



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ
ΤΙΤΛΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**Τα Οφέλη Της Τοπικής Αυτοδιοίκησης Από την ενεργειακή Αναβάθμιση
Σχολικών Κτιρίων
Μελέτη περίπτωσης Δήμος Χαλανδρίου**

**Συγγραφέας:
Ευγένιος Σκαμαγκος
ΑΜ: 201924**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Ιωάννης Καλδέλλης
Καθηγητής, Πα.Δ.Α.**

**Συν-Επιβλέπων Καθηγητής: Παναγιώτης Κτενίδης
Ακαδημαϊκός Σύμβουλος, Πα.Δ.Α.**

Αθήνα , ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2024

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή

A/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Δρ. Ιωάννης Καλδέλλης	Καθηγητής	
2	Δρ. Αιμιλία Κονδύλη	Καθηγήτρια	
3			



Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΕΥΓΕΝΙΟΣ ΣΚΑΜΑΓΚΟΣ του ΧΡΗΣΤΟΥ με αριθμό μητρώου 201924 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΕΡΓΑ του Τμήματος ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών,

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
Εισαγωγή	8
1.1 Σκοπός της διπλωματικής	8
1.2 Ενεργειακή απόδοση.....	9
1.3 Ευρωπαϊκή Ένωση και δημόσια κτίρια (σχολεία)	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	11
2.1 Ενεργειακή απόδοση στα σχολικά κτίρια	11
2.2 Βιώσιμος φωτισμός στα σχολικά κτίρια.....	11
2.3 Στρατηγικές αναβάθμισης φωτισμού για σχολικά κτίρια.....	12
2.4 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)	14
2.4.1 Τύποι ΑΠΕ	15
2.4.1.1 Ηλιακή ενέργεια	15
2.4.1.2 Αρχή λειτουργίας PV Panels	17
Είδη φωτοβολταϊκών πλαισίων	17
• Πολυκρυσταλλικού πυριτίου (m-Si).....	17
• Υβριδικά – υψηλής απόδοσης	18
• Απόδοση φωτοβολταϊκού συστήματος	18
Προσανατολισμός – Κλίση.....	18
2.4.1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων	20
2.4.1.4 Φωτοβολταϊκά πάνελ σε σχολεία.....	21
2.4.1.5 Έργο TILOS	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Η ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ	22
3.1 Εισαγωγή.....	22
3.2 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	23
3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ LOW-E.....	23
3.5 ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ	24
3.6 ΑΕΡΟΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ.....	25
3.7 Η ΑΕΡΟΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑ ΕΝΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	27
3.7.1 Κέλυφος Κτιρίου	29
3.7.2 Θερμομόνωση των κτιρίων	29
3.7.3 Κτιριακό κέλυφος στα ελληνικά σχολεία	31
3.7.4 U-Value.....	32
3.8 ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	36
4.1 Σκοπός της έρευνας - Ερευνητικά ερωτήματα	36
4.2 Εισαγωγή.....	36
4.3 ΟΔΗΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ	37
4.3.1 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (KENAK)	38
4.3.2 Σχέδιο δράσης ΑΠΕ	39
4.3.3 Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας στην Ελλάδα.....	40
4.3.4 Βιώσιμες ανακαινίσεις σχολείων στην Ευρώπη	41

4.3.5 Ανακαινίσεις στην Ελλάδα	45
4.3.5.1 Γενικά	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ-ΤΡΙΩΝ ΔΗΜΟΤΙΚΩΝ ΣΧΟΛΕΙΩΝ ΣΤΟ ΔΗΜΟ	
ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ (3^ο, 6^ο και 7^ο-10^ο Δημοτικό σχολείο)	49
5.1 Εισαγωγή	49
5.2 Περιγραφή 3 ^{ου} Δημοτικού σχολείου	51
5.2.1 Στοιχεία κτιρίου.....	52
5.2.1.1 Επιφάνεια.....	52
5.2.1.2 Όγκος.....	52
5.2.1.3 Συνθήκες λειτουργίας	52
5.2.2 Χαρακτηριστικά σχολείου.....	53
5.2.3 Σύστημα θέρμανσης ψύξης και μηχανικού αερισμού	55
5.2.4 Φωτισμός	59
5.2.5 Καταναλώσεις κτιρίου.....	59
5.2.5.1 Ηλεκτρική ενέργεια	59
5.2.5.2 Φυσικό αέριο	60
5.2.5.3 Ενεργειακή κατάταξη.....	61
5.2.6 Προτεινόμενες παρεμβάσεις	61
5.2.6.1 Επεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος.....	62
5.2.6.3 Επεμβάσεις στα συστήματα θέρμανσης - ψύξης και μηχανικού αερισμού	62
5.2.6.4 Φωτισμός	63
5.2.6.5 Φωτοβολταϊκό σύστημα	63
5.3 Περιγραφή 6 ^{ου} Δημοτικού σχολείου	63
5.3.1 Στοιχεία Κτιρίου	65
5.3.1.1 Επιφάνεια	65
5.3.1.1 Όγκος.....	65
5.3.1.1 Συνθήκες λειτουργίας	65
5.3.2 Χαρακτηριστικά σχολείου.....	65
5.3.3 Σύστημα θέρμανσης-ψύξης και μηχανικού αερισμού	67
5.3.4 Φωτισμός	70
5.3.5 Καταναλώσεις κτιρίου	70
5.3.5.1 Ηλεκτρική Ενέργεια	70
5.3.5.2 Φυσικό Αέριο.....	71
5.3.5.3 Ενεργειακή επιθεώρηση	71
5.3.6 Προτεινόμενες παρεμβάσεις	72
5.3.6.1 Επεμβάσεις στα δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους	72
5.3.6.3 Επεμβάσεις στα διαφανή στοιχεία κτιριακού κελύφους.....	73
5.3.6.3 Επεμβάσεις στα συστήματα θέρμανσης -ψύξης και μηχανικού αερισμού	73
5.3.6.4 Φωτοβολταϊκό σύστημα.....	73
5.4 Περιγραφή 7 ^{ου} & 10 ^{ου} Δημοτικού σχολείου.....	74
5.4.1 Στοιχεία κτιρίου	75
5.4.1.1 Επιφάνεια	75
5.4.1.2 Όγκος	75
5.4.1.3 Συνθήκες λειτουργίας.....	75

5.4.2 Χαρακτηριστικά σχολείου.....	75
5.4.3 Σύστημα θέρμανσης-ψύξης και μηχανικού αερισμού	76
5.4.4 Φωτισμός	78
5.4.5 Καταναλώσεις κτιρίου	79
5.4.5.1 Ηλεκτρική Ενέργεια	79
5.4.5.2 Πετρέλαιο	80
5.4.5.3 Ενεργειακή επιθεώρηση	80
5.4.6 Προτεινόμενες παρεμβάσεις	81
5.4.6.1 Επεμβάσεις στα δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους	81
5.4.6.3 Επεμβάσεις στα διαφανή στοιχεία κτιριακού κελύφους.....	81
5.4.6.4 Επεμβάσεις στα συστήματα θέρμανσης -ψύξης και μηχανικού αερισμού	81
5.4.6.5 Φωτοβολταϊκό σύστημα.....	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – Αποτελέσματα και Αναλύσεις	82
6.1 Αποτελέσματα και Αναλύσεις	82
6.2 Μελέτη σκοπιμότητας.....	83
6.2.1 Μελέτη σκοπιμότητας 3 ^ο Δημοτικό σχολείο Χαλανδρίου.....	83
6.2.2 Μελέτη σκοπιμότητας 6 ^ο Δημοτικό σχολείο Χαλανδρίου.....	84
6.2.3 Μελέτη σκοπιμότητας 7 ^ο και 10 ^ο Δημοτικό σχολείο Χαλανδρίου	85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΣΥΜΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	87
ΑΝΑΦΟΡΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	90

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τρέχουσα κλιματική κρίση και η συμβολή του κτιριακού αποθέματος στο φαινόμενο του θερμοκηπίου ευθύνονται για το 40% των εκπομπών CO₂. Το ποσοστό αυτό είναι ανησυχητικό και προκειμένου να μειωθεί η ενεργειακή ζήτηση, θα πρέπει να γίνουν πολλαπλές παγκόσμιες, αλλά και εθνικές ενέργειες προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές του διοξειδίου.

Η πλειονότητα των Ελληνικών σχολείων κατασκευάστηκαν πριν από τη δεκαετία του 1980, γεγονός που η πλειοψηφία των σχολείων κατατάσσεται στην ενεργειακή κλάση D.

Σύμφωνα με την οδηγία της ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, η Ελλάδα πρέπει να εφαρμόσει τα προτεινόμενα μέτρα το συντομότερο δυνατό, προκειμένου να καθιερώσει την ελάχιστη ενεργειακή απόδοση και να μειώσει τις ενεργειακές απαιτήσεις. Η εφαρμογή των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης θα οδηγήσει σε βιώσιμα σχολεία.

Εισαγωγή

1.1 Σκοπός της διπλωματικής

Σήμερα, ο μισός παγκόσμιος πληθυσμός ζει και εργάζεται στις πόλεις. Σύμφωνα με τις προβλέψεις των Ηνωμένων Εθνών, ο αριθμός αυτός θα αυξηθεί κατά 70% μέχρι το 2050. Οι αναπτυσσόμενες χώρες θα συνεισφέρουν το 94% αυτής της αύξησης (*ESMAP, 2016*). Ως εκ τούτου, σε παγκόσμια βάση, η ζήτηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα θα παρουσιάζει μόνο αύξηση. Προβλέπεται ότι η ζήτηση ενέργειας θα αυξηθεί εντός του κτιριακού τομέα κατά 50% μέχρι το έτος 2050 (*Yousefi, et al., 2015*).

Παράλληλα με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και την ανάπτυξη της τεχνολογίας, η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται μέρα με τη μέρα. Ως αποτέλεσμα των επιπτώσεων της ανάπτυξης της τεχνολογίας στον κατασκευαστικό τομέα (π.χ., οι ανάγκες του αυξανόμενου πληθυσμού και το αυξανόμενο βιοτικό επίπεδο) ο αριθμός των κτιρίων αυξάνεται ραγδαία. Λαμβάνοντας υπόψη το σύστημα κατανάλωσης ενέργειας, κατά μέσο όρο το 32% καταναλώνεται σε κατοικίες συμπεριλαμβανομένων των εμπορικών και δημόσιων υπηρεσιών, το 36% στη βιομηχανία, το 27% στις μεταφορές και το 4% στη γεωργία. Έχει προσδιοριστεί ότι το 48% της ενέργειας που καταναλώνεται στα κτίρια χρησιμοποιείται από συστήματα κλιματισμού για σκοπούς θέρμανσης και ψύξης. Αν και οι τιμές τους διαφέρουν ανάλογα με το αν η αρχιτεκτονική είναι πολυώροφο ή μονώροφο, τα θερμικά φορτία στα κτίρια είναι κυρίως μέσω εξωτερικών τοίχων, παραθύρων, στέγης, δαπέδων και εξαερισμού. Οι απώλειες θερμότητας στα κτίρια είναι περίπου 51% από το άνοιγμα όπως παράθυρα και πόρτες, 20% από την εξωτερική πόρτα, 13% από την οροφή και 16% από το δάπεδο από σκυρόδεμα.

Τα περιβαλλοντικά και ενεργειακά ζητήματα έχουν λάβει μεγάλη προσοχή τα τελευταία χρόνια, καθώς υπάρχει επείγουσα ανάγκη να αντιμετωπιστεί η κλιματική κρίση που έχει προκύψει και να μειωθούν έτσι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (*Zanni, et al., 2015*). Η κλιματική κρίση ξεκίνησε στα μέσα του 20ου αιώνα και έκτοτε δεν υπάρχει καμία βελτίωση μέχρι σήμερα.

Τα κτίρια είναι υπεύθυνα για το 33% περίπου των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, ενώ η πλειονότητα των εκπομπών αυτών προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα κτίρια για ψύξη, φωτισμό, συσκευές και ηλεκτρικά καθώς και για τη θέρμανση του νερού (*Mohsen & Moustafa, 2016*).

Ως εκ τούτου, είναι τεράστιας σημασίας να ληφθούν υπόψη οι ενεργειακές απαιτήσεις σε νεόδμητα αλλά και σε υφιστάμενα κτίρια. Ο βιώσιμος χειρισμός της ενέργειας πρέπει να αποτελέσει προτεραιότητα, δηλαδή να μειωθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις στα κτίρια, διατηρώντας παράλληλα την ποιότητα της ενέργειας σε υψηλά επίπεδα.

Στην Ευρώπη, πάνω από το 80% του πληθυσμού ζει στις πόλεις και ως εκ τούτου αποτελεί προτεραιότητα

της Ευρωπαϊκής Ένωσης η αναζήτηση λύσεων εξοικονόμησης ενέργειας. Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας οδηγεί σε λύσεις ενεργειακής απόδοσης, ωστόσο μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτική-και έτσι θα μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (*ESMAP, 2016*).

Όσον αφορά τα σχολικά κτίρια, αποτελούν σημαντικό μέρος του κτιριακού αποθέματος (*Rospi, et al., 2015*). Είναι γεγονός ότι οι μαθητές περνούν μεγάλο μέρος του χρόνου.

Λόγω των προαναφερθέντων, είναι σημαντικό τα κτίρια αυτά να είναι βιώσιμα, ώστε να συμβάλλουν στη μείωση της κλιματικής αλλαγής και να παρέχουν ένα υγιές περιβάλλον για τους μαθητές (*Dall'O, et al., 2013*).

Τώρα, τα σχολικά κτίρια μεταξύ άλλων έχουν μεγάλη σημασία, καθώς γίνονται "σπίτι" των μαθητών σε καθημερινή βάση για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, μιας και σε αυτά οι μαθητές αφιερώνουν το μεγαλύτερο χρόνο της ημέρας στο σχολείο. Η κατανάλωση ενέργειας αφορά κυρίως τη θέρμανση-ψύξη, τον φωτισμό και τη λειτουργία του εξοπλισμού. Έχει αναφερθεί ότι τα δύο τρίτα των σχολικών κτιρίων δεν πληρούν τις τυπικές απαιτήσεις όσον αφορά το κέλυφος λόγω ανεπαρκούς μόνωσης, μη κατάλληλων υαλοπινάκων και ελλιπούς φωτισμού (*Dall'O, et al., 2013*).

Η προσπάθεια εξορθολογισμού της χρήσης ενέργειας στα κτίρια στην Ευρώπη ξεκίνησε με την έκδοση των Ευρωπαϊκών Οδηγιών 2002/91/EK και 2010/31/EE σχετικά με τη μέση απόδοση των κτιρίων (*Κατσαπρακάκης & Ζηδιανάκης, 2017*). Συγκεκριμένα, οι οδηγίες αυτές είναι οι εξής:

- Καθιέρωση σαφούς συστάδας δυνητικών παθητικών και ενεργητικών μέτρων, που χρησιμοποιούν μια ποικιλία κατά περίπτωση εφαρμόσιμων τεχνολογιών, προς την κατεύθυνση της εξοικονόμησης και παραγωγής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) στα κτίρια.
- Εισαγωγή της κατάταξης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, όσον αφορά την καταναλισκόμενη ενέργεια, με ταυτόχρονη θέσπιση σαφών στόχων όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.

Οι οδηγίες έχουν περάσει από τις χώρες της ΕΕ και έχουν θεσπιστεί οι αντίστοιχες εθνικές νομοθεσίες. Επιπλέον, τα τελευταία 15 χρόνια έχουν ανακοινωθεί διάφορες χρηματοδοτικές δράσεις τόσο σε κεντρικό επίπεδο της ΕΕ όσο και σε αποκεντρωμένες εθνικές προσκλήσεις χρηματοδότησης (*Κατσαπρακάκης & Ζηδιανάκης, 2017*).

1.2 Ενεργειακή απόδοση

Τα κτίρια αποτελούν μέρος της καθημερινής μας ζωής και οι άνθρωποι περνούν μεγάλο χρονικό διάστημα στο σπίτι, στο σχολείο, στην εργασία ή ακόμη και κατά τη διάρκεια του ελεύθερου χρόνου τους.

Τα παράθυρα, τα οποία είναι απαραίτητα κατασκευαστικά στοιχεία, παρέχουν όχι μόνο μια ευχάριστη εμφάνιση στο κτίριο, αλλά διαθέτουν επίσης χαρακτηριστικά όπως η δημιουργία ενός ήρεμου εσωτερικού περιβάλλοντος για την άνεση των ανθρώπων και η είσοδος του φωτός και του αέρα στο κτίριο εξασφαλίζει τη σύνδεση μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου. Τα συστήματα παραθύρων που χρησιμοποιούνται συνήθως στα σημερινά κτίρια είναι παράθυρα ελεγχόμενης θερμοκρασίας, παράθυρα με διπλά τζάμια, με δύο ή περισσότερες γυάλινες πλάκες που χωρίζονται μεταξύ τους από ένα μεταλλικό πλαίσιο, δημιουργώντας έναν ελεγχόμενο όγκο με αφύγρανση είτε με πλήρωση με διάφορα αέρια (είτε συνδυασμό των δύο). Το κενό μεταξύ των γυαλιών κυμαίνεται μεταξύ 6 και 20 mm και αυτό το κενό μειώνει τη μετάδοση θερμότητας καθώς δημιουργεί ένα ρυθμιστικό θερμότητας. Στα παράθυρα με διπλά τζάμια, είναι δυνατό να μειωθεί περαιτέρω η θερμική μετάδοση γεμίζοντας τον όγκο μεταξύ των υαλοπινάκων με αφυγρανμένο αέρα ή ευγενή αέρια όπως αργό, κρυπτό και ξένο. Λόγω του υψηλού κόστους των ευγενών αερίων σε σύγκριση με τον αέρα, η χρήση παραθύρων με ευγενή αέρια στα κτίρια είναι πολύ σπάνια, εκτός από ειδικές εφαρμογές.

1.3 Ευρωπαϊκή Ένωση και Δημόσια κτίρια (σχολεία)

Το 2015 αξιολογήθηκε ένα πρόγραμμα επενδύσεων ύψους 120 δισ. ευρώ για τα δημόσια κτίρια της ΕΕ, συμπεριλαμβανομένων των σχολείων, με σκοπό τη μετάβαση των κτιρίων αυτών σε δημόσια κτίρια τελευταίας ενεργειακής τεχνολογίας.

Η προτεραιότητα της ενεργειακής βελτίωσης της απόδοσης των δημόσιων κτιρίων ήταν ένα αποτέλεσμα προκειμένου να επιτευχθούν οι ενεργειακοί στόχοι της ΕΕ, δηλαδή να καταπολεμηθεί η ενεργειακή κρίση και να μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η επένδυση αυτού του ποσού στα δημόσια κτίρια θα μείωνε την ενεργειακή τους κατανάλωση κατά 10-15% και τις εκπομπές CO₂ κατά το ίδιο ποσοστό (Lepetit, 2015).

Ένα άλλο έργο που παρουσίασε η ΕΕ, προκειμένου να αυξήσει την ενεργειακή απόδοση των σχολείων της ΕΕ ήταν το EURONET 50/50MAX, το οποίο συνέβαλε στην αλλαγή της συμπεριφοράς των χρηστών των δημόσιων κτιρίων και μοιράστηκε την εξοικονόμηση στους λογαριασμούς ενέργειας μεταξύ των δήμων και των χρηστών του κτιρίου. Μέχρι το 2017 περισσότερα από 516 σχολεία και άλλα 45 δημόσια κτίρια εφάρμοσαν αυτό το έργο στο οποίο συμμετείχαν περίπου 88500 μαθητές, 6450 εκπαιδευτικοί και 100 δημοτικά συμβούλια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η πλειονότητα των κτιρίων κατάφερε να μειώσει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ή θερμότητας ή και τα δύο (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Ενεργειακή απόδοση στα σχολικά κτίρια

Η μείωση της χρήσης ενέργειας στα σχολικά κτίρια (καθώς και σε άλλες επιχειρήσεις και οργανισμούς) πρέπει να αποτελεί προτεραιότητα, καθώς θα συμβάλει στη μείωση του ενεργειακού κόστους, αλλά κυρίως στη μείωση των εκπομπών CO₂ προς το περιβάλλον.

Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες μέθοδοι για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα και κάποιες από τις μεθόδους είναι απλές και οικονομικά αποδοτικές χωρίς να μειώνουν την εσωτερική ποιότητα του περιβάλλοντος των σχολείων (Sarbu & Pacurar, 2015).

Η ενεργειακή απόδοση στα σχολεία θα πρέπει επίσης να παρέχει ένα άνετο και υγιές περιβάλλον για τους μαθητές, δηλαδή θερμική άνεση. Μελέτες που διεξήχθησαν σε σχέση με τη θερμική άνεση σε σχολικά κτίρια έδειξαν ότι τα βιώσιμα κτίρια οδηγούν σε μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και λειτουργικό κόστος και βελτίωση της θερμικής άνεσης (Nasrollahi, 2009).

2.2 Βιώσιμος φωτισμός στα σχολικά κτίρια

Όπως προαναφέρθηκε στην εισαγωγή της παρούσας διατριβής, έχουν πραγματοποιηθεί παγκόσμιες προσπάθειες για την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος λόγω της κλιματικής κρίσης. Ως εκ τούτου, ο όρος βιώσιμη ανάπτυξη έχει εισαχθεί στη ζωή των ανθρώπων προκειμένου να προστατευθεί ο κόσμος. Ουσιαστικά, η βιώσιμη ανάπτυξη ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες (Brundtland, 1987).

Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA, 2019), ο φωτισμός είναι υπεύθυνος για το 19% περίπου (περίπου 3000 TWh) της συνολικής παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Ο αριθμός αυτός μπορεί να μειωθεί με την εγκατάσταση νέων συστημάτων φωτισμού σε υφιστάμενα κτίρια.

Ειδικότερα, ο φωτισμός είναι ένας τομέας στον οποίο μπορεί να προκύψει σημαντική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Μια μελέτη που διεξήχθη από τους (Dubois, et al., 2015) έδειξε ότι η επένδυση σε ενεργειακά αποδοτικό φωτισμό είναι οικονομικά αποδοτική για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων καθώς και για τη μείωση των εκπομπών CO₂. Ο (Krarti, et al., 2005) προσθέτει ότι η αναβάθμιση του φωτισμού είναι πολύ αποδοτική και η τυπική περίοδος απόσβεσης είναι περίπου δύο χρόνια.

Στα κτίρια και ιδιαίτερα στα σχολικά κτίρια, ο φωτισμός παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, καθώς πολλά

σχολεία σε παγκόσμιο επίπεδο δεν ακολουθούν μια βιώσιμη προσέγγιση. Οι υπάρχοντες μη βιώσιμοι φωτισμοί καταναλώνουν κατά μέσο όρο 100W ενώ οι βιώσιμοι φωτισμοί (φωτισμός τύπου LED) καταναλώνουν περίπου 41W. Η αντικατάσταση του υπάρχοντος συστήματος φωτισμού με βιώσιμο φωτισμό μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση ενέργειας κατά 60% (Τσαγκαρασούλης, 2020).

Οι αρχές του βιώσιμου φωτισμού είναι η ενεργειακή απόδοση και η ποιότητα της ενέργειας. Κατά το σχεδιασμό του βιώσιμου φωτισμού οι βασικοί κανόνες είναι οι εξής (Matusiak & Pracki, 2005):

- Μεγιστοποίηση της χρήσης του φωτός της ημέρας σε εσωτερικούς χώρους.
- Ελαχιστοποίηση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας για σκοπούς φωτισμού.
- Διατήρηση υψηλής ποιότητας για το φωτισμό.
- Χρήση εξοπλισμού φωτισμού φιλικού προς το περιβάλλον.
- Ανακύκλωση των αχρησιμοποίητων λαμπτήρων.

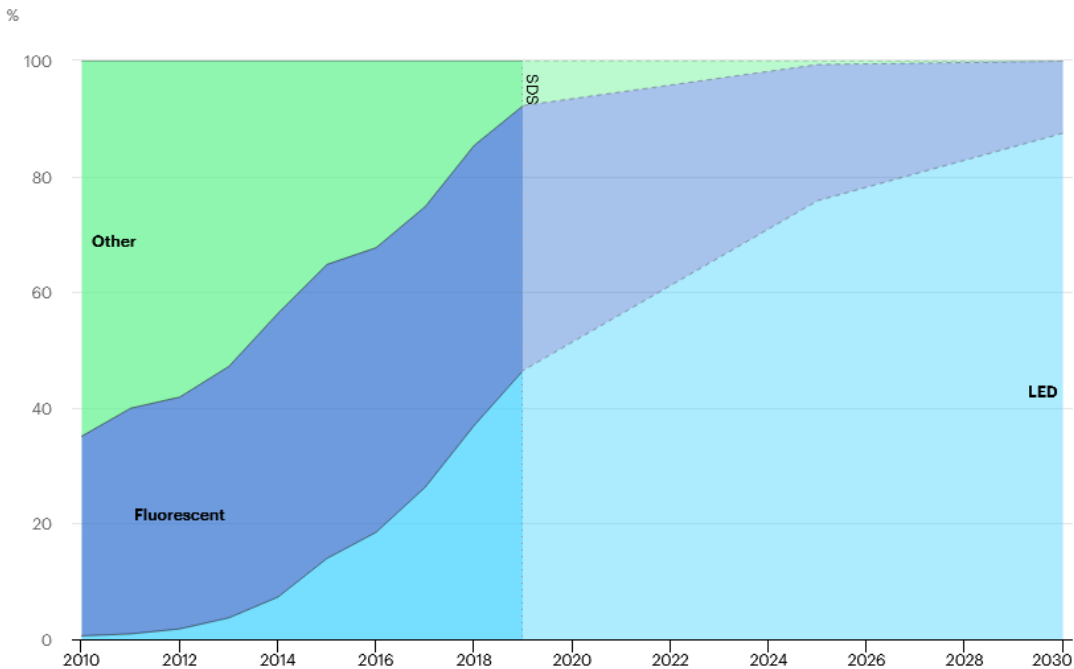
Μια βιώσιμη προσέγγιση φωτισμού σημαίνει ότι υπάρχει μεγιστοποίηση της χρήσης του φωτός της ημέρας ως κύρια πηγή φωτισμού για το εσωτερικό. Σε μια αίθουσα διδασκαλίας, αυτό μπορεί να επιτευχθεί με παράθυρα σε διάφορα σχήματα. Ουσιαστικά, το φως της ημέρας που εισέρχεται σε μια αίθουσα διδασκαλίας θα πρέπει να παρέχει αρκετό φως σε περιόδους με συννεφιασμένο ουρανό, ενώ θα πρέπει να παρέχει άνετες συνθήκες φωτισμού σε περιόδους όπου ο ουρανός είναι καθαρός με ηλιοφάνεια. (Matusiak & Pracki, 2005).

2.3 Στρατηγικές αναβάθμισης φωτισμού για σχολικά κτίρια

Οι μαθητές που εισέρχονται στις αίθουσες διδασκαλίας πρέπει να αισθάνονται άνετα σε σχέση με τις συνθήκες φωτισμού. Η μαθησιακή τους ικανότητα καθώς και η ικανότητά τους να συγκεντρώνονται κατά τη διάρκεια του μαθήματος δεν εξαρτάται μόνο από προσωπικούς παράγοντες (π.χ., κίνητρα, νοημοσύνη, ψυχολογικές συνθήκες κ.λπ.), αλλά και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Μία από αυτές τις συνθήκες είναι η οπτική άνεση, δηλαδή η ικανότητα των μαθητών να αισθάνονται άνετα με τις συνθήκες φωτισμού, για παράδειγμα να μην είναι πολύ φωτεινά και όχι πολύ σκοτεινά. Οι άνετες οπτικές συνθήκες είναι τεράστιας σημασίας καθώς οι οπτικές δραστηριότητες όπως η γραφή και η ανάγνωση που είναι κρίσιμες κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής φάσης (Abdelatia, et al., 2010).

Η αναβάθμιση του φωτισμού μπορεί να γίνει είτε με φυσικό είτε με τεχνητό τρόπο, ιδίως με τη χρήση φωτισμού LED. Το 2019 οι πωλήσεις φωτισμού LED έφτασαν σε ένα κρίσιμο ορόσημο με πωλήσεις άνω των 10 δισεκατομμυρίων μονάδων παγκοσμίως, συμπεριλαμβανομένων των λαμπτήρων, των σωλήνων και των μονάδων καθώς και των φωτιστικών σωμάτων. Τα LED χρησιμοποιούνται τόσο από κατοικίες

όσο και από εμπορικά κτίρια. Καθώς οι τιμές των LED συνεχίζουν να μειώνονται, οι πωλήσεις αυξάνονται, καθιστώντας τα φώτα LED μια ευνοϊκή και φιλική προς το περιβάλλον επιλογή. Το παρακάτω σχήμα δείχνει τις πωλήσεις φωτισμού ανά τύπο στο σενάριο βιώσιμης ανάπτυξης (2010-2030).



Οι συνιστώμενες στρατηγικές σχετικά με την αναβάθμιση του φωτισμού των σχολικών κτιρίων παρουσιάζονται παρακάτω (CLCT, 2014):

- Μετατροπή παλαιών φωτιστικών σωμάτων φθορισμού σε πηγές φωτός υψηλότερης απόδοσης με έλεγχο εξασθένισης.
- Μετατροπή όλων των φώτων πυρακτώσεως και CFL σε στερεάς κατάστασης, τεχνολογίας LED.
- Μετασκευές παραθύρων και φεγγιτών προκειμένου να αυξηθεί η διείσδυση του φωτός της ημέρας σε χώρους όπου οι μαθητές και οι εκπαιδευτικοί περνούν πολλές ώρες της ημέρας, π.χ. αίθουσες διδασκαλίας, γραφεία και γυμναστήρια.
- Εγκατάσταση συστημάτων σκίασης σε παράθυρα και φεγγίτες, ώστε να μειωθούν οι πιθανότητες θάμβωσης και αύξησης της θερμότητας από την άμεση διείσδυση του ηλιακού φωτός.
- Ενσωμάτωση συστημάτων ελέγχου του ηλεκτρικού φωτισμού για τη συγκομιδή του φωτός της ημέρας σε χώρους όπου τα παράθυρα καθώς και οι φεγγίτες μπορούν να παρέχουν αρκετό φως της ημέρας για την κάλυψη των απαιτούμενων επιπέδων φωτισμού.
- Χρήση υλικών υψηλής ανακλαστικότητας για τους εσωτερικούς τοίχους, την οροφή και τα δάπεδα. Υψηλή ανακλαστικότητα μπορεί να έχουν το λευκό χρώμα, τα πάνελ οροφής και τα πλακάκια δαπέδου.

