



Σχεδιασμός κατοικίας υψηλής
ενεργειακής απόδοσης με
παραγωγή και αποθήκευσης
ενέργειας

Τομέας: Θερμότητας

Επιβλέπων: Τζιβανίδης Χρήστος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάιος 2023

Energy efficient house design with energy production and storage

Section: Thermal Engineering

Supervisor: Tzivanidis Christos, Professor, NTUA



SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING

Athens, May 2023

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή της προπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας, κύριο Χρήστο Τζιβανίδη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα και για την πολύτιμη βοήθεια και στήριξη που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησής της. Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους κοντινούς μου ανθρώπους για την συμπαράστασή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:

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

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

Καψαρίδης Ιωάννης

Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή	9
1.1	Κλιματική αλλαγή	9
1.2	Πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	10
1.3	Εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα	11
1.3.1	Ενέργεια και κτιριακός τομέας.....	12
1.3.2	Κατανάλωση ενέργειας στα ελληνικά κτίρια	13
2.	Βιοκλιματικός σχεδιασμός	17
2.1	Γενικά στοιχεία	17
2.1.1	Ηλιακή Γεωμετρία	18
2.2	Παθητικά και ενεργητικά ηλιακά συστήματα.....	19
2.2.1	Παθητικά ηλιακά συστήματα.....	19
2.2.2	Ενεργητικά ηλιακά συστήματα	20
2.3	Προστασία από τον ήλιο και σκιασμός του κτιρίου	20
2.4	Φυσικός δροσισμός.....	22
2.5	Μικροκλίμα.....	23
3.	Παθητικό κτίριο – NZEB.....	25
3.1	Παθητικό κτίριο	25
3.1.1	Πέντε βασικές αρχές.....	25
3.2	NZEB.....	27
4.	Ενεργειακή προσομοίωση κτιρίων.....	30
4.1	Λογισμικά σχεδίασης και προγράμματα προσομοίωσης	30
4.1.1	SketchUp Pro	30
4.1.2	OpenStudio	30
4.1.3	EnergyPlus.....	30
5.	Σχεδιασμός κατοικίας.....	32
5.1	Γενικά στοιχεία	32
5.2	Σχεδιασμός στο SketchUp μέσω του Openstudio plug-in.....	32
5.2.1	Σχεδιασμός θερμικής ζώνης	33
5.2.2	Σχεδιασμός Ανοιγμάτων.....	35
5.2.3	Διαμόρφωση επιφανειών σκίασης	37
5.2.4	Surface matching	39
6.	Ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου με χρήση του λογισμικού Energy Plus.....	42
6.1	Κατηγορία Simulation Parameters	43
6.1.1	Building	43
6.2	Κατηγορία Location and Climate.....	44
6.3	Κατηγορία Schedules.....	45
6.4	Κατηγορία Surface Construction Elements	48
6.5	Κατηγορία Thermal Zones and Surfaces	51
6.6	Κατηγορία Internal Gains	54

6.7	Κατηγορία Daylighting.....	57
6.8	Κατηγορία Airflow Network	59
6.9	Κατηγορία Zone HVAC Controls and Thermostats	66
6.10	Κατηγορία Zone HVAC Forced Air Units	68
6.11	Κατηγορία Zone HVAC Air Loop Terminal Units.....	70
6.12	Κατηγορία Zone HVAC Equipment Connections	72
6.13	Κατηγορία Fans.....	74
6.14	Κατηγορία Coils	74
6.15	Κατηγορία Heat Recovery	77
6.16	Κατηγορία Unitary Equipment	79
6.17	Κατηγορία Air Distribution	81
6.18	Κατηγορία Node-Branch Management	84
6.19	Κατηγορία Pumps	90
6.20	Κατηγορία Plant-Condenser Flow Control	91
6.21	Κατηγορία Solar Collectors.....	92
6.22	Κατηγορία Water Heaters and Thermal Storage.....	94
6.23	Κατηγορία Plant/Condenser Loops	95
6.24	Κατηγορία Plant-Condenser Control	98
6.25	Κατηγορία System Availability Managers.....	100
6.26	Κατηγορία Setpoint Managers	104
6.27	Κατηγορία Electric Load Center-Generator Specifications	105
6.28	Κατηγορία Water Systems.....	110
6.29	Κατηγορία Performance Curves	112
7.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης	114
7.1	Θερμοκρασίες, σχετική υγρασία και θερμική άνεση.....	114
7.2	Κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας	115
8.	Προτάσεις εξοικονόμησης ενέργειας.....	120
8.1	Προσθήκη υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής (Low-emissivity)	120
8.2	Αντικατάσταση λαμπτήρων με LED.....	122
8.3	Τοποθέτηση φυτεμένου δώματος	124
9.	Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική μελέτη	129
9.1	Συμπεράσματα	129
9.2	Προτάσεις για μελλοντική μελέτη.....	130
10.	Κατάλογος Πινάκων.....	131
11.	Κατάλογος εικόνων.....	132
12.	Βιβλιογραφία.....	136

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός κατοικίας στην περιοχή της Αθήνας, μέσω των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Δίνεται ιδιαίτερη βάση στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, με στόχο να ελαχιστοποιηθούν οι απαιτήσεις ενέργειας. Το πρότυπο του Παθητικού κτιρίου συνέδραμε στον σχεδιασμό και στην μοντελοποίηση των συστημάτων θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού (HVAC) και σε συνεργασία τη χρήση ΑΠΕ για παραγωγή ενέργειας και συσσωρευτή για βελτιστοποίηση, επιτεύχθηκε ικανοποιητική απόδοση. Αρχικά, παρουσιάζεται η έννοια της κλιματικής αλλαγής, συνέπειές της, αλλά και πολιτικές αντιμετώπισης από την Ευρωπαϊκή Ένωση και την Ελλάδα. Στη συνέχεια, αναπτύσσονται βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού και του Παθητικού κτιρίου. Έπειτα, μέσω του προγράμματος SketchUp και της επέκτασής του Openstudio plug-in δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο της κατοικίας. Η ενεργειακή ανάλυση γίνεται από το λογισμικό EnergyPlus και εξάγονται τα επιθυμητά αποτελέσματα αναφορικά με τις εσωτερικές θερμοκρασίες του κτιρίου, αλλά και τα ισοζύγια ενέργειας. Τελικά, προτείνονται κάποιες επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας, όπου και κρίνεται η αποδοτικότητά τους.

1. Εισαγωγή

1.1 Κλιματική αλλαγή

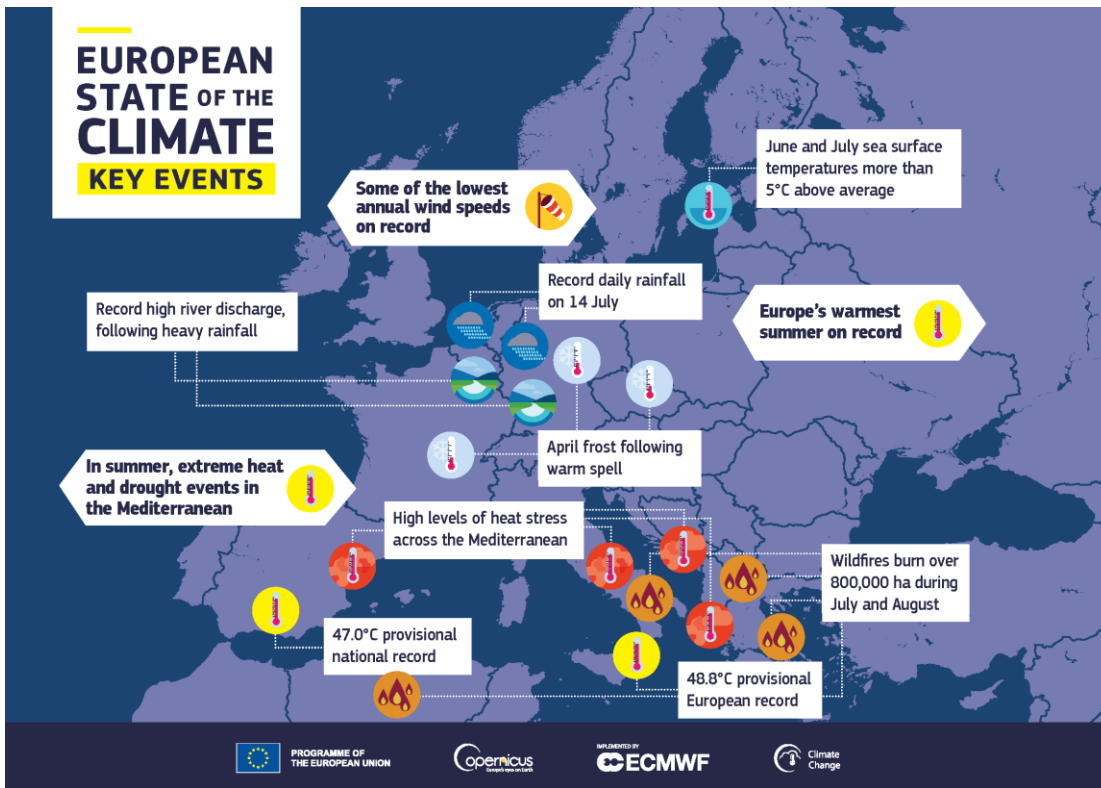
Η ανθρώπινη δραστηριότητα επηρεάζει σταδιακά το κλίμα της γης, προσθέτοντας τεράστιες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου σε εκείνες που απαντώνται φυσιολογικά στην ατμόσφαιρα. Τα αέρια του θερμοκηπίου απορροφούν τη θερμότητα του ήλιου που ακτινοβολεί από την επιφάνεια της Γης, την παγιδεύουν στην ατμόσφαιρα και την εμποδίζουν να διαφύγει στο διάστημα. Τα κυριότερα από αυτά είναι [1]:

- το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2),
- το μεθάνιο (CH_4),
- το υποξείδιο του αζώτου (N_2O),
- το όζον (O_3),
- οι χλωροφθοράνθρακες (CHCs)
- οι υδρατμοί (H_2O).

Αυτά τα επιπλέον αέρια ενισχύουν το «φαινόμενο του θερμοκηπίου» στην ατμόσφαιρα του πλανήτη μας, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία της γης να αυξάνεται με πρωτοφανείς ρυθμούς και να επέρχονται σημαντικές αλλαγές στο κλίμα. Η θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί κατά περισσότερο από $1\text{ }^\circ\text{C}$ σε σύγκριση με το επίπεδο των θερμοκρασιών που επικρατούσαν πριν από τη βιομηχανική εποχή. Οι επιστήμονες προειδοποιούν ότι αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά $1,5\text{ }^\circ\text{C}$, θα έχει σοβαρές και μη αναστρέψιμες συνέπειες για το περιβάλλον στις κοινωνίες μας. [2]

Η καύση ορυκτών καυσίμων, η αποψύλωση των δασών και η κτηνοτροφία αποτελούν τις μεγαλύτερες αιτίες αυτής της θερμοκρασιακής αύξησης. Οι συγκεκριμένες δραστηριότητες απελευθερώνουν τεράστιες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου πέραν από τα όσα υπάρχουν φυσικά στην ατμόσφαιρα, επιδεινώνοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την υπερθέρμανση του πλανήτη.

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει όλες τις περιοχές του κόσμου. Οι πάγοι στις πολικές περιοχές λιώνουν και η στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει. Σε ορισμένες περιοχές, ακραία καιρικά φαινόμενα και έντονες βροχοπτώσεις εμφανίζονται όλο και συχνότερα, ενώ άλλες περιοχές δοκιμάζονται από καύσωνες και ξηρασίες μεγάλης έντασης.



Εικόνα 1.1: Χαρακτηριστικά γεγονότα που συνέβαλε η κλιματική αλλαγή στην Ευρώπη το 2021 [3]

Δεδομένου ότι κάθε τόνος CO₂ που εκπέμπεται συντελεί στην υπερθέρμανση του πλανήτη, η μείωση των εκπομπών οποιασδήποτε προέλευσης συμβάλλει στην επιβράδυνση του φαινομένου. Προκειμένου να αναχαιτιστεί πλήρως η υπερθέρμανση του πλανήτη, οι εκπομπές CO₂ πρέπει να φτάσουν σε μηδενικό επίπεδο παγκοσμίως. Επιπλέον, η μείωση των εκπομπών άλλων αερίων του θερμοκηπίου, όπως το μεθάνιο, μπορεί επίσης να έχει σημαντικό αντίκτυπο στην επιβράδυνση της υπερθέρμανσης του πλανήτη, ιδίως βραχυπρόθεσμα.

1.2 Πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Τον Δεκέμβριο του 2019 οι ανώτεροι αξιωματούχοι ΕΕ συμφώνησαν στο Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ότι η ΕΕ θα πρέπει να επιτύχει κλιματική ουδετερότητα έως το 2050. Η επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας σημαίνει ότι, έως το 2050, οι χώρες της ΕΕ θα πρέπει να

μειώσουν δραστικά τις οικείες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να βρουν τρόπους αντιστάθμισης των υπόλοιπων αναπόφευκτων εκπομπών για την επίτευξη μηδενικού ισοζυγίου εκπομπών. [4]

Στα συμπεράσματά του, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο υπογράμμισε ότι η μετάβαση στην κλιματική ουδετερότητα προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες για:

- την οικονομική ανάπτυξη
- τις αγορές και τις θέσεις εργασίας
- την τεχνολογική εξέλιξη

Οι ηγέτες της ΕΕ ζήτησαν από την Επιτροπή να προχωρήσει τις εργασίες για την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, η οποία σκοπεύει να μετατρέψει την ΕΕ σε μια σύγχρονη, αποδοτική ως προς τη χρήση των πόρων και ανταγωνιστική οικονομία. Αναγνώρισαν επίσης την ανάγκη να διασφαλιστεί ότι η πράσινη μετάβαση είναι οικονομικά αποδοτική καθώς και κοινωνικά ισορροπημένη και δίκαιη. Το 2020 συμφωνήθηκε ένα ενδιάμεσο βήμα για την επίτευξη του στόχου για το 2050. Αυτό είναι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στο 55% έως το 2030. Για να επιτύχει αυτούς τους στόχους, η ΕΕ έχει θέσει σε εφαρμογή πολλές πολιτικές και μέτρα, όπως η προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η ανάπτυξη τεχνολογιών με χαμηλές εκπομπές άνθρακα, η προώθηση της αειφόρου αστικής κινητικότητας και η μείωση της ανεπιθύμητης διασποράς των οχημάτων και η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

1.3 Εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα

Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) αποτελεί ένα Στρατηγικό Σχέδιο για τα θέματα του Κλίματος και της Ενέργειας και παρουσιάζεται σε αυτό αναλυτικά ο τρόπος για την επίτευξη συγκριμένων Ενεργειακών και Κλιματικών Στόχων έως το έτος 2030. Το ΕΣΕΚ παρουσιάζει και αναλύει Προτεραιότητες και Μέτρα Πολιτικής σε ένα ευρύ φάσμα αναπτυξιακών και οικονομικών δραστηριοτήτων προς όφελος της Ελληνικής κοινωνίας. Επιπλέον, στο ΕΣΕΚ αναπτύσσεται η Μακροχρόνια Στρατηγική για το έτος 2050 που αποτελεί έναν οδικό χάρτη για τα θέματα του Κλίματος και της Ενέργειας, στο πλαίσιο της συμμετοχής της χώρας στο συλλογικό Ευρωπαϊκό στόχο της επιτυχούς και βιώσιμης μετάβασης σε μια οικονομία κλιματικής ουδετερότητας έως το έτος 2050, σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αφού τέθηκε σε δημόσια διαβούλευση από τις 10 έως τις 27 Δεκεμβρίου 2019, υποβλήθηκε στις αρχές του 2020 από την Ελληνική Κυβέρνηση στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Στόχος της είναι να παρουσιάζει τις διαθέσιμες τεχνολογικές λύσεις με δυνατότητα εφαρμογής στο εγχώριο πεδίο, αποφεύγοντας τη μοναδιαία επιλογή κάποιων εξ' αυτών, ώστε σε επίπεδο ενεργειακής πολιτικής να υπάρχει η δυνατότητα και η ευελιξία για προσαρμογή των μέτρων ανάλογα με την τεχνολογική πρόοδο και τη

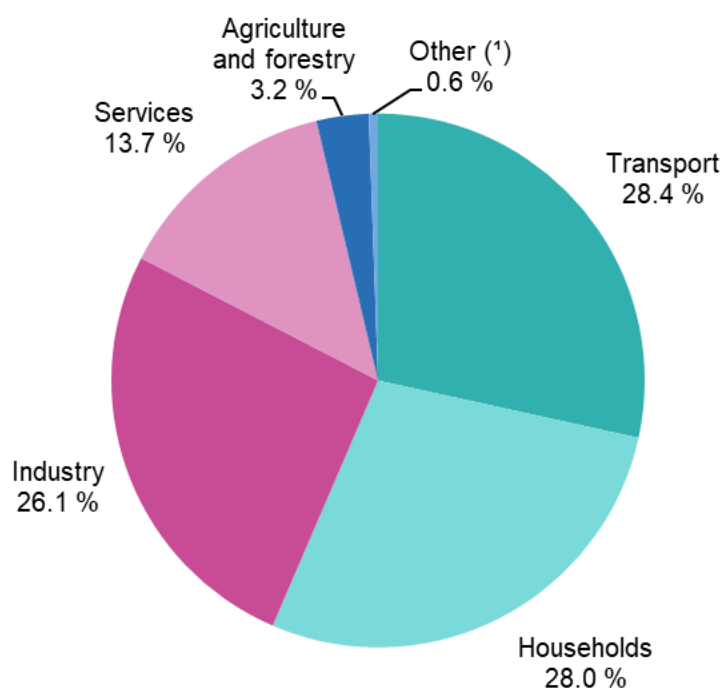
διάρθρωση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στους κλάδους οικονομικής δραστηριότητας μετά το έτος 2030. [5]

1.3.1 Ενέργεια και κτιριακός τομέας

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων αποτελεί βασικό εργαλείο για την επίτευξη αυτών των παραπάνω στόχων. Σύμφωνα με έρευνα της EUROSTAT το 2020 στην ΕΕ, τα κτίρια απαιτούν το 41,7% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (Νοικοκυριά 28% και Υπηρεσίες 13,7%) και ακολουθούν οι μεταφορές (28,4%) και η βιομηχανία (26,1%). [5]

Final energy consumption by sector, EU, 2020

(% of total, based on terajoules)



(*) International aviation and maritime bunkers are excluded from category Transport.

Source: Eurostat (online data code: nrg_bal_s)

eurostat 

Εικόνα 1.2: Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα, Ευρώπη 2020 [6]

Το ποσοστό αυτό στην Ελλάδα αντιστοιχεί στο 43%. Φαίνεται λοιπόν ότι τα κτίρια καταναλώνουν αρκετά μεγάλο μερίδιο ενέργειας, έχουν όμως το μεγαλύτερο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Ο κτιριακός τομέας διευρύνεται συνεχώς, με επακόλουθο την αύξηση της ενεργειακής του κατανάλωσης. Συνεπώς, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και η χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές αποτελούν σημαντικά μέτρα που απαιτούνται για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και η αυξημένη χρήση της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές διαδραματίζουν επίσης, σημαντικό ρόλο στην προώθηση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού και της τεχνολογικής ανάπτυξης και προωθούνται συγκεκριμένες δράσεις, με σκοπό να αξιοποιηθεί το μεγάλο ανεκμετάλλευτο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια. Αυτό συμβαίνει, καθώς οι επιπτώσεις στην κατανάλωση ενέργειας από τα κτίρια είναι πολύ σημαντικές, δεδομένου του μεγάλου κύκλου ζωής τους. Τα νέα κτίρια και τα υφιστάμενα κτίρια που υφίστανται ανακαίνιση μεγάλης κλίμακας πρέπει να ικανοποιούν τις ελάχιστες απαιτήσεις όσον αφορά στην ενεργειακή απόδοση προσαρμοσμένες στο τοπικό κλίμα. Οι μεγάλης κλίμακας ανακαινίσεις υφιστάμενων κτιρίων, ανεξάρτητα από το μέγεθος, δίνουν ευκαιρία για τη λήψη οικονομικώς συμφερόντων μέτρων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών και οικονομικά αποτελεσματικών τεχνολογιών είναι δυνατή η επίτευξη σημαντικής βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας των υφιστάμενων παλαιών κτιρίων, με σημαντικά περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη. Με την αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας, οι πολίτες μπορούν να μειώσουν τους λογαριασμούς τους που αφορούν στην κατανάλωση ενέργειας, να προστατεύσουν την υγεία τους και το περιβάλλον, καθώς και να βελτιώσουν την ποιότητα του αέρα. [7]

1.3.2 Κατανάλωση ενέργειας στα ελληνικά κτίρια

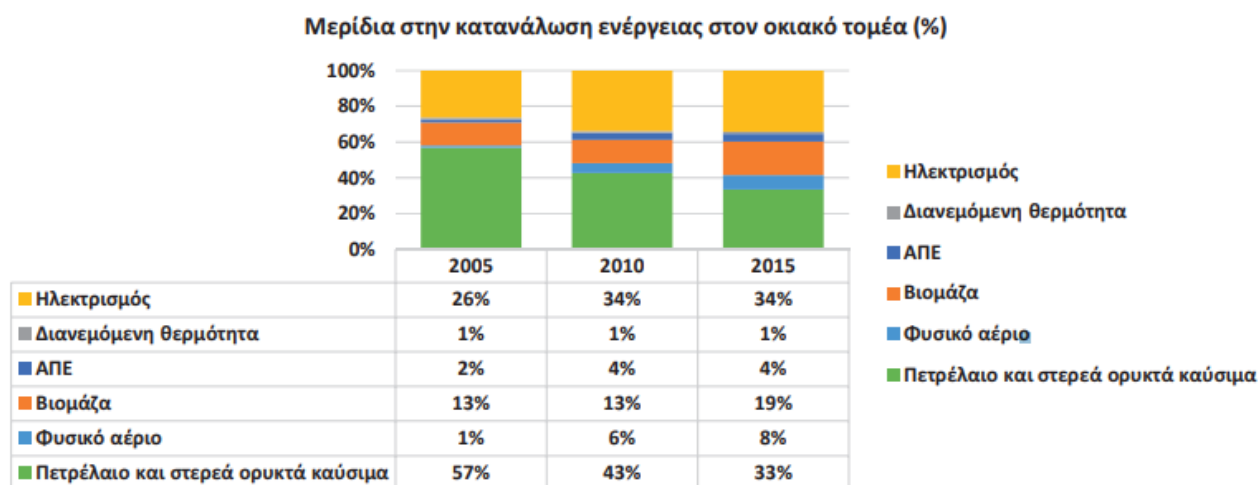
Ο ελληνικός τομέας των κτηρίων έχει έντονο ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα, λόγω χρήσης πρωτογενών υλών, κατανάλωσης φυσικών πόρων και παραγωγής ρύπων και αποβλήτων. Επιπλέον, τα ελληνικά κτήρια χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερος ενεργοβόρα κυρίως λόγω: α) παλαιότητάς, και β) μη ενσωμάτωσης σύγχρονης τεχνολογίας σε αυτά, που οφείλεται στην έλλειψη σχετική νομοθεσίας τα τελευταία 30 έτη. Τα περισσότερα αντιμετωπίζουν θέματα όπως:

- Μερική ή παντελή έλλειψη θερμομόνωσης,
- Παλαιάς τεχνολογίας κουφώματα (πλαίσια/μονοί υαλοπίνακες),
- Ελλιπή ηλιοπροστασία των νότιων και δυτικών όψεών τους,
- Μη επαρκή αξιοποίηση του υψηλού ηλιακού δυναμικού της χώρας,
- Ανεπαρκή συντήρηση συστημάτων θέρμανσης/κλιματισμού με αποτέλεσμα χαμηλή απόδοση. [8]

Σημαντικός παράγοντας καθορισμού της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου είναι η συμπεριφορά των ενοίκων, καθώς η ελλιπής ενημέρωση τους σε θέματα ορθολογικής χρήσης και διαχείρισης της ενέργειας, οδηγεί συχνά σε σπάταλες συμπεριφορές όπως εγκατάσταση μεμονωμένων κλιματιστικών συστημάτων χωρίς μελέτη, χρήση συσκευών χαμηλής απόδοσης, ή μη συντήρηση του συστήματος θέρμανσης, κ.α.

Με βάση την απογραφή των κτιρίων του 2011 από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) τονίζεται ότι ο αριθμός των κτιρίων της Χώρας ανήλθε σε 4.105.637 κτίρια. Αξιοσημείωτο είναι ότι από τα σχετικά στοιχεία προκύπτει ότι, το 97% του συνόλου των κτιρίων της χώρας ανήκει σε ιδιώτες, το 2,9% στο δημόσιο και το υπόλοιπο 0,1% και στους δύο φορείς. Από το σύνολο των κτιρίων που ανήκουν σε ιδιώτες το μεγαλύτερο ποσοστό 74,8% χρησιμοποιείται αποκλειστικά ως κατοικία. [9]

Σύμφωνα με τα ενεργειακά ισοζύγια της Eurostat για το έτος 2015, προέκυψε η κατανομή της μέσης ετήσιας συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας κατά το χρησιμοποιούμενο καύσιμο, καθώς και κατά το είδος χρήσης.

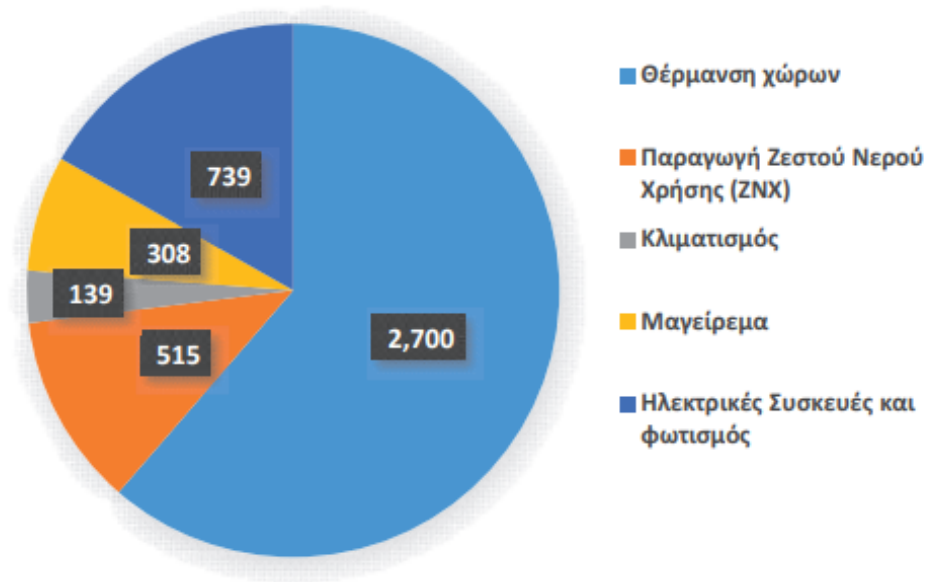


Εικόνα 1.3: Μερίδια στην κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα [10]

Πιο συγκεκριμένα, μέσα στη δεκαετία 2005-2015, το μερίδιο του πετρελαίου και των ορυκτών καυσίμων μειώθηκε από 57% σε 33% , ενώ το μερίδιο του ηλεκτρισμού αυξήθηκε από 24% σε 36%. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ραγδαία αύξηση του φυσικού αερίου για αυτόνομη θέρμανση και ΖΝΧ.

Όσον αφορά την τελική κατανάλωση ανά χρήση στον οικιακό τομέα, οι ανάγκες ενός νοικοκυριού για θέρμανση και παραγωγή ΖΝΧ συμβάλουν στο 73% της συνολικής ετήσιας καταναλισκόμενης ενέργειας. [11]

Τελική κατανάλωση ανά χρήση στον οικιακό τομέα (ktoe) (2015)

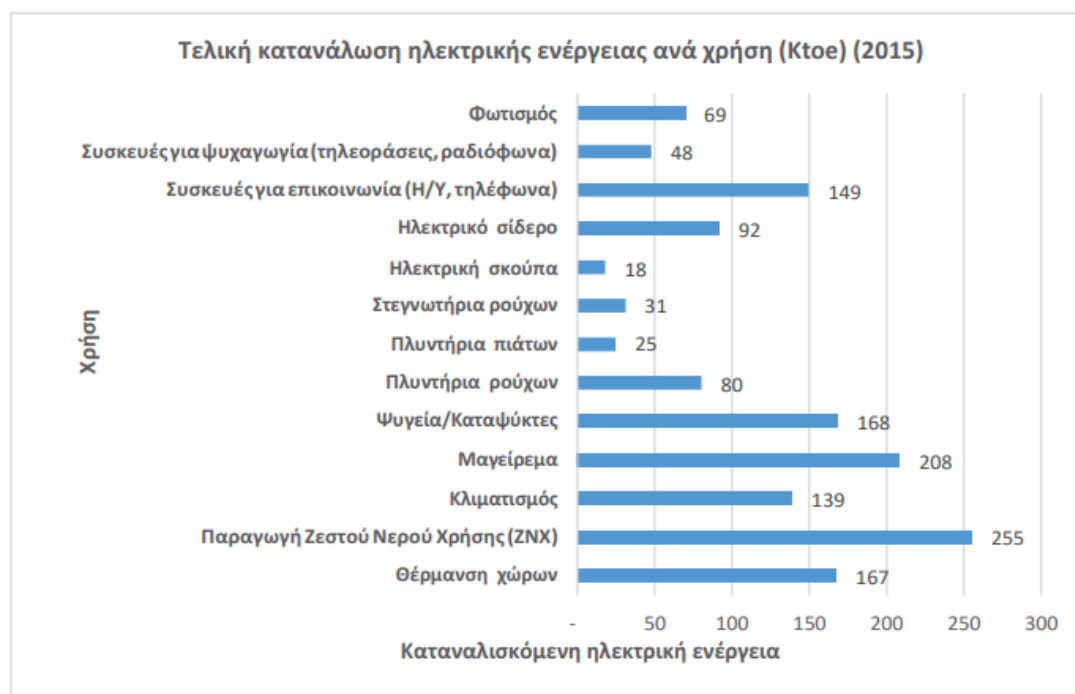


Εικόνα 1.4: Τελική κατανάλωση ανά χρήση στον οικιακό τομέα (ktoe) [12]

Χρήση	Ποσοστό (%)
Θέρμανση χώρων	61,3
Παραγωγή ZNX	11,7
Κλιματισμός	3,2
Μαγείρεμα	7
Ηλεκτρικές Συσκευές και Φωτισμός	16,8

Πίνακας 1.1: Τελική κατανάλωση ανά χρήση στον οικιακό τομέα (%)

Σχετικά με την τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, μεγαλύτερη χρήση της παρατηρείται για παραγωγή ZNX και μαγείρεμα. Αναλυτικά οι χρήσεις φαίνονται παρακάτω.



Εικόνα 1.5: Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση (Κtoe) [13]

Χρήση	Ποσοστό (%)
Φωτισμός	4,8
Συσκευές για ψυχαγωγία	3,3
Συσκευές για επικοινωνία	10,3
Ηλεκτρικό σίδερο	6,4
Ηλεκτρική σκούπα	1,2
Στεγνωτήρια ρούχων	2,1
Πλυντήρια πιάτων	1,7
Πλυντήρια ρούχων	5,5
Ψυγεία/Καταψύκτες	11,6
Μαγείρεμα	14,4
Κλιματισμός	9,6
Παραγωγή ΖΝΧ	17,6
Θερμανση χώρων	11,5

Πίνακας 1.2 Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση (%)

2. Βιοκλιματικός σχεδιασμός

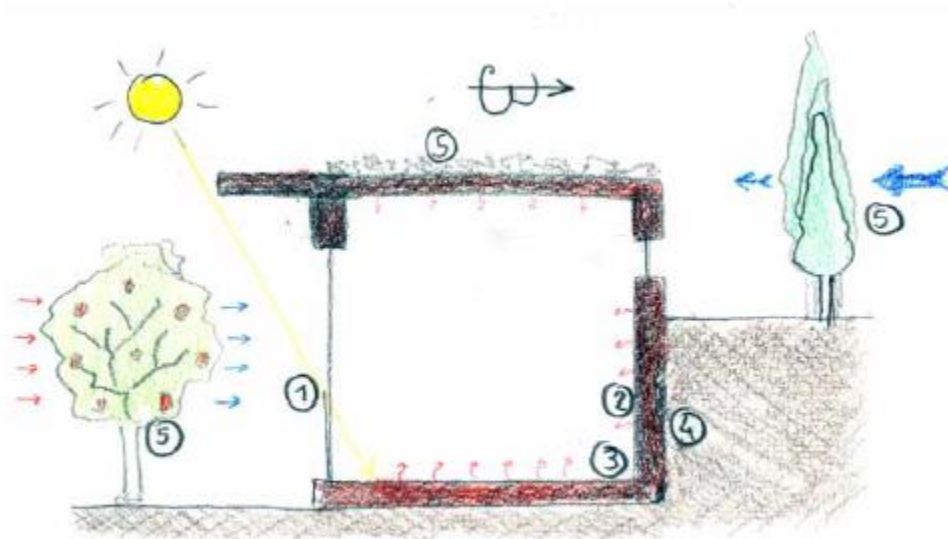
2.1 Γενικά στοιχεία

Η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτήριο παίζει πάρα πολύ σημαντικό ρόλο, τόσο στην προστασία του περιβάλλοντος, όσο και στην οικονομία. Από αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω γίνεται κατανοητό πως τα κτίρια αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους καταναλωτές ενέργειας. Τα μέτρα που αφορούν στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια βασίζονται είτε στον βιοκλιματικό σχεδιασμό του κτηρίου, είτε στην ενσωμάτωση σύγχρονων συστημάτων κάλυψης των ενεργειακών αναγκών, των οποίων η λειτουργία βασίζεται σε αξιοποίηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Ο άνθρωπος εδώ και πάρα πολλά χρόνια, εκμεταλλευόταν τις τοπικές κλιματικές συνθήκες, στην παραδοσιακή και τοπική αρχιτεκτονική, κυρίως από ανάγκη να δημιουργήσει ένα βιώσιμο εσωτερικό περιβάλλον και να ζήσει ευχάριστα μέσα σε αυτό. Έτσι στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική, συναντάμε κατασκευές που εκμεταλλεύονται το κλίμα, και χρησιμοποιούν τον ήλιο, τον αέρα, το νερό και τη γη, για τη θέρμανση και το δροσισμό των κατοικιών, καθώς τότε δεν υπήρχαν τεχνικά μέσα για το σκοπό αυτό. Στη σύγχρονη όμως εποχή με το πλήθος των υλικών και των κατασκευαστικών δυνατοτήτων που υπάρχουν, έχουμε ξεφύγει πλέον από τις αρχές αυτές και συχνά κατασκευάζουμε «κλειστά» κτίρια, απομονωμένα από το περιβάλλον, των οποίων οι εσωτερικές κλιματικές συνθήκες, πολλές φορές εξαρτώνται αποκλειστικά από τεχνικά μέσα. Σήμερα, περισσότερο από ποτέ, τα σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα, και η ανάγκη για διαβίωση σε ένα καλύτερο εσωτερικό περιβάλλον, επιβάλλουν την επιστροφή του ανθρώπου στις οικολογικές αρχές δόμησης.

Για να σχεδιαστεί μία κατοικία με βάση τις βιοκλιματικές αρχές, θα πρέπει αρχικά να μελετηθεί το κλίμα του τόπου, το φυσικό περιβάλλον, η τοπογραφία, η θέα, η ετήσια και ημερησία διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα, η ηλιακή ακτινοβολία, οι ανέμους και η σχετική υγρασία της περιοχής. Κατά το σχεδιασμό της κατοικίας και για τη μέγιστη αξιοποίηση των ηλιακών κερδών, θα πρέπει, όταν είναι εφικτό, η κύρια όψη καθώς και τα μεγαλύτερα ανοίγματα της κατοικίας (1), να είναι προσανατολισμένα προς το νότο. Αντιθέτως στις Βορινές πλευρές των κτιρίων θα πρέπει να έχουμε συμπαγείς τοίχους με μικρά ανοίγματα (2). Όλοι οι τοίχοι του κτιρίου θα πρέπει να έχουν μεγάλο όγκο και να είναι από συμπαγή υλικά (3) ώστε να έχουν μεγάλη θερμική αδράνεια και να γίνεται σωστή εκμετάλλευση της θερμικής μάζας του κτιρίου για εξισορρόπηση των θερμοκρασιακών μεταβολών. Επιπλέον επιθυμητή είναι η εκμετάλλευση της θερμικής αδράνειας του εδάφους τόσο σχεδιάζοντας υπόσκαφα κτίρια, όσο και κτίρια που βρίσκονται σε εδάφη με μεγάλη κλίση (4). Τα ανοίγματα της κατοικίας θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να προσφέρουν διαμπερή αερισμό (1), (2). Περιβάλλουσα βλάστηση μπορεί να

χρησιμοποιηθεί για ηλιοπροστασία, σκιασμό αλλά και προστασία από τους ανέμους, βελτιώνοντας παράλληλα το μικροκλίμα γύρω από την κατοικία (5). Η Νότια πλευρά του κτιρίου χρησιμοποιείται για παθητική ηλιακή θέρμανση ενώ η Βόρεια για ανάσχεση της θερμότητας και προστασία από τους ψυχρούς ανέμους. [14]

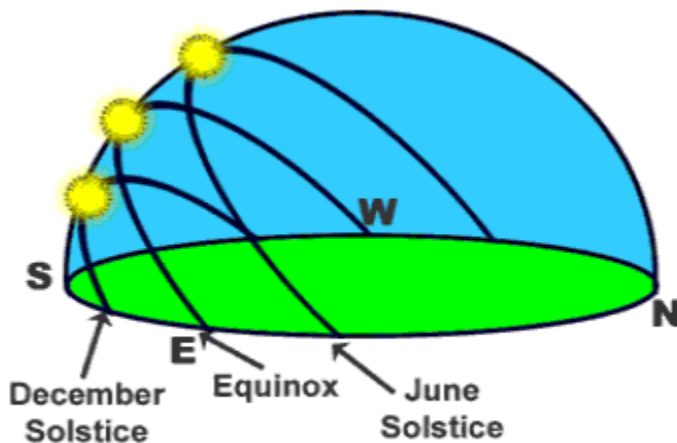


Εικόνα 2.1: Αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού [15]

2.1.1 Ηλιακή Γεωμετρία

Για να κατανοηθεί η επίδραση του ηλίου στο σχεδιασμό ενός κτιρίου θα πρέπει να είναι γνωστή η θέση του, δηλαδή το ύψος του στον ουρανό και η κατεύθυνση του ανά ημέρα και ανά εποχή. Η Ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ένα κτίριο εξαρτάται από την ώρα της ημέρας, την ημέρα του χρόνου και το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Στο Βόρειο ημισφαίριο, οι Νότιες όψεις δέχονται την περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία ενώ το αντίθετο συμβαίνει στο Νότιο ημισφαίριο. Όσο αυξάνει το γεωγραφικό πλάτος ενός τόπου στο Βόρειο ημισφαίριο, τόσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια της ημέρας το καλοκαίρι και αντίστοιχα τόσο μικρότερη το χειμώνα. Από την ηλιακή ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο, το 46% είναι το ορατό φως, και το 49% είναι υπέρυθρη ακτινοβολία, αυτό δηλαδή που εμείς αισθανόμαστε ως θερμότητα. Το 35% της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται από τα σύννεφα και την ατμοσφαιρική σκόνη προς το διάστημα, ενώ το υπόλοιπο φθάνει στη γη ως άμεση και διάχυτη ακτινοβολία. Η άμεση ακτινοβολία είναι αυτή που εκμεταλλευόμαστε για τα άμεσα και έμμεσα ηλιακά κέρδη στις εφαρμογές

βιοκλιματικών συστημάτων στις κατοικίες. Η γνώση της ηλιακής γεωμετρίας ενός τόπου είναι απαραίτητο εργαλείο για τον αρχιτέκτονα που σχεδιάζει με βάσει τις βιοκλιματικές αρχές, προκειμένου να μελετήσει και να σχεδιάσει αποτελεσματικά τόσο τον προσανατολισμό του κτιρίου όσο και τις διαστάσεις των ανοιγμάτων των όψεων και τα στέγαστρα τους.



Εικόνα 2.2: Τροχιά του ηλίου κατά τη διάρκεια της μέρας και του έτους στο Βόρειο ημισφαίριο [16]

2.2 Παθητικά και ενεργητικά ηλιακά συστήματα

2.2.1 Παθητικά ηλιακά συστήματα

Με τον όρο παθητικά ηλιακά συστήματα εννοούμε τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για να αξιοποιηθούν οι φυσικές πηγές, όπως ο ήλιος, ο άνεμος κ.α. για τη θέρμανση, την ψύξη του κτιρίου, την παροχή φυσικού φωτισμού αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια, χωρίς να παρεμβάλλονται μηχανικά μέσα. Η λειτουργία των παθητικών συστημάτων για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας προϋποθέτει ένα σωστά ενεργειακά σχεδιασμένο κτίριο, σύμφωνα με τις αρχές που ήδη αναπτύχθηκαν. Ιδιαίτερα, η διαμόρφωση του κελύφους του κτιρίου πρέπει να είναι τέτοια, που να επιτρέπει τη μέγιστη συλλογή της ηλιακής ενέργειας, τη μέγιστη δυνατότητα για την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας και τις ελάχιστες θερμικές απώλειες προς το εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης στηρίζεται στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» για τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας, στη θερμοχωρητικότητα των υλικών για την αποθήκευση της θερμότητας και στους βασικούς

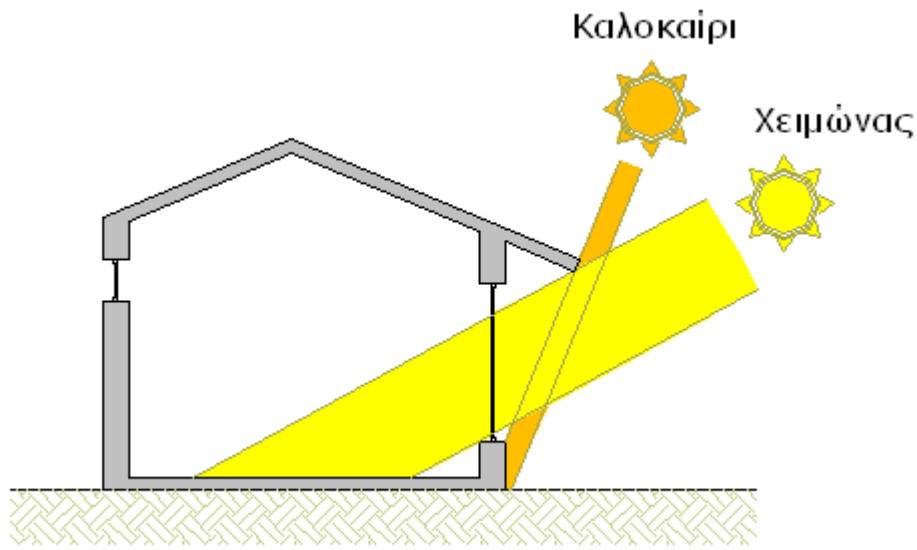
νόμους της θερμοδυναμικής για τη μεταφορά της θερμότητας από τη συλλογή στην αποθήκη και στο χώρο που θα θερμανθεί. Η χρήση τους είναι εξαιρετικά σημαντική και αποτελούν δομικά στοιχεία του κτιρίου. Υβριδικά συστήματα ονομάζονται τα παθητικά συστήματα τα οποία υποβοηθούνται από μηχανικό σύστημα χαμηλής κατανάλωσης, όπως ανεμιστήρες. Τα παθητικά συστήματα επιλέγονται κατά τέτοιο τρόπο, με σκοπό να βελτιωθεί η θερμική άνεση εξοικονομώντας παράλληλα ενέργεια, κατά το δυνατόν μεγαλύτερο διάστημα. Προσαρτώνται σε όψεις του κτιρίου με νότιο προσανατολισμό, με δυνατότητα απόκλισης μέχρι 30° δυτικά ή ανατολικά του νότου. Γενικά, χρησιμοποιούνται, αφού πρώτα παρθούν κάποια μέτρα για την περιστολή των θερμικών απωλειών στα κτίρια, όπως ο νότιος προσανατολισμός και η ισχυρή μόνωση του κελύφους. Κάποια παραδείγματα παθητικών ηλιακών συστημάτων είναι το θερμοκήπιο, ο αεριζόμενος τοίχος Trombe, το ηλιακό αίθριο, το θερμοσίφωνικό πάνελ και το άμεσο ηλιακό κέρδος από τα ανοίγματα με νότιο προσανατολισμό. Η εφαρμογή των συστημάτων αυτών είναι εύκολη, οικονομική, με συμβατικά υλικά και αρκετά οικονομικά και ενεργειακά κέρδη.

2.2.2 Ενεργητικά ηλιακά συστήματα

Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι ηλιακοί συλλέκτες που αποτελούν ένα ενεργητικό ηλιακό σύστημα το οποίο ζεσταίνει νερό μέσω της εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Χρησιμοποιείται ευρύτατα στις χώρες που είναι γνωστές για τις μεγάλες περιόδους ηλιοφάνειας, όπως οι Μεσογειακές. Συνήθως συνοδεύεται και από μια δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού και όλο το σύστημα ονομάζεται ηλιακός θερμοσίφωνας. Ο ηλιακός θερμοσίφωνας αποτελεί την πιο απλή και γνωστή ηλιακή συσκευή. Κατά την λειτουργία του εκμεταλλεύονται δύο φυσικά φαινόμενα: του θερμοσίφωνου και του θερμοκηπίου. Το πρώτο αφορά τη φυσική κυκλοφορία του νερού μέσα στα κυκλώματα του συστήματος χωρίς μηχανικά μέρη ενώ το δεύτερο τη θέρμανση του νερού μέσω των μεγάλων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στην επιφάνεια του συλλέκτη.

2.3 Προστασία από τον ήλιο και σκιασμός του κτιρίου

Τα ηλιακά κέρδη που προκύπτουν από τα παράθυρα ενός κτιρίου, κατά το πέρασμα της θερμογόνου ηλιακής ακτινοβολίας είναι ιδιαίτερα μεγάλα και χρειάζονται απαραίτητως ηλιοπροστασία. Η μελέτη της ηλιοπροστασίας πρέπει να περιλαμβάνει την επαρκή σκίαση των ανοιγμάτων κατά το θέρος, αλλά να μην περιορίζει το ηλιακό θερμικό κέρδος κατά το χειμώνα και να λαμβάνει υπόψη τις ανάγκες σε φυσικό φωτισμό.



Εικόνα 2.3: Εξωτερική Νότια σκίαση [17]

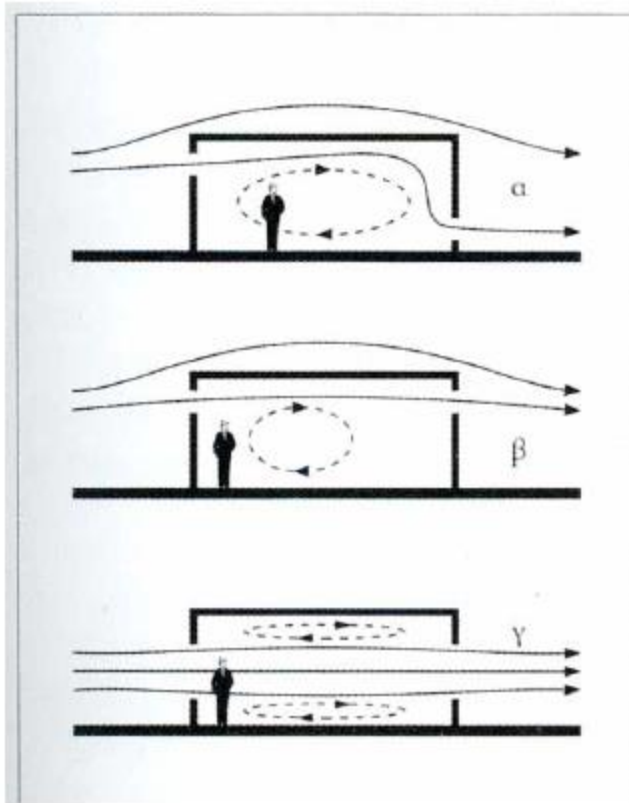
Η σκίαση είναι περισσότερη αποδοτική όταν είναι εξωτερική, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η ηλιακή ακτινοβολία εμποδίζεται να εισέλθει και να εγκλωβιστεί μέσω των υαλοπινάκων στους χώρους και μπορεί να μειώσει κατά 80-90% τα ηλιακά κέρδη. Παράλληλα, η χρήση κινητών σκιάστρων παρέχει τη δυνατότητα να επιτυγχάνεται σκίαση των ανοιγμάτων όταν είναι αυτό απαραίτητο, ανεξάρτητα από την εποχή του έτους. Συνεπώς, ο πιο αποτελεσματικός τρόπος σκιασμού, είναι η χρήση εξωτερικών σκιάστρων με κινητές περσίδες, που όμως είναι ιδιαίτερα ακριβά. Για το λόγο αυτό προτιμάται σταθερή εξωτερική σκίαση που συνδυάζεται με εσωτερικά στόρια που λειτουργούν συμπληρωματικά, επειδή τα συμβατικά κρύσταλλα έχουν πολύ μικρή αντίσταση. Επίσης ο σκιασμός του κτιρίου και των ανοιγμάτων μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση φυλλοβόλων δέντρων και βλάστησης κατά τέτοιο τρόπο που να διακόπτεται ο ηλιασμός του κτιρίου τη θερινή περίοδο, διότι η βλάστηση μετριάζει την εξωτερική θερμοκρασία λόγω της ιδιότητας του φυλλώματος να απορροφά θερμότητα. Η ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων καθώς και η επιλογή κατάλληλου συστήματος σκίασης σε μορφή, μέγεθος και θέση, εξαρτάται από τον προσανατολισμό της όψης. Η σκίαση των ανοιγμάτων είναι απαραίτητη στην εξωτερική πλευρά του κτιρίου για να αποφευχθεί η διείσδυση του ήλιου και η υπερθέρμανση του χώρου.



Εικόνα 2.4: Σκίαση με φυλλοβόλο δέντρο [18]

2.4 Φυσικός δροσισμός

Η εξασφάλιση επαρκούς φυσικού αερισμού παρέχει δροσισμό απομακρύνοντας το επιπλέον θερμικό φορτίο έξω από το κτίριο χρησιμοποιώντας τον αέρα. Κίνηση του αέρα είναι δυνατόν να προκληθεί από φυσικές δυνάμεις (άνεμος και φαινόμενο καπνοδόχου), ή από μηχανικά μέσα (π.χ. ανεμιστήρες οροφής). Ο αέρας κινείται από περιοχές υψηλής πίεσης σε περιοχές χαμηλής πίεσης. Όταν η εξωτερική θερμοκρασία αέρα είναι χαμηλότερη από την εσωτερική ο αερισμός του κτιρίου μπορεί να αποβάλλει προς τον εξωτερικό χώρο τα θερμικά ή ηλιακά κέρδη που συσσωρεύτηκαν κατά τη διάρκεια της ημέρας, εξασφαλίζοντας στο κτίριο δροσερό αέρα κατά τη διάρκεια της νύχτας. Συμβάλλει επομένως στην εξασφάλιση θερμικής άνεσης και στην ευεξία των ανθρώπων που βρίσκονται σε ένα χώρο.



Εικόνα 2.5: Φυσικός αερισμός [19]

2.5 Μικροκλίμα

Για τον έλεγχο του ηλιακού κέρδους και την πρόληψη του υπερβάλλοντος θερμικού κέρδους, σημαντικοί παράγοντες είναι η θέση, η μορφή του κτιρίου, το περίβλημά του, η σκίαση, και η θερμομόνωση. Επίσης σημαντικός είναι και ο ρόλος του μικροκλίματος γύρω από το κτίριο που βελτιώνεται με την κατάλληλη δεντροφύτευση. Για την τοποθέτηση του κτιρίου στο οικόπεδο, κατά το σχεδιασμό του, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα τοπογραφικά στοιχεία της περιοχής, τα παρακείμενα κτίρια, η βλάστηση και η παρουσία νερού. Κτίρια ελεύθερα από όλες τις πλευρές έχουν καλύτερο φυσικό αερισμό. Η αρχιτεκτονική του τοπίου μπορεί να βελτιώσει το μικροκλίμα τόσο το χειμώνα, όσο και το καλοκαίρι. Το καλοκαίρι η βλάστηση παρέχει σκίαση, ψύξη εξάτμισης και βοηθάει στην κατεύθυνση ρευμάτων ανέμου, ενώ το χειμώνα προστατεύει από τον άνεμο. Τα φυτά απορροφούν μεγάλα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας και η διαπνοή τους μειώνει περαιτέρω τις θερμοκρασίες. Φυλλοβόλα δέντρα, θάμνοι και κληματαριές, παρέχουν σκίαση το καλοκαίρι, ενώ επιτρέπουν την προσπέλαση της ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα. Το νερό

επίσης βοηθάει στη βελτίωση του μικροκλίματος τους καλοκαιρινούς μήνες και μπορεί να εμφανίζεται ως δεξαμενή, λίμνη, σιντριβάνι ή καταρράκτης. Η αρχιτεκτονική του τοπίου εκτός από την ενεργειακή της σημασία για τη βελτίωση του μικροκλίματος, μπορεί να δημιουργήσει ελκυστικούς χώρους για υπαίθριες δραστηριότητες, όπως αυλές που επεκτείνουν το χώρο διαβίωσης το καλοκαίρι.

