



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

“ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ”

**Σχεδιασμός ηλιακού συστήματος υποβοηθούμενου
από αντλία θερμότητας για κάλυψη θερμικών
φορτίων κλειστού κολυμβητηρίου**

ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ ΗΛΙΑΣ

Κοζάνη 2020



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

“ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ”

**Σχεδιασμός ηλιακού συστήματος υποβοηθούμενου
από αντλία θερμότητας για κάλυψη θερμικών
φορτίων κλειστού κολυμβητηρίου**

Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Επιβλέπων

Πανάρας Γεώργιος

Μέλη

Σουλιώτης Εμμανουήλ

Μαρνέλλος Γεώργιος

Κοζάνη 2020

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται διερεύνηση της λειτουργίας κλειστού κολυμβητηρίου, με στόχο τη διατύπωση παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης και μείωσης της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας.

Αρχικά στην εργασία γίνεται αναφορά στην σημασία της κολύμβησης, την ανάγκη που προκύπτει για την κατασκευή κολυμβητηρίων, και η σημασία κάλυψης των αναγκών τους για θέρμανση.

Συνεχίζοντας γίνεται αναλυτική παρουσίαση του υπό εξέταση κλειστού κολυμβητηρίου, καθώς και εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων, αλλά και των ενεργειακών καταναλώσεων. Η ανάλυση γίνεται βάση ήδη υπάρχοντων στοιχείων του κολυμβητηρίου και εφαρμογής των κανονισμών του ΤΕΕ - Κ.Εν.Α.Κ και της ASHRAE (για την κολυμβητική δεξαμενή), ενώ αξιοποιήθηκαν στοιχεία που εξάχθηκαν από τα σχέδια του κελύφους που παραχωρήθηκαν από τις αρμόδιες αρχές, αλλά και από επιτόπια επιθεώρηση.

Στη βάση των αποτελεσμάτων της ενεργειακής ανάλυσης, προτείνονται παρεμβάσεις για την αναβάθμιση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κολυμβητηρίου. Οι παρεμβάσεις προβλέπουν την εγκατάσταση ηλιακού συστήματος, καθώς και συστήματος Διαχείρισης Ενεργειακών Συστημάτων (Building Energy Management Systems, BEMS).

Η διαστασιολόγηση του ηλιακού συστήματος γίνεται για διαφορετικές περιπτώσεις κλίσης εγκατάστασης και επιφανειών, καταλήγοντας στις βέλτιστες επιλογές για την κάλυψη των αναγκών του κολυμβητηρίου. Παράλληλα εξετάζεται η στρατηγική λειτουργίας του ηλιακού συστήματος και ειδικότερα η επιλογή του τύπου του φορτίου που θα καλυφθεί κατά προτεραιότητα (ZNX ή φορτίο κολυμβητικής δεξαμενής).

Έπειτα γίνεται αναφορά στην έννοια και τη σημασία των Building Energy Management Systems (BEMS), καθώς και στη χρήση τους για μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων στην εγκατάσταση. Παρουσιάζεται συγκεκριμένη διάταξη controller, και αναλύονται τα πλεονεκτήματα του για τον προγραμματισμό του αλγορίθμου λειτουργίας της προτεινόμενης εγκατάστασης.

Τέλος γίνεται οικονομοτεχνική μελέτη για την αξιολόγηση των παρεμβάσεων και την εύρεση του χρόνου απόσβεσης των επεμβάσεων.

Abstract

In this paper, the operation of an indoor swimming pool is investigated, with the aim of formulating interventions for energy upgrading and reduction of conventional energy.

Initially, the paper refers to the importance of swimming, the need that arises for the construction of swimming pools, and the importance of meeting their needs for heating.

Continuing, a detailed presentation of the indoor swimming pool in question is made, as well as an assessment of the energy requirements, as well as the energy consumption. The analysis is based on existing data of the natatorium and application of the regulation of TEE – K.Ev.A.K and ASHRAE, while data extracted from the shell designs provided by the competent authorities were utilized, as well also by on-site inspection.

Based on the results of the energy analysis, interventions are proposed to upgrade the energy behavior of the pool. The interventions provide for the installation of a solar system, as well as a Building Energy Management System (BEMS).

The sizing of the solar system is considered for different cases of installation inclination and surfaces, resulting in the optimal options to meet the needs of the swimming pool. At the same time, the operation strategy of the solar system is examined and in particular the choice of the type of load that will be covered as a priority (DHW or swimming pool load).

Then reference is made to the concept and importance of Building Energy Management Systems (BEMS) as well as their use to reduce energy consumption in the facility. A specific controller layout is presented, and its advantages for programming the operation algorithm of the proposed installation are analyzed.

Finally, an economic and technical study is carried out to find the amortization time of the interventions.

Ευχαριστίες

Είναι σημαντικό σε αυτό το σημείο να γίνει ξεχωριστή αναφορά στα άτομα τα οποία με βοήθησαν και με στήριξαν σε αυτή την προσπάθεια.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας, κ. Γεώργιο Πανάρα για την άριστη συνεργασία, για την στήριξη και τις γνώσεις του, ειδικά σε αυτές τις δύσκολες συνθήκες για όλους μας.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω των κ. Αριστεΐδη Αφεντουλίδη για την παραχώρηση του controller και την καθοδήγησή του σε αυτόν τον τομέα.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτωρ κ. Λεωνίδα Ζουλούμη για την πολύτιμη βοήθειά του.

Τέλος να ευχαριστήσω την οικογένεια, τους φίλους και τα δικά μου άτομα, για την συμπαράσταση και στήριξη όχι μόνο σε αυτήν την εργασία, αλλά κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Περίληψη	i
Abstract	ii
1. Εισαγωγή	1
2. Κολύμβηση και κατανάλωση ενέργειας	2
2.1. Κολυμβητήρια	2
2.2. Θέρμανση κολυμβητηρίων	2
2.3. Ενέργεια στα κολυμβητήρια	3
2.3.1 Ενεργειακή ανάλυση κολυμβητηρίων/αθλητικών κέντρων	3
2.4. Κολυμβητήρια στην Ελλάδα	5
2.5. Ποιότητα νερού	7
2.6. Ανακυκλοφορία νερού	7
2.7. Απολύμανση νερού	8
3. Λιάπειο Κλειστό Κολυμβητήριο	9
3.1 Εισαγωγή	9
3.2. Γενική Περιγραφή Εγκατάστασης	9
3.3. Κέλυφος Κτηρίου	11
3.2.1. Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας αδιαφανών δομικών στοιχείων	14
3.2.2. Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας διαφανών δομικών στοιχείων	17
3.2.3. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα	19
3.2.4. Μελέτη θερμομονωτικής επάρκειας	19
3.4. Σύστημα θέρμανσης κολυμβητηρίου	21
4. Υπολογισμός φορτίων και καταναλώσεων	25
4.1. Φορτίο Κολυμβητικής Δεξαμενής	25
4.1.1. Υπολογισμός απωλειών λόγω εξάτμισης του νερού της κολυμβητικής δεξαμενής	25
4.1.2. Υπολογισμός απωλειών λόγω ανανέωσης του νερού της κολυμβητικής δεξαμενής	30
4.2: Υπολογισμός φορτίου ζεστού νερού χρήσης	33
4.3. Υπολογισμός Ενεργειακών Απαιτήσεων Κλειστού Κολυμβητηρίου	35

4.3.1. Υπολογισμός ετήσιων θερμικών απωλειών	38
4.3.1.1. Μηνιαίες Τιμές Φορτίου Αερισμού.	38
4.3.1.2. Μηνιαίες τιμές φορτίου λόγω μετάδοσης	43
4.3.2. Υπολογισμός ετήσιων θερμικών κερδών	46
4.3.2.1. Ηλιακά θερμικά κέρδη	46
4.3.2.2. Εσωτερικά θερμικά κέρδη	53
4.4. Παρουσίαση αποτελεσμάτων απαιτήσεων	56
4.5. Κατανάλωση ενέργειας συστημάτων	60
4.5.1. Κατανάλωση λέβητα πετρελαίου	60
4.5.2. Κατανάλωση αντλιών θερμότητας	61
4.5.3. Κατανάλωση φωτισμού και συστημάτων	64
4.5.4. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα καταναλώσεων	65
5. Controller και εφαρμογή σε άλλα κτίρια	69
5.1. Εισαγωγή	69
5.2. Building Energy Management Systems	69
5.3. Ενεργειακές απαιτήσεις κτηριακού τομέα	71
5.4. Controller	72
5.4.1. Στοιχεία του controller	73
6. Διαστασιολόγηση και χρήση ηλιακού συστήματος για ZNX και θέρμανση πισίνας	80
6.1. Υπολογισμός Ηλιακής ακτινοβολίας για γωνία συλλεκτών 30°	80
6.1.1. F-Chart Method 30°	87
6.2. Υπολογισμός Ηλιακής ακτινοβολίας για γωνία συλλεκτών 41°	94
6.2.1. F-Chart Method 41°	97
6.3. Ηλιακοί Συλλέκτες	100
6.3.1. Μελέτη καταναλώσεων με την προσθήκη ηλιακών	102
6.3.1.1. Νέα κατανάλωση των αντλιών θερμότητας	103
6.3.1.2. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα νέων καταναλώσεων	107
6.3.1.3. Μελέτη καταναλώσεων με την προσθήκη ηλιακών και κύρια χρήση τους στην θέρμανση της κολυμβητικής δεξαμενής	109
6.4. Σύνδεση ηλιακών	112
6.5. Οικονομοτεχνική μελέτη και τελικές καταναλώσεις συστημάτων	115
7. Συμπεράσματα	120
Βιβλιογραφία	121

1. Εισαγωγή

Η κολύμβηση αποτελεί την πιο ολοκληρωμένη μορφή άσκησης για τον άνθρωπο, καθώς γυμνάζει ταυτόχρονα ολόκληρο το σώμα. Η κολύμβηση, εκ των αρχαιοτάτων χρόνων, είναι μία από τις πρώτες δραστηριότητες του ανθρώπου στην Γη. Δεν πρέπει να παραληφθεί ότι πολύ μεγάλη αξία στο κολύμπι έδιναν και οι αρχαίοι Έλληνες, καθώς το θεωρούσαν ντροπιαστικό να μην γνωρίζει κάποιος κολύμβηση.

Η δραστηριότητα της κολύμβησης συναντάται σε μεγάλο βαθμό στην Ελλάδα και είναι άρρηκτα συνδεδεμένη και με το καλοκαίρι. Η ιδιαίτερη γεωμορφία της Ελλάδας έχει συνεισφέρει στην ύπαρξη πολλών παραλιών, οι οποίες είναι προσιτές στο μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού, καθώς κανένα μέρος της Ελλάδος δεν απέχει από την ακτογραμμή απόσταση μεγαλύτερη των 137 χιλιομέτρων.

Πολλοί παθόντες χρόνιων προβλημάτων, όπως παχυσαρκίας, δυσμορφίας, προβλημάτων στην μέση και όχι μόνο, χρησιμοποιούν το κολύμπι ως ένα τρόπο άσκησης, ο οποίος δεν καταπονεί το σώμα τους. Ταυτόχρονα το κολύμπι αυξάνει την αυτοπεποίθηση και βοηθά και σε καλύτερη ψυχική υγεία.

Παράλληλα, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κρίνεται επιτακτική διότι τα τελευταία τριάντα χρόνια παρατηρείται ανοδική τάση των ενεργειακών καταναλώσεων του κτηριακού τομέα, παρά την δεδομένη ενεργειακή και κλιματική κρίση που λαμβάνει χώρα.

Στο πλαίσιο αυτό, στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται διερεύνηση της λειτουργίας κλειστού κολυμβητηρίου, με στόχο τη διατύπωση παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης και μείωσης της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας.

Για την βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς, θα χρησιμοποιηθούν:

- Σύστημα διατάξεων ελέγχου και αυτοματισμών (BEMS).
- Ηλιακοί συλλέκτες.

Θα πραγματοποιηθεί μελέτη διαστασιολόγησης για τους ηλιακούς συλλέκτες με την μέθοδο καμπυλών f , ενώ παράλληλα εξετάζεται η στρατηγική λειτουργίας του ηλιακού συστήματος. Η διάταξη BEMS θα βοηθήσει την υλοποίηση της στρατηγικής λειτουργίας, και στην εξοικονόμηση ενέργειας.

2. Κολύμβηση και κατανάλωση ενέργειας

2.1. Κολυμβητήρια

Όλα αυτά τα πλεονεκτήματα και πολλά ακόμα της κολύμβησης, οδήγησαν στην ανάγκη για την κατασκευή πισινών. Η πρώτη κολυμβητική δεξαμενή λέγεται ότι χρονολογείται από το 3000 π.Χ. και βρίσκεται στην περιοχή του σημερινού Πακιστάν. Ονομάζεται “Great Bath” και οι διαστάσεις του είναι 12m σε μήκος και 7m σε πλάτος, με το βάθος να αγγίζει τα 2.4m [1].

Παρά την δημοφιλία της κολύμβησης, δεν υπήρχαν αξιοσημείωτοι αγώνες μεταξύ αθλητών, και το κολύμπι ήταν συνδεδεμένο με την άσκηση και την ψυχαγωγία. Παρόλα αυτά, η κολύμβηση ήρθε στο προσκήνιο και απέκτησε δημοφιλία τον 19^ο αιώνα, με την Αγγλία να έχει ιδρύσει κολυμβητικούς συλλόγους ήδη από το 1844, και να έχει στο Λονδίνο 6 πισίνες κατάδυσης. Το 1869 ιδρύθηκε ο Ερασιτεχνικός Κολυμβητικός Σύλλογος στην Αγγλία, και με την βοήθεια εσωτερικών λουτρών που μετατράπηκαν σε πισίνες, κατέστη ακόμα πιο εύκολη η πρόσβαση στην κολύμβηση.

Μόλις το 1896 εισέρχεται σε πρώτη μορφή το άθλημα της κολύμβησης στους Ολυμπιακούς Αγώνες της Αθήνας, τους πρώτους της σύγχρονης ιστορίας. Μέχρι τότε η κολύμβηση δεν ήταν διαδεδομένη ως ανταγωνιστικό άθλημα. Τον Ιούλιο του 1908 ιδρύεται η Fédération Internationale de Natation (FINA). Σκοπός της ομοσπονδίας είναι να εγκαθιδρύσει κανόνες για την διεξαγωγή αγώνων κολύμβησης και λοιπών κολυμβητικών αθλημάτων, να επιβεβαιώνει παγκόσμια ρεκόρ και να διαχειρίζεται τους διαγωνισμούς κολύμβησης στους Ολυμπιακούς Αγώνες [2].

2.2. Θέρμανση κολυμβητηρίων

Με την διάδοση λοιπόν των πισινών σε όλα τα μήκη και πλάτη της Γης, έγινε αναγκαία και η βελτιστοποίηση τους. Ένας τομέας βελτιστοποίησης είναι η θέρμανση της πισίνας. Η θέρμανση του νερού της πισίνας είναι υψίστης σημασίας για την άνεση των ανθρώπων που κολυμπούν. Επίσης πολύ σημαντική είναι και η διατήρηση της θερμοκρασίας σε κανονικά επίπεδα, 18°C την χειμερινή περίοδο και 25°C για την θερινή περίοδο, σύμφωνα με τον πίνακα 2.2 της τεχνικής οδηγίας του TOTEE 20701-1 [3].

Η σωστή θερμοκρασία εντός και εκτός της κολυμβητικής δεξαμενής είναι υψίστης σημασίας για την καλή απόδοση των αθλούμενων, την καλή διάθεση και την αποφυγή τραυματισμών. Για να επιτευχθεί αυτό χρειάζεται η θέρμανση του νερού της πισίνας στους 26°C και θερμοκρασία του χώρου του κολυμβητηρίου να βρίσκεται στους 18°C κατά την χειμερινή περίοδο και στους 25°C κατά την θερινή περίοδο. Σημαντικό ρόλο παίζει και η σχετική υγρασία του χώρου με τα αποδεκτά επίπεδα να βρίσκονται στο 35% και 45% για τις αντίστοιχες περιόδους [3].

Η θέρμανση της δεξαμενής αλλά και του χώρου επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ηλιακούς συλλέκτες, αντλίες θερμότητας και λέβητες. Είναι πολύ σημαντικό να επιτευχθεί συνεργασία του παραπάνω εξοπλισμού έτσι ώστε να καλυφθούν τα φορτία των προαναφερθέντων απαιτήσεων και ταυτόχρονα να διατηρηθεί η κατανάλωση ενέργειας σε όσο το δυνατόν χαμηλότερα επίπεδα. Αυτό είναι δυνατόν με την σωστή χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη μεγάλου μέρους των φορτίων ΖΝΧ και θέρμανσης κολυμβητικής δεξαμενής, και τη χρήση του λέβητα για την κάλυψη των φορτίων θέρμανσης του χώρου. Στην σωστή αυτή διαχείριση θα βοηθήσει το BEMS (Building Energy Management System), που μέσω προγραμματιστικού περιβάλλοντος θα καθορίσει την βέλτιστη λειτουργία του εξοπλισμού.

2.3. Ενέργεια στα κολυμβητήρια

Είναι φυσικό πως για τα κολυμβητήρια, λόγω του μεγάλου όγκου τους και της ταυτόχρονης παρουσίας πολλών κυβικών νερού, θα απαιτούνται μεγάλα ποσά ενέργειας. Η ενέργεια αυτή θα καταναλώνεται τόσο για την κάλυψη των φορτίων θέρμανσης των χώρων, τόσο βοηθητικών και μη, όσο και για την κάλυψη των φορτίων θέρμανσης της κολυμβητικής δεξαμενής και για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Χαρακτηριστικά είναι τα μεγέθη όπως δίνονται στον πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1. Καταναλώσεις ενέργειας σε αθλητικά κέντρα σε (kWh/m²), [17].

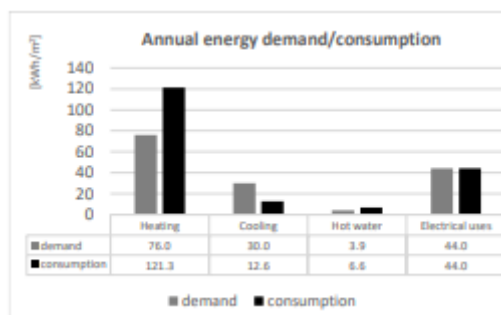
Αθλητικά κέντρα υγρού στίβου		
Χαμηλή κατανάλωση <510	Συνήθης κατανάλωση 510-745	Υψηλή κατανάλωση >745
Αθλητικές εγκαταστάσεις		
Χαμηλή κατανάλωση <290	Συνήθης κατανάλωση 290-410	Υψηλή κατανάλωση >410

Όσο αφορά τις καταναλώσεις σε κλειστά κολυμβητήρια, παρατηρούνται ότι οι τιμές τους βρίσκονται έως και 3 φορές πάνω από αυτές μια ανοιχτής πισίνας ή ενός αθλητικού κέντρου. Κύριος λόγος αυτού, η απαιτήσεις για θέρμανση και αερισμό του χώρου. Έρευνα του 1997 παρουσιάζει αποτελέσματα καταναλώσεων κλειστών κολυμβητηρίων σε περιοχές της Μεσογείου, αλλά και της βορειότερης ευρωπαϊκής ζώνης. Οι καταναλώσεις ανέρχονταν ετησίως σε 4300 kWh/m² και 5200 kWh/m² αντίστοιχα [4].

2.3.1 Ενεργειακή ανάλυση κολυμβητηρίων/αθλητικών κέντρων

Σε ενεργειακές μελέτες που έχουν γίνει σε κολυμβητήρια, εξάχθηκαν αποτελέσματα για τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις και καταναλώσεις. Πιο συγκεκριμένα, σε έρευνα που διεξάχθηκε στο κολυμβητήριο της Λευκόβρυσης στην περιοχή της Κοζάνης [5], οι ετήσιες καταναλώσεις σε πετρέλαιο και ηλεκτρισμό είναι

65831.1 lt και 216.4 MWh αντίστοιχα. Όσο αφορά τις απαιτήσεις και τις καταναλώσεις ετησίως ανά m^2 , παρατίθενται στην εικόνα 2.1.

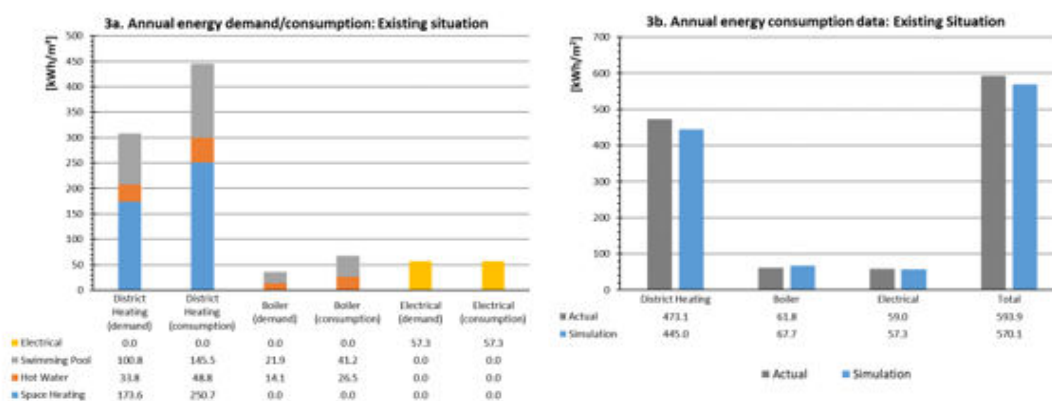


Εικόνα 2.1. Ετήσιες απαιτήσεις/καταναλώσεις ανά χρήση

Στο κολυμβητήριο αυτό παρατηρείται υψηλή κατανάλωση πετρελαίου και ηλεκτρικού ρεύματος, με τις τιμές να είναι αντίστοιχα 127.9 και 56.6 kWh/m². Τα δεδομένα αυτά έρχονται σε συμφωνία με τα δεδομένα που παρέχονται [6]. Σε αυτό παίζει μεγάλο ρόλο η έλλειψη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σύμφωνα με την πηγή [4], θα είναι αναμενόμενη μία τριπλάσια τιμή σε αντίστοιχη μελέτη σε κλειστό κολυμβητήριο.

Σχετικά με μία ακόμα μελέτη που έχει γίνει στο κλειστό κολυμβητήριο της Κοζάνης, έγιναν ενέργειες για την εύρεση των ενεργειακών απαιτήσεων και φορτίων του κολυμβητηρίου, καθώς και ενεργειακής αναβάθμισης. Προσομοιώθηκαν τα φορτία και στην συνέχεια συγκρίθηκαν με τις πραγματικές καταναλώσεις.

Στην μελέτη αυτή βρέθηκαν τα αποτελέσματα της εικόνας 2.2.



Εικόνα 2.2. Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοίωσης/πραγματικότητας, κλειστού κολυμβητηρίου

Τα αποτελέσματα είναι κατατοπιστικά, και διαγράφουν την ενεργειακή κατάσταση των κλειστών κολυμβητηρίων της κλιματικής ζώνης Δ.

Οι επεμβάσεις που προτείνονται για μείωση της κατανάλωσης, αφορούν την αναβάθμιση του κελύφους, μειώνοντας αποτελεσματικά των μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας U_m , την χρήση PCM και θερμοχρωμικής επίστρωσης και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Για την χρήση ΑΠΕ, αποφασίστηκε η χρήση

ηλιακών συλλεκτών και φωτοβολταϊκών πάνελ, ενώ μελετήθηκε και η χρήση υβριδικού συστήματος PV/T.

Τελικώς, αυτές οι παρεμβάσεις μπορούν να προσφέρουν μείωση της καταναλισκόμενης θερμικής ενέργειας την εαρινή περίοδο, πετρελαίου, κατά 75% και 33% μείωση στην ηλεκτρική ενέργεια.

2.4. Κολυμβητήρια στην Ελλάδα

Σύμφωνα με καταγραφή του 2008 που έγινε από το Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, διατηρούνται 197 κολυμβητικές δεξαμενές σε 116 διαφορετικές περιοχές. Ο υψηλότερος αριθμός παρατηρείται στην περιοχή της Αττικής, με τις κλειστές πισίνες να υστερούν σε αριθμούς, όπως παρουσιάζει ο πίνακας 2.2. [7]

Πίνακας 2.2. Καταγραφή κολυμβητηρίων στην Ελλάδα

Περιοχή	α/α	Ανοιχτά	Κλειστά	Ανοιγόμενα
Αττική	22	12	9	1
Κεντρική Ελλάδα	11	6	4	1
Μακεδονία - Θράκη	10	7	2	1
Πελοπόννησος	10	9	1	0
Νησιωτική χώρα	7	4	3	0
Σύνολο	60	38	19	3

Επίσης οι κολυμβητικές δεξαμενές κατηγοριοποιούνται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα την επιφάνεια τους σε [8]:

- Μικρές: $E1 > 350 \text{ m}^2$
- Μεσαίες: $350 < E2 < 1250 \text{ m}^2$
- Μεγάλες: $E3 > 1250 \text{ m}^2$

Πίνακας 2.3. Ποιοτικές απαιτήσεις κολυμβητικών δεξαμενών

Κλίση Πυθμένα	Για βάθος < 1,5 m	1 : 12,5 (8%)
	Για βάθος > 1,5 m	1 : 3
Μέγιστο φορτίο δεξαμενών	Για βάθος < 1 m	1 άτομο / 1 m ² νερού
	Για βάθος > 1 m	1 άτομο / 2,5 m ² νερού
Για κάθε σημείο κατάδυσης		Επιπλέον επιφάνεια 30 m ²
Τοποθέτηση στομιών εισροής για δεξαμενές >150 m ²		Ανά 4,5 m στα τοιχώματα
Τοποθέτηση στομιών εκροής για δεξαμενές >150 m ²		Ανά 6 m στα τοιχώματα
Δεξαμενές επιφάνειας >200 m ²		Επιβάλλεται σε όλη τη περίμετρο κατασκευή αύλακα υπερχειλίσεως
Δεξαμενές επιφάνειας		Στόμια υπερχειλίσεως (skimmers), τουλάχιστον 1/50 m ²

Η FINA προσδιορίζει και τις τεχνικές προδιαγραφές των κολυμβητικών δεξαμενών με τα χαρακτηριστικά τους να προσδιορίζονται στον πίνακα 2.4 και 2.5 [16].

Πίνακας 2.4. Τεχνικές προδιαγραφές κολυμβητικών δεξαμενών

Είδος Πισίνας	Long Course	Short Course
Μήκος	50 m	25 m
Πλάτος	21 m	15 m
Ελάχιστο Βάθος	2 m	2 m
Ελάχιστος Όγκος	2,100 m ³	750 m ³
Ελάχιστος αριθμός διαδρομών	8	6
Πλάτος διαδρομής	2.5 m	2.5 m
Θερμοκρασία νερού	25-28 °C	25-28 °C
Ελάχιστη ένταση φωτός	1500 lux	1500 lux
Σχετική υγρασία (κλειστά κολυμβητήρια)	50-70 %	50-70 %
Σχετική υγρασία (κλειστά κολυμβητήρια)	30-32 °C	30-32 °C
Ελάχιστος ρυθμός αερισμού στον χώρο της πισίνας (κλειστά κολυμβητήρια)	12 lt/sec/άτομο	12 lt/sec/άτομο

Πίνακας 2.5. Προτεινόμενες θερμοκρασίες κολυμβητικών δεξαμενών

Δραστηριότητα	Προτεινόμενη Θερμοκρασία
Διεξαγωγή αγώνων κολύμβησης και καταδύσεων, προπόνηση αθλητών	26 – 28 °C
Κολύμβηση αναψυχής, εκμάθηση ενηλίκων	27 – 29 °C
Κέντρα αναψυχής	28 – 30 °C
Εκμάθηση ανηλίκων	29 – 31 °C
Baby swimming, παιδιά προσχολικής ηλικίας, ΑΜΕΑ	30 – 32 °C

2.5. Ποιότητα νερού

Το νερό των κολυμβητικών δεξαμενών είναι απαραίτητο να βρίσκεται σε άψογη κατάσταση για να επιτευχθεί η υψηλή ποιότητα και άνεση. Σύμφωνα με το άρθρο 15 της Υγειονομικής Διάταξης, πρέπει να τηρούνται τα όρια του πίνακα 2.6 [9].

Πίνακας 2.6. Ποιότητα νερού κολυμβητικών δεξαμενών

Όψη	Διαυγής
Τιμή pH	7.2-8.2
Αλκαλικότητα	100 – 200 mg/l
Σκληρότητα	50-100 mg/l
Θειικά	<600 mg/l
Total Suspended Solids (TSS) Ολικά	<3000 mg/l
Αιωρούμενα Στερεά	
Περιεκτικότητα σε χλώριο	1-4 mg/l
E. Coli	0/100 ml νερού
Κολοβακτηρίδια	<15/100 ml νερού

2.6. Ανακυκλοφορία νερού

Το νερό των κολυμβητικών δεξαμενών είναι απαραίτητο να ανανεώνεται συνεχώς με ρυθμό που θα εξασφαλίζει την πλήρη ανανέωση του νερού σε διάστημα 4 ή 6 ωρών. Είναι καίριο για την διατήρηση της διαύγειας του νερού, καθώς και την διατήρηση της ποιότητάς του (πίνακας 2.6) [9]. Η κολυμβητική δεξαμενή μολύνεται κυρίως από ουσίες που εκκρίνονται από τον άνθρωπο, όπως σάλιο, ιδρώτα και τρίχες, αλλά και από προϊόντα περιποίησης όπως έλαια, κρέμες,

λοσιόν. Για να τηρούνται και διατηρούνται οι σωστές συνθήκες υγιεινής εντός της κολυμβητικής δεξαμενής, είναι αναγκαία η εισαγωγή 30 λίτρων φρέσκου νερού ανά άτομο την ημέρα [10].

2.7. Απολύμανση νερού

Η απολύμανση του νερού, κρίνεται αναγκαία σε όλη την διάρκεια λειτουργίας της κολυμβητικής δεξαμενής και γίνεται κυρίως με την χρήση χλωρίου, το οποίο εισάγεται στο σύστημα διανομής μέσω αντλίας, στις κατάλληλες δοσολογίες [11]. Για την αποφυγή προβλημάτων στην υγεία των λουόμενων, το υπολειμματικό χλώριο είναι πρωτεύουσας σημασίας, να βρίσκεται στο ασφαλές επίπεδο των 0.4-0.7 mg/l. Σε περίπτωση διαφορετικής μεθόδου απολύμανσης της κολυμβητικής δεξαμενής, απαιτείται η έγκριση της Υγειονομικής Υπηρεσίας.

3. Λιάπειο Κλειστό Κολυμβητήριο

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα ακολουθήσει εκ βάθους ανάλυση των ενεργειακών φορτίων του κολυμβητηρίου. Θα μελετηθούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτηρίου, η τοποθεσία του, το εσωτερικό κλίμα του, ο τρόπος λειτουργίας του και τα συστήματα που απαρτίζουν τις ηλεκτρομηχανικές εγκαταστάσεις του κτηρίου που είναι απαραίτητα για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Οι απαιτήσεις του κτηρίου που πρέπει να καλυφθούν είναι:

- Θέρμανση.
- Ψύξη
- Κλιματισμός.
- Ζεστό νερό χρήσης.
- Φωτισμός.

Τα μηχανολογικά σχέδια του κολυμβητηρίου έχουν συγκεντρωθεί από τον Δήμο Κοζάνης, την Πολεοδομία Δήμου Κοζάνης και το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, καθώς και από επιτόπια επιθεώρηση των χώρων.

3.2. Γενική Περιγραφή Εγκατάστασης

Το Λιάπειο κολυμβητήριο είναι το κολυμβητήριο υπό εξέταση και τοποθετείται στα Κοίλα, που ανήκουν στην περιφερειακή ενότητα Κοζάνης. Βρίσκεται σε υψόμετρο περί των 690 μέτρων. Αυτό κατατάσσει το κολυμβητήριο υπό μελέτη, στην κλιματική ζώνη Δ. Λόγω της περιοχής, η μέση απολύτως ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία μπορεί να πάρει πολύ χαμηλές τιμές, με τον Ιανουάριο να καταγράφεται $-8.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ [12].

Το Λιάπειο κολυμβητήριο αποτελεί κομμάτι του Λιάπειου Κέντρου Αθλητισμού και Αναψυχής και εγκαινιάστηκε την Τετάρτη 15 Σεπτεμβρίου του 2010. Το Λιάπειο Αθλητικό Κέντρο, πέρα από το κλειστό κολυμβητήριο μελετάται, φιλοξενεί ένα γήπεδο ποδοσφαίρου, κλειστό γυμναστήριο καθώς και τέσσερα γήπεδα 5Χ5.



Εικόνα 3.1. Εναέρια άποψη του Λιάπειου Αθλητικού Κέντρου, 2020



Εικόνα 3.2. Εσωτερικός χώρος Λιάπειου κολυμβητηρίου

Το κτίριο του κλειστού κολυμβητηρίου κατασκευάστηκε στις αρχές του 2000, συγκεκριμένα το 2002. Το κολυμβητήριο αποτελείται από έναν όροφο, έκτασης

909.13 m². Από αυτά τα τετραγωνικά που προαναφερθήκαν τα 833.03 m² αποτελούν τον κύριο χώρο στον οποίο βρίσκεται η κολυμβητική δεξαμενή 375 m². Τα υπόλοιπα 76.1 m² χώρου, στεγάζουν τα αποδυτήρια του κολυμβητηρίου. Η οροφή του κτιρίου έχει επιφάνεια 967 m². Ο χώρος στέγασης του κολυμβητηρίου συμπληρώνεται και από ένα μικρής έκτασης υπόγειο, στο οποίο είναι το λεβητοστάσιο [13].

Το κολυμβητήριο είναι ανοιχτό όλη το έτος με μοναδική εξαίρεση την περίοδο από 15 Ιουλίου μέχρι 15 Σεπτεμβρίου. Το ωράριό του για την σεζόν 2019-2020, είναι από τις 09:30 μέχρι τις 22:30 τις καθημερινές, 08:00 -20:00 το Σάββατο και 09:00-13:00, 17:30-20:00 τις Κυριακές ανά 20 ημέρες. Στο διάστημα αυτό υπάρχουν προγράμματα για κολύμβηση ενηλίκων, κολύμβηση ανηλίκων, για την ομάδα πόλο, για την Κολυμβητική Ένωση Κοζάνης καθώς επίσης και για ΑΜΕΑ [14].

Το κολυμβητήριο στεγάζει άτομα παιδικής ηλικίας αλλά και ενήλικες. Το σύνολο των κολυμβητών φτάνει και ξεπερνά τα 200 άτομα, καθώς το κύριο κολυμβητήριο του Δήμου Κοζάνης στο ΔΑΚ δεν είναι προς το παρόν κατάλληλο για λειτουργία λόγω προβλημάτων στατικότητας του κελύφους.

3.3. Κέλυφος Κτηρίου

Το κολυμβητήριο της εγκατάστασης απαρτίζεται από τέσσερις εξωτερικές τοιχοποιίες. Στη βόρεια πλευρά αυτού, όπου είναι και η κεντρική είσοδος, βρίσκεται μία πόρτα και έξι μεγάλα παράθυρα (επί της ουσίας τρία παράθυρα στο κάθε μεγάλο), καθώς και ένα μικρότερο στον τοίχο των αποδυτηρίων. Στη νότια πλευρά έχουμε μία ακόμα είσοδο και επίσης έξι παράθυρα. Η ανατολική πλευρά του κτηρίου πλευρά του κτηρίου έχει δέκα παράθυρα και βρίσκεται δίπλα στον δρόμο. Συνορεύει με μικρά δέντρα τα οποία παρέχουν σκίαση, κυρίως τις πρωινές ώρες. Τέλος, στη δυτική πλευρά βρίσκονται έξι παράθυρα ομοίου μεγέθους με τα παραπάνω καθώς και δύο μικρότερης επιφάνειας. Επίσης στην δυτική πλευρά συστεγάζονται τα αποδυτήρια του κολυμβητηρίου, τα οποία φέρουν μία εξωτερική πόρτα και έξι παράθυρα. Στον πίνακα 3.7, παρουσιάζονται οι διαστάσεις των εξωτερικών τοιχοποιιών και παραθύρων.



Εικόνα 3.3. Βόρεια όψη του κολυμβητηρίου



Εικόνα 3.4. Νότια όψη του κολυμβητηρίου



Εικόνα 3.5. Ανατολική όψη του κολυμβητηρίου



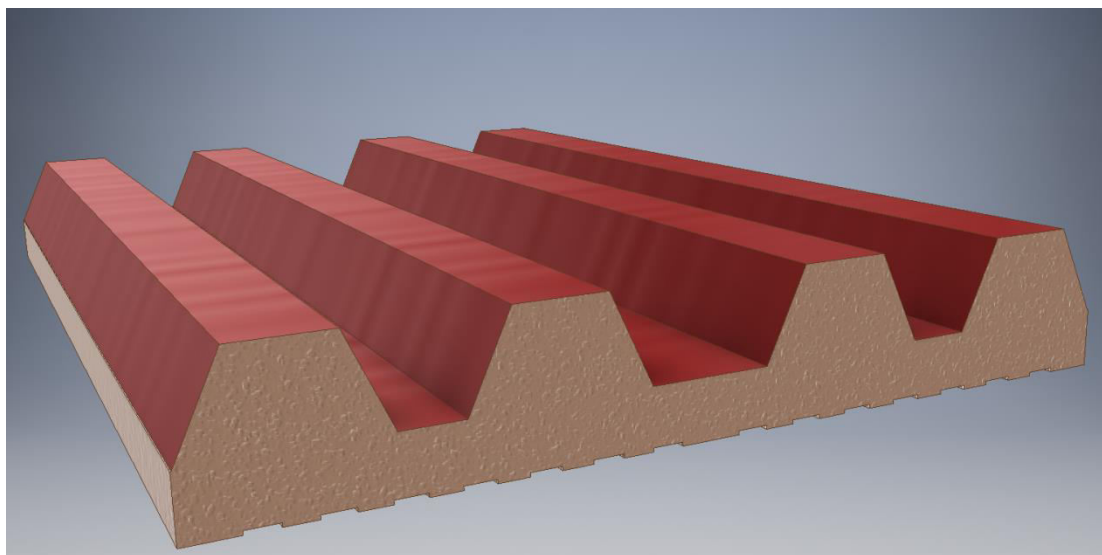
Εικόνα 3.6. Δυτική όψη του κολυμβητηρίου

Οι αδιαφανείς επιφάνειες του κελύφους του κολυμβητηρίου είναι κατασκευασμένα από πάνελ πολυουρεθάνης και συμπληρώνονται από πλαίσια κουφωμάτων συνθετικά PVC με δύο θαλάμους. Το δάπεδο βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος.

Η υάλωση είναι διπλού τύπου, με επίστρωση χαμηλής εκπομπής και το πλαίσιο με επίστρωση χαμηλής εκπομπής.

Η πολυουρεθάνη ανήκει στην κατηγορία των θερμομονωτικών υλικών. Η πυκνότητα των πάνελ πολυουρεθάνης κυμαίνεται από 30 έως 80 kg/m³. Τα πάνελ αυτά συναντώνται έξω συνήθως με την παρακάτω μορφή, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πλαγιοκάλυψη αλλά και ως οροφή.

Τα θερμομονωτικά πάνελ πολυουρεθάνης χρησιμοποιούν φύλλα γαλβανισμένου χάλυβα, αλουμινίου ή ακόμα και ανοξείδωτου χάλυβα και στις δύο όψεις, το οποίο μπορεί να βαφεί για περεταίρω θερμομονωτική συμπεριφορά. Τα εσωτερικά και εξωτερικά φύλλα μπορούν να είναι επίπεδα ή να έχουν κάποια διαμόρφωση, όπως παραδείγματος χάριν αυλακώσεις. Ο πυρήνας του αποτελείται από πολυουρεθάνη. Στην εικόνα 3.7 παρουσιάζεται μία τυπική διατομή πάνελ πολυουρεθάνης με αυλακώσεις για χρήση σε οροφή.



Εικόνα 3.7. Τυπικό πάνελ πολυουρεθάνης με αυλακώσεις

Το δάπεδο γύρω από την πισίνα είναι ένα μίγμα στρώσεων υλικών που αποτελείται από πλακάκια, τσιμεντοκονία, μπετόν, στεγανωτικό υλικό, σκυρόδεμα και κροκάλες. Οι κροκάλες είναι πέτρες που χρησιμοποιούνται για την αποστράγγιση του εδάφους.

Το δάπεδο που χρησιμοποιείται για την κάλυψη του πυθμένα της πισίνας είναι παρόμοιο με το παραπάνω, με την μόνη διαφορά στα υλικά να εντοπίζεται στην αλλαγή του όχι τόσο ποιοτικού γκρο μπετόν με πλάκα.

3.2.1. Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας αδιαφανών δομικών στοιχείων

“Οι θερμικές απώλειες μέσω ενός δομικού στοιχείου ορίζονται από το συντελεστή θερμοπερατότητας (U) που δίνει την ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται στην μονάδα του χρόνου σε σταθερό θερμοκρασιακό πεδίο μέσω της μοναδιαίας επιφάνειας ενός δομικού στοιχείου, όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα στις δύο όψεις του δομικού στοιχείου ισούται με την μονάδα” [15].

Το U ορίζεται από την σχέση :

$$U = \frac{1}{R_{ολ}} \quad (3.1)$$

Συνηθίζεται να γράφεται και με τον έξης τρόπο:

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_a + R_\delta} \quad (3.2)$$

Όπου,

U	[W/(m ² ·K)]	ο συντελεστής θερμοπερατότητας των αδιαφανών δομικών στοιχείων,
R_i	[m ² ·K/W]	η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο,
n	[-]	το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου,
d	[m]	το πάχος της κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου,
λ	[W/(m·K)]	ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού,
R_δ	[m ² ·K/W]	η θερμική αντίσταση στρώματος αέρα σε τυχόν υφιστάμενο διάκενο ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου, με την προϋπόθεση ότι ο αέρας του διακενου δεν επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον και θεωρείται πρακτικά ακίνητος,
R_a	[m ² ·K/W]	αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Από τα σχέδια του κτηρίου που προβάλλουν τις όψεις του, μετράμε το πάχος των εξωτερικών τοίχων 0.05m. Ψάχνοντας σε κατασκευάστριες εταιρείες πάνελ πολυουρεθάνης, βρίσκουμε ένα τυπικό πάνελ πολυουρεθάνης PIR, εμπορικού τύπου «PSCW1000» με πάχος πυρήνα πολυουρεθάνης 40mm και πάχος ελασμάτων χάλυβα στα 0.5mm έκαστος. Στην οροφή το πάνελ είναι τύπου «PSR1000» [16].