- Εγκατάσταση αισθητήρων φωτός σε αίθουσες διδασκαλίας, γραφεία, βιβλιοθήκες, γυμναστήρια, τουαλέτες και άλλους εκπαιδευτικούς χώρους εντός του σχολικού κτιρίου.
- Χρήση φωτισμού δύο επιπέδων σε διαδρόμους, κλιμακοστάσια και άλλους δευτερεύοντες χώρους.
- Ο φωτισμός δύο επιπέδων μπορεί επίσης να εγκατασταθεί σε όλους τους εξωτερικούς χώρους στάθμευσης, στις περιμέτρους του κτιρίου και στους διαδρόμους κάτω από τα στέγαστρα.
- Ενσωμάτωση κατάλληλου προγραμματισμού και ελέγχου με φωτοαισθητήρες για όλο τον εξωτερικό φωτισμό.
- Ειδικά για τις αίθουσες διδασκαλίας, τα γραφεία και άλλους χώρους υποστήριξης στα σχολικά κτίρια, οι πρωταρχικές συστάσεις για βιώσιμες συνθήκες φωτισμού είναι:
 - Εγκατάσταση ροοστάτη.
 - Εγκατάσταση φωτεινών πηγών ή φωτιστικών σωμάτων υψηλής απόδοσης.
 - Εγκατάσταση αισθητήρων ελέγχου παρουσίας/καθαρότητας.
 - Μεγιστοποίηση του φωτός της ημέρας με παράθυρα, φεγγίτες και συστήματα σκίασης.
 - Εγκατάσταση φωτοαισθητήρων για τη συγκομιδή του φωτός της ημέρας.
 - Αύξηση της ανακλαστικότητας των εσωτερικών επιφανειών, π.χ. λευκή βαφή, πάνελ και δάπεδα.

2.4 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)

Η ανανεώσιμη ενέργεια είναι "κάθε φυσικός πόρος που μπορεί να αντικατασταθεί γρήγορα και αξιόπιστα" (*Solar Schools, 2020*). Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι άφθονες, βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον και ως εκ τούτου τους έχει δοθεί μεγάλη προσοχή τα τελευταία χρόνια προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές CO₂ από τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποκαλούνται τόσο συχνά καθαρή ενέργεια, καθώς προέρχονται από φυσικές πηγές, όπως προαναφέρθηκε. Για παράδειγμα, το φως του ήλιου ή ο άνεμος που συνεχίζει να λάμπει και να φυσάει αποτελούν μια μορφή ενέργειας ακόμη και αν η διαθεσιμότητά τους εξαρτάται από την ώρα και τον καιρό.

Παρά το γεγονός ότι η ανανεώσιμη ενέργεια θεωρείται νέα τεχνολογία, η δύναμη της φύσης χρησιμοποιείται από πολύ παλιά για σκοπούς θέρμανσης, μεταφοράς, φωτισμού κ.λπ. Οι βάρκες κινούνταν από τον άνεμο καθώς και οι ανεμόμυλοι για να αλέθουν το σιτάρι. Από την άλλη πλευρά, ο ήλιος παρείχε ζεστασιά κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ωστόσο, στις μέρες μας, οι άνθρωποι έχουν στραφεί σε ευκολότερες, φθηνότερες και πιο βρώμικες πηγές ενέργειας για να καλύψουν τις ενεργειακές τους ανάγκες.

2.4.1 Τύποι ΑΠΕ

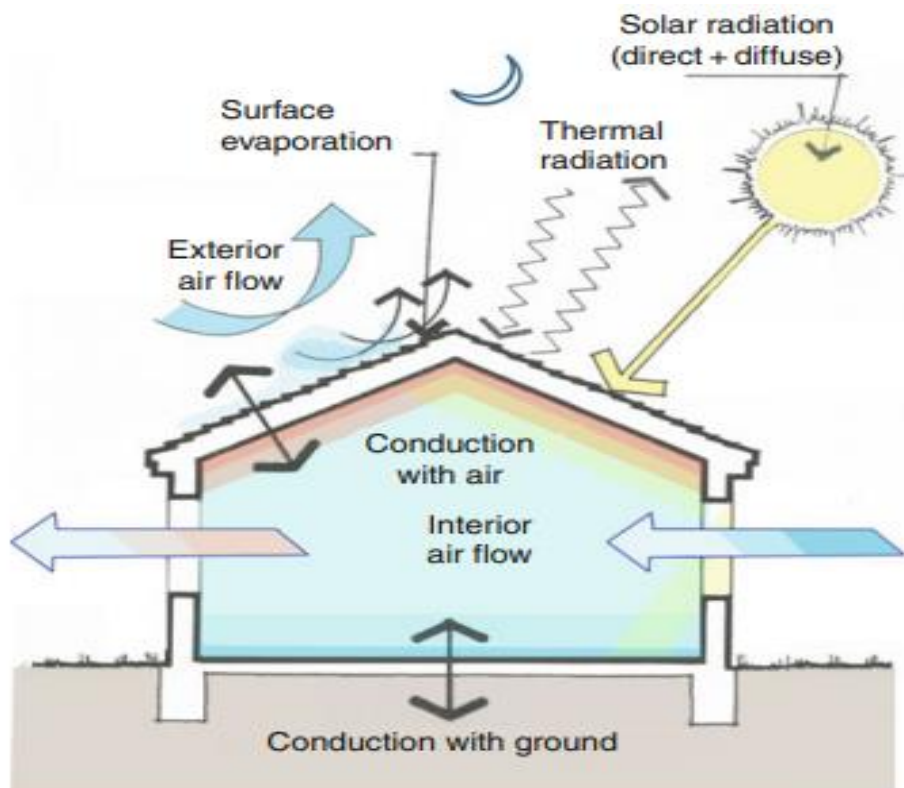
2.4.1.1 Ηλιακή ενέργεια

Οι άνθρωποι εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια εδώ και χιλιάδες χρόνια για πολλούς σκοπούς, όπως για την καλλιέργεια καλλιεργειών, για θέρμανση και για την ξήρανση τροφίμων. Σύμφωνα με το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας "περισσότερη ενέργεια από τον ήλιο πέφτει στη γη σε μια ώρα από όση καταναλώνεται από όλους τους ανθρώπους στον κόσμο σε ένα χρόνο". Επί του παρόντος ο ήλιος αξιοποιείται με πολλούς τρόπους, δηλαδή, από τη θέρμανση σπιτιών και επιχειρήσεων μέχρι τη θέρμανση νερού ή ακόμη και την τροφοδοσία συσκευών (EAEA, 2018).

Τώρα, προκειμένου να συλλεχθεί η ηλιακή ενέργεια, χρησιμοποιούνται φωτοβολταϊκά (ΦΒ) στοιχεία. Αυτά τα κύτταρα κατασκευάζονται από πυρίτιο ή άλλα υλικά και είναι ικανά ή μετατρέπουν το ηλιακό φως απευθείας σε ενέργεια. Τα κύτταρα αυτά σχηματίζουν ένα ηλιακό σύστημα το οποίο παράγει ηλεκτρική ενέργεια τοπικά για σπίτια και επιχειρήσεις μέσω πάνελ στις στέγες ή κοινοτικών έργων που τροφοδοτούν ολόκληρες γειτονιές. Κάνοντας ένα βήμα παραπέρα, τα ηλιακά πάρκα είναι ικανά να παράξουν ενέργεια για χιλιάδες ανθρώπους και τα σπίτια τους με τη χρήση κατόπτρων που συγκεντρώνουν το ηλιακό φως σε στρέμματα ηλιακών κυττάρων. Υπάρχουν επίσης πλωτά ηλιακά πάρκα που ονομάζονται επίσης πλωτά φωτοβολταϊκά τα οποία αξιοποιούν τις εγκαταστάσεις λυμάτων και τα υδάτινα σώματα για την παραγωγή ενέργειας (NEDC, 2018).



Φωτοβολταικά στον Πύργο του Πειραιά



2.4.1.2 Αρχή λειτουργίας PV Panels

Η αρχή λειτουργίας ενός Φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά το οποίο δύο υλικά με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (ημιαγωγοί προσμίξεων διαφορετικής πολικότητας ιόντων) όταν βρεθούν σε επαφή και εν συνεχεία εκτεθούν σε ηλιακή ακτινοβολία παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Οι επαφές αυτές σχηματίζουν τα φωτοβολταϊκα στοιχεία, τα οποία συνδέονται σε πλαίσια, πάνελ και τελικά συστοιχίες.

Το ρεύμα που παράγεται (συνεχές) για να χρησιμοποιηθεί (είτε από συσκευές για ιδιοκατανάλωση είτε για πώληση στη ΔΕΗ) μετατρέπεται σε κατάλληλη μορφή (εναλλασσόμενο) με χρήση κατάλληλων διατάξεων (αντιστροφείς). Για την περίπτωση αυτόνομων συστημάτων (όπου το ρεύμα χρησιμοποιείται πλήρως για την εξυπηρέτηση των ηλεκτρικών φορτίων της εγκατάστασης) χρησιμοποιούνται επίσης μπαταρίες για την τροφοδότηση των αναγκών κατά τις νυκτερινές και συννεφιασμένες ώρες.

Είδη φωτοβολταϊκών πλαισίων

Το πυρίτιο (Si) είναι το υλικό που έχει κυριαρχήσει μέχρι σήμερα. Οι βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι:

Μονοκρυσταλλικού πυριτίου (c-Si)

Αποτελούνται από μεγάλους κρυστάλλους, το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο (περίπου 300μm) και έχουν χρώμα σκούρο μπλε. Η απόδοσή του είναι 13-16% και η απαιτούμενη επιφάνεια για 1kWp είναι 7-8 m². Πλεονέκτημά τους η λίγο μεγαλύτερη απόδοση (στο ίδιο εμβαδό μπορούν να τοποθετηθούν σχετικά μεγαλύτερη ισχύς σε σύγκριση με τα πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου) και συνήθως χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει πρόβλημα χώρου. Αν δεν υπάρχει πρόβλημα χώρου δεν υπάρχει κανένα κέρδος από τη χρήση τους. Αποτελεί ξεπερασμένη άποψη (η οποία εδράζεται σε δεδομένα της προηγούμενης δεκαετίας) ότι τα μονοκρυσταλλικά πάνελ είναι καλύτερα (το 2005 όντως ήταν καλύτερα!).

Πολυκρυσταλλικού πυριτίου (m-Si)

Έχουν χρώμα γαλάζιο και στην επιφάνεια του στοιχείου διακρίνονται μονοκρυσταλλικές περιοχές. Η απόδοση είναι περίπου 12.5-15.5% και απαιτούνται 8-9 m² για 1kWp (συνεπώς για την ίδια ισχύ απαιτείται λίγο μεγαλύτερη επιφάνεια σε σύγκριση με τα μονοκρυσταλλικού). Κόβονται σε στοιχεία τετραγωνικής μορφής πάχους 10-50μm. Χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε φωτοβολταϊκά σε στέγες και ταράτσες.

Άμορφου πυριτίου (a-Si)

Το μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι έχει πολύ μεγαλύτερο συντελεστή απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να αρκεί ένα στρώμα πάχους λίγων μm για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Η απόδοση κυμαίνεται μεταξύ 6-10%. (Δε χρησιμοποιείται σε στέγες ή ταράτσες καθώς υπάρχει πρόβλημα χώρου).

Υβριδικά – υψηλής απόδοσης

Τα πλαίσια με υβριδική τεχνολογία έχουν λάβει σημαντικό μερίδιο της αγοράς τα τελευταία χρόνια. Αποτελούνται από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο καλυμμένο από μια λεπτή στρώση άμορφου πυριτίου. Πλεονέκτημα αποτελεί η ιδιαίτερος μεγάλη απόδοση (+18%), χαρακτηριστικό το οποίο δίνει τη δυνατότητα στο ίδιο εμβαδό να τοποθετείται μεγαλύτερη ισχύ. Το ισχυρότερο όμως θετικό χαρακτηριστικό αποτελεί ο χαμηλός θερμοκρασιακός συντελεστής σε σύγκριση με τα υπόλοιπα πλαίσια. Το χαρακτηριστικό αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή περισσότερης ενέργειας από ένα σύστημα ίδιας ισχύος με διαφορετικά πλαίσια. Μειονέκτημα αποτελεί η υψηλότερη τιμή η οποία όμως αποσβένει σε αντίστοιχο χρονικό διάστημα με την όλη επένδυση, προσφέροντας μεγαλύτερα έσοδα 25ετίας.

Απόδοση φωτοβολταϊκού συστήματος

Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα μετεωρολογικά-κλιματικά στοιχεία μιας περιοχής (όχι μόνο η ηλιακή ακτινοβολία αλλά και η θερμοκρασία της επηρεάζει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας). Επίσης το γεωγραφικό μήκος, πλάτος και το υψόμετρο του συστήματος επηρεάζουν δραστικά την απόδοση του φωτοβολταϊκού.

Ηλιακή ακτινοβολία

Η χώρα μας αποτελεί την πιο ηλιόλουστη γωνιά της Ευρώπης. Όπως φαίνεται και από το χάρτη για κάθε kWp οι παραγόμενες kWh κατ' έτος κυμαίνονται από 1100kWh για τις βόρειες περιοχές έως 1500kWh για τις νότιες (600 έως 750€ το χρόνο σύμφωνα με την Επιδότηση)

Προσανατολισμός – Κλίση

Για να είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των φωτοβολταϊκών πλαισίων θα πρέπει να επιτυγχάνεται βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Επειδή η συνεχής παρακολούθηση του ήλιου (tracker) δεν είναι οικονομικά αποδοτική (για την περίπτωση στέγης ή ταράτσας) επιλέγεται μια βέλτιστη κλίση και προσανατολισμός.

Για το βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του φωτοβολταϊκού είναι 10ο-30ο με κατεύθυνση προς το Νότο. Για την Ελλάδα η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνεια σταθερής κλίσης επιτυγχάνεται για νότιο προσανατολισμό και κλίση περίπου 28ο. Δεδομένου ότι στην περίπτωση των κτιριακών φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων οι βέλτιστες τιμές κλίσης και προσανατολισμού μπορεί να είναι ανέφικτες, προτείνονται επιφάνειες νότιου προσανατολισμού με αζιμουθιακή απόκλιση ως 70ο από το Νότο και κλίση στο εύρος 10ο-30ο. Σημειώνεται ότι η χρήση γωνιών άνω των 10ο-15ο διευκολύνει τον αυτοκαθαρισμό (μέσω σταγονιδίων βροχής) των πλαισίων από σωματίδια σκόνης και άλλους ρύπους μέσω της βροχής.

Για μεγαλύτερη ακρίβεια δείτε τον παρακάτω πίνακα. Θα παρατηρήσετε ότι όσο απομακρυνόμαστε από το Νότο είναι καλύτερο η κλίση να μειώνεται από το βέλτιστο των 30 μοιρών.

Όσον αφορά τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά η επιλογή της κλίσης και του προσανατολισμού δεν έχουν να κάνουν τόσο με τη βέλτιστη επιλογή για τη μεγιστοποίηση της ετήσιας απόδοσης αλλά καθαρά με τη χρήση που απαιτείται. Έτσι αν μιλάμε για καλοκαιρινή χρήση και μόνο επιλέγεται κλίση κάτω των 15 μοιρών. Αν μιλάμε για χειμώνα και μόνο πάνω από 35 μοίρες. Αντίστοιχα αν η χρήση είναι πιο έντονη τα πρωινά ο ανατολικός προσανατολισμός είναι σημαντικός, ενώ για απογευματινή χρήση δυτικός. Δεν είναι λίγες οι φορές που σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό επιλέγουμε την τοποθέτηση σε Ανατολή και Δύση ώστε να έχουμε μία "καρδιοειδή" κατανομή ενέργειας για περισσότερες ώρες της μέρας με σκοπό η ενέργεια να καταναλώνεται όσο γίνεται απευθείας από τον ήλιο χωρίς φόρτιση-εκφόρτιση της συστοιχίας

μπαταριών που συνεπάγεται γήρανσή τους. Επίσης προκρίνεται ο δυτικός προσανατολισμός πολλές φορές ώστε οι μπαταρίες να είναι όσο γίνεται περισσότερο φορτισμένες λίγο πριν απαιτηθεί η έντονη χρήση τους δηλαδή τις πρώτες ώρες της νύχτας.

Πολύ κρίσιμος παράγοντας για την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η σκίαση. Όταν ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο σκιάζεται ακόμη και εν μέρει παράγει σημαντικά χαμηλότερο ρεύμα και κατά συνέπεια λιγότερη ενέργεια. Το πρόβλημα όμως δε σταματάει εδώ, καθώς το συγκεκριμένο πλαίσιο αποτελεί σημείο συμφόρησης (bottleneck) για όλη την ομάδα πλαισίων που είναι συνδεδεμένα επιβάλλοντας το χαμηλότερο ρεύμα του σε όλα τα υπόλοιπα μειώνοντας σημαντικά τη συνολική παραγωγή του συστήματος. Πέραν της μειωμένης απόδοσης, επαναλαμβανόμενες τοπικές σκιάσεις σε ώρες υψηλής ακτινοβολίας καταπονούν το σκιασμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο προκαλώντας πρόωρη γήρανση, καθώς το ρεύμα των υπόλοιπων πλαισίων καταναλώνεται σε μορφή θερμότητας στο σκιασμένο. Το πρόβλημα της σκίασης είναι ιδιαίτερος έντονο στα φωτοβολταϊκά σε στέγες και ταράτσες για πολλούς λόγους. Καταρχάς λόγω του περιορισμένου χώρου δεν είναι εύκολο να απομακρυνθεί το σύστημα από παρακείμενα εμπόδια. Τα περισσότερα συστήματα εγκαθίστανται εντός πόλεων όπου τα διαφορετικά ύψη κτιρίων προκαλούν μόνιμες σκιάσεις. Τέλος, πολλά εμπόδια που βρίσκονται ήδη στη στέγη ή την ταράτσα, όπως η απόληξη του κλιμακοστασίου, προεξοχές σοφίτας, σπασίματα της στέγης, καμινάδες, ιστοί κεραίων, θερμοσίφωνες, λέβητες, σύρματα, το στηθαίο της ταράτσας κ.α. προκαλούν δυσεπίλυτα προβλήματα.

Από τα ανωτέρω είναι φανερό ότι σε κάθε περίπτωση πριν τη λήψη της απόφασης για την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος σε στέγη ή ταράτσα θα πρέπει κάθε ιδιοκτήτης να συμβουλευτεί τη γνώμη ενός ειδικού και στην περίπτωση που υπάρχουν σκιάσεις θα πρέπει να εκπονηθεί μελέτη σκιάσεων η οποία θα δώσει στον ενδιαφερόμενο μια πολύ καλή εκτίμηση των απωλειών λόγω σκιάσεων και θα προτείνει εναλλακτικές λύσεις του προβλήματος.

Στις επιλογές που έχει ο σχεδιαστής του συστήματος για την επίλυση του προβλήματος των σκιάσεων είναι:

Απομάκρυνση των εμποδίων αν είναι δυνατό (θερμοσίφωνες, κεραίες, σύρματα).

Μείωση του ύψους των εμποδίων (καμινάδες, κεραίες).

Απομάκρυνση από τα εμπόδια (τουλάχιστον τόση απόσταση όσο το διπλάσιο της διαφοράς ύψους εμποδίου-πλαίσιου για την περίπτωση νότιας σκίασης).

Κατάλληλος διαχωρισμός στοιχειοσειρών (ομαδοποίηση πλαισίων) ώστε να συνδέονται μαζί τα πλαίσια που υφίστανται παρόμοιες συνθήκες σκίασης (επίσης συνδέονται μαζί πλαίσια με ίδιο προσανατολισμό και ίδια κλίση) και να εισάγονται σε ξεχωριστή είσοδο του αντιστροφέα.

Στις πιο δύσκολες περιπτώσεις που δεν αρκούν οι 2 ή το πολύ 3 διαφορετικές είσοδοι των κλασσικών αντιστροφέων χρησιμοποιούνται νέες τεχνολογίες αντιστροφέων που χειρίζονται κάθε πλαίσιο ξεχωριστά χωρίς οι διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του να επηρεάζουν κανένα άλλο πλαίσιο.

Κατάλληλη επιλογή πλαισίων με διόδους παράκαμψης του πλαισίου όταν αυτό δε λειτουργεί

Περιβαλλοντικά Οφέλη

Αν θεωρήσουμε ότι ένα φωτοβολταϊκό σύστημα 10kWp αποδίδει περίπου 7.700€ ετησίως, το ποσό αυτό αποτελεί μόνο το 50% της απόσβεσης και ονομάζεται άμεση καθώς το υπόλοιπο 50% είναι έμμεση και αποδίδεται στο περιβάλλον, στην κοινωνία, στα παιδιά μας.

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα 1kWp αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,3τόνων διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν 2 στρέμματα δάσους (ή αντίστοιχα 100 δέντρα). Για να παραχθεί η ίδια ηλεκτρική ενέργεια με πετρέλαιο απαιτούνται 2,2 βαρέλια και ισοδυναμεί με την ετήσια μείωση 7.000γλμ. ενός μέσου αυτοκινήτου.

2.4.1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών (*Green, 2012*)

- Τα φωτοβολταϊκά πάνελ παρέχουν καθαρή ενέργεια, καθώς δεν παράγουν εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η ενέργεια που προσελκύουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι δωρεάν από τον ήλιο καθώς και άφθονη.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία.
- Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έξυπνα ενεργειακά δίκτυα.
- Με την πάροδο του χρόνου η τιμή των ηλιακών συλλεκτών μειώνεται και αναμένεται να μειωθεί ακόμη περισσότερο τα επόμενα χρόνια.
- Το κόστος λειτουργίας και διαχείρισης είναι γενικά χαμηλό, ορισμένοι το θεωρούν αμελητέο σε σύγκριση με το κόστος άλλων συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Δεν υπάρχουν μηχανικά κινούμενα μέρη στην περίπτωση που πρόκειται για πάνελ που τραβούν τον ήλιο. Ως εκ τούτου, η έλλειψη κινούμενων μερών τα καθιστά πολύ λιγότερο εύθραυστα.
- Δεν παράγουν ηχορύπανση ως εκ τούτου μπορούν να εγκατασταθούν σε κατοικημένες περιοχές.
- Καθώς η ηλιακή ενέργεια συμπίπτει με τις ενεργειακές ανάγκες για ψύξη, τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορούν να αποτελέσουν αποτελεσματική λύση για την αντιμετώπιση των αιχμών της ενεργειακής ζήτησης - ιδίως κατά τους ζεστούς καλοκαιρινούς μήνες όπου η ζήτηση ενέργειας είναι υψηλή.
- Ευκολία εγκατάστασης με ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης.

Μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών (*Green, 2012*)

- Όπως σε όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η ηλιακή ενέργεια έχει προβλήματα διαλείψεων- δεν λάμπει τη νύχτα, αλλά και κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να υπάρχει συννεφιά ή βροχερός καιρός.
- Τα πάνελ ηλιακής ενέργειας απαιτούν πρόσθετο εξοπλισμό (μετατροπείς) για τη μετατροπή της άμεσης ηλεκτρικής ενέργειας (DC) σε εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια (AC) προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.
- Για τη συνεχή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, ιδίως για συνδέσεις στο δίκτυο, τα φωτοβολταϊκά πάνελ απαιτούν όχι μόνο αντιστροφείς αλλά και μπαταρίες αποθήκευσης, αυξάνοντας έτσι σημαντικά το κόστος επένδυσης για τα φωτοβολταϊκά πάνελ.
- Στην περίπτωση των επίγειων εγκαταστάσεων φωτοβολταϊκών πλαισίων, απαιτούνται σχετικά μεγάλες εκτάσεις για την ανάπτυξή τους- συνήθως ο χώρος της γης δεσμεύεται για το σκοπό αυτό για περίοδο 15-20 ετών - ή και περισσότερο.
- Τα επίπεδα απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών είναι σχετικά χαμηλά (μεταξύ 14%-25%) σε σύγκριση με τα επίπεδα απόδοσης άλλων συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

- Παρόλο που τα φωτοβολταϊκά πάνελ δεν έχουν σημαντικό κόστος συντήρησης ή λειτουργίας, είναι εύθραυστα και μπορούν να υποστούν σχετικά εύκολα ζημιές.

2.4.1.4 Φωτοβολταϊκά πάνελ σε σχολεία

Οι ηλιακοί συλλέκτες που εγκαθίστανται στις στέγες των σχολείων μπορούν να προσφέρουν πολλά οφέλη που κυμαίνονται από περιβαλλοντικά οφέλη μέχρι οφέλη κόστους και εκπαιδευτικά οφέλη. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας στα σχολεία δεν θα βοηθήσει μόνο τα σχολεία αλλά και τη γειτονιά. Τα σχολεία λειτουργούν με καθαρή και πράσινη ενέργεια, ενώ μειώνονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Επίσης, οι ηλιακοί συλλέκτες στα σχολεία μειώνουν την εξάρτηση των σχολείων από τα ορυκτά καύσιμα, ενώ προωθούν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, οι ηλιακοί συλλέκτες παρέχουν μια μαθησιακή εμπειρία στους μαθητές, καθώς αποκτούν γνώσεις και εμπλουτίζουν το πεδίο των σπουδών σε αυτή την πρωτόγνωρη τεχνολογία. Η ηλιακή ενέργεια όχι μόνο ενθαρρύνει τις βιώσιμες πρακτικές στους μαθητές, αλλά μπορεί επίσης να αποτελέσει μέρος του προγράμματος σπουδών τους μέσω των μαθημάτων επιστήμης ή μαθηματικών (*solarenergy, 2021*).

Στα σχολεία, οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι σημαντικά υψηλές, επομένως η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ηλιακών συλλεκτών μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας (ηλεκτρισμού). Η μείωση αυτή είναι επίσης γνωστή ως net-metering και αποτελεί ένα πολύ ισχυρό εργαλείο ειδικά για τα σχολεία. Δηλαδή, χρήση ΑΠΕ για την παραγωγή ενέργειας. Το net-metering επιτρέπει στον καταναλωτή να καλύψει ένα σημαντικό μέρος της δικής του κατανάλωσης, ενώ ταυτόχρονα του δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει το δίκτυο για έμμεση αποθήκευση πράσινης ενέργειας. Ο όρος "net" προέρχεται από το γεγονός ότι η χρέωση/πίστωση του καταναλωτή αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ της ενέργειας που καταναλώνεται και της ενέργειας που παράγεται σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

2.4.1.5 Έργο TILOS

Το TILOS είναι ένα ευρωπαϊκό ερευνητικό έργο στο οποίο συμμετέχουν επτά ευρωπαϊκές χώρες προκειμένου να καταδειχθεί η δυνατότητα αποθήκευσης μπαταριών τοπικής/μικρής κλίμακας για πολλαπλούς σκοπούς σε ένα νησιωτικό μικροδίκτυο, το οποίο αλληλεπιδρά επίσης με το κύριο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Ουσιαστικά, το αντικείμενο του έργου είναι η επίτευξη διείσδυσης ΑΠΕ μεγάλης κλίμακας και η μεγιστοποίηση της αξίας των περιουσιακών στοιχείων μέσω της βέλτιστης ενσωμάτωσης υβριδικών ΑΠΕ, όπως αιολικών και φωτοβολταϊκών σταθμών σε συνδυασμό με προηγμένη αποθήκευση

μπαταριών, κατανεμημένη, οικιακή αποθήκευση θερμότητας, έξυπνη μέτρηση και DSM (*tiloshorizon.eu, 2021*).

Το έργο αναπτύσσεται στο μικρό ελληνικό νησί της Τήλου που βρίσκεται στο Αιγαίο Πέλαγος, μέρος της ομάδας των Δωδεκανήσων και βρίσκεται ανάμεσα στη Ρόδο και την Κω. Η ηλεκτρική ενέργεια που αποκτάται οφείλεται στη διασύνδεση υποθαλάσσιου καλωδίου μεταξύ Κω και Καλύμνου (*tiloshorizon.eu, 2021*).



Φωτοβολταϊκά ηλιακά πάνελ όπως αποτυπώνονται από μη επανδρωμένα αεροσκάφη (<https://www.flickr.com/photos/131561844@N04/>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Η ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ

3.1 Εισαγωγή

Παράλληλα με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και την ανάπτυξη της τεχνολογίας, η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται μέρα με τη μέρα. Ως αποτέλεσμα των επιπτώσεων της ανάπτυξης της τεχνολογίας στον κατασκευαστικό τομέα, π.χ., οι ανάγκες του αυξανόμενου πληθυσμού και το αυξανόμενο βιοτικό επίπεδο, ο αριθμός των κτιρίων αυξάνεται ραγδαία. Λαμβάνοντας υπόψη το σύστημα κατανάλωσης ενέργειας, κατά μέσο όρο το 32% καταναλώνεται σε κατοικίες συμπεριλαμβανομένων των εμπορικών

και δημόσιων υπηρεσιών, το 36% στη βιομηχανία, το 27% στις μεταφορές και το 4% στη γεωργία. Έχει προσδιοριστεί ότι το 48% της ενέργειας που καταναλώνεται στα κτίρια χρησιμοποιείται από συστήματα κλιματισμού για σκοπούς θέρμανσης και ψύξης. Αν και οι τιμές τους διαφέρουν ανάλογα με το αν η αρχιτεκτονική είναι πολυώροφο ή μονώροφο, τα θερμικά φορτία στα κτίρια είναι κυρίως μέσω εξωτερικών τοίχων, παραθύρων, στέγης, δαπέδων και εξαερισμού. Οι απώλειες θερμότητας στα κτίρια είναι περίπου 51% από το άνοιγμα όπως παράθυρα και πόρτες, 20% από την εξωτερική πόρτα, 13% από την οροφή και 16% από το δάπεδο από σκυρόδεμα (Stylianios Labropoulos 2020).

3.2 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Εκτός από το μέγεθος του παραθύρου, η κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες των επιλεγμένων παραθύρων, όπως το υλικό του πλαισίου, το πλάτος του διακένου, τον τύπο του αερίου πλήρωσης, τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων υαλοπινάκων, τις ιδιότητες επίστρωσης, τον σχεδιασμό του πλαισίου κ.λπ., τα οποία έχουν σημαντική επίδραση στον συντελεστή θερμικής διαπερατότητας των παραθύρων. Όταν εξετάζονται οι εφαρμογές παραθύρων που χρησιμοποιούνται στις κατοικίες σήμερα, φαίνεται ότι οι εξωτερικές προσόψεις διαθέτουν μεγάλες επιφάνειες καλυμμένες με γυαλί ή/και τα μεγάλα παράθυρα. Υπάρχουν πολλές ερευνητικές μελέτες και καινοτόμα συστήματα παραθύρων που θα βελτιώσουν τον συντελεστή θερμικής μετάδοσης των παραθύρων προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν τα θερμικά κέρδη και οι θερμικές απώλειες που προκύπτουν από τη χρήση παραθύρων μεγάλης επιφάνειας. Ένα από αυτά είναι τα συστήματα επίστρωσης χαμηλής εκπομπής, στοχεύουν στη μείωση των υψηλών θερμικών απωλειών μέσω των επιφανειών των παραθύρων μειώνοντας τη θερμική μετάδοση χωρίς να αλλάζουν τις οπτικές ιδιότητες του γυαλιού. Αυτό το σύστημα επίστρωσης αντανακλά τις ακτίνες μεγάλου μήκους κύματος του ήλιου στην αόρατη περιοχή (υπέρυθρη) με μήκος κύματος μεγαλύτερο από 780 nm.

3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ LOW-E

Οι εφαρμογές Low-E εισήχθησαν για πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Η τεχνολογία γυαλιού Low-E είναι μια επίστρωση που λαμβάνεται με την εφαρμογή διαφόρων στρώσεων φιλμ από χρυσό, ασήμι, χαλκό, αλουμίνιο, διαφανές μέταλλο ή/και οξειδίο μετάλλου που χαρακτηρίζεται με πάχος μικρότερο από 10 nm σε μία ή όλες τις γυάλινες επιφάνειες, εξωτερικά ή στο εσωτερικό, για αύξηση των

μονωτικών ιδιοτήτων απλών ή έγχρωμων γυαλιών, για έλεγχο της θερμότητας ή της διαπερατότητας του φωτός του γυαλιού σύμφωνα με την κλιματική ζώνη. Οι επιστρώσεις Low-E διατίθενται σε δύο διαφορετικούς τύπους ανάλογα με την περιοχή και τον σκοπό χρήσης: παθητικές (επιτρέποντας στο ηλιακό φως να διεισδύσει σε ψυχρά κλίματα) και ελεγχόμενες από τον ήλιο (αποτρέποντας την είσοδο του ηλιακού φωτός σε θερμά κλίματα). Παράγονται επίσης σε δύο τύπους, σκληρά και μαλακά, ανάλογα με το βαθμό σκληρότητας της επίστρωσης. Οι σκληρές επικαλύψεις βασίζονται στο οξείδιο του κασσιτέρου, ενώ οι μαλακές επικαλύψεις αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα αργύρου.

Τα παράθυρα έχουν αποτελέσει αντικείμενο πολλών μελετών στη βιβλιογραφία για διαφορετικούς σκοπούς λόγω της υψηλής τους δυνατότητας κατανάλωσης ενέργειας. Για παράδειγμα, σε μια μελέτη, η σχέση μεταξύ της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την ψύξη των κτιρίων και του τύπου των μεγάλων παραθύρων στα κτίρια αναλύθηκε για να προσδιοριστεί ο βέλτιστος τύπος παραθύρου και η συμβολή του στην κατανάλωση ενέργειας. Σε μια άλλη μελέτη, το εύρος της βέλτιστης αναλογίας παραθύρων/τοιχών διερευνήθηκε εξετάζοντας διαφορετικά μεγέθη παραθύρων.

3.5 ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Στα κτίρια, η διείσδυση του αέρα επηρεάζει σημαντικά την ενέργεια, την ποιότητα του εσωτερικού αέρα και τη θερμική άνεση. Ενώ η διείσδυση αέρα έχει αποτελέσει το επίκεντρο πολλών μελετών, τα περισσότερα δημοσιευμένα αποτελέσματα δοκιμών πεδίου αφορούν ανεπτυγμένες χώρες, με ελάχιστα ή καθόλου δεδομένα για τη διείσδυση αέρα στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Η αντίσταση του κελύφους του κτιρίου στη ροή αέρα ή η αεροστεγανότητά του είναι ο καθοριστικός παράγοντας για την αποφυγή της ανεξέλεγκτης κίνησης του αέρα στους χώρους. Η αεροστεγανότητα επηρεάζει μια σειρά από μετρήσεις απόδοσης που σχετίζονται με το κτίριο, συμπεριλαμβανομένης της υγροθερμικής απόδοσης ενός κτιρίου, της κατανάλωσης ενέργειας, της απόδοσης αερισμού, της αντίστασης στη φωτιά, των επιπέδων θορύβου και της θερμικής άνεσης και υγείας κλπ. Σε τοποθεσίες που αντιμετωπίζουν ακραίες θερμές ή κρύες καιρικές συνθήκες, η μείωση της διείσδυσης και της διήθησης αέρα μέσω του κελύφους του κτιρίου μειώνει την ενέργεια θέρμανσης και ψύξης που απαιτείται για τη διατήρηση της άνεσης του εσωτερικού χώρου. Από την άλλη πλευρά, η δημιουργία εξαιρετικά στεγανών κτιρίων μπορεί να επιδεινώσει την ποιότητα του εσωτερικού αέρα εάν δεν είναι εγγυημένη η κατάλληλη παροχή φρέσκου αέρα μέσω μηχανικού αερισμού.

3.6 ΑΕΡΟΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

Δεδομένης της σημασίας της αεροστεγανότητας των κτιρίων, πολλές χώρες και δικαιοδοσίες ενσωματώνουν την αεροστεγανότητα στον υπολογισμό της ενεργειακής τους απόδοσης και στις διαδικασίες θέσης σε λειτουργία του κτιρίου. Για το σκοπό αυτό, έχουν αναπτυχθεί διεθνή πρότυπα για τη μέτρηση της διαρροής αέρα σε κελύφη κτιρίων, με ISO 9972 και ASTM E779 που είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο. Τόσο τα πρότυπα ISO 9972 όσο και τα πρότυπα ASTM E779 χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση, μέσω δοκιμών πεδίου, της διαπερατότητας αέρα ενός κτιρίου ή κλειστών χώρων. Ενώ το ASTM E779 προσφέρει μια τυπική μέθοδο δοκιμής, το ISO 9972 είναι διακριτό στο ότι παρέχει τρεις διαφορετικές μεθόδους BDT: (1) Μέθοδος Α, για τη δοκιμή ενός κτιρίου σε χρήση (δηλ. κατά την περίοδο ψύξης ή θέρμανσης). (2) Μέθοδος Β, για τη δοκιμή του κελύφους του κτιρίου (δηλαδή, στο οποίο οποιοδήποτε σκόπιμα άνοιγμα είναι κλειστό ή σφραγισμένο). (3) Μέθοδος Γ, για τη δοκιμή ενός κτιρίου σε χρήση (δηλαδή, οι συσκευές μεταφοράς αέρα που ρυθμίζονται αυτόματα, οι εξωτερικά τοποθετημένες συσκευές σφραγίζονται, τα άλλα ανοίγματα χειρίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως για τη Μέθοδο Α). Οι τερματικές συσκευές αέρα των συστημάτων μηχανικού αερισμού ή κλιματισμού είναι σφραγισμένες. Άλλα ανοίγματα εξαερισμού (για παράδειγμα, ανοίγματα για φυσικό αερισμό) είναι κλειστά για τη Μέθοδο Α και σφραγισμένα για τη Μέθοδο Β.

Οι Valdas et al. ανέλυσε τα δομικά υλικά για να προσδιορίσει τη μεταβολή της απώλειας θερμότητας των τελικών μονάδων σε κατοικίες με ταράτσα (townhouses) στη Λιθουανία λόγω διαφόρων παραγόντων, που οδηγούν σε άνιση αεροστεγανότητα του κελύφους του κτιρίου. Η μη καταστροφική αξιολόγηση της στεγανότητας του κτιρίου υλοποιήθηκε μέσω συνδυασμένων μεθόδων και υπέρυθρης θερμογραφίας. Δήλωσαν ότι η τοιχοποιία πηλού έδειξε περίπου 7–11% λιγότερη στεγανότητα από την κατασκευή τοιχοποιίας από άμμο-ασβεστόλιθο. Οι ακραίες μονάδες ήταν έως και 20% λιγότερο αεροστεγείς σε σύγκριση με τις εσωτερικές μονάδες.

Οι ερευνητές έχουν επίσης εξερευνήσει πώς διάφορες παράμετροι κτιρίου επηρεάζουν τα ποσοστά διείσδυσης. Για παράδειγμα, στη δοκιμή κτιρίων πολλών μονάδων, οι Feijó-Muñoz et al. διερεύνησε, μεταξύ άλλων παραγόντων, πώς η θέση των κατοικιών μέσα σε ένα κτίριο επηρεάζει τα ποσοστά διαρροής διείσδυσης στις δοκιμές πεδίου που διεξήγαγαν στην Ισπανία. Βρήκαν ότι οι κατοικίες που τοποθετούνται σε ενδιάμεση θέση είναι πιο στεγανές από αυτές που βρίσκονται σε ακραία θέση. Η μελέτη Σφακιανάκη κ.ά. χρησιμοποίησε στατιστικές δοκιμές για να μελετήσει τη συσχέτιση μεταξύ αεροστεγανότητας και ολικού μήκους πλαισίου (FL) και επιβεβαίωσε ότι το FL επηρέασε σημαντικά τους ρυθμούς διαρροής αέρα κάθε σπιτιού, τονίζοντας τα εξωτερικά πλαίσια παραθύρων και θυρών ως βασικό

παράγοντα πρόβλεψης της διείσδυσης.

Ένας άλλος τομέας ενδιαφέροντος είναι η μελέτη της διείσδυσης σε κτίρια πολυκατοικιών. Σε μια πρόσφατη μελέτη, οι Lozinsky και Touchie διερεύνησε δώδεκα νεόδμητα κτίρια κατοικιών πολλαπλών μονάδων για τη μελέτη της διαζωνικής διείσδυσης. Βρήκαν ότι, κατά μέσο όρο, το μεγαλύτερο μέρος της διείσδυσης (δηλαδή, περισσότερο από το 60%) συμβαίνει μέσω των εξαρτημάτων του εξωτερικού περιβλήματος και ότι το μεγαλύτερο μέρος της διαζωνικής διείσδυσης συμβαίνει μέσω του διαδρόμου. Προσδιόρισαν συγκεκριμένα ότι αυτή η διείσδυση από μονάδα σε διάδρομο συμβαίνει επειδή τα χωρίσματα είναι κατασκευασμένα από χαλύβδινα καρφιά και όχι από σκυρόδεμα ή βαριά κατασκευή, που χωρίζει τις διαφορετικές μονάδες. Έτσι σε τοποθεσίες όπου χρησιμοποιούνται βαριά οικοδομικά υλικά σε όλα τα εσωτερικά διαμερίσματα, όπως η Αίγυπτος, είναι ασφαλές να υποθέσουμε ότι το μεγαλύτερο μέρος της διείσδυσης αέρα σε κτίρια κατοικιών πολλαπλών μονάδων πρέπει να συμβαίνει μέσω του εξωτερικού τους περιβλήματος και των στοιχείων του.

Όπως φαίνεται από την παραπάνω επισκόπηση, τα ευρήματα που προέκυψαν από δοκιμές πεδίου παρείχαν ουσιαστικά δεδομένα για την πρόβλεψη της διαρροής αέρα του κτιρίου, τα οποία μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της θερμικής απόδοσης των κτιρίων, την πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας και της ζήτησης για νέες και υπάρχουσες κατασκευές και μελετήσει την άνεση και την ευημερία των ενοίκων του. Τα αποτελέσματα των επιτόπιων δοκιμών μπορούν επίσης να παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τους σχεδιαστές, επιτρέποντάς τους να λαμβάνουν πιο ενημερωμένες αποφάσεις που σχετίζονται με την πολιτική και να εντοπίζουν καλύτερα ενεργειακά και περιβαλλοντικά ζητήματα κατά τους ελέγχους κτιρίων. Ωστόσο, για να προβλεφθεί η διείσδυση αέρα σε ακριβές επίπεδο, απαιτούνται μεγάλα σύνολα δεδομένων, όπως συμβαίνει στις Ηνωμένες Πολιτείες, τον Καναδά, την Κίνα και ορισμένα ευρωπαϊκά έθνη.

Με βάση την έρευνα των Dickerhoff et al. και οι Hartje and Born προσδιόρισαν την ποσοστιαία κατανομή της διαρροής αέρα διήθησης από τα δομικά στοιχεία. Η κατανομή δείχνει ότι τα πιο σημαντικά στοιχεία είναι τοίχοι, λεπτομέρειες οροφής, συστήματα θέρμανσης ή/και ψύξης με εξαναγκασμένο αέρα, παράθυρα, πόρτες, τζάκια, αεραγωγοί για κλιματιζόμενους χώρους και διάχυση στους τοίχους και τις οροφές. Χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά διαρροής αέρα σχεδόν 70.000 σπιτιών στις ΗΠΑ, ο Chan et al. ανέπτυξε ένα μοντέλο πολυμεταβλητής παλινδρόμησης για να εκτιμήσει την κατανομή της αποτελεσματικής περιοχής διαρροής (ELA) του αποθέματος κτιρίων μονοκατοικιών μεμονωμένων κατοικιών στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το ELA ορίζεται ως η περιοχή μιας ειδικής τρύπας σε σχήμα ακροφυσίου που θα διαρρέει την ίδια ποσότητα αέρα με το κτίριο σε πίεση 4 Pa και χρησιμοποιείται σε μοντέλα διείσδυσης για την πρόβλεψη της τιμής ανταλλαγής αέρα σε συνάρτηση με την ταχύτητα του

ανέμου και διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού χώρου. Έτσι, χρησιμοποιώντας το μοντέλο των Chan et al., μπορεί να ληφθεί μια κατανομή περιοχής διαρροής για οποιαδήποτε μονοκατοικία στις Ηνωμένες Πολιτείες με βάση τα χαρακτηριστικά που λαμβάνονται από την Αμερικανική Έρευνα Στέγασης.

Τα κελύφη των κτιρίων, ως το μέσο μέσω του οποίου πραγματοποιείται οποιαδήποτε ανταλλαγή ενέργειας με το περιβάλλον, είναι τα πιο απλά στοιχεία που πρέπει να τροποποιηθούν προκειμένου να επιτευχθεί σημαντική αλλαγή στο προφίλ κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου. Ο παθητικός έλεγχος των ηλιακών κερδών μέσω της χρήσης εξωτερικών υλικών με διαφορετικές ιδιότητες ανάκλασης και απορρόφησης έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν, ακόμη και στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική. Η χρήση λευκών χρωμάτων σε ζεστά κλίματα, τα οποία είναι πιο αντανάκλαστικά, εμποδίζει την εσωτερική θέρμανση μειώνοντας την ανάγκη για ψύξη και εξασφαλίζοντας θερμική άνεση στο εσωτερικό των κτιρίων. Τα λευκά χωριά στην Ανδαλουσία και στα ελληνικά νησιά αποτελούν γνωστό παράδειγμα. Με τη χρήση αυτών των λύσεων μπορεί να επιτευχθεί εποχιακή εξοικονόμηση ενέργειας, αν και η μεγιστοποίηση αυτής της εξοικονόμησης συνεπάγεται τη χρήση ακραίων χρωμάτων με καθαρά ανακλαστικές (λευκό) ή καθαρά απορροφητικές (μαύρο), γεγονός που περιορίζει σημαντικά τις επιλογές. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτών των εργασιών για μεταβλητά κλίματα έδειξαν ότι η ετήσια κατανάλωση ενέργειας εξακολουθεί να μην μειώνεται, λόγω του παθητικού χαρακτήρα πολλών λύσεων, που δεν μπορεί να προσαρμοστεί στη μεταβλητότητα των κλιματικών συνθηκών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

3.7 Η ΑΕΡΟΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑ ΕΝΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

Η αεροστεγανότητα έχει λάβει πολύ μεγαλύτερη προσοχή σε χώρες με ψυχρότερα κλίματα (κυρίως στις ΗΠΑ, τον Καναδά και τη Βόρεια Ευρώπη) τόσο σε ερευνητικό επίπεδο όσο και σε ρυθμιστικό και επαγγελματικό επίπεδο. Η στεγανότητα κτιρίων έχει αναπτυχθεί ως περιοχή έρευνας στις ΗΠΑ εδώ και αρκετές δεκαετίες. Έχουν αναπτυχθεί εκτενείς βάσεις δεδομένων με χιλιάδες δοκιμές πίεσης και μια σειρά από διαφορετικά μοντέλα διείσδυσης.

Η στεγανότητα των κτιρίων ρυθμίζεται εκτενώς στις χώρες της Βόρειας και Κεντρικής Ευρώπης. Μια ενδιαφέρουσα μελέτη που διεξήχθη στην Ιρλανδία ανέφερε αποτελέσματα δοκιμών διαπερατότητας αέρα 28 μονοκατοικιών που κατασκευάστηκαν από το 1944 έως το 2008, μεταξύ των οποίων υπήρχαν και νέα και μετασκευασμένα. Είναι ενδιαφέρον ότι η μελέτη έδειξε την εσφαλμένη

αντίληψη ότι τα νεότερα σπίτια είναι εγγενώς πιο στεγανά από τα παλιά. Μια φινλανδική μελέτη που διεξήχθη σε 170 μονοκατοικίες έδειξε σημαντική επίδραση του τύπου κατασκευής στην αεροστεγανότητα - τα κτίρια από σκυρόδεμα και τούβλο είναι πιο στεγανά από αυτά που είναι κατασκευασμένα από ξύλινο πλαίσιο και κορμούς. Ένα παρόμοιο συμπέρασμα αναφέρθηκε σε μια μελέτη στο Ηνωμένο Βασίλειο βασισμένη στα αποτελέσματα των δοκιμών αεροστεγανότητας 287 νεόδμητων κατοικιών μετά το 2006.

Ωστόσο, σε χώρες με θερμότερο κλίμα όπως το Μαυροβούνιο, στο πρόβλημα της αεροστεγανότητας δίνεται πολύ λιγότερη προσοχή. Η αεροστεγανότητα παραμελείται κυρίως για δύο λόγους. Πρώτον, οι θερμοκρασίες δεν είναι τόσο χαμηλές το χειμώνα, με αποτέλεσμα η απώλεια θερμότητας λόγω της διείσδυσης να μην είναι σχετικά μεγάλη. Επιπλέον, το άνοιγμα των παραθύρων είναι ένας παραδοσιακός τρόπος παροχής φρέσκου αέρα, αλλά και δροσιάς κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Μόλις πρόσφατα έχουν δημοσιευθεί αρκετές μελέτες για μετρήσεις αεροστεγανότητας σε ορισμένες χώρες της Μεσογειακής Ευρώπης. Η αεροστεγανότητα ενός κτιρίου επηρεάζει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου λόγω της διείσδυσης αέρα. Πολλά προγράμματα λογισμικού για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων λαμβάνουν υπόψη την κατάσταση του κελύφους του κτιρίου από άποψη αεροστεγανότητας. Το λογισμικό MEEC (Montenegrin Energy Efficiency Certification) εισήχθη πρόσφατα στο Μαυροβούνιο για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, το οποίο προορίζεται τόσο για ενεργειακή πιστοποίηση όσο και για ενεργειακούς ελέγχους. Το λογισμικό αναπτύχθηκε από το Fraunhofer Institute for Building Physics και η ίδια η μεθοδολογία υπολογισμού βασίζεται στο γερμανικό πρότυπο DIN V 18599 που πληροί τις απαιτήσεις της οδηγίας EPBD. Η διείσδυση ορίζεται στο λογισμικό με βάση τη θέση του κτιρίου (ανοιχτό, μέτρια ανοιχτό, πολύ προστατευμένο) και με βάση την οπτική κατάσταση του κελύφους του κτιρίου, δηλαδή τα παράθυρα και την πρόσοψη (κακή κατάσταση, κανονική κατάσταση, καλά σφραγισμένο). Επίσης, είναι δυνατός ο καθορισμός της διείσδυσης με βάση τη μέτρηση της αεροστεγανότητας χρησιμοποιώντας τη δοκιμή πόρτας ανεμιστήρα.

Επιπλέον, η κακή αεροστεγανότητα μπορεί να είναι η αιτία απαράδεκτης θερμικής άνεσης, μεταφοράς ατμοσφαιρικών ρύπων και σκόνης, κακής ηχομόνωσης, μεταφοράς ατμών μέσω του περιβλήματος και εμφάνισης συμπύκνωσης και μούχλας. Τα κτίρια με καλή αεροστεγανότητα απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή στην επαρκή ανταλλαγή αέρα, είτε ανοίγοντας περιστασιακά τα παράθυρα είτε ακόμα καλύτερα με μηχανικό αερισμό. Σε αντίθετη περίπτωση, οι χρήστες του κτιρίου αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της κακής ποιότητας του εσωτερικού αέρα, της συμπύκνωσης και της εμφάνισης μούχλας στους τοίχους.

3.7.1 Κέλυφος Κτιρίου

Το κέλυφος του κτιρίου ορίζεται ως "ο φυσικός διαχωρισμός μεταξύ του κλιματιζόμενου και του μη κλιματιζόμενου περιβάλλοντος ενός κτιρίου, συμπεριλαμβανομένης της αντίστασης στη μεταφορά αέρα, νερού, ήχου, φωτός και θορύβου". Γνωστό και ως "περίβλημα κτιρίου", όλα τα στοιχεία του εξωτερικού περιβλήματος ενός κτιρίου είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο του κλίματος του κτιρίου, δηλαδή τα εξωτερικά δομικά στοιχεία ενός κτιρίου πρέπει να διατηρούν ένα ξηρό, θερμαινόμενο ή ψυχόμενο εσωτερικό περιβάλλον (Syed, 2012).

Σύμφωνα με τους (Aydin & Mihlaynlar, 2020), το κέλυφος του κτιρίου θεωρείται ως μία από τις πιο κρίσιμες παραμέτρους στην κατανάλωση ενέργειας ενός κτιρίου λόγω της μεγάλης επιφάνειας της πρόσοψης ενός κτιρίου.

Το κέλυφος του κτιρίου επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως ο προσανατολισμός του κτιρίου, οι κλιματικές συνθήκες, τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων, οι υαλοπίνακες, η εξωτερική επιφάνεια των όψεων του κτιρίου, η αεροστεγανότητα, ο φυσικός αερισμός, τα παθητικά ηλιακά συστήματα και η ηλιοπροστασία και οι επιθυμητές εσωτερικές κλιματικές συνθήκες (KENAK, 2017).

3.7.2 Θερμομόνωση των κτιρίων

Για να ανακτηθεί η θερμομόνωση των κτιρίων, πρέπει να πραγματοποιηθεί επιθεώρηση για τον προσδιορισμό της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου. Ως εκ τούτου, η επάρκεια της θερμομόνωσης μπορεί να ληφθεί με:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j * U_j * b + \sum_{i=1}^p l_i * \Psi_i * b}{\sum_{j=1}^n A_j}$$

A_j είναι το εμβαδόν κάθε δομικού στοιχείου j .

U_j είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του δομικού στοιχείου j .

Ψ_i είναι ο γραμμικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της θερμογέφυρας i .

l_i είναι το μήκος της θερμικής γέφυρας i .

b είναι ο συντελεστής μείωσης. Θερμομόνωση κτιρίων

Σε κάθε περίπτωση $U_m \leq U_{max}$, όπου U_{max} είναι ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας ενός κτιρίου. Εάν συμβαίνει το αντίθετο, τότε θα πρέπει να εφαρμοστούν μέτρα

ενεργειακής αναβάθμισης προκειμένου να αυξηθεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτιρίου. idge i.

b είναι ο συντελεστής μείωσης.

Ratio A/V [m ⁻¹]	Maximum allowed values of U _m [W/(m ² .K)]			
	Zone A	Zone B	Zone C	Zone D
≤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

(Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές της μέσης (μέσης) τιμής U ενός κτιρίου ανά κλιματική ζώνη ως συνάρτηση του λόγου της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτιρίου προς τον όγκο σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτιρίου)

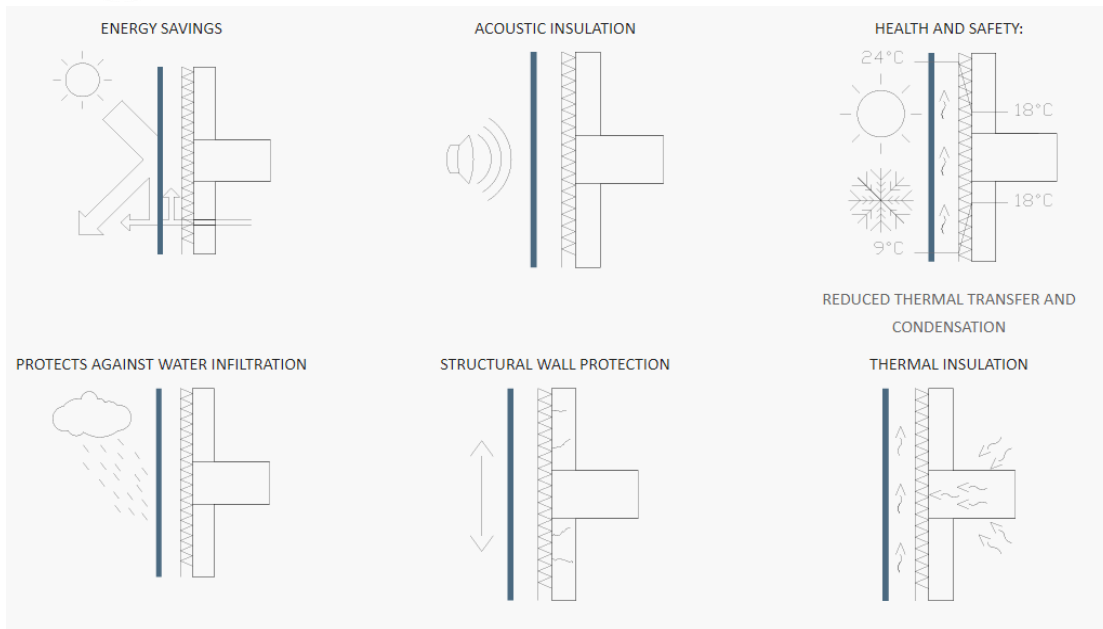
Σε περίπτωση που $U_m > U_{max}$ τότε ο μελετητής μηχανικός είναι υποχρεωμένος να ακολουθήσει μία από τις ακόλουθες τρεις επιλογές ή συνδυασμό αυτών και να επαναλάβει τον υπολογισμό:

- 1) Βελτίωση της θερμικής προστασίας των αδιαφανών εξαρτημάτων.
- 2) Να βελτιώσει τη θερμική προστασία των διαφανών δομικών στοιχείων.
- 3) Να μειώσει τη δημιουργία θερμογεφυρών στο κέλυφος του κτιρίου τροποποιώντας τον σχεδιασμό των δομικών στοιχείων στα οποία οφείλονται.

Με βάση την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017 "Θερμοφυσικές ιδιότητες των δομικών υλικών και έλεγχος της επάρκειας θερμομόνωσης των κτιρίων" για τον υπολογισμό των θερμογεφυρών, ο μελετητής μηχανικός έχει δύο επιλογές:

- 1) Να ακολουθήσει την απλουστευμένη μέθοδο χρησιμοποιώντας τον πίνακα 15, του Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017.
- 2) Να παράσχει λεπτομερείς υπολογισμούς χρησιμοποιώντας τους πίνακες 16α έως και 16λ του Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2 / 2017.

Το πρωταρχικό όφελος από την εγκατάσταση του κατάλληλου συστήματος θερμομόνωσης είναι η ελαχιστοποίηση της ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος, παρέχοντας την απαραίτητη αντίσταση στη ροή και μεταφορά θερμότητας, μειώνοντας έτσι το κόστος θέρμανσης και βελτιώνοντας το περιβάλλον των κατοίκων. Η θερμομόνωση επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση του μονωτικού υλικού και την προστασία του από ένα στερεό δομικό υλικό που λειτουργεί επίστρωση.



3.7.3 Κτιριακό κέλυφος στα ελληνικά σχολεία

(Balaras, et al., 2021) ανέλυσαν τον συντελεστή θερμοπερατότητας (U-Value) 342 ελληνικών σχολείων και αποδείχθηκε ότι η θερμική προστασία του κελύφους του κτιρίου δεν είναι επαρκής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το 56% των σχολείων που εξετάστηκαν θεωρούνται παλαιά σχολεία, δηλαδή χτισμένα πριν από το 1980 και ως εκ τούτου δεν πληρούν τις ελάχιστες θερμικές απαιτήσεις, όπως προτείνεται από τον ΚΕΝΑΚ.

Οι ίδιοι συγγραφείς αναφέρουν ότι το μέγεθος των σχολείων που εξετάστηκαν ποικίλλει από πολύ μικρές κτιριακές μονάδες έως πολύ μεγάλες. Περίπου το 35% των σχολείων έχουν θερμαινόμενες επιφάνειες που κυμαίνονται μεταξύ 1000-1500m² με μέση τιμή 1375m². Από την άλλη πλευρά, οι όγκοι θέρμανσης κυμαίνονται μεταξύ 120 και 54254m³ με μέση τιμή 5779m³.

Επιπλέον, η πλειονότητα των σχολικών κτιρίων είναι αυτόνομες κατασκευές και έχουν όλες τις προσόψεις και τα παράθυρα εκτεθειμένα, ώστε οι εσωτερικοί χώροι να κερδίζουν φυσικό αερισμό και ηλιακό φως. (Balaras, et al., 2021) αναφέρουν ότι για να αποκομίσει κανείς τα μέγιστα οφέλη από τη φύση, δηλαδή τον αερισμό και το ηλιακό φως, η δομή πρέπει να είναι κατά μήκος του άξονα ανατολής-δύσης, ενώ τα τζάμια πρέπει να είναι στραμμένα προς το νότο. Τα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα θα πρέπει να περιορίζονται στο ελάχιστο.

Ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει τα κέρδη και τις απώλειες θερμότητας είναι ο συντελεστής σχήματος και μπορεί να προκύψει από τον λόγο της επιφάνειας του κελύφους του κτιρίου προς τον

θερμαινόμενο όγκο, δηλαδή,:

$$\frac{A(m^2)}{V(m^3)}$$

Όσο υψηλότερο είναι το κέλυφος του κτιρίου, τόσο υψηλότερα είναι τα κέρδη και οι απώλειες θερμότητας μέσω αυτού. Δηλαδή, αν ένα κτίριο έχει υψηλό συντελεστή σχήματος, τότε έχει υψηλά κέρδη/απώλειες μέσω οριζόντιων επιφανειών. Από την άλλη πλευρά, τα κτίρια που έχουν χαμηλό συντελεστή σχήματος έχουν μεγαλύτερα κέρδη/απώλειες μέσω των κατακόρυφων επιφανειών (Sayigh, 2017).