3. Παθητικό κτίριο – NZEB

3.1 Παθητικό κτίριο

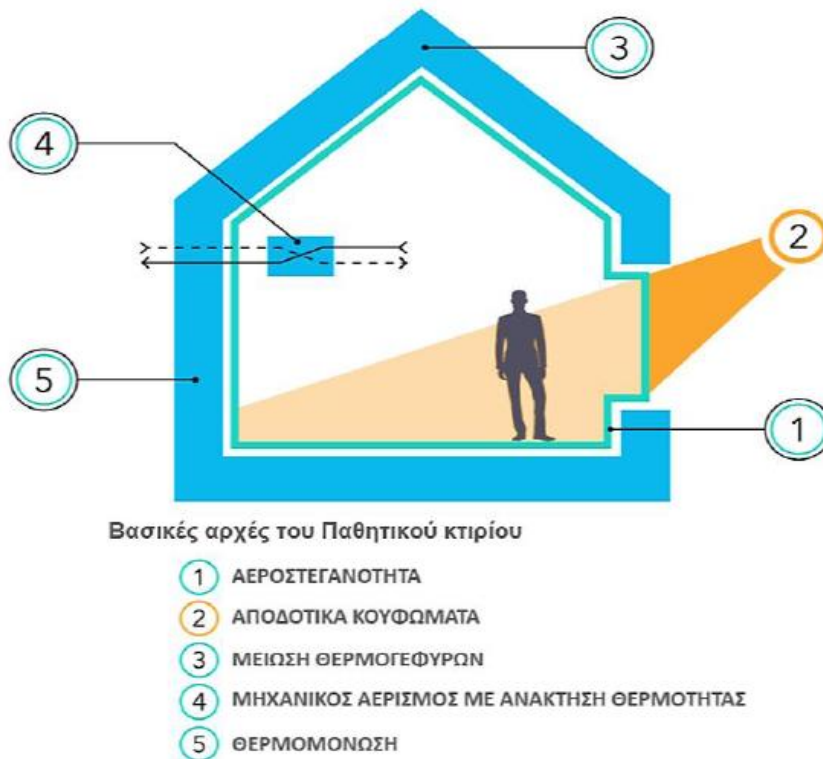
Το παθητικό κτίριο είναι ένα κτίριο στο οποίο η εσωτερική θερμική άνεση (ISO 7730) εξασφαλίζεται αποκλειστικά από προθέρμανση ή πρόψυξη της ποσότητας του νωπού αέρα, η οποία απαιτείται (DIN 1946) για την σωστή εσωτερική ατμόσφαιρα, χωρίς τη χρήση επιπλέον ανακυκλοφορίας του αέρα. [20]

Ανεξάρτητα από το κλίμα ή την περιοχή, τα Παθητικά Κτίρια διατηρούν όλο το χρόνο μια άνετη και ευχάριστη θερμοκρασία με ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις. Τα κτίρια θερμαίνονται παθητικά, δηλαδή κάνουν αποτελεσματική χρήση του ήλιου, των εσωτερικών πηγών θερμότητας και της ανάκτησης θερμότητας, με αποτέλεσμα τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης να μην είναι απαραίτητα ακόμη και τις πιο κρύες ημέρες του χειμώνα. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, το Παθητικό Κτίριο χρησιμοποιεί παθητικές τεχνικές ψύξης, όπως είναι ο σωστός σχεδιασμός σκίασης και νυχτερινού φυσικού αερισμού, προκειμένου να διατηρείται δροσερό. Σε κάθε περίπτωση, τα εξαιρετικής ποιότητας και τεχνολογίας υλικά και ο προσεκτικός σχεδιασμός εγγυώνται ότι οι θερμοκρασίες παραμένουν όλο το χρόνο, σε σταθερά και ευχάριστα για τους ενοίκους / χρήστες επίπεδα.

Ένα Παθητικό Κτίριο χρησιμοποιεί έως και 90% λιγότερη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη από τα συμβατικά κτίρια της Κεντρικής Ευρώπης, με αποτέλεσμα να απαιτείται λιγότερο από 1,5 λίτρο πετρελαίου ή 1,5 κυβικό μέτρο φυσικού αερίου το χρόνο, για τη θέρμανση ενός τετραγωνικού μέτρου κατοικήσιμου χώρου. Εξαιρετικά μεγάλη οικονομία, όμως, επιτυγχάνεται και στις θερμότερες περιοχές, όπου τα κτίρια χρειάζονται ψύξη. Ο περιορισμός της χρήσης ενέργειας οδηγεί σε περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, και έτσι το Παθητικό Κτίριο είναι μια πραγματικά αειφόρος επιλογή σε σχέση με τις συμβατικές κατασκευές.

3.1.1 Πέντε βασικές αρχές

Το Παθητικό Κτίριο λειτουργεί σαν ένα θερμός, που διατηρεί παθητικά το περιεχόμενό του στη σωστή θερμοκρασία, χωρίς τη χρήση ενεργητικής ψύξης ή θέρμανσης.



Εικόνα 3.1: Βασικές αρχές του Παθητικού κτιρίου [21]

Αεροστεγανότητα

Τα Παθητικά κτίρια είναι έτσι σχεδιασμένα ώστε να αποφεύγονται οι διαρροές αέρα στο κτιριακό κέλυφος με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ενεργειακή απόδοση και να εμποδίζεται η εμφάνιση ρευμάτων αέρα και φθορών από την υγρασία.

Κουφώματα

Τα σωστά σχεδιασμένα, μονωμένα και τοποθετημένα κουφώματα συμμετέχουν στη βέλτιστη αξιοποίηση των ηλιακών κερδών.

Θερμογέφυρες

Η ελαχιστοποίηση θερμογεφυρών και ασθενών σημείων στο κτιριακό κέλυφος, συνεισφέρει στη δημιουργία ευχάριστης και σταθερής θερμοκρασίας, ενώ εξαλείφει τις φθορές από την υγρασία, ενώ αυξάνει την ενεργειακή απόδοση.

Μηχανικός αερισμός με ανάκτηση θερμότητας

Τα συστήματα αερισμού των Παθητικών Κτιρίων παρέχουν καθαρό αέρα, απαλλαγμένο από γύρη και σκόνη, με μέγιστη ενεργειακή απόδοση μέσω της ανάκτησης θερμότητας και με έλεγχο της υγρασίας.

Θερμομόνωση

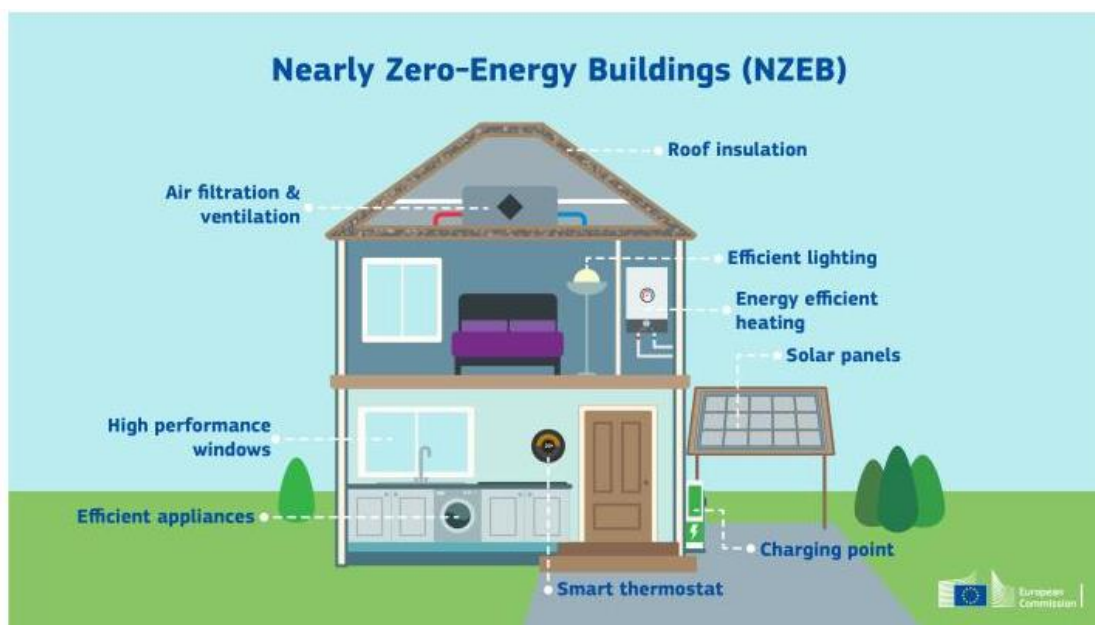
Ένα σωστά μονωμένο κτιριακό κέλυφος, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, διατηρεί τη ζέση μέσα στο κτίριο, ενώ το καλοκαίρι την εμποδίζει να εισέλθει μέσα σε αυτό.

3.2 NZEB

Βάσει της κοινοτικής **Οδηγίας 2010/31/ΕΕ** «Κτίριο με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας» είναι ένα κτίριο με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση του οποίου η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών, καλύπτεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, περιλαμβανομένης της ενέργειας που παράγεται επιτόπου ή πλησίον του κτιρίου.

Τα κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (nZEB) διαθέτουν:

- δομικά στοιχεία υψηλών ενεργειακών προδιαγραφών,
- Η/Μ εγκαταστάσεις ιδιαίτερα υψηλής ενεργειακής απόδοσης και
- ένα σημαντικό μερίδιο της κατανάλωσης τους ενέργειας θα καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε τοπικό επίπεδο.



Εικόνα 3.2: Κτίριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας [22]

Μελετώντας τη διεθνή βιβλιογραφία διαπιστώνουμε ότι πολλοί μελετητές έχουν καταλήξει στην κατηγοριοποίηση των NZEB με βάση τον τύπο του ισοζυγίου που επιλέγεται. Έτσι προκύπτουν NZEB με ισοζύγιο ένα από τα παρακάτω:

Net Zero Site Energy - Μηδενικό ισοζύγιο ενέργειας ως προς το σημείο: Το NZEB παράγει τουλάχιστον τόση ενέργεια από ΑΠΕ όση καταναλώνει σε ένα έτος, με την καταναλισκόμενη ενέργεια μετρημένη στο χώρο εγκατάστασης του κτιρίου.

Net Zero Source Energy - Μηδενικό ισοζύγιο ενέργειας ως προς την πηγή:

Το NZEB παράγει τουλάχιστον τόση ενέργεια από ΑΠΕ όση καταναλώνει σε ένα έτος, με την καταναλισκόμενη ενέργεια μετρημένη στην πηγή. Η ενέργεια στην πηγή αναφέρεται στην πρωτογενή ενέργεια. Ως πρωτογενής ενέργεια ορίζεται η ενέργεια που ενσωματώνεται-εμπεριέχεται στις πηγές και η οποία περιλαμβάνει την εξαγωγή της και την επεξεργασία της ώστε να γίνει διαθέσιμη για εμπόριο, κατανάλωση ή μετασχηματισμό. Κατά τον υπολογισμό της συνολικής ενέργειας στην πηγή, η εξαγόμενη και η εισαγόμενη ενέργεια πολλαπλασιάζονται με τους αντίστοιχους συντελεστές μετατροπής, οι οποίοι βασίζονται στο ενεργειακό μίγμα του συστήματος.

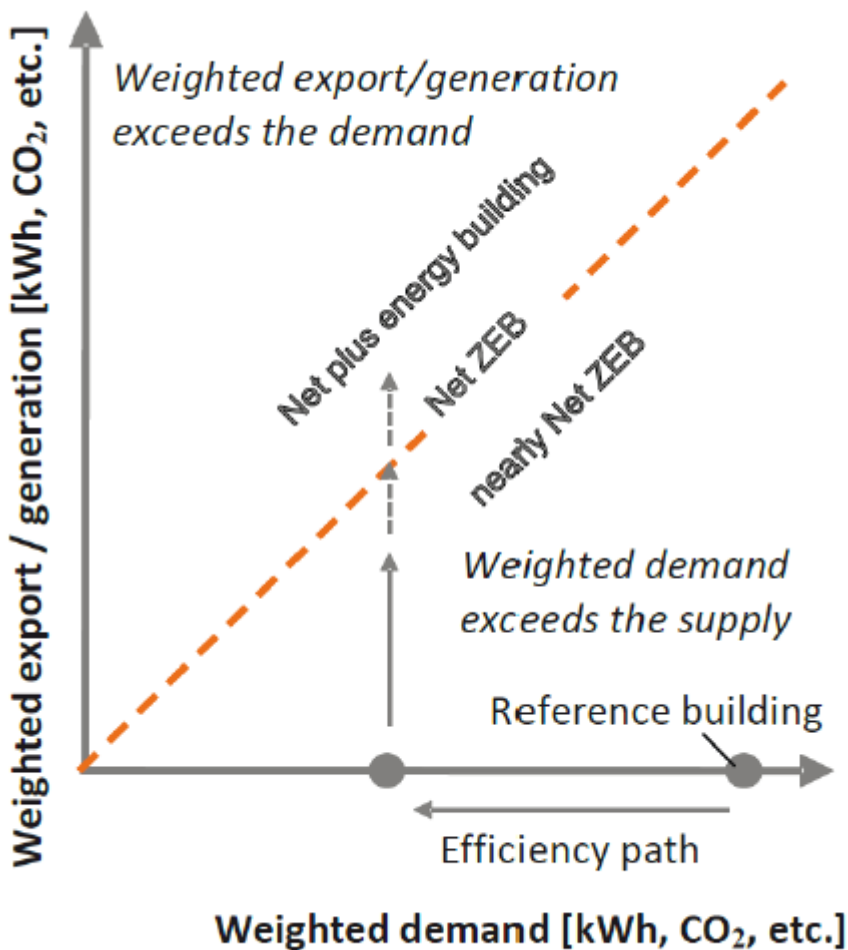
Net Zero Energy Costs - Μηδενικό ισοζύγιο ενεργειακού κόστους:

Το χρηματικό ποσό που πιστώνει ο διαχειριστής του δικτύου στον κάτοχο του κτιρίου για την ενέργεια από ΑΠΕ που το NZEB εγχέει στο δίκτυο είναι τουλάχιστον ίσο με το ποσό που πληρώνει ο ιδιοκτήτης του NZEB στον διαχειριστή του δικτύου για την ενέργεια που

κατανάλωσε από το δίκτυο στην περίοδο ενός έτους.

Net Zero Energy Emissions - Μηδενικό ισοζύγιο ενεργειακού κόστους:

Ένα τέτοιο κτίριο παράγει (ή αγοράζει) τόση "καθαρή" ενέργεια από Α.Π.Ε., όση χρειάζεται για να αντισταθμίσει τις εκπομπές ρύπων από τη χρήση "μη καθαρής" ενέργειας σε ένα έτος. Οξείδια του άνθρακα, του αζώτου και του θείου είναι οι πιο συνηθισμένοι ρύποι, που στοχεύουν να αντισταθμίζουν τα κτίρια μηδενικής ενέργειας με συνολικά μηδενικές ενεργειακές εκπομπές. Για τον υπολογισμό των συνολικών εκπομπών, η εισαγόμενη από το δίκτυο στο κτίριο και η εξαγόμενη από το κτίριο προς το δίκτυο ενέργεια, πολλαπλασιάζονται με τις τιμές των εκλυόμενων ρύπων που σχετίζονται με τους συμβατικούς πόρους ή τις Α.Π.Ε. που χρησιμοποιούνται.



Εικόνα 3.3: Γραφική παρουσίαση του σημείου στο οποίο επιτυγχάνεται απόδοση NZEB, όπου δηλαδή η ζήτηση εξισώνεται με την παραγωγή του μελετώμενου μεγέθους [23]

4. Ενεργειακή προσομοίωση κτιρίων

4.1 Λογισμικά σχεδίασης και προγράμματα προσομοίωσης

4.1.1 SketchUp Pro

Το SketchUp είναι ένα πρόγραμμα 3D μοντελοποίησης που καλύπτει ένα ευρύ φάσμα σχεδιαστικών εφαρμογών που αφορούν την αρχιτεκτονική, την μηχανολογία, την διακόσμηση, αλλά και τον σχεδιασμό ταινιών και βιντεοπαιχνιδιών και διατίθεται σε διαφορετικές εκδόσεις (SketchUp Free, SketchUp Make, SketchUp Pro).

Το πρόγραμμα είναι προϊόν της Trimble Inc. ,διαθέτει πληθώρα επεκτάσεων «plugins» για όλες τις ειδικότητες και περιλαμβάνει έτοιμα 3D αντικείμενα μέσω της βιβλιοθήκης του 3D Warehouse.

4.1.2 OpenStudio

Το OpenStudio είναι μια συλλογή εργαλείων λογισμικού για την υποστήριξη της ενεργειακής μοντελοποίησης ολόκληρου του κτιρίου χρησιμοποιώντας το EnergyPlus Οι γραφικές εφαρμογές του, που αξιοποιούνται στην υπάρχουσα εργασία είναι το OpenStudio SketchUp Plug-in και OpenStudio Application.

Το πρώτο αποτελεί μια επέκταση στο σχεδιαστικό εργαλείο μοντελοποίησης SketchUp, παρέχοντας στον χρήστη την δυνατότητα να δημιουργεί και να επεξεργάζεται εύκολα τη γεωμετρία του κτιρίου που απαιτείται, για ανάλυση με το EnergyPlus, ενώ το δεύτερο αποτελεί ένα πλήρως εξοπλισμένο γραφικό περιβάλλον των μοντέλων του OpenStudio που περιλαμβάνει διάφορες παραμέτρους αναφορικά με τα υλικά, τα είδη των κατασκευών, τα θερμικά φορτία, τα χρονοδιαγράμματα, τα μηχανολογικά συστήματα του μοντέλου κ.α.

4.1.3 EnergyPlus

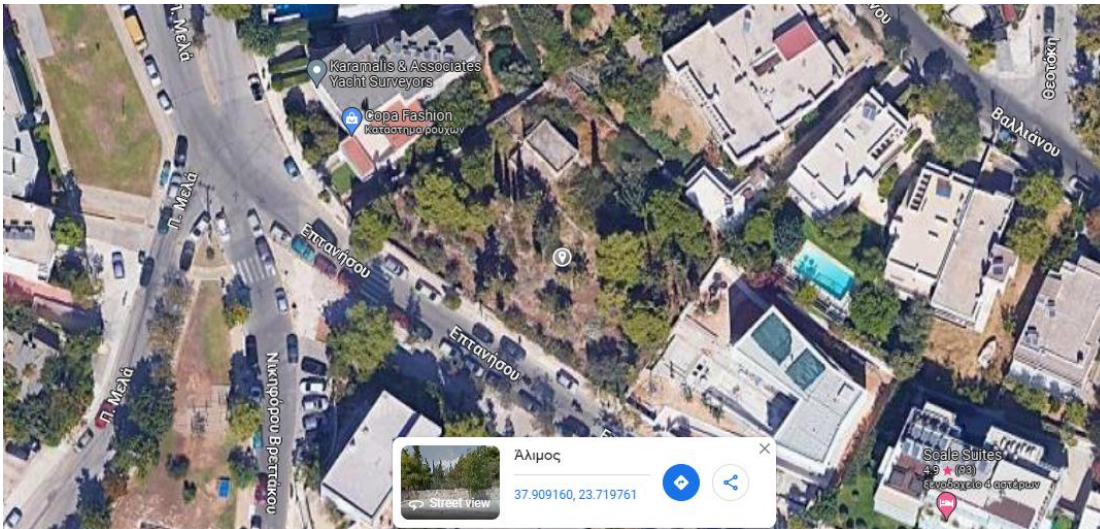
Το EnergyPlus είναι ένα δωρεάν λογισμικό ανοιχτού κώδικα, το οποίο αναπτύχθηκε από το υπουργείου ενέργειας των ΗΠΑ (US Department of Energy Building Technologies Office). Χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση της ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση, ψύξη, αερισμό, φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης σε κτίρια. 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 EnergyPlus δεν διαθέτει γραφικό περιβάλλον, αλλά ο χρήστης εισάγει και εξάγει δεδομένα και αποτελέσματα σε μορφή κειμένου (console-base program). Για διευκόλυνση της επεξεργασίας των δεδομένων και των αποτελεσμάτων, αρκετοί τρίτοι εκδότες δημιούργησαν πολλά και διαφορετικά GUI (Graphical SAR Interface - Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη) με το πιο γνωστό και διαδεδομένο να είναι το OpenStudio.

5. Σχεδιασμός κατοικίας

5.1 Γενικά στοιχεία

Στην παρούσα εργασία σχεδιάστηκε από την αρχή κατοικία υψηλής ενεργειακής απόδοσης, με σκοπό την ενεργειακή του προσομοίωση και ανάλυση. Το οικόπεδο που επιλέχθηκε να τοποθετηθεί το κτίριο βρίσκεται στην περιοχή του Αλίμου Αττικής και συγκεκριμένα στην οδό Επτανήσου.

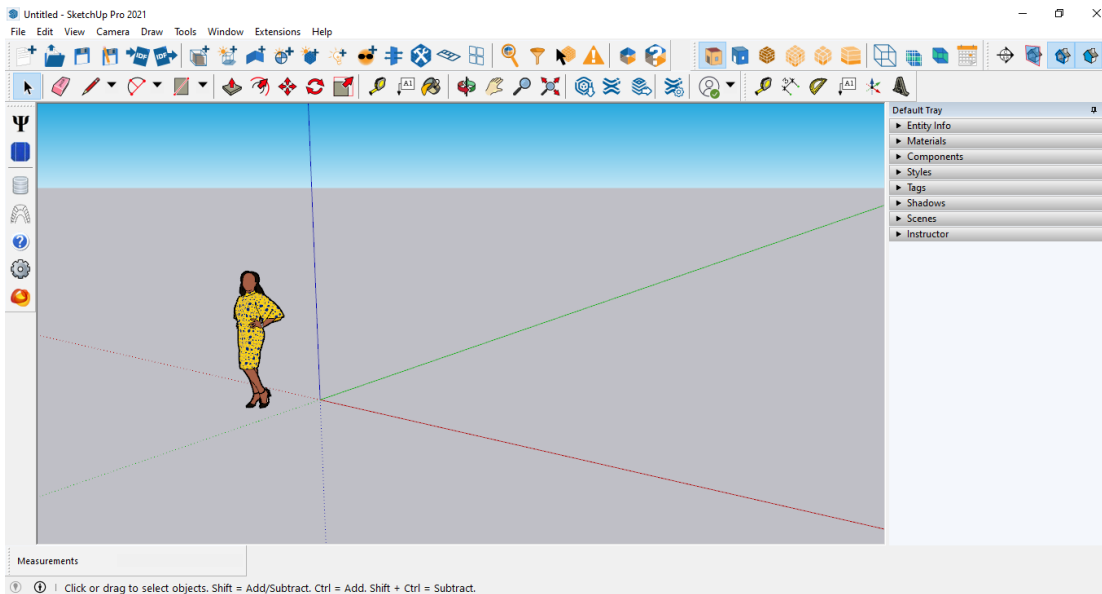


Εικόνα 5.1: Γεωγραφική θέση οικοπέδου

Το κτίριο πρόκειται για μονοκατοικία 114,75 m² σχεδιασμένη για μια 4μελή οικογένεια. Ο προσανατολισμός του είναι Νοτιοδυτικός και η εσωτερική διαρρύθμιση έγινε με βάση τον βιοκλιματικό σχεδιασμό. Η κατοικία αποτελείται από σαλόνι, κουζίνα, 2 υπνοδωμάτια, 1 γραφείο, 2 μπάνια, 1 αποθήκη και 1 βοηθητικό χώρο.

5.2 Σχεδιασμός στο SketchUp μέσω του Openstudio plug-in

Κατά την εκκίνηση του SketchUp, επιλέγοντας το κατάλληλο σύστημα μονάδων (μέτρα – m), μπαίνουμε στο γραφικό του περιβάλλον. Στη συνέχεια εγκαταστάθηκε το Openstudio plug-in μέσω της βιβλιοθήκης του NREL (OpenStudio SDK Version Compatibility Matrix) ακολουθώντας κατά σειρά τις εντολές Extensions – Extension Manager – Install Extension.



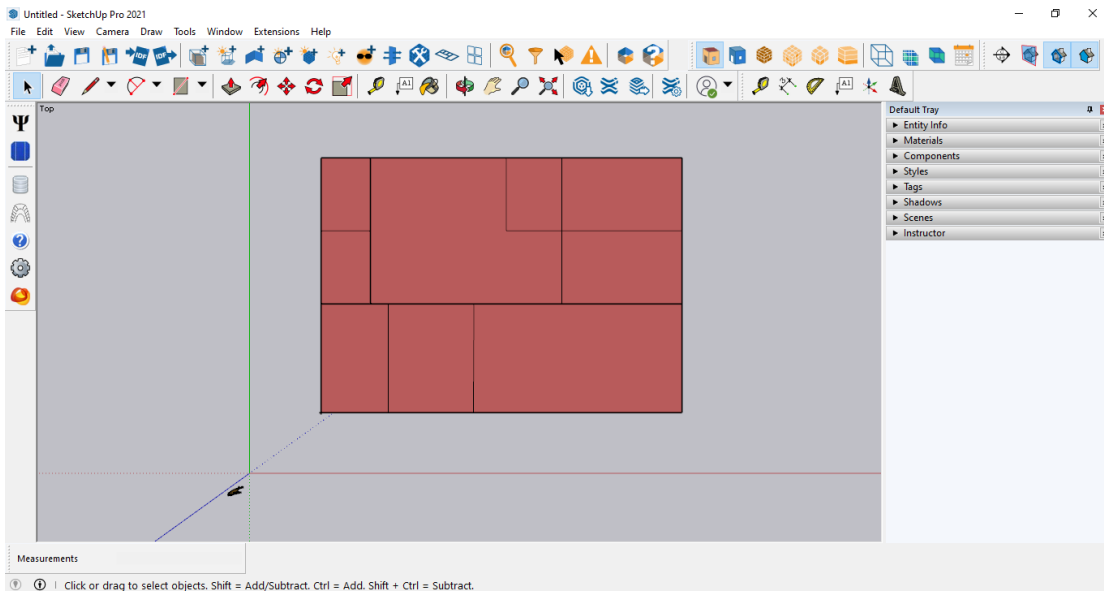
Εικόνα 5.2: Γραφικό περιβάλλον SketchUp

5.2.1 Σχεδιασμός θερμικής ζώνης

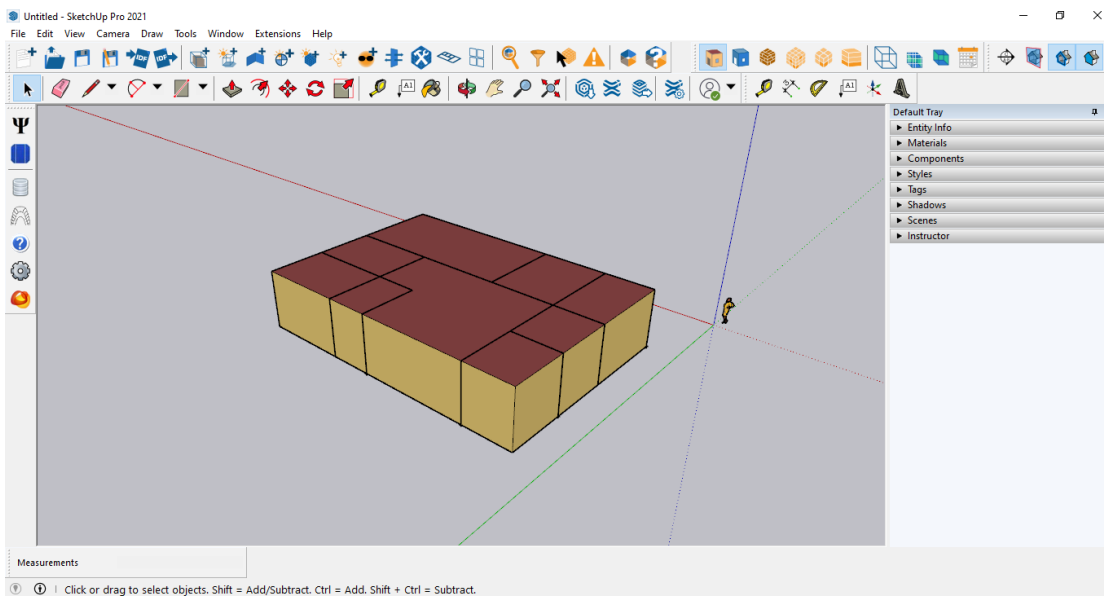
Για να ξεκινήσουμε το σχεδιασμό θα εισάγουμε μια θερμική ζώνη με την εντολή **New space**. Με την επιλογή ενός σημείου στο χώρο μας δημιουργείται μια καινούργια ζώνη μέσα στην οποία οποιαδήποτε επιφάνεια σχεδιαστεί θα ταυτοποιείται αυτόματα ως ενεργειακή και θα παίρνει το κατάλληλο ανάλογα με τις ιδιότητες της και τη λειτουργία της.

Μετά την ενεργοποίηση της θερμικής ζώνης, σχεδιάζεται η κάτοψη του κτιρίου, δηλαδή η επιφάνεια του δαπέδου του με διαγραμμίσεις που ορίζουν τους εσωτερικούς χώρους του ισόγειου. Με την εντολή

Create Spaces From Diagram το σχέδιο αποκτά τρισδιάστατη μορφή και «χρωματίζονται» ενεργειακά οι χώροι. Το ύψος του κτιρίου ορίζεται στα 3,5 m και δημιουργείται ένας συμπαγής όγκος, ο οποίος αποτελεί και την θερμική ζώνη του μοντέλου.



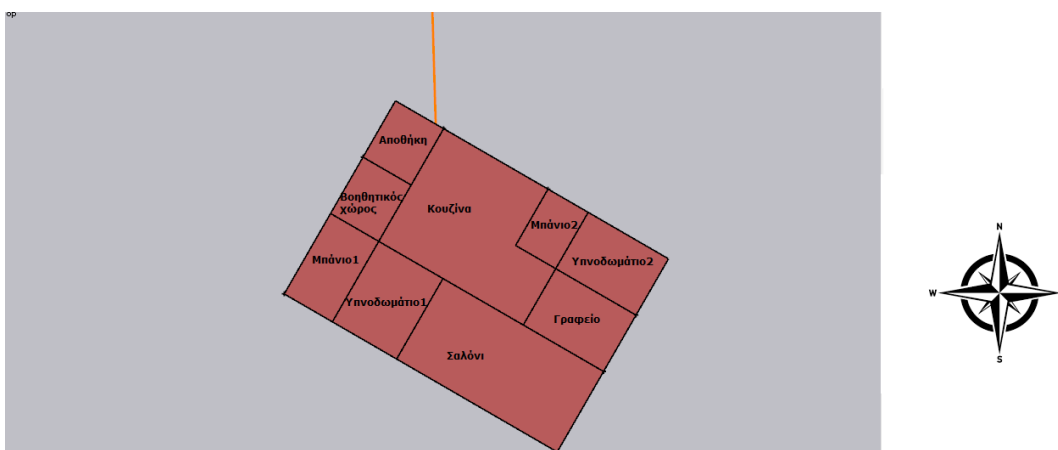
Εικόνα 5.3: Σχεδιασμός κάτοψης



Εικόνα 5.4: Δημιουργία τρισδιάστατης μορφής

Σε συνέχεια για ότι αναφέρθηκε για τον βιοκλιματικό σχεδιασμό αξίζει να σημειωθεί ότι το σχήμα, ο προσανατολισμός και η χωροθέτηση του κτιρίου στο οικόπεδο, διαδραματίζουν

σημαντικότερο ρόλο στην ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που αυτό θα λαμβάνει όπως και την πρόσβαση του ή όχι στους επικρατούντες ανέμους. Στο κλίμα της νότιας Ευρώπης, το ιδανικό σχήμα είναι προσανατολισμένο κατά τον άξονα ανατολής-δύσης με μεγαλύτερο ανάπτυγμα στη νότια όψη. Έτσι αξιοποιείται στο μέγιστο η ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση των κτιρίων τη χειμερινή περίοδο και για φυσικό φωτισμό όλο το χρόνο. Με βάση τα παραπάνω γίνεται και η διαρρύθμιση των εσωτερικών χώρων ανάλογα με τις θερμικές τους ανάγκες, δεδομένου όμως ότι το οικόπεδο έχει Νοτιοδυτικό προσανατολισμό. Συνεπώς, το σαλόνι τοποθετείται Νοτιοδυτικά, μαζί με το ένα υπνοδωμάτιο, το άλλο υπνοδωμάτιο σχεδιάζεται Ανατολικά, η κουζίνα Βορειοανατολικά και η αποθήκη μαζί με τον βοηθητικό χώρο Βορειοδυτικά.



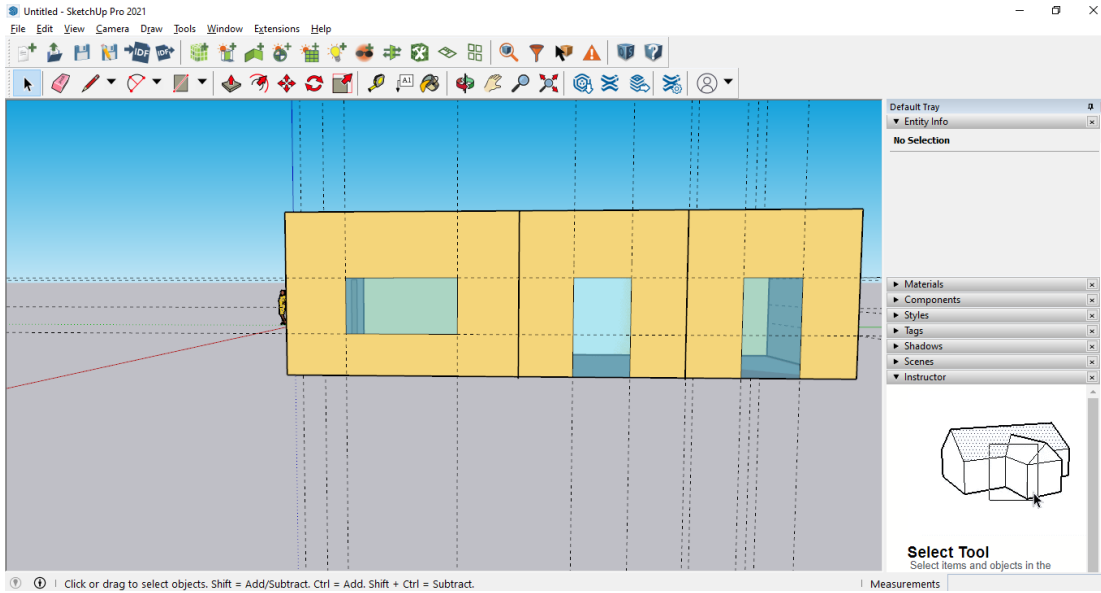
Εικόνα 5.5: Προσανατολισμός και ανάθεση χώρων

5.2.2 Σχεδιασμός Ανοιγμάτων

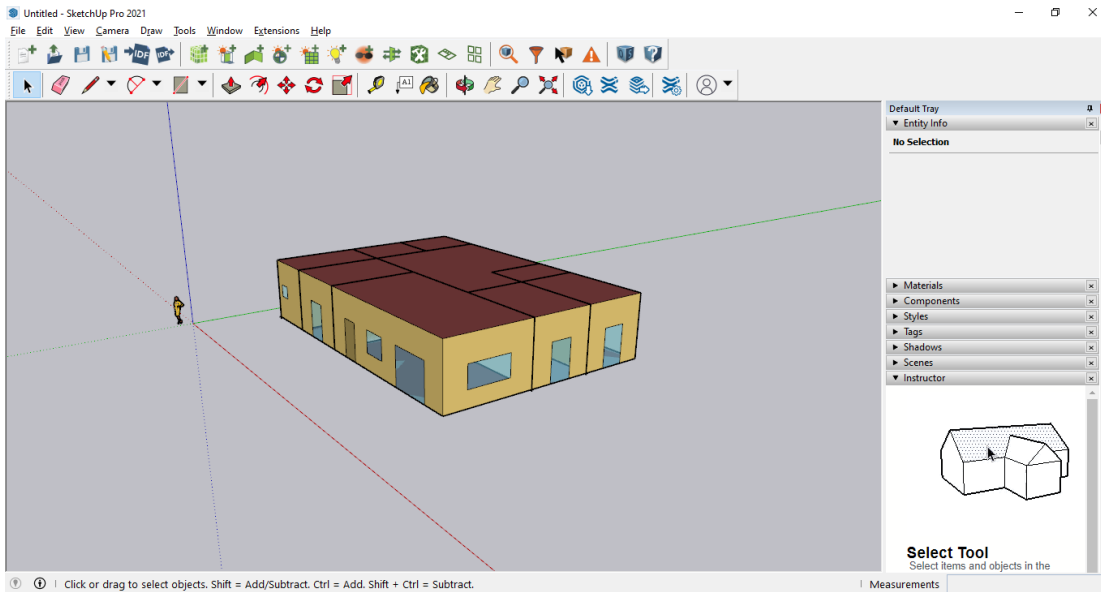
Επόμενο βήμα είναι η δημιουργία παραθύρων και πορτών σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Στην ίδια λογική τα περισσότερα ανοίγματα σχεδιάζονται προς το Νότο, εξασφαλίζοντας έτσι σημαντικά θερμικά ηλιακά κέρδη, ενώ προς το Βορρά είναι λιγότερα και μικρά αφού δεν δέχονται άμεσα ηλιακή ακτινοβολία.

Στο SketchUp τα ανοίγματα αναφέρονται ως Sub-Surfaces. Για να σχεδιαστούν πάνω σε μια επιφάνεια (Surface) πρέπει να επιλεχθεί αρχικά ο χώρος (Space) στον οποίο ανήκουν. Με διπλό κλικ επιλέγεται ο χώρος που θέλουμε και απομονώνεται από τους υπόλοιπους. Με την βοήθεια του εργαλείου **Tape Measure Tool** πραγματοποιείται ο σχεδιασμός βοηθητικών γραμμών έτσι ώστε ο σχεδιασμός τόσο των παραθύρων όσο και των πορτών να είναι ακριβής. Τελικά μέσω του εργαλείου **Rectangle** σχεδιάζουμε τα παράθυρα και τις πόρτες. Μια Sub-Surface γίνεται αντιληπτή από το πρόγραμμα ως πόρτα (Door) σε περίπτωση που βρίσκεται σε επαφή με το δάπεδο και απεικονίζεται ως μη διαφανές

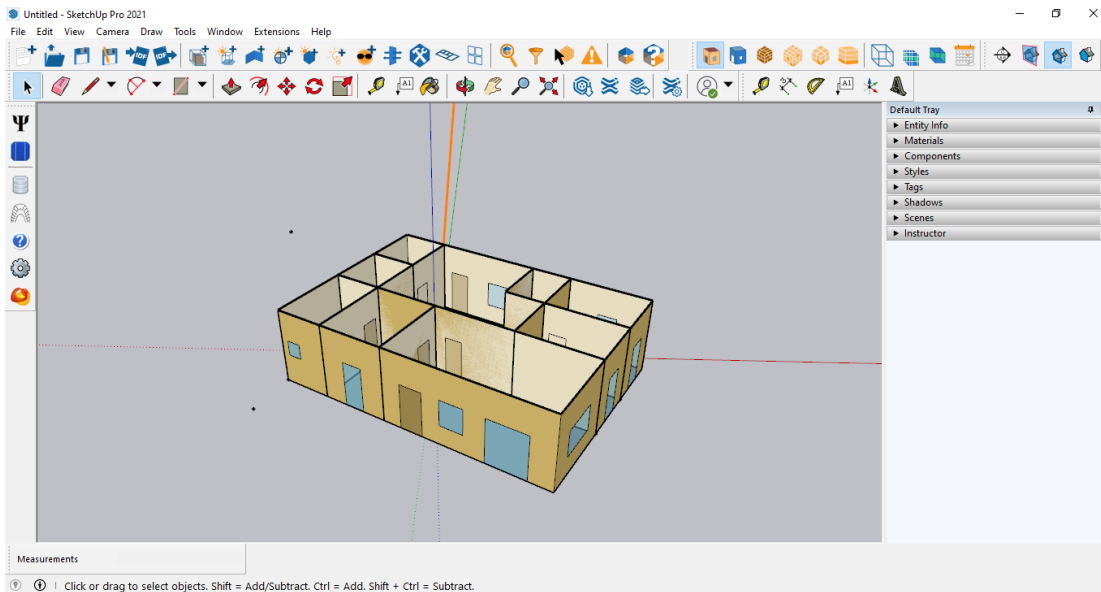
στοιχείο, ενώ γίνεται αντιληπτή ως υαλοπίνακας (Window) και απεικονίζεται με διαφανές στοιχείο για τις υπόλοιπες περιπτώσεις.



Εικόνα 5.6: Σχεδιασμός ανοιγμάτων



Εικόνα 5.7: Τελικό αποτέλεσμα ανοιγμάτων

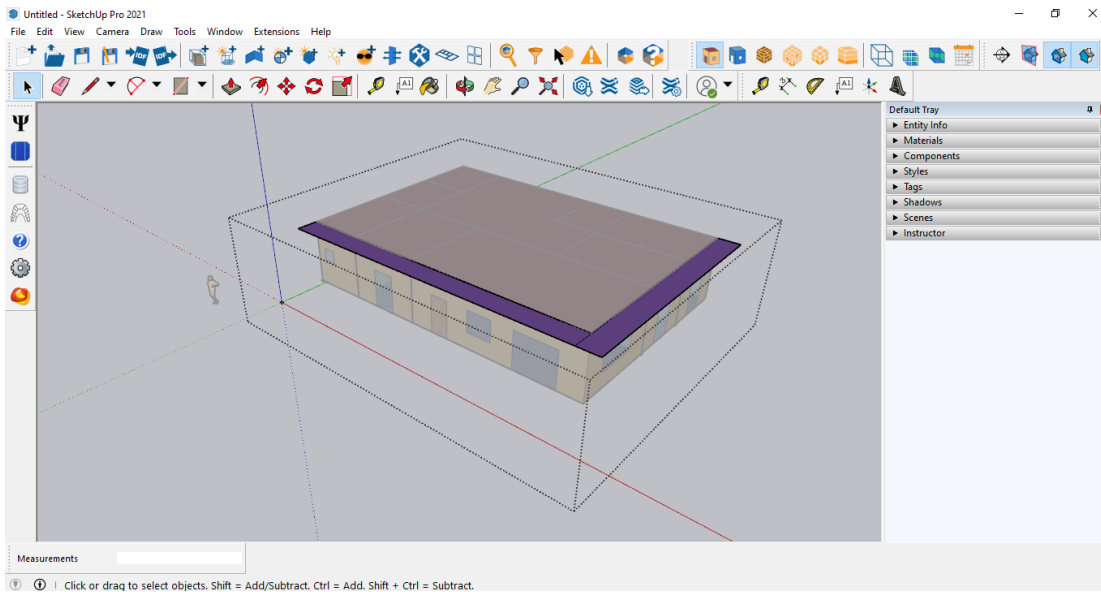


Εικόνα 5.8: Κάτοψη σε τομή με την εντολή Section Plane

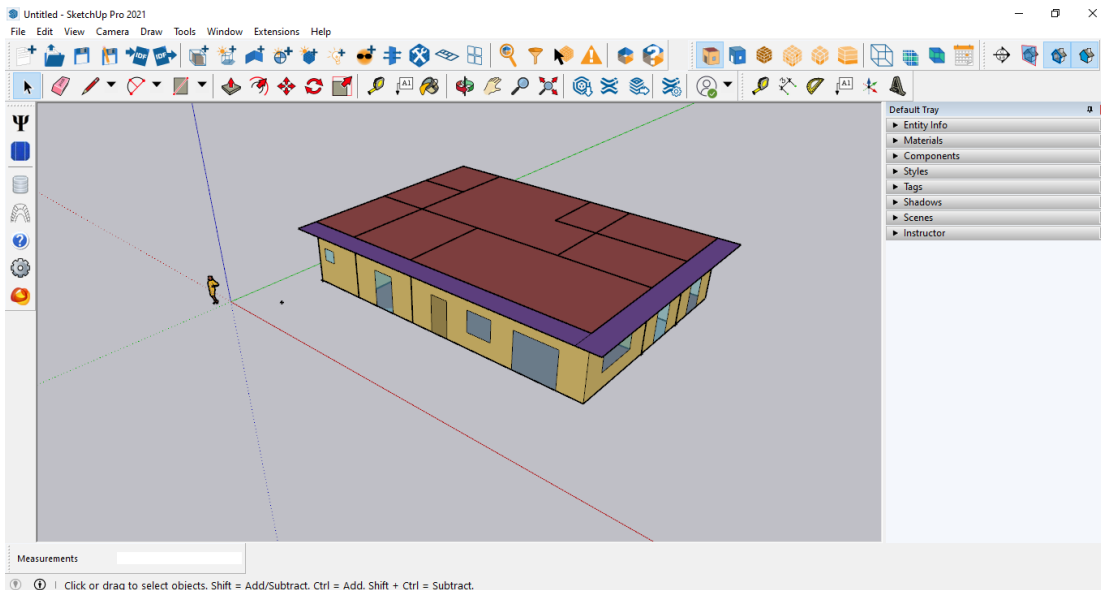
5.2.3 Διαμόρφωση επιφανειών σκίασης

Στο κτίριο επιλέγεται οριζόντια εξωτερική σκίαση στις πλευρές που έχουν Νότιο προσανατολισμό. Έτσι παρέχεται καλή ηλιακή προστασία το καλοκαίρι, δεν περιορίζονται τα ηλιακά κέρδη το χειμώνα, και δεν εμποδίζεται ο φυσικός φωτισμός και ο φυσικός αερισμός.

Μια επιφάνεια σκίασης εισάγεται με την εντολή **New Shading Surface Group**. Με την εισαγωγή της θερμικής ζώνης εμφανίζεται ένας μωβ κύβος ο οποίος αφού επιλεγθεί με διπλό κλικ ενεργοποιείται η σκίαση και οποιαδήποτε επιφάνεια σχεδιάζεται, γίνεται αντιληπτή ως επιφάνεια σκίασης από το πρόγραμμα. Στη συνέχεια σχεδιάζονται οι επιφάνειες σκίασης με τη χρήση του εργαλείου **Line**.

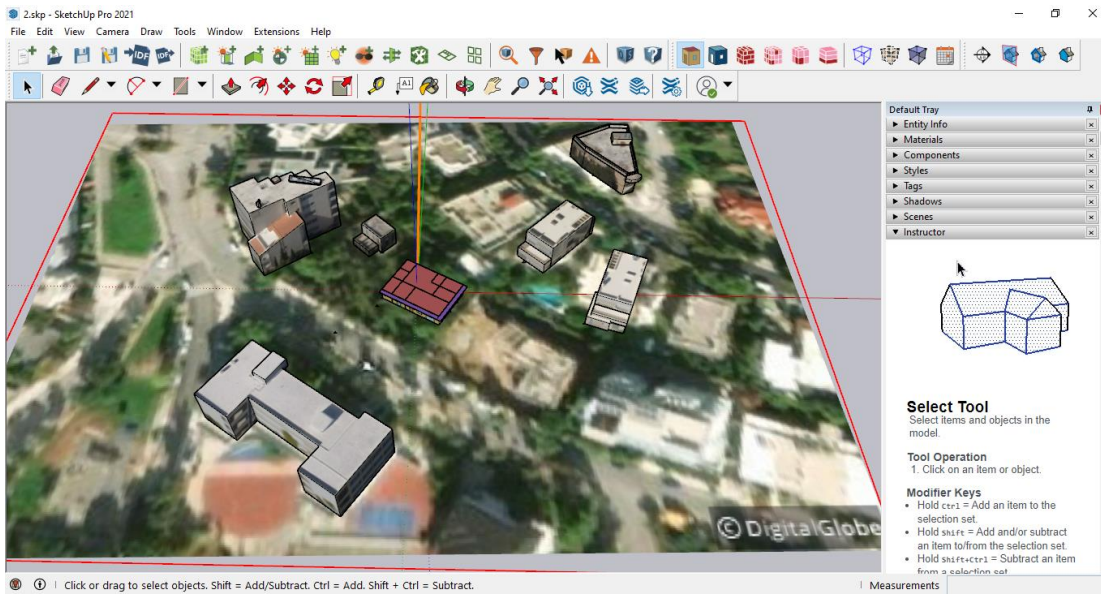


Εικόνα 5.9: Σχεδιασμός επιφανειών σκίασης

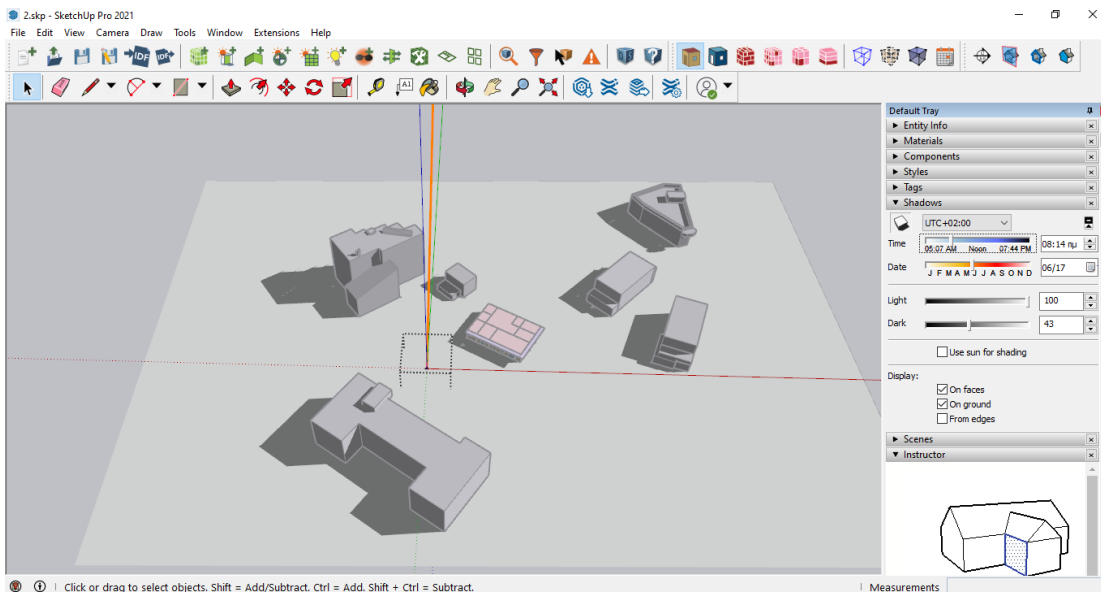


Εικόνα 5.10: Αποτέλεσμα μετά την τοποθέτηση σκίασης

Για να ολοκληρωθεί ο ηλιασμός του κτιρίου διαμορφώνεται ο περιβάλλοντας χώρος του. Με την εντολή **Shading Surface group** σχεδιάζονται τα γειτονικά κτίρια ώστε να ληφθεί υπόψη η σκίαση που προκύπτει από αυτά.



Εικόνα 5.11: Διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου

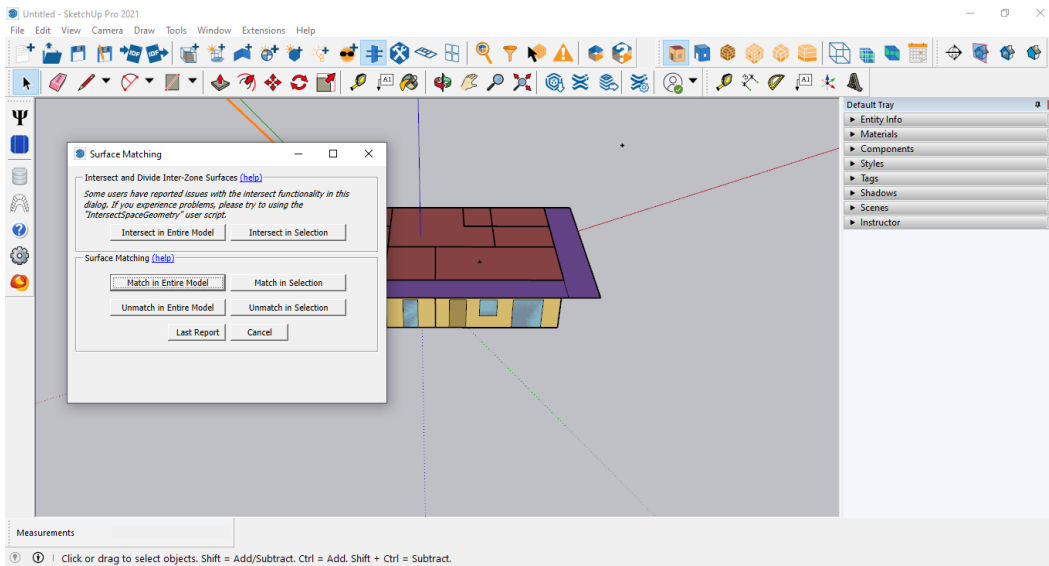


Εικόνα 5.12: Μελέτη ηλιασμού

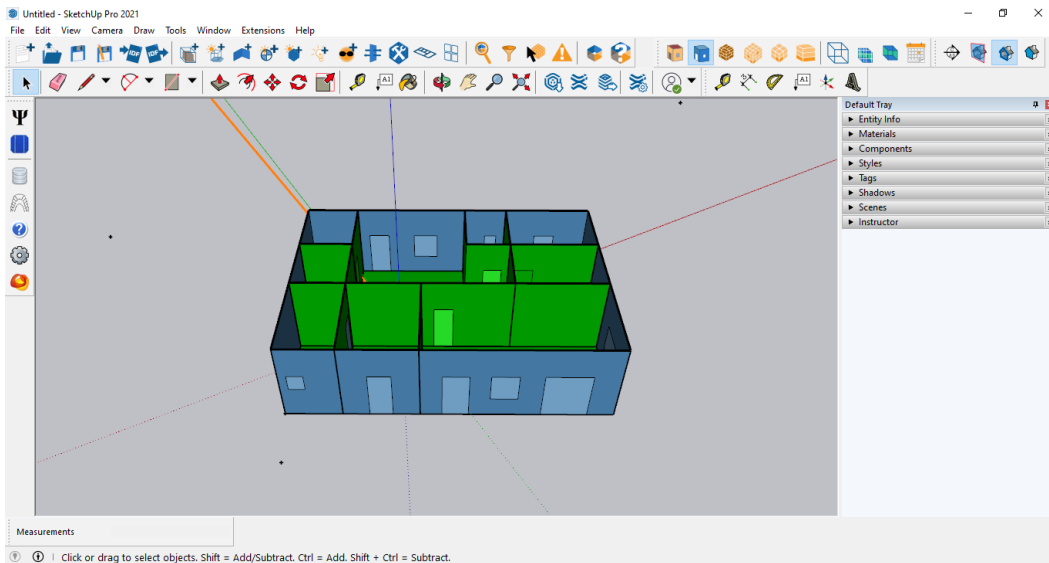
5.2.4 Surface matching

Εφόσον ολοκληρώθηκε ο σχεδιασμός της γεωμετρίας του κτιρίου συνέχεια έχει η αντιστοίχιση των επιφανειών που εφάπτονται (δάπεδα, τοίχοι, οροφή, πόρτες, παράθυρα)

και ο καθορισμός των επιφανειών που ανταλλάσσουν φορτία είτε μεταξύ τους είτε με τον εξωτερικό αέρα. Αυτό γίνεται μέσω της εντολής **Surface Matching**. Με εκτέλεση της εντολής **Match in Entire Model** και με την προϋπόθεση ότι δεν έχουν προκύψει σφάλματα, επιλέγοντας **Render By Boundary Condition** το εσωτερικό του κτιρίου θα είναι το παρακάτω:

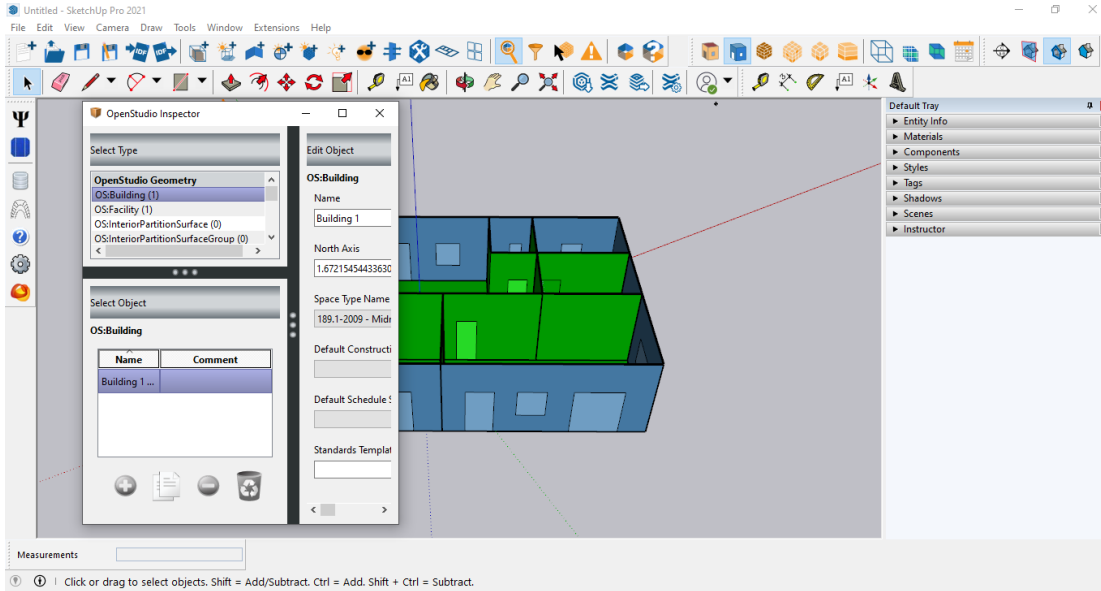


Εικόνα 5.13: Εντολή Surface Matching



Εικόνα 5.14: Render By Boundary Condition μετά την εκτέλεση της εντολής Surface Matching

Σε περίπτωση που κάποια επιφάνεια (Surface) ή υπό-επιφάνεια (Sub-Surface) δεν έχει προσδιοριστεί σωστά, αυτό μπορεί να γίνει χειροκίνητα μέσω της εντολής **Inspector** του Openstudio Plug-in, οποίο παρέχει όλες τις πληροφορίες, γεωμετρικές και ενεργειακές, που αφορούν τόσο ολόκληρο το μοντέλο όσο και κάθε χώρο που το απαρτίζει ξεχωριστά.

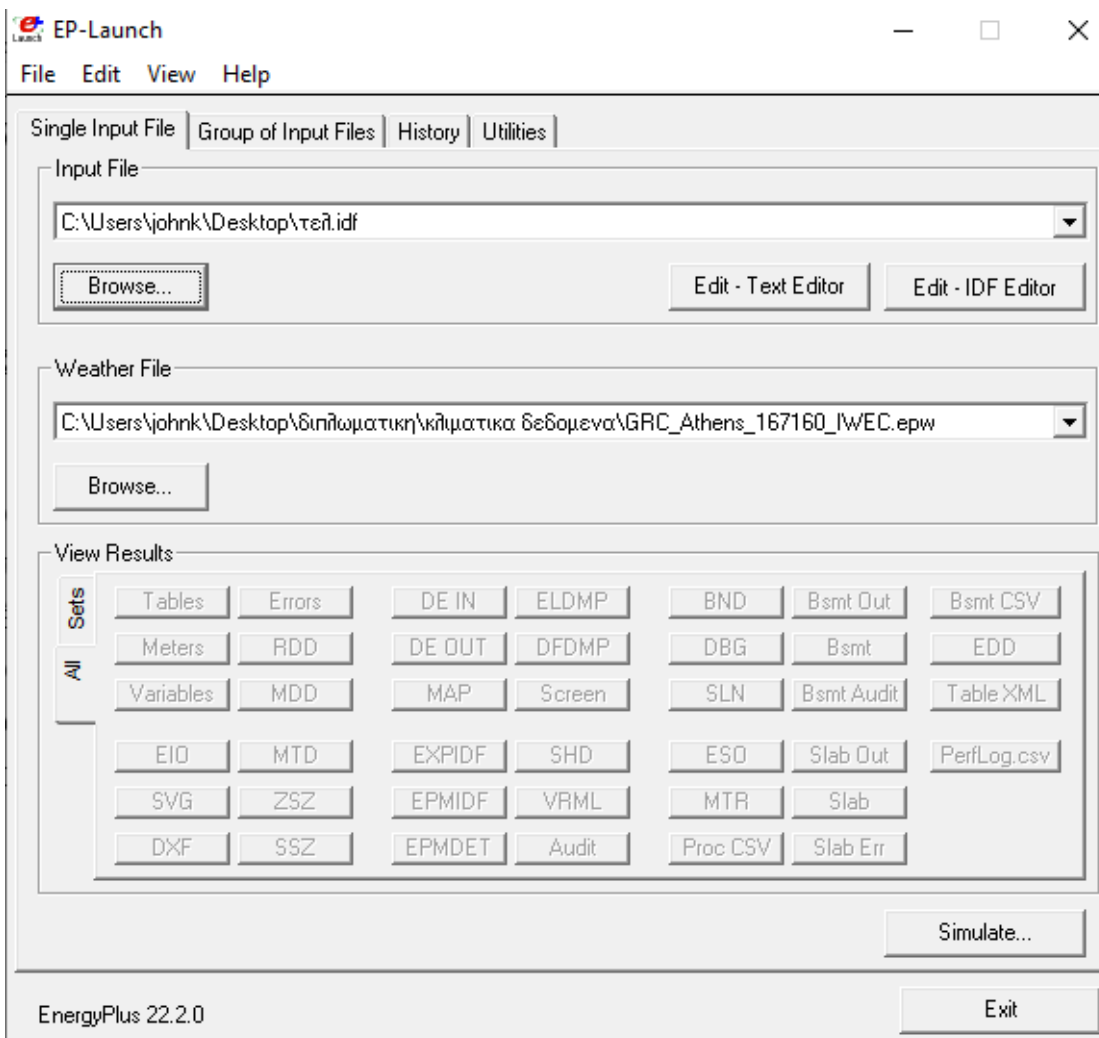


Εικόνα 5.15: Εντολή Inspector

Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του κτιρίου τελευταίο βήμα είναι η εξαγωγή του αρχείου σε μορφή IDF. Αυτό γίνεται μέσω της εντολής **Export EnergyPlus Idf**.

6. Ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου με χρήση του λογισμικού Energy Plus

Όπως έχει αναφερθεί η προσομοίωση στο EnergyPlus θα γίνει με τα υποπρογράμματα EP-Launch και IDF Editor. Στο EP-Launch ο χρήστης επιλέγει το αρχείο που θέλει να επεξεργαστεί κάτω από το **Input File** και τα κλιματικά δεδομένα κάτω από το **Weather File**. Τα κλιματικά δεδομένα αντλήθηκαν από την ιστοσελίδα του EnergyPlus στην ενότητα weather. Για την Ελλάδα είναι διαθέσιμα για 3 πόλεις, ανάμεσα σε αυτές και η Αθήνα για την οποία επιλέχθηκαν.



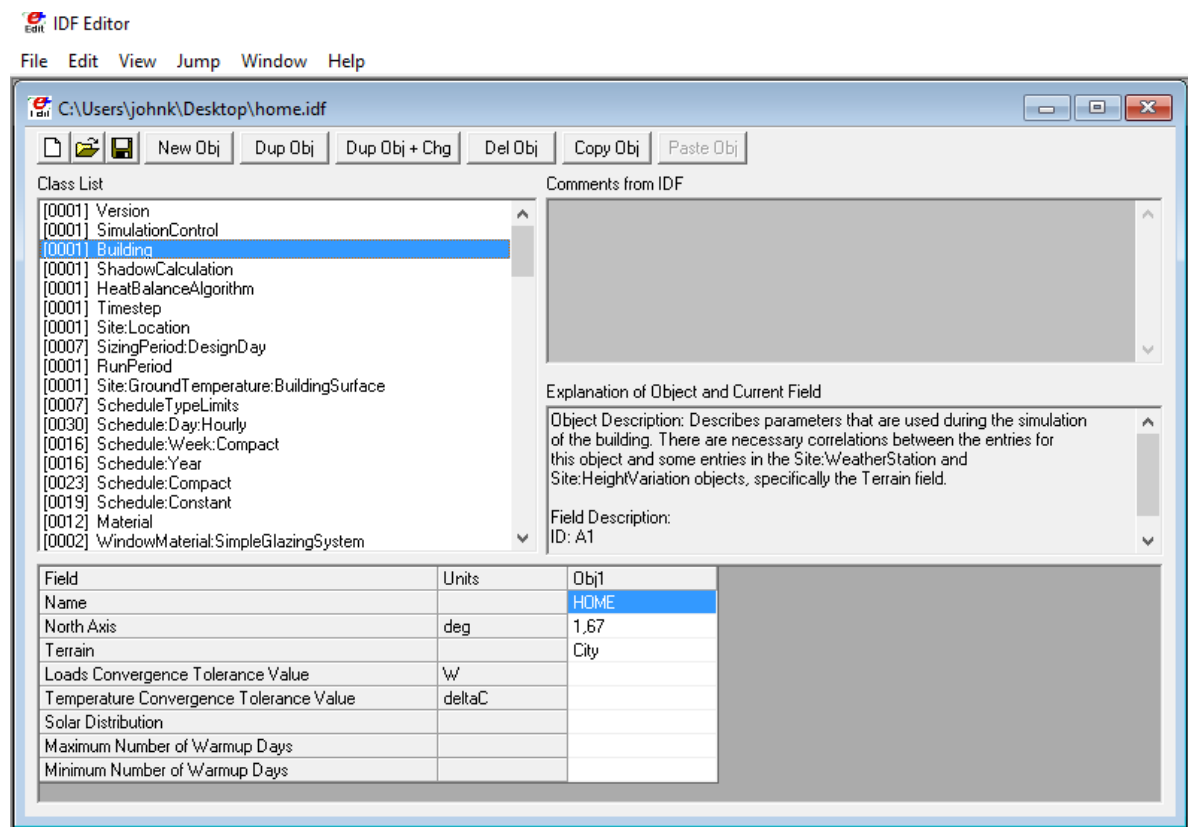
Εικόνα 6.1: Υποπρόγραμμα EP-Launch

Στη συνέχεια με την επιλογή της εντολής **Edit- IDF Editor** εμφανίζεται το περιβάλλον του υποπρογράμματος IDF Editor στο οποίο θα γίνει η επεξεργασία του αρχείου. Εκεί διατίθενται επιλογές οι οποίες είναι ταξινομημένες σε κατηγορίες (Groups) και υποκατηγορίες. Κάθε υποκατηγορία αποτελείται από τα Fields καθένα από τα οποία αντιστοιχεί σε ένα Object που επεξεργάζεται από το χρήστη. Βοήθημα σε όλη την διαδικασία αποτελεί το Engineering Reference από τα αρχεία (documentation) του Energyplus, όπου παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι κατηγορίες και υποκατηγορίες του προγράμματος.

6.1 Κατηγορία Simulation Parameters

6.1.1 Building

Ορίζεται το όνομα του κτιρίου (HOME), η θέση του σε σχέση με τον βορρά (1,67°) και ο τύπος του εδάφους (city).

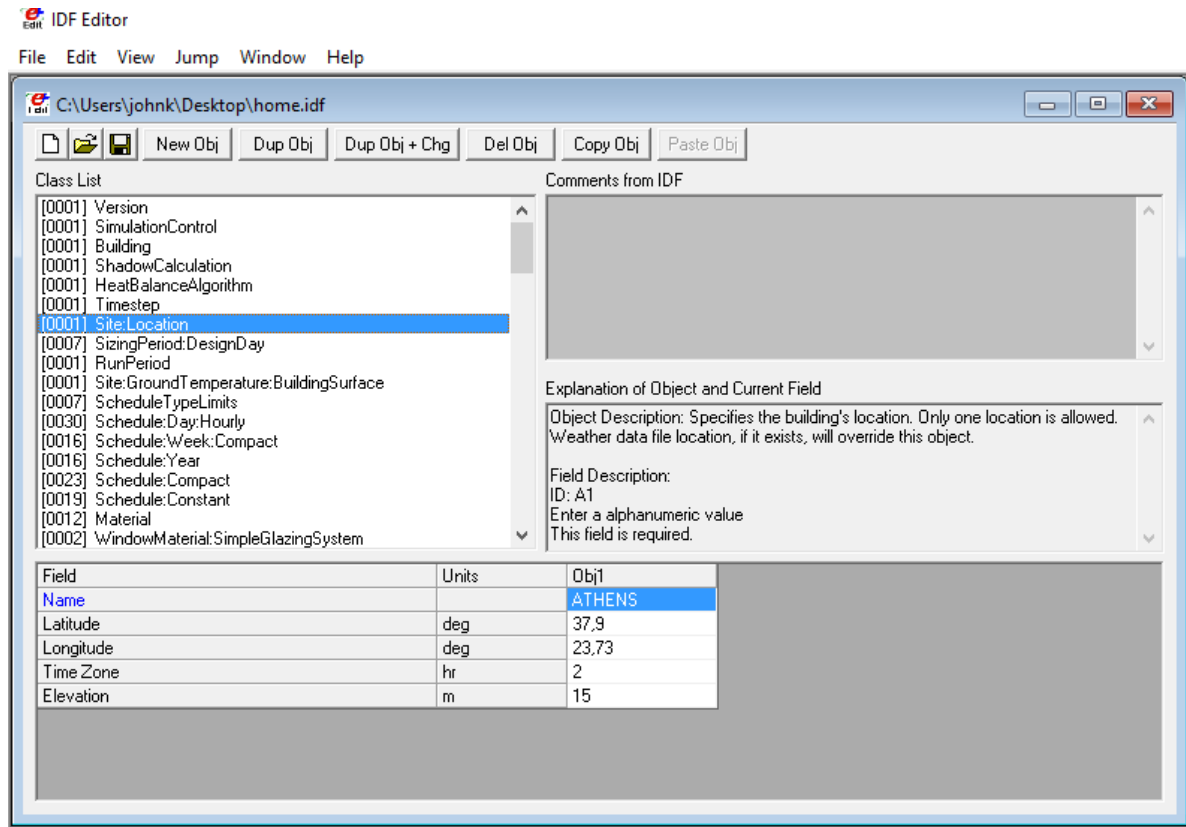


Εικόνα 6.2: Υποκατηγορία Building

6.2 Κατηγορία Location and Climate

Υποκατηγορία Site:Location

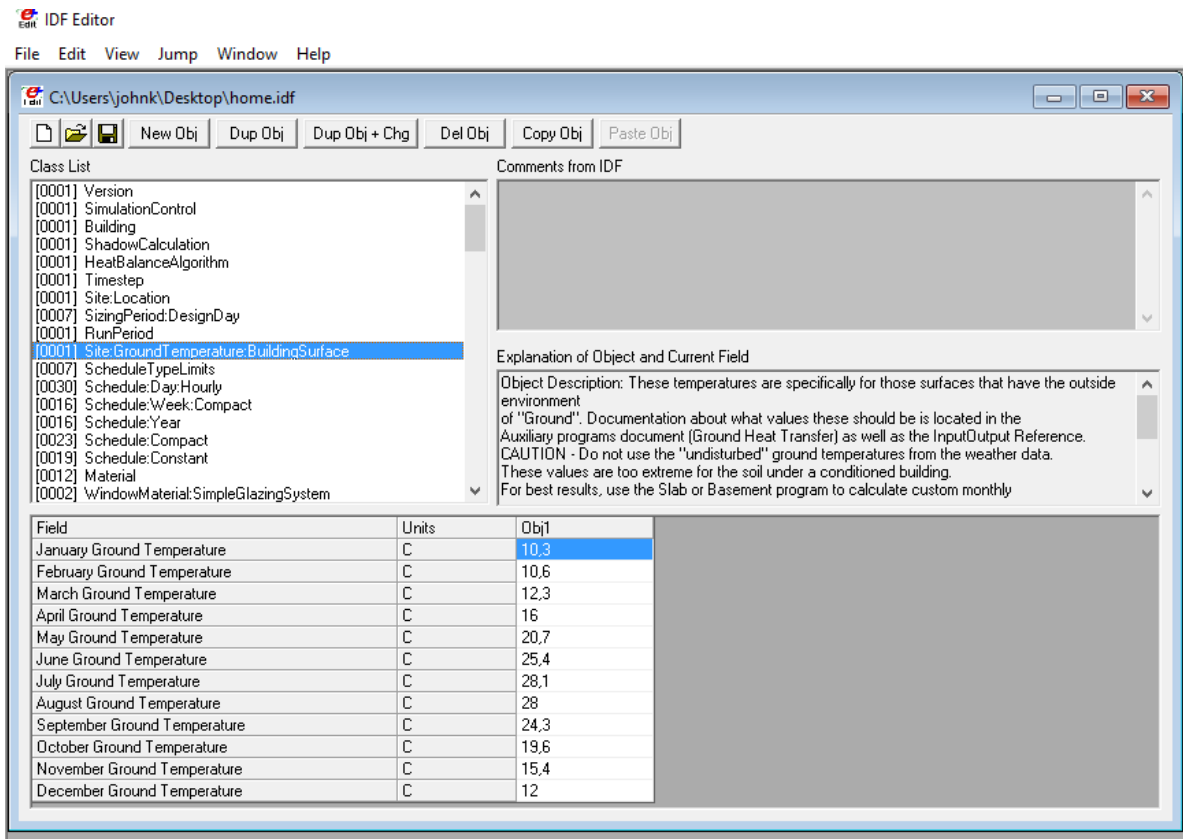
Ορίζονται οι συντεταγμένες του κτιρίου και το υψόμετρό του.



Εικόνα 6.3: Υποκατηγορία Site: Location

Υποκατηγορία Site: GroundTemperature: Building surface

Ορίζονται οι μηνιαίες θερμοκρασίες επιφάνειας του εδάφους. Καθώς δεν υπάρχουν μετεωρολογικά δεδομένα για αυτές στον ελληνικό χώρο, λαμβάνονται κατά προσέγγιση ίσες με τις μηνιαίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος για την Αθήνα.



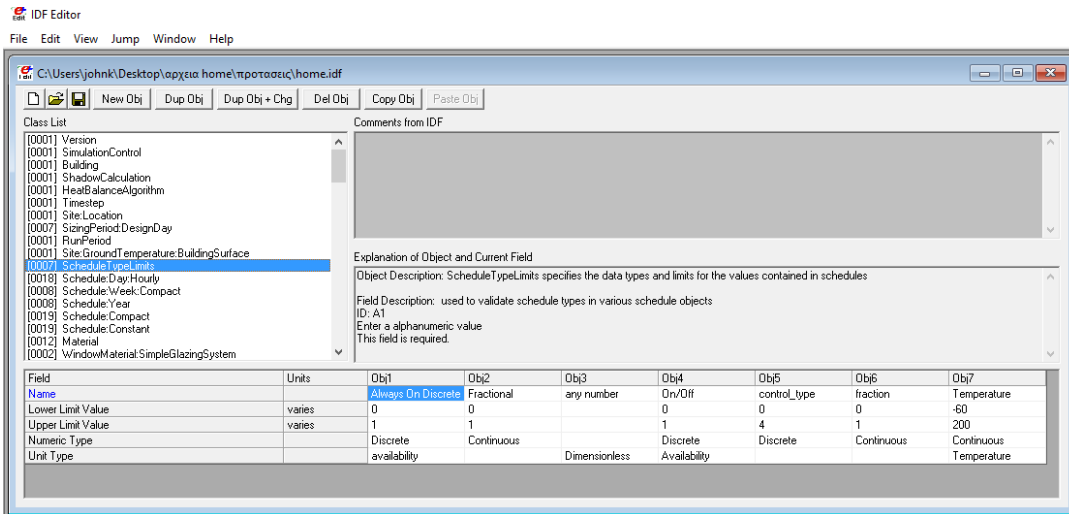
Εικόνα 6.4: Υποκατηγορία Site: GroundTemperature: Building surface

6.3 Κατηγορία Schedules

Υποκατηγορίες Schedules

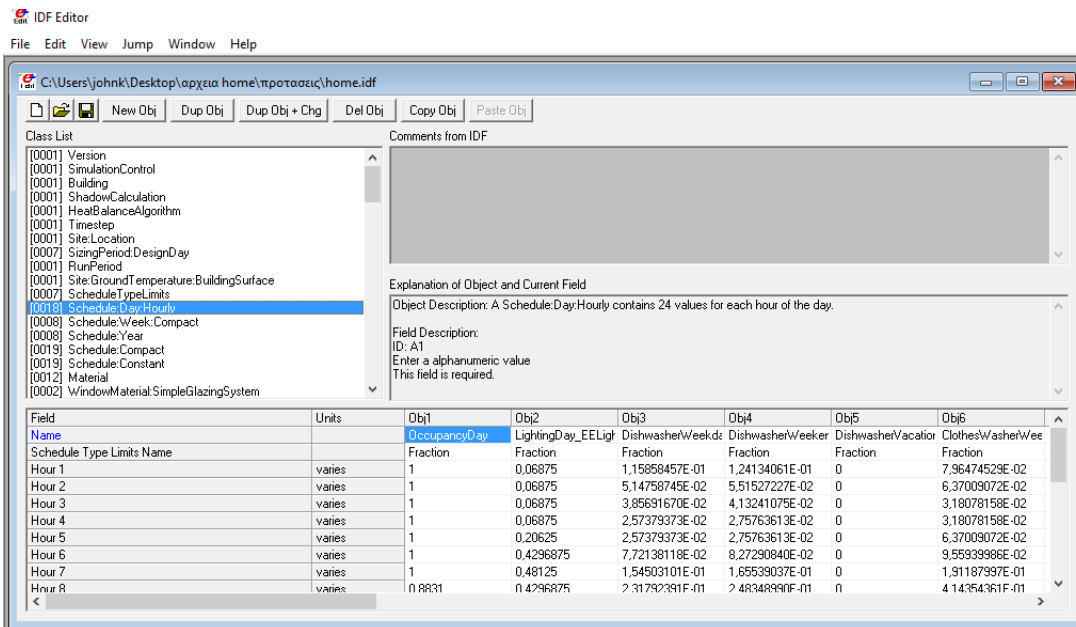
Στις παρακάτω υποκατηγορίες ρίξεται η χρονική διάρκεια λειτουργίας παραμέτρων που θα χρειαστούν για τη συνέχεια.

Στην υποκατηγορία *ScheduleTypeLimits* καθορίζονται τα δεδομένα και τα όρια των τιμών των χρονοδιαγραμμάτων.

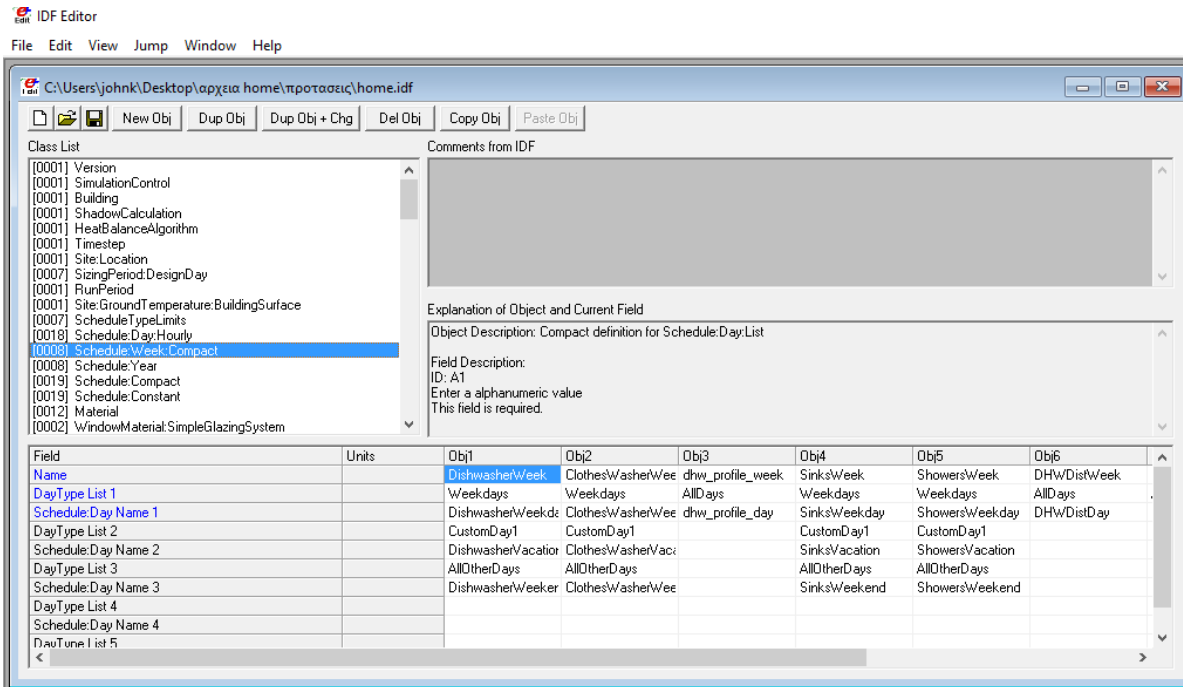


Εικόνα 6.5: ScheduleTypeLimits

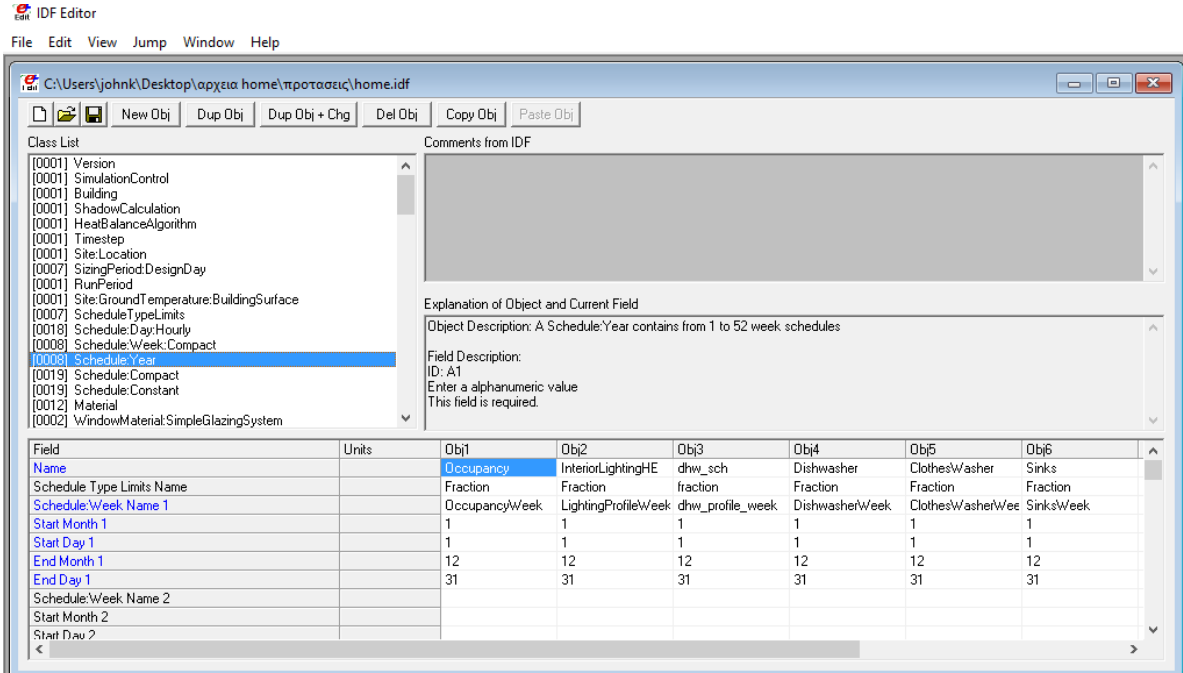
Στις υποκατηγορίες Schedule:Day:Hourly, Schedule:Week:Compact και Schedule:Year εισάγονται τα χρονοδιαγράμματα για τον αριθμό ατόμων που βρίσκονται στο σπίτι, για την ανθρώπινη δραστηριότητα, για το ZNX, για το πλυντήριο πιάτων και ρούχων, για τους νεροχύτες, τα μπάνια και των εσωτερικό φωτισμό. Τα στοιχεία αυτά λαμβάνονται από το υπουργείο ενέργειας των ΗΠΑ (U.S. Department of Energy), για πρωτότυπα κτίρια κατοικιών (residential prototype building).



Εικόνα 6.6: Schedule:Day:Hourly



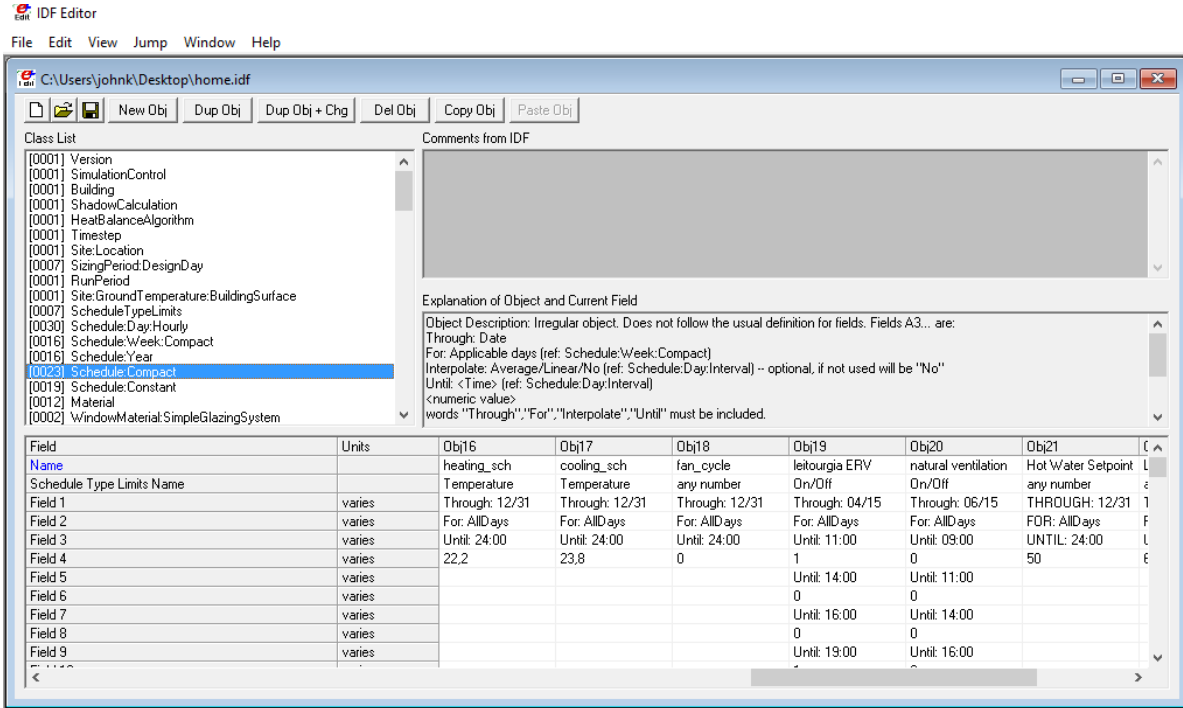
Εικόνα 6.7: Schedule:Week:Compact



Εικόνα 6.8: Schedule:Year

Υποκατηγορία Schedule:Compact

Εισάγονται χρονοδιαγράμματα με μεγαλύτερη ευκολία, καθώς είναι δυνατό να ελεγχθεί η ώρα, η μέρα και ο μήνας που είναι ενεργό ένα πρόγραμμα, μόνο από 1 object. Ορίζεται η λειτουργία των συστημάτων HVAC, του φυσικού αερισμού, του ηλεκτρικού εξοπλισμού και χρονοδιαγράμματα για εξοπλισμό που είναι συνεχώς διαθέσιμος.

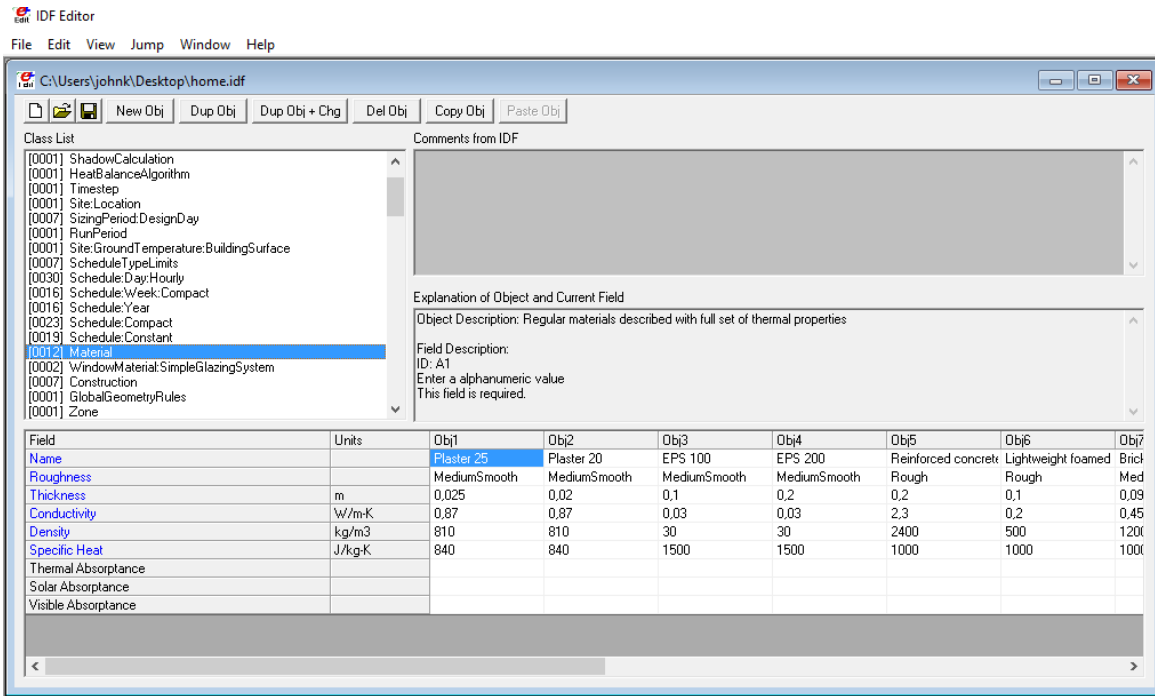


Εικόνα 6.9: Υποκατηγορία Schedule: Compact

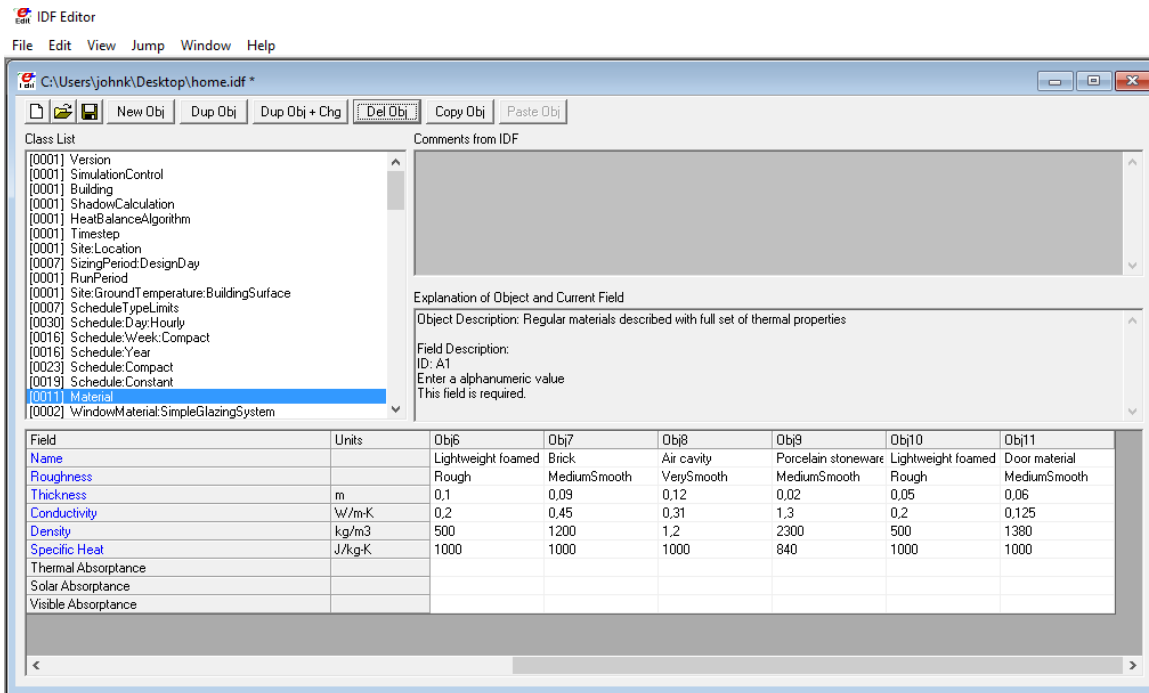
6.4 Κατηγορία Surface Construction Elements

Υποκατηγορία Material

Ορίζονται όλα τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή του κτιριακού κελύφους. Σε κάθε υλικό καθορίζονται οι θερμοφυσικές ιδιότητες τους (τραχύτητα, πάχος σε m, θερμική αγωγιμότητα λ σε W/mK, πυκνότητα σε kg/m³, ειδική θερμοχωρητικότητα σε J/kgK).



Εικόνα 6.10: Υποκατηγορία Material

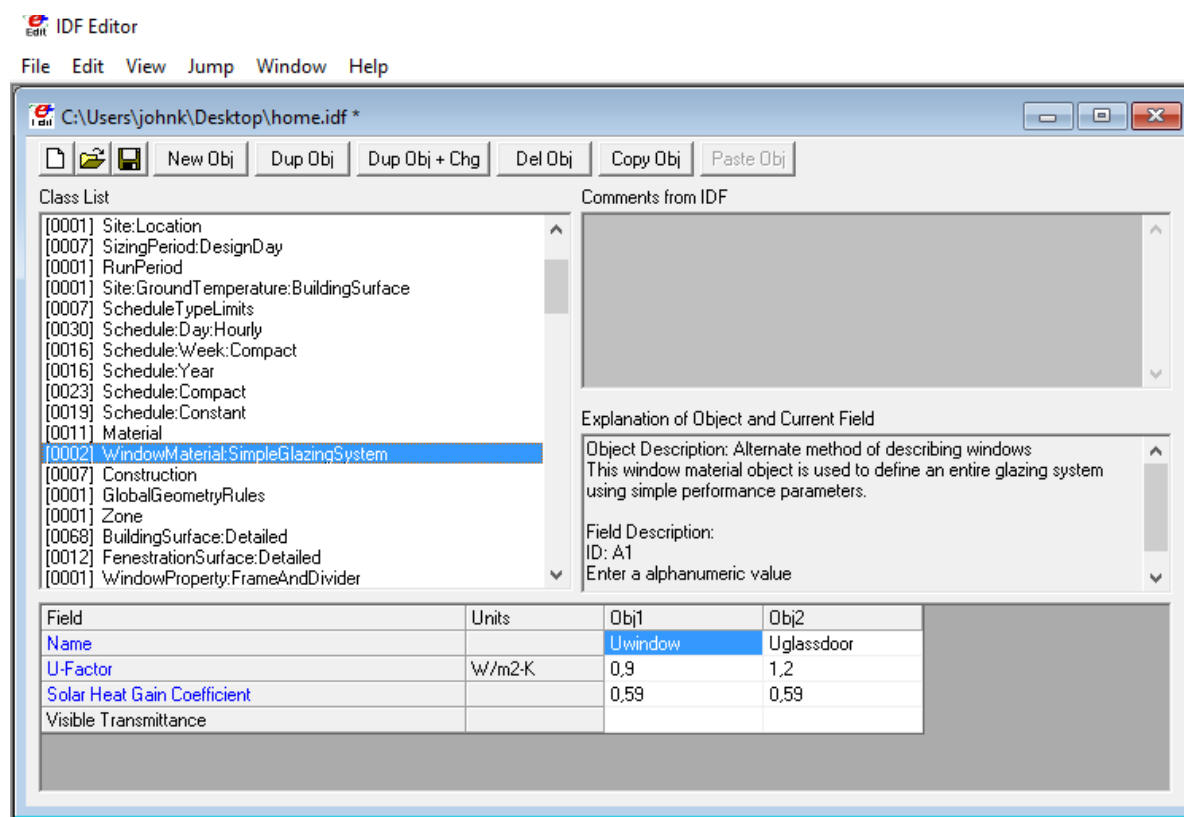


Εικόνα 6.11: Υποκατηγορία Material (2)

Για την επιλογή των υλικών δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη μόνωση και την αεροστεγανότητα του κελύφους. Για μόνωση χρησιμοποιήθηκε διογκωμένη πολυστερίνη (EPS), ένα ελαφρύ δύσκαμπτο μονωτικό υλικό πλαστικού αφρού, το οποίο παράγεται από συμπαγείς κόκκους πολυστερίνης. Είναι φιλικό προς το περιβάλλον, προσφέρει πολύ καλές θερμομονωτικές ιδιότητες, ενώ ταυτόχρονα έχει πολύ μικρό ίδιο βάρος καθώς αποτελείται από 98% εγκλωβισμένο αέρα.

Υποκατηγορία WindowMaterial: SimpleGlazingSystem

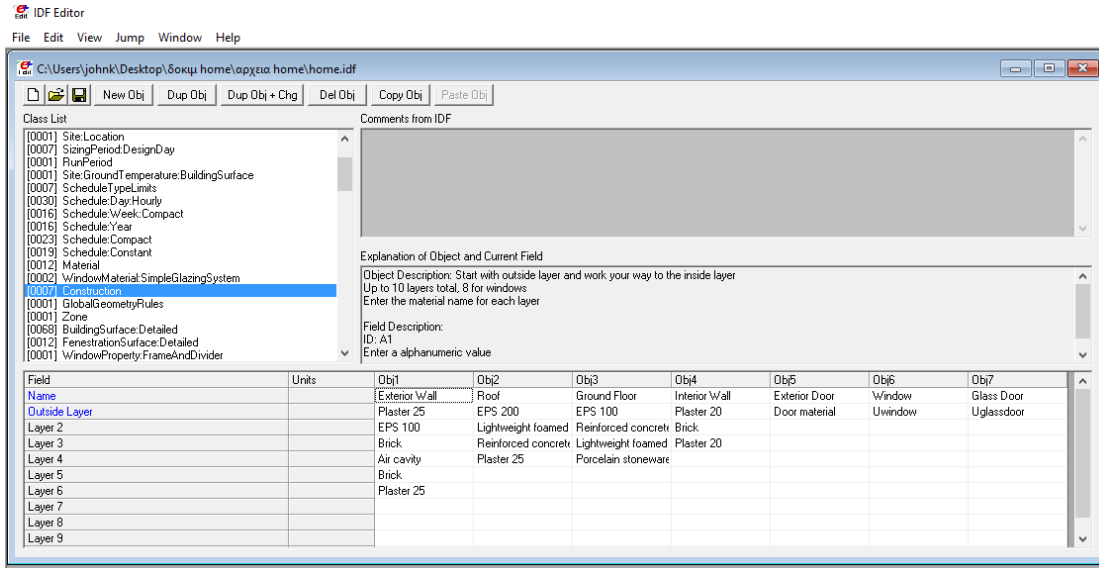
Ορίζονται τα δεδομένα για τις διαφανείς επιφάνειες. Η τιμή ολικού συντελεστή θερμοπερατότητας (U-value) που επιλέχθηκε για τους υαλοπίνακες είναι $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$, το οποίο αντιστοιχεί σε τριπλό υαλοπίνακα με ευγενές αέριο, ενώ για τα συρόμενα κουφώματα $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Εικόνα 6.12: Υποκατηγορία WindowMaterial: SimpleGlazingSystem

Υποκατηγορία Construction

Ορίζεται το κέλυφος του κτιρίου εισάγοντας τα υλικά από την υποκατηγορία Material για τα αδιαφανή στοιχεία και από την υποκατηγορία WindowMaterial: SimpleGlazingSystem για τα διαφανή στοιχεία. Η εισαγωγή των στρώσεων ξεκινάει από την εξωτερική προς την εσωτερική επιφάνεια του δομικού στοιχείου.

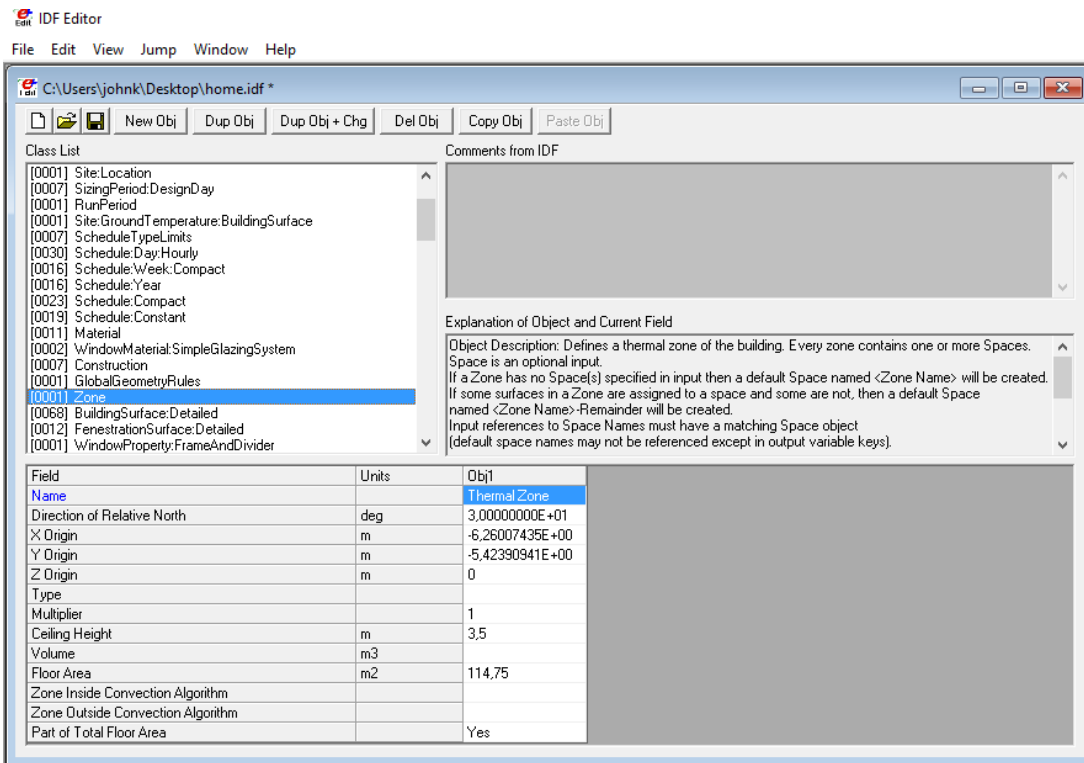


Εικόνα 6.13: Υποκατηγορία Construction

6.5 Κατηγορία Thermal Zones and Surfaces

Υποκατηγορία Zone

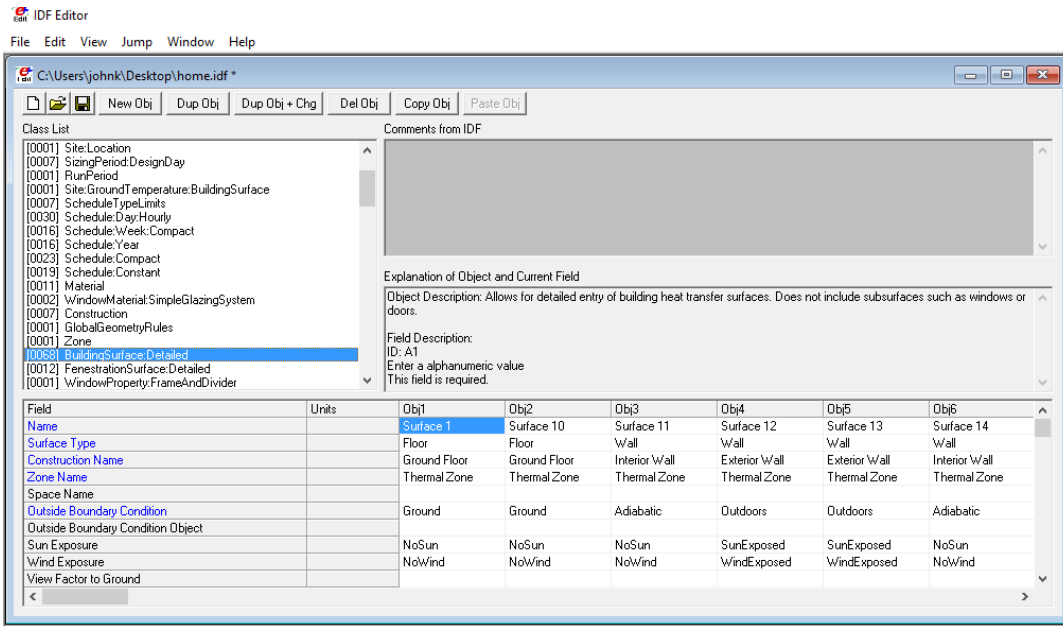
Ορίζεται η θερμική ζώνη του κτιρίου.



Εικόνα 6.14: Υποκατηγορία Zone

Υποκατηγορία BuildingSurface: Detailed

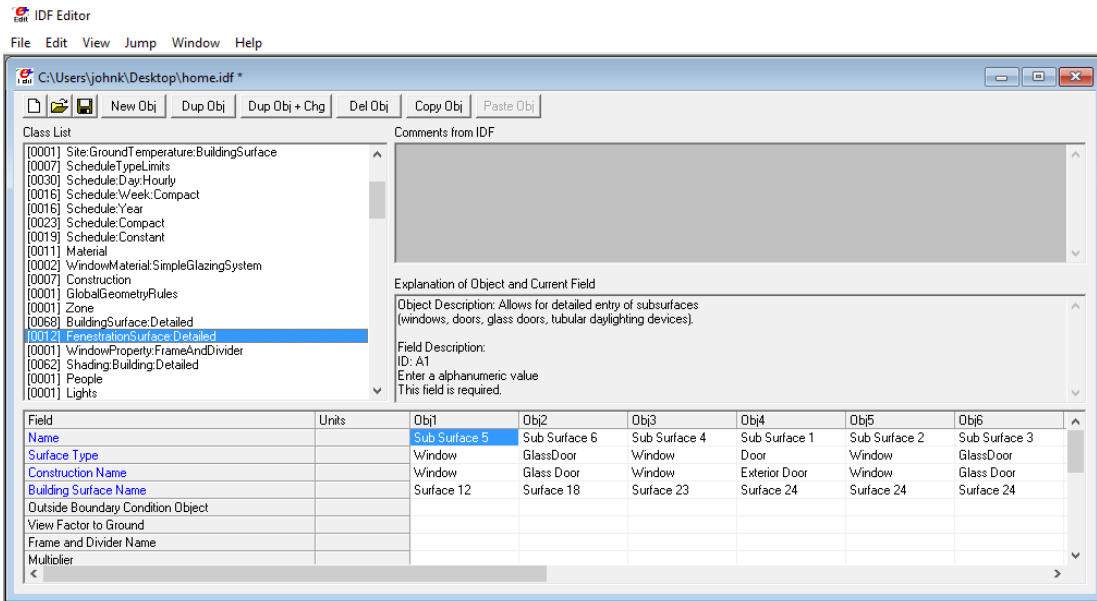
Περιγράφονται λεπτομερώς όλες οι επιφάνειες του κτηρίου (δάπεδα, οροφές, εξωτερικοί και εσωτερικοί τοίχοι) και καθορίζεται η αλληλεπίδραση των στοιχείων αυτών με το εξωτερικό περιβάλλον και τον εσωτερικό χώρο.



Εικόνα 6.15: Υποκατηγορία BuildingSurface: Detailed

Υποκατηγορία FenestrationSurface: Detailed

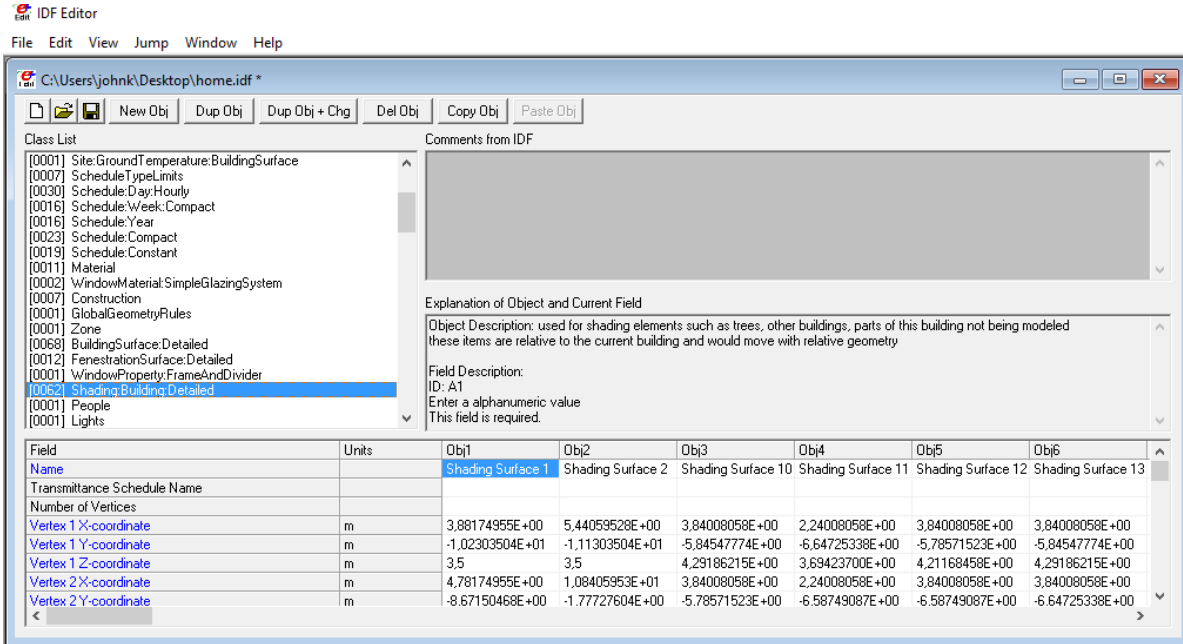
Οριζοντι όλες οι υποεπιφάνειες, οι οποίες αναφέρονται στα ανοίγματα (πόρτες, παράθυρα).



Εικόνα 6.16: Υποκατηγορία FenestrationSurface: Detailed

Υποκατηγορία Shading: Building: Detailed

Καταγράφονται αυτόματα από το πρόγραμμα όλες οι επιφάνειες σκίασης της κατοικίας μαζί με τις συντεταγμένες τους. Ουσιαστικά πρόκειται για την οριζόντια σκίαση που έχει προστεθεί, καθώς και για την σκίαση που προκύπτει από τα φωτοβολταϊκά και τον ηλιακό συλλέκτη.

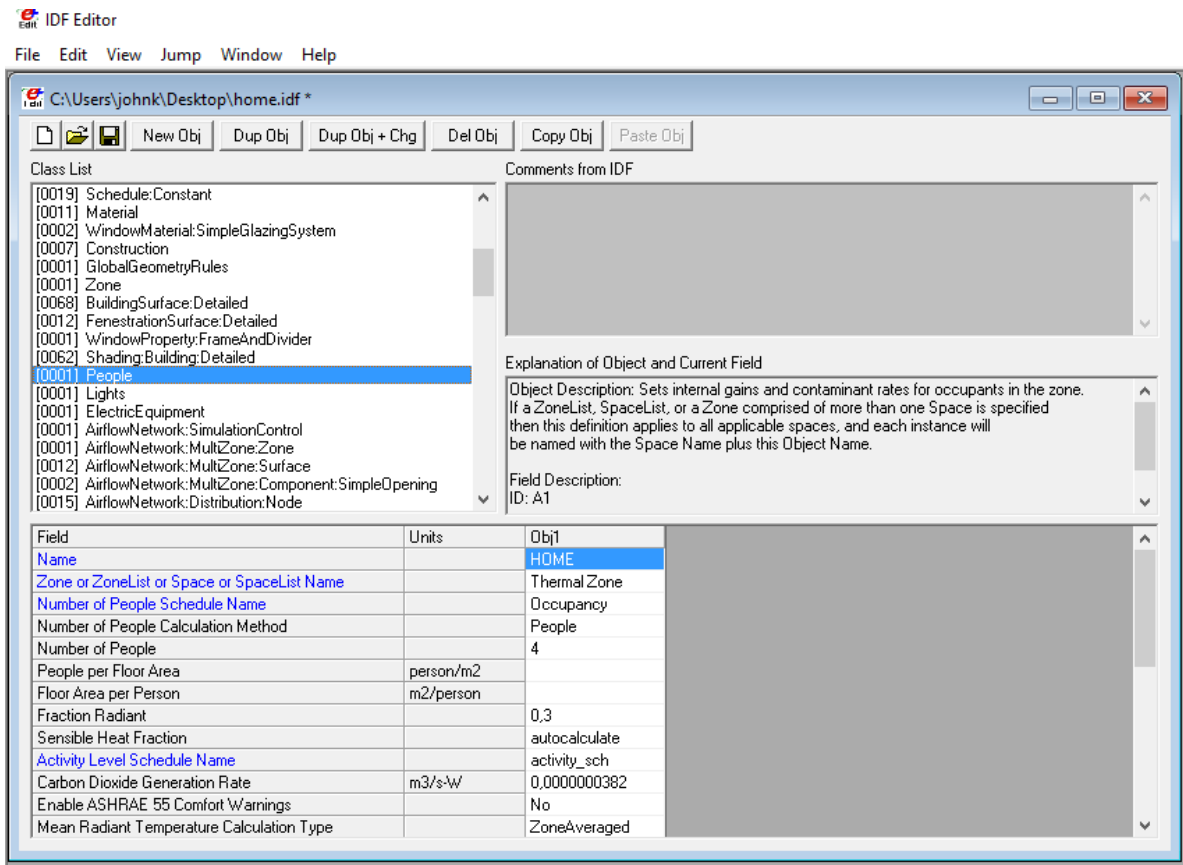


Εικόνα 6.17: Υποκατηγορία Shading: Building: Detailed

6.6 Κατηγορία Internal Gains

Υποκατηγορία People

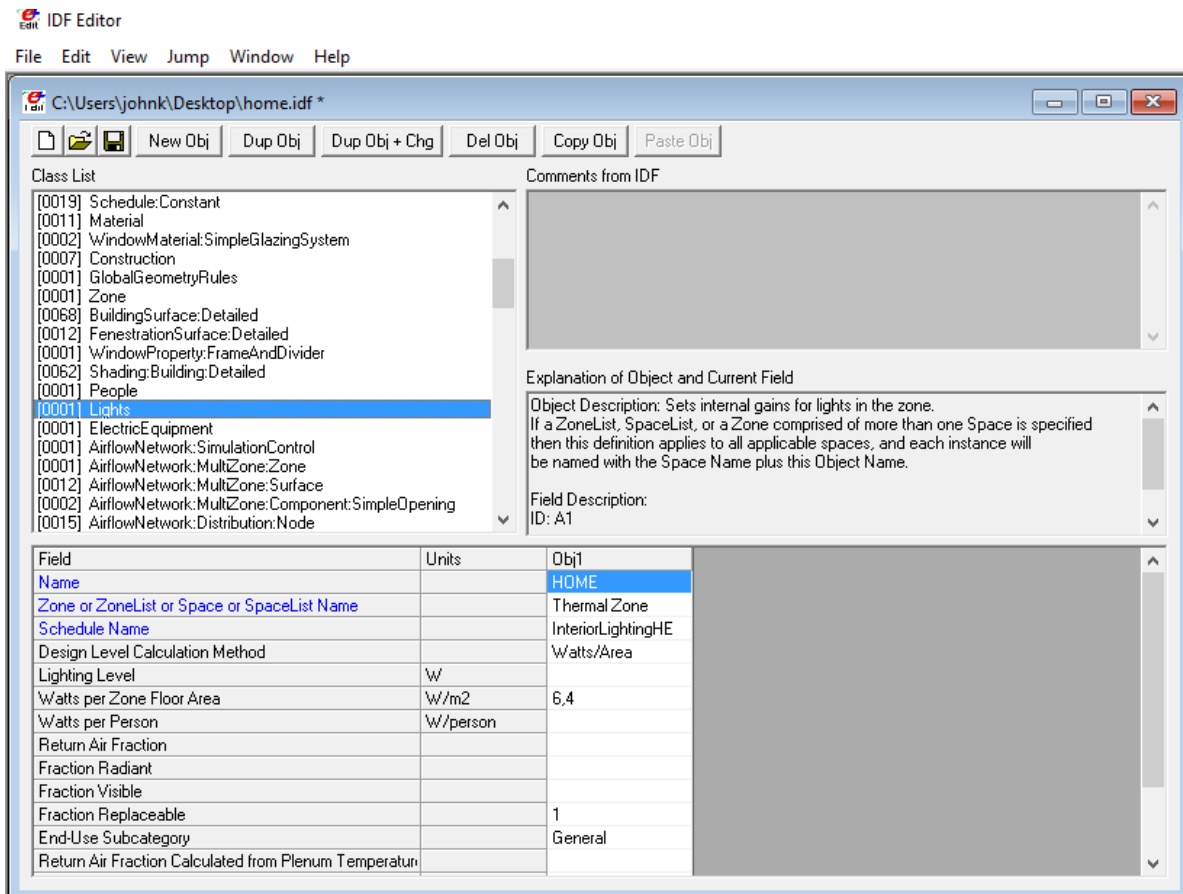
Ορίζονται οι παράμετροι υπολογισμού των εσωτερικών θερμικών κερδών στη θερμική ζώνη της κατοικίας, τα οποία προκύπτουν ως συνάρτηση της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η κατοικία σχεδιάστηκε για μια 4μελή οικογένεια. Δηλώνονται επίσης τα χρονοδιαγράμματα για τον αριθμό των ατόμων που βρίσκονται στο σπίτι κάθε ώρα (Occurancy) και για την ανθρώπινη δραστηριότητα (activity_sch).



Εικόνα 6.18: Υποκατηγορία People

Υποκατηγορία Lights

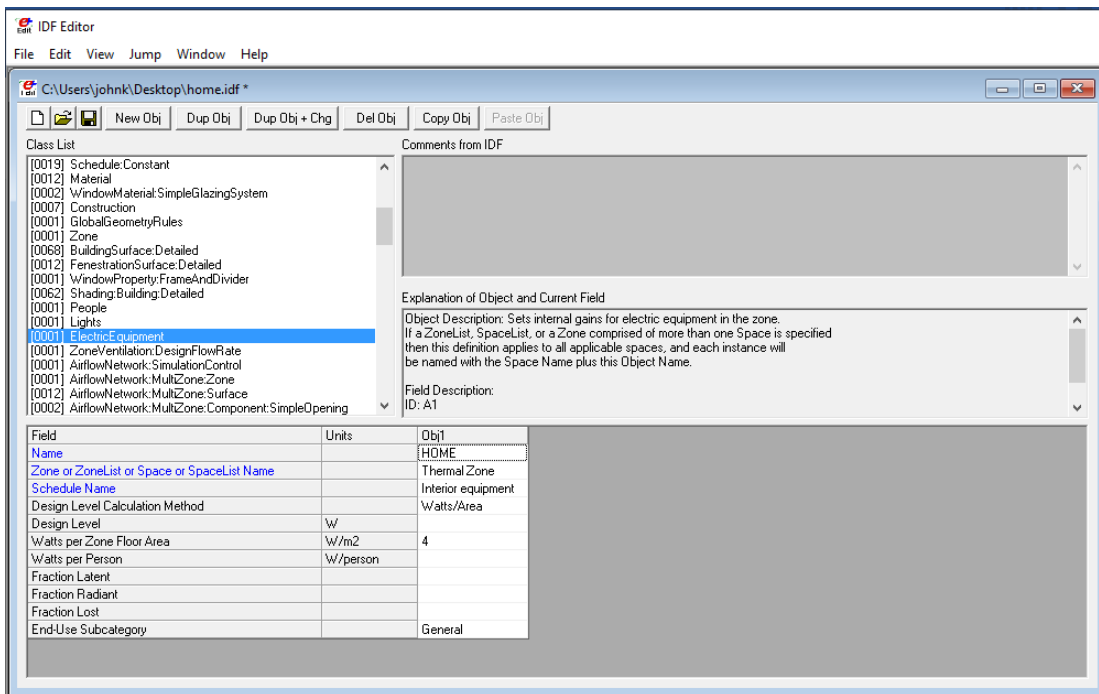
Ορίζονται όλες οι πληροφορίες σχετικά με το σύστημα ηλεκτρικού φωτισμού. Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2010 για μονοκατοικία προτείνεται ισχύς ανά τετραγωνικό 6,4 W/m². Καθορίζεται επίσης το χρονοδιάγραμμα για τη λειτουργία του (Interior Lightning HE).



Εικόνα 6.19: Υποκατηγορία Lights

Υποκατηγορία Electric Equipment

Ορίζονται όλες οι πληροφορίες σχετικά με τις ηλεκτρικές συσκευές. Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2010 για μονοκατοικία καθορίζεται τυπική τιμή ισχύος ανά τετραγωνικό 4 W/m². Επιλέγεται επίσης το χρονοδιάγραμμα για τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών (Interior Equipment).

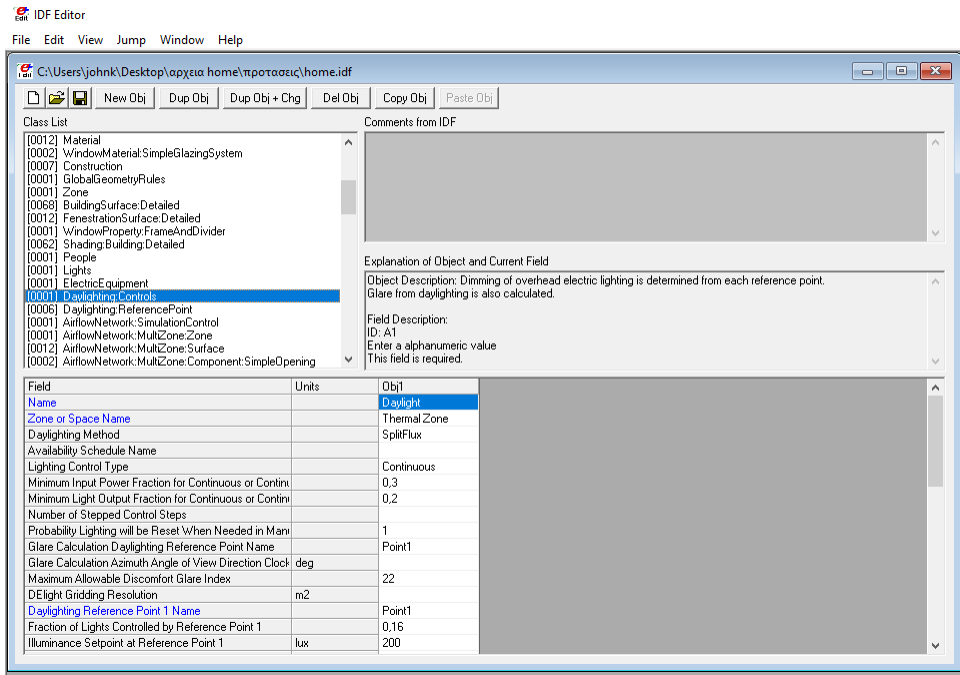


Εικόνα 6.20: Υποκατηγορία Electric Equipment

6.7 Κατηγορία Daylighting

Υποκατηγορία Daylighting:Controls

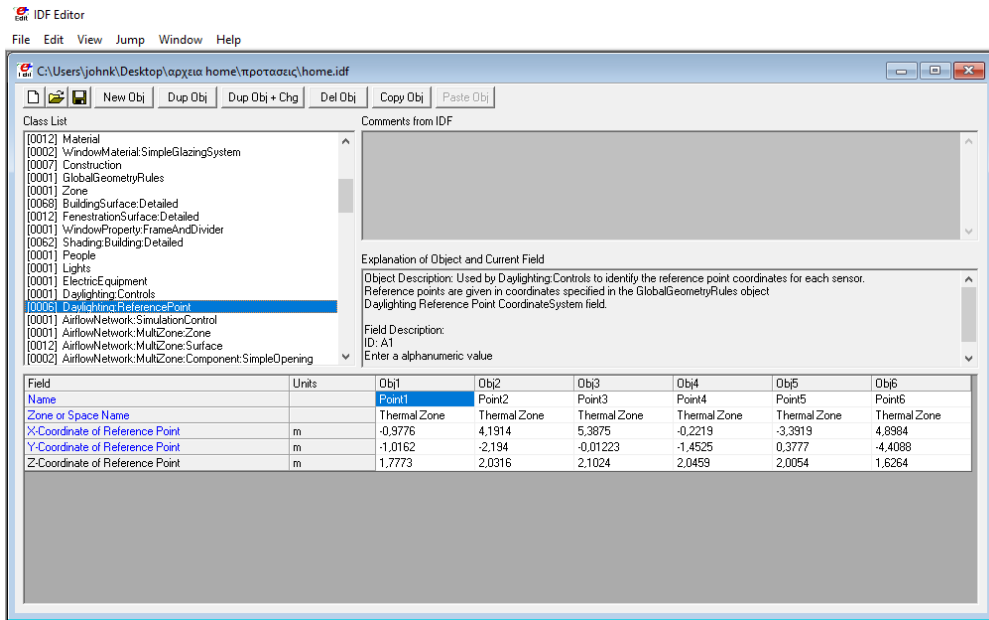
Υπολογίζεται πόσο μπορεί να μειωθεί ο ηλεκτρικός φωτισμός εκμεταλλευόμενος το φως της ημέρας. Ορίζεται συνεχής λειτουργία για τον έλεγχο φωτισμού, καθώς και τα ελάχιστα ποσοστά ισχύος εισόδου και φωτεινής ροής του. Εισάγονται, επίσης 6 σημεία αναφοράς, τα οποία βρίσκονται στους χώρους του κτιρίου και λειτουργούν σαν αισθητήρες φωτός.



Εικόνα 6.21: Υποκατηγορία Daylighting:Controls

Υποκατηγορία Daylighting:ReferencePoint

Καθορίζονται τα σημεία που αναφέρθηκαν στην υποκατηγορία Daylighting:Controls.



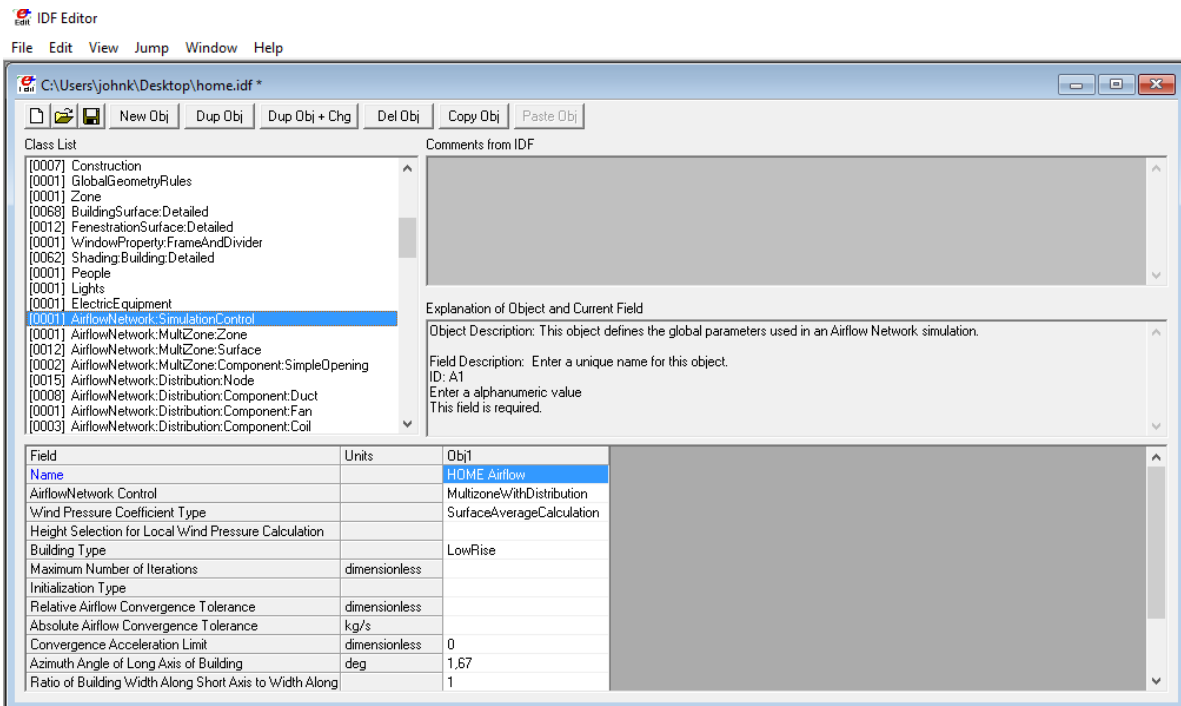
Εικόνα 6.22: Υποκατηγορία Daylighting:ReferencePoint

6.8 Κατηγορία Airflow Network

Παρουσιάζεται το σύστημα διανομής του αέρα το οποίο περιλαμβάνει τον αερισμό του κτιρίου (μηχανικό και φυσικό), τις διαρροές, τους αγωγούς, τους ανεμιστήρες, τις μονάδες κλιματισμού και τις συνδέσεις μεταξύ αυτών. Το μοντέλο αποτελείται από τον υπολογισμό των πιέσεων και της ροής του αέρα, τις θερμοκρασίες των κόμβων που συνδέονται οι συνιστώσες και τον υπολογισμό των αισθητών και λανθάνων φορτίων. Στη συνέχεια, το σύστημα θα συνδεθεί με την κατηγορία Air Distribution και θα δημιουργήσουν έναν «βρόχο αέρα» (Air Loop), ολοκληρώνοντας το μοντέλο.

Υποκατηγορία AirflowNetwork: SimulationControl

Ορίζονται βασικές παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση της ροής του αέρα στο κτίριο.

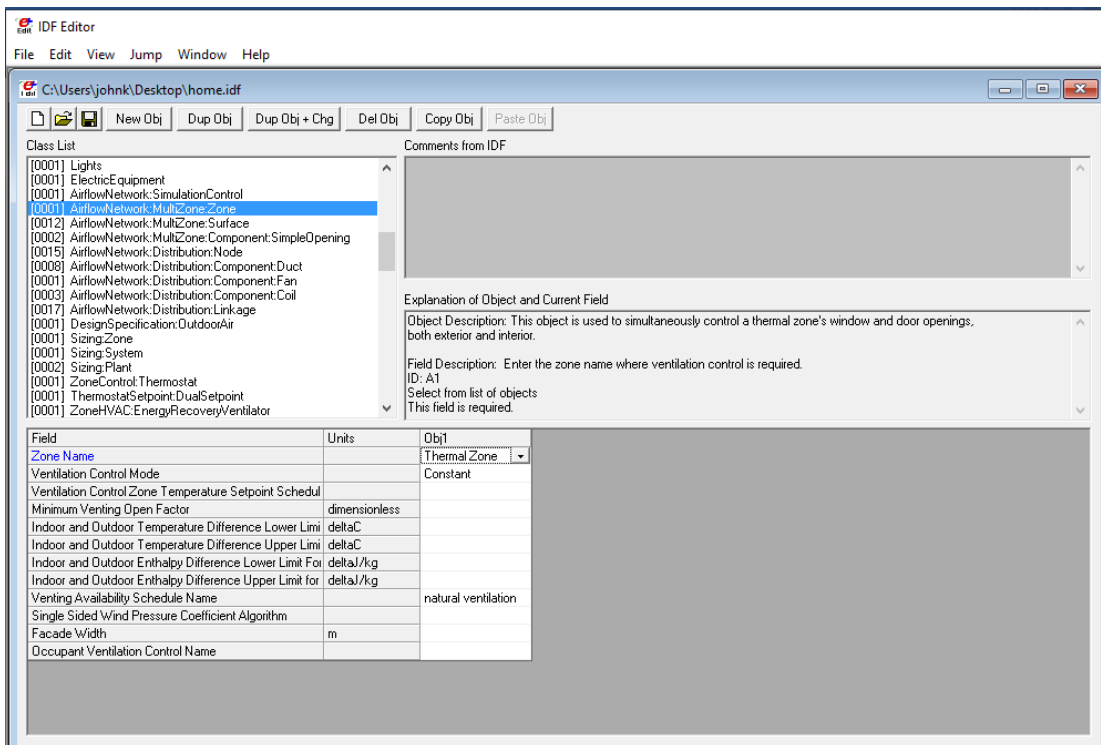


Εικόνα 6.23: Υποκατηγορία AirflowNetwork: SimulationControl

Υποκατηγορία AirflowNetwork: Multizone:Zone

Παρουσιάζεται ο φυσικός αερισμός της κατοικίας, κάτι το οποίο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην κατανάλωση ενέργειας. Φυσικός αερισμός νοείται ο σκόπιμος αερισμός μέσω των παραθύρων, καθώς και ο αθέλητος αερισμός με διήθηση λόγω έλλειψης αεροστεγανότητας. Έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην αεροστεγανότητα του κτιρίου ώστε να μειωθούν οι απώλειες λόγω αθέλητου αερισμού. Οι εναλλαγές ανά ώρα που επιτυγχάνονται είναι λιγότερες από 0,6. Επιπλέον, χάρη στον μηχανικό αερισμό που προστίθεται και παρουσιάζεται στη συνέχεια είναι μειωμένη η ανάγκη για σκόπιμο αερισμό (μέσω παραθύρων), ο οποίος πραγματοποιείται κυρίως την θερινή περίοδο για να επιτευχθεί νυχτερινός δροσισμός, αποφεύγοντας έτσι την υπερθέρμανση.

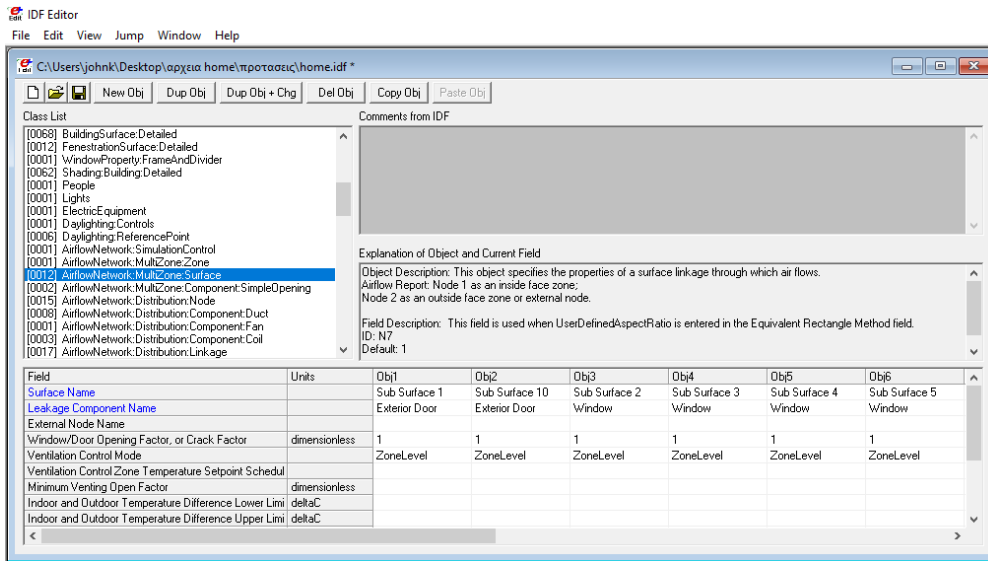
Ορίζονται βασικές παράμετροι που χρειάζονται για την προσομοίωση του φυσικού αερισμού μέσω ανοιγμάτων (πόρτες, παράθυρα) εντός της θερμικής ζώνης.



Εικόνα 6.24: Υποκατηγορία AirflowNetwork: Multizone:Zone

Υποκατηγορία AirflowNetwork: Multizone:Surface

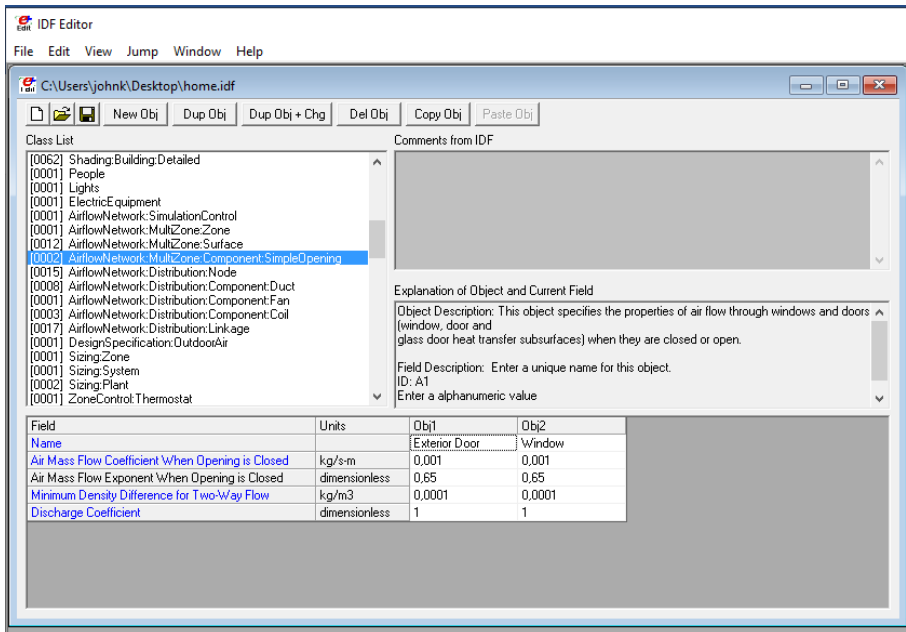
Ορίζονται βασικές παράμετροι που αφορούν τις συνδέσεις μεταξύ επιφανειών και υποεπιφανειών, τη διαρροή αέρα που προκύπτει από αυτές και την είσοδο/έξοδο του αέρα μέσω των παραθύρων για φυσικό αερισμό.



Εικόνα 6.25: Υποκατηγορία **AirflowNetwork: Multizone:Surface**

Υποκατηγορία AirflowNetwork: MultiZone:Component: SimpleOpening

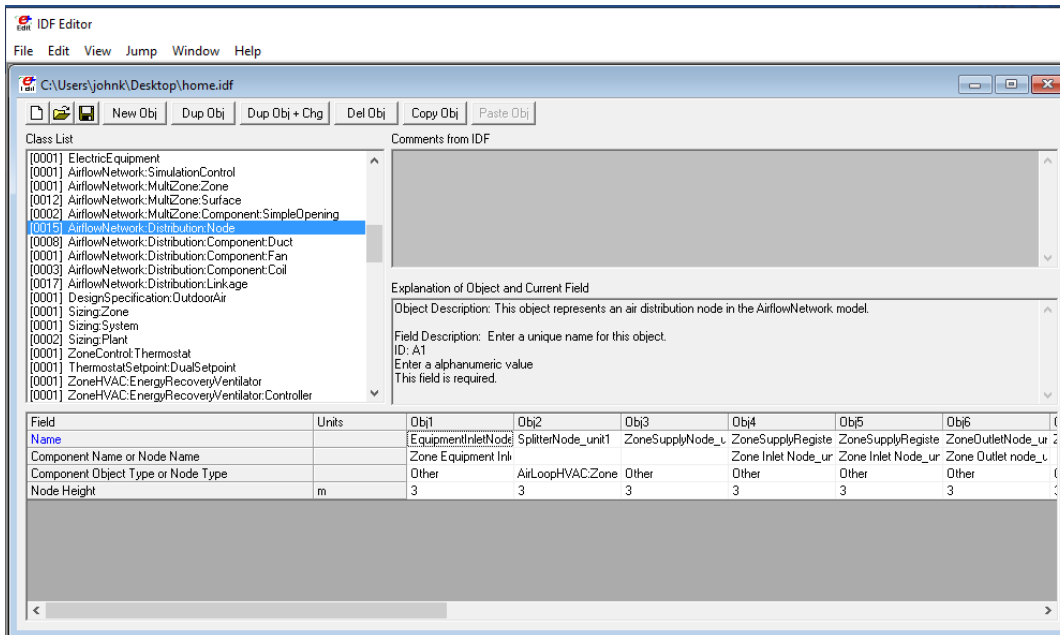
Ορίζονται οι ιδιότητες της ροής του αέρα μέσω πορτών και παραθύρων όταν είναι ανοιχτά ή κλειστά. Το ισοδύναμο της παροχής του αέρα όταν τα ανοίγματα είναι κλειστά (Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed) επιλέγεται στο 0,001 kg/sm. Ο εκθέτης της παροχής του αέρα όταν τα ανοίγματα είναι κλειστά (Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed) παίρνει την προκαθορισμένη τιμή 0,65. Η ελάχιστη διαφορά πυκνότητας για αμφίδρομη ροή (Minimum Density Difference for Two-Way Flow) επιλέγεται στα 0,0001 kg/m³. Το ισοδύναμο εκφόρτισης (Discharge Coefficient) ορίστηκε ίσο με 1. Οι τιμές αυτές λήφθηκαν από ένα τυπικό παράδειγμα προσομοίωσης ροής του προγράμματος.



Εικόνα 6.26: Υποκατηγορία AirflowNetwork: MultiZone:Component: SimpleOpening

Υποκατηγορία AirflowNetwork:Distribution:Node

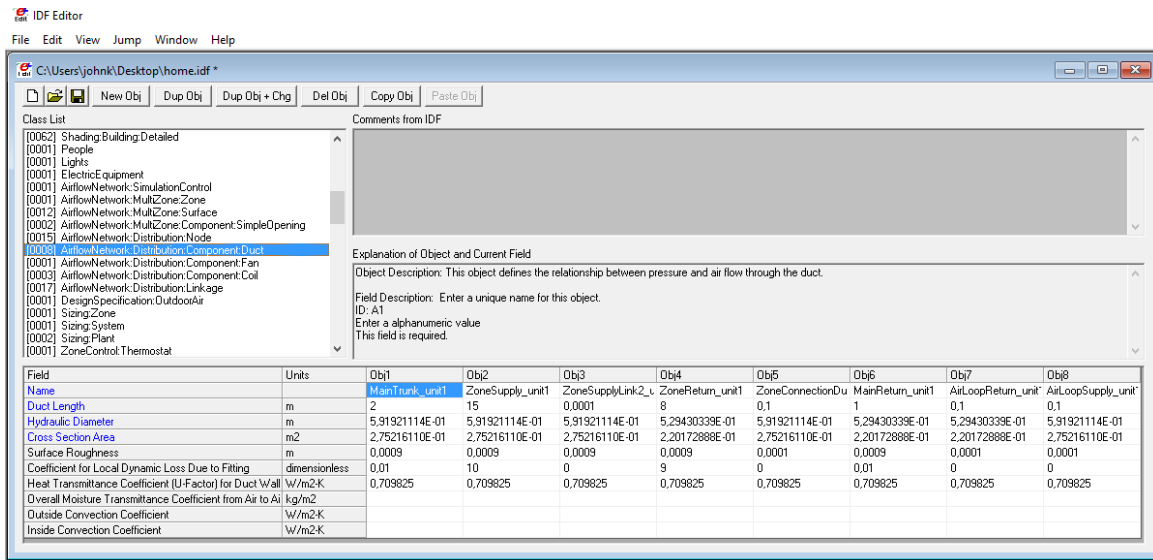
Αναπαρίστανται οι κόμβοι του συστήματος διανομής αέρα.



Εικόνα 6.27: Υποκατηγορία AirflowNetwork:Distribution:Node

Υποκατηγορία AirflowNetwork:Distribution:Component:Duct

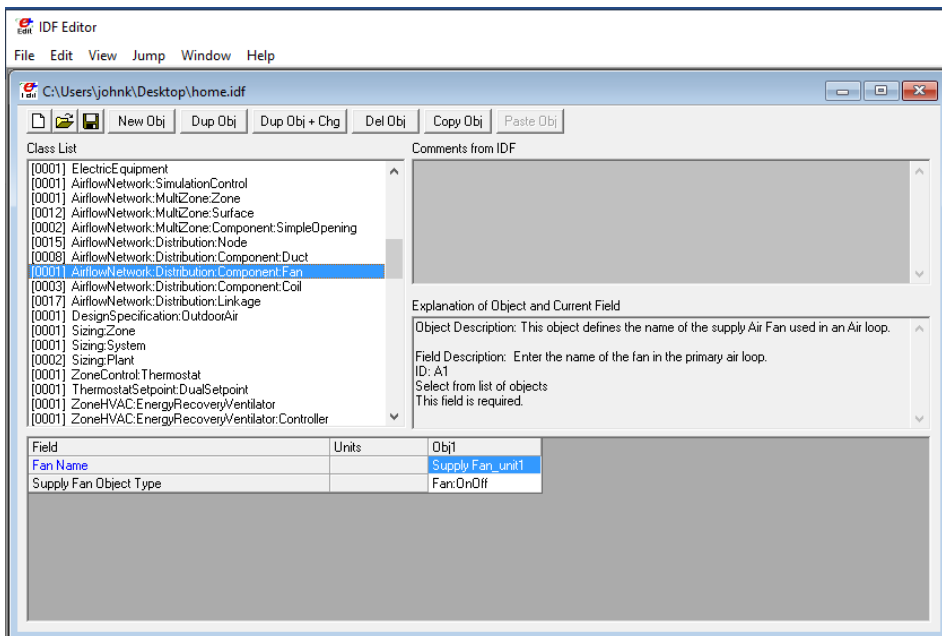
Προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά των αγωγών για τη διανομή του αέρα. Για την υδραυλική διάμετρο και την επιφάνεια διατομής εισάγονται τυπικές τιμές του εμπορίου για χρήση σε κατοικίες. Όσον αφορά τα υπόλοιπα μεγέθη όπως η τραχύτητα, το ισοδύναμο δυναμικών απωλειών λόγω συναρμογής (Coefficient for Local Dynamic Loss Due to fitting), το ισοδύναμο μετάδοσης θερμότητας (Heat Transmittance Coefficient (U-Factor) for Duct Wall Construction) και το ισοδύναμο μετάδοσης υγρασίας (Overall Moisture Transmittance Coefficient from Air to Air), εισάγονται προκαθορισμένες τιμές από το πρόγραμμα.



Εικόνα 6.28: Υποκατηγορία AirflowNetwork:Distribution:Component:Duct

Υποκατηγορία AirflowNetwork:Distribution:Component:Fan

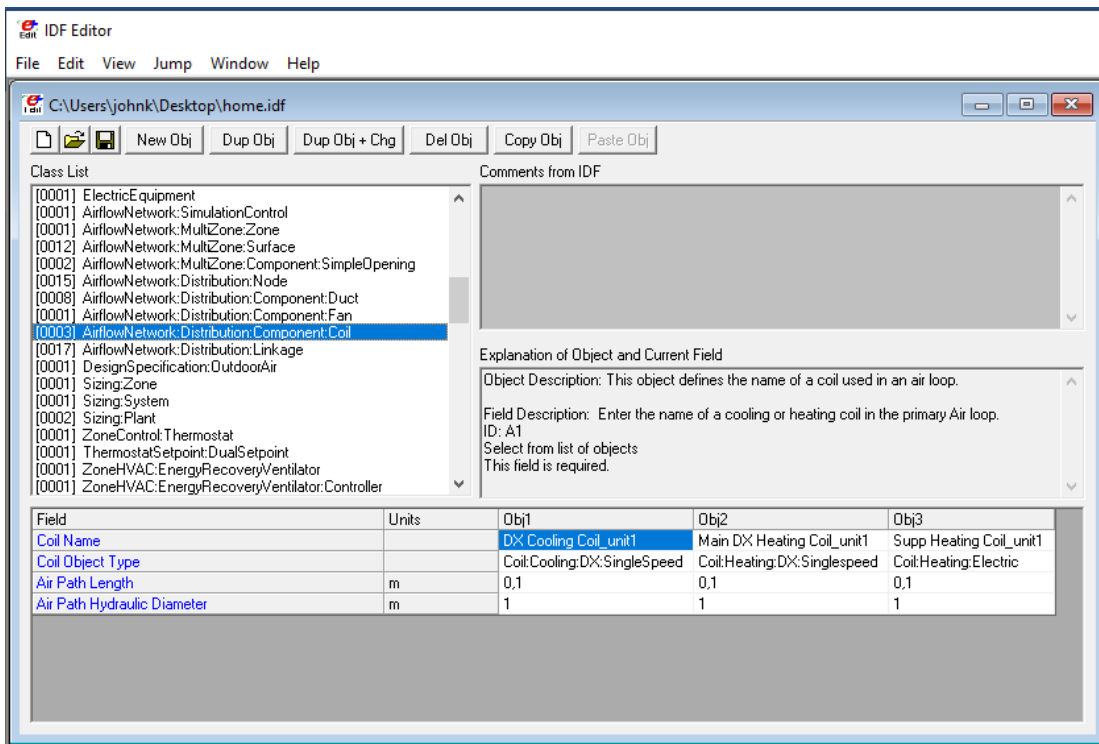
Ορίζεται ένας ανεμιστήρας για την παροχή αέρα στο σύστημα διανομής.



Εικόνα 6.29: Υποκατηγορία AirflowNetwork:Distribution:Component:Fan

Υποκατηγορία AirflowNetwork:Distribution:Component:Coil

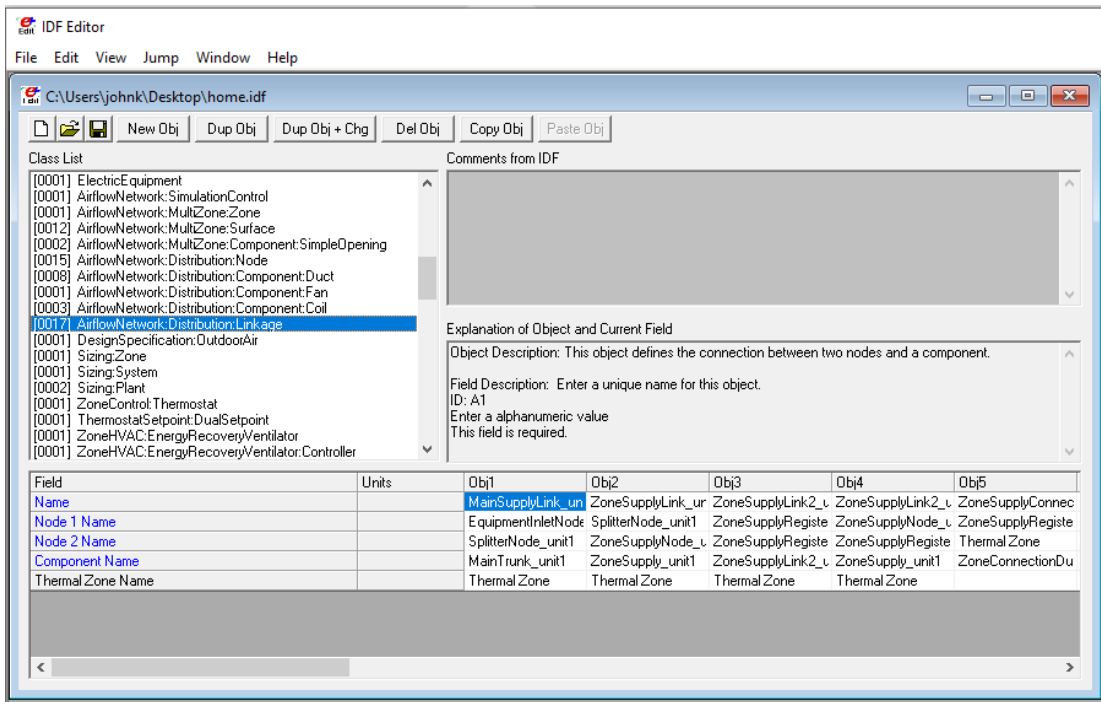
Ορίζονται οι μονάδες θέρμανσης και ψύξης που θα συνδεθούν με την αντλία θερμότητας, καθώς και μια συμπληρωματική μονάδα θέρμανσης. Οι μονάδες αυτές αναλύονται στην κατηγορία **Coils**.



Εικόνα 6.30: Υποκατηγορία AirflowNetwork:Distribution:Component:Coil

Υποκατηγορία AirflowNetwork:Distribution:Linkage

Παρουσιάζονται οι συνδέσεις μεταξύ των κόμβων και των μονάδων θέρμανσης/ψύξης.

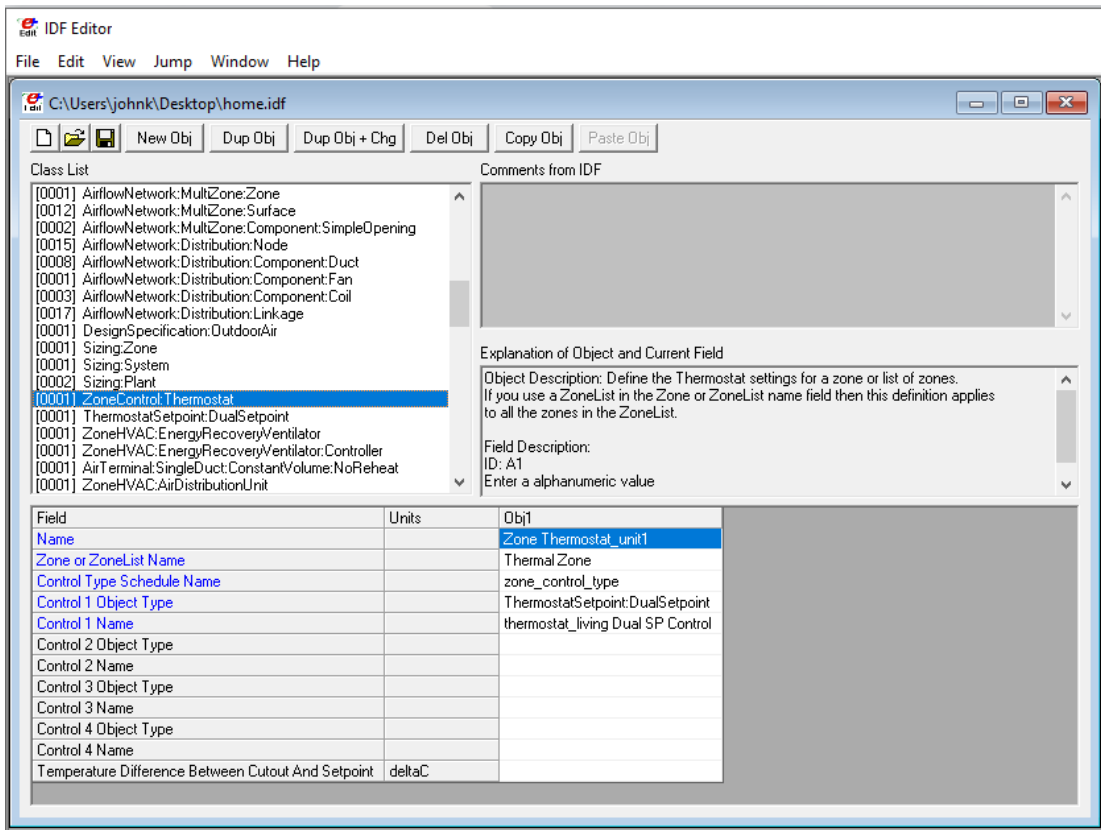


Εικόνα 6.31: Υποκατηγορία AirflowNetwork:Distribution:Linkage

6.9 Κατηγορία Zone HVAC Controls and Thermostats

Υποκατηγορία ZoneControl:Thermostat

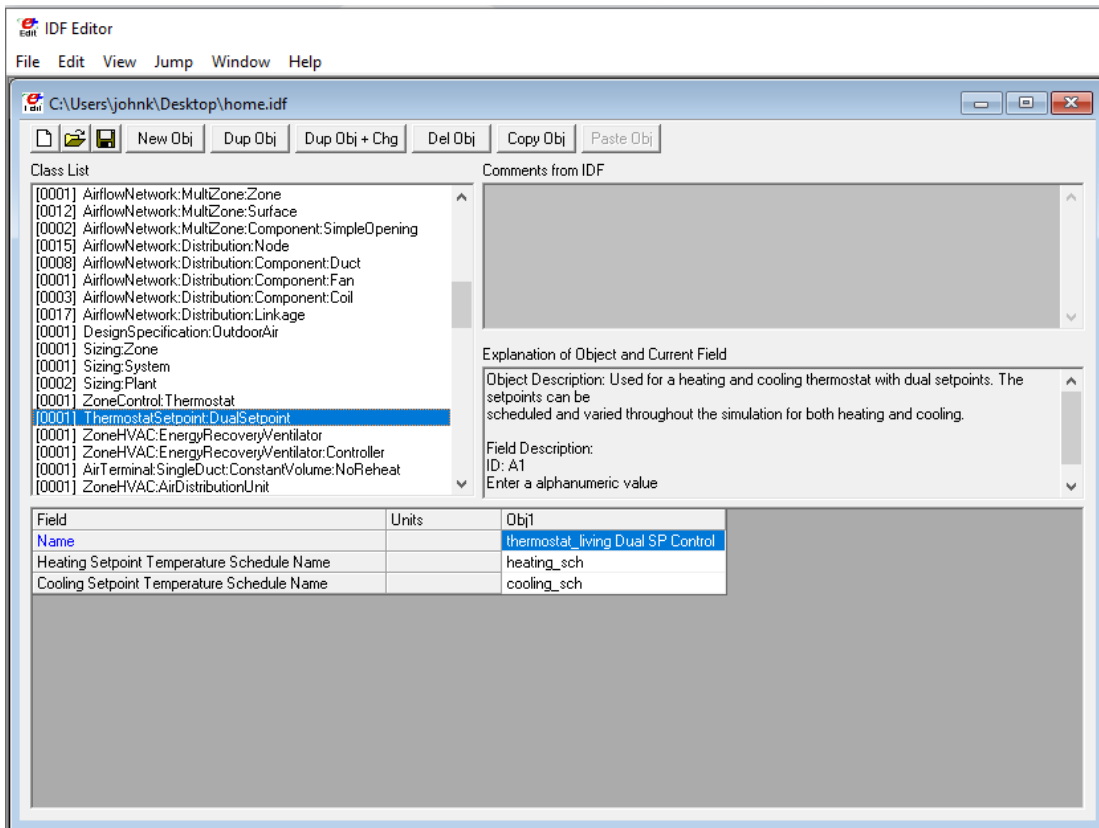
Καθορίζονται οι ρυθμίσεις για τη λειτουργία του θερμοστάτη.



Εικόνα 6.32: Υποκατηγορία ZoneControl:Thermostat

Υποκατηγορία ThermostatSetpoint: DualSetpoint

Καθορίζονται τα όρια της θερμοκρασιακής λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης/ψύξης. Αυτό γίνεται σύμφωνα με τα χρονοδιαγράμματα (heating_sch, cooling_sch) που έχουν οριστεί στην υποκατηγορία «Schedule: Compact».



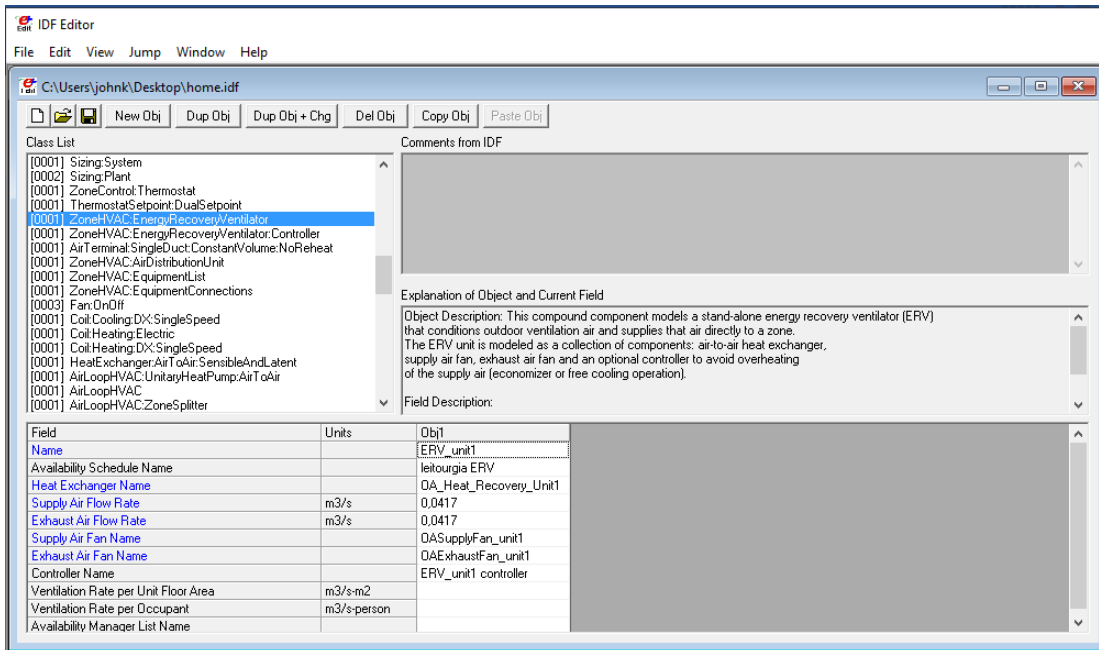
Εικόνα 6.33: Υποκατηγορία ThermostatSetpoint: DualSetpoint

6.10 Κατηγορία Zone HVAC Forced Air Units

Σε αυτήν την κατηγορία εισάγεται ο μηχανικός αερισμός με ανάκτηση θερμότητας. Με τον μηχανικό αερισμό εισάγεται η απαραίτητη ποσότητα νωπού αέρα στο κτίριο, απαλλαγμένο από γύρη και σκόνη, διατηρώντας την απαραίτητη ποιότητα εσωτερικού αέρα. Παράλληλα, χάρη στην ύπαρξη εναλλάκτη θερμότητας ο εισερχόμενος νωπός αέρας θα ανακτήσει το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής ενέργειας του απορριπτόμενου αέρα. Επιτυγχάνεται έτσι σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας στην λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης – κλιματισμού.

Υποκατηγορία ZoneHVAC: EnergyRecoveryVentilator

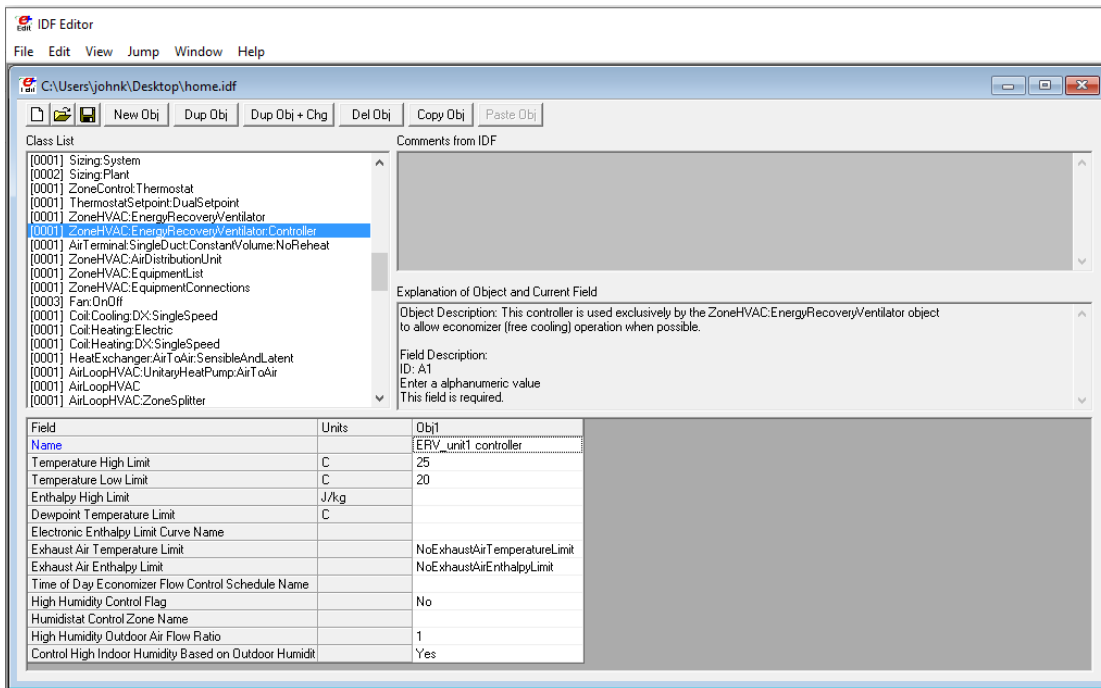
Ορίζονται τα χαρακτηριστικά του συστήματος μηχανικού αερισμού (Energy Recovery Ventilator). Επιλέγεται το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του (leitourgia ERV), και ονομαστική παροχή 150 m³/h (0,0417 m³/s).



Εικόνα 6.34: Υποκατηγορία ZoneHVAC: EnergyRecoveryVentilator

Υποκατηγορία ZoneHVAC: EnergyRecoveryVentilator: Controller

Ορίζεται ένας controller για το σύστημα μηχανικού αερισμού, ο οποίος έχει σκοπό να προσομοιώσει μια λειτουργία εξοικονόμησης. Όταν οι συνθήκες το επιτρέπουν, παρακάμπτεται ο εναλλάκτης θερμότητας και παρέχεται «δωρεάν» θέρμανση και ψύξη. Συγκεκριμένα, κατά τη θερινή περίοδο όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη από το όριο που επιλέχθηκε (25°C), ο εξωτερικός αέρας παρακάμπτει τον εναλλάκτη θερμότητας και εισέρχεται απευθείας στο κτίριο, συμβάλλοντας έτσι στην ψύξη του. Αντίστοιχα, κατά τη χειμερινή περίοδο όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη από το όριο που επιλέχθηκε (20°C), ο εξωτερικός αέρας συμβάλλει στη θέρμανση του κτιρίου.



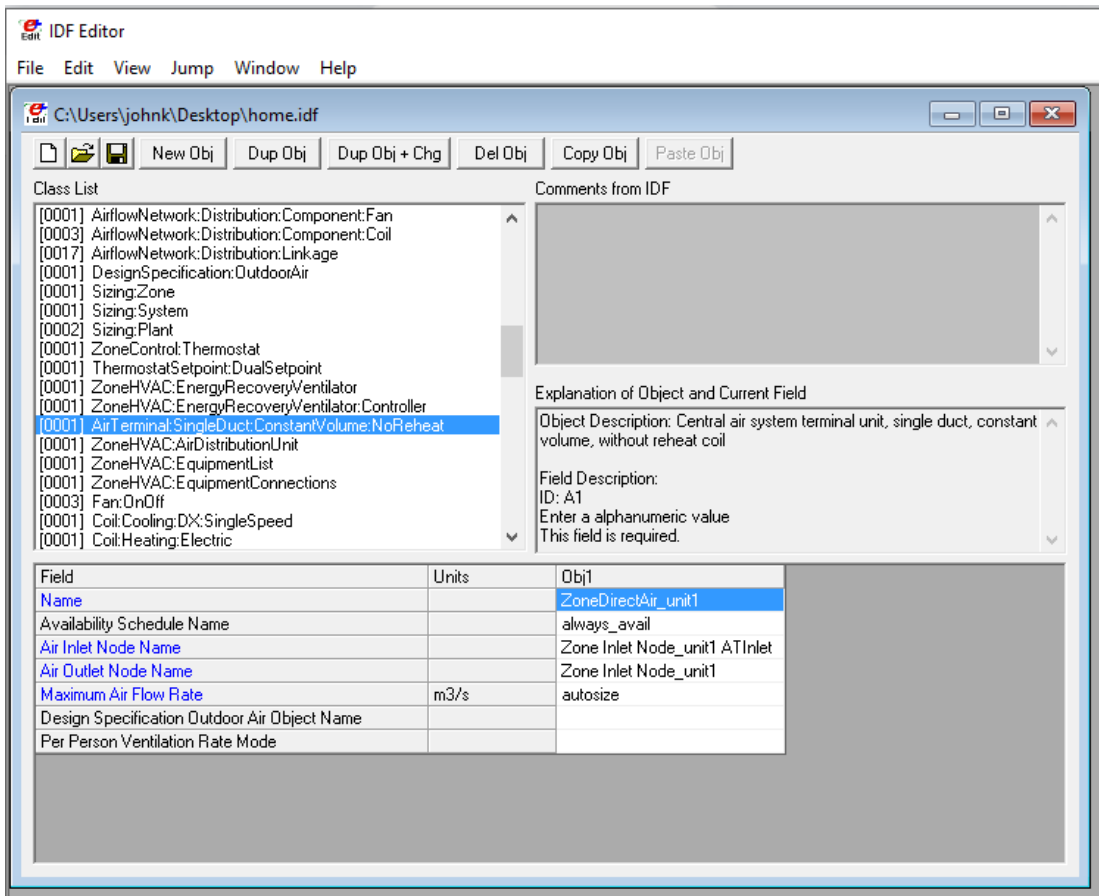
Εικόνα 6.35: Υποκατηγορία **ZoneHVAC: EnergyRecoveryVentilator: Controller**

Για την ολοκλήρωση του ορισμού του συστήματος μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας, απαιτείται η συμπλήρωση των υποενωτήτων **Fan:OnOff**, **ZoneHVAC:EquipmentConnections**, **ZoneHVAC:EquipmentList**, **OutdoorAir:NodeList** τα οποία συμπληρώνονται μετέπειτα.

6.11 Κατηγορία Zone HVAC Air Loop Terminal Units

Υποκατηγορία AirTerminal:SingleDuct:ConstantVolume:NoReheat

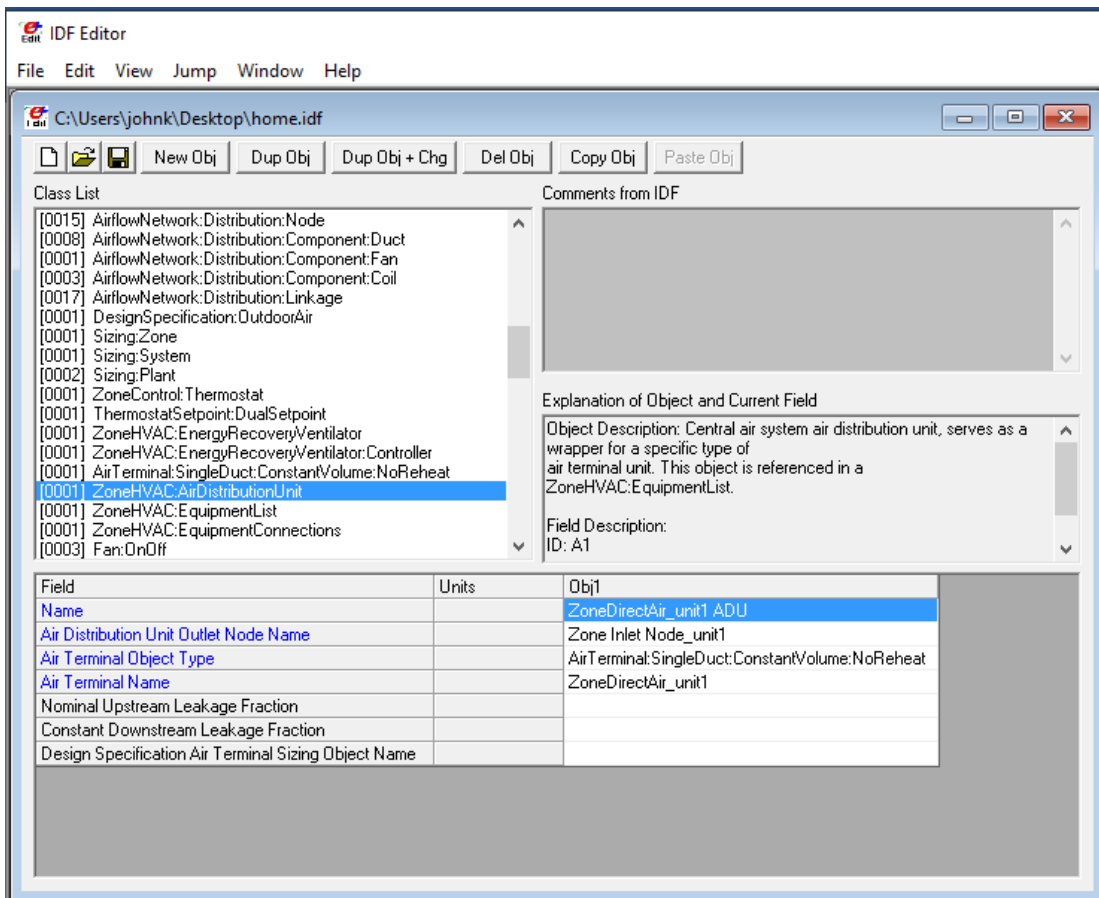
Περιγράφεται η μονάδα διανομής αέρα (Air Distribution Unit, ADU). Γίνεται ουσιαστικά η σύνδεση μιας τερματικής μονάδας του κεντρικού συστήματος αέρα με τη θερμική ζώνη.



Εικόνα 6.36: Υποκατηγορία `AirTerminal:SingleDuct:ConstantVolume:NoReheat`

Υποκατηγορία `ZoneHVAC:AirDistributionUnit`

Δίνονται πληροφορίες για τη σύνδεση της μονάδας διανομής αέρα στη θερμική ζώνη.

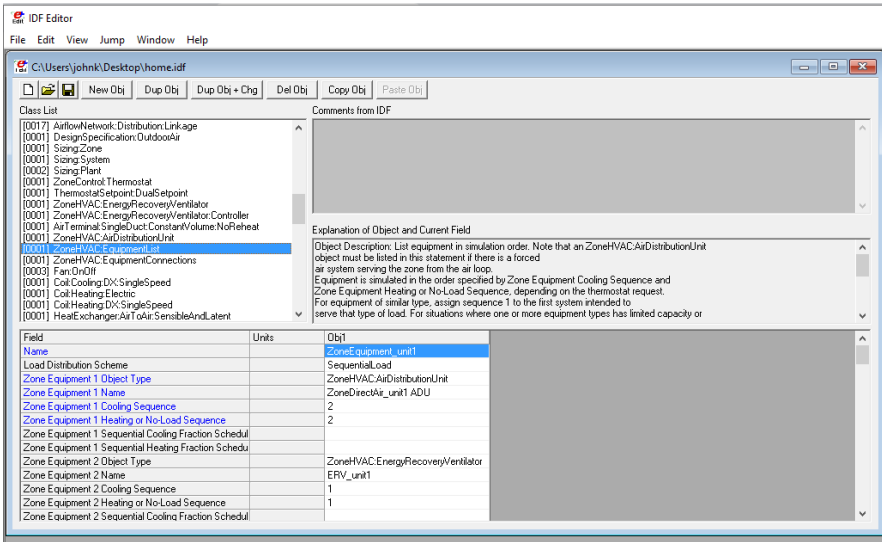


Εικόνα 6.37: Υποκατηγορία ZoneHVAC:AirDistributionUnit

6.12 Κατηγορία Zone HVAC Equipment Connections

Υποκατηγορία ZoneHVAC:EquipmentList

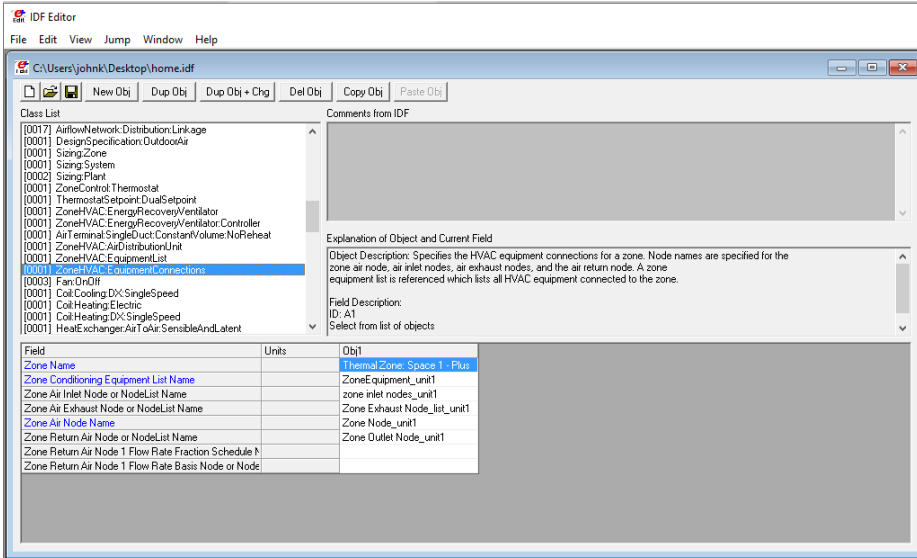
Ορίζονται τα συστήματα Θέρμανσης, Αερισμού και Κλιματισμού (HVAC). Αυτά αποτελούνται από το σύστημα διανομής αέρα το οποίο στη συνέχεια θα συνδεθεί με την αντλία θερμότητας αέρα και τις μονάδες θέρμανσης/ψύξης και από το σύστημα μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας.



Εικόνα 6.38: Υποκατηγορία ZoneHVAC:EquipmentList

Υποκατηγορία ZoneHVAC:EquipmentConnections

Ορίζονται οι συνδέσεις για τα συστήματα HVAC στη θερμική ζώνη.

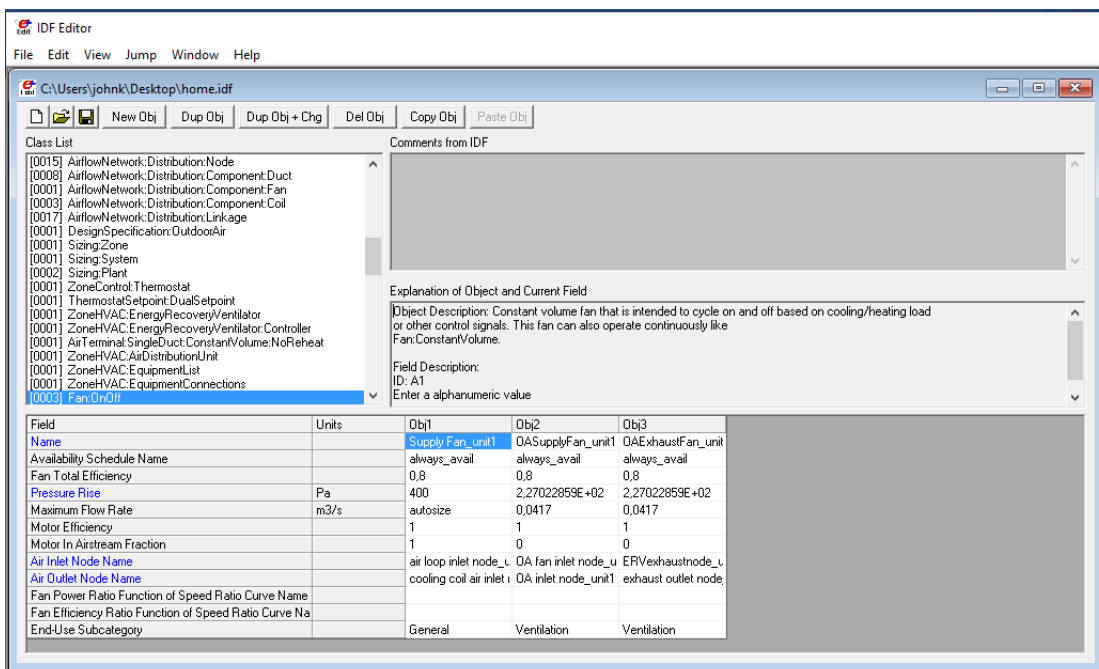


Εικόνα 6.39: Υποκατηγορία ZoneHVAC:EquipmentConnections

6.13 Κατηγορία Fans

Υποκατηγορία Fan:OnOff

Μοντελοποιούνται οι ανεμιστήρες που είναι απαραίτητοι για τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας και του συστήματος μηχανικού αερισμού. Η απόδοσή τους ορίζεται ίση με 0,8, η διαθεσιμότητά τους συνεχόμενη και η μέγιστη παροχή τους για τον ανεμιστήρα της αντλίας θερμότητας υπολογίζεται αυτόματα, ενώ για τους 2 ανεμιστήρες του μηχανικού αερισμού ορίζεται ίση με την ονομαστική παροχή του. Η αύξηση πίεσης παίρνει τυπικές τιμές από αντίστοιχα παραδείγματα του προγράμματος.



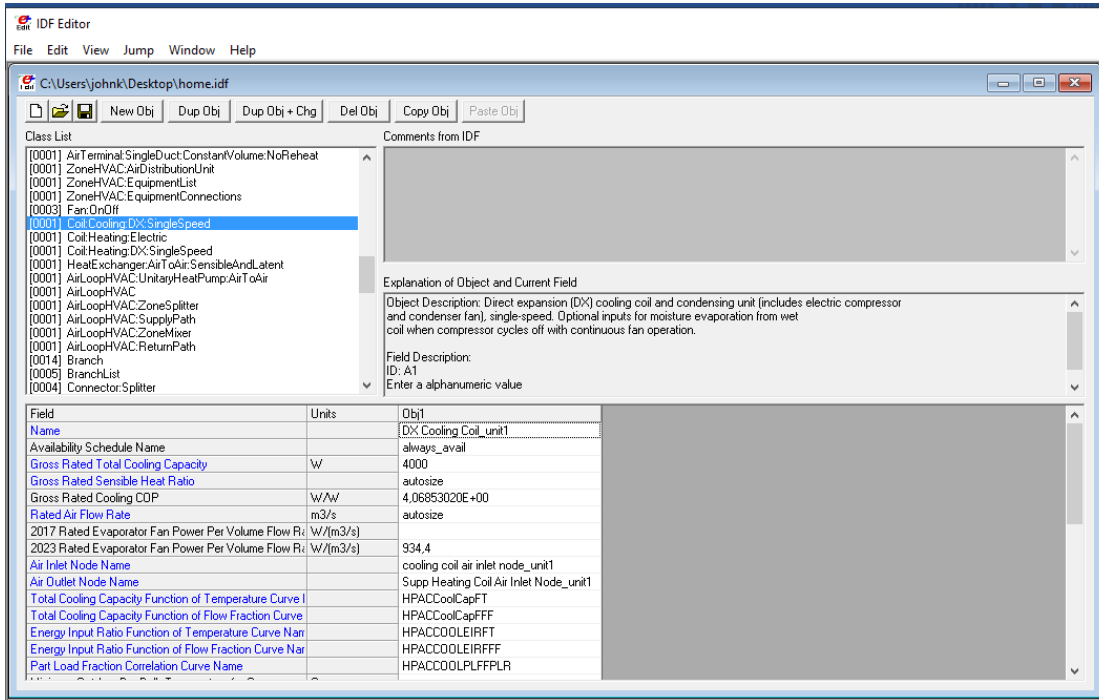
Εικόνα 6.40: Υποκατηγορία Fan:OnOff

6.14 Κατηγορία Coils

Για θέρμανση και ψύξη της κατοικίας τοποθετούνται μονάδες κλιματισμού άμεσης επέκτασης (Direct Expansion Coils ή DX Coils), κοινώς οικιακά κλιματιστικά. Υπολογίστηκε ότι κοινά κλιματιστικά θα είναι αρκετά για τη θέρμανση και ψύξη του κτιρίου, λόγω της ύπαρξης του μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας αλλά και της αεροστεγανότητας στα δομικά στοιχεία. Στα αποτελέσματα περιγράφονται αναλυτικά τα φορτία και οι ανάγκες για θέρμανση/ψύξη.

Υποκατηγορία Coil:Cooling:DX:SingleSpeed

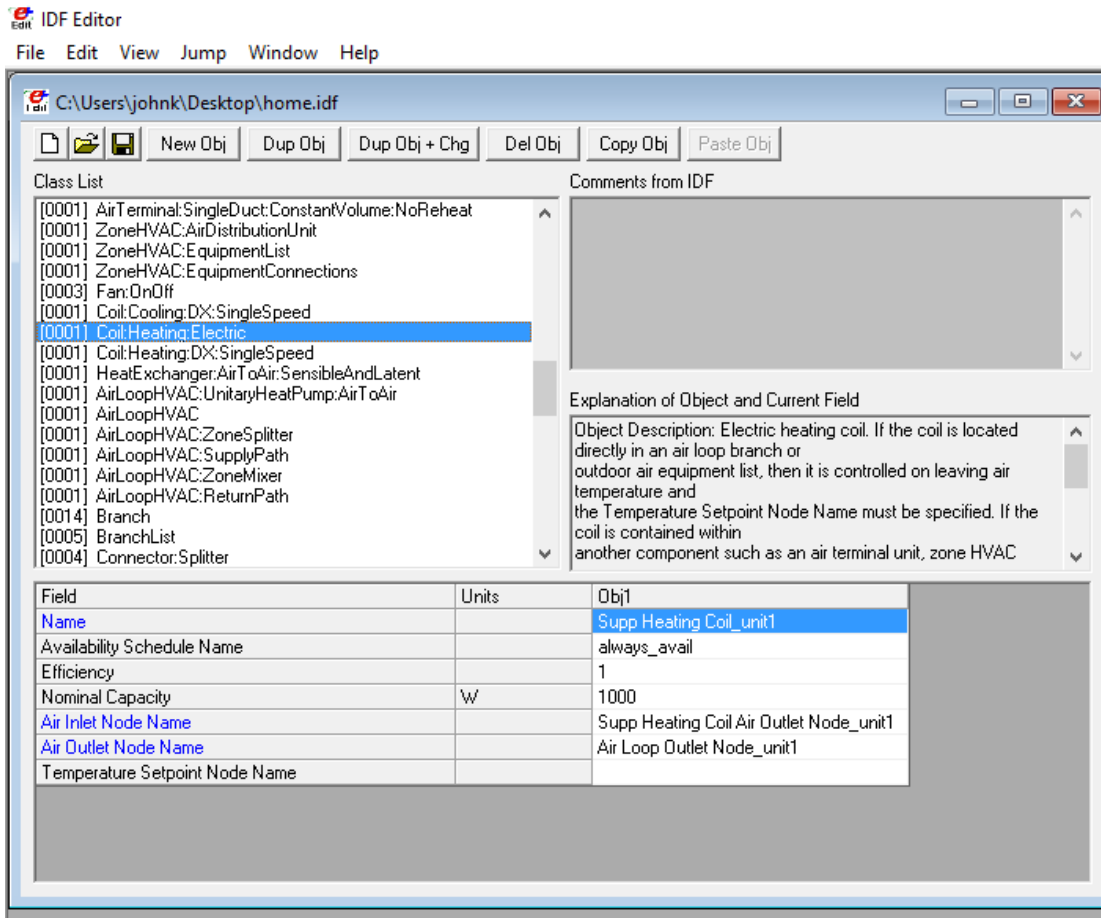
Ορίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της ψυκτικής μονάδας, η οποία περιλαμβάνει τον συμπιεστή και τον συμπυκνωτή.



Εικόνα 6.41: Υποκατηγορία Coil:Cooling:DX:SingleSpeed

Υποκατηγορία Coil:Heating:Electric

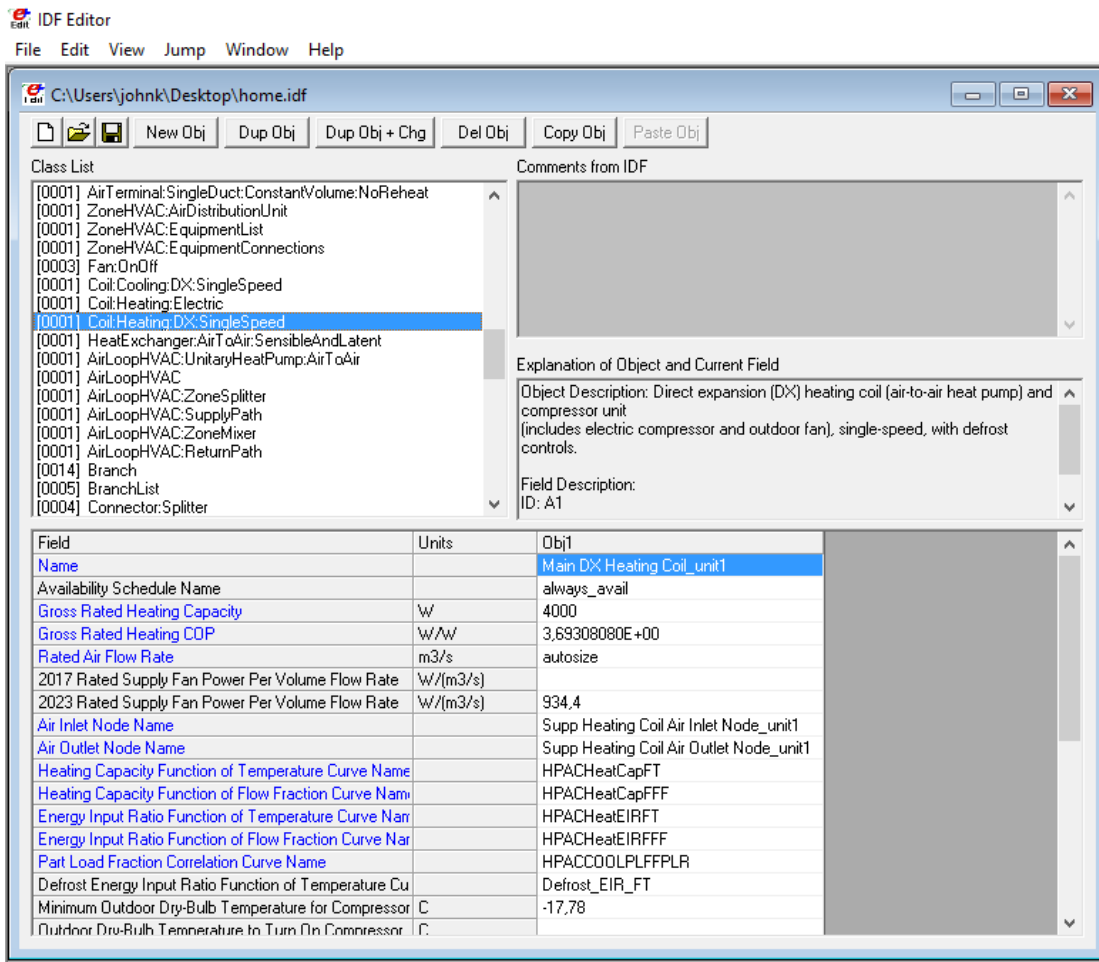
Για τον ορισμό της αντλίας θερμότητας στη συνέχεια, απαιτείται ένα συμπληρωματικό πηνίο θέρμανσης, το οποίο επιλέγεται να είναι ηλεκτρικό, της τάξης των 1000 W.



Εικόνα 6.42: Υποκατηγορία Coil:Heating:Electric

Υποκατηγορία Coil:Heating:DX:SingleSpeed

Αντίστοιχα με τη ψυκτική μονάδα ορίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της μονάδας θέρμανσης.

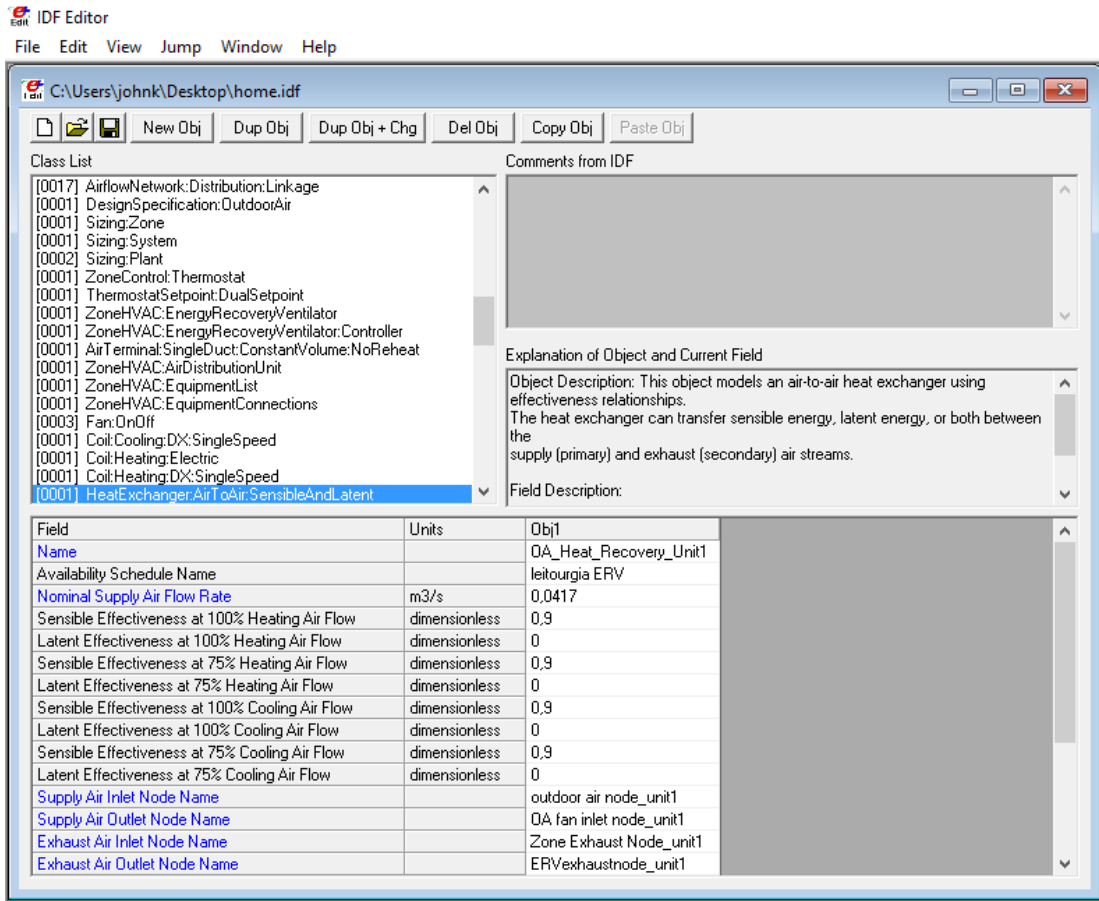


Εικόνα 6.43: Υποκατηγορία Coil:Heating:DX:SingleSpeed

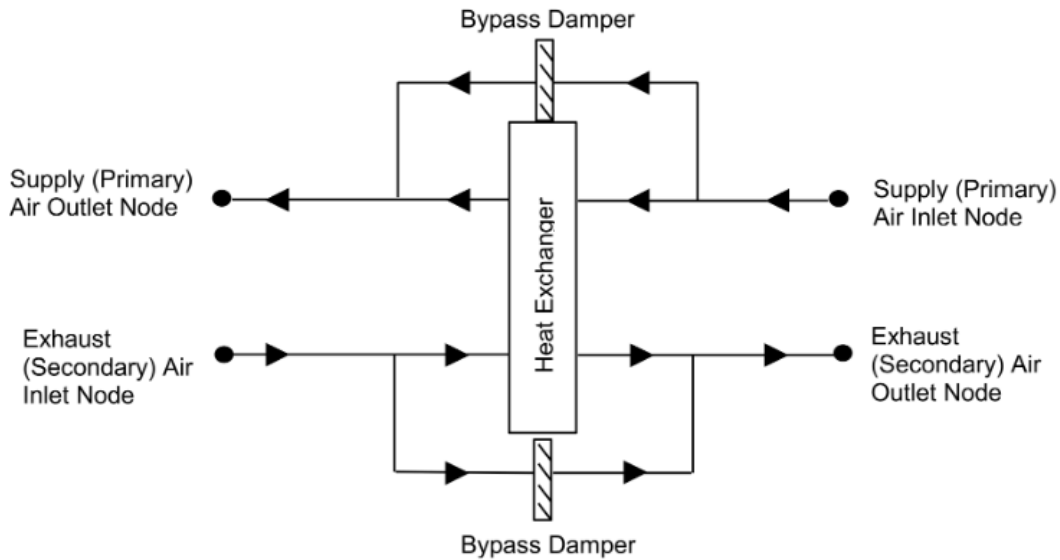
6.15 Κατηγορία Heat Recovery

Υποκατηγορία HeatExchanger:AirToAir:SensibleAndLatent

Ορίζεται ο εναλλάκτης θερμότητας στο σύστημα μηχανικού αερισμού.



Εικόνα 6.44: Υποκατηγορία HeatExchanger:AirToAir:SensibleAndLatent



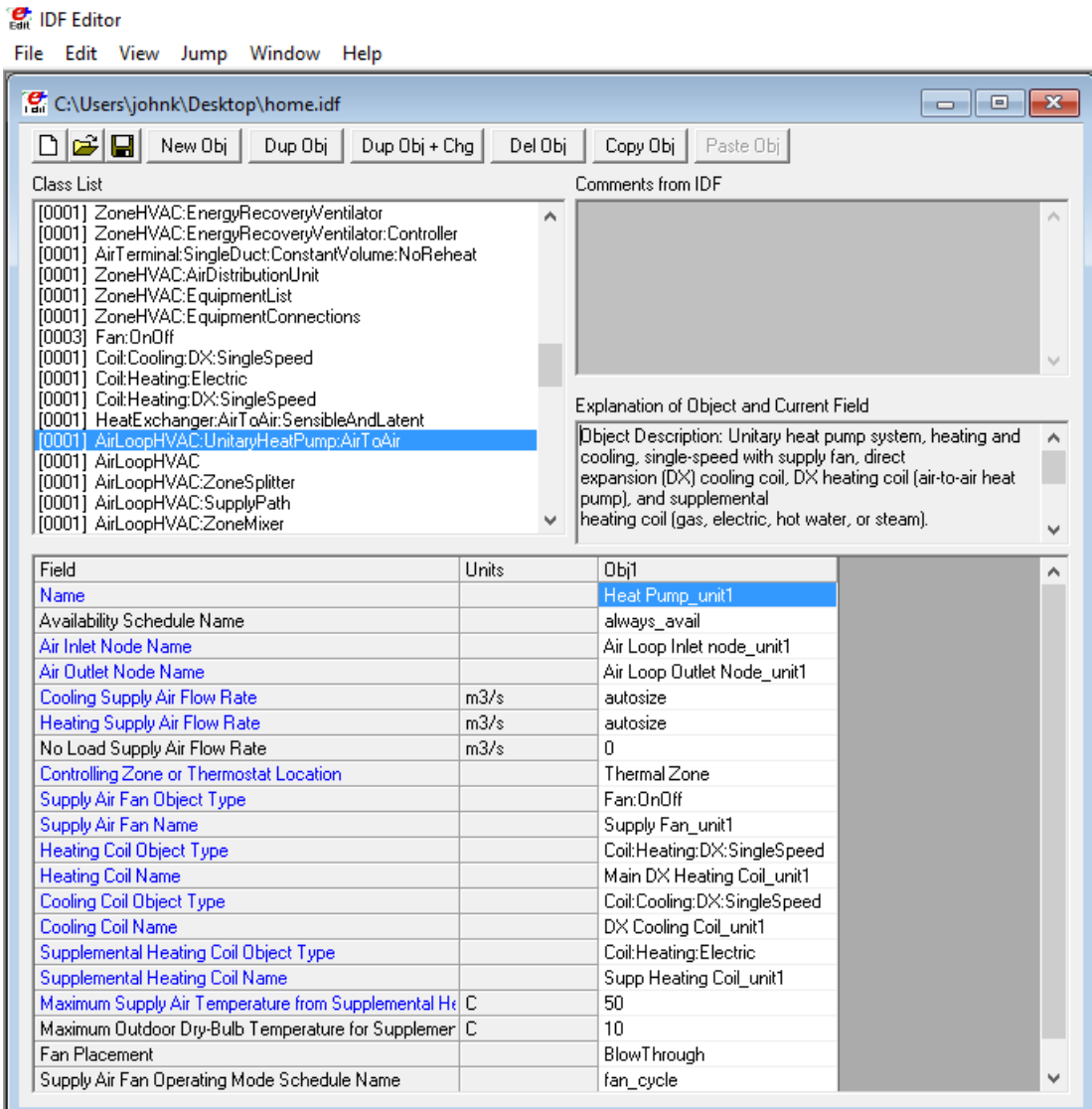
Schematic of the Sensible and Latent Air-to-Air Heat Exchanger

Εικόνα 6.45: Αναπαράσταση του εναλλάκτη θερμότητας από το πρόγραμμα. Πηγή: Engineering Reference [24]

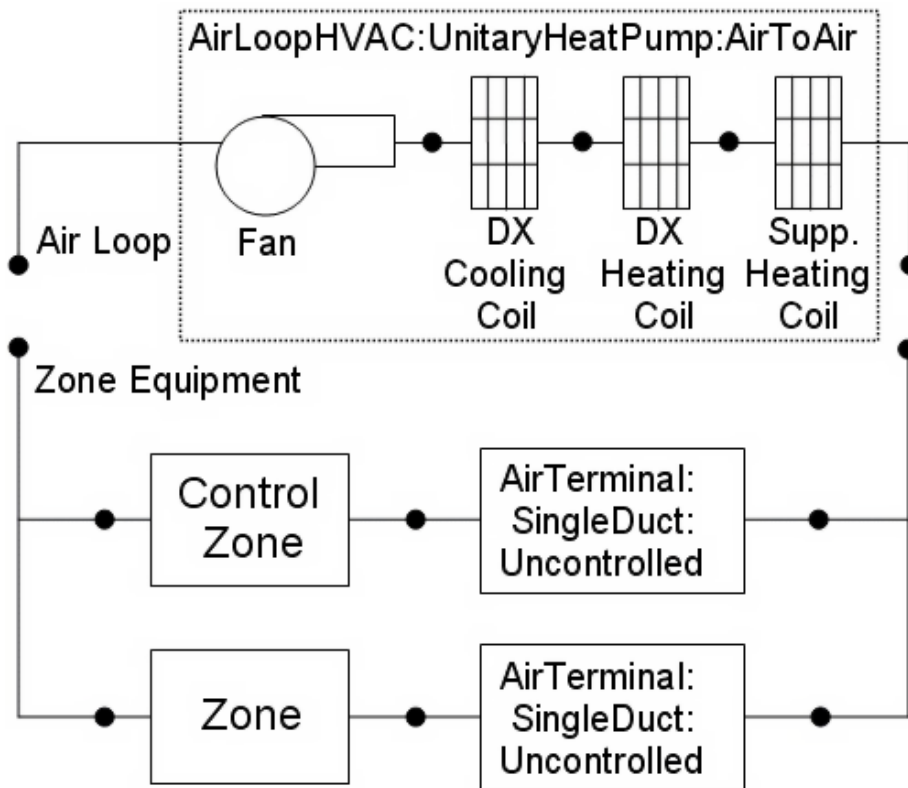
6.16 Κατηγορία Unitary Equipment

Υποκατηγορία AirLoopHVAC:UnitaryHeatPump:AirToAir

Συνδέονται όλα τα εξαρτήματα που αποτελούν την αντλία θερμότητας αέρα-αέρα. Συγκεκριμένα τα DX Cooling Coil, DX Heating Coil, Supplemental Heating Coil (electric), Fan:OnOff, AirTerminal:SingleDuct:ConstantVolume:NoReheat. Επιπλέον ορίζεται η θερμική ζώνη και οι συνθήκες λειτουργίας του συστήματος.



Εικόνα 6.46: Υποκατηγορία `AirLoopHVAC:UnitaryHeatPump:AirToAir`



Schematic of EnergyPlus Unitary Air-to-Air Heat Pump (Blow Through Configuration)

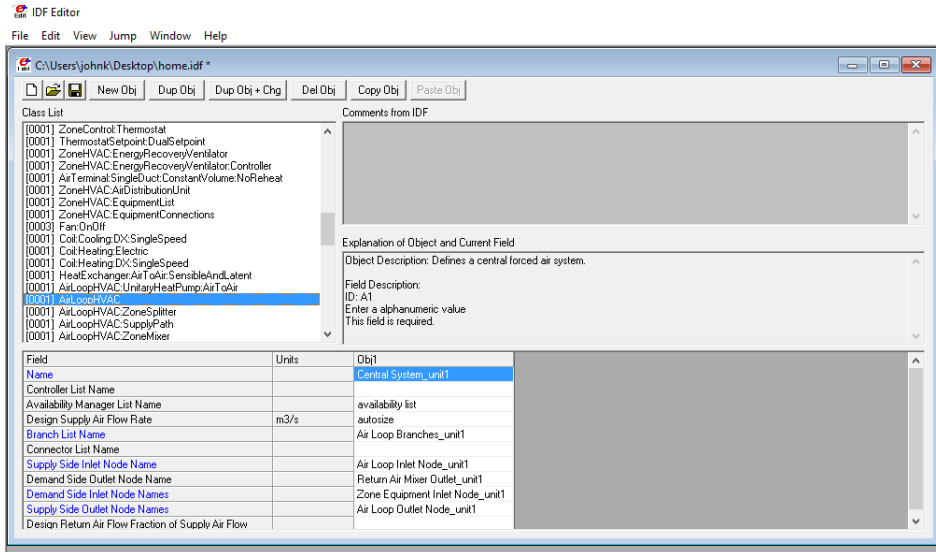
Εικόνα 6.47: Αναπαράσταση του συστήματος της αντλίας θερμότητας. Πηγή: Engineering Reference [25]

6.17 Κατηγορία Air Distribution

Υποκατηγορία AirLoopHVAC

«Βρόχος αέρα» (Air Loop) ορίζεται στο πρόγραμμα ως το κεντρικό σύστημα HVAC που λειτουργεί με εργαζόμενο μέσο τον αέρα. Για τον σκοπό της προσομοίωσης ο βρόχος αέρα χωρίζεται στο βασικό σύστημα (primary air system) που αντιπροσωπεύει την πλευρά παροχής του βρόχου και τον εξοπλισμό ζώνης (zone equipment) που αντιπροσωπεύει την πλευρά ζήτησης του βρόχου. Το βασικό σύστημα περιλαμβάνει τους ανεμιστήρες και τις μονάδες θέρμανσης και ψύξης, ενώ ο εξοπλισμός ζώνης την τερματική μονάδα του κεντρικού συστήματος αέρα.

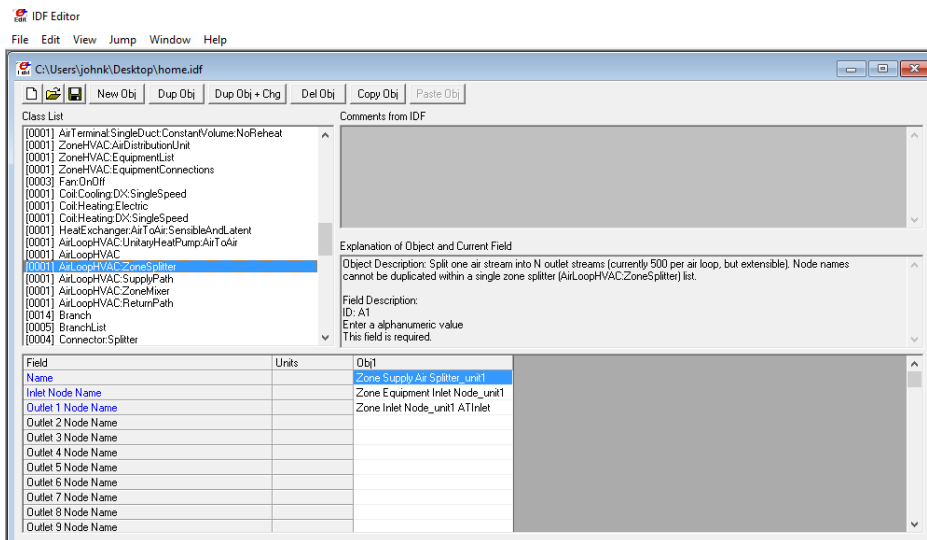
Συνεπώς στο AirLoopHVAC ορίζεται το σύστημα εξαναγκασμένου αέρα για θέρμανση/ψύξη που αποτελείται από το βρόχο αέρα.



Εικόνα 6.48: Υποκατηγορία AirLoopHVAC

Υποκατηγορία AirLoopHVAC:ZoneSplitter

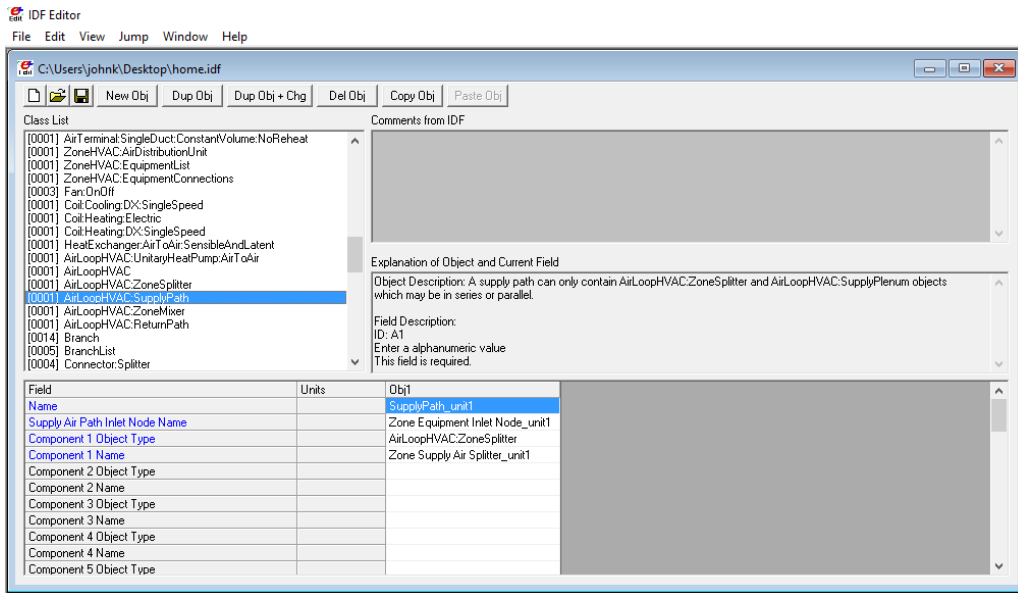
Η ροή του αέρα διαχωρίζεται από μια είσοδο σε πολλαπλές εξόδους.



Εικόνα 6.49: Υποκατηγορία AirLoopHVAC:ZoneSplitter

Υποκατηγορία AirLoopHVAC:SupplyPath

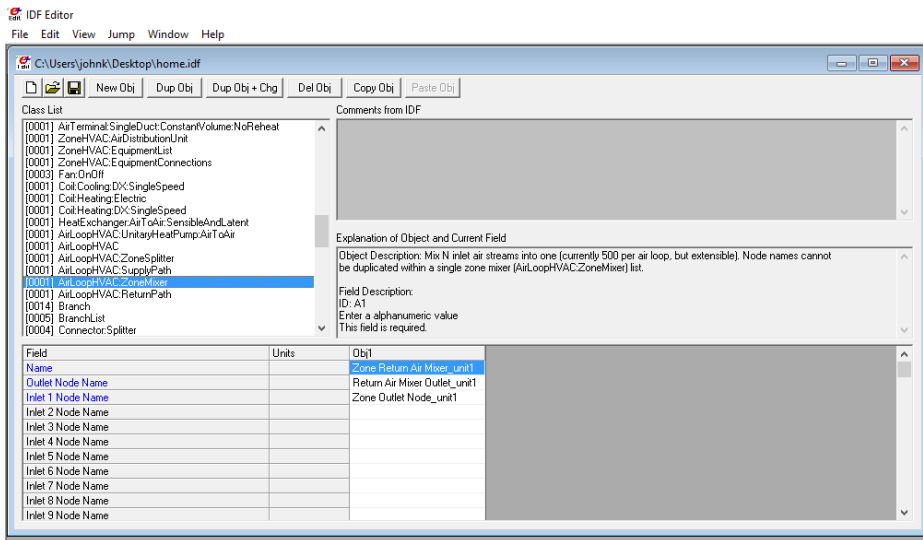
Παρουσιάζονται οι συνιστώσες από την υποκατηγορία AirLoopHVAC:ZoneSplitter.



Εικόνα 6.50: Υποκατηγορία AirLoopHVAC:SupplyPath

Υποκατηγορία AirLoopHVAC:ZoneMixer

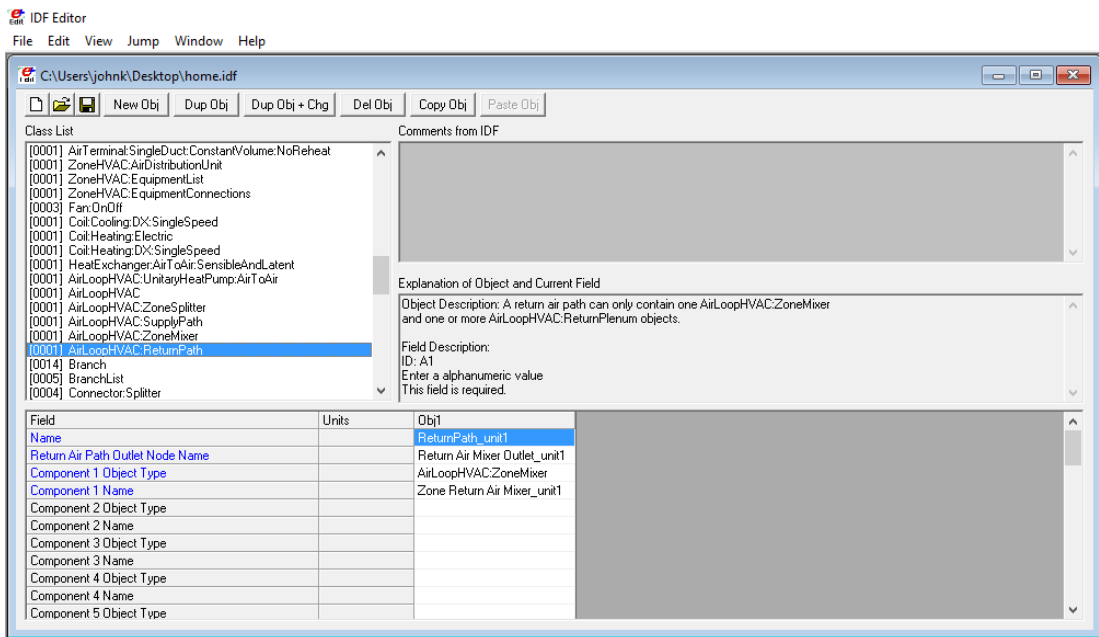
Αναμιγνύονται ρεύματα αέρα από πολλαπλές εισόδους σε έναν κόμβο εξόδου.



Εικόνα 6.51: Υποκατηγορία AirLoopHVAC:ZoneMixer

Υποκατηγορία AirLoopHVAC:ReturnPath

Παρουσιάζονται οι συνιστώσες από την υποκατηγορία AirLoopHVAC:ZoneMixer.



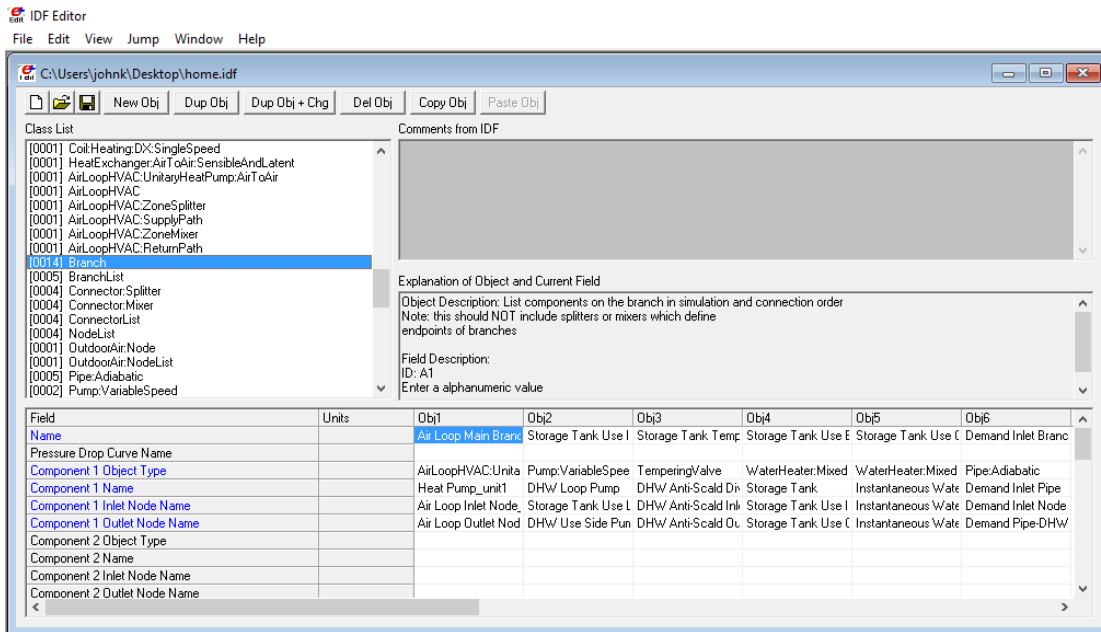
Εικόνα 6.52: Υποκατηγορία AirLoopHVAC:ReturnPath

6.18 Κατηγορία Node-Branch Management

Υποκατηγορία Branch

Ορίζονται κλάδοι οι οποίοι είναι μια ομαδοποίηση συνιστωσών (components) στο βρόχο HVAC του προγράμματος. Μια ομάδα από συνιστώσες (components) αποτελεί ένα κλάδο (branch), ενώ μια ομάδα από κλάδους αποτελεί ένα βρόχο (loop). Κάθε συνιστώσα έχει 2 τουλάχιστον κόμβους (nodes) που σχετίζονται μαζί του, έναν εισόδου και έναν εξόδου.

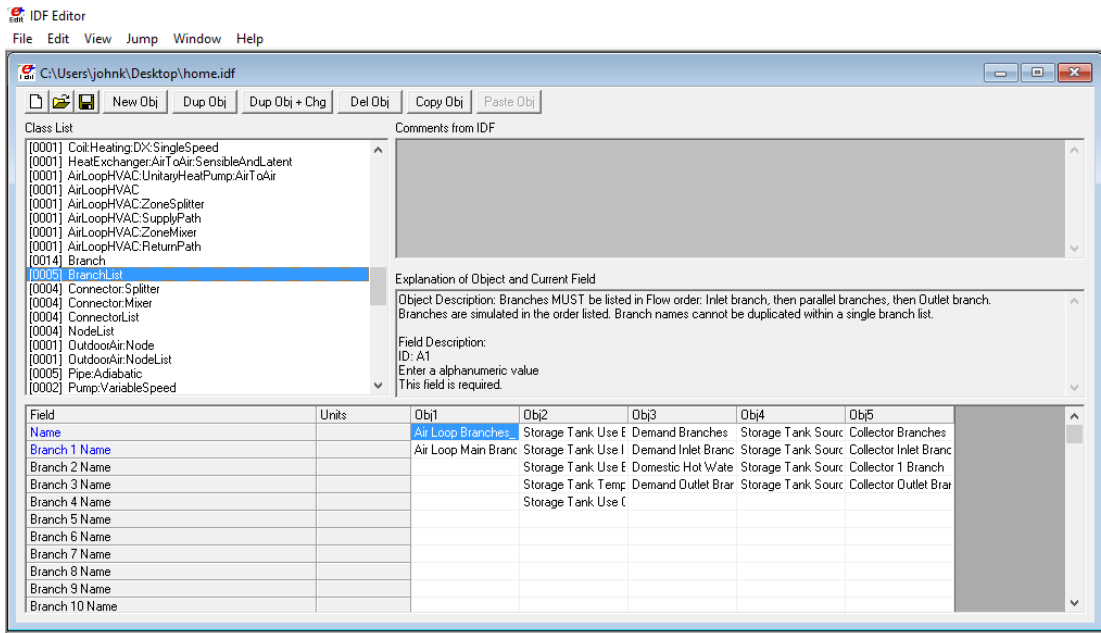
Παρουσιάζονται όλοι οι κλάδοι της προσομοίωσης, ακόμα και αυτοί από συνιστώσες που δεν έχουν οριστεί ακόμα, αλλά θα οριστούν στη συνέχεια.



Εικόνα 6.53: Υποκατηγορία Branch

Υποκατηγορία BranchList

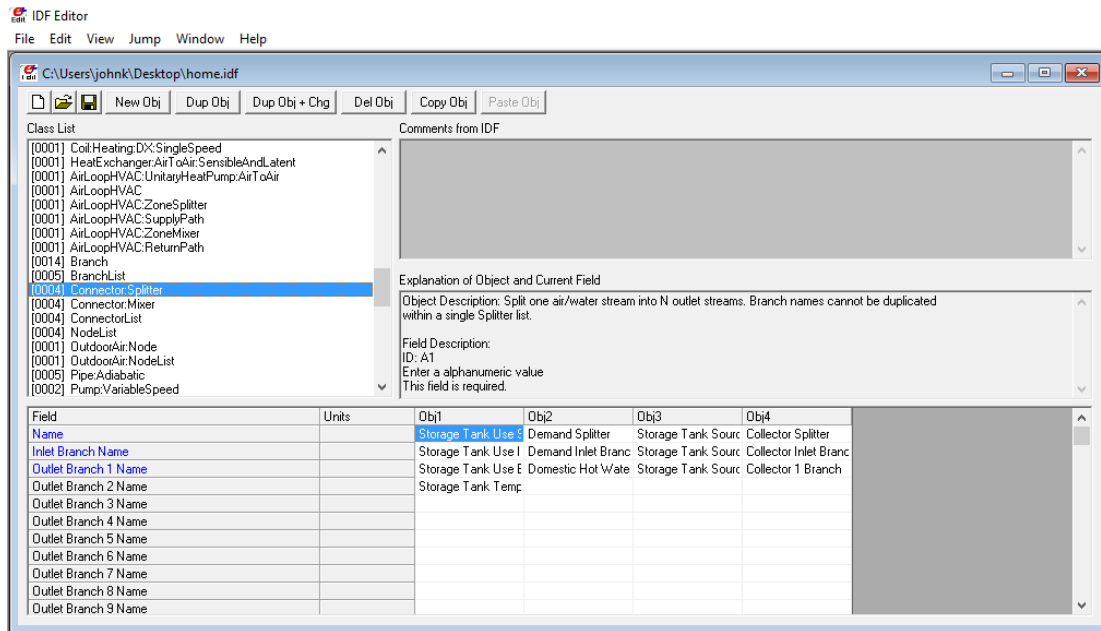
Ορίζονται οι βρόχοι και οι κλάδοι από τους οποίους αποτελούνται.



