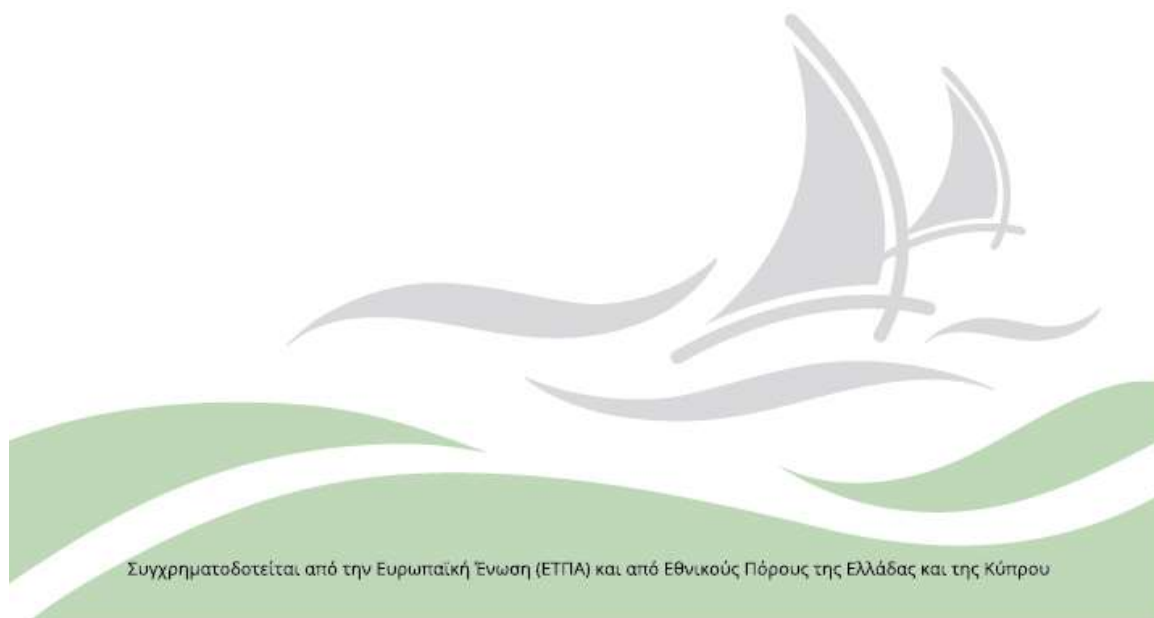


## ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ - Τεχνική μελέτη ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων και μετατροπή τους σε ευφυή (ΑΡ. ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ 3.2.3)

---

Τεχνική έκθεση

Ημερομηνία: 10/05/2022



Συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΤΠΑ) και από Εθνικούς Πόρους της Ελλάδας και της Κύπρου

# **Τεχνική μελέτη ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων και μετατροπή τους σε ευφυή**

## **Συγγραφείς**

Χρύσω Ηρακλέους, Αιμίλιος Μιχαήλ, Κυριάκος Καραντώνης και Απόστολος Μιχόπουλος

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>5</b>
<b>2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΟΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ .....</b>	<b>6</b>
2.1 ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	6
2.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ, ΔΙΑΡΡΥΘΜΙΣΗ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ.....	8
2.3 ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	9
2.4 Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΥΠΟΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΣΧΟΛΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ.....	10
2.5 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ .....	11
2.6 ΩΡΑΡΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	11
<b>3. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ ΣΧΟΛΕΙΟΥ ΑΡΧΙΕΠΙΣΚΟΠΟΥ ΜΑΚΑΡΙΟΥ Γ΄ .....</b>	<b>12</b>
3.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ.....	12
3.1.1. ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ .....	12
3.1.2. ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ .....	13
3.2 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ.....	14
3.3 ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΕΣΗ .....	16
3.4 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ.....	18
4.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΔΙΑΦΑΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ (ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ). 18	
4.1.1 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ.....	19
4.1.2 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΟΡΟΦΗΣ.....	23
4.1.3 ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ.....	25
4.2 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΚΙΑΣΜΟΥ.....	25
4.3 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ ΦΩΤΟΔΙΟΔΟΥ .....	28
4.4 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ .....	28

4.5	ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ ΟΡΟΦΗΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ.....	29
4.6	ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	30
4.7	ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ (KNX).....	31
4.8	ΔΕΝΔΡΟΦΥΤΕΥΣΗ .....	31
<b>5.</b>	<b>ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>33</b>

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος του έργου είναι η ενεργειακή αναβάθμιση της δυτικής πτέρυγας του κτιρίου που στεγάζει το Γυμνάσιο Αρχιεπισκόπου Μακαρίου Γ΄ στο Πλατύ Αγλαντζιάς στη Λευκωσία. Απώτερος στόχος είναι η δημιουργία πρότυπων ευφυών σχολικών κτηρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης που θα παρέχουν βέλτιστη αίσθηση άνεσης, η ενίσχυση της βιώσιμης κινητικότητας με την δημιουργία σταθμών ηλεκτρικής φόρτισης οχημάτων, αλλά και η συμμετοχική εκπαίδευση των χρηστών των κτηρίων για ορθή χρήση νέων τεχνολογιών διαχείρισης ενέργειας από Α.Π.Ε. με στόχο τον απομακρυσμένο έλεγχο δημόσιων κτηρίων κατατάσσοντας τα στην κατηγορία Ευφυών Κτηρίων. Η προσδοκώμενη ριζική αλλαγή από την νέα μορφή δημοσίου κτηρίου αφορά στην ευρεία ανάπτυξη της οικολογικής συνείδησης της κοινωνικής ζωής στην περιοχή, οδηγώντας σε οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη.

## 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΟΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

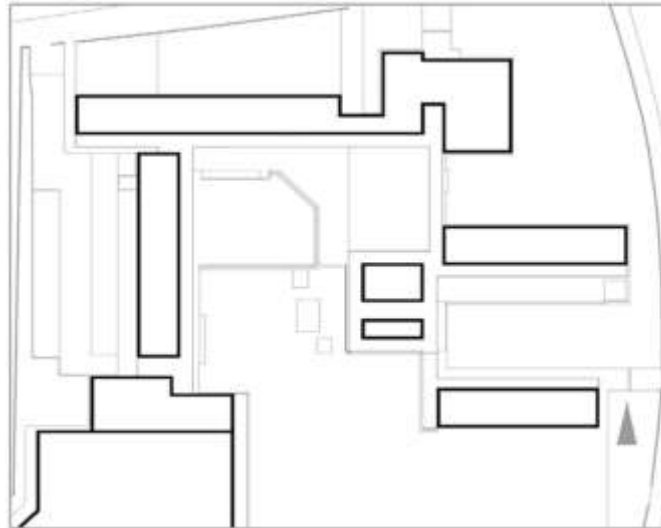
Η ευθύνη για την εξασφάλιση της απαραίτητης, για τη λειτουργία της δημόσιας εκπαίδευσης, κτιριακής υποδομής έχουν οι τεχνικές υπηρεσίες του Υπουργείου Παιδείας, Πολιτισμού, Αθλητισμού και Νεολαίας. Η πλειονότητα των σχολικών κτιρίων στην Κύπρο είναι προϊόν σχεδιασμού των τεχνικών υπηρεσιών του Υπουργείου Παιδείας, Πολιτισμού Αθλητισμού και Νεολαίας. Σημαντικός αριθμός σχολικών κτιρίων, ανεγέρθηκε στα χρόνια που ακολούθησαν της τούρκικης εισβολής του 1974, για την κάλυψη των κτιριακών αναγκών που παρουσιάστηκαν. Πρόκειται για διώροφα κτίρια, τα οποία χαρακτηρίζονται από έντονη τυποποίηση στο σχεδιασμό και στην κατασκευαστική υλοποίησή τους. Αυτά τα σχολικά κτίρια αντιπροσωπεύουν την πλειονότητα των σχολικών μονάδων στην Κύπρο και κατασκευάστηκαν χωρίς να ικανοποιούν προκαθορισμένες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης. Ένα από αυτά τα τυπικά σχολικά κτίρια είναι και το Γυμνάσιο Αρχιεπισκόπου Μακαρίου Γ΄ στο Πλατύ Αγλαντζιάς.

### 2.1 ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το Γυμνάσιο Αρχιεπισκόπου Μακαρίου Γ΄, βρίσκεται στην επαρχία Λευκωσίας στην περιοχή Πλατύ Αγλαντζιάς (κλιματική ζώνη 02 - πεδινά). Βρίσκεται σε επίπεδο τεμάχιο με υψόμετρο 170 μέτρων από τη στάθμη της θάλασσας και έχει βόρειο γεωγραφικό πλάτος  $35^{\circ} 08'$  και ανατολικό γεωγραφικό μήκος  $33^{\circ} 23'$ . Στη γενική του σύνθεση το σχολικό κτίριο αποτελείται από ελεύθερους γραμμικούς στοίχους στους άξονες ανατολής - δύσης και βορρά - νότου (Εικόνα 1). Η διάταξη αυτή δημιουργεί μια κύρια κεντρική αυλή που προορίζεται για τις κύριες υπαίθριες δραστηριότητες του σχολείου (Εικόνα 2). Επιπλέον δημιουργούνται δευτερεύοντες υπαίθριοι χώροι μεταξύ των ελευθέρων στοίχων. Οι αίθουσες διδασκαλίας έχουν ανοίγματα προς όλους τους προσανατολισμούς.



**Εικόνα 1.** Γυμνάσιο Αρχιεπισκόπου Μακαρίου Γ΄ Πλατύ Αγλαντζιάς, Λευκωσία, 1984.



**Εικόνα 2.** Γυμνάσιο Αρχιεπισκόπου Μακαρίου Γ' Πλατύ Αγλαντζιάς, διαγραμματική κάτοψη, Λευκωσία, 1984.

Στη δορυφορική λήψη (Εικόνα 3), διακρίνεται η σχέση με το οδικό δίκτυο, η βασική κτιριακή δομή του σχολικού κτιρίου, η σχέση του δομημένου χώρου με τον υπαίθριο σχολικό χώρο (σχολική αυλή και αθλητικές εγκαταστάσεις) και το ευρύτερο αστικό περιβάλλον.



**Εικόνα 3.** Δορυφορική λήψη Γυμνασίου Αρχιεπισκόπου Μακαρίου Γ' Πλατύ Αγλαντζιάς, Λευκωσία.

## 2.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ, ΔΙΑΡΡΥΘΜΙΣΗ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ.

Η οργανωτική δομή των χώρων διδασκαλίας αποτελεί ίσως το πιο έντονο χαρακτηριστικό της οργάνωσης του Γυμνασίου Αρχιεπισκόπου Μακαρίου Γ'. Οι αίθουσες τοποθετούνται κατά μήκος ενός ανοικτού διαδρόμου, ο οποίος αναπτύσσεται γραμμικά.

Η γραμμική διάταξη των αιθουσών διδασκαλίας και η σύνδεση τους με γραμμικούς ημι-παίθριους διαδρόμους, ανοικτούς προς τις αυλές που δημιουργούνται, προδιαγράφουν μια ανοικτή μορφή σχεδιασμού με σημαντικές δυνατότητες σύνδεσης και επικοινωνίας των αιθουσών με τους υπαίθριους και ημιυπαίθριους χώρους του σχολείου. Παρά τις σημαντικές δυνατότητες που προσφέρονται, η λειτουργική σύνδεση εσωτερικού και εξωτερικού χώρου πραγματοποιείται μόνο μέσω της εισόδου/ων στην αίθουσα διδασκαλίας.

Η γενική αίθουσα διδασκαλίας του σχολικού κτιρίου έχει ορθογώνια κάτοψη. Το πλάτος της αίθουσας είναι περίπου 7 μ., τέτοιο ώστε να μπορεί να υποστηρίξει τρεις σειρές θρανίων, και το μήκος περίπου 8 μ.. Το συνολικό εμβαδόν της αίθουσας διδασκαλίας κυμαίνεται από 50 έως 60 τ.μ. και το ύψος ανέρχεται στα 3.15 μ..



**Εικόνα 4.** Τυποποίηση στις όψεις των τυπικών σχολικών κτιρίων αποτέλεσμα της προσήλωσης του σχεδιασμού στον κατασκευαστικό κάρναβο.

Όσον αφορά στα ανοίγματα, αυτά εμφανίζονται, εκτός εξαιρέσεων, και στις δύο μεγάλες όψεις της αίθουσας (Εικόνα 4). Συναντούμε αίθουσες που έχουν σε όλο το μήκος της μιας πλευράς παράθυρα και στην απέναντι φεγγίτες. Η πρόσβαση στην αίθουσα διδασκαλίας γίνεται από ημιυπαίθριο (στεγασμένο) γραμμικό διάδρομο πλάτους 250 εκ.. Οι παραπάνω διατάξεις δεν μπορούν να αιτιολογηθούν με κάποια κλιματική συνέπεια, αφού εμφανίζονται σε όλους τους προσανατολισμούς.

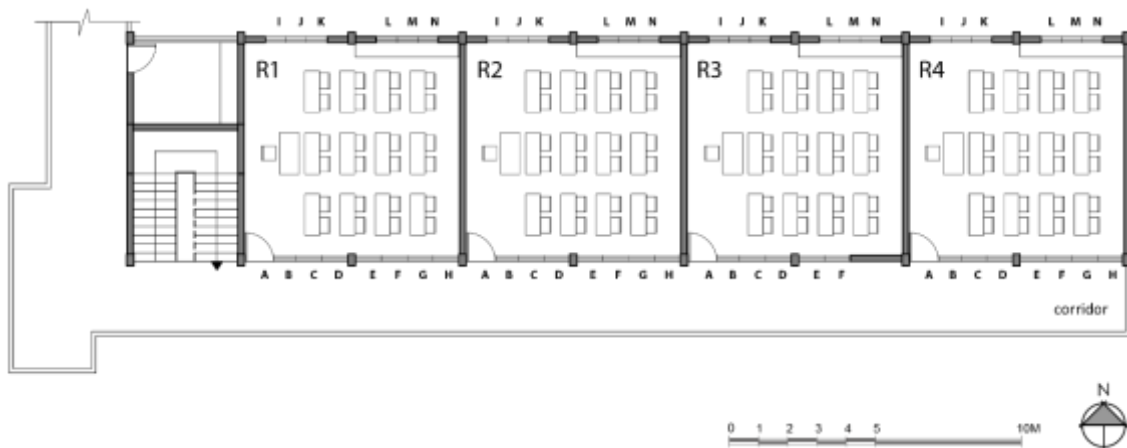
Η εσωτερική διαμόρφωση της αίθουσας καθορίζεται κυρίως από τη διάταξη των θρανίων που τοποθετούνται σε παράλληλες σειρές με σαφή κατεύθυνση προς τον πίνακα (Εικόνα 5



και 6). Η έδρα για τον καθηγητή βρίσκεται δίπλα στον πίνακα. Ο εξοπλισμός της σχολικής αίθουσας ολοκληρώνεται με την ύπαρξη επίπλου που εξυπηρετεί την τοποθέτηση του εκπαιδευτικού υλικού και πινακίδων ανάρτησης ανακοινώσεων.



**Εικόνα 5.** Η εσωτερική διαμόρφωση της αίθουσας διδασκαλίας.



**Εικόνα 6.** Οργάνωση γενικής αίθουσας διδασκαλίας γυμνασιακής εκπαίδευσης.

### 2.3 ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Ο δεδομένος αρχιτεκτονικός σχεδιασμός και η ανοικτή δομή του σχολείου προσφέρει δυνατότητες εφαρμογής βασικών βιοκλιματικών αρχών. Η τοποθέτηση του κτιριακού όγκου στον άξονα ανατολής – δύσης και με το στεγασμένο διάδρομο προς το νότο, εξασφαλίζει άμεσα ηλιακά κέρδη κατά την περίοδο θέρμανσης, κατάλληλη ηλιοπροστασία των υαλοστασίων και διαμπερή αερισμό κατά την περίοδο δροσισμού. Επιπλέον, ως αποτέλεσμα της ύπαρξης αμφίπλευρων ανοιγμάτων στις αίθουσες διδασκαλίας παρέχεται η δυνατότητα αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού. Η ενσωμάτωση αρχών βιοκλιματικού σχεδιασμού και περιβαλλοντικής αρχιτεκτονικής στο σχεδιασμό των σχολικών κτιρίων πέρα από συνθήκες

άνεσης, επιπλέον συμβάλει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό.

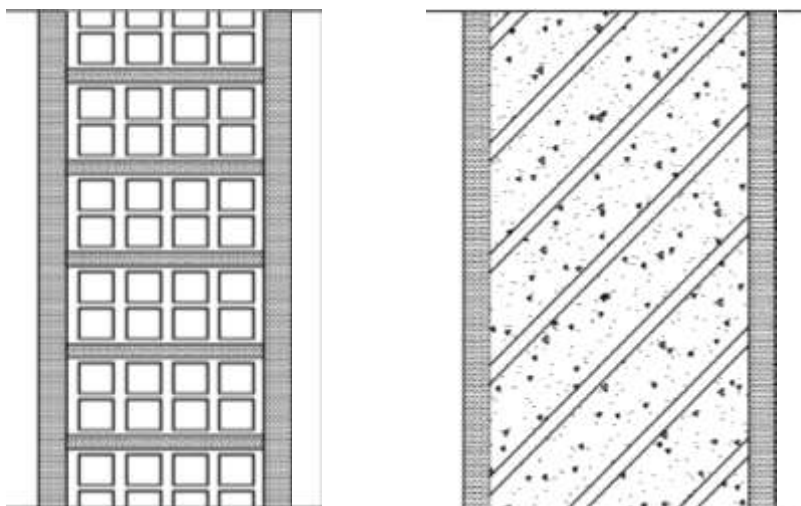
## 2.4 Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΥΠΟΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΣΧΟΛΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ

Το σχολείο διαθέτει φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα όπως και η πλειονότητα των κτιριακών κατασκευών στην Κύπρο. Ο δομικός σχεδιασμός του φέροντος οργανισμού των τυπικών σχολικών κτιρίων παρουσιάζει κανονικότητα και σημαντικό βαθμό τυποποίησης.

Τα στοιχεία υποστήλωσης του κτιρίου διατάσσονται σε κανάβους της τάξης των 7x4 μέτρων και σε άμεση συνταύτιση με την οργανωτική δομή των κατόψεων. Οι αίθουσες διδασκαλίας αποτελούνται κατά κανόνα από δύο συνεχείς κατασκευαστικούς κανάβους, με αποτέλεσμα να συναντούμε σχολικές αίθουσες ελαφρά ορθογωνικές με διαστάσεις περίπου 7x8 μέτρα και εμβαδόν από 50 έως 60 τ.μ..

Οι στοίχοι που δημιουργούνται από τη γραμμική τοποθέτηση λειτουργικών χώρων, αποτελούν ανεξάρτητα δομικά μοντέλα, διαθέτοντας αντισεισμικούς αρμούς στις μεταξύ τους συνδέσεις. Η κανονικότητα του δομικού συστήματος, επιτρέπει ευελιξία στο σχεδιασμό των λειτουργικών χώρων.

Η πλήρωση γίνεται με διάτρητα τούβλα, διαστάσεων 20 x 30 x 10 εκ.. Το συνολικό πλάτος της τοιχοποιίας ανέρχεται στα 25 εκ. συμπεριλαμβανόμενου και του επιχρίσματος. Το σχολικό κτίριο δεν διαθέτει καμία μορφή θερμομόνωσης εξωτερικού κελύφους, σε τοιχοποιίες ή στοιχεία του φέροντος οργανισμού, υποστυλώματα και δοκάρια (Εικόνα 7).



**Εικόνα 7.** Κατασκευαστική λεπτομέρεια τοιχοποιίας. Υλικά από έξω προς τα μέσα: τιμεντοκονίαμα 25 χιλ., διάτρητο κεραμικό τούβλο 200 χιλ., τιμεντοκονίαμα 25 χιλ.. και κατασκευαστική λεπτομέρεια υποστυλώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα. Υλικά από έξω προς τα μέσα: τιμεντοκονίαμα 25 χιλ., οπλισμένο σκυρόδεμα 250 χιλ., τιμεντοκονίαμα 25 χιλ..

Τα ανοίγματα πληρώνονται με κουφώματα αλουμινίου και διαθέτουν απλούς υαλοπίνακες.

Τα δάπεδα του σχολικού κτιρίου διαστρώνονται στην πλειονότητα τους με προκατασκευασμένα χυτά μωσαϊκά πλακίδια διαστάσεων 40 x 40 εκ.. Οι υπαίθριοι χώροι πλακοστρώνονται με τσιμεντόπλακες πεζοδρομίου διαστάσεων 40 x 40 εκ. ή παραμένουν με συμπιεσμένο χώμα ή αμμοχάλικο.

## 2.5 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Το σχολείο διαθέτει σύστημα κεντρικής θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου. Η θέρμανση των λειτουργικών χώρων επιτυγχάνεται με τη χρήση θερμαντικών σωμάτων ζεστού νερού (καλοριφέρ). Παρόλο που δεν προβλέπεται σύστημα δροσισμού στις αίθουσες διδασκαλίας για τη θερινή περίοδο μέχρι σήμερα, σημειώνεται ότι σε αίθουσες με ειδικές λειτουργικές συνθήκες, ειδικές ανάγκες και ιδιαίζουσες περιπτώσεις χρηστών ήδη τοποθετούνται κλιματιστικά (στα γραφεία Διευθυντών/τριών, στα γραφεία γραμματείας, στις αίθουσες των εκπαιδευτικών, στα ιατρεία, στα αμφιθέατρα, στις αίθουσες εκδηλώσεων, στα εργαστήρια θερινών σχολείων, στις Μονάδες Ειδικής Εκπαίδευσης και στις ειδικές αίθουσες διδασκαλίας). Διαθέτουν ζεστό νερό χρήσης από ηλεκτρικό θερμοσίφωνα, σε επιλεγμένα εργαστήρια, το ιατρείο και το κυλικείο.

Ο τεχνητός φωτισμός των σχολικών αιθουσών εξασφαλίζεται με την τοποθέτηση λαμπτήρων φθορισμού ισχύος 65W, δύο ανά κατασκευαστικό κάναβρο. Επιπλέον το σχολείο διαθέτει φωτοβολταϊκό σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού.

## 2.6 ΩΡΑΡΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Σημειώνεται πως ο ημερήσιος χρόνος λειτουργίας των σχολείων δημοτικής και μέσης εκπαίδευσης διαρκεί από τις 07:30 μέχρι τις 13:05/ 13:35 από τα μέσα Σεπτεμβρίου έως τα μέσα Ιουνίου με δεκαπενθήμερη περίοδο αργιών τα Χριστούγεννα και το Πάσχα αντίστοιχα.

### **3. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΓΥ-ΜΝΑΣΙΟΥ ΣΧΟΛΕΙΟΥ ΑΡΧΙΕΠΙΣΚΟΠΟΥ ΜΑΚΑΡΙΟΥ Γ΄**

Στο πλαίσιο της αξιολόγησης της υφιστάμενης κατάστασης των σχολικών αιθουσών, καταγράφηκαν και αναλύθηκαν οι συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης και ποιότητας αέρα που επικρατούν σε χαρακτηριστικές σχολικές αίθουσες του υφιστάμενου σχολείου.

#### **3.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ**

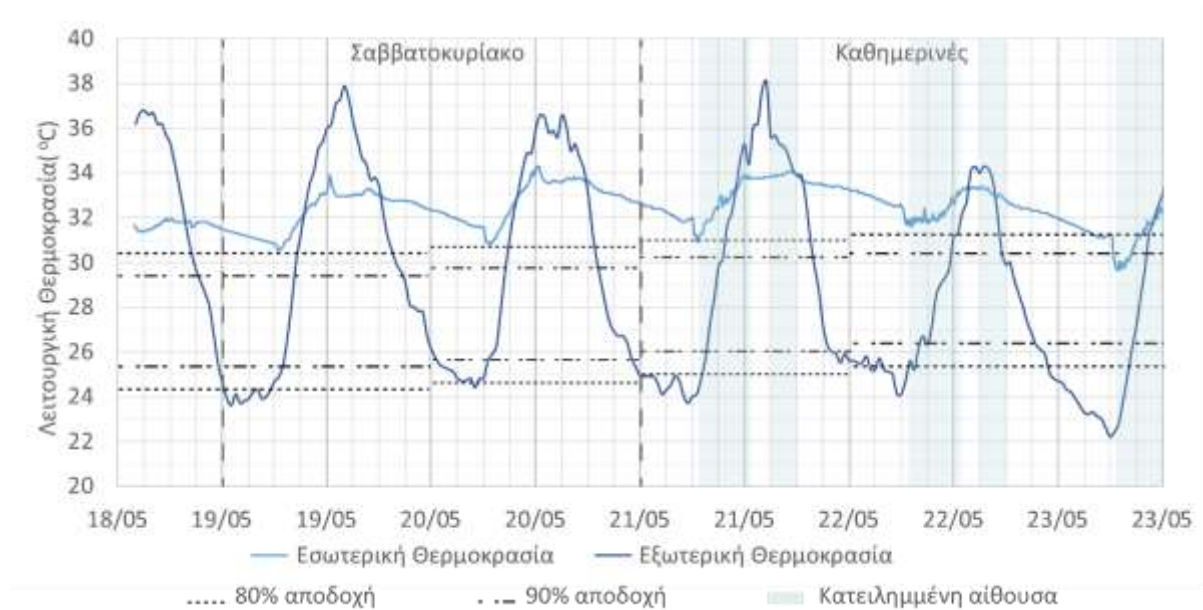
Σύμφωνα τις υποδείξεις του πρότυπου CYS EN 16798-1:2019, σε κτίρια που δεν υποστηρίζονται με μηχανικά συστήματα, τα αποδεκτά όρια θερμικής άνεσης διαφοροποιούνται ανάλογα με τις εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες. Τα όρια θερμικής άνεσης στη Λευκωσία κυμαίνονται από 19,6 °C το χειμώνα έως 31,3 °C το καλοκαίρι. Όταν η εσωτερική θερμοκρασία ξεπερνά τα συγκεκριμένα όρια για αρκετές ώρες και εμφανίζει σημαντική απόκλιση από αυτά, τότε το κτίριο απαιτεί κατά περίπτωση θέρμανση ή ψύξη.

Τα αποτελέσματα της έρευνας του Πανεπιστημίου Κύπρου κατέδειξαν ότι για ορισμένες χρονικές περιόδους, οι συνθήκες θερμικής άνεσης στις σχολικές αίθουσες που κτίστηκαν πριν από το 2007 υπερβαίνουν τα αποδεκτά όρια, όπως αυτά καθορίζονται από τα σχετικά πρότυπα.

##### **3.1.1. ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ**

Η εξωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της περιόδου καταγραφής κυμαίνεται από 23,6°C έως 38,1°C, με μέση ημερήσια διακύμανση 12,7°C. Σημειώνεται ότι η περίοδος αυτή αντιπροσωπεύει την πιο θερμή περίοδο του διδακτικού χρόνου και αποτελεί ένα ακραίο φαινόμενο για τον μήνα Μάιο.

Οι μέσες θερμοκρασίες, στις αίθουσες που εξετάζεται η συνήθης τακτική αερισμού (μονόπλευρος αερισμός από τις 07:30-13:35), υπερβαίνουν τα αποδεκτά όρια αλλά όχι σε μεγάλο βαθμό. Συγκεκριμένα οι μέσες θερμοκρασίες λειτουργίας κυμαίνονται από 31,1 °C έως 32,5°C κατά τη διάρκεια του σχολικού ωραρίου (7:30 - 13:30). Δηλαδή η μέση τιμή είναι 1,2°C πάνω από την επιτρεπόμενη τιμή που ορίζεται από τα πρότυπα. Η αίθουσα παρουσιάζει κατά μέσο όρο θερμοκρασία 2°C πάνω από τα όρια άνεσης για τις τελευταίες 3 ώρες του σχολικού ωραρίου. Η ελάχιστη λειτουργική θερμοκρασία των 29,7°C παρουσιάζεται μεταξύ 07:00 - 08:00 το πρωί, λόγω του ανοίγματος των παραθύρων, ενώ η μέγιστη θερμοκρασία (34,3°C) εμφανίζεται μεταξύ 13:30 και 15:00 όταν τα σχολεία παραμένουν κλειστά (Εικόνα 8). Επίσης, με δεδομένο ότι τα σχολεία παραμένουν κλειστά κατά τη θερινή περίοδο, το πρόβλημα περιορίζεται σε συγκεκριμένες ημέρες των μηνών Μαΐου, Ιουνίου και Σεπτεμβρίου.



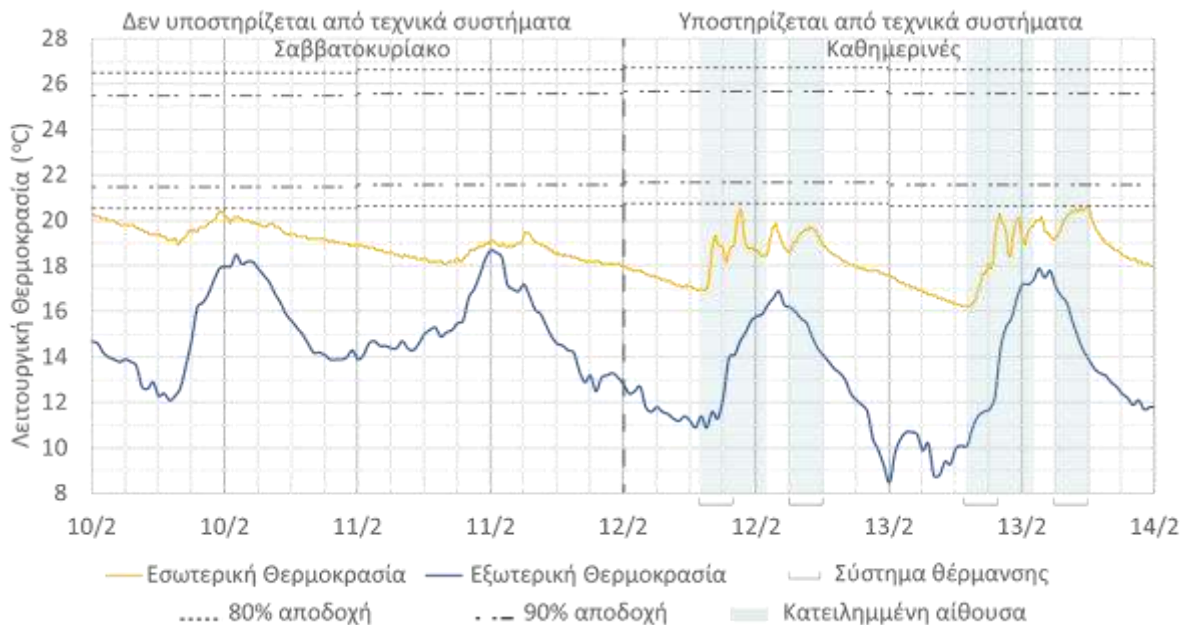
**Εικόνα 8.** Λειτουργική θερμοκρασία σε αίθουσα με νότιο προσανατολισμό στις 19-23 Μαΐου.

### 3.1.2. ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ

Οι εξωτερικές θερμοκρασίες κατά τη χειμερινή περίοδο κυμαίνονταν από 8,5°C έως 18,7°C, με μέση ημερήσια διακύμανση 7,4°C. Κατά τη διάρκεια του διδακτικού χρόνου, δηλαδή 07:30-13:35, η εξωτερική θερμοκρασία κυμαινόταν από 10,7°C έως 18,7°C, με μέση ημερήσια διακύμανση 5,7°C.

Οι θερμοκρασίες λειτουργίας των αιθουσών κατά την χειμερινή περίοδο, σε περιόδους όπου οι αίθουσες διδασκαλίας δεν είναι κατελιημμένες από χρήστες (Σαββατοκύριακα), είναι γενικά σταθερές καθώς δεν υποστηρίζονται από τεχνικά συστήματα, παρόλα αυτά παραμένουν κάτω από τα αποδεκτά όρια θερμικής άνεσης. Κατά την διάρκεια της διδακτικής περιόδου όπου λειτουργούσε το σύστημα θέρμανσης, η εσωτερική θερμοκρασία παρουσιάζει διακυμάνσεις. Σε όλες τις αίθουσες, η ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας εμφανίζεται μεταξύ 07:00-8:00 το πρωί, ενώ η μέγιστη θερμοκρασία καταγράφεται μεταξύ 12:00-13:00 τα Σαββατοκύριακα ενώ μεταξύ 10:00-11:00 τις καθημερινές όπου το σύστημα θέρμανσης είναι ενεργοποιημένο.

Οι μέσες θερμοκρασίες λειτουργίας στην αίθουσα κυμαίνονταν από 18,6°C έως 19,8°C κατά τη διάρκεια του διδακτικού χρόνου και είναι εκτός των ορίων θερμικής άνεσης (Εικόνα 9).



**Εικόνα 9.** Λειτουργική θερμοκρασία σε αίθουσα με νότιο προσανατολισμό στις 9-16 Φεβρουαρίου.

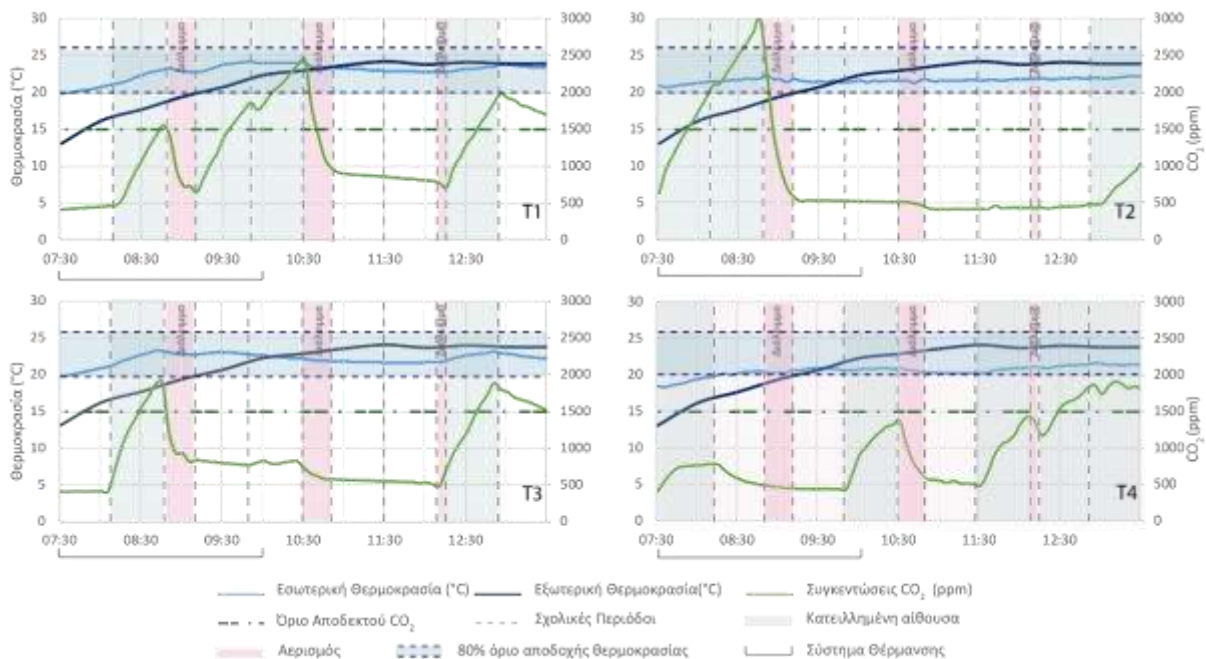
### 3.2 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ

Στα πλαίσια της διερεύνησης της ποιότητας αέρα στις σχολικές αίθουσες πραγματοποιήθηκε ποσοτική καταγραφή και ανάλυση των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα σε αντιπροσωπευτικές σχολικές αίθουσες διδασκαλίας.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ομοσπονδία Θέρμανσης, Εξαερισμού και Κλιματισμού (REHVA), το αποδεκτό όριο για τη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) σε εσωτερικούς χώρους είναι 1.500 ppm. Το ίδιο όριο καθορίζεται και από την αρχή των δημόσιων εκπαιδευτικών κτιρίων στο Ηνωμένο Βασίλειο (Building Bulletin BB 101) και το ίδιο ισχύει και στα γερμανικά (DIN 1946) και τα ελβετικά (SIA 328/1) πρότυπα. Σύμφωνα με το πρότυπο 90.1 της Αμερικανικής Ένωσης Μηχανικών Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (ASHRAE), η οριακή τιμή κατά τη διάρκεια της περιόδου χρήσης του χώρου είναι 700 ppm πάνω από τα εξωτερικά επίπεδα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (που κυμαίνονται περίπου στα 300-500 ppm). Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο CYS EN 16798-1:2019, το αποδεκτό όριο για τις συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα είναι μέχρι 500 ppm πάνω από τα εξωτερικά επίπεδα, δηλαδή περίπου 1.000 ppm.

Η έρευνα στόχευσε στη αξιολόγηση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα και στη διερεύνηση των επιπτώσεων του φυσικού αερισμού στην ποιότητα του αέρα σε σχολικές αίθουσες διδασκαλίας. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι κατά τη διάρκεια της διδακτικής περιόδου, οι τιμές συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα υπερβαίνουν τα 3.000 ppm όταν τα ανοίγματα παραμένουν κλειστά (Εικόνα 10). Συγκεκριμένα, σε αίθουσα διδασκαλίας με 25

άτομα, οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα ανέρχονται στο όριο των 1.000 ppm στα πρώτα 15-20 λεπτά χρήσης της αίθουσας. Αντίστοιχα σε περίπτωση χρήσης της αίθουσας για δύο διαδοχικές περιόδους χωρίς αερισμό κατά τη διάρκεια του διαλείμματος, η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα μετρήθηκε υψηλότερη από το διπλάσιο του αποδεκτού ορίου. Η μείωση των επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα σε όλες τις αίθουσες διδασκαλίας συνδέεται με την αναχώρηση των μαθητών από αυτές. Ωστόσο εάν η αίθουσα παραμένει κενή αλλά κλειστή (χωρίς αερισμό), ο ρυθμός μείωσης των επιπέδων είναι πολύ αργός. Σημειώνεται ότι όταν η αίθουσα παραμένει κλειστή, οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα χρειάζονται 9-12 ώρες για να επιστρέψουν στα κανονικά επίπεδα των 420 ppm του εξωτερικού περιβάλλοντος.



**Εικόνα 10.** Θερμοκρασιακά δεδομένα και συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα σε 4 αίθουσες με διαφορετικά σενάρια αερισμού, T1: μονόπλευρος αερισμός με όλα τα παράθυρα ανοικτά κατά την διάρκεια των διαλειμάτων, T2: διαμπερής αερισμός κατά την διάρκεια των διαλειμάτων, T3: μονόπλευρος αερισμός με μερικά παράθυρα ανοικτά κατά την διάρκεια των διαλειμάτων, και T4, μονόπλευρος αερισμός κατά την διάρκεια των διαλειμάτων και συνεχής αερισμός μέσω της λειτουργίας της πόρτας, κατά τη διάρκεια των περιόδων διδασκαλίας στις 6 Μαρτίου.

Στο πλαίσιο της έρευνας εξετάστηκαν διάφορες στρατηγικές αερισμού για τη βέλτιστη της ποιότητας του αέρα κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης. Η εφαρμογή στρατηγικών φυσικού αερισμού κατά τη διάρκεια κάθε διαλείμματος έχει ευεργετική επίδραση στη μείωση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα χωρίς να διακυβεύεται η θερμική άνεση. Επιπλέον, απαιτείται μικρός συνεχής αερισμός, κατά τη διάρκεια των περιόδων

διδασκαλίας, προκειμένου να διατηρηθούν τα επίπεδα ποιότητας του αέρα εντός των ορίων που προβλέπονται από τα διεθνή πρότυπα.

Κρίνεται σημαντικό να σημειωθεί ότι οι αίθουσες διδασκαλίας δεν θα μπορούν να παραμείνουν κλειστές, εφόσον παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα που ξεπερνούν τα όρια που προβλέπονται από τα διεθνή πρότυπα και επηρεάζουν την υγεία και τις επιδόσεις των μαθητών και του προσωπικού. Ο συνεχής αερισμός κατά τη λειτουργία των αιθουσών είναι απαραίτητος για να διατηρηθούν τα επίπεδα ποιότητας αέρα που προβλέπονται από τα πρότυπα.

### 3.3 ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Ο φυσικός φωτισμός αποτελεί σημαντικό παράγοντα στο σχεδιασμό κτιρίων εκπαίδευσης καθώς αυξάνει την παραγωγικότητα, προωθεί ένα υγιές και ευχάριστο περιβάλλον ενώ μειώνει την κατανάλωση ενέργειας που προκύπτει από τη χρήση του τεχνητού φωτισμού. Στα πλαίσια διερεύνησης του φυσικού φωτισμού των σχολικών αιθουσών πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις φωτισμού στην πτέρυγα του σχολικού κτιρίου. Συγκεκριμένα, οι επιτόπιες μετρήσεις φωτισμού, το μοντέλο στο πρόγραμμα προσομοίωσης και τα ερωτηματολόγια επέτρεψαν την αξιολόγηση της απόδοσης του σχολικού κτιρίου ως προς τον φυσικού φωτισμού μέσω της συλλογής δεδομένων. Η οπτική άνεση μελετήθηκε μέσω της αξιολόγησης αναγνωρισμένων δεικτών όσον αφορά την ποσότητα φωτός, την ομοιομορφία του φωτός και την πρόβλεψη του κινδύνου θάμβωσης.

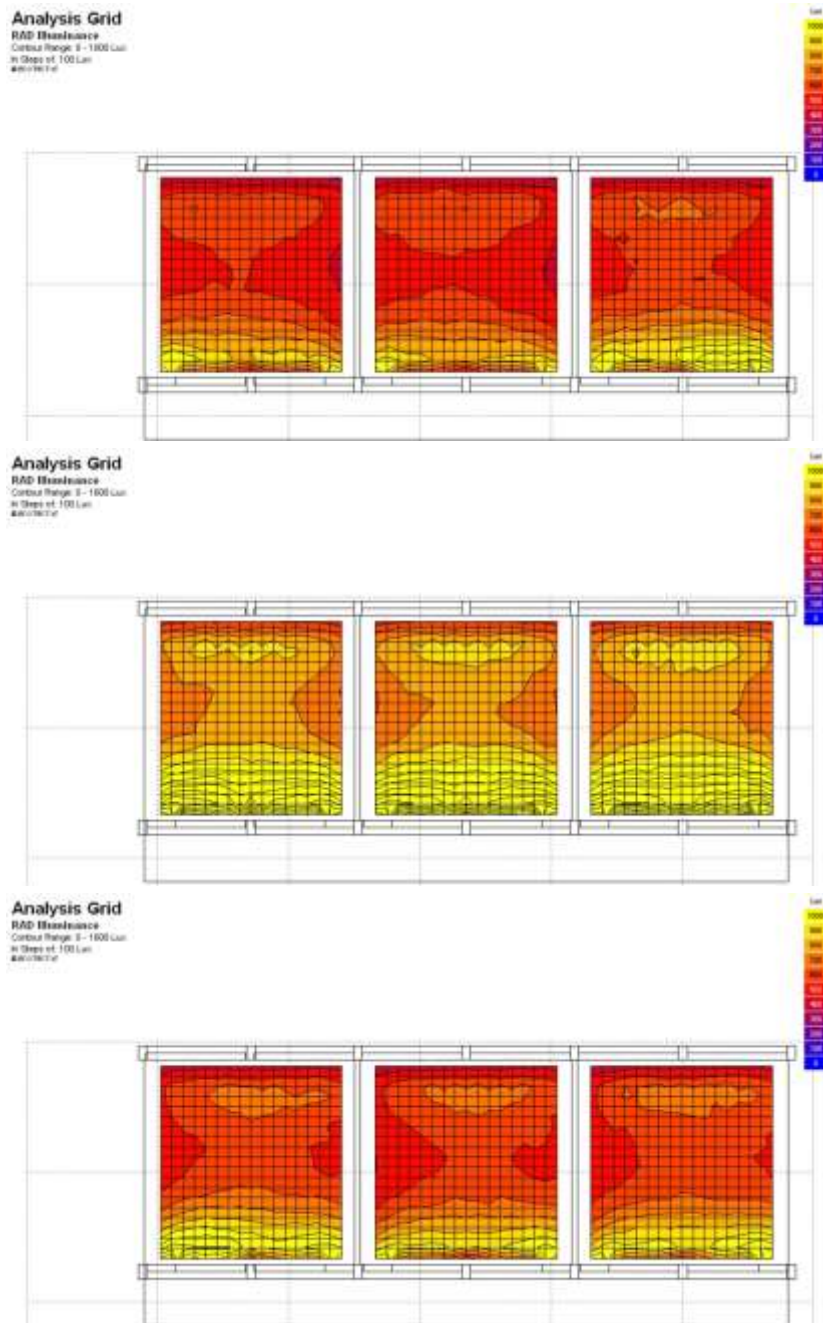
Η αξιολόγηση της οπτικής άνεσης των αιθουσών οδήγησε σε σημαντικά αποτελέσματα όσον αφορά την ποσότητα και την ομοιομορφία του φωτός και την πρόβλεψη θάμβωσης. Πιο συγκεκριμένα:

- Οι τυπικοί χώροι διδασκαλίας εξασφαλίζουν επαρκή επίπεδα φυσικού φωτισμού όλες τις ώρες διδασκαλίας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αυτό είναι αποτέλεσμα των αμφίπλευρων ανοιγμάτων στις δύο όψεις των αιθουσών (Εικόνα 11).
- Η ομοιομορφία του φυσικού φωτισμού των αιθουσών διδασκαλίας περιγράφεται ως αποδεκτή.
- Η συχνότητα του άμεσου ηλιακού φωτισμού στο εσωτερικό του χώρου προκαλεί προβλήματα θάμβωσης λόγω υπερβολικών αντιθέσεων στο οπτικό πεδίο των μαθητών.
- Θάμβωση παρατηρείται στις αίθουσες διδασκαλίας κυρίως στις επιφάνειες εργασίας. Αυτό είναι αποτέλεσμα των ακατάλληλων συστημάτων σκίασης.
- Ο τεχνητός φωτισμός χρησιμοποιείται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, υποδεικνύοντας ότι οι κουρτίνες συσκότισης παραμένουν κλειστές, πιθανότατα για



τον έλεγχο της αντανάκλαστικότητας στις επιφάνειες και των προβλημάτων θάμβωσης.

- Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων θάμβωσης απαιτείται κατάλληλο σύστημα ηλιοπροστασίας.



**Εικόνα 11.** Προσομοίωση επιπέδων φυσικού φωτισμού σχολικής αίθουσας με νότιο προσανατολισμό, θερινό ηλιοστάσιο 21 Ιουνίου, για τις ώρες α. 09:00, β. 12:00 και γ. 15:00.

### 3.4 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

Το κτίριο δεν διαθέτει θερμομονωτική προστασία με αποτέλεσμα να καταναλώνει την ενέργεια που αναλύεται στον Πίνακα 1.

**Πίνακας 1.** Κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου

<b>Θέρμανση</b>	<b>26,8 kWh/m<sup>2</sup></b>
<b>Φωτισμός</b>	<b>38,0 kWh/m<sup>2</sup></b>
<b>Σύνολο</b>	<b>64,8 kWh/m<sup>2</sup></b>

Οι καταναλώσεις του κτιρίου ανάλογα με το καύσιμο παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

**Πίνακας 2:** Κατανάλωση καυσίμου για θέρμανση / ψύξη

<b>Ηλεκτρισμός</b>	<b>13,1 kWh/m<sup>2</sup></b>
<b>Πετρέλαιο</b>	<b>24,4 kWh/m<sup>2</sup></b>

ενώ εκλύει στην ατμόσφαιρα **19,40 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>**.

Προκειμένου να επιτευχθούν οι απαιτούμενες συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης και ποιότητας αέρα στις σχολικές αίθουσες, στα πλαίσια του προγράμματος επιλέγεται η αναβάθμιση της διώροφης δυτικής πτέρυγας του Γυμνασίου Αρχιεπισκόπου Μακαρίου Γ' στο Πλατύ Αγλαντζιάς. Η πτέρυγα αυτή περιλαμβάνει στο ισόγειο 1 αίθουσα στήριξης, 1 ιατρείο, 1 γραφείο βοηθού διευθυντή, 1 εργαστήριο φυσικής, 1 παρασκευαστήριο, 1 εργαστήριο χημείας και στον όροφο περιλαμβάνει, 4 αίθουσες διδασκαλίας και ένα γραφείο βοηθού διευθυντή.

#### 4.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΔΙΑΦΑΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ (ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ).

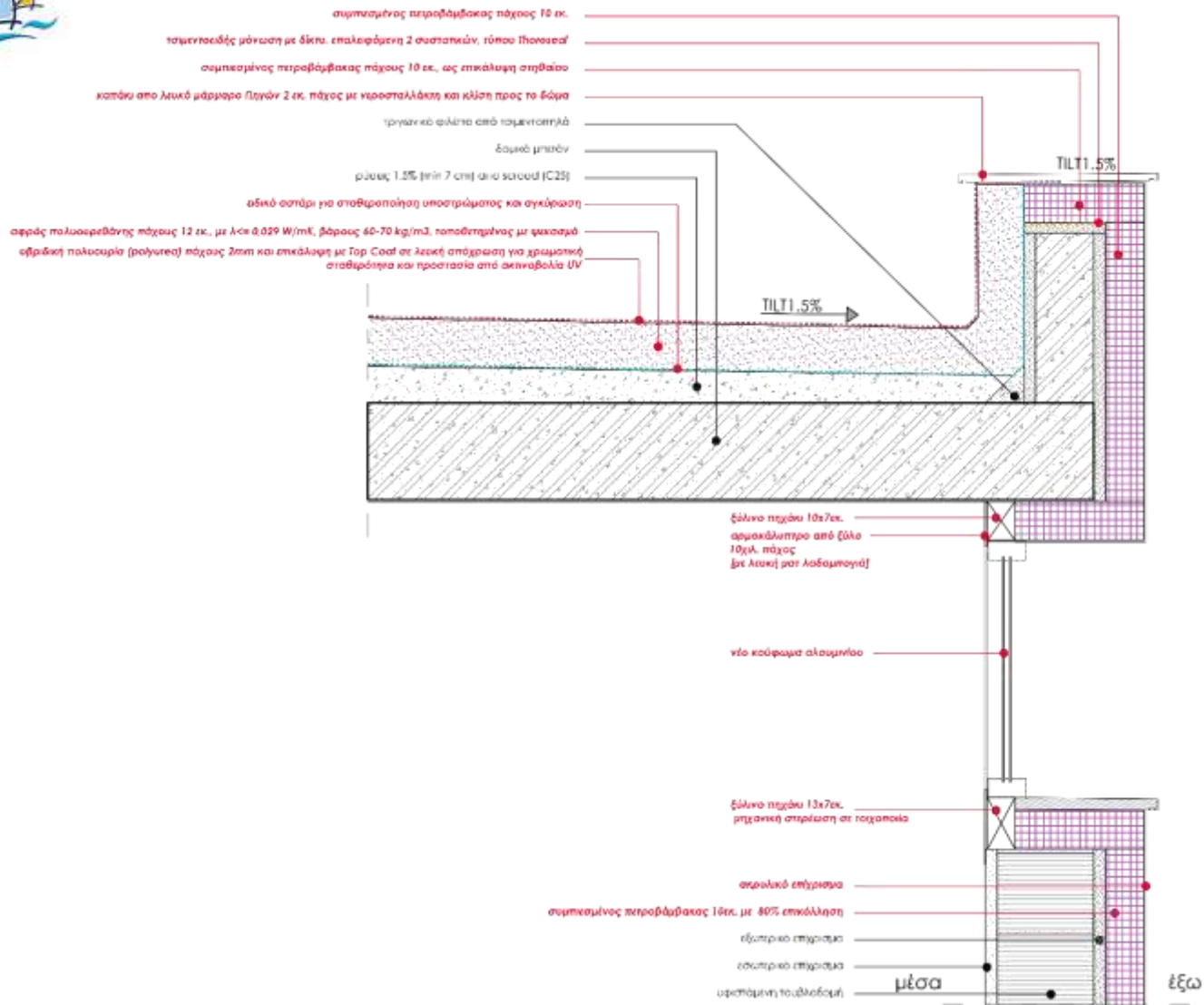
Η θερμομονωτική προστασία της εξωτερικής τοιχοποιίας, της οροφής και η χρήση εξωτερικών κουφωμάτων με βελτιωμένα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά, στοχεύει στη μείωση των απωλειών θερμότητας κατά τη χειμερινή περίοδο προς το εξωτερικό περιβάλλον και στον περιορισμό των θερμικών κερδών κατά τη θερινή περίοδο.

#### **4.1.1 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ**

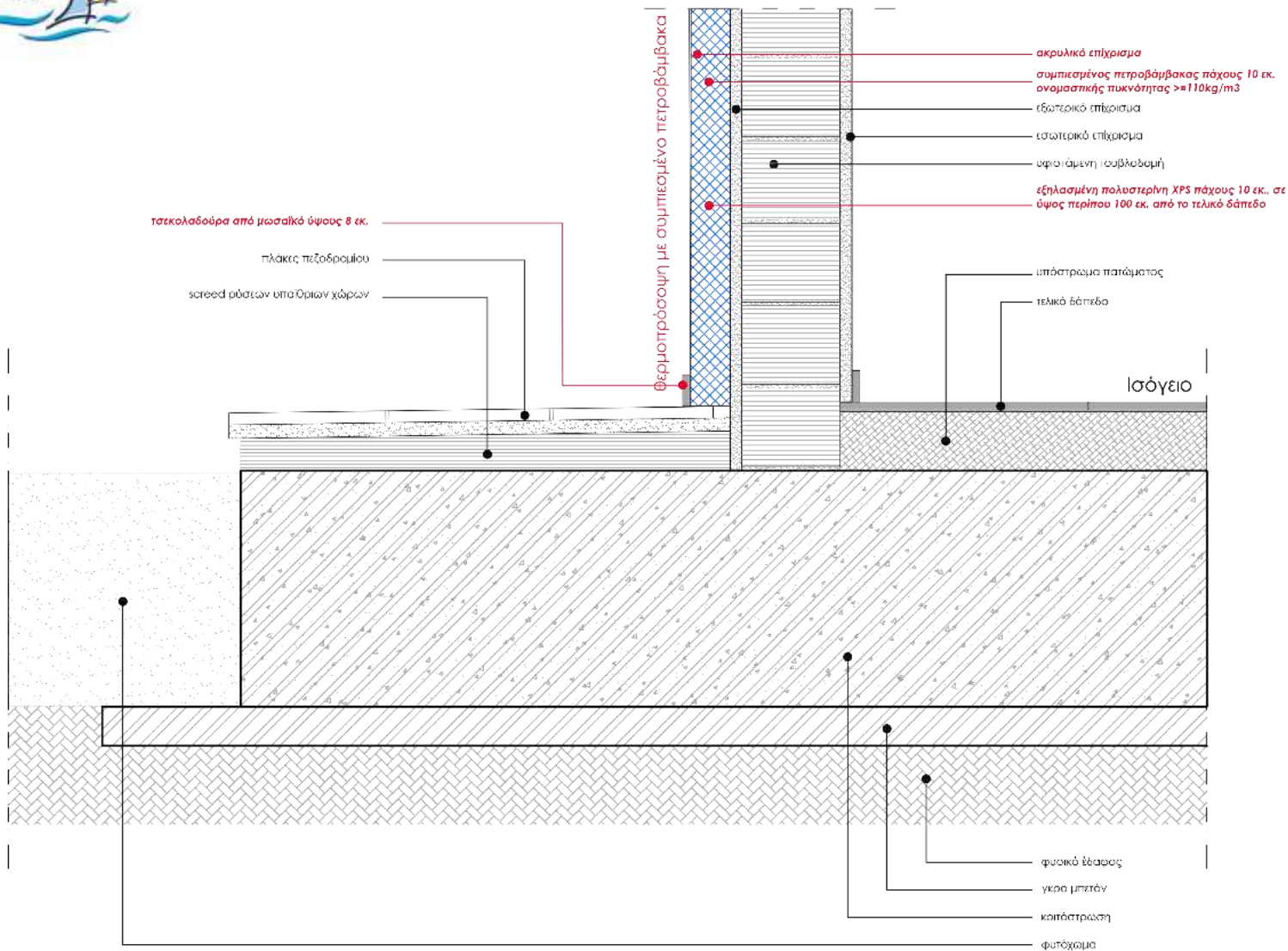
Για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης της τυπικής σχολικής αίθουσας προτείνεται η θερμομόνωση της εξωτερικής τοιχοποιίας, συμπεριλαμβανομένων των στοιχείων φέροντος οργανισμού που περιλαμβάνονται σε αυτή. Κατασκευαστικά προτείνεται η εξωτερική τοποθέτηση 100 mm πετροβάμβακα πιστοποιημένες με σήμανση CE με βάση το πρότυπο EN 13162 και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda \leq 0,036 \text{ W/(mK)}$  και περιμετρικά και σε ύψος μέχρι το περβάζι των παραθύρων περίπου 100 cm. από το έδαφος ή το πάτωμα ισογείου και σε ύψος περίπου 100 εκ. από τις βεράντες ορόφου, στη ζώνη υψηλής στεγάνωσης, τοποθετούνται πλάκες εξηλασμένης πολυστερίνης πάχους 100 mm. πιστοποιημένες με σήμανση CE με βάση το πρότυπο EN 13164 και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda \leq 0,035 \text{ W/(mK)}$ . (Εικόνα 12 και 13).

Στα εξωτερικά μάγουλα, στο εξωτερικό ανώφλι και ποδιά των ανοιγμάτων θα τοποθετηθεί συμπιεσμένος πετροβάμβακας πάχους 100 mm (Εικόνα 12). Στην περίπτωση των νότιων ανοιγμάτων δεν τοποθετείται στο ανώφλι των ανοιγμάτων συμπιεσμένος πετροβάμβακας πάχους 100 mm λόγω του μικρού ύψους της εξωτερικής θύρας. Στο σημείο αυτό πάνω από τις θύρες και τα παράθυρα, τοποθετείται εσωτερικά συμπιεσμένος πετροβάμβακας πάχους 50 mm (Εικόνα 14).

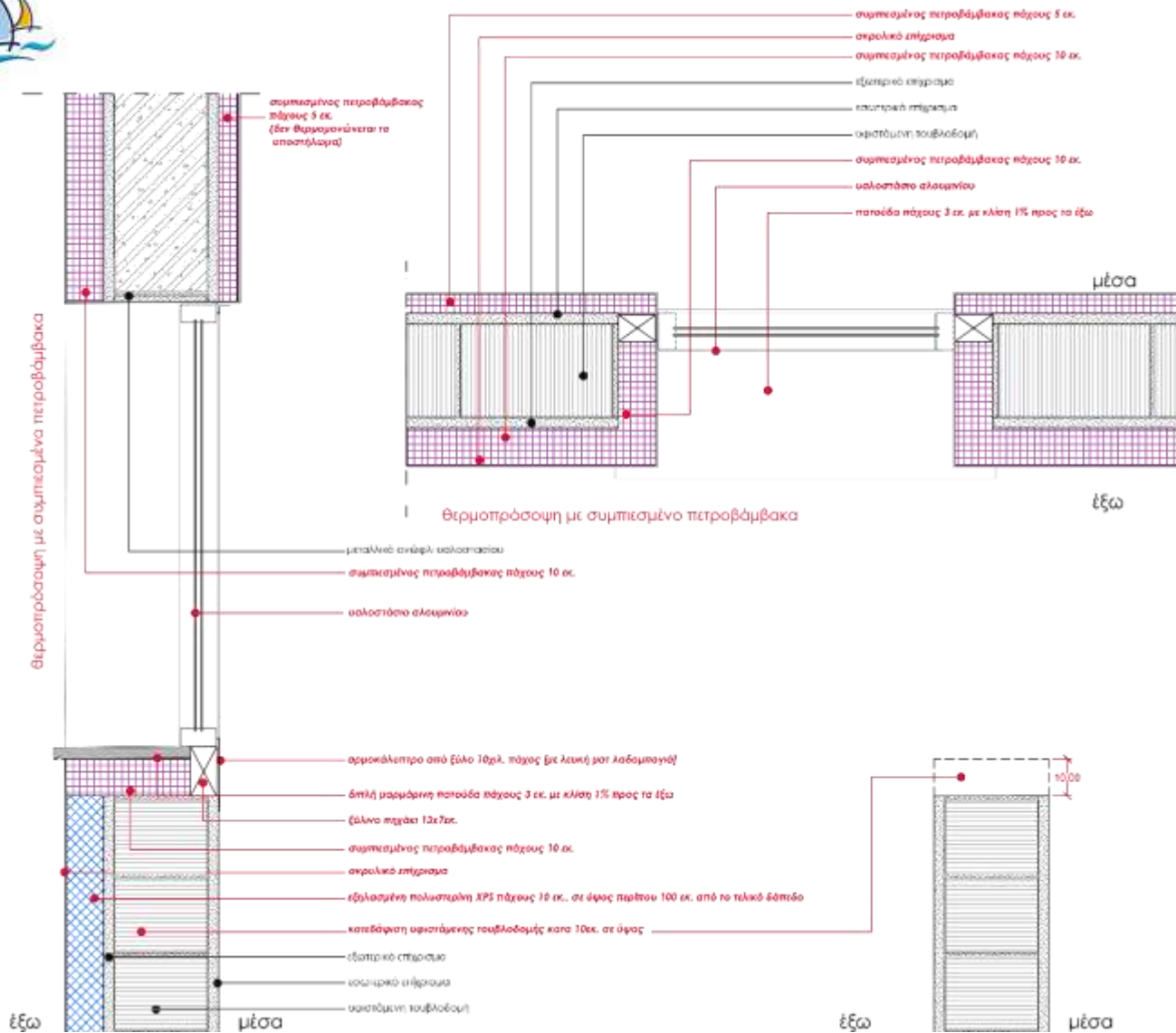
Οι συντελεστές θερμοπερατότητας της εξωτερικής τοιχοποιίας με θερμομόνωση ( $U = 0,280 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) και των στοιχείων του φέροντος οργανισμού που περιλαμβάνονται σε αυτή ( $U = 0,309 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), ικανοποιούν τις πρόνοιες του υπουργικού διατάγματος Ελάχιστης Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου, το οποίο καθορίζει ως μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή για τους εξωτερικούς τοίχους και τα στοιχεία της φέρουσας κατασκευής του κτιρίου που αποτελούν μέρος του κελύφους του κτιρίου,  $U \leq 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ .



**Εικόνα 12.** Ενδεικτική λεπτομέρεια θερμομόνωσης τοιχοποιίας και στηθαίου.



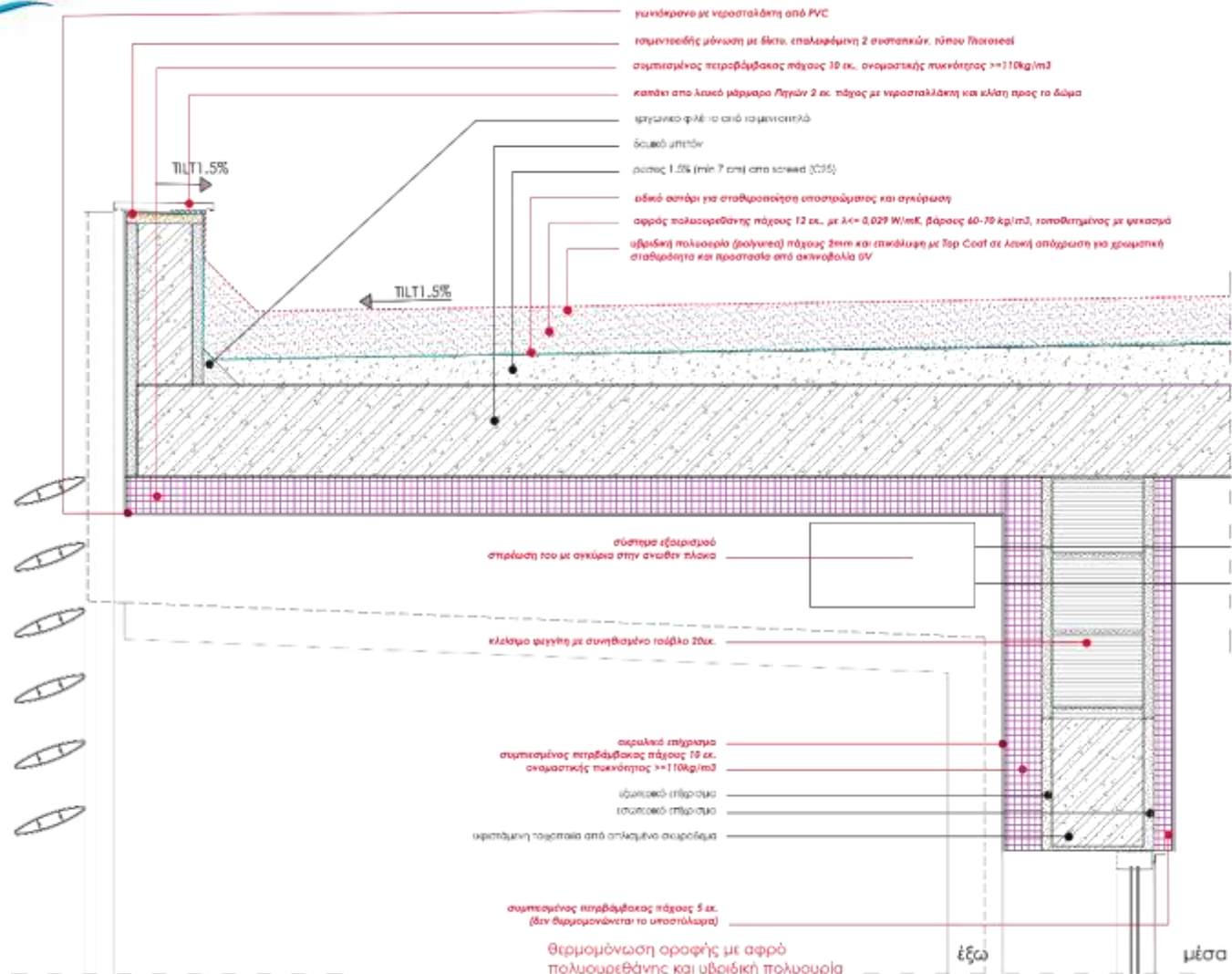
**Εικόνα 13.** Λεπτομέρεια θερμομόνωσης τοιχοποιίας σε επαφή με το έδαφος.



**Εικόνα 14.** Λεπτομέρεια θερμομόνωσης τοιχοποιίας σε σχέση με τα άνοιγμα.

#### 4.1.2 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΟΡΟΦΗΣ

Για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης της τυπικής σχολικής αίθουσας προτείνεται η θερμομόνωση οροφής. Κατασκευαστικά προτείνεται η μόνωση του δώματος του κτηρίου με αφρό πολουρεθάνης πάχους 12 cm βάρους τουλάχιστον  $45 \text{ kg/m}^3$  και με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda \leq 0,029 \text{ W/mK}$ , τοποθετημένο με ψεκασμό. Κάτω από τον αφρό, σε καθαρό δώμα θα τοποθετηθεί ειδικό αστάρι για σταθεροποίηση υποστρώματος και αγκύρωση. Ως τελική στρώση θα τοποθετηθεί υβριδική πολυουρία πάχους 2 mm και επικάλυψη σε λευκή απόχρωση για χρωματική σταθερότητα και προστασία από υπεριώδη ακτινοβολία (Εικόνα 15). Ολόκληρο το σύστημα θα γυρίσει κατακόρυφα για να επικαλύψει και την εσωτερική επιφάνεια του περιμετρικού στηθαίου του δώματος, ενώ το ειδικό αστάρι υποστρώματος και η υβριδική πολυουρία θα γυρίσουν μερικώς και στην άνω επιφάνεια του στηθαίου, πάνω από τον συμπιεσμένο πετροβάμβακα. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας της οροφής με θερμομόνωση,  $U = 0,263 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ικανοποιεί τις πρόνοιες του υπουργικού διατάγματος Ελάχιστης Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου το οποίο καθορίζει ως μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή για τα εξωτερικά οριζόντια δομικά στοιχεία και οροφές που αποτελούν μέρος του κελύφους του κτιρίου,  $U \leq 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ .



**Εικόνα 15.** Ενδεικτική λεπτομέρεια θερμομόνωσης οροφής

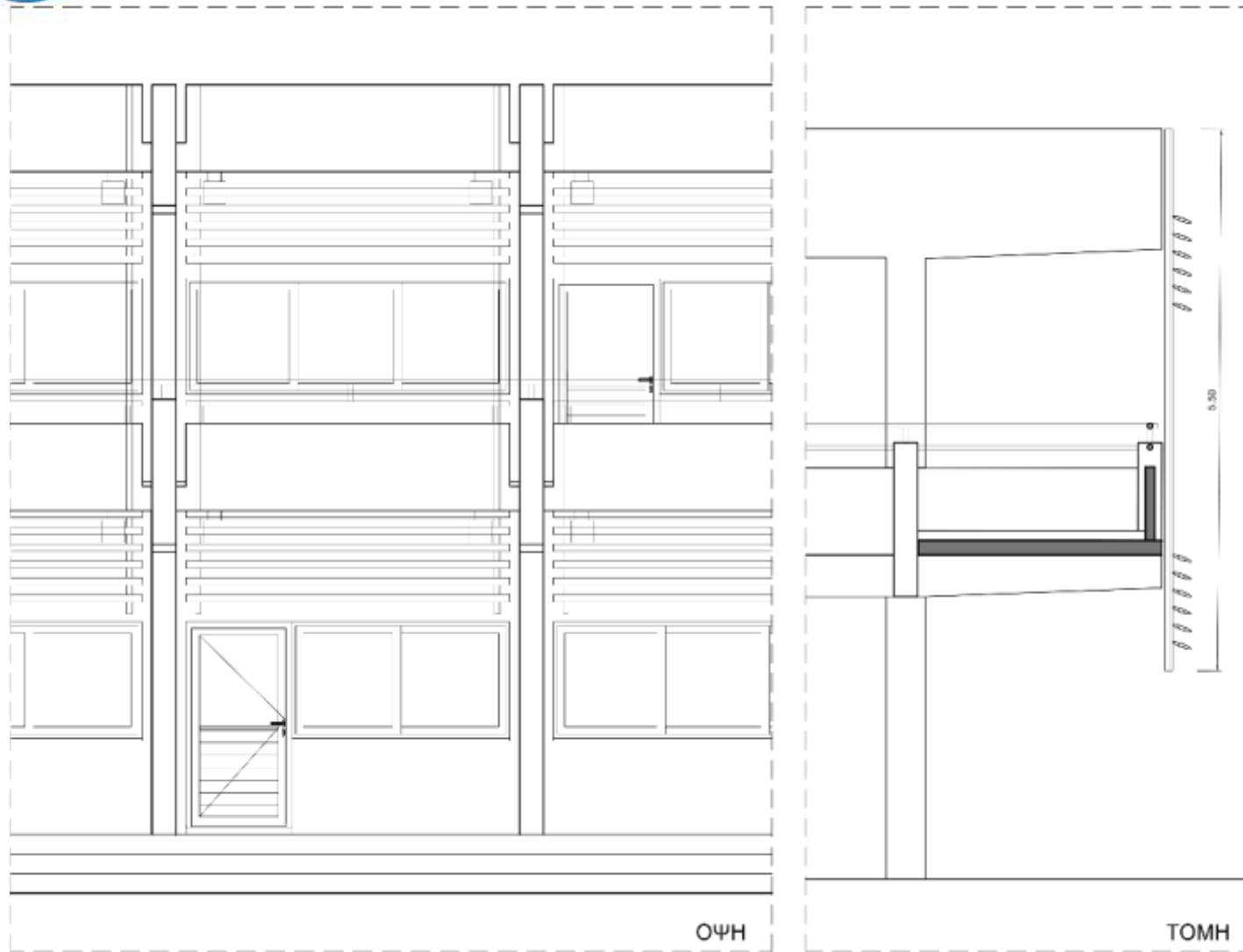


### 4.1.3 ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ

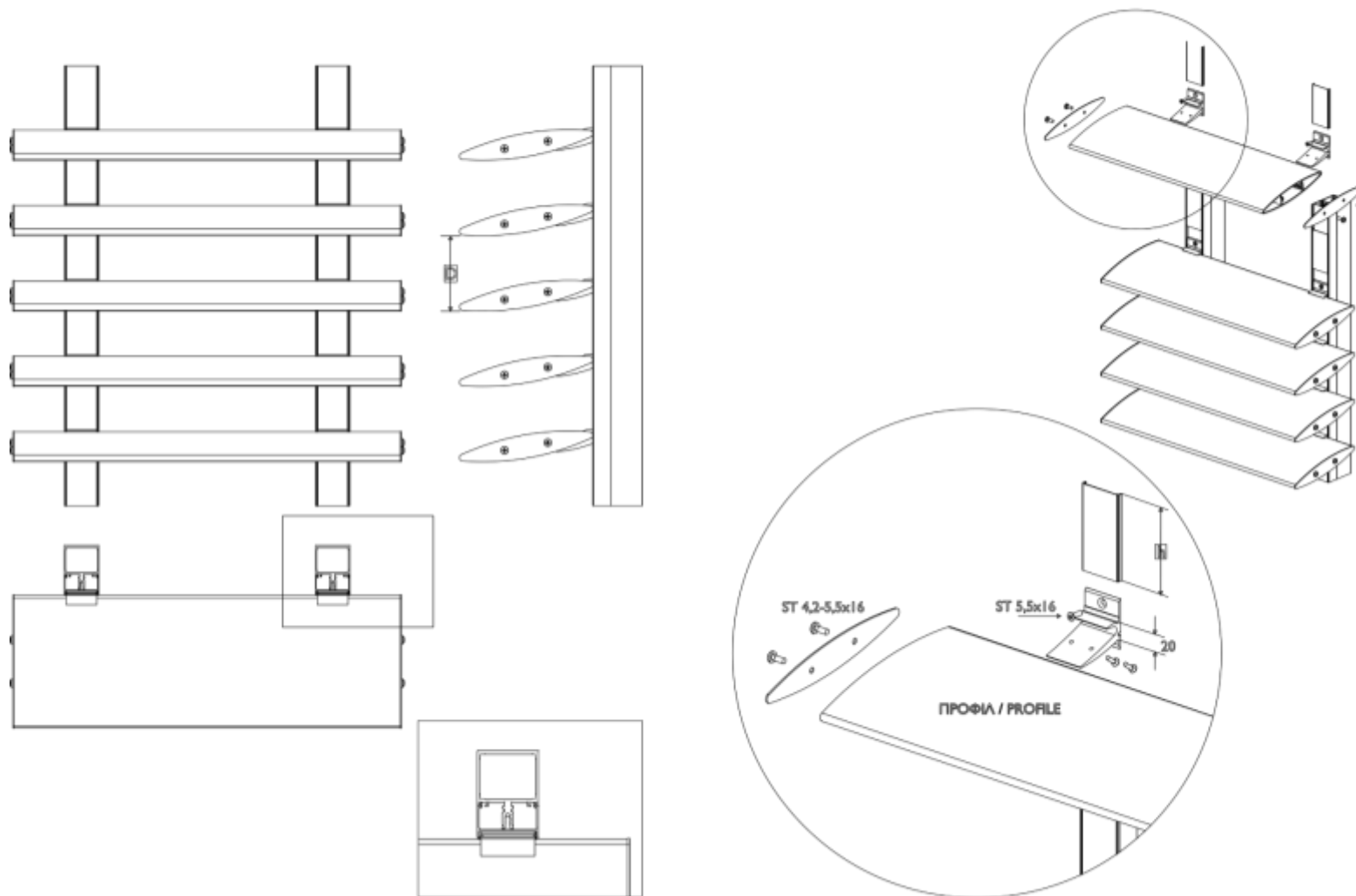
Επιπλέον, για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης της τυπικής σχολικής αίθουσας προτείνεται η θερμομονωτική προστασία των εξωτερικών κουφωμάτων. Για τη βελτίωση του συντελεστή θερμοπερατότητας εξωτερικών κουφωμάτων της τυπικής σχολικής αίθουσας, προτείνεται η αντικατάσταση των μονών υαλοπινάκων με διπλούς υαλοπίνακες. Εξωτερικά ο υαλοπίνακας είναι θερμικά σκληρυμένος με πάχος 4 mm και εσωτερικά τοποθετείται υαλοπίνακας πολλαπλών στοιβάδων ελάχιστου πάχους 6 mm. Το πλαίσιο αλουμινίου θα φέρει θερμοδιακοπή και ο συντελεστής θερμοπερατότητας όλων των κουφωμάτων (πόρτες, παράθυρα, φεγγίτες) που συνιστούν μέρος του κελύφους του κτιρίου να είναι  $U \leq 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$  έτσι ώστε το κτίριο να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις ελάχιστης ενεργειακής απόδοσης κτιρίου όπως αυτές καθορίζονται στον περί Ρύθμισης της Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων Νόμων του 2006 έως του 2012 και το Διάταγμα του 2020 (Κ.Δ.Π. 121/2020). Ο συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους των υαλοπινάκων θα είναι μικρότερος ή ίσος του 0,63.

## 4.2 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΚΙΑΣΜΟΥ

Η κατάλληλη ηλιοπροστασία των υάλινων επιφανειών αποτελεί το ουσιαστικότερο μέτρο εξασφάλισης της θερμικής άνεσης κατά την περίοδο δροσισμού. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, καταλληλότερη ηλιοπροστασία των νότιων ανοιγμάτων επιτυγχάνεται με τη χρήση οριζόντιου προβόλου ή περσίδων. Προκειμένου να ενισχυθεί η σκίαση στα ανοίγματα με νότιο προσανατολισμό θα τοποθετηθούν συστήματα σκίασμού οριζόντιας τοποθέτησης σε ύψος 2.5 m (από την επιφάνεια του εδάφους) και άνω μέσω των οποίων θα ρυθμίζεται η διέλευση του ηλιακού φωτός επί του κτιρίου. Αποτελούνται από έξι οριζόντιες σταθερές περσίδες ελλειψοειδούς διατομής διαστάσεων 200mm x 35mm γυρισμένες υπό κλίση 20°, από αλουμίνιο γκρι χρώματος. Η ροπή αδράνειας τους στο διαμήκη άξονα να είναι τουλάχιστον 12,7 cm<sup>4</sup> και η ροπή αδράνειας τους στον εγκάρσιο άξονα να είναι τουλάχιστον 268,80 cm<sup>4</sup>. Στερεώνονται πάνω σε μεταλλικό σκελετό. Η στερέωση των περσίδων στο μεταλλικό σκελετό γίνεται με ειδικές εργοστασιακές βίδες και σύμφωνα με τις οδηγίες των κατασκευαστών (Εικόνα 16 και 17).



**Εικόνα 16.** Εφαρμογή συστήματος σκίασης με οριζόντιες περσίδες υπό κλίση.



**Εικόνα 17.** Λεπτομέρεια συναρμολόγησης συστήματος σκίασης με οριζόντιες περσίδες.

### 4.3 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ ΦΩΤΟΔΙΟΔΟΥ

Με την παρούσα παρέμβαση θα αντικατασταθούν όλα τα φωτιστικά σώματα με λαμπτήρες φωτοδιόδου, με αποτέλεσμα η συνολική ισχύς φωτισμού να μειωθεί κατά 66% περίπου. Η κάθε αίθουσα διαθέτει 8 φωτιστικά σώματα ισχύος 72 W έκαστος. Τα νέα φωτιστικά σώματα θα έχουν ισχύ 40 W και θα είναι τεχνολογίας φωτοδιόδου, π.χ. θερμό λευκό κάτω των 3300 K κατά PN- EN 12464-1 & CRI τουλάχιστον 80. Επίσης κάθε φωτιστικό σώμα εκπέμπει θερμότητα 82 W ενώ τα φωτιστικά φωτοδιόδου εκπέμπουν ελάχιστη θερμότητα με αποτέλεσμα το κέρδος να έγκειται στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας καθώς και της απαιτούμενης ψύξης.

Όλα τα φωτιστικά θα είναι κατασκευασμένα για λειτουργία με ηλεκτρική παροχή 240V, 50Hz και να φέρουν όλα τα εξαρτήματα στήριξης. το σύστημα φωτισμού από συμβατικό θα μετατραπεί σε σύστημα αυτοματισμού με πρωτόκολλο επικοινωνίας DALI με δυνατότητα προσαρμογής της στάθμης φωτισμού. Οι καλωδιώσεις θα γίνονται επιφανειακά με γαλβανιζέ σχάρες όδευσης.

### 4.4 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ

Οι επιδράσεις της ποιότητας του εσωτερικού αέρα στην υγεία, στην παραγωγικότητα και στη διάθεση των χρηστών καταδεικνύει την απαίτηση για εξασφάλιση κατάλληλης ποιότητας αέρα στο εσωτερικό των σχολικών κτιρίων. Η εγκατάσταση συστημάτων τεχνητού αερισμού στις σχολικές αίθουσες, παρέχει ελεγχόμενο αερισμό και εξασφαλίζει τις απαιτούμενες εναλλαγές αέρα. Το σύστημα θα λειτουργεί καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, ειδικότερα κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, περίοδο κατά την οποία το επίπεδο της ποιότητας αέρα στο εσωτερικό των σχολικών αιθουσών επιδεινώνεται, δεδομένης της διατήρησης των ανοιγμάτων κλειστών για λόγους μείωσης των θερμικών απωλειών μέσω αερισμού. Το σύστημα αυτοματισμού θα ρυθμίζει τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα που συσσωρεύονται εντός χώρων όπου φιλοξενούνται πολλά άτομα. Το σύστημα επίσης θα λειτουργεί και κατά την θερινή περίοδο όπου απαιτούνται αυξημένες ανάγκες αερισμού για μείωση των θερμικών φορτίων του κελύφους. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι περιβαλλοντικές κλιματικές συνθήκες της περιοχής της Μεσογείου χαρακτηρίζονται από μεγάλη ημερήσια διακύμανση το οποίο αποτελεί βασική παράμετρο για την αποτελεσματική παθητική ψύξη του κελύφους μέσω της εφαρμογής της στρατηγικής του νυχτερινού αερισμού.

Συγκεκριμένα τοποθετούνται συστήματα εξαερισμού με μέγιστη παροχή αέρα 400m<sup>3</sup>/h (δύο τεμάχια εισαγωγής και δύο εξαγωγής σε κάθε αίθουσα) με δίκτυο αεραγωγών (Εικόνα 18).

Οι ανεμιστήρες θα είναι στο σύνολο τους τυποποιημένα προϊόντα εγκεκριμένων κατασκευαστών (μοτέρ, φτερωτή, βάση, περίβλημα). Το περίβλημα του ανεμιστήρα θα μπορεί να αφαιρείται ή να ανοίγει με ευκολία για σύνδεση και αποσύνδεση της πτερωτής. Το περίβλημα του ανεμιστήρα είναι κατασκευασμένο από φύλλο χάλυβα ηλεκτροστατικά βαμμένο ή από ενισχυμένο πλαστικό υλικό. Η πτερωτή θα είναι από ενισχυμένο πολυπροπυλένιο με υαλονήματα ή από στυρόλιο βουταδιενίου ακρυλονιτρίλιου, μεικτού ημί-αξονικού τύπου. Οι ανεμιστήρες θα είναι εφοδιασμένοι με ηλεκτροκινητήρα ερμητικού τύπου, στεγανότητας IP44, με τοπικό αποζεύκτη για σκοπούς συντήρησης που θα συνάδει με τις σχετικές πρόνοιες του Βρετανικού προτύπου BS5000. Οι ανεμιστήρες θα είναι τέλεια ζυγοσταθμισμένοι, στατικά και δυναμικά. Η είσοδος του αέρα στον ανεμιστήρα θα γίνεται μέσω αεροδυναμικού κώνου, χωρίς στροβιλισμούς και η λειτουργία του θα είναι εντελώς απαλλαγμένη κραδασμών και θορύβου. Οι ανεμιστήρες θα είναι κατάλληλοι για οριζόντια έξοδο του αέρα.



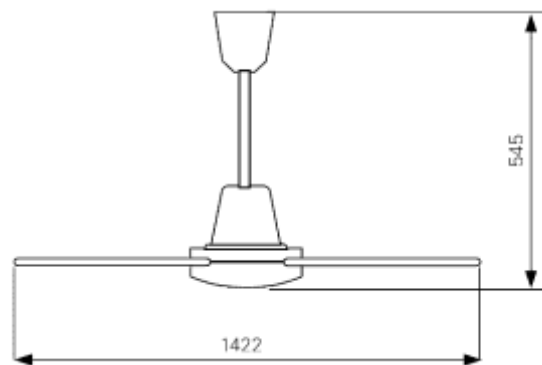
**Εικόνα 18.** Σύστημα εξαερισμού

#### 4.5 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ ΟΡΟΦΗΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ

Η τοποθέτηση και χρήση των ανεμιστήρων οροφής στις σχολικές αίθουσες δύναται να εξασφαλίσει συνθήκες θερμικής άνεσης στο σύνολο των ωρών λειτουργίας του σχολείου. Η απαγωγή θερμότητας από τα άτομα που βρίσκονται στη σχολική αίθουσα, λόγω της κίνησης του αέρα από τη λειτουργία του ανεμιστήρα οροφής, εξασφαλίζει αύξηση του ορίου θερμικής άνεσης κατά 3°C για ταχύτητα αέρα 0,9 m/s (EN 15251:2007). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η διασφάλιση του αισθήματος θερμικής άνεσης σε σημαντικά υψηλότερη θερμοκρασία. Επιπλέον κατά τη χειμερινή περίοδο μπορεί να λειτουργεί με αντίστροφη κατεύθυνση και να μεταφέρει το θερμό αέρα που βρίσκεται στα υψηλά σημεία του χώρου προς τα κάτω.

Συγκεκριμένα θα τοποθετηθούν τέσσερις ανεμιστήρες οροφής ανά αίθουσα. Οι ανεμιστήρες θα λειτουργούν μέσω του συστήματος KNX σε χαμηλή στατική πίεση (περιστροφή) έτσι ώστε να μην αποτελούν ενόχληση για τους χρήστες του κτιρίου.

Ο ανεμιστήρας οροφής πρέπει να ικανοποιεί κατ' ελάχιστον τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: η πτερωτή να είναι μεταλλική ή πλαστική, ο ηλεκτροκινητήρας να παρέχει τη δυνατότητα αλλαγής της φοράς κίνησης από δεξιόστροφη σε αριστερόστροφη, η ισχύς εξόδου να είναι έως 75 W, η παροχή αέρα τουλάχιστον 13.250 m<sup>3</sup>/h, η τάση σύνδεσης 230 V, η διάμετρος πτερωτής να είναι τουλάχιστον 1400 mm, το ύψος ανεμιστήρα έως 550 mm και το βάρος ανεμιστήρα έως 6,3 kg. Ο ηλεκτροκινητήρας του ανεμιστήρα να μην φέρει οποιοδήποτε αυτοματισμό για έλεγχο και ρύθμιση της λειτουργίας του, όπως π.χ. δυνατότητα τηλεχειρισμού, προδιαγεγραμμένες ταχύτητες περιστροφής, κτλ. Επιπλέον δεν θα πρέπει να φέρει προστατευτικό κάλυμμα (Εικόνα 19).



**Εικόνα 19.** Ανεμιστήρας οροφής

#### 4.6 ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Τα οριζόντια δώματα των σχολικών κτιρίων εξασφαλίζουν τη δυνατότητα εγκατάστασης συστημάτων αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ικανή να λειτουργήσει το κτίριο καθ' όλη την διάρκεια του έτους, θα εγκατασταθεί φωτοβολταϊκό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η μεγάλη επιφάνεια οριζόντιων δωματίων επιτρέπει εκτεταμένη εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στοιχείων με δυνατότητα κάλυψης σημαντικού μέρους των αναγκών ηλεκτροδότησης του σχολικού κτιρίου. Συγκεκριμένα θα εγκατασταθούν 10 kWp φωτοβολταϊκά πλαίσια στην οροφή του γυμναστηρίου. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που θα εγκατασταθούν πρέπει να είναι μονοκρυσταλλικά και θα πρέπει να έχουν ελεγχθεί, κατασκευαστεί και πιστοποιηθεί σύμφωνα με το IEC 61215. Τα πλαίσια θα πρέπει να τοποθετηθούν σε ειδικές βάσεις οι οποίες θα πρέπει να είναι κατασκευασμένες από χάλυβα με θερμή επιψευδαργύρωση.

Ο μετατροπέας συχνότητας είναι τεχνολογίας KNX έτσι ώστε το φωτοβολταϊκό σύστημα να συνεργάζεται και να παρέχεται η δυνατότητα άμεσης ρύθμισης από το σύστημα διαχείρισης ενέργειας που θα εγκατασταθεί. Ο μετατροπέας συχνότητας θα πρέπει να έχει τη

δυνατότητα να αποσυνδέει και να απομονώνει αυτόματα το φωτοβολταϊκό σύστημα από το σύστημα χαμηλής τάσης της ΑΗΚ στις ακόλουθες περιπτώσεις:

1. Όταν η τάση είναι μεγαλύτερη από το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο, που είναι  $230V+10\%$ , ή είναι μικρότερη από το κατώτατο επιτρεπόμενο όριο, που είναι  $230V-10\%$ .
2. Όταν η συχνότητα υπερβεί το όριο των  $50Hz+1\%$  ή κατέλθει πιο χαμηλά από το όριο των  $50Hz-1\%$ .
3. Όταν σημειωθεί διακοπή ρεύματος στο δίκτυο χαμηλής τάσης της ΑΗΚ, είτε λόγω βλάβης είτε λόγω προγραμματισμένης διακοπής για διεξαγωγή εργασιών.

Ο μετατροπέας τάσης θα πρέπει επίσης να έχει την δυνατότητα να ανιχνεύει το εκχυόμενο ρεύμα DC στο δίκτυο χαμηλής τάσης της ΑΗΚ και να αποσυνδέει το φωτοβολταϊκό σύστημα στην περίπτωση που το εκχυόμενο ρεύμα ξεπεράσει τα 50 mA.

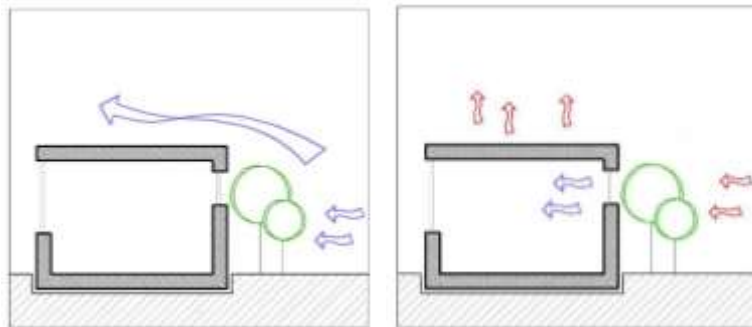
#### 4.7 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ (KNX)

Στο κτήριο θα τοποθετηθούν συστήματα παρακολούθησης, διαχείρισης και ελέγχου της παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας. Οι μετρητές θα μεταδίδουν τα δεδομένα στο σύστημα διαχείρισης ενέργειας, το οποίο θα αποφασίζει για το εάν ένα φωτιστικό θα πρέπει να είναι σε λειτουργία, την ενεργοποίηση του συστήμα εξαιρισμού, για την θερμοκρασία και την υγρασία ενός χώρου, ανάλογα πάντα και με τις απαιτήσεις του εκάστοτε χρήστη, και την παραγωγή ενέργειας. Το σύστημα αυτό θα υλοποιηθεί με συσκευές KNX και θα λειτουργεί ως ένα σύστημα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίου.

#### 4.8 ΔΕΝΔΡΟΦΥΤΕΥΣΗ

Για την βελτίωση των μικροκλιματικών δεδομένων στον περιβάλλοντα χώρο, θα τοποθετηθεί κατάλληλη φύτευση ανάλογα με τον προσανατολισμό. Η φύτευση μπορεί να εμποδίσει, να φιλτράρει και να εκτρέψει την ροή του αέρα, επηρεάζοντας έτσι τον φυσικό αερισμό των κτηρίων, καθώς επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ηλιοπροστασία των όψεων κατά την περίοδο δροσισμού και εκμετάλλευση των ηλιακών προσόδων κατά την περίοδο θέρμανσης. Πιο συγκεκριμένα, στην βόρεια όψη τα αειθαλή δέντρα στην κατεύθυνση των επικρατούντων ανέμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φράγματα της ροής του αέρα, εκτρέποντας μέρος των ανεπιθύμητων ψυχρών ανέμων. Κατά την θερινή περίοδο, η φύτευση εξασφαλίζει μείωση της θερμοκρασίας των ανέμων που διέρχονται διά μέσου του φυλλώματος (λόγω εξάτμισης και διαπνοής), βελτιώνοντας τις συνθήκες άνεσης στον εσωτερικό χώρο μέσω διαμπερούς φυσικού αερισμού.

Η φύτευση στον υπαίθριο χώρο του σχολικού κτηρίου γύρω από την πτέρυγα εξασφαλίζει σημαντικό περιορισμό της ηλιακής ακτινοβολίας, επιτυγχάνοντας μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους κατά την διάρκεια της ημέρας. Η κατάλληλη φύτευση μπορεί να συνεισφέρει ουσιαστικά στην ηλιοπροστασία των όψεων κατά την περίοδο δροσισμού και παράλληλα στην εκμετάλλευση των ηλιακών προσόδων κατά την περίοδο θέρμανσης. Πιο συγκεκριμένα, στην νότια όψη του κτηρίου, η φύτευση φυλλοβόλων δέντρων συμβάλλει στον σκιασμό των ανοιγμάτων των κατώτερων ορόφων (Εικόνα 20).



**Εικόνα 20.** Σχεδιαστική απεικόνιση εκτροπής ψυχρού ανέμου κατά τη χειμερινή περίοδο και βελτίωση των μικροκλιματικών δεδομένων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, λόγω αειθαλούς φύτευσης προς την κατεύθυνση των επικρατούντων ανέμων.



## 5. ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το έργο «C-IZEBs» στοχεύει να μειώσει την ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του σχολείου κατά 33.908 kWh/yr. Αντίστοιχα, η εξοικονόμηση ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο της σχολικής μονάδας ανέρχεται στις 60,55 kWh/m<sup>2</sup> ετησίως.

Το κτίριο μετά τις παρεμβάσεις αναμένεται να καταναλώνει ενέργεια η οποία παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.

**Πίνακας 3:** Ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου μετά το σύνολο των παρεμβάσεων

<b>Θέρμανση</b>	<b>3,0 kWh/m<sup>2</sup></b>
<b>Φωτισμός</b>	<b>20,3 kWh/m<sup>2</sup></b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>23,3 kWh/m<sup>2</sup></b>

Η κατανάλωση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του κτιρίου μετά την υλοποίηση των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

**Πίνακας 4:** Κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας κτιρίου

<b>Ηλεκτρισμός κατανάλωση</b>	<b>9,20 kWh/m<sup>2</sup></b>
<b>Ηλεκτρισμός παραγωγή</b>	<b>8,25 kWh/m<sup>2</sup></b>

Αντίστοιχα το κτίριο με την ολοκλήρωση των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης αναμένεται να εκλύει στην ατμόσφαιρα **0,70 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>**.