



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Πολυτεχνική Σχολή

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διερεύνηση Ενεργειακής Αναβάθμισης Κλειστού
Δημοτικού Κολυμβητηρίου Πτολεμαΐδας



Μπασνάς Χρήστος

Τσολάκης Γεώργιος

Επιβλέπων καθηγητής: Πανάρας Γεώργιος

Κοζάνη, Ιούνιος 2018



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Πολυτεχνική Σχολή

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διερεύνηση Ενεργειακής Αναβάθμισης Κλειστού
Δημοτικού Κολυμβητηρίου Πτολεμαΐδας

Τσολάκης Γεώργιος

ΑΕΜ 1707

Μπασνάς Χρήστος

ΑΕΜ 1670

Επιβλέπων καθηγητής: Πανάρας Γεώργιος

Κοζάνη, Ιούνιος 2018

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται διερεύνηση της ενεργειακής αναβάθμισης του Κλειστού Δημοτικού Κολυμβητηρίου Πτολεμαΐδας, μελετώντας και αναλύοντας την ενεργειακή συμπεριφορά του.

Για να γίνουν κατάλληλες και εφαρμόσιμες οι προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης, είναι αναγκαίο στην αρχή να γίνει ένας αναλυτικός προσδιορισμός των ενεργειακών φορτίων του κτιρίου. Αρχικά, παρουσιάζονται κάποια γενικά χαρακτηριστικά για τα κολυμβητήρια και για τις συνθήκες λειτουργίας τους, ενώ στην συνέχεια πραγματοποιείται εξειδίκευση στις ενεργειακές απαιτήσεις που υπάρχουν. Έγινε προσδιορισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του γυμναστηρίου, όπως για παράδειγμα των κολυμβητικών δεξαμενών και γενικά ολόκληρου του κελύφους, με την ανάλυση των δομικών υλικών που περικλείουν το κτίριο. Ταυτόχρονα στο εξεταζόμενο αθλητικό κέντρο, για τη διερεύνηση των συνθηκών άνεσης, τοποθετήθηκαν πειραματικές διατάξεις, οι οποίες κατέγραψαν πληθώρα δεδομένων για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, παρέχοντας έναν επιπλέον χρήσιμο δείκτη για την σωστή εξαγωγή συμπερασμάτων. Επίσης, προσδιορίστηκαν όλες οι ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις και ο εξοπλισμός που είναι εγκατεστημένος στο κτίριο, εκτιμήθηκε η κατάστασή τους και καταγράφηκαν τα απαιτούμενα τεχνικά χαρακτηριστικά των στοιχείων που συμμετέχουν στον καθορισμό της ενεργειακής του απόδοσης. Επακόλουθα, πραγματοποιήθηκε η θεωρητική διερεύνηση όπου με την εισαγωγή των προσδιοριζόμενων χαρακτηριστικών του κελύφους και των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων σε κατάλληλο αναλυτικό μοντέλο, υπολογίστηκαν οι ενεργειακές απαιτήσεις και καταναλώσεις του κτιρίου.

Τέλος, μετά την αναλυτική αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης και συμπεριφοράς του κολυμβητηρίου, παρουσιάζονται προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης, που έχουν ως σκοπό τόσο την εξοικονόμηση ενέργειας και των λειτουργικών εξόδων όσο και την μείωση εκπομπής ρύπων στην ατμόσφαιρα από τον περιορισμό χρήσης των συμβατικών πηγών ενέργειας.

Abstract

In this diploma thesis, the energy behavior of an indoor aquatic center located in Ptolemaida, Greece, is investigated and evaluated, aiming at the detection of energy upgrading interventions.

The methodology included the review of the operating conditions and relevant requirements of aquatic centers, the analysis of the characteristics of the complete installation, namely the dimensions and thermal properties of the building envelope, as well as the performance characteristics of the Heating Ventilation and Air-Conditioning equipment, and equipment used for the water disinfection. At the same time, experimental devices were placed at the athletic center to investigate comfort conditions, which recorded a wealth of data over a specific period of time as an indicator for correct conclusions. Following, energy analysis, on the basis of analytical methods, has been implemented; energy demand and consumptions of the building have been determined.

Finally, after the analytical evaluation of the energy performance and the behavior of the natatorium in the requirements, proposals for energy upgrading are presented, aiming both at saving energy and operating costs and also in reducing the emission of pollutants in the atmosphere from the limitation of the use of conventional energy sources.

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο αισθανόμαστε την υποχρέωση να ευχαριστήσουμε ορισμένους ανθρώπους που γνωρίσαμε, συνεργαστήκαμε και με τον τρόπο τους συνέβαλαν στην πραγματοποίηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Πρώτο από όλους να ευχαριστήσουμε θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Γεώργιο Πανάρα, για την ευκαιρία που μας έδωσε ώστε να ασχοληθούμε με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο αλλά και την πολύτιμη καθοδήγηση και εκτίμηση του προς το πρόσωπό μας. Ακόμη, ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλουμε στον διδάκτορα Ευάγγελο Τόλη για την βοήθεια του τόσο στην εγκατάσταση των μετρητικών οργάνων όσο και στην συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν. Στην συνέχεια, οφείλουμε ένα μεγάλο ευχαριστώ στην διεύθυνση και τους τεχνικούς του κολυμβητηρίου, για την ξενάγηση στον χώρο και την παροχή πληροφοριών ενώ ταυτόχρονα να ευχαριστήσουμε ξεχωριστά όλους τους καθηγητές του τμήματος, που με την διδασκαλία τους μας εφοδίασαν με σπουδαίες γνώσεις.

Τέλος, δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε την θερμή ευχαρίστηση μας στην οικογένεια και τους φίλους μας που με αγάπη και υπομονή μας στήριξαν στην διεκπεραίωση της διπλωματικής εργασίας όπως και σε ολόκληρη την διάρκεια της φοίτησής μας στο πανεπιστήμιο.

Τσολάκης Γεώργιος
Μπασνάς Χρήστος

Περιεχόμενα

Περίληψη	1
Abstract	3
Ευχαριστίες	5
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	11
Κεφάλαιο 2: Ενέργεια, κτίρια και αθλητικά κέντρα	13
2.1 Γενικά για την ενέργεια.....	13
2.2 Ενέργεια κτιρίων	15
2.3 Ενεργειακό ισοζύγιο για κτίρια.....	17
2.4 Ισχύουσα Κοινοτική και Ελληνική νομοθεσία όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια.....	18
2.5 Ενέργεια στα κτίρια τριτογενούς τομέα.....	19
2.6 Η ενέργεια στα κολυμβητήρια	20
2.7 Απαιτήσεις σε ενέργεια των κλειστών κολυμβητηρίων.....	22
2.8 Κύριοι λόγοι απωλειών ενέργειας στα κολυμβητήρια.....	22
2.8.1 Εξάτμιση νερού πισίνας (Evaporation)	22
2.8.2 Αγωγή (Convection).....	23
2.8.3 Ανανέωση νερού (Renewal of water).....	24
2.8.4 Ηλιακή ακτινοβολία (Solar radiation).....	25
Κεφάλαιο 3: Ιδιότητες των κολυμβητηρίων και των κολυμβητικών δεξαμενών 27	
3.1 Τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά κολυμβητηρίων	27
3.2 Κολυμβητήρια στον ελλαδικό χώρο	27
3.3 Γενικά χαρακτηριστικά των κολυμβητικών δεξαμενών	28
3.4 Διεθνείς προδιαγραφές και τεχνικά χαρακτηριστικά αγωνιστικών κολυμβητικών δεξαμενών	28
3.5 Τα Ελληνικά κολυμβητήρια.....	30
3.6 Ποιότητα νερού	31

3.7 Ανακυκλοφορία και Καθαρισμός του νερού	32
3.8 Απολύμανση του νερού.....	33
Κεφάλαιο 4: Ο αερισμός σε χώρους συνάθροισης	35
4.1 Γενικά για τον αερισμό	35
4.2 Η σπουδαιότητα του αερισμού στην υγεία των ανθρώπων	36
4.3 Φυσικός αερισμός	37
4.4 Τεχνητός αερισμός	37
4.5 Αερισμός κολυμβητηρίων	38
4.6 Προσαγωγή αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον.....	39
4.6.1 Εναλλαγές αέρα	39
Κεφάλαιο 5: Το κτίριο προς μελέτη	41
5.1 Γενική περιγραφή του κολυμβητηρίου	41
5.2 Κτιριακό κέλυφος.....	42
5.2.1 Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων	43
5.2.1.1 Αδιαφανή στοιχεία.....	43
5.2.1.2 Διαφανή στοιχεία	51
5.2.2 Μελέτη θερμομονωτικής επάρκειας.....	51
5.3 Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις	53
5.3.1 Συστήματα θέρμανσης.....	53
5.3.1.1 Θέρμανση νερού δεξαμενών.....	54
5.3.1.2 Θέρμανση βοηθητικών χώρων και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης...56	
5.3.2 Σύστημα κλιματισμού.....	58
5.3.3 Σύστημα ρύθμισης ποιότητας νερού δεξαμενών	60
5.4 Γενικές παρατηρήσεις	62
5.5 Πρόγραμμα λειτουργίας κολυμβητηρίου	63
5.6 Συνθήκες εσωτερικού χώρου	65
5.7 Εσωκλιματικές συνθήκες	66

5.7.1 Εγκατάσταση και λειτουργία οργάνων.....	66
5.7.2 Αποτελέσματα των μετρήσεων	69
5.7.2.1 Θερμοκρασία αέρα.....	69
5.7.2.2 Σχετική υγρασία αέρα	70
5.7.2.3 Συγκέντρωση εκπομπών CO ₂	72
Κεφάλαιο 6: Υπολογισμός ετήσιων ενεργειακών φορτίων	75
6.1 Ενεργειακές απαιτήσεις.....	75
6.1.1 Υπολογισμός ετήσιων ενεργειακών κερδών	76
6.1.1.1 Ηλιακά θερμικά κέρδη	77
6.1.1.2 Εσωτερικά θερμικά κέρδη	81
6.1.2 Υπολογισμός ετήσιων ενεργειακών απωλειών	83
6.1.2.1 Φορτία λόγω μεταφοράς	83
6.1.2.2 Φορτία λόγω αερισμού	85
6.1.3 Φορτία πισίνας.....	86
6.1.3.1 Ποσότητα νερού εξάτμισης	87
6.1.3.2 Φορτίο εξάτμισης.....	87
6.1.3.3 Φορτίο ανανέωσης νερού	88
6.1.4 Υπολογισμός φορτίου ζεστού νερού χρήσης	89
6.1.5 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ενεργειακών απαιτήσεων	91
6.2 Υπολογισμός ενεργειακών καταναλώσεων	94
6.2.1 Σύστημα θέρμανσης	94
6.2.2 Σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης	97
6.2.3 Φωτισμός και συστήματα	99
6.3 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα καταναλώσεων.....	99
6.4 Σύγκριση με πραγματικές καταναλώσεις.....	102
Κεφάλαιο 7: Προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης	105
7.1 Δράσεις αναβάθμισης.....	105

7.1.1 Μόνωση μεταλλικής οροφής.....	106
7.1.2 Τοποθέτηση καλύμματος πισίνας.....	107
7.1.3 Αναβάθμιση συστήματος τεχνητού φωτισμού	108
7.1.4 Φωτοβολταϊκά συστήματα	109
7.1.5 Θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες	110
7.2 Οικονομοτεχνική μελέτη.....	114
Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα	119
Βιβλιογραφία	123

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Είναι φυσικό ότι τα κτίρια συνδέονται άμεσα σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους με την ενέργεια. Από την στιγμή που ένα κτίριο είναι έτοιμο για χρήση ξεκινάνε οι σημαντικά μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις του, καθώς πρέπει να καλύψει τις ανάγκες σε θέρμανση, ψύξη, ηλεκτρικό ρεύμα και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, αλλά και φυσικά η συντήρηση όλων αυτών των συστημάτων. Επακόλουθα, όλες οι συζητήσεις στην πορεία γίνονται για την εξοικονόμηση της λειτουργίας, με στόχο την μετατροπή του σε ένα ενεργειακά αυτόνομο κτίριο, αυξάνοντας την ενεργειακή του απόδοσή.

Λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω θέση, η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην μελέτη της ενεργειακής αναβάθμισης ενός κτιρίου εμβαθύνοντας στην περίπτωση των κλειστών κολυμβητηρίων. Στα κολυμβητήρια εξακολουθεί ακόμη και σήμερα να υπάρχει δυσκολία στην διαχείρισή τους, τόσο στον ενεργειακό τομέα όσο και στον οικονομικό, λόγω των μεγάλων ενεργειακών απαιτήσεων που προβάλλουν. Συγκεκριμένα για το κλειστό κολυμβητήριο Πτολεμαΐδας, παρουσιάζει ενδιαφέρον η ανάλυση της ενεργειακής συμπεριφοράς του, καθώς αποτελεί ένα νεόκτιστο και υπερσύγχρονο, ως προς τα συστήματά του, κτίριο. Πιο αναλυτικά τα περιεχόμενα των κεφαλαίων περιγράφονται στη συνέχεια.

Το δεύτερο κεφάλαιο, αναφέρεται στον ορισμό της ενέργειας και το ρόλο που αυτή διαδραματίζει στην ανθρώπινη ζωή, στον κτιριακό τομέα και στο φυσικό περιβάλλον. Για το λόγο αυτό, αρχικά περιγράφεται η σχέση μεταξύ κτιρίου ενέργειας, αναλύοντας τον ρόλο στην λειτουργία του, ενώ στην συνέχεια ειδικεύοντας παρουσιάζεται η ενέργεια στα κολυμβητήρια. Παρατίθεται ο λόγος για τον οποίο τα κολυμβητήρια αποτελούν ξεχωριστές περιπτώσεις κτιρίων αναλύοντας ξεχωριστά τις ενεργειακές απώλειες που παρουσιάζουν οι κολυμβητικές δεξαμενές.

Στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας, περιγράφονται οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά που έχουν τα κολυμβητήρια αναφέροντας περιπτώσεις από τον Ελλαδικό χώρο. Είναι σημαντικό να γίνουν γνωστές οι προδιαγραφές που υπάρχουν για την κατασκευή των αγωνιστικών δεξαμενών, αλλά επίσης και για την σωστή συντήρησή τους. Οι διαστάσεις των πισινών, τα δομικά υλικά κατασκευής τους, η ποιότητα και τα στοιχεία του νερού, η κατάλληλη θερμοκρασία του χώρου, αλλά και του νερού μαζί με πολλές ακόμη προδιαγραφές αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι κατασκευής και λειτουργίας ενός κολυμβητηρίου. Ακόμη, γίνεται αναφορά στην ανακυκλοφορία του νερού περνώντας από την διαδικασία της απολύμανσης και του καθαρισμού.

Το τέταρτο κεφάλαιο, της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εστιάζεται στον αερισμό σε χώρους συνάθροισης και την σπουδαιότητα που κατέχει. Αποτελεί αναγκαίο κομμάτι για την ρύθμιση των συνθηκών άνεσης ενός χώρου ανανεώνοντας τον αέρα, απομακρύνοντας σωματίδια και μικροοργανισμούς που μπορεί να αποδειχθούν ακατάλληλα για την υγεία. Αναλύονται οι εναλλαγές αέρα που βάση κανόνων πρέπει να τηρούνται σε κάθε είδος κτιρίου, εστιάζοντας στον αερισμό των

κολυμβητηρίων. Στην συνέχεια περιγράφονται οι δύο τρόποι αερισμού, ο φυσικός που προκαλείται από την φυσική κατασκευή του κτιρίου και τα δομικά στοιχεία του, και ο τεχνητός που λειτουργεί με την χρήση ειδικών συστημάτων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αρχίζει η περιγραφή του κλειστού Δημοτικού Κολυμβητηρίου της Πτολεμαΐδας. Αρχικά παρουσιάζονται η τοποθεσία του, οι διαστάσεις του και η περιγραφή των εσωτερικών χώρων. Ακόμη, αναγράφονται τα χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους αναλύοντας ξεχωριστά το κάθε δομικό στοιχείο ως προς την κατασκευή και τον συντελεστή θερμοπερατότητάς του. Με βάση τα παραπάνω στοιχεία πραγματοποιήθηκε η μελέτη της θερμομονωτικής επάρκειας του κολυμβητηρίου. Στην συνέχεια γίνεται αναλυτική περιγραφή των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων που βρίσκονται στο δώμα του κτιρίου και τις διαδικασίες που γίνονται για την θέρμανση και τον κλιματισμό του χώρου, ώστε να τηρούνται οι εσωκλιματικές συνθήκες. Επιπρόσθετα, στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η εγκατάσταση των πειραματικών διατάξεων για την μέτρηση κλιματικών στοιχείων εντός και εκτός κολυμβητηρίου εκθέτοντας στην συνέχεια τα αποτελέσματα.

Εφαρμόζοντας όσα έχουν αναλυθεί παραπάνω, το επόμενο κεφάλαιο πραγματεύεται την ενεργειακή ανάλυση των δεδομένων του κλειστού κολυμβητηρίου. Για το σκοπό αυτό, περιγράφεται η αναλυτική διαδικασία υπολογισμών που ακολουθείται για τον προσδιορισμό των ενεργειακών απαιτήσεων. Στην συνέχεια προσδιορίζεται η αποδοτικότητα των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων, εξάγοντας με αυτόν τον τρόπο τις ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με τις πραγματικές τιμές κατανάλωσης του κολυμβητηρίου που δόθηκαν από τους υπεύθυνους.

Στο έβδομο κεφάλαιο, μετά την αναλυτική περιγραφή της συμπεριφοράς και των ενεργειακών απαιτήσεων, περιλαμβάνονται οι προτάσεις για την ενεργειακή αναβάθμιση του κολυμβητηρίου. Στόχο αποτελεί η μείωση των ενεργειακών αναγκών και εξόδων λειτουργίας του, επικεντρώνοντας στην χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, διεξάγεται οικονομοτεχνική μελέτη των προτεινόμενων δράσεων, εκτιμώντας την οικονομική βιωσιμότητα αυτών και τον χρόνο απόσβεσής τους.

Τέλος, στο όγδοο κεφάλαιο, παρατίθενται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Κεφάλαιο 2: Ενέργεια, κτίρια και αθλητικά κέντρα

2.1 Γενικά για την ενέργεια

Η ενέργεια ως μια έννοια είναι δύσκολο να κατανοηθεί τι ακριβώς ορίζει. Η λέξη ενέργεια είναι αποτέλεσμα σύνθεσης δύο λέξεων, «εν» και «έργο», που σημαίνει γενικά το έργο μέσα σε ένα σώμα, ενώ στον χώρο της επιστήμης ορίζεται ως το ποσό του έργου που είναι απαραίτητο, ώστε ένα σύστημα να μεταβεί από μια αρχική κατάσταση σε μια τελική [1]. Τελικά τι είναι η ενέργεια;

Η ενέργεια σύμφωνα με τις επιστημονικές θεωρίες, γύρω από τη μεγάλη έκρηξη, αποτέλεσε το εναρκτήριο λάκτισμα για την δημιουργία του πλανήτη μας. Η ενέργεια λοιπόν φαίνεται πόσο σημαντική είναι για τον άνθρωπο από το γεγονός ότι είναι απαραίτητη για να σκέφτεται, να περπατάει, ακόμα και να αναπνέει. Με απλά λόγια η ζωή είναι πλήρως ταυτισμένη με την ενέργεια. Σύμφωνα με τους θερμοδυναμικούς νόμους και πιο συγκεκριμένα του 1^{ου} θερμοδυναμικού αξιώματος, η ενέργεια βρίσκεται παντού με διαφορετικές μορφές και έχει το πλεονέκτημα να αποθηκεύεται αλλά και να μετατρέπεται από τη μια μορφή στην άλλη, χωρίς όμως να χάνεται. Οι μορφές αυτές στις οποίες η ενέργεια βρίσκεται στην φύση είναι:

- Κινητική
- Δυναμική
- Πυρηνική
- Ηλιακή
- Ηλεκτρική
- Θερμική
- Χημική

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον αποτελεί η διάκριση τους με βάση την πηγή από την οποία προέρχονται. Ο άνθρωπος μπορεί να χρησιμοποιήσει αλλά και να αξιοποιήσει τις διάφορες μορφές της ενέργειας, οι οποίες βρίσκονται αποθηκευμένες πάνω στη Γη. Η διάκριση μεταξύ των πηγών αυτών ενέργειας ορίζεται σύμφωνα με τις διαδικασίες που απαιτούνται να γίνουν, ώστε η ενέργεια να είναι έτοιμη να χρησιμοποιηθεί [2]. Για αυτό τον λόγο οι πηγές ενέργειας χωρίζονται σε:

- Πρωτογενείς, όπου η αποθηκευμένη ενέργεια αποκτιέται κατευθείαν από την φύση (π.χ. ηλιακή ακτινοβολία και το φυσικό αέριο) και οι
- Δευτερογενείς, όπου η ενέργεια που θα αποκτηθεί έχει περάσει ορισμένες επεξεργασίες, ώστε να χρησιμοποιηθεί (π.χ. η βενζίνη, το πετρέλαιο και ο ηλεκτρισμός)

Το σημαντικό όλης αυτής της υπόθεσης, γύρω από την έννοια της ενέργειας που έχει απασχολήσει όλη την κοινωνία λόγω της περιβαλλοντικής κρίσης, είναι η διάκριση των πηγών ενέργειας ανάλογα με την διάρκεια της διαθεσιμότητάς τους,

δηλαδή χωρίζονται σε συμβατικές ή μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Ως μη ανανεώσιμες ή συμβατικές πηγές ενέργειας ορίζονται οι πηγές όπου τα επίπεδα της ενέργειας που διατίθενται εξαντλούνται και δεν ανανεώνονται ή ανανεώνονται πάρα πολύ αργά με βάση τα ανθρώπινα μέτρα. Οι συμβατικές μορφές ενέργειας είναι άρρητα συνδεδεμένες με την καταστροφή που προκαλούν στο περιβάλλον, όμως χρησιμοποιούνται σε μεγάλο ποσοστό από τις κοινωνίες της Δύσης. Μελέτες οι οποίες έγιναν το 2016 αποδεικνύουν πως η κατανάλωση της πρωτογενούς ενέργειας από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αγγίζει το ποσοστό της τάξης του 90%, ποσοστό όμως που γίνεται προσπάθεια να μειωθεί συστηματικά [3]. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα στερεά καύσιμα, οι υδρογονάνθρακες και τα πυρηνικά καύσιμα, από τα οποία τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα είναι το πετρέλαιο, οι γαιάνθρακες και το φυσικό αέριο με τη σειρά που αναφέρθηκαν, ενώ για την πυρηνική ενέργεια είναι μια αμφιλεγόμενη έννοια ως προς τα θετικά της και τα αρνητικά της και γι' αυτό τον λόγο βρίσκεται υπό μελέτη.

Από την άλλη πλευρά, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν εξαντλούνται ποτέ, είναι άφθονες και η χρησιμοποίησή τους δεν επιβαρύνει καθόλου το περιβάλλον που αποτελεί και το σημαντικότερο στοιχείο. Τα διάφορα είδη ενέργειας που ανήκουν στην κατηγορία αυτή είναι:

- η αιολική
- η ηλιακή
- η γεωθερμική
- η θαλάσσια
- η υδραυλική, καθώς και
- η ενέργεια που προέρχεται από την επεξεργασία της βιομάζας

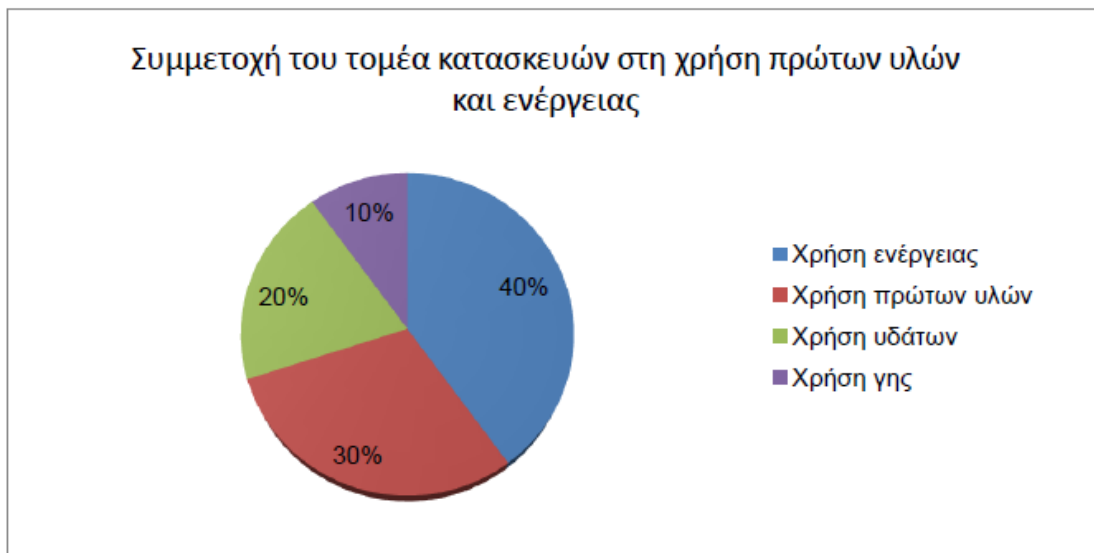
Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής, αλλά και ο κίνδυνος της εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων οφείλεται κατά κύριο λόγο στη χρήση των συμβατικών καυσίμων, για την κάλυψη αυξημένων απαιτήσεων σε ενέργεια, από τους ανθρώπους. Έχοντας την υπερκατανάλωση ως παράδειγμα προς αποφυγή παγκοσμίως, η τεχνολογία έχει προσανατολιστεί να εξελίξει συστήματα που θα εκμεταλλεύονται πλήρως τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Πολλές κυβερνήσεις παγκοσμίως τάσσονται υπέρ τις μείωσης των συμβατικών καυσίμων και συμφωνούν με τους αυστηρούς νόμους που έχουν θεσπιστεί όσον αφορά την κάλυψη μεγάλου ποσοστού των απαιτήσεων σε ενέργεια με την χρήση των ΑΠΕ. Σύμφωνα με μελέτη της BP το 2016 [3], η Ελλάδα θα μπορούσε με την χρήση της ηλιακής ενέργειας να καλύψει σε μεγάλο ποσοστό των αναγκών της σε ενέργεια, λόγω της πλεονεκτικής θέσης της παγκοσμίως, αλλά και των κλιματολογικών συνθηκών.

2.2 Ενέργεια κτιρίων

Το ενδιαφέρον της συγκεκριμένης εργασίας επικεντρώνεται στην αλληλεπίδραση της ενέργειας με τον τομέα των κτιρίων, αφού πρώτα κατανοηθεί η σημασία της ενέργειας στην ζωή του ανθρώπου, η πολυμορφικότητα, αλλά και η διάκριση των πηγών της. Αναγκαία είναι η κατανόηση χρήσης της ενέργειας, τόσο από την οικονομική, όσο και από την περιβαλλοντική πλευρά του ζητήματος.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα κτίρια, καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους συνδέονται με την ενέργεια. Από την πρώτη στιγμή που κατασκευάζονται μέχρι και την στιγμή που κατεδαφίζονται καταναλώνουν ενέργεια. Αρχικά απομακρύνονται οι πρώτες ύλες από το φυσικό περιβάλλον ακολουθώντας κάποια επεξεργασία, ώστε να είναι έτοιμα για την κατασκευή του κτιρίου. Έπειτα ξεκινάνε οι εργασίες για την ανέγερσή του, που απαιτούνται αρκετά ποσά ενέργειας. Ακολούθως, το κτίριο, εφόσον παραδοθεί προς χρήση, ξεκινάει τη λειτουργία του, γεγονός που συνδέεται με την έγερση ενεργειακών απαιτήσεων, καθώς πρέπει να καλύψει τις ανάγκες σε θέρμανση, ψύξη, ηλεκτρικό ρεύμα και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Τέλος, όταν το κτίριο σταματήσει να λειτουργεί και αποφασιστεί η κατεδάφισή του, τότε ακόμη και εκείνη την στιγμή θα χρειαστεί να καταναλωθεί ενέργεια για την συλλογή, απόθεση και ανακύκλωση των υλικών που ήταν μέρος του κτιρίου.

Οι επιπτώσεις που προκύπτουν, από τη σχέση κτίριο-ενέργεια, ως αντίκτυπο το περιβάλλον διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, περιβαλλοντική ανάλωση και περιβαλλοντική υποβάθμιση [4]. Η περιβαλλοντική ανάλωση αναφέρεται στην χρησιμοποίηση των πρώτων υλών από τη φύση και την επεξεργασία τους, τόσο σε οικοδομικά υλικά όσο και σε καύσιμα, τα οποία θα καλύψουν τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1. Όσον αφορά την περιβαλλοντική υποβάθμιση αναφέρεται σε όλο τον κύκλο ζωής του κτιρίου και προκαλείται από την παραγωγή ρύπων και αποβλήτων, αλλά και τις μεγάλες ποσότητες νερού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2, διογκώνοντας έτσι το φαινόμενο αλλαγής του κλίματος.



Σχήμα 2.1: Συμμετοχή (%) του τομέα κατασκευών στη χρήση πρώτων υλών, υδάτων γης και ενέργειας, πηγή: [4].

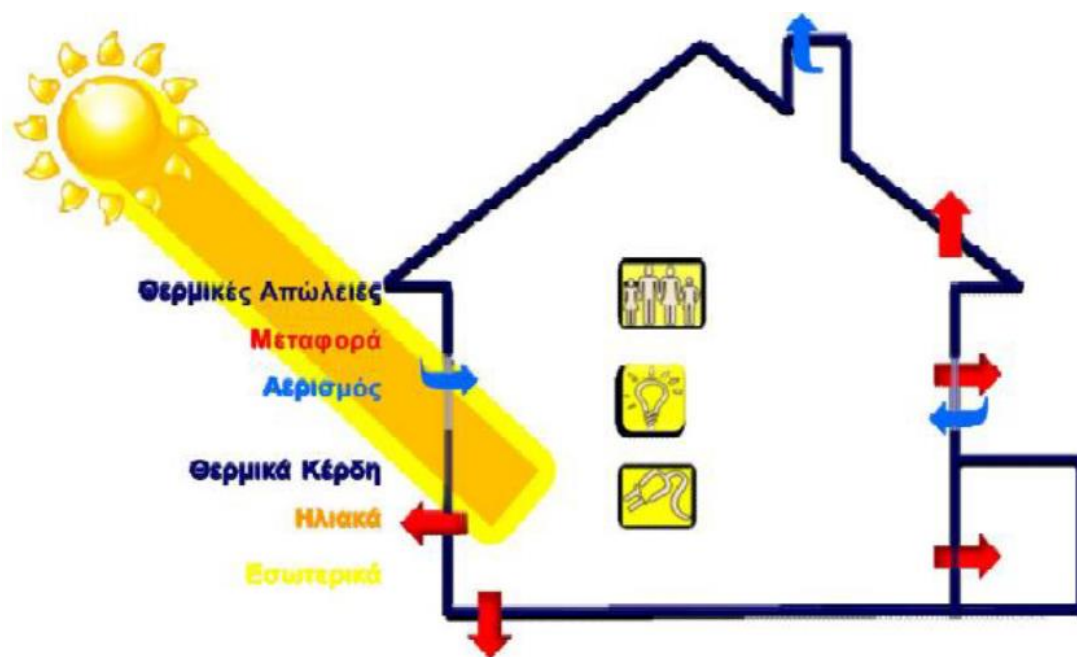


Σχήμα 2.2: Συμμετοχή (%) του τομέα κατασκευών σε εκπομπές CO₂, χρήση νερού και παραγωγή αποβλήτων, πηγή: [4].

Όπως φαίνεται η σχέση κτιρίου-ενέργειας είναι άρρητα συνδεδεμένη με τον άνθρωπο και το περιβάλλον, για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητο να βρεθούν οικονομικές και περιβαλλοντικές λύσεις, τόσο στην ενεργειακή μελέτη του κτιρίου όσο και στην μετέπειτα λειτουργία του, για να διασφαλίζεται η υγιής ενεργειακή συνύπαρξή τους.

2.3 Ενεργειακό ισοζύγιο για κτίρια

Όπως όλα τα ενεργειακά ισοζύγια, έτσι και το ισοζύγιο που αφορά τον κλάδο των κτιρίων επηρεάζεται από την σχέση μεταξύ των ενεργειακών απωλειών και ενεργειακών κερδών. Προτού όμως αναλυθεί αυτή η σχέση, κρίνεται απαραίτητο να διασαφηνιστούν οι έννοιες των κερδών και απωλειών σε ένα κτίριο. Υποστηρίζεται πως όταν η μετάδοση θερμότητας γίνεται από το περιβάλλον προς το εσωτερικό του κτιρίου μιλάμε για ενεργειακά κέρδη, ενώ αντιθέτως μιλάμε για ενεργειακές απώλειες. Όμως αυτό το συμπέρασμα δεν είναι εντελώς σωστό, καθώς την περίοδο του καλοκαιριού η θερμότητα που προσδίδεται από τον ήλιο στο κτίριο, όχι μόνο δεν είναι επιθυμητή, αλλά πρέπει να δαπανήσουμε ενέργεια για κλιματισμό, οπότε δεν μπορούμε να το θεωρήσουμε ως κέρδος. Είναι αναγκαίο λοιπόν να υπάρχει μεγάλη προσοχή στα πρόσημα των στοιχείων που συμμετέχουν στο ενεργειακό ισοζύγιο και να γίνεται αντιληπτό αν μιλάμε για απώλειες ή κέρδη. Το ισοζύγιο ενέργειας που αφορά τα κτίρια περιγράφεται στην παρακάτω Εικόνα 2.1.



Εικόνα 2.1: Ισοζύγιο ενέργειας για τα κτίρια, πηγή: [5].

Οι κύριες πηγές ενέργειας, ώστε να καλύψουν τις απαιτήσεις του κτιρίου για θέρμανση, ψύξη, αερισμό, φωτισμό, παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και ενέργεια για τη λειτουργία των διαφόρων συσκευών, είναι η χημική ενέργεια των καυσίμων που χρησιμοποιεί το εκάστοτε κτίριο και μετατρέπεται σε θερμότητα, η ηλιακή ενέργεια που εξαρτάται από τη θέση και το κλίμα της περιοχής που είναι εγκατεστημένο το κτίριο, αλλά και η θερμότητα που μεταφέρεται με αγωγιμότητα, όπως στην περίπτωση των υπόγειων υδάτων. Επίσης, τόσο οι ηλεκτρικές συσκευές, όσο και ο φωτισμός ενός κτιρίου παράγουν θερμότητα, όπως και οι ανθρώπινες

δραστηριότητες, ειδικά σε κτίρια συνάθροισης, γεγονός που δεν μπορεί να παραλειφθεί από το ενεργειακό ισοζύγιο.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε αν μιλάμε για απώλειες ή θερμικά κέρδη κάθε φορά, διότι οι θερμικές απώλειες κατά την περίοδο της ψύξης ενδεχομένως να είναι οφέλη. Η μεθοδολογία που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία, και θα αναλυθεί στη συνέχεια τις ονομάζει απώλειες [5].

2.4 Ισχύουσα Κοινοτική και Ελληνική νομοθεσία όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια

Τα κτίρια λόγω της μεγάλης επιφάνειας και όγκου που καλύπτουν, αλλά και κατά επέκταση τα μεγάλα σε ενέργεια ποσά που καταναλώνουν, αποτελούν έναν από τους πρωταρχικούς τομείς της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με στόχο την αύξηση της ενεργειακής τους απόδοσης. Η Κοινοτική Οδηγία 2002/91/ΕΚ [6] για την ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων (EPBD), στοχεύει στην βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας του τομέα κτιρίων των Κρατών-Μελών, με την απαίτηση εφαρμογής ενός ολοκληρωμένου πλαισίου που αφορά τα σημαντικότερα ποσά ενέργειας που καταναλώνονται στα κτίρια. Βασικά στοιχεία αυτής της Οδηγίας αναφέρονται ακολούθως:

- κοινές μεθόδους όσον αφορά τους υπολογισμούς της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων
- ύπαρξη απαιτήσεων ενεργειακής αποδοτικότητας για νέα, αλλά και για ήδη υπάρχοντα κτίρια, σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης
- ύπαρξη πιστοποιήσεων για νέα και υφιστάμενα κτίρια, προβολή των πιστοποιήσεων σε ευκρινές σημείο και άλλων σχετικών πληροφοριών, πραγματοποιήσεις επιθεωρήσεων των λεβήτων και των κεντρικών συστημάτων κλιματισμού και αερισμού αρκετά συχνά και τέλος, απαίτηση αξιολόγησης των συστημάτων θέρμανσης σε περιπτώσεις που οι λέβητες λειτουργούν περισσότερο από 15 χρόνια.

Στην Ελλάδα η Κοινοτική Οδηγία 2002/91/ΕΚ άρχισε να εφαρμόζεται μετά την ψήφιση του Ν.3661/08. Οι θέσεις για την ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων που ορίζονταν από την Κοινοτική Οδηγία οδήγησαν στην θέσπιση Τεχνικών Οδηγιών με βάση τον «Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων – KENAK» [7]~[16].

2.5 Ενέργεια στα κτίρια τριτογενούς τομέα

Στην συνέχεια ακολουθεί μια ανάλυση κατά πόσο βιώσιμα ενεργειακά είναι τα κτίρια του τριτογενούς τομέα, συλλέγοντας και καταγράφοντας τα στοιχεία όπως προέκυψαν από την έρευνα του ΥΠΕΚΑ για την περίοδο 2011-2016 [17].

Ειδικότερα η έρευνα αποτυπώνει 783.880 πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης (ΠΕΑ), από τα οποία τα 157.913 αφορούν κτίρια του τριτογενούς τομέα, όπου και καταγράφεται η ενεργειακή απόδοση των εξεταζόμενων κτιρίων, η καταναλισκόμενη πρωτογενής ενέργεια, καθώς και οι εκπομπές επιβλαβών ρύπων στην ατμόσφαιρα. Τα αποτελέσματα από αυτή την έρευνα συνοψίζονται στον παρακάτω Πίνακα 2.1 και δείχνουν πως η μεγαλύτερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας αφορά την κάλυψη αναγκών φωτισμού, με τιμή αναφοράς για το έτος 2016 $182,9 \text{ kWh/m}^2$, ενώ ακολουθούν οι καταναλώσεις για ψύξη και θέρμανση με τιμές $144,8 \text{ kWh/m}^2$ και $123,7 \text{ kWh/m}^2$ αντίστοιχα.

Επίσης σύμφωνα με το Σχήμα 2.3 παρατηρείται πως για τη χρονική περίοδο 2011-2016, το μεγαλύτερο ποσοστό των κτιρίων τριτογενούς τομέα κατατάσσεται στην ενεργειακή κατηγορία Γ-Δ και αυτό οφείλεται στην αυστηρή νομοθεσία που επιβάλλεται από την Ελλάδα, πρωτίστως για την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια, αλλά και δευτερευόντως για τη μείωση των εκπομπών CO₂ σε συνδυασμό με τη χρήση ΑΠΕ και συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ). Τα αποτελέσματα από τις δράσεις αυτές είναι ενθαρρυντικά για την προσπάθεια προστασίας του περιβάλλοντος και αυτό αποτυπώνεται από την ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3, όπου αυξάνεται το ποσοστό κατάταξης στις ενεργειακές κατηγορίες Α-Β και ταυτόχρονα μειώνεται το ποσοστό των κατηγοριών Ε-Η. Σημαντική επίδραση στις ενεργειακές καταναλώσεις εμφανίζεται να έχει και η οικονομική κρίση που άρχισε να διογκώνεται το έτος 2011 και για τέτοιες δράσεις δεν αποτελεί ευόιωνο στοιχείο.

Πίνακας 2.1: Τυπικές τιμές κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας σε αθλητικά κέντρα (kWh/m^2), πηγή: [17].

Έτος	Πλήθος ΠΕΑ	Μέση Ετήσια κατανάλωση kgCO_2/m^2	Μέση Ετήσια Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας (kWh/m^2)				
			Θέρμανση	Ψύξη	ZNX	Φωτισμό	ΑΠΕ και ΣΗΘ
2016	59.787	150,83	123,74	144,79	15,52	182,88	0,19
2015	9.384	139,12	108,44	137,20	15,32	168,99	0,09
2014	16.231	148,88	113,08	146,36	18,22	181,19	0,02
2013	37.614	151,91	118,79	149,01	21,23	180,56	0,02
2012	32.204	146,13	132,62	152,87	26,92	159,29	0,03
2011	2.693	112,26	112,02	124,14	33,00	111,08	0,09



Σχήμα 2.3: Κτίρια τριτογενούς τομέα ανά Ενεργειακή Κατηγορία, πηγή: [17].

Μελετώντας τις επιμέρους χρήσεις των κτιρίων τριτογενούς τομέα, προκύπτει από τα στοιχεία της ίδιας έρευνας πως τα πιο ενεργοβόρα κτίρια τριτογενούς τομέα για το έτος 2016 είναι τα κτίρια συνάθροισης κοινού με μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ίση με $767,8 \text{ kWh/m}^2$, καθώς και τα κτίρια σωφρονισμού με μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ίση με $680,9 \text{ kWh/m}^2$ σε όλες σχεδόν τις κλιματικές ζώνες (Α,Β,Γ,Δ).

Συμπερασματικά, η μέση ετήσια υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για τα κτίρια τριτογενούς τομέα είναι $410,63 \text{ kWh/m}^2$ ή $27,87 \text{ GWh}$ λαμβάνοντας υπόψη και την επιφάνεια κτιρίων. Ακόμη, εκτιμάται από τα αποτελέσματα της έρευνας, ότι θα προέκυπτε ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας 61% για τα κτίρια των κατοικιών και 41% για τα κτίρια τριτογενούς τομέα, αν ήταν κατασκευασμένα με προδιαγραφές του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ).

2.6 Η ενέργεια στα κολυμβητήρια

Από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα ιδιαίτερο ενδιαφέρον προκάλεσε στους ερευνητές ο κλάδος της ενέργειας στα κολυμβητήρια και γενικότερα στα αθλητικά κέντρα, όπου και πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες μελέτες γύρω από την ενέργεια που καταναλώνουν οι κολυμβητικές δεξαμενές, οι οποίες λειτουργούσαν με θερμαινόμενο νερό. Η ταχεία όμως ανάπτυξη της τεχνολογίας, τόσο στον μηχανολογικό τομέα, όσο και στον κατασκευαστικό, οδήγησε στην εγκατάσταση θερμαινόμενων συστημάτων

και στα μέσα του 20^{ου} αιώνα άρχισε η λειτουργία των πρώτων θερμαινόμενων κολυμβητικών δεξαμενών.

Τα κολυμβητήρια είναι από τις δύσκολες περιπτώσεις κτιρίων. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του μεγάλου όγκου νερού που πρέπει συνέχεια να θερμαίνεται και να φιλτράρεται. Τα μεγάλα ποσά ενέργειας που καταναλώνουν οφείλονται στον τεράστιο όγκο νερού που πρέπει να θερμανθεί, στην διατήρηση των συνθηκών άνεσης στον εσωτερικό χώρο και στην συνεχή λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού, ώστε να εξασφαλίσει την απαιτούμενη ποιότητα νερού κολύμβησης. Ταυτοχρόνως, τη δεκαετία του '70, η πετρελαϊκή κρίση οδήγησε στις πρώτες ενεργειακές μελέτες των κολυμβητικών δεξαμενών, ώστε να προσδιοριστούν ακριβώς οι απαιτούμενες καταναλώσεις τους, με απώτερο σκοπό να βρεθούν τρόποι εξοικονόμησης αυτής της ενέργειας.

Με βάση όλα αυτά που προαναφέρθηκαν, γίνεται αντιληπτό πως τα κολυμβητήρια αποτελούν ενδιαφέρουσα κατηγορία, όσον αφορά τις καταναλώσεις τους σε ενέργεια, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα είδη κτιρίων (περίπου 5 φορές μεγαλύτερη κατανάλωση). Στον παρακάτω Πίνακα 2.2 φαίνονται οι τυπικές καταναλώσεις ενέργειας σε αθλητικά κέντρα υγρού στίβου και συνήθεις αθλητικές εγκαταστάσεις, αλλά και η κατηγοριοποίησή τους ανάλογα με τα ποσά ενέργειας που καταναλώνουν.

Πίνακας 2.2: Τυπικές τιμές κατανάλωσης ενέργειας σε αθλητικά κέντρα (kWh/m^2),
πηγή: [18].

Αθλητικά κέντρα υγρού στίβου		
<i>Χαμηλής κατανάλωσης</i>	<i>Συνήθης κατανάλωση</i>	<i>Υψηλής κατανάλωσης</i>
<510	510 – 745	>745
Αθλητικές εγκαταστάσεις		
<i>Χαμηλής κατανάλωσης</i>	<i>Συνήθης κατανάλωση</i>	<i>Υψηλής κατανάλωσης</i>
<290	290 – 410	>410

Η ενέργεια που καταναλώνουν τα κολυμβητήρια είναι ευνόητο πως δεν περιορίζεται μόνο στη κατανάλωση καυσίμου για τη θέρμανση των πισινών, αλλά και για τους βοηθητικούς χώρους (αποδυτήρια, γραφεία, γυμναστήρια), καθώς και για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Ακόμη, μεγαλύτερα ποσά ενέργειας απαιτούνται για κάλυψη αναγκών φωτισμού, ιδιαίτερα κατά τις βραδινές ώρες, αλλά και τις ώρες της ημέρας στα κλειστά κολυμβητήρια. Ειδικά για την περίπτωση των κλειστών γυμναστηρίων σημαντική προσοχή απαιτεί η ορθή λειτουργία του συστήματος αερισμού και των επιπέδων υγρασίας για επικράτηση των σωστών συνθηκών για τους αθλητές.

2.7 Απαιτήσεις σε ενέργεια των κλειστών κολυμβητηρίων

Με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν από τις πρώτες ενεργειακές μελέτες έγινε κατανοητό, πως παρόλο που τα κλειστά γυμναστήρια προτιμήθηκαν σε μεγάλο βαθμό από τους αθλητές και το κολυμβητικό κοινό, λόγω των καλύτερων συνθηκών κολύμβησης που προσφέρουν σε σχέση με τα αντίστοιχα ανοιχτά, απαιτούν τεράστια ποσά ενέργειας για τη λειτουργία τους. Συγκεκριμένα, το 1997, ύστερα από μελέτες Ελλήνων ερευνητών, προέκυψαν αποτελέσματα που αποτύπωναν ότι οι κλειστές πισίνες της Μεσογείου απαιτούν για θέρμανση της πισίνας και του περιβάλλοντος χώρου 4.300 kWh/m^2 για 12ωρη ημερήσια λειτουργία, με την αντίστοιχη τιμή για τις πισίνες της βορειότερης Ευρώπης να ανέρχονται στις 5.200 kWh/m^2 λόγω ψυχρότερου κλίματος.

Ακόμη, μεγάλα ποσά ενέργειας απαιτούνται για την θέρμανση/ψύξη του περιβάλλοντα χώρου γύρω από την πισίνα, όπως επίσης και για την λειτουργία του συστήματος αερισμού, το οποίο καλύπτει περισσότερα φορτία σε σχέση με ένα εστιατόριο, ξενοδοχείο, βιβλιοθήκη ή και άλλα δημόσια κτίρια ίδιας επιφάνειας. Τα φορτία αυτά υπάρχουν λόγω της εξάτμισης του νερού, την υγρασία που υπάρχει στον χώρο της πισίνας, των ντους, αλλά και των αποδυτηρίων. Ο απαιτούμενος ρυθμός αερισμού στο χώρο των ντους ανέρχεται σε $220 \text{ m}^3/\text{h}/\text{ανά ντους}$, την στιγμή που η αντίστοιχη τιμή για ένα χώρο καπνιστών είναι περίπου $75 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά άτομο [19].

2.8 Κύριοι λόγοι απωλειών ενέργειας στα κολυμβητήρια

Προκειμένου να γίνει ισοστάθμιση των απωλειών–κερδών, αλλά και να διατηρούνται οι απαιτούμενες συνθήκες άνεσης εντός και εκτός της πισίνας, απαιτείται η συνεχής παρακολούθηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών των δεξαμενών. Αυτό κάνει τα κλειστά κολυμβητήρια αρκετά απαιτητικά ως κτίρια και δύσκολα στη διαχείρισή τους, τόσο σε ενεργειακό όσο και οικονομικό επίπεδο. Τα μεγαλύτερα ποσά ενέργειας αναφέρονται στη θέρμανση του νερού της πισίνας, συνυπολογίζοντας και το στάδιο του καθαρισμού, καθώς και στη διαχείριση του λανθάνοντος φορτίου του εσωτερικού αέρα, λόγω της εξάτμισης του νερού της πισίνας.

2.8.1 Εξάτμιση νερού πισίνας (Evaporation)

Όπως αναφέρθηκε, για την εύρυθμη λειτουργία του κολυμβητηρίου οι υπεύθυνοι, αλλά και οι ερευνητές, πρέπει να αντιμετωπίσουν ίσως το σημαντικότερο πρόβλημα αυτό της εξάτμισης του νερού της πισίνας ανεξάρτητα από το αν η πισίνα είναι εσωτερική ή εξωτερική. Σύμφωνα με αναλύσεις και μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε πισίνα ολυμπιακών διαστάσεων οι συνολικές απώλειες λόγω εξάτμισης ανέρχονται σε 10.000 kWh/day , ενώ οι αντίστοιχες από τα φαινόμενα της

αγωγής, επαφής με το έδαφος και ακτινοβολίας μετρήθηκαν συνολικά μόλις 600 kWh/day [20].

Οι κύριοι λόγοι που εμφανίζουν, αλλά και εντείνουν το φαινόμενο της εξάτμισης του νερού της πισίνας είναι:

- η διαφορά θερμοκρασίας νερού και ατμόσφαιρας
- τα επίπεδα υγρασίας στην ατμόσφαιρα
- η επιφάνεια της πισίνας
- ταχύτητα του αέρα στην επιφάνεια του νερού

Στον Πίνακα 2.3 που ακολουθεί έχουν καταγραφεί οι τυπικές τιμές εξάτμισης από την υδάτινη επιφάνεια σε κλειστά και ανοιχτά κολυμβητήρια, ύστερα από αποτελέσματα που προέκυψαν από έρευνες σε βάθος χρόνων.

Πίνακας 2.3: Τυπικές τιμές εξάτμισης νερού.

Εξωτερική πισίνα	
0,5 kg νερό / h / m ² υδάτινης επιφάνειας ⁽¹⁾	
Εσωτερική πισίνα	
13 gr / h / m ² (κατά την διάρκεια χρήσης) ⁽²⁾	6,5 gr / h / m ² (όταν δεν χρησιμοποιείται) ⁽²⁾

(1) Bliss, 1961.

(2) IECU, International Centre for Energy and Environmental Technology, Energy Efficient Technologies in sport facilities, 1994.

2.8.2 Αγωγή (Convection)

Άλλη μια αιτία απωλειών θερμότητας και μάζας από το νερό της πισίνας αποτελεί το φαινόμενο της αγωγής. Εξαιτίας της άμεσης επαφής των μορίων του αέρα με αυτά που βρίσκονται στο ανώτερο στρώμα της επιφάνειας της πισίνας, αλλά και τη μεταξύ τους διαφορά στη θερμοκρασία, παρατηρείται μεταφορά θερμότητας και μάζας από το υψηλότερο θερμοκρασιακά σύστημα στο χαμηλότερο (αναλόγως με την εποχή και την θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα παρατηρείται μεταφορά θερμότητας και μάζας είτε από τον αέρα προς την υδάτινη επιφάνεια, είτε το αντίστροφο).

Παράμετροι που επηρεάζουν το φαινόμενο είναι κατά κύριο λόγο η ταχύτητα του αέρα στην επιφάνεια της πισίνας, αλλά και η επιφάνεια της εκάστοτε εξεταζόμενης πισίνας, δηλαδή όσο μεγαλύτερη επιφάνεια τόσο μεγαλύτερες απώλειες. Επίσης, τα παραπάνω εξαρτώνται από το ωράριο λειτουργίας της εκάστοτε

πισίνας, αλλά και την χρήση της. Για τον σωστό υπολογισμό των απωλειών πρέπει να καθορίζονται οι ώρες χρήσης της πισίνας, αλλά και ο αριθμός των κολυμβητών και η συχνότητα κολύμβησής τους, διότι οι αναταράξεις του νερού που οφείλονται στις κινήσεις των κολυμβητών, αλλά και η θερμοκρασιακή διαφορά νερού ($26 - 28^{\circ}\text{C}$) με αυτή του ανθρώπινου σώματος ($36,6^{\circ}\text{C}$ περίπου), συμβάλλουν στη μεταφορά θερμότητας και μάζας.

Συμπερασματικά, κατά τη χειμερινή περίοδο το πρόβλημα είναι έντονο και προκαλεί μεγάλες θερμοκρασιακές απώλειες. Αντιθέτως κατά τη θερινή περίοδο, θερμότητα μεταφέρεται από τον θερμότερο ατμοσφαιρικό αέρα στην επιφάνεια του νερού, αυξάνοντας σταδιακά τη θερμοκρασία στην πισίνα, γεγονός το οποίο όμως προκαλεί σημαντικά προβλήματα, λόγω της υπερθέρμανσης της πισίνας και της απαραίτητης εισαγωγή κρύου νερού για να εξισορροπηθούν οι συνθήκες. Για το λόγο αυτό, το φαινόμενο της αγωγής δεν αποτελεί μόνο περίπτωση απώλειας θερμότητας, αλλά αναλόγως με τη κατάσταση και κυρίως την περίοδο, μπορεί να συνεισφέρει σε μεταφορά θερμότητας στο νερό της πισίνας.

2.8.3 Ανανέωση νερού (Renewal of water)

Η εισαγωγή φρέσκου νερού, ή ανακυκλοφορίας του στο εσωτερικό της πισίνας αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της ορθής λειτουργίας όλων των κολυμβητικών δεξαμενών, ανεξάρτητα από το αν χαρακτηρίζονται ως εσωτερικές ή εξωτερικές, μεγάλες ή μικρές, αγωνιστικές ή ψυχαγωγίας. Η ανανέωση του νερού, είτε με την εισαγωγή φρέσκου νερού από το υπάρχον σύστημα της περιοχής ή μέσω γεωτρήσεων, είτε μέσω του συστήματος φίλτραρίσματος και ανακυκλοφορίας νερού της πισίνας αποτελούν προαπαιτούμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά τα οποία επιβάλλονται από την νομοθεσία, ώστε να διατηρείται καθαρό το νερό της πισίνας. Κατά την είσοδο και έξοδο των αθλητών, αλλά και κατά την διάρκεια άσκησης τους μέσα στην πισίνα, παρατηρούνται απώλειες στην ποσότητα του νερού και αυτό φαίνεται στο δάπεδο του περιβάλλοντα χώρου ή στην υπερχειλίση. Ακόμη και οι αρκετά μεγάλες ποσότητες νερού που χάνονται λόγω εξάτμισης, πρέπει να αναπληρωθούν.

Ανάλογα με τη χρήση και τις διαστάσεις της πισίνας, καθορίζεται κατά την μελέτη για την εγκατάσταση του μηχανολογικού εξοπλισμού, η απαραίτητη ποσότητα εισαγωγής φρέσκου νερού αναπλήρωσης. Για τις αγωνιστικές πισίνες, είτε 50 m , είτε 25 m , η συνηθισμένη τιμή των συστημάτων ανακυκλοφορίας είναι στο 2% περίπου του συνολικού όγκου της πισίνας κάθε εβδομάδα [20].

2.8.4 Ηλιακή ακτινοβολία (Solar radiation)

Η ηλιακή ακτινοβολία εξαιτίας της μετάδοσης θερμότητας στο νερό από την απευθείας ακτινοβολία του ήλιου είναι ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα των κολυμβητικών δεξαμενών και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις πισίνες που έχουν μεγάλο μέρος της επιφάνειας τους εκτεθειμένη στον ήλιο. Παραμελώντας το πλεονέκτημα αυτό, ιδιαίτερο ενδιαφέρον κατέχουν οι θερμικές απώλειες λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας, οι οποίες αν και δεν είναι τόσο μεγάλες όσο οι απώλειες λόγω εξάτμισης του νερού και λόγω αγωγής, είναι μέγεθος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Η απορρόφηση της ακτινοβολίας του ήλιου από το νερό γίνεται επιλεκτικά και αυτό γίνεται κατανοητό από το γεγονός πως το υπέρυθρο φάσμα της ακτινοβολίας απορροφάται σε λίγα χιλιοστά νερού, ενώ το ορατό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας μετά από πολλά μέτρα, φτάνοντας ως τον πυθμένα της πισίνας, εξαιτίας της καθαρότητας του νερού. Από την ροή αυτή της εισερχόμενης ακτινοβολίας, μέρος αυτής καταλήγει στον πυθμένα και στα τοιχώματα της κολυμβητικής δεξαμενής. Στην συνέχεια απορροφάται ένα μέρος της και το υπόλοιπο ανακλάται στην επιφάνεια της πισίνας. Οι απώλειες ενέργειας της πισίνας εξαρτώνται από την ανταλλαγή της υπέρυθρης ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα. Αναφορικά, τα οφέλη και τα κέρδη σε θερμότητα, από την απευθείας ακτινοβολία του ήλιου στην επιφάνεια της πισίνας, είναι σημαντικού χαρακτήρα και αρκετά μεγαλύτερα ποσοτικά από τις απώλειες που προσδίδει, όμως αυτό δεν σημαίνει πως πρέπει να μην συνυπολογίζονται.

Είναι κατανοητό πως για τις εσωτερικές πισίνες οι θερμικές απώλειες αφορούν μόνο τις απώλειες εξάτμισης και ανανέωσης νερού.

Κεφάλαιο 3: Ιδιότητες των κολυμβητηρίων και των κολυμβητικών δεξαμενών

3.1 Τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά κολυμβητηρίων

Τα τελευταία χρόνια, όπως προαναφέρθηκε, σημαντικό αντικείμενο έρευνας αποτελεί η ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων, και η βελτίωση αυτής. Ειδικότερα, κτίρια με διαφορετική χρήση από αυτή της κατοικίας, όπως κέντρα αναψυχής, εκπαιδευτικά ιδρύματα, αθλητικοί χώροι και πιο συγκεκριμένα κολυμβητήρια, παρουσιάζουν ιδιαίτερα μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως η ενέργεια που καταναλώνει μια κολυμβητική δεξαμενή είναι πέντε φορές μεγαλύτερη από συγκρότημα γραφείων της ίδιας επιφάνειας.

Παρατηρώντας τα συγκεκριμένα στοιχεία για τα κολυμβητήρια, οι μηχανικοί επικεντρώθηκαν στην μελέτη των απαιτήσεων σε ενέργεια, αλλά και στην μείωση αυτών. Πρώτος ο Czarnecki το 1962 παρατήρησε [20] τα ενεργειακά κέρδη από την ακτινοβολία του ήλιου σε ανοιχτή πισίνα και στην συνέχεια χρησιμοποίησε θερμικό κάλυμμα για την πισίνα, έτσι ώστε να μειώσει τα ποσά εξάτμισης. Αυτή η πρώτη προσέγγιση αποτέλεσε κίνητρο για μετέπειτα επιστημονικές μελέτες, ώστε να την εξελίσσουν. Πράγμα το οποίο πραγματοποιήθηκε και σε βάθος χρόνων βρέθηκαν και εφαρμόζονται νέες μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας δεξαμενών.

3.2 Κολυμβητήρια στον ελλαδικό χώρο

Σύμφωνα με την Ελληνική Κολυμβητική Ομοσπονδία, ο αριθμός των κολυμβητικών δεξαμενών στην Ελλάδα ανέρχεται σε 197 από 116 διαφορετικές περιοχές της χώρας μας. Αυτές οι κολυμβητικές δεξαμενές αντιστοιχούν σε 60 κολυμβητήρια τα οποία ανήκουν στο Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, Πολιτισμού και Αθλητισμού. Στον παρακάτω Πίνακα 3.1 παρατηρούμε τα κολυμβητήρια της χώρας μας και η καταγραφή τους γίνεται με βάση το γεωγραφικό τους διαμέρισμα στο οποίο ανήκουν, αλλά και χωρίζονται σε ανοιχτά και κλειστά κολυμβητήρια, στοιχεία τα οποία αντλήθηκαν από επίσημη καταγραφή το 2008 από το υπεύθυνο Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων (ΥΠΕΠΘ).

Πίνακας 3.1: Διαχωρισμός Κολυμβητηρίων στην Ελλάδα, πηγή: [21].

Γεωγραφικό διαμέρισμα	Αριθμός Κολυμβητηρίων	Περιγραφή		
		Ανοιχτά	Κλειστά	Ανοιχτά-Κλειστά
<i>Αττική</i>	22	12	9	1
<i>Μακεδονία-Θράκη</i>	11	6	4	1
<i>Κεντρική Ελλάδα</i>	10	7	2	1
<i>Πελοπόννησος</i>	10	9	1	-
<i>Νησιά</i>	7	4	3	-
<i>Σύνολο</i>	60	38	19	3

3.3 Γενικά χαρακτηριστικά των κολυμβητικών δεξαμενών

Όσον αφορά την κατασκευή των κολυμβητικών δεξαμενών ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία είναι η πραγματοποίηση της στεγανοποίησής τους, καθώς προϋποθέτει μεγάλη προσοχή, σχολαστικότητα και επιμέλεια εξαιτίας των αρκετά μεγάλων πιέσεων που δέχονται τα πλευρικά τοιχώματα και ο πυθμένας. Σε περίπτωση που υπάρξουν μικρές ρωγμές στα τοιχώματα ή στον πυθμένα, τα αποτελέσματα ίσως να είναι καταστροφικά σε βάθος χρόνων, διότι η υγρασία μπορεί να εισχωρήσει αρκετά γρήγορα στα θεμέλια. Γενικά είναι αρκετά δύσκολο να βρεθούν και να επιδιορθωθούν τέτοιες καταστάσεις, ενώ ταυτόχρονα είναι επίπονο, αλλά και πολύ δαπανηρό. Μετά την στεγανοποίηση, σειρά έχει η επένδυση της πισίνας (π.χ. η βαφή, το πλακάκι, η ψηφιδωτή πορσελάνη και τα πλαστικά υλικά) και τέλος οι διεργασίες κατασκευής του μηχανοστασίου, καθώς και του συστήματος ανακυκλοφορίας του νερού.

3.4 Διεθνείς προδιαγραφές και τεχνικά χαρακτηριστικά αγωνιστικών κολυμβητικών δεξαμενών

Ανεξάρτητα από ποια χώρα ή ήπειρο ανήκει το υπό μελέτη κολυμβητήριο, είναι υποχρεωμένο να καλύπτει τις προδιαγραφές της Παγκόσμιας Ομοσπονδίας Υγρού Στίβου (FINA, Federation International de Natation, 2010). Σύμφωνα με τα όρια που

έχουν θεσπιστεί, τόσο στα ανοιχτά όσο και στα κλειστά κολυμβητήρια, σχεδιάζονται και κατασκευάζονται οι κολυμβητικές τους δεξαμενές. Κατά την δημιουργία ενός κολυμβητηρίου η αρμόδια αρχή έχει το πρώτο λόγο στην επιλογή των διαστάσεων, αλλά και του αριθμού των δεξαμενών. Οι πισίνες όπου διεξάγονται αγώνες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες τις «μεγάλες» (long course) ή τις «μικρές» (short course), αλλά υπάρχουν και οι πισίνες εκμάθησης.

Πιο ειδικά, τα χαρακτηριστικά που πρέπει να συμπεριληφθούν είναι οι διαστάσεις της πισίνας πρωτίστως ανάλογα με το είδος της (π.χ. μήκος, πλάτος, βάθος), η συγκεκριμένη θερμοκρασία του νερού, ο φωτισμός, οι διάδρομοι, οι βαθιές εκκίνησης και πολλές ακόμη ιδιότητες. Στον Πίνακα 3.2 φαίνονται όλα τα στοιχεία που προαναφέρθηκαν.

Πίνακας 3.2: Τεχνικές προδιαγραφές κολυμβητικών δεξαμενών, πηγή: [22], [23].

Είδος Πισίνας	Long course	Short course
<i>Μήκος</i>	50 m	25 m
<i>Πλάτος</i>	21 m	15 m
<i>Ελάχιστο βάθος</i>	2 m	2 m
<i>Ελάχιστος όγκος</i>	2.100 m ³	750 m ³
<i>Ελάχιστος αριθμός διαδρομών</i>	8	6
<i>Πλάτος διαδρομής</i>	2,5 m	2,5 m
<i>Θερμοκρασία νερού</i>	25 -28 °C	25 -28 °C
<i>Ελάχιστη ένταση φωτός</i>	1500 lux	1500 lux
<i>Σχετική υγρασία (κλειστά κολυμβητήρια)</i>	50 – 70%	50 – 70%
<i>Σχετική υγρασία (κλειστά κολυμβητήρια)</i>	30 – 32 °C	30 – 32 °C
<i>Ελάχιστος ρυθμός αερισμού στον χώρο της πισίνας (κλειστά κολυμβητήρια)</i>	12 lt / sec / άτομο	12 lt / sec / άτομο

Επίσης αξίζει να σημειωθεί πως στα περισσότερα κολυμβητήρια κατασκευάζονται και πισίνες εκμάθησης. Οι πισίνες αυτές δεν υπόκεινται σε συγκεκριμένους περιορισμούς, πέραν του ότι πρέπει να έχουν μήκος 12,5 m. Τα υπόλοιπα στοιχεία προσδιορίζονται από την αρμόδια υπηρεσία σχεδιασμού και

ανέγερσης του κολυμβητηρίου. Έχουν συνήθως 5 m πλάτος και το βάθος ξεκινάει από τα 0,6 m και αυξάνει σταδιακά ως τα 1,3 m.

Για την σωστή λειτουργία ενός κολυμβητηρίου το στοιχείο που πρέπει να δίνεται αρκετή προσοχή είναι η θερμοκρασία του νερού. Με βάση τις διατάξεις του National Swimming Pools Federation, οι πρότυπες θερμοκρασίες που έχουν προκύψει ύστερα από μελέτες και έρευνες σε βάθος χρόνου ορίστηκαν αναλόγως με τη χρήση της εκάστοτε πισίνας και τα άτομα τα οποία προορίζεται να την χρησιμοποιήσουν. Στον παρακάτω Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι προτεινόμενες θερμοκρασίες νερού.

Πίνακας 3.3: Προτεινόμενες θερμοκρασίες νερού ανάλογα με την δραστηριότητα χρηστών, πηγή: [22], [23].

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

3.5 Τα Ελληνικά κολυμβητήρια

Από τις αρχές του 1970, το Ελληνικό κράτος έχει θεσπίσει τις επικρατούσες συνθήκες που απαιτούνται για να λειτουργήσει σωστά ένα νέο ανεγερθέν ή υπάρχον κολυμβητήριο. Συγκεκριμένα η Διάταξη Γ1/443/73 (ΦΕΚ 87B), με την ιδιότητα «περί Κολυμβητικών Δεξαμενών μετά οδηγίες κατασκευής και λειτουργίας αυτών», προσδιορίζοντας τις απαιτήσεις κατασκευής, σε περίπτωση νέων κολυμβητηρίων και κατά επέκταση νέων κολυμβητικών δεξαμενών, οι οποίες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.4. Στις κατασκευαστικές απαιτήσεις συμπεριλαμβάνονται η κλίση του πυθμένα και των πλευρικών τοιχωμάτων της πισίνας, το μέγιστο φορτίο της, τα στόμια εισροής και εκροής, οι αύλακες υπερχειλίσεως και άλλα τεχνικά στοιχεία τα οποία ορίζονται από την νομοθεσία. Στον Πίνακα 3.5 παρουσιάζονται οι ποιοτικές απαιτήσεις κολυμβητικών δεξαμενών.

Πίνακας 3.4: Κατηγορίες πισινών ανάλογα με την επιφάνειά τους, πηγή: [22], [23].

Κατηγορίες	<i>Μικρές</i>	$E1 > 350 \text{ m}^2$
	<i>Μεσαίες</i>	$350 < E2 < 1250 \text{ m}^2$
	<i>Μεγάλες</i>	$E3 > 1250 \text{ m}^2$

Πίνακας 3.5: Ποιοτικές Απαιτήσεις Κολυμβητικών Δεξαμενών, πηγή: [22], [23].

Κλίση πυθμένα	<i>Για βάθος < 1,5 m</i>	1 : 12,5 (8%)
	<i>Για βάθος > 1,5 m</i>	1 : 3
Μέγιστο φορτίο δεξαμενών (μέγιστος αριθμός λουόμενων)	<i>Για βάθος < 1 m</i>	1 άτομο / 1 m^2 νερού
	<i>Για βάθος > 1 m</i>	1 άτομο / $2,5 \text{ m}^2$ νερού
Για κάθε σημείο κατάδυσης		Επιπλέον επιφάνεια 30 m^2
Τοποθέτηση στομιών εισροής για δεξαμενές >150 m²		Ανά 4,5 m στα τοιχώματα
Τοποθέτηση στομιών εκροής για δεξαμενές >150 m²		Ανά 6 m στα τοιχώματα
Δεξαμενές επιφάνειας >200 m²		Επιβάλλεται σε όλη τη περίμετρο κατασκευή αύλακα υπερχειλίσεως
Δεξαμενές επιφάνειας <200 m²		Στόμια υπερχειλίσεως (skimmers), τουλάχιστον $1/50 \text{ m}^2$

3.6 Ποιότητα νερού

Η ποιότητα του νερού αποτελεί από τις σημαντικότερες παραμέτρους για την ύπαρξη ενός άνετου και υψηλά ποιοτικού κολυμβητικού περιβάλλοντος. Αυτό γίνεται εφικτό με την ορθή χλωρίωση, φιλτράρισμα και ανανέωση του νερού. Τα χαρακτηριστικά της ποιότητας του νερού, βάσει του άρθρου 15 της Υγειονομικής Διάταξης, πρέπει να πληρούν τα όρια που παρατίθενται στον Πίνακα 3.6.

Πίνακας 3.6: Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Νερού Κολυμβητικών Δεξαμενών, πηγή: [22], [23].

Όψη	Διαυγής
Τιμή pH	7,2 – 7,8
Αλκαλικότητα	100 – 200 mg/lt
Σκληρότητα	50 – 100 mg/lt
Θειικά	< 600 mg/lt
Total Suspended Solids (TSS) Ολικά Αιωρούμενα Στερεά	< 3000 mg/lt
Περιεκτικότητα σε χλώριο	1 – 4 mg/lt
E. Coli	0 / 100 ml νερού
Κολοβακτηρίδια	< 15 / 100 ml νερού

Στις περιπτώσεις που οι πισίνες λειτουργούν με χρήση θαλασσινού νερού, ισχύουν οι ίδιες διατάξεις, υπό τον όρο πως τα τελικά χημικά, φυσικά και μικροβιολογικά χαρακτηριστικά του νερού, που έρχεται σε επαφή με το δέρμα των χρηστών, υπακούουν στις προδιαγραφές του άρθρου 15.

3.7 Ανακυκλοφορία και Καθαρισμός του νερού

Για την αποφυγή της μεγάλης κατανάλωσης ύδατος και την επίτευξη της εξοικονόμησης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το σύστημα ανακυκλοφορίας. Η ανακυκλοφορία του νερού είναι αναγκαία τόσο σε ιδιωτικές όσο και σε δημόσιες πισίνες. Σύμφωνα με την παράγραφο 1 του άρθρου 15 της Υγειονομικής Διάταξης, το νερό της πισίνας είναι απαραίτητο να ανανεώνεται σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας του, με ρυθμό που να εγγυάται την πλήρη αλλαγή του μέσα σε διάστημα 4 έως 6 ωρών, εξασφαλίζοντας την διαύγεια του νερού αλλά και την καταλληλότητα από μικροβιολογικής άποψης.

Τα σημαντικότερα στοιχεία που συμβάλλουν στο να ρυπαίνεται μια πισίνα που χρησιμοποιείται από πολλά άτομα αναφέρονται πρωτίστως ουσίες που εκκρίνονται από τον άνθρωπο, όπως ιδρώτας, σάλιο, τρίχες και ούρα, στην συνέχεια μολυσματικές ουσίες (οργανικές και ανόργανες), αλλά και καλλυντικά όπως κρέμες, λοσιόν, σκόνες και έλαια. Για να υπάρχουν οι ορθές συνθήκες υγιεινής είναι απαραίτητη η εισροή 30 λίτρων φρέσκου νερού (νέου ή ανακυκλούμενου) ανά άτομο την ημέρα [24].

3.8 Απολύμανση του νερού

Με βάση το άρθρο 18 της Υγειονομικής Διάταξης [25], ανεξάρτητα από τον τύπο του νερού που χρησιμοποιεί η εκάστοτε κολυμβητική δεξαμενή (θαλασσινό ή μη), είναι απαραίτητη η απολύμανση του νερού, σε όλη την διάρκεια χρήσης της. Η απολύμανση του νερού στις περισσότερες περιπτώσεις γίνεται με την χρήση χλωρίου μέσω μιας αντλίας που έχει καταγεγραμμένες τις κατάλληλες δοσολογίες. Για να αποφευχθούν προβλήματα στην υγεία των λουόμενων, το υπολειμματικό χλώριο είναι αναγκαίο να βρίσκεται μεταξύ των 0,4 έως 0,7 *mg/l*. Σε περιπτώσεις που χρησιμοποιείται διαφορετική μέθοδος απολύμανσης του νερού (π.χ. αργιλίου, χαλκού) απαιτείται έγκριση από την Υγειονομική Υπηρεσία.

Συμπερασματικά, μπορεί να αναφερθεί, πως εκτός από τα τεχνικά λειτουργικά χαρακτηριστικά των κολυμβητικών δεξαμενών, ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την λειτουργία των κολυμβητηρίων έχει η έρευνα και κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων των πισινών.

Κεφάλαιο 4: Ο αερισμός σε χώρους συνάθροισης

4.1 Γενικά για τον αερισμό

Σε μέρη όπου δραστηριοποιούνται, αλλά και ζουν άνθρωποι, ο αερισμός αυτού του χώρου είναι σημαντικό ζήτημα. Ο αερισμός σε αυτούς τους χώρους γίνεται είτε με φυσικό τρόπο (εισαγωγή αέρα απευθείας από το περιβάλλον) είτε τεχνικά (εξαναγκασμένος ή μηχανικός αερισμός), ενώ σε περιπτώσεις απουσίας του, παρατηρούνται αυξημένη υγρασία και φαινόμενα εσωτερικής ρύπανσης. Η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα νωπού αέρα είναι $1.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά άτομο.

Για την ποσότητα νωπού αέρα βοηθάει το μέγεθος του αριθμού των εναλλαγών του αέρα ACH, ο οποίος ανάλογα με τον όγκο του χώρου δίνει τις απαιτούμενες εναλλαγές αέρα ανά ώρα. Μονάδα μέτρησης του αριθμού εναλλαγών αέρα είναι $1/\text{h}$. Στον παρακάτω Πίνακα 4.1 φαίνονται οι απαιτούμενες ελάχιστες τιμές εναλλαγών αέρα που για διάφορους χώρους και κτίρια, στοιχεία που προέκυψαν από την οδηγία [26].

Πίνακας 4.1: Ελάχιστες τιμές εναλλαγών αέρα.

Χώρος	ACH
<i>Υπνοδωμάτιο</i>	1
<i>Αίθουσα Διδασκαλίας</i>	1
<i>Γραφείο</i>	1
<i>Χώρος Εστίασης</i>	2
<i>Γυμναστήριο</i>	2
<i>Κολυμβητήριο</i>	2

Οι απαιτήσεις νωπού αέρα σε ένα κολυμβητήριο είναι περίπου $10 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας νερού υποθέτοντας ότι η ταχύτητα του αέρα πάνω από της είναι μεταξύ των τιμών $0,05 - 0,15 \text{ m/s}$. Για τον χώρο των κολυμβητηρίων γίνεται κατανοητό πως οι απαιτούμενες ανανεώσεις του αέρα είναι 5 ACH και 2 ACH για τον χώρο της πισίνας. Όσον αφορά τα αποδυτήρια, η παροχή φρέσκου αέρα που συνίσταται είναι $15 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά μονάδα όγκου του χώρου, ενώ για τα ντους είναι περίπου $220 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά ντους [27].

4.2 Η σπουδαιότητα του αερισμού στην υγεία των ανθρώπων

Όπως είχε προαναφερθεί, η άνεση και η υγεία των ανθρώπων μέσα σε έναν χώρο επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό από την έλλειψη αερισμού. Όμως οι άνθρωποι, για μεγάλο διάστημα της ζωής τους βρίσκονται σε κτίρια, είτε αυτό είναι το σπίτι τους είτε ο χώρος της εργασίας τους, οπότε είναι απαραίτητη η ύπαρξη καλής ποιότητας αέρα, έτσι ώστε να αποφεύγεται οποιαδήποτε δυσφορία ή κίνδυνος για την υγεία τους [28].

Εκείνα τα στοιχεία των οποίων η αυξημένη τους συγκέντρωση οδηγεί στην πρόκληση ρύπανσης του εσωτερικού χώρου είναι:

- το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)
- το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
- το διοξείδιο του θείου (SO_2)
- το διοξείδιο του αζώτου (NO_2)
- η φορμαλδεΐδη (CH_2O)
- οι υδρογονάνθρακες και
- η σκόνη

Συγχρόνως όμως, προκαλούνται ακατάλληλες συνθήκες ζωής και εργασίας εξαιτίας των αυξημένων συγκεντρώσεων οσμών και μικροοργανισμών (βακτηριδίων, ιών και μυκήτων) που είναι επιβλαβείς στην υγεία μας. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας, στις εκπομπές των δομικών υλικών του κτιρίου και τις συσκευές που λειτουργούν σε αυτό [29].

Τα συμπτώματα που καταγράφηκαν [30] στους ανθρώπους που περνάνε μεγάλο χρονικό σε τέτοιου είδους κτίρια, όπου δηλαδή δεν υπάρχει επαρκής αερισμός κατηγοριοποιούνται παρακάτω σε:

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| ➤ Αναπνευστικά συμπτώματα | ➤ Οφθαλμολογικά συμπτώματα |
| ▪ Δύσπνοια | ▪ Ερεθισμός στα μάτια |
| ▪ Ξηρός βήχας | ▪ Πονοκέφαλοι |
| ▪ Πονόλαιμος | |
| ▪ Βράγχιασμα | ➤ Δερματικά συμπτώματα |
| ▪ Ρινόρροια | ▪ Ερεθισμός του δέρματος |
| ▪ Φτάρνισμα | ▪ Σπυράκια |
| | |
| ➤ Ψυχολογικά συμπτώματα | ➤ Άλλα συμπτώματα |
| ▪ Δυσκολία στη συγκέντρωση | ▪ Ζαλάδες |
| ▪ Λήθαργος | ▪ Ναυτία |
| ▪ Κακή διάθεση | |
| ▪ Πνευματική κόπωση | |

4.3 Φυσικός αερισμός

Ο πιο απλός τρόπος αερισμού είναι ο φυσικός, ο οποίος απομακρύνει ουσίες επιβλαβείς για την υγεία των ανθρώπων. Όμως είναι ικανός και να αποβάλει μεγάλο μέρος της υγρασίας, κατά τους χειμερινούς μήνες, αλλά και να βελτιώσει την θερμική άνεση των ανθρώπων, κατά τους καλοκαιρινούς.

Πιο ειδικά, με τον φυσικό αερισμό εννοείται η πραγματοποίηση εναλλαγών του αέρα με κατάλληλα ανοίγματα (πόρτες και παράθυρα), χωρίς τη χρήση αεραγωγών. Αυτό μπορεί να συμβεί μέσω των τοιχωμάτων του κτιρίου ή μη μονωμένων επαρκώς στοιχείων αυτών, αλλά και ύστερα από επιθυμητές ρυθμίσεις, μέσω των οπών αερισμού ή μέσω ανοιγμάτων των κουφωμάτων. Αυτοί οι παράμετροι επηρεάζονται από:

- την κατεύθυνση των επικρατούντων ανέμων
- την διαφορά θερμοκρασίας
- την θέση και το μέγεθος των ανοιγμάτων
- την διάταξη του εσωτερικού χώρου

Η εναλλαγή του αέρα από το εσωτερικό προς εξωτερικό και το αντίστροφο πραγματοποιείται όταν η στατική εξωτερική πίεση του κτιρίου p_0 διαφέρει από την στατική εσωτερική πίεση p_i . Η διαφορά των πιέσεων $p_i - p_0$ οφείλεται σε δύο λόγους:

- εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας εξωτερικά του κτιρίου T_0 από την εσωτερική του θερμοκρασία T_i
- εξαιτίας του ανέμου που πνέει εξωτερικά του κτιρίου και συμβάλλει στην άνιση κατανομή της πίεσης στην εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου, την ύπαρξη δηλαδή αρκετά μεγάλων πιέσεων

4.4 Τεχνητός αερισμός

Στις περιπτώσεις όπου ο φυσικός αερισμός είναι αδύνατον να υπάρξει ή είναι ελάχιστος, την απαιτούμενη ποσότητα αέρα, έρχεται να αναπληρώσει ο τεχνητός αερισμός. Είναι απαραίτητη η ύπαρξη συστημάτων τεχνητού αερισμού σε κτίρια του τριτογενή τομέα, όπου απαιτείται ακριβής έλεγχος των εναλλαγών αέρα και της ποιότητας του [31].

Κατά την διάρκεια της νύχτας και σε κτίρια με ικανή θερμική μάζα, η ύπαρξη του τεχνητού αερισμού βοηθάει στην μείωση των ψυκτικών φορτίων των κτιρίων. Αυτό συμβαίνει διότι απορρίπτει τη θερμότητα που συσσωρεύτηκε την ημέρα, ενώ αποθηκεύει δροσιά στα δομικά στοιχεία του κτιρίου, έτσι ώστε να αποφευχθεί η υπερθέρμανση του κτιρίου την επόμενη μέρα. Όπως ο φυσικός αερισμός, έτσι και ο

τεχνητός είναι μια εναλλακτική τεχνική δροσισμού, παραγκωνίζοντας έτσι την χρησιμότητα των κλιματιστικών. Ακόμη, ελέγχοντας τις απώλειες από αερισμό αποτελεί ένα μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας τη χειμερινή περίοδο.

Τα σημερινά κτίρια, επειδή υπόκεινται σε κανονισμούς θερμομόνωσης [32], είναι μονωμένα αρκετά καλά και για αυτό τον λόγο έχουν διερευνηθεί αρκετοί μέθοδοι εξαναγκασμένου αερισμού. Οι τρεις αυτές μέθοδοι είναι:

- Μέθοδος εξαερισμού
- Μέθοδος παροχής εξωτερικού καθαρού αέρα
- Μέθοδος ισορροπίας

4.5 Αερισμός κολυμβητηρίων

Η ποιότητα του αέρα που βρίσκεται στο εσωτερικό του κλειστού κολυμβητηρίου είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την άνεση των αθλητών, των θεατών και του προσωπικού στον χώρο. Όμως αυτό μπορεί να παραμεριστεί αν ο προϋπολογισμός δεν είναι αρκετά επαρκής, ώστε να εξασφαλίσει εξ' ολοκλήρου τις απαιτούμενες συνθήκες άνεσης, όσον αφορά τον αερισμό, με αποτέλεσμα να υπολειπθούν τα συστήματα αερισμού του κολυμβητηρίου [33].

Σύμφωνα με το «Sick Pool Syndrome», ο αερισμός είναι κάτι που συχνά παραμελείται, δημιουργώντας έτσι βλαβερές συνέπειες. Η ονομασία αυτή δόθηκε εξαιτίας του «νεκρού χώρου» αερισμού στην επιφάνεια της πισίνας που επιτρέπει στα χλωριούχα αέρια, τα οποία ονομάζονται χλωραμίνες, να συγκεντρώνονται στον χώρο επάνω από το νερό. Λόγοι που συντελούν στο φαινόμενο αυτό σχετίζονται με την ακατάλληλη χημεία του νερού, αλλά και κυρίως εξαιτίας του ανεπαρκούς αερισμού. Οι ανάσες που χρειάζονται να πάρουν οι αθλητές κατά την διάρκεια της άσκησής τους βρίσκονται στην επιφάνεια του νερού, ακριβώς εκεί δηλαδή που υπάρχει αρκετά μεγάλη συγκέντρωση χλωραμινών, γεγονός που μειώνει την αναπνευστική λειτουργία. Σε περιπτώσεις κολυμβητικών δεξαμενών, όπου δεν υπάρχουν συστήματα αερισμού και η ποιότητα αέρα μέσα στο κολυμβητήριο είναι κακή, οι αθλητές ακόμα και αν δεν πάσχουν από κάποιου είδους άσθμα, είναι αναγκαίο να κάνουν χρήση αναπνευστικού φαρμάκου.

Ακόμη, ο αερισμός είναι απαραίτητος για να αποφευχθεί η διαστρωμάτωση θερμοκρασίας σε χώρους με υψηλή οροφή. Ο αέρας από τον χώρο των πισινών έχει, όπως έγινε αντιληπτό, υψηλή συγκέντρωση σε χλωραμίνες και υψηλό λανθάνον φορτίο, άρα πρέπει να δοθεί προσοχή ώστε ο αέρας αυτός να μην περάσει στα αποδυτήρια ή σε άλλους χώρους εντός του κλειστού κολυμβητηρίου.

4.6 Προσαγωγή αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον

4.6.1 Εναλλαγές αέρα

Βάσει της Οδηγίας ASHRAE [26], οι εναλλαγές αέρα έχουν στόχο την παροχή των απαραίτητων συνθηκών άνεσης όσον αφορά την ποιότητα αέρα για μια τυπική πισίνα που χρησιμοποιεί χλωρίνη ως βασικό μέσο απολύμανσης. Τα όρια αυτά μπορεί να είναι αρκετά αυστηρά για πισίνες που αφορούν ιδιωτική χρήση, αλλά και για πισίνες με υψηλή επισκεψιμότητα (κολυμβητήρια δημόσιας χρήσης).

Οι περισσότεροι κανονισμοί απαιτούν ως ελάχιστη τιμή 6 ACH, εξαιρώντας την περίπτωση που υπάρχει η μηχανική ψύξη. Όμως, αυτή η τιμή είναι απαραίτητο να διαφοροποιείται ανάλογα με την χωρητικότητα και τη χρήση του χώρου. Στις περιπτώσεις που πραγματοποιείται μηχανική αφύγρανση, οι εναλλαγές αέρα θα πρέπει να είναι οι αντίστοιχες, ώστε να διατηρούνται οι κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Η ASHRAE αναφέρει ότι για τον χώρο των κερκίδων οι εναλλαγές αέρα πρέπει να είναι 8/h, επειδή ο άνθρωπος αντιμετωπίζει μεγαλύτερη δυσφορία με την άνοδο της υγρασίας από ότι με την άνοδο της θερμοκρασίας.

Η προσαγωγή εξωτερικού αέρα, μέσω των αεραγωγών, μπορεί να ρυθμίζεται τις ημέρες όπου βρίσκονται θεατές στις κερκίδες με τους ακόλουθους τρόπους:

- Με χρονοδιακόπτη που έχει δυνατότητα ρύθμισης σε λειτουργία όταν υπάρχει πλήθος θεατών στις κερκίδες.
- Με χρήση μιας συσκευής ελέγχου CO₂, η οποία έχει γίνει αποδεκτή από την ASHRAE ως δείκτης της ποιότητας του εσωτερικού αέρα
- Με χειροκίνητο διακόπτη

Πίνακας 4.2: Τα επιθυμητά όρια όπως ορίζονται από την οδηγία της ASHRAE [34].

<i>Πισίνες χωρίς χώρο θεατών</i>	<i>4-6 ACH</i>
<i>Χώρος θεατών (κερκίδες)</i>	<i>6-8 ACH</i>
<i>Θεραπευτικές πισίνες</i>	<i>4-6 ACH</i>

Αναλόγως με τον σχεδιασμό οι τιμές παροχής εξωτερικού αέρα μπορεί να είναι σταθερές ή να μεταβάλλονται. Ακόμα και τα χαμηλότερα όρια που προτείνονται είναι απαραίτητο να καταστρέφουν επαρκώς τις τοξίνες που παράγονται από το νερό της πισίνας, αλλά και να διατηρούν επαρκή αερισμό για συγκεκριμένη χωρητικότητα.

Κεφάλαιο 5: Το κτίριο προς μελέτη

Στον παρόν κεφάλαιο μελετάται το κλειστό κολυμβητήριο της Πτολεμαΐδας, ένα νεόκτιστο και υπερσύγχρονο κτίριο. Αρχικός στόχος είναι η ανάλυση και ο υπολογισμός των ενεργειακών φορτιών, αλλά και των εσωτερικών συνθηκών που επικρατούν στο κολυμβητήριο. Για τον λόγο αυτό περιγράφονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, η τοποθεσία, η μορφή του κελύφους καθορίζοντας ταυτόχρονα τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των απαιτήσεων σε θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό, παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και φωτισμό. Τα στοιχεία για την μελέτη έχουν συλλεχθεί από την πολεοδομία όσον αφορά τα μηχανολογικά σχέδια του κτιρίου, αλλά και από την επιτόπια επιθεώρηση και επίσκεψη στους χώρους του κολυμβητηρίου.

5.1 Γενική περιγραφή του κολυμβητηρίου



Εικόνα 5.1: Γενική άποψη του αθλητικού κέντρου

Το Δημοτικό Κλειστό Κολυμβητήριο της Πτολεμαΐδας, το οποίο βρίσκεται κοντά στο κέντρο της πόλης, δόθηκε σε λειτουργία την 1^η Ιανουαρίου του 2008. Ο κύριος χώρος του περιλαμβάνει μια κολυμβητική πισίνα ολυμπιακών διαστάσεων $21\text{m} \times 50\text{m}$ με 8 αγωνιστικούς διαδρόμους επιφάνειας 1.050 m^2 , μια πισίνα

εκμάθησης $12,5\text{m} \times 10\text{m}$ επιφάνειας 125 m^2 και δύο διαζώματα κερκίδων. Έχει την δυνατότητα να φιλοξενήσει μέχρι 350 αθλητές και 2.000 θεατές. Ειδικότερα υπάρχουν αποδυτήρια, τεχνικά και διοικητικά γραφεία, αίθουσα τύπου, φουαγιέ εισόδου με κυλικείο, αλλά και αποθηκευτικοί χώροι για τους εξοπλισμούς των ομάδων, ενώ στον υπόγειο χώρο στεγάζεται το λεβητοστάσιο. Με την έναρξη λειτουργίας δημιουργήθηκαν τμήματα που απευθύνονται σε όλο το εύρος των ηλικιών.

Λόγω των μεγάλων και σύγχρονων εγκαταστάσεων που διαθέτει, αποτελεί πόλο έλξης σπουδαίων αθλητών, αλλά και ιστορικών συλλόγων για την καλοκαιρινή προετοιμασία τους. Έχει επιλεγεί για την πραγματοποίηση δύο πανελληνίων πρωταθλημάτων κολύμβησης και τεσσάρων Final Four αγώνων υδατοσφαίρισης.



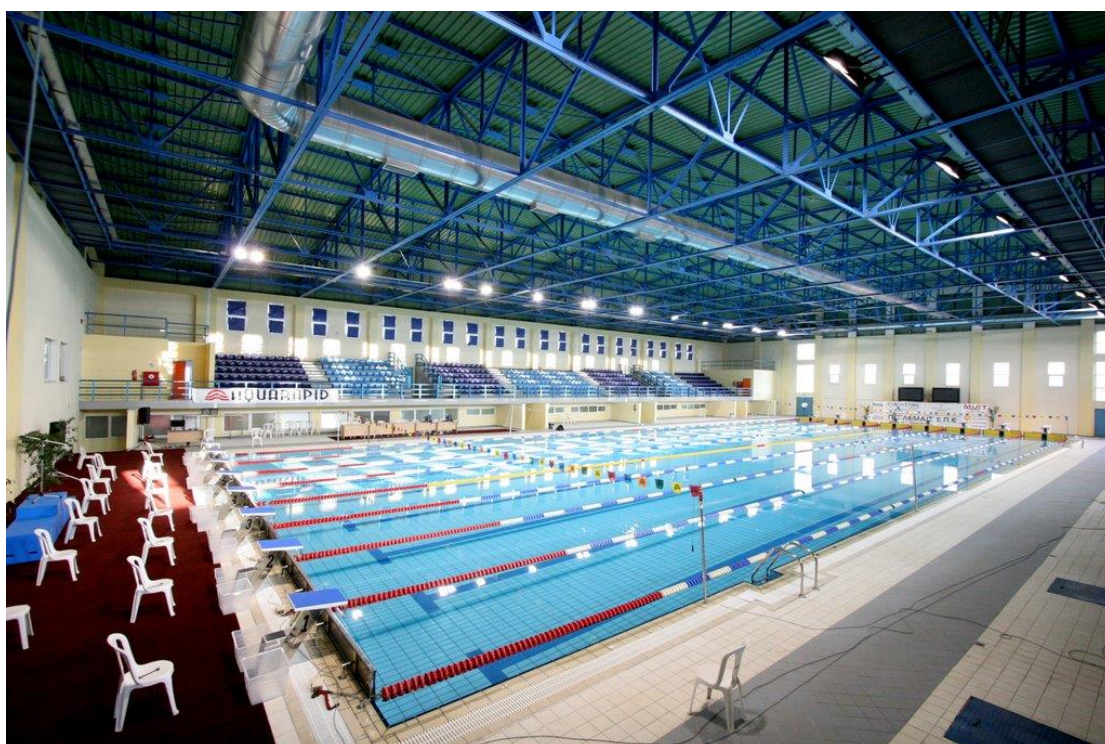
Εικόνα 5.2: Η μεγάλη κολυμβητική δεξαμενή του κολυμβητηρίου.

5.2 Κτιριακό κέλυφος

Το κολυμβητήριο καταλαμβάνει έκταση 4.986 m^2 , συνολικού όγκου 48.000 m^3 περιλαμβάνοντας βοηθητικούς χώρους επιφάνειας 980 m^2 , που βρίσκονται ως επί το πλείστον κάτω από τις κερκίδες, ενώ ο υπόγειος χώρος που στεγάζει το μηχανοστάσιο και το λεβητοστάσιο καταλαμβάνει 600 m^2 . Η τοιχοποιία του κτιρίου δομείται από οπλισμένο σκυρόδεμα και οπτοπλινθοδομή με ενσωματωμένη μόνωση. Το δάπεδο βρίσκεται σε όλη του την έκταση σε επαφή με το έδαφος, εξαιρουμένων των επιφανειών των κερκίδων που είναι μονωμένες με βασικό υπόστρωμα. Η οροφή

του κολυμβητηρίου είναι μεταλλικής κατασκευής συνολικής επιφάνειας 3.710 m^2 . Τέλος, τα ανοίγματα του κτιρίου καταλαμβάνουν επιφάνεια 360 m^2 , από μεταλλικές πόρτες και παράθυρα με μονούς υαλοπίνακες, κουφώματος αλουμινίου.

Ένα από τα προβλήματα της περιοχής της Πτολεμαΐδας είναι και η λειτουργία του κτιρίου, εξαιτίας των μεγάλων εξόδων συντήρησης και λειτουργίας που απαιτούνται καθημερινά για την θέρμανση του χώρου και του νερού χρήσης, ιδιαίτερα σε περιόδους ψύχους, καθόλου σπάνιο για αυτή την περιοχή. Το ενδιαφέρον, όσον αφορά πιθανές παρεμβάσεις, εστιάζεται στην οροφή αυτού του μεγάλου κολυμβητηρίου, η οποία αποτελείται από ένα μόνο στρώμα λαμαρίνας, εκτεθειμένο στις δυσμενείς συνθήκες της περιοχής.



Εικόνα 5.3: Γενική άποψη του εσωτερικού χώρου της μεγάλης κολυμβητικής δεξαμενής του κολυμβητηρίου.

5.2.1 Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων

5.2.1.1 Αδιαφανή στοιχεία

Ο βαθμός θερμομονωτικής προστασίας ενός αδιαφανούς δομικού στοιχείου προσδιορίζεται από το συντελεστή θερμοπερατότητας (U). Ορίζεται από το αντίστροφο του αθροίσματος των θερμικών αντιστάσεων που προβάλλουν οι διαδοχικές στρώσεις του δομικού στοιχείου στη θεωρούμενη κατά παραδοχή μονοδιάστατη και κάθετη στην επιφάνειά του, ροή θερμότητας, μέσω αυτού και των

αντίστοιχων θερμικών αντιστάσεων που προβάλλουν οι εκατέρωθεν, των όψεων του, στρώσεις αέρα [35].

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_a} \quad (5.1)$$

Όπου,

U : ο συντελεστής θερμοπερατότητας των αδιαφανών δομικών στοιχείων σε $W/m^2 \cdot K$

R_i : Η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο σε $m^2 \cdot K/W$

n : Το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου

d_i : Το πάχος της κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου σε m

λ_i : Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της κάθε στρώσης σε $W/m \cdot K$

R_a : Η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον σε $W/m^2 \cdot K$

Ακολουθούν μερικά από τα κύρια δομικά στοιχεία του κολυμβητηρίου με αναλυτικό υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας. Τα στοιχεία έχουν αντληθεί από τη μελέτη θερμομόνωσης.


Πίνακας 5.1: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας της εξωτερικής τοιχοποιίας.

α/α	Στρώσεις υλικών	Πυκνότητα kg/m^3	Πάχος m	Συντελεστής λ $Kcal/mhC$	d_i/λ_i $m^2hC/Kcal$
1	Επίχρυσμα	1900	0.020	0.750	0.027
2	Τοίχος	1200	0.090	0.450	0.200
3	Μονωτικό υλικό		0.050	0.035	1.429
4	Τοίχος	1200	0.090	0.450	0.200
5	Επίχρυσμα	1900	0.020	0.750	0.027
ΣΥΝΟΛΑ			0.270		2.188
$R_i = 0.14 m^2hC/Kcal$ $R_a = 0.05 m^2hC/Kcal$ $U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=i}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_a} = \frac{1}{2.072} = 0.483 Kcal/m^2hC = 0.562 W/m^2 \cdot K$					
ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ :					

Πίνακας 5.2: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας του δαπέδου.

α/α	Στρώσεις υλικών	Πυκνότητα kg/m^3	Πάχος m	Συντελεστής λ $Kcal/mhC$	d_i/λ_i $m^2hC/Kcal$
1	Πλακάκια		0.010	0.900	0.011
2	Τσιμεντοκονία		0.020	1.200	0.017
3	Γκρό μπετόν		0.150	1.300	0.115
4	Risolbeton	600	0.120	0.110	1.091
5	Στεγάνωση	1050	0.001	0.150	0.007
6	Σκυρόδεμα Β120	2400	0.050	1.750	0.029
7	Κροκάλες		0.300	0.900	0.333
ΣΥΝΟΛΑ			0.651		1.603
$R_i = 0.20 m^2hC/Kcal$ $R_a = 0.00 m^2hC/Kcal$ $U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=i}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_a} = \frac{1}{1.803} = 0.555 Kcal/m^2hC = 0.645 W/m^2 \cdot K$					
ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ :					
ΠΛΑΚΑΚΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑ ΓΚΡΟ ΜΠΕΤΟΝ RISOLBETON ΣΤΕΓΑΝΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ Β120 ΚΡΟΚΑΛΕΣ					

Πίνακας 5.3: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας της μεταλλικής οροφής.

α/α	Στρώσεις υλικών	Πυκνότητα kg/m^3	Πάχος m	Συντελεστής λ $Kcal/mhC$	d_i/λ_i $m^2hC/Kcal$
1	Χυτοσίδηρος και χάλυβας	7800	0.001	50.00	0.000
2	Πολυουρεθάνη	45.00	0.025	0.020	1.440
3	Χυτοσίδηρος και χάλυβας	7800	0.001	50.00	0.000
ΣΥΝΟΛΑ			0.027		1.440
$R_i = 0.14 m^2hC/Kcal$ $R_a = 0.05 m^2hC/Kcal$ $U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=i}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R_a} = \frac{1}{1.44} = 0.695 Kcal/m^2hC = 0.800 W/m^2 \cdot K$					
ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ :					
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΣ ΚΑΙ ΧΑΛΥ</p> <p>ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗ</p> <p>ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΣ ΚΑΙ ΧΑΛΥ</p> </div>  </div>					

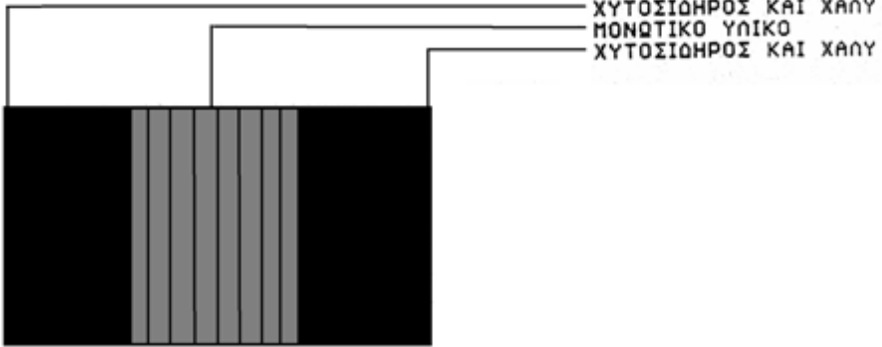
Πίνακας 5.4: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας της εξωτερικής τοιχοποιίας (panel).

α/α	Στρώσεις υλικών	Πυκνότητα kg/m^3	Πάχος m	Συντελεστής λ $Kcal/mhC$	d_i/λ_i $m^2hC/Kcal$
1	Χυτοσίδηρος και χάλυβας	7800	0.001	50.00	0.000
2	Μονωτικό υλικό		0.048	0.035	1.371
3	Χυτοσίδηρος και χάλυβας	7800	0.001	50.00	0.000
ΣΥΝΟΛΑ			0.050		1.371

$R_i = 0.14 m^2hC/Kcal$
 $R_a = 0.05 m^2hC/Kcal$

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=i}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R_a} = \frac{1}{1.561} = 0.640 Kcal/m^2hC = 0.744 W/m^2 \cdot K$$

ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ :



ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΣ ΚΑΙ ΧΑΛΥ
 ΜΟΝΩΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ
 ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΣ ΚΑΙ ΧΑΛΥ

Πίνακας 5.5: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας του πυθμένα της κολυμβητικής δεξαμενής.

α/α	Στρώσεις υλικών	Πυκνότητα kg/m^3	Πάχος m	Συντελεστής λ $Kcal/mhC$	d_i/λ_i $m^2hC/Kcal$
1	Πλακάκια		0.010	0.900	0.011
2	Τσιμεντοκονία		0.020	1.200	0.017
3	Πλάκα	2400	0.200	1.750	0.114
4	Risolbeton	600	0.060	0.110	0.545
5	Στεγάνωση	1050	0.200	0.150	1.333
6	Σκυρόδεμα B120	2400	0.050	1.750	0.029
7	Κροκάλες		0.400	0.900	0.444
ΣΥΝΟΛΑ			0.940		2.494

$R_i = 0.20 m^2hC/Kcal$
 $R_a = 0.00 m^2hC/Kcal$

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=i}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_a} = \frac{1}{2.694} = 0.371 Kcal/m^2hC = 0.431 W/m^2 \cdot K$$

ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ :

ΠΛΑΚΑΚΙΑ

ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑ

ΠΛΑΚΑ

RISOLBETON

ΣΤΕΓΑΝΩΣΗ

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ Β 120

ΚΡΟΚΑΛΕΣ

Πίνακας 5.6: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας της οροφής δωματίων.

α/α	Στρώσεις υλικών	Πυκνότητα kg/m^3	Πάχος m	Συντελεστής λ $Kcal/mhC$	d_i/λ_i $m^2hC/Kcal$
1	Τσιμεντόπλακες		0.030	0.900	0.033
2	Ασβεστοκονίαμα		0.020	0.750	0.027
3	Μπετόν κλίσης	800	0.035	0.300	0.117
4	Στεγάνωση	1050	0.001	0.150	0.007
5	Risolbeton	600	0.080	0.110	0.727
6	Roofmate	31.8	0.030	0.023	1.304
7	Στεγάνωση	1050	0.001	0.150	0.007
8	Πλάκα	2400	0.150	1.750	0.086
9	Επίχρισμα	1900	0.020	0.750	0.027
ΣΥΝΟΛΑ			0.367		2.334
$R_i = 0.14 m^2hC/Kcal$ $R_a = 0.05 m^2hC/Kcal$ $U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=i}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_a} = \frac{1}{2.524} = 0.396 Kcal/m^2hC = 0.460 W/m^2 \cdot K$					
ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ :					
ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΛΑΚΕΣ ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑ ΜΠΕΤΟΝ ΚΛΙΣΗΣ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗ RISOLBETON Roofmate ΣΤΕΓΑΝΩΣΗ ΠΛΑΚΑ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑ					

5.2.1.2 Διαφανή στοιχεία

Στα διαφανή δομικά στοιχεία, η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας του κουφώματος (U_w) προκύπτει από τους συντελεστές θερμοπερατότητας του πλαισίου του κουφώματος και του υαλοπίνακα, κατά την ποσοστιαία αναλογία των εμβαδών των δύο υλικών στην επιφάνεια του κουφώματος, λαμβάνοντας υπόψη και την γραμμική θερμογέφυρα που αναπτύσσεται μεταξύ πλαισίου και υαλοπίνακα.

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + l_g \cdot \Psi_g}{A_g + A_f} \quad (5.2)$$

Όπου,

A_f : Το εμβαδό επιφάνειας του πλαισίου του κουφώματος σε m^2

U_f : Ο συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου του κουφώματος σε $W/m^2 \cdot K$

A_g : Το εμβαδό επιφάνειας του υαλοπίνακα του κουφώματος σε m^2

U_g : Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος (μονού, διπλού ή περισσότερων φύλλων) σε $W/m^2 \cdot K$

l_g : Το μήκος της θερμογέφυρας του υαλοπίνακα του κουφώματος (το μήκος συναρμογής πλαισίου - υαλοπίνακα, δηλαδή η περίμετρος του υαλοπίνακα) σε m

Ψ_g : Ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος σε $W/m \cdot K$

5.2.2 Μελέτη θερμομονωτικής επάρκειας

Ο έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας ενός κτιρίου γίνεται με βάση τον συντελεστή θερμοπερατότητας σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο ελέγχεται η θερμική επάρκεια ενός εκάστου των επί μέρους δομικών στοιχείων. Για να ικανοποιούνται, για κάθε εξεταζόμενο δομικό στοιχείο, οι απαιτήσεις θερμομονωτικής επάρκειας, θα πρέπει η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητάς του να μην υπερβαίνει την μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή θερμοπερατότητας, όπως ορίζεται από τον κανονισμό ανά κλιματική ζώνη και για κάθε κατηγορία δομικών στοιχείων (Πίνακας 3.3α TOTEE 20701-1) [36]. Πρέπει δηλαδή να ισχύει:

$$U_{εξεταζ,i} \leq U_{max,i} \quad (5.3)$$

Στο δεύτερο στάδιο ελέγχεται η θερμική επάρκεια του συνόλου του κτιρίου με βάση την μέση τιμή θερμοπερατότητας (U_m) η οποία δεν πρέπει να ξεπερνά τα όρια που ορίζονται από τον κανονισμό για κάθε κτήριο ανά κλιματική ζώνη. Πρέπει δηλαδή να ισχύει:

$$U_m \leq U_{m,max} \quad (5.4)$$

Η μέγιστη αυτή τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας υπολογίζεται με βάση τον λόγο της συνολικής εξωτερικής επιφάνειας του κτιρίου (A) προς τον συνολικό όγκο του (V) (Πίνακας 3.3β ΤΟΤΕΕ 20701-1).

Πίνακας 5.7: Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας κτιρίου για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας, πηγή: [36].

F/V (m ⁻¹)	Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής (U_m) σε [W/m ² .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 [35].

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j \cdot U_j \cdot b + \sum_{i=1}^v l_i \cdot \Psi_i \cdot b}{\sum_{j=1}^n A_j} \quad (5.5)$$

Όπου,

U_m : Ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κελύφους όλου του κτηρίου σε W/m².K

n : Το πλήθος των επί μέρους δομικών στοιχείων στο κέλυφος του κτηρίου

A_j : Το εμβαδό επιφάνειας που καταλαμβάνει το κάθε δομικό στοιχείο στη συνολική επιφάνεια του κελύφους του κτηρίου σε m²

U_j : Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κάθε δομικού στοιχείου j του κελύφους του κτηρίου σε $W/m^2 \cdot K$

b : Μειωτικός συντελεστής από κεφάλαιο 2.6.1 TOTEE 20701-2 [37]

ν : Το πλήθος των θερμογέφυρων που αναπτύσσονται στα εξωτερικά ή εσωτερικά όρια κάθε επιφάνειας A_j του κελύφους

l_i : Το συνολικό μήκος του κάθε τύπου θερμογέφυρας που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτηρίου σε m

Ψ_i : Ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του κάθε τύπου θερμογέφυρας που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτηρίου σε $W/m \cdot K$

Συγκεκριμένα στο υφιστάμενο κτίριο μετά από τον υπολογισμό θερμοπερατότητας των επιμέρους δομικών στοιχείων και όλων των παραπάνω στοιχείων υπολογίστηκε ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου $U_m = 0,560 W/m^2 \cdot K$. Ο όγκος του κτιρίου με βάση τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά ισούται με $V = 48.000 m^3$, ενώ η συνολική εξωτερική επιφάνεια του ισούται με $A = 12.719,5 m^2$. Άρα ο λόγος $A/V = 0,265$ και με βάση τον Πίνακα 5.7 προκύπτει ο μέγιστος συντελεστής θερμοπερατότητας $U_{m,max} = 0,934$ για την Ζώνη Δ. Η σχέση 5.4 ισχύει, συνεπώς το κολυμβητήριο ικανοποιεί τις συνθήκες θερμομονωτικής επάρκειας.

5.3 Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις

Στην ανατολική πλευρά του κολυμβητηρίου σε υπόγειο χώρο, περίπου $600 m^2$, στεγάζονται τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα. Μόνο σε εξειδικευμένα άτομα και στο προσωπικό του γυμναστηρίου επιτρέπεται η διέλευση τους στα μηχανοστάσια. Η άριστη κατάσταση των συστημάτων δικαιολογείται από την συστηματική συντήρηση, αλλά και τον χρόνο λειτουργίας τους που δεν ξεπερνά την μία δεκαετία.

5.3.1 Συστήματα θέρμανσης

Ένα κολυμβητήριο έχει τεράστιες ανάγκες για θέρμανση εξαιτίας μεγάλων φορτίων που απαιτούνται τόσο στην θέρμανση νερού των δεξαμενών, όσο και στον αέρα του εσωτερικού χώρου σε συνδυασμό με κατάταξη της ζώνης που βρίσκεται η τοποθεσία του. Τον κύριο λόγο στην θέρμανση την περίοδο 15 Οκτωβρίου έως 15 Μαΐου έχει η Τηλεθέρμανση, ενώ τους υπόλοιπους μήνες τις απαιτήσεις ζεστού νερού χρήσης, αλλά και των δεξαμενών αναλαμβάνουν οι καυστήρες πετρελαίου.



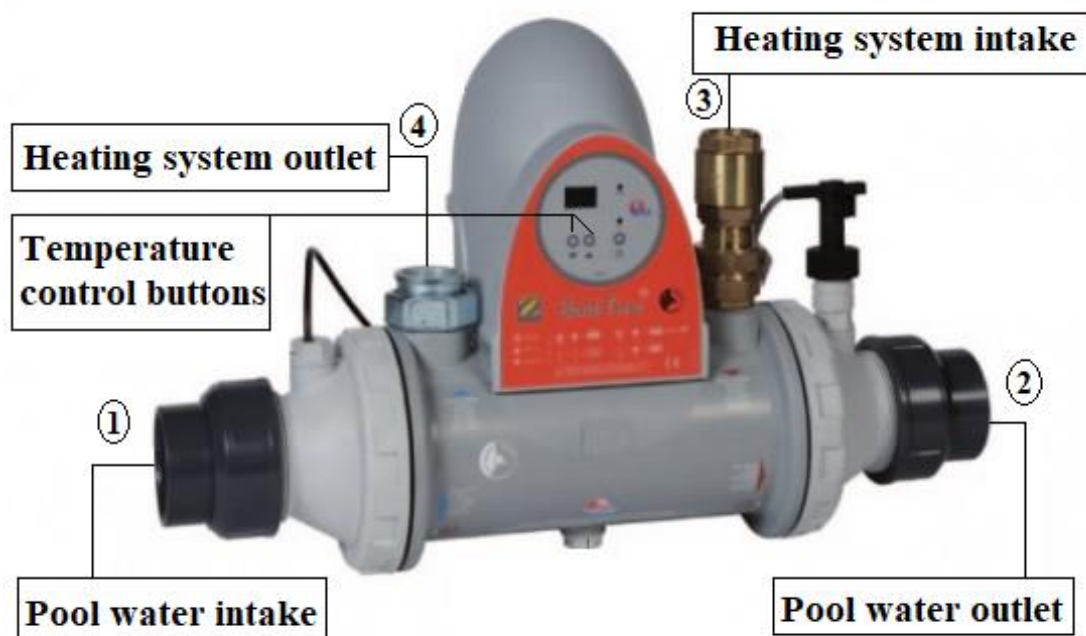
Εικόνα 5.4: Εναλλάκτης Τηλεθέρμανσης.

5.3.1.1 Θέρμανση νερού δεξαμενών

Η θερμοκρασία της αγωνιστικής πισίνας διατηρείται στους 26,5°C και η πισίνα εκμάθησης στους 29°C. Την θέρμανση του νερού των δυο δεξαμενών αναλαμβάνουν τρεις εναλλάκτες θερμότητας τύπου ZODIAC HEAT LINE. Χαρακτηριστικά συνεργάζονται δύο εναλλάκτες των 322.000 kcal/h για τις απαιτήσεις της αγωνιστικής πισίνας και ένας εναλλάκτης των 132.000 kcal/h για την πισίνα εκμάθησης. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.6 στον εναλλάκτη της αγωνιστικής πισίνας εισέρχεται από την είσοδο 1 το νερό της δεξαμενής που χρειάζεται να θερμανθεί. Από την είσοδο 3 εισέρχεται το ζεστό νερό από την συμβατική πηγή και με την βοήθεια του εναλλάκτη κελύφους με αντιρροή θερμαίνεται το νερό της πισίνας στην επιθυμητή θερμοκρασία που εξέρχεται από την έξοδο 2. Στην συνέχεια το ζεστό νερό από την συμβατική πηγή, αφού έχασε θερμότητα εξέρχεται από την έξοδο 4. Ακόμη, πάνω στον εναλλάκτη βρίσκεται ένας θερμοστάτης για ρύθμιση της επιθυμητής θερμοκρασίας του νερού.



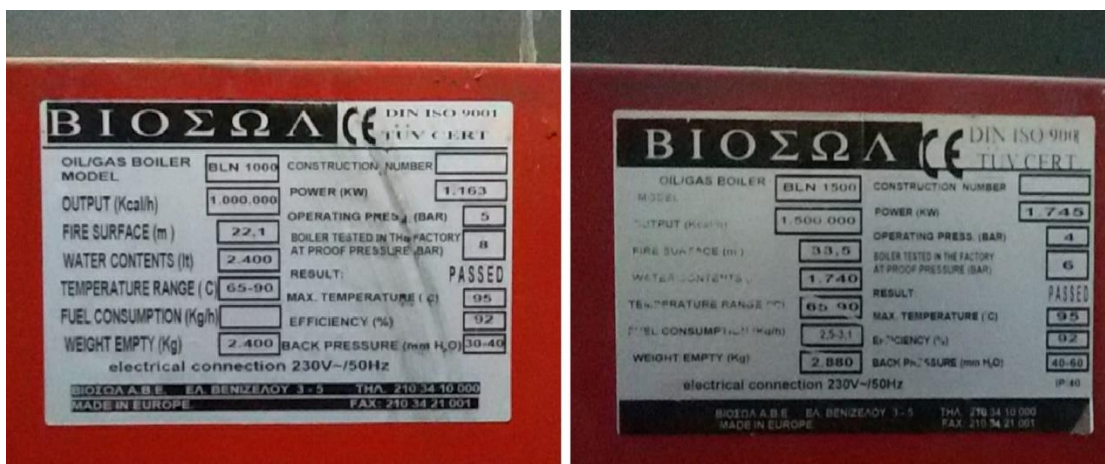
Εικόνα 5.5: Εναλλάκτης θέρμανσης νερού πισινών τύπου ZODIAC HEAT LINE.



Εικόνα 5.6: Περιγραφή λειτουργίας εναλλάκτη θέρμανσης.

5.3.1.2 Θέρμανση βοηθητικών χώρων και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης

Για την θέρμανση των βοηθητικών χώρων αλλά και για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης είναι υπεύθυνοι δυο λέβητες πετρελαίου τύπου ΒΙΟΣΩΛΑ 1.000.000 kcal/h ισχύς 1.163 kW και 1.500.000 kcal/h ισχύς 1.745 kW όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.7. Και οι δυο λέβητες έχουν απόδοση της τάξης του 92% και ονομαστική πίεση λειτουργίας 5 bar. Για την αποθήκευση καυσίμου, αλλά και σε περιόδους υψηλής κατανάλωσης, υπάρχουν 5 δεξαμενές συνολικής χωρητικότητας 20 τόνων πετρελαίου.



Εικόνα 5.7: Λέβητες πετρελαίου τύπου ΒΙΟΣΩΛΑ με τα αντίστοιχα στοιχεία κατασκευής.

Το λεβητοστάσιο τροφοδοτεί, με την βοήθεια κυκλοφορητών, τέσσερις διαφορετικούς κλάδους. Ο πρώτος κλάδος επικοινωνεί με τους εναλλάκτες θερμότητας για την θέρμανση του νερού δεξαμενών, όπως αναλύθηκε προηγουμένως. Ο δεύτερος κλάδος τροφοδοτεί 2 boiler συνολικής χωρητικότητας 2.000 λίτρων για τις απαιτήσεις ζεστού νερού χρήσης. Σημειώνεται ότι τα δυο boiler είναι καλυμμένα με θερμομονωτικό υλικό για μικρότερες θερμικές απώλειες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.8. Επίσης, οι φροντιστές του κολυμβητηρίου έχουν τοποθετήσει μια δεξαμενή αποθήκευσης 4.000 λίτρων σε περίπτωση διακοπής νερού.



Εικόνα 5.8: Boiler αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης.

Ο τρίτος κλάδος καλύπτει τις απαιτήσεις θέρμανσης στους χώρους των αποδυτηρίων, των γραφείων, των διαδρόμων, αλλά και στους ειδικούς χώρους αναμονής και του κυλικείου με την χρήση θερμαντικών σωμάτων τύπου πάνελ. Ο τελευταίος κλάδος συνεργάζεται με τις Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες για τις απαιτήσεις θέρμανσης στον αγωνιστικό χώρο του κολυμβητηρίου που επιτυγχάνεται με την βοήθεια των αεραγωγών.

5.3.2 Σύστημα κλιματισμού

Στο δώμα του κτιρίου συνεργάζονται δύο Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες (ΚΚΜ) τύπου TRANE οι οποίες είναι υπεύθυνες για τις κλιματιστικές ανάγκες του κολυμβητηρίου. Με τον όρο κλιματισμό εννοείται η διαδικασία με την οποία επιτυγχάνονται συνθήκες άνεσης και υγιεινής στον χώρο. Για να γίνει εφικτό, κάθε κλιματιστική μονάδα θα πρέπει να ελέγχει και να ρυθμίζει τέσσερα στοιχεία του αέρα: την θερμοκρασία, την υγρασία, την καθαρότητα και την κίνηση του στον χώρο. Η παροχή του αέρα πρέπει να παρέχεται σε κατάλληλη θερμοκρασία και χαμηλές ταχύτητες χωρίς ρεύματα για να μην προκαλείται δυσάρεστη αίσθηση στα γυμνά σώματα των αθλητών. Επίσης η μεγάλη ταχύτητα του αέρα προκαλεί μεγάλη εξάτμιση στην επιφάνεια της πισίνας, η οποία δεν είναι επιθυμητή.

Η διαδικασία λειτουργίας των μονάδων ξεκινάει από την είσοδο νωπού αέρα από τα στόμια αναρρόφησης. Ο εξωτερικός αέρας αναμιγνύεται στον θάλαμο μίξης με ένα τμήμα του αέρα που επιστρέφει από τον εσωτερικό χώρο (αέρας απαγωγής-εξαερισμός). Συγκεκριμένα το ποσοστό εισαγωγής νωπού αέρα αγγίζει το 100% της ανακυκλοφορίας όπου στην συνέχεια φιλτράρεται από ειδικά διαμορφωμένα φίλτρα επίπεδης συστοιχίας για τον καθαρισμό του από σωματίδια, τέφρα, σκόνη και οσμές.

Στην συνέχεια, την χειμερινή περίοδο λαμβάνει χώρα η επεξεργασία του αέρα σε θέρμανση-ύγρανση με την βοήθεια εναλλακτών αέρα-ζεστού νερού που παρέχεται από τον λέβητα με την βοήθεια αντλιών είτε από την τηλεθέρμανση. Προτού όμως ο εξωτερικός αέρας τεθεί στην τελική επεξεργασία του, περνάει μέσα από έναν εναλλάκτη ανάκτησης, ώστε να προθερμανθεί από τον εξαγόμενο θερμό αέρα του χώρου και να μειωθεί το φορτίο που χρειάζεται για την θέρμανση του. Τους θερινούς μήνες, επειδή δεν υπάρχει ψυκτική μονάδα λειτουργούν μόνο οι ανεμιστήρες για την ανανέωση του εσωτερικού αέρα.



Εικόνα 5.9: Χώρος επεξεργασίας εξωτερικού αέρα των ΚΚΜ.

Έπειτα, με την συμβολή των ανεμιστήρων και με την κατάλληλη διαφορά πίεσης, γίνεται διανομή του αέρα προσαγωγής (αερισμός) στον κλιματιζόμενο χώρο με την βοήθεια κεντρικού δικτύου αεραγωγών που βρίσκονται στην οροφή του κολυμβητηρίου (Εικόνα 5.10). Επισημαίνεται ότι τα στόμια απορρόφησης νοπού αέρα βρίσκονται εξωτερικά του κολυμβητηρίου.



Εικόνα 5.10: Δίκτυο αεραγωγών και στόμιο προσαγωγής αέρα στην οροφή του κολυμβητηρίου.

5.3.3 Σύστημα ρύθμισης ποιότητας νερού δεξαμενών

Μεγάλο πλήθος αθλητών, αλλά και άνθρωποι όλων των ηλικιών επισκέπτονται καθημερινά το γυμναστήριο για να επωφεληθούν ψυχικά και σωματικά από την κολύμβηση. Ως εκ τούτου, ο χώρος αποτελεί ένα μέρος που εύκολα αναπτύσσονται μύκητες, βακτήρια και παθογόνοι μικροοργανισμοί. Για τον λόγο αυτό είναι υποχρεωτικό το φιλτράρισμα, η απολύμανση και η ανανέωση του νερού των δεξαμενών, βάση των προτύπων ποιότητας. Ο ρυθμός εναλλαγής νερού είναι και για τις δύο πισίνες 1 εναλλαγή/10 μέρες, δηλαδή περίπου 80 m^3 για την αγωνιστική, ενώ για την πισίνα εκμάθησης η ποσότητα εναλλαγής αναφέρεται σε 15 m^3 περίπου. Η πλήρης ανανέωση του νερού των δεξαμενών ολοκληρώνεται περίπου σε 8 μήνες, ενώ ένας πλήρης κύκλος επεξεργασίας του νερού διαρκεί περίπου 4 ώρες.

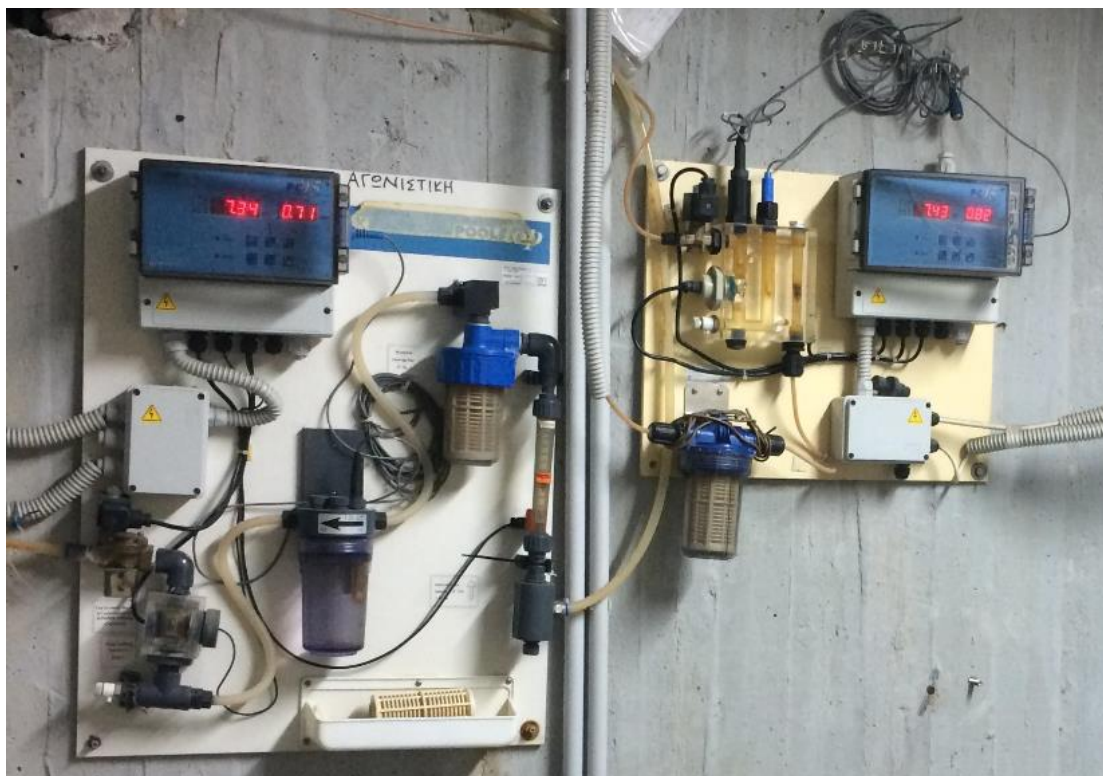


Εικόνα 5.11: Δωμάτιο χλωρίωσης.

Το νερό της αγωνιστικής πισίνας, αλλά και της πισίνας εκμάθησης οδηγείται μέσα από ένα δίκτυο σωληνώσεων στο δωμάτιο χλωρίωσης (Εικόνα 5.11). Εκεί υπάρχουν ξεχωριστοί πίνακες και μετρητές χλωρίου και pH των αντίστοιχων δεξαμενών. Συγκεκριμένα το pH και των δύο δεξαμενών ισούται με 7,2 ενώ η συγκέντρωση χλωρίου είναι 0,6 ppm για την αγωνιστική πισίνα και 0,8 ppm για την πισίνα εκμάθησης.

Επιπλέον, στο νερό των δεξαμενών γίνεται πρόσθεση ειδικού μυκητοκτόνου υγρού (αλγεοκτόνο) για την αποφυγή της δημιουργίας αλγών (πρασινίλα) στα τοιχώματα, αλλά και στον πυθμένα της πισίνας. Τα άλγη είναι φυτικοί οργανισμοί που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα υπό μορφή σκόνης και μόλις βρεθούν σε συνθήκες κατάλληλης θερμοκρασίας και υγρασίας αναπτύσσονται δημιουργώντας γλίτσα και πρασινίλα στην πισίνα.

Τέλος, ένα ακόμη συστατικό που αναμιγνύεται με το νερό της πισίνας, είναι το επονομαζόμενο κροκιδωτικό. Η χημική αυτή ουσία συμπυκνώνει τα μικρά αιωρούμενα σωματίδια τα οποία δεν συγκρατούνται από τα φίλτρα, με αποτέλεσμα να καθιζάνουν στον πυθμένα της πισίνας, και τις βραδινές ώρες με ειδικά μηχανήματα να γίνεται ο καθαρισμός τους. Με την διαδικασία αυτή το νερό γίνεται πιο διαυγές με κρυστάλλινο χρώμα.



Εικόνα 5.12: Μετρητές pH και χλωρίου αγωνιστικής πισίνας (αριστερά) και πισίνας εκμάθησης (δεξιά).

5.4 Γενικές παρατηρήσεις

Ύστερα από αρκετές επισκέψεις στις εγκαταστάσεις του κολυμβητηρίου στις οποίες έγιναν έλεγχοι, συνομιλίες με τον υπεύθυνο ηλεκτρολόγο μηχανικό και τους συντηρητές του κολυμβητηρίου προέκυψαν τα παρακάτω:

- Ο εξοπλισμός του κολυμβητηρίου είναι σε εξαιρετικά άριστη κατάσταση λόγω του λιγοστού χρόνου λειτουργίας του (10 έτη) και δεν υπάρχει λόγος να αντικατασταθεί σύντομα.
- Λόγω της έλλειψης μόνωσης της οροφής, η οποία αποτελείται από ένα μόνο φύλλο λαμαρίνας, η εγκατάσταση συγκεντρώνει τα μειονεκτήματα ενός ανοιχτού και ενός κλειστού κολυμβητηρίου. Αυτό σημαίνει πως έχει συνθήκες σχεδιασμού κλειστού κολυμβητηρίου, υψηλή θερμοκρασία εσωτερικού αέρα,

αλλά και μια οροφή με υψηλή μετάδοση θερμότητας που επιτρέπει εναλλαγή του εσωτερικού με τον εξωτερικό αέρα. Έτσι η τήρηση των συνθηκών θερμικής άνεσης συνοδεύεται από υψηλή κατανάλωση ενέργειας.

- Ακόμη μια συνέπεια της έλλειψης μόνωσης της οροφής είναι πως επιδρά στη συμπύκνωση που παρατηρείται στον χώρο. Πιο αναλυτικά, το νερό το οποίο εξατμίζεται από την πισίνα συμπυκνώνεται καθώς έρχεται σε επαφή με την κρύα επιφάνεια της οροφής, δημιουργώντας λιμνάζοντα νερά γύρω από τον χώρο των δεξαμενών. Αυτό το φαινόμενο αν συνεχιστεί υπάρχει κίνδυνος σε βάθος χρόνου να καταστραφούν δομικά στοιχεία του κτιρίου, αλλά και ο μηχανολογικός και ηλεκτρολογικός εξοπλισμός της εγκατάστασης [38].

5.5 Πρόγραμμα λειτουργίας κολυμβητηρίου

Ο αριθμός των ατόμων που εισέρχονται και εξέρχονται από το κολυμβητήριο προέκυψαν από δεδομένα που δόθηκαν από τους υπεύθυνους του κολυμβητηρίου. Πιο συγκεκριμένα, το κολυμβητήριο χρησιμοποιείται από τα ακόλουθα τμήματα:

- Προαγωνιστική 9-12 ετών
- Τμήμα τεχνικής κολύμβησης
- Αγωνιστική
- Τμήμα θεραπευτικής κολύμβησης - ΑΜΕΑ
- Τμήμα παιδιών - Μικρή πισίνα
- Ομάδα υδατοσφαίρισης
- Συγχρονισμένη κολύμβηση
- Τμήμα κολύμβησης ενηλίκων
- Πρόγραμμα Aqua Aerobic
- Πρόγραμμα Baby Swimming

Ακόμη, κάποιες ώρες την ημέρα το κολυμβητήριο είναι ανοιχτό στους ιδιώτες, ενώ η είσοδος στους συνοδούς και θεατές είναι ελεύθερη.

Στο εβδομαδιαίο πρόγραμμα λειτουργίας του κολυμβητηρίου που ακολουθήθηκε, δεν παρατηρήθηκαν σπουδαίες αλλαγές. Αναλυτικά οι κολυμβητικοί σύλλογοι παρευρίσκονται στον χώρο καθημερινά από Δευτέρα έως Παρασκευή 16:00 - 20:00, περίπου 520 άτομα, που όμως δεν ξεπερνούν τους 80 την ώρα και Σάββατο 11:00 - 13:00. Οι συνοδοί των αθλητών στο διάστημα αυτό είναι περίπου 200 άτομα, τα οποία βρίσκονται στην κερκίδα, αλλά δεν ξεπερνάνε τα 50 άτομα ανά ώρα. Οι ενήλικοι κολυμβητές προσέρχονται κάθε μέρα από Δευτέρα έως Παρασκευή 10:00 - 16:00 και Σάββατο 13:00 - 16:00. Τα τμήματα της συγχρονισμένης κολύμβησης έχουν προπονήσεις κάθε Δευτέρα, Τετάρτη και Πέμπτη 19:00 - 22:00 οι οποίες είναι ώρες για αρχάριους και προχωρημένους, αλλά και Σάββατο 9:30 - 11:30. Ακόμη για

τις προπονήσεις της υδατοσφαίρισης οι ώρες είναι καθημερινά από Δευτέρα έως Παρασκευή εκτός της Τετάρτης 20:15 - 22:30 και το Σάββατο 11:00 - 13:00 στις οποίες προπονούνται και οι αρχάριοι και η βασική ομάδα που αγωνίζεται σε επίσημους αγώνες. Τα άτομα στις προπονήσεις δεν ξεπερνούν τα 70 ανά ώρα. Οι αγώνες υδατοσφαίρισης λαμβάνουν χώρα την Κυριακή συνήθως 18:00 - 20:00 χωρίς όμως αυτό να είναι απαραίτητο πως συμβαίνει κάθε εβδομάδα. Τέλος, τα μαθήματα που απευθύνονται σε ΑΜΕΑ γίνονται καθημερινά από Δευτέρα έως Παρασκευή στις ώρες κοινού κατόπιν συνεννόησης με τον υπεύθυνο που συντονίζει το πρόγραμμα.

Στον Πίνακα 5.8 παρακάτω φαίνεται πως κατανέμονται οι αθλητές του κολυμβητηρίου ανά ώρα λειτουργίας, καθώς και στον Πίνακα 5.9 οι συνοδοί και θεατές για τις αντίστοιχες μέρες και ώρες λειτουργίας του.

Πίνακας 5.8: Εβδομαδιαίο παρουσιολόγιο αθλητών του κολυμβητηρίου ανά ημέρα και ανά ώρα.

	ΔΕΥΤΕΡΑ	ΤΡΙΤΗ	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΠΕΜΠΤΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΣΑΒΒΑΤΟ
<i>9:00-10:00</i>	0	10	15	10	15	0
<i>10:00-11:00</i>	20	30	30	30	30	20
<i>11:00-12:00</i>	15	25	25	25	25	20
<i>12:00-13:00</i>	15	25	25	25	25	20
<i>13:00-14:00</i>	10	20	20	20	20	20
<i>14:00-15:00</i>	15	25	25	25	25	20
<i>15:00-16:00</i>	25	35	35	35	35	40
<i>16:00-17:00</i>	70	80	80	80	80	40
<i>17:00-18:00</i>	70	80	80	80	80	40
<i>18:00-19:00</i>	70	80	80	80	80	40
<i>19:00-20:00</i>	70	80	80	80	80	40
<i>20:00-21:00</i>	35	45	45	45	45	0
<i>21:00-22:30</i>	15	25	25	25	25	0

Πίνακας 5.9: Εβδομαδιαίο παρουσιολόγιο συνοδών και θεατών του κολυμβητηρίου ανά ημέρα και ανά ώρα.

	ΔΕΥΤΕΡΑ	ΤΡΙΤΗ	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΠΕΜΠΤΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΣΑΒΒΑΤΟ
<i>9:00-10:00</i>	0	0	0	0	0	0
<i>10:00-11:00</i>	0	0	0	0	0	0
<i>11:00-12:00</i>	0	0	0	0	0	0
<i>12:00-13:00</i>	20	20	20	20	20	0
<i>13:00-14:00</i>	20	20	20	20	20	0
<i>14:00-15:00</i>	20	20	20	20	20	0
<i>15:00-16:00</i>	20	20	20	20	20	0
<i>16:00-17:00</i>	50	50	50	50	50	40
<i>17:00-18:00</i>	50	50	50	50	50	40
<i>18:00-19:00</i>	50	50	50	50	50	40
<i>19:00-20:00</i>	50	50	50	50	50	40
<i>20:00-21:00</i>	0	0	0	0	0	0
<i>21:00-22:30</i>	0	0	0	0	0	0

5.6 Συνθήκες εσωτερικού χώρου

Οι συνθήκες που επικρατούν στον χώρο του κολυμβητηρίου για την χειμερινή και θερινή περίοδο είναι ρυθμισμένες ως εξής:

Χειμερινή περίοδος

Θερμοκρασία νερού δεξαμενής:	26,5°C
Θερμοκρασία νερού παιδικής δεξαμενής:	29°C
Θερμοκρασία εσωτερικού αέρα:	28°C
Σχετική υγρασία αέρα χώρου:	55%

Θερινή περίοδος

Θερμοκρασία νερού δεξαμενής:	26,5°C
Θερμοκρασία νερού παιδικής δεξαμενής:	29°C
Θερμοκρασία εσωτερικού αέρα:	25°C
Σχετική υγρασία αέρα χώρου:	60%



Εικόνα 5.13: Εσωτερικός χώρος πισίνας εκμάθησης.

5.7 Εσωκλιματικές συνθήκες

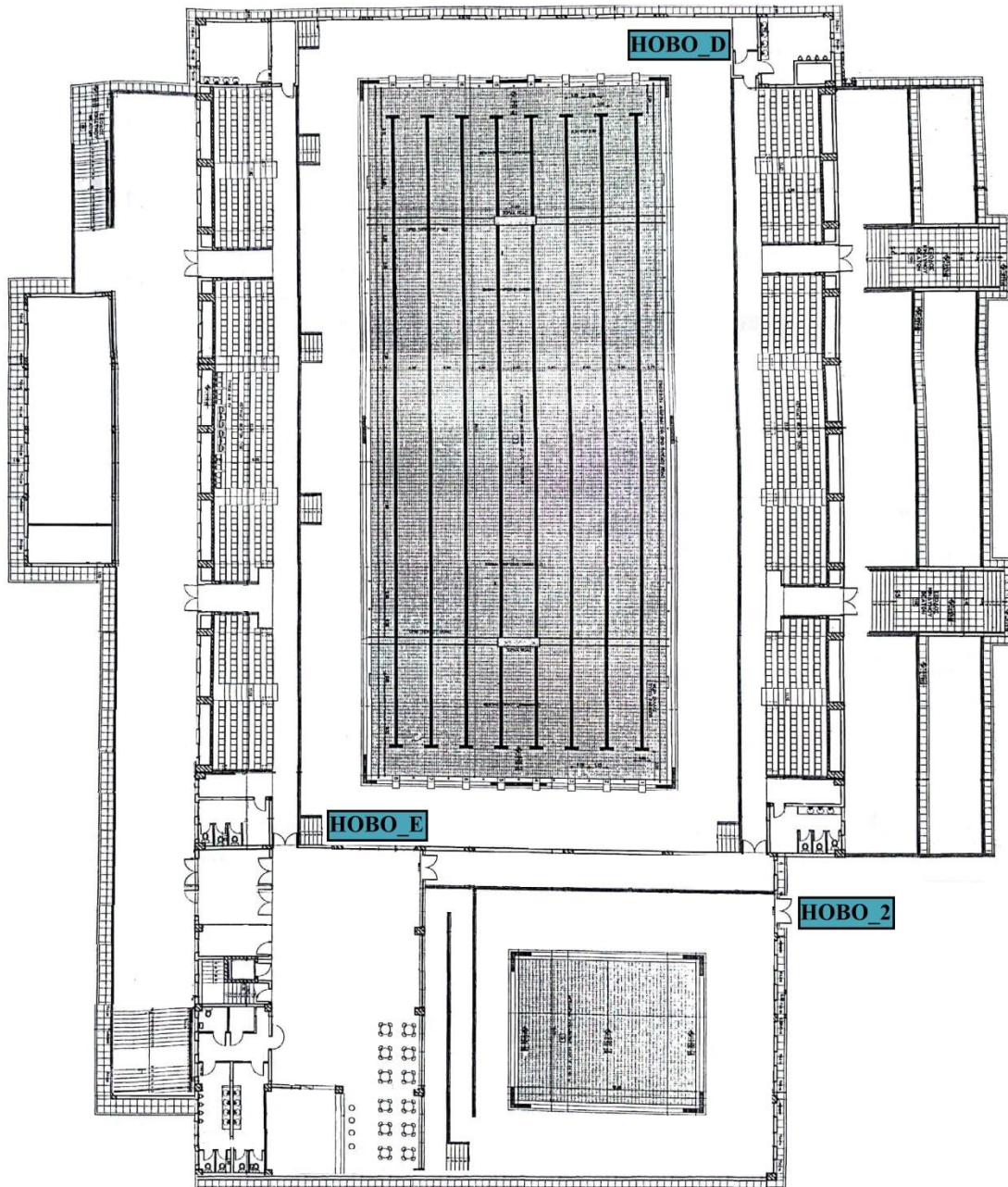
Στην παρούσα διπλωματική εργασία έλαβαν χώρα πειραματικές μετρήσεις των βασικών παραμέτρων, οι οποίες επηρεάζουν τις συνθήκες άνεσης του κλειστού κολυμβητηρίου. Συγκεκριμένα έγιναν μετρήσεις της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας του αέρα και της συγκέντρωσης CO₂ του εσωτερικού χώρου, καθώς επίσης της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του εξωτερικού αέρα για τυχόν αποκλίσεις από τα δεδομένα που προτείνει το μοντέλο του KENAK [35]. Η πρακτική αυτή στοχεύει στο να διαπιστωθεί η επίτευξη ή μη των συνθηκών άνεσης μέσω της χρήσης των υπεύθυνων ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων. Παρακάτω αναλύεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε, ώστε να συλλεχθούν τα δεδομένα, οι πειραματικές διατάξεις και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτές τις μετρήσεις.

5.7.1 Εγκατάσταση και λειτουργία οργάνων

Η περίοδος όπου έγιναν οι μετρήσεις ήταν 09/03/2018 μέχρι 17/03/2018. Οι θέσεις όπου επιλέχθηκαν να τοποθετηθούν τα όργανα μετρήσεων, με παρότρυνση των υπευθύνων, διασφάλισαν την αποφυγή οποιαδήποτε παρεμπόδισης στη λειτουργία του κολυμβητηρίου.

Πιο αναλυτικά ο αισθητήρας (HOBO_2) που μετράει την εξωτερική θερμοκρασία και σχετική υγρασία του αέρα τοποθετήθηκε στην νοτιοανατολική πλευρά του κτιρίου, σε τέτοιο σημείο, ώστε να προστατεύεται από την περίπτωση βροχόπτωσης. Ακόμη χρησιμοποιήθηκαν δύο αισθητήρες τύπου (HOBO_D και HOBO_E) των οποίων ο ρόλος τους ήταν η εσωτερική καταγραφή των τιμών της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, αλλά και επιπλέον η δυνατότητα καταγραφής της συγκέντρωσης CO₂. Στην Εικόνα 5.14 παρουσιάζεται σκαρίφημα της κάτοψης του κολυμβητηρίου, με τις θέσεις των αισθητήρων μέτρησης.

B



Εικόνα 5.14: Κάτοψη κλειστού κολυμβητηρίου και σχηματική απεικόνιση της θέσης των οργάνων μέτρησης κατά την περίοδο μετρήσεων.



Εικόνα 5.15: Φωτογραφικό υλικό από τον αισθητήρα HOBO_2 που βρίσκεται στον εξωτερικό χώρο του κολυμβητηρίου.



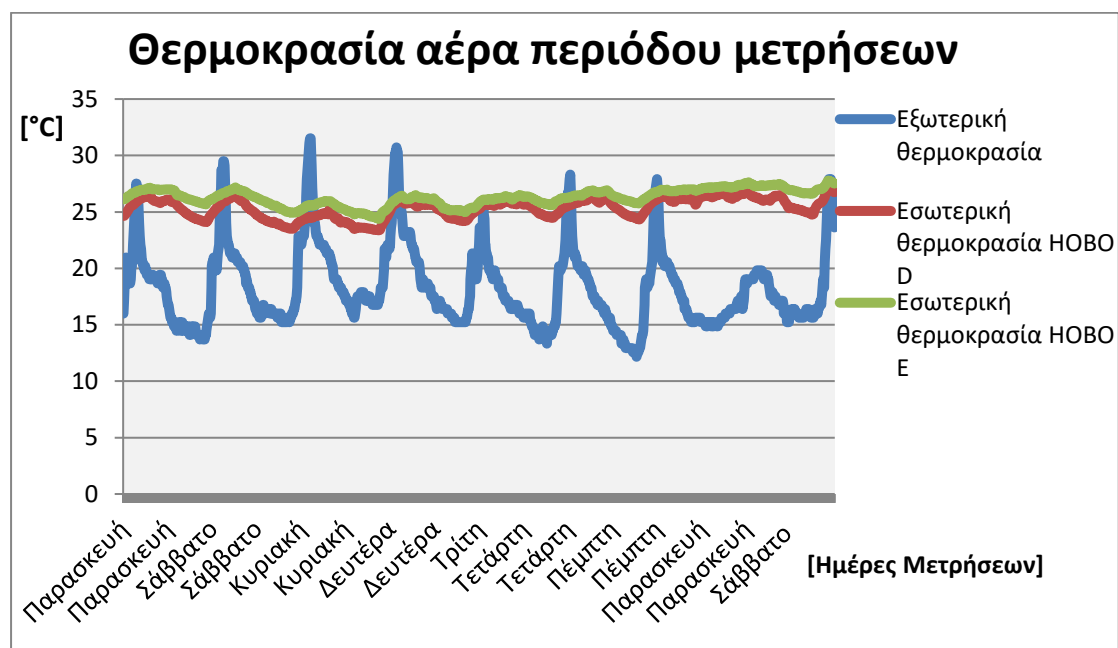
Εικόνα 5.16: Φωτογραφικό υλικό από τον αισθητήρα HOBO_E που βρίσκεται στην νοτιοδυτική πλευρά εσωτερικά του κολυμβητηρίου (αριστερά) και από τον αισθητήρα HOBO_D που βρίσκεται στην βορειοανατολική πλευρά εσωτερικά του κολυμβητηρίου (δεξιά).

5.7.2 Αποτελέσματα των μετρήσεων

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την περίοδο των μετρήσεων, αλλά και αποτελέσματα από μετρήσεις μιας συγκεκριμένης ημέρας της εβδομάδος που η επισκεψιμότητα του κολυμβητηρίου ήταν μεγάλη. Με αυτόν τον τρόπο παρουσιάζονται οι συνθήκες άνεσης και οι συγκεντρώσεις CO₂ του κολυμβητηρίου, σε ένα χρονικό διάστημα που υπάρχουν μεγάλα φορτία χρηστών. Στόχος των μετρήσεων είναι να ελεγχθούν αν τηρούνται οι απαιτούμενες συνθήκες άνεσης σε σχέση με τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του εσωτερικού χώρου, αλλά και τα επιτρεπόμενα όρια της συγκέντρωσης CO₂.

5.7.2.1 Θερμοκρασία αέρα

Στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της περιόδου των μετρήσεων της θερμοκρασίας του εξωτερικού αλλά και του εσωτερικού αέρα του κλειστού κολυμβητηρίου, όπως προέκυψαν από τις διαφορετικές θέσεις των αισθητήρων.

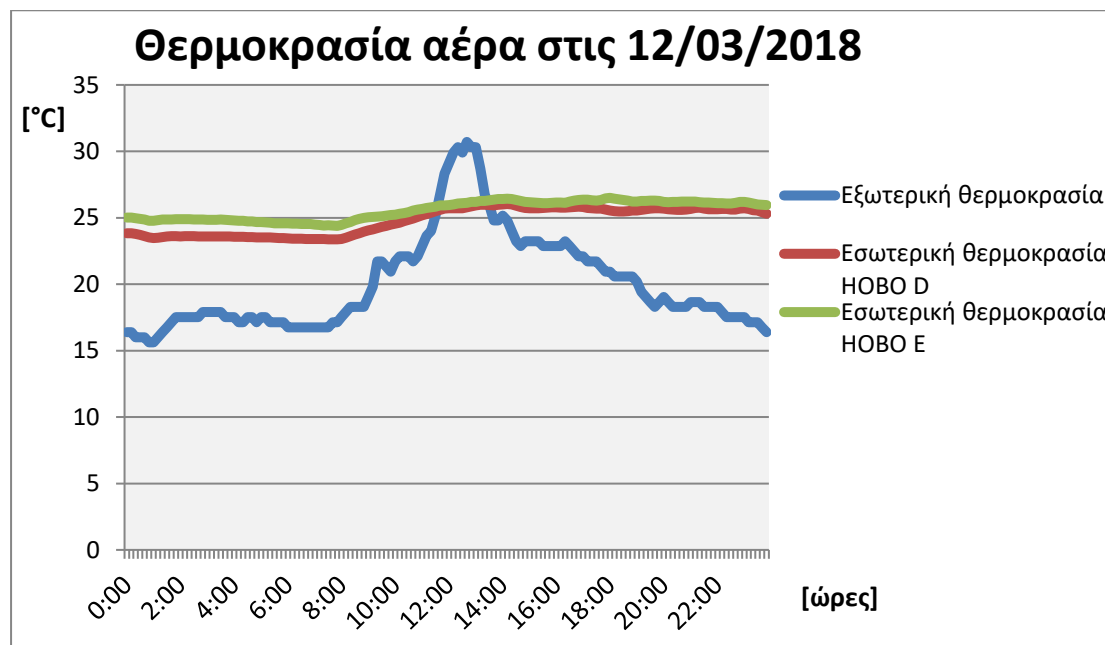


Σχήμα 5.1: Αποτελέσματα περιόδου μετρήσεων για την θερμοκρασία του αέρα.

Συγκεκριμένα γίνεται αντιληπτό πως υπάρχει ομοιογένεια στην εσωτερική θερμοκρασία και όχι ιδιαίτερες διακυμάνσεις, αλλά και πως τηρούνται τα όρια συνθηκών άνεσης. Το αισθητήριο HOBO_E παρουσιάζει λίγο μεγαλύτερες τιμές θερμικών φορτίων, γεγονός που συνδέεται με την θέση του οργάνου, καθώς τοποθετήθηκε σε σημείο στο οποίο είχε πρόσβαση πλήθος χρηστών του κολυμβητηρίου με αποτέλεσμα τα θερμικά φορτία στο χώρο αυτό να είναι υψηλά. Επιπρόσθετα, παρατηρείται πως η θερμοκρασία δεν μεταβάλλεται κατά τη λειτουργία

του κολυμβητηρίου, αλλά και δεν επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις εξωτερικές συνθήκες, δείχνοντας έτσι πως το σύστημα θέρμανσης λειτουργεί ορθά.

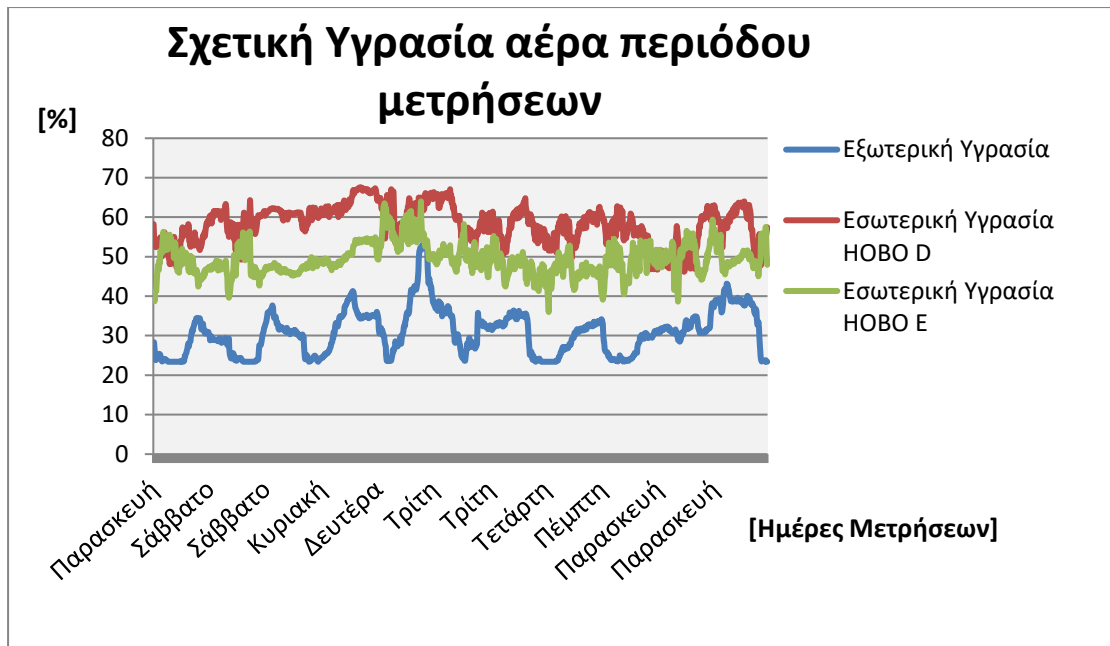
Στο Σχήμα 5.2 παρακάτω προβάλλονται οι θερμοκρασιακές συνθήκες μιας συγκεκριμένης ημέρας (Δευτέρα 12 Μαρτίου) της περιόδου των μετρήσεων όπου υπήρχε αυξημένη προσέλευση αθλητών.



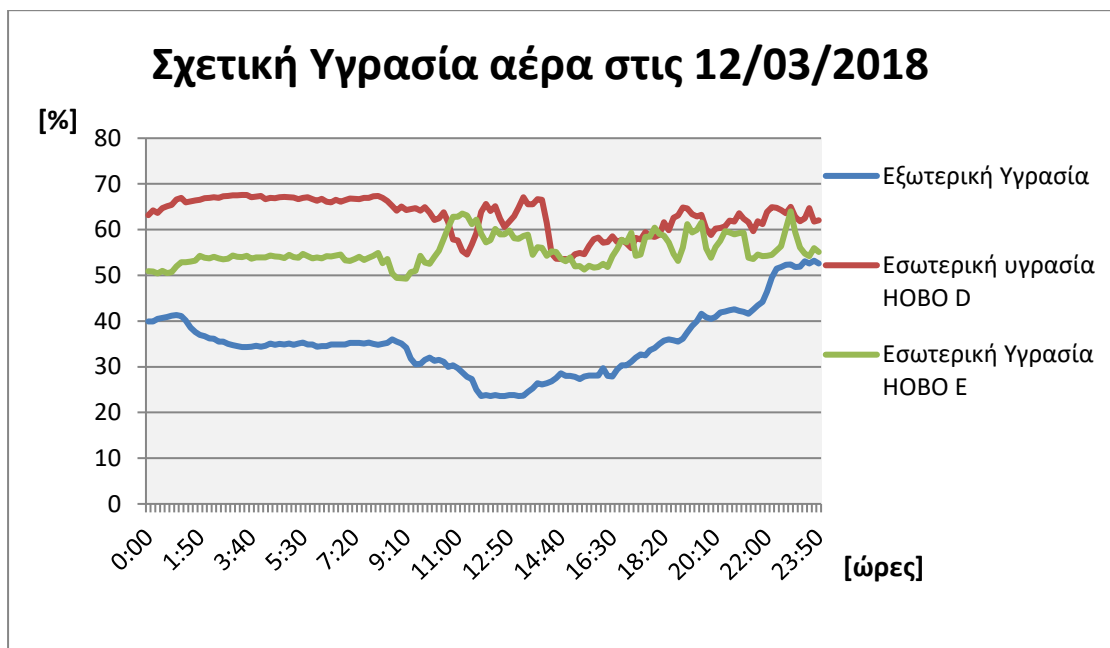
Σχήμα 5.2: Αποτελέσματα μετρήσεων συγκεκριμένης μέρας για τη θερμοκρασία αέρα.

5.7.2.2 Σχετική υγρασία αέρα

Όσον αφορά την σχετική υγρασία του αέρα από τα αποτελέσματα που φαίνονται στο Σχήμα 5.3 για όλη την περίοδο των μετρήσεων, και στο Σχήμα 5.4 για μια συγκεκριμένη ημέρα της περιόδου των μετρήσεων αντίστοιχα, αποδεικνύουν ότι εφαρμόζονται οι κατάλληλες συνθήκες άνεσης. Όπως φαίνεται, τα όρια για τα ποσοστά σχετικής υγρασίας του εσωτερικού χώρου του κολυμβητηρίου τηρούνται επακριβώς χωρίς διακυμάνσεις σε ώρες αιχμής. Παρατηρείται από τα αποτελέσματα ότι μεγάλο εύρος των ποσοστών της σχετικής υγρασίας κυμαίνονται μεταξύ 50% με 70%, τιμές που δηλώνουν ότι το κολυμβητήριο πληρεί τις απαιτούμενες συνθήκες άνεσης του χώρο και πως τα συστήματα του λειτουργούν ορθά. Για τυχόν μικρές αποκλίσεις μεταξύ των αισθητήρων, που αφορούν τον εσωτερικό χώρο, οφείλονται σε μικροπροβλήματα βαθμονόμησης. Τέλος, για την εξωτερική σχετική υγρασία τα αποτελέσματα συμπίπτουν με τις μετεωρολογικές τιμές.



Σχήμα 5.3: Αποτελέσματα περιόδου μετρήσεων για την σχετική υγρασία του αέρα.

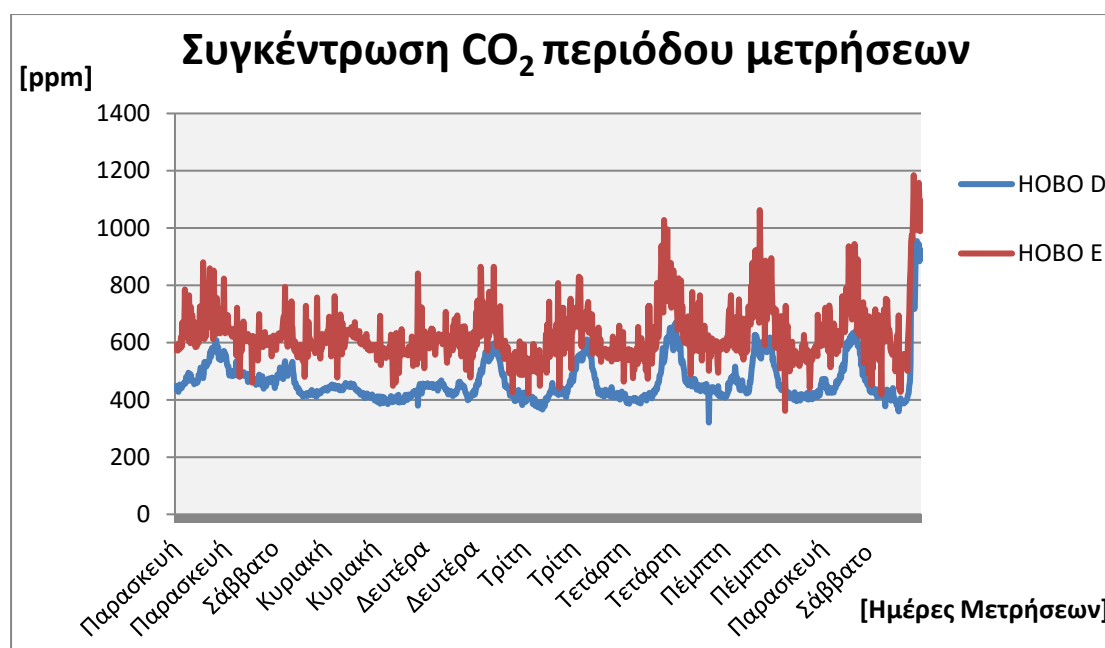


Σχήμα 5.4: Αποτελέσματα μετρήσεων συγκεκριμένης ημέρας για την σχετική υγρασία του αέρα.

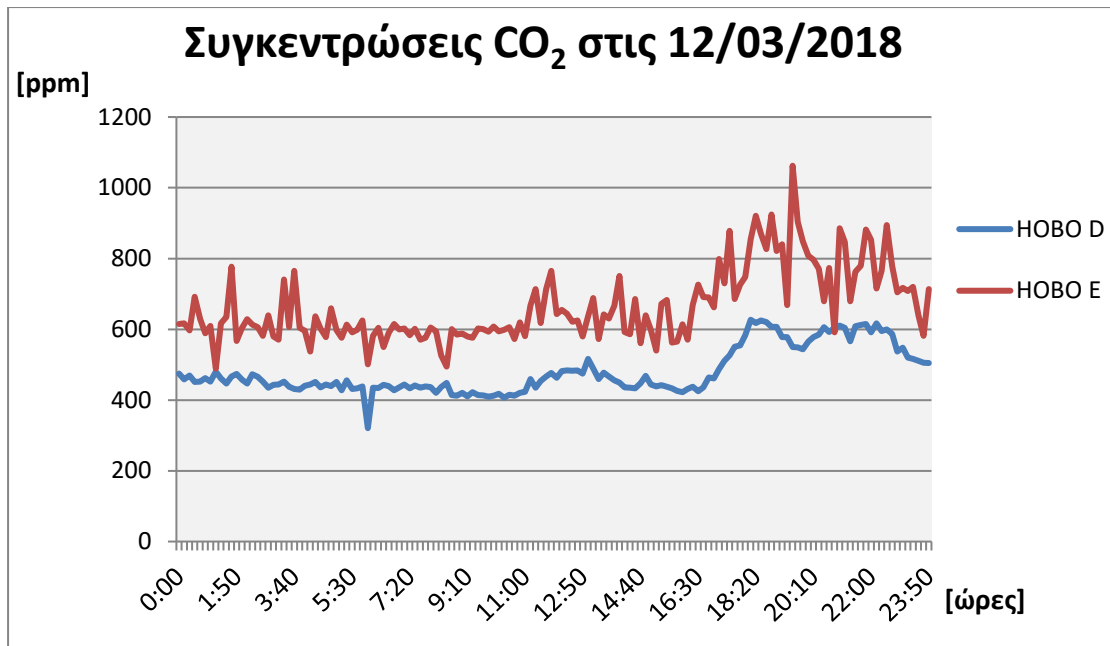
5.7.2.3 Συγκέντρωση εκπομπών CO₂

Σύμφωνα με τον «Κώδικα Πρακτικής» που εφαρμόζεται από το Υπουργείο Εργασίας, Πρόνοιας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων οι φυσιολογικές τιμές συγκέντρωσης των εκπομπών CO₂ είναι μεταξύ των τιμών 400 ppm και 500 ppm, ενώ σε περιπτώσεις χώρων συναθροίσεων είναι 700 ppm [39]. Τα αποτελέσματα όπως φαίνονται στα Σχήματα 5.5 και 5.6 των μετρήσεων αποδεικνύουν πως στον χώρο της πισίνας υπάρχει επάρκεια αερισμού, καθώς οι τιμές βρίσκονται στα επιτρεπόμενα όρια με μικρές διακυμάνσεις τις χρονικές περιόδους όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός ατόμων στον χώρο, αλλά επανέρχεται στα επιτρεπόμενα επίπεδα όταν αποσυμφορίζεται ο χώρος. Αυτό συμβαίνει διότι είναι γνωστό πως οι άνθρωποι εκπνέουν CO₂ οπότε οι συγκεντρώσεις CO₂ εξαρτώνται άμεσα από τον αριθμό των ατόμων.

Οι μικρές διαφορές μεταξύ των δύο αισθητήρων στα αποτελέσματα των μετρήσεων οφείλονται αφενός στην διαφορετική θέση που έχουν στον χώρο και αφετέρου μπορούν να οφείλονται σε ελλιπή βαθμονόμηση του οργάνου. Εν γένει οι τιμές είναι αποδεκτές, με μικρές υπερβάσεις των ορίων να οφείλονται σε ελλιπή παροχή φρέσκου αέρα κατά τις περιόδους μεγάλης φόρτισης του κολυμβητηρίου.



Σχήμα 5.5: Αποτελέσματα περιόδου μετρήσεων για την συγκέντρωση CO₂



Σχήμα 5.6: Αποτελέσματα μετρήσεων συγκεκριμένης ημέρας για την συγκέντρωση CO₂

Κεφάλαιο 6: Υπολογισμός ετήσιων ενεργειακών φορτίων

6.1 Ενεργειακές απαιτήσεις

Ο υπολογισμός των ενεργειακών απαιτήσεων του κολυμβητηρίου για την κάλυψη των αναγκών στις περιόδους θέρμανσης και ψύξης εκφράζεται μέσα από τις δύο εξισώσεις 6.1 και 6.2 με βάση των μηνιαίων κερδών και απωλειών στο υφιστάμενο κτίριο. Η περίοδος θέρμανσης από 15 Οκτωβρίου μέχρι 30 Απριλίου και ψύξης από 1 Ιουνίου μέχρι 31 Αυγούστου αντίστοιχα, καθορίζονται ανάλογα με την τοποθεσία του κτιρίου (Πτολεμαΐδα, Νομός Κοζάνης, Ζώνη Δ) από ΤΟΤΤΕ 20701-1. Οι εξισώσεις αφορούν μόνο για τους παραπάνω μήνες, ενώ για τους υπόλοιπους θεωρείται ότι οι ενεργειακές ανάγκες καλύπτονται εξολοκλήρου από τα θερμικά κέρδη ή τις απώλειες του κτιρίου [40].

$$Q_{H_dem,i} = Q_{H_loss,i} - \eta_H \cdot Q_{H_gain,i} \quad (6.1)$$

$$Q_{C_dem,i} = Q_{C_gain,i} - \eta_C \cdot Q_{C_loss,i} \quad (6.2)$$

Όπου,

$Q_{H_dem,i}$: οι μηνιαίες απαιτήσεις σε θέρμανση

$Q_{C_dem,i}$: οι μηνιαίες απαιτήσεις σε ψύξη

$Q_{H_loss,i}$: οι μηνιαίες ενεργειακές απώλειες στην περίοδο θέρμανσης

$Q_{H_gain,i}$: τα μηνιαία ενεργειακά κέρδη στην περίοδο θέρμανσης

$Q_{C_loss,i}$: οι μηνιαίες ενεργειακές απώλειες στην περίοδο ψύξης

$Q_{C_gain,i}$: τα μηνιαία ενεργειακά κέρδη στην περίοδο ψύξης

η_H : ο συντελεστής χρήσης για θέρμανση

η_C : ο συντελεστής χρήσης για ψύξη

Οι δείκτες H, C στον τύπο υποδηλώνουν θέρμανση και ψύξη αντίστοιχα. Αναφορικά με το συντελεστή χρήσης για θέρμανση και ψύξη, εξαρτάται από την αναλογία κερδών/απωλειών, αλλά και από τη θερμική αδράνεια του κτιρίου. Συνεπώς, αν η αναλογία είναι μεγάλη δηλώνει μικρή επίδραση των θερμικών κερδών ή απωλειών, ενώ αντίστροφα, αν η αναλογία είναι μικρή, δηλώνει μεγαλύτερη επίδραση. Ακόμη, αν το κέλυφος του κτιρίου έχει υψηλή θερμική αδράνεια, ο συντελεστής χρήσης παίρνει τιμές κοντά στη μονάδα, ενώ αντίθετα η χαμηλή θερμική αδράνεια, δηλώνεται με χαμηλό συντελεστή χρήσης και επομένως μικρή συνεισφορά των κερδών/απωλειών στις συνολικές απαιτήσεις, όπως προκύπτει και από τις αναφερόμενες εξισώσεις 6.3 έως 6.5.

$$\diamond \eta_H = \frac{1-\gamma_H^{a_H}}{1-\gamma_H^{a_H+1}} \text{ και } \eta_C = \frac{1-\gamma_C^{-a_C}}{1-\gamma_C^{-(a_C+1)}} \text{ όταν ισχύουν: } \gamma_H, \gamma_C > 0 \text{ και } \gamma_H, \gamma_C \neq 1 \quad (6.3)$$

$$\diamond \eta_H = \frac{a_H}{a_H+1} \text{ και } \eta_C = \frac{a_C}{a_C+1} \text{ όταν ισχύουν: } \gamma_H, \gamma_C = 1 \quad (6.4)$$

$$\diamond \eta_H = \frac{1}{\gamma_H} \text{ και } \eta_C = 1 \text{ όταν ισχύουν: } \gamma_H, \gamma_C < 0 \quad (6.5)$$

Όπου,

$\gamma_H = Q_{H_gain}/Q_{H_loss}$: η αναλογία κερδών /απωλειών για την περίοδο θέρμανσης.

$\gamma_C = Q_{C_gain}/Q_{C_loss}$: η αναλογία κερδών/απωλειών για την περίοδο ψύξης

$a_{H/C} = a_{H/C,0} + \frac{\tau}{\tau_{H/C,0}}$: η αδιάστατη παράμετρος, που εξαρτάται από τη σταθερά χρόνου του κτιρίου:

$$\tau = \frac{(c_m/3600)}{H_{ve} + H_{con}} \quad [hours] \quad (6.6)$$

με,

$a_{H/C,0}$: η αδιάστατη παράμετρος αναφοράς θέρμανσης/ψύξης που ισούται με τη μονάδα

$\tau_{H/C,0}$: η σταθερά χρόνου αναφοράς για την περίοδο θέρμανσης/ψύξης που ισούται με 15hours

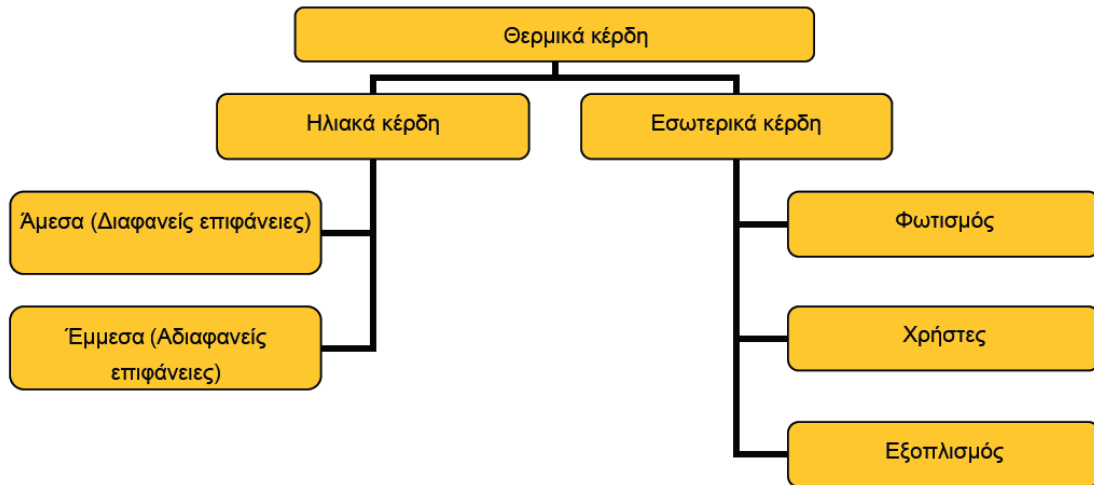
c_m : η εσωτερική θερμοχωρητικότητα του κτιρίου σε J/K , η οποία υπολογίζεται με βάση τον Πίνακα 3.13 της TOTEE 20701-1 και την εξωτερική επιφάνεια του κελύφους.

H_{con} : ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από μετάδοση σε W/K , όπως προκύπτει από τη μελέτη θερμομόνωσης

H_{ve} : ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από αερισμό σε W/K , που προκύπτει σύμφωνα με τον Πίνακα 2.3 της TOTEE 20701-1

6.1.1 Υπολογισμός ετήσιων ενεργειακών κερδών

Τα ενεργειακά κέρδη (Q_{gain}) ενός κτιρίου χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα ηλιακά θερμικά κέρδη (Q_{sol}) και τα εσωτερικά θερμικά κέρδη (Q_{int}) από τους ανθρώπους, τις συσκευές και τον φωτισμό.



Σχήμα 6.1: Θερμικά κέρδη κτιρίου, πηγή: [5].

6.1.1.1 Ηλιακά θερμικά κέρδη

Τα ηλιακά θερμικά κέρδη (Q_{sol}) αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των συνολικών ενεργειακών κερδών ενός κτιρίου. Εξαρτώνται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε όλες τις επιφάνειες του κτιρίου. Αναφορικά, μεγάλες απορροφητικές επιφάνειες λόγω άμεσης ακτινοβολίας συνεπάγονται υψηλά θερμικά κέρδη, ενώ για επιφάνειες που σκιάζονται λόγω εμποδίων και έχουν χαμηλό συντελεστή απορροφητικότητας, συνεπάγονται χαμηλά θερμικά κέρδη.

$$Q_{sol,i} = A_{sol} \cdot F_{sh,ob} \cdot I_{sol,i} \quad (6.7)$$

Όπου,

$I_{sol,i}$: η μέση μηνιαία ένταση ηλιακής ακτινοβολίας kWh/m^2 για κάθε στοιχείο και προσανατολισμό από Παράρτημα Β TOTEE 20701-3 [41]

A_{sol} : η ενεργή επιφάνεια του κάθε στοιχείου σε m^2 . Για αδιαφανείς επιφάνειες υπολογίζεται:

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot U \cdot A \quad (6.8)$$

ενώ για διαφανείς επιφάνειες:

$$A_{sol} = g_{gw} \cdot A = g_{gl} \cdot (1 - F_f) \cdot A \quad (6.9)$$

με,

$\alpha_{s,c}$: η απορροφητικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας του στοιχείου από Πίνακα 3.14 TOTEE 20701-1

R_{se} : η εξωτερική επιφανειακή αντίσταση του στοιχείου από Πίνακα 3β TOTEE 20701-2

U : ο συντελεστής θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων σε $W/m^2 \cdot K$

A : η πραγματική επιφάνεια του κάθε στοιχείου σε m^2

g_{gw} : ο συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους

g_{gl} : ο συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους υαλοπίνακα από Πίνακα 3.16 TOTEE 20701-1

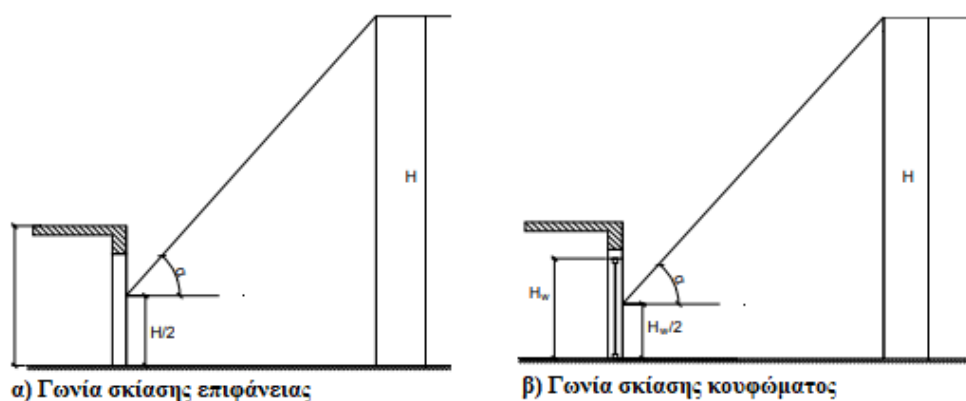
F_f : το ποσοστό πλαισίου στο κούφωμα

$F_{sh,ob}$: ο συντελεστής σκίασης ο οποίος ισούται με το γινόμενο τριών επιμέρους συντελεστών, του συντελεστή σκίασης λόγω ορίζοντα (μακρινά εμπόδια), λόγω οριζόντιων προβόλων και λόγω πλευρικών εμποδίων. Δίνεται από την σχέση:

$$F_{sh,ob} = F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{fin} \quad (6.10)$$

F_{hor} : συντελεστής σκίασης ορίζοντα

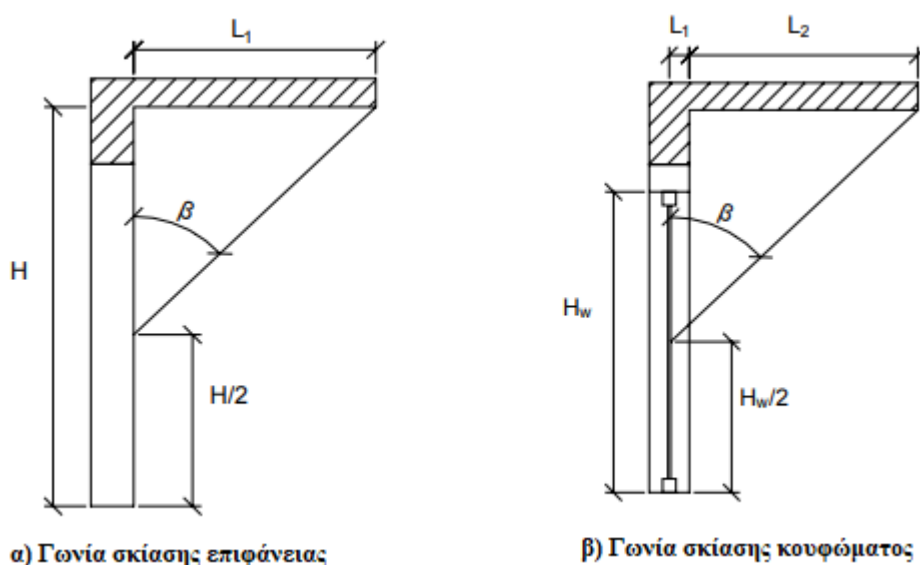
Η ύπαρξη μακρινών εμποδίων δημιουργεί σκίαση στις επιφάνειες, όταν ο ήλιος κινείται σε χαμηλό ύψος. Επομένως τα μακρινά εμπόδια δημιουργούν μεγαλύτερη σκίαση κατά την διάρκεια του χειμώνα. Για τον υπολογισμό του συντελεστή σκίασης από ορίζοντα είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η γωνία α . Η γωνία υπολογίζεται, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 6.2, μέσω της απόστασης που βρίσκεται το εμπόδιο και το ύψος του εμποδίου σε σχέση με το μέσο της επιφάνειας ή του κουφώματος. Στην συνέχεια με γνωστή την γωνία α και τον προσανατολισμό της όψης υπολογίζεται ο συντελεστής σκίασης για περιόδους ψύξης και θέρμανσης από τον Πίνακα 3.18 TOTEE 20701-1



Σχήμα 6.2: Γωνία σκίασης ορίζοντα, πηγή: [42].

F_{ov} : συντελεστής σκίασης από προβόλους.

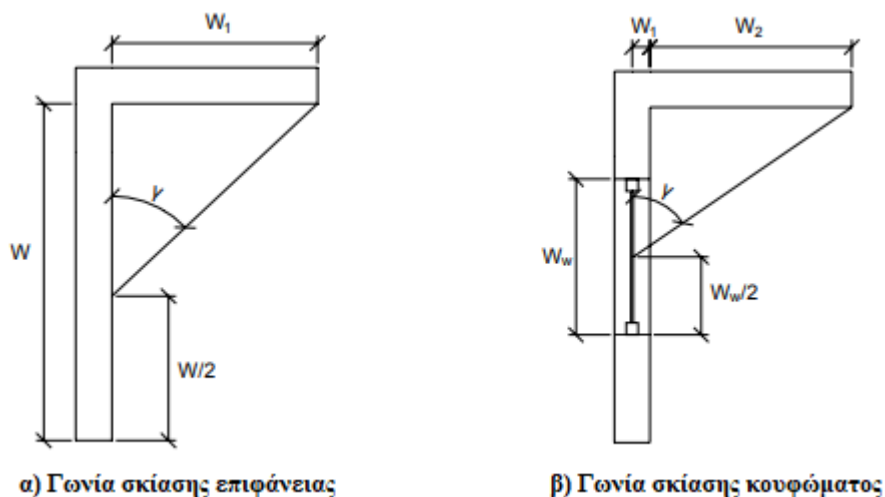
Η ύπαρξη οριζόντιου προβόλου δημιουργεί σκίαση στην επιφάνεια, όταν ο ήλιος κινείται σε μεγάλο ύψος. Επομένως δημιουργείται μεγαλύτερη σκίαση την καλοκαιρινή περίοδο. Για τον υπολογισμό του συντελεστή σκίασης από πρόβολο είναι απαραίτητο να βρεθεί η γωνία β . Η γωνία β υπολογίζεται, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 6.3, μέσω του μήκους του οριζόντιου προβόλου και της κατακόρυφης απόστασής του από το μέσο της επιφάνειας ή του κουφώματος. Στην συνέχεια, με γνωστή την γωνία β και τον προσανατολισμό της όψης υπολογίζεται ο συντελεστής σκίασης για περιόδους ψύξης και θέρμανσης από τον Πίνακα 3.19 TOTEE 20701-1.



Σχήμα 6.3: Γωνία σκίασης οριζόντιου προβόλου, πηγή: [42].

F_{fin} : συντελεστής σκίασης από πλευρικές προεξοχές.

Η ύπαρξη πλευρικών προεξοχών δημιουργεί σκίαση στην επιφάνεια μερικές ώρες την ημέρα, όταν η οριζόντια θέση του ήλιου είναι τέτοια που σκιάζεται η επιφάνεια από την πλευρική προεξοχή. Για τον υπολογισμό του συντελεστή, λόγω πλευρικών προεξοχών, είναι απαραίτητο να βρεθεί η γωνία γ . Η γωνία γ υπολογίζεται, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 6.4, μέσω του μήκους του οριζόντιου προβόλου και της κατακόρυφης απόστασής του από το μέσο της επιφάνειας ή του κουφώματος. Στην συνέχεια με γνωστή την γωνία γ και τον προσανατολισμό της όψης υπολογίζεται ο συντελεστής σκίασης για περιόδους ψύξης και θέρμανσης από τον Πίνακα 3.20 TOTEE 20701-1.



Σχήμα 6.4: Γωνία σκίασης πλευρικής προεξοχής, πηγή: [42].

Ο Πίνακας 6.1 και το Σχήμα 6.5 παρουσιάζουν τα τελικά αποτελέσματα που προέκυψαν για τα ηλιακά θερμικά κέρδη, διακρίνοντάς τα σε αδιαφανή, διαφανή και συνολικά για αναλυτικότερη εξαγωγή συμπερασμάτων. Παρατηρείται ότι υπάρχουν περισσότερα ηλιακά θερμικά κέρδη για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία, από ότι για τα διαφανή. Αυτό οφείλεται στο μικρό ποσοστό που κατέχουν οι διαφανείς επιφάνειες σε σχέση με την συνολική εξωτερική επιφάνεια του κολυμβητηρίου (295 m^2 διαφανή στοιχεία σε $12.719,5 \text{ m}^2$ εξωτερική επιφάνεια).

Πίνακας 6.1: Παρουσίαση αποτελεσμάτων θερμικών ηλιακών κερδών για αδιαφανή, διαφανή και συνολικά δομικά στοιχεία σε μηνιαία βάση, σε kWh .

Ηλιακά κέρδη	$Q_{sol,1}$	$Q_{sol,2}$	$Q_{sol,3}$	$Q_{sol,4}$	$Q_{sol,6}$	$Q_{sol,7}$	$Q_{sol,8}$	$Q_{sol,10}$	$Q_{sol,11}$	$Q_{sol,12}$
Αδιαφανή kWh	6.688	7.926	12.178	15.256	21.573	22.034	20.027	10.739	6.866	5.599
Διαφανή kWh	7.982	8.190	11.700	13.622	17.690	18.313	17.480	10.706	7.929	6.972
Συνολικά kWh	14.671	16.116	23.878	28.877	39.263	40.347	37.507	21.445	14.796	12.571



Σχήμα 6.5: Μηνιαία αποτελέσματα θερμικών ηλιακών κερδών για αδιαφανή, διαφανή και συνολικά δομικά στοιχεία, ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m^2 .

6.1.1.2 Εσωτερικά θερμικά κέρδη

Τα εσωτερικά θερμικά κέρδη (Q_{int}) καθορίζονται αποκλειστικά από τις χαρακτηριστικές παραμέτρους χρήσης του κτιρίου από τους ανθρώπους, τον εξοπλισμό, αλλά και τον φωτισμό. Συνεπώς η μεγάλη συνάθροιση ανθρώπων, η πολύωρη χρήση εξειδικευμένων συσκευών και φωτισμού, σε συνδυασμό με το ωράριο λειτουργίας, αποφέρουν εσωτερικά θερμικά φορτία στον υφιστάμενο κτίριο.

$$Q_{int,i} = Q_{human,i} + Q_{sys,i} + Q_{light,i} \quad (6.11)$$

Όπου,

$$Q_{human,i} = \text{αριθμός χρηστών} \times \text{φορτίο χρηστών} \times \text{συντελεστή παρουσίας} \times \text{ώρες λειτουργίας} \quad (6.12)$$

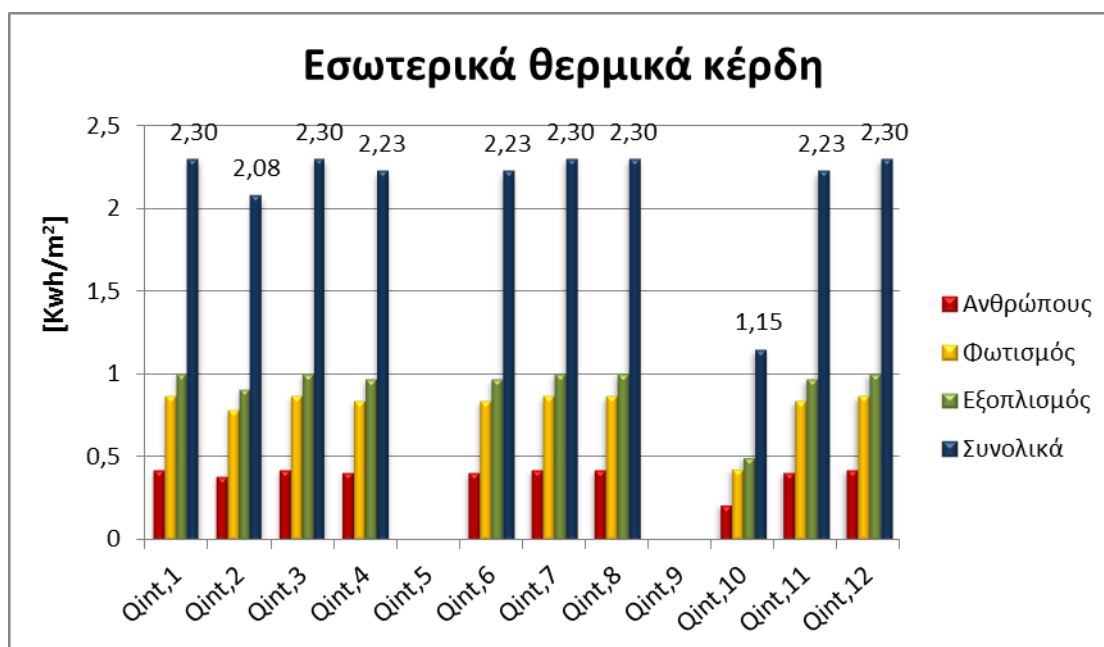
$$Q_{sys,i} = \text{ισχύς συσκευών} \times \text{μέσο συντελεστή λειτουργίας} \times \text{ώρες λειτουργίας} \quad (6.13)$$

$$Q_{light,i} = \text{ισχύς φωτισμού} \times \text{ώρες λειτουργίας φωτισμού} \quad (6.14)$$

Το φορτίο ανά χρήστη αντιστοιχεί σε 120 W, ενώ για τον αριθμό χρηστών λήφθηκε ο μέσος όρος χρηστών κάθε ώρα που ισούται με 70 άτομα. Η ισχύς των συσκευών υπολογίστηκε ίση με 19.944 W με μέσο συντελεστή λειτουργίας ίσον με 0,58 από Πίνακα 2.8 ΤΟΤΤΕ 20701-1. Τέλος, ο συνολικός ισχύς του φωτισμού του γυμναστηρίου, μετά από τοπική επιθεώρηση, υπολογίστηκε ίσος με 9.988 W με 14 ώρες λειτουργίας. Τα αποτελέσματα όλων των επιμέρους κατηγοριών που συγκροτούν τα εσωτερικά κέρδη παρουσιάζονται για κάθε μήνα στον Πίνακα 6.2 και στο Σχήμα 6.6.

Πίνακας 6.2: Αποτελέσματα θερμικών εσωτερικών κερδών ανά μήνα, σε kWh.

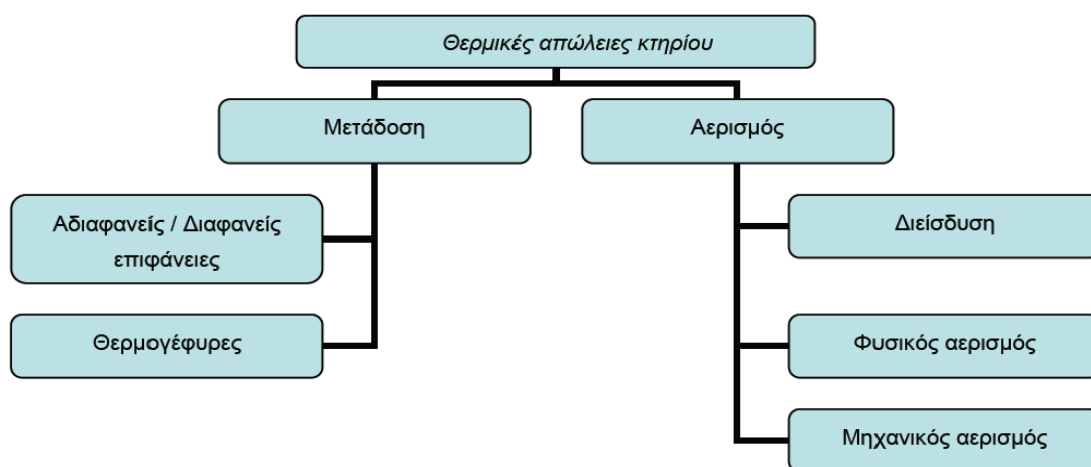
Θερμικά εσωτερικά κέρδη	$Q_{int,1}$	$Q_{int,2}$	$Q_{int,3}$	$Q_{int,4}$	$Q_{int,6}$	$Q_{int,7}$	$Q_{int,8}$	$Q_{int,10}$	$Q_{int,11}$	$Q_{int,12}$
$Q_{int,people}$ kWh	2.114	1.910	2.114	2.046	2.046	2.114	2.114	1.057	2.046	2.114
$Q_{int,light}$ kWh	4.335	3.915	4.335	4.195	4.195	4.335	4.335	2.167	4.195	4.335
$Q_{int,sys}$ kWh	5.020	4.534	5.020	4.858	4.858	5.020	5.020	2.510	4.858	5.020
Συνολικά kWh	11.470	10.360	11.470	11.100	11.100	11.470	11.470	5.735	11.100	11.470



Σχήμα 6.6: Μηνιαία αποτελέσματα θερμικών εσωτερικών κερδών, ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m².

6.1.2 Υπολογισμός ετήσιων ενεργειακών απωλειών

Το σύνολο του φορτίου της θερμότητας που θα πρέπει να προστεθεί σε ένα κτίριο, ώστε να διατηρηθεί η επιθυμητή θερμοκρασία του ορίζεται ως θερμικές απώλειες. Οι θερμικές απώλειες (Q_{loss}) των χώρων ενός κτιρίου οφείλονται σε απώλειες λόγω μεταφοράς (Q_{con}) και σε απώλειες λόγω αερισμού (Q_{vent}). Στις απώλειες λόγω μεταφοράς περιλαμβάνονται αθροιστικά όλες οι ροές θερμότητας μέσω των δομικών στοιχείων του κελύφους με τον έξω χώρο ή με μη θερμαινόμενους χώρους, εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας. Ενώ παράλληλα, οι απώλειες αερισμού οφείλονται στην ανεπιθύμητη διείσδυση του αέρα που εισέρχεται από τις χαραμάδες και τα ανοίγματα (πόρτες – παράθυρα) αλλά και τον εξαναγκασμένο αερισμό μέσα από τις Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες.



Σχήμα 6.7: Θερμικές απώλειες κτηρίου, πηγή: [5].

6.1.2.1 Φορτία λόγω μεταφοράς

Οι απώλειες μεταφοράς (Q_{con}) του κολυμβητηρίου για διαφανείς και αδιαφανείς επιφάνειες υπολογίστηκαν με βάση την ακόλουθη σχέση:

$$Q_{con,H/C,i} = U \cdot A \cdot (T_b - \bar{T}_{a,i}) \cdot t \quad (6.15)$$

Όπου,

U : ο συντελεστής θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων σε $W/m^2 \cdot K$, όπως υπολογίστηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 5.2.2

A : η επιφάνεια του κάθε στοιχείου σε m^2

T_b : η θερμοκρασία εσωτερικών χώρων από Πίνακα 2.2 TOTEE 20701-1

$\bar{T}_{a,i}$: η μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος από Πίνακα 3.1 TOTEE 20701-3

t : ο χρόνος του μήνα σε *hours*

Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζονται τα φορτία μετάδοσης για τις αδιαφανείς και τις διαφανείς επιφάνειες του εξωτερικού του κολυμβητηρίου.

Πίνακας 6.3: Ενεργειακές απώλειες μετάδοσης ανά μήνα για αδιαφανή, διαφανή και συνολικά δομικά στοιχεία, σε kWh.

Απώλειες μετάδοσης	$Q_{con,1}$	$Q_{con,2}$	$Q_{con,3}$	$Q_{con,4}$	$Q_{con,6}$	$Q_{con,7}$	$Q_{con,8}$	$Q_{con,10}$	$Q_{con,11}$	$Q_{con,12}$
Αδιαφανή kWh	149.423	127.611	122.678	92.276	19.693	5.232	8.139	43.512	112.532	140.121
Διαφανή kWh	43.255	36.940	35.512	26.712	5.700	1.514	2.356	12.595	32.575	40.562
Συνολικά kWh	192.678	164.552	158.191	118.988	25.393	6.747	10.496	56.108	145.107	180.683



Σχήμα 6.8: Μηνιαία αποτελέσματα ενεργειακών απωλειών μετάδοσης συνολικά, ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m².

Παρατηρείται μια σταδιακή μείωση των απωλειών μεταφοράς από τους πιο κρύους προς τους πιο θερμούς μήνες του έτους. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην διαφορά μεταξύ της επιθυμητής θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου με την εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Όπως είναι φυσικό, μικρή διαφορά θερμοκρασιών συνεπάγεται μικρότερες απώλειες μετάδοσης και το αντίστροφο. Επισημαίνεται ότι τους θερινούς μήνες οι απώλειες λειτουργούν στην πραγματικότητα ως κέρδη και όχι ως απώλειες. Αυτό συμβαίνει γιατί το ζητούμενο τους ζεστούς μήνες του χρόνου είναι η ψύξη του κτιρίου και εφόσον η μετάδοση θερμότητας λειτουργεί απάγοντας θερμότητα από αυτό, συνεισφέρει στη μείωση του απαιτούμενου φορτίου ψύξης.

6.1.2.2 Φορτία λόγω αερισμού

Για την κάλυψη του φορτίου αερισμού είναι υπεύθυνες δυο Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες οι οποίες έχουν την δυνατότητα να εισάγουν μέχρι και $66.000 \text{ m}^3/\text{h}$ νωπό αέρα. Μαζί όμως με τον εξαναγκασμένο αερισμό, στην παροχή \dot{V} θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η ανεπιθύμητη εισροή αέρα από πόρτες και παράθυρα του κολυμβητηρίου.

$$Q_{vent,H/C,i} = \dot{V} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_b - \bar{T}_{\bar{a},i}) \cdot t + \dot{V} \cdot \rho \cdot h_g \cdot (w_b - \bar{w}_{a,i}) \cdot t \quad (6.16)$$

Όπου,

\dot{V} : η παροχή νωπού αέρα σε m^3/h

ρ : η πυκνότητα αέρα $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$

C_p : θερμοχωρητικότητα του αέρα που ισούται με $1,005 \text{ kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$

T_b : η επιθυμητή θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου

$\bar{T}_{\bar{a},i}$: η μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος από Πίνακα 3.1 TOTEE 20701-3

h_g : η ενθαλπία συμπύκνωσης υδρατμών που ισούται με $2.445 \text{ kJ}/\text{kg}$

w_b : η επιθυμητή υγρασία του εσωτερικού χώρου, όπως ορίζεται στον Πίνακα 2.2

TOTEE 20701-1 (kg υδρατμού / kg ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα)

$\bar{w}_{a,i}$: η μέση μηνιαία υγρασία περιβάλλοντος, όπως ορίζεται στον Πίνακα 3.10

TOTEE 20701-3 (kg υδρατμού / kg ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα)

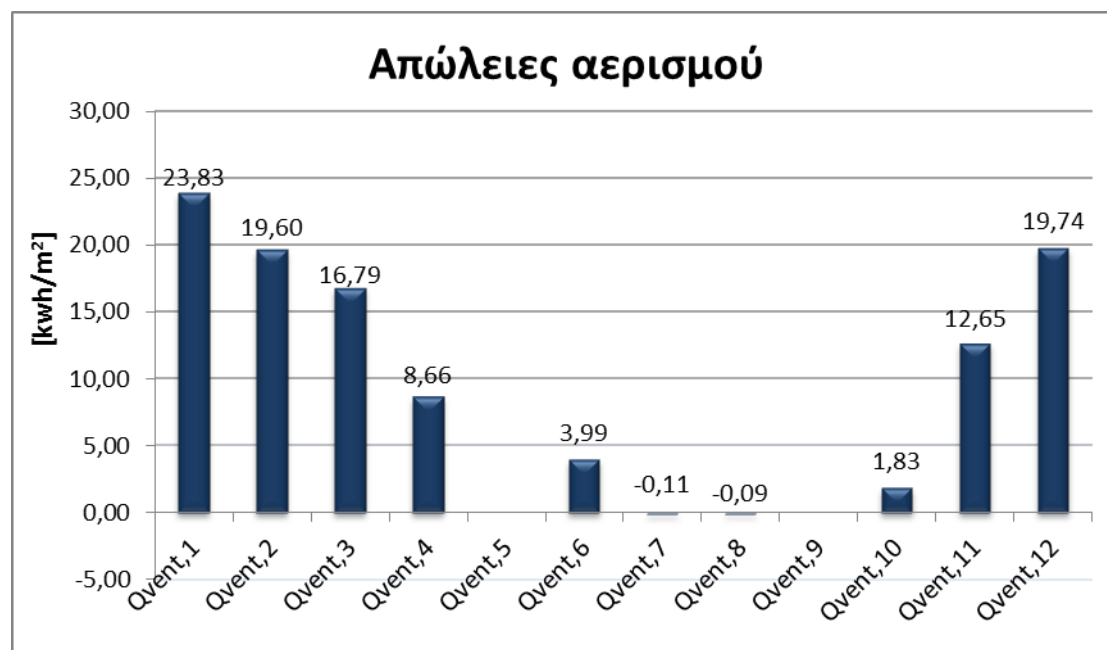
t : Ο χρόνος t για την περίπτωση εξαναγκασμένου αερισμού αντιστοιχεί στον πραγματικό χρόνο λειτουργίας του χώρου. Για την περίπτωση διείσδυσης αέρα από χαραμάδες, αντιστοιχεί στο συνολικό χρόνο του μήνα.

Εφόσον υπάρχει ανάκτηση θερμότητας πριν την διεργασία του αέρα στην ΚΚΜ από τον εναλλάκτη εξωτερικού αέρα με τον εσωτερικό, στην εξίσωση 6.16 αντί για το $\bar{T}_{\bar{a},i}$ χρησιμοποιείται το T_{sup} . Η θερμοκρασία $T_{sup} = 0,5 \cdot (T_b - \bar{T}_{\bar{a},i}) + \bar{T}_{\bar{a},i}$ είναι μεγαλύτερη από αυτήν του εξωτερικού αέρα με αποτέλεσμα να χρειάζεται μικρότερη επεξεργασία για θέρμανση, μέχρι να φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία για την είσοδο του στον χώρο.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.9, το φορτίο των απωλειών λόγω αερισμού παρουσιάζει σημαντικά μεγάλες τιμές ιδίως τους χειμερινούς μήνες. Το γεγονός αυτό, οφείλεται στις απαιτήσεις νωπού αέρα που προκύπτουν αναλογικά με την επιφάνεια του κολυμβητηρίου και την τυπική χρήση του κτιρίου, όπου ορίζεται συγκέντρωση πολλών ατόμων με αυξημένη φυσική δραστηριότητα και άρα πολύωρη λειτουργία του συστήματος μηχανικού αερισμού. Συνακόλουθα, για την περίοδο θέρμανσης, η απόρριψη θερμότητας προς το περιβάλλον επιβαρύνει με επιπλέον φορτίο το σύστημα θέρμανσης του κτιρίου, ενώ αντίθετα τους θερινούς μήνες διευκολύνει σε ένα βαθμό την ψύξη.

Πίνακας 6.4: Αποτελέσματα ενεργειακών απωλειών αερισμού σε μηνιαία βάση, σε kWh.

Απώλειες αερισμού	$Q_{vent,1}$	$Q_{vent,2}$	$Q_{vent,3}$	$Q_{vent,4}$	$Q_{vent,6}$	$Q_{vent,7}$	$Q_{vent,8}$	$Q_{vent,10}$	$Q_{vent,11}$	$Q_{vent,12}$
Q_{vent} kWh	118.824	97.741	83.703	43.162	19.893	-542,7	-443	9.132	63.077	98.445



Σχήμα 6.9: Μηνιαία αποτελέσματα ενεργειακών απωλειών αερισμού συνολικά, ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m².

6.1.3 Φορτία πισίνας

Σε εσωτερικές κολυμβητικές πισίνες οι θερμικές απώλειες αφορούν μόνο τις απώλειες εξάτμισης (q_e) και της ανανέωσης νερού (q_w) [43]. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα για την ομαλή λειτουργία ενός κολυμβητηρίου αποτελεί η εξάτμιση του νερού της δεξαμενής. Για την εμφάνιση του φαινομένου ευθύνεται αρχικά η διαφορά θερμοκρασίας του νερού και του περιβάλλοντα χώρου. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά αυτή τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα νερού που εξατμίζεται, για αυτό τον λόγο το φαινόμενο είναι πιο έντονο στην διάρκεια της νύχτας και ιδιαίτερα του χειμώνα. Η υγρασία του αέρα, αλλά και η ταχύτητα του επηρεάζουν εξίσου τις απώλειες, καθώς όσο ξηρός είναι ο αέρας σε υδρατμούς και όσο μεγαλύτερη ταχύτητα έχει, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα νερού θα εξατμιστεί.

Τέλος, η επιφάνεια της δεξαμενής παίζει καθοριστικό ρόλο, διότι μεγαλύτερα ποσά εξατμίζονται σε σχέση με το μέγεθος της. Με βάση όλες τις παραπάνω παραμέτρους επηρεάζεται και η ποσότητα ανανέωσης του νερού, η οποία αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της σωστής λειτουργίας της πισίνας. Η εισαγωγή φρέσκου

νερού επιβάλλεται για την καθαρότητα και την κατάλληλη ποιότητα του νερού της δεξαμενής. Στην συνέχεια υπολογίζονται οι ποσότητες εξάτμισης και ανανέωσης νερού ξεχωριστά για την αγωνιστική πισίνα επιφάνειας 1.050 m^2 και για την πισίνα εκμάθησης επιφάνειας 125 m^2 αντίστοιχα.

6.1.3.1 Ποσότητα νερού εξάτμισης

$$\dot{m}_e = (30,6 + 32,1 \cdot u) \cdot (P_W - P_a) \cdot A_{pool} / h_{ev} \quad (6.17)$$

Όπου,

\dot{m}_e : η ποσότητα του νερού εξάτμισης σε kg/h

u : η ταχύτητα του αέρα επάνω από την επιφάνεια του νερού σε m^2/s

P_W : η πίεση κορεσμού του υδρατμού στη θερμοκρασία επιφάνειας του νερού σε $mmHg$

P_a : η πίεση κορεσμού στη θερμοκρασία δρόσου του εσωτερικού αέρα σε $mmHg$

A_{pool} : η επιφάνεια της δεξαμενής σε m^2

h_{ev} : η θερμότητα εξάτμισης του νερού ίση με 2.454 kJ/kg

Για τον υπολογισμό του P_W χρησιμοποιείται η σχέση:

$$\ln P_W = \sum_{i=-1}^3 g_i \cdot T^i + g_4 \cdot \ln T \quad [Pa] \quad (6.18)$$

Όπου,

T : η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής σε K

$$g_{-1} = -58002206 \times 10^4$$

$$g_0 = 0.13914993 \times 10^1$$

$$g_1 = -0.48640239 \times 10^{-1}$$

$$g_2 = 0.41764768 \times 10^{-4}$$

$$g_3 = -0.14452093 \times 10^{-7}$$

$$g_4 = 0.65459673 \times 10^1$$

6.1.3.2 Φορτίο εξάτμισης

$$q_e = \frac{\dot{m}_e \cdot h_{ev} \cdot t_{open}}{3600} \quad (6.19)$$

Όπου,

q_e : το ημερήσιο φορτίο εξάτμισης σε kWh

t_{open} : οι ημερήσιες ώρες λειτουργίας της πισίνας σε h

6.1.3.3 Φορτίο ανανέωσης νερού

$$q_w = C_p \cdot \left(\frac{q_e}{h_{ev}} + f \cdot \frac{h \cdot \rho \cdot A_{pool}}{7} \right) \cdot (T_w - T_{cw}) \quad (6.20)$$

Όπου,

q_w : το ημερήσιο φορτίο ανανέωσης νερού σε kJ

C_p : η ειδική θερμότητα του νερού $4,18 \text{ kJ/kg} \cdot K$

q_e : το ημερήσιο φορτίο εξάτμισης σε kJ

h_{ev} : η θερμότητα εξάτμισης του νερού ίση με 2.454 kJ/kg

f : το ποσοστό προγραμματισμένης ανανέωσης του νερού σε εβδομαδιαία βάση που αντιστοιχεί σε (5-10%).

h : το βάθος της δεξαμενής σε m

ρ : η πυκνότητα του νερού 1.000 kg/m^3

A_{pool} : η επιφάνεια της δεξαμενής σε m^2

T_w : η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής ($26,5^\circ\text{C}$ αγωνιστική, 29°C παιδική)

T_{cw} : η μέση θερμοκρασία νερού δικτύου της περιοχής για κάθε μήνα από Πίνακα 6.2 TOTEE 20701-3

Στον Πίνακα 6.5 και στο Σχήμα 6.10 παρουσιάζονται τα φορτία των δεξαμενών. Χαρακτηριστικά τα μηνιαία φορτία ανανέωσης του νερού είναι κατά βάση το 20% του φορτίου εξάτμισης.

Πίνακας 6.5: Αποτελέσματα ενεργειακών απαιτήσεων σε μηνιαία βάση όσον αφορά τα φορτία εξάτμισης και ανανέωσης των πισινών, σε kWh .

Φορτία Πισινών	$Q_{pool,1}$	$Q_{pool,2}$	$Q_{pool,3}$	$Q_{pool,4}$	$Q_{pool,6}$	$Q_{pool,7}$	$Q_{pool,8}$	$Q_{pool,10}$	$Q_{pool,11}$	$Q_{pool,12}$
Φορτία εξάτμισης kWh	49.993	49.993	49.993	49.993	49.993	49.993	49.993	49.993	49.993	49.993
Φορτία ανανέωσης kWh	17.518	15.255	14.926	11.404	5.094	3.378	2.985	8.327	11.936	15.633



Σχήμα 6.10: Αποτελέσματα ενεργειακών απαιτήσεων σε μηνιαία βάση όσον αφορά τα φορτία εξάτμισης και ανανέωσης των πισινών, σε *MWh*.

6.1.4 Υπολογισμός φορτίου ζεστού νερού χρήσης

Το φορτίο για την κάλυψη του φορτίου ζεστού νερού χρήσης ενός κολυμβητηρίου από τις προδιαγραφές του είναι πολύ σημαντικό. Σε ένα μέρος όπου πριν και μετά από την είσοδο στην πισίνα είναι απαραίτητη η πλύση για λόγους υγιεινής, καταναλώνονται μεγάλα ποσά νερού. Τα φορτία ZNX εξαρτώνται από το πλήθος των αθλητών που έρχονται σε καθημερινή βάση αλλά και από την διαφορά της επιθυμητής θερμοκρασίας του νερού με την μηνιαία θερμοκρασία του νερού δικτύου της περιοχής. Επισημαίνεται ότι οι υπολογισμοί αφορούν κυρίως στους αθλητές, που κατά μέσο όρο κυμαίνονται περίπου στους 550 σε καθημερινή βάση.

$$Q_{ZNX,i} = V_{ZNX} \cdot N_{day,i} \cdot \frac{\rho \cdot C}{3600} \cdot (\theta_{ZNX,i} - \theta_{w,i}) \quad (6.21)$$

Όπου,

V_{ZNX} : η ημερήσια απαιτούμενη παροχή νερού που υπολογίζεται για κάθε αθλητή από τον Πίνακα 2.5 της TOTEE 20701-1 σε *lt/day*

$N_{day,i}$: ο αριθμός ημερών κάθε μήνα λαμβάνεται σταθερός και ίσος με 30 ημέρες

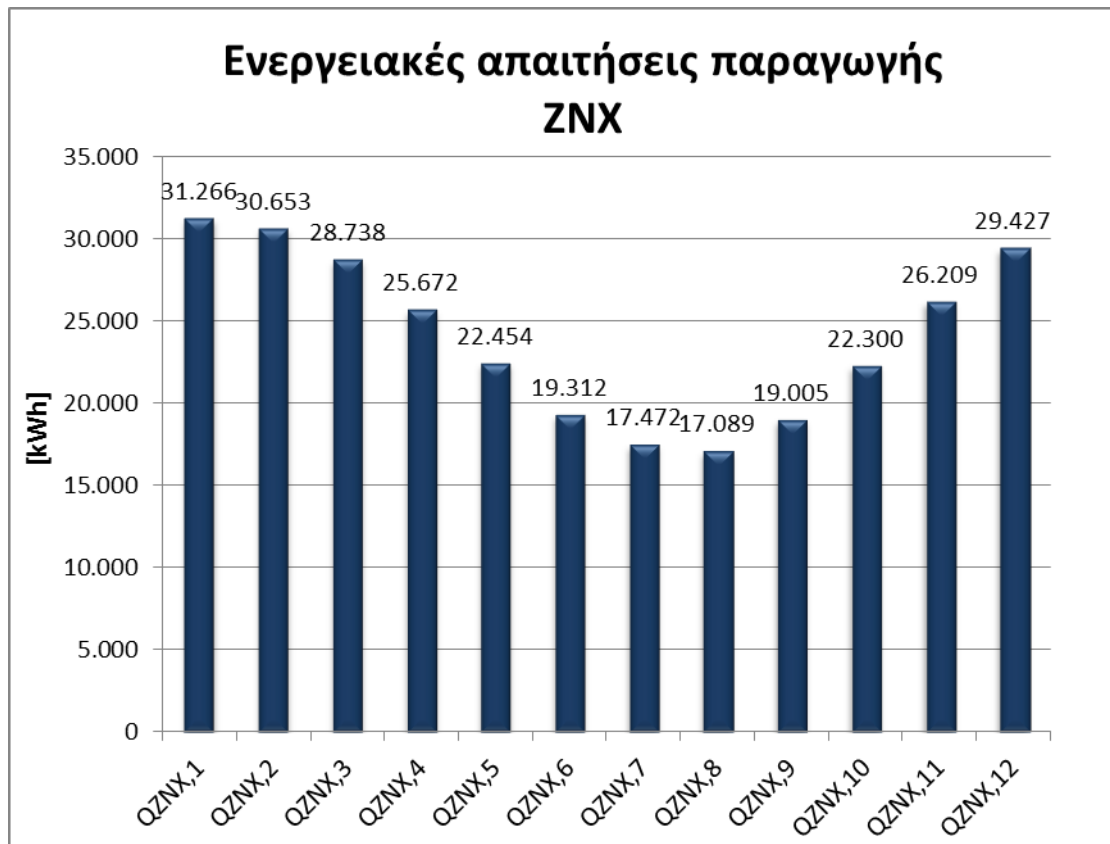
ρ : η πυκνότητα του νερού που ισούται με *1 kg/lt*

C : η ειδική θερμότητα του νερού που είναι ίση με *4,18 kJ/kg·K*

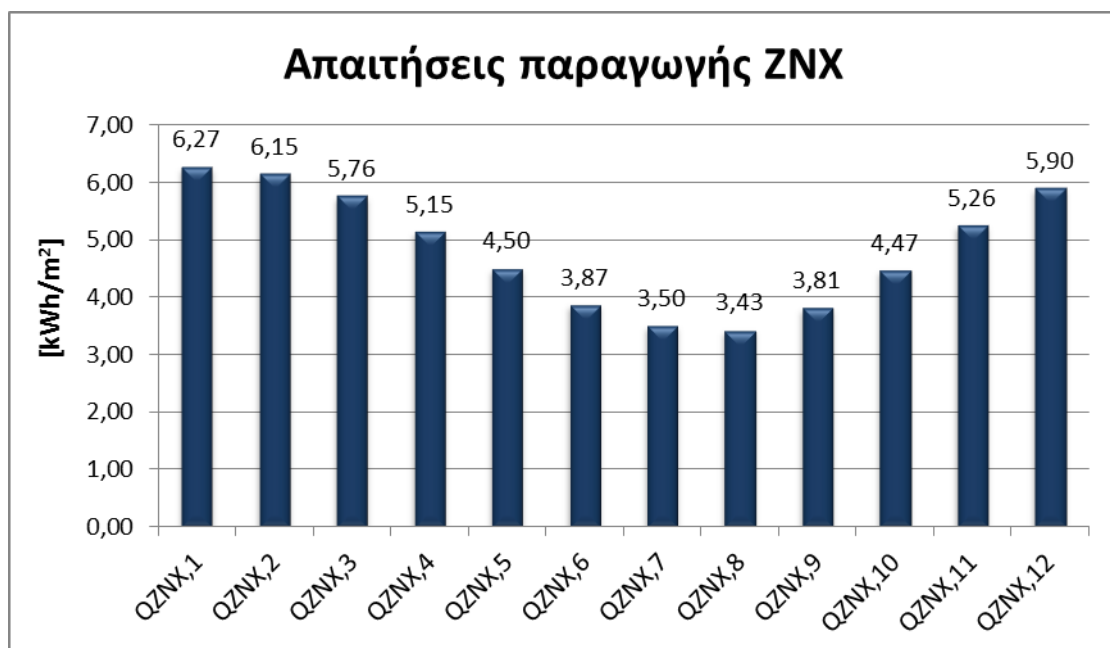
$\theta_{ZNX,i}$: η απαιτούμενη θερμοκρασία ZNX που ισούται με *45°C*

$\theta_{w,i}$: η θερμοκρασία του νερού δικτύου της περιοχής για κάθε μήνα σε *°C*, όπως ορίζεται στον Πίνακα 6.2 της TOTEE 20701-3

Στο Σχήμα 6.11 και στο Σχήμα 6.12 παρουσιάζονται οι μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις ζεστού νερού χρήσης.



Σχήμα 6.11: Μηνιαία αποτελέσματα ενεργειακών απαιτήσεων για παραγωγή ΖΝΧ, σε kWh.



Σχήμα 6.12: Μηνιαία αποτελέσματα ενεργειακών απαιτήσεων για παραγωγή ΖΝΧ, σε kWh/m²

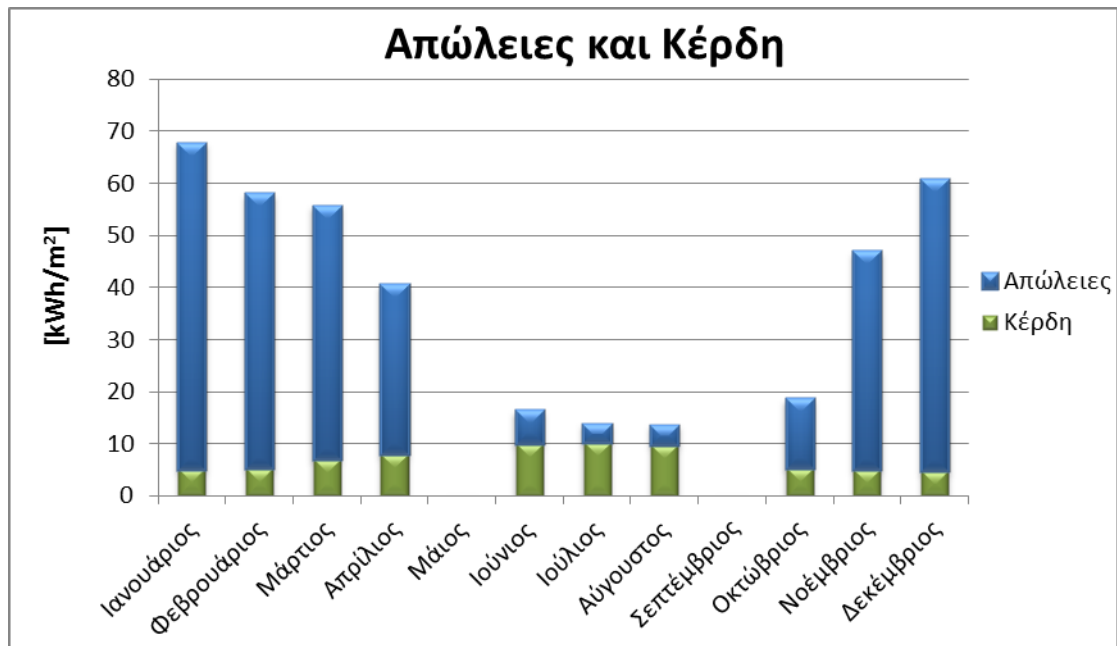
6.1.5 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ενεργειακών απαιτήσεων

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των ενεργειακών απαιτήσεων του κλειστού κολυμβητηρίου Πτολεμαΐδας, με βάση τα οποία, πραγματοποιείται μια πρώτη εκτίμηση της υφιστάμενης ενεργειακής του κατάστασης. Για τη συγκρότηση των στοιχείων του Πίνακα 6.6 αρχικά αθροίστηκαν για κάθε μήνα οι απώλειες μετάδοσης με τις απώλειες αερισμού, όπως επίσης και τα ηλιακά κέρδη με τα εσωτερικά κέρδη του κτιρίου. Στην συνέχεια υπολογίστηκαν οι συντελεστές χρήσης από την σχέση (6.3) στην περίπτωση όπου η αναλογία κερδών/απωλειών είναι θετική και διάφορη της μονάδας.

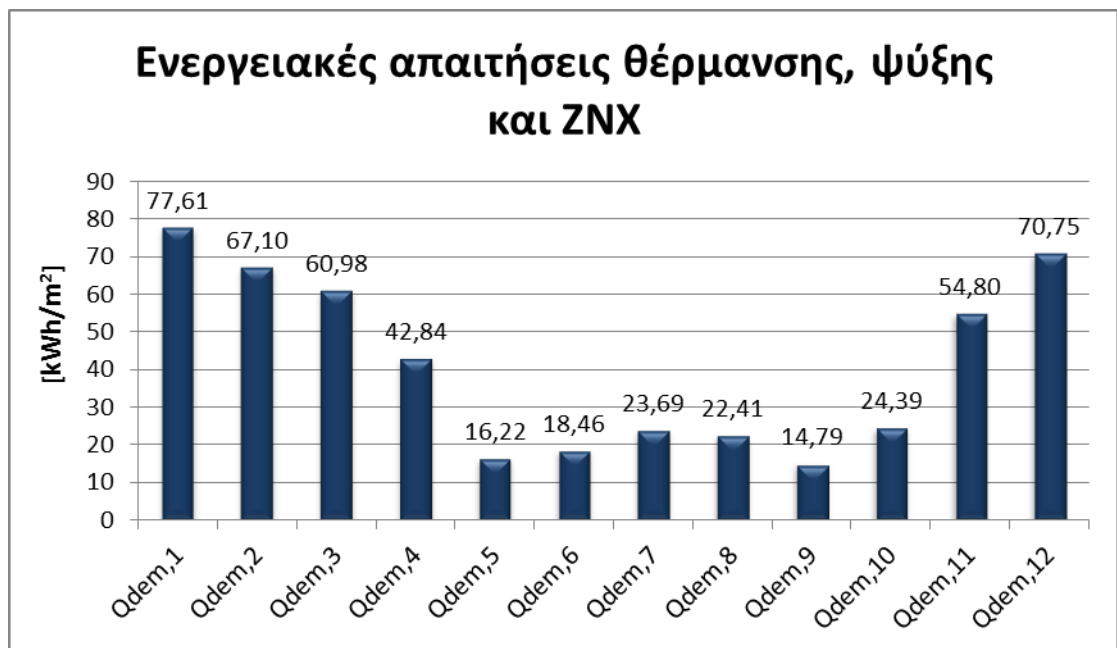
Αναλυτικά υπολογίστηκε ο συντελεστής χρήσης για θέρμανση $\eta_H = 0,89$ ενώ ο συντελεστής χρήσης για ψύξη $\eta_C = 0,72$. Επακόλουθα χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις (6.1) για τις συνολικές απαιτήσεις στην περίοδο θέρμανσης, όπου αφαιρέθηκαν από τις ενεργειακές απώλειες τα κέρδη και (6.2) για τις συνολικές απαιτήσεις στην περίοδο ψύξης, όπου αφαιρέθηκαν από τα κέρδη οι ενεργειακές απώλειες, για κάθε μήνα αντίστοιχα.

Πίνακας 6.6: Αποτελέσματα ενεργειακών απαιτήσεων θέρμανση/ψύξη, σε μηνιαία βάση, σε kWh.

Απώλειες (kWh)									
$Q_{H_loss,1}$	$Q_{H_loss,2}$	$Q_{H_loss,3}$	$Q_{H_loss,4}$	$Q_{C_loss,6}$	$Q_{C_loss,7}$	$Q_{C_loss,8}$	$Q_{H_loss,10}$	$Q_{H_loss,11}$	$Q_{H_loss,12}$
311.503	262.293	241.895	162.151	45.287	6.205	10.053	65.240	208.185	279.128
Κέρδη (kWh)									
$Q_{H_gain,1}$	$Q_{H_gain,2}$	$Q_{H_gain,3}$	$Q_{H_gain,4}$	$Q_{C_gain,6}$	$Q_{C_gain,7}$	$Q_{C_gain,8}$	$Q_{H_gain,10}$	$Q_{H_gain,11}$	$Q_{H_gain,12}$
26.140	26.475	35.348	39.977	50.363	51.817	48.977	27.180	25.895	24.040
Σύνολο απαιτήσεων θέρμανσης/ψύξης (kWh)									
$Q_{H_dem,1}$	$Q_{H_dem,2}$	$Q_{H_dem,3}$	$Q_{H_dem,4}$	$Q_{C_dem,6}$	$Q_{C_dem,7}$	$Q_{C_dem,8}$	$Q_{H_dem,10}$	$Q_{H_dem,11}$	$Q_{H_dem,12}$
288.250	238.743	210.452	126.590	17.725	47.345	41.732	41.063	185.150	257.744



Σχήμα 6.13: Μηνιαία αποτελέσματα ενεργειακών απωλειών και κερδών συνολικά, ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m².

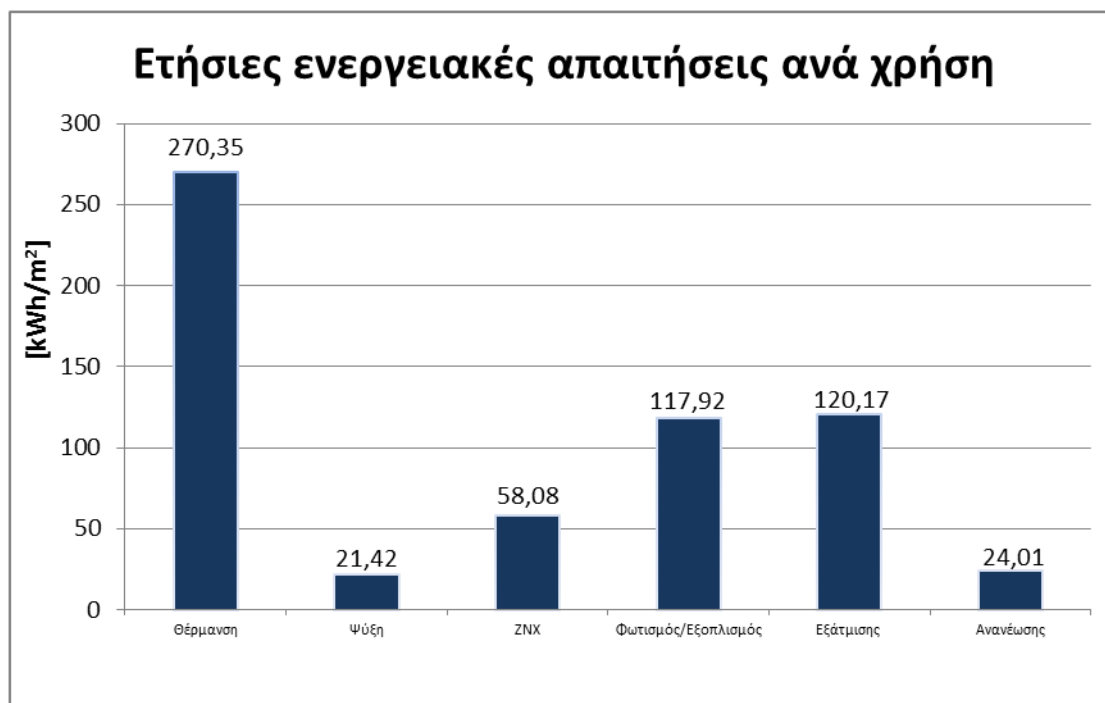


Σχήμα 6.14: Αποτελέσματα ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση/ψύξη, σε μηνιαία βάση, ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m².

Παρατηρείται ότι οι απαιτήσεις του κολυμβητηρίου, το οποίο κατατάσσεται στη Ζώνη Δ, συμβαδίζουν με τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής, καθώς τα φορτία που αφορούν τη θέρμανση του κολυμβητηρίου αγγίζουν το 44% των συνολικών απαιτήσεων, ενώ για την σωστή λειτουργία και συντήρηση των συνθηκών των κολυμβητικών δεξαμενών (φορτία εξάτμισης και ανανέωσης) το ποσοστό αυτό αναφέρεται στο 23%. Στον Πίνακα 6.7 και στο Σχήμα 6.15 παρουσιάζονται οι συνολικές ετήσιες απαιτήσεις ανά χρήση του γυμναστηρίου.

Πίνακας 6.7: Ενεργειακές απαιτήσεις ανά τελική χρήση σε kWh και σε kWh/m^2 ετησίως.

Ενεργειακές απαιτήσεις ανά τελική χρήση	kWh	kWh/m^2
<i>Θέρμανση</i>	1.347.991	270,35
<i>Ψύξη</i>	106.801	21,42
<i>ZNX</i>	289.597	58,08
<i>Φωτισμός/Εξοπλισμός</i>	588.060	117,92
<i>Εξάτμιση νερού πισινών</i>	599.197	120,17
<i>Ανανέωση νερού πισινών</i>	119.729	24,01



Σχήμα 6.15: Αποτελέσματα ενεργειακών απαιτήσεων ανά τελική χρήση και ανά τελική συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m^2 .

6.2 Υπολογισμός ενεργειακών καταναλώσεων

Οι τιμές ενεργειακής κατανάλωσης εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα που έχουν επιλεγεί για την κάλυψη των απαιτήσεων σε ψύξη και θέρμανση. Στο κεφάλαιο 5.3 περιγράφονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά και ο τρόπος λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης. Ωστόσο, στην παρούσα φάση η μελέτη εστιάζεται στον βαθμό απόδοσης του εκάστοτε συστήματος παραγωγής ενέργειας, τον βαθμό απόδοσης των συστημάτων διανομής με τα οποία συνεργάζονται και τον βαθμό απόδοσης των τερματικών μονάδων.

Όσον αφορά τα συστήματα φωτισμού και διαφόρων ηλεκτρικών συσκευών του κολυμβητηρίου, οι απαιτήσεις ταυτίζονται με τις καταναλώσεις επειδή στους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η τελική ισχύς τους. Σε κάθε περίπτωση, πρωταρχικό ρόλο για την τελική κατανάλωση διαδραματίζουν η αρχική επιλογή του συστήματος, η άρτια τοποθέτηση όλων των επιμέρους εξαρτημάτων και η τακτική συντήρηση για την αντιμετώπιση της χρόνιας φθοράς.

6.2.1 Σύστημα θέρμανσης

Το σύστημα θέρμανσης που χρησιμοποιείται στο υφιστάμενο γυμναστήριο αποτελείται από δύο λέβητες πετρελαίου με ονομαστική ισχύ 1.163 kW και 1.745 kW αντίστοιχα με βαθμό απόδοσης της τάξης του 92%. Την περίοδο 15 Οκτωβρίου έως 15 Μαΐου κύριο λόγο στην κάλυψη των θερμικών απαιτήσεων έχει ένας εναλλάκτης που παρέχει ζεστό νερό από την τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας. Και τα δύο συστήματα τροφοδοτούν τους τέσσερις κλάδους που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 5.3.1.2. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης (n_{gen}) του συστήματος παραγωγής της περιγραφόμενης διάταξης υπολογίζεται από την σχέση:

$$n_{gen} = n_{gm} \cdot n_{g1} \cdot n_{g2} \quad (6.22)$$

Όπου,

n_{gm} : ο πραγματικός βαθμός απόδοσης της μονάδας λέβητα-καυστήρα και ισούται με 0,92 ή 92%

n_{g1} : ο συντελεστής υπερδιαστασιολόγησης που εξαρτάται από τον λόγο της πραγματικής προς την θεωρητική ισχύ του συστήματος, ώστε να συνεκτιμηθεί η πιθανώς αυξημένη κατανάλωση, από τον Πίνακα 4.3 TOTEE 20701-1

n_{g2} : ο συντελεστής μόνωσης του λέβητα από τον Πίνακα 4.4 TOTEE 20701-1 και παίρνει την τιμή ένα λόγω καλής μόνωσης του καυστήρα πετρελαίου

Για τον καθορισμό του συντελεστή υπερδιαστασιολόγησης λαμβάνεται υπόψη η πραγματική θερμική ισχύς του λέβητα (P_m), συγκρίνοντας την με την υπολογιζόμενη θερμική ισχύ (P_{gen}) στην μελέτη εφαρμογής του κτιρίου. Η θερμική ισχύς δίνεται από την σχέση:

$$P_{gen} = A \cdot U_m \cdot \Delta T \cdot 2,5 \quad (6.23)$$

Όπου,

P_{gen} : η υπολογιζόμενη μέγιστη θερμική ισχύς της μονάδας θέρμανσης του κτιρίου σε *Watt*

A : η συνολική πραγματική εξωτερική επιφάνεια του κτηριακού κελύφους που είναι εκτεθειμένη στον εξωτερικό αέρα, όπως λαμβάνονται υπόψη στον έλεγχο θερμομονωτικής επάρκειας σε m^2 (συγκεκριμένα ισούται με $12.719,5 m^2$)

U_m : ο μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κτιρίου όπως υπολογίστηκε στο κεφάλαιο 5.2.2 ($U_{m,max} = 0,934$)

ΔT : η διαφορά θερμοκρασίας για την διαστασιολόγηση του συστήματος ($28^\circ C$ για την ζώνη Δ)

Ο λόγος της πραγματικής προς την θεωρητική ισχύ του λέβητα ισούται με 1,40 με βάση τον Πίνακα 4.3 TOTEE 20701-1 και με γραμμική παρεμβολή ο συντελεστής υπερδιαστασιολόγησης παίρνει την τιμή $n_{g1} = 0,89$. Επομένως από την σχέση 6.22 ο συνολικός βαθμός απόδοσης της διάταξης είναι ίσος με:

$$n_{gen} = 0,89 \cdot 0,92 \cdot 1 = 0,819 \text{ ή } 81,9 \%$$

Σημειώνεται ότι για την μονάδα τηλεθέρμανσης που ευθύνεται για την παραγωγή ζεστού νερού, η απόδοση της λαμβάνεται ίση με την ονομαστική απόδοση του εναλλάκτη θερμότητας που χρησιμοποιείται.

Δύο ακόμη παράγοντες που επηρεάζουν την πραγματική κατανάλωση ενέργειας είναι οι θερμικές απώλειες από το κεντρικό δίκτυο διανομής και τους αεραγωγούς της κεντρικής κλιματιστικής μονάδας, όπως ακόμη και τις απώλειες των τερματικών μονάδων που βρίσκονται στου βοηθητικούς χώρους του κολυμβητηρίου. Επομένως, εφόσον στο αθλητικό κέντρο συνδυάζονται παραπάνω του ενός είδους δίκτυα διανομής και τερματικές μονάδες, ως βαθμός απόδοσης ορίζεται ο σταθμικός βαθμός απόδοσης των δύο αντίστοιχων συστημάτων.

Προκύπτει για τον βαθμό απόδοσης του δικτύου διανομής $n_{H,ls} = 0,985$ ή 98,5% σημειώνοντας ότι στην περίπτωση των αεραγωγών, που διέρχονται από εσωτερικό χώρο, οι απώλειες δεν λαμβάνονται υπόψη. Στην συνέχεια ο βαθμός απόδοσης των τερματικών μονάδων υπολογίζεται από την σχέση:

$$n_{em,t} = \frac{n_{em}}{f_{rad} \cdot f_{im} \cdot f_{hydr}} \quad (6.24)$$

Όπου,

$f_{rad} = 1$ ο παράγοντας για την αποτελεσματικότητα της ακτινοβολίας των θερματικών μονάδων

$f_{im} = 0,97$ ο παράγοντας διακοπτόμενης λειτουργίας

$f_{hydr} = 1$ ο παράγοντας για την υδραυλική ισορροπία του δικτύου των θερματικών μονάδων

$n_{em} = 0,89$ η απόδοση εκπομπής της θερματικής μονάδας ανάλογα με την θερμοκρασία του μέσου από τον Πίνακα 4.12 TOTEE 20701-1

Από την σχέση 6.24 προκύπτει για τον βαθμό απόδοσης των θερματικών μονάδων $n_{Hem} = 0,917$ ή 91,7%

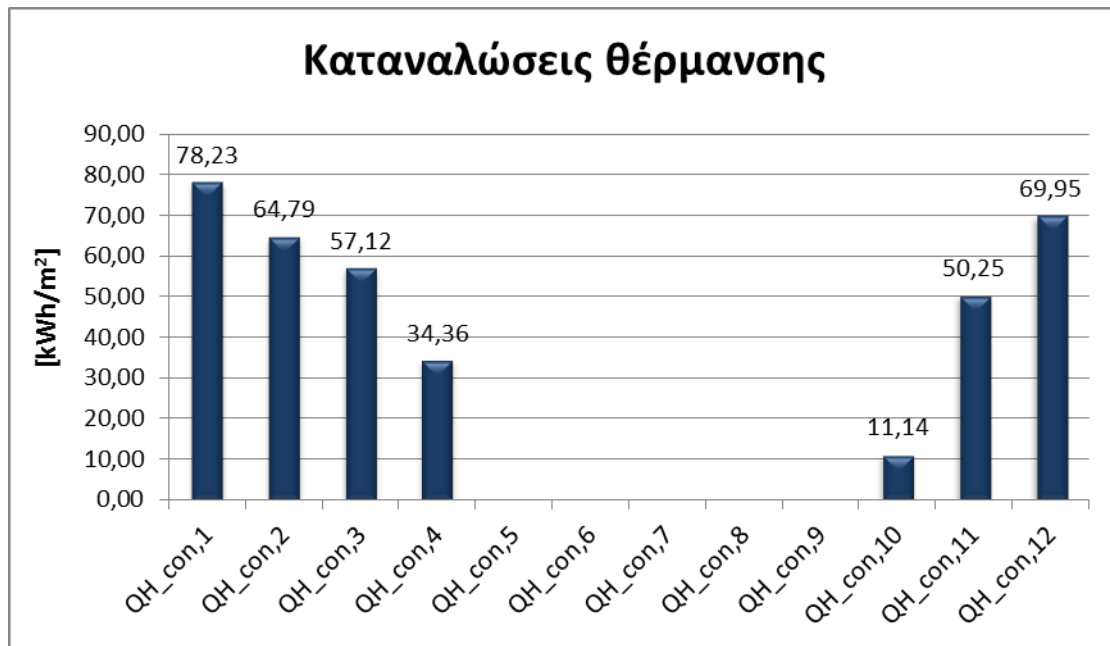
Συνεπάγεται ότι ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος θέρμανσης είναι:

$$n_H = n_{gen} \cdot n_{Hls} \cdot n_{Hem} = 0,819 \cdot 0,985 \cdot 0,917 = 0,739 \text{ ή } 73,9\%$$

Διαιρώντας τις αντίστοιχες ενεργειακές απαιτήσεις από τον Πίνακα 6.6 με το συνολικό βαθμό απόδοσης της διάταξης, προκύπτουν οι ζητούμενες τελικές καταναλώσεις ενέργειας για την περίοδο θέρμανσης.

Πίνακας 6.8: Αποτελέσματα ενεργειακών καταναλώσεων θέρμανσης ανά μήνα, σε kWh.

Ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης (kWh)						
$Q_{H_con,1}$	$Q_{H_con,2}$	$Q_{H_con,3}$	$Q_{H_con,4}$	$Q_{H_con,10}$	$Q_{H_con,11}$	$Q_{H_con,12}$
390.055	323.062	284.779	171.299	55.565	250.541	348.773



Σχήμα 6.16: Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης, ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m².

6.2.2 Σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης

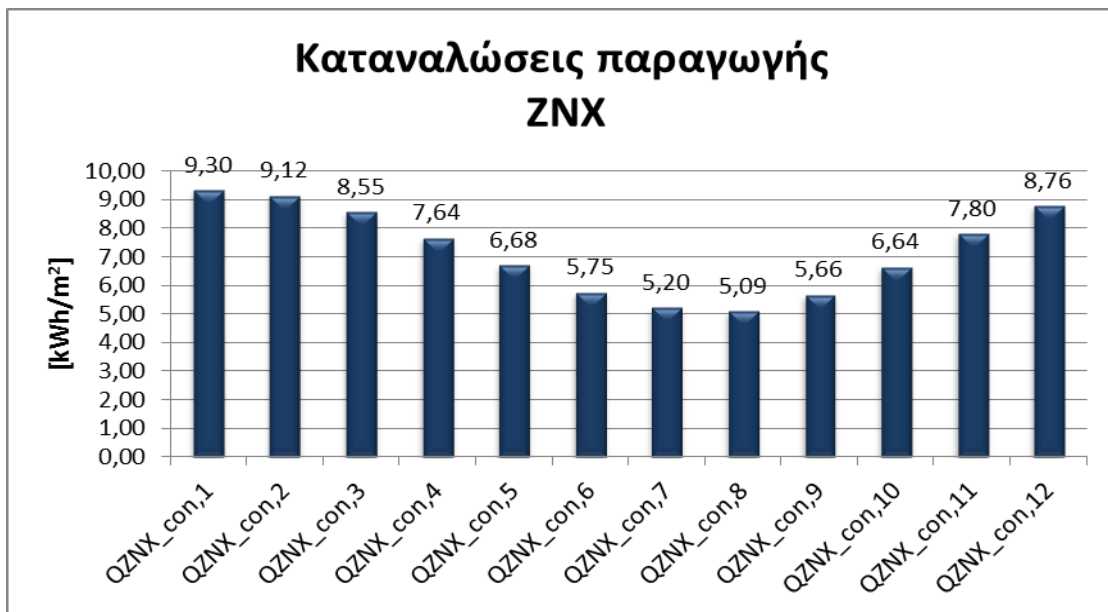
Αντίστοιχα ακολουθείται η διαδικασία για το σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης που ταυτίζεται με το σύστημα κάλυψης της θέρμανσης των χώρων. Το μόνο που αλλάζει στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι ένας ξεχωριστός κλάδος κυκλοφορητών διανομής του ζεστού νερού χρήσης. Με συνολικό βαθμό απόδοσης της διάταξης παραγωγής θερμότητας όπως υπολογίστηκε $n_{gen} = 0,819$, βαθμό απόδοσης του δικτύου διανομής $n_{ZNX_{ls}} = 0,885$ ή 88,5 % από Πίνακα 4.16 TOTEE 20701-1 και βαθμό αποδοτικότητας του συστήματος αποθήκευσης $n_{ZNX_{em}} = 0,93$ ή 93 % αφού τα boiler αποθήκευσης βρίσκονται τοποθετημένα στο λεβητοστάσιο του κολυμβητηρίου. Άρα, ο συνολικός βαθμός απόδοσης προκύπτει:

$$n_{ZNX} = n_{gen} \cdot n_{ZNX_{ls}} \cdot n_{ZNX_{em}} = 0,819 \cdot 0,885 \cdot 0,93 = 0,674 \text{ ή } 67,4 \%$$

Διαιρώντας τις αντίστοιχες ενεργειακές απαιτήσεις από το Σχήμα 6.11 και το Σχήμα 6.12 με το συνολικό βαθμό απόδοσης n_{ZNX} , προκύπτουν οι ζητούμενες τελικές καταναλώσεις παραγωγής ζεστού νερού χρήσης.



Σχήμα 6.17: Μηνιαίες καταναλώσεις παραγωγής ZNX, σε kWh.



Σχήμα 6.18: Μηνιαίες καταναλώσεις παραγωγής ZNX, σε kWh/m².

6.2.3 Φωτισμός και συστήματα

Η κατανάλωση ενέργειας από συστήματα φωτισμού και ηλεκτρικές συσκευές παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.9 όπως μελετήθηκαν και αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 6.1.1.2.

Πίνακας 6.9: Καταναλώσεις ενέργειας φωτισμού και συσκευών, σε kWh.

Θερμικά εσωτερικά κέρδη	$Q_{int,1}$	$Q_{int,2}$	$Q_{int,3}$	$Q_{int,4}$	$Q_{int,6}$	$Q_{int,7}$	$Q_{int,8}$	$Q_{int,10}$	$Q_{int,11}$	$Q_{int,12}$
$Q_{int,light}$ kWh	4.335	3.915	4.335	4.195	4.195	4.335	4.335	2.167	4.195	4.335
$Q_{int,sys}$ kWh	5.020	4.534	5.020	4.858	4.858	5.020	5.020	2.510	4.858	5.020
Συνολικά kWh	9.355	8.450	9.355	9.053	9.053	9.355	9.355	4.677	9.053	9.355

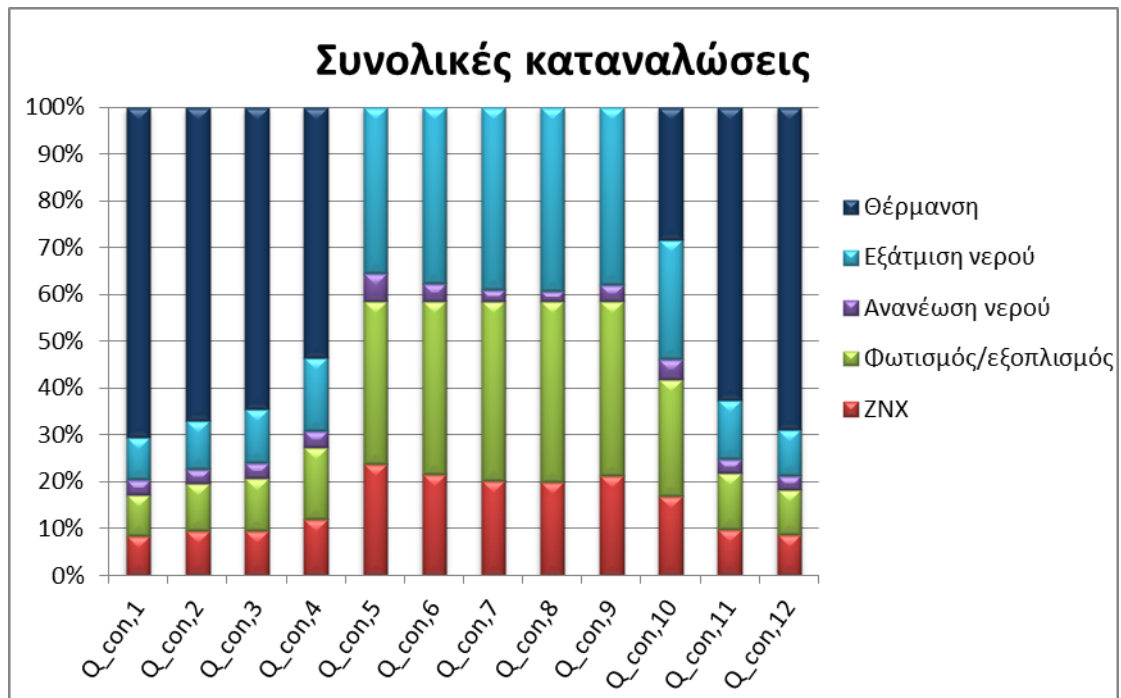
6.3 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα καταναλώσεων

Ύστερα από την αναλυτική επεξεργασία των αποτελεσμάτων των ενεργειακών απαιτήσεων, αλλά και καταναλώσεων του κτιρίου ξεχωριστά, είναι αναγκαίο να γίνει μια τελική συνολική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των καταναλώσεων που εξαρτιόνται από την αποδοτικότητα των συστημάτων. Οι ενεργειακές καταναλώσεις του κλειστού κολυμβητηρίου της Πτολεμαΐδας μελετώνται με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

- την τελική κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση
- το καύσιμο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας
- την πρωτογενή ενέργεια που καταναλώνεται

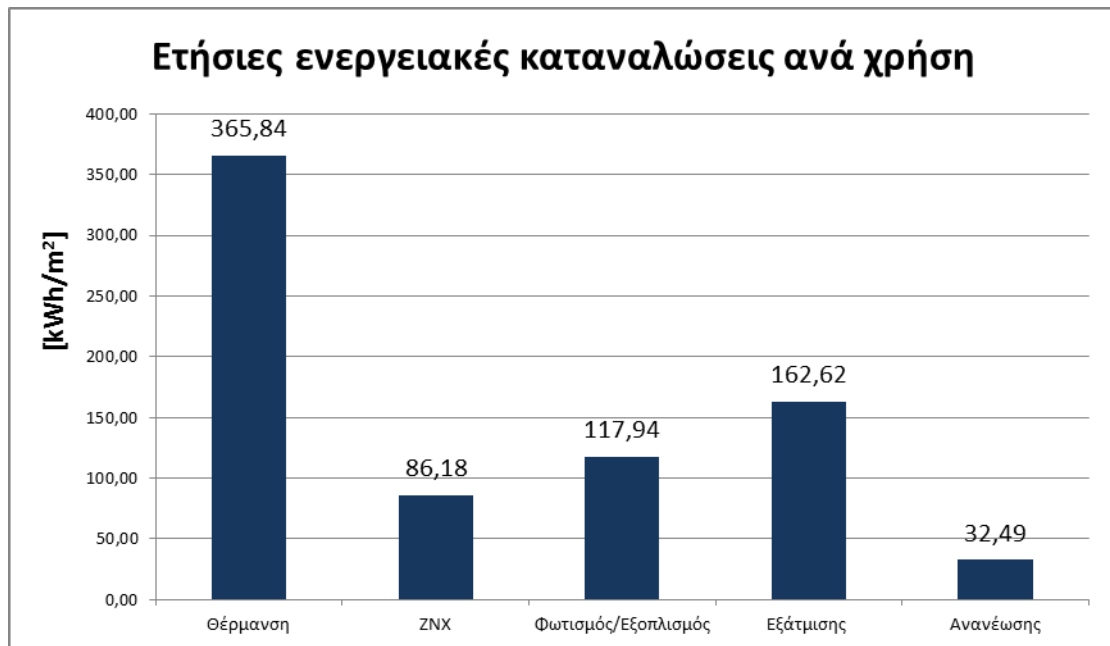
Πίνακας 6.10: Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις ανά τελική χρήση, σε kWh.

Ενεργειακές καταναλώσεις ανά τελική χρήση	kWh	kWh/m ²
<i>Θέρμανση</i>	1.824.075	365,84
<i>ZNX</i>	429.670	86,18
<i>Φωτισμός/Εξοπλισμός</i>	588.060	117,94
<i>Εξάτμιση νερού πισινών</i>	810.823	162,62
<i>Ανανέωση νερού πισινών</i>	162.016	32,49



Σχήμα 6.19: Συνολικές καταναλώσεις ανά τελική χρήση σε ποσοστιαία κλίμακα (%) με βάση τις αντίστοιχες καταναλώσεις ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh.

Εξετάζοντας τα Σχήματα 6.19, 6.20 και τον Πίνακα 6.10, όπου έχουν καταγραφεί οι συνολικές καταναλώσεις ανά χρήση, αυτό που συμπεραίνεται είναι πως για την θέρμανση χώρου οι τιμές είναι αρκετά μεγάλες συγκριτικά με τις υπόλοιπες χρήσεις, οι οποίες όμως δικαιολογούνται εξαιτίας των ακραίων κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή της Πτολεμαΐδας, αλλά και του μεγάλου όγκου του κολυμβητηρίου που πρέπει να θερμανθεί. Επίσης, παρατηρείται ότι η ενέργεια που καταναλώνεται για τον φωτισμό και τα συστήματα που αφορούν τον εξοπλισμό του κτιρίου κυμαίνεται σε λογικά πλαίσια. Όμως είναι βέβαιο ότι υπάρχουν περιθώρια μείωσης της παρούσας κατανάλωσης διότι δεν γίνεται χρήση λαμπτήρων εξοικονόμησης ενέργειας. Τέλος, απαραίτητο δεν θα μπορούσε να περάσει το η ενέργεια που καταναλώνεται για την θέρμανση του νερού των κολυμβητικών δεξαμενών, όπως φαίνεται στα φορτία της εξάτμισης και της ανανέωσης.



Σχήμα 6.20: Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις ανά τελική χρήση και ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m².

Στην συνέχεια γίνεται ανάλυση των καταναλώσεων, όπως προαναφέρθηκε, στη βάση του καυσίμου που χρησιμοποιείται για την κάλυψη της απαιτούμενης ενέργειας (Πίνακας 6.10). Για το υφιστάμενο κλειστό κολυμβητήριο πηγές ενέργειας αποτελούν η τηλεθέρμανση και το πετρέλαιο που καλύπτουν τις ανάγκες για θέρμανση του χώρου, του νερού πισινών και για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Το καλοκαίρι χρησιμοποιείται ο λέβητας πετρελαίου, δηλαδή τους μήνες που η τηλεθέρμανση παραμένει κλειστή. Η ηλεκτρική ενέργεια, που διανέμεται από το κεντρικό δίκτυο της περιοχής εξυπηρετεί τις ανάγκες φωτισμού και λειτουργίας του μηχανικού εξοπλισμού. Για τον λόγο αυτό τα αποτελέσματα εστιάζονται από την μια πλευρά στις αυξημένες εκπομπές CO₂ στην ατμόσφαιρα, για τις οποίες ευθύνονται καθαρά τα συμβατικά καύσιμα και από την άλλη πλευρά είναι εμφανείς οι αυξημένες δαπάνες εκφρασμένες σε χρήματα που απαιτούνται για την λειτουργία του κολυμβητηρίου.

Πίνακας 6.11: Κατανάλωση ενέργειας ανά χρησιμοποιούμενο καύσιμο και εκπομπές CO₂

Πηγή Ενέργειας	Κατανάλωση kWh/m ²	kgCO ₂ / kWh	Εκπομπές CO ₂ kgCO ₂ /m ²
<i>Τηλεθέρμανση</i>	565,79	0,347	196,33
<i>Πετρέλαιο</i>	83,35	0,264	22,00
<i>Ηλεκτρισμός</i>	117,92	0,989	116,62
Συνολικά	767,06	-	334,95

Τέλος, μελετώνται οι ενεργειακές καταναλώσεις στη βάση του μεγέθους της πρωτογενούς ενέργειας, καθώς η πρωτογενής ενέργεια δίνει μία πλήρη εικόνα για την επιβάρυνση που προκαλεί η λειτουργία του κτιρίου σε επίπεδο συμβατικών πόρων. Οι υπολογισμοί έγιναν με την χρήση των συντελεστών μετατροπής 0,7 για την τηλεθέρμανση, 1,1 για το πετρέλαιο και 2,9 για τον ηλεκτρισμό [40]. Τα τελικά ποσά καταγράφηκαν στον Πίνακα 6.12.

Πίνακας 6.12: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά χρησιμοποιούμενο καύσιμο και εκπομπές CO₂

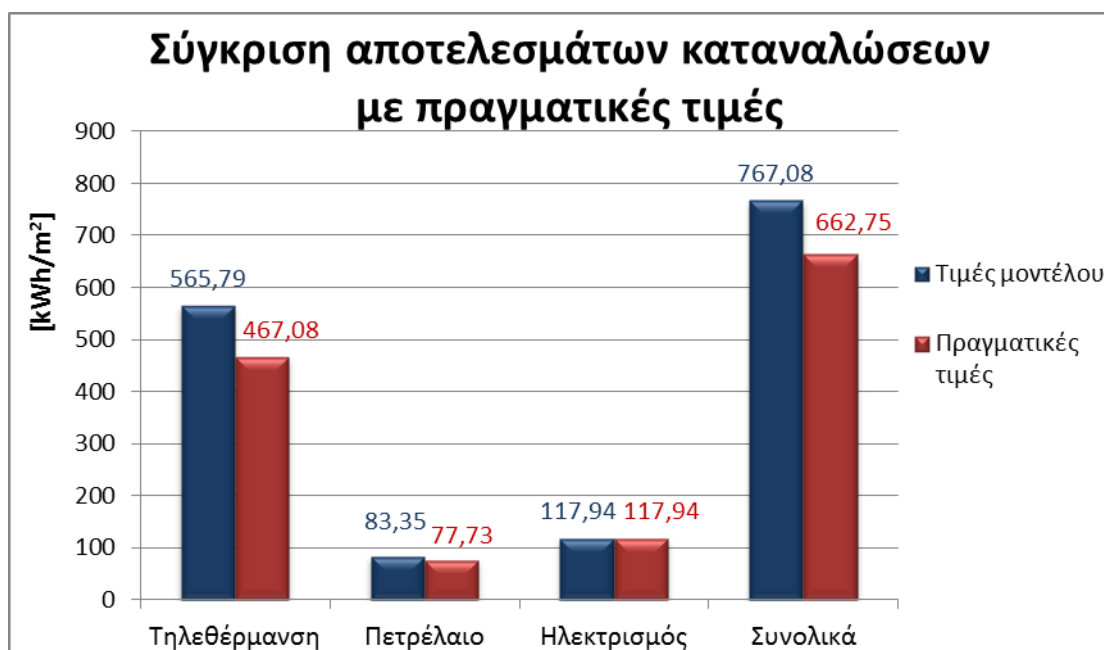
Πηγή Ενέργειας	Κατανάλωση kWh/m ²	Συντελεστής Μετατροπής	Πρωτογενής Κατανάλωση kWh/m ²
<i>Τηλεθέρμανση</i>	565,79	0,7	396,05
<i>Πετρέλαιο</i>	83,35	1,1	91,68
<i>Ηλεκτρισμός</i>	117,92	2,9	341,96
<i>Συνολικά</i>	767,06	-	829,69

6.4 Σύγκριση με πραγματικές καταναλώσεις

Συγκρίνοντας τις υπολογιζόμενες καταναλώσεις από το μοντέλο του KENAK με τις πραγματικές τιμές κατανάλωσης του κολυμβητηρίου όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.13, παρατηρείται ότι οι αποκλίσεις δεν ξεπερνούν το 17%, δεδομένων των αβεβαιοτήτων που υπεισέρχονται κατά τη μοντελοποίηση των ενεργειακών φορτίων ενός κτιρίου μεγάλης επιφάνειας κάλυψης όπως το υφιστάμενο, και συμπεριλαμβανομένων παραμέτρων λειτουργίας συνδεδεμένων με τη χρήση του, όπως η συγκέντρωση ατόμων κλπ., επιτρέπει να θεωρηθούν τα αποτελέσματα του μοντέλου αξιόπιστα για να πραγματοποιηθεί στην συνέχεια η διερεύνηση των κατάλληλων ενεργειακών προτάσεων αναβάθμισης. Σημειώνεται ότι τα πραγματικά στοιχεία καταναλώσεων δόθηκαν από τους υπεύθυνους του κολυμβητηρίου.

Πίνακας 6.13: Σύγκριση πραγματικών τιμών καταναλώσεων, με αποτελέσματα καταναλώσεων μοντέλου του ΚΕΝΑΚ.

Πηγή Ενέργειας	Κατανάλωση MWh	Πηγή Ενέργειας	Πραγματική Κατανάλωση MWh
Τηλεθέρμανση	2.821,02	Τηλεθέρμανση	2.328,84
Πετρέλαιο	415,58	Πετρέλαιο	387,55
Ηλεκτρισμός	588,06	Ηλεκτρισμός	588,06
Συνολικά	3.824,66	Συνολικά	3.304,45



Σχήμα 6.21: Συγκριτικά αποτελέσματα καταναλώσεων με τις πραγματικές τιμές.

Κεφάλαιο 7: Προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης

Με τον όρο ενεργειακή αναβάθμιση ενός κτιρίου ορίζεται το σύνολο των επεμβάσεων που γίνεται, μετά την αναλυτική αξιολόγηση της απόδοσης και της συμπεριφοράς του, με σκοπό την μείωση των ενεργειακών αναγκών και καταναλώσεων. Απώτερο στόχο αποτελεί η προσέγγιση της συμπεριφοράς ενός κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης από το κτίριο υπό μελέτη, μέσω της χρήσης παθητικών συστημάτων, αλλά και συστημάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Η εφαρμογή μιας πρότασης για βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς έχει δυο παραμέτρους. Ο πρώτος είναι η επιτυχής εξοικονόμηση ενέργειας για την επίτευξη της μεγαλύτερης δυνατής μείωσης των λειτουργικών εξόδων του κτιρίου. Η δεύτερη παράμετρος αναφέρεται στον χρόνο απόσβεσης, η τιμή του οποίου θα πρέπει να επιτρέπει το χαρακτηρισμό της επένδυσης ως συμφέρουσα.

Για το εν λόγω γυμναστήριο, με βάση τον αναλυτικό έλεγχο και την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του κτιρίου, προκύπτει ότι τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα βρίσκονται σε άριστη κατάσταση λόγω της συστηματικής συντήρησης και της ολιγόχρονης λειτουργίας τους. Οι προτάσεις για ενεργειακή αναβάθμιση αναφέρονται στο κελύφος του κτιρίου, αλλά και στην μείωση της συμβατικής ενέργειας που χρησιμοποιείται. Συγκεκριμένα οι παρεμβάσεις του κελύφους αφορούν στην τοποθέτηση μόνωσης στην οροφή του κολυμβητηρίου, την αναβάθμιση τεχνικού συστήματος φωτισμού και την τοποθέτηση καλύμματος στην πισίνα. Παράλληλα, για την μείωση της συμβατικής χρήσης λέβητα πετρελαίου και της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος κύριο λόγο έχουν η εγκατάσταση θερμικών ηλιακών συλλεκτών, αλλά και φωτοβολταϊκών συστημάτων αντίστοιχα.

Σε οικονομικό επίπεδο, πρωταρχικός σκοπός είναι η άμεση απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου των επενδύσεων και στην συνέχεια η χρηματική εξοικονόμηση κατά τη λειτουργία του κολυμβητηρίου.

7.1 Δράσεις αναβάθμισης

Στην παρούσα ενότητα γίνεται μελέτη των προτάσεων ενεργειακής αναβάθμισης για κάθε σύστημα παραγωγής ενέργειας για το κλειστό κολυμβητήριο της Πτολεμαΐδας. Πιο ειδικά οι δράσεις αυτές είναι οι εξής:

- Ηλιακά συστήματα
- Μόνωση της μεταλλικής οροφής
- Τοποθέτηση καλύμματος στις κολυμβητικές δεξαμενές
- Αναβάθμιση συστήματος τεχνητού φωτισμού
- Φωτοβολταϊκά συστήματα

7.1.1 Μόνωση μεταλλικής οροφής

Το δάμα ενός κτιρίου αποτελεί το πιο ευπαθές δομικό στοιχείο όταν δεν είναι θερμομονωμένο σωστά. Υπάρχουν μεγάλες απώλειες θερμότητας την χειμερινή περίοδο όταν ο ζεστός αέρας από το σύστημα θέρμανσης ανεβαίνει προς τα πάνω και ο εξωτερικός αέρας έχει χαμηλότερη θερμοκρασία. Την θερινή περίοδο αντίστοιχα, λόγω της άμεσης έκθεσης του ήλιου στην επιφάνεια της οροφής και την υψηλή θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα, ρέει θερμότητα προς τους εσωτερικούς χώρους επηρεάζοντας τις συνθήκες άνεσης. Αποτελεί, λοιπόν, ανάγκη η τοποθέτηση μόνωσης, ώστε η μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας της οροφής να περιορίσει τις απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης.

Συγκεκριμένα προτείνεται ο ψεκάσμος σκληρού αφρού διογκωμένης πολυουρεθάνης πάνω στην μεταλλική οροφή για επιπλέον θερμομόνωση και στεγανοποίηση λόγω του χαμηλού συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ($\lambda = 0,020 \text{ W/m} \cdot \text{K}$). Ο αφρός πολυουρεθάνης μετά το στέγνωμα και την διόγκωσή του δημιουργεί μια ενιαία μονολιθική επιφάνεια χωρίς αρμούς και ενώσεις, μηδενίζοντας με αυτόν τον τρόπο τις διαρροές και τις θερμογέφυρες. Είναι εύκολο στην εφαρμογή, ανεξαρτήτως δομικού υλικού κατασκευής και καμπυλότητας της στέγης, έχοντας μεγάλη αντοχή σε καιρικές συνθήκες και θερμοκρασίες (-50°C έως 120°C). Τέλος, λόγω ελάχιστου βάρους δεν δημιουργεί στατικό πρόβλημα στην στέγη.



Εικόνα 7.1: Διεργασία τοποθέτησης αφρού πολυουρεθάνης και αποτέλεσμα αυτού.

Με τον ψεκάσμο πάχους 5 cm πολυουρεθάνης ο συντελεστής θερμοπερατότητας της μεταλλικής οροφής μειώνεται σε $U = 0,281 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, όπως αναλύεται στον Πίνακα 7.1.

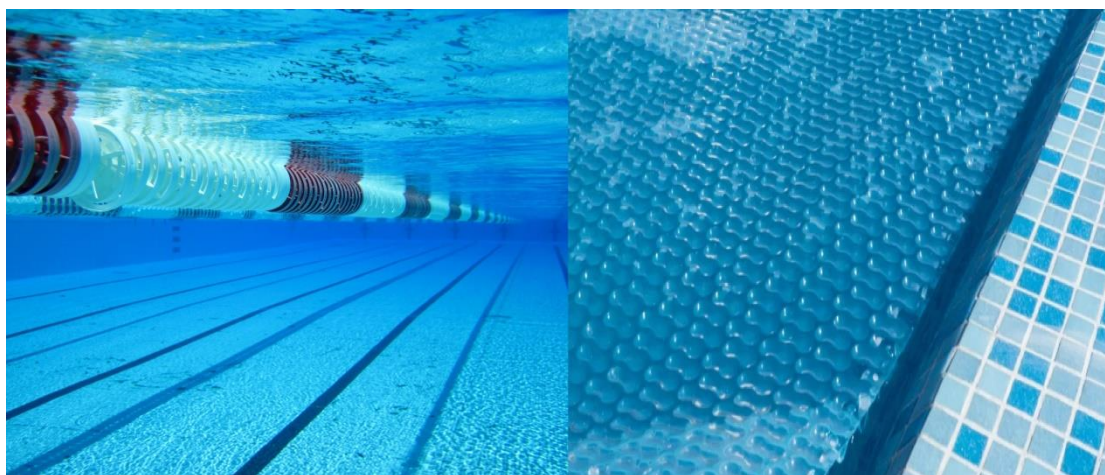
Πίνακας 7.1: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας της μεταλλικής οροφής μετά την τοποθέτηση μόνωσης.

α/α	Στρώσεις υλικών	Πυκνότητα kg/m^3	Πάχος m	Συντελεστής λ $Kcal/mhC$	d_i/λ_i $m^2 hC/Kcal$
1	Χυτοσίδηρος και γάλυβας	7800	0.001	50.00	0.000
2	Πολυουρεθάνη	45.00	0.025	0.020	1.440
3	Χυτοσίδηρος και γάλυβας	7800	0.001	50.00	0.000
4	ΨΕΚΑΣΜΟΣ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ	45.00	0.050	0.020	2.500
ΣΥΝΟΛΑ			0.077		3.940
$R_i = 0.14 m^2 hC / Kcal$ $R_a = 0.05 m^2 hC / Kcal$ $U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=i}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_a} = \frac{1}{4.13} = 0.242 Kcal/m^2 hC = 0.281 W/m^2 \cdot K$					

7.1.2 Τοποθέτηση καλύμματος πισίνας

Για την μείωση των θερμικών απωλειών της κολυμβητικής πισίνας προτείνεται η τοποθέτηση ισοθερμικού καλύμματος που θα χρησιμοποιείται τις ώρες που το κολυμβητήριο παραμένει κλειστό. Με την χρήση καλύμματος επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση των απωλειών εξάτμισης και συνεπώς της ανανέωσης του νερού διατηρώντας την θερμοκρασία της πισίνας κυρίως τις νυχτερινές ώρες. Η αποτίμηση της εξοικονόμησης είναι εμφανής τροποποιώντας την σχέση 6.19 (κεφάλαιο 6.1.3.2) τον όρο t_{open} από 24h σε 14h ημερήσιες ώρες λειτουργίας της πισίνας.

Σε μία περιοχή όπως είναι η Δυτική Μακεδονία (Ζώνη Δ) η διαφορά θερμοκρασίας εντός και εκτός κτιρίου παίζει σημαντικό ρόλο. Πρόσθετη εξοικονόμηση προκύπτει εφόσον υπάρχει λιγότερη επεξεργασία του ύδατος, οδηγώντας σε μείωση των χημικών ουσιών που απαιτούνται για να διατηρηθεί η σύσταση του νερού της πισίνας.



Εικόνα 7.2: Κάλυμμα κολυμβητικής δεξαμενής.

7.1.3 Αναβάθμιση συστήματος τεχνητού φωτισμού

Ύστερα από επισκέψεις και επιθεωρήσεις στον χώρο του κλειστού κολυμβητηρίου της Πτολεμαΐδας, προσδιορίστηκε ο τύπος και η ισχύς των λαμπτήρων που χρησιμοποιούνται για τον τεχνητό φωτισμό του εσωτερικού χώρου. Ειδικότερα, πρόκειται για λαμπτήρες φθορίου και φθορισμού συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 10 kW . Οι καταναλώσεις σε ηλεκτρική ενέργεια με την υπάρχουσα παρούσα κατάσταση είναι 48.872 kWh για ολόκληρο τον χρόνο. Ένα μέτρο εξοικονόμησης που προτείνεται, ώστε να μειωθούν αυτές οι καταναλώσεις, είναι να αντικατασταθούν οι λαμπτήρες που υπάρχουν με λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας τύπου LED. Στον παρακάτω Πίνακα 7.2 προτείνονται οι τροποποιήσεις λαμπτήρων με την αντίστοιχη ισχύ, αλλά και παράλληλες τροποποιήσεις στο σύστημα αυτοματισμών και ελέγχου, που στόχο έχουν να μειώσουν τις καταναλώσεις έως 20%. Το ποσοστό αυτό ενέργειας που εξοικονομείται μπορεί να είναι σχετικά μικρό, όμως σε συνδυασμό και με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας, όπως θα αναλυθεί παρακάτω στο κεφάλαιο 7.1.4.

Πίνακας 7.2: Προτεινόμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού.

Τύπος λαμπτήρων	Ισχύς λαμπτήρων (kW)
<i>T8 LED (0,014 kW)</i>	0,756 kW
<i>Προβολείς LED (0,050 kW)</i>	8 kW
<i>Σύνολο</i>	8,756 kW

Πιο συγκεκριμένα, η βελτιστοποίηση του συστήματος τεχνητού φωτισμού περιλαμβάνει την τοποθέτηση φωτοκύτταρων, τα οποία ανιχνεύουν οποιαδήποτε κίνηση των χρηστών στον χώρο εμβέλειάς τους, έτσι ώστε να μην λειτουργούν οι λαμπτήρες και να σβήνουν αυτόματα όταν δεν είναι αναγκαία η χρήση του φωτισμού του κολυμβητηρίου. Ο σκοπός χρήσης των αυτοματισμών έχει ως στόχο την παράλληλη εκμετάλλευση φυσικού και τεχνητού φωτισμού [44]. Πιο ειδικά πρόκειται για ένα σύστημα το οποίο μπορεί να ρυθμίζει την ένταση αλλά και την φωτεινότητα του τεχνητού φωτισμού με τον φυσικό φωτισμό που παρέχεται στον χώρο την εκάστοτε στιγμή, διατηρώντας όμως την φωτεινότητα σταθερή στα όρια άνεσης των χρηστών, χωρίς όμως την παρέμβαση των ανθρώπων (Day-light control).

Τέλος, με την πραγματοποίηση των παραπάνω παρεμβάσεων γίνεται χρήση πρωτίστως νέων τεχνολογιών όσον αφορά τον φωτισμό, αλλά γίνεται και εξοικονόμηση της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται.

7.1.4 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στην αναβάθμιση του τεχνητού εξοπλισμού, προτού γίνει η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών λήφθηκε μέριμνα εκσυγχρονισμού των συστημάτων και λαμπτήρων φωτισμού, ώστε να αξιοποιηθεί στο έπακρο η ενέργεια που θα προσλαμβάνουν τα συστήματα [45]. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα καλούνται να καλύψουν το 30% των απαιτήσεων του κτιρίου σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων εξαρτάται από το ποσοστό της αξιοποίησης της ακτινοβολίας του ήλιου που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια τους. Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την λειτουργία και την αποδοτικότητα των συστημάτων είναι η τεχνολογία του τύπου των ηλιακών πάνελ, καθώς και ο προσανατολισμός τους και η κλίση που θα έχουν ανάλογα με τη θέση του ήλιου. Η αντίστοιχη εξίσωση που προτείνεται από το μοντέλο του KENAK και χρησιμοποιείται για την διαστασιολόγηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι:

$$Q_{PV} = A_{PV} \cdot H_{30,S} \cdot CF_{PV} \quad (7.1)$$

Όπου,

Q_{PV} : η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια των φωτοβολταϊκών πολυκρυσταλλικού πυριτίου σε kWh . Για την μελέτη του κολυμβητηρίου Πτολεμαΐδας έγινε επιλογή φωτοβολταϊκών του οίκου Jinko Solar με ονομαστική ισχύ $265 W$

CF_{PV} : ο βαθμός αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας από το πλαίσιο με βάση τον κατασκευαστή ισούται με 0.16 [46].

A_{PV} : η ονομαστική επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη, που ισούται με $1,64 m^2$

$H_{30,S}$: η μέση ετήσια ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας για βέλτιστη κλίση, που ισούται με $1.541 kWh/m^2$ όπως προκύπτει από Πίνακα 4.4 της TOTEE 20701-1 για δεδομένα της Καστοριάς (παραδοχή λόγω μη ύπαρξης δεδομένων για

την Κοζάνη). Η βέλτιστη κλίση για το εν λόγω σύστημα είναι 30°. Η κλίση προκύπτει από τον Πίνακα 5.13 TOTEE 20701-1 για γεωγραφικό Πλάτος 40° – Κοζάνη.



Εικόνα 7.3: Φωτοβολταϊκά συστήματα που τοποθετούνται στην οροφή.

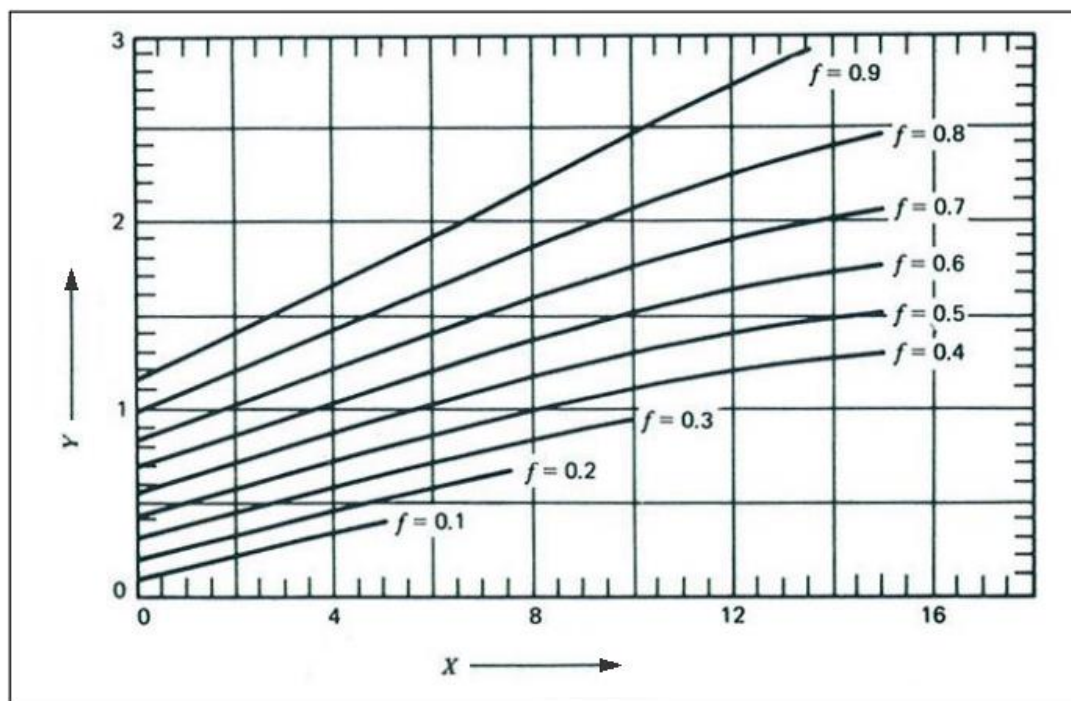
Επομένως, μετά από μια σειρά υπολογισμών οι υφιστάμενες απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας σε φωτισμό και χρήση εξοπλισμού, ύστερα από αναβάθμιση του τεχνητού εξοπλισμού του φωτισμού, προκύπτουν στις 583.923 kWh/έτος, απαιτώντας 462 φωτοβολταϊκά στοιχεία που αντιστοιχούν σε επιφάνεια 758 m².

7.1.5 Θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες

Στο πλαίσιο της ενεργειακής αναβάθμισης του κολυμβητηρίου προτείνεται η εγκατάσταση θερμικών ηλιακών συλλεκτών για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, την θέρμανση των χώρων αλλά και των δεξαμενών κολύμβησης. Κύριος στόχος είναι η μείωση της χρήσης του υφιστάμενου λέβητα πετρελαίου που χρησιμοποιείται τους μήνες όπου η τηλεθέρμανση είναι κλειστή (15 Μαΐου έως 15 Οκτωβρίου). Η μέθοδος που επιλέχθηκε για την διαστασιολόγηση των συλλεκτών είναι η F-Chart Method ή αλλιώς μέθοδος των καμπυλών f [47]. Η διαδικασία αυτή υπολογίζει προσεγγιστικά την μηνιαία και ετήσια θερμική απόδοση των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων, υπολογίζοντας το ποσοστό κάλυψης f του θερμικού φορτίου που παρέχεται από την ηλιακή ενέργεια.

$$f = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X - 0,245 \cdot Y^2 + 0,0018 \cdot X^2 + 0,0215 \cdot Y^3 \quad (7.2)$$

Ο συντελεστής κάλυψης f υπολογίζεται σε σχέση με δύο αδιάστατες παραμέτρους. Ο πρώτος (X) λαμβάνει υπόψη τις απώλειες του συλλέκτη ενώ ο δεύτερος (Y) την απορροφώμενη ηλιακή ακτινοβολία ως προς το θερμικό φορτίο αντίστοιχα.



Σχήμα 7.1: Ποσοστό κάλυψης f συναρτήσει των αδιάστατων παραμέτρων X και Y ,
πηγή: [47].

$$X = \frac{A_C}{L} \cdot F_R U_L \cdot \frac{F'_R}{F_R} \cdot (T_{\text{αναφ}} - \bar{T}_\alpha) \cdot \Delta t \cdot k_1 \cdot k_2 \quad (7.3)$$

$$Y = \frac{A_C}{L} \cdot F_R (\tau\alpha)_n \cdot \frac{F'_R}{F_R} \cdot \frac{\bar{\tau}\alpha}{(\tau\alpha)_n} \cdot \bar{H}_\beta \cdot k_3 \quad (7.4)$$

Όπου,

A_C : η επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών σε m^2

L : το θερμικό φορτίο σε *Joule*, εξαρτάται από την εφαρμογή. Στην συγκεκριμένη περίπτωση αφορά όλα τα θερμικά φορτία κατανάλωσης (θέρμανση χώρου, παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, θερμικά φορτία δεξαμενών).

$F_R U_L$ και $F_R (\tau\alpha)_n$: χαρακτηριστικά μεγέθη του συλλέκτη, που δίνονται από τον κατασκευαστή και για επιλεκτικό συλλέκτη λαμβάνουν τιμή $5 W/m^2\text{°C}$ και $0,75$ αντίστοιχα

F'_R/F_R : ο διορθωτικός συντελεστής συλλέκτη-εναλλάκτη που ισούται με $0,95$

$T_{\text{αναφ}}$: η θερμοκρασία αναφοράς που ισούται με 100°C

\bar{T}_α : η μέση μηνιαία θερμοκρασία κατά την διάρκεια της ημέρας σε °C από τον Πίνακα 3 TOTEE 20701-3

Δt : η χρονική περίοδος κάθε μήνα σε *sec*

$\bar{\alpha}/(\tau\alpha)_n$: ο διορθωτικός συντελεστής λόγω της θέσης του συλλέκτη και της εποχής που επιλέγεται κατά προσέγγιση με 0,95

\bar{H}_β : η μέση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο επίπεδο του συλλέκτη για κλίση 45° σε *Joule/m²* από το Παράρτημα Β TOTEE 20701-3

k_1 : ο διορθωτικός συντελεστής χωρητικότητας της δεξαμενής που υπολογίζεται από την σχέση $k_1 = (75/M)^{0,25}$ και M ο ανοιγμένος όγκος της δεξαμενής ανά τετραγωνικό μέτρο συλλεκτικής επιφάνειας *lt/m²*. Για $M=75\text{lt/m}^2$ το k_1 ισούται με την μονάδα

k_2 : ο διορθωτικός συντελεστής του ζεστού νερού που υπολογίζεται από την σχέση:

$$k_2 = \frac{11,6 + 1,18 \cdot T_{ZNX} + 3,86 \cdot T_\kappa - 2,32 \cdot T_\alpha}{100 - T_\alpha} \quad (7.5)$$

με,

T_{ZNX} : η επιθυμητή θερμοκρασία ζεστού νερού χρήσης σε °C

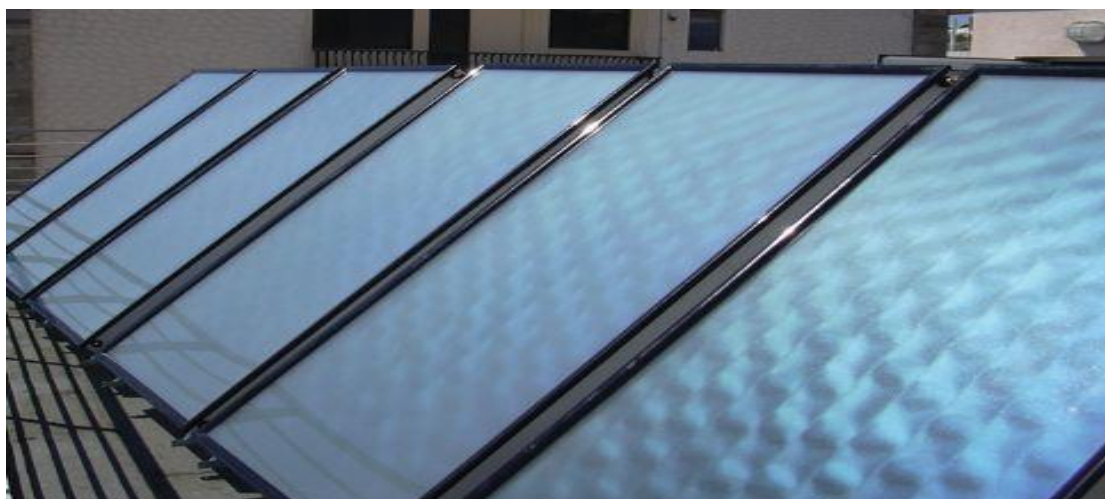
T_α : η μέση μηνιαία θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε °C

T_κ : η μέση μηνιαία θερμοκρασία νερού δικτύου της περιοχής σε °C από τον Πίνακα 6.2 TOTEE 20701-3

k_3 : ο διορθωτικός συντελεστής για τον εναλλάκτη θερμότητας φορτίου. Για επαρκές μέγεθος εναλλάκτη φορτίου ο συντελεστής ισούται με την μονάδα.

Οι αδιάστατοι παράμετροι (X) και (Y) χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του μηνιαίου ποσοστού κάλυψης f_i του φορτίου. Το συνολικό ετήσιο ποσοστό κάλυψης F του φορτίου από την ηλιακή ενέργεια προκύπτει από το άθροισμα των μηνιαίων συνεισφορών ηλιακής ενέργειας διαιρούμενο με το ετήσιο φορτίο.

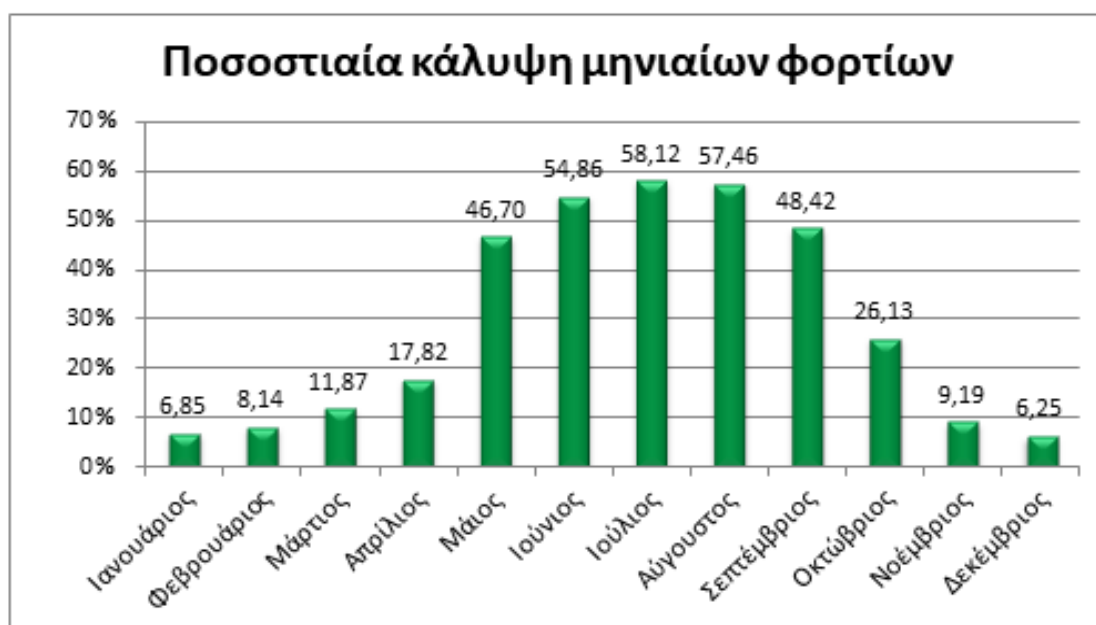
$$F = \frac{\sum L_i f_i}{\sum L_i} \quad (7.6)$$



Εικόνα 7.4: Θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες.

Στην παρούσα μελέτη στόχος είναι η κάλυψη 50% των καταναλώσεων του συμβατικού καυστήρα πετρελαίου που ανέρχονται σε $415.583 \text{ kWh} \times 0,50 = 207.791 \text{ kWh}$. Έτσι λοιπόν βρέθηκε με την μέθοδο καμπυλών f η τοποθέτηση 700 m^2 επιφάνεια συλλεκτών επιλεκτικού τύπου. Η εφαρμογή θα γίνει στην οροφή του κολυμβητηρίου με την τοποθέτηση 280 συλλεκτών της εταιρίας SOLAR TECH επιφάνειας $2,5 \text{ m}^2$.

Επιπρόσθετα οι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες δεν παραμένουν ανενεργοί τους υπόλοιπους μήνες, καλύπτοντας έτσι απαιτούμενα φορτία θερμότητας όλου του χρόνου, εξοικονομώντας ενέργεια που καλύπτεται από την τηλεθέρμανση. Από την σχέση 7.6 προκύπτει ότι το ετήσιο ποσοστό κάλυψης F του φορτίου ανέρχεται στο 15,84%. Στο Σχήμα 7.2 παρουσιάζονται τα ποσοστά κάλυψης φορτίων για κάθε μήνα ξεχωριστά.



Σχήμα 7.2: Μηνιαία κάλυψη φορτίων.

7.2 Οικονομοτεχνική μελέτη

Η ανάλυση των προηγούμενων οικονομικών στοιχείων, που αφορούν την αναβάθμιση συστημάτων, στοχεύει στον προσδιορισμό του χρόνου απόσβεσης του αρχικού κόστους επένδυσης ανάλογα με τις τιμές της αγοράς για την ενέργεια την παρούσα χρονική στιγμή. Πιο συγκεκριμένα στο αρχικό κόστος επένδυσης περιλαμβάνεται η αγορά των υλικών και των εξαρτημάτων του εκάστοτε συστήματος αλλά και το κόστος που απαιτείται για την εγκατάστασή του. Από την άλλη, πρέπει να συνυπολογιστεί το όφελος από την εξοικονόμηση ενέργειας λόγω της παρέμβασης. Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των ετών απόσβεσης, ολόκληρου του σεναρίου αναβάθμισης, είναι η εξής:

$$\text{Έτη απόσβεσης} = \frac{\text{Αρχικό επενδυτικό κεφάλαιο}}{\text{Ετήσια εξοικονόμηση οικονομικών πόρων μετά την αναβάθμιση του συστήματος}} \quad (7.7)$$

Τα συστήματα του παρόντος κλειστού κολυμβητηρίου για την παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιούν την τηλεθέρμανση για να καλύψουν τις ανάγκες θέρμανσης του χώρου και των κολυμβητικών δεξαμενών, αλλά και για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Το καλοκαίρι όμως, επειδή η τηλεθέρμανση κλείνει, το γυμναστήριο για να καλύψει τις θερμικές ανάγκες των κολυμβητικών δεξαμενών και του ζεστού νερού χρήσης καταναλώνει πετρέλαιο θέρμανσης. Όσον αφορά τον μηχανικό αερισμό του κολυμβητηρίου εξασφαλίζεται χειμώνα/καλοκαίρι με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Σύμφωνα με τα δεδομένα, την συγκεκριμένη στιγμή, της Δημοτικής Επιχείρησης Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας (ΔΕΤΗΠ) και της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) οι μέσες τιμές για την τηλεθέρμανση και το ηλεκτρικό ρεύμα είναι 42,65 €/MWh και 0,0946 €/kWh αντίστοιχα. Από την άλλη πλευρά, τα νέα συστήματα που θα εγκατασταθούν για να εξοικονομούν ενέργεια θα καλύπτονται μόνο από την άριστη αξιοποίηση της ακτινοβολίας του ήλιου. Ειδικότερα η ενέργεια για τις ανάγκες θέρμανσης χώρου, ζεστού νερού χρήσης και των κολυμβητικών δεξαμενών εξασφαλίζεται από τους ηλιακούς συλλέκτες, ενώ οι ανάγκες φωτισμού και των συστημάτων που αφορούν την λειτουργία του κολυμβητηρίου από τη χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Στη συνέχεια ακολουθεί ξεχωριστή εξέταση για κάθε σύστημα ανά τελική χρήση, ενώ στο τέλος συγκεντρώνονται όλα τα οικονομικά στοιχεία ώστε να γίνει η συνολική οικονομική αποτίμηση όλων των προτεινόμενων δράσεων που αφορούν το σενάριο αναβάθμισης.

➤ Μόνωση οροφής

Προτού γίνει η οικονομοτεχνική μελέτη για κάθε νέο εγκαθιστάμενο σύστημα είναι απαραίτητο να γίνει και μια απλή αναφορά στη εξοικονόμηση που θα επέλθει στα φορτία που αφορούν την θέρμανση του χώρου και των κολυμβητικών δεξαμενών, ύστερα από την παρέμβαση στην μόνωση της οροφής. Αρχικά, μειώνονται οι απώλειες λόγω μεταφοράς, αλλά ταυτόχρονα μειώνονται ελάχιστα και τα ηλιακά κέρδη. Ύστερα από υπολογισμούς και μετά τη μόνωση της οροφής η ενέργεια που απαιτείται από τα συστήματα της τηλεθέρμανσης προκύπτει στις 1.859,64 *MWh* ετησίως έναντι της υφιστάμενης κατάστασης που απαιτεί 1.966,41 *MWh*.

Τα συνολικά έξοδα αγοράς των υλικών και εγκατάστασης ανέρχονται στα 60.720 €, βάσει των τιμών αγοράς, ενώ η εξοικονόμηση χρημάτων, ύστερα από την παρέμβαση, είναι 8.777,84 €. Αυτό σημαίνει πως από την εν λόγω δράση ο χρόνος απόσβεσης αντιστοιχεί σε 6,92 έτη.

➤ Προσθήκη καλύμματος πισίνας

Μια αντίστοιχη παρέμβαση με αυτή της μόνωσης της οροφής, που δεν αφορά τα συστήματα, είναι η τοποθέτηση καλυμμάτων στις κολυμβητικές δεξαμενές. Η εξοικονόμηση από την παρέμβαση αυτή είναι εμφανής στα φορτία εξάτμισης και ανανέωσης του νερού και αποτυπώνεται στην ενέργεια που απαιτείται για θέρμανση των κολυμβητικών δεξαμενών στη διάρκεια όλου του έτους, Έτσι, βάση αναλυτικών υπολογισμών, προκύπτει πως η ενέργεια από τα συστήματα της τηλεθέρμανσης, μετά από την παρέμβαση, είναι 1.760,60 *MWh* έναντι των 1.966,41 *MWh*, ενώ οι απαιτήσεις πετρελαίου υπολογίζονται σε 184,05 *MWh* ετησίως έναντι των 299,57 *MWh*, της υφιστάμενης κατάστασης αντίστοιχα.

Με δεδομένο το μέγεθος της πισίνας, και μετά από έρευνα αγοράς, ο υπολογισμός για το κόστος αγοράς είναι της τάξης των 29.375 € και η εξοικονόμηση που γίνεται στην ενέργεια εκφρασμένη σε χρήματα είναι 20.806 € ετησίως. Προκύπτει πως τα έτη απόσβεσης αυτής της παρέμβασης είναι 1,41 έτη.

➤ Συστήματα θέρμανσης και παραγωγής ZNX

Το σύστημα θέρμανσης που υπάρχει καταναλώνει ετησίως 3.236,60 *MWh* (2.821,02 *MWh* τηλεθέρμανσης και 415,58 *MWh* πετρελαίου) οι οποίες αντιστοιχούν σε 163.590,00 €, ενώ για τη συντήρηση και την καλή λειτουργία των συστημάτων της τηλεθέρμανσης και γενικότερα των συστημάτων είναι 100 € ετησίως. Αντιθέτως, για το νέο σύστημα ηλιακών συλλεκτών το αρχικό επενδυτικό κόστος υπολογίζεται να ανέρχεται στα 160.000 € το οποίο περιλαμβάνει την αγορά των συλλεκτών, καθώς και την εγκατάστασή τους, ενώ το ετήσιο κόστος συντήρησης τους ανέρχεται στα 100 €. Γίνεται αντιληπτό πως το επενδυτικό ποσό προκύπτει από μια μέση τιμή του

κόστους της αγοράς. Η εξοικονόμηση μετά από αυτήν παρέμβαση είναι της τάξης των 33.877,70 €. Τα οικονομικά στοιχεία συγκεντρώνονται στον παρακάτω Πίνακα 7.3.

Πίνακας 7.3: Αναλυτικά κόστη υφιστάμενου και νέου συστήματος παραγωγής θέρμανσης.

Κόστη ανά σύστημα παραγωγής ενέργειας (€)	Τηλεθέρμανση και πετρέλαιο	Ηλιακοί συλλέκτες
<i>Κόστος αγοράς και εγκατάστασης</i>	-	160.000
<i>Κόστος συντήρησης</i>	100	100
<i>Κόστος κατανάλωσης ενέργειας</i>	163.590	-
<i>Επενδυτικό κεφάλαιο</i>	-	160.100

Χρησιμοποιώντας την σχέση 7.7 ο χρόνος αποπληρωμής της συγκεκριμένης επέμβασης είναι 4,72 έτη. Το αποτέλεσμα που προέκυψε είναι ικανοποιητικό, καθώς η εφαρμογή της επέμβασης αυτής στοχεύει στην εξοικονόμηση έως και 50% του συνολικού φορτίου πετρελαίου που καταναλώνεται για τις ανάγκες θέρμανσης των κολυμβητικών δεξαμενών και του ζεστού νερού χρήσης την θερινή περίοδο τοποθετώντας 700 m² επιφάνειας συλλεκτών. Σημαντική προσοχή πρέπει να δοθεί στην διαθεσιμότητα της συνολικής επιφάνειας της οροφής, ώστε να είναι δυνατή η τοποθέτηση της απαιτούμενης επιφάνειας 700 m² των συλλεκτών, αλλά και, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια, και αυτής των φωτοβολταϊκών που ανέρχεται σε 758 m². Εξετάζοντας την επιφάνεια της οροφής η οποία καταλαμβάνει 3.710 m², η εκδοχή αυτή είναι εφικτή.

➤ Φωτισμός / Συστήματα που αφορούν τη λειτουργία του κτιρίου

Όπως προαναφέρθηκε για την καλύτερη απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, αλλά και για την καλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας από τη μεριά του μηχανικού φωτισμού προτείνεται αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων με λαμπτήρες τύπου LED. Για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια, που προκύπτουν από τη λειτουργία του μηχανικού φωτισμού του χώρου, αλλά και των συστημάτων που αφορούν τη λειτουργία του κτιρίου θα γίνει εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Μετά την εφαρμογή των μέτρων οι καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας μειώνονται στις 588.060 kWh ετησίως από 583.923 kWh. Οπότε το υφιστάμενο σύστημα απαιτεί 55.239,11 €/έτος, μετά την αναβάθμιση του συστήματος φωτισμού. Η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πάνελ πραγματοποιείται μετά την αναβάθμιση

του συστήματος φωτισμού, εξοικονομώντας 26.281,76 €/έτος. Αφού συνυπολογίστηκαν τα έξοδα που απαιτούνται για την εγκατάσταση των συστημάτων, προκύπτει πως ο χρόνος απόσβεσης της συγκεκριμένης παρέμβασης είναι της τάξης των 4,58 ετών.

Γίνεται κατανοητό πως η εξοικονόμηση της ηλεκτρικής ενέργειας αρχικά μέσω της αλλαγής των λαμπτήρων LED είναι μια ασφαλής επιλογή, καθώς στην συνέχεια με την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, ο χρόνος απόσβεσης τους θα είναι ελάχιστος. Στον παρακάτω Πίνακα 7.4 γίνεται η ανάλυση για τα κόστη που έχει η αγορά την ύστατη στιγμή για τα νέα συστήματα.

Πίνακας 7.4: Κόστη υφιστάμενου και νέου συστήματος φωτισμού/εξοπλισμού.

Κόστη ανά σύστημα παραγωγής Ενέργειας (€)	Τεχνητός Φωτισμός Εξοπλισμός	Λαμπτήρες LED	Φωτοβολταϊκά Συστήματα
<i>Κόστος αγοράς και εγκατάστασης</i>	-	1.000	120.170,73
<i>Κόστος συντήρησης</i>	-	-	100
<i>Κόστος κατανάλωσης ενέργειας</i>	4.623,20	4.232,70	-
<i>Επενδυτικό κεφάλαιο</i>	-	1.000	120.370,73

➤ Συνολική οικονομοτεχνική μελέτη για όλες τις δράσεις

Εξετάζοντας διεξοδικά όλα τα παραπάνω κόστη για τις παρεμβάσεις, προκύπτει πως το συνολικό αρχικό επενδυτικό κεφάλαιο που απαιτείται για να υλοποιηθούν οι δράσεις αυτές ανέρχεται στα 370.565,73€, ενώ οι οικονομικοί πόροι που εξοικονομούνται ύστερα από τις παρεμβάσεις είναι της τάξης 89.743,30€. Όλοι αυτοί οι υπολογισμοί οδηγούν στο τελικό αποτέλεσμα των ετών απόσβεσης ολόκληρου του σεναρίου των ενεργειακών παρεμβάσεων που αντιστοιχεί σε **4,13 έτη**.

Είναι κατανοητό πως η παρούσα εκτίμηση είναι ενδεικτική και δεν αντιστοιχεί πλήρως στην ακριβή οικονομική αποτίμηση του σχεδίου δράσης, λόγω έλλειψης σύνθετων εργαλείων οικονομικής ανάλυσης.



Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση ενεργειακής αναβάθμισης του κλειστού κολυμβητηρίου της Πτολεμαΐδας. Η διερεύνηση της ενεργειακής συμπεριφοράς και η αξιολόγηση αυτής, στόχο έχει την κατά το δυνατόν μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων. Τα οφέλη θα είναι πολλαπλά, τόσο σε οικονομικό επίπεδο, αλλά και περιβαλλοντικό, με δεδομένη την ενεργειακή και κλιματική κρίση. Κατά την ανάλυση αποτυπώθηκαν οι ιδιαιτερότητες που αφορούν τη λειτουργία των κτιρίων τριτογενούς τομέα σε συνδυασμό με τη χρήση, το ωράριο λειτουργίας και τις αυξημένες απαιτήσεις για φωτισμό. Για την λεπτομερή ενεργειακή αποτύπωση του κολυμβητηρίου εφαρμόστηκαν ειδικευμένες μέθοδοι που χρησιμοποιούσαν όλες τις παραμέτρους που ήταν διαθέσιμες.

Συγκεκριμένα για την πραγματοποίηση πειραματικής διερεύνησης χρησιμοποιήθηκαν ειδικά αισθητήρια κατά την διάρκεια της καθημερινής χρήσης του κολυμβητηρίου, ώστε να επέλθουν τα κατάλληλα συμπεράσματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι τιμές που αφορούν την εσωτερική θερμοκρασία κινούνται μέσα στα όρια θερμικής άνεσης σε όλες τις θέσεις που τοποθετήθηκαν τα όργανα. Συγχρόνως, οι τιμές για την σχετική υγρασία κυμαίνονται μεταξύ 50-65%, χωρίς να περνάει το επιθυμητό όριο του 70%, εξασφαλίζοντας έτσι την πλήρη θερμική άνεση των χρηστών. Ακόμη, με τη βοήθεια των αισθητηρίων έγινε καταγραφή της συγκέντρωσης CO₂ στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου, προκειμένου να γίνει εκτίμηση της ποιότητας του αέρα, καταγράφοντας αυξημένες τιμές που ξεπερνούσαν τα όρια των 700 ppm, κατά την διάρκεια όπου το κολυμβητήριο φιλοξενούσε αρκετό κόσμο. Αν και οι τιμές ήταν ελαφρά υψηλότερες από τις αντίστοιχες που προτείνει η σχετική νομοθεσία, θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε σύντομο διάστημα, με την αποσυμφόρηση του χώρου, επανέρχονταν σε αποδεκτά επίπεδα. Σε κάθε περίπτωση, σχετική αύξηση της παροχής φρέσκου αέρα, αναμένεται να διορθώσει πλήρως το ζήτημα αυτό.

Κατά την διάρκεια των υπολογισμών των ενεργειακών φορτίων, σύμφωνα με το μοντέλο του KENAK, αρκετές ήταν οι περιπτώσεις που έπρεπε να παρθούν τιμές που πρότεινε το μοντέλο, όμως εξαιτίας της αποδοτικής συνεργασίας με τους υπεύθυνους μηχανικούς του κολυμβητηρίου, χρησιμοποιήθηκαν οι πραγματικές, ώστε να υπάρξει ακριβής ανάλυση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου. Έτσι προέκυψαν οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις της τάξης των 3.051.375 kWh ή 611,95 kWh/m², οι οποίες αντιστοιχούν σε καταναλώσεις μεγέθους 3.814.644 kWh ή 765,07 kWh/m². Από αυτές τις τιμές μεγάλο ποσό, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες απαιτήσεις και καταναλώσεις, αναφέρεται για τις απαιτήσεις θέρμανσης χώρου και κολυμβητικών δεξαμενών, ακολουθεί στη συνέχεια το ποσό φορτίων για την αναπλήρωση του νερού της πισίνας λόγω εξάτμισης, αλλά και η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Ενώ, σημαντικό ποσό είναι και αυτό που απαιτείται για τον φωτισμό και τα συστήματα εξοπλισμού, ενώ δεν παραλείπεται το ποσό των φορτίων για την ανανέωση νερού των κολυμβητικών δεξαμενών. Εξετάζοντας όλα τα αποτελέσματα διεξοδικά και

αναφορικά με τα χρησιμοποιούμενα συστήματα παραγωγής ενέργειας, προέκυψε κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας της τάξης των $829,69 \text{ kWh/m}^2$. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι υπολογιζόμενες καταναλώσεις βρίσκονται σε πολύ καλή συμφωνία με στοιχεία πραγματικών καταναλώσεων, γεγονός που προσδίδει αξιοπιστία στις παρούσες εκτιμήσεις.

Παρόλη την ικανοποιητική συμπεριφορά του κελύφους και των συστημάτων κάλυψης των σχετικών ενεργειακών φορτίων, αλλά και την επίτευξη ικανοποιητικών συνθηκών θερμικής άνεσης στο χώρο, η χρήση αποκλειστικά συμβατικών καυσίμων για την κάλυψη των μεγάλων ενεργειακών αναγκών οδήγησε στην σκέψη ενεργειακής αναβάθμισης των συστημάτων που παράγουν την ενέργεια του κτιρίου, έχοντας ως γνώμονα τα συστήματα ΑΠΕ. Τα συστήματα ΑΠΕ, όπως προαναφέρθηκε, στόχο έχουν την μείωση των εκπομπών CO_2 που προέρχονται από την χρήση των συμβατικών καυσίμων, προστατεύοντας έτσι το περιβάλλον και την μείωση ταυτόχρονα των λειτουργικών εξόδων του γυμναστηρίου. Αναλυτικά, η εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών πρόκειται να αντικαταστήσει το 15,84% των συνολικών φορτίων που απαιτούνται για την θέρμανση του χώρου και των κολυμβητικών δεξαμενών, αλλά και για την παραγωγή ΖΝΧ ετησίως.

Ακόμη, μετά από την αντικατάσταση των υφιστάμενων λαμπτήρων με λαμπτήρες LED, και μετά από διερεύνηση για την τοποθέτηση 758 m^2 φωτοβολταϊκών συστημάτων, θα καλύπτεται το 30% των αναγκών φωτισμού και συστημάτων που αφορούν τη λειτουργία του κολυμβητηρίου, εξοικονομώντας $175.211,70 \text{ kWh}$ ηλεκτρικού ρεύματος ετησίως. Και εδώ, σημαντική παρέμβαση για την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου κρίθηκε πως ήταν η μόνωση της ήδη υπάρχουσας μεταλλικής οροφής, καθώς μεγάλα ήταν τα ποσά απωλειών μεταφοράς εξαιτίας του μονού φύλλου λαμαρίνας που αποτελείται, αλλά και λόγω της μεγάλης επιφάνειας που καλύπτει. Επίσης άλλη μια εξίσου σημαντική παρέμβαση ήταν η τοποθέτηση καλύμματος στις κολυμβητικές δεξαμενές, μειώνοντας έτσι σημαντικά τα θερμικά φορτία εξάτμισης και ανανέωσης του νερού.

Μετά την εγκατάσταση των ενεργειακών επεμβάσεων υπολογίστηκε η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας σε $639,34 \text{ kWh/m}^2$, δηλαδή μείωση 23%. Ένας ακόμη δείκτης φιλικότητας στο περιβάλλον είναι η μείωση 20% παραγωγής kgCO_2 , αφού αρχικά παράγονταν $334,95 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$, ενώ μετά την εφαρμογή των ενεργειακών μέτρων $268,38 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$. Επιπρόσθετα, μετά από εξέταση της οικονομικής βιωσιμότητας όλων των προτεινόμενων παρεμβάσεων, προέκυψε ο συνολικός χρόνος απόσβεσης που ανέρχεται στα 4,13 έτη. Η περίοδος αυτή χαρακτηρίζει την παρέμβαση ως ευνοϊκή και πλήρως εφαρμόσιμη, και αν σκεφτεί κανείς τα μελλοντικά οικονομικά και πρωτίστως περιβαλλοντικά οφέλη, η παρούσα ενεργειακή αναβάθμιση κρίνεται απαραίτητη.

Οι παραπάνω πληροφορίες μπορεί να θεωρηθούν πως εμπλουτίζουν την ήδη υπάρχουσα ελλιπή βιβλιογραφία και μπορούν να αξιοποιηθούν για τέτοιου είδους εφαρμογές αθλητικών κέντρων ή κτιρίων τριτογενούς τομέα. Συνοψίζοντας, από την παρούσα διερεύνηση αναδείχθηκε πως σε μια χώρα με πλούσιο δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, υπάρχει δυνατότητα αλλά κυρίως αναγκαιότητα να

στραφεί η πολιτεία προς δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας και διείσδυσης συστημάτων ΑΠΕ. Τα οφέλη θα είναι σημαντικά και πολλαπλά, τόσο σε οικονομικό όσο και περιβαλλοντικό επίπεδο.

Βιβλιογραφία

- [1] Εγκυκλοπαίδεια «Νέα Δομή», Εκδόσεις: ΔΟΜΗ, Αθήνα, 1996.
- [2] Ασημακόπουλος Δ., Αραμπατζής Γ., Αγγελής-Δημάκης Α., Καρταλίδης Α., Τσιλιγκιρίδης Γ., «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», Εκδόσεις: σοφία, 2012.
- [3] «BP Global Primary Energy», BP review, Available: <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/primary-energy.html>. [Τελευταία πρόσβαση 11 Μάιος 2018].
- [4] Ευαγγελινός Ε., Ζαχαρόπουλος Η., «Βιώσιμος σχεδιασμός και κατασκευή κτιρίων» Ενότητα του βιβλίου «ΚΤΙΡΙΑ, ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ», Εκδόσεις: UNIVERSITY STUDIO PRESS, 2008.
- [5] Πανάρας Γ., σημειώσεις μαθήματος «Ενεργειακός Σχεδιασμός Κτιρίων Ι», Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Κοζάνη, 2017.
- [6] Ελληνική Δημοκρατία. Ν. 3661/08/2008 (ΦΕΚ 89 Α/19-5-2008), Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις. Αθήνα, 19 Μαΐου 2008.
- [7] Ευρωπαϊκό Συμβούλιο. Οδηγία 2009/125/ΕΚ του Συμβουλίου, της 21ης Οκτωβρίου 2009, για τη «θέσπιση πλαισίου για τον καθορισμό απαιτήσεων οικολογικού σχεδιασμού όσον αφορά τα συνδεδεμένα με την ενέργεια προϊόντα», 2009.
- [8] Ευρωπαϊκό Συμβούλιο. Οδηγία 2010/30/ του Συμβουλίου, της 19ης Μαΐου 2010 , για την «ένδειξη της κατανάλωσης ενέργειας και λοιπών πόρων από τα συνδεδεμένα με την ενέργεια προϊόντα μέσω της επισήμανσης και της παροχής ομοιόμορφων πληροφοριών σχετικά με αυτά», 2010.
- [9] Ευρωπαϊκό Συμβούλιο. Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Συμβουλίου, της 19ης Μαΐου 2010 , για την «ενεργειακή απόδοση των κτιρίων», 2010.
- [10] Ευρωπαϊκό Συμβούλιο. Οδηγία 2012/27/ΕΕ του Συμβουλίου, της 25ης Οκτωβρίου 2012 , για την «ενεργειακή απόδοση, την τροποποίηση των οδηγιών 2009/125/ΕΚ και 2010/30/ΕΕ και την κατάργηση των οδηγιών 2004/8/ΕΚ και 2006/32/ΕΚ», 2012.

- [11] Report from the commission to the European parliament and the council, «Assessment of the progress made by Member States towards the national energy efficiency targets for 2020 and towards the implementation of the Energy Efficiency Directive 2012/27/EU as required by Article 24 (3) of Energy Efficiency Directive 2012/27/EU», Brussels, 18-11-2015.
- [12] «Καθαρή ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους – Ελευθερώνοντας το αναπτυξιακό δυναμικό της Ευρώπης», Βρυξέλλες, 30 Νοεμβρίου 2016.
- [13] Ελληνική Δημοκρατία. Νόμος Πλαίσιο 40/75 περί «Λήψεως μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας», ΦΕΚ 90/Α/1975, 1975.
- [14] «Κανονισμός για τη Θερμομόνωση των Κτιρίων», ΦΕΚ 362Δ/1979.
- [15] Ευρωπαϊκό Συμβούλιο. Οδηγία 93/76/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 13ης Σεπτεμβρίου 1993 για «Περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακος με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης (SAVE)». Βρυξέλλες, 1993.
- [16] Εναρμόνιση Κοινοτικής Οδηγίας SAVE (21475/4707 ΚΥΑ-ΦΕΚ 880Β/19-8-98) για τον «Περιορισμό των εκπομπών CO₂ με τον καθορισμό μέτρων και όρων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων» - Άρθρο 4: Κ.Ο.Χ.Ε.Ε., 1998.
- [17] Στατιστικά αποτελέσματα από Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΚΑ), Ετήσια έκθεση 31/10/2017, www.bpes.ypeka.gr/wp.
- [18] Energy consumption Guide 51, 'Energy Efficiency in Swimming Pools'.
- [19] 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(2), 119-129.
- [20] Hahne E., Kubler R., 1994. Monitoring an simulation of the thermal performance of solar heated outdoor pools.
- [21] Αρμόδιο Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων (ΥΠΕΠΘ), καταμερισμός Κολυμβητηρίων στην Ελλάδα, 2008.
- [22] FINA, "Facilities rules 2009-2013", FR3 Swimming pools for Olympic games and world championships.
- [23] FINA, "Facilities rules 2009-2013", FR2 Swimming pools.

- [24] Hadjicristodoulou C., Mouchtouri 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.
- [25] 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 οδηγίων κατασκευής και λειτουργίας αυτών", 1973.
- [26] ANSI/ASHRAE Standard 62.1 – 2004, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
- [27] ASTM D6245 – 07, Standard Guide for Using Indoor Carbon Dioxide Concentrations to Evaluate Indoor Air Quality and Ventilation.
- [28] Ελληνική Δημοκρατία. ΠΡΟΕΔΡΙΚΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ 90/1999, "Καθορισμός οριακών τιμών έκθεσης και ανώτατων οριακών τιμών έκθεσης των εργαζομένων σε ορισμένους χημικούς παράγοντες κατά την διάρκεια της εργασίας τους σε συμμόρφωση με τις οδηγίες 91/322/ΕΟΚ και 96/94/ΕΚ της Επιτροπής και τροποποίηση και συμπλήρωση του π.δ. 307/86 «Προστασία της υγείας των εργαζομένων που εκτίθενται σε ορισμένους χημικούς παράγοντες κατά την διάρκεια της εργασίας τους» (135/Α) όπως τροποποιήθηκε με το π.δ. 77/93 (34/Α)".
- [29] WHO, 2013. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project Technical Report. WHO regional office for Europe, Copenhagen.
- [30] Norhidayaha A., Lee Chia-Kuanga, Azharb M.K., Nurulwahidab S., 2012, Indoor Air Quality and Sick Building Syndrome in Three Selected Buildings, Malaysian Technical Universities Conference on Engineering & Technology, MUCET.
- [31] Ευρωπαϊκό Συμβούλιο. Οδηγία 2008/50/ΕΚ του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 2008 για «την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη», 2008.
- [32] Energy Saver, Υπουργείο Ενέργειας U.S, www.energy.gov).

- [33] Panaras G., Markogiannaki M., Tolis E.I., Sakellaris Y., Bartzis J.G., 2016 Experimental and theoretical investigation of air exchange rate of an indoor aquatic center, Mechanical Engineering Dpt., University of Western Macedonia.
- [34] ASHRAE Handbook, “Places of Assembly”, Chapter 5 HVAC Applications, 62-64, 2011.
- [35] Πανάρας Γ., σημειώσεις μαθήματος «Θέρμανση, Ψύξη και Κλιματισμός », Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Κοζάνη, 2017.
- [36] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, TOTEE 20701-1 «Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές παραμέτρων για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων και την έκδοση ΠΕΑ», 2012.
- [37] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, TOTEE 20701-2 «Θερμοφυσικές Ιδιότητες Δομικών Υλικών και Έλεγχος της Θερμοφυσικής Επάρκειας των Κτιρίων», 2012.
- [38] Ασημένια Βασιλικοπούλου, «ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΟΛΥΜΒΗΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΔΗΜΟΤΙΚΟΥ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΡΙΟΥ ΚΑΒΑΛΑΣ», Διπλωματική Εργασία Α.Π.Θ, 2014.
- [39] Επίσημη Εφημερίδα της Δημοκρατίας, Διάταγμα Κ.Δ.Π.519/2014, «Κώδικας Πρακτικής για την Ποιότητα του Αέρα Εσωτερικού Χώρου», Παράρτημα ΙΙΙ(Ι) Αρ. 4833, 2014.
- [40] Πανάρας Γ., σημειώσεις μαθήματος «Ενεργειακός Σχεδιασμός Κτιρίων ΙΙ», Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Κοζάνη, 2018.
- [41] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, TOTEE 20701-3 «Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών», 2012.
- [42] Παντελίδης Γ., «ΝΕΟΣ ΟΔΗΓΟΣ Ενεργειακής Επιθεώρησης Κτιρίων», Εκδόσεις: ΔΕΔΕΜΑΔΗ, 2015.
- [43] Πανάρας Γ., Αφεντουλίδης Α., Ενεργειακή αναβάθμιση και ορθολογική διαχείριση περιβαλλοντικών πόρων αθλητικών κέντρων Δήμου Κοζάνης, Κοζάνη, Σεπτέμβριος 2016.

- [44] Χατζητύπη Βασιλική, «ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΣΩΚΛΙΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΓΥΜΝΑΣΤΗΡΙΟΥ ΛΕΥΚΟΒΡΥΣΗΣ», Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, 2017.
- [45] Panaras G., Chatzitypi V., Tolis E.I., Afentoulidis A., Souliotis M., Bartzis J.G., 2017. « Assessment of thermal comfort conditions and energy performance of an indoor athletic center», Department of Mechanical Engineering, University of Western Macedonia, Kozani.
- [46] Φωτοβολταϊκά συστήματα, Jinko Solar, (www.jinkosolar.com).
- [47] Duffie J.A., Beckman W.A., 2006. Solar Engineering of Thermal Processes. 3rd Ed. Wiley.



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Πολυτεχνική Σχολή