



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ

Ταμείο Συνοχής



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΝΟΜΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ
ΔΗΜΟΣ ΜΙΝΩΑ ΠΕΔΙΑΔΑΣ
Δ/ση Τεχνικών Υπηρεσιών



α.μ. 74/2013

**Πράξη: «Πρότυπο Επιδεικτικό Έργο Εφαρμογής Ανανεώσιμων Πηγών
Ενέργειας και Εξοικονόμησης Ενέργειας στο ΕΠΑΛ Αρκαλοχωρίου του
Δήμου Μινώα Πεδιάδας»**

4^ο Υποέργο: Έργο ενεργειακής αναβάθμισης

προϋπολογισμός 160.230,00€



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΝΟΜΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ
ΔΗΜΟΣ ΜΙΝΩΑ ΠΕΔΙΑΔΑΣ
Δ/ΝΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

ΠΡΑΞΗ: «Πρότυπο Επιδεικτικό Έργο
Εφαρμογής Ανανεώσιμων
Πηγών Ενέργειας και
Εξοικονόμησης Ενέργειας στο
ΕΠΑΛ Αρκαλοχωρίου του
Δήμου Μινώα Πεδιάδας»

4^ο ΥΠΟΕΡΓΟ: Έργο ενεργειακής
αναβάθμισης

Προϋπολογισμός & ΦΠΑ: 160.230,00€

Χρηματοδότηση: Ε.Π. «Περιβάλλον & Αειφόρος
Ανάπτυξη»

Κωδ. πράξης 352498

ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	4
1.1. Σύντομη περιγραφή υφιστάμενης κατάστασης	4
1.2. Σύνοψη προτεινόμενων παρεμβάσεων βάσει ενεργειακής επιθεώρησης	4
2. Το δυναμικό Α.Π.Ε.....	7
2.1. Ηλιακή ακτινοβολία	7
2.2. Αιολικό δυναμικό.....	8
3. Το προτεινόμενο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε.	12
3.1. Γενική περιγραφή του συστήματος	12
3.2. Ο προτεινόμενος εξοπλισμός	13
3.2.1. Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο	13
3.2.2. Βάση εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλαισίων	13
3.2.3. Ο μετατροπέας.....	13
3.3. Διαστασιολόγηση συστήματος – Ενεργειακοί υπολογισμοί	14
4. Κλιματισμός κτηρίου	16
4.1. Υπολογισμός θερμικών φορτίων	16
4.1.1. Υλικά κατασκευής κτηριακού κελύφους	16
4.1.2. Κατασκευή του μοντέλου του κτηρίου.....	17
4.1.3. Καθορισμός παραμέτρων προσομοίωσης.....	18
4.1.4. Αποτελέσματα	20
4.2. Προτεινόμενες παρεμβάσεις κλιματισμού	24
4.2.1. Παρεμβάσεις στα ενεργητικά συστήματα θέρμανσης χώρων.....	24
4.2.2. Περιγραφή ενεργητικού συστήματος θέρμανσης.....	25
4.2.3. Προτεινόμενος εξοπλισμός.....	27
4.2.4. Διαστασιολόγηση συστήματος.....	28
4.2.5. Παρεμβάσεις ψύξης	32
4.2.6. Ενεργειακοί υπολογισμοί	34
4.2.7. Ηλιακό πεδίο για παραγωγή ΖΝΧ.....	35
4.2.8. Παρεμβάσεις στο κτηριακό κέλυφος	37
5. Άλλες παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας	39
5.1. Αντικατάσταση προβολέων εξωτερικών χώρων	39
5.2. Σύνοψη αποτελεσμάτων παραγωγής από Α.Π.Ε. και εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας	41
6. Το σύστημα εποπτείας και ελέγχου	42
7. Σύνοψη ενεργειακών – οικονομικών δεικτών προτεινόμενων παρεμβάσεων.....	45
8. Συμπεράσματα	47
9. Βιβλιογραφία.....	48

1. Εισαγωγή

1.1. Σύντομη περιγραφή υφιστάμενης κατάστασης

Το Τεχνικό – Επαγγελματικό Λύκειο Αρκαλοχωρίου βρίσκεται στο βόρειο – βορειοανατολικό άκρο του Αρκαλοχωρίου, σε απόσταση περίπου 600m από το σημερινό πλησιέστερο άκρο του οικισμού. Οι συντεταγμένες του κτηρίου, όπως παρέχονται από το λογισμικό Google Earth είναι 35°09'20'', 25°16'08''.

Το κτήριο κατασκευάστηκε το 1999 και λειτουργεί από το ακαδημαϊκό έτος 2000 – 01. Οι ενεργειακές καταναλώσεις του συνίστανται σε:

- **Ηλεκτρική ενέργεια**, με ετήσια κατανάλωση την ακαδημαϊκή χρονιά 2009 – 10 που ανήλθε σε **23.351kWh**.
- **Ντίζελ θέρμανσης**, με ετήσια κατανάλωση για την ακαδημαϊκή χρονιά 2008 – 09 που ανήλθε σε **4.500lt**. Σημειώνεται ότι επιλέγεται η ακαδημαϊκή χρονιά 2008 – 09 για την καταγραφή της ετήσιας κατανάλωσης ντίζελ θέρμανσης, ως περισσότερο αντιπροσωπευτική, δεδομένου του ιδιαίτερα ήπιου χειμώνα 2009 – 10 που καταγράφηκε στην Κρήτη. Το ντίζελ θέρμανσης στο Επαγγελματικό Λύκειο Αρκαλοχωρίου καταναλώνεται αποκλειστικά για θέρμανση χώρων. Το σύστημα θέρμανσης αποτελείται από κεντρικό καυστήρα θέρμανσης, με δισωλήνιο σύστημα σωληνώσεων. Ο καυστήρας ντίζελ εγκαταστάθηκε το 1999 και έχει ονομαστική ισχύ 200.000kcal/h.

Στο εξεταζόμενο σχολικό κτηριακό συγκρότημα δεν αξιοποιείται καμία μορφή Ανανεώσιμης Πηγής Ενέργειας (Α.Π.Ε.).

1.2. Σύνοψη προτεινόμενων παρεμβάσεων βάσει ενεργειακής επιθεώρησης

Με βάση τη διεξαχθείσα ενεργειακή επιθεώρηση το κτήριο κατατάσσεται στην ενεργειακή κατηγορία Γ. Αναλυτικότερα:

- Κτηριακό κέλυφος

Το κτηριακό κέλυφος είναι μονωμένο και στεγανοποιημένο, βάσει της μελέτης θερμομόνωσης, τόσο όσον αφορά την τοιχοποιία του όσο και το δώμα. Εντούτοις αναφέρθηκαν κάποιες εισροές υγρασίας από το δώμα. Το 2007 και 2009 έγιναν συμπληρωματικές παρεμβάσεις στεγανοποίησης δώματος. Εν αναμονή των αποτελεσμάτων των τελευταίων παρεμβάσεων, δεν προτείνεται κάποια παρέμβαση.

- Ανοίγματα

Τα παράθυρα του εξεταζόμενου σχολικού κτηρίου φέρουν διπλό υαλοπίνακα, με αέρα ενδιάμεσα πάχους 6mm.

Αναφέρθηκαν προβλήματα στεγανοποίησης των υφιστάμενων ανοιγμάτων (παραθύρων). Σε πολλές περιπτώσεις καταγράφηκαν εισροές υδάτων από τα παράθυρα του σχολείου κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων. Προτείνεται η στεγανοποίηση των αρμών των υφιστάμενων ανοιγμάτων του κτηριακού κελύφους (παράθυρα και πόρτες).

Η ύπαρξη εσωτερικών κουρτινών εξασφαλίζει τη μείωση των θερμικών φορτίων κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, κατά τους οποίους το σχολείο λειτουργεί και υπάρχει ανάγκη σκίασης των εσωτερικών χώρων (Σεπτέμβρης, Μάιος, Ιούνιος). Δεν προτείνεται κάποια παρέμβαση σκίασης.

- Σύστημα θέρμανσης

Το σύστημα κεντρικής θέρμανσης λειτουργεί πολλές ώρες ημερησίως και για τέσσερις-πέντε μήνες ετησίως. Επιπλέον ο καυστήρας και ο λέβητας του συστήματος έχουν ήδη δεκαετή διάρκεια ζωής, άρα πιθανότατα να εμφανίζουν μειωμένη απόδοση.

Η υψηλή διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στην περιοχή μελέτης, σε συνδυασμό με τη διαθεσιμότητα ελεύθερων επιφανειών στα δώματα του κτηρίου, δημιουργούν τις προϋποθέσεις για την εγκατάσταση πεδίου ηλιακών θερμικών συλλεκτών για τη θέρμανση του σχολικού κτηρίου. Η θέρμανση των κλιματιζόμενων χώρων μπορεί να γίνει με χρήση του υφιστάμενου δικτύου σωληνώσεων κεντρικής θέρμανσης και των υφιστάμενων θερμαντικών σωμάτων.

Το προτεινόμενο σύστημα θέρμανσης μέσω ηλιακών συλλεκτών θα συμπληρώνει τον καυστήρα κεντρικής θέρμανσης, προθερμαίνοντας το νερό μέχρι θερμοκρασίες της τάξης των 50°C. Προτείνεται η αντικατάσταση του υφιστάμενου καυστήρα με καυστήρα βιομάζας, με συστήματα αυτανάφλεξης και αυτοτροφοδοσίας, με καύσιμο πυρηνόξυλο ελιάς, το οποίο διατίθεται εν αφθονία στην ευρύτερη περιοχή στην οποία βρίσκεται το μελετούμενο σχολικό κτήριο.

Για τη βελτίωση της λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης προτείνονται επίσης:

α. η εγκατάσταση πίνακα αυτονομίας ενός κυκλώματος, σε συνδυασμό με ψηφιακό θερμοστάτη και ηλεκτροβάννα, προκειμένου να δοθεί η δυνατότητα πλήρους ελέγχου της λειτουργίας του καυστήρα μέσω του θερμοστάτη χώρου

β. η εγκατάσταση συστήματος αντιστάθμισης, με σκοπό την ανάμειξη του νερού επιστροφής από τα θερμαντικά σώματα με αυτό του καυστήρα, προκειμένου να επιτευχθεί εξοικονόμηση καυσίμου για θέρμανση χώρου.

Το σύστημα θα πρέπει να εφοδιαστεί με θερμοδομετρητές για την καταμέτρηση της παραγόμενης θερμικής ενέργειας από τους ηλιακούς συλλέκτες και τον καυστήρα βιομάζας.

- Ψύξη κτηρίου

Δεν προτείνεται η εγκατάσταση κάποιου συστήματος κεντρικής ψύξης του κτηρίου βασιζόμενο σε κάποια μορφή Α.Π.Ε., όπως η γεωθερμία ή ο ηλιακός κλιματισμός, για τους ακόλουθους λόγους:

i η θέση του σχολικού κτηρίου σε επαρχιακή, ημιορεινή περιοχή, με όχι ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες

ii η ύπαρξη θερμομόνωσης του κτηριακού κελύφους και διπλών υαλοπινάκων

iii η περιορισμένη λειτουργία του κτηρίου κατά τους θερινούς μήνες

iv η συχνή πνοή βορειοδυτικών ανέμων (μελεμιών) κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, που διατηρούν τη θερμοκρασία σε χαμηλά επίπεδα.

Η ψύξη στα γραφεία του σχολικού κτηρίου επιτυγχάνεται με δύο αυτόνομες κλιματιστικές μονάδες ψυκτικής ισχύος 9.000Btu/h.

Προτείνεται η εγκατάσταση ανεμιστήρων οροφής σε κάθε αίθουσα διδασκαλίας και στα γραφεία καθηγητών, μέσω των οποίων θα εξασφαλίζεται τεχνητός υβριδικός δροσισμός σε περιπτώσεις εμφάνισης υψηλών θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους.

- Ηλεκτροική ενέργεια

Η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς στο κτήριο καταγράφεται αρκετά υψηλή, λόγω του τύπου του σχολείου, ο οποίος επιβάλλει την εγκατάσταση πρόσθετων ηλεκτρικών συσκευών στα εργαστήρια.

Η υψηλή διαθεσιμότητα ηλιακής ακτινοβολίας στην Κρήτη δημιουργεί τις προϋποθέσεις για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στοιχείων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τη διάθεσή της στο δίκτυο του νησιού.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να μπουν στο δώμα του κτηρίου.

Το σύστημα θα συμπληρωθεί από κατάλληλα συστήματα ελέγχου, ρύθμισης και εποπτείας της λειτουργίας του συστήματος. Επίσης θα εγκατασταθεί μετρητής για τη μέτρηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

- Παρεμβάσεις εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας

Προτείνεται η αντικατάσταση των προβολέων υδραργύρου στον αύλειο χώρο με προβολείς LED.

2. Το δυναμικό Α.Π.Ε.

2.1. Ηλιακή ακτινοβολία

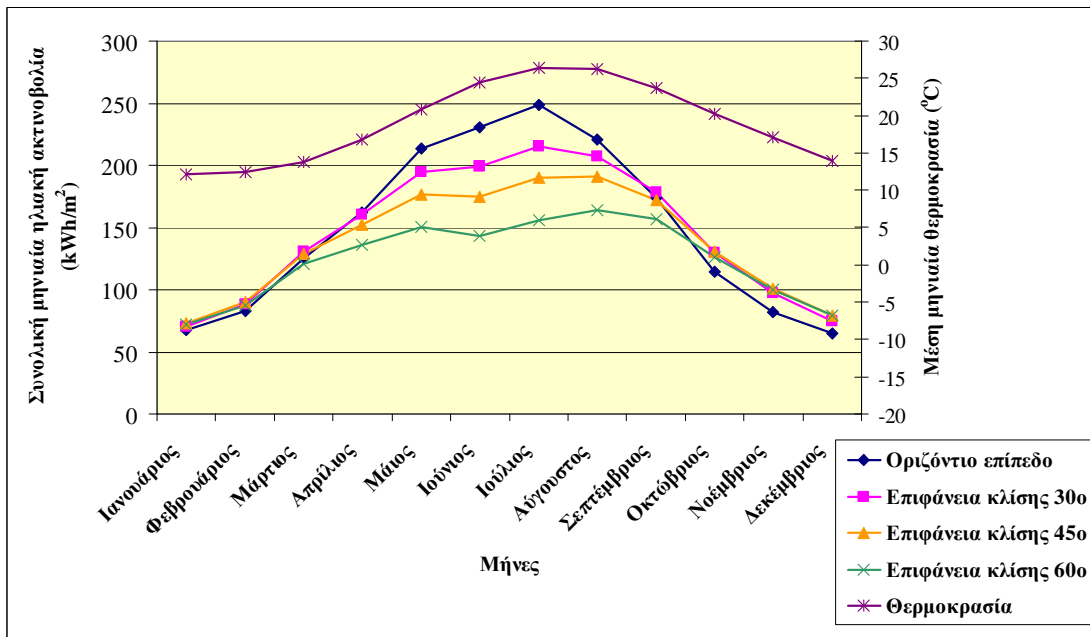
Μέσες μηνιαίες μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας υπάρχουν διαθέσιμες από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) για το νομό Ηρακλείου (συντεταγμένες σταθμού 35°20', 25°11'). Οι μετρήσεις αυτές είναι διαθέσιμες στην επίσημη ιστοσελίδα του Κ.Α.Π.Ε. [1] και χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση:

- της δυνάμενης να παραχθεί ηλεκτρικής ισχύος από φωτοβολταϊκό πάρκο
- της δυνάμενης να παραχθεί θερμικής ισχύος από ηλιακούς συλλέκτες

στο Αρκαλοχώρι. Οι μετρήσεις αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Μήνας	Ωρες ηλιοφάνειας	Μέση θερμοκρασία αέρα (°C)	Ποικνότητα ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο (kWh/m ² .μήνα)	Ποικνότητα ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια κλίσης 30° (kWh/m ² .μήνα)	Ποικνότητα ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια κλίσης 45° (kWh/m ² .μήνα)	Ποικνότητα ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια κλίσης 60° (kWh/m ² .μήνα)
Ιανουάριος	108,8	12,2	67	70	73	72
Φεβρουάριος	128,4	12,5	83	88	90	87
Μάρτιος	170,3	13,8	125	131	129	121
Απρίλιος	234,5	16,8	162	160	152	136
Μάιος	314,3	20,8	214	195	177	150
Ιούνιος	353,3	24,4	230	199	175	143
Ιούλιος	384,7	26,4	249	215	190	156
Αύγουστος	356,7	26,3	221	207	191	164
Σεπτέμβριος	285,2	23,7	174	178	172	157
Οκτώβριος	197,2	20,3	114	130	131	126
Νοέμβριος	161,5	17,1	82	97	101	100
Δεκέμβριος	121,1	13,9	65	75	79	79
Σύνολα / Μέσες τιμές	2.816,0	19,0	149	145	138	124

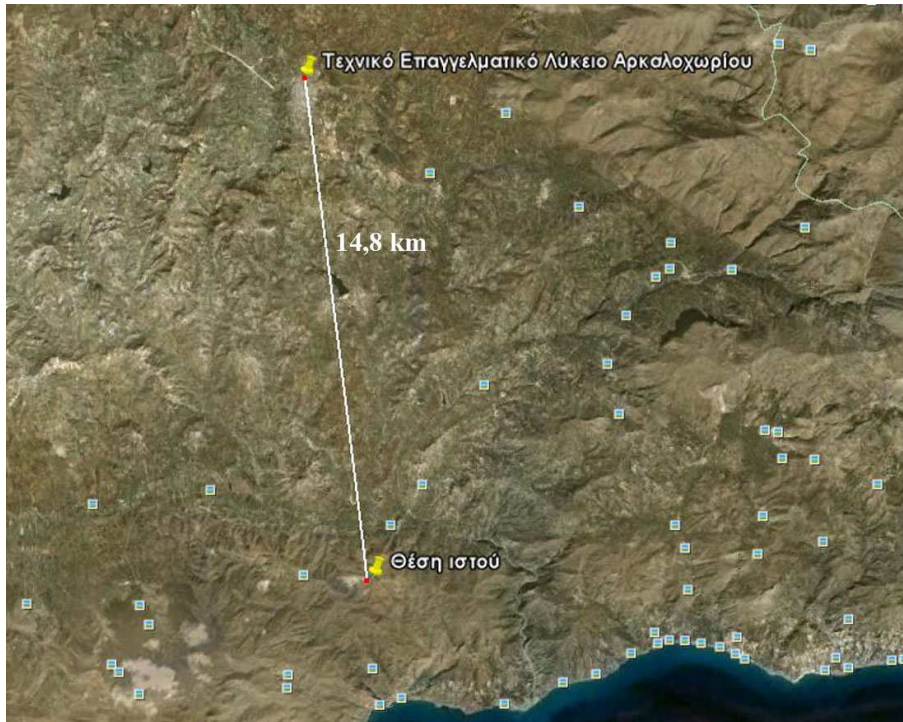
Τα στοιχεία του πίνακα 1 παρουσιάζονται γραφικά στο σχήμα 1.



Σχήμα 1: Συνολική μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία και μέση μηνιαία θερμοκρασία για το Νομό Ηρακλείου.

2.2. Αιολικό δυναμικό

Για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού στο Αρκαλοχώρι χρησιμοποιήθηκαν ετήσιες μετρήσεις ταχύτητας ανέμου που διατίθενται από το Δήμο Μινώα Πεδιάδος σε θέση επί της οροσειράς των Αστερουσίων, νότια του Αρκαλοχωρίου, με συντεταγμένες 35°1'7", 25°16'56" (σε ΕΓΣΑ '87: Χ=616833,63 Υ=3875540,39). Η θέση του ιστού λήψης ανεμολογικών μετρήσεων απέχει από τη θέση του υπό μελέτη σχολείου 14,8km. Η λήψη και η επεξεργασία των μετρήσεων έγιναν από το Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας Τ.Ε.Ι. Κρήτης, το οποίο έχει πιστοποιηθεί σύμφωνα με το ISO 17025:2005. Η θέση εγκατάστασης του ιστού και η απόστασή της από το Επαγγελματικό Λύκειο Αρκαλοχωρίου, παρουσιάζονται στο χάρτη 1.

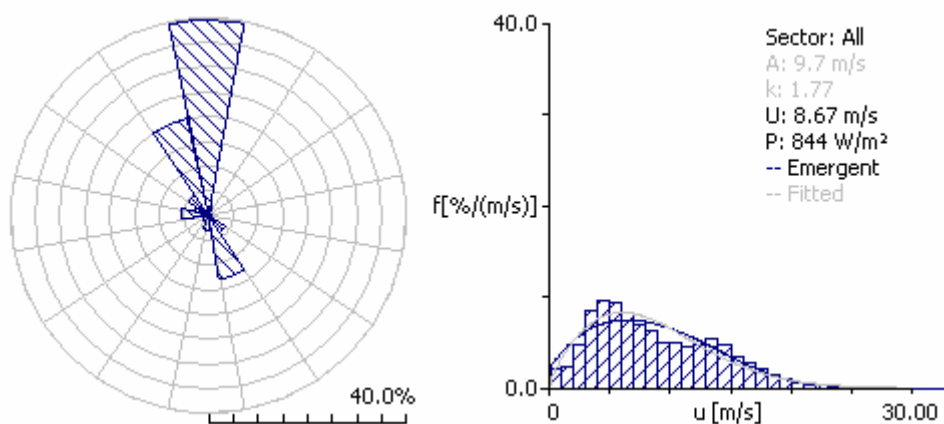


Χάρτης 1: Θέση ιστού λήψης ανεμολογικών μετρήσεων ως προς το Αρκαλοχώρι.

Χαρακτηριστικά στοιχεία των μετρήσεων αιολικού δυναμικού που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

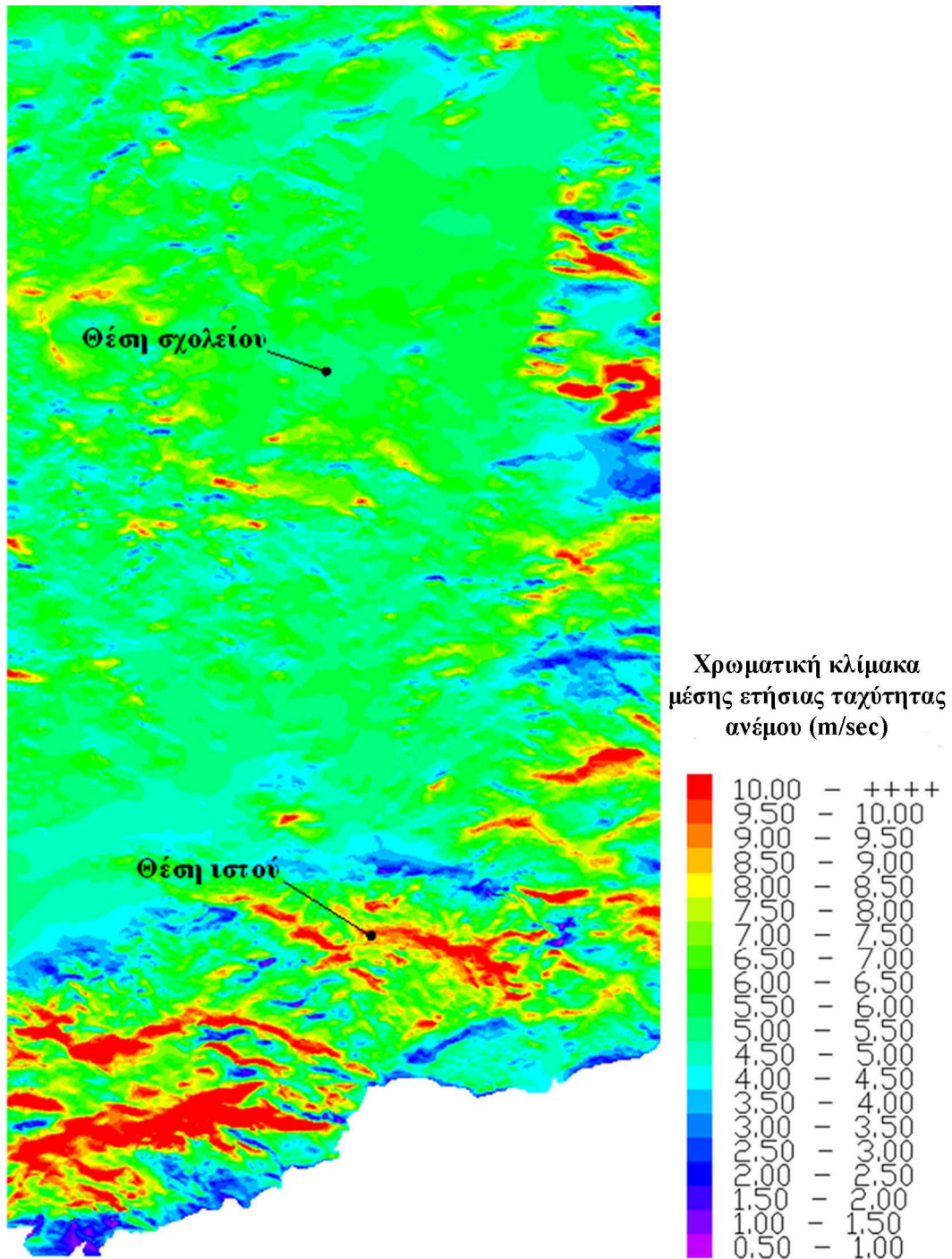
Πίνακας 2: Στοιχεία αιολικού δυναμικού βάσει των διαθέσιμων μετρήσεων στο Δήμο Μινώα Πεδιάδος, στη θέση εγκατάστασης του ιστού ανεμολογικών μετρήσεων.	
Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου (m/sec)	8,67
Παράμετρος C κατανομής Weibull (m/sec)	9,70
Παράμετρος k κατανομής Weibull	1,77
Πυκνότητα αιολικής ισχύος (W/m ²)	844

Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται το ροδόγραμμα και η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας της ταχύτητας ανέμου στη θέση λήψης μετρήσεων από τον ανεμολογικό ιστό.



Σχήμα 2: Ροδόγραμμα ανέμου και κατανομή πυκνότητας πιθανότητας Weibull για τη θέση εγκατάστασης του ιστού ανεμολογικών μετρήσεων στο Δήμο Μινώα Πεδιάδος.

Στο χάρτη 2 παρουσιάζεται ο χάρτης αιολικού δυναμικού μέρους του Δήμου Μινώα Πεδιάδας, όπως αναπτύχθηκε βάσει των διαθέσιμων μετρήσεων με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (Wasp 9.0). Στον ίδιο χάρτη παρουσιάζεται η θέση εγκατάστασης του ιστού λήψης ανεμολογικών μετρήσεων. Από τα παρουσιαζόμενα στοιχεία αιολικού δυναμικού είναι προφανές το υψηλό αιολικό δυναμικό που χαρακτηρίζει μια σειρά από θέσεις στο Δήμο Μινώα Πεδιάδας. Οι κύριες διευθύνσεις ανέμου είναι βόρειες – βορειοδυτικές.



Χάρτης 2: Χάρτης αιολικού δυναμικού μέρους της γεωγραφικής έκτασης του Δήμου Μινώα Πεδιάδος με σημειωμένες τις θέσεις εγκατάστασης του ιστού ανεμολογικών μετρήσεων και του σχολικού κτηρίου, σε τρισδιάστατη απεικόνιση.

Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται οι βασικές παράμετροι αιολικού δυναμικού στη θέση του Επαγγελματικού Λυκείου Αρκαλοχωρίου, όπως τελικά υπολογίστηκαν με βάση την ανάπτυξη του αιολικού χάρτη για την περιοχή του Δήμου Μινώα Πεδιάδας.

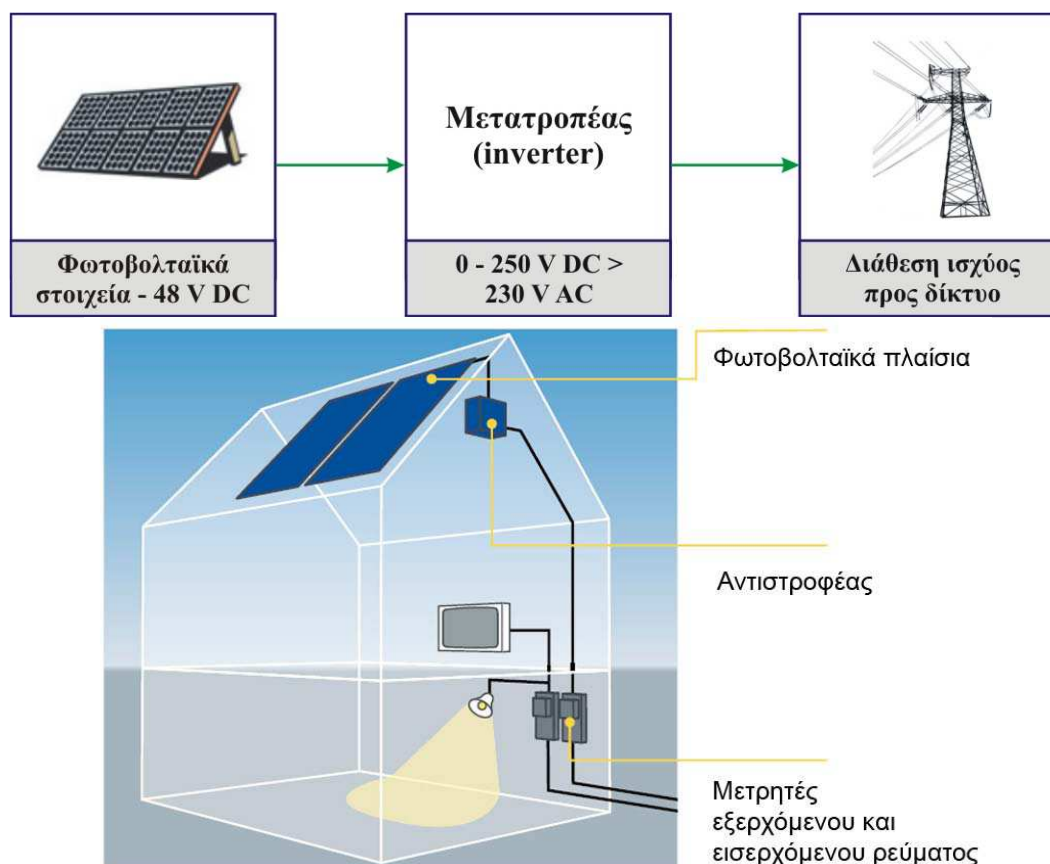
Πίνακας 3: Στοιχεία αιολικού δυναμικού στη θέση του Επαγγελματικού Λυκείου Αρκαλοχωρίου.

Μήνας	Μέση ταχύτητα ανέμου (m/sec)	Κύρια διεύθυνση πνοής ανέμου	Παράμετρος C κατανομής Weibull (m/sec)	Παράμετρος k κατανομής Weibull
Ιανουάριος	4,79	B – NA – NNA	5,28	1,80
Φεβρουάριος	4,77	B – BBΔ	5,58	2,02
Μάρτιος	3,88	B – BBΔ	4,64	2,06
Απρίλιος	4,39	B – NNA	4,97	2,40
Μάιος	4,91	B – BBΔ – NNA	5,46	1,98
Ιούνιος	5,49	B – BBΔ	6,20	1,98
Ιούλιος	7,55	B – BBΔ	8,23	2,80
Αύγουστος	6,85	B – BBΔ	7,52	2,85
Σεπτέμβριος	4,68	B – BBΔ	5,08	1,94
Οκτώβριος	5,87	B – BBΔ	6,61	1,85
Νοέμβριος	4,44	B – BBΔ – BΔ	5,14	1,90
Δεκέμβριος	6,22	B – NNA	6,99	1,75
Μέσες ετήσιες τιμές	5,33		6,00	1,81

3. Το προτεινόμενο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε.

3.1. Γενική περιγραφή του συστήματος

Το προτεινόμενο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος αποτελείται από φωτοβολταϊκά στοιχεία ως μονάδες παραγωγής και μετατροπέα ισχύος (inverter) για τη διάθεση της ισχύος στο δίκτυο. Το σύστημα αυτό παρουσιάζεται γραφικά στο σχήμα 3.



Σχήμα 3: Γραφική απεικόνιση του συστήματος φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Το εξεταζόμενο σύστημα αποτελείται από

- φωτοβολταϊκά στοιχεία συνολικής ισχύος 2,45kWp
- μετατροπέα συνεχούς – εναλλασσόμενου ρεύματος (inverter)
- μετρητή εξερχόμενου ρεύματος προς τη ΔΕΗ.

Η λειτουργία του εξεταζόμενου συστήματος παραγωγής αποτυπώνεται στο σχήμα 3. Συγκεκριμένα, οι μονάδες παραγωγής του συστήματος είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Το παραγόμενο συνεχές ρεύμα από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο σε μετατροπέα για να διατεθεί στο δίκτυο. Δύο μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας μετρούν την ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και την ενέργεια που καταναλώνεται από το δίκτυο για τις ανάγκες λειτουργίας του σχολικού κτηρίου.

Το όλο σύστημα συνοδεύεται από υπολογιστική διάταξη μέτρησης και ελέγχου, που σκοπό έχει την επίβλεψη της λειτουργίας του. Αναλυτικά, η υπολογιστική διάταξη εποπτείας του συστήματος θα αποτελείται από ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή, εφοδιασμένο με κάρτα λήψης μετρήσεων (acquisition card) και κατάλληλο λογισμικό. Τα μεγέθη που θα παρακολουθούνται και θα μετρώνται είναι:

- η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία

- η ηλεκτρική ενέργεια που διατίθεται στο δίκτυο
- οι κυματομορφές της παραγόμενης συνεχούς τάσης και του ρεύματος από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πριν το μετατροπέα ισχύος
- οι κυματομορφές της τάσης και ρεύματος μετά το μετατροπέα που διατίθενται στο δίκτυο
- στοιχεία ποιότητας ισχύος, τόσο για την παραγόμενη τάση από τις μονάδες παραγωγής, όσο και για τη διατιθέμενη κυματομορφή στο δίκτυο.

Πέραν των ανωτέρω real-time παροχών, το σύστημα ελέγχου και εποπτείας θα τηρεί επιπλέον αρχείο λειτουργίας του συστήματος, στο οποίο θα καταγράφονται μέσες ωριαίες ή μισάωρες τιμές για τα μεγέθη ισχύος, τάσης ή συχνότητας, καθώς και οι ποσότητες ενέργειας που παράγονται ανά μία ή μισή ώρα. Η υπολογιστική διάταξη εποπτείας και μέτρησης του συστήματος, θα συνοδευτεί με φιλικό για το χρήστη λογισμικό σε παραθυρικό περιβάλλον. Μέσω αυτού θα παρέχεται η άμεση πρόσβαση στην επίβλεψη της λειτουργίας του συστήματος από τους μαθητές. Παράλληλα, μέσα από το λογισμικό αυτό οι μαθητές θα έχουν τη δυνατότητα ελέγχου και μελέτης βασικών φυσικών μεγεθών του ηλεκτρομαγνητισμού, τα οποία διδάσκονται στις τάξεις του Λυκείου. Η προτεινόμενη δηλαδή διάταξη ελέγχου και εποπτείας δύναται να αξιοποιηθεί ταυτόχρονα και ως εργαστηριακό εργαλείο διδασκαλίας του μαθήματος της Φυσικής ή και άλλων σχετικών τεχνικών μαθημάτων.

3.2. Ο προτεινόμενος εξοπλισμός

3.2.1. Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Προτείνεται η εγκατάσταση μονοκρυσταλλικού φωτοβολταϊκού στοιχείου. Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

<i>Πίνακας 4: Προδιαγραφές φωτοβολταϊκού στοιχείου.</i>	
Ονομαστική ισχύς (Wp)	>170
Τύπος στοιχείου	μονοκρυσταλλικό
Ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας κυψελίδας (°C)	<-20
Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας κυψελίδας (°C)	>70
Απόδοση στοιχείου στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας (%)	>15

3.2.2. Βάση εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλαισίων

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία θα τοποθετηθούν σταθερά επί της στέγης (στη νότια πλευρά της) ή του αύλιου χώρου του σχολικού κτηρίου. Επιθυμητό είναι η δυνατότητα αλλαγής της κλίσης των στοιχείων ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

3.2.3. Ο μετατροπέας

Ο μετατροπέας είναι πολύ σημαντικό μέρος του συστήματος, αφού αποτελεί το συνδεδετικό κρίκο μεταξύ των μονάδων παραγωγής και του δικτύου. Προτείνεται η εγκατάσταση ενός μετασχηματιστή, με ισχύ 2,5kVA, ο οποίος θα πρέπει να έχει τις παρακάτω λειτουργίες – χαρακτηριστικά:

- μέγιστο βαθμό απόδοσης της τάξης του 98%
- σύστημα ανίχνευσης μέγιστης παραγωγής ισχύος (maximum power point tracking)
- βαθμό προστασίας από υγρασία και σκόνη IP65
- πεδίο τιμών τάσης εισόδου: <200V – >800V

- πεδίο τιμών τάσης εξόδου: <250V – >300V.