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το κέλυφος του κτιρίου είναι ο συντελεστής μορφής θερμικών απωλειών και προκύπτει από τον λόγο της επιφάνειας του κελύφους του κτιρίου προς την επιφάνεια του θερμαινόμενου δαπέδου:

$$\frac{A(m^2)}{A_h(m^2)}$$

Ο συντελεστής αυτός κυμαίνεται συνήθως από 0,5 έως 5,0. Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής, τόσο πιο συμπαγές είναι το κτίριο. Όσο πιο συμπαγές είναι ένα κτίριο τόσο πιο αποδοτικό είναι ενεργειακά. Όσο λιγότερο συμπαγές είναι το κτίριο, τόσο λιγότερο ενεργειακά αποδοτικό είναι και συνεπώς απαιτείται περισσότερη θερμομόνωση για την εξασφάλιση καλύτερου κτιριακού κελύφους.

	Average (median) value	Minimum - Maximum value [first and third quartile range]
Shape factor, A/V	0.52 (0.48) m ² /m ³	0.14 - 1.31 m ² /m ³ [0.39 - 0.61 m ² /m ³]
Roof to wall ratio, RTW	0.85 (0.80)	0.01 - 2.54 [0.58 - 1.03]
Heat loss form factor, A/A _h	1.89 (1.71)	0.66 - 3.99 [1.44 - 2.24]
Window to floor ratio, WFR	17% (16%)	5 - 39% [13 - 20%]
Window to wall ratio, WWR	28% (26%)	7 - 76% [21 - 34%]

Παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα του κελύφους ενός κτιρίου (Balaras, et al., 2021)

3.7.4 U-Value

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U-Value) ενός κτιρίου είναι ένας δείκτης για το αν ένα κτίριο έχει επαρκή θερμική προστασία. Χαμηλές τιμές επηρεάζουν αρνητικά το κέλυφος ενός κτιρίου. Η τιμή U-Value μπορεί να προκύψει από:

$$\Phi = A * U * (T_1 - T_2)$$

Όπου,

Φ είναι η μεταφορά θερμότητας σε Watt.

U είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας.

T1 είναι η θερμοκρασία στη μία πλευρά της κατασκευής.

T2 είναι η θερμοκρασία στην άλλη πλευρά της κατασκευής.

και A είναι η επιφάνεια σε τετραγωνικά μέτρα.

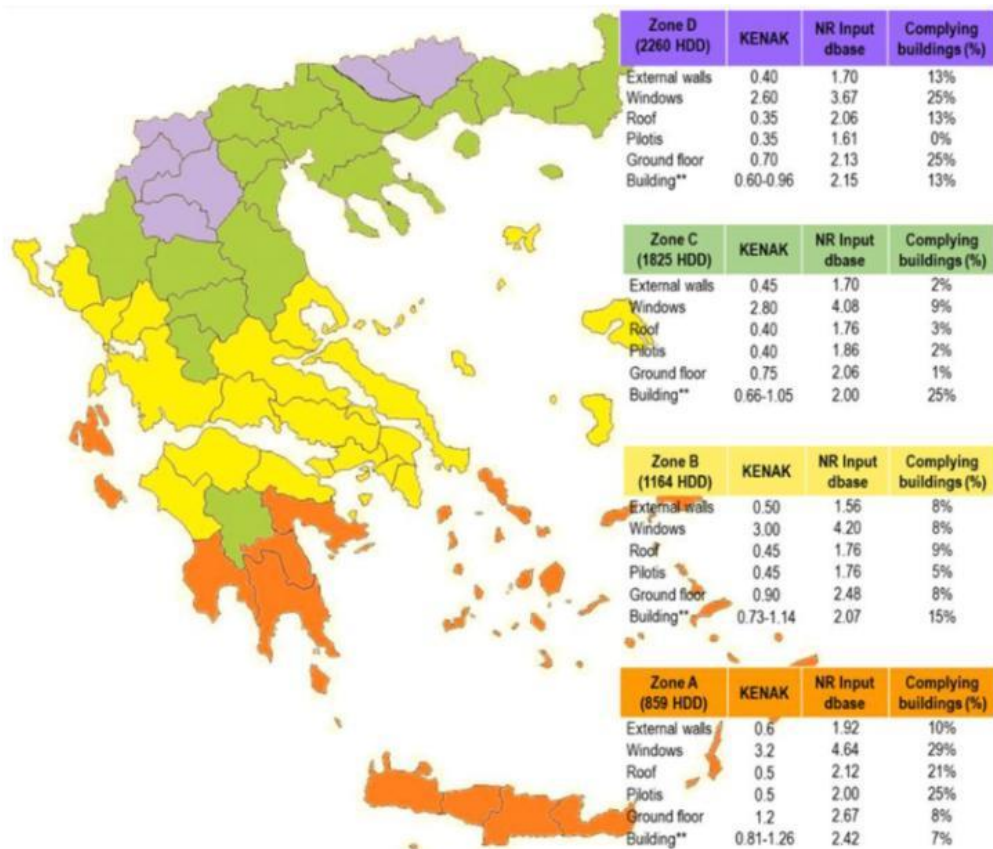
Οι μονάδες μέτρησης είναι W/m^2K .

(Balaras, et al., 2021) όπως προαναφέρθηκε εξέτασαν 342 ελληνικά σχολεία και η μέση τιμή U-Value των διαφόρων αδιαφανών και διαφανών στοιχείων ήταν $1,49 W/m^2K$ για τους εξωτερικούς τοίχους, $4,20 W/m^2K$ για τα παράθυρα, $1,00 W/m^2K$ για τις στέγες, $1,80 W/m^2K$ για τις πιλοτές και $2,99 W/m^2K$ για τις πλάκες του ισογείου. Η μέση τιμή U-Value για το σύνολο των κτιρίων ήταν $2,11 W/m^2K$.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ηλικία κατασκευής των κτιρίων παίζει καθοριστικό ρόλο στον συντελεστή θερμοπερατότητας των διαφόρων δομικών στοιχείων και οι τιμές U-Value για τα διάφορα δομικά στοιχεία μειώνονται από τα παλαιότερα προς τα νεότερα κτίρια.

Building Elements	U- values (W/m^2K)		
	Up to 1980	1981–2010	Post 2010
Walls	2.11	1.12	0.95
Windows	4.38	4.10	3.21
Roof	2.26	1.29	1.06
Pilotis	2.80	1.69	2.57
Ground floor	1.92	1.57	2.15
Building	2.54	1.59	1.25

Μεταβαλλόμενες τιμές U ανάλογα με την περίοδο κατασκευής (Balaras, et al., 2021)



U-values (W/m²K) για τα διάφορα στοιχεία του κελύφους και για ολόκληρο το κτίριο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εθνικού οικοδομικού κανονισμού (KENAK) και για τα σχολεία που ελέγχθηκαν.

Το ποσοστό αντιστοιχεί στον αριθμό των κτιρίων που συμμορφώνονται με τις ελάχιστες απαιτήσεις του κώδικα (Balaras, et al., 2021).

Ο εθνικός οικοδομικός κώδικας αναφέρει ότι η θερμική προστασία του κελύφους ενός κτιρίου δεν εξαρτάται από τον προσανατολισμό των δομικών στοιχείων αλλά από τις μέγιστες τιμές U-Value για κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία και για κάθε μία από τις κλιματικές ζώνες (Σχήμα 3. 4).

Η μελέτη που διεξήχθη από τους (Balaras, et al., 2021) έδειξε ότι οι εξωτερικοί τοίχοι παρουσιάζουν μια στενή διακύμανση των μέσων τιμών U-Value τους για τους διάφορους προσανατολισμούς και ότι παρατηρήθηκαν χαμηλότερες τιμές U-Value για τους νοτιοδυτικούς προσανατολισμούς και όχι για τους βόρειους προσανατολισμούς όπως αναμενόταν.

3.8 ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου είναι σημαντική για την εξοικονόμηση ενέργειας, τη μείωση του κόστους και την προστασία του περιβάλλοντος. Οι ακόλουθες οδηγίες μπορούν να βοηθήσουν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων:

1. Στεγανοποίηση: Η στεγανοποίηση των κτιρίων βοηθά στη μείωση των θερμικών απωλειών και η αποφυγή των υγρασιών.
2. Μονωτικά υλικά: Η χρήση μονωτικών υλικών στους τοίχους και τα πατώματα βοηθά στη μείωση των θερμικών απωλειών και στην εξοικονόμηση ενέργειας.
3. Παράθυρα: Η χρήση ενεργειακών τζαμιών και κρατήρων στα παράθυρα βοηθά στη μείωση των θερμικών απωλειών και στην εξοικονόμηση ενέργειας.
4. Θέρμανση και ψύξη: Η επιλογή ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.
5. Φωτισμός: Η χρήση ενεργειακά αποδοτικών λαμπτήρων και η ρύθμιση του φωτισμού μπορούν να βοηθήσουν στην εξοικονόμηση ενέργειας.
6. Ανανέωση εξοπλισμού: Η ανανέωση του εξοπλισμού, με ενεργειακά αποδοτικότερα μπορεί επίσης να βοηθήσει στην εξοικονόμηση ενέργειας.
7. Επιλογή πιστοποιημένων προϊόντων: Η επιλογή πιστοποιημένων προϊόντων μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της χρήσης ενέργειας και στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου.
8. Επικοινωνία: Η ενημέρωση και η επικοινωνία με τους ενοίκους του κτιρίου σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση μπορεί επίσης να βοηθήσει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 Σκοπός της έρευνας - Ερευνητικά ερωτήματα

Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων περιλαμβάνει τη μείωση της ενέργειας που απαιτείται για τη θέρμανση, την ψύξη και την ενημέρωση του κτιρίου, καθώς και τη χρήση βιώσιμων πηγών ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα. Μια αποδοτική διαχείριση της ενέργειας των κτιρίων μπορεί να περιλαμβάνει τη βελτίωση της μόνωσης του κτιρίου, τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων μπορεί να έχει σημαντικά οικονομικά οφέλη για τους ιδιοκτήτες και τους καταναλωτές, μιας και οι χαμηλότερες δαπάνες στην ενέργεια θα επιτρέψουν τη μείωση των λογαριασμών τους. Επιπλέον, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα της ατμόσφαιρας και τη συνολική υγεία των ανθρώπων.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να διαπιστωθεί αν η ενεργειακή αναβάθμιση σε υφιστάμενα ελληνικά σχολεία μπορεί να προσφέρει καλύτερη ενεργειακή απόδοση. Όπως προαναφέρθηκε νωρίτερα η πλειοψηφία των υφιστάμενων ελληνικών σχολείων κατασκευάστηκαν πριν από τη δεκαετία του 1980 με αποτέλεσμα την ελάχιστη ενεργειακή κατάταξη. Ως εκ τούτου, τα ερευνητικά ερωτήματα που προκύπτουν είναι

- ✚ Ποιες τελικές χρήσεις συμβάλλουν στην ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου στην Ελλάδα;
- ✚ Πώς διεξάγεται ένας ενεργειακός έλεγχος και ποια είναι τα κατάλληλα δεδομένα;
- ✚ Ποια είναι η περίοδος απόσβεσης για ένα ανακαινισμένο σχολικό κτίριο σε αποδοτική ενεργειακή κλάση (B+<); Είναι οι παρεμβάσεις αυτές οικονομικά αποδοτικές;
- ✚ Σε ποιο ποσοστό μπορεί να μειωθεί η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και οι εκπομπές CO₂ μετά από μια ενεργειακά αποδοτική ανακαίνιση (B+<);
- ✚ Σε ποιον τομέα παλαιών σχολικών κτιρίων (1980>), η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας θεωρείται επείγουσα;
- ✚ Πώς μπορούν να αναβαθμιστούν τα νεότερα σχολεία ώστε να είναι κερδοφόρα;

4.2 Εισαγωγή

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι να παράσχει κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με τα σχολεία που

εξετάστηκαν στην Αθήνα. Θα παρασχεθούν λεπτομέρειες που εξηγούν τις υφιστάμενες συνθήκες (υφιστάμενος φωτισμός, κατανάλωση ενέργειας κ.λπ.) προκειμένου να προσαρμοστούν οι ενεργειακές ανάγκες των σχολείων. Θα παρασχεθούν και θα εξηγηθούν εκτενώς οι σχετικοί κώδικες σχεδιασμού και τα λογισμικά που αφορούν την ανακαίνιση της μελέτης περίπτωσης. Επιπλέον, θα παρουσιαστούν παραδείγματα σχολείων που έχουν ανακαινιστεί με βιώσιμο τρόπο στην Ευρώπη και στην Ελλάδα.

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των σχολείων μπορεί να είναι μια σημαντική επένδυση, αλλά μπορεί επίσης να έχει σημαντικά οικονομικά οφέλη στο μακροπρόθεσμο. Το κόστος των βελτιώσεων στην ενεργειακή απόδοση μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με το συγκεκριμένο κτίριο, τις βελτιώσεις που πρέπει να γίνουν και τις τοπικές συνθήκες. Αρχικά, μπορεί να απαιτηθεί μια αρχική επένδυση για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει επένδυση σε ενεργειακά αποδοτικότερα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, μονώσεις, φωτοβολταϊκά πάνελ και άλλες αναβαθμίσεις. Ωστόσο, με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου, το κόστος στην ενέργεια θα μειωθεί. Αυτό σημαίνει ότι τα έξοδα που απαιτούνται για τη διαχείριση του σχολείου, όπως η θέρμανση και η ψύξη, θα μειωθούν σημαντικά. Στο μακροπρόθεσμο, αυτό μπορεί να έχει σημαντικούς οικονομικούς οφέλη στους ιδιοκτήτες και τους καταναλωτές. Αν και η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του σχολείου απαιτεί μια αρχική επένδυση, έχει αποδειχθεί ότι αυτό το κόστος μπορεί να ανταμειφθεί με τον χρόνο μέσω της μείωσης του κόστους της ενέργειας και της αύξησης της αξίας του κτιρίου.

4.3 ΟΔΗΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

Οι ανησυχίες για την υπερθέρμανση του πλανήτη έχουν προκαλέσει διάφορες δραστηριότητες σε τοπικό, περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο. Η Ευρωπαϊκή Ένωση ξεχωρίζει με το θεσπισμένο νομικό της πλαίσιο, επιδεικνύοντας σαφή δέσμευση για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η πρόσφατα εγκριθείσα Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία έχει απώτερο στόχο να καταστήσει την Ευρωπαϊκή Ένωση ουδέτερη για το κλίμα έως το 2050, επιτυγχάνοντας τον στόχο των καθαρών μηδενικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ο κτιριακός τομέας είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων, καθώς αναγνωρίζεται ως ο μοναδικός μεγαλύτερος καταναλωτής ενέργειας στην Ευρώπη. Υπολογίζεται ότι τα κτίρια ευθύνονται για το 40% της κατανάλωσης ενέργειας στην ΕΕ και το 36% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που σχετίζονται με την ενέργεια. Αυτά τα γεγονότα

αναγνωρίζονται στην Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EPBD). Στις πρόσφατες τροποποιήσεις του, η εστίαση είναι στην επίτευξη ενός σχεδόν μηδενικού ενεργειακού προτύπου για νέα κτίρια, καθώς και στη θέσπιση μακροπρόθεσμων στρατηγικών ανακαίνισης για τον κτιριακό τομέα.

Η ευρωπαϊκή Ένωση έχει καθιερώσει οδηγίες για την ενέργεια αναβάθμιση κτιρίων, με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από τα κτίρια.

Οι βασικές οδηγίες είναι οι εξής:

1. Αναβάθμιση των κτιρίων: Τα κτίρια πρέπει να αναβαθμίζονται για να είναι πιο ενεργειακά αποδοτικά. Αυτά μπορούν να περιλαμβάνουν εγκατάσταση συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, μονωτικών υλικών ή ενεργειακών παραθύρων.
2. Συσκευές ενεργειακής απόδοσης: Οι ενεργειακές συσκευές όπως ηλεκτρικές συσκευές, φώτα και ηλεκτρικά εργαλεία πρέπει να είναι ενεργειακά αποδοτικές.
3. Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η ηλιακή και αιολική ενέργεια μπορεί επίσης να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές του θερμοκηπίου.
4. Ενεργειακός επανασχεδιασμός: Οι κτιριακοί σχεδιασμοί μπορούν να αναθεωρηθούν, έτσι ώστε να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές του θερμοκηπίου.
5. Κατάρτιση και ευαισθητοποίηση: Η κατάρτιση και ευαισθητοποίηση των κατοίκων και των χρηστών των κτιρίων μπορεί επίσης να συμβάλει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας μέσω της εφαρμογής βέλτιστων πρακτικών και συνηθειών. Οι παραπάνω οδηγίες μπορούν να συνδράμουν στη μείωση των δαπανών ενέργειας, στην εξοικονόμηση πόρων και στη βελτίωση του περιβάλλοντος.

4.3.1 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (KENAK)

Ο κανονισμός ενεργειακής απόδοσης κτιρίων, γνωστός και ως κανονισμός KENAK, είναι ένα σημαντικό νομικό και κανονιστικό μέτρο που στοχεύει στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Ανήκει στην ευρύτερη πολιτική για την ενεργειακή απόδοση της ΕΕ και επιδιώκει να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές αερίων, συμβάλλοντας στην αειφορία του περιβάλλοντος. Αυτός ο κανονισμός αφορά τη δημιουργία και την ανακαίνιση κτιρίων και περιλαμβάνει προδιαγραφές και απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Επιπλέον, οι ιδιοκτήτες και οι προμηθευτές κτιριακών υπηρεσιών πρέπει να αποκτούν πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης για τα κτίριά τους και να τηρούν ορισμένους ελάχιστους επαγγελματικούς προτύπους. Ο κανονισμός KENAK έχει στόχο να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και να προωθήσει τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπρόσθετα, στοχεύει στη διατήρηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, στη μείωση

της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων και στη βελτίωση της απόδοσης κτιριακών υπηρεσιών και προϊόντων. Για επιχειρήσεις και ιδιοκτήτες κτιρίων οι οποίοι προσαρμόζονται στις απαιτήσεις του κανονισμού KENAK, μπορεί να προκύψει μια σειρά οικονομικών και άλλων οφελών, όπως μειωμένη κατανάλωση ενέργειας, ενεργειακά αποδοτικότερες κατασκευές και βελτιωμένη αξία του κτιρίου.



Βαθμοί ενεργειακής απόδοσης A+ είναι ενεργειακά αποδοτικοί και H δεν είναι αποδοτικοί

Επιπλέον, οι επιχειρήσεις και ιδιοκτήτες κτιρίων μπορούν να εκπληρώσουν τις δεοντολογικές και υπεύθυνες υποχρεώσεις τους αναφορικά με την προστασία του περιβάλλοντος και τη μείωση της κλιματικής αλλαγής. Για την επίτευξη των στόχων του κανονισμού KENAK, είναι σημαντικό να υπάρχει συνεργασία μεταξύ των επαγγελματιών που εμπλέκονται στον σχεδιασμό, τη δημιουργία και την ανακαίνιση κτιρίων, και των ιδιοκτητών κτιρίων. Η συνεργασία αυτή πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις νέες τεχνολογίες και τις καινοτόμες λύσεις, ώστε να μπορέσουν να προσφέρουν στους ιδιοκτήτες κτιρίων τα πιο αποδοτικά και βιώσιμα προϊόντα και υπηρεσίες. Συνολικά, ο κανονισμός KENAK είναι ένα σημαντικό μέτρο που συμβάλλει στην επίτευξη της ενεργειακής αποδοτικότητας και της αειφορίας στον κτιριακό τομέα. Η τήρηση των απαιτήσεων του κανονισμού KENAK από επιχειρήσεις και ιδιοκτήτες κτιρίων θα έχει θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία στο σύνολό της.

4.3.2 Σχέδιο δράσης ΑΠΕ

Στην Ελλάδα, το σχέδιο δράσης για τις ΑΠΕ εκτιμά το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον κτιριακό τομέα μέχρι το 2020. Πίνακας 4. 1 δείχνει το ποσοστό των ΑΠΕ για τα έτη 2004, 2010, 2015 και 2020, για τον οικιακό, τον τριτογενή και τον βιομηχανικό τομέα.

Percentage (%)	2004	2010	2015	2020
Residential sector	15	17	22	27
Tertiary sector	10	14	27	39
Industrial sector	-	-	-	-
Total	14	16	24	30

ΑΠΕ στον κτιριακό τομέα (MEECC, 2010)

Σύμφωνα με το νόμο 4122/2013 και το άρθρο 9 (Ενεργειακή απόδοση των κτιρίων - Εναρμόνιση με την

οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και άλλες διατάξεις), ορίζεται ότι όλα τα νέα κτίρια θα πρέπει να είναι κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.

Όσον αφορά τα υφιστάμενα κτίρια, το σχέδιο ΑΠΕ περιλαμβάνει μια μακροπρόθεσμη στρατηγική για την ανακαίνιση του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος (κτίρια κατοικιών, τριτογενής τομέας, δηλαδή εκπαιδευτικά κτίρια κ.λπ.). Έρευνες έχουν δείξει ότι τα ποσοστά ανακαίνισης κυμαίνονται μεταξύ 0,36%-2,6% (ΒΡΠΕ, 2011).

Όσον αφορά την περίοδο κατασκευής του κτιρίου, η οποία έχει τεράστια σημασία κατά την ενεργειακή αξιολόγηση ενός κτιρίου, η πλειονότητα των σχολείων στην Ελλάδα έχει κατασκευαστεί πριν από το 1980. Ο ΚΕΝΑΚ (βλ. 4.3), έχει αντιπαραβάλει τρεις ηλικιακές κατηγορίες κτιρίων όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση. Αυτές είναι οι εξής: Η ηλικία των κτιρίων είναι πολύ μικρή, αλλά δεν είναι και τόσο μεγάλη:

- 1) Πριν από το 1980, όταν τα κτίρια δεν είχαν καθόλου θερμική προστασία.
- 2) Από το 1981-2000, όταν η θερμομόνωση και άλλα μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης εφαρμόζονταν σταδιακά.
- 3) Από το 2001-2010, όταν αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν νέες τεχνολογίες και προϊόντα.

Το 2010, όταν εκδόθηκε ο κανονισμός για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (ΚΕΝΑΚ), τα κτίρια έπρεπε να πληρούν τις ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις.

4.3.3 Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας στην Ελλάδα

Σύμφωνα με την έκθεση (ΥΠΠΕΝ, 2014), υπάρχουν αρκετά μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας που μπορούν να εφαρμοστούν στο υφιστάμενο κτιριακό απόθεμα προκειμένου να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας, γεγονός που θα ωφελήσει τόσο το περιβάλλον όσο και το ενεργειακό κόστος κάθε κτιρίου. Πίνακας 4. 2 παρουσιάζει τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας. Τα στοιχεία που παρουσιάζονται στον πίνακα προκύπτουν από σημαντικό αριθμό ερευνών που έχουν διεξαχθεί και στην πράξη.

No.	Energy saving measures in the building stock	Savings percentage (%)	
		Thermal energy	Electricity
1	Exterior wall thermal insulation	33-60	
2	Thermal insulation on roofs – floors	2-14	
3	Restoration of glazed units (windows, doors and frames)	14-20	
4	Maintenance of central heating systems	10-12	
5	Installation of new high-efficiency, oil-fired central heating systems	Up to 17	
6	Installing of compensating thermostats	3-6	
7	Installation of space thermostats	3-6	
8	Installation of external shading	10-20	

9	Installation of ceiling fans		Up to 60
10	Night ventilation		Up to 10
11	Installation of solar collectors for hot water		50-80
12	Installation of high-efficiency lighting systems		Up to 60
13	Installation of a building management system (BMS)	Up to	Up to 30
14	Airtightness	16-21	
15	Replacement of air conditioners with high-efficiency heat pumps		66-75
16	Installation of a planted roof	Up to	Up to 30

Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας για τα υφιστάμενα κτίρια στην Ελλάδα (ΥΠΕΝ, 2014)

Τα μέτρα αυτά εφαρμόζονται ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου και είναι εξαιρετικά σημαντικό να διερευνηθεί η μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας σε σύγκριση με το κόστος. Σύμφωνα με την (ΥΠΕΝ, 2014) οι κρίσιμες επιλογές που σχετίζονται κυρίως με τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας:

- Εξωτερική μόνωση των αδιαφανών δομικών στοιχείων σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζονται στον κανονισμό για την αποδοτικότητα των κτιρίων (KENAK), ώστε να αποφευχθούν κατ' αρχάς οι απώλειες.
- Αντικατάσταση των μονών υαλοπινάκων με άλλους υαλοπίνακες που πληρούν τις προδιαγραφές υψηλής θερμομόνωσης και χαμηλής θερμικής εκπομπής (Low-e).
- Αντικατάσταση των κουφωμάτων με ενεργειακά αποδοτικά κουφώματα, εφοδιασμένα με σύστημα θερμοδιακοπής, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζονται στον κανονισμό για την αποδοτικότητα των κτιρίων (KENAK).
- Χρήση ηλιοθερμικών συστημάτων για την παραγωγή ζεστού νερού (αντί για ηλεκτρικούς θερμοσίφωνες)
- Επανασχεδιασμός του συστήματος θέρμανσης και εγκατάσταση λέβητα υψηλής απόδοσης βάσει νέας μελέτης θερμικών απωλειών.
- Επανασχεδιασμός του συστήματος φωτισμού και εγκατάσταση συστημάτων φωτισμού υψηλής ενεργειακής απόδοσης που αξιοποιούν και το φυσικό φως (ιδίως σε κτίρια του τριτογενούς τομέα).
- Χρήση συστημάτων BMS για την καλύτερη λειτουργία των κτιριακών εγκαταστάσεων (κυρίως σε κτίρια γραφείων, καταστήματα και κτίρια του τριτογενούς τομέα εν γένει).
- Εγκατάσταση ψυχρών υλικών στη βεράντα και στην αυλή (εάν υπάρχουν), για να μετριαστεί το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας.

4.3.4 Βιώσιμες ανακαινίσεις σχολείων στην Ευρώπη

- Δημοτικό σχολείο Westborough

Το δημοτικό σχολείο Westborough που βρίσκεται στο Κεντ του Ηνωμένου Βασιλείου, χτίστηκε το 1915 και τον Σεπτέμβριο του 2010 ανακαινίστηκε προκειμένου να γίνει σχολείο μηδενικών εκπομπών

διοξειδίου του άνθρακα - το πρώτο του είδους του στο Ηνωμένο Βασίλειο. Η αρχική ιδέα ήταν να μειωθούν οι εκπομπές CO₂ του σχολείου και επίσης να εμπνεύσει το όραμα των μαθητών για ένα περιβαλλοντικά βιώσιμο μέλλον. Η πρώτη προσέγγιση ήταν ο υπολογισμός των ενεργειακών απαιτήσεων του σχολείου πριν από την αντιμετώπιση των ενεργειακών απαιτήσεων. Μόλις, οι ενεργειακές απαιτήσεις είχαν ληφθεί, η ανακαίνιση περιελάμβανε θερμομόνωση και αεροστεγανότητα, φωτισμό χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας με διαχείριση του συστήματος και συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως βιομάζα, ηλιακή θερμική ενέργεια και φωτοβολταϊκά (SCI-NETWORK, 2010).

Η ανακαίνιση μείωσε τις ενεργειακές απαιτήσεις του σχολείου κατά ένα σημαντικό ποσοστό. Οι αρχικές ετήσιες εκπομπές CO₂ πριν από την ανακαίνιση ήταν 108 τόνοι και η συνολική αναμενόμενη μείωση ήταν 67 τόνοι CO₂. Το κόστος για τη μετατροπή του σχολείου σε βιώσιμο κτίριο ήταν 1,65 εκατ. ευρώ, δηλαδή περίπου 880 ευρώ/m² (SCI-NETWORK, 2010).

ο 14 Σχολεία στη Λομβαρδία, Περιφέρεια της Ιταλίας

Τα υφιστάμενα σχολικά κτίρια στη Λομβαρδία της Ιταλίας δεν είναι βιώσιμα και οδηγούν σε υψηλές ενεργειακές καταναλώσεις με συναφείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι (Sarto & Dall' O' , 2013) μελέτησαν 14 κτιριακά συγκροτήματα και εξετάστηκαν διαφορετικά σενάρια αναβάθμισης με διαφορετικές επιδόσεις και οικονομικούς στόχους. Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να επαληθευτεί στο πεδίο και στη συνέχεια σε πραγματικά κτίρια η τεχνική και οικονομική σκοπιμότητα της ανάπλασης υφιστάμενων σχολικών κτιρίων προκειμένου να βελτιωθεί όχι μόνο η ενεργειακή απόδοση αλλά και η βιωσιμότητα σύμφωνα με ένα διεθνές πρωτόκολλο. Η μεθοδολογία, η οποία ακολουθήθηκε, ήταν η διενέργεια ενεργειακής επιθεώρησης των κτιρίων, καθώς ήταν το πιο αποτελεσματικό εργαλείο για την προώθηση της ενεργειακής αναβάθμισης που μετρήθηκε για τα υφιστάμενα σχολικά κτίρια. Ο έλεγχος έδειξε ότι έπρεπε να ληφθούν βιώσιμες μετρήσεις, καθώς οι ενεργειακές απαιτήσεις των σχολείων υπερέβαιναν τα συνήθη επίπεδα με αποτέλεσμα την αύξηση των εκπομπών CO₂. Το έτος κατασκευής των σχολικών κτιρίων κυμαινόταν από το 1933 έως το 1984 και τα κτίρια διέφεραν πολύ μεταξύ τους, δηλαδή είχαν διαφορετικά τεχνολογικά χαρακτηριστικά, τύπους κατασκευής και ενεργειακή απόδοση. Πίνακας 4. 3 που ακολουθεί δείχνει τα δεδομένα ορισμένων χαρακτηριστικών των σχολικών κτιρίων.

Building	School type	Construction year	Number of occupants	Net surface (m ²)	Volume (m ³)	Site area (m ²)	Building footprint (m ²)
#1	Primary schools	1965–1966	260	2,345	9,920	5,770	1,521
#2	First level secondary school	1980	352	5,190	31,345	8,144	2,060
#3	Primary schools	1976	303	3,300	21,504	18,259	2,696
#4	Primary schools *	1972	238	2,805	11,634	6,339	1,980
#5	Nursery schools *	1974	180	1,144	5,468	5,143	1,266
#6	Primary and first level secondary schools *	1974	617	6,019	28,808	12,210	3,302
#7	Nursery schools *	1973	132	688	3,045	14,974	837
#8	Nursery schools	1976	185	1,124	4,248	4,491	1,190
#9	Nursery schools	1974–1984 **	131	714	2,598	5,132	841
#10	Nursery schools	1973	137	1,144	5,468	4,787	1,265
#11	Primary schools *	1962	253	1,833	8,120	45,608	13,799
#12	Nursery schools *	1968	146	876	3,478	31,246	11,300
#13	Nursery schools	1933–1974 **	137	773	2,978	29,555	9,535
#14	Primary schools	1966–1984 **	242	2,882	12,809	63,322	19,187

Χαρακτηριστικά των 14 σχολικών κτιρίων (Sarto & Dall' O', 2013)

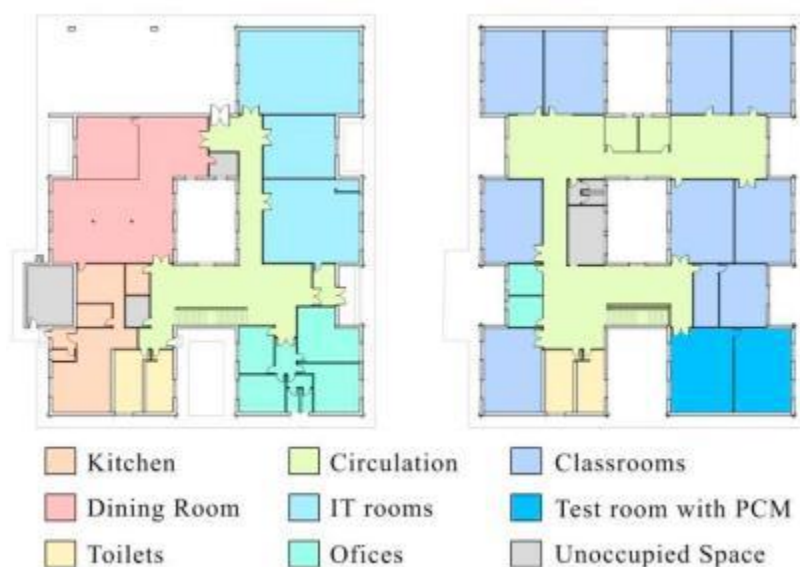
Building	Primary energy for heating and ventilation (kW·h/m ³ y)	Primary energy for domestic hot water (kW·h/m ³ y)	Primary energy for lighting (kW·h/m ³ y)	Primary energy for process energy (kW·h/m ³ y)	Primary energy for renewable energy (kW·h/m ³ y)	Emissions savings (t CO ₂)	Percentage of primary energy savings (%)
#1	5.65	0.27	2.58	8.32	3.36	52.64	67.6%
#2	5.71	0.12	1.80	6.35	3.32	140.89	66.4%
#3	6.77	0.15	1.67	6.44	3.62	79.51	64.6%
#4	6.73	0.21	2.63	9.19	5.87	67.51	72.0%
#5	7.92	0.34	2.28	8.66	2.90	28.90	62.4%
#6	5.81	0.55	2.63	8.88	3.11	163.29	66.8%
#7	9.57	0.45	2.46	8.54	6.73	14.20	66.5%
#8	9.76	0.45	2.88	10.48	5.67	26.16	65.8%
#9	12.96	0.52	3.00	11.71	11.47	16.85	71.4%
#10	9.91	0.26	2.28	7.20	6.81	19.50	64.3%
#11	10.65	0.23	3.60	10.61	4.54	48.22	61.3%
#12	10.68	0.44	1.95	10.94	10.13	22.73	74.6%
#13	10.97	0.48	3.29	11.55	7.27	19.89	67.1%
#14	8.38	0.20	2.30	9.62	6.33	75.10	70.5%

Ενεργειακές απαιτήσεις των σχολείων που εξετάστηκαν (Sarto & Dall' O', 2013)

Τα σχολικά κτίρια υποβλήθηκαν σε μετασκευές που οδήγησαν σε μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων. Οι ανακαινίσεις περιλάμβαναν αναβάθμιση του συστήματος θέρμανσης, αναβάθμιση του εξαερισμού, ηλιακά φωτοβολταϊκά πάνελ, αναβάθμιση του συστήματος ύδρευσης κ.λπ.

- Σχολικό κτίριο στην Καταλονία, Ισπανία

Σύμφωνα με τους (Berardi, et al., 2017), τα υφιστάμενα κτίρια στην Ισπανία ευθύνονται για σχεδόν το 40% της κατανάλωσης ενέργειας. Επιπλέον, εξέτασαν μια πραγματική περίπτωση έργου αναβάθμισης ενός σχολείου στην Καταλονία, το οποίο εφάρμοσε στρατηγικές αναβάθμισης προκειμένου να μετατρέψει το σχολικό κτίριο σε nZEB. Προκειμένου να ληφθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου, διενεργήθηκε ενεργειακός έλεγχος και συλλέχθηκαν κρίσιμα δεδομένα μέσω διαφόρων μετρήσεων (π.χ. μετρήσεις του συντελεστή θερμοπερατότητας, έρευνα IR, ανάλυση θερμικών γεφυρών κ.ο.κ.). Σχήμα 4.6 δείχνει τις κατόψεις και την εσωτερική κατανομή του σχολείου που εξετάστηκε.



- Γυμνάσιο Reutershagen, Γερμανία

Το σχολικό συγκρότημα χτίστηκε αρχικά το 1960, αλλά τον Οκτώβριο του 2015 τα σχολικά κτίρια ανακαινίστηκαν προκειμένου να γίνουν nZEB. Το σχολείο αναβαθμίστηκε προκειμένου να παράγει περισσότερη ενέργεια από όση πραγματικά απαιτείται, δηλαδή τις ενεργειακές απαιτήσεις για την ακρόαση, την ακρόαση του νερού χρήσης, τον φωτισμό και τη λειτουργία όλων των τεχνικών συστημάτων του κτιρίου. Τα μέτρα ανακαίνισης περιλάμβαναν θερμομόνωση για τους συμπαγείς εξωτερικούς τοίχους του υφιστάμενου κτιρίου, τοποθετήθηκαν ξύλινα στοιχεία στην εξωτερική πρόσοψη. Επίσης, για την παραγωγή ενέργειας εγκαταστάθηκαν φωτοβολταϊκά πάνελ και δύο αιολικά εργοστάσια. Το σχολικό συγκρότημα παρακολουθείται πλέον από την BEM προκειμένου να προκύπτει πόση ενέργεια καταναλώνεται (<https://www.buildup.eu/>, 2016).



Γυμνάσιο Reutershagen

4.3.5 Ανακαινίσεις στην Ελλάδα

4.3.5.1 Γενικά

Σύμφωνα με (Balaras, et al., 2021), τα επίσημα στοιχεία που δημοσιεύθηκαν από τα ελληνικά σχολεία το 2014 επιβεβαίωσαν ότι υπήρχαν 13793 σχολεία, ενώ η πλειονότητα αυτών ήταν δημοτικά σχολεία. Επιπλέον, το 50% των υφιστάμενων σχολείων κατασκευάστηκαν πριν από 30 χρόνια, δηλαδή η περίοδος κατασκευής ήταν πριν από τη δεκαετία του 1980. Όπως προαναφέρθηκε, τα σχολεία στην Ελλάδα που χτίστηκαν τη δεκαετία του 1980 δεν έχουν θερμομόνωση. Η ενεργειακή ταξινόμηση για τα περισσότερα από τα υφιστάμενα σχολεία στην Ελλάδα κατατάσσεται στην κατηγορία Δ με μέση κατανάλωση ενέργειας 98,8kWh/m² για την τελική και 158,9kWh/m² για την πρωτογενή ενέργεια.

Οι ίδιοι συγγραφείς εξέτασαν τα ενεργειακά χαρακτηριστικά περίπου 350 ελληνικών σχολείων που προέκυψαν από ενεργειακούς ελέγχους που έχουν πραγματοποιηθεί. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα υφιστάμενα σχολικά κτίρια καταναλώνουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας για να καλύψουν τις ενεργειακές τους απαιτήσεις λόγω της παλαιότητάς τους. Τα στοιχεία που ελήφθησαν από το εθνικό αποθετήριο έδειξαν ότι κανένα από τα σχολεία δεν κατατάσσεται στην κατηγορία Α+. Το αντικείμενο της εργασίας ήταν να εξετάσει το χάσμα μεταξύ των ελληνικών σχολείων και παρόμοιων τυπολογιών κτιρίων από άλλες χώρες της Ευρώπης και να συγκρίνει τις ενεργειακές απαιτήσεις και απαιτήσεις.

- Ανακαινίσεις σχολείων στην Ελλάδα
- Ανακαίνιση σχολείων στην περιοχή της Θεσσαλονίκης

Τέσσερα σχολικά κτίρια δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης εξετάστηκαν στην Περιφέρεια Θεσσαλονίκης από τους (Kliferoulou & Tsaousi, 2014). Όλα τα σχολεία κατασκευάστηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, ωστόσο όλα είχαν υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις. Τα σχολεία υπέστησαν ενεργειακή επιθεώρηση προκειμένου να προσδιοριστεί το επίπεδο της ενεργειακής τους απόδοσης και ως εκ τούτου να εφαρμοστούν λύσεις μετασκευής για την αύξηση της ενεργειακής τους και γίνονται nZEB. Τα αποτελέσματα του ελέγχου έδειξαν ότι όλα τα σχολεία χρειάζονται θερμομόνωση για όλους τους εξωτερικούς τοίχους, αντικατάσταση των παραθύρων, καθώς και αναβάθμιση των συστημάτων HVAC και του φωτισμού.

- Ανακαίνιση 10 σχολείων στην Κρήτη, τη Θεσσαλία, τη Μακεδονία και τη Θράκη

(Katsaprakakis & Zidianakis, 2017) εξέτασε την ενεργειακή απόδοση των 10 σχολείων που βρίσκονται σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας και συγκεκριμένα στην Κρήτη, τη Θεσσαλία, τη Μακεδονία και τη Θράκη. Πριν από τον ενεργειακό έλεγχο των κτιρίων, είχε ήδη εγκριθεί η χρηματοδότηση, ενώ οι προτεινόμενες δράσεις ήταν η μείωση των φορτίων θέρμανσης και ψύξης και η εισαγωγή ΑΠΕ για την παροχή ενέργειας. Άλλα μέτρα που προτάθηκαν ήταν η μόνωση, η αντικατάσταση των παραθύρων, η κατασκευή πράσινων στεγών, φωτοβολταϊκά πάνελ στις στέγες, ηλιακό σύστημα συνδυασμού με θερμάστρες βιομάζας για τις νοτιότερες τοποθεσίες (Κρήτη) ή μεμονωμένες θερμάστρες βιομάζας για τις βόρειες τοποθεσίες, η εγκατάσταση εξοπλισμού φωτισμού χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και η εισαγωγή υβριδικών τεχνικών ψύξης κυρίως με την εγκατάσταση ανεμιστήρων οροφής. Η αναβάθμιση των σχολικών κτιρίων αποσκοπούσε στην ενεργειακή αναβάθμισή τους, στη μείωση του λειτουργικού κόστους, στην προώθηση της εξοικονόμησης ενέργειας και στη μείωση των εκπομπών CO₂.

Όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση των σχολείων, προτάθηκαν παθητικά μέτρα για τη μείωση των θερμικών και ψυκτικών φορτίων των κτιρίων. Ωστόσο, προτάθηκαν και ενεργητικά συστήματα για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας μέσω ΑΠΕ. Οι ακόλουθες μετρήσεις ήταν οι εξής:

- Εφαρμογή εξωτερικής μόνωσης στα ανεπαρκώς μονωμένα κελύφη των κτιρίων (τοίχοι και οροφές).
- Τοποθέτηση νέων παραθύρων και θυρών με διπλά τζάμια και μεταλλικά μονωμένα πλαίσια.

- Κατασκευή προεξοχών σκίασης πάνω από ανοίγματα νότιου προσανατολισμού στις περιπτώσεις που δεν υπήρχε προστασία σκίασης από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

- Μόνο στην Τεχνική Σχολή Κομοτηνής, λόγω της μεγάλης στεγασμένης επιφάνειας του κτιρίου (περίπου 6.000 m²) και του μεγάλου αριθμού σπουδαστών, η εγκατάσταση πράσινου δώματος σε συγκεκριμένο τμήμα της οροφής του κτιρίου, κυρίως για λόγους επίδειξης.

Τα ενεργητικά μέτρα περιλάμβαναν:

- Μικροί φωτοβολταϊκοί σταθμοί (Φ/Β) στις στέγες όλων των υπό εξέταση κτιρίων, με στόχο την αντιστάθμιση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

- Θερμάστρες βιομάζας για θέρμανση χώρων, που καίνε πέλλετ βιομάζας τοπικής παραγωγής για τα σχολικά κτίρια σε όλα τα σχολεία εκτός της Κρήτης.

- Συνδυαστικά ηλιακά συστήματα για τη θέρμανση χώρων, αποτελούμενα από επιλεκτικούς ηλιακούς συλλέκτες και θερμαντήρες βιομάζας που καίνε τοπικά παραγόμενο ελαιοπυρήνα, για τα δύο σχολεία στην Κρήτη, εστιάζοντας στην εκμετάλλευση των υψηλών διαθέσιμων ποσοτήτων ηλιακής ακτινοβολίας στη Νότια Ελλάδα, ακόμη και κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου.

- Αντικατάσταση όλου του υφιστάμενου μη αποδοτικού εξοπλισμού φωτισμού με λαμπτήρες LED και προβολείς ή με λαμπτήρες φθορισμού T5 (αντί των προηγουμένως εγκατεστημένων T8) με ηλεκτρονικούς μετασχηματιστές και εκκινητές soft starters.

- Εγκατάσταση συστημάτων αντιστάθμισης της κεντρικής θέρμανσης.

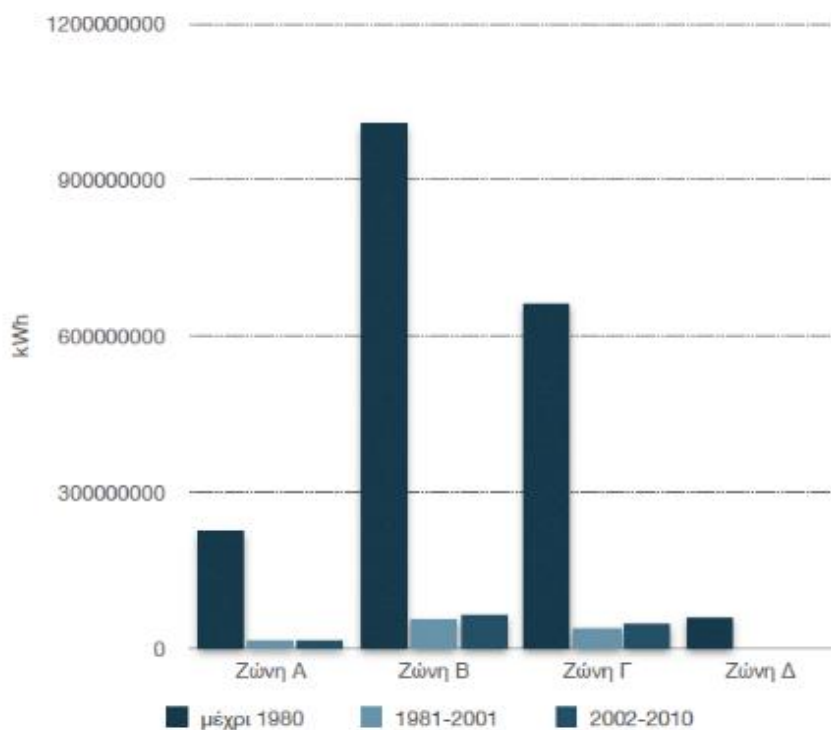
- Δημοτικό σχολείο στο κέντρο της Αθήνας

Η ενεργειακή κατανάλωση ενός δημοτικού σχολείου στην Αθήνα εξετάστηκε από την (Vourna, 2019). Πριν από την πρόταση μετρήσεων ενεργειακής αναβάθμισης πραγματοποιήθηκε ενεργειακή επιθεώρηση προκειμένου να ληφθεί η ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου. Το συμπέρασμα ήταν ότι η ενεργειακή απόδοση του κτιρίου ήταν στην τάξη E που σημαίνει ότι το κτίριο δεν ήταν βιώσιμο, καθώς η κατανάλωση ενέργειας ήταν 195,2kWh/m² σε ετήσια βάση με 59,4kg/m² σχετικές εκπομπές CO₂.

Τα μέτρα αναβάθμισης περιλάμβαναν μόνωση της οροφής και των τοίχων του κτιρίου, ενώ μονώθηκαν επίσης οι δοκοί και οι κολώνες που βρίσκονται εσωτερικά. Επιπλέον, τα παράθυρα και οι πόρτες

αντικαταστάθηκαν με διπλά τζάμια. Επίσης, οι υπάρχοντες φωτισμοί αντικαταστάθηκαν με νέους φωτισμούς LED.

Μετά την αναβάθμιση, το κτίριο ελέγχθηκε εκ νέου προκειμένου να ληφθούν τα επίπεδα ενεργειακής απόδοσης. Η μετασκευή κατάφερε να αυξήσει την ενεργειακή απόδοση στην κατηγορία C με ετήσια κατανάλωση ενέργειας 89,5/m² και 28kg/m² σχετικές εκπομπές CO₂.



	μέχρι 1980	1981-2001	2002-2010
Ζώνη Α	223.002.709	12.012.164	14.482.689
Ζώνη Β	1.008.635.843	55.751.456	64.097.176
Ζώνη Γ	661.729.023	37.883.599	44.293.222
Ζώνη Δ	60.060.679	3.273.823	3.895.517

Η κατανάλωση συνολικής ενέργειας για, εκπαιδευτικά κτίρια στις τρεις ηλικιακές κατηγορίες (πριν το 1980, 1981-2000 και 2001-2010) και για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες(ΥΠΕΝ 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ-ΤΡΙΩΝ ΔΗΜΟΤΙΚΩΝ ΣΧΟΛΕΙΩΝ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ (3^ο, 6^ο και 7^ο-10^ο Δημοτικό σχολείο)

5.1 Εισαγωγή

Η τοπική αυτοδιοίκηση με αντίστοιχους φορείς, θα μπορούσε να συμβάλλει στην μείωση της χρήσης ενέργειας στα σχολικά κτίρια. Επίσης, η μείωση της χρήσης ενέργειας στα σχολικά κτίρια πρέπει να αποτελέσει προτεραιότητα, καθώς θα συμβάλει στη μείωση του ενεργειακού κόστους, αλλά κυρίως στη μείωση των εκπομπών CO₂ προς το περιβάλλον.

Το αντικείμενο του παρόντος κεφαλαίου είναι η ανάλυση και η σύγκριση τριών σχολείων πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης που βρίσκονται στην περιοχή του Χαλανδρίου. Το πρώτο σχολείο που θα εξεταστεί είναι το 3^ο Δημοτικό, σε συνέχεια το 6^ο Δημοτικό και τέλος 7^ο-10^ο Δημοτικό.

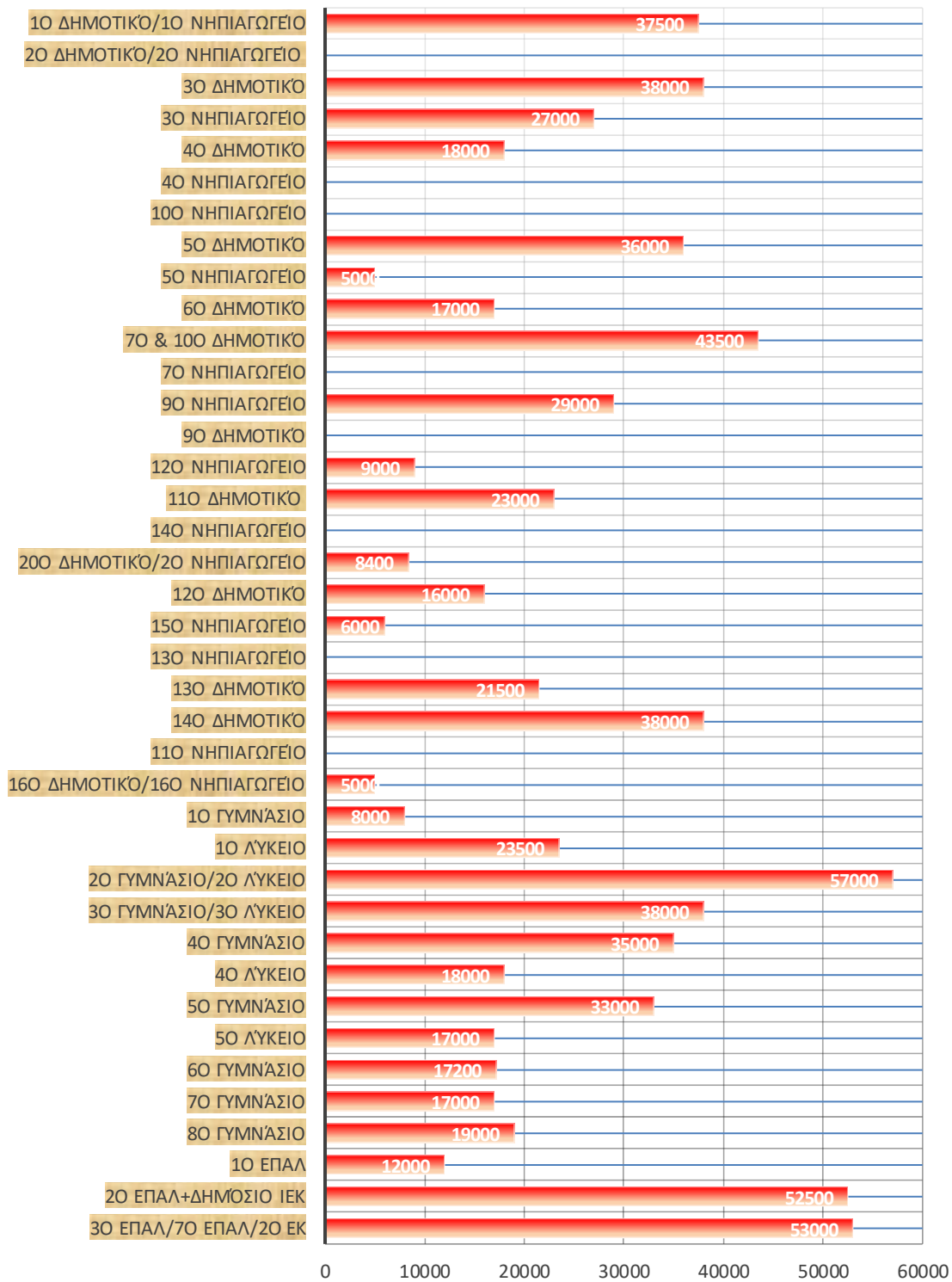
Το 3^ο Δημοτικό, η ενεργειακή κατάταξη είναι Δ, δηλαδή το κτίριο είναι ενεργειακά ανεπαρκές.

Επιπροσθέτως, το 6^ο Δημοτικό έχει καταταχθεί στην κατηγορία Γ' και το 7^ο & 10^ο Δημοτικό σχολείο στην κατηγορία Δ'.

Με την ενεργειακή αναβάθμιση τα σχολεία μπορούν να αναβαθμιστούν σε κατηγορία Α', που είναι το αποδεκτό επίπεδο σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ.

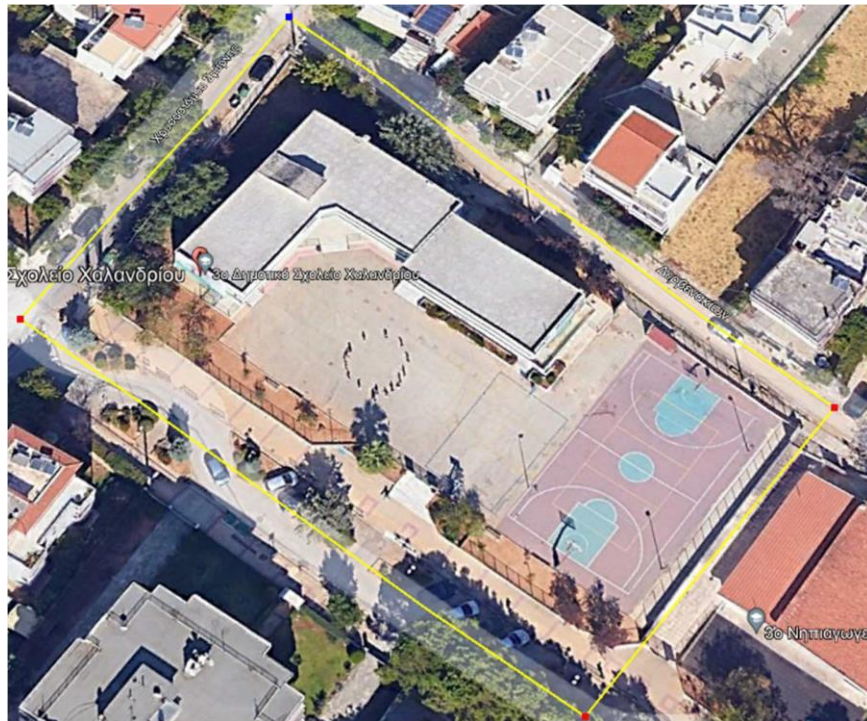
Στο παρακάτω πίνακα θα δούμε την ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος το 2012 στα σχολικά συγκροτήματα του Δήμου Χαλανδρίου (KWh)

Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος το 2012 στα σχολικά συγκροτήματα του Δήμου Χαλανδίου(KWh)



5.2 Περιγραφή 3^{ου} Δημοτικού σχολείου

Το κτίριο κατασκευάστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1984. Βρίσκεται επί των οδών Μαραθώνος 40, Μικράς Ασίας, Δερβενακίων και Χρυσοστόμου Σμύρνης. Είναι κτίριο τριών επιπέδων, με ισόγειο και δύο ορόφους συν την απόληξη του δώματος. Λειτουργεί και χρησιμοποιείται ως Σχολείο, καλύπτοντας τις ανάγκες Πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης του Δήμου Χαλανδρίου.



Αεροφωτογραφία με τη θέση του 14ου Δημοτικού Σχολείου Χαλανδρίου



Εξωτερική αποψη του 14ου Δημοτικού Σχολείου Χαλανδρίου

5.2.1 Στοιχεία κτιρίου

5.2.1.1 Επιφάνεια

Συνολική Επιφάνεια [m ²]	1344,61
Ωφέλιμη Επιφάνεια [m ²]	1210,09
Ψυχόμενη Επιφάνεια [m ²]	1210,09

5.2.1.2 Όγκος

Συνολικός Όγκος [m ³]	3775,97
Ωφέλιμος Όγκος [m ³]	3369,19
Ψυχόμενος Όγκος [m ³]	3369,19

5.2.1.3 Συνθήκες λειτουργίας

Ωράριο λειτουργίας	8	Προκαθορισμέν ες παράμετροι από Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701- 2/2017 και 20701- 3/2010
Ημέρες λειτουργίας	5	
Μήνες λειτουργίας	9	
Περίοδος θέρμανσης	1 Νοεμβρίου έως 15 Απριλίου	
Περίοδος ψύξης	15 Μαΐου έως 15 Σεπτεμβρίου	
Μέση εσωτερική θερμοκρασία θέρμανσης (°C)	26	
Μέση εσωτερική θερμοκρασία ψύξης (°C)	20	
Μέση εσωτερική σχετική υγρασία χειμώνα (%)	35	
Μέση εσωτερική σχετική υγρασία θέρους (%)	45	
Απαιτούμενος νοπός αέρα (m ³ /h/m ²)	11	
Στάθμη γενικού φωτισμού (lux)	300	
Ισχύς φωτισμού ανά μονάδα επιφάνειας για κτίριο αναφοράς (W/m ²)	9,6	
Εκκλύμενη θερμοκρασία από χρήστες ανά μονάδα επιφάνειας της θερμικής ζώνης (W/m ²)	40	
Μέσος συντελεστής παρουσίας χρηστών	0,18	
Εκκλύμενη θερμοκρασία από συσκευές ανά μονάδα επιφάνειας της θερμικής ζώνης		

(W/m ²)		
Μέσος συντελεστής λειτουργίας συσκευών	0,18	

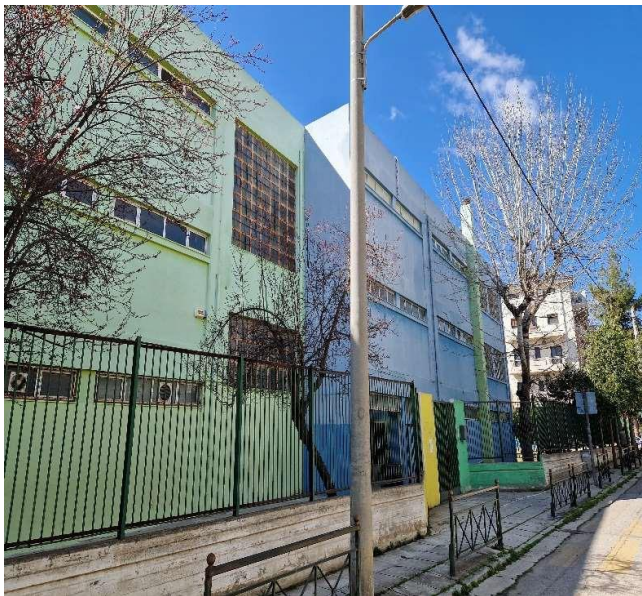
5.2.2 Χαρακτηριστικά σχολείου

Το κτίριο λαμβάνεται ως τριόροφη κατασκευή. Στους χώρους των κτιρίων φιλοξενούνται αίθουσες μαθημάτων, αίθουσα εκδηλώσεων και χώροι γραφείων καθηγητών και άλλου προσωπικού.