Εικόνα 6.54: Υποκατηγορία BranchList

Υποκατηγορία Connector:Splitter

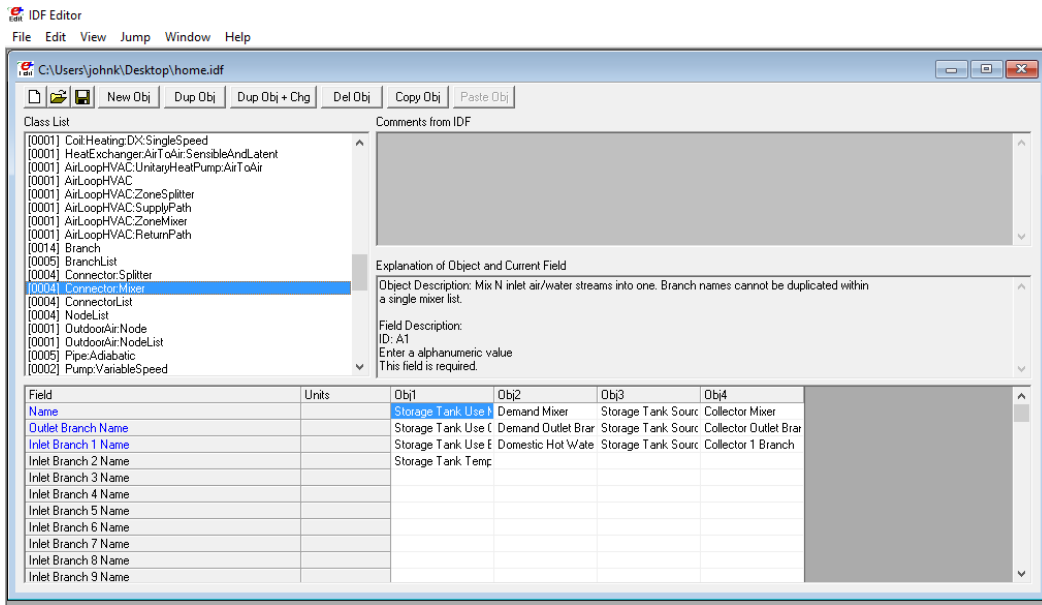
Διαχωρίζεται μια ροή αέρα ή νερού από μια είσοδο κλάδου σε πολλαπλές εξόδους. Το νερό αναφέρεται στις συνδέσεις του ηλιακού συλλέκτη ο οποίος ορίζεται στη συνέχεια.



Εικόνα 6.55: Υποκατηγορία Connector:Splitter

Υποκατηγορία Connector:Mixer

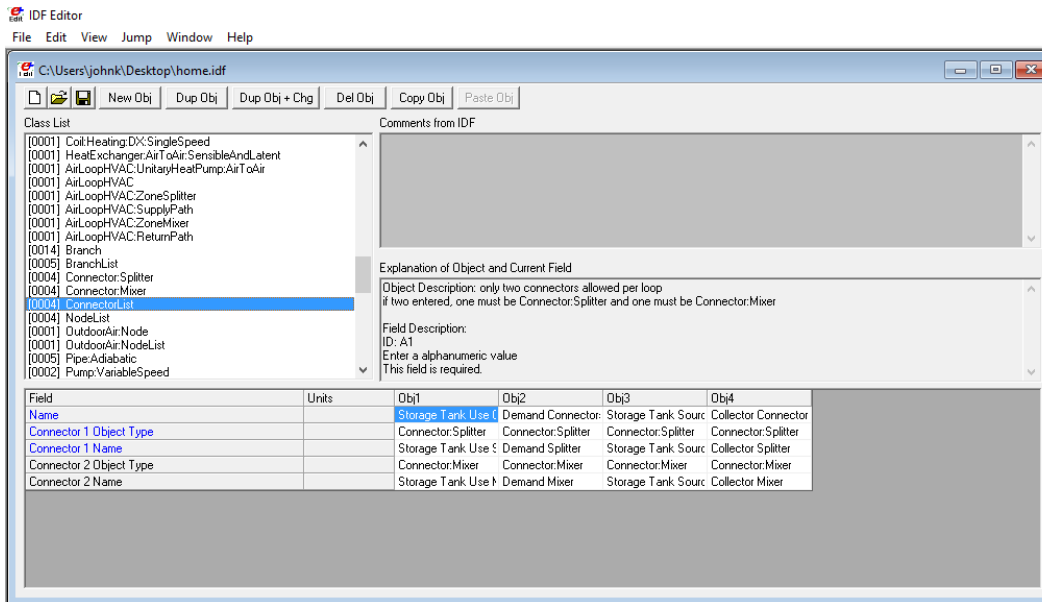
Αναμειγνύονται πολλαπλοί κλάδοι εισόδου σε έναν κλάδο εξόδου.



Εικόνα 6.56: Υποκατηγορία Connector:Mixer

Υποκατηγορία ConnectorList

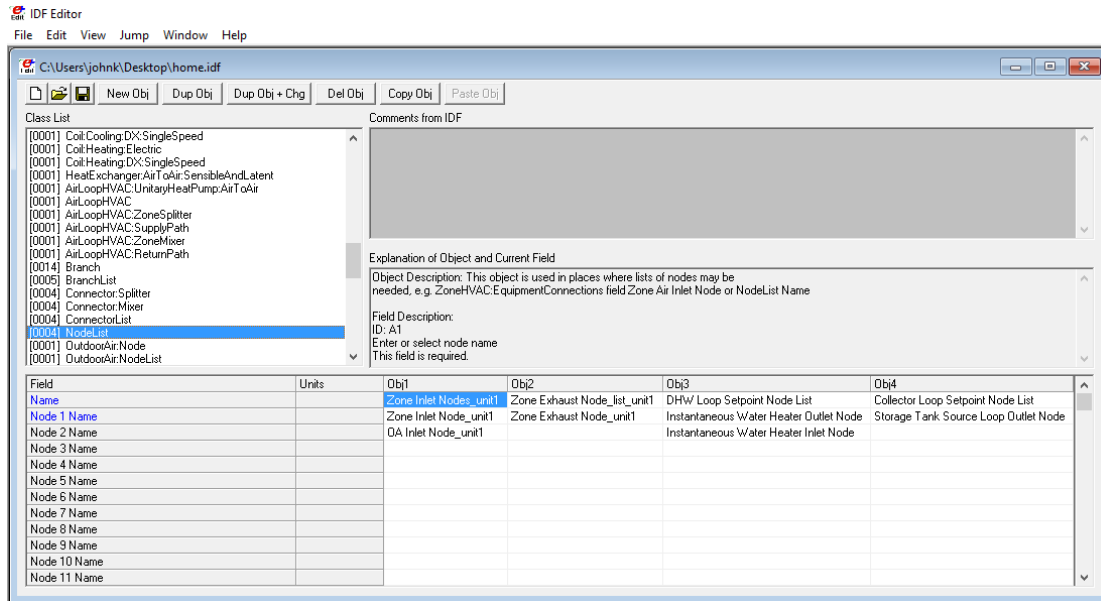
Ορίζονται οι 2 Connectors που χρησιμοποιήθηκαν παραπάνω, οι Connector:Splitter και Connector:Mixer.



Εικόνα 6.57: Υποκατηγορία ConnectorList

Υποκατηγορία NodeList

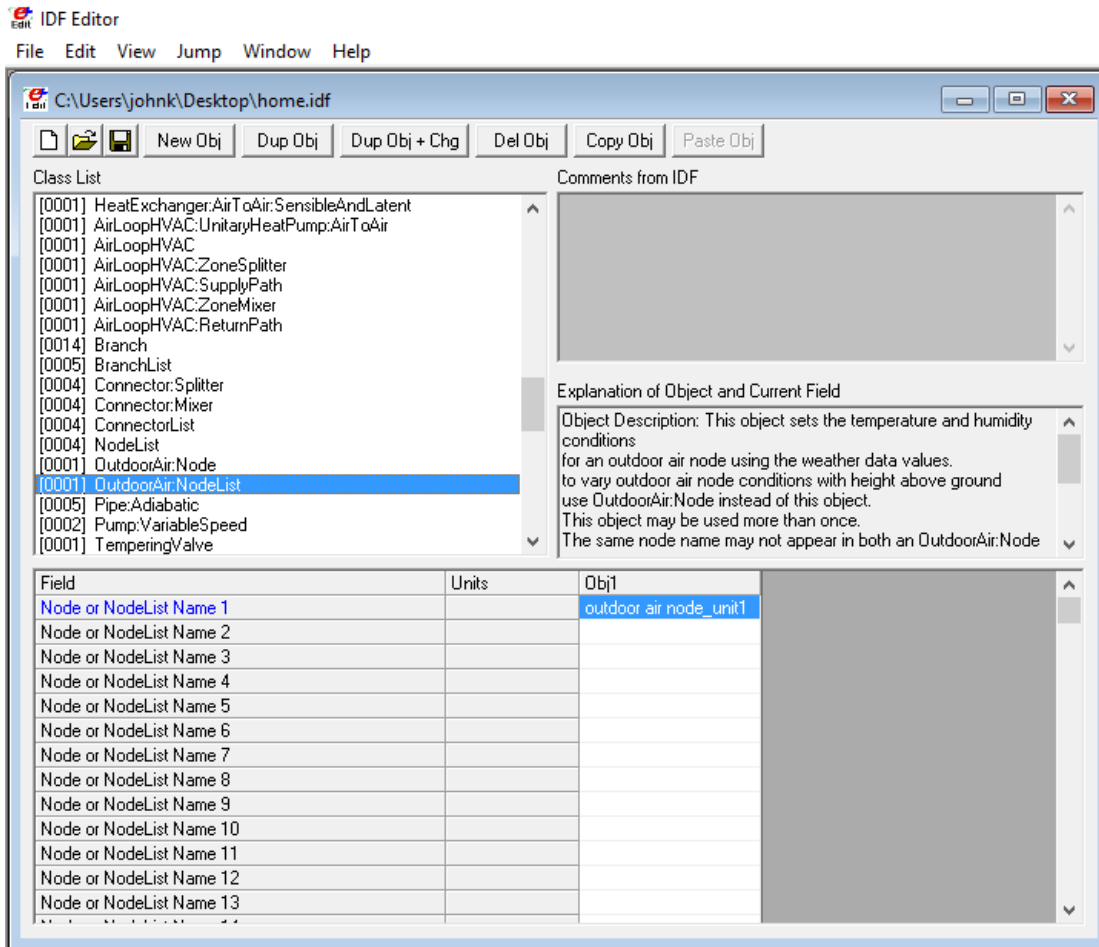
Ορίζονται λίστες κόμβων που είναι απαραίτητες σε άλλα σημεία του προγράμματος.



Εικόνα 6.58: Υποκατηγορία NodeList

Υποκατηγορία OutdoorAir:NodeList

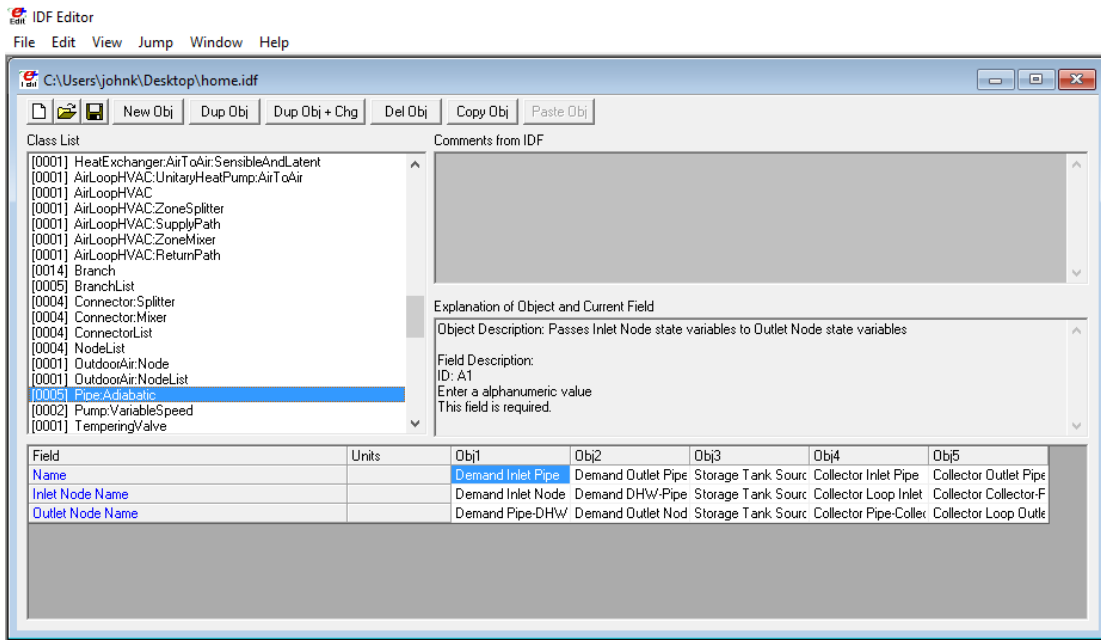
Προσδιορίζεται ο κόμβος εισόδου για τον εξωτερικό αέρα.



Εικόνα 6.59: Υποκατηγορία OutdoorAir:NodeList

Υποκατηγορία Pipe:Adiabatic

Οι συνιστώσες (components) είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους μέσω σωλήνων (pipes) ή αγωγών (ducts). Πρόκειται για ένα εργαλείο σύνδεσης ή παράκαμψης (bypass).

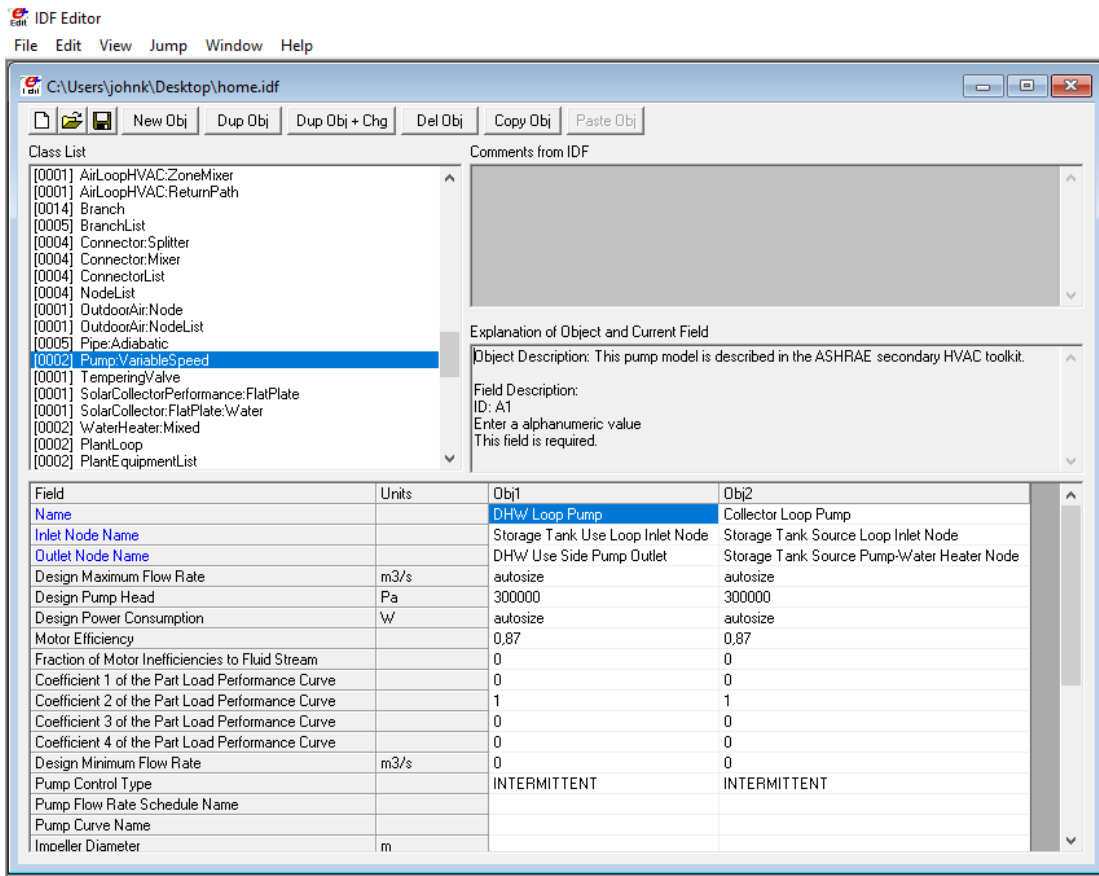


Εικόνα 6.60: Υποκατηγορία Pipe:Adiabatic

6.19 Κατηγορία Pumps

Υποκατηγορία Pump:VariableSpeed

Ορίζονται οι αντλίες που χρειάζονται στο σύστημα ZNX. Η μέγιστη παροχή τους υπολογίζεται αυτόματα και το μανομετρικό ύψος τους επιλέγεται ίσο με 300000 Pa. Η ισχύς τους υπολογίζεται επίσης αυτόματα, ενώ η απόδοσή τους ορίστηκε στο 0,87. Τα υπόλοιπα μεγέθη εισάχθηκαν σύμφωνα με τα προκαθορισμένα από το πρόγραμμα.

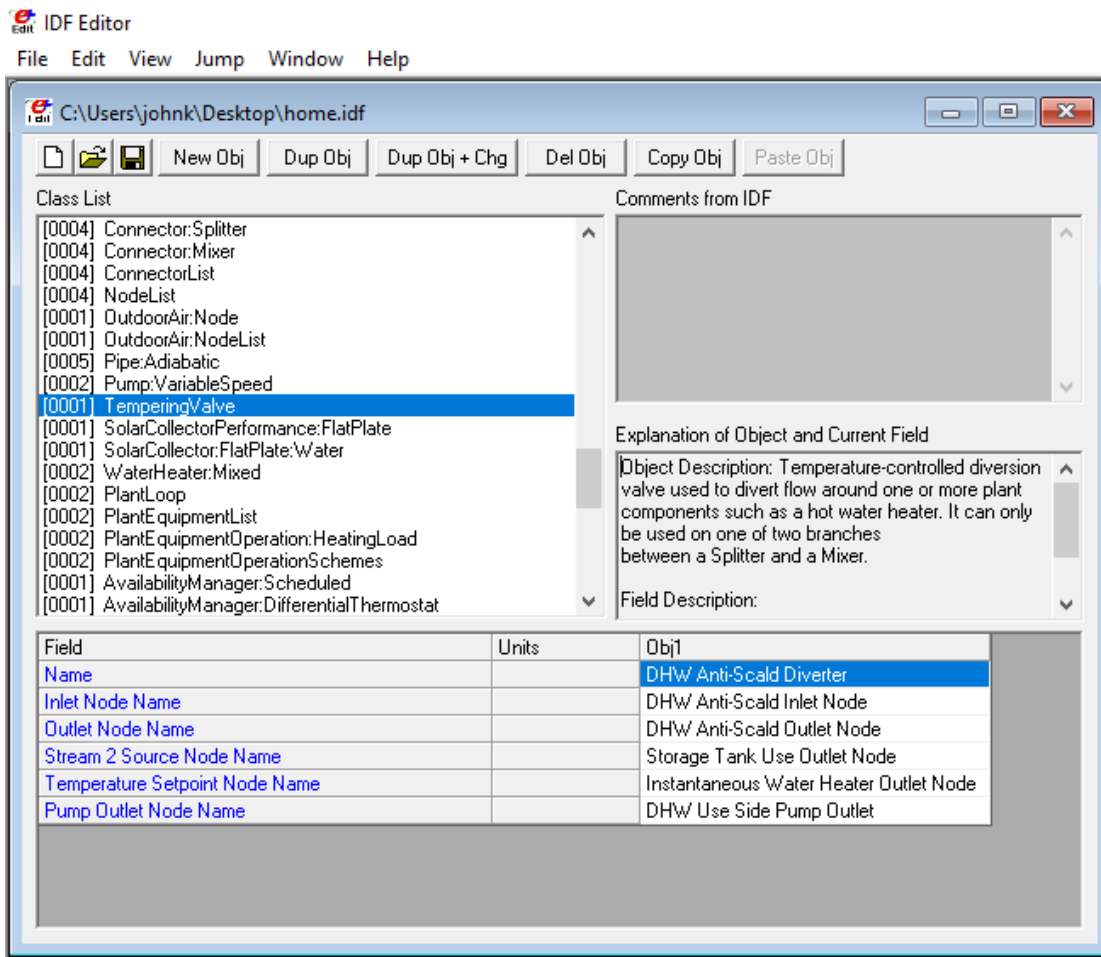


Εικόνα 6.61: Υποκατηγορία Pump:VariableSpeed

6.20 Κατηγορία Plant-Condenser Flow Control

Υποκατηγορία TemperingValve

Ορίζεται μια βαλβίδα ασφαλείας στο σύστημα ZNX ώστε να αποφευχθεί η υπερθέρμανση στη δεξαμενή του νερού.

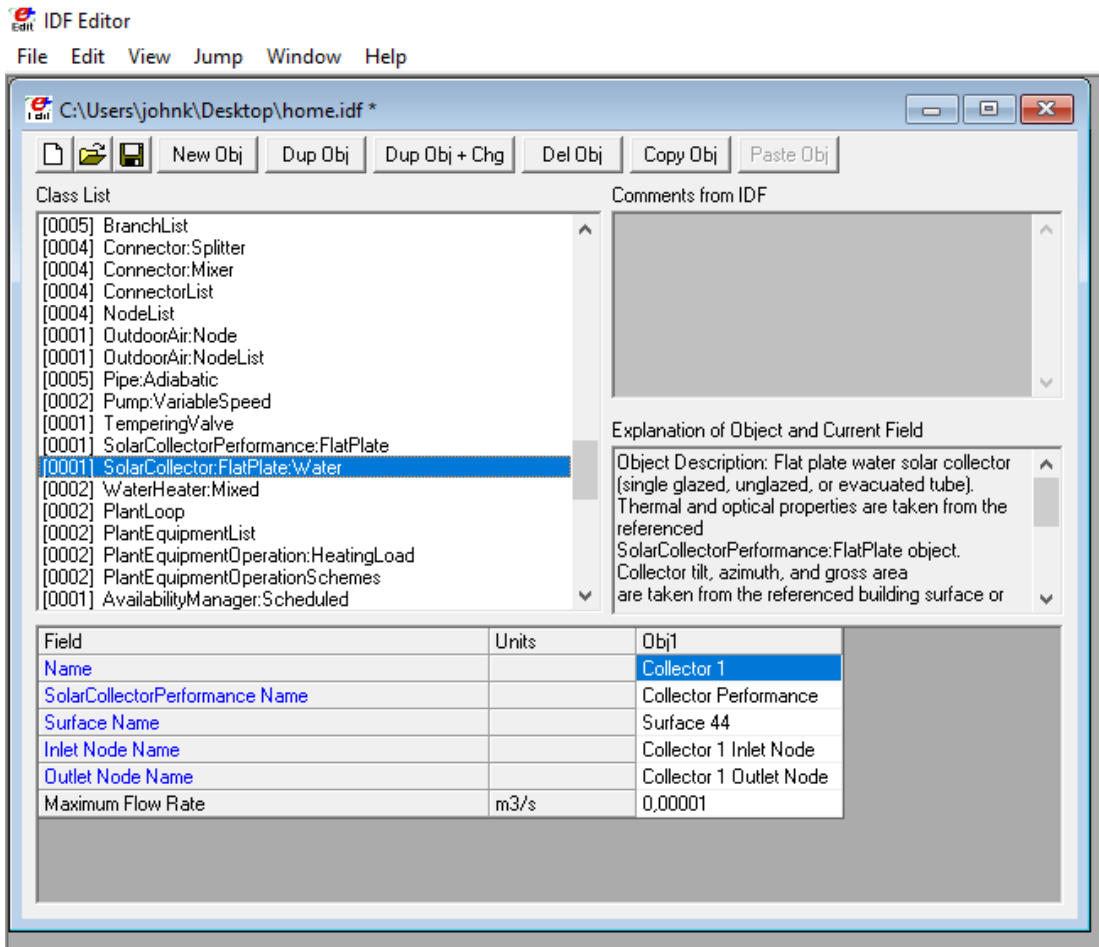


Εικόνα 6.62: Υποκατηγορία TemperingValve

6.21 Κατηγορία Solar Collectors

Υποκατηγορία SolarCollector:FlatPlate:Water

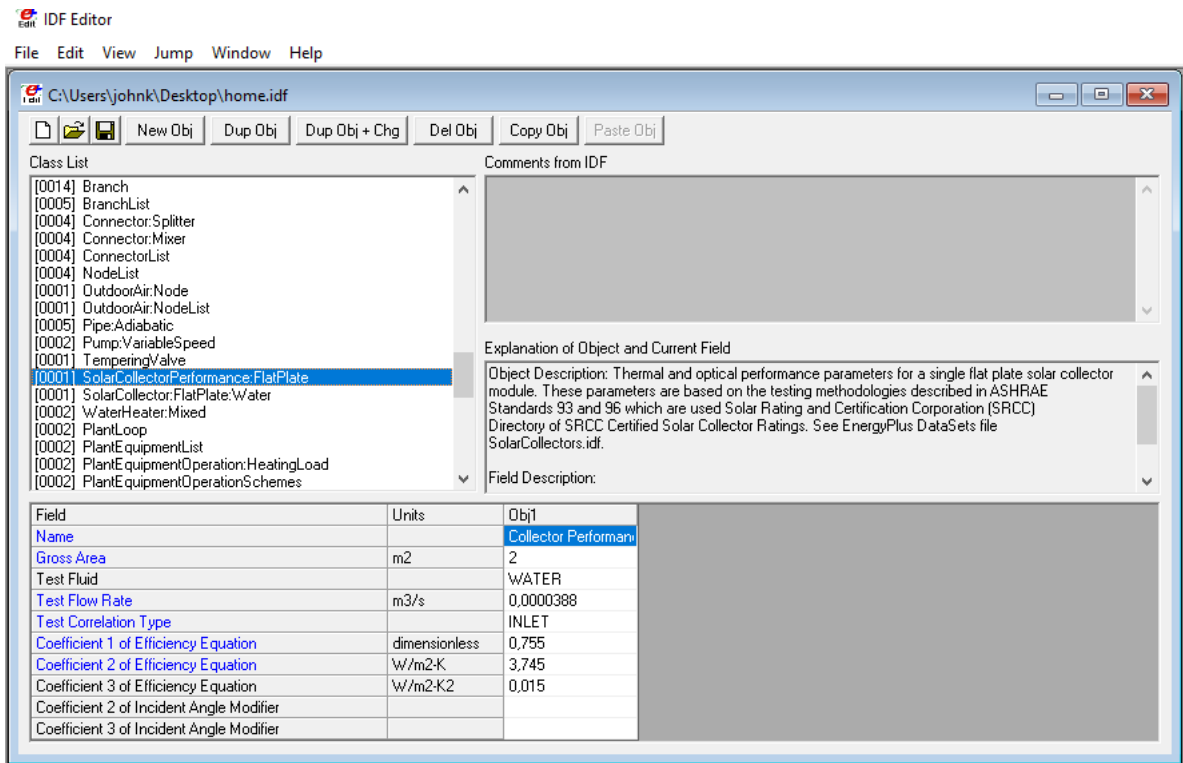
Ορίζεται ένας επίπεδος ηλιακός συλλέκτης ώστε να καλύψει τις ανάγκες για ΖΝΧ.



Εικόνα 6.63: Υποκατηγορία SolarCollector:FlatPlate:Water

Υποκατηγορία SolarCollectorPerformance:FlatPlate

Ορίζονται οι βασικές παράμετροι για τη λειτουργία του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη. Υπολογίστηκε ότι ένας συλλέκτης 2 m² αρκεί για να καλύψει τις ανάγκες ΖΝΧ μιας 4μελούς οικογένειας. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συλλέκτη αντλούνται από τα αρχεία (documentation) του Energyplus και συγκεκριμένα από τον φάκελο DataSets όπου υπάρχουν δεδομένα για διάφορους συλλέκτες του εμπορίου. Ουσιαστικά για την επιφάνεια του συλλέκτη που επιθυμείται λαμβάνεται η μέγιστη απόδοσή του συλλέκτη (Coefficient 1 of Efficiency Equation), ο συντελεστής απώλειας θερμότητας (Coefficient 2 of Efficiency Equation) και η εξάρτηση της θερμοκρασίας του συντελεστή απώλειας θερμότητας (Coefficient 3 of Efficiency Equation). Έτσι, υπολογίζεται αυτόματα η στιγμιαία απόδοση του συλλέκτη.

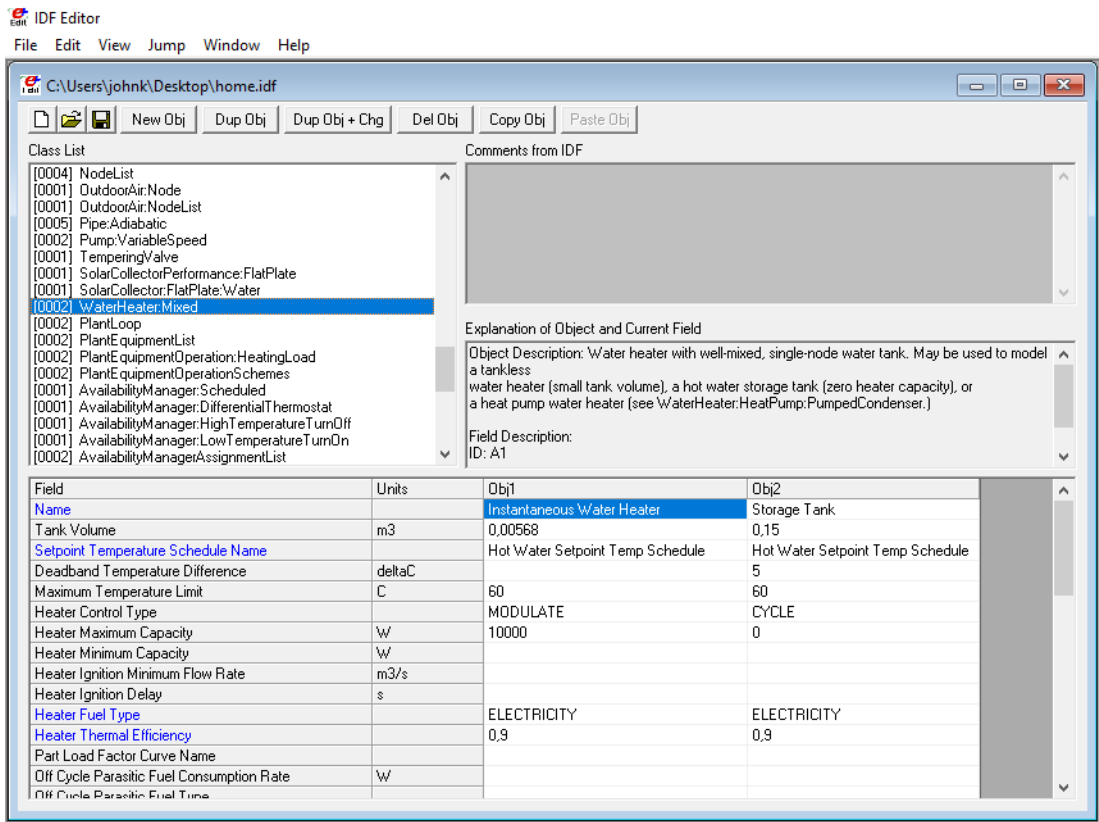


Εικόνα 6.64: Υποκατηγορία SolarCollectorPerformance:FlatPlate

6.22 Κατηγορία Water Heaters and Thermal Storage

Υποκατηγορία WaterHeater:Mixed

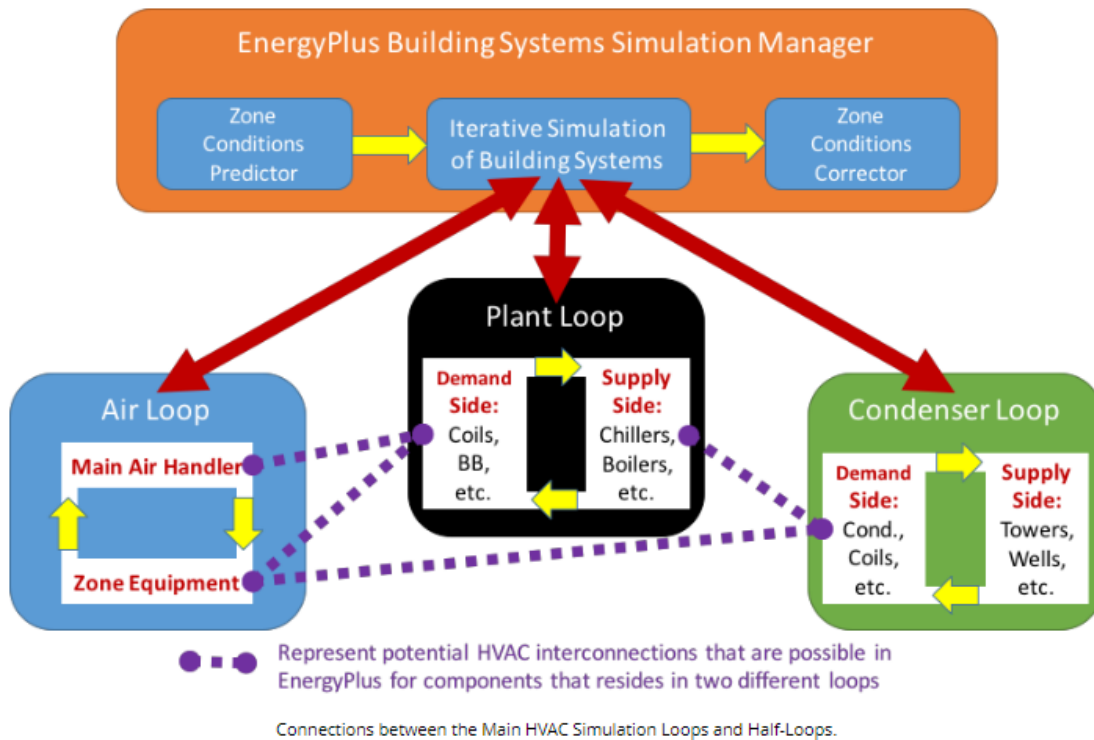
Ορίζονται η δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού από τον ηλιακό συλλέκτη, καθώς και ένας ταχυθερμοσίφωνα για κάλυψη των αναγκών όταν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Υπολογίστηκε ότι μια δεξαμενή 150 L (0,15 m³) αρκεί για τις ανάγκες μια 4μελούς οικογένειας. Το ανώτατο όριο θερμοκρασίας νερού ορίζεται στους 60 °C.



Εικόνα 6.65: Υποκατηγορία WaterHeater:Mixed

6.23 Κατηγορία Plant/Condenser Loops

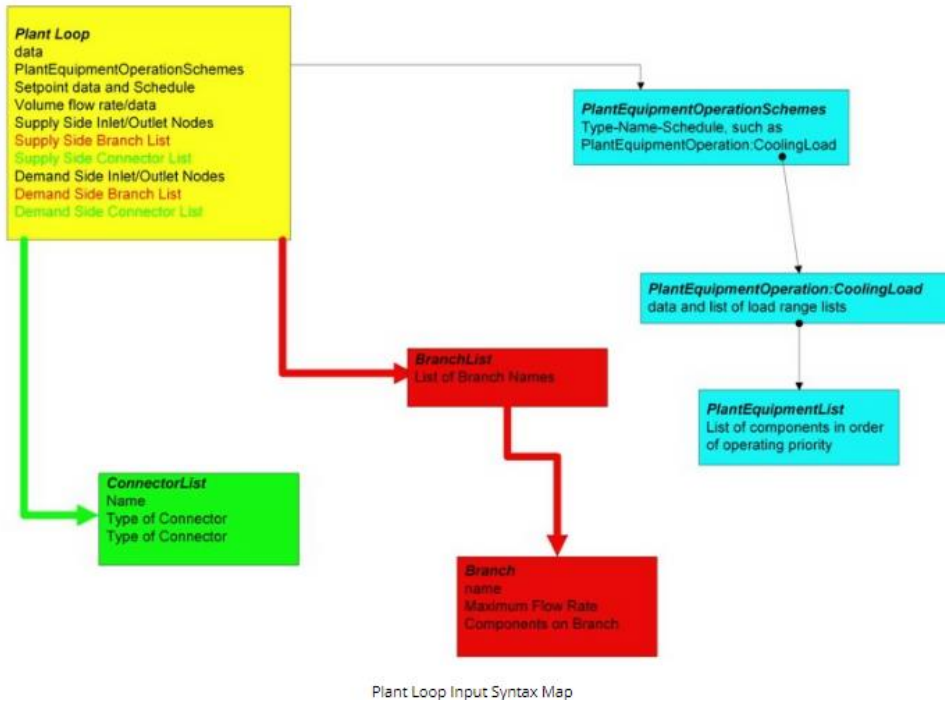
Έτσι όπως προσομοιώνεται η ροή του αέρα στο κτίριο (air loop), μια παρόμοια κατάσταση είναι η προσομοίωση της κεντρικής εγκατάστασης (central plant). Η κεντρική εγκατάσταση αλληλεπιδρά με τα συστήματα ενός βρόχου ρευστού μεταξύ των συνιστωσών (components) της εγκατάστασης και εναλλακτών θερμότητας (heating/cooling coils). Περισσότερα για τις προσομοιώσεις που κάνει το πρόγραμμα αναλύονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 6.66: Αναπαράσταση συνδέσεων των συστημάτων HVAC [26]

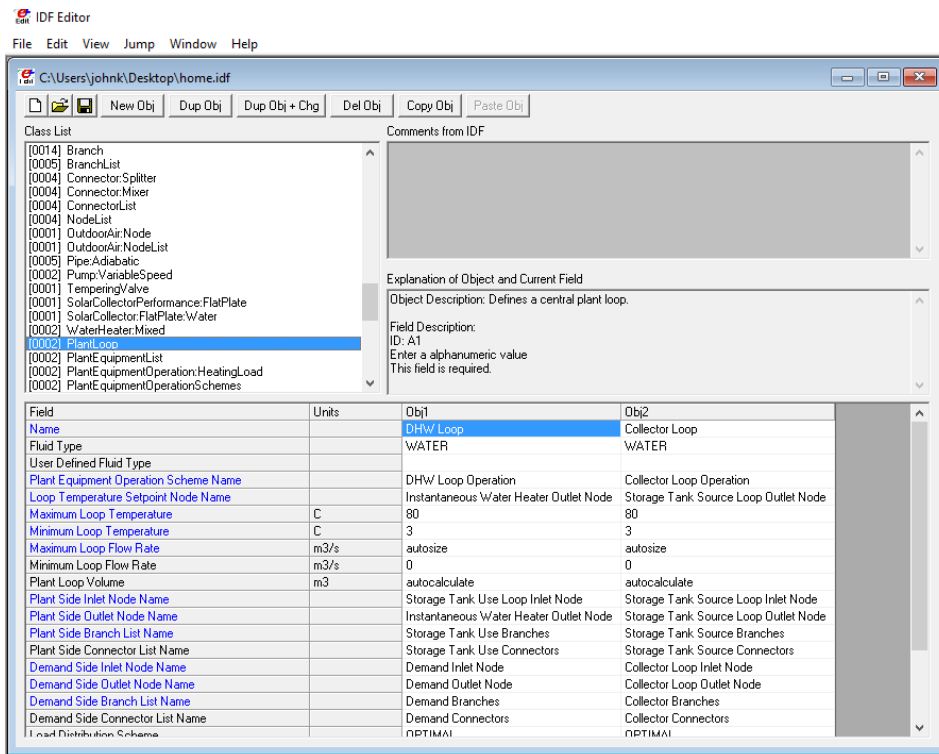
Υποκατηγορία PlantLoop

Σύμφωνα με τον χάρτη εισαγωγής δεδομένων, ορίζονται οι βρόχοι ZNX και ηλιακού συλλέκτη. Εισάγονται τα σχέδια λειτουργίας τους, τα οποία καθορίζονται στη συνέχεια και επιλέγονται η μέγιστη θερμοκρασία του νερού που κυκλοφορεί στους 80 °C για λόγους ασφαλείας, ενώ η ελάχιστη στους 3 °C. Η μέγιστη παροχή του βρόχου υπολογίζεται αυτόματα. Έπειτα ορίζονται οι κόμβοι που συνδέουν όλες τις συνιστώσες του ηλιακού συλλέκτη και του ταχυθερμοσίφωνα.



Plant Loop Input Syntax Map

Εικόνα 6.67: Αναπαράσταση βρόχου εγκατάστασης (plant loop) [27]

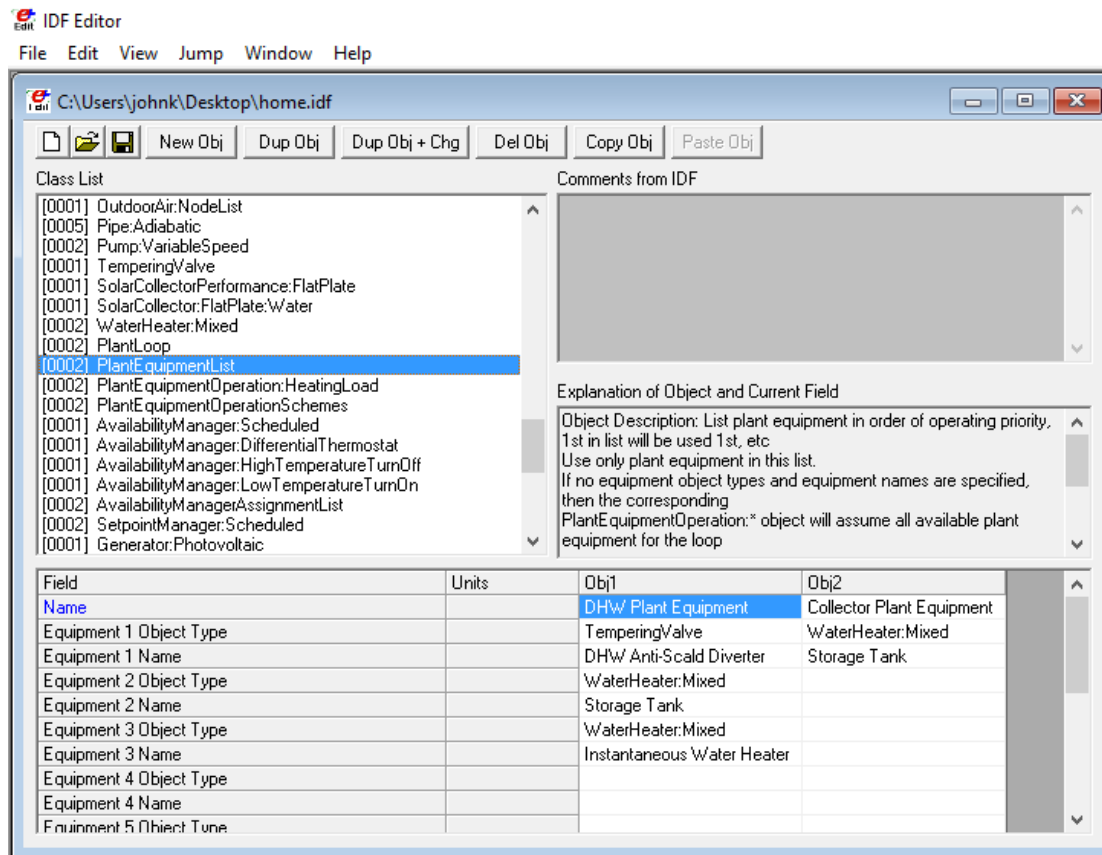


Εικόνα 6.68: Υποκατηγορία PlantLoop

6.24 Κατηγορία Plant-Condenser Control

Υποκατηγορία PlantEquipmentList

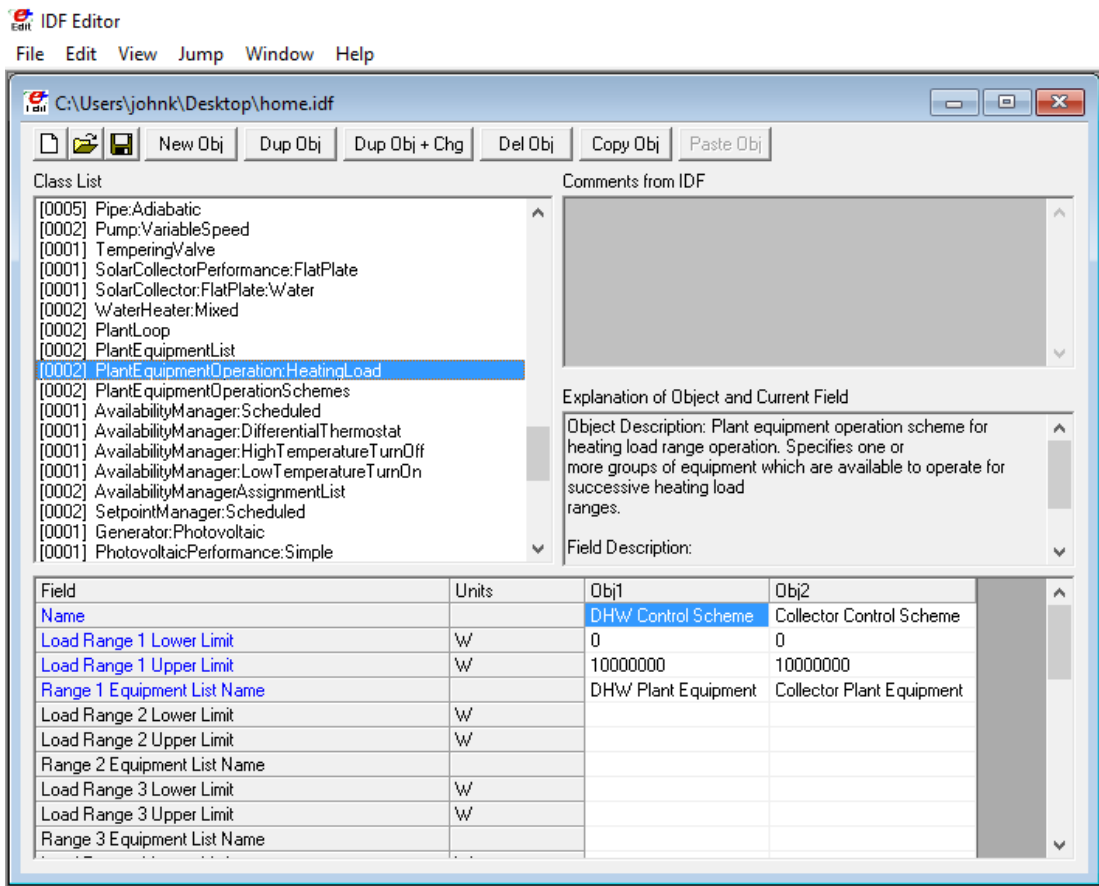
Ορίζονται οι βρόχοι εγκατάστασης (plant loops).



Εικόνα 6.69: Υποκατηγορία PlantEquipmentList

Υποκατηγορία PlantEquipmentOperation:HeatingLoad

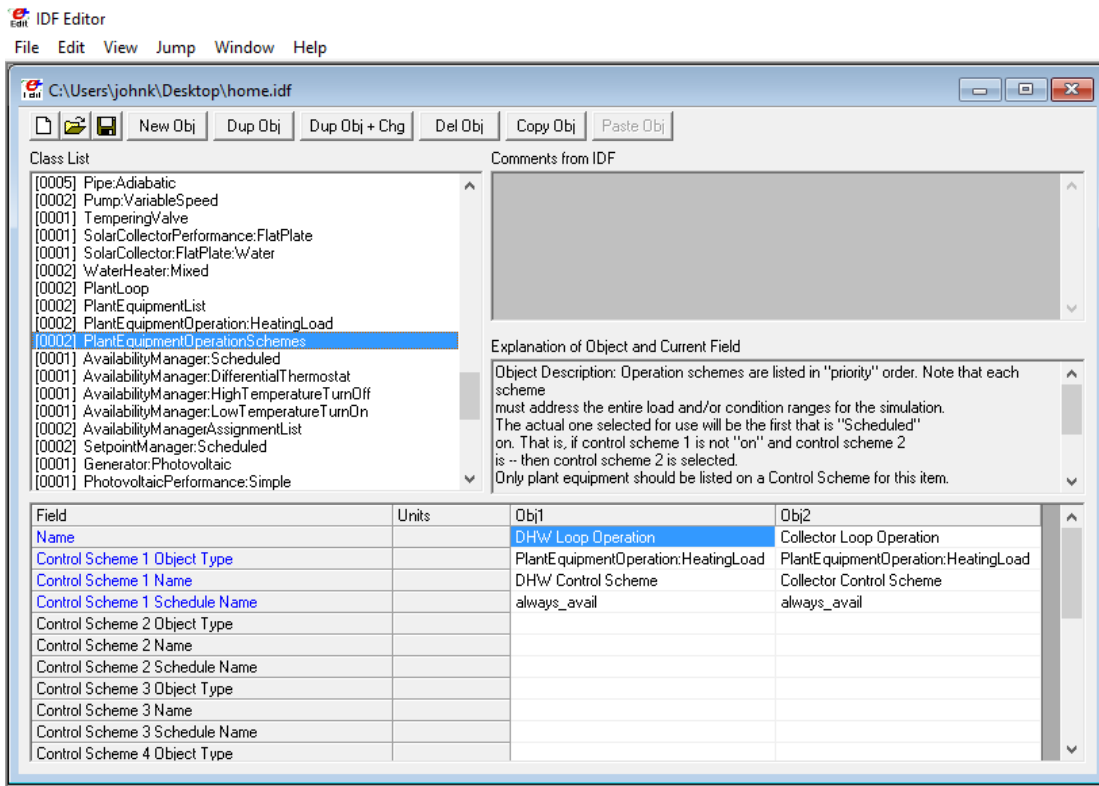
Ορίζονται τα εύρη λειτουργίας των φορτίων θέρμανσης. Η τιμή του ανώτατου ορίου για το φορτίο είναι τυπική και λήφθηκε από παράδειγμα του προγράμματος.



Εικόνα 6.70: Υποκατηγορία PlantEquipmentOperation:HeatingLoad

Υποκατηγορία PlantEquipmentOperationSchemes

Ορίζονται σχέδια λειτουργίας των οποίων ο σκοπός είναι να ελέγχουν τη λειτουργία των βρόχων εγκατάστασης (plant loops) και ποιος εξοπλισμός είναι διαθέσιμος και υπό ποιες συνθήκες. Δίνεται επίσης βάση στην προτεραιότητα που έχει ο κάθε βρόχος.



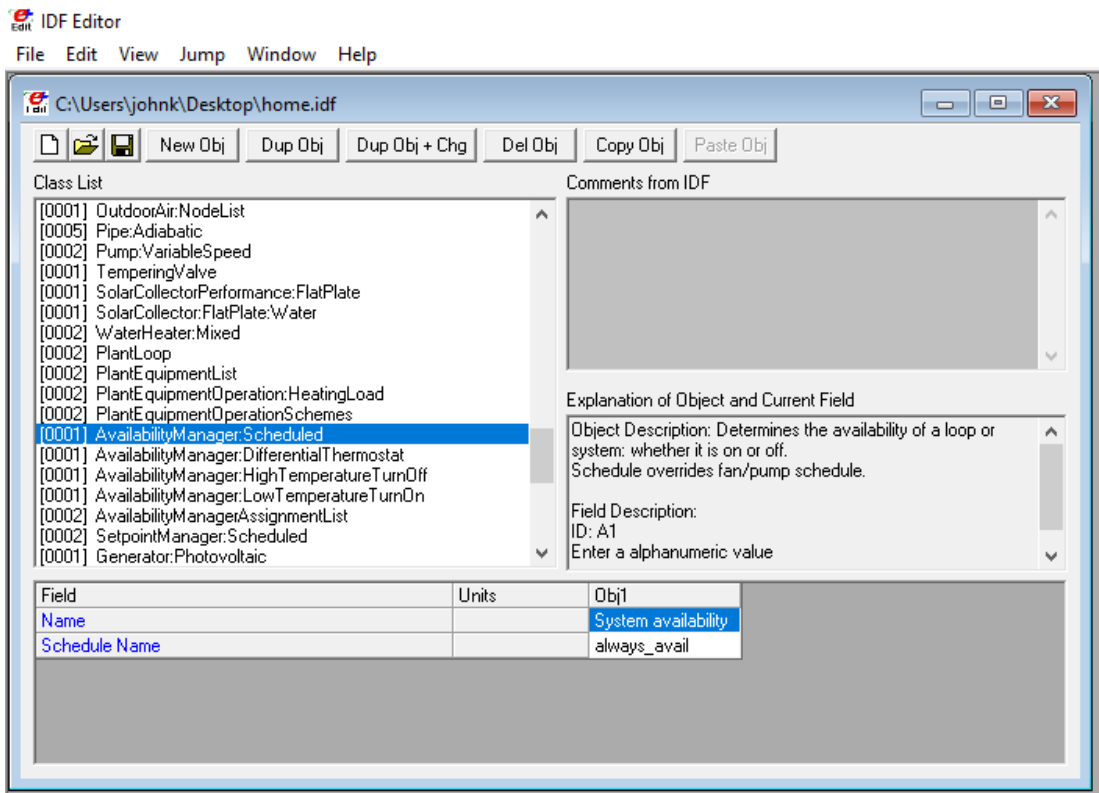
Εικόνα 6.71: Υποκατηγορία PlantEquipmentOperationSchemes

6.25 Κατηγορία System Availability Managers

Σε αυτήν την κατηγορία λαμβάνονται δεδομένα από τους κόμβους των συστημάτων HVAC και χρησιμοποιούνται για να αποφασιστεί αν το εκάστοτε σύστημα HVAC πρέπει να ενεργοποιηθεί ή να απενεργοποιηθεί.

Υποκατηγορία AvailabilityManager:Scheduled

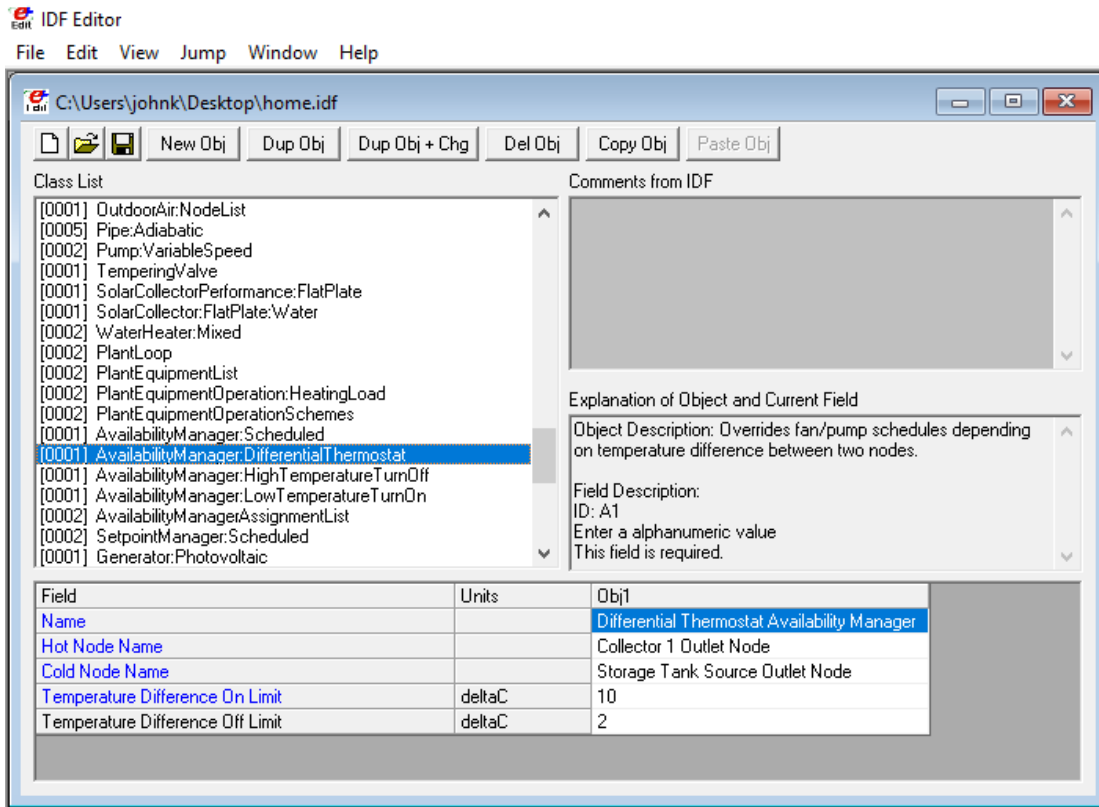
Καθορίζεται η διαθεσιμότητα ενός βρόχου ή συστήματος, αν δηλαδή είναι ενεργοποιημένο ή απενεργοποιημένο.



Εικόνα 6.72: Υποκατηγορία AvailabilityManager:Scheduled

Υποκατηγορία AvailabilityManager:DifferentialThermostat

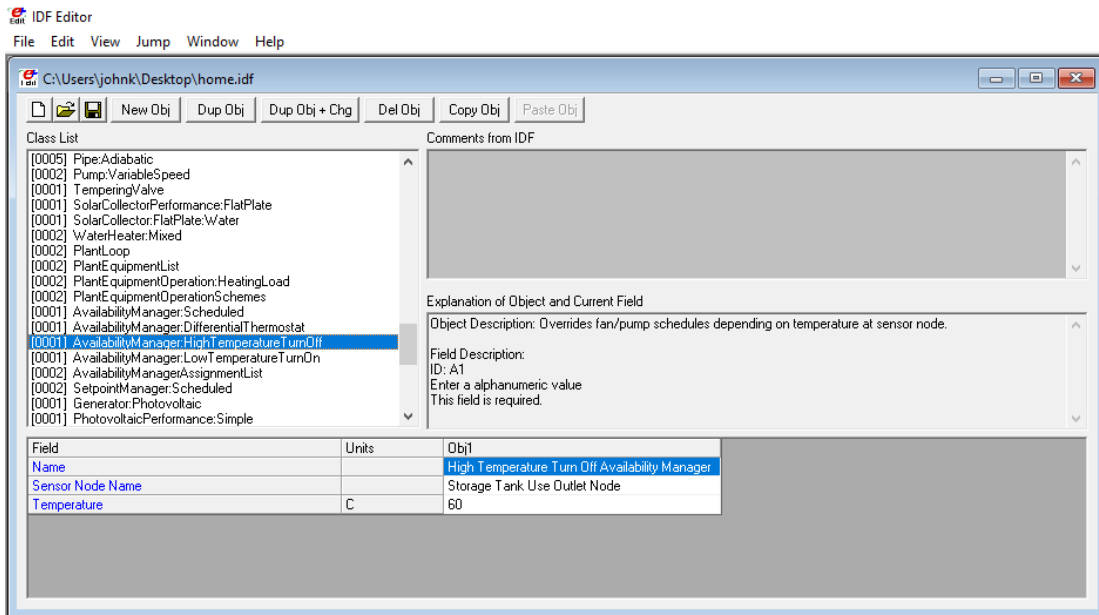
Ο διαφορικός θερμοστάτης συγκρίνει την θερμοκρασία μεταξύ 2 συστημάτων κόμβων. Αν η διαφορά θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη από το όριο ενεργοποίησης, το σύστημα ενεργοποιείται. Το αντίθετο συμβαίνει όταν η διαφορά θερμοκρασίας είναι κάτω από το όριο απενεργοποίησης. Στην περίπτωση μας αφορά τη λειτουργία του συστήματος του ηλιακού θερμοσίφωνα, το οποίο ενεργοποιείται όταν υπάρχει η επιλεγμένη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του κόμβου εξόδου του ηλιακού συλλέκτη και του κόμβου εξόδου του δοχείου αποθήκευσης.



Εικόνα 6.73: Υποκατηγορία AvailabilityManager:DifferentialThermostat

Υποκατηγορία AvailabilityManager:HighTemperatureTurnOff

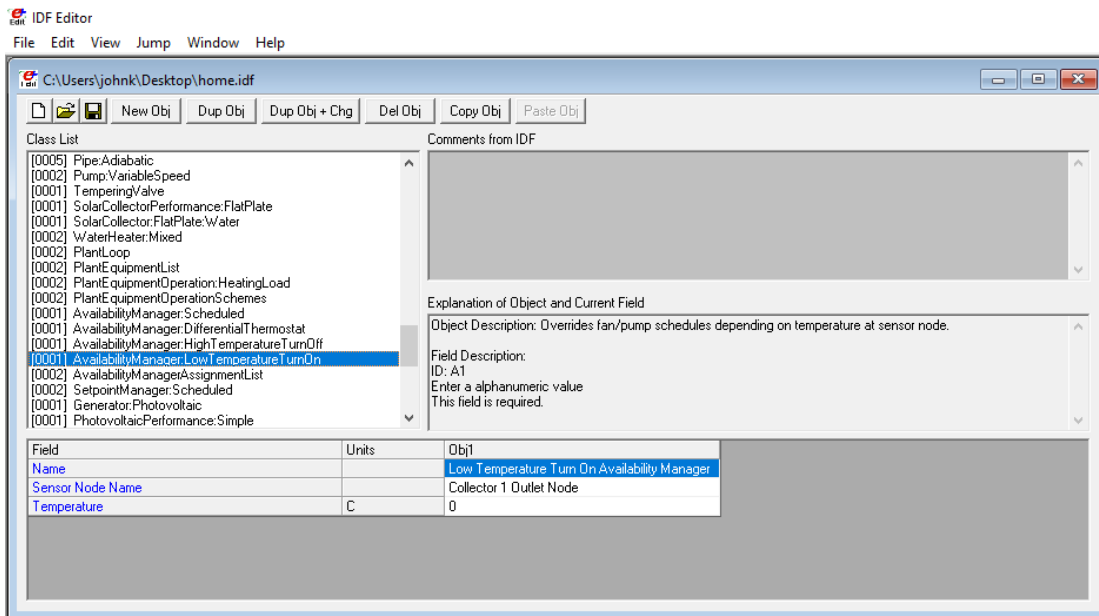
Ορίζεται μια θερμοκρασία ελέγχου στο δοχείο αποθήκευσης πάνω από την οποία το σύστημα του ηλιακού θερμοσίφωνα απενεργοποιείται.



Εικόνα 6.74: Υποκατηγορία AvailabilityManager:HighTemperatureTurnOff

Υποκατηγορία AvailabilityManager:LowTemperatureTurnOn

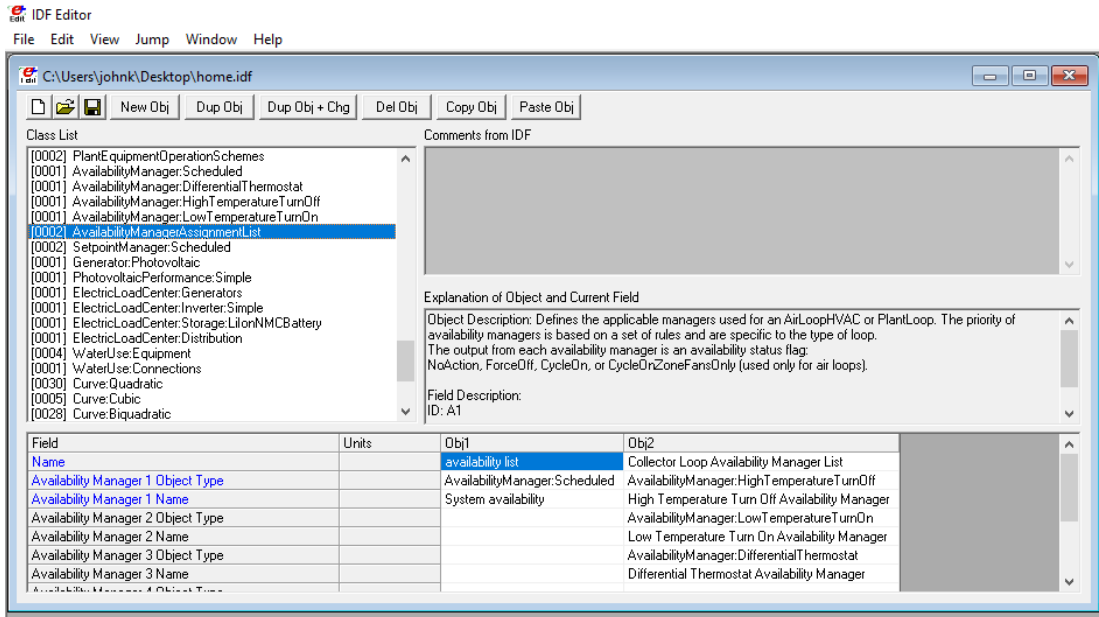
Ορίζεται μια θερμοκρασία ελέγχου στον ηλιακό συλλέκτη κάτω από την οποία το σύστημα του ηλιακού θερμοσίφωνα ενεργοποιείται.



Εικόνα 6.75: Υποκατηγορία AvailabilityManager:LowTemperatureTurnOn

Υποκατηγορία AvailabilityManagerAssignmentList

Ορίζονται όλοι οι ελεγκτές (availability managers) που χρησιμοποιήθηκαν παραπάνω. Παρατίθενται με σειρά προτεραιότητας.

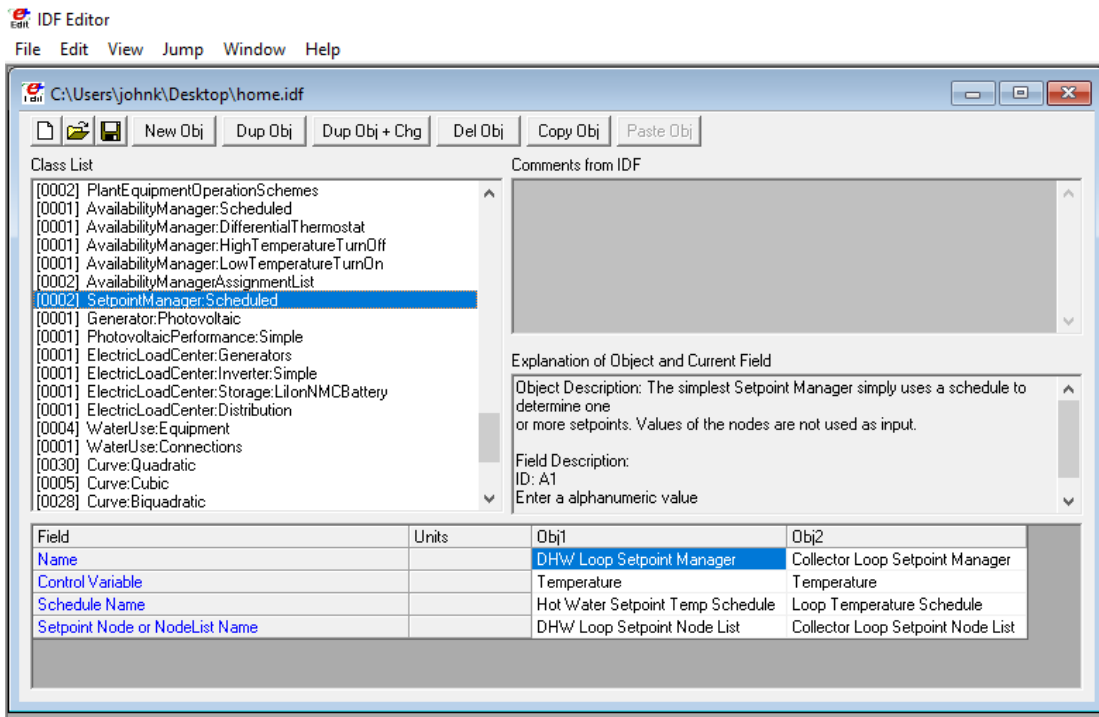


Εικόνα 6.76: Υποκατηγορία AvailabilityManagerAssignmentList

6.26 Κατηγορία Setpoint Managers

Υποκατηγορία SetpointManager:Scheduled

Μέσω ενός χρονοδιαγράμματος (Schedule) καθορίζεται ένα σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας που χρησιμοποιείται από το σύστημα ZNX.

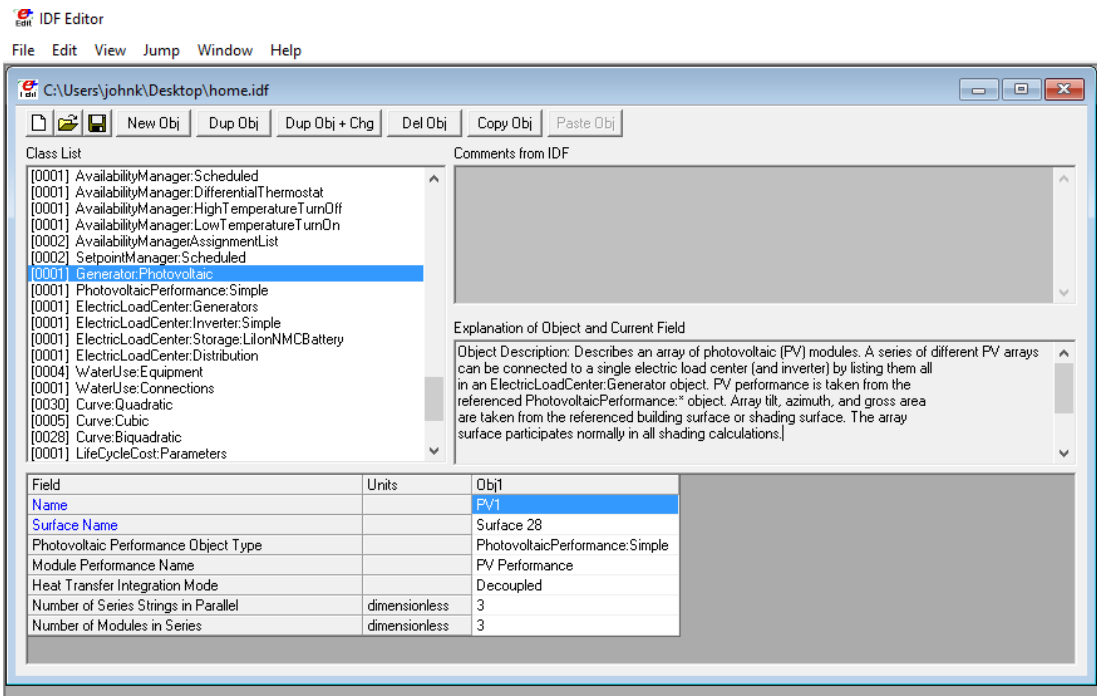


Εικόνα 6.77: Υποκατηγορία SetpointManager:Scheduled

6.27 Κατηγορία Electric Load Center-Generator Specifications

Υποκατηγορία Generator:Photovoltaic

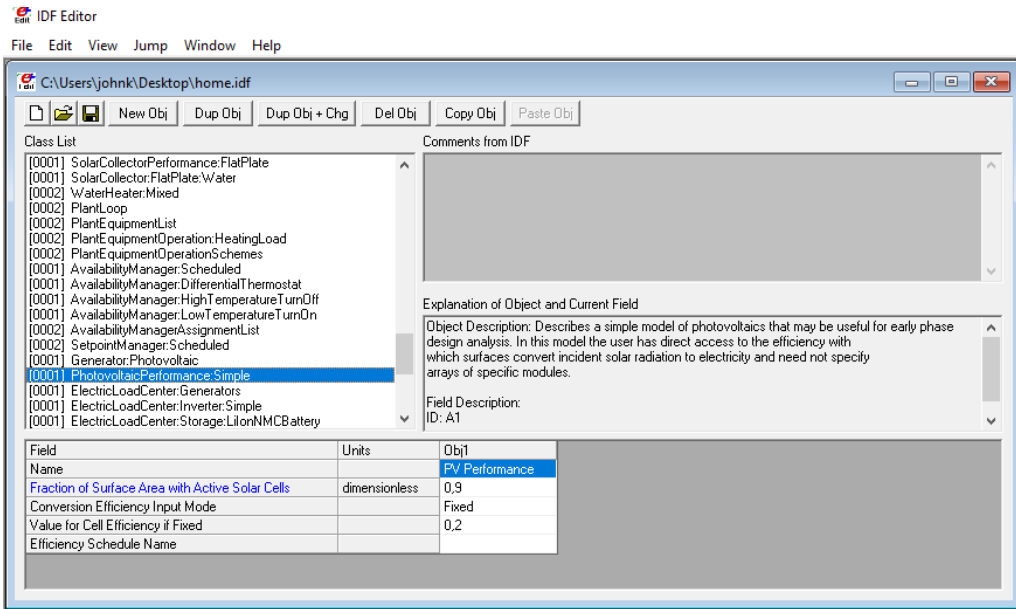
Ορίζεται μια διάταξη από φωτοβολταϊκά πάνελ για παραγωγή ενέργειας, η οποία τοποθετείται στο δώμα του κτιρίου. Η κλίση τους και το αζιμούθιο λαμβάνονται από την επιφάνεια πάνω στην οποία βρίσκονται.



Εικόνα 6.78: Υποκατηγορία Generator:Photovoltaic

Υποκατηγορία PhotovoltaicPerformance:Simple

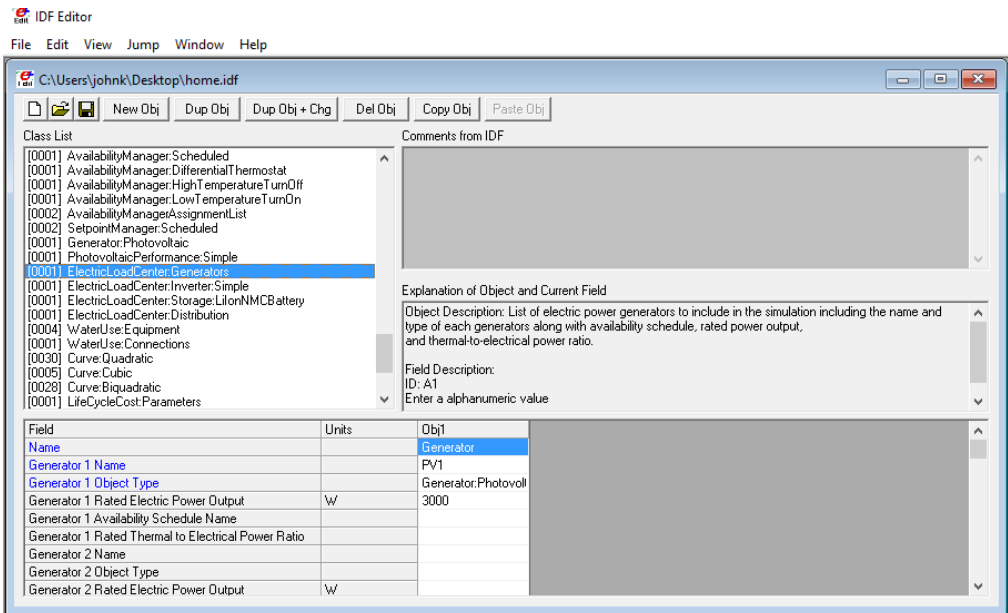
Ορίζεται ένα απλό μοντέλο φωτοβολταϊκών πάνελ με σκοπό να ληφθεί υπόψη κατά τη σχεδιαστική φάση η ετήσια παραγωγή ενέργειας και η μέγιστη ισχύς τους.



Εικόνα 6.79: Υποκατηγορία PhotovoltaicPerformance:Simple

Υποκατηγορία ElectricLoadCenter:Generators

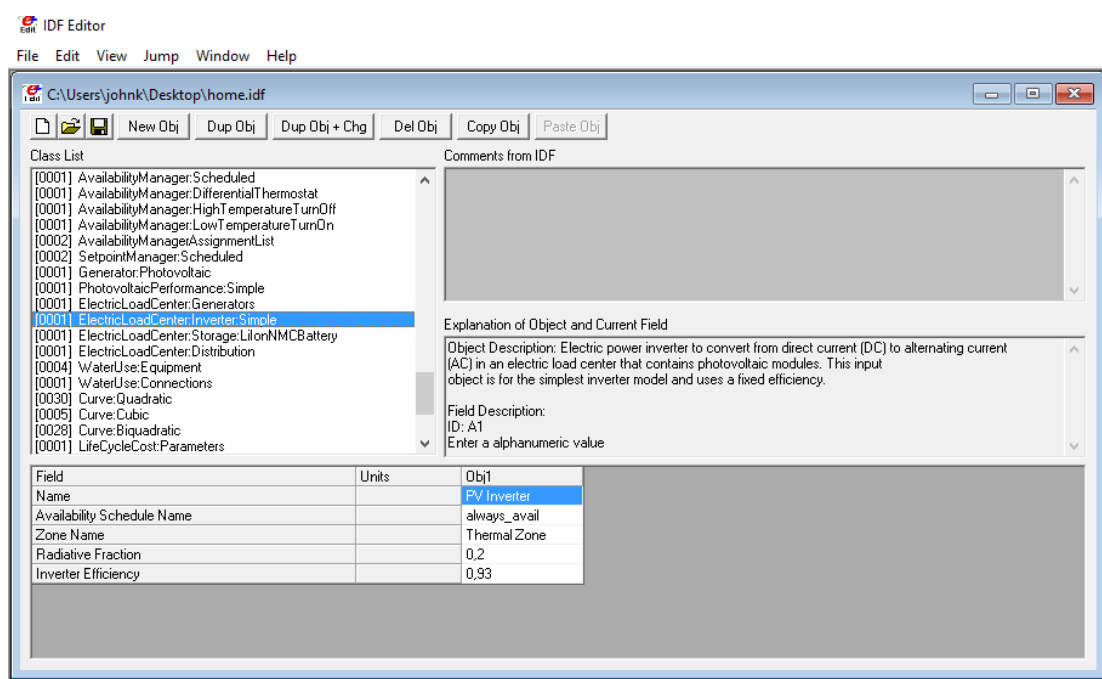
Ορίζεται μια λίστα με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στην περίπτωση μας τα φωτοβολταϊκά πάνελ.



Εικόνα 6.80: Υποκατηγορία ElectricLoadCenter:Generators

Υποκατηγορία ElectricLoadCenter:Inverter:Simple

Ορίζεται ο αντιστροφέας (inverter) που χρειάζεται για την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά σε εναλλασσόμενο (AC).



Εικόνα 6.81: Υποκατηγορία ElectricLoadCenter:Inverter:Simple

Υποκατηγορία ElectricLoadCenter:Storage:LilonNMCBattery

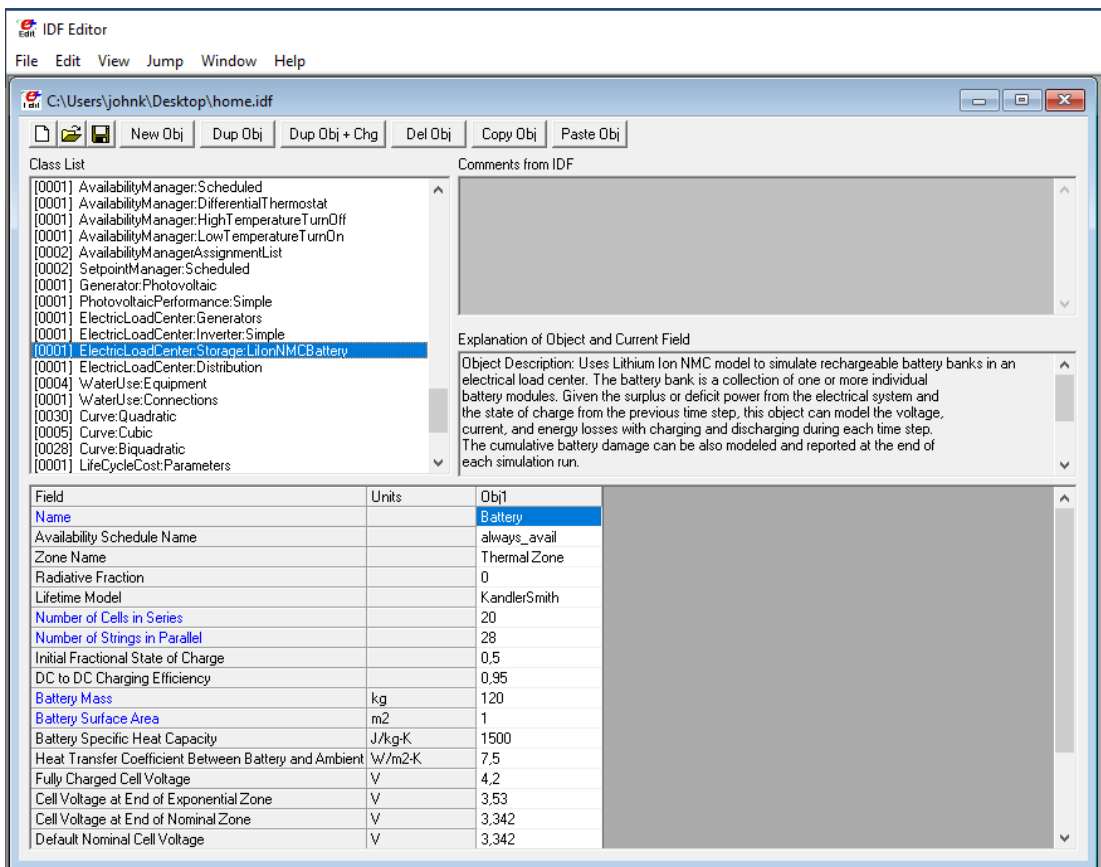
Σε μια κατοικία οι ενεργειακές καταναλώσεις αυξάνονται συνήθως κατά τις απογευματινές και βραδινές ώρες, καθώς τις πρωινές και μεσημβρινές ώρες η πλειοψηφία των καταναλωτών βρίσκεται στο χώρο εργασίας του. Έτσι έχει οριστεί και για την περίπτωση μας το χρονοδιάγραμμα της ανθρώπινης παρουσίας στο κτίριο. Σε αντίθεση, η μέγιστη παραγωγή των Φ/Β συμβαίνει τις μεσημβρινές ώρες, με αποτέλεσμα να μην συμπίπτει η μέγιστη ζήτηση ενέργειας με την μέγιστη προσφορά.

Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί εν μέρει με το Net Metering, δηλαδή τη διοχέτευση της πλεονάζουσας ενέργειας στο Δίκτυο (έμμεση αποθήκευση). Έτσι, όταν η προσφορά είναι μεγαλύτερη της ζήτησης τις μεσημβρινές ώρες η περίσσεια ενέργεια μεταφέρεται στο δίκτυο, ενώ τις απογευματινές και βραδινές ώρες που η προσφορά μηδενίζεται,

λαμβάνεται ενέργεια από το δίκτυο και γίνεται ένας συμψηφισμός της παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας.

Η λύση αυτή βελτιώνεται σημαντικά με την τοπική αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας, χρησιμοποιώντας συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Η περίσσεια ενέργεια που αποθηκεύεται, αποδίδεται πίσω κατά τις νυχτερινές ή συννεφιασμένες μέρες. Συνεπώς, η επιστρεφόμενη ενέργεια στο δίκτυο μειώνεται, ελαττώνοντας παράλληλα και το κόστος χρήσης του δικτύου.

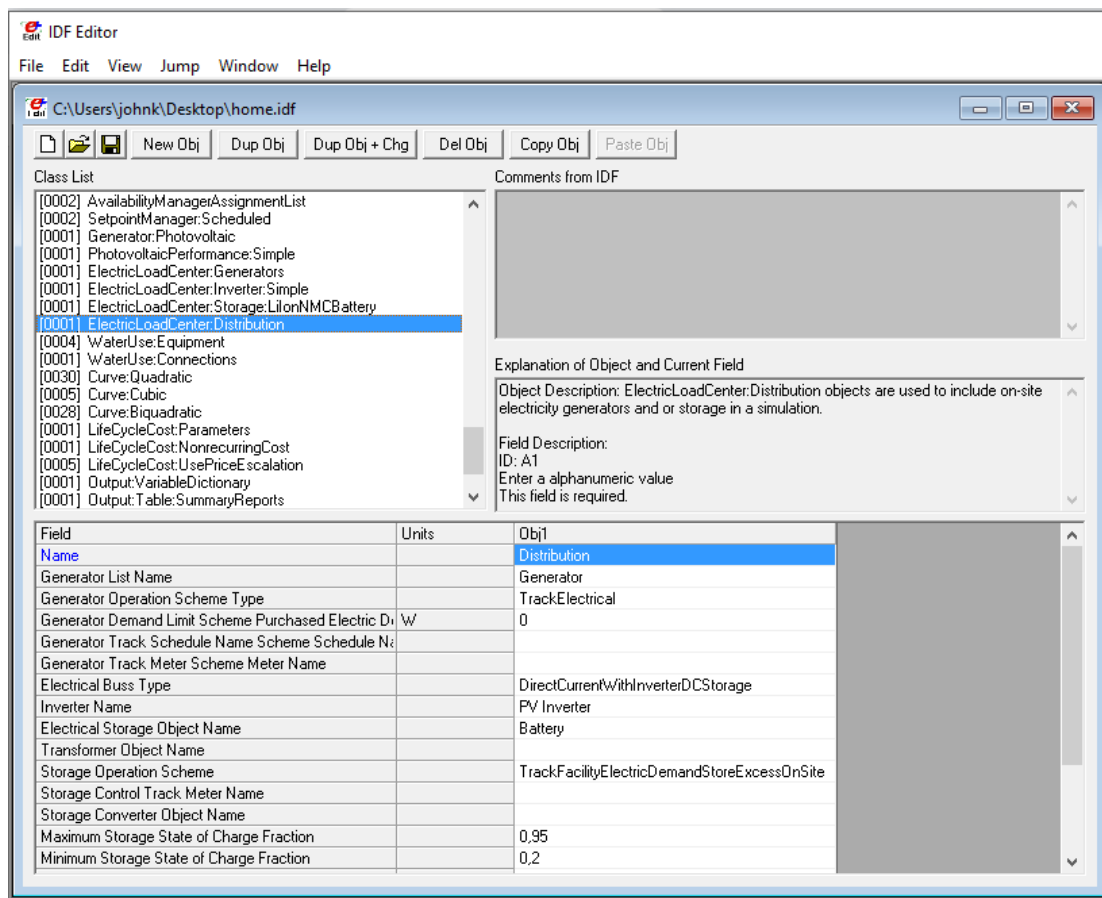
Στην υποκατηγορία αυτή προσομοιώνεται η λειτουργία μια μπαταρίας ιόντων λιθίου, συγκεκριμένα Λιθίου οξειδίου Νικελίου Μαγγανίου Κοβαλτίου (Nickel Manganese Cobalt, ή NMC). Η χωρητικότητα της μπαταρίας επιλέχθηκε στις 89,6 Ah ενώ η ονομαστική τάση στα 67 V ώστε να προκύψουν περίπου 6 kWh.



Εικόνα 6.82: Υποκατηγορία ElectricLoadCenter:Storage:LionNMCBattery

Υποκατηγορία ElectricLoadCenter:Distribution

Περιλαμβάνεται η παραγωγή και η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Καθορίζεται η λειτουργία τους σύμφωνα με τα αντίστοιχα προγράμματα και παρακολουθείται η ηλεκτρική ενέργεια που παράχθηκε ή αγοράστηκε από το δίκτυο.

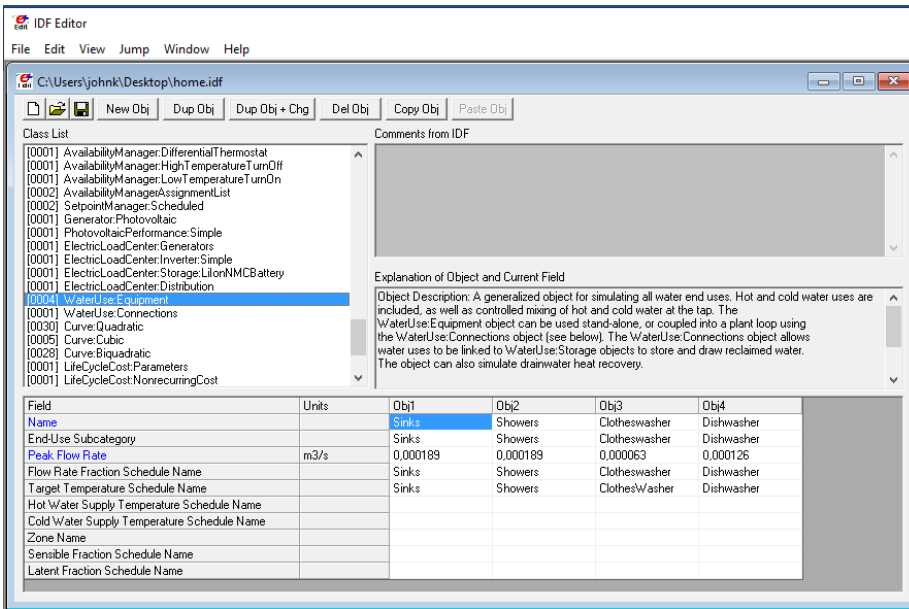


Εικόνα 6.83: Υποκατηγορία ElectricLoadCenter:Distribution

6.28 Κατηγορία Water Systems

Υποκατηγορία WaterUse:Equipment

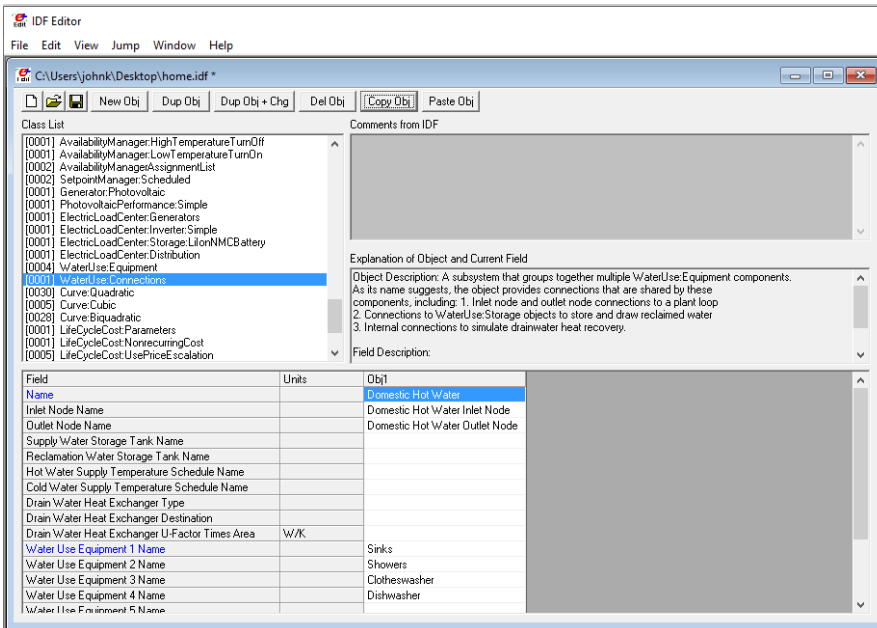
Ορίζονται οι κύριες χρήσεις νερού (ζεστό και κρύο). Επιθυμητές τιμές για τις παροχές σύμφωνα με το Green Public Procurement (GPP) ορισμένο από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή είναι για νεροχύτες 8 L/min και για ντουζιέρες 9 L/min. Για πλυντήριο πιάτων και ρούχων ορίζονται τυπικές τιμές 15 L/min και 19 L/min αντίστοιχα.



Εικόνα 6.84: Υποκατηγορία WaterUse:Equipment

Υποκατηγορία WaterUse:Connections

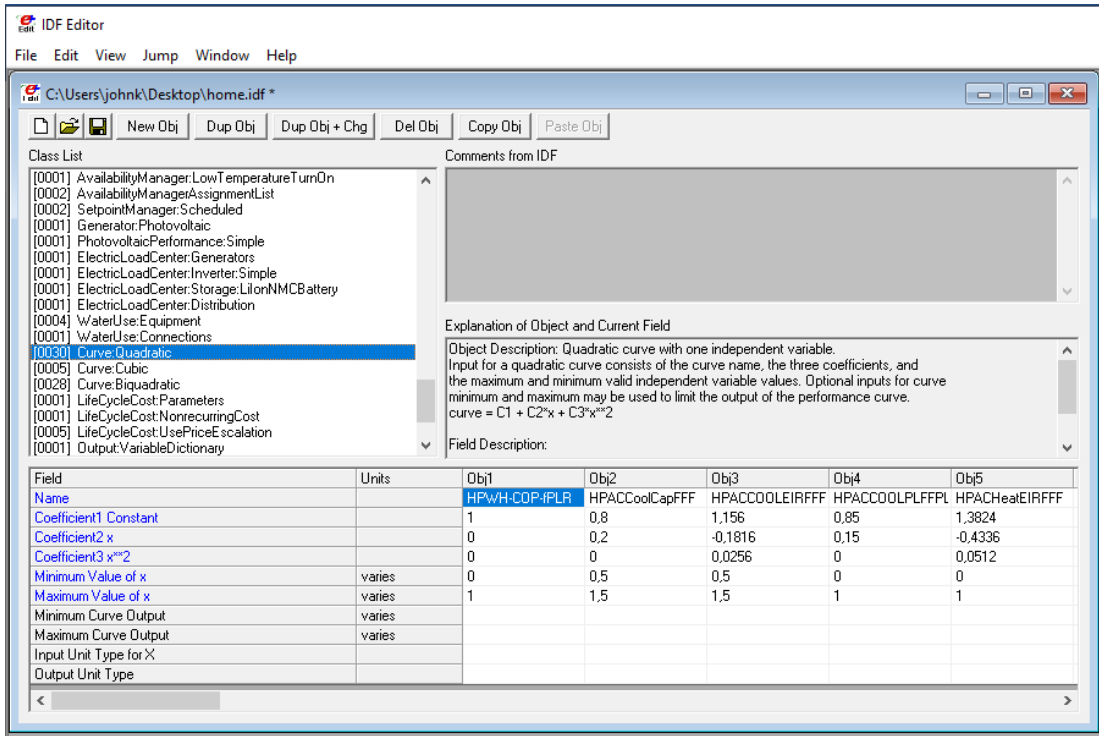
Πρόκειται για ένα υποσύστημα που ομαδοποιεί τις συνιστώσες από την υποκατηγορία WaterUse:Equipment.



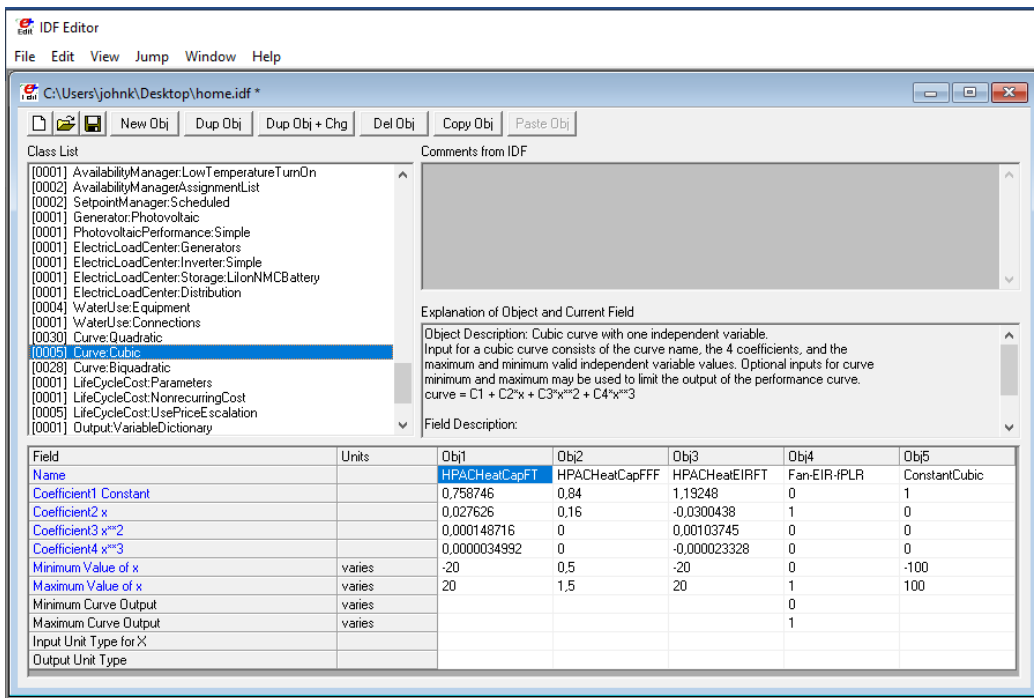
Εικόνα 6.85: Υποκατηγορία WaterUse:Connections

6.29 Κατηγορία Performance Curves

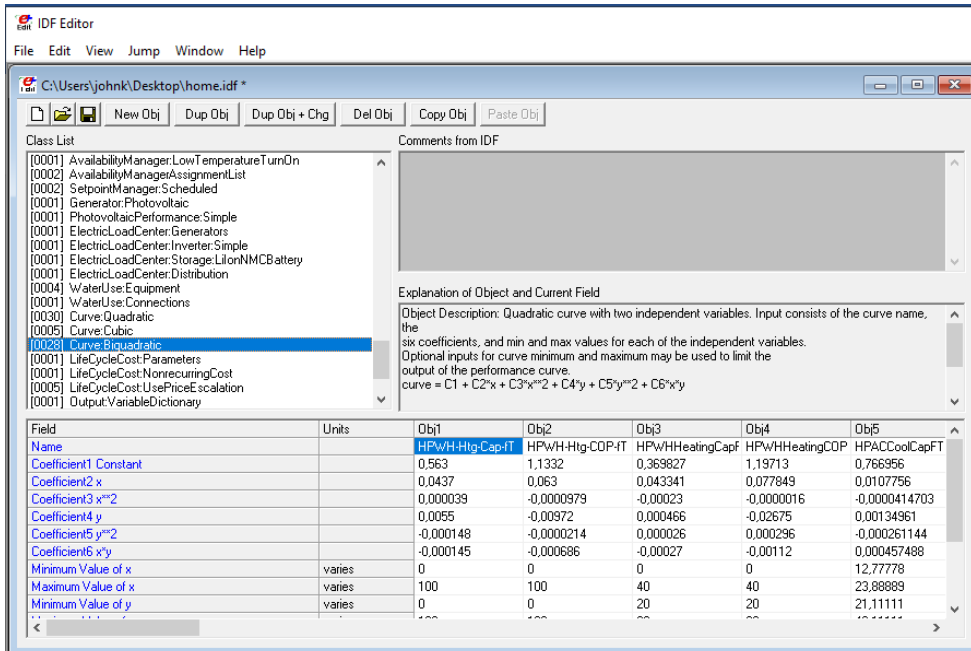
Στις υποενοότητες Curve:Quadratic, Curve:Cubic και Curve:BiQuadratic ορίζονται οι καμπύλες λειτουργίας των συστημάτων HVAC. Οι τιμές λήφθηκαν από τα αρχεία του Energyplus.



Εικόνα 6.86: Υποκατηγορία Curve:Quadratic



Εικόνα 6.87: Υποκατηγορία Curve:Cubic



Εικόνα 6.88: Υποκατηγορία Curve:Biquadratic

7. Αποτελέσματα Προσομοίωσης

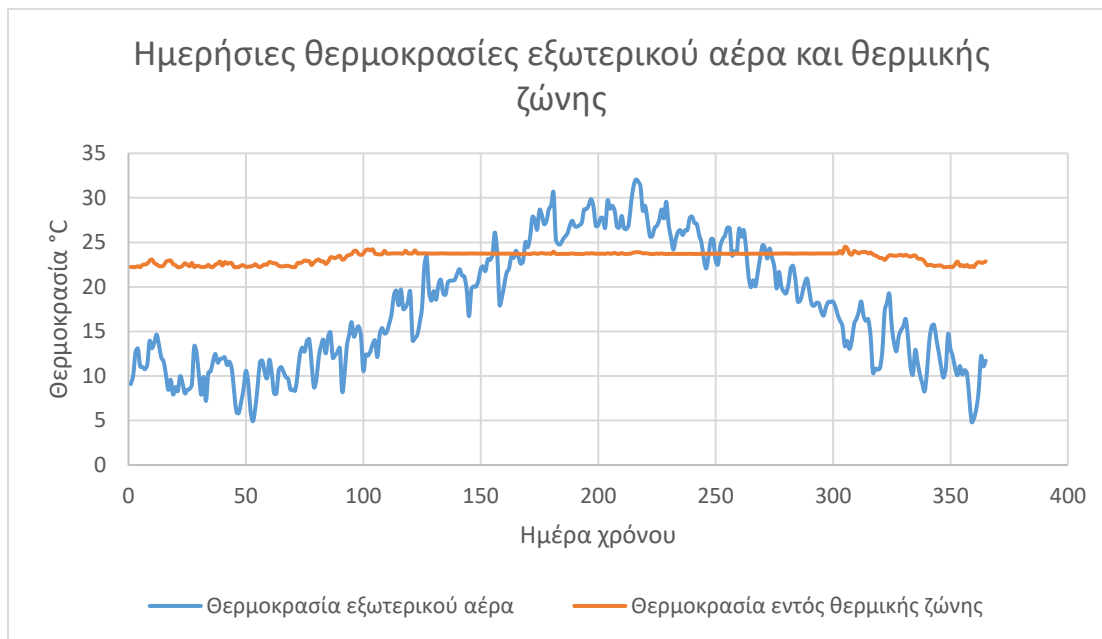
Με την εισαγωγή όλων των δεδομένων να έχει ολοκληρωθεί, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής αρχείων εξόδου ανάλογα με τις πληροφορίες που θέλει ο χρήστης να εξαχθούν.

Στην κατηγορία Output Reporting και συγκεκριμένα στην υποκατηγορία Output: Variable επιλέγονται οι μεταβλητές που θα αντληθούν στον αρχείο εξόδου.

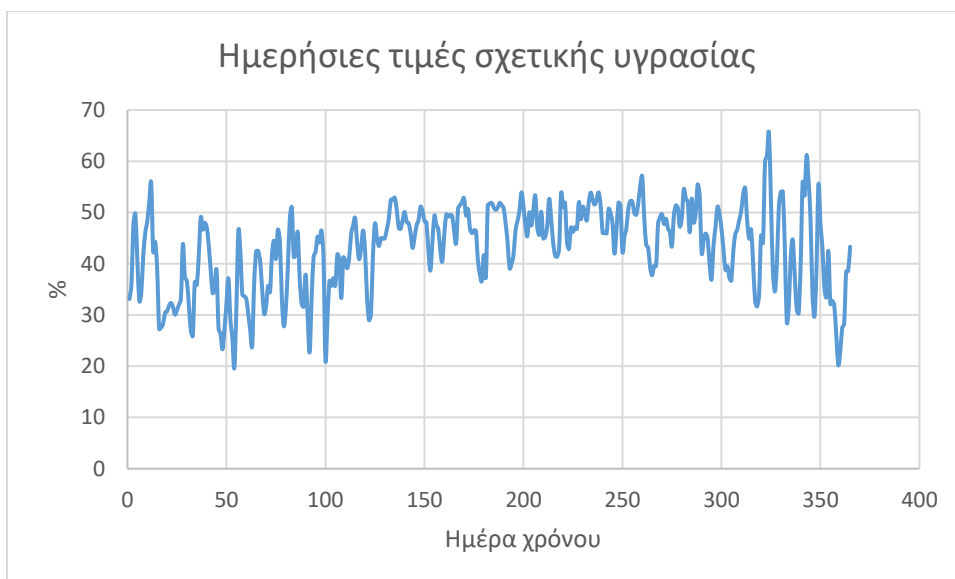
Έτσι τελειώνει και η επεξεργασία του IDF Editor, οπότε το επόμενο βήμα είναι να τρέξει η προσομοίωση με την εντολή **Simulate**. Με την ολοκλήρωσή της εμφανίζονται τα αρχεία που περιέχουν όλα τα αποτελέσματα που μας ενδιαφέρουν.

7.1 Θερμοκρασίες, σχετική υγρασία και θερμική άνεση

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι ημερήσιες θερμοκρασίες του εξωτερικού αέρα και εντός της θερμικής ζώνης.



Εικόνα 7.1: Ημερήσιες θερμοκρασίες εξωτερικού αέρα και θερμικής ζώνης



Εικόνα 7.2: Ημερήσιες τιμές της σχετικής υγρασίας εντός της θερμικής ζώνης

Παρατηρούμε ότι όσο και να μεταβάλεται η εξωτερική θερμοκρασία, η εσωτερική θερμοκρασία παραμένει σταθερή μεταξύ 22 και 24 °C. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε έναν χώρο για να επιτευχθεί θερμική άνεση δεν αρκεί μόνο η θερμοκρασία να είναι μέσα στο επιθυμητό εύρος. Η ποιότητα του εσωτερικού αέρα διαδραματίζει σημαντικό σε αυτήν, η οποία επιτυγχάνεται μέσω του συστήματος μηχανικού αερισμού που εξασφαλίζει τις απαραίτητες εναλλαγές αέρα ανά ώρα, αλλά και των φίλτρων που παρέχουν καθαρό αέρα απαλλαγμένο από γύρη και σκόνη. Επιπλέον, το ποσοστό της σχετικής υγρασίας πρέπει να είναι στο κατάλληλο επίπεδο, δηλαδή 40% κατά τη χειμερινή περίοδο και 45% κατά τη θερινή περίοδο σύμφωνα με την TOTEΕ 20701-1_2017. Στην περίπτωση μας το εύρος σχετικής υγρασίας είναι μεγαλύτερο από το επιθυμητό, χωρίς όμως να έχει δοθεί βάση στον έλεγχό της κατά τον σχεδιασμό των συστημάτων HVAC.

7.2 Κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας

Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ για το έτος 2011 η μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά νοικοκυριό ανήλθε στις 13994 kWh, εκ των οποίων οι 10244 kWh είναι θερμική ενέργεια και οι 3750 kWh είναι ηλεκτρική ενέργεια. Η κατανάλωση ενέργειας στην κατοικία που μελετήθηκε είναι η εξής:

	Total Energy (kWh)	Energy Per Total Building Area
Total Site Energy	6303,29	54,93
Net Site Energy	1349,71	11,76
Total Source Energy	19962,51	173,97
Net Source Energy	4274,53	37,25

Πίνακας 7.1: Κατανάλωση τελικής και πρωτογενούς ενέργειας

Όπου Total Source Energy είναι η πρωτογενής ενέργεια.

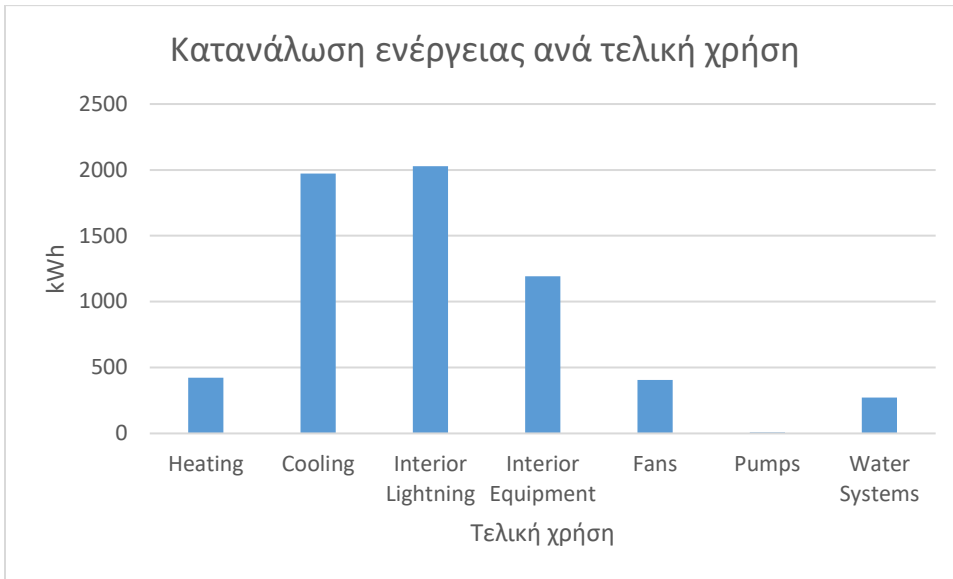
Παρατηρούμε ότι η συνολική κατανάλωση ενέργειας (6303,29 kWh) είναι περίπου η μισή από μέση ετήσια κατανάλωση και πρόκειται για αμιγώς ηλεκτρική ενέργεια. Πρόκειται, λοιπόν, για ένα εξαιρετικά ενεργειακά αποδοτικό κτίριο.

Αναλυτικά η κατανάλωση ενέργειας για τις τελικές χρήσεις είναι:

	Electricity (kWh)
Heating	423,83
Cooling	1972,76
Interior Lightning	2028,57
Interior Equipment	1193,4
Fans	405,16
Pumps	7,04
Water Systems	272,53
Total End Uses	6303,29

Πίνακας 7.2: Κατανάλωση ενέργειας ανά τελική χρήση

Σε μορφή διαγράμματος:

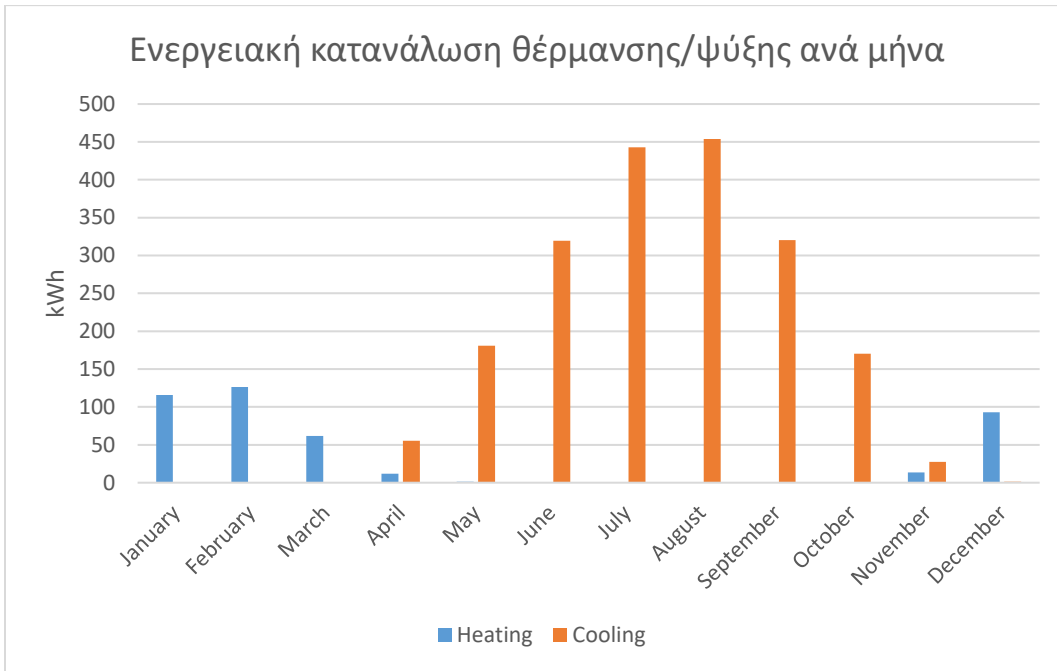


Εικόνα 7.3: Κατανάλωση ενέργειας ανά τελική χρήση

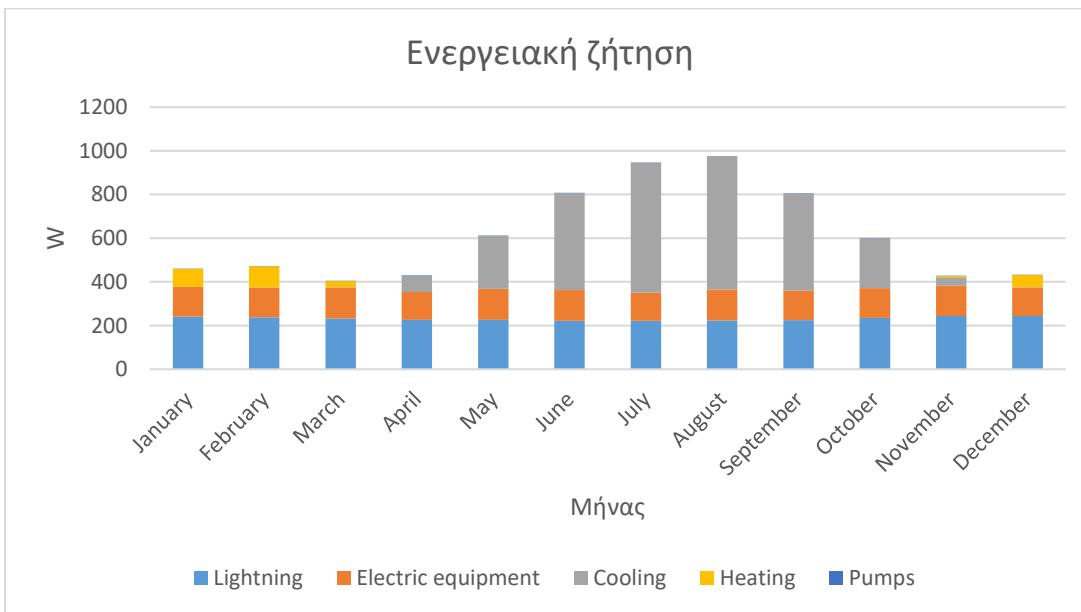
Παρατηρούμε ότι η ανάγκη για θέρμανση είναι σημαντικά χαμηλότερη από την ανάγκη για ψύξη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως ο εναλλάκτης θερμότητας στο σύστημα μηχανικού αερισμού αποδίδει καλύτερα κατά τη θέρμανση παρά κατά στην ψύξη. Έτσι η λειτουργία του κλιματισμού μειώνεται κατά τη θέρμανση βελτιώνοντας την ενεργειακή κατανάλωση.

	Heat (kWh)	Percent Heat (%)
Air to Air Heat Recovery for Cooling	256,44	5,05
Air to Air Heat Recovery for Heating	2100,11	41,39
Solar Water Thermal	2717,04	53,55
Total On-Site Thermal Sources	5073,6	100

Πίνακας 7.3: Ποσά ανάκτησης θερμότητας



Εικόνα 7.4: Ενεργειακή κατανάλωση θέρμανσης και ψύξης ανά μήνα



Εικόνα 7.5: Ενεργειακή ζήτηση ανά μήνα

Στο διάγραμμα παρουσιάζεται η ενεργειακή ζήτηση ανά μήνα. Παρατηρείται ότι οι ανάγκες για θέρμανση και για ψύξη είναι όπως αναμενόταν. Ο ηλεκτρικός εξοπλισμός και οι αντλίες έχουν περίπου την ίδια ενεργειακή ζήτηση όλο το χρόνο. Ο φωτισμός παρουσιάζει μικρή μείωση κατά τη θερινή περίοδο, γεγονός που οφείλεται στη μεγαλύτερη διάρκεια της μέρας, με συνέπεια μειωμένη ανάγκη για φωτισμό.

Όσον αφορά την παραγωγή ενέργειας έχουμε:

	Electricity (kWh)	Percent Electricity (%)
Photovoltaic Power	5364,546	81,77
Power Conversion	-372,85	-5,7
Net Decrease in On-Site	-38,12	-0,6
Total On-Site Electric Sources	4953,577	75,53
Electricity Coming From Utility	2310,304	37,26
Surplus Electricity Going to Utility	960,594	12,79
Net Electricity From Utility	1349,711	24,47
Total On-Site and Utility Electric Sources	6303,288	100
Total Electricity End Uses	6303,288	100

Πίνακας 7.4: Παραγωγή ενέργειας

Παρατηρούμε ότι τα Φ/Β καλύπτουν το 81,77% της ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζεται το κτίριο. Έτσι, η καθαρή ενέργεια που λαμβάνεται από το δίκτυο αν αφαιρέσουμε την πλεονάζουσα ενέργεια που προσδόθηκε είναι 1349,711 kWh, η οποία αντιστοιχεί σε 11,76 kWh/m².

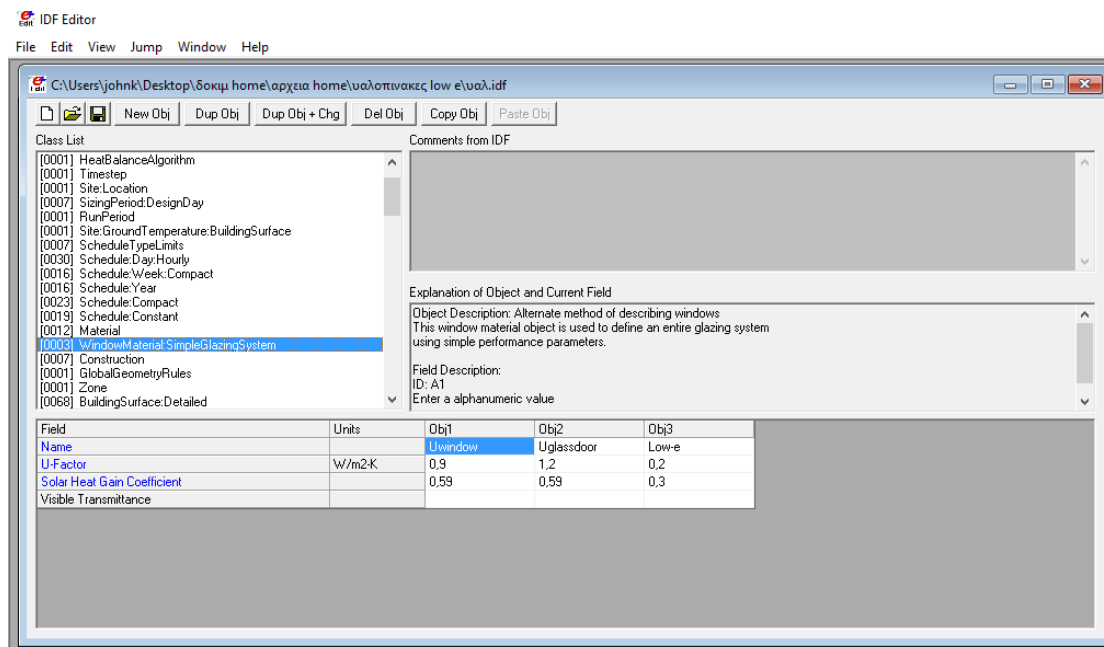
8. Προτάσεις εξοικονόμησης ενέργειας

Μετά την ανάλυση των αποτελεσμάτων από την προσομοίωση, προτείνονται κάποιες ενέργειες που έχουν ως στόχο τη περαιτέρω μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και συνεπώς τη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς της κατοικίας. Για την κάθε επέμβαση θα συγκριθούν τα αποτελέσματα πριν και μετά.

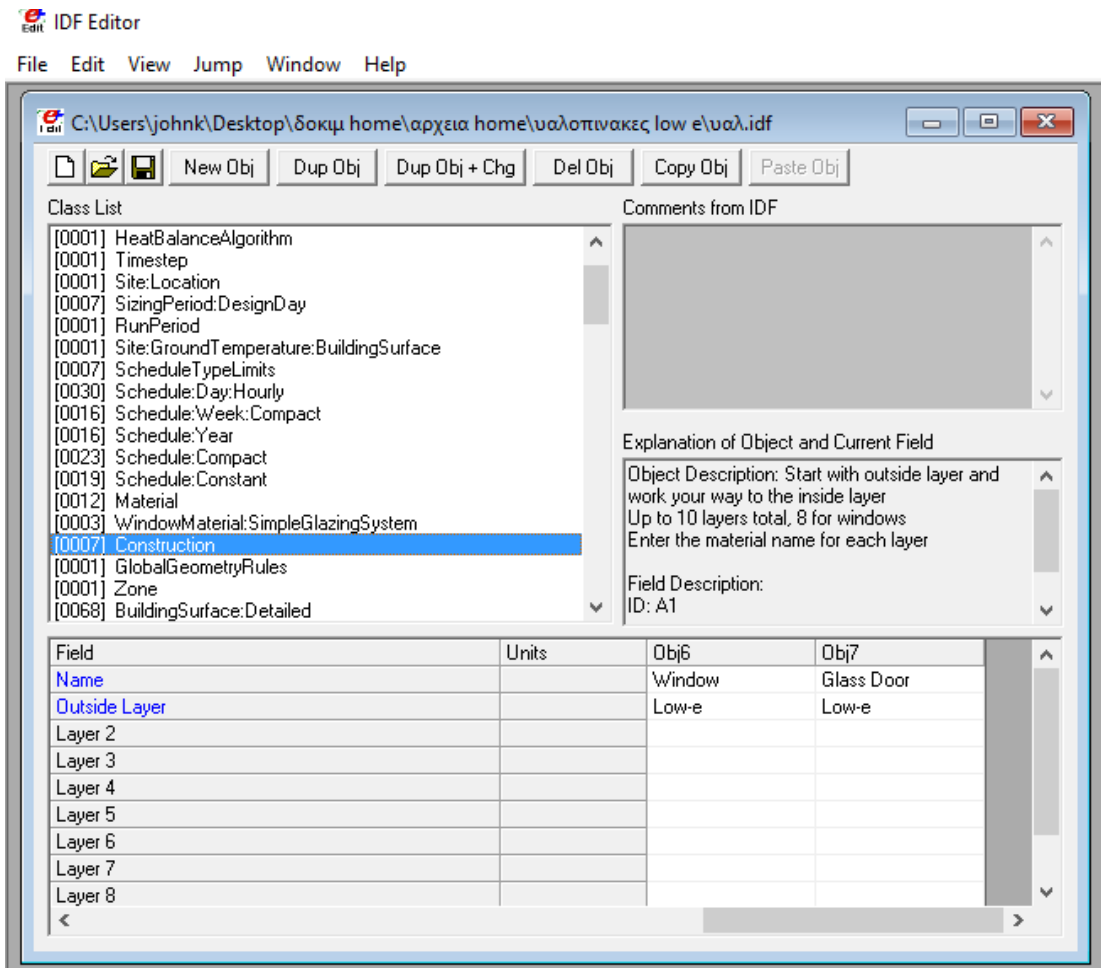
8.1 Προσθήκη υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής (Low-emissivity)

Οι υαλοπίνακες Low-E περιλαμβάνουν μια ειδική επίστρωση μεταλλικών οξειδίων η οποία εμφανίζει υψηλή ανακλαστικότητα στο υπέρυθρο τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό σημαίνει ότι μειώνει τη μεταφορά θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το περιβάλλον και αντίστροφα. Έτσι το χειμώνα ελαττώνεται η διαφυγή της εσωτερικής θερμότητας προς τα έξω και το καλοκαίρι εμποδίζεται η είσοδος της ανεπιθύμητης θερμότητας του ήλιου προς το εσωτερικό.

Για την τοποθέτηση υαλοπινάκων Low-E, απλά θα εισάγουμε κατευθείαν το U-Factor και το Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) στην υποκατηγορία WindowMaterial: SimpleGlazingSystem και έπειτα στην υποκατηγορία Construction. Για U-Factor επιλέχθηκε 0,2 W/m²K και για SHGC 0,3. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε έναν τριπλό υαλοπίνακα με επίστρωση Low-E και ευγενές αέριο στους αεροθάλαμους.



Εικόνα 8.1: Τοποθέτηση υαλοπινάκων Low-E



Εικόνα 8.2: Τοποθέτηση υαλοπινάκων Low-E (2)

Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν είναι τα εξής:

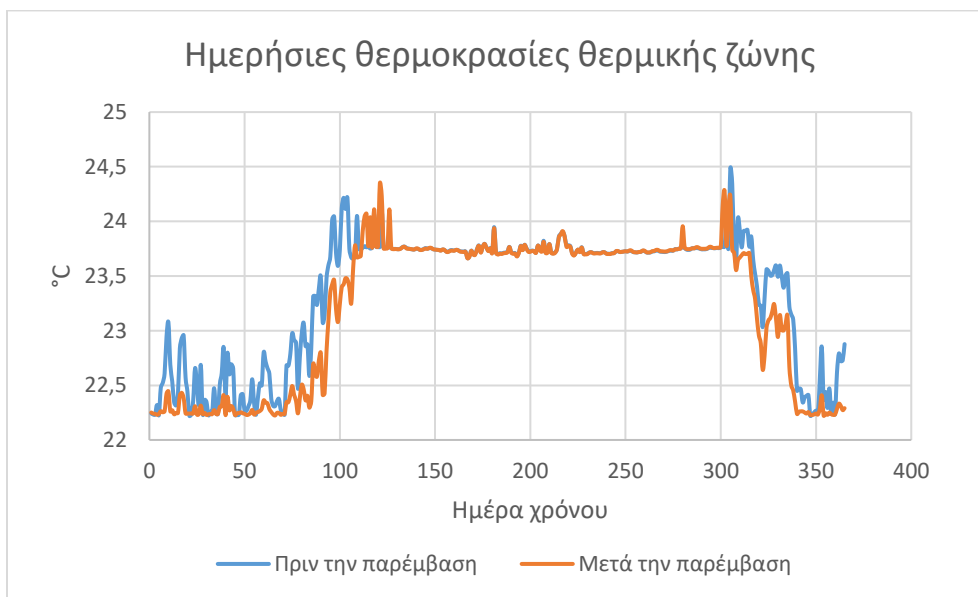
	Αρχικά	Υαλοπινακες Low-E
Heating (kWh)	423,83	503,53
Cooling (kWh)	1972,8	1679,6

Πίνακας 8.1: Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης πριν και μετά την τοποθέτηση υαλοπινάκων Low-E

Παρατηρούμε ότι ενώ οι ανάγκες για ψύξη μειώνονται κατά 293,2 kWh, οι ανάγκες για θέρμανση αυξάνονται κατά 79,7 kWh. Αυτό οφείλεται στο χαμηλό συντελεστή SHGC. Όσο χαμηλότερος είναι ο συντελεστής, τόσο περισσότερο ανακλάται η υπέρυθρη ακτινοβολία

από τον ήλιο. Έτσι κατά τη θερινή περίοδο μειώνονται τα θερμικά φορτία, τα οποία όμως χρειάζονται κατά τη χειμερινή περίοδο. Ωστόσο σαν σύνολο έχουμε κέρδος 213,5 kWh τον χρόνο, οπότε η επέμβαση καθίσταται αποδοτική.

Επιπροσθέτως, ένα άλλο κριτήριο σύγκρισης είναι οι εσωτερικές θερμοκρασίες του κτιρίου πριν και μετά την παρέμβαση.



Εικόνα 8.3: Σύγκριση ημερήσιων θερμοκρασιών θερμικής ζώνης πριν και μετά την τοποθέτηση υαλοπινάκων Low-E

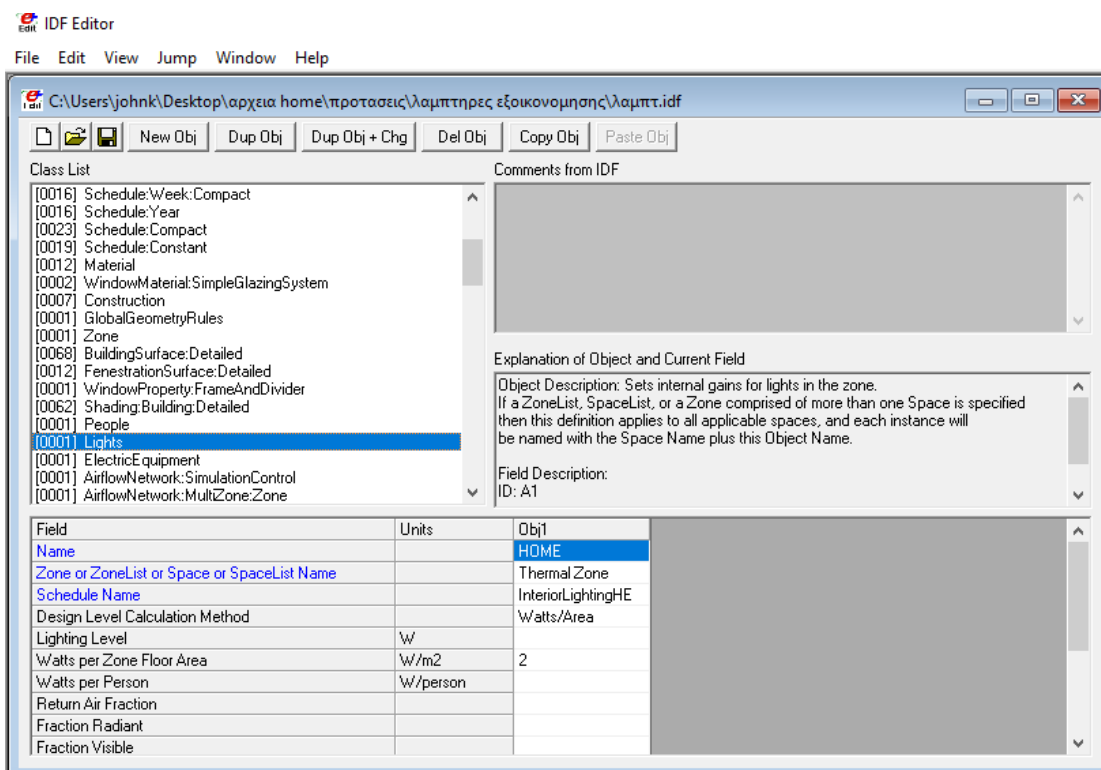
Κατά τη θερινή περίοδο δεν παρατηρούνται μεταβολές στη θερμοκρασία εντός της θερμικής ζώνης. Όμως, κατά τη χειμερινή περίοδο βλέπουμε ότι υπάρχει μια πτώση της θερμοκρασίας, συνοδευόμενη παράλληλα από μικρότερες διακυμάνσεις από μέρα σε μέρα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μπλοκάρεται ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας από το να εισέλθει στο κτίριο, με συνεπώς μειωμένα ηλιακά κέρδη λόγω του αρκετά χαμηλού συντελεστή SHGC. Παρόλα αυτά δεν δημιουργείται πρόβλημα στη θερμική άνεση, καθώς οι θερμοκρασίες παραμένουν στο επιθυμητό εύρος.

8.2 Αντικατάσταση λαμπτήρων με LED

Δίοδος Εκπομπής Φωτός (LED), αποκαλείται ένας ημιαγωγός ο οποίος εκπέμπει φως στενού φάσματος όταν του παρέχεται μία ηλεκτρική τάση κατά τη φορά ορθής πόλωσης. Οι λαμπτήρες LED έχουν το εγγενές πλεονέκτημα της υψηλότερης απόδοσης φωτός για δεδομένη ποσότητα κατανάλωσης ενέργειας και μεγάλη διάρκεια ζωής περίπου 100.000

ωρών. Εκτός αυτού, είναι φιλικό προς το περιβάλλον και σε αντίθεση με τον φωτισμό φθορισμού, δεν έχουν υδράργυρο και έχουν μικρότερο μέγεθος.

Στην υποκατηγορία Lights εισάγοντας εγκατεστημένη ισχύ για λαμπτήρες LED ίση με 4 W/m² παίρνουμε τα εξής αποτελέσματα.



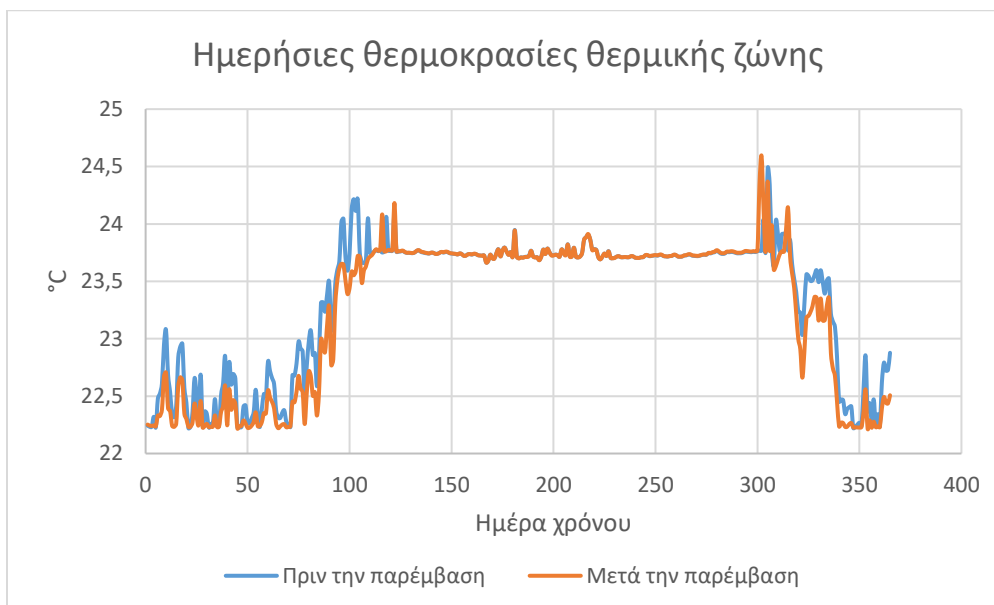
Εικόνα 8.4: Αντικατάσταση λαμπτήρων με LED

	Αρχικά	Χρήση λαμπτήρων LED
Interior Lights (kWh)	2028,57	1267,86
Heating (kWh)	423,83	484,41
Cooling (kWh)	1972,76	1885,59

Πίνακας 8.2: Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης πριν και μετά την αντικατάσταση λαμπτήρων με LED

Παρατηρούμε ότι η εξοικονόμηση ενέργειας για φωτισμό ανέρχεται στις 760,71 kWh. Επίσης, λόγω της μείωσης των εσωτερικών θερμικών κερδών αυξάνεται ελάχιστα η απαίτηση για θέρμανση, κατά 60,58 kWh, μειώνεται όμως για ψύξη κατά 87,17 kWh. Συνολικά, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας 787,3 kWh.

Επίσης, συγκρίνονται οι εσωτερικές θερμοκρασίες του κτιρίου πριν και μετά την παρέμβαση.



Εικόνα 8.5: Σύγκριση ημερήσιων θερμοκρασιών θερμικής ζώνης πριν και μετά την αντικατάσταση των λαμπτήρων με LED

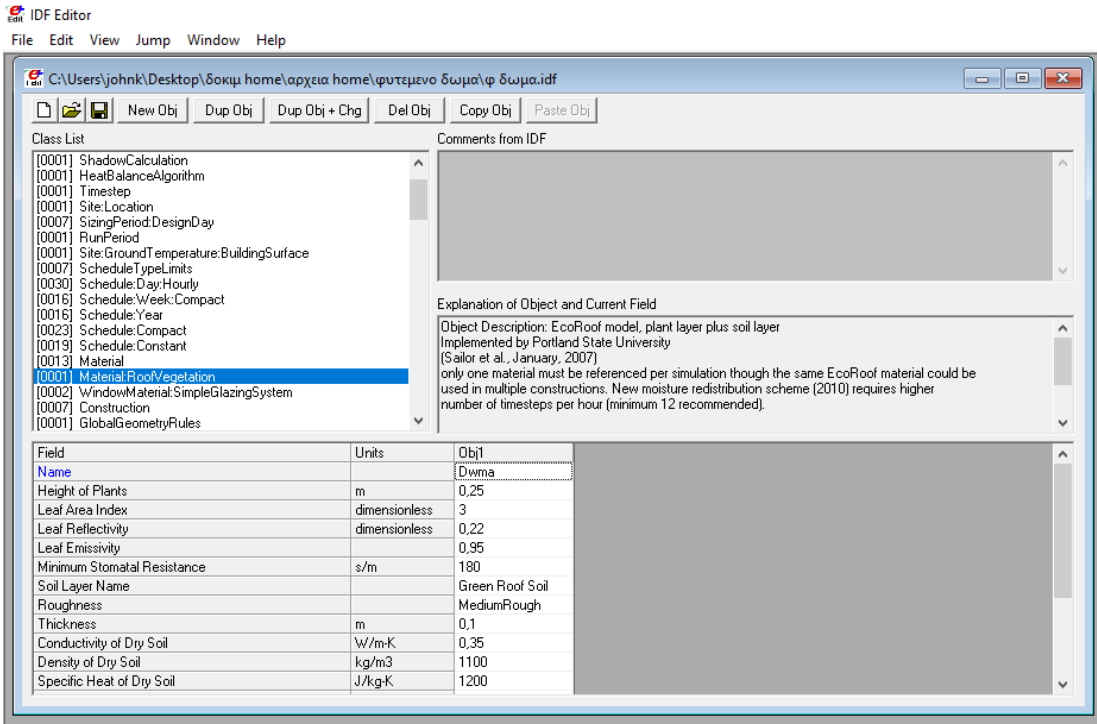
Παρατηρούμε ότι τη θερινή περίοδο οι θερμοκρασίες συμπίπτουν, σε αντίθεση με την χειμερινή περίοδο, όπου υπάρχει μείωση. Ένας λόγος που γίνεται αυτό είναι τα λιγότερα θερμικά κέρδη που προκύπτουν, αφού οι λαμπτήρες LED παράγουν σημαντικά λιγότερη θερμότητα. Πάλι όμως δεν επηρεάζεται η θερμική άνεση. Συμπερασματικά η παρέμβαση καθίσταται αποδοτική.

8.3 Τοποθέτηση φυτεμένου δώματος

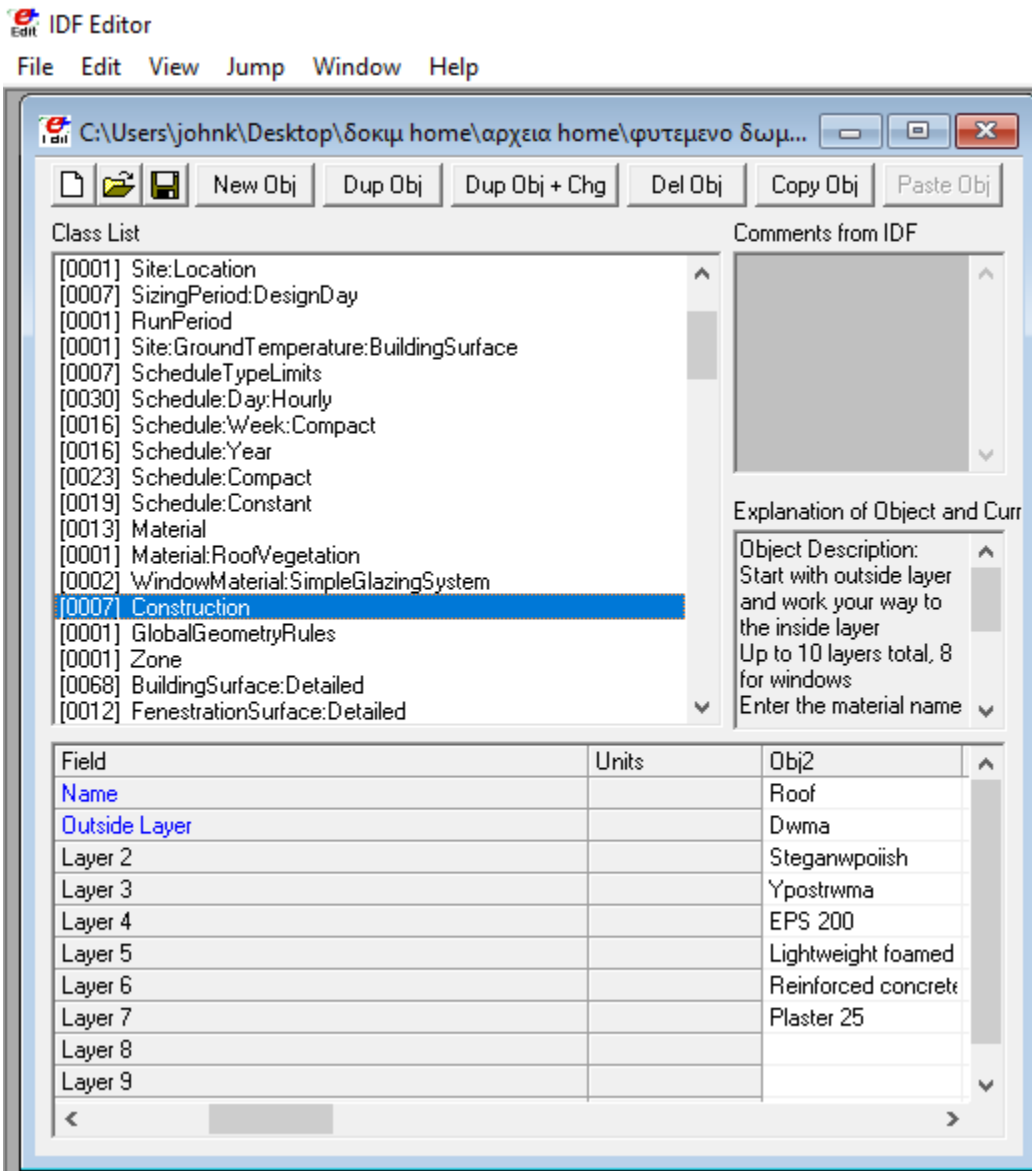
Φυτεμένο δώμα είναι μια πράσινη επιφάνεια που δημιουργείται στην επιφάνεια ενός συμβατικού δώματος. Το ολοκληρωμένο σύστημα υποδομής φυτεμένου δώματος μπορεί να εφαρμοστεί στα περισσότερα κτίρια λόγω του μικρού φορτίου με το οποίο επιβαρύνει την πλάκα. Η δημιουργία ενός φυτεμένου δώματος προσφέρει διάφορα οφέλη, κυρίως περιβαλλοντικά, ενεργειακά, και οικονομικά. Μερικά από αυτά είναι η βελτίωση του μικροκλίματος των αστικών περιοχών, η καλύτερη θερμομόνωση και συνεπώς μείωση των αναγκών για θέρμανση και ψύξη.

Τα φυτεμένα δώματα ανάλογα με το πάχος τους χωρίζονται σε 3 κατηγορίες, τον εκτατικό τύπο, τον ημιεντατικό τύπο και τον εντατικό τύπο. Επιλέχθηκε ο ημιεντατικός τύπος, ο οποίος επιτρέπει την ανάπτυξη φυτών έως και 25 εκατοστά.

Στην υποκατηγορία Material Roof Vegetation προσδιορίστηκαν τα χαρακτηριστικά του φυτεμένου δώματος, δηλαδή το ύψος της βλάστησης, η πυκνότητά της, το πάχος του, καθώς και τυπικές τιμές για τα υπόλοιπα μεγέθη. Στη συνέχεια στην υποκατηγορία Construction δημιουργήθηκε η δομή στο δώμα.



Εικόνα 8.6: Τοποθέτηση φυτεμένου δώματος



Εικόνα 8.7: Τοποθέτηση φυτεμένου δώματος (2)

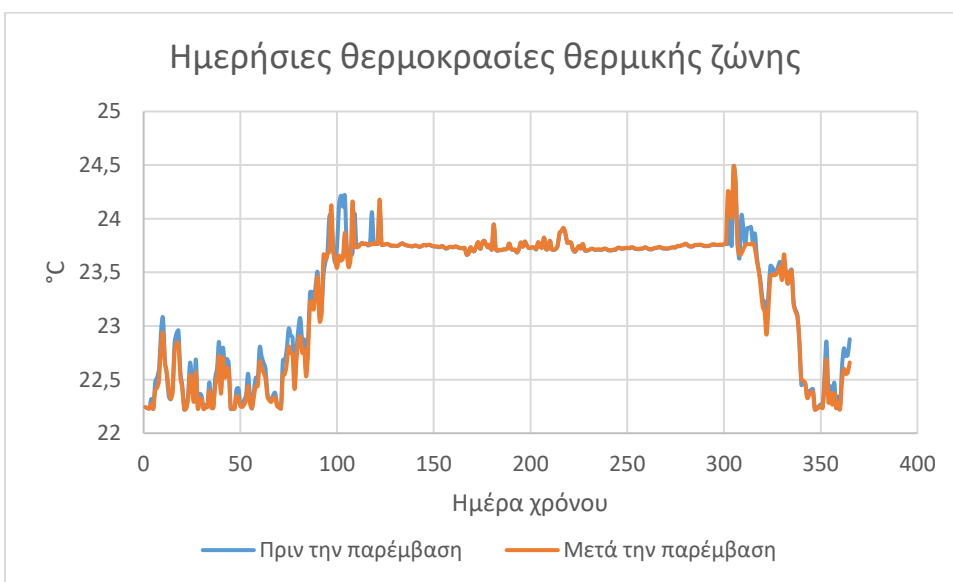
Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν είναι τα εξής:

	Αρχικά	Φυτεμένο δώμα
Heating (kWh)	423,83	414,93
Cooling (kWh)	1972,8	1894,35

Πίνακας 8.3: Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης πριν και μετά την τοποθέτηση φυτεμένου δώματος

Παρατηρούμε ότι επιτυγχάνεται εξοικονόμηση 8,9 kWh για θέρμανση και 78,45 kWh για ψύξη, σύνολο 87,35 kWh σε έναν χρόνο. Αυτό συμβαίνει, καθώς λειτουργεί σαν μια επιπλέον στρώση θερμομόνωσης για το χειμώνα, προφυλάσσοντας παράλληλα από την ηλιακή ακτινοβολία και την καθημερινή διακύμανση της θερμοκρασίας το καλοκαίρι.

Συγκρίνονται επίσης, οι εσωτερικές θερμοκρασίες πριν και μετά την παρέμβαση.



Εικόνα 8.8: Σύγκριση ημερήσιων θερμοκρασιών θερμικής ζώνης πριν και μετά την τοποθέτηση φυτεμένου δώματος

Παρατηρούμε ότι σε γενικές γραμμές οι θερμοκρασίες είναι αρκετά κοντά, με μια μικρή μείωση κατά τη χειμερινή περίοδο, κάτι που οφείλεται στην καλή μόνωση που παρέχει το φυτεμένο δώμα.

Η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται είναι αρκετά μικρή, όπως και η μεταβολή των εσωτερικών θερμοκρασιών και αν συμπεριληφθούν τα κόστη εγκατάστασης και συντήρησης για το φυτεμένο δώμα δεν δίνεται κάποιο όφελος για την συγκεκριμένη

παρέμβαση. Γενικά, αναμενόταν μεγαλύτερο κέρδος, ιδιαίτερα για τις ανάγκες για ψύξη, όμως δεν επιτεύχθηκε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

9. Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική μελέτη

9.1 Συμπεράσματα

Σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας για τη χρονική περίοδο 2011-2016, η μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για μονοκατοικίες είναι ίση με 358,7 kWh/m² και για πολυκατοικίες ίση με 241,6 kWh/m² [28]. Στο κτίριο που σχεδιάστηκε (μονοκατοικία) η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας έφτασε τις 173,97 kWh/m² με καθαρή κατανάλωση 37,25 kWh/m² συμπεριλαμβάνοντας την παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας. Παρατηρούμε λοιπόν ότι ακόμα και χωρίς την προσθήκη καμίας παρέμβασης από αυτές που προτάθηκαν παραπάνω, η καθαρή κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αντιστοιχεί στο 10,4% της μέσης ετήσιας για μονοκατοικίες.

Οι κύριοι λόγοι που επιτεύχθηκε ένα τόσο χαμηλό ποσοστό είναι αρχικά ο βιοκλιματικός σχεδιασμός. Ωφελούμενοι από τις τοπικές κλιματικές συνθήκες όπως ο αέρας, η τροχιά του ήλιου και ακολούθως τα ηλιακά κέρδη ελαττώθηκαν σημαντικά οι ανάγκες για θέρμανση τον χειμώνα και για ψύξη το καλοκαίρι. Έπειτα, σύμφωνα με το πρότυπο παθητικού κτιρίου που ακολουθήθηκε, επιτράπηκε στο κτίριο να καλύψει όλες τις απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη με κοινά οικιακά κλιματιστικά. Κάτι τέτοιο είναι δυνατόν, βασιζόμενοι στις 5 βασικές αρχές που βασίστηκε ο σχεδιασμός, δηλαδή στη σωστή θερμομόνωση, στην ελαχιστοποίηση των θερμογεφυρών, στα σωστά σχεδιασμένα κουφώματα, στην επαρκή αεροστεγανότητα και στο σύστημα μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας. Σε συνεργασία λοιπόν, με τη χρήση ΑΠΕ για παραγωγή ενέργειας και συσσωρευτή (μπαταρία) για βέλτιστη απόδοση δημιουργήθηκε μια κατοικία υψηλής ενεργειακής απόδοσης με χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση. Δεν χρησιμοποιήθηκε κάποια εξεζητημένη ή υπερβολικά κοστοβόρα μέθοδος σχεδιασμού, το οποίο πρακτικά σημαίνει ότι μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί, τόσο σε καινούριες κατασκευές, όσο και σε ανακαινίσεις υφιστάμενων κτιρίων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η απαίτηση για ψύξη είναι περίπου 5 φορές μεγαλύτερη από την ανάγκη για θέρμανση. Σε θερμά κλίματα όπως της Ελλάδας και συγκεκριμένα της Αθήνας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η παρέμβαση της προσθήκης υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής (Low-e), αλλά και αυτή της αντικατάστασης των λαμπτήρων με LED. Και οι 2 παρεμβάσεις μειώνουν σημαντικά τα ψυκτικά φορτία συντελώντας στην βελτιστοποίηση της απόδοσης του κτιρίου.

9.2 Προτάσεις για μελλοντική μελέτη

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές προτάσεις οι οποίες αποκτούν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για μελλοντική διερεύνηση και μελέτη, μετά την εξαγωγή των συμπερασμάτων. Σκοπός τους είναι η μεγιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας.

- Εκμετάλλευση αβαθούς γεωθερμίας, επωφελούμενοι έτσι από τη σταθερή θερμοκρασία του εδάφους (17-18 °C) σε βάθος περίπου 2 μέτρων.
- Τοποθέτηση φυλλοβόλων δέντρων για σκίαση και προστασία από τους ανέμους.
- Διάταξη που ελέγχει την ροή σε βρύσες κουζίνας η μπάνιου, ώστε να υπάρχει εξοικονόμηση νερού.
- Μέτρηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στους εσωτερικούς χώρους της κατοικίας, ώστε να καθοριστεί η ποιότητα του εσωτερικού αέρα.
- Ανάλυση Κόστους του κύκλου ζωής (Life Cycle Cost Analysis, LCCA).

10. Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Τελική κατανάλωση ανά χρήση στον οικιακό τομέα (%)	15
Πίνακας 1.2 Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση (%).....	16
Πίνακας 7.1: Κατανάλωση τελικής και πρωτογενούς ενέργειας.....	116
Πίνακας 7.2: Κατανάλωση ενέργειας ανά τελική χρήση	116
Πίνακας 7.3: Ποσά ανάκτησης θερμότητας.....	117
Πίνακας 7.4: Παραγωγή ενέργειας	119
Πίνακας 8.1: Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης πριν και μετά την τοποθέτηση υαλοπινάκων Low-E	121
Πίνακας 8.3: Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης πριν και μετά την αντικατάσταση λαμπτήρων με LED	123
Πίνακας 8.5: Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης πριν και μετά την τοποθέτηση φυτεμένου δώματος	127

11. Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.1: Χαρακτηριστικά γεγονότα που συνέβαλε η κλιματική αλλαγή στην Ευρώπη το 2021 [3].....	10
Εικόνα 1.2: Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα, Ευρώπη 2020 [6]	12
Εικόνα 1.3: Μεριδία στην κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα [10]	14
Εικόνα 1.4: Τελική κατανάλωση ανά χρήση στον οικιακό τομέα (ktoe) [12].....	15
Εικόνα 1.5: Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση (Ktoe) [13]	16
Εικόνα 2.1: Αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού [15]	18
Εικόνα 2.2: Τροχιά του ηλίου κατά τη διάρκεια της μέρας και του έτους στο Βόρειο ημισφαίριο [16].....	19
Εικόνα 2.3: Εξωτερική Νότια σκίαση [17]	21
Εικόνα 2.4: Σκίαση με φυλλοβόλο δέντρο [18]	22
Εικόνα 2.5: Φυσικός αερισμός [19]	23
Εικόνα 3.1: Βασικές αρχές του Παθητικού κτιρίου [21]	26
Εικόνα 3.2: Κτίριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας [22]	28
Εικόνα 3.3: Γραφική παρουσίαση του σημείου στο οποίο επιτυγχάνεται απόδοση NZEB, όπου δηλαδή η ζήτηση εξισώνεται με την παραγωγή του μελετώμενου μεγέθους [23] ...	29
Εικόνα 5.1: Γεωγραφική θέση οικοπέδου	32
Εικόνα 5.2: Γραφικό περοβάλλον SketchUp	33
Εικόνα 5.3: Σχεδιασμός κάτοψης.....	34
Εικόνα 5.4: Δημιουργία τρισδιάστατης μορφής.....	34
Εικόνα 5.5: Προσανατολισμός και ανάθεση χώρων.....	35
Εικόνα 5.6: Σχεδιασμός ανοιγμάτων.....	36
Εικόνα 5.7: Τελικό αποτέλεσμα ανοιγμάτων.....	36
Εικόνα 5.8: Κάτοψη σε τομή με την εντολή Section Plane	37
Εικόνα 5.9: Σχεδιασμός επιφανειών σκίασης.....	38
Εικόνα 5.10: Αποτέλεσμα μετά την τοποθέτηση σκίασης.....	38
Εικόνα 5.11: Διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου	39
Εικόνα 5.12: Μελέτη ηλιασμού.....	39
Εικόνα 5.13: Εντολή Surface Matching	40
Εικόνα 5.14: Render By Boundary Condition μετά την εκτέλεση της εντολής Surface Matching.....	40
Εικόνα 5.15: Εντολή Inspector	41
Εικόνα 6.1: Υποπρόγραμμα EP-Launch	42
Εικόνα 6.2: Υποκατηγορία Building.....	43
Εικόνα 6.3: Υποκατηγορία Site: Location	44
Εικόνα 6.4: Υποκατηγορία Site: GroundTemperature: Building surface	45
Εικόνα 6.5: ScheduleTypeLimits.....	46
Εικόνα 6.6: Schedule:Day:Hourly	46
Εικόνα 6.7: Schedule:Week:Compact	47

Εικόνα 6.8: Schedule:Year	47
Εικόνα 6.9: Υποκατηγορία Schedule: Compact.....	48
Εικόνα 6.10: Υποκατηγορία Material	49
Εικόνα 6.11: Υποκατηγορία Material (2).....	49
Εικόνα 6.12: Υποκατηγορία WindowMaterial: SimpleGlazingSystem	50
Εικόνα 6.13: Υποκατηγορία Construction	51
Εικόνα 6.14: Υποκατηγορία Zone.....	52
Εικόνα 6.15: Υποκατηγορία BuildingSurface: Detailed	53
Εικόνα 6.16: Υποκατηγορία FenestrationSurface: Detailed	53
Εικόνα 6.17: Υποκατηγορία Shading: Building: Detailed	54
Εικόνα 6.18: Υποκατηγορία People.....	55
Εικόνα 6.19: Υποκατηγορία Lights	56
Εικόνα 6.20: Υποκατηγορία Electric Equipment	57
Εικόνα 6.21: Υποκατηγορία Daylighting:Controls.....	58
Εικόνα 6.22: Υποκατηγορία Daylighting:ReferencePoint	58
Εικόνα 6.23: Υποκατηγορία AirflowNetwork: SimulationControl.....	59
Εικόνα 6.24: Υποκατηγορία AirflowNetwork: Multizone:Zone	60
Εικόνα 6.25: Υποκατηγορία AirflowNetwork: Multizone:Surface	61
Εικόνα 6.26: Υποκατηγορία AirflowNetwork: MultiZone:Component: SimpleOpening	62
Εικόνα 6.27: Υποκατηγορία AirflowNetwork:Distribution:Node.....	62
Εικόνα 6.28: Υποκατηγορία AirflowNetwork:Distribution:Component:Duct.....	63
Εικόνα 6.29: Υποκατηγορία AirflowNetwork:Distribution:Component:Fan	64
Εικόνα 6.30: Υποκατηγορία AirflowNetwork:Distribution:Component:Coil	65
Εικόνα 6.31: Υποκατηγορία AirflowNetwork:Distribution:Linkage	66
Εικόνα 6.32: Υποκατηγορία ZoneControl:Thermostat.....	67
Εικόνα 6.33: Υποκατηγορία ThermostatSetpoint: DualSetpoint	68
Εικόνα 6.34: Υποκατηγορία ZoneHVAC: EnergyRecoveryVentilator	69
Εικόνα 6.35: Υποκατηγορία ZoneHVAC: EnergyRecoveryVentilator: Controller	70
Εικόνα 6.36: Υποκατηγορία AirTerminal:SingleDuct:ConstantVolume:NoReheat	71
Εικόνα 6.37: Υποκατηγορία ZoneHVAC:AirDistributionUnit.....	72
Εικόνα 6.38: Υποκατηγορία ZoneHVAC:EquipmentList	73
Εικόνα 6.39: Υποκατηγορία ZoneHVAC:EquipmentConnections	73
Εικόνα 6.40: Υποκατηγορία Fan:OnOff	74
Εικόνα 6.41: Υποκατηγορία Coil:Cooling:DX:SingleSpeed	75
Εικόνα 6.42: Υποκατηγορία Coil:Heating:Electric.....	76
Εικόνα 6.43: Υποκατηγορία Coil:Heating:DX:SingleSpeed.....	77
Εικόνα 6.44: Υποκατηγορία HeatExchanger:AirToAir:SensibleAndLatent.....	78
Εικόνα 6.45: Αναπαράσταση του εναλλάκτη θερμότητας από το πρόγραμμα. Πηγή: Engineering Reference [24].....	79
Εικόνα 6.46: Υποκατηγορία AirLoopHVAC:UnitaryHeatPump:AirToAir	80

Εικόνα 6.47: Αναπαράσταση του συστήματος της αντλίας θερμότητας. Πηγή: Engineering Reference [25]	81
Εικόνα 6.48: Υποκατηγορία AirLoopHVAC	82
Εικόνα 6.49: Υποκατηγορία AirLoopHVAC:ZoneSplitter	82
Εικόνα 6.50: Υποκατηγορία AirLoopHVAC:SupplyPath.....	83
Εικόνα 6.51: Υποκατηγορία AirLoopHVAC:ZoneMixer	83
Εικόνα 6.52: Υποκατηγορία AirLoopHVAC:ReturnPath	84
Εικόνα 6.53: Υποκατηγορία Branch	85
Εικόνα 6.54: Υποκατηγορία BranchList.....	85
Εικόνα 6.55: Υποκατηγορία Connector:Splitter	86
Εικόνα 6.56: Υποκατηγορία Connector:Mixer	87
Εικόνα 6.57: Υποκατηγορία ConnectorList	87
Εικόνα 6.58: Υποκατηγορία NodeList.....	88
Εικόνα 6.59: Υποκατηγορία OutdoorAir:NodeList	89
Εικόνα 6.60: Υποκατηγορία Pipe:Adiabatic	90
Εικόνα 6.61: Υποκατηγορία Pump:VariableSpeed.....	91
Εικόνα 6.62: Υποκατηγορία TemperingValve	92
Εικόνα 6.63: Υποκατηγορία SolarCollector:FlatPlate:Water	93
Εικόνα 6.64: Υποκατηγορία SolarCollectorPerformance:FlatPlate.....	94
Εικόνα 6.65: Υποκατηγορία WaterHeater:Mixed	95
Εικόνα 6.66: Αναπαράσταση συνδέσεων των συστημάτων HVAC [26]	96
Εικόνα 6.67: Αναπαράσταση βρόχου εγκατάστασης (plant loop) [27]	97
Εικόνα 6.68: Υποκατηγορία PlantLoop	97
Εικόνα 6.69: Υποκατηγορία PlantEquipmentList	98
Εικόνα 6.70: Υποκατηγορία PlantEquipmentOperation:HeatingLoad.....	99
Εικόνα 6.71: Υποκατηγορία PlantEquipmentOperationSchemes.....	100
Εικόνα 6.72: Υποκατηγορία AvailabilityManager:Scheduled	101
Εικόνα 6.73: Υποκατηγορία AvailabilityManager:DifferentialThermostat	102
Εικόνα 6.74: Υποκατηγορία AvailabilityManager:HighTemperatureTurnOff	103
Εικόνα 6.75: Υποκατηγορία AvailabilityManager:LowTemperatureTurnOn	103
Εικόνα 6.76: Υποκατηγορία AvailabilityManagerAssignmentList.....	104
Εικόνα 6.77: Υποκατηγορία SetpointManager:Scheduled.....	105
Εικόνα 6.78: Υποκατηγορία Generator:Photovoltaic.....	106
Εικόνα 6.79: Υποκατηγορία PhotovoltaicPerformance:Simple	107
Εικόνα 6.80: Υποκατηγορία ElectricLoadCenter:Generators.....	107
Εικόνα 6.81: Υποκατηγορία ElectricLoadCenter:Inverter:Simple	108
Εικόνα 6.82: Υποκατηγορία ElectricLoadCenter:Storage:LilonNMCBattery.....	109
Εικόνα 6.83: Υποκατηγορία ElectricLoadCenter:Distribution	110
Εικόνα 6.84: Υποκατηγορία WaterUse:Equipment.....	111
Εικόνα 6.85: Υποκατηγορία WaterUse:Connections	111
Εικόνα 6.86: Υποκατηγορία Curve:Quadratic	112

Εικόνα 6.87: Υποκατηγορία Curve:Cubic	113
Εικόνα 6.88: Υποκατηγορία Curve:Biquadratic.....	113
Εικόνα 7.1: Ημερήσιες θερμοκρασίες εξωτερικού αέρα και θερμικής ζώνης	114
Εικόνα 7.2: Ημερήσιες τιμές της σχετικής υγρασίας εντός της θερμικής ζώνης.....	115
Εικόνα 7.3: Κατανάλωση ενέργειας ανά τελική χρήση	117
Εικόνα 7.4: Ενεργειακή κατανάλωση θέρμανσης και ψύξης ανά μήνα.....	118
Εικόνα 7.5: Ενεργειακή ζήτηση ανά μήνα.....	118
Εικόνα 8.1: Τοποθέτηση υαλοπινάκων Low-E	120
Εικόνα 8.2: Τοποθέτηση υαλοπινάκων Low-E (2).....	121
Εικόνα 8.3: Σύγκριση ημερήσιων θερμοκρασιών θερμικής ζώνης πριν και μετά την τοποθέτηση υαλοπινάκων Low-E	122
Εικόνα 8.4: Αντικατάσταση λαμπτήρων με LED.....	123
Εικόνα 8.5: Σύγκριση ημερήσιων θερμοκρασιών θερμικής ζώνης πριν και μετά την αντικατάσταση των λαμπτήρων με LED	124
Εικόνα 8.6: Τοποθέτηση φυτεμένου δώματος	125
Εικόνα 8.7: Τοποθέτηση φυτεμένου δώματος (2).....	126
Εικόνα 8.8: Σύγκριση ημερήσιων θερμοκρασιών θερμικής ζώνης πριν και μετά την τοποθέτηση φυτεμένου δώματος	127

12. Βιβλιογραφία

[1] Φαινόμενο του θερμοκηπίου και κλιματικές μεταβολές

<https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/ENV119/%CE%91%CE%BD%CE%BF%CE%B9%CE%BA%CF%84%CE%AC%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1/4.%20%CE%A4%CE%B1%20%CE%B1%CE%AD%CF%81%CE%B9%CE%B1%20%CF%84%CE%BF%CF%85%20%3F%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%AF%CE%BF%CF%85%3F%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CE%B7%20%CE%B5%CF%80%CE%AF%CE%B4%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%B7%20%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%82%20%CF%83%CF%84%CE%BF%20%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C%20%CE%B9%CF%83%CE%BF%CE%B6%CF%8D%CE%B3%CE%B9%CE%BF.pdf>

[2] Κλιματική αλλαγή

https://climate-pact.europa.eu/about/climate-change_el

[3]https://climate.copernicus.eu/sites/default/files/inline-images/Infographic_keyEvents_final.png

[4] Κλιματική αλλαγή και ΕΕ

https://climate-pact.europa.eu/about/climate-change_el

<https://www.consilium.europa.eu/el/policies/climate-change>

[5] Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα

<https://ypen.gov.gr/energeia/esek/>

[6] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption

[7] Κτίρια και εξοικονόμηση ενέργειας

<https://ypen.gov.gr/energeia/energeiaki-exoikonomisi/ktiria/>

[8] Ενεργειακή κατανάλωση στα ελληνικά κτίρια

<http://www.indeepanalysis.gr/perivallon/energeiakh-katanalwsh-sta-ellhnika-kthria>

[9] ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΑ, 2011-2012

<https://www.statistics.gr/documents/20181/e74d6134-8c02-404e-a02b-aa6d959219e3>

[10], [12], [13] <https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-02/2020%20LTRS%20EL.pdf>

[11] ΦΕΚ 974

<https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-02/2020%20LTRS%20EL.pdf>

[14] Η αρχιτεκτονική ένταξη των βιοκλιματικών συστημάτων στην κατοικία, Ανεμοδουρά Ναταλία, Χριστακοπούλου Ρουμπίνη

<https://docplayer.gr/839993-l-arhitektoniki-entaxi-vioklimatikon-systimaton-sthn-katoikia-e-m-p-sholi-arhitektonon-mihanikon-dialexi-anemodoyra-natalia-hristakopoyloy-roympini.html>

[15], [16] <https://docplayer.gr/839993-l-arhitektoniki-entaxi-vioklimatikon-systimaton-sthn-katoikia-e-m-p-sholi-arhitektonon-mihanikon-dialexi-anemodoyra-natalia-hristakopoyloy-roympini.html>

[17] <https://sites.google.com/site/wildwaterwall/eliaka-spitia/3-pathetika-eliaka-systemata-thermanses>

[18], [19] <https://docplayer.gr/839993-l-arhitektoniki-entaxi-vioklimatikon-systimaton-sthn-katoikia-e-m-p-sholi-arhitektonon-mihanikon-dialexi-anemodoyra-natalia-ristakopoyloy-roympini.html>

[20] NZEB

<http://www.cres.gr/energyhubforall/3.1.html>

[21] <https://eipak.org/ventilationguide>

[22] [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_en#:~:text=Nearly%20zero%2Demission%20building%20\(NZEB,produced%20on%2Dsite%20or%20nearby.](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_en#:~:text=Nearly%20zero%2Demission%20building%20(NZEB,produced%20on%2Dsite%20or%20nearby.)

[23] Voss, Sartori, & Lollini, 2012

[24], [25], [26], [27] Energyplus Documentation, Engineering Reference

[28] Καταναλωση πρωτογενους ενεργειας

<http://www.cres.gr/energyhubforall/4.1.3.html>