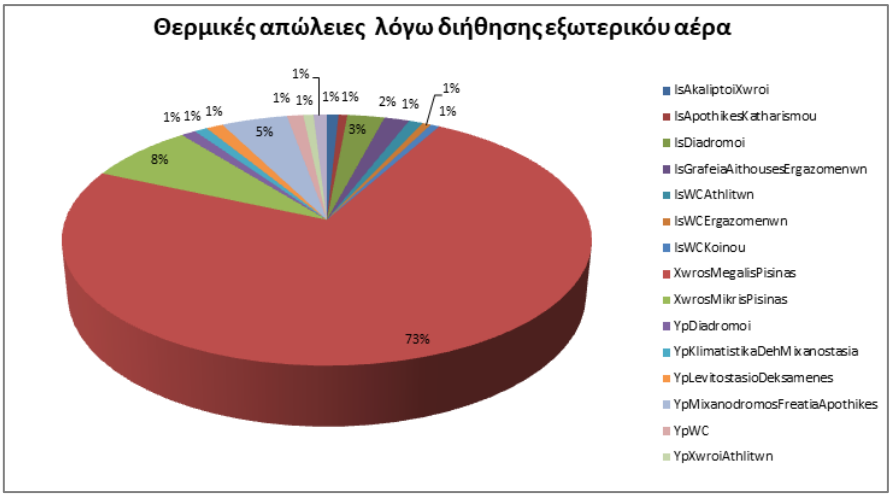
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές των θερμικών κερδών και απωλειών λόγω της διήθησης εξωτερικού αέρα, όπως αυτές προέκυψαν από το EnergyPlus.

Θερμικά κέρδη και απώλειες λόγω διήθησης εξ. αέρα (MJ)		
Μήνες	**Θερμικά κέρδη**	**Θερμικές απώλειες**
Ιανουάριος	12	583962
Φεβρουάριος	11	559056
Μάρτιος	14	558763
Απρίλιος	687	430182
Μάιος	9776	293600
Ιούνιος	31113	206079
Ιούλιος	57799	157694
Αύγουστος	59220	149081
Σεπτέμβριος	32350	206850
Οκτώβριος	5309	317911
Νοέμβριος	832	429512
Δεκέμβριος	255	570346
Σύνολο	**197378**	**4463036**

Πίνακας 6.4: Θερμικά κέρδη και απώλειες λόγω διήθησης εξωτερικού αέρα (MJ)



Εικόνα 6.23: Θερμικά κέρδη λόγω διήθησης εξωτερικού αέρα για κάθε ζώνη του κολυμβητηρίου

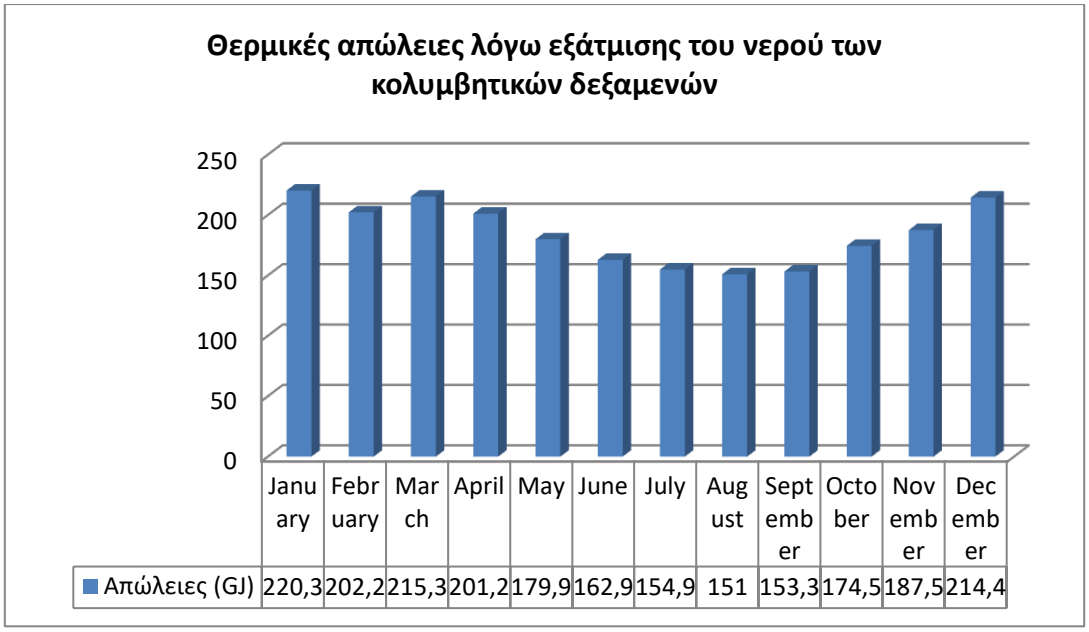


Εικόνα 6.24: Θερμικές απώλειες λόγω διήθησης εξωτερικού αέρα για κάθε ζώνη του κολυμβητηρίου

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, οι συνολικές θερμικές απώλειες λόγω διήθησης είναι **4463036 MJ**, εκ των οποίων το 81% προέρχεται από το χώρους των κολυμβητικών δεξαμενών του κολυμβητηρίου. Σημαντικό είναι ακόμη το γεγονός ότι οι ζώνες που αφορούν τα μηχανοστάσια, λεβητοστάσια και τις δεξαμενές παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαμηλά ποσοστά απωλειών λόγω των επιπλέον θερμομονωτικών υλικών που έχουν τοποθετηθεί στους τοίχους και τις οροφές αυτών.

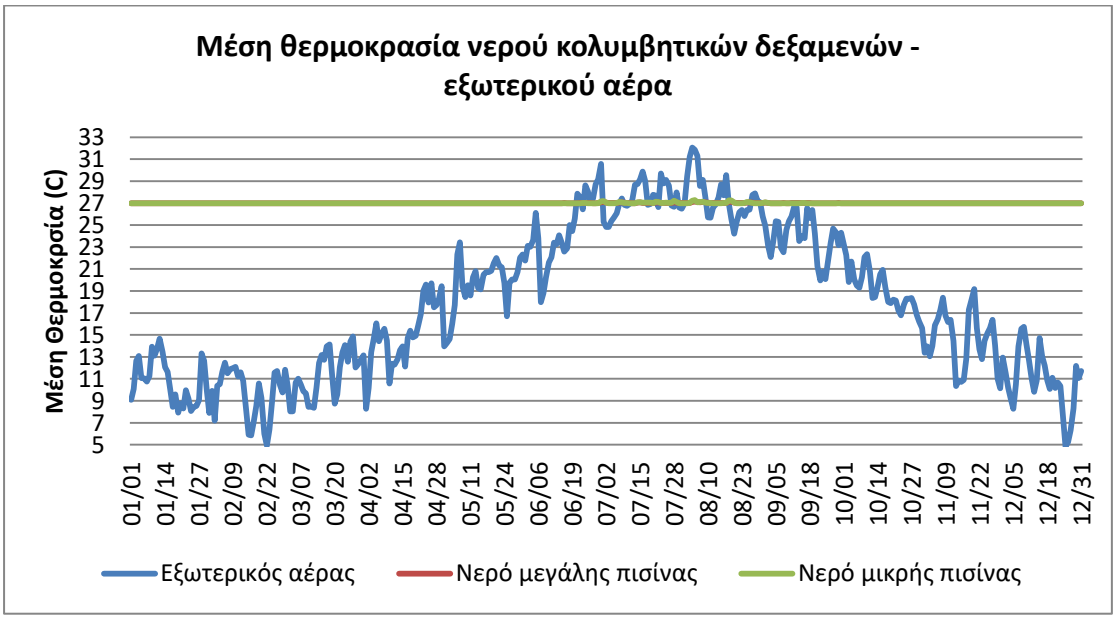
Τα συνολικά ετήσια κέρδη λόγω διήθησης είναι **197378 MJ** και παρουσιάζονται κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες. Παρατηρείται επίσης πως τα μεγαλύτερα κέρδη εμφανίζονται κυρίως σε ζώνες με Βόρειο προσανατολισμό και χωρίς πολλά ανοίγματα (παράθυρα, πόρτες).

Όσον αφορά στις θερμικές απώλειες που είναι αποτέλεσμα της εξάτμισης του νερού των δύο πισινών του κολυμβητηρίου, παρατηρείται ότι μειώνονται τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι παραπλήσια της θερμοκρασίας του νερού (27^0C). Αύξηση παρουσιάζουν κυρίως τους χειμερινούς μήνες, στους οποίους η ταχύτητα του εξωτερικού αέρα και η διαφορά της θερμοκρασίας του με την αντίστοιχη του νερού των δύο πισινών, είναι αισθητά μεγαλύτερες από το καλοκαίρι (Εικόνα 6.25).

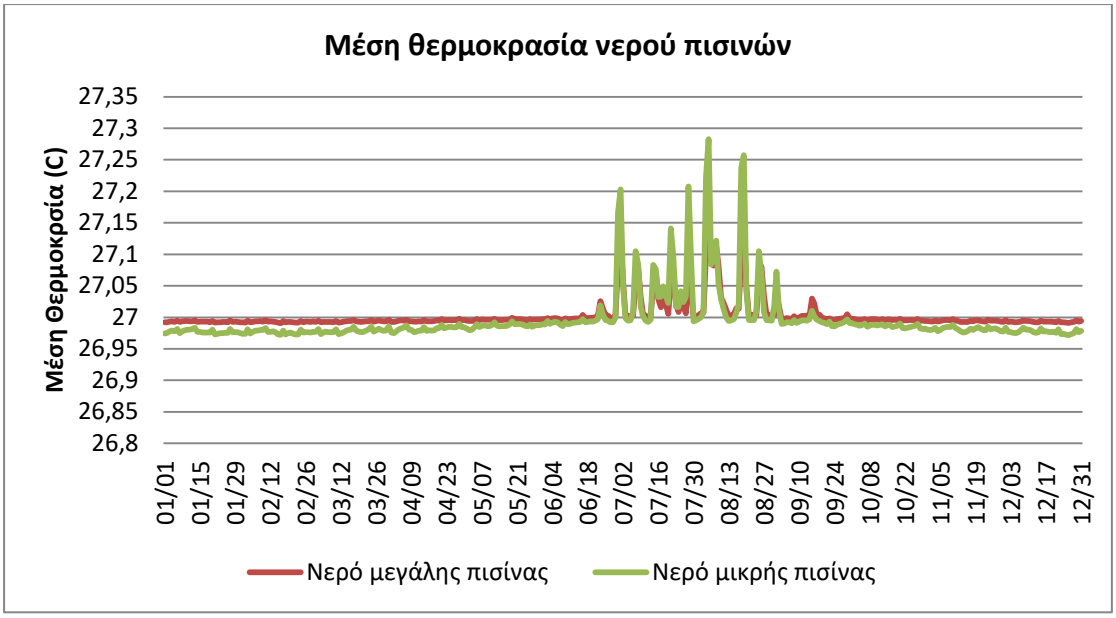


Εικόνα 6.25: Θερμικές απώλειες λόγω εξάτμισης του νερού των δύο πισινών του κολυμβητηρίου

Παρά την ύπαρξη θερμικών απωλειών από την εξάτμιση του νερού, είναι σημαντικό να αναφερθεί, πως το σύστημα θέρμανσης του νερού των κολυμβητικών δεξαμενών που ορίστηκε στο EnergyPlus, επιτυγχάνει τη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας νερού και στις δύο πισίνες ανεξαρτήτως τιμής εξωτερικού αέρα (Εικόνα 6.26). Αμελητέα άνοδος παρατηρείται μόνο τους καλοκαιρινούς μήνες, παραμένοντας όμως εντός των επιτρεπτών ορίων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.27.



Εικόνα 6.26: Μέση ημερήσια θερμοκρασία του νερού των πισινών του κολυμβητηρίου σε σχέση με τον εξωτερικό αέρα



Εικόνα 6.27: Μέση ημερήσια θερμοκρασία νερού των δύο πισινών του κολυμβητηρίου

6.7 Θερμική άνεση

Μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης του κολυμβητηρίου, το EnergyPlus δημιούργησε το αρχείο Tables, το οποίο περιέχει όλες τις πληροφορίες που χρειάζεται κάποιος για να ορίσει πλήρως το μοντέλο που δημιουργήθηκε και τον τρόπο λειτουργίας του.

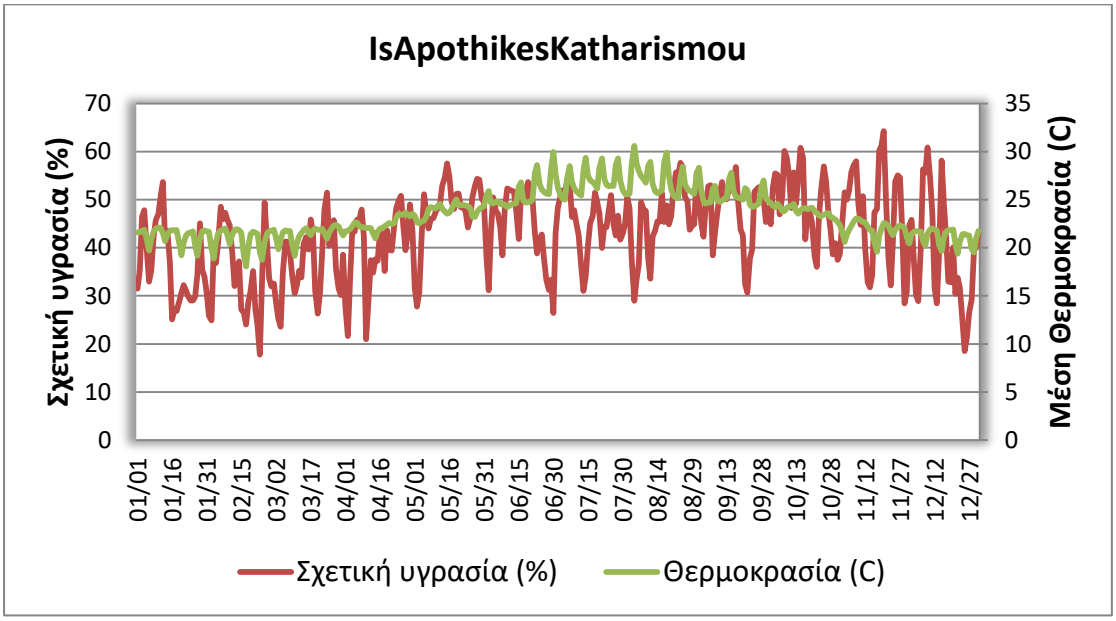
Το συγκεκριμένο αρχείο αναφέρει χαρακτηριστικά πως ο αριθμός των ωρών κατά τη διάρκεια του έτους, στις οποίες οι χώροι του κτιρίου βρίσκονται εκτός θερμικής άνεσης είναι 2760. Επομένως, οι χώροι του κολυμβητηρίου πληρούν συνθήκες θερμικής άνεσης για 6000 ώρες ετησίως, που εκφράζεται σε ποσοστό της τάξης του 68,49% των συνολικών ωρών ενός έτους.

6.8 Μέσες τιμές της ημερήσιας θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας για τη ζώνη της κάθε πισίνας

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τη θερμική άνεση όσον αφορά στη θερμοκρασία και στη σχετική υγρασία που υπάρχουν σε κάθε ζώνη του κολυμβητηρίου. Υπενθυμίζεται ότι, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, το κατώτατο και ανώτατο όριο θερμικής άνεσης θεωρούνται οι 18^0C και 22^0C αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή άνεσης κυμαίνεται μεταξύ 18^0C με σχετική υγρασία 75% και 24^0C με σχετική υγρασία 35%. Γύρω από αυτήν την περιοχή υπάρχει μια ζώνη όπου οι συνθήκες είναι ανεκτές, ενώ έξω από αυτή την περιοχή οι συνθήκες θεωρούνται δυσάρεστες. Στη συνέχεια, δίνονται οι απαραίτητες πληροφορίες για κάθε ζώνη του κολυμβητηρίου, της οποίας οι συνθήκες παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Δηλαδή δεν γίνεται αναφορά στις ζώνες IsAkaliptoiXwroi, YpXwroiXwrisXrisi που δεν χρησιμοποιούνται.

- **IsApothikesKatharismou**

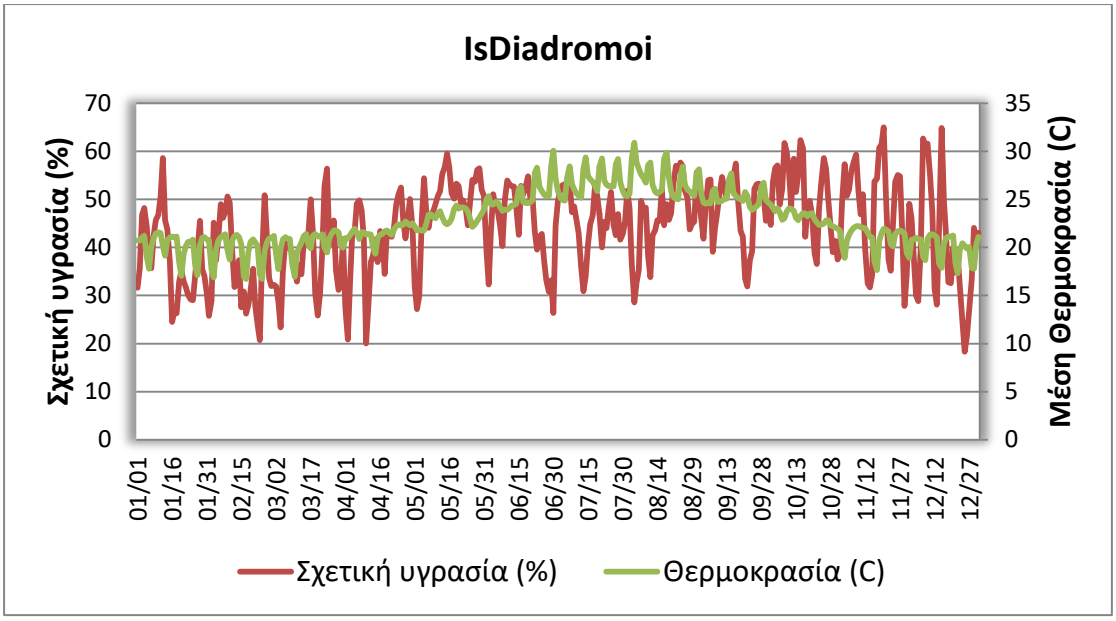
Στις αποθήκες καθαρισμού, οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ των 18 και 30^{0}C, ενώ το ποσοστό της σχετικής υγρασίας μεταξύ του 17 και 64%. Συνθήκες θερμικής άνεσης πληρούνται για 8588,75 ώρες ετησίως, που εκφράζεται σε ποσοστό της τάξης του 98,04%.



Εικόνα 6.28: Μέση μηνιαία θερμοκρασία και σχετική υγρασία της ζώνης ***IsApothikesKatharismou***

- **IsDiadromoi**

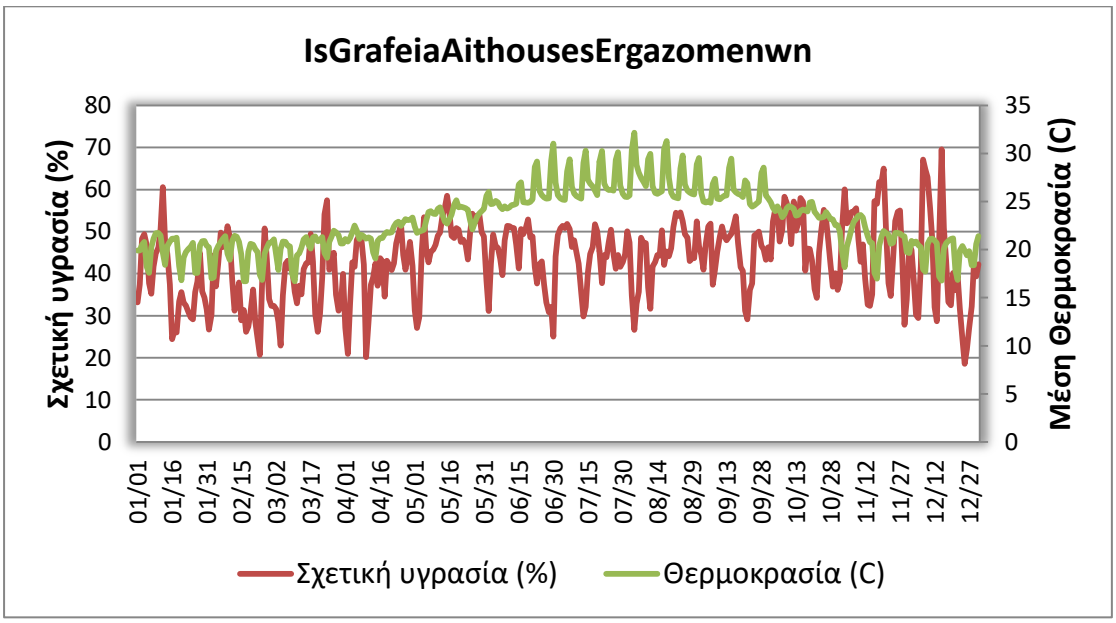
Στους διαδρόμους του ισογείου, οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ των 17 και 30^{0}C, ενώ το ποσοστό της σχετικής υγρασίας μεταξύ του 18 και 65%. Συνθήκες θερμικής άνεσης πληρούνται για 7962,5 ώρες ετησίως, που εκφράζεται σε ποσοστό της τάξης του 90,89%.



Εικόνα 6.29: Μέση μηνιαία θερμοκρασία και σχετική υγρασία της ζώνης ***IsDiadromoi***

- **IsGrafeiaAithousesErgazomenwn**

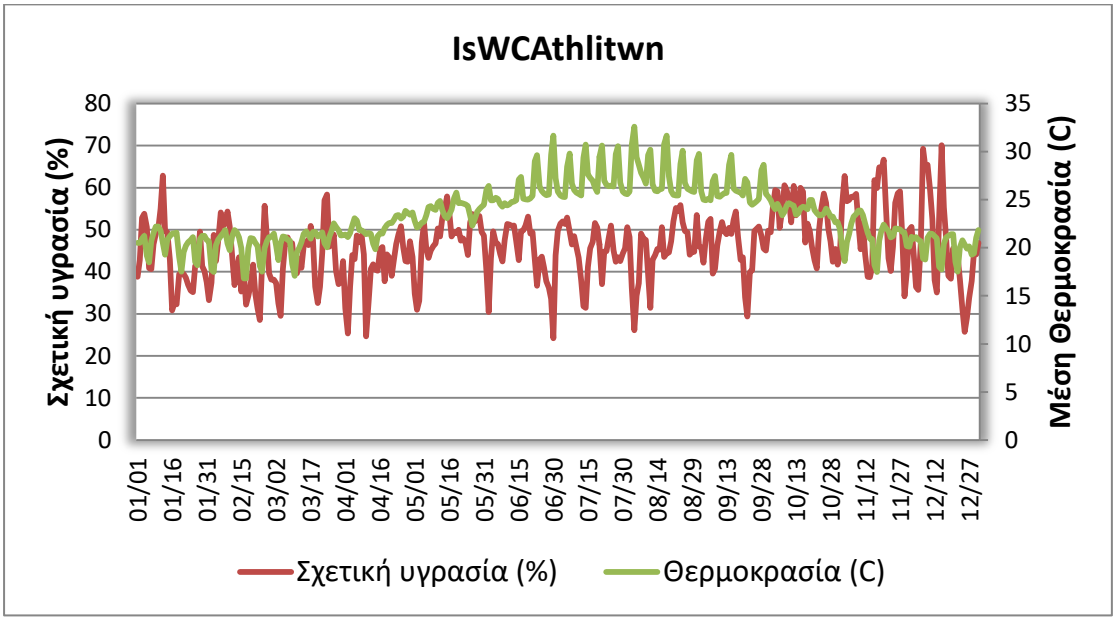
Στα γραφεία των εργαζομένων του ισογείου, οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ των 17 και 32^{0}C, ενώ το ποσοστό της σχετικής υγρασίας μεταξύ του 18 και 69%. Συνθήκες θερμικής άνεσης πληρούνται για 7659,5 ώρες ετησίως, που εκφράζεται σε ποσοστό της τάξης του 87,43%.



Εικόνα 6.30: Μέση μηνιαία θερμοκρασία και σχετική υγρασία της ζώνης ***IsGrafeiaAithousesErgazomenwn***

- **IsWCAthlitwn**

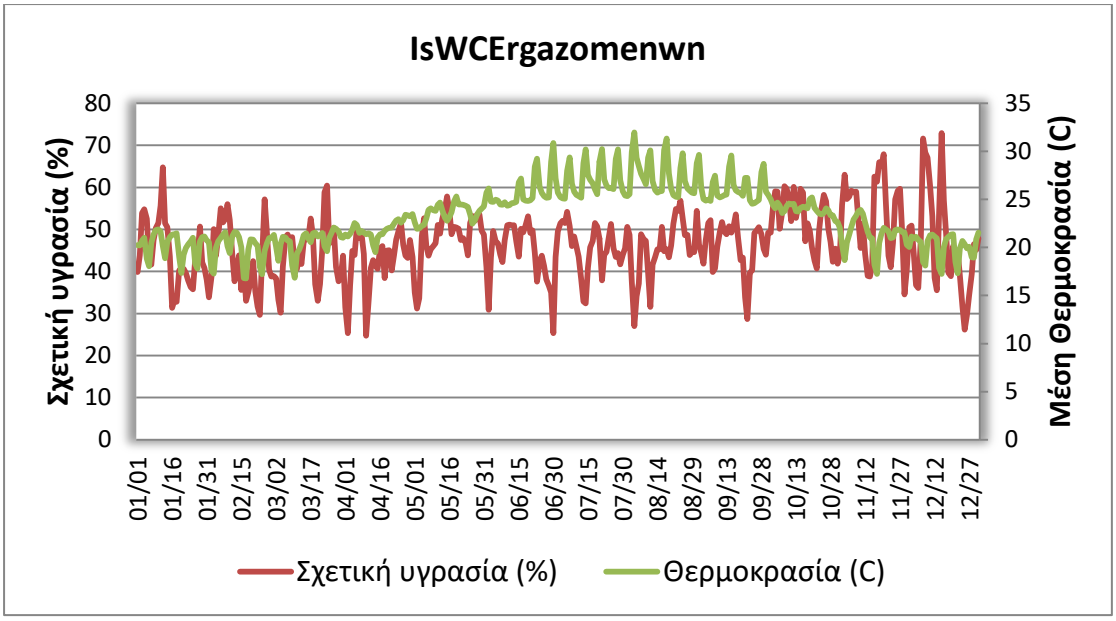
Στα αποδυτήρια των αθλητών του ισογείου, οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ των 17 και 32^{0}C, ενώ το ποσοστό της σχετικής υγρασίας μεταξύ του 24 και 70%. Συνθήκες θερμικής άνεσης πληρούνται για 8093,75 ώρες ετησίως, που εκφράζεται σε ποσοστό της τάξης του 92,39%.



Εικόνα 6.31: Μέση μηνιαία θερμοκρασία και σχετική υγρασία της ζώνης ***IsWCAthlitwn***

- **IsWCErgazomenwn**

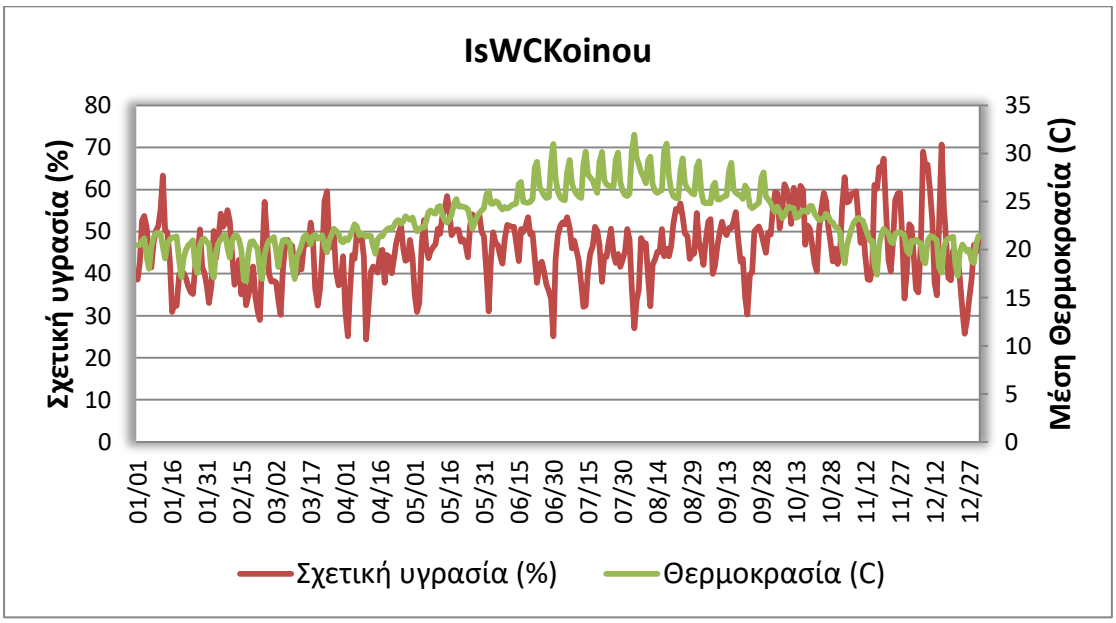
Στους χώρους υγιεινής των εργαζομένων του ισογείου, οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ των 17 και 32^{0}C, ενώ το ποσοστό της σχετικής υγρασίας μεταξύ του 25 και 73%. Συνθήκες θερμικής άνεσης πληρούνται για 7952,25 ώρες ετησίως, που εκφράζεται σε ποσοστό της τάξης του 90,77%.



Εικόνα 6.32: Μέση μηνιαία θερμοκρασία και σχετική υγρασία της ζώνης ***IsWCErgazomenwn***

- **IsWCKoinou**

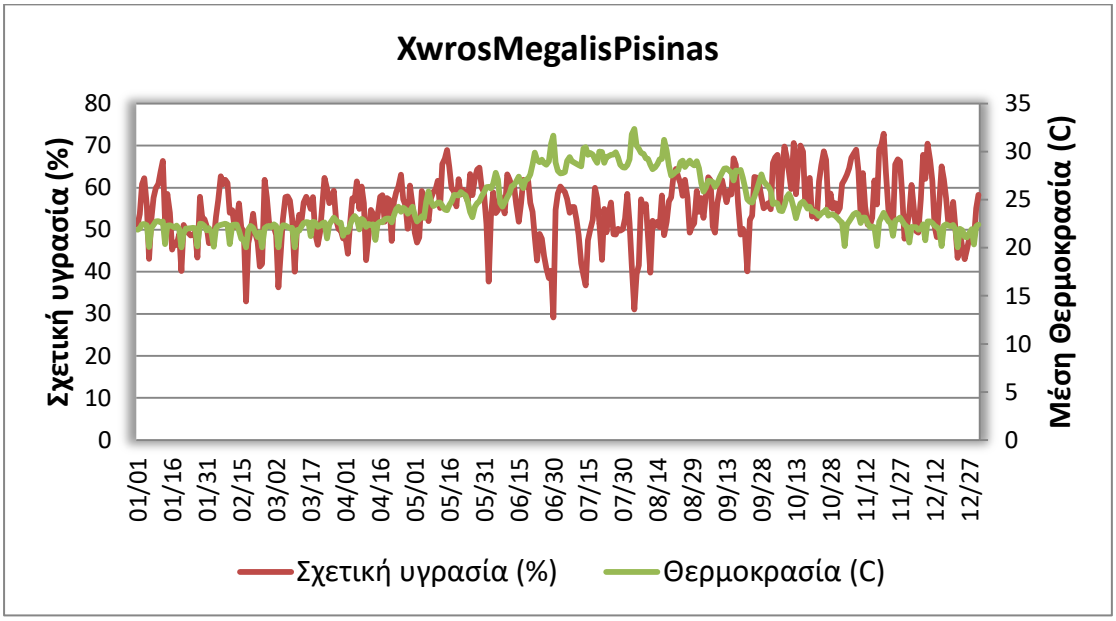
Στους χώρους υγιεινής του κοινού που βρίσκονται στο ισόγειο, οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ των 17 και 32^{0}C, ενώ το ποσοστό της σχετικής υγρασίας μεταξύ του 25 και 71%. Συνθήκες θερμικής άνεσης πληρούνται για 8452,75 ώρες ετησίως, που εκφράζεται σε ποσοστό της τάξης του 96,49%.



Εικόνα 6.33: Μέση μηνιαία θερμοκρασία και σχετική υγρασία της ζώνης ***IsWCKoinou***

- **XwrosMegalisPisinas**

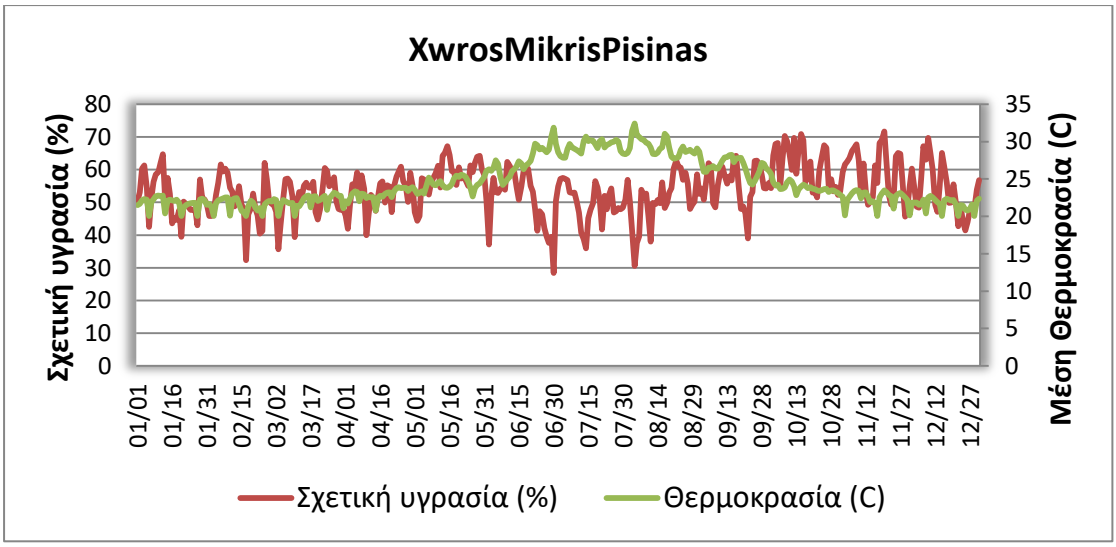
Στο χώρο που βρίσκεται η πισίνα Ολυμπιακών διαστάσεων, οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ των 20 και 32^{0}C, ενώ το ποσοστό της σχετικής υγρασίας μεταξύ του 29 και 73%. Συνθήκες θερμικής άνεσης πληρούνται για 7464,75 ώρες ετησίως, που εκφράζεται σε ποσοστό της τάξης του 85,21%.