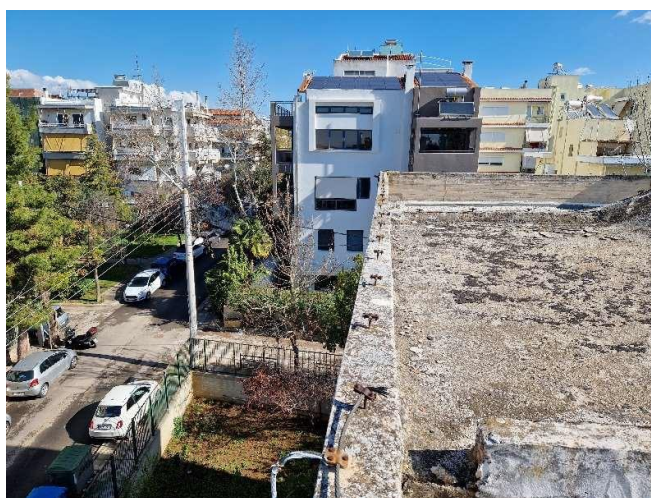
Η κύρια τοιχοποιία αποτελείται από μπατική οπτοπλινθοδομή, σε ύψος 3,15 μέτρων κάθε όροφος, με επίχρισμα και από τις δυο πλευρές, αλλά χωρίς μόνωση.

Τα ανοίγματα των δύο κτιρίων του διδακτηρίου είναι από διπλό υαλοπίνακα σε πλαίσιο αλουμινίου χωρίς θερμοδιακοπή. Η πλειοψηφία των ανοιγμάτων είναι συρόμενα.





Άποψη του κελύφους και των ανοιγμάτων



Άποψη του δώματος

5.2.3 Σύστημα θέρμανσης ψύξης και μηχανικού αερισμού

Η εγκατάσταση θέρμανσης του κτιρίου αποτελείται από λέβητα ισχύος 145 kW και αντίστοιχο καυστήρα φυσικού αερίου. Η μονάδα είναι τοποθετημένη στο λεβητοστάσιο του ισογείου και τροφοδοτεί το δίκτυο θέρμανσης μέσω κυκλοφορητών, συνολικής ισχύος 200 W. Το ζεστό νερό που παράγεται, μεταφέρεται σε θερμαντικά σώματα τύπου άβακα, τα οποία θερμαίνουν τους εσωτερικούς χώρους. Δε βρέθηκε φύλλο συντήρησης λέβητα και η έκδοση Ενεργειακού Πιστοποιητικού έγινε βάσει της παραγράφου 5.1.2.1 της TOTEE 20701-1/2017.

Για την ψύξη των χώρων, κατά τους θερινούς μήνες, χρησιμοποιούνται τοπικές αντλίες θερμότητας (split units).

Στο κτίριο δεν υπάρχει σύστημα μηχανικού αερισμού. Ο αερισμός και η προσαγωγή του απαραίτητου νωπού αέρα γίνεται με χειροκίνητο τρόπο με το άνοιγμα των εξωτερικών κουφωμάτων από τους χρήστες.



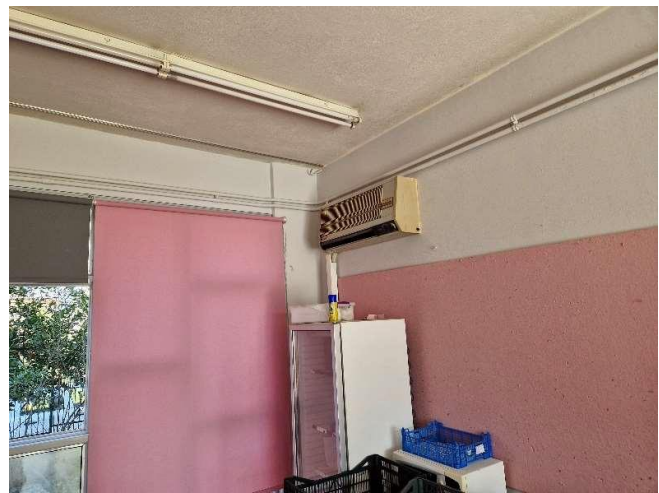
Λέβητας της εγκατάστασης



Κυκλοφορητής συστήματος θέρμανσης



Τοπικές μονάδες θέρμανσης



Τοπικές μονάδες κλιματισμού



Τοπικές μονάδες κλιματισμού

5.2.4 Φωτισμός

Το σύστημα φωτισμού του κτιρίου για τις αίθουσες διδασκαλίας, τα γραφεία και τους διαδρόμους, αποτελείται από φωτιστικά με λαμπτήρες γραμμικού φθορισμού T8, T5 και προβολείς LED. Στα WC υπάρχουν φωτιστικά με λαμπτήρες φθορισμού E27. Ο χειρισμός είναι χειροκίνητος. Υπολογίζεται συνολική εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού 17,024 kW.

3ο Δημοτικό	
Τύπος	Πλήθος
T8 ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ	168
E27	74
ΠΡΟΒΟΛΕΙΣ LED	8
ΠΡΟΒΟΛΕΙΣ LED	2
ΠΡΟΒΟΛΕΙΣ LED	2



Άποψη εσωτερικού φωτισμού

5.2.5 Καταναλώσεις κτιρίου

5.2.5.1 Ηλεκτρική ενέργεια

Το κτίριο τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο ΧΤ της ΔΕΗ..

Από το Δήμο Χαλανδρίου δόθηκαν οι μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις, σε kWh, του 3^{ου} Δημοτικού για την περίοδο Ιανουαρίου 2018 έως και Δεκεμβρίου 2018 και Ιανουαρίου 2021 έως και

Δεκεμβρίου 2022, που παρατίθενται στον ακόλουθο Πίνακα.

3 ^ο Δημοτικό	
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	
ΕΤΟΣ	kWh
2018	14.872,97
2021	10.206,99
2022	14.190

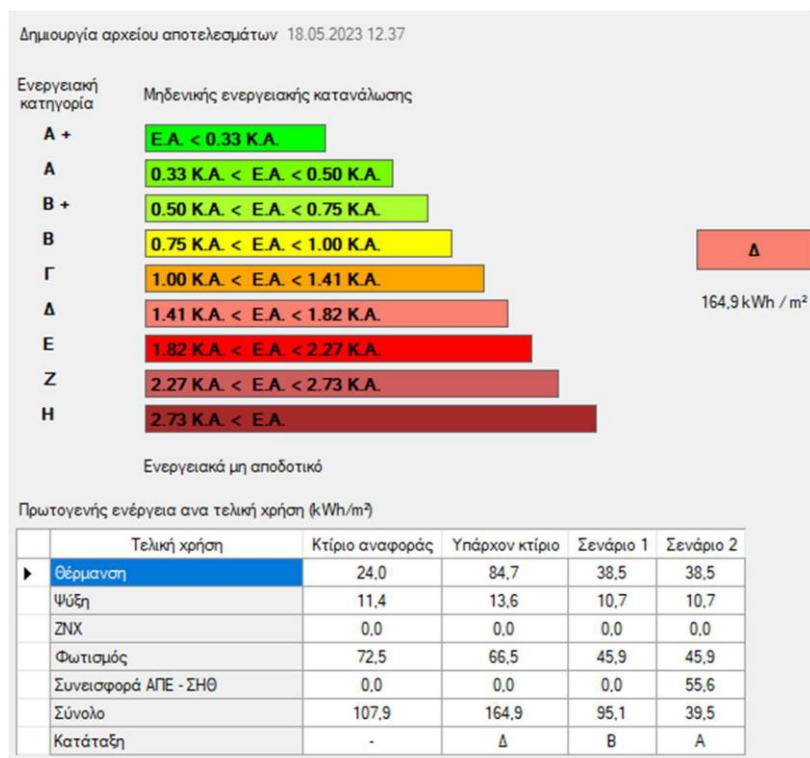
5.2.5.2 Φυσικό αέριο

Από την εταιρεία Φυσικού αερίου (Φυσικό Αέριο – Ελληνική Εταιρεία Ενέργειας) δόθηκαν οι μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις, σε kWh, του 3^{ου} Δημοτικού για την περίοδο Ιανουαρίου 2018 έως και Δεκεμβρίου 2021, που παρατίθενται στον ακόλουθο Πίνακα.

3 ^ο Δημοτικό	
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	
ΕΤΟΣ	kWh
2018	18.909,27
2019	33.475,99
2020	15.568,99
2021	24.261,02

5.2.5.3 Ενεργειακή κατάταξη

Το υφιστάμενο κτίριο κατατάχθηκε στην κατηγορία Δ'.



5.2.6 Προτεινόμενες παρεμβάσεις

Στόχος των προτεινόμενων παρεμβάσεων είναι η βελτίωση των ενεργειακών χαρακτηριστικών του κτιρίου, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, η μείωση των εκπομπών CO₂ και, κατ' επέκταση, η μείωση του λειτουργικού του κόστους. Ταυτόχρονα, θα βελτιωθούν οι συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης των χρηστών και η ποιότητα του εσωτερικού αέρα.

Οι προτεινόμενες παρεμβάσεις καλύπτουν τις απαιτήσεις του προγράμματος για ενεργειακή αναβάθμιση τουλάχιστον σε κατηγορία ενεργειακής απόδοσης B', σύμφωνα με το άρθρο 10 του ΚΕΝΑΚ και εξασφαλίζουν τουλάχιστον 30% εξοικονόμηση ετήσιας πρωτογενούς ενέργειας που απαιτείται για τις ανάγκες των τεχνικών συστημάτων που εξυπηρετούν το κτίριο, όπως και μείωση των εκπομπών CO₂, τουλάχιστον κατά 30%.

Η μελέτη των σεναρίων εξοικονόμησης ενέργειας του κτιρίου έγινε σύμφωνα με τον ελληνικό Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ). Για τους υπολογισμούς εφαρμόστηκε ολοκληρωμένη μεθοδολογία ενεργειακής ανάλυσης στο πλαίσιο των Ν.3661/2008, ΦΕΚ 407B 9/4/2010, ΤΟΤΕΕ, Κτίριο Αναφοράς κλπ., με χρήση των στοιχείων που συλλέχθηκαν για το κτίριο, τα οποία είναι τα ίδια που χρησιμοποιήθηκαν για την έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Αποδοτικότητας.

5.2.6.1 Επεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος

Προτείνεται η τοποθέτηση θερμομόνωσης στο δάμα. Στην τοιχοποιία θα γίνει επίστρωση/τοποθέτηση θερμομονωτικών πλακών κατάλληλου υλικού με μέσο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας κατά μέγιστο $\lambda = 0,036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ και κατάλληλου πάχους, ώστε ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας να είναι κατά μέγιστο $0,45 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ για το δάμα.

5.2.6.2 Επεμβάσεις στα διαφανή στοιχεία κτιριακού κελύφους

Προτείνεται η αντικατάσταση των υφιστάμενων κουφωμάτων με νέα, αλουμινίου με θερμοδιακοπή, με διπλούς ενεργειακούς υαλοπίνακες και πλήρωση με αέριο αργό, ώστε να επιτευχθεί μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας σε κατά μέγιστο $U \leq 3,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Με την αντικατάσταση θα επιτευχθεί, επίσης, καλύτερη αεροστεγανότητα ώστε να μειωθούν τα ψυκτικά και θερμικά φορτία του κτιρίου.

5.2.6.3 Επεμβάσεις στα συστήματα θέρμανσης - ψύξης και μηχανικού αερισμού

Για το σύστημα θέρμανσης των εσωτερικών χώρων του κτιρίου προτείνεται η αντικατάσταση του υφιστάμενου συστήματος πετρελαίου με **αντλία θερμότητας**. Η αντλία θερμότητας θα είναι κεντρική αερόψυκτη, με τον κανονισμό Οικολογικού σχεδιασμού (813/2113) και θα συνοδεύεται από Ενεργειακή Σήμανση, σύμφωνα με τον κανονισμό Ενεργειακής Επισήμανσης 811/2011 της ΕΕ. Ο συντελεστής συμπεριφοράς (SCOP) της αντλίας θερμότητας θα έχει τουλάχιστον την τιμή **3,2** και η εκτιμώμενη ισχύς της θα είναι 40 kW, τιμή για τον υπολογισμό της οποίας έχουν ληφθεί υπόψη και οι παρεμβάσεις που θα υλοποιηθούν στο κέλυφος του κτιρίου. Ταυτόχρονα, θα υλοποιηθούν και οι κατάλληλες μετατροπές στο λεβητοστάσιο για τη διανομή του ζεστού νερού στα θερμαντικά σώματα, στα οποία θα τοποθετηθούν κατάλληλες θερμοστατικές κεφαλές και αντίστοιχοι διακόπτες για την τοπική ρύθμιση της θερμοκρασίας.

Στο κτίριο δεν υπάρχει υφιστάμενο σύστημα μηχανικού αερισμού. Θα εγκατασταθούν σε κάθε αίθουσα διδασκαλίας και γραφείο μονάδες μηχανικού αερισμού οι οποίες θα εξασφαλίζουν την απαιτούμενη είσοδο νωπού αέρα, ενώ παράλληλα θα είναι εφοδιασμένες με εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος θα είναι σε θέση να ανακτήσει θερμότητα από τον απορριπτόμενο αέρα σε ποσοστό τουλάχιστον 65%.

Για τον εξαερισμό του κτιρίου, εκτιμάται ότι θα εγκατασταθούν 13 επίτοιχες μονάδες μηχανικού αερισμού οι οποίες θα έχουν μέγιστη παροχή αέρα $500 \text{ m}^3/\text{h}$ και 5 επίτοιχες μονάδες μηχανικού αερισμού οι οποίες θα έχουν μέγιστη παροχή αέρα $300 \text{ m}^3/\text{h}$, ενώ η αντίστοιχη ειδική ονομαστική ισχύς όλων των ανεμιστήρων θα είναι $\geq 0,8 \text{ kW/m}^3$.

Ο συνδυασμός της παρέμβασης στο σύστημα θέρμανσης και του μηχανικού αερισμού θα βελτιώσει την κατηγορία διατάξεων ελέγχου - αυτοματισμών σε «Γ». Παράλληλα, θα εξοικονομηθεί θερμική ενέργεια τουλάχιστον 65% από αυτή που απορρίπτεται. Σημειώνεται, ωστόσο, ότι θα επιβαρυνθεί η ηλεκτρική κατανάλωση για την τροφοδότηση των ηλεκτροκινητήρων των ανεμιστήρων.

5.2.6.4 Φωτισμός

Προτείνεται η αντικατάσταση των συμβατικών φωτιστικών σωμάτων φθορίου και πυρακτώσεως από φωτιστικά τύπου LED. Υπολογίζεται ότι η εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού θα μειωθεί στα 11,51 kW.

Τα προτεινόμενα φωτιστικά θα είναι, ενδεικτικά, τύπου LED panel, συμμετρικής ευρείας δέσμης, με κάλυμμα ημιδιαφανές, λεπτού επίπεδου σχήματος, με μη αντικαταστάσιμη μονάδα LED συνολικής Ισχύος $\leq 40 \text{ W} / 230 \text{ V}$, φωτεινής ροής $>3.500 \text{ lm}$, λευκού χρώματος φωτός 3.000K.

Στα φωτιστικά σώματα με λαμπτήρες πυρακτώσεως και φθορισμού E27 θα εγκατασταθούν βιδωτοί λαμπτήρες LED κατάλληλης ισχύος.

5.2.6.5 Φωτοβολταϊκό σύστημα

Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος με τη μέθοδο του ενεργειακού συμψηφισμού (net-metering).

Το σύστημα που θα υλοποιηθεί θα αποτελεί διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σταθμό με το ηλεκτρικό δίκτυο και θα πρέπει να πληροί όλους του σχετικούς κανονισμούς του ΔΕΔΔΗΕ.

Η συνολική επιφάνεια των επιπέδων δωματίων είναι 536,88 τ.μ.. Προτείνεται να εγκατασταθούν φωτοβολταϊκά πλαίσια συνολικής επιφάνειας 95,2 τ.μ., σε κλίση 25° και νότιο προσανατολισμό.

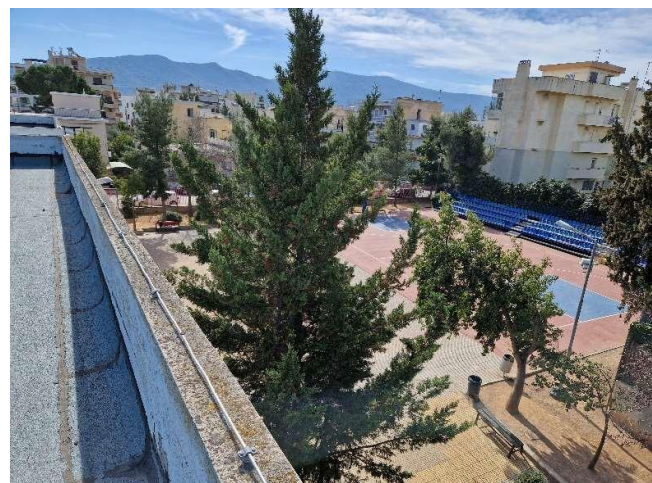
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς	17 kW
------------------------------	-------

5.3 Περιγραφή 6^{ου} Δημοτικού σχολείου

Το κτίριο λειτουργεί και χρησιμοποιείται ως Διδακτήριο, καλύπτοντας τις ανάγκες εκπαίδευσης του 6^{ου} Δημοτικού Σχολείου του Δήμου Χαλανδρίου και βρίσκεται επί των οδών Ζαν Μωρέα και Φιλικής Εταιρείας. Το Διδακτήριο αποτελείται από 2 κτίρια, τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους. Είναι κτίριο δύο επιπέδων, κατασκευασμένο το 1984 και έχει υπαχθεί σε ρύθμιση νόμου 4495/17.



Αεροφωτογραφία με τη θέση του 6ου Δημοτικού Σχολείου Χαλανδρίου



*Εξωτερική αποψη του 6ου Δημοτικού Σχολείου
Χαλανδρίου*

5.3.1 Στοιχεία Κτιρίου

5.3.1.1 Επιφάνεια

Συνολική Επιφάνεια [m ²]	1317,29
Ωφέλιμη Επιφάνεια [m ²]	1262,73
Ψυχόμενη Επιφάνεια [m ²]	1262,73

5.3.1.1 Όγκος

Συνολικός Όγκος [m ³]	4601.72
Ωφέλιμος Όγκος [m ³]	4506.16
Ψυχόμενος Όγκος [m ³]	4506.16

5.3.1.1 Συνθήκες λειτουργίας

Ωράριο λειτουργίας	8	Προκαθορισμέν ες παράμετροι από Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701- 2/2017 και 20701- 3/2010
Ημέρες λειτουργίας	5	
Μήνες λειτουργίας	9	
Περίοδος θέρμανσης	1 Νοεμβρίου έως 15 Απριλίου	
Περίοδος ψύξης	15 Μαΐου έως 15 Σεπτεμβρίου	
Μέση εσωτερική θερμοκρασία θέρμανσης (°C)	26	
Μέση εσωτερική θερμοκρασία ψύξης (°C)	20	
Μέση εσωτερική σχετική υγρασία χειμώνα (%)	35	
Μέση εσωτερική σχετική υγρασία θερούς (%)	45	
Απαιτούμενος νοπός αέρας (m ³ /h/m ²)	11	
Στάθμη γενικού φωτισμού (lux)	300	
Ισχύς φωτισμού ανά μονάδα επιφάνειας για κτίριο αναφοράς (W/m ²)	9,6	
Εκλούμενη θερμοκρασία από χρήστες ανά μονάδα επιφανείας της θερμικής ζώνης (W/m ²)	40	
Μέσος συντελεστής παρουσίας χρηστών	0,18	
Εκλούμενη θερμοκρασία από συσκευές ανά μονάδα επιφανείας της θερμικής ζώνης (W/m ²)	5	
Μέσος συντελεστής λειτουργίας συσκευών	0,18	

5.3.2 Χαρακτηριστικά σχολείου

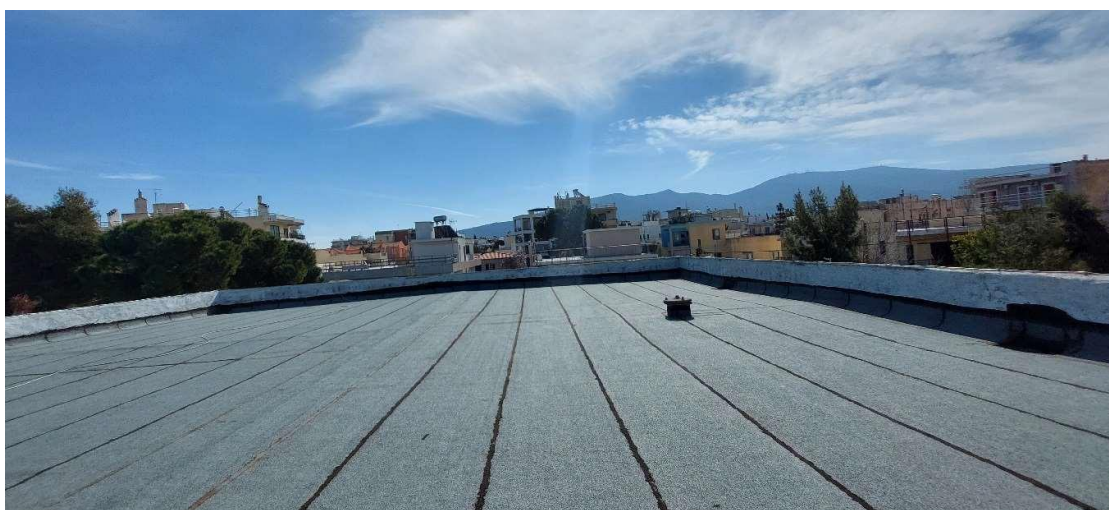
Το κτίριο λαμβάνεται ως διάροφη κατασκευή. Στους χώρους του φιλοξενούνται αίθουσες μαθημάτων, αίθουσα εκδηλώσεων και χώροι γραφείων καθηγητών και άλλου προσωπικού.

Η κύρια τοιχοποιία αποτελείται από μπατική οπτοπλινθοδομή, σε ύψος 2,90 μέτρων κάθε όροφος, με επίχρισμα και από τις δυο πλευρές, αλλά χωρίς μόνωση.

Τα ανοίγματα των δύο κτιρίων του διδακτηρίου είναι από μονό υαλοπίνακα σε πλαίσιο αλουμινίου χωρίς θερμοδιακοπή. Η πλειοψηφία των ανοιγμάτων είναι συρόμενα.



Άποψη των ανοιγμάτων



Άποψη του δώματος



Άποψη του δώματος

5.3.3 Σύστημα θέρμανσης-ψύξης και μηχανικού αερισμού

Η εγκατάσταση θέρμανσης του κτιρίου αποτελείται από λέβητα ισχύος 150 kW και αντίστοιχο καυστήρα φυσικού αερίου. Η μονάδα είναι τοποθετημένη στο λεβητοστάσιο του ισογείου και τροφοδοτεί το δίκτυο θέρμανσης μέσω κυκλοφορητών, συνολικής ισχύος 200 W. Το ζεστό νερό που παράγεται, μεταφέρεται σε θερμαντικά σώματα τύπου άβακα, τα οποία θερμαίνουν τους εσωτερικούς χώρους. Δε βρέθηκε φύλλο συντήρησης λέβητα και η έκδοση Ενεργειακού Πιστοποιητικού έγινε βάσει της παραγράφου 5.1.2.1 της TOTEE 20701-1/2017.

Για την ψύξη των χώρων, κατά τους θερινούς μήνες, χρησιμοποιούνται τοπικές αντλίες θερμότητας (split units).

Στο κτίριο δεν υπάρχει σύστημα μηχανικού αερισμού. Ο αερισμός και η προσαγωγή του απαραίτητου νωπού αέρα γίνεται με χειροκίνητο τρόπο με το άνοιγμα των εξωτερικών κουφωμάτων από τους χρήστες.



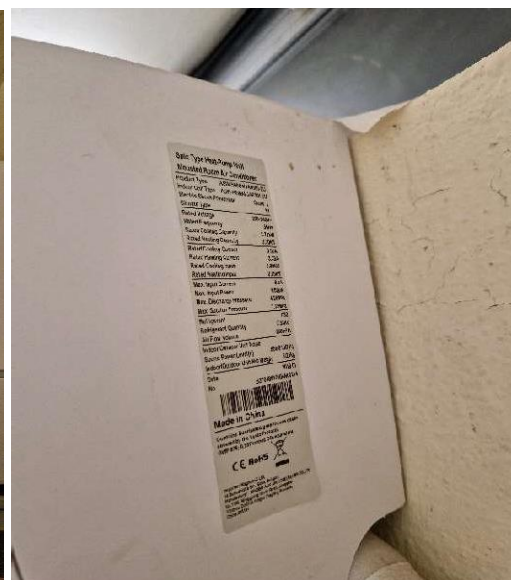
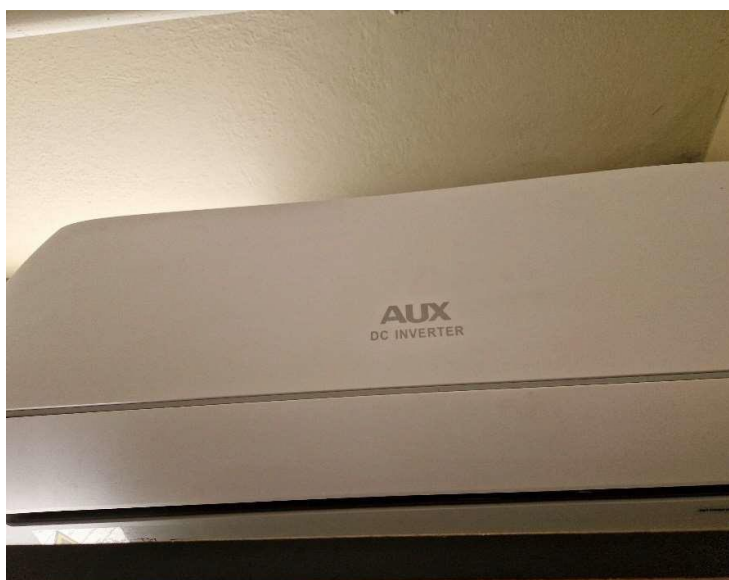
Λέβητας της εγκατάστασης



Κυκλοφορητής συστήματος θέρμανσης



Τοπικές μονάδες θέρμανσης



Τοπικές μονάδες κλιματισμού

5.3.4 Φωτισμός

Το σύστημα φωτισμού του κτιρίου για τις αίθουσες διδασκαλίας, τα γραφεία και τους διαδρόμους, αποτελείται από 4 φωτιστικά με λαμπτήρες γραμμικού φθορισμού T8 και, κυρίως, LED panels. Στα WC υπάρχουν φωτιστικά με λαμπτήρες φθορισμού E27. Ο χειρισμός είναι χειροκίνητος. Υπολογίζεται συνολική εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού 5,77 kW.

6ο Δημοτικό	
Τύπος	Πλήθος
T8 ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ	4
E27	12
LED 60X60	134
ΠΡΟΒΟΛΕΑΣ	1



Άποψη εσωτερικού φωτισμού

5.3.5 Καταναλώσεις κτιρίου

5.3.5.1 Ηλεκτρική Ενέργεια

Το κτίριο τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο ΧΤ της ΔΕΗ

Από το Δήμο Χαλανδρίου δόθηκαν οι μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις, σε kWh, του 6^{ου} Δημοτικού για την περίοδο Ιανουαρίου 2018 έως και Δεκεμβρίου 2021, που παρατίθενται στον ακόλουθο Πίνακα.

6 ^ο Δημοτικό	
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	
ΕΤΟΣ	kWh
2018	14.022,97
2019	25.501,02
2020	14.190
2021	22.045,02

5.3.5.2 Φυσικό Αέριο

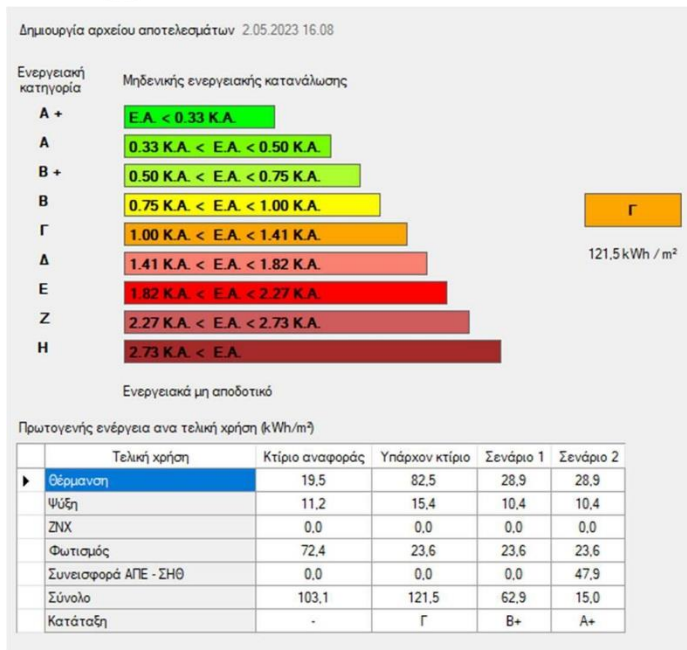
Από την εταιρεία Φυσικού αερίου (Φυσικό Αέριο – Ελληνική Εταιρεία Ενέργειας) δόθηκαν οι μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις, σε kWh, του 6^{ου} Δημοτικού για την περίοδο Ιανουαρίου 2018 έως και Δεκεμβρίου 2021, που παρατίθενται στον ακόλουθο Πίνακα.

6 ^ο Δημοτικό	
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	
ΕΤΟΣ	kWh
2018	17.185,07
2019	22.802,02
2020	15.819
2021	26.685

5.3.5.3 Ενεργειακή επιθεώρηση

Στο κτίριο διενεργήθηκε ενεργειακή επιθεώρηση και εκδόθηκε το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ).

Το υφιστάμενο κτίριο κατατάχθηκε στην κατηγορία Γ'.



5.3.6 Προτεινόμενες παρεμβάσεις

Στόχος των προτεινόμενων παρεμβάσεων είναι η βελτίωση των ενεργειακών χαρακτηριστικών του κτιρίου, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, η μείωση των εκπομπών CO₂ και, κατ' επέκταση, η μείωση του λειτουργικού του κόστους. Ταυτόχρονα, θα βελτιωθούν οι συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης των χρηστών.

Οι προτεινόμενες παρεμβάσεις καλύπτουν τις απαιτήσεις του προγράμματος για ενεργειακή αναβάθμιση τουλάχιστον σε κατηγορία ενεργειακής απόδοσης B', σύμφωνα με το άρθρο 10 του ΚΕΝΑΚ και να εξασφαλίζεται τουλάχιστον 30% εξοικονόμηση ετήσιας πρωτογενούς ενέργειας που απαιτείται για τις ανάγκες των τεχνικών συστημάτων που εξυπηρετούν το κτίριο, όπως και μείωση των εκπομπών CO₂, τουλάχιστον κατά 30%.

Η μελέτη των σεναρίων εξοικονόμησης ενέργειας του κτιρίου έγινε σύμφωνα με τον ελληνικό Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ). Για τους υπολογισμούς εφαρμόστηκε ολοκληρωμένη μεθοδολογία ενεργειακής ανάλυσης στο πλαίσιο των Ν.3661/2008, ΦΕΚ 407B 9/4/2010, ΤΟΤΕΕ, Κτίριο Αναφοράς κλπ., με χρήση των στοιχείων που συλλέχθηκαν για το κτίριο, τα οποία είναι τα ίδια που χρησιμοποιήθηκαν για την έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Αποδοτικότητας.

5.3.6.1 Επεμβάσεις στα δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους

Προτείνεται η τοποθέτηση θερμομόνωσης στο δώμα. Στο δώμα θα γίνει επίστρωση θερμομονωτικών πλακών κατάλληλου υλικού με μέσο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας κατά μέγιστο $\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ και κατάλληλου πάχους, ώστε ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας να είναι κατά μέγιστο $0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

5.3.6.3 Επεμβάσεις στα διαφανή στοιχεία κτιριακού κελύφους

Προτείνεται η αντικατάσταση των υφιστάμενων κουφωμάτων με νέα, αλουμινίου με θερμοδιακοπή, με διπλούς ενεργειακούς υαλοπίνακες και πλήρωση με αέριο αργό, ώστε να επιτευχθεί μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας σε κατά μέγιστο $U \leq 3,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Με την αντικατάσταση θα επιτευχθεί, επίσης, καλύτερη αεροστεγανότητα ώστε να μειωθούν τα ψυκτικά και θερμικά φορτία του κτιρίου.

5.3.6.3 Επεμβάσεις στα συστήματα θέρμανσης -ψύξης και μηχανικού αερισμού

Για το σύστημα θέρμανσης των εσωτερικών χώρων του κτιρίου προτείνεται η αντικατάσταση του υφιστάμενου συστήματος πετρελαίου με **αντλία θερμότητας**. Η αντλία θερμότητας θα είναι κεντρική αερόψυκτη, με τον κανονισμό Οικολογικού σχεδιασμού (813/2113) και θα συνοδεύεται από Ενεργειακή Σήμανση, σύμφωνα με τον κανονισμό Ενεργειακής Επισήμανσης 811/2011 της ΕΕ. Ο συντελεστής συμπεριφοράς (SCOP) της αντλίας θερμότητας θα έχει τουλάχιστον την τιμή **3,2** και η εκτιμώμενη ισχύς της θα είναι 40 kW, τιμή για τον υπολογισμό της οποίας έχουν ληφθεί υπόψιν και οι παρεμβάσεις που θα υλοποιηθούν στο κέλυφος του κτιρίου. Ταυτόχρονα, θα υλοποιηθούν και οι κατάλληλες μετατροπές στο λεβητοστάσιο για τη διανομή του ζεστού νερού στα θερμαντικά σώματα, στα οποία θα τοποθετηθούν κατάλληλες θερμοστατικές κεφαλές και αντίστοιχοι διακόπτες για την τοπική ρύθμιση της θερμοκρασίας.

Στο κτίριο δεν υπάρχει υφιστάμενο σύστημα μηχανικού αερισμού. Θα εγκατασταθούν σε κάθε αίθουσα διδασκαλίας και γραφείο μονάδες μηχανικού αερισμού οι οποίες θα εξασφαλίζουν την απαιτούμενη είσοδο νωπού αέρα, ενώ παράλληλα θα είναι εφοδιασμένες με εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος θα είναι σε θέση να ανακτήσει θερμότητα από τον απορριπτόμενο αέρα σε ποσοστό τουλάχιστον 65%.

Για τον εξαερισμό του κτιρίου, εκτιμάται ότι θα εγκατασταθούν 11 επίτοιχες μονάδες μηχανικού αερισμού οι οποίες θα έχουν μέγιστη παροχή αέρα $500 \text{ m}^3/\text{h}$ και 4 επίτοιχες μονάδες μηχανικού αερισμού οι οποίες θα έχουν μέγιστη παροχή αέρα $300 \text{ m}^3/\text{h}$, ενώ η αντίστοιχη ειδική ονομαστική ισχύς όλων των ανεμιστήρων θα είναι $\geq 0,8 \text{ kW/m}^3$.

Ο συνδυασμός της παρέμβασης στο σύστημα θέρμανσης και του μηχανικού αερισμού θα βελτιώσει την κατηγορία διατάξεων ελέγχου - αυτοματισμών σε «Γ». Παράλληλα, θα εξοικονομηθεί θερμική ενέργεια τουλάχιστον 65% από αυτή που απορρίπτεται. Σημειώνεται, ωστόσο, ότι θα επιβαρυνθεί η ηλεκτρική κατανάλωση για την τροφοδότηση των ηλεκτροκινητήρων των ανεμιστήρων.

5.3.6.4 Φωτοβολταϊκό σύστημα

Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος με τη μέθοδο του ενεργειακού συμψηφισμού (net-metering).

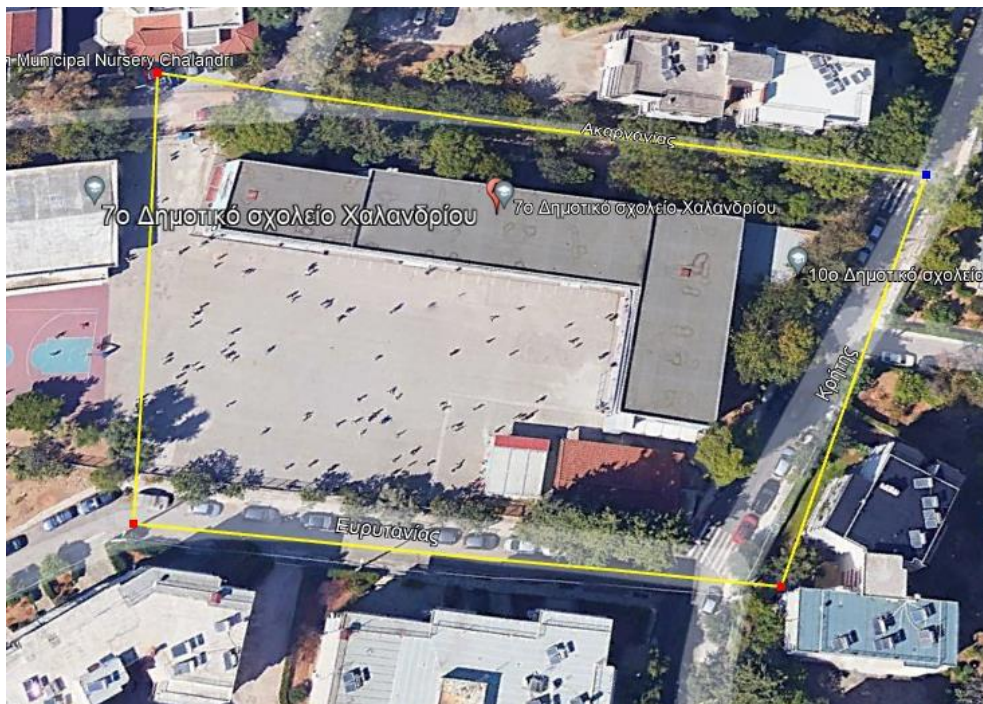
Το σύστημα που θα υλοποιηθεί θα αποτελεί διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σταθμό με το ηλεκτρικό δίκτυο και θα πρέπει να πληροί όλους του σχετικούς κανονισμούς του ΔΕΔΔΗΕ.

Συνολική εγκατεστημένη ισχύς	22 kW
------------------------------	-------

Η συνολική επιφάνεια των επιπέδων δωματίων είναι 658,72 τ.μ.. Προτείνεται να εγκατασταθούν φωτοβολταϊκά πλαίσια συνολικής επιφάνειας 123,2 τ.μ., σε κλίση 25° και νότιο προσανατολισμό.

5.4 Περιγραφή 7^{ου} & 10^{ου} Δημοτικού σχολείου

Το κτίριο λειτουργεί και χρησιμοποιείται ως Διδακτήριο, καλύπτοντας τις ανάγκες εκπαίδευσης του 7^{ου} & 10^{ου} Δημοτικού Σχολείου του Δήμου Χαλανδρίου και βρίσκεται επί των οδών Ακαρνανίας, Ευρυτανίας και Κρήτης. Το Διδακτήριο αποτελείται από ένα κτίριο, τριών ορόφων και έχει υπαχθεί σε ρύθμιση νόμου 4495/17.



Αεροφωτογραφία με τη θέση του 7^{ου} και 10^{ου} Δημοτικού Σχολείου Χαλανδρίου



Εξωτερική αποψη του 7^{ου} και 10^{ου} Δημοτικού Σχολείου Χαλανδρίου

5.4.1 Στοιχεία κτιρίου

5.4.1.1 Επιφάνεια

Συνολική Επιφάνεια [m ²]	2062.08
Ωφέλιμη Επιφάνεια [m ²]	1796.09
Ψυχόμενη Επιφάνεια [m ²]	1796.09

5.4.1.2 Όγκος

Συνολικός Όγκος [m ³]	20235.31
Ωφέλιμος Όγκος [m ³]	18116.63
Ψυχόμενος Όγκος [m ³]	18116.63

5.4.1.3 Συνθήκες λειτουργίας

Ωράριο λειτουργίας	8	Προκαθορισμένες παράμετροι από Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017 και 20701-3/2010
Ημέρες λειτουργίας	5	
Μήνες λειτουργίας	9	
Περίοδος θέρμανσης	1 Νοεμβρίου έως 15 Απριλίου	
Περίοδος ψύξης	15 Μαΐου έως 15 Σεπτεμβρίου	
Μέση εσωτερική θερμοκρασία θέρμανσης (°C)	26	
Μέση εσωτερική θερμοκρασία ψύξης (°C)	20	
Μέση εσωτερική σχετική υγρασία χειμώνα (%)	35	
Μέση εσωτερική σχετική υγρασία θέρους (%)	45	
Απαιτούμενος νοπός αέρα (m ³ /h/m ²)	11	
Στάθμη γενικού φωτισμού (lux)	300	
Ισχύς φωτισμού ανά μονάδα επιφάνειας για κτίριοαναφοράς (W/m ²)	9,6	
Εκλύομενη θερμοκρασία από χρήστες ανά μονάδα επιφάνειας της θερμικής ζώνης (W/m ²)	40	
Μέσος συντελεστής παρουσίας χρηστών	0,18	
Εκλύομενη θερμοκρασία από συσκευές ανά μονάδα επιφάνειας της θερμικής ζώνης (W/m ²)	5	
Μέσος συντελεστής λειτουργίας συσκευών	0,18	

5.4.2 Χαρακτηριστικά σχολείου

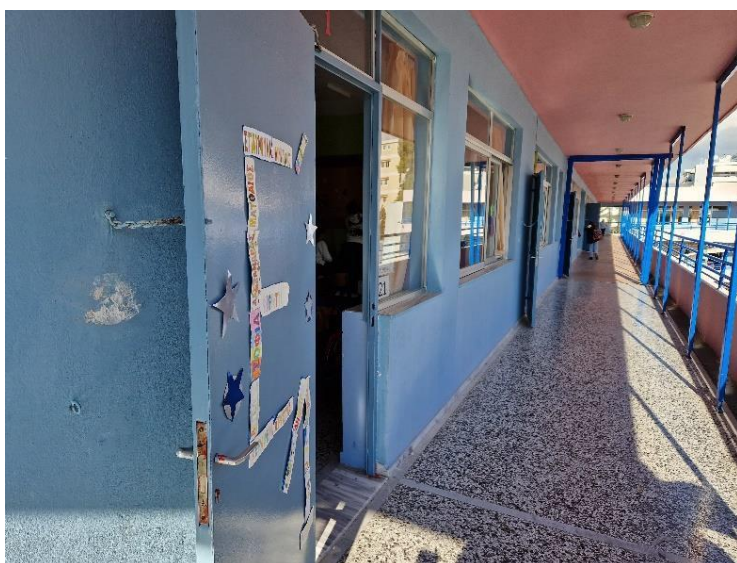
Στο κτίριο πραγματοποιήθηκε αυτοψία, κατά την οποία καταγράφηκαν τα χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων κελύφους και των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων. Στις επόμενες παραγράφους ακολουθεί σχετική ανάλυση.

Το κτίριο λαμβάνεται ως τριόροφη κατασκευή. Στους χώρους των κτιρίων φιλοξενούνται αίθουσες μαθημάτων, αίθουσα εκδηλώσεων και χώροι γραφείων καθηγητών και άλλου προσωπικού.

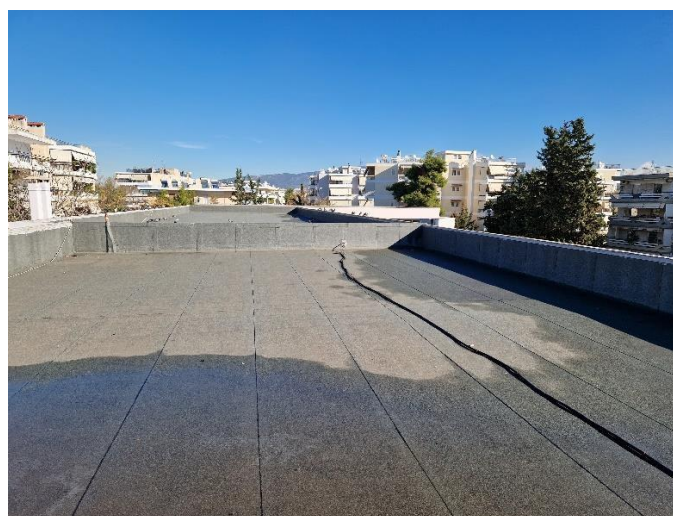
Η κύρια τοιχοποιία αποτελείται από μπατική οπτοπλινθοδομή, σε ύψος 3,3 μέτρων κάθε όροφος, με επίχρισμα και από τις δυο πλευρές, αλλά χωρίς μόνωση.

Τα ανοίγματα των δύο κτιρίων του διδακτηρίου είναι από μονό υαλοπίνακα σε πλαίσιο αλουμινίου

χωρίς θερμοδιακοπή. Η πλειοψηφία των ανοιγμάτων είναι συρόμενα.



Άποψη του κελύφους και των ανοιγμάτων



Άποψη του δώματος

5.4.3 Σύστημα θέρμανσης-ψύξης και μηχανικού αερισμού

Η εγκατάσταση θέρμανσης του κτιρίου αποτελείται από δύο λέβητες ισχύος 232,6 kW και αντίστοιχο καυστήρα φυσικού αερίου. Η μονάδα είναι τοποθετημένη στο λεβητοστάσιο του ισογείου και τροφοδοτεί το δίκτυο θέρμανσης μέσω κυκλοφορητών, συνολικής ισχύος 500 W. Το ζεστό νερό που παράγεται, μεταφέρεται σε θερμαντικά σώματα τύπου άβακα, τα οποία θερμαίνουν τους εσωτερικούς χώρους. Δε βρέθηκε φύλλο συντήρησης λέβητα και η έκδοση Ενεργειακού Πιστοποιητικού έγινε βάσει της παραγράφου 5.1.2.1 της ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017.

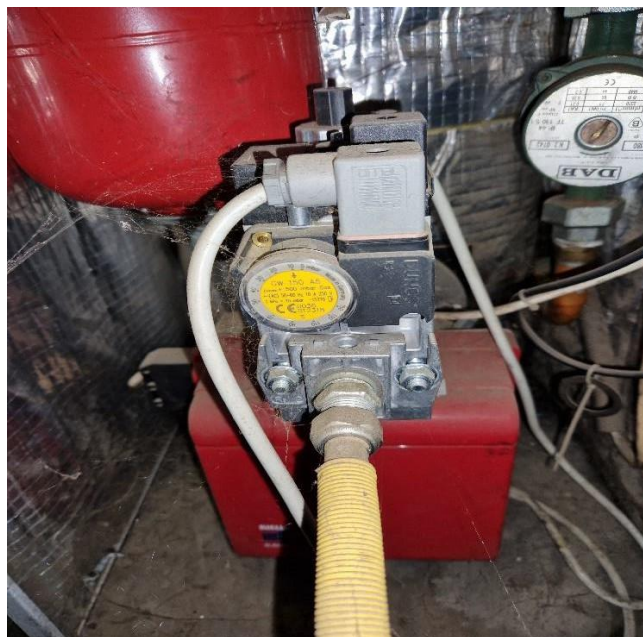
Για την ψύξη των χώρων, κατά τους θερινούς μήνες, χρησιμοποιούνται τοπικές αντλίες θερμότητας (split units).

Στο κτίριο δεν υπάρχει σύστημα μηχανικού αερισμού. Ο αερισμός και η προσαγωγή του απαραίτητου νωπού

αέρα γίνεται με χειροκίνητο τρόπο με το άνοιγμα των εξωτερικών κουφωμάτων από τους χρήστες.



Λέβητας της εγκατάστασης



Καυστήρας της εγκατάστασης



Τοπικές μονάδες κλιματισμού

5.4.4 Φωτισμός

Το σύστημα φωτισμού του κτιρίου για τις αίθουσες διδασκαλίας, τα γραφεία και τους διαδρόμους, αποτελείται από φωτιστικά με LED panels. Στα WC υπάρχουν φωτιστικά με λαμπτήρες φθορισμού E27. Ο χειρισμός είναι χειροκίνητος. Υπολογίζεται συνολική εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού 9,12 kW.

ΕΙΔΗ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩ Ν	ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩ Ν (TMX)
E27 (10W)	76
ΣΥΝΟΛΟ (ΕΚΤΟΣ LED)	76
LED (panels 40W)	209
ΣΥΝΟΛΟ	285



Αποψη εσωτερικού φωτισμού

5.4.5 Καταναλώσεις κτιρίου

5.4.5.1 Ηλεκτρική Ενέργεια

Το κτίριο τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο ΧΤ της ΔΕΗ

Από το Δήμο Χαλανδρίου δόθηκαν οι μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις, σε kWh, του 7^{ου} & 10^{ου} Δημοτικού για την περίοδο Ιανουαρίου 2018 έως και Δεκεμβρίου 2021, που παρατίθενται στον ακόλουθο Πίνακα.

7 ^ο & 10 ^ο Δημοτικό	
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	
ΕΤΟΣ	kWh

2018	25.438,98
2019	25.438,98
2020	27.856,98
2021	27.856,98

5.4.5.2 Πετρέλαιο

Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις, σε kWh, του 7^{ου} & 10^{ου} Δημοτικού για την περίοδο Ιανουαρίου 2018 έως και Νοεμβρίου 2022, που παρατίθενται στον ακόλουθο Πίνακα.

7ο & 10ο Δημοτικό	
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	
ΕΤΟΣ	kWh
2018	68.576,95
2019	90.150
2020	41.823,01
2021	75.545,01

5.4.5.3 Ενεργειακή επιθεώρηση

Το υφιστάμενο κτίριο κτατατάχθηκε στην κατηγορία Δ'.

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (ΠΕΑ) ΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ 24-28 152 31 , ΧΑΛΑΝΔΡΙ	
Αρ. Πρωτοκόλλου:	7449/2023
Αρ. Ασφαλείας:	J557P-A2KAN-5X614-X
Ημερομηνία Έκδοσης:	23/04/2023
Ημερομηνία Ισχύος:	23/04/2033
* Ελέγξτε την εγκυρότητα του ΠΕΑ: https://www.buildingoert.gr/checkCert.view	
Τίτλος Κτηριακής Μονάδας:	" "
Χρήση:	Πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης
Κλιματική Ζώνη:	B
Συνολική Επιφάνεια:	2062.08
Ωφέλιμη Επιφάνεια:	1796.09
Ενεργειακή κατηγορία:	Υφιστάμενη Δυναμική
Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης:	
EP ≤ 0,33 R _R	A+
0,33 R _R < EP ≤ 0,50 R _R	A
0,50 R _R < EP ≤ 0,75 R _R	B+
0,75 R _R < EP ≤ 1,00 R _R	B
1,00 R _R < EP ≤ 1,41 R _R	Γ
1,41 R _R < EP ≤ 1,82 R _R	Δ
1,82 R _R < EP ≤ 2,27 R _R	Ε
2,27 R _R < EP ≤ 2,73 R _R	Ζ
2,73 R _R < EP	Η

* Μετά την εφαρμογή των παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης σύμφωνα με τη βέλτιστη (τη) σύσταση

5.4.6 Προτεινόμενες παρεμβάσεις

Στόχος των προτεινόμενων παρεμβάσεων είναι η βελτίωση των ενεργειακών χαρακτηριστικών του κτιρίου, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, η μείωση των εκπομπών CO₂ και, κατ' επέκταση, η μείωση του λειτουργικού του κόστους. Ταυτόχρονα, θα βελτιωθούν οι συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης των χρηστών και η ποιότητα του εσωτερικού αέρα.

Οι προτεινόμενες παρεμβάσεις καλύπτουν τις απαιτήσεις του προγράμματος για ενεργειακή αναβάθμιση τουλάχιστον σε κατηγορία ενεργειακής απόδοσης B', σύμφωνα με το άρθρο 10 του ΚΕΝΑΚ και εξασφαλίζουν τουλάχιστον 30% εξοικονόμηση ετήσιας πρωτογενούς ενέργειας που απαιτείται για τις ανάγκες των τεχνικών συστημάτων που εξυπηρετούν το κτίριο, όπως και μείωση των εκπομπών CO₂, τουλάχιστον κατά 30%.

Η μελέτη των σεναρίων εξοικονόμησης ενέργειας του κτιρίου έγινε σύμφωνα με τον ελληνικό Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ). Για τους υπολογισμούς εφαρμόστηκε ολοκληρωμένη μεθοδολογία ενεργειακής ανάλυσης στο πλαίσιο των Ν.3661/2008, ΦΕΚ 407B 9/4/2010, ΤΟΤΕΕ, Κτίριο Αναφοράς κλπ., με χρήση των στοιχείων που συλλέχθηκαν για το κτίριο, τα οποία είναι τα ίδια που χρησιμοποιήθηκαν για την έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Αποδοτικότητας.

5.4.6.1 Επεμβάσεις στα δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους

Προτείνεται η τοποθέτηση θερμομόνωσης στα δύο δώματα και στην εξωτερική τοιχοποιία (επιφάνειες με βορειοανατολικό προσανατολισμό). Στα δώματα/τοιχοποιία θα γίνει επίστρωση/τοποθέτηση θερμομονωτικών πλακών κατάλληλου υλικού με μέσο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας κατά μέγιστο $\lambda = 0,036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ και κατάλληλου πάχους, ώστε ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας να είναι κατά μέγιστο $0,45 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ για το δώμα και $0,50 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ για την εξωτερική τοιχοποιία.

5.4.6.3 Επεμβάσεις στα διαφανή στοιχεία κτιριακού κελύφους

Προτείνεται η αντικατάσταση των υφιστάμενων κουφωμάτων με νέα, αλουμινίου με θερμοδιακοπή, με διπλούς ενεργειακούς υαλοπίνακες και πλήρωση με αέριο αργό, ώστε να επιτευχθεί μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας σε κατά μέγιστο $U \leq 3,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Με την αντικατάσταση θα επιτευχθεί, επίσης, καλύτερη αεροστεγανότητα ώστε να μειωθούν τα ψυκτικά και θερμικά φορτία του κτιρίου.

5.4.6.4 Επεμβάσεις στα συστήματα θέρμανσης -ψύξης και μηχανικού αερισμού

Για το σύστημα θέρμανσης των εσωτερικών χώρων του κτιρίου προτείνεται η αντικατάσταση του υφιστάμενου συστήματος φυσικού αερίου με **αντλίες θερμότητας**. Οι αντλίες θερμότητας θα είναι κεντρικές

αερόψυκτες, με τον κανονισμό Οικολογικού σχεδιασμού (813/2113) και θα συνοδεύεται από Ενεργειακή Σήμανση, σύμφωνα με τον κανονισμό Ενεργειακής Επισημάνσης 811/2011 της ΕΕ. Ο συντελεστής συμπεριφοράς (SCOP) των αντλιών θερμότητας θα έχει τουλάχιστον την τιμή **3,2** και η εκτιμώμενη ισχύς της θα είναι 44 kW η μία και 23 kW η δεύτερη, τιμές για τον υπολογισμό των οποίων έχουν ληφθεί υπόψιν και οι παρεμβάσεις που θα υλοποιηθούν στο κέλυφος του κτιρίου. Ταυτόχρονα, θα υλοποιηθούν και οι κατάλληλες μετατροπές στο λεβητοστάσιο για τη διανομή του ζεστού νερού στα θερμαντικά σώματα, στα οποία θα τοποθετηθούν κατάλληλες θερμοστατικές κεφαλές και αντίστοιχοι διακόπτες για την τοπική ρύθμιση της θερμοκρασίας.

Στο κτίριο δεν υπάρχει υφιστάμενο σύστημα μηχανικού αερισμού. Θα εγκατασταθούν σε κάθε αίθουσα διδασκαλίας και γραφείο μονάδες μηχανικού αερισμού οι οποίες θα εξασφαλίζουν την απαιτούμενη είσοδο νωπού αέρα, ενώ παράλληλα θα είναι εφοδιασμένες με εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος θα είναι σε θέση να ανακτήσει θερμότητα από τον απορριπτόμενο αέρα σε ποσοστό τουλάχιστον 65%.

Για τον εξαερισμό του κτιρίου, εκτιμάται ότι θα εγκατασταθούν 16 επίτοιχες μονάδες μηχανικού αερισμού οι οποίες θα έχουν μέγιστη παροχή αέρα 500 m³/h και 4 επίτοιχες μονάδες μηχανικού αερισμού οι οποίες θα έχουν μέγιστη παροχή αέρα 300 m³/h, ενώ η αντίστοιχη ειδική ονομαστική ισχύς των ανεμιστήρων θα είναι $\geq 0,8$ kW/m³.

Ο συνδυασμός της παρέμβασης στο σύστημα θέρμανσης και του μηχανικού αερισμού θα βελτιώσει την κατηγορία διατάξεων ελέγχου - αυτοματισμών σε «Γ». Παράλληλα, θα εξοικονομηθεί θερμική ενέργεια τουλάχιστον 65% από αυτή που απορρίπτεται. Σημειώνεται, ωστόσο, ότι θα επιβαρυνθεί η ηλεκτρική κατανάλωση για την τροφοδότηση των ηλεκτροκινητήρων των ανεμιστήρων.

5.4.6.5 Φωτοβολταϊκό σύστημα

Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος με τη μέθοδο του ενεργειακού συμψηφισμού (net- metering).

Το σύστημα που θα υλοποιηθεί θα αποτελεί διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σταθμό με το ηλεκτρικό δίκτυο και θα πρέπει να πληροί όλους του σχετικούς κανονισμούς του ΔΕΔΔΗΕ.

Συνολική εγκατεστημένη ισχύς	38 KW
------------------------------	-------



Η συνολική επιφάνεια των επιπέδων δωματίων είναι 701,30τ.μ.. Προτείνεται να εγκατασταθούν φωτοβολταϊκά πλαίσια συνολικής επιφάνειας 212,8 τ.μ., σε κλίση 25° και νότιο προσανατολισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – Αποτελέσματα και Αναλύσεις

6.1 Αποτελέσματα και Αναλύσεις

Για την ενεργειακή ταξινόμηση των σχολικών κτιρίων χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά TEE KENAK.

Το 3^ο Δημοτικό σχολείο πριν από κάθε παρέμβαση, είχε καταταχθεί στην κατηγορία Δ. Μετά τις παρεμβάσεις, το σχολείο θα αναβαθμιστεί σε κατηγορία Α:

-  Εγκατάσταση θερμομόνωσης στο δώμα
-  Αντικατάσταση εξωτερικών κουφωμάτων-υαλοστασίων με νέα αλουμινίου με θερμοδιακοπή & με διπλό ενεργειακό υαλοπίνακα

- ✚ Εγκατάσταση υψηλής απόδοσης αντλίας θερμότητας
- ✚ Εγκατάσταση μηχανικού αερισμού
- ✚ Σύστημα φωτισμού εσωτερικών χώρων, τύπου LED
- ✚ Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος

Οι αρχικές παρεμβάσεις βασίστηκαν στο σενάριο του TEE KENAK.

Επιπροσθέτως, το 6^ο Δημοτικό σχολείο πριν από κάθε παρέμβαση, είχε καταταχθεί στην κατηγορία Γ. Μετά τις παρεμβάσεις, το σχολείο θα αναβαθμιστεί σε κατηγορία A+:

- ✚ Εγκατάσταση θερμομόνωσης στο δώμα
- ✚ Αντικατάσταση εξωτερικών κουφωμάτων-υαλοστασίων με νέα αλουμινίου με θερμοδιακοπή & με
- ✚ Εγκατάσταση υψηλής απόδοσης αντλίας θερμότητας
- ✚ Εγκατάσταση μηχανικού αερισμού
- ✚ Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος

Τέλος, το 7^ο και 10^ο Δημοτικό σχολείο πριν από κάθε παρέμβαση, είχε καταταχθεί στην κατηγορία Δ. Μετά τις παρεμβάσεις, το σχολείο θα αναβαθμιστεί σε κατηγορία A+:

- ✚ Εγκατάσταση θερμομόνωσης στο δώμα
- ✚ Εγκατάσταση εξωτερικής θερμομόνωσης, στη βορειοανατολική τοιχοποιία
- ✚ Αντικατάσταση εξωτερικών κουφωμάτων-υαλοστασίων με νέα αλουμινίου με θερμοδιακοπή & με διπλό ενεργειακό υαλοπίνακα
- ✚ Εγκατάσταση υψηλής απόδοσης αντλίας θερμότητας
- ✚ Εγκατάσταση μηχανικού αερισμού
- ✚ Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος

6.2 Μελέτη σκοπιμότητας

6.2.1 Μελέτη σκοπιμότητας 3^ο Δημοτικό σχολείο Χαλανδρίου

Σύμφωνα με τις παρεμβάσεις που αναφέρονται στο κεφάλαιο 5, το σχετικό κόστος στον παρακάτω πίνακα.

A/A	Παρέμβαση	Ποσότητα (τμχ) / Επιφάνεια (τ.μ.)	Κόστος €/τμχ ή μονάδα μέτρησης	Συνολικό κόστος €
1	Εγκατάσταση θερμομόνωσης στο δώμα	536,88	45 €/m ²	24.160

2	Αντικατάσταση εξωτερικών κουφωμάτων-υαλοστασίων με νέα αλουμινίου με θερμοδιακοπή & με διπλό ενεργειακό υαλοπίνακα	200,36	390 €/m ²	78.140
3	Εγκατάσταση υψηλής απόδοσης αντλίας θερμότητας	1	26.750,00 €	26.750
4	Εγκατάσταση μηχανικού αερισμού	13	1.613,00 €	20.969
5	Εγκατάσταση μηχανικού αερισμού	5	968 €	4.840
6	Νέο σύστημα φωτισμού εσωτερικών χώρων, τύπου LED	242	60,00 €	14.520
7	Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος	17 kW	892,00 €	15.164
ΑΘΡΟΙΣΜΑ				184.543
ΦΠΑ				44.290
ΣΥΝΟΛΟ				228.833

Συμπέρασμα:

- Η παρούσα ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου βάσει του ΠΕΑ είναι Δ'.
- Η ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου, μετά τις παρεμβάσεις, θα είναι Α'.
- Η εξοικονόμηση ενέργειας που θα επιτευχθεί με τις παρεμβάσεις, βάσει της έκθεσης του Ενεργειακού Ελέγχου είναι **46.521,54 kWh /9.304 €**

6.2.2 Μελέτη σκοπιμότητας 6^ο Δημοτικό σχολείο Χαλανδρίου

Σύμφωνα με τις παρεμβάσεις που αναφέρονται στο κεφάλαιο 5, το σχετικό κόστος στον παρακάτω πίνακα.

A/A	Παρέμβαση	Ποσότητα (τμχ) / Επιφάνεια (τ.μ.)	Κόστος €/τμχ ή μονάδα μέτρησης	Συνολικό κόστος €
1	Εγκατάσταση θερμομόνωσης στο δώμα	658,69	45 €/m ²	29.641

2	Αντικατάσταση εξωτερικών κουφωμάτων-υαλοστασίων με νέα αλουμινίου με θερμοδιακοπή & με διπλό ενεργειακό υαλοπίνακα	169,46	390 €/m ²	63.089
3	Εγκατάσταση υψηλής απόδοσης αντλίας θερμότητας	1	26.750,00 €	26.750
4	Εγκατάσταση μηχανικού αερισμού	11	1.613,00 €	17.743
5	Εγκατάσταση μηχανικού αερισμού	4	1.613,00 €	3.872
6	Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος	22 kW	892,00 €	19.624
ΑΘΡΟΙΣΜΑ				163.719
ΦΠΑ				39.293
ΣΥΝΟΛΟ				203.012

Συμπέρασμα:

- Η παρούσα ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου βάσει του ΠΕΑ είναι Γ'.
- Η ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου, μετά τις παρεμβάσεις, θα είναι Α+.
- Η εξοικονόμηση ενέργειας που θα επιτευχθεί με τις παρεμβάσεις, βάσει της έκθεσης του Ενεργειακού Ελέγχου είναι **51.836,58 kWh/ 10.367 €**.

6.2.3 Μελέτη σκοπιμότητας 7^ο και 10^ο Δημοτικό σχολείο Χαλανδρίου

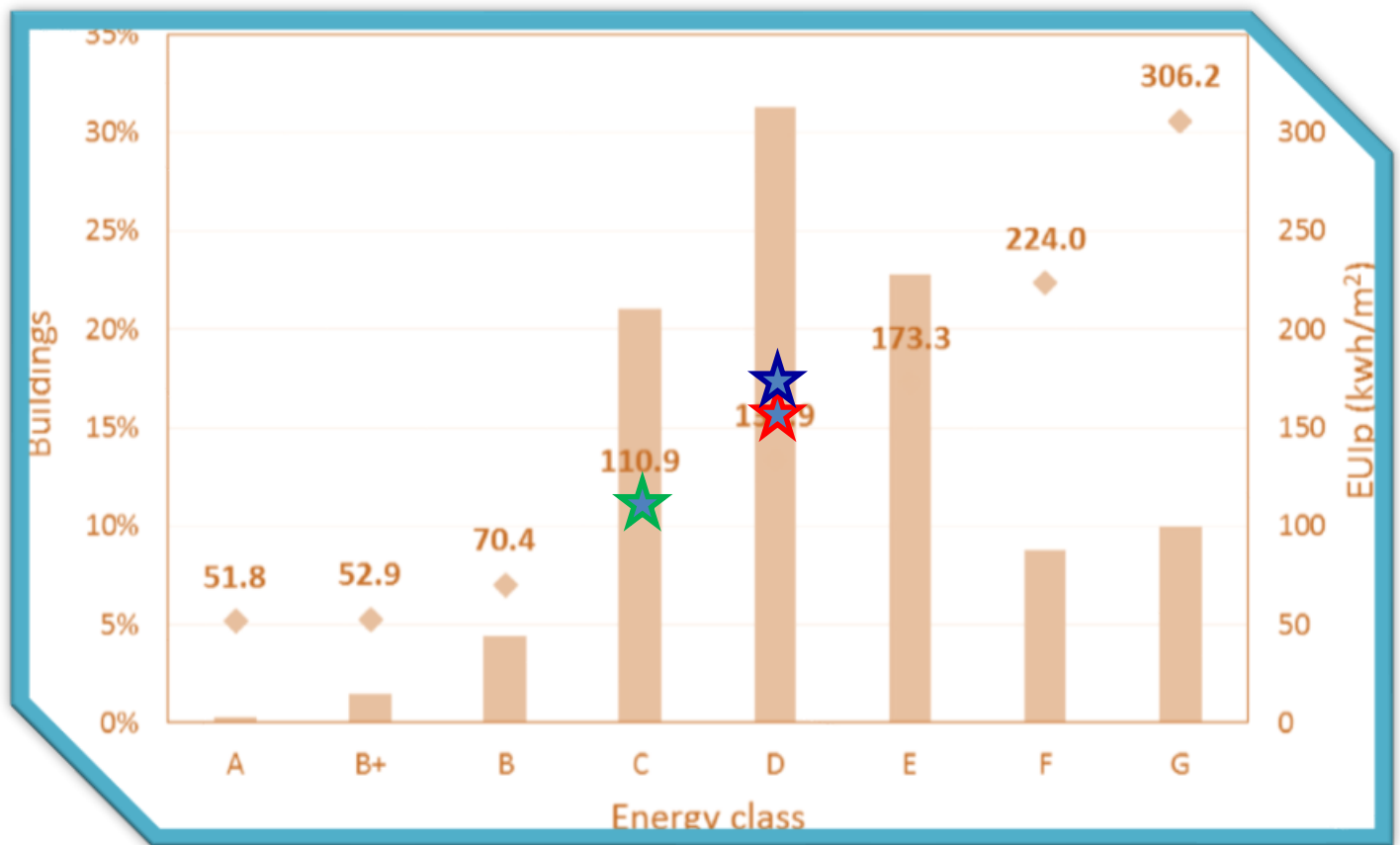
Σύμφωνα με τις παρεμβάσεις που αναφέρονται στο κεφάλαιο 5, το σχετικό κόστος στον παρακάτω πίνακα.




A/A	Παρέμβαση	Ποσότητα (τμχ) / Επιφάνεια (τ.μ.)	Κόστος €/τμχ ή μονάδα μέτρησης	Συνολικό κόστος €
1	Εγκατάσταση εξωτερικής θερμομόνωσης στη βορειοανατολική τοιχοποιία	266,86	48,39 €/m ²	12.913,36
2	Εγκατάσταση θερμομόνωσης στο δάμα	701,30	45 €/m ²	31.558,50
3	Αντικατάσταση εξωτερικών κουφωμάτων-υαλοστασίων με νέα αλουμινίου με θερμοδιακοπή & με διπλό ενεργειακό υαλοπίνακα	412,30	390 €/m ²	160.797,00
4	Εγκατάσταση υψηλής απόδοσης αντλιών θερμότητας	1	26.750,00 €	26.750,00
5	Εγκατάσταση μηχανικού αερισμού	20	1.613,00 €	32.260,00

14	Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος	38	892,00 €	33.896,00
ΑΘΡΟΙΣΜΑ				298.174,86
ΦΠΑ				71.561,97
ΣΥΝΟΛΟ				369.736,82

Συμπέρασμα:

- Η παρούσα ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου βάσει του ΠΕΑ είναι Δ'.
- Η ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου, μετά τις παρεμβάσεις, θα είναι Α+.
- Η εξοικονόμηση ενέργειας που θα επιτευχθεί με τις παρεμβάσεις, βάσει της έκθεσης του Ενεργειακού Ελέγχου είναι **117.682,98 kWh /23.536,59€**



- 7° – 10° Δημοτικό σχολείο 
- 6° Δημοτικό σχολείο 
- 3° Δημοτικό σχολείο 

Απόσβεση κόστους εγκατάστασης					
	ΤΙΜΗ kWh	3ο Δημοτικό σχολείο (kWh)	6ο Δημοτικό σχολείο (kWh)	7 ^ο – 10 ^ο Δημοτικό σχολείο (kWh)	
2024	0,15	46521,54	51836,58	117682,9	
2025	0,17	46521,54	51836,58	117682,9	
2026	0,18	46521,54	51836,58	117682,9	
2027	0,19	46521,54	51836,58	117682,9	
2028	0,19	46521,54	51836,58	117682,9	
2029	0,2	47532,00	52200,00	118555,0	
2030	0,18	48351,40	53330,00	119350,0	
2031	0,17	50300,00	54300,00	200000,0	
2032	0,18	52302,00	55000,00	201344,0	
2033	0,19	53500,00	56000,00	202345,0	
2034	0,15	55200,00	57200,00	203343,0	
2035	0,16	56300,00	58300,00	205535,0	
2036	0,17	57300,00	62000,00	206343,0	
2037	0,18	58200,00	64360,00	208545,0	
2038	0,19	59300,00	67000,00	209454,0	
2039	0,2	60200,00	70000,00	210433,0	
2040	0,21	61200,00	71200,00	211434,0	
2041	0,19	62000,00	72350,00	214345,0	
2042	0,18	63500,00	75000,00	213454,0	
2043	0,19	64000,00	76504,00	214454,0	
Κόστος Κατασκευής					

Απόσβεση κόστους εγκατάστασης			
3ο Δημοτικό σχολείο (€/kWh)	6ο Δημοτικό σχολείο (€/kWh)	7 ^ο – 10 ^ο Δημοτικό σχολείο (€/kWh)	ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑΣ(€)
6.978,23 €	7.775,49 €	17.652,45 €	1.500,00 €
7.908,66 €	8.812,22 €	20.006,11 €	1.500,00 €
8.373,88 €	9.330,58 €	21.182,94 €	1.500,00 €
8.839,09 €	9.848,95 €	22.359,77 €	1.500,00 €
8.839,09 €	9.848,95 €	22.359,77 €	1.500,00 €
9.506,40 €	10.440,00 €	23.711,00 €	4.000,00 €
8.703,25 €	9.599,40 €	21.483,00 €	1.500,00 €
8.551,00 €	9.231,00 €	34.000,00 €	1.500,00 €
9.414,36 €	9.900,00 €	36.241,92 €	1.500,00 €
10.165,00 €	10.640,00 €	38.445,55 €	1.500,00 €
8.280,00 €	8.580,00 €	30.501,45 €	1.500,00 €
9.008,00 €	9.328,00 €	32.885,60 €	4.000,00 €
9.741,00 €	10.540,00 €	35.078,31 €	1.500,00 €
10.476,00 €	11.584,80 €	37.538,10 €	1.500,00 €
11.267,00 €	12.730,00 €	39.796,26 €	1.500,00 €
12.040,00 €	14.000,00 €	42.086,60 €	1.500,00 €
12.852,00 €	14.952,00 €	44.401,14 €	1.500,00 €
11.780,00 €	13.746,50 €	40.725,55 €	4.000,00 €
11.430,00 €	13.500,00 €	38.421,72 €	1.500,00 €
12.160,00 €	14.535,76 €	40.746,26 €	1.500,00 €
184.543,00 €	163.719,00 €	298.174,86 €	

Τεχνοοικονομική ανάλυση για τις τρεις περιπτώσεις.

- 7^ο – 10^ο Δημοτικό σχολείο 10 χρόνια
- 6^ο Δημοτικό σχολείο 15 χρόνια
- 3^ο Δημοτικό σχολείο 18 χρόνια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΣΥΜΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η μέση ενεργειακή κατάταξη των σχολικών κτιρίων στην Ελλάδα είναι κατηγορίας Δ με μέση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας 158,9 kWh/m², με τη θέρμανση να είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, ακολουθούμενη από τον φωτισμό και την ψύξη.

Για τα κτίρια που κατασκευάστηκαν πριν από το 1980, η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας εκτιμάται σε 172,1 kWh/m², για τα κτίρια μεταξύ 1980-2010 σε 143,3 kWh/m² και για τα νέα κτίρια σε 123,9 kWh/m².

Όσον αφορά τις ενεργειακές τάξεις, το **4%** των σχολείων ανήκουν στην **Β' κλάση**, το **52%** στις **Γ' & Δ' κλάσεις** και το **42%** στην **Ε' κλάση** και κάτω. Ένα σχολείο κατατάσσεται στην κατηγορία Α, ενώ 5 σχολεία στην κατηγορία Β+.

Με την πάροδο των ετών, τα κτίρια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης (Ε και κάτω) έχουν μειωθεί σημαντικά κατά 50% για τα παλαιά κτίρια (πριν το 1980) και κατά 17% για τα κτίρια που κατασκευάστηκαν μέχρι το 2010, ενώ τα κτίρια με κλάση Β+ και άνω έχουν αυξηθεί στο 17%, λόγω ανακαινίσεων και νέων κατασκευών. Τα αποτελέσματα αυτά προέρχονται από 900 EPC που εκδόθηκαν για σχολεία μεταξύ 2011 και 2019. Το μέσο συνολικό εμβαδόν αυτών των κτιρίων είναι 1.591 m² και ο μέσος όγκος είναι 5.779 m³ (Balaras, et al., 2021).

Η ανακαίνιση των κτιρίων του Ελληνικού Σχολείου μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και να καλύψει τις μελλοντικές ανάγκες της κοινωνίας με άμεσο και αποτελεσματικό τρόπο. Η εφαρμογή ενεργειακών μέτρων μπορεί να μειώσει τις ενεργειακές απαιτήσεις των σχολείων καθώς και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Όπως φαίνεται στο Κεφάλαιο 5, η αναβάθμιση των δύο σχολικών κτιρίων έδωσε θετικά αποτελέσματα, όπως περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη. Αναπτύχθηκε μια στρατηγική με διαφορετικούς τύπους ανακαίνισης των υφιστάμενων κτιρίων, δηλαδή, μικρής, μεσαίας, μεγάλης και σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (ΥΠΕΝ, 2014). Όσον αφορά την ενεργειακή ταξινόμηση των σχολείων, τέτοιες ανακαινίσεις πρέπει να πραγματοποιηθούν προκειμένου να επιτευχθούν οι ενεργειακοί στόχοι που έχουν τεθεί για το 2030 και το 2050.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι η πλειονότητα των υφιστάμενων ελληνικών σχολείων έχει εγκαταλειφθεί χωρίς τη διεξαγωγή μέτρων αναβάθμισης για τη μείωση της ενεργειακής τους κατανάλωσης. Ωστόσο, με τις οδηγίες που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση, έχουν γίνει σημαντικά βήματα για την αναβάθμιση των υφιστάμενων σχολείων και τη μετατροπή τους σε ενεργειακά αποδοτικά σχολεία.

Επίσης, από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, τα προαναφερθέντα ερευνητικά ερωτήματα μπορούν να απαντηθούν ως εξής:

- Τελικές χρήσεις που επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση των σχολείων: θέρμανση, ψύξη, φωτισμός και συνεισφορά ΑΠΕ.
- Τα αρχιτεκτονικά σχέδια, οι προοπτικές των συστημάτων e/m, είναι απαραίτητα για έναν ενεργειακό έλεγχο.
- Η μόνωση, τα διπλά τζάμια, ο φωτισμός με led, τα φωτοβολταϊκά είναι μερικές από τις πιο σημαντικές παρεμβάσεις για την αναβάθμιση των σχολείων.
- Η περίοδος απόσβεσης για κτίριο <1980 είναι τουλάχιστον 30 χρόνια, λόγω του υψηλού κόστους του κελύφους.
- Μείωση των εκπομπών CO₂ kg/kWh (>80% για το παλιό σχολείο, 40-50% για το νεότερο).
- Σε νεότερο σχολείο αντικατάσταση φωτισμού & εγκατάσταση φωτοβολταϊκών αναβαθμίζουν σημαντικά την ενεργειακή απόδοση του σχολείου (B+<) με μικρή περίοδο απόσβεσης (≈ 8 έτη)

Σύμφωνα με την έρευνα που διεξήγαγε η, το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας που θα μπορούσε να επιτευχθεί εκτιμάται σε 72% σε σύγκριση με την ενέργεια που καταναλωνόταν πριν από οποιαδήποτε μέτρα μετασκευής. Το σχετικό κόστος της αναβάθμισης ανέρχεται σε 26 δισεκατομμύρια ευρώ, ωστόσο τα οφέλη που συνδέονται με την αναβάθμιση είναι απεριόριστα, καθώς το περιβάλλον θα καταστεί ουδέτερο από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη, πρόσθετα είναι τα κοινωνικά, οικονομικά και οι χιλιάδες θέσεις εργασίας που δημιουργούνται (ΥΠΕΝ, 2014).

Η έρευνα σε 342 ελληνικά σχολεία που διεξήχθη (Balaras, et al., 2021), έδειξε ότι μόνο το 4% των σχολείων αυτών συμμορφώνονται με την εποχή του KENAK και πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις, ενώ το 56% των

σχολείων ήταν παλιά κτίρια. Το υπόλοιπο 40% από αυτά τα οποία κατασκευάστηκαν κατά την περίοδο 1981-2010 και συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις του Ελληνικού Κανονισμού Θερμότητας Κτιρίων (Ε.Κ.Θ.Κ.), ωστόσο αυτό δεν είναι αρκετό.

Δυστυχώς, υπάρχει ένα τεράστιο χάσμα μεταξύ των σημερινών ενεργειακών απαιτήσεων και των εργασιών που πρέπει να γίνουν προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι του 2030 και του 2050. Ως εκ τούτου, μερικές συστάσεις που προέκυψαν από την παρούσα διατριβή είναι οι εξής:

- ✓ Εκτέλεση ενεργειακών ελέγχων στο υφιστάμενο κτιριακό απόθεμα των σχολείων για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης.
- ✓ Διεξαγωγή μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης σύμφωνα με το λογισμικό KENAK.
- ✓ Χρήση οικονομικά αποδοτικών μέτρων όπως η εξωτερική σκίαση που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας για την θέρμανση, την ψύξη και τον φωτισμό.
- ✓ Χρήση ΑΠΕ και ιδιαίτερα φωτοβολταϊκών πάνελ, καθώς η Ελλάδα θεωρείται χώρα με ηλιοφάνεια. Μαζί με τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορούν να εγκατασταθούν συστήματα μπαταριών για την εξοικονόμηση της πλεονάζουσας ενέργειας και τη χρήση της όταν οι καιρικές συνθήκες δεν επιτρέπουν την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας.
- ✓ Ευαισθητοποίηση και ενημέρωση των δημοτικών αρχών για το όφελος που θα έχουν.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abdelatia, B., Semidor, C. & Marenne, C., 2010. Daylight strategy for sustainable school: Case study of prototype classrooms in Libya. *Journal of Sustainable Development*, 3(3), pp. 66-78.
- Adeyeye, K., Oyedele, L. O., Akinade, O., Bilal, M., Owolabi, H. A., Ajayi, A. O., & Owolabi, N. A. (2020). Energy retrofitting practices in commercial buildings: Barriers to decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109593.
- Al-Kurdi, M., & Alrashed, F. (2018). The potential of energy retrofitting for reducing energy consumption in existing building stocks: A case study from Kuwait. *Sustainability*, 10(2), 2798.
- Arnette, A., 2013. Integrating rooftop solar into a multi-source energy planning optimization model. *Applied Energy*, Volume 111, pp. 456-467.
- Aydin, D. & Mihlaynlar, E., 2020. A CASE STUDY ON THE IMPACT OF BUILDING ENVELOPE ON ENERGY EFFICIENCY IN HIGH-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS. *Architecture Civil Engineering Environment*, 13(1), pp. 5-18.
- Aydin, D. & Mihlaynlar, E., 2020. A CASE STUDY ON THE IMPACT OF BUILDING ENVELOPE ON ENERGY EFFICIENCY IN HIGH-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS. *Architecture Civil Engineering Environment*, 13(1), pp. 5-18.
- Balaras, C. et al., 2021. Unveiling the existing condition and energy use in Hellenic school buildings. *Energy & Buildings*, Volume 247, pp. 1-12.
- Balaras, C. et al., 2021. Unveiling the existing condition and energy use in Hellenic school buildings. *Energy & Buildings*, Volume 247, pp. 1-12.
- Benoussaad, M., Belarbi, R., & Zerouh, M. (2020). Evaluation of energy retrofit strategies in residential buildings in Mediterranean climate: A case study in Morocco. *Energy and Buildings*, 226, 110341.
- Berardi, U., Manca, M., Casaldaliga, P. & Aguilera, F., 2017. *From high-*

energy demands to nZEB: the retrofit of a school in Catalonia, Spain. Matera, AiCARR 50th International Congress; Beyond NZEB Buildings.

- Binkley, D. et al., 2013. Electricity purchase agreements and distributed energy policies for anaerobic digesters. *Energy Policy*, Volume 53, pp. 341-352.
- bosscontrols, 2021. *8 benefits of Building Energy Management Systems (BEMS)*. [Online]
Available at: <https://bosscontrols.co.uk/benefits-of-building-energy-management-systems-bms/>
[Accessed 05 03 2021].
- BPIE, 2011. *Europe's Building Under the Microscope*, s.l.: s.n.
Brundtland, H., 1987. *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*, s.l.: United Nations .
CLCT, 2014. *Lighting retrofit strategies for California schools*, California: Univeristy of California.
- Brundtland, H., 1987. *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*, s.l.: United Nations .
- Cho, Y. J., & Lee, J. H. (2019). Economic feasibility of an energy retrofit on a commercial building – Case study in South Korea. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 8(2), 238-248.
- CLCT, 2014. *Lighting retrofit strategies for California schools*, California: Univeristy of California.
- Dall'O, G., Bruni, E. & Panza, A., 2013. Improvement of the sustainability of existing school building according to the leadership in energy and environmental design (LEED) Protocol: A case study in Italy. *Energies*, 6(12), pp. 6487-6507.
- Dascalaki, G. & Sermpetzoglou, G., 2011. Energy performance and indoor environmental quality in Hellenic Schools. *Energy Buildings*, Volume 43, pp. 718-727.
dial.de, 2021. *DIALux*. [Online]
Available at: <https://www.dial.de/en/dialux/>
[Accessed 02 06 2021].
- Densley Tingley, D. Hathway, A. Davison, B. (2015) An environmental impact comparison of external wall insulation types. *Build. Environ.* 85, 182–189.
Hill, C. Norton, A. Dibdiakova, J. (2018) A comparison of the environmental impacts of different categories of insulation materials. *Energy Build.* 162, 12–20

- Ditsas, M. & Dogas, A., 2008. *Diagnostic tests for the recording and evaluation of the energy behavior of the 13th primary school of Kozani..* Kozani: s.n.
- Dubois, M., Bisegna, F., Gentile, N. & Knoop, M., 2015. Retrofitting the Electric Lighting and Daylighting Systems to Reduce Energy Use in Buildings: A Literature Review. *Energy Research Journal* , 6(1), pp. 1-18.
- EC, 2017. *Buildings under the EED*, s.l.: EU
- EEA, 2009. *The EU climate and energy (CARE) Package* , Brussels : EU.
- EIA, 2020. *Use of energy explained : Energy efficiency and conservation.* [Online]
 Available at: <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/efficiency-and-conservation.php>
 [Accessed 24 02 2021].
- energysage.com, 2021. *Monocrystalline solar panels and polycrystalline solar panels: it's all about the cells.* [Online]
 Available at: <https://www.energysage.com/solar/101/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>
 [Accessed 02 05 2021].
- ESMAP, 2016. *City Energy Efficiency Transformation Initiative.* [Online]
 Available at: <https://www.esmap.org/node/3042>
 [Accessed 23 02 2021].
- EU, 2020. *'TILOS' Technology Innovation for the Local Scale, Optimum Integration of Battery Energy Storage*, s.l.: EU- Horizon 2020.
- EU, 2021. *2030 climate & energy framework*, Brussels: EU.
- European Commission, 2019. *Energy performance of buildings directive.* [Online]
 Available at: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en#facts-and-figures
 [Accessed 25 02 2021].
- European Commission, 2020. *In focus: Energy efficiency in buildings.* [Online]
 Available at: https://ec.europa.eu/info/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-feb-17_en
 [Accessed 24 02 2021].
- European Commission, 2017. *Good Practice in Energy Efficiency. For a sustainable, safer and more competitive Europe* , Brussels : European Commission .
- European Union, 2012. *The EDUCARUE Method - for the school of the future*

, Potenza: EU.

- Government Gazette, 2010. *Series II, No 407/2010, approval of the Regulation on the energy efficiency of buildings.*, s.l.: Hellenic Government.
- Green, D., 2012. *Advantages and disadvantages of Solar Photovoltaic – Quick Pros and Cons of Solar PV.* [Online]
 Available at: <https://www.renewableenergyworld.com/storage/advantages-and-disadvantages-of-solar-photovoltaic-quick-pros-and-cons-of-solar-pv/#gref>
 [Accessed 08 03 2021].
- Hua, L.S. Chen, L.W. Geng, B.J. Kristak, L. Antov, P. Pędzik, M. Rogoziński, T. Taghiyari, H.R. Lubis, M.A.R. Fatriasari, W. (2022) Particleboard from agricultural biomass and recycled wood waste: A review. *J. Mater. Sci. Technol.* 20, 4630–4658.
- Takano, A. Pal, S.K. Kuitinen, M. Alanne, K. Hughes, M. Winter, S. (2015) The effect of material selection on life cycle energy balance: A case study on a hypothetical building model in Finland. *Build. Environ.* 89, 192–202.
- Kain, G. Tudor, E.M. Barbu, M.C. (2020) Bark Thermal Insulation Panels: An Explorative Study on the Effects of Bark Species. *Polymers*, 12, 2140.
- Katsaprakakis, D. & Zidianakis, G., 2017. Upgrading Energy Efficiency For School Buildings In Greece. *Procedia Environmental Sciences*, Volume 38, pp. 248-255.
- KENAK, 2017. *National Regulation on the Energy Performance of Buildings*, Athens: TCG.
- Kristak, L. Ruziak, I. Tudor, E.M. Barbu, M.C. Kain, G. Reh, R. (2021) Thermophysical Properties of Larch Bark Composite Panels. *Polymers* , 13, 2287.
- Lepetit, M., 2015. *A €120bn investment programme for the European Union’s three-year Juncker Plan.* [Online]
 Available at: <http://www.cepii.fr/Blog/en/post.asp?IDcommuniqu=425>
 [Accessed 25 02 2021].
- Matusiak, B. & Pracki, P., 2005. *Sustainable Lighting design in school buildings.* Warsaw: s.n.

- Mohsen, A. & Moustafa, M., 2016. Sustainability of higher educational buildings. Retrofitting approach to improve energy performance and mitigate CO2 emissions in hot climates. *Renewable Energy Environmental Sustainability*, 28(1), pp. 1-8.
- Nasrollahi, F., 2009. *Climate and Energy Responsive Housing in Continental Climates: The Suitability of Passive Houses for Iran's Dry and Cold Climate*, Berlin : Berlin University of Technology.
- Ninikas, K. Ntalos, G. Hytiris, N. Skarvelis, M. (2019) Thermal Properties of Insulation Boards Made of Tree Bark & Hemp Residues. *J. Sustain. Archit. Civ. Eng.* 24, 71–77.
- Paukštys, V. Cinelis, G. Mockienė, J. Daukšys, M. (2021) Airtightness and Heat Energy Loss of Mid-Size Terraced Houses Built of Different Construction Materials. *Energies* , 14, 6367.
- Rijal, H.B. Yoshida, K. Humphreys, M.A. Nicol, J.F. (2021) Development of an adaptive thermal comfort model for energy-saving building design in Japan. *Archit. Sci. Rev.* 64, 109–122.
- Ryu, J. Kim, J. Hong, W. de Dear, R. (2020) Defining the thermal sensitivity (Griffiths constant) of building occupants in the Korean residential context. *Energy Build.* 208, 109648.
- Sarbu, C. & Pacurar, I., 2015. Experimental and numerical research to assess indoor environment quality and schoolwork performance in university classrooms. *Building Environment*, Volume 93, pp. 141-154.
- Solar Schools, 2020. *What is renewable energy?*. [Online] Available at: <https://www.solarschools.net/knowledge-bank/renewable-energy> [Accessed 08 03 2021].
- Stylianos Labropoulos: The evolution of the construction sector(2020)
- tiloshorizon.eu, 2021. *About Us*. [Online] Available at: <https://www.tiloshorizon.eu/about-us.html> [Accessed 04 06 2021].
- Tombarević E, Vušanović I, Šekularac M. (2023) The Impact of Windows Replacement on Airtightness and Energy Consumption of a Single Apartment

in a Multi-Family Residential Building in Montenegro: A Case Study. *Energies*. 16(5):2208.

- Tsagarasoulis, A., 2020. *Energy Upgrade of School Buildings*. Volos: University of Thessaly .
- UN Environment, 2017. *Accelerating the Global Adoption of ENERGY-EFFICIENT LIGHTING*, s.l.: United Nations .
- Tsilingiris, P. T. (2019). A holistic approach towards zero-energy retrofitting of existing buildings—A case study for the M3 building of the School of Civil Engineering of National Technical University of Athens. *Applied Energy*, 238, 735-747.
- Voudoubas, J., 2016. Creations of zero CO2 emissions school buildings due to energy use in Crete - Greece. *OpenJournal of Energy Efficiency*, Volume 5, pp. 12-18.
- Vourna, P., 2019. *Evaluation of energy upgrade of a Public Building*. Patra: OPU.
- Wu, Z. Li, N. Wargocki, P. Peng, J. Li, J. Cui, H. (2019) Adaptive thermal comfort in naturally ventilated dormitory buildings in Changsha, China. *Energy Build.*, 186, 56–70
- Zhang, X. Lv, J. Dawuda, M.M. Xie, J. Yu, J. Gan, Y. Zhang, J. Tang, Z. Li, J. (2019) Innovative passive heat-storage walls improve thermal performance and energy efficiency in Chinese solar greenhouses for non-arable lands. *Sol. Energy*, 190, 561–575.
- Zanni, D. et al., 2015. The energy improvement of school buildings: analysis and proposals for action. *Energy Procedia*, Volume 82, pp. 526-532.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον