



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΧΟΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕΣΩ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΓΕΩΡΓΑΝΤΖΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ



Επιβλέπων: Βουγιούκας Εμμανουήλ, Λέκτορας ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2017

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους καθηγητές μου κ. Βουγιούκα και κ. Τζουβαδάκη για την κατανόηση, την υπομονή τους και τις χρήσιμες συμβουλές τους. Ωστόσο, εφόσον το τέλος αυτής της διπλωματικής εργασίας σημαίνει ταυτόχρονα και το τέλος της εκπαίδευσης μου σε αυτό το ίδρυμα αλλά και την αρχή ενός νέου σταδίου στην ζωή μου, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, Θοδωρή και Ελένη, στην αδερφή μου, Ευαγγελία, στους θείους μου, Λουκά και Ελένη, στην ξαδέρφη μου, Γιώτα, και σε όλους τους φίλους μου τόσο για την μεγάλη στήριξη και αγάπη τους αυτά τα χρόνια όσο και γιατί μου έδωσαν να καταλάβω πόσο σημαντικό πλεονέκτημα και απαραίτητο εφόδιο αποτελούν οι σπουδές ενός ατόμου. Τέλος, δεν θα μπορούσα να ξεχάσω τους συμφοιτητές μου, οι οποίοι χωρίς ίχνος “κακού” ανταγωνισμού μου παρείχαν την αρωγή και τις γνώσεις τους οποιαδήποτε στιγμή τους χρειάστηκα ενώ με τις ιδιαίτερες προσωπικότητές τους μετέτρεψαν αυτή την διαδρομή των σπουδών σε ένα όμορφο ταξίδι.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συνεχής απαίτηση των κτιρίων για όλο και περισσότερα ποσά ενέργειας συμβάλλουν καθοριστικά στη ρύπανση και την υποβάθμιση του φυσικού και δομημένου περιβάλλοντος. Η υποβάθμιση αυτή κάνει αναγκαίο τον επανασχεδιασμό του κτιριακού τομέα της Ελλάδας με βάση τα βιοκλιματικά κριτήρια, δίνοντας περισσότερο έμφαση στα δημόσια κτίρια, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η βέλτιστη ενεργειακή αναβάθμιση.

Στην παρούσα έρευνα επιλέγεται να μελετηθεί η ενεργειακή αναβάθμιση ενός υφιστάμενου δημόσιου σχολικού κτιρίου στην περιοχή της Ηλιούπολης, αφού το σχολείο και γενικότερα η εκπαίδευση θεωρείται ένας ιδιαίτερα σημαντικός τομέας στην ζωή του ατόμου αλλά και της κοινωνίας αφού αποτελεί έναν από τους φορείς κοινωνικοποίησης, διαμορφώνοντας σε μεγάλο βαθμό συνειδήσεις και συμπεριφορές. Συνεπώς, δημιουργώντας καλύτερες συνθήκες διαβίωσης με την παράλληλη διαμόρφωση οικολογικής νοοτροπίας συμβάλλουμε στην βελτιστοποίηση αυτού του σημαντικού τομέα και κατ' επέκταση του κοινωνικού συνόλου.

Στην συνέχεια, με τη βοήθεια των προγραμμάτων Sketch Up, Open Studio και Energy Plus πραγματοποιείται η προσομοίωση του σχολικού κτιρίου και εξάγονται αποτελέσματα για την υφιστάμενη ενεργειακή κατάσταση. Έπειτα, προτείνονται ορισμένες βιοκλιματικές επεμβάσεις έχοντας ως στόχο την επίτευξη οικονομικής και ενεργειακής εξοικονόμησης.

ABSTRACT

The demand of buildings for more amounts of energy contribute to pollution and demotion of the natural and constructed environment. Such a demotion makes it necessary to redesign the building sector of Greece based on bioclimatic criteria; giving more emphasis to public buildings, so as to achieve an energy upgrade.

This research selects to study the energy upgrade of an existing public school building in Ilioupolis since it is considered that school and generally education is an extremely important factor not only in a person's lifetime but also as a socializing institution and therefore responsible for shaping consciences and behaviours. Consequently, creating not only better living conditions but also formatting ecological mentality, we contribute to the improvement of this significant sector and therefore to the whole society.

Afterwards, using Sketch Up and Energy Plus programs carried out the simulation of the school building and exported results for the current energy situation. Afterwards, some bioclimatic interventions are proposed with the aim of achieving economic and energy savings.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1****Το ενεργειακό πρόβλημα της εποχής**

Γενικά στοιχεία για το ενεργειακό πρόβλημα της εποχής

Υπερβολική κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**Βιοκλιματικός σχεδιασμός**

Ορισμός

Στόχοι του βιοκλιματικού σχεδιασμού

Αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού

1. Προσανατολισμός κτιρίου**A.** θέση κτιρίου σε σχέση με τον ήλιο**B.** θέση κτιρίου σε σχέση με τον συνήθη άνεμο της περιοχής**2.** Θερμική προστασία κελύφους**3.** Φυσικός αερισμός**4.** Ηλιοπροστασία**5.** Βασικά παθητικά ηλιακά συστήματα**A.** θερμοκήπιο**B.** θερμικοί τοίχοι**Γ.** αεροσυλλέκτες**Δ.** Πράσινο Δώμα**6.** Εκμετάλλευση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3****Περιγραφή κτιρίου****ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4****Προσομοίωση σχολικού κτιρίου μέσω των προγραμμάτων SketchUp ,OpenStudio και EnergyPlus**

Εισαγωγή

Μοντελοποίηση κτιρίου με την εφαρμογή των προγραμμάτων Sketch Up και Open Studio

Μοντελοποίηση κτιρίου με το πρόγραμμα Energy Plus

Αποτελέσματα προσομοίωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**Προτάσεις για ενεργειακή αναβάθμιση του σχολικού κτιρίου**

Τοποθέτηση θερμοπρόσοψης στους εξωτερικούς τοίχους και θερμομόνωσης στα δώματα

Τοποθέτηση ενεργειακών λαμπτήρων LED

Τοποθέτηση διπλών υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής

Νυχτερινός εξαερισμός

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**Συμπεράσματα έρευνας****ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της έρευνας είναι η κατανόηση των χαρακτηριστικών εκείνων που συνθέτουν τη δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης στο εσωτερικό ενός κτιρίου καθώς και τις αντίστοιχες ενεργειακές καταναλώσεις που απαιτούνται. Επίσης, θεωρείται ενδιαφέρον η μελέτη των παραπάνω στοιχείων σε υφιστάμενο κτίριο, με την καθοδήγηση της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, εξοικονομώντας χρήμα και ενέργεια, έχοντας σαν αποτέλεσμα τη βελτίωση της συνολικής ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου.

Στόχος της παρούσας έρευνας είναι ο ενεργειακός έλεγχος και η αντίστοιχη ενεργειακή αναβάθμιση ενός δημόσιου σχολικού συγκροτήματος δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην περιοχή της Ηλιούπολης, μέσω της εφαρμογής των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού.

Μέσα έρευνας: Αρχικά, για την ανάπτυξη του θεωρητικού υποβάθρου χρησιμοποιούνται ορισμένα στοιχεία τα οποία συμβάλλουν στον εμπλουτισμό και την τεκμηρίωση των θεμάτων που αναλύονται παρακάτω. Αυτά είναι, στατιστικές πληροφορίες, άρθρα δημοσιευμένα στο διαδίκτυο από συνέδρια, ερευνητικά προγράμματα και διδακτικές σημειώσεις μαθημάτων καθώς και εκτενή βιβλιογραφία από συγγραφείς με αντίστοιχο υπόβαθρο σε θέματα διαχείρισης ενέργειας και βιοκλιματικού σχεδιασμού. Παράλληλα, μία εξίσου σημαντική διαδικασία αποτέλεσε η επιτόπια έρευνα που διεξήχθη στο σχολικό συγκρότημα καθώς και η τηλεφωνική επικοινωνία και οι προσωπικές συναντήσεις με αντίστοιχους φορείς όπως το Δήμο Ηλιούπολης και πιο συγκεκριμένα τον Οργανισμό Σχολικών Κτιρίων του Δήμου καθώς και το τμήμα Λογιστηρίου. Με την κατάλληλη επεξεργασία όλων των παραπάνω πληροφοριών, δημιουργείται στο πρόγραμμα Sketch Up τρισδιάστατο μοντέλο του σχολικού κτιρίου, με την παράλληλη βοήθεια της εργαλειοθήκης Open Studio, ενώ στο πρόγραμμα Energy Plus πραγματοποιείται προσομοίωση του κτιρίου σε συνάρτηση με τις ενεργειακές καταναλώσεις του, για παράδειγμα σε θέρμανση – ψύξη, τεχνητό φωτισμό κ.ά., υπολογίζοντας ταυτόχρονα τα θερμικά φορτία του.

Δομή εργασίας:

- ❖ Στο 1ο κεφάλαιο αναλύεται το ζήτημα της συνεχώς αυξανόμενης ανάγκης για ενέργεια, τις αιτίες που οδηγούν στη ρύπανση και την υποβάθμιση του φυσικού και δομημένου περιβάλλοντος καθώς και στην κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια, και ειδικότερα στο πρόβλημα που υπάρχει στην Ελλάδα εστιάζοντας στα αίτια που έχουν οδηγήσει σε αυτή την κατάσταση.
- ❖ Στο 2ο κεφάλαιο αναλύονται οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι βιοκλιματικού σχεδιασμού και χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που μπορούν να εφαρμοστούν σε κτιριακές εγκαταστάσεις.
- ❖ Στο 3ο κεφάλαιο γίνεται μία εκτενής παρουσίαση του σχολικού συγκροτήματος που μελετάται ενώ δίνονται γενικές πληροφορίες για την περιοχή μελέτης, όπως γεωγραφικά στοιχεία και κλιματολογικές συνθήκες.
- ❖ Στο 4ο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία προσομοίωσης, όπως ακολουθήθηκε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, από το σχεδιασμό του κτιρίου μέσω του SketchUp και του Open Studio plug-in μέχρι και την ενεργειακή προσομοίωση στο Energy Plus για την εξαγωγή αποτελεσμάτων.
- ❖ Στο 5ο κεφάλαιο προτείνονται επεμβάσεις ενεργειακής βελτίωσης και εξοικονόμησης ενέργειας για τις οποίες γίνεται εκ νέου προσομοίωση και μελετάται η αποτελεσματικότητά τους.
- ❖ Τέλος, στο 6ο κεφάλαιο, σχολιάζονται τα συμπεράσματα της μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο. ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΠΟΧΗΣ

1.1 Γενικά στοιχεία για το ενεργειακό πρόβλημα της εποχής

Με το πέρασμα των χρόνων συμπεραίνεται ότι η ανάγκη για κατανάλωση ενέργειας συνεχώς αυξάνεται. Η εντατική ανάπτυξη λειτουργιών και δραστηριοτήτων απαιτούν τη συνεχή χρήση ενεργειακών και φυσικών πόρων, με αποτέλεσμα την απρόσκοπτη χρήση και εξάντλησή τους, τα οποία με τη σειρά τους έχουν οδηγήσει στην εμφάνιση σημαντικών περιβαλλοντικών προβλημάτων. Είναι αρκετά εύκολο να κατανοήσουμε τι σημαίνει αύξηση της ενέργειας που καταναλώνεται αν αναλογιστούμε το πλήθος των ηλεκτρικών συσκευών που έχουμε σήμερα στο σπίτι μας σε σχέση με τις συσκευές που είχαμε, ως πούμπε, πριν 50 χρόνια, ή τον αριθμό των αυτοκινήτων που κυκλοφορούν τώρα στους δρόμους σε σχέση με τότε. Στο ίδιο συμπέρασμα θα καταλήξουμε αν παρατηρήσουμε τις ενεργοβόρες εγκαταστάσεις ενός σύγχρονου κτιρίου (πχ νοσοκομείου με κεντρική εγκατάσταση κλιματισμού, δίκτυο υπολογιστών, ιατρικό εξοπλισμό) και τις συγκρίνουμε με ένα ανάλογο κτίριο που κατασκευάστηκε πριν μερικές δεκαετίες. Υπολογίζεται ότι ο πρωτόγονος άνθρωπος χρησιμοποιούσε για τις ανάγκες του ενέργεια ίση με 6,3 MJ την ημέρα που έπαιρνε μέσω της τροφής του. Ο σημερινός άνθρωπος χρησιμοποιεί περίπου 1000 MJ δηλαδή 150 φορές περισσότερη.

Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι το ενεργειακό πρόβλημα υφίσταται και μάλιστα σε επικίνδυνο βαθμό, γεγονός που ισχυροποιείται και από την διαρκή μείωση των ενεργειακών αποθεμάτων του πετρελαίου, του φυσικού αερίου και του άνθρακα. Συμπερασματικά, η ουσία του ενεργειακού προβλήματος βρίσκεται στην συσχέτιση των ενεργειακών αποθεμάτων που διαρκώς μειώνονται με τις απαιτήσεις για κατανάλωση ενέργειας που διαρκώς αυξάνονται όπως και στις ανισορροπίες μεταξύ γεωγραφικής κατανομής αποθεμάτων και γεωγραφικής κατανομής κατανάλωσης ενέργειας(B.AΜΕΡΙΚΗ-ΕΥΡΩΠΗ).[1]

Η παραπάνω ανεξέλεγκτη χρήση ενέργειας και η ύπαρξη της ενεργειακής κρίσης συνέβαλλαν καθοριστικά στη ρύπανση και την υποβάθμιση του φυσικού και δομημένου περιβάλλοντος. Η υποβάθμιση αυτή επιδρά, έμμεσα, αρνητικά στον άνθρωπο, αφού οι επιπτώσεις πραγματοποιούνται σε όλους τους τομείς των πόλεων, όπως σε κτίρια, στο δημόσιο χώρο, στη φυσική και πολιτιστική κληρονομιά, στην αρχιτεκτονική, στο τοπίο, στις κοινωνικές σχέσεις και τις παραγωγικές δραστηριότητες ενώ οδηγεί επίσης στην οικονομική ύφεση τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και σε επίπεδο νοικοκυριών.[2]

1.2 Υπερβολική κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια

Λόγω της σύγχρονης απαίτησης να επικρατούν στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας, αερισμού, φωτισμού, θορύβων και ποιότητας αέρα, οι οποίες οδηγούν στην προσφορά κατάλληλων συνθηκών διαβίωσης ή εργασίας, απαιτείται η κατανάλωση σημαντικών ποσών ενέργειας.

Στην Ελλάδα, στον οικιακό τομέα η βασική πηγή ενέργειας είναι η ηλεκτρική κατά 46%, το πετρέλαιο κατά 23%, το υγραέριο κατά 22% και οι άλλες πηγές κατά 9%. Σε ότι αφορά την κατανάλωση, η θέρμανση καλύπτει το 61% της συνολικής κατανάλωσης, το μαγείρεμα το 13%, η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης το 10%, η διατήρηση των τροφίμων το 5%, ο φωτισμός το 3%, ο δροσισμός το 2% και οι υπόλοιπες το 6%. Το πετρέλαιο αποτελεί την βασική πηγή ενέργειας για θέρμανση αντιπροσωπεύοντας το 33%, η ηλεκτρική ενέργεια το 29%, ο άνθρακας το 24%, το υγραέριο το 4% και οι δευτερεύουσες πηγές το 10%. Είναι σαφές ότι η θέρμανση εξαρτάται και από μια σειρά από παράγοντες όπως είναι το κλίμα της περιοχής, το μέγεθος του κτιρίου, ο τύπος και η κατάσταση του μηχανολογικού εξοπλισμού του. Επίσης είναι σημαντικό να επισημανθεί η διαφορά που υπάρχει όσον αφορά τις ενεργειακές καταναλώσεις στις νέες και τις παλαιές κτιριακές εγκαταστάσεις και κατά πόσο οι συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό των χώρων τους είναι σε επίπεδα ικανοποιητικά για τους χρήστες τους. Η τυπική ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση σε κτίρια κατοικιών πριν το 1980 ήταν περίπου 140 kWh/m² σε μονοκατοικίες και 96 kWh/m² σε πολυκατοικίες, ενώ για τα νεότερα κτίρια υπολογίζεται σε 92-123 kWh/m² και 75-94 kWh/m² αντίστοιχα.

Επιπλέον, από προηγούμενες έρευνες έχει διαπιστωθεί ότι η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια στην Ελλάδα παρουσιάζει αυξητική τάση, λόγω της αύξησης της χρήσης κλιματιστικών και μικροσυσκευών. Η χρήση των κλιματιστικών αποτελεί σημαντικό παράγοντα αύξησης του ηλεκτρικού φορτίου αιχμής στη χώρα, με τεράστιες οικονομικές συνέπειες και σημαντική επιβάρυνση του καταναλωτή. Επί πλέον τα κλιματιστικά επιδεινώνουν το φαινόμενο της υπερθέρμανσης των αστικών κέντρων και τις συνεπαγόμενες δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν το καλοκαίρι.[3], [4]

Ακόμα, ειδικά για το κομμάτι της θέρμανσης μπορούμε να πούμε ότι τα ελληνικά κτίρια υπερκαταναλώνουν ενέργεια λόγω του ότι δεν είναι σωστά θερμομονωμένα. Ένα μεγάλο ποσοστό των κτιρίων της χώρας δεν έχουν θερμομόνωση και η αιτία γι' αυτό είναι ότι ο Ελληνικός Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων (ΚΘΚ) τέθηκε σε ισχύ το 1979, καθορίζοντας τα μέγιστα όρια για τη θερμοπερατότητα των διαφόρων στοιχείων (τοίχοι, οροφή, παράθυρα) και του κελύφους του κτιρίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ένα μεγάλο ποσοστό των κτιρίων να μην έχουν θερμομόνωση. Ακόμη κατά τη διάρκεια της πρώτης δεκαετίας της εφαρμογής του ΚΘΚ (1980-1990), η πλειοψηφία των κτιρίων δεν είχαν πλήρη θερμομόνωση και μόνο οι πρόσφατες κατασκευές έχουν θερμομόνωση του φέροντα οργανισμού για την αποφυγή των θερμογεφυρών. Σύμφωνα με τη καταγραφή των ελληνικών κτιρίων, το 71% κατασκευάστηκε πριν από το 1980, δεν διαθέτει θερμομόνωση και παρουσιάζει χαμηλή ενεργειακή απόδοση, ενώ παράλληλα στην πλειοψηφία τους διαθέτουν παλιές Η/Μ εγκαταστάσεις ενώ η καύση υγρών καυσίμων όπως το

πετρέλαιο σε κεντρικές μονάδες θέρμανσης, η χρησιμοποίηση ηλεκτρικής ενέργειας για κεντρικές κλιματιστικές μονάδες και φωτισμό, επιδεινώνουν το ενεργειακό πρόβλημα και επιβαρύνουν την ατμοσφαιρική ρύπανση. Στην Ελλάδα, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών στην ετήσια έκθεση του 2007 για την πρόβλεψη εκπομπών αερίων ρύπων του θερμοκηπίου, ο κτιριακός τομέας έχει την υψηλότερη συνεισφορά στην κατανομή ρύπων.[5],[6]

Συμπερασματικά, τα κύρια προβλήματα στη χώρα μας σχετίζονται άμεσα με το λανθασμένο ενεργειακό μοντέλο που εφαρμόζει ενώ χαρακτηρίζεται από υψηλή ενεργειακή ένταση (παραγόμενες kWh ανά μονάδα ΑΕΠ), υψηλή εξάρτηση από πετρέλαιο και λιγνίτη που αποτελούν τα πλέον ρυπογόνα καύσιμα, και άσκοπη κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό και τριτογενή τομέα.[7]

Για την αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος είναι αναγκαίο να υιοθετηθεί η κατασκευή πράσινων κτιρίων υψηλής απόδοσης τα οποία έχουν τρία κύρια κοινά χαρακτηριστικά: υψηλή ενεργειακή απόδοση, περιορισμένες επιπτώσεις στο περιβάλλον, διασφάλιση της υγείας των κατοίκων καθώς και άνεση. Αυτές είναι οι βασικές αρχές για νέα και υφιστάμενα κτίρια οι οποίες ουσιαστικά προέρχονται από την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού.[8]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°.ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

2.1 Ορισμός

Βιοκλιματικός σχεδιασμός είναι ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός που με την αξιοποίηση του κλίματος επιτυγχάνει την απαιτούμενη θερμική άνεση στο εσωτερικό των κτιρίων, σε όλες τις εποχές του χρόνου και καλύπτει το μεγαλύτερο ποσοστό των αναγκαίων φορτίων θέρμανσης και ψύξης με παθητικό τρόπο, δηλαδή χωρίς μηχανολογικό εξοπλισμό και συσκευές. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός επαναφέρει στην αρχιτεκτονική την κατανόηση, αφομοίωση και εφαρμογή των βασικών αρχών θερμοδυναμικής και ρευστομηχανικής που λειτουργούν στα κτίρια. Επίσης ελαχιστοποιεί τη χρήση ορυκτών καυσίμων και εξοικονομεί μεγάλα ποσοστά ενέργειας χωρίς πρόσθετο κόστος κατασκευής και εξοπλισμού. Το βιοκλιματικό κτίριο τον χειμώνα συλλέγει την ημερήσια ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύει και την αποδίδει με τη μορφή θερμικής ενέργειας στους εσωτερικούς χώρους σταδιακά κατά τη διάρκεια των ψυχρών ωρών, ενώ το καλοκαίρι αξιοποιεί τη δροσιά του νυχτερινού αέρα για την ψύξη των εσωτερικών χώρων και διατηρεί χαμηλές εσωτερικές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της επόμενης μέρας. Αυτό που ουσιαστικά κάνει λοιπόν είναι να αντλεί φορτία θέρμανσης και ψύξης από το περιβάλλον, να τα διατηρεί και να μεταθέτει χρονικά την απόδοσή τους στον εσωτερικό χώρο για το διάστημα που η εξωτερική φυσική πηγή ενέργειας (θέρμανσης ή ψύξης) εκπίπτει.

Η Ελλάδα που το κλίμα της διακρίνεται από ήπιους χειμώνες με μεγάλη ημερήσια ηλιοφάνεια και χαμηλές νυχτερινές θερμοκρασίες και θερμά καλοκαίρια με μεγάλη πτώση της νυχτερινής θερμοκρασίας αποτελεί ιδανικό τόπο για τη μέγιστη απόδοση του βιοκλιματικού σχεδιασμού και την επίτευξη υψηλού βαθμού ενεργειακής αυτάρκειας των κτιρίων με σχεδόν μηδενικό κόστος. [9], [10]

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες της οικολογικής δόμησης, η οποία ασχολείται με τον έλεγχο των περιβαλλοντικών παραμέτρων στο επίπεδο των κτιριακών μονάδων μελετώντας τις ακόλουθες κατευθύνσεις:

- Τη μελέτη του δομημένου περιβάλλοντος και των προβλημάτων που αυτό δημιουργεί (αύξηση θερμοκρασίας, συγκέντρωση αέριων ρύπων, δυσκολία στην κυκλοφορία αέρα)
- Τον σχεδιασμό των κτιρίων
- Την επιλογή των δομικών υλικών, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις θερμικές και οπτικές τους ιδιότητες, όσο και την τοξικολογική τους δράση.

2.2 Στόχοι του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού

Το ζητούμενο στον βιοκλιματικό σχεδιασμό είναι η ανέγερση κτιρίων, π.χ. βιομηχανικών μονάδων, κτιρίων γραφείων, κτιρίων κατοικίας, σχεδιασμένων έτσι ώστε αφενός να καλύπτονται πλήρως οι ενεργειακές τους ανάγκες και αφετέρου στο ετήσιο ισοζύγιο να είναι μηδενική η επιβάρυνση του περιβάλλοντος με εκπομπές βλαβερών για το περιβάλλον αερίων. Επίσης, η ανέγερση κτιρίων των οποίων οι ενεργειακές ανάγκες στον τομέα της θέρμανσης και της ψύξης να καλύπτονται πλήρως μέσω συστημάτων εκμετάλλευσης των γεωθερμικών ενεργειακών πόρων, όπου η αναγκαία για τις αντλίες θερμότητας ηλεκτρική ενέργεια να παράγεται μέσω φωτοβολταϊκών στοιχείων. Τέλος, η ανέγερση κτιρίων στο πλαίσιο του συνήθους κόστους των κατασκευών, αλλά με σεβασμό στους περιορισμένους πόρους του φυσικού περιβάλλοντος. Ειδικότερα, οι στόχοι του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι:

- Η εξασφάλιση ηλιασμού το χειμώνα
- Η προστασία από τους δυνατούς ανέμους του χειμώνα
- Η ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας το χειμώνα
- Η προστασία από τον ήλιο του καλοκαιριού
- Η εκμετάλλευση των δροσερών ανέμων το καλοκαίρι
- Η απομάκρυνση της πλεονάζουσας θερμότητας το καλοκαίρι[11]

2.3 Αρχές Βιοκλιματικού σχεδιασμού

2.3.1. Προσανατολισμός κτιρίου

(α) Θέση κτιρίου σε σχέση με τον ήλιο

Στο βόρειο ημισφαίριο, η μεγαλύτερη πλευρά των κτιρίων πρέπει να είναι στραμμένη προς τον Νότο. Η ποσότητα και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια, αλλάζει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος της θέσης της, τον προσανατολισμό της, την κλίση της ως προς το οριζόντιο επίπεδο, την εποχή και την καθαρότητα της ατμόσφαιρας. Η Ελλάδα έχει βόρειο γεωγραφικό πλάτος από 32° (νοτιότερο σημείο) μέχρι 41° (βόρειότερο σημείο). Στο βόρειο ημισφαίριο, η φαινόμενη τροχιά του ήλιου, κλίνει πάντα προς το Νότο. Οι επιφάνειες των κτιρίων που θερμαίνονται τον χειμώνα περισσότερο είναι αυτές που έχουν νότιο προσανατολισμό και που δέχονται σχεδόν κάθετα τις ακτίνες του ήλιου.

Τον χειμώνα ο ήλιος κινείται χαμηλά στον ορίζοντα με αποτέλεσμα οι ακτίνες του να προσπίπτουν στη νότια όψη των κτιρίων σχεδόν κάθετα, τη θερμαίνουν και ταυτόχρονα διεισδύουν από τα νότια ανοίγματα στους εσωτερικούς χώρους, αρκεί να μην υπάρχουν σε μικρή απόσταση εμπόδια ηλιασμού όπως γειτονικά κτίρια ή αειθαλής βλάστηση. Οι ελάχιστες, ελεύθερες από εμπόδια ηλιασμού αποστάσεις που εξασφαλίζουν πλήρη νότιο ηλιασμό καθορίζονται από το γεωγραφικό πλάτος του κάθε τόπου. Στη Βόρεια Ελλάδα (π.χ. Θεσσαλονίκη) το μεσημέρι της 21ης Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο) οι αποστάσεις αυτές είναι περίπου διπλάσιες από το ύψος του εμποδίου. Στη Νότια Ελλάδα (Κρήτη) είναι περίπου 1,7 φορές μεγαλύτερες από το ύψος του εμποδίου.

Το καλοκαίρι ο ήλιος κινείται ψηλά , πάνω από τα κτίρια, με μικρή κλίση προς τον Νότο. Το μεσημέρι η ηλιακή ακτινοβολία είναι σχεδόν κατακόρυφη, δηλαδή σχεδόν παράλληλη προς τη νότια όψη τους, έτσι η νότια όψη μπορεί να σκιαστεί εύκολα με μικρές οριζόντιες προεξοχές του κτηρίου ή με οριζόντια σκίαστρα. Όταν η νότια όψη αποκλίνει προς την Ανατολή ή τη Δύση περισσότερο από 6° αρχίζουν σταδιακά να μειώνονται τα ηλιακά οφέλη τον χειμώνα και να δυσχεραίνεται η δυνατότητα σκιασμού το καλοκαίρι.

Η ανατολική όψη δέχεται κάθε εποχή την ίδια ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας με τη δυτική όψη, τον χειμώνα ο ήλιος ανατέλλει και δύει προς την πλευρά του Νότου οπότε βλέπει αυτές τις όψεις πλάγια και δεν προλαβαίνει να τις θερμάνει, ενώ το καλοκαίρι ο ήλιος ανατέλλει και δύει προς την πλευρά του Βορρά, οπότε βλέπει κατά τις πρώτες πρωινές και τελευταίες απογευματινές ώρες αυτές τις όψεις κάθετα και τις θερμαίνει υπερβολικά. Όσον αφορά τη βόρεια όψη αυτή δε δέχεται άμεσα τον ήλιο τον χειμώνα ούτε το καλοκαίρι, εκτός από τις πρώτες πρωινές και τις τελευταίες απογευματινές ώρες, αποτελεί την ψυχρή πλευρά τον χειμώνα και τη δροσερή πλευρά το καλοκαίρι.

Συμπερασματικά, καταλληλότερο σχήμα για την κατοικία είναι το επιμήκες κατά τον άξονα ανατολής-δύσης, διότι προσφέρει μεγαλύτερη επιφάνεια προς το νότο για συλλογή της ηλιακής θερμότητας τους χειμερινούς μήνες. Αντίστοιχα, η μεγαλύτερη όψη της κατοικίας και τα μεγαλύτερα ανοίγματα πρέπει να είναι προσανατολισμένα προς το νότο, ενώ αντίστοιχα στη βόρεια πλευρά του κτιρίου πρέπει να υπάρχουν συμπαγείς τοίχοι και όσο το δυνατόν μικρότερα ανοίγματα. Σε περίπτωση που το σχήμα του οικοπέδου ή άλλα εμπόδια δεν επιτρέπουν τη διαμόρφωση επιμήκους κτίσματος κατά τον άξονα ανατολής-δύσης, τότε διαμορφώνεται το κτίριο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να περιέχει "σπαστούς" όγκους για να εξασφαλίζουν ηλιασμό το χειμώνα και οι πίσω χώροι του κτίσματος ενώ η μεγαλύτερη όψη του κτιρίου πρέπει να είναι προσανατολισμένη προς το νότο με απόκλιση έως 30 μοίρες (ανατολικά ή δυτικά).

(β) Θέση κτιρίου σε σχέση με τον κυρίαρχο τοπικό άνεμο

Δεύτερος καθοριστικός κλιματικός παράγοντας για τον προσανατολισμό και τη θέση του κτιρίου μετά τον ήλιο που επηρεάζει σημαντικά τη θερμική λειτουργία του κτιρίου είναι ο κυρίαρχος άνεμος της περιοχής στην κάθε εποχή. Η κάθε πλευρά του κτιρίου επηρεάζεται από τον άνεμο διαφορετικά ανάλογα με τη θέση της ως προς την κύρια κατεύθυνσή του.

Η πίεση του ανέμου, στις προσήνεμες πλευρές του κτιρίου είναι αυξημένη και ανάλογη της ταχύτητας του. Η αύξηση της αιολικής πίεσης αυξάνει τη μετάδοση θερμότητας εξαιτίας της συναγωγής μεταξύ κελύφους και μάζας του αέρα και επιτρέπει τη διείσδυση του ανέμου στο κτίριο δια μέσου των αρμών του κελύφους. Στην περίπτωση ψυχρών ανέμων έχουμε αυξημένες απώλειες θερμότητας από το κτίριο ενώ στην περίπτωση θερμών ανέμων έχουμε αύξηση των εσωτερικών θερμικών φορτίων, για τον λόγο αυτό είναι επιθυμητή η στροφή της ακμής ή η έκθεση της μικρότερης πλευράς του κτιρίου προς την κατεύθυνση του ανέμου.

Στις υπήνεμες πλευρές του κτιρίου προκαλείται υποπίεση, η ταχύτητα του ανέμου μειώνεται και συνεπώς η μετάδοση θερμότητας περιορίζεται. Στις πλευρές αυτές ο εσωτερικός αέρας διαφεύγει προς τα έξω διαμέσου των αρμών του κελύφους. Όταν το κτίριο στρέφει τη μεγαλύτερη πλευρά του προς την κατεύθυνση του ανέμου η δημιουργία ανεμοφρακτών μπορεί να το προστατέψει εκτρέποντας τον άνεμο ή μειώνοντας ως φίλτρο την ταχύτητά του. [10], [12], [13], [14]

2.3.2.Θερμική προστασία κελύφους

Το κέλυφος του κτιρίου προστατεύει τους εσωτερικούς χώρους από τις καιρικές συνθήκες και πρέπει να εξασφαλίζει θερμική άνεση για τους ενοίκους, δηλαδή θερμούς χώρους το χειμώνα και δροσερούς το καλοκαίρι. Ανάμεσα στο κτίριο και το εξωτερικό περιβάλλον υπάρχει τόσο τον χειμώνα όσο και το καλοκαίρι σημαντική διαφορά θερμοκρασίας και άρα διαρκής ανταλλαγή θερμότητας. Η μετάδοση θερμότητας γίνεται με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία και γίνεται πάντα από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα σώματα. Τον χειμώνα, το θερμότερο κτίριο μεταδίδει θερμότητα προς το ψυχρότερο περιβάλλον, ενώ το καλοκαίρι το θερμότερο περιβάλλον μεταδίδει θερμότητα προς το δροσερότερο κτίριο. Το κέλυφος εξασφαλίζει θερμική άνεση για τους ενοίκους όταν συνδυάζει δύο εξίσου σημαντικά χαρακτηριστικά:

- ® Καλή εξωτερική θερμομόνωση που εμποδίζει τη μετάδοση θερμότητας από μέσα προς τα έξω και αντίστροφα.
- ® Επαρκή μάζα εσωτερικά, που συγκρατεί τη ζέστη τον χειμώνα και διατηρεί τη δροσιά το καλοκαίρι.

Η θερμομόνωση αναστέλλει τη μετάδοση θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο των κτιρίων προς τον εξωτερικό χώρο τον χειμώνα και αντίστροφα το καλοκαίρι. Επιτυγχάνεται με τη μεσολάβηση ακίνητου, ξηρού αέρα

ο οποίος έχει αραιή μοριακή δομή, τα μόριά του δεν εφάπτονται και γι' αυτό καθυστερεί τη μετάδοση θερμότητας. Η θερμομόνωση πρέπει να τοποθετείται εξωτερικά διότι μόνο έτσι μπορεί να δημιουργεί ένα πλήρες και αποτελεσματικό φράγμα χωρίς την ύπαρξη θερμογεφυρών, που επιτρέπουν τη μετάδοση θερμότητας μεταξύ κτιρίου και περιβάλλοντος. Οι περιοχές του κελύφους που πρέπει να προστατεύονται είναι τα εξωτερικά δομικά στοιχεία, τα ανοίγματα και οι αρμοί. Οι επιφάνειες των κατασκευών οι οποίες έχουν αυξημένη ανάγκη θερμομονωτικής προστασίας είναι η στέγη και το δώμα, διότι τον χειμώνα ο θερμότερος αέρας των εσωτερικών χώρων ως ελαφρύτερος συγκεντρώνεται στις υψηλότερες ζώνες τους, ενώ το καλοκαίρι είναι πάλι αυτές που δέχονται σχεδόν κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία και η εξωτερική τους επιφάνεια θερμαίνεται υπερβολικά. Τα κουφώματα των εξωτερικών ανοιγμάτων των κτιρίων συντίθενται από τα πλαίσια και τους υαλοπίνακες. Κατά τη διάρκεια μιας χειμερινής ημέρας οι υαλοπίνακες της νότιας πλευράς του κτηρίου αποτελούν παγίδα θερμότητας συμβάλλοντας στη θέρμανση των χώρων από τον ήλιο.

Κατά τις νεφосκεπείς μέρες καθώς και κατά τη διάρκεια της νύχτας, όλοι οι υαλοπίνακες ανεξαρτήτως προσανατολισμού, αποτελούν επιφάνειες σημαντικών απωλειών. Αυτό συμβαίνει γιατί το σώμα του γυαλιού θερμαίνεται εξαιτίας της επαφής του με τον θερμό εσωτερικό αέρα και εκπέμπει θερμότητα προς τα έξω. Οι θερμικές απώλειες των υαλοπινάκων περιορίζονται σημαντικά με την τοποθέτηση διπλών τζαμιών διότι το διπλό τζάμι εξασφαλίζει ένα μονωτικό διάκενο ακίνητου αέρα μεταξύ των δύο γυάλινων επιφανειών του που περιορίζει σημαντικά τις απώλειες θερμότητας, η θερμομονωτική του ικανότητα εξαρτάται από το πάχος του διακένου και από το πάχος των τζαμιών. Τα πλαίσια πρέπει να κατασκευάζονται από θερμομονωτικά υλικά και οι διατομές τους πρέπει να έχουν θερμομονωτική ικανότητα. Τα βασικά υλικά στην κατασκευή των πλαισίων είναι το πλαστικό, το αλουμίνιο και το ξύλο. Τα πλαστικά πλαίσια κατασκευάζονται από PVC και περιέχουν ως σταθεροποιητή το κάδμιο, απαραίτητο συστατικό για την αντοχή τους στην ηλιακή ακτινοβολία και τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις. Δεν είναι κατάλληλη επιλογή εξαιτίας των ενδεχόμενων τοξικών εκπομπών του και της μειωμένης ανθεκτικότητας του στο ελληνικό κλίμα. Τα απλά πλαίσια αλουμινίου δεν είναι θερμομονωτικά γιατί το αλουμίνιο είναι καλός αγωγός της θερμότητας, δηλαδή δημιουργεί θερμογέφυρα, ενώ η θερμοδιακοπή στις διατομές των πλαισίων αλουμινίου εμποδίζει τη μετάδοση θερμότητας αλλά αποτελείται από πολυαμιδικά ή πολυκαρβονικά υλικά. Τα ξύλινα πλαίσια είναι θερμομονωτικά γιατί το ξύλο είναι θερμομονωτικό υλικό καθώς και μη τοξικό. Σημαντικό ρόλο στη θερμομονωτική ικανότητα των πλαισίων παίζει η συναρμογή μεταξύ φύλλων και κάσας, πρέπει να είναι επιμελημένη με διπλές πατούρες για την ελαχιστοποίηση της διαφυγής αέρα, χωρίς όμως λάστιχα ώστε να επιτρέπεται ο ήπιος, ελεγχόμενος, άδηλος αερισμός που διασφαλίζει την καλή ποιότητα του εσωτερικού αέρα των χώρων. Οι αρμοί του κτηρίου είναι σημαντική περιοχή μετάδοσης θερμότητας, βρίσκονται συνήθως στη συναρμογή των κουφωμάτων με τις τοιχοποιίες, των στεγών με τις τοιχοποιίες και των τοιχοποιιών με τον φέροντα οργανισμό. Από τις περιοχές των αρμών διαφεύγει ή διεισδύει ψυχρός ή θερμός αέρας γι' αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία η σχολαστική σφράγιση τους με υλικά μη τοξικά που να αναπνέουν.[12], [13], [15], [16], [17]

2.3.3. Φυσικός αερισμός

Η εξασφάλιση φυσικού δροσισμού χωρίς μηχανικό κλιματισμό προϋποθέτει την ύπαρξη μεγάλης μάζας στο εσωτερικό του κτιρίου, πλήρη νυχτερινό αερισμό για την ψύξη της μάζας και χαμηλές νυχτερινές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Ο φυσικός δροσισμός επιτυγχάνεται αφενός με τη μεταφορά των χαμηλών νυχτερινών θερμοκρασιών του περιβάλλοντος μέσα στο κτίριο και αφετέρου με τη διατήρησή τους κατά τη διάρκεια της επόμενης μέρας. Στο ελληνικό κλίμα οι νυχτερινές θερμοκρασίες είναι σημαντικά χαμηλότερες από τις ημερήσιες, ειδικά στα προάστια και στις περιαστικές περιοχές η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας κυμαίνεται μεταξύ 10 και 15 οC, ενώ ανάλογα με το φυσικό περιβάλλον μπορεί να φτάσει μέχρι και τους 20^oC κάνοντας εφικτή τη λειτουργία του φυσικού δροσισμού στα κτίρια. Στα πυκνοδομημένα αστικά κέντρα αυτές οι διακυμάνσεις είναι πολύ μικρότερες και γι' αυτό στις περιοχές αυτές απαιτούνται μέτρα βελτίωσης του αστικού μικροκλίματος ώστε ο φυσικός δροσισμός να είναι εφικτός και αποδοτικός.

Ο πλήρης δροσισμός ενός κτιρίου επιτυγχάνεται μόνο με συνδυασμό διαμπερούς οριζόντιου και κατακόρυφου αερισμού κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ο ημερήσιος αερισμός λειτουργεί επιβαρυντικά για τον εσωτερικό χώρο διότι οι θερινοί άνεμοι και αύρες είναι θερμότεροι από τα εσωτερικά δομικά στοιχεία που έχουν ψυχθεί στη διάρκεια της προηγούμενης νύχτας με αποτέλεσμα αντί να ψύξουν το κτίριο να το θερμαίνουν. Η αίσθηση δροσιάς που πιθανόν δημιουργούν προσωρινά οι θερινές αύρες στο ανθρώπινο σώμα οφείλεται στο αίσθημα ψύξης στο δέρμα εξαιτίας της εξάτμισης του ιδρώτα. Η επιτακτική ανάγκη των ανθρώπων να ανοίγουν την ημέρα συχνά τα εξωτερικά ανοίγματα οφείλεται στο ότι τα κτίρια δεν ψύχονται τη νύχτα καθώς και στην έντονη δυσφορία και το αίσθημα ασφυξίας που προκαλείται επειδή το κέλυφός των κτιρίων δεν αναπνέει.

Ο διαμπερής, οριζόντιος αερισμός στηρίζεται στην κίνηση του εξωτερικού αέρα, δηλαδή προϋποθέτει την ύπαρξη ανέμων και αιολικών ρευμάτων. Ο νυχτερινός διαμπερής, οριζόντιος αερισμός είναι ανεπαρκής για την επίτευξη φυσικού δροσισμού διότι δεν επιτυγχάνει ποτέ την πλήρη αντικατάσταση του συνολικού όγκου του θερμού εσωτερικού αέρα από τον ψυχρό εξωτερικό παρά μόνο αντικαθιστά τον αέρα μεταξύ των απέναντι ανοιγμάτων με αποτέλεσμα σε μεγάλες περιοχές του εσωτερικού χώρου να παραμένει στάσιμος θερμός αέρας.

Ο κατακόρυφος αερισμός στηρίζεται στη θερμική διαστρωμάτωση του εσωτερικού αέρα, ο θερμότερος αέρας των χώρων είναι ελαφρύτερος και συγκεντρώνεται στην υψηλότερη ζώνη τους, δηλαδή στις οροφές ή στους υπερκείμενους ορόφους, ενώ ο ψυχρότερος αέρας είναι βαρύτερος και συγκεντρώνεται στις χαμηλότερες ζώνες, δηλαδή στα δάπεδα ή στους υποκείμενους ορόφους. Όταν ο θερμός αέρας των υψηλότερων ζωνών απάγεται προς το περιβάλλον, δημιουργείται ελκυσμός και έτσι ο ψυχρός αέρας των χαμηλότερων ζωνών ανεβαίνει προς τα πάνω και έτσι η μέση θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων μειώνεται. Για την επίτευξη του κατακόρυφου αερισμού είναι απαραίτητη η δημιουργία ανοιγμάτων απαγωγής του θερμού αέρα σε όλο το μήκος της υψηλότερης ζώνης κάθε χώρου και η δημιουργία ενός μεγάλου, κεντρικού ανοίγματος που να επικοινωνεί με όλους τους εσωτερικούς

χώρους στην υψηλότερη περιοχή του κτηρίου. Τα ανοίγματα στην υψηλότερη ζώνη των χώρων και το μεγάλο κεντρικό άνοιγμα πρέπει να παραμένουν ανοιχτά σε όλη τη διάρκεια της νύχτας ώστε να απάγουν διαρκώς τον θερμό αέρα, ταυτόχρονα πρέπει να παραμένουν ανοιχτά κάποια κατάλληλα κατανεμημένα ανοίγματα στη χαμηλότερη ζώνη των χώρων ώστε να εισάγουν διαρκώς τον ψυχρό νυχτερινό αέρα.

Στη διάρκεια της ημέρας μπορεί να παραμένει ανοιχτό μόνο το κεντρικό άνοιγμα στο υψηλότερο επίπεδο του κτιρίου, το οποίο απάγει τον θερμό αέρα προς τα έξω, έλκει τον ψυχρότερο αέρα από τους υποκείμενους ορόφους και τον διανέμει στους υπερκείμενους. Όταν όμως η εξωτερική αιολική κίνηση είναι αισθητά ισχυρότερη από την ανοδική κίνηση του εσωτερικού αέρα τότε η λειτουργία του ανοίγματος αντιστρέφεται, επιτρέπει στον θερμό εξωτερικό αέρα να εισέρχεται στο κτίριο και να το θερμαίνει, γι' αυτό σε αυτές τις περιπτώσεις το άνοιγμα πρέπει να κλείνει.

Ο χρήστης είναι ανάγκη να έχει κατανοήσει τη διαδικασία του φυσικού δροσισμού ώστε να γνωρίζει ποια ανοίγματα του κτιρίου και σε ποια χρονική στιγμή πρέπει να ανοίγουν και να κλείνουν. Η προσθήκη απλών αυτοματισμών σε ανοίγματα που είναι δύσκολα προσιτά ή που η χρήση τους προϋποθέτει μεγάλες διαδρομές μέσα στο κτίριο μπορεί να διευκολύνει τους χειρισμούς που απαιτούνται. [18]

2.3.4. Ηλιοπροστασία

Στο ελληνικό κλίμα η πλήρης ηλιοπροστασία του κελύφους των κτιρίων είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τον φυσικό δροσισμό τους. Η ηλιοπροστασία επιτυγχάνεται με διαμορφώσεις, διατάξεις, κατασκευές και στοιχεία γύρω από το κτίριο που εμποδίζουν τη θερινή ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στο κέλυφος του. Κατά τη διάρκεια μιας καλοκαιρινής μέρας όλες οι πλευρές του κτιρίου δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία υπό διαφορετική γωνιά η κάθε μία. Το πρωί, οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν κάθετα στην ανατολική όψη, το μεσημέρι έρχονται από ψηλά παράλληλα προς τη νότια όψη και κατακόρυφα προς τις στέγες και τα δώματα, το απόγευμα βλέπουν κάθετα τη δυτική όψη, ενώ η βόρεια όψη σκιάζεται σχεδόν όλη την ημέρα καθώς δέχεται τον ήλιο οριζόντια και υπό γωνία μόνο νωρίς το πρωί αμέσως μετά την ανατολή και αργά το απόγευμα λίγο πριν τη δύση.

Τα ηλιοπροστατευτικά εμπόδια για να σκιάσουν πρέπει να είναι κάθετα στην ηλιακή ακτινοβολία, οπότε πρέπει να έχουν διαφορετική διεύθυνση σε κάθε πλευρά του κτιρίου, οριζόντια στο Νότο και κατακόρυφη στην Ανατολή και στη Δύση.

Η ηλιοπροστασία όλων των πλευρών επιτυγχάνεται με απλό, οικονομικό και αποτελεσματικό τρόπο όταν ο προσανατολισμός του κτηρίου είναι απευθείας στους άξονες Βορρά – Νότου και Ανατολής – Δύσης, όσο ο προσανατολισμός του αποκλίνει προς την Ανατολή ή τη Δύση, τόσο οι διατάξεις σκιασμού γίνονται περίπλοκες και ανεπαρκείς. Τα ηλιοπροστατευτικά εμπόδια πρέπει να είναι εξωτερικά, διότι όταν είναι εσωτερικά παρόλο που

οπτικά κρύβουν τον ήλιο επιτρέπουν στο σύνολο της ηλιακής ακτινοβολίας να διαπεράσει τα υαλοστάσια, να εισέρθει στον εσωτερικό χώρο και να τον θερμάνει, ενώ όταν είναι εξωτερικά αποκόπτουν την επαφή της ηλιακής ακτινοβολίας με τα υαλοστάσια. Επίσης όταν τοποθετούνται σε απόσταση από τα ανοίγματα δημιουργούν ένα σκιασμένο αεριζόμενο διάδρομο ανάμεσα σε αυτά και τα ανοίγματα βελτιώνοντας την προστασία του χώρου.

Τέλος τα υλικά των ηλιοπροστατευτικών στοιχείων πρέπει να είναι θερμομονωτικά (π.χ. ξύλο, πανί) και όχι θερμοχωρητικά (π.χ. μεταλλικές περσίδες, πλαστικά ρολά), διότι αυτά τα υλικά «πυρώνουν» και εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία προς τα υαλοστάσια η οποία μεταδίδεται στη συνέχεια στους εσωτερικούς χώρους. Τα συμπαγή σκίαστρα (δομικά στοιχεία, υφάσματα πυκνής ύφανσης) είναι πιο αποτελεσματικά από τα διάτρητα (ανοιχτές περσίδες, καφασωτά), ενώ είναι επίσης σημαντικό να αποφεύγονται υλικά που προσβάλλονται εύκολα από την ηλιακή ακτινοβολία διότι αποδομούνται και εκπέμπουν τοξικές ουσίες (π.χ. συνθετικά πολυμερή). [19]

2.3.5.Βασικά παθητικά ηλιακά συστήματα

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι κατασκευές ή διαμορφώσεις στη νότια όψη των κτιρίων που βελτιστοποιούν την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ονομάζονται παθητικά διότι η λειτουργία τους στηρίζεται στους φυσικούς νόμους της μετάδοσης θερμότητας, της θερμικής διαστρωμάτωσης και της φυσικής ροής του αέρα χωρίς τη χρήση πρόσθετων συσκευών και μηχανολογικών συστημάτων. Τα Π.Η.Σ. δίνουν συχνά λύση σε περιπτώσεις όπου δεν είναι εφικτή ή επιθυμητή η δημιουργία μεγάλων νότιων ανοιγμάτων, είναι πολύ χρήσιμα σε κρύα κλίματα όπου η ανάγκη θέρμανσης όλο το έτος είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την ανάγκη ψύξης. Τα πιο διαδεδομένα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι το θερμοκήπιο, οι θερμικοί τοίχοι και οι αεροσυλλέκτες.

(α) θερμοκήπιο

Το θερμοκήπιο είναι ένας υαλόφρακτος χώρος προσαρτημένος στη νότια όψη του κτηρίου. Τον χειμώνα η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά το υαλοστάσιο του θερμοκηπίου, θερμαίνει τον αέρα στο εσωτερικό του και τα δομικά στοιχεία που το διαχωρίζουν από το υπόλοιπο κτήριο (δάπεδο, ενδιάμεσοι τοίχοι) και αυτά με τη σειρά τους μεταδίδουν θερμότητα στους εσωτερικούς χώρους. Ο αέρας του θερμοκηπίου θερμαινόμενος γίνεται ελαφρύτερος και ανεβαίνει προς τα πάνω, μία σειρά θυρίδων σε όλο το μήκος της ανώτερης ζώνης του διαχωριστικού τοίχου μεταξύ θερμοκηπίου και εσωτερικού χώρου εισάγει τον θερμό αέρα στο κτήριο, ενώ η δημιουργία μιας αντίστοιχης σειράς θυρίδων στην κατώτερη ζώνη του διαχωριστικού τοίχου επιτρέπει την έξοδο του ψυχρότερου αέρα του εσωτερικού χώρου (που είναι συγκεντρωμένος στο δάπεδο του), προς το θερμοκήπιο. Ο ψυχρός αυτός αέρας θερμαίνεται στον χώρο του θερμοκηπίου ανεβαίνει προς τα πάνω και εισέρχεται πάλι στο κτήριο θερμός, με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται συνεχές κύκλωμα παροχής θερμού αέρα από το θερμοκήπιο προς το εσωτερικό του κτηρίου κατά τη διάρκεια της ηλιοφάνειας. Τη νύχτα όλες οι θυρίδες πρέπει να κλείνουν

διακόπτοντας την κυκλοφορία του αέρα, διαφορετικά το κύκλωμα παροχής θερμού αέρα αντιστρέφεται, δηλαδή θερμαίνεται το θερμοκήπιο σε βάρος του κτιρίου. Η διοχέτευση του θερμού αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου μπορεί να γίνει και από ανοίγματα στον διαχωριστικό τοίχο μεταξύ θερμοκηπίου και εσωτερικού χώρου αρκεί αυτά να είναι επαρκή και σωστά κατανεμημένα στην επιφάνεια του τοίχου.

Ένα θερμοκήπιο μπορεί να επιβαρύνει εξαιρετικά την καλοκαιρινή θερμική λειτουργία του κτιρίου στα ελληνικά κλιματικά δεδομένα, γι' αυτό είναι απαραίτητο τη θερινή περίοδο να απομακρύνεται όλο το υαλοστάσιο του και το θερμοκήπιο να μετατρέπεται σε υπαίθριο στεγασμένο χώρο. Επίσης όταν το θερμοκήπιο φέρει γυάλινη οροφή απαιτείται η πλήρης εξωτερική της ηλιοπροστασία.

(β)Θερμικοί τοίχοι

Οι θερμικοί τοίχοι είναι νότιοι τοίχοι που αποτελούνται από θερμοχωρητικά υλικά και φέρουν εξωτερικά σε μικρή απόσταση υαλοστάσιο, θερμαίνουν τον εσωτερικό χώρο είτε με θερμική ακτινοβολία είτε με κύκλωμα παροχής θερμού αέρα. Όταν δεν είναι εφικτή ή επιθυμητή η δημιουργία μεγάλων νότιων ανοιγμάτων τότε η αξιοποίηση της νότιας ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να γίνεται με θερμικούς τοίχους. Μπορούν να υπάρξουν πολλές μορφές θερμικών τοίχων ανάλογα με τον συνδυασμό των στοιχείων που τους συνθέτουν, τα επικρατέστερα είδη τους είναι ο τοίχος μάζας, ο τοίχος Trombe και ο τοίχος νερού.

® τοίχος μάζας

Ο τοίχος μάζας είναι νότιος τοίχος, κατασκευασμένος από υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας (σκυρόδεμα, συμπαγή τούβλα, πέτρα) και σκούρου χρώματος χωρίς εξωτερική θερμομόνωση. Σε μικρή απόσταση (10 – 15 cm) από την εξωτερική του επιφάνεια φέρει υαλοστάσιο για τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας. Το υαλοστάσιο του τοίχου μάζας παγιδεύει την ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ηλιοφάνειας, αυτή θερμαίνει τον αέρα στο διάκενο μεταξύ υαλοστασίου και τοίχου καθώς και τον τοίχο και ο θερμός τοίχος ακτινοβολεί θερμότητα στον εσωτερικό χώρο.

® τοίχος Trombe

Ο τοίχος Trombe είναι παραλλαγή του τοίχου μάζας και πήρε το όνομά του από τον καθηγητή F. Trombe που τον κατασκεύασε πρώτος. Πρόκειται για τοίχο μάζας με δύο σειρές θυρίδων κατανεμημένων σε όλο το μήκος της ανώτερης και της κατώτερης ζώνης του. Το υαλοστάσιο του τοίχου παγιδεύει την ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ηλιοφάνειας, αυτή θερμαίνει τον αέρα στο διάκενο μεταξύ υαλοστασίου και τοίχου καθώς και τον ίδιο τον τοίχο και στη συνέχεια ο θερμός τοίχος ακτινοβολεί θερμότητα στον εσωτερικό χώρο. Ο αέρας στο διάκενο του τοίχου Trombe θερμαινόμενος γίνεται ελαφρύτερος, ανεβαίνει προς τα πάνω και συγκεντρώνεται στην υψηλότερη περιοχή του διακένου, οι θυρίδες της ανώτερης ζώνης του τοίχου εισάγουν τον θερμό αέρα στο κτίριο, ενώ οι αντίστοιχες θυρίδες της κατώτερης ζώνης επιτρέπουν την έξοδο του ψυχρότερου αέρα του χώρου προς το διάκενο

του τοίχου Trombe. Ο ψυχρός αυτός αέρας θερμαίνεται, ανεβαίνει προς τα πάνω και εισέρχεται πάλι θερμός στο κτίριο και με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα συνεχές κύκλωμα παροχής θερμού αέρα από τον τοίχο Trombe προς το εσωτερικό του κτιρίου. Τη νύχτα όλες οι θυρίδες πρέπει να κλείνουν διακόπτοντας το κύκλωμα.

® τοίχος νερού

Εκτός από τα θερμοχωρητικά οικοδομικά υλικά υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής θερμικών τοίχων και από νερό, καθώς είναι ένα υλικό με ικανοποιητική θερμική αγωγιμότητα και με τη μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα. Ο θερμικός τοίχος νερού θερμαίνεται γρηγορότερα σε όλο το πάχος του και αποθηκεύει μεγαλύτερα ποσά θερμότητας απ' ό,τι ένας τοίχος άλλων υλικών, ταυτόχρονα όμως ψύχεται και γρηγορότερα γι' αυτό απαιτεί εσωτερική θερμοπροστασία κατά τη διάρκεια της νύχτας.

(γ) αεροσυλλέκτες

Ο αεροσυλλέκτης είναι μία θερμοαπορροφητική επιφάνεια, συνήθως μεταλλική, σκούρου χρώματος καλυμμένη με υαλοστάσιο σε μικρή απόσταση (2 – 5 cm) από αυτή, που τοποθετείται στη νότια πλευρά του κτιρίου. Πρόκειται για σύστημα που δεν προϋποθέτει θερμική μάζα για τη λειτουργία του και που μπορεί να προσαρτηθεί εύκολα σε υφιστάμενο κτίριο. Η λειτουργία του προσομοιάζει τον ηλιακό θερμοσίφωνα με τη διαφορά ότι θερμαίνει αέρα και όχι νερό. Η θερμοαπορροφητική επιφάνεια του αεροσυλλέκτη συλλέγει την ηλιακή ακτινοβολία και την μετατρέπει σε θερμική ενέργεια θερμαίνοντας τον αέρα που βρίσκεται στο διάκενο ανάμεσα στην επιφάνεια και το υαλοστάσιο, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η επιφάνεια να είναι πολύ καλά μονωμένη από την πίσω πλευρά. Ο αεροσυλλέκτης παρέχει όπως το θερμοκήπιο και ο τοίχος Trombe κύκλωμα θερμού αέρα στον εσωτερικό χώρο. Όταν προσαρτάται στο κτίριο πρέπει να κατασκευάζονται οι κατάλληλες θυρίδες στον ενδιάμεσο τοίχο, ενώ όταν είναι ανεξάρτητος από το κτίριο ο αέρας μεταφέρεται σε αυτό με καλά μονωμένους αγωγούς. Ο αεροσυλλέκτης έχει καλύτερη απόδοση όταν τοποθετείται κάθετα στην χειμερινή ηλιακή ακτινοβολία τις ώρες αιχμής της, δηλαδή με κλίση 45ο– 60ο ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Το καλοκαίρι είναι ανάγκη να σκιάζεται και να αερίζεται με ανοίγματα στο επάνω και κάτω μέρος του υαλοστασίου του, ενώ οι θυρίδες και οι αγωγοί μεταφοράς αέρα πρέπει να κλείνουν διακόπτοντας εντελώς τη ροή από και προς τον αεροσυλλέκτη.[13],[14], [16], [20], [21]

(δ)Πράσινο δώμα

Τα πράσινα δώματα αποτελούνται από φυτά που αναπτύσσονται στα δώματα των κτιρίων και έτσι αντικαθιστούν την πράσινη επιφάνεια του εδάφους που καταστράφηκε κατά την κατασκευή τους. Ένα πράσινο δώμα αποτελείται από τρία επιμέρους τμήματα.

- ® το δομικό τμήμα, το οποίο αποτελεί το υπόβαθρο της κατασκευής
- ® το κηπευτικό τμήμα το οποίο είναι ουσιαστικά ο κήπος της στέγης
- ® το φυτικό τμήμα το οποίο περιλαμβάνει τα φυτά.

Τα τρία αυτά τμήματα μπορεί να είναι ανεξάρτητα και να αποτελούνται από τελείως διαφορετικά υλικά και σύσταση, στην ουσία όμως εξαρτώνται άμεσα το ένα από το άλλο. Τα συστήματα φύτευσης που έχουν αναπτυχθεί ανάλογα με την αντοχή και τη στατική επάρκεια ενός κτιρίου μπορούν να διαχωριστούν στο **εκτατικό**, το **ημιεντατικό** και το **εντατικό**.

(α) Το σύστημα φύτευσης **εκτατικού** τύπου βρίσκει πολλές εφαρμογές κυρίως στο εξωτερικό σε μη προσβάσιμες στέγες κτιριακών εγκαταστάσεων, σε πρανή ή σε κτίρια τα οποία δεν είναι ικανά παρά να φέρουν ελαφρύ πρόσθετο φορτίο βλάστησης. Τα φυτά που επιλέγονται είναι φυτά εδαφοκάλυψης και ποώδη και αναπτύσσονται σε μία λεπτή στρώση βλάστησης. Αυτού του είδους τα φυτά είναι ανθεκτικά στον άνεμο και στο ψύχος, έχουν πολύ μικρό βάρος και χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση. Απαιτούνται μόνο 2,5 – 10 εκ. βάθους χώματος.

(β) Το σύστημα φύτευσης **ημιεντατικού** τύπου μπορεί να εξασφαλίσει τη δημιουργία ενός κήπου και ενός τοπίου το οποίο θα έχει χρώμα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Συνήθως για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται φυτά εδαφοκάλυψης, χαμηλοί θάμνοι ή χλοοτάπητας τα οποία χρειάζονται περιοδική συντήρηση και άρδευση.

(γ) Το σύστημα φύτευσης **εντατικού** τύπου αποτελεί τον παραδοσιακό τύπο κήπου σε δώμα για τη διαμόρφωση του οποίου απαιτείται πολύ μεγαλύτερο φορτίο, τακτική συντήρηση και άρδευση και μπορεί να περιλάβει ποικιλία φυτών, θάμνων και δέντρων. Με αυτόν τον τύπο μπορούν να δημιουργηθούν κήποι με ψηλή βλάστηση, με στοιχεία νερού και να κατασκευαστούν και μονοπάτια. Το ελάχιστο βάθος χώματος που απαιτείται είναι 30 εκ για την ανάπτυξη δένδρων και θάμνων.

Η κατασκευή φυτεμένου δώματος στο δώμα ενός κτιρίου προϋποθέτει πρόσθετα φορτία, τα οποία σε μια νέα κατασκευή μπορούν να υπολογισθούν και να ενταχθούν εύκολα και με μικρότερο κόστος από την περίπτωση κατασκευής σε υπάρχον κτίριο μη υπολογισμένου στα συγκεκριμένα νέα πρόσθετα φορτία. Ένα πράσινο δώμα εκτατικού τύπου είναι κατά πολύ ελαφρύτερο απ' ό,τι ένα αντίστοιχο εντατικού τύπου το οποίο συνήθως δεν είναι

εύκολο να τοποθετηθεί σε υπάρχοντα κτίρια αλλά κυρίως σε νέες κατασκευές, γι' αυτό στα περισσότερα παλιά κτίρια τοποθετούνται εκτατικού τύπου, στη διαμόρφωση του οποίου μπορούν να ανταποκριθούν οι κατασκευές.

Τέλος επισημαίνεται ότι η τοποθέτηση φυτεμένων δωμαίων σε κτιριακές κατασκευές μπορεί να επιφέρει ποικίλα οφέλη σε διάφορες τομείς [14], [22], [23] όπως είναι τα εξής :

- ® Μείωση ηχορύπανσης
- ® Μείωση της απορροής των υδάτων
- ® Δέσμευση της σκόνης και ρύπων
- ® Μείωση καταναλώσεων για θέρμανση και ψύξη
- ® Βελτίωση του μικροκλίματος των αστικών περιοχών
- ® Αύξηση της αξίας της ιδιοκτησίας

2.3.6.Εκμετάλλευση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Η ηλεκτρική κατανάλωση των κτιρίων αποτελεί μεγάλο μέρος της συνολικής κατανάλωσης μίας χώρας, ενώ προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά, από τις συμβατικές πηγές ενέργειας, δηλαδή το πετρέλαιο, τη βενζίνη και τον άνθρακα. Οι πηγές αυτές, παρόλη τη σπουδαία συνεισφορά τους στο σύγχρονο πολιτισμό, ρυπαίνουν ανεπανόρθωτα το περιβάλλον και εξαντλούνται με γοργούς ρυθμούς.

Αντιθέτως, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) αναπληρώνονται μέσω των φυσικών κύκλων και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Ο ήλιος, ο άνεμος, η γεωθερμία, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες, όπως το ξύλο και ακόμη τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης, είναι πηγές ενέργειας, που η προσφορά τους δεν εξαντλείται ποτέ. Εξάλλου, η αξιοποίησή τους για την παραγωγή ενέργειας δεν επιβαρύνει το περιβάλλον. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την έξαρση των εφαρμογών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας των τελευταίων χρόνων έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη ιδιαίτερου ενδιαφέροντος για την ενσωμάτωσή τους σε κτίρια.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται, με συντομία, εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) στον κτιριακό τομέα, με βάση την δυνατότητα εφαρμογής στο δομημένο περιβάλλον. Οι τεχνολογίες αυτές είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα με έμφαση στην ενσωμάτωσή τους στα κτίρια, και η γεωθερμία.

Φωτοβολταϊκά συστήματα

Με τη φωτοβολταϊκή τεχνολογία γίνεται εκμετάλλευση της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία επιφάνεια ενός τετραγ. μέτρου μία ηλιόλουστη μέρα μπορεί να φτάσει το 1 kW ενώ η ενέργεια η οποία προσπίπτει συνολικά σε ένα έτος σε μία επιφάνεια εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση και τον προσανατολισμό της επιφάνειας.[24]

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πάνελ (πλαίσια) φωτοβολταϊκών στοιχείων (ή κυψελών), μαζί με τις απαραίτητες συσκευές για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή. Το φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει συνήθως σχήμα τετράγωνο με πλευρά 120 – 160 χιλιοστά. Δυο τύποι πυριτίου χρησιμοποιούνται για την δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων: το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο, ενώ το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό. Οι δύο αυτοί τύποι παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα, όσο και μειονεκτήματα, και κατά τη μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται η αξιολόγηση των ειδικών συνθηκών της εφαρμογής (κατεύθυνση και διάρκεια της ηλιοφάνειας, τυχόν σκιάσεις κλπ.) ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη τεχνολογία. Επίσης, εκτός από το πυρίτιο χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων, όπως το Κάδμιο - Τελλούριο (CdTe) και ο ινδοδισεληνίουχος χαλκός. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους, επικαλυμμένα με ειδικές μεμβράνες και εγκιβωτισμένα σε γυαλί με πλαίσιο από αλουμίνιο. Η ονομαστική τους ισχύς κυμαίνεται ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών που τα αποτελούν και μπορεί να έχει τιμές μέχρι και 200 W (Watt) ή και παραπάνω. Τα πάνελ συνδέονται μεταξύ τους και δημιουργούν τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει από 2 έως και αρκετές εκατοντάδες φωτοβολταϊκές γεννήτριες.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια Φ/Β συστοιχία είναι συνεχούς ρεύματος (DC), και για το λόγο αυτό οι πρώτες χρήσεις των φωτοβολταϊκών αφορούσαν εφαρμογές DC τάσης: κλασικά παραδείγματα είναι ο υπολογιστής τσέπης («κομπιουτεράκι») και οι δορυφόροι. Με την προοδευτική αύξηση όμως του βαθμού απόδοσης, δημιουργήθηκαν ειδικές συσκευές – οι αναστροφείς (inverters) - που σκοπό έχουν να μετατρέψουν την έξοδο συνεχούς τάσης της Φ/Β συστοιχίας σε εναλλασσόμενη τάση. Με τον τρόπο αυτό, το Φ/Β σύστημα είναι σε θέση να τροφοδοτήσει μια σύγχρονη εγκατάσταση (κατοικία, θερμοκήπιο, μονάδα παραγωγής κλπ.) που χρησιμοποιεί κατά κανόνα συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία έχουν τη μεγαλύτερη απόδοση (μετατρέπουν έως και το 17%-18% της ηλιακής ενέργειας

σε ηλεκτρισμό) ενώ τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία έχουν ελαφρώς χαμηλότερη απόδοση (14%-15%), η οποία όμως συγκρινόμενη με την απόδοση άλλου συστήματος (συμβατικού, αιολικού, υδροηλεκτρικού κλπ.), παραμένει ακόμη αρκετά χαμηλή. Αυτό σημαίνει ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα καταλαμβάνει μεγάλη επιφάνεια προκειμένου να αποδώσει την επιθυμητή ηλεκτρική ισχύ. Ωστόσο, η απόδοση ενός δεδομένου συστήματος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών σε ηλιοστάτη.[25]

Τα τελευταία χρόνια έχει εκδηλωθεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον για εφαρμογές Φ/Β συστημάτων ενσωματωμένων σε κτίρια καθώς η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β είναι η μόνη τεχνολογία που μπορεί να εφαρμοστεί σε αστικό περιβάλλον με μηδενική ρύπανση. Οι κυριότερες εφαρμογές είναι: η κάλυψη ολόκληρης ή μέρους της οροφής του κτιρίου, η χρήση τους σε γυάλινες προσόψεις του κτιρίου και σε επιφάνειες προστασίας από καιρικές συνθήκες όπως στέγαστρα και σκιάστρα. Για την εγκατάσταση Φ/Β πλαισίων σε υπάρχουσες κατασκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα κοινά πανέλα με το πλαίσιο αλουμινίου που διαθέτουν, όπου σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται μία πρόσθετη ενδιάμεση κατασκευή πάνω στην οποία θα τοποθετηθούν τα πλαίσια. Αντίθετα, για εφαρμογές σε νέα κτίρια είναι προτιμότερα τα πανέλα χωρίς το πλαίσιο αλουμινίου, τα οποία επιτρέπουν την ενσωμάτωσή τους σαν δομικές επιφάνειες.

Στα Φ/Β συστήματα που εγκαθίστανται στο έδαφος πάντοτε δίνεται ο προσανατολισμός και η κλίση που θα επιτρέπει τη βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό είναι επιθυμητό και στις εφαρμογές σε κτίρια, ωστόσο δεν είναι συνήθως δυνατό καθώς υπάρχουν περιορισμοί από τις δεδομένες επιφάνειες του κτιρίου. Οι απώλειες όμως από το μη σωστό προσανατολισμό δεν είναι τόσο σημαντικές σε σχέση με τα οφέλη που προκύπτουν. Ωστόσο, είναι σημαντικό να μη δημιουργούνται σκιασμοί των Φ/Β πλαισίων, ιδιαίτερα τις ώρες υψηλής ακτινοβολίας, διότι προκαλείται σημαντική μείωση της παραγόμενης ισχύος.

Τα Φ/Β συστήματα διακρίνονται σε διασυνδεδεμένα (on-grid) και μη διασυνδεδεμένα (off-grid). Στα πρώτα υπάρχει διασύνδεση με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. ενώ στα δεύτερα όχι. Τα μη διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα ονομάζονται και αυτόνομα συστήματα και διακρίνονται σε αυτόνομα συστήματα με αποθήκευση (για χρήση σε νυχτερινές ώρες ή συννεφιά) ή χωρίς αποθήκευση (απευθείας χρήση από τον ήλιο μόνος τις ώρες ηλιοφάνειας πχ σε αντλιοστάσιο). Τα αυτόνομα συστήματα με αποθήκευση όσο υπάρχει ηλιοφάνεια φορτίζουν τις μπαταρίες-συσσωρευτές (ή αν υπάρχει ζήτηση, στέλνουν την ενέργεια απευθείας στην κατανάλωση - AC coupling) ενώ όταν δεν υπάρχει ήλιος η ενέργεια αποδίδεται από τις μπαταρίες. Υπάρχει δυνατότητα συνδυασμού επίσης με ανεμογεννήτριες και συνιστούν υβριδικά συστήματα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Για λόγους κυρίως κόστους, συνήθως χρησιμοποιούνται σε εξοχικά σπίτια και εν γένει σε κτίρια τα οποία δεν υπάρχει διασύνδεση με τη Δ.Ε.Η. ή υπάρχουν συχνές διακοπές ρεύματος και απαιτείται αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα με τη σειρά τους διακρίνονται σε λογιστικού συμψηφισμού (feed-in tariff) και ενεργειακού συμψηφισμού - αυτοπαραγωγής (net metering). Στα πρώτα ο πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας πληρώνει την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια βάσει συμφωνημένης «ταρίφας». Στα δεύτερα συμψηφίζεται η παραγόμενη με την καταναλισκόμενη ενέργεια, συνήθως όμως χωρίς αποζημίωση της περίσσειας και πιο συγκεκριμένα, ο

αυτοπαραγωγός παράγει την ενέργεια που χρειάζεται με τη βοήθεια Φ/Β και την καταναλώνει απευθείας στο κτίριο του την ίδια στιγμή. Το κτίριο παραμένει διασυνδεδεμένο με το δίκτυο δημόσιου ηλεκτρισμού. Όταν δεν του αρκεί η ενέργεια αντί να έχει συσσωρευτές, όπως με ένα αυτόνομο Φ/Β, παίρνει από το δίκτυο. Συνήθως, τοποθετούνται σε μόνιμες κατοικίες ή επιχειρήσεις όπου υπάρχει μεγάλη κατανάλωση ενέργειας καθημερινά με σκοπό την μείωση του ενεργειακού κόστους χρήσης του κτιρίου.[26]

Γεωθερμία

Με τον όρο γεωθερμία ορίζεται η εκμετάλλευση της ενέργειας από το εσωτερικό της γης απ' όπου με τη χρήση μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας επιτρέπεται η μεταφορά θερμότητας από και προς το έδαφος για παραγωγή ψύξης, θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης για οικιακές αλλά και ευρύτερης κλίμακας εφαρμογές. Με τον τρόπο αυτό εκμεταλλευόμαστε το γεγονός ότι η γη διατηρεί σε σχετικά μικρό βάθος καθ' όλη τη διάρκεια του έτους σταθερή θερμοκρασία (συγκεκριμένα στην Ελλάδα 14-20οC). Η γεωθερμική ενέργεια ανήκει στην κατηγορία των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας και η αξιοποίηση της εξοικονομεί το 50-70% της ενέργειας σε σχέση με τα συμβατικά μέσα (πετρέλαιο ή ηλεκτρισμό).

Ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τα εξής τρία κύρια μέλη: έναν γεωθερμικό εναλλακτή θερμότητας νερού, μία γεωθερμική αντλία θερμότητας (ΓΑΘ) και ένα εσωτερικό σύστημα διανομής στο κτήριο. Με τον όρο γεωθερμική αντλία θερμότητας ονομάζουμε τη μηχανολογική διάταξη που επιτρέπει τη μεταφορά ενέργειας από ένα χώρο χαμηλής θερμοκρασίας σε ένα χώρο υψηλότερης θερμοκρασίας (δηλαδή αντίθετη ροή της θερμότητας). Ο τρόπος λειτουργίας της βασίζεται στον κύκλο ψύξης. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα το υγρό που κυκλοφορεί στο σύστημα του γεωεναλλάκτη απορροφά ενέργεια από το έδαφος και οδηγείται στον εξατμιστή της ΓΑΘ, ο οποίος τη δεσμεύει. Μέσω του εξατμιστή μεταδίδεται θερμότητα στο ψυκτικό μέσο της αντλίας το οποίο μετατρέπεται από υγρό σε αέριο. Το ψυκτικό μέσο το οποίο κινείται σε ένα κλειστό κύκλωμα περνάει απ' το συμπιεστή όπου συμπιέζεται (μεγάλη πίεση, μεγάλη θερμοκρασία) και υγροποιείται. Έπειτα οδηγείται στο συμπυκνωτή όπου αποβάλλει τη θερμότητα, που έχει αποθηκεύσει το νερό του κυκλώματος από τον συμπιεστή, στο κτίριο. Το υγρό μεταφέρεται στη συνέχεια στη βαλβίδα εκτόνωσης, εκεί εκτονώνεται (μειώνεται η πίεση του και η θερμοκρασία του) και εν τέλει εξατμίζεται λόγω της μείωσης της πίεσης του ώστε να επιστρέψει στον εξατμιστή και να επαναλάβει την ίδια διαδικασία. Το καλοκαίρι η διαδικασία αυτή μπορεί να αντιστραφεί, οπότε οι ΓΑΘ παράγουν θερμότητα από το κτίριο ή αλλιώς παρέχουν ψύξη/δροσισμό σε αυτό και τη διοχετεύουν στο υπέδαφος μέσω του γεωεναλλάκτη. Το εσωτερικό δίκτυο διανομής μπορεί να καταλήγει σε ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης, σε fans coils, σε αεραγωγούς αλλά και σε συμβατικά σώματα.

Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες εγκατάστασης γεωθερμικών συστημάτων, τα συστήματα κλειστού βρόχου (closed loop) και τα συστήματα ανοιχτού βρόχου (open loop systems). Στα συστήματα κλειστού βρόχου τοποθετούνται συστήματα σωληνώσεων πολυαιθυλενίου στο έδαφος, ειδικού τύπου για γεωθερμικές εφαρμογές, δημιουργώντας ένα κλειστό κύκλωμα μέσα από το οποίο διέρχεται μίγμα νερού και γλυκόλης και στο οποίο γίνεται

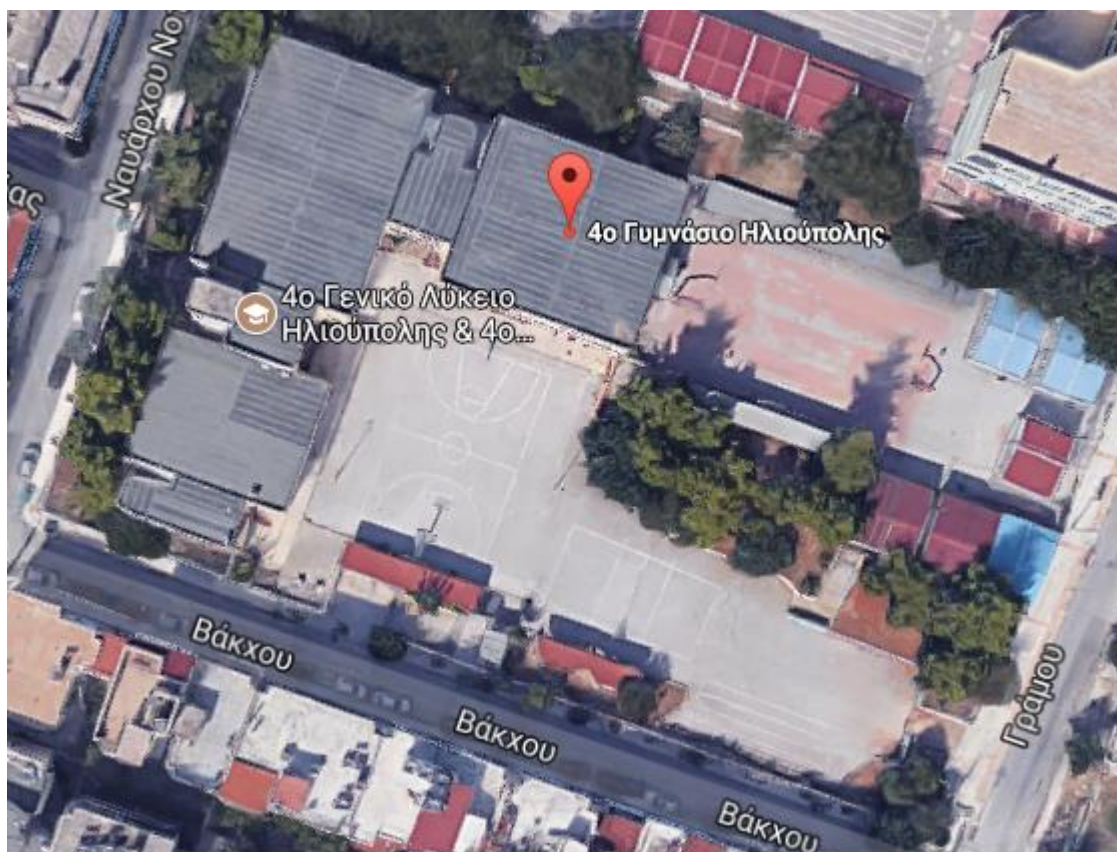
η μεταφορά θερμότητας από το έδαφος. Υπάρχουν δύο τρόποι γεωθερμίας σ' αυτή την κατηγορία: η οριζόντια και η κατακόρυφη γεωθερμία. Στην οριζόντια γεωθερμία εγκαθίσταται στο εξωτερικό του κτιρίου ο γεωθερμικός εναλλάκτης οριζόντια, σε βάθος 1.5 έως 2 μέτρα, σε μία ή περισσότερες στρώσεις σωληνώσεων. Συνήθως το σύστημα σωληνώσεων καλύπτει επιφάνεια διπλάσια απ' αυτήν που επιθυμεί ο χρήστης να θερμάνει. Ο δεύτερος τρόπος γεωθερμίας με κατακόρυφο σύστημα κλειστού βρόχου πραγματοποιείται με γεωτρήση (σε μικρά σχετικά βάθη περίπου των 150 μέτρων) μέσα στην οποία εισάγεται το σύστημα σωληνώσεων. Εν συνεχεία οι γεωτρήσεις πληρούνται με ειδικό θερμοαγωγικό υλικό με σκοπό τη μέγιστη μετάδοση ενέργειας από τα πετρώματα στο σύστημα και αντίστροφα.

Στη δεύτερη κατηγορία γεωθερμίας με ανοιχτά συστήματα το νερό αντλείται είτε από επιφανειακή πηγή (θάλασσα, λίμνη, ποτάμι) είτε από υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα (μέσω γεώτρησης ή πηγαδιού) το οποίο διέρχεται από την αντλία θερμότητας όπου απορροφά ή αποδίδει θερμότητα και κατόπιν επανεισάγεται στην πηγή απ' όπου αντλήθηκε.

Τα πλεονεκτήματα των γεωθερμικών συστημάτων είναι ποικίλα. Αρχικά η γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη όλο το εικοσιτετράωρο, καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου και υπό οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες (δεν εξαρτάται π.χ. από ηλιοφάνεια). Είναι διαρκώς ανανεώσιμη, καθώς προέρχεται από το εσωτερικό της γης και την ακτινοβολία του ήλιου και η εκμετάλλευσή της είναι φιλική προς το περιβάλλον εφόσον δεν εξαντλεί πόρους και δεν παράγει ρύπους (σχεδόν μηδενικές εκπομπές του CO₂). Μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί με δοκιμασμένες υψηλές τεχνολογίες ψύξης-θέρμανσης οι οποίες είναι αισθητικά αναβαθμισμένες (απουσία αντιαισθητικών εγκαταστάσεων όπως ψύκτες, συστήματα air conditioning κ.ο.κ.), ενώ με την ίδια εγκατάσταση εκτός από ψύξη-θέρμανση μπορεί να εξασφαλίσει την παραγωγή ζεστού νερού χωρίς επιπλέον κόστος. Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί ακόμη το γεγονός ότι η λειτουργία ενός γεωθερμικού μηχανισμού αποδεσμεύεται πλήρως από το πετρέλαιο και οποιεσδήποτε κοστολογικές διακυμάνσεις του. Παράλληλα ένα τέτοιο σύστημα εξοικονομεί χώρο, αφού δεν υπάρχει ανάγκη για δεξαμενή πετρελαίου ή καμινάδας, είναι φιλικό προς το περιβάλλον και προσφέρει αθόρυβη λειτουργία. Τέλος έχει μηδενική συντήρηση του γεωεναλλάκτη και η αντλία γεωθερμίας απαιτεί απλώς έναν περιοδικό έλεγχο.[27], [28], [29], [30]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°. Περιγραφή Κτιρίου

Το εν λόγω κτίριο μελέτης αποτελεί ένα σχολικό συγκρότημα το οποίο βρίσκεται στην περιοχή της Ηλιούπολης και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της Αγίας Μαρίνας στην οδό Βάκχου 13 και στεγάζει το 4^ο γυμνάσιο και το 4^ο λύκειο Ηλιούπολης ενώ κατασκευάστηκε το 1980. Στα σχολεία αυτά φοιτούν σήμερα 700 μαθητές συνολικά ενώ κάθε τάξη αποτελείται από 5 τμήματα. Τα ωράρια λειτουργίας των δύο σχολείων πραγματοποιούνται από τις 08:00 έως τις 14:00.



Εικόνα 3.1 Φωτογραφία κάτοψης σχολείου από δορυφόρο, πηγή: googletaps

Το σχολικό συγκρότημα αποτελείται από τρεις διώροφους όγκους μορφής Γ οι οποίοι όμως λόγω κλίσης του εδάφους χωρίζονται σε τρία επίπεδα (ισόγειο, πρώτος όροφος, δεύτερος όροφος) ενώ μέσα στο Γ βρίσκεται ο ένας από τους δύο αύλειους χώρους ενώ επίσης περιλαμβάνει και 6 λυόμενα κτίσματα που χρησιμοποιούνται ως τάξεις και αποτελούν ελαφριές μεταλλικές κατασκευές. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην παρούσα μελέτη εξετάζεται μόνο το κτίριο μορφής Γ. Έπειτα από αυτοψία του κτιρίου παρατηρήθηκε ότι ορισμένες χρήσεις αιθουσών έχουν διαφοροποιηθεί έχοντας ως συνέπεια να αλλάξουν σε μικρό βαθμό και τα σχέδια του κτιρίου. Έτσι, συνολικά ο χώρος διαθέτει εικοσιτέσσερις (24) αίθουσες διδασκαλίας, δύο (2) γραφεία καθηγητών και δύο (2) γραφεία διευθυντών, ένα (1) κυλικείο καθώς και τουαλέτες μαθητών και καθηγητών.

Όσο αναφορά την κατασκευή του κελύφους, αποτελείται από προκατασκευασμένα στοιχεία με αποτέλεσμα το κέλυφος να λειτουργεί ταυτόχρονα τόσο ως κύβος πλήρωσης όσο και ως φέροντας οργανισμός ενώ διαγνώσθηκε η παντελής έλλειψη μόνωσης στους τοίχους. Ακόμα, τα αρχικά κουφώματα των ανοιγμάτων ήταν μεταλλικά, ενώ τις τελευταίες δεκαετίες αντικαταστάθηκαν σταδιακά από κουφώματα αλουμινίου με μονά τζάμια. Στις οροφές όλων των χώρων είναι τοποθετημένες κοινοί λαμπτήρες φθορισμού, ενώ τα δάπεδα είναι κατασκευασμένα από μωσαϊκό. Τα δώματα είναι επίσης από οπλισμένο σκυρόδεμα και δε φέρουν μόνωση.



Εικόνα 3.2 Νοτιοδυτική όψη σχολείου, πηγή: <http://4gym-ilioup.att.sch.gr/autosch/joomla15/>



Εικόνα 3.3 Νότια όψη <http://4gym-ilioup.att.sch.gr/autosch/joomla15>



Εικόνα 3.4, νότια όψη, πηγή: googlemaps



Εικόνα 3.5, Δυτική όψη, πηγή: googlemaps

Γενικά στοιχεία περιοχής μελέτης

Η **Ηλιούπολη** είναι περιοχή του Κεντρικού Τομέα της Αθήνας στις νοτιοδυτικές παρυφές του Υμηττού, με υψόμετρο 210 μέτρων. Αποτελεί Δήμο της Περιφέρειας Αττικής και μέρος του Πολεοδομικού Συγκροτήματος της Αθήνας. Η περιοχή του Δήμου Ηλιούπολης χαρακτηρίζεται ως ημιορεινή με ιδιαίτερα επικλινές έδαφος. Το μέσο υψόμετρο της περιοχής είναι 150μ. Ο οικισμός έχει αναπτυχθεί στις ηλιότερες κλίσεις εδάφους φτάνοντας ουσιαστικά μέχρι τις βουνοπλαγιές του όρους Υμηττού. (el.wikipedia.org/wiki/Ηλιούπολη_Αττικής)

Κλιματολογικά στοιχεία

Το κλίμα της περιοχής σε γενική εκτίμηση είναι θερμό-μεσογειακό (Αττικό), το οποίο χαρακτηρίζεται από το ξηρό και θερμό καλοκαίρι και από τις ανοιξιάτικες και φθινοπωρινές βροχοπτώσεις.[33]

Άνεμοι

Οι επικρατέστεροι άνεμοι στις περιοχές είναι οι βόρειοι, οι βορειοανατολικοί και οι νότιοι, και ακολουθούν οι νοτιοδυτικοί, οι βορειοδυτικοί, οι δυτικοί, και οι νοτιοανατολικοί. Η συχνότερη ένταση των επικρατούντων ανέμων είναι 2-5 Beaufort. Άνεμοι μεγάλης εντάσεως δεν αποτελούν γνώρισμα της περιοχής μελέτης και σπάνια εμφανίζονται άνεμοι εντάσεως μεγαλύτερης των 6 Beaufort (συχνότητα εμφάνισης 1%).

Θερμοκρασία

Ο θερμότερος μήνας στις περιοχές είναι ο Ιούλιος (28,6 °C) ενώ ο ψυχρότερος είναι ο Ιανουάριος (9,2 °C). Το μέσο ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος είναι 19,4 °C. Η μέση μέγιστη θερμοκρασία που έχει σημειωθεί στην περίοδο 1958-1993 είναι 32,9 °C, ενώ η μέση ελάχιστη είναι 5,4 °C. Σε απόλυτες τιμές η μέγιστη θερμοκρασία στην ίδια περίοδο σημειώθηκε τον μήνα Ιούλιο (48,0 °C), ενώ η ελάχιστη τον μήνα Ιανουάριο (-5,0 °C).

Βροχοπτώσεις και υγρασία

Το μέσο ετήσιο ύψος υετού ανέρχεται στα 365,2 mm. Ο ξηρότερος μήνας είναι ο Ιούλιος (5,0mm) και υγρότερος (βροχερότερος) ο Δεκέμβριος (61,5 mm). Το ποσοστό υγρασίας κυμαίνεται από 43.6% το μήνα Ιούλιο ως 73,4% το Δεκέμβριο.

Άλλα καιρικά φαινόμενα

Χαλάζι: Χαλαζοπτώσεις σπάνια σημειώνονται στην περιοχή και συνήθως έχουν μικρή διάρκεια και περιορισμένες έως μηδαμινές επιπτώσεις. Τα τελευταία αξιόλογα φαινόμενα χαλαζόπτωσης κατεγράφησαν τις πρώτες μεσημβρινές ώρες της 16ης Οκτωβρίου 2009 και τις απογευματινές ώρες της 24ης Ιανουαρίου 2013, που η ένταση του φαινομένου ήταν τέτοια που προκλήθηκε και χαλαζόστρωση.

Χιόνι: Πτώση χιονιού παρατηρείται κυρίως τους χειμερινούς μήνες, ενώ σπάνια εμφανίζονται χιονοπτώσεις τον Μάρτιο και τον Νοέμβριο. Ο μέσος αριθμός των ημερών με χιονόπτωση στη διάρκεια του έτους είναι 2,6. Η πιο έντονη χιονόπτωση των τελευταίων ετών σημειώθηκε τη 17η Φεβρουαρίου 2008, που συνοδεύτηκε από εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες και σημαντικά -για τα δεδομένα της περιοχής- ύψη χιονιού.

Παγετοί: Παγετοί στην περιοχή εμφανίζονται σπάνια, κυρίως τον Ιανουάριο. Ο μέσος αριθμός των ημερών με παγετό στη διάρκεια του έτους είναι 2,5.



Εικόνα 3.6, Φωτογραφία Δήμου Ηλιούπολης, πηγή: googlemaps

Κεφάλαιο 4ο. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΧΟΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ SKETCH UP , OPEN STUDIO ΚΑΙ ENERGY PLUS

4.1 Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί προσομοίωση της υφιστάμενης ενεργειακής κατάστασης του σχολικού συγκροτήματος μέσω των προγραμμάτων Sketch Up , Open Studio και Energy Plus. Παρακάτω , αναφέρονται ορισμένα βασικά στοιχεία των προγραμμάτων αυτών και παρουσιάζονται κάποια χαρακτηριστικά τους ώστε να γίνει όσο το δυνατόν περισσότερο κατανοητή η διαδικασία μοντελοποίησης του κτιρίου:

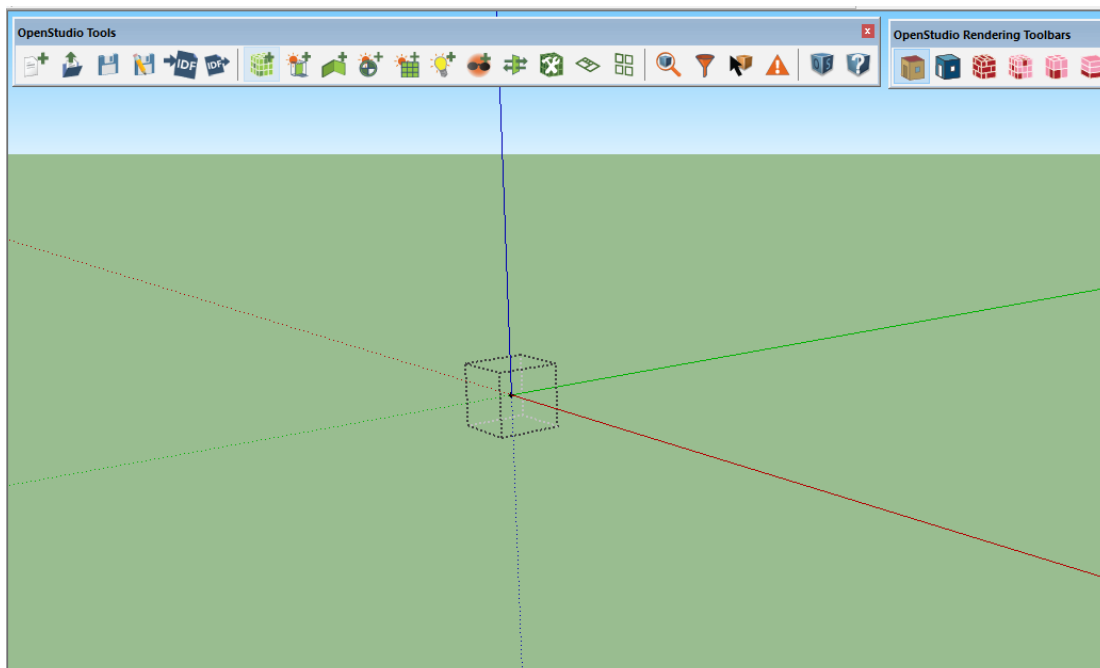
® Το Sketch Up αποτελεί πρόγραμμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης διάφορων αντικειμένων, ακόμα και κτιρίων , το οποίο όντας συμβατό με επεκτάσεις προγραμμάτων όπως το Open Studio, είναι υπεύθυνο για την μορφοποίηση του εξωτερικού κελύφους του κτιρίου , των επιμέρους θερμικών του ζωνών και της απόδοσης χαρακτηριστικών στις διάφορες επιφάνειές του. Με αυτόν τον τρόπο, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εξάγει ένα αρχείο με χρήσιμες ενεργειακές πληροφορίες τις οποίες μπορεί να επεξεργαστεί περαιτέρω στο πρόγραμμα Energy Plus.

® Το Energy Plus χρησιμοποιεί τις παραπάνω πληροφορίες έτσι ώστε να μπορεί να γίνεται λεπτομερώς γνωστή η συνολική ενέργεια η καταναλώνεται σε ένα κτίριο και οι επιμέρους παράγοντες που είτε οδηγούν είτε δεν αποτρέπουν αυτήν την κατανάλωση ώστε να αναπτυχθούν τεχνικές μείωσης αυτών των απαιτήσεων.

4.2 Μοντελοποίηση του κτιρίου με την εφαρμογή των προγραμμάτων Sketch Up και Open Studio

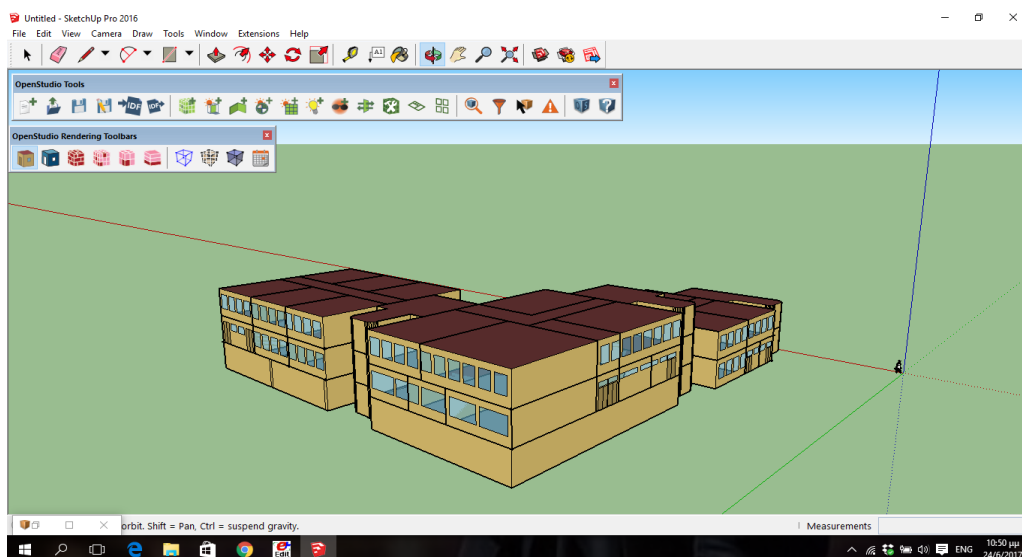
Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η αποτύπωση του σχολικού συγκροτήματος μέσω του προγράμματος Sketch Up. Ωστόσο, κάθε φορά που σχεδιάζουμε κάποιο χώρο (στην προκειμένη περίπτωση κτίριο) προκειμένου αυτός να

είναι αναγνωρίσιμος από το λογισμικό Open Studio πρέπει να έχει επιλεγεί η εντολή **New Space** και μέσα στο περιβάλλον αυτής να οριοθετήσουμε τις επιφάνειες του χώρου μας. [34], [35]

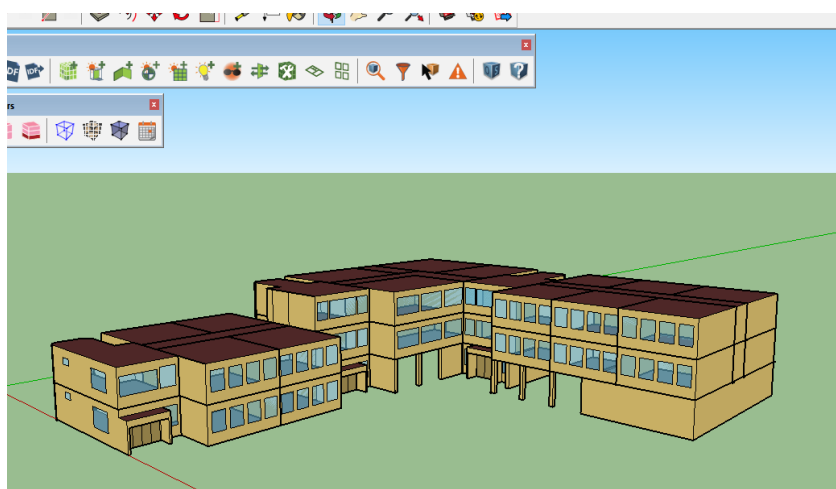


Εικόνα 4.1 , εισαγωγή περιβάλλοντος Open Studio, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

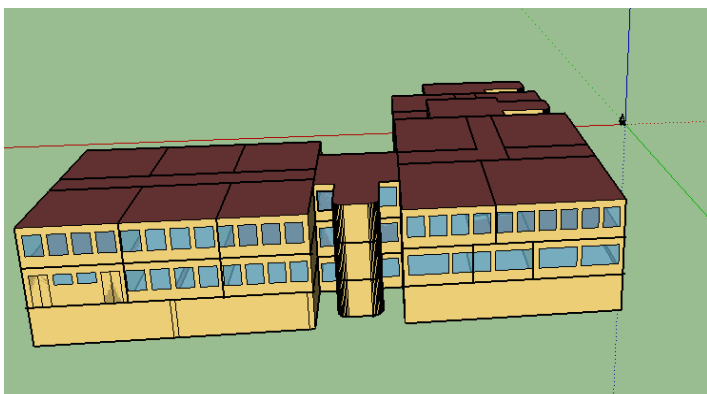
Έπειτα, με την εντολή **Create Spaces from Diagram** ορίστηκε το ύψος του εκάστοτε ορόφου ενώ τα ανοίγματα δημιουργήθηκαν με την εντολή **Line**. Όταν βρισκόμαστε σε εντολή **Render by surface type** οι οροφές εμφανίζονται με χρώμα καφέ, οι τοίχοι με κίτρινο και τα δάπεδα με γκρι. Το τρισδιάστατο μοντέλο που δημιουργήθηκε παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες.



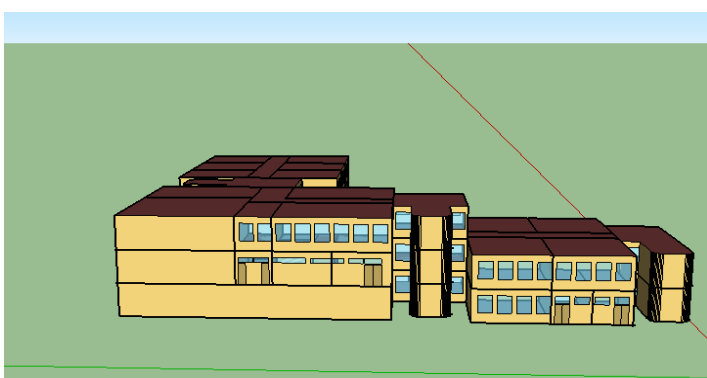
Εικόνα 4.2, Βόρεια όψη σχολικού κτηρίου, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία



Εικόνα 4.3, Νότια όψη κτηρίου, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία



Εικόνα 4.4, Βορειοδυτική όψη κτηρίου, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία



Εικόνα 4.5, Βορειοανατολική όψη κτηρίου, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

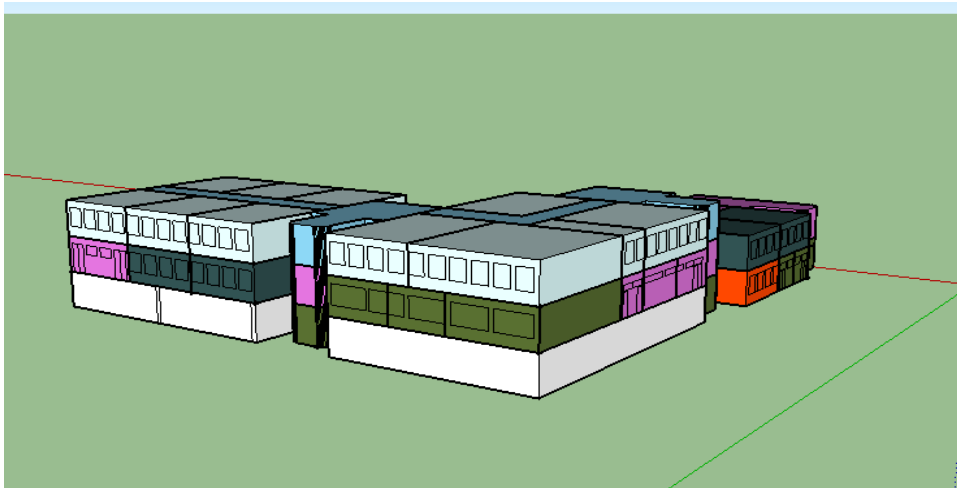
Το επόμενο βήμα είναι ο διαχωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες σύμφωνα με την Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.). Ως θερμική ζώνη ενός κτιρίου νοούνται οι χώροι στους οποίους διαιρείται ένα κτίριο ανάλογα με τις απαιτούμενες εσωτερικές συνθήκες και την χρήση τους (yρεka.gr). Συνεπώς για τον αντίστοιχο διαχωρισμό τους συνίσταται η δημιουργία όσο το δυνατό μικρότερου αριθμού ζωνών για οικονομία του πλήθους των εισαγόμενων στοιχείων και του χρόνου υπολογισμού τους καθώς και η ένταξη τμημάτων του κτιρίου με ποσοστό όγκου έως 10% του συνολικού όγκου του κελύφους σε παρόμοιες θερμικές ζώνες ακόμα και σε περίπτωση που η λειτουργία τους δικαιολογεί την θεώρησή τους ως ανεξάρτητη ζώνη. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 -1/2010, 2014). Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, για το συγκεκριμένο σχολικό συγκρότημα δημιουργήθηκαν επτά (7) θερμικές ζώνες οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

ΟΡΟΦΟΣ	ΧΩΡΟΙ ΣΧΟΛΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ
ΙΣΟΓΕΙΟ	αίθουσα διδασκαλίας	θερμική ζώνη 1
	κοινόχρηστοι χώροι	θερμική ζώνη 2
Α ΟΡΟΦΟΣ	αίθουσα διδασκαλίας	θερμική ζώνη 3

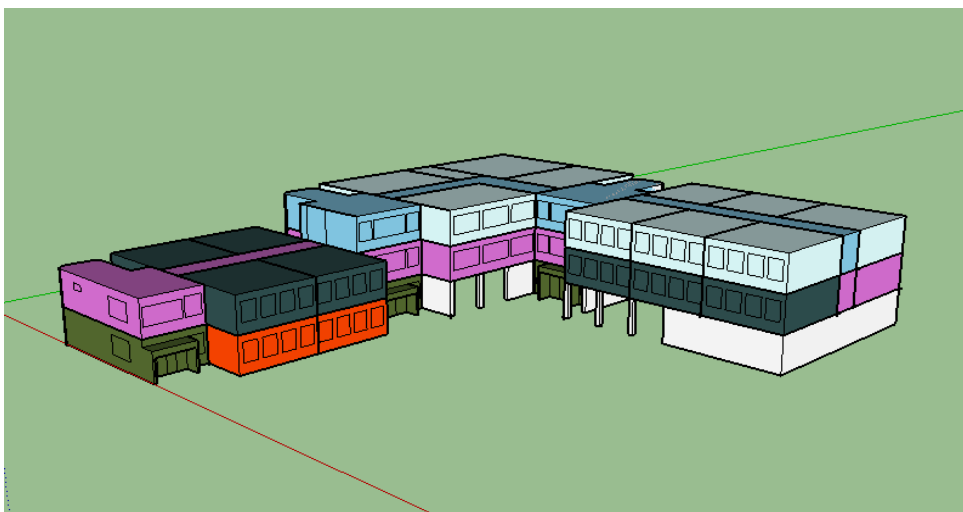
	κοινόχρηστοι χώροι	Θερμική ζώνη 4
	ἔγγραφεία καθηγητών	Θερμική ζώνη 5
Β ΟΡΟΦΟΣ	αίθουσα διδασκαλίας	Θερμική ζώνη 6
	κοινόχρηστοι χώροι	Θερμική ζώνη 7

εικόνα 4.6, Διαχωρισμός σχολικού συγκροτήματος σε θερμικές ζώνες, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Στην συνέχεια, οι 7 αυτές θερμικές ζώνες ορίστηκαν στο πρόγραμμα Sketch Up μέσω της εντολής Set **Attributes for Selected Spaces** → **Thermal Zone** → **New Thermal Zone** . Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται οι θερμικές ζώνες μέσω της εντολής **Render by Thermal Zone**.

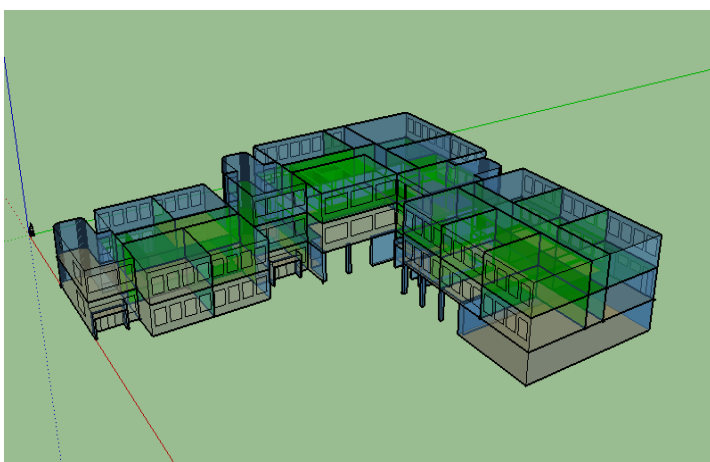


Εικόνα 4.7, Θερμικές ζώνες από βόρεια όψη, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία



Εικόνα 4.8, Θερμικές ζώνες από νότια όψη, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Προτελευταίο βήμα είναι η πραγματοποίηση της εντολής **Surface Matching** και ειδικότερα των επιλογών **Intersect in Entire Model** και **Match in Entire Model**. Με την εντολή αυτή δημιουργείται ουσιαστικά επιπλέον γεωμετρία στους τοίχους και τα δάπεδα οροφές του κτιρίου καθώς και στα ανοίγματα του κτιρίου μέσω της κατηγοριοποίησής τους σε εσωτερικά και εξωτερικά στοιχεία. Το αποτέλεσμα της εντολής αυτής εμφανίζεται χρησιμοποιώντας το εργαλείο **View Model in X-Ray Mode** ενώ το μοντέλο βρίσκεται σε κατάσταση **Render by Boundary Condition**. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το αποτέλεσμα των εντολών αυτών.

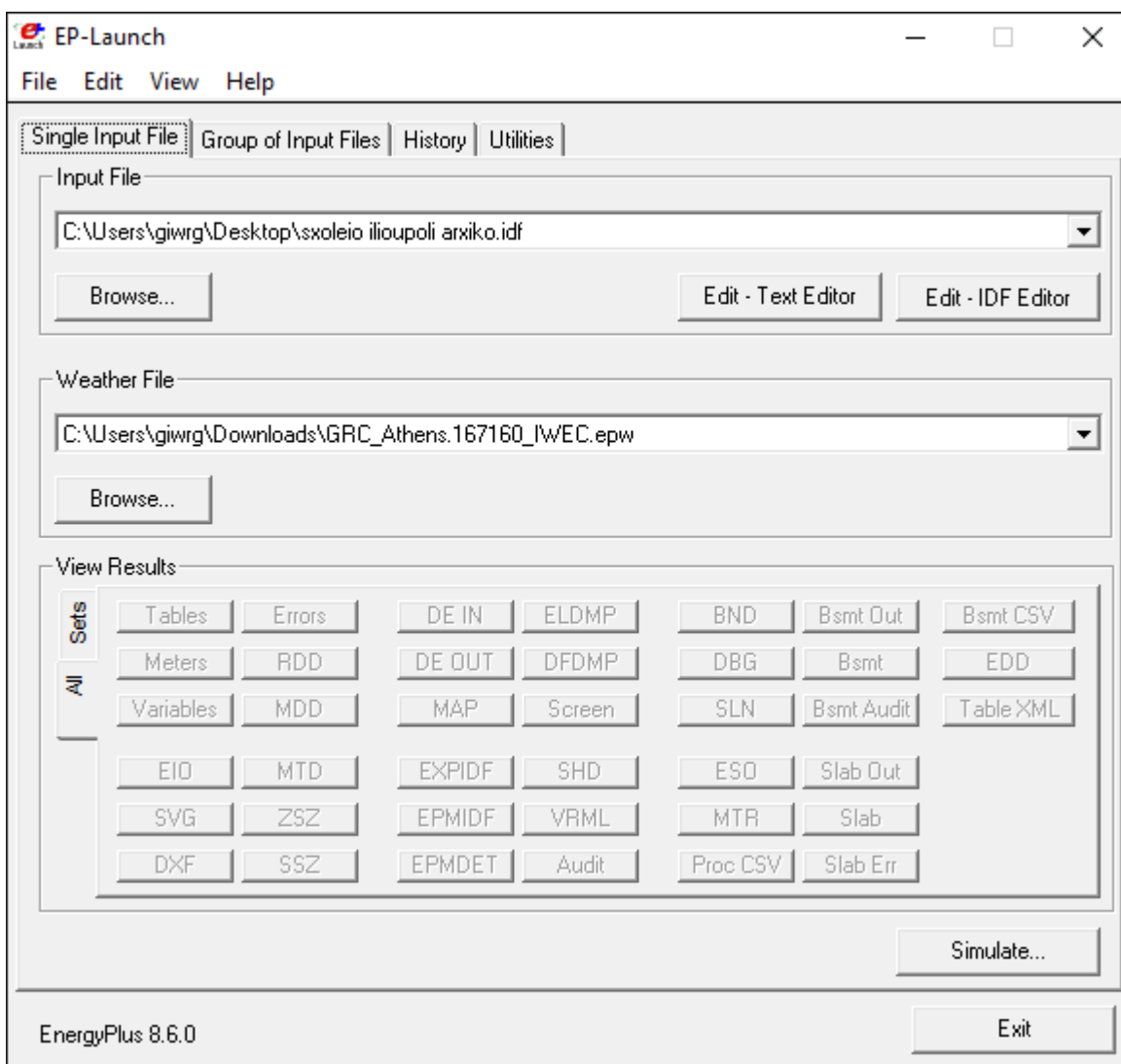


Εικόνα 4.9, X-Ray Mode βόρεια όψη, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

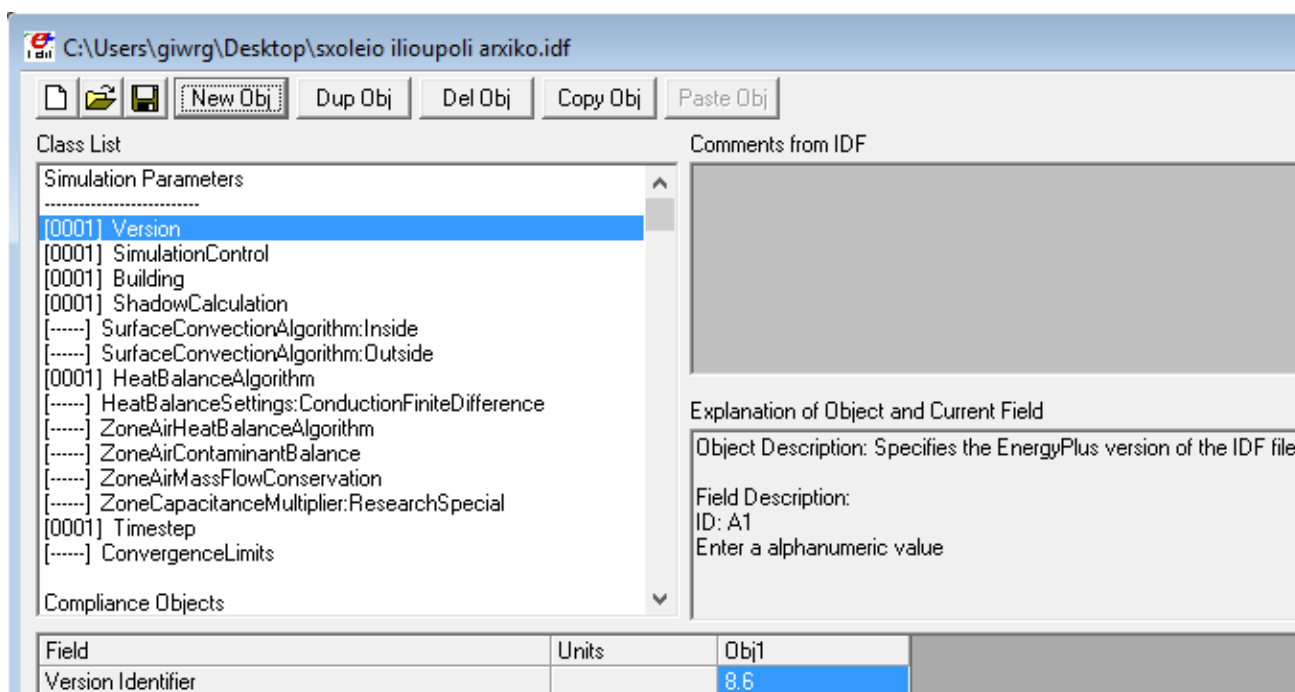
Τέλος, πρέπει να επισημανθεί ότι κάθε φορά η αποθήκευση του σχεδίου πρέπει να γίνεται με τις εντολές **Save** και **Save Open Studio Model** έτσι ώστε να δημιουργούνται δύο αρχεία, ένα με κατάληξη **.skp** και ένα με **.osm**. Μόλις το μοντέλο στο Sketch Up Plug in Open Studio ολοκληρωθεί εκτελείται η εντολή **Export energy plus idf** έτσι ώστε το αρχείο να μετατραπεί σε μορφή αναγνωρίσιμη από το Energy Plus.

4.3 Μοντελοποίηση του κτιρίου με το πρόγραμμα Energy Plus

Αρχικά, από το παράθυρο διαλόγου του προγράμματος επιλέγεται το αρχείο idf που έχει δημιουργηθεί στο Sketch Up και το αρχείο καιρού το οποίο είναι διαθέσιμο στην ηλεκτρονική σελίδα του energy plus στο διαδίκτυο και το οποίο περιέχει μετρήσεις από τον πλησιέστερο προς το κτίριο μελέτης μετεωρολογικό σταθμό. Στην συνέχεια επιλέγεται το **Edit – Idf Editor** για να γίνει είσοδος στο παράθυρο διαλόγου που περιέχει όλα τα πιθανά πεδία που μπορούν να συμπληρωθούν έτσι ώστε να γίνει η μοντελοποίηση του κτιρίου κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες ο μελετητής το επιθυμεί. [36]



Εικόνα 4.10, Παράθυρο διαλόγου energy plus, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία



Εικόνα 4.11, Idf Editor, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Η διαδικασία της προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία θα περιγραφεί με την μορφή βημάτων όπου στο καθένα θα γίνεται επεξήγηση της λειτουργίας που συντελεί το συγκεκριμένο πεδίο στην ομαλή εξέλιξη της μοντελοποίησης καθώς και των τιμών οι οποίες συμπληρώνονται.

Κατηγορία Simulation Parameters:

® Στην υποκατηγορία **Version** ορίζεται η έκδοση που χρησιμοποιείται (Version Identifier: 8.6)

® Στην υποκατηγορία **Simulation Control** υπολογίζονται τα πεδία που θα υπολογίσει το πρόγραμμα (Run Simulation for Sizing Periods και Run Simulation for Weather File Run Periods).

® Στην υποκατηγορία **Building** ορίζεται το όνομα του κτιρίου (Name: skoleio ilioupoli) , η απόκλιση του από τον άξονα του Βορρά (North Axis: 20 degrees), ο τύπος του εδάφους (Terrain: City) και ο μηχανισμός διανομής της ηλιακής ακτινοβολίας (Solar Distribution: Minimal Shadowing)

Field	Units	Obj1
Name		skoleio arxiko
North Axis	deg	20
Terrain		City
Loads Convergence Tolerance Value		
Temperature Convergence Tolerance Value	deltaC	
Solar Distribution		MinimalShadowing
Maximum Number of Warmup Days		
Minimum Number of Warmup Days		

Εικόνα 4.12, Πεδίο Building, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

® Στην υποκατηγορία **Timestep** εισάγεται το βασικό χρονικό βήμα της προσομοίωσης βάσει του οποίου θα υπολογιστεί η μεταφορά θερμότητας (Number of Timesteps per Hour).

Κατηγορία Location and Climate:

® Στην υποκατηγορία **Site: Location** δίνονται οι συντεταγμένες του σχολικού συγκροτήματος (Latitude:37,9 deg και Longitude: 23,7 deg), η ζώνη ώρας (Time Zone: +02:00 hr) και το υψόμετρο της περιοχής (Elevation: 150m).

Field	Units	Obj1
Name		ilioupoli
Latitude	deg	37,9
Longitude	deg	23,7
Time Zone	hr	2
Elevation	m	150

Εικόνα 4.13, Πεδίο Site:Location, , Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

® Στην υποκατηγορία **RunPeriod** ορίζεται όλη η περίοδος του έτους (Begin 1/1 και End 12/31)

Field	Units	Obj1
Name		Run Period 1
Begin Month		1
Begin Day of Month		1
End Month		12
End Day of Month		31
Day of Week for Start Day		Thursday
Use Weather File Holidays and Special Days		No
Use Weather File Daylight Saving Period		No
Apply Weekend Holiday Rule		No
Use Weather File Rain Indicators		Yes
Use Weather File Snow Indicators		Yes
Number of Times Runperiod to be Repeated		1
Increment Day of Week on repeat		
Start Year		

Εικόνα 4.14, Πεδίο RunPeriod , Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

® Στην υποκατηγορία **Site: Ground Temperature: Building Surface** ορίζεται η μέση θερμοκρασία του εδάφους για όλο το έτος (Ground Temperature: 18°C)

Field	Units	Obj1
January Ground Temperature	C	18
February Ground Temperature	C	18
March Ground Temperature	C	18
April Ground Temperature	C	18
May Ground Temperature	C	18
June Ground Temperature	C	18
July Ground Temperature	C	18
August Ground Temperature	C	18
September Ground Temperature	C	18
October Ground Temperature	C	18
November Ground Temperature	C	18
December Ground Temperature	C	18

Εικόνα 4.15, Πεδίο Site: Ground Temperature: Building Surface, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Κατηγορία Schedules:

Στην κατηγορία αυτή προγραμματίζονται όλα τα πιθανά χρονοδιαγράμματα, ο διαχωρισμός των οποίων γίνεται ακόμα και σε περιόδους του 24ώρου. Η ενέργεια αυτή πραγματοποιείται στην υποκατηγορία **Schedule: Compact**. Για την διαδικασία του προγραμματισμού ορίζεται ως διάστημα λειτουργίας τους 10 μήνες του έτους (Through: 6/30 Through: 8/31 Through: 12/31). Συνεπώς, ορίζονται τα παρακάτω χρονοδιαγράμματα:

® **Χρονοδιαγράμματα πυκνότητας ανθρώπινης ύπαρξης**

Δημιουργούνται χρονοδιαγράμματα που αποτυπώνουν την πυκνότητα της ανθρώπινης ύπαρξης σε τιμές συντελεστή (Fraction) για χώρους που παρουσιάζουν παρόμοια πυκνότητα κατά την διάρκεια μιας τυπικής μέρας στο σχολείο τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω. Επίσης, έπειτα από επικοινωνία με τις διευθύνσεις των σχολείων λαμβάνεται υπόψιν ότι το ωράριο της ανθρώπινης παρουσίας είναι από τις 08:00 έως τις 14:00 με την λήξη των μαθημάτων. Οι τιμές συντελεστή μπορούν να λάβουν τιμές από την ελάχιστη που είναι το 0 έως το 1 που είναι η μέγιστη. Έτσι, έχουμε:

Το **ClassDensityPeople** όπου παρουσιάζει την πυκνότητα ανθρώπινης ύπαρξης στις αίθουσες διδασκαλίας λαμβάνοντας την τιμή 1 στο ωράριο των μαθημάτων, δηλαδή από τις 08:00 μέχρι τις 14:00 και 0 την υπόλοιπη περίοδο.

Το **CommonDensityPeople** όπου παρουσιάζει την πυκνότητα ανθρώπινης ύπαρξης στους κοινόχρηστους χώρους του σχολικού κτιρίου λαμβάνοντας την τιμή 0,3 την περίοδο 08:00 με 14:00 και 0 όλη την υπόλοιπη περίοδο.

Το **OfficeDensityPeople** όπου παρουσιάζει την πυκνότητα ανθρώπινης ύπαρξης στα γραφεία των καθηγητών λαμβάνοντας την τιμή 0,3 την περίοδο 08:00 με 14:00 και 0 όλη την υπόλοιπη περίοδο.

Obj1	Obj2	Obj3
ClassDensityPeople	CommonDensityPeople	OfficeDensityPeople
Fraction	Fraction	Fraction
Through:6/30	Through:6/30	Through:6/30
For:AllDays	For:AllDays	For:AllDays
Until 08:00	Until 08:00	Until 08:00
0	0	0
Until 14:00	Until 14:00	Until 14:00
1	.3	.3
Until 24:00	Until 24:00	Until 24:00
0	0	0
Through:8/31	Through:8/31	Through:8/31
For:AllDays	For:AllDays	For:AllDays
Until 24:00	Until 24:00	Until 24:00
0	0	0
Through:12/31	Through:12/31	Through:12/31
For:AllDays	For:AllDays	For:AllDays
Until 08:00	Until 08:00	Until 08:00
0	0	0
Until 14:00	Until 14:00	Until 14:00
1	.3	.3
Until 24:00	Until 24:00	Until 24:00
0	0	0

Εικόνα 4.16, Χρονοδιαγράμματα πυκνότητας ανθρώπινης ύπαρξης, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

® Χρονοδιαγράμματα ανθρώπινης δραστηριότητας

Για τα χρονοδιαγράμματα αυτά λαμβάνονται τιμές σε μονάδες Watt/ person ενώ λαμβάνεται ο μέσος όρος των δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται στους χώρους, όπως κάθισμα σε κατάσταση ηρεμίας, αργό και έντονο περπάτημα, δουλειά γραφείου κ.α.(engineeringtoolbox.com, 2017). Έτσι έχουμε:

Το **ClassHumActivity** όπου παρουσιάζει την ανθρώπινη δραστηριότητα μαθητών και καθηγητών κατά την διάρκεια των μαθημάτων λαμβάνοντας την τιμή 100.

Το **CommonHumActivity** όπου παρουσιάζει την ανθρώπινη δραστηριότητα των μαθητών στους κοινόχρηστους χώρους κατά την διάρκεια των διαλειμμάτων λαμβάνοντας την τιμή 210.

Το **OfficeHumActivity** όπου παρουσιάζει την ανθρώπινη δραστηριότητα των καθηγητών στους χώρους των γραφείων κατά την διάρκεια των διαλειμμάτων λαμβάνοντας την τιμή 130.

Obj4	Obj5	Obj6
ClassHumActivity	CommonHumActivity	OfficeHumActivity
ActivityLevel	ActivityLevel	ActivityLevel
Through:6/30	Through:6/30	Through:6/30
For:AllDays	For:AllDays	For:AllDays
Until 08:00	Until 08:00	Until 08:00
0	0	0
Until 14:00	Until 14:00	Until 14:00
100	210	130
Until 24:00	Until 24:00	Until 24:00
0	0	0
Through:8/31	Through:8/31	Through:8/31
For:AllDays	For:AllDays	For:AllDays
Until 24:00	Until 24:00	Until 24:00
0	0	0
Through:12/31	Through:12/31	Through:12/31
For:AllDays	For:AllDays	For:AllDays
Until 08:00	Until 08:00	Until 08:00
0	0	0
Until 14:00	Until 14:00	Until 14:00
100	210	130
Until 24:00	Until 24:00	Until 24:00
0	0	0

Εικόνα 4.17, Χρονοδιαγράμματα ανθρώπινης δραστηριότητας, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

® Χρονοδιαγράμματα τεχνητού φωτισμού

Τα χρονοδιαγράμματα αυτά δημιουργούνται βάσει ενός τυπικού μέσου όρου λειτουργίας καθ' όλη την περίοδο διεξαγωγής των μαθημάτων, αφού είναι διαφορετική η χρήση του την χειμερινή και την θερινή περίοδο. Συνεπώς, έχουμε:

Το **ClassLights** που αφορά την χρήση του τεχνητού φωτισμού στις αίθουσες διδασκαλίας και λαμβάνει την μεγαλύτερη τιμή του στο ωράριο των μαθημάτων(08:00 με 14:00)

Το **CommonLights** που αφορά την χρήση του τεχνητού φωτισμού στους κοινόχρηστους χώρους όπου αναγκαστικά ακολουθεί την ίδια λογική με τους χώρους διδασκαλίας.

Το **OfficesLights** που αφορά την χρήση του τεχνητού φωτισμού στους χώρους των γραφείων των καθηγητών όπου λαμβάνει και αυτό την μέγιστη τιμή στις ώρες των μαθημάτων.

Obj7	Obj8	Obj9
ClassLights	CommonSpacLights	OfficesLights
Fraction	Fraction	Fraction
Through:6/30	Through:6/30	Through:6/30
For:AllDays	For:AllDays	For:AllDays
Until 08:00	Until 08:00	Until 08:00
.1	.1	.1
Until 14:00	Until 14:00	Until 14:00
.7	.7	.7
Until 24:00	Until 24:00	Until 24:00
.1	.1	.1
Through:8/31	Through:8/31	Through:8/31
For:AllDays	For:AllDays	For:AllDays
Until 24:00	Until 24:00	Until 24:00
0	0	0
Through:12/31	Through:12/31	Through:12/31
For:AllDays	For:AllDays	For:AllDays
Until 08:00	Until 08:00	Until 08:00
.1	.1	.1
Until 14:00	Until 14:00	Until 14:00
.7	.7	.7
Until 24:00	Until 24:00	Until 24:00
.1	.1	.1

Εικόνα 4.18, Χρονοδιαγράμματα τεχνητού φωτισμού, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

® Χρονοδιαγράμματα λειτουργίας ηλεκτρικού εξοπλισμού

Για την διαμόρφωση των χρονοδιαγραμμάτων αυτών έχει γίνει η παραδοχή ότι οι ηλεκτρικές συσκευές χρησιμοποιούνται καθ' όλη την διάρκεια χρήσης των χώρων που είναι τοποθετημένες. Συνεπώς, έχουμε:

Το **EleqEquipClass** που αφορά την χρήση των ηλεκτρικών συσκευών στις αίθουσες διδασκαλίας όπου λαμβάνει την μέγιστη τιμή στο ωράριο των μαθημάτων(08:00 με 14:00).

Το **EleqEquipClass** που αφορά την χρήση των ηλεκτρικών συσκευών στους χώρους των γραφείων των καθηγητών (πχ εκτυπώσεις, fax) όπου λαμβάνει και αυτό την μέγιστη τιμή στις ώρες των μαθημάτων.

Obj10	Obj11
EleqEquipClass	EleqEquipOffices
Fraction	Fraction
Through:6/30	Through:6/30
For:AllDays	For:AllDays
Until 08:00	Until 08:00
0	0
Until 14:00	Until 14:00
.1	.7
Until 24:00	Until 24:00
0	0
Through:8/31	Through:8/31
For:AllDays	For:AllDays
Until 24:00	Until 24:00
0	0
Through:12/31	Through:12/31
For:AllDays	For:AllDays
Until 08:00	Until 08:00
0	0
Until 14:00	Until 14:00
.1	.7
Until 24:00	Until 24:00
0	0

Εικόνα 4.19, Χρονοδιαγράμματα λειτουργίας ηλεκτρικού εξοπλισμού, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

® Χρονοδιαγράμματα αερισμού θερμικών ζωνών

Σε όλους τους χώρους του σχολικού συγκροτήματος υπάρχει η δυνατότητα φυσικού αερισμού ενώ επιπλέον κάνοντας την παραδοχή ότι ο αερισμός των χώρων γίνεται καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας δημιουργείται ένα κοινό χρονοδιάγραμμα για όλες τις ζώνες του κτιρίου. Όσον αφορά τις τοποθετούμενες τιμές λαμβάνεται ένας τυπικός μέσος όρος φυσικού αερισμού καθώς είναι διαφορετικές οι ανάγκες την χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο. Έτσι, έχουμε:

Το **Ventilation** όπου λαμβάνει την μέγιστη τιμή από τις 08:00 έως τις 14:00, ώρες λειτουργίας του σχολικού συγκροτήματος, ενώ τις υπόλοιπες ώρες λαμβάνεται μία ελάχιστη τιμή που πραγματοποιείται ένας υποτυπώδης αερισμός.

Obj12
Ventilation
Fraction
Through:6/30
For:AllDays
Until 08:00
.1
Until 14:00
.5
Until 24:00
.1
Through:8/31
For:AllDays
Until 24:00
0
Through:12/31
For:AllDays
Until 08:00
.1
Until 14:00
.5
Until 24:00
.1

Εικόνα 4.20, Χρονοδιαγράμματα αερισμού θερμικών ζωνών, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

® Χρονοδιαγράμματα διήθησης αέρα

Το χρονοδιάγραμμα αυτό δημιουργείται βάσει του προτεινόμενου χρονοδιαγράμματος **Always On**, με το οποίο ορίζεται σταθερή διαφυγή αέρα για όλους τους χώρους καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας του σχολείου.

Obj13
AlwaysOn
Fraction
Through:6/30
For:AllDays
Until 24:00
1
Through:8/31
For:AllDays
Until 24:00
0
Through:12/31
For:AllDays
Until 24:00
1

Εικόνα 4.21, Χρονοδιάγραμμα διήθησης αέρα, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

® Χρονοδιαγράμματα συστήματος θέρμανσης ψύξης

Το σχολικό συγκρότημα διαθέτει μόνο σύστημα θέρμανσης τους χειμερινούς μήνες, συνεπώς ορίζονται οι παράμετροι λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης ενώ για το σύστημα ψύξης ορίζονται παράδοξες τιμές υποδηλώνοντας ανενεργή λειτουργία. Έτσι, έχουμε:

Το **HeatSystem** που αφορά το σύστημα θέρμανσης των χώρων του σχολείου όπου για τις ώρες που πραγματοποιούνται μαθήματα (08:00 με 14:00) το κατώτατο όριο της θερμοκρασίας φτάνει τους 25°C ενώ τις υπόλοιπες ώρες ορίζεται θερμοκρασία 10°C που υποδηλώνει ότι το σύστημα παραμένει ανενεργό.

Το **CoolingSystem** που αφορά το σύστημα ψύξης των χώρων του σχολείου και στο οποίο ορίζεται θερμοκρασία 50°C για όλες τις ώρες της ημέρας υποδηλώνοντας ανενεργό σύστημα.

Obj14	Obj15
HeatSystem	CoolingSystem
Temperature 3	Temperature 4
Through:6/30	Through:6/30
For:AllDays	For:AllDays
Until 08:00	Until 08:00
10	50
Until 14:00	Until 14:00
25	50
Until 24:00	Until 24:00
10	50
Through:8/31	Through:8/31
For:AllDays	For:AllDays
Until 24:00	Until 24:00
0	0
Through:12/31	Through:12/31
For:AllDays	For:AllDays
Until 08:00	Until 08:00
10	50
Until 14:00	Until 14:00
25	50
Until 24:00	Until 24:00
10	50

Εικόνα 4.22, Χρονοδιαγράμματα συστήματος θέρμανσης ψύξης , Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Κατηγορία Surface Construction Elements:

® Στην υποκατηγορία **Materials** περιγράφονται όλα τα υλικά τα οποία συνθέτουν τα διάφορα αδιαφανή δομικά στοιχεία του κτηρίου μελέτης. Για να εισαχθεί ένα υλικό σε αυτό το πεδίο πρέπει να είναι γνωστές γι' αυτό οι εξής χαρακτηριστικές του ιδιότητες :

- 1) Το πάχος του (d , m)
- 2) Η πυκνότητα του (ρ , kg/m³)
- 3) Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του [λ , W/(m*K)]
- 4) Η ειδική θερμοχωρητικότητα του [c_p , J/(kg*K)]
- 5) Η τραχύτητα του

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τα χαρακτηριστικά τους δίνονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.[37] και παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

ΥΛΙΚΑ (Material)	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ				
	τραχύτητα (roughness)	πάχος (thickness) m	Αγωγιμότητα (conductivity) W/m*k	πυκνότητα (density) kg/m ³	ειδική θερμότητα (specific heat) J/(kg*K)
Αλουμίνιο	λίγο	0,015	160	2800	880
Ασβεστοκονίαμα	μεσαία	0,02	0,87	1800	1000
Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	μεσαία	0,04	0,3	1250	1000
Ασφαλτόπανο	μεσαία	0,01	0,23	1100	1000
Κισσηρομπετόν	μεσαία	0,05	0,2	500	1000
Μωσαικό	λίγο	0,035	1,2	1900	800
Ξύλο	λίγο	0,05	0,13	500	1600
Ωπλισμένο Σκυρόδεμα	μεσαία	0,18	2,5	2400	1000
Ωπλισμένο Σκυρόδεμα	μεσαία	0,1	2,5	2400	1000
Τσιμεντοκονίαμα	λίγο	0,02	1,4	2000	1100
Τσιμεντόπλακες	μεσαία	0,025	0,3	1250	1000
Οπτοπλινθοδομή	μεσαία	0,2	0,49	1200	1000

εικόνα 4.23, Πίνακας δομικών υλικών επιφανειών κτιρίου, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		Αλουμιο	Ασβεστοκονιαμα	Ασβεττσιμεντοκονιαμα	Ασφαλτοπανο	Κισσηρομπετον	Μωσαικο	Κυλο	Οπλισμενο18αι	Οπλισμενο10αι	Οπτοπλινθοδομ
Roughness		MediumRough	MediumSmooth	MediumRough	MediumRough	MediumRough	MediumSmooth	MediumSmooth	MediumRough	MediumRough	MediumRough
Thickness	m	0,015	0,02	0,04	0,01	0,05	0,035	0,05	0,18	0,1	0,2
Conductivity	W/m*k	160	0,87	0,3	0,23	0,2	1,2	0,13	2,5	2,5	0,49
Density	kg/m ³	2800	1800	1250	1100	500	1900	500	2400	2400	1200
Specific Heat	J/kg*K	880	1000	1000	1000	1000	800	1600	1000	1000	1000
Thermal Absorptance		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Solar Absorptance		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Visible Absorptance		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Εικόνα 4.24, Πεδίο Materials, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

® Στην υποκατηγορία **Window Material – Glazing** συμπληρώνονται όλα τα χαρακτηριστικά των υαλοστασίων που ως στρώσεις θα αποτελέσουν τα διαφανή δομικά στοιχεία. Στην προκειμένη περίπτωση πρόκειται για γυαλί 3 mm ορισμένα χαρακτηριστικά του οποίου υπάρχουν ήδη στο πρόγραμμα.

Εικόνα 4.25, Πεδίο Window Material – Glazing, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Field	Units	Obj1
Name		Clear 3mm
Optical Data Type		SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name		
Thickness	m	3,00000000E-03
Solar Transmittance at Normal Incidence		0,837
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,075
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0
Visible Transmittance at Normal Incidence		0,898
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,081
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0,84
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0,84
Conductivity	W/m-K	0,9
Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittance		1
Solar Diffusing		No
Young's modulus	Pa	
Poisson's ratio		

Εικόνα 4.25, Πεδίο Window Material – Glazing, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

© Στην υποκατηγορία **Construction** χρησιμοποιώντας τα υλικά που περιγράφονται στα πεδία Material και Window Material Glazing σχεδιάζεται η δομή που θα έχει η κάθε ξεχωριστή επιφάνεια του κτιρίου. Οι στρώσεις συμπληρώνονται κάθε φορά ξεκινώντας από την εξωτερική προς την εσωτερική έχοντας πάντα ως σημείο

αναφοράς τη θερμική ζώνη την οποία περιβάλλουν. Οι διεπιφάνειες μεταξύ δύο διαφορετικών ζωνών περιγράφονται δύο φορές με γνώμονα κάθε φορά τη ζώνη που περικλείουν, με αποτέλεσμα οι δύο αυτές κατασκευαστικές δομές να έχουν αντίστροφες στρώσεις. Τα στοιχεία που εισάγονται , το πρόγραμμα τα αντιλαμβάνεται ως στρώσεις με αυτές τις ιδιότητες και με αυτή την έννοια θεωρεί σε αυτό το στάδιο ότι η εκάστοτε αδιαφανής επιφάνεια αποτελείται μόνο από αυτή τη στρώση. Οι κύριες κατασκευαστικές λεπτομέρειες παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν.

παράθυρα	πόρτα	εξωτερικός τοίχος
καθαρό τζάμι 3 mm	αλουμίνιο 1,5 mm	ωπλισμένο σκυρόδεμα 10 cm

εσωτερικός τοίχοςΑ	εσωτερικός τοίχοςΒ
ωπλισμένο σκυρόδεμα 10cm	ασβεστοκονίαμα 2 cm
	οπτοπλινθοδομή 20 cm
	ασβεστοκονίαμα 2 cm

εξωτερική οροφή	εσωτερική οροφή
τσιμεντόπλακες 2,5cm	μωσαικό 3,5 cm
ασβεστοτσιμεντοκονίαμα 4 cm	ωπλισμένο σκυρόδεμα 18 cm
ασφαλτόπανο 1 cm	ασβεστοκονίαμα 2 cm
κισσηρομπετόν 5 cm	
ωπλισμένο σκυρόδεμα 18 cm	
ασβεστοκονίαμα 2 cm	

εσωτερικό δάπεδο	εξωτερικό δάπεδο
ασβεστοκονίαμα 2 cm	ωπλισμένο σκυρόδεμα 18 cm
ωπλισμένο σκυρόδεμα 18 cm	μωσαικό 3,5 cm
μωσαικό 3,5 cm	

Εικόνα 4.26, Κατασκευαστικά στοιχεία σχολείου, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
parathiro	eskoteriki porta	eksoterikos toixos	esoterikos toixos	orofi eksoteriki	dapedo esoteriko	dapedo eksoteriko	orofi esoteriki	esoterikos toixosB
Clear 3mm	Alouminio	Op1Skirodema10ari	Op1Skirodema10ari	Tsimentoplakes	Asvestokoniama	Op1Skirodema18ari	Mwsaiko	Asvestokoniama
				AsveTsimkoniama	Op1Skirodema18ari	Mwsaiko	Op1Skirodema18ari	Optolpinthodomi
				Kissirompeton	Mwsaiko		Asvestokoniama	Asvestokoniama
				Op1Skirodema18ari				
				Asvestokoniama				

Εικόνα 4.27, Πεδίο Construction, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Κατηγορία Thermal Zones and Surfaces:

® Η υποκατηγορία **Zone** πρέπει να είναι συμπληρωμένη απαραίτητα, διαφορετικά το κτίριο δε μπορεί να προσομοιωθεί. Τα στοιχεία που έχουν συμπληρωθεί εδώ έχουν προκύψει απευθείας από το αρχείο που εκδόθηκε από το Sketchup και αφορούν το ειδοποιό όνομα της κάθε ζώνης και τις συντεταγμένες του σημείου μηδέν της.

® Στην υποκατηγορία **Zone List** δίνεται η δυνατότητα στον μελετητή να συνενώσει θερμικές ζώνες με παρόμοια θερμικά χαρακτηριστικά και ανάγκες σε μία ενιαία, έτσι ώστε μετά το πέρας των υπολογισμών της προσομοίωσης να εμφανιστούν για τα θερμικά και ψυκτικά φορτία αποτελέσματα αθροιστικά και να εξαχθούν συμπεράσματα, για το σύνολο ενός χώρου και όχι μόνο για τα επιμέρους τμήματα που τον αποτελούν. Στην παρούσα μελέτη αποφασίστηκε να δημιουργηθούν 3 ομάδες θερμικών ζωνών όπως φαίνεται παρακάτω:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Classrooms	CommonSpaces	Offices
Zone 1 Name		Thermal Zone 1	Thermal Zone 2	Thermal Zone 5
Zone 2 Name		Thermal Zone 3	Thermal Zone 4	
Zone 3 Name		Thermal Zone 6	Thermal Zone 7	

Εικόνα 4.28, Πεδίο Zone List, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

® Στην υποκατηγορία **Building Surface: Detailed** γίνεται λεπτομερής περιγραφή της κάθε αδιαφανούς επιφάνειας του κτιρίου. Οι πληροφορίες οι οποίες καταγράφονται είναι οι εξής :

- Το χαρακτηριστικό όνομα της επιφάνειας
- Το αν αποτελεί τοίχο, οροφή, δάπεδο ή κεκλιμένη στέγη
- Η κατασκευαστική λεπτομέρεια η οποία έχει καθοριστεί στο πεδίο « Construction » και η οποία ανταποκρίνεται στη δομή της συγκεκριμένης επιφάνειας
- Η ζώνη την οποία περιβάλλει
- Οι εξωτερικές συνθήκες με τις οποίες αλληλεπιδρά, δηλαδή αν εξωτερικά της επιφάνειας υπάρχει έδαφος, εξωτερικός αέρας, άλλη εσωτερική επιφάνεια ή αν θεωρείται αδιαβατική
- Στην περίπτωση στην οποία πρόκειται για επιφάνεια που συνορεύει με άλλη εσωτερική καταγράφεται και το όνομα αυτή
- Το αν είναι εκτεθειμένη στον ήλιο ή στον αέρα ή και στους δύο
- Οι συντεταγμένες των κορυφών που οριοθετούν την επιφάνεια

Το όνομα, η ζώνη την οποία περιβάλλει καθώς και οι συντεταγμένες των κορυφών της κάθε επιφανείας, εισάγονται αυτόματα στο πρόγραμμα από το μοντέλο που έχει σχεδιαστεί στο Sketch Up.

® Στην υποκατηγορία **Fenestration Surface : Detailed** οι πληροφορίες οι οποίες παρέχονται στο πρόγραμμα καθώς και η διαδικασία εισαγωγής τους είναι όμοια με αυτά του προηγούμενου βήματος μόνο που σε αυτή την περίπτωση αναφέρονται στις διαφανείς επιφάνειες του κτιρίου μελέτης.

Κατηγορία Internal Gains:

Στην κατηγορία αυτή εισάγονται οι παράμετροι που καθορίζουν τον υπολογισμό των εσωτερικών θερμικών κερδών της εκάστοτε ομαδοποιημένης θερμικής ζώνης του σχολικού συγκροτήματος, οι οποίες είναι ο αριθμός, το ωράριο παραμονής και το είδος της δραστηριότητας των χρηστών των χώρων, η λειτουργία του φωτισμού καθώς και το είδος, ο αριθμός και ο χρόνος λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών.

® Στην υποκατηγορία **People** πέραν των παραπάνω δηλώνονται τα χρονοδιαγράμματα πυκνότητας ανθρώπινης ύπαρξης και ανθρώπινης δραστηριότητας που δημιουργήθηκαν σε προηγούμενο στάδιο

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		PeopleClass	PeopleCommonS	PeopleOffices
Zone or ZoneList Name		Classrooms	CommonSpaces	Offices
Number of People Schedule Name		ClassDensityPeople	CommonDensityPec	OfficeDensityPeople
Number of People Calculation Method		People/Area	People/Area	People
Number of People				
People per Zone Floor Area	person/m2	0,44	0,7	0,35
Zone Floor Area per Person	m2/person			
Fraction Radiant		0,25	0,25	0,25
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		ClassHumActivity	CommonHumActivity	OfficeHumActivity
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s·W	0,0000000382	0,0000000382	0,0000000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings		No	No	No
Mean Radiant Temperature Calculation Type		ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged

Εικόνα 4.29, Πεδίο People, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

® Στην υποκατηγορία **Lights** εισάγονται πληροφορίες για τον υπολογισμό των εσωτερικών θερμικών κερδών που αφορούν τον τεχνητό φωτισμό της εκάστοτε ομαδοποιημένης θερμικής ζώνης του κτιρίου, όπως η ισχύς και τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας του τεχνητού φωτισμού που δημιουργήθηκαν πιο πάνω. Ειδικότερα, το πεδίο Watts per Zone Floor Area συμπληρώνεται σύμφωνα με τις προτεινόμενες τιμές της T.O.T.E.E.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		LightsClass	LightsCommon	LightsOffices
Zone or ZoneList Name		Classrooms	CommonSpaces	Offices
Schedule Name		ClassLights	CommonSpacLights	OfficesLights
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area
Lighting Level	W			
Watts per Zone Floor Area	W/m2	9,6	6,4	16
Watts per Person	W/person			
Return Air Fraction		0	0	0
Fraction Radiant		0,42	0,42	0,42
Fraction Visible		0,18	0,18	0,18
Fraction Replaceable		1	1	1
End-Use Subcategory		General	General	General
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature		No	No	No

Εικόνα 4.30, Πεδίο Lights, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

® Στην υποκατηγορία **Electric Equipment** ορίζονται οι παράμετροι υπολογισμού των εσωτερικών θερμικών κερδών των ομαδοποιημένων θερμικών ζωνών από τη λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικού εξοπλισμού των χώρων, όπως η ισχύς και τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών που προγραμματίστηκαν παραπάνω. Συγκεκριμένα, οι τιμές του πεδίου Watts per Zone Floor Area δίνονται βάσει των προτεινόμενων τιμών της T.O.T.E.E.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		ElegEquipClass	ElegEquipOffices
Zone or ZoneList Name		Classrooms	Offices
Schedule Name		ElegEquipClass	ElegEquipOffices
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area
Design Level	W		
Watts per Zone Floor Area	W/m2	5	15
Watts per Person	W/person		
Fraction Latent		0	0
Fraction Radiant		0,35	0,35
Fraction Lost		0	0
End-Use Subcategory		General	General

Εικόνα 4.31, Πεδίο Electric Equipment, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Κατηγορία Zone Airflow:

® Στην υποκατηγορία **ZoneInfiltration: DesignFlowRate** δίνονται τα στοιχεία για τον υπολογισμό του έμμεσου αερισμού, όπως η εκάστοτε ομάδα θερμικών ζωνών, το χρονοδιάγραμμα διήθησης αέρα, ο αριθμός των εναλλαγών του αέρα ανά ώρα κ.ά. Ο έμμεσος αερισμός δημιουργείται μέσω της ακούσιας ροής αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον απευθείας στο εσωτερικό που προκαλείται από ρωγμές περιμετρικά των ανοιγμάτων ή από το άνοιγμα και το κλείσιμο των θυρών ή γενικότερα από αστοχίες στην κατασκευή.

® Στην υποκατηγορία **ZoneVentilation: DesignFlowRate** υπολογίζεται ο άμεσος αερισμός των ομάδων θερμικών ζωνών, μέσω της εισαγωγής του χρονοδιαγράμματος αερισμού και άλλων στοιχείων όπως ο αριθμός εναλλαγής του φυσικού αέρα ανά ώρα, ο οποίος είναι πολλαπλάσιος του όγκου του χώρου κ.ά. Ο άμεσος αερισμός των χώρων πραγματοποιείται μέσω ανοιχτών παραθύρων και οποιουδήποτε άλλου στοιχείου εισόδου και εξόδου για την εισαγωγή αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		InfiltrationClass	InfiltrationCommon	InfiltrationOffices
Zone or ZoneList Name		Classrooms	CommonSpaces	Offices
Schedule Name		AlwaysOn	AlwaysOn	AlwaysOn
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	AirChanges/Hour	AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s			
Flow per Zone Floor Area	m3/s-m2			
Flow per Exterior Surface Area	m3/s-m2			
Air Changes per Hour	1/hr	0,5	0,5	0,5
Constant Term Coefficient		1	1	1
Temperature Term Coefficient		0	0	0
Velocity Term Coefficient		0	0	0

Εικόνα 4.32, πεδίο ZoneInfiltration: DesignFlowRate, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		VentilationClass	VentilationCommon	VentilationOffices
Zone or ZoneList Name		Classrooms	CommonSpaces	Offices
Schedule Name		Ventilation	Ventilation	Ventilation
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	AirChanges/Hour	AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s			
Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2			
Flow Rate per Person	m3/s-person			
Air Changes per Hour	1/hr	5	5	5
Ventilation Type		Natural	Natural	Natural
Fan Pressure Rise	Pa	0	0	0
Fan Total Efficiency		1	1	1
Constant Term Coefficient		1	1	1

Εικόνα 4.33, πεδίο ZoneVentilation: DesignFlowRate, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Κατηγορία HVAC Templates:

® Στην υποκατηγορία **HVACTemplate: Thermostat** εισάγονται τα χρονοδιαγράμματα θέρμανσης – ψύξης καθώς και το σημείο ενεργοποίησης του συστήματος, δηλαδή κάτω από τους 18°C ενεργοποιείται το σύστημα θέρμανσης και πάνω από τους 50°C ενεργοποιείται το σύστημα ψύξης, που υποδηλώνει ουσιαστικά ότι παραμένει ανενεργό.

® Στην υποκατηγορία **HVAC Template – Zone – Ideal Loads Air System** περιγράφεται ένα ιδανικό σύστημα, που προμηθεύει τις θερμικές ζώνες με αέρα καταλλήλων συνθηκών ώστε να καλύψει τα θερμικά και ψυκτικά φορτία τους. Η μέθοδος αυτή αποτελεί ένα καλό πρώτο βήμα προς την κατεύθυνση της προσομοίωσης ενός ρεαλιστικού μοντέλου κτιρίου. Στην συγκεκριμένη μελέτη το σύστημα αυτό είναι ίδιο για όλους τους χώρους του σχολικού συγκροτήματος.

Field	Units	Obj1
Name		Thermostat
Heating Setpoint Schedule Name		HeatSystem
Constant Heating Setpoint	C	18
Cooling Setpoint Schedule Name		CoolingSystem
Constant Cooling Setpoint	C	50

Εικόνα 4.34, Πεδίο HVACTemplate: Thermostat, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Zone Name		Thermal Zone 1	Thermal Zone 2	Thermal Zone 3	Thermal Zone 4	Thermal Zone 5	Thermal Zone 6	Thermal Zone 7
Template Thermostat Name		Thermostat	Thermostat	Thermostat	Thermostat	Thermostat	Thermostat	Thermostat
System Availability Schedule Name								
Maximum Heating Supply Air Temperature	C	50	50	50	50	50	50	50
Minimum Cooling Supply Air Temperature	C	13	13	13	13	13	13	13
Maximum Heating Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0,0156	0,0156	0,0156	0,0156	0,0156	0,0156	0,0156
Minimum Cooling Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077

Εικόνα 4.35, Πεδίο HVAC Template – Zone – Ideal Loads Air System, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Κατηγορία Output Reporting:

Στην κατηγορία αυτή ορίζονται τα επιθυμητά αποτελέσματα τα οποία θα εξαχθούν από το συγκεκριμένο πρόγραμμα.

® Στην υποκατηγορία **Output: Variable** εισάγεται το είδος των αποτελεσμάτων και η συχνότητα αναφοράς (Variable Name: Zone Mean Air Temperature και Reporting Frequency: Monthly)

® Στην υποκατηγορία **Output: Meter** ζητούνται η μέση μηνιαία κατανάλωση ενέργειας σε θέρμανση, τεχνητό φωτισμό και ηλεκτρικό εξοπλισμό (Name: District Heating: Facility, InteriorLights: Electricity, InteriorEquipment: Electricity και Reporting Frequency: Monthly).

Field	Units	Obj1
Key Value		*
Variable Name		Zone Mean Air Tem
Reporting Frequency		Monthly
Schedule Name		

Εικόνα 4.38, Πεδίο Output: Variable, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

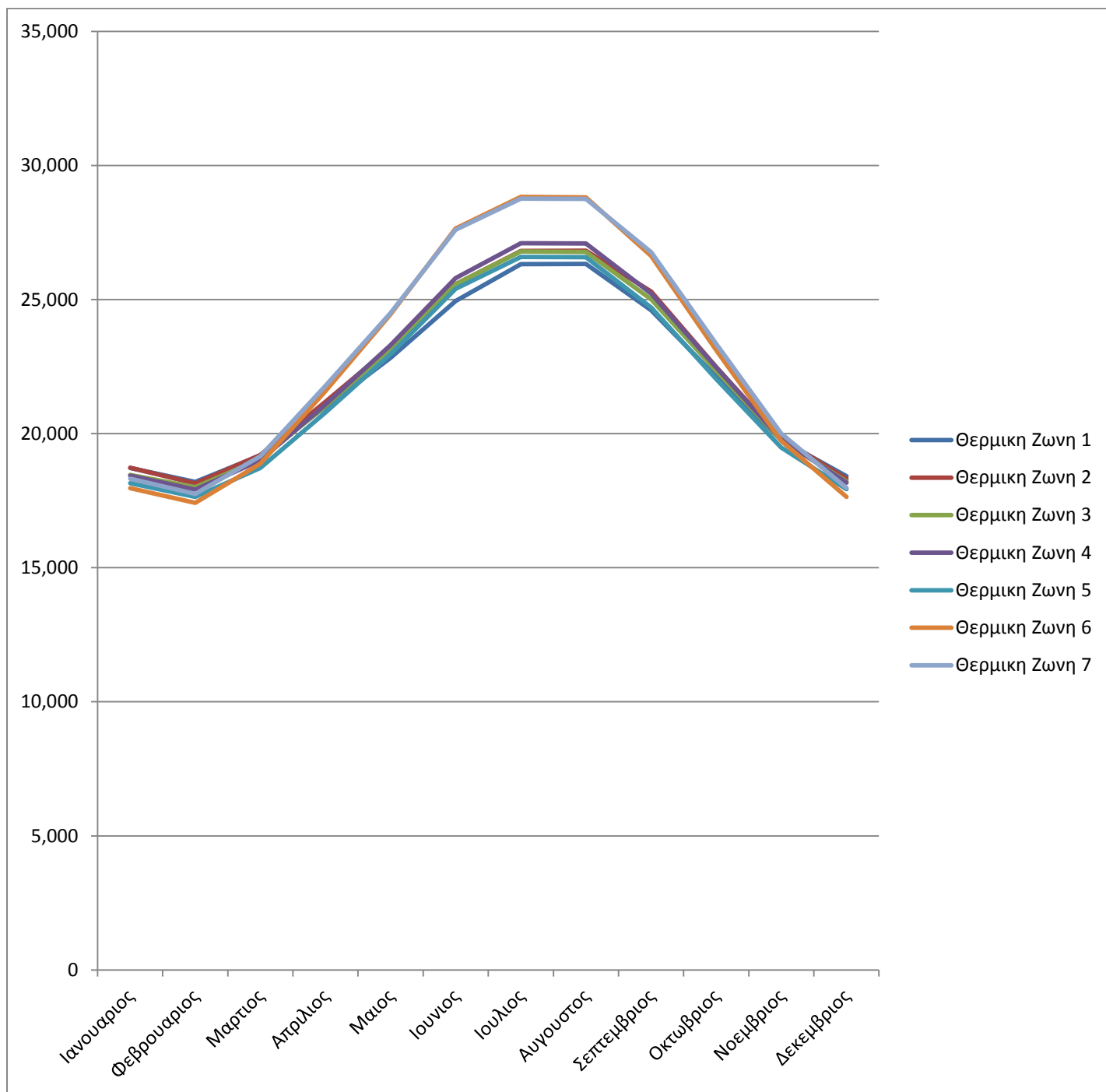
Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
DistrictHeating:Facil	InteriorLights:Electri	InteriorEquipment:EI	DistrictCooling:Facili
Monthly	Monthly	Monthly	Monthly

Εικόνα 4.39, Πεδίο Output: Meter, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Στις επόμενες σελίδες ύστερα από επεξεργασία παρατίθενται και αξιολογούνται τα παραπάνω αποτελέσματα της προσομοίωσης.

4.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Έπειτα από την συμπλήρωση όλων των απαραίτητων πεδίων του προγράμματος εξάγονται τα παρακάτω αποτελέσματα για την ενεργειακή συμπεριφορά του σχολικού συγκροτήματος με την μορφή διαγραμμάτων:



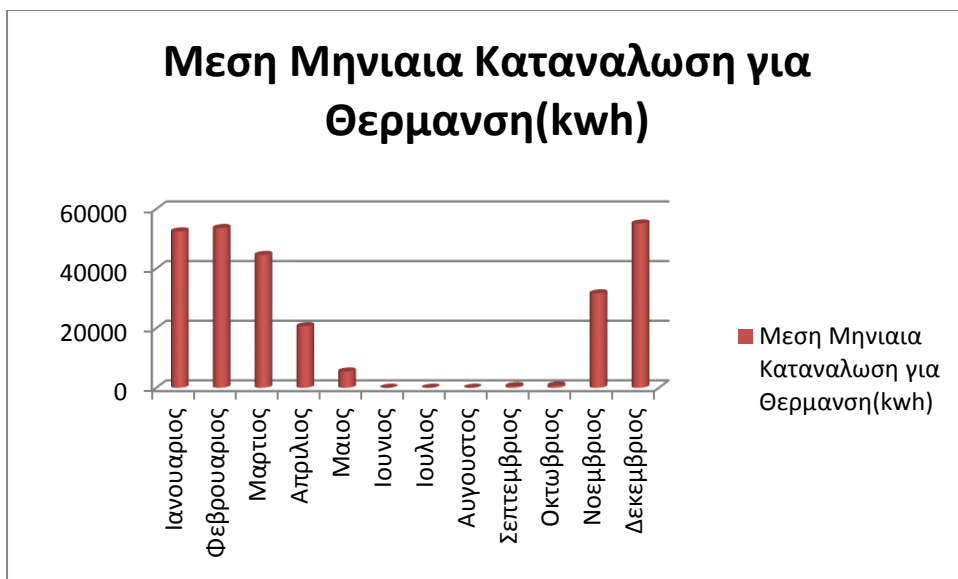
Εικόνα 4.40, Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία Θερμικών Ζωνών, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

ΟΡΟΦΟΣ	ΧΩΡΟΙ ΣΧΟΛΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ
ΙΣΟΓΕΙΟ	αίθουσα διδασκαλίας	θερμική ζώνη 1
	κοινόχρηστοι χώροι	θερμική ζώνη 2
Α ΟΡΟΦΟΣ	αίθουσα διδασκαλίας	θερμική ζώνη 3
	κοινόχρηστοι χώροι	θερμική ζώνη 4
	ἔγγραφεία καθηγητών	θερμική ζώνη 5
Β ΟΡΟΦΟΣ	αίθουσα διδασκαλίας	θερμική ζώνη 6
	κοινόχρηστοι χώροι	θερμική ζώνη 7

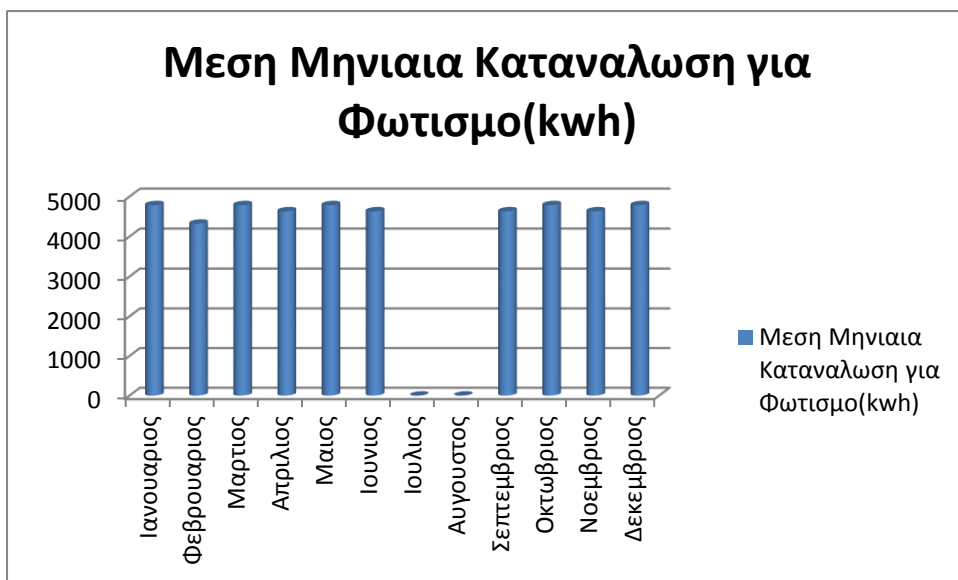
Εικόνα 4.41, Διαχωρισμός σχολικού συγκροτήματος σε θερμικές ζώνες, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Σύμφωνα με το διάγραμμα της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας των θερμικών ζωνών του κτιρίου γίνεται αντιληπτό ότι οι θερμικές ζώνες 6 και 7 παρουσιάζουν τις μέγιστες θερμοκρασίες αφού βρίσκονται στο ανώτερο επίπεδο που δέχεται ευκολότερα τις συνθήκες που επικρατούν στο εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης, παρατηρείται όπως είναι φυσικό ότι τους θερινούς μήνες η θερμοκρασία αγγίζει τις μέγιστες τιμές ενώ κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου σημειώνονται αρκετά χαμηλότερες θερμοκρασίες, γεγονός που δείχνει την μη άρτια λειτουργία του συστήματος θέρμανσης –ψύξης.

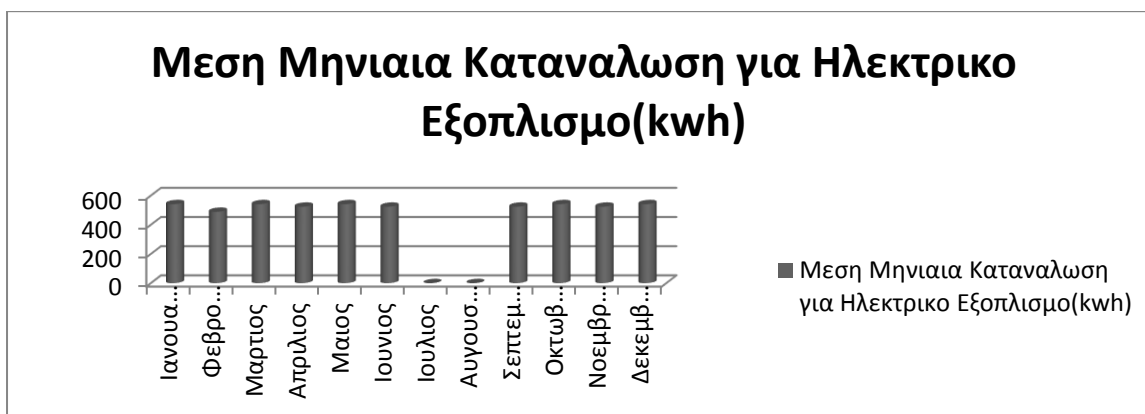
Έπειτα, στα παρακάτω διαγράμματα παρατίθενται οι μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας σε θέρμανση, φωτισμό και ηλεκτρικό εξοπλισμό ο οποίος περιλαμβάνει την χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τους εκτυπωτές, τα φαξ και τα μηχανήματα του εργαστηρίου χημείας. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πρόγραμμα Energy Plus εξάγει τα αποτελέσματα σε μονάδες Joules(J), οπότε γίνεται η μετατροπή τους σε κιλοβατώρες σύμφωνα με την σχέση $1J=2,777778 \cdot 10^{-7}kwh$ (rapid tables,2017), [38]



Εικόνα 4.42, Μηνιαία Κατανάλωση Ενέργειας σε Θέρμανση, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

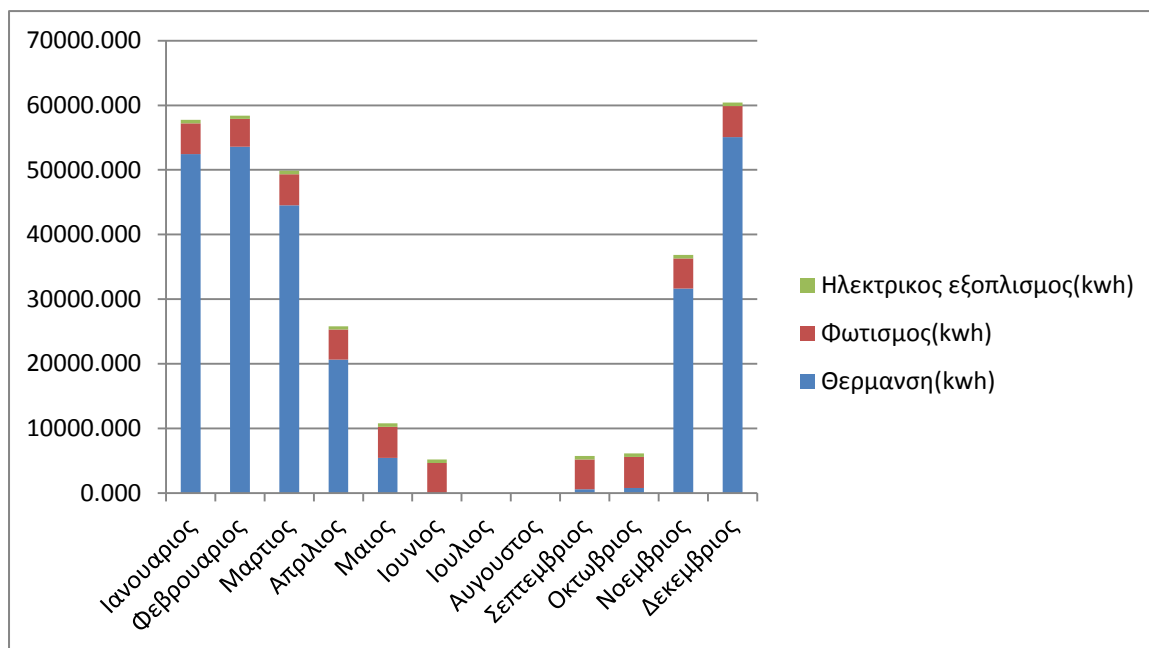


Εικόνα 4.43, Μηνιαία Κατανάλωση Ενέργειας σε Φωτισμό, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

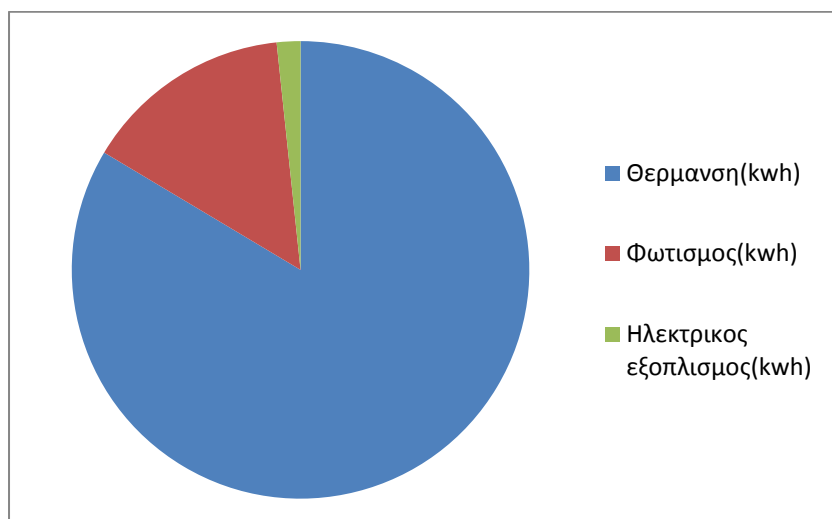


Εικόνα 4.44, Μηνιαία Κατανάλωση Ενέργειας σε Ηλεκτρικό Εξοπλισμό (αίθουσες υπολογιστών, εκτυπωτές, φαξ)

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία



Εικόνα 4.45, Συνολική Μηνιαία Κατανάλωση Ενέργειας, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία



Εικόνα 4.46, Ποσοστά Συμμετοχής Κατανάλωσης Συνολικής Ενέργειας (θέρμανση, φωτισμός, ηλεκτρικός εξοπλισμός), Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα γίνεται αντιληπτό ότι η κατανάλωση ενέργειας σε θέρμανση έχει μεγάλες μεταβολές κατά την διάρκεια του έτους, γεγονός φυσιολογικό αφού η θέρμανση είναι αναγκαία ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες. Αντίθετα, οι καταναλώσεις για φωτισμό και ηλεκτρικό εξοπλισμό είναι μηνιαίως σταθερές με εξαίρεση προφανώς τους μήνες Ιούλιο Αύγουστο όπου το σχολείο παραμένει κλειστό λόγω των καλοκαιρινών διακοπών ενώ από το διάγραμμα των συνολικών μηνιαίων καταναλώσεων παρατηρείται ότι οι μήνες με τις μέγιστες τιμές είναι οι χειμερινοί. Ακόμα, παρατίθενται συνολικά οι ετήσιες επιμέρους καταναλώσεις ενέργειας, οι οποίες ανέρχονται για θέρμανση σε ποσοστό 84%, για τεχνητό φωτισμό σε ποσοστό 14% ενώ για ηλεκτρικό εξοπλισμό σε ποσοστό 2%.

Τέλος, υπολογίζεται το συνολικό κόστος κατανάλωσης ενέργειας, βάσει του πίνακα τιμολογίων της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού(Δ.Ε.Η.), όπου η τιμή της κιλοβατώρας για το 2017 ανέρχεται σε 0,08259€. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι το κόστος είναι μηδενικό τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο λόγω διακοπής της λειτουργίας του σχολείου.

Μηνες	Θέρμανση(kwh)	Φωτισμος(kwh)	Ηλεκτρικός εξοπλισμος(kwh)	Κοστος(€)
Ιανουαριος	52443,00	4783,88	541,38	4771,08
Φεβρουαριος	53568,56	4320,83	488,88	4821,46
Μαρτιος	44527,85	4783,88	541,38	4117,37
Απριλιος	20648,75	4629,72	523,88	2131,01
Μαιος	5441,55	4783,88	541,38	889,23
Ιουνιος	0	4629,72	523,88	425,63
Ιουλιος	0	0	0	0
Αυγουστος	0	0	0	0
Σεπτεμβριος	555,55	4629,72	523,88	471,52
Οκτωβριος	781,94	4783,88	541,38	504,39
Νοεμβριος	31662,22	4629,72	523,88	3040,62
Δεκεμβριος	55085,53	4783,88	541,38	4989,32
ΣΥΝΟΛΟ	264714,98	46759,17	5291,38	26161,66

Εικόνα 4.47, Συνολικό Κόστος από καταναλώσεις ενέργειας, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ (ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ)

Πραγματικά: Θέρμανση(φυσικό αέριο): 60330 kwh

Ρεύμα: 49720 kwh

Προσομοίωσης: Θέρμανση: 264714,98 kwh

Φωτισμός: 46759,17 kwh

Ηλεκτρικός εξοπλισμός: 5291,38 kwh

Η μεγάλη διαφορά στην κατανάλωση ενέργειας σε θέρμανση προκύπτει κυρίως από:

1. Το αρχείο καιρού που χρησιμοποιήθηκε έχει δεδομένα από την περίοδο 1982 έως 1999 με διάσπαρτες μετρήσεις, δηλαδή περίπου 20 χρόνια πριν το έτος μελέτης. Έτσι, λόγω της κλιματικής αλλαγής και κατ' επέκταση την άνοδο των θερμοκρασιών είναι λογικό να καταναλώνεται λιγότερη ποσότητα ενέργειας για θέρμανση.
2. Στην προσομοίωση έχει καθοριστεί θερμοστάτης, δηλαδή όταν η θερμοκρασία πέφτει κάτω από τους 25°C αυτόματα ενεργοποιείται το σύστημα θέρμανσης. Στην πραγματικότητα όμως, παρατηρήθηκε ότι τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο και Σεπτέμβριο η κατανάλωση ενέργειας στο σχολείο ήταν μηδενική.
3. Ο Διευθυντής έχει ρυθμίσει τον θερμοστάτη σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα πχ στους 17-18° C.
4. Ένα μέρος της θέρμανσης καταναλώνει ρεύμα (π.χ. κλιματιστικά μηχανήματα στα γραφεία των καθηγητών).
5. Ατέλειες του προγράμματος προσομοίωσης (λίγο δύσκολο, αλλά όχι απίθανο).
6. Αστάθμητους παράγοντες.
7. Κακή εκτίμηση των δεδομένων των υλικών του κελύφους.
8. Μη σωστή εισαγωγή δεδομένων των παραμέτρων ή των τιμών αυτών.

Σχετικά με την κατανάλωση ρεύματος οι τιμές είναι μάλλον κοντά: 52050 kwh (46759+5291) πραγματικότητας έναντι 49720 kwh προσομοίωσης. Αν δε κάποιο μέρος της ενέργειας πηγαίνει για θέρμανση κλιματιστικών τότε εξασφαλίζουμε μικρές αποκλίσεις.

Τα δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση αποκτήθηκαν από τον Οργανισμό Σχολικών Κτιρίων του Δήμου Ηλιουπόλεως ενώ για το ρεύμα από το τμήμα λογιστηρίου του Δήμου.

Κεφάλαιο 5ο.ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΣΧΟΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται μία προσπάθεια ερμηνείας των αποτελεσμάτων της παραπάνω προσομοίωσης προς όφελος της ενεργειακής αναβάθμισης του σχολικού κτιρίου. Ουσιαστικά προτείνονται ορισμένες επεμβάσεις, τα αποτελέσματα των οποίων με την σειρά τους αξιολογούνται και συγκρίνονται με την αρχική προσομοίωση της υφιστάμενης κατάστασης του κτιρίου. Για κάθε προτεινόμενη επέμβαση πραγματοποιείται νέα προσομοίωση στο πρόγραμμα Energy Plus, υπολογίζεται το αντίστοιχο κόστος υλοποίησής της και τέλος εκτιμάται ο χρόνος απόσβεσης του κόστους αυτού. Μετά από λεπτομερή έρευνα των δεδομένων εκτιμούμε 'οτι πρακτικά τέσσερις είναι οι επεμβάσεις που πρέπει να γίνουν άμεσα για την βελτίωση του

εσωτερικού μικροκλίματος του σχολικού συγκροτήματος και για μείωση των καταναλώσεων με ότι θετικό αυτό συνεπάγεται για τις δαπάνες και για το περιβάλλον και αφορούν την προσθήκη θερμοπρόσοψης στους εξωτερικούς τοίχους και θερμομόνωσης των δωματίων του κτιρίου, την αντικατάσταση των μονών υαλοπινάκων με διπλούς υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής, την αντικατάσταση των υφιστάμενων λαμπτήρων με ενεργειακούς λαμπτήρες LED και τέλος την εγκατάσταση εξαεριστήρων για νυχτερινό αερισμό.

Προτάσεις

ΠΡΟΤΑΣΗ 1. Τοποθέτηση θερμοπρόσοψης στους εξωτερικούς τοίχους και θερμομόνωσης στα δώματα

Η τοποθέτηση θερμοπρόσοψης και θερμομόνωσης στο κέλυφος του κτιρίου θα συμβάλλει στον περιορισμό των θερμικών απωλειών και κατ' επέκταση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης προστατεύοντας ταυτόχρονα το κέλυφος από τις καιρικές καταπονήσεις. Για τον λόγο αυτό προτείνεται η προσθήκη θερμοπρόσοψης στους εξωτερικούς τοίχους αποτελούμενη κυρίως από μονωτικές πλάκες από πετροβάμβακα ενώ για την εξωτερική θερμομόνωση των δωματίων προτείνεται το κύριο υλικό να αποτελείται από διογκωμένη πολυστερίνη σε πλάκες.

Η τοποθέτηση του πετροβάμβακα στην θερμοπρόσοψη έγινε τόσο λόγω της της ανόργανης φύσης του η οποία τον καθιστά ως υλικό με μεγάλη αντίσταση στην πυρκαγιά, γι' αυτό και ορισμένοι τύποι του ταξινομούνται στην κλάση A1 της πυραντοχής, όσο και για την ηχοαπορροφητικότητά του η οποία θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική τις ώρες τις διδασκαλίας. Αντίθετα, η διογκωμένη πολυστερίνη τήκεται πολύ εύκολα, με αποτέλεσμα να γίνεται επικίνδυνη σε περιπτώσεις πυρκαγιάς, αφ' ενός μεν γιατί ορισμένοι τύποι της είναι εύφλεκτοι και αφ' ετέρου δε, γιατί κατά την καύση της παράγονται τοξικά αέρια, ενώ επίσης δεν παρουσιάζει σχεδόν καθόλου ηχοαπορροφητικότητα. Ωστόσο, μπορούν να υπάρξουν τύποι αυτοσβενόμενης διογκωμένης πολυστερίνης ενώ ως υλικό λειτουργεί καλύτερα στην υγρασία (library.tee.gr/digital/m2045/m2045_karamanos.pdf)[39]. Τέλος, λόγω της ιδιότητας του κτιρίου και των βανδαλισμών που μπορούν να υπάρξουν, πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι η διογκωμένη πολυστερίνη έχει πολύ καλή αντοχή σε κρούση. Παρόλ' αυτά, συγκρίνοντας τα δύο υλικά επιλέγεται για θερμοπρόσοψη ο πετροβάμβακας δίνοντας βάση στην καλή του ηχοαπορροφητικότητα για την αναβάθμιση των συνθηκών διδασκαλίας.

Ειδικότερα, για την εφαρμογή της θερμοπρόσοψης απαιτείται αρχικά η τοποθέτηση ενός μεταλλικού προφίλ στο κάτω μέρος της πρόσοψης, έτσι ώστε να προστατεύεται το κάτω άκρο της πλάκας και να λειτουργεί ως βάση για την τοποθέτηση των πλακών πετροβάμβακα με κόλλα, οι οποίες στερεώνονται περαιτέρω με βύσματα αγκύρωσης. Έπειτα, οι γωνίες και τα ανοίγματα του κτιρίου ενισχύονται με γωνιόκρανα με υαλόπλεγμα, ενώ μετά εφαρμόζεται κόλλα στην οποία εγκιβωτίζεται ένα ενισχυμένο πλέγμα. Τέλος, εφαρμόζεται κατάλληλο αστάρι έχοντας ως τελικό στρώμα της πρόσοψης διακοσμητικό κονίαμα. (knaufinsulation.gr,2017)[40]

Όσον αφορά την θερμομόνωση των δωματίων εφαρμόζεται στην επιφάνεια ένα στρώμα υγραμόνωσης πάνω στο οποίο τοποθετείται ελαφρομετόν για την δημιουργία ρύσεων. Έπειτα, εφαρμόζεται το μονωτικό υλικό της διογκωμένης πολυστερίνης(φελιζόλ) και δεύτερη στρώση υγραμόνωσης έτσι ώστε να απάγεται γρήγορα το νερό της βροχής και να προστατεύεται η θερμομονωτική στρώση από τον ήλιο. Τέλος, λόγω ότι το δώμα δεν χρησιμοποιείται συχνά γίνεται χρήση κροκάλας ως τελικό στρώμα έτσι ώστε να προστατεύεται το στρώμα υγραμόνωσης από τις ακτίνες του ήλιου.

Τα παραπάνω δεδομένα των υλικών εισάγονται στο πρόγραμμα Energy Plus με τα παρακάτω βήματα:

®στην υποκατηγορία **Material** εισάγονται τα υλικά του πετροβάμβακα, της διογκωμένης πολυστερίνης, των κροκάλων με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους βάσει της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.

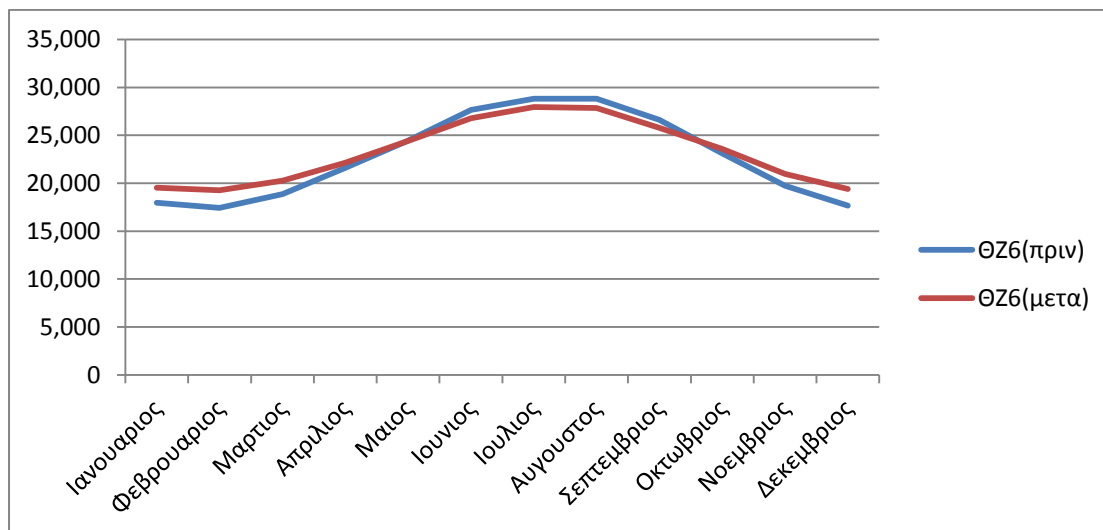
®στην υποκατηγορία **Construction** δηλώνεται η νέα πλέον δομή των εξωτερικών τοίχων και των δωματίων έπειτα από την τοποθέτηση της θερμοπρόσοψης και της θερμομόνωσης.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ					
ΥΛΙΚΑ (material)	Τραχύτητα (roughness)	Πάχος (thickness) m	Αγωγιμότητα (conductivity) W/m*k	Πυκνότητα (density) kg/m ³	Ειδική θερμότητα (specific heat) J/(kg*K)
Διογκωμένη πολυστερίνη σε πλάκες	μεσαία	0,05	0,033	12	1500
Κροκάλες	μεσαία	0,075	2,3	2600	1000
Πετροβάμβακας σε πλάκες	μεσαία	0,05	0,033	50	840

Εικόνα 5.1 , Δομικά υλικά για την εξωτερική θερμομόνωση, Πηγή:Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2010, 2014, Ιδία επεξεργασία

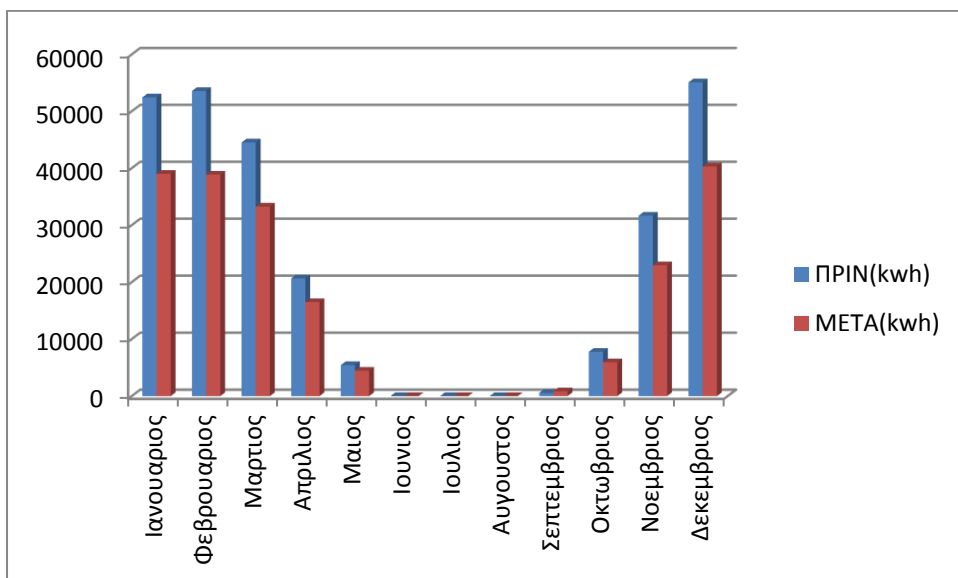
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Έπειτα από την νέα προσομοίωση μετά την τοποθέτηση της θερμοπρόσοψης και θερμομόνωσης προκύπτουν νέα δεδομένα για την κατανάλωση ενέργειας σε θέρμανση. Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η μεταβολή της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας πριν και μετά την συγκεκριμένη επέμβαση για την θερμική ζώνη ΘΖ6 (αίθουσες διδασκαλίας, β όροφος) όπου δεν διαθέτει υπερκείμενο όροφο και είναι πανταχόθεν ελεύθερη με αποτέλεσμα να περιλαμβάνει τόσο θερμοπρόσοψη όσο και θερμομόνωση.



Εικόνα 5.2, Μέση μηνιαία θερμοκρασία ΘZ-6 πριν και μετά την προσθήκη θερμοπρόσοψης και θερμομόνωσης, Πηγή:Ιδία Επεξεργασία

Από το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνεται ότι μετά την επέμβαση η θερμοκρασία της ζώνης ΘZ-6 αυξάνεται σημαντικά τους χειμερινούς μήνες ενώ την θερινή περίοδο διακρίνεται μία μικρή μείωση. Ακόμα, στο παρακάτω διάγραμμα στο οποίο συγκρίνονται οι μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας σε θέρμανση σε κιλοβατώρες πριν και μετά την επέμβαση παρατηρείται μία σημαντική μείωση της κατανάλωσης ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες.



Εικόνα 5.3, Μέση μηνιαία κατανάλωση για θέρμανση πριν και μετά την θερμοπρόσοψη και θερμομόνωση, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Τέλος, στον επόμενο πίνακα παρατίθενται αναλυτικά οι μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας σε θέρμανση πριν και μετά την επέμβαση, το όφελος σε κιλοβατώρες καθώς και το οικονομικό όφελος σε ευρώ κάνοντας την παραδοχή ότι το κόστος ενεργειακής κατανάλωσης είναι 0,08259€/kwh.

Μηνες	ΠΡΙΝ(kwh)	ΜΕΤΑ(kwh)	ΟΦΕΛΟΣ(kwh)	ΟΦΕΛΟΣ(ευρω)
Ιανουαριος	52443,00	39016,94	13426,056	1108,85
Φεβρουαριος	53568,55	38870,55	14698,00	1213,90
Μαρτιος	44527,85	33258,61	11269,24	930,72
Απριλιος	20648,75	16494,44	4154,30	343,10
Μαιος	5441,55	4451,11	990,44	81,80
Ιουνιος	0	0	0	0
Ιουλιος	0	0	0	0
Αυγουστος	0	0	0	0
Σεπτεμβριος	555,55	846,11	-290,55	-23,99
Οκτωβριος	7777,77	5937,22	1840,55	152,01
Νοεμβριος	31662,22	22941,11	8721,11	720,27
Δεκεμβριος	55085,53	40305,55	14779,97	1220,67
ΣΥΝΟΛΟ				5747,36

Εικόνα 5.4, Ενεργειακές καταναλώσεις και όφελος μετά την θερμομόνωση και θερμοπρόσοψη, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Για τον υπολογισμό του κόστους της προσθήκης θερμοπρόσοψης στους εξωτερικούς τοίχους και θερμομόνωσης στα δώματα αρχικά υπολογίζονται όλες οι σχετικές επιφάνειες (εξωτερικοί τοίχοι και δώματα) όπου θα γίνει η συγκεκριμένη προσθήκη ενώ στην συνέχεια έχοντας ως δεδομένο το κόστος υλικών και εργασίας ανά τετραγωνικό (fragoulakis.gr)[41],[42],[43] υπολογίζεται το συνολικό όφελος σε ευρώ το χρόνο και κατ' επέκταση σε πόσα χρόνια θα γίνει η απόσβεση της επένδυσης. Τα αποτελέσματα δίνονται αναλυτικότερα στον παρακάτω πίνακα:

ΕΜΒΑΔΟΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΤΟΙΧΩΝ	ΕΜΒΑΔΟΝ ΔΩΜΑΤΩΝ	ΚΟΣΤΟΣ		ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	ΕΤΗΣΙΟ ΟΦΕΛΟΣ	ΑΠΟΣΒΕΣΗ
		ΥΛΙΚΩΝ/ΕΡΓΑΣΙΑΣ (εξωτερικοί τοίχοι)	ΥΛΙΚΩΝ/ΕΡΓΑΣΙΑΣ (δώματα)			
m ²	m ²	€/m ²	€/m ²	€	€	ετη
1086	1365	45	38	100758,33	5747	18

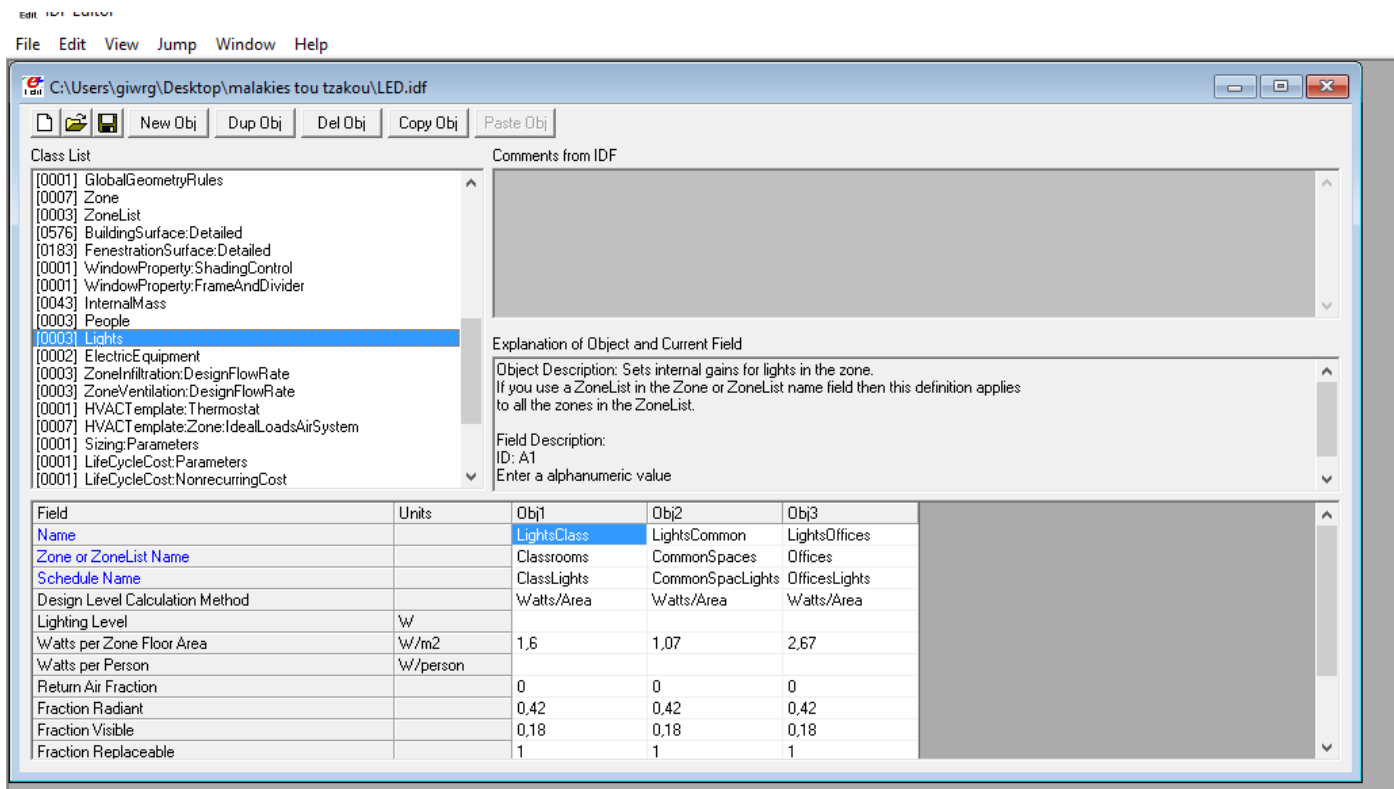
Εικόνα 5.5, Κόστος και απόσβεση προσθήκης θερμοπρόσοψης και θερμομόνωσης, Πηγή:Ιδία Επεξεργασία

ΠΡΟΤΑΣΗ 2. Τοποθέτηση ενεργειακών λαμπτήρων LED

Στην επέμβαση αυτή προτείνεται η αντικατάσταση των υφιστάμενων λαμπτήρων με ενεργειακούς λαμπτήρες LED, καθώς αυτοί αποτελούν έναν εύκολο τρόπο εξοικονόμησης ενέργειας. Η αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων επηρεάζει σημαντικά την μέση κατανάλωσης ενέργειας, βελτιώνει την ποιότητα του φωτισμού, ενώ χαρακτηρίζεται από μεγάλη διάρκεια ζωής.

Η εισαγωγή των ενεργειακών λαμπτήρων στο πρόγραμμα Energy Plus έγινε με τα παρακάτω βήματα:

® Στην κατηγορία **Internal Gains** και συγκεκριμένα στην υποκατηγορία **Lights** στο πεδίο **Watts per zone floor area** εισάγεται το 1/6 της αντίστοιχης αρχικής τιμής αφού οι ενεργειακοί λαμπτήρες καταναλώνουν το 1/6 της ενέργειας των συμβατικών. Έτσι, οι αρχικές τιμές του πεδίου αυτού (LightsClass: 9,6 LightsCommon: 6,4 και LightsOffices: 16) γίνονται 1,6 1,07 και 2,67 αντίστοιχα.



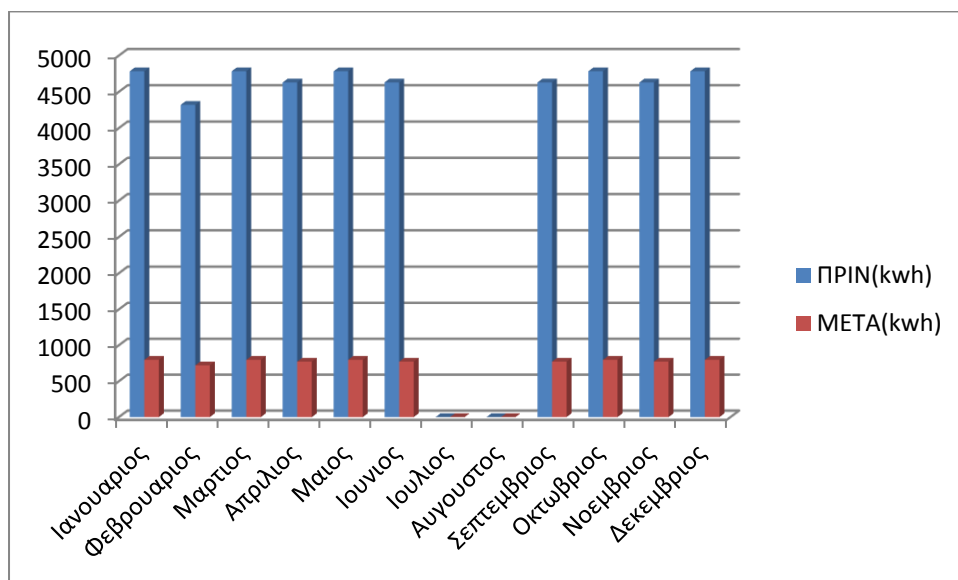
The screenshot shows the EnergyPlus software interface. The 'Class List' on the left has 'Lights' selected. The 'Explanation of Object and Current Field' pane shows the object description and field description. The 'Field' table at the bottom shows the configuration for 'LightsClass', 'LightsCommon', and 'LightsOffices'.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		LightsClass	LightsCommon	LightsOffices
Zone or ZoneList Name		Classrooms	CommonSpaces	Offices
Schedule Name		ClassLights	CommonSpacLights	OfficesLights
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area
Lighting Level	W			
Watts per Zone Floor Area	W/m2	1,6	1,07	2,67
Watts per Person	W/person			
Return Air Fraction		0	0	0
Fraction Radiant		0,42	0,42	0,42
Fraction Visible		0,18	0,18	0,18
Fraction Replaceable		1	1	1

Εικόνα 5.6, Εισαγωγή δεδομένων σε περιβάλλον Energy Plus, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της νέας προσομοίωσης για την μέση μηνιαία κατανάλωση ενέργειας σε τεχνητό φωτισμό, προκύπτει από το επόμενο διάγραμμα ότι υπάρχει πολύ μεγάλη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας.



Εικόνα 5.7, Μέση μηνιαία κατανάλωσης ενέργειας σε τεχνητό φωτισμό πριν και μετά την επέμβαση, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Επιπλέον, στον επόμενο πίνακα παρατίθενται αναλυτικά οι μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας σε τεχνητό φωτισμό πριν και μετά την επέμβαση, το όφελος σε κιλοβατώρες καθώς και το οικονομικό όφελος σε ευρώ κάνοντας την παραδοχή ότι το κόστος ενεργειακής κατανάλωσης είναι 0,08259€/kwh.

Εικόνα 5.8, Ενεργειακές καταναλώσεις και όφελος μετά την αντικατάσταση των λαμπτήρων, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Μηνες	ΠΡΙΝ(kwh)	ΜΕΤΑ(kwh)	ΟΦΕΛΟΣ(σε kwh)	ΟΦΕΛΟΣ(σε ΕΥΡΩ)
Ιανουαριος	4784,06	798,05	3986,0	329,20
Φεβρουαριος	4321,08	721,01	3600,07	297,33
Μαρτιος	4784,06	798,05	3986,0	329,20
Απριλιος	4629,73	772,50	3857,23	318,57
Μαιος	4784,06	798,05	3986,00	329,20
Ιουνιος	4629,73	772,50	3857,23	318,57
Ιουλιος	0	0	0	0,00
Αυγουστος	0	0	0	0,00
Σεπτεμβριος	4629,73	772,50	3857,23	318,57

Οκτωβριος	4784,06	798,05	3986,00	329,20
Νοεμβριος	4629,73	772,50	3857,23	318,57
Δεκεμβριος	4784,06	798,05	3986,00	329,20
			38959,04	3217,63

ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Για τον υπολογισμό του κόστους αντικατάστασης των λαμπτήρων αρχικά υπολογίζονται οι επιφάνειες των τριών(3) ομάδων θερμικών ζωνών και έπειτα το εκάστοτε εμβαδόν πολλαπλασιάζεται επί τις ανάγκες σε Watt που χρειάζεται ο κάθε χώρος. Συνεπώς, υπολογίζεται η τελική συνολική ισχύς η οποία ανέρχεται σε 3355,7 Watt. Για την αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων αποφασίζεται μετά από έρευνα αγοράς (lednet.gr) τοποθέτηση λαμπτήρων LED 18W με τιμή ανά τεμάχιο 6€ και διάρκεια ζωής τα δέκα (10) χρόνια. Έτσι απαιτούνται 186 λαμπτήρες αυτού του τύπου, επιτυγχάνοντας απόσβεση της συγκεκριμένης επένδυσης από το πρώτο έτος. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι στο συνολικό κόστος συνυπολογίσθηκε και η αλλαγή στα σκαφάκια της οροφής γιατί τα led χρησιμοποιούν δικά τους staters διαφορετικά από αυτά των λαμπτήρων φθορισμού. [45]

ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΔΙΔ/ΛΙΑΣ επι Watt/m2	ΚΟΙΝΟΧΡΗΣ ΤΟΙ ΧΩΡΟΙ επί Watt/m2	ΓΡΑΦΕΙΑ επι Watt/m2	ΣΥΝΟΛΙΚΑ Watt	Watt ενός λαμπτηρα	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΑΜΠΤΗΡΩ Ν	ΚΟΣΤΟ Σ/λαμπτηρα	ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣ ΗΣ	ΕΤΗΣΙΟ ΟΦΕΛΟ Σ	ΑΠΟΣΒΕ ΣΗ
1035*1,6	1072*1,07	207*2,67	Watt	Watt		€	€	€	ετη
1656	1147,04	552,69	3355,73	18	186	6	1119	3217	1

Εικόνα 5.9, Κόστος και απόσβεση αντικατάστασης συμβατικών λαμπτήρων, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

ΠΡΟΤΑΣΗ 3. Τοποθέτηση διπλών υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής

Στην επέμβαση αυτή προτείνεται η αντικατάσταση των υφιστάμενων μονών υαλοπινάκων με διπλούς υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής, οι οποίοι δίνουν την δυνατότητα να διατηρείται η θερμότητα στο εσωτερικό του κτιρίου κατά την διάρκεια του χειμώνα και να αποτρέπεται η εισχώρηση θερμότητας και ακτινοβολίας UV την θερινή περίοδο. Επίσης και τα κουφώματα κρίθηκε απαραίτητο να αντικατασταθούν με νέα θερμοδιακοπτόμενα για τους εξής λόγους. Πρώτον δεν υπάρχει αρκετά καλή στεγάνωση του χώρου λόγω της παλαιότητας και της φθοράς που έχουν υποστεί. Δεύτερον και εξίσου σημαντικό είναι το ότι τα θερμοδιακοπτόμενα κουφώματα αλουμινίου, μειώνουν την απώλεια θερμότητας σε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό από ό,τι τα απλά κουφώματα αλουμινίου.

Συνεπώς, δυσχεραίνουν την μεταφορά θερμότητας από την μία πλευρά στην άλλη οδηγώντας ουσιαστικά σε εξοικονόμηση ενέργειας.

Για την εισαγωγή της συγκεκριμένης επέμβασης στο πρόγραμμα Energy Plus ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα:

® Στην κατηγορία **Surface Construction Elements** και πιο συγκεκριμένα στην υποκατηγορία **WindowMaterial:Glazing** εισάγεται ένα νέο αντικείμενο με χαρακτηριστικά που εισάγονται από την βιβλιοθήκη **DataSet** του προγράμματος και συγκεκριμένα από το αρχείο **WindowGlassMaterials.idf**. Από το αρχείο αυτό επιλέγονται να εισαχθούν τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου **LoE CLEAR 3MM Rev**.

® Στην υποκατηγορία **WindowMaterial:Gas** ορίζεται το φυσικό αέριο που θα παρεμβάλλεται μεταξύ των νέων υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής, τα χαρακτηριστικά του οποίου λαμβάνονται από την βιβλιοθήκη **DataSet** και πιο συγκεκριμένα από το αρχείο **WindowGasMaterials.idf** από το οποίο επιλέγεται το ευγενές αέριο αργό **ARGON 13MM** με τα χαρακτηριστικά του.

® Στην υποκατηγορία **Construction** δηλώνεται η νέα πλέον δομή των παραθύρων η οποία είναι:

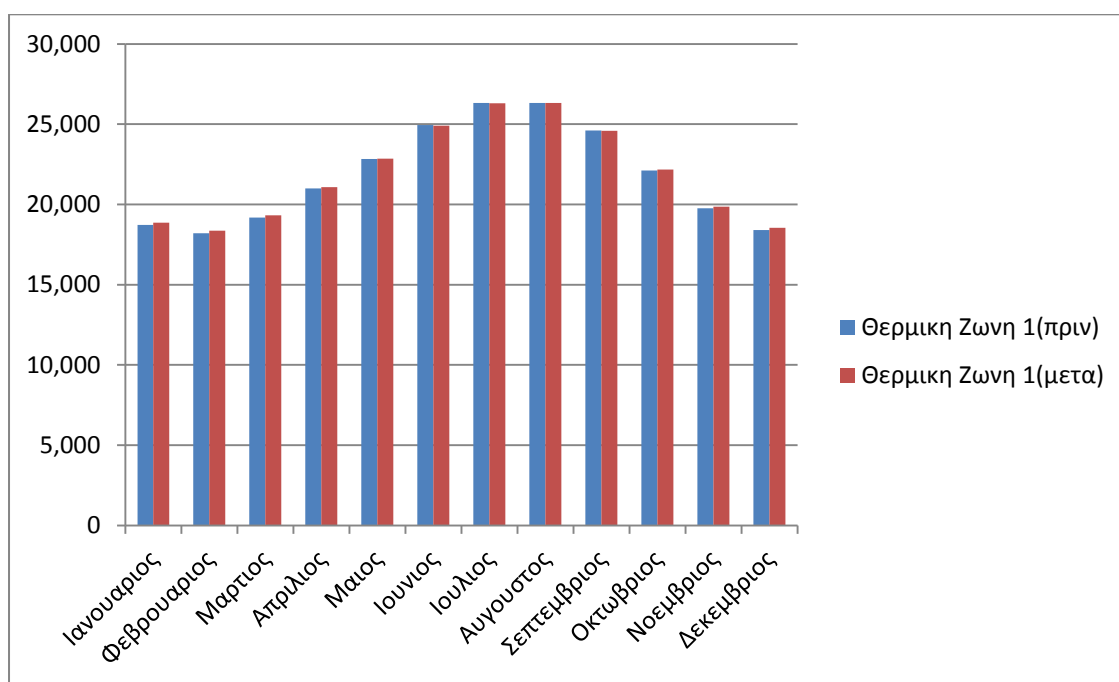
LoE CLEAR 3MM Rev

ARGON 13MM

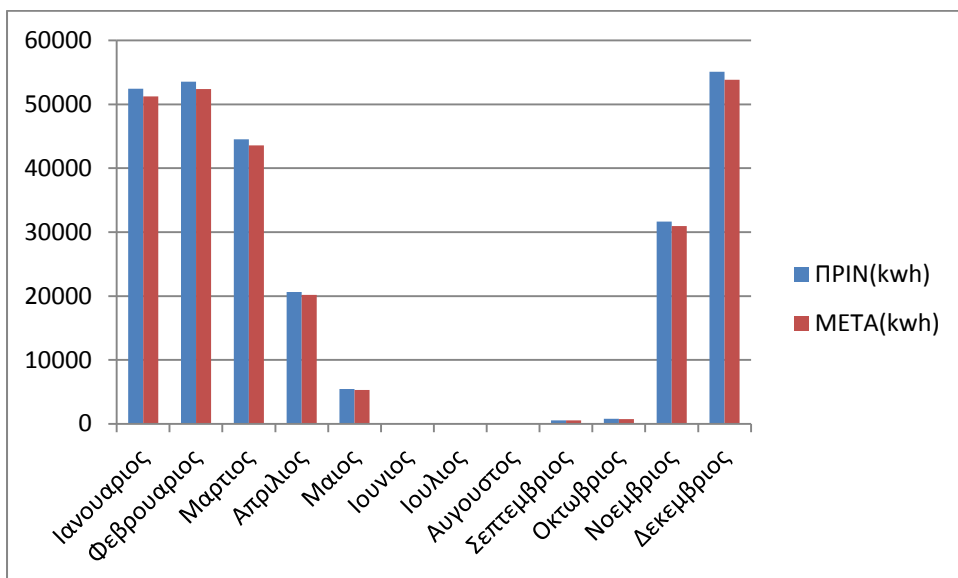
LoE CLEAR 3MM Rev

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Έπειτα από την νέα προσομοίωση , παρατηρείται ότι η μέση μηνιαία θερμοκρασιακή μεταβολή των θερμικών ζωνών δεν αλλάζει σημαντικά. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει μια μικρή μείωση στην μέση θερμοκρασία κατά την χειμερινή περίοδο. Το ίδιο αποτέλεσμα εμφανίζεται και στο συγκριτικό διάγραμμα κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση πριν και μετά την επέμβαση. Οι διαπιστώσεις αυτές φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 5.10, Μέση μηνιαία θερμοκρασία ΘΖ1 πριν και μετά την αντικατάσταση των υαλοπινάκων, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία



Εικόνα 5.11, Μέση μηνιαία κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση πριν και μετά την αντικατάσταση των υαλοπινάκων, Πηγή:Ιδία Επεξεργασία

Τέλος, στον επόμενο πίνακα παρατίθενται αναλυτικά οι μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας σε θέρμανση πριν και μετά την επέμβαση, το όφελος σε κιλοβατώρες καθώς και το οικονομικό όφελος σε ευρώ κάνοντας την παραδοχή ότι το κόστος ενεργειακής κατανάλωσης είναι 0,08259€/kwh.

Μηνες	ΠΡΙΝ(kwh)	ΜΕΤΑ(kwh)	ΟΦΕΛΟΣ(σε kwh)	ΟΦΕΛΟΣ(σε €)
Ιανουαριος	52443	51253,5	1189,5	98,24
Φεβρουαριος	53568,56	52368,06	1200,50	99,14
Μαρτιος	44527,86	43584,17	943,68	77,93
Απριλιος	20648,75	20202,78	445,97	36,83
Μαιος	5441,55	5283,88	157,66	13,02
Ιουνιος	0	0	0	0
Ιουλιος	0	0	0	0
Αυγουστος	0	0	0	0
Σεπτεμβριος	555,55	554,16	1,38	0,11
Οκτωβριος	781,94	763,88	18,05	1,49
Νοεμβριος	31662,22	30927,78	734,44	60,65
Δεκεμβριος	55085,53	53840,84	1244,69	102,79
Συνολο	264715	258779,1	5935,91	490,24

Εικόνα 5.12, Ενεργειακές καταναλώσεις και όφελος μετά την αντικατάσταση των υαλοπινάκων, Πηγή:Ιδία Επεξεργασία

ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Για τον υπολογισμό του κόστους της επένδυσης αυτής αρχικά υπολογίζονται οι συνολικές επιφάνειες των παραθύρων (μέσω του προγράμματος Sketchup) και στην συνέχεια θεωρήθηκε ως δεδομένη μια τιμή ανά τετραγωνικό η οποία συμπεριλάμβανε τόσο την εργασία όσο και το κόστος των υλικών. Η θεωρούμενη τιμή επιλέχθηκε έπειτα από έρευνα αγοράς. (<http://kostologisikoufomatou.gr/>)

ΕΜΒΑΔΟΝ ΠΑΡΑΘΥΡΩΝ	ΚΟΣΤΟΣ ΥΛΙΚΩΝ/ΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	ΕΤΗΣΙΟ ΟΦΕΛΟΣ	ΑΠΟΣΒΕΣΗ
m ²	€/m ²	€	€	ετη
413	57	23525,04	490	48

Εικόνα 5.13, Κόστος και απόσβεση αντικατάστασης υαλοπινάκων, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

ΠΡΟΤΑΣΗ 4. Νυχτερινός εξαερισμός

Η επέμβαση αυτή αφορά την τοποθέτηση εξαεριστήρων στους υαλοπίνακες των ανοιγμάτων, και ειδικότερα στους φεγγίτες αυτών, παρέχοντας τη δυνατότητα νυχτερινού αερισμού των εσωτερικών χώρων του κτιρίου. Με τον τρόπο αυτό απομακρύνεται η πλεονάζουσα θερμότητα και επιτυγχάνεται ανανέωση του αέρα στο εσωτερικό, κατά τους θερινούς μήνες, ενώ η επιλογή της νυχτερινής λειτουργίας γίνεται διότι τη συγκεκριμένη περίοδο παρουσιάζονται οι χαμηλότερες θερμοκρασίες της ημέρας. Οι εξαεριστήρες θα λειτουργούν με αυτόματο μηχανισμό, ο οποίος θα ρυθμίζει τη διάρκεια και την ένταση λειτουργίας τους.

Η εισαγωγή των ενεργειακών λαμπτήρων στο πρόγραμμα Energy Plus έγινε με τα παρακάτω βήματα:

®Στην κατηγορία **Schedules** και συγκεκριμένα στην υποκατηγορία **Schedule:Compact** ορίζεται το χρονοδιάγραμμα του νυχτερινού αερισμού **NightVentilation**, που αφορά τον νυχτερινό αερισμό όλων των χώρων του σχολείου, κατά το οποίο οι εξαεριστήρες θα λειτουργούν τους μήνες Μάιο, Ιούνιο και Σεπτέμβριο, που παρατηρούνται οι υψηλότερες θερμοκρασίες, και βραδινές ώρες 10:00μ.μ. έως τις 06:00π.μ., όπου η θερμοκρασία μειώνεται. Την υπόλοιπη περίοδο του έτους οι εξαεριστήρες δε θα λειτουργούν, γι' αυτό το λόγο λαμβάνονται μηδενικές τιμές.

®Στην κατηγορία **Zone Airflow** και συγκεκριμένα στην υποκατηγορία **ZoneVentilation: DesignFlowRate** εισάγεται το νέο χρονοδιάγραμμα στις αντίστοιχες ομάδες θερμικών ζωνών.

Obj16	Obj16
NightVentilation	Through:8/31
Fraction	For:AllDays
Through:4/30	Until 24:00
For:AllDays	0
Until 24:00	Through:9/30
0	For:AllDays
Through:6/30	Until 06:00
For:AllDays	1
Until 06:00	Until 22:00
1	0
Until 22:00	Until 24:00
0	1
Until 24:00	Through:12/31
1	For:AllDays
	Until 24:00
	0

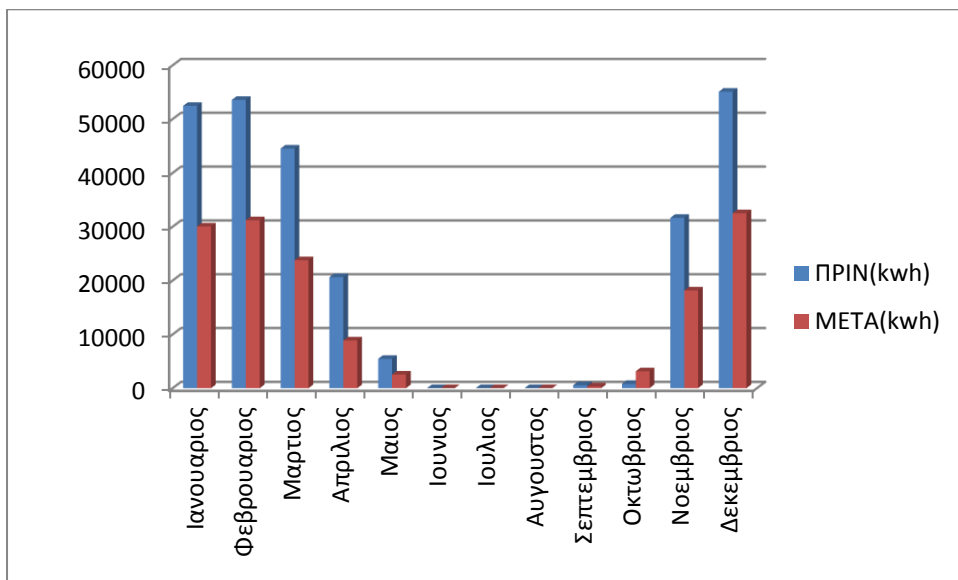
Εικόνα 5.14, Χρονοδιάγραμμα νυχτερινού αερισμού, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Obj1	Obj2	Obj3
VentilationClass	VentilationCommon	VentilationOffices
Classrooms	CommonSpaces	Offices
NightVentilation	NightVentilation	NightVentilation
AirChanges/Hour	AirChanges/Hour	AirChanges/Hour
5	5	5
Natural	Natural	Natural
0	0	0
1	1	1
1	1	1
0	0	0
0	0	0
0	0	0

Εικόνα 5.15, Πεδίο ZoneVentilation: DesignFlowRate, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της νέας προσομοίωσης για την μέση μηνιαία κατανάλωση ενέργειας, προκύπτει από το επόμενο διάγραμμα ότι υπάρχει πολύ μεγάλη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας.



Εικόνα 5.16, Συγκριτικό διάγραμμα κατανάλωσης ενέργειας πριν και μετά την επέμβαση, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Τέλος, στον επόμενο πίνακα παρατίθενται αναλυτικά οι μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας πριν και μετά την επέμβαση, το όφελος σε κιλοβατώρες καθώς και το οικονομικό όφελος σε ευρώ κάνοντας την παραδοχή ότι το κόστος ενεργειακής κατανάλωσης είναι 0,08259€/kwh.

Μηνες	ΠΡΙΝ(kwh)	ΜΕΤΑ(kwh)	ΟΦΕΛΟΣ(kwh)	ΟΦΕΛΟΣ(€)
Ιανουαριος	52443	30045,00	22398,00	1849,85
Φεβρουαριος	53568,56	31211,11	22357,44	1846,50
Μαρτιος	44527,86	23776,39	20751,46	1713,86
Απριλιος	20648,75	8876,11	11772,63	972,30
Μαιος	5441,556	2526,94	2914,61	240,71
Ιουνιος	0	0	0	0
Ιουλιος	0	0	0	0
Αυγουστος	0	0	0	0
Σεπτεμβριος	555,5556	312,77	242,77	20,05
Οκτωβριος	781,9445	3144,16	-2362,22	-195,09
Νοεμβριος	31662,22	18150,55	13511,66	1115,92
Δεκεμβριος	55085,53	32500,00	22585,52	1865,33
ΣΥΝΟΛΟ			114171,92	9429,45

Εικόνα 5.17, Ενεργειακές καταναλώσεις και όφελος πριν και μετά την επέμβαση, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Για τον υπολογισμό του κόστους της επέμβασης αυτής αρχικά υπολογίζεται ο συνολικός όγκος των χώρων που επιθυμείται εξαερισμός και ορίζεται ο αριθμός των ανανεώσεων του αέρα ανά ώρα, βάσει του τύπου απαιτούμενη ροή αέρα (m^3/h) = όγκος χώρου (m^3) x ανανεώσεις αέρα ανά ώρα (1/h). Οι εξαεριστήρες που θα τοποθετηθούν αποφασίζεται μετά από έρευνα αγοράς να είναι εξαεριστήρες τύπου TX7WW– 190 με τιμή ανά τεμάχιο 264,00€. Οι συγκεκριμένοι εξαεριστήρες, λόγω του κινητήρα που διαθέτουν, συνδυάζουν μέγιστη απόδοση με χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, έχοντας ισχύ 40 Watt, δυνατότητα παροχής αέρα τριών (3) ταχυτήτων, δηλαδή 305, 395 και 485 m^3/h , και στάθμη θορύβου 37dB (sivar.gr, 2017).[46]

Συνολικός όγκος χώρων	Απαιτούμενη ροή αέρα	Αριθμός εξαεριστήρων	Συνολικό κόστος	Ετήσιο όφελος	Απόσβεση
m^3	m^3/h		€	€	έτη
	2*18188,04	36376,08/485	75*264		
18188,04	36376,08	75	19800,58	9429	2,1

Εικόνα 5.18, Κόστους επένδυσης, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Κεφάλαιο 6ο. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΡΕΥΝΑ

Το σχολικό συγκρότημα έχει κάποιες κατασκευαστικές “ ελλείψεις ” οι οποίες προκύπτουν κυρίως από την παλαιότητα της κατασκευής. Αυτές περιλαμβάνουν τόσο την απουσία θερμομόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους και στα δώματα όσο και την απουσία διπλών υαλοπινάκων στα ανοίγματα του. Συνεπώς , κρίθηκε σκόπιμο κυρίως από τις παραπάνω παρατηρήσεις να πραγματοποιηθούν ορισμένες επεμβάσεις , δηλαδή η εγκατάσταση θερμομόνωσης στα δώματα και θερμοπρόσοψης στους εξωτερικούς τοίχους , η αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων με ενεργειακούς LED και η προσθήκη διπλών υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής , έτσι ώστε να μειωθεί το συνολικό ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας . Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα το κτίριο να κατευθυνθεί προς τα οικολογικά σύγχρονα πρότυπα και το κυριότερο να συμβάλλει τόσο στην βιοτική και ψυχική ευμάρεια των ανθρώπων που δραστηριοποιούνται εκεί όσο και στην οικονομική βελτίωση του Δήμου Ηλιουπόλεως. Στο παρακάτω διάγραμμα διαπιστώνεται καθαρά η μείωση του ποσοστού κατανάλωσης ενέργειας μετά τις επεμβάσεις αυτές.

ΛΥΣΗ	ΟΦΕΛΟΣ(kwh)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΛΥΣΗΣ(€)	ΕΤΗΣΙΟ ΟΦΕΛΟΣ(€)	ΑΠΟΣΒΕΣΗ(έτη)
θερμομόνωση & θερμοπρόσοψη	69589	22%	100758,33	5747	18
ενεργειακοί LED λαμπτήρες	38959	12%	1119	3217	1
διπλοί υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής	5936	2%	28525,04	490	48
νυχτερινός εξαερισμός	114172	36%	19800	9429	2

Εικόνα 6.1, Συγκενρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων επεμβάσεων, Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Σχολιάζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα εκτιμάται από τον μελετητή ότι το συνολικό ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας φτάνει το 72% το οποίο θεωρείται ένα σημαντικό μέγεθος. Ωστόσο, πρέπει να σχολιασθεί το γεγονός ότι η εγκατάσταση των διπλών υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής δεν θεωρείται αποδοτική λύση τόσο λόγω του χαμηλού ποσοστού εξοικονόμησης ενέργειας όσο και λόγω του μεγάλου χρόνου απόσβεσης. Αντίθετα, τόσο οι ενεργειακοί λαμπτήρες LED όσο και η προσθήκη θερμομόνωσης και θερμοπρόσοψης θεωρούνται ωφέλιμες λύσεις ακόμα και αν η απόσβεση γίνεται μετά από 18 έτη, χρονικό διάστημα το οποίο είναι ανεκτό για κτίρια όπως είναι τα σχολεία. Προφανώς η αποδοτικότερη λύση από όλες θεωρείται αυτή της εγκατάστασης των νυχτερινών εξαεριστήρων οι οποία όχι μόνο μειώνει την κατανάλωση ενέργειας σε μεγάλο ποσοστό (36%) αλλά και ο χρόνος απόσβεσης υπολογίστηκε μόλις 2 χρόνια.

Από όλα τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό, ότι με τις λύσεις αυτές το σημαντικό ζήτημα της ενεργειακής αναβάθμισης του σχολικού κτιρίου μπορεί να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά, με συνέπεια τόσο την περιβαλλοντική όσο και την οικονομική ανάπτυξη της συγκεκριμένης περιοχής. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι με τις επεμβάσεις αυτές καλλιεργείται και αναπτύσσεται η οικολογική συνείδηση των μαθητών καθώς επίσης και η ένταξή τους σε ένα πρώιμο στάδιο του τρόπου σκέψης και νοοτροπίας του βιοκλιματικού σχεδιασμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] «Το ενεργειακό πρόβλημα στην σύγχρονη εποχή» -Ερευνητική εργασία- Αλεξάνδρα Καπλάνη http://1lyk-vyron.att.sch.gr/A1b_kaplani.pd
- [2] Καραβασίλη – Χονδρού Μ., (1999), «Κτίρια για έναν Πράσινο Κόσμο», Εκδόσεις: π – SYSTEMS International AE, Αθήνα.
- [3] «Εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα-ΥΠΕΚΑ http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/ktiria_intro.htm
- [4] Κλειώ Ν. Αξαρή «Ενεργειακός Σχεδιασμός και Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων-Γενικές Αρχές Βιοκλιματικού Σχεδιασμού», Σημειώσεις του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, έκδοση 2009
- [5] http://www.cres.gr/energy_saving/enimerosi_thermomono%20si.htm
- [6] Ενέργεια, 2001
- [7] http://www.cres.gr/kape/pdf/download/Energy_Outlook_2009_EL%20.pdf
- [8] «Περιβάλλον, ενεργειακή τεχνολογία, πράσινα κτίρια»- tzanos <http://www.tzanos.gr/gr/perivallon.asp>
- [9] http://www.cres.gr/energy_saving/enimerosi_bioclimatikos.htm
- [10] Ανδρεαδάκη Ε., (2006), «Βιοκλιματικός Σχεδιασμός: Περιβάλλον και Βιωσιμότητα», Εκδόσεις: University Studio Press, Θεσσαλονίκη
- [11] Αντωνοπούλου Σ, Βιοκλιματική αρχιτεκτονική και βιώσιμη ανάπτυξη-Μέθοδοι και Παραδείγματα σε συγκεκριμένα κτίρια, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα, 2009
- [12] «Βιοκλιματικός Σχεδιασμός στην Ελλάδα», εκδόσεις ΚΑΠΕ 2002 14. Κωνσταντίνος Τσίππρας, «Οικολογική Αρχιτεκτονική» ,εκδ. Κέδρος 2005
- [13]. «Κλίμα και εσωτερικό περιβάλλον- Βιοκλιματικός σχεδιασμός Κτιρίων» εκδόσεις Τ.Ε.Ε., έκδοση 2011
- [14] «ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ», εκδόσεις Τ.Ε.Ε. Τ.Ο.ΤΕΕ 20702- 5/2010, έκδοση 2011
- [15] Ηλίας Ευθυμιόπουλος «Κτίριο και Περιβάλλον» ,εκδόσεις Παπασωτηρίου, έκδοση 2004
- [16] Εξοικονόμηση και Ορθολογική χρήση ενέργειας», εκδόσεις ΚΑΠΕ
- [17] «Πρακτικός Οδηγός Εξοικονόμησης Ενέργειας σε Κτίρια», έκδοση Enforce της Ε.Ε
- [18] "Φυσικός αερισμός", Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos_fysikos_aerismos.htm
- [19] "Ηλιοπροστασία", Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_hlioprostasia.
- [20] «Τεχνολογίες Εξοικονόμησης Ενέργειας σε Κτίρια», εκδόσεις ΚΑΠΕ 2008
- [21] Παπαδόπουλος Μ., Αξαρή Κ., Ενεργειακός σχεδιασμός & παθητικά ηλιακά συστήματα κτηρίων, Αφοι Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη, 1995

- [22] "Φυτεμένο δώμα", Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας,
http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_fytemeno_do_ma.htm
- [23] Αραβαντινός Δ., Ευμορφοπούλου Α. Αφιέρωμα με θέμα: Φυτεμένα Δώματα, Περιοδικό Κτίριο, Ιούνιος 2006
- [24] «Φωτοβολταϊκό σύστημα»- wikipedia
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8C_%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1
- [25] «Οδηγίες για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις» - Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) http://www.cres.gr/kape/pdf/odigos_pv_systimaton.pdf
- [26] Δρ. Στάθης Τσελεπής, "Φωτοβολταϊκά στα κτίρια", Δημοσίευση στην έκδοση "Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας σε οικιστικά σύνολα" του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας
- [27] «Γεωθερμία» -Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ)
http://www.cres.gr/kape/education/web_dynitikoι%20xristes.pdf
- [28] Δρ. Μιχάλης Καράγιωργας, "Γεωθερμία", Δημοσίευση στην έκδοση "Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας σε οικιστικά σύνολα" του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας
- [29]: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=483&language=el-GR>
- [30]: http://users.sch.gr/imarinakis/geothermal_energy.htm
- [31] <http://4gym-ilioup.att.sch.gr/autosch/joomla15/>
- [32] <https://www.google.gr/maps/place/Ηλιούπολη/>
- [33] Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-3/2010, (2014), «Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών», Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (Υ.Π.Ε.Κ.Α.), Ειδική Γραμματεία Επιθεώρησης Περιβάλλοντος και Ενέργειας – Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Ενέργειας, Έκδοση Γ', Αθήνα.
- [34] «SketchUp» <http://www.sketchup.com/> τελευταία ημερομηνία πρόσβασης: 2.7.2017
- [35] «Openstudio» <https://www.openstudio.net/> τελευταία ημερομηνία πρόσβασης: 2.7.2017
- [36] «EnergyPlus» <https://energyplus.net/> τελευταία ημερομηνία πρόσβασης: 2.7.2017
- [37] Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-2/2010, (2014), «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων», Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (Υ.Π.Ε.Κ.Α.), Ειδική Γραμματεία Επιθεώρησης Περιβάλλοντος και Ενέργειας – Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Ενέργειας, Έκδοση Β', Αθήνα.
- [38] rapid tables, (2017), «Joules to kWh conversion»,
http://www.rapidtables.com/convert/energy/Joule_to_kWh.htm, τελευταία ημερομηνία πρόσβασης: 2.7.2017
- [39] library.tee.gr/digital/m2045/m2045_karamanos.pdf

[40]knaufinsulation.gr,2017)

[41]stoupasspainting.pblogs.gr, (2017), «Τρόποι στεγάνωσης ταράτσας»,

[42]<http://stoupasspainting.pblogs.gr/tags/monosi-gr.html>, τελευταία ημερομηνία πρόσβασης: 2.7.2017

[43]monosi-fragoulakis.gr/a, (2017), «Εξωτερική θερμομόνωση τιμές», <http://monosi-fragoulakis.gr/eksoteriki-thermomonomosi/thermomonositimes>, τελευταία ημερομηνία πρόσβασης: 2.7.2017

[44]monosi-fragoulakis.gr/b, (2017), «Μονώσεις ταρατσών τιμές», <http://monosi-fragoulakis.gr/monosi-taratsas/monosis-taratson-times>, τελευταία ημερομηνία πρόσβασης: 2.7.2017

[45]lednet.gr/el/epaggelmatikes-fwtismos-led/sxoleia-c110c117.html, τελευταία ημερομηνία πρόσβασης: 2.7.2017

[46]sivar.gr, (2017), «Εξαεριστήρες τζαμιού – τοίχου σειράς TXWW»,<http://www.sivar.gr/wp-content/pdf>, τελευταία ημερομηνία πρόσβασης: 2.7.2017

[47]kostologisikoufomaton.gr, ημερομηνία πρόσβασης: 2.7.2017