Εικόνα 6.34: Μέση μηνιαία θερμοκρασία και σχετική υγρασία της ζώνης ***XwrosMegalisPisinas***

- **XwrosMikrisPisinas**

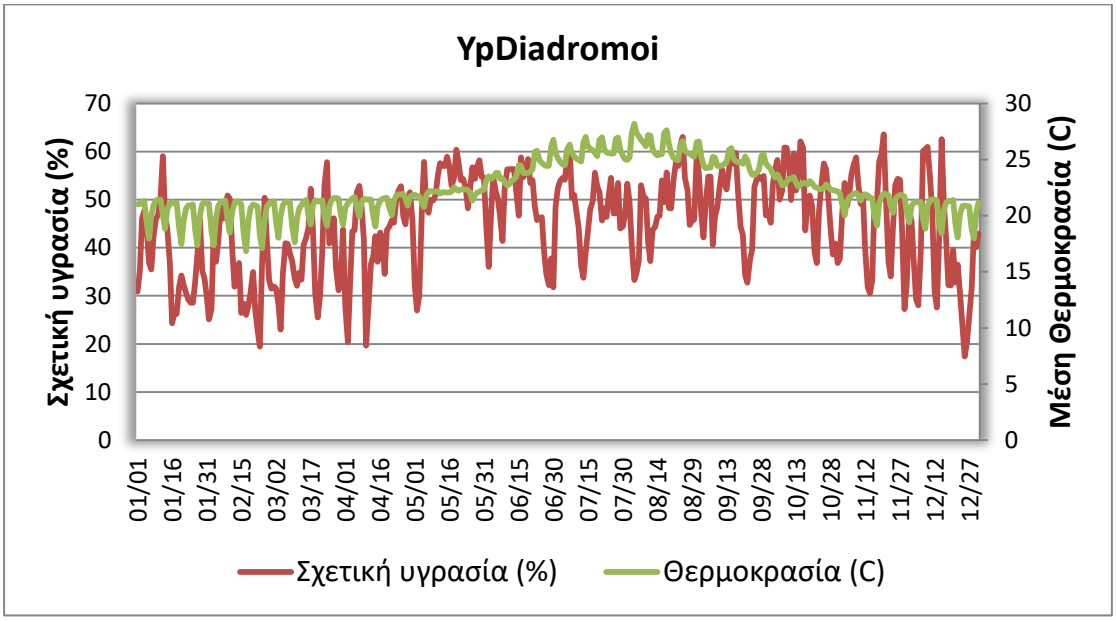
Στο χώρο που βρίσκεται η πισίνα εκμάθησης, οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ των 20 και 32^{0}C, ενώ το ποσοστό της σχετικής υγρασίας μεταξύ του 29 και 72%.



Εικόνα 6.35: Μέση μηνιαία θερμοκρασία και σχετική υγρασία της ζώνης ***XwrosMikrisPisinas***

- **YpDiadromoi**

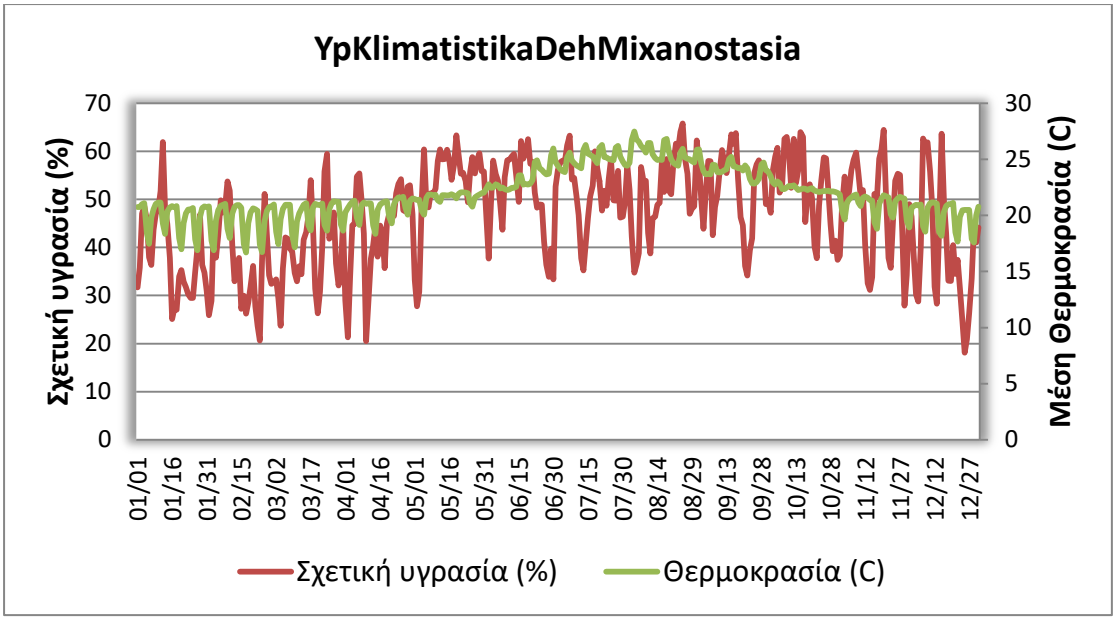
Στους υπόγειους διαδρόμους, οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ των 17 και 28^{0}C, ενώ το ποσοστό της σχετικής υγρασίας μεταξύ του 17 και 63%. Συνθήκες θερμικής άνεσης πληρούνται για 8332,25 ώρες ετησίως, που εκφράζεται σε ποσοστό της τάξης του 95,11%.



Εικόνα 6.36: Μέση μηνιαία θερμοκρασία και σχετική υγρασία της ζώνης ***YpDiadromoi***

- **YpKlimatistikaDehMixanostasia**

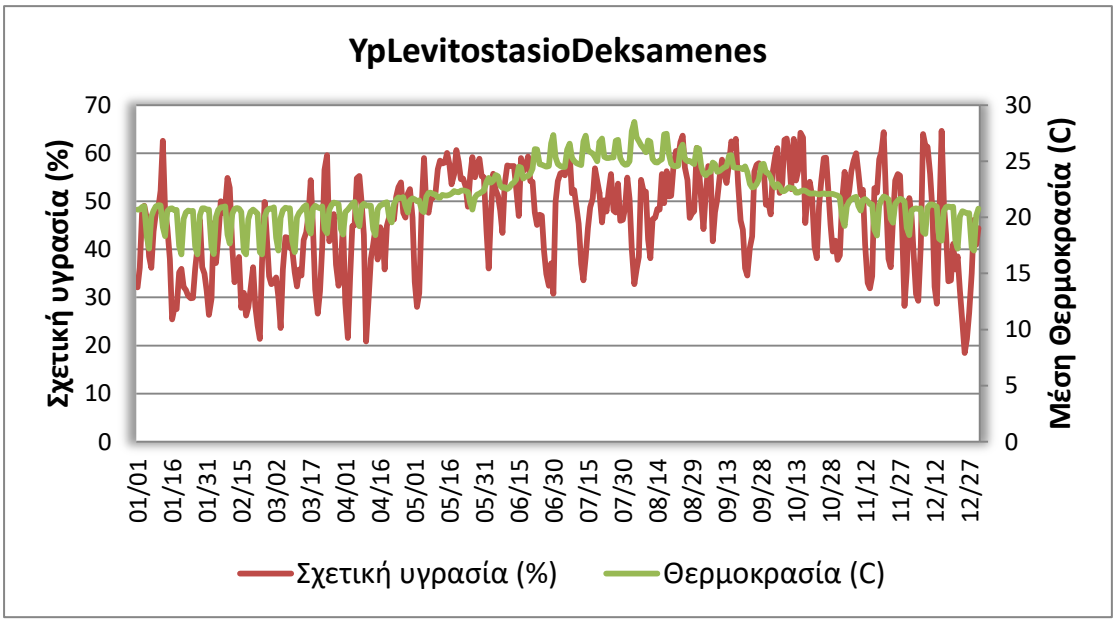
Στους χώρους των μηχανοστασίων του υπογείου, οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ των 17 και 28^{0}C, ενώ το ποσοστό της σχετικής υγρασίας μεταξύ του 18 και 66%. Συνθήκες θερμικής άνεσης πληρούνται για 8171,75 ώρες ετησίως, που εκφράζεται σε ποσοστό της τάξης του 93,28%.



Εικόνα 6.37: Μέση μηνιαία θερμοκρασία και σχετική υγρασία της ζώνης ***YpKlimatistikaDehMixanostasia***

- **YpLevitostasioDeksamenes**

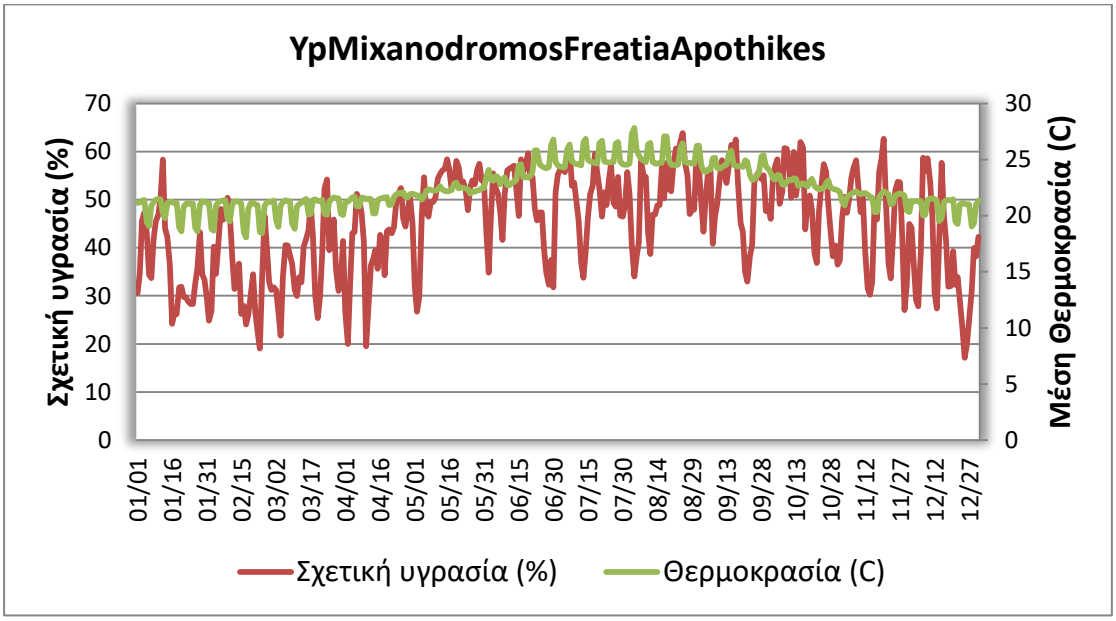
Στο λεβητοστάσιο και στις δεξαμενές του υπογείου, οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ των 17 και 28^{0}C, ενώ το ποσοστό της σχετικής υγρασίας μεταξύ του 19 και 65%. Συνθήκες θερμικής άνεσης πληρούνται για 7902,5 ώρες ετησίως, που εκφράζεται σε ποσοστό της τάξης του 90,21%.



Εικόνα 6.38: Μέση μηνιαία θερμοκρασία και σχετική υγρασία της ζώνης ***YpLevitostasioDeksamenes***

- **YpMixanodromosFreatiaApothikes**

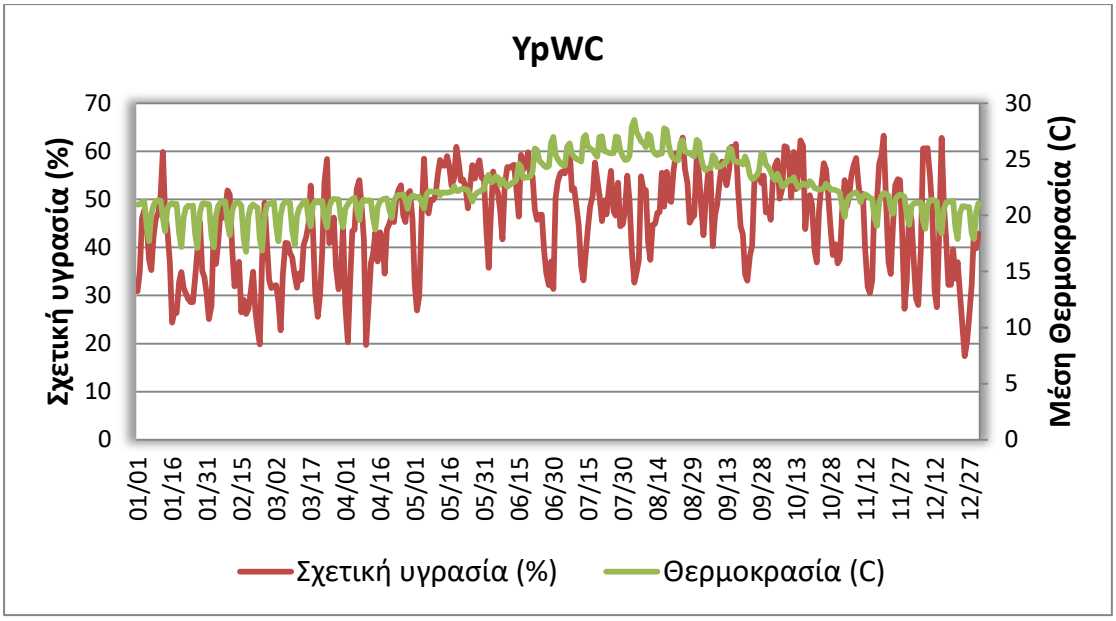
Στις αποθήκες και τον μηχανόδρομο του υπογείου, οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ των 18 και 28^{0}C, ενώ το ποσοστό της σχετικής υγρασίας μεταξύ του 18 και 64%. Συνθήκες θερμικής άνεσης πληρούνται για 8564 ώρες ετησίως, που εκφράζεται σε ποσοστό της τάξης του 97,76%.



Εικόνα 6.39: Μέση μηνιαία θερμοκρασία και σχετική υγρασία της ζώνης ***YpMixanodromosFreatiaApothikes***

- **YpWC**

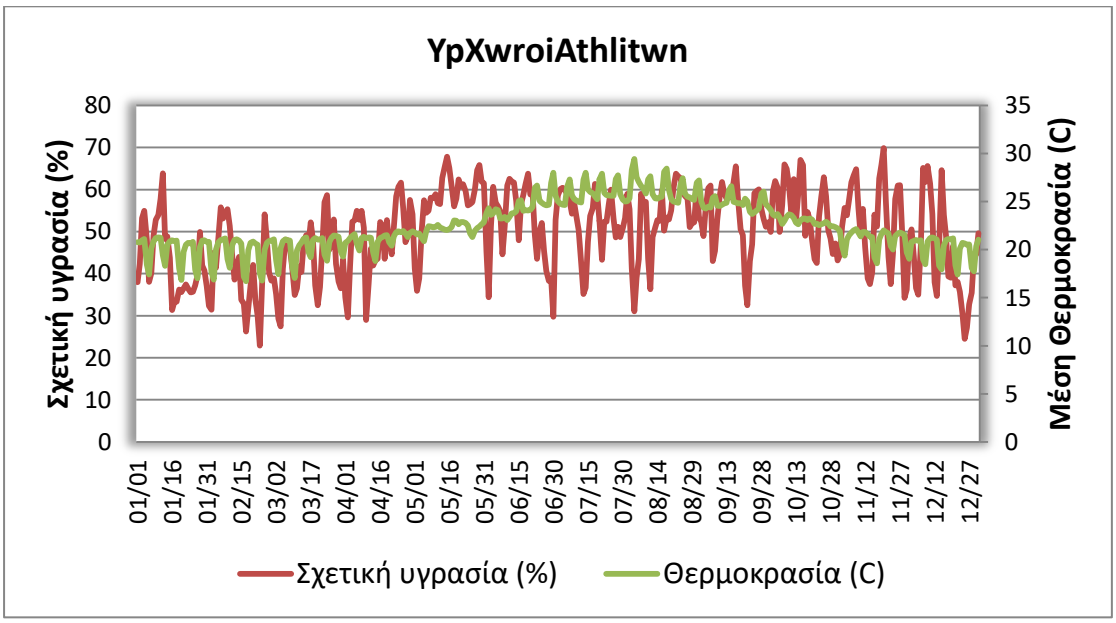
Στους χώρους υγιεινής του υπογείου, οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ των 17 και 28^{0}C, ενώ το ποσοστό της σχετικής υγρασίας μεταξύ του 17 και 63%. Συνθήκες θερμικής άνεσης πληρούνται για 8219 ώρες ετησίως, που εκφράζεται σε ποσοστό της τάξης του 93,82%.



Εικόνα 6.40: Μέση μηνιαία θερμοκρασία και σχετική υγρασία της ζώνης ***YpWC***

- **YpXwroiAthlitwn**

Στους χώρους γυμναστικής με βάρη του υπογείου, οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ των 17 και 29^{0}C, ενώ το ποσοστό της σχετικής υγρασίας μεταξύ του 23 και 70%. Συνθήκες θερμικής άνεσης πληρούνται για 8012,25 ώρες ετησίως, που εκφράζεται σε ποσοστό της τάξης του 91,46%.

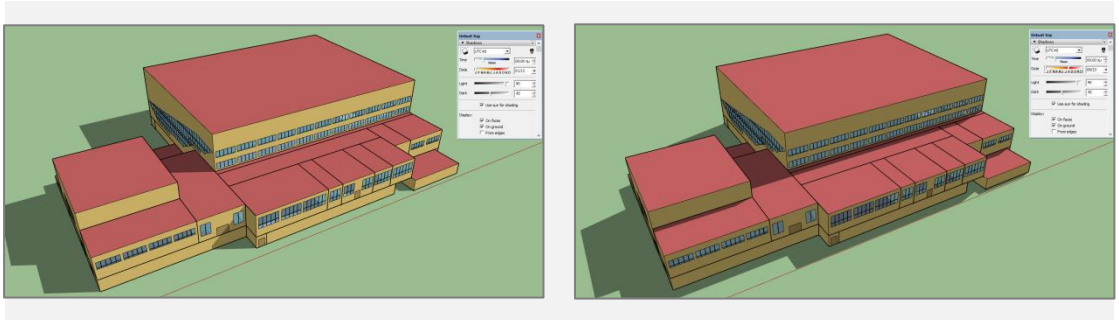


Εικόνα 6.41: Μέση μηνιαία θερμοκρασία και σχετική υγρασία της ζώνης ***YpXwroiAthlitwn***

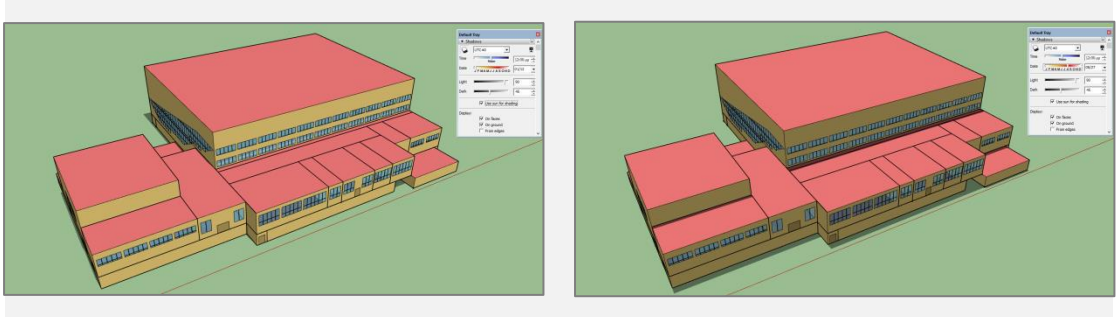
6.9 Σκίαση του κτιρίου

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η σκίαση της Νότιας και Βόρειας πλευράς του κολυμβητηρίου για μία χειμερινή και μία καλοκαιρινή μέρα, σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, στις 09:00, στις 12:00, στις 15:00 και στις 17:00.

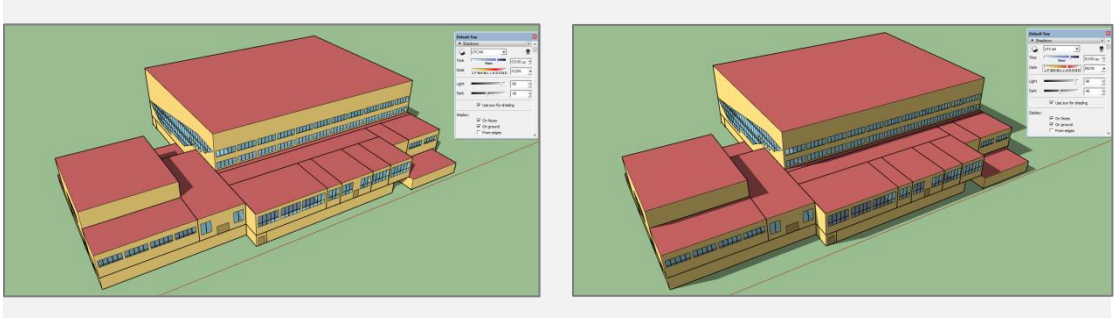
Κατά τη χειμερινή περίοδο, η θέση του ήλιου βρίσκεται χαμηλά επιτρέποντας στο φως να εισέλθει στους χώρους με νότιο προσανατολισμό, ενώ την καλοκαιρινή περίοδο βρίσκεται ψηλά και έτσι πιθανή τοποθέτηση οριζόντιων σκίαστρων στη νότια πλευρά θα ήταν ικανή να αποτρέψει την άμεση ηλιακή ακτινοβολία των εσωτερικών χώρων.



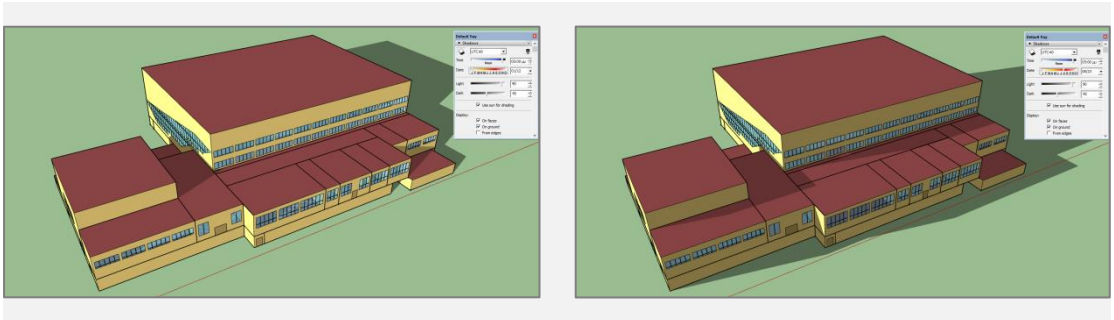
Εικόνα 6.42: Σκίαση της Νότιας πλευράς του κολυμβητηρίου τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο στις 09:00



Εικόνα 6.43: Σκίαση της Νότιας πλευράς του κολυμβητηρίου τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο στις 12:00

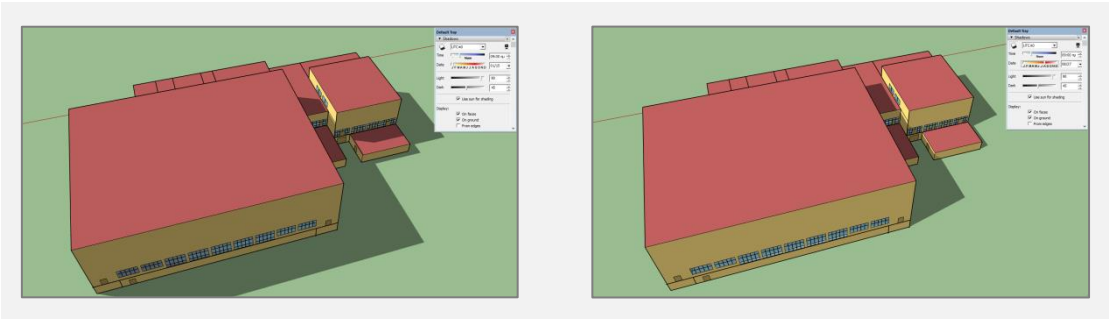


Εικόνα 6.44: Σκίαση της Νότιας πλευράς του κολυμβητηρίου τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο στις 15:00

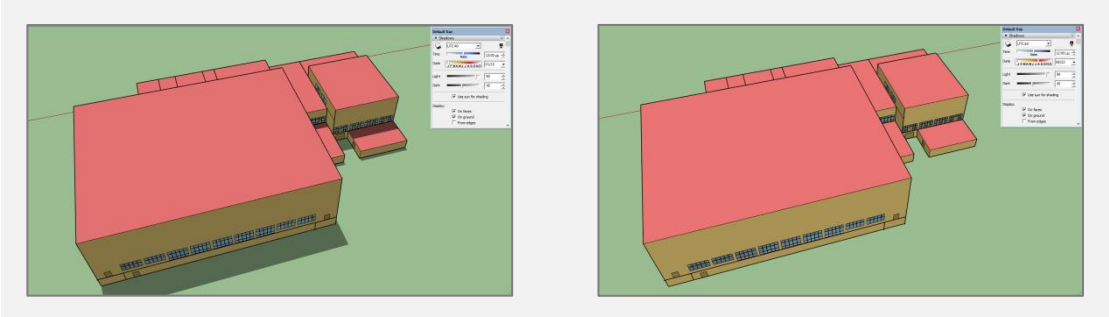


Εικόνα 6.45: Σκίαση της Νότιας πλευράς του κολυμβητηρίου τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο στις 17:00

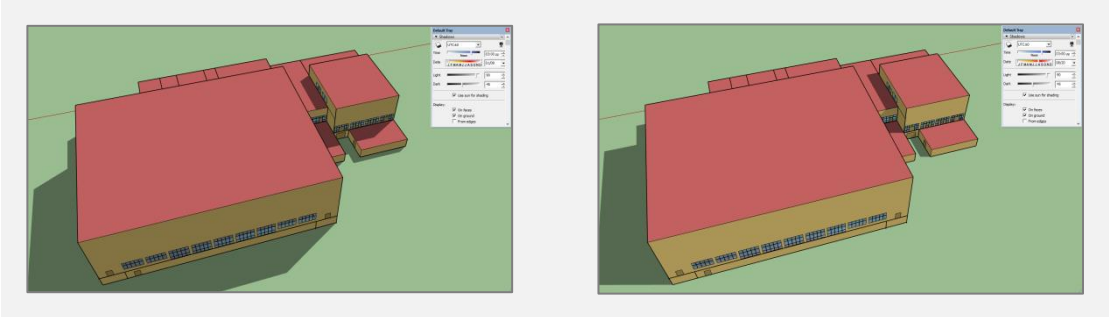
Όσον αφορά στο βόρειο προσανατολισμό, καθόλη τη διάρκεια του έτους και για όλες τις ώρες της ημέρας, δεν παρατηρείται άμεση ηλιακή ακτινοβολία των χώρων. Παρόλο που το φως την καλοκαιρινή περίοδο είναι περισσότερο, η χρήση οριζόντιων σκίαστρων θα εμπόδιζε την ηλιακή ακτινοβολία να εισέλθει στο κτίριο, γεγονός που μείωνε τη δυνατότητα φυσικού φωτισμού. Για το λόγο αυτό δεν ενδείκνυται η χρήση σκίαστρων στην Βορεινή πλευρά των κτιρίων.



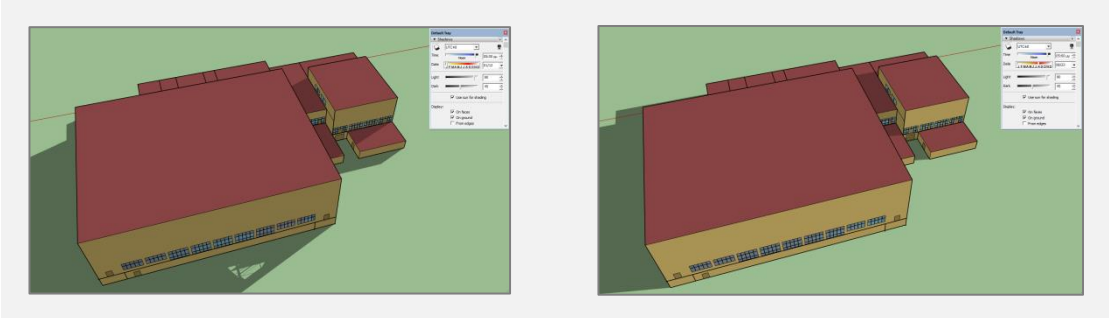
Εικόνα 6.46: Σκίαση της Βόρειας πλευράς του κολυμβητηρίου τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο στις 09:00



Εικόνα 6.47: Σκίαση της Βόρειας πλευράς του κολυμβητηρίου τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο στις 12:00



Εικόνα 6.48: Σκίαση της Βόρειας πλευράς του κολυμβητηρίου τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο στις 15:00



Εικόνα 6.49: Σκίαση της Βόρειας πλευράς του κολυμβητηρίου τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο στις 17:00

7. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΥ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΡΙΟΥ

7.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει η παρουσίαση των προτάσεων για τη μείωση των θερμικών φορτίων και την ευρύτερη ενεργειακή αναβάθμιση του κολυμβητηρίου, όπως προέκυψαν μετά τη μελέτη των αποτελεσμάτων της προσομοίωσής του με το πρόγραμμα EnergyPlus. Παράλληλα, αξιολογείται η αποτελεσματικότητα των επεμβάσεων αυτών συγκρίνοντας τα αποτελέσματα εφαρμογής τους με τα αντίστοιχα που προέκυψαν κατά την αρχική προσομοίωση του κολυμβητηρίου. Τέλος, για κάθε επέμβαση υπολογίζεται το ανάλογο κόστος εφαρμογής και εκτιμάται ο χρόνος απόσβεσης αυτού. Ονομαστικά οι προτεινόμενες επεμβάσεις με τη σειρά εκτέλεσης τους είναι οι εξής:

- Εφαρμογή συστήματος έξυπνου φυσικού δροσισμού
- Προθήκη υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής (Low emissivity)
- Τοποθέτηση σκίαστρων στο νοτιοδυτικό τμήμα του κολυμβητηρίου

7.2 Εφαρμογή συστήματος έξυπνου φυσικού δροσισμού

Αρχική πρόταση είναι η χρήση της μεθόδου έξυπνου φυσικού δροσισμού. Η συγκεκριμένη μέθοδος συμβάλλει στην απομάκρυνση της πλεονάζουσας θερμότητας τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ παράλληλα συνεισφέρει στην ανανέωση του εσωτερικού αέρα. Η χρήση της σε συνδυασμό με το σύστημα διαχείρισης αέρα που αναλύθηκε νωρίτερα προσφέρει πιο ήπιο τρόπο εναλλαγής αέρα με το εξωτερικό περιβάλλον.

7.2.1 Εισαγωγή παραμέτρων προσομοίωσης

Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης μεθόδου προτείνεται η εγκατάσταση ειδικών εξαεριστήρων στις ζώνες που διαθέτουν υαλοπίνακες (IsDiadromoi, IsGrafeiaAithousesErgazomenwn, IsWCAthlitwn, IsWCErgazomenwn, IsWCKoinou, XwrosMegalisPisinas, XwrosMikrisPisinas). Η λειτουργία τους θα γίνεται με αυτόματο μηχανισμό, ο οποίος θα ρυθμίζει το διάστημα λειτουργίας τους και την ένταση του εξαερισμού. Επίσης, στην εξωτερική επιφάνεια των εξαεριστήρων προτείνεται η ύπαρξη οριζόντιων περσίδων οι οποίες θα ανοιγοκλείνουν σύμφωνα με τον αυτόματο μηχανισμό ρυθμίζοντας την είσοδο του εξωτερικού αέρα.

Όσον αφορά στο διάστημα λειτουργίας του συγκεκριμένου συστήματος, αρχικά ορίστηκε όλη η διάρκεια του έτους. Παρόλα αυτά, μετά την προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε, τα αποτελέσματα δεν ήταν τα επιθυμητά. Τους χειμερινούς μήνες όχι μόνο δεν παρατηρήθηκε βελτίωση στις ημερήσιες εσωτερικές θερμοκρασίες του κολυμβητηρίου αλλά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις υπήρξε μικρή αύξηση αυτών.

Επομένως, προτείνεται η χρήση του συστήματος μόνο κατά την περίοδο 31/3 έως 31/10, όπου η θερμοκρασία του αέρα εντός του κολυμβητηρίου είναι ιδιαίτερα υψηλή. (Εικόνα 7.1)

Obj58
SchWindowVent
Fraction
Through: 3/31
For: AllDays
Until: 24:00
0
Through: 10/31
For: WeekDays Saturday Saturday
Until: 24:00
1
For: AllOtherDays
Until: 24:00
0
Through: 12/31
For: AllDays
Until: 24:00
0

Εικόνα 7.1: Παράμετροι υποκατηγορίας Schedule: Compact που αφορούν το σύστημα έξυπνου φυσικού δροσισμού

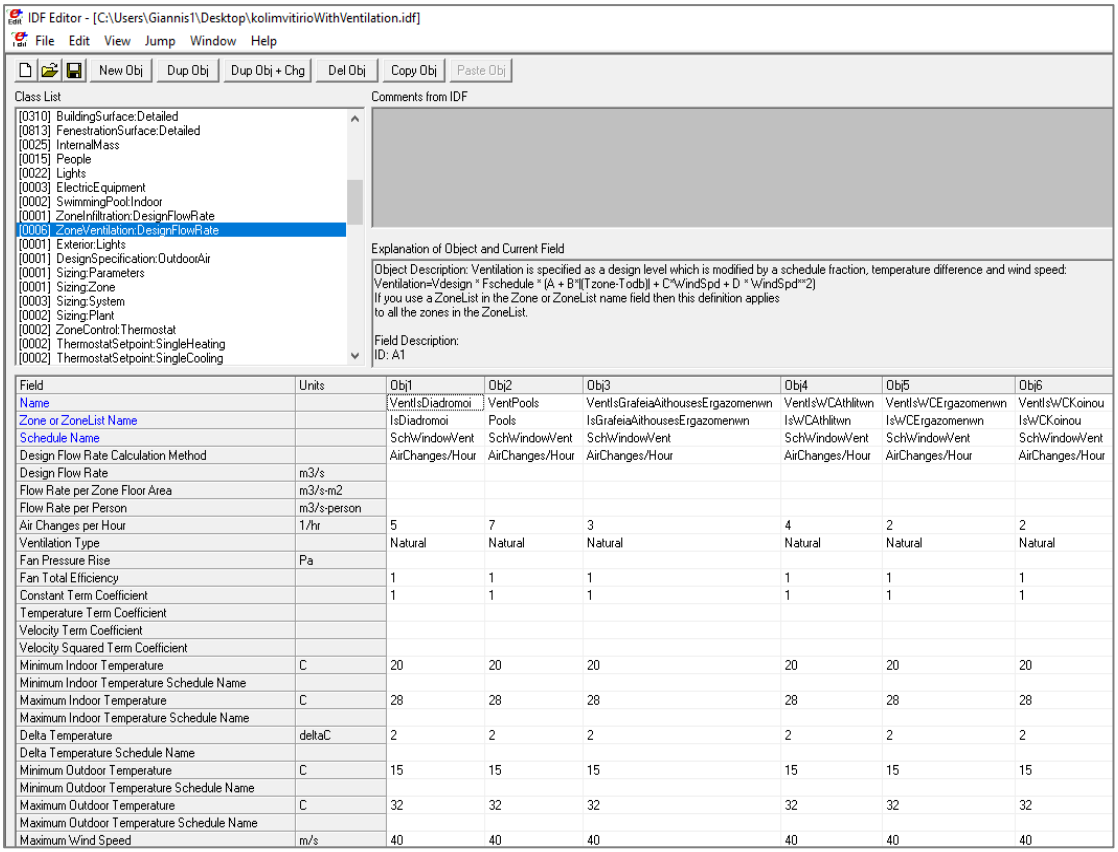
Πιο συγκεκριμένα, στην υποκατηγορία ZoneVentilation: DesignFlowRate, ορίστηκε η λειτουργία του συστήματος για όλες τις ζώνες που αναφέρθηκαν, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.2. Στα απαιτούμενα πεδία συμπληρώθηκαν το όνομα, η ομάδα θερμικών ζωνών στην οποία εφαρμόζεται ο έξυπνος φυσικός δροσισμός, το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του για την εκάστοτε ομάδα θερμικών ζωνών, οι εναλλαγές του αέρα ανά ώρα (Air Changes per Hour), ο τύπος του (Ventilation Type) καθώς και οι προτεινόμενες από το πρόγραμμα τιμές της ελάχιστης και μέγιστης εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας και ταχύτητας ανέμου (Maximum/Minimum Indoor Temperature, Maximum/Minimum Outdoor Temperature, Wind Speed).

Όσον αφορά στο πεδίο Air Changes per Hour δηλώθηκε ο αριθμός (n) των εναλλαγών του αέρα για κάθε ομάδα ζωνών, στην οποία πραγματοποιείται φυσικός αερισμός. Ο αριθμός αυτός δίνει την εναλλαγή αέρα στον χώρο ως πολλαπλάσιο του όγκου του χώρου ανά ώρα. Για παράδειγμα ένας αριθμός εναλλαγών του αέρα ίσος με 2 σημαίνει ότι μέσα σε μία ώρα εισέρχεται στο χώρο ένας όγκος νωπού αέρα ίσος με το διπλάσιο του όγκου του χώρου. Ο απαιτούμενος αριθμός εναλλαγών για την εξασφάλιση κατάλληλης ποσότητας οξυγόνου και την αποφυγή δυσάρεστων συνθηκών ενός χώρου διαφέρει ανάλογα με τη χρήση του.

Στην προσομοίωση του κολυμβητηρίου, χρησιμοποιήθηκαν τα όρια που ορίζουν οι οδηγίες της Παγκόσμιας Ομοσπονδίας Υγρού Στίβου και της FINA, όπως αυτά αναλύθηκαν σε προηγούμενη ενότητα. Δηλαδή για τις κοινόχρηστες τουαλέτες τέθηκε n=2 (επαρκής αερισμός), ενώ για τα αποδυτήρια των αθλητών n=4 για τη διατήρηση ισορροπίας μεταξύ θερμοκρασίας και υγρασίας. Στα γραφεία των εργαζομένων χρησιμοποιήθηκε μία μέση τιμή n=3 που δηλώνει επαρκή προς αυξημένο αερισμό. Αντιθέτως στους διαδρόμους του ισογείου και στους χώρους των κολυμβητικών δεξαμενών, όπου υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη δροσισμού ιδιαίτερα

τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω έντονης χρήσης και αυξημένης εσωτερικής θερμοκρασίας, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές n=5 και n=7 αντίστοιχα.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στον καθορισμό της επιτρεπτής διαφοράς εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα που δηλώθηκε στο πεδίο Delta Temperature. Ορίστηκε ο δροσισμός να ενεργοποιείται μόνο όταν η εξωτερική θερμοκρασία αέρα είναι τουλάχιστον 2^0C χαμηλότερη από την εσωτερική. Αυτό συνέβη για την αποφυγή πιθανής μη ηθελημένης θέρμανσης του κολυμβητηρίου λόγω υψηλής θερμοκρασίας εξωτερικού αέρα. Παράλληλα, η λειτουργία του δροσισμού διακόπτεται όταν επιτυγχάνονται τα επιθυμητά όρια (20-28^0C). Τέλος, στο πεδίο Ventilation Type συμπληρώθηκε η επιλογή Natural, καθώς εξετάζεται ο φυσικός αερισμός του κτιρίου.



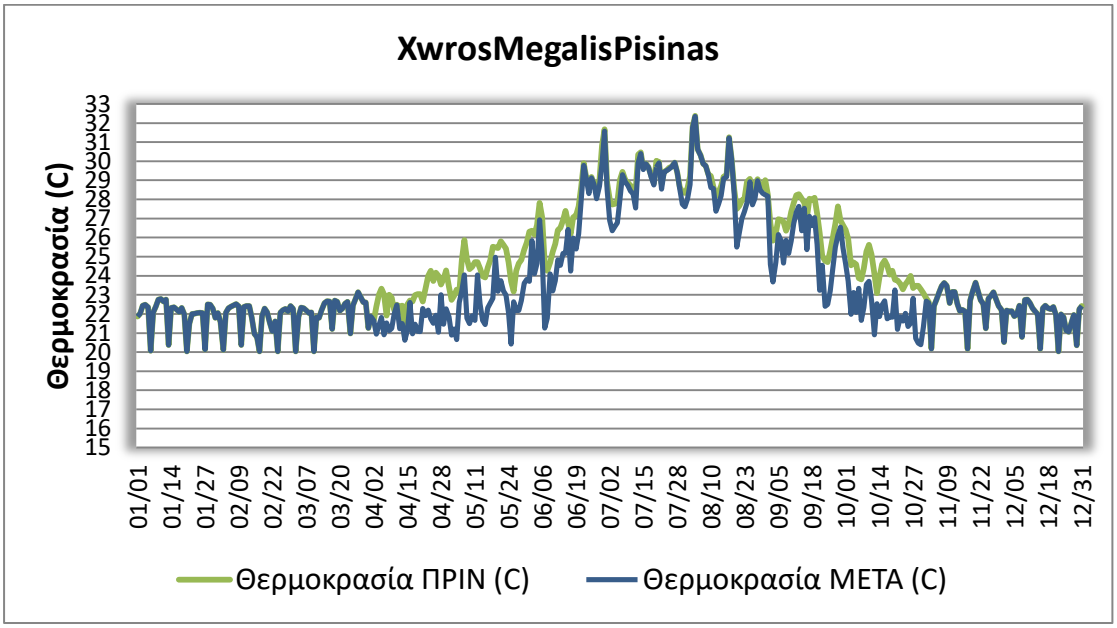
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		VentIsDiadromoi	VentPools	VentIsGrafeiaAithousesErgazomenwn	VentIsWCAthlitwn	VentIsWCErgazomenwn	VentIsWCKoinou
Zone or ZoneList Name		IsDiadromoi	Pools	IsGrafeiaAithousesErgazomenwn	IsWCAthlitwn	IsWCErgazomenwn	IsWCKoinou
Schedule Name		SchWindowVent	SchWindowVent	SchWindowVent	SchWindowVent	SchWindowVent	SchWindowVent
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	AirChanges/Hour	AirChanges/Hour	AirChanges/Hour	AirChanges/Hour	AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s						
Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2						
Flow Rate per Person	m3/s-person						
Air Changes per Hour	1/hr	5	7	3	4	2	2
Ventilation Type		Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural
Fan Pressure Rise	Pa						
Fan Total Efficiency		1	1	1	1	1	1
Constant Term Coefficient		1	1	1	1	1	1
Temperature Term Coefficient							
Velocity Term Coefficient							
Velocity Squared Term Coefficient							
Minimum Indoor Temperature	C	20	20	20	20	20	20
Minimum Indoor Temperature Schedule Name							
Maximum Indoor Temperature	C	28	28	28	28	28	28
Maximum Indoor Temperature Schedule Name							
Delta Temperature	deltaC	2	2	2	2	2	2
Delta Temperature Schedule Name							
Minimum Outdoor Temperature	C	15	15	15	15	15	15
Minimum Outdoor Temperature Schedule Name							
Maximum Outdoor Temperature	C	32	32	32	32	32	32
Maximum Outdoor Temperature Schedule Name							
Maximum Wind Speed	m/s	40	40	40	40	40	40

Εικόνα 7.2: Παράμετροι υποκατηγορίας ZoneVentilation: DesignFlowRate

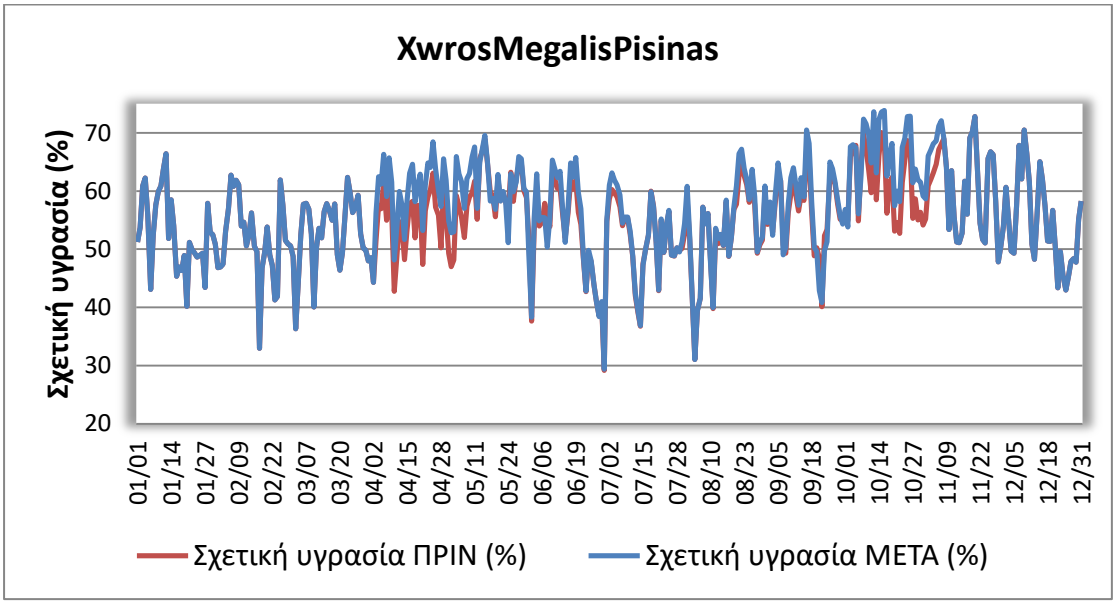
7.2.2 Αποτελέσματα εφαρμογής συστήματος έξυπνου φυσικού δροσισμού και υπολογισμός κόστους επένδυσης

Στη συγκεκριμένη ενότητα αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν, μέσω της υποκατηγορίας Output: Variable του EnergyPlus, μετά τον ορισμό του συστήματος έξυπνου φυσικού δροσισμού. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται ενδεικτικά οι αλλαγές στην ημερήσια θερμοκρασία και υγρασία των ζωνών XwrosMegalisPisinas kai IsGrafeiaAithousesErgazomenwn. Οι συγκεκριμένες ζώνες επιλέχτηκαν προς παρουσίαση, καθώς διαθέτουν τα περισσότερα παράθυρα από όλες

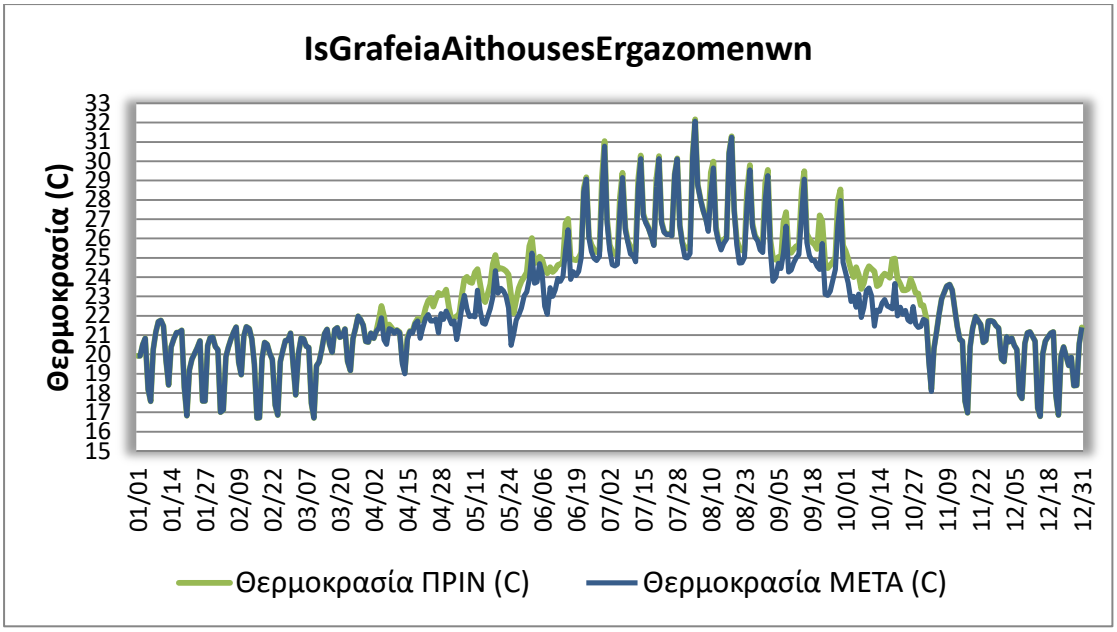
αυτές στις οποίες τοποθετήθηκαν εξαεριστήρες. Βέβαια αξίζει να σημειωθεί πως η λειτουργία του έξυπνου φυσικού δροσισμού έφερε καλύτερα αποτελέσματα ακόμα και στις ζώνες που δεν διαθέτουν παράθυρα λόγω καλύτερης ροής εσωτερικού αέρα.



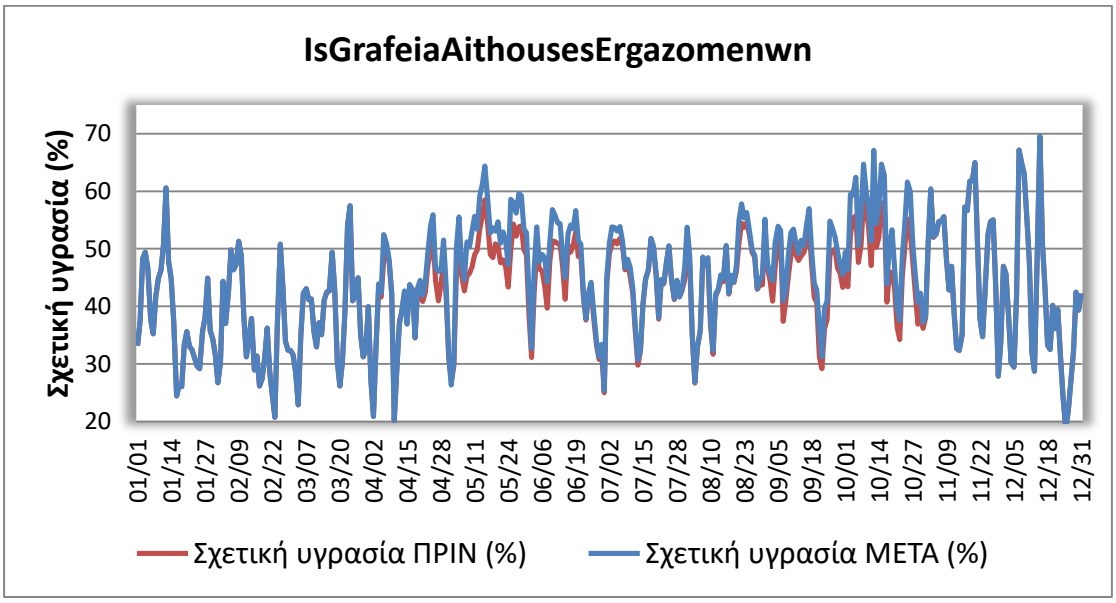
*Εικόνα 7.3: Μέση ημερήσια θερμοκρασία της ζώνης **XwrosMegalisPisinas** πριν και μετά τη χρήση του συστήματος έξυπνου δροσισμού*



Εικόνα 7.4: Μέση ημερήσια σχετική υγρασία της ζώνης ***XwrosMegalisPisinas*** πριν και μετά τη χρήση του συστήματος έξυπνου δροσισμού



Εικόνα 7.5: Μέση ημερήσια θερμοκρασία της ζώνης ***IsGrafeiaAithousesErgazomenwn*** *πριν και μετά τη χρήση του συστήματος έξυπνου δροσισμού*

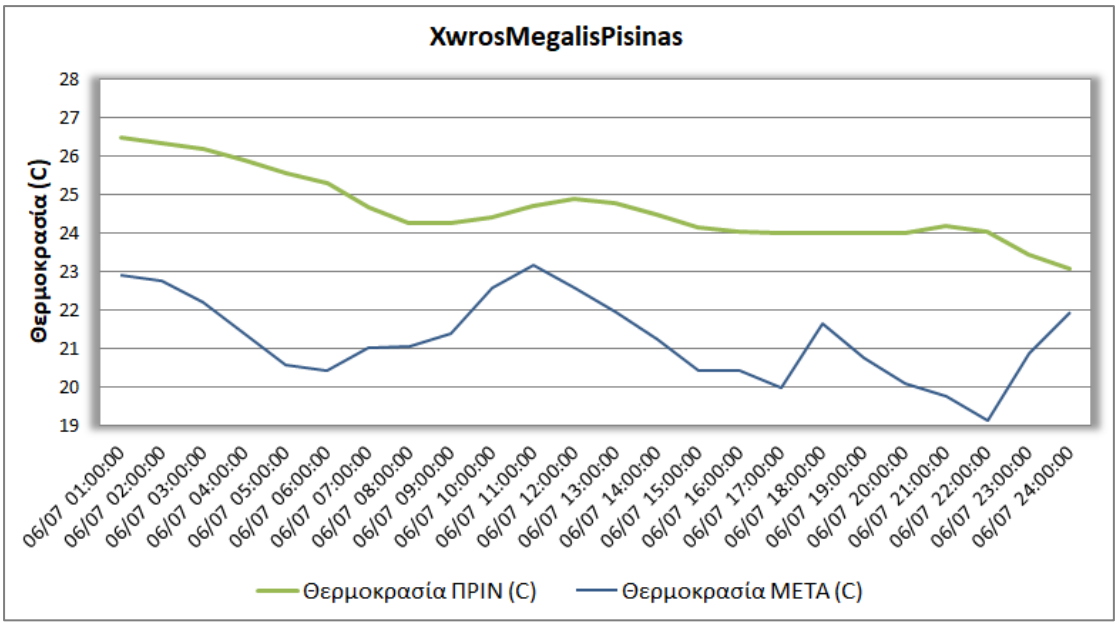


Εικόνα 7.6: Μέση ημερήσια σχετική υγρασία της ζώνης ***IsGrafeiaAithousesErgazomenwn*** *πριν και μετά τη χρήση του συστήματος έξυπνου δροσισμού*

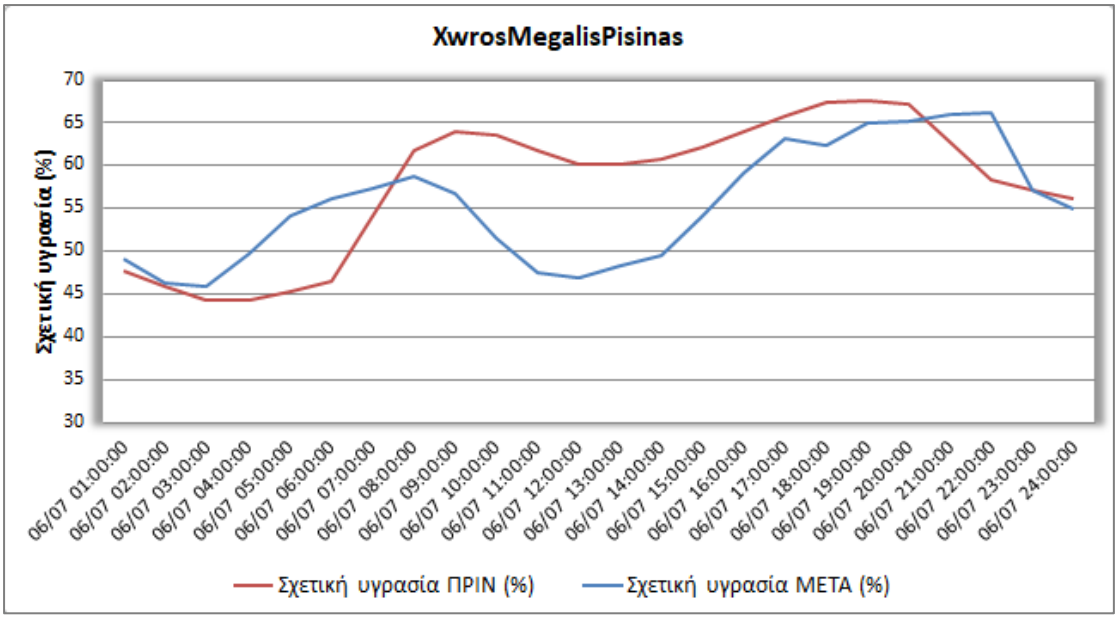
Γίνεται εύκολα αντιληπτό, πως σε όλο το διάστημα που χρησιμοποιείται ο έξυπνος φυσικός δροσισμός, σημειώνεται πτώση της εσωτερικής θερμοκρασίας και στις δύο ζώνες. Οι μεγαλύτερες αλλαγές παρουσιάζονται κυρίως τους μήνες της άνοιξης και του φθινοπώρου, καθώς η εξωτερική θερμοκρασία του αέρα τις συγκεκριμένες περιόδους είναι χαμηλότερη από την εσωτερική πολύ περισσότερες φορές από ότι το καλοκαίρι, όπου το φαινόμενο αυτό συναντάται μόνο κατά τις νυχτερινές ώρες.

Όσον αφορά στη σχετική υγρασία την περίοδο λειτουργίας του συστήματος, παρατηρούνται ορισμένες διαφορές στις δύο ζώνες κυρίως λόγω του προσανατολισμού τους και της κολυμβητικής δεξαμενής. Αρχικά, πρέπει να αναφερθεί πως με τον όρο σχετική υγρασία νοείται ο λόγος της ποσότητας ή της μάζας των υδρατμών, που περιέχει ο αέρας, προς εκείνη την ποσότητα των υδρατμών τους οποίους μπορεί να συμπεριλάβει (υπό αυτή τη θερμοκρασία) μέχρις ότου κορεστεί. [Web41] Επομένως, όταν μειώνεται η θερμοκρασία του αέρα χωρίς να προστίθενται καινούρια ποσά υδρατμών, μειώνεται η ικανότητα του να συγκρατεί περισσότερη υγρασία, με αποτέλεσμα την αύξηση της σχετικής υγρασίας (Εικόνα 7.6). Στην περίπτωση του χώρου της μεγάλης πισίνας, η εξάτμιση του νερού που συμβαίνει κυρίως την Άνοιξη και το Φθινόπωρο λόγω αυξημένης διαφοράς θερμοκρασίας του εισαγόμενου από το σύστημα έξυπνου αερισμού εξωτερικού αέρα και του νερού της πισίνας, προκαλεί πιο απότομη άνοδο στις ήδη μεγαλύτερες τιμές της σχετικής υγρασίας σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ζώνες του κολυμβητηρίου. (Εικόνα 7.4).

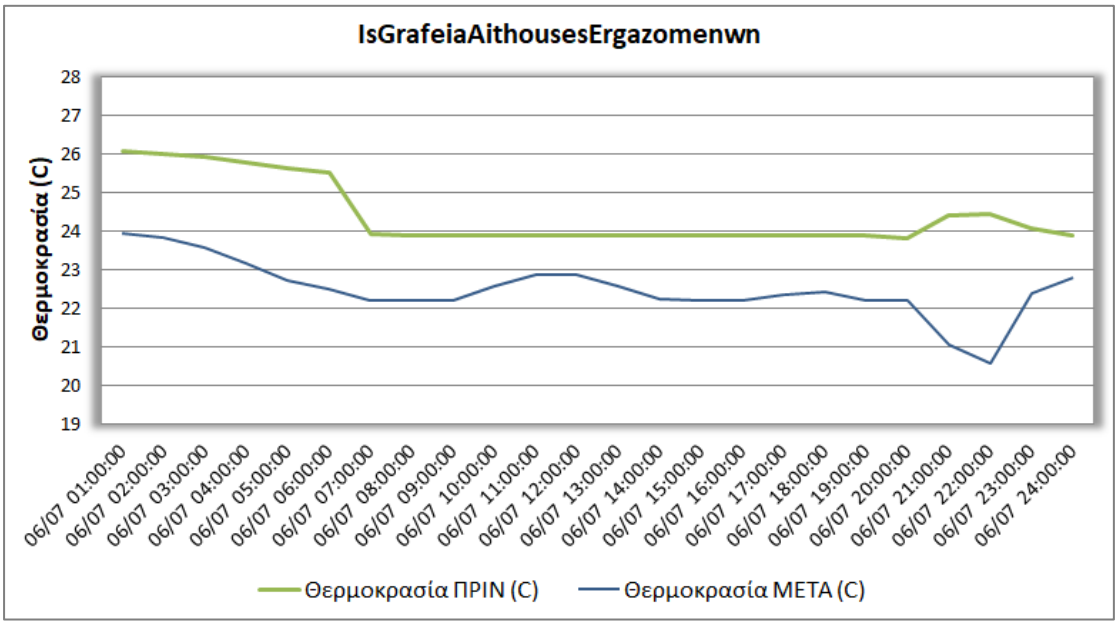
Για τη μεγαλύτερη ευκρίνεια του αποτελέσματος, επιλέχτηκε η ημέρα, κατά την οποία η θερμοκρασία παρουσιάζει τη μεγαλύτερη πτώση σύμφωνα με το διάγραμμα της ζώνης της μεγάλης πισίνας. Η ημέρα αυτή είναι η 7η Ιουνίου όπου και συγκρίθηκαν η ωριαία θερμοκρασία και η σχετική υγρασία πριν και μετά την εφαρμογή του έξυπνου φυσικού δροσισμού και στις δύο ζώνες.



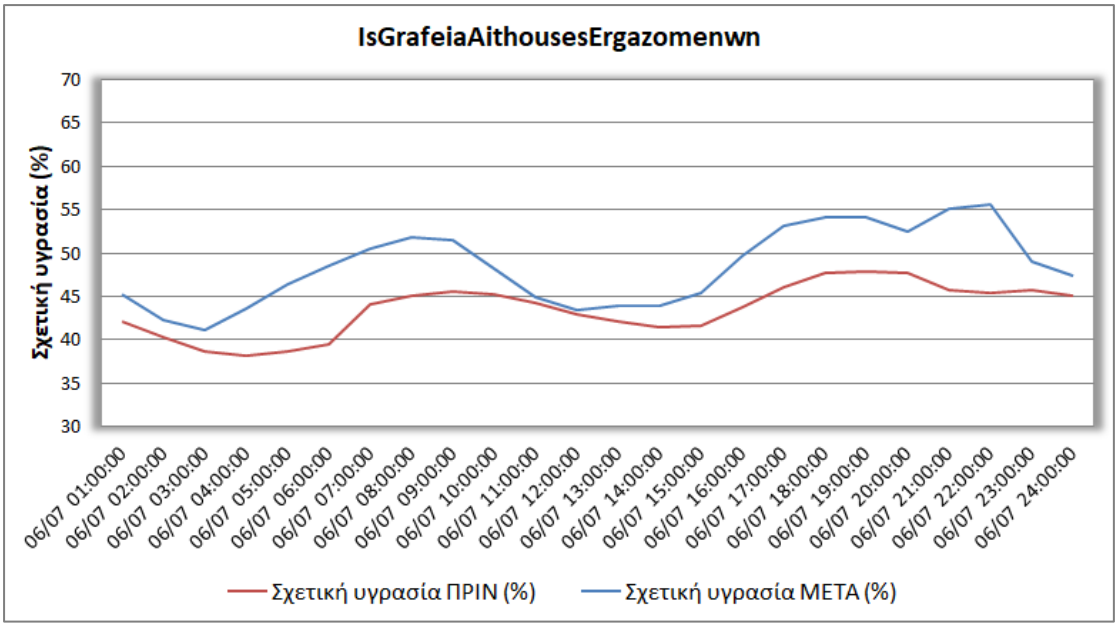
*Εικόνα 7.7: Μέση ωριαία θερμοκρασία της ζώνης **XwrosMegalisPisinas** στις 06/07 πριν και μετά τη χρήση του συστήματος έξυπνου δροσισμού*



*Εικόνα 7.8: Μέση ωριαία σχετική υγρασία της ζώνης **XwrosMegalisPisinas** στις 06/07 πριν και μετά τη χρήση του συστήματος έξυπνου δροσισμού*



*Εικόνα 7.9: Μέση ωριαία θερμοκρασία της ζώνης **IsGrafeiaAithousesErgazomenwn** στις 06/07 πριν και μετά τη χρήση του συστήματος έξυπνου δροσισμού*

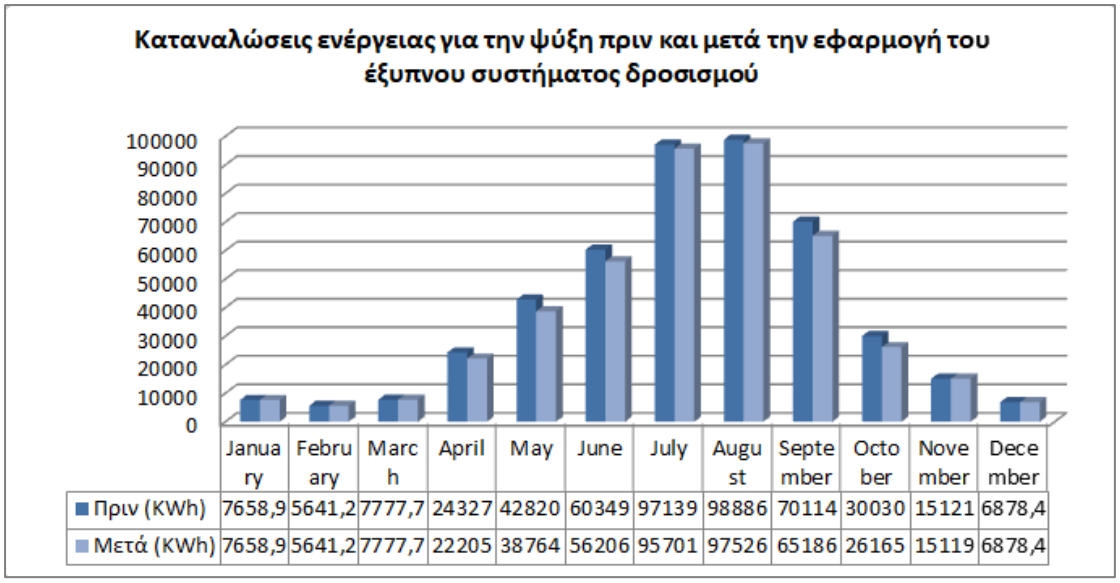


Εικόνα 7.10: Μέση ωριαία σχετική υγρασία της ζώνης ***IsGrafeiaAithousesErgazomenwn*** *στις 06/07 πριν και μετά τη χρήση του συστήματος έξυπνου δροσισμού*

Όπως φαίνεται στις παραπάνω εικόνες, η μεγαλύτερη πτώση της θερμοκρασίας για το χώρο της πισίνας (περίπου 4,90^{0}C) παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια της νύχτας από τις 04:00 έως τις 06:00, ενώ για τα γραφεία των εργαζομένων είναι 3,80^{0}C και συμβαίνει από τις 21:00 έως τις 22:00. Η υγρασία αντιθέτως, παρουσιάζει σχετική άνοδο στην περίπτωση των γραφείων λόγω της υπερβολικά μεγάλης πτώσης της θερμοκρασίας που επιτεύχθηκε για τη συγκεκριμένη ημέρα. Στο χώρο της πισίνας σημειώνονται διακυμάνσεις με άξιο αναφοράς τη μεγάλη άνοδο της σχετικής υγρασίας τις πρωινές ώρες όπου η θερμοκρασία μειώνεται και την μεγάλη πτώση αυτής το μεσημέρι λόγω απότομης ανόδου της θερμοκρασίας. Σημειώνεται ότι το φαινόμενο της εξάτμισης του νερού της πισίνας (όταν συμβαίνει) συμβάλει σημαντικά στην ενίσχυση της αντιστρόφως ανάλογης σχέσης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.

Παρόλο που η σχετική υγρασία αυξάνεται σε ορισμένες περιπτώσεις, η αρκετά μεγάλη πτώση της εσωτερικής θερμοκρασίας εξασφαλίζει συνθήκες θερμικής άνεσης και στις δύο ζώνες, που δεν υπήρχαν νωρίτερα. Υπενθυμίζεται ότι η περιοχή άνεσης κυμαίνεται μεταξύ 18^{0}C με σχετική υγρασία 75% και 24^{0}C με σχετική υγρασία 35%.

Στη συνέχεια, έγινε αναγωγή της μείωσης της θερμοκρασίας σε μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας του κλιματισμού για ψύξη σε κιλοβατώρες (KWh), για όλες τις ζώνες, ώστε να γίνει αντιληπτή η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.11, μείωση καταναλώσεων εμφανίζεται για όλους τους μήνες λειτουργίας του συστήματος έξυπνου αερισμού.



Εικόνα 7.11: Μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας για την ψύξη του εσωτερικού αέρα του κολυμβητηρίου πριν και μετά την εφαρμογή του έξυπνου συστήματος δροσισμού

Αρχικά, οι απαιτήσεις ενέργειας για ψύξη του κολυμβητηρίου το χρονικό διάστημα Απρίλιος-Οκτώβριος φτάνουν τις 423664,2 KWh, ενώ μετά την εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος παρατηρείται μείωση κατά 21912,8 KWh. Για κόστος κιλοβατώρας 0,068 €/KWh, όπως προβλέπεται από το τιμολόγιο της ΔΕΗ για τις αθλητικές εγκαταστάσεις μέσης τάσης, η συγκεκριμένη μείωση μεταφράζεται σε κέρδος 1490,07 €/έτος. Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα στοιχεία που αφορούν τη μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του κολυμβητηρίου για ψύξη του εσωτερικού αέρα την περίοδο λειτουργίας του προτεινόμενου συστήματος.

Ενεργειακές καταναλώσεις για την ψύξη του εσωτερικού αέρα πριν και μετά την εφαρμογή του έξυπνου συστήματος δροσισμού					
Μήνες	**Καταναλώσεις ενέργειας για ψύξη (KWh)**		**Εξοικονόμηση ενέργειας**		**Όφελος (€)**
	Πριν	Μετά	(KWh)	(%)	
Απρίλιος	24326,6	22204,9	2121,7	8,721	144,275
Μάιος	42820	38763,6	4056,4	9,473	275,835
Ιούνιος	60348,5	56206	4142,5	6,864	281,690
Ιούλιος	97138,9	95700,7	1438,2	1,480	97,797
Αύγουστος	98886,2	97525,6	1360,6	1,375	92,520
Σεπτέμβριος	70114	65185,9	4928,1	7,028	335,110
Οκτώβριος	30030	26164,7	3865,3	12,871	262,840
Σύνολο	**423664,2**	**401751,4**	**21912,8**	**5,172**	**1490,07**

Πίνακας 7.1: Συγκεντρωτικός πίνακας μηνιαίων καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας του κολυμβητηρίου για ψύξη πριν και μετά την εφαρμογή του έξυπνου δροσισμού

Για τον υπολογισμό του κόστους εφαρμογής του συγκεκριμένου συστήματος, έγινε έρευνα για την τιμή αγοράς και τοποθέτησης του κατάλληλου τύπου

εξαεριστήρων τζαμιού στα 730 παράθυρα του κολυμβητηρίου. Κριτήρια επιλογής θεωρήθηκαν η δυνατότητα επαρκούς κάλυψης μεγάλων χώρων, η επίτευξη μέγιστης απόδοσης με χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση, η σχετικά αθόρυβη λειτουργία και το μικρό κόστος. Έτσι, επιλέχτηκε ενδεικτικά ο εξαεριστήρας τζαμιού-τοίχου PVO 200/4 διαμέτρου 200 χιλιοστών, ισχύος 58Watt, στάθμης θορύβου <60dB και τιμής 57.81 € με Φ.Π.Α. [Web42].

Όσον αφορά στον αριθμό των εξαεριστήρων, προτιμήθηκε η τοποθέτηση ενός ανά πέντε παράθυρα της κάθε ζώνης του κολυμβητηρίου με το συνολικό κόστος μαζί με την τοποθέτηση (1000 €) να ανέρχεται στα 9440,26 €. Σημειώνεται ότι για τον υπολογισμό του πραγματικού οικονομικού οφέλους πρέπει να συνυπολογιστεί και η κατανάλωση των εξαεριστήρων που θα εγκατασταθούν. Για τον προσδιορισμό αυτής, ορίστηκε ως μέσος όρος ημερήσιας (εκτός Κυριακής) λειτουργίας του συστήματος οι 4 ώρες για το χρονικό διάστημα Απρίλιος-Οκτώβριος. Επομένως προκύπτει επιπλέον κατανάλωση 6164,704 KWh, με κόστος 419,199 €/έτος.

Δεδομένου ότι το πραγματικό ετήσιο όφελος από τη μείωση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη και τη χρήση των εξαεριστήρων είναι 1070,871 € (1490,07 € - 419,99 €), η απόσβεση του κόστους εκτιμάται ότι θα γίνει σε 9 έτη.

7.3 Προσθήκη υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής (Low emissivity)

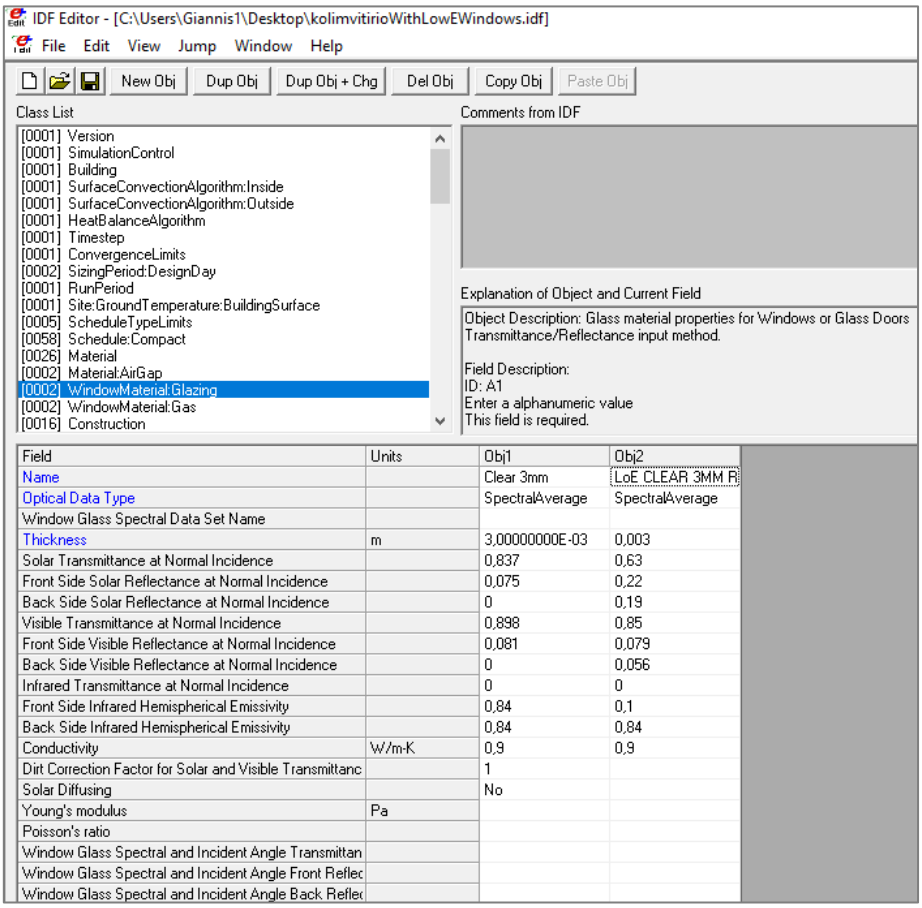
Οι υαλοπίνακες των κτιρίων συνεισφέρουν σε μεγάλο ποσοστό στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και ψύξη των χώρων, διότι μέσα από αυτούς μεταφέρεται μεγάλη ποσότητα ενέργειας, το χειμώνα από το εσωτερικό του κτιρίου προς το περιβάλλον και το καλοκαίρι αντίστροφα, από το ζεστό εξωτερικό περιβάλλον προς το εσωτερικό του κτιρίου. Επομένως, η χρήση βελτιωμένων ενεργειακά προσόψεων μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Πιο συγκεκριμένα, οι επιλεκτικοί υαλοπίνακες χαμηλού συντελεστή εκπομπής (Low emissivity) εμποδίζουν μεγάλο μέρος της θερμικής ακτινοβολίας είτε να εισέρχεται προς το κτίριο, είτε να εκπέμπεται προς το εξωτερικό περιβάλλον. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μίας ειδικής επίστρωσης μικροσκοπικών μεταλλικών οξειδίων στην μία πλευρά του υαλοπίνακα, η οποία επιδρά σαν καθρέπτης στο υπέρυθρο και υπεριώδες τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο, η μείωση της θερμικής ακτινοβολίας που διέρχεται μέσα από το τζάμι μπορεί να φτάσει μέχρι και 75% σε σχέση με ένα κοινό γυαλί.

7.3.1 Εισαγωγή παραμέτρων προσομοίωσης

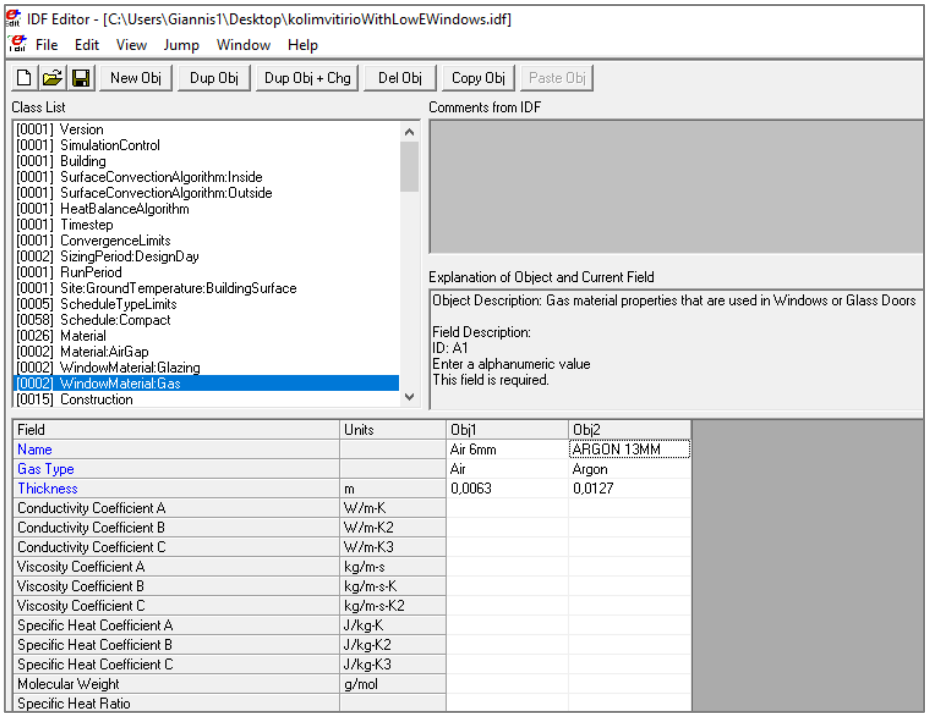
Η εισαγωγή των υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής έγινε στην υποκατηγορία WindowMaterial: Glazing, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.12. Τα χαρακτηριστικά που δόθηκαν στα απαραίτητα πεδία λήφθηκαν έτοιμα από τη βιβλιοθήκη αρχείων DataSet που διαθέτει το EnergyPlus. Εκεί δίνεται συγκεκριμένο παράδειγμα εισαγωγής

υλικών παραθύρου, το οποίο περιέχει τα συγκεκριμένα παράθυρα χαμηλής εκπομπής πάχους 3mm που χρησιμοποιήθηκαν (LoE CLEAR 3MM Rev).



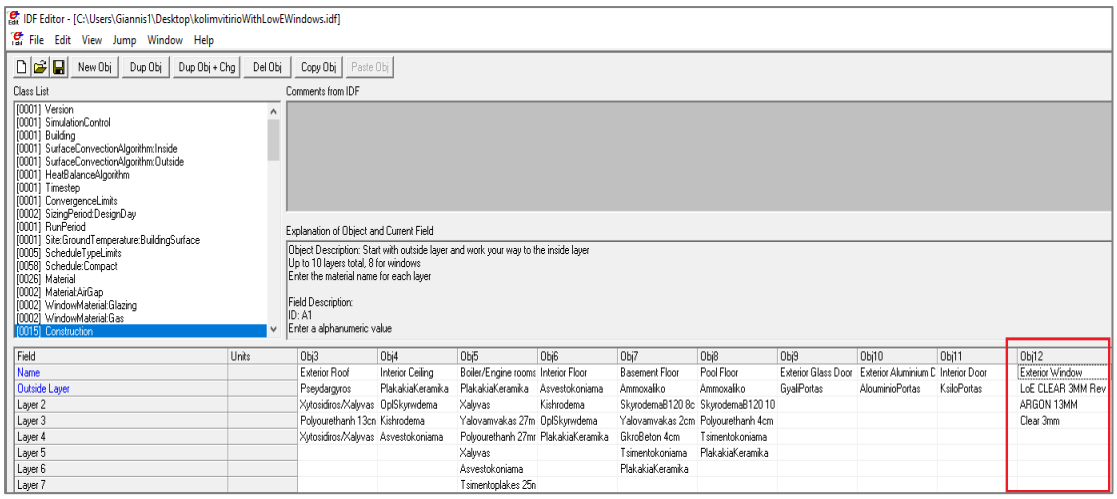
Εικόνα 7.12: Παράμετροι υποκατηγορίας WindowMaterial: Glazing

Στη συνέχεια, ορίστηκε το φυσικό αέριο που θα παρεμβάλλεται μεταξύ των παραπάνω υαλοπινάκων ούτως ώστε να ενισχυθούν οι μονωτικές ιδιότητες τους στην υποκατηγορία WindowMaterial: Gas. Και σε αυτή την περίπτωση, χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη του EnergyPlus και επιλέχτηκε το ευγενές αέριο Αργό (ARGON 13MM) μαζί με τα χαρακτηριστικά του, όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 7.13.



Εικόνα 7.13: Παράμετροι υποκατηγορίας WindowMaterial: Gas

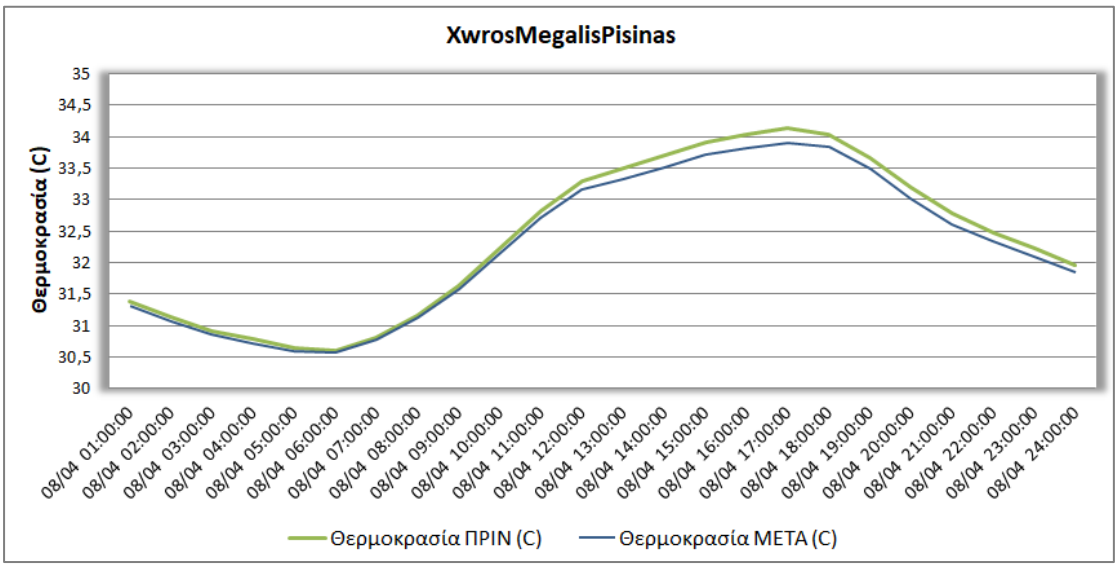
Τέλος, έγινε δήλωση νέας δομής εξωτερικών παραθύρων με την καινούρια μέσω των υποκατηγοριών Construction και FenestrationSurface: Detailed. Προτιμήθηκε η τοποθέτηση του ενεργειακού υαλοπίνακα μόνο στο εξωτερικό των παραθύρων, ώστε να περιορίσει την ποσότητα του υπεριώδους και του υπέρυθρου φωτός που μπορεί να περάσει μέσα από γυαλί, ενώ αντιθέτως στο εσωτερικό τοποθετήθηκε απλό τζάμι για να επιτρέπει τη θερμότητα να εξέρχεται από το εσωτερικό προς το εξωτερικό περιβάλλον (Εικόνα 7.14). Τονίζεται ότι η συγκεκριμένη δομή παραθύρων χρησιμοποιήθηκε μόνο για τα παράθυρα του χώρου της μεγάλης πισίνας, που έχουν νοτιοανατολικό προσανατολισμό, για να μην αυξηθεί ιδιαίτερα το κόστος εγκατάστασης.



Εικόνα 7.14: Αντικατάσταση της δομής των εξωτερικών παραθύρων μετά την τοποθέτηση υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής στην υποκατηγορία Construction

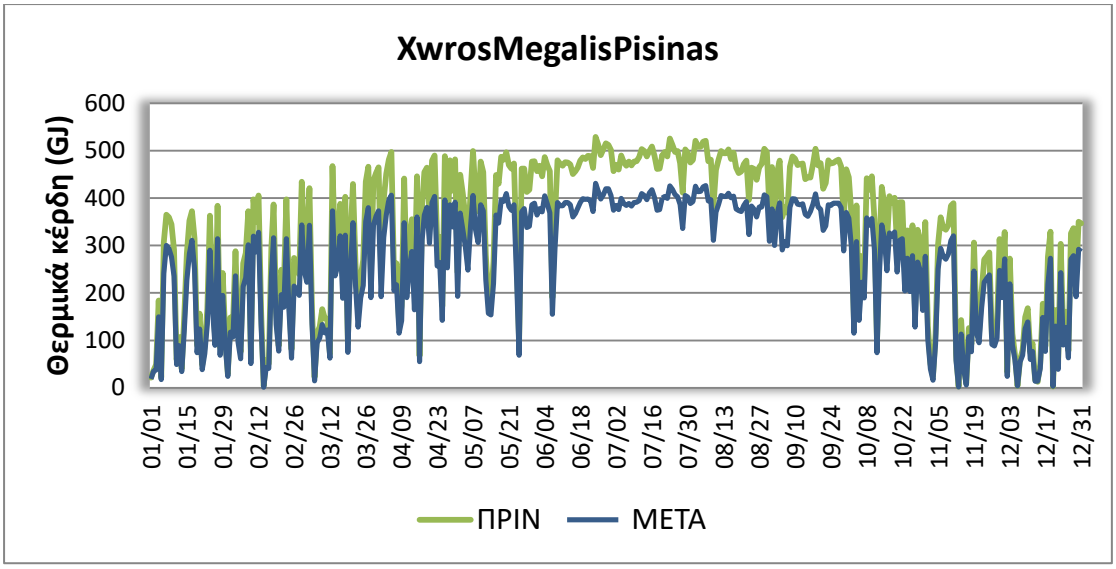
7.3.2 Αποτελέσματα εφαρμογής υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής (Low emissivity) και υπολογισμός κόστους επένδυσης

Στη συγκεκριμένη ενότητα αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν, μέσω της υποκατηγορίας Output: Variable του EnergyPlus, μετά την εφαρμογή των υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής. Για να αξιολογηθεί η θερμοκρασιακή βελτίωση που επιφέρει η συγκεκριμένη πρόταση, συγκρίθηκαν για τη ζώνη της μεγάλης πισίνας, στην οποία εφαρμόστηκε η αλλαγή, οι ωριαίες θερμοκρασίες που αντιστοιχούν στην πιο ζεστή μέρα του έτους (08/04) πριν και μετά την τοποθέτηση των υαλοπινάκων Low-E (Εικόνα 7.15).



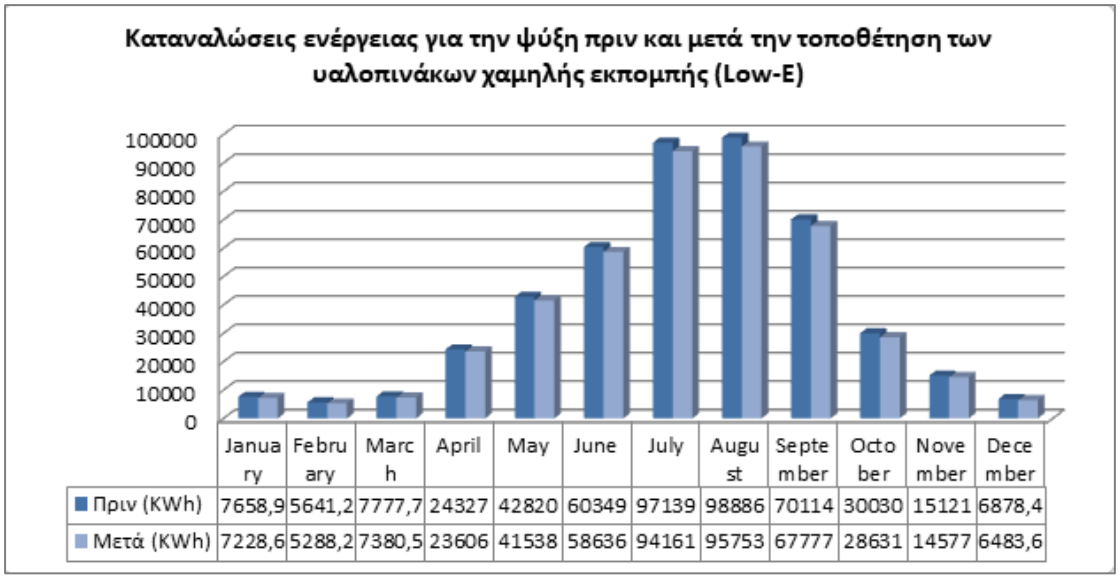
Εικόνα 7.15: Μέση ωριαία θερμοκρασία την πιο ζεστή ημέρα στη ζώνη XwrosMegalisPisinas πριν και μετά την εφαρμογή υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής

Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η πτώση της θερμοκρασίας δεν είναι μεγάλη, ενώ παρουσιάζεται κυρίως μετά το μεσημέρι, όπου η νέα δομή των παραθύρων δεν επιτρέπει στην ηλιακή ακτινοβολία να εισέλθει στο κολυμβητήριο με την ίδια ευκολία. Στην Εικόνα 7.16, εξετάζεται η θερμική απόδοση της ζώνης XwrosMegalisPisinas πριν και μετά τη χρήση των υαλοπινάκων Low-E. Παρατηρείται ότι η αντικατάσταση των υαλοπινάκων μείωσε αισθητά τα θερμικά κέρδη. Επίσης τους καλοκαιρινούς μήνες, η διακύμανση των θερμικών κερδών από τα παράθυρα είναι αρκετά μικρότερη από την αντίστοιχη διακύμανση στο υπόλοιπο του έτους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η ηλιοφάνεια είναι κατά κανόνα σταθερή και δεν μεταβάλλεται σημαντικά από μέρα σε μέρα, όπως συμβαίνει για παράδειγμα το χειμώνα, όπου μπορεί να υπάρξουν μέρες με παρατεταμένη συννεφιά.



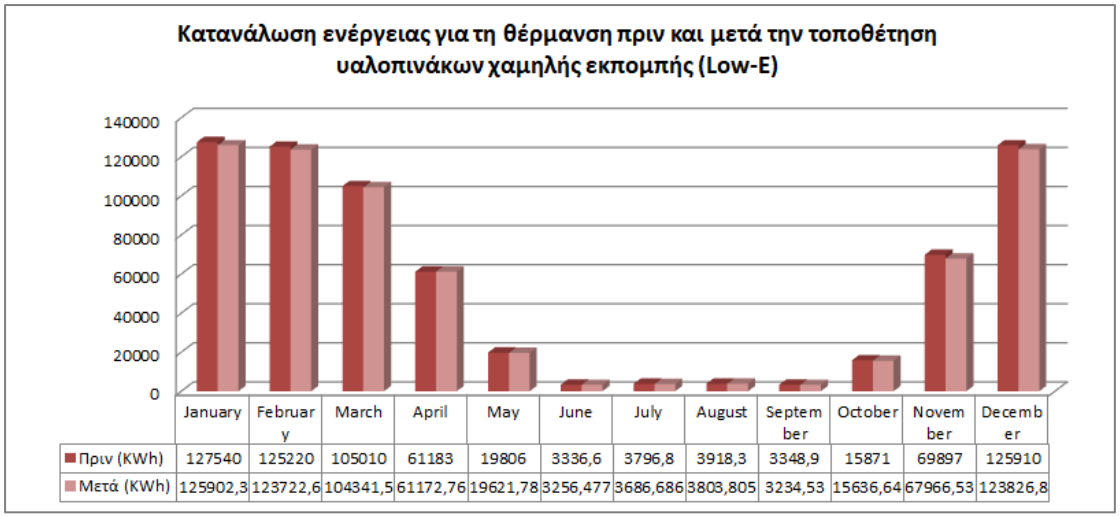
*Εικόνα 7.16: Ημερήσια θερμικά κέρδη από τα παράθυρα της ζώνης **XwrosMegalisPisinas** πριν και μετά την τοποθέτηση των υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής*

Επιπλέον, εξετάστηκε η διακύμανση στην κατανάλωση ενέργειας για την ψύξη του εσωτερικού αέρα του κολυμβητηρίου πριν και μετά την προσθήκη των νέων υαλοπινάκων. Λαμβάνοντας υπόψη την μικρή μείωση της θερμοκρασίας ήταν αναμενόμενη η επίσης μικρή απόκλιση της κατανάλωσης ενέργειας, η οποία παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.17.



Εικόνα 7.17: Μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας για την ψύξη του εσωτερικού αέρα του κολυμβητηρίου πριν και μετά την τοποθέτηση υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε αναγωγή της μείωσης της θερμοκρασίας μετά την εφαρμογή του συγκεκριμένου μέτρου, σε μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας και για τη θέρμανση σε κιλοβατώρες (KWh), για όλες τις ζώνες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.18.



	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Πριν (KWh)	127540	125220	105010	61183	19806	3336,6	3796,8	3918,3	3348,9	15871	69897	125910
Μετά (KWh)	125902,3	123722,6	104341,5	61172,76	19621,78	3256,477	3686,686	3803,805	3234,53	15636,64	67966,53	123826,8

Εικόνα 7.18: Μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας για τη θέρμανση του εσωτερικού αέρα του κολυμβητηρίου πριν και μετά την τοποθέτηση υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής

Οι αρχικές απαιτήσεις ενέργειας για ψύξη του κολυμβητηρίου φτάνουν τις 466741,7 KWh, ενώ μετά την εφαρμογή των προτεινόμενων υαλοπινάκων παρατηρείται μείωση κατά 15681,79 KWh. Για κόστος κιλοβατώρας 0,068 €/KWh, όπως προβλέπεται από το τιμολόγιο της ΔΕΗ για τις αθλητικές εγκαταστάσεις μέσης τάσης, η συγκεκριμένη μείωση μεταφράζεται σε κέρδος 1066,361 €/έτος.

Όσον αφορά στις απαιτήσεις ενέργειας για θέρμανση του κολυμβητηρίου καθόλη τη διάρκεια του έτους, φτάνουν τις 664837,6 KWh, ενώ μετά την εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος παρατηρείται μείωση κατά 8665,25 KWh. Για κόστος κιλοβατώρας 0,068 €/KWh, η συγκεκριμένη αύξηση μεταφράζεται σε οικονομική επιβάρυνση 589,2376 €/έτος. Επομένως, συνολικά για το σύστημα θέρμανσης και ψύξης παρατηρείται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης των 24347,04 KWh, που μεταφράζεται σε 1655,5986 €/έτος.

Στους παρακάτω πίνακες, παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα στοιχεία που αφορούν τη μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του κολυμβητηρίου για ψύξη/θέρμανση του εσωτερικού αέρα.

Ενεργειακές καταναλώσεις για την ψύξη του εσωτερικού αέρα πριν και μετά την τοποθέτηση υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής					
Μήνες	**Καταναλώσεις ενέργειας για ψύξη (KWh)**		**Εξοικονόμηση ενέργειας**		**Όφελος (€)**
	Πριν	Μετά	(KWh)	(%)	
Ιανουάριος	7658,94	7228,6	430,34	5,618	29,263
Φεβρουάριος	5641,24	5288,2	353,04	6,258	24,007
Μάρτιος	7777,74	7380,5	397,24	5,107	27,012
Απρίλιος	24326,6	23605,7	720,9	2,963	49,021
Μάιος	42820	41538,2	1281,8	2,993	87,162
Ιούνιος	60348,5	58636	1712,5	2,837	116,45
Ιούλιος	97138,9	94160,9	2978	3,065	202,504
Αύγουστος	98886,2	95753,4	3132,8	3,168	213,030
Σεπτέμβριος	70114	67776,6	2337,4	3,333	158,943
Οκτώβριος	30030	28631,2	1398,8	4,658	95,118
Νοέμβριος	15121,2	14577	544,2	3,598	97,005
Δεκέμβριος	6878,35	6483,6	394,757	5,739	26,843
Σύνολο	**466741,7**	**451059,9**	**15681,79**	**3,359**	**1066,361**

Πίνακας 7.2: Συγκεντρωτικός πίνακας μηνιαίων καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας του κολυμβητηρίου για ψύξη πριν και μετά την τοποθέτηση υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής

Ενεργειακές καταναλώσεις για τη θέρμανση του εσωτερικού αέρα πριν και μετά την τοποθέτηση υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής					
Μήνες	**Καταναλώσεις ενέργειας για θέρμανση (KWh)**		**Εξοικονόμηση ενέργειας**		**Όφελος (€)**
	Πριν	Μετά	(KWh)	(%)	
Ιανουάριος	127540	125902,3	1637,72	1,31	111,365
Φεβρουάριος	125220	123722,6	1497,39	1,21	101,822
Μάρτιος	105010	104341,5	668,51	0,64	45,458
Απρίλιος	61183	61172,76	10,244	0,01	0,696
Μάιος	19806	19621,78	184,223	0,93	12,527
Ιούνιος	3336,6	3256,47	80,122	2,46	5,448
Ιούλιος	3796,8	3686,68	110,11	2,98	7,487
Αύγουστος	3918,3	3803,8	114,49	3,01	7,785
Σεπτέμβριος	3348,9	3234,53	114,37	3,53	7,777
Οκτώβριος	15871	15636,6	234,36	1,49	15,936
Νοέμβριος	69897	67966,5	1930,4	2,84	131,271
Δεκέμβριος	125910	123826,8	2083,4	1,68	141,659
Σύνολο	**664837,6**	**656172,3**	**8665,25**	**1,31**	**589,2376**

Πίνακας 7.3: Συγκεντρωτικός πίνακας μηνιαίων καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας του κολυμβητηρίου για θέρμανση πριν και μετά την τοποθέτηση υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής

Όσον αφορά στο κόστος αντικατάστασης των υαλοπινάκων, προτείνεται η αντικατάσταση μόνο των 340 υαλοπινάκων του χώρου της μεγάλης πισίνας, λόγω του νοτιοανατολικού προσανατολισμού τους και της μεγάλης σε έκταση ζώνης στην οποία ανήκουν. Η προβλεπόμενη τιμή, όπως προέκυψε από έρευνα αγοράς, διαμορφώνεται στα 50 €/ τετρ. μέτρο, συμπεριλαμβανομένου του Φ.Π.Α 24%,

(κόστος υλικών και εργασίας). Η συνολική επιφάνεια των 340 υαλοπινάκων είναι 534,835 τετρ. μέτρα, επομένως το συνολικό κόστος εγκατάστασης ανέρχεται στα 26741,75 € χωρίς να χρειάζεται η αντικατάσταση των κουφωμάτων μιας και αφορούν ήδη κατασκευές διπλών τζαμιών. Ως εκ τούτου, με ετήσιο όφελος 1655,5986 €/ έτος, εκτιμάται χρόνος απόσβεσης αρχικού κόστους επένδυσης τα 17 έτη.

7.4 Τοποθέτηση σκίαστρων στο νότιο τμήμα του κολυμβητηρίου

Η συγκεκριμένη ενότητα αφορά τη χρήση εξωτερικών σκίαστρων στο νότιο τμήμα του κολυμβητηρίου, έτσι ώστε να αποφεύγεται η ολική είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας εντός του κολυμβητηρίου και ο εγκλωβισμός αυτής μέσω των υαλοπινάκων. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος σκιασμού είναι η χρήση εξωτερικών σκίαστρων με κινητές περσίδες, που όμως είναι ιδιαίτερα ακριβά και για το λόγο αυτό προτιμάται σταθερή εξωτερική σκίαση που συνδυάζεται με εσωτερικά στόρια.

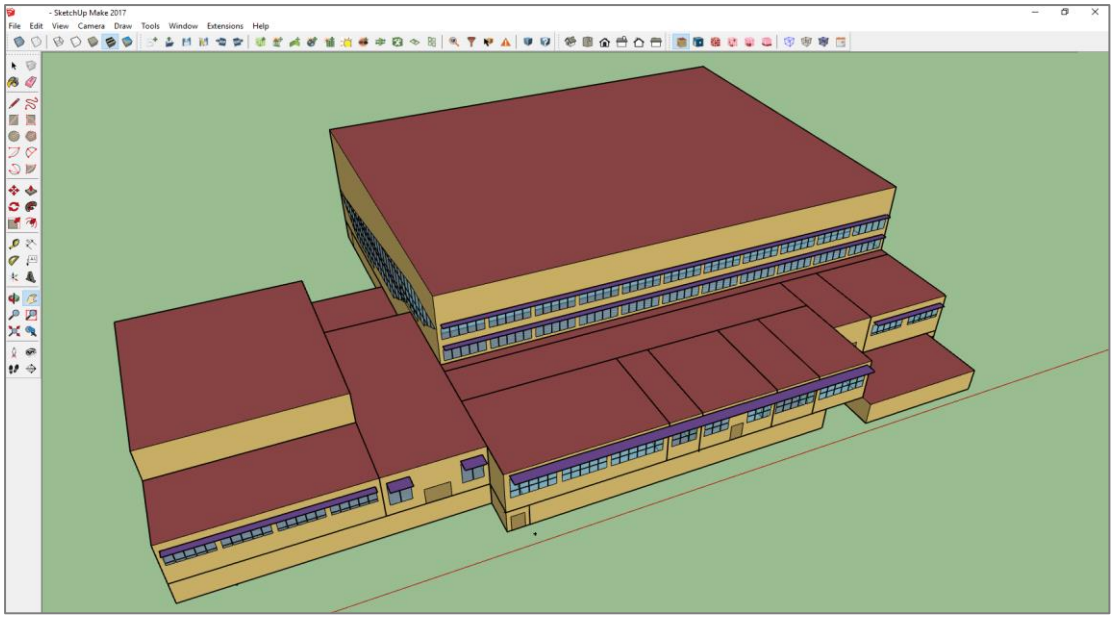
Για νότιο προσανατολισμό, ο προτεινόμενος τρόπος σκίασης είναι τα σταθερά σκίαστρα τοποθετημένα οριζόντια πάνω από το παράθυρο, διότι τα νότια ανοίγματα λαμβάνουν πιο λίγη ακτινοβολία κατά την καλοκαιρινή περίοδο και είναι εύκολο να προστατευτούν, σε σχέση με τα δυτικά και ανατολικά παράθυρα. Ένας οριζόντιος πρόβολος πάνω από ένα νότια προσανατολισμένο παράθυρο επιτρέπει στο χειμερινό ήλιο, που βρίσκεται χαμηλά στον ορίζοντα να περάσει στο εσωτερικό του κτιρίου, ενώ το καλοκαίρι τον εμποδίζει. Οι πρόβολοι που εκτείνονται δεξιά και αριστερά των ανοιγμάτων είναι πιο αποτελεσματικοί από προβόλους που καλύπτουν μόνο το πλάτος του παραθύρου.

Όσον αφορά στις ιδανικές διαστάσεις ενός σκίαστρου, εκτιμάται πως όταν το σκίαστρο έχει πλάτος ίσο με το μισό του ύψους του παραθύρου, επιτυγχάνεται επαρκής σκιασμός από το Μάιο έως τον Αύγουστο, ενώ παράλληλα το χειμώνα επιτρέπεται η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό. Αντίστοιχα, η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της εξωτερικής πλευράς του σκιάστρου και του κατωφλιού του ανοίγματος οφείλει να είναι 55-60^0.

7.4.1 Εισαγωγή παραμέτρων προσομοίωσης

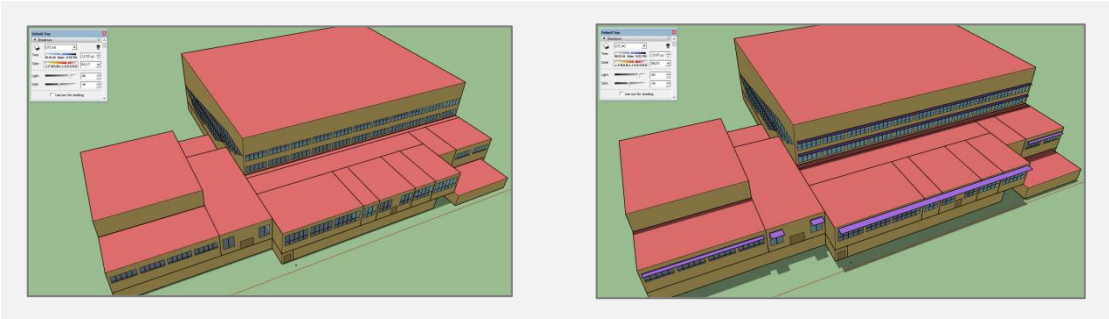
Στην περίπτωση του κολυμβητηρίου, με στόχο την προφύλαξη της νότιας πλευράς του από την υπερθέρμανση κατά τους θερινούς μήνες καθώς και από το ανεπιθύμητο φαινόμενο της θάμβωσης, προτείνεται να τοποθετηθούν σταθερά οριζόντια μεταλλικά σκίαστρα σε όλο το μήκος των παραθύρων, με πλάτος ίσο με το μισό του ύψους αυτών. Στη βόρεια πλευρά δεν είναι αναγκαία η οποιαδήποτε παρέμβαση, καθώς η ηλιακή ακτινοβολία είναι έμμεση και απαραίτητη για τη διασφάλιση φυσικού φωτισμού.

Για τη δημιουργία των σκίαστρων χρειάστηκε η εκ νέου εισαγωγή του .idf αρχείου στο περιβάλλον του SketchUp. Στην Εικόνα 7.18, παρουσιάζεται η τελική μορφή του κολυμβητηρίου μετά την τοποθέτηση των σκίαστρων.

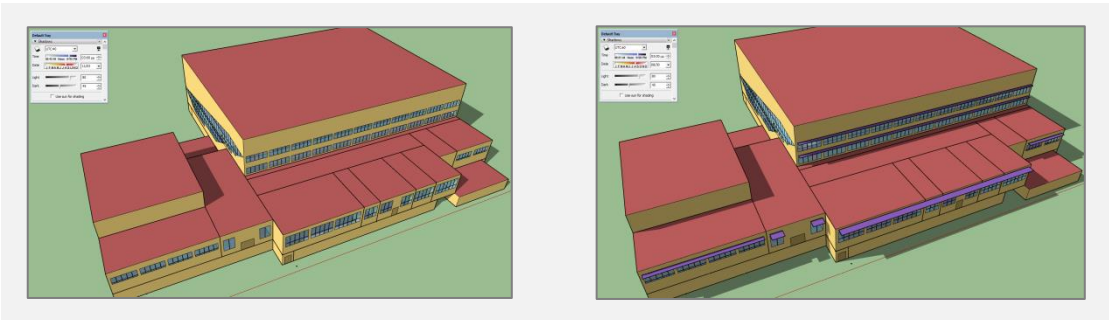


Εικόνα 7.19: Τοποθέτηση οριζόντιων σκίαστρων στη νότια πλευρά του κολυμβητηρίου

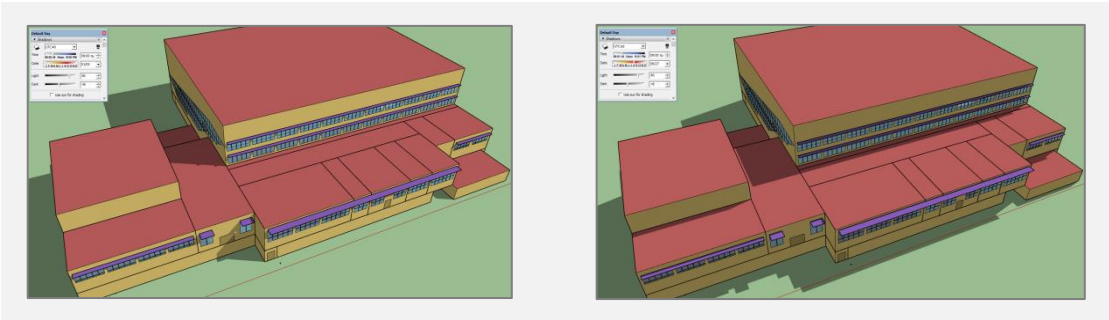
Στις παρακάτω εικόνες παρατηρείται ότι μετά την τοποθέτηση οριζόντιων σκίαστρων στη νότια πλευρά του κολυμβητηρίου κατά την καλοκαιρινή περίοδο μειώνεται η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, ιδιαίτερα από τις 12:00 έως τις 15:00 το μεσημέρι, ενώ αντίθετα κατά την χειμερινή τα σκίαστρα δεν αποτρέπουν το φυσικό φωτισμό του χώρου.



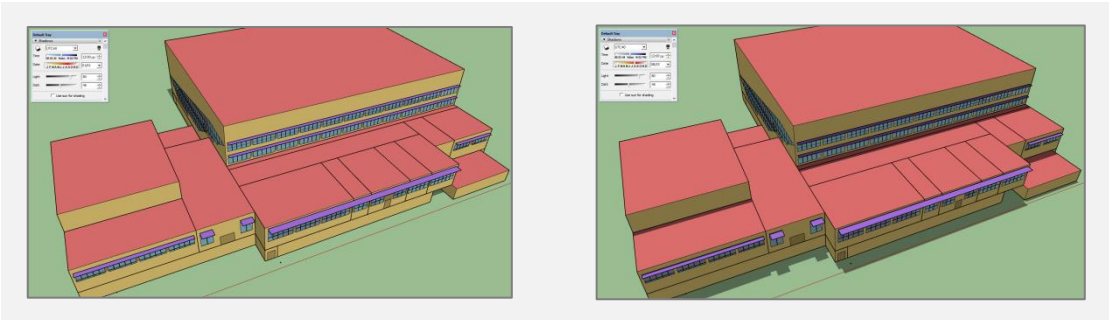
Εικόνα 7.20: Σκίαση της Νότιας πλευράς του κολυμβητηρίου πριν και μετά την τοποθέτηση σκίαστρων τον Αύγουστο στις 12:00



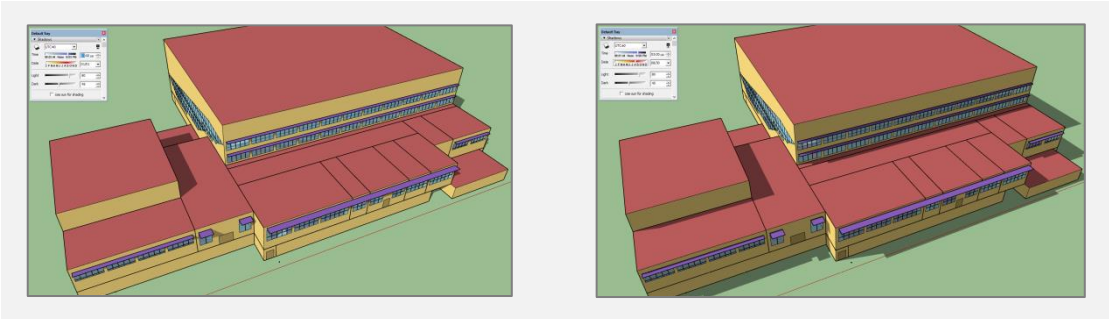
Εικόνα 7.21: Σκίαση της Νότιας πλευράς του κολυμβητηρίου πριν και μετά την τοποθέτηση σκίαστρων τον Αύγουστο στις 15:00



Εικόνα 7.22: Σκίαση της Νότιας πλευράς του κολυμβητηρίου τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο στις 09:00

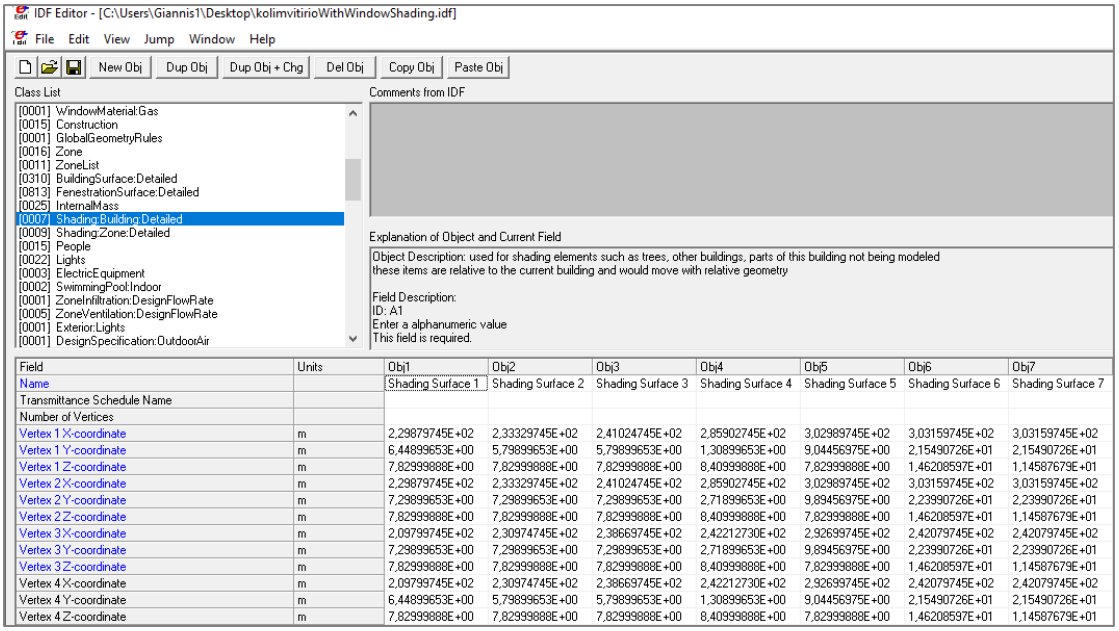


Εικόνα 7.23: Σκίαση της Νότιας πλευράς του κολυμβητηρίου τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο στις 12:00



Εικόνα 7.24: Σκίαση της Νότιας πλευράς του κολυμβητηρίου τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο στις 15:00

Αφού ορίστηκαν όλα τα παραπάνω σκίαστρα στο SketchUp έγινε εκ νέου δημιουργία του .idf αρχείου, το οποίο διαθέτει πλέον και τα νέα εξωτερικά γεωμετρικά στοιχεία που δημιουργήθηκαν στην υποκατηγορία Shading: Building: Detailed, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.24.

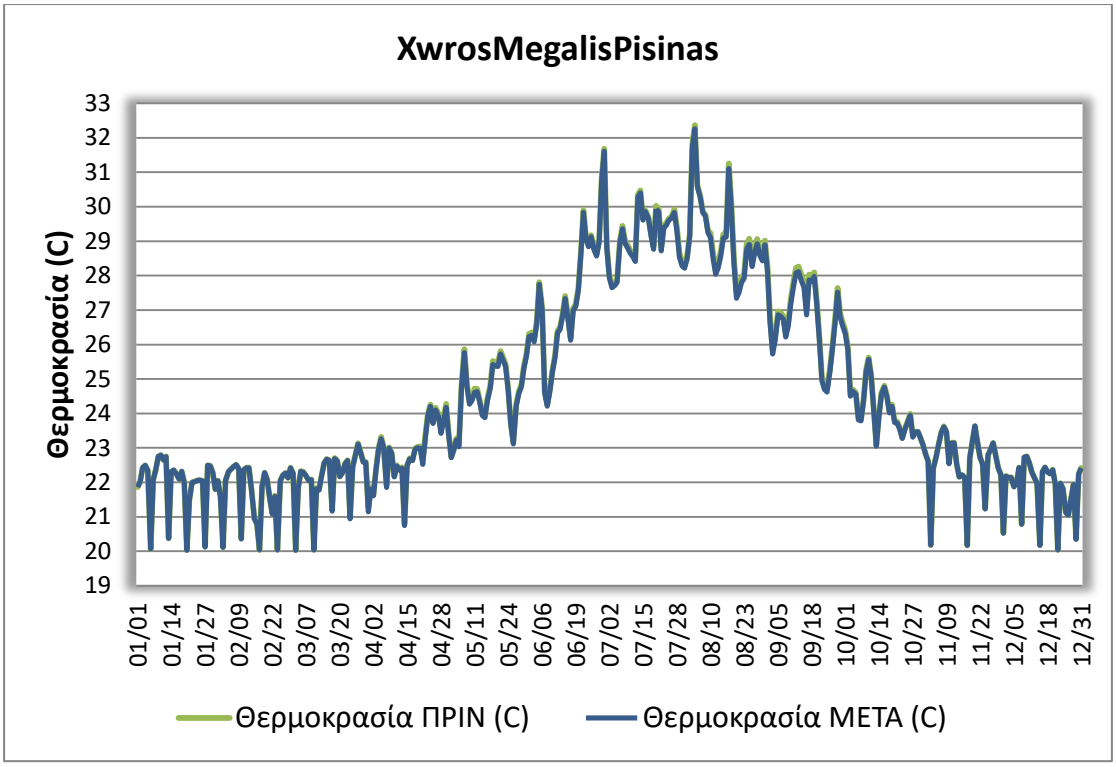


Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Shading Surface 1	Shading Surface 2	Shading Surface 3	Shading Surface 4	Shading Surface 5	Shading Surface 6	Shading Surface 7
Transmittance Schedule Name								
Number of Vertices								
Vertex 1 X-coordinate	m	2,29879745E+02	2,33329745E+02	2,41024745E+02	2,85902745E+02	3,02989745E+02	3,03159745E+02	3,03159745E+02
Vertex 1 Y-coordinate	m	6,44899653E+00	5,79899653E+00	5,79899653E+00	1,30899653E+00	9,04456975E+00	2,15490726E+01	2,15490726E+01
Vertex 1 Z-coordinate	m	7,82999888E+00	7,82999888E+00	7,82999888E+00	8,40999888E+00	7,82999888E+00	1,46208597E+01	1,14587679E+01
Vertex 2 X-coordinate	m	2,29879745E+02	2,33329745E+02	2,41024745E+02	2,85902745E+02	3,02989745E+02	3,03159745E+02	3,03159745E+02
Vertex 2 Y-coordinate	m	7,29899653E+00	7,29899653E+00	7,29899653E+00	2,71899653E+00	9,89456975E+00	2,23990726E+01	2,23990726E+01
Vertex 2 Z-coordinate	m	7,82999888E+00	7,82999888E+00	7,82999888E+00	8,40999888E+00	7,82999888E+00	1,46208597E+01	1,14587679E+01
Vertex 3 X-coordinate	m	2,09799745E+02	2,30974745E+02	2,38669745E+02	2,42212730E+02	2,92699745E+02	2,42079745E+02	2,42079745E+02
Vertex 3 Y-coordinate	m	7,29899653E+00	7,29899653E+00	7,29899653E+00	2,71899653E+00	9,89456975E+00	2,23990726E+01	2,23990726E+01
Vertex 3 Z-coordinate	m	7,82999888E+00	7,82999888E+00	7,82999888E+00	8,40999888E+00	7,82999888E+00	1,46208597E+01	1,14587679E+01
Vertex 4 X-coordinate	m	2,09799745E+02	2,30974745E+02	2,38669745E+02	2,42212730E+02	2,92699745E+02	2,42079745E+02	2,42079745E+02
Vertex 4 Y-coordinate	m	6,44899653E+00	5,79899653E+00	5,79899653E+00	1,30899653E+00	9,04456975E+00	2,15490726E+01	2,15490726E+01
Vertex 4 Z-coordinate	m	7,82999888E+00	7,82999888E+00	7,82999888E+00	8,40999888E+00	7,82999888E+00	1,46208597E+01	1,14587679E+01

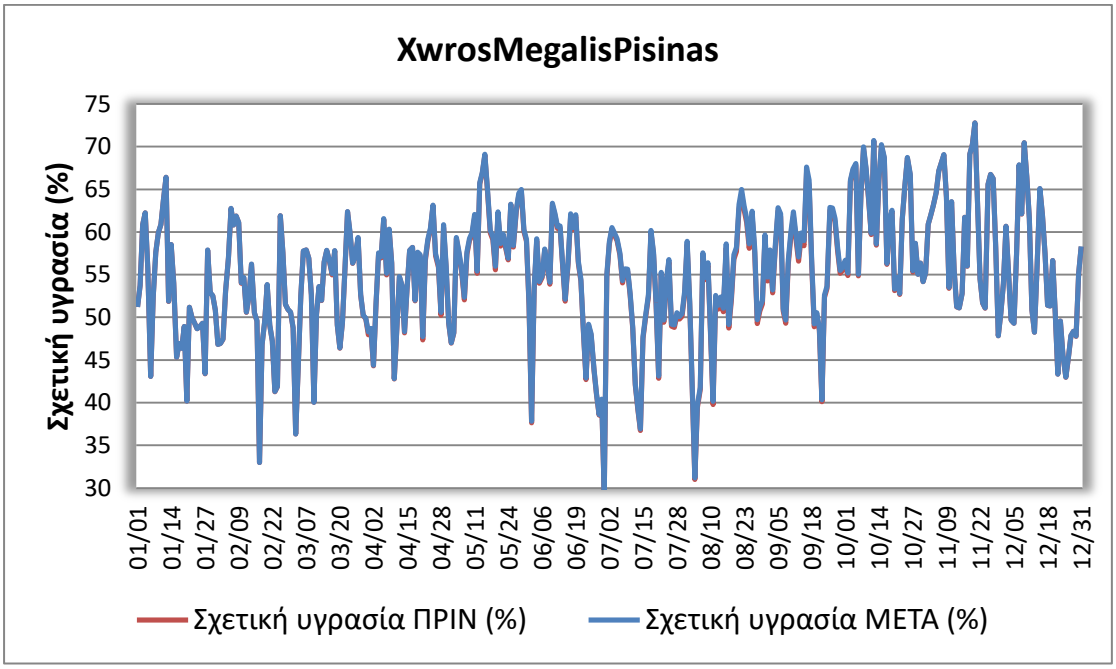
Εικόνα 7.25: Παράμετροι υποκατηγορίας Shading: Building: Detailed

7.4.2 Αποτελέσματα τοποθέτησης σκίαστρων στο νότιο τμήμα του κολυμβητηρίου και υπολογισμός κόστους επένδυσης

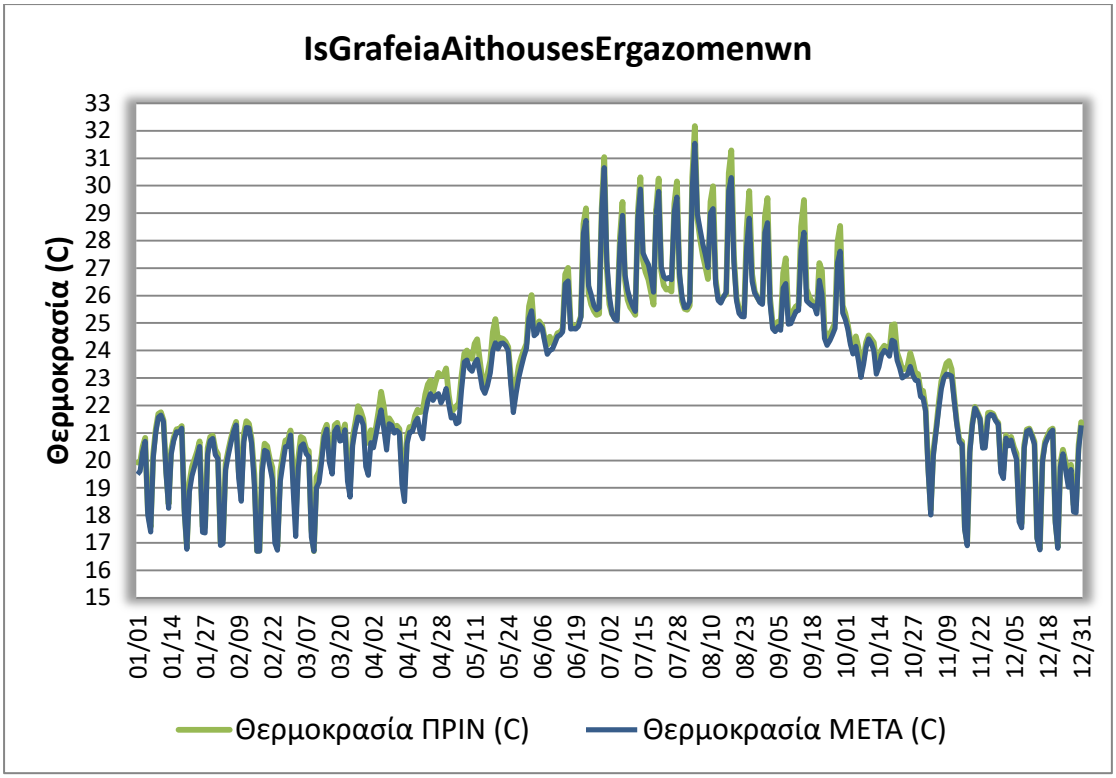
Στη συγκεκριμένη ενότητα αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν, μέσω της υποκατηγορίας Output: Variable του EnergyPlus, μετά την τοποθέτηση σκίαστρων στη νότια πλευρά του κολυμβητηρίου. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται ενδεικτικά οι αλλαγές στη θερμοκρασία και την υγρασία των ζωνών XwrosMegalisPisinas kai IsGrafeiaAithousesErgazomenwn.



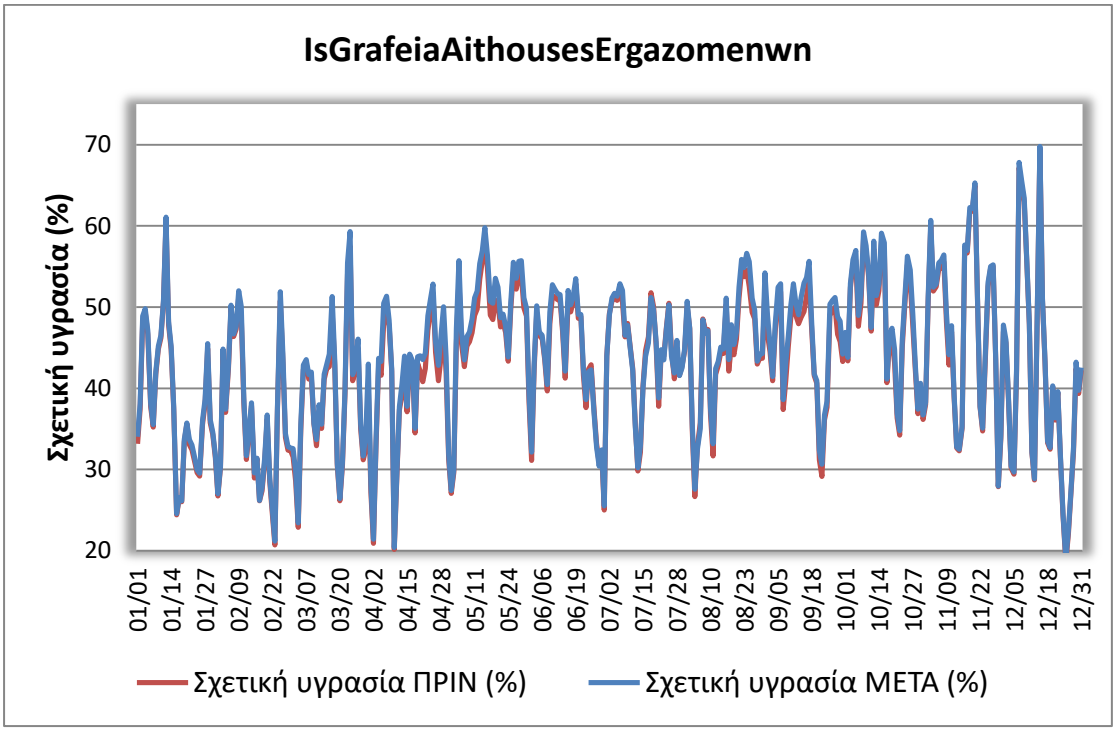
*Εικόνα 7.26: Μέση ημερήσια θερμοκρασία της ζώνης **XwrosMegalisPisinas** πριν και μετά την τοποθέτηση σκίαστρων στο νότιο τμήμα του κολυμβητηρίου*



*Εικόνα 7.27: Μέση ημερήσια σχετική υγρασία της ζώνης **XwrosMegalisPisinas** πριν και μετά την τοποθέτηση σκίαστρων στο νότιο τμήμα του κολυμβητηρίου*



Εικόνα 7.28: Μέση ημερήσια θερμοκρασία της ζώνης ***IsGrafeiaAithousesErgazomenwn*** *πριν και μετά την τοποθέτηση σκίαστρων στο νότιο τμήμα του κολυμβητηρίου*



Εικόνα 7.29: Μέση σχετική υγρασία της ζώνης ***IsGrafeiaAithousesErgazomenwn*** *πριν και μετά την τοποθέτηση σκίαστρων στο νότιο τμήμα του κολυμβητηρίου*

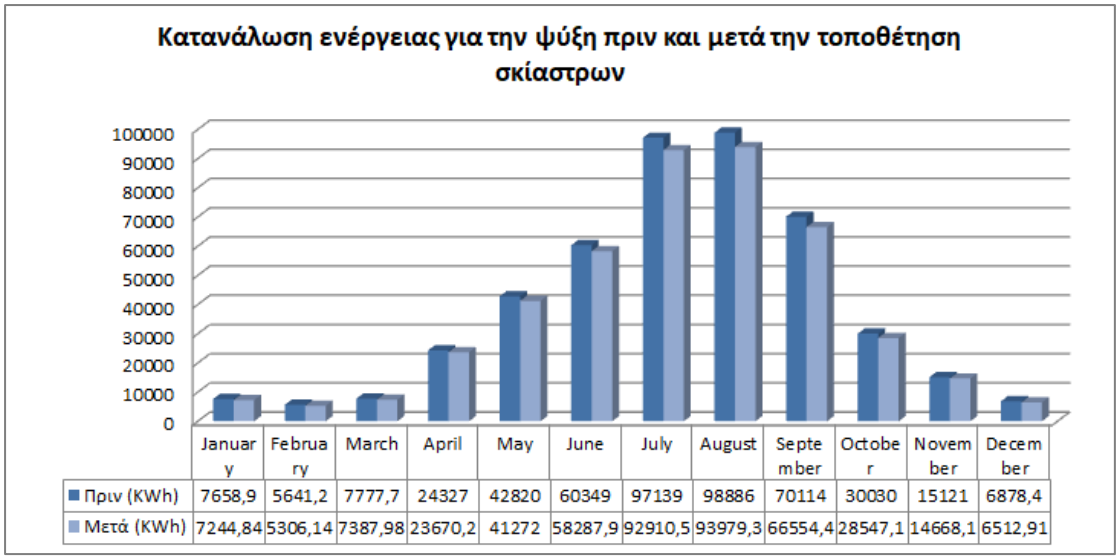
Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα, γίνεται εύκολα αντιληπτό, πως με την τοποθέτηση σκίαστρων στο νότιο τμήμα του κολυμβητηρίου, εξασφαλίζονται

καλύτερες συνθήκες άνεσης για τους χρήστες του και στις δύο εξεταζόμενες ζώνες με ορισμένες διαφοροποιήσεις. Η μεγαλύτερη μείωση στην εσωτερική θερμοκρασία παρουσιάζεται κυρίως το διάστημα Απρίλιος-Οκτώβριος, καθώς τα νότια τοποθετημένα, οριζόντια σκίαστρα αποτρέπουν την είσοδο πλεονάζουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Παράλληλα, ο χειμερινός ήλιος που βρίσκεται πιο χαμηλά στον ορίζοντα συνεχίζει να εισέρχεται κανονικά στους χώρους του κολυμβητηρίου προσφέροντας οπτική άνεση. Τέλος, είναι προφανές πως στη ζώνη **IsGrafeiaAithousesErgazomenwn**, παρατηρούνται πολύ μεγαλύτερες αλλαγές στη θερμοκρασία, αφού όλα τα παράθυρα της είναι νότια προσανατολισμένα και πλέον διαθέτουν οριζόντια σκίαστρα, σε αντίθεση με τη ζώνη **XwrosMegalisPisinas,** στην οποία μόνο ένα μικρό μέρος των παραθύρων έχει νότιο προσανατολισμό.

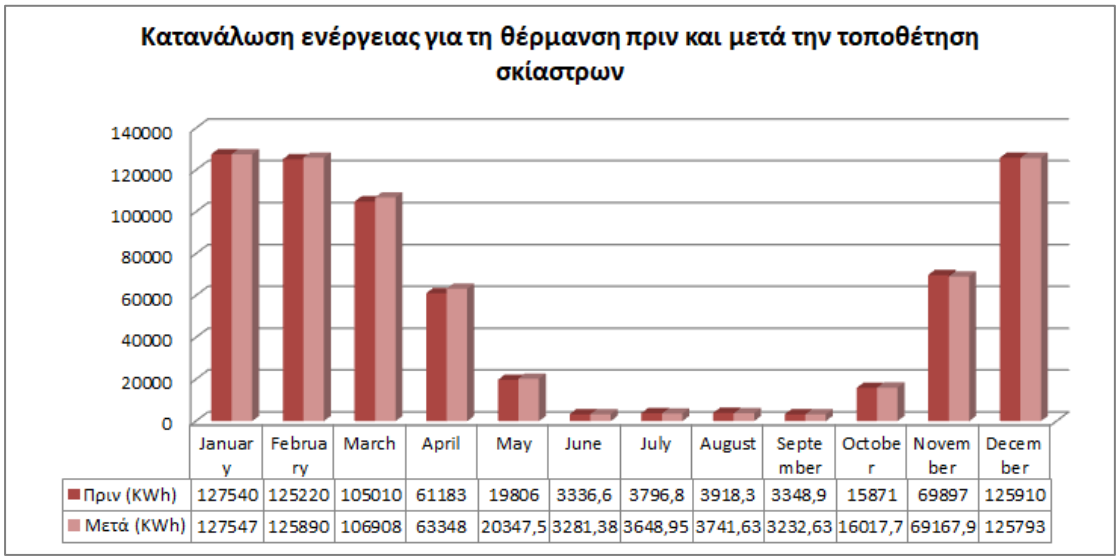
Όσον αφορά στη σχετική υγρασία, παρατηρούνται μικρές διαφοροποιήσεις στις δύο ζώνες σε σχέση με τα αρχικά αποτελέσματα της προσομοίωσης πριν την εφαρμογή των σκίαστρων. Με βάση τα όσα αναλύθηκαν και νωρίτερα για τη σχέση θερμοκρασίας-σχετικής υγρασίας, είναι αναμενόμενη η μικρή αύξηση της σχετικής υγρασίας λόγω πτώσης της θερμοκρασίας και στις δύο ζώνες. Όσο μεγαλύτερη μάλιστα είναι η πτώση της θερμοκρασίας, τόσο μεγαλύτερη είναι και η αύξηση της σχετικής υγρασίας. Για το λόγο αυτό μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις στη σχετική υγρασία παρατηρούνται το διάστημα Απρίλιος-Οκτώβριος με τα γραφεία των εργαζομένων να παρουσιάζουν μεγαλύτερες αποκλίσεις από το χώρο της πισίνας.

Παρόλο που η σχετική υγρασία αυξάνεται σε ορισμένες περιπτώσεις, η αρκετά μεγάλη πτώση της εσωτερικής θερμοκρασίας εξασφαλίζει συνθήκες θερμικής άνεσης και στις δύο ζώνες, που δεν υπήρχαν νωρίτερα. Αξίζει να σημειωθεί επίσης πως ακόμα και οι ζώνες που δεν διαθέτουν σκίαστρα επηρεάζονται θετικά από τη συγκεκριμένη αλλαγή λόγω καλύτερης ροής εσωτερικού αέρα.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε αναγωγή της μείωσης της θερμοκρασίας σε μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας του κλιματισμού για ψύξη και θέρμανση σε κιλοβατώρες (KWh), για όλες τις ζώνες, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 7.30: Μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας για την ψύξη του εσωτερικού αέρα του κολυμβητηρίου πριν και μετά την εφαρμογή των σκιάστρων



Εικόνα 7.31: Μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας για τη θέρμανση του εσωτερικού αέρα του κολυμβητηρίου πριν και μετά την εφαρμογή των σκιάστρων

Αρχικά, οι απαιτήσεις ενέργειας για ψύξη του κολυμβητηρίου καθόλη τη διάρκεια του έτους φτάνουν τις 466741,7 KWh, ενώ μετά την εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος παρατηρείται μείωση κατά 20400,99 KWh. Για κόστος κιλοβατώρας 0,068 €/KWh, η συγκεκριμένη μείωση μεταφράζεται σε κέρδος 1387,267€/έτος.

Όσον αφορά στις απαιτήσεις ενέργειας για θέρμανση του κολυμβητηρίου καθόλη τη διάρκεια του έτους, φτάνουν τις 664837,6 KWh, ενώ μετά την εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος παρατηρείται αύξηση κατά 4086,27 KWh. Για κόστος κιλοβατώρας 0,068 €/KWh, η συγκεκριμένη αύξηση μεταφράζεται σε οικονομική επιβάρυνση 227,867 €/έτος. Επομένως, συνολικά για το σύστημα

θέρμανσης και ψύξης παρατηρείται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης των 16314,72 KWh, που μεταφράζεται σε 1159,4 €/έτος.

Στους παρακάτω πίνακες, παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα στοιχεία που αφορούν τη μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του για ψύξη/θέρμανση.

Ενεργειακές καταναλώσεις για την ψύξη του εσωτερικού αέρα πριν και μετά την εφαρμογή των σκίαστρων					
Μήνες	**Καταναλώσεις ενέργειας για ψύξη (KWh)**		**Εξοικονόμηση ενέργειας**		**Όφελος (€)**
	Πριν	Μετά	(KWh)	(%)	
Ιανουάριος	7658,94	7244,84	414,056	5,406	28,155
Φεβρουάριος	5641,24	5306,14	335,055	5,939	22,783
Μάρτιος	7777,74	7387,98	389,719	5,011	26,501
Απρίλιος	24326,6	23670,1	656,817	2,699	44,663
Μάιος	42820	41272,01	1547,98	3,615	105,263
Ιούνιος	60348,5	58287,8	2061,13	3,415	140,157
Ιούλιος	97138,9	92910,4	4228,54	4,353	287,541
Αύγουστος	98886,2	93979,3	4906,68	4,961	333,654
Σεπτέμβριος	70114	66554,3	3559,63	5,076	242,055
Οκτώβριος	30030	28547,06	1482,93	4,938	100,839
Νοέμβριος	15121,2	14668,09	452,91	2,995	30,798
Δεκέμβριος	6878,35	6512,905	365,495	5,313	24,853
Σύνολο	**466741,7**	**446341,2**	**20400,99**	**4,371**	**1387,267**

Πίνακας 7.4: Συγκεντρωτικός πίνακας μηνιαίων καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας για την ψύξη του κολυμβητηρίου πριν και μετά την τοποθέτηση σκίαστρων

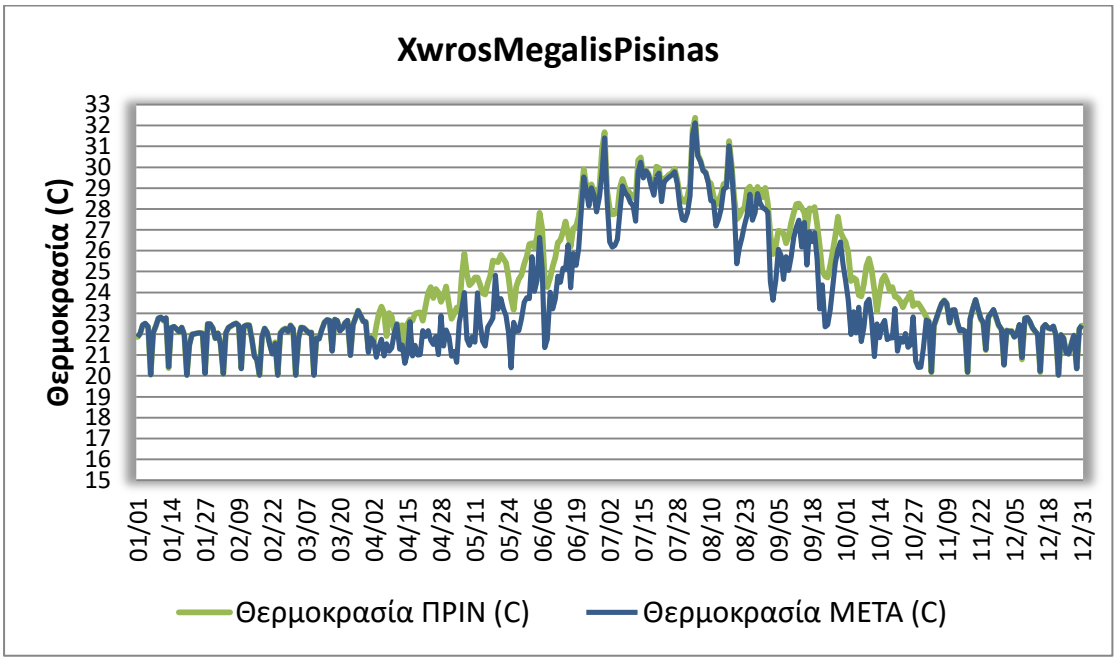
Ενεργειακές καταναλώσεις για τη θέρμανση του εσωτερικού αέρα πριν και μετά την εφαρμογή των σκίαστρων					
Μήνες	**Καταναλώσεις ενέργειας για θέρμανση (KWh)**		**Εξοικονόμηση ενέργειας**		**Όφελος (€)**
	Πριν	Μετά	(KWh)	(%)	
Ιανουάριος	127540	127546	-6,596	-0,005	-0,448
Φεβρουάριος	125220	125890	-670,123	-0,535	-45,568
Μάρτιος	105010	106908	-1898,15	-1,807	-129,074
Απρίλιος	61183	63348	-2165,04	-3,538	-147,223
Μάιος	19806	20347	-541,537	-2,734	-36,824
Ιούνιος	3336,6	3281,3	55,216	1,654	3,754
Ιούλιος	3796,8	3648,9	147,852	3,894	10,053
Αύγουστος	3918,3	3741,6	176,667	4,508	10,013
Σεπτέμβριος	3348,9	3232,6	116,271	3,471	7,906
Οκτώβριος	15871	16017	-146,693	-0,924	-9,975
Νοέμβριος	69897	69167	729,1441	1,043	49,581
Δεκέμβριος	125910	125793	116,719	0,092	7,936
Σύνολο	**664837,6**	**668923,9**	**-4086,27**	**-0,041**	**-227,867**

Πίνακας 7.5: Συγκεντρωτικός πίνακας μηνιαίων καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας για τη θέρμανση του κολυμβητηρίου πριν και μετά την τοποθέτηση σκίαστρων

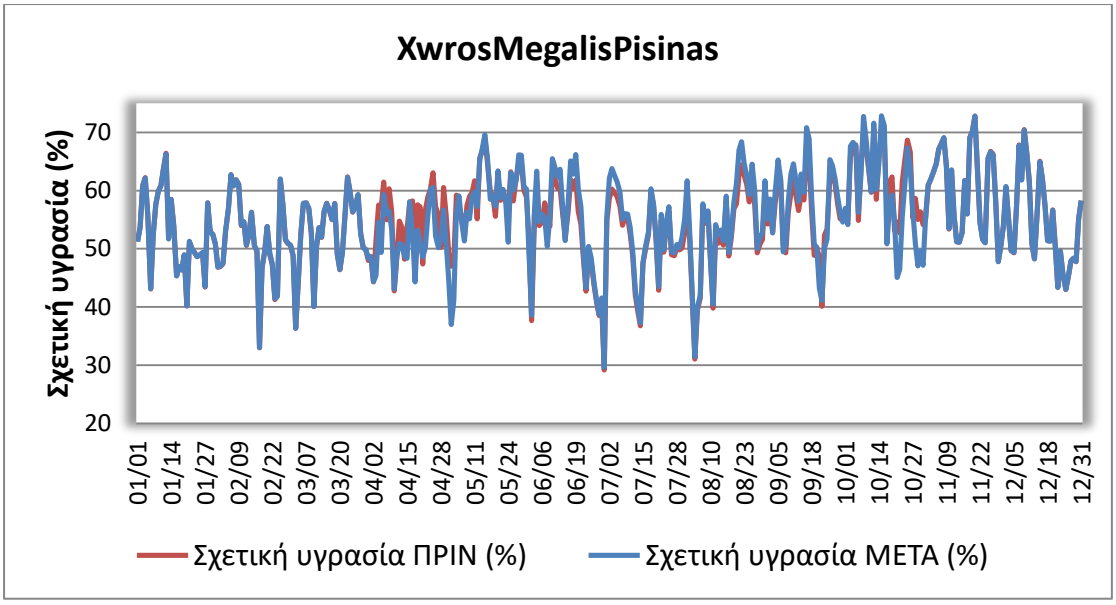
Για τον υπολογισμό του κόστους της αγοράς και εγκατάστασης των σκίαστρων, εκτιμήθηκε ενδεικτική τιμή 50 €/m^2. Η συνολική επιφάνεια των οριζόντιων σκίαστρων που τοποθετήθηκαν στο νότιο τμήμα του κολυμβητηρίου, είναι 146,4154 m^2. Επομένως, το συνολικό κόστος τοποθέτησης ανέρχεται στα 7320,77 €. Δεδομένου ότι το πραγματικό ετήσιο όφελος από τη μείωση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση και ψύξη είναι 1159,4 €, η απόσβεση του κόστους εκτιμάται ότι θα γίνει σε 7 έτη.

7.5 Ταυτόχρονη εφαρμογή όλων των προτεινόμενων επεμβάσεων

Σαν τελευταία ενέργεια, κρίθηκε εύλογη η παρουσίαση των συνολικών αποτελεσμάτων που προέκυψαν μετά την ταυτόχρονη εφαρμογή όλων των παραπάνω προτάσεων στο κλειστό κολυμβητήριο. Για την ανάδειξη της συμβολής του έξυπνου φυσικού δροσισμού, της χρήσης υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής και της τοποθέτησης σκίαστρων στο νότιο τμήμα του κτιρίου, στην εξασφάλιση συνθηκών άνεσης, χρησιμοποιήθηκαν ενδεικτικά οι ζώνες XwrosMegalisPisinas και IsGrafeiaAithousesErgazomenwn.

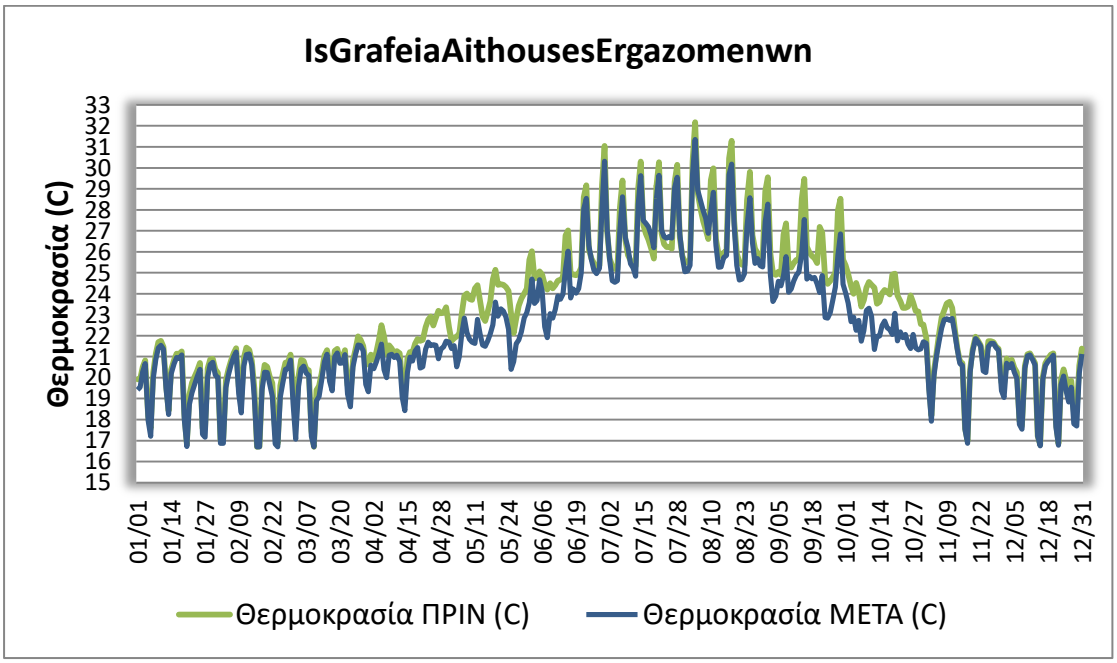


*Εικόνα 7.32: Μέση ημερήσια θερμοκρασία της ζώνης **XwrosMegalisPisinas** πριν και μετά την ταυτόχρονη χρήση των προτεινόμενων επεμβάσεων*

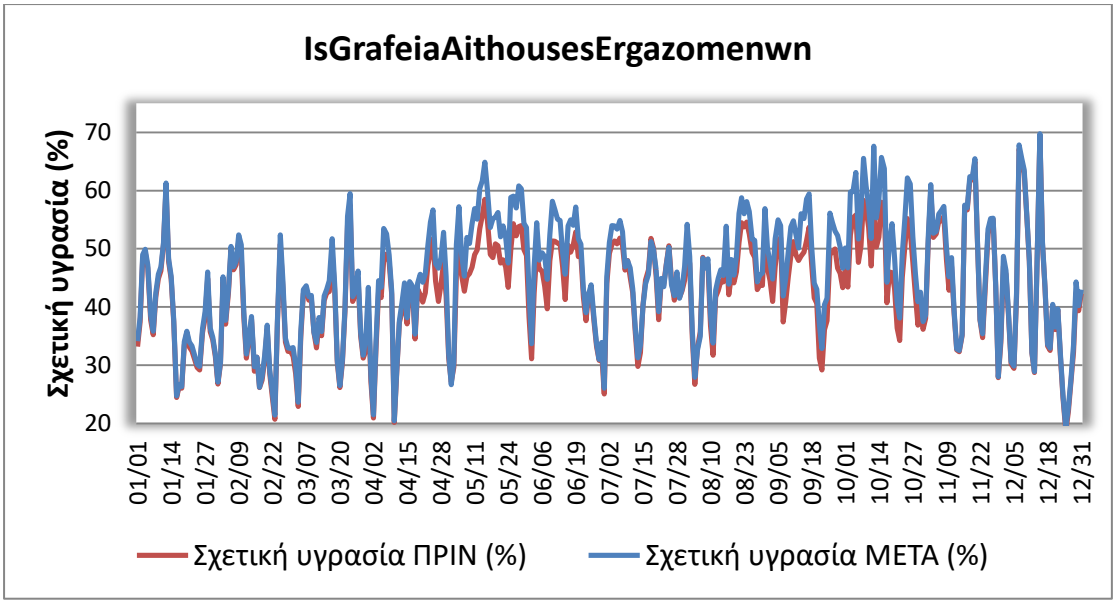


*Εικόνα 7.33: Μέση ημερήσια σχετική υγρασία της ζώνης **XwrosMegalisPisinas** πριν και μετά την ταυτόχρονη χρήση των προτεινόμενων επεμβάσεων*

Στο χώρο της μεγάλης πισίνας, επιτυγχάνεται αισθητή μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας το χρονικό διάστημα Απρίλιος-Οκτώβριος, με τις μεγαλύτερες αποκλίσεις να παρατηρούνται σε μεγάλο βαθμό τους μήνες Απρίλιος, Μάιος, Σεπτέμβριος και Οκτώβριος. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της εφαρμογής του έξυπνου φυσικού αερισμού. Παράλληλα, οι αλλαγές που παρατηρούνται στη σχετική υγρασία είναι πολύ μικρές, γεγονός που αποδεικνύει τη σωστή ταυτόχρονη λειτουργία των προτεινόμενων επεμβάσεων.



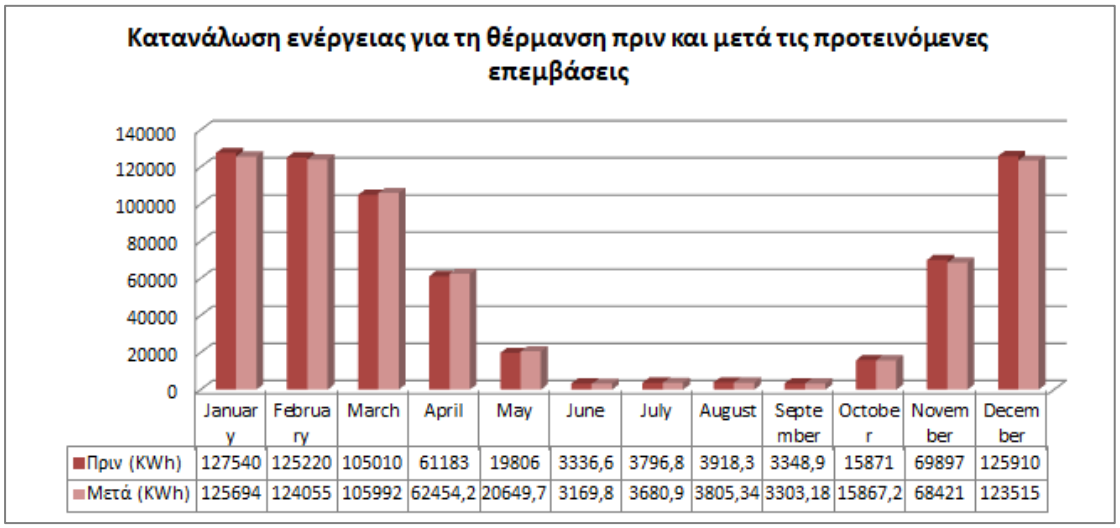
*Εικόνα 7.34: Μέση ημερήσια θερμοκρασία της ζώνης **IsGrafeiaAithousesErgazomenwn** πριν και μετά την ταυτόχρονη χρήση των προτεινόμενων επεμβάσεων*



Εικόνα 7.35: Μέση ημερήσια σχετική υγρασία της ζώνης ***IsGrafeiaAithousesErgazomenwn*** *πριν και μετά την ταυτόχρονη χρήση των προτεινόμενων επεμβάσεων*

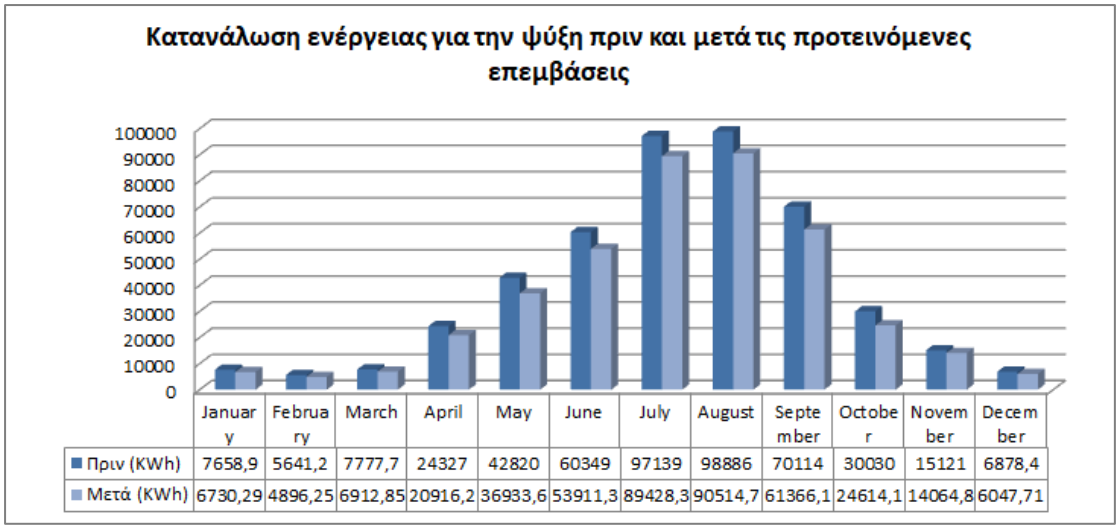
Και στην περίπτωση της ζώνης των γραφείων των εργαζομένων του κολυμβητηρίου, παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές τόσο στην εσωτερική θερμοκρασία όσο και στην σχετική υγρασία. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται μεγάλη πτώση της θερμοκρασίας ακόμη και τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ η σχετική υγρασία παρουσιάζει μικρή άνοδο χωρίς όμως να ξεφεύγει εκτός επιθυμητών ορίων.

Για την καλύτερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, στις Εικόνες 8.35, 8.36 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ενεργειακών καταναλώσεων για θέρμανση και ψύξη αντίστοιχα μετά την ταυτόχρονη εφαρμογή των παραπάνω μέτρων.



	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Πριν (KWh)	127540	125220	105010	61183	19806	3336,6	3796,8	3918,3	3348,9	15871	69897	125910
Μετά (KWh)	125694	124055	105992	62454,2	20649,7	3169,8	3680,9	3805,34	3303,18	15867,2	68421	123515

Εικόνα 7.36: Μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας για τη θέρμανση του εσωτερικού αέρα του κολυμβητηρίου πριν και μετά την ταυτόχρονη εφαρμογή των προτεινόμενων επεμβάσεων



	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Πριν (KWh)	7658,9	5641,2	7777,7	24327	42820	60349	97139	98886	70114	30030	15121	6878,4
Μετά (KWh)	6730,29	4896,25	6912,85	20916,2	36933,6	53911,3	89428,3	90514,7	61366,1	24614,1	14064,8	6047,71

Εικόνα 7.37: Μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας για την ψύξη του εσωτερικού αέρα του κολυμβητηρίου πριν και μετά την ταυτόχρονη εφαρμογή των προτεινόμενων επεμβάσεων

Αρχικά, οι απαιτήσεις ενέργειας για ψύξη του κολυμβητηρίου καθόλη τη διάρκεια του έτους φτάνουν τις 466741,7 KWh, ενώ μετά την ταυτόχρονη εφαρμογή των προτεινόμενων επεμβάσεων παρατηρείται μείωση κατά 50405,83 KWh. Για κόστος κιλοβατώρας 0,068 €/KWh, η συγκεκριμένη μείωση μεταφράζεται σε κέρδος 3427,59 €/έτος.

Όσον αφορά στις απαιτήσεις ενέργειας για θέρμανση του κολυμβητηρίου καθόλη τη διάρκεια του έτους, φτάνουν τις 664837,6 KWh, ενώ μετά την ταυτόχρονη εφαρμογή των προτεινόμενων επεμβάσεων παρατηρείται μείωση κατά 4231,2 KWh. Για κόστος κιλοβατώρας 0,068 €/KWh, η συγκεκριμένη μείωση μεταφράζεται σε οικονομικό όφελος 287,724 €/έτος. Επομένως, συνολικά για το σύστημα θέρμανσης και ψύξης παρατηρείται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης των 54637,03 KWh, που μεταφράζεται σε 3715,618 €/έτος.

Στους παρακάτω πίνακες, παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα στοιχεία που αφορούν τη μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του κολυμβητηρίου για ψύξη/θέρμανση του εσωτερικού αέρα μετά τις προτεινόμενες επεμβάσεις.

Ενεργειακές καταναλώσεις για την ψύξη του εσωτερικού αέρα πριν και μετά την ταυτόχρονη εφαρμογή των προτεινόμενων επεμβάσεων					
Μήνες	**Καταναλώσεις ενέργειας για ψύξη (KWh)**		**Εξοικονόμηση ενέργειας**		**Όφελος (€)**
	Πριν	Μετά	(KWh)	(%)	
Ιανουάριος	7658,94	6730,29	928,61	12,124	63,145
Φεβρουάριος	5641,24	4896,25	744,94	13,205	50,656
Μάρτιος	7777,74	6912,85	864,84	11,119	58,809
Απρίλιος	24326,6	20916,2	3410,7	14,020	231,93
Μάιος	42820	36933,5	5886,4	13,746	400,27
Ιούνιος	60348,5	53911,3	6437,6	10,667	437,76
Ιούλιος	97138,9	89428,3	7710,6	7,937	524,32
Αύγουστος	98886,2	90514,7	8371,2	8,465	569,24
Σεπτέμβριος	70114	61366,1	8747,9	12,476	594,85
Οκτώβριος	30030	24614,1	5415,8	18,034	368,27
Νοέμβριος	15121,2	14064,8	1056,1	6,984	71,818
Δεκέμβριος	6878,35	6047,7	830,69	12,076	56,487
Σύνολο	**466741,7**	**416336,3**	**50405,83**	**10,799**	**3427,59**

Πίνακας 7.6: Συγκεντρωτικός πίνακας μηνιαίων καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας για την ψύξη του κολυμβητηρίου πριν και μετά την ταυτόχρονη εφαρμογή των προτεινόμενων επεμβάσεων

Ενεργειακές καταναλώσεις για τη θέρμανση του εσωτερικού αέρα πριν και μετά ταυτόχρονη εφαρμογή των προτεινόμενων επεμβάσεων					
Μήνες	**Καταναλώσεις ενέργειας για θέρμανση (KWh)**		**Εξοικονόμηση ενέργειας**		**Όφελος (€)**
	Πριν	Μετά	(KWh)	(%)	
Ιανουάριος	127540	125693	1846,41	1,447	125,555
Φεβρουάριος	125220	124055	1164,88	0,931	79,219
Μάρτιος	105010	105991,555	-981,555	-0,934	-66,745
Απρίλιος	61183	62454,2	-1271,2	-2,07	-86,441
Μάιος	19806	20649,7	-843,7	-4,25	-57,371
Ιούνιος	3336,6	3169,8	166,8	4,999	11,342
Ιούλιος	3796,8	3680,9	115,898	3,052	7,881
Αύγουστος	3918,3	3805,3	112,959	2,882	7,681
Σεπτέμβριος	3348,9	3303,18	-45,72	1,365	3,108
Οκτώβριος	15871	15867,2	-3,8	0,02	0,2584
Νοέμβριος	69897	68421,2	1475,986	2,111	100,367
Δεκέμβριος	125910	123514	2395,242	1,902	162,876
Σύνολο	**664837,6**	**660606,361**	**4231,2**	**0,636**	**287,724**

Πίνακας 7.7: Συγκεντρωτικός πίνακας μηνιαίων καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας για τη θέρμανση του κολυμβητηρίου πριν και μετά την ταυτόχρονη εφαρμογή των προτεινόμενων επεμβάσεων

Για τον υπολογισμό του κόστους της συγκεκριμένης επένδυσης συνυπολογίστηκαν τα κόστη της εγκατάστασης-λειτουργίας των εξαεριστήρων (1000 € εγκατάσταση και 419,199 €/έτος λειτουργίας), της εγκατάστασης των υαλοπινάκων

χαμηλής εκπομπής (26741,75 €) και τέλος της τοποθέτησης σκίαστρων (7320,77 €). Επομένως, το συνολικό κόστος όλων των παραπάνω ανέρχεται στα 35062,52 €. Δεδομένου ότι το πραγματικό ετήσιο όφελος από τη μείωση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση και ψύξη είναι 3715,314 €, η απόσβεση του κόστους εκτιμάται ότι θα γίνει σε 10 έτη.

Κλείνοντας, γα την αξιολόγηση των επεμβάσεων εκτός από τον οικονομικό και ενεργειακό παράγοντα, που αποτελούν βέβαια τους πιο σημαντικούς, καλό είναι να λαμβάνονται υπόψη και άλλα στοιχεία όπως είναι η βελτίωση της θερμικής άνεσης. Το νέο αρχείο που δημιουργήθηκε με την ταυτόχρονη χρήση των προτεινόμενων επεμβάσεων αναφέρει χαρακτηριστικά πως ο αριθμός των ωρών κατά τη διάρκεια του έτους, στις οποίες οι χώροι του κτιρίου βρίσκονται εκτός θερμικής άνεσης είναι 2500,25. Επομένως, οι χώροι του κολυμβητηρίου πληρούν συνθήκες θερμικής άνεσης για 6259,75 ώρες ετησίως, που εκφράζεται σε ποσοστό της τάξης του 71,45% των συνολικών ωρών ενός έτους. Υπενθυμίζεται πως το συγκεκριμένο ποσοστό πριν τις βελτιώσεις ήταν 68,49%.

7.6 Συμπεράσματα και σχολιασμός των αποτελεσμάτων

Ολοκληρώνοντας τη μελέτη και προσομοίωση του κλειστού κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά, θεωρήθηκε σκόπιμη η αξιολόγηση τόσο των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης μεθοδολογίας όσο και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

Ξεκινώντας από το λογισμικό SketchUp, πρέπει να αναφερθεί πως ήταν το κατάλληλο μέσο για την εκτέλεση της πρώτης φάσης της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε, δηλαδή την κατασκευή της γεωμετρίας του κλειστού κολυμβητηρίου. Όντας ιδιαίτερα φιλικό στη χρήση του και σε συνδυασμό με το Openstudio plug-in αποτέλεσε το μέσο για μία γρήγορη και ρεαλιστική σχεδίαση.

Το EnergyPlus, που χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια, ήταν υπεύθυνο για την προσομοίωση του μοντέλου που μελετήθηκε. Το ίδιο το λογισμικό προσφέρει ένα άκρως αναλυτικό εγχειρίδιο για τον τρόπο εισαγωγής των κατάλληλων παραμέτρων και την κατανόηση του τρόπου, με τον οποίο το πρόγραμμα επεξεργάζεται τα δεδομένα που εισάγονται κάθε φορά. Λόγω μη λειτουργίας του κολυμβητηρίου που προσομοιώθηκε στην πραγματικότητα, δεν είναι δυνατή η αναλυτική εξέταση των πιθανών αποκλίσεων των ετήσιων καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας με τις πραγματικές. Παρόλα αυτά, η καταλληλότητα της χρήσης του EnergyPlus για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης μεθοδολογίας ενεργειακής μελέτης εγκαταστάσεων είναι κάτι παραπάνω από εμφανής. Έπειτα εξετάζεται η αποτελεσματικότητά των προτάσεων που έγιναν και αναλύθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο και η δυνατότητα εφαρμογής τους από οικονομικής πλευράς, με σκοπό τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας του κολυμβητηρίου και της βελτίωσης της θερμικής άνεσης των εσωτερικών του χώρων.

Αρχικά, για την εφαρμογή έξυπνου φυσικού δροσισμού στους χώρους του κολυμβητηρίου, προτάθηκε η προσθήκη εξαεριστήρων στους υαλοπίνακες που λειτουργούν με αυτόματο μηχανισμό για το διάστημα Απρίλιος-Οκτώβριος. Μέσω αυτών, ο ψυχρός αέρας κυρίως των νυχτερινών ωρών εισέρχεται στο εσωτερικό των χώρων, δροσίζοντας τους με φυσικό τρόπο. Η συνολική ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη έπειτα από την προσομοίωση της μεθόδου στο EnergyPlus, υπολογίσθηκε ως το 1,39% της αρχικής, η οποία ισοδυναμεί με όφελος 1070,871 €/έτος. Το κόστος της επένδυσης υπολογίσθηκε συνολικά 9440,26 €, με εκτιμώμενο χρόνο απόσβεσης στα 9 χρόνια. Εξετάζοντας τη μέθοδο μόνο από οικονομική σκοπιά, η επένδυση αυτή θεωρείται οικονομικά βιώσιμη, λόγω του μικρού χρόνου απόσβεσης, ενώ παράλληλα συμβάλει στον αρχικό στόχο της επέμβασης, το βιοκλιματικό σχεδιασμό.

Με την αντικατάσταση των υφιστάμενων υαλοπινάκων στο χώρο της μεγάλης πισίνας από υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής, εμποδίζεται μεγάλο μέρος της θερμικής ακτινοβολίας είτε να εισέρχεται προς το κτίριο, είτε να εκπέμπεται προς το εξωτερικό περιβάλλον. Η πρόταση αυτή, μειώνοντας την ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για ψύξη κατά 3.359%, αποφέρει ετήσιο κέρδος 1066.361 €/έτος στο κολυμβητήριο, ενώ για τη θέρμανση υπάρχει μείωση κατά 1,31% με ετήσιο κέρδος 589,2376 €. Η επένδυση για την εφαρμογή της ανέρχεται στα 26741,75 €, με εκτιμώμενη απόσβεση κόστους στα 17 έτη, αφού το συνολικό όφελος είναι 1655,5986 €/ έτος. Εξετάζοντας τη μέθοδο μόνο από οικονομική σκοπιά, η επένδυση αυτή θεωρείται οικονομικά βιώσιμη παρά το μέσο χρόνο απόσβεσης που παρουσιάζει. Επίσης, συνεισφέρει αρκετά στην εξασφάλιση συνθηκών άνεσης εντός του κολυμβητηρίου, όπως αναλύθηκε νωρίτερα.

Όσον αφορά στην τοποθέτηση οριζόντιων σκίαστρων, συνέβαλε σημαντικά στην προφύλαξη της νότιας πλευράς του κολυμβητηρίου από την υπερθέρμανση κατά τους θερινούς μήνες καθώς και από το ανεπιθύμητο φαινόμενο της θάμβωσης. Από την μελέτη της εν λόγω πρότασης, προέκυψε ετήσια μείωση καταναλισκόμενης ενέργειας για ψύξη κατά 4,371% που παραπέμπει σε ετήσιο όφελος 1387,267 €, Αντιθέτως, η ενέργεια που καταναλώνεται για θέρμανση αυξήθηκε κατά 0,041% με ετήσια επιβάρυνση 227,867 €. Το κόστος εφαρμογής ανέρχεται στα 7320,77 €, με αναμενόμενη απόσβεση σε διάρκεια 7 ετών.

Εξετάζοντας λοιπόν μεμονωμένα τις παραπάνω προτάσεις, προκύπτει αξιόλογη προσπάθεια βελτίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς του κολυμβητηρίου και περιορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη λειτουργία του. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, η πρόταση που αφορά την τοποθέτηση υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής παρουσιάζει οριακά μεγάλο χρόνο απόσβεσης. Εάν όμως εξεταστούν οι προτεινόμενες επεμβάσεις στο σύνολό τους, δηλαδή η παράλληλη εφαρμογή και των τριών, το αποτέλεσμα ίσως δικαιώσει τον επίδοξο επενδυτή.

Συγκεκριμένα, για την εφαρμογή όλων των παραπάνω επεμβάσεων ταυτόχρονα, το αρχικό κόστος επένδυσης κυμαίνεται στα 35062,719 €. Το ετήσιο

χρηματικό όφελος από τη συνολική μείωση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη, η οποία αντιστοιχεί σε ποσοστό 10,799%, προκύπτει περίπου 3427,59 €, ενώ παράλληλα σημειώνεται μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται για θέρμανση της τάξης του 0,636%, που αντιστοιχεί σε ετήσιο όφελος των 287,724€. Ως εκ τούτου εκτιμήθηκε απόσβεση του αρχικού κόστος επένδυσης στα 10 χρόνια και υπολογίστηκε μείωση κατανάλωσης ενέργειας που επιβαρύνει το περιβάλλον κατά 54637,03 KWh. Όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 7.8.

Συνολικά αποτελέσματα κόστους/ενέργειας μετά την εφαρμογή των προτεινόμενων επεμβάσεων						
Προτεινόμενη επέμβαση		**Εξοικονόμηση ενέργειας**		**Όφελος**	**Κόστος επένδυσης**	**Απόσβεση**
		(KWh)	**(%)**	**(€/έτος)**	**(€)**	**(έτη)**
Έξυπνος φυσικός δροσισμός	Θέρμανση	0	0	0	9440,26	9
	Ψύξη	15748,1	3,71	1070,871		
	Σύνολο	15748,1	1,39	1070,871		
Υαλοπίνακες Low-E	Θέρμανση	8665,2	1,31	589,237	26741,75	17
	Ψύξη	15681,7	3,35	1066,361		
	Σύνολο	24346,9	2,15	1655,598		
Σκίαστρα	Θέρμανση	-4086,2	-0,04	-227,867	7320,77	7
	Ψύξη	20400,9	4,37	1387,267		
	Σύνολο	16314,7	1,44	1159,400		
Ταυτόχρονη εφαρμογή	Θέρμανση	4231,2	0,636	287,724	35062,52	10
	Ψύξη	50405,8	10,79	3427,590		
	Σύνολο	54637	4,82	3715,314		

Πίνακας 7.8: Συγκεντρωτικός πίνακας κόστους, εξοικονόμησης ενέργειας και εκτιμώμενου χρόνου απόσβεσης της εφαρμογής των προτεινόμενων επεμβάσεων

7.7 Μελλοντικές προοπτικές

Για μελλοντική έρευνα, προτείνονται η μελέτη και προσομοίωση και άλλων βιοκλιματικών μεθόδων, με τον κατάλληλο ορισμό των παραμέτρων τους στο λογισμικό EnergyPlus, όπως για παράδειγμα η εγκατάσταση συστήματος γεωθερμίας. Ακολουθώντας άλλωστε τη μεθοδολογία που περιγράφτηκε στην παρούσα διπλωματική, δίνεται η δυνατότητα σε κάθε επίδοξο σχεδιαστή να ορίσει εξαρχής οποιοδήποτε σύστημα θέρμανσης/ψύξης επιθυμεί (με τα επιμέρους στοιχεία που το αποτελούν) για την ακριβέστερη ενεργειακή μελέτη του κτιρίου που προσομοιώνει.

Παράλληλα, μπορούν να εφαρμοστούν επιπλέον επεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης και στο ήδη μοντελοποιημένο κολυμβητήριο, όπως η χρήση θερμικού καλύμματος στις επιφάνειες των δύο πισινών, η προσθήκη φυτεμένου δώματος, η αλλαγή των υλικών θερμομόνωσης και του χρώματος των εξωτερικών τοίχων και η χρήση αυτόματου συστήματος τεχνητού φωτισμού με το ανάλογο κόστος που αυτές επιφέρουν.

Ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται επίσης η μελέτη για την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πάνελ στην οροφή του κολυμβητηρίου με τον τρόπο που ορίζει το EnergyPlus. Η σωστή σχεδίαση ενός τέτοιου συστήματος απαιτεί την κατάλληλη επιλογή του προσανατολισμού της κλίσης και του τύπου των πάνελ ανάλογα με τις ανάγκες του κτιρίου. Έτσι ώστε να μετατρέπεται όσο το δυνατόν περισσότερη ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική.

Τέλος, όσον αφορά στο ίδιο το λογισμικό EnergyPlus, προτείνεται η προσθήκη κατάλληλων κατηγοριών που σε συνδυασμό με τις ήδη υπάρχουσες θα καθιστούν πιο εύκολη και ρεαλιστική τη μελέτη μίας κολυμβητικής δεξαμενής κλειστού χώρου με τα χαρακτηριστικά της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ

[1] Δομή, Εγκυκλοπαίδεια Νέα. "Αθήνα."Εκδόσεις ‘Δομή’, Εκδοτικός Οργανισμός Τεγοπούλου-Μανιατέα, Τόμος 2 (1996): 189-190.

[2] Grubb, Michael, Christiaan Vrolijk, and Duncan Brack. The Kyoto Protocol: a guide and assessment. Royal Institute of International Affairs Energy and Environmental Programme., 1997.

[3] “Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας”, Υπουργείο Περιβαλλοντικής Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής

[4] Ζερβός, Αρθούρος. "Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας." Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα (2007).

[5] Γεωργίου, Γεώργιος, and Λάμπρος Λάκκος. "Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτηρίων." (2008).

[6] Εμμανουηλίδης, Σταύρος, and Νικόλαος Σπυρόπουλος. "ΚΕΝΑΚ-Ενεργειακή επιθεώρηση σε κτίρια." (2009).

[7] Παπακώστας, Κ. Τ. "Εξοικονόμηση ενέργειας σε συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού." (2010).

[8] Σιδέρης, Ευάγγελος. Μελέτη και τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας σε κτιριακές εγκαταστάσεις. Diss. 2010.

[9] Φλώρου, Ειρήνη. "Ηλιακά και παθητικά συστήματα και άλλοι τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας." (2013).

[10] Zhang, Tiantian, Yufei Tan, and Xuedan Zhang. "Using a hybrid heating system to increase the biogas production of household digesters in cold areas of China: an experimental study." Applied Thermal Engineering 103 (2016): 1299-1311.

[11] Eicker, Ursula. Solar technologies for buildings. John Wiley & Sons, 2006.

[12] Ζαχαροπούλου, Αλίκη. "Αστικές παρεμβάσεις ανάπλασης αδιαμόρφωτων χώρων. Δημιουργία βιώσιμου αστικού περιβάλλοντος και σύνδεση τριών κομβικών σημείων στην πόλη της Δράμας." (2015).

[13] Ξενοφώντος, Φιλιώ. "Βιοκλιματική και περιβαλλοντική μελέτη υφιστάμενου κτιρίου για εξοικονόμηση ενέργειας και εσωτερική θερμική άνεση." (2012).

[14] Περδίος, Σταμάτης Δ. "Ενεργειακή Επιθεώρηση Κτιρίων Και Βιομηχανιών."Σέλκα-4Μ ΕΠΕ, Αθήνα (2006).

[15] Παπαντώνη, Μαρία Κ., and Maria K. Papantoni. Ενεργειακή αναβάθμιση μεσαίου τμήματος κτιρίου Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου. BS thesis. 2014.

[16] Héroux, Marie-Eve, et al. "Quantifying the health impacts of ambient air pollutants: recommendations of a WHO/Europe project." International journal of public health 60.5 (2015): 619-627.

[17] Norhidayah, A., et al. "Indoor air quality and sick building syndrome in three selected buildings." Procedia Engineering 53 (2013): 93-98.

[18] Szeicz, G., and R. C. McMonagle. "The heat balance of urban swimming pools." Solar Energy 30.3 (1983): 247-259.

[19] Hellenic Republic Ministry of Education, Religious Affairs Culture, and Sport General Secretariat of Sport. Specifications for indoor swimming pools, November 2012.

[20] Trianti-Stourna, E., et al. "Energy conservation strategies for sports centers: Part A. Sports halls." Energy and buildings 27.2 (1998): 109-122.

[21] Hahne, E., and R. Kübler. "Monitoring and simulation of the thermal performance of solar heated outdoor swimming pools." Solar Energy 53.1 (1994): 9-19.

[22] Bliss Jr, Raymond W. "Atmospheric radiation near the surface of the ground: a summary for engineers." Solar Energy 5.3 (1961): 103-120.

[23] Walker, Iain S. Best practices guide for residential HVAC Retrofits. No. LBNL-53592. Lawrence Berkeley National Lab.(LBNL), Berkeley, CA (United States), 2003.

[24] Reppa, Vasso, et al. "A distributed architecture for HVAC sensor fault detection and isolation." IEEE Transactions on Control Systems Technology 23.4 (2014): 1323-1337.

[25] Kusiak, Andrew, Yaohui Zeng, and Guanglin Xu. "Minimizing energy consumption of an air handling unit with a computational intelligence approach." Energy and Buildings 60 (2013): 355-363.

[26] Bhatia, A. "Design Options for HVAC Distribution Systems." Internet: http://www. cedengineering. com/courseoutline. asp(2012).

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

[Web1] https://el.wikipedia.org/wiki/Βιοκλιματικός_σχεδιασμός_κτιρίων

[Web2] http://leonidasbeis.gr/βιοκλιματικη-αρχιτεκτονικη/

[Web3] http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_fotismos.htm

[Web4] https://sites.google.com/site/wildwaterwall/eliaka-spitia/anartesechoristitlo?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1

[Web5] http://www.energynius.gr/files4users/files/TOTEE_20701_6_Final_TEE.pdf

[Web6] https://repository.edulll.gr/edulll/bitstream/10795/1497/11/1497_01.pdf

[Web7] http://demo.openeclass.org/modules/document/index.php?course=DEMO-A1351&download=/51370a96lvlw/516969deojpl.pptx

[Web8] http://sunandshadow.gr/2012/08/%CE%BF%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CF%83%CE%B7-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%83%CF%87%CE%B5%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82-%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CE%B9%CE%B3%CE%BC%CE%AC%CF%84/

[Web9] http://ikee.lib.auth.gr/record/295194/files/GRI-2017-20657.pdf

[Web10] https://koe.org.gr/

[Web11] http://www.fina.org/h2o

[Web12] https://www.e-nomothesia.gr/ygeionomikos-kanonismos-diatakseis/kolumbetikes-dexamenes/kya-dug-2-80825-05-2006.html

[Web13] https://dias.library.tuc.gr/view/manf/17728

[Web14] https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%AD%CE%B2%CE%B7%CF%84%CE%B1%CF%82

[Web15] http://thermansi.org/kentriki-thermansi/kafstires-petrelaiou-kai-aeriou/%CE%BA%CE%B1%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%

CF%81%CE%B1%CF%82-%CF%80%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%B5%CE%BB%CE%B1%CE%AF%CE%BF%CF%85-%CF%80%CF%89%CF%82-%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%AF/

[Web16] https://www.eng.auth.gr/~chemtech/foititika/fd/heat_exchangers/ch05_enallaktes_A4.pdf

[Web17] http://www.monachos.gr/forum/content.php/345-%CE%95%CE%BD%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%BA%CF%84%CE%B5%CF%82-%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%CF%82&new_comment

[Web18] https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_pump

[Web19] https://www.cibse.org/getmedia/f36a292c-8eea-4610-b764-e23774a52cb9/GPG219-Energy-Efficiency-in-Swimming-Pools.pdf.aspx

[Web20] http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos_fysikos_aerismos.htm

[Web21] http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos_exanagkasmenos.htm

[Web22] https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-3/engineering-reference/indoor-swimming-pool.html

[Web23] https://hvac4offshorevn.wordpress.com/2015/01/24/hvac-system-for-living-quarter-in-oil-gas-industry/

[Web24] http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS_HVAC.pdf

[Web25] https://pdhonline.com/courses/m252/m252content.pdf

[Web26] https://www.youtube.com/watch?v=HBmOyeWtpHg&t=17s

[Web27] https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BF%CF%85%CE%BD%CE%BF%CF%85%CF%80%CE%B9%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%BD%CE%AC_%CE%A7%CE%B1%CE%BD%CE%AF%CF%89%CE%BD

[Web27] https://www.google.com/search?sa=X&biw=1866&bih=988&q=%CE%BA%CE%BF%CE%BB%CF%85%CE%BC%CE%B2%CE%B7%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CE%BF+%CE%B1%CE%BA%CF%81%CF%89%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9+%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CF%89%CE%BD&npsic=0&rflfq=1&rlha=0&rllag=35520863,24038889,2636&tbm=lcl&ved=2ahUKEwiKo46o-9TiAhUDz4UKHVClAfkQtgN6BAgKEAQ&tbs=lrf:!2m1!1e2!3sIAE,lf:1,lf_ui:2&rldoc=1#rlfi=hd:;si:;mv:!1m2!1d36.36442770231495!2d26.925042639982166!2m2!1d34.475523360711335!2d22.95074782849497!4m2!1d35.42551229201113!2d24.9378952342385 67!5i9

[Web27] https://www.google.gr/maps

[Web27] https://www.efsyn.gr/efkriti/koinonia/153221_o-prytanis-toy-polytehneioy-kritis-gia-kolymbitirio-akrotirioy

[Web27] https://www.kriti24.gr/kolimvitirio-akrotiriou-pos-tha-itan-an-foto/

[Web32] https://www.tuc.gr/index.php?id=5397

[Web33] https://en.wikipedia.org/wiki/SketchUp

[Web34] https://en.wikipedia.org/wiki/OpenStudio

[Web35] https://energyplus.net/

[Web36] https://nrel.github.io/OpenStudio-user-documentation/reference/sketchup_plugin_interface/

[Web37] https://energyplus.net/weather

[Web38] http://www.cres.gr/kape/datainfo/clima/xania.htm

[Web39] http://delfiniaptol.gr/

[Web40] https://en.wikipedia.org/wiki/NTU_method

[Web41] https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1_%CE%B1%CF%84%CE%BC%CF%8C%CF%83%CF%86%CE%B1%CE%B9%CF%81%CE%B1%CF%82

[Web42] https://www.ergo-tel.gr/product_info.php?products_id=39088

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

2.2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ ΚΤΗΡΙΟΥ

Για την εκτίμηση της ενεργειακής του απόδοσης το κτήριο χωρίζεται σε «θερμικές ζώνες», δηλαδή σε χώρους με παρόμοια χρήση, ίδιο προφίλ λειτουργίας ή/και κοινά ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα. Για το διαχωρισμό του κτηρίου σε θερμικές ζώνες συνιστάται να ακολουθούνται οι παρακάτω γενικοί κανόνες:

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

Για τους υπολογισμούς των απαιτούμενων φορτίων θέρμανσης και ψύξης, το κτήριο θα πρέπει να μελετάται ως μια ενιαία θερμική ζώνη ή να διακριτοποιείται (να διαχωρίζεται) κατά περίπτωση σε περισσότερες θερμικές ζώνες. Εφόσον διακριτοποιηθεί ένα κτήριο σε περισσότερες από μία θερμικές ζώνες, υπάρχει η δυνατότητα βάσει των ευρωπαϊκών προτύπων να εκπονηθεί η ενεργειακή μελέτη με ή χωρίς συνυπολογισμό της θερμικής σύζευξης μεταξύ των θερμικών ζωνών. Δεδομένου ότι η θερμική σύζευξη των ζωνών πολλαπλασιάζει σημαντικά τόσο την είσοδο των δεδομένων στο μοντέλο του κτηρίου, όσο και τον υπολογιστικό χρόνο, χωρίς ωστόσο αντίστοιχα να επιτυγχάνει σημαντική βελτίωση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων, για την ενεργειακή μελέτη είναι σκόπιμο να ακολουθείται ο υπολογισμός χωρίς σύζευξη μεταξύ των θερμικών ζωνών.

Ο καθορισμός ανεξάρτητων διαφορετικών θερμικών ζωνών σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. (Φ.Ε.Κ. 407/9.4.2010), και το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2009 επιβάλλεται στις περιπτώσεις κατά τις οποίες:

- Η επιθυμητή θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων διαφέρει περισσότερο από 4 K (4 ^{o}C) σε σχέση με τα άλλα τμήματα του κτηρίου κατά τη χειμερινή ή/και τη θερινή περίοδο.
- Υπάρχουν χώροι με διαφορετική χρήση / λειτουργία. Για παράδειγμα, σε ένα νοσοκομείο υπάρχουν αίθουσες νοσηλείας, γραφείων, χειρουργείων, ειδικών ιατρικών μηχανημάτων, εργαστήρια κ.ά. Οι χώροι διαφορετικών χρήσεων έχουν συνήθως και διαφορετικές εσωτερικές συνθήκες σχεδιασμού (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, νωπό αέρα κ.ά.).
- Υπάρχουν χώροι στο κτήριο, που εξυπηρετούνται από διαφορετικά συστήματα θέρμανσης ή/και ψύξης ή/και κλιματισμού λόγω διαφορετικών εσωτερικών συνθηκών.
- Υπάρχουν χώροι στο κτήριο που παρουσιάζουν πολύ μεγάλες (σε σχέση με το υπόλοιπο κτήριο) συναλλαγές ενέργειας (π.χ. εσωτερικά ή/και ηλιακά κέρδη, θερμικές απώλειες. Για παράδειγμα, οι χώροι με νότιο προσανατολισμό σε ένα κτήριο έχουν σημαντικά ηλιακά κέρδη σε σχέση με τους υπόλοιπους χώρους.
- Υπάρχουν χώροι, στους οποίους το σύστημα του μηχανικού αερισμού (παροχής νωπού αέρα ή κλιματισμού) καλύπτει λιγότερο από το 80% της επιφάνειας κάτοψης του χώρου.

Χώροι που καταλαμβάνουν όγκο μικρότερο του 10% του όγκου του κτηρίου ή/και έχουν χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση συγκριτικά με την κατανάλωση στο υπόλοιπο κτήριο, δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως αυτόνομες θερμικές ζώνες.

Ο διαχωρισμός του κτηρίου σε θερμικές ζώνες εναπόκειται στην ευχέρεια του μελετητή ή του επιθεωρητή και μπορεί να βασιστεί στους εθνικούς κανονισμούς και τις σχετικές τεχνικές οδηγίες. Ωστόσο, για τις ανάγκες της ενεργειακής μελέτης και της ενεργειακής επιθεώρησης η ακρίβεια των υπολογισμών δεν επηρεάζεται σημαντικά από το διαχωρισμό του κτηρίου σε περισσότερες θερμικές

ζώνες από αυτές που συστήνεται να επιλέγονται βάσει των παραπάνω κανόνων. Γι' αυτό το λόγο καλό είναι ο διαχωρισμός του κτηρίου σε ζώνες να είναι κατά το δυνατόν μικρότερος. Αν το κτήριο δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες διαφορές μεταξύ των τμημάτων του, η βέλτιστη προσέγγιση είναι να αντιμετωπιστεί ως μία ενιαία θερμική ζώνη.

Στο πλαίσιο της ενεργειακής μελέτης ενός κτηρίου καθορίζονται και οι θερμαινόμενοι χώροι (ή θερμικές ζώνες) και οι μη θερμαινόμενοι χώροι (και οι ηλιακοί χώροι - αίθρια), που γειτνιάζουν και έχουν θερμική σύζευξη με τους θερμαινόμενους χώρους Οι μη θερμαινόμενοι χώροι του κτηρίου είναι ενεργειακά αδρανείς χώροι, χωρίς απαιτήσεις για θέρμανση, ψύξη και αερισμό. Κατά τους υπολογισμούς, τα εσωτερικά θερμικά κέρδη και ο φωτισμός των μη θερμαινόμενων χώρων θεωρούνται μηδενικά.

Διευκρινίζεται, ωστόσο, ότι στους μη θερμαινόμενους χώρους ενός κτηρίου, δεν συμπεριλαμβάνονται μη θερμαινόμενοι χώροι κύριας χρήσης (π.χ. χώροι στάθμευσης, αποθήκες καταστημάτων, κ.ά.), για τους οποίους προβλέπεται η υπαγωγή τους στο κτήριο ως θερμικών ζωνών με την αντίστοιχη χρήση (όταν ο όγκος τους είναι τουλάχιστον 10% του συνόλου του κτηρίου).

Εικόνα 1: Απόσπασμα από «Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 1/2010» για τον καθορισμό θερμικών ζωνών

Activity	Activity Level W/Person EnergyPlus Schedule Value	Activity Level W/m²	met*
Resting			
Sleeping	72	40	0.7
Reclining	81	45	0.8
Seated, quiet	108	60	1
Standing, relaxed	126	70	1.2
Walking (on level surface)			
3.2 km/h (0.9 m/s)	207	115	2
4.3 km/h (1.2 m/s)	270	150	2.6
6.4 km/h (1.8 m/s)	396	220	3.8
Office Activities			
Reading, seated	99	55	1
Writing	108	60	1
Typing	117	65	1.1
Filing, seated	126	70	1.2
Filing, standing	144	80	1.4
Walking about	180	100	1.7
Lifting/packing	216	120	2.1
Miscellaneous Occupational Activities			
Cooking	171 to 207	95 to 115	1.6 to 2.0
Housecleaning	207 to 360	115 to 200	2.0 to 3.4
Seated, heavy limb movement	234	130	2.2
Machine work			
sawing (table saw)	189	105	1.8
light (electrical industry)	207 to 252	115 to 140	2.0 to 2.4
heavy	423	235	4
Handling 50 kg bags	423	235	4
Pick and shovel work	423 to 504	235 to 280	4.0 to 4.8
Miscellaneous Leisure Activities			
Dancing, social	252 to 459	140 to 255	2.4 to 4.4
Calisthenics/exercise	315 to 423	175 to 235	3.0 to 4.0
Tennis, singles	378 to 486	210 to 270	3.6 to 4.0
Basketball	522 to 792	290 to 440	5.0 to 7.6
Wrestling, competitive	738 to 909	410 to 505	7.0 to 8.7

Πίνακας 1: Τιμές μεταβολισμού για τις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες σύμφωνα με «ASHRAE 55»

Δομικά υλικά	Πυκνότητα	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας. Τιμές σχεδιασμού.	Ειδική θερμο-χωρητικότητα	Συντελεστής αντίστασης σε διάχυση υδρατμών	
	ρ	λ	c_p	μ	
	kg/m³	W/(m·K)	J/(kg·K)	ξηρό	υγρό
1. Ανόργανα δομικά υλικά					
1.1. Φυσικοί λίθοι και γαίες					
1.1.1. Συμπαγείς λίθοι					
1.1.1.1 Ιζηματογενή πετρώματα (σκληρά)	2600	2,300	1 000	250	200
1.1.1.2 Ομογενής βράχος		3,500			
1.1.1.3 Βασάλτης	2700 - 3000	3,500	1 000	10 000	10 000
1.1.1.4 Γνεύσιος	2400 - 2700	3,500	1 000	10 000	10 000
1.1.1.5 Γρανίτης	2500 - 2700	2,800	1 000	10 000	10 000
1.1.1.6 Μάρμαρο	2800	3,500	1 000	10 000	10 000
1.1.1.7 Σχιστόλιθος	2000 - 2800	2,200	1 000	1 000	800
1.1.1.8 Ασβεστόλιθος πολύ σκληρός	2600	2,300	1 000	250	200
σκληρός	2200	1,700	1 000	200	150
ημίσκληρος	2000	1,400	1 000	50	40
1.1.2. Πορώδεις λίθοι					
1.1.2.1 Ασβεστόλιθος μαλακός	1800	1,100	1 000	40	25
πολύ μαλακός	1600	0,850	1 000	30	20
1.1.2.2 Ψαμμίτης	2600	2,300	1 000	40	30
1.1.2.3 Ιζηματογενή πετρώματα (μαλακά)	1500	0,850	1 000	30	20
1.1.2.4 Κίσηρη υπό μορφή πέτρας, λάβα, πορώδης λάβα	1600	0,550	800	20	15
1.1.2.5 Ελαφρόπετρα, θηραϊκή γη	400	0,120	1 000	8	6
1.1.2.6 Πλάκες τύπου Μάλτας (μαλτεζόπλακες)		1,050			
1.2. Γαιώδη υλικά και υλικά πλήρωσης διακένων δαπέδων, οροφών, τοίχων κ.τ.λ.					
1.2.1. Χώμα συμπαγές	1800	2,000			
1.2.2. Άργιλος / ιλύς	1200 - 1800	1,500	1 670 - 2 500	50	50
1.2.3. Ιλυώδης άμμος (υγρή)	1700	1,500	1 800	—	
1.2.4. Τύρφη (σε ξηρή κατάσταση)	400	0,200	1 000		
(σε υγρή κατάσταση)	900	0,500	1 500		
1.2.5. Άμμος διαμέτρου κόκκου < 5 mm	1520	0,350	800		
1.2.6. Αμμοχάλικο	2200	2,000	910 - 1180	50	50
1.2.7 Χονδρόκοκκη κίσηρη		0,190		40 180	
1.2.8 Διογκωμένος περλίτης	50 - 130	0,070	900	1 - 2	
1.2.9 Ψηφίδες διαμέτρου κόκκου 50-10 mm, συλλεκτές και θραυστές		0,810			
1.2.10. Θραύσματα οπτόπλινθων και κεραμιδιών	1400	0,410			
1.3. Κατεργασμένη άργιλος (πηλός)					
1.3.1. Ελαφρός πηλός (κίσηρη + πηλός)	760	0,230	1 000	6	
1.3.2. Πηλός μπαγδατί		0,470			
1.3.3. Πηλός, λάσπη	1200 - 1800	1,500	1670 - 2500	50	50
1.3.4. Ωμόπλινθοι συμπαγείς	1990	0,800	1 000	10	
1.3.5. Ωμόπλινθοι με προσμείξη άχυρου	300	0,100	1 500	5	
	660	0,190	1 500	5	
	1400	0,700			
1.4. Επιχρίσματα, κονιάματα στρώσεων και συνδετικά κονιάματα αρμών					
1.4.1. Ασβεστοκονίαμα	1800	0,870	1 000	15	
1.4.2. Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	1800	0,870	1 000	25 - 35	
	1900	1,000	1 100	35	
1.4.3. Τσιμεντοκονίαμα, επίστρωση τσιμέντου	2000	1,400	1 100	25 - 35	
1.4.4. Ασβεστογυψοκονίαμα	1400	0,700	1 000	10	
1.4.5. Γυψοκονίαμα χωρίς συμπλήρωμα άμμου	1200	0,350	900	10	6
με συμπλήρωμα άμμου	1600	0,800	900	10	6
1.4.6. Θερμομονωτικό επίχρισμα (εξωτερικά)	250	0,080	1 100	10	
	350	0,100	1 100	10	
	500	0,140	1 100	10	
1.4.7. Συνθετικά κονιάματα	1800	0,870	1 100	80 - 250	
1.4.8. Επίστρωση χυτής ασφάλτου	2300	0,900		∞	

Πίνακας 2: Απόσπασμα από «Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010» για τον καθορισμό των ιδιοτήτων των δομικών υλικών

Δομικά υλικά	Πυκνότητα	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας. Τιμές σχεδιασμού.	Ειδική θερμο-χωρητικότητα	Συντελεστής αντίστασης σε διάχυση υδρατμών	
	ρ	λ	c_o	μ	
	kg/m³	W/(m·K)	J/(kg·K)	ξηρό	υγρό
1.5. Σκυροδέματα και ελαφρά σκυροδέματα (σε κατασκευαστικά στοιχεία χωρίς αρμούς και σε πλάκες μεγάλου μεγέθους)					
1.5.1. Σκυρόδεμα άοπλο ή ελαφρώς οπλισμένο μέσης πυκνότητας	1800	1,150	1 000	100	60
	2000	1,350	1 000	100	60
	2200	1,650	1 000	120	70
υψηλής πυκνότητα	2400	2,000	1 000	130	80
1.5.2. Οπλισμένο σκυρόδεμα χαμηλής ποιότητας (παλαιού τύπου B120)		1,510			
1.5.3. Οπλισμένο σκυρόδεμ (1% σίδηρος)	2300	2,300	1 000	130	80
(≥2% σίδηρος)	2400	2,500	1 000	130	80
1.5.4. Γαρμπιλοσκυρόδεμα, γαρμπιλόδεμα	1500	0,640		20	
	1700	0,810		25	
	1900	1,100		35	
1.5.5. Κισηρόδεμα, ελαφροσκυρόδεμα	500	0,200		5 - 20	
	600	0,220		5 - 20	
	800	0,280		5 - 20	
	1000	0,350		5 - 20	
	1200	0,450		5 - 20	
1.5.6. Σύμμεικτα Ελαφροσκυρόδεμα με διογκωμένη πολυστερίνη	200	0,065		11	
	250	0,070		12	
	300	0,080		12	
	350	0,110		22	
1.5.7. Κυψελωτό σκυρόδεμα σκληρυμένο με ατμό	400	0,140	1 000	3	
	500	0,190	1 000	4	
	600	0,230	1 000	4	
	800	0,290	1 000	5	
	1000	0,350	1 000	6	
1.5.8. Περλιτόδεμα (το ειδικό βάρος εξαρτάται από την κατ' όγκον αναλογία τσιμέντου : περλίτη)					
1.5.8.1 Περλιτόδεμα χωρίς τη χρήση αφροποιητικού παράγοντα	350	0,130			
	450	0,140			
	500	0,160			
	600	0,200			
1.5.8.2 Περλιτόδεμα με τη χρήση αφροποιητικού παράγοντα	350	0,094			
	450	0,110			
	500	0,116			
	600	0,140			
1.5.9. Ελαφροβαρείς πλάκες					
1.5.9.1. Πλάκες από κισηρόδεμα	800	0,280		5 - 10	
1.5.9.2. Πλάκες από ελαφρό σκυρόδεμα με ανάμεικτα αδρανή	1400	0,580		10 - 25	
1.5.10. Πλάκες μικρού πάχους, σανίδες					
1.5.10.1 Γυψοσανίδες	700	0,210	1 000	10	4
	900	0,250	1 000	10	4
	1150	0,360	1 000	10	
1.5.10.2 Τσιμεντοσανίδες	1200 - 1300	0,28 - 0,32		20 - 30	
1.5.10.3 Ινοπλισμένες τσιμεντόπλακες	2000	0,480	1 100	60	
1.6. Λιθοσώματα					
1.6.1. Τεχνητοί λίθοι	1750	1,300	1 000	50	40
1.7. Τοιχοποιίες από Λιθοσώματα, συμπεριλαμβανομένου του συνδετικού κονιάματος των αρμών [1]					
1.7.1. Τοιχοποιία από πλίνθους τσιμεντοειδούς βάσης					
1.7.1.1. Τσιμεντόλιθοι από ασβεστολιθικά αδρανή (ασβέστη - άμ	1200	0,560	1 000	8 - 10	
	1400	0,700	1 000	8 - 10	
	1600	0,790	1 000	15 - 25	
	1800	0,990	1 000	15 - 25	
	2000	1,100	1 100	15 - 25	
	2200	1,300	1 100	15 - 25	
1.7.1.2. Ελαφροβαρείς τσιμεντόλιθοι (ελαφροτσιμεντόλιθοι)	400	0,110	1 000	3 - 5	
	500	0,130	1 000	4 - 6	
	600	0,160	1 000	5 - 7	
	700	0,190	1 000	6 - 8	
	800	0,220	1 000	8 - 10	

Πίνακας 3: Απόσπασμα από «Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010» για τον καθορισμό των ιδιοτήτων των δομικών υλικών (συνέχεια)

Δομικά υλικά	Πυκνότητα	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας. Τιμές σχεδιασμού.	Ειδική θερμο-χωρητικότητα	Συντελεστής αντίστασης σε διάχυση υδρατμών	
	ρ	λ	c_p	μ	
	kg/m³	W/(m·K)	J/(kg·K)	ξηρό	υγρό
1.7.1.3. Διάτρητες πλίνθοι από κυψελωτό σκυρόδεμα	600	0,350	1 000	5 - 10	
	800	0,470	1 000	5 - 10	
	1000	0,650	1 000	5 - 10	
	1200	0,770	1 000	5 - 10	
	1400	0,910	1 000	5 - 10	
	1600	1,000	1 000	5 - 10	
1.7.1.4. Κισηρόλιθοι (πλίνθοι από φυσική ελαφρόπετρα)	500	0,170	1 000	5 - 10	
	600	0,200	1 000	5 - 10	
	700	0,220	1 000	5 - 10	
	800	0,260	1 000	5 - 10	
1.7.2. Οπτοπλινθοδομή, ανεπίχριστη, συμπεριλαμβανομένου και του κονιάματος των αρμών πάχους 12 mm					
1.7.2.1. Οπτοπλινθοδομή με πλήρεις οπτοπλίνθους	1200	0,490	1 000	10 - 25	
	1500	0,600	1 000	10 - 25	
	1700	0,680	1 000	10 - 25	
	1900	0,780	1 000	10 - 25	
1.7.2.2. Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτοπλίνθους	1200 (2)	0,450	1 000	5 - 10	
	1500 (2)	0,510	1 000	5 - 10	
	1700 (2)	0,580	1 000	5 - 10	
	1900 (2)	0,640	1 000	5 - 10	
1.7.2.3. Πορώδεις αργιλικές οπτόπλινθοι (πορώδη τούβλα)	940	0,260	1 000	10	
1.7.2.4. Οξύμαχες οπτόπλινθοι (κλίνκερ)	1800	1,800	900	100	
1.8. Υαλότουβλα	2500	1,400	840	∞	
1.9. Κεραμίδια					
1.9.1. Κεραμίδια		0,400			
1.9.2. Αργιλικά πλακίδια επιστέγασης	2000	1,000	800	40	30
2. Ξύλα					
2.1. Συμπαγής ξυλεία					
2.1.1. Κατεργασμένη και ακατέργαστη ξυλεία, γενικώς	450	0,120	1 600	50	20
	500	0,130	1 600	50	20
	700	0,180	1 600	200	50
2.1.2. Κωνοφόρα (πεύκο, έλατο κ.τ.λ.)	600	0,140	1 600	50	20
2.1.3. Οξιά	800	0,170	1 600	200	50
2.1.4. Δρυς (βελανίδια)	800	0,210	1 600	200	50
2.1.5. Ξύλινα τεμάχια παρκέτου		0,210	1 600		
2.2. Προϊόντα ξύλου					
2.2.1. Μοριοσανίδες	300	0,100	1 700	50	10
	600	0,140	1 700	50	15
	900	0,180	1 700	50	20
2.2.2. Αντικολλητά φύλλα ξυλείας (κόντρα πλακέ)	300	0,090	1 600	150	50
	500	0,130	1 600	200	70
	700	0,170	1 600	220	90
	1000	0,240	1 600	250	110
2.2.3. Σκληρές πλάκες ινώδους ξύλου, ινοσανίδες (MDF)	250	0,070	1 700	5	3
	400	0,100	1 700	10	5
	600	0,140	1 700	20	12
	800	0,180	1 700	30	20
3. Μέταλλα και γυαλί					
3.1. Γυαλί					
3.1.1. Γυαλί, υαλοπίνακας	2 500	1,00	750	∞	∞
3.1.2. Ψηφιδωτό γυαλί, υαλογράφημα	2 000	1,20	750	∞	∞
3.2. Μέταλλα					
3.2.1. Σίδηρος, χυτός	7 500	50,00	450	∞	∞
3.2.2. Χάλυβας (ατσάλι)	7 800	50,00	450	∞	∞
3.2.3. Ανοξείδωτος χάλυβας	7 900	17,00	500	∞	∞
3.2.4. Χαλκός	8 900	380,00	380	∞	∞
3.2.5. Ορείχαλκος (κράμα χαλκού και ψευδάργυρου)	8 400	120,00	380	∞	∞
3.2.6. Μπρούντζος (κράμα χαλκού και κασσίτερου)	8 700	65,00	380	∞	∞
3.2.7. Μόλυβδος	11 300	35,00	130	∞	∞
3.2.8. Ψευδάργυρος	7 200	110,00	380	∞	∞
3.2.9. Αλουμίνιο, κράμα αλουμινίου	2 800	160,00	880	∞	∞
3.2.10. Φύλλο αλουμινίου των 125 kg/m² (ως φράγμα υδρατμών)	2 500	54,00		∞	∞
3.2.11. Φύλλο λαμαρίνας		58,00		∞	∞

Πίνακας 4: Απόσπασμα από «Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010» για τον καθορισμό των ιδιοτήτων των δομικών υλικών (συνέχεια)

Δομικά υλικά	Πυκνότητα	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας. Τιμές σχεδιασμού.	Ειδική θερμο-χωρητικότητα	Συντελεστής αντίστασης σε διάχυση υδρατμών	
	ρ	λ	c_p	μ	
	kg/m³	W/(m·K)	J/(kg·K)	ξηρό	υγρό
4. Υλικά υποστρωμάτων και επιστρώσεων					
4.1. Λινέλαιο	1 200	0,170	1 400	1 000	800
4.2. Υποστρώματα					
4.2.1. Υπόστρωμα από τσόχα, πίλημα	120	0,050	1 300	20	15
4.2.2. Υπόστρωμα από κυπαρίνη, καουτσούκ ή πλαστικό	270	0,100	1 400	10 000	10 000
4.2.3. Υπόστρωμα από λινάτσα	200	0,060	1 300	20	15
4.2.4. Υπόστρωμα φελλού	< 200	0,050	1 500	20	10
4.2.5. Υαλοϋφάσμα, υαλόνημα, γεωϋφάσμα	60 - 140	0,040	1 030	2	2
	> 140	0,045	1 030	2	2
4.2.6. Πεπιεσμένες ορυκτές ίνες	200 - 400	0,060	1 030	10	10
4.3. Πλακίδια φελλού					
4.3.1. Απλά πλακίδια φελλού	100 - 150	0,042	1 560	10 - 30	
	> 400	0,065	1 500	40	20
4.3.2. Πλακίδια φελλού, οπλισμένα με ψαθωτή ύφανση	100 - 150	0,046	1 560	10 - 30	
4.4. Μοκέτα	200	0,060	1 300	5	5
4.5. Καουτσούκ, Λάστιχο					
4.5.1. Φυσικό καουτσούκ	910	0,130	1 100	10 000	10 000
4.5.2. Νεοπρένιο (συνθετικό καουτσούκ)	1 240	0,230	2 140	10 000	10 000
4.5.3. Βουτυλικό καουτσούκ	1 200	0,240	1 400	200 000	200 000
4.5.4. Διογκωμένο καουτσούκ (αφρώδες, σπογγώδες, λατέξ)	60 - 80	0,060	1 500	7 000	7 000
4.5.5. Σκληρυμμένο (σκληρό) καουτσούκ (εβονίτης)	1 200	0,170	1 400	∞	∞
4.5.6. Μονομερές αιθυλένιο-προπυλένιο-διένιο (EPDM)	1 150	0,250	1 000	6 000	6 000
4.5.7. Πολυισοβουτυλένιο	930	0,200	1 100	10 000	10 000
4.5.8. Πολυσουλφίδια	1 700	0,400	1 000	10 000	10 000
4.5.9. Βουταδιένιο	980	0,250	1 000	100 000	100 000
4.6. Ασφαλτικά υλικά					
4.6.1. Καθαρή άσφαλτος, μαστίχη ασφάλτου, πίσσα	1 050	0,170	1 700	50 000	50 000
4.6.2. Ασφαλτικά μείγματα με αδρανή, ασφαλτικό σκυρόδεμα	2 100	0,700	1 000	50 000	50 000
4.6.3. Επίστρωση χυτής ασφάλτου	2 300	0,900	920	50 000	50 000
4.6.4. Ασφαλτικά φύλλα (ασφαλτόχαρτα)	1 100	0,190	1 000	50 000	50 000
4.6.5. Ασφαλτικά φύλλα (ασφαλτόπανα)	1 100	0,230	1 000	50 000	50 000
4.7. Κεραμικά υλικά και υλικά με βάση το τσιμέντο					
4.7.1. Πλακίδια επίστρωσης τοίχων	2 000	1,050		250	
4.7.2. Κεραμικά πλακίδια δαπέδου	2 000	1,840	840	250	
4.7.3. Κεραμικά πλακίδια με εφυάλωση / πορσελάνες	2 300	1,300	840	∞	∞
4.7.4. Μωσαϊκό	1 900	1,200			
4.8. Συνθετικά (πλαστικά) πλακίδια	1 000	0,200	1 000	10 000	10 000
4.9. Πλάκες πεζοδρομίου	2 100	1,500	1 000	100	60
5. Συνθετικά υλικά, ρητίνες, σιλικόνες					
5.1. Πλαστικά					
5.1.1. Πολυκαρβονικά φύλλα	1 200	0,200	1 200	5 000	5 000
5.1.2. Φύλλο πολυαιθυλένιο (υψηλής πυκνότητας)	980	0,500	1 800	100 000	100 000
(χαμηλής πυκνότητας)	920	0,330	2 200	100 000	100 000
5.1.3. Φύλλο χλωριούχου πολυβινυλίου (PVC)	1 390	0,170	900	50 000	50 000
5.1.4. Πολυπροπυλένιο (PP)	910	0,220	1 800	10 000	10 000
5.1.5. Πολυστυρένιο (PS)	1 050	0,160	1 300	100 000	100 000
5.1.6. Ακρυλικά	1 050	0,200	1 500	10 000	10 000
5.1.7. Πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE)	2 200	0,250	1 000	10 000	10 000
5.1.8. Πολυακετόνη	1 410	0,300	1 400	100 000	100 000
5.1.9. Πολυαμίδιο	1 150	0,250	1 600	50 000	5 000
5.1.10. Πολυουρεθάνη	1 200	0,250	1 800	6 000	6 000
5.1.11. Αφρός πολυουρεθάνης (ως σφραγιστικό υλικό)	70	0,050	1 500	60	60
5.2. Ρητίνες					
5.2.1. Εποξεική (εποξειδική) ρητίνη	1 200	0,200	1 400	10 000	10 000
5.2.2. Φενολική ρητίνη	1 300	0,300	1 700	100 000	100 000
5.2.3. Πολυεστερική ρητίνη	1 400	0,190	1 200	10 000	10 000
5.3. Σιλικόνες					
5.3.1. Καθαρή σιλικόνη	1 200	0,350	1 000	5 000	5 000
5.3.2. Γέμισμα σιλικόνης	1 450	0,500	1 000	5 000	5 000
5.3.3. Σιλικονόχουχος αφρός	750	0,120	1 000	10 000	10 000
5.3.4. Κόκκοι οξειδίου του πυριτίου, πηκτή πυριτίου (silica gel)	720	0,130	1 000	∞	∞

Πίνακας 5: Απόσπασμα από «Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010» για τον καθορισμό των ιδιοτήτων των δομικών υλικών (συνέχεια)

Δομικά υλικά	Πυκνότητα	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας. Τιμές σχεδιασμού.	Ειδική θερμο-χωρητικότητα	Συντελεστής αντίστασης σε διάχυση υδρατμών	
	ρ	λ	c_p	μ	
	kg/m³	W/(m·K)	J/(kg·K)	ξηρό	υγρό
6. Θερμομονωτικά υλικά					
6.1. Ινώδη ανόργανα υλικά					
6.1.1. Υαλοβάμβακας					
6.1.1.1 Υαλοβάμβακας σε μορφή παπλώματος	13 - 50	0,035 - 0,041	840	1,0 - 1,5	
6.1.1.2 Υαλοβάμβακας σε μορφή πλακών	20 - 110	0,033 - 0,041	840	1,0 - 1,5	
6.1.2. Πετροβάμβακας					
6.1.2.1 Πετροβάμβακας σε μορφή παπλώματος	40 - 100	0,035 - 0,041	840	1,0 - 1,5	
6.1.2.2 Πετροβάμβακας σε μορφή πλακών	50 - 180	0,033 - 0,041	840	1,0 - 1,5	
6.1.3. Ορυκτοβάμβακας					
6.1.3.1 Ορυκτοβάμβακας σε μορφή παπλώματος		0,039 - 0,041	840	1,0 - 1,5	
6.1.3.2 Ορυκτοβάμβακας σε μορφή πλακών		0,037 - 0,041	840	1,0 - 1,5	
6.2. Ανόργανα υλικά κυψελωτής δομής					
6.2.1. Αφρώδες γυαλί	125 - 140	0,040 - 0,052	1 000	100 000	100 000
6.2.2. Τρίμματα θηραϊκής γής	150 - 230	0,060 - 0,080	1 000		
6.3. Συνθετικά οργανικά υλικά κυψελωτής δομής					
6.3.1. Πλάκες ξυλόμαλου με ανόργανο συνδετικό d < 25 mm	570	0,150	1 470	2 - 5	
d ≥ 25 mm	360 - 480	0,090 - 0,100	1 470	2 - 5	
6.3.2. Φελλός					
6.3.2.1 Σκληρά πλακίδια από φελλό	> 400	0,065	1 500	40	20
6.3.2.2 Φύλλα και πλάκες από φελλό	100 - 150	0,042 - 0,046	1 560	10 - 30	
6.3.3. Διογκωμένη πολυστερίνη	12 - 35				
6.3.3.1 Διογκωμένη πολυστερίνη σε κόκκους		0,033 - 0,038	1 450		
6.3.3.2 Διογκωμένη πολυστερίνη σε πλάκες		0,033 - 0,038	1 500	20 -100	
6.3.3.3 Διογκωμένη πολυστερίνη με γραφίτη, σε πλάκες		0,030 - 0,032	1 550	30 - 80	
6.3.4. Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη	30-40				
6.3.4.1 Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες		0,031 - 0,038	1 450	80 - 250	
6.3.4.2 Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη με άνθρακα, σε πλάκες		0,030 - 0,032	1 451	80 - 250	
6.3.5. Πολυουρεθάνη με κλειστές κυψελίδες (σε αφρό ή πλάκες)	30 - 80	0,023 - 0,030 (3)	1400 - 1500	50 - 100	
6.3.6. Φαινολικός αφρός	40 - 50	0,026 - 0,038	1 400	50	50
6.4. Υλικά φυτικής και ζωικής προέλευσης					
6.4.1. Πλάκες ή μπάλες πεπιεσμένου άχυρου	200	0,040 - 0,070		2	
6.4.2. Φύκια θαλάσσης	75 - 80	0,045 - 0, 050		2	
6.4.3. Πλάκες από καλάμια	120 - 230	0,065 - 0,090	1 200		
6.4.4. Κυπαρίνη (κολλώδης)	120 - 220	0,040 - 0,060	800 - 1100		
(ινώδης)	30 - 80	0,040 - 0,45	1700 - 2100		
6.4.5. Λινάρι	20 - 80	0,038 - 0,045	1300 - 1600		
6.4.6. Βαμβάκι	20 - 60	0,040	840 - 1300		
6.4.7. Μαλλί προβάτου	25 - 30	0,040 - 0,050	960 -1300		
7. Αέρια					
7.1. Ξηρός αέρας (στους 20°C)	1,23	0,025	1 008	1	
7.2. Διοξείδιο του άνθρακα	1,95	0,014	820	1	
7.3. Αργό	1,70	0,017	519	1	
7.4. Κρυπτό	3,56	0,009	245	1	
7.5. Ξένο	5,68	0,0054	160	1	
8. Νερό					
8.1. Νερό σε υγρή φάση					
8.1.1. Νερό στους 10°C	1000	0,600	4 187	—	—
8.1.2. Νερό στους 40°C	990	0,630	4 190	—	—
8.1.3. Νερό στους 80°C	970	0,670	4 190	—	—
8.2. Νερό σε στερεά φάση					
8.2.1. Πάγος στους -10°C	920	2,300	2 000	—	—
8.2.2. Πάγος στους 0°C	900	2,200	2 000	—	—
8.2.3. Φρέσκο χιόνι (πάχος στρώσης < 30 mm)	100	0,050	2 000	—	—
8.2.4. Χιόνι, μαλακό (πάχος στρώσης 30 έως 70 mm)	200	0,120	2 000	—	—
8.2.5. Χιόνι, ελαφρώς συμπιεσμένο (πάχος στρώσης 70 έως 100 mm)	300	0,230	2 000	—	—
8.2.6. Χιόνι, συμπιεσμένο (πάχος στρώσης < 200 mm)	500	0,600	2 000	—	—

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

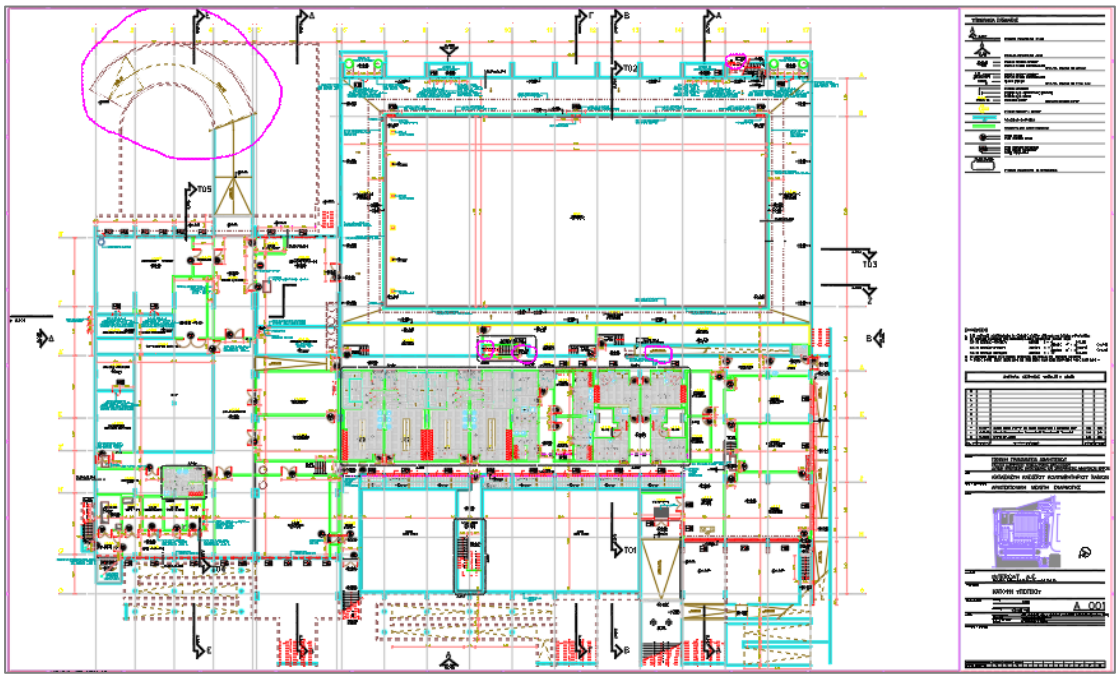
(1) Οι πυκνότητες που αναγράφονται σ' αυτήν την κατηγορία, εφόσον δεν ορίζονται αλλιώς αναφέρονται στα στοιχεία (λίθους, πλίνθους) και όχι στον το

(2) Η πυκνότητα αναφέρεται στο υλικό κατασκευής του στοιχείου και όχι σε ολόκληρο το στοιχείο (πλίνθο).

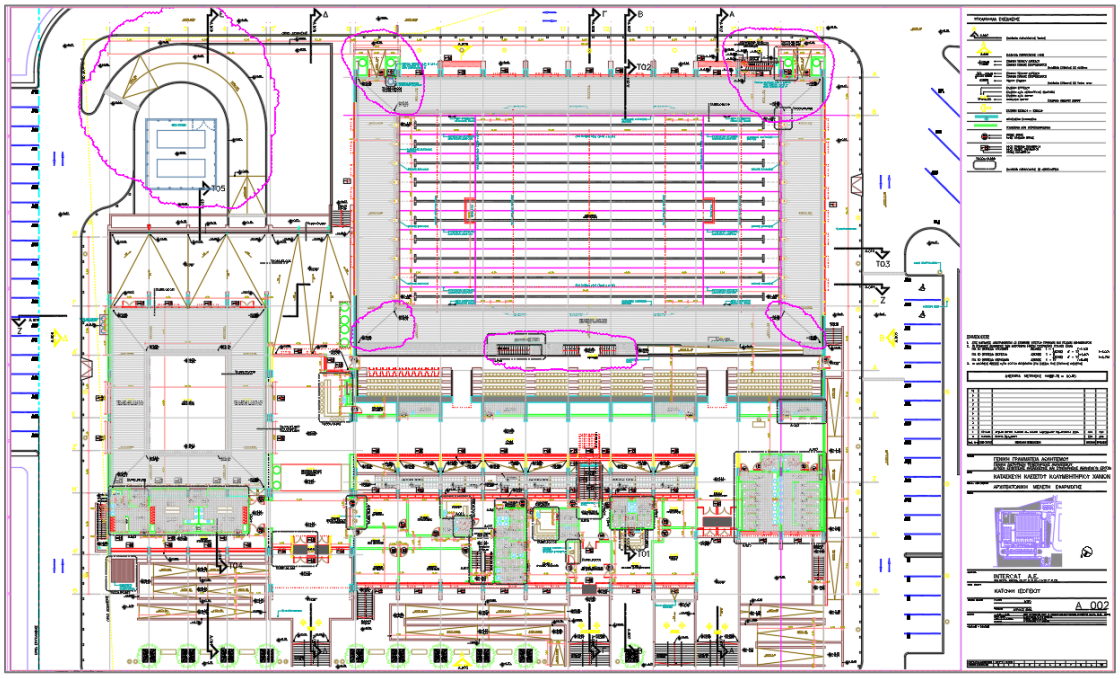
(3) Η αναγραφόμενη τιμή του λ της πολυουρεθάνης αντιστοιχεί σε πολυουρεθάνη 40 kg/m³. Όμως με την πάροδο του χρόνου αυτή η τιμή αυξάνεται και τότε σταδιακά μπορεί να πλησιάσει την τιμή των συνηθισμένων αφρωδών θερμομονωτικών υλικών αντίστοιχης πυκνότητας.

Πίνακας 6: Απόσπασμα από «Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010» για τον καθορισμό των ιδιοτήτων των δομικών υλικών (συνέχεια)

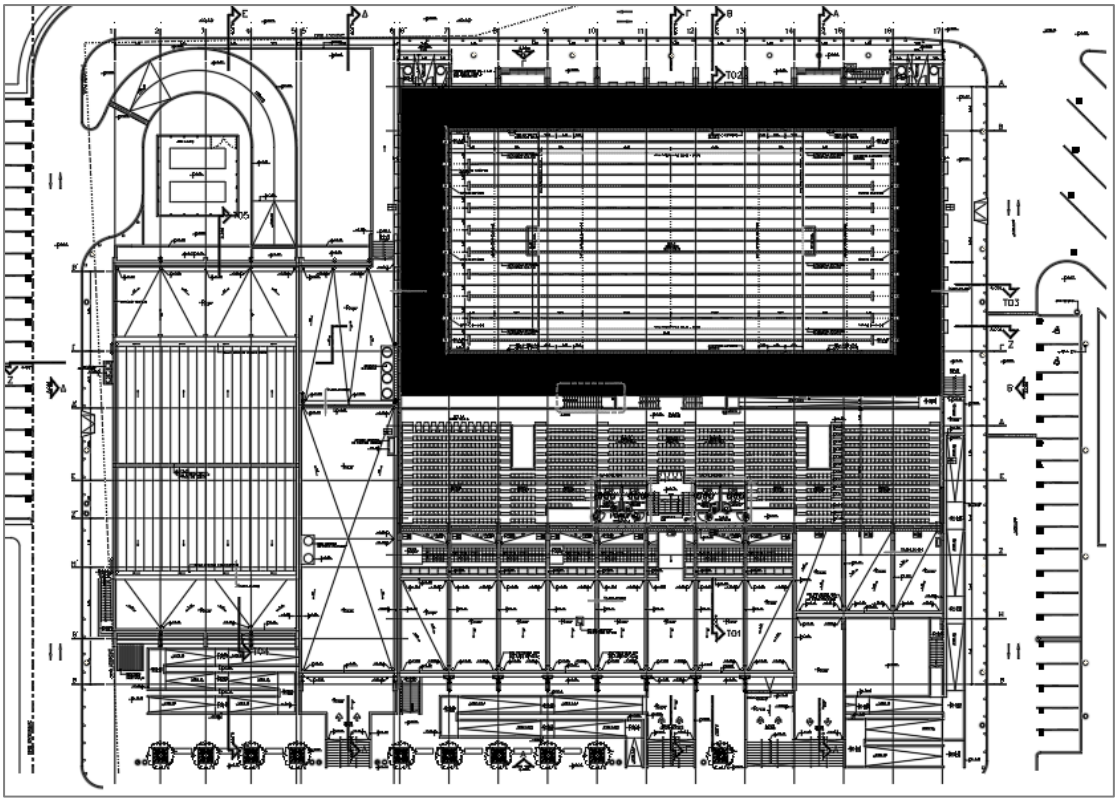
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β



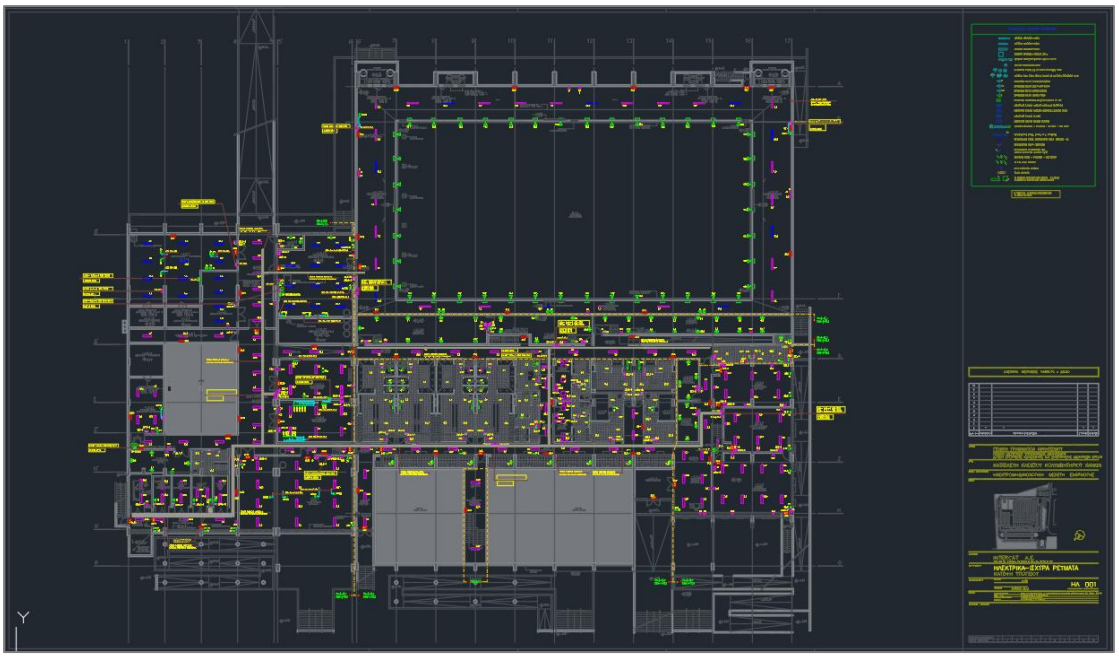
Εικόνα 1: Κάτοψη υπογείου κλειστού κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά Ακρωτηρίου



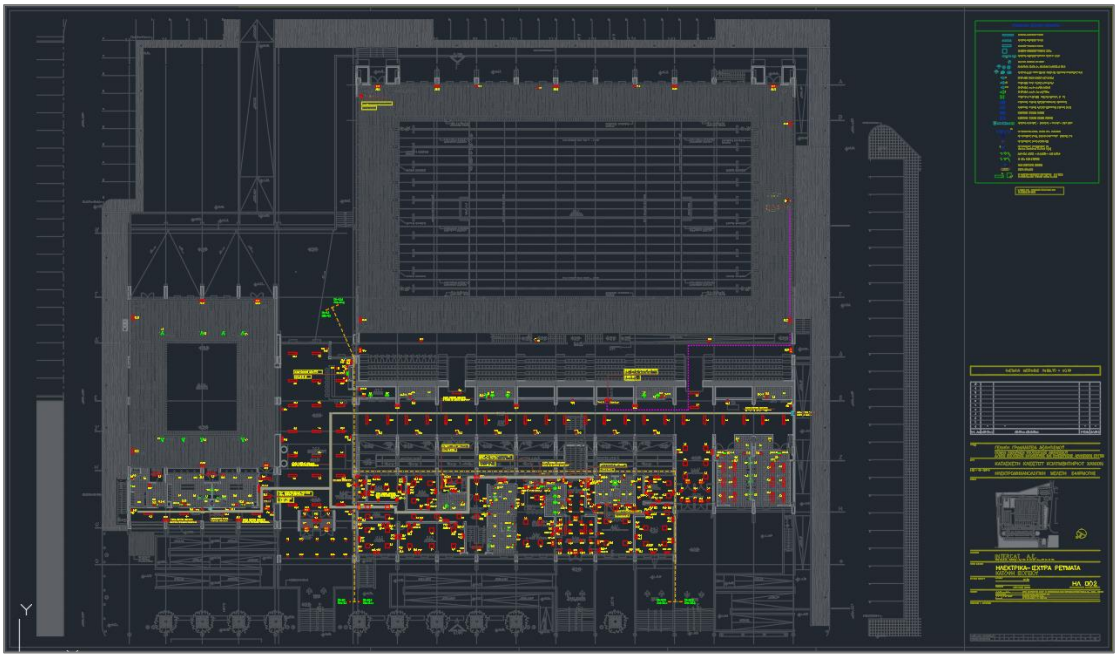
Εικόνα 2: Κάτοψη ισογείου κλειστού κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά Ακρωτηρίου



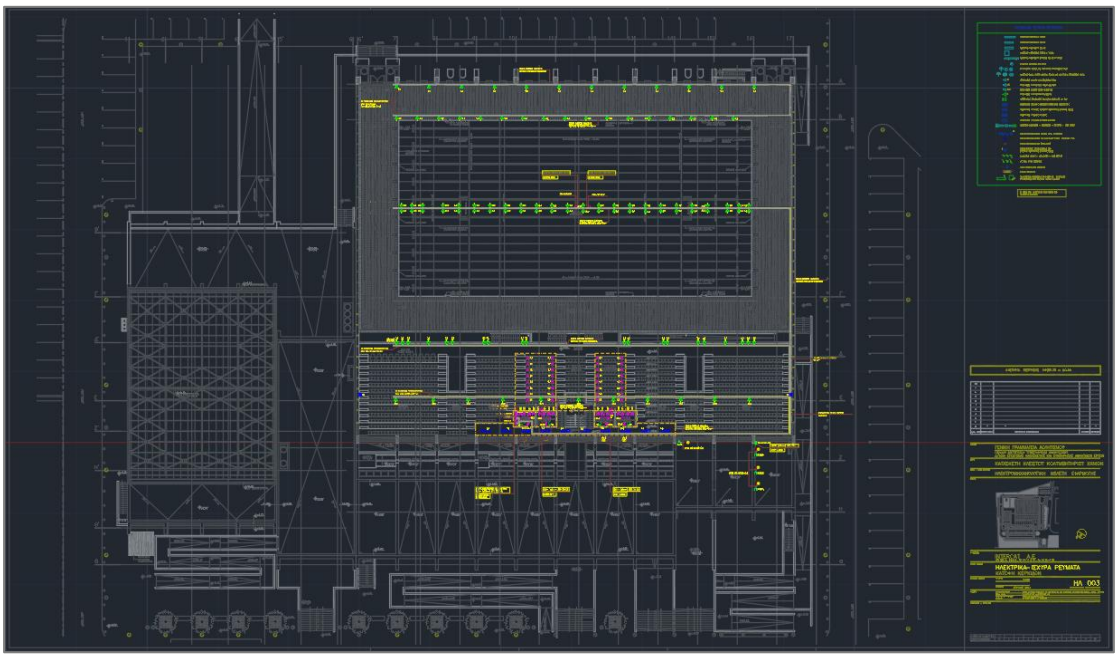
Εικόνα 3: Κάτοψη κερκίδων κλειστού κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά Ακρωτηρίου



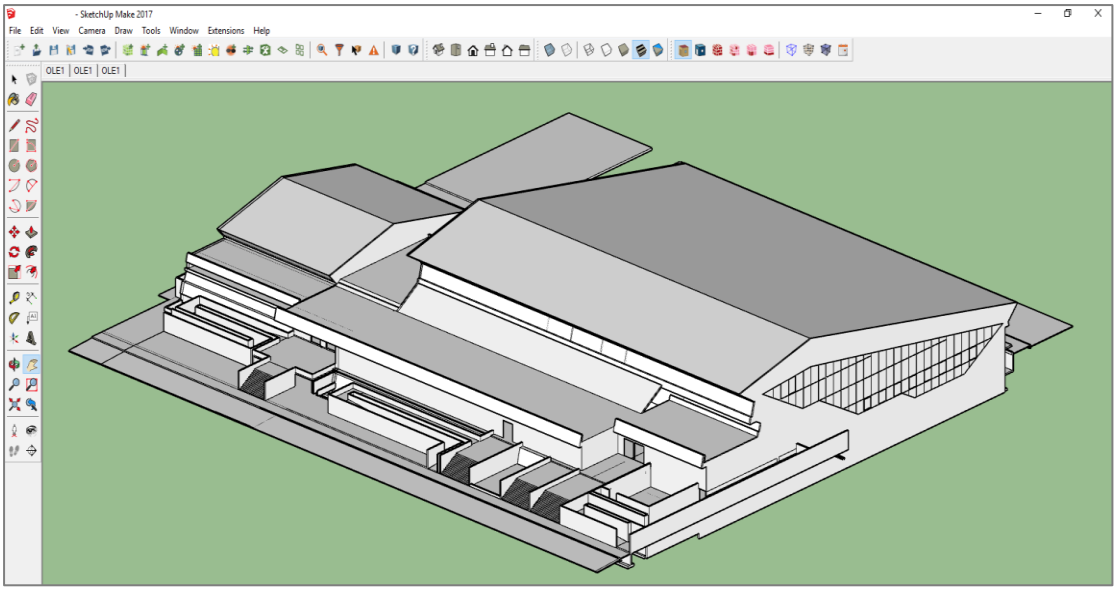
Εικόνα 4: Κάτοψη υπογείου με ηλεκτρικά-ισχυρά ρεύματα κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά Ακρωτηρίου



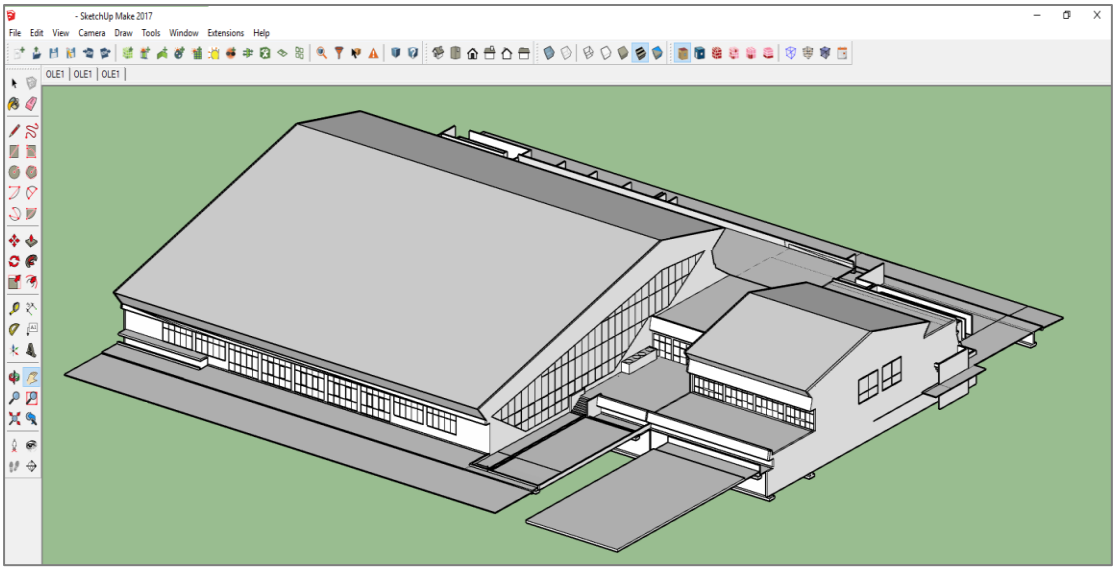
Εικόνα 5: Κάτοψη ισογείου με ηλεκτρικά-ισχυρά ρεύματα κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά Ακρωτηρίου



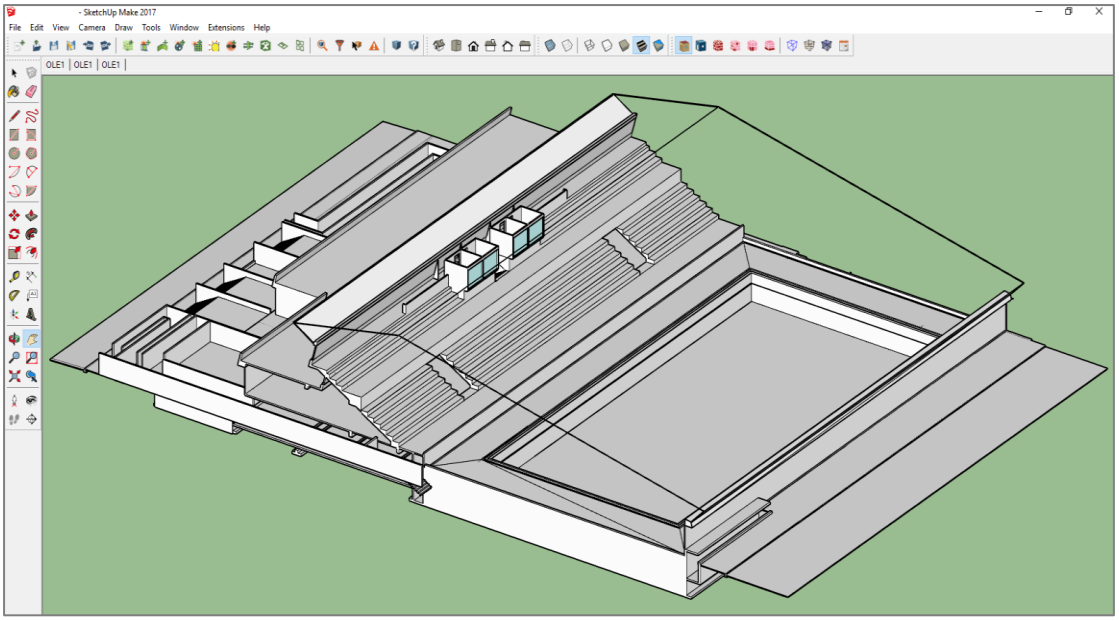
Εικόνα 6: Κάτοψη κερκίδων με ηλεκτρικά-ισχυρά ρεύματα κολυμβητηρίου στα Κουνουπιδιανά Ακρωτηρίου



Εικόνα 7 Άποψη τρισδιάστατης αρχιτεκτονικής μοντελοποίησης του κολυμβητηρίου



Εικόνα 8 Δυτική όψη τρισδιάστατης αρχιτεκτονικής μοντελοποίησης του κολυμβητηρίου



Εικόνα 9: Εσωτερική βορειοανατολική όψη τρισδιάστατης αρχιτεκτονικής μοντελοποίησης του κολυμβητηρίου