3.3. Διαστασιολόγηση συστήματος – Ενεργειακοί υπολογισμοί

Η διαστασιολόγηση του συστήματος ακολουθεί τη γενική θεωρία ενεργειακών υπολογισμών συστημάτων φωτοβολταϊκών στοιχείων, η οποία μπορεί να αναζητηθεί σε σχετική βιβλιογραφία [2 – 4]. Ειδικότερα ακολουθείται η μεθοδολογία που περιγράφεται στη βιβλιογραφική αναφορά [4].

Για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία οι ενεργειακοί υπολογισμοί του συστήματος υλοποιούνται με μέσες μηνιαίες τιμές. Τα διαθέσιμα στοιχεία ηλιακής ακτινοβολίας, όπως παρουσιάστηκαν ανωτέρω, οδηγούν στον υπολογισμό των μέσων μηνιαίων συντελεστών απασχόλησης (capacity factors) για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Οι συντελεστές αυτοί, μαζί με τη μέση μηνιαία παραγωγή ισχύος από τα φωτοβολταϊκά που προτείνονται παρουσιάζονται στον πίνακα 5.

<i>Πίνακας 5: Αποτελέσματα υπολογισμών παραγόμενης ισχύος και ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία.</i>			
Μήνας	Μέση μηνιαία παραγωγή ισχύος από Φ/Β (W)	Συνολική μηνιαία παραγωγή ενέργειας από Φ/Β (kWh)	Συντελεστής απασχόλησης (%)
Ιανουάριος	184,83	137,52	7,39
Φεβρουάριος	248,58	167,04	9,94
Μάρτιος	333,34	248,00	13,33
Απρίλιος	433,75	312,30	17,35
Μάιος	535,15	398,15	21,41
Ιούνιος	581,46	418,65	23,26
Ιούλιος	598,67	445,41	23,95
Αύγουστος	536,53	399,18	21,46
Σεπτέμβριος	448,26	322,74	17,93
Οκτώβριος	296,96	220,94	11,88
Νοέμβριος	225,30	162,22	9,01
Δεκέμβριος	176,10	131,02	7,04
Ετήσια	383,24	3.363,16	15,36

Στον πίνακα 6 παρουσιάζονται το ποσοστό εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας στο μελετούμενο κτήριο, σε σχέση με την καταγεγραμμένη κατανάλωση κατά το τελευταίο ακαδημαϊκό έτος, καθώς και η ετήσια μείωση εκπομπών αερίων ρύπων, υποθέτοντας ότι η ηλεκτρική ενέργεια που εξοικονομείται παράγεται από τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς της Κρήτης. Η εκλυόμενη ποσότητα ρύπων CO₂ ανά μονάδα τελικής καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτει ίση με 0,989 kgr/kWh, σύμφωνα με τον πίνακα Β.1 του άρθρου 5 του Κ.ΕΝ.Α.Κ. [5].

Πίνακας 6: Ποσοστό εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας και μείωση εκπεμπόμενων ρύπων.	
Υφιστάμενη ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	23.351,00
Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. (kWh)	3.363,16
Ποσοστό ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ως προς την υφιστάμενη ετήσια κατανάλωση (%)	14,40
Πρωτογενής ενέργεια που αντιστοιχεί στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. (kWh)	9.753,16
Ετήσια μείωση εκπεμπόμενων ρύπων CO ₂ λόγω παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. (tn)	9,646

Για την εγκατάσταση συνολικά 2,45kWp φωτοβολταϊκής ισχύος, λαμβάνοντας ενδεικτική ονομαστική ισχύ 175Wp ανά πλαίσιο, θα χρειαστεί να εγκατασταθούν 14 φωτοβολταϊκά πλαίσια. Λαμβάνοντας επίσης ενδεικτική επιφάνεια πλαισίου 1,3m², η συνολική επιφάνεια κάλυψης των φωτοβολταϊκών στοιχείων ανέρχεται σε 18,2m².

4. Κλιματισμός κτηρίου

4.1. Υπολογισμός θερμικών φορτίων

Ο υπολογισμός των θερμικών φορτίων του κτηρίου γίνεται βάσει της κλασσικής θεωρίας μεταφοράς θερμότητας, καθώς και της μεθόδου TMF της ASHRAE υπολογισμού ψυκτικών φορτίων [6, 7].

4.1.1. Υλικά κατασκευής κτηριακού κελύφους

Στον πίνακα 7 παρουσιάζονται συνοπτικά τα υλικά κατασκευής του κτηριακού κελύφους και της εσωτερικής τοιχοποιίας και οι συνολικοί συντελεστές θερμοπερατότητας.

<i>Πίνακας 7: Υλικά κατασκευής του κτηρίου και συντελεστές θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων.</i>		
Επιφάνεια	Περιγραφή	Συντελεστής θερμοπερατότητας (W/m ² K)
Δάπεδο υπογείου	<ul style="list-style-type: none">• μάρμαρο• ασβεστοκονίαμα• μονωτικό υλικό• στεγάνωση• πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος	0,985
Δάπεδο ορόφων	<ul style="list-style-type: none">• μάρμαρο• ασβεστοκονίαμα• πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος	2,985
Δώμα	<ul style="list-style-type: none">• μαλτεζόπλακες• ασβεστοκονίαμα• ελαστικό ασφαλτόπανο• τσιμεντοκονία• άσφαλτος• betocel• roofmate• φράγμα υδρατμών• πλάκα• επίχρισμα	1,050
Εξωτερικοί τοίχοι	<ul style="list-style-type: none">• επίχρισμα• οπτόπλινθοι διάτρητοι• διογκωμένη πολυστερίνη• κενό αέρος• οπτόπλινθοι διάτρητοι• επίχρισμα	1,055
Εσωτερικοί τοίχοι	<ul style="list-style-type: none">• επίχρισμα• οπτόπλινθοι διάτρητοι• επίχρισμα	2,125

Τα υλικά και οι συντελεστές που παρουσιάζονται στον ανωτέρω πίνακα έχουν ληφθεί από τη «Μελέτη Θερμομόνωσης – Υπολογισμοί» του σχολικού κτηρίου, όπου υπάρχουν διαθέσιμοι οι αναλυτικοί υπολογισμοί των συντελεστών θερμοπερατότητας για τα δομικά στοιχεία του κτηρίου.

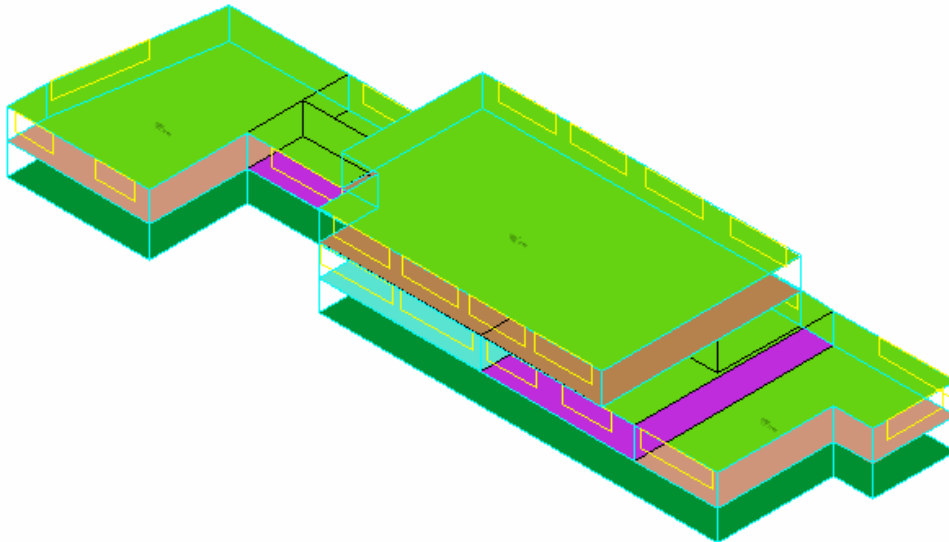
Στον πίνακα 8 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των ανοιγμάτων και οι συνολικοί συντελεστές θερμοπερατότητας και ηλιακών κερδών αυτών.

Πίνακας 8: Τύπος ανοιγμάτων του κτηρίου και συντελεστές θερμοπερατότητας και ηλιακών κερδών.

Περιγραφή	Συντελεστής θερμοπερατότητας (W/m ² K)	Συντελεστής ηλιακών κερδών
Κάσα αλουμινίου με διπλό υαλοπίνακα με κενό 6mm, χωρίς ανακλαστική επίστρωση	2,70	0,77

4.1.2. Κατασκευή του μοντέλου του κτηρίου

Για τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων χρησιμοποιήθηκε πρόγραμμα προσομοίωσης ωριαίας βάσης για ένα χρόνο. Για τις απαιτήσεις του προγράμματος το κτήριο ξανασχεδιάστηκε σε εξειδικευμένο πρόγραμμα. Στο σχήμα 4 απεικονίζεται το προφίλ του κτηρίου όπως αυτό σχεδιάστηκε και στον πίνακα 9 οι πληροφορίες για τις θερμικές ζώνες στις οποίες αυτό διαιρέθηκε.



Σχήμα 4: Το υπό μελέτη κτήριο σε ψηφιοποιημένη μορφή.

Θερμική ζώνη	Όγκος (m ³)	Επιφάνεια (m ²)	Χώροι που περιέχονται
Ζώνη 1	2.968	848	<ul style="list-style-type: none"> κλιμακοστάσιο τουαλέτες μη κλιματιζόμενοι χώροι
Ζώνη 2	3.661	1.046	<ul style="list-style-type: none"> αίθουσες διδασκαλίας γραφεία καθηγητών εργαστήρια αίθουσα πολλαπλών εκδηλώσεων

Το συνολικό εμβαδόν και ο όγκος των κλιματιζόμενων χώρων παρουσιάζεται στον πίνακα 10.

Θερμαινόμενος χώρος	Εμβαδό (m ²)	Όγκος (m ³)
Υπόγειο	31	108,5
Ισόγειο	633	2.215,5
Α' όροφος	382	1.337
Σύνολα	1.046	3.661

4.1.3. Καθορισμός παραμέτρων προσομοίωσης

Οι παράμετροι προσομοίωσης καθορίζονται με βάση τα παρακάτω:

- Απαιτήσεις εξαερισμού:

Οι απαιτήσεις εξαερισμού υπολογίστηκαν με βάση την Τεχνική Οδηγία του Τ.Ε.Ε 20701-1/2010 [8].

- Διείσδυση αέρα:

Η διείσδυση του αέρα στο κτήριο υπολογίστηκε από το πρόγραμμα αυτοματοποιημένα με βάση την ποιότητα των ανοιγμάτων, την ένταση και τη διεύθυνση του αέρα και τη διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας.

- Πρόγραμμα λειτουργίας κτηρίου:

Το πρόγραμμα λειτουργίας του κτηρίου παρουσιάζεται στον πίνακα 11, με βάση τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν από τη Διευθύντρια κατά τη διεξαγωγή της ενεργειακής επιθεώρησης.

Μέρες εβδομάδας	Δραστηριότητα	Κλιματισμός
Δευτέρα	08:00 – 17:00	08:00 – 15:00
Τρίτη	08:00 – 14:00	08:00 – 12:00
Τετάρτη	08:00 – 17:00	08:00 – 15:00
Πέμπτη	08:00 – 14:00	08:00 – 12:00
Παρασκευή	08:00 – 17:00	08:00 – 15:00
Σάββατο	-	-
Κυριακή	-	-

- Επιθυμητή τιμή θερμοκρασίας και υγρασίας κλιματιζόμενων χώρων:

Οι συνιστώμενες τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας κλιματιζόμενων χώρων για τη χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο καθορίστηκαν με βάση την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 [8].

- Τιμές παραμέτρων προσομοίωσης:

Με βάση τα ανωτέρω αναφερόμενα, στον πίνακα 12 παρουσιάζονται οι τελικές τιμές παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την προσομοίωση του κτηρίου. Όσον αφορά τη διείσδυση του αέρα από τα ανοίγματα υπολογίστηκε από το πρόγραμμα με βάση την ποιότητα αυτών, την ένταση και τη διεύθυνση του αέρα και τη διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας. Επειδή αυτή η τιμή δεν είναι σταθερή στον παρακάτω πίνακα αναφέρεται ως «input».

Πίνακας 12: Τιμές παραμέτρων προσομοίωσης για το κτήριο.

Θερμική ζώνη	Θέρμανση		Ψύξη		Διείσδυση αέρα	Εξαερισμός (m ³ /h & άτομο)	Θερμικά κέρδη		
	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική υγρασία (%)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική υγρασία (%)			Άτομα	Φωτισμός (W/m ²)	Άλλα κέρδη
Ζώνη 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ζώνη 2	20	-	25	50	input	26	191	25	-

- Μετεωρολογικά δεδομένα:

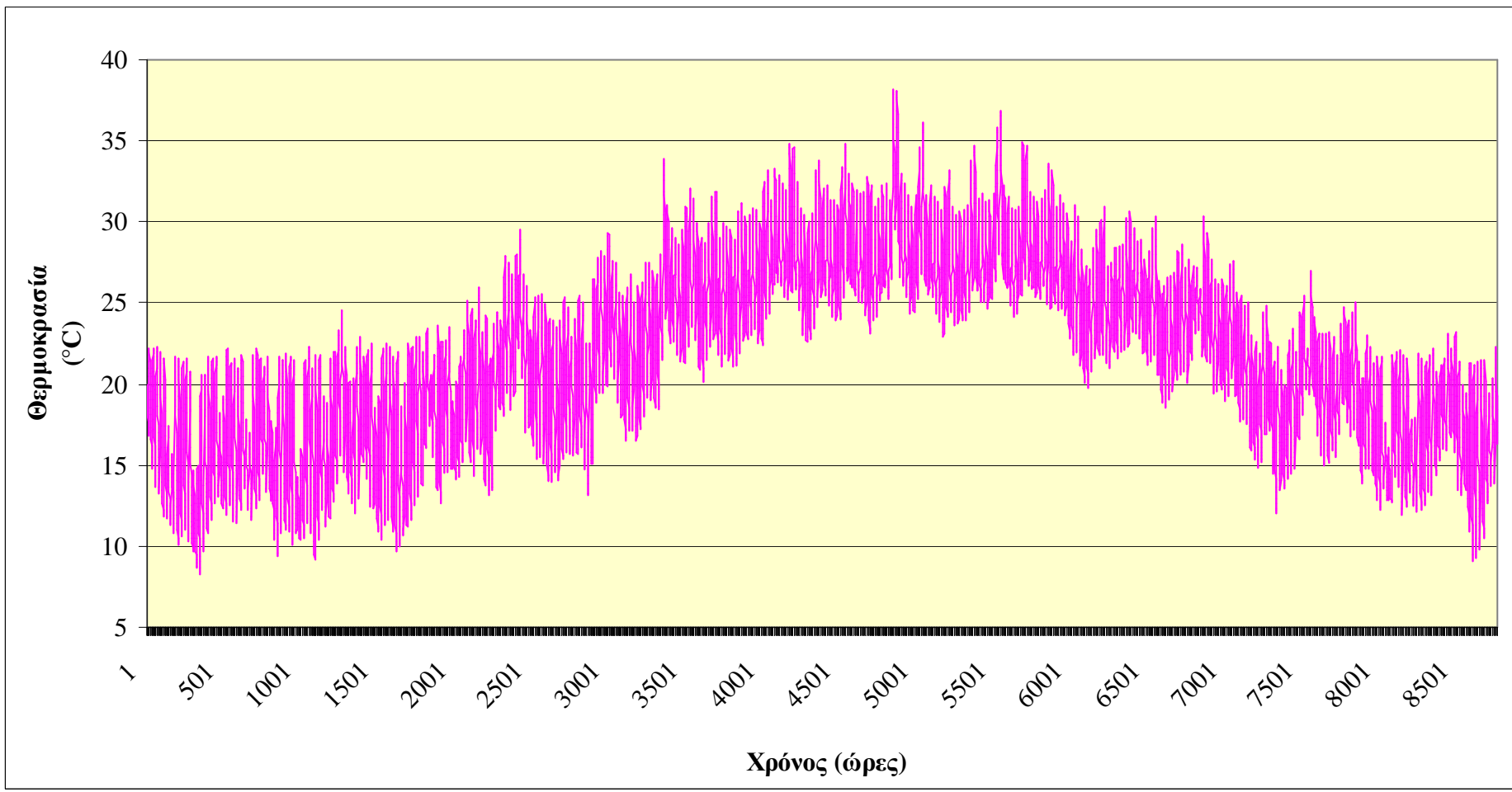
Οι τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων προέκυψαν από επεξεργασία δεδομένων που παραχωρήθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ) [9]. Ενδεικτικά στον πίνακα 13 παρατίθεται η μέση, η μέση ελάχιστη και η μέση μέγιστη θερμοκρασία για την πόλη του Ηρακλείου με βάση την περίοδο 1955 - 2001.

Πίνακας 13 : Μέση, μέση ελάχιστη και μέση μέγιστη θερμοκρασία για την πόλη του Ηρακλείου

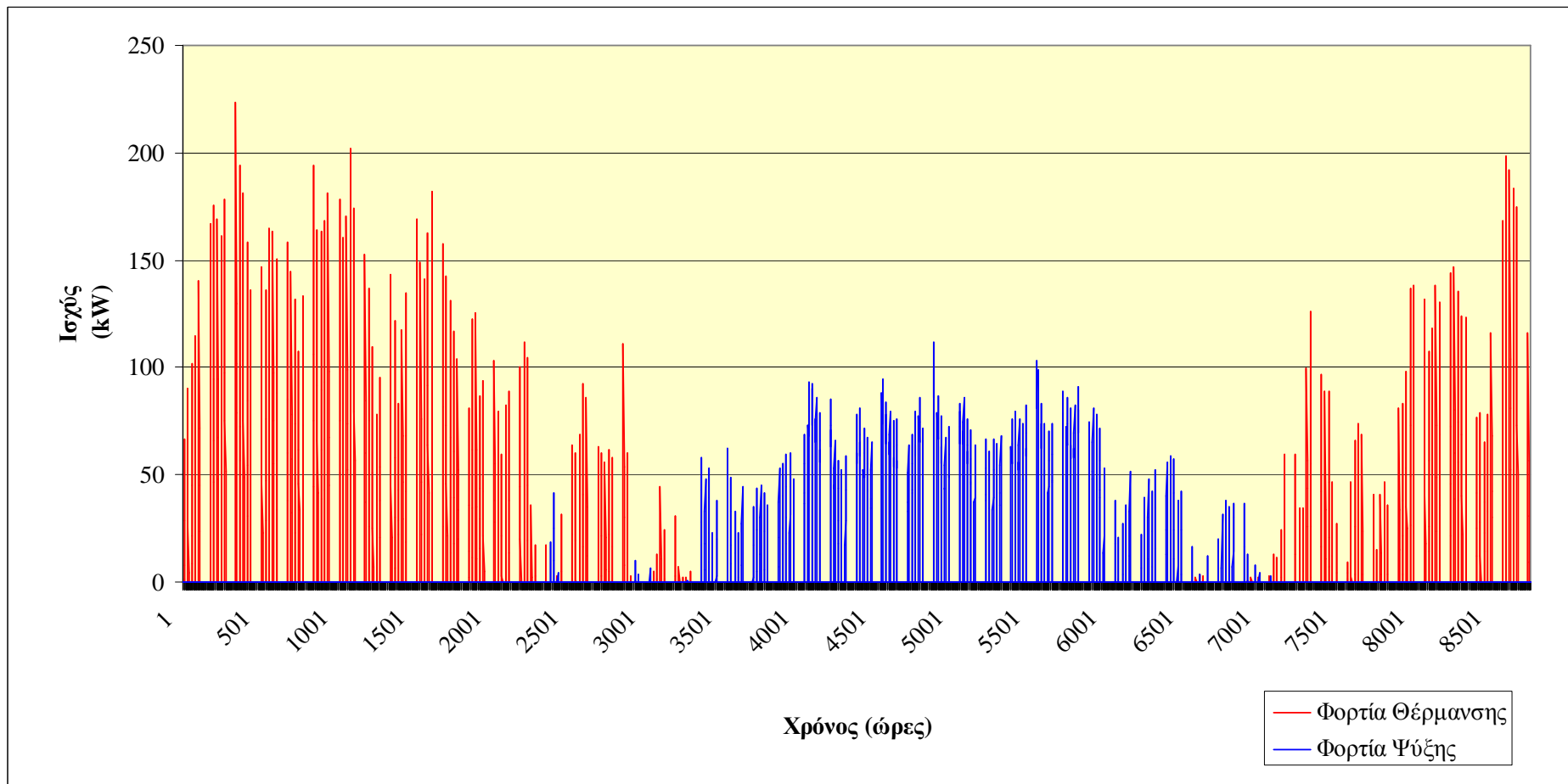
Μήνας	Μέση θερμοκρασία	Μέση ελάχιστη θερμοκρασία	Μέση μέγιστη θερμοκρασία
Ιανουάριος	11,0	3,9	18,0
Φεβρουάριος	11,6	4,2	20,2
Μάρτιος	13,8	5,5	24,6
Απρίλιος	17,3	7,9	29,8
Μάιος	21,2	11,9	33,0
Ιούνιος	25,2	16,7	34,0
Ιούλιος	26,7	19,3	35,8
Αύγουστος	26,2	19,4	32,3
Σεπτέμβριος	23,3	15,8	31,2
Οκτώβριος	19,5	11,5	28,2
Νοέμβριος	16,1	7,7	24,4
Δεκέμβριος	12,9	4,8	20,9

4.1.4. Αποτελέσματα

Στο σχήμα 5 παρουσιάζεται η διακύμανση της θερμοκρασίας για τη θερμική ζώνη των κλιματιζόμενων χώρων του κτηρίου κατά τη διάρκεια του έτους. Στο σχήμα 6 απεικονίζονται τα συνολικά απαιτούμενα φορτία θέρμανσης και ψύξης για όλο το κτήριο (ζώνη κλιματιζόμενων χώρων).



Σχήμα 5: Ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας στις αίθουσες διδασκαλίας και στα γραφεία του κτηρίου.



Σχήμα 6: Ετήσια διακύμανση συνολικών φορτίων ψύξης και θέρμανσης του κτηρίου.

Τέλος στον πίνακα 14 παρατίθενται οι μηνιαίες και ετήσιες τιμές των συνολικών απαιτούμενων φορτίων θέρμανσης και ψύξης.

Πίνακας 14: Μηνιαία αισθητά και λανθάνοντα φορτία για ψύξη και θέρμανση.

Μήνας	Τελική ενέργεια θέρμανσης από αισθητά φορτία (MWh)	Τελική ενέργεια ψύξης από αισθητά φορτία (MWh)	Τελική ενέργεια ψύξης από λανθάνοντα φορτία (MWh)
Ιανουάριος	10,9	0,0	0,0
Φεβρουάριος	9,4	0,0	0,0
Μάρτιος	8,3	0,0	0,0
Απρίλιος	3,7	0,0	0,0
Μάιος	1,0	0,7	0,7
Ιούνιος	0,0	3,2	1,9
Ιούλιος	0,0	5,6	2,9
Αύγουστος	0,0	5,5	2,8
Σεπτέμβριος	0,0	2,0	1,1
Οκτώβριος	0,7	0,0	0,0
Νοέμβριος	4,7	0,0	0,0
Δεκέμβριος	8,5	0,0	0,0
Ετήσιες τιμές	47,2	17,0	9,4
Συνολική ενέργεια	47,2	26,4	

Με βάση τα παρουσιαζόμενα αποτελέσματα του πίνακα 14, η ετήσια τελική ενέργεια που απαιτείται για θέρμανση του κτηρίου υπολογίστηκε στις 47,2MWh και για ψύξη στις 26,4MWh. Η συνολική ειδική τελική ενέργεια για θέρμανση και ψύξη ανά μονάδα επιφάνειας κλιματιζόμενων χώρων προκύπτει ως προς τη συνολική επιφάνεια κλιματιζόμενων χώρων (1.046m²), ίση με 45,08kWh/m² για θέρμανση και 25,24kWh/m² για ψύξη.

Για την κάλυψη των ανωτέρω υπολογιζόμενων θερμικών απωλειών ετησίως, υπολογίζονται οι απαιτούμενες ποσότητες αρχικής ενέργειας και ντίζελ θέρμανσης ως εξής:

- Θέρμανση

Στην περίπτωση χρήσης συστήματος κεντρικής θέρμανσης με καυστήρα ντίζελ, λαμβάνοντας υπόψη ένα συνολικό βαθμό απόδοσης του συστήματος 0,75, τη θερμογόνο ικανότητα του ντίζελ θέρμανσης ίση με 10,07kWh/lit [10] και την πυκνότητα του ντίζελ θέρμανσης στους 15°C (0,845kgf/m³) [11], υπολογίζεται ότι για την κάλυψη των 47,2MWh τελικής θερμικής ενέργειας ετησίως θα απαιτηθούν 6.244lit ντίζελ θέρμανσης.

- Ψύξη

Στην περίπτωση χρήσης κεντρικού αερόψυκτου συστήματος ψύξης, με μέσο E.E.R. λειτουργίας ίσο με 2,8, για την κάλυψη ετησίως των 26,4MWh ενέργειας ψύξης εκτιμάται ότι θα απαιτηθούν 9.429kWh ηλεκτρικής ενέργειας.

Από τα ανωτέρω αποτελέσματα θα πρέπει να σημειωθεί ότι μεταξύ των αποτελεσμάτων υπολογισμών και των δεδομένων που προέκυψαν από τη διεξαχθήσα ενεργειακή επιθεώρηση, αναφορικά με τις ετήσιες καταναλώσεις πετρελαίου θέρμανσης και τις ανάγκες για τελική ενέργεια θέρμανσης, παρατηρείται μια απόκλιση της τάξης του 38,75%. Τα στοιχεία αυτά, για εποπτικούς λόγους, ανακεφαλαιώνονται στον πίνακα 15.

<i>Πίνακας 15: Σύγκριση αποτελεσμάτων υπολογισμού θερμικών φορτίων και δεδομένων ενεργειακής επιθεώρησης.</i>		
	Δεδομένα ενεργειακής επιθεώρησης	Αποτελέσματα υπολογισμού
Ετήσια απαιτούμενη τελική ενέργεια θέρμανσης (MWh)	34,0	47,16
Ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης (lt)	4.500	6.244
Ποσοστιαία απόκλιση (%)	38,75	

Για την εκτίμηση της ετήσιας μείωσης των αναγκών του κτηρίου σε κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας λόγω των παρεμβάσεων θέρμανσης που προτείνονται στην παρούσα, θα ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα της υπολογιστικής ενεργειακής προσομοίωσης. Θα θεωρηθεί δηλαδή ότι η ετήσια κατανάλωση τελικής θερμικής ενέργειας του κτηρίου είναι 47,16MWh και η αντίστοιχη ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης 6.244lt.

4.2. Προτεινόμενες παρεμβάσεις κλιματισμού

4.2.1. Παρεμβάσεις στα ενεργητικά συστήματα θέρμανσης χώρων

Οι βασικές ανάγκες κλιματισμού του σχολικού κτηρίου επικεντρώνονται κυρίως στην κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, οι οποίες σήμερα αντιμετωπίζονται με ένα δισωλήνιο σύστημα κεντρικής θέρμανσης, με καυστήρα ντίζελ ισχύος 200.000kcal/h.

Οι προτεινόμενες παρεμβάσεις θέρμανσης συνίστανται:

- στην αντικατάσταση του υφιστάμενου καυστήρα ντίζελ με νέο καυστήρα βιομάζας, με συστήματα αυτανάφλεξης και αυτοτροφοδοσίας, με καύσιμο πυρηνόξυλο ελιάς, το οποίο διατίθεται εν αφθονία στην ευρύτερη περιοχή στην οποία βρίσκεται το μελετούμενο σχολικό κτήριο
- στην εγκατάσταση ηλιακών θερμικών συλλεκτών υψηλής απόδοσης, με σκοπό την προθέρμανση του νερού του συστήματος κεντρικής θέρμανσης
- στην εγκατάσταση θερμοδοχείου, στο οποίο θα αποθηκεύεται το εργαζόμενο μέσο και θα λειτουργεί ως δεξαμενή θερμικής αδράνειας του συστήματος αλλά και μέσο παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (ZNX)
- στην εγκατάσταση ενός πίνακα αυτονομίας ενός κυκλώματος, σε συνδυασμό με ένα ψηφιακό θερμοστάτη και μία ηλεκτροβάννα, προκειμένου να δοθεί η

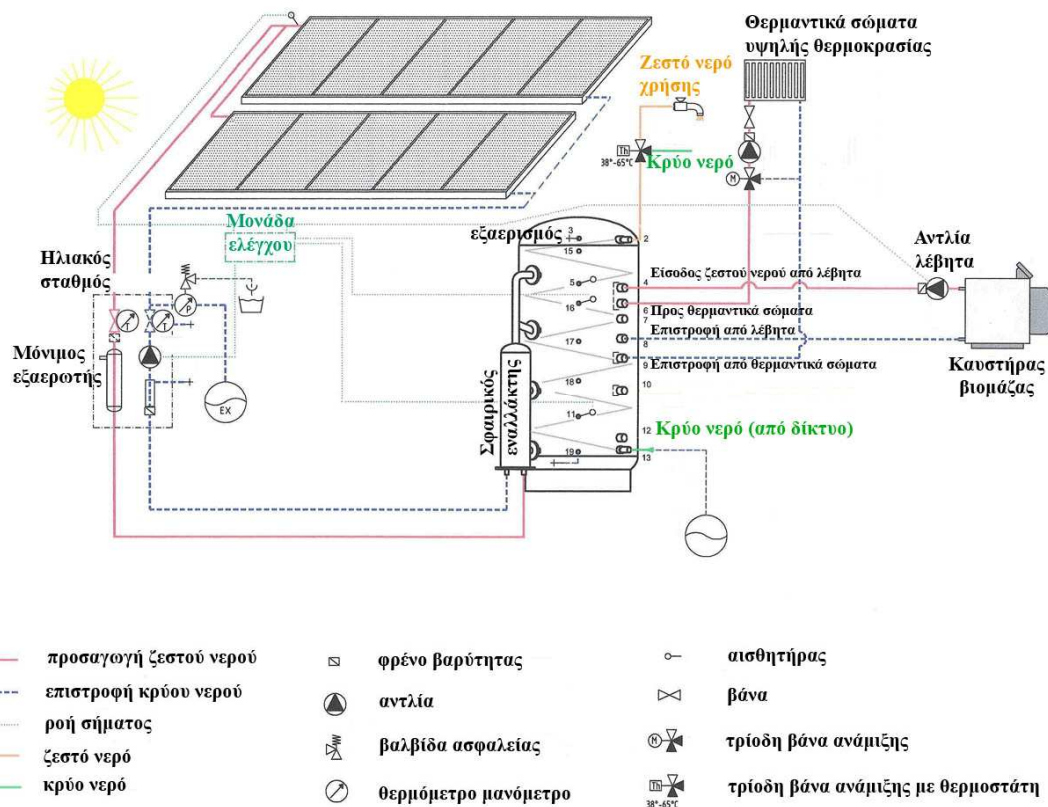
δυνατότητα πλήρους ελέγχου της λειτουργίας του καυστήρα μέσω του θερμοστάτη χώρου

- στην εγκατάσταση ενός συστήματος αντιστάθμισης για το σύστημα θέρμανσης, με σκοπό την ανάμειξη του νερού επιστροφής από τα θερμαντικά σώματα με αυτό του καυστήρα, προκειμένου να επιτευχθεί εξοικονόμηση καυσίμου για θέρμανση χώρου.

Η περιγραφή της λειτουργίας του συστήματος, η διαστασιολόγησή του και ο ετήσιος ενεργειακός υπολογισμός των αναμενόμενων ποσοτήτων παραγόμενης θερμότητας, παρουσιάζονται στη συνέχεια.

4.2.2. Περιγραφή ενεργητικού συστήματος θέρμανσης

Το προτεινόμενο σύστημα θέρμανσης χώρων παρουσιάζεται γραφικά στο σχήμα 7.



Σχήμα 7: Σχηματική απεικόνιση προτεινόμενου συστήματος θέρμανσης χώρων και παραγωγής ZNX.

Οι βασικές συνιστώσες του προτεινόμενου συστήματος είναι οι εξής:

- επιλεκτικοί ηλιακοί συλλέκτες
- καυστήρας βιομάζας
- θερμοδοχεία αποθήκευσης ζεστού νερού
- μονάδα ελέγχου.

Η λειτουργία του συστήματος ελέγχεται και επιτελείται αυτόματα από τη μονάδα ελέγχου. Η φιλοσοφία λειτουργίας του συστήματος είναι απλή και αποσκοπεί στην επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας του εργαζόμενου μέσου στα θερμαντικά σώματα, με την απαιτούμενη παροχή μάζας. Η μαθηματική σχέση στην οποία βασίζεται ο υπολογισμός του συστήματος είναι η:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_v \cdot (T_2 - T_1) \quad (2)$$

όπου:

- \dot{Q} η προς κάλυψη θερμική ισχύς απωλειών των θερμαινόμενων χώρων
- \dot{m} η διαθέσιμη παροχή μάζας του εργαζόμενου μέσου
- T_2 η απαιτούμενη θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου στα θερμαντικά σώματα
- T_1 η θερμοκρασία επιστροφής του εργαζόμενου μέσου από θερμαντικά σώματα στο θερμοδοχείο
- C_v η ειδική θερμότητα του νερού, η οποία λαμβάνεται 4,17kJoule/(kg·K).

Ο έλεγχος των θερμοκρασιών του εργαζόμενου μέσου στα διάφορα σημεία του συστήματος εκτελείται από το θερμοδοχείο, το οποίο είναι εφοδιασμένο με σειρά από αισθητήρες, οι οποίοι καταγράφουν τη θερμοκρασία:

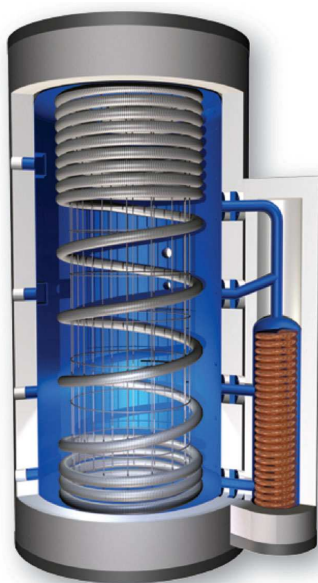
- του ζεστού νερού τροφοδοσίας του θερμοδοχείου από τους ηλιακούς συλλέκτες και από το λέβητα
- του κρύου νερού τροφοδοσίας από το θερμοδοχείο προς τους ηλιακούς συλλέκτες και το λέβητα
- του κρύου νερού επιστροφής από τα θερμαντικά σώματα προς το θερμοδοχείο.

Οι διαθέσιμες πληροφορίες από τους αισθητήρες του θερμοδοχείου συλλέγονται στη μονάδα ελέγχου, η οποία δίνει εντολή στον καυστήρα για παροχή πρόσθετης θερμικής ισχύος, εφόσον η διαθέσιμη θερμική ισχύς από τους ηλιακούς συλλέκτες δεν επαρκεί για την κάλυψη του τρέχοντος θερμικού φορτίου για τη θέρμανση χώρων. Ο αλγόριθμος λειτουργίας του συστήματος μπορεί να συνοψιστεί στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- a. αν το φορτίο θέρμανσης \dot{Q}_θ είναι μικρότερο της τελικής παραγωγής ισχύος από το ηλιακό πεδίο $\dot{Q}_{\eta\lambda} \cdot \eta_{\eta\lambda} \cdot \eta_{\mu\epsilon\tau.}$, όπου $\dot{Q}_{\eta\lambda}$ η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία, $\eta_{\eta\lambda}$ και $\eta_{\mu\epsilon\tau.}$ οι συνολικοί βαθμοί απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών και του συστήματος αποθήκευσης και μεταφοράς ως τα θερμαντικά σώματα, τότε το τρέχον φορτίο θέρμανσης καλύπτεται από το ηλιακό πεδίο χωρίς την υποστήριξη από τον καυστήρα βιομάζας
- b. αν το φορτίο θέρμανσης \dot{Q}_θ είναι μεγαλύτερο της τελικής παραγωγής ισχύος από το ηλιακό πεδίο $\dot{Q}_{\eta\lambda} \cdot \eta_{\eta\lambda} \cdot \eta_{\mu\epsilon\tau.}$, τότε ο καυστήρας βιομάζας συμπληρώνει την επιπλέον θερμική ισχύ $\dot{Q}_\kappa = \frac{\dot{Q}_\theta - \dot{Q}_{\eta\lambda} \cdot \eta_{\eta\lambda} \cdot \eta_{\mu\epsilon\tau.}}{\eta_{\mu\epsilon\tau.}}$.

Η παροχή θερμικής ισχύος από το ηλιακό πεδίο προς το θερμοδοχείο γίνεται μέσω πρωτεύοντος κλειστού κυκλώματος, στο οποίο κυκλοφορεί το εργαζόμενο μέσο των ηλιακών συλλεκτών (μίγμα γλυκόλης). Το κύκλωμα του καυστήρα βιομάζας και των θερμαντικών σωμάτων ενώνονται εντός του θερμοδοχείου, εντός του οποίου αποθηκεύεται το κοινό τους εργαζόμενο μέσο (νερό δικτύου), αποτελώντας έτσι το δευτερεύον κύκλωμα. Τέλος, εντός του θερμοδοχείου υπάρχει κυματοειδής σωλήνας (σερπαντίνα) για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

Τα ανωτέρω γίνονται περισσότερο κατανοητά με τη βοήθεια του σχήματος 8, στο οποίο παρουσιάζεται σκαρίφημα τομής του θερμοδοχείου.



Σχήμα 8: Τομή θερμοδοχείου διαστρωματικής αποθήκευσης με εσωτερικό εναλλάκτη θερμότητας ηλιακού πεδίου και εσωτερική κυματοειδή σωλήνα για παραγωγή ZNX.

4.2.3. Προτεινόμενος εξοπλισμός

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι βασικές συνιστώσες του προτεινόμενου συστήματος και αναφέρονται βασικές τεχνικές προδιαγραφές για κάθε μία από αυτές.

- **Ηλιακός συλλέκτης**

Προτείνεται να χρησιμοποιηθεί επιλεκτικός ηλιακός συλλέκτης υψηλής απόδοσης. Ο ηλιακός συλλέκτης θα πρέπει να συνοδεύεται από σχετικό πιστοποιητικό λειτουργίας από εγκεκριμένο φορέα πιστοποίησης. Η απόδοση του συλλέκτη στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας θα πρέπει να ξεπερνάει το 70%.

- **Θερμοδοχείο**

Το θερμοδοχείο το οποίο περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα και παρουσιάζεται η τομή του στο σχήμα 8 λειτουργεί ως μονάδα αποθήκευσης θερμότητας. Απαιτείται η ικανότητα διαστρωματικής αποθήκευσης νερού. Το νερό θα οδηγείται πάντα από το θερμοδοχείο προς τα θερμαντικά σώματα, συνεπώς θα πρέπει να είναι εφοδιασμένο με αισθητήρες θερμοκρασίας που ελέγχουν τη θερμοκρασία του νερού σε διάφορα σημεία, όπως αναφέρεται ανωτέρω, δηλαδή:

- του ζεστού νερού τροφοδοσίας του θερμοδοχείου από τους ηλιακούς συλλέκτες και από το λέβητα
- του κρύου νερού τροφοδοσίας από το θερμοδοχείο προς τους ηλιακούς συλλέκτες και το λέβητα
- του κρύου νερού επιστροφής από τα θερμαντικά σώματα προς το θερμοδοχείο.

Το θερμοδοχείο θα πρέπει να διαθέτει ένα εσωτερικό σφαιρικό εναλλάκτη θερμότητας για τη συναλλαγή θερμικής ισχύος με το ηλιακό πεδίο. Επίσης θα πρέπει να διαθέτει εσωτερικό κυματοειδή σωλήνα για την παραγωγή ZNX.

Όλα τα μεταλλικά υλικά του θερμοδοχείου θα πρέπει να είναι ανοξειδώτα.

Επιπλέον, ο χώρος αποθήκευσης του ZNX θα πρέπει να είναι μονωμένος.

Ο όγκος του θερμοδοχείου, ο οποίος θα προκύψει από το συνολικό όγκο αποθήκευσης νερού που υπολογίζεται βάσει της διαστασιολόγησης του συστήματος που παρουσιάζεται παρακάτω, θα πρέπει να είναι κατά το δυνατό μεγαλύτερος, π.χ. 4.000 ή 5.000lt για εξοικονόμηση χώρου στο μηχανοστάσιο.

- **Καυστήρας βιομάζας**

Ο καυστήρας βιομάζας θα πρέπει να έχει την ικανότητα να καταναλώνει πυρηνόξυλο ελιάς, το οποίο διατίθεται άφθονο στην ευρύτερη περιοχή της θέσης που βρίσκεται το σχολείο. Ενδεικτικά οι σύγχρονοι καυστήρες βιομάζας έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν ως καύσιμο pellets ξύλου, πυρηνόξυλο ελιάς, φλούδια από καρύδια, αμύγδαλα, και γενικά κάθε καύσιμη ύλη μικρής διατομής. Ο καυστήρας προτείνεται να συνοδευτεί από σύστημα αυτόματης ανάφλεξης με blower, σύστημα απομάκρυνσης στάχτης, πυροσβεστική βαλβίδα ασφαλείας, δεξαμενή τροφοδοσίας καυσίμου και πολυκυκλωνικό φίλτρο καμινάδας.

Οι λέβητες που συνοδεύουν τον καυστήρα βιομάζας θα πρέπει να είναι κατασκευασμένοι σύμφωνα με την προδιαγραφή ΕΛΟΤ 303-5 και να είναι ενεργειακής κλάσης τουλάχιστον 3.

4.2.4. Διαστασιολόγηση συστήματος

Για τη διαστασιολόγηση των βασικών συνιστωσών του προτεινόμενου συστήματος κεντρικής θέρμανσης ακολουθείται η κάτωθι διαδικασία:

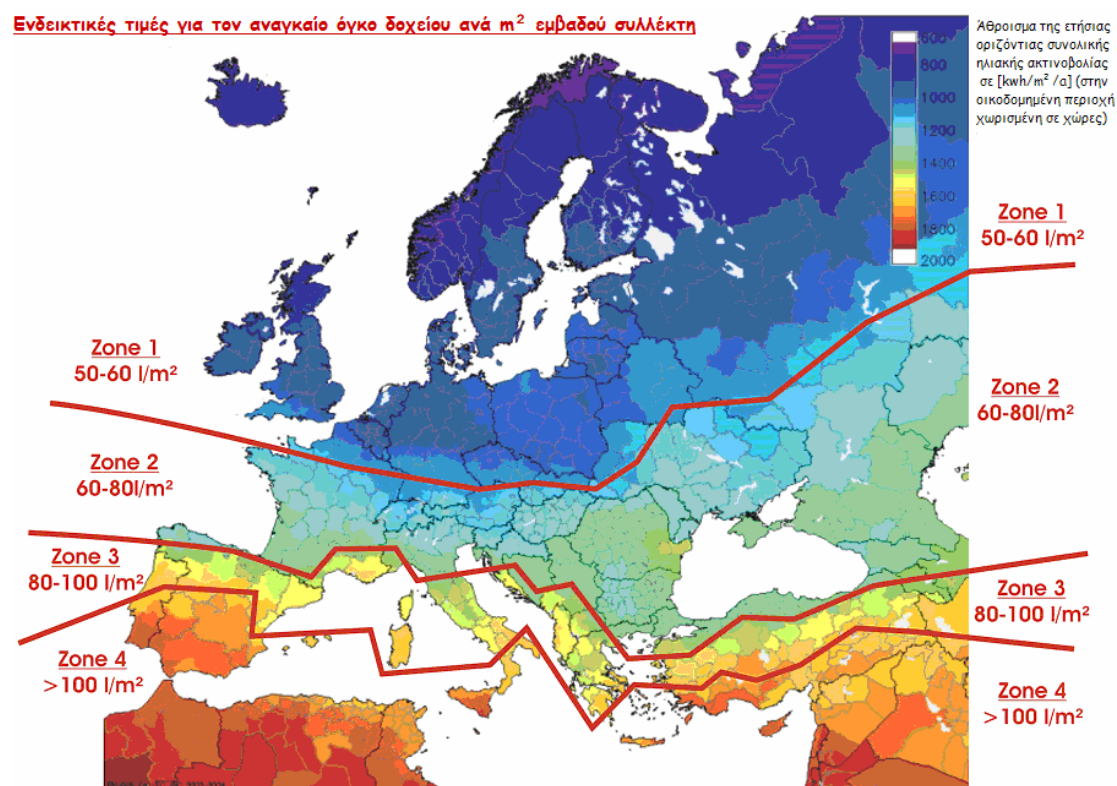
- **Ηλιακό πεδίο**

Σε πολλές περιπτώσεις διαστασιολόγησης ηλιακού πεδίου για θέρμανση χώρων ακολουθείται ο εμπειρικός κανόνας του 1m² επιφάνειας συλλέκτη ανά 10m² στεγασμένης επιφάνειας θερμαινόμενων χώρων. Ο κανόνας αυτός δίνει σωστά αποτελέσματα για συνολικό εμβαδό θερμαινόμενων χώρων έως 500m². Στην υπό μελέτη περίπτωση, το συνολικό εμβαδό θερμαινόμενων χώρων είναι 1.046m². Για επιφάνειες άνω των 500m², η προαναφερθείσα αναλογία μειώνεται. Έτσι για την τάξη μεγέθους της περίπτωσης που μελετάται, μπορούμε να δεχτούμε εμβαδό ηλιακού πεδίου 0,90m² ανά 10m² εμβαδού θερμαινόμενων χώρων. Ωστόσο η απαιτούμενη επιφάνεια του ηλιακού πεδίου θα προκύψει με βάση την αριθμητική προσομοίωση που προηγήθηκε, με σκοπό τη μεγιστοποίηση της απόδοσης της επένδυσης προς την εξοικονόμηση τελικής θερμικής ενέργειας λόγω της παραγωγής από το ηλιακό πεδίο.

- **Θερμοδοχείο**

Ο όγκος του θερμοδοχείου, ο οποίος καθορίζει ουσιαστικά και το μέγεθός του, μπορεί να προκύψει προσεγγιστικά με βάση το σχήμα 9, το οποίο παρέχεται από μία κατασκευάστρια εταιρεία ενός συγκεκριμένου μοντέλου θερμοδοχείου.

Από το σχήμα 9, με βάση τη γεωγραφική περιοχή μελέτης και τη συνολική επιφάνεια ηλιακού πεδίου, υπολογίζεται ο συνολικός όγκος του θερμοδοχείου. Για την περιοχή της Κρήτης, δύναται να επιλεγεί ειδικός όγκος θερμοδοχείου 100lt/m².



Σχήμα 9: Γράφημα διαστασιολόγησης θερμοδοχείου.

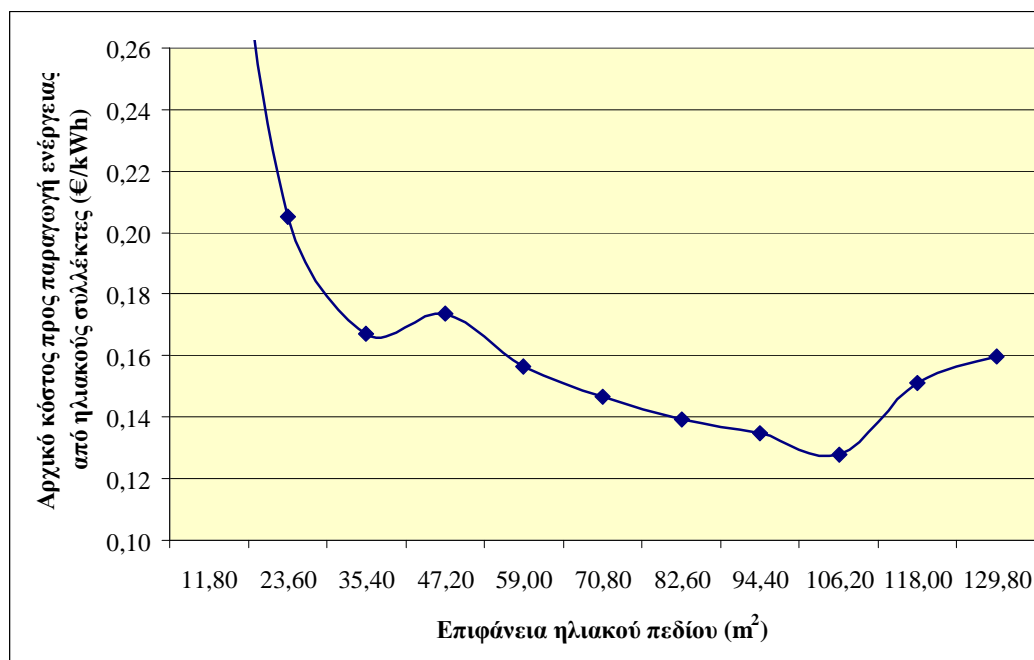
Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, ο συνολικός απαιτούμενος όγκος των θερμοδοχείων θα προκύψει από τη διαδικασία βελτιστοποίησης της διαστασιολόγησης του συστήματος, με κριτήρια την κάλυψη των αναγκών σε θερμότητα και την ελαχιστοποίηση του ειδικού κόστους παραγωγής τελικής θερμικής ενέργειας.

Για τη διαστασιολόγηση του προτεινόμενου συστήματος αναπτύχθηκε κατάλληλο λογισμικό προσομοίωσης της λειτουργίας του. Με βάση την προαναφερθείσα λειτουργία του συστήματος, τα βασικά μεγέθη που καθορίζουν την ισχύ λειτουργίας του καυστήρα είναι η απαιτούμενη παροχή μάζας νερού για την κάλυψη του τρέχοντος θερμικού φορτίου χώρου και η διαθέσιμη θερμοκρασία νερού στο θερμοδοχείο.

Η μεθοδολογία διαστασιολόγησης του συστήματος βελτιστοποιείται με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του μέσου ετήσιου ειδικού κόστους παραγωγής θερμότητας (σε €/kWh τελικής θερμικής ενέργειας) και την κάλυψη των αναγκών του κτηρίου σε τελική θερμική ενέργεια.

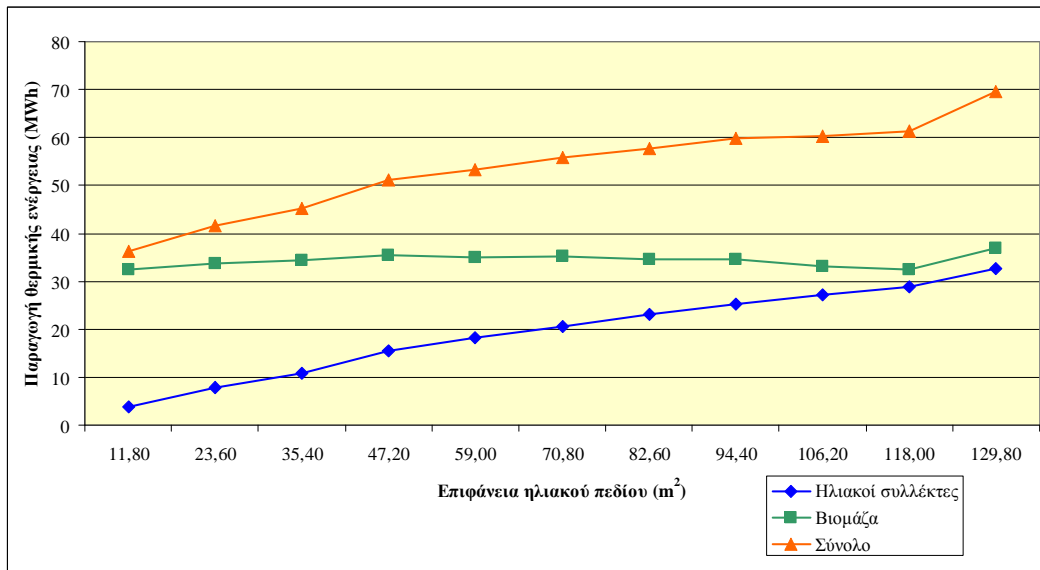
Στο σχήμα 10 παρουσιάζεται το προκύπτον διάγραμμα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης, από το οποίο προκύπτει ότι το ελάχιστο ειδικό κόστος παραγωγής υπολογίζεται ίσο με 0,1279€/kWh για συνολική καθαρή επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών 106,20m². Το εν λόγω μέσο ετήσιο ειδικό κόστος παραγωγής υπολογίζεται με βάση το αρχικό κόστος ηλιακών συλλεκτών, θερμοδοχείων και υδραυλικού κυκλώματος ανοιγμένο ανά έτος λειτουργίας του συστήματος και ως προς την ετήσια τελική θερμική ενέργεια που παρέχεται από τους ηλιακούς συλλέκτες προς τα θερμοδοχεία. Η διάρκεια ζωής του συστήματος λαμβάνεται 20 έτη.

Λαμβάνοντας ενδεικτικό καθαρό εμβαδό επιφάνειας ηλιακού συλλέκτη 2,36m², η ανωτέρω συνολική επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών δίνεται από 45 συλλέκτες.



Σχήμα 10: Διακύμανση κριτηρίου βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης συναρτήσει της εγκατεστημένης επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών.

Στο σχήμα 11 παρουσιάζεται η διακύμανση των ετήσιων ποσοτήτων παραγωγής τελικής θερμικής ενέργειας από τους ηλιακούς συλλέκτες και από τον καυστήρα βιομάζας, συναρτήσει της εγκατεστημένης επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών. Για διαφορετική επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών μεταβάλλεται και ο απαιτούμενος όγκος θερμοδοχείων. Παρατηρείται ότι η συνολική παραγωγή τελικής θερμικής ενέργειας από ηλιακούς συλλέκτες και καυστήρα βιομάζας προκύπτει πάντα μεγαλύτερη από τις συνολικές ετήσιες ανάγκες του κτηρίου σε τελική θερμική ενέργεια. Τούτο οφείλεται στις απώλειες του συστήματος και στην όχι 100% βέλτιστη διαστρωμάτωση αποθήκευσης στα θερμοδοχεία, δεδομένης της θερμοκρασίας λειτουργίας των θερμαντικών σωμάτων στους 90°C.



Σχήμα 11: Διακύμανση παραγωγής τελικής θερμικής ενέργειας συναρτήσει της εγκατεστημένης επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών.

Η ετήσια ποσότητα τελικής θερμικής ενέργειας που παράγεται από τον καυστήρα βιομάζας, βάσει των υπολογισμών, ισούται με 26.531kWh. Η ετήσια τελική θερμική ενέργεια που παράγεται από τους ηλιακούς συλλέκτες υπολογίζεται 21.736kWh

Το συνολικό μικτό εμβαδόν των ηλιακών συλλεκτών εκτιμάται στα 120m². Για την εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών εκτιμάται ότι θα απαιτηθεί συνολική επιφάνεια δώματος 150m² περίπου.

Για τις ανάγκες αποθήκευσης θερμικής ενέργειας από 106,20m² ηλιακών συλλεκτών, υπολογίζεται ότι θα χρειαστεί να εγκατασταθούν δύο θερμοδοχεία ονομαστικής χωρητικότητας 5.000lt. Συνεπώς η συνολική χωρητικότητα των θερμοδοχείων ανέρχεται στα 10.000lt.

- **Καυστήρας βιομάζας**

Η ονομαστική ισχύς του καυστήρα βιομάζας, και συνεπώς το μοντέλο που θα επιλεγεί, καθορίζεται από τα μέγιστα φορτία θέρμανσης. Η συνθήκη σχεδιασμού για το χειμώνα που επιλέχθηκε είναι 1% [8]. Πιο συγκεκριμένα, η ισχύς του καυστήρα θέρμανσης θα είναι η τελευταία τιμή των 30 μεγαλύτερων τιμών μέσων ωριαίων φορτίων θέρμανσης και της απόδοσης του λέβητα. Στην παρούσα διαστασιολόγηση θεωρούμε το μέσο συνολικό βαθμό απόδοσης του καυστήρα και του δικτύου θέρμανσης $\eta=0,75$. Στον πίνακα 16 παρουσιάζονται τα μέγιστα φορτία θέρμανσης, όπως προέκυψαν από τον υπολογισμό θερμικών και ψυκτικών φορτίων του κτηρίου.

Πίνακας 16: Μέγιστα φορτία θέρμανσης εξεταζόμενου κτηρίου.					
A/A	Φορτίο θέρμανσης (kW)	A/A	Φορτίο θέρμανσης (kW)	A/A	Φορτίο θέρμανσης (kW)
1	240,9	11	197,8	21	183,4
2	219,7	12	194,7	22	183,4
3	214,9	13	193,6	23	182,9
4	214,6	14	193,2	24	181,5
5	212,8	15	192,6	25	181,4
6	209,8	16	188,2	26	180,6
7	201,7	17	186,8	27	179,1
8	201,5	18	186,7	28	178,3
9	198,9	19	185,8	29	177,7
10	197,8	20	185,1	30	177,6

Με βάση την 30^η μέγιστη τιμή των μέσων ωριαίων φορτίων θέρμανσης (177,6kW) και το συνολικό μέσο βαθμό απόδοσης του συστήματος θέρμανσης 0,75, η απαιτούμενη ονομαστική ισχύς του καυστήρα βιομάζας υπολογίζεται τελικά ίση με 236,8kW ή 204.432kcal/h. Από μία συνήθη τυποποίηση καυστήρων βιομάζας επιλέγεται να εγκατασταθεί καυστήρας με ονομαστική ισχύ 230.000kcal/h ή 266,80kW.

4.2.5. Παρεμβάσεις ψύξης

Παρεμβάσεις κλιματισμού όσον αφορά την ψύξη του κτηρίου δεν κρίνονται σκόπιμες για το μελετούμενο κτήριο, για τους εξής λόγους:

- το κτήριο δεν λειτουργεί κατά τους θερινούς μήνες, πέραν του Ιουνίου, οπότε δεν προκύπτει η ανάγκη αντιμετώπισης ιδιαίτερα υψηλών θερμοκρασιών
- η θέση του κτηρίου εκτός πολεοδομικού ιστού, σε επαρχιακή περιοχή με απόλυτο υψόμετρο περίπου 350m, με μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου άνω των 5,3m/sec, συνεπάγεται την εμφάνιση σαφώς ηπιότερων θερινών μηνών
- η θερμομόνωση του κτηριακού κελύφους και των ανοιγμάτων συμβάλει σημαντικά στον περιορισμό των αναγκών ψύξης του κτηρίου.

Εν τούτοις, για την κάλυψη των όποιων ακραίων περιπτώσεων δύναται να εμφανιστούν, προτείνεται η εγκατάσταση ανεμιστήρων οροφής στις αίθουσες διδασκαλίας και εργαστηρίων και στα γραφεία των δασκάλων, μέσω των οποίων είναι δυνατός ο τεχνητός υβριδικός δροσισμός των εν λόγω χώρων.

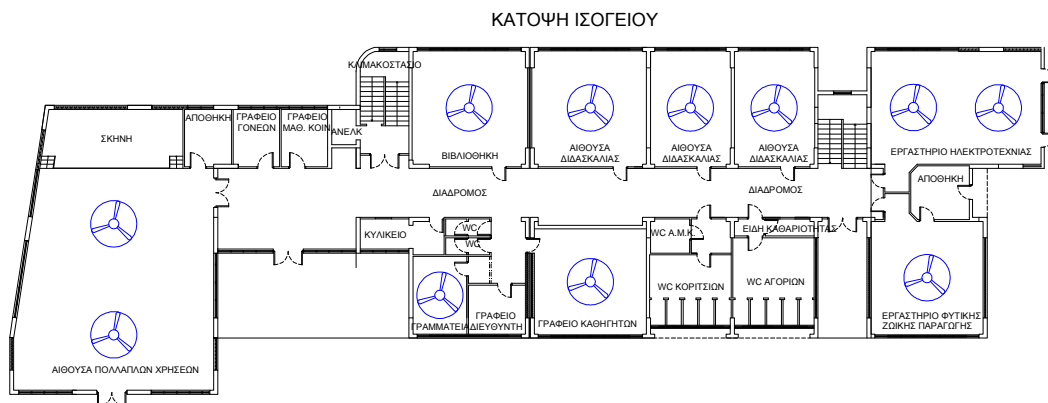
- Προδιαγραφές και χωροθέτηση ανεμιστήρων οροφής

Απαιτείται απλός ανεμιστήρας οροφής, χωρίς φως, βιομηχανικού τύπου, με κατά το δυνατό μεγαλύτερη εγγύηση καλής λειτουργίας και κατά το δυνατό χαμηλότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος. Στην εικόνα 1 παρέχεται ενδεικτικός τύπος ανεμιστήρα οροφής. Μετά από σχετική έρευνα αγοράς, προτείνεται ο εν λόγω ανεμιστήρας, διαμέτρου 56'' ή 142,24cm.



Εικόνα 1: Ενδεικτικό προτεινόμενο μοντέλο ανεμιστήρα οροφής.

Στα σχήματα 12-14 παρουσιάζεται ενδεικτική χωροθέτηση ανεμιστήρων οροφής στους κλιματιζόμενους χώρους του σχολικού κτηρίου.



Σχήμα 12: Κάτοψη ισογείου σχολικού κτηρίου με χωροθέτηση των ανεμιστήρων οροφής.



Σχήμα 13: Κάτοψη ορόφου σχολικού κτηρίου με χωροθέτηση των ανεμιστήρων οροφής.



Σχήμα 14: Κάτοψη υπογείου σχολικού κτηρίου με χωροθέτηση των ανεμιστήρων οροφής.

Με βάση τη χωροθέτηση των ανεμιστήρων οροφής που παρουσιάζεται στα σχήματα 12-14, προκύπτει ότι θα χρειαστούν συνολικά 20 ανεμιστήρες για όλο το σχολικό κτήριο, όλοι για τους κλιματιζόμενους χώρους του ισόγειου. Οι 11 από αυτούς θα τοποθετηθούν στο ισόγειο, οι 8 στον όροφο και ο 1 στο υπόγειο του σχολείου.

4.2.6. Ενεργειακοί υπολογισμοί

Με βάση τα αποτελέσματα της υπολογιστικής ενεργειακής προσομοίωσης που παρουσιάστηκαν ανωτέρω, η ετήσια κατανάλωση τελικής θερμικής ενέργειας στο κτηριακό συγκρότημα μετά τις παρεμβάσεις στο κτηριακό κέλυφος υπολογίζεται 47.160kWh. Με την εισαγωγή των συστημάτων αντιστάθμισης και του πίνακα αυτονομίας αναμένεται επιπλέον εξοικονόμηση 10%, συνεπώς η τελική ετήσια κατανάλωση τελικής θερμικής ενέργειας εκτιμάται 42.444kWh.

Η εκτίμηση της ετήσιας ποσότητας πυρηνόξυλου ελιάς που θα χρειαστεί για την παραγωγή της τελικής θερμικής ενέργειας από τον καυστήρα βιομάζας βασίζεται στην εισαγωγή της θερμογόνου ικανότητας του πυρηνόξυλου 3.500kcal/kg ή 4,054kWh/kg [12] και ενός μέσου συνολικού βαθμού απόδοσης του καυστήρα βιομάζας και του συστήματος θέρμανσης ίσου με 75%.

Η ετήσια ποσότητα τελικής θερμικής ενέργειας που παράγεται από τον καυστήρα βιομάζας, βάσει των υπολογισμών, ισούται με 26.531kWh. Υπολογίζοντας αναλογικά σε καυστήρα βιομάζας και ηλιακούς συλλέκτες την εξοικονόμηση ενέργειας λόγω του συστήματος αντιστάθμισης, η τελική θερμική ενέργεια από τον καυστήρα βιομάζας προκύπτει μειωμένη κατά 10%, δηλαδή ίση με 23.877,9kWh. Η ενέργεια αυτή, λαμβάνοντας τη θερμογόνο ικανότητα του πυρηνόξυλου ελιάς και το μέσο βαθμό απόδοσης του συστήματος, δίνεται από 7.853kg πυρηνόξυλου ετησίως ή 7,853tn. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί σε 31.837kWh πρωτογενούς ενέργειας (συντελεστής υπολογισμού πρωτογενούς ενέργειας βιομάζας ίσος με 1 βάσει Κ.ΕΝ.Α.Κ.).

Με βάση τα στοιχεία της υπολογιστικής ενεργειακής προσομοίωσης, η ετήσια ποσότητα πετρελαίου θέρμανσης που εξοικονομείται είναι 6.244lt. Η εξοικονόμηση αυτή,

λαμβάνοντας τη θερμογόνο ικανότητα του πετρελαίου θέρμανσης ίση με 10,07kWh/lit, αντιστοιχεί σε ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ίση με 69.165kWh (συντελεστής υπολογισμού πρωτογενούς ενέργειας ντίζελ θέρμανσης ίσος με 1,1 βάσει Κ.ΕΝ.Α.Κ.).

Σύμφωνα με τον πίνακα Β.1 του άρθρου 5 του Κ.ΕΝ.Α.Κ., για κάθε kWh πρωτογενούς ενέργειας πετρελαίου θέρμανσης, οι εκπομπές αερίων ρύπων CO₂ ανέρχονται σε 0,264 kgr. Οι ετήσιες εκπομπές CO₂ που αντιστοιχούν στην εν λόγω πρωτογενή ενέργεια ανέρχονται σε 18,260 tn.

Τέλος, για τον υπολογισμό της ετήσιας μείωσης εκπομπών αερίων ρύπων CO₂, θεωρείται ότι η βιομάζα δεν εκπέμπει αέριους ρύπους, σύμφωνα με τον Κ.ΕΝ.Α.Κ.

Τα ανωτέρω αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 17.

Πίνακας 17: Αποτελέσματα ενεργειακών υπολογισμών συστήματος θέρμανσης.	
Παραγωγή τελικής θερμικής ενέργειας από βιομάζα (kWh)	26.531
Παραγωγή τελικής θερμικής ενέργειας από ηλιακούς συλλέκτες (kWh)	21.736
Παραγωγή τελικής θερμικής ενέργειας από βιομάζα με σύστημα αντιστάθμισης (kWh)	23.878
Παραγωγή τελικής θερμικής ενέργειας από ηλιακούς συλλέκτες με σύστημα αντιστάθμισης (kWh)	19.562
Ετήσια εξοικονόμηση ντίζελ θέρμανσης (lt)	6.244
Ετήσια κατανάλωση πυρηνόξυλου ελιάς (tn)	7,853
Πρωτογενής ενέργεια που αντιστοιχεί στην ετήσια εξοικονόμηση πετρελαίου θέρμανσης (kWh)	69.165
Πρωτογενής ενέργεια που αντιστοιχεί στην ετήσια κατανάλωση πυρηνόξυλου ελιάς (kWh)	31.837
Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh)	37.328
Μείωση ετήσιας εκπομπής αερίων ρύπων CO ₂ (tn)	18,260

Είναι προφανές ότι με το προτεινόμενο σύστημα απαλείφεται εντελώς η κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης από το σχολικό κτήριο και υποκαθίσταται από θερμική ενέργεια που παράγεται από ηλιακούς συλλέκτες, κατά 45,03% και πυρηνόξυλο, κατά 54,97%. Οι εκπομπές CO₂ από το σύστημα κεντρικής θέρμανσης του κτηρίου μηδενίζονται.

4.2.7. Ηλιακό πεδίο για παραγωγή ΖΝΧ

Είναι προφανές ότι το προτεινόμενο σύστημα θα αξιοποιηθεί ταυτόχρονα με τη θέρμανση χώρων και για παραγωγή ΖΝΧ.

Το ηλιακό πεδίο θα διαστασιοποιηθεί με βάση την υφιστάμενη κατανάλωση ΖΝΧ, η οποία θα προκύψει με βάση τη χρήση του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος 2,0kW. Ο ηλεκτρικός θερμοσίφωνας χρησιμοποιείται για να καλύψει τις ανάγκες σε ΖΝΧ στο κυλικείο. Δεν υπάρχει καμία άλλη κατανάλωση ΖΝΧ στο σχολικό κτηριακό συγκρότημα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι με την εισαγωγή θερμοδοχείου αποθήκευσης είναι δυνατή η παραγωγή ΖΝΧ και από τον καυστήρα βιομάζας, οι ηλιακοί συλλέκτες καλούνται να καλύψουν τις ανάγκες σε ΖΝΧ όταν δεν θα λειτουργεί ο καυστήρας βιομάζας. Θεωρώντας ως περίοδο θέρμανσης του σχολικού κτηρίου το χρονικό διάστημα Νοέμβριος – Μάρτιος, το ηλιακό πεδίο θα διαστασιοποιηθεί με βάση τη χαμηλότερη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία τους υπόλοιπους μήνες, δηλαδή για το διάστημα Απρίλιος – Οκτώβριος. Βάσει των στοιχείων του πίνακα 18, η χαμηλότερη μέση

ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία κατά τους μήνες αυτούς παρουσιάζεται το μήνα Οκτώβριο ίση με 3,68kWh/m².

Γίνεται η παραδοχή ότι ο ηλεκτρικός θερμοσίφοντας λειτουργεί ημερησίως επί 1 ώρα, συνεπώς καταναλώνονται 2,0kWh ηλεκτρικής ενέργειας κάθε ημέρα. Θεωρώντας βαθμό απόδοσης του συστήματος παραγωγής ZNX από τον ηλεκτρικό θερμοσίφωνα 95% (απώλειες θέρμανσης προς το περιβάλλον κλπ) καταλήγουμε ότι η τελική θερμική ενέργεια που απαιτείται καθημερινά για παραγωγή ZNX ισούται με 2,105kWh.

Στην ίδια μέση ημερήσια κατανάλωση τελικής θερμικής ενέργειας που αντιστοιχεί στην παραγωγή ZNX καταλήγουμε λαμβάνοντας υπόψη τα εξής:

- ειδική κατανάλωση ZNX 1,6lt/m² & ημέρα, με βάση την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 [8] (πίνακας 2.5) για κατηγορία χρήσης Ζαχαροπλαστείο – Καφενείο, η οποία εκλαμβάνεται ως η πλησιέστερη στη χρήση του κυλικείου
- επιφάνεια κυλικείου 30m²
- αρχική θερμοκρασία νερού δικτύου 14°C και τελική θερμοκρασία ZNX 50°C.

Με βάση τις ανωτέρω παραδοχές, η ημερήσια κατανάλωση ZNX από το κυλικείο ανέρχεται σε 48lt.

Η ενέργεια αυτή θα κληθεί να παραχθεί από τους ηλιακούς συλλέκτες. Λαμβάνοντας ένα συνολικό μέσο βαθμό απόδοσης του συστήματος παραγωγής ZNX από το ηλιακό πεδίο ίσο με 65% (ηλιακοί συλλέκτες, δίκτυο μεταφοράς, θερμοδοχείο αποθήκευσης κλπ), για την παραγωγή της ανωτέρω ποσότητας ενέργειας ημερησίως θα απαιτηθεί η διαθεσιμότητα ηλιακής ακτινοβολίας ίσης με 2,238kWh ανά ημέρα. Η ενέργεια αυτή καλύπτεται με την εγκατάσταση 2m² ηλιακών συλλεκτών, δηλαδή ενός ηλιακού συλλέκτη. Λαμβάνοντας όμως επιπλέον υπόψη ότι η ενέργεια αυτή θα πρέπει να καλύψει κατανάλωση αιχμής η οποία παρουσιάζεται κυρίως στις πρωινές ώρες, θεωρείται ότι η εγκατάσταση δύο ηλιακών συλλεκτών είναι ικανή να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις για παραγωγή ZNX σε χρονικές περιόδους που δεν υπάρχει υποστήριξη από τον καυστήρα βιομάζας.

Στον πίνακα 18 παρουσιάζεται η μέση ημερήσια παραγωγή τελικής θερμότητας από 2 ηλιακούς συλλέκτες, θεωρώντας μέσο συνολικό βαθμό απόδοσης παραγωγής ZNX από το σύστημα ηλιακών συλλεκτών – θερμοδοχείου 65%. Επίσης λαμβάνεται καθαρό εμβαδό επιφάνειας ηλιακού συλλέκτη 2,36m².

Είναι προφανές ότι η εγκατεστημένη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών επαρκεί και για την κάλυψη των αναγκών σε ZNX. Ως συνέπεια προκύπτει η κατάργηση της χρήσης του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα.

Πίνακας 18: Αναλυτικός υπολογισμός παραγωγής τελικής θερμικής ενέργειας από το ηλιακό πεδίο 2 ηλιακών συλλεκτών.

Μήνας	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m ²)	2,16	2,96	4,03	5,40	6,90	7,67	8,03	7,13	5,80	3,68	2,73	2,10
Παραγωγή τελικής θερμότητας (kWh)	6,46	8,86	12,06	16,15	20,64	22,92	24,02	21,32	17,34	11,00	8,17	6,27

4.2.8. Παρεμβάσεις στο κτηριακό κέλυφος

Αναφέρθηκαν προβλήματα στεγανοποίησης των υφιστάμενων ανοιγμάτων (παραθύρων). Σε πολλές περιπτώσεις καταγράφηκαν εισροές υδάτων από τα παράθυρα του σχολείου κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων. Προτείνεται η στεγανοποίηση των αρμών των υφιστάμενων ανοιγμάτων (παράθυρα και πόρτες).

Στον πίνακα 19 παρουσιάζεται το σύνολο των ανοιγμάτων (παραθύρων) που χρειάζεται να γίνει η στεγανοποίηση των αρμών. Υπολογίζεται ότι το συνολικό μήκος των αρμών των παραθύρων επί των οποίων θα εφαρμοστεί η στεγανοποίηση είναι 507,30m. Το πάχος των αρμών στις παρειές προτείνεται να είναι 10mm.

Για τη στεγανοποίηση των αρμών προτείνεται να χρησιμοποιηθεί ελαστομερής, σφραγιστική και συγκολλητική μαστίχη (κατά προτίμηση πολουρεθάνης) με υψηλή πρόσφυση σε όλα τα οικοδομικά υλικά και με δυνατότητα παραλαβής κινητικότητας αρμού έως 30%. Θα πρέπει να παρουσιάζει υψηλές μηχανικές αντοχές και ανθεκτικότητα στη γήρανση και τις καιρικές συνθήκες και θα πρέπει να είναι κατάλληλη για σφράγιση κάθετων και οριζόντιων αρμών πλάτους μεγαλύτερου των 10mm.

Της εφαρμογής της μαστίχης θα πρέπει να προηγηθεί εφαρμογή με υγρό αστάρι (primer) πολουρεθανικών σφραγίσεων για πορώδεις επιφάνειες και μέταλλα.

Επίσης προτείνεται για πάχος στρώσης στεγανοποίησης άνω των 4mm η τοποθέτηση αφρώδους κορδονιού από εξηλασμένο πολυαιθυλένιο με κλειστές κυψέλες, κυκλικής διατομής. Θα πρέπει να τοποθετηθεί στο εσωτερικό του αρμού σφηνωτά, για να οριοθετήσει ενιαία υπόβαση, πριν από την εφαρμογή της σφραγιστικής μαστίχης.

Με βάση έρευνα αγοράς, υλικά στεγανοποίησης διατίθενται σε σαλάμια χωρητικότητας περίπου 600ml, που επαρκούν για την κάλυψη περίπου 5m αρμού πλάτους παρειάς 10mm. Συνεπώς για την εφαρμογή σε 507,30m αρμών θα απαιτηθεί η χρήση 102 τέτοιων συσκευασιών.

Τέλος η εφαρμογή του ασταριού απαιτεί κατανάλωση 150gr ανά m² επιφάνειας αρμού. Η συνολική επιφάνεια των 507,30m αρμών με συνολικό πάχος και των δύο παρειών 20mm υπολογίζεται 10,146m². Συνεπώς θα χρειαστεί η χρήση 1,52kgr ασταριού.

Πίνακας 19: Υπολογισμός μήκους εφαρμογής στεγανοποίησης στα παράθυρα του σχολικού κτηρίου.

Επίπεδο	Χώρος	Μήκος (m)	Ύψος (m)	Περίμετρος ανά άνοιγμα (m)	Ποσότητα	Συνολική περίμετρος (m)
Υπόγειο	Αποθήκη	3,00	1,45	8,90	1	8,90
		1,55	1,45	6,00	1	6,00
	Χώρος συντήρησης οργάνων	5,55	1,45	14,00	1	14,00
	Κλιμακοστάσιο	1,10	1,30	4,80	2	9,60
Ισόγειο	Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων	3,00	1,45	8,90	1	8,90
		4,75	1,45	12,40	1	12,40
		3,50	1,45	9,90	2	19,80
		3,95	1,45	10,80	1	10,80
	Χώρος υποδοχής	3,50	1,45	9,90	2	19,80
	Κυλικείο	3,00	1,45	8,90	1	8,90
	Γραμματεία - Γραφείο Διευθυντή	6,40	1,45	15,70	1	15,70
	Γραφείο Καθηγητών	6,40	1,45	15,70	1	15,70
	W.C. αγοριών	4,40	1,45	11,70	1	11,70
	W.C. κοριτσιών	4,40	1,45	11,70	1	11,70
	Εργαστήριο φυτικής παραγωγής	6,40	1,45	15,70	1	15,70
	Εργαστήριο ηλεκτροτεχνίας	4,90	1,45	12,70	1	12,70
		6,40	1,45	15,70	1	15,70
	Κλιμακοστάσιο	1,10	1,30	4,80	8	38,40
	Αίθουσα διδασκαλίας	4,40	1,45	11,70	2	23,40
	Αίθουσα διδασκαλίας	6,40	1,45	15,70	2	31,40
	Γραφείο γονεών - μαθητών	5,55	1,45	14,00	1	14,00
	Αποθήκη	1,55	1,45	6,00	1	6,00
Όροφος	Κλιμακοστάσιο	1,10	1,30	4,80	12	57,60
	W.C.	3,00	1,45	8,90	1	8,90
	Εργαστήριο 1 & 2	6,40	1,45	15,70	2	31,40
	Αίθουσα τύπου I	6,40	1,45	15,70	2	31,40
	Αίθουσα τύπου II	4,40	1,45	11,70	4	46,80
Σύνολο						507,30

5. Άλλες παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας

Η εισαγωγή του συστήματος ηλιακών συλλεκτών για την παραγωγή ZNX συνεπάγεται την απαλοιφή της χρήσης του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα που έως σήμερα εξυπηρετεί τις ανάγκες του κυλικείου. Θεωρώντας ότι ο υφιστάμενος ηλεκτρικός θερμοσίφωνας ισχύος 2,0kW λειτουργεί επί 1 ώρα ημερησίως και για 198 ημέρες το έτος, η ετήσια εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας που προκύπτει από την απαλοιφή της χρήσης του υπολογίζεται σε 396kWh.

Στην προσπάθεια μείωσης κατά το δυνατό της υφιστάμενης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, προτείνεται επίσης η αντικατάσταση των εξωτερικών προβολέων υδραργύρου με προβολείς LED.

5.1. Αντικατάσταση προβολέων εξωτερικών χώρων

Το κτήριο διαθέτει 15 προβολείς υδραργύρου ονομαστικής ισχύος 250W και πραγματικής κατανάλωσης ισχύος 312W, έντασης φωτισμού 13.000lumens, οι οποίοι λειτουργούν περίπου για πέντε ώρες κατά τη διάρκεια της νύχτας και για όλο το έτος. Οι προβολείς υδραργύρου προτείνεται να αντικατασταθούν με προβολείς LED. Με βάση έρευνα αγοράς, προτείνεται η αντικατάσταση των προβολέων υδραργύρου με προβολείς LED ονομαστικής ισχύος 87W, κατανάλωσης ισχύος 102W και έντασης φωτισμού 12.500lumens. Οι προβολείς LED που τελικά θα επιλεγούν θα πρέπει να συνοδεύονται από τουλάχιστον διετή εγγύηση.

Στον πίνακα 20 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των υφιστάμενων και των προτεινόμενων προβολέων του αύλιου χώρου του σχολικού κτηρίου.

Πίνακας 20: Τεχνικά χαρακτηριστικά εγκατεστημένων και προτεινόμενων προβολέων.		
	Υφιστάμενο σύστημα	Προτεινόμενο σύστημα
Τύπος προβολέων	Υδραργύρου	LED
Αριθμός προβολέων	15	15
Ονομαστική ισχύς προβολέα (W)	250	87
Κατανάλωση ισχύος ανά προβολέα (W)	312	102
Ένταση φωτισμού (lumen)	13.000	12.500
Συνολική κατανάλωση ισχύος (W)	4.680	1.530

Στον πίνακα 21 παρουσιάζεται αναλυτικά ο υπολογισμός της αναμενόμενης ετήσιας εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας με την προτεινόμενη παρέμβαση. Στον ίδιο πίνακα εισάγοντας την τιμή πώλησης της μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας από τη Δ.Ε.Η. 0,11529€/kWh, υπολογίζεται η ετήσια δαπάνη αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας πριν και μετά την αλλαγή των υφιστάμενων προβολέων.

Πίνακας 21: Υπολογισμός ετήσιας εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω αντικατάστασης προβολέων υδραργύρου με προβολείς LED.							Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα (kWh)		Ετήσια δαπάνη αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (€)	
A/A	Μήνας	Ημέρες μήνα	Έναρξη λειτουργίας	Πέρασ λειτουργίας	Ώρες λειτουργίας ανά 24ωρο	Συνολικές ώρες λειτουργίας ανά μήνα	Υφιστάμενο σύστημα	Προτεινόμενο σύστημα	Υφιστάμενο σύστημα	Προτεινόμενο σύστημα
1	Ιανουάριος	31	22,0	3,0	5,0	155,0	725,40	237,15	83,63	27,34
2	Φεβρουάριος	28	22,0	3,0	5,0	140,0	655,20	214,20	75,54	24,70
3	Μάρτιος	31	22,0	3,0	5,0	155,0	725,40	237,15	83,63	27,34
4	Απρίλιος	30	22,0	3,0	5,0	150,0	702,00	229,50	80,93	26,46
5	Μάιος	31	22,0	3,0	5,0	155,0	725,40	237,15	83,63	27,34
6	Ιούνιος	30	22,0	3,0	5,0	150,0	702,00	229,50	80,93	26,46
7	Ιούλιος	31	22,0	3,0	5,0	155,0	725,40	237,15	83,63	27,34
8	Αύγουστος	31	22,0	3,0	5,0	155,0	725,40	237,15	83,63	27,34
9	Σεπτέμβριος	30	22,0	3,0	5,0	150,0	702,00	229,50	80,93	26,46
10	Οκτώβριος	31	22,0	3,0	5,0	155,0	725,40	237,15	83,63	27,34
11	Νοέμβριος	30	22,0	3,0	5,0	150,0	702,00	229,50	80,93	26,46
12	Δεκέμβριος	31	22,0	3,0	5,0	155,0	725,40	237,15	83,63	27,34
			Ετήσια σύνολα			1.825,0	8.541,00	2.792,25	984,69	321,92
			Εξοικονόμηση					5.748,75		662,77
			Εξοικονόμηση (%)					67,31		67,31

5.2. Σύνοψη αποτελεσμάτων παραγωγής από Α.Π.Ε. και εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας

Στον πίνακα 22 ανακεφαλαιώνονται τα αποτελέσματα υπολογισμού της εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας που παρουσιάστηκαν ανωτέρω και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα φωτοβολταϊκών στοιχείων. Υπολογίζεται επίσης η ετήσια μείωση εκπομπής αερίων ρύπων CO₂, όπως προκύπτει με βάση τη συνολική εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρωτογενής ενέργεια που αντιστοιχεί στη συνολική ετήσια εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας και οι εκπομπές αερίων ρύπων CO₂ που εξοικονομούνται από αυτή, υπολογίζονται με βάση τα οριζόμενα στον πίνακα Β.1 του άρθρου 5 του Κ.ΕΝ.Α.Κ.

Υφιστάμενη ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	23.351,00
Ετήσια συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. (kWh)	3.363,16
Ετήσια εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω αντικατάστασης προβολέων υδραργύρου με προβολείς LED (kWh)	5.748,75
Ετήσια εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω απαλοιφής χρήσης ηλεκτρικού θερμοσίφωνα (kWh)	396,00
Συνολική ετήσια εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	6.144,75
Σύνολο ετήσιας παραγωγής από ΑΠΕ και εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	9.507,91
Νέα αναμενόμενη ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το σχολικό κτήριο (kWh)	17.206,25
Συνολική ετήσια μείωση δαπάνης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (€)	708,43
Συνολικό ετήσιο έσοδο από πώληση ενέργειας Φ/Β (€)	1.757,25
Συνολικό ετήσιο οικονομικό όφελος (€)	2.465,68
Πρωτογενής ενέργεια που αντιστοιχεί στη συνολική ετήσια εξοικονόμηση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ (kWh)	27.572,94
Ποσοστιαία εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (%)	40,72
Μείωση ετήσιων εκπομπών CO ₂ (tn)	27,270

Η νέα ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται σε **17.206,25kWh**. Από αυτές, οι **3.363,16kWh**, δηλαδή το **19,55%**, θα παράγονται από το σύστημα Α.Π.Ε., δηλαδή από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Η παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά θα πωλείται στο δίκτυο προς 0,5225€/kWh, θεωρώντας ότι η εγκατάσταση του συστήματος θα γίνει εντός του 2012 (Φ.Ε.Κ. 1079Β' - 4/6/2009, άρθρο 3, παρ. 3) αποδίδοντας ετήσιο οικονομικό έσοδο ίσο με **1.757,25€**. Από τη Δ.Ε.Η. θα αγοράζονται πλέον **17.206,25kWh** ετησίως, δηλαδή ποσοστό ίσο με **73,69%** ως προς την υφιστάμενη ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Λαμβάνοντας την τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από τη Δ.Ε.Η. ίση με 0,11529€/kWh, προκύπτει το ετήσιο κόστος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ίσο με **1.983,71€**. Το κόστος αυτό θα συμψηφίζεται με το ετήσιο έσοδο από την πώληση της ενέργειας των φωτοβολταϊκών. Συνεπώς, το ετήσιο κόστος αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας θα μειωθεί στα **226,46€**.

6. Το σύστημα εποπτείας και ελέγχου

Η υλοποίηση των προτεινόμενων παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας και παραγωγής από Α.Π.Ε. προτείνεται να συνοδευτεί από ένα κεντρικό σύστημα εποπτείας και ελέγχου. Το σύστημα αυτό θα έχει διπλή χρήση:

- την παρακολούθηση του συστήματος και τον έλεγχο της κανονικής λειτουργίας του
- τη χρήση του ως μέσο διδασκαλίας των μαθητών.

Σκοπός του προτεινόμενου συστήματος θα είναι η καταγραφή όλων των παραμέτρων και των αποτελεσμάτων λειτουργίας του συνόλου των ενεργειακών συστημάτων του σχολικού κτηρίου. Συγκεκριμένα, τα μεγέθη που δύνανται να παρακολουθούνται είναι:

- η τρέχουσα κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος, μέσω λήψης σήματος από το κεντρικό ρολόι μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας της Δ.Ε.Η. ή μέσω του κεντρικού ηλεκτρολογικού πίνακα
- εφόσον η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ξεχωριστών γραμμών παροχής είναι τέτοια που το επιτρέπει, είναι δυνατή επίσης η επιμέρους καταγραφή κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος ανά κατηγορία φορτίου, δηλαδή ισχύς φωτισμού, κίνησης κλπ.
- η τρέχουσα παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από το φωτοβολταϊκό σταθμό και η εγχυόμενη ισχύς στο ηλεκτρικό δίκτυο, μέσω λήψης αντίστοιχων σημάτων από το μετατροπέα ισχύος
- η τρέχουσα διαθέσιμη πυκνότητα ηλιακής ισχύος μέσω λήψης σήματος από πυρανόμετρο που θα εγκατασταθεί στη στέγη του κτηρίου
- η ποιότητα ισχύος της:
 - παραγόμενης κυματομορφής εναλλασσόμενης τάσης από το φωτοβολταϊκό σταθμό
 - εγχυόμενης κυματομορφής εναλλασσόμενης τάσης από το μετατροπέα ισχύος στο ηλεκτρικό δίκτυο
 - διαθέσιμης κυματομορφής εναλλασσόμενης τάσης από το ηλεκτρικό δίκτυο στο σχολικό κτήριο

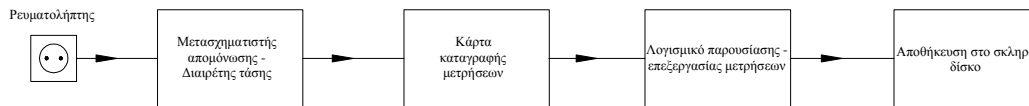
μέσω λήψης αντίστοιχων σημάτων και υλοποίησης σχετικού αλγόριθμου αξιολόγησης της ποιότητας ισχύος που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας και Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων του Τ.Ε.Ι. Κρήτης [13].

- η τρέχουσα παραγόμενη θερμική ισχύς από:
 - τους ηλιακούς συλλέκτες στην έξοδο από το ηλιακό πεδίο (πρωτεύον κύκλωμα)
 - τον καυστήρα βιομάζας
- η τρέχουσα αποθήκευση θερμικής ισχύος στο θερμοδοχείο από τους ηλιακούς συλλέκτες
- η τρέχουσα παροχή κατανάλωσης ΖΝΧ και η αντίστοιχη κατανάλωση θερμικής ισχύος
- μετρήσεις θερμοκρασίας από εσωτερικούς κλιματιζόμενους και μη χώρους και από το περιβάλλον, μέσω της λήψης μετρήσεων από δίκτυο αισθητήρων θερμοκρασίας που θα εγκατασταθεί σε χαρακτηριστικά σημεία του κτηρίου.

Για την υλοποίηση των ανωτέρω απαιτείται ο ακόλουθος εξοπλισμός:

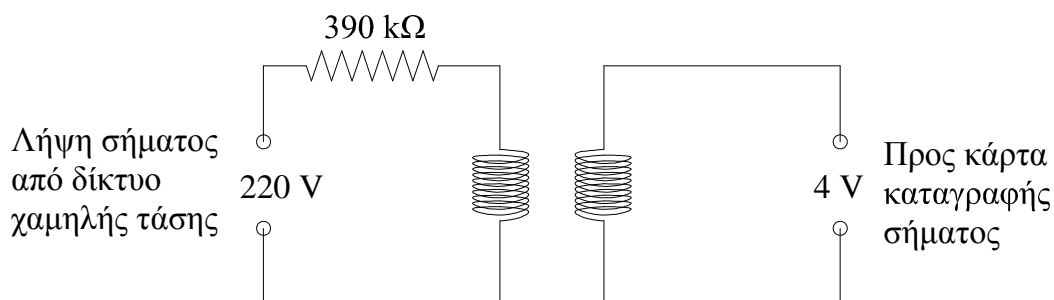
- Ένας Η/Υ (κεντρική μονάδα, οθόνη, πληκτρολόγιο, ποντίκι), εφοδιασμένος με κάρτα λήψης μετρήσεων (acquisition card), στον οποίο θα εγκατασταθεί το βασικό λογισμικό (λειτουργικό σύστημα, προγράμματα κειμενογράφου, φύλλων υπολογισμού κλπ) και το λογισμικό υποστήριξης της κάρτας μετρήσεων, πάνω

στο οποίο θα αναπτυχθεί το λογισμικό εποπτείας του συστήματος, το οποίο θα αναπτυχθεί ειδικά για το σκοπό αυτό (δεν αποτελεί εμπορικό προϊόν). Ο Η/Υ θα πρέπει να είναι εφοδιασμένος με ταχύ επεξεργαστή, αντίστοιχα υψηλή μνήμη RAM και σκληρό δίσκο ικανής χωρητικότητας (1TB). Στο σχήμα 15 παρουσιάζεται βασική συνδεσμολογία λήψης μετρήσεων ηλεκτρικής ισχύος.



Σχήμα 15: Συνοπτικό σχέδιο μετρητικής διάταξης.

- Η μέγιστη ικανότητα λήψης μετρήσεων της κάρτας θα πρέπει να επιτρέπει την ανίχνευση συμβάντων ηλεκτρικής ισχύος στο μετρούμενο κύκλο τάσης συχνότητας έως 16kHz. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει ο μέγιστος ρυθμός εξαγωγής μετρήσεων να είναι τουλάχιστον 800ksamples/sec. Επίσης λόγω των πολλών σημάτων που θα πρέπει να εισέρχονται στην κάρτα, θα πρέπει να είναι εφοδιασμένη με τουλάχιστον 20 αναλογικές εισόδους και άλλες τόσες ψηφιακές. Το πεδίο τιμών λήψης σημάτων θα πρέπει να είναι της τάξης των ± 10 volts.
- Μετασχηματιστές απομόνωσης – διαίρετες τάσης 230V/-10 – +10V για την τροφοδοσία της κάρτας λήψης μετρήσεων με σήματα τάσης από τα διάφορα μετρούμενα μεγέθη. Ο μετασχηματιστής αυτός έχει σκοπό αφενός να υποβιβάζει τη μετρούμενη τάση εντός των ορίων λήψης τιμών από την κάρτα μετρήσεων, αφετέρου να απομονώσει τη μετρητική διάταξη από τη γείωση του δικτύου της Δ.Ε.Η. (στην περίπτωση που λαμβάνεται σήμα από αυτό), ώστε να αποφευχθεί η πιθανότητα καταστροφής του εξοπλισμού από πιθανά σοβαρά προβλήματα ισχύος. Προτείνεται η χρήση μετασχηματιστή ακουστικών συχνοτήτων, ο οποίος επιτρέπει τη μεταφορά αρμονικών συχνοτήτων έως 20kHz. Στο σχήμα 16 παρουσιάζεται το ηλεκτρικό ανάλογο ενός μετασχηματιστή απομόνωσης.



Σχήμα 16: Ηλεκτρικό ανάλογο μετασχηματιστή απομόνωσης.

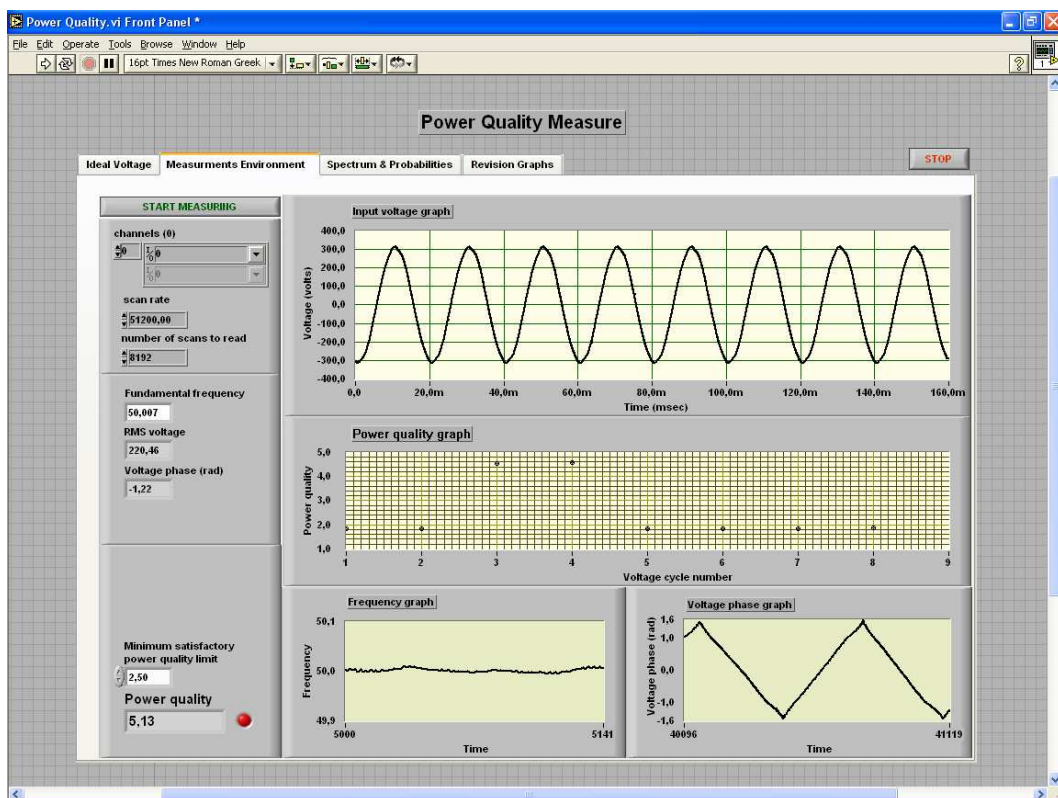
- Ένα πυρανόμετρο για λήψη μετρήσεων ηλιακής ακτινοβολίας με έξοδο σήματος.
- Αισθητήρες θερμοκρασίας για τη μέτρηση των θερμοκρασιών χώρων, περιβάλλοντος και ZNX σε διάφορα σημεία του δικτύου, όπως περιγράφονται ανωτέρω.
- Ροόμετρα και θερμομέτρα με έξοδο αναλογικού σήματος, για τη μέτρηση της παροχής εργαζόμενου μέσου σε τέσσερα σημεία (πρωτεύον κύκλωμα ηλιακών,

τροφοδοσία θερμοδοχείου από ηλιακά, τροφοδοσία θερμοδοχείου από καυστήρα, κεντρική παροχή ΖΝΧ).

- Καλώδια νίκελ – χρωμίου για τη μεταφορά των σημάτων από τη θέση λήψης μετρήσεων έως την κάρτα μετρήσεων.

Όλα τα ανωτέρω θα παρουσιάζονται σε κατάλληλο λογισμικό που θα αναπτυχθεί στο περιβάλλον υποστήριξης της κάρτας μετρήσεων, σε παραθυρικό περιβάλλον, με κατάλληλα γραφήματα, πίνακες και πεδία. Ο χρήστης θα μπορεί να εποπτεύει ανά πάσα στιγμή τα μετρούμενα μεγέθη στην οθόνη του Η/Υ, ταξινομημένα σε διαφορετικές καρτέλες ανά σύστημα. Πέρα από τις τρέχουσες (real-time) μετρήσεις, το λογισμικό υποστήριξης του μετρητικού συστήματος θα εκτελεί υπολογισμούς σχετικούς με τη συνολική παραγωγή ή κατανάλωση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, θα αποθηκεύει και θα εξάγει χρονοσειρές με μέσες τιμές (π.χ. ωριαίες) αποτελεσμάτων και, εν γένει, θα αποτελεί ένα πλήρη σταθμό καταγραφής και εποπτείας του συστήματος.

Ενδεικτικά, στην εικόνα 2 παρουσιάζεται το περιβάλλον του λογισμικού λήψης και επεξεργασίας μετρήσεων ποιότητας ισχύος, το οποίο έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του προγράμματος ΑΚΜΩΝ, της Γ.Γ.Ε.Τ., από το Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας και Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων του Τ.Ε.Ι. Κρήτης. Ο προτεινόμενος μετρητικός σταθμός δύναται να αναπτυχθεί στα πρότυπα της συγκεκριμένης εφαρμογής.



Εικόνα 2: Οθόνη λήψης μετρήσεων του σχετικού λογισμικού.

7. Σύνοψη ενεργειακών – οικονομικών δεικτών προτεινόμενων παρεμβάσεων

Στον πίνακα 23 συνοψίζονται οι βασικοί ενεργειακοί – οικονομικοί δείκτες των προτεινόμενων παρεμβάσεων. Υπενθυμίζεται ότι το συνολικό εμβαδό των θερμοαινόμενων χώρων είναι 1.046m².

Πίνακας 23: Σύνοψη ενεργειακών και οικονομικών δεικτών προτεινόμενων συστημάτων.	
Υφιστάμενη κατάσταση	
Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	23.351
Ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης (lt)	6.244
Πρωτογενής ενέργεια που αντιστοιχεί στην ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	67.718
Πρωτογενής ενέργεια που αντιστοιχεί στην ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης (kWh)	69.165
Συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh)	136.883
Συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας κλιματιζόμενων χώρων (kWh/m ²)	130,86
Εκπομπές CO ₂ λόγω κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (tn)	66,973
Εκπομπές CO ₂ λόγω κατανάλωσης ντίζελ θέρμανσης (tn)	18,260
Συνολικές ετήσιες εκπομπές CO ₂ (tn)	85,233
Εξοικονόμηση ενέργειας	
Νέα ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	17.206
Συνολική ετήσια εξοικονόμηση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ (kWh)	9.508
Συνολική ετήσια εξοικονόμηση στην κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης (lt)	6.244
Πρωτογενής ενέργεια που αντιστοιχεί στην ετήσια εξοικονόμηση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ (kWh)	27.573
Πρωτογενής ενέργεια που αντιστοιχεί στην ετήσια εξοικονόμηση πετρελαίου θέρμανσης (kWh)	69.165
Πρωτογενής ενέργεια που αντιστοιχεί στην ετήσια κατανάλωση βιομάζας (kWh)	31.837
Συνολική ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh)	64.901
Νέα ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh)	71.982
Νέα ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας κλιματιζόμενων χώρων (kWh/m ²)	68,82
Ποσοστό εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας (%)	26,31
Ποσοστό εξοικονόμησης πετρελαίου θέρμανσης (%)	100,00
Ποσοστό εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας (%)	47,41
Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ως προς την νέα ετήσια κατανάλωση ενέργειας (%)	19,55
Μείωση εκπομπών ρύπων CO₂	
Μείωση εκπομπών CO ₂ λόγω μείωσης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (tn)	27,270
Μείωση εκπομπών CO ₂ λόγω μείωσης κατανάλωσης πετρελαίου (tn)	18,260
Συνολική ετήσια μείωση εκπομπών CO ₂ (tn)	45,529
Ποσοστό ετήσιας εξοικονόμησης εκπομπών CO ₂ (%)	53,42
Στοιχεία αξιοποίησης Α.Π.Ε.	
Αριθμός διαφορετικών μορφών Α.Π.Ε. που αξιοποιούνται	2
Μέση ετήσια απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων που θα χρησιμοποιηθούν (%)	15,36
Απόδοση του καυστήρα βιομάζας που θα χρησιμοποιηθεί (%)	88,85
Απόδοση των ηλιακών θερμικών συλλεκτών που θα χρησιμοποιηθούν στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας (%)	74

Η νέα ειδική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας μετά την υλοποίηση των προτεινόμενων παρεμβάσεων υπολογίζεται 68,82kWh/m². Με βάση τη διεξαχθήσα ενεργειακή επιθεώρηση, η ειδική κατανάλωση του κτηρίου αναφοράς υπολογίστηκε 122,6kWh/m².

Ο λόγος T της ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου μετά τις παρεμβάσεις, προς αυτήν του κτηρίου αναφοράς, υπολογίζεται, βάσει των αποτελεσμάτων, ίσος με 0,56. Με βάση τον πίνακα E.1, του άρθρου 13 του Κ.ΕΝ.Α.Κ., ο οποίος παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα 24, το κτήριο κατατάσσεται στην κατηγορία **B+** ενεργειακής απόδοσης κτηρίου.

A+	$T \leq 0,33$
A	$0,33 < T \leq 0,50$
B+	$0,50 < T \leq 0,75$
B	$0,75 < T \leq 1,00$
Γ	$1,00 < T \leq 1,41$
Δ	$1,41 < T \leq 1,82$
E	$1,82 < T \leq 2,27$
Z	$2,27 < T \leq 2,73$
H	$2,73 < T$

8. Συμπεράσματα

Τα βασικά συμπεράσματα της τεχνικής περιγραφής που παρουσιάστηκε μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- Τα προτεινόμενα συστήματα παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαμηλά ειδικά κόστη παραγωγής ή εξοικονόμησης της μονάδας ενέργειας, αναφερόμενοι στο ετήσιο λειτουργικό κόστος τους. Το γεγονός αυτό τα κάνει ιδιαίτερα ελκυστικά αναφορικά με την υλοποίησή τους.
- Επιτυγχάνονται μεγάλα ποσοστά εξοικονόμησης πρωτογενών μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η χρήση του πετρελαίου θέρμανσης εξαλείφεται εντελώς, ενώ σημαντική εξοικονόμηση επιτυγχάνεται και στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.
- Το 45% της τελικής θερμικής ενέργειας για τη θέρμανση των κλιματιζόμενων χώρων του κτηρίου θα παράγεται από τους ηλιακούς συλλέκτες. Το υπόλοιπο 55% θα παράγεται από τον καυστήρα βιομάζας, με καύση πυρηνόξυλου.
- Η συνολική εξοικονόμηση αερίων ρύπων CO₂ αναμένεται να ανέλθει στους 45tn ετησίως.
- Η εγκατάσταση των προτεινόμενων συστημάτων είναι γρήγορη και χωρίς καταστρεπτικές διεργασίες στο υφιστάμενο κτήριο. Η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων και των ηλιακών θερμικών συλλεκτών μπορεί να γίνει κάλλιστα στον αύλιο χώρο και στο δώμα του Α' ορόφου αντίστοιχα.
- Και τα δύο βασικά προτεινόμενα συστήματα θα συνοδεύονται από διατάξεις ελέγχου και εποπτείας, όργανα μέτρησης, θερμοδομετρητές κλπ. Η εγκατάσταση των διατάξεων ελέγχου και εποπτείας μπορεί να γίνει σε κάποια εργαστηριακή αίθουσα του σχολείου, αποτελώντας ταυτόχρονα και εργαλείο διδασκαλίας μαθημάτων τεχνολογικής φύσεως.
- Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η κωμόπολη Αρκαλοχωρίου ανήκει στο νεοσύστατο Δήμο Μίνωα Πεδιάδας, εντός των γεωγραφικών ορίων του οποίου σχεδιάζεται η κατασκευή του νέου διεθνούς αεροδρομίου Καστελλίου Κρήτης. Η θέση του σχολείου απέχει περίπου 10km από το νέο αεροδρόμιο. Οι προτεινόμενες παρεμβάσεις αξιοποιούν τις διαθέσιμες τεχνολογίες Α.Π.Ε. στην ευρύτερη περιοχή του Αρκαλοχωρίου, οι οποίες είναι η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ακτινοβολία και η βιομάζα, με τη μορφή πυρηνόξυλου ελιάς. Το προτεινόμενο εν τω συνόλω του ενεργειακό σύστημα δύναται να αποτελέσει πρότυπο για την ανάπτυξη αντίστοιχων συστημάτων στο κτηριακό τομέα στην περιοχή, ο οποίος αναμένεται να σημειώσει σημαντική ανάπτυξη στην εν λόγω περιοχή τα επόμενα χρόνια.

Θραψανό – Σεπτέμβριος 2014

ΘΕΩΡΗΘΗΚΕ	ΕΛΕΓΧΘΗΚΕ	ΣΥΝΤΑΧΘΗΚΕ
Η προϊσταμένη Δ/σης Τεχνικών Υπηρεσιών	Ο επιβλέπων	Ο Μελετητής
Δαγκωνάκη Ζαχαρένια	Σοφία Λιοντάκη	Γιάννης Γιαννακουδάκης Διπλ. Μηχανολόγος Μηχανικός

9. Βιβλιογραφία

- [1] Ιστοσελίδα Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.): www.cres.gr.
- [2] Γ. Μπεργελές. “Ανεμοκινητήρες”. Εκδόσεις Συμεών. Αθήνα 1995.
- [3] Ιωάννης Ε. Φραγκιαδάκης. Φωτοβολταϊκά συστήματα. 1^η έκδοση. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη 2004.
- [4] **Dimitris Al. Katsaprakakis, Nikos Papadakis, George Kozirakis, Yiannis Minadakis, Dimitris G. Christakis, Konstantinos Kondaxakis.** “Electrification of the island of Dia based on renewable energy sources”. Applied Energy 86 (209) 516–527.
- [5] Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων. Αριθμ. Δ6/Β/οικ. 5825 Φ.Ε.Κ. 407 Β'/9-4-2010.
- [6] **Jan Kreider, Ari Rabl, Peter Curtiss, Jan F. Kreider.** Heating and Cooling of Buildings. McGraw-Hill Education – Europe 2002. ISBN: 0071130632
- [7] 2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI Edition). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- [8] Τεχνική Οδηγία Τ.Ε.Ε. 20701 - 1/2010: Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης.
- [9] Ε.Μ.Υ. – Διεύθυνση κλιματολογίας.
- [10] Φ.Ε.Κ. 1526 Β'/27-7-1999. Αριθ. Δ6/Β/οικ. 11038: Διαδικασίες, απαιτήσεις και κατευθύνσεις για τη διεξαγωγή ενεργειακών επιθεωρήσεων.
- [11] Τεχνική Οδηγία Τ.Ε.Ε. 20701 - 3/2010: Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης.
- [12] **Γιάννης Βουρδουμπάς.** «Εισαγωγή στις Τεχνολογίες της Ενεργειακής Αξιοποίησης της Βιομάζας». Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων (Μ.Α.Ι.Χ.). Χανιά 2002.
- [13] **Dimitris Al. Katsaprakakis, Dimitris G. Christakis, Arthouros Zervos, Spiros Voutsinas,** “A power quality measure”, IEEE – Transactions on Power Delivery, Vol. 23, No 2, pp. 553-561, April 2008.
- [14] Εμπορική ιστοσελίδα: www.eshops.gr.