Προχωρώντας σε μελέτη των θερμοπερατοτήτων καταλήγουμε στα παρακάτω αποτελέσματα που αναγράφονται στους πίνακες 3.1, 3.2, 3.3.

Πίνακας 3.1. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας πάνελ κελύφους

α/α	Στρώσεις υλικών	Πυκνότητα (kg/m ³)	Πάχος (m)	Συντελεστής λ	d _i /λ _i (m ² ·K/W)
1	Χάλυβας	7800	0.0050	50	0.0001
2	Πολυουρεθάνη	40	0.0400	0.0500	0.8000
3	Χάλυβας	7800	0.0050	50	0.0001
Σύνολο			0.05		0.8002
R _i = 0.13	(m ² ·K/W)				
R _a = 0.04	(m ² ·K/W)				
U = 1.0307	(W/(m ² ·K))				

Πίνακας 3.2. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δαπέδου

α/α	Στρώσεις υλικών	Πυκνότητα (kg/m ³)	Πάχος (m)	Συντελεστής λ	d _i /λ _i (m ² ·K/W)
1	Πλακάκια		0.0100	0.9000	0.0111
2	Τσιμεντοκονία	2000.0000	0.0200	1.4000	0.0143
3	Γκρο μπετόν		0.1500	1.3000	0.1154
4	Risolbeton	600.0000	0.1200	0.1100	1.0909
5	Στεγάνωση	1050.0000	0.0010	0.1500	0.0067
6	Σκυρόδεμα B120	2400.0000	0.0500	1.5100	0.0331
7	Κροκάλες		0.3000	0.9000	0.3333
Σύνολο			0.6510		1.6048
R _i = 0.17	(m ² ·K/W)				
R _a = 0.00	(m ² ·K/W)				
U = 0.5634	(W/(m ² ·K))				

Πίνακας 3.3. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας πυθμένα πισίνας

α/α	Στρώσεις υλικών	Πυκνότητα (kg/m ³)	Πάχος (m)	Συντελεστής λ	d _i /λ _i (m ² ·K/W)
1	Πλακάκια		0.0100	0.9000	0.0111
2	Τσιμεντοκονία	2000.0000	0.0200	1.4000	0.0143
3	Πλάκα		0.2000	1.7500	0.1143
4	Risolbeton	600.0000	0.0600	0.1100	0.5455
5	Στεγάνωση	1050.0000	0.2000	0.1500	1.3333
6	Σκυρόδεμα B120	2400.0000	0.0500	1.5100	0.0331
7	Κροκάλες		0.4000	0.9000	0.4444
Σύνολο			0.9400		2.4960
R _i = 0.17	(m ² ·K/W)				
R _a = 0.00	(m ² ·K/W)				
U = 0.3750	(W/(m ² ·K))				

3.2.2. Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας διαφανών δομικών στοιχείων

Στα διαφανή δομικά στοιχεία ο υπολογισμός της τιμής του συντελεστή θερμοπερατότητας προκύπτει συνδυαστικά από τους συντελεστές θερμοπερατότητας των πλαισίων και του υαλοπίνακα, λαμβάνοντας υπόψη και την αναλογία των επιφανειών τους [15]. Ο τύπος που χρησιμοποιείται είναι ο 3.3.

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + I_g \cdot \Psi_g}{A_f + A_g} \quad (3.3)$$

Όπου,

U_w	[W/(m ² ·K)]	ο συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κουφώματος,
U_f	[W/(m ² ·K)]	ο συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου του κουφώματος,
U_g	[W/(m ² ·K)]	ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος (μονού, διπλού ή περισσότερων φύλλων),
A_f	[m ²]	το εμβαδό επιφάνειας του πλαισίου κουφώματος,
A_g	[m ²]	το εμβαδό επιφάνειας του υαλοπίνακα κουφώματος,
I_g	[m]	το μήκος της θερμογέφυρας του υαλοπίνακα του κουφώματος (το μήκος συναρμογής πλαισίου – υαλοπίνακα, δηλαδή η περίμετρος του υαλοπίνακα),
Ψ_g	[W/(m·K)]	ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα κουφώματος.

Οι τιμές των U_f , U_g , και Ψ_g λαμβάνονται από τους πίνακες 11,12 και 13 του Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2010 και οι τιμές παρουσιάζονται στους πίνακες 3.4, 3.5, 3.6.

Πίνακας 3.4. Τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας πλαισίου U_f

Υλικό πλαισίου	Χαρακτηριστικό πλαισίου	Συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου U_f (W/(m ² ·K))
Συνθετικό πλαίσιο	PVC με δύο θαλάμους	2.2

Πίνακας 3.5. Τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας υαλοπίνακα U_g

Υάλωση		U_g (W/(m ² ·K)) για διάσταση 4-16-4	
Τύπος υάλωσης	Υαλοπίνακας	Συντελεστής εκπομπής	Αέρας
Διπλή	Με επίστρωση χαμηλής εκπομπής ενός φύλλου	≤0.1	1.6

Πίνακας 3.6. Γραμμική θερμοπερατότητα στη συναρμογή πλαισίου-θαλοπίνακα

Τύπος πλαισίου	Ψ_g (W/m·K)
	Με επίστρωση χαμηλής εκπομπής
Συνθετικό πλαίσιο	0.08

3.2.3. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Πίνακας 3.7. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα διαφανών και αδιαφανών στοιχείων κελύφους

Δομικά στοιχεία	Προσανατολισμός	Εμβαδόν A (m ²)	Αριθμός	Συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m ² ·K)
Αδιαφανή				
Οροφή	-	911.98	1	1.03
Δάπεδο	-	534.13	1	0.56
Πυθμένας κολυμβητικής δεξαμενής	-	375	1	0.3
Πλάγιο τοίχωμα κολυμβητικής δεξαμενής	-	37.5	2	0.37
Πλάγιο τοίχωμα κολυμβητικής δεξαμενής	-	62.5	2	0.37
Τοίχος κλειστού κολυμβητηρίου	Βόρειος	137.48	1	1.03
Τοίχος αποδυτηρίων	Βόρειος	14.5	1	1.03
Τοίχος κλειστού κολυμβητηρίου	Νότιος	137.48	1	1.03
Τοίχος αποδυτηρίων	Νότιος	15.88	1	1.03
Τοίχος κλειστού κολυμβητηρίου	Δυτικός	191.46	1	1.03
Τοίχος αποδυτηρίων	Δυτικός	41.42	1	1.03
Τοίχος κλειστού κολυμβητηρίου	Ανατολικός	181.44	1	1.03
Πόρτα κλειστού κολυμβητηρίου	Βόρειος	4.14	1	1.03
Πόρτα κλειστού κολυμβητηρίου	Νότιος	4.14	1	1.03
Πόρτα αποδυτηρίων	Δυτικός	2.08	1	1.03
Διαφανή				
Παράθυρο κλειστού κολυμβητηρίου	Βόρειος	3.29	6	1.98
Παράθυρο αποδυτηρίων	Βόρειος	1.38	1	2.11
Παράθυρο κλειστού κολυμβητηρίου	Νότιος	3.29	6	1.98
Παράθυρο κλειστού κολυμβητηρίου	Δυτικός	3.29	6	1.98
Παράθυρο κλειστού κολυμβητηρίου	Δυτικός	1.57	2	1.92
Παράθυρο αποδυτηρίων	Δυτικός	0.9	2	2.10
Παράθυρο αποδυτηρίων	Δυτικός	1.18	1	2.07
Παράθυρο αποδυτηρίων	Δυτικός	0.36	3	2.31
Παράθυρο κλειστού κολυμβητηρίου	Ανατολικός	3.29	10	1.98

3.2.4. Μελέτη θερμομονωτικής επάρκειας

Ο έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας ενός κτηρίου αποτελείται από δύο βασικά βήματα [15]:

- Έλεγχος θερμικής επάρκειας ενός κτηρίου με βάση τα επί μέρους του δομικά στοιχεία. Για να ικανοποιεί το υπό εξέταση δομικό στοιχείο τις θερμομονωτικές απαιτήσεις προστασίας του κανονισμού, θα ισχύει ότι η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας του εξεταζόμενου ($U_{\text{εξεταζ.}}$), δεν υπερβαίνει

την τιμή του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή (U_{max}) που ορίζεται από τον κανονισμό για κάθε κλιματική ζώνη ξεχωριστά. Θα πρέπει δηλαδή:

$$U_{εξεταζ.} \leq U_{max} \quad (3.4)$$

- Ως δεύτερο στάδιο ελέγχου είναι η θερμική επάρκεια του κτηρίου σαν σύνολο. Για να ικανοποιεί το υπό εξέταση κτήριο τις θερμομονωτικές απαιτήσεις του κανονισμού, θα ισχύει ότι η μέση τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας του κτηρίου (U_m), δεν υπερβαίνει την τιμή του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή ($U_{m,max}$) που ορίζεται από τον κανονισμό για κάθε κλιματική ζώνη ξεχωριστά. Θα πρέπει δηλαδή:

$$U_m \leq U_{m,max} \quad (3.5)$$

Ο συντελεστής $U_{m,max}$ υπολογίζεται συναρτήσει του λόγου της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτηρίου ως προς τον όγκο του και την κλιματική ζώνη [3].

Πίνακας 3.8. Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής $U_{m,max}$

F/V (m^{-1})	Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής (U_m) σε ($W/m^2 \cdot K$)			
	Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Δ
≤ 0.2	1.26	1.14	1.05	0.96
0.3	1.20	1.09	1.00	0.92
0.4	1.15	1.03	0.95	0.87
0.5	1.09	0.98	0.90	0.83
0.6	1.03	0.93	0.86	0.78
0.7	0.98	0.88	0.81	0.73
0.8	0.92	0.83	0.76	0.69
0.9	0.86	0.78	0.71	0.64
≥ 1.0	0.81	0.73	0.66	0.60

Ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κτηρίου (U_m) προκύπτει από το συνυπολογισμό των συντελεστών όλων των επί μέρους δομικών στοιχείων του περιβλήματος του θερμαινόμενου χώρου του κτιρίου κατά την ποσοστιαία αναλογία των αντίστοιχων εμβαδών τους. Στον υπολογισμό του ακόμη θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι γραμμικές θερμογέφυρες που αναπτύσσονται στα δομικά στοιχεία, ιδίως στα όρια της περιμέτρου των δομικών στοιχείων [15].

Ο τύπος που χρησιμοποιείται είναι ο 3.6.

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j \cdot U_j \cdot b + \sum_{i=1}^v l_i \cdot \Psi_i \cdot b}{\sum_{j=1}^n A_j} \quad (3.6)$$

Όπου,

U_m	[W/(m ² ·K)]	ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτηρίου,
n	[-]	το πλήθος των επί μέρους δομικών στοιχείων στο κέλυφος του κτηρίου,
ν	[-]	το πλήθος των θερμογεφυρών που αναπτύσσονται στα εξωτερικά ή εσωτερικά όρια κάθε επιφάνειας A_j του κελύφους,
A_j	[m ²]	το εμβαδό επιφάνειας που καταλαμβάνει το κάθε δομικό στοιχείο στη συνολική επιφάνεια του κελύφους του κτηρίου,
U_j	[W/(m ² ·K)]	ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κάθε δομικού στοιχείου j του κελύφους του κτηρίου,
l_i	[m]	το συνολικό μήκος του κάθε τύπου θερμογέφυρας που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτηρίου,
Ψ_i	[W/(m·K)]	ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του κάθε τύπου θερμογέφυρας που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτηρίου,
b	[-]	μειωτικός συντελεστής.

Ο μειωτικός συντελεστής b προσαρμόζει τις υπολογισθείσες θερμικές απώλειες από κάθε επιφάνεια του κελύφους του κτηρίου στις πραγματικές θερμοκρασιακές συνθήκες [15]. Μελετώντας τις περιπτώσεις και τις τιμές του b που αναφέρονται περιεκτικά στην ενότητα 2.6.1. του TOTEE 20701-2/2010, επιλέγω τιμή ίση με την μονάδα.

Όσο αφορά το παρόν κτήριο και λαμβάνοντας υπόψη του υπολογισμούς που προηγήθηκαν, υπολογίστηκε η τιμή του μέσου συντελεστή $U_m = 0.8799 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Ο όγκος του κτηρίου υπολογίστηκε στα $V = 6924.921 \text{ m}^3$, με την παράπλευρα επιφάνεια του κτηρίου να υπολογίζεται στα $F = 2834.74 \text{ m}^2$. Επομένως ο λόγος $F/V = 0.40$ και σύμφωνα με τον πίνακα 3.8, για την κλιματική ζώνη Δ το ανώτατο όριο είναι $0.87 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Το κτήριο υπό μελέτη ικανοποιεί τις συνθήκες θερμομονωτικής επάρκειας.

3.4. Σύστημα θέρμανσης κολυμβητηρίου

Το κολυμβητήριο έχει κολυμβητική δεξαμενή με διαστάσεις 25m μήκος, 15m πλάτος και 2.5m το βάθος. Η επιφάνεια της πισίνας είναι 375 m^2 και το εμβαδόν είναι 937.5 m^3 . Το νερό της κολυμβητικής δεξαμενής πρέπει να έχει συγκεκριμένη θερμοκρασία στους 26-28 °C, έτσι ώστε ο κολυμβητής οποιασδήποτε ηλικίας να αισθάνεται άνετα όταν εισέρχεται σε αυτήν. Επίσης, η ζεστή θερμοκρασία του νερού, βοηθά στην αποφυγή των ανεπιθύμητων τραυματισμών, καθώς οι μύες ζεσταίνονται πιο γρήγορα και εύκολα από ότι σε κρύο νερό, κάνοντας την πισίνα ασφαλέστερη για άτομα με αναπηρίες και άπειρους κολυμβητές.

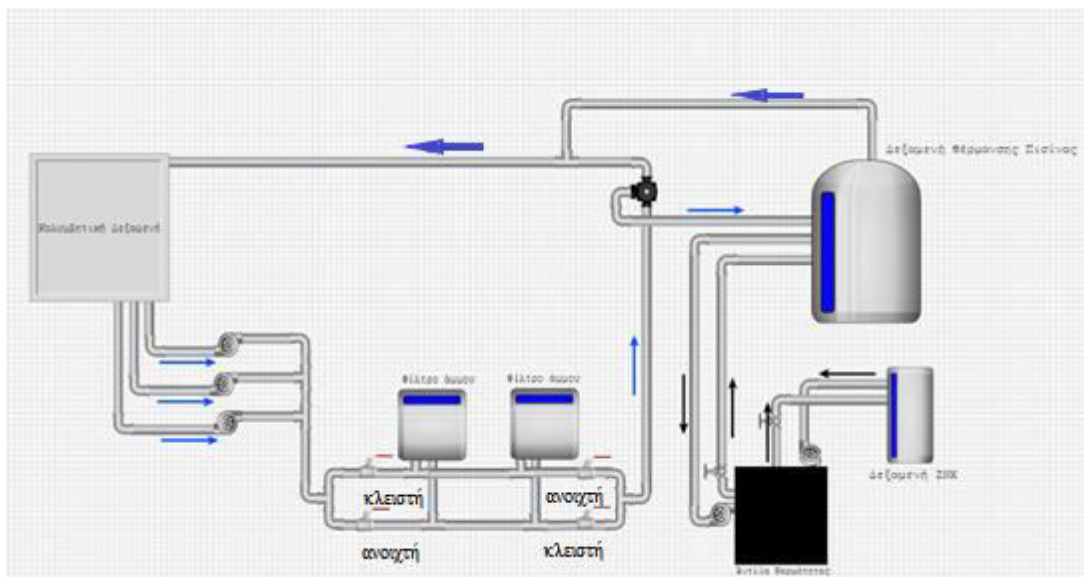
Η θέρμανση των χώρων, γίνεται από λέβητα πετρελαίου. ισχύος 300,000 kcal/h ή αλλιώς 350 kW. Υπάρχουν επίσης και δύο αντλίες θερμότητας αέρα - νερού για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και την θέρμανση της πισίνας.



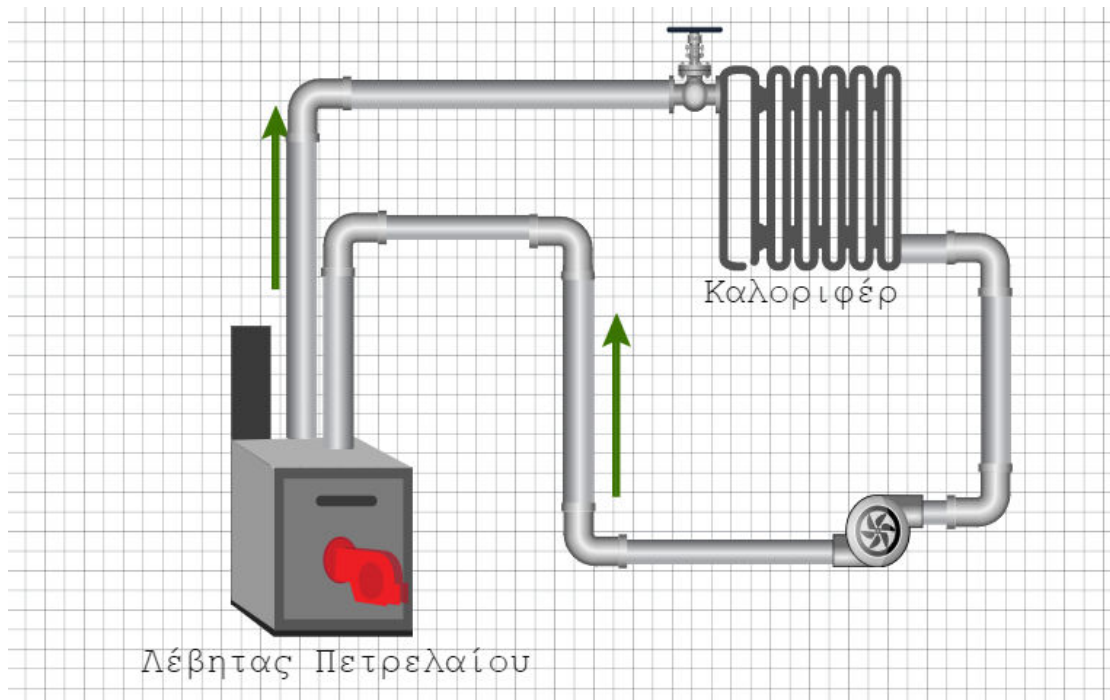
Εικόνα 3.8. Λέβητας πετρελαίου



Εικόνα 3.9. Αντλίες θερμότητας αέρα - νερού



Εικόνα 3.10. Υδραυλικό διάγραμμα αντλίας θερμότητας για παραγωγή ΖΝΧ και για θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής



Εικόνα 3.11. Υδραυλικό διάγραμμα λέβητα πετρελαίου για θέρμανση χώρων κολυμβητηρίου

Στο υδραυλικό διάγραμμα της εικόνας 3.10, διακρίνεται αριστερά η κολυμβητική δεξαμενή του Λιάπειου κολυμβητηρίου, από την οποία με την βοήθεια τριών αντλιών το νερό θα προχωρήσει για καθαρισμό στα φίλτρα άμμου. Στην συνέχεια, ανάλογα την ανάγκη ή όχι για θέρμανση του νερού, θα προχωρήσει στη δεξαμενή θέρμανσης πισίνας και έπειτα θα συνεχίσει στην πισίνα, ή θα ανακυκλωθεί στην κολυμβητική δεξαμενή χωρίς να θερμανθεί. Το νερό των δοχείων ZNX και θέρμανσης πισίνας θερμαίνεται από την αντλία θερμότητας αέρα – νερού. Η πορεία των ρευστών διακρίνεται από τα βέλη τα οποία είναι και διαφορετικού χρώματος, μαύρα για την αντλία θερμότητας και μπλε για το νερό από και προς την κολυμβητική δεξαμενή.

Στην εικόνα 3.11 φαίνεται το υδραυλικό διάγραμμα θέρμανσης του χώρου του κολυμβητηρίου, η οποία επιτυγχάνεται με την χρήση λέβητα πετρελαίου και καλοριφέρ. Στον χώρο του κολυμβητηρίου υπάρχουν 18 θερμαντικά σώματα τύπου καλοριφέρ, σύμφωνα με την εικόνα 3.2.

4. Υπολογισμός φορτίων και καταναλώσεων

4.1. Φορτίο Κολυμβητικής Δεξαμενής

Για να μελετηθεί η ενεργειακή συμπεριφορά του κλειστού Λιάπειου κολυμβητηρίου, είναι επιτακτική η μελέτη των φορτίων που πρέπει να καλυφθούν. Τα κλειστά κολυμβητήρια διαφοροποιούνται από λοιπά κτήρια ως προς τον υπολογισμό φορτίων διότι σημαντικό ρόλο παίζει η κολυμβητική δεξαμενή. Γενικότερα τα φορτία μίας κολυμβητικής δεξαμενής χωρίζονται σε τρία:

- Φορτίο λόγω εξάτμισης του νερού της κολυμβητικής δεξαμενής.
- Φορτίο λόγω ανανέωσης του νερού της κολυμβητικής δεξαμενής.
- Φορτίο λόγω ακτινοβολίας

Στην προκειμένη περίπτωση θα μελετηθούν μόνο τα δύο πρώτα φορτία, και αυτό διότι το φορτίο λόγω ακτινοβολίας μελετάται μόνο σε ανοιχτά κολυμβητήρια, και όχι σε κλειστά.

Η κολυμβητική δεξαμενή επιφάνειας 375 m² και βάθους 2.50 m, έχει όπως είναι φυσικό απώλειες προς το περιβάλλον. Αυτές οι απώλειες αναλύονται σε απώλειες λόγω εξάτμισης του νερού στον αέρα του κολυμβητηρίου, και σε απώλειες λόγω της ανανέωσης του νερού της δεξαμενής.

4.1.1. Υπολογισμός απωλειών λόγω εξάτμισης του νερού της κολυμβητικής δεξαμενής

Ο μηχανισμός της εξάτμισης είναι ένας απλός μηχανισμός της φύσης. Ένα πολύ λεπτό σώμα αέρα έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια ενός υγρού σώματος. Αυτό το στρώμα αέρα έρχεται σε κορεσμό υγρασίας, το οποίο παρασύρεται και αντικαθιστάται από ένα άλλο στρώμα αέρα, μη κορεσμένο. Έτσι ο μηχανισμός της εξάτμισης του νερού συνεχίζεται. Αυτή η εναλλαγή των στρωμάτων αέρα μπορεί να επέλθει μέσω των ρευμάτων αέρα που προκαλούνται από τον αέρα σε εξωτερικές πισίνες και από το σύστημα εξαερισμού στις εσωτερικές πισίνες. Ένας ακόμα τρόπος είναι με φυσική μεταφορά, μιας και ο κορεσμένος αέρας είναι πιο ελαφρύς από τον μη κορεσμένο, κάνοντάς τον να ανεβαίνει σε ύψος και να δίνει την θέση του στον μη κορεσμένο.

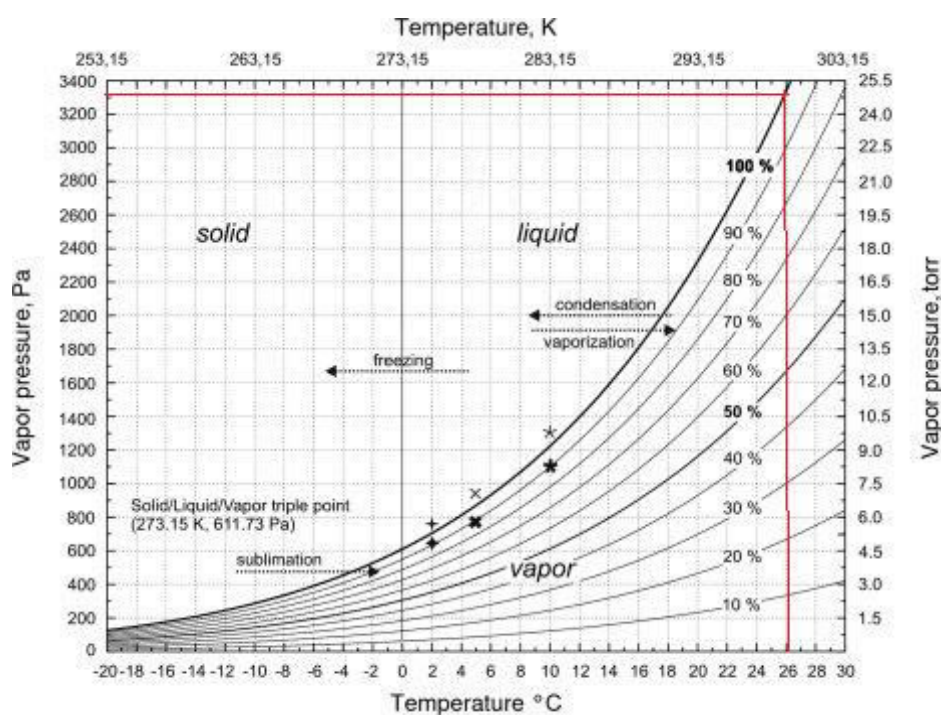
Η ποσότητα του νερού που εξατμίζεται στον περιβάλλοντα χώρο μπορεί να υπολογιστεί από διάφορες εμπειρικές σχέσεις που προτείνονται από επιστήμονες. Η πιο γνωστή από αυτές τις φόρμουλες είναι του Carrier (1918), η οποία προτείνεται από την ASHRAE (2011) με συντελεστή διόρθωσης, ο οποίος ονομάζεται παράγοντας δραστηριότητας (πίνακας 4.2) [18]. Ο τύπος που προτείνεται είναι ο 4.1.

$$\dot{W}_p = \frac{F_a \cdot A \cdot (P_w - P_a) \cdot (0.089 + 0.0782 \cdot V)}{Y} \quad (4.1)$$

Όπου,

V	[m/s]	ταχύτητα αέρα στην επιφάνεια της κολυμβητικής δεξαμενής,
Y	[kJ/kg]	λανθάνουσα θερμότητα αλλαγής φάσης του νερού σε υδρατμό,
\dot{W}_p	[kg/s]	ρυθμός εξάτμισης νερού,
A	[m ²]	επιφάνεια της κολυμβητικής δεξαμενής,
P_w	[kPa]	μερική πίεση των υδρατμών σε κορεσμένο αέρα θερμοκρασίας T_w ,
P_a	[kPa]	μερική πίεση των υδρατμών στο περιβάλλον,
F_a	[-]	παράγοντας δραστηριότητας.

Θεωρώντας ότι η ταχύτητα του αέρα πάνω από την επιφάνεια της πισίνας έχει τιμή $V = 0.10$ m/s, ταχύτητα μικρότερη από 0.13 m/s που θεωρεί μέγιστη αποδεκτή η ASHRAE για ύψος μέχρι 2.4 μέτρα από την επιφάνεια της πισίνας [18], και ότι η λανθάνουσα θερμότητα που απαιτείται για την αλλαγή φάσης του νερού σε υδρατμό στην επιφάνεια της πισίνας έχει τιμή $Y = 2440$ KJ/kg για τους 26 °C. Από την εικόνα 4.1, προκύπτει ότι για θερμοκρασία 26 °C , $P_w = 3.365$ kPa.



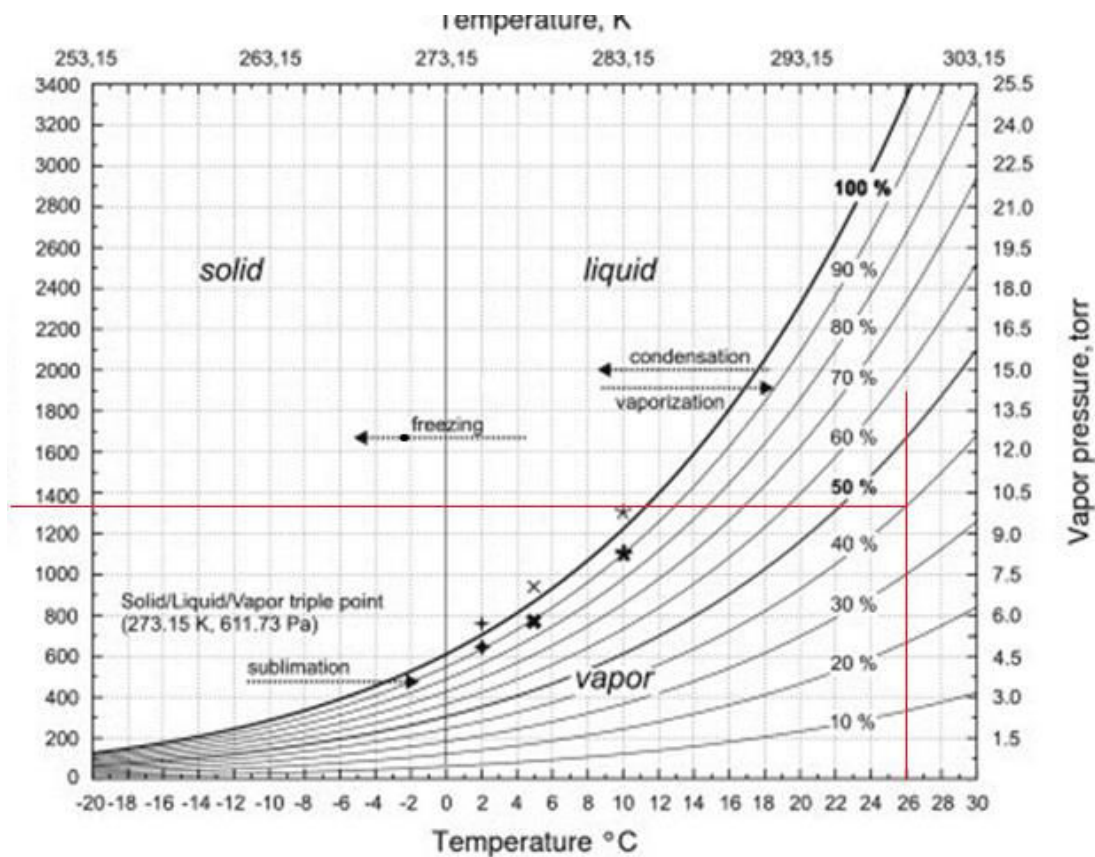
Εικόνα 4.1. Μερική πίεση υδρατμών σε κορεσμένο αέρα 26°C (P_w)

Σύμφωνα με Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, η καθοριζόμενη τιμή σχετικής υγρασίας για κλειστό κολυμβητήριο φαίνεται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Θερμοκρασία και σχετική υγρασία κλειστού κολυμβητηρίου για χειμερινή και θερινή περίοδο

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Θερμοκρασία (°C)		Σχετική υγρασία (%)	
	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος
Κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο	18	25	35	45

Για κλειστό κολυμβητήριο η σχετική υγρασία την χειμερινή περίοδο είναι 35% και για την θερινή είναι 45%. Οπότε μπορούμε με σχετική ασφάλεια να υποθέσουμε 40% σχετική υγρασία για τους υπολογισμούς.



Εικόνα 4.2. Μερική πίεση των υδρατμών στο περιβάλλον στους 26°C και 40% RH (P_a)

Από την εικόνα 4.2, προκύπτει ότι για 26°C και 40% υγρασία $P_a = 1.33\text{kPa}$.

Ο παράγοντας δραστηριότητας παίρνει τις παρακάτω τιμές του πίνακα 4.2, ανάλογα την χρήση της πίεσης [17].

Πίνακας 4.2. Παράγοντας δραστηριότητας πισίνας ανάλογα την χρήση της

Τύπος Πισίνας	Τυπικός παράγοντας δραστηριότητας (F_a)
Οικιακή	0.5
Κοινή οικιακή	0.65
Θεραπευτική	0.65
Ξενοδοχειακή	0.8
Δημόσια, σχολική	1
Τζακούζι, σπα	1
Πισίνα με κύματα, νεροτσουλήθρες	1.5 (το ελάχιστο)

Το κολυμβητήριο εμπίπτει στην κατηγορία δημόσιας πισίνας, οπότε $F_a = 1$. Επομένως εφαρμόζοντας την σχέση 4.1, προκύπτει $\dot{W}_p = 109 \text{ kg/hour}$.

Σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, όπου και αναφέρεται το τυπικό ωράριο λειτουργίας των κτηρίων ανάλογα την χρήση τους, στην βασική κατηγορία συνάθροισης κοινού και για χρήση κτηρίου κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο, οι ώρες λειτουργίας είναι 14, με 7 ημέρες λειτουργίας την εβδομάδα για 12 μήνες [3].

Πίνακας 4.3. Ώρες λειτουργίας κλειστού κολυμβητηρίου

Βασικές κατηγορίες κτηρίων	Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Ώρες λειτουργίας	Ημέρες λειτουργίας ανά εβδομάδα	Περίοδος λειτουργίας σε μήνες
Συνάθροιση κοινού	Κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο	14	7	12

Το ημερήσιο φορτίο του νερού δίνεται από αυτήν την σχέση:

$$q_e = \frac{\dot{W}_p \cdot h_{ev} \cdot t_{oper}}{3600} \quad (4.2)$$

Όπου,

\dot{W}_p [kg/h] ρυθμός εξάτμισης νερού,
 h_{ev} [kJ/kg] η θερμότητα εξάτμισης νερού (2440 kJ/kg),
 t_{oper} [h] οι ημερήσιες ώρες λειτουργίας (14 ώρες).

Άρα, κάνοντας τις αντικαταστάσεις, το ημερήσιο φορτίο εξάτμισης νερού είναι

$q_e = 1034.3$ kWh. Το μηνιαίο φορτίο με αυτήν την μεθοδολογία θα προκύπτει:

Πίνακας 4.4. Μηνιαίο θερμικό φορτίο λόγω εξάτμισης νερού

Μήνας	Μηνιαίο φορτίο q_e	
	(kWh)	(kWh/m ²)
Ιανουάριος	32063.3	35.27
Φεβρουάριος	28960.4	31.86
Μάρτιος	32063.3	35.27
Απρίλιος	31029	34.13
Μάιος	32063.3	35.27
Ιούνιος	31029	34.13
Ιούλιος	32063.3	35.27
Αύγουστος	32063.3	35.27
Σεπτέμβριος	31029	34.13
Οκτώβριος	32063.3	35.27
Νοέμβριος	31029	34.13
Δεκέμβριος	32063.3	35.27

4.1.2. Υπολογισμός απωλειών λόγω ανανέωσης του νερού της κολυμβητικής δεξαμενής

Το παραπάνω φορτίο υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

$$q_w = c_p \cdot \left(\frac{q_e}{h_{ev}} + f_{ren} \cdot \frac{h \cdot \rho \cdot A}{7} \right) \cdot (T_w - T_{cw}) \quad (4.3)$$

Όπου,

q_w	[kWh]	φορτίο λόγω ανανέωσης νερού,
c_p	[kJ/kg·K]	ειδική θερμότητα του νερού (στους 26°C, $c_p = 4.18$),
q_e	[kWh]	ημερήσιο φορτίο λόγω εξάτμισης νερού,
h_{ev}	[kJ/kg]	η θερμότητα εξάτμισης νερού,
f_{ren}	[-]	το ποσοστό προγραμματισμένης ανανέωσης νερού σε εβδομαδιαία βάση (συνήθως της τάξης του 5-10%, επιλέγω 7.5%),
h	[m]	το βάθος της κολυμβητικής δεξαμενής (2.5 m),
ρ	[kg/m ³]	η πυκνότητα του νερού (1000 kg/m ³),
A	[m ²]	η επιφάνεια της κολυμβητικής δεξαμενής (375 m ²),
T_w	[C]	η θερμοκρασία του νερού της κολυμβητικής δεξαμενής,
T_{cw}	[C]	η θερμοκρασία του νερού του δικτύου.

Από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010, πίνακα 6.2, βλέπω τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες νερού δικτύου για τις διάφορες κλιματικές ζώνες [12]. Όπως

αναφέρεται και στην αρχή του 3^{ου} κεφαλαίου, το Λιάπαιο κολυμβητήριο Κοίλων, βρίσκεται στην κλιματική ζώνη Δ.

Πίνακας 4.5. Θερμοκρασίες νερού δικτύου για κλιματική ζώνη Δ

Μήνας	T _{cw} (C°)
Ιανουάριος	4.2
Φεβρουάριος	5
Μάρτιος	7.5
Απρίλιος	11.5
Μάιος	15.7
Ιούνιος	19.8
Ιούλιος	22.2
Αύγουστος	22.7
Σεπτέμβριος	20.2
Οκτώβριος	15.9
Νοέμβριος	10.8
Δεκέμβριος	6.6

Σύμφωνα με τις παραπάνω τιμές υπολογίζω το φορτίο λόγω ανανέωσης του νερού ανά μήνα, το οποίο παρουσιάζεται στον πίνακα 4.6.

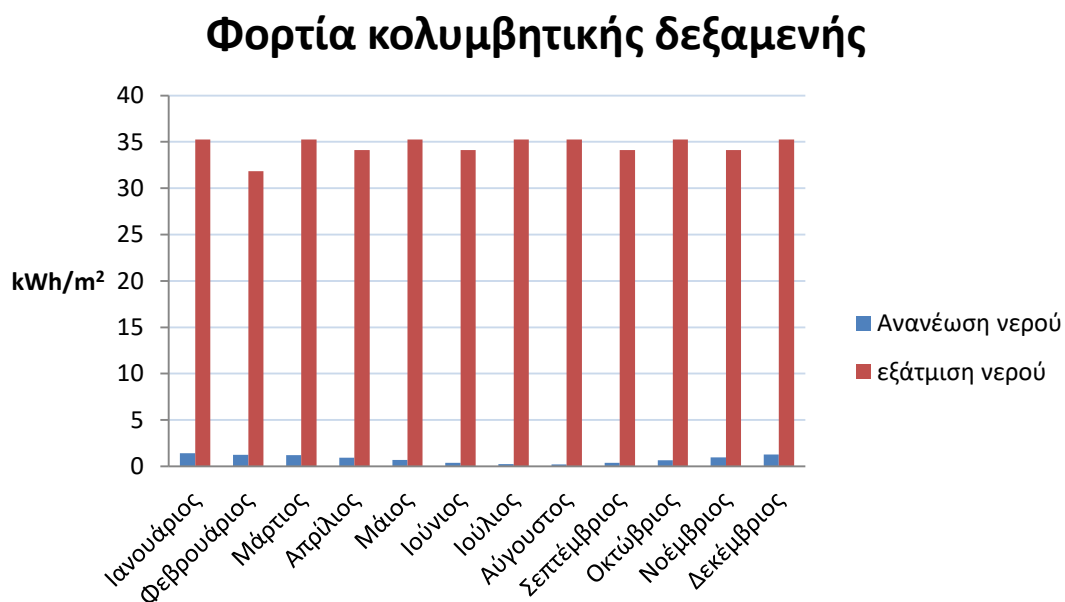
Πίνακας 4.6. Μηνιαίο θερμικό φορτίο λόγω ανανέωσης του νερού της κολυμβητικής δεξαμενής

Μήνας	Μηνιαίο φορτίο q _w	
	(kWh)	(kWh/m ²)
Ιανουάριος	1299.09	1.43
Φεβρουάριος	1139.80	1.25
Μάρτιος	1102.44	1.21
Απρίλιος	838.39	0.92
Μάιος	613.79	0.68
Ιούνιος	358.48	0.39
Ιούλιος	226.45	0.25
Αύγουστος	196.65	0.22
Σεπτέμβριος	335.35	0.37
Οκτώβριος	601.87	0.66
Νοέμβριος	878.86	0.97
Δεκέμβριος	1156.07	1.27

Το συνολικό φορτίο της υφιστάμενης κολυμβητικής δεξαμενής θα ισούται με το άθροισμα του φορτίου λόγω ανανέωσης νερού (q_w) και του φορτίου λόγω εξάτμισης του νερού (q_e). Το σύνολο των φορτίων της κολυμβητικής δεξαμενής παρουσιάζεται στον πίνακα 4.7.

Πίνακας 4.7. Μηνιαίο φορτίο κολυμβητικής δεξαμενής λόγω εξάτμισης και ανανέωσης νερού

Μηνιαίο φορτίο κολυμβητικής δεξαμενής		
Μήνας	(kWh)	(kWh/m ²)
Ιανουάριος	33362.39	36.70
Φεβρουάριος	30100.20	33.11
Μάρτιος	33165.74	36.48
Απρίλιος	31867.39	35.05
Μάιος	32677.09	35.94
Ιούνιος	31387.48	34.52
Ιούλιος	32289.75	35.52
Αύγουστος	32259.95	35.48
Σεπτέμβριος	31364.35	34.50
Οκτώβριος	32665.17	35.93
Νοέμβριος	31907.86	35.10
Δεκέμβριος	33219.37	36.54



Διάγραμμα 4.1. Μηνιαίο φορτίο κολυμβητικής δεξαμενής ανά τετραγωνικό ακαθάριστης επιφάνειας

4.2: Υπολογισμός φορτίου ζεστού νερού χρήσης

Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, στον πίνακα 2.5, [3] βρίσκουμε την τυπική κατανάλωση για κλειστό κολυμβητήριο.

Πίνακας 4.7. Τυπικές καταναλώσεις ΖΝΧ σε κλειστό κολυμβητήριο

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης [l/άτομο/ημέρα]	Ημερήσια κατανάλωση ανά δομημ. Επιφάνεια (l/m ² /ημέρα)	Ετήσια κατανάλωση ανά δομημ. Επιφάνεια (m ³ /m ² /έτος)
Κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο	40	30	10.92

Παρατηρείται στη συγκεκριμένη περίπτωση ότι θα έχουμε 40 λίτρα ζεστού νερού χρήσης, ανά άτομο, ανά ημέρα. Όπως προαναφέρθηκε, το Λιάπαιο Κολυμβητήριο στα Κοίλα φιλοξενεί περίπου 200 άτομα, λόγω της προσωρινής έλλειψης κολυμβητηρίου στην γειτονική μεγάλη πόλη της Κοζάνης. Επομένως καθημερινά καταναλώνονται 8000 λίτρα ζεστού νερού χρήσης την ημέρα. Για το μηνιαίο φορτίο ζεστού νερού χρήσης, θα χρησιμοποιηθεί η σχέση 4.4.

$$Q_d = V_d \cdot N_{day,d} \cdot \frac{\rho \cdot c}{3600} \cdot (\theta_{w,t} - \theta_{w,i}) \quad (4.4)$$

Όπου,

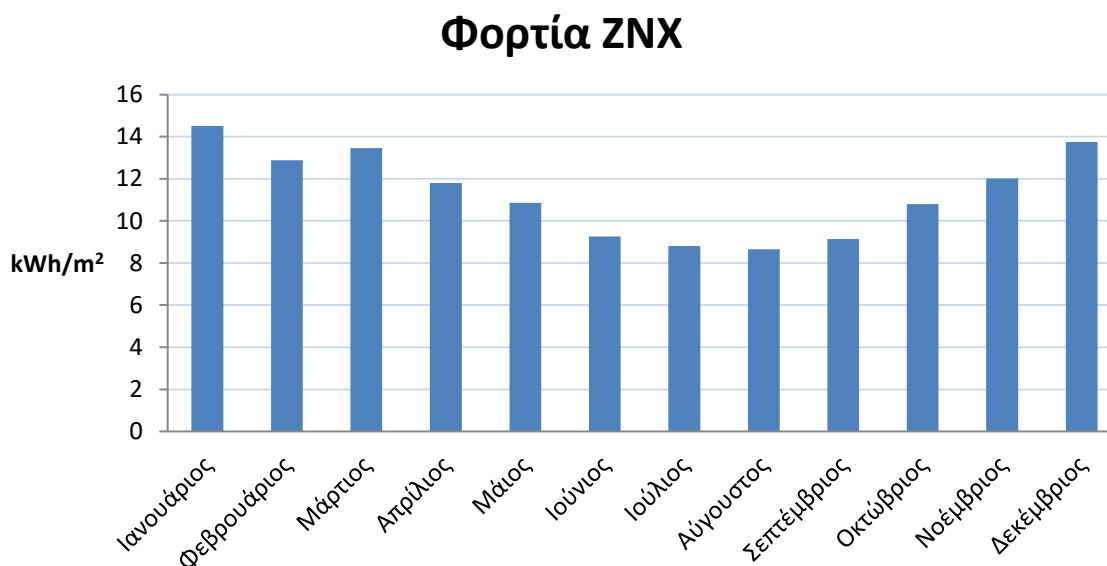
Q_d	[kJ]	το μηνιαίο φορτίο ζεστού νερού χρήσης,
V_d	[lt/ημέρα]	το ημερήσιο φορτίο ζεστού νερού χρήσης,
$N_{day,d}$	[ημέρες]	οι ημέρες κατανάλωσης ζεστού νερού χρήσης,
ρ	[kg/lt]	η πυκνότητα του νερού
c	[kJ/(kg·K)]	η ειδική θερμότητα του νερού,
$\theta_{w,t}$	[C]	η θερμοκρασία του ζεστού νερού χρήσης (50° C),
$\theta_{w,i}$	[C]	η μέση μηνιαία θερμοκρασία του νερού δικτύου

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου θερμικού φορτίου για ζεστό νερό χρήσης στα πλαίσια του ΚΕΝΑΚ, χρησιμοποιούνται οι τιμές της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας νερού δικτύου ανά κλιματική ζώνη (πίνακας 4.5).

Όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω, η κλιματική ζώνη στην οποία εμπίπτει το Λιάπαιο Κολυμβητήριο είναι η Ζώνη Δ. Επομένως οι τιμές φορτίων ζεστού νερού χρήσης μηνιαίως που προκύπτουν από την σχέση 4.4, αποτυπώνονται στον πίνακα 4.8.

Πίνακας 4.8. Μηνιαίο φορτίο ζεστού νερού χρήσης

Φορτίο ZNX		
Μήνας	(kWh)	(kWh/m ²)
Ιανουάριος	13188.36	14.51
Φεβρουάριος	11704	12.87
Μάρτιος	12238.11	13.46
Απρίλιος	10728.67	11.8
Μάιος	9876.88	10.86
Ιούνιος	8415.73	9.26
Ιούλιος	8005.16	8.81
Αύγουστος	7861.19	8.65
Σεπτέμβριος	8304.27	9.13
Οκτώβριος	9819.28	10.8
Νοέμβριος	10923.73	12.02
Δεκέμβριος	12497.27	13.75



Διάγραμμα 4.2. Φορτία ZNX ανά τετραγωνικό ακαθάριστης επιφάνειας

4.3. Υπολογισμός Ενεργειακών Απαιτήσεων Κλειστού Κολυμβητηρίου

Το κτήριο υπό εξέταση βρίσκεται στην κλιματική Ζώνη Δ, σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 (σελίδα 22), η περίοδος θέρμανσης είναι από την 15 Οκτωβρίου μέχρι και τις 30 Απριλίου, ενώ η περίοδος ψύξης από την 1^η Ιουνίου μέχρι και τις 31 Αυγούστου [3]. Ο υπολογισμός που ακολουθεί αφορά τους παραπάνω μήνες ενώ για τους μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο, θεωρούμε ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις τους υπερκαλύπτονται από τα θερμικά κέρδη – απώλειες των υπόλοιπων μηνών.

Για τον υπολογισμό των φορτίων θέρμανσης του Λιάπειου Κολυμβητηρίου, θα υπολογιστούν αρχικά οι θερμικές απώλειες του κελύφους, και έπειτα τα θερμικά κέρδη. Τελικώς, οι μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου θα προκύψουν από τις ακόλουθες εξισώσεις 4.5 και 4.6 [19].

$$\dot{Q}_{H,tot,i} = \dot{Q}_{H,loss,i} - \eta_H \cdot \dot{Q}_{H,gn,i} \quad (4.5)$$

$$\dot{Q}_{C,tot,i} = \dot{Q}_{C,gn,i} - \eta_C \cdot \dot{Q}_{C,loss,i} \quad (4.6)$$

Όπου,

$\dot{Q}_{H,tot,i}$	[kWh]	οι μηνιαίες απαιτήσεις σε θέρμανση,
$\dot{Q}_{H,loss,i}$	[kWh]	οι μηνιαίες ενεργειακές απώλειες στην περίοδο θέρμανσης,
$\dot{Q}_{H,gn,i}$	[kWh]	τα μηνιαία ενεργειακά κέρδη στην περίοδο θέρμανσης
$\dot{Q}_{C,tot,i}$	[kWh]	οι μηνιαίες απαιτήσεις σε ψύξη,
$\dot{Q}_{C,loss,i}$	[kWh]	οι μηνιαίες ενεργειακές απώλειες στην περίοδο ψύξης,
$\dot{Q}_{C,gn,i}$	[kWh]	τα μηνιαία ενεργειακά κέρδη στην περίοδο θέρμανσης,
η_H	[-]	ο συντελεστής χρήσης για θέρμανση,
η_C	[-]	ο συντελεστής χρήσης για ψύξη.

Ο συντελεστής χρήσης απωλειών η εξαρτάται από τον λόγο:

$$\gamma_H = \frac{\dot{Q}_{H,gn}}{\dot{Q}_{H,loss}} \quad (4.7)$$

$$\frac{1}{\gamma_C} = \frac{\dot{Q}_{C,loss}}{\dot{Q}_{C,gn}} \quad (4.8)$$

Για θέρμανση και για ψύξη αντίστοιχα.

Ανάλογα την τιμή που θα πάρουν τα γ_H, γ_C , ο συντελεστής η θα υπολογιστεί από τις σχέσεις:

$$\eta_H = \frac{1-\gamma_H^{\alpha_H}}{1-\gamma_H^{\alpha_H+1}} \text{ και } \eta_C = \frac{1-\gamma_C^{-\alpha_C}}{1-\gamma_C^{-(\alpha_C+1)}} \text{ για } \gamma_H, \gamma_C > 0 \text{ και } \gamma_H, \gamma_C \neq 1 \quad (4.9)$$

$$\eta_H = \frac{\alpha_H}{\alpha_H+1} \text{ και } \eta_C = \frac{\alpha_C}{\alpha_C+1} \text{ για } \gamma_H, \gamma_C = 1 \quad (4.10)$$

$$\eta_H = \frac{1}{\gamma_H} \text{ και } \eta_C = 1 \text{ για } \gamma_H, \gamma_C < 0 \quad (4.11)$$

Όπου

$$\alpha_{H/C} = \alpha_{H/C,0} + \frac{\tau}{\tau_{H/C,0}} \quad (4.12)$$

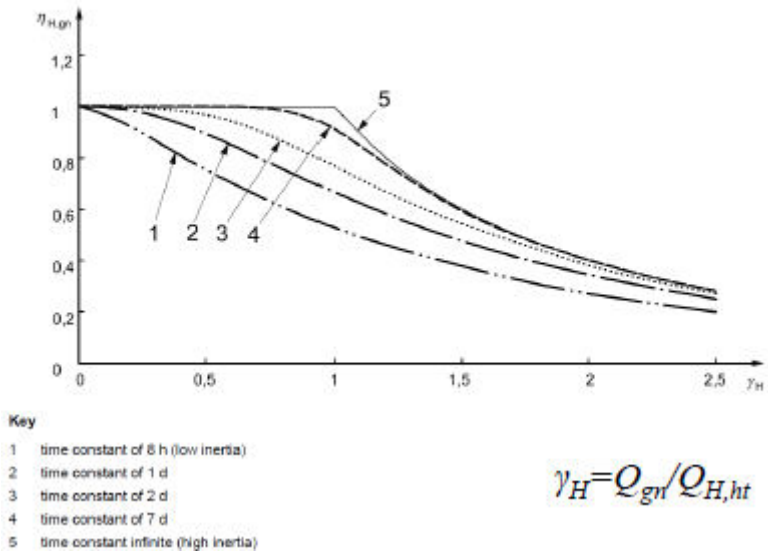
αδιάστατη παράμετρος αναφοράς θέρμανσης/ψύξης που ισούται με μονάδα και:

$\tau_{H/C,0}$	[h]	η σταθερά χρόνου αναφοράς για την περίοδο ψύξης(=15h),
$\tau = \frac{c_m}{H_{ve} + H_{tr}}$	[h]	η σταθερά χρόνου του κτηρίου για την περίοδο θέρμανσης/ψύξης,
H_{tr}	[W/K]	ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς από μετάδοση,
H_{ve}	[W/K]	ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς από αερισμό,
c_m	[kJ/K]	η εσωτερική θερμοχωρητικότητα του κτηρίου.

Η υφιστάμενη εγκατάσταση έχει φέρον οργανισμό από μεταλλική κατασκευή και πλήρωση από ελαφριά πετάσματα με θερμομόνωση. Από τον πίνακα 3.13 TOTEE 20701-1/2010 επιλέγω $c_m = 110 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ [3].

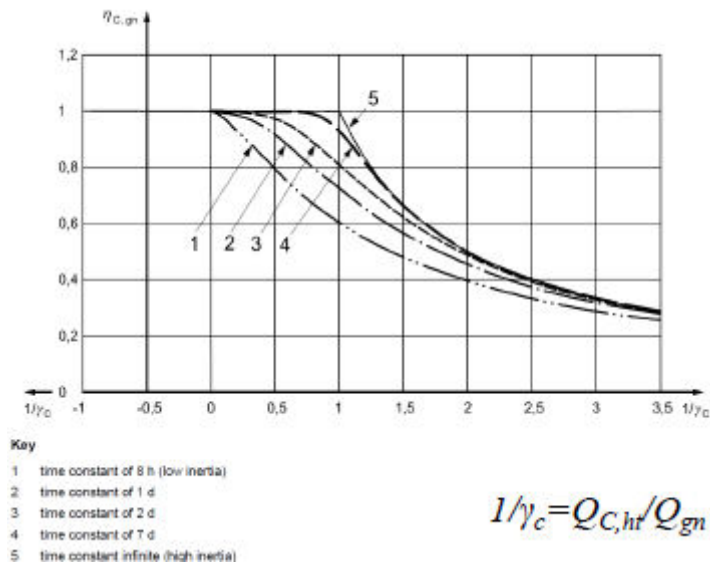
Γραφικά παρουσιάζεται στις εικόνες 4.3 και 4.4.

NOTE 2 The gain utilization factor is defined independently of the heating system characteristics, assuming perfect temperature control and infinite flexibility. A slowly responding heating system and a less-than-perfect control system can significantly affect the use of the heat gains.



Εικόνα 4.3. Συντελεστής χρήσης απωλειών για θέρμανση [19]

Figure 6 illustrates loss utilization factors for the monthly calculation method and for various time constants.



Εικόνα 4.4. Συντελεστής χρήσης απωλειών για ψύξη [19]

Στις εικόνες 4.4 και 4.5, παρουσιάζεται πως στην θέρμανση, για αύξηση του λόγου κέρδους – απωλειών ενέργειας, η επίδραση του συντελεστή η μικραίνει στα θερμικά κέρδη. Για μεγάλη θερμική αδράνεια, η επίδραση του συντελεστή η αυξάνεται στα θερμικά κέρδη. Γενικώς για κτήρια με μεγάλη σταθερά χρόνου με $Q_{h,loss} > Q_{gn}$, θεωρούμε ότι ο συντελεστής αγγίζει την μονάδα.

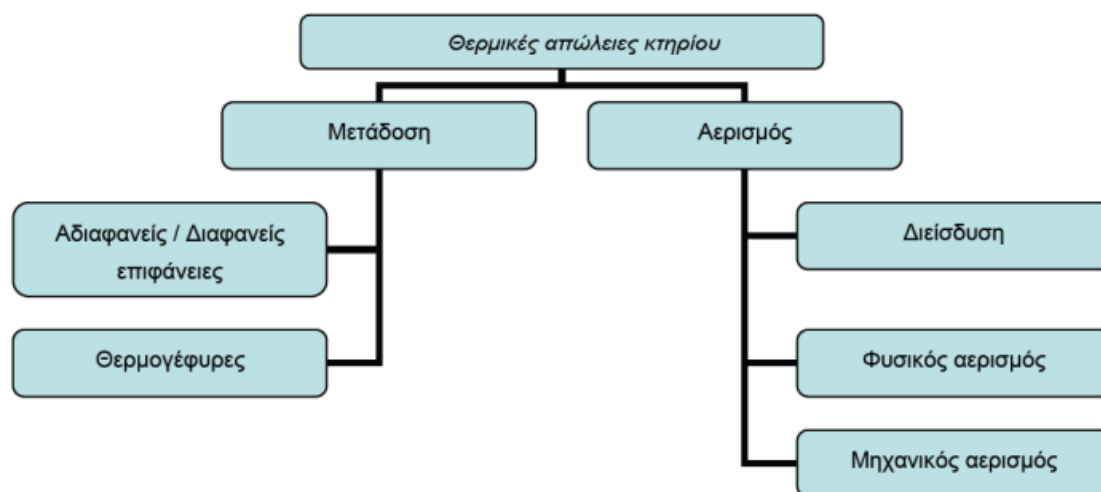
Στην ψύξη η μεγάλη θερμική αδράνεια συνεπάγεται μεγάλη επίδραση του η στις θερμικές απώλειες, και για μεγάλο γ η επίδραση μικραίνει στις απώλειες. Για κτήρια με μεγάλη σταθερά χρόνου με $Q_{h,loss} < Q_{gn}$, θεωρούμε ότι ο συντελεστής αγγίζει την μονάδα.

4.3.1. Υπολογισμός ετήσιων θερμικών απωλειών

Ένα κτήριο χάνει συνεχώς ποσά ενέργειας τα οποία πρέπει να συμπληρωθούν στο κτήριο εκ νέου, για να διατηρήσουμε την εσωτερική θερμοκρασία στο επιθυμητό επίπεδο. Αυτές οι απώλειες ονομάζονται θερμικές. Οι θερμικές απώλειες κατηγοριοποιούνται σε δύο:

- Θερμικές απώλειες λόγω αερισμού (Q_{vent}) και
- Θερμικές απώλειες λόγω μεταφοράς (Q_{con}).

Τα φορτία λόγω αερισμού οφείλονται σε χαραμάδες και τα ανοίγματα του κελύφους από τα οποία εισέρχεται εξωτερικός νωπός αέρας, αλλά επίσης και στον εξαναγκασμένο αερισμό. Τα φορτία λόγω μετάδοσης οφείλονται στην διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού χώρου του κτηρίου ή μεταξύ των εσωτερικών θερμαινόμενων και μη χώρων [19].



Εικόνα 4.5. Θερμικές απώλειες κτηρίου

4.3.1.1. Μηνιαίες Τιμές Φορτίου Αερισμού.

Απαραίτητη για την εξασφάλιση συνθηκών υγιεινής στο εσωτερικό του κλειστού κολυμβητηρίου είναι η ανανέωση του αέρα, δηλαδή η αντικατάσταση του εσωτερικού αέρα με φρέσκο, νωπό αέρα από το περιβάλλον. Οι απαιτήσεις σε νωπό αέρα διαμορφώνονται από τα παρακάτω:

- Χρήση του εν λόγω κτηρίου,
- Αριθμός ατόμων στο κτήριο.

Ο υπολογισμός του φορτίου λόγω ανανέωσης του αέρα υπολογίζεται από τον τύπο:

$$Q_{vent} = \dot{V} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_b - \bar{T}_{a,i}) \cdot t + \dot{V} \cdot \rho \cdot h_g \cdot (w_b - \bar{w}_{a,i}) \cdot t \quad (4.12)$$

Όπου:

Q_{vent}	[kJ]	το φορτίο λόγω αερισμού,
ρ	[kg/m ³]	η πυκνότητα του αέρα,
\dot{V}	[m ³ /h]	η εισερχόμενη παροχή εξωτερικού αέρα,
C_p	[kJ/Kg·K]	η θερμοχωρητικότητα αέρα,
T_b	[C]	η επιθυμητή θερμοκρασία εσωτερικού χώρου,
$T_{a,i}$	[C]	η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος για τον μήνα i,
t	[h]	ο χρόνος λειτουργίας κτηρίου (εξαναγκασμένη ροή αέρα),
h_g	[kJ/kg υδρατμού]	η ενθαλπία συμπύκνωσης υδρατμών
w_b	[kg υδρατμού/kg ξηρού αέρα]	η υγρασία εσωτερικού χώρου,
$w_{a,i}$	[kg υδρατμού/kg ξηρού αέρα]	ο λόγος υγρασίας μηνιαίως.

Με την χρήση της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2010, βρίσκουμε τον πίνακα 2.3 στη σελίδα 26. Ο πίνακας αυτός μας δίνει τον απαιτούμενο νωπό αέρα ανά χρήση κτηρίου. Για κλειστό κολυμβητήριο έχουμε τα εξής [3].

Πίνακας 4.9. Απαιτήσεις αέρα σε κλειστό κολυμβητήριο

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Άτομα / 100 m ² επιφ. δαπέδου	Νωπός αέρας (m ³ /h/άτομο)	Νωπός αέρας (m ³ /h/m ²)
Κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο	75	45	33.75

Ο χώρος του Λιάπειου κολυμβητηρίου είναι 909.13 m². Επομένως, σύμφωνα με τον πίνακα 4.9, ο νωπός αέρας θα είναι:

$$V = [N_{\omega\pi\acute{o}s \text{ Αέρας}}] \cdot [T\epsilon\tau\rho\alpha\gamma\omega\nu\iota\kappa\acute{\alpha} \text{ Χώρου}] \quad (4.13)$$

Επομένως από την σχέση 4.13 προκύπτει: $V = 33.75 \cdot 909.13 = 30,683.1375 \text{ m}^3/\text{h}$

Από πίνακα 4.1, είναι γνωστές οι θερμοκρασίες ανά περίοδο. Από τον πίνακα 4.3, που αναγράφηκε πιο πάνω, οι ώρες λειτουργίας είναι 14 ημερησίως.

Η μέση μηνιαία θερμοκρασία 24ώρου ($T_{a,i}$) δίνεται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010, και παρουσιάζεται στον πίνακα 4.10.

Πίνακας 4.10. Μέση μηνιαία θερμοκρασία 24ώρου $T_{a,i}$ για Κοζάνη

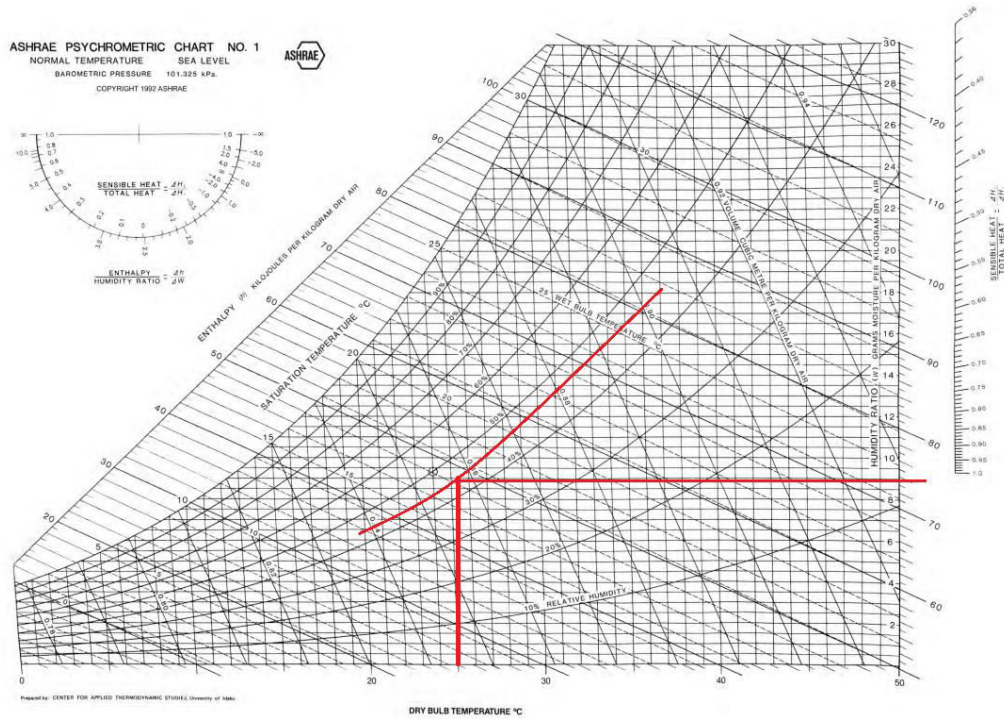
Μήνας	$T_{a,i}(C^{\circ})$
Ιανουάριος	2.3
Φεβρουάριος	3.7
Μάρτιος	6.9
Απρίλιος	11.6
Μάιος	16.8
Ιούνιος	21.5
Ιούλιος	24.1
Αύγουστος	23.6
Σεπτέμβριος	19.3
Οκτώβριος	13.5
Νοέμβριος	8
Δεκέμβριος	3.9

Η μέση μηνιαία ειδική υγρασία δίνεται από τον πίνακα 3.10 στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010:

Πίνακας 4.11. Μέση μηνιαία ειδική υγρασία για Κοζάνη

Μήνας	$W_{a,i}$ (kg υδρατμού/kg ξηρού)
Ιανουάριος	0.0033
Φεβρουάριος	0.0034
Μάρτιος	0.0041
Απρίλιος	0.0053
Μάιος	0.0073
Ιούνιος	0.0087
Ιούλιος	0.0092
Αύγουστος	0.009
Σεπτέμβριος	0.0079
Οκτώβριος	0.0064
Νοέμβριος	0.0049
Δεκέμβριος	0.0038

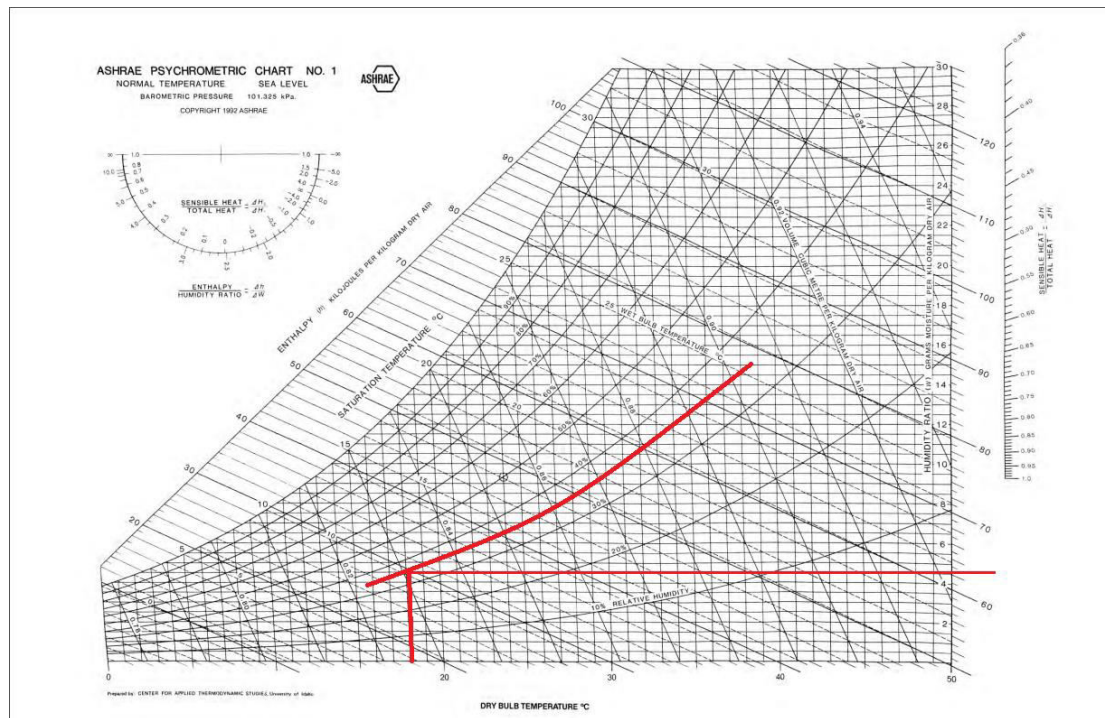
Για να βρούμε την υγρασία του εσωτερικού χώρου, χρειάζεται να κάνουμε χρήση του ψυχομετρικού χάρτη της ASHRAE. Για την θερινή περίοδο γνωρίζουμε την σχετική υγρασία του εσωτερικού χώρου $RH_b = 45\%$ και την επιθυμητή θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου $T_b = 25^\circ C$.



Εικόνα 4.6. Υπολογισμός υγρασίας εσωτερικού χώρου σε ψυχομετρικό διάγραμμα την θερινή περίοδο

Από την εικόνα 4.6 υπολογίζω την υγρασία του εσωτερικού χώρου $w_b = 0.0088 \text{ kg}$ υγρασίας/ kg ξηρού αέρα.

Για την χειμερινή περίοδο γνωρίζουμε την υγρασία του εσωτερικού χώρου $RH_b = 35\%$ και $T_b = 18^\circ C$.



Εικόνα 4.7. Υπολογισμός υγρασίας εσωτερικού χώρου σε ψυχομετρικό διάγραμμα την χειμερινή περίοδο

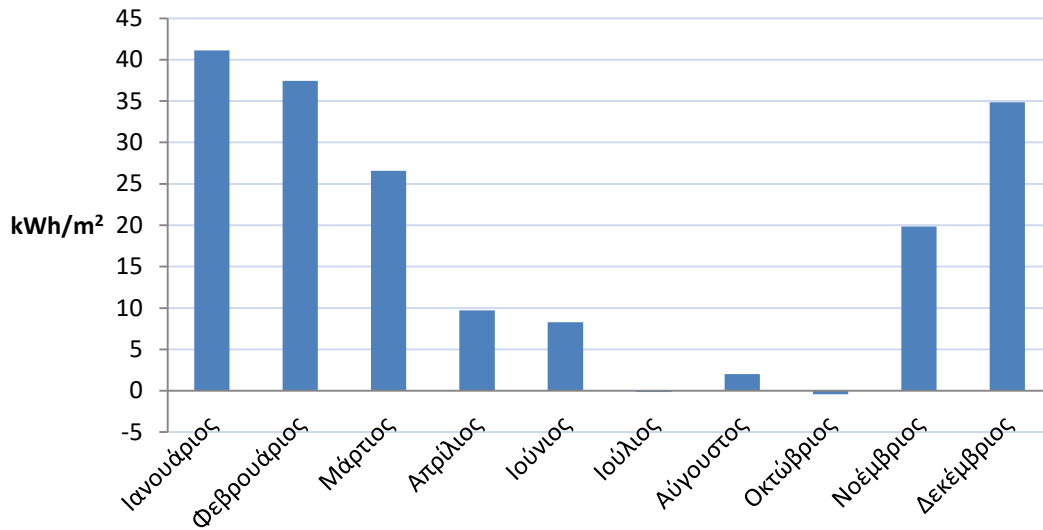
Από την εικόνα 4.7 υπολογίζω την υγρασία του εσωτερικού χώρου $w_b = 0.00447 \text{ kg}$ υγρασίας/ kg ξηρού αέρα.

Η ενθαλπία συμπύκνωσης υδρατμών είναι γνωστή $h_g=2445 \text{ kJ/kg}$. Η πυκνότητα του αέρα είναι $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ και η θερμοχωρητικότητα του αέρα είναι $C_p = 1.005 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$. Έχοντας όλα τα παραπάνω δεδομένα υπολογίζεται το μηνιαίο φορτίο λόγω ανανέωσης του αέρα στο κολυμβητήριο υπό εξέταση:

Πίνακας 4.12. Μηνιαία φορτία λόγω αερισμού

Μήνας	Q_{vent}				
	(kJ)	(Kw)	(kWh)	(MWh)	(kWh/m ²)
Ιανουάριος	9608048	2668.90	37364.63	37.36	41.10
Φεβρουάριος	8756738	2432.43	34053.98	34.05	37.46
Μάρτιος	6216726	1726.87	24176.16	24.18	26.59
Απρίλιος	2269464	630.41	8825.69	8.83	9.71
Ιούνιος	1939223	538.67	7541.42	7.54	8.30
Ιούλιος	-37887	-10.52	-147.34	-0.15	-0.16
Αύγουστος	473207	131.45	1840.25	1.84	2.02
Οκτώβριος	-101214	-28.12	-393.61	-0.39	-0.43
Νοέμβριος	4638594	1288.50	18038.98	18.04	19.84
Δεκέμβριος	8148991	2263.61	31690.52	31.69	34.86

Απώλειες λόγω αερισμού



Διάγραμμα 4.3. Απώλειες αερισμού ανά τετραγωνικό ακαθάριστης επιφάνειας

4.3.1.2. Μηνιαίες τιμές φορτίου λόγω μετάδοσης

Τα φορτία λόγω μετάδοσης του κολυμβητηρίου (Q_{con}), υπολογίζονται από την εξίσωση 4.14.

$$Q_{con,i} = U \cdot A \cdot (T_b - \bar{T}_{a,i}) \cdot t \quad (4.14)$$

Όπου,

$Q_{con,i}$	[Wh]	το φορτίο λόγω μετάδοσης,
U	[W/m ² ·K]	ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου,
A	[m ²]	η επιφάνεια του δομικού στοιχείου,
T_b	[C]	η επιθυμητή θερμοκρασία εσωτερικού χώρου,
$\bar{T}_{a,i}$	[C]	μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος για τον μήνα i ,
t	[h]	οι ώρες του μήνα.

Γνωρίζοντας ήδη τα U (πίνακας 3.7), A , T_b , $T_{a,i}$ (πίνακας 4.10) τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα εξής του πίνακα 4.13, 4.14 και 4.15.

Πίνακας 4.13. Μηνιαία φορτίο λόγω μετάδοσης αδιαφανών στοιχείων

Q _{con} Αδιαφανών στοιχείων				
Μήνας	(Wh)	(kWh)	(Mwh)	(kWh/m ²)
Ιανουάριος	25803085.77	25803.09	25.8	28.38
Φεβρουάριος	21227769.76	21227.77	21.23	23.35
Μάρτιος	18242945.99	18242.95	18.24	20.07
Απρίλιος	10179150.34	10179.15	10.18	11.2
Ιούνιος	5566722.84	5566.72	5.57	6.12
Ιούλιος	1479157.78	1479.16	1.48	1.63
Αύγουστος	2300912.11	2300.91	2.3	2.53
Οκτώβριος	7395788.92	7395.79	7.4	8.14
Νοέμβριος	15904922.4	15904.92	15.9	17.49
Δεκέμβριος	23173471.94	23173.47	23.17	25.49

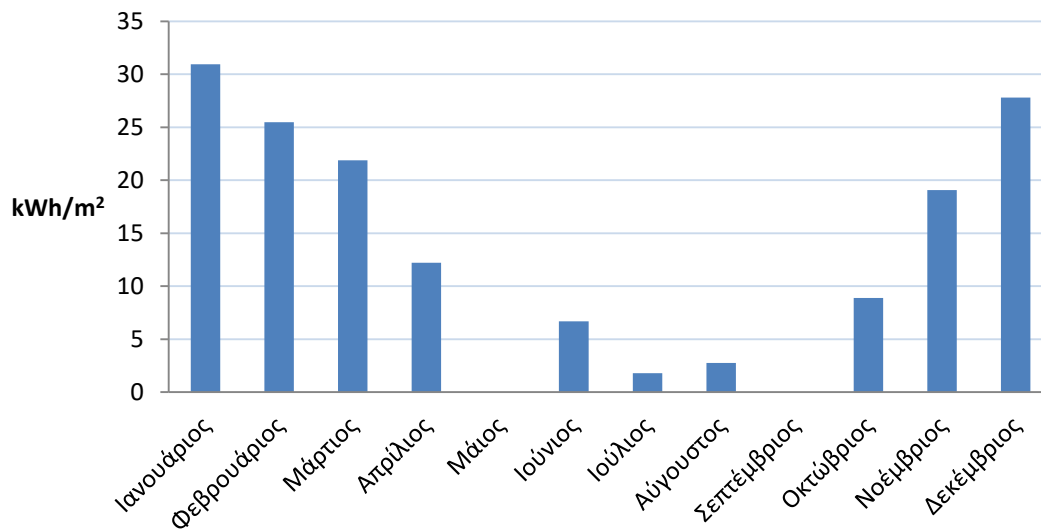
Πίνακας 4.14. Μηνιαία φορτίο λόγω μετάδοσης διαφανών στοιχείων

Q _{con} Διαφανών στοιχείων				
Μήνας	(Wh)	(kWh)	(Mwh)	(kWh/m ²)
Ιανουάριος	2338403	2338.4	2.34	2.57
Φεβρουάριος	1923765	1923.77	1.92	2.12
Μάρτιος	1653266	1653.27	1.65	1.82
Απρίλιος	922484.7	922.48	0.92	1.01
Ιούνιος	504483.8	504.48	0.5	0.55
Ιούλιος	134048.6	134.05	0.13	0.15
Αύγουστος	208520	208.52	0.21	0.23
Οκτώβριος	670242.8	670.24	0.67	0.74
Νοέμβριος	1441382	1441.38	1.44	1.59
Δεκέμβριος	2100094	2100.09	2.1	2.31

Πίνακας 4.15. Μηνιαία φορτία λόγω μετάδοσης κελύφους

Μήνας	Q _{con} Συνολικό			
	(Wh)	(kWh)	(Mwh)	(kWh/m ²)
Ιανουάριος	28141488.49	28141.49	28.14	30.95
Φεβρουάριος	23151534.81	23151.53	23.15	25.47
Μάρτιος	19896211.61	19896.21	19.9	21.88
Απρίλιος	11101635.07	11101.64	11.1	12.21
Ιούνιος	6071206.68	6071.21	6.07	6.68
Ιούλιος	1613206.35	1613.21	1.61	1.77
Αύγουστος	2509432.09	2509.43	2.51	2.76
Οκτώβριος	8066031.73	8066.03	8.07	8.87
Νοέμβριος	17346304.8	17346.3	17.35	19.08
Δεκέμβριος	25273566.09	25273.57	25.27	27.8

Φορτία λόγω μετάδοσης

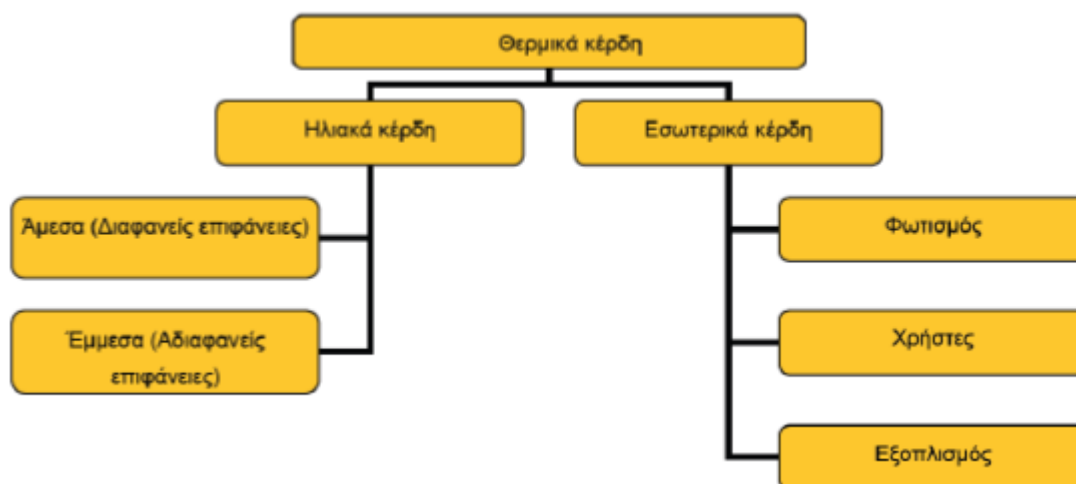


Διάγραμμα 4.4. Απώλειες μετάδοσης ανά τετραγωνικό ακαθάριστης επιφάνειας

4.3.2. Υπολογισμός ετήσιων θερμικών κερδών

Το κτήριο εκτός από τις ετήσιες θερμικές απώλειες, παρουσιάζει και ετήσια θερμικά κέρδη. Τα ετήσια θερμικά κέρδη χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- ηλιακά κέρδη (Q_{sol}) και
- εσωτερικά κέρδη (Q_{int}).



Εικόνα 4.8. Υπολογισμός θερμικών κερδών

4.3.2.1. Ηλιακά θερμικά κέρδη

Τα ηλιακά θερμικά κέρδη εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την προσπίπτουσα ακτινοβολία στα δομικά στοιχεία και από την απορροφητικότητα των εκάστοτε δομικών στοιχείων. Υπολογίζεται από την σχέση 4.15:

$$Q_{sol,i} = A_{sol} \cdot F_{sh,ob} \cdot I_{sol,i} \quad (4.15)$$

Όπου,

A_{sol}	[m ²]	η ωφέλιμη συλλεκτική επιφάνεια του στοιχείου,
$F_{sh,ob}$	[-]	ο συντελεστής μείωσης λόγω σκίασης από εξωτερικά εμπόδια (0 για πλήρη σκίαση, 1 για καθόλου σκίαση),
$I_{sol,i}$	[KWh/m ²]	η μέση μηνιαία ένταση ηλιακής ακτινοβολίας στο συγκεκριμένο στοιχείο (Παράρτημα Β, ΤΕΕ 2010,γ) [12].

Για την μέση μηνιαία ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας δεν παρέχονται από την ΤΟΤΕΕ τιμές για την περιοχή των Κοίλων, ούτε της Κοζάνης. Επιλέγω να χρησιμοποιήσω τις τιμές που παρέχονται για Καστοριά, διότι βρίσκεται πιο κοντά από τις υπόλοιπες περιοχές που δίνονται. Οι τιμές που ενδιαφέρουν το κτήριο μας είναι οι παρακάτω:

Πίνακας 4.16. Μέση μηνιαία ένταση ακτινοβολίας $I_{sol,i}$

Μήνας	Οριζόντιο Επίπεδο	90		
		B	N	A/Δ
Ιανουάριος	58	17	96	42
Φεβρουάριος	71	22	85	45
Μάρτιος	111	35	95	69
Απρίλιος	141	48	86	84
Μάιος	174	64	84	99
Ιούνιος	202	75	86	112
Ιούλιος	206	74	92	116
Αύγουστος	186	61	100	110
Σεπτέμβριος	139	41	105	83
Οκτώβριος	97	28	106	60
Νοέμβριος	60	18	93	42
Δεκέμβριος	48	14	88	36

Η A_{sol} δίνεται για διαφανή στοιχεία από την σχέση 4.16, ενώ η A_{sol} δίνεται για αδιαφανή στοιχεία από την σχέση 4.17.

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_f) \cdot A_{w,p} \quad (4.16)$$

Όπου,

$F_{sh,gl}$	[-]	ο συντελεστής σκίασης για κινητά σκίαστρα,
g_{gl}	[-]	ο συντελεστής θερμικών ηλιακών απολαβών του διαφανούς τμήματος του στοιχείου (πίνακας 3.16 ΤΕΕ 2010α) [3],
F_f	[-]	ο λόγος επιφάνειας του πλαισίου προς τη συνολική επιφάνεια του ανοίγματος,
$A_{w,p}$	[m ²]	το ολικό εμβαδόν της διαφανούς επιφάνειας.

Στην υφιστάμενη εγκατάσταση δεν υπάρχουν κινητά σκίαστρα, και άρα $F_{sh,gl} = 1$. Από πίνακα 3.16 ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 το g_{gl} για διπλό υαλοπίνακα, με επιλεκτική, χαμηλής ικανότητας εκπομπής επίστρωση ισούται με 0.60. Το ποσοστό πλαισίου F_f διαφοροποιείται από παράθυρο σε παράθυρο από 10% έως και 50%. Η A_{sol} δίνεται για αδιαφανή στοιχεία από την σχέση 4.17:

$$A_{H,sol} = a_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_{H,c} \cdot A_{H,c} \quad (4.17)$$

Όπου,

$a_{s,c}$	[-]	η απορροφητικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας στο αδιαφανές στοιχείο (πίνακας 3.14 ΤΕΕ 2010,α),
R_{se}	[m ² ·K/W]	η εξωτερική επιφανειακή αντίσταση του αδιαφανούς στοιχείου (πίνακας 3β ΤΕΕ 2010,β),
$U_{H,c}$	[W/(m ² ·K)]	ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του αδιαφανούς στοιχείου,
$A_{H,c}$	[m ²]	το εμβαδό επιφάνειας του αδιαφανούς στοιχείου.

Οι κατακόρυφες επιφάνειες του κτηρίου έχουν επίχρισμα μέτριας απόχρωσης (γκρι), ενώ οι οριζόντιες επιφάνειες έχουν ανοιχτόχρωμες επιστρώσεις (πορτοκαλί). Στον πίνακα 3.14 ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010, οι απορροφητικότητα είναι 0.60 και 0.65 αντίστοιχα. Για τις πόρτες που έχουν επίχρισμα ανοιχτόχρωμο (γαλάζιο) η απορροφητικότητα ισούται με 0.40.

Ο συντελεστής σκίασης που αναφέρεται πιο πάνω ($F_{sh,ob}$) ορίζεται από την σχέση:

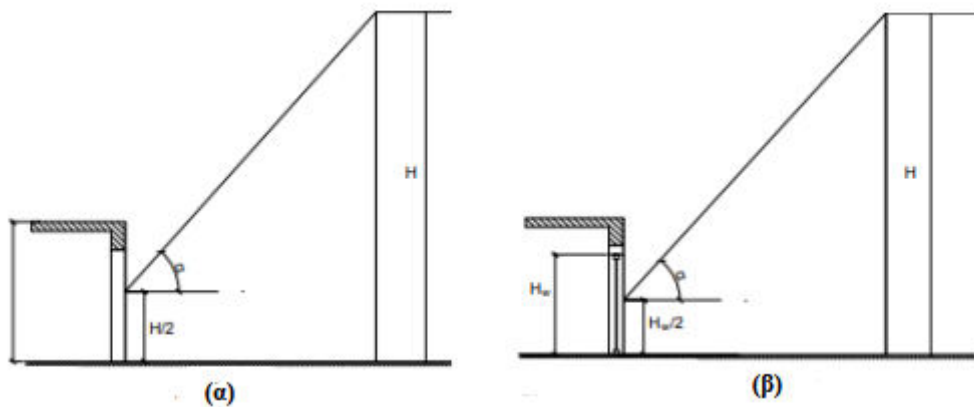
$$F_{sh,ob} = F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{fin} \quad (4.18)$$

Όπου,

F_{hor}	[-]	ο συντελεστής σκίασης από τον ορίζοντα,
F_{ov}	[-]	ο συντελεστής σκίασης από οριζόντιες προεξοχές του κτηρίου,
F_{fin}	[-]	ο συντελεστής σκίασης από πλευρικές προεξοχές του κτηρίου.

Ο συντελεστής σκίασης από τον ορίζοντα οφείλεται στην ύπαρξη φυσικών ή τεχνητών στοιχείων που τα οποία δημιουργούν σκιές στα δομικά στοιχεία του υπό μελέτη κτηρίου. Όταν στον ορίζοντα δεν υπάρχουν εμπόδια ο συντελεστής παίρνει τιμή ίση με την μονάδα, ενώ για πλήρη σκίαση παίρνει μηδενική τιμή.

Για τον προσδιορισμό του παραπάνω συντελεστή, είναι απαραίτητο να προσδιορισθεί η γωνία θέασης α του εμποδίου. Μετά τον υπολογισμό της γωνίας α , ο πίνακας 3.18 ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 προσδιορίζει τιμές συντελεστών σκίασης από ορίζοντα για περιόδους θέρμανσης και ψύξης [15]. Η γωνία α ορίζεται ως η γωνία που σχηματίζεται από το οριζόντιο επίπεδο που διέρχεται από το μέσο της εξεταζόμενης όψης και της ευθείας που ενώνει το μέσο της κατακόρυφης επιφάνειας με την ανώτερη παρειά του εμποδίου [3]. Γραφικά ορίζεται στην εικόνα 4.9.

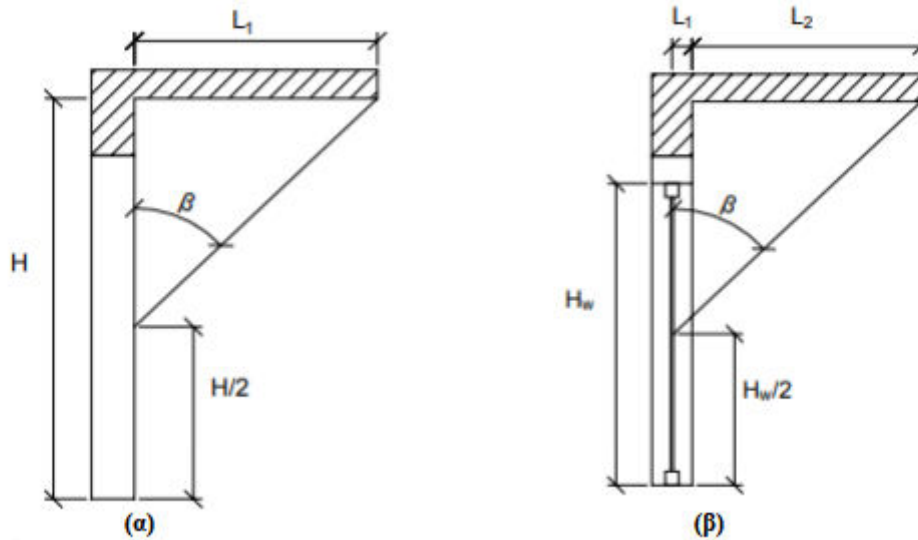


Εικόνα 4.9. Γωνία σκίασης α σε κατακόρυφο αδιαφανές δομικό στοιχείο (α), σε διαφανές δομικό στοιχείο (β).

Στην περίπτωση του Λιάπειου κολυμβητηρίου, δημιουργείται σκιά από προσκείμενο κτήριο (κλειστό γυμναστήριο), ίδιου ύψους στην βόρεια πλευρά του κτηρίου, καθώς και από τα δέντρα που βρίσκονται στην ανατολική πλευρά του κτηρίου.

Ο συντελεστής σκίασης οριζόντιων προστεγανωμάτων (F_{ov}) οφείλεται στην ύπαρξη οριζόντιων προεξοχών του κτηρίου. Όταν δεν υπάρχει προεξοχή, η τιμή του συντελεστή ισούται με μονάδα, ενώ για πλήρη σκίαση η τιμή του συντελεστή ισούται με μηδέν.

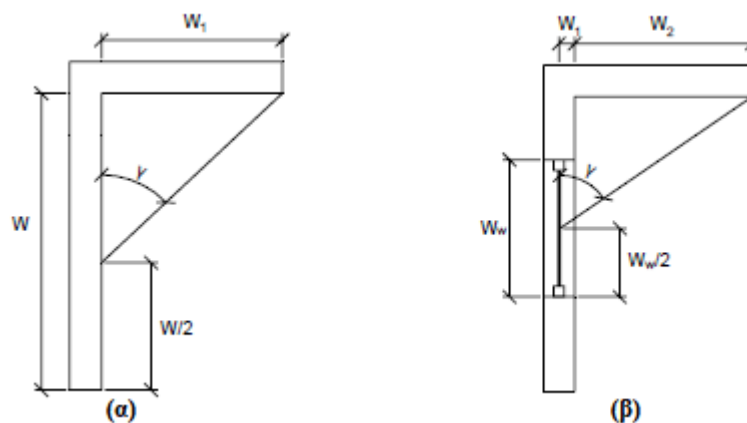
Για τον προσδιορισμό του συντελεστή σκίασης από οριζόντιες προεξοχές του κτηρίου, απαραίτητη είναι η εύρεση της γωνίας β . Μετά τον υπολογισμό της γωνίας β , προσδιορίζεται ο συντελεστής F_{hor} από τον πίνακα 3.19 του ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 [3]. Η γωνία β αντιστοιχεί στην γωνία που σχηματίζεται από το οριζόντιο επίπεδο, που διέρχεται από το μέσο του διαφανούς ή αδιαφανούς δομικού στοιχείου και της ευθείας που ενώνει το μέσο της όψης με το πέρας του προβόλου. Γραφικά παρουσιάζεται στην εικόνα 4.10.



Εικόνα 4.10. Γωνία σκίασης β σε κατακόρυφο αδιαφανές δομικό στοιχείο (α), σε διαφανές δομικό στοιχείο (β).

Ο συντελεστής σκίασης από πλευρικές προεξοχές (F_{fin}) προσδιορίζει τη σκίαση των επιφανειών του κτηρίου λόγω κατακόρυφων προεξοχών. Όταν δεν υπάρχει πλευρική προεξοχή η τιμή του συντελεστή ισούται με την μονάδα, ενώ για πλήρη σκίαση ισούται με το μηδέν.

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή σκίασης από κατακόρυφες προεξοχές του κτηρίου, απαραίτητη είναι η εύρεση της γωνίας γ . Μετά τον υπολογισμό της γωνίας γ , προσδιορίζεται ο συντελεστής F_{fin} από τον πίνακα 3.20α και 3.20β του ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 [3]. Η γωνία γ αντιστοιχεί στην γωνία που σχηματίζεται από το κατακόρυφο επίπεδο, που διέρχεται από το μέσο του διαφανούς ή αδιαφανούς δομικού στοιχείου και της ευθείας που ενώνει το μέσο της όψης με το πέρας της προεξοχής. Γραφικά ορίζεται στην εικόνα 4.11.



Εικόνα 4.11. Γωνία σκίασης γ σε κατακόρυφο αδιαφανές δομικό στοιχείο (α), σε διαφανές δομικό στοιχείο (β).

Υπολογίζοντας τα παραπάνω, καταλήγει κανείς στα εξής αποτελέσματα των πινάκων 4.17, 4.18 και 4.19.

Πίνακας 4.17. Μηνιαία φορτία λόγω ακτινοβολίας αδιαφανών στοιχείων

Μήνας	$Q_{sol,αδιαφανή}$	
	(kWh)	(kWh/m ²)
Ιανουάριος	4411.51	4.85
Φεβρουάριος	5213.31	5.73
Μάρτιος	7992.48	8.79
Απρίλιος	9994.73	10.99
Ιούνιος	13991.30	15.39
Ιούλιος	14294.10	15.72
Αύγουστος	13003.63	14.30
Οκτώβριος	7060.22	7.77
Νοέμβριος	4525.95	4.98
Δεκέμβριος	3696.43	4.07

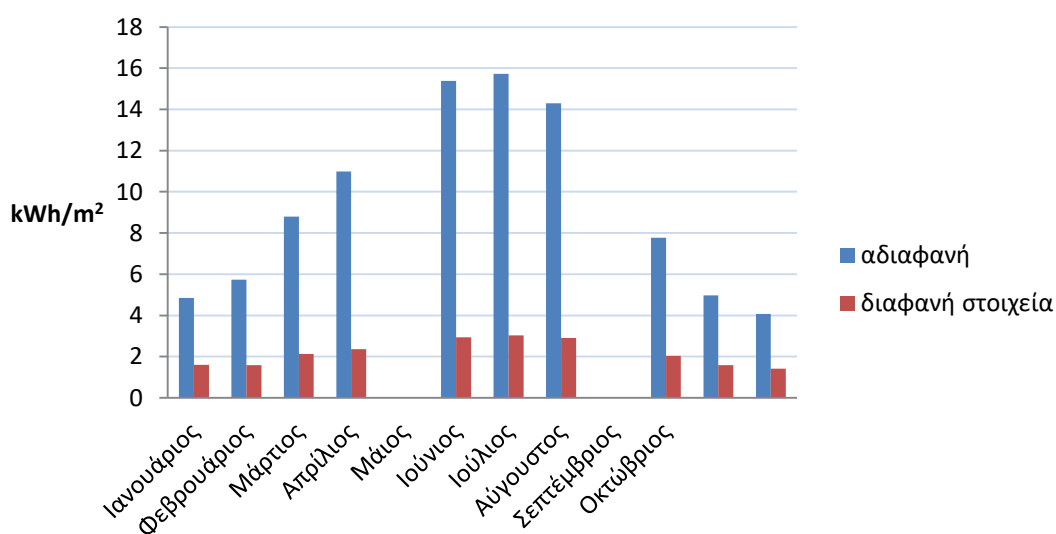
Πίνακας 4.18. Μηνιαία φορτία λόγω ακτινοβολίας διαφανών στοιχείων

Μήνας	$Q_{sol,διαφανή}$	
	(kWh)	(kWh/m ²)
Ιανουάριος	1455.62	1.60
Φεβρουάριος	1444.40	1.59
Μάρτιος	1932.81	2.13
Απρίλιος	2153.93	2.37
Ιούνιος	2664.94	2.93
Ιούλιος	2755.33	3.03
Αύγουστος	2646.11	2.91
Οκτώβριος	1853.50	2.04
Νοέμβριος	1439.43	1.58
Δεκέμβριος	1290.09	1.42

Πίνακας 4.19. Μηνιαία φορτίο λόγω ακτινοβολίας κελύφους

Μήνας	Q _{sol}	
	(kWh)	(kWh/m ²)
Ιανουάριος	5867.13	6.45
Φεβρουάριος	6657.72	7.32
Μάρτιος	9925.29	10.92
Απρίλιος	12148.67	13.36
Ιούνιος	16656.25	18.32
Ιούλιος	17049.44	18.75
Αύγουστος	15649.74	17.21
Οκτώβριος	8913.73	9.80
Νοέμβριος	5965.38	6.56
Δεκέμβριος	4986.53	5.48

Κέρδη ακτινοβολίας



Διάγραμμα 4.5. Ηλιακά θερμικά κέρδη ανά τετραγωνικό ακαθάριστης επιφάνειας

Μπορεί να παρατηρήσει κανείς στο διάγραμμα 4.5 πως τα ηλιακά κέρδη που οφείλονται στις αδιαφανείς επιφάνειες είναι πολύ μεγαλύτερα από αυτά των διαφανών επιφανειών. Πιο συγκεκριμένα, οι αδιαφανείς επιφάνειες οφείλονται για το 81% των ηλιακών κερδών, με τις διαφανείς επιφάνειες να φέρουν ευθύνη μόλις για το 19%. Αυτό μπορεί και να εξηγηθεί από τα εμβαδά που καταλαμβάνουν αυτές οι

επιφάνειες στο κέλυφος. Τα αδιαφανή δομικά στοιχεία καταλαμβάνουν το 94% του κελύφους και το 6% καταλαμβάνεται από τις διαφανείς επιφάνειες.

4.3.2.2. Εσωτερικά θερμικά κέρδη

Τα εσωτερικά θερμικά κέρδη εξαρτώνται από τις συσκευές που υπάρχουν στην εγκατάσταση, το πλήθος των ανθρώπων και τον φωτισμό. Η εξίσωση που δίνει τα εσωτερικά θερμικά κέρδη είναι η παρακάτω:

$$Q_{int,i} = Q_{human,i} + Q_{sys,i} + Q_{light,i} \quad (4.19)$$

Όπου,

$Q_{human,i}$ [kWh]	εσωτερικά θερμικά φορτία λόγω ανθρώπινης παρουσίας,
$Q_{sys,i}$ [kWh]	εσωτερικά θερμικά φορτία λόγω εξοπλισμού,
$Q_{light,i}$ [kWh]	εσωτερικά θερμικά φορτία λόγω του φωτισμού.

Για τα μεγέθη, $Q_{sys,i}$, $Q_{light,i}$ ισχύει ο παρακάτω τύπος:

$$Q_{int,mon} = \Phi_{int} \cdot A_{bot} \cdot t_{oper} \cdot \eta_{pr} \quad (4.20)$$

Όπου,

Φ_{int} [W/m ²]	η θερμική ισχύς που εκπέμπεται ανά επιφάνεια κάτοψης (πιν2.4, πιν2.8 TOTEE 20701-1/2010) [3],
A_{bot} [m ²]	η επιφάνεια κάτοψης (909.13 m ²),
t_{oper} [h]	ο χρόνος λειτουργίας σε επίπεδο μήνα
η_{pr} [-]	ο συντελεστής μείωσης λόγω μη λειτουργίας όλων των συσκευών.

Στην περίπτωση του υφιστάμενου κολυμβητηρίου, επειδή είναι γνωστός ο αριθμός των ημερησίων ατόμων (200), θα χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη σχέση:

$$Q_{human,i} = n \cdot \Phi_{int} \cdot t_{oper} \cdot \eta_{pr} \quad (4.21)$$

Όπου,

n [-]	ο αριθμός των ατόμων ανά ημέρα,
Φ_{int} [W/άτομο]	η θερμική ισχύς ανά άτομο (πίνακας 2.7 TOTEE 20701-1/2010) [3],
t_{oper} [h]	ο χρόνος παραμονής στο χώρο σε επίπεδο μήνα,
η_{pr} [-]	ο συντελεστής μείωσης λόγω μη παρουσίας όλων των ατόμων στο χώρο.

Υπολογίζοντας τις σχέσεις 4.19, 4.20 και 4.21, καταλήγουμε στους πίνακες αποτελεσμάτων 4.20 – 4.23.

Πίνακας 4.20. Μηνιαία εσωτερικά θερμικά κέρδη λόγω ανθρώπινης παρουσίας

Μήνας	Q_{human}	
	(kWh)	(kWh/m ²)
Ιανουάριος	6041.28	6.65
Φεβρουάριος	5456.64	6.00
Μάρτιος	6041.28	6.65
Απρίλιος	5846.40	6.43
Ιούνιος	5846.40	6.43
Ιούλιος	6041.28	6.65
Αύγουστος	6041.28	6.65
Οκτώβριος	6041.28	6.65
Νοέμβριος	5846.40	6.43
Δεκέμβριος	6041.28	6.65

Πίνακας 4.21. Μηνιαία εσωτερικά θερμικά κέρδη λόγω εξοπλισμού

Μήνας	Q_{sys}	
	(kWh)	(kWh/m ²)
Ιανουάριος	915.38	1.01
Φεβρουάριος	826.80	0.91
Μάρτιος	915.38	1.01
Απρίλιος	885.86	0.97
Ιούνιος	885.86	0.97
Ιούλιος	915.38	1.01
Αύγουστος	915.38	1.01
Οκτώβριος	915.38	1.01
Νοέμβριος	885.86	0.97
Δεκέμβριος	915.38	1.01

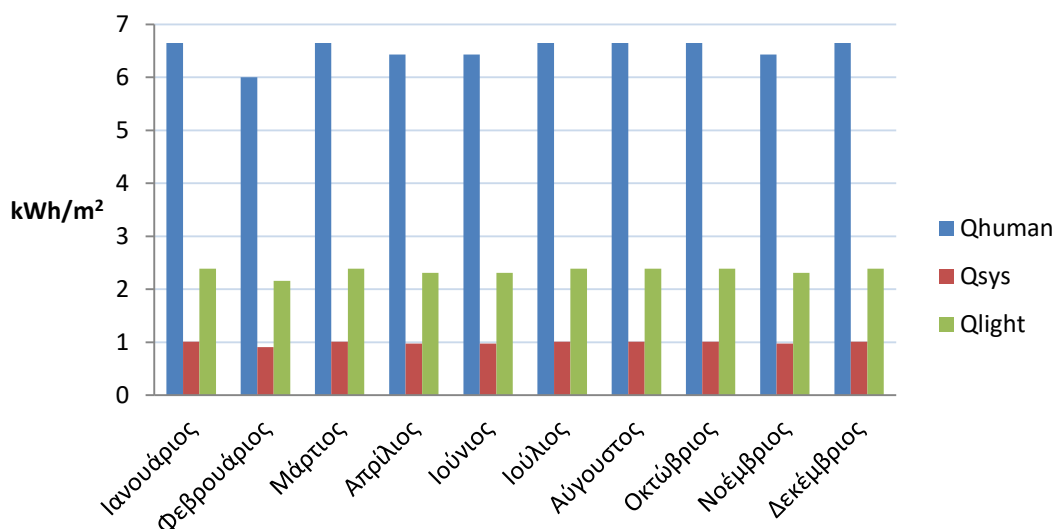
Πίνακας 4.22. Μηνιαία εσωτερικά θερμικά κέρδη λόγω φωτισμού

Μήνας	Q_{light}	
	(kWh)	(kWh/m ²)
Ιανουάριος	2170.09	2.39
Φεβρουάριος	1960.08	2.16
Μάρτιος	2170.09	2.39
Απρίλιος	2100.09	2.31
Ιούνιος	2100.09	2.31
Ιούλιος	2170.09	2.39
Αύγουστος	2170.09	2.39
Οκτώβριος	2170.09	2.39
Νοέμβριος	2100.09	2.31
Δεκέμβριος	2170.09	2.39

Πίνακας 4.23. Μηνιαία εσωτερικά θερμικά κέρδη συνολικά

Μήνας	Q_{int}	
	(kWh)	(kWh/m ²)
Ιανουάριος	9126.76	10.04
Φεβρουάριος	8243.52	9.07
Μάρτιος	9126.76	10.04
Απρίλιος	8832.35	9.72
Ιούνιος	8832.35	9.72
Ιούλιος	9126.76	10.04
Αύγουστος	9126.76	10.04
Οκτώβριος	9126.76	10.04
Νοέμβριος	8832.35	9.72
Δεκέμβριος	9126.76	10.04

Εσωτερικά θερμικά κέρδη



Διάγραμμα 4.6. Εσωτερικά θερμικά κέρδη ανά τετραγωνικό ακαθάριστης επιφάνειας

Από το διάγραμμα 4.6 φαίνεται ότι τα εσωτερικά θερμικά κέρδη λόγω της ανθρώπινης παρουσίας είναι μεγαλύτερα των υπολοίπων εσωτερικών κερδών. Αυτό έχει να κάνει με τον μεγάλο αριθμό ατόμων που βρίσκονται στο κολυμβητήριο καθώς και την υψηλότερη θερμική ισχύς λόγω της άσκησης.

4.4. Παρουσίαση αποτελεσμάτων απαιτήσεων

Είναι πρωτίστης σημασίας να παρουσιαστούν συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των ενεργειακών απαιτήσεων του Λιάπειου κλειστού κολυμβητηρίου, για να πραγματοποιηθεί ένας πρώτος έλεγχος της ενεργειακής κατάστασης του κτηρίου.

Για την συγκρότηση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η σχέση 4.5 για την θέρμανση και αντίστοιχα η 4.6 για την ψύξη. Οι συντελεστές η_H και η_C υπολογίστηκαν αναλυτικά με την μέθοδο που είχε περιγραφεί στις αρχές του κεφαλαίου 4.3 και χρησιμοποιώντας τις σχέσεις 4.7 έως 4.12, με $\eta_H = 0.752034$ και $\eta_C = 0.836122$. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 4.24 και 4.25.

Πίνακας 4.24. Μηνιαίες απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης (kWh)

Μήνας	Απώλειες (kWh)	Κέρδη (kWh)	Απαιτήσεις θέρμανσης/ψύξης (kWh)
Ιανουάριος	65506.12	14993.89	54230.2
Φεβρουάριος	57205.51	14901.24	45999.27
Μάρτιος	44072.37	19052.05	29744.58
Απρίλιος	19927.33	20981.01	4148.89
Ιούνιος	13612.63	25488.59	14106.77
Ιούλιος	1465.87	26176.19	24950.55
Αύγουστος	4349.68	24776.5	21139.63
Οκτώβριος	7672.42	18040.48	-
Νοέμβριος	35385.28	14797.73	24256.89
Δεκέμβριος	56964.09	14113.28	46350.41

Πίνακας 4.25. Μηνιαίες απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης (kWh/m²)

Μήνας	Απώλειες (kWh/m ²)	Κέρδη (kWh/m ²)	Απαιτήσεις θέρμανσης/ψύξης (kWh/m ²)
Ιανουάριος	72.05	16.49	59.65
Φεβρουάριος	62.92	16.39	50.6
Μάρτιος	48.48	20.96	32.72
Απρίλιος	21.92	23.08	4.56
Ιούνιος	14.97	28.04	15.52
Ιούλιος	1.61	28.79	27.44
Αύγουστος	4.78	27.25	23.25
Οκτώβριος	8.44	19.84	-
Νοέμβριος	38.92	16.28	26.68
Δεκέμβριος	62.66	15.52	50.98

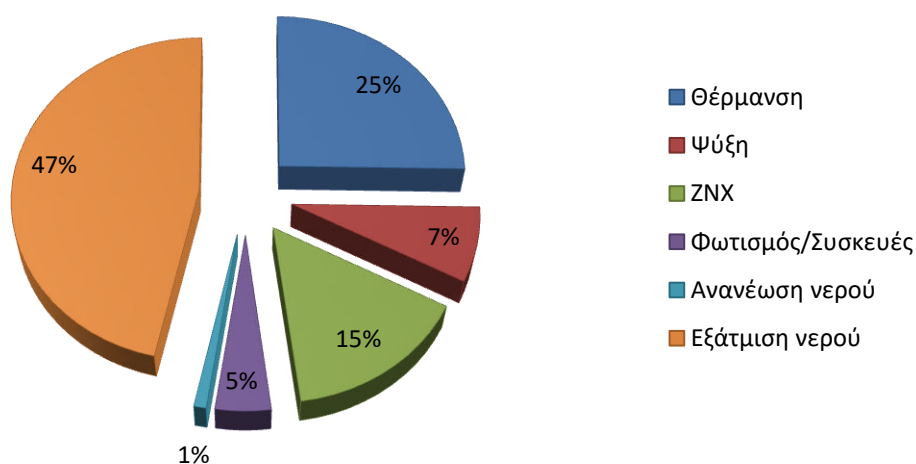
Από τα παραπάνω αποτελέσματα διακρίνονται δύο σημαντικά χαρακτηριστικά. Το πρώτο χαρακτηριστικό είναι ότι στην περίοδο θέρμανσης συναντώνται οι μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις με αποκορύφωμα τον μήνα Ιανουάριο. Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογική απόρροια των ακραίων καιρικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή της Περιφερειακής Ενότητας Κοζάνης. Το δεύτερο στοιχείο είναι ότι κατά τον μήνα Οκτώβριο, προκύπτουν αρνητικές οι απαιτήσεις θέρμανσης. Είναι ο μόνος μήνας θέρμανσης στον οποίο τα θερμικά κέρδη είναι πολύ μεγαλύτερα των θερμικών απωλειών. Οι ελάχιστες τιμές φορτίων θεωρούνται οι μηδενικές, τόσο για την χειμερινή όσο και για την θερινή περίοδο, επομένως μηδενίζονται οι απαιτήσεις για αυτόν τον μήνα.

Όσο αφορά τα ετήσια αποτελέσματα που προκύπτουν από τα φορτία της κολυμβητικής δεξαμενής, του ZNX της θέρμανσης, της ψύξης και του φωτισμού/συσκευών είναι δίνονται στον πίνακα 4.26.

Πίνακας 4.26. Ετήσιες απαιτήσεις κλειστού κολυμβητηρίου

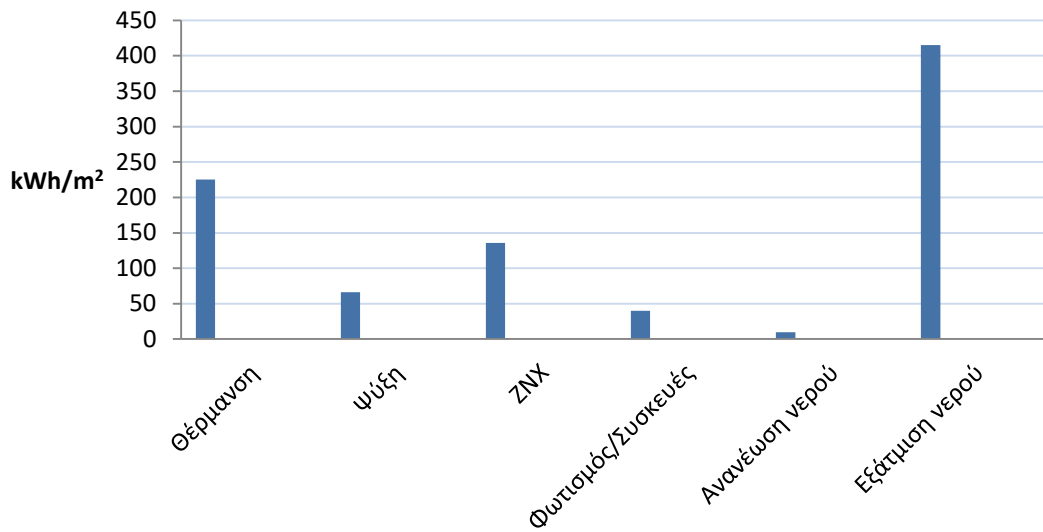
Ενεργειακές απαιτήσεις	(kWh)	(kWh/m ²)
Θέρμανση	204,730.20	225.19
Ψύξη	60,196.95	66.21
ZNX	123,562.70	135.91
Φωτισμός/Συσκευές	36,329.02	39.96
Ανανέωση νερού	8,747.25	9.62
Εξάτμιση νερού	377,519.50	415.25

Ενεργειακές απαιτήσεις ανά χρήση



Διάγραμμα 4.8. Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις ανά χρήση

Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις



Διάγραμμα 4.9. Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις ανα χρήση, ανά τετραγωνικό ακαθάριστης επιφάνειας

Φαίνεται εκ πρώτης όψης ότι η εξάτμιση του νερού της κολυμβητικής δεξαμενής είναι το μεγαλύτερο φορτίο με ποσοστό 47%, με το φορτίο θέρμανσης του κτηρίου να καταλαμβάνει το ¼ του συνολικού φορτίου. Επομένως, είναι επιτακτική η ανάγκη για μείωση των καταναλώσεων που αφορούν την κολυμβητική δεξαμενή. Αυτό θα καταστεί δυνατό, με την προσθήκη ηλιακών συλλεκτών και την εγκατάσταση συστήματος διαχείρισης ενέργειας (BEMS), τα οποία και θα μελετηθούν.

4.5. Κατανάλωση ενέργειας συστημάτων

Σε αυτή την περίπτωση τα συστήματα τα οποία είναι υπεύθυνα για την κάλυψη των φορτίων είναι:

- Λέβητας πετρελαίου για την θέρμανση του χώρου της πισίνας,
- Αντλία θερμότητας air-to-water για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και την θέρμανση της κολυμβητικής δεξαμενής.

Επίσης καταναλώνεται και ηλεκτρική ενέργεια για τον εξοπλισμό και τον φωτισμό του κτηρίου. Είναι σημαντικό να παρουσιαστούν οι καταναλώσεις των συστημάτων και οι εκπομπές CO₂.

4.5.1. Κατανάλωση λέβητα πετρελαίου

Ο υπολογισμός της κατανάλωσης του λέβητα πετρελαίου από KENAK προκύπτει από την σχέση 4.22:

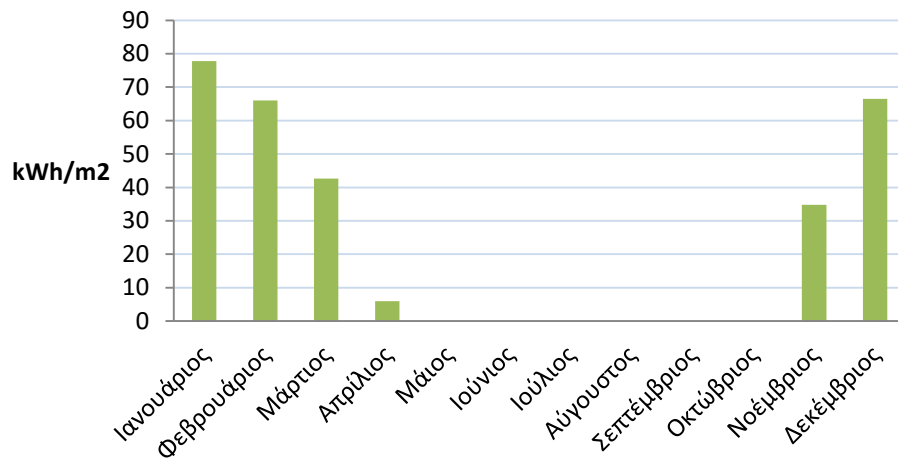
$$Q_{cons} = \frac{Q_{dem}}{\eta_{gen} \cdot \eta_{ls} \cdot \eta_{em}} \quad (4.22)$$

Όπου:

Q_{cons}	[kWh/m ²]	καταναλισκόμενη ενέργεια για την κάλυψη των φορτίων,
Q_{dem}	[kWh/m ²]	απαιτούμενη ενέργεια για την κάλυψη των φορτίων,
η_{gen}	[-]	βαθμός απόδοσης λέβητα,
η_{ls}	[-]	ποσοστό θερμικών απωλειών (%) δικτύου διανομής κεντρικής εγκατάστασης θέρμανσης ως προς την συνολική θερμική ενέργεια που μεταφέρει το δίκτυο,
η_{em}	[-]	απόδοση εκπομπής τερματικών μονάδων θέρμανσης

Για θερμοκρασία μέσου 90-70 °C, άμεσης απόδοσης σε εσωτερικό τοίχο, $\eta_{em} = 0,85$ (TEE, 2010α). Για ισχύ συστήματος 300 kW, με διέλευση σε εσωτερικούς χώρους ή/και 20% σε εξωτερικούς χώρους, με μόνωση ίση με την ακτίνα σωλήνα, $\eta_{ls} = 0.98$. (TEE, 2010α). Τέλος υπολογίστηκε $\eta_{gen} = 0.92$. Στο διάγραμμα 4.10 εμφανίζονται τα αποτελέσματα της κατανάλωσης του λέβητα πετρελαίου.

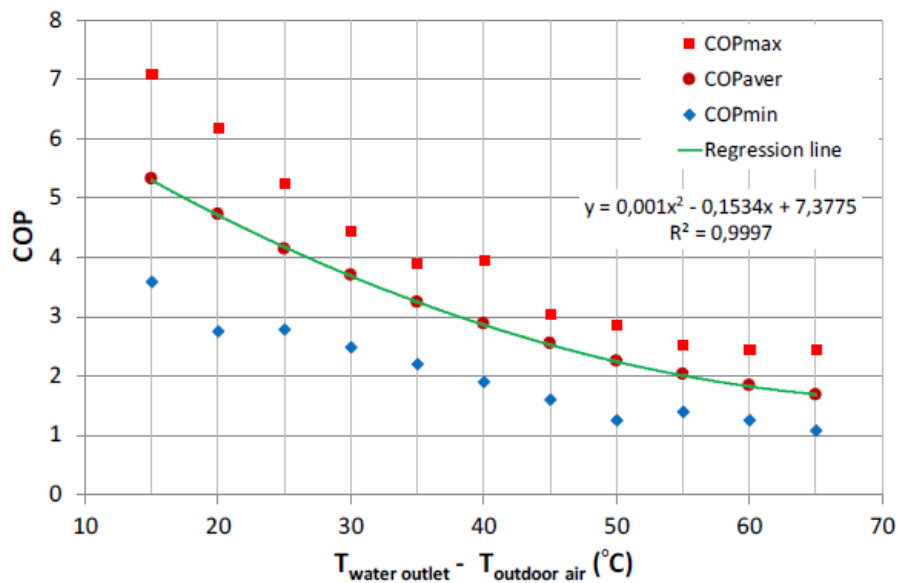
Qcons λέβητα



Διάγραμμα 4.10. Κατανάλωση λέβητα πετρελαίου για θέρμανση ανά μήνα

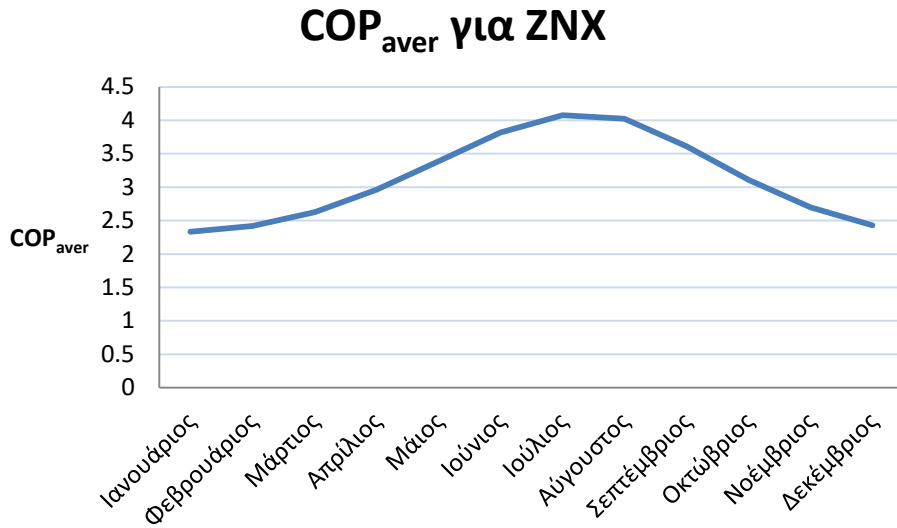
4.5.2. Κατανάλωση αντλιών θερμότητας

Οι αποδόσεις των αντλιών θερμότητας υπολογίζονται από το διάγραμμα της εικόνας 4.10 [20].



Εικόνα 4.12. Συσχέτιση μεταξύ COP και διαφοράς θερμοκρασίας νερού εξόδου και εξωτερικού αέρα για air-to-water αντλίες θερμότητας

Έχοντας ως σημείο αναφοράς το COP_{aver} , την μέση τιμή COP που προκύπτει, καταλήγουμε στα διαγράμματα για το COP στην περίπτωση του ZNX (4.11) και στην περίπτωση της θέρμανσης πισίνας (4.12).

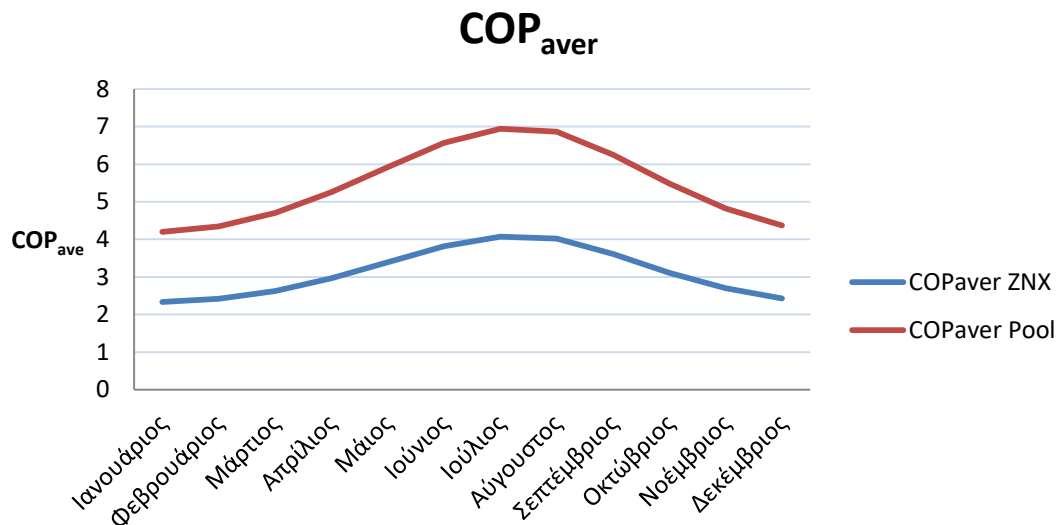


Διάγραμμα 4.11. COP_{aver} αντλίας θερμότητας air-to-water για παραγωγή ZNX ανά μήνα



Διάγραμμα 4.12. COP_{aver} αντλίας θερμότητας air-to-water για παραγωγή ζεστού νερού για την κολυμβητική δεξαμενή ανά μήνα

Αυτό που φαίνεται στα διαγράμματα είναι το μη σταθερό COP των αντλιών θερμότητας ανά μήνα και τις εντελώς διαφορετικές τιμές των COP σε σχέση με την θερμοκρασία εξόδου. Συγκριτικά φαίνεται η διαφορά στο διάγραμμα 4.13.



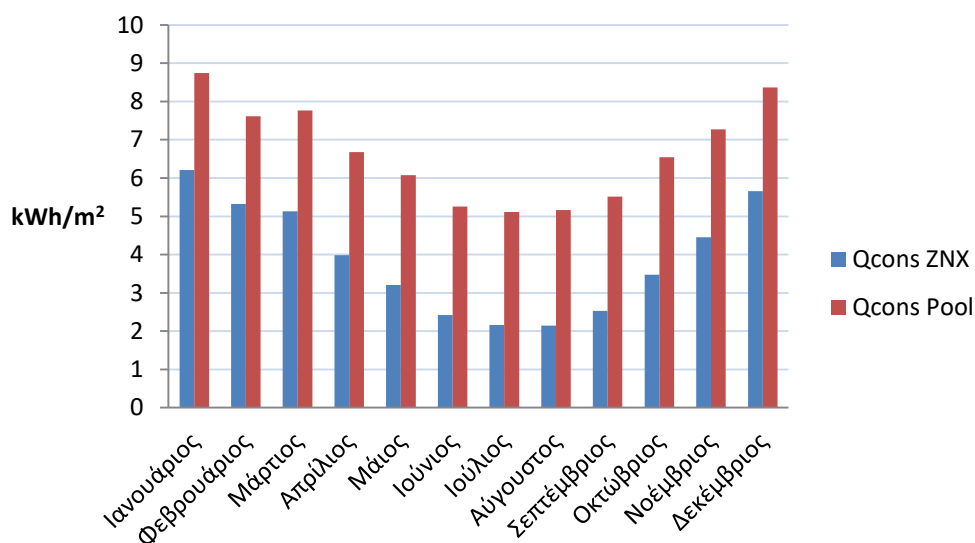
Διάγραμμα 4.13. Σύγκριση COP_{aver} αντλίας θερμότητας air-to-water για παραγωγή ζεστού νερού για την κολυμβητική δεξαμενή και για ZNX ανά μήνα

Η καλύτερη απόδοση των αντλιών θερμότητας στην κάλυψη φορτίων για την κολυμβητική δεξαμενή, οφείλεται στο γεγονός ότι η θέρμανση του νερού για κατανάλωση ως ζεστό νερό χρήσης γίνεται στους 50°C ενώ η θέρμανση για την κολυμβητική δεξαμενή γίνεται στους 27°C.

Πλέον μπορούμε να υπολογίσουμε τις ενεργειακές καταναλώσεις των αντλιών θερμότητας. Οι καταναλώσεις του διαγράμματος 4.14 και του 4.15 έχουν προκύψει από τον υπολογισμό του COP (διαγράμματα 4.11, 4.12) και την σχέση από το μοντέλο του KENAK:

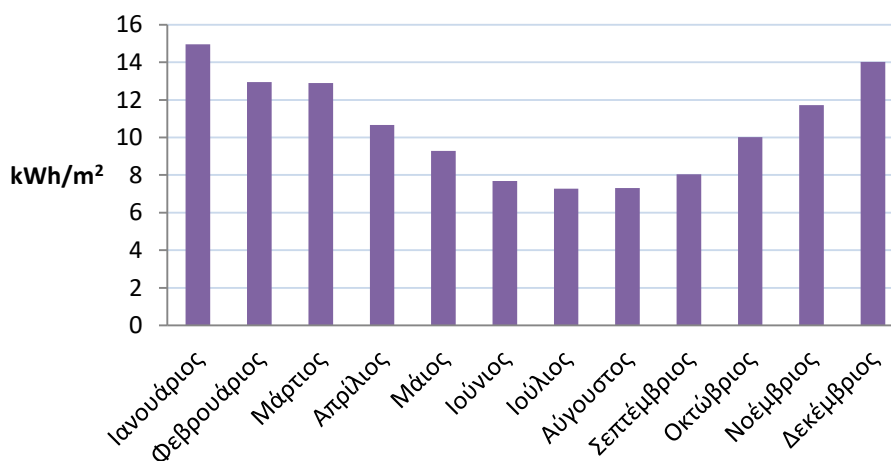
$$COP = \frac{Q_{dem}}{Q_{cons}} \quad (4.23)$$

Κατανάλωση A/Θ για ZNX και κολυμβητική δεξαμενή



Διάγραμμα 4.14. Κατανάλωση A/Θ για ZNX και κολυμβητική δεξαμενή ανά μήνα

Κατανάλωση A/Θ



Διάγραμμα 4.15. Συνολική κατανάλωση A/Θ ανά μήνα

4.5.3. Κατανάλωση φωτισμού και συστημάτων

Οι καταναλώσεις ενέργειας από τα συστήματα φωτισμού και τις ηλεκτρικές συσκευές παρουσιάζονται στον πίνακα 4.27 όπως μελετήθηκαν στο κεφάλαιο 4.3.2.2.

Πίνακας 4.27. Καταναλώσεις φωτισμού και ηλεκτρικών συσκευών

Μήνας	Q _{sys} (kWh/m ²)	Q _{light} (kWh/m ²)	Q _{sys,light} (kWh/m ²)
Ιανουάριος	1.01	2.39	3.39
Φεβρουάριος	0.91	2.16	3.07
Μάρτιος	1.01	2.39	3.39
Απρίλιος	0.97	2.31	3.28
Ιούνιος	0.97	2.31	3.28
Ιούλιος	1.01	2.39	3.39
Αύγουστος	1.01	2.39	3.39
Οκτώβριος	1.01	2.39	3.39
Νοέμβριος	0.97	2.31	3.28
Δεκέμβριος	1.01	2.39	3.39

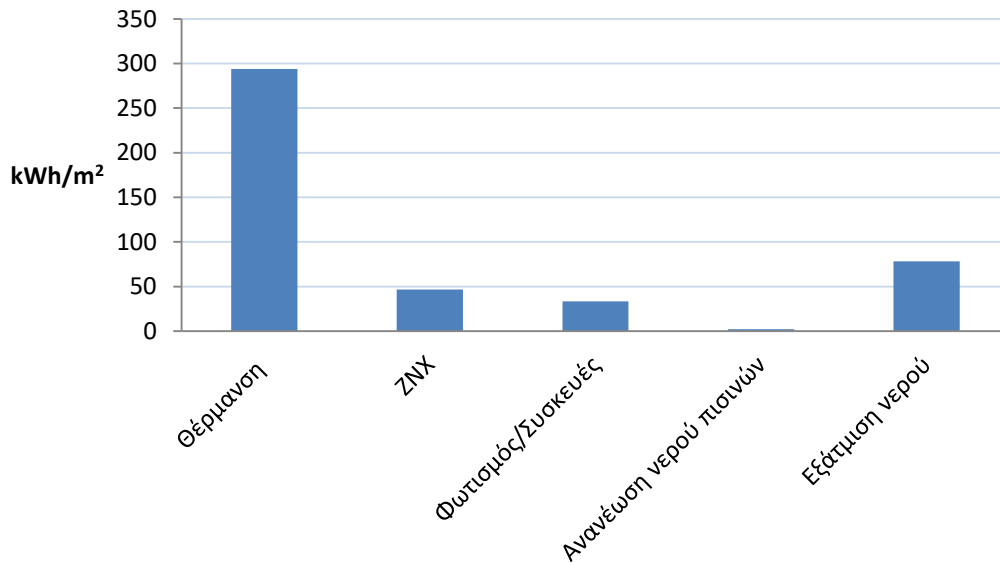
4.5.4. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα καταναλώσεων

Έπειτα από την μελέτη των συστημάτων προκύπτουν οι ενεργειακές καταναλώσεις του Λιάπειου κολυμβητηρίου.

Πίνακας 4.28. Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις ανά τελική χρήση

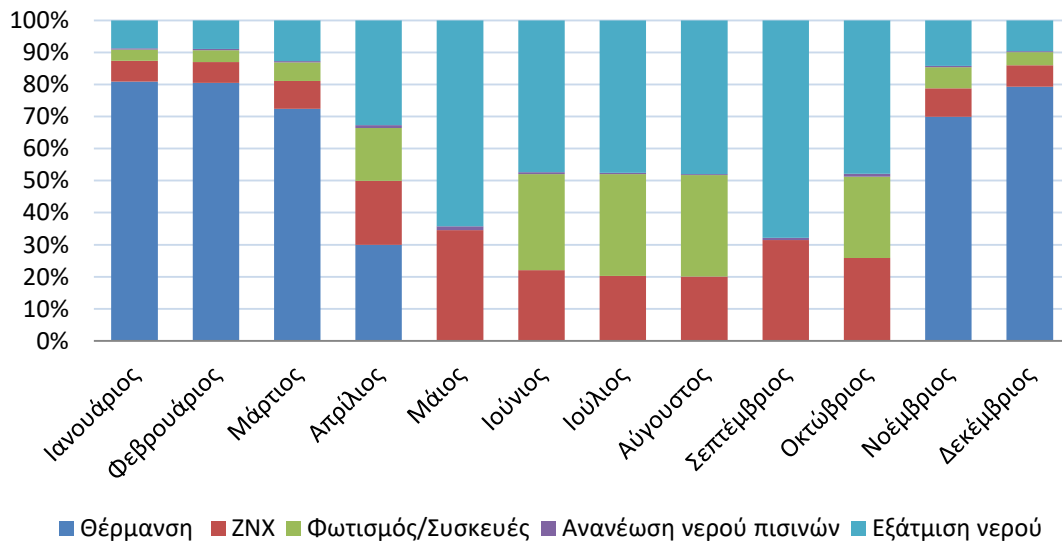
Ενεργειακές καταναλώσεις ανά τελική χρήση	(kWh)	(kWh/m ²)
Θέρμανση	267,146.30	293.84
ZNX	42,456.36	46.69
Φωτισμός/Συσκευές	30,257.59	33.28
Ανανέωση νερού πισινών	1,795.69	1.97
Εξάτμιση νερού	71,042.00	78.14

Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις ανά τελική χρήση



Διάγραμμα 4.16. Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις ανά τελική χρήση, ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m²

Συνολικές καταναλώσεις ανά μήνα



Διάγραμμα 4.17. Συνολικές καταναλώσεις ανά τελική χρήση σε ποσοστιαία κλίμακα (%) με βάση τις αντίστοιχες καταναλώσεις ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m²

Αυτό που προκύπτει από τον πίνακα 4.28 και τα διαγράμματα 4.16 και 4.17, είναι το μεγάλο μερίδιο ενέργειας που απαιτείται για την θέρμανση του κτηρίου. Αυτό όμως είναι λογικό, καθώς το κλειστό Λιάπαιο κολυμβητήριο βρίσκεται στην περιοχή των Κοίλων Κοζάνης, μίας ελλαδικής περιοχής όπου παρατηρούνται ακραίες κλιματικές συνθήκες, και επίσης το κτήριο χαρακτηρίζεται από μεγάλο όγκο. Οι καταναλώσεις των συσκευών και του φωτισμού βρίσκονται σε φυσιολογικά επίπεδα, το ίδιο ισχύει και για το ZNX. Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως σημαντικό ποσοστό ενέργειας δαπανάται στην θέρμανση της κολυμβητικής δεξαμενής, όπως φαίνεται, κυρίως από το φορτία της εξάτμισης, αλλά επίσης και της ανανέωσης του νερού.

Υψίστης σημασίας είναι να γίνει ανάλυση της κατανάλωσης, με κριτήριο την παραγωγή CO₂. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των φορτίων του κτηρίου είναι:

- Πετρέλαιο για τον λέβητα που χρησιμοποιείται στην θέρμανση του χώρου,
- Ηλεκτρικό ρεύμα για τον φωτισμό, τις συσκευές και τις αντλίες θερμότητας που είναι υπεύθυνες για ZNX και την θέρμανση της κολυμβητικής δεξαμενής

Από TOTEE-20701-1/2010, πίνακα 1.2 [3], οι εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας (kgCO₂/kWh) για το πετρέλαιο θέρμανσης είναι 0.264, ενώ για την ηλεκτρική ενέργεια είναι 0.989. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.29.

Πίνακας 4.29. Κατανάλωση καυσίμου ανά καύσιμο και εκπομπές CO₂

Πηγή Ενέργειας	Κατανάλωση (kWh/m ²)	Εκπομπές CO ₂ (kgCO ₂ /m ²)
Πετρέλαιο	293.85	77.58
Ηλεκτρισμός	160.08	158.32
Σύνολο	453.93	235.9

Τελικώς, γίνεται μελέτη των ενεργειακών καταναλώσεων ως προς την πρωτογενή ενέργεια. Η πρωτογενής ενέργεια είναι ένας καλός δείκτης αξιολόγησης της επιβάρυνσης του κτηρίου σε επίπεδο συμβατικών πόρων. Από TOTEE 20701-1/2010, πίνακα 1.2, [3] ο συντελεστής μετατροπής για το πετρέλαιο θέρμανσης είναι 1.1, ενώ για την ηλεκτρική ενέργεια είναι 2.9. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.30.

Πίνακας 4.30. Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά καύσιμο

Πηγή Ενέργειας	Κατανάλωση (kWh/m ²)	Πρωτογενής κατανάλωση (kWh/m ²)
Πετρέλαιο	293.85	323.23
Ηλεκτρισμός	160.08	464.23
Σύνολο	453.93	787.47

5. Controller και εφαρμογή σε άλλα κτίρια

5.1. Εισαγωγή

Για να κατανοήσουμε τους controller, πρέπει για αρχή να εξετάσουμε την έννοια του Building Energy Management Systems (BEMS για συντομία), τον ανάγκη ύπαρξης τέτοιων συστημάτων και να εμβαθύνουμε στον τρόπο λειτουργίας τους.

Τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας των κτηρίων, είναι δυναμικά συστήματα τα οποία επιτρέπουν την άμεση μεταβολή των παραμέτρων που είναι υπεύθυνες για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων ενός κτηρίου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω λογισμικών τα οποία λαμβάνουν σήματα από αισθητήρια όργανα σε πραγματικό χρόνο. Τα σήματα αυτά επιτρέπουν στο λογισμικό να "γνωρίζει" τιμές θερμοκρασιών, πιέσεων, υγρασίας και πρακτικά οποιαδήποτε μετρήσιμη τιμή με οποιοδήποτε αισθητήριο όργανο. Το λογισμικό έχει προγραμματιστεί από τον αρμόδιο μηχανικό, σε συνεννόηση και με τους υπεύθυνους του κτηρίου, έτσι ώστε να επικρατούν οι επιθυμητές συνθήκες εντός του κτηρίου, και ταυτόχρονα να παρατηρείται μείωση στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας.

Όλα τα παραπάνω αποτελούν μια στοιχειώδη επεξήγηση των Building Energy Management Systems. Για να πραγματοποιηθούν τα προαναφερθέντα όμως, πέρα από το κατάλληλο λογισμικό, πρέπει να υπάρχει και το κατάλληλο υλισμικό. Αυτό είναι οι controllers. Οι controllers συνδέονται με τον κεντρικό ηλεκτρολογικό πίνακα του κτηρίου, και θα γίνει εκτενή ανάλυση τους παρακάτω.

5.2. Building Energy Management Systems

Οι άνθρωποι, από την ανακάλυψη της φωτιάς μέχρι και σήμερα, έψαχναν και ψάχνουν τρόπους για την κατασκευή και τη διατήρηση του μικροκλίματος που θα εξυπηρετούσε τις όποιες ανάγκες άνεσης είχε. Το μικρόκλιμα, όπως υπονοεί και η ίδια η λέξη, είναι ένα τοπικό σύνολο ατμοσφαιρικών συνθηκών που εμφανίζονται ακόμα και σε λίγα τετραγωνικά μέτρα, όπως δηλαδή ένα σπίτι ή και ένα ψυγείο. Ο άνθρωπος ανέκαθεν προσπαθούσε να ελέγχει την ενέργεια που κατανάλωνε για την κάλυψη των αναγκών του, είτε παραδείγματος χάριν ρυθμίζοντας την τροφοδοσία ενός λέβητα με ξύλα, είτε με χειροκίνητους διακόπτες λειτουργίας συσκευών, ρύθμιση βανών για την κυκλοφορία του ζεστού νερού χρήσης και πολλά.

Καθώς οι επιστήμες και τα τεχνολογικά μέσα εξελίσσονταν, οι ανάγκες για τον έλεγχο του μικροκλίματος όλο και μεγάλωναν. Μέσα από αυτήν την ανάγκη δημιουργήθηκε η τάση για τον έλεγχο της ενέργειας που χρησιμοποιούν τα κτήρια για την κάλυψη των αναγκών τους.

Τα BEMS ανήκουν στην κατηγορία των BMS (Building Management System). Τα BMS είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο της λειτουργίας τμημάτων του κτηρίου που αφορούν τον φωτισμό, τους ανελκυστήρες, την φύλαξη του κτηρίου

(κλειστά κυκλώματα παρακολούθησης, συναγερμούς κ.α.), την πυρανίχνευση και την πυρασφάλεια, θέρμανση, κλιματισμό, αερισμό, υδραυλικά συστήματα, εξακρίβωση στοιχείων προσωπών για είσοδο στο κτήριο ή σε μέρη του κτηρίου.

Τα BEMS από την μεριά τους, αφορούν τον έλεγχο μόνο των συστημάτων που καταναλώνουν ενέργεια, όπως τον έλεγχο του λέβητα πετρελαίου, του φωτισμού, της παραγωγής ζεστού νερού χρήσης.

Το σημαντικό πλεονέκτημα των BEMS, είναι η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του κτηριακού τομέα [3]. Όπως θα αναλυθεί παρακάτω η κατανάλωση ενέργειας στον τομέα αυτό έχει ανοδικές τάσεις τα τελευταία 30 χρόνια, παρά την εφαρμογή του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) τα τελευταία δέκα χρόνια (2010) και του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτηρίων (Κ.Θ.Κ.) που ήταν σε ισχύ την περίοδο 1979-2010.

Τα τελευταία χρόνια με την ραγδαία αύξηση της υπολογιστικής δύναμης, τα BEMS μπορούν να εκτελέσουν πιο απαιτητικούς αλγόριθμους από ποτέ, να διαχειρίζονται όλο και περισσότερα στοιχεία και μετρήσεις που παρέχει ο χρήστης. Σημαντικό κομμάτι της ανάπτυξης αυτής είναι η δυνατότητα του συστήματος να προβλέπει την ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου. Η δυνατότητα πρόβλεψης της ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου είναι υψίστης σημασίας γιατί επιτρέπει στους μηχανικούς να εφαρμόσουν διαφορετικούς τρόπους κατάστροφησης σχεδίων του κτηρίου και των εγκαταστάσεων για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών ρύπων. Αυτό προς το παρόν μπορεί να επιτευχτεί με δύο τρόπους:

- Προσέγγιση με φυσικό μοντέλο και,
- Προσέγγιση με που απορρέει από δεδομένα.

Η προσέγγιση με φυσικό μοντέλο γίνεται με την χρήση λογισμικών όπως το EnergyPlus, Ecotect και eQuest. Τα λογισμικά αυτά κάνοντας χρήση τις παραμέτρους σχεδιασμού του κτηρίου, τις καιρικές συνθήκες, τα ηλιακά δεδομένα, τις ώρες λειτουργίας και πληροφορίες για την Θέρμανση, Ψύξη και Κλιματισμό, μπορούν να υπολογίσουν την κατανάλωση ενέργειας του κτηρίου.

Η δεύτερη προσέγγιση (data-driven approach), δεν απαιτεί την αναλυτική καταγραφή δεδομένων που προαναφέρθηκαν στην πρώτη μέθοδο. Αντιθέτως, η προσέγγιση δεδομένων αντλεί στοιχεία από είδη υπάρχουσες μελέτες, και με την εφαρμογή machine learning αλγόριθμων μπορεί να αναπτύξει το μοντέλο της ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου. Αυτή η μέθοδος, αν και πολλά υποσχόμενη βρίσκεται προς το παρόν σε αρχικό στάδιο, καθώς περιορίζεται από την ανάπτυξη αυτών των αλγορίθμων και την έλλειψη στοιχείων.

Σύμφωνα με την TOTEE 20701-1, πίνακα 5.5 υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες διατάξεων ελέγχου και αυτοματισμών: η κατηγορία Α, Β, Γ και Δ. Οι κατηγορίες Α και Β χαρακτηρίζονται από συντελεστή διόρθωσης των τελικών καταναλώσεων

ενέργειας, κάτω από την μονάδα, η Γ ίσο με την μονάδα, ενώ η Δ με μεγαλύτερο της μονάδας (αύξηση ενεργειακών καταναλώσεων) (πίνακας 5.6, 5.7, ΤΕΕ, 2010α) [3].

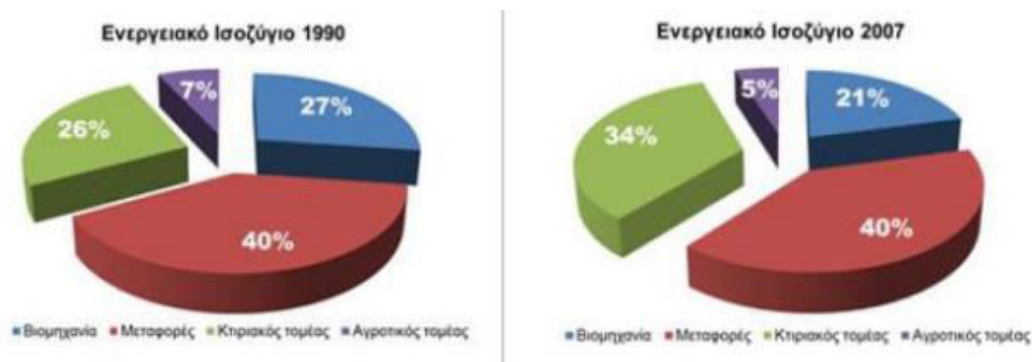
Η κατηγορία Α, αφορά την πιο ολοκληρωμένη διάταξη ελέγχου, με πλήρη έλεγχο των τερματικών μονάδων, του δικτύου διανομής με βάση την θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου, των αντλιών διανομής με μεταβλητή ταχύτητα, αυτόματος έλεγχος εκκίνησης μονάδων παραγωγής θέρμανσης/ψύξης καθώς και αλληλουχία μεταξύ τους, σύστημα απόψυξης στην αντλία θερμότητας. Επίσης υπάρχει πλήρης έλεγχος και στα συστήματα αερισμού.

Η κατηγορία Β, η οποία αντιστοιχεί στην μελέτη αυτή, διακρίνεται από μεμονωμένο έλεγχο της λειτουργίας των τερματικών μονάδων με θερμοστατικές βαλβίδες ή ηλεκτρονικό έλεγχο, κεντρικό έλεγχο του δικτύου διανομής σε σχέση με την μονάδα παραγωγής θέρμανσης/ψύξης, έλεγχος αντλιών διανομής με αφή/σβέση, αν υπάρχει αλληλουχία βασίζεται στα φορτία και στην αποδοτικότητα των μονάδων, και τέλος, δεν υπάρχει σύστημα απόψυξης στην αντλία θερμότητας. Όσο αφορά τον αερισμό, υπάρχει μερικός έλεγχος.

Η κατηγορία Γ χαρακτηρίζεται από την πιο απλή κατηγορία διατάξεων ελέγχου, ενώ η κατηγορία Δ από την πλήρη έλλειψη ελέγχου.

5.3 Ενεργειακές απαιτήσεις κτηριακού τομέα

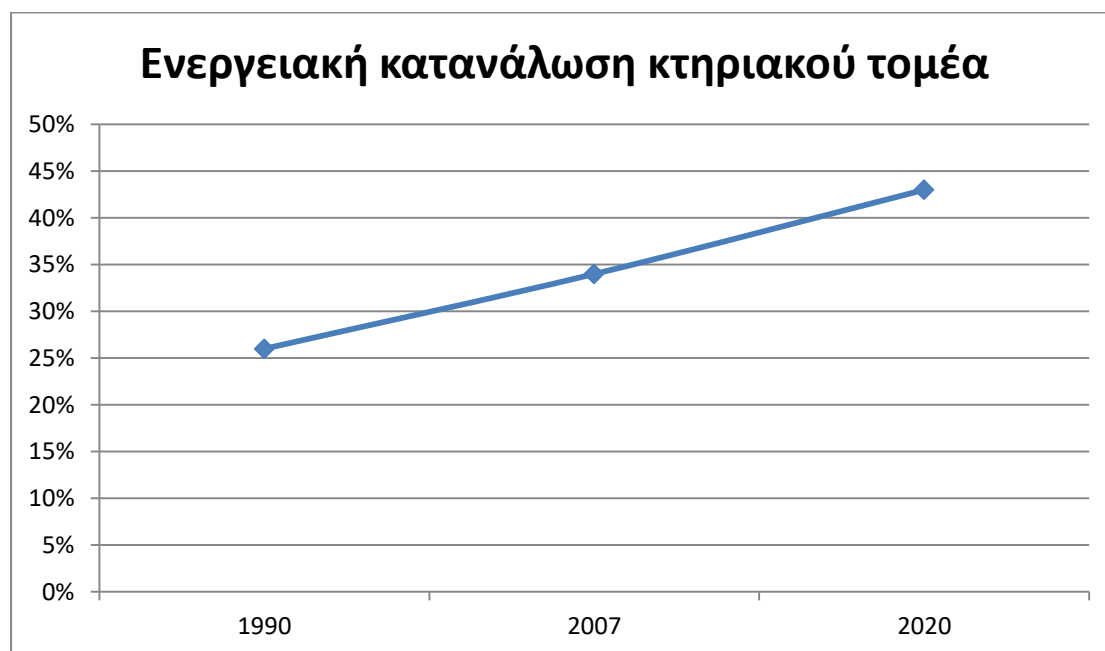
Οι ανάγκες των κτηρίων σε ενεργειακά φορτία τα τελευταία χρόνια όλο και μεγαλώνουν. Τα κτήρια της Ελλάδας ευθύνονται για το 43% κατανάλωσης ενέργειας, αποσπώντας το μεγαλύτερο μερίδιο [21]. Συγκριτικά με τις χρονιές 1990 και 2007 όπου το ποσοστό της ενεργειακής κατανάλωσης κτηρίων ανερχόταν σε 26 και 34 τις εκατό αντιστοίχως [19].



Εικόνα 5.1. Ενεργειακά ισοζύγια Ελλάδος το 1990 και το 2007 ανά τομέα

Όπως είναι εύκολα αντιληπτό, η κατανάλωση του κτηριακού τομέα έχει μία ανοδική τάση. Και μάλιστα παρατηρεί κανείς ότι την περίοδο 1990-2007 η αύξηση ήταν κατά 8% (30% αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης), ενώ την περίοδο 2007-

2020 αυξήθηκε το ποσοστό κατά 9% (26% αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης, 65% αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης από το 1990 έως το 2020).



Διάγραμμα 5.1. Ενεργειακή κατανάλωση κτηριακού τομέα 1990 – 2020

Ακολουθώντας το προεδρικό διάταγμα 41/18 – Άρθρο 3 [23] ισχύουν τα εξής: “Στην κατηγορία συνάθροιση κοινού περιλαμβάνονται κτίρια ή τμήματα κτιρίων ή χώροι κτιρίων και οικοπέδων, καθώς και οι βοηθητικοί χώροι αυτών, όπου συναθροίζονται τουλάχιστον 50 άτομα για κοινωνικές, οικονομικές, πολιτιστικές, θρησκευτικές, ψυχαγωγικές, εκπαιδευτικές, επιστημονικές, αθλητικές εκδηλώσεις και δραστηριότητες.”

Σύμφωνα με την TOTEE 20701-1, κεφάλαιο 5.2, [3] η κατηγορία Β διατάξεων ελέγχου και αυτοματισμού για την κατηγορία κτηρίου «συνάθροισης κοινού», μπορεί να μειώσει την κατανάλωση στη ψύξη-θέρμανση κατά 23%. Δηλαδή εφαρμόζεται συντελεστής διόρθωσης 0.77 στις τελικές καταναλώσεις του κτηρίου που αφορούν την θέρμανση και τη ψύξη.

Επομένως συνειδητοποιεί κανείς ότι με τη χρήση BEMS, είναι δυνατό να μειωθεί σημαντικά η ενεργειακή κατανάλωση του κτηριακού τομέα και να διακοπεί η αυξητική τάση που φαίνεται στο διάγραμμα 5.1.

5.4. Controller

Η ενεργειακή αναβάθμιση του Λιάπειου κλειστού κολυμβητηρίου θα γίνει με την προσθήκη ηλιακών, που μελετώνται στο κεφάλαιο 6, αλλά και με τον έλεγχο των συσκευών μέσω του controller. Ο controller που θα χρησιμοποιηθεί για το κτήριο, παρέχεται από την εταιρεία HYDRONIC, μία εταιρεία διακεκριμένη στο χώρο και με

έδρα της την πόλη της Κοζάνης. Ο controller προσφέρει ευελιξία στον αγοραστή όσο αφορά την λειτουργία των συσκευών, παρέχοντας την βέλτιστη τομή μεταξύ άνεσης στο χώρο, βέλτιστης λειτουργίας των συσκευών και οικονομικής χρήσης.

5.4.1. Στοιχεία του controller

Ο controller είναι μία συνδεσμολογία εισόδων και εξόδων, οι οποίοι συνδέονται με την κεντρική προγραμματιστική λογική μονάδα μέσω IO bridge. Πιο συγκεκριμένα παραθέτονται οι εικόνες 5.2 – 5.7.



Εικόνα 5.2. Υψηλής ισχύος προγραμματιζόμενος λογικός controller CON64A, σχεδιασμένος για μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις.

Ο λογικός προγραμματιζόμενος controller, έχει διαστάσεις 53 x 90 x 58 mm και είναι κατασκευασμένος από πλαστικό. Έχει θύρα Ethernet για να μπορεί να συνδέεται με έναν υπολογιστή ή tablet και να πραγματοποιήσει αναβαθμίσεις, τόσο στο λογισμικό όσο και στον κώδικα που είναι υπεύθυνος για την ομαλή και βέλτιστη λειτουργία των συσκευών. Ο προγραμματισμός γίνεται σε γλώσσα micro-pyhton. Για την λειτουργία του απαιτείται τροφοδοτικό των 12 Volt.

Supply	12V
Clock	168MHz
CPU	STM32F437 Arm Cortex-M4 core
Ethernet	100 MHz, RMI, half-duplex
Interface	RS485
RAM Memory	256 KB
Flash Memory	Internal: 1 MB , External: 64 MB
Κόστος	200 €



Εικόνα 5.3. Μονάδα ψηφιακής εισαγωγής DIN8A με ενσωματωμένες 8 ψηφιακές εισόδους

Η μονάδα ψηφιακής εισαγωγής, έχει διαστάσεις 36 x 90 x 58 mm και είναι κατασκευασμένη από πλαστικό. Η μονάδα φέρει 8 ενσωματωμένες εισόδους και 2 κοινές εξόδους των 12 Volt. Οι εξόδοι χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία σε μία επιθυμητή εξωτερική επαφή και επιστρέφουν με κοινή τάση σε κάθε ψηφιακή είσοδο. Η τυπική χρήση αναφέρεται σε επαφές τύπου relay.

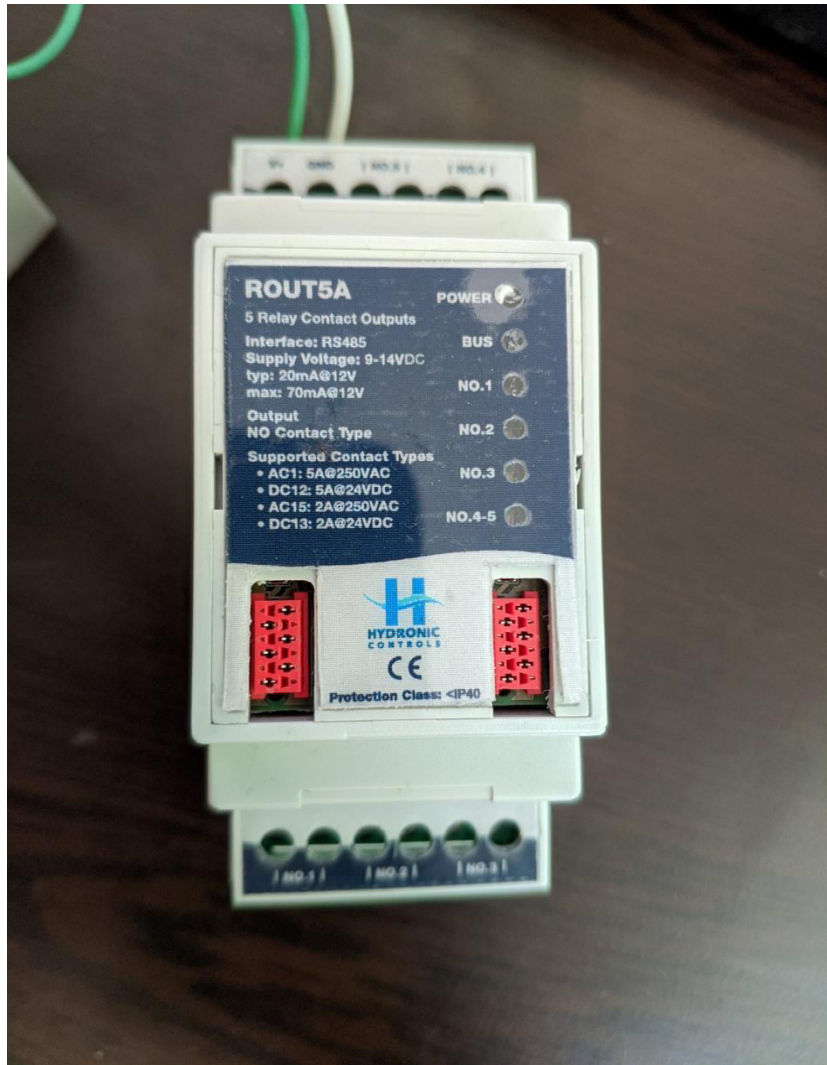
Onboard integrated Digital Inputs	8
Common 12V powered outputs	2
Interface	RS485
Supply Voltage	9-14 V DC
Typ	20mA @ 12V
max	30mA @ 12V
Configurable Pulse input support	
Κόστος	75 €



Εικόνα 5.4. Μονάδα αναλογικής εισαγωγής AIN5A με ενσωματωμένες 5 αναλογικές εισόδους

Το υλικό κατασκευής και οι διαστάσεις της μονάδας αναλογικής εισαγωγής AIN5A είναι ίδια με αυτά του DIN8A. Η AIN5A είναι σχεδιασμένη για να υποστηρίξει πληθώρα αισθητηρίων οργάνων της αγοράς. Είτε πρόκειται για παθητικούς ή για ενεργητικούς σένσορες, μπορεί να μετρήσει αντίσταση έως και 800 kΩ. Η σύνδεση των αισθητηρίων οργάνων γίνεται ανά ζεύγος στα (+) και (-) έτσι ώστε να έχουν κοινή γείωση.

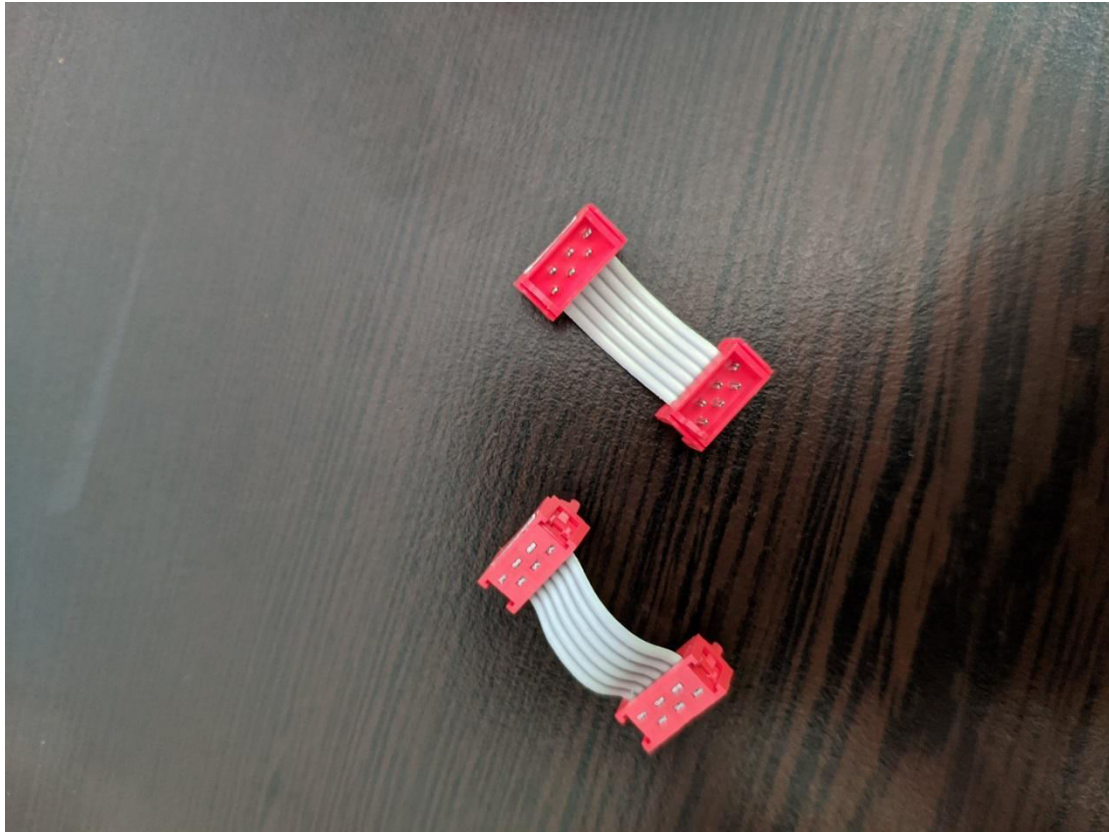
Onboard integrated Analog Inputs	5
Interface	RS485
Supply Voltage	9 – 14 V DC
typ	20mA @ 12V
max	30mA @ 12V
Input Voltage	0 – [(V+) + 0.6V]
Κόστος	75 €



Εικόνα 5.5. Μονάδα εξόδου επαφής relay ROUT5A, με 5 ενσωματωμένες εξόδους επαφής relay

Το υλικό κατασκευής και οι διαστάσεις είναι ίδια με τα DIN8A και AIN5A. Οι έξοδοι είναι τύπου NO (Normally Open contact), με τους υποστηριζόμενους τύπους επαφών να είναι : AC1 για μη επαγωγικά ή ελαφρώς επαγωγικά φορτία όπως σε θερμαντήρες, DC12 για έλεγχο φορτίων αντίστασης και φορτίων στερεάς κατάστασης με απομόνωση οπτικού ζεύκτη, AC15 για έλεγχο ηλεκτρομαγνητικών φορτίων AC με συντελεστή ισχύος 0.5 και τέλος DC13 για έλεγχο ηλεκτρομαγνητικών φορτίων DC με συντελεστή ισχύος 0.5 [22].

Relay Contact Outputs	5
Interface	RS485
Supply Voltage	9 -14 V DC
typ	20mA @ 12V
max	70mA @ 12V
Κόστος	75 €

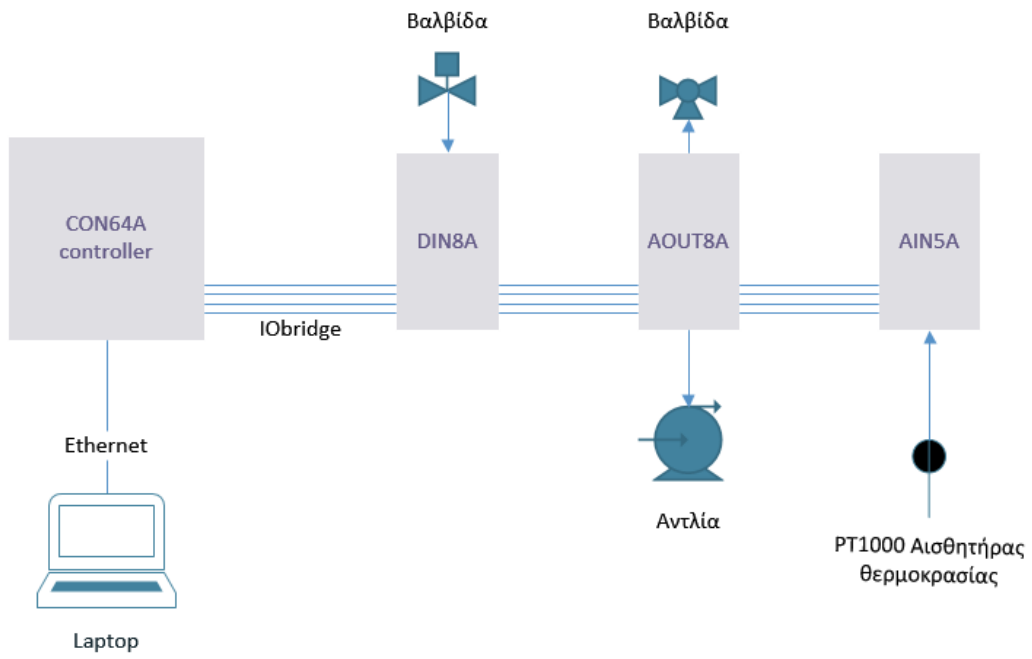


Εικόνα 5.6. IObridge

Το IObridge είναι ένας σύνδεσμος που ενώνει τα παραπάνω modules μεταξύ τους, αλλά και με τον controller. Το κόστος του ανέρχεται στα 5 €.

Στην εγκατάσταση του Λιάπειου κολυμβητηρίου θα χρησιμοποιηθούν 1 CON64A microcontroller unit, 1 DIN8A digital inputs module, 1 AIN5A analog inputs module, 1 ROUT5A relay contact outputs module, 3 IObridge. Το συνολικό κόστος ανέρχεται στα 440 €.

Ο προγραμματισμός του controller γίνεται με την σύνδεση του προγραμματιζόμενου λογικού controller CON64A, μέσω καλωδίου Ethernet, σε κάποια συσκευή με θύρα Ethernet (laptop, chromebook, tablet, κ.ά.). Μέσω της σύνδεσης αυτής, ο χρήστης μπορεί να συνδεθεί στο προγραμματιστικό περιβάλλον του controller, πληκτρολογώντας την κατάλληλη διεύθυνση στον περιηγητή του. Μία τυπική σύνδεση controller που ελέγχει βαλβίδες, αντλία και αισθητήρα θερμοκρασίας, παρουσιάζεται στην εικόνα 5.7.



Εικόνα 5.7. Τυπική σύνδεση controller

6. Διαστασιολόγηση και χρήση ηλιακού συστήματος για ZNX και θέρμανση πισίνας

6.1. Υπολογισμός Ηλιακής ακτινοβολίας για γωνία συλλεκτών 30°

Προκειμένου να βελτιωθεί η ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου, προτείνεται η εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών, ούτως ώστε να καλυφθεί, πλήρως ή μερικώς, το φορτίο που απαιτείται για την θέρμανση της κολυμβητικής δεξαμενής και του ζεστού νερού χρήσης. Για την σωστή επιλογή των συλλεκτών και την τοποθέτησή τους, θα ακολουθήσει μελέτη.

Ο ήλιος εκπέμπει συνεχώς ενέργεια. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται από την ηλιακή σταθερά η οποία ορίζεται ως $I_{sc} = 1366 \left(\frac{W}{m^2}\right)$. Η ηλιακή σταθερά πρόκειται για ένα πολύ βασικό μέγεθος που δηλώνει πόσα Joules ενέργειας παρέχονται το δευτερόλεπτο από την ηλιακή ακτινοβολία, όταν αυτή φωτίζει ή διέρχεται από επιφάνεια με εμβαδόν $1m^2$. Η σταθερά αυτή ισχύει για την εξωτερική επιφάνεια της ατμόσφαιρας της Γης.

Ο παραπάνω αριθμός της ηλιακής σταθεράς αποτελεί μέση τιμή. Λόγω της ελλειπτικής τροχιάς της Γης η ηλιακή σταθερά συνεχώς μεταβάλλεται. Η εξίσωση που περιγράφει την μεταβολή της εξωατμοσφαιρικής πυκνότητας ισχύος κατά την διάρκεια ενός έτους είναι:

$$I = \left(1 + 0.033 \cdot \cos \frac{360 \cdot D_n}{365.25}\right) \cdot I_{sc} \quad (6.1)$$

Όπου D_n η μέση αντιπροσωπευτική ημέρα για κάθε μήνα [12].

Πίνακας 6.1. Αντιπροσωπευτική ημέρα κάθε μήνα

Μήνας	D_n
Ιανουάριος	17
Φεβρουάριος	47
Μάρτιος	75
Απρίλιος	105
Μάιος	135
Ιούνιος	162
Ιούλιος	198
Αύγουστος	228
Σεπτέμβριος	258
Οκτώβριος	289
Νοέμβριος	320
Δεκέμβριος	351

Εφαρμόζοντας την εξίσωση (6.1) καταλήγω στα εξής αποτελέσματα:

Πίνακας 6.2. Πυκνότητα ισχύος ηλιακού φωτός στην εξωτερική επιφάνεια της ατμόσφαιρας

Μήνας	I(W/m ²)
Ιανουάριος	1409.16
Φεβρουάριος	1397.13
Μάρτιος	1378.48
Απρίλιος	1355.48
Μάιος	1335.22
Ιούνιος	1323.73
Ιούλιος	1322.49
Αύγουστος	1333.97
Σεπτέμβριος	1353.80
Οκτώβριος	1377.55
Νοέμβριος	1398.10
Δεκέμβριος	1409.73

Επόμενο μέγεθος που χρειάζεται για τους υπολογισμούς είναι η απόκλιση δ , η οποία προσδιορίζει τη γωνιακή θέση του ηλίου κατά την ηλιακή μεσημβρία σε σχέση με το ισημερινό επίπεδο. Παίρνει τιμές μεταξύ -23.45° και $+23.45^\circ$, με τις θετικές τιμές να είναι προς τον βορρά. Για τον κάθε μήνα υπολογίζεται ως εξής:

$$\delta = 23.45^\circ \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + D_n}{365}\right) \quad (6.2)$$

Η ηλιακή απόκλιση δ υπολογίζεται:

Πίνακας 6.3. Τυπική ηλιακή απόκλιση δ

Μήνας	$\delta(^\circ)$
Ιανουάριος	-20.92
Φεβρουάριος	-12.95
Μάρτιος	-2.42
Απρίλιος	9.41
Μάιος	18.79
Ιούνιος	23.09
Ιούλιος	21.18
Αύγουστος	13.45
Σεπτέμβριος	2.22
Οκτώβριος	-9.97
Νοέμβριος	-19.38
Δεκέμβριος	-23.40

Η γωνία δύσης για οριζόντιο επίπεδο είναι το επόμενο μέγεθος που χρειάζεται για τους υπολογισμούς και δίνεται από την σχέση:

$$\omega_s = \cos^{-1} \cdot (-\tan\varphi \cdot \tan\delta) \quad (6.3)$$

Κάνοντας τις πράξεις καταλήγουμε στα παρακάτω:

Πίνακας 6.4. Γωνία δύσης

Μήνας	$\omega_s(^{\circ})$
Ιανουάριος	71.07
Φεβρουάριος	78.74
Μάρτιος	87.95
Απρίλιος	98.09
Μάιος	106.79
Ιούνιος	111.21
Ιούλιος	109.20
Αύγουστος	101.72
Σεπτέμβριος	91.88
Οκτώβριος	81.42
Νοέμβριος	72.63
Δεκέμβριος	68.45

Πλέον μπορεί να υπολογιστεί η ωριαία γωνία δύσης ω'_s για κεκλιμένο επίπεδο γωνίας β . Το Λιάπαιο Κολυμβητήριο βρίσκεται στην περιοχή των Κοίλων Κοζάνης. Τα Κοίλα έχουν γεωγραφικό πλάτος 40.32° . Η κλίση των συλλεκτών για ετήσια περίοδο προκύπτει στις $\beta = 30^{\circ}$ [3]. Η γωνία ω'_s προσδιορίζεται από την εξίσωση:

$$\omega'_s = \min[\cos^{-1}(-\tan\varphi \cdot \tan\delta_n), \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) \cdot \tan\delta_n)] \quad (6.4)$$

Η ωριαία γωνία δύσης για κεκλιμένο επίπεδο γωνίας $\beta=30^{\circ}$ υπολογίστηκε:

Πίνακας 6.5. Ωριαία γωνία δύσης

Μήνας	$\omega'_s (^{\circ})$
Ιανουάριος	71.07
Φεβρουάριος	78.74
Μάρτιος	87.95
Απρίλιος	91.73
Μάιος	93.55
Ιούνιος	94.45
Ιούλιος	94.05
Αύγουστος	92.50
Σεπτέμβριος	90.40
Οκτώβριος	81.42
Νοέμβριος	72.63
Δεκέμβριος	68.45

Στην συνέχεια θα υπολογιστεί ο συντελεστής μετατροπής μέσης μηνιαίας ημερήσιας ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο, όπου για αζιμούθια γωνία γ ισχύει:

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega'_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \cdot \omega'_s \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega'_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \cdot \omega'_s \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta} \quad (6.5)$$

Υπολογίζοντας προκύπτει:

Πίνακας 6.6. Συντελεστής μετατροπής μέσης μηνιαίας ημερήσιας ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο

Μήνας	\bar{R}_b
Ιανουάριος	2.04
Φεβρουάριος	1.67
Μάρτιος	1.35
Απρίλιος	1.10
Μάιος	0.97
Ιούνιος	0.91
Ιούλιος	0.93
Αύγουστος	1.04
Σεπτέμβριος	1.24
Οκτώβριος	1.57
Νοέμβριος	1.96
Δεκέμβριος	2.20

Επιπλέον για να βρεθεί ο συντελεστής \bar{R} μετατροπής μέσης μηνιαίας ημερήσιας ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο γωνίας β , πρέπει να υπολογιστεί επίσης και ο λόγος της μέσης μηνιαίας ημερήσιας διάχυτης προς την ολική ηλιακή ακτινοβολία, στο οριζόντιο επίπεδο, συναρτήσει του συντελεστή αιθριότητας, $\frac{H_d}{H}$.

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.39 - 4.03 \cdot \bar{K}_T + 5.53 \cdot \bar{K}_T^2 - 3.11 \cdot \bar{K}_T^3 \quad (6.6)$$

Όπου \bar{K}_T ο ημερήσιος συντελεστής αιθριότητας. Ο συντελεστής αυτός ορίζεται ως το πηλίκο της μέσης ανά μήνα ημερήσιας ολικής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο της Γης, προς την μέση ανά μήνα ημερήσια ολική ηλιακή ενέργεια στο οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας. Υπολογίζεται:

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} \quad (6.7)$$

Η τιμή της μέσης μηνιαίας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο ($\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{mo})$) προκύπτει από τον πίνακα 4.1 του ΤΟΤΕΕ 20701-3,2010 [12]. Λόγω έλλειψης στοιχείων για την περιοχή της Κοζάνης στην οποία γίνεται η μελέτη, επιλέγεται η περιοχή της Καστοριάς, λόγω του παρόμοιου κλίματος και της κοντινής γεωγραφικής απόστασης από τα Κοίλα Κοζάνης.

Το \bar{H}_o υπολογίζεται από την εξίσωση 6.8:

$$\bar{H}_o = \frac{24 \cdot 3600}{\pi} \cdot I_{sc} \cdot \left[1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot \delta}{365}\right) \right] \cdot \left(\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_s + \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta \right) \quad (6.8)$$

Τελικώς, ο συντελεστής αιθριότητας \bar{K}_T θα για την περιοχή των Κοίλων θα έχει τιμές:

Πίνακας 6.7. Συντελεστής αιθριότητας

Μήνας	\bar{K}_T
Ιανουάριος	0.45
Φεβρουάριος	0.45
Μάρτιος	0.47
Απρίλιος	0.49
Μάιος	0.51
Ιούνιος	0.58
Ιούλιος	0.59
Αύγουστος	0.59
Σεπτέμβριος	0.56
Οκτώβριος	0.51
Νοέμβριος	0.45
Δεκέμβριος	0.42

Πλέον είναι δυνατή η εύρεση του συντελεστή \bar{R} μετατροπής μέσης μηνιαίας ημερήσιας ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο γωνίας $\beta=30^\circ$. Η σχέση που χρειάζεται είναι η (6.8):

$$\bar{R} = \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right) \cdot \bar{R}_b + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \cdot \left(\frac{1 + \cos\beta}{2}\right) + r \cdot \left(\frac{1 - \cos\beta}{2}\right) \quad (6.9)$$

Όπου r , ο συντελεστής ανάκλασης ανάλογα την επιφάνεια. Το r παίρνει τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 6.8. Συντελεστής ανάκλασης

Επιφάνειας	Συντελεστής Ανάκλασης, r
Καθαρό χιόνι	0.80-0.95
Βρώμικο χιόνι	0.40-0.70
Άμμος	0.20-0.25
Γρασίδι	0.15-0.25

Συνήθως η τιμή του r ισούται με 0.2.

Τα αποτελέσματα του \bar{R} είναι τα ακόλουθα:

Πίνακας 6.9. Συντελεστής μετατροπής μέσης μηνιαίας ημερήσιας ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο γωνίας β

Μήνας	\bar{R}
Ιανουάριος	1.59
Φεβρουάριος	1.38
Μάρτιος	1.20
Απρίλιος	1.05
Μάιος	0.97
Ιούνιος	0.93
Ιούλιος	0.95
Αύγουστος	1.02
Σεπτέμβριος	1.15
Οκτώβριος	1.35
Νοέμβριος	1.55
Δεκέμβριος	1.64

Ολοκληρώνοντας τους παραπάνω υπολογισμούς, είναι δυνατόν να βρεθεί πλέον η μέση ανά μήνα ημερήσια τιμή της ολικής ηλιακής ενέργειας στο κεκλιμένο επίπεδο. Η σχέση που ισχύει είναι η ακόλουθη:

$$\bar{H}_T = \bar{R} \cdot \bar{H} \quad (6.10)$$

Από τους υπολογισμούς προκύπτει:

Πίνακας 6.10. Μέση ανά μήνα ημερήσια τιμή ολικής ηλιακής ενέργειας στο κεκλιμένο επίπεδο

Μήνας	\bar{H}_T (kWh/m ² ·day)	\bar{H}_T (kWh/m ² ·mo)
Ιανουάριος	2.96	91.69
Φεβρουάριος	3.52	98.43
Μάρτιος	4.30	133.41
Απρίλιος	4.95	148.57
Μάιος	5.41	167.86
Ιούνιος	6.26	187.91
Ιούλιος	6.30	195.45
Αύγουστος	6.11	189.49
Σεπτέμβριος	5.33	159.86
Οκτώβριος	4.23	131.08
Νοέμβριος	3.10	92.91
Δεκέμβριος	2.53	78.42

Αυτό που παρατηρείται τελικώς είναι ότι η ολική ηλιακή ενέργεια δεν μπορεί να θεωρηθεί σταθερή κατά την διάρκεια ενός έτους. Εξαρτάται από ποικίλους

παράγοντες που αναφέρθηκαν στους υπολογισμούς. Επίσης την θερινή περίοδο προσπίπτει μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ενέργειας ανά m^2 σε σχέση με την χειμερινή περίοδο. Η χαμηλότερη τιμή για την συγκεκριμένη περίπτωση σημειώνεται κατά τον μήνα Δεκέμβριο, ενώ η υψηλότερη κατά την διάρκεια του Ιουλίου.

Οι παραπάνω υπολογισμοί με τελικό στόχο την εύρεση της μέσης μηνιαίας τιμής της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας είναι απαραίτητοι για την μελέτη της εγκατάστασης των ηλιακών συλλεκτών για την κάλυψη των φορτίων του ZNX και της θέρμανσης της πισίνας. Στο επόμενο κεφάλαιο ακολουθεί η μέθοδος υπολογισμού f-chart method.

6.1.1. F-Chart Method 30°

Η μέθοδος καμπυλών f-chart method αποτελεί μία υπολογιστική μέθοδο υπολογισμού του ποσοστού κάλυψης του θερμικού φορτίου των ηλιακών θερμικών συστημάτων για κάλυψη των αναγκών θέρμανσης του ζεστού νερού χρήσης και της θέρμανσης χώρων. Το ποσοστό κάλυψης ορίζεται ως ο λόγος του μέσου μηνιαίου ωφέλιμου φορτίου που καλύπτει ο ηλιακός συλλέκτης, προς το μέσο μηνιαίο φορτίο της εγκατάστασης.

Η βασική παράμετρος που επηρεάζει το ποσοστό κάλυψης είναι η επιφάνεια των συλλεκτών. Άλλες παράμετροι που επηρεάζουν, αλλά σε μικρότερο ποσοστό είναι η δυνατότητα αποθήκευσης, ο τύπος του ηλιακού συλλέκτη, ο ρυθμός ροής μάζας και άλλα. Η σχέση που χρησιμοποιείται για την εύρεση του ποσοστού κάλυψης, υπολογίζεται βάση δύο αδιάστατων παραμέτρων. Η πρώτη παράμετρος, γνωστή ως X, εκφράζει το ποσό των ενεργειακών απωλειών προς το συνολικό φορτίο του μήνα (σχέση 6.12). Η δεύτερη παράμετρος, Y, εκφράζει το αξιοποιήσιμο ποσό ενέργειας του ηλιακού συλλέκτη προς το συνολικό μηνιαίο φορτίο (σχέση 6.13).

$$f = 1.029 \cdot Y - 0.065 \cdot X - 0.245 \cdot Y^2 + 0.0018 \cdot X^2 + 0.0215 \cdot Y^3 \quad (6.11)$$

$$X = \left(\frac{A_C}{L}\right) \cdot F_R U_L \cdot \left(\frac{F'_R}{F_R}\right) \cdot (T_{αναφ} - \bar{T}_\alpha) \cdot \Delta t \cdot k_1 \cdot k_2 \quad (6.12)$$

$$Y = \left(\frac{A_C}{L}\right) \cdot F_R (\tau\alpha)_n \cdot \left(\frac{F'_R}{F_R}\right) \cdot \left(\frac{\bar{\tau\alpha}}{(\tau\alpha)_n}\right) \cdot \bar{H}_T \cdot k_3 \quad (6.13)$$

Όπου:

A_C	[m ²]	επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών,
L	[J]	μέσο μηνιαίο φορτίο για την παραγωγή ZNX ή/και θέρμανση χώρων,
F_R	[-]	συντελεστής απόδοσης κατά την εναλλαγή θερμότητας μεταξύ απορροφητή και υγρού (μέγιστη τιμή $F_R = 1$),
$\frac{F'_R}{F_R}$	[-]	διορθωτικός συντελεστής συλλέκτη-εναλλάκτη, εξαρτάται από τις θερμικές ιδιότητες της επιφάνειας συναλλαγής και τις θερμοκρασίες των δύο ρευμάτων. Παίρνει τιμές συνήθως από 0.8-0.95. Αν δεν υπάρχει εναλλάκτης ισούται με μονάδα,
$\frac{\bar{\tau\alpha}}{(\tau\alpha)_n}$	[-]	διορθωτικός συντελεστής που λαμβάνει υπόψη του την κλίση τοποθέτησης του συλλέκτη,
$T_{αναφ}$	[C°]	εμπειρική θερμοκρασία αναφοράς, ορίζεται στους 100 C°,
\bar{T}_α	[C°]	μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος,
Δt	[s]	συνολικά δευτερόλεπτα κατά την διάρκεια του μήνα,
\bar{H}_T	[kWh/m ² ·mo]	μέση μηνιαία τιμή της ολικής ηλιακής ενέργειας στο κεκλιμένο επίπεδο
$(\tau\alpha)$	[-]	Γινόμενο διαπερατότητας απορροφητικότητας συστήματος διαφανές κάλυμμα-απορροφητής (μέγιστη τιμή $\tau\alpha=1$)
k_1	[-]	διορθωτικός συντελεστής χωρητικότητας δεξαμενής,
k_2	[-]	διορθωτικός συντελεστής ζεστού νερού,
k_3	[-]	διορθωτικός συντελεστής για τον εναλλάκτη θερμότητας φορτίου.

Για τον διορθωτικό συντελεστή $\frac{\tau\alpha}{(\tau\alpha)_n}$ ισχύουν τα παρακάτω:

$$\frac{\bar{\tau\alpha}}{(\tau\alpha)_n} = 1 - 0.0044 \cdot \theta + 0.00022 \cdot \theta^2 - 3.31 \cdot 10^{-6} \cdot \theta^3 \quad (6.14)$$

$$\frac{\bar{\tau\alpha}}{(\tau\alpha)_n} = 0.99065 - 0.000567 \cdot \theta + 8.2488 \cdot 10^{-5} \cdot \theta^2 - 2.26787 \cdot 10^{-6} \cdot \theta^3 \quad (6.15)$$

$$\frac{\bar{\tau\alpha}}{(\tau\alpha)_n} = 0.99 \quad (6.16)$$

Η (6.14) ισχύει για μονό τζάμι, η (6.15) για διπλό τζάμι και η (6.16) για συλλέκτες χωρίς κάλυμμα και συλλέκτες κενού. Το θ είναι η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά το ηλιακό μεσημέρι της τυπικής μέρας κάθε μήνα

Οι τιμές των $F_R U_L$ και $F_R (\tau\alpha)_n$ προκύπτουν από τα δεδομένα των ηλιακών συλλεκτών και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα [24].

Πίνακας 6.11. Τύποι ηλιακών συλλεκτών

Τύπος	Περιγραφή	$F_R(\tau\alpha)_n$	$\frac{F_R U_L}{(W/m^2 \cdot C^\circ)}$
I	Μαύρο χρώμα, ένα τζάμι	0.82	7.50
II	Μαύρο χρώμα, δύο τζάμια ή επιλεκτική επιφάνεια με ένα τζάμι	0.75	5.00
III	Σωλήνες κενού	0.45	1.25
IV	Πλαστικός συλλέκτης χωρίς τζάμι και μόνωση (ταχύτητα ανέμου 2.2 m/sec)	0.86	21.50

Οι διορθωτικοί συντελεστές k_1, k_2, k_3 δίνονται από τις σχέσεις:

$$k_1 = \left(\frac{75}{M}\right)^{0.25} \quad (6.14)$$

$$k_2 = \frac{11.6 + 1.18 \cdot T_{ZNK} + 3.86 \cdot T_k - 2.32 \cdot T_a}{100 - T_a} \quad (6.15)$$

$$k_3 = 0.39 + 0.65 \cdot \exp\left(\frac{-0.139 \cdot (U_L \cdot A_c)}{\varepsilon \cdot C_{min}}\right) \quad (6.16)$$

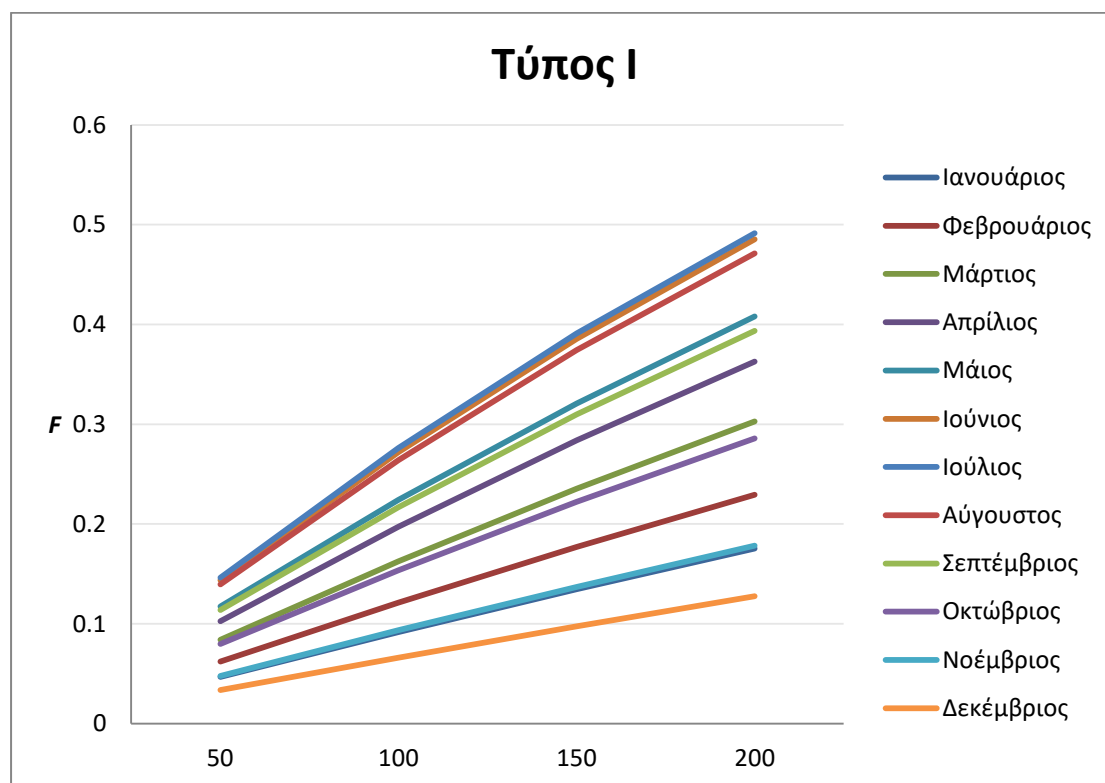
Όπου:

M	[lt/m ²]	ανηγμένος όγκος της δεξαμενής ανά τετραγωνικό μέτρο συλλεκτικής επιφάνειας,
T_k	[C°]	θερμοκρασία νερού δικτύου,
T_a	[C°]	μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος,
ε	[-]	βαθμός εκμετάλλευσης του εναλλάκτη,
C_{min}	[-]	μικρότερη θερμική παροχή μεταξύ εργαζόμενου μέσου στο συλλέκτη και νερού του κυκλώματος θέρμανσης-σύστημα δεξαμενής.

Το μέγεθος του εναλλάκτη διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση του συστήματος. Όσο μικραίνει το μέγεθος του εναλλάκτη, πρέπει να αυξάνεται η θερμοκρασία της δεξαμενής για να μπορέσουν να καλυφθούν οι ίδιες ενεργειακές ανάγκες. Αυτό όμως έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του υγρού στην είσοδο του συλλέκτη, μειώνοντας την απόδοσή τους. Τυπικά, για τις καμπύλες f που έχουν αναπτυχθεί, θεωρείται ο λόγος $\frac{\varepsilon \cdot C_{min}}{U_L \cdot A_c} = 2$. Σε αυτή την περίπτωση, ισχύει $k_3 = 1$.

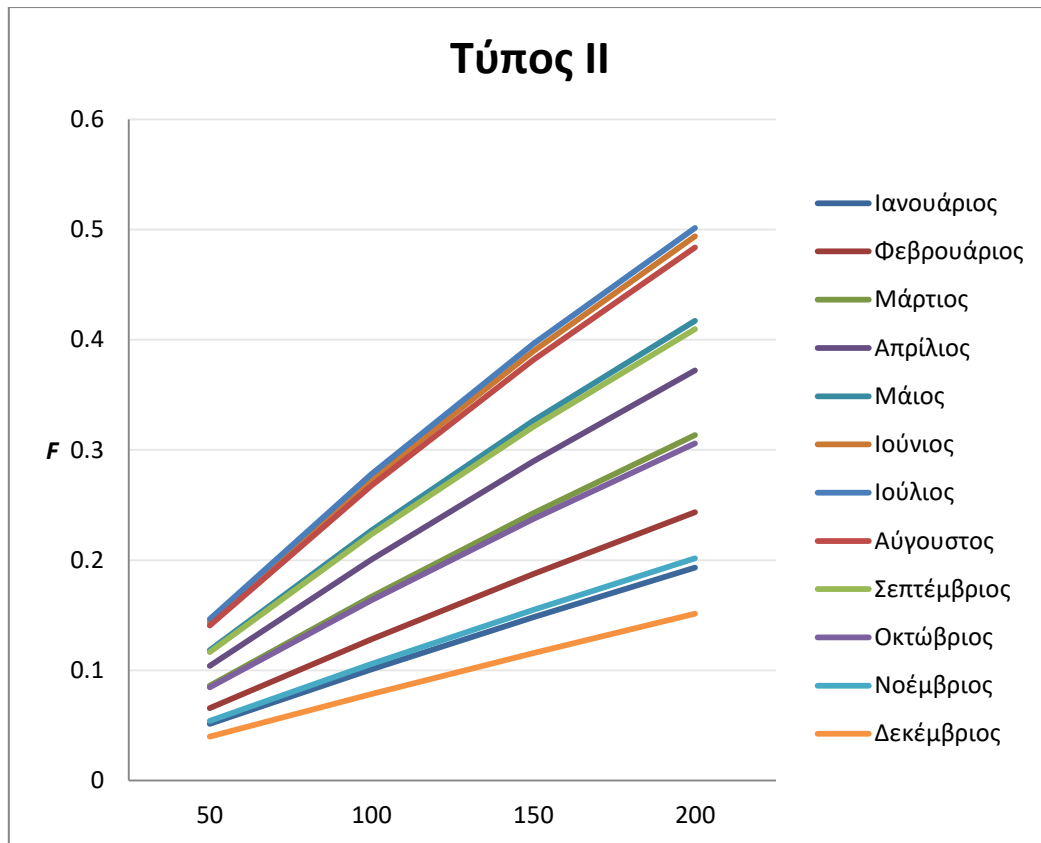
Για την επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών θα χρησιμοποιήσω 4 διαφορετικές διαστάσεις: 50 m², 100 m², 150 m², 200 m². Όσο αφορά τους τύπους ηλιακών συλλεκτών θα μελετήσω και τις τέσσερις περιπτώσεις.

Χρησιμοποιώντας την μέθοδο f-chart καταλήγω στα εξής αποτελέσματα που αφορούν τους τέσσερις τύπους των ηλιακών πάνελ που μελετώνται. Όσο αφορά το ποσοστό κάλυψης του κάθε τύπου ανά μήνα και ανάλογα τα τετραγωνικά που επιλέχτηκαν:



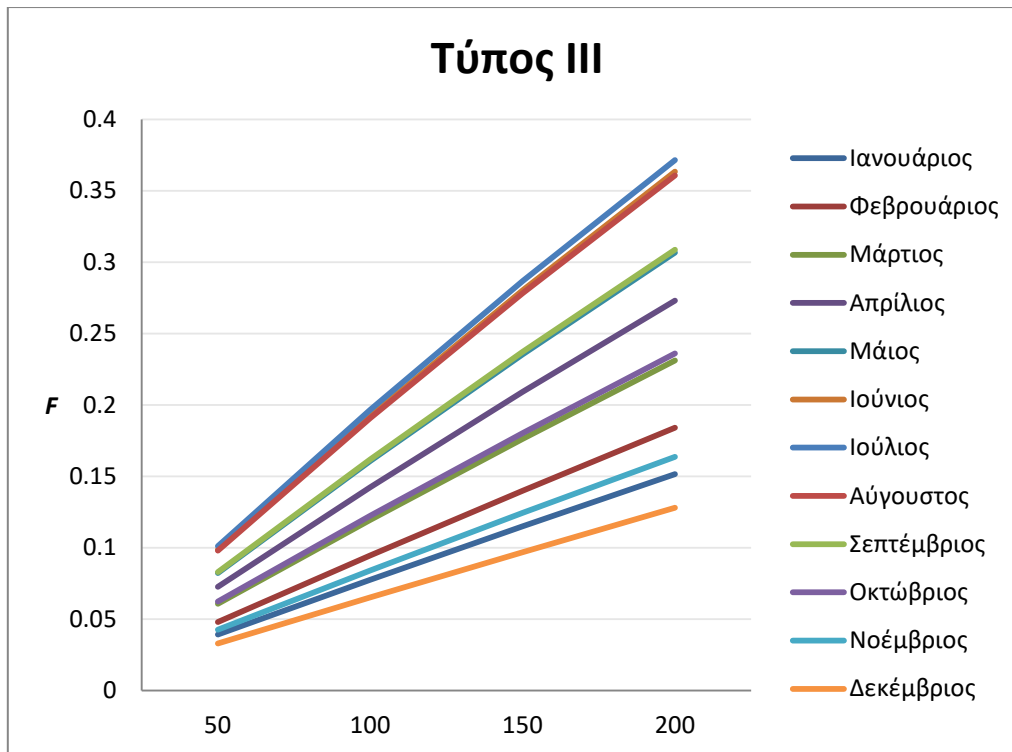
Διάγραμμα 6.1. Ποσοστό κάλυψης φορτίων με χρήση πάνελ τύπου I

Στον Τύπο I των ηλιακών συλλεκτών, δηλαδή μαύρο χρώμα με ένα τζάμι, παρατηρούμε το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης να είναι τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο. Οι τιμές τους κορυφώνονται στο 0.49, δηλαδή στα 200 m², καλύπτει εκείνους τους μήνες το 49% των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης και θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής. Το χαμηλότερο ποσοστό σε όλη την διάρκεια του χρόνου παρατηρείται στους χειμερινούς μήνες και συγκεκριμένα στον Δεκέμβριο, με το ποσοστό στα 200 m² να αγγίζει το 12%. Παρατηρώντας τα στοιχεία ανά μήνα, είναι λογικό να καταλήξει κάποιος σε αυτά τα αποτελέσματα, λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία του πίνακα 6.10 που αφορούν στην μέση ανά μήνα ημερήσια τιμή της ολικής ηλιακής ενέργειας στο κεκλιμένο επίπεδο, για την περιοχή της Κοζάνης.



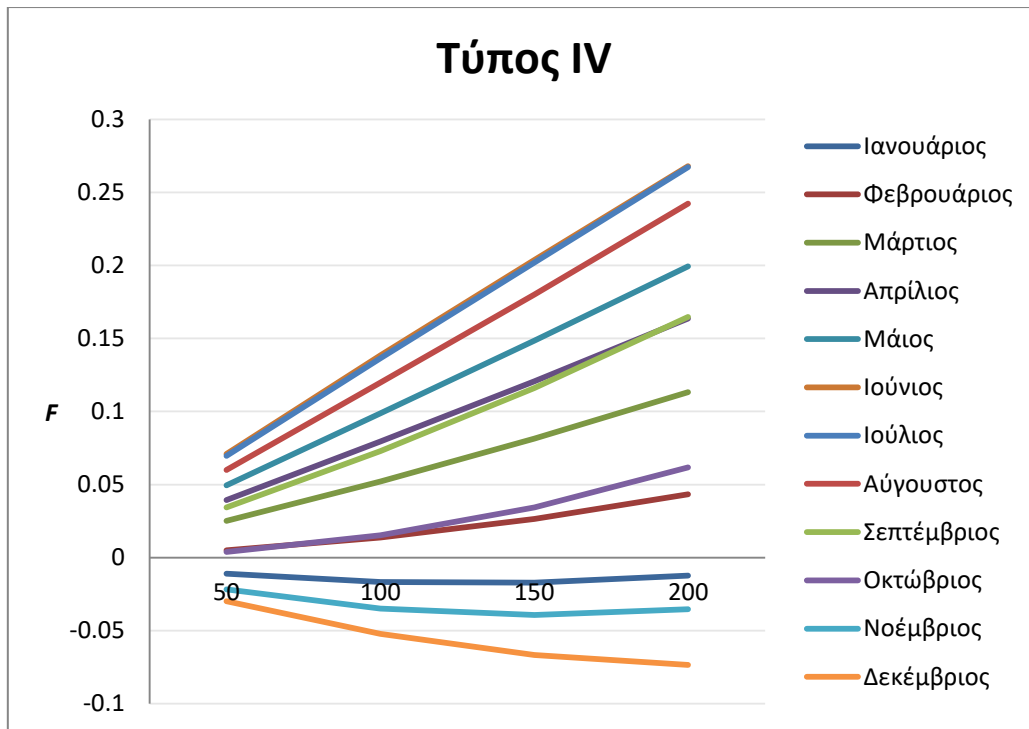
Διάγραμμα 6.2. Ποσοστό κάλυψης φορτίων με χρήση πάνελ τύπου II

Στον Τύπο II των ηλιακών συλλεκτών, δηλαδή μαύρο χρώμα, δύο τζάμια ή επιλεκτική επιφάνεια με ένα τζάμι, παρατηρείται πανομοιότυπη συμπεριφορά με τον Τύπο I, όσο αφορά την κατάταξη των ποσοστών κάλυψης ανά μήνα. Η διαφορά τους όμως έγκειται στις τιμές των αποδόσεων. Πιο συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη τιμή παρατηρείται κατά τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο, με την κάλυψη να ξεπερνά το 50%. Η χαμηλότερη τιμή βρίσκεται πάλι στον μήνα Δεκέμβριο, με την τιμή όμως να σημειώνει αύξηση και να φτάνει στο 15%. Ο Τύπος II των ηλιακών συλλεκτών βοηθά στο μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης φορτίου καθόλη την διάρκεια του χρόνου. Μάλιστα υπάρχει αύξηση του ποσοστού κάλυψης κατά τουλάχιστον 1.5% τους θερινούς μήνες και ξεπερνάει το 3% κατά τον Νοέμβριο και τον Δεκέμβριο.



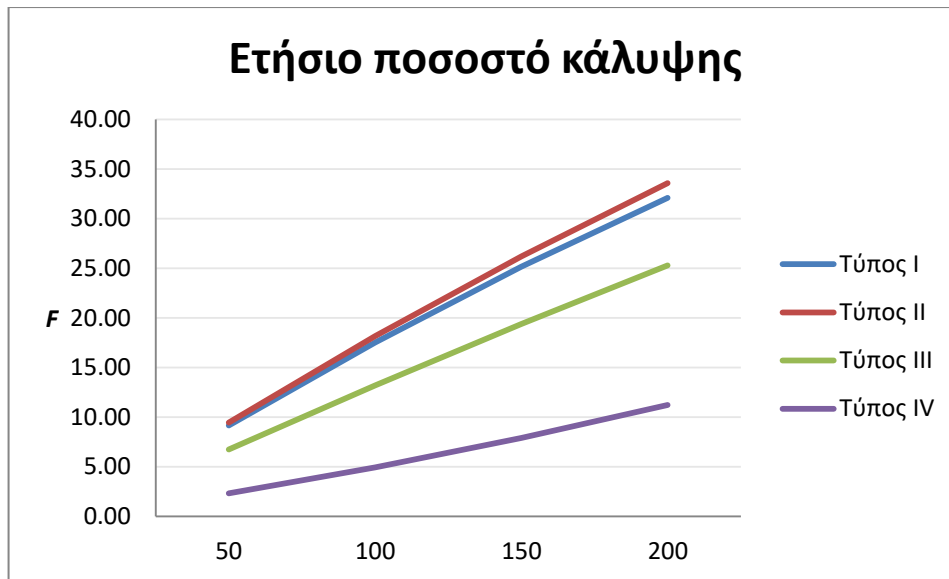
Διάγραμμα 6.3. Ποσοστό κάλυψης φορτίων με χρήση πάνελ τύπου III

Στον Τύπο III των ηλιακών συλλεκτών, σωλήνες κενού, εμφανίζεται η ίδια συμπεριφορά με τους δύο παραπάνω τύπους (I και II), με την διαφορά να βρίσκεται επί της ουσίας στην τιμή του ποσοστού κάλυψης του κάθε μήνα, χωρίς όμως να επηρεάζεται η κατάταξή τους. Μάλιστα παρατηρούνται οι μικρότερες τιμές των ποσοστών κάλυψης συγκριτικά με τους δύο προηγούμενους τύπους. Στα 200 m² ο Δεκέμβριος καλύπτει μόλις το 12.8% των αναγκών, ενώ ο Ιούλιος το 37%. Σε σχέση με τον δεύτερο τύπο των ηλιακών συλλεκτών, το ποσοστό κάλυψης μειώνεται κατά 13% τον μήνα Ιούλιο και την χειμερινή περίοδο μειώνεται από 2% μέχρι και 9%.



Διάγραμμα 6.4. Ποσοστό κάλυψης φορτίων με χρήση πάνελ τύπου IV

Στον Τύπο IV των ηλιακών συλλεκτών, πλαστικός συλλέκτης χωρίς τζάμι και μόνωση (ταχύτητα ανέμου 2.2 m/sec), παρατηρείται μία διαφορετική συμπεριφορά. Κατά τους μήνες του Νοεμβρίου, Δεκεμβρίου και Ιανουαρίου, οι ηλιακοί συλλέκτες δεν μπορούν να καλύψουν σε κανένα ποσοστό τις ανάγκες σε ζεστό νερό χρήσης και θέρμανση πισίνας, με το διάγραμμα να εμφανίζει αρνητικές τιμές F , παρά την αύξηση του μεγέθους των συλλεκτών στα 200 m², που δουλεύουν ικανοποιητικά στους υπόλοιπους συλλέκτες. Πέρα από την μηδενική κάλυψη όμως, το ποσοστό αυτής αγγίζει στην βέλτιστη περίπτωση των 200m² και κατά τον Ιούνιο, μόλις το 26.7%. Η μείωση του ποσοστού κάλυψης σε σχέση με τον Τύπο II είναι σε κάθε περίπτωση μεγαλύτερη του 20%.



Διάγραμμα 6.5. Ετήσιο ποσοστό κάλυψης φορτίων με χρήση πάνελ τύπου I, II, III, IV

Κατασκευάζοντας το διάγραμμα του ετήσιου ποσοστού κάλυψης ανά τύπο και ανά m^2 , επαληθεύονται τα προαναφερθέντα. Δηλαδή είναι εμφανής η υπεροχή του δεύτερου τύπου σε σχέση με τους υπόλοιπους με το ετήσιο ποσοστό κάλυψης στα $200 m^2$ να ξεπερνά το 33.5%. Ο Τύπος I φτάνει το 32%, ο Τύπος III το 25% και τέλος ο Τύπος IV μόλις το 11%.

Επομένως, ο τύπος ηλιακών συλλεκτών που θα επιλεχτούν για την κάλυψη των φορτίων ζεστού νερού χρήσης και για την θέρμανση της πισίνας είναι ο Τύπος II με μαύρο χρώμα, δύο τζάμια ή επιλεκτική επιφάνεια με ένα τζάμι.

6.2. Υπολογισμός Ηλιακής ακτινοβολίας για γωνία συλλεκτών 41°

Μία ακόμα γωνία που θα μελετηθεί για την εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών είναι οι 41° . Σκοπός της μελέτης σε αυτήν την γωνία, είναι κατά πόσο και αν θα αυξηθεί η κάλυψη φορτίων κατά τους χειμερινούς μήνες. Τα φορτία που θα πρέπει να καλυφθούν είναι του ζεστού νερού χρήσης και της θέρμανσης της πισίνας.

Οι τιμές των πινάκων 6.1, 6.2, 6.3 και 6.4 ισχύουν και στην προκειμένη περίπτωση. Οι διαφορετική γωνία β , η γωνία δηλαδή της κλίσης των συλλεκτών επηρεάζει τις τιμές των υπολοίπων πινάκων. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (6.4) καταλήγω στις ωριαίες γωνίες δύσης για κεκλιμένο επίπεδο γωνίας $\beta = 41^\circ$, του πίνακα 6.12.

Πίνακας 6.12. Ωριαία γωνία δόσης (41°)

Μήνας	ω'_s (°)
Ιανουάριος	71.07
Φεβρουάριος	78.74
Μάρτιος	87.95
Απρίλιος	89.89
Μάιος	89.77
Ιούνιος	89.71
Ιούλιος	89.74
Αύγουστος	89.84
Σεπτέμβριος	89.97
Οκτώβριος	81.42
Νοέμβριος	72.63
Δεκέμβριος	68.45

Χρησιμοποιώντας την σχέση 6.5 θα βρεθεί ο συντελεστής μετατροπής μέσης μηνιαίας ημερήσιας ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο, \bar{R}_b . Οι τιμές παρουσιάζονται στον πίνακα 6.13.

Πίνακας 6.13. Συντελεστής μετατροπής μέσης μηνιαίας ημερήσιας ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο (41°)

Μήνας	\bar{R}_b
Ιανουάριος	2.30
Φεβρουάριος	1.81
Μάρτιος	1.39
Απρίλιος	1.07
Μάιος	0.90
Ιούνιος	0.83
Ιούλιος	0.86
Αύγουστος	0.99
Σεπτέμβριος	1.25
Οκτώβριος	1.67
Νοέμβριος	2.19
Δεκέμβριος	2.50

Πλέον είναι δυνατή η εύρεση του συντελεστή \bar{R} μετατροπής μέσης μηνιαίας ημερήσιας ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο γωνίας $\beta=41^\circ$. Η σχέση που χρειάζεται είναι η (6.8). Λαμβάνοντας υπόψη την τιμή του r ως 0.2, όπως ακριβώς και στην περίπτωση των 30° , οδηγούμαστε στον πίνακα (6.14).

Πίνακας 6.14. Συντελεστής μετατροπής μέσης μηνιαίας ημερήσιας ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο γωνίας β

Μήνας	\bar{R}
Ιανουάριος	1.73
Φεβρουάριος	1.45
Μάρτιος	1.21
Απρίλιος	1.02
Μάιος	0.91
Ιούνιος	0.87
Ιούλιος	0.89
Αύγουστος	0.98
Σεπτέμβριος	1.15
Οκτώβριος	1.41
Νοέμβριος	1.67
Δεκέμβριος	1.80

Τελικώς, υπολογίζεται η μέση ανά μήνα ημερήσια τιμή ολικής ηλιακής ενέργειας στο κεκλιμένο επίπεδο γωνίας 41° . Η σχέση που χρειάζεται για τον υπολογισμό είναι η (4.10) και τα αποτελέσματα αναγράφονται στον πίνακα 6.15.

Πίνακας 6.15. Μέση ανά μήνα ημερήσια τιμή ολικής ηλιακής ενέργειας στο κεκλιμένο επίπεδο γωνίας 41°

Μήνας	\bar{H}_T (kWh/m ² ·day)	\bar{H}_T (kWh/m ² ·mo)
Ιανουάριος	3.21	99.56
Φεβρουάριος	3.70	103.46
Μάρτιος	4.35	134.90
Απρίλιος	4.81	144.28
Μάιος	5.12	158.77
Ιούνιος	5.85	175.46
Ιούλιος	5.92	183.46
Αύγουστος	5.87	182.02
Σεπτέμβριος	5.32	159.46
Οκτώβριος	4.42	136.87
Νοέμβριος	3.34	100.29
Δεκέμβριος	2.77	85.76

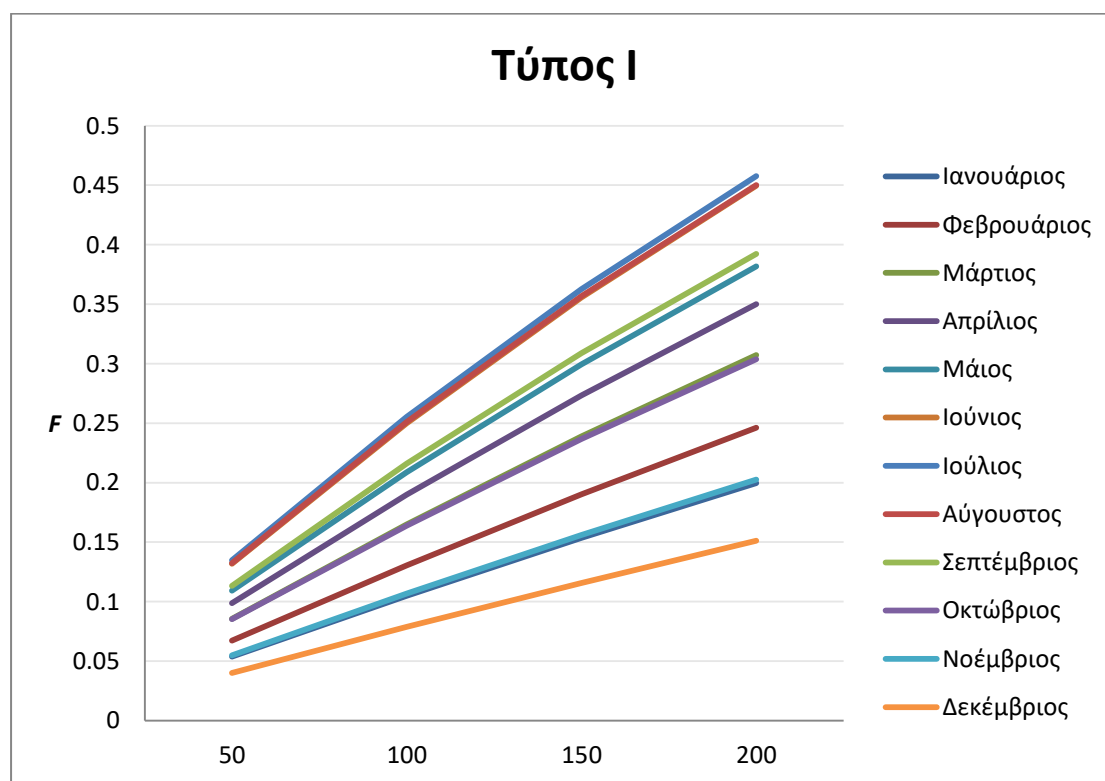
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της μέσης ανά μήνα ημερήσιας τιμής ολικής ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο, μεταξύ 30° και 41° , διακρίνονται δύο αποτελέσματα. Το πρώτο αποτέλεσμα των διαφορετικών γωνιών του συλλέκτη είναι η αύξηση της προσπίπτουσας ενέργειας στον συλλέκτη κυρίως κατά την περίοδο θέρμανσης (εξαιρέση ο Απρίλιος), από τις 30° στις 41° . Μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται στους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Ιανουάριο, όπου οι kWh/m²·mo αυξάνονται κατά 7.3 – 7.9 μονάδες. Αξιοσημείωτη αύξηση έχουν και οι μήνες Οκτώβριος και Φεβρουάριος με αύξηση στις 5.8 και 5 μονάδες αντίστοιχα.

Το δεύτερο αποτέλεσμα είναι η μείωση της προσπίπτουσας ενέργειας στον συλλέκτη από τις 30° στις 41° κυρίως τους θερινούς μήνες. Συγκεκριμένα παρατηρείται μείωση 12 και 12.5 μονάδων των Ιούλιο και Ιούνιο αντίστοιχα, 9 μονάδων τον Μάιο, 7.5 μονάδων τον Αύγουστο, 4.3 τον Απρίλιο και 0.4 τον Σεπτέμβριο.

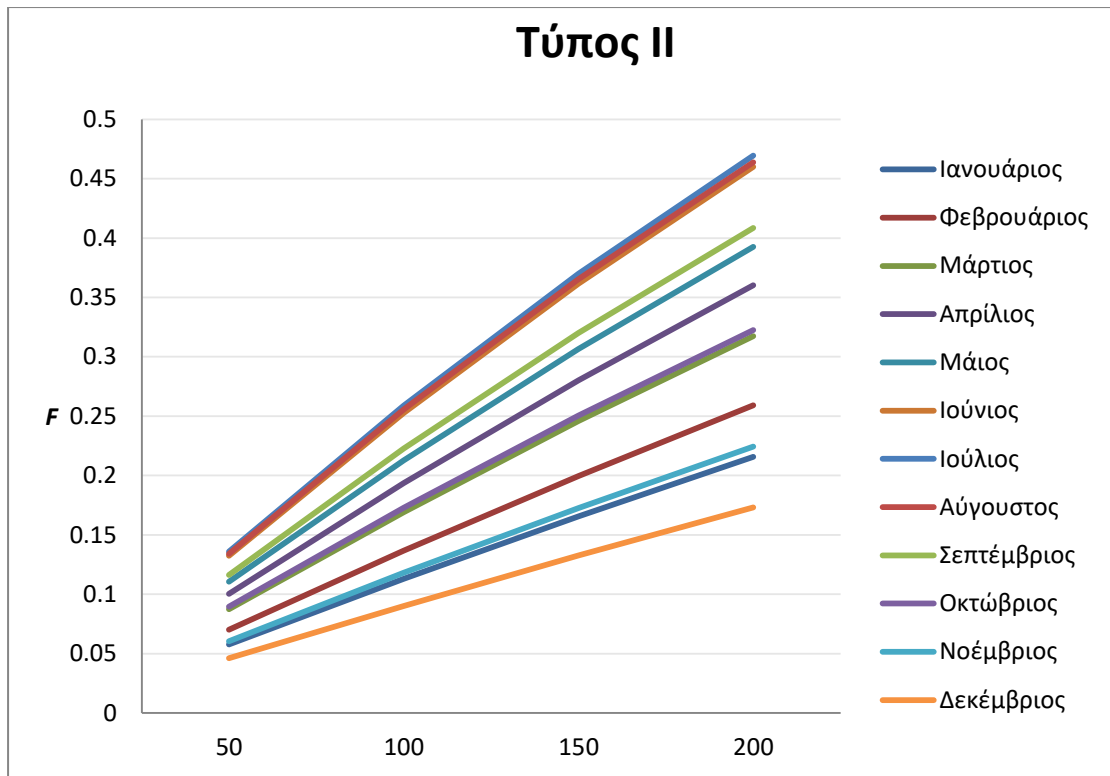
Μελετώντας την συμπεριφορά των συλλεκτών σε σχέση με την μέση ανά μήνα τιμή ολικής ακτινοβολίας στο επίπεδο στο υπόκεφάλαιο 6.1.1, είναι αναμενόμενη η αύξηση της κάλυψης των φορτίων κατά την περίοδο θέρμανσης και η μείωση κατά την περίοδο ψύξης. Τα αποτελέσματα θα εξετασθούν στο υπόκεφάλαιο 6.2.1 με την μέθοδο F-Chart.

6.2.1. F-Chart Method 41°

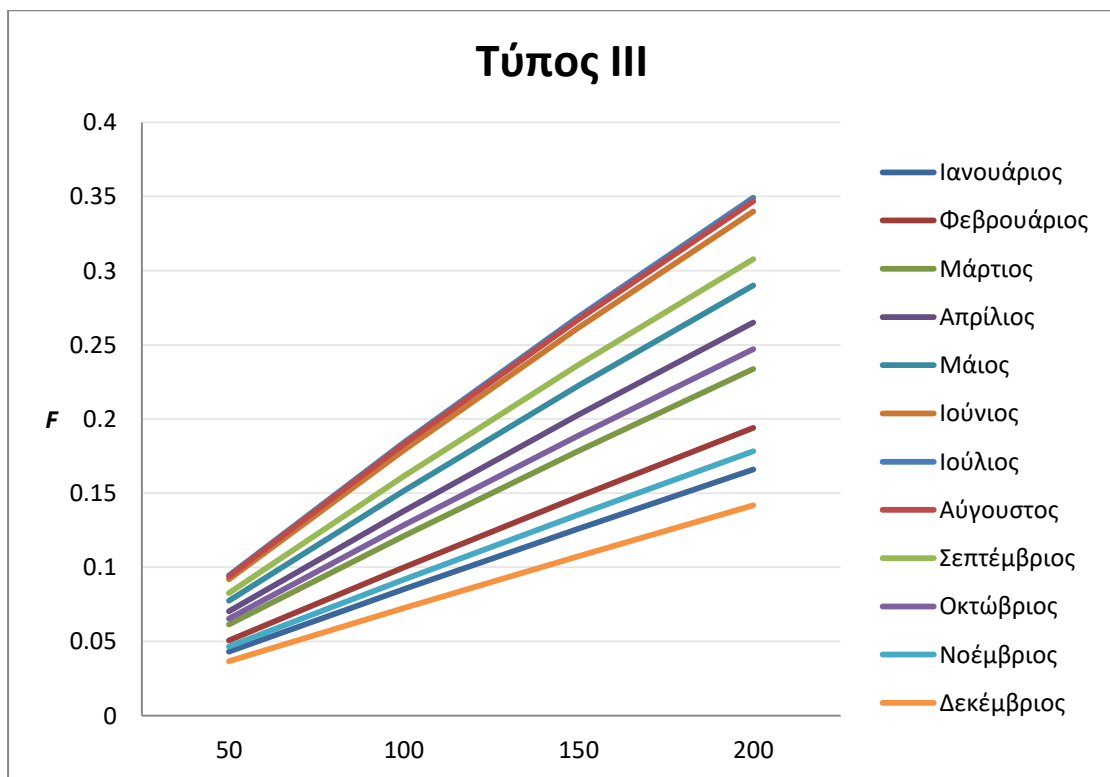
Ακολουθώντας την μεθοδολογία του υπόκεφαλαίου 6.1.1 θα καταλήξω στα παρακάτω διαγράμματα.



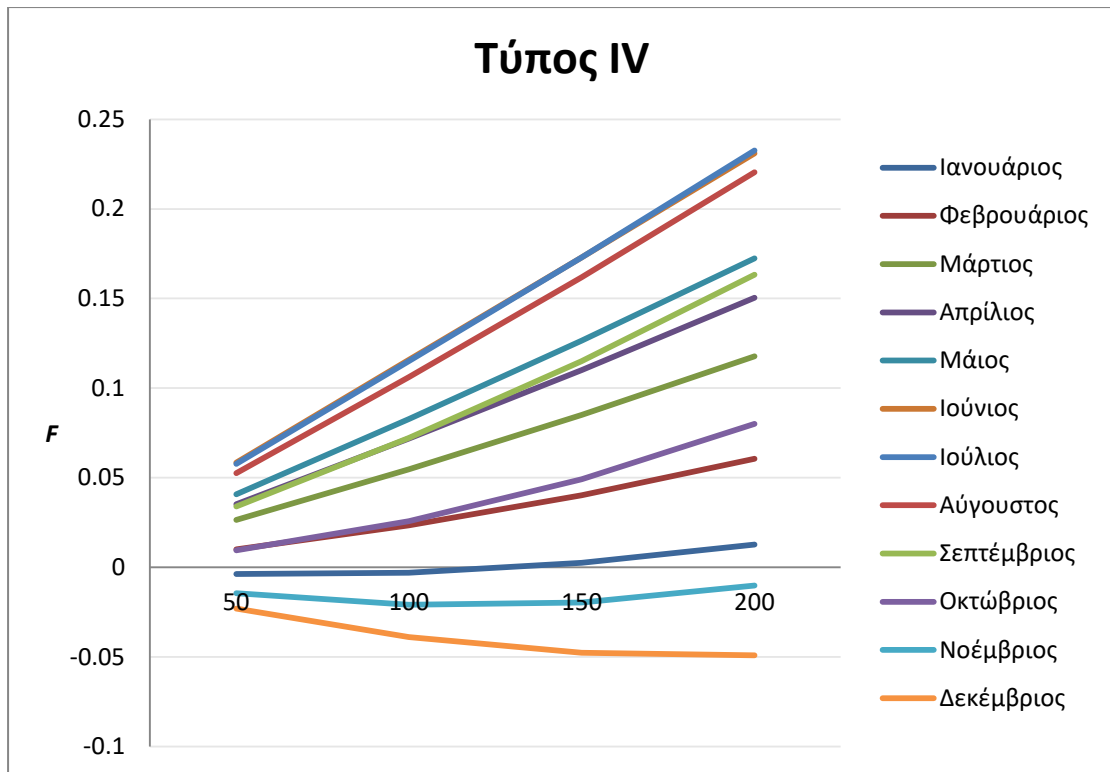
Διάγραμμα 6.6. Ποσοστό κάλυψης φορτίων με χρήση πάνελ τύπου I



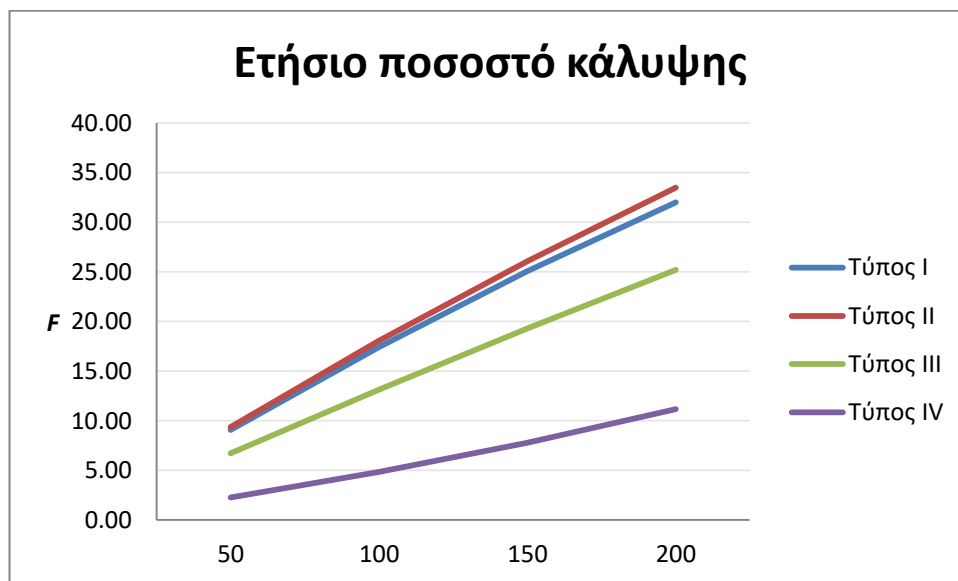
Διάγραμμα 6.7. Ποσοστό κάλυψης φορτίων με χρήση πάνελ τύπου II



Διάγραμμα 6.8. Ποσοστό κάλυψης φορτίων με χρήση πάνελ τύπου III



Διάγραμμα 6.9. Ποσοστό κάλυψης φορτίων με χρήση πάνελ τύπου IV

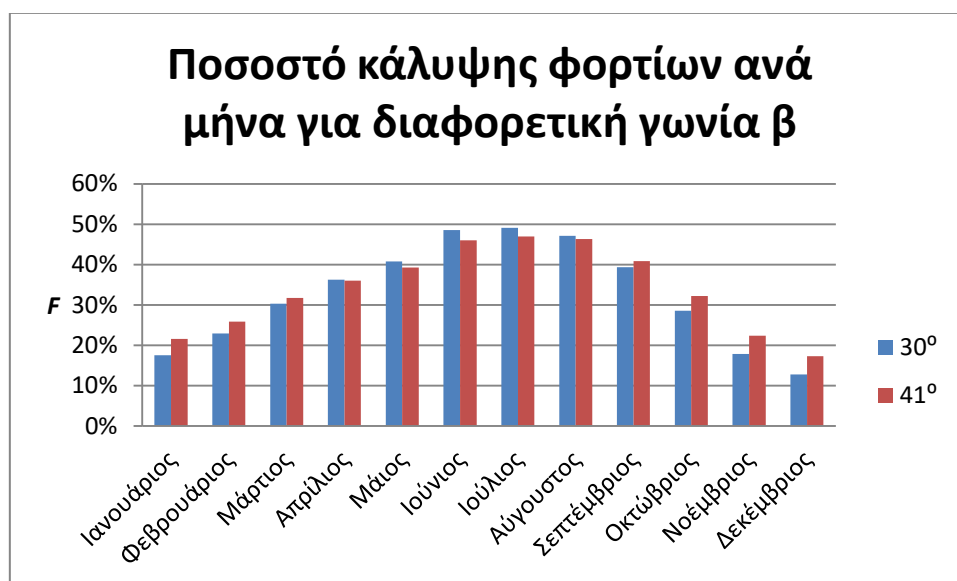


Διάγραμμα 6.10. Ετήσιο ποσοστό κάλυψης φορτίων με χρήση πάνελ τύπου I, II, III, IV

Αυτό που παρατηρείται από τα διαγράμματα είναι πτώση των μέγιστων τιμών στους καλοκαιρινούς μήνες, αλλά αύξηση του ποσοστού κάλυψης κατά τους χειμερινούς μήνες. Και σε αυτή την περίπτωση θα επιλεγθεί τύπος ηλιακών τύπου II, επειδή η κάλυψη φορτίων είναι υψηλότερη από τους άλλους τύπους.

6.3. Ηλιακοί Συλλέκτες

Είναι σημαντικό πλέον να επιλεχτεί η κατάλληλη ρύθμιση των συλλεκτών της εγκατάστασης. Η σύγκριση αφορά τις δύο διαφορετικές γωνίες που μελετήθηκαν στα κεφάλαια 6.1 και 6.2. Η γωνία των 30° και των 41° έχει το ίδιο ποσοστό κάλυψης φορτίων στα 200 m^2 , και πιο συγκεκριμένα 42.19% κάλυψη στις 41° και 42.27% κάλυψη στις 30° . Ωστόσο η κάλυψη φορτίων ανά μήνα είναι διαφορετική. Το διάγραμμα 6.11 προβάλλει τις διαφορές.



Διάγραμμα 6.11. Ποσοστό κάλυψης φορτίων ανά μήνα σε γωνία β 30° και 41°

Το διάγραμμα (6.11) παρουσιάζει αυξομειώσεις στο ποσοστό κάλυψης φορτίων ανά μήνα ενώ οι διαφορές τους στο διάγραμμα (6.12).



Διάγραμμα 6.12. Διαφορά ποσοστού κάλυψης ηλιακών στις 41° με τις 30°

Λόγω των αυξημένων φορτίων που υπάρχουν την χειμερινή περίοδο, όπως και μελετήθηκε στο κεφάλαιο 4, θα ήταν εύλογη η επιλογή ηλιακού που προσφέρεται για την καλύτερη κάλυψη αυτών των φορτίων θέρμανσης. Μελετώντας λοιπόν δύο διαφορετικές γωνίες εγκατάστασης ηλιακών πάνελ, στις 30° και στις 41°, για την προκειμένη περίπτωση θα γίνει επιλογή των 41°.

Όπως προκύπτει από την μελέτη, θα τοποθετηθούν ηλιακοί συλλέκτες επιλεκτικής επιφάνειας με ένα τζάμι. Η συνολική επιφάνεια των συλλεκτών θα είναι 200 m² και θα αποτελείται από 100 τεμάχια των 2 m². Οι συλλέκτες θα τοποθετηθούν με νότιο προσανατολισμό και κλίση $\beta=41^\circ$. Η τοποθέτηση των συλλεκτών θα γίνει στην περιοχή που παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 6.1. Χώρος τοποθέτησης ηλιακών πάνελ

6.3.1. Μελέτη καταναλώσεων με την προσθήκη ηλιακών

Στο κεφάλαιο 4.5, μελετήθηκαν λεπτομερώς οι καταναλώσεις των συστημάτων του κολυμβητηρίου, και συγκεκριμένα του λέβητα πετρελαίου, των αντλιών θερμότητας και των συσκευών/φωτισμών. Επίσης, παρουσιάστηκαν αποτελέσματα που αφορούν τις εκπομπές CO₂ καθώς επίσης και την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. Η προσθήκη των ηλιακών αποσκοπεί στην βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτηρίου, μειώνοντας τις εκπομπές και την κατανάλωση αντίστοιχα. Τα ηλιακά θεωρούνται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και είναι καθοριστική η σημασία τους στην ενεργειακή αναβάθμιση ενός κτηρίου.

Τα ηλιακά θα συνδεθούν με την αντλία θερμότητας και θα διασφαλίζουν την κάλυψη των φορτίων της θέρμανσης της πισίνας και του ZNX. Ο λέβητας θα παραμείνει για την κάλυψη του φορτίου θέρμανσης χώρου, καθώς ο χώρος διαθέτει θερμαντικά σώματα υψηλής θερμοκρασίας (καλοριφέρ).

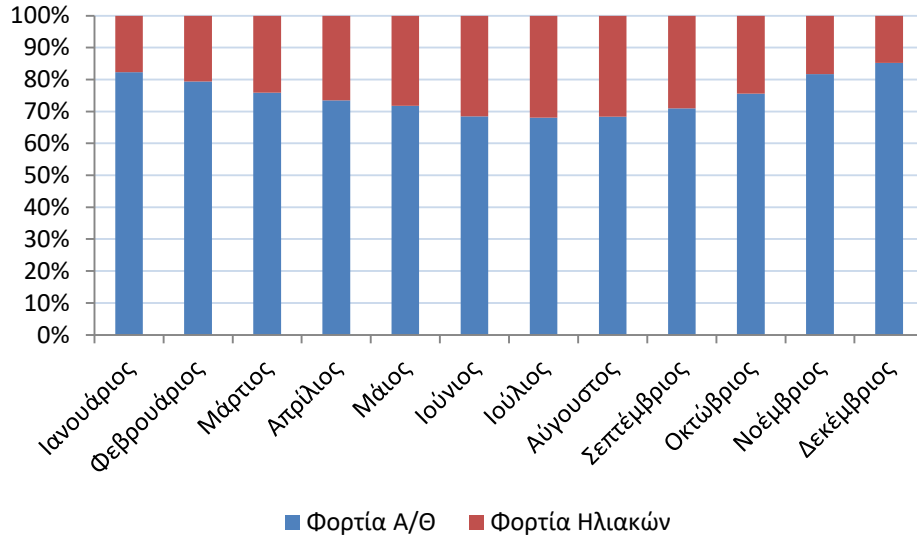
Εφόσον η θέρμανση το χώρου θα συνεχίσει να γίνεται με την χρήση του λέβητα πετρελαίου, η μελέτη του κεφαλαίου 4.5.1 για την κατανάλωση του λέβητα, ισχύει ως έχει. Η διαφορά έγκειται πλέον στην διαφορετική κατανάλωση των αντλιών θερμότητας λόγω της παρουσίας των ηλιακών.

6.3.1.1. Νέα κατανάλωση των αντλιών θερμότητας

Τα φορτία που πρέπει να καλυφθούν παραμένουν ίδια που έχουν υπολογιστεί στα κεφάλαια 4.1 και 4.2, στα οποία αναφέρονται τα φορτία της κολυμβητικής δεξαμενής και του ZNX αντίστοιχα. Τα ηλιακά που θα τοποθετηθούν με σκοπό την ενεργειακή αναβάθμιση του κλειστού κολυμβητηρίου, μπορούν να καλύψουν ένα ορισμένο κομμάτι από τα φορτία. Η μελέτη του κεφαλαίου 6.2, παρουσιάζει το ποσοστό κάλυψης των φορτίων για ηλιακά στις 41°, με την κάλυψη να κυμαίνεται από 17% μέχρι 47% , όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 6.7. Η κάλυψη των φορτίων αυτή, αφορά συνδυαστικά τα φορτία του ZNX και της θέρμανσης της πισίνας. Στην παρακάτω μελέτη γίνεται η υπόθεση ότι τα ηλιακά καλύπτουν πρώτα τα φορτία για ZNX, μιας και είναι σημαντικά μικρότερα από τα φορτία για την θέρμανση της πισίνας. Επίσης η αντλία θερμότητας παρουσιάζει καλύτερη απόδοση όταν αυτή λειτουργεί με σκοπό να καλύψει τα φορτία της θέρμανσης της πισίνας στους 27°C παρά τα φορτία του ZNX, όπως μελετήθηκε στο υποκεφάλαιο 4.5.2 και παρουσιάστηκε στα διαγράμματα 4.11 και 4.12. Τα ποσοστιαία φορτία που θα καλυφθούν από τα ηλιακά ανά μήνα παρουσιάζονται στο διάγραμμα 6.13. Στον πίνακα 6.16 παρουσιάζονται και τα ποσά κάλυψης σε Joule.

Πίνακας 6.16. Καταμερισμός φορτίων παρουσία ηλιακών συλλεκτών

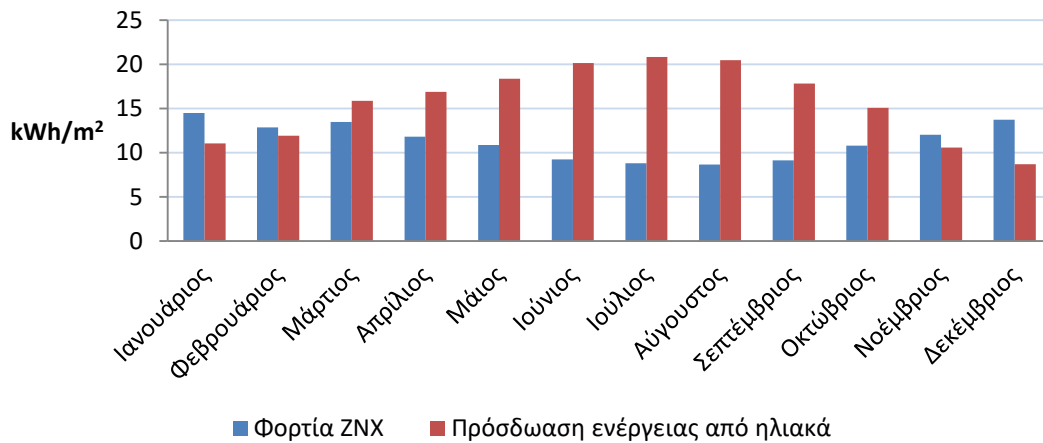
Μήνας	Φορτία που καλύπτονται από τα ηλιακά		Φορτία που καλύπτονται από A/Θ (Joule)	
	(Joule)	(kWh/m ²)	(Joule)	(kWh/m ²)
Ιανουάριος	36,144,125,435.25	11.04	131,438,606,699.95	40.16
Φεβρουάριος	38,989,056,377.62	11.91	111,506,052,285.98	34.07
Μάρτιος	51,892,779,039.61	15.86	111,561,094,194.39	34.09
Απρίλιος	55,232,316,980.15	16.88	98,113,469,976.73	29.98
Μάιος	60,152,635,581.84	18.38	93,041,648,867.36	28.42
Ιούνιος	65,897,923,442.40	20.13	77,393,651,670.12	23.64
Ιούλιος	68,115,502,763.00	20.81	76,946,180,820.20	23.51
Αύγουστος	66,967,505,010.12	20.46	77,468,593,891.08	23.67
Σεπτέμβριος	58,320,111,658.37	17.82	84,486,923,124.31	25.82
Οκτώβριος	49,327,559,538.31	15.07	103,616,491,038.09	31.66
Νοέμβριος	34,579,297,371.88	10.57	119,614,435,162.40	45.67
Δεκέμβριος	28,499,841,222.60	8.71	136,080,084,439.00	45.25



Διάγραμμα 6.13. Ποσοστό (%) κάλυψης φορτίων από Α/Θ και ηλιακούς συλλέκτες

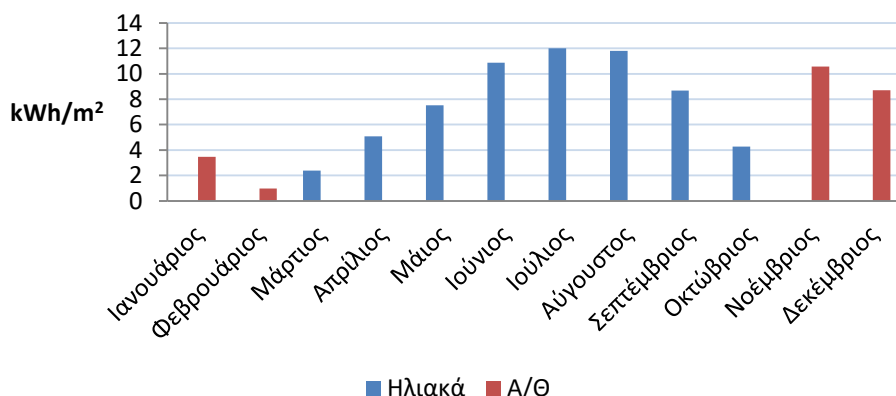
Από τα φορτία που παρουσιάστηκαν στον πίνακα 6.16, πρέπει να γίνει καταμερισμός των φορτίων της Α/Θ για την κάλυψη σε ΖΝΧ, όπου αυτό χρειάζεται, καθώς και για την θέρμανση της πισίνας. Ύστερα από μελέτη, προκύπτουν τα αποτελέσματα.

Δυναμικό κάλυψης



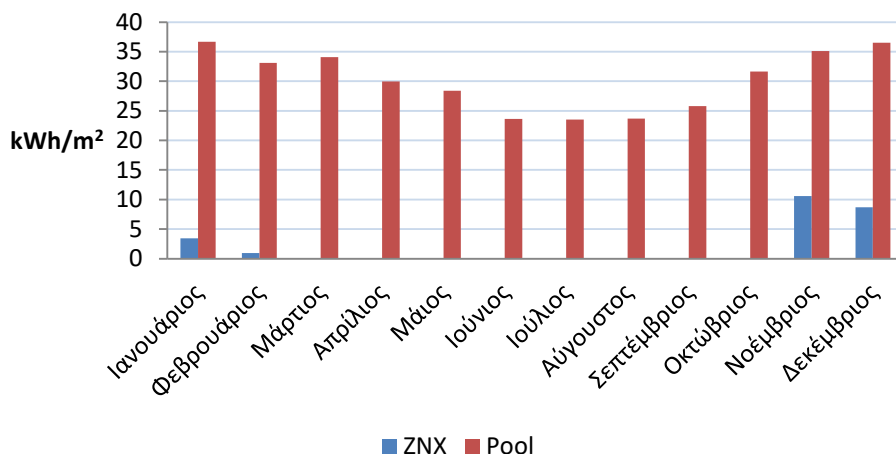
Διάγραμμα 6.14. Δυναμικό κάλυψης των φορτίων ΖΝΧ από την προσδιδόμενη ενέργεια των ηλιακών συλλεκτών

Κάλυψη φορτίων ZNX από τα ηλιακά και από την Α/Θ



Διάγραμμα 6.15. Κάλυψη φορτίων ZNX από τα ηλιακά και από την Α/Θ, αν αυτή χρειάζεται

Κάλυψη φορτίων από Α/Θ

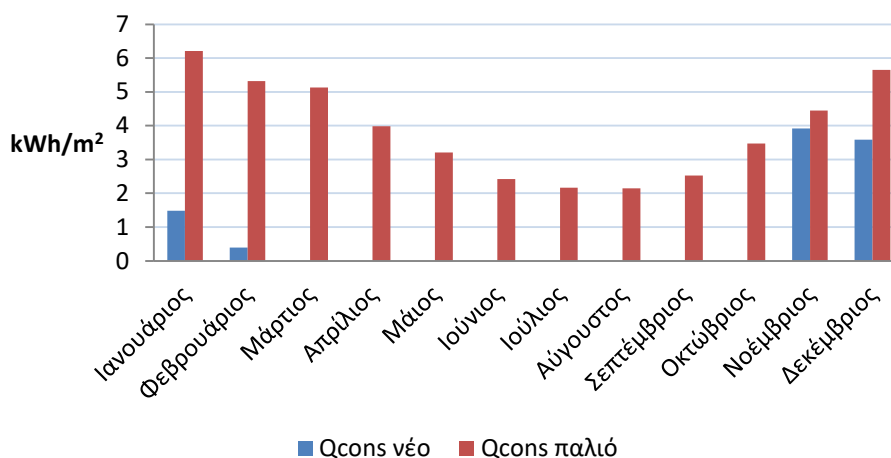


Διάγραμμα 6.16. Κάλυψη φορτίων ZNX και κολυμβητικής δεξαμενής από Α/Θ

Αυτό που παρατηρείται στο διάγραμμα 6.14, είναι ότι τα ηλιακά μπορούν να υπερκαλύψουν τις ανάγκες για ZNX τους περισσότερους μήνες (Μάρτιο μέχρι και Οκτώβριο), με τους υπόλοιπους μήνες να μην καλύπτονται σε ποσοστό από 7% έως και 37%. Στα διαγράμματα 6.15 και 6.16 παρουσιάζεται η συνεισφορά των αντλιών θερμότητας στο σύστημα θέρμανσης για ZNX και για την πισίνα. Στην περίπτωση του ZNX η συνεισφορά των αντλιών θερμότητας είναι αναλογικά μικρή σε σχέση με το φορτίο που καλείται να καλύψει για την θέρμανση της πισίνας.

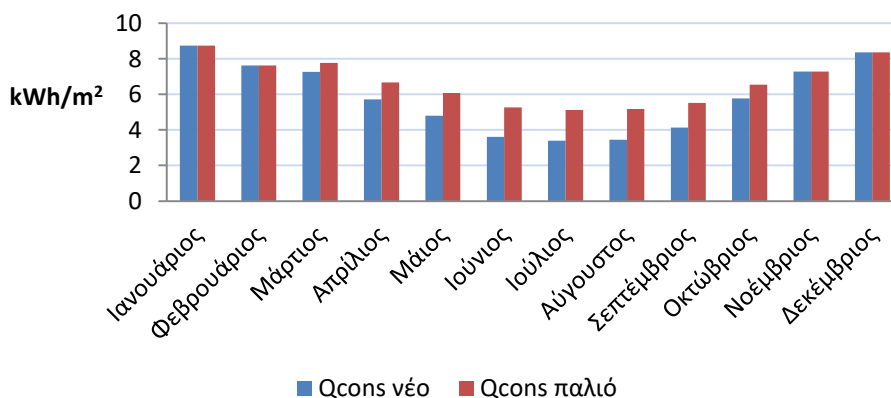
Εφόσον το φορτίο που καλείται να καλύψουν οι αντλίες θερμότητας είναι μικρότερο με την προσθήκη των ηλιακών συλλεκτών, οι καταναλώσεις θα είναι και αυτές μικρότερες, όπως διαγράφεται στα διαγράμματα 6.17, 6.18 και 6.19.

Qcons A/Θ για ΖΝΧ



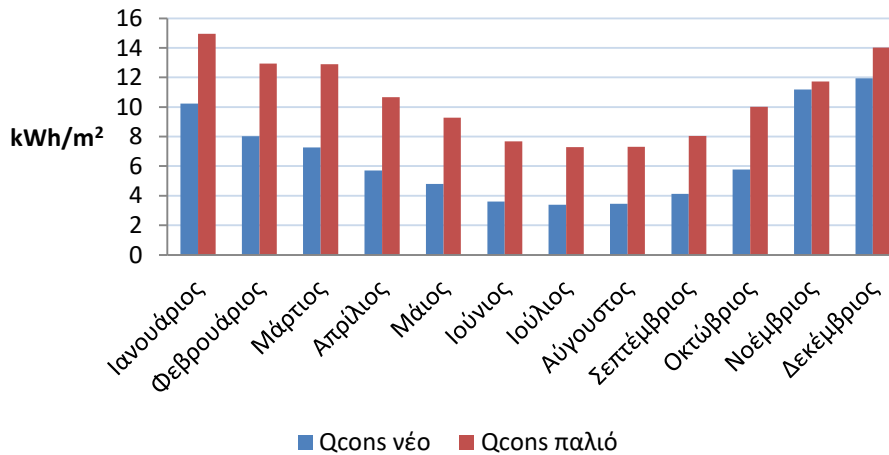
Διάγραμμα 6.17. Σύγκριση καταναλώσεων της Α/Θ για ζεστό νερό χρήσης, πριν και μετά την εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών

Qcons A/Θ για κολυμβητική δεξαμενή



Διάγραμμα 6.18. Σύγκριση καταναλώσεων της Α/Θ για κολυμβητική δεξαμενή, πριν και μετά την εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών

Σύγκριση καταναλώσεων Α/Θ



Διάγραμμα 6.19. Σύγκριση συνολικών καταναλώσεων της Α/Θ, πριν και μετά την εγκατάσταση των ηλιακών

Με την χρήση των ηλιακών, είναι εμφανής η μείωση των καταναλώσεων της αντλίας θερμότητας για την κάλυψη των φορτίων του ZNX και της θέρμανσης της πισίνας.

6.3.1.2. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα νέων καταναλώσεων

Πίνακας 6.17. Κατανάλωση καυσίμου ανά καύσιμο και εκπομπές CO₂

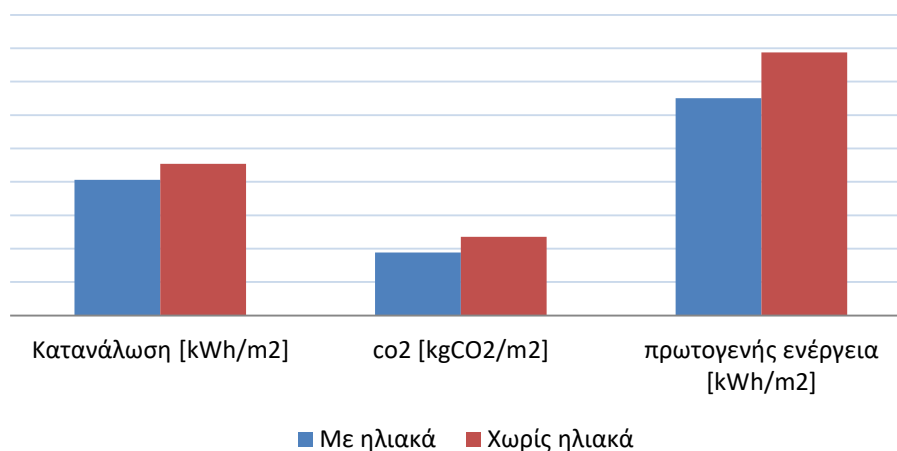
Πηγή Ενέργειας	Κατανάλωση (kWh/m ²)	Εκπομπές CO ₂ (kgCO ₂ /m ²)
Πετρέλαιο	293.85	77.58
Ηλεκτρισμός	112.76	111.52
Σύνολο	406.61	235.9

Πίνακας 6.18. Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά καύσιμο

Πηγή Ενέργειας	Κατανάλωση (kWh/m ²)	Πρωτογενής κατανάλωση (kWh/m ²)
Πετρέλαιο	293.85	323.23
Ηλεκτρισμός	112.76	327
Σύνολο	406.61	650.24

Η μεθοδολογία εύρεσης των παραπάνω αποτελεσμάτων αναλύθηκε στο κεφάλαιο 4.5.4. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των πινάκων 6.17 και 6.18, με αυτά των πινάκων 4.29 και 4.30, είναι εμφανής η μείωση της κατανάλωσης σε kWh/m², της παραγωγής CO₂ σε kg/m² και της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας σε kWh/m². Πιο συγκεκριμένα η κατανάλωση ενέργειας μειώθηκε κατά 10%, η παραγωγή του CO₂ κατά 20% και η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατά 17%. Τα αποτελέσματα είναι αρκετά σημαντικά αν αναλογιστεί κάποιος ότι απλά προστέθηκαν στο υπάρχον σύστημα ηλιακοί συλλέκτες.

Σύγκριση πριν και μετά τα ηλιακά

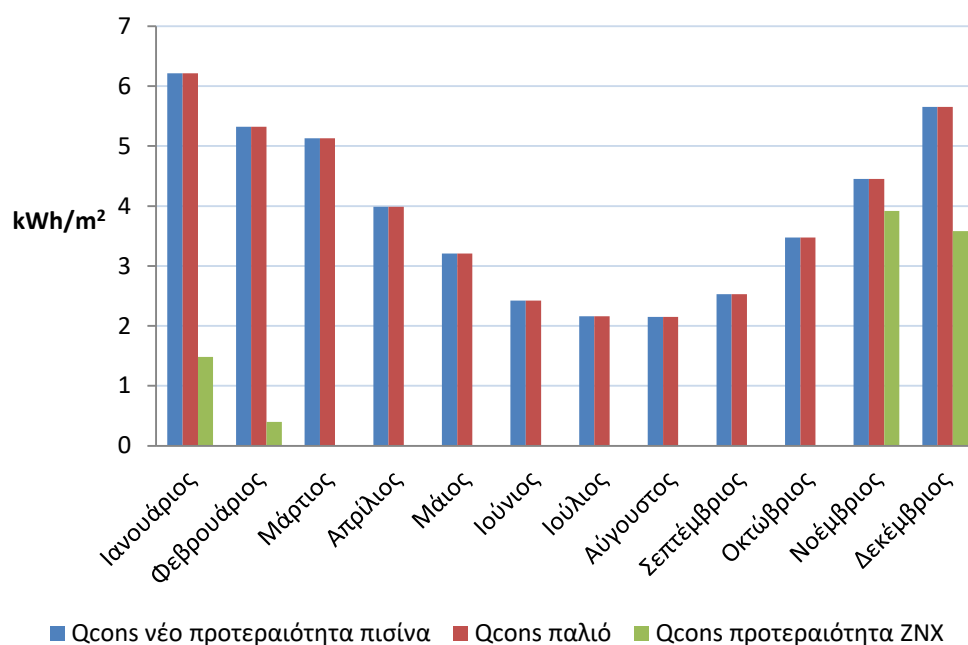


Διάγραμμα 6.20. Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας, πρωτογενούς ενέργειας και παραγωγής CO₂, πριν και μετά την εγκατάσταση των ηλιακών πάνελ

6.3.1.3. Μελέτη καταναλώσεων με την προσθήκη ηλιακών και κύρια χρήση τους στην θέρμανση της κολυμβητικής δεξαμενής

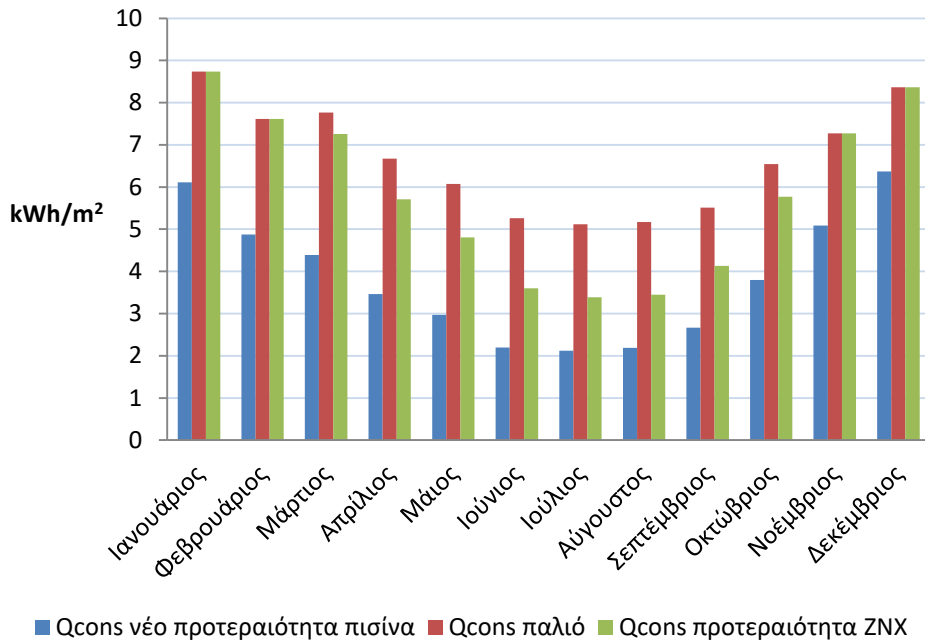
Η παραπάνω μελέτη έγινε με το σκεπτικό ότι η λειτουργία των ηλιακών δίνει προτεραιότητα στην κάλυψη των φορτίων ZNX, επειδή είναι σημαντικά λιγότερα από αυτά της θέρμανσης της πισίνας. Ωστόσο ήταν σημαντική και η μελέτη της δυνατότητας του συστήματος των ηλιακών να καλύπτουν πρώτα τα φορτία της θέρμανσης της πισίνας, και στην περίπτωση του Λιάπειου μόνο αυτά και όχι του ZNX καθώς είναι σημαντικά μεγαλύτερα. Έγινε μελέτη αυτής της περίπτωσης λόγω της μικρότερης θερμοκρασίας που απαιτείται για την θέρμανση της πισίνας στους 27°C, έναντι των 50°C που απαιτούνται για το ZNX. Λόγω της μικρότερης θερμοκρασίας της θέρμανσης και συνεπώς του καλύτερου COP των αντλιών θερμότητας (διαγράμματα 4.11 και 4.12), ίσως να είναι δυνατή η μείωση των καταναλώσεων.

Qcons A/Θ για ZNX



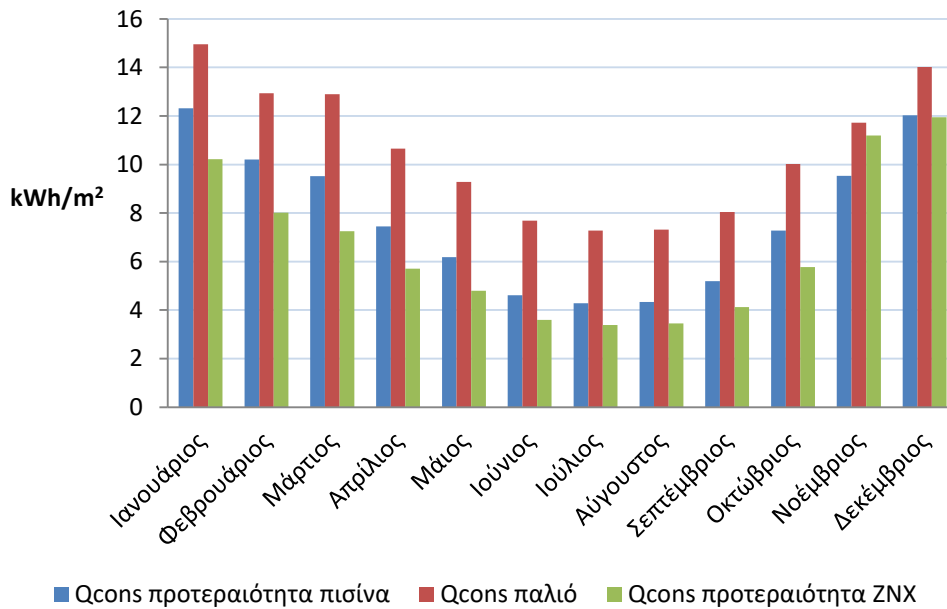
Διάγραμμα 6.21. Σύγκριση καταναλώσεων A/Θ για ZNX χωρίς ηλιακά, με ηλιακά και προτεραιότητα το ZNX και με ηλιακά με προτεραιότητα την κολυμβητική δεξαμενή

Qcons A/Θ για κολυμβητική δεξαμενή



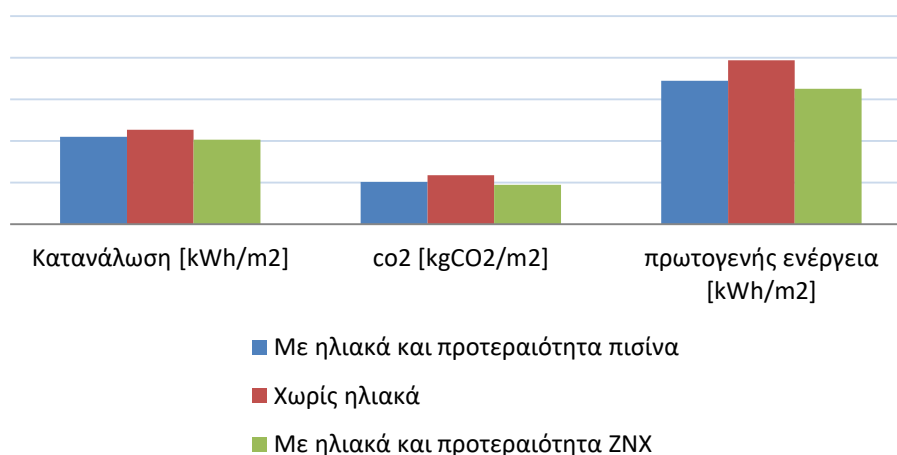
Διάγραμμα 6.22. Σύγκριση καταναλώσεων A/Θ για κολυμβητική δεξαμενή χωρίς ηλιακά, με ηλιακά και προτεραιότητα το ZNX και με ηλιακά με προτεραιότητα την κολυμβητική δεξαμενή

Σύγκριση καταναλώσεων A/Θ



Διάγραμμα 6.23. Σύγκριση συνολικών καταναλώσεων A/Θ χωρίς ηλιακά, με ηλιακά και προτεραιότητα το ZNX και με ηλιακά με προτεραιότητα την κολυμβητική δεξαμενή

Σύγκριση πριν και μετά τα ηλιακά



Διάγραμμα 6.24. Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας, πρωτογενούς ενέργειας και παραγωγής CO₂, πριν την εγκατάσταση των ηλιακών πάνελ, μετά την εγκατάσταση με προτεραιότητα το ZNX και μετά την εγκατάσταση με προτεραιότητα την κολυμβητική δεξαμενή

Κάνοντας την μελέτη και βλέποντας τα διαγράμματα 6.21, 6.22, 6.23, 6.24 διακρίνεται ότι η περίπτωση προτεραιότητας της κάλυψης των φορτίων της κολυμβητικής δεξαμενής από τα ηλιακά δεν είναι το ίδιο επικερδής με την προτεραιότητα σε ZNX. Ξεκινώντας, τα φορτία ZNX δεν καλύπτονται καθόλου από τα ηλιακά, μην έχοντας αντίκτυπο στην κατανάλωση των Α/Θ για αυτή την περίπτωση. Όσο αφορά την κάλυψη των φορτίων θέρμανσης της κολυμβητικής δεξαμενής από την Α/Θ, υπάρχει αισθητή μείωση λόγω της ολικής συνεισφοράς των ηλιακών στην κάλυψη τους. Η μείωση ξεκινά από το 24% για τον μήνα Δεκέμβριο και αγγίζει το 39% για τον μήνα Ιούνιο.

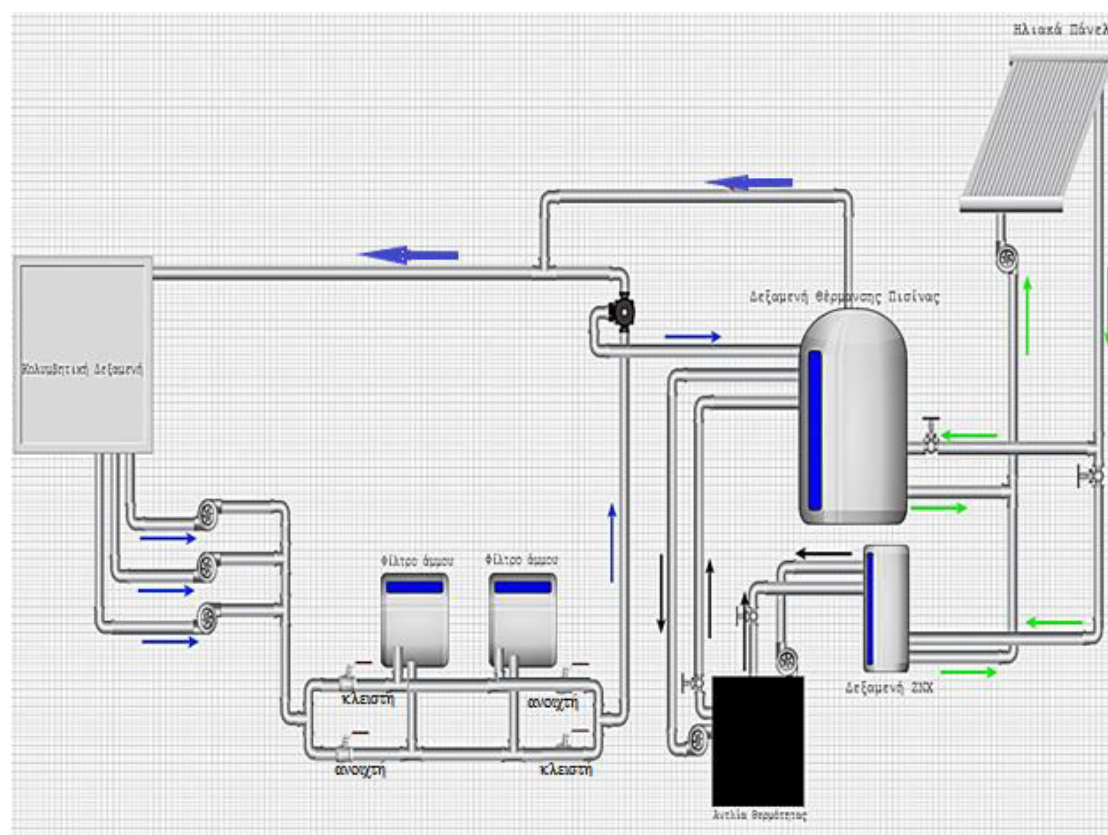
Όσο αφορά όμως την συνολική κατανάλωση της Α/Θ για τις δύο περιπτώσεις με τα ηλιακά, στην πρώτη περίπτωση η συνολική κατανάλωση είναι μικρότερη από 1% τον Δεκέμβριο έως και 24% τον Μάρτιο. Δηλαδή κατά τη διάρκεια του έτους η πρώτη περίπτωση πάντα συμφέρει. Σαν τελικό αριθμό κατανάλωσης, στην πρώτη περίπτωση η Α/Θ καταναλώνει 79.47 kWh/m², ενώ στην δεύτερη 92.92 kWh/m², 14% λιγότερο. Η διαφορά συνυπολογίζοντας την κατανάλωση συσκευών/φωτισμού αλλά και πετρελαίου είναι στο 3% (406 kWh/m² και 420 kWh/m² στην δεύτερη περίπτωση), η παραγωγή του CO₂ στην αρχική περίπτωση είναι 7% λιγότερη (189 kgCO₂/m² από 202 kgCO₂/m²) ενώ και στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας η πρώτη περίπτωση είναι κατά 6% μικρότερη (650 kWh/m² από 689 kWh/m²).

Επομένως η πρώτη εκτίμηση λειτουργίας, με τα ηλιακά να δίνουν προτεραιότητα στην κάλυψη φορτίων ZNX, είναι και η πιο επικερδής όσο αφορά το θέμα κατανάλωσης ενέργειας, και συνεπώς πρωτογενούς και παραγωγής CO₂.

6.4. Σύνδεση ηλιακών

Οι ηλιακοί συλλέκτες θα συνδεθούν παράλληλα και ανά ομάδες. Οι σωληνώσεις θα είναι μονωμένες με μόνωση σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ και τις διαστάσεις των σωληνώσεων [3]. Το κύκλωμα θα φέρει αισθητήρια όργανα με σκοπό τον αυτοματισμό της λειτουργίας. Τα αισθητήρια θα είναι υπεύθυνα για την μέτρηση της θερμοκρασίας στους συλλέκτες, στο δοχείο αποθήκευσης και στην είσοδο του δοχείου αποθήκευσης.

Το υδραυλικό διάγραμμα της εικόνας 6.2 παρουσιάζει την συνδεσμολογία της κολυμβητικής δεξαμενής, του δοχείου για τη θέρμανση της πισίνας, του δοχείου ΖΝΧ, της αντλίας θερμότητας και του ηλιακού συστήματος.

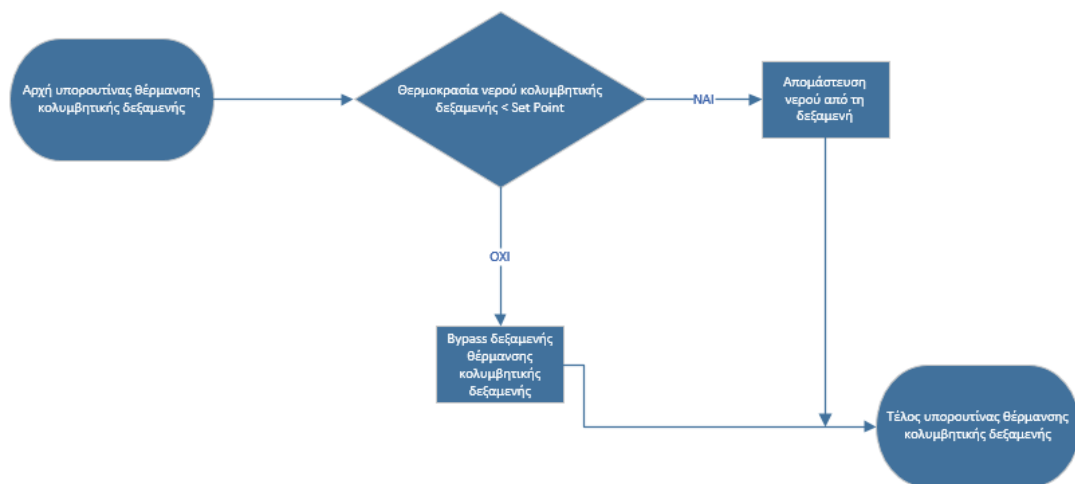


Εικόνα 6.2. Υδραυλικό διάγραμμα με την συμμετοχή ηλιακού συστήματος

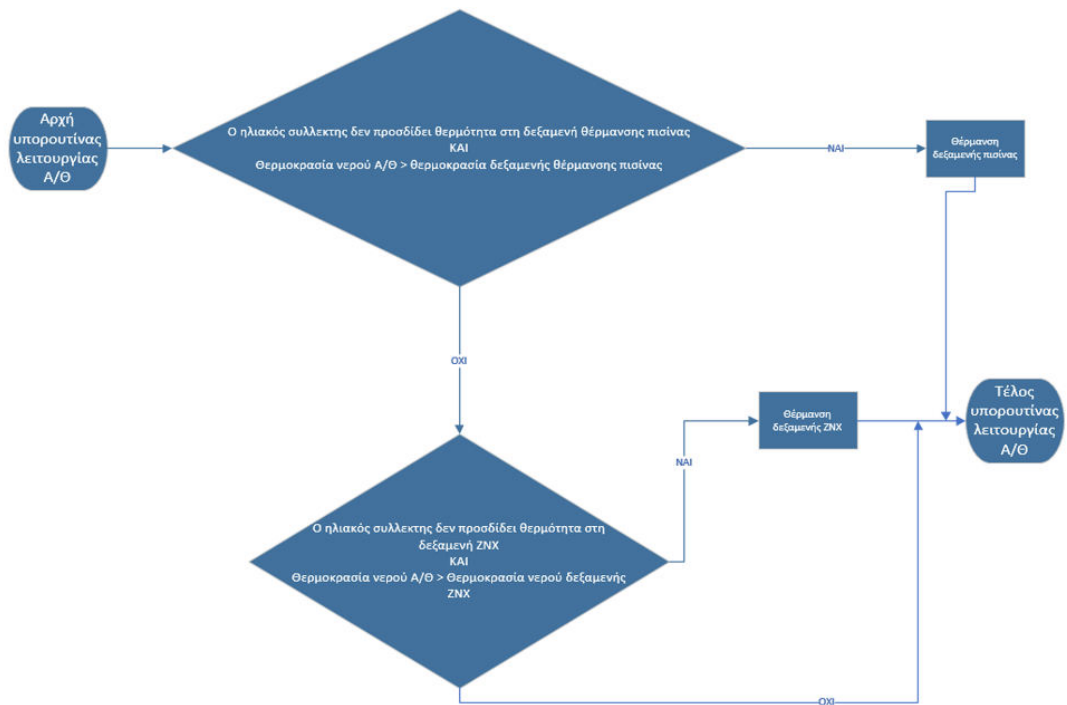
Αριστερά διακρίνεται η κολυμβητική δεξαμενή από την οποία φεύγει το νερό με την βοήθεια τριών αντλιών. Στη συνέχεια το νερό περνά για καθαρισμό από δύο φίλτρα άμμου πριν συνεχίσει τη διαδρομή του. Έπειτα το νερό, ανάλογα τις ανάγκες για θέρμανση της πισίνας είτε θα ανακυκλωθεί όπως είναι, είτε θα προχωρήσει στην δεξαμενή θέρμανσης της πισίνας για να αναμιχθεί με το ζεστό νερό της δεξαμενής και έπειτα με υψηλότερη θερμοκρασία να κατευθυνθεί προς την κολυμβητική δεξαμενή. Το νερό της δεξαμενής θέρμανσης της πισίνας ζεσταίνεται από τις αντλίες θερμότητας που θα δουλεύουν εναλλάξ καθημερινά, σε συνδυασμό με τα ηλιακά. Το

ίδιο γίνεται και για την θέρμανση της δεξαμενής του ZNX. Οι αντλίες που οδηγούν το νερό από και προς τα ηλιακά, είναι χαμηλότερα και στις δύο δεξαμενές από αυτές των αντλιών θερμότητας διότι τα ηλιακά λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από αυτές των αντλιών θερμότητας αέρα-νερού. Διακρίνονται στο διάγραμμα και βάνες οι οποίες είναι υπεύθυνες για την παροχή νερού προς τα δοχεία, όποτε αυτή απαιτείται, και βέλη τα οποία σηματοδοτούν την πορεία του νερού στο σύστημα. Τα βέλη διαφοροποιούνται από τα χρώματα τους με μαύρο να είναι της αντλίας θερμότητας, πράσινο του ηλιακού συστήματος και μπλε από και προς την κολυμβητική δεξαμενή.

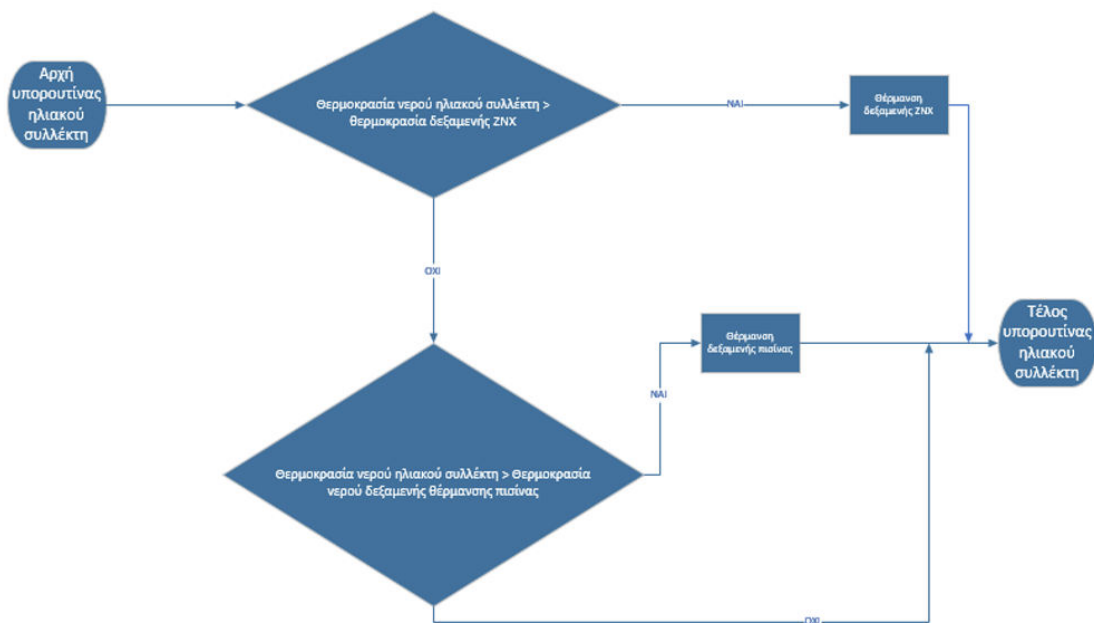
Στις εικόνες 6.3 – 6.5, ακολουθούν σε flow chart οι υπορουτίνες, βάση των οποίων θα λειτουργούν οι αντλίες θερμότητας, το ηλιακό σύστημα και το σύστημα θέρμανσης της κολυμβητικής δεξαμενής. Στην εικόνα 6.6 παρουσιάζεται σε flow chart η κύρια ρουτίνα λειτουργίας του συστήματος.



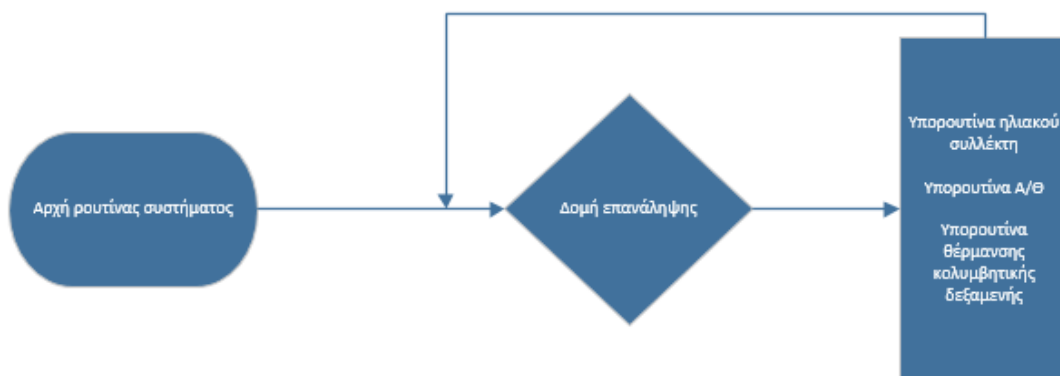
Εικόνα 6.3. Υπορουτίνα θέρμανσης κολυμβητικής δεξαμενής



Εικόνα 6.4. Υπορουτίνα λειτουργίας αντλίας θερμότητας



Εικόνα 6.5. Υπορουτίνα λειτουργίας ηλιακού συλλέκτη



Εικόνα 6.6. Ρουτίνα συστήματος

Οι παραπάνω ρουτίνες και υπορουτίνες που δημιουργήθηκαν, θα υλοποιηθούν με την βοήθεια του controller που θα εγκατασταθεί στο Λιάπειο κολυμβητήριο. Μετά την δημιουργία των ρουτινών, είναι αναγκαία η φυσική παρουσία του μηχανικού στην εγκατάσταση, για να μπορέσει να διορθώσει πιθανών προβλήματα στον κώδικα, αλλά και να ανανεώσει τον ήδη υπάρχον.

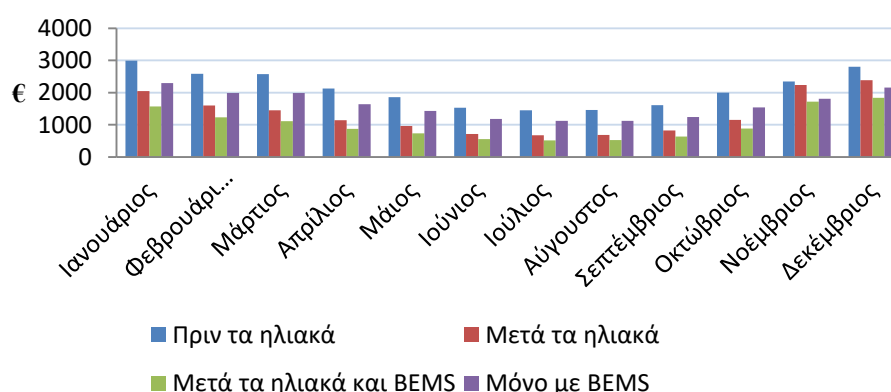
6.5. Οικονομοτεχνική μελέτη και τελικές καταναλώσεις συστημάτων

Με την προσθήκη των ηλιακών συλλεκτών στο σύστημα για κάλυψη αναγκών ZNX και θέρμανσης νερού πισίνας, θα υπάρχει προφανώς και μείωση του μηνιαίου κόστους στην κατανάλωση καυσίμου. Στον πίνακα 6.19 παρουσιάζονται οι καταναλώσεις για θέρμανση πισίνας και ZNX ανά μήνα πριν και μετά την εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών. Η πιο πρόσφατη τιμή kWh από την ΔΕΗ για καταναλώσεις είναι 0.21985 €/kWh.

Πίνακας 6.19. Καταναλώσεις και κόστη ανά μήνα για την αντλία θερμότητας, πριν και μετά την εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών, καθώς και πριν και μετά την εγκατάσταση των BEMS

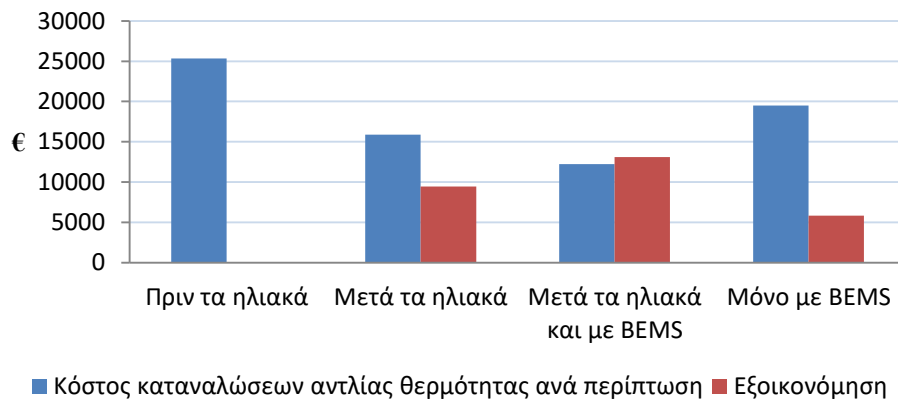
Μήνας	Κατανάλωση A/Θ πριν τα ηλιακά (kWh)	Κατανάλωση A/Θ μετά τα ηλιακά (kWh)	Κατανάλωση A/Θ μετά τα ηλιακά και BEMS (kWh)	Κόστος €			
				Πριν τα ηλιακά	Μετά τα ηλιακά	Μετά τα ηλιακά και με BEMS	Μόνο με BEMS
Ιανουάριος	13592.87	9294.03	7156.40	2988.39	2043.29	1573.33	2301.06
Φεβρουάριος	11764.56	7286.51	5610.61	2586.44	1601.94	1233.49	1991.56
Μάρτιος	11723.85	6596.81	5079.54	2577.49	1450.31	1116.74	1984.67
Απρίλιος	9690.03	5189.74	3996.10	2130.35	1140.97	878.54	1640.37
Μάιος	8438.92	4367.25	3362.78	1855.3	960.14	739.31	1428.58
Ιούνιος	6986.04	3274.83	2521.62	1535.88	719.97	554.38	1182.63
Ιούλιος	6616.33	3078.94	2370.78	1454.6	676.91	521.22	1120.04
Αύγουστος	6650.71	3134.06	2413.23	1462.16	689.02	530.55	1125.86
Σεπτέμβριος	7313.76	3752.33	2889.29	1607.93	824.95	635.21	1238.11
Οκτώβριος	9107.93	5243.94	4037.83	2002.38	1152.88	887.72	1541.83
Νοέμβριος	10662.45	10175.33	7835.00	2344.14	2237.05	1722.52	1804.99
Δεκέμβριος	12746.62	10863.27	8364.72	2802.34	2388.29	1838.98	2157.8
Σύνολο	115294.06	72257.03	55637.91	25347.4	15885.71	12232	19517.5

Κόστος καταναλώσεων αντλίας θερμότητας



Διάγραμμα 6.25. Κόστος καταναλώσεων αντλίας θερμότητας ανά περιπτώσεις: Πριν τα ηλιακά, μετά τα ηλιακά, μόνο με BEMS, με ηλιακά και BEMS

Κόστος και εξοικονόμηση στην αντλία θερμότητας ανά περίπτωση



Διάγραμμα 6.26. Κόστος και εξοικονόμηση σε €, της αντλίας θερμότητας ανά περίπτωση επέμβασης, όπου η εξοικονόμηση γίνεται σε σχέση με την αρχική κατάσταση

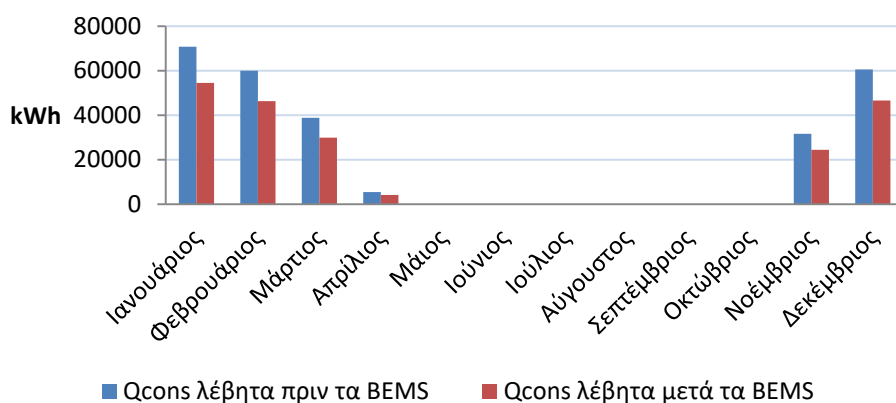
Είναι εμφανές από τον πίνακα 6.19 και τα διαγράμματα 6.25 και 6.26, ότι υπάρχει σημαντική μείωση στο ετήσιο κόστος για την θέρμανση του ZNX και της κολυμβητικής δεξαμενής και η μεγαλύτερη μείωση διαπιστώνεται στην περίπτωση που προτείνεται στην μελέτη, συνδυασμός ηλιακών με BEMS. Πιο συγκεκριμένα το έτος εξοικονομούνται 9462 € εγκαθιστώντας μόνο τα ηλιακά, 13115 € με εγκατάσταση ηλιακών και BEMS και τέλος 5830 € με την εγκατάσταση μόνο των BEMS.

Το κόστος εγκατάστασης των ηλιακών συλλεκτών ανέρχεται στα 350 €/m² [19]. Οπότε για 200 m² που θα χρησιμοποιηθούν στην εγκατάσταση, το κόστος θα ανέρχεται στις 70,000 €. Τα BEMS που θα χρησιμοποιηθούν στο κτήριο, της εταιρίας HYDRONIC, έχουν κόστος το οποίο αναφέρεται στο κεφάλαιο 5.3.1. Σύμφωνα με το κεφάλαιο 5.2, και πίνακες 5.6, 5.7 τα BEMS σε αυτή την περίπτωση μπορούν να εξοικονομήσουν 23% της ενέργειας σε τελικές καταναλώσεις θέρμανσης και ψύξης. Επίσης μπορεί να παρατηρηθεί μείωση 4% όσο αφορά τα βοηθητικά συστήματα στην θέρμανση – ψύξη (αντλίες, ανεμιστήρες, ηλεκτροβάνες κ.ά.).

Πίνακας 6.20. Καταναλώσεις και κόστη ανά μήνα για τον λέβητα πριν και μετά την εγκατάσταση των BEMS

Μήνας	Κατανάλωση λέβητα πριν τα BEMS (kWh)	Κατανάλωση λέβητα μετά τα BEMS (kWh)	Κόστος €	
			Πριν τα BEMS	Μετά τα BEMS
Ιανουάριος	70763.35	54487.78	5461.83	4205.61
Φεβρουάριος	60023.06	46217.76	4632.85	3567.29
Μάρτιος	38812.80	29885.86	2995.75	2306.72
Απρίλιος	5413.76	4168.59	417.86	321.75
Μάιος	0	0	0	0
Ιούνιος	0	0	0	0
Ιούλιος	0	0	0	0
Αύγουστος	0	0	0	0
Σεπτέμβριος	0	0	0	0
Οκτώβριος	0	0	0	0
Νοέμβριος	31652.08	24372.10	2443.05	1881.15
Δεκέμβριος	60481.25	46570.56	4668.21	3594.52
Σύνολο	267146.30	205702.65	20619.54	15877.05

Κατανάλωση λέβητα πριν και μετά τα BEMS

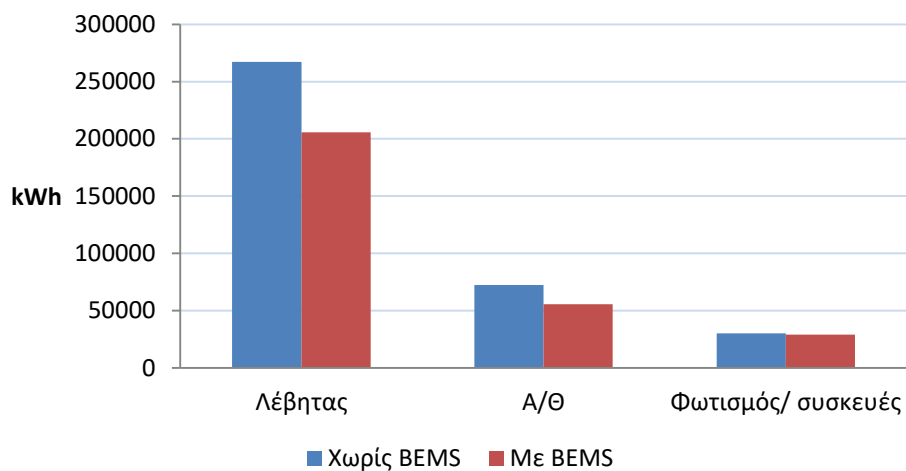


Διάγραμμα 6.27. Κατανάλωση λέβητα πριν και μετά τα BEMS

Η εξοικονόμηση που προκύπτει από τα BEMS ως προς την κατανάλωση πετρελαίου από τον λέβητα για θέρμανση του χώρου ανέρχεται στα 4743 € ετησίως.

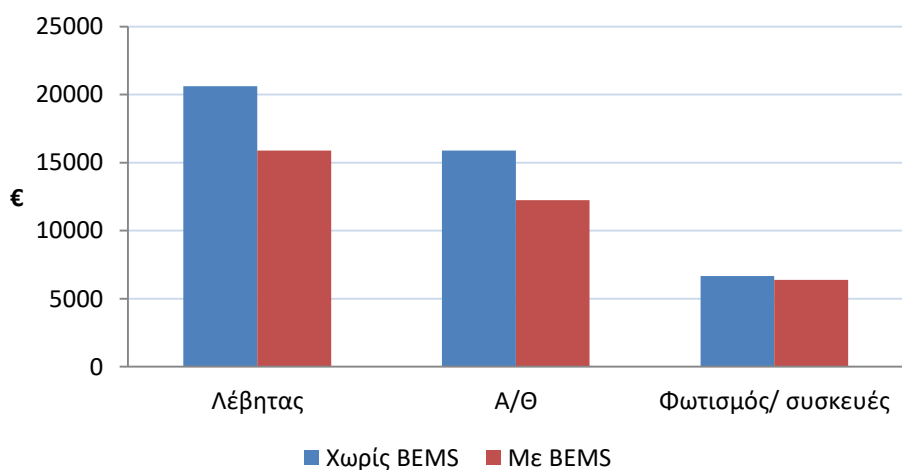
Σύμφωνα με το κεφάλαιο 4.5.3 η κατανάλωση που προκύπτει από τις ηλεκτρικές συσκευές και τον φωτισμό είναι 30,257.59 kWh. Η μείωση κατανάλωσης κατά 4% θα αποφέρει ετήσια εξοικονόμηση στα 266 €.

Καταναλώσεις με και χωρίς BEMS



Διάγραμμα 6.28. Καταναλώσεις με και χωρίς BEMS

Κόστος με και χωρίς BEMS



Συνολικά το ετήσιο κέρδος λόγω των BEMS ανέρχεται στα 18124 €. Τελικώς, η απόσβεση των χρημάτων θα μπορέσει να γίνει σε λιγότερο από 4 έτη.

7. Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η ενεργειακή μελέτη και αναβάθμιση του Λιάπειου κολυμβητηρίου των Κοίλων, με στόχο την μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας.

Σύμφωνα με τον υπολογισμό των φορτίων, σημαντικό ρόλο στα φορτία, διαδραματίζει η παρουσία της κολυμβητικής δεξαμενής η οποία καταλαμβάνει το 41% του δαπέδου του κολυμβητηρίου. Μάλιστα, στη θέρμανση της πισίνας αναλογούν ετησίως 377,519.50 kWh, ενώ για την θέρμανση του χώρου του κτηρίου 204,730.20 kWh. Τα φορτία της θέρμανσης είναι αρκετά υψηλά, κάτι που είναι αναμενόμενο, λόγω της γεωγραφικής τοποθεσίας του κολυμβητηρίου.

Μελετώντας τις ενεργειακές καταναλώσεις, φαίνεται ότι υπάρχει περιθώριο βελτίωσης όσο αφορά και την ηλεκτρική κατανάλωση αλλά και την κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης. Η ηλεκτρική κατανάλωση αγγίζει τις 145,533 kWh, ενώ 267,146 kWh καταναλώνονται από το πετρέλαιο θέρμανσης. Η κατανάλωση του ηλεκτρισμού, οφείλεται ως επί το πλείστον στην λειτουργία της αντλίας θερμότητας, για την κάλυψη των φορτίων της κολυμβητικής δεξαμενής, αλλά και του ζεστού νερού χρήσης, με τον φωτισμό/συσκευές να καταναλώνουν μόλις 30,257 kWh. Και οι δύο καταναλώσεις δύναται να μειωθούν, χρησιμοποιώντας πράσινη ενέργεια από ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (Α.Π.Ε.), αλλά και μέσω της χρήσης BEMS.

Η τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών, αναμένεται να εξοικονομήσει 30% στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στον ηλεκτρισμό. Η μελέτη γίνεται για δύο διαφορετικές γωνίες τοποθέτησης, με επιφάνεια συλλεκτών 200 m². Το ενεργειακό μοντέλο έδωσε τη δυνατότητα διερεύνησης της στρατηγικής λειτουργίας των ηλιακών συλλεκτών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η κάλυψη κατά προτεραιότητα του φορτίου ZNX οδηγεί σε μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς η Α/Θ λειτουργεί σε πιο ευνοϊκές συνθήκες για αυτή.

Η πρόταση εγκατάστασης BEMS παρέχει τη δυνατότητα τόσο εξοικονόμησης ενέργειας όσο και υλοποίησης αναλυτικού αλγορίθμου ελέγχου λειτουργίας των ενεργειακών συστημάτων, ο οποίος και αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας.

Τέλος, παρουσιάζεται οικονομοτεχνική μελέτη για να βρεθεί ο χρόνος απόσβεση των επεμβάσεων που προτείνονται, με το ετήσιο κέρδος να αγγίζει τα 18124 €, και τα έτη απόσβεσης να είναι κάτω των τεσσάρων.

Βιβλιογραφία

- [1] Harappa. Great Bath Mohenjo-Daro (<https://www.harappa.com/slide/great-bath-mohenjo-daro-0>)
- [2] FINA, “Overview and History” (<https://www.fina.org/content/overview-and-history>)
- [3] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, TOTEE 20701-1/2010 «Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές Παραμέτρων Για Τον Υπολογισμό Της Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων Και Την Έκδοση Του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης»
- [4] Trianti-Stourna E., Spyropoulou K., Theofylaktos C., Droutsas K., Balaras C.A., Santamouris M., Asimakopoulos D.N., Lazaropoulou G., Papanikolaou N., 1997, Energy conservation strategies for sports centers: Part B. Swimming pools. *Energy and Buildings* 27, 1998
- [5] Panaras G., Chatzitypi V., Tolis Evangelos I., Afentoylidis A., Souliotis M., Bartzis John G, 2018, Assessment of thermal comfort conditions and energy performance of an indoor athletic center, *Fresenius Environmental Bulletin*, 2018
- [6] EU (2017) Step2sport. Step by step renovation towards nearly zero energy SPORT buildings. Intelligent Energy Europe.
- [7] Αρμόδιο Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων (ΥΠΕΠΘ), καταμερισμός Κολυμβητηρίων στην Ελλάδα, 2008.
- [8] FINA, “Facilities rules 2009-2013”, FR3 Swimming pools for Olympic games and world championships.
- [9] Εφημερίς της Κυβερνήσεως, 1973. Άρθρο 15 Υγειονομικής Διάταξης Γ1/443/1973 – ΦΕΚ Β-87/24-1-1973
- [10] Hadjicristodoulou C., Mouchtouris V., et al., Waterborne disease prevention: Evaluation of inspection scoring system for water sites according to water microbiological tests during the Athens 2004 pre-Olympic and Olympic period. *J. Epidemiol. Community Health*. 2006;60:829-835
- [11] Ελληνική Δημοκρατία. Υγειονομική Διάταξη Γ1/443/1973 (ΦΕΚ 87/τ.β/24.1.1973) όπως τροποποιήθηκε με την αρ.Γ41150/76 (ΦΕΚ 937/τ.β’/76) “Περί κολυμβητικών δεξαμενών μετά οδηγιών κατασκευής και λειτουργίας αυτών”, 1973.
- [12] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, TOTEE 20701-3/2010 «Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών»
- [13] Στοιχεία και σχέδια χώρου διαθέσιμα από Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Γενική Γραμματεία Χωροταξίας και Αστικού Περιβάλλοντος
- [14] Πρόγραμμα Λιάπειου Κολυμβητηρίου, Δήμος Κοζάνης. Οργανισμός Αθλητισμού Πολιτισμού και Νεολαίας, 2019. (<https://oapnkozanis.gr/programma-liapeiou-kolymvitiriou-2019-20/>)
- [15] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, TOTEE 20701-2/2010 «Θερμοφυσικές Ιδιότητες Δομικών Υλικών και Έλεγχος Της Θερμομονωτικής Επάρκειας Των Κτηρίων»
- [16] Panelco, Metal composite panels & construction elements
Πάνελ Πολυουρεθάνης:
(http://www.panelco.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=22&lang=el)
- [17] Energy Consumption Guide 51, “Energy Efficiency in Swimming Pools”
- [18] ASHRAE, 2011. ASHRAE HANDBOOK HVAC Applications. Atlanta, USA

- [19] Πανάρας Γ., 2020. Σημειώσεις μαθήματος Ενεργειακός Σχεδιασμός Κτηρίων I, 2020, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
- [20] Mouzeviris G., Papakostas K.,2020. Comparative Analysis of Air-to-Water and Ground Source Heat Pumps Performances. International Journal of Sustainable Energy, p. 1-16
- [21] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020 (<http://www.ypeka.gr/el-gr/Ενέργεια/Εξοικονόμηση/Κτίρια>
- [22] EECcontrols, IEC Utilization Categories. (<http://www.eecontrols.com/documents/Pages21-30.pdf>).
- [23] Ελληνική Κυβέρνηση, 2018. Κανονισμός Πυροπροστασίας Κτιρίων, (ΦΕΚ 80/Α/2018), Άρθρο 3. (http://www.nomoskopio.gr/pd_41_18_b_3.php?toc=0&printWindow&)
- [24] Σουλιώτης Ε., 2019 . Σημειώσεις μαθήματος Ηλιακή Τεχνική/Φωτοβολταϊκά, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας