



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

# ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΣΕ ΣΧΟΛΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΚΤΙΡΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ζώης Αλέξανδρος

Επιβλέπων : Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2015





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

# ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΣΕ ΣΧΟΛΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΚΤΙΡΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ζώης Αλέξανδρος

Επιβλέπων : Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14<sup>η</sup> Οκτωβρίου 2015.

.....

Ιωάννης Ψαρράς

.....

Δημήτριος Ασκούνης

.....

Βασίλειος Ασημακόπουλος

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

.....

Ζώης Αλέξανδρος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © ΖΩΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

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

## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα Ηλεκτρικών και Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Υπεύθυνος κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας ήταν ο Καθηγητής κ. Ιωάννης Ψαρράς, τον οποίο ευχαριστώ για την ανάθεση αυτής και τη δυνατότητα που μου δόθηκε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην επιβλέπουσα της διπλωματικής, διδάκτορα Ε.Μ.Π. Αλεξάνδρα Παπαδοπούλου, για την καθοδήγηση και υποστήριξη που μου παρείχαν. Οι υποδείξεις και οι συμβουλές της υπήρξαν απαραίτητες για την επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Ευχαριστίες θα ήθελα επίσης να εκφράσω στον υπεύθυνο του τεχνικού τμήματος των Εκπαιδευτηρίων, κ. Πέτρο Παπαδημητρίου για τις πληροφορίες που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής καθώς και τη συνδρομή του στην τοποθέτηση του αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας

Αφιερώνω τη διπλωματική μου εργασία στην αείμνηστη μητέρα μου, συμπαραστάτρια και εμπυχώτρια σε όλη την ακαδημαϊκή και προσωπική μου πορεία, καθώς και στον πατέρα μου, μέντορά μου και αρωγό σε κάθε μου τόλμημα.



## Περίληψη

Η ραγδαία αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης παγκοσμίως είναι ένα αρνητικό φαινόμενο που εξελίσσεται με ταχύτατους ρυθμούς τις τελευταίες δεκαετίες και που οι σύγχρονες κοινωνίες έχουν κληθεί να αντιμετωπίσουν. Ειδικότερα, ο κτιριακός τομέας εκτιμάται πως είναι υπεύθυνος για το 40% περίπου της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σε ευρωπαϊκό αλλά και εθνικό επίπεδο συνεισφέροντας έτσι στην επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με εκπομπές ρύπων.

Για την προώθηση της εξοικονόμησης ενέργειας, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει προβεί σε ενέργειες και πρωτοβουλίες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, καθορίζοντας τη διαδικασία της ενεργειακής επιθεώρησης ως ένα χρήσιμο εργαλείο και μία συστηματική διαδικασία με στόχο την αποτύπωση της ενεργειακής κατάστασης ενός κτιρίου και τον εντοπισμό περιθωρίων ενεργειακής βελτιστοποίησης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά τη διενέργεια ενεργειακής επιθεώρησης σε 5 κτίρια του σχολικού συγκροτήματος «Εκπαιδευτήρια Γεωργίου Ζώη». Συγκεντρώθηκαν τιμολόγια ενεργειακής κατανάλωσης για την τριετία 2009-2011, έγινε αναλυτική καταγραφή των ηλεκτρικών καταναλώσεων στους χώρους των κτιρίων, μελετήθηκε η θερμομονωτική τους επάρκεια και χρησιμοποιήθηκαν όργανα μέτρησης όπως η θερμοκάμερα, ο αναλυτής καυσαερίων και ο αναλυτής ηλεκτρικής ενέργειας για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Τέλος η ενεργειακή μελέτη των κτιρίων ολοκληρώθηκε με την πρόταση δράσεων ενεργειακής βελτίωσης οι οποίες και αξιολογήθηκαν οικονομοτεχνικά.

### Λέξεις Κλειδιά:

Ενεργειακή επιθεώρηση, Εξοικονόμηση ενέργειας, Συντελεστής Θερμοπερατότητας, Θερμογραφία, Αναλυτής ηλεκτρικής ενέργειας, Αναλυτής καυσαερίων, Δράσεις Ενεργειακής Βελτίωσης

## Abstract

The rapid increase in energy consumption worldwide is a negative phenomenon that is evolving rapidly in the recent decades and that modern societies have been invited to address. In particular, the building sector is estimated to be responsible for 40% of total energy consumption both at European and national level, thus contributing to the burden of the air emissions.

To promote energy savings, the European Union has taken steps and initiatives to improve energy efficiency in buildings, by determining the energy audit procedure as a useful tool and systematic procedure in order to depict the energy status of a building and to identify energy saving actions.

This thesis concerns the energy audit in 5 buildings of a school complex called “Georgios Zois Institute”. The energy consumption invoices for the period 2009-2011 were gathered, a detailed recording of electrical consumption on the premises of the buildings took place, a study for the thermal conductivity of the buildings was realised, and instruments were used such as the thermocam, the power analyzer and the flue gas analyzer to draw useful conclusions on the energy performance of the buildings. Finally, the energy study of the buildings was completed with proposed and financially evaluated actions to improve the energy efficiency of the buildings.

### Keywords:

Energy audit, Energy saving, U-Value, Thermography, Power analyzer, Flue gas analyzer, Energy saving actions.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	Εισαγωγή	11
1.1	Σκοπός –Αντικείμενο	13
1.2	Φάσεις υλοποίησης	13
1.3	Οργάνωση τόμου	14
2.	Ενεργειακή Επιθεώρηση Σχολικού Συγκροτήματος	17
2.1	Περιγραφή σχολικών κτιρίων	19
2.1.1	Παιδικός Σταθμός	20
2.1.2	1ο Δημοτικό	21
2.1.3	2ο Δημοτικό	21
2.1.4	Γυμνάσιο	22
2.1.5	Λύκειο	23
2.2	Ανάλυση ενεργειακών καταναλώσεων βάσει τιμολογίων	24
2.2.1	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	24
2.2.2	Κατανάλωση πετρελαίου	26
2.2.3	Κόστος ενεργειακής κατανάλωσης	27
2.3	Κατανομή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά χρήση	28
2.3.1	Κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό	28
2.3.2	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση - ψύξη - αερισμό	31
2.3.3	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για Η/Υ και λοιπές ηλεκτρικές συσκευές	32
2.3.4	Κατανομή καταναλώσεων ανά είδος χρήσης και κτίριο	34
3	Μελέτη Θερμομόνωσης Σχολικού Συγκροτήματος	37
3.1	Εισαγωγή	39
3.2	Μεθοδολογία υπολογισμού	41
3.2.1	Συνοπτική παρουσίαση της υπολογιστικής διαδικασίας	41
3.2.2	Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας αδιαφανών δομικών στοιχείων	43
3.2.3	Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας διαφανών δομικών στοιχείων	45
3.2.4	Υπολογισμός του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας	45
3.3	Προσδιορισμός συντελεστή θερμοπερατότητας σχολικού συγκροτήματος	46
3.3.1	Διευκρινίσεις και παραδοχές για το σχολικό συγκρότημα	46
3.3.2	Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων Παιδικού Σταθμού	47
3.3.3	Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων 1 <sup>ου</sup> Δημοτικού	51
3.3.4	Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων 2 <sup>ου</sup> Δημοτικού	59
3.3.5	Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων Γυμνασίου	66
3.3.6	Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων Λυκείου	71
3.3.7	Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας διαφανών δομικών στοιχείων	79
3.3.8	Υπολογισμός μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας κτιρίων	83

4	Μετρήσεις με Καταγραφικό Εξοπλισμό	89
4.1	Μετρήσεις με θερμοκάμερα	91
4.1.1	Παρουσίαση θερμοκάμερας FLIR	93
4.1.2	Ιδανικές συνθήκες δειγματοληψίας	94
4.1.3	Υπέρυθρες φωτογραφίες	94
4.2	Μετρήσεις με αναλυτή ενέργειας	104
4.2.1	Παρουσίαση FLUKE 1735	104
4.2.2	Συνδεσμολογία οργάνου	105
4.2.3	Αποτελέσματα μετρήσεων του αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας	106
4.3	Μετρήσεις με αναλυτή καυσαερίων	116
4.3.1	Εισαγωγικά	116
4.3.2	Όργανο μέτρησης	116
4.3.3	Διαδικασία μέτρησης	118
4.3.4	Αποτελέσματα Μετρήσεων	120
4.3.5	Μέγιστη απόδοση καύσης - Ανάλυση μετρήσεων - Συμπεράσματα	121
5	Δράσεις Ενεργειακής Βελτίωσης	125
5.1	Οικονομική αξιολόγηση επεμβάσεων	127
5.1.1	Καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ)	127
5.1.2	Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (EBA)	128
5.1.3	Έντοκη περίοδος αποπληρωμής (EΠΑ)	128
5.2	Δράσεις Φωτισμού	129
5.2.1	Αλλαγή των μαγνητικών στραγγαλιστικών πηνίων των λαμπτήρων T8 με ηλεκτρονικά	129
5.2.2	Αντικατάσταση λαμπτήρων φθορισμού T8 και Πυρακτώσεως με LED	132
5.3	Δράσεις Ψύξης/Θέρμανσης	134
5.3.1	Χρήση φυσικού αερίου για θέρμανση	134
5.3.2	Αντλία θερμότητας	135
5.3.3	Αντικατάσταση παλιών κλιματιστικών με inverter	141
5.4	Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών στις οροφές	144
6	Συμπεράσματα – Προοπτικές	151
6.1	Συμπεράσματα	153
6.2	Προοπτικές	154
	Βιβλιογραφία	155

# Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 1

## Ε Ι Σ Α Γ Ω Γ Η



## 1.1 ΣΚΟΠΟΣ - ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 40% περίπου της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο. Η κατανάλωση αυτή, είτε σε μορφή θερμικής (κυρίως πετρέλαιο) είτε σε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα, εκτός της σημαντικής οικονομικής επιβάρυνσης λόγω του υψηλού κόστους της ενέργειας, τη μεγάλη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ρύπους, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>).

Η κατανάλωση ενέργειας στα κτήρια στην Ελλάδα παρουσιάζει αυξητική τάση, λόγω της αύξησης της χρήσης κλιματιστικών αλλά και της χρήσης ηλεκτρικών συσκευών εν γένει. Παρόλα αυτά, με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών και οικονομικά αποτελεσματικών τεχνολογιών είναι δυνατή η επίτευξη σημαντικής βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων με αντίστοιχα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη.

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτήρια είναι η διάγνωση της υφιστάμενης κατάστασης ενεργειακής κατανάλωσης, μέσω της διενέργειας ενεργειακής επιθεώρησης σ' αυτά. Η συγκεκριμένη δράση είναι αποφασιστικής σημασίας για την αποτύπωση της ενεργειακής ταυτότητας του κτιρίου, τον εντοπισμό σημείων υπερκατανάλωσης και τον προσδιορισμό προτεινόμενων δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας, για τη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου.

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η διενέργεια ενεργειακής επιθεώρησης σε ένα σχολικό συγκρότημα αποτελούμενο από 5 κτίρια, και πιο συγκεκριμένα στο συγκρότημα «Εκπαιδευτήρια Γεωργίου Ζώη».

Η παρούσα ενεργειακή επιθεώρηση περιλαμβάνει:

- αναλυτική καταγραφή της ενεργειακής κατανάλωσης των 5 κτιρίων για την τριετία 2009-2011,
- έλεγχο της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων βάσει της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2010,
- χρήση καταγραφικού εξοπλισμού και ειδικότερα του αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας, του αναλυτή καυσαερίων αλλά και υπέρυθη φωτογράφιση των κτιρίων για πιθανό εντοπισμό σημείων διαφυγής ενέργειας,
- εντοπισμό δράσεων που θα μπορούσαν να βελτιώσουν το ενεργειακό προφίλ των 5 κτιρίων αλλά και αξιολόγηση ως προς την οικονομική τους βιωσιμότητα.

## 1.2 ΦΑΣΕΙΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε σταδιακά με τη διαδικασία που περιγράφεται ακολούθως:

**Φάση 1<sup>η</sup>:** Ανάλυση διπλωματικής εργασίας. Μελέτη βιβλιογραφίας σχετικά με την ενεργειακή επιθεώρηση, και ειδικότερα μελέτη του Κ.ΕΝ.Α.Κ. και των τεχνικών οδηγιών του Τ.Ε.Ε. Παράλληλα, μελετήθηκαν και αντίστοιχες διπλωματικές εργασίες που εκπονήθηκαν στο Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης.

**Φάση 2<sup>η</sup>:** Συλλογή στοιχείων και πληροφοριών σχετικά με τη λειτουργία και την κατασκευή των 5 κτιρίων. Συγκέντρωση τιμολογίων, υφιστάμενων μελετών και αρχιτεκτονικών σχεδίων.

**Φάση 3<sup>η</sup>:** Διενέργεια ενεργειακής επιθεώρησης στα 5 κτίρια. Αναλυτική καταγραφή του συνόλου του ηλεκτρομηχανολογικού τους εξοπλισμού. Προσδιορισμός εκτιμώμενων ενεργειακών καταναλώσεων ανά κτίριο και χρήση.

**Φάση 4<sup>η</sup>:** Προσδιορισμός συντελεστών θερμοπερατότητας αναλυτικά ανά δομικό στοιχείο για τα 5 κτίρια. Υπολογισμός συνολικού συντελεστή θερμοπερατότητας ανά κτίριο, με βάση τις τεχνικές οδηγίες του Τ.Ε.Ε.

**Φάση 5<sup>η</sup>:** Διενέργεια μετρήσεων με καταγραφικό εξοπλισμό. Εγκατάσταση αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας για χρονικό διάστημα μιας εβδομάδας, Υπέρυθρη θερμοφωτογράφιση των 5 κτιρίων για τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων στο κέλυφός τους, Μέτρηση με αναλυτή καυσαερίων των 4 συστημάτων λέβητα – καυστήρα του σχολικού συγκροτήματος. Επεξεργασία των στοιχείων που προέκυψαν από τις μετρήσεις με τον καταγραφικό εξοπλισμό.

**Φάση 6<sup>η</sup>:** Εντοπισμός δράσεων ενεργειακής βελτίωσης (ενεργειακού νοικοκυρέματος, αναβάθμισης των εγκαταστάσεων αλλά και εισαγωγής νέων ενεργειακών τεχνολογιών) και μελέτη της συνεισφοράς τους στην εξοικονόμηση ενέργειας. Οικονομοτεχνική μελέτη της βιωσιμότητας των προτεινομένων επεμβάσεων για κάθε δράση χωριστά.

**Φάση 7<sup>η</sup>:** Αποτύπωση των συμπερασμάτων που προέκυψαν από την ενεργειακή επιθεώρηση. Ερευνώνται οι προοπτικές για συνέχιση της ενεργειακής μελέτης.

### 1.3 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΟΜΟΥ

Η διπλωματική αυτή αποτελείται από το κύριο μέρος της το οποίο αφορά στην ενεργειακή επιθεώρηση των 5 κτιρίων του Σχολικού Συγκροτήματος «Εκπαιδευτήρια Γεωργίου Ζώη». Αναλυτικά ο τόμος αποτελείται από 6 κεφάλαια:

**Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>:** Εισαγωγή στο αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας και παρουσίαση των φάσεων υλοποίησής της.

**Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>:** Παρουσίαση των κτιρίων του σχολικού συγκροτήματος. Ανάλυση των ενεργειακών τους καταναλώσεων βάσει τιμολογίων, καταγραφή των ηλεκτρικών συσκευών και καταμερισμός της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά κτίριο και χρήση.

**Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>:** Έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των 5 κτιρίων με βάση την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2010 και υπολογισμός του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του κάθε κτιρίου.

**Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>:** Παρουσίαση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με καταγραφικό εξοπλισμό και επεξεργασία τους με ειδικά λογισμικά προγράμματα. Τα αποτελέσματα αφορούν τη

Θερμογράφηση του κτιριακού κελύφους των 5 κτιρίων, τη μέτρηση απόδοσης των 4 συστημάτων λέβητα-καυστήρα, καθώς και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τον αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας για το σύνολο του σχολικού συγκροτήματος.

**Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>:** Διαμόρφωση προτάσεων για λήψη μέτρων ενεργειακής βελτίωσης των 2 κτηρίων. Χρηματοοικονομική ανάλυση των προτεινομένων δράσεων με βάση τρεις οικονομικούς δείκτες (Κ.Π.Α., Ε.Β.Α. & Ε.Π.Α.) ώστε να ελεγχθεί η οικονομική τους βιωσιμότητα.

**Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>:** Εξαγωγή τελικών συμπερασμάτων και συγκεντρωτική παρουσίαση των σημαντικότερων σημείων που προέκυψαν από την επιθεώρηση σχετικά με την ενεργειακή τους συμπεριφορά. Εξετάζονται οι προοπτικές για πρόσθετες μελλοντικές επεμβάσεις.





Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 2  
Ε Ν Ε Ρ Γ Ε Ι Α Κ Η  
Ε Π Ι Θ Ε Ω Ρ Η Σ Η Σ Χ Ο Λ Ι Κ Ο Υ  
Σ Υ Γ Κ Ρ Ο Τ Η Μ Α Τ Ο Σ



## 2.1 Περιγραφή σχολικών κτιρίων

Στην παρούσα διπλωματική διενεργείται ενεργειακή επιθεώρηση στο ιδιωτικό σχολείο «ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΖΩΗ», το οποίο βρίσκεται επί της οδού Αβέρωφ 12-14 στην Αργυρούπολη. Δεξιά φαίνεται η θέση του σχολικού συγκροτήματος από το bing map, ενώ με κίτρινο περίγραμμα περιβάλλονται τα επιμέρους κτίρια των ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΩΝ.

Η ακριβής τοποθεσία του σχολείου είναι:

- Γεωγραφικό μήκος: 23.751276 Ανατολικά.
- Γεωγραφικό πλάτος: 37.898893 Βόρεια.



Εικόνα 2.1: Θέση «Εκπαιδευτηρίων Γεωργίου Ζώη»



Τα «ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΖΩΗ» αποτελούνται από πέντε επιμέρους κτίρια:

1. Τον Παιδικό Σταθμό,
2. Το 1<sup>ο</sup> Δημοτικό,
3. Το 2<sup>ο</sup> Δημοτικό,
4. Το Γυμνάσιο,
5. Το Λύκειο

Εικόνα 2.2: Άποψη επιμέρους κτιρίων

Στο υπό εξέταση σχολικό συγκρότημα δεν υπάρχει κάποιου είδους ενεργειακή διαχείριση ή ενεργειακός διαχειριστής και μέχρι σήμερα δεν έχει γίνει κάποια τεχνοοικονομική μελέτη ενεργειακής εξοικονόμησης. Η περίοδος λειτουργίας του σχολείου είναι από το Σεπτέμβριο έως και τον Ιούνιο με εξαίρεση δύο εβδομάδες το Πάσχα και τα Χριστούγεννα, κατά τις οποίες λειτουργούν μόνο κάποιες αίθουσες στον Παιδικό Σταθμό και το 1<sup>ο</sup> Δημοτικό ως τμήματα φύλαξης.

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της καταγραφής γίνεται για το κάθε κτίριο χωριστά, δεδομένου ότι έχουν διαφορετικά έτη κατασκευής με αποτέλεσμα τα μεταξύ τους χαρακτηριστικά να αποκλίνουν σημαντικά.



**Εικόνα 2.3:** Άποψη σχολικού συγκροτήματος των εκπαιδευτηρίων

### 2.1.1 Παιδικός Σταθμός

Ο Παιδικός Σταθμός έχει μόνο ισόγειο, κατασκευάστηκε το 1973 και δε διαθέτει θερμομόνωση. Το κτίριο αποτελείται από τρεις αίθουσες διδασκαλίας και μια αίθουσα παιχνιδιού. Η είσοδος του παιδικού σταθμού έχει ανατολικό προσανατολισμό, ενώ κάποιες ώρες της μέρας υπάρχει σκίαση από το γειτονικό κτίριο του Γυμνασίου. Σύμφωνα με τα στοιχεία από τις κατόψεις το εμβαδό του είναι:  $E_{\text{παιδ. σταθμού}}=86,65\text{m}^2$

Το κτίριο καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια και πετρέλαιο.

Το πετρέλαιο χρησιμοποιείται αποκλειστικά για θέρμανση των χώρων, μέσω καλοριφέρ. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι ο παιδικός σταθμός δεν διαθέτει δικό του σύστημα λέβητα-καυστήρα, αλλά χρησιμοποιεί από κοινού τον λέβητα που είναι

εγκατεστημένος στο κτίριο του Γυμνασίου. Το παραπάνω δεδομένο, καθώς και το γεγονός ότι το σχολείο γέμιζε όλες τις δεξαμενές των καυστήρων του σχολείου μαζί ζητώντας ένα συνολικό τιμολόγιο, χωρίς να κρατάει στοιχεία ανά καυστήρα, δεν επιτρέπει να υπολογιστούν οι ακριβείς καταναλώσεις πετρελαίου ανά κτίριο στην παρούσα διπλωματική.

Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για φωτισμό, τροφοδότηση ηλεκτρικών συσκευών (ψυγεία, φούρνοι μικροκυμάτων) και υπολογιστών.

### 2.1.2 1<sup>ο</sup> Δημοτικό

Το 1<sup>ο</sup> Δημοτικό κατασκευάστηκε το 1988, είναι διώροφο κτίριο με υπόγειο, το οποίο διαθέτει 12 αίθουσες διδασκαλίας, γραφεία, βιβλιοθήκη, ιατρείο, γυμναστήριο και αίθουσα μπαλέτου. Έχει τρεις εισόδους εκ των οποίων δύο είναι στο ισόγειο, και καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας είναι ανοιχτές, και μια ακόμη είσοδος στο υπόγειο, η οποία οδηγεί στο γυμναστήριο. Η κεντρική είσοδος έχει ανατολικό προσανατολισμό, ενώ η άλλη είσοδος του ισόγειου νότιο. Η είσοδος του υπογείου έχει δυτικό προσανατολισμό. Το κτίριο είναι κατασκευασμένο από μπετό και δε διαθέτει θερμομόνωση. Σύμφωνα με τα στοιχεία από τις κατόψεις το εμβαδό του 1<sup>ου</sup> Δημοτικού είναι:  $E_{1ου\ Δημοτικού}=1.224,3\ m^2$

Το εμβαδό δαπέδου του κάθε ορόφου είναι:

$$E_{υπογ}=318,04\ m^2$$

$$E_{ισογ}=305,3\ m^2$$

$$E_{1ου\ Ορόφου}=313,10\ m^2$$

$$E_{2ου\ Ορόφου}=287,86\ m^2$$

Οι μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούνται είναι η ηλεκτρική και το πετρέλαιο.

Το πετρέλαιο χρησιμοποιείται αποκλειστικά για θέρμανση, μέσω καλοριφέρ, ενώ η ηλεκτρική ενέργεια για φωτισμό, τροφοδότηση ηλεκτρικών συσκευών (ψυγεία, καφετιέρες, φωτοτυπικά μηχανήματα, προτζέκτορες), ηλεκτρονικών υπολογιστών καθώς και ανεμιστήρων οροφής.

### 2.1.3 2<sup>ο</sup> Δημοτικό

Το 2<sup>ο</sup> δημοτικό είναι τριώροφο κτίριο με υπόγειο, το οποίο κατασκευάστηκε το 2001. Το κτίριο αποτελείται από 7 αίθουσες διδασκαλίας και ένα κλειστό γυμναστήριο. Η είσοδος στο κτίριο έχει νοτιο-ανατολικό προσανατολισμό. Το 2<sup>ο</sup> Δημοτικό είναι θερμομονωμένο και δεν συνορεύει με κάποιο γειτονικό κτίριο. Σύμφωνα με τα στοιχεία από τις κατόψεις, το εμβαδό του είναι:  $E_{2ου\ Δημοτικού}=672,25\ m^2$

Το εμβαδό κάθε ορόφου είναι:

$$E_{υπογ}=217,2\ m^2$$

$$E_{ισογ}=55,79\ m^2$$

$$E_{1ου\ Ορόφου}=141,02\ m^2$$

$$E_{2ου\ Ορόφου}=141,02\ m^2$$

$$E_{3ου\ Ορόφου}=119,61\ m^2$$

Οι μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούνται είναι η ηλεκτρική και το πετρέλαιο.

Για τη θέρμανση του χώρου, χρησιμοποιούνται καλοριφέρ που θερμαίνονται από σύστημα λέβητα-καυστήρα, ο οποίος καταναλώνει πετρέλαιο, ενώ ένα γραφείο θερμαίνεται από ηλεκτρικό σώμα.

Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για φωτισμό, για τροφοδοσία ηλεκτρικών συσκευών, ηλεκτρονικών υπολογιστών καθώς και για την τροφοδότηση του ανελκυστήρα.

#### 2.1.4 Γυμνάσιο

Το Γυμνάσιο είναι δώροφο κτίριο χωρίς υπόγειο, το οποίο κατασκευάστηκε το 1973. Όπως υποδηλώνεται και από το έτος κατασκευής του δε διαθέτει θερμομόνωση. Έχει τρεις εισόδους, την κεντρική είσοδο προς τα γραφεία και δύο προς τις αίθουσες διδασκαλίας, οι οποίες παραμένουν ανοιχτές καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του σχολείου. Η κεντρική είσοδος καθώς και η μία από τις εισόδους προς τις τάξεις έχουν βόρειο προσανατολισμό, ενώ η τρίτη είσοδος νότιο. Το κτίριο αποτελείται από επτά αίθουσες διδασκαλίας καθώς και γραφεία. Σύμφωνα με τα στοιχεία των κατόψεων το συνολικό εμβαδό του Γυμνασίου είναι  $E_{\text{Γυμνασίου}}=792,02\ m^2$

Το εμβαδό κάθε ορόφου είναι:

$$E_{\text{ισογ}}=248,7\ m^2$$

$$E_{1ου\ Ορόφου}=271,66\ m^2$$

$$E_{2ου\ Ορόφου}=271,66\ m^2$$

Οι μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούνται είναι η ηλεκτρική και το πετρέλαιο.

Το πετρέλαιο και σε αυτό το κτίριο χρησιμοποιείται για θέρμανση μέσω των θερμαντικών σωμάτων, ενώ όπως έχει ήδη αναφερθεί, το Γυμνάσιο μοιράζεται το ίδιο σύστημα καυστήρα-λέβητα με τον παιδικό σταθμό. Ο μοναδικός χώρος στον οποίο η θέρμανση δεν επιτυγχάνεται με τη χρήση καλοριφέρ είναι το κυλικείο, στο οποίο υπάρχουν ηλεκτρικά σώματα.

Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για φωτισμό και τροφοδοσία ηλεκτρικών συσκευών (ψυγεία, καφετιέρες, προτζέκτορες, φωτοτυπικά), υπολογιστών, ανεμιστήρων οροφής αλλά και κάποιων κλιματιστικών που χρησιμοποιούνται για την ψύξη των γραφείων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το σύστημα λέβητας-καυστήρας εγκαταστάθηκε το 2004. Πριν την εγκατάστασή του υπήρχαν ηλεκτρικά τροφοδοτούμενα θερμαντικά σώματα, τα οποία ήταν κακώς τοποθετημένα στην οροφή με αποτέλεσμα να έχουν πολύ χαμηλή απόδοση αφού για να ζεστάνει μια αίθουσα έπρεπε να έχει ζεστάνει όλος ο χώρος ξεκινώντας από πάνω προς τα κάτω.

### 2.1.5 Λύκειο

Το Λύκειο κατασκευάστηκε 2000, είναι τριώροφο κτίριο με διπλό υπόγειο, το οποίο είναι θερμομονωμένο. Το κτίριο αποτελείται από οκτώ αίθουσες διδασκαλίας και ένα θέατρο. Έχει τρεις εισόδους, εκ των οποίων δύο είναι στο ισόγειο και μία στο υπόγειο που οδηγεί στο θέατρο. Η κεντρική είσοδος που βρίσκεται στο ισόγειο καθώς και η είσοδος για το θέατρο έχουν βόρειο προσανατολισμό, ενώ η τρίτη είσοδος που είναι στο ισόγειο έχει νότιο προσανατολισμό. Σύμφωνα με τα στοιχεία των κατόψεων το Λύκειο έχει συνολικό εμβαδό  $E_{\text{Λυκείου}} = 689,34 \text{ m}^2$ .

Το εμβαδό του κάθε ορόφου είναι:

$$E_{\text{υπογ-2}} = 123,2 \text{ m}^2$$

$$E_{\text{υπογ-1}} = 81,62 \text{ m}^2$$

$$E_{\text{ισογ}} = 123 \text{ m}^2$$

$$E_{\text{1ου Ορόφου}} = 123,1 \text{ m}^2$$

$$E_{\text{2ου Ορόφου}} = 123,1 \text{ m}^2$$

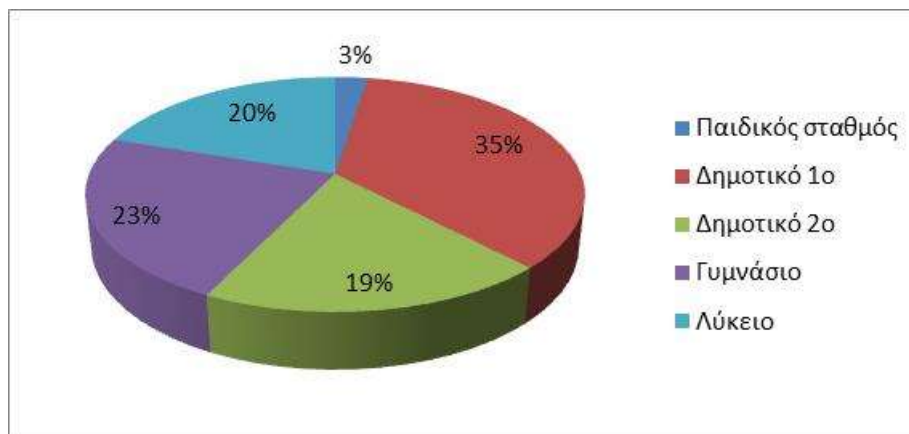
$$E_{\text{3ου Ορόφου}} = 115,23 \text{ m}^2$$

Οι μορφές ενέργειας που καταναλώνονται στο κτίριο του Λυκείου είναι η ηλεκτρική και το πετρέλαιο, το οποίο χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την θέρμανση του Λυκείου, μέσω θερμαντικών σωμάτων.

Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για τροφοδότηση ηλεκτρικών συσκευών (ψυγεία, ενισχυτές, ηχεία, φώτα θεάτρου), για φωτισμό, για τη λειτουργία του ανελκυστήρα, καθώς και για την τροφοδοσία των υπολογιστών, αφού στον 3<sup>ο</sup> όροφο είναι το εργαστήριο πληροφορικής. Παράλληλα με ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτείται η κλιματιστική μονάδα του θεάτρου, αλλά και τα κλιματιστικά τεσσάρων τάξεων που έχουν νότιο προσανατολισμό καθώς και του εργαστηρίου πληροφορικής.

Όλοι οι χώροι του Λυκείου πλην του λεβητοστασίου στο υπόγειο είναι θερμαινόμενοι.

Παρακάτω φαίνεται ένα γράφημα με τα τετραγωνικά του κάθε κτιρίου:



**Σχήμα 2.1:** Γράφημα του εμβαδού των κτιρίων του σχολικού συγκροτήματος

Προκειμένου να βρεθεί το ενεργειακό προφίλ του ιδιωτικού σχολείου «ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΖΩΗ», έγινε καταγραφή του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού τον μήνα Μάιο του 2011. Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και πετρελαίου θέρμανσης στο σχολικό συγκρότημα.

## 2.2 Ανάλυση ενεργειακών καταναλώσεων βάσει τιμολογίων

### 2.2.1 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για το φωτισμό των κτιρίων, την ψύξη, τις ηλεκτρικές συσκευές, αλλά και την θέρμανση ορισμένων χώρων των κτιρίων. Το Σχολείο είναι καταναλωτής χαμηλής τάσης (ΧΤ) και η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται κοστολογείται με βάση το τιμολόγιο Γ22 της ΔΕΗ, έτσι η τιμή της kWh είναι 0,11529 euro/kWh. Αξίζει να σημειωθεί ότι από τον Ιανουάριο του 2011 το Σχολείο άλλαξε πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας πληρώνοντας 0,11500 euro/kWh στην HELLAS POWER A.E. Από τα αρχεία των ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΩΝ ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΖΩΗ αντλήθηκαν στοιχεία για την κατανάλωση των τριών τελευταίων ετών και επεξεργάστηκαν ώστε να φαίνεται η κατανάλωση ανά μήνα από το 2009 έως το 2011.

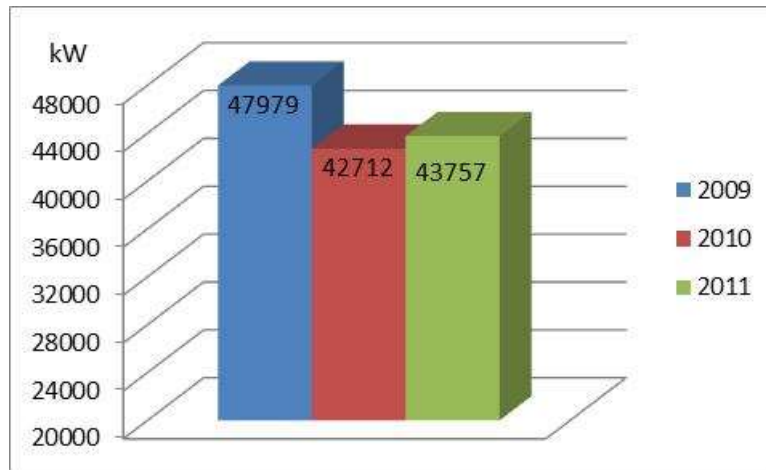
Η κατανάλωση ανά μήνα για την περίοδο 2009-2011 παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 2.1:** Μηνιαία κατανάλωση Η.-Ε. (kWh) την περίοδο 2009-2011

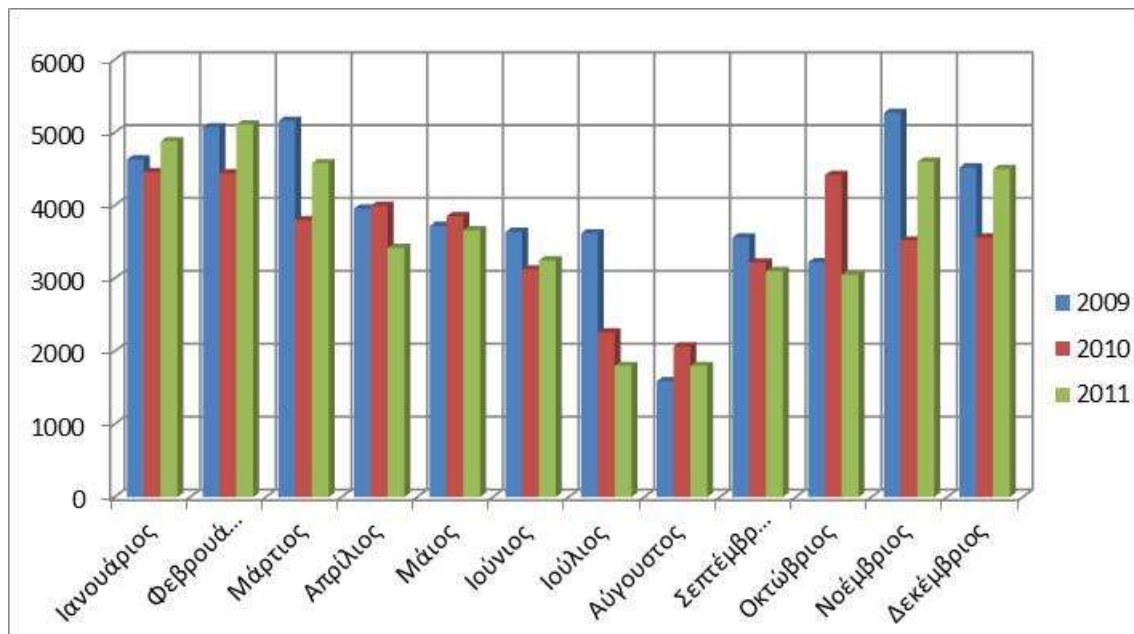
	2009	2010	2011
Ιανουάριος	4635	4457	4880
Φεβρουάριος	5073	4442	5113
Μάρτιος	5160	3797	4582
Απρίλιος	3960	3997	3419
Μάιος	3720	3853	3663
Ιούνιος	3637	3120	3250
Ιούλιος	3620	2259	1800
Αύγουστος	1591	2069	1800
Σεπτέμβριος	3563	3217	3100
Οκτώβριος	3223	4420	3050
Νοέμβριος	5271	3521	4600
Δεκέμβριος	4526	3560	4500
<b>Σύνολο</b>	<b>47979</b>	<b>42712</b>	<b>43757</b>

Ακολουθούν τα σχετικά διαγράμματα της ετήσιας καθώς και της μηνιαίας κατανάλωσης σε kWh με βάση τα τιμολόγια της ΔΕΗ για την τελευταία τριετία.





**Σχήμα 2.2:** Γράφημα της κατανάλωσης Η.-Ε. σε ετήσια βάση την περίοδο 2009-2011



**Σχήμα 2.3:** Γράφημα της κατανάλωσης Η.-Ε. (kWh) σε μηνιαία βάση την περίοδο 2009-2011

Όπως φαίνεται και από το πρώτο διάγραμμα οι καταναλώσεις το 2010 και 2011 είναι παραπλήσιες, ενώ το 2009 είναι κάπως αυξημένες σε σχέση με των ετών που έπονται, πράγμα που πιθανότατα οφείλεται στην σταδιακή αλλαγή των λαμπτήρων με άλλους χαμηλότερης κατανάλωσης.

Επίσης στο διάγραμμα, που απεικονίζεται η μηνιαία κατανάλωση ανά έτος, παρατηρούνται υψηλές καταναλώσεις κατά τους χειμερινούς μήνες αφού οι ανάγκες για φωτισμό και θέρμανση είναι μεγαλύτερες από τους υπόλοιπους μήνες του χρόνου, με αποτέλεσμα η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας να είναι μια "καμπάνα" ξεκινώντας από τον Αύγουστο και έχοντας διαρκώς αυξητική τάση έως τον Φεβρουάριο, από όπου αρχίζουν να μειώνονται οι καταναλώσεις μέχρι τον Ιούλιο. Χαρακτηριστικό επίσης είναι ότι τον Ιούλιο και Αύγουστο συναντώνται οι

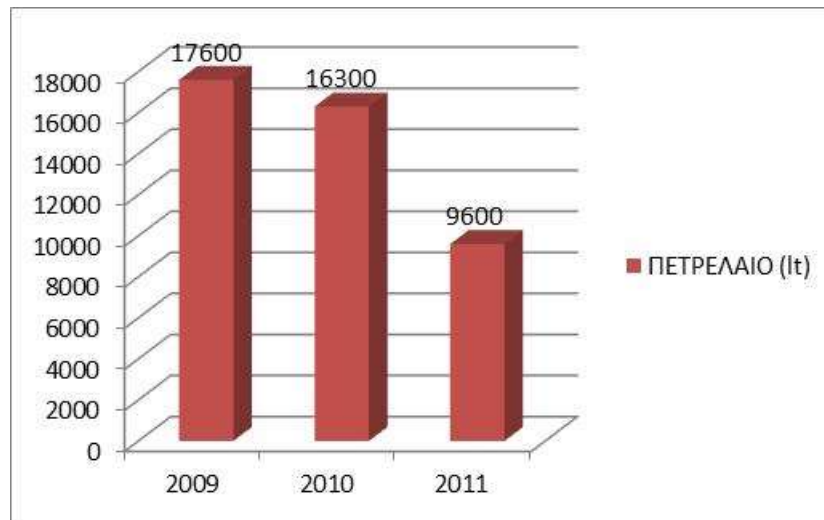
χαμηλότερες καταναλώσεις μιας και αυτή την περίοδο λειτουργούν μόνο θερινά τμήματα.

### 2.2.2 Κατανάλωση πετρελαίου

Η συντριπτική πλειονότητα των χώρων του Σχολείου θερμαίνεται με συστήματα λέβητα-καυστήρα χρησιμοποιώντας πετρέλαιο. Στα Εκπαιδευτήρια υπάρχουν τέσσερις λέβητες, ένας στο 1<sup>ο</sup> Δημοτικό, ένας στο 2<sup>ο</sup> Δημοτικό, ένας στο Λύκειο και ένας που εξυπηρετεί το Γυμνάσιο και τον Παιδικό Σταθμό. Όπως είναι αναμενόμενο, η χρήση τους κατά τη διάρκεια της μέρας δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες και διαφέρει από κτίριο σε κτίριο. Μια ενδεικτική περίοδος χρήσης ανά έτος είναι από το Νοέμβριο έως και τα μέσα Απριλίου. Σύμφωνα με τα στοιχεία που αντλήθηκαν από τα τιμολόγια η μέση κατανάλωση ανά έτος είναι 14.500 λίτρα πετρέλαιο. Παρακάτω φαίνεται η κατανάλωση ανά έτος, καθώς και το αντίστοιχο κόστος.

**Πίνακας 2.2:** Ετήσια κατανάλωση και κόστος πετρελαίου την περίοδο 2009-2011

ΕΤΟΣ	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ (lt)	ΚΟΣΤΟΣ (euro)
2009	17.600	8.770,3
2010	16.300	11.017,7
2011	9.600	8.082,2



**Σχήμα 2.4:** Γράφημα της κατανάλωσης πετρελαίου θέρμανσης (lt) σε ετήσια βάση την περίοδο 2009-2011

Παρατηρείται πως υπάρχει μεγάλη διαφορά από τα έτη 2009 και 2010 στο 2011. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα παραπάνω δεδομένα έχουν εξαχθεί από τις αγορές που έγιναν, ενώ για να υπολογιστούν πόσα λίτρα καταναλώθηκαν ανά έτος θα έπρεπε να υπάρχει πληροφορία και για τα αποθέματα στο τέλος του χρόνου. Για παράδειγμα στις 9 Ιανουαρίου 2012 οι δεξαμενές γέμισαν με 5.700 λίτρα πετρέλαιο, πράγμα που σημαίνει ότι στο τέλος του 2011 ήταν σχεδόν άδειες και επομένως

δικαιολογείται να έλαβαν χώρα λιγότερες αγορές κατά το έτος 2011 από ότι τα προηγούμενα.

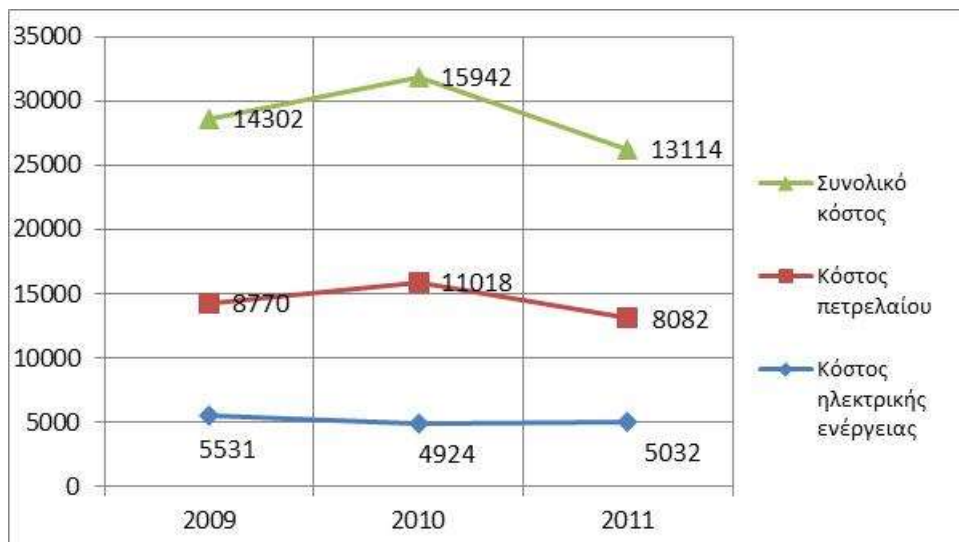
### 2.2.3 Κόστος ενεργειακής κατανάλωσης

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το κόστος των δύο μορφών ενέργειας που χρησιμοποιούνται στο εκπαιδευτικό συγκρότημα για τα έτη 2009, 2010, 2011.

**Πίνακας 2.3:** Κόστος (€) καταναλισκόμενης ενέργειας την περίοδο 2009-2011

Έτος	Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας	Κόστος πετρελαίου	Συνολικό κόστος
2009	5.531	8.770	14.302
2010	4.924	11.018	15.942
2011	5.032	8.082	13.114

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται και η διακύμανση του κόστους την τριετία της μελέτης.



**Σχήμα 2.5:** Γράφημα διακύμανσης ενεργειακού κόστους την περίοδο 2009-2011

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας φθίνει από το 2009 στο 2010 λόγω της αντικατάστασης των λαμπτήρων, ενώ από το 2010 στο 2011 είναι σχεδόν το ίδιο παρά το γεγονός ότι η κατανάλωση της ενέργειας είναι αυξημένη. Αυτό οφείλεται στην καλύτερη τιμή ανά kWh που δίνει η HELLAS POWER A.E. έναντι της Δ.Ε.Η. (0,115 euro/kWh αντί για 0,11529 euro/kWh). Όσο αφορά το κόστος του πετρελαίου είναι ξεκάθαρη η διαχρονική αύξηση της τιμής του λίτρου, αφού παρά το γεγονός ότι το 2009 η κατανάλωση είναι μεγαλύτερη από το 2010, το 2010 ξοδεύτηκαν 2.250 euro παραπάνω για την αγορά του. Χαρακτηριστικό είναι πως το κόστος του πετρελαίου τον Ιανουάριο του 2009 είναι 0,47 euro/λίτρο, ενώ τον Οκτώβριο του 2011 έχει αυξηθεί κατά 98% φτάνοντας τα 0,93 euro/λίτρο.

## 2.3 Κατανομή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά χρήση

Για να γίνει μια εκτίμηση της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται στο Σχολείο έγινε καταγραφή του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, της εγκατεστημένης ισχύος, ενώ παράλληλα συλλέχθηκαν πληροφορίες, από τους εκπαιδευτικούς και τους φύλακες σχετικά με το χρόνο λειτουργίας των συσκευών, αλλά και από τις ηλεκτρολογικές μελέτες των κτιρίων, όπως είναι η μελέτη των ανελκυστήρων. Έτσι εκτιμήθηκε η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται ανά χρόνο στα κτίρια του Σχολείου.

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται τα στοιχεία που προέκυψαν από την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό, για θέρμανση-ψύξη και για την παροχή των ηλεκτρικών συσκευών. Τέλος γίνεται παρουσίαση των καταναλώσεων ανά χρήση και κτίριο.

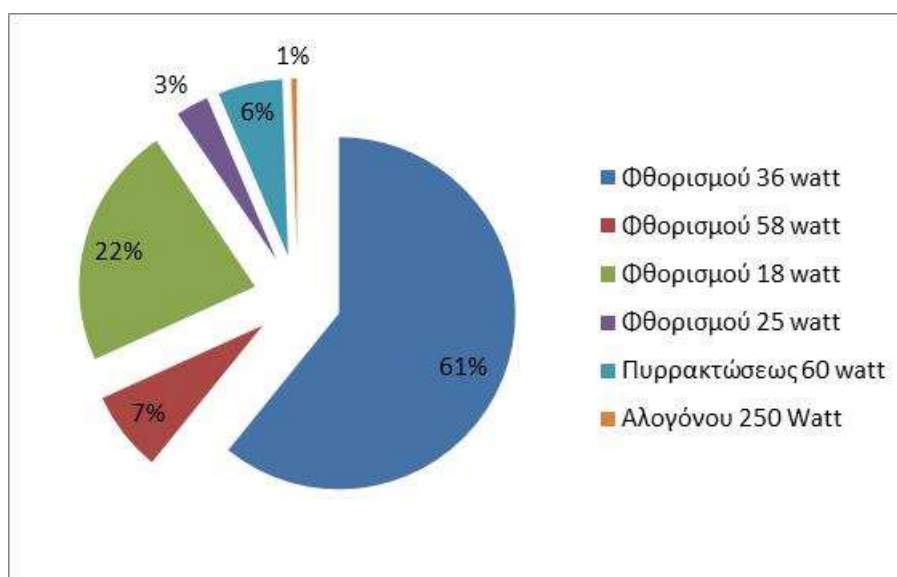
### 2.3.1 Κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό προέκυψε έπειτα από καταμέτρηση των φωτιστικών σωμάτων, της εγκατεστημένης ισχύος τους και εκτίμηση των ωρών λειτουργίας συναρτήσει του χώρου.

Σύμφωνα με την καταγραφή, στο Σχολικό Συγκρότημα χρησιμοποιούνται τα εξής φωτιστικά σώματα: φθορίου μονά με ανακλαστήρα, φθορίου μονά χωρίς ανακλαστήρα, φθορίου διπλά με ανακλαστήρα, φθορίου τριπλό χωρίς ανακλαστήρα, λαμπτήρες πυρακτώσεως, προβολείς με λάμπες αλογόνου.

Συνολικά μετρήθηκαν 960 λαμπτήρες εκ των οποίων 584 είναι φθορισμού των 36 watt, 214 φθορισμού των 18 watt, 71 φθορισμού των 58 watt, 29 φθορισμού των 25 watt, 57 πυρακτώσεως των 60 watt και 5 αλογόνου των 250 watt.

Παρακάτω φαίνεται η ποσοστιαία κατανομή των λαμπτήρων ανά τύπο για όλο το σχολικό συγκρότημα.



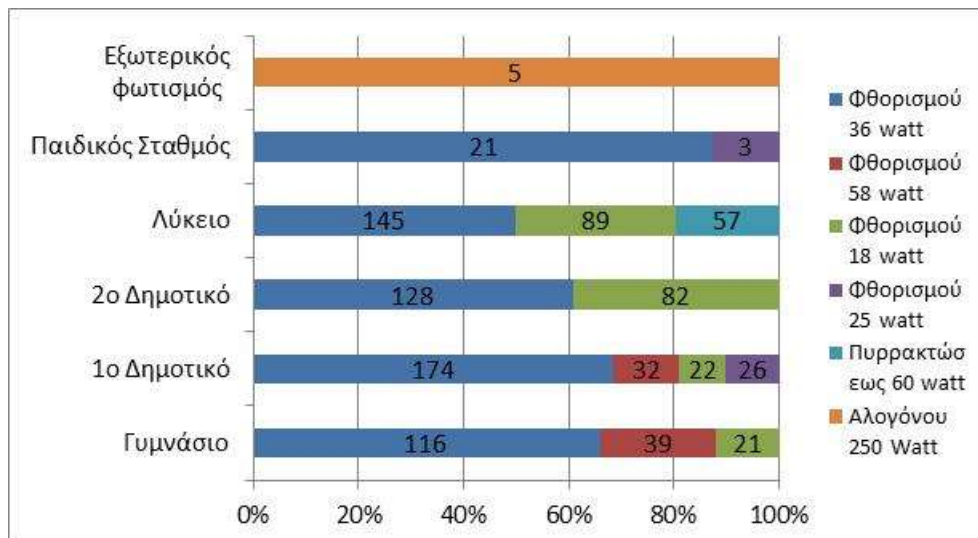
Σχήμα 2.6: Κατανομή λαμπτήρων ανά τύπο για όλο το Σχολικό Συγκρότημα

Αξίζει να σημειωθεί πως οι λαμπτήρες πυρακτώσεως χρησιμοποιούνται μόνο στο Θέατρο της Σχολής, ενώ οι λαμπτήρες αλογόνου αποκλειστικά για τον φωτισμό της πρόσοψης των κτιρίων.

Στον επόμενο πίνακα και στο αντίστοιχο διάγραμμα παρουσιάζεται ο τύπος και ο αριθμός των λαμπτήρων ανά κτίριο.

**Πίνακας 2.4:** Πλήθος λαμπτήρων ανά τύπο φωτιστικού και ανά κτίριο

ΚΤΙΡΙΟ	Φθορ. 36 W	Φθορ. 58 W	Φθορ. 18 W	Φθορ. 25 W	Πυρ. 60 W	Αλογ. 250 W	Σύνολο
Γυμνάσιο	116	39	21	0	0	0	176
1ο Δημοτικό	174	32	22	26	0	0	254
2ο Δημοτικό	128	0	82	0	0	0	210
Λύκειο	145	0	89	0	57	0	291
Παιδ. Σταθμός	21	0	0	3	0	0	24
Εξ. φωτισμός	0	0	0	0	0	5	5
Σύνολο	584	71	214	29	57	5	960



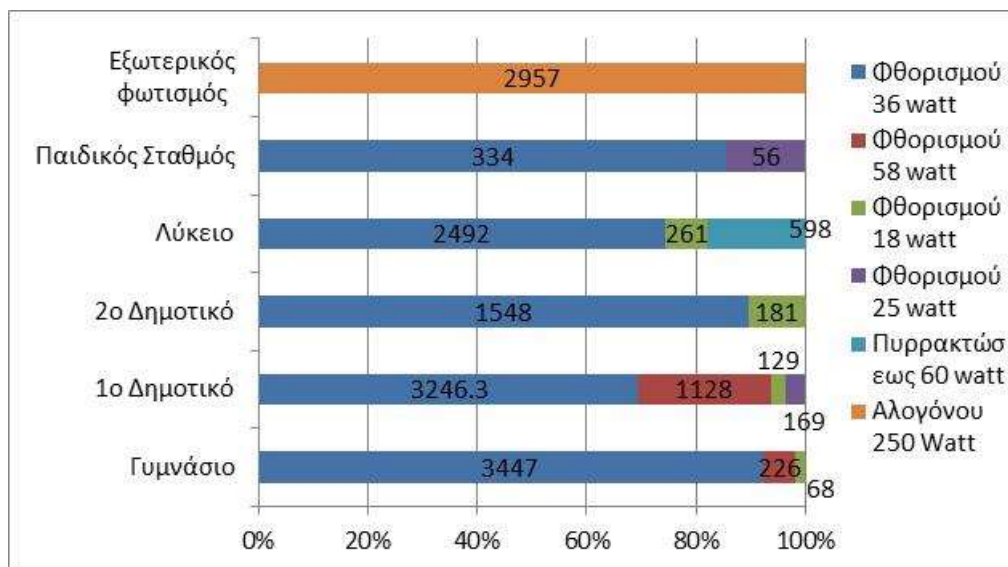
**Σχήμα 2.7:** Κατανομή λαμπτήρων ανά τύπο και κτίριο για όλο το Σχολικό Συγκρότημα

Όπως φαίνεται, οι περισσότεροι λαμπτήρες χρησιμοποιούνται στο Λύκειο, λόγω του ότι εκεί στεγάζεται και το θέατρο της Σχολής, ενώ οι λαμπτήρες φθορισμού με τη μεγαλύτερη κατανάλωση, δηλαδή οι λαμπτήρες των 58 watt, χρησιμοποιούνται στα δύο παλιότερα κτίρια του Σχολείου, στο 1<sup>ο</sup> Δημοτικό και στο Γυμνάσιο.

Η εκτιμώμενη κατανάλωση για φωτισμό ανά τύπο λαμπτήρα και κτίριο, βάσει των ωρών λειτουργίας, απεικονίζεται στον παρακάτω πίνακα και το αντίστοιχο διάγραμμα.

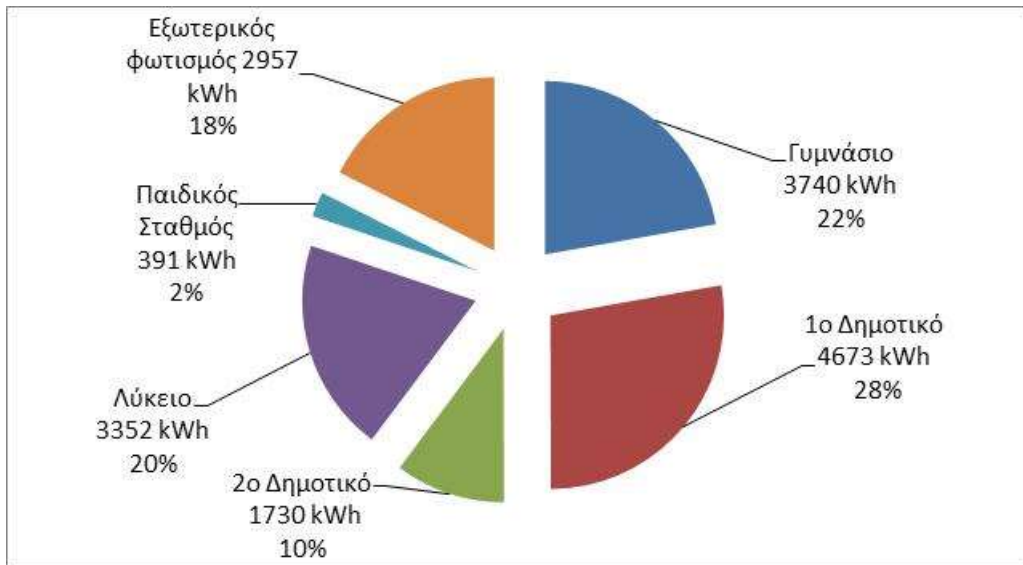
**Πίνακας 2.5:** Εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας (kWh) ανά τύπο φωτιστικού και κτίριο

	Φθορ. 36 W	Φθορ. 58 W	Φθορ. 18 W	Φθορ. 25 W	Πυρ. 60 W	Αλογ. 250 W	Σύνολο
Γυμνάσιο	3.447	226	67	0	0	0	<b>3.740</b>
1ο Δημοτικό	3.246	1.128	129	169	0	0	<b>4.673</b>
2ο Δημοτικό	1.548	0	181	0	0	0	<b>1.730</b>
Λύκειο	2.492	0	261	0	598	0	<b>3.352</b>
Παιδ. Σταθμός	334	0	0	56	0	0	<b>391</b>
Εξ. φωτισμός	0	0	0	0	0	2957	<b>2.957</b>
<b>Σύνολο</b>	<b>11.068</b>	<b>1.354</b>	<b>641</b>	<b>225</b>	<b>598</b>	<b>2957</b>	<b>16.845</b>



**Σχήμα 2.8:** Σχηματική απεικόνιση εκτιμώμενης κατανάλωση ενέργειας (kWh) ανά τύπο φωτιστικού και κτίριο

Από τα παραπάνω παρατηρείται πως η μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό είναι στα δύο παλιότερα κτίρια του Σχολείου, στο Γυμνάσιο και το 1<sup>ο</sup> Δημοτικό, αυτό συμβαίνει επειδή στο Γυμνάσιο στεγάζεται η γραμματεία, η οποία λειτουργεί από τις 7.30 έως τις 17.30, ενώ το 1<sup>ο</sup> Δημοτικό είναι το μεγαλύτερο κτίριο σε εμβαδό και παράλληλα εκεί γίνονται τα τμήματα φύλαξης, τα οποία συνεχίζουν να λειτουργούν μετά τη λήξη του κανονικού ωραρίου, έως τις 17.30. Ενδεχομένως σημαντικό ρόλο να παίζει και το γεγονός ότι στο υπόγειο του 1<sup>ου</sup> Δημοτικού λειτουργούν τα φωτοτυπικά μηχανήματα και επομένως ο χώρος έχει ανάγκη φωτισμού καθ' όλο το ωράριο του Σχολείου. Τέλος, όπως φαίνεται και από το επόμενο διάγραμμα σημαντικό ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης του φωτισμού δαπανάται για τον εξωτερικό φωτισμό των κτιρίων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι προβολείς που χρησιμοποιούνται λειτουργούν με λαμπτήρες αλογόνου που έχουν κατανάλωση 250 Watt καθώς και στο ότι οι συγκεκριμένοι προβολείς λειτουργούν όλες τις μέρες του χρόνου από πέντε έως οκτώ ώρες ημερησίως.

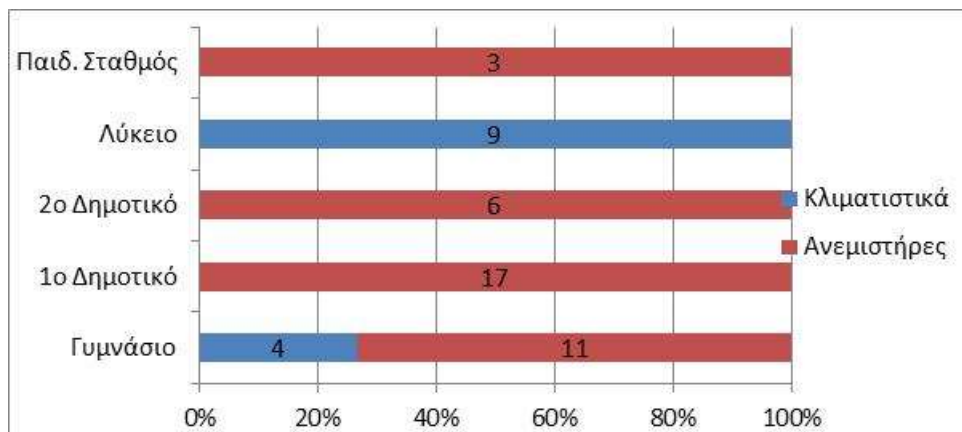


**Σχήμα 2.9:** Συμβολή κάθε κτιρίου στην εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας (kWh) από φωτισμό

### 2.3.2 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση - ψύξη - αερισμό

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και αερισμό υπολογίστηκε από την καταμέτρηση των κλιματιστικών μονάδων και των ανεμιστήρων οροφής σε κάθε χώρο και όροφο όλων των κτιρίων του Σχολείου και τον υπολογισμό των ωρών λειτουργίας. Οι κλιματιστικές μονάδες που χρησιμοποιούνται είναι τύπου "split" και δεν χρησιμοποιείται κεντρικός κλιματισμός. Η καταναλισκόμενη ισχύς υπολογίστηκε με τον εξής τρόπο:  $Watt = (Btu/h) / EER$  --> χρησιμοποιώντας  $EER = 2,4$  για κλιματιστικά μεγαλύτερα των 6 ετών.

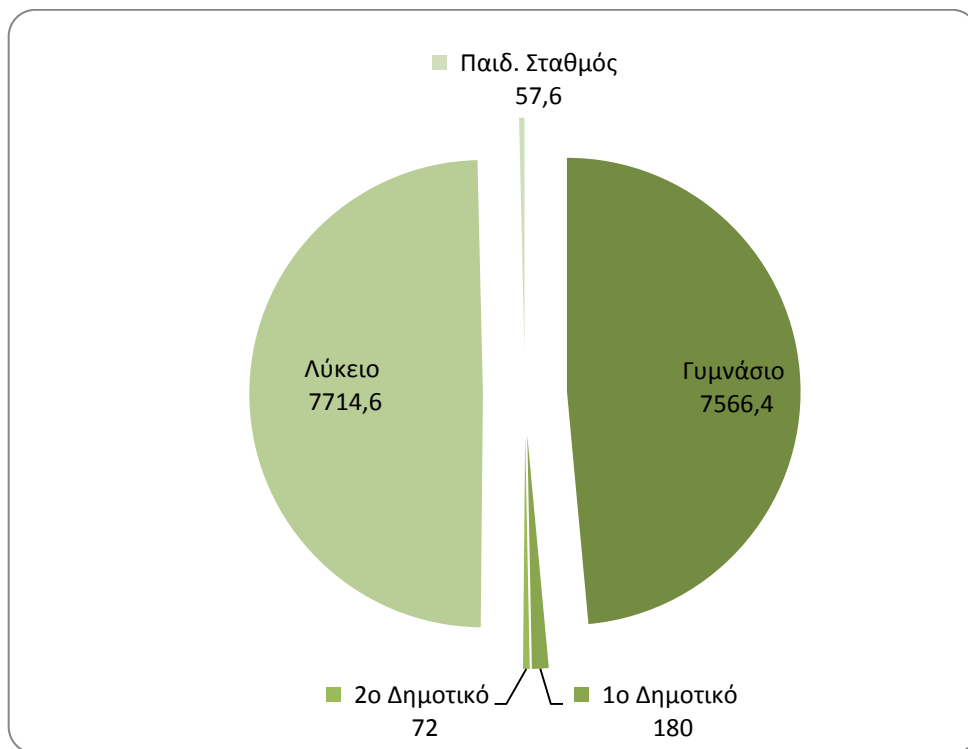
Σύμφωνα με την καταγραφή στο Σχολείο υπάρχουν 13 κλιματιστικά και 37 ανεμιστήρες οροφής. Η κατανομή τους ανά κτίριο φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



**Σχήμα 2.10:** Κατανομή κλιματιστικών μονάδων και ανεμιστήρων ανά κτίριο

Κάθε αίθουσα διδασκαλίας του Σχολείου διαθέτει ανεμιστήρα οροφής εκτός από τις αίθουσες του Λυκείου, λόγω του χαμηλού τους ύψους. Από το Λύκειο, οι τέσσερις

αίθουσες που έχουν νότιο προσανατολισμό, το εργαστήριο πληροφορικής καθώς και ο χώρος του θεάτρου ψύχονται μέσω κλιματιστικών μονάδων. Το Γυμνάσιο είναι το έτερο κτίριο που χρησιμοποιεί κλιματιστικές μονάδες για την ψύξη του, στην περίπτωση του όμως χρησιμοποιούνται και ανεμιστήρες οροφής. Τα κλιματιστικά του Γυμνασίου είναι τοποθετημένα στη γραμματεία και στα γραφεία διευθυντή και καθηγητών. Παρακάτω φαίνεται η κατανομή της εκτιμώμενης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε kWh για ψύξη, θέρμανση και αερισμό ανά κτίριο. Όπως εύκολα παρατηρείται το συντριπτικό ποσοστό της κατανάλωσης οφείλεται στο Γυμνάσιο και το Λύκειο μιας και αυτά είναι τα μοναδικά κτίρια στα οποία υπάρχουν εγκατεστημένα κλιματιστικά. Στο μεν Γυμνάσιο ο κλιματισμός λειτουργεί με ξεπερασμένα, ενεργοβόρα air condition και για αρκετές ώρες λόγω του αυξημένου ωραρίου της γραμματείας, στο δε Λύκειο λόγω της χρήσης του θεάτρου οι ανάγκες για κλιματισμό είναι εκ των πραγμάτων αυξημένες και επομένως η υψηλή ετήσια κατανάλωση δικαιολογημένη.



**Σχήμα 2.11:** Συμβολή κλιματιστικών μονάδων και ανεμιστήρων στην κατανάλωση ενέργειας ανά κτίριο

### 2.3.3 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για Η/Υ και λοιπές ηλεκτρικές συσκευές

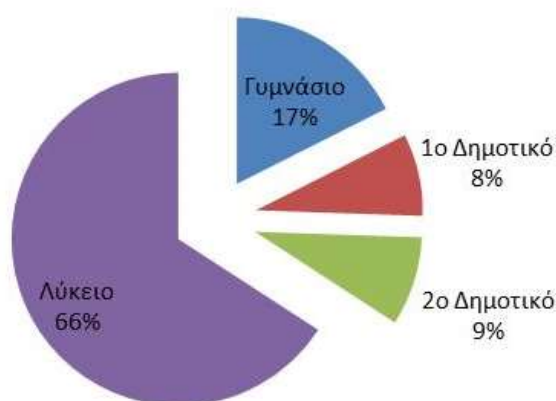
Ο ηλεκτρικός εξοπλισμός που καταγράφηκε στο Σχολικό Συγκρότημα είναι :

- 34 Η/Υ
- 5 εκτυπωτές
- 10 projectors
- 5 φωτοτυπικά μηχανήματα
- 5 ψυγεία



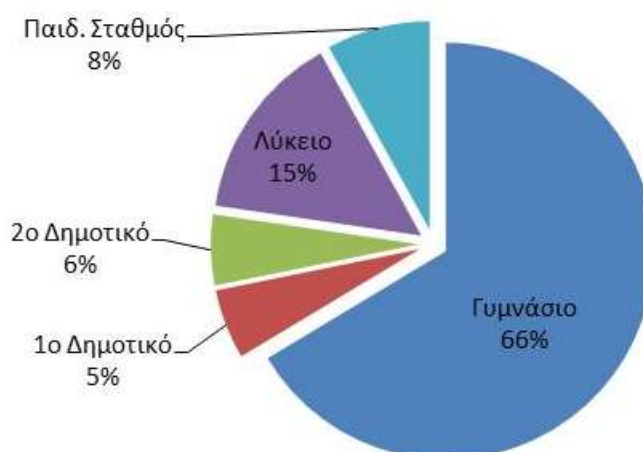
- Φούρνοι μικροκυμάτων
- Ηχητικά συστήματα (κονσόλες, ενισχυτές, κόρνες)
- Φωτορυθμικά παραστάσεων θεάτρου
- Εξοπλισμός κυλικείου (ψησιέρες, φούρνος, καφετιέρες)
- 2 ανελκυστήρες

Στα επόμενα δύο διαγράμματα φαίνεται η κατανομή της κατανάλωσης των υπολογιστών σε κάθε κτίριο και έπειτα η κατανομή της συνολικής εκτιμώμενης ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδοσία των ηλεκτρικών συσκευών (συμπεριλαμβανομένων και των υπολογιστών).



**Σχήμα 2.12:** Κατανομή κατανάλωσης Η.-Ε. από Η/Υ ανά κτίριο

Από το 1<sup>ο</sup> διάγραμμα είναι ξεκάθαρο ότι το συντριπτικό ποσοστό της ηλεκτρικής κατανάλωσης είναι από το Λύκειο αφού εκεί βρίσκεται το εργαστήριο πληροφορικής στο οποίο οι υπολογιστές λειτουργούν έξι ώρες ημερησίως πέντε ημέρες την εβδομάδα καλύπτοντας έτσι τις ανάγκες όλων των βαθμίδων του Σχολείου.



**Σχήμα 2.13:** Κατανομή κατανάλωσης Η.-Ε. από ηλεκτρικές συσκευές ανά κτίριο

Στο 2<sup>ο</sup> διάγραμμα παρατηρείται πως με διαφορά η υψηλότερη κατανάλωση είναι στο Γυμνάσιο αφού εκεί στεγάζεται το κυλικείο της Σχολής. Το κυλικείο είναι ο πιο

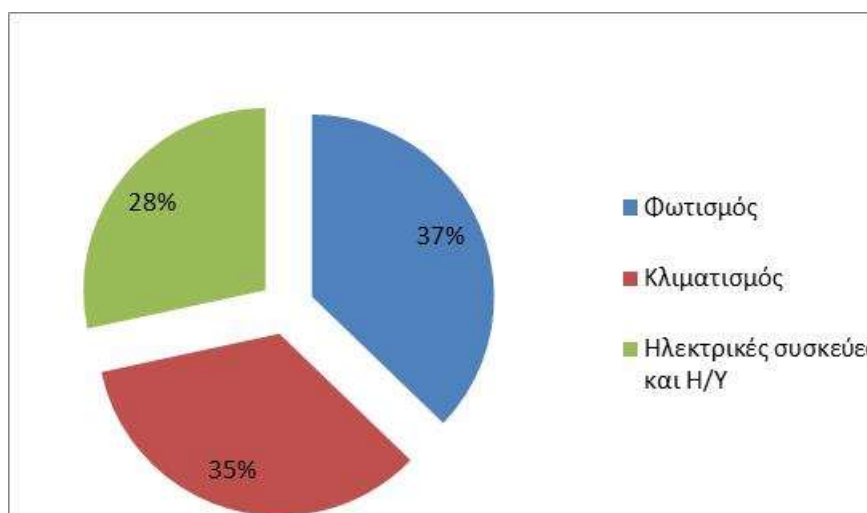
ενεργοβόρος χώρος αφού διαθέτει 2 ψυγεία των 150 Watt τα οποία λειτουργούν 24 ώρες την ημέρα 7 ημέρες την εβδομάδα, μια ψηστιέρα των 2.500 Watt και ένα φούρνο των 2.000 Watt που είναι σε λειτουργία 4 και 7,5 ώρες την ημέρα αντιστοίχως. Έτσι από την συνολική ενέργεια που καταναλώνει όλο το Σχολείο για την τροφοδότηση των ηλεκτρικών συσκευών του, το 46,8% οφείλεται στο κυλικείο.

### 2.3.4 Κατανομή καταναλώσεων ανά είδος χρήσης και κτίριο

Στον παρακάτω πίνακα και το αντίστοιχο διάγραμμα ταξινομούνται οι καταναλώσεις που εκτιμήθηκαν στις προηγούμενες ενότητες ανά κατηγορία χρήσης.

**Πίνακας 2.6:** Εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας (kWh) ανά χρήση

Είδος	Κατανάλωση (kWh)	Ποσοστό
Φωτισμός	16.846	37%
Κλιματισμός	15.591	35%
Ηλεκτρικές συσκευές και Η/Υ	12.851	28%
<b>Σύνολο</b>	<b>45.288</b>	<b>100%</b>



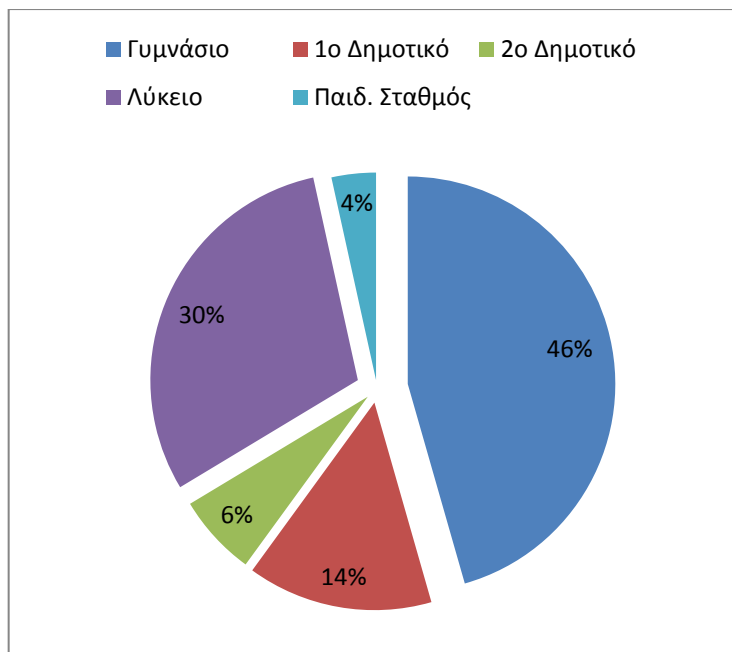
**Σχήμα 2.14:** Κατανομή κατανάλωσης Η.-Ε. ανά χρήση

Όπως φαίνεται το μεγαλύτερο μερίδιο στη συνολική κατανάλωση έχει ο φωτισμός, ακολουθεί με μικρή διαφορά ο κλιματισμός και τέλος οι ηλεκτρικές συσκευές και Η/Υ. Η συνολική εκτιμώμενη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίσθηκε στις 45.288 kWh, ενώ η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας για το 2011 βάσει των τιμολογίων είναι 43.757 kWh και για τον μέσο όρο της τελευταίας τριετίας 44.816 kWh. Έτσι η απόκλιση μεταξύ της εκτιμώμενης καταναλισκόμενης ενέργειας και της πραγματικής είναι μόλις 3,4% για το 2011 και 1% για την τελευταία τριετία.

Στον επόμενο πίνακα και το αντίστοιχο διάγραμμα γίνεται ταξινόμηση των καταναλώσεων ανά κτίριο.

**Πίνακας 2.7:** Εκτιμώμενη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh) ανά κτίριο

Κτίριο	Κατανάλωση (kWh)
Γυμνάσιο	20.636
1ο Δημοτικό	6.545
2ο Δημοτικό	2.876
Λύκειο	13.665
Παιδ. Σταθμός	1.565
Σύνολο	45.288

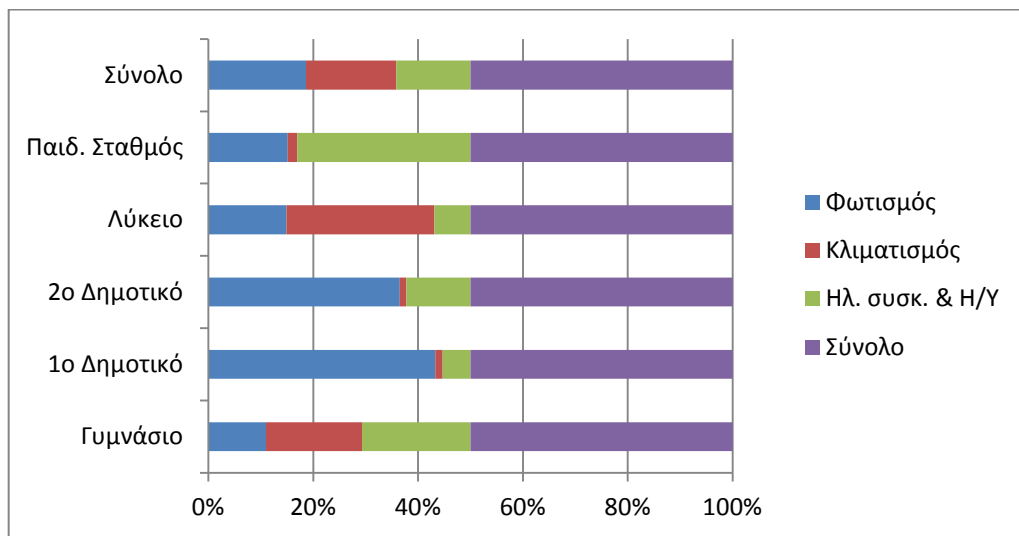


**Σχήμα 2.15:** Κατανομή κατανάλωσης Η.-Ε. ανά κτίριο

Από το διάγραμμα φαίνεται πως το μεγαλύτερο μερίδιο στην κατανάλωση ενέργειας έχει το Γυμνάσιο με ποσοστό 46% (20.636 kWh), δεύτερο είναι το Λύκειο με 30% (13.665 kWh), ενώ ακολουθούν το 1<sup>ο</sup> Δημοτικό με 14% (6.545 kWh) και το 2<sup>ο</sup> Δημοτικό με 6% (2.876 kWh). Τελευταίο σε κατανάλωση έρχεται το κτίριο του παιδικού σταθμού, το οποίο είναι το μικρότερο σε εμβαδό. Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι απολύτως αναμενόμενα αφού στο Γυμνάσιο, που είναι το πρώτο σε κατανάλωση κτίριο, στεγάζεται το κυλικείο που έχει τον πιο ενεργοβόρο εξοπλισμό καθώς και η γραμματεία της οποίας το ωράριο είναι διευρυμένο. Το Λύκειο που έρχεται δεύτερο σε κατανάλωση είναι το μοναδικό κτίριο στο οποίο έχουν εγκατασταθεί σε αίθουσες διδασκαλίας air condition, ενώ επίσης εκεί βρίσκεται το εργαστήριο υπολογιστών και το θέατρο. Στον παρακάτω πίνακα και διάγραμμα συνοψίζονται οι καταναλώσεις συναρτήσει των κτιρίων και του είδους τους δίνοντας τη συνολική εικόνα όσων έχουν αναλυθεί προηγουμένως.

**Πίνακας 2.8:** Εκτιμώμενη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh) ανά κτίριο και χρήση

Κτίριο	Φωτισμός	Κλιματισμός	Ηλ. συσκ. & Η/Υ	Σύνολο
Γυμνάσιο	4.538	7.566	8.532	20.636
1ο Δημοτικό	5.669	180	697	6.545
2ο Δημοτικό	2.099	72	705	2.876
Λύκειο	4.066	7.715	1.884	13.665
Παιδ. Σταθμός	474	58	1.033	1.565
Σύνολο	16.846	15.591	12.850	45.288



**Σχήμα 2.16:** Σχηματική απεικόνιση εκτιμώμενης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (kWh) ανά κτίριο και χρήση

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 3  
Μ Ε Λ Ε Τ Η Θ Ε Ρ Μ Ο Μ Ο Ν Ω Σ Η Σ  
Σ Χ Ο Λ Ι Κ Ο Υ  
Σ Υ Γ Κ Ρ Ο Τ Η Μ Α Τ Ο Σ



### 3.1 Εισαγωγή

Μεταξύ δύο σωμάτων με διαφορετικές θερμοκρασίες υπάρχει διαρκής μεταφορά θερμότητας από το θερμότερο στο ψυχρότερο, έτσι τον χειμώνα λαμβάνει χώρα μεταφορά θερμότητας από το κτίριο προς το εξωτερικό περιβάλλον, ενώ το καλοκαίρι εισροή θερμότητας στο κτίριο από το περιβάλλον. Στόχος είναι αυτή η ροή θερμότητας, η οποία αυξάνει τις ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων, δεδομένου ότι δεν είναι δυνατό να αποτραπεί καθολικά, να μειωθεί στο ελάχιστο.

Σε παλαιότερες εποχές το παραπάνω επιτυγχανόταν, εν μέρη, με τις βαριές κατασκευές του περιβλήματος, την κατάλληλη διάταξη των χώρων καθώς και τον ορθό προσανατολισμό των κτιρίων. Τα περασμένα χρόνια όμως, καθώς οι κατασκευές των κτιρίων γίνονταν ελαφρύτερες και πιο ευάλωτες στις καιρικές συνθήκες, οι θερμικές απώλειες έπρεπε να αντισταθμιστούν με την λειτουργία συστημάτων κλιματισμού και θέρμανσης, δηλαδή συστημάτων αρκετά ενεργοβόρων, που όμως για την εποχή αποτελούσαν βιώσιμη λύση, λόγω των πλεονασμάτων αποθεμάτων καυσίμων. Μετά την ενεργειακή κρίση όμως, κρίση που ήταν επακόλουθο της πετρελαϊκής του 1973 και του 1979, κατέστη αναγκαία μια διαφορετική ενεργειακή πολιτική, στην οποία σημαντική παράμετρος θα ήταν η θερμομόνωση.

Η θερμομόνωση του κελύφους των κτιρίων, περιορίζει τις ανταλλαγές θερμότητας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος (από το κτίριο στο εξωτερικό περιβάλλον και αντιστρόφως), αξιοποιώντας δομικά στοιχεία με υψηλούς συντελεστές θερμοπερατότητας. Μια αποτελεσματικά τοποθετημένη θερμομόνωση:

- Μειώνει το κόστος εγκατάστασης συστημάτων ψύξης και θέρμανσης, καθώς και τη δαπάνη για τις καταναλώσεις αυτών, δεδομένου ότι μειώνονται οι θερμικές ή ψυκτικές απώλειες (χειμώνα και καλοκαίρι αντιστοίχως) από το εσωτερικό του κτιρίου.
- Ελαχιστοποιεί την υγραποίηση των υδρατμών, που υπάρχουν στον αέρα, πάνω στις επιφάνειες των κτιρίων και μέσα στα δομικά στοιχεία, πράγμα που θα δημιουργούσε φθορές από μούχλα, σάπισμα, κ.ά.
- Περιορίζει την έντονη ψύξη ή θέρμανση η οποία λόγω των συστολών-διαστολών προκαλεί ρωγμές στα δομικά στοιχεία.
- Συνδράμει στην προστασία του περιβάλλοντος, αφού γίνεται οικονομία ενέργειας και κατ' επέκταση ελατώνεται η ποσότητα των εκπεμπόμενων καυσαερίων προς την ατμόσφαιρα.
- Προστατεύει από την ηχορρύπανση, αφού τα περισσότερα θερμομονωτικά υλικά έχουν και ηχομονωτικές ιδιότητες.

Οι πιο διαδεδομένες τεχνικές θερμομόνωσης είναι οι εξής:

- Εξωτερική θερμομόνωση: Όπως προκύπτει και από την ονομασία, στην εξωτερική πλευρά των τοίχων προστίθεται θερμομονωτικό υλικό και κατάλληλο επίχρισμα που να προστατεύει το υλικό από υγρασία. Ως προς τα μονωτικά υλικά, στην εφαρμογή των συστημάτων εξωτερικής θερμομόνωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν η διογκωμένη πολυστερίνη, η εξηλασμένη πολυστερίνη και ο πετροβάμβακας. Σε συντριπτικά

ποσοστά πιο διαδεδομένη έναντι των δύο άλλων μονωτικών είναι η χρήση της διογκωμένης πολυστερίνης, λόγω του γεγονότος ότι είναι αρκετά οικονομικότερη από την εξηλασμένη, αρκετά πιο ελαφριά από τον πετροβάμβακα και επιλέον βελτιώνει τη διαπερατότητα σε υδρατμούς του κτιρίου. Τέλος είναι πιο ισότροπο και ελαστικό υλικό, ιδιότητες που είναι ευργετικές όσον αφορά τη συμπεριφορά της σε διαστολές και συστολές.

Τα πλεονεκτήματα της εξωτερικής θερμομόνωσης είναι τα εξής:

- Ο χώρος διατηρεί τη θερμότητα και μετά τη διακοπή της θέρμανσης, αφού αξιοποιείται η θερμοχωρητικότητα των δομικών στοιχείων που είναι εσωτερικά της θερμομόνωσης.
- Εξοικονόμηση ενέργειας λόγω της μειωμένης χρήσης του συστήματος θέρμανσης εξαιτίας της ενέργειας που αποθηκεύεται στα δομικά στοιχεία της νότιας όψης από τον ήλιο.
- Προστασία των τοίχων από συστολές και διαστολές.
- Σε ένα ορθά εφαρμοσμένο σύστημα εξωτερικής θερμομόνωσης με συνοχή και συμβατότητα υλικών και ορθή αντιμετώπιση των κατασκευαστικών λεπτομερειών, καλύπτονται οι θερμογέφυρες, που σε άλλες εφαρμογές θα εμφανίζονταν στις πλάκες σκυροδέματος, στις κολώνες και τις δοκούς.
- Δεν μειώνεται ο εσωτερικό χώρος.
- Σε εφαρμογή σε υφιστάμενα κτίρια δεν εμποδίζει τη λειτουργία τους.

Τα μειονεκτήματα της εξωτερικής θερμομόνωσης είναι:

- Το υψηλό κόστος κατασκευής
- Η αδυναμία εφαρμογής σε κτίρια με πλούσια αρχιτεκτονικά στοιχεία (εσοχές, προεξοχές, κτλ.)
- Η απαίτηση σκαλωσιών για την εφαρμογή της.
- Εσωτερική θερμομόνωση: Σε αυτή την περίπτωση το μονωτικό υλικό τοποθετείται στην εσωτερική πλευρά του τοίχου και καλύπτεται από πλέγμα και επίχρισμα.

Τα πλεονεκτήματα της είναι τα εξής:

- Η κατασκευή είναι απλή, γρήγορη και αρκετά οικονομικότερη από την εξωτερική μόνωση.
- Δεν απαιτεί προστασία από τις καιρικές συνθήκες.
- Το κτίριο ζεσταίνεται ή ψύχεται άμεσα.

Τα μειονεκτήματα της είναι:

- Η παρουσία θερμογεφυρών.
- Η γρήγορη αλλαγή των συνθηκών μετά τη διακοπή της ψύξης ή θέρμανσης.
- Έκθεση σε διαστολές και συστολές λόγω των εξωτερικών μεταβολών.
- Μείωση του ωφέλιμου εμβαδού των χώρων.
- Δημιουργία επιφανειακής υγρασίας από συμπύκνωση υδρατμών.



- Δυσκολία στην τακτοποίηση των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων, και στην ανάρτηση βαριών αντικειμένων.
- Κατά την εφαρμογή της σε υφιστάμενα κτίρια παρακωλύεται η ομαλή τους λειτουργία.
- Θερμομόνωση στον πυρήνα διπλής τοιχοποιίας. Η περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται κατά κόρον στην χώρα μας. Στο διάκενο που δημιουργείται μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού τοίχου τοποθετείται το θερμομονωτικό υλικό, το οποίο στηρίζεται με κόλλα ή στηρίγματα. Το υλικό πρέπει να τοποθετηθεί με ιδιαίτερη προσοχή στα σημεία που εφάπτεται με τις δοκούς και τις κολώνες για να αποφευχθεί η δημιουργία θερμογεφυρών. Επίσης στην παραπάνω κατασκευή είναι πιθανό να δημιουργηθούν θερμογέφυρες στα σενάζ.

Δύο άλλες μέθοδοι θερμομόνωσης που δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες είναι οι:

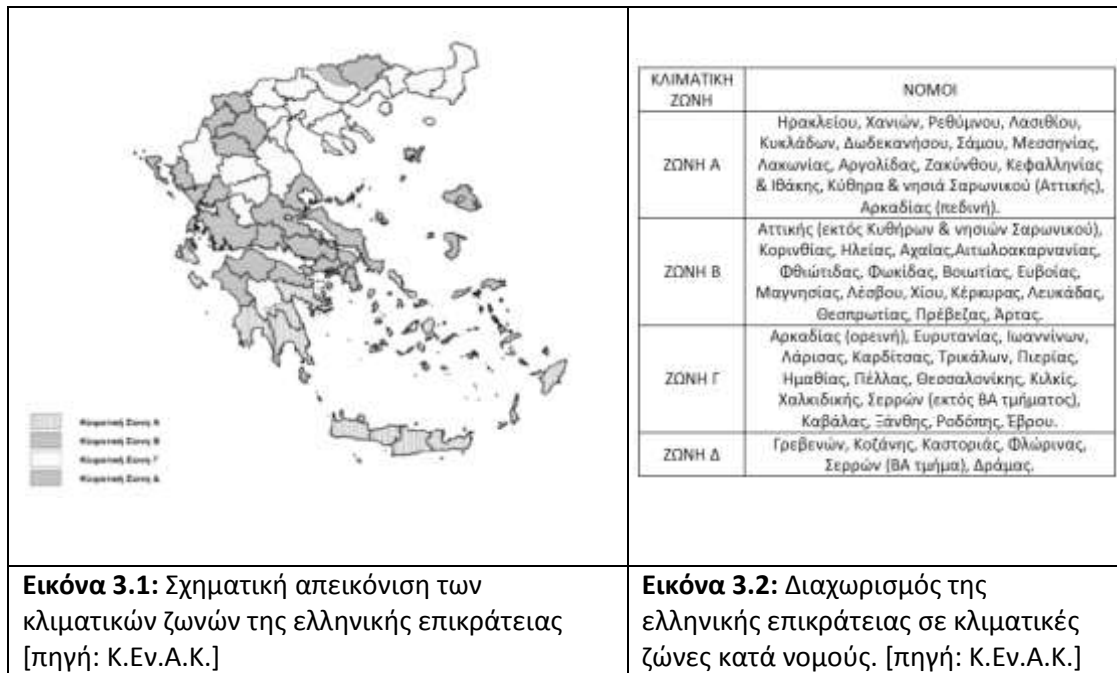
- Θερμομόνωση με ειδικά θερμομονωτικά τούβλα. Η συγκεκριμένη μέθοδος προσφέρει ευκολία στην κατασκευή και εξοικονόμηση εσωτερικού χώρου, αλλά δε χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που απαιτείται υψηλή θερμοχωρητικότητα.
- Θερμομόνωση με θερμομονωτικά επιχρίσματα, (κυρίως ως συμπλήρωμα της θερμομόνωσης).

## 3.2 Μεθοδολογία υπολογισμού

### 3.2.1 Συνοπτική παρουσίαση της υπολογιστικής διαδικασίας

Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010 με τίτλο: «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων», η πορεία που πρέπει να ακολουθηθεί για τον έλεγχο της θερμικής επάρκειας του κτιριακού κελύφους είναι η εξής:

Καταρχήν να εξεταστεί η θερμική επάρκεια κάθε δομικού στοιχείου του κτιρίου. Έτσι, για να πληροί ένα δομικό στοιχείο τις προδιαγραφές πρέπει ο συντελεστής θερμοπερατότητάς του  $U_{\text{εξεταζ}}$  να μην υπερβαίνει την τιμή του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_{\text{max}}$  που ορίζεται ανά κλιματική ζώνη για κάθε κατηγορία δομικών στοιχείων. Παρακάτω φαίνεται ο χάρτης με την κατανομή των κλιματικών ζωνών, ο αντίστοιχος πίνακας, καθώς και ο πίνακας με τις τιμές του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή θερμοπερατότητας.



**Εικόνα 3.1:** Σχηματική απεικόνιση των κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας [πηγή: Κ.Εν.Α.Κ.]

**Εικόνα 3.2:** Διαχωρισμός της ελληνικής επικράτειας σε κλιματικές ζώνες κατά νομούς. [πηγή: Κ.Εν.Α.Κ.]

**Πίνακας 3.1:** Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας διαφόρων δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη [πηγή Κ.Εν.Α.Κ.]

Δομικό στοιχείο	Σύμβολο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας [W/(m <sup>2</sup> ·K)]			
		Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Δ
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές)	U <sub>R</sub>	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	U <sub>T</sub>	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτές)	U <sub>FA</sub>	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους	U <sub>TU</sub>	1,50	1,00	0,80	0,70
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με το έδαφος	U <sub>TB</sub>	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδα σε επαφή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους	U <sub>FU</sub>	1,20	0,90	0,75	0,70
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος	U <sub>FB</sub>	1,20	0,90	0,75	0,70
Κουφώματα ανοιγμάτων	U <sub>W</sub>	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινες προσόψεις κτηρίων μη ανοιγόμενες ή μερικώς ανοιγόμενες	U <sub>GF</sub>	2,20	2,00	1,80	1,80

Μετά την εξέταση κάθε δομικού στοιχείου, ελέγχεται η θερμική επάρκεια του κτιριακού κελύφους κάθε κτιρίου. Σε αυτό το στάδιο πρέπει η μέση τιμή θερμοπερατότητας του κάθε κτιρίου (U<sub>m</sub>) να είναι μικρότερη από τη U<sub>m,max</sub> που προκύπτει από τον πίνακα αριστερά αναλόγα με την κλιματική ζώνη που ανήκει το κτίριο.

**Πίνακας 3.2:** Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας ενός κτιρίου ανά κλιματική ζώνη συναρτήσει της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτιρίου προς τον όγκο του (πηγή Κ.Εν.Α.Κ.)

Λόγος Α/Υ [m <sup>-1</sup> ]	Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U <sub>m</sub> [W/(m <sup>2</sup> ·K)]			
	Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Δ
≤ 0,2	1,26	1,14	1,05	0,96
0,3	1,20	1,09	1,00	0,92
0,4	1,15	1,03	0,95	0,87
0,5	1,09	0,98	0,90	0,83
0,6	1,03	0,93	0,86	0,78
0,7	0,98	0,88	0,81	0,73
0,8	0,92	0,83	0,76	0,69
0,9	0,86	0,78	0,71	0,64
≥ 1,0	0,81	0,73	0,66	0,60

### 3.2.2 Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας αδιαφανών δομικών στοιχείων

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας εκφράζει το την ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται στην μονάδα του χρόνου μέσω της μοναδιαίας επιφάνειας για διαφορά θερμοκρασίας αέρα στις δύο όψεις του δομικού στοιχείου ίση με έναν βαθμό και ορίζεται από τον παρακάτω τύπο για δομικό στοιχείο η στρώσεων:

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{al} + R_a} \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

όπου:

U	[W/m <sup>2</sup> K]	ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου
n	[-]	το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου
d	[m]	το πάχος της κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου
λ	[W/(mK)]	ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της κάθε στρώσης, λαμβάνεται από τον πίνακα 1 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.
R <sub>al</sub>	[m <sup>2</sup> K/W]	η θερμική αντίσταση του στρώματος αέρα σε τυχόν υφιστάμενο διάκενο ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου, με την προϋπόθεση ότι ο αέρας του διακένου δεν επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον και θεωρείται πρακτικά ακίνητος
R <sub>i</sub>	[m <sup>2</sup> K/W]	η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο
R <sub>a</sub>	[m <sup>2</sup> K/W]	η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον

Οι τιμές των αντιστάσεων θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα στη μετάδοση θερμότητας από και προς το δομικό στοιχείο,  $R_a$  και  $R_i$  αντιστοίχως λαμβάνονται από τους δύο παρακάτω πίνακες.

**Πίνακας 3.3:** Τιμές συντελεστών θερμικής μετάβασης και αντιστάσεων θερμικής μετάβασης επιφανειακού στρώματος αέρα κατά ISO 6946. (Πηγή: ISO 6946 & TOTEE).

Α/Α	Κατεύθυνση θερμικής ροής	Συντελεστές θερμικής μετάβασης		Αντιστάσεις θερμικής μετάβασης	
		$1/R_i$	$1/R_a$	$R_i$	$R_a$
		W/(m <sup>2</sup> K)	W/(m <sup>2</sup> K)	(m <sup>2</sup> K)/W	(m <sup>2</sup> K)/W
1	Οριζόντια θερμική ροή	7,70	25,00	0,13	0,04
2	Κατακόρυφη θερμική ροή προς τα άνω	10,00	25,00	0,10	0,04
3	Κατακόρυφη θερμική ροή προς τα κάτω	5,88	25,00	0,17	0,04

**Πίνακας 3.4:** Τιμές συντελεστών θερμικής μετάβασης και αντιστάσεων θερμικής μετάβασης κατά το ISO 6946, εξειδικευμένες ανά δομικό στοιχείο. (Πηγή: TOTEE - Πρωτότυπος πίνακας, επεξεργασμένος βάσει του ISO 6946).

Α/Α	Δομικό στοιχείο	Συντελεστές θερμικής μετάβασης		Αντιστάσεις θερμικής μετάβασης	
		$1/R_i$	$1/R_a$	$R_i$	$R_a$
		W/(m <sup>2</sup> K)	W/(m <sup>2</sup> K)	(m <sup>2</sup> K)/W	(m <sup>2</sup> K)/W
1	Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	7,70	25,00	0,13	0,04
2	Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	7,70	7,70	0,13	0,13
3	Τοίχος σε επαφή με έδαφος	7,70	–	0,13	0,00
4	Στέγη, δώμα (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	25,00	0,10	0,04
5	Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	10,00	0,10	0,10
6	Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (πιλατή) (κατερχόμενη ροή θερμότητας)	5,88	25,00	0,17	0,04
7	Δάπεδο επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή θερμότητας)	5,88	5,88	0,17	0,17
8	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	5,88	–	0,17	0,00

Η τιμή της θερμικής αντίστασης ( $R_{ai}$ ) για εγκλωβισμένο αέρα στο διάκενο και χωρίς ανακλαστική επιφάνεια σε κάποια πλευρά του διακένου ορίζεται από τον ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 3.5:** Τιμές θερμικών αντιστάσεων (Πηγή: TOTEE)

Πάχος ακίνητης στρώσης αέρα	Χωρίς ανακλαστική επιφάνεια ( $\epsilon = 0,80$ ) σε καμιά πλευρά του διακένου		
	Οριζόντια ροή	Ροή από κάτω προς τα άνω	Ροή από άνω προς τα κάτω
	m <sup>2</sup> K/W	m <sup>2</sup> K/W	m <sup>2</sup> K/W
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,17	0,16	0,17
25	0,18	0,16	0,19
50	0,18	0,16	0,21
100	0,18	0,16	0,22
300	0,18	0,16	0,23

### 3.2.3 Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας διαφανών δομικών στοιχείων

Για τα διαφανή δομικά στοιχεία, δηλαδή τα κουφώματα, ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κουφώματος ( $U_k$ ) μπορεί είτε να θεωρηθεί δεδομένος με αποδοχή της πιστοποιημένης τιμής που διαθέτει ο κατασκευαστής είτε να υπολογισθεί αναλυτικά μέσα από διαφορετικούς τύπους για κάθε είδος κουφώματος (μόνο/διπλό κούφωμα με μονό/διπλό/τριπλό υαλοπίνακα επί ενιαίου πλαισίου κτλ.) στους οποίους όμως λαμβάνεται υπόψη ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πλαισίου, του υαλοπίνακα, η αναλογία των εμβαδών των δύο επιφανειών καθώς και οι θερμογέφυρες που αναπτύσσονται μεταξύ τους.

### 3.2.4 Υπολογισμός του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας

Ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κτιρίου ( $U_m$ ) προκύπτει από τον συνυπολογισμό όλων των συντελεστών των επιμέρους δομικών στοιχείων ανάλογα με το εμβαδό τους προσαυξημένος από τις γραμμικές θερμογέφυρες που αναπτύσσονται στα δομικά στοιχεία.

Ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας ορίζεται ως εξής:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j \cdot U_j \cdot b + \sum_{i=1}^k l_i \cdot \Psi_i \cdot b}{\sum_{j=1}^n A_j} \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

όπου

$U_m$	[W/(m <sup>2</sup> ·K)]	ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κελύφους όλου του κτιρίου
N	[-]	το πλήθος των επί μέρους δομικών στοιχείων στο κέλυφος του κτιρίου
k	[-]	το πλήθος των θερμογεφυρών που αναπτύσσονται στα εξωτερικά ή εσωτερικά όρια κάθε επιφάνειας F <sub>j</sub> του κελύφους
A <sub>j</sub>	[m <sup>2</sup> ]	το εμβαδό επιφάνειας που καταλαμβάνει το κάθε δομικό στοιχείο στη συνολική επιφάνεια του κελύφους του κτιρίου
U <sub>j</sub>	[W/(m <sup>2</sup> ·K)]	ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κάθε δομικού στοιχείου j του κελύφους του κτιρίου
l <sub>j</sub>	[m]	το συνολικό μήκος του κάθε τύπου θερμογέφυρας που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτιρίου
Ψ <sub>j</sub>	[W/(m·K)]	ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του κάθε τύπου θερμογέφυρας που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτιρίου
b	[-]	μειωτικός συντελεστής

Μετά την εύρεση του  $U_m$  υπολογίζεται το άθροισμα (A) όλων των εμβαδών των επιμέρους δομικών στοιχείων, καθώς και ο όγκος (V) του κτιρίου, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις εξωτερικές επιφάνειες που διαμορφώνουν το κέλυφος του κτιρίου είτε έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα, είτε με το έδαφος είτε με μη

θερμαινόμενο χώρο. Έτσι από τον υπολογισμό του λόγου  $A/V$  και τον Πίνακα 3.2 προσδιορίζεται η μέγιστη δυνατή τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_{m,max}$  του κτιρίου και συγκρίνεται με το  $U_m$ .

Αν  $U_m \leq U_{m,max}$ , τότε το κτίριο θεωρείται επαρκώς θερμομονωμένο.

### 3.3 Προσδιορισμός συντελεστή θερμοπερατότητας σχολικού συγκροτήματος

#### 3.3.1 Διευκρινίσεις και παραδοχές για το σχολικό συγκρότημα

Το σχολικό συγκρότημα «Εκπαιδευτήρια Γεωργίου Ζώνη» βρίσκεται στον Νομό Αττικής, σε υψόμετρο μικρότερο των 500 μέτρων, επομένως ανήκει στην κλιματική ζώνη Β. Όπως περιγράφηκε και στο Κεφάλαιο 2, τα επιμέρους κτίρια του σχολικού συγκροτήματος κατασκευάστηκαν σε διαφορετικές φάσεις, με αποτέλεσμα να διαφέρουν και οι εκάστοτε κατασκευαστικές προδιαγραφές και απαιτήσεις ανά εποχή.

Το Γυμνάσιο και ο Παιδικός Σταθμός είναι κτίρια κατασκευής του 1973 και σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 -1/2010, η οποία διακρίνει τα κτίρια σε κατηγορίες με βάση την περίοδο έκδοσης της οικοδομικής τους άδειας, ανήκουν στην 1<sup>η</sup> κατηγορία που περιλαμβάνει κτίρια πριν την εφαρμογή του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων (4 Ιουλίου 1979). Έτσι τα δύο αυτά κτίρια δεν είναι θερμομονωμένα και μέχρι το 1990 που έγινε ανακαίνιση είχαν μονά κουφώματα με μονό υαλοπίνακα, τα οποία και αντικαταστάθηκαν από κουφώματα διπλού υαλοπίνακα. Με την ανακαίνιση στα δώματα των δύο κτιρίων τοποθετήθηκαν στρώσεις πίσσας, θερμομονωτικού υλικού DOW 4 cm, αφροπετόν, πίσσας και ασφαλτόπανου, έτσι ώστε να θερμομονωθούν. Κατά τη διαδικασία υπολογισμού του συντελεστή θερμοπερατότητας θεωρήθηκαν θερμαινόμενοι χώροι: οι διάδρομοι, τα κλιμακοστάσια, οι τουαλέτες, καθώς και μια αποθήκη αθλητικού υλικού, και επομένως οι εξωτερικές τους επιφάνειες καθώς και ο όγκος τους υπεισέρχονται στον υπολογισμό του λόγου  $A/V$ .

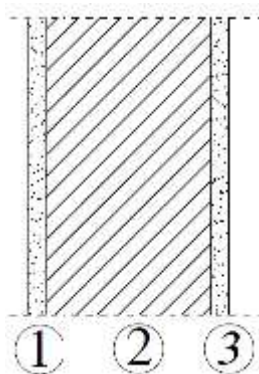
Το 1ο Δημοτικό (1988), το 2ο Δημοτικό (2001), καθώς και το Λύκειο (2000) ανήκουν στη 2<sup>η</sup> κατηγορία (1979-2010), δηλαδή στην κατηγορία κτιρίων μετά τον Κανονισμό Θερμομόνωσης και πριν την εφαρμογή του Κ.Εν.Α.Κ. (2010). Είναι κτίρια θερμομονωμένα με διαφορετικές μεθόδους, πιο συγκεκριμένα στο 1<sup>ο</sup> Δημοτικό χρησιμοποιήθηκαν πλάκες υαλοβάμβακος, ενώ στα 2<sup>ο</sup> Δημοτικό και το Λύκειο DOW Roofmate και Wallmate. Όσον αφορά τα κουφώματα και τα δύο κτίρια διαθέτουν μονά με διπλούς υαλοπίνακες χωρίς θερμοδιακοπή. Δομικά στοιχεία του 2<sup>ου</sup> Δημοτικού καθώς και του Λυκείου έρχονται σε επαφή με όμορα κτίρια, αλλά δεδομένου ότι το ένα εξ αυτών είναι στο στάδιο της ανέγερσης και στο δεύτερο δεν είναι γνωστό αν οι όμοροι χώροι είναι θερμαινόμενοι ή μη, στον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας θα θεωρηθούν ως δομικά στοιχεία σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο. Επιπλέον κατά τον έλεγχο της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων θερμαινόμενοι χώροι θεωρούνται και οι διάδρομοι, τα κλιμακοστάσια, οι τουαλέτες, το φωτοτυπείο, και επομένως οι εξωτερικές τους επιφάνειες καθώς και ο όγκος τους υπεισέρχονται στον υπολογισμό του λόγου  $A/V$ .

Τέλος μια ακόμη παραδοχή, που έγινε κατά τον υπολογισμό των συντελεστών θερμοπερατότητας των κτιρίων, είναι η παράλειψη του ακριβούς υπολογισμού των θερμογεφυρών και η θεώρηση ότι τελικώς αυξάνουν του συντελεστές θερμοπερατότητας των αδιαφανών δομικών στοιχείων κατά  $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Η παραπάνω παραδοχή δεν αφορά τις θερμογέφυρες που αναπτύσσονται στα κουφώματα, οι οποίες υπολογίστηκαν κανονικά.

### 3.3.2 Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων Παιδικού Σταθμού

#### Συντελεστής θερμοπερατότητας αδιαφανών δομικών στοιχείων

##### Φέρων οργανισμός



1. Επίχρισμα εξωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)
2. Οπλισμένο σκυρόδεμα (στις δοκούς και στα υποστυλώματα έχει πάχος 20cm)
3. Επίχρισμα εσωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)

**Πίνακας 3.6:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης υποστυλωμάτων και δοκών

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,2	2,3	0,087
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
<b>Σύνολο</b>	<b>0,24</b>		<b>0,133</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{s5} = 0,133 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ .

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας λαμβάνεται:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

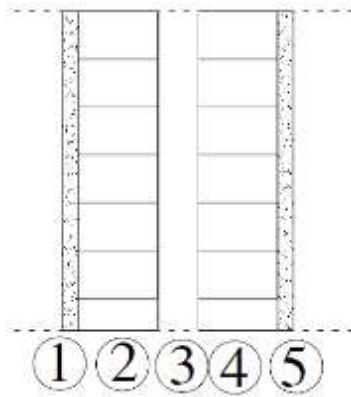
Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{s5} + R_a} = 3,301 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1 η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

### Τοιχοποιίες



1. Επίχρισμα εξωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)
2. Τοίχος δρομικός (οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους 9 cm)
3. Διάκενο (αέρας 5 cm)
4. Τοίχος δρομικός (οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους 9 cm)
5. Επίχρισμα εσωτερικό
6. (ασβεστοκονίαμα 2cm)

Πίνακας 3.7: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης εξωτερικής τοιχοποιίας

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Οπτοπλινθοδομή	0,09	0,45	0,200
Διάκενο αέρα	0,05	-	0,18
Οπτοπλινθοδομή	0,09	0,45	0,200
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
<b>Σύνολο</b>	<b>0,27</b>		<b>0,626</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 0,626 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας ισχύει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

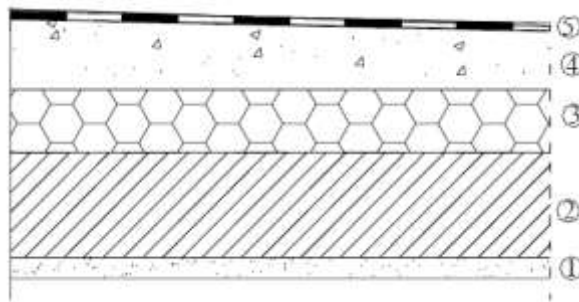
$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 1,256 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.



**Δώμα**



1. Επίχρισμα εξωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)
2. Πλάκα (οπλισμένο σκυρόδεμα 11 cm)
3. Μονωτικό υλικό (εξηλασμένη πολυστερίνη 8 cm)
4. Μπετόν κλίσης (ελαφροσκυρόδεμα 5 cm)
5. Ασφαλτικά φύλλα (1 cm)

**Πίνακας 3.8:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης οροφής

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,11	2,3	0,048
Εξηλασμένη πολυστερίνη	0,08	0,033	2,424
Ελαφροσκυρόδεμα	0,05	0,25	0,200
Ασφαλτικά φύλλα	0,01	0,19	0,053
<b>Σύνολο</b>	<b>0,270</b>		<b>2,748</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 2,748 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας ισχύει:

$$R_i = 0,10 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

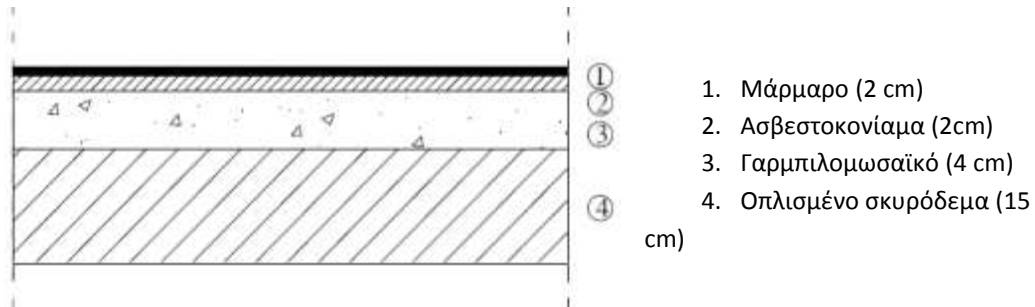
$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,346 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

### Δάπεδο

Υπολογισμός δαπέδου πάνω στο έδαφος



Πίνακας 3.9: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης δαπέδου ισογείου

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Μάρμαρο	0,02	0,25	0,080
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Γαρμπιλωμασαϊκό	0,04	0,64	0,063
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,18	2,3	0,078
<b>Σύνολο</b>	<b>0,23</b>		<b>0,244</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 0,244 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ .

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Αφού το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο είναι σε επαφή με το έδαφος ισχύει:

$$R_i = 0,17 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 2,417 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

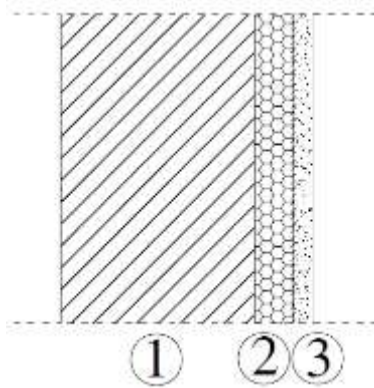
Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

### 3.3.3 Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων 1<sup>ου</sup> Δημοτικού

#### Συντελεστής θερμοπερατότητας αδιαφανών δομικών στοιχείων

##### Φέρων οργανισμός

Υπολογισμός θερμικής αντίστασης κρεμάσεων δοκών τύπου Α και υποστυλωμάτων



1. Οπλισμένο σκυρόδεμα (στις δοκούς και τα υποστυλώματα έχει πάχος 25cm)
2. Μονωτικό υλικό (πλάκες υαλοβάμβακα 5cm)
3. Επίχρισμα εσωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)

**Πίνακας 3.10:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης κρεμάσεων δοκών τύπου Α και υποστυλωμάτων

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Πλάκες υαλοβάμβακα	0,05	0,035	1,429
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,25	2,3	0,109
<b>Σύνολο</b>	<b>0,32</b>		<b>1,560</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{s5} = 1,560 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας λαμβάνονται οι ακόλουθες τιμές:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{s5} + R_a} = 0,578 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1 η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο είναι σε επαφή με το έδαφος όπως συμβαίνει στα δύο υπόγεια του κτιρίου, προκύπτει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,00 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

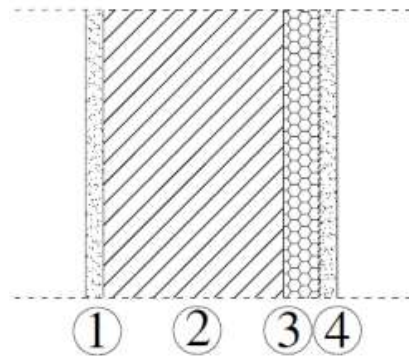
Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,592 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1 η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 1,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας

Υπολογισμός θερμικής αντίστασης κρεμάσεων δοκών τύπου Β



1. Επίχρισμα εξωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)
2. Οπλισμένο σκυρόδεμα (πάχους 20cm)
3. Μονωτικό υλικό (φυτικές πλάκες 5cm)
4. Επίχρισμα εσωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)

Πίνακας 3.11: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης κρεμάσεων δοκών τύπου Β

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Φυτικές πλάκες	0,05	0,07	0,714
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,2	2,3	0,087
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
<b>Σύνολο</b>	<b>0,29</b>		<b>0,847</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 0,847 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας ισχύει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,983 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

Για την περίπτωση που το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο είναι σε επαφή με το έδαφος όπως συμβαίνει στα δύο υπόγεια του κτιρίου ισχύει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,00 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

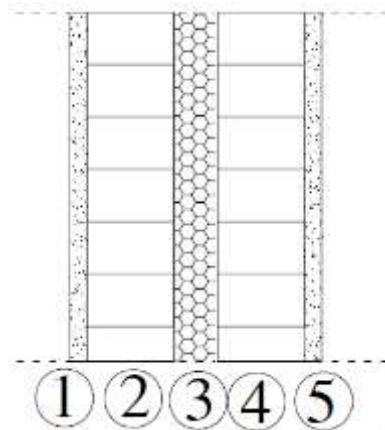
Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 1,023 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1 η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

### Τοιχοποιίες



1. Επίχρισμα εξωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)
2. Τοίχος δομικός (οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους 9 cm)
3. Μονωτικό υλικό (πλάκες υαλοβάμβακα 5cm)
4. Τοίχος δομικός (οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους 9 cm)
5. Επίχρισμα εσωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)

**Πίνακας 3.12:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης εξωτερικής τοιχοποιίας (οπτόπλινθων)

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d), [m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ), [W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Οπτοπλινθοδομή	0,09	0,45	0,200
Πλάκες υαλοβάμβακα	0,05	0,035	1,429
Οπτοπλινθοδομή	0,09	0,45	0,200
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
<b>Σύνολο</b>	<b>0,27</b>		<b>1,875</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss}= 1,875 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ .

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας ισχύει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

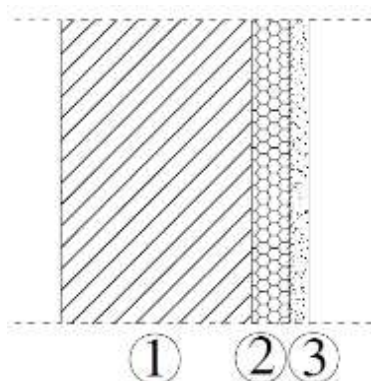
Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,489 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

Υπολογισμός θερμικής αντίστασης εξωτερικής τοιχοποιίας (τοιχίου).



1. Οπλισμένο σκυρόδεμα (πάχους 25cm)
2. Μονωτικό υλικό (πλάκες υαλοβάμβακα 5cm)
3. Επίχρισμα εσωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)

Πίνακας 3.13: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης τοιχίου

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Πλάκες υαλοβάμβακας	0,05	0,035	1,429
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,25	2,3	0,109
<b>Σύνολο</b>	<b>0,32</b>		<b>1,560</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss}= 1,560 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας ισχύει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,578 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο είναι σε επαφή με το έδαφος όπως συμβαίνει στα δύο υπόγεια του κτιρίου, προκύπτει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,00 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

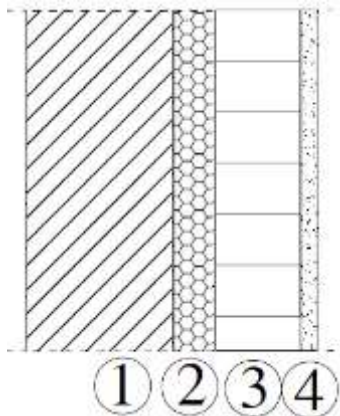
Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,592 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 1,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

Υπολογισμός θερμικής αντίστασης εξωτερικής τοιχοποιίας (οπλισμένο σκυρόδεμα με οπτοπλινθοδομή)



1. Οπλισμένο σκυρόδεμα (πάχους 12cm)
2. Μονωτικό υλικό (πλάκες υαλοβάμβακα 5cm)
3. Τοίχος δρομικός (οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους 9 cm)
4. Επίχρισμα εσωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)

**Πίνακας 3.14:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης οπλισμένου σκυροδέματος με οπτοπλινθοδομή

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Οπτοπλινθοδομή	0,09	0,45	0,200
Πλάκες υαλοβάμβακας	0,05	0,035	1,429
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,12	2,3	0,052
<b>Σύνολο</b>	<b>0,28</b>		<b>1,704</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 1,704 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ .

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας ισχύει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{εξεταζ.} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,534 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας

Έτσι, για την περίπτωση που το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο είναι σε επαφή με το έδαφος όπως συμβαίνει στα δύο υπόγεια του κτιρίου, προκύπτει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,00 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

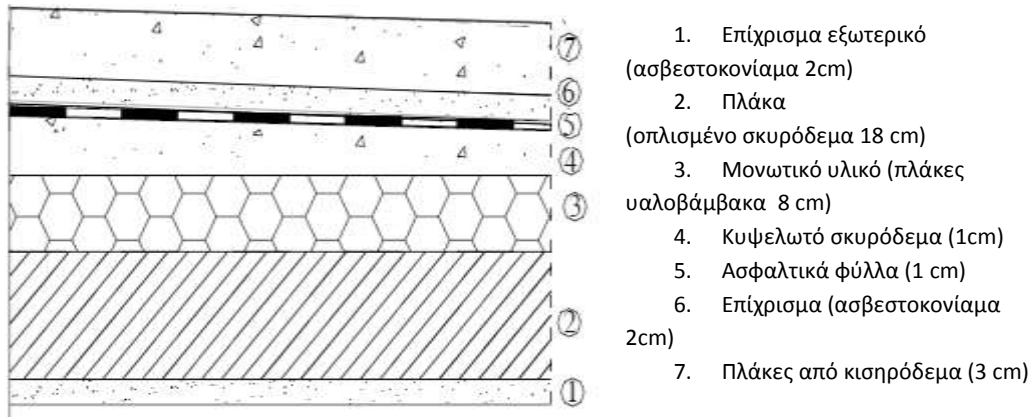
$$U_{εξεταζ.} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,545 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 1,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.



**Δώμα**



**Πίνακας 3.15:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης οροφής

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,18	2,3	0,078
Πλάκες υαλοβάμβακα	0,08	0,035	2,286
Κυψελωτό σκυρόδεμα	0,01	0,25	0,040
Ασφαλτικά φύλλα	0,01	0,19	0,053
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Πλάκες από κισηρόδεμα	0,03	0,28	0,107
<b>Σύνολο</b>	<b>0,350</b>		<b>2,610</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 2,610 (m^2K)/W$ .

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας ισχύει:

$$R_i = 0,10 (m^2K)/W$$

$$R_a = 0,04 (m^2K)/W$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

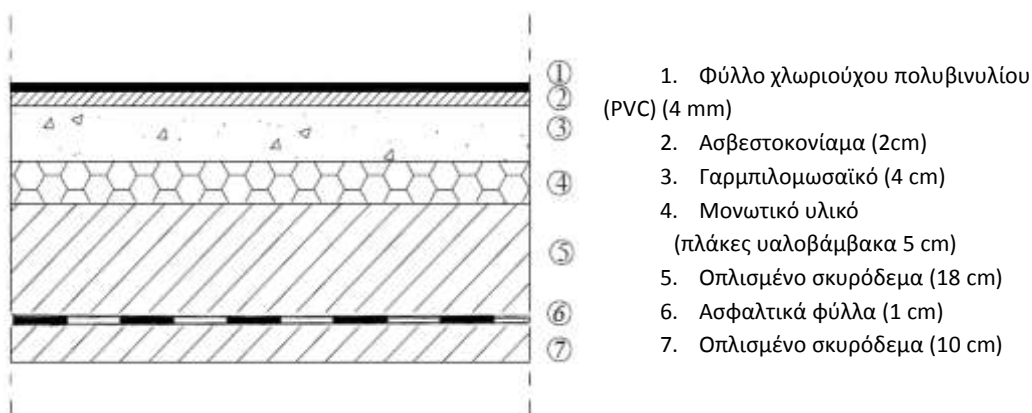
$$U_{εξεταζ.} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,364 W/(m^2K)$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,45 W/(m^2K)$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

### Δάπεδο

#### Υπολογισμός δαπέδου υπογείου



Πίνακας 3.16: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης δαπέδου υπογείου

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Φύλλο χλωριούχου πολυβινυλίου	0,004	0,17	0,024
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Γαρμπιλομωσαϊκό	0,04	0,64	0,063
Πλάκες υαλοβάμβακα	0,05	0,033	1,515
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,18	2,3	0,078
Ασφαλτικά φύλλα	0,01	0,19	0,053
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,1	2,3	0,043
<b>Σύνολο</b>	<b>0,404</b>		<b>1,799</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 1,799 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Αφού το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο είναι σε επαφή με το έδαφος ισχύει:

$$R_i = 0,17 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,00 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,508 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

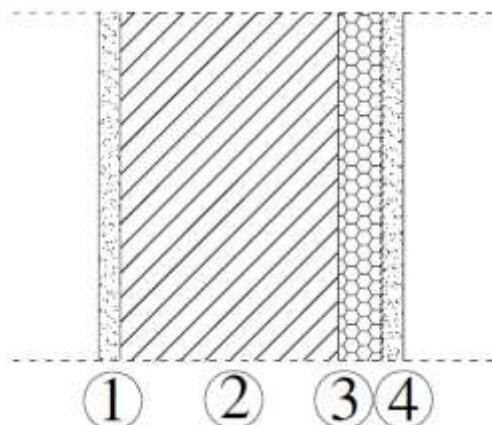
Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,90 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

### 3.3.4 Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων 2<sup>ου</sup> Δημοτικού

#### Συντελεστής θερμοπερατότητας αδιαφανών δομικών στοιχείων

##### Φέρων οργανισμός



1. Επίχρισμα εξωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)
2. Οπλισμένο σκυρόδεμα (στις δοκούς έχει πάχος 20cm και στα υποστυλώματα έχει είτε 20cm είτε 40cm)
3. Μονωτικό υλικό (εξηλασμένη πολυστερίνη 4cm)
4. Επίχρισμα εσωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)

Πίνακας 3.17: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης υποστυλώματος τύπου Α

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Εξηλασμένη πολυστερίνη	0,04	0,033	1,212
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,2	2,3	0,087
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
<b>Σύνολο</b>	<b>0,28</b>		<b>1,345</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 1,345 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας ισχύει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,660 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο είναι σε επαφή με το έδαφος όπως συμβαίνει στα δύο υπόγεια του κτιρίου λαμβάνουμε:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,00 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,678 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 1,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό τοιχίο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας

Υπολογισμός θερμικής αντίστασης υποστυλώματος τύπου Β

**Πίνακας 3.18:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης υποστυλώματος τύπου Β

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Εξηλασμένη πολυστερίνη	0,04	0,033	1,212
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,4	2,3	0,174
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
<b>Σύνολο</b>	<b>0,48</b>		<b>1,432</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 1,432 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας ισχύει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,624 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο είναι σε επαφή με το έδαφος όπως συμβαίνει στα δύο υπόγεια του κτιρίου ισχύει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,00 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,640 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 1,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας

*Υπολογισμός θερμικής αντίστασης κρεμάσεων δοκών*

**Πίνακας 3.19:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης κρεμάσεων δοκών

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Εξηλασμένη πολυστερίνη	0,04	0,033	1,212
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,2	2,3	0,087
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
<b>Σύνολο</b>	<b>0,28</b>		<b>1,345</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 1,345 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας ισχύει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,660 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο είναι σε επαφή με το έδαφος όπως συμβαίνει στα δύο υπόγεια του κτιρίου, προκύπτει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,00 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

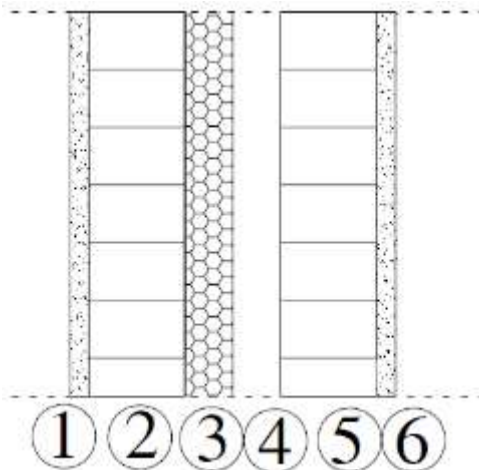
Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,678 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 1,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

### Τοιχοποιίες



1. Επίχρισμα εξωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)
2. Τοίχος δομικός (οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους 9 cm)
3. Μονωτικό υλικό (εξηλασμένη πολυστερίνη 5cm)
4. Διάκενο (αέρας 5 cm)
5. Τοίχος δομικός (οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους 9 cm)
6. Επίχρισμα εσωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)

Πίνακας 3.20: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης εξωτερικής τοιχοποιίας

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Οπτοπλινθοδομή	0,09	0,45	0,200
Διάκενο αέρα	0,05	-	0,18
Εξηλασμένη πολυστερίνη	0,05	0,033	1,515
Οπτοπλινθοδομή	0,09	0,45	0,200
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
<b>Σύνολο</b>	<b>0,32</b>		<b>2,141</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 2,141 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας ισχύει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

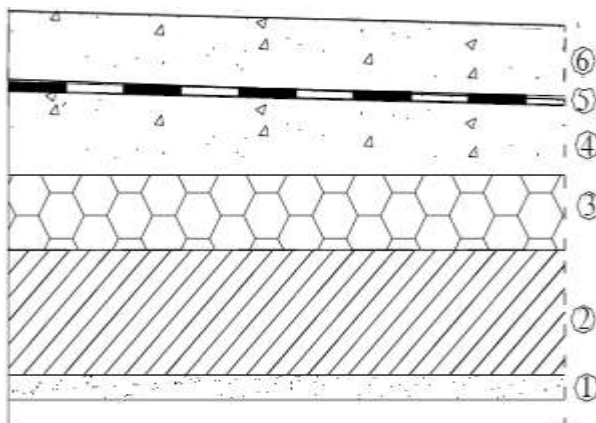
Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,433 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

### Δώμα



1. Επίχρισμα εξωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)
2. Πλάκα (οπλισμένο σκυρόδεμα 11 cm)
3. Μονωτικό υλικό (εξηλασμένη πολυστερίνη 8 cm)
4. Μπετόν κλίσης (ελαφροσκυρόδεμα 5 cm)
5. Ασφαλτικά φύλλα (1 cm)
6. Γαρμπιλοσκυρόδεμα (5 cm)

Πίνακας 3.21: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης οροφής

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,11	2,3	0,048
Εξηλασμένη πολυστερίνη	0,08	0,033	2,424
Ελαφροσκυρόδεμα	0,05	0,25	0,200
Ασφαλτικά φύλλα	0,01	0,19	0,053
Γαρμπιλοσκυρόδεμα	0,05	0,64	0,078
<b>Σύνολο</b>	<b>0,32</b>		<b>2,826</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 2,826 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας ισχύει:

$$R_i = 0,10 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

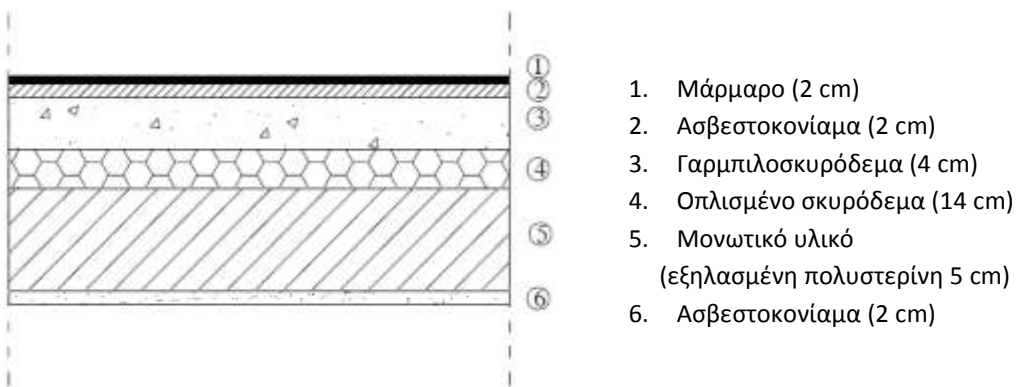
$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,337 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

### Δάπεδο

Υπολογισμός δαπέδου πάνω σε PILOTIS



**Πίνακας 3.22:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης δαπέδου πάνω σε πιλοτή

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d), [m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ), [W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
<b>Μάρμαρο</b>	0,02	0,25	0,080
<b>Ασβεστοκονίαμα</b>	0,02	0,87	0,023
<b>Γαρμπιλοσκυρόδεμα</b>	0,04	0,64	0,063
<b>Εξηλασμένη πολυστερίνη</b>	0,05	0,033	1,515
<b>Οπλισμένο σκυρόδεμα</b>	0,14	2,3	0,061
<b>Ασβεστοκονίαμα</b>	0,02	0,87	0,023
<b>Σύνολο</b>	0,290		1,764

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 1,764 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ .

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3, για δάπεδο επάνω από ανοιχτή διάβαση (πιλοτή).

$$R_i = 0,17 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

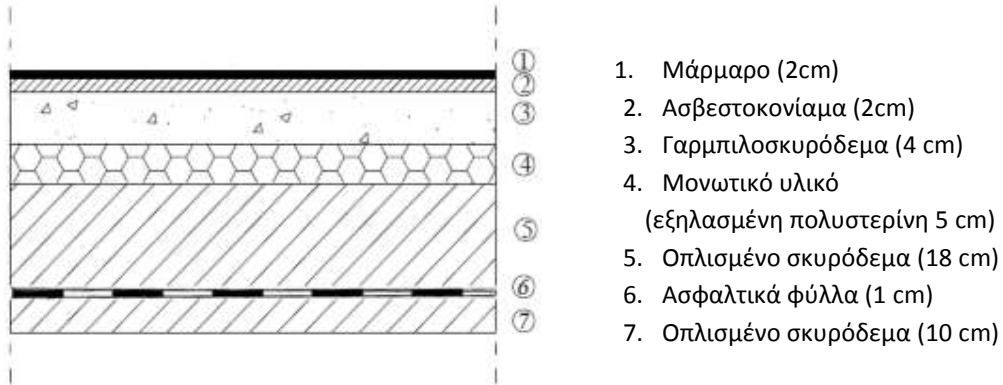
$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,506 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$



Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,45 W/(m^2K)$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

Υπολογισμός δαπέδου υπογείου



**Πίνακας 3.23:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης δαπέδου υπογείου

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Μάρμαρο	0,02	0,25	0,080
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Γαρμπιλοσκυρόδεμα	0,04	0,64	0,063
Εξηλασμένη πολυστερίνη	0,05	0,033	1,515
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,18	2,3	0,078
Ασφαλτικά φύλλα	0,01	0,19	0,053
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,1	2,3	0,043
<b>Σύνολο</b>	<b>0,420</b>		<b>1,855</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 1,855 (m^2K)/W$ .

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Αφού το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο είναι σε επαφή με το έδαφος ισχύει:

$$R_i = 0,17 (m^2K)/W$$

$$R_a = 0,00 (m^2K)/W$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{εξεταζ.} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,494 W/(m^2K)$$

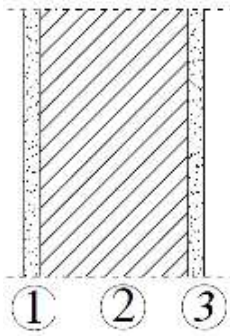
Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,90 W/(m^2K)$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

### 3.3.5 Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων Γυμνασίου

Συντελεστής θερμοπερατότητας αδιαφανών δομικών στοιχείων

#### Φέρων οργανισμός



1. Επίχρισμα εξωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)
2. Οπλισμένο σκυρόδεμα (στις δοκούς έχει πάχος 20cm, ενώ στα υποστυλώματα 60cm)
3. Επίχρισμα εσωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)

Υπολογισμός θερμικής αντίστασης δοκών

**Πίνακας 3.24:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης δοκών

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,2	2,3	0,087
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
<b>Σύνολο</b>	<b>0,24</b>		<b>0,133</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 0,133 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας ισχύει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 3,301 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

Υπολογισμός θερμικής αντίστασης υποστυλωμάτων

**Πίνακας 3.25:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης υποστυλωμάτων

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,6	2,3	0,261
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
<b>Σύνολο</b>	<b>0,64</b>		<b>0,307</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 0,307 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας ισχύει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

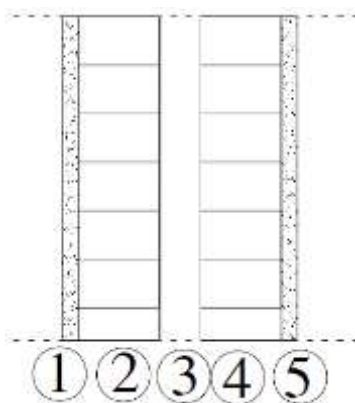
Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 2,097 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

### Τοιχοποιίες



1. Επίχρισμα εξωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)
2. Τοίχος δρομικός (οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους 9 cm)
3. Διάκενο (αέρας 5 cm)
4. Τοίχος δρομικός (οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους 9 cm)
5. Επίχρισμα εσωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)

**Πίνακας 3.26:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης εξωτερικής τοιχοποιίας

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Οπτοπλινθοδομή	0,09	0,45	0,200
Διάκενο αέρα	0,05	-	0,18
Οπτοπλινθοδομή	0,09	0,45	0,200
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
<b>Σύνολο</b>	<b>0,27</b>		<b>0,626</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 0,626 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας ισχύει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

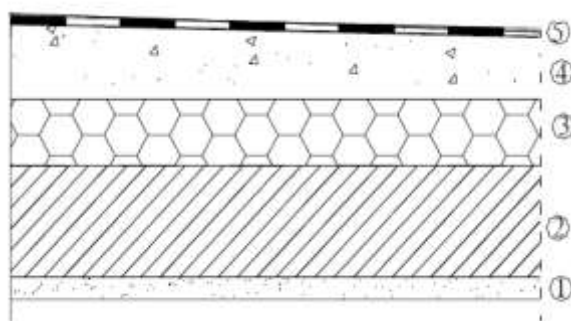
Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 1,256 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

### Δώμα



1. Επίχρισμα εξωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)
2. Πλάκα (οπλισμένο σκυρόδεμα 11 cm)
3. Μονωτικό υλικό (εξηλασμένη πολυστερίνη 8 cm)
4. Μπετόν κλίσης (ελαφροσκυρόδεμα 5 cm)
5. Ασφαλτικά φύλλα (1 cm)

**Πίνακας 3.27:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης οροφής

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023

Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,20	2,3	0,048
Εξηλασμένη πολυστερίνη	0,08	0,033	2,424
Ελαφροσκυρόδεμα	0,05	0,25	0,200
Ασφαλτικά φύλλα	0,01	0,19	0,053
<b>Σύνολο</b>	<b>0,270</b>		<b>2,748</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 2,748 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας ισχύει:

$$R_i = 0,10 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

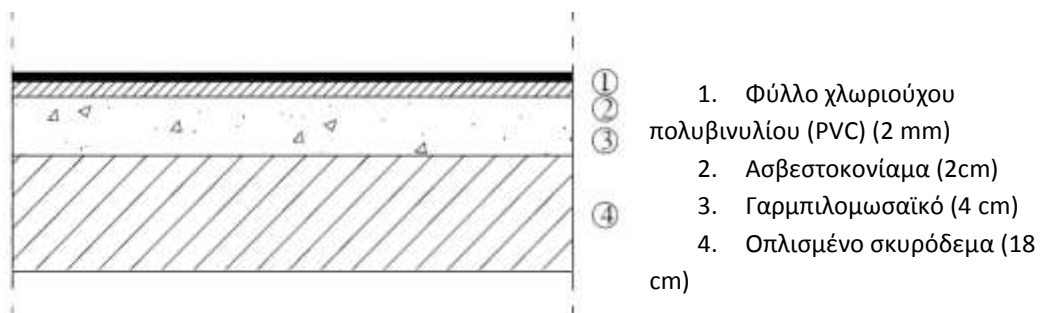
$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,346 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

### Δάπεδο

Υπολογισμός δαπέδου πάνω στο έδαφος



**Πίνακας 3.28:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης δαπέδου ισογείου

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Φύλλο χλωριούχου πολυβινυλίου	0,002	0,17	0,012
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Γαρμπιλομωσαϊκό	0,04	0,64	0,063
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,2	2,3	0,087
<b>Σύνολο</b>	<b>0,262</b>		<b>0,184</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 0,184 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Αφού το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο είναι σε επαφή με το έδαφος προκύπτει:

$$R_i = 0,17 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

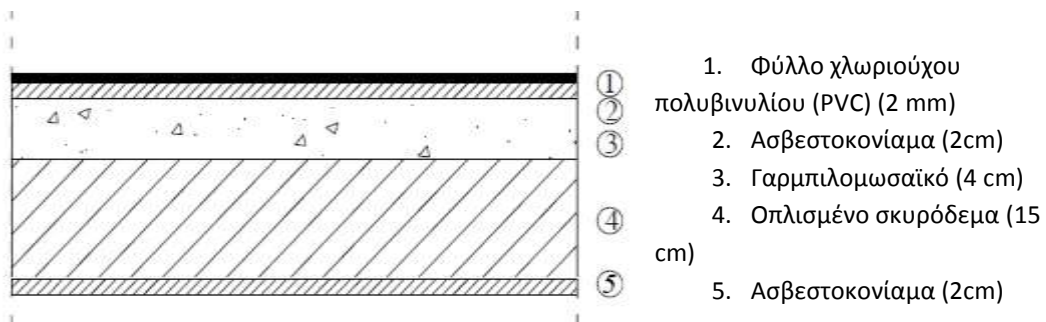
Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 2,823 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

Υπολογισμός δαπέδου πάνω από πιλοτή ή μη θερμαινόμενο χώρο



**Πίνακας 3.29:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης δαπέδου 1<sup>ου</sup> ορόφου πάνω από πιλοτή

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Φύλλο χλωριούχου πολυβινυλίου	0,002	0,17	0,012
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Γαρμπιλομωσαϊκό	0,04	0,64	0,063
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,2	2,3	0,087
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
<b>Σύνολο</b>	<b>0,282</b>		<b>0,207</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 0,207 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3, για δάπεδο επάνω από ανοιχτή διάβαση (πιλοτή).

$$R_i = 0,17 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 2,397 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

*Υπολογισμός θερμικής αντίστασης δαπέδου 1ου ορόφου πάνω από μη θερμαινόμενο χώρο*

Τα δομικά στοιχεία είναι ίδια με την περίπτωση του δαπέδου του 1<sup>ου</sup> ορόφου πάνω από την πιλοτή. Έτσι, οι υπολογισμοί λαμβάνονται από τον Πίνακα 3.29 με αποτέλεσμα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου να προκύπτει:  $R_{ss} = 0,207 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ .

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3, για δομικό υλικό επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο.

$$R_i = 0,17 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,17 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 1,827 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

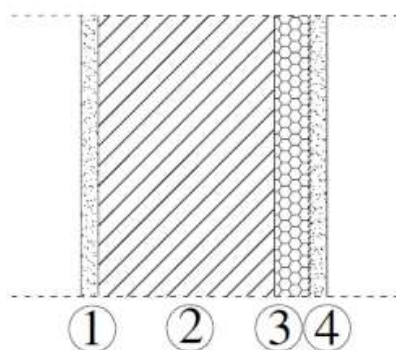
Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,90 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

### 3.3.6 Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων Λυκείου

Συντελεστής θερμοπερατότητας αδιαφανών δομικών στοιχείων

#### **Φέρων οργανισμός**



1. Επίχρισμα εξωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)
2. Οπλισμένο σκυρόδεμα (στις δοκούς έχει πάχος 20cm και στα υποστυλώματα έχει είτε 20cm είτε 35cm)
3. Μονωτικό υλικό (εξηλασμένη πολυστερίνη 4cm)
4. Επίχρισμα εσωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)

Υπολογισμός θερμικής αντίστασης υποστυλώματος τύπου Α

**Πίνακας 3.30:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης υποστυλώματος τύπου Α

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Εξηλασμένη πολυστερίνη	0,04	0,033	1,212
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,2	2,3	0,087
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
<b>Σύνολο</b>	<b>0,28</b>		<b>1,345</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 1,345 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας προκύπτει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,660 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο είναι σε επαφή με το έδαφος όπως συμβαίνει στα δύο υπόγεια του κτιρίου προκύπτει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,00 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,678 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 1,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.



Υπολογισμός θερμικής αντίστασης υποστυλώματος τύπου Β

**Πίνακας 3.31:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης υποστυλώματος τύπου Β

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Εξηλασμένη πολυστερίνη	0,04	0,033	1,212
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,35	2,3	0,152
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
<b>Σύνολο</b>	<b>0,43</b>		<b>1,410</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 1,410 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ .

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας προκύπτει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,633 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο είναι σε επαφή με το έδαφος όπως συμβαίνει στα δύο υπόγεια του κτιρίου ισχύει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,00 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,649 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 1,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

Υπολογισμός θερμικής αντίστασης κρεμάσεων δοκών

**Πίνακας 3.32:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης κρεμάσεων δοκών

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Εξηλασμένη πολυστερίνη	0,04	0,033	1,212
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,2	2,3	0,087
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
<b>Σύνολο</b>	<b>0,28</b>		<b>1,345</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss}=1,345 (m^2K)/W$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας προκύπτει:

$$R_i = 0,13 (m^2K)/W$$

$$R_a = 0,04 (m^2K)/W$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{εξεταζ.} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,660 W/(m^2K)$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 W/(m^2K)$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο είναι σε επαφή με το έδαφος όπως συμβαίνει στα δύο υπόγεια του κτιρίου προκύπτει:

$$R_i = 0,13 (m^2K)/W$$

$$R_a = 0,00 (m^2K)/W$$

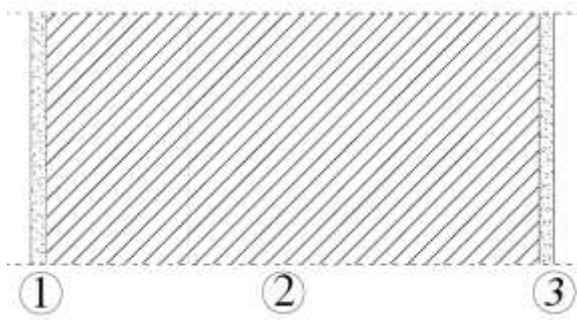
Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{εξεταζ.} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,678 W/(m^2K)$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.3, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 1,00 W/(m^2K)$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

Υπολογισμός θερμικής αντίστασης υποστυλώματος τύπου Γ



1. Επίχρισμα εξωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)
2. Οπλισμένο σκυρόδεμα (σε αυτό τον τύπο υποστυλώματος έχει πάχος 125cm)
3. Επίχρισμα εσωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)

Πίνακας 3.33: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης υποστυλώματος τύπου Γ

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Οπλισμένο σκυρόδεμα	1,25	2,3	0,543
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
<b>Σύνολο</b>	<b>1,29</b>		<b>0,589</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 0,589 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας προκύπτει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 1,317 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

Στην περίπτωση που το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο είναι σε επαφή με το έδαφος όπως συμβαίνει στα δύο υπόγεια του κτιρίου προκύπτει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,00 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

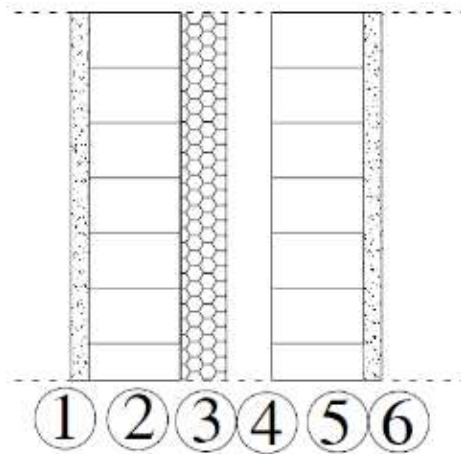
Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 1,390 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

### Τοιχοποιίες



1. Επίχρισμα εξωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)
2. Τοίχος δομικός (οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους 9 cm)
3. Μονωτικό υλικό (εξηλασμένη πολυστερίνη 5cm)
4. Διάκενο (αέρας 5 cm)
5. Τοίχος δομικός (οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους 9 cm)
6. Επίχρισμα εσωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)

**Πίνακας 3.34:** Υπολογισμός θερμικής αντίστασης εξωτερικής τοιχοποιίας

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Οπτοπλινθοδομή	0,09	0,45	0,200
Διάκενο αέρα	0,05	-	0,18
Εξηλασμένη πολυστερίνη	0,05	0,033	1,515
Οπτοπλινθοδομή	0,09	0,45	0,200
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
<b>Σύνολο</b>	<b>0,32</b>		<b>2,141</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 2,141 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας προκύπτει:

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

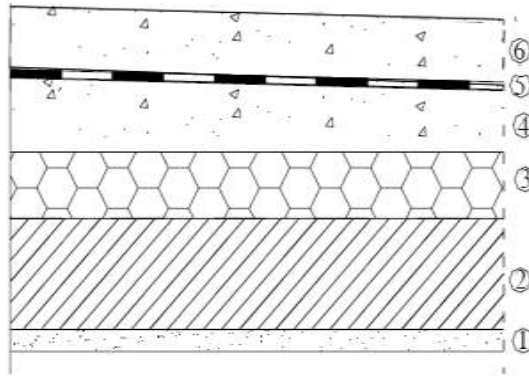
Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,433 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,50 W/(m^2K)$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

### Δώμα



1. Επίχρισμα εξωτερικό (ασβεστοκονίαμα 2cm)
2. Πλάκα (οπλισμένο σκυρόδεμα 11 cm)
3. Μονωτικό υλικό (εξηλασμένη πολυστερίνη 8 cm)
4. Μπετόν κλίσης (ελαφροσκυρόδεμα 5 cm)
5. Ασφαλτικά φύλλα (1 cm)
6. Γαρμπιλοσκυρόδεμα (5 cm)

Πίνακας 3.35: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης οροφής

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> K)/W]
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,11	2,3	0,048
Εξηλασμένη πολυστερίνη	0,08	0,033	2,424
Ελαφροσκυρόδεμα	0,05	0,25	0,200
Ασφαλτικά φύλλα	0,01	0,19	0,053
Γαρμπιλοσκυρόδεμα	0,05	0,64	0,078
<b>Σύνολο</b>	<b>0,320</b>		<b>2,826</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 2,826 (m^2K)/W$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Έτσι, για την περίπτωση που το εξωτερικό περιβάλλον είναι αέρας προκύπτει:

$$R_i = 0,10 (m^2K)/W$$

$$R_a = 0,04 (m^2K)/W$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

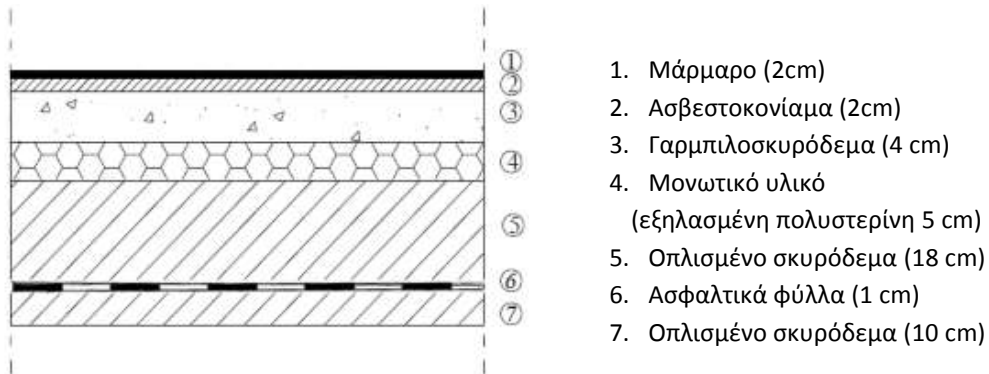
$$U_{εξεταζ.} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,337 W/(m^2K).$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,45 W/(m^2K)$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

### Δάπεδο

#### Υπολογισμός δαπέδου υπογείου



Πίνακας 3.36: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης δαπέδου

Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πάχος στρώσεως (d),[m]	Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ),[W/(mK)]	Θερμική αντίσταση (d/λ), [(m <sup>2</sup> k)/W]
Μάρμαρο	0,02	0,25	0,080
Ασβεστοκονίαμα	0,02	0,87	0,023
Γαρμπιλοσκυρόδεμα	0,04	0,64	0,063
Εξηλασμένη πολυστερίνη	0,05	0,033	1,515
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,18	2,3	0,078
Ασφαλτικά φύλλα	0,01	0,19	0,053
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,1	2,3	0,043
<b>Σύνολο</b>	<b>0,420</b>		<b>1,855</b>

Άρα η αντίσταση θερμοδιαφυγής του δομικού στοιχείου είναι:  $R_{ss} = 1,855 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων ελήφθησαν από τον Πίνακα 3.3.

Αφού το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο είναι σε επαφή με το έδαφος προκύπτει:

$$R_i = 0,17 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_a = 0,00 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Επομένως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{εξεταζ.}} = \frac{1}{R_i + R_{ss} + R_a} = 0,494 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι  $U_{max} = 0,90 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Συνεπώς το δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας.

### 3.3.7 Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας διαφανών δομικών στοιχείων

Στα κτίρια των Εκπαιδευτηρίων υπάρχουν δίδυμοι μονωτικοί υαλοπίνακες με διάκενο αέρα 6mm σε μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η χρονολογία των υαλοπινάκων ανά κτίριο.

**Πίνακας 3.37:** Χρονολογία εγκατάστασης υαλοπινάκων

Κτίριο	Χρονολογία
Παιδικός Σταθμός	1990
1ο Δημοτικό	1988
2ο Δημοτικό	2001
Γυμνάσιο	1990
Λύκειο	2000

Για τον υπολογισμό των συντελεστών  $U_w$  των διαφανών δομικών στοιχείων των κτιρίων μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους, υπολογίστηκαν τα εμβαδά κουφωμάτων και υαλοπινάκων, καθώς και η μεταξύ τους αναλογία (ποσοστό πλαισίου).

Από τον παρακάτω πίνακα για μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή και δίδυμο υαλοπίνακα με διάκενο αέρα 6mm, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο γραμμικής παρεμβολής για το ποσοστό πλαισίου του ανοίγματος, υπολογίσθηκε ο συντελεστής θερμοπερατότητας για κάθε τύπο κουφώματος.

**Πίνακας 3.38:** Τυπικές τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας κουφωμάτων  $U_w$  [ $W/(m^2K)$ ] ανάλογα με τον τύπο του πλαισίου, τον τύπο του υαλοπίνακα και το ποσοστό πλαισίου (Πηγή: ΤΟΤΕΕ).

Τύπος πλαισίου	Ποσοστό πλαισίου $F_f$	Υαλοπίνακας μονός	Δίδυμος υαλοπίνακας		Δίδυμος υαλοπίνακας με επιστρωση μεμβράνης χαμηλής εκπεριφωμότητας	
			με διάκενο αέρα 6 mm	με διάκενο αέρα 12 mm	με διάκενο αέρα 6 mm	με διάκενο Αέρα 12 mm
			[ % ]	[ $W/(m^2.K)$ ]	[ $W/(m^2.K)$ ]	[ $W/(m^2.K)$ ]
Μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή.	20%	6,0	4,1	3,7	3,6	3,0
	30%	6,1	4,5	4,1	4,0	3,5
	40%	6,2	4,8	4,5	4,4	4,0
Μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή 12 mm	20%	–	3,6	3,2	3,1	2,6
	30%	–	3,5	3,2	3,1	2,7
	40%	–	3,5	3,2	3,0	2,8
Μεταλλικά πλαίσια με θερμοδιακοπή 24 mm	20%	–	3,4	3,0	3,0	2,3
	30%	–	3,3	3,0	2,9	2,4
	40%	–	3,2	3,0	2,9	2,4
Συνθετικό πλαίσιο	20%	–	3,4	3,0	2,9	2,2
	30%	–	3,3	2,9	2,9	2,3
	40%	–	3,2	2,9	2,9	2,4
Ξύλινο πλαίσιο	20%	5,0	3,2	2,9	2,7	2,1
	30%	4,7	3,1	2,8	2,6	2,1
	40%	4,3	3,0	2,7	2,6	2,1
Διπλό παράθυρο (ξύλινο)*	20%	2,4	–	–	–	–
	30%	2,3	–	–	–	–
	40%	2,1	–	–	–	–
<b>Εξωτερικές Πόρτες</b>						
<b>Υλικό</b>	<b>Χωρίς υαλοπίνακες [<math>W/(m^2.K)</math>]</b>					
Μέταλλο	6,0					
Συνθετικό	3,5					
Ξύλο	3,5					

Στους παρακάτω πίνακες φαίνεται αναλυτικά ο υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας για ένα άνοιγμα και στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα για όλα τα κουφώματα των Εκπαιδευτηρίων.

**Πίνακας 3.39:** Προσδιορισμός συντελεστή θερμοπερατότητας κουφωμάτων

Περιγραφή	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	πάρχος πλαισίου (m)	αριθμός φύλλων	συνολικό εμβαδό ( $m^2$ )	εμβαδό υαλοπίνακα ( $m^2$ )	εμβαδό πλαισίου ( $m^2$ )	ποσοστό πλαισίου (%)	κάτω όριο ποσοστού πλαισίου (%)	$U_w$ για το κάτω όριο [ $W/(m^2.K)$ ]	πάνω όριο ποσοστού πλαισίου (%)	$U_w$ για το πάνω όριο [ $W/(m^2.K)$ ]	$U_w$ [ $W/(m^2.K)$ ] (ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ ΑΠΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ)
<b>Κουφώματα τάξεων (Α' τύπου)</b>	2,13	1,00	0,08	2	2,13	1,59	0,54	25,5	20,0	4,1	30,0	4,5	4,32



**Πίνακας 3.40:** Συντελεστής θερμοπερατότητας αδιαφανών στοιχείων παιδικού σταθμού

Παιδικός Σταθμός		
A/A	Περιγραφή	$U_w$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
1	Τάξεων πάνω τμήμα	4,20
2	Τάξεων κάτω τμήμα	4,28
3	Νηπιακού τμήματος (πάνω τμήμα)	4,29
4	Νηπιακού τμήματος (κάτω τμήμα)	4,46
5	Τουαλετών	4,36

**Πίνακας 3.41:** Συντελεστής θερμοπερατότητας αδιαφανών στοιχείων 1<sup>ου</sup> Δημοτικού

1ο Δημοτικό		
A/A	Περιγραφή	$U_w$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
1	Τάξεων Α' τύπου (πάνω τμήμα)	4,27
2	Τάξεων Α' τύπου (κάτω τμήμα)	4,21
3	Τάξεων Β' τύπου (πάνω τμήμα)	4,70
4	Τάξεων Β' τύπου (κάτω τμήμα)	4,44
5	Κύριας σκάλας (πάνω τμήμα)	4,22
6	Κύριας σκάλας (κάτω τμήμα)	4,20
7	Σκάλας εφεδρικής (πάνω τμήμα)	4,24
8	Σκάλας εφεδρικής (κάτω τμήμα)	4,16
9	Διαδρόμων (πάνω τμήμα)	4,20
10	Διαδρόμων (κάτω τμήμα)	4,18
11	Γραφείων σχολ. Συμβούλ. και Δασκάλων (πάνω τμήμα)	4,18
12	Γραφείων σχολ. Συμβούλ. και Δασκάλων (κάτω τμήμα)	4,15
13	Τουαλέτες	4,68
14	Υπογείου	4,74
15	Κεντρική θύρα (πάνω τμήμα)	4,29
16	Κεντρική θύρα (μεσαίο τμήμα)	4,39
17	Κεντρική θύρα (κάτω τμήμα)	4,52
18	Δευτερεύουσα θύρα (πάνω τμήμα)	4,80
19	Δευτερεύουσα θύρα (μεσαίο τμήμα)	4,40
20	Δευτερεύουσα θύρα (κάτω τμήμα)	4,04
21	Γραφείων Διευθυντών και Βιβλιοθήκη (πάνω τμήμα)	4,19
22	Γραφείων Διευθυντών και Βιβλιοθήκη (κάτω τμήμα)	4,17
23	Θύρα υπογείου (πάνω τμήμα)	4,55
24	Θύρα υπογείου (μεσαίο τμήμα)	4,40
25	Θύρα υπογείου (κάτω τμήμα)	4,04

**Πίνακας 3.42:** Συντελεστής θερμοπερατότητας αδιαφανών στοιχείων 2<sup>ου</sup> Δημοτικού

2ο Δημοτικό		
A/A	Περιγραφή	U <sub>w</sub> [W/(m <sup>2</sup> K)]
1	Τάξεων Α' τύπου (πάνω τμήμα)	4,50
2	Τάξεων Α' τύπου (κάτω τμήμα)	4,45
3	Τάξεων Β' τύπου (πάνω τμήμα)	4,43
4	Τάξεων Β' τύπου (κάτω τμήμα)	4,32

**Πίνακας 3.43:** Συντελεστής θερμοπερατότητας αδιαφανών στοιχείων Γυμνασίου

Γυμνάσιο		
A/A	Περιγραφή	U <sub>w</sub> [W/(m <sup>2</sup> K)]
1	Τάξεων Α' τύπου (πάνω τμήμα)	4,61
2	Τάξεων Α' τύπου (κάτω τμήμα)	3,60
3	Τάξεων Β' τύπου (πάνω τμήμα)	4,35
4	Τάξεων Β' τύπου (κάτω τμήμα)	4,39
5	Διάδρομοι (πάνω τμήμα)	4,26
6	Διάδρομοι (κάτω τμήμα)	4,22
7	Γραμματεία (πάνω τμήμα)	4,21
8	Γραμματεία (κάτω τμήμα)	4,34
9	Σκάλας	4,25
10	Μικρά	4,36
11	Τάξεων Γ' τύπου (πάνω τμήμα)	4,21
12	Τάξεων Γ' τύπου (κάτω τμήμα)	4,14
13	Γραφείου προέδρου	4,12

**Πίνακας 3.44:** Συντελεστής θερμοπερατότητας αδιαφανών στοιχείων Λυκείου

Λύκειο		
A/A	Περιγραφή	U <sub>w</sub> [W/(m <sup>2</sup> K)]
1	Κεντρική θύρα ισογείου (102)	
2	Αριστερά από κεντρική θύρα ισογείου (102)	4,74
3	Τάξεων Α' τύπου (πάνω τμήμα)	4,26
4	Τάξεων Α' τύπου (κάτω τμήμα)	4,32
5	Διαδρόμου πάνω τμήμα	4,42
6	Διαδρόμου κατώ τμήμα	4,56
7	Τάξεων Β' τύπου (πάνω τμήμα) (ανατολικά)	4,44
8	Τάξεων Β' τύπου (κάτω τμήμα) (ανατολικά)	4,58

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, στον οποίο περιγράφονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας διαφόρων δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη για κουφώματα ανοιγμάτων τοποθετημένα σε κτίρια που ανήκουν στη ζώνη Β, ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας είναι ίσος  $U_{w,max}=3,0$

W/(m<sup>2</sup>K). Όπως φαίνεται κι από τον παραπάνω πίνακα κανένα κούφωμα δεν πληροί τις απαραίτητες προδιαγραφές μιας και οι συντελεστές θερμοπερατότητας των κουφωμάτων των κτιρίων κυμαίνονται από 3,60 έως 4,80 W/(m<sup>2</sup>K).

### 3.3.8 Υπολογισμός μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας κτιρίων

Υπολογισμός θερμομόνωσης περιβλήματος παιδικού σταθμού

Για τον υπολογισμό του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του κτιρίου του παιδιού σταθμού είναι απαραίτητα τα αναλυτικά m<sup>2</sup> των διαφόρων επιφανειών του κτιρίου, τα οποία και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Στον εκάστοτε συντελεστή θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου έχει προστεθεί 0,1W/m<sup>2</sup>K, ώστε να ληφθούν υπόψη οι θερμογέφυρες, καθώς δεν υπολογίζονται αναλυτικά.

**Πίνακας 3.45:** Θερμομόνωση περιβλήματος παιδικού σταθμού

α/α	Δομικό στοιχείο	Επιφάνεια A <sub>j</sub> σε m <sup>2</sup>	Συντελεστής θερμοπερατότητας U <sub>j</sub> σε W/m <sup>2</sup> K	A <sub>j</sub> * U <sub>j</sub>
1	Εξωτερικοί τοίχοι	158,4	1,356	214,79
2	Ανοίγματα	49,5	4,42	218,79
3	Οροφή	86,65	0,446	38,65
4	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	86,65	2,517	218,10
<b>Σύνολο</b>		<b>381,2</b>		<b>690,33</b>

Ο συνολικός περιεχόμενος όγκος του κτιρίου είναι V = 294,61 m<sup>3</sup>. Η συνολική επιφάνεια υπολογίστηκε παραπάνω ίση με 381,2 m<sup>2</sup>. Από το πηλίκο A/V που προκύπτει, θα προσδιοριστεί ο επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας βάσει του Πίνακα 3.2. Με βάση τα δεδομένα του κτιρίου προκύπτει

$$\frac{A}{V} = \frac{381,2}{294,61} = 1,294 \text{ m}^{-1}$$

και από τον Πίνακα 3.2 για τη ζώνη Β, η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε μέγιστο επιτρεπόμενο συντελεστή θερμοπερατότητας U<sub>m,max</sub>= 0,73 W/m<sup>2</sup>K.

Τελικά, ο παιδικός σταθμός παρουσιάζει μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας ίσο με:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j * U_j}{\sum_{j=1}^n A_j} = \frac{690,33}{381,2} = 1,811 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Η τιμή αυτή υπερβαίνει την μέγιστη επιτρεπόμενη (U<sub>m,max</sub>=0,73 W/m<sup>2</sup>K) και το κτίριο δεν κρίνεται θερμομονωτικά μονωμένο, γεγονός αναμενόμενο αφού δε διαθέτει καθόλου θερμομόνωση.

Υπολογισμός θερμομόνωσης περιβλήματος 1<sup>ου</sup> δημοτικού

Για τον υπολογισμό του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του κτιρίου του 1<sup>ου</sup> δημοτικού είναι απαραίτητα τα αναλυτικά m<sup>2</sup> των διαφόρων επιφανειών του κτιρίου, τα οποία και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Στον εκάστοτε συντελεστή θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου έχει προστεθεί 0,1W/m<sup>2</sup>K, ώστε να ληφθούν υπόψη οι θερμογέφυρες, καθώς δεν υπολογίζονται αναλυτικά.

**Πίνακας 3.46:** Θερμομόνωση περιβλήματος 1<sup>ου</sup> Δημοτικού

α/α	Δομικό στοιχείο	Επιφάνεια A <sub>j</sub> σε m <sup>2</sup>	Συντελεστής θερμοπερατότητας U <sub>j</sub> σε W/m <sup>2</sup> K	A <sub>j</sub> * U <sub>j</sub>
1	Εξωτερικοί τοίχοι	950,7	0,678	644,58
2	Ανοίγματα	173,3	4,441	769,63
3	Οροφή	313,1	0,464	145,23
4	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	313,1	0,608	190,37
<b>Σύνολο</b>		<b>1.750,2</b>		<b>1.749,81</b>

Ο συνολικός περιεχόμενος όγκος του κτιρίου είναι V = 4.345 m<sup>3</sup>. Η συνολική επιφάνεια υπολογίστηκε παραπάνω ίση με 1.750,2 m<sup>2</sup>. Από το πηλίκο A/V που προκύπτει, θα προσδιοριστεί ο επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας βάσει του Πίνακα 3.2. Με βάση τα δεδομένα του κτιρίου προκύπτει

$$\frac{A}{V} = \frac{1.750,2}{4.345,0} = 0,403 \text{ m}^{-1}$$

και από τον Πίνακα 3.2 μέσω γραμμικής παρεμβολής για τη ζώνη Β, η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε μέγιστο επιτρεπόμενο συντελεστή θερμοπερατότητας U<sub>m,max</sub>= 1,029 W/m<sup>2</sup>K.

Τελικά, το 1<sup>ο</sup> Δημοτικό παρουσιάζει μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας ίσο με:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j * U_j}{\sum_{j=1}^n A_j} = \frac{1.749,81}{1.750,2} = 1,000 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Η τιμή αυτή δεν υπερβαίνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη (U<sub>m,max</sub>=1,029 W/m<sup>2</sup>K) και το κτίριο κρίνεται θερμομονωτικά επαρκώς μονωμένο.

Υπολογισμός θερμομόνωσης περιβλήματος 2<sup>ου</sup> δημοτικού

Για τον υπολογισμό του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του κτιρίου του 2<sup>ου</sup> δημοτικού είναι απαραίτητα τα αναλυτικά m<sup>2</sup> των διαφόρων επιφανειών του κτιρίου, τα οποία και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Στον εκάστοτε συντελεστή θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου έχει προστεθεί 0,1W/m<sup>2</sup>K, ώστε να ληφθούν υπόψη οι θερμογέφυρες, καθώς δεν υπολογίζονται αναλυτικά.

**Πίνακας 3.47:** Θερμομόνωση περιβλήματος 2<sup>ου</sup> Δημοτικού

α/α	Δομικό στοιχείο	Επιφάνεια $A_j$ σε $m^2$	Συντελεστής θερμοπερατότητας $U_j$ σε $W/m^2K$	$A_j * U_j$
1	Εξωτερικοί τοίχοι	582,72	0,533	310,59
2	Ανοίγματα	121,09	4,52	547,33
3	Οροφή	88,00	0,437	38,46
4	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	50,00	0,594	29,70
5	Επιφάνεια δαπέδου επί πιλοτής	38,00	0,606	23,03
<b>Σύνολο</b>		<b>879,81</b>		<b>949,11</b>

Ο συνολικός περιεχόμενος όγκος του κτιρίου είναι  $V = 1.014 m^3$ . Η συνολική επιφάνεια υπολογίστηκε παραπάνω ίση με  $879,81 m^2$ . Από το πηλίκο  $A/V$  που προκύπτει, θα προσδιοριστεί ο επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας βάσει του Πίνακα 3.2. Με βάση τα δεδομένα του κτιρίου προκύπτει

$$\frac{A}{V} = \frac{879,81}{1.014,0} = 0,868 m^{-1}$$

και από τον Πίνακα 3.2 μέσω γραμμικής παρεμβολής για τη ζώνη Β, η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε μέγιστο επιτρεπόμενο συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_{m,max} = 0,796 W/m^2K$ .

Τελικά, το 2<sup>ο</sup> Δημοτικό παρουσιάζει μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας ίσο με:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j * U_j}{\sum_{j=1}^n A_j} = \frac{949,11}{879,81} = 1,079 W/m^2K$$

Η τιμή αυτή υπερβαίνει την μέγιστη επιτρεπόμενη ( $U_{m,max} = 0,796 W/m^2K$ ) και το κτίριο κρίνεται μη επαρκώς μονωμένο.

#### Υπολογισμός θερμομόνωσης περιβλήματος γυμνασίου

Για τον υπολογισμό του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του γυμνασίου είναι απαραίτητα τα αναλυτικά  $m^2$  των διαφόρων επιφανειών του κτιρίου, τα οποία και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Στον εκάστοτε συντελεστή θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου έχει προστεθεί  $0,1 W/m^2K$ , ώστε να ληφθούν υπόψη οι θερμογέφυρες, καθώς δεν υπολογίζονται αναλυτικά.

**Πίνακας 3.48:** Θερμομόνωση περιβλήματος γυμνασίου

α/α	Δομικό στοιχείο	Επιφάνεια $A_j$ σε $m^2$	Συντελεστής θερμοπερατότητας $U_j$ σε $W/m^2K$	$A_j * U_j$
1	Εξωτερικοί τοίχοι	651,07	1,356	882,85

2	Ανοίγματα	200,45	4,4	881,98
3	Οροφή	271,66	0,446	121,16
4	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	248,29	2,923	725,75
5	Επιφάνεια δαπέδου επί πιλοτής	23,37	2,497	58,36
<b>Σύνολο</b>		1.394,84		2.670,09

Ο συνολικός περιεχόμενος όγκος του κτιρίου είναι  $V = 2.951,52 \text{ m}^3$ . Η συνολική επιφάνεια υπολογίστηκε παραπάνω ίση με  $1.394,84 \text{ m}^2$ . Από το πηλίκιο  $A/V$  που προκύπτει, θα προσδιοριστεί ο επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας βάσει του Πίνακα 3.2. Με βάση τα δεδομένα του κτιρίου προκύπτει

$$\frac{A}{V} = \frac{1.394,84}{2.670,09} = 0,522 \text{ m}^{-1}$$

και από τον Πίνακα 3.2 μέσω γραμμικής παρεμβολής για τη ζώνη Β, η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε μέγιστο επιτρεπόμενο συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_{m,max} = 0,969 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Τελικά, το γυμνάσιο παρουσιάζει μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας ίσο με:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j * U_j}{\sum_{j=1}^n A_j} = \frac{2.670,09}{1.394,84} = 1,914 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Η τιμή αυτή υπερβαίνει την μέγιστη επιτρεπόμενη ( $U_{m,max} = 0,969 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) και το κτίριο κρίνεται μη επαρκώς μονωμένο.

#### Υπολογισμός θερμομόνωσης περιβλήματος λυκείου

Για τον υπολογισμό του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του λυκείου είναι απαραίτητα τα αναλυτικά  $\text{m}^2$  των διαφόρων επιφανειών του κτιρίου, τα οποία και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Στον εκάστοτε συντελεστή θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου έχει προστεθεί  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ώστε να ληφθούν υπόψη οι θερμογέφυρες, καθώς δεν υπολογίζονται αναλυτικά.

**Πίνακας 3.49:** Θερμομόνωση περιβλήματος λυκείου

α/α	Δομικό στοιχείο	Επιφάνεια $A_j$ σε $\text{m}^2$	Συντελεστής θερμοπερατότητας $U_j$ σε $\text{W/m}^2\text{K}$	$A_j * U_j$
1	Εξωτερικοί τοίχοι	568,05	0,533	302,77
2	Ανοίγματα	112,79	4,35	490,64
3	Οροφή	141,58	0,437	61,87
4	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	141,58	0,594	84,10
<b>Σύνολο</b>		964,00		939,38

Ο συνολικός περιεχόμενος όγκος του κτιρίου είναι  $V = 1.887 \text{ m}^3$ . Η συνολική επιφάνεια υπολογίστηκε παραπάνω ίση με  $964 \text{ m}^2$ . Από το πηλίκο  $A/V$  που προκύπτει, θα προσδιοριστεί ο επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας βάσει του Πίνακα 3.2. Με βάση τα δεδομένα του κτιρίου προκύπτει

$$\frac{A}{V} = \frac{964}{1.887} = 0,511 \text{ m}^{-1}$$

και από τον Πίνακα 3.2 μέσω γραμμικής παρεμβολής για τη ζώνη Β, η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε μέγιστο επιτρεπόμενο συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_{m,max} = 0,975 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Τελικά, το λύκειο παρουσιάζει μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας ίσο με:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j * U_j}{\sum_{j=1}^n A_j} = \frac{939,38}{964,00} = 0,974 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Η τιμή αυτή είναι ακριβώς στο όριο με τη μέγιστη επιτρεπόμενη ( $U_{m,max} = 0,975 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) και το κτίριο κρίνεται οριακά επαρκώς μονωμένο.



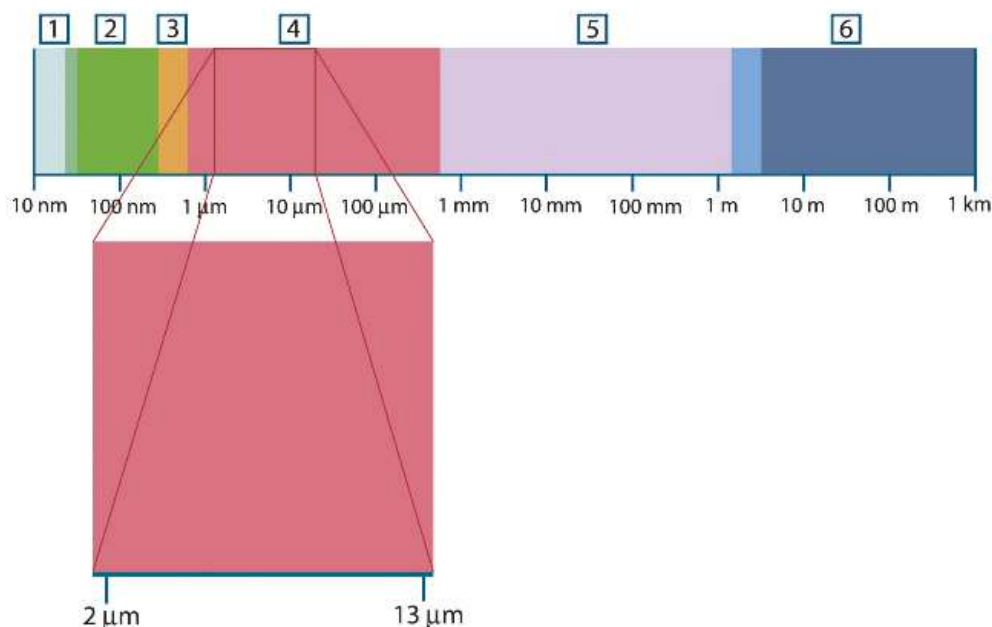


Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 4  
Μ Ε Τ Ρ Η Σ Ε Ι Σ Μ Ε  
Κ Α Τ Α Γ Ρ Α Φ Ι Κ Ο  
Ε Ξ Ο Π Λ Ι Σ Μ Ο



## 4.1 Μετρήσεις με Θερμοκάμερα

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα διαιρείται σε διάφορες περιοχές μήκους κύματος βάσει των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή και ανίχνευση της ακτινοβολίας. Η θερμογραφία αξιοποιεί τη ζώνη υπέρυθρων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.



**Εικόνα 4.1:** Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. 1:Ακτίνες Χ. 2. Υπεριώδες (UV). 3:Ορατό. 4:Υπέρυθρες (IR). 5:Μικροκύματα. 6:Ραδιοκύματα

Πηγή:[support.flir.com](http://support.flir.com)

Οι κάμερες υπέρυθρων μετρούν και απεικονίζουν την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα αντικείμενο. Το γεγονός ότι η ακτινοβολία αυτή είναι συνάρτηση της επιφανειακής θερμοκρασίας του αντικειμένου επιτρέπει στην κάμερα να υπολογίζει και να εμφανίζει την εν λόγω θερμοκρασία.

Η ακτινοβολία που μετράται από την κάμερα δεν εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία του αντικειμένου, αλλά είναι συνάρτηση και του συντελεστή εκπομπής. Ακτινοβολία εκπέμπεται από τον περιβάλλοντα χώρο και ανακλάται πάνω στο αντικείμενο. Η ακτινοβολία από το αντικείμενο και η ανακλώμενη ακτινοβολία επηρεάζονται επίσης και από την απορρόφηση της ατμόσφαιρας.

Για να μετρηθεί ακριβώς η θερμοκρασία του αντικειμένου θα πρέπει να γίνει αντιστάθμιση των επιπτώσεων μιας σειράς από διαφορετικές πηγές ακτινοβολίας. Αυτό γίνεται αυτόματα από την κάμερα. Θα πρέπει ωστόσο να ληφθούν υπόψη και οι ακόλουθες παράμετροι:

- Συντελεστής εκπομπής του αντικειμένου, ο οποίος αποτελεί μέτρο της ποσότητας της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το αντικείμενο σε σχέση με εκείνη του ιδανικού μέλανος σώματος στην ίδια θερμοκρασία.

- Φαινόμενη θερμοκρασία ανάκλασης, που χρησιμοποιείται ως μέσο αντιστάθμισης της ακτινοβολίας που ανακλάται πάνω στο αντικείμενο.
- Απόσταση του αντικειμένου από την κάμερα.
- Σχετική υγρασία.
- Θερμοκρασία της ατμόσφαιρας.

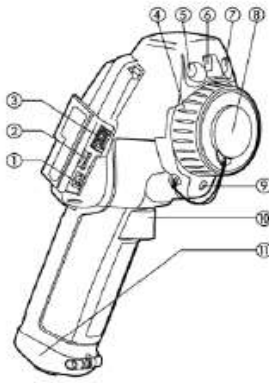
#### 4.1.1 Παρουσίαση θερμοκάμερας FLIR

Με τη χρήση της θερμοκάμερας μπορεί να αξιολογηθεί η κατάσταση της μόνωσης ενός κτιρίου, να ανιχνευθεί η εσωτερική υγρασία και να εντοπιστούν σημεία που συμβάλλουν στην απώλεια ενέργειας.

Η θερμοκάμερα που χρησιμοποιήθηκε για τη θερμογράφηση του υπό εξέταση κτιριακού συγκροτήματος είναι η Flir b50 που παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 4.2 : Η θερμοκάμερα Flir b50



1. υποδοχή σύνδεσης USB mini-B (για τη σύνδεση της κάμερας με υπολογιστή)
2. κάρτα μνήμης MicroSD™.
3. υποδοχή σύνδεσης USB A (για τη σύνδεση μιας συσκευής κάρτας μνήμης (memory stick) USB ή άλλης συσκευής USB με την κάμερα)
4. δακτύλιος εστίασης πάνω στο φακό υπέρυθρων
5. λυχνία ψηφιακής κάμερας
6. ψηφιακή κάμερα
7. λυχνία ψηφιακής κάμερας
8. καπάκι φακού
9. δείκτης λέιζερ
10. προγραμματιζόμενο πλήκτρο για την αποθήκευση εικόνων
11. κάλυμμα για τη υποδοχή της μπαταρίας, συμπεριλαμβανομένου του κουμπιού απασφάλισης.

1. Προστατευτικό ελαστικό πλαίσιο
2. Οθόνη LCD
3. Κουμπιά κατεύθυνσης
4. Αριστερό κουμπί επιλογής
5. Κουμπί κάμερας/αρχειοθέτησης
6. Κουμπί για την ενεργοποίηση του δείκτη λέιζερ.
7. Ενδεικτική λυχνία λειτουργίας.
8. Δεξί κουμπί επιλογής
9. Κουμπί On/Off.



**Εικόνα 4.3:** Παρουσίαση της κάμερας υπέρυθρων Flir b50.

Με τη Flir b50 μπορεί να ληφθεί η ψηφιακή και υπέρυθρη εικόνα (θερμογράφημα) του υπό εξέταση αντικειμένου, ενώ υπάρχει και η δυνατότητα πάνω στην ψηφιακή απεικόνιση που λαμβάνεται, να εμφανιστεί και το θερμογράφημα μιας συγκεκριμένης περιοχής της (λειτουργία εικόνα σε εικόνα).

Η θερμοκάμερα λειτουργεί με χρήση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπει κάθε αντικείμενο, η οποία εξαρτάται από την επιφανειακή θερμοκρασία του. Χρησιμοποιώντας μήκη κύματος εύρους 7,5 μέχρι 13μm η Flir b50 υπολογίζει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Το θερμογράφημα που προκύπτει παρουσιάζει τη διαφορά θερμοκρασίας των αντικειμένων χρησιμοποιώντας μια χρωματική παλέτα, αντιστοιχώντας μια συγκεκριμένη θερμοκρασία σε κάθε χρώμα. Στη συνέχεια με τη χρήση του συνοδευτικού λογισμικού Flir QuickReport επιτυγχάνεται περαιτέρω ανάλυση και επεξεργασία των υπέρυθρων φωτογραφιών για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Η χρήση του λογισμικού επιτρέπει την επεξεργασία των θερμογραφήματων, τον εντοπισμό θερμότερου και ψυχρότερου σημείου, την αλλαγή του εύρους της θερμοκρασιακής κλίμακας και της χρωματική παλέτας κα.

Με τη χρήση των υπέρυθρων φωτογραφιών εντοπίζονται οι θερμικές γέφυρες που υπάρχουν στο κέλυφος του κτιρίου λόγω κακής μόνωσης, τα σημεία διαφυγής θερμού αέρα, την ύπαρξη υγρασίας, τους υπάρχοντες αγωγούς, τα διαφορετικά υλικά και τις τυχόν εσωτερικές ανωμαλίες που μπορεί να έχουν παρουσιάσει.

#### 4.1.2 Ιδανικές συνθήκες δειγματοληψίας

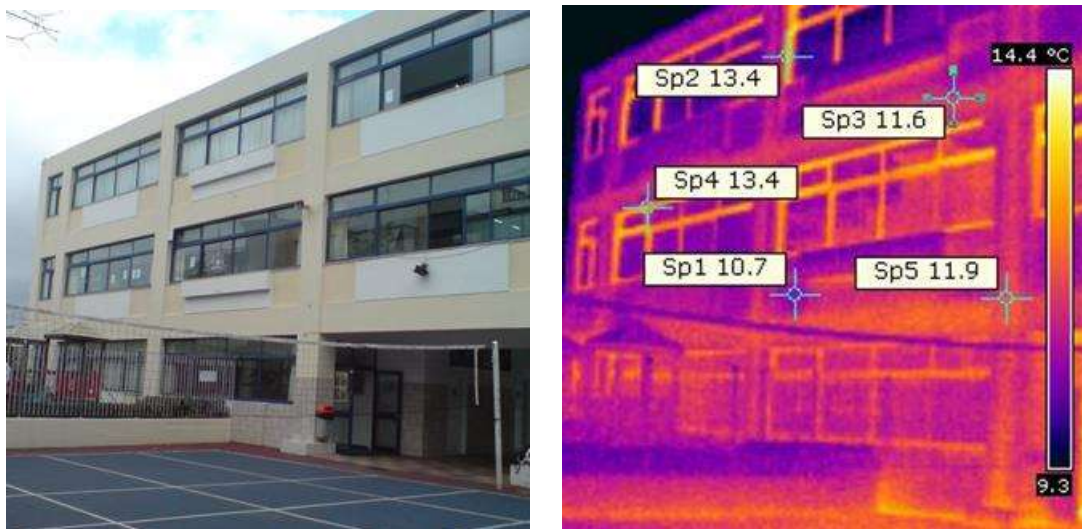
Για τη βέλτιστη αξιοποίηση των συμπερασμάτων που θα εξαχθούν από την επεξεργασία των υπέρυθρων εικόνων θα πρέπει πρώτα να βεβαιωθεί ότι αυτά είναι ακριβή. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή κάποιων βασικών κανόνων κατά τη θερμογράφιση ενός κτιρίου:

- Να υπάρχει απαραίτητα υψηλή διαφορά θερμοκρασίας (άνω των 10°C) ανάμεσα στο εσωτερικό και το εξωτερικό του κτιρίου.
- Να αποφεύγονται μέρες με βροχόπτωση και να προτιμώνται ημέρες με ηλιοφάνεια.
- Να υπάρχει χαμηλή ταχύτητα ανέμου (κάτω των 2 m/s).
- Το κτίριο θα πρέπει να θερμαίνεται ή να ψύχεται σταθερά ανάλογα με την εποχή.
- Σε περίπτωση νυχτερινής λήψης να είναι καθαρός ο ουρανός.

#### 4.1.3 Υπέρυθρες φωτογραφίες

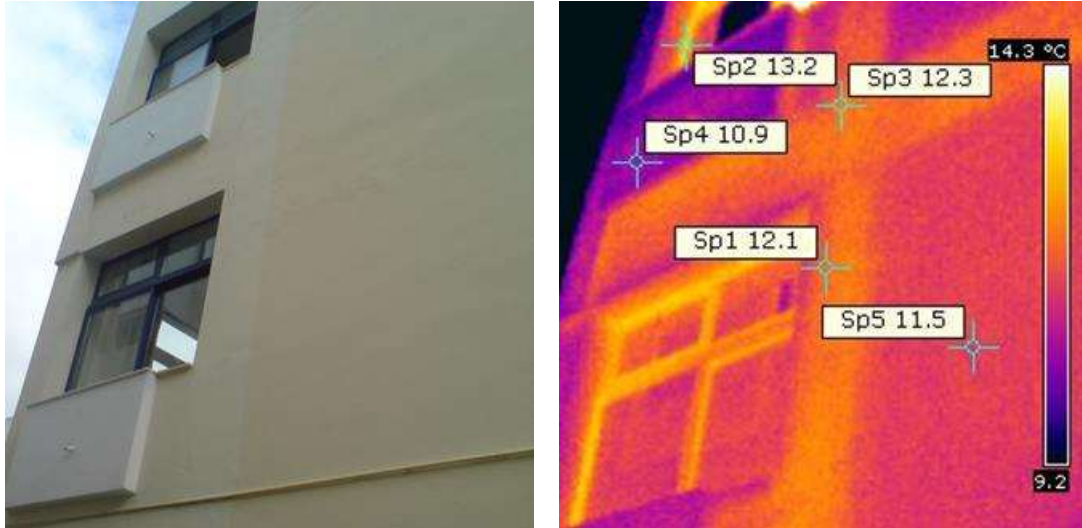
Η θερμογράφιση των «Εκπαιδευτηρίων Γεωργίου Ζώη» πραγματοποιήθηκε στις 21 Μαρτίου μεταξύ 7 και 11 το πρωί. Στη συνέχεια παρατίθενται οι ψηφιακές απεικονίσεις μαζί με το θερμογράφημά τους.

##### 4.1.3.1 Υπέρυθρες φωτογραφίες εξωτερικών χώρων



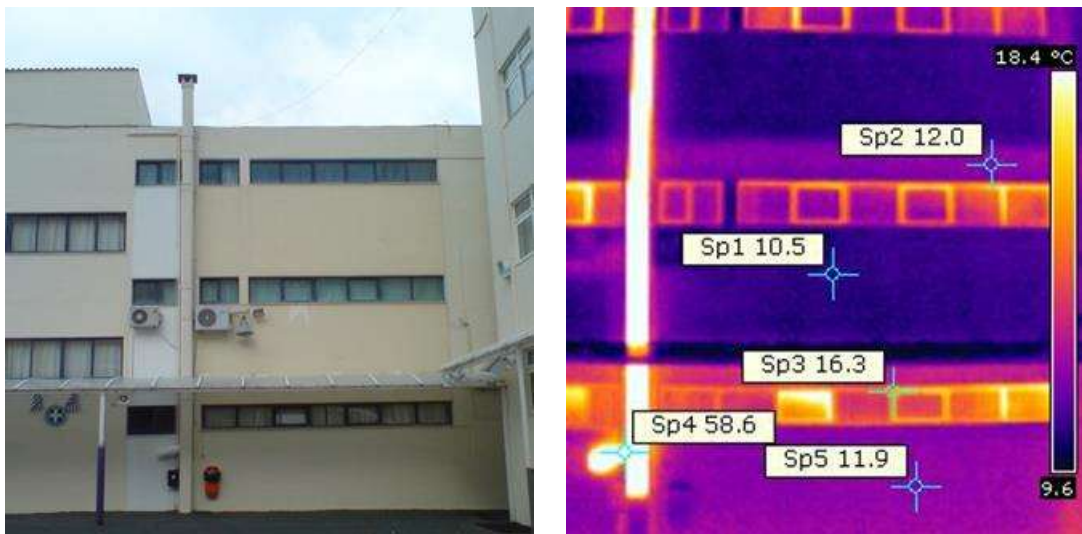
**Εικόνα 4.4:** Μπροστινή όψη του Γυμνασίου

Στην Εικόνα 4.4 η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του φέροντος οργανισμού στους 11,9 °C του κτιρίου και της τοιχοποιίας στους 10,7 °C δημιουργεί μικρές θερμογέφυρες. Εμφανίζεται όμως πρόβλημα στα κουφώματα του κτιρίου, που φτάνουν τους 13,4 °C καθώς υπάρχει ελλιπής μόνωση όπως υποδεικνύεται από τα θερμότερα χρώματα. Όπως υπολογίστηκε στο Κεφάλαιο 3 τα κουφώματα σε κανένα κτίριο, ανεξάρτητα του έτους κατασκευής του, δεν πληρούν τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας.



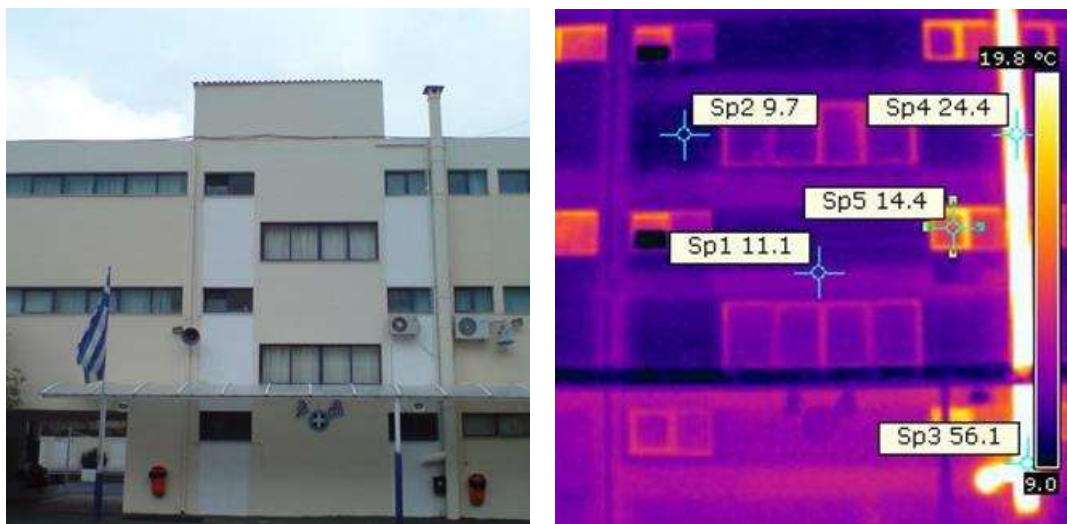
**Εικόνα 4.5:** Πλαϊνή όψη Γυμνασίου

Στην Εικόνα 4.5 παρατηρείται πάλι η ύπαρξη θερμογεφυρών μεταξύ φέροντος οργανισμού στους 12,3 °C και της τοιχοποιίας στους 10,9°C. Στην δεξιά πλευρά της υπέρυθρης φωτογραφίας εμφανίζεται αυξημένη και η θερμοκρασία της τοιχοποιίας η οποία δεν είναι μονωμένη έχοντας 11,5 °C. Τα κουφώματα των παραθύρων σημειώνουν όπως είναι αναμενόμενο τις υψηλότερες απώλειες θερμότητας, με τη θερμοκρασία στο σημείο να φτάνει τους 13,2°C.



**Εικόνα 4.6:** Η πίσω όψη του Γυμνασίου

Στην Εικόνα 4.6 παρατηρείται η μεγάλη διαφυγή θερμότητας μέσω του εξωτερικού αγωγού καυσαερίων του λέβητα που φτάνει τους 58,6 °C. Η θερμότητα αυτή φαίνεται να διαχέεται στο περιβάλλον και μέσα από τα γειτονικά κουφώματα και υαλοπίνακες, που έχουν πολύ μεγαλύτερη θερμοκρασία σε σχέση με αυτά που παρουσιάστηκαν μέχρι τώρα, στους 16,3 °C. Θερμογέφυρες μεταξύ φέροντος οργανισμού και τοιχοποιίας είναι ορατές.



**Εικόνα 4.7:** Η πίσω όψη του Γυμνασίου

Στην Εικόνα 4.7 παρατηρείται η πίσω όψη του Γυμνασίου από την αριστερή πλευρά του λεβητοστασίου. Η θερμότητα από τον σωλήνα εξακολουθεί να επηρεάζει τα γειτνιάζοντα κουφώματα και παράθυρα του κτιρίου, με ενδεικτικούς τους 14,4 °C του υαλοπίνακα. Η τοιχοποιία εμφανίζεται στην μικρότερη θερμοκρασία που έχει παρουσιαστεί μέχρι τώρα, στους 9,7 °C. Ταυτοχρόνα γίνεται καλύτερα αντιληπτή η ποσότητα θερμότητας που διαφεύγει από τα σημεία Sp3 και Sp4 που έχουν διαφορά θερμοκρασίας πάνω από 30 °C.

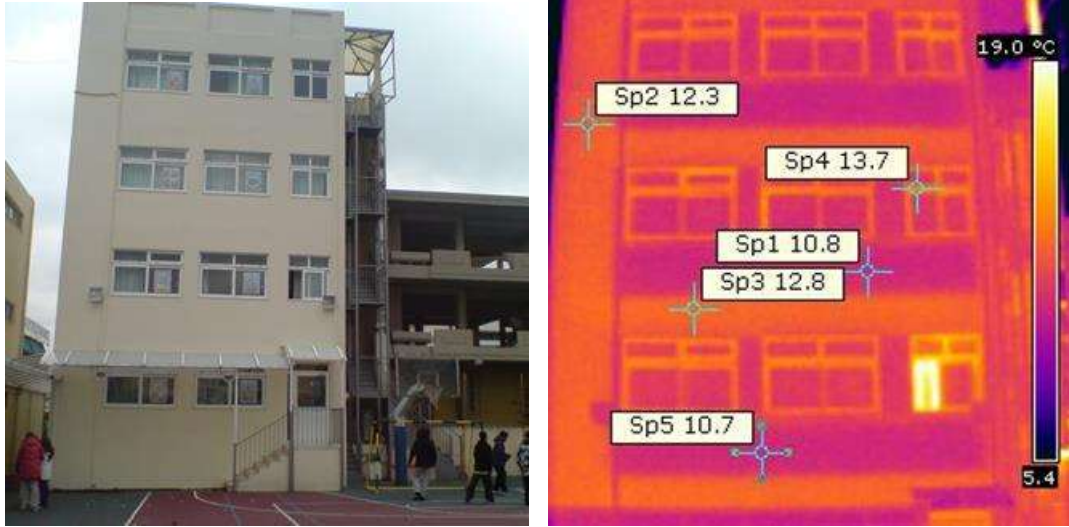


**Εικόνα 4.8:** Το λεβητοστάσιο στην πίσω όψη του Γυμνασίου

Στην Εικόνα 4.8 εμφανίζεται πως η θερμότητα της καπνοδόχου του λεβητοστασίου επηρεάζει τις γειτνιάζουσες επιφάνειες. Λόγω της μεγάλης θερμοκρασίας των αερίων που φτάνουν τους 73 °C, ο εξωτερικός αγωγός καυσαερίων εμφανίζεται ως το μόνο φωτεινό σημείο στο θερμογράφημα, μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία της από το σημείο SP1 και τους 61 °C στο σημείο Sp2 με 44,8 °C. Δίπλα στην καπνοσωλήνα το

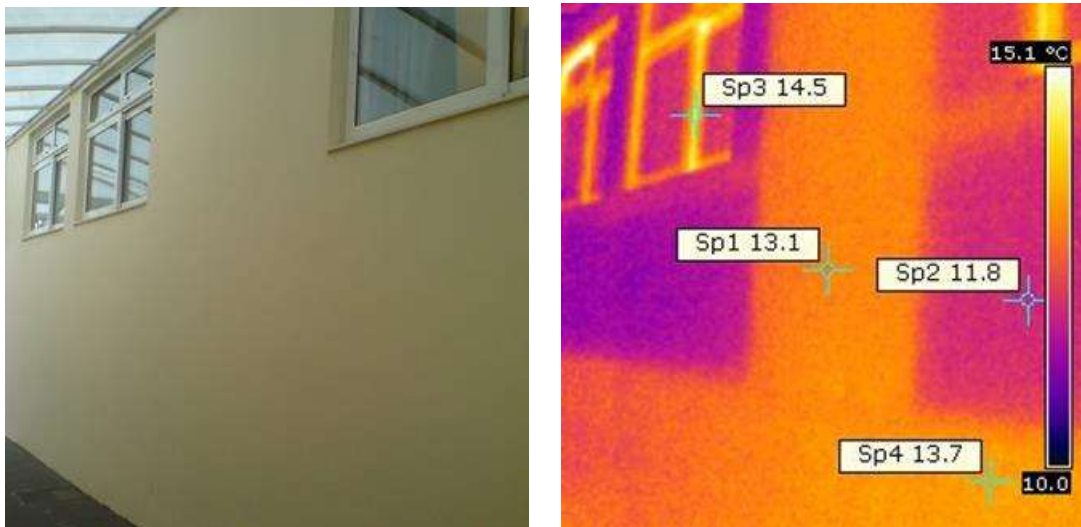


σημείο Sp3 είναι στους 19 °C και ο υαλοπίνακας στους 16,2°C. Κομμάτι της τοιχοποιίας παραμένει ωστόσο στους 12,7°C.



**Εικόνα 4.9:** Πλαϊνή όψη του Λυκείου

Στην Εικόνα 4.9 παρατηρείται επίσης διαφορά μεταξύ του φέροντα οργανισμού του κτιρίου που βρίσκεται στους 12,3 °C με 12,8 °C και της μονωμένης τοιχοποιίας με 10,7 °C έως 10,8 °C. Η απώλεια θερμότητας μέσω των κουφωμάτων παρουσιάζεται και σε αυτή την περίπτωση με 13,7 °C. Το φωτεινό χρώμα στην υπερυθρη φωτογραφία είναι απλά ένα ανοικτό παράθυρο, από το οποίο διαφεύγει η θερμότητα της αίθουσας στο περιβάλλον.



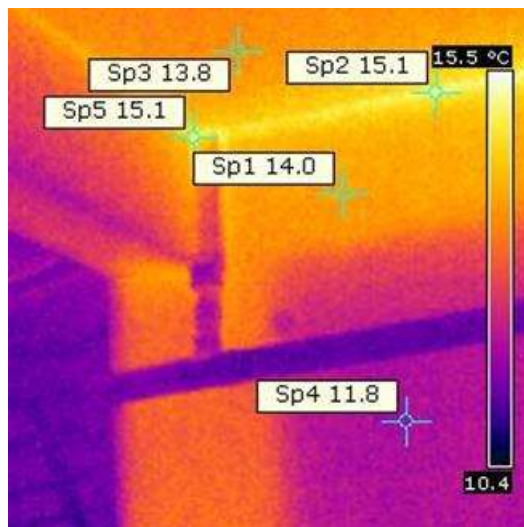
**Εικόνα 4.10:** Εξωτερική άποψη του Λυκείου

Στην Εικόνα 4.10 παρατηρούνται θερμογέφυρες μεταξύ του φέροντος οργανισμού του κτιρίου στους 13,1°C έως 13,7°C και της τοιχοποιίας τους 11,8°C. Εμφανίζεται και πάλι απώλεια θερμότητας από τα κουφώματα, που στην εικόνα παρουσιάζεται με έντονο φωτεινό χρώμα.



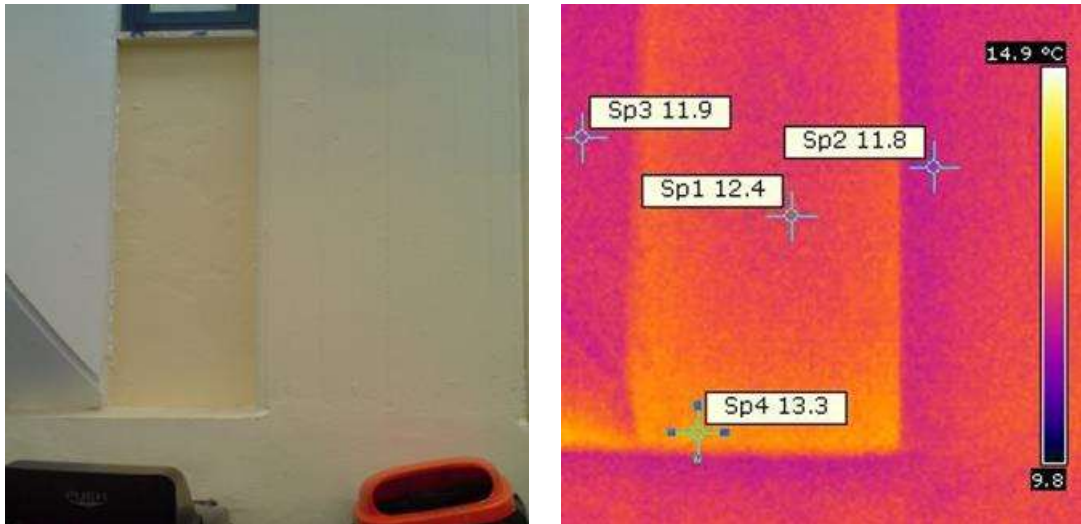
**Εικόνα 4.11:** Πλαϊνή όψη του 2<sup>ου</sup> Δημοτικού

Στην Εικόνα 4.11 παρατηρείται έντονη διαφυγή θερμότητας στο σημείο Sp1 που αποτελεί κάποιου είδους εξαιρισμό, ενώ και στο σημείο Sp2 η θερμοκρασία είναι στους 13,0°C .



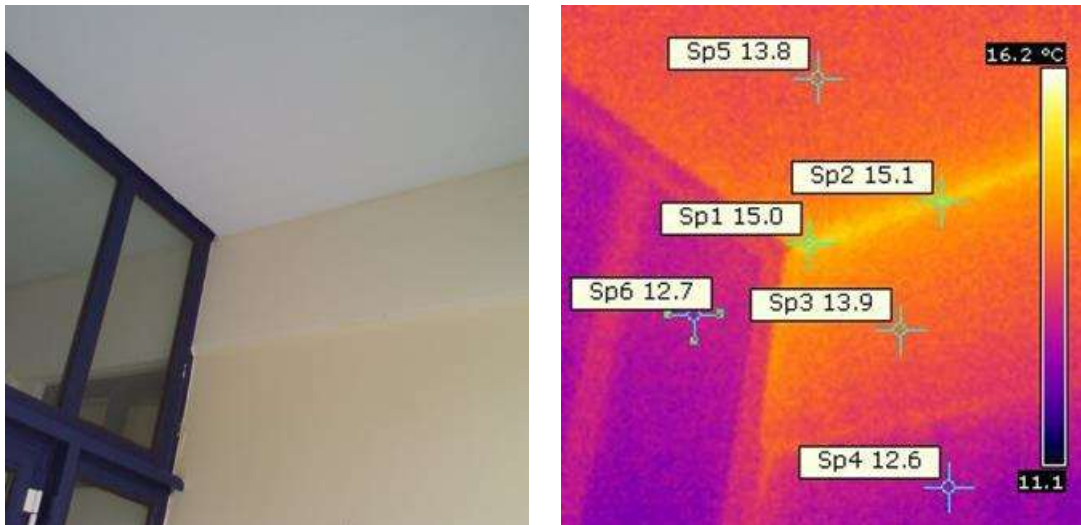
**Εικόνα 4.12:** Εξωτερικός τοίχος του 2<sup>ου</sup> Δημοτικού

Στην Εικόνα 4.12 παρατηρούνται έντονες θερμογέφυρες στα σημεία ένωσης του φέροντος οργανισμού, όπως είναι εμφανές στα σημεία Sp2 και Sp5 με 15,1°C. Η απώλεια θερμότητας δεν επηρεάζει την τοιχοποιία τόσο πολύ με 11,8°C, όσο το ταβάνι με 13,8°C .



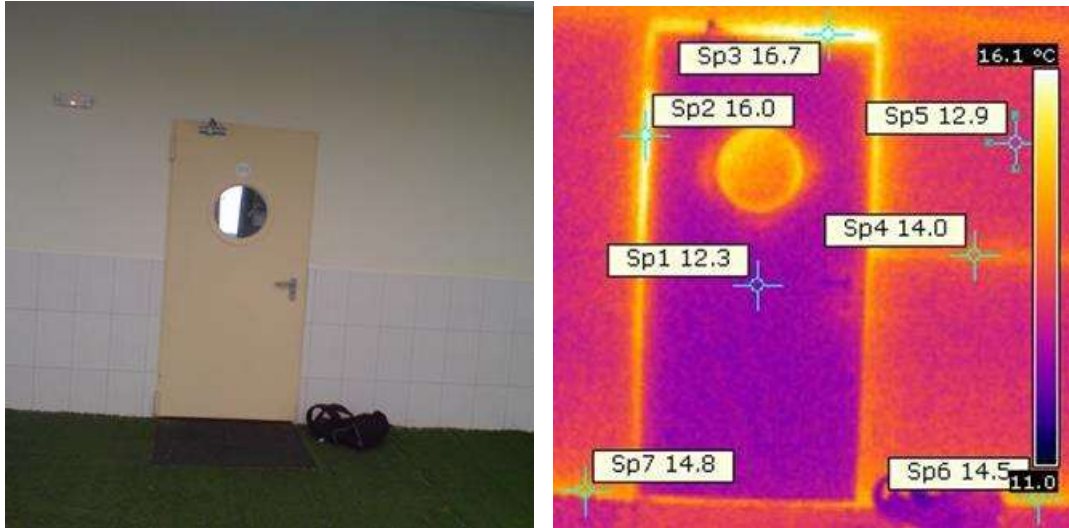
**Εικόνα 4.13:** Εξωτερική άποψη 1<sup>ου</sup> δημοτικού

Στην Εικόνα 4.13 παρατηρείται να είναι αυξημένη η θερμοκρασία στο κάτω μέρος της εσοχής του υαλοπίνακα, από 12,4 °C μέχρι 13,3°C, λόγω της απώλειας της θερμότητας που εμφανίζεται κατά την επαφή της με τον φέροντα οργανισμό. Είναι εμφανές ότι στο συγκεκριμένο σημείο το πάχος της τοιχοποιίας δεν είναι το ίδιο, με αποτέλεσμα μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας.



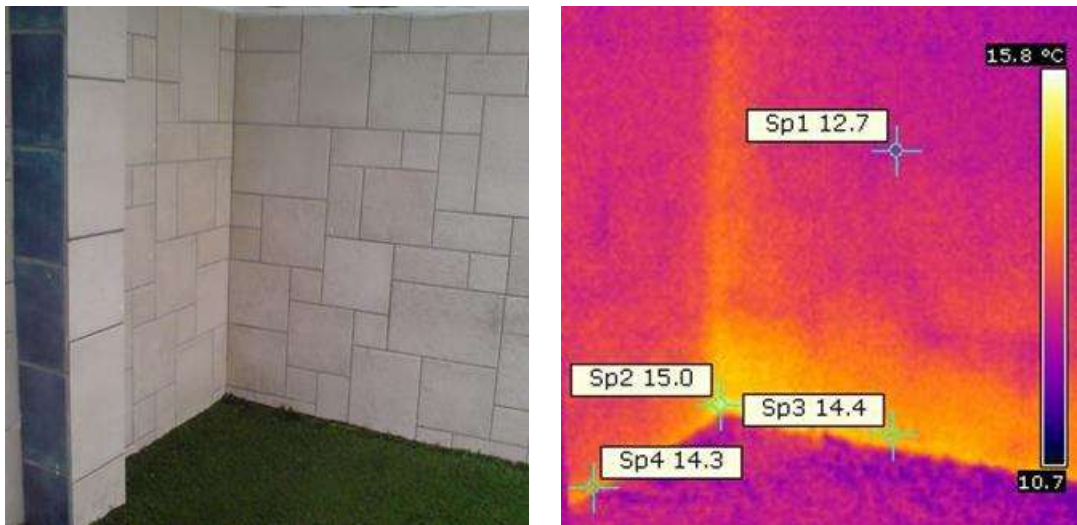
**Εικόνα 4.14:** Προθάλαμος του 1<sup>ου</sup> Δημοτικού

Στην Εικόνα 4.14 παρατηρείται στη γωνία θερμογέφυρα, όπως είναι αναμενόμενο, καθώς πρόκειται για σημείο ένωσης διαφορετικών υλικών. Η ένωση είναι στους 15,1°C, ενώ η τοιχοποιία και η τζαμαρία στους 12,7°C.



**Εικόνα 4.15:** Είσοδος στο 2<sup>ο</sup> Δημοτικό

Στην Εικόνα 4.15 παρατηρείται μεγάλη απώλεια θερμότητας μέσω του κουφώματος της πόρτας, φτάνοντας σε σημεία τους 16,7 °C. Παράλληλα εμφανίζονται ασυνέχειες στα σημεία ένωσης του δαπέδου με την τοιχοποιία. Αισθητή είναι και η διαφορά ανάμεσα στο κομμάτι της τοιχοποιίας που καλύπτεται από πλακάκια, και στο κομμάτι που παραμένει ακάλυπτο.



**Εικόνα 4.16:** Εξωτερική γωνία κτιρίου

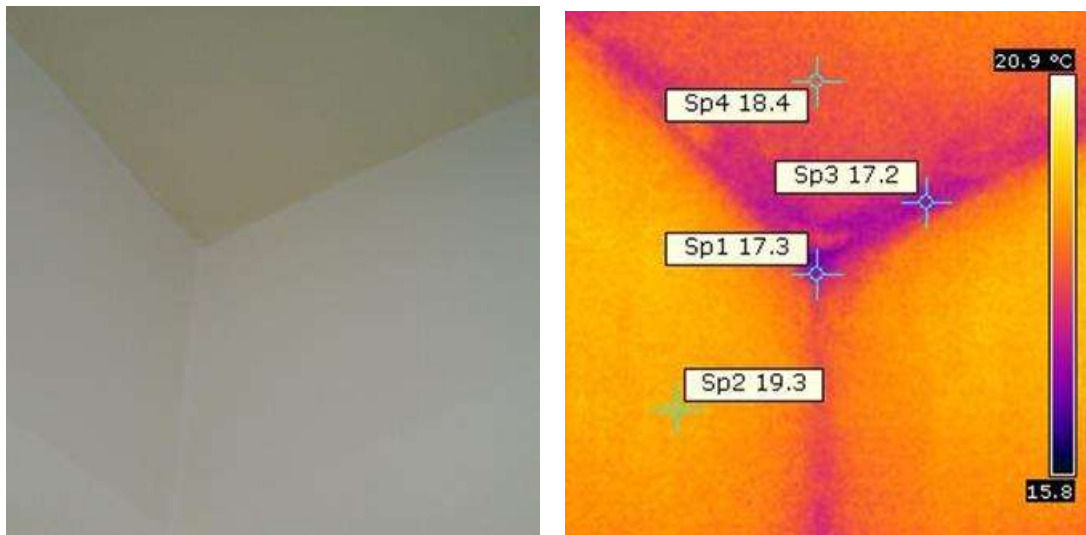
Στην Εικόνα 4.16 εμφανίζεται διαφυγή θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο στον εξωτερικό μέσω της συνένωσης του δαπέδου με την τοιχοποιία. Ενώ ο τοίχος στο σημείο Sp1 είναι στους 12,7 °C, στα σημεία της ένωσης φτάνει τους 15 °C, ενώ πιθανή είναι και η ύπαρξη υγρασίας στο κάτω δεξί μέρος της εικόνας. Πρόκειται για ένα ακόμα σημείο μη καλής συνένωσης διαφορετικών υλικών.

4.1.3.2 Υπέρυθρες φωτογραφίες εσωτερικών χώρων



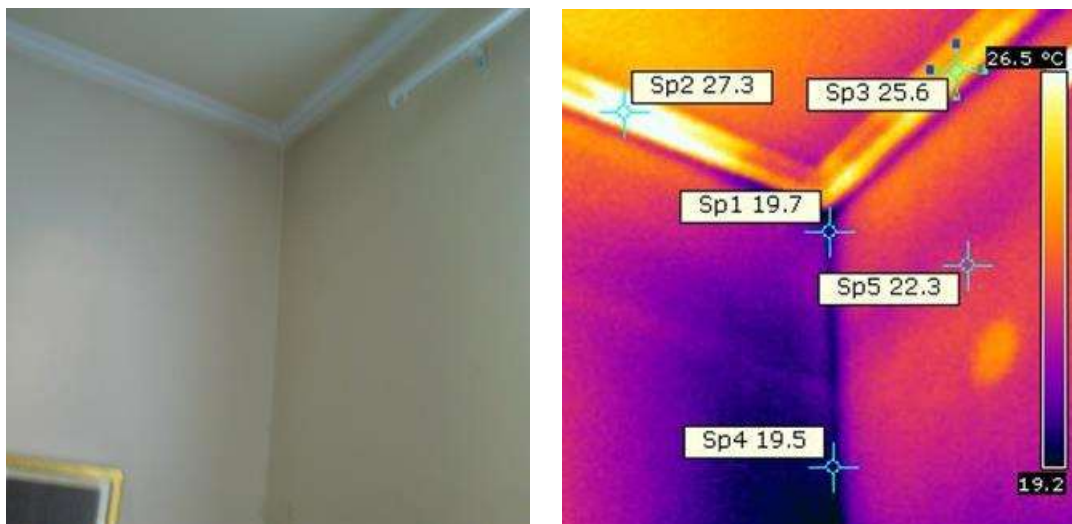
**Εικόνα 4.17:** Παράθυρο

Στην Εικόνα 4.17 παρατηρείται η απώλεια θερμότητας που λαμβάνει χώρα μέσω του κουφώματος αλλά και του υαλοπίνακα. Ενώ η θερμοκρασία του τοίχου είναι στους 25,4 °C , η θερμοκρασία που φτάνει το κούφωμα του υαλοπίνακα είναι 33,1 °C. Η έλλειψη μόνωσης του κουφώματος οδηγεί σε απορρόφηση μεγάλης ποσότητας θερμότητας. Παράλληλα, εμφανής είναι η σκίαση στο πάνω αριστερά μέρος της εικόνας, υποδεικνύοντας την πιθανή ύπαρξη υγρασίας.



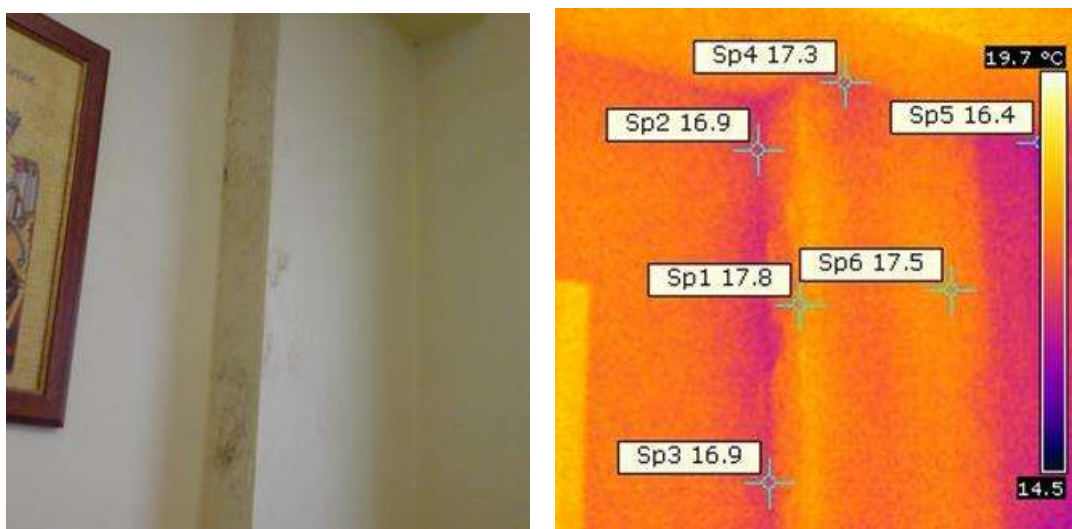
**Εικόνα 4.18:** Εσωτερική γωνία

Στην Εικόνα 4.18: εμφανίζεται μια εσωτερική γωνία αίθουσας, που στο σημείο της συνένωσης των τοίχων με το ταβάνι παρουσιάζει θερμογέφυρα και εμφανή ύπαρξη υγρασίας, καθώς βρίσκεται 2 °C χαμηλότερα από τον διπλανό τοίχο, σημεία Sp1 και Sp2 με 17,3 °C και 19,3 °C αντίστοιχα, ενώ υπάρχει και διάχυτη σκίαση.



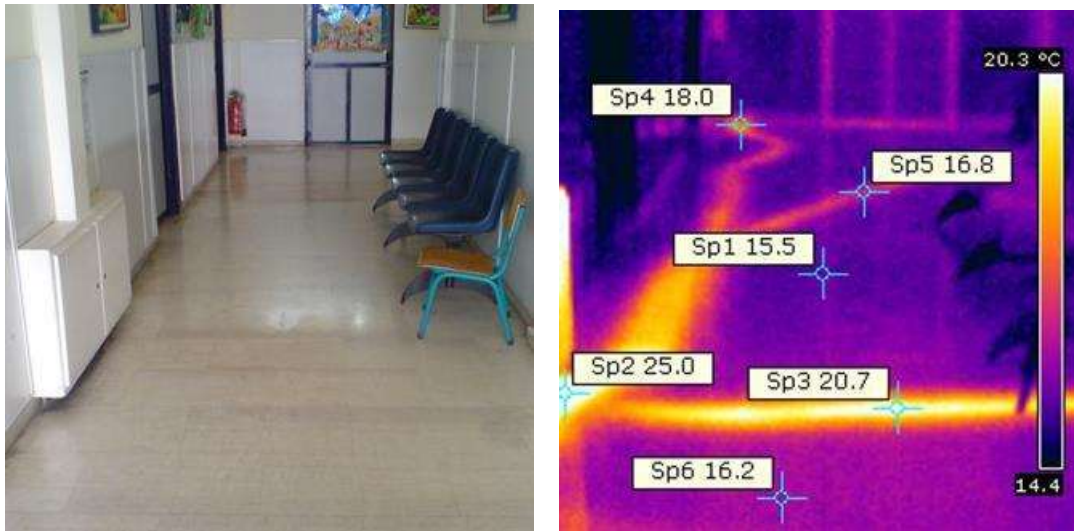
**Εικόνα 4.19:** Εσωτερική γωνία τοίχου

Στην Εικόνα 4.19 παρατηρείται σε πολύ μεγάλο βαθμό διαφυγή θερμότητας από την γωνιακή ένωση των δύο τοίχων. Στα σημεία της ένωσης Sp1 και Sp4 η θερμοκρασία κυμαίνεται από τους 19,5 °C έως τους 19,7 °C. Αντίθετα τα γύψινα του ταβανιού φτάνουν τους 27,3 °C. Ο γεινιάζοντας τοίχος είναι στους 22,3 °C. Παράλληλα, η αριστερή πλευρά του τοίχου είναι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα, ενώ η δεξιά με θερμαινόμενο χώρο, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται οι συγκεκριμένες διαφορές θερμοκρασίας.



**Εικόνα 4.20:** Εσωτερική γωνία τοίχου

Στην Εικόνα 4.20 παρουσιάζεται μικρή ασυνέχεια στο σημείο της ένωσης του φέροντα οργανισμού με τον τοίχο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα στα σημεία Sp2 και Sp3 να εμφανίζεται απώλεια θερμότητας, καθώς βρίσκονται στους 16,9 °C, ενώ ο υπόλοιπος τοίχος στους 17,5°C. Η ύπαρξη υγρασίας στο αριστερό μέρος της κολώνας είναι ορατή και με γυμνό μάτι, ενώ οι τοιχοποιίες που σχηματίζουν τη γωνία είναι εμφανώς σε επαφή με θερμαινόμενο και εξωτερικό χώρο αντίστοιχα.



**Εικόνα 4.21:** Εσωτερικός διάδρομος

Στην Εικόνα 4.21 εμφανίζεται η πορεία των αγωγών θέρμανσης μετά την έξοδο από το κουτί του ορόφου. Οι σωλήνες του καλοριφέρ ξεκινάνε από τους 25 °C και στην πορεία τους προσδίδουν θερμότητα στο δάπεδο, όπως παρατηρείται στα σημεία Sp1 με 15,5°C και Sp6 με 16,2 °C, μειώνοντας τη θερμοκρασία τους στους 18 °C και 16,8 °C. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να μελετηθεί καθώς δεν θα έπρεπε να υπάρχει τόσο μεγάλη απώλεια θερμότητας.

## 4.2 Μετρήσεις με αναλυτή ενέργειας

### 4.2.1 Παρουσίαση FLUKE 1735

Για τη μελέτη της ενεργειακής κατανάλωσης του συγκροτήματος «Εκπαιδευτήρια Γεωργίου Ζώη» χρησιμοποιήθηκε ο τριφασικός αναλυτής ηλεκτρικής ενέργειας FLUKE 1735 που απεικονίζεται στην ακόλουθη εικόνα.



**Εικόνα 4.22:** Αναλυτής ηλεκτρικής ενέργειας FLUKE 1735

Με τον αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας αξιολογείται η ενεργειακή κατανάλωση, μελετάται το συνδεδεμένο φορτίο και οι αρμονικές, και βελτιώνεται η αξιοπιστία του υπό μελέτη συστήματος εντοπίζοντας συμβάντα τάσης. Αυτό επιτυγχάνεται με την καταγραφή μεγεθών όπως η τάση, η ένταση του ρεύματος, η ενεργός και άεργος ισχύς, ο συντελεστής ισχύος, οι αρμονικές κ.α. για χρονικό διάστημα μέχρι και 45 ημερών.

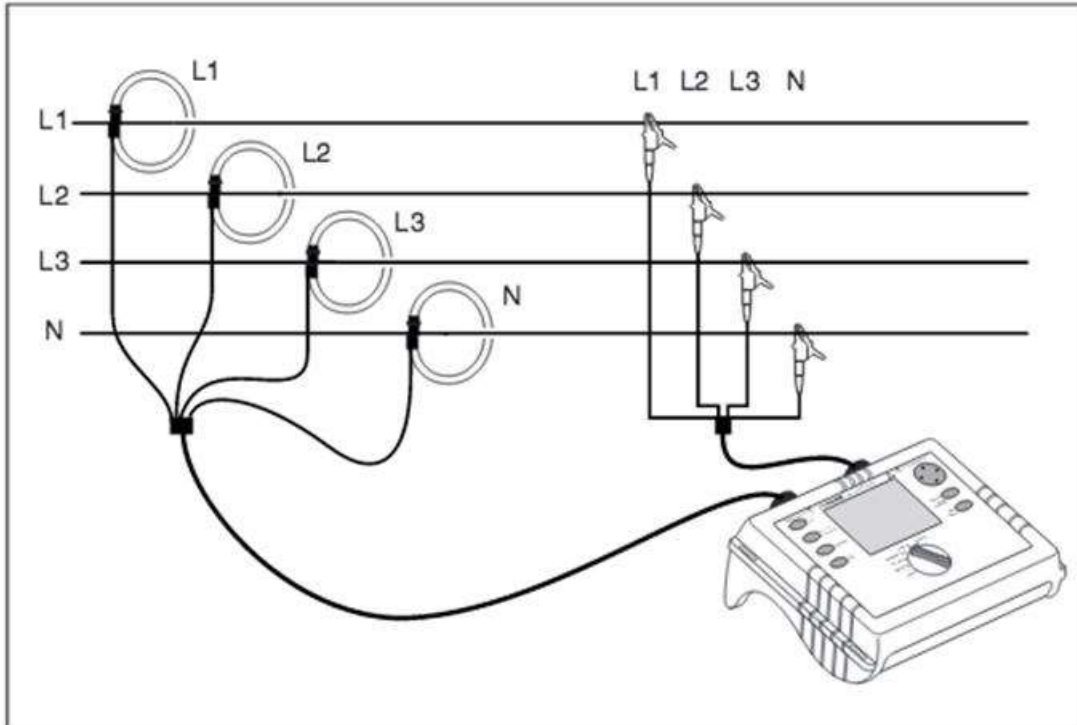
Στη συνέχεια με τη βοήθεια του λογισμικού FLUKE Power Log 2.9.2 είναι δυνατόν να μελετηθούν οι καταγεγραμμένες μετρήσεις και να παραχθούν τα σχετικά διαγράμματα.

Ο αναλυτής περιλαμβάνει τέσσερις ακροδέκτες τάσης και ρεύματος, φορτιστή και το λογισμικό του.



#### 4.2.2 Συνδεσμολογία οργάνου

Ο τριφασικός αναλυτής ηλεκτρικής ενέργειας συνδέθηκε σε συνδεσμολογία αστέρα στον κεντρικό ηλεκτρικό πίνακα του συγκροτήματος με βάση την ακόλουθη εικόνα.



**Εικόνα 4.23:** Συνδεσμολογία αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας

Σε κάθε φάση λοιπόν L1, L2, L3 και στον ουδέτερο συνδέθηκε ένας ακροδέκτης ρεύματος και τάσης, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στην τοποθέτηση του δεύτερου, καθώς η φορά του φορτίου θα πρέπει να ακολουθεί την ένδειξη της φοράς του βέλους πάνω στον ακροδέκτη.

Ο χρόνος για τη δειγματοληψία των μετρήσεων ορίστηκε στα πέντε λεπτά και ο αναλυτής παρέμεινε συνδεδεμένος από τις 12 μέχρι και τις 19 Σεπτεμβρίου του 2015.



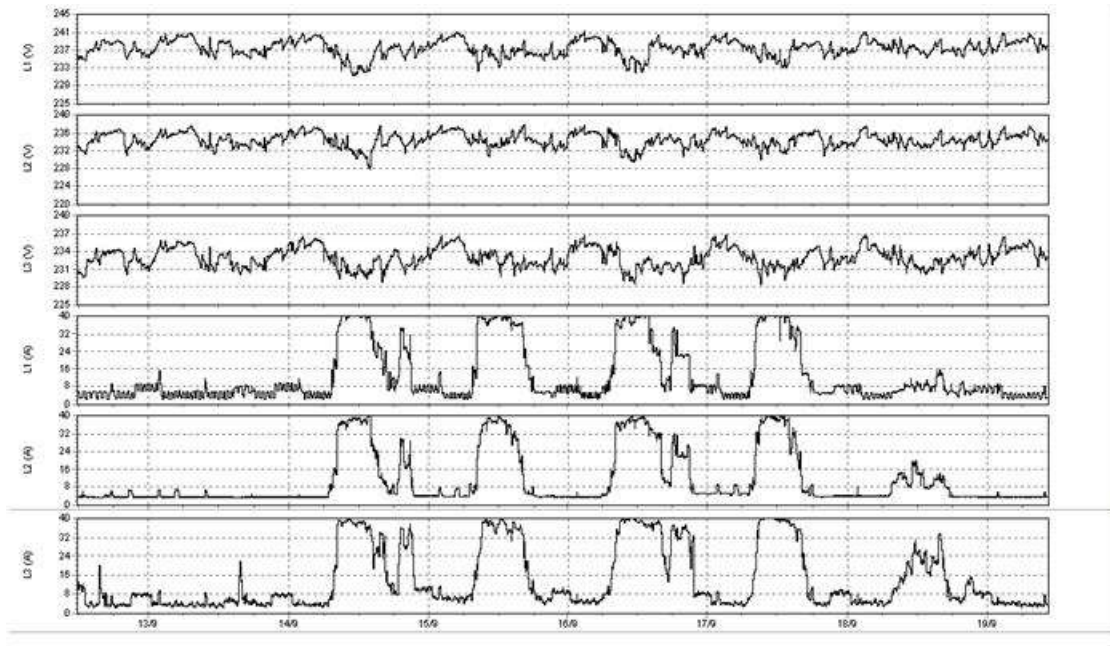
**Εικόνα 4.24α:** Ηλεκτρικός πίνακας του συγκροτήματος



**Εικόνα 4.24β:** Σύνδεση αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας στον πίνακα του συγκροτήματος

#### **4.2.3 Αποτελέσματα μετρήσεων του αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας**

Αρχικά στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η συνολική εικόνα των μετρήσεων της τάσης και του ρεύματος των τριών φάσεων για το χρονικό διάστημα 12 με 19 Σεπτεμβρίου του 2015.

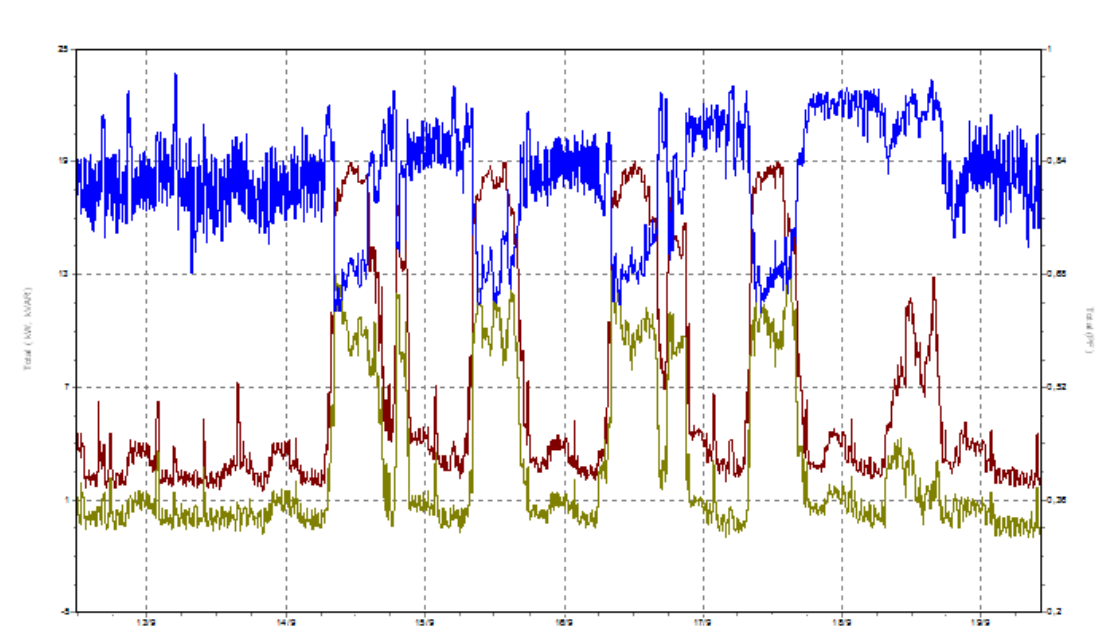


**Εικόνα 4.25:** Διάγραμμα μέσης τάσης και ρεύματος για τις τρεις φάσεις το χρονικό διάστημα 12-19/9/2015.

Όπως παρατηρείται εμφανίζονται κάποιες μικρές μόνο διακυμάνσεις στην τάση των τριών φάσεων, χωρίς να παρουσιάζονται ιδιαίτερα μεγάλες βυθίσεις ή ανυψώσεις. Η τάση στον αγωγό L1 κυμαίνεται στα 231 έως 242 Volt, δηλαδή περίπου στα 2 με 5 Volt υψηλότερα από τις υπόλοιπες, ενώ οι L2 και L3 είναι μεταξύ 228- 238 Volt και 229 – 237 Volt αντίστοιχα. Σύμφωνα με τα όρια του Ελληνικού Προτύπου ΕΛΟΤ EN 50160 / 25.05.2000 τα αποδεκτά όρια για τις μετρούμενες τιμές τάσης θα πρέπει να βρίσκονται μεταξύ των ορίων  $230 \pm 10\%$  (δηλαδή 207V έως 253 V), τα οποία πληρούνται.

Οι καμπύλες του ρεύματος στις ώρες λειτουργίας παρουσιάζουν μια σχετική ομοιομορφία για τις τέσσερις ημέρες που λειτούργησε, δηλαδή από τις 14 έως και τις 17 Σεπτεμβρίου. Για το υπόλοιπο χρονικό διάστημα παρουσιάζεται μια διαφοροποίηση του ρεύματος στους τρεις αγωγούς. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στη χρησιμοποίηση κάποιου μηχανήματος όπως πχ για ηλεκτροσυγκόληση κατά τη διάρκεια των οικοδομικών εργασιών επέκτασης. Οι τιμές της έντασης του ρεύματος σε όλους τους αγωγούς κυμαίνονται μεταξύ 2 με 40A.

Στις επόμενες γραφικές παραστάσεις θα μελετηθούν οι μεταβολές της καταναλισκόμενης και απορροφούμενης ισχύος καθώς και του συντελεστή ισχύος σε εβδομαδιαία και ημερήσια βάση. Ο μέσος συντελεστής ισχύος απεικονίζεται στο διάγραμμα με μπλε χρώμα, η ενεργή ισχύς με κόκκινο χρώμα και η άεργος ισχύς με πράσινο χρώμα.



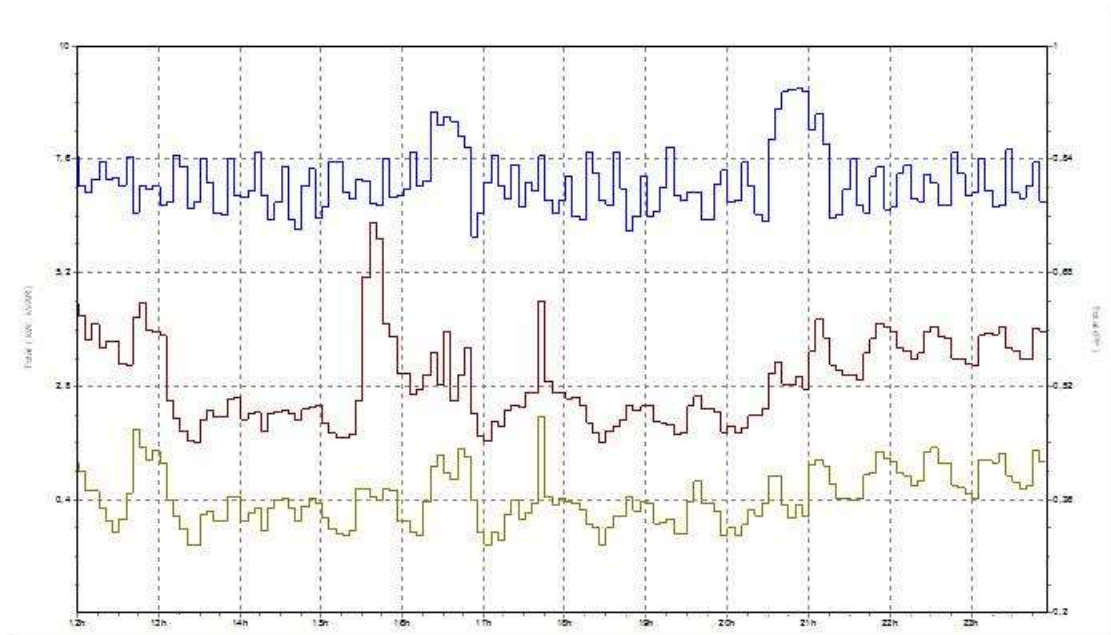
**Εικόνα 4.26:** Διάγραμμα μέσου συντελεστή ισχύος, ενεργού και αέργου ισχύος για το χρονικό διάστημα 12/9/2015 – 19/9/2015.

Στις εργάσιμες ημέρες η μέγιστη ενεργός ισχύς φτάνει τα 18 KW. Όταν το κτιριακό συγκρότημα είναι κλειστό η τιμή της ενεργού ισχύος διαμορφώνεται περίπου στο φορτίο βάσης που είναι 2,7 KW, με κάποιες μικρές διακυμάνσεις λόγω των εργασιών που γίνονται στο χώρο. Η μέγιστη ζήτηση φορτίου παρουσιάζεται στις ώρες λειτουργίας των τάξεων του σχολικού συγκροτήματος μεταξύ 8 το πρωί με 4 το απόγευμα, με εξαίρεση τη διεξαγωγή συγκεντρώσεων γονέων τις βραδυνές ώρες, όπως παρατηρείται στις 14 και 16 Σεπτεμβρίου το βράδυ.

Η άεργος ισχύς παρατηρείται ότι έχει θετικό πρόσημο, με αποτέλεσμα το κύκλωμα να παρουσιάζει επαγωγική συμπεριφορά, πιθανότατα λόγω του μεγάλου αριθμού λαμπτήρων φθορισμού με ballast, των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των κλιματιστικών μηχανημάτων. Είναι εμφανές ότι κατά τις ώρες λειτουργίας των εκπαιδευτηρίων εμφανίζεται μεγάλη απορρόφηση αέργου ισχύος από το δίκτυο με αποτέλεσμα να επηρεάζεται ο συντελεστής ισχύος.

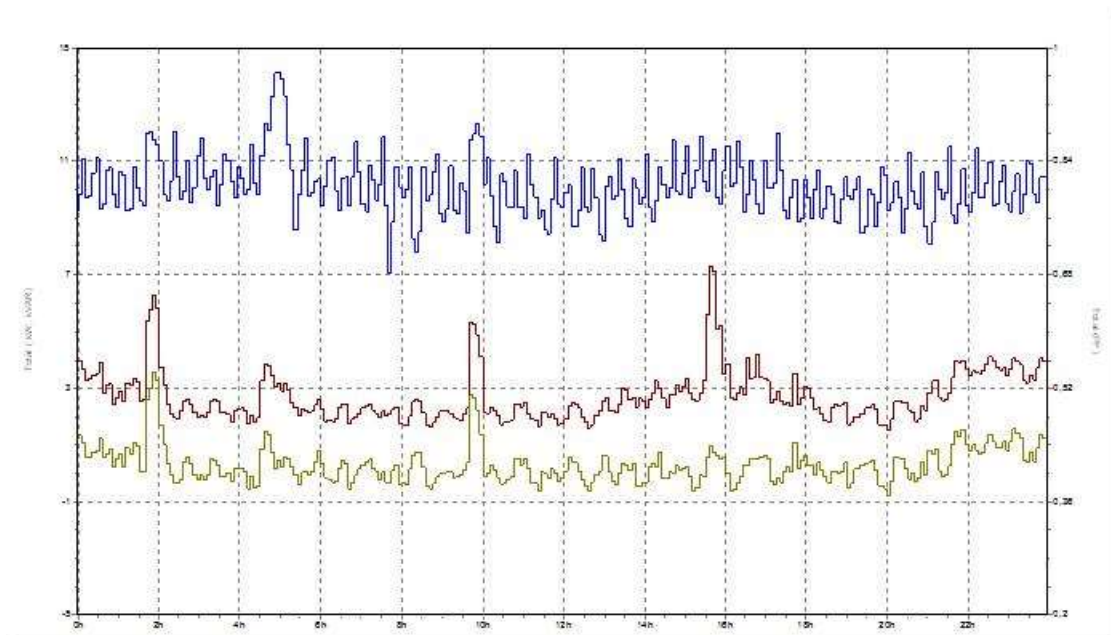
Ο συντελεστής ισχύος είναι πολύ υψηλός στις ώρες μη λειτουργίας του συγκροτήματος και προσεγγίζει το 0,96 και φτάνοντας στο 0,62 στις ώρες λειτουργίας. Η χαμηλή αυτή τιμή σημαίνει ότι εμφανίζεται μεγάλη απορρόφηση έντασης ρεύματος από το δίκτυο, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται μεγάλες απώλειες ισχύος στις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και ταυτόχρονα να απαιτείται αύξηση της παραγωγής της άεργου ισχύος από τις γεννήτριες του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

Αναλυτικά τώρα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων ανά ημέρα.

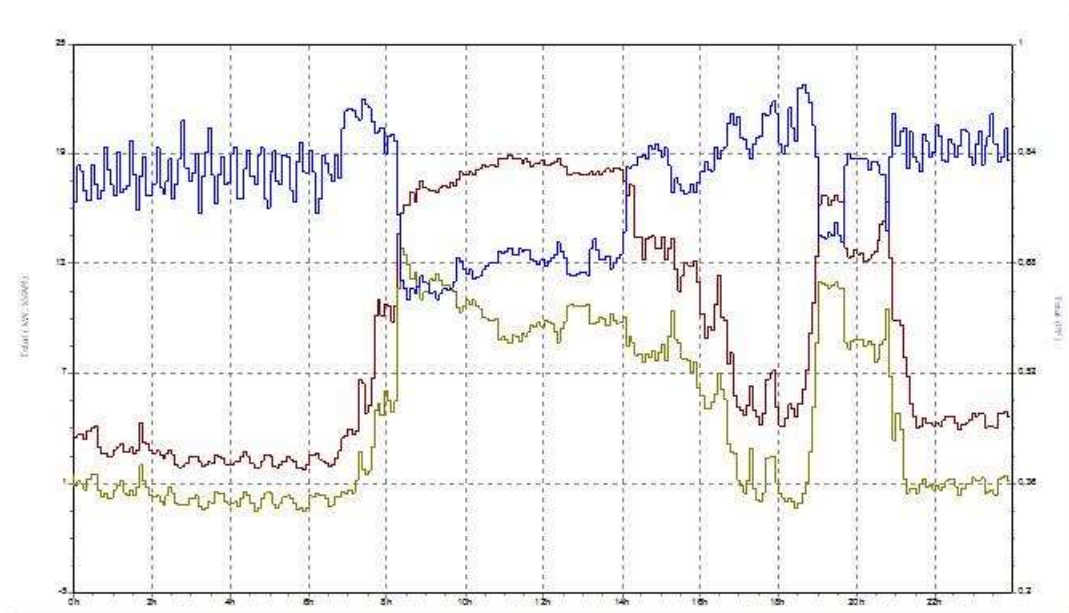


**Εικόνα 4.27:** Διάγραμμα μέσης ενεργού και αέργου ισχύος και του μέσου συντελεστή ισχύος για το Σάββατο 12/9/2015 – μη εργάσιμη ημέρα.

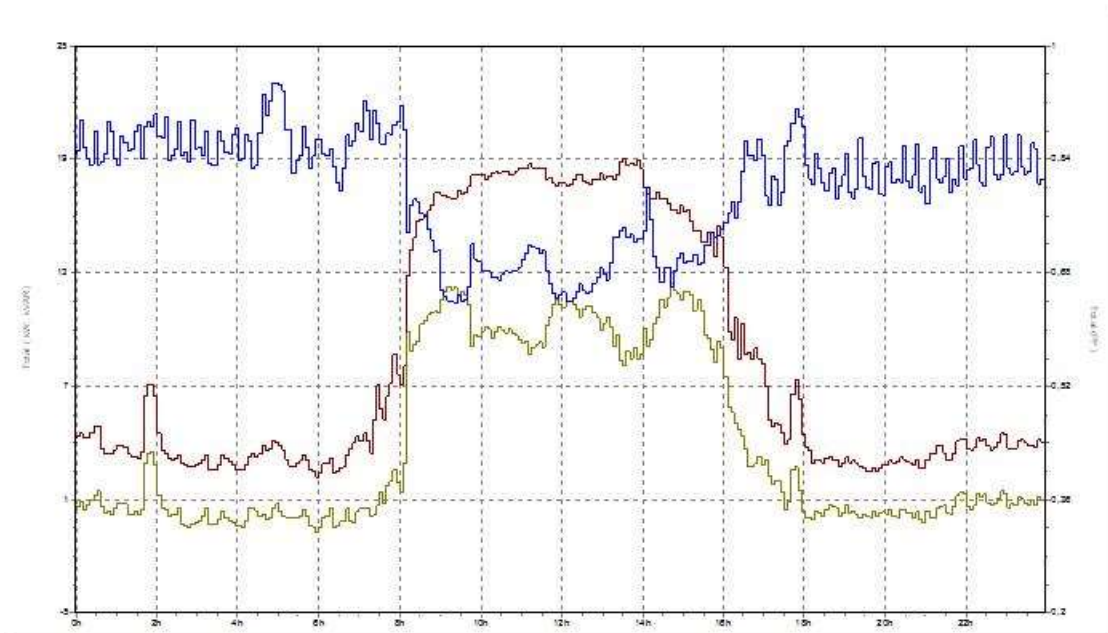
Ο αναλυτής της ηλεκτρικής ενέργειας συνδέθηκε στις 12 το μεσημέρι, οπότε και ξεκίνησε η καταγραφή των μετρήσεων.



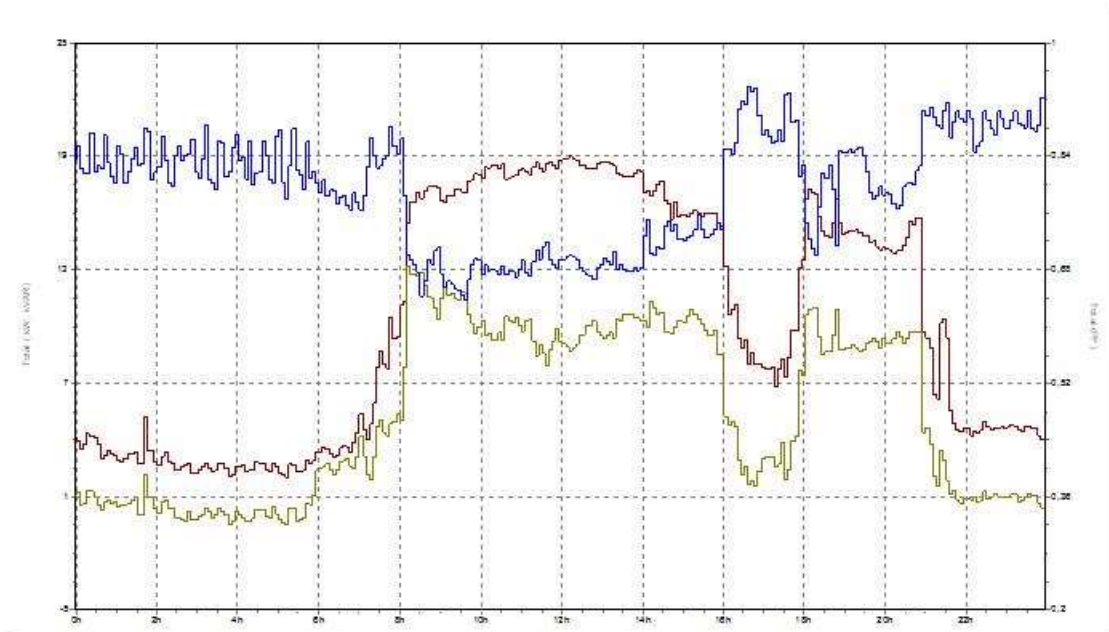
**Εικόνα 4.28:** Διάγραμμα μέσης ενεργού και αέργου ισχύος και του μέσου συντελεστή ισχύος για τη Κυριακή 13/9/2015 – μη εργάσιμη ημέρα.



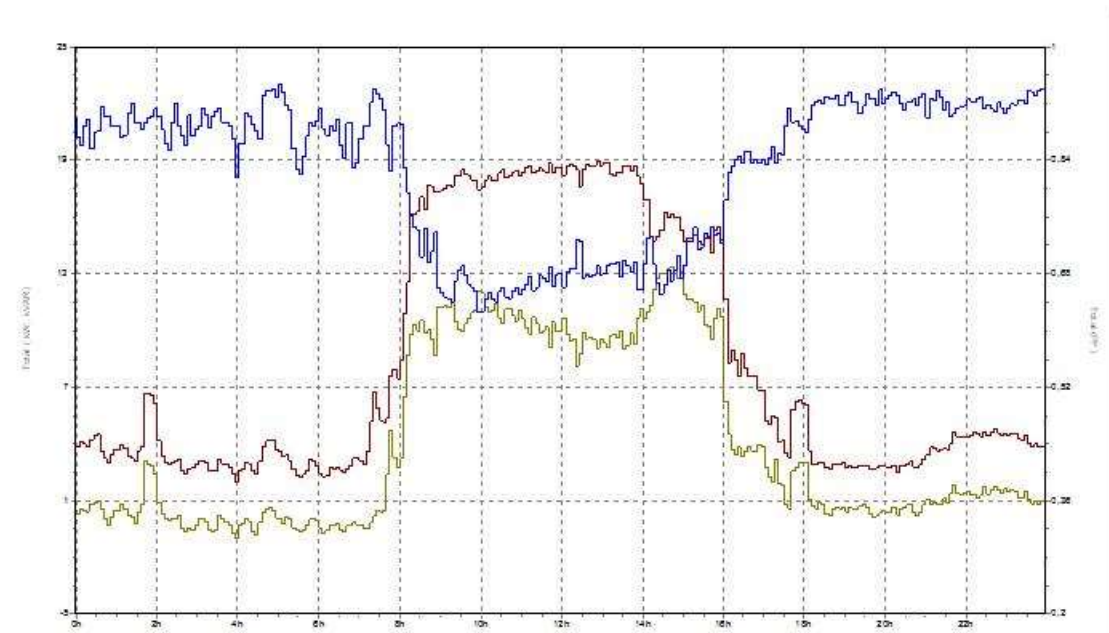
**Εικόνα 4.29:** Διάγραμμα μέσης ενεργού και αέργου ισχύος και του μέσου συντελεστή ισχύος για τη Δευτέρα 14/9/2015 – εργάσιμη ημέρα.



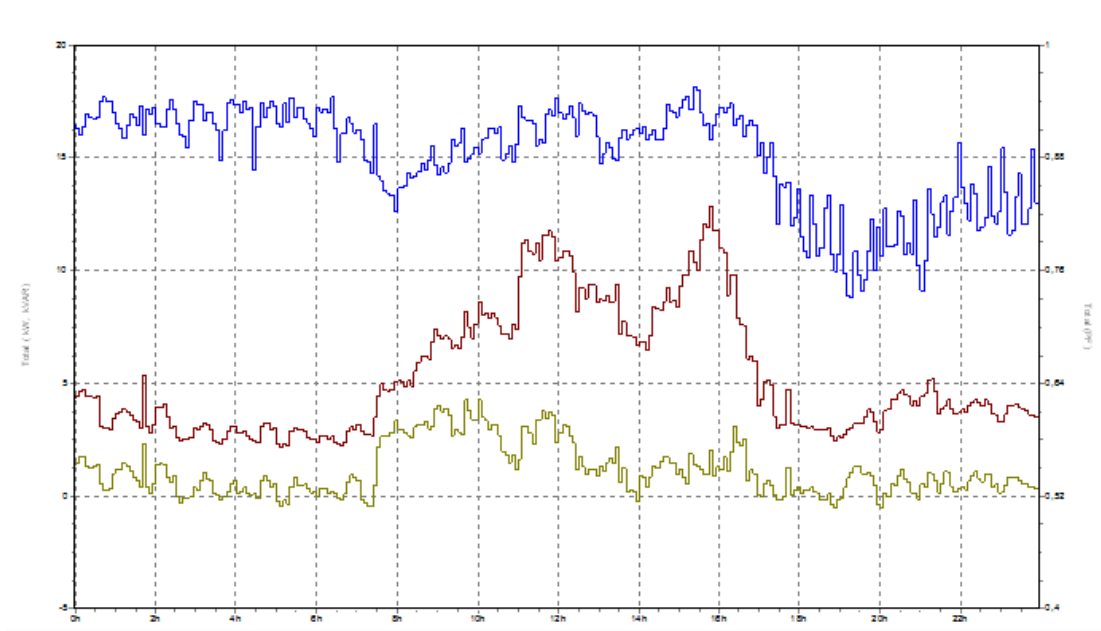
**Εικόνα 4.30:** Διάγραμμα μέσης ενεργού και αέργου ισχύος και του μέσου συντελεστή ισχύος για τη Τρίτη 15/9/2015 – εργάσιμη ημέρα.



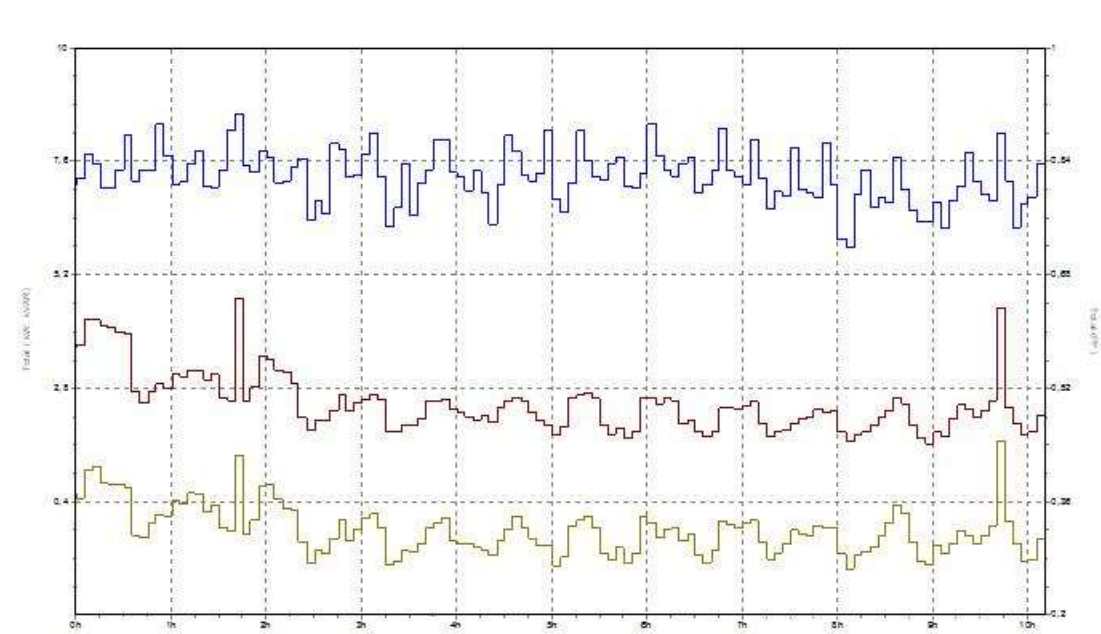
**Εικόνα 4.31:** Διάγραμμα μέσης ενεργού και αέργου ισχύος και του μέσου συντελεστή ισχύος για τη Τετάρτη 16/9/2015 — εργάσιμη ημέρα.



**Εικόνα 4.32:** Διάγραμμα μέσης ενεργού και αέργου ισχύος και του μέσου συντελεστή ισχύος για τη Πέμπτη 17/9/2015 – εργάσιμη ημέρα.



**Εικόνα 4.33:** Διάγραμμα μέσης ενεργού και αέργου ισχύος και του μέσου συντελεστή ισχύος για τη Παρασκευή 18/9/2015 – μη εργάσιμη ημέρα.



**Εικόνα 4.34:** Διάγραμμα μέσης ενεργού και αέργου ισχύος και του μέσου συντελεστή ισχύος για το Σάββατο 19/9/2015 – μη εργάσιμη ημέρα.

Ο αναλυτής της ηλεκτρικής ενέργειας αποσυνδέθηκε λίγο μετά τις δέκα το πρωί.

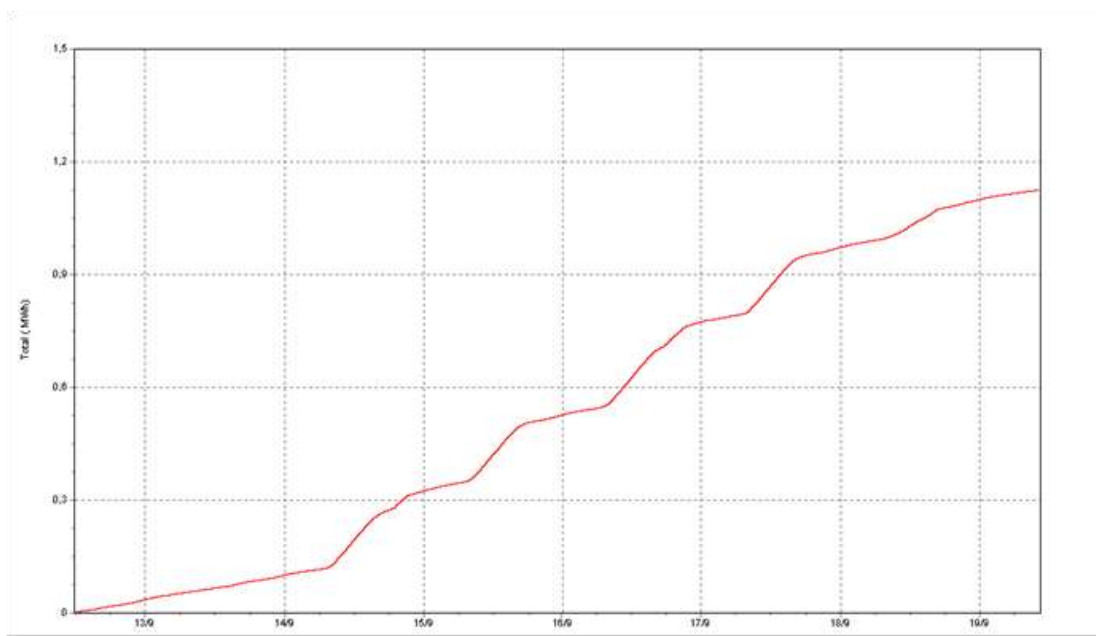
Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι στις εργάσιμες ημέρες η κατανάλωση πέραν του φορτίου βάσης ξεκινάει μετά τις 7:30 το πρωί με τη προσέλευση του διδακτικού προσωπικού. Η ζήτηση κορυφώνεται στις 8 το πρωί και παραμένει σχεδόν σταθερή μέχρι και τις 4 το απόγευμα που τελειώνουν τα μαθήματα της ενισχυτικής διδασκαλίας, φτάνοντας περίπου τα 19KW. Μετά τις έξι το απόγευμα,



δηλαδή με την αποχώρηση του γραμματειακού προσωπικού η κατανάλωση επιστρέφει στο φορτίο βάσης των 2,7 KW. Καθώς η εβδομάδα της δειγματοληψίας αποτέλεσε και την πρώτη εβδομάδα του σχολικού έτους, έλαβαν χώρα συγκεντρώσεις γονέων τη Δευτέρα 14 και Τετάρτη 16 Σεπτεμβρίου, που δικαιολογεί την αυξημένη ζήτηση μεταξύ εξίμισι με εννιάμισι το βράδυ.

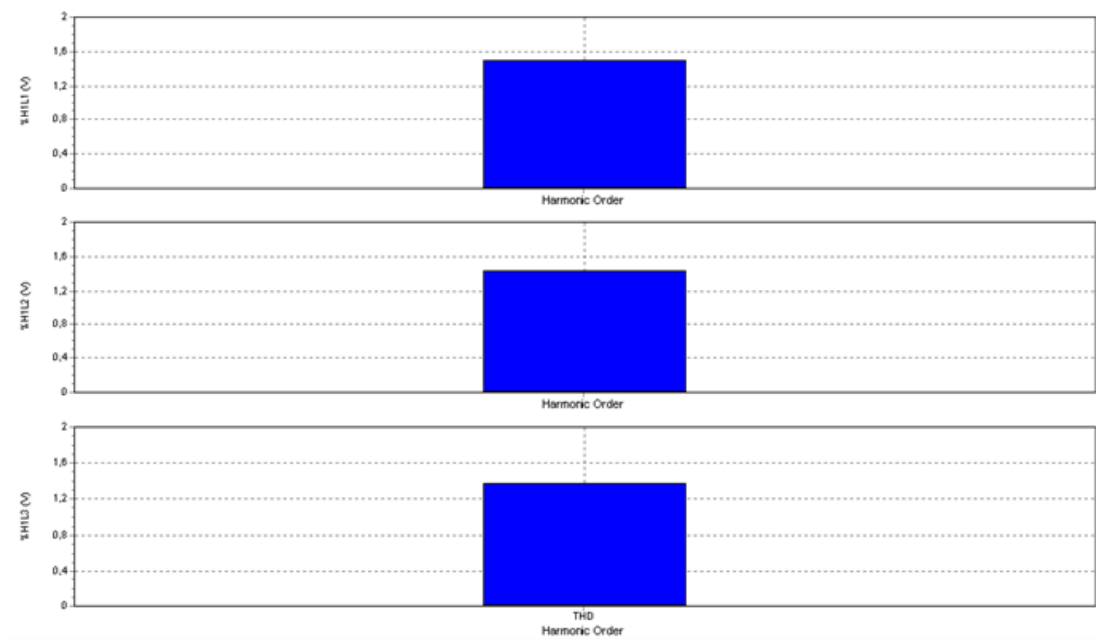
Στις μη εργάσιμες ημέρες του Σαββάτου 12 και Παρασκευής 18 (λόγω των βουλευτικών εκλογών) δεν είναι ενδεικτική η κατανάλωση εξαιτίας των οικοδομικών εργασιών που πραγματοποιούνται αυτή την περίοδο. Η καταλληλότερη ημέρα για να διαπιστωθεί το βασικό φορτίο είναι η Κυριακή 13 Σεπτεμβρίου και οι βραδυνές ώρες μέχρι το πρωί.

Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η συνολική ενεργειακή κατανάλωση του σχολικού συγκροτήματος για την εβδομάδα καταγραφής, η οποία αγγίζει τα 1,1MWh.

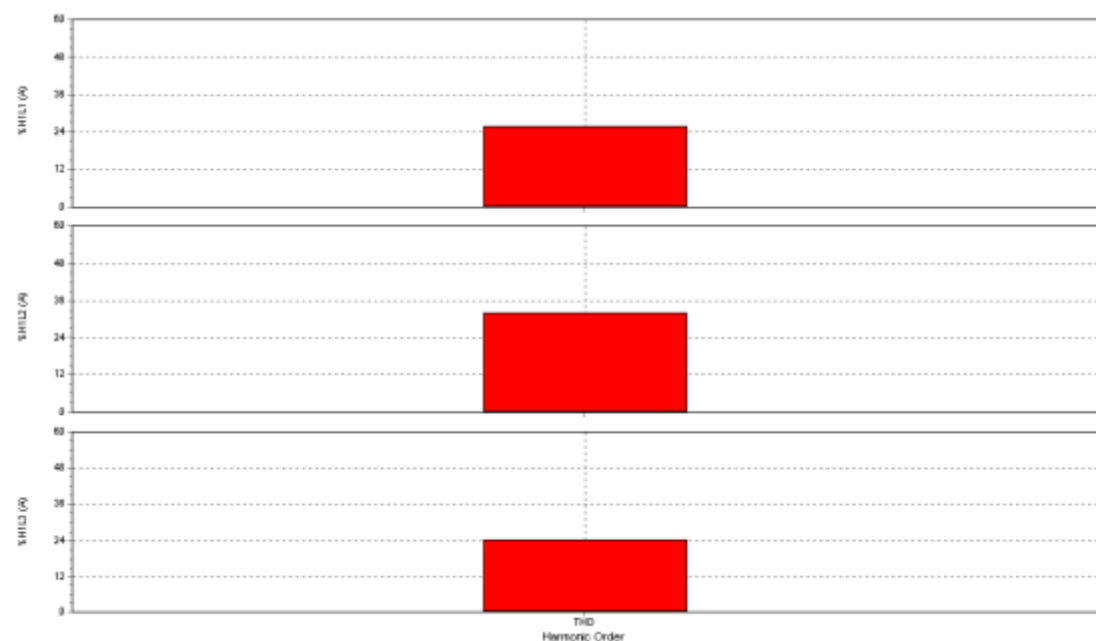


**Εικόνα 4.35:** Διάγραμμα της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης την περίοδο 12-19/9/2015.

Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται ο δείκτης της συνολικής αρμονικής παραμόρφωσης για το ρεύμα και την τάση του, δηλαδή του Total Harmonic Distortion (THD), του υπό εξέταση σχολικού συγκροτήματος. Η συνολική διαρραχή λόγω αρμονικών τόσο για τη τάση, THD(V), όσο και για το ρεύμα, THD(A), προκύπτει από το άθροισμα των τετραγώνων του πλάτους κάθε αρμονικής διαιρεμένο με το τετράγωνο της συνιστώσας στη θεμελιώδη συχνότητα (50 Hz).



**Εικόνα 4.36:** Διάγραμμα των αρμονικών της τάσης για τις τρεις φάσεις για το χρονικό διάστημα 12/9/2015 – 19/9/2015.



**Εικόνα 4.37:** Διάγραμμα των αρμονικών του ρεύματος για τις τρεις φάσεις για το χρονικό διάστημα 12/9/2015 – 19/9/2015.

Όπως παρατηρείται, οι αρμονικές της τάσης κυμαίνονται μεταξύ του 1,3 % με 1,5%, ενώ του ρεύματος από 24% μέχρι 33%. Σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα που θέλουν τις αρμονικές THD της τάσης να μη ξεπερνάνε το 2% και του ρεύματος το 8% ( $THD(V) \leq 2\%$  και  $THD(A) \leq 8\%$  και  $THD(A) \leq 8\%$ ), οι τιμές των αρμονικών της τάσης βρίσκονται εντός των ορίων, ενώ του ρεύματος έχουν ξεπεραστεί κατά πολύ. Οι αρμονικές του ρεύματος συμβάλλουν στην αύξηση της αέργου ισχύος και στη μείωση του συντελεστή ισχύος.

Βασική αιτία των αρμονικών τάσης και ρεύματος αποτελεί η ύπαρξη μη γραμμικών φορτίων. Τα μη γραμμικά φορτία λειτουργούν σαν πηγές ρεύματος, οι οποίες εκτός της θεμελιώδους αρμονικής παράγουν και ανώτερες αρμονικές σε συχνότητες πολλαπλάσιες της θεμελιώδους, οι οποίες διαρρέουν τα καλώδια και πλήττουν ολόκληρη την ηλεκτρική εγκατάσταση. Τέτοιου είδους φορτία που βρίσκονται εγκατεστημένα στο σχολικό συγκρότημα είναι οι λαμπτήρες φθορισμού, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, τα φωτοαντιγραφικά, οι εκτυπωτές, οι φούρνοι μικροκυμάτων κ.α.

Οι επιπτώσεις των αρμονικών συνδέονται με την αύξηση είτε του πλάτους, είτε της ενεργού τιμής, είτε του φάσματος τόσο της τάσης όσο και της έντασης.

Οι αρμονικές τάσης και ρεύματος δημιουργούν ένα μεγάλο αριθμό προβλημάτων στον ηλεκτρικό εξοπλισμό όπως οι αυξημένες απώλειες σε αγωγούς, δυσλειτουργία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων και συσκευών προστασίας (που χρησιμοποιούν θερμικά μοντέλα), υπερθέρμανση και μηχανική καταπόνηση συσκευών και πινάκων χαμηλής τάσης. Ταυτόχρονα οδηγούν σε σπατάλη ενέργειας με αύξηση του λογαριασμού του ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι πολύ μεγάλες τιμές των αρμονικών του ρεύματος θα πρέπει να μελετηθούν και να ληφθούν μέτρα για τη μείωση της τιμής τους εντός των επιτρεπτών ορίων με τη χρήση φίλτρων απόσβεσης των αρμονικών.

## 4.3 Μετρήσεις με αναλυτή καυσαερίων

### 4.3.1 Εισαγωγικά

Στο συγκρότημα «Εκπαιδευτήρια Γεωργίου Ζώη» υπάρχουν τέσσερις συνολικά λέβητες πετρελαίου. Ένας στο πρώτο δημοτικό, ένας στο δεύτερο δημοτικό, ένας στο γυμνάσιο που εξυπηρετεί ταυτόχρονα και τον παιδικό σταθμό και ένας στο Λύκειο.

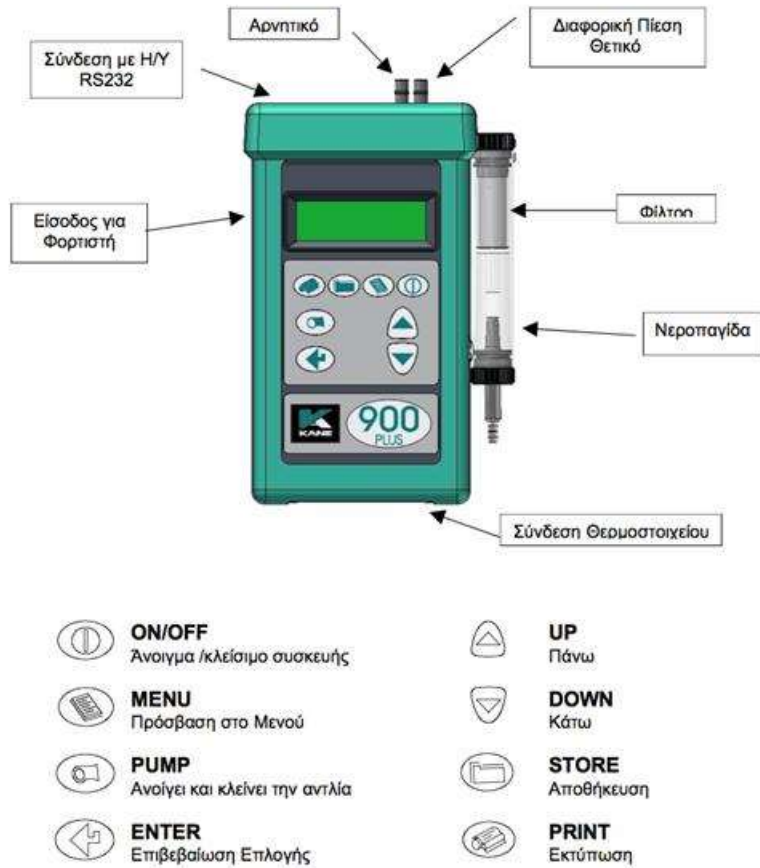
Η θέρμανση χρησιμοποιείται από το Νοέμβριο μέχρι και τα μέσα Απριλίου κάθε σχολικής χρονιάς, χωρίς ωστόσο η χρήση κατά τη διάρκεια της ημέρας να είναι σταθερή, καθώς εξαρτάται από τις υπάρχουσες εξωτερικές καιρικές συνθήκες.

### 4.3.2 Όργανο μέτρησης

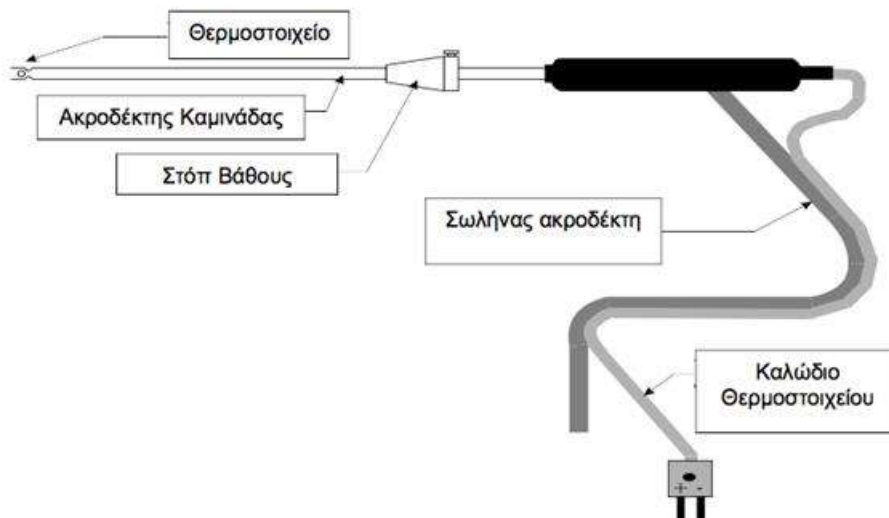
Για την διεξαγωγή των μετρήσεων το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των καυσαερίων και την πλήρη ανάλυση της καύσης είναι ο ηλεκτρονικός αναλυτής καυσαερίων KANE 900 Plus που παρουσιάζεται στα σχήματα που ακολουθούν.



Εικόνα 4.38: Αναλυτής καυσαερίων KANE 900 Plus



Εικόνα 4.39: Παρουσίαση του KANE 900 Plus – βασικά κουμπιά λειτουργίας



Εικόνα 4.40: Ακροδέκτης δειγματοληψίας



Εικόνα 4.41: Τρόμπα αιθάλης

#### 4.3.3 Διαδικασία μέτρησης

Πρωτού ξεκινήσει η διαδικασία μέτρησης θα χρειαστεί να γίνει η αυτόματη βαθμονόμηση του αναλυτή καυσαερίων. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ο αναλυτής σπρώχνει καθαρό αέρα στους αισθητήρες ώστε οι τοξικοί αισθητήρες να μηδενιστούν και ο αισθητήρας του οξυγόνου να τεθεί στο 20,9%. Ο χρόνος που απαιτείται είναι μεταξύ 3 με 6 λεπτά και για επιτευχθούν οι ζητούμενες προδιαγραφές του οργάνου και θα πρέπει να πραγματοποιηθεί σε χώρο με καθαρό αέρα και σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Για τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν έγινε βαθμονόμηση του αναλυτή πάνω από 3 λεπτά ώστε να προκύψουν οι ακόλουθες ενδείξεις στην κυρίως οθόνη του αναλυτή.

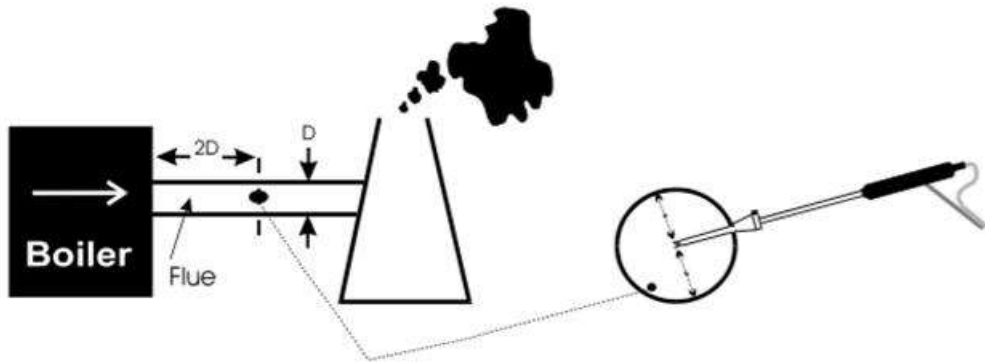
NETT	C	0.0
O2	%	20.9
CO	ppm	0000
EFF (G)	%	0.0

CO2	%	0.0
FLUE	C	0.0
INLT	NOT FITTED	
AMBIENT	C	21

Εικόνα 4.42: Η βασική οθόνη του αναλυτή καυσαερίων μετά τη βαθμονόμηση – ενδείξεις αισθητήρων

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας αρχικοποίησης του μετρητή επιλέχθηκε το καύσιμο που χρησιμοποιείται, δηλαδή το πετρέλαιο θέρμανσης (light oil), και εισήχθη ο ακροδέκτης στο κέντρο της καπνοδόχου, στο σημείο με την καλύτερη ανάμειξη των καυσαερίων για να ξεκινήσει η δειγματοληψία. Το ιδανικό σημείο δειγματοληψίας είναι σε απόσταση τουλάχιστον δύο διαμέτρους του καπνοσωλήνα από το λέβητα.



**Εικόνα 4.43:** Τοποθέτηση ακροδέκτη στο σημείο δειγματοληψίας

Ο αναλυτής καυσαερίων έχει τη δυνατότητα λήψης μετρήσεων του οξυγόνου  $O_2$ , μονοξειδίου του άνθρακα  $CO$ , οξειδίων του αζώτου, της διαφορικής πίεσης – ελκυσμού, της θερμοκρασίας καυσαερίων και περιβάλλοντος, ενώ υπολογίζει το διοξείδιο του άνθρακα  $CO_2$ , τις απώλειες θερμότητας, την απόδοση και τη διαφορά θερμοκρασίας.

Με τη χρήση παράλληλα της τρόμπας αιθάλης, πραγματοποιείται υπολογισμός της τιμής του δείκτη αιθάλης κατά Bacharach, προσαρμόζοντας το ειδικό χάρτινο φίλτρο στο ακροφύσιό της και δειγματοληπτώντας. Συγκρίνοντας τη χρωματική ένδειξη που προκύπτει από την απορρόφιση των καυσαερίων με αυτές του ακόλουθου πίνακα υπολογίζεται η ζητούμενη τιμή.



**Εικόνα 4.44:** Πίνακας Bacharat για σύγκριση ενδείξεων και υπολογισμού δείκτη αιθάλης

Ο αναλυτής έχει τη δυνατότητα να παίρνει στιγμιαίες μετρήσεις, καθώς και να υπολογίζει τη μέση τιμή των μετρήσεων για το χρονικό διάστημα που είναι συνδεδεμένος με το λέβητα. Οι μετρήσεις αυτές αποθηκεύονται και μπορούν είτε να μεταφερθούν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, όπως και έγινε, είτε να εκτυπωθούν.

#### 4.3.4 Αποτελέσματα Μετρήσεων

Οι μετρήσεις με τον αναλυτή καυσαερίων στους τέσσερις λέβητες – καυστήρες των κτιρίων του σχολικού συγκροτήματος παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες.

**Πίνακας 4.1:** Οι μετρήσεις του αναλυτή στο λέβητα- καυστήρα του 1<sup>ου</sup> Δημοτικού

<b>Λέβητας Byderys με ονομαστική ισχύ 130 Kcal /h - καυστήρας Thyssen</b>	
Καύσιμο:	Πετρέλαιο θέρμανσης (light oil)
NET (διαφορά θερμοκρασίας)	121 °C
Ποσοστό Οξυγόνου - O <sub>2</sub>	4,6 %
Μονοξείδιο του Άνθρακα - CO	59 ppm
Οξειδία του Αζώτου - NO <sub>x</sub>	72 ppm
Ποσοστό Διοξειδίου του άνθρακα - CO <sub>2</sub>	11,8 %
EFF (εσωτερικός βαθμός απόδοσης )	94,2 %
FLUE (θερμοκρασία καυσαερίων)	145 °C
AMBIENT (θερμοκρασία περιβάλλοντος)	24,4°C
P index (Απώλειες) %	5,8%
ΧAIR (περίσσεια αέρα)	129.7 %
Δείκτης Αιθάλης (κλίμακα Bacharach)	0
Ελκυσμός καμινάδας	-0.07 mbar

**Πίνακας 4.2:** Οι μετρήσεις του αναλυτή στο λέβητα- καυστήρα του Γυμνασίου – Παιδικού σταθμού

<b>Λέβητας Ferroli με ονομαστική ισχύ 70 Kcal /h - καυστήρας Ferroli</b>	
Καύσιμο:	Πετρέλαιο θέρμανσης (light oil)
NET (διαφορά θερμοκρασίας)	185 °C
Ποσοστό Οξυγόνου - O <sub>2</sub>	4,1 %
Μονοξείδιο του Άνθρακα - CO	71 ppm
Οξειδία του Αζώτου - NO <sub>x</sub>	73 ppm
Ποσοστό Διοξειδίου του άνθρακα - CO <sub>2</sub>	12,1 %
EFF (εσωτερικός βαθμός απόδοσης )	91,2 %
FLUE (θερμοκρασία καυσαερίων)	208 °C
AMBIENT (θερμοκρασία περιβάλλοντος)	22,9 °C
P index (Απώλειες) %	8,8 %
ΧAIR (περίσσεια αέρα)	24,4%
Δείκτης Αιθάλης (κλίμακα Bacharach)	0
Ελκυσμός καμινάδας	-0.05 mbar

**Πίνακας 4.3** Οι μετρήσεις του αναλυτή στο λέβητα- καυστήρα του 2<sup>ου</sup> Δημοτικού

<b>Λέβητας Kazis με ονομαστική ισχύ 52 Kcal /h - καυστήρας Bentone</b>	
Καύσιμο:	Πετρέλαιο θέρμανσης (light oil)
NET (διαφορά θερμοκρασίας)	220 °C
Ποσοστό Οξυγόνου - O <sub>2</sub>	3,2 %
Μονοξείδιο του Άνθρακα - CO	74 ppm
Οξειδία του Αζώτου - NO <sub>x</sub>	79 ppm
Ποσοστό Διοξειδίου του άνθρακα - CO <sub>2</sub>	12,8 %



EFF (εσωτερικός βαθμός απόδοσης )	90,1 %
FLUE (θερμοκρασία καυσαερίων)	245 °C
AMBIENT (θερμοκρασία περιβάλλοντος)	24,9 °C
P index (Απώλειες) %	9,4 %
XAIR (περίσσεια αέρα)	18,08%
Δείκτης Αιθάλης (κλίμακα Bacharach)	0
Ελκυσμός καμινάδας	-0.14 mbar

Πίνακας 4.4: Οι μετρήσεις του αναλυτή στο λέβητα- καυστήρα του Λυκείου.

Λέβητας Tasso με ονομαστική ισχύ 50 Kcal /h - καυστήρας Olymp	
Καύσιμο:	Πετρέλαιο θέρμανσης (light oil)
NET (διαφορά θερμοκρασίας)	161 °C
Ποσοστό Οξυγόνου - O <sub>2</sub>	2,5 %
Μονοξείδιο του Άνθρακα - CO	28 ppm
Οξείδια του Αζώτου - NO <sub>x</sub>	73 ppm
Ποσοστό Διοξειδίου του άνθρακα - CO <sub>2</sub>	13,3 %
EFF (εσωτερικός βαθμός απόδοσης )	92,9 %
FLUE (θερμοκρασία καυσαερίων)	182 °C
AMBIENT (θερμοκρασία περιβάλλοντος)	20,5 °C
P index (Απώλειες) %	7,1 %
XAIR (περίσσεια αέρα)	13,59 %
Δείκτης Αιθάλης (κλίμακα Bacharach)	0
Ελκυσμός καμινάδας	-0.15 mbar

#### 4.3.5 Μέγιστη απόδοση καύσης - Ανάλυση μετρήσεων - Συμπεράσματα

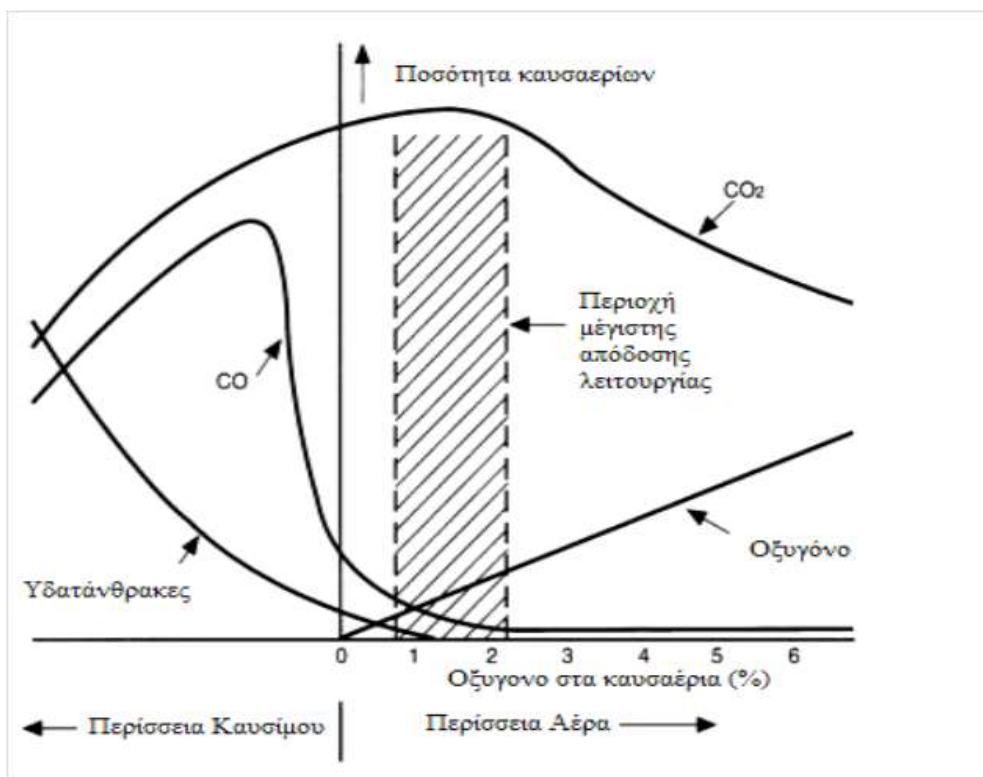
Η αποδοτικότητα της καύσης αποτελεί μέτρο του κατά πόσον καλά καίγεται το καύσιμο που χρησιμοποιείται, στην περίπτωση μας το πετρέλαιο θέρμανσης. Η καύση μετατρέπει τον άνθρακα του καυσίμου σε διοξείδιο του άνθρακα. Όταν χρησιμοποιείται αναλυτής καυσαερίων η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα υπολογίζεται από τον τύπο του καυσίμου με βάση το ποσοστό του οξυγόνου των καυσαερίων.

Για τη μέγιστη απόδοση της καύσης είναι επιθυμητή μικρή ποσότητα περίσσειας οξυγόνου. Στην πραγματικότητα επειδή το οξυγόνο δεν διαχωρίζεται από τον αέρα πριν τη καύση και ο αέρας αποτελείται μόνο από το 20.9 % O<sub>2</sub> (78% άζωτο και 1% άλλα αέρια), μεγάλη ποσότητα αέρα δρα αρνητικά στην απόδοση της καύσης. Και αυτό γιατί ο αέρας αποτελείται βασικά από άζωτο, που ενώ δεν παίζει ρόλο στη διαδικασία της καύσης, χαμηλώνει ωστόσο τη θερμοκρασία της. Για αυτό το λόγο είναι αδύνατο άλλωστε να επιτευχθεί απόδοση του 100% όταν χρησιμοποιείται για οξειδωτικό ο αέρας.

Η μέγιστη απόδοση λειτουργίας του λέβητα βασίζεται στην ποιότητα του μείγματος καυσίμου και αέρα.

Η απόδοση λειτουργίας του λέβητα εξαρτάται από την ποιότητα του μείγματος του καυσίμου και του οξυγόνου, καθώς και την περίσσεια του οξυγόνου που απαιτείται για

να επιτευχθεί πλήρη καύση. Ο συσχετισμός των μεγεθών με τη μέγιστη απόδοση λειτουργίας απεικονίζεται στο επόμενο διάγραμμα.



**Εικόνα 4.45 :** Απόδοση καύσης συναρτήσει διάφορων παραμέτρων.

Παρατηρείται λοιπόν ότι η περιοχή μέγιστης απόδοσης λειτουργίας προκύπτει με την κατανάλωση σχεδόν ολόκληρης της ποσότητας του πετρελαίου θέρμανσης, με μικρή ποσότητα οξυγόνου μεταξύ του 1 με 2% που αντιστοιχεί σε περίσσεια αέρα 5 με 10%, με μέγιστη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα και ελάχιστη μονοξειδίου του άνθρακα.

Για να αξιολογηθούν οι μετρήσεις που λήφθηκαν με χρήση του αναλυτή καυσαερίων, θα πρέπει να υπάρχει ένα σημείο αναφοράς. Τα επιτρεπτά όρια τιμών, τα οποία με βάση τη ΤΟΤΕΕ 20701 – 4 / 2010 παραπέμπουν στο ΠΔ 2654/ 9-11-2011, είναι τα εξής:

- Ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή περιεκτικότητας καυσαερίων σε CO<sub>2</sub> είναι το 10%.
- Ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή του δείκτη αιθάλης της κλίμακας Bacharach είναι το 1.
- Ελάχιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία καυσαερίων οι 180 °C.
- Μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία καυσαερίων οι 280 °C.
- Ενδεικτικά όρια σε CO είναι μεταξύ 0 – 100 ppm.

Από τις μετρήσεις παρατηρείται ότι οι αποδόσεις των λεβήτων είναι πολύ καλές καθώς όλες ξεπερνούν το 90%.

Η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub> σε όλους του λέβητες ξεπερνά την ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή, καθώς είναι άνω του 11% πλησιάζοντας τη

τέλεια καύση. Η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε μονοξείδιο του άνθρακα CO είναι ταυτόχρονα μέσα στο απαιτητό πλαίσιο.

Η θερμοκρασία των καυσαερίων στους τρεις από τους τέσσερις λέβητες κυμαίνεται στα ζητούμενα επίπεδα για την αποφυγή υδρατμών, ενώ στον λέβητα Byderys με τους 145 °C έχει τοποθετηθεί μπεκ μεγαλύτερης παροχής πετρελαίου (2,75 gph).

Οι τιμές του δείκτη αιθάλης είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικές καθώς είναι στο σύνολό τους μηδενικές.



Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 5  
Δ Ρ Α Σ Ε Ι Σ Ε Ν Ε Ρ Γ Ε Ι Α Κ Η Σ  
Β Ε Λ Τ Ι Ω Σ Η Σ



## 5.1 Οικονομική αξιολόγηση επεμβάσεων

Για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των προτεινόμενων δράσεων ενεργειακής βελτίωσης και τον προσδιορισμό της οικονομικής βιωσιμότητάς τους, θα χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθοι οικονομικούς δείκτες:

- Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)
- Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (ΕΒΑ)
- Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής (ΕΠΑ)

### 5.1.1 Καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ)

Η Καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ – NPV) είναι το συνολικό καθαρό κέρδος μιας επένδυσης που προκύπτει ως διαφορά μεταξύ του λειτουργικού κόστους και του συνόλου των δαπανών κατά τη διάρκεια ζωής της επένδυσης. Αποτελεί τον κύριο δείκτη οικονομικής αξιολόγησης μιας επένδυσης.

Η Καθαρή παρούσα αξία υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$ΚΠΑ = -K + \sum_{i=0}^N \frac{Fi}{(1+d)^i} + \frac{SV_i}{(1+d)^i}$$

Όπου,

K: αρχική επένδυση

$F_i$ : ετήσιο καθαρό όφελος

N: οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης

d: επιτόκιο σε παρούσα αξία

$SV_N$ : αξία που απομένει στην επένδυση μετά το τέλος του οικονομικού κύκλου ζωής της

Διακρίνονται επομένως οι εξής περιπτώσεις:

- ΚΠΑ>0, η επένδυση είναι βιώσιμη
- ΚΠΑ=0, η επένδυση είναι αδιάφορη, καθώς είναι οριακά βιώσιμη με ετήσιο βαθμό απόδοσης ίσο με d
- ΚΠΑ<0, η επένδυση δεν είναι βιώσιμη

Όσο μεγαλύτερη λοιπόν είναι η ΚΠΑ, τόσο οικονομικά αποδοτικότερο θα είναι και το έργο.

Για την παρούσα διπλωματική εργασία σε όλους τους υπολογισμούς θεωρείται ότι  $SV_N=0$  και  $d=0,05$ .

### 5.1.2 Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (EBA)

Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (EBA - IRR) είναι η τιμή του επιτοκίου αγοράς που μηδενίζει την παρούσα αξία πληρωμών και εισπράξεων. Εκφράζει την απόδοση του κεφαλαίου της αρχικής επένδυσης κατά τη διάρκεια του οικονομικού κύκλου ζωής της. Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$ΚΠΑ_{(d=EBA)} = 0$$

Διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- EBA > d, η επένδυση είναι αποδεκτή
- EBA = d, η επένδυση είναι αδιάφορη
- EBA < d, η επένδυση δεν είναι αποδεκτή

Συμπεραίνεται επομένως ότι όσο μεγαλύτερη η τιμή του εσωτερικού βαθμού απόδοσης τόσο πιο συμφέρουσα και η επένδυση. Ο EBA δίνει ως αποτέλεσμα ένα ποσοστό ως κέρδος που είναι ευκολότερα συγκρίσιμο αλλά όχι τόσο αξιόπιστο όσο ο δείκτης ΚΠΑ.

### 5.1.3 Έντοκη περίοδος αποπληρωμής (EPA)

Η Έντοκη περίοδος αποπληρωμής (EPA – DPP) είναι το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την αποπληρωμή της αρχικής επένδυσης καθώς και των τόκων που θα είχαν ληφθεί από μια εναλλακτική τοποθέτηση του αρχικού κεφαλαίου Υπολογίζεται από τον τύπο:

$$ΚΠΑ_{(N=EPA)} = 0$$

Η επένδυση θεωρείται οικονομικά βιώσιμη εάν η τιμή του EPA ικανοποιεί τις προσδοκίες του εκάστοτε επενδυτή ως προς το χρόνο αποπληρωμής της. Το έργο συνήθως θεωρείται βιώσιμο εάν η EPA είναι μικρότερη από την αναμενόμενη διάρκεια ζωής της επένδυσης.



## 5.2 Δράσεις Φωτισμού

### 5.2.1 Αλλαγή των μαγνητικών στραγγαλιστικών πηνίων των λαμπτήρων T8 με ηλεκτρονικά

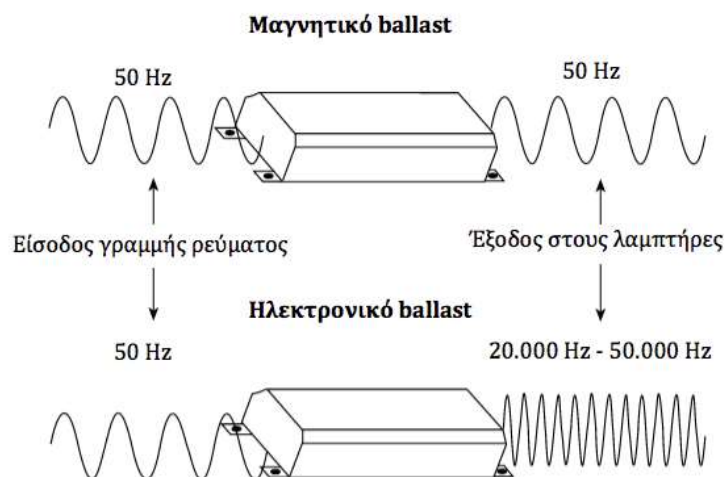
Η πρώτη δράση που θα παρουσιαστεί για εξοικονόμηση αφορά την αντικατάσταση των μαγνητικών στραγγαλιστικών πηνίων (ballast) των λαμπτήρων φθορισμού T8 με ηλεκτρονικά.



**Εικόνα 5.1:** Μαγνητικό ballast στην αριστερή πλευρά και ηλεκτρονικό στη δεξιά

Οι λαμπτήρες φθορισμού χρειάζονται στραγγαλιστικά πηνία τα οποία παρέχουν την απαιτούμενη τάση για την έναυση του λαμπτήρα και εξασφαλίζουν τη διατήρηση της εκκένωσης κατά τη λειτουργία.

Το κύριο χαρακτηριστικό του ηλεκτρονικού ballast είναι ότι μετατρέπει τη συχνότητα του ρεύματος δικτύου από 50 Hz ή 60 Hz σε μερικές δεκάδες KHz και τροφοδοτεί το λαμπτήρα με αυτή τη συχνότητα.



**Εικόνα 5.2:** Συχνότητες λειτουργίας μαγνητικών και ηλεκτρονικών ballast.

Πηγή: <http://www.lrc.rpi.edu>

Τα πλεονεκτήματα των ηλεκτρονικών ballast έναντι των μαγνητικών είναι τα ακόλουθα:

- Αυξάνουν την απόδοση του λαμπτήρα μέχρι και 10% λόγω των υψηλών συχνοτήτων που χρησιμοποιούν.
- Έχουν μικρότερη κατανάλωση που σημαίνει συνολική μείωση του κόστους του συστήματος φωτισμού περίπου στο 20%. Αν δηλαδή το συμβατικό ballast καταναλώνει 13 Watt το ηλεκτρονικό χρειάζεται 4,5Watt.
- Δεν παρουσιάζουν φαινόμενα διακύμανσης του φωτός (flickering). Στα μαγνητικά ballast κάθε φορά που μηδενίζεται το ρεύμα μηδενίζεται και η εκπομπή φωτός. Αυτό γίνεται σε κάθε περίοδο δύο φορές, άρα στη συχνότητα των 50 Hz συμβαίνει 100 φορές το δευτερόλεπτο, με αποτέλεσμα το μάτι να το αντιλαμβάνεται ως «τρεμούλιασμα». Στα ηλεκτρονικά ballast το ρεύμα μηδενίζεται αρκετές χιλιάδες φορές το δευτερόλεπτο και το φαινόμενο δεν παρατηρείται.
- Αυξάνουν τη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων έως 50 % καθώς ελέγχουν καλύτερα την έναυση και προκαλούν λιγότερες φθορές στα ηλεκτρόδια.
- Διακόπτουν τη λειτουργία τους όταν ο λαμπτήρας σταματήσει να λειτουργεί, ενώ το μαγνητικό ballast εξακολουθεί να διαρρέεται από ρεύμα και να καταναλώνει ρεύμα.
- Αυξάνουν την φωτεινή ροή του λαμπτήρα μειώνοντας όχι μόνο το κόστος λειτουργίας αλλά και εγκατάστασης, καθώς χρειάζεται μικρότερη ποσότητα λαμπτήρων.
- Δεν έχουν το χαρακτηριστικό βόμβο που έχουν τα μαγνητικά ballast και οφείλεται στα χαλύβδινα φύλλα του πυρήνα τους.
- Δίνουν περισσότερες εναλλακτικές λειτουργίες των λαμπτήρων όπως η ρύθμιση της φωτεινής ροής μέσω αισθητήρα, ο συνδυασμός τους με αισθητήρες κίνησης ή παρουσίας, ένταξη της εγκατάστασης φωτισμού σε σύστημα κεντρικής διαχείρισης κ.α..
- Για τις ίδιες λειτουργίες είναι ελαφρύτερα και με μικρότερο όγκο.

Η τιμή του ηλεκτρονικού ballast είναι 10 € και το κόστος αντικατάστασης και τοποθέτησης 450€. Κάθε ballast τροφοδοτεί δύο λαμπτήρες φθορισμού.

Κατά την ενεργειακή επιθεώρηση καταγράφηκαν 584 λαμπτήρες φθορισμού T8 των 36 Watt και 71 των 58 Watt. Επομένως το κόστος της επένδυσης είναι  $328 * 10 \text{ €} + 450 \text{ €} = 3.730 \text{ €}$ .

Η κατανάλωση των λαμπτήρων φθορισμού T8 σύμφωνα με το κεφάλαιο 2 ανέρχεται ετησίως σε 12.422 KWh. Μια εξοικονόμηση της τάξης του 25 % αντιστοιχεί σε  $0,25 * 12.422 \text{ KWh} = 3.105,5 \text{ KWh}$  ανά έτος. Το ετήσιο όφελος είναι επομένως  $3.105,5 \text{ KWh} * 0,08259 \text{ €/KWh} = 256,48 \text{ €}$ .

Οι υπολογισμοί για την αξιολόγηση της επένδυσης παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 5.1:** Υπολογισμοί για την αντικατάσταση των ballast.

Έτη	Ετήσιο όφελος (€)	Ανοιγμένες ΚΤΡ (€)	ΚΠΑ
1	256,48	244,27	-3.485,73
2	256,48	232,64	-3.253,10
3	256,48	221,56	-3.031,54
4	256,48	211,01	-2.820,53
5	256,48	200,96	-2.619,58

6	256,48	191,39	-2.428,19
7	256,48	182,28	-2.245,91
8	256,48	173,60	-2.072,32
9	256,48	165,33	-1.906,99
10	256,48	157,46	-1.749,53
11	256,48	149,96	-1.599,57
12	256,48	142,82	-1.456,75
13	256,48	136,02	-1.320,74
13	256,48	129,54	-1.191,20
14	256,48	123,37	-1.067,83
15	256,48	117,50	<b>-950,33</b>
Σύνολο		<b>2.779,67</b>	

Παρατηρείται επομένως ότι για τη συγκεκριμένη επένδυση είναι ΚΠΑ= - 950,33 <0, ΕΒΑ= - 1,14 % <0 και ΕΠΑ >> 25 έτη, οπότε η επένδυση κρίνεται μη βιώσιμη.

Επειδή ωστόσο η σημερινή τιμή της KWh, με την οποία έγιναν οι παραπάνω υπολογισμοί, είναι αρκετά χαμηλή, διερευνήθηκε και η απόδοση της επένδυσης σε μεγαλύτερη τιμή KWh, σε αυτή του 2011 δηλαδή στα 0,115 €/KWh. Τα αποτελέσματα είναι τα ακόλουθα:

**Πίνακας 5.2:** Υπολογισμοί για αντικατάσταση ballast με 0,115 €/KWh

Έτη	Ετήσιο όφελος	Ανοιγμένες ΚΤΡ	ΚΠΑ
1	357,13	340,12	-3.389,88
2	357,13	323,93	-3.065,95
3	357,13	308,50	-2.757,45
4	357,13	293,81	-2.463,63
5	357,13	279,82	-2.183,81
6	357,13	266,50	-1.917,32
7	357,13	253,81	-1.663,51
8	357,13	241,72	-1.421,79
9	357,13	230,21	-1.191,58
10	357,13	219,25	-972,34
11	357,13	208,81	-763,53
12	357,13	198,86	-564,67
13	357,13	189,39	-375,27
14	357,13	180,38	-194,9
15	357,13	171,79	-23,11
16	357,13	163,61	140,49
Σύνολο		3.870,49	

Παρατηρείται λοιπόν ότι ΚΠΑ= 140,49>0, ΕΒΑ= 5,52 % >0 και ΕΠΑ=15 έτη, οπότε η επένδυση σε αυτή την περίπτωση κρίνεται βιώσιμη.

### 5.2.2 Αντικατάσταση λαμπτήρων φθορισμού T8 και Πυρακτώσεως με LED

Σε αυτή τη δράση εξετάζεται η αντικατάσταση των λαμπτήρων φθορισμού T8 (παλαιότερης τεχνολογίας των T5) και πυρακτώσεως με λαμπτήρες τεχνολογίας LED.

Οι λαμπτήρες τεχνολογίας LED (Light Emitting Diode) υπερέχουν σε σχέση με τους υπόλοιπους λαμπτήρες καθώς:

- Έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.
- Διατηρούν μέχρι τέλους το 100% της απόδοσής τους, καθώς εκπέμπουν από την αρχή της ζωής τους και μέχρι τέλους το 100% της φωτεινότητάς τους (μέγιστη απώλεια 1 %).
- Καταναλώνουν πολύ λιγότερη ενέργεια: το 1/10 της κατανάλωσης των λαμπτήρων πυρακτώσεως και το 1/5 των λαμπών φθορίου.
- Έχουν μεγαλύτερη αντοχή σε αυξομειώσεις τάσεις, λειτουργώντας από 85 V μέχρι 265V.
- Εκπέμπουν πολύ λιγότερη θερμότητα, μετατρέποντας το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας που λαμβάνουν σε φωτεινότητα.
- Είναι φιλικό προς το περιβάλλον.

Στην πρώτη περίπτωση διερευνήθηκε η αντικατάσταση των λαμπτήρων φθορισμού T8 με LED. Στο σχολικό συγκρότημα υπάρχουν 584 λαμπτήρες φθορισμού T8 των 36 Watt και 71 των 58 Watt. Το κόστος αγοράς για κάθε λαμπτήρα T8 – 60 cm είναι 24,3 € και των T8 – 120 cm ανέρχεται στα 33,67 €. Το κόστος της επένδυσης είναι  $584 * 24,3 \text{ €} + 71 * 33,67 \text{ €} = 16.581,77 \text{ €}$ .

Κατά τη διάρκεια του έτους αναμένεται να αντικατασταθούν 66 ballast αξίας 10 € και 262 λαμπτήρες κόστους 3 €.

Η ετήσια εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι 68%, άρα  $0,68 * 12.419 \text{ KWh} = 8.444,92 \text{ KWh}$ . Το συνολικό όφελος είναι  $8.444,92 \text{ KWh} * 0,08259 \text{ €/KWh} + 66 * 10 \text{ €} + 262 * 3 \text{ €} = 2.143,47 \text{ €}$ .

Για να διαπιστωθεί η βιωσιμότητα της επένδυσης ακολουθεί ο πίνακας με τους υπολογισμούς για δεκαέξι χρόνια, που είναι και η αναμενόμενη διάρκεια ζωής τους.

**Πίνακας 5.3:** Υπολογισμοί για την αντικατάσταση λαμπτήρων φθορισμού T8 με LED.

Έτη	Ετήσιο όφελος	Ανοιγμένες ΚΤΡ	ΚΠΑ
1	2.143,57	2.041,495	-14.540,27
2	2.143,57	1.944,281	-12.595,99
3	2.143,57	1.851,696	-10.744,31
4	2.143,57	1.763,521	-8.980,78
5	2.143,57	1.679,543	-7.301,23
6	2.143,57	1.599,565	-5.701,67
7	2.143,57	1.523,395	-4.178,27
8	2.143,57	1.450,853	-2.727,42
9	2.143,57	1.381,764	-1.345,66
10	2.143,57	1.315,966	-29,69

11	2.143,57	1.253,301	1.223,61
12	2.143,57	1.193,622	2.417,23
13	2.143,57	1.136,781	3.554,01
14	2.143,57	1.082,649	4.636,66
15	2.143,57	1.031,094	5.667,75
16	2.143,57	981,994	6.649,75
Σύνολο		23.231,52	

Παρατηρείται λοιπόν ότι για τη συγκεκριμένη επένδυση είναι ΚΠΑ= 6.649,75 >0 ΕΒΑ= 10,2 % και ΕΠΑ=10 έτη, οπότε η επένδυση κρίνεται βιώσιμη.

Στη δεύτερη περίπτωση διερευνήθηκε η αντικατάσταση των λαμπτήρων πυρακτώσεως με LED. Στο σχολικό συγκρότημα υπάρχουν 57 λαμπτήρες πυρακτώσεως των 60 Watt. Το κόστος αγοράς ενός λαμπτήρα LED για την αντικατάσταση κάθε λαμπτήρα πυρακτώσεως είναι 8 €. Το κόστος της επένδυσης είναι  $57 * 8 \text{ €} = 456 \text{ €}$ .

Η ηλεκτρική κατανάλωση ανά έτος, με εξοικονόμηση 89 % θα είναι  $0,89 * 598 \text{ kWh} = 532,22 \text{ kWh}$ .

Εξαιτίας της πολύ μικρής διάρκειας ζωής των λαμπτήρων πυρακτώσεως, μέσα σε ένα έτος αναμένεται να καούν 38 λάμπες με κόστος αντικατάστασης  $38 * 1,8 \text{ €} = 68,4 \text{ €}$ .

Το ετήσιο όφελος διαμορφώνεται σε  $532,22 \text{ kWh} * 0,08259 \text{ €/ kWh} + 68,4 \text{ €} = 112,36 \text{ €}$ .

Για να υπολογιστεί η βιωσιμότητα της επένδυσης ακολουθεί ο πίνακας με τους υπολογισμούς για δεκαέξι χρόνια, που είναι και η εκτιμώμενη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων με βάση τη χρήση στο σχολικό συγκρότημα.

**Πίνακας 5.4:** Υπολογισμοί για την αντικατάσταση λαμπτήρων πυρακτώσεως με LED.

Έτη	Ετήσιο όφελος	Ανοιγμένες ΚΤΡ	ΚΠΑ
1	112,36	107,011	-348,99
2	112,36	101,914	-247,08
3	112,36	97,061	-150,02
4	112,36	92,439	-57,58
5	112,36	88,037	30,46
6	112,36	83,845	114,3
7	112,36	79,852	194,16
8	112,36	76,052	270,21
9	112,36	72,428	342,63
10	112,36	68,979	411,61
11	112,36	65,695	477,31
12	112,36	62,566	539,87
13	112,36	59,587	599,46
14	112,36	56,749	656,21
15	112,36	54,047	710,26
16	112,36	51,473	761,73
Σύνολο		1.217,73	

Παρατηρείται λοιπόν ότι για τη συγκεκριμένη επένδυση είναι ΚΠΑ= 761,73 >0 ΕΒΑ= 7,4 % και ΕΠΑ= 4 έτη, οπότε η επένδυση κρίνεται βιώσιμη.

## 5.3 Δράσεις Ψύξης/Θέρμανσης

### 5.3.1 Χρήση φυσικού αερίου για θέρμανση

Το φυσικό αέριο αποτελεί την πιο οικονομική επιλογή για τον καταναλωτή και έχει την καλύτερη ενεργειακή επένδυση σε βάθος χρόνου ως προς όλα τα συμβατικά μέσα θέρμανσης (πετρέλαιο θέρμανσης, ηλεκτρικό ρεύμα). Οι συσκευές φυσικού αερίου χαρακτηρίζονται από υψηλότερη απόδοση, καθώς και από εύκολη και χαμηλότερου κόστους συντήρηση. Η διαθεσιμότητα του είναι σταθερή και άμεση μέσω του εγκατεστημένου δίκτυου και είναι περιβαλλοντικά φιλικό καύσιμο. Ταυτόχρονα ο εξοπλισμός του φυσικού αερίου έχει τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Για τη χρήση του φυσικού αερίου είναι απαραίτητη η αντικατάσταση των τεσσάρων υπάρχοντων λεβήτων και δύο καυστήρων καθώς δεν είναι συμβατοί για χρήση φυσικού αερίου. Το κόστος της επένδυσης για αγορά και εγκατάσταση συμπεριλαμβάνει 4 λέβητες φυσικού αερίου μαρκας Ferroli (50.000, 60.000, 70.000 και 107.000 Kcal/h), 2 καυστήρες αερίου μάρκας Giersch, τη μελέτη, το υλικό και τα τέλη σύνδεσης, φτάνει τις 31.000 €.

Η θερμογόνος δύναμη του φυσικού αερίου είναι 9.997,67 Kcal/m<sup>3</sup>. Μια kWh ισούται με 860Kcal. Ο βαθμός απόδοσης των λεβήτων φυσικού αερίου είναι 98%. Επομένως μια θερμική kWh χρειάζεται:

$$860\text{Kcal} / (9.997,67 \text{ Kcal/m}^3 * 0,98) = 0,0878 \text{ m}^3$$

Το κόστος του φυσικού αερίου από τον Σεπτέμβριο του 2015 είναι 0,65 €/ m<sup>3</sup> . Επομένως μια θερμική kWh φυσικού αερίου θα κοστίζει 0,65 €/ m<sup>3</sup> \* 0,0878 m<sup>3</sup> = 0,0571 €.

Η θερμογόνος δύναμη του πετρελαίου θέρμανσης είναι περίπου 10.000 Kcal/lt. Μια kWh ισούται με περίπου 860 Kcal. Ο μέσος βαθμός απόδοσης των τεσσάρων λεβήτων είναι 92,1%. Επομένως μια θερμική kWh χρειάζεται:

$$860 \text{ Kcal} / (10.000 \text{ Kcal/lt} * 0,921) = 0,0933 \text{ lt.}$$

Η φετινή τιμή του πετρελαίου θέρμανσης θα κυμανθεί στα 0,85 €/lt, επομένως μια θερμική kWh από πετρελαίου θέρμανσης θα κοστίζει 0,85 €/lt \* 0,0933 lt = 0,0793 €, δηλαδή 27,99% ακριβότερα σε σχέση με το φυσικό αέριο.

Η μέση ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης του συγκροτήματος είναι τα 14.500lt, ενώ το κόστος θέρμανσης των υφιστάμενων λεβήτων πετρελαίου για αυτά τα λίτρα υπολογίστηκε στα 12.325 €. Το αντίστοιχο κόστος που θα χρειαζόταν το φυσικό αέριο για να αποδώσει την ίδια θερμότητα είναι 27,99% λιγότερο δηλαδή 72,01% \* 12.325 € = 8.875,23 € φτάνοντας την ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας 3.449,77 €.

Οι υπολογισμοί για τη βιωσιμότητα της επένδυσης περιλαμβάνονται στον ακόλουθο πίνακα για μια διάρκεια ζωής δεκαπέντε έτη.

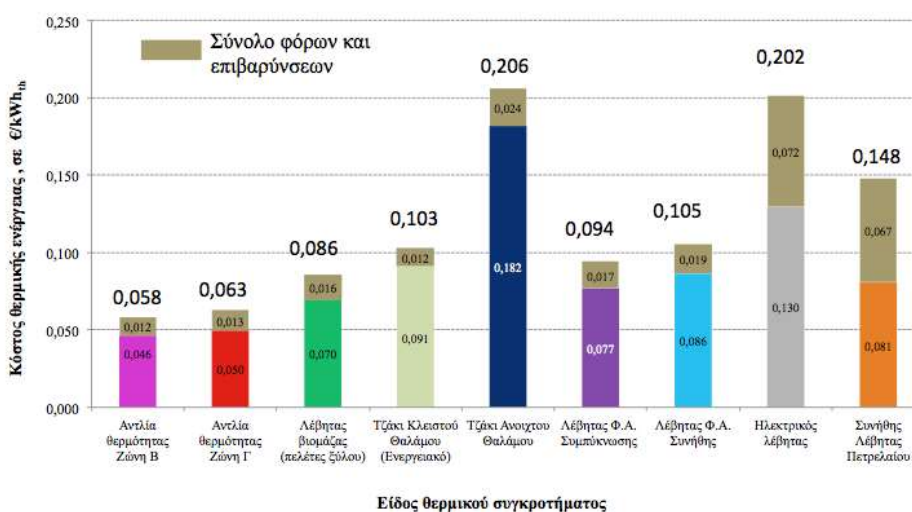
Πίνακας 5.5: Υπολογισμοί για την εγκατάσταση φυσικού αερίου.

Έτη	Ετήσιο όφελος (€)	Ανοιγμένες ΚΤΡ (€)	ΚΠΑ (€)
0	3.449,77	3.285,50	-27.714,51
1	3.449,77	3.129,04	-24.585,46
2	3.449,77	2.980,04	-21.605,42
3	3.449,77	2.838,13	-18.767,29
4	3.449,77	2.702,99	-16.064,32
5	3.449,77	2.574,27	-13.490,03
6	3.449,77	2.451,69	-11.038,34
7	3.449,77	2.334,94	-8.703,41
8	3.449,77	2.223,75	-6.479,65
9	3.449,77	2.117,86	-4.361,79
10	3.449,77	2.017,01	-2.344,78
11	3.449,77	1.920,96	-423,82
12	3.449,77	1.829,49	1.405,67
13	3.449,77	1.742,37	3.148,03
14	3.449,77	1.659,40	4.807,43
15	3.449,77	1.580,38	<b>6.387,81</b>
Σύνολο		<b>37.387,81</b>	

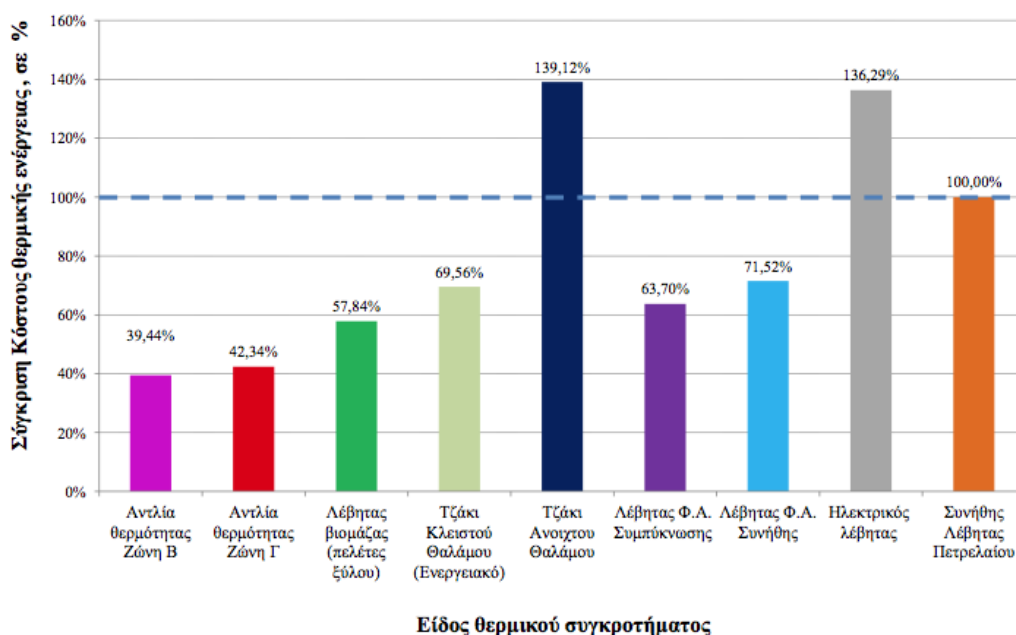
Επομένως ΚΠΑ =6387,81 >0 , ο ΕΒΑ =10,1% και ο ΕΠΑ =12 οπότε η επένδυση είναι συμφέρουσα.

### 5.3.2 Αντλία θερμότητας

Σύμφωνα με τη μελέτη του Εργαστηρίου Ατμοκινητήρων και Λεβήτων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, που πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων, και αφορά την αναζήτηση εναλλακτικής πηγής θέρμανσης με χαμηλότερο κόστος από αυτή του πετρελαίου, συγκρίθηκαν διάφορες τεχνολογίες θέρμανσης σε κόστος θερμικής ενέργειας και σε βαθμό απόδοσης με τα αντίστοιχα μεγέθη ενός συνήθους λέβητα πετρελαίου και αναδείχθηκαν ως οικονομικότερη λύση οι αντλίες θερμότητας.



Εικόνα 5.3: Κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας ανά είδος θερμικού συγκροτήματος

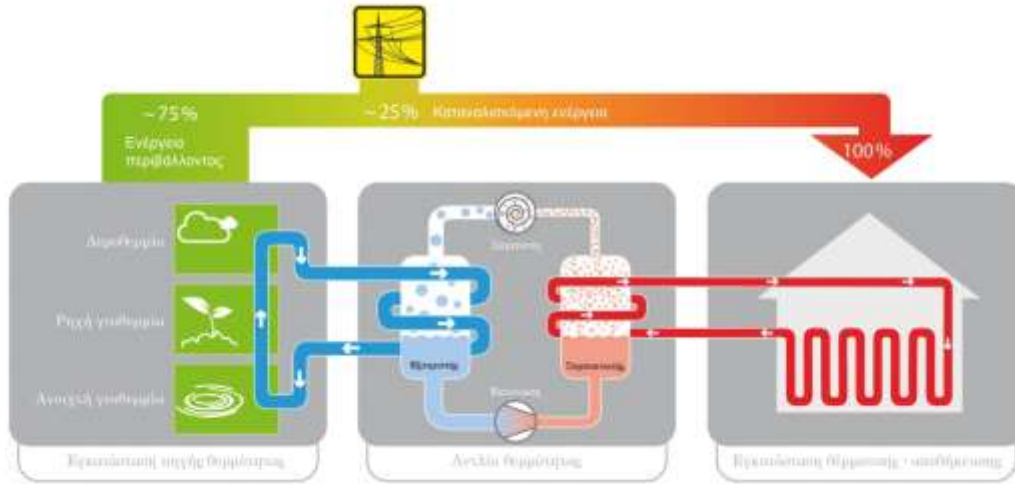


**Εικόνα 5.4:** Σύγκριση κόστους θερμικής ενέργειας (για τιμή πετρελαίου ~1,285 €/λίτρο)

Οι αντλίες θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί λέβητα και ψυκτικής μονάδας. Η φυσική ροή της θερμότητας είναι να μεταφέρεται από συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών σε συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών. Οι αντλίες θερμότητας καταφέρνουν να αναστρέψουν αυτή τη φυσική ροή. Είναι συσκευές οι οποίες έχουν την ικανότητα να απορροφούν (να αντλούν) θερμότητα από μία πηγή χαμηλής θερμοκρασίας (αέρα, νερό, έδαφος) και να τη μεταφέρουν σε έναν αποδέκτη υψηλότερης θερμοκρασίας (αέρα, νερό). Για παράδειγμα, κατά τη χειμερινή περίοδο μία αντλία θερμότητας με πηγή τον αέρα, έχει την ικανότητα να μεταφέρει θερμότητα από τον ψυχρό εξωτερικό αέρα (π.χ. 0-15°C) σε ένα χώρο κατοίκησης (20°C), με σκοπό τη θέρμανση του χώρου. Επίσης κατά τη θερινή περίοδο μία αντλία θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά θερμότητας από ένα χώρο κατοίκησης (26°C) προς τον θερμότερο εξωτερικό αέρα (π.χ. 35-40°C), με σκοπό την ψύξη του χώρου. Συνήθως οι αντλίες θερμότητας είναι σχεδιασμένες κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορούν να αντιστρέψουν την ψυκτική και τη θερμαντική τους λειτουργία. Αυτό επιτρέπει τη χρήση της ίδιας συσκευής για ψύξη και θέρμανση.

Οι αντλίες θερμότητας αποτελούνται από τα ίδια κατασκευαστικά μέρη (συμπιεστή, συμπυκνωτή, εκτονωτική βαλβίδα, εξατμιστή) και έχουν τις ίδιες αρχές λειτουργίας με τις συσκευές ψύξης. Η μεταφορά της θερμότητας από την χαμηλή στην υψηλή θερμοκρασία γίνεται με κατανάλωση μηχανικής ενέργειας για την λειτουργία του συμπιεστή της συσκευής. Η ενέργεια αυτή προέρχεται είτε από ηλεκτρικό κινητήρα είτε από μία μηχανή εσωτερικής καύσης (πετρελαίου ή φυσικού αερίου). Οι αντλίες θερμότητας ανάλογα με το μέσον από το οποίο αντλούν θερμότητα και το μέσον στο οποίο την αποδίδουν, ονομάζονται αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα, αέρα-νερού, νερού-αέρα, εδάφους-νερού, εδάφους-αέρα.

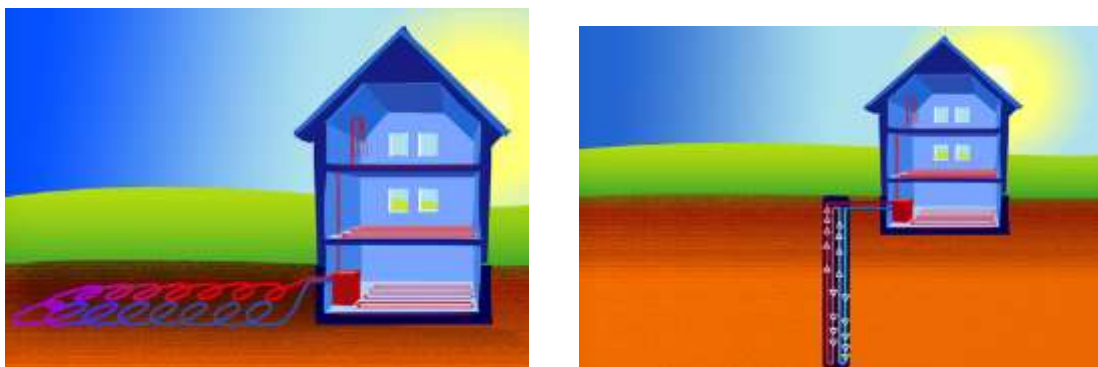




**Εικόνα 5.5:** Γενική αρχική λειτουργίας όλων των τύπων αντλιών θερμότητας.

Γενικά ισχύει ο κανόνας ότι, όσο πιο υψηλή είναι η θερμοκρασία του μέσου από το οποίο αντλείται η θερμότητα και όσο πιο χαμηλή είναι η θερμοκρασία του μέσου στο οποίο αποδίδεται, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απόδοσής τους. Ως βαθμός απόδοσης χαρακτηρίζεται η σχέση της ωφέλιμης ενέργειας προς την ενέργεια που καταναλώνεται. Δηλαδή ο βαθμός απόδοσης είναι τόσο μεγαλύτερος όσο μικρότερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην πηγή και τον αποδέκτη θερμότητας. Στις εγκαταστάσεις κλιματισμού, οι δύο συσκευές παραγωγής ενέργειας, ο λέβητας και η ψυκτική μονάδα, μπορούν να αντικατασταθούν από μία αντλία θερμότητας.

Οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής, το κόστος της εγκατάστασης, η εδαφική διαθεσιμότητα και η αξιολόγηση της εξοικονόμησης ενέργειας σε σύγκριση με άλλες πηγές ενέργειας είναι οι παράγοντες που καθορίζουν την επιλογή του κατάλληλου τύπου αντλίας θερμότητας. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας είναι κατάλληλες σε περιοχές που η θερμοκρασία περιβάλλοντος πέφτει κάτω από  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  για διάρκεια τουλάχιστον 10 ημερών το έτος.



**Εικόνα 5.6:** Σχηματική απεικόνιση εγκατάστασης οριζόντιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας στα αριστερά και κατακόρυφου στα δεξιά



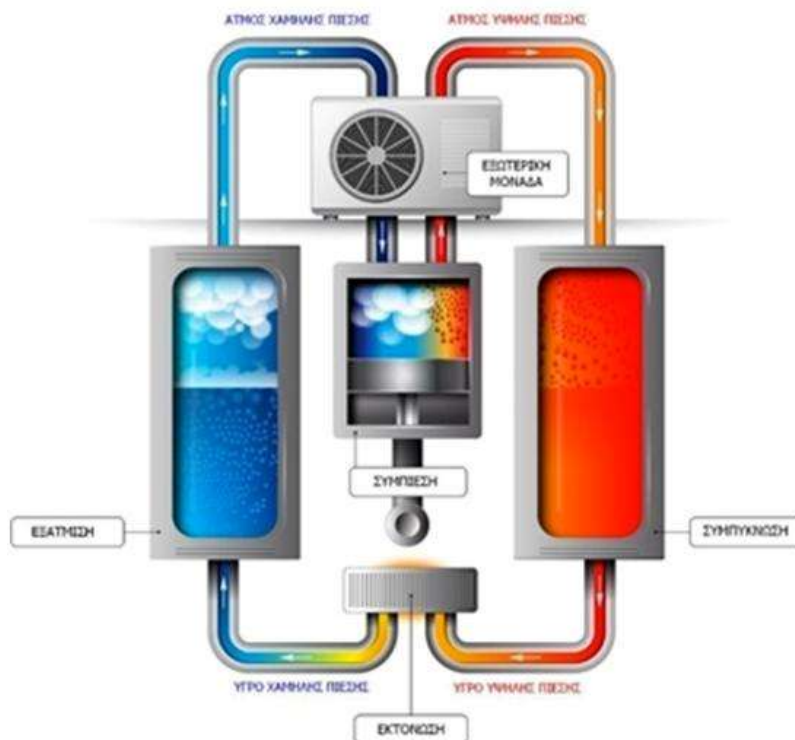
**Εικόνα 5.7:** Σχηματική απεικόνιση εγκατάστασης αντλίας θερμότητας αέρα στα αριστερά και νερού στα δεξιά.

Για τα Εκπαιδευτήρια Γεωργίου Ζώη που εξετάζονται θα μελετηθεί η περίπτωση εγκατάστασης αντλιών θερμότητας αέρα/ νερού για την παροχή θέρμανσης μόνο, καθώς το εκπαιδευτικό συγκρότημα δε διαθέτει κεντρικό σύστημα ψύξης.

Οι αντλίες θερμότητας αέρα / νερού λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο με τα ψυγεία, χρησιμοποιώντας ένα κύκλο συμπίεσης ατμού. Αποτελούνται από τα ακόλουθα μέρη: ένα συμπιεστή, μια βαλβίδα εκτόνωσης και δύο εναλλάκτες θερμότητας (ένα εξατμιστή και ένα συμπυκνωτή).

Ο εξωτερικός αέρας ωθείται μέσω ενός ανεμιστήρα στην αντλία θερμότητας όπου συναντά τον εξατμιστή. Αυτός είναι συνδεδεμένος σε ένα κλειστό σύστημα που περιέχει ένα ψυκτικό μέσο που μπορεί να μετατραπεί σε αέριο σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Όταν ο εξωτερικός αέρας χτυπά τον εξατμιστή μετατρέπεται σε αέριο.

Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας ένα συμπιεστή, το αέριο φτάνει σε αρκετά υψηλή θερμοκρασία, στην οποία μπορεί να μεταφερθεί στο συμπυκνωτή του συστήματος θέρμανσης του χώρου. Ταυτόχρονα το ψυκτικό μέσο με τη βοήθεια του συμπυκνωτή επανέρχεται στην υγρή μορφή, για να μετατραπεί σε αέριο για μια άλλη φορά και να συλλέξει νέα θερμότητα.



**Εικόνα 5.8:** Τρόπος λειτουργίας αντλιών θερμότητας αέρα / νερού.

Πηγή: <http://www.greenpeace.org>

Ο βαθμός απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας (COP – Coefficient of Performance) υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$COP = \text{Αποδιδόμενη θερμότητα} / \text{Καταναλισκόμενη ενέργεια}$

Ο βαθμός απόδοσης για τις αντλίες θερμότητας αέρα / νερού κυμαίνεται από 2,5 έως 4,5. Αυτό σημαίνει ότι μια αντλία θερμότητας με COP=3 για κάθε kWh ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει, αποδίδει 3 kWh θερμικής ενέργειας.

Το κόστος αγοράς και εγκατάστασης των αντλιών θερμότητας που θα χρησιμοποιηθούν στα τέσσερα κτίρια υπολογίζεται στις 104.500 €.

Για να υπολογιστεί η εξοικονόμηση που προκύπτει θεωρείται ότι οι αντλίες θερμότητας έχουν COP= 4,05. Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω μια θερμική kWh από τις αντλίες θερμότητας θα κοστίζει  $(0,08259 \text{ €/kWh}^1) / (4,05 \text{ kWh}) = 0,0204\text{€}$ .

Η θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου θέρμανσης είναι περίπου 10.000 Kcal/lt . Μια kWh ισούται με περίπου 860 Kcal. Ο μέσος βαθμός απόδοσης των τεσσάρων λεβήτων είναι 92,1%. Επομένως μια θερμική kWh χρειάζεται:

$$860 \text{ Kcal} / (10.000 \text{ Kcal/lt} * 0,921) = 0,0933 \text{ lt}$$

<sup>1</sup> Η φετινή τιμή της kWh για το τιμολόγιο Γ22.

Σε αυτό το σημείο θα πραγματοποιηθεί μια μελέτη ευαισθησίας του όφελους των αντλιών θερμότητας σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου. Θα υλοποιηθούν οι υπολογισμοί με δύο τιμές πετρελαίου: την αναμενόμενη φετινή τιμή που αναμένεται μειωμένη στα 0,85€/lt και την περσινή που κυμάνθηκε στο 1,1€/lt .

Σύμφωνα με τη φετινή τιμή του πετρελαίου θέρμανσης η χρέωση ανά λίτρο είναι 0,85 €/lt άρα μια θερμική kWh από πετρέλαιο θα κοστίζει 0,0793€, δηλαδή 74,3% ακριβότερα συγκριτικά με τις αντλίες θερμότητας.

Η μέση ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης του συγκροτήματος είναι τα 14.500lt, ενώ το κόστος θέρμανσης των υπάρχοντων λεβήτων πετρελαίου για αυτά τα λίτρα με 0,85 €/lt υπολογίζεται στα 12.325€. Το αντίστοιχο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας που θα χρειαζόντουσαν οι αντλίες θερμότητας για να αποδώσουν την ίδια θερμότητα είναι 74,3 % λιγότερο δηλαδή 25,7% \* 12.325€ = 3.167,53€, φτάνοντας την ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας 9.157,48€.

Στην δεύτερη περίπτωση η τιμή πετρελαίου θέρμανσης είναι 1,1 €/lt άρα μια θερμική kWh από πετρέλαιο κόστιζε 0,1026 €, δηλαδή 80,1% ακριβότερα συγκριτικά με τις αντλίες θερμότητας.

Με την ίδια ποσότητα πετρελαίου θέρμανσης(14.500lt) το κόστος θέρμανσης των υπάρχοντων λεβήτων πετρελαίου για αυτά τα λίτρα με 1,1 €/lt υπολογίστηκε στα 15.950€. Οι αντλίες θερμότητας για να αποδώσουν την ίδια θερμότητα είναι 80,1% λιγότερο δηλαδή 19,9% \* 15.950 €≈ 3.174,05 €, με ετήσιο όφελος 12.775,95€.

Ακολουθούν οι πίνακες με τους υπολογισμούς για τις δύο περιπτώσεις για εικοσιπέντε χρόνια, που θεωρείται η διάρκεια ζωής ενός συστήματος αντλίας θερμότητας.

**Πίνακας 5.6:** Προσδιορισμός ΚΠΑ συστήματος αντλίας θερμότητας για 2 διαφορετικές τιμές πετρελαίου

Για τιμή πετρελαίου 0,85 €/lt		Για τιμή πετρελαίου 1,1 €/lt	
Έτη	ΚΠΑ	Έτη	ΚΠΑ
1	-95.778,59	1	-92.332,43
2	-87.472,49	2	-80.744,27
3	-79.561,91	3	-69.707,92
4	-72.028,03	4	-59.197,11
5	-64.852,90	5	-49.186,82
6	-58.019,45	6	-39.653,21
7	-51.511,41	7	-30.573,58
8	-45.313,26	8	-21.926,32
9	-39.410,27	9	-13.690,83
10	-33.788,37	10	-5.847,51
11	-28.434,18	11	1.622,33
12	-23.334,95	12	8.736,46
13	-18.478,54	13	15.511,82
14	-13.853,39	14	21.964,54
15	-9.448,49	15	28.109,99
16	-5.253,34	16	33.962,81

17	-1.257,96	17	39.536,91
18	2.547,16	18	44.845,58
19	6.171,08	19	49.901,46
20	9.622,44	20	54.716,58
21	12.909,45	21	59.302,41
22	16.039,93	22	63.669,86
23	19.021,35	23	67.829,35
24	21.860,79	24	71.790,76
25	24.565,02	25	75.563,53

Επομένως για τιμή πετρελαίου 0,85 €/lt η ΚΠΑ=23.319,39 >0, ο ΕΒΑ = 7,23% και ο ΕΠΑ=17, ενώ για για τιμή πετρελαίου 1,1 €/lt ο ΚΠΑ=75.563,53 >0, ο ΕΒΑ=11,4% και ο ΕΠΑ= 10. Και στις δύο περιπτώσεις η επένδυση είναι συμφέρουσα, όμως παρατηρείται η μεγάλη διαφορά στα χρόνια απόσβεσης και της απόδοσης της επένδυσης.

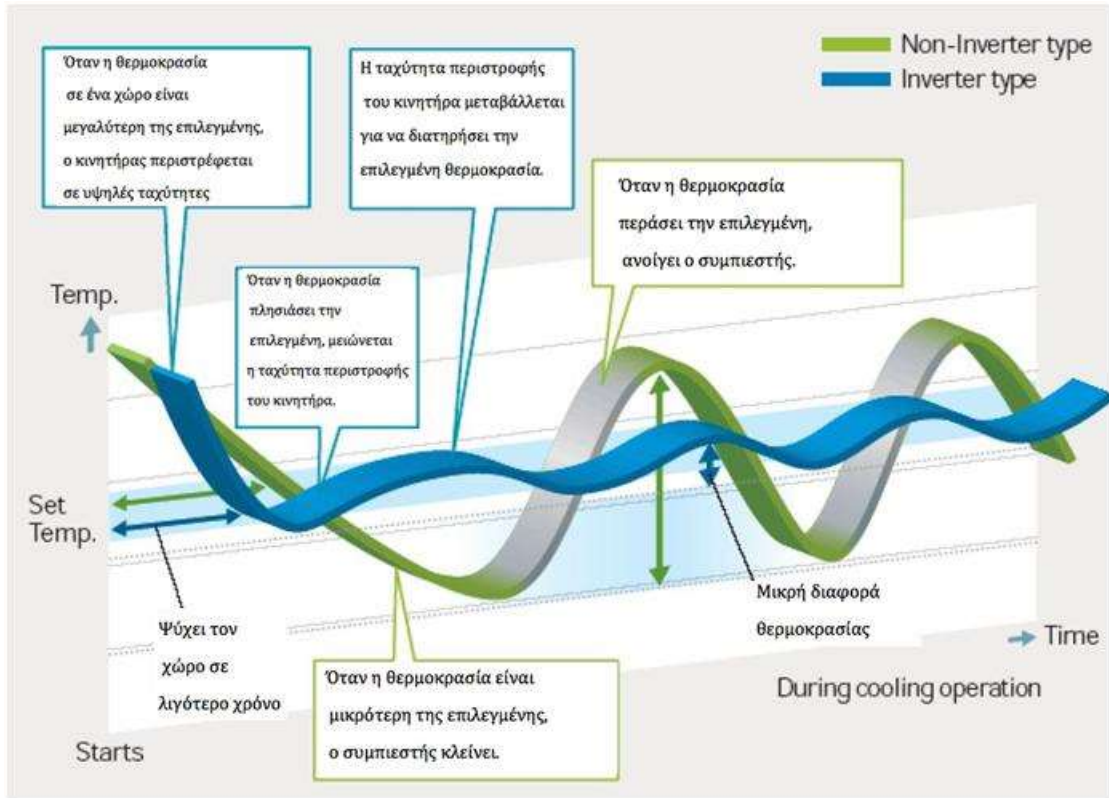
Σε κάθε περίπτωση η επένδυση προτείνεται λόγω της άμεσης συσχέτισης της εξοικονόμησης ενέργειας των αντλιών θερμότητας με τις τιμές του πετρελαίου και του ρεύματος να γίνει μια έρευνα σε βάθος εικοσιπενταετίας για τις τιμές τους πριν πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε επένδυση, παρόλο που και στις δύο περιπτώσεις φαίνεται ενδιαφέρουσα.

### 5.3.3 Αντικατάσταση παλιών κλιματιστικών με inverter

Τα κλιματιστικά τεχνολογίας inverter έχουν τη δυνατότητα να αυτορυθμίζουν την παρεχόμενη ισχύ τους, με βάση την επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία και τις απώλειες του χώρου, με αποτέλεσμα να εξοικονομούν ηλεκτρικό ρεύμα και κατά επομένως χρήματα.

Ένα συμβατικό κλιματιστικό σταθερών στροφών, όταν επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία στο χώρο, σταματά τη λειτουργία του ενώ όταν η θερμοκρασία μεταβληθεί πέρα από κάποιο όριο, τότε η εξωτερική μονάδα ξεκινά να λειτουργεί και πάλι. Πρόκειται για επανεκκινήσεις με σημαντικές απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια, οι οποίες με τη χρήση των κλιματιστικών inverter αποφεύγονται.

Τα κλιματιστικά inverter διαθέτουν συμπιεστή μεταβλητής απόδοσης και έτσι, βάσει των απαιτήσεων για διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας στον κλιματιζόμενο χώρο, ρυθμίζονται ανάλογα οι στροφές λειτουργίας της εξωτερικής μονάδας. Με αυτόν τον τρόπο η εξωτερική μονάδα ξεκινά αλλά δε σταματά τη λειτουργία της και επομένως υπάρχει αποτελεσματικότερη διατήρηση της επιθυμητής διαδικασίας. Ο τρόπος λειτουργίας των συμβατικών και inverter κλιματιστικών παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 5.9: Ο τρόπος λειτουργίας των συμβατικών και inverter κλιματιστικών.

Πηγή:<http://blog.shoprex.com>

Βασικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας inverter είναι η οικονομία ηλεκτρικού ρεύματος που προσφέρει. Ανάλογα με τον τύπο της συσκευής αλλά και τις συνθήκες της χρήσης του μπορεί να εξοικονομήσει από 25% έως 50 % ηλεκτρικού ρεύματος συγκριτικά με ένα συμβατικό. Διαθέτει γρήγορη απόδοση καθώς επιτυγχάνει την επιθυμητή θερμοκρασία σε πολύ λιγότερο χρόνο σε σχέση με ένα κλιματιστικό σταθερών στροφών.

Ωστόσο λόγω του μεγαλύτερου αρχικού κόστους των κλιματιστικών inverter θα πρέπει να εξεταστεί αν η απόσβεση που γίνεται μέσω των λογαριασμών του ρεύματος δικαιολογεί το παραπάνω κόστος, δεδομένου ότι όσες περισσότερες οι ώρες λειτουργίας τόσο μεγαλύτερο το όφελος.

Όπως παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, στο εκπαιδευτικό συγκρότημα υπάρχουν 13 συμβατικά κλιματιστικά που καταναλώνουν ετησίως 15.148 kWh.

Η επένδυση προς αξιολόγηση αφορά την αντικατάσταση όλων των κλιματιστικών μονάδων με καινούρια τύπου inverter: 3 των 12.000 BTU, 6 των 24.000 BTU και 4 των 30.000BTU με EER > 3,1και COP>3,6, συνολικής αξίας μαζί με την εγκατάσταση 15.140 €.

Η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 25% καθώς τα κλιματιστικά χρησιμοποιούνται μόνο για ψύξη τρεις μήνες το χρόνο. Επομένως το ετήσιο όφελος

υπολογίζεται  $0,25 * 15.148 \text{ KWh} * 0,08259 \text{ €/KWh} = 312,77\text{€}$ . Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται η ΚΠΑ της επένδυσης.

**Πίνακας 5.7:** Υπολογισμός ΚΠΑ της δράσης των κλιματιστικών inverter

Έτη	Ετήσιο όφελος (€)	Ανοιγμένες ΚΤΡ (€)	ΚΠΑ
0	312,77	297,88	-14.842,12
1	312,77	283,69	-14.558,43
2	312,77	270,18	-14.288,25
3	312,77	257,32	-14.030,93
4	312,77	245,06	-13.785,87
5	312,77	233,39	-13.552,48
6	312,77	222,28	-13.330,20
7	312,77	211,69	-13.118,50
8	312,77	201,61	-12.916,89
9	312,77	192,01	-12.724,87
10	312,77	182,88	-12.542,00
11	312,77	174,16	-12.367,84
12	312,77	165,87	-12.201,97
13	312,77	157,97	-12.044,00
14	312,77	150,45	-11.893,55
15	312,77	143,28	-11.750,27
Σύνολο		<b>3.389,73</b>	

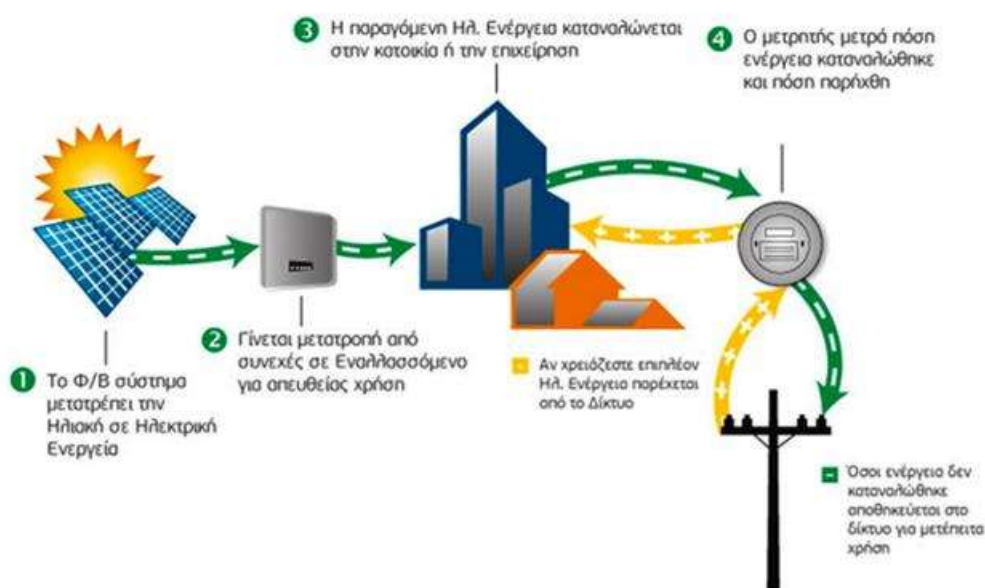
Παρατηρείται λοιπόν ότι για τη συγκεκριμένη επένδυση είναι  $\text{ΚΠΑ} = -11750 < 0$ ,  $\text{ΕΒΑ} = -4,55\% < 0$  και  $\text{ΕΠΑ} >> 25$  ετών οπότε η επένδυση κρίνεται μη βιώσιμη.

## 5.4 Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών στις οροφές

Τα «Εκπαιδευτήρια Γεωργίου Ζώη» διαθέτουν έναν αρκετά μεγάλο χώρο στις οροφές των κτιρίων τους, ο οποίος παραμένει ανεκμετάλλετος. Σε συνδυασμό λοιπόν με τον ευνοϊκό προσανατολισμό του κτιρίου και τα υψηλά ποσοστά ηλιοφάνειας της περιοχής, καθιστούν ελκυστική μια επένδυση σε παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών στοιχείων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του συγκροτήματος.

Η ανάπτυξη φωτοβολταϊκών συστημάτων από αυτοπαραγωγούς θεσπίστηκε με την Υπουργική Απόφαση ΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ.24461(ΦΕΚ Β΄ 3583/31.12.2014) και αφορά στην εγκατάσταση σταθερών φωτοβολταϊκών συστημάτων για την κάλυψη ιδίων αναγκών από καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού. Είχε προηγηθεί ο νόμος Ν.420/2013 (ΦΕΚ 235Α/1.1.2013 με τον οποίο θεσμοθετήθηκε για πρώτη φορά η δυνατότητα των καταναλωτών να κάνουν χρήση του ενεργειακού συμψηφισμού και ακολούθησε η τροποποίηση των ρυθμίσεων με το νόμο Ν.4252/2014 (ΦΕΚ 85Α/7.4.2014).

Ως ενεργειακός συμψηφισμός – net metering θεωρείται ο συμψηφισμός της παραγόμενης από τα φωτοβολταϊκά συστήματα ενέργειας με την καταναλισκόμενη στις εγκαταστάσεις του αυτοπαραγωγού, ο οποίος διενεργείται σε ετήσια βάση. Στον ενεργειακό συμψηφισμό η παραγόμενη ενέργεια δεν είναι απαραίτητο να ταυτίζεται με την καταναλισκόμενη.



Εικόνα 5.10: Τρόπος λειτουργίας του net metering

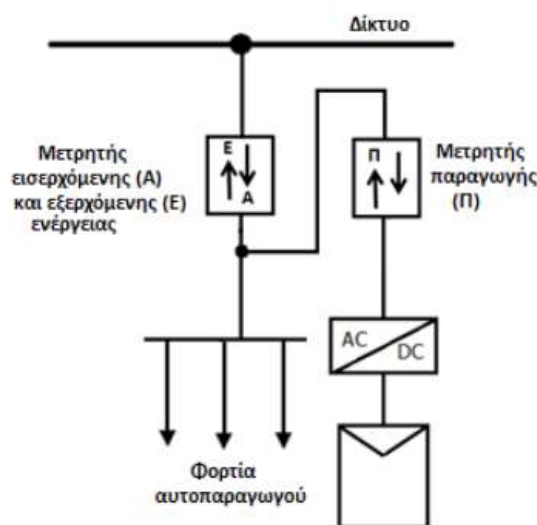
Πηγή: <http://www.sillis.gr>

Για τη διαστασιολόγηση του ΦΒ συστήματος είναι ενδεδειγμένο επομένως να λαμβάνεται υπόψη η ετήσια κατανάλωση της εγκατάστασης στην οποία αυτό θα συνδεθεί, καθώς τυχόν πλεόνασμα ενέργειας μετά τον ετήσιο συμψηφισμό δεν αποζημιώνεται. Η ετήσια



παραγόμενη από το ΦΒ συστήμα ενέργεια δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την συνολική ετήσια κατανάλωση.

Για την εφαρμογή του ενεργειακού συμψηφισμού απαιτείται καταγραφή τόσο της εισερχόμενης ενέργειας (ενέργεια που απορροφάται από το δίκτυο) όσο και της εξερχόμενης ενέργειας (ενέργεια που εγχέεται στο Δίκτυο). Για αυτό το λόγο πραγματοποιείται αντικατάσταση του υφιστάμενου μετρητή με νέο διπλής κατεύθυνσης. Ταυτόχρονα απαιτείται και εγκατάσταση δεύτερου μετρητή για τη μέτρηση της παραγόμενης από το ΦΒ συστήματος ενέργειας.



**Εικόνα 5.11:** Συνδεσμολογία μετρητών Δικτύου και αυτοπαραγωγού

Πηγή: <http://www.deddie.gr>

Ο ενεργειακός συμψηφισμός πραγματοποιείται από τον προμηθευτή του ηλεκτρικού ρεύματος με βάση τα πραγματικά δεδομένα που παρέχει ο διαχειριστής του Δικτύου. Επομένως λαμβάνει χώρα σε κάθε εκκαθαριστικό λογαριασμό, με εκκαθάριση στον τελευταίο εκκαθαριστικό λογαριασμό του έτους.

Η χρεώσιμη ενέργεια θεωρείται η διαφορά της απορροφώμενης με την εγχέομενη, αν η διαφορά είναι θετική. Εάν η διαφορά είναι μηδενική δεν υπάρχει καμία χρέωση, ενώ αν είναι αρνητική πάλι δεν χρεώνεται κάτι και η διαφορά της παραγόμενης από τον καταναλωτή ενέργειας πιστώνεται στον επόμενο λογαριασμό. Κατά την ετήσια εκκαθάριση τυχόν πλεόνασμα ενέργειας συμψηφίζεται με τη χρεωστέα ενέργεια προηγούμενων περιόδων, για την οποία γίνεται αντιλογισμός. Όμως τυχόν πλεόνασμα μετά τον ετήσιο αντιλογισμό δεν πιστώνεται στον επόμενο λογαριασμό.

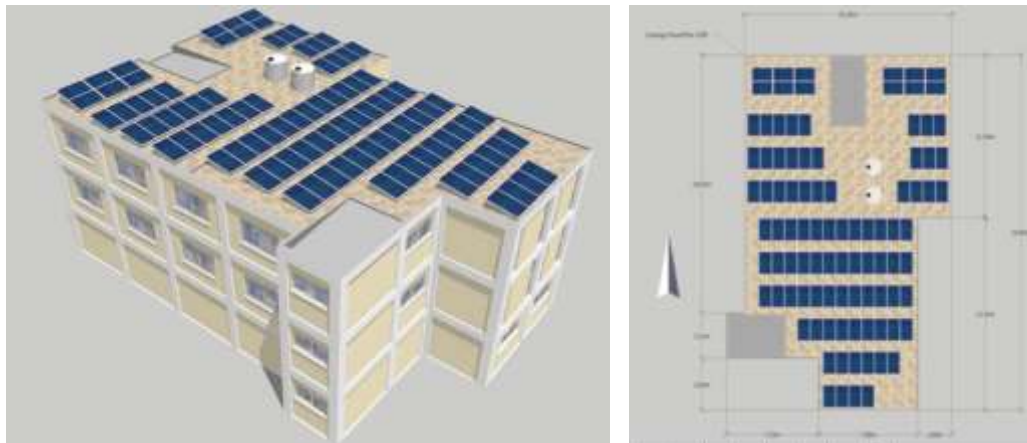
Η διάρκεια της σύμβασης συμψηφισμού του ΦΒ συστήματος είναι 25 έτη, με έναρξη ισχύος της σύμβασης την ημερομηνία ενεργοποίησης της σύνδεσης του ΦΒ συστήματος.

Το σύνολο της παραγόμενης ενέργειας από το σύστημα εξαρτάται από το προσανατολισμό, τη σκίαση, την υφιστάμενη ποσότητα ηλιοφάνειας στο χώρο που έχει υλοποιηθεί το φωτοβολταϊκό σύστημα, όπως και το μέγεθος του συστήματος που έχει εγκατασταθεί.

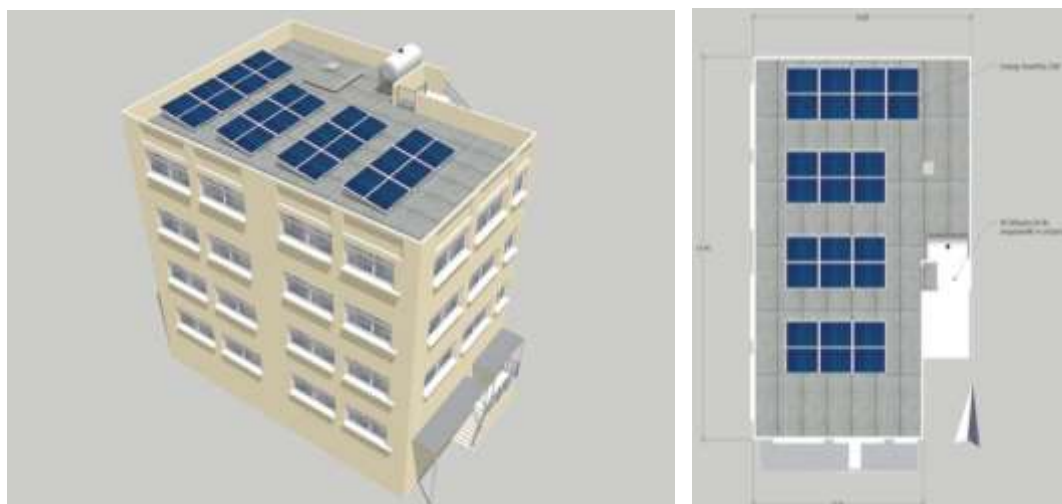
Ο αυτοπαραγωγός απαλλάσσεται από τη χρέωση του ειδικού τέλους μείωσης εκπομπών αερίων ρύπων (ΕΤΜΕΑΡ) για την παραγόμενη ενέργεια, ενώ χρεώνεται τις υπηρεσίες κοινής ωφέλειας (ΥΚΩ) βάσει της καταναλισκόμενης ενέργειας.

Με βάση τις διαθέσιμες οροφές του εκπαιδευτικού συγκροτήματος και τον προσανατολισμό τους θα αναλυθεί η περίπτωση της εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος στα κτίρια του 1<sup>ου</sup> Δημοτικού και του Λυκείου.

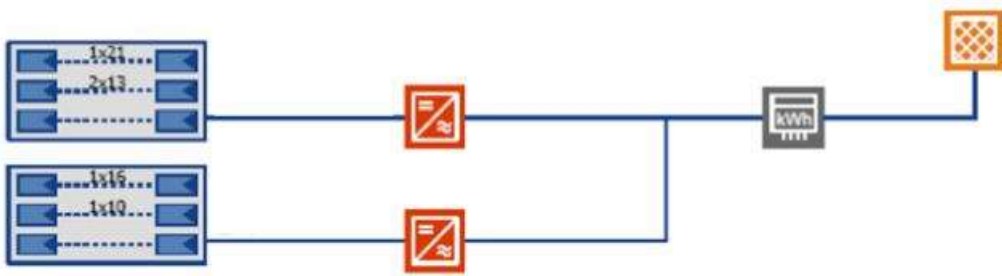
Το προτεινόμενο φωτοβολταϊκό σύστημα θα έχει ισχύ 27,60 KWp. Αποτελείται από 120 φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ) τοποθετημένα με νότιο προσανατολισμό ισχύος 230Wp το καθένα, 2 μετατροπείς (inverters) των 10 W και ένα των 5W. Το συνολικό κόστος της επένδυσης ανέρχεται στις 73.500 ευρώ.



**Εικόνα 5.12:** Τριδιάστατη άποψη της οροφής του 1<sup>ου</sup> δημοτικού με τη προτεινόμενη χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών και η κάτοψή της (94 πάνελ)

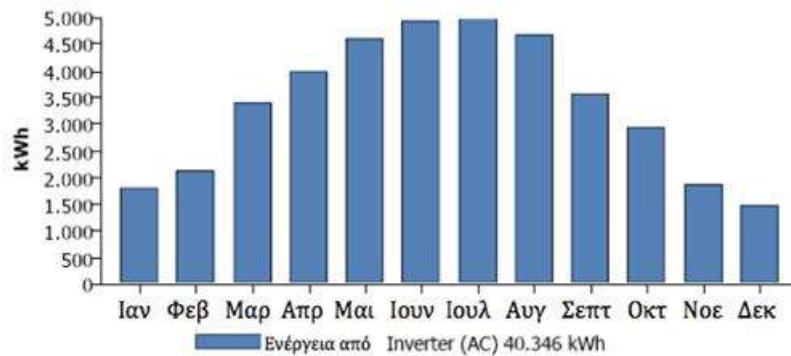


**Εικόνα 5.13:** Τριδιάστατη άποψη της οροφής του Λυκείου με τη προτεινόμενη χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών και η κάτοψή της (26 πάνελ)



**Εικόνα 5.14:** Σχηματική απεικόνιση του συστήματος

Η εκτιμώμενη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος ανά μήνα κατά τη διάρκεια του έτους παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



**Σχήμα 5.15:** Η εκτιμώμενη απόδοση ανά μήνα του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Στον ακόλουθο πίνακα περιλαμβάνονται τα βασικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη Φ/Β συστήματος.

**Πίνακας 5.8:** Χαρακτηριστικά Φ/Β συστήματος

Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκού συστήματος (KWp)	27,6
Μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (KWh/KWp)	1.461
Συνολική επιφάνεια φωτοβολταϊκών πάνελ (m)	197
Απόδοση φωτοβολταϊκών πάνελ (%)	10,7
Απόδοση του συστήματος	0,77
Συνολικό κόστος φωτοβολταϊκού συστήματος (€)	73.500
Ετήσια μείωση απόδοσης φωτοβολταϊκού συστήματος (%)	0,5
Ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης (%)	1
Ετήσια αύξηση κόστους λειτουργίας και συντήρησης (%)	1
Μέση ετήσια αύξηση τελικής τιμής καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (%)	1,2

Για τους απαραίτητους υπολογισμούς θα χρησιμοποιηθεί η μέση κατανάλωση των ετών 2009 – 2011, ήτοι 44.816 KWh. Η συμφωνημένη παροχής ισχύς του συγκροτήματος είναι

στα 128 KVA και ο ρυθμός αύξησης της καταναλισκόμενης ενέργειας ίσος με 0,5%. Εξετάζεται η επένδυση σε βάθος 25 ετών, όση και η υπογραφόμενη σύμβαση.

**Πίνακας 5.9:** Το προβλεπόμενο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς φωτοβολταϊκά για τα επόμενα 25 χρόνια.

Έτος	Κατανάλωση Ενέργειας (KWh)	Προμήθεια Ρεύματος (€)	Ρυθμιζόμενες Χρεώσεις (€)	Συνολική Ετήσια Χρέωση (€)	Συνολική Ετήσια Χρέωση με ΦΠΑ (€)
1	44.816	5.164,67	2.015,60	7.180,27	8.113,71
2	45.040	5.190,44	2.025,16	7.215,61	8.153,63
3	45.265	5.216,34	2.034,77	7.251,11	8.193,76
4	45.492	5.242,36	2.044,44	7.286,82	8.234,09
5	45.719	5.268,52	2.054,15	7.322,67	8.274,62
6	45.948	5.294,81	2.063,91	7.358,72	8.315,35
7	46.177	5.321,23	2.073,71	7.394,94	8.356,29
8	46.408	5.347,78	2.083,57	7.431,35	8.397,43
9	46.640	5.374,47	2.093,48	7.467,94	8.438,78
10	46.874	5.401,29	2.103,43	7.504,72	8.480,33
11	47.108	5.428,24	2.113,44	7.541,67	8.522,09
12	47.343	5.455,33	2.123,49	7.578,82	8.564,06
13	47.580	5.482,55	2.133,60	7.616,14	8.606,24
14	47.818	5.509,91	2.143,75	7.653,66	8.648,63
15	48.057	5.537,40	2.153,96	7.691,36	8.691,24
16	48.297	5.565,03	2.164,22	7.729,25	8.734,05
17	48.539	5.592,81	2.174,53	7.767,33	8.777,08
18	48.782	5.620,72	2.184,89	7.805,63	8.820,33
19	49.026	5.648,76	2.195,31	7.844,06	8.863,79
20	49.271	5.676,95	2.205,76	7.882,72	8.907,47
21	49.517	5.705,29	2.216,28	7.921,57	8.951,37
22	49.765	5.733,76	2.226,85	7.960,61	8.995,49
23	50.013	5.762,37	2.237,47	7.999,84	9.039,82
24	50.263	5.791,13	2.248,15	8.039,28	9.084,38
25	50.515	5.820,03	2.258,88	8.078,91	9.129,17

Το ποσοστό ετεροχρονισμού ορίζεται στο 30%, καθώς θα εμφανίζεται στο σύστημα εισροή ενέργειας από το δίκτυο (δεν είναι πλήρως ταυτοχρονισμένο). Η απορροφούμενη από το δίκτυο ενέργεια είναι επομένως ίση με το ποσοστό ετεροχρονισμού επί της ετήσιας κατανάλωσης.

Στον πίνακα που ακολουθεί Κ είναι η κατανάλωση της ενέργειας, Π η παραγωγή ενέργειας, Α η απορροφούμενη ενέργεια, Ε η εγχυόμενη στο δίκτυο ενέργεια, ΣΑΧ η συνολική προμήθεια ρεύματος, ΣΡΧ οι συνολικές ρυθμιζόμενες χρεώσεις.

**Πίνακας 5.10:** Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας με τα φωτοβολταϊκά (όλες οι τιμές ενέργειας είναι σε KWh και των χρημάτων σε ευρώ)

	K=A+Π -E	Π	A	E	A-E	ΣΑΧ	ΣΡΧ	ΣΕΧ με ΦΠΑ	Συντ/ση ΦΒ
1	44.816	40.346,05	13.444,8	8.974,81	4.470,35	524,88	293,22	924,46	735,2
2	45.040	40.144,27	13.512,2	8.616,27	4.895,73	527,45	294,18	928,44	742,4
3	45.265	39.943,55	13.579,5	8.258,04	5.321,45	530,03	295,14	932,44	749,8
4	45.492	39.743,83	13.647,6	7.899,43	5.748,17	532,63	296,13	936,47	757,3
5	45.719	39.545,11	13.715,7	7.541,81	6.173,89	535,24	297,07	940,51	764,8
6	45.948	39.347,39	13.784,4	7.183,79	6.600,61	537,86	298,04	944,57	772,5
7	46.177	39.150,65	13.853,1	6.826,75	7.026,35	540,51	299,02	948,65	780,2
8	46.408	38.954,91	13.922,4	6.469,32	7.453,12	543,14	300,01	952,76	788,0
9	46.640	38.760,12	13.992,1	6.112,12	7.879,88	545,81	300,99	956,88	795,9
10	46.874	38.566,32	14.062,2	5.754,52	8.307,68	548,48	301,99	961,03	803,9
11	47.108	38.373,49	14.132,4	5.397,89	8.734,51	551,17	302,98	965,19	811,9
12	47.343	38.181,62	14.202,9	5.041,52	9.161,38	553,87	303,99	969,38	820,0
13	47.580	37.990,71	14.274,1	4.684,71	9.589,29	556,59	304,99	973,58	828,2
14	47.818	37.800,76	14.345,4	4.328,16	10.017,24	559,31	306,01	977,81	836,5
15	48.057	37.611,76	14.417,1	3.971,85	10.445,24	562,06	307,02	982,06	844,9
16	48.297	37.423,72	14.489,1	3.615,81	10.873,31	564,81	308,05	986,33	853,3
17	48.539	37.236,58	14.561,7	3.259,28	11.302,42	567,58	309,08	990,62	861,8
18	48.782	37.050,43	14.634,6	2.903,02	11.731,62	570,37	310,11	994,94	870,5
19	49.026	36.865,14	14.707,8	2.546,94	12.160,86	573,16	311,15	999,27	879,2
20	49.271	36.680,82	14.781,3	2.191,12	12.590,18	575,98	312,19	1.003,63	888,0
21	49.517	36.497,41	14.855,1	1.835,51	13.019,59	578,83	313,24	1.008,01	896,8
22	49.765	36.314,93	14.929,5	1.479,43	13.450,07	581,64	314,31	1.012,41	905,8
23	50.013	36.133,35	15.003,9	1.124,25	13.879,65	584,52	315,35	1.016,83	914,9
24	50.263	35.952,69	15.078,9	768,59	14.310,31	587,36	316,42	1.021,28	924,0
25	50.515	35.772,92	15.154,5	412,42	14.742,08	590,25	317,49	1.025,74	933,3

**Πίνακας 5.11:** Υπολογισμοί για την αξιολόγηση της επένδυσης των Φ/Β

Έτη	Χρέωση χωρίς ΦΒ	Χρέωση με ΦΒ	Συντήρηση φβ	Ετήσιο όφελος με ΦΒ	Ανοιγμένες ΚΤΡ	ΚΠΑ
1	8.113,71	924,46	735,2	6.454,2	6.146,90	-67.353,12
2	8.153,63	928,44	742,4	6.482,8	5.880,13	-61.472,98
3	8.193,76	932,44	749,8	6.511,5	5.624,92	-55.848,06
4	8.234,09	936,47	757,3	6.540,3	5.380,76	-50.467,31
5	8.274,62	940,51	764,8	6.569,3	5.147,19	-45.320,11
6	8.315,35	944,57	772,5	6.598,3	4.923,74	-40.396,36
7	8.356,29	948,65	780,2	6.627,4	4.709,99	-35.686,38
8	8.397,43	952,76	788,0	6.656,7	4.505,48	-31.180,89
9	8.438,78	956,88	795,9	6.686,0	4.309,86	-26.871,04
10	8.480,33	961,03	803,9	6.715,4	4.122,70	-22.748,34
11	8.522,09	965,19	811,9	6.745,0	3.943,66	-18.804,68
12	8.564,06	969,38	820,0	6.774,7	3.772,39	-15.032,29
13	8.606,24	973,58	828,2	6.804,4	3.608,54	-11.423,75
14	8.648,63	977,81	836,5	6.834,3	3.451,80	-7.971,95
15	8.691,24	982,06	844,9	6.864,3	3.301,85	-4.670,11
16	8.734,05	986,33	853,3	6.894,4	3.158,41	-1.511,69
17	8.777,08	990,62	861,8	6.924,6	3.021,19	1.509,51

Ενεργειακή Επιθεώρηση σε Σχολικό Συγκρότημα Κτιρίων

18	8.820,33	994,94	870,5	6.954,9	2.889,92	4.399,41
19	8.863,79	999,27	879,2	6.985,4	2.764,34	7.163,75
20	8.907,47	1.003,63	888,0	7.015,9	2.644,21	9.807,96
21	8.951,37	1.008,01	896,8	7.046,5	2.529,30	12.337,26
22	8.995,49	1.012,41	905,8	7.077,3	2.419,36	14.756,62
23	9.039,82	1.016,83	914,9	7.108,1	2.314,20	17.070,82
24	9.084,38	1.021,28	924,0	7.139,1	2.213,60	19.284,43
25	9.129,17	1.025,74	933,3	7.170,2	2.117,37	<b>21.401,80</b>
ΣΥΝΟΛΟ					<b>94.901,80</b>	

Για τη συγκεκριμένη επένδυση είναι  $KPA = -73500 + 94901,80 = 21401,8 > 0$ ,  $EBA = 7,68\%$  και  $EPA = 16$  έτη, οπότε η επένδυση κρίνεται βιώσιμη.

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 6  
Σ Υ Μ Π Ε Ρ Α Σ Μ Α Τ Α –  
Π Ρ Ο Ο Π Τ Ι Κ Ε Σ





## 6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την ενεργειακή επιθεώρηση, που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, **επιχειρήθηκε να διαμορφωθεί μία επαρκής εικόνα γύρω από το ενεργειακό προφίλ** των 5 υπό μελέτη κτιρίων του σχολικού συγκροτήματος «Εκπαιδευτήρια Γεωργίου Ζώη».

Η ύπαρξη συγκεντρωτικών τιμολογίων καταναλισκόμενης ενέργειας για το σχολικό συγκρότημα, και όχι ξεχωριστά ανά κτίριο, τόσο όσον αφορά την ηλεκτρική ενέργεια, όσο και τη θερμική, κατέστησε αναγκαία τη λεπτομερή καταγραφή των ηλεκτρικών συσκευών και την εκτίμηση της κατανάλωσής τους βάσει της εγκατεστημένης ισχύος και των ωρών λειτουργίας του κτιρίου. Η υπολογιζόμενη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας με αυτή τη μέθοδο κρίθηκε αρκετά ικανοποιητική, εφόσον παρατηρήθηκε απόκλιση της τάξης του 3,5% μόνο σε σχέση με τα τιμολόγια.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που συλλέχθηκαν, τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν και την περαιτέρω ανάλυσή τους, καθώς και τις δράσεις που προτάθηκαν, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- **Το ενεργειακό κόστος αποτελεί σημαντικό κομμάτι του λειτουργικού κόστους του σχολικού συγκροτήματος, με υψηλές δυνατότητες εξοικονόμησης**, όπως αποδείχθηκε και από την αντικατάσταση λαμπτήρων μεταξύ του 2009 και 2010, και τη σημαντική εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας που επιτεύχθηκε.
- **Παρά την ελλιπή θερμομόνωση των κτιρίων, δεν ανιχνεύθηκαν σημαντικές απώλειες ενέργειας.** Πιο συγκεκριμένα, το κτιριακό κέλυφος, τόσο του παιδικού σταθμού όσο και γυμνασίου, δεν παρέχει επαρκή μόνωση. Για αυτό το λόγο, δε μελετήθηκαν δράσεις προς την κατεύθυνση της ενεργειακής αναβάθμισής τους, καθώς η βελτίωση της θερμοπρόσοψης και η χρήση βελτιωμένων κουφωμάτων και υαλοπινάκων είναι δράσεις με πολύ υψηλό αρχικό κόστος, που παρά τα σημαντικά ενεργειακά οφέλη που αναμένεται να προκύψουν, θεωρείται ότι δεν θα είναι βιώσιμες. Σημαντικό ρόλο σε αυτό διαδραματίζει το χρονικό εύρος λειτουργίας του σχολικού συγκροτήματος, το οποίο παραμένει κλειστό 3 μήνες το χρόνο, ενώ δε διαθέτει και σημαντικά φορτία ψύξης/κλιματισμού.
- **Σημαντικά περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας στον τομέα του φωτισμού** και για τα υπό μελέτη κτίρια, και μάλιστα με **επεμβάσεις χαμηλού κόστους** όπως:
  - ✓ **αντικατάσταση των λαμπτήρων πυράκτωσης** και των λαμπτήρων T8 με λαμπτήρες LED,
  - ✓ **αντικατάσταση μαγνητικών με ηλεκτρονικά ballast.**
- **Ανάγκη αναβάθμισης των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων του σχολικού συγκροτήματος.** Παρά τις καλές αποδόσεις των συστημάτων λέβητα καυστήρα, μελετήθηκε η δυνατότητα εγκατάστασης αντλιών θερμότητας αέρα νερού για την κάλυψη των θερμικών αναγκών των κτιρίων του σχολικού συγκροτήματος. Η συγκεκριμένη επένδυση είναι βιώσιμη, ενώ μελετήθηκε η απόδοσή της σε σχέση με

δυο διαφορετικές τιμές πετρελαίου, οπότε και υπολογίστηκε ότι σε ενδεχόμενη αύξηση της τιμής του καυσίμου, ο χρόνος αποπληρωμής της επένδυσης θα μειωθεί σημαντικά.

- **Πιθανή επέκταση του δικτύου φυσικού αερίου στην περιοχή και σύνδεση του σχολικού συγκροτήματος σε αυτό θα είχε σημαντικά οφέλη εξοικονόμησης ενέργειας.**
- **Η περιορισμένη χρήση ψυκτικών φορτίων καθιστά την αντικατάσταση των υφιστάμενων κλιματιστικών με νέας τεχνολογίας inverter ως μη βιώσιμη επένδυση.**
- **Η εισαγωγή νέων ενεργειακών τεχνολογιών θα μπορούσε να αποτελέσει μία άκρως συμφέρουσα επένδυση, με σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.** Στην παρούσα διπλωματική εργασία, εξετάστηκε η **δυνατότητα εγκατάστασης Φ/Β πλαισίων** σε ένα τμήμα της μεγάλης διαθέσιμης επιφάνειας της οροφής των κτιρίων.

## 6.2 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Οι προοπτικές βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας των υπό μελέτη κτιρίων όπου πραγματοποιήθηκε η ενεργειακή επιθεώρηση είναι μεγάλες. Στην παρούσα διπλωματική εργασία επισημάνθηκαν οι πιο συμφέρουσες.

Ωστόσο, προκειμένου να υπάρξει μία απολύτως σωστή αξιολόγηση των οικονομικά αποδοτικών δυνατοτήτων για εξοικονόμηση ενέργειας κρίνεται απαραίτητη η **τοποθέτηση μετρητών φυσικού αερίου σε κάθε σύστημα λέβητα καυστήρα** και η **χρήση του αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας για μεγάλο χρονικό διάστημα** και ανά κτίριο προκειμένου να διαπιστωθούν το ύψος και οι διαβαθμίσεις των καταναλώσεων.

Παράλληλα, θα μπορούσαν να μελετηθούν καινοτόμες δράσεις θέρμανσης, όπως πάνελ ανάκλασης θερμότητας, αλλά δεν κατέστη δυνατό να ληφθεί τεχνική προσφορά, ενώ η εφαρμογή της τεχνολογίας στην Ελλάδα είναι περιορισμένη.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας 20701-2/2010 «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων»
2. Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων (Σχέδιο Κανονισμού για Ενεργειακή Αποδοτικότητα των κτιρίων- KENAK)
3. Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας «Αναλυτικές Εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης:» (Α΄ Έκδοση, 2010)
4. Επίσημη Ιστοσελίδα τη εταιρίας FLIR :  
[http://support.flir.com/DocDownload/Assets/55/Greek/T559064\\$a460.pdf](http://support.flir.com/DocDownload/Assets/55/Greek/T559064$a460.pdf)  
[http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820325/T820325\\_EN.pdf](http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820325/T820325_EN.pdf)
5. Επίσημη Ιστοσελίδα της εταιρίας Fluke [www.fluke.com](http://www.fluke.com)
6. Διαχείριση ενεργειακών πόρων του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Τεχνοοικονομικά Συστήματα (ΜΒΑ) : Οικονομική Αξιολόγηση Επενδύσεων  
<http://academics.epu.ntua.gr>
7. Επίσημη Ιστοσελίδα του Lighting Research Center – “The objective source of lighting product information-Electronic Ballasts”  
<http://www.lrc.rpi.edu/programs/NLPIP/PDF/VIEW/SREB2.pdf>
8. Διδακτορική εργασία Νικολάου Γ. Χονδράκη “Πειραματική διερεύνηση του φαινομένου της έναυσης των λαμπτήρων φθορισμού και επίδραση των παραμέτρων της στη διάρκεια ζωής τους”  
<http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/6436/1/PD2012-0033.pdf>
9. Επίσημη Ιστοσελίδα Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών  
Ενέργειας [http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS\\_METRHSEON&ORGANON.pdf](http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS_METRHSEON&ORGANON.pdf)
10. Ενημερωτική Ιστοσελίδα «Ο υδραυλικός» <http://www.ydravlikos.gr>
11. Ενημερωτική Ιστοσελίδα του Πανελλήνιου σχολικού δικτύου  
<http://users.sch.gr/fantakis/ARTHRA/1.RITHMISH-KAFST-PETR..pdf>
12. Επίσημη Ιστοσελίδα της εταιρίας ΚΑΦΚΑΣ  
[www.kafkas.gr](http://www.kafkas.gr)
13. Επίσημη Ιστοσελίδα τη εταιρίας Big Solar Led

<http://www.bigsolarled.com/ofeli-led-texnologias.html?sl=el>

14. Επίσημη Ιστοσελίδα του Φυσικού αερίου Αττικής

<http://www.aerioattikis.gr>

15. Επίσημη Ιστοσελίδα της ΔΕΔΗΕ

<http://www.deddie.gr/Documents2/Fotovoltaika>

16. Επίσημη Ιστοσελίδα της ΔΕΗ

<https://www.dei.gr/el>

17. Επίσημη Ιστοσελίδα τη εταιρίας Thermansi press

<http://thermansipress.gr/thermansi/>

18. Επίσημη Ιστοσελίδα τη εταιρίας Hotwater [www.hotwater-shop.gr](http://www.hotwater-shop.gr)

19. Ενημερωτική Ιστοσελίδα Monachos [www.monachos.gr](http://www.monachos.gr)

20. Ενημερωτική σελίδα περιβαλλοντολογικού ενδιαφέροντος EcoNews

[www.econews.gr](http://www.econews.gr)

21. Μελέτη του ΕΘΝΙΚΟΥ ΜΕΤΣΟΒΙΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ – Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών- Τομέας Θερμότητας του Εργαστηρίου Ατμοκινητήρων και Λεβητών «Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες»

22. Επίσημη ιστοσελίδα της εταιρίας θέρμανσης- ψύξης Tehnotec

[www.technotec.gr/dat/C6E09D7F/file.pdf](http://www.technotec.gr/dat/C6E09D7F/file.pdf)

23. Επίσημη Ιστοσελίδα της εταιρίας MrLed [www.mrled.gr/blog](http://www.mrled.gr/blog)

24. Επίσημη Ιστοσελίδα της εταιρίας Green Energy Solutions [www.greenenergysolutions.gr](http://www.greenenergysolutions.gr)

25. Επίσημη Ιστοσελίδα του ηλεκτρονικού καταστήματος Lampomagazo

[www.lampomagazo.com](http://www.lampomagazo.com)

26. Επίσημη Ιστοσελίδα του ηλεκτρονικού καταστήματος Ergo-tel [www.ergo-tel.gr](http://www.ergo-tel.gr)