



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΚΑΙ
ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΧΟΛΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ ΑΝΔΡΕΑ ΑΛΙΦΕΡΗ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Καθηγητής ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΤΣΟΥΤΣΟΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

Καθηγητής ΜΙΧΑΛΗΣ ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ

Αναπ. Καθηγήτρια ΔΙΟΝΥΣΙΑ ΚΟΛΟΚΟΤΣΑ

ΧΑΝΙΑ, 2017



“Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.”

ΑΦΙΕΡΩΝΕΤΑΙ
στην Οικογένεια μου

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον επιβλέποντα Καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας Θεοχάρη Τσούτσο για την στήριξη που μου προσέφερε τόσο σε επιστημονικό όσο και σε φιλικό επίπεδο καθ' όλη τη διάρκεια της παρούσας εργασίας. Επίσης, εκφράζω τις ευχαριστίες μου στην Μαρία Αρυμπλιά, Μηχανικό Περιβάλλοντος για την πολύτιμη βοήθεια και συμβουλές που μου προσέφερε στην παρούσα εργασία. Επιπλέον, ευχαριστώ τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής, τους Μιχάλη Λαζαρίδη και Διονυσία Κολοκοτσά για τις εύστοχες παρατηρήσεις και σχόλια πάνω στην εργασία μου.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω θερμά τους φίλους μου και τους γονείς μου Ελένη και Φώτη, καθώς και τον αδερφό μου Γιώργο, που με υπομονή και κουράγιο, μου πρόσφεραν την απαραίτητη ηθική συμπαράσταση για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Ανδρέας Αλιφέρης

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ABSTRACT	7
Πίνακας Συντομογραφιών	8
Κατάλογος Πινάκων	9
Κατάλογος Γραφημάτων.....	10
Κατάλογος εικόνων	11
Κεφάλαιο 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	12
Κεφάλαιο 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	13
2.1 Ενεργειακή αναβάθμιση Σχολείων σε διεθνές επίπεδο	13
2.2 Ενεργειακή αναβάθμιση Σχολείων στην Κύπρο.....	18
2.3 Ενεργειακή αναβάθμιση Σχολείων στην Ελλάδα	19
Κεφάλαιο 3 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	20
3.1 Περιγραφή Λογισμικού OpenStudio.....	20
3.1.1 Εισαγωγή στο OpenStudio.....	20
3.1.2 Ξεκινώντας το OpenStudio.....	21
3.1.3 Συσχέτιση OpenStudio με Sketch up	28
3.1.4 Ολοκληρώνοντας το OpenStudio.....	31
3.2 Περιγραφή λογισμικού RETScreen	34
3.2.1 Εισαγωγή στο RETScreen	34
3.2.1 Ξεκινώντας το RETScreen	35
3.3 Περιγραφή των εξεταζόμενων σχολείων	39
3.3.1 Εισαγωγικά στοιχεία.....	40
3.3.2 3 ^ο Δημοτικό Σχολείο Ζωγράφου	40
3.3.3 1 ^ο -19 ^ο Δημοτικό Σχολείο Ζωγράφου.....	42
3.4 Σενάρια που μελετήθηκαν	45
3.4.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	45
3.4.2 Αντλία Θερμότητας.....	46
3.4.3 Βιομάζα	46
3.5 Βασικές Υποθέσεις	47
Κεφάλαιο 4:ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	48
4.1 Καθορισμός Σκοπού και Στόχου.....	48

4.2 Αποτελέσματα του λογισμικού OpenStudio.....	48
4.3 Αποτελέσματα του λογισμικού RETScreen	56
4.3.1 Φωτοβολταϊκό Σύστημα.....	56
4.3.2 Αντλία Θερμότητας.....	68
4.3.3 Βιομάζα	79
4.4 Σύγκριση Μεθόδων για τα δύο σχολεία.....	88
Κεφάλαιο 5:ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	96
INTERNET SITES	98
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	99

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρονική περίοδος που διανύουμε αποτελεί κομβικό σημείο στην ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων. Πολλά κτίρια παγκοσμίως έχουν ανακαινιστεί και αξιοποιηθεί ενεργειακά μέσω Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και άλλων ενεργειακών μεθόδων. Σε αυτά τα κτίρια τοποθετούνται και τα δημοτικά σχολεία δημόσιου χαρακτήρα και επιδέχονται άμεσης αξιοποίησης με εγκατάσταση ΑΠΕ καθώς σε αυτά βρίσκονται “ευαίσθητες ηλικίες”.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η ενεργειακή αναβάθμιση δύο δημοτικών σχολείων. Αυτό επιτυγχάνεται με την μείωση των ενεργειακών λειτουργιών σε συνδυασμό με την βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων ενεργειακών υπηρεσιών. Αρχικά, έγινε προσομοίωση του κελύφους κάθε σχολικού κτιρίου με την χρησιμοποίηση του λογισμικού OpenStudio. Στην συνέχεια, με την βοήθεια του λογισμικού του Sketch up έγινε ορισμός των θερμικών ζωνών του κάθε σχολικού κτιρίου ώστε να είναι εφικτή η συσχέτιση με το λογισμικό του OpenStudio. Με τον τρόπο αυτό βγήκαν ενεργειακά αποτελέσματα για το κάθε σχολείο και ορίστηκαν οι θερμικές, ηλεκτρικές και ψυκτικές απαιτήσεις καθώς και οι ενεργειακές απαιτήσεις για την κατανάλωση του φωτισμού.

Έπειτα, με την βοήθεια του λογισμικού RETScreen ,έγινε μελέτη σεναρίων για την ενεργειακή αναβάθμιση των εξεταζόμενων σχολικών κτιρίων. Τα σενάρια αυτά αφορούν την τοποθέτηση αντλίας θερμότητας, φωτοβολταϊκού συστήματος και συστήματος βιομάζας, Τέλος, γίνεται σύγκριση των ενεργειακών αποτελεσμάτων, τόσο για τα συστήματα του κάθε σχολείου μεμονωμένα όσο και για τα δύο σχολικά κτίρια μεταξύ τους και προτείνεται η κατάλληλη μέθοδος για το κάθε σχολείο. Μετά την ολοκλήρωση της, η εργασία θα δοθεί στα εξεταζόμενα σχολεία προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την άμεση ενεργειακή τους αναβάθμιση.

ABSTRACT

The current time period is a focal point regarding the energetic refurbishment of buildings. Many buildings worldwide have been renewed and developed into energy efficient ones through the use of Renewable Energy Sources (RES) and other energy processes. Primary schools are also, classified in such buildings, which are buildings of public nature and require immediate development as they are used by people of tender age.

This paper examines the issue of improving the energy efficiency of two elementary schools. This can be achieved with the reduction of the operation of energy systems combined with the improvement of the quality of the provided energy services. Firstly, the shell of each school was simulated with the use of OpenStudio software. Secondly, by using the Sketch up software, the thermal zones of each school were defined so as for a correlation with the OpenStudio software to be possible. This resulted to the energy outcomes of each school and so, the thermal, electric and cooling needs as well as the energy requirements for lightning consumption were defined.

Then, with the use of RETScreen software, scenarios for the energetic refurbishment of each school were examined. These scenarios include the installation of a heat pump, a photovoltaic system and a system of biomass. Finally, the energy performance, both of each school's systems, individually, as well as of the two schools together, is compared and the most suitable method for each school is suggested. After the completion of the process, the project will be passed to each of the schools in order to be applied for their direct energetic refurbishment.

Πίνακας Συντομογραφιών

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΑΤΘ: Αέρια Του Θερμοκηπίου

ΦΒ: Φωτοβολταϊκό

GEF: Παγκόσμιο Ταμείο Περιβάλλοντος

IESO: Ανεξάρτητος Διαχειριστής του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

IRR: Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης

NASA: Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος

REEEP: Σύμπραξη για την Ανανεώσιμη Ενέργεια και την Ενεργειακή Απόδοση

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Ενεργειακή κλάση και ποσοστό μείωσης κάθε μεθόδου.....	16
Πίνακας 2.2: Μηνιαία αποτελεσματικότητα μεθόδου	18
Πίνακας 2.3: Ενεργειακή κλάση και ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας	19
Πίνακας 3.1: Πίνακας Υλικών που χρησιμοποιήθηκαν	25
Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά μεγέθη του 3ου Δημοτικού Σχολείου.....	42
Πίνακας 3.3: Χαρακτηριστικά μεγέθη του 1ου-19ου Δημοτικού Σχολείου.....	44
Πίνακας 4.1: Γενικά αποτελέσματα κατανάλωσης 3ου Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου .	49
Πίνακας 4.2: Γενικά αποτελέσματα κατανάλωσης 1ου-19ου Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου	49
Πίνακας 4.3: Συνολική κατανάλωση 3ου Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου.....	54
Πίνακας 4.4: Συνολική κατανάλωση 1ου-19ου Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου	54
Πίνακας 4.5: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίου	57
Πίνακας 4.6: Μηχανικά χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίου	58
Πίνακας 4.7: Εγγυήσεις και πιστοποιήσεις Φ/Β πλαισίου.....	58
Πίνακας 4.8: Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίου	60
Πίνακας 4.9: Περιγραφή Φ/Β συστήματος.....	61
Πίνακας 4.10: Ανάλυση κόστους Φ/Β συστήματος.....	62
Πίνακας 4.11: Οικονομική ανάλυση Φ/Β συστήματος	63
Πίνακας 4.12: Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίου	65
Πίνακας 4.14: Ανάλυση κόστους Φ/Β συστήματος.....	66
Πίνακας 4.15: Οικονομική ανάλυση Φ/Β συστήματος	67
Πίνακας 4.16: Χαρακτηριστικά στοιχεία απόδοσης αντλίας.....	69
Πίνακας 4.17: Χαρακτηριστικά μονάδων και ηλεκτρικά στοιχεία αντλίας.....	70
Πίνακας 4.18: Χαρακτηριστικά αντλίας θερμότητας	71
Πίνακας 4.19: Περιγραφή συστήματος αντλιών θερμότητας και σύγκριση με βασική περίπτωση λέβητα πετρελαίου	72
Πίνακας 4.20: Ανάλυση κόστους συστήματος αντλιών θερμότητας	73
Πίνακας 4.21: Οικονομική ανάλυση συστήματος αντλιών θερμότητας.....	74
Πίνακας 4.23: Περιγραφή συστήματος αντλιών θερμότητας και σύγκριση με βασική περίπτωση λέβητα πετρελαίου	76
Πίνακας 4.24: Ανάλυση κόστους συστήματος αντλιών θερμότητας	77
Πίνακας 4.25: Οικονομική ανάλυση συστήματος αντλιών θερμότητας.....	78
Πίνακας 4.26: Χαρακτηριστικά συστήματος βιομάζας	81
Πίνακας 4.28: Ανάλυση κόστους συστήματος βιομάζας.....	82
Πίνακας 4.29: Οικονομική ανάλυση συστήματος βιομάζας	83
Πίνακας 4.30: Χαρακτηριστικά συστήματος βιομάζας	84
Πίνακας 4.31: Περιγραφή συστήματος βιομάζας και σύγκριση με λέβητα πετρελαίου	85
Πίνακας 4.32: Ανάλυση κόστους συστήματος βιομάζας.....	86
Πίνακας 5.1: Δείκτες IRR	90

Πίνακας 5.2: Αρχικά κόστη κάθε σεναρίου	90
Πίνακας 5.3: Οικονομική ανάλυση συνδυαστικού συστήματος	91
Πίνακας 5.4: Οικονομική ανάλυση συνδυαστικού συστήματος	92

Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 2.1: Σύγκριση αποπληρωμής – χρόνου ζωής έργου(Energy Procedia Οκτώβριος 2014)	14
Γράφημα 2.2: Σύγκριση καθαρής παρούσας αξίας – επένδυση έργου (Energy Procedia Οκτώβριος 2014)	14
Γράφημα 2.3: Σύγκριση μείωσης στα δύο σχολεία (Energy Buildings Οκτώβριος 2015)	15
Γράφημα 2.4: Σύγκριση μηνιαίων ποσοστών μείωσης	17
Γράφημα 4.1: Γενικά αποτελέσματα κατανάλωσης 3 ^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου	50
Γράφημα 4.2: Γενικά αποτελέσματα κατανάλωσης 1 ^{ου} -19 ^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου	50
Γράφημα 4.3 Μηνιαία κατανάλωση θέρμανσης	51
Γράφημα 4.4 Μηνιαία κατανάλωση ψύξης	51
Γράφημα 4.5 Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικών συσκευών και φωτισμού	52
Γράφημα 4.6 Μηνιαία κατανάλωση θέρμανσης	52
Γράφημα 4.7 Μηνιαία κατανάλωση ψύξης	53
Γράφημα 4.8 Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικών συσκευών και φωτισμού	53
Γράφημα 4.9:Καμπύλη αθροιστικών χρηματορροών Φ/Β συστήματος	63
Γράφημα 4.10:Καμπύλη αθροιστικών χρηματορροών Φ/Β συστήματος	68
Γράφημα 4.11:Καμπύλη αθροιστικών χρηματορροών συστήματος αντλιών θερμότητας	74
Γράφημα 4.12:Καμπύλη αθροιστικών χρηματορροών συστήματος αντλιών θερμότητας	78
Γράφημα 4.13:Καμπύλη αθροιστικών χρηματορροών συστήματος βιομάζας	83
Γράφημα 4.14:Καμπύλη αθροιστικών χρηματορροών συστήματος βιομάζας	88
Γράφημα 4.15:Γράφημα σύγκρισης IRR	89
Γράφημα 4.16:Γράφημα σύγκρισης Χρόνου Απόσβεσης	89
Γράφημα 5.1:Καμπύλη αθροιστικών χρηματορροών συνδυαστικού συστήματος	92
Γράφημα 5.2:Καμπύλη αθροιστικών χρηματορροών συνδυαστικού συστήματος	94

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 3.1: Αρχική εικόνα του λογισμικού OpenStudio	Error! Bookmark not defined.
Εικόνα 3.2: Χρήση κάθε γραμμής του λογισμικού OpenStudio.....	21
Εικόνα 3.3 Τοποθεσία και καιρικές συνθήκες.....	22
Εικόνα 3.4 Χρονοδιάγραμμα κατανάλωσης αίθουσας.....	23
Εικόνα 3.6 Χρονοδιάγραμμα θέρμανσης χώρου	24
Εικόνα 3.7 Γραμμή κατασκευών στο λογισμικό OpenStudio	26
Εικόνα 3.8 Γραμμή space types του λογισμικού OpenStudio	27
Εικόνα 3.10 Παράδειγμα σχεδιασμού παραθύρων και πόρτας σε μία αίθουσα	28
Εικόνα 3.11 Inspector tool.....	30
Εικόνα 3.12 Γραμμές προσανατολισμού κτιρίου	30
Εικόνα 3.13: Γενικό περιβάλλον υποθέσεων του λογισμικού OpenStudio	32
Εικόνα 3.14 Γενικό περιβάλλον επιτυχής προσομοίωσης του λογισμικού OpenStudio.....	33
Εικόνα 3.15: Γενικό περιβάλλον του λογισμικού RETScreen.....	34
Εικόνα 3.16: Αρχική εικόνα του λογισμικού RETScreen.....	35
Εικόνα 3.17: Τοποθεσία εγκατάστασης.....	36
Εικόνα 3.19: Πληροφορίες καρτέλας Εγκατάστασης	38
Εικόνα 3.20: Αρχικά βήματα επεξεργασίας των σχολείων	40
Εικόνα 3.21: Φωτογραφία εσωτερικής αυλής 3 ^{ου} Δημοτικού Σχολείου	41
Εικόνα 3.22: Φωτογραφία ταράσας 3 ^{ου} Δημοτικού Σχολείου.....	41
Εικόνα 3.23: Φωτογραφία 3 ^{ου} Δημοτικού Σχολείου μέσω Sketch up	42
Εικόνα 3.24: Φωτογραφία ταράσας 1 ^{ου} -19 ^{ου} Δημοτικού Σχολείου	43
Εικόνα 3.25: φωτογραφία όψης 1 ^{ου} -19 ^{ου} Δημοτικού Σχολείου	43
Εικόνα 3.26: Φωτογραφία 1 ^{ου} -19 ^{ου} Δημοτικού Σχολείου μέσω Sketch up.....	44
Εικόνα 3.27: Κλιματικές Ζώνες Ελλάδος	44
Εικόνα 3.27: Ενδεικτική εικόνα φωτοβολταϊκού συστήματος σε σχολείο	45
Εικόνα 3.28: Γενική εικόνα λειτουργίας αντλίας θερμότητας	46
Εικόνα 3.29: Γενική εικόνα χρησιμοποίησης λέβητα βιομάζας.....	47
Εικόνα 4.1: Γενικό περιβάλλον επιτυχής προσομοίωσης του λογισμικού OpenStudio.....	48
Εικόνα 4.2: Φωτογραφία εξεταζόμενου Φ/Β πλαισίου (energyage.com)	56
Εικόνα 4.3: Φωτογραφία μετατροπέα (inverter)	59
Εικόνα 4.4:Τοποθεσία 3 ^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου από RETScreen.....	59
Εικόνα 4.5:Τοποθεσία 1 ^{ου} -19 ^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου από RETScreen	64
Εικόνα 4.6:Φωτογραφία Αντλίας Θερμότητας	68
Εικόνα 4.7:Τοποθεσία 3 ^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου από RETScreen.....	70
Εικόνα 4.8:Φωτογραφία υπάρχοντος συστήματος λέβητα πετρελαίου του 3 ^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου	72
Εικόνα 4.9:Τοποθεσία 1 ^{ου} -19 ^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου από RETScreen	75
Εικόνα 4.9:Φωτογραφίες υπάρχοντος συστήματος λέβητα πετρελαίου του 1 ^{ου} -19 ^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου	76
Εικόνα 4.10: Φωτογραφία στεγασμένου κάδου αποθήκευσης τριμάτων	79
Εικόνα 4.11: Τμήματα παραγωγής συστήματος βιομάζας.....	80
Εικόνα 4.12:Τοποθεσία 3 ^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου από RETScreen.....	80
Εικόνα 4.13:Τοποθεσία 1 ^{ου} -19 ^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου από RETScreen	84

Κεφάλαιο 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Η ενεργειακή κρίση που ξεκίνησε στα μέσα του 20^{ου} αιώνα γιγαντώθηκε και συνεχίστηκε με γεωμετρική πρόοδο στην σημερινή εποχή. Για τον λόγο αυτό ο ενεργειακός παράγοντας αποτελεί έναν από τους καθοριστικότερους για τον σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου ισοδυναμεί με την μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων, με ταυτόχρονη διατήρηση ή ακόμα και βελτίωση των υφιστάμενων ενεργειακών υπηρεσιών. Επομένως, για να μπορέσει να λειτουργήσει ένα κτίριο ως βιοκλιματικό, θα πρέπει να λειτουργεί ως <<αποθήκη θερμότητας>> και ως <<φυσικός ηλιακός συλλέκτης>>.

Ως κτίρια δημόσιου χαρακτήρα χαρακτηρίζονται και τα Δημοτικά Σχολεία. Η ενεργειακή τους βελτίωση και αυτονομία θα λειτουργήσει ευεργετικά τόσο για την άνεση των εκπαιδευτικών όσο και για το γεγονός ότι τα παιδιά θα αποτελέσουν φορείς διάδοσης νέων πρακτικών και τεχνολογιών.

Στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) κατατάσσονται η ηλιακή, η αιολική, η υδραυλική, η γεωθερμική και η βιομάζα και αποτελούν μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας καθώς προέρχονται από φυσικές διαδικασίες και είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Η συμβολή των ΑΠΕ στην αειφόρο ανάπτυξη και στην προστασία του περιβάλλοντος είναι ευρέως αναγνωρισμένη τα τελευταία χρόνια καθώς μέσω της εξέλιξης τους υπάρχει μείωση των οικολογικών προβλημάτων όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και το φαινόμενο της όξινης βροχής.

Στα πλαίσια της προσπάθειας για ενεργειακή εξοικονόμηση με βάση τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, θα γίνει αξιοποίηση ΑΠΕ για την ενεργειακή αναβάθμιση σχολικών κτιρίων.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ενεργειακή αναβάθμιση δύο σχολικών κτιρίων, ενός παλιού χτισμένου την δεκαετία του 1970 και ενός νεόδμητου και εν συνεχεία η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των σχολείων. Η ενεργειακή αναβάθμιση έγινε με βάση βιοκλιματικά κριτήρια που έχουν ως στόχο την βελτίωση και την αναβάθμιση των συνθηκών θερμικής άνεσης και την μείωση των καταναλώσεων ενέργειας.

Κεφάλαιο 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Ενεργειακή αναβάθμιση Σχολείων σε διεθνές επίπεδο

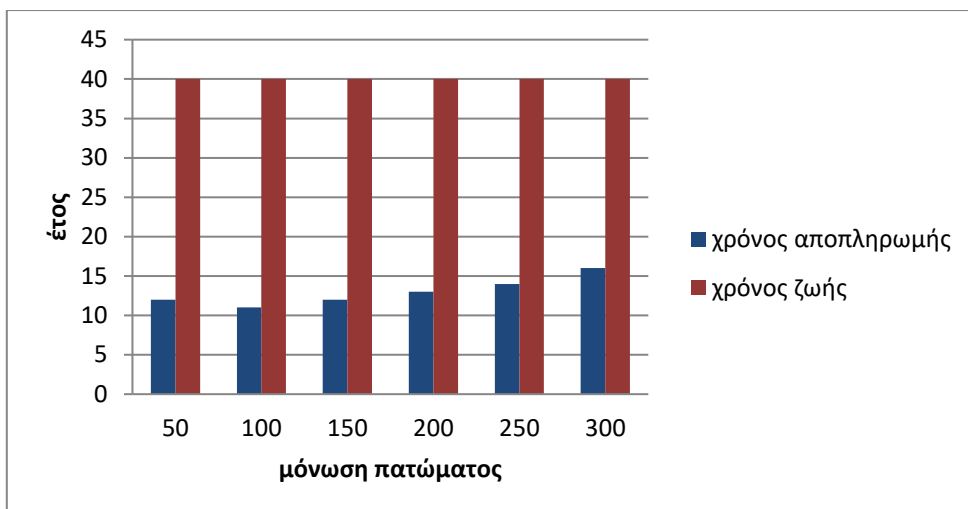
Με την συνεχόμενη τεχνολογική ανάπτυξη και την παράλληλη αύξηση του πληθυσμού είναι γεγονός ότι οι απαιτήσεις σε ενέργεια συνεχώς αυξάνονται. Για να μπορέσουν λοιπόν να μειωθούν τα περιβαλλοντικά ζητήματα όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η όξινη βροχή, η ρύπανση του αέρα κ.α., θα πρέπει να αξιοποιηθούν σε μεγαλύτερο βαθμό οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε σχέση με τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα σε όλους τους τομείς της ενέργειας.

Το βήμα αυτό της ενεργειακής εξοικονόμησης έχει αναπτυχθεί έντονα τόσο σε διεθνές όσο και σε εθνικό επίπεδο. Όσο αφορά την χρήση ΑΠΕ σε σχολεία δημόσιου χαρακτήρα, έχουν γίνει μεγάλα έργα βιώσιμης ανάπτυξης.

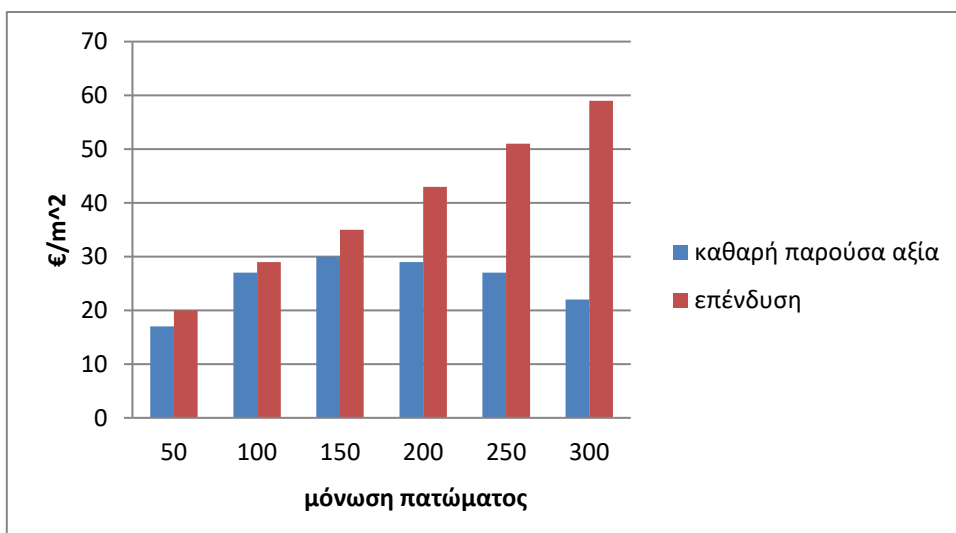
Ένα πρώτο παράδειγμα που αφορά την κατανάλωση ενέργειας για την ανάπτυξη της βιωσιμότητας, έγινε σε σχολεία που βρίσκονται σε κλίματα όπως της Νορβηγίας, της Γερμανίας της Δανίας και της Ιταλίας.

Το όνομα του project ονομάζεται “School of the Future” και σε αυτό χρησιμοποιείται το λογισμικό πρόγραμμα ASCOT. Το πρόγραμμα αυτό είναι ένα εργαλείο αξιολόγησης για επιπλέον κόστος κατασκευής στην ανακαίνιση του κτιρίου. Ο σκοπός του εργαλείου ASCOT είναι να βοηθήσει τον χρήστη στην αξιολόγηση, και έτσι να βελτιστοποιήσει το οικονομικό κόστος ενός κτιρίου σε σχέση με τα θέματα της βιώσιμης ανάπτυξης. Το εργαλείο υπολογισμού ASCOT λειτουργεί αποδοτικά και είναι δυνατό να παρουσιάσει και να συγκρίνει την επίδραση πολλών διαφορετικών τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας.

Τέλος, το μοντέλο ASCOT επιτρέπει τη σύγκριση ανάμεσα σε ένα παραδοσιακό κτίριο και σε ένα ανακαινισμένο. Προορίζεται κυρίως για χρήση στο αρχικό στάδιο της διαδικασίας σχεδιασμού. Τα αποτελέσματα του μοντέλου (γράφημα 2.1, γράφημα 2.2), δείχνουν ότι μπορεί να γίνει εξοικονόμηση χρημάτων ενώ παράλληλα οι ενεργειακές απαιτήσεις των σχολείων να μειωθούν έως και 70%.



Γράφημα 2.1: Σύγκριση αποπληρωμής – χρόνου ζωής έργου (Energy Procedia, Morck et al., Οκτώβριος 2014)



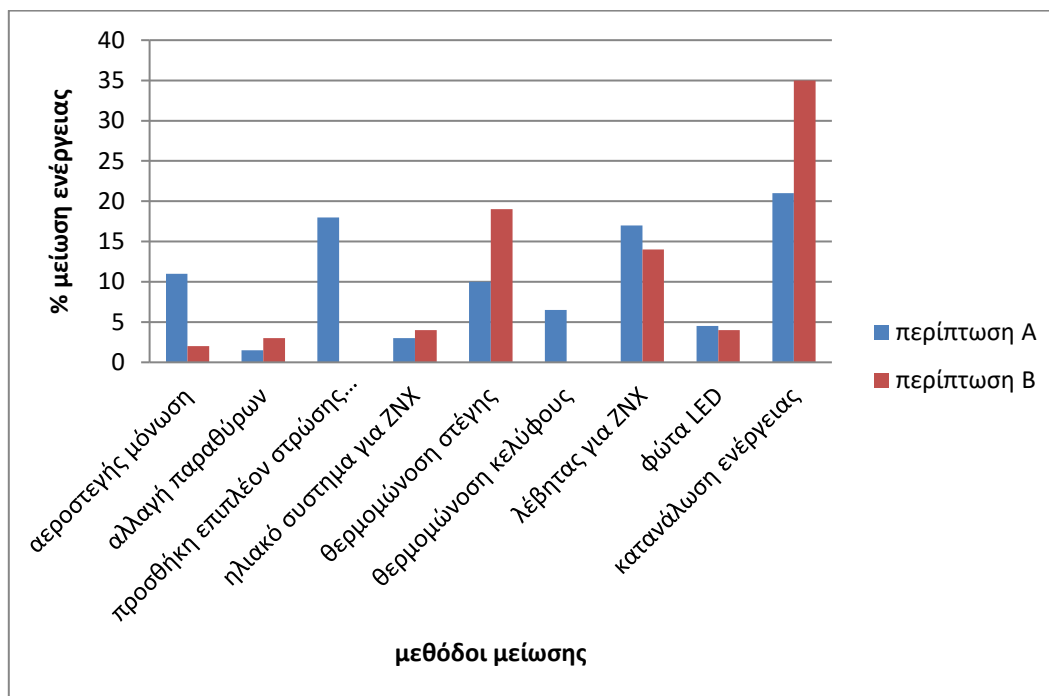
Γράφημα 2.2: Σύγκριση καθαρής παρούσας αξίας – επένδυση έργου (Energy Procedia, Morck et al., Οκτώβριος 2014)

Το επόμενο παράδειγμα της ενεργειακής αναβάθμισης των σχολικών κτιρίων αφορά δύο σχολικά κτίρια στο Ιράν και αναλύθηκε από τους Tahsildoost et al.

Η βασική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στα σχολικά κτίρια αυτά αποτελείται από την θερμική καταγραφή δεδομένων και περιλαμβάνει παράλληλα ένα βοηθητικό πρόγραμμα. Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιεί έναν βαθμονομημένο προσομοιωτή μέσω του οποίου γίνεται καταγραφή της κατανάλωσης πριν και μετά την αναβάθμιση του σχολείου, ενώ παράλληλα γίνεται επιμέρους αξιολόγηση των δυνατοτήτων εξοικονόμησης ενέργειας.

Η διαδικασία της μεθόδου αποτελείται από τρία βήματα. Στο πρώτο βήμα γίνεται συλλογή προκαταρκτικών στοιχείων σε σχέση με την ετήσια κατανάλωση ενέργειας σε κάθε περίπτωση σχολείου, στο δεύτερο βήμα γίνεται υπολογισμός της ετήσιας χρήσης ενέργειας χρησιμοποιώντας το Designbuilder ως λογισμικό για την εύρεση της ωριαίας ενέργειας προσομοίωσης. Τέλος, εξάγονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των μέτρων που έχουν ληφθεί στα προηγούμενα βήματα.

Με βάση τα εξαγόμενα αποτελέσματα, τα συμπεράσματα που προκύπτουν για τα δύο συγκεκριμένα σχολεία στο Ιράν δείχνουν(γράφημα 2.3) ότι υπάρχει μείωση των ενεργειακών αναγκών πάνω από 30%.



Γράφημα 2.3: Σύγκριση μείωσης στα δύο σχολεία (Energy Buildings, Tahsildoost et al., Οκτώβριος 2015)

Στην συνέχεια παρουσιάζεται μία πρόσφατη μελέτη που αφορά την ενεργειακή αναβάθμιση και την βιωσιμότητα σχολικών κτιρίων που έγινε τον Ιούλιο του 2015 από τους Carozzoli et al., και αφορά σχολεία που βρίσκονται στο βόρειο τμήμα της Ιταλίας.

Για την ανάλυση της μεθόδου αυτής χρησιμοποιούνται δύο λογισμικά για την εύρεση των επιμέρους αποτελεσμάτων. Το πρώτο ονομάζεται MLR και αποτελεί ένα μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης ενώ το δεύτερο είναι ένα μοντέλο παλινδρόμησης τύπου δέντρου και ονομάζεται CART. Κατά την υλοποίηση των μετρήσεων και των αναλύσεων στα σχολεία και τα δύο μοντέλα συγκρίθηκαν με όρους απόλυτου και μέσου σφάλματος καθώς και με ποσοστό απόλυτου σφάλματος. Η ανάλυση διαπίστωσε ότι η κατανάλωση θερμικής ενέργειας των εξεταζόμενων σχολικών κτιρίων επηρεάζεται από το ακαθάριστο θερμαινόμενο όγκο, τις επιφάνειες μεταφοράς θερμότητας, το μέγεθος του λέβητα, και την θερμοπερατότητα των

παραθύρων. Πιο αναλυτικά, το μοντέλο MLR έχει επαρκή ικανότητα εκτίμησης και επισημαίνεται ότι 16 από τα 27 εξεταζόμενα σχολεία δείχνουν μια αναμενόμενη κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης που είναι χαμηλότερη από την πραγματική τιμή. Από την άλλη το μοντέλο CART βασίζεται σε δυαδικά κριτήρια ως προς την συνάρτηση των μεταβλητών που επηρεάζουν την μέθοδο. Τα αποτελέσματα που ανάγονται βάση των δύο μεθόδων, MLR και CART δείχνουν ότι για τα εξεταζόμενα σχολεία μπορεί να επιτευχθεί ενεργειακή απόδοση μέχρι και 50%.

Εκτός από την Βόρεια Ιταλία, έχουν γίνει επίσης μελέτες για την ενεργειακή αναβάθμιση σχολικών κτιρίων από τους Lassandroa et al., που αφορούν σχολικά συγκροτήματα στην Νότια Ιταλία χτισμένα τη δεκαετία του 1920-1930. Για να ληφθούν αποφάσεις σε σχέση με την θέρμανση και τις ανάγκες του κτιρίου ακολουθήθηκε η μέθοδος που περιλαμβάνει εμπλοκή των μαθητών. Αρχικά έγιναν αναλύσεις μέσω θερμοκαμερών για την ανίχνευση θερμικών γεφυρών. Στην συνέχεια έγινε υπολογιστική προσομοίωση του σχολείου μέσω του λογισμικού ECOTECT και τα αποτελέσματα του λογισμικού είναι διαθέσιμα σε εικονική περιήγηση ενώ παράλληλα το δείγμα φωτισμού προσομοιώθηκε με το λογισμικό RELUX. Οι ενεργειακές απαιτήσεις του σχολείου καλύφθηκαν με σύστημα θέρμανσης, σύστημα σκίασης, σύστημα φωτισμού, αντικατάσταση παραθύρων, μόνωση του τοίχου και επιτεύχθηκε εξοικονόμηση ενέργειας από 2%-98% ανάλογα το σύστημα (πίνακας 2.1).

Πίνακας 2.1: Ενεργειακή κλάση και ποσοστό μείωσης κάθε μεθόδου (Energy Procedia, Τεύχος 78, Lassandroa et al., Νοέμβριος 2015)

Είδος παρέμβασης	κατανάλωση (kWh/m ³ έτος)	Ενεργειακή κλάση	Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας %
Σύστημα θέρμανσης	24,98	F	30,2
Μόνωση Εξωτερικών τοίχων	31,51	G	12,0
Τοποθέτηση αντλίας θερμότητας	18,18	E	49,2
Σύνδεση αντλίας θερμότητας με ηλιακά πάνελ	0,65	A+	98,2
Μόνωση εξωτερικών παραθύρων	32,25	G	1,6
Μόνωση ταράτσας	30,59	G	14,6
Αλλαγή παραθύρων	34,04	G	4,9

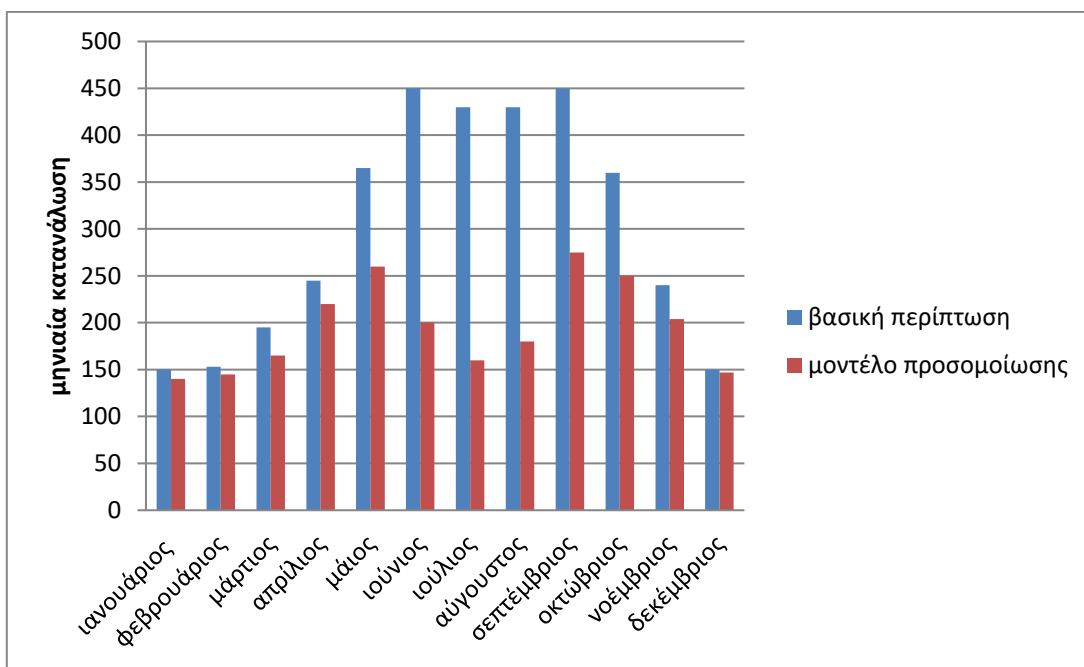
Στο Βέλγιο μελετήθηκε το 2014 από τους Wauman et al., με σκοπό την ενεργειακή αυτονομία σχολικών κτιρίων. Η επίδραση της μεταβλητότητας των δεδομένων

εισόδου σε υπολογισμούς ενεργειακής ζήτησης μελετάται χρησιμοποιώντας το δυναμικό πρόγραμμα οικοδόμησης ενέργειας προσομοίωσης πολλαπλών ζωνών TRNSYS. Παράλληλα, έγινε και παραγωγή των διάφορων στοιχείων μέσω MATLAB και αυτό διότι υπάρχει άμεση σύζευξη με το λογισμικό TRNSYS.

Τέλος, στην έξοδο γίνεται εξέταση για τα ζητήματα θέρμανσης και ψύξης του σχολείου. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν δείχνουν ότι η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε δείχνουν σχετική ανακρίβεια αλλά είναι ιδιαίτερα ενδιαφέροντα για τον καθορισμό περαιτέρω στόχων και τελειοποίησης της μεθόδου.

Είναι γεγονός ότι τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα αποτελούν σημείο συνεχούς τεχνολογικής προόδου. Εγίνε λοιπόν, μία μελέτη [AlFaris et al. 2016] στην Ισπανία μέσω της οποίας έχει αναπτυχθεί ένα προσαρμοσμένο πρόγραμμα διαχείρισης ενέργειας για ένα από τα σχολεία στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα. Ο τρόπος λειτουργίας της μεθόδου είναι μέσω τεχνικής θερμικής μοντελοποίησης.

Κατά το πρώτο στάδιο γίνεται συλλογή δεδομένων για τη διερεύνηση των ενεργειακών συστημάτων, τις συμπεριφορές των μαθητών και τις συνθήκες λειτουργίας ενώ το δεύτερο στάδιο της προσέγγισης είναι να προβεί σε λεπτομερή ενεργειακό έλεγχο. Με βάση τα παραπάνω βήματα παρατηρείται ότι η ενεργειακή απόδοση του σχολείου στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα θα μπορούσε να βελτιωθεί μέχρι και 35%(γράφημα 2.4).



γράφημα 2.4: Σύγκριση μηνιαίων ποσοστών μείωσης
(Journal of Cleaner Production, AlFaris et al., Νοέμβριος 2016)

Η επόμενη μελέτη παρουσιάστηκε από μία ομάδα Ρώσων μηχανικών, τους Nefedova et al., στο διεθνές επιστημονικό συνέδριο αστικών έργων πολιτικού μηχανικού το 2015 και αφορά την ενεργειακή αναβάθμιση ενός σχολείου στην πόλη της Αρμενίας.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα αυτή έγινε με την χρήση του λογισμικού Autodesk Developer Network, το οποίο είναι ένα λογισμικό υψηλής κατασκευαστικής και μηχανικής ανάλυσης. Αναλυτικότερα, στο σχολείο αυτό αντλήθηκαν θερμογραφικά δεδομένα και θεωρήθηκε απαραίτητη η προσθήκη ηλιακών πάνελ λόγω του προσανατολισμού του και των συνθηκών της περιοχής. Έπειτα έγινε μηνιαία καταγραφή θερμοκρασιών και της ηλιακής ακτινοβολίας και βρέθηκε η μηνιαία ενεργειακή απόδοση (πίνακας 2.2) . Τα αποτελέσματα της μεθόδου δείχνουν ενεργειακή εξοικονόμηση 58%.

Πίνακας 2.2: Μηνιαία αποτελεσματικότητα μεθόδου (Energy Procedia, Nefedova et al., Αύγουστος 2015)

Μήνας	Εξωτερική Θερμοκρασία (°C)	Ηλιοφάνεια (kWh/m ²)	Μηνιαία Αποτελεσματικότητα (%)
Ιανουάριος	0,7	2,0	39,8
Φεβρουάριος	2,3	2,9	46,8
Μάρτιος	7,2	3,9	51,4
Απρίλιος	15,9	4,7	54,5
Μάιος	22,0	5,7	56,5
Ιούνιος	26,9	6,8	57,8
Ιούλιος	30,1	6,8	58,1
Αύγουστος	30,1	6,0	57,8
Σεπτέμβριος	24,9	5,0	56,3
Οκτώβριος	17,2	3,5	52,6
Νοέμβριος	9,3	2,3	45,5
Δεκέμβριος	2,5	1,7	36,9

2.2 Ενεργειακή αναβάθμιση Σχολείων στην Κύπρο

Οι Katafygiotou and Serghides το 2013 έκαναν εκτενή μελέτη για ένα σχολείο που αναβαθμίστηκε ενεργειακά στην Κύπρο. Σε όλα τα σχολεία δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Κύπρο συμπληρώθηκαν από τα παιδιά ερωτηματολόγια σχετικά με τις κατασκευαστικές τεχνικές, την θέρμανση, τον ηλεκτρισμό και την κατανάλωση πετρελαίου. Μετέπειτα, από τα ερωτηματολόγια, εξετάστηκε ο σχεδιασμός του σχολείου με την βοήθεια παραμετρικών προσομοιώσεων χρησιμοποιώντας το λογισμικό iSBEMcy, το οποίο είναι ένα λογισμικό που χρησιμοποιείται για την κατηγοριοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂ .

Το λογισμικό υπολογίζει την κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου και καταλήγει στο πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης της, η οποία αναφέρει την ενεργειακή κατηγοριοποίηση του κτιρίου .Το λογισμικό iSBEMcy υπολογίζει την κατανάλωση σε μηνιαία και όχι σε ωριαία βάση. Με βάση αυτό δημιουργήθηκαν έξι σενάρια για την ενεργειακή αναβάθμιση του σχολείου. Κάθε σενάριο (πίνακας 2) που εκτελέστηκε

μέσω του λογισμικού έχει θετικά αποτελέσματα και αυτά κυμαίνονται από 4%-48% ανάλογα με τη μέθοδο της ενεργειακής αναβάθμισης που ακολουθήθηκε.

Πίνακας 2.3: Ενεργειακή κλάση και ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας (Energy Buildings, Katafygiotou et al., Απρίλιος 2014)

Σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας	Ενεργειακή κλάση	Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας %
Μόνωση με 5cm πολυστερίνης στην ταράτσα	D	16,5
Μόνωση με 5cm πολυστερίνης στην ταράτσα και στους τοίχους	C	31,9
Αλλαγή μονών παραθύρων με διπλά	D	3,6
Αντικατάσταση των κλιματιστικών τύπου split unit	B	47,5
Αύξηση της απόδοσης του συστήματος ψύξης και θέρμανσης	C	23,5
Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ στην ταράτσα	D	10,6

2.3 Ενεργειακή αναβάθμιση Σχολείων στην Ελλάδα

Όσο αφορά την περίπτωση της Ελλάδας, έχει γίνει μελέτη από τους Stavrakakis et al., το 2016 η οποία παρουσιάζει μια μέθοδο για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης για δύο τυπικά σχολεία δημόσιου χαρακτήρα της δεκαετίας του 1980 στο Δήμο Αιγάλεω της Αθήνας.

Για την υλοποίηση της μεθόδου χρησιμοποιήθηκαν θερμικές κάμερες για την εύρεση των θερμικών απωλειών των σχολείων. Για την μοντελοποίηση των σχολείων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Designbuilder και στην συνέχεια έγινε προσομοίωση μέσω του λογισμικού EnergyPlus για να βρεθούν οι απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης.

Τέλος, έγιναν προσθήκες διαφόρων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) για περαιτέρω μείωση του ενεργειακού φορτίου και το πιο αποτελεσματικό σενάριο φτάνει σε εξοικονόμηση της τάξεως του 72,5%.

Κεφάλαιο 3 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Περιγραφή Λογισμικού OpenStudio

3.1.1 Εισαγωγή στο OpenStudio



Εικόνα 3.1: Γενικό περιβάλλον του λογισμικού OpenStudio

Το αρχικό λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ενεργειακή μοντελοποίηση του κτιρίου είναι το OpenStudio 1.12.0 το οποίο είναι ανεπτυγμένο από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών (NREL - National Renewable Energy Laboratory) και είναι ένα εργαλείο που διατίθεται δωρεάν (LGPL) για την διευκόλυνση της ανάπτυξης και της υιοθέτησης του από τον ιδιωτικό τομέα.

Το λογισμικό αυτό διαθέτει εργαλεία για την στήριξη ολόκληρης της ενεργειακής μοντελοποίησης ενός κτιρίου. Πιο αναλυτικά, το OpenStudio είναι το εργαλείο το οποίο χρησιμοποιεί την γεωμετρία που έχει δημιουργηθεί προηγουμένως μέσω του Sketch up και στην συνέχεια της προσδίδει τόσο κατάλληλα φορτία και συστήματα κλιματισμού και θέρμανσης κάθε χώρου ξεχωριστά καθώς επίσης και θερμοφυσικά χαρακτηριστικά. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά και συστήματα υφίστανται προσομοίωση μέσω του μεγάλου όγκου δεδομένων που είναι ενσωματωμένο στο EnergyPlus. Με το πέρας της σχεδίασης του κτιριακού μοντέλου και των επιμέρους ρυθμίσεων στο πρόγραμμα του Sketch up, ακολουθούν οι αντίστοιχες ρυθμίσεις στο EnergyPlus.

Επιπλέον, ο χρήστης έχει στην διάθεση του την ικανότητα να μοντελοποιήσει και να αλλάξει μόνος του τα χαρακτηριστικά του κελύφους και του εσωτερικού του κτιρίου.

Ακόμα, έχει την δυνατότητα να ορίζει τον χρόνο τον οποίο δαπανάται και την ενέργεια είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους καθώς δίνεται η δυνατότητα να εμφανίζονται αποτελέσματα τα οποία επιλέγει ο χρήστης ανά κατηγορία.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του λογισμικού αυτού είναι:

- Εύκολη μοντελοποίηση .
- Περιέχει ένα διαδραστικό περιβάλλον που βοηθάει τον χρήστη σε μία εξορθολογισμένη καθοδήγηση .
- Περιλαμβάνει διάφορες βάσεις δεδομένων οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πλήθος περιπτώσεων.
- Επιλογή δελτίου καιρού για οποιαδήποτε προς εξέταση περιοχή.
- Κατανομή πολλαπλών διαδικασιών και εξαγόμενων πληροφοριών.
- Αναλυτική περιγραφή λάθους ώστε να μπορεί να υπάρξει άμεση διόρθωση.

3.1.2 Ξεκινώντας το OpenStudio

Κατά την εκκίνηση του λογισμικού του OpenStudio, στην αριστερή πλευρά της οθόνης βρίσκονται καθορισμένες γραμμές εργαλείων μέσω των οποίων γίνεται εισαγωγή δεδομένων για το κάθε σχολικό κτίριο που θέλουμε να γίνει η προσομοίωση. Στην εικόνα 3.2, φαίνεται η λειτουργία της κάθε γραμμής ξεχωριστά.



Τοποθεσία (Site)

Χρονοδιαγράμματα (Schedules)

Κατασκευές (Constructions)

Φορτία (Loads)

Είδη χώρων (Space Types)

Εγκατάσταση (Facility)

Θερμικές ζώνες (Thermal Zones)

Συστήματα θέρμανσης ,αερισμού, κλιματισμού (HVAC)

Μεταβλητές εξόδου (Output Variables)

Ρυθμίσεις προσομοίωσης (Simulation Settings)

Υποθέσεις (Measures)

Έναρξη προσομοίωσης (Run Simulation)

Συνοπτικά αποτελέσματα (Results Summary)

Εικόνα 3.2: Χρήση κάθε γραμμής του λογισμικού OpenStudio

Ως επί το πλείστον, η διαδικασία της εισαγωγής δεδομένων ξεκινάει με την συμπλήρωση των γραμμών από την πάνω προς τα κάτω. Αυτό όμως δεν αποτελεί θεμελιώδη κανόνα του λογισμικού καθώς σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή είναι εφικτή η επιστροφή σε κάποια γραμμή είτε για να γίνει προσθήκη δεδομένων είτε για την τροποποίηση δεδομένων.

i. Τοποθεσία (Site)

Βασική προϋπόθεση για τη σωστή μοντελοποίηση του κτιρίου μας είναι η επισήμανση της τοποθεσίας του, καθώς και οι καιρικές συνθήκες που την χαρακτηρίζουν. Από τα μετεωρολογικά δεδομένα που βρίσκονται στην ιστοσελίδα του EnergyPlus.gov προστέθηκε το αρχείου καιρού (Athens) με σκοπό να ληφθούν υπόψη οι εξωτερικές συνθήκες του πιο κοντινού μετεωρολογικού κέντρου.

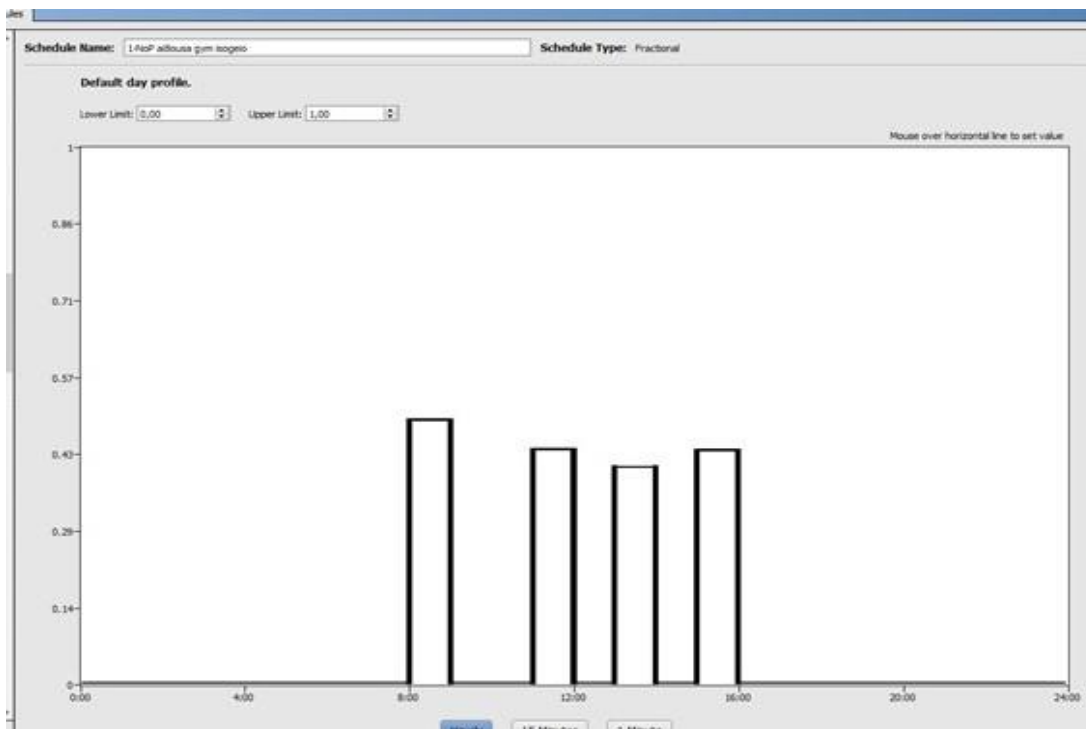
The screenshot shows the EnergyPlus software interface with the 'Weather File & Design Days' tab selected. The 'Weather File' section contains the following information: Name: ATHENS, Latitude: 37.9, Longitude: 23.73, Elevation: 15, Time Zone: 2. There is a 'Change Weather File' button and a link to download weather files at www.energyplus.gov. The 'Measure Tags (Optional)' section includes dropdown menus for 'ASHRAE Climate Zone' and 'CEC Climate Zone'. The 'Select Year by:' section has two radio buttons: 'Calendar Year' (selected, set to 2000) and 'First Day of Year' (set to Sunday). The 'Daylight Savings Time' section has a toggle switch set to 'off'. The 'Starts' and 'Ends' sections have radio buttons for 'Define by Day of The Week And Month' and 'Define by Date'.

Εικόνα 3.3 Τοποθεσία και καιρικές συνθήκες

ii. Χρονοδιαγράμματα (Schedules)

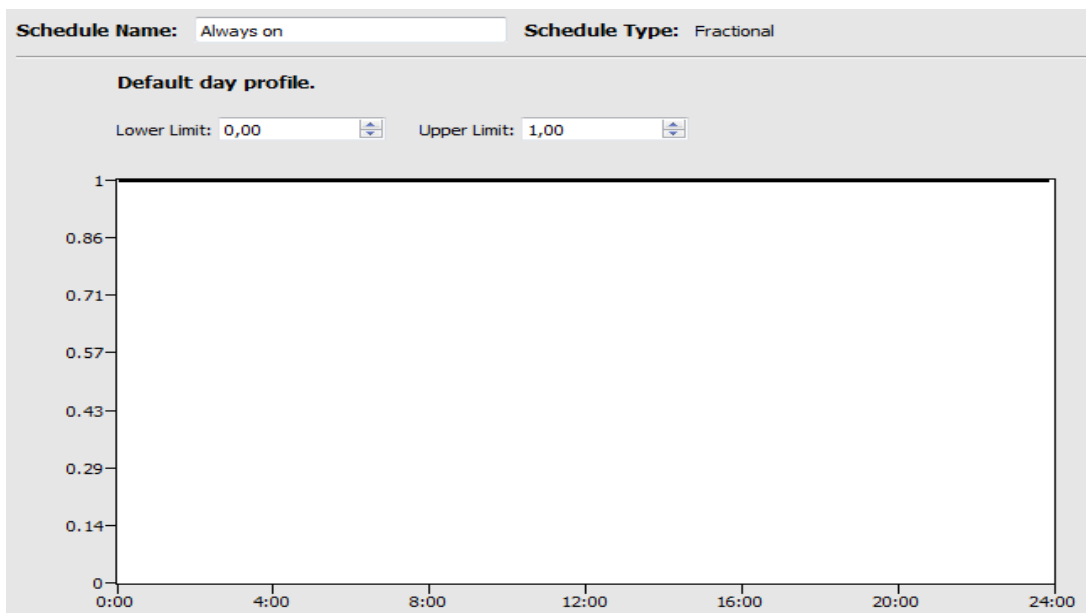
Η γραμμή με τα χρονοδιαγράμματα χωρίζεται σε δύο υποκαρτέλες. Στην δεύτερη υποκαρτέλα, έγινε ορισμός του χρονικού ορίου της προσομοίωσης μας, δηλαδή από 1 Σεπτεμβρίου μέχρι 30 Ιουνίου. Επιπλέον, στην καρτέλα αυτή έγινε εισαγωγή της ημερήσιας κατανάλωσης φώτων, εξοπλισμού καθώς και ανθρώπινης

καταναλισκόμενης ενέργειας σε κάθε ένα χώρο του σχολικού κτιρίου που είναι κάθε φορά για προσομοίωση.

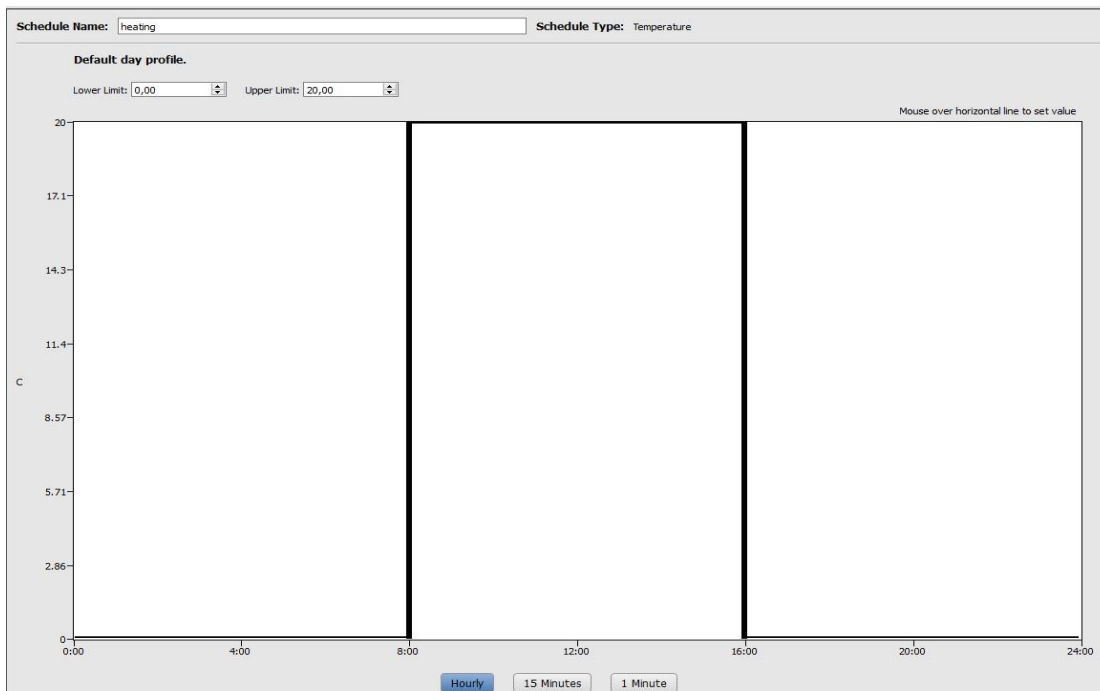


Εικόνα 3.4 Χρονοδιάγραμμα κατανάλωσης αίθουσας

Τέλος είναι πολύ σημαντικό να οριστεί ο μηχανισμός του αερισμού στο 100% καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας καθώς επίσης και η θέρμανση τις ημέρες που λειτουργεί θα ρυθμίζεται στους 20 °C κατά την διάρκεια λειτουργίας του σχολικού κτιρίου.



Εικόνα 3.5 Χρονοδιάγραμμα αερισμού χώρου



Εικόνα 3.6 Χρονοδιάγραμμα θέρμανσης χώρου

Έπειτα, στην πρώτη υποκαρτέλα γίνεται ομαδοποίηση των χρονοδιαγραμμάτων που ήδη έχουν δημιουργηθεί για κάθε χώρο ξεχωριστά έτσι ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν στην συνέχεια στην διαδικασία της μοντελοποίησης.

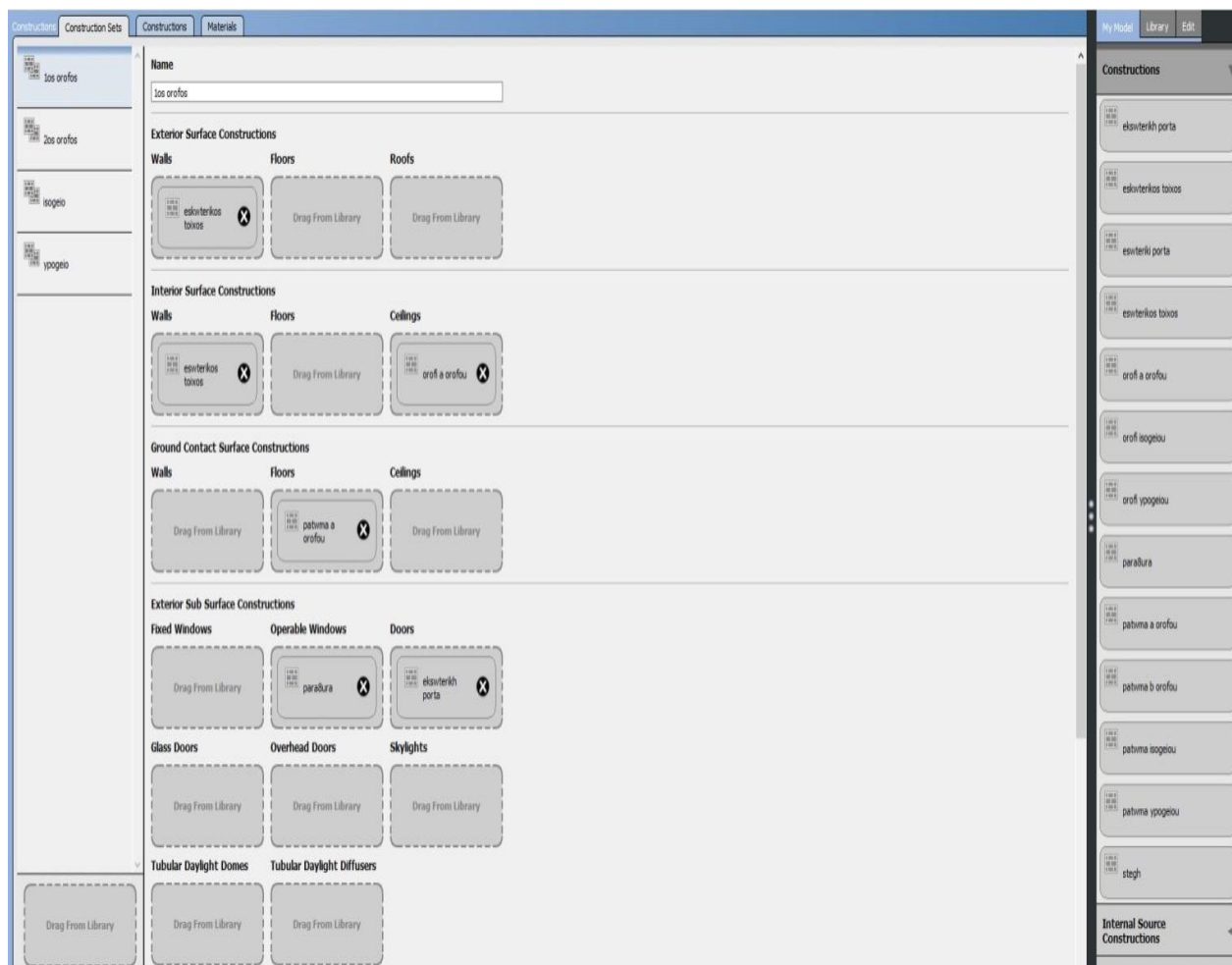
iii. Κατασκευές (constructions)

Η γραμμή με την κατηγορία Κατασκευές χωρίζετε σε τρεις υποκαρτέλες. Ξεκινώντας από την τρίτη προς την πρώτη εισήχθησαν τα υλικά από τα οποία είναι φτιαγμένο το κάθε σχολικό κτίριο τα οποία βρέθηκαν από τα σχέδια και από αυτοψία του κάθε χώρου. Στην τρίτη υποκαρτέλα, δηλαδή σε αυτήν με την ονομασία materials, επεξεργάστηκε αναλυτικά το κάθε υλικό που υπάρχει στο σχολικό κτίριο και προσδιορίστηκε το πάχος, η αγωγιμότητα, η πυκνότητα, η θερμοχωρητικότητα, η θερμική απορρόφηση, η ηλιακή απορρόφηση και η ορατή απορρόφηση των υλικών αυτών.

Μετέπειτα, στην δεύτερη καρτέλα, δηλαδή σε αυτήν που ονομάζεται constructions, γίνεται αντιστοίχιση των υλικών που έχουν φτιαχτεί παραπάνω σε κάθε υπόστρωμα του σχολικού κτιρίου όπως για παράδειγμα στο πάτωμα ενός ορόφου, στην οροφή ενός ορόφου και στον εσωτερικό τοίχο. Αφού λοιπόν ολοκληρωθεί και το στάδιο αυτό και γίνει επαλήθευση των υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί, η διαδικασία οδηγείται στην πρώτη καρτέλα που ονομάζεται construction sets. Στην συγκεκριμένη καρτέλα, γίνεται αντιστοίχιση των υποστρωμάτων της δεύτερης καρτέλας στον κάθε όροφο που υπάρχει σε κάθε σχολικό κτίριο και με τον τρόπο αυτό γίνεται δημιουργία των επιφανειών του κελύφους του κτιρίου.

Πίνακας 3.1: Πίνακας Υλικών που χρησιμοποιήθηκαν (TOTEE 20701-2 πίνακας 2)

Υλικό	Πάχος(m)	Αγωγιμότητα (W/m·K)	Πυκνότητα (kg/m ³)	Θερμοχωρητικό τητα(J/kg·K)	Θερμική Απορρόφηση	Ηλιακή Απορρόφηση	Ορατή Απορρόφηση
Άσφαλτος	0,035	0,30	1.100	1.000	0,90	0,70	0,70
Άσβεστος	0,040	0,87	1.800	1.000	0,90	0,70	0,70
Μπετόν	0,20	2,50	2.500	1.000	0,90	0,70	0,70
Μπετόν Στέγης	0,30	3,10	2.800	1.500	0,90	0,70	0,70
Ελαφροτσιμεντό λιθος	0,0025	0,11	400	1.000	0,90	0,55	0,55
Γαρμπιλομπετόν	0,025	0,640	1.500	1.000	0,90	0,70	0,70
Γυψοσανίδα	0,15	0,21	700	1.000	0,90	0,70	0,70
Ηχομονωτικό	0,00050	0,060	380	600	0,90	0,25	0,25
Λιθόστρωτο	0,25	1,30	2.200	1.000	0,90	0,70	0,70
Μαρμαροκονία	0,0015	0,47	1.100	800	0,90	0,70	0,70
Μεμβράνη Πολυαιθυλενίου	0,000050	0,23	1.100	1.000	0,90	0,60	0,60
Μόνωση	0,0050	0,23	350	1.500	0,90	0,70	0,70
Μονωτική Πλάκα	0,0030	0,030	450	1.250	0,90	0,55	0,55
Πλακάκια	0,0050	1,84	2.000	840	0,90	0,70	0,70
Στόκος	0,0030	0,6918	1.858	850	0,90	0,90	0,90
Θερμοηχομονωτικό	0,00045	0,090	500	800	0,90	0,40	0,40
Τούβλο	0,10	0,26	920	1.000	0,90	0,70	0,70
Τσιμέντο	0,20	1,80	2.000	850	0,90	0,60	0,60
Τσιμεντοκονίαμα	0,0050	0,87	1.800	1.000	0,90	0,70	0,70
Χρώμα	0,00030	0,25	1.400	2.000	0,10	0,12	0,70



Εικόνα 3.7 Γραμμή κατασκευών στο λογισμικό OpenStudio

iv. Φορτία (Loads)

Στη συνέχεια, υπάρχει η γραμμή με τα Φορτία τα οποία έχουν δημιουργηθεί με σκοπό να χρησιμοποιηθούν και να αντιστοιχιστούν με τους διάφορους χώρους του σχολικού κτιρίου που φτιάχτηκαν νωρίτερα. Τα φορτία (Loads) είναι διαφόρων ειδών:

- Πλήθος ατόμων (People)
- Φωτισμός (Lights)
- Ηλεκτρικός εξοπλισμός (Electric Equipment)
- Εξοπλισμός φυσικού αερίου (Gas Equipment)
- Άλλος εξοπλισμός (Other Equipment)
- Εξοπλισμός θερμικής ενέργειας (Internal Mass)
- Εξοπλισμός, νερού, (Water Use Equipment)

Από τα παραπάνω είδη φορτίων για την μοντελοποίηση των σχολικών κτιρίων χρησιμοποιήθηκαν μόνο εκείνα τα οποία προϋπήρχαν.

ν. Είδη Χώρων (Space Types)

Το περιεχόμενο την επόμενης γραμμής των εργασιών του OpenStudio αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα για την σωστή μοντελοποίηση του σχολικού κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα, στην γραμμή αυτή των λειτουργιών, γίνεται εφαρμογή των Κατασκευών (Construction), των Φορτίων (Loads) και των Χρονοδιαγραμμάτων (Schedule Sets) σε κάθε χώρο του κτιρίου. Επιπροσθέτως, γίνεται εφαρμογή του αερισμού και του εξαερισμού αν υπάρχει, ξεχωριστά για κάθε χώρο.

Space Types							
Show all loads							
Space Type Name	All	Rendering Color	Default Construction Set	Default Schedule Set	Design Specification Outdoor Air	Space Infiltration Design Flow Rates	Space Infiltration Effective Leakage Areas
	<input type="checkbox"/>		Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected
0-Wc ypogeio	<input type="checkbox"/>		ypogeio	0-Wc ypogeio		external air flow 0.5	
0-ypogeio	<input type="checkbox"/>		ypogeio	0-ypogeio		external air flow 0.5 1	
1-Wc 1	<input type="checkbox"/>		isogeio	1-Wc 1		external air flow 0.5 2	
1-Wc 2	<input type="checkbox"/>		isogeio	1-Wc 2		external air flow 0.5 3	
1-aibousa ekdihusein	<input type="checkbox"/>		isogeio	1-aibousa ekdihusein		external air flow 0.5 4	
1-aibousa gym	<input type="checkbox"/>		isogeio	1-aibousa gym		external air flow 0.5 5	
1-apothiki	<input type="checkbox"/>		isogeio	1-apothikh		external air flow 0.5 6	
1-grafeio 1	<input type="checkbox"/>		isogeio	1-grafeio 1		external air flow 0.5 7	
1-grafeio 2	<input type="checkbox"/>		isogeio	1-grafeio 2		external air flow 0.5 8	
1-kyllieio	<input type="checkbox"/>		isogeio	1-kyllieio		external air flow 0.5 9	
2-aibousa 1	<input type="checkbox"/>		1os orofos	2-aibousa 1		external air flow 0.5 10	

Εικόνα 3.8 Γραμμή space types του λογισμικού OpenStudio

vi. Εγκατάσταση (Facility)

Η επόμενη γραμμή εργαλείων του λογισμικού αποτελεί μια βοηθητική μονάδα καθώς σε αυτή γίνεται προαιρετικά ο ορισμός του έργου- κτιρίου που πρόκειται να μοντελοποιηθεί ενώ παράλληλα είναι εφικτό να δηλωθούν εκ νέου τα Construction Sets και τα Schedule Sets που έχουν δημιουργηθεί προηγουμένως.

3.1.3 Συσχέτιση OpenStudio με Sketch up

Για να μπορεί να συνεχιστεί η διαδικασία μοντελοποίησης του κάθε σχολικού κτιρίου είναι απαραίτητο στο σημείο αυτό να γίνει συσχέτιση των στοιχείων του OpenStudio με το σχέδιο που υπάρχει στο Sketch up. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί για κάθε σχολικό κτίριο σε τέσσερα βήματα σχεδιασμού στο Sketch up, μέσω του OpenStudio Plug in, τα οποία αναλύονται στην συνέχεια.

a. Σχεδίαση Γεωμετρίας του κτιρίου

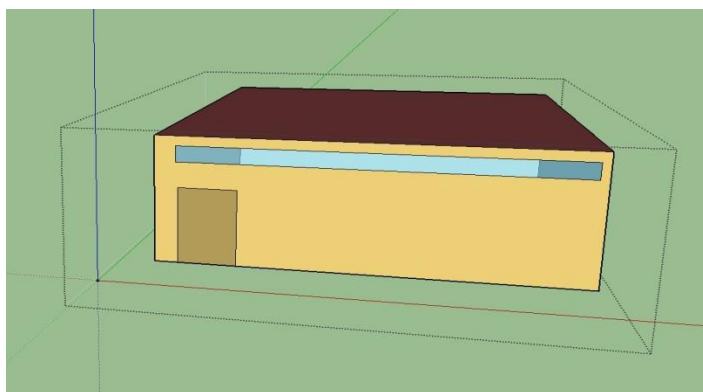
Όσο αφορά την σχεδίαση του κελύφους του σχολικού κτιρίου, αρχικά αυτό θα δημιουργηθεί με τη λειτουργία New Zone που βρίσκεται στη γραμμή εργασιών του Sketch up. Η αναπαράσταση του κελύφους του κτιρίου που προσαρμόζεται στην μοντελοποίηση εμφανίζει με ανοιχτό καφέ χρώμα τους τοίχους, με γκρι χρώμα το πάτωμα και με σκούρο καφέ την οροφή ενώ με μωβ χρώμα εμφανίζονται σκίαστρα όπου αυτά υπάρχουν.



Εικόνα 3.9 Γραμμή εργαλείων σχεδίασης του Sketch up (OpenStudio Plug in)

b. Σχεδίαση Παραθύρων και Πορτών

Μετάπειτα, γίνεται σχεδίαση των παραθύρων και των πορτών που υπάρχουν στα σχολικά κτίρια. Η σχεδίαση αυτών γίνεται απλά επάνω στον τοίχο που προϋπάρχει, βάζοντας τις κατάλληλες διαστάσεις. Η δημιουργία αυτών είναι εμφανής όταν αλλάζει χρώμα ο τοίχος δηλαδή η πόρτα αναπαρίσταται με σκούρο καφέ γεγονός που προσδιορίζει ότι εφάπτεται με το δάπεδο. Αντίστοιχα, το παράθυρο αναπαρίσταται με γαλάζιο χρώμα γεγονός που ορίζει ότι το παράθυρο δεν εφάπτεται με το δάπεδο.



Εικόνα 3.10 Παράδειγμα σχεδιασμού παραθύρων και πόρτας σε μία αίθουσα

c. Δημιουργία Θερμικών Ζωνών

Το επόμενο στάδιο της μοντελοποίησης μέσω Sketch up αφορά τον ορισμό των θερμικών ζωνών κάθε σχολικού κτιρίου. Η επιλογή μίας νέας θερμικής ζώνης γίνεται μέσω του <<new thermal zone>> και των επιμέρους χώρων που έχουν επιλεγεί από τον χρήστη.

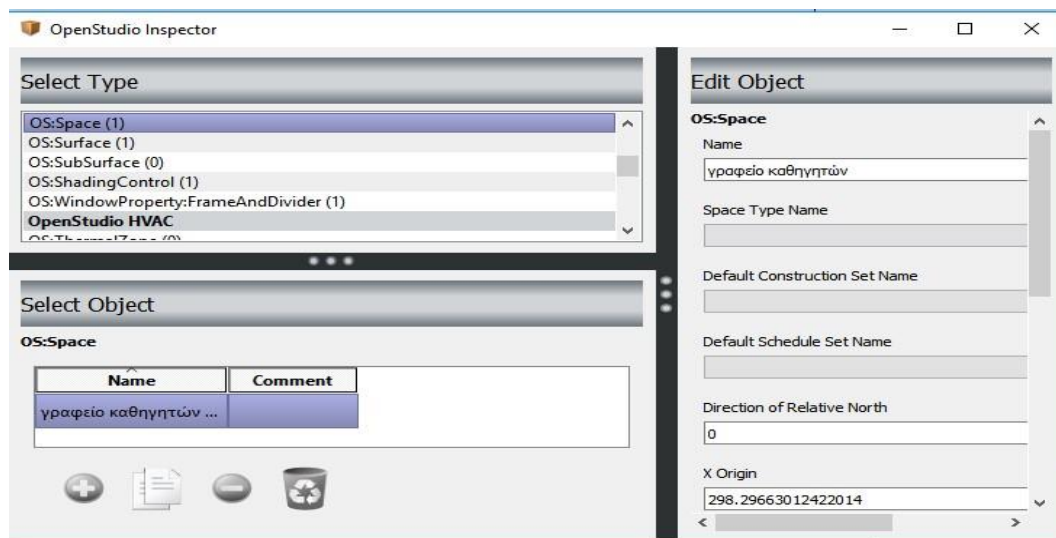
Οι θερμικές ζώνες είναι χώροι με παρόμοια χρήση και ίδιες συνθήκες λειτουργίας. Ο καθορισμός ανεξάρτητων διαφορετικών θερμικών ζωνών, σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ (ΦΕΚ 407/9.4.2010), το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2009 και την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 (παράγραφος 2.2), εφαρμόζεται στις περιπτώσεις κατά τις οποίες:

- *Η επιθυμητή θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων διαφέρει περισσότερο από 4 K (4°C) σε σχέση με τα άλλα τμήματα του κτιρίου κατά τη χειμερινή ή/και τη θερινή περίοδο.*
- *Υπάρχουν χώροι με διαφορετική χρήση και προφίλ λειτουργίας. Οι χώροι διαφορετικών χρήσεων συνήθως έχουν διαφορετικές εσωτερικές συνθήκες σχεδιασμού (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, νωπό αέρα κ.ά.).*
- *Υπάρχουν χώροι στο κτίριο, που εξυπηρετούνται από διαφορετικά συστήματα θέρμανσης ή ψύξης ή κλιματισμού.*
- *Υπάρχουν χώροι στο κτίριο που παρουσιάζουν πολύ μεγάλες (σε σχέση με το υπόλοιπο κτίριο) ανταλλαγές ενέργειας (π.χ. εσωτερικά ή/και ηλιακά κέρδη, θερμικές απώλειες). Για παράδειγμα, οι χώροι με νότιο προσανατολισμό σε ένα κτίριο έχουν σημαντικά ηλιακά κέρδη σε σχέση με τους υπόλοιπους χώρους.*
- *Υπάρχουν χώροι που καλύπτονται από ενιαίο σύστημα μηχανικού αερισμού (παροχής νωπού αέρα ή κλιματισμού), των οποίων η επιφάνεια είναι μικρότερη από το 80% της συνολικής επιφάνειας του κτιρίου. Χώροι που καταλαμβάνουν όγκο μικρότερο του 10% του συνολικού όγκου του κτιρίου ή/και έχουν χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση συγκριτικά με την συνολική κατανάλωση του κτιρίου δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως αυτόνομες θερμικές ζώνες.*

Στις συγκεκριμένες περιπτώσεις, δηλαδή τόσο για το 3^ο δημοτικό όσο και για το 1^ο -19^ο δημοτικό που εξετάστηκαν, διαχωρίστηκαν σε τέσσερις θερμικές ζώνες. Πιο αναλυτικά, οι ζώνες αυτές αφορούν:

- Αίθουσες
- Γραφεία καθηγητών
- Τουαλέτες
- Μη θερμαινόμενοι χώροι

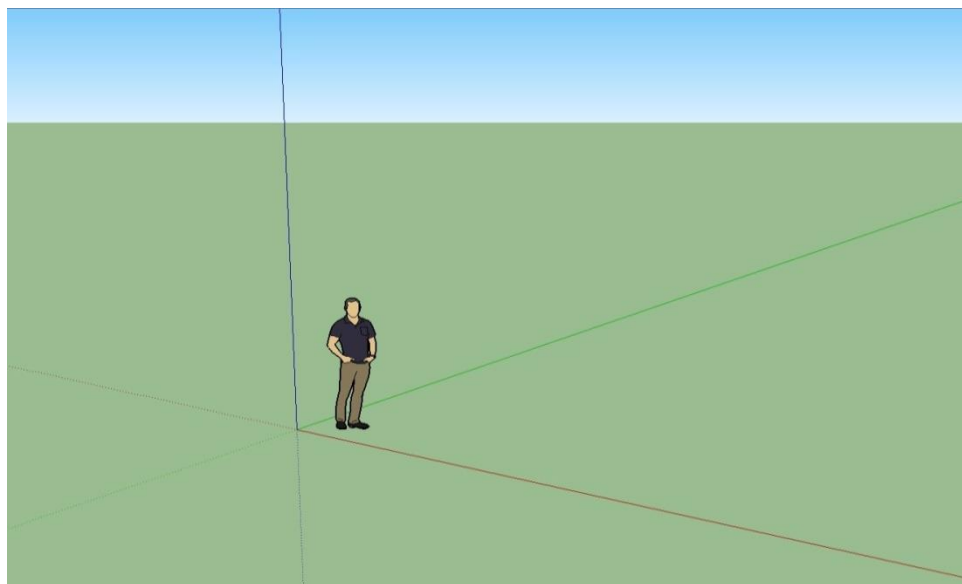
Επιπλέον, το συγκεκριμένο Plug in δίνει την δυνατότητα με το εργαλείο Inspector να γίνεται προβολή για κάθε οντότητα που έχει επιλεγεί για προβολή. Με την βοήθεια του εργαλείου Inspector έγινε ονομασία των θερμικών ζωνών έτσι ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ευκολία στην μετέπειτα ολοκλήρωση της μοντελοποίησης του.



Εικόνα 3.11 Inspector tool

d. Προσανατολισμός του κτιρίου

Το Sketch up περιέχει άξονα τριών διαστάσεων και αποτελείται από τον μπλε, τον κόκκινο και τον πράσινο οι οποίοι αντιστοιχούν στο ύψος στο μήκος και στο πλάτος αντίστοιχα. Επιπροσθέτως, ορίστηκε η διεύθυνση του βορρά να παριστάνεται με τον κόκκινο άξονα. Συνεπώς με τον τρόπο αυτό έγινε και ο προσανατολισμός του κάθε σχολικού κτιρίου.



Εικόνα 3.12 Γραμμές προσανατολισμού κτιρίου

3.1.4 Ολοκληρώνοντας το OpenStudio

Η διαδικασία μοντελοποίησης του κάθε σχολικού κτιρίου μέσω του Sketch up έχει ολοκληρωθεί, επομένως γίνεται επαναφορά του λογισμικού του OpenStudio έτσι ώστε να συνεχιστεί και εν τέλει να ολοκληρωθεί η μοντελοποίηση των κτιρίων ώστε να βγουν οι πρώτες ενεργειακές μετρήσεις.

I. Θερμικές Ζώνες (Thermal Zones)

Αφού γίνει ολοκλήρωση του Sketch up, η πρώτη γραμμή στην οποία συνεχίζεται η επεξεργασία, είναι αυτή των θερμικών ζωνών. Στην συγκεκριμένη γραμμή του λογισμικού, γίνεται ορισμός των συστημάτων θέρμανσης για κάθε θερμική ζώνη που υπάρχει στο μοντέλο ενώ αναλύεται και ποιους χώρους αφορά κάθε θερμική ζώνη ξεχωριστά.

II. Συστήματα θέρμανσης ,αερισμού, κλιματισμού (HVAC)

Η επόμενη γραμμή εργασιών αποτελεί ειδική γραμμή και αφορά την δημιουργία συστημάτων θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού. Στις περιπτώσεις των δύο σχολείων που εξετάστηκαν δεν έγινε αναφορά σε κάποια μέθοδο καθώς και οι δύο είχαν κεντρικό λέβητα πετρελαίου.

III. Μεταβλητές εξόδου (Output Variables)

Στην συνέχεια υπάρχει η γραμμή με τις μεταβλητές εξόδου. Στην συγκεκριμένη γραμμή, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να ορίσει τις μεταβλητές τις οποίες θα αναδείξει η προσομοίωση καθώς επίσης και την χρονική διάρκεια (ώρα, μήνας, έτος) των επιλεγμένων μεταβλητών.

IV. Ρυθμίσεις Προσομοίωσης (Simulation Settings)

Η γραμμή που αφορά τις ρυθμίσεις προσομοίωσης αποτελεί μία εξειδικευμένη γραμμή εργαλείων που αφορά την προσομοίωση του μοντέλου που έχει δημιουργηθεί. Λόγω της πολυπλοκότητας των εντολών στην συγκεκριμένη γραμμή λειτουργίας τα στοιχεία παραμένουν ίδια με τις αρχικές ρυθμίσεις έτσι ώστε να μην υπάρξουν λάθη ή προειδοποιήσεις στην διαδικασία της προσομοίωσης. Το μοναδικό πεδίο που μπορεί να υποστεί κάποια αλλαγή είναι αυτό του Data Range και στο οποίο δίνεται η δυνατότητα αλλαγής της διάρκειας του χρόνου της προσομοίωσης.

V. Υποθέσεις (Measures)

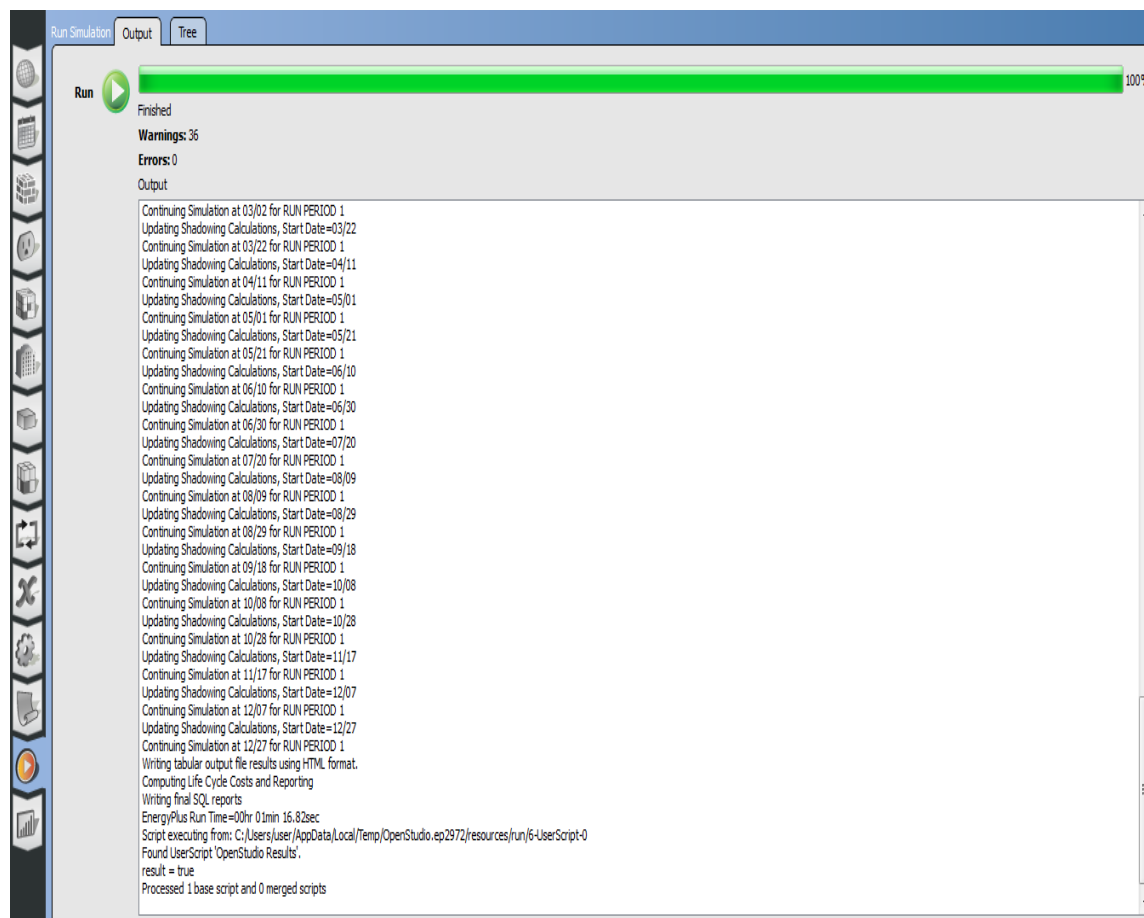
Όπως η προηγούμενη, έτσι και αυτή η γραμμή εντολών αποτελεί μία εξειδικευμένη γραμμή εργαλείων και αφορά επιπρόσθετες υποθέσεις ή σενάρια που μπορεί να εισάγει ο χρήστης και να επεκτείνει τις δυνατότητες του OpenStudio. Οι υποθέσεις αυτές μπορεί να αφορούν το κέλυφος, τις ηλεκτρικές συσκευές, τους ανθρώπους ή ακόμα και οικονομικά στοιχεία. Όμως λόγω της πολυπλοκότητας τους δεν λήφθηκαν υπόψη στις εξεταζόμενες περιπτώσεις.



Εικόνα 3.13: Γενικό περιβάλλον υποθέσεων του λογισμικού OpenStudio

VI. Έναρξη Προσομοίωσης (Run Simulation)

Η επόμενη γραμμή εργαλείων του λογισμικού του OpenStudio αποτελεί την πιο σημαντική διαδικασία. Κατά την διαδικασία αυτή, για μερικά λεπτά γίνεται έλεγχος του μοντέλου για προειδοποιήσεις ή σφάλματα. Εάν εμφανιστεί κάποιο σφάλμα τότε η διαδικασία σταματάει και ο χρήστης οφείλει να το επιλύσει για να υπάρξει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Εάν δεν υπάρξουν σφάλματα, τότε η προσομοίωση είναι εφικτό να φτάσει στο 100% και να βγουν τα συνοπτικά αποτελέσματα της μοντελοποίησης.



Εικόνα 3.14 Γενικό περιβάλλον επιτυχής προσομοίωσης του λογισμικού OpenStudio

VII. Συνοπτικά Αποτελέσματα (Results Summary)

Τα συνοπτικά αποτελέσματα αποτελούν την τελευταία γραμμή του λογισμικού του OpenStudio και σε αυτή βρίσκονται συνοψισμένα όλα τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και είναι έτοιμα για περαιτέρω ανάλυση και ενεργειακή ανάγνωση.

3.2 Περιγραφή λογισμικού RETScreen

3.2.1 Εισαγωγή στο RETScreen



Εικόνα 3.15: Γενικό περιβάλλον του λογισμικού RETScreen

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την περαιτέρω μελέτη και ενεργειακή αναβάθμιση των σχολικών κτιρίων είναι το RETScreen Expert. Το RETScreen Expert, αναπτύχθηκε και συντηρείται από την Καναδική Κυβέρνηση μέσω του ερευνητικού κέντρου CanmetENERGY του Natural Resources Canada. Αποτελεί ένα λογισμικό που απευθύνεται τόσο για επαγγελματική όσο και για ερευνητική χρήση και υποστηρίζεται από ένα διεθνές δίκτυο εμπειρογνομόνων στο χώρο της βιομηχανίας. Παράλληλα, είναι ένα εργαλείο που μπορεί να βρεθεί δωρεάν σε μία απλούστερη μορφή.

Επιπροσθέτως, η αξία του εργαλείου αυτού γίνεται ακόμα μεγαλύτερη αν ληφθεί υπόψη ότι μερικοί από τους κύριους συνεργάτες είναι η Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA), ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας (IESO), η Σύμπραξη για την Ανανεώσιμη Ενέργεια και την Ενεργειακή Απόδοση (REEEP) και το Παγκόσμιο Ταμείο Περιβάλλοντος (GEF).

Το συγκεκριμένο λογισμικό, είναι το πιο ολοκληρωμένο προϊόν του είδους του και ο χρήστης έχει την δυνατότητα να διεξάγει μία πρότυπη ανάλυση πέντε βημάτων η οποία περιλαμβάνει τα ακόλουθα :

- Ενεργειακή ανάλυση
- Ανάλυση κόστους
- Ανάλυση εκπομπών
- Οικονομική ανάλυση
- Ανάλυση ευαισθησίας/ κινδύνου

Αναλυτικότερα, η μονάδα λογισμικού RETScreen δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να δημιουργήσει εύκολα και γρήγορα τις ακριβείς κλιματικές συνθήκες που αφορούν την θέση μιας εγκατάστασης για μια οποιαδήποτε τοποθεσία στη Γη και να συγκρίνει την ενεργειακή απόδοση εγκαταστάσεων διαφόρων τύπων αναφοράς (σημείο αναφοράς) με την εκτιμώμενη (μοντελοποιημένη) ή μετρηθείσα (πραγματική) ετήσια κατανάλωση ενέργειας μίας εγκατάστασης.

3.2.1 Ξεκινώντας το RETScreen



Εικόνα 3.16: Αρχική εικόνα του λογισμικού RETScreen

Η εισαγωγή πληροφοριών στο λογισμικό RETScreen γίνεται συμπληρώνοντας τις επιμέρους καρτέλες από αριστερά προς τα δεξιά. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα επιστροφής σε κάποια καρτέλα έτσι ώστε να γίνει κάποια διόρθωση ή αλλαγή στα δεδομένα εισόδου η οποία θα έχει άμεσο αντίκτυπο στα αποτελέσματα της ενεργειακής αναβάθμισης.

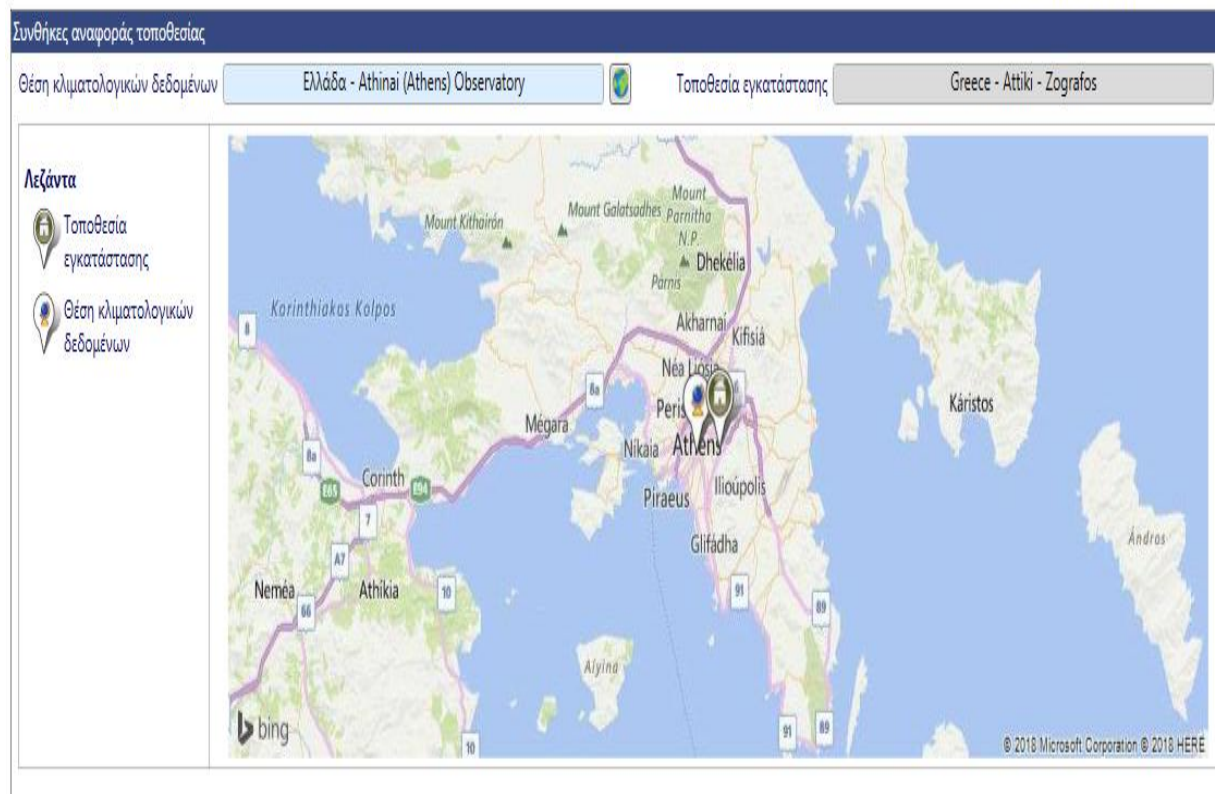
I. Τοποθεσία

Η πρώτη καρτέλα αφορά την τοποθεσία της εγκατάστασης. Το λογισμικό δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει μέσω δορυφόρου την ακριβή τοποθεσία του σχολικού κτιρίου και στην συνέχεια να εξάγει μέσω του πιο κοντινού μετεωρολογικού σταθμού δεδομένα που αφορούν την μηνιαία θερμοκρασία αέρα, την σχετική υγρασία, την κατακρήμνιση, την ηλιακή ακτινοβολία, την ατμοσφαιρική πίεση, την ταχύτητα ανέμου, την θερμοκρασία εδάφους και τις βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης.

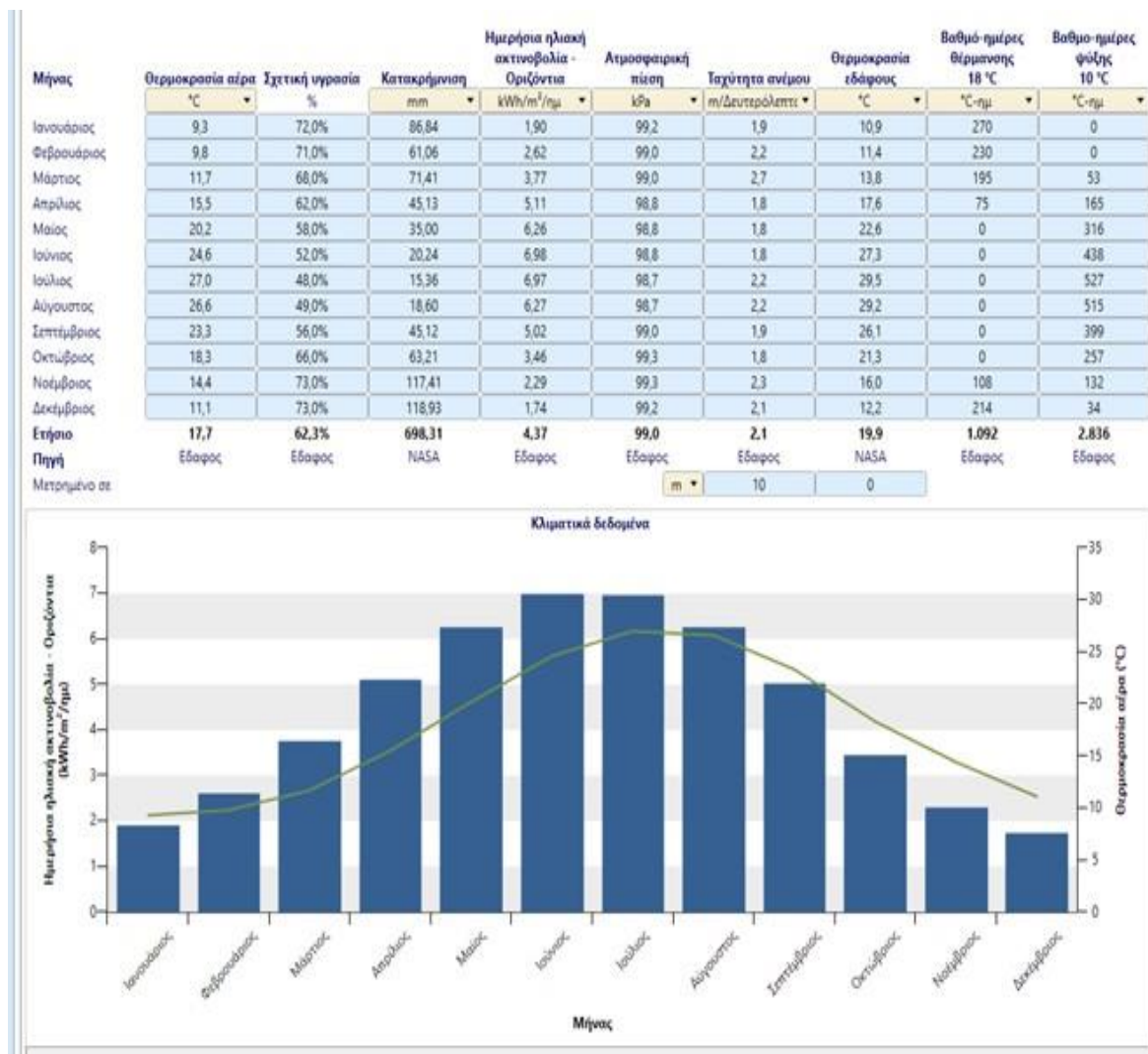
Επιπλέον μπορεί να γίνει σχηματική απεικόνιση οποιαδήποτε κλιματικού δεδομένου από τα παραπάνω.

RETScreen - Τοποθεσία

Συνδρομητής: Πρόγραμμα προβολής



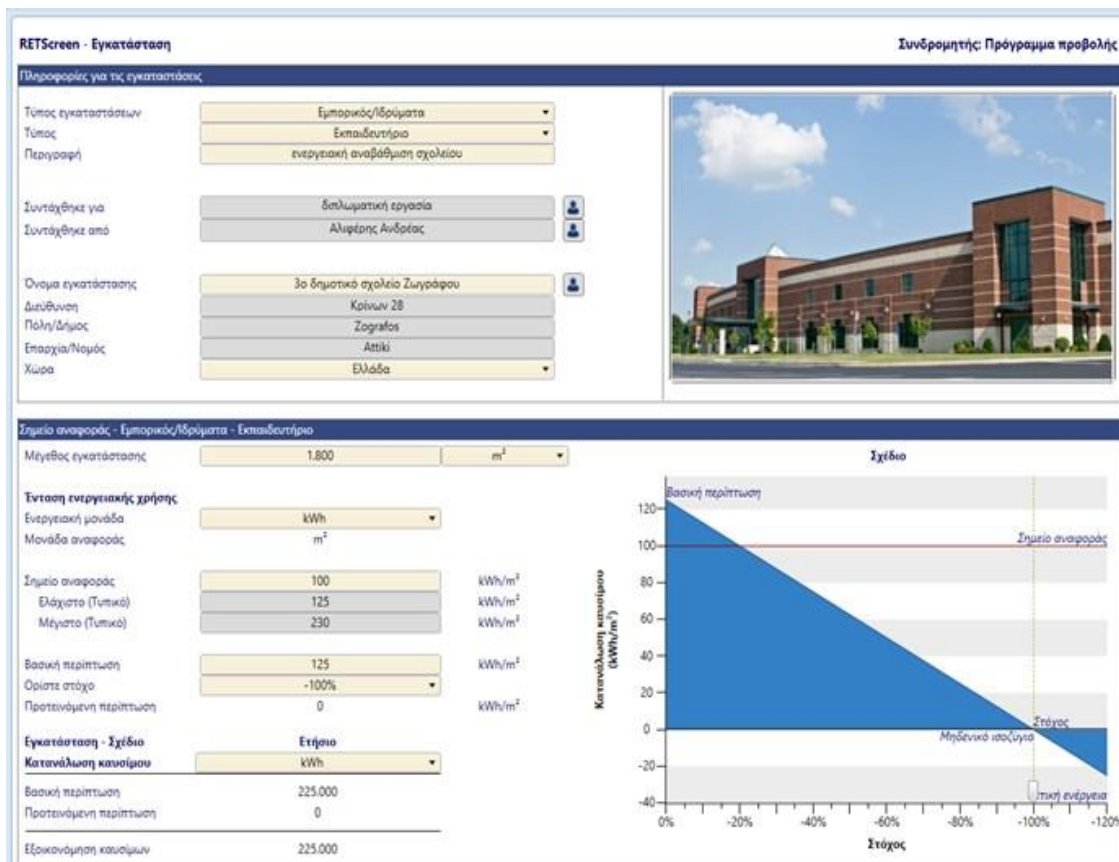
Εικόνα 3.17: Τοποθεσία εγκατάστασης



Εικόνα 3.18: Μετεωρολογικά δεδομένα και κλιματική απεικόνιση

II. Εγκατάσταση

Στην καρτέλα Εγκατάσταση, γίνεται από τον χρήστη αναλυτικός ορισμός της υπό μελέτης εγκατάστασης, δηλαδή, ορίζεται το είδος και ο τύπος της εγκατάστασης (Ιδρύματα/ Εκπαιδευτήριο), γίνεται περιγραφή του λόγου μελέτης καθώς και το όνομα και η ακριβής διεύθυνση του υπό μελέτη έργου (Εικόνα 3.14). Επιπλέον στην εικόνα 3.14 κάτω αριστερά γίνεται εισαγωγή του μεγέθους της εγκατάστασης και ορίζεται ο επιθυμητός στόχος κατανάλωσης στην προτεινόμενη περίπτωση.



Εικόνα 3.19: Πληροφορίες καρτέλας Εγκατάστασης

III. Ενέργεια

Η καρτέλα Ενέργεια αποτελεί ίσως την πιο σημαντική καρτέλα για την ενεργειακή αναβάθμιση. Σε αυτή, γίνεται ορισμός του τύπου καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται στην βασική περίπτωση. Στην συνέχεια, μέσω του μεγάλου φάσματος πληροφοριών του λογισμικού γίνεται εισαγωγή από τον χρήστη ο νέος τύπος θέρμανσης του υφιστάμενου κτιρίου καθώς επίσης και νέος τρόπος ηλεκτρισμού. Όταν γίνει επιλογή κάποιου νέου τύπου (π.χ. αντλία θερμότητας), τότε το λογισμικό ανοίγει μία νέα υποκαρτέλα στην οποία ο χρήστης εισάγει αναλυτικά το νέο προϊόν που θα χρησιμοποιηθεί για ενεργειακή αναβάθμιση. Η επιλογή αυτή μπορεί να γίνει μέσω μίας μεγάλης γκάμας εταιριών και προϊόντων. Επιπροσθέτως, το λογισμικό δύναται να συγκρίνει τις δύο μεθόδους (βασική- προτεινόμενη). Μόλις ολοκληρωθεί και το τελευταίο βήμα τότε ο χρήστης μπορεί να μεταβεί στην επόμενη καρτέλα.

IV. Κόστος

Η καρτέλα που ονομάζεται Κόστος είναι άμεσα συνυφασμένη με την καρτέλα της Ενέργειας. Στην συγκεκριμένη καρτέλα, ο χρήστης εισάγει το αρχικό κόστος της προτεινόμενης εγκατάστασης το οποίο περιέχει την αγορά, την τοποθέτηση και τα επιπλέον εξαρτήματα που μπορεί να χρειαστούν . Μετέπειτα, γίνεται εισαγωγή για τα ετήσια κόστη λειτουργίας και συντήρησης και τέλος γίνεται εισαγωγή της επιπλέον

εξοικονόμησης που μπορεί να επιτευχθεί με την προτεινόμενη περίπτωση σε σχέση με τη βασική.

V. Εκπομπή

Η επόμενη καρτέλα είναι μία δευτερεύουσα καρτέλα του λογισμικού αλλά παράλληλα πολύ σημαντική για τον καταναλωτή. Σε αυτή, γίνεται ανάλυση εκπομπών του καυσίμου στην βασική και την προτεινόμενη περίπτωση και φαίνεται σε διάγραμμα η ετήσια μείωση των ΑΤΘ. Παράλληλα, το λογισμικό του RETScreen μπορεί να προβάλλει την διαφορά μεταξύ βασικής και προτεινόμενης περίπτωσης εκτός από διάγραμμα επίσης και με άλλους τρόπους, όπως στρέμματα δάσους που απορροφούν άνθρακα ή τον αριθμό των αυτοκινήτων που δεν χρησιμοποιούνται.

Στην συνέχεια, ο χρήστης εισάγει την τιμή πίστωσης των ΑΤΘ και μέσω των αλγορίθμων που χρησιμοποιεί το λογισμικό εμφανίζονται τα έσοδα από την μείωση των εκπομπών των ΑΤΘ.

VI. Χρηματοοικονομικά

Η καρτέλα Χρηματοοικονομικά αποτελεί μαζί με την καρτέλα της Ενέργειας τις πιο σημαντικές του λογισμικού του RETScreen καθώς σε αυτή γίνεται οικονομική ανάλυση του προς εξέταση έργου (τιμή πληθωρισμού, διάρκεια ζωής έργου, τοκοχρεολύσιο). Αναλυτικότερα, σε συνεργασία με την ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε και το κόστος που ορίστηκε σε προηγούμενες καρτέλες, γίνεται υπολογισμός της οικονομικής βιωσιμότητας του έργου, δηλαδή του συντελεστή IRR και του χρόνου αποπληρωμής των μετοχών (payback time), ενώ παράλληλα γίνεται αναπαράσταση του διαγράμματος αθροιστικών χρηματορροών.

VII. Κίνδυνος

Στην καρτέλα αυτή το λογισμικό παρουσιάζει την ανάλυση επικινδυνότητας και κινδύνου του έργου. Πιο αναλυτικά, γίνεται ανάλυση ευαισθησίας του έργου και παρουσιάζεται η επικινδυνότητα της προτεινόμενης επένδυσης.

3.3 Περιγραφή των εξεταζόμενων σχολείων

Τα παραπάνω σχολικά κτίρια επιλέχθηκαν με στόχο να γίνει εξαγωγή συγκρίσιμων αποτελεσμάτων μεταξύ ενός παλιού και ενός νεόδμητου σχολικού κτιρίου. Επιπλέον, σε συνδυασμό με το πρόγραμμα βιοκλιματικής αλλαγής σε δημόσια κτίρια που θέλει να εφαρμόσει ο Δήμος Ζωγράφου, έγινε επιλογή των συγκεκριμένων σχολείων ως πρότυπα ενεργειακής αναβάθμισης.

Για να γίνει η συλλογή των απαραίτητων στοιχείων, ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί η ανάλυση και η ενεργειακή αναβάθμιση των σχολείων ακολουθήθηκε μία συγκεκριμένη διαδικασία. Αρχικά, με την βοήθεια των διευθυντών των σχολείων και σε συνεννόηση με τον αρμόδιο φορέα του Δήμου δόθηκαν στοιχεία που αφορούν την κατανάλωση του ρεύματος και του πετρελαίου. Στην συνέχεια, σε συνεργασία με τις δημοτικές αρχές και με τον οργανισμό σχολικών κτιρίων δόθηκαν αρχιτεκτονικά και μηχανολογικά σχέδια τα οποία μεταφέρθηκαν μέσω του προγράμματος AutoCAD σε ηλεκτρονική μορφή έτσι ώστε να μπορούν να επεξεργαστούν και να τροποποιηθούν κατάλληλα. Αφού έγινε η καταγραφή των σχεδίων, έγινε έλεγχος σε κάθε σχολείο έτσι

ώστε να γίνει επαλήθευση των σχεδίων με τα πραγματικά δεδομένα και χώρους του κάθε σχολικού κτιρίου.



Εικόνα 3.20: Αρχικά βήματα επεξεργασίας των σχολείων

3.3.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Τα σχολεία που μελετώνται στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας είναι τα παρακάτω και στην συνέχεια γίνεται εκτενής ανάλυση αυτών:

- 1) Το 3^ο δημοτικό σχολείο Ζωγράφου
- 2) Το 1^ο -19^ο δημοτικό σχολείο Ζωγράφου

3.3.2 3^ο Δημοτικό Σχολείο Ζωγράφου

Το πρώτο εκ των δύο σχολείων που εξετάστηκε είναι το 3^ο δημοτικό σχολείο Ζωγράφου το οποίο είναι κτισμένο στις αρχές του 1970. Το σχολείο αποτελείται από 4 ενσωματωμένους ορόφους ενώ το ισόγειο τμήμα του σχολικού κτιρίου ενώνεται με τα γραφεία των καθηγητών και το κυλικείο μέσω εσωτερικής αυλής.

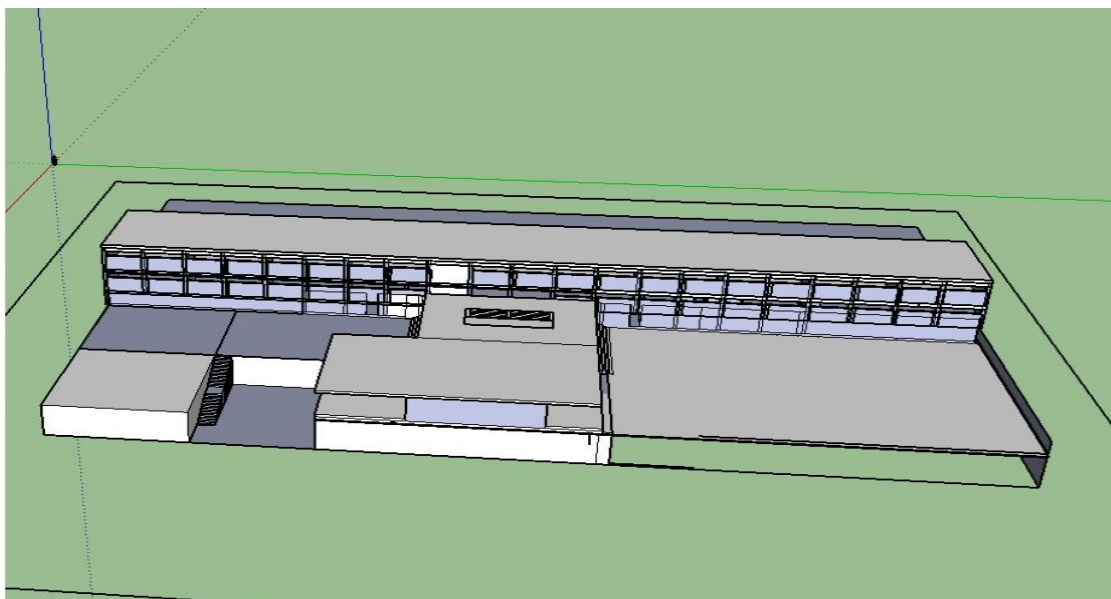


Εικόνα 3.21: Φωτογραφία εσωτερικής αυλής 3^{ου} Δημοτικού Σχολείου

Το συνολικό του μέγεθος ανέρχεται στα 1800 m², ενώ το μέγεθος του ελεύθερου χώρου της οροφής του σχολείου είναι 877 m². Πιο συγκεκριμένα, το υπόγειο αποτελείται από το λεβητοστάσιο και τις τουαλέτες, το ισόγειο αποτελείται από τα γραφεία, τα WC, την αίθουσα γυμναστικής, την αποθήκη, το κυλικείο και την αίθουσα εκδηλώσεων. Στον πρώτο όροφο βρίσκονται εννιά αίθουσες διδασκαλίας ενώ στον δεύτερο όροφο βρίσκονται δέκα αίθουσες διδασκαλίας.



Εικόνα 3.22: Φωτογραφία ταράτσας 3^{ου} Δημοτικού Σχολείου



Εικόνα 3.23: Φωτογραφία 3^{ου} Δημοτικού Σχολείου μέσω Sketch up

Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά μεγέθη του 3ου Δημοτικού Σχολείου

Μήκος	80,15 m
Πλάτος	53,4 m
Ύψος	12,4 m
Επιφάνεια	1800 m ²

3.3.3 1^ο-19^ο Δημοτικό Σχολείο Ζωγράφου

Το δεύτερο σχολείο που εξετάστηκε είναι το 1^ο-19^ο δημοτικό σχολείο Ζωγράφου το οποίο αποτελεί ένα νεόδμητο σχολείο αφού κτίστηκε το 2013 στη θέση του παλιού σχολείου που βρισκόταν εκεί από το 1929. Το νεόδμητο αυτό σχολείο είναι πλήρως εξοπλισμένο τόσο ενεργειακά όσο και τεχνολογικά. Το συνολικό του μέγεθος είναι 4120 m² και αποτελείται από τέσσερις ορόφους.

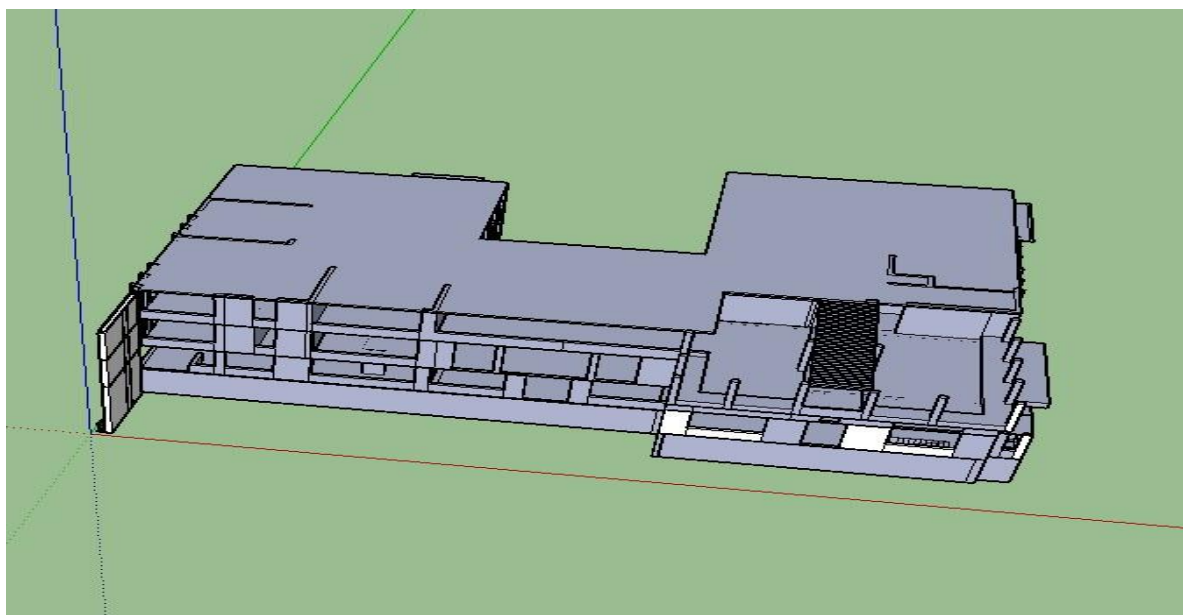


Εικόνα 3.24: Φωτογραφία τaráσσας 1^{ου}-19^{ου} Δημοτικού Σχολείου

Πιο αναλυτικά στον πρώτο και στον δεύτερο όροφο αποτελείται από δώδεκα και δέκα αίθουσες διδασκαλίας αντίστοιχα, ενώ επίσης υπάρχουν και τουαλέτες μαθητών στον κάθε όροφο. Ακόμα, στον δεύτερο όροφο υπάρχουν δύο αίθουσες υπολογιστών και δύο αίθουσες μαθητικών κοινοτήτων. Στο ισόγειο υπάρχουν τα γραφεία των καθηγητών και επιπλέον τουαλέτες, βιβλιοθήκη, τραπεζαρία, κυλικείο και αίθουσα εκδηλώσεων. Τέλος, στο υπόγειο βρίσκεται το μηχανοστάσιο, το λεβητοστάσιο, το κλιμακοστάσιο, το αντλιοστάσιο, η αποθήκη καυσίμων και άλλη μία πρόσθετη αποθήκη.



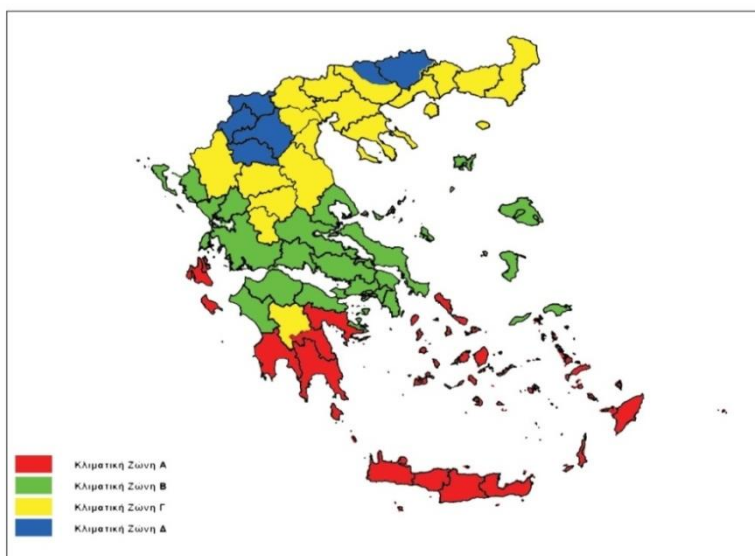
Εικόνα 3.25: φωτογραφία όψης 1^{ου}-19^{ου} Δημοτικού Σχολείου



Εικόνα 3.26: Φωτογραφία 1^{ου}-19^{ου} Δημοτικού Σχολείου μέσω Sketch up

Πίνακας 3.3: Χαρακτηριστικά μεγέθη του 1ου-19ου Δημοτικού Σχολείου

Μήκος	45,5 m
Πλάτος	50,5 m
Ύψος	13,7 m
Επιφάνεια	4120m ²



Εικόνα 3.27: Κλιματικές Ζώνες Ελλάδος(Lime Energy.gr)

3.4 Σενάρια που μελετήθηκαν

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης αποτιμήθηκε περιβαλλοντικά η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και άλλων ενεργειακών μεθόδων για την ενεργειακή αυτονομία δύο σχολείων δημόσιου χαρακτήρα. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν τα οφέλη που θα προκληθούν από την ενεργειακή αναβάθμιση σχολικών κτιρίων.

Η βάση των αρχικών ενεργειακών δεδομένων είναι τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το λογισμικό OpenStudio και στην συνέχεια με το λογισμικό του RETScreen έγιναν κατάλληλες τροποποιήσεις στα αρχικά εξεταζόμενα σενάρια με σκοπό το κάθε σχολικό κτίριο να μπορεί να θεωρηθεί ως near zero energy building.

3.4.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν μία από τις πιο αναπτυσσόμενες εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αφορούν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή. Στο πλαίσιο λοιπόν του ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού κάθε σχολικού κτιρίου θα γίνει τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας.

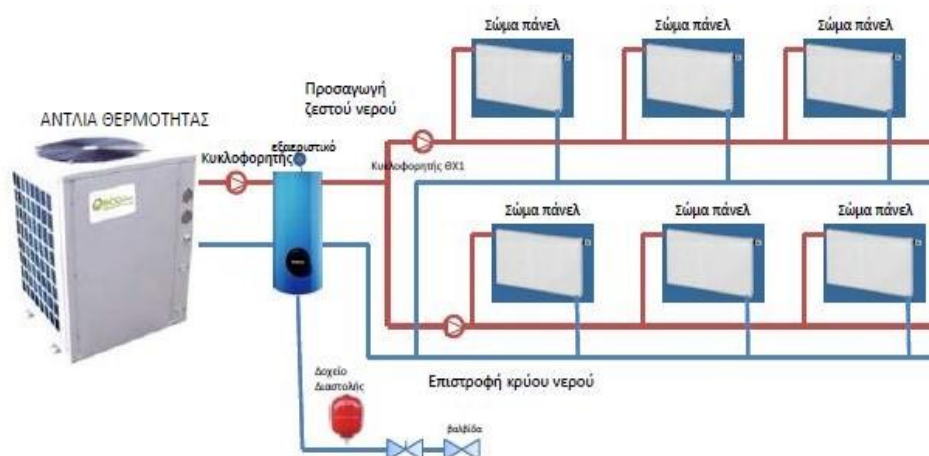


Εικόνα 3.27: Ενδεικτική εικόνα φωτοβολταϊκού συστήματος σε σχολείο

Συνεπώς, το πρώτο σενάριο που εξετάστηκε είναι η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων στην ταράτσα του κάθε σχολικού κτιρίου έτσι ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

3.4.2 Αντλία Θερμότητας

Σύμφωνα με έρευνα που διενεργήθηκε από την υπηρεσία Ενέργειας και Περιβάλλοντος, οι αντλίες θερμότητας εμφανίστηκαν ως η οικονομικά πιο αποδοτική επιλογή για τη θέρμανση ενός κτιρίου. Η φυσική ροή της θερμότητας μέσα σε ένα κτίριο έχει την τάση να μεταφέρεται από συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών σε συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών. Με την χρήση της αντλίας θερμότητας γίνεται αναστροφή της φυσικής αυτής ροής. Για παράδειγμα, το χειμώνα η αντλία θερμότητας, αφαιρεί θερμότητα από το περιβάλλον και την διοχετεύει στο εσωτερικό του κτιρίου, με σκοπό την αύξηση της θερμότητας και της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου. Η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται μόνο στο στάδιο της άντλησης θερμότητας και ο καταναλωτής πληρώνει ουσιαστικά μόνο το κόστος που απαιτείται για την άντληση αυτή, γεγονός που δηλώνει ότι η κατανάλωση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι πολύ μικρή.



Εικόνα 3.28: Γενική εικόνα λειτουργίας αντλίας θερμότητας

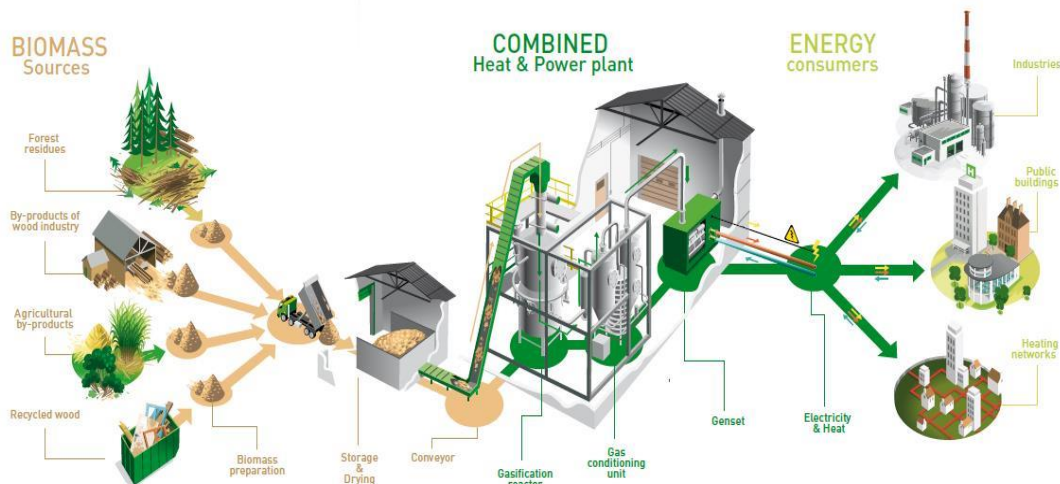
Επομένως, το επόμενο σενάριο που εξετάστηκε είναι η αλλαγή των συμβατικών λεβήτων πετρελαίου του κάθε σχολείου με αντλίες θερμότητας. Οι αντλίες θερμότητας θα χρησιμοποιηθούν για την θέρμανση του κάθε χώρου του σχολικού κτιρίου.

3.4.3 Βιομάζα

Βιομάζα είναι η πηγή ενέργειας που προκύπτει από την φωτοσυνθετική διαδικασία των φυτών. Αναλυτικότερα, η χλωροφύλλη των φυτών μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια μαζί με το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα και μαζί με ανόργανα στοιχεία από το έδαφος, σε βιομάζα η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ενεργειακή πηγή. Επιπλέον είναι απαραίτητο να οριστεί ότι στην βιομάζα συμπεριλαμβάνονται λύματα και σκουπίδια που έχουν υποστεί βιολογική επεξεργασία.

Ακόμα συμπεριλαμβάνονται κλαδιά, πριονίδι, κτηνοτροφικά απόβλητα, φυτικοί οργανισμοί ή και κατάλοιπα ζωικής και αλιευτικής παραγωγής. Με την χρήση της βιομάζας, καταπολεμάται το φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς αν και παράγεται

διοξείδιο του άνθρακα, λόγω του φαινομένου της φωτοσύνθεσης γίνεται συγκράτηση μεγάλης ποσότητας του ρύπου αυτού. Παράλληλα, επειδή στην βιομάζα υπάρχει ελάχιστη ποσότητα διοξειδίου του θείου μπορεί να γίνει καταπολέμηση του φαινομένου της όξινης βροχής.



Εικόνα 3.29: Γενική εικόνα χρησιμοποίησης λέβητα βιομάζας

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, το τελευταίο σενάριο αφορά την αλλαγή των συμβατικών λεβήτων πετρελαίου με λέβητες καύσης βιομάζας για την παραγωγή θέρμανσης στους χώρους του σχολικού κτιρίου.

3.5 Βασικές Υποθέσεις

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν απαραίτητο να γίνουν κάποιες βασικές και αναγκαίες υποθέσεις. Αρχικά, για την καταγραφή των σχεδίων λόγω έλλειψης στοιχείων (3^ο δημοτικό σχολείο) έγινε γνωμάτευση και σχεδιασμός από την επίσκεψη στο κτίριο και τα υλικά που καταχωρήθηκαν συμφωνήθηκαν με αρμόδιο μηχανικό.

Επιπλέον, μία ακόμα βασική υπόθεση της εργασίας είναι ότι δεν λήφθηκε υπόψη η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων στο νεόδμητο σχολείο (1^ο -19^ο δημοτικό σχολείο) έτσι ώστε να υπάρχει επαρκής σύγκριση στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα δύο σχολεία. Σημειώνεται επίσης, ότι στο νεόδμητο σχολείο υπάρχει λέβητας φυσικού αερίου αλλά δεν χρησιμοποιείται και για τον λόγο αυτό δεν συμπεριλήφθηκε στους τρόπους συμβατικής θέρμανσης. Μετέπειτα, θεωρήθηκε μια μέση κατανάλωση ρεύματος καθώς οι λογαριασμοί που δόθηκαν από τον αρμόδιο πάροχο δεν ήταν επαρκής. Επιπλέον, έγινε τροποποίηση στην είσοδο δεδομένων του λογισμικού του RETScreen έτσι ώστε να υπάρχει αντιστοίχιση στις πραγματικές καταναλώσεις ανά τετραγωνικό μέτρο σε κάθε σχολικό κτίριο. Τέλος, έγινε χρήση του λογισμικού του OpenStudio διότι, δεν χρειάζονται οι μέσες τιμές, που είναι δυνατόν να βρεθούν από τους λογαριασμούς που έχουν δοθεί, αλλά οι ακρέες τιμές κάθε μήνα ώστε να γίνει ορθή διαστασιολόγηση του κάθε έργου.

Κεφάλαιο 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

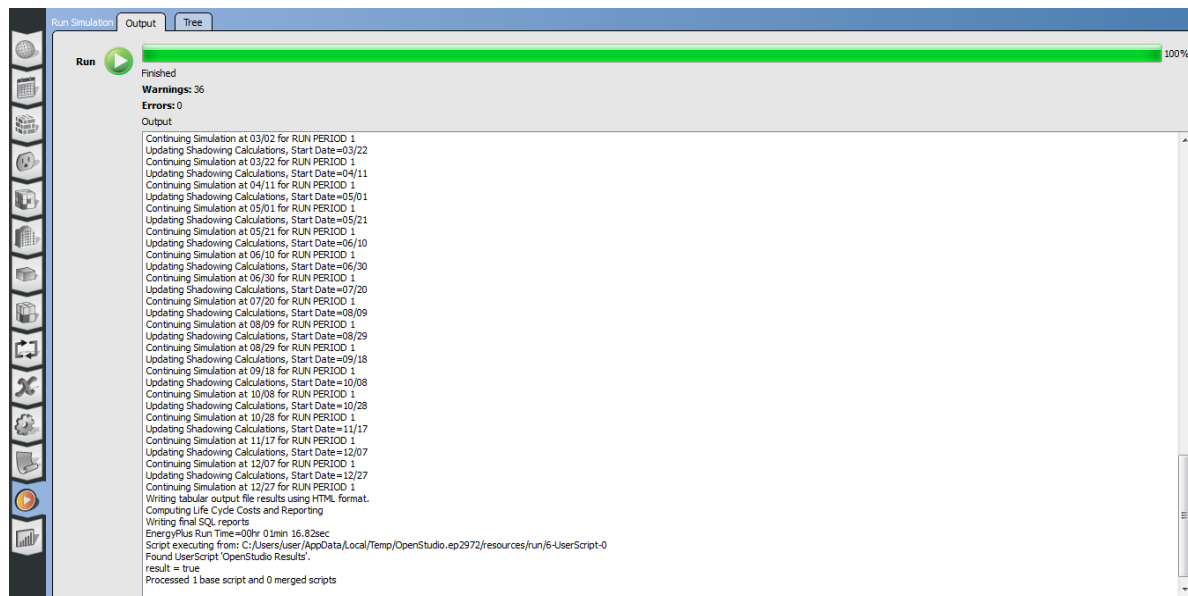
4.1 Καθορισμός Σκοπού και Στόχου

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ενεργειακή μελέτη και αξιολόγηση δύο δημοτικών σχολείων ώστε να επιτευχθούν συνθήκες μηδενικών απωλειών δηλαδή near zero energy buildings. Αυτό που επιδιώχθηκε στην παρούσα εργασία ήταν να συνδυαστούν αρμονικά τα προγράμματα του OpenStudio και του RETScreen έτσι ώστε να βρεθούν τα αρχικά ενεργειακά αποτελέσματα από το πρώτο και στην συνέχεια να αξιοποιηθούν και να τροποποιηθούν από το δεύτερο.

Μετέπειτα, θα γίνει σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων για τα δύο σχολεία δηλαδή το παλιό και το νεόδμητο έτσι ώστε να παραχθούν χρήσιμα δεδομένα και πληροφορίες για την περαιτέρω αξιοποίηση τους στο μέλλον. Τέλος και τα δύο σχολεία βρίσκονται στον Δήμο Ζωγράφου Αττικής με σκοπό να έχουν τα ίδια μετεωρολογικά στοιχεία.

4.2 Αποτελέσματα του λογισμικού OpenStudio

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο η διαδικασία της έναρξης της προσομοίωσης αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές διεργασίες του λογισμικού του OpenStudio. Ύστερα από την προσθήκη των απαραίτητων υλικών του κελύφους, καταναλώσεων, ανθρώπινου δυναμικού, ηλεκτρικών συσκευών και κατάλληλων θερμικών ζωνών, τόσο στο παλιό όσο και στο νεόδμητο σχολείο δεν υπήρχαν σφάλματα και όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.1 η αρχική μοντελοποίηση έφτασε το 100%.



Εικόνα 4.1: Γενικό περιβάλλον επιτυχής προσομοίωσης του λογισμικού OpenStudio

Στην συνέχεια, το λογισμικό του OpenStudio καταλήγει στην τελευταία γραμμή που ονομάζεται συνοπτικά αποτελέσματα, τα οποία παρουσιάζουν αναλυτικά την κατανάλωση σε θέρμανση, ψύξη, ηλεκτρικό εξοπλισμό και φωτισμό (kBtu) . Στον πίνακα 4.1 και 4.2 φαίνονται τα ενεργειακά αποτελέσματα για το κάθε σχολείο αντίστοιχα.

Πίνακας 4.1: Γενικά αποτελέσματα κατανάλωσης 3ου Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου

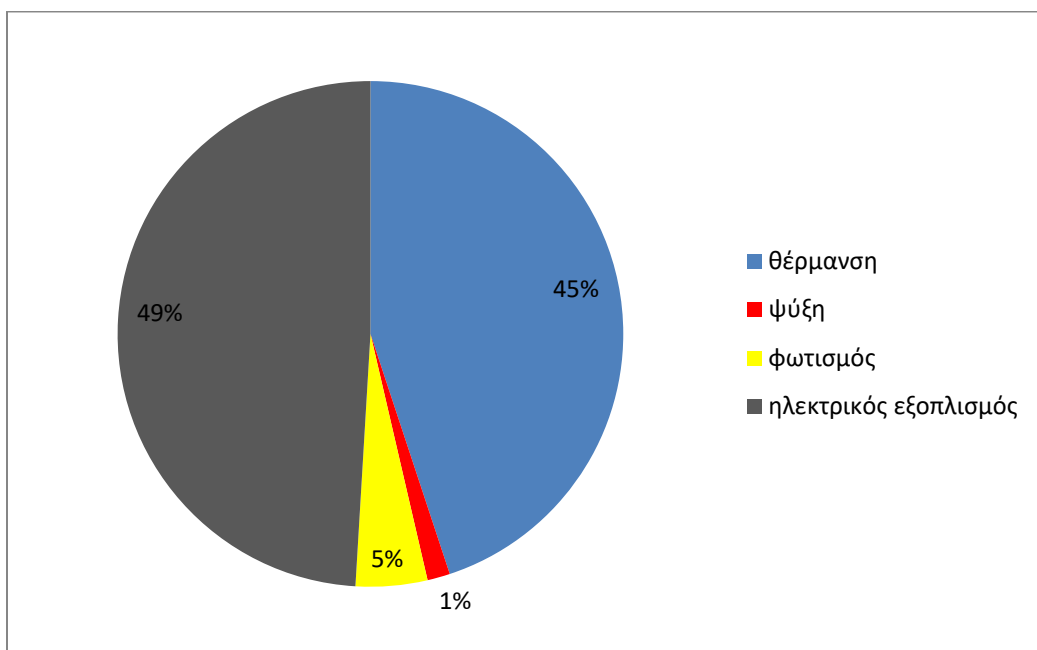
End Use - view table

End Use	Consumption (kBtu)
Heating	340824
Cooling	11002
Interior Lighting	34728
Exterior Lighting	0
Interior Equipment	372164
Exterior Equipment	0

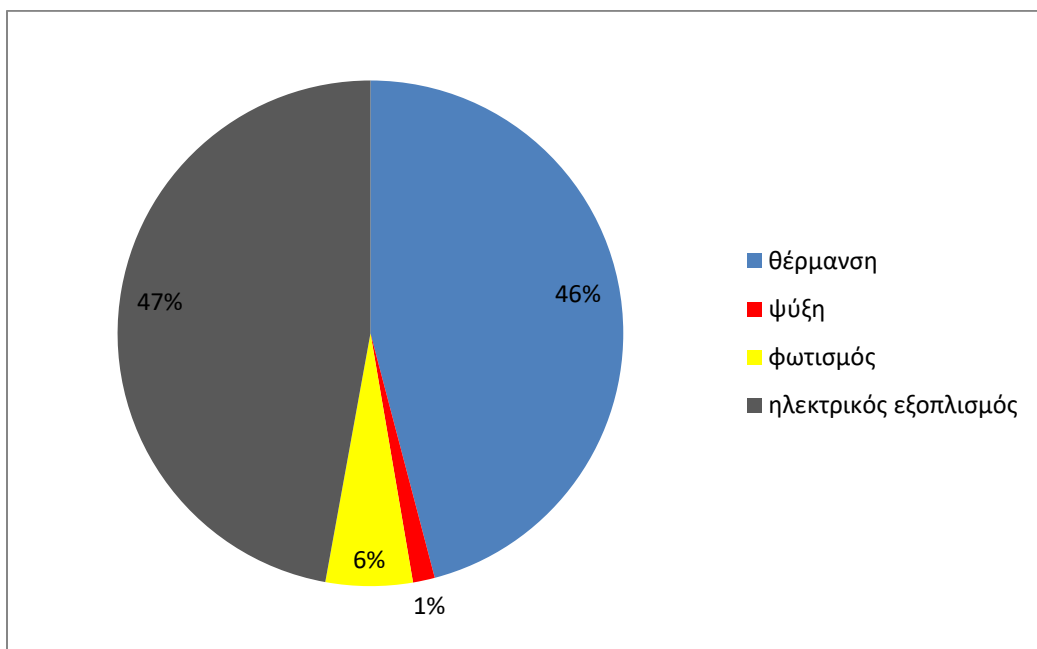
Πίνακας 4.2: Γενικά αποτελέσματα κατανάλωσης 1ου-19ου Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου

End Use - view table

End Use	Consumption (kBtu)
Heating	680352
Cooling	20734
Interior Lighting	82344
Exterior Lighting	0
Interior Equipment	698630
Exterior Equipment	0

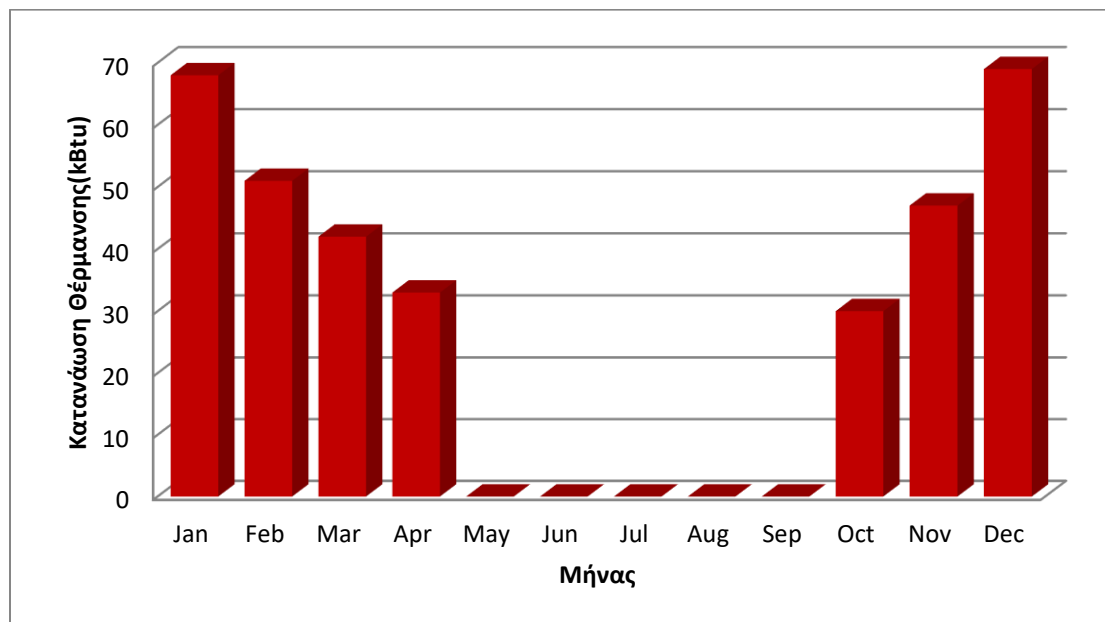


Γράφημα 4.1: Γενικά αποτελέσματα κατανάλωσης 3^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου

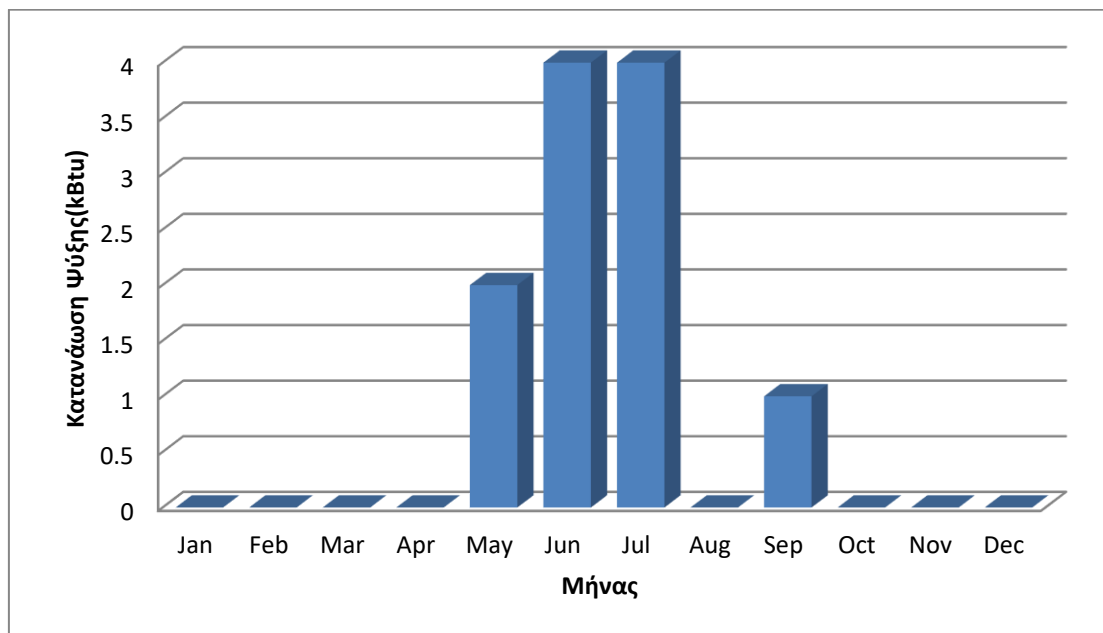


Γράφημα 4.2: Γενικά αποτελέσματα κατανάλωσης 1^{ου}-19^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου

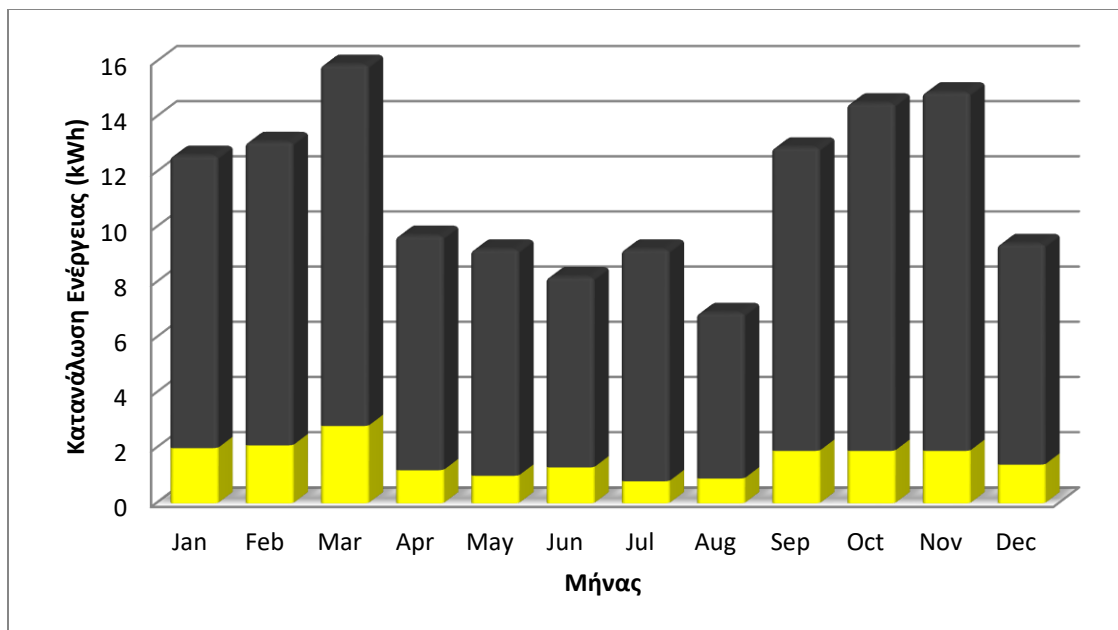
- 3^ο Δημοτικό Σχολείο



Γράφημα 4.3 Μηνιαία κατανάλωση θέρμανσης.

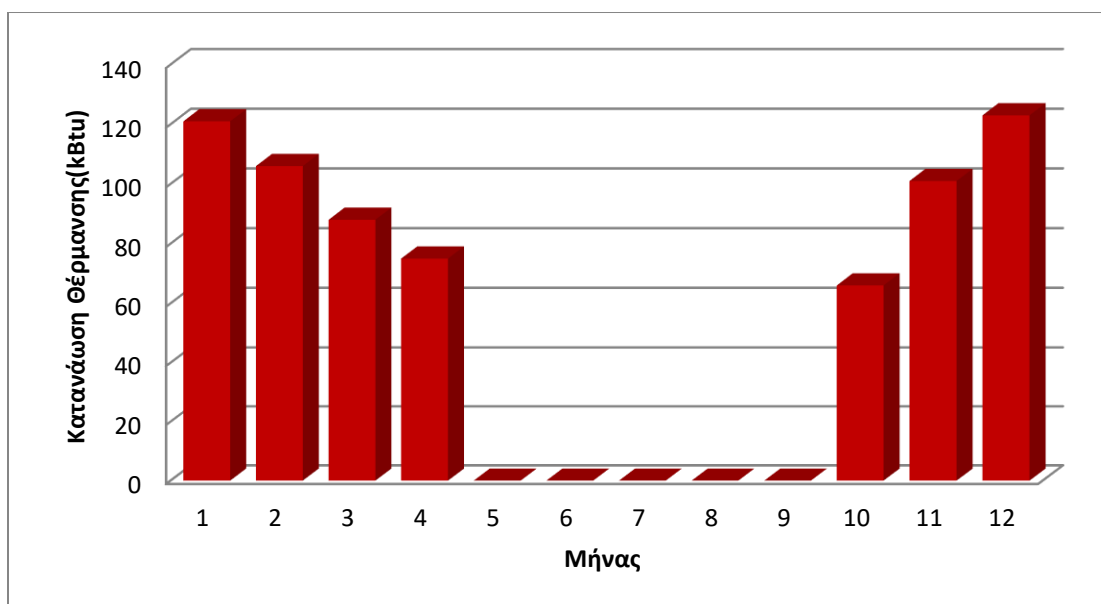


Γράφημα 4.4 Μηνιαία κατανάλωση ψύξης.

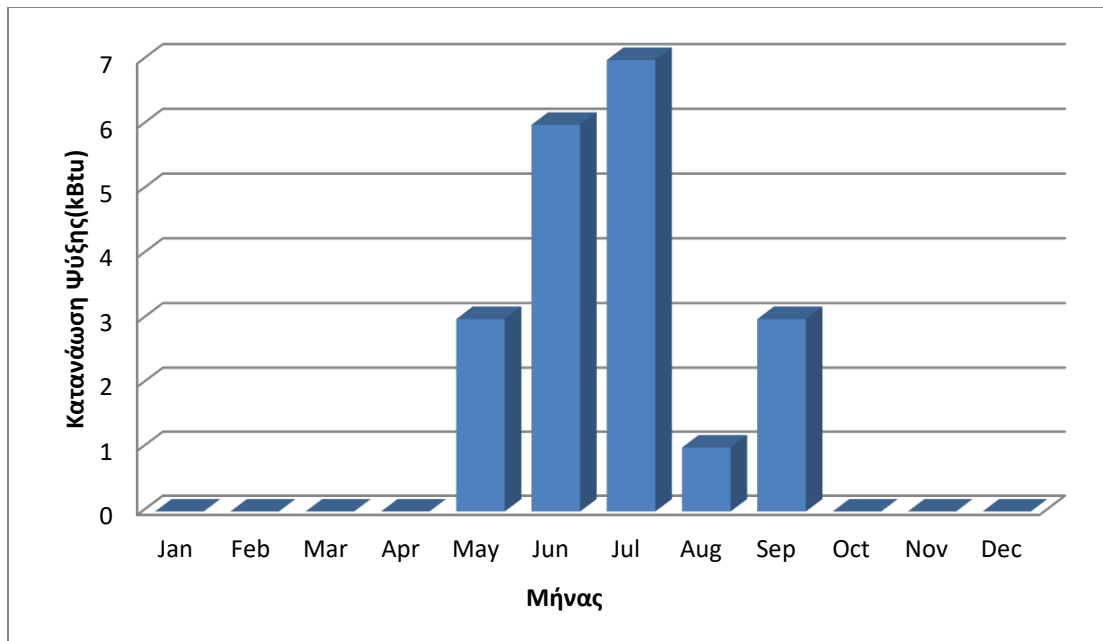


Γράφημα 4.5 Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικών συσκευών και φωτισμού.

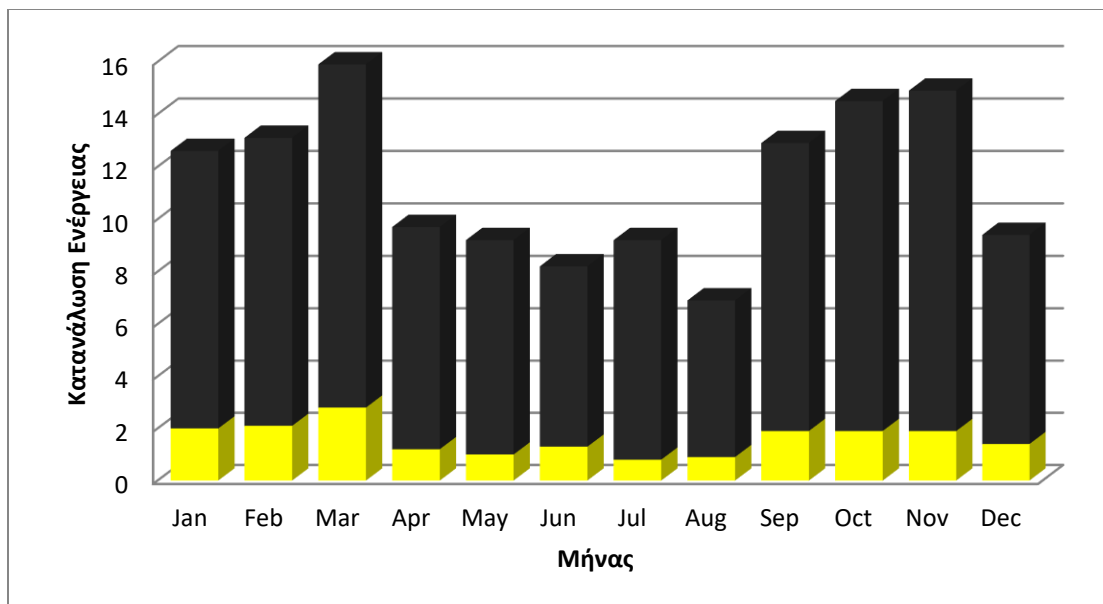
1^ο -19^ο Δημοτικό Σχολείο



Γράφημα 4.6 Μηνιαία κατανάλωση θέρμανσης.



Γράφημα 4.7 Μηνιαία κατανάλωση ψύξης.



Γράφημα 4.8 Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικών συσκευών και φωτισμού.

Η προσθήκη των μηνιαίων καταναλώσεων αποτελεί βασικό παράγοντα στην συνέχεια της διαστασιολόγησης με την χρήση του λογισμικού RETScreen. Με βάση αυτών, βρίσκεται το μέγιστο σημείο των αναγκών κάθε σχολείου (peak point) και γίνεται κατάλληλη επιλογή ΑΠΕ για κάθε ακραίο σενάριο είτε αναγκών θέρμανσης είτε ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπροσθέτως, για να μπορέσει να υπάρχει συνάφεια μεταξύ των λογισμικών του OpenStudio και του RETScreen έγινε μετατροπή των μονάδων kBtu σε kWh ώστε να μπορεί να γίνει ορθά ο υπολογισμός της τελικής κατανάλωσης. Παράλληλα, όπως έχει αναφερθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο, δεν υπάρχει κλιματιστικό σύστημα σε κανένα από τα δύο εξεταζόμενα δημόσια σχολεία με αποτέλεσμα ο συντελεστής μετατροπής κλιματιστικού συστήματος (COP) να είναι ίσος με την μονάδα. Αυτό σημαίνει, ότι τα θερμικά και τα ψυκτικά φορτία ταυτίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια. Στους πίνακες 4.3 και 4.4 αναλύονται οι επιμέρους καταναλώσεις του κάθε σχολικού κτιρίου και φαίνεται η συνολική κατανάλωση αυτών.

Πίνακας 4.3: Συνολική κατανάλωση 3ου Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου

Ενεργειακές Απαιτήσεις	Ηλεκτρικά Φορτία (kBtu)	Ηλεκτρικά Φορτία (kWh)	Τελική κατανάλωση (kWh/m ²)
Θέρμανση	340.824	99.885	55,5
Ψύξη	11.002	3.224	1,8
Φωτισμός	34.728	10.177	5,6
Ηλεκτρικές Συσκευές	372.164	109.070	60,6
Συνολική Κατανάλωση	758.718	222.356	123,5

Πίνακας 4.4: Συνολική κατανάλωση 1ου-19ου Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου

Ενεργειακές Απαιτήσεις	Ηλεκτρικά Φορτία (kBtu)	Ηλεκτρικά Φορτία (kWh)	Τελική κατανάλωση (kWh/m ²)
Θέρμανση	680.352	199.391	48,4
Ψύξη	20.734	6.077	1,5
Φωτισμός	82.344	24.132	5,9
Ηλεκτρικές Συσκευές	698.630	204.748	49,7
Συνολική Κατανάλωση	1.482.060	434.348	105,5

Με βάση τα παραπάνω ενεργειακά αποτελέσματα που βρέθηκαν μετά την ολοκλήρωση του λογισμικού του OpenStudio, παρατηρείτε ότι η τελική κατανάλωση kWh/m² είναι μικρότερη για το νεόδμητο σχολικό κτίριο ,δηλαδή το 1^ο -19^ο Δημοτικό Σχολείο, σε σχέση με το παλιό σχολικό κτίριο ,δηλαδή το 3^ο Δημοτικό Σχολείο. Αυτό οφείλεται :

- **Μόνωση**

Στο νεόδμητο σχολείο έχουν χρησιμοποιηθεί υλικά νεότερης γενιάς (μεμβράνη πολυαιθυλενίου, θερμοηχομονωτικό, μονωτική πλάκα) που προσφέρουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα και στεγανότητα στο κέλυφος του κτιρίου. Επιπλέον, το γεγονός ότι το νεόδμητο σχολικό κτίριο (1^ο -19^ο Δημοτικό Σχολείο) συνορεύει τόσο δυτικά όσο και ανατολικά με άλλα κτιριακά σύνολα ενώ το παλιό σχολείο (3^ο Δημοτικό Σχολείο) συνορεύει μόνο στην ανατολική του πλευρά έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη μόνωση του κελύφους του.

- **Εξοπλισμός**

Η τεχνολογική ανάπτυξη και πρόοδος έδωσε την δυνατότητα στο νεόδμητο σχολικό κτίριο να εξοπλιστεί με μέσα τελευταίας τεχνολογίας. Μερικές καινοτόμες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στο σχολικό κτίριο αυτό είναι:

- I. Φώτα εξοικονόμησης LED με χρονοδιακόπτη κίνησης στο χώρο.
- II. Αισθητήρες ένδειξης σφαλμάτων κατά την λειτουργία στους χώρους του λεβητοστασίου, μηχανοστασίου και κλιμακοστασίου.
- III. Τοποθέτηση <<έξυπνων>> παραθύρων στους χώρους των αιθουσών, δηλαδή παράθυρα με τριπλά ειδικά τζάμια που επιτρέπουν τον δυναμικό έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας.

Οι καινοτομίες αυτές προσφέρουν στο κτίριο μεγαλύτερη ενεργειακή εξοικονόμηση σε σχέση με το παλιό σχολείο που δεν υπάρχουν οι καινοτομίες αυτές.

- **Ηλεκτρικές Συσκευές**

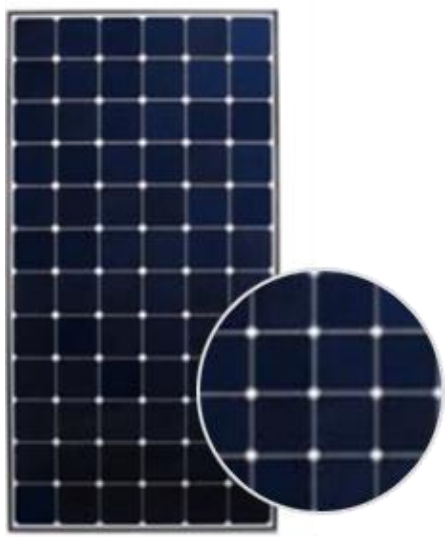
Τόσο στο παλιό όσο και στο νεόδμητο σχολείο λόγω της τεχνολογικής εξέλιξης και της διαδραστικής μάθησης, γίνεται χρήση ηλεκτρικών υπολογιστών. Επιπροσθέτως, και στα δύο σχολικά κτίρια υπάρχουν ειδικές αίθουσες για την εκπόνηση μαθημάτων πληροφορικής και η χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών γίνεται σε καθημερινή βάση. Παρόλα αυτά, χρησιμοποιούνται υπολογιστικά συστήματα με χαμηλή κατανάλωση γεγονός που φαίνεται στους πίνακες 4.3 και 4.4 καθώς αν δεν υπήρχε καινοτόμα τεχνολογία, τότε η κατανάλωση των επιμέρους ηλεκτρικών φορτίων και ως αποτέλεσμα και η συνολική κατανάλωση θα ήταν πολύ μεγαλύτερη.

4.3 Αποτελέσματα του λογισμικού RETScreen

Στην παρούσα ενότητα της διπλωματικής εργασίας, θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα αποτελέσματα των σεναρίων που πραγματοποιήθηκαν με την βοήθεια του λογισμικού RETScreen. Πιο αναλυτικά, από τα ενεργειακά αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν από το λογισμικό OpenStudio, θα γίνει ανάλυση σεναρίων με φωτοβολταϊκό σύστημα, με σύστημα αντλίας θερμότητας και με σύστημα βιομάζας για το κάθε σχολικό κτίριο.

4.3.1 Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Είναι απαραίτητο να τονιστεί ότι και στα δύο εξεταζόμενα σχολικά κτίρια θα χρησιμοποιηθεί ο ίδιος τύπος φωτοβολταϊκού συστήματος με σκοπό να υπάρχουν λογικά και συγκρίσιμα αποτελέσματα στην λειτουργία τους. Για τον λόγο αυτό θα χρησιμοποιηθεί το φωτοβολταϊκό πλαίσιο μονο-Si - SPR-E20-435-COM της εταιρίας Sunpower.



Εικόνα 4.2: Φωτογραφία εξεταζόμενου Φ/Β πλαισίου (energyage.com)

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο που επιλέχθηκε, αποτελείται από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο και διαθέτει μεγάλη αντοχή τόσο σε W όσο και σε ισχύ. Είναι επομένως εφικτό να αποδώσει μέχρι και 12% περισσότερο από την ονομαστική του ισχύ. Στους πίνακες 4.5 και 4.6 παρουσιάζονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά καθώς και η εγγύηση και οι πιστοποιήσεις του πλαισίου.

Επιπλέον, θα πρέπει να επισημανθεί ότι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και για τα δύο εξεταζόμενα σχολεία, δηλαδή τόσο το παλιό όσο και το νεόδμητο, θα είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο της ΔΕΗ. Με τον τρόπο αυτό, θα είναι εφικτός ο ενεργειακός συμψηφισμός net metering θα γίνεται δηλαδή προσαρμογή της ζήτησης στις ενεργειακές απαιτήσεις του κάθε σχολικού κτιρίου.

Πίνακας 4.5: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίου

DC Electrical Characteristics	
STC Power Rating	435W
PTC Power Rating	400.2W ¹
STC Power per unit of area	201.2W/m ² (18.7W/ft ²)
Peak Efficiency	20.12%
Power Tolerances	-5%/+5%
Number of Cells	128
Nominal Voltage	not applicable
I _{mp}	5.97A
V _{mp}	72.9V
I _{sc}	6.43A
V _{oc}	85.6V
NOCT	45°C
Temp. Coefficient of I _{sc}	0.05%/K
Temp. Coefficient of Power	-38%/K
Temp. Coefficient of Voltage	-0,235V/K
Series Fuse Rating	15A
Maximum System Voltage	1000V

Πίνακας 4.6: Μηχανικά χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίου

Mechanical Characteristics	
Type	Monocrystalline Silicon
Output Terminal Type	Multicontact Connector Type 4
Output Cable Wire Gauge	12 AWG
Output Cable Wire Type	PV Wire
Output Cable Wire Length	680mm (26,8in)
Frame Color	Clear
Backsheet Color	data not available
Length	2.067mm (81,4in)
Width	1.046mm (41,2in)
Depth	46mm (1,8in)
Weight	25,4kg (56lb)
Installation Method	Rack-Mounted

Πίνακας 4.7: Εγγυήσεις και πιστοποιήσεις Φ/Β πλαισίου

Warranty and Certifications	
80% Power Output Warranty Period	25yrs
90% Power Output Warranty Period	25yrs
Workmanship Warranty Period	25yrs
UL 1703 Fire Classification	Type 2
Compliances	UL 1703, IEC 61215, IEC 61646, IEC 61730, CEC, TUV
CSI Listed	Yes

Επιπλέον, για την σωστή λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι απαραίτητο να υπάρχει ένας μετατροπέας inverter που θα μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Πιο αναλυτικά, ο μετατροπέας(inverter) είναι μια συσκευή με ηλεκτρονικές και ηλεκτρολογικές διατάξεις, η οποία μετατρέπει το παραγόμενο από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο, συμβατό με το δίκτυο του

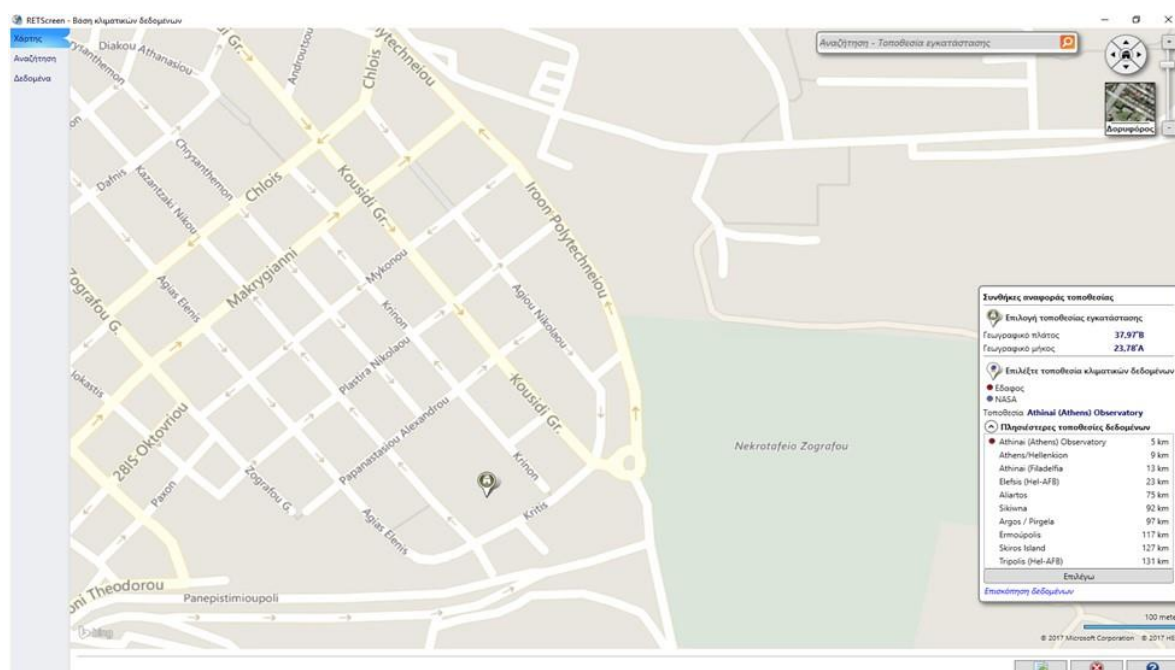
ηλεκτρισμού. Ουσιαστικά, ο μετατροπέας αποτελεί τον εγκέφαλο κάθε φωτοβολταϊκής εγκατάστασης διότι είναι υπεύθυνος για την ολική επιτήρηση του συστήματος.

Επιλέχθηκε ο μετατροπέας (inverter) PVI 100kWp 480 vac grid-tie inverter της εταιρίας Solectria που είναι κατάλληλος για μεγάλες εγκαταστάσεις.



Εικόνα 4.3: Φωτογραφία μετατροπέα (inverter)

I. 3^ο Δημοτικό Σχολείο Ζωγράφου



Εικόνα 4.4: Τοποθεσία 3^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου από RETScreen

Οι απαιτήσεις του συγκεκριμένου Δημοτικού Σχολείου για την κάλυψη του φωτισμού και των ηλεκτρικών συσκευών φτάνουν τις 119 MWh/έτος. Για την κάλυψη αυτών των απαιτήσεων, έγινε επιλογή εγκατάστασης φωτοβολταϊκής μονάδας η οποία θα έχει δυναμικότητα 73 kWp και θα αποδίδει 122 MWh/έτος σύμφωνα με τους υπολογισμούς του λογισμικού RETScreen.

Έγινε επιλογή να παράγεται περισσότερη επιμέρους ενέργεια έτσι ώστε να μπορεί να γίνει κάλυψη κάποιων αστοχιών που μπορεί να έχει ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Στον πίνακα 4.8 αναλύονται τα χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού πλαισίου που χρησιμοποιήθηκε.

Πίνακας 4.8: Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίου

RETScreen - Βάση δεδομένων προϊόντων

Σύστημα: Ηλεκτρισμός
Τεχνολογία: Φωτοβολταϊκό
Τύπος: Όλα

Εύρος δυναμικότητας: 0 kW προς 1 kW

Κατασκευαστής: Sunpower
Μοντέλο: mono-Si - SPR-E20-435-COM

Χωρητικότητα ανά μονάδα: 435 W
Αριθμός μονάδων: 168
Ισχύς: 73,08 kW

Βαθμός απόδοσης: 20,7 %
Επιφάνεια πλαισίου: 2,071 m²

Στην περίπτωση του παλιού σχολικού κτιρίου με σκοπό την ενεργειακή του αναβάθμιση, χρησιμοποιήθηκαν 168 φωτοβολταϊκά πλαίσια δηλαδή θα χρειαστούν 348 m² στην ταράτσα του σχολικού κτιρίου. Όπως έχει προαναφερθεί, η ταράτσα του σχολικού κτιρίου έχει εμβαδόν 877 m², επομένως μπορεί να γίνει με ευκολία η χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων δίχως να αλλοιωθεί η αισθητική του κτιρίου. Στον πίνακα 4.9 φαίνεται αναλυτικά η περιγραφή του φωτοβολταϊκού συστήματος που χρησιμοποιήθηκε.

Πίνακας 4.9: Περιγραφή Φ/Β συστήματος

Φωτοβολταϊκό		Επίπεδο	
Περιγραφή	Φωτοβολταϊκό	Επίπεδο 1	Επίπεδο 2
Σημείωση			

Φωτοβολταϊκό - Επίπεδο 1	
Ηλεκτρική ισχύς	kW 73,08
Κατασκευαστής	Sunpower
Μοντέλο	μονο-Si - SPR-E20-435-COM
Αριθμός μονάδων	168
Συντελεστής ισχύος	% 19%
Αρχικά κόστη	\$/kW
	\$
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	\$/kW-έτος
	\$
Εξοικονομούμενη ενέργεια	MWh 122

Στην συνέχεια, έγινε υπολογισμός του κόστους του φωτοβολταϊκού συστήματος καθώς και της εγκατάστασης, συντήρησης και προμήθειας αυτού. Με βάση τα δεδομένα που είχαν συλλεχθεί από το αρμόδιο τμήμα του Δήμου για την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας, ορίστηκε η τιμή της kWh ίση με 0,18 €/kWh. Στον πίνακα 4.10 φαίνονται τα αναλυτικά αποτελέσματα κόστους του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Πίνακας 4.10: Ανάλυση κόστους Φ/Β συστήματος

RETScreen - Ανάλυση Κόστους

Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
Αύξηση αρχικού κόστους			\$	-
Δείξε δεδομένα				
<input type="checkbox"/> αγορά Φ/Β πλαισίων ανά kW	κόστος	73	\$ 500	\$ 36.500
<input type="checkbox"/> εγκατάσταση Φ/Β πλαισίων	κόστος	168	\$ 150	\$ 25.200
<input type="checkbox"/> αγορά και εγκατάσταση inverter	κόστος	1	\$ 15.000	\$ 15.000
<input type="checkbox"/>				
Συνολικά αρχικά κόστη			\$	76.700

Ετήσια κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	έργο		\$	4.385
Δείξε δεδομένα				
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας				
Φωτοβολταϊκό			\$ 4.385	Ενημέρωση κόστους
<input type="checkbox"/> Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος		\$	-
<input type="checkbox"/>				
Συνολικά ετήσια κόστη			\$	4.385

Ετήσια εξοικονόμηση	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
<input type="checkbox"/> Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος	168	\$ 120	\$ 20.160
<input type="checkbox"/>				
Συνολική ετήσια εξοικονόμηση			\$	20.160

Τέλος, μέσω του λογισμικού RETScreen γίνεται υπολογισμός της χρηματοοικονομικής ανάλυσης με άμεσο σκοπό την αξιολόγηση του επενδυόμενου κεφαλαίου καθώς επίσης και της εύρεσης της απόδοσης του. Έγινε ορισμός του πληθωρισμού ίσος με 2,5%, το έργο να έχει ισχύ τουλάχιστον 25ετίας με βάση τα κόστη που είχαν εισαχθεί προηγουμένως. Στον πίνακα 4.11 φαίνονται τα αποτελέσματα του έργου και στο γράφημα 4.9 φαίνεται το διάγραμμα αθροιστικών χρηματορροών του έργου.

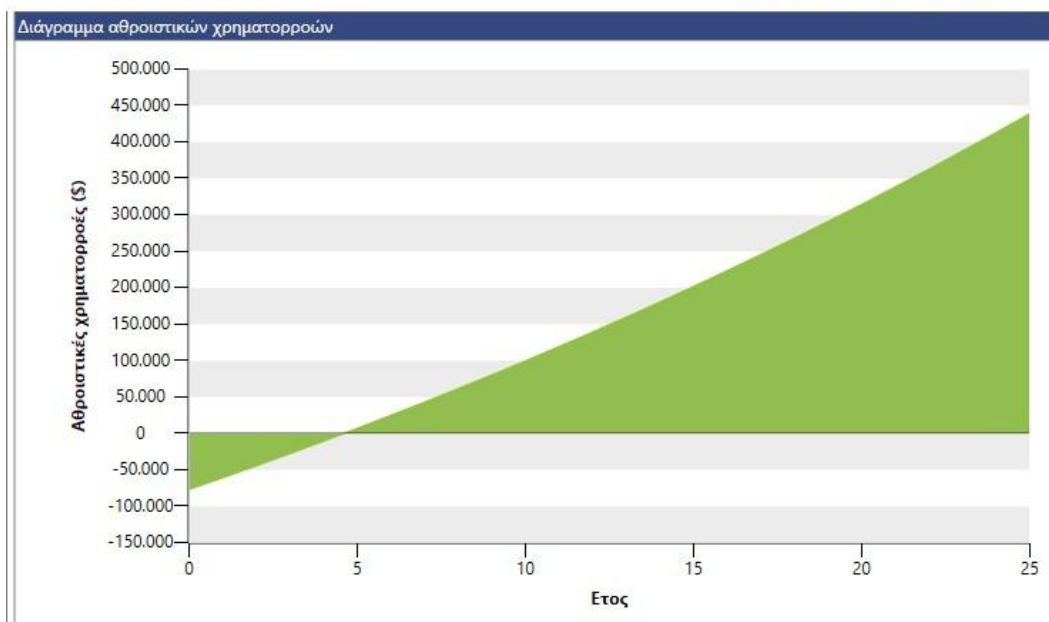
Πιο αναλυτικά, παρατηρείται ότι ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης έργου είναι 22,8% ο οποίος δείχνει τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης του έργου. Επιπλέον φαίνεται ότι η χρονική περίοδος αποπληρωμής του έργου είναι 4,9 έτη.

Πίνακας 4.11: Οικονομική ανάλυση Φ/Β συστήματος

RETScreen - Οικονομική Ανάλυση

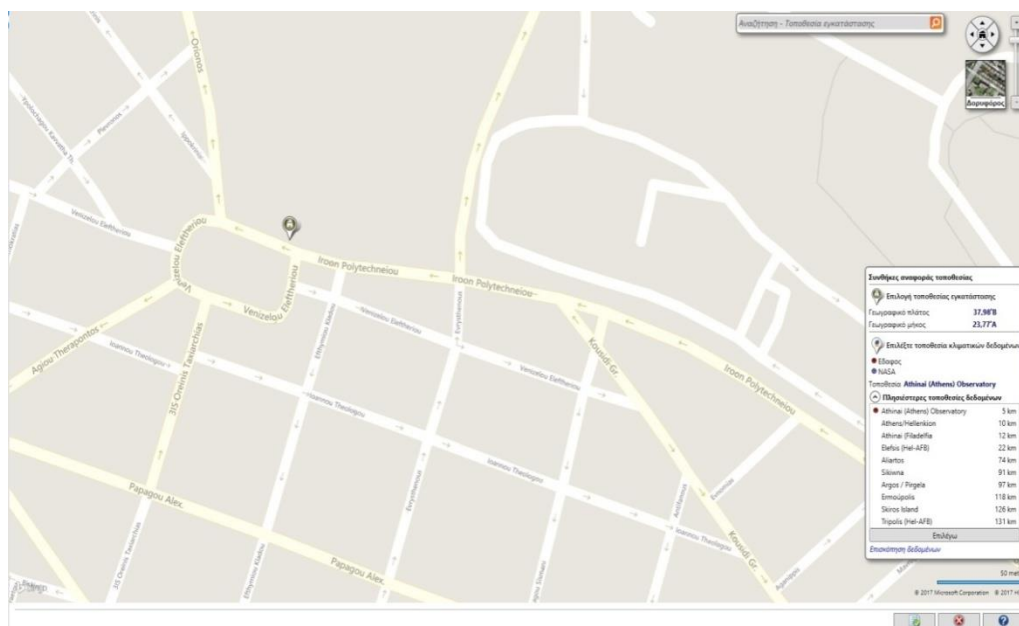
Οικονομική Ανάλυση		
Οικονομικοί Παράμετροι		
Τιμή πληθωρισμού	%	2%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος	25
Τοκοχρεολύσιο	%	0%
Συνολικά αρχικά κόστη	\$	76.700
Κίνητρα και επιχορηγήσεις	\$	
Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους		
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	\$	4.385
Συνολικά ετήσια κόστη	\$	4.385
Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα		
Οριζόμενο από τον χρήστη	\$	20.160
Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα	\$	20.160
Οικονομική Βιωσιμότητα		
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	22,8%
Απλή αποπληρωμή	έτος	4,9
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	4,6

Συνδρομητής: Πρόγραμμα προβολής



Γράφημα 4.9: Καμπύλη αθροιστικών χρηματοροών Φ/Β συστήματος

II. 1^ο-19^ο Δημοτικό Σχολείο Ζωγράφου



Εικόνα 4.5: Τοποθεσία 1^{ου}-19^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου από RETScreen

Οι απαιτήσεις του συγκεκριμένου νεόδμητου Δημοτικού Σχολείου για την κάλυψη του φωτισμού και των ηλεκτρικών συσκευών φτάνουν τις 229 MWh/έτος. Για την κάλυψη αυτών των απαιτήσεων, έγινε επιλογή εγκατάστασης φωτοβολταϊκής μονάδας η οποία θα έχει δυναμικότητα 139 kWp και θα αποδίδει 232 MWh/έτος σύμφωνα με τους υπολογισμούς του λογισμικού RETScreen. Έγινε επιλογή να παράγεται περισσότερη επιμέρους ενέργεια έτσι ώστε να μπορεί να γίνει κάλυψη κάποιων αστοχιών που μπορεί να έχει ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Στον πίνακα 4.12 αναλύονται τα χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού πλαισίου που χρησιμοποιήθηκε.

Πίνακας 4.12: Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίου

RETScreen – Βάση δεδομένων προϊόντων

Σύστημα: Ηλεκτρισμός
Τεχνολογία: Φωτοβολταϊκό
Τύπος: Όλα

Εύρος δυναμικότητας: ☐
kW: 0 προς kW: 1

Κατασκευαστής: Sunpower
Μοντέλο: μονο-Si - SPR-E20-435-COM

Χωρητικότητα ανά μονάδα: W 435
Αριθμός μονάδων: 320
Ισχύς: kW 139,2

Βαθμός απόδοσης: 20,7 %
Επιφάνεια πλαισίου: 2,071 m²

Στην περίπτωση του νεόδμητου σχολικού κτιρίου με σκοπό την ενεργειακή του αναβάθμιση, χρησιμοποιήθηκαν 320 φωτοβολταϊκά πλαίσια δηλαδή θα χρειαστούν 662m² στην ταράτσα του σχολικού κτιρίου. Η ταράτσα του σχολικού κτιρίου έχει εμβαδόν 1080m², επομένως μπορεί να γίνει η χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων δίχως να αλλοιωθεί η αισθητική του κτιρίου. Παράλληλα, επειδή προϋπάρχουν στον χώρο της ταράτσας φωτοβολταϊκά πλαίσια, θα μπορεί να γίνει σύνδεση με το υπάρχον δίκτυο και να χρειαστούν λιγότερα νέα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Στον πίνακα 4.13 φαίνεται αναλυτικά η περιγραφή του φωτοβολταϊκού συστήματος που χρησιμοποιήθηκε.

Πίνακας 4.13: Περιγραφή Φ/Β συστήματος

Φωτοβολταϊκό

Περιγραφή

Φωτοβολταϊκό

Σημείωση

Επίπεδο

Επίπεδο 1

Επίπεδο 2

Φωτοβολταϊκό - Επίπεδο 1

Ηλεκτρική ισχύς

kW

139,2

Κατασκευαστής

Sunpower

Μοντέλο

μονο-Si - SPR-E20-435-COM

Αριθμός μονάδων

320

Συντελεστής ισχύος

%

19%

Αρχικά κόστη

\$/kW

Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)

\$/kW-έτος

Εξοικονομούμενη ενέργεια

MWh

232

Μετάπειτα, έγινε υπολογισμός του κόστους του φωτοβολταϊκού συστήματος καθώς και της εγκατάστασης, συντήρησης και προμήθειας αυτού. Όπως ακριβώς και την περίπτωση του παλιού σχολείου, έτσι και στην περίπτωση του νεόδμητου σχολείου, ορίστηκε η τιμή της kWh ίση με 0,18 €/kWh. Στον πίνακα 4.14 φαίνονται τα αναλυτικά αποτελέσματα κόστους του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Πίνακας 4.14: Ανάλυση κόστους Φ/Β συστήματος

RETScreen - Ανάλυση Κόστους				
Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
Αύξηση αρχικού κόστους			\$	-
Δείξε δεδομένα				
- αγορά Φ/Β πλαισίων ανά kW	κόστος	139	\$ 500	\$ 69.500
- εγκατάσταση Φ/Β πλαισίων	κόστος	320	\$ 150	\$ 48.000
- αγορά και εγκατάσταση inverter	κόστος	1	\$ 15.000	\$ 15.000
+				
Συνολικά αρχικά κόστη			\$	132.500
Ετήσια κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	έργο		\$	8.352
Δείξε δεδομένα				
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας				
Φωτοβολταϊκό			\$ 8.352	Ενημέρωση κόστους
- Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος		\$	-
+				
Συνολικά ετήσια κόστη			\$	8.352
Ετήσια εξοικονόμηση	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
- Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος	320	\$ 120	\$ 38.400
+				
Συνολική ετήσια εξοικονόμηση			\$	38.400

Τέλος, για την περίπτωση του νεόδμητου σχολικού κτιρίου, μέσω του λογισμικού RETScreen έγινε υπολογισμός της χρηματοοικονομικής ανάλυσης με σκοπό την αξιολόγηση του επενδυόμενου κεφαλαίου καθώς επίσης και της εύρεσης της απόδοσης του.

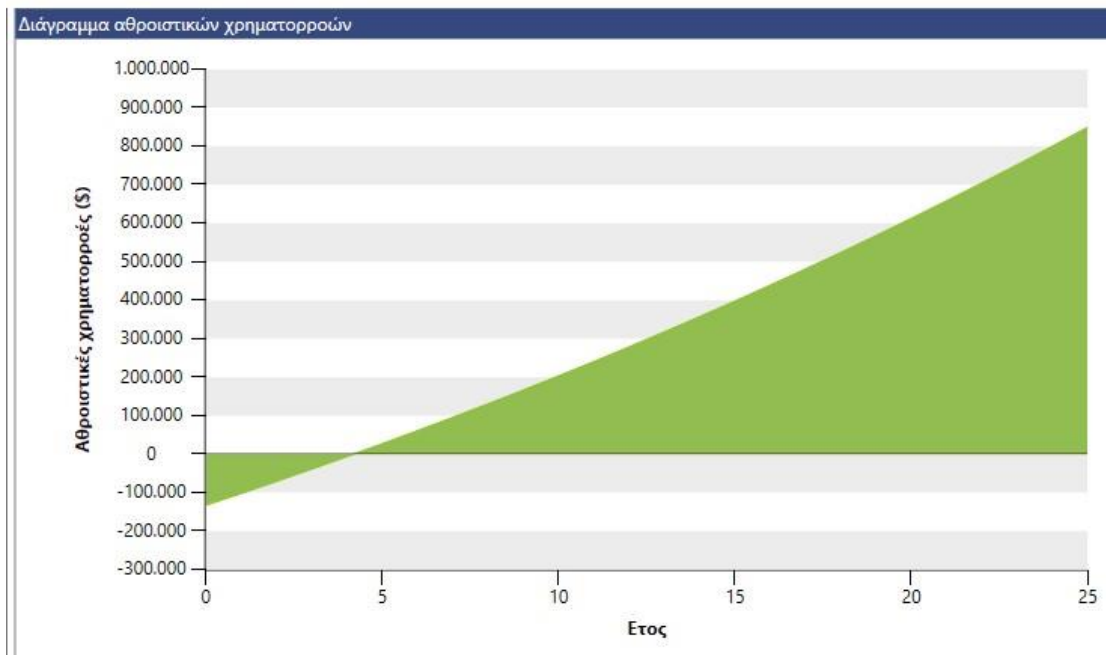
Έγινε ορισμός του πληθωρισμού ίσο με 2,5%, το έργο να έχει ισχύ τουλάχιστον 25ετίας με βάση τα κόστη που είχαν εισαχθεί προηγουμένως. Στον πίνακα 4.15 φαίνονται τα αποτελέσματα του έργου και στο γράφημα 4.10 φαίνεται το διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών του έργου.

Ειδικότερα παρατηρείται ότι ο δείκτης IRR είναι 25% και η χρονική περίοδος αποπληρωμής του έργου ισούται με 4,4 έτη.

Πίνακας 4.15: Οικονομική ανάλυση Φ/Β συστήματος

RETScreen - Οικονομική Ανάλυση

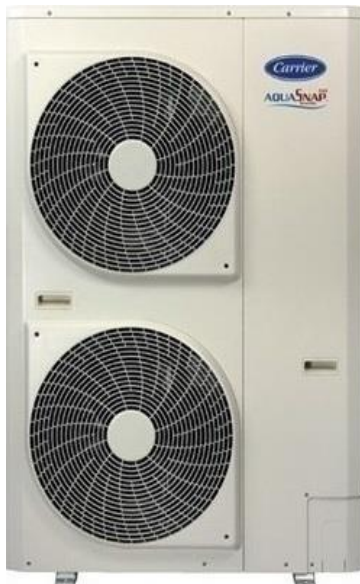
Οικονομική Ανάλυση		
Οικονομικοί Παράμετροι		
Τιμή πληθωρισμού	%	2%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος	25
Τοκοχρεολύσιο	%	0%
Συνολικά αρχικά κόστη	\$	132.500
Κίνητρα και επιχορηγήσεις	\$	
Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους		
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	\$	8.352
Συνολικά ετήσια κόστη	\$	8.352
Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα		
Οριζόμενο από τον χρήστη	\$	38.400
Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα	\$	38.400
Οικονομική Βιωσιμότητα		
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	25%
Απλή αποπληρωμή	έτος	4,4
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	4,2



Γράφημα 4.10: Καμπύλη αθροιστικών χρηματοροών Φ/Β συστήματος

4.3.2 Αντλία Θερμότητας

Για να μπορέσουν να εξαχθούν ακριβή και συγκρίσιμα αποτελέσματα σε σχέση με την ενεργειακή αναβάθμιση των δύο σχολείων επιλέχθηκαν αντλίες θερμότητας της ίδιας κατασκευαστικής εταιρίας (Carrier) μοντέλου Carrier Aqua Snap 30AWH015-XC Inverter.



Εικόνα 4.6: Φωτογραφία Αντλίας Θερμότητας

Οι επιλεγμένες αντλίες, είναι αντλίες μεσαίων θερμοκρασιών κατάλληλες για την θέρμανση των επιμέρους χώρων των σχολικών κτιρίων, ενώ με τις κατάλληλες προσθήκες μονάδων κεντρικού κλιματισμού μπορεί να επιτευχθεί και ψύξη των χώρων. Επιπροσθέτως, θα χρησιμοποιηθεί και δοχείο αδράνειας για να βοηθήσει την επίτευξη της ομαλής λειτουργίας της θέρμανσης του σχολικού κτιρίου και θα αποτρέψει συνεχή επανεκκινήσεις των αντλιών θερμότητας με αποτέλεσμα την οικονομικότερη λειτουργία του συστήματος συνολικά.

Οι συγκεκριμένες αντλίες θερμότητας, έχουν υβριδική τεχνολογία inverter DC, η οποία έχει την δυνατότητα να ρυθμίζει τις στροφές του συμπιεστή ανάλογα με το φορτίο και με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται ελεγχόμενες, χωρίς διακυμάνσεις θερμοκρασίες. Επιπλέον, έχουν την δυνατότητα επιτυχούς λειτουργίας για εξωτερικές θερμοκρασίες έως -10°C, ενώ παράλληλα επιτυγχάνουν ενεργειακή αποδοτική ψύξη για τις θερμές βαθμομηρές του χρόνου. Επιπλέον, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι συγκεκριμένες αντλίες θερμότητας, έχουν διπλή μόνωση στον αξονικό τους ανεμιστήρα και έχουν επίσης αποσβεστήρα κραδασμών για τα δονούμενα εξαρτήματα. Τέλος, η θερμοκρασία εξόδου του νερού φτάνει μέχρι 60 °C γεγονός που την ορίζει κατάλληλη για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

Στους πίνακες 4.16 και 4.17 φαίνονται τα χαρακτηριστικά στοιχεία καθώς και τα ηλεκτρικά για τον συγκεκριμένο τύπο αντλίας θερμότητας.

Πίνακας 4.16: Χαρακτηριστικά στοιχεία απόδοσης αντλίας

Απόδοση Θέρμανσης*	15 kW
Απορροφούμενη ισχύς Θέρμανσης*	3,57 kW
COP*	4,20 kW
Ενεργειακή κλάση Θέρμανσης*	A
Απόδοση Ψύξης*	16 kW
Απορροφούμενη ισχύς Ψύξης*	4,20 kW
EER*	3,81 kW
Ενεργειακή κλάση Ψύξης*	A
Απόδοση Θέρμανσης**	14,5 kW
Απορροφούμενη ισχύς Θέρμανσης**	4.39 kW
COP**	3,30 kW
Ενεργειακή κλάση Θέρμανσης**	A
Απόδοση Ψύξης**	13 kW
Απορροφούμενη ισχύς Ψύξης**	4,47 kW
EER**	2,91 kW
ESEER απόδοση**	4,3 kW
Ενεργειακή κλάση Ψύξης**	B

*Θέρμανση: Διατήρηση ζεστού νερού στους 35° C με εξωτερική θερμοκρασία 7° C

*Ψύξη: Διατήρηση κρύου νερού στους 18° C με εξωτερική θερμοκρασία 35° C

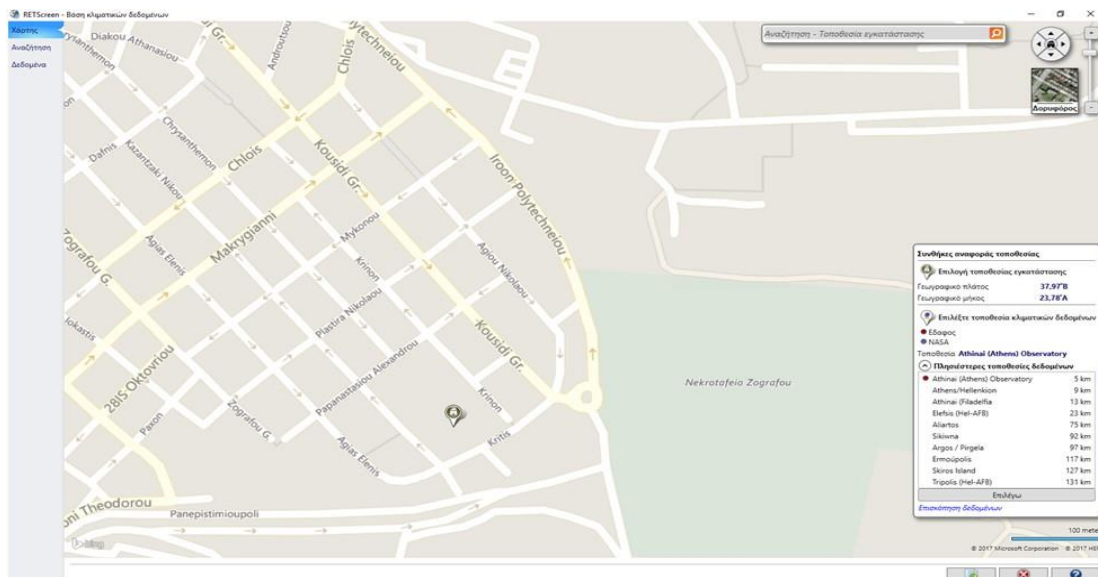
**Θέρμανση: Διατήρηση ζεστού νερού στους 45° C με εξωτερική θερμοκρασία 7° C

**Ψύξη: Διατήρηση κρύου νερού στους 7° C με εξωτερική θερμοκρασία 35° C

Πίνακας 4.17: Χαρακτηριστικά μονάδων και ηλεκτρικά στοιχεία αντλίας

Χαρακτηριστικά Μονάδων	
Διαστάσεις Μονάδας (Υψος / Βάθος / Μήκος)	821x350x908mm
Βάρος	109 Kg
Τύπος Συμπιεστή	DC Twin Rotary με PMV βαλβίδα επέκτασης
Ηλεκτρικά Στοιχεία	
Ηλεκτρική Παροχή	230-1-50
Εύρος ρεύματος	198-264
Ηλεκτρική Ασφάλεια	25 A
Καλώδιο τροφοδοσίας	2,5mm ²

Ι. 3^ο Δημοτικό Σχολείο Ζωγράφου



Εικόνα 4.7: Τοποθεσία 3^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου από RETScreen

Οι απαιτήσεις του συγκεκριμένου παλιού σχολείου για θέρμανση ανέρχονται στις 106MWh ανά χρόνο. Για την κάλυψη των αναγκών αυτών υπολογίστηκε ότι θα γίνεται χρήση της αντλίας για τους χειμερινούς μήνες του σχολικού έτους δηλαδή από Νοέμβριο- Απρίλιο. Θεωρήθηκαν ότι θα χρειαστούν 400-500 ώρες τον χρόνο λειτουργίας των αντλιών θερμότητας. Στον πίνακα 4.18 αναλύονται τα χαρακτηριστικά των αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιήθηκαν για την ενεργειακή αναβάθμιση.

Πίνακας 4.18: Χαρακτηριστικά αντλίας θερμότητας

RETScreen - Βάση δεδομένων προϊόντων

Σύστημα: Θέρμανση

Τεχνολογία: Αντλία θερμότητας

Τύπος: Πηγή : αέρας

Εύρος δυναμικότητας: 0 kW προς 202 kW

Κατασκευαστής: Carrier

Μοντέλο: 38QR060C51/61 40QAE06031

Χωρητικότητα ανά μονάδα: 16,84 kW

Αριθμός μονάδων: 5

Ισχύς: 84,2 kW

COP Ψύξης: 2,93
COP Θέρμανσης: 1,96
Ισχύς ψύξεως: 16,98 kW

Στην περίπτωση του συγκεκριμένου σχολικού κτιρίου θα χρησιμοποιηθούν 5 αντλίες για την κάλυψη των αναγκών του. Κάθε μία αντλία, θα είναι αρμόδια για την κάλυψη ορισμένων αιθουσών διδασκαλίας ή γραφείων καθηγητών με στόχο να γίνει σωστή διαστασιολόγηση του υπό εξέταση σχολικού κτιρίου. Η τοποθέτηση των εξωτερικών μονάδων μπορεί να γίνει στον περιβάλλοντα χώρο του λεβητοστασίου του σχολείου και στην συνέχεια να γίνει η κατάλληλη σύνδεση τους μέσω σωληνώσεων στα σώματα που υπάρχουν σε κάθε χώρο του κτιρίου. Στον πίνακα 4.19 φαίνονται αναλυτικά η περιγραφή των αντλιών και η σύγκριση με το προϋπάρχον σύστημα λέβητα πετρελαίου.

Πίνακας 4.19: Περιγραφή συστήματος αντλιών θερμότητας και σύγκριση με βασική περίπτωση λέβητα πετρελαίου

Σύστημα θέρμανσης		Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση
Περιγραφή	Αντλία θερμότητας	Βιοντίζελ - L	Ηλεκτρική ενέργεια - kWh
Σημείωση			
Τύπος Καυσίμου		Βιοντίζελ - L	Ηλεκτρική ενέργεια - kWh
Τιμή Καυσίμου	\$/L	1,11	0,18
<input checked="" type="checkbox"/> Εξοπλισμός θέρμανσης			
Ισχύς	kW	225	84,2
Κατασκευαστής		Buderus	Carrier
Μοντέλο		G315-9-D	38QR060C51/61 40QAE06031
Αριθμός μονάδων		1	5
Εποχιακή απόδοση	%		
Αύξηση αρχικού κόστους	\$/kW		
Οικονομία Λ & Σ	\$		



Εικόνα 4.8: Φωτογραφία υπάρχοντος συστήματος λέβητα πετρελαίου του 3^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου

Μετέπειτα, έγινε υπολογισμός του κόστους του συστήματος των αντλιών θερμότητας που θα χρησιμοποιηθούν ενώ λήφθηκε υπόψη και το πρόσθετο κόστος του δοχείου αδρανείας. Επιπλέον προστέθηκε το κόστος εγκατάστασης, συντήρησης και προμήθειας του συστήματος αντλιών συνολικά. Στον πίνακα 4.20 φαίνονται τα αναλυτικά αποτελέσματα κόστους του συστήματος αντλιών θερμότητας.

Πίνακας 4.20: Ανάλυση κόστους συστήματος αντλιών θερμότητας

RETScreen - Ανάλυση Κόστους

Συνδρομητής: Πρόγραμμα προβολής

Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
Αύξηση αρχικού κόστους			\$	-
Δείξε δεδομένα				
- κόστος αγοράς αντλίας	κόστος ▼	5	\$ 6.200	\$ 31.000
- κόστος τοποθέτησης αντλίας	κόστος ▼	5	\$ 850	\$ 4.250
- κόστος σωληνώσεων αντλίας	κόστος ▼	300	\$ 3	\$ 900
- Buffer	κόστος ▼	1	\$ 1.200	\$ 1.200
+				
Συνολικά αρχικά κόστη			\$	37.350
Ετήσια κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	έργο		\$	0
Δείξε δεδομένα				
Σύστημα θέρμανσης				
Αντλία θερμότητας			\$ 0	Ενημέρωση κόστους
- κόστος συντήρησης	κόστος ▼	5	\$ 125	\$ 625
+				
Συνολικά ετήσια κόστη			\$	625
Ετήσια εξοικονόμηση	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
- ετήσια εξοικονόμηση αντλίας	κόστος ▼	5	\$ 1.300	\$ 6.500
+				
Συνολική ετήσια εξοικονόμηση			\$	6.500

Τέλος, μέσω του λογισμικού RETScreen γίνεται υπολογισμός της χρηματοοικονομικής ανάλυσης με άμεσο σκοπό την αξιολόγηση του επενδυόμενου κεφαλαίου καθώς επίσης και της εύρεσης της απόδοσης του. Έγινε ορισμός του πληθωρισμού ίσο με 2,5%, το έργο να έχει ισχύ τουλάχιστον 25ετίας και με βάση τα κόστη που είχαν εισαχθεί προηγουμένως. Για να μπορέσουν τα εξεταζόμενα σενάρια να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους δεν έγινε αλλαγή του πληθωρισμού αλλά ούτε εισήχθη και κάποιο ποσό ως κίνητρο ή επιχορήγηση του έργου.

Στον πίνακα 4.21 φαίνονται τα αποτελέσματα του έργου και στο γράφημα 4.11 φαίνεται το διάγραμμα αθροιστικών χρηματορροών του έργου.

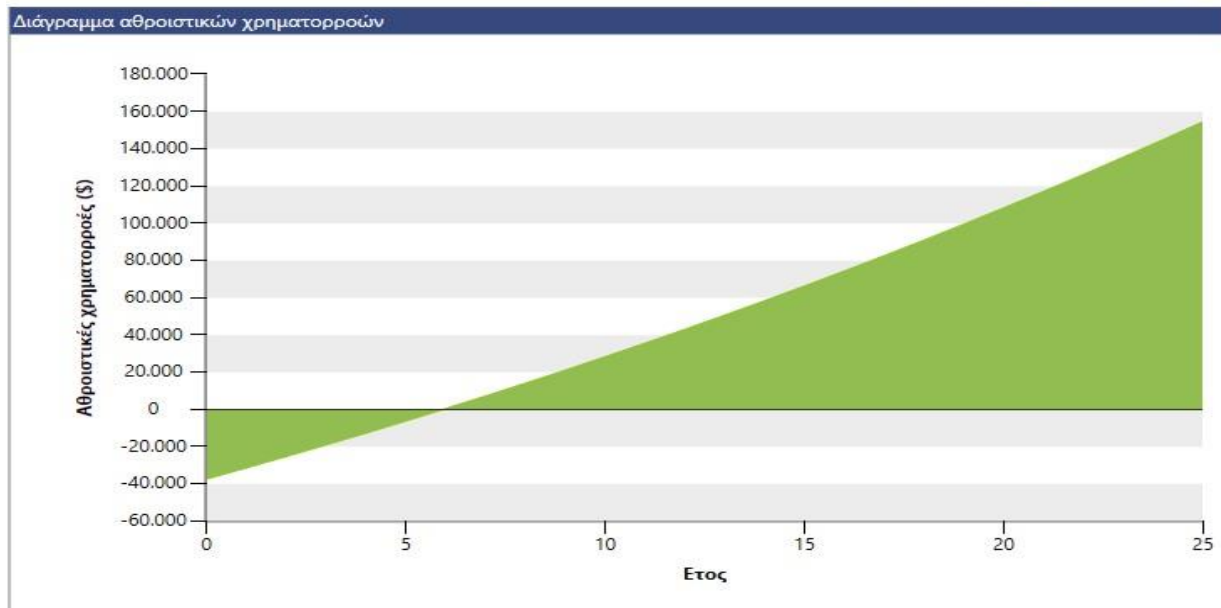
Πιο αναλυτικά, παρατηρείται ότι ο δείκτης IRR είναι 17,6%, ο οποίος δείχνει τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης του έργου. Επιπλέον, φαίνεται ότι η χρονική περίοδος αποπληρωμής του έργου είναι ίση με 6,4 έτη.

Πίνακας 4.21: Οικονομική ανάλυση συστήματος αντλιών θερμότητας

RETSscreen - Οικονομική Ανάλυση

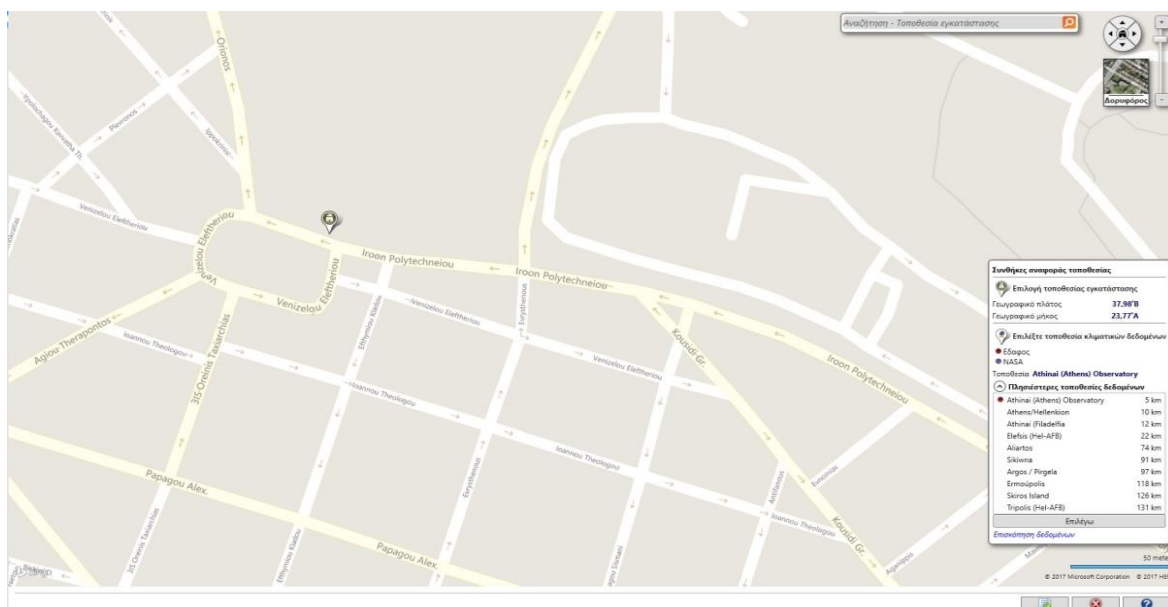
Οικονομική Ανάλυση		
Οικονομικοί Παράμετροι		
Τιμή πληθωρισμού	%	2%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος	25
Τοκοχρεολύσιο	%	0%
Συνολικά αρχικά κόστη	\$	37.350
Κίνητρα και επιχορηγήσεις	\$	
Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους		
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	\$	0
κόστος συντήρησης	\$	625
Συνολικά ετήσια κόστη	\$	625
Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα		
ετήσια εξοικονόμηση αντλίας	\$	6.500
Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα	\$	6.500
Οικονομική Βιωσιμότητα		
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	17,6%
Απλή αποπληρωμή	έτος	6,4
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	5,9

Συνδρομητής: Πρόγραμμα προβολής



Γράφημα 4.11: Καμπύλη αθροιστικών χρηματοροών συστήματος αντλιών θερμότητας

II. 1^ο-19^ο Δημοτικό Σχολείο Ζωγράφου



Εικόνα 4.9: Τοποθεσία 1^{ου}-19^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου από RETScreen

Οι απαιτήσεις του νεόδμητου σχολείου για θέρμανση ανέρχονται στις 200MWh ανά χρόνο. Για την κάλυψη των αναγκών αυτών υπολογίστηκε ότι θα γίνεται χρήση της αντλίας για τους χειμερινούς μήνες του σχολικού έτους δηλαδή από Νοέμβριο- Απρίλιο.

Θεωρήθηκαν ότι θα χρειαστούν 400-450 ώρες τον χρόνο λειτουργίας των αντλιών θερμότητας. Στον πίνακα 4.22 αναλύονται τα χαρακτηριστικά των αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιήθηκαν για την ενεργειακή αναβάθμιση.

Πίνακας 4.22: Χαρακτηριστικά αντλίας θερμότητας

RETScreen – Βάση δεδομένων προϊόντων

Σύστημα: Θέρμανση
 Τεχνολογία: Αντλία θερμότητας
 Τύπος: Πηγή : αέρας

Εύρος δυναμικότητας: ☐

kW: 0 προς kW: 202

Κατασκευαστής: Carrier
 Μοντέλο: 38QR060C51/61 40QAE06031

Χωρητικότητα ανά μονάδα: kW 16,84
 Αριθμός μονάδων: 9
 Ισχύς: kW 151,56

COP Ψύξης: 2,93
 COP Θέρμανσης: 1,96
 Ισχύς ψύξεως: 16,98 kW

Στην περίπτωση του συγκεκριμένου νεόδμητου σχολικού κτιρίου θα χρησιμοποιηθούν 9 αντλίες για την κάλυψη των αναγκών του. Θα μπορούσαν να επιλεχθούν λιγότερες αντλίες για την ολοκλήρωση της ενεργειακής μελέτης αλλά για λόγους σύγκρισης των δύο σχολείων επιλέχθηκαν οι ίδιες αντλίες με το παλιό σχολείο.

Κάθε μία αντλία, θα είναι αρμόδια για την κάλυψη ορισμένων αιθουσών διδασκαλίας η γραφείων καθηγητών με στόχο να γίνει σωστή διαστασιολόγηση του υπό εξέταση σχολικού κτιρίου. Η τοποθέτηση των εξωτερικών μονάδων μπορεί να γίνει στο λεβητοστάσιο του σχολείου και στην συνέχεια να γίνει η κατάλληλη σύνδεση τους μέσω σωληνώσεων στα σώματα που υπάρχουν σε κάθε χώρο του κτιρίου. Στον πίνακα 4.23 φαίνονται αναλυτικά η περιγραφή των αντλιών και η σύγκριση με το προϋπάρχον σύστημα λέβητα πετρελαίου.

Πίνακας 4.23: Περιγραφή συστήματος αντλιών θερμότητας και σύγκριση με βασική περίπτωση λέβητα πετρελαίου

Σύστημα θέρμανσης		Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση
Περιγραφή	Αντλία θερμότητας	Βιοντίζελ - L	Ηλεκτρική ενέργεια - kWh
Σημείωση		1,11	0,18
Τύπος Καυσίμου			
Τιμή Καυσίμου	\$/L		
<input checked="" type="checkbox"/> Εξοπλισμός θέρμανσης			
Ισχύς	kW	450	151,56
Κατασκευαστής		Buderus	Carrier
Μοντέλο		G315-9-D	38QR060C51/61 40QAE06031
Αριθμός μονάδων		2	9
Εποχιακή απόδοση	%		
Αύξηση αρχικού κόστους	\$/kW		
Οικονομία Α & Σ	\$		



Εικόνα 4.9: Φωτογραφίες υπάρχοντος συστήματος λέβητα πετρελαίου του 1^{ου} - 19^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου

Μετάπειτα, έγινε υπολογισμός του κόστους του συστήματος των αντλιών θερμότητας που θα χρησιμοποιηθούν ενώ λήφθηκε υπόψη και το πρόσθετο κόστος του δοχείου αδρανείας. Επιπλέον προστέθηκε το κόστος εγκατάστασης, συντήρησης και προμήθειας του συστήματος αντλιών συνολικά. Στον πίνακα 4.24 φαίνονται τα αναλυτικά αποτελέσματα κόστους του συστήματος αντλιών θερμότητας.

Πίνακας 4.24: Ανάλυση κόστους συστήματος αντλιών θερμότητας

RETScreen - Ανάλυση Κόστους

Συνδρομητής: Πρόγραμμα προβολής

Αρχικά κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
Αύξηση αρχικού κόστους			\$	-
<input checked="" type="checkbox"/> Δείξε δεδομένα				
<input type="checkbox"/> κόστος αγοράς αντλίας	κόστος ▼	9	\$ 6.000	\$ 54.000
<input type="checkbox"/> κόστος τοποθέτησης αντλίας	κόστος ▼	9	\$ 850	\$ 7.650
<input type="checkbox"/> κόστος σωληνώσεων αντλίας	κόστος ▼	300	\$ 3	\$ 900
<input type="checkbox"/> Buffer	κόστος ▼	1	\$ 1.500	\$ 1.500
<input type="checkbox"/>				
Συνολικά αρχικά κόστη			\$	64.050

Ετήσια κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	έργο		\$	0
<input checked="" type="checkbox"/> Δείξε δεδομένα				
Σύστημα θέρμανσης				
Αντλία θερμότητας			\$ 0	Ενημέρωση κόστους
<input type="checkbox"/> κόστος συντήρησης	κόστος ▼	9	\$ 180	\$ 1.620
<input type="checkbox"/>				
Συνολικά ετήσια κόστη			\$	1.620

Ετήσια εξοικονόμηση	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
<input type="checkbox"/> ετήσια εξοικονόμηση αντλίας	κόστος ▼	9	\$ 1.250	\$ 11.250
<input type="checkbox"/>				
Συνολική ετήσια εξοικονόμηση			\$	11.250

Τέλος, μέσω του λογισμικού RETScreen γίνεται υπολογισμός της χρηματοοικονομικής ανάλυσης με άμεσο σκοπό την αξιολόγηση του επενδυόμενου κεφαλαίου καθώς επίσης και της εύρεσης της απόδοσης του. Έγινε ορισμός του πληθωρισμού ίσο με 2,5%, το έργο να έχει ισχύ τουλάχιστον 25ετίας και με βάση τα κόστη που είχαν εισαχθεί προηγουμένως.

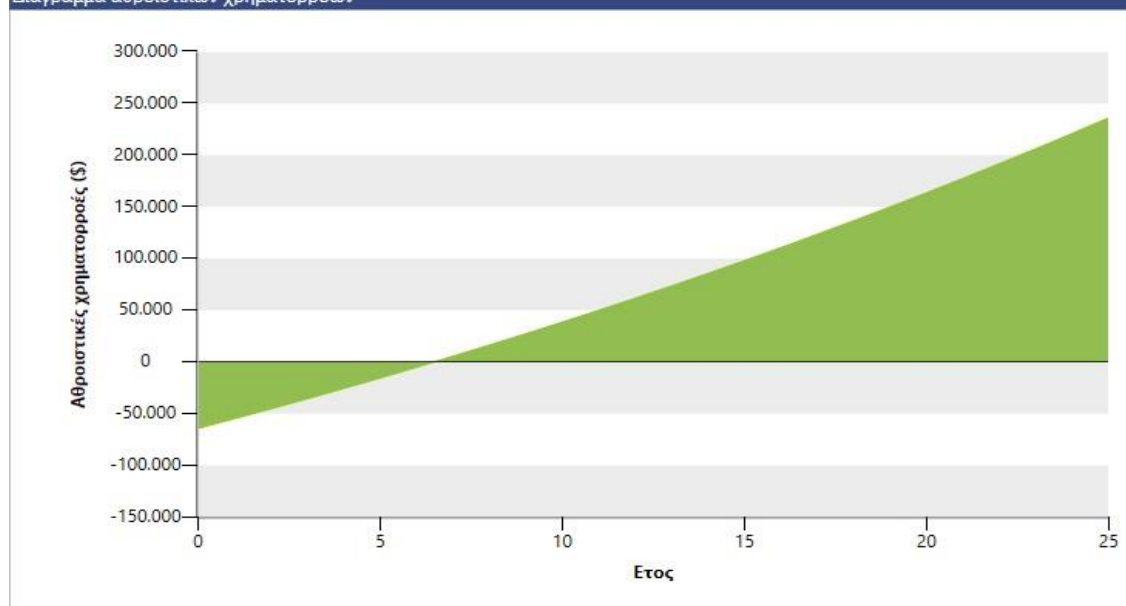
Στον πίνακα 4.25 φαίνονται τα αποτελέσματα του έργου και στο γράφημα 4.12 φαίνεται το διάγραμμα αθροιστικών χρηματορροών του έργου. Πιο αναλυτικά, παρατηρείται ότι ο δείκτης IRR είναι 16%, ο οποίος δείχνει τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης του έργου. Επιπλέον, φαίνεται ότι η χρονική περίοδος αποπληρωμής του έργου είναι ίση με 7 έτη.

Πίνακας 4.25: Οικονομική ανάλυση συστήματος αντλιών θερμότητας

RETScreen - Οικονομική Ανάλυση

Οικονομική Ανάλυση		
Οικονομικοί Παράμετροι		
Τιμή πληθωρισμού	%	2%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος	25
Τοκοχρεολύσιο	%	0%
Συνολικά αρχικά κόστη	\$	64.050
Κίνητρα και επιχορηγήσεις	\$	
Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους		
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	\$	0
κόστος συντήρησης	\$	1.620
Συνολικά ετήσια κόστη	\$	1.620
Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα		
ετήσια εξοικονόμηση αντλίας	\$	10.800
Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα	\$	10.800
Οικονομική Βιωσιμότητα		
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	16%
Απλή αποπληρωμή	έτος	7
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	6,5

Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών



Γράφημα 4.12: Καμπύλη αθροιστικών χρηματοροών συστήματος αντλιών θερμότητας

4.3.3 Βιομάζα

Το σύστημα Βιομάζας που χρησιμοποιήθηκε για την ενεργειακή αναβάθμιση των δύο σχολικών κτιρίων επιλέχθηκε να είναι από την ίδια εταιρία με σκοπό να μπορούν να εξαχθούν συγκρίσιμα αποτελέσματα για την λειτουργία της μεθόδου. Από τον μεγάλο όγκο δεδομένων που προσφέρει το λογισμικό του RETScreen, επιλέχθηκε το σύστημα βιομάζας της εταιρίας Sukup.

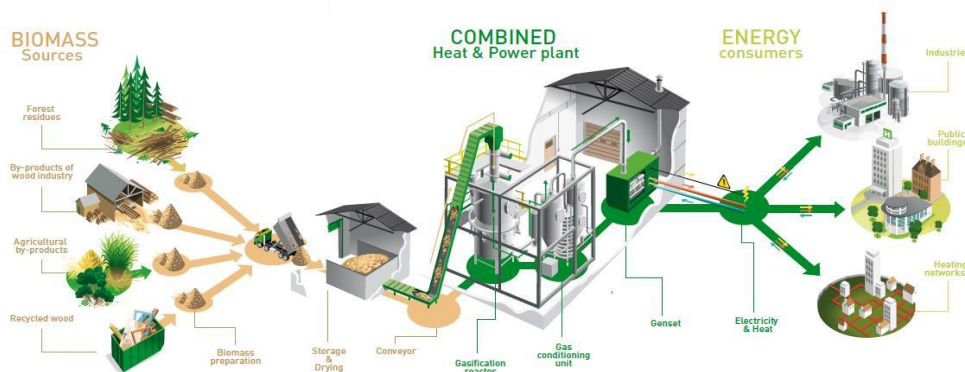


Εικόνα 4.10: Φωτογραφία στεγασμένου κάδου αποθήκευσης τριμάτων

Το σύστημα βιομάζας που επιλέχθηκε, αποτελεί ένα μικρό σύστημα και μπορεί να εξασφαλίσει επαρκή πρώτη ύλη για όλο τον χρόνο. Αναλυτικότερα επιλέχθηκε η μέθοδος της αεριοποίησης σε συνδυασμό με κινητήρα εσωτερικής καύσης, ξηραντήρα και αυτόματη τροφοδοσία καυσίμου. Η μέθοδος αυτή επιφέρει πλεονεκτήματα όπως η απλότητα στην εφαρμογή, η άνετη διαχείριση από τον χρήστη και η δυνατότητα χρήσης διαφορετικών ειδών όπως πριονίδι, παλέτες ξύλου και τρίματα ξύλου.

Τα τμήματα που αποτελείται η μονάδα παραγωγής είναι:

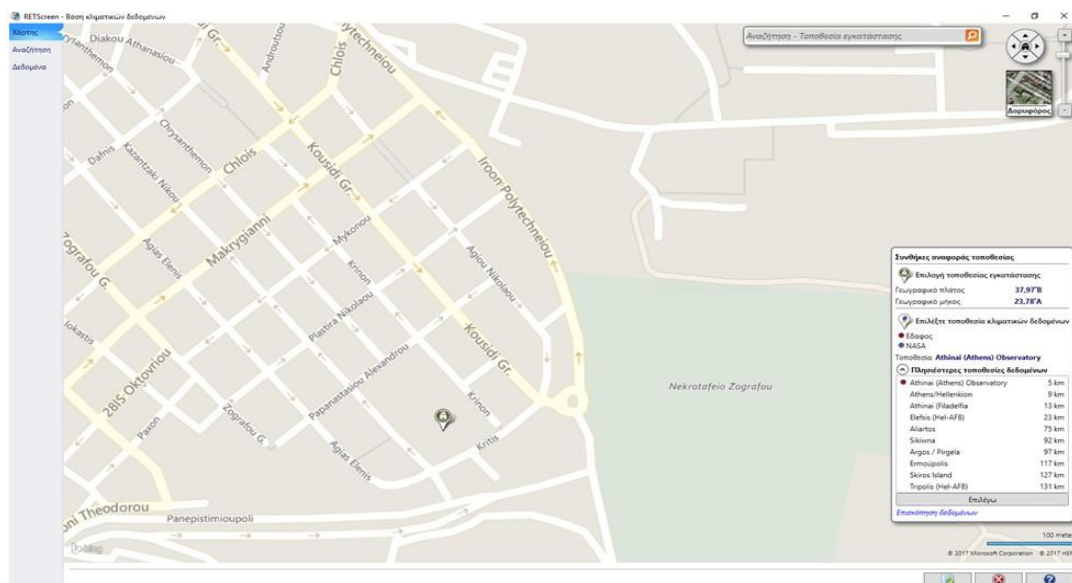
- Τον στεγασμένο κάδο αποθήκευσης τριμάτων
- Τον αεριοποιητή ή αντιδραστήρα
- Το σύστημα καθαρισμού ή φιλτραρίσματος
- Την ηλεκτροπαραγωγική γεννήτρια- μηχανή εσωτερικής καύσης
- Τα επιμέρους έργα υποδομής για την βέλτιστη λειτουργία της μονάδας



Εικόνα 4.11: Τμήματα παραγωγής συστήματος βιομάζας

Όσο αφορά την αδειοδότηση για το σύστημα βιομάζας σε σχολικά κτίρια, ακολουθείται ο νόμος Ν.3851/201 όπως ακριβώς και για τις υπόλοιπες ΑΠΕ και απαραίτητη προϋπόθεση είναι η χρήση Γης να επιτρέπει την εγκατάσταση του συστήματος.

Ι. 3^ο Δημοτικό Σχολείο Ζωγράφου



Εικόνα 4.12: Τοποθεσία 3^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου από RETScreen

Οι απαιτήσεις του παλιού σχολείου για την κάλυψη των αναγκών της θέρμανσης, του φωτισμού και των ηλεκτρικών συσκευών φτάνουν τις 220 MWh. Για την κάλυψη των αναγκών του κτιρίου έγινε επιλογή συστήματος βιομάζας 440 kW έτσι ώστε να υπερκαλύπτεται η προηγούμενη χρήση του λέβητα πετρελαίου αλλά και να γίνεται κάλυψη των θερμικών και ηλεκτρικών αναγκών του κτιρίου. Στον πίνακα 4.26 γίνεται ανάλυση των χαρακτηριστικών του συστήματος βιομάζας που χρησιμοποιήθηκε.

Πίνακας 4.26: Χαρακτηριστικά συστήματος βιομάζας

RETScreen – Βάση δεδομένων προϊόντων

Σύστημα: Θέρμανση
Τεχνολογία: Σύστημα βιομάζας

Εύρος δυναμικότητας: kW προς kW

Κατασκευαστής: Sukup
Μοντέλο: 440 kW
Χωρητικότητα ανά μονάδα: kW 440
Αριθμός μονάδων: 1
Ισχύς: kW 440

Τύπος Καυσίμου: Σκόνη ξύλου πριονίδι/υπόλειμμα, Τρίμματα ξύλου, Παλλέτες
Σημείωση: Αυτόματη τροφοδοσία καυσίμου

Το συνολικό μέγεθος του συστήματος βιομάζας υπολογίζεται ότι με αναδιανομή Γης θα είναι εφικτό να χωράει στο λεβητοστάσιο του σχολικού κτιρίου Παράλληλα θα πρέπει να φτιαχτεί προστατευτικός χώρος μεταξύ του συστήματος και του υπόλοιπου σχολικού κτιρίου, έτσι ώστε τα παιδιά που αποτελούν μία ευαίσθητη ηλικιακή ομάδα να μην αισθάνονται κίνδυνο από το σύστημα της βιομάζας. Στον πίνακα 4.27 φαίνονται τα αναλυτικά χαρακτηριστικά του συστήματος βιομάζας σε σχέση με το προϋπάρχον σύστημα λέβητα πετρελαίου.

Πίνακας 4.27: Περιγραφή συστήματος βιομάζας και σύγκριση με λέβητα πετρελαίου

Σύστημα θέρμανσης

Περιγραφή: Σύστημα βιομάζας
Σημείωση:

Σύστημα θέρμανσης

	Βασική περίπτωση Βιοντίζελ - L	Προτεινόμενη περίπτωση Βιομάζα - tn
Τύπος Καυσίμου	Βιοντίζελ - L	Βιομάζα - tn
Τιμή Καυσίμου \$/L	1,11	90 \$/tn
<input checked="" type="checkbox"/> Εξοπλισμός θέρμανσης		
Ισχύς kW	225	440
Κατασκευαστής	Buderus	Sukup
Μοντέλο	G315-9-D	440 kW
Αριθμός μονάδων	1	1
Εποχιακή απόδοση %		
Αύξηση αρχικού κόστους \$		
Οικονομία Λ & Σ \$		

Στην συνέχεια έγινε υπολογισμός του κόστους του συστήματος βιομάζας δηλαδή της αγοράς, του κόστους των όρων σύνδεσης καθώς επίσης της συντήρησης του με σκοπό να βγουν ορθά ενεργειακά αποτελέσματα. Η τιμή της kWh ορίστηκε 0,18€/kWh με βάση τα δεδομένα από τα αρχείο του φορέα του Δήμου ενώ η τιμή της βιομάζας με βάση διεθνών τιμών ορίστηκε ότι 1 kg Βιομάζας κοστίζει περίπου 0,07 €. Στον πίνακα 4.28 φαίνεται αναλυτικά το κόστος της εξεταζόμενης μεθόδου για το συγκεκριμένο σχολείο.

Πίνακας 4.28: Ανάλυση κόστους συστήματος βιομάζας

RETScreen - Ανάλυση Κόστους				
Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
<input type="checkbox"/> αγορά συστήματος βιομάζας	κόστος ▼	1	\$ 21.000	\$ 21.000
<input type="checkbox"/> έργα υποδομής για το σύστημα	κόστος ▼	1	\$ 3.000	\$ 3.000
<input type="checkbox"/> κόστος εγκατάστασης του συστήματος	κόστος ▼	1	\$ 5.000	\$ 5.000
<input type="checkbox"/>				
Συνολικά αρχικά κόστη				\$ 29.000
Ετήσια κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
<input type="checkbox"/> συντήρηση συστήματος βιομάζας	κόστος ▼	1	\$ 350	\$ 350
<input type="checkbox"/> τροφοδοτηση συστήματος βιομάζας	κόστος ▼	3	\$ 90	\$ 270
<input type="checkbox"/>				
Συνολικά ετήσια κόστη				\$ 620
Ετήσια εξοικονόμηση	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
<input type="checkbox"/> εξοικονόμηση ανα kW	κόστος ▼	440	\$ 10	\$ 4.400
<input type="checkbox"/>				
Συνολική ετήσια εξοικονόμηση				\$ 4.400

Τελικά, για την περίπτωση του παλιού σχολικού κτιρίου, μέσω του λογισμικού RETScreen έγινε υπολογισμός της χρηματοοικονομικής ανάλυσης με σκοπό την αξιολόγηση του επενδυόμενου κεφαλαίου καθώς επίσης και της εύρεσης της απόδοσης του.

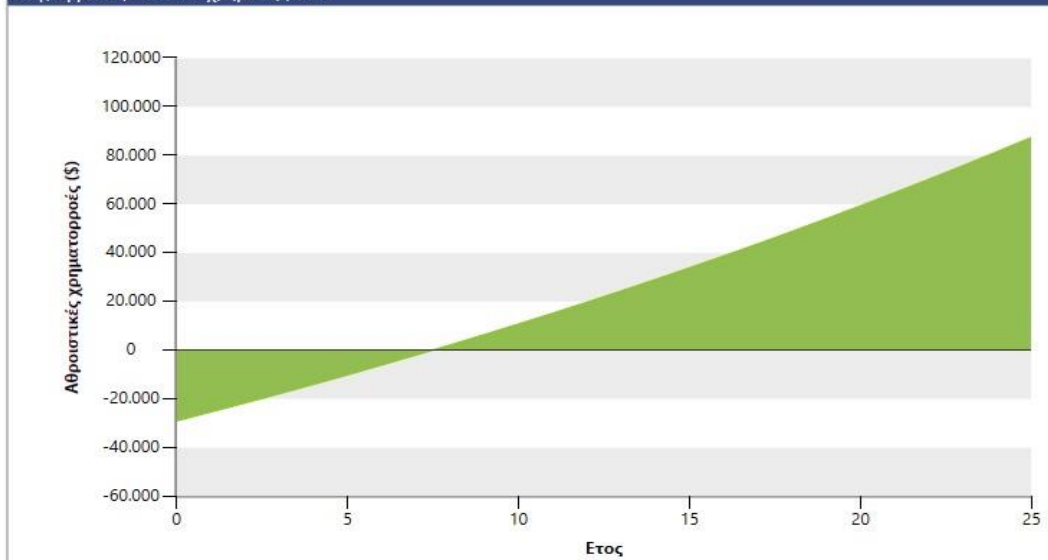
Ορίστηκε ο πληθωρισμός όπως και στην προηγούμενη περίπτωση του φωτοβολταϊκού συστήματος και της αντλίας θερμότητας ίσο με 2,5% και το έργο να έχει ισχύ τουλάχιστον 25ετίας, ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση μεταξύ των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν. Στον πίνακα 4.29 φαίνονται τα αποτελέσματα του έργου και στο γράφημα 4.13 φαίνεται το διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών του έργου.

Ειδικότερα, παρατηρείται ότι ο δείκτης IRR είναι 13,7% και η χρονική περίοδος αποπληρωμής του έργου ισούται με 8,1 έτη. Πίνακας 4.29: Οικονομική ανάλυση συστήματος βιομάζας

RETScreen - Οικονομική Ανάλυση

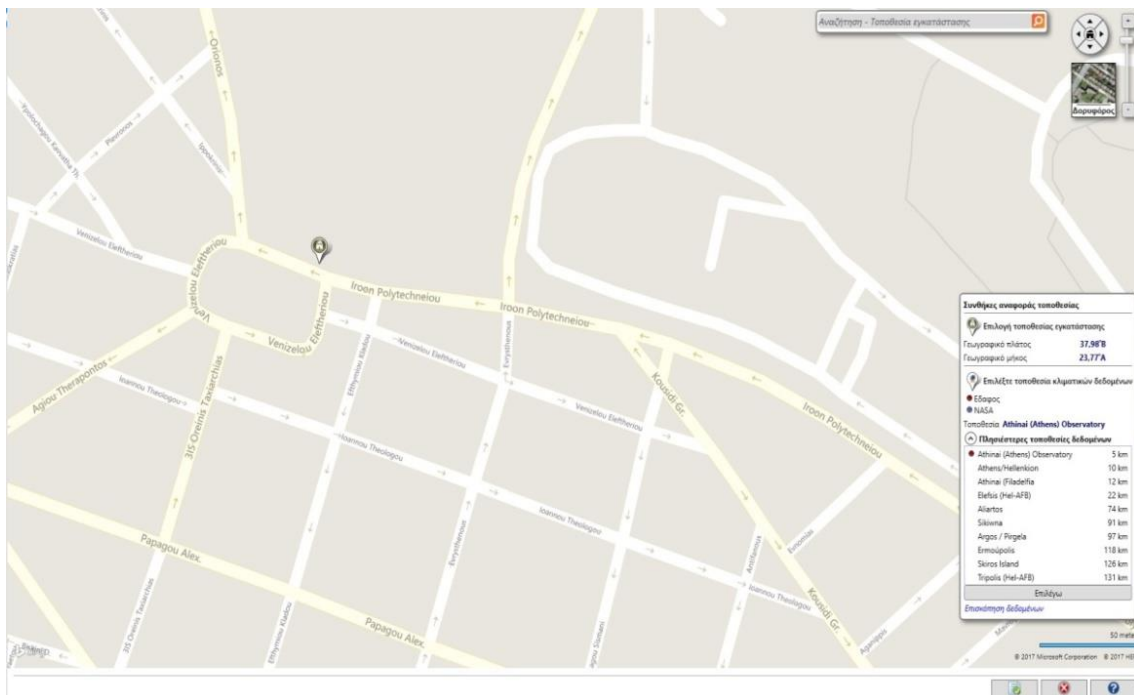
Οικονομική Ανάλυση		
Οικονομικοί Παράμετροι		
Τιμή πληθωρισμού	%	2%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος	25
Τοκοχρεολύσιο	%	0%
Συνολικά αρχικά κόστη	\$	29.000
Κίνητρα και επιχορηγήσεις	\$	
Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους		
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	\$	0
συντήρηση συστήματος βιομάζας	\$	350
κόστος λειτουργίας και τροφοδοσίας	\$	270
Συνολικά ετήσια κόστη	\$	620
Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα		
ετήσια εξοικονόμηση ανά kWh	\$	4.185
Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα	\$	4.185
Οικονομική Βιωσιμότητα		
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	13,7%
Απλή αποπληρωμή	έτος	8,1
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	7,5

Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών



Γράφημα 4.13: Καμπύλη αθροιστικών χρηματοροών συστήματος βιομάζας

II. 1^ο -19^ο Δημοτικό Σχολείο Ζωγράφου



Εικόνα 4.13: Τοποθεσία 1^{ου}-19^{ου} Δημοτικού Σχολείου Ζωγράφου από RETScreen

Οι απαιτήσεις του συγκεκριμένου νεόδμητου Δημοτικού Σχολείου για την κάλυψη της θέρμανσης του φωτισμού και των ηλεκτρικών συσκευών φτάνουν τις 428 MWh. Για την κάλυψη αυτών των απαιτήσεων, έγινε επιλογή εγκατάστασης συστήματος βιομάζας 880kW με στόχο την κάλυψη των ηλεκτρικών λειτουργιών του σχολικού κτιρίου καθώς επίσης και για την κάλυψη του συστήματος λεβήτων πετρελαίου που υπάρχουν στο σχολείο. Στον πίνακα 4.30 γίνεται ανάλυση των χαρακτηριστικών του συστήματος βιομάζας που χρησιμοποιήθηκε.

Πίνακας 4.30: Χαρακτηριστικά συστήματος βιομάζας

RETScreen – Βάση δεδομένων προϊόντων

Σύστημα: Θέρμανση

Τεχνολογία: Σύστημα βιομάζας

Εύρος δυναμικότητας: ☐ kW 0 προς kW 50.000

Κατασκευαστής: Sukup

Μοντέλο: 440 kW

Χωρητικότητα ανά μονάδα: kW 440

Αριθμός μονάδων: 2

Ισχύς: kW 880

Τύπος Καυσίμου: Σκόνη ξύλου προιονίδι/υπόλειμμα, Τρίμματα ξύλου, Παλλέτες

Σημείωση: Αυτόματη τροφοδοσία καυσίμου

Το σύστημα βιομάζας θα είναι εφικτό να χωρέσει με τις κατάλληλες τροποποιήσεις στον χώρο του λεβητοστασίου του σχολικού κτιρίου. Αναλυτικότερα, θα πρέπει να γίνει αναδιανομή της Γης και παράλληλα να υπάρχει επαρκής αερισμός και εξαερισμός του κτιρίου. Στην περίπτωση που πολεοδομικά δεν είναι αυτό εφικτό, η ανέγερση της μονάδας του συστήματος βιομάζας μπορεί να επεκταθεί στο κοντινό χώρο του Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Επιπλέον θα είναι αναγκαίο να φτιαχτεί προστατευτικός χώρος μεταξύ του συστήματος και του υπόλοιπου σχολικού κτιρίου, έτσι ώστε τα παιδιά που αποτελούν μία ευαίσθητη ηλικιακή ομάδα να μην αισθάνονται κίνδυνο από το σύστημα της βιομάζας. Στον πίνακα 4.31 φαίνονται τα αναλυτικά χαρακτηριστικά του συστήματος βιομάζας σε σχέση με το προϋπάρχον σύστημα λέβητα πετρελαίου.

Πίνακας 4.31: Περιγραφή συστήματος βιομάζας και σύγκριση με λέβητα πετρελαίου

-Σύστημα θέρμανσης

Περιγραφή

Σύστημα βιομάζας

Σημείωση

		Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση
Τύπος Καυσίμου		Βιοντιζελ - L	Βιομάζα - tn
Τιμή Καυσίμου	\$/L	1,11	90 \$/tn
<input checked="" type="checkbox"/> Εξοπλισμός θέρμανσης			
Ισχύς	kW	675	880
Κατασκευαστής		Buderus	Sukup
Μοντέλο		G315-9-D	440 kW
Αριθμός μονάδων		3	2
Εποχιακή απόδοση	%		
Αύξηση αρχικού κόστους	\$		
Οικονομία Λ & Σ	\$		

Μετέπειτα, έγινε υπολογισμός του κόστους του συστήματος βιομάζας δηλαδή της αγοράς, του κόστους των όρων σύνδεσης καθώς επίσης της συντήρησης του με σκοπό να βγουν ορθά ενεργειακά αποτελέσματα.

Η τιμή της kWh ορίστηκε 0,18€/kWh με βάση τα δεδομένα από τα αρχεία του φορέα του Δήμου, ενώ η τιμή της βιομάζας με βάση διεθνών τιμών ορίστηκε ότι 1 kg Βιομάζας κοστίζει περίπου 0,07 €. Στον πίνακα 4.32 φαίνεται αναλυτικά το κόστος της εξεταζόμενης μεθόδου για το συγκεκριμένο νεόδμητο σχολείο.

Πίνακας 4.32: Ανάλυση κόστους συστήματος βιομάζας

RETScreen - Ανάλυση Κόστους

Αρχικό κόστος (πιστώσεις)		Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
<input type="checkbox"/>	αγορά συστήματος βιομάζας	κόστος ▼	2	\$ 21.000	\$ 42.000
<input type="checkbox"/>	έργα υποδομής για το σύστημα	κόστος ▼	1	\$ 5.000	\$ 5.000
<input type="checkbox"/>	κόστος εγκατάστασης του συστήματος	κόστος ▼	2	\$ 5.000	\$ 10.000
<input type="checkbox"/>					
Συνολικά αρχικά κόστη					\$ 57.000
Ετήσια κόστη (πιστώσεις)		Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
<input type="checkbox"/>	συντήρηση συστήματος βιομάζας	κόστος ▼	2	\$ 350	\$ 700
<input type="checkbox"/>	τροφοδότηση συστήματος βιομάζας	κόστος ▼	6	\$ 100	\$ 600
<input type="checkbox"/>					
Συνολικά ετήσια κόστη					\$ 1.300
Ετήσια εξοικονόμηση		Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
<input type="checkbox"/>	εξοικονόμηση ανα kW	κόστος ▼	880	\$ 10	\$ 8.800
<input type="checkbox"/>					
Συνολική ετήσια εξοικονόμηση					\$ 8.800

Μετάβαση σε: Εκπομπή

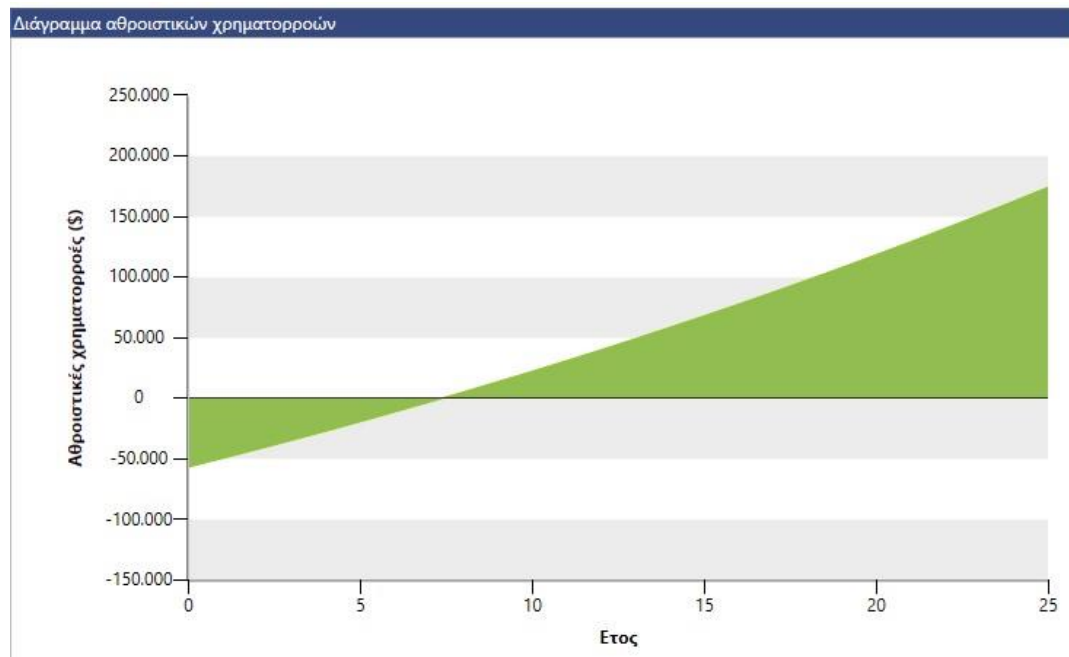
Τέλος, για την περίπτωση του νεόδμητου σχολικού κτιρίου, μέσω του λογισμικού RETScreen έγινε υπολογισμός της χρηματοοικονομικής ανάλυσης με σκοπό την αξιολόγηση του επενδυόμενου κεφαλαίου καθώς επίσης και της εύρεσης της απόδοσης του.

Ορίστηκε ο πληθωρισμός όπως και στην προηγούμενη περίπτωση του φωτοβολταϊκού συστήματος ίσο με 2,5%, το έργο να έχει ισχύ τουλάχιστον 25ετίας, ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση μεταξύ των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν. Στον πίνακα 4.33 φαίνονται τα αποτελέσματα του έργου και στο γράφημα 4.14 φαίνεται το διάγραμμα αθροιστικών χρηματορροών του έργου.

Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι ο δείκτης IRR είναι 14% και η χρονική περίοδος αποπληρωμής του έργου ισούται με 8 έτη.

Πίνακας 4.33: Οικονομική ανάλυση συστήματος βιομάζας

RETScreen - Οικονομική Ανάλυση			
Οικονομική Ανάλυση			
Οικονομικοί Παράμετροι			
Τιμή πληθωρισμού	%		2%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος		25
Τοκοχρεολύσιο	%		0%
Συνολικά αρχικά κόστη	\$		56.500
Κίνητρα και επιχορηγήσεις	\$		
Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους			
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	\$		0
συντήρηση συστήματος βιομάζας	\$		700
κόστος λειτουργίας και τροφοδοσίας	\$		600
Συνολικά ετήσια κόστη	\$		1.300
Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα			
ετήσια εξοικονόμηση ανά kWh	\$		8.370
Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα	\$		8.370
Οικονομική Βιωσιμότητα			
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%		14%
Απλή αποπληρωμή	έτος		8
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος		7,3



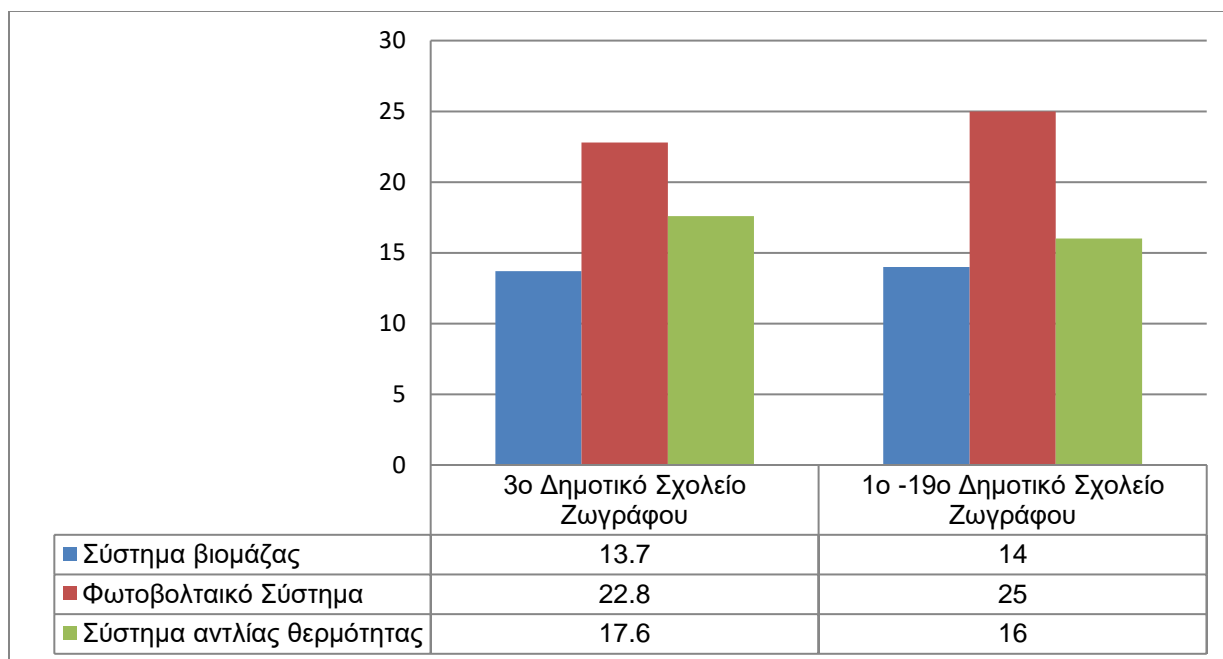
Γράφημα 4.14: Καμπύλη αθροιστικών χρηματοροών συστήματος βιομάζας

4.4 Σύγκριση Μεθόδων για τα δύο σχολεία

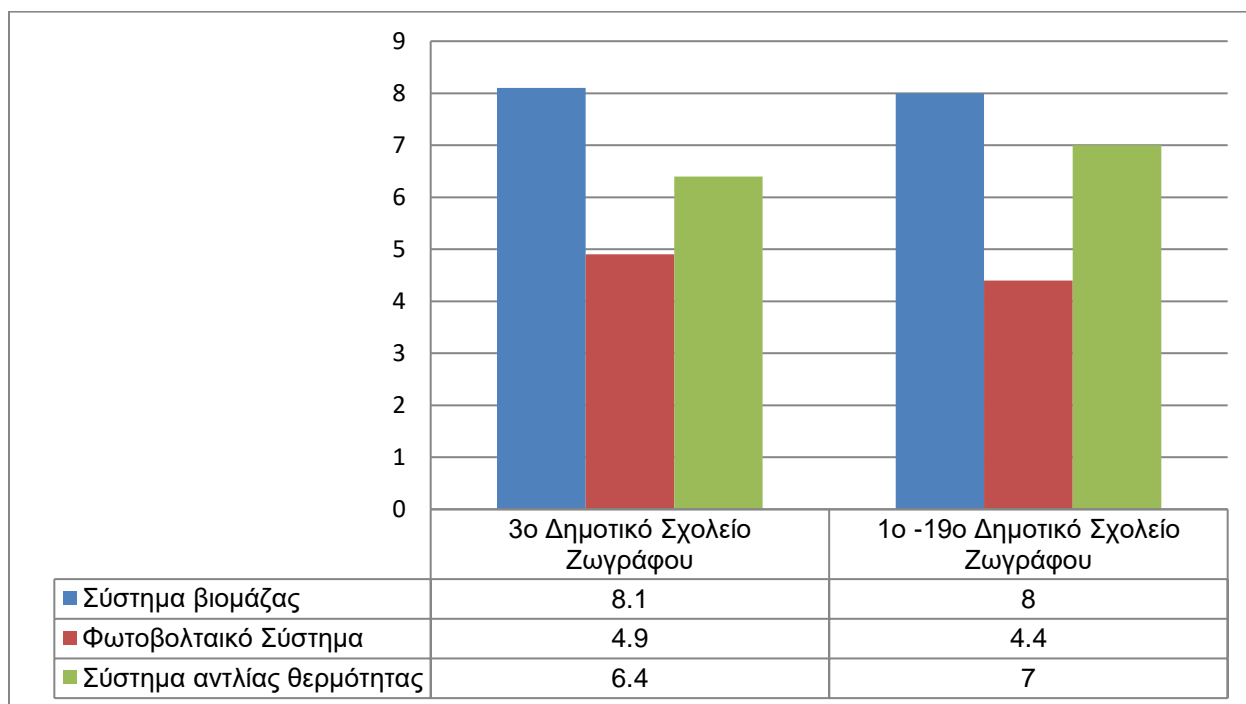
Ο απώτερος στόχος της παρούσας μελέτης ήταν η σύγκριση των αποτελεσμάτων ενεργειακής αξιολόγησης μεταξύ δύο σχολείων, ενός παλιού (3^ο Δημοτικό Σχολείο) και ενός νεόδμητου (1^ο -19^ο Δημοτικό Σχολείο). Σε κάθε μία εξεταζόμενη περίπτωση, επιλέχθηκαν σενάρια με ίδιους κατασκευαστές και ίδια προϊόντα έτσι ώστε να υπάρχει σύγκριση των μεθόδων. Επιπροσθέτως σε κάθε εξεταζόμενη περίπτωση τα κόστη των σεναρίων, αντανakλούν σε πραγματικά δεδομένα καθώς έγινε έρευνα αγοράς των προϊόντων (Φ/Β πλαίσιο, αντλία θερμότητας, λέβητας βιομάζας). Στα γραφήματα 4.15 και 4.16 φαίνονται τα συγκρίσιμα αποτελέσματα του εσωτερικού ρυθμού απόδοσης κεφαλαίου καθώς και του χρόνου απόσβεσης του έργου.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι το νεόδμητο σχολείο έχει μεγαλύτερες προοπτικές ενεργειακής ανάπτυξης καθώς δύο από τις τρεις μεθόδους, δηλαδή αυτή της τοποθέτησης συστήματος βιομάζας και αυτή της τοποθέτησης φωτοβολταϊκού συστήματος έχει πιο ικανοποιητικό ρυθμό ενθάρρυνσης υλοποίησης έργου. Από την άλλη το παλιό σχολικό κτίριο έχει καλύτερες προοπτικές ανάπτυξης σε σχέση με το νεόδμητο στην περίπτωση της αντλίας θερμότητας.

Αντίστοιχα αποτελέσματα με τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης κεφαλαίου ισχύουν και για τον χρόνο αποπληρωμής έργου- payback time. Πιο αναλυτικά, το νεόδμητο σχολείο για τα σενάρια του φωτοβολταϊκού συστήματος και του συστήματος βιομάζας θα γίνει πιο σύντομα ενεργειακά αυτόνομο σε σχέση με το παλιό σχολείο. Στον αντίποδα, το παλιό σχολικό κτίριο θα φτάσει πιο σύντομα σε συνθήκες near zero energy building από ότι το νεόδμητο σχολείο με την μέθοδο της χρησιμοποίησης αντλίας θερμότητας.



Γράφημα 4.15:Γράφημα σύγκρισης IRR



Γράφημα 4.16:Γράφημα σύγκρισης Χρόνου Απόσβεσης

Κεφάλαιο 5:ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ένα πρώτο συμπέρασμα είναι ότι όλα τα σενάρια που εξετάστηκαν οδηγούν σε θετικό δείκτη IRR, γεγονός που οδηγεί σε ενθάρρυνση υλοποίησης κάποιου σεναρίου για την ενεργειακή αναβάθμιση του σχολικού κτιρίου. Αν υπήρχε αρνητικός δείκτης IRR για κάποια εξεταζόμενη περίπτωση τότε δεν θα ήταν εφικτή η ενεργειακή λύση που είχε εξεταστεί. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό από τους τον πίνακα 5.1 που παρουσιάζεται στην συνέχεια.

Πίνακας 5.1: Δείκτες IRR

Σενάρια	3 ^ο Δημοτικό Σχολείο Ζωγράφου	1 ^ο -19 ^ο Δημοτικό Σχολείο Ζωγράφου
Φωτοβολταϊκό Σύστημα	22,8	25
Σύστημα Αντλίας Θερμότητας	17,6	16
Σύστημα Βιομάζας	13,7	14

Το επόμενο άμεσο συμπέρασμα που προκύπτει από την παρούσα ενεργειακή μελέτη είναι ότι το κόστος αγοράς και εγκατάστασης των σεναρίων είναι αρκετά δαπανηρό τόσο για το παλιό όσο και για το νεόδμητο σχολείο. Θα πρέπει λοιπόν να γίνει χορηγία κονδυλίων από τους δημοτικούς φορείς καθώς επίσης και από ιδιωτικές επιχειρήσεις έτσι ώστε να μπορεί η ενεργειακή αναβάθμιση να είναι από οικονομικής άποψης πιο εφικτή. Η χορηγία αυτή θα μπορεί να αποπληρωθεί μακροπρόθεσμα καθώς σύμφωνα με τα αποτελέσματα των αθροιστικών καμπυλών σε βάθος 25ετίας τα ενεργειακά κέρδη θα είναι πολλαπλά

Πίνακας 5.2: Αρχικά κόστη κάθε σεναρίου

Σενάρια	3 ^ο Δημοτικό Σχολείο Ζωγράφου	1 ^ο -19 ^ο Δημοτικό Σχολείο Ζωγράφου
Φωτοβολταϊκό Σύστημα	76.700	132.500
Σύστημα Αντλίας Θερμότητας	37.350	64.050
Σύστημα Βιομάζας	29.000	57.000

Αναλύοντας τον πίνακα 5.2, προκύπτει ότι σε ορίζοντα 25ετίας το πιο επικερδές έργο είναι αυτό της τοποθέτησης φωτοβολταϊκού συστήματος. Το λιγότερο επικερδές έργο

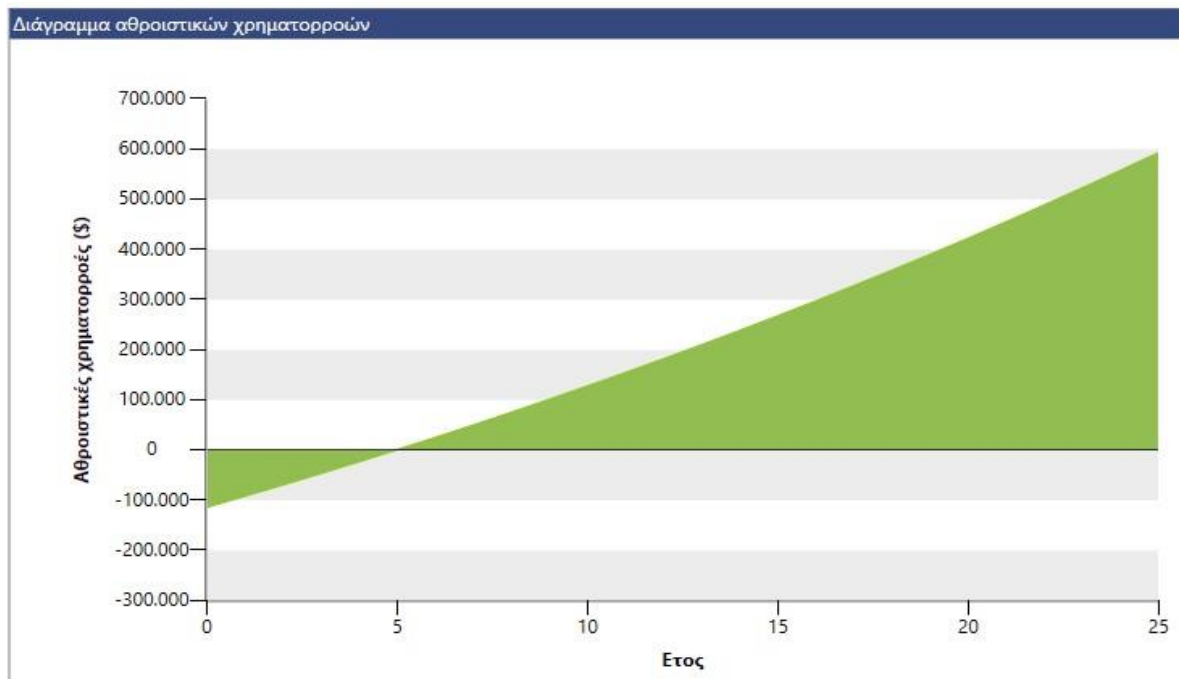
είναι αυτό της τοποθέτησης συστήματος βιομάζας. Επίσης με το σύστημα βιομάζας θα χρειαστεί να γίνουν αλλαγές στα τοπογραφικά χαρακτηριστικά των χώρων του λεβητοστασίων του εκάστοτε σχολείου έτσι ώστε να λειτουργήσει αποτελεσματικά. Αυτό δεν είναι άμεσα εφικτό να υλοποιηθεί σε κανένα από τα δύο σχολικά κτίριο και για τον λόγο αυτό η συγκεκριμένη μέθοδος ενεργειακής αναβάθμισης απορρίπτεται.

3^ο Δημοτικό Σχολείο Ζωγράφου

Συγκρίνοντας λοιπόν τις μεθόδους που έχουν μείνει μετά την απόρριψη του συστήματος βιομάζας, με βάση σενάρια που έγιναν μέσω των λογισμικών του OpenStudio και του RETScreen εξήχθη το συμπέρασμα ότι η πιο αποδοτική μέθοδος θα είναι η χρήση συνδυασμός αντλίας θερμότητας για θέρμανση των επιμέρους χώρων. Αν ο αρμόδιος σύλλογος σε συνεργασία με τους εκπαιδευτικούς του σχολικού κτιρίου θεωρήσει ότι χρειάζεται τόσο αναβάθμιση του συστήματος θέρμανσης όσο και αναβάθμιση του συστήματος φωτισμού και χρήσης των ηλεκτρικών συσκευών τότε θα πρέπει να γίνει επιλογή της συνδυαστικής μεθόδου χρήσης αντλίας θερμότητας μαζί με φωτοβολταϊκό σύστημα. Ο συνδυασμός αυτός όπως φαίνεται και στον πίνακα 5.3 έχει εσωτερικό βαθμό απόδοσης IRR 21,1% ενώ από το γράφημα 5.1 φαίνεται ότι η χρονική περίοδος απόσβεσης έργου ανέρχεται στα 5,3 έτη.

Πίνακας 5.3: Οικονομική ανάλυση συνδυαστικού συστήματος

RETScreen - Οικονομική Ανάλυση			
Οικονομική Ανάλυση			
Οικονομικοί Παράμετροι			
Τιμή πληθωρισμού	%		2%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος		25
Τοκοχρεολύσιο	%		0%
Συνολικά αρχικά κόστη	\$		113.850
Κίνητρα και επιχορηγήσεις	\$		
Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους			
Κόστη λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	\$		4.385
κόστος συντήρησης αντλιών	\$		625
Συνολικά ετήσια κόστη	\$		5.010
Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα			
ετήσια εξοικονόμηση αντλίας	\$		6.500
ετήσια εξοικονόμηση Φ/Β συστήματος	\$		20.160
Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα	\$		26.660
Οικονομική Βιωσιμότητα			
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%		21,1%
Απλή αποπληρωμή	έτος		5,3
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος		5



Γράφημα 5.1: Καμπύλη αθροιστικών χρηματοροών συνδυαστικού συστήματος

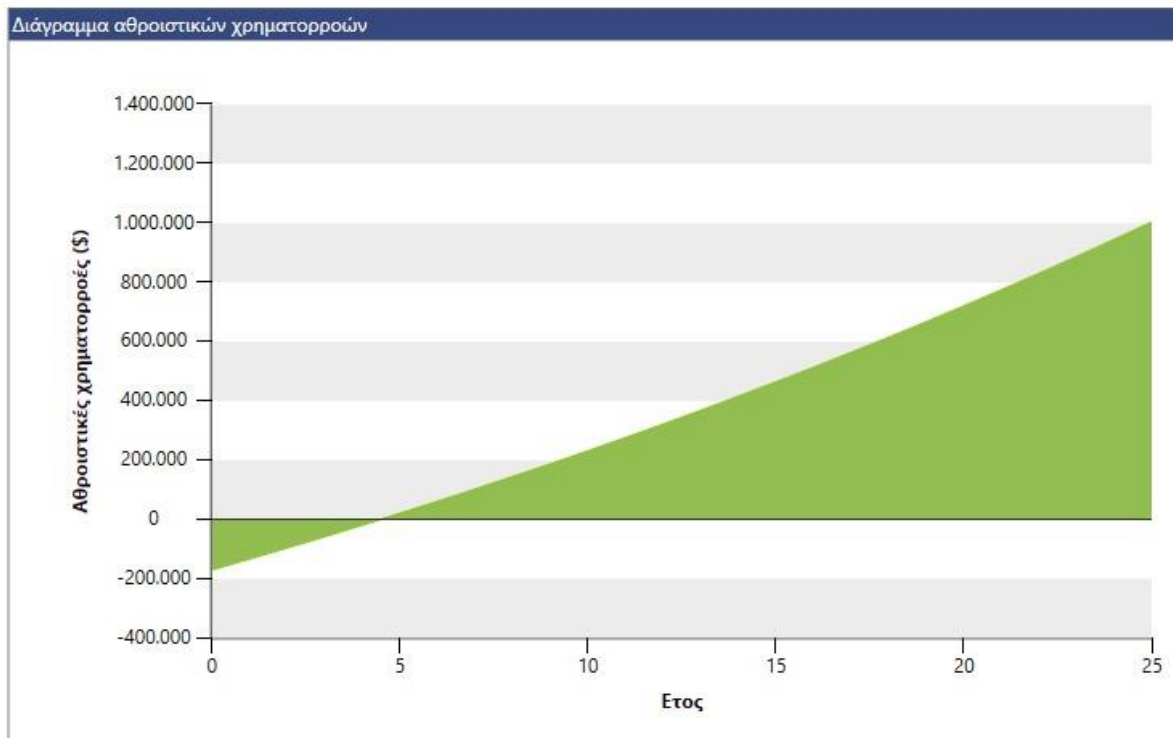
I. 1ο -19ο Δημοτικό Σχολείο Ζωγράφου

Όσο αφορά το νεόδμητο Δημοτικό Σχολείο, η αποδοτικότερη επιλογή θα ήταν να επιλεγεί συνδυαστική μέθοδος αντλίας θερμότητας και φωτοβολταϊκού συστήματος. Η επιλογή αυτή θα αποτελέσει ιδιαίτερα ενθαρρυντική επιλογή για αξιοποίηση καθώς σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν όπως φαίνεται και στον πίνακα 5.4 ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης IRR ισούται με 23,4 % ενώ από το γράφημα 5.2 φαίνεται ότι η χρονική περίοδος απόσβεσης έργου ανέρχεται στα 4,7 έτη.

Πίνακας 5.4: Οικονομική ανάλυση συνδυαστικού συστήματος

RETScreen - Οικονομική Ανάλυση

Οικονομική Ανάλυση		
Οικονομικοί Παράμετροι		
Τιμή πληθωρισμού	%	2%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος	25
Τοκοχρεολύσιο	%	0%
Συνολικά αρχικά κόστη	\$	169.650
Κίνητρα και επιχορηγήσεις	\$	
Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους		
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	\$	8.352
κόστος συντήρησης αντλιών	\$	625
Συνολικά ετήσια κόστη	\$	8.977
Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα		
ετήσια εξοικονόμηση αντλίας	\$	6.500
ετήσια εξοικονόμηση Φ/Β συστήματος	\$	38.400
Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα	\$	44.900
Οικονομική Βιωσιμότητα		
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	23,4%
Απλή αποπληρωμή	έτος	4,7
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	4,5



Γράφημα 5.2: Καμπύλη αθροιστικών χρηματορροών συνδυαστικού συστήματος

Παράλληλα, λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων που θα υποστούν τα σχολικά κτίρια μέσω της ενεργειακής τους αξιοποίησης, θα πρέπει να γίνει ενημέρωση των εκπαιδευτικών για τους τρόπους λειτουργίας των μεθόδων. Με τον τρόπο αυτό οι εκπαιδευτικοί θα έχουν άνεση ως προς την τεχνολογική εξέλιξη. Επιπλέον, η ενεργειακή αυτή αναβάθμιση θα αποτελέσει έναυσμα στα παιδιά για να γίνουν φορείς πρακτικής και εξερεύνησης της τεχνολογικής εξέλιξης.

Για επιπλέον έρευνα προτείνεται να μελετηθεί ως σενάριο μόνωσης το φυτεμένο δώμα στέγης στα επιμέρους σχολικά κτίρια. Μια εφαρμογή φυτεμένου δώματος εκτός του στρώματος της βλάστησης περιλαμβάνει τη θερμομόνωση του δώματος, τη στεγανοποίησή του, την ειδική αντιριζική προστασία, την άριστη απομάκρυνση των υδάτων του δώματος με σωστά μελετημένο αποστραγγιστικό σύστημα και την απαιτούμενη άρδευση. Ένα φυτεμένο δώμα βοηθάει στην εξοικονόμηση ενέργειας σε μια κατασκευή γιατί λειτουργεί ως μια επιπλέον θερμομονωτική ελαττώνοντας τα απαιτούμενα ψυκτικά ή θερμικά φορτία το καλοκαίρι και το χειμώνα αντίστοιχα. Επιπρόσθετη έρευνα επίσης μπορεί να γίνει ως προς την μελέτη ηλιακού θερμικού μέσω του προγράμματος RETScreen και να βγουν συγκρίσιμα στοιχεία με τις άλλες περιπτώσεις που εξετάστηκαν.

Ακόμα, πιστεύω ότι εκεί που πρέπει να επικεντρωθεί ο σύλλογος του κάθε σχολικού κτιρίου είναι στο μέσο μείωσης ενέργειας του κτιρίου, δηλαδή αν θα είναι θερμική ενέργεια τότε θα πρέπει να επικεντρωθούν στην αγορά αντλίας θερμότητας. Από την άλλη αν οι ηλεκτρικές ανάγκες είναι μεγαλύτερες τότε πιο αναγκαία θα είναι η τοποθέτηση φωτοβολταϊκού συστήματος.

Τέλος, πιστεύω πως είναι εφικτό να γίνουν κάποιες μετατροπές ή μεταποιήσεις τόσο στο υπάρχον σύστημα θέρμανσης όσο και στο υπό μελέτη έτσι ώστε να είναι οικονομικότερη η λειτουργία του. Μερικές από αυτές τις ιδέες είναι

- A. Τοποθέτηση ασύρματων θερμοστατικών κεφαλών με ενσωματωμένο θερμοστάτη χώρου στους διακόπτες των θερμαντικών σωμάτων. Με την χρήση των θερμοστατικών κεφαλών θα μπορεί να επιτευχθεί λειτουργία αυτονόμησης σε κάθε αίθουσα διδασκαλίας ανάλογα με τις ώρες που χρησιμοποιείτε.
- B. Εξοικονόμηση στο σύστημα θέρμανσης με αντιστάθμιση. Δηλαδή, είναι η λειτουργία με την οποία γίνεται ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία. Το σύστημα αυτό δρα ιδιαίτερα ευεργετικά τους φθινοπωρινούς και τους ανοιξιάτικους μήνες κατά τους οποίους παρατηρούνται συχνή περιοδική αυξομείωση της θερμοκρασίας του χώρου.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Mohammad Tahsildoost, Zahra Sadat Zomorodian (2015) *Energy retrofit techniques: An experimental study of two typical school buildings in Tehran*. Energy and Buildings Volume 104 pages 65-72.
2. Fadi AlFaris, Adel Juaidi, Francisco Manzano- Agugliaro (2016) *Improvement of efficiency through an energy management program as a sustainable practice in schools*. Journal of Cleaner Production Volume 135 pages 794-805.
3. Ove C.Morck, Anton J.Paulsen (2014) *Energy Saving Technology Screening within the EU-project "School of the Future"*. Energy Procedia Volume 48 pages 1482-1492.
4. Alfonso Capozzoli, Daniele Grassi, Francesco Causone (2015) *Estimation models of heating energy consumption in schools for local authorities planning*. Energy and Buildings Volume 105 pages 302-313.
5. Paola Lassandro, Teresa Cosola, Antonella Tundo (2015) *School Building Heritage: Energy Efficiency, Thermal and Lighting Comfort Evaluation via Virtual Tour*. Energy Procedia Volume 78 pages 3168-3173.
6. Anna Nefedova, Dmitrii Chernyshev, Dmitriy Tseytin (2015) *Multi-comfort School Analysis*. Procedia Engineering Volume 117 pages 1107-1114.
7. M.C Katafygiotou, D.K Serghides (2014) *Analysis of structural elements and energy consumption of school building stock in Cyprus: Energy simulations and upgrade scenarios of a typical school*. Energy and Buildings Volume 72 pages 8-16.
8. B. Wauman, D. Saelens, H.Breesch (2015) *The definition of representative boundary conditions for Flemish schools for use in energy assessment methods*. Energy and Buildings Volume 87 pages 1-13.
9. Jamie Bull, Akshay Gupta, Dejan Mumovic, Judit Kimpian (2014) *Life cycle cost and carbon footprint of energy efficient refurbishments to 20th century UK school buildings*. International Journal of Sustainable Built Environment Volume 3, Issue 1 pages 1-17.

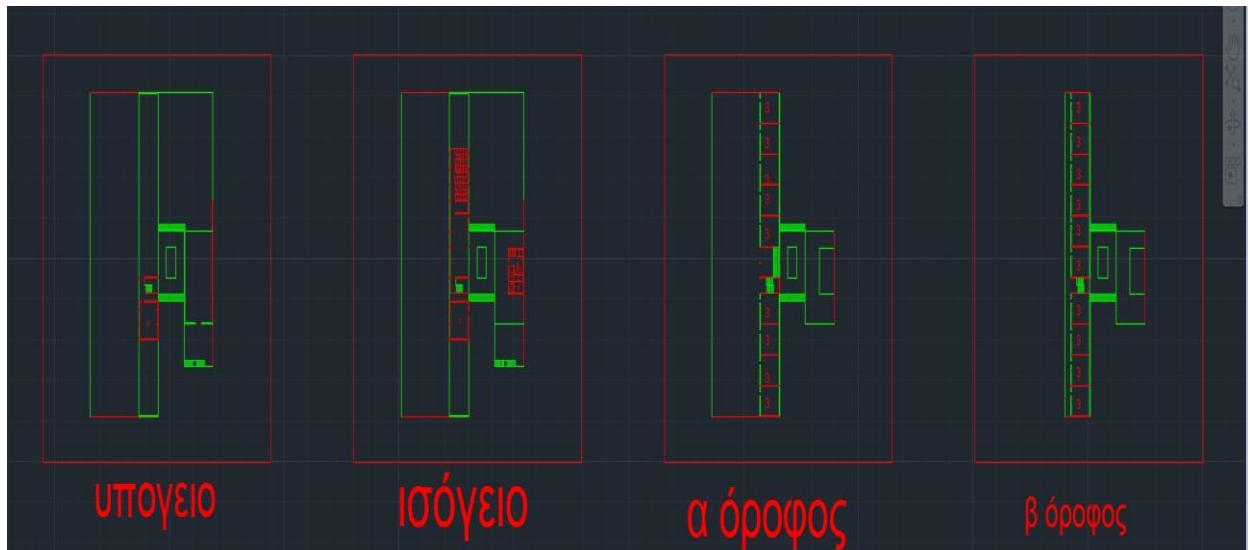
10. G.M Stavrakakis, A.V. Androutsopoulos, J.Vyorykka (2016) *Experimental and numerical assessment of cool-roof impact on thermal and energy performance of a school building in Greece*. Energy and Buildings Volume 130 pages 64-84.
11. Τσούτσος Θ., & Κανάκης Ι.(2013) *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Τεχνολογία και Περιβάλλον*. Παπασωτηρίου.
12. James D. Bethune (2008) *Τεχνική Σχεδίαση με το AutoCAD*. Μ.Γκιούρδας.
13. Sue Roaf, Manuel Fuentes, Stephanie Thomas (2007) *ECOδομείν, Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων & εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας*. ΨΥΧΑΛΟΥ.
14. Παντελίδης Γιώργος (2015) *Νέος Οδηγός Ενεργειακής Επιθεώρησης Κτιρίων*. ΔΕΔΕΜΑΔΗ.
15. Κλειώ Ν. Αξαρή (2015) *Ενεργειακός Σχεδιασμός και ενεργειακή απόδοση κτιρίων- αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού*. ΑΠΘ.

INTERNET SITES

1. www.carrier.com (10/2017)
2. www.solectria.com (9/2017)
3. www.sunpower.com (9/2017)
4. www.sukup.com (11/2017)
5. www.cres.gr (11/2017)
6. www.agroenegy.gr (11/2017)
7. www.openstudio.com (05/2017)
8. www.retscreen.com (08/2017)
9. www.sketchup.com (04/2017)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παράρτημα 1: Σχεδιασμός Σχολείων στο AutoCAD



Εικόνα Π-1: Σχέδιο κάθε ορόφου του 3^{ου} Δημοτικού Σχολείου σε περιβάλλον AutoCAD



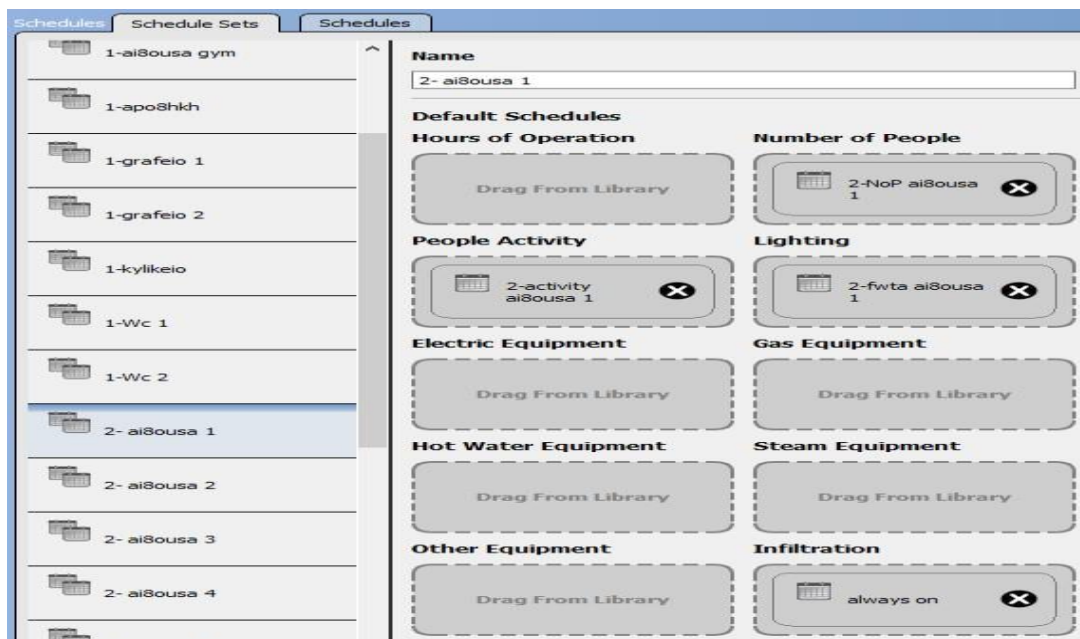
Εικόνα Π-2: Σχέδιο κάθε ορόφου του 1^{ου} -19^{ου} Δημοτικού Σχολείου σε περιβάλλον AutoCAD

Υλικό	Πάχος(m)	Αγωγιμότη α(W/m·K)	Πυκνότητα(kg/ m ³)	Θερμοχωρητικότ ητα(J/kg·K)	Θερμική Απορρόφηση	Ηλιακή Απορρόφη ση	Ορατή Απορρόφη ση
Άσφαλτος	0,035	0,30	1.100	1.000	0,90	0,70	0,70
Άσβεστος	0,040	0,87	1.800	1.000	0,90	0,70	0,70
Μπετόν	0,20	2,50	2.500	1.000	0,90	0,70	0,70
Μπετόν Στέγης	0,30	3,10	2.800	1.500	0,90	0,70	0,70
Ελαφροτσιμεντό λίθος	0,0025	0,11	400	1.000	0,90	0,55	0,55
Γαρμπιλομπετόν	0,025	0,640	1.500	1.000	0,90	0,70	0,70
Γυψοσανίδα	0,15	0,21	700	1.000	0,90	0,70	0,70
Ηχομονωτικό	0,00050	0,060	380	600	0,90	0,25	0,25
Λιθόστρωτο	0,25	1,30	2.200	1.000	0,90	0,70	0,70
Μαρμαροκονία	0,0015	0,47	1.100	800	0,90	0,70	0,70
Μεμβράνη Πολυαιθυλενίου	0,000050	0,23	1.100	1.000	0,90	0,60	0,60
Μόνωση	0,0050	0,23	350	1.500	0,90	0,70	0,70
Μονωτική Πλάκα	0,0030	0,030	450	1.250	0,90	0,55	0,55
Πλακάκια	0,0050	1,84	2.000	840	0,90	0,70	0,70
Στόκος	0,0030	0,6918	1.858	850	0,90	0,90	0,90
Θερμοηχομωνοτι κό	0,00045	0,090	500	800	0,90	0,40	0,40
Τούβλο	0,10	0,26	920	1.000	0,90	0,70	0,70
Τσιμέντο	0,20	1,80	2.000	850	0,90	0,60	0,60
Τσιμεντοκονίαμα	0,0050	0,87	1.800	1.000	0,90	0,70	0,70
Χρώμα	0,00030	0,25	1.400	2.000	0,10	0,12	0,70

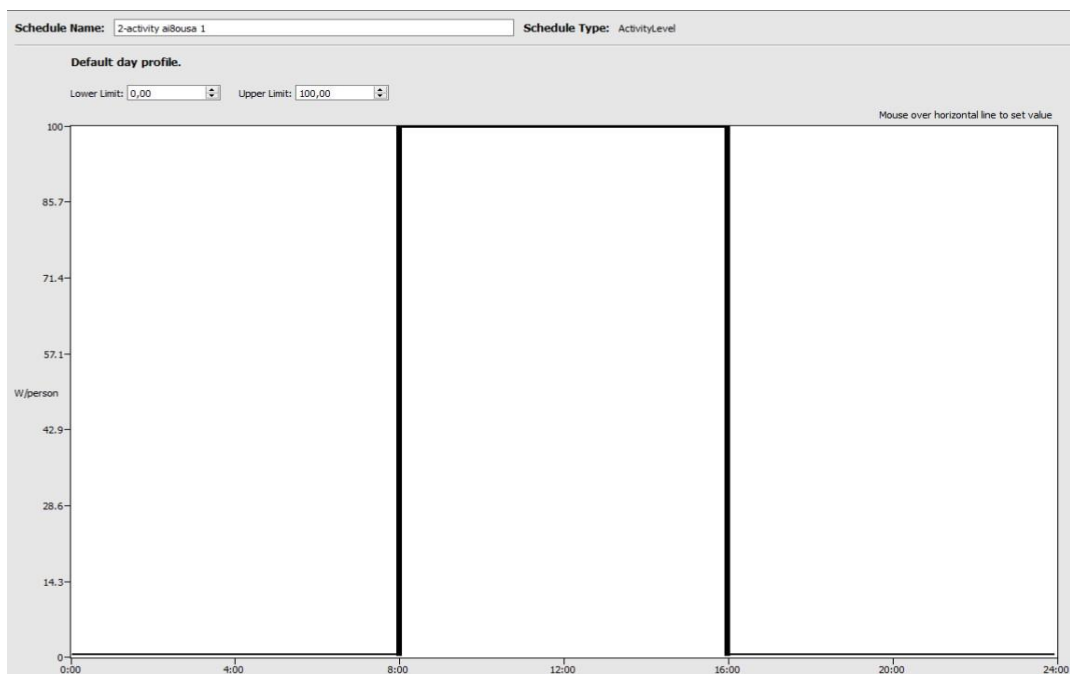
Πίνακας Π-3: Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τα χαρακτηριστικά τους

Παράρτημα 2: Πίνακες Δεδομένων από OpenStudio

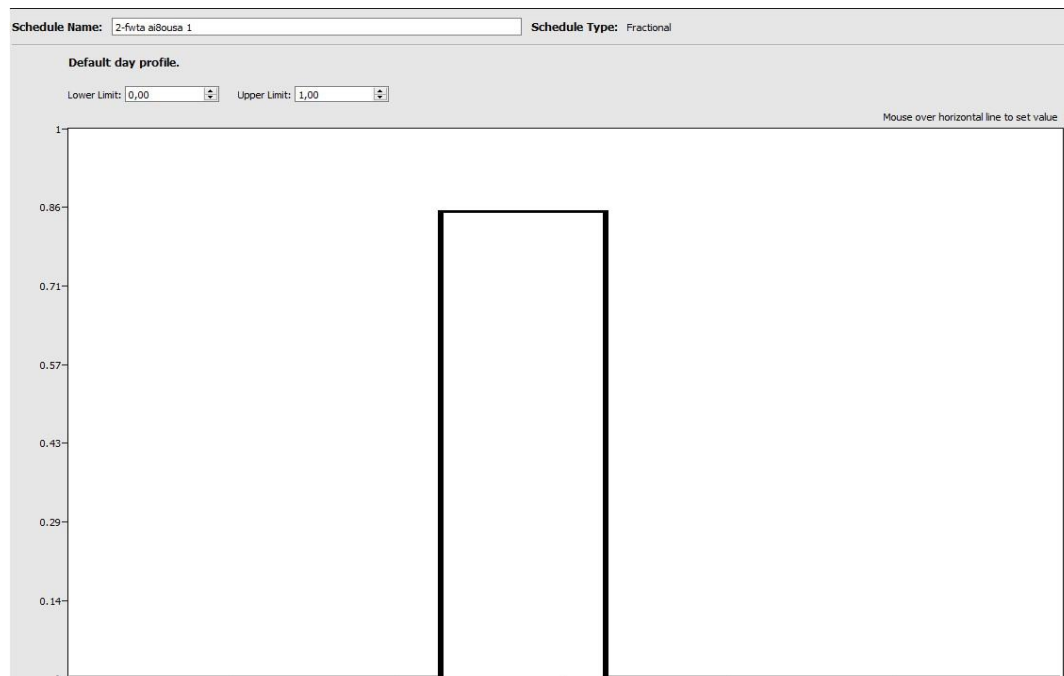
3^ο Δημοτικό Σχολείο Ζωγράφου



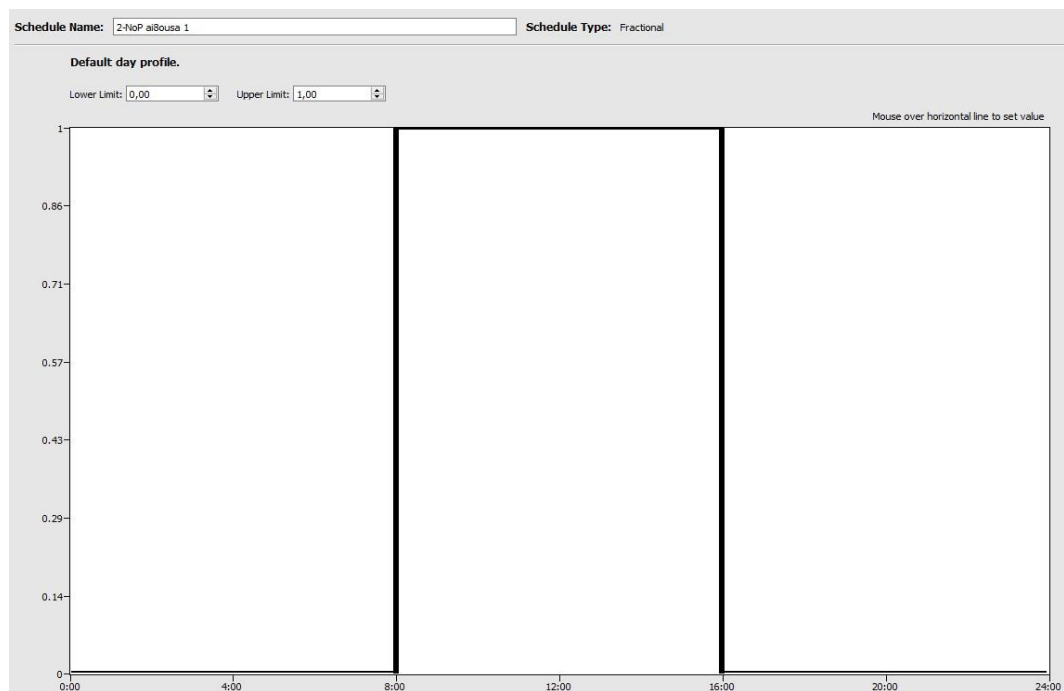
Εικόνα Π-4: Schedule για μία αίθουσα του Σχολείου



Εικόνα Π-5: Schedule Set Activity για μία αίθουσα του Σχολείου



Εικόνα Π-6: Schedule Set Φώτα για μία αίθουσα του Σχολείου



Εικόνα Π-7: Schedule Set NoP για μία αίθουσα του Σχολείου

Loads

People Definitions	Name: <input type="text" value="an8rwpoi"/>		
Lights Definitions	Number of People: <input type="text" value="380.000000"/>	People per Space Floor Area: <input type="text"/> people/m ²	Space Floor Area per Person: <input type="text"/> m ² /person
Luminaire Definitions	Fraction Radiant: <input type="text" value="0.300000"/>	Sensible Heat Fraction: <input type="text" value="autocalculate"/>	Carbon Dioxide Generation Rate: <input type="text" value="0.000038"/> L/s·W
Electric Equipment Definitions			

Εικόνα Π-8: People Definition Loads

People Definitions	Name: <input type="text" value="fwta ai8ouswn"/>		
Lights Definitions	Lighting Power: <input type="text" value="90.000000"/> W	Energy Per Space Floor Area: <input type="text"/> W/m ²	Energy Per Person: <input type="text"/> W/person
<input type="radio"/> fwta ai8ouswn <input type="radio"/> fwta oikonomias	Fraction Radiant: <input type="text" value="0.700000"/>	Fraction Visible: <input type="text" value="0.300000"/>	
Luminaire Definitions	Return Air Fraction: <input type="text" value="0.000000"/>		

Εικόνα Π-9: Lights Definition Loads Φώτα Αιθουσών

People Definitions	Name: <input type="text" value="fwta oikonomias"/>		
Lights Definitions	Lighting Power: <input type="text" value="40.000000"/> W	Energy Per Space Floor Area: <input type="text"/> W/m ²	Energy Per Person: <input type="text"/> W/person
<input type="radio"/> fwta ai8ouswn <input type="radio"/> fwta oikonomias	Fraction Radiant: <input type="text" value="0.700000"/>	Fraction Visible: <input type="text" value="0.300000"/>	
	Return Air Fraction: <input type="text" value="0.000000"/>		

Εικόνα Π-10: Lights Definition Loads Φώτα Οικονομίας

Name
ypogeio

Exterior Surface Constructions

Walls	Floors	Roofs
eswterikos toixos	Drag From Library	Drag From Library

Interior Surface Constructions

Walls	Floors	Ceilings
eswterikos toixos	Drag From Library	orofi ypogeiou

Ground Contact Surface Constructions

Walls	Floors	Ceilings
Drag From Library	patima ypogeiou	Drag From Library

Exterior Sub Surface Constructions

Fixed Windows	Operable Windows	Doors
Drag From Library	Drag From Library	ekswterikh porta

Glass Doors	Overhead Doors	Skylights
Drag From Library	Drag From Library	Drag From Library

Tubular Daylight Domes	Tubular Daylight Diffusers
Drag From Library	Drag From Library

Εικόνα Π-11: Construction Set Υπογείου

Name
isoγειο

Exterior Surface Constructions

Walls	Floors	Roofs
eswterikos toixos	Drag From Library	Drag From Library

Interior Surface Constructions

Walls	Floors	Ceilings
eswterikos toixos	Drag From Library	orofi isogeiou

Ground Contact Surface Constructions

Walls	Floors	Ceilings
Drag From Library	patima isogeiou	Drag From Library

Exterior Sub Surface Constructions

Fixed Windows	Operable Windows	Doors
Drag From Library	paraßura	ekswterikh porta

Glass Doors	Overhead Doors	Skylights
Drag From Library	Drag From Library	Drag From Library

Tubular Daylight Domes	Tubular Daylight Diffusers
Drag From Library	Drag From Library

Εικόνα Π-12: Construction Set Ισογείου

Name
1ος ορόφος

Exterior Surface Constructions

Walls	Floors	Roofs
εξωτερικός τοίχος	Drag From Library	Drag From Library

Interior Surface Constructions

Walls	Floors	Ceilings
εσωτερικός τοίχος	Drag From Library	οροφή ορόφου

Ground Contact Surface Constructions

Walls	Floors	Ceilings
Drag From Library	πατώμα α ορόφου	Drag From Library

Exterior Sub Surface Constructions

Fixed Windows	Operable Windows	Doors
Drag From Library	παράθυρα	εξωτερική porta

Glass Doors	Overhead Doors	Skylights
Drag From Library	Drag From Library	Drag From Library

Tubular Daylight Domes	Tubular Daylight Diffusers
Drag From Library	Drag From Library

Εικόνα Π-13: Construction Set 1^{ου} Ορόφου

Name
2ος ορόφος

Exterior Surface Constructions

Walls	Floors	Roofs
εξωτερικός τοίχος	πατώμα β ορόφου	stegh

Interior Surface Constructions

Walls	Floors	Ceilings
εσωτερικός τοίχος	πατώμα β ορόφου	Drag From Library

Ground Contact Surface Constructions

Walls	Floors	Ceilings
Drag From Library	Drag From Library	Drag From Library







Exterior Sub Surface Constructions

Fixed Windows	Operable Windows	Doors
Drag From Library	παράθυρα	εξωτερική porta

Glass Doors	Overhead Doors	Skylights
Drag From Library	Drag From Library	Drag From Library

Tubular Daylight Domes	Tubular Daylight Diffusers
Drag From Library	Drag From Library

Εικόνα Π-14: Construction Set 2^{ου} Ορόφου

Space Types							
Space Type Name	All	Rendering Color	Default Construction Set	Default Schedule Set	Design Specification Outdoor Air	Space Infiltration Design Flow Rates	Space Infiltration Effective Leakage Areas
	<input type="checkbox"/>		Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected
0-Wc ypogείου	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="ypogείο"/>	<input type="text" value="0-Wc ypogείου"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="external air flow 0.5"/>	<input type="text"/>
0-ypogείο	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="ypogείο"/>	<input type="text" value="0-ypogείο"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="external air flow 0.5.1"/>	<input type="text"/>
1-Wc 1	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="ισογείο"/>	<input type="text" value="1-Wc 1"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="external air flow 0.5.2"/>	<input type="text"/>
1-Wc 2	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="ισογείο"/>	<input type="text" value="1-Wc 2"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="external air flow 0.5.3"/>	<input type="text"/>
1-aiBousa ekdhlwsevn	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="ισογείο"/>	<input type="text" value="1-aiBousa ekdhlwsevn"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="external air flow 0.5.4"/>	<input type="text"/>
1-aiBousa gym	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="ισογείο"/>	<input type="text" value="1-aiBousa gym"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="external air flow 0.5.5"/>	<input type="text"/>
1-apothiki	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="ισογείο"/>	<input type="text" value="1-apothiki"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="external air flow 0.5.6"/>	<input type="text"/>
1-grafeio 1	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="ισογείο"/>	<input type="text" value="1-grafeio 1"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="external air flow 0.5.7"/>	<input type="text"/>
1-grafeio 2	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="ισογείο"/>	<input type="text" value="1-grafeio 2"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="external air flow 0.5.8"/>	<input type="text"/>
1-kykleio	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="ισογείο"/>	<input type="text" value="1-kykleio"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="external air flow 0.5.9"/>	<input type="text"/>
2-aiBousa 1	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="2ος ορόφος"/>	<input type="text" value="2-aiBousa 1"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="external air flow 0.5.10"/>	<input type="text"/>
2-aiBousa 2	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="2ος ορόφος"/>	<input type="text" value="2-aiBousa 2"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="external air flow 0.5.11"/>	<input type="text"/>

2-aiBousa 3	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="2ος ορόφος"/>	<input type="text" value="2-aiBousa 3"/>	<input type="text"/>	external air flow 0.5.12 <input type="text"/>	<input type="text"/>
2-aiBousa 4	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="2ος ορόφος"/>	<input type="text" value="2-aiBousa 4"/>	<input type="text"/>	external air flow 0.5.13 <input type="text"/>	<input type="text"/>
2-aiBousa 5	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="2ος ορόφος"/>	<input type="text" value="2-aiBousa 5"/>	<input type="text"/>	external air flow 0.5.14 <input type="text"/>	<input type="text"/>
2-aiBousa 6	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="2ος ορόφος"/>	<input type="text" value="2-aiBousa 6"/>	<input type="text"/>	external air flow 0.5.15 <input type="text"/>	<input type="text"/>
2-aiBousa 7	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="2ος ορόφος"/>	<input type="text" value="2-aiBousa 7"/>	<input type="text"/>	external air flow 0.5.16 <input type="text"/>	<input type="text"/>
2-aiBousa 8	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="2ος ορόφος"/>	<input type="text" value="2-aiBousa 8"/>	<input type="text"/>	external air flow 0.5.17 <input type="text"/>	<input type="text"/>
2-aiBousa 9	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="2ος ορόφος"/>	<input type="text" value="2-aiBousa 9"/>	<input type="text"/>	external air flow 0.5.18 <input type="text"/>	<input type="text"/>
3-aiBousa 1	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="3ος ορόφος"/>	<input type="text" value="3-aiBousa 1"/>	<input type="text"/>	external air flow 0.5.19 <input type="text"/>	<input type="text"/>
3-aiBousa 10	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="3ος ορόφος"/>	<input type="text" value="3-aiBousa 10"/>	<input type="text"/>	external air flow 0.5.20 <input type="text"/>	<input type="text"/>
3-aiBousa 2	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="3ος ορόφος"/>	<input type="text" value="3-aiBousa 2"/>	<input type="text"/>	external air flow 0.5.21 <input type="text"/>	<input type="text"/>
3-aiBousa 3	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="3ος ορόφος"/>	<input type="text" value="3-aiBousa 3"/>	<input type="text"/>	external air flow 0.5.22 <input type="text"/>	<input type="text"/>
3-aiBousa 4	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="3ος ορόφος"/>	<input type="text" value="3-aiBousa 4"/>	<input type="text"/>	external air flow 0.5.23 <input type="text"/>	<input type="text"/>
3-aiBousa 5	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="3ος ορόφος"/>	<input type="text" value="3-aiBousa 5"/>	<input type="text"/>	external air flow 0.5.24 <input type="text"/>	<input type="text"/>

3-aiBousa 6	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="3ος ορόφος"/>	<input type="text" value="3-aiBousa 6"/>	<input type="text"/>	external air flow 0.5.25 <input type="text"/>	<input type="text"/>
3-aiBousa 7	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="3ος ορόφος"/>	<input type="text" value="3-aiBousa 7"/>	<input type="text"/>	external air flow 0.5.26 <input type="text"/>	<input type="text"/>
3-aiBousa 8	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="3ος ορόφος"/>	<input type="text" value="3-aiBousa 8"/>	<input type="text"/>	external air flow 0.5.27 <input type="text"/>	<input type="text"/>
3-aiBousa 9	<input type="checkbox"/>		<input type="text" value="3ος ορόφος"/>	<input type="text" value="3-aiBousa 9"/>	<input type="text"/>	external air flow 0.5.28 <input type="text"/>	<input type="text"/>

Εικόνα Π-15: Space Types 3^{ου} Δημοτικού Σχολείου

End Use - view table

End Use	Consumption (kBtu)
Heating	340824
Cooling	11002
Interior Lighting	34728
Exterior Lighting	0
Interior Equipment	372164
Exterior Equipment	0
Fans	0
Pumps	0
Heat Rejection	0
Humidification	0
Heat Recovery	0
Water Systems	0
Refrigeration	0
Generators	0

Πίνακας Π-16: Ενεργειακά Αποτελέσματα 3^{ου} Δημοτικού Σχολείου

1^ο-19^ο Δημοτικό Σχολείο Ζωγράφου

Schedules Schedule Sets Schedules

0-antliostasio
0-apothiki
0-apothiki kausimwn
0-klimakostasio
0-levitostasio
0-mhxanostasio
1-ai8ousa ekdhlwsewn
1-grafeio 1
1-grafeio 2
1-grafeio 3
1-grafeio 4

Name
0-levitostasio

Default Schedules

Hours of Operation
Drag From Library

Number of People
0-NoP levitostasio X

People Activity
0-activity levitostasio X

Lighting
0-fwta levitostasio X

Electric Equipment
0-hlektrika levitostasio X

Gas Equipment
Drag From Library

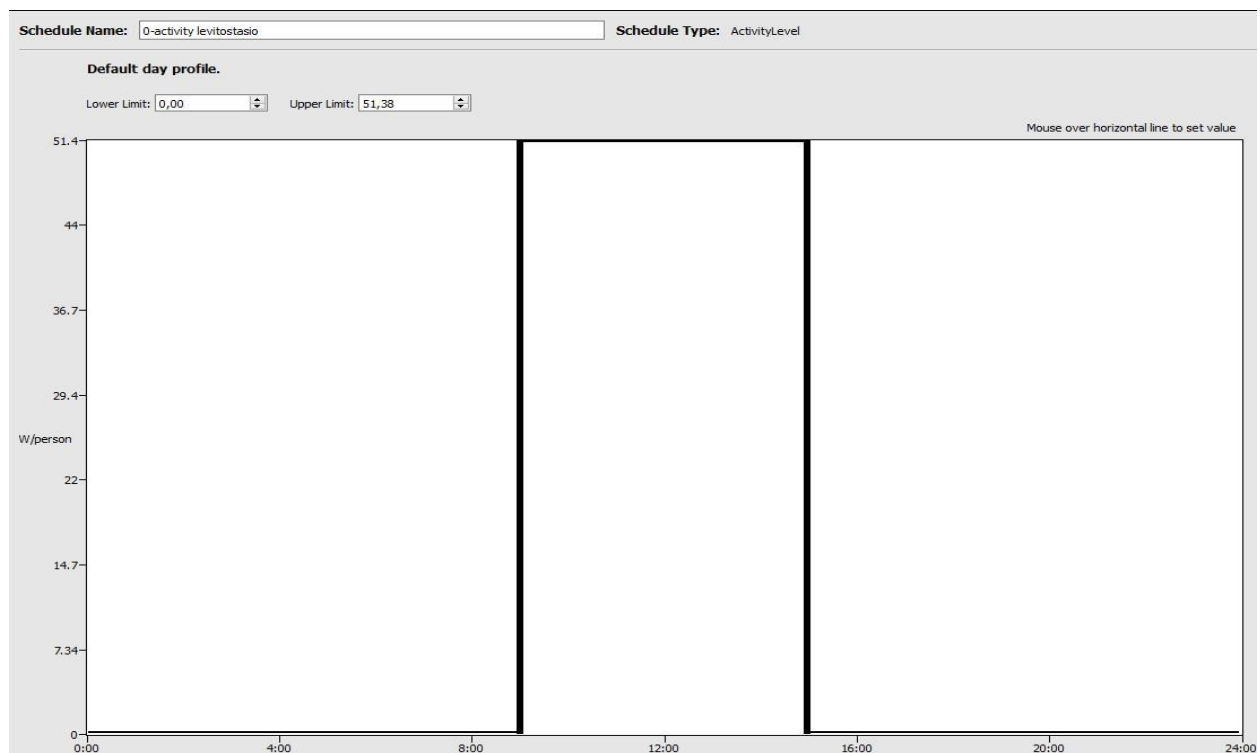
Hot Water Equipment
Drag From Library

Steam Equipment
Drag From Library

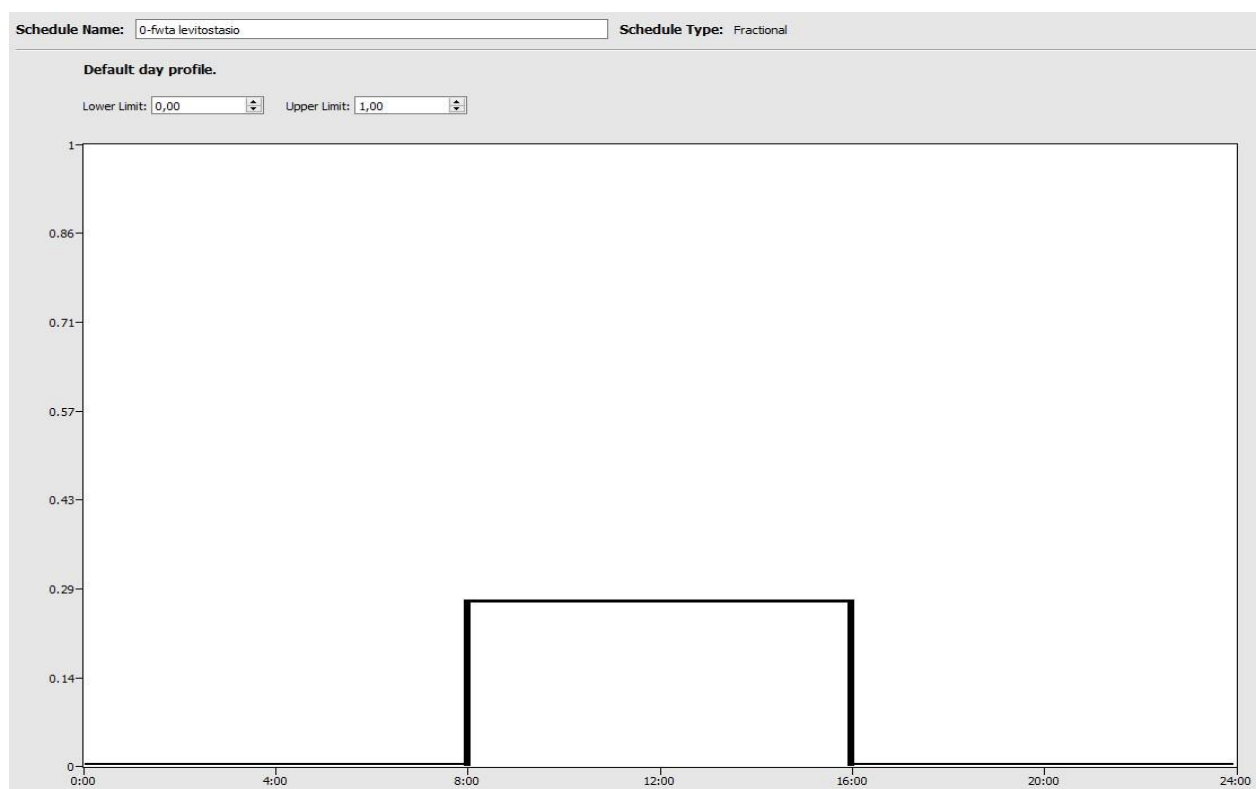
Other Equipment
Drag From Library

Infiltration
always on X

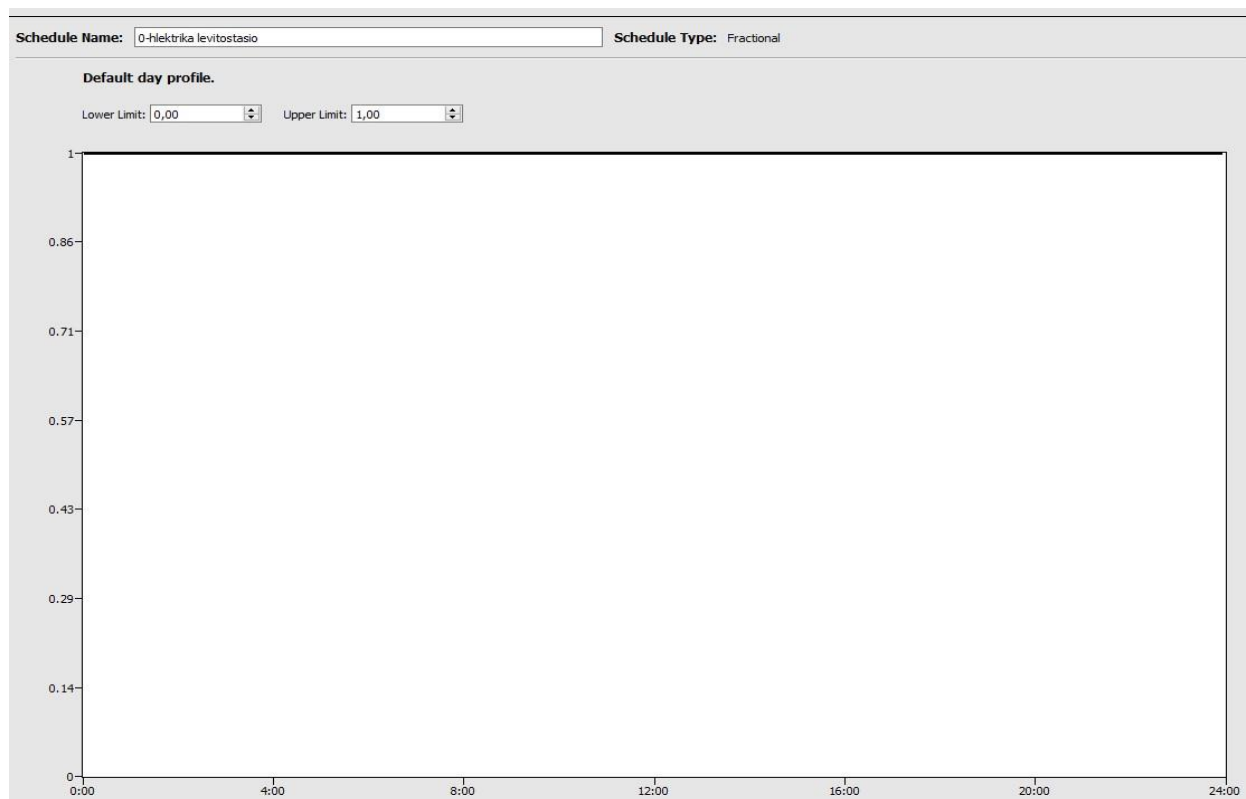
Εικόνα Π-17: Schedule Λεβητοστασίου



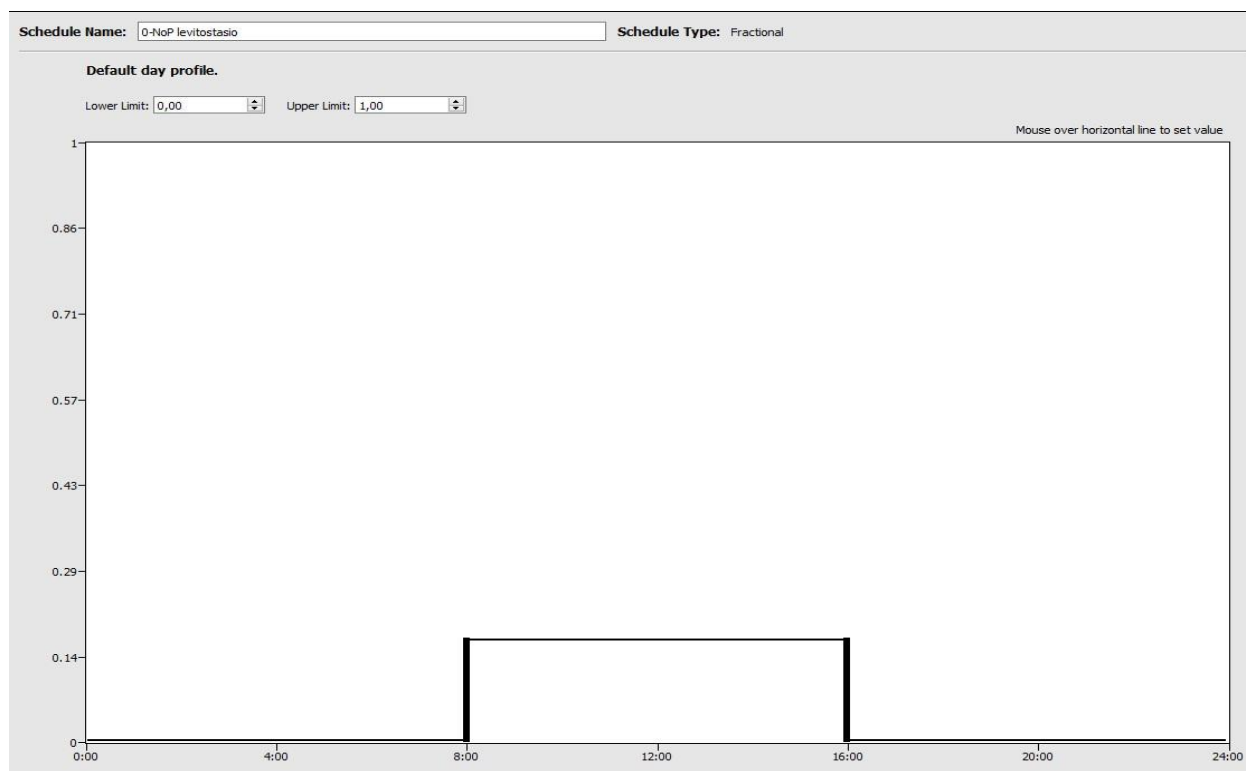
Εικόνα Π-18: Schedule Set Activity Λεβητοστασίου



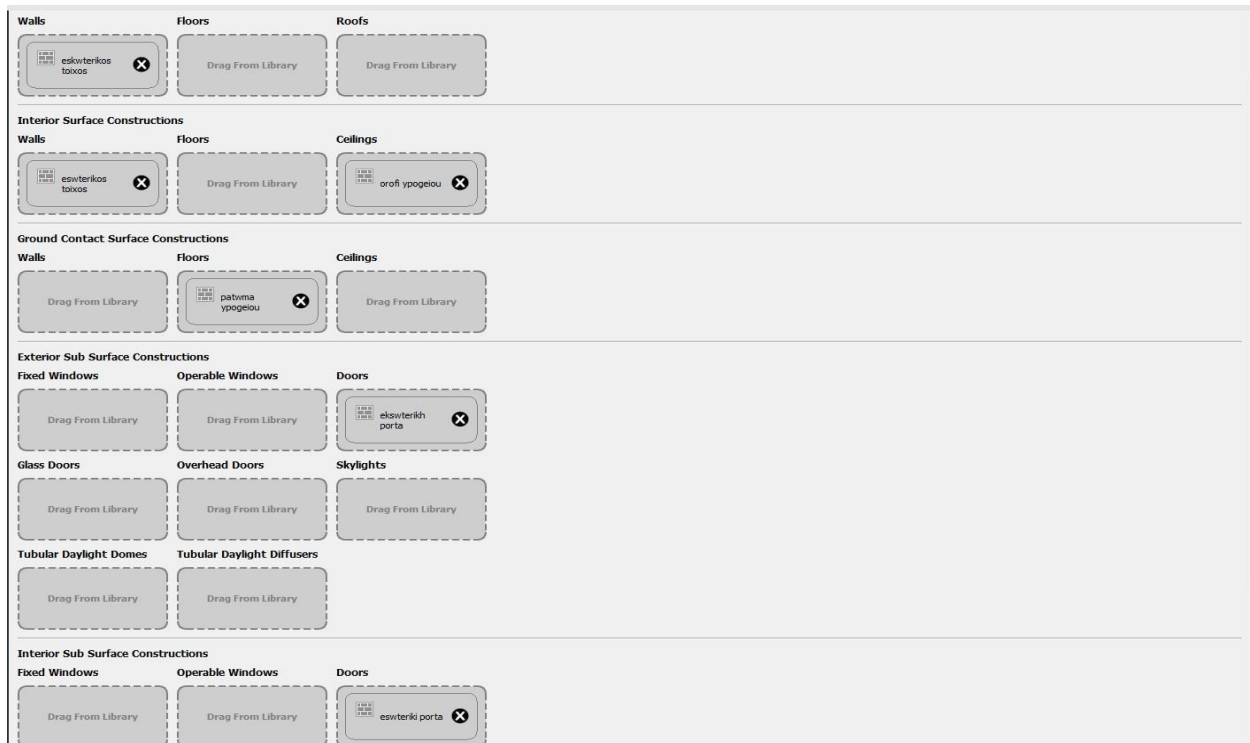
Εικόνα Π-19: Schedule Set Φώτα Λεβητοστασίου



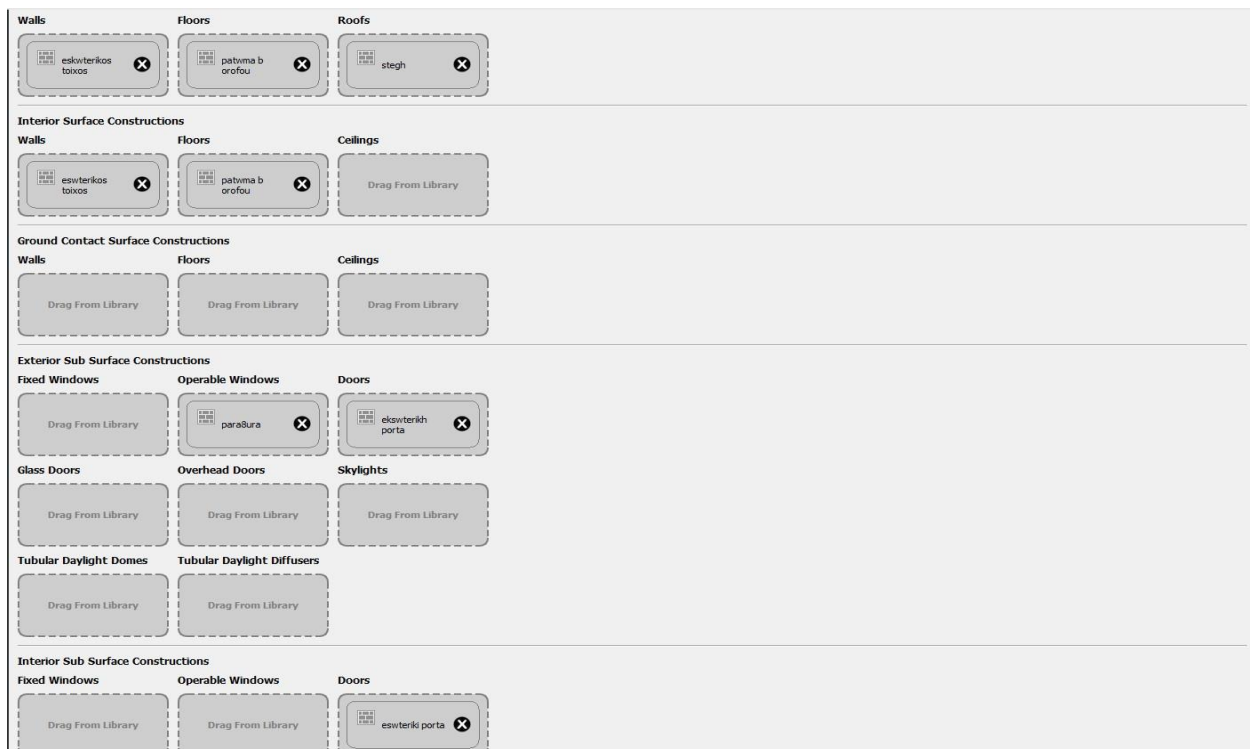
Εικόνα Π-20: Schedule Set Ηλεκτρικά Λεβητοστασίου



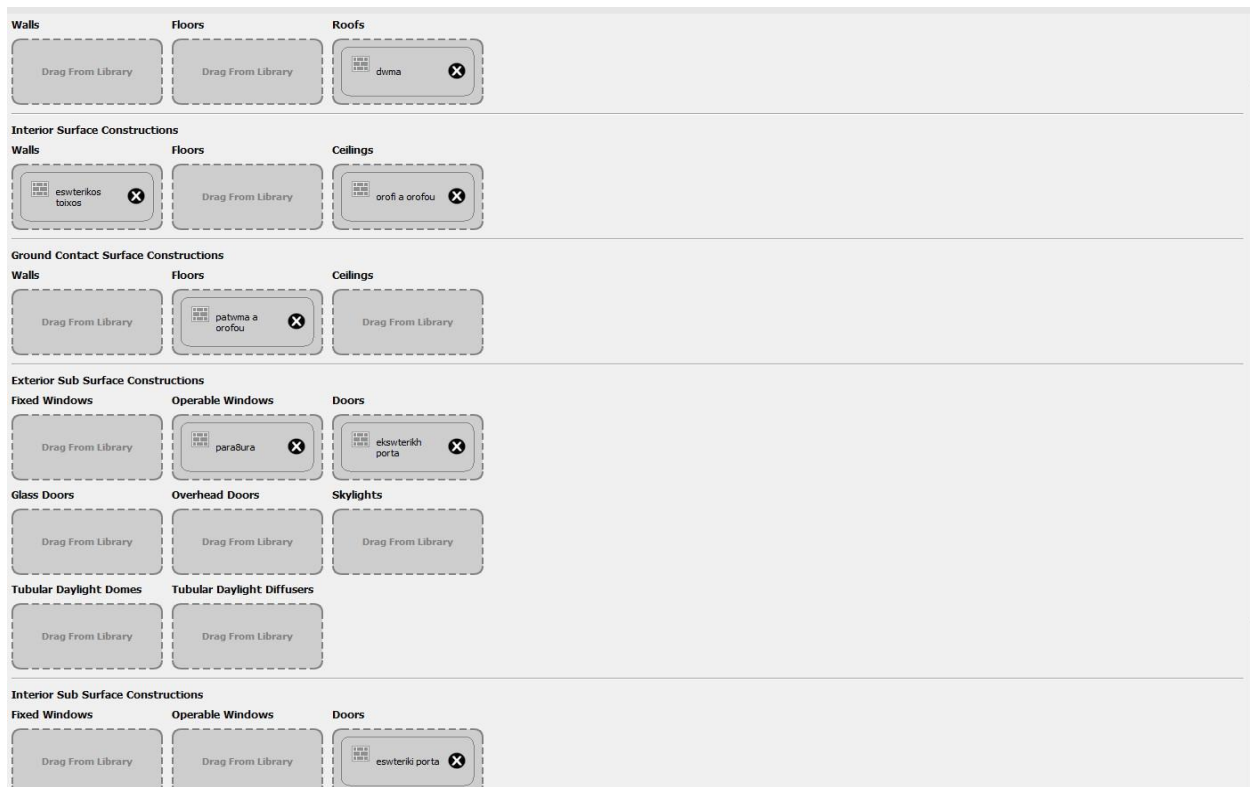
Εικόνα Π-21: Schedule Set NoP Λεβητοστασίου



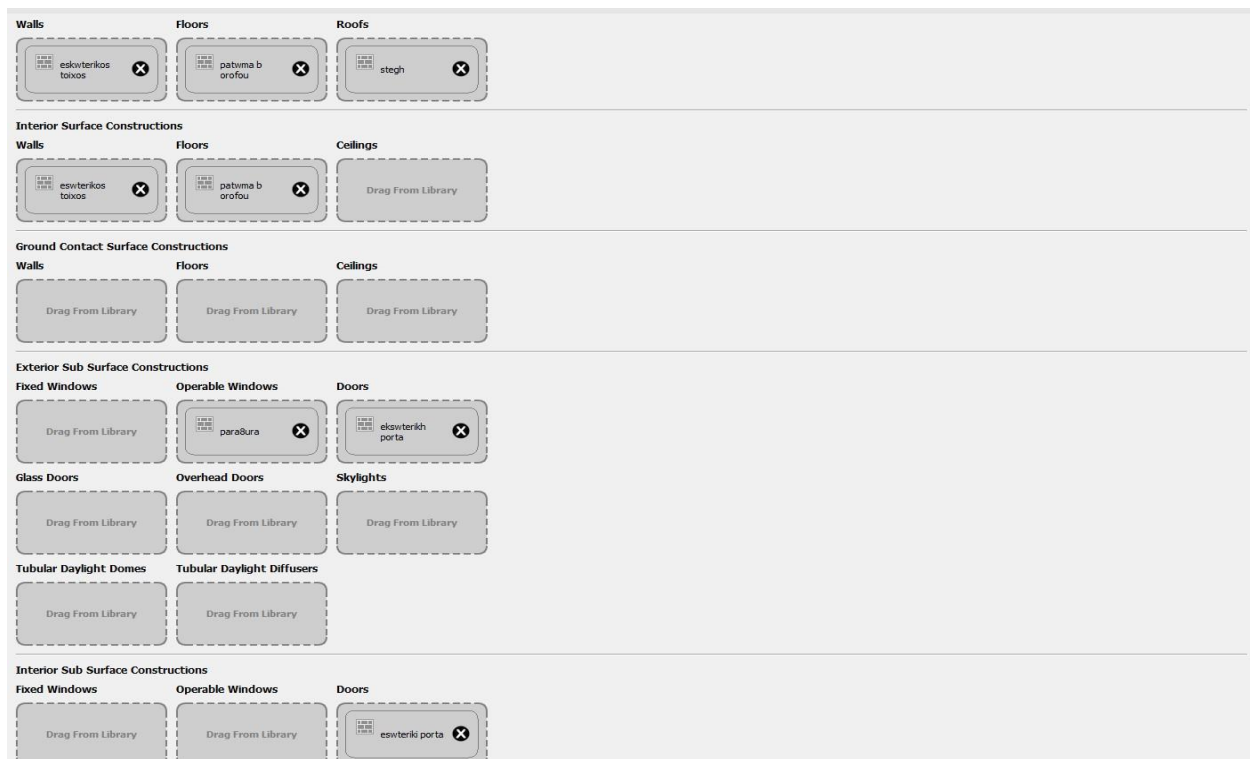
Εικόνα Π-22: Construction Set Υπογείου



Εικόνα Π-23: Construction Set Ισογείου



Εικόνα Π-24: Construction Set 1^{ου} Ορόφου



Εικόνα Π-25: Construction Set 2^{ου} Ορόφου

1o-19o dimotiko.osm*

File Preferences Components & Measures Help

Loads

People Definitions

Name:
an8rwpoi

Number of People: 430.000000 **People per Space Floor Area:** people/m² **Space Floor Area per Person:** m²/person

Fraction Radiant: 0.300000 **Sensible Heat Fraction:** autocalculate **Carbon Dioxide Generation Rate:** 0.000038 L/s·W

Εικόνα Π-26: People Definition Loads

People Definitions

Lights Definitions

Name:
fwta ai8ouswn

Lighting Power: 90.000000 W **Energy Per Space Floor Area:** W/m² **Energy Per Person:** W/person

Fraction Radiant: 0.700000 **Fraction Visible:** 0.300000

Return Air Fraction: 0.000000

Εικόνα Π-27: Lights Definition Loads Φώτα Αιθουσών

Loads

People Definitions

Lights Definitions





























































Name:
fwta oikonomias


































































Lighting Power: 40.000000 W **Energy Per Space Floor Area:** W/m² **Energy Per Person:** W/person
















Fraction Radiant: 0.700000 **Fraction Visible:** 0.300000

Return Air Fraction: 0.000000

Εικόνα Π-28: Lights Definition Loads Φώτα Οικονομίας

Space Types							
Space Type Name	AI	Rendering Color	Default Construction Set Apply to Selected	Default Schedule Set Apply to Selected	Design Specification Outdoor Air Apply to Selected	Space Infiltration Design Flow Rates Apply to Selected	Space Infiltration Effective Leakage Areas Apply to Selected
0-antistasio	<input type="checkbox"/>			0-antistasio		external air flow 0.5 29 	
0-apothiki	<input type="checkbox"/>			0-antistasio		external air flow 0.5 30 	
0-apothiki kausimn	<input type="checkbox"/>			0-apothiki kausimn		external air flow 0.5 31 	
0-klimakostasio	<input type="checkbox"/>			0-klimakostasio		external air flow 0.5 1 	
0-levitostasio	<input type="checkbox"/>			0-levitostasio		external air flow 0.5 	
0-mhkanostasio	<input type="checkbox"/>			0-mhkanostasio		external air flow 0.5 32 	
1-Wc 1	<input type="checkbox"/>			1-Wc 1		external air flow 0.5 2 	
1-Wc 2	<input type="checkbox"/>			1-Wc 2		external air flow 0.5 3 	
1-Wc 3	<input type="checkbox"/>			1-Wc 3		external air flow 0.5 33 	
1-Wc 4	<input type="checkbox"/>			1-Wc 4		external air flow 0.5 34 	
1-Wc 5	<input type="checkbox"/>			1-Wc 5		external air flow 0.5 35 	
1-Wc 6	<input type="checkbox"/>			1-Wc 6		external air flow 0.5 36 	

Space Types							
1-Wc 7	<input type="checkbox"/>			1-Wc 7		external air flow 0.5 38 	
1-Wc 8	<input type="checkbox"/>			1-Wc 8		external air flow 0.5 37 	
1-ai8ousa eldhlivsevn	<input type="checkbox"/>			1-ai8ousa eldhlivsevn		external air flow 0.5 4 	
1-grafeo 1	<input type="checkbox"/>			1-grafeo 1		external air flow 0.5 7 	
1-grafeo 2	<input type="checkbox"/>			1-grafeo 2		external air flow 0.5 8 	
1-grafeo 3	<input type="checkbox"/>			1-grafeo 3		external air flow 0.5 39 	
1-grafeo 4	<input type="checkbox"/>			1-grafeo 4		external air flow 0.5 40 	
1-koinos	<input type="checkbox"/>			1-koinos		external air flow 0.5 41 	
1-kylikeo	<input type="checkbox"/>			1-kylikeo		external air flow 0.5 9 	
1-trapezaria	<input type="checkbox"/>			1-trapezaria		external air flow 0.5 5 	
1-vivliothikh	<input type="checkbox"/>			1-vivliothikh		external air flow 0.5 6 	
2-ai8ousa 1	<input type="checkbox"/>			2-ai8ousa 1		external air flow 0.5 10 	
2-ai8ousa 10	<input type="checkbox"/>			2-ai8ousa 10		external air flow 0.5 42 	

Space Types							
3-aibousa 1	<input type="checkbox"/>		2ος ορόφος	3-aibousa 1		external air flow 0.5 19	
3-aibousa 10	<input type="checkbox"/>		2ος ορόφος	3-aibousa 10		external air flow 0.5 20	
3-aibousa 2	<input type="checkbox"/>		2ος ορόφος	3-aibousa 2		external air flow 0.5 21	
3-aibousa 3	<input type="checkbox"/>		2ος ορόφος	3-aibousa 3		external air flow 0.5 22	
3-aibousa 4	<input type="checkbox"/>		2ος ορόφος	3-aibousa 4		external air flow 0.5 23	
3-aibousa 5	<input type="checkbox"/>		2ος ορόφος	3-aibousa 5		external air flow 0.5 24	
3-aibousa 6	<input type="checkbox"/>		2ος ορόφος	3-aibousa 6		external air flow 0.5 25	
3-aibousa 7	<input type="checkbox"/>		2ος ορόφος	3-aibousa 7		external air flow 0.5 26	
3-aibousa 8	<input type="checkbox"/>		2ος ορόφος	3-aibousa 8		external air flow 0.5 27	
3-aibousa 9	<input type="checkbox"/>		2ος ορόφος	3-aibousa H/Y 1		external air flow 0.5 28	
3-aibousa H/Y 1	<input type="checkbox"/>		2ος ορόφος	3-aibousa H/Y 1		external air flow 0.5 47	
3-aibousa H/Y 2	<input type="checkbox"/>		2ος ορόφος	3-aibousa H/Y 2		external air flow 0.5 48	
3-grafeio mathhikon koinwtiton 1	<input type="checkbox"/>		2ος ορόφος	3-grafeio mathhikon koinwtit		external air flow 0.5 49	
Space Types							
2-aibousa 11	<input type="checkbox"/>		1ος ορόφος	2-aibousa 11		external air flow 0.5 43	
2-aibousa 12	<input type="checkbox"/>		1ος ορόφος	2-aibousa 12		external air flow 0.5 44	
2-aibousa 2	<input type="checkbox"/>		1ος ορόφος	2-aibousa 2		external air flow 0.5 11	
2-aibousa 3	<input type="checkbox"/>		1ος ορόφος	2-aibousa 3		external air flow 0.5 12	
2-aibousa 4	<input type="checkbox"/>		1ος ορόφος	2-aibousa 4		external air flow 0.5 13	
2-aibousa 5	<input type="checkbox"/>		1ος ορόφος	2-aibousa 5		external air flow 0.5 14	
2-aibousa 6	<input type="checkbox"/>		1ος ορόφος	2-aibousa 6		external air flow 0.5 15	
2-aibousa 7	<input type="checkbox"/>		1ος ορόφος	2-aibousa 7		external air flow 0.5 16	
2-aibousa 8	<input type="checkbox"/>		1ος ορόφος	2-aibousa 8		external air flow 0.5 17	
2-aibousa 9	<input type="checkbox"/>		1ος ορόφος	2-aibousa 9		external air flow 0.5 18	
2-grafeio ginevion	<input type="checkbox"/>		1ος ορόφος	2-grafeio ginevion		external air flow 0.5 45	
2-iatrio	<input type="checkbox"/>		1ος ορόφος	2-iatrio		external air flow 0.5 46	
3-Wc b orofou	<input type="checkbox"/>		2ος ορόφος	3-Wc b orofou		external air flow 0.5 51	
3-grafeio mathhikon koinwtiton 2	<input type="checkbox"/>		2ος ορόφος	3-grafeio mathhikon koinwtit		external air flow 0.5 50	

Εικόνα Π-29: Space Types 1^{ου}-19^{ου} Δημοτικού Σχολείου

End Use - view table

End Use	Consumption (kBtu)
Heating	680352
Cooling	20734
Interior Lighting	82344
Exterior Lighting	0
Interior Equipment	698630
Exterior Equipment	0
Fans	0
Pumps	0
Heat Rejection	0
Humidification	0
Heat Recovery	0
Water Systems	0
Refrigeration	0
Generators	0

Πίνακας Π-30: Ενεργειακά Αποτελέσματα 1^{ου}-19^{ου} Δημοτικού Σχολείου