

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΣΩΚΛΙΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΓΥΜΝΑΣΤΗΡΙΟΥ ΛΕΥΚΟΒΡΥΣΗΣ

Χατζητύπη Βασιλική

Επιβλέπων καθηγητής: Πανάρας Γεώργιος

Κοζάνη, Νοέμβριος 2017

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΣΩΚΛΙΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥ
ΓΥΜΝΑΣΤΗΡΙΟΥ ΛΕΥΚΟΒΡΥΣΗΣ

Χατζητύπη Βασιλική

ΑΕΜ 1471

Επιβλέπων καθηγητής: Πανάρας Γεώργιος

Κοζάνη, Νοέμβριος 2017

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γεώργιο Πανάρα, για την ευκαιρία που μου έδωσε στα πλαίσια της διπλωματικής μου εργασίας να ασχοληθώ με ένα ιδιαίτερος ενδιαφέρον θέμα, πρακτικής εφαρμογής, καθώς επίσης και για τις γνώσεις, τη βοήθεια και τη συμπαράσταση που μου παρείχε έως την περάτωση της παρούσας εργασίας. Στη συνέχεια, θα ήθελα να απευθύνω ευχαριστίες στον διδάκτορα Ευάγγελο Τόλη για την πολύτιμη βοήθειά του, τόσο κατά την εγκατάσταση των πειραματικών διατάξεων όσο και κατά τη συλλογή και την επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν. Επίσης, τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες θα ήθελα να αποδώσω στους: Βαλκάνο Ραφαήλ, Πανάγο Κωνσταντίνο και Ρουσίδη Παντελή διότι αποδείχθηκαν πολύτιμοι αρωγοί στη διεκπεραίωση της παρούσας μελέτης.

Τέλος, ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στην οικογένειά μου και τους φίλους μου, που αδιαμαρτύρητα και με πολλή αγάπη στάθηκαν στο πλευρό μου κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας, όπως και σε όλη την περίοδο της φοίτησής μου στο πανεπιστήμιο.

Περίληψη

Η αξιολόγηση των εσωκλιματικών συνθηκών και της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιριακών εγκαταστάσεων του κλειστού γυμναστηρίου της Λευκόβρυσης Κοζάνης, καθώς και η σύσταση προτάσεων για τη βελτιστοποίηση αυτής στα σημεία που κρίνονται λιγότερο ή καθόλου αποδοτικά αποτελούν τον σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, αναφορικά τόσο με το κέλυφος και τη δόμηση αυτών όσο και με τα εγκατεστημένα ενεργειακά συστήματα, κρίνεται ως ένας από τους σημαντικότερους τομείς στην προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας, ορυκτών πόρων και στον περιορισμό του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Αρωγούς στην κατεύθυνση αυτή αποτελούν ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, τα παθητικά συστήματα και τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), που σε συνδυασμό με τους νόμους που θεσπίστηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), εξασφαλίζουν την αποδοτικότητα των κτιρίων με τις ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις και καταναλώσεις. Επίσης, σημειώνεται ότι ένα αναπόσπαστο κομμάτι κάθε ενεργειακής μελέτης ή επιθεώρησης έγκειται στις εσωτερικές συνθήκες άνεσης καθώς εξασφαλίζουν την ψυχική και σωματική υγεία των χρηστών.

Στο εξεταζόμενο αθλητικό κέντρο για τη διερεύνηση των συνθηκών άνεσης τοποθετήθηκαν πειραματικές διατάξεις, οι οποίες κατέγραψαν πληθώρα δεδομένων για μεγάλη χρονική περίοδο και οδήγησαν στην εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Επίσης, επιθεωρήθηκαν όλες οι εγκαταστάσεις και τα ενεργειακά συστήματα που είναι εγκατεστημένα στο κτίριο, εκτιμήθηκε η κατάστασή τους και καταγράφηκαν τα απαιτούμενα τεχνικά χαρακτηριστικά των στοιχείων που συμμετέχουν στον καθορισμό της ενεργειακής του απόδοσης. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η θεωρητική διερεύνηση, όπου με τη χρήση αναλυτικών μεθόδων, προσδιορίστηκαν οι ενεργειακές απαιτήσεις και καταναλώσεις του κτιρίου, όπως επίσης και το αποτύπωμά του στο περιβάλλον.

Με βάση τα αποτελέσματα των υπολογισμών και των πειραματικών μετρήσεων εξάγεται το συμπέρασμα ότι το παρόν κλειστό γυμναστήριο αποτελεί ένα σύγχρονο και τεχνολογικά εξοπλισμένο κτίριο με ικανοποιητική ενεργειακή απόδοση και άριες εσωκλιματικές συνθήκες, έχοντας όμως ενεργειακές αστοχίες που εντοπίζονται στη μη ύπαρξη συστημάτων ΑΠΕ. Τέλος, ενσωματώνοντας ή αντικαθιστώντας τα παραπάνω συστήματα με ΑΠΕ και εφαρμόζοντας κάποιες από τις βιοκλιματικές αρχές, παρατηρείται η άμεση αναβάθμιση στην ενεργειακή κατάσταση του κτιρίου, η μείωση των εκπομπών επιβλαβών ρύπων στην ατμόσφαιρα και ο περιορισμός στη χρήση συμβατικών καυσίμων.

Abstract

The purpose of this diploma thesis is the assessment of the thermal comfort conditions and energy performance of an indoor athletic center located in Lefkovrisi, Kozani, Greece, including the evaluation of suggestions for the optimization of the energy performance of the center, targeting at the parts that are less efficient or not efficient at all.

The improvement of the energy performance of buildings, taking into account issues related with their envelope and the installed energy systems, is deemed as one of the most important sectors in the effort to save energy, natural resources and to reduce the climate change effect. Our helpers in this direction are the bioclimatic design, the solar passive systems and the Renewable Energy Sources (RES) systems that ensure, in combination with the established by the European Union (EU) laws, the efficiency of the buildings with the minimum energy requirements and consumptions. Furthermore, it is pointed out that an integral part of every energy assessment or inspection, lies in the indoor comfort conditions, since they ensure the mental and the physical health of the users, as result from experimental data, or extensive local inspection.

In order to assess the comfort conditions of the examined sports center, a measuring campaign has been implemented over a sufficient time period for extracting safe conclusions. Furthermore, all the facilities and the energy systems, which are installed in the building have been inspected, their condition has been evaluated and the necessary technical characteristics for the determination of their energy performance have been recorded. Following, energy analysis, on the basis of analytical methods, has been implemented; energy demand and consumptions of the building have been determined, as well as its footprint on the environment.

According to the results of the calculations and the experimental measurements we arrive at the conclusion that the specific indoor gymnasium constitutes a modern and a technologically equipped building with satisfactory energy efficiency and indoor climatic conditions, yet it has energy failures which are detected in the absence of Renewable Energy Sources. Finally, by incorporating or replacing the forenamed systems with RES and by implementing specific bioclimatic principles, an immediate upgrade in the rating of the building is observed, as well as reduction of conventional fuel consumption and of the respective emissions of harmful pollutants for the atmosphere.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	4
Περίληψη	6
Abstract	7
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	10
Κεφάλαιο 2: Ενέργεια, κτίρια και περιβάλλον	12
2.1 Γενικά για την ενέργεια	12
2.2 Ενέργεια στον κτιριακό τομέα	14
2.3 Ενεργειακό ισοζύγιο κτιρίου	16
2.4 Ενέργεια στον κτιριακό τομέα στην Ελλάδα	19
2.4.1 Γενικά στοιχεία για τα κτίρια	19
2.4.2 Κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα	21
2.4.3 Ενέργεια στον τριτογενή τομέα	23
2.5 Ενέργεια στα αθλητικά κέντρα	25
2.5.1 Παράμετροι απαιτήσεων και καταναλώσεων	25
2.5.2 Αθλητικά κέντρα στην Ευρώπη και την Ελλάδα	27
Κεφάλαιο 3: Εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα	31
3.1 Αναδρομή στην πορεία της ενεργειακής εξοικονόμησης	31
3.2 Μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα	32
3.2.1 Ενεργειακή προμελέτη: Βιοκλιματικός σχεδιασμός & Συνθήκες Άνεσης	32
3.2.1.1 Παράμετροι σχεδιασμού - Συνθήκες Άνεσης	35
3.2.2 Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ορθολογική διαχείριση	37
3.2.2.1 Ορθολογική διαχείριση	45
3.2.3 Νομοθετικό πλαίσιο ενεργειακής εξοικονόμησης στον κτιριακό τομέα	45
Κεφάλαιο 4: Το κτίριο προς μελέτη	51
4.1 Γενική περιγραφή του κλειστού γυμναστηρίου	51
4.2 Κτιριακό κέλυφος	52
4.3 Ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα	53

4.4	Ενεργειακές καταναλώσεις.....	56
4.5	Εσωκλιματικές συνθήκες.....	57
4.5.1	Εγκατάσταση και λειτουργία οργάνων	58
4.5.2	Αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων	61
	Κεφάλαιο 5: Ενεργειακή αξιολόγηση αθλητικού κέντρου	72
5.1	Μεθοδολογία υπολογισμών και αξιολόγησης	72
5.2	Ενεργειακές απαιτήσεις.....	75
5.2.1	Υπολογισμός ενεργειακών απωλειών.....	77
5.2.2	Υπολογισμός ενεργειακών κερδών.....	84
5.2.3	Υπολογισμός απαιτήσεων ζεστού νερού χρήσης	90
5.2.4	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ενεργειακών απαιτήσεων	91
5.3	Υπολογισμός ενεργειακών καταναλώσεων	94
5.3.1	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα καταναλώσεων	100
5.4	Εκτίμηση ενεργειακής απόδοσης	104
	Κεφάλαιο 6: Προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης	106
6.1	Εξειδικευμένες δράσεις αναβάθμισης.....	107
6.1.1	Αβαθής γεωθερμία	107
6.1.2	Ηλιακά συστήματα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης.....	111
6.1.3	Αναβάθμιση συστήματος τεχνητού φωτισμού.....	115
6.1.4	Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	116
6.1.5	Βιοκλιματικές στρατηγικές	117
6.2	Οικονομοτεχνική μελέτη	118
	Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα	122
	Βιβλιογραφία	124

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Με την πάροδο του χρόνου τόσο η επιστημονική κοινότητα όσο και ολόκληρη η κοινωνία οδηγείται ολοένα και περισσότερο στο συμπέρασμα ότι η βασικότερη διέξοδος από την οικονομική και περιβαλλοντική κρίση, που μαστίζει ολόκληρο τον πλανήτη, έγκειται στην ενέργεια. Αξιοποιώντας στο έπακρο τις δυνατότητες που προσφέρουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σε συνδυασμό με τις γνώσεις και τα τεχνολογικά επιτεύγματα του σύγχρονου επιστημονικού κόσμου, κάθε χώρα και κάθε σπίτι θα μπορούσε να καταστεί ενεργειακά αυτόνομο, εξοικονομώντας τεράστια χρηματικά ποσά για την οικονομία της εκάστοτε χώρας ή του νοικοκυριού, συμβάλλοντας ταυτόχρονα στη μείωση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής και τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης των ανθρώπων.

Λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω θέση, η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην ενεργειακή εξοικονόμηση στον κτιριακό τομέα περιγράφοντας τη σημερινή κατάσταση, αναλύοντας τους παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων, καθώς επίσης και τους τρόπους που συμβάλλουν στην επίτευξη του συγκεκριμένου σκοπού. Η αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης των εσωτερικών συνθηκών του κλειστού γυμναστηρίου της Λευκόβρυσης Κοζάνης και ο υπολογισμός της ενεργειακής του απόδοσης αποτελούν το βασικό κομμάτι της εν λόγω εργασίας, ενώ συνακόλουθα διαμορφώνονται προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης και εξοικονόμησης που συμβαδίζουν με τις ανάγκες του περιβάλλοντος. Πιο αναλυτικά τα περιεχόμενα των κεφαλαίων περιγράφονται στη συνέχεια.

Το δεύτερο κεφάλαιο πραγματεύεται την έννοια της ενέργειας και το ρόλο που αυτή διαδραματίζει στην ανθρώπινη ζωή, στον κτιριακό τομέα και στο φυσικό περιβάλλον. Για το σκοπό αυτό, αρχικά περιγράφεται η σχέση κτιρίου ενέργειας, αναλύεται το κτιριακό ενεργειακό ισοζύγιο και εντοπίζονται οι παράγοντες που πρέπει να μεταβληθούν ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη ενεργειακή συμπεριφορά. Στη συνέχεια, παρατίθενται στατιστικά δεδομένα που σκιαγραφούν την υφιστάμενη κατάσταση των ελληνικών κτιριακών εγκαταστάσεων και των αντίστοιχων ενεργειακών καταναλώσεων, ενώ τέλος η μελέτη εστιάζεται στην ενεργειακή αξιολόγηση των αθλητικών κέντρων στην Ελλάδα και την Ευρώπη.

Το τρίτο κεφάλαιο της εργασίας, διασαφηνίζοντας τις συνέπειες που έχουν οι ενεργειακές δαπάνες σε παγκόσμια κλίμακα, εξειδικεύεται στην εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα και στα οφέλη που προκύπτουν από αυτή. Βασικό σύμμαχο σε αυτήν την κατεύθυνση αποτελεί ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, καθώς λαμβάνοντας υπόψη απλές παραμέτρους, ενσωματώνει τα πλεονεκτήματα της φύσης στη λειτουργία των κτιρίων και

την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών. Επιπρόσθετα, η χρήση ΑΠΕ και ο περιορισμός των συμβατικών ηλεκτρομηχανικών (H/M) συστημάτων συνδιαμορφώνουν τις συνθήκες για ένα ενεργειακά βιώσιμο κτίριο. Εν κατακλείδι, καταγράφεται το νομοθετικό πλαίσιο που ορίζει συγκεκριμένες απαιτήσεις και αυστηρές κτιριακές προδιαγραφές, διασφαλίζοντας την πορεία της Ελλάδας στο δρόμο της ενεργειακής εξοικονόμησης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται το υπό μελέτη αθλητικό κέντρο, που βρίσκεται στην περιοχή της Λευκόβρυσης Κοζάνης, όσον αφορά τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά, το κτιριακό κέλυφος, τις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις και τις εσωτερικές συνθήκες άνεσης που επικρατούν σε αυτό. Επισημαίνεται ότι τα δεδομένα που καθορίζουν τις εσωκλιματικές συνθήκες συγκεντρώθηκαν από τις πειραματικές διατάξεις, που τοποθετήθηκαν στον εσωτερικό χώρο σε συνδυασμό με αυτά του μετεωρολογικού σταθμού που εγκαταστάθηκε εξωτερικά του κτιρίου.

Εφαρμόζοντας όσα έχουν αναλυθεί παραπάνω, το επόμενο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας πραγματεύεται την ενεργειακή ανάλυση των δεδομένων του κλειστού γυμναστηρίου. Για το σκοπό αυτό, περιγράφεται η αναλυτική διαδικασία υπολογισμών, που ακολουθείται για τον προσδιορισμό των ενεργειακών απαιτήσεων και καταναλώσεων, καθορίζεται η ενεργειακή απόδοση του κτιρίου και αξιολογούνται τα τελικά αποτελέσματα. Ταυτόχρονα γίνεται λόγος για το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του κτιρίου όπως διαφαίνεται από τις εκπομπές ρύπων και την κατανάλωση συμβατικών καυσίμων που καταγράφονται κατά τη λειτουργία του κλειστού γυμναστηρίου.

Στο τελευταίο κεφάλαιο περιλαμβάνονται οι προτάσεις για την ενεργειακή αναβάθμιση του αθλητικού κέντρου, που επικεντρώνονται στη χρήση ΑΠΕ, στοχεύοντας στη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας και στην όσο το δυνατόν καλύτερη εναρμόνιση του κτιρίου με το φυσικό περιβάλλον. Επιπλέον, διεξάγεται οικονομοτεχνική μελέτη των προτεινόμενων δράσεων, εκτιμώντας την οικονομική βιωσιμότητα αυτών, και τέλος ακολουθούν τα συμπεράσματα επί της συνολικής εργασίας.

Κεφάλαιο 2: Ενέργεια, κτίρια και περιβάλλον

2.1 Γενικά για την ενέργεια

Είναι γεγονός ότι η ενέργεια αποτελεί μία έννοια που ενώ χρησιμοποιείται ευρέως, τόσο στην καθημερινή ζωή όσο και στην επιστήμη, είναι αρκετά δύσκολο να οριστεί με ακρίβεια. Ετυμολογικά, είναι μια σύνθετη λέξη που προέρχεται από τις λέξεις εν και έργο, δηλαδή το έργο μέσα σε κάποιο σώμα. Αντίστοιχα, στις επιστημονικές κοινότητες ορίζεται ως το ποσό του έργου που απαιτείται προκειμένου το σύστημα να μεταβεί από μία αρχική σε μία τελική κατάσταση [1]. Τι είναι όμως πραγματικά η ενέργεια;

Ενέργεια, σύμφωνα με τη θεωρία της μεγάλης έκρηξης, ήταν η αιτία δημιουργίας του πλανήτη μας. Ενέργεια χρειάζεται ο άνθρωπος για να αναπνέει, να περπατάει, να σκέφτεται. Ενέργεια είναι τα φυσικά φαινόμενα και η εναλλαγή της μέρας με τη νύχτα. Με λίγα λόγια δηλαδή, ενέργεια είναι η ίδια η ζωή. Συνεπώς, όπως ορίζεται στο πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα, η ενέργεια εμφανίζεται παντού με πολλές διαφορετικές μορφές και έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύεται ή να μετατρέπεται από τη μία μορφή στην άλλη, χωρίς όμως να μπορεί να εξαφανιστεί. Οι διάφορες αυτές μορφές με τις οποίες συναντάται η ενέργεια στη φύση είναι η κινητική, η δυναμική, η ηλεκτρική, η πυρηνική, η θερμική, η χημική και η ηλιακή, με την κυριότερη διάκριση αυτών να έγκειται στην εκάστοτε πηγή από την οποία προέρχονται.

Συνακόλουθα, πηγή ενέργειας είναι η αποθηκευμένη ενέργεια που υπάρχει στη Γη, εμφανίζεται σε διάφορες μορφές και μπορεί τις περισσότερες φορές να αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο. Ένας πρώτος διαχωρισμός των πηγών αυτών γίνεται με βάση τις διαδικασίες που απαιτούνται, ώστε η ενέργειά τους να είναι διαθέσιμη προς χρήση. Έτσι, πρωτογενείς πηγές ενέργειας ονομάζουμε τις πηγές όπου η αποθηκευμένη ενέργεια αποκτιέται απευθείας από τη φύση και δευτερογενείς πηγές ονομάζουμε τις πηγές εκείνες των οποίων η ενέργεια για να χρησιμοποιηθεί χρειάζεται να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία [2]. Ορισμένα παραδείγματα πρωτογενούς ενέργειας είναι η ηλιακή ακτινοβολία και το φυσικό αέριο, ενώ παραδείγματα δευτερογενούς ενέργειας αποτελούν ο ηλεκτρισμός, η βενζίνη και το πετρέλαιο θέρμανσης. Ακόμα, οι πηγές της ενέργειας, ανάλογα με τη διάρκεια της διαθεσιμότητάς, τους διακρίνονται σε ανανεώσιμες ή ήπιες πηγές ενέργειας και σε μη ανανεώσιμες ή συμβατικές πηγές ενέργειας, διάκριση, που εξαιτίας της περιβαλλοντικής κρίσης, έχει απασχολήσει σημαντικά ολόκληρη την κοινωνία και εξετάζεται στη συνέχεια.

Μη ανανεώσιμες ή συμβατικές πηγές ενέργειας ορίζονται οι πηγές όπου τα επίπεδα διαθέσιμης ενέργειας εξαντλούνται και δεν ανανεώνονται ή ανανεώνονται εξαιρετικά αργά

για τα ανθρώπινα μέτρα [2]. Οι συμβατικές μορφές ενέργειας αποτελούν πυκνή μορφή ενέργειας και για το λόγο αυτό, παρόλη την περιβαλλοντική καταστροφή που επιφέρουν, είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη ενέργεια από το δυτικό κόσμο. Συγκεκριμένα, έρευνα του 2016 έδειξε ότι σχεδόν το 90% της παγκόσμιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας προέρχεται από μη ανανεώσιμες πηγές, με το ποσοστό αυτό να μεταβάλλεται διαρκώς σε μια συστηματική προσπάθεια μείωσής του [3].

Στην παραπάνω κατηγορία συγκαταλέγονται τα στερεά καύσιμα, οι υδρογονάνθρακες (σε υγρή ή αέρια μορφή) και τα πυρηνικά καύσιμα, εκ των οποίων τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα συνοψίζονται στους γαιάνθρακες, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Υπογραμμίζεται ότι, για το έτος 2016, το πετρέλαιο αποτέλεσε το ένα τρίτο της συνολικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, με πρωτεργάτες την Ασία και την Αμερική, ενώ τα αποθέματά του συγκεντρώνονται, σχεδόν κατά το ήμισυ, στην περιοχή της Μέσης Ανατολής. Δεύτεροι στην κατανάλωση βρίσκονται οι γαιάνθρακες, με ποσοστό που αγγίζει το 28%, ενώ ακολουθεί το φυσικό αέριο με διαρκή αυξητική τάση και κυρίαρχη χρήση στην Ευρώπη και την Ευρασία [3]. Αναφορικά με την πυρηνική ενέργεια, την πιο πολυσυζητημένη και ταυτόχρονα αμφιλεγόμενη μορφή ενέργειας, που ανήκει στις συμβατικές μορφές ενέργειας, γίνεται προσπάθεια για τη δημιουργία των αναγκαίων συνθηκών ώστε να επιτευχθεί αυτοσυντηρούμενη πυρηνική αντίδραση σύντηξης, με τα αποτελέσματα της προσπάθειας αυτής να οδηγούν σε αύξηση της συνολικής κατανάλωσης πυρηνικής ενέργειας κατά 1,3%, με την Κίνα να συνεισφέρει κατά +24,5%, ενώ αντίθετα η Ευρώπη καταγράφει αρνητικό ποσοστό [4].

Αντιδιαμετρικά, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι οι πηγές εκείνες που συναντώνται σε αφθονία στη φύση, είναι ανεξάντλητες και η χρήση τους δεν επιβαρύνει το φυσικό περιβάλλον [5]. Ανάλογα με το είδος της ενέργειας στην κατηγορία αυτή συναντώνται η αιολική, η ηλιακή, η υδραυλική, η γεωθερμική, η ωκεάνια (ή θαλάσσια) καθώς και η ενέργεια που προέρχεται από βιομάζα.

Αν και ο άνθρωπος από τα αρχαία χρόνια ακόμα είχε αντιληφθεί τη δύναμη των ΑΠΕ, μετά τη βιομηχανική επανάσταση και εξαιτίας των ολοένα αυξανόμενων ενεργειακών απαιτήσεων η κοινωνία στράφηκε στα συμβατικά καύσιμα, με αποτέλεσμα σήμερα να έχει έρθει αντιμέτωπη με το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής και τον κίνδυνο οριστικής εξάλειψης των ορυκτών καυσίμων. Για το λόγο αυτό, η μαζική εκμετάλλευση των ΑΠΕ και η συνεισφορά τους στη συνολική παραγωγή ενέργειας έχει καταστεί πρωταρχικός στόχος σε παγκόσμιο επίπεδο. Με τη βοήθεια λοιπόν της τεχνολογίας αναπτύσσονται μηχανές αρκετά ικανές ώστε να αξιοποιούν τις ΑΠΕ, ενώ ταυτόχρονα θεσμοθετούνται αυστηροί νόμοι που υποχρεώνουν τις κυβερνήσεις των χωρών να συμπεριλάβουν τη χρήση αυτών στην κάλυψη μεγάλου μέρους των ενεργειακών τους αναγκών. Έτσι σήμερα το 7,5% της

διεθνούς ηλεκτρικής ενέργειας προχέεται από ΑΠΕ, ενώ η ποσοστιαία αύξηση στη χρήση αυτών καταγράφει διψήφια τιμή (14,1%) για δέκατη τρίτη διαδοχική χρονιά [6]. Συγκεκριμένα, για την Ελλάδα, αναφέρεται ότι αναλογικά με το γεωγραφικό της ανάγλυφο και τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν, η ηλιακή ενέργεια θα μπορούσε να καλύψει το ένα τρίτο των ενεργειακών τις αναγκών [5], ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι η χώρα μας κατέκτησε τη δεύτερη θέση για την εγκατάσταση συνολικής καθαρής αιολικής ισχύος 238,55 MW για το έτος 2016, που αντιστοιχεί σε αύξηση 11,6% του προηγούμενου χρόνου [7].

2.2 Ενέργεια στον κτιριακό τομέα

Έχοντας διασαφηνίσει κάποια κομβικά σημεία για τη σημασία της ενέργειας στη ζωή του ανθρώπου, την πολυμορφικότητα αλλά και τη διάκριση των πηγών αυτής, στη συνέχεια της παρούσας εργασίας το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην αλληλεπίδραση της ενέργειας με τον κτιριακό τομέα. Η ανάδειξη της αναγκαιότητας της ορθολογικής χρήσης της ενέργειας, τόσο από οικονομικής όσο και από περιβαλλοντικής σκοπιάς, και ο εντοπισμός των τρόπων με τους οποίους αυτό επιτυγχάνεται αποτελούν τους βασικούς στόχους που πραγματεύονται παρακάτω.

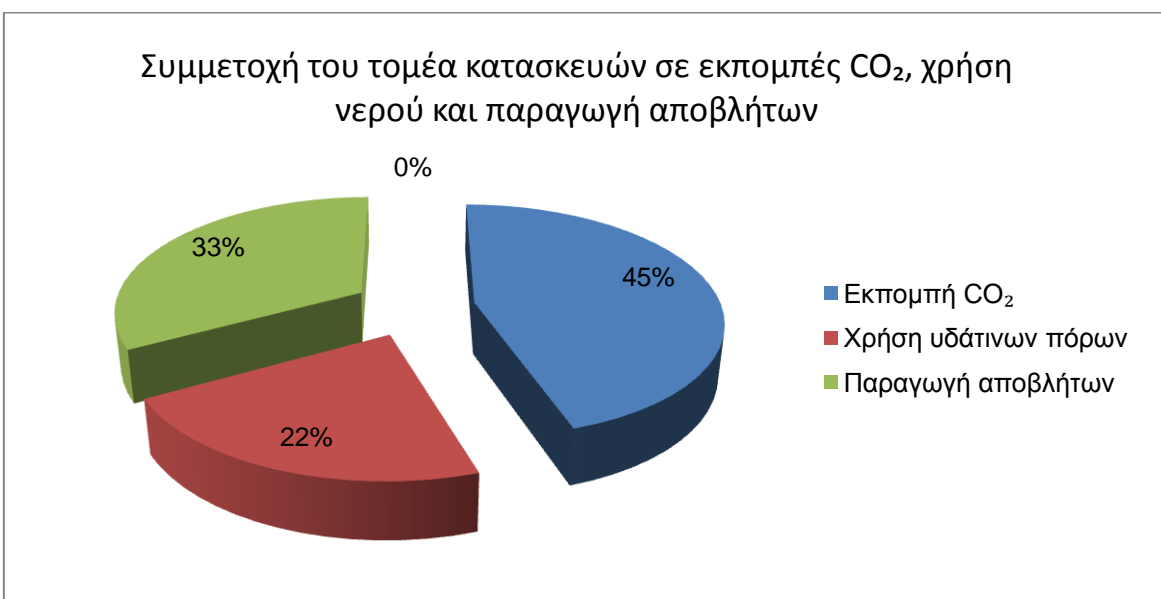
Κάθε κτίριο σε όλο τον κύκλο ζωής του, δηλαδή από τη στιγμή της οικοδόμησης μέχρι τη στιγμή της κατεδάφισής του, συνδέεται άρρηκτα με την ενέργεια. Σε πρώτο στάδιο λαμβάνονται οι πρώτες ύλες από το φυσικό περιβάλλον, ακολουθεί περεταίρω επεξεργασία, γίνεται η μεταφορά στο εργοτάξιο και επιτελούνται όλες οι απαραίτητες εργασίες για την ανέγερση του κτιρίου. Ακολουθείται δηλαδή, μια σειρά διεργασιών που απαιτούν μεγάλα ποσά δαπάνης ενέργειας. Στη συνέχεια, το παραδοτέο κτίριο μπαίνει σε λειτουργία και αρχίζει η πιο ενεργειακά δαπανηρή περίοδος στον κύκλο ζωής του, καθώς απαιτούνται σημαντικά ποσά ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση, ψύξη, ηλεκτρικό ρεύμα, παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX) και φυσικά για τη συστηματική συντήρηση αυτού. Τέλος, όταν το κτίριο πάψει να είναι πλέον λειτουργικό, πραγματοποιείται κατεδάφιση που συνοδεύεται από χρήση ενέργειας για την απόθεση, συλλογή ή και ανακύκλωση των υλικών από τα οποία αποτελείται.

Η σχέση κτιρίου-ενέργειας, όπως αυτή περιγράφηκε παραπάνω, συνδέεται με τη σειρά της με το περιβάλλον και οι επιπτώσεις που αυτή επιφέρει διακρίνονται σε δύο κατηγορίες γνωστές ως περιβαλλοντική ανάλωση και περιβαλλοντική υποβάθμιση [8]. Η περιβαλλοντική ανάλωση πραγματεύεται τη λήψη πρώτων υλών από τη φύση και την μετατροπή τους τόσο σε οικοδομικά υλικά όσο και σε καύσιμα για την κάλυψη των

λειτουργικών αναγκών του κτιρίου, γεγονός που επιφέρει, όπως υπογραμμίζεται και από το Σχήμα 2.1, την ενίσχυση του φαινομένου της εξάντλησης των φυσικών πόρων του πλανήτη. Συνακόλουθα, περιβαλλοντική υποβάθμιση προκαλείται σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός κτιρίου από την παραγωγή ρύπων και αποβλήτων, καθώς και από τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων νερού, επιδεινώνοντας έτσι το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής με ό,τι αυτό συνεπάγεται. Στο Σχήμα 2.2 απεικονίζεται η συμμετοχή του κατασκευαστικού τομέα σε εκπομπές CO₂, χρήση νερού και παραγωγή αποβλήτων.



Σχήμα 2.1: Ποσοστιαία (%) συμμετοχή του τομέα κατασκευών στη χρήση πρώτων υλών και ενέργειας, πηγή: [8]



Σχήμα 2.2: Ποσοστιαία (%) συμμετοχή του τομέα κατασκευών σε εκπομπές CO₂, χρήση νερού και παραγωγή αποβλήτων, πηγή: [8]

Επειδή λοιπόν, όπως διαφαίνεται από τα παραπάνω, η σχέση κτιρίου-ενέργειας κατέχει καθοριστικό ρόλο για τον άνθρωπο και το περιβάλλον, δημιουργείται η ανάγκη εύρεσης αποτελεσματικών λύσεων, τόσο για την εκ των προτέρων ενεργειακή μελέτη του εκάστοτε κτιρίου, όσο και για την μετέπειτα λειτουργία του, ώστε το αντίκτυπο της σχέσης αυτής να είναι όσο το δυνατό πιο ενεργειακά ανώδυνο.

2.3 Ενεργειακό ισοζύγιο κτιρίου

Περεταίρω εμβάθυνση στην ανάλυση της αλληλεπίδρασης των κτιρίων με την ενέργεια αποτελεί η μελέτη του ενεργειακού ισοζυγίου στον κτιριακό τομέα, καθώς θέτει τη μαθηματική βάση και ποσοτικοποιεί την ενέργεια που σχετίζεται με τη λειτουργία του κτιρίου. Επισημαίνεται ότι, η συγκεκριμένη ανάλυση στοχεύει στην κατανόηση της ροής ενέργειας που πραγματοποιείται στα κτίρια, ώστε να είναι εφικτή η διαμόρφωση αυτών με τρόπο που τα καθιστά ενεργειακά βιώσιμα.

Όπως κάθε ενεργειακό ισοζύγιο στις θετικές επιστήμες έτσι και το ισοζύγιο που σχετίζεται με τον κτιριακό τομέα πραγματεύεται την σχέση μεταξύ ενεργειακών απωλειών και ενεργειακών κερδών. Για να γίνει όμως σαφής η σχέση αυτή, πρέπει πρώτα να οριστούν οι έννοιες των κερδών και απωλειών σε ένα κτίριο. Μια πρώτη εξήγηση που δόθηκε υποστηρίζει ότι όταν η μετάδοση θερμότητας επιτελείται από το περιβάλλον προς το εσωτερικό του κτιρίου γίνεται λόγος για ενεργειακά κέρδη, ενώ στην αντίθετη περίπτωση αναφερόμαστε σε ενεργειακές απώλειες. Με μία όμως πιο προσεκτική ματιά, εύκολα κανείς οδηγείται στο συμπέρασμα ότι η παραπάνω εξήγηση δεν είναι εξολοκλήρου ορθή, αφού για παράδειγμα τους θερινούς μήνες η θερμότητα που προσδίδει ο ήλιος στο κτίριο, όχι μόνο δεν είναι επιθυμητή, αλλά χρειάζεται επιπρόσθετη δαπάνη ενέργειας για κλιματισμό και επομένως δεν μπορεί να θεωρηθεί ως κέρδος. Για το λόγο αυτό, μεγάλη είναι η σημασία που δίνεται στα πρόσημα των ποσοτήτων που συμμετέχουν στο ενεργειακό ισοζύγιο, ώστε να γίνεται ο απαραίτητος διαχωρισμός και η ουσιαστική κατανόηση μεταξύ απωλειών και κερδών.

Αναφορικά με τις απαιτήσεις για την κατανάλωση ενέργειας σε ένα κτίριο είναι γεγονός ότι εξαρτώνται σημαντικά από τη χρήση του κτιρίου και συνακόλουθα από τα λειτουργικά του χαρακτηριστικά, τα οποία περιγράφονται από τις ανάγκες του κτιρίου για θέρμανση, ψύξη, αερισμό, φωτισμό, παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και ενέργεια για τη λειτουργία των διαφόρων συσκευών. Ποιες είναι όμως οι πηγές της ενέργειας για την κάλυψη όλων αυτών των ενεργειακών αναγκών;

Οι κυριότερες πηγές ενέργειας είναι η χημική ενέργεια των καυσίμων, που μετατρέπεται σε θερμότητα, η ηλιακή ενέργεια, το ποσό της οποίας εξαρτάται από το κλίμα της περιοχής, τη θέση και τη μορφή του κτιρίου, ο ηλεκτρισμός και τέλος η θερμότητα, που μεταφέρεται με αγωγιμότητα, όπως στην περίπτωση των υπόγειων υδάτων. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν και έμμεσες πηγές ενέργειας που δεν πρέπει να αγνοηθούν. Κάθε άνθρωπος, ανάλογα με τη δραστηριότητα στην οποία επιδίδεται, παράγει ισχύ το ποσό της οποίας είναι καθόλα υπολογίσιμο, ειδικά στα κτίρια συνάθροισης κοινού. Επίσης, τόσο οι ηλεκτρικές συσκευές, όσο και ο φωτισμός ενός κτιρίου παράγουν θερμότητα η οποία πρέπει να συνυπολογιστεί στο ενεργειακό ισοζύγιο, καθώς τους χειμερινούς μήνες θα ελαττώσει την κατανάλωση για θέρμανση, ενώ τους θερινούς μήνες θα αυξήσει τις απαιτήσεις για ψύξη και κλιματισμό.

Κλείνοντας με τα ποσά ενέργειας που συμμετέχουν στο ενεργειακό ισοζύγιο και πριν δοθεί η μαθηματική εξίσωση αυτού, θα πρέπει να αναφερθεί ότι, μετά την αξιοποίησή της, η ενέργεια ρέει προς το περιβάλλον με τη μορφή θερμικών απωλειών. Αυτό επιτυγχάνεται διαμέσου του κτιριακού κελύφους και των εκροών των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, όπως επίσης και με το φαινόμενο της ακτινοβολίας και τις διαδικασίες εξάτμισης και συμπύκνωσης του εσωτερικού αέρα του κτιρίου.

Η μαθηματική εξίσωση του ισοζυγίου δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$Q_{ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ} = Q_{ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ} + Q_{ΑΠΩΛΕΙΩΝ} \quad (2.1)$$

ή πιο αναλυτικά:

$$Q_C + Q_V + Q_{WW} + Q_{iL} + Q_{iO} + Q_S = Q_H + Q_{Cl} + Q_{HW} + Q_{MV} + Q_{EL} + Q_E \quad (2.2)$$

Όπου,

Q_C : οι απώλειες ή τα κέρδη θερμότητας με αγωγιμότητα από το κτιριακό περίβλημα

Q_V : οι απώλειες ή τα κέρδη θερμότητας με αερισμό

Q_{WW} : οι ενεργειακές ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης

Q_{iL} : η ενέργεια από τις ηλεκτρικές συσκευές και το φωτισμό

Q_{iO} : η ενέργεια που εκπέμπεται από τα άτομα

Q_S : η ενέργεια από τον ήλιο

Q_H : η καταναλισκόμενη ενέργεια για τη θέρμανση του κτιρίου

Q_{CI} : η καταναλισκόμενη ενέργεια για τη ψύξη του κτιρίου

Q_{HW} : η καταναλισκόμενη ενέργεια για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης

Q_{MV} : η καταναλισκόμενη ενέργεια για μηχανικό αερισμό

Q_{EL} : η καταναλισκόμενη ενέργεια για τις ανάγκες φωτισμού και λοιπών ηλεκτρικών συσκευών

Q_E : η μη εκμεταλλεύσιμη ενέργεια που ρέει στο περιβάλλον

Η παραπάνω σχέση αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την μελέτη και τη σχεδίαση ενός κτιρίου, καθώς, ανάλογα με το εάν το εκάστοτε κτίριο υπακούει ή όχι στην εξίσωση (2.2), μπορεί να εκτιμηθεί και η ενεργειακή του κατάσταση. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε περίπτωση στόχος είναι οι εκάστοτε ενεργειακές καταναλώσεις να είναι ίσες με τις απαιτήσεις του κτιρίου (συμπεριλαμβανομένων των απωλειών), έτσι ώστε να μη δαπανάται παραπάνω ενέργεια από όση πραγματικά χρειάζεται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, αλλά ούτε να υπάρχει έλλειψη σε αυτή. Αν δεν ισχύουν τα παραπάνω, δύο είναι τα πιθανά ενδεχόμενα. Για την περίπτωση που οι καταναλώσεις υπερیشύουν των απαιτήσεων, επιτακτική είναι η ανάγκη για αλλαγή ή συντήρηση των ηλεκτρομηχανικών συστημάτων του κτιρίου, ώστε να μη χρησιμοποιείται άσκοπα ενέργεια και να είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή οι απαιτήσεις εμφανίζονται αυξημένες σε σχέση με τις καταναλώσεις, η προσοχή εστιάζεται στο κέλυφος του κτιρίου και οι αλλαγές περιλαμβάνουν συνήθως επεμβάσεις στον τομέα αυτό, που περιορίζουν τις απώλειες (ή τα επιπλέον κέρδη) και ελαττώνουν τις απαιτήσεις. Σημειώνεται ότι στη δεύτερη περίπτωση μπορεί να υπάρχει αδυναμία στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, εξαιτίας ενεργειακής φτώχειας, γεγονός που δεν έγκειται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Εν κατακλείδι, η πιο επιθυμητή κατάσταση για κάθε κτίριο επιτυγχάνεται με την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απαιτήσεων, με τρόπους που βασίζονται κυρίως στον εκ των προτέρων σχεδιασμό αυτού, και την ταυτόχρονη ελάττωση των ενεργειακών καταναλώσεων, με την κάλυψή τους να βασίζεται σε συστήματα ΑΠΕ. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργείται ένα κτίριο που σέβεται το περιβάλλον, ενώ μετά την απόσβεση της κατασκευής του έχει μηδαμινές οικονομικές απαιτήσεις.

2.4 Ενέργεια στον κτιριακό τομέα στην Ελλάδα

Αναφορικά με την ενεργειακή ανάλυση στον κτιριακό τομέα θεωρείται χρήσιμη η διάκριση αυτού σε δύο επιμέρους κατηγορίες, ώστε τα αποτελέσματα που προκύπτουν να είναι όσο το δυνατό περισσότερο αντιπροσωπευτικά της επικρατούσας κατάστασης. Έτσι, η πρώτη κατηγορία είναι εκείνη που περιλαμβάνει όλα τα κτίρια που χρησιμοποιούνται ως κύρια ή δευτερεύουσα κατοικία (μονοκατοικία ή πολυκατοικία), ενώ στη δεύτερη κατηγορία, που φέρει τον τίτλο τριτογενούς τομέας, συγκαταλέγονται όλα τα υπόλοιπα κτίρια όπως γραφεία, ξενοδοχεία, καταστήματα, σχολεία, βιομηχανίες, αθλητικά κέντρα και λοιπή συναφή χώροι. Έχοντας αναφέρει τις δύο κατηγορίες του κτιριακού τομέα γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η διάκριση αυτή οφείλεται στις διαφορετικές ενεργειακές ανάγκες, που παρατηρούνται ανάλογα με τη χρήση των κτιρίων και το ωράριο λειτουργίας αυτών, όπως επίσης και στο πλήθος των χρηστών που μεταβάλλεται δυναμικά με το χρόνο.

Στη συνέχεια, αναλύεται η ενεργειακή κατάσταση που επικρατεί στον κτιριακό τομέα στην Ελλάδα, όπως αυτή περιγράφεται από στατιστικές μελέτες που διενεργήθηκαν από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) και το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΚΑ) σε συνεργασία με τα τμήματα επιθεώρησης και ενέργειας βορείου και νοτίου Ελλάδας. Αρχικά, γίνεται λόγος για τα γενικά χαρακτηριστικά των κτιριακών εγκαταστάσεων της χώρας, με βάση την πιο πρόσφατη δημοσιευμένη απογραφή κτιρίων που διεξήχθη το έτος 2011 και στη συνέχεια αναλύονται οι ενεργειακές καταναλώσεις των κτιρίων του οικιακού και του τριτογενούς τομέα τις χρονικές περιόδους 2011-2012 και 2011-2015 αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι τα δεδομένα των παραπάνω περιόδων μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά για την Ελλάδα του σήμερα, καθώς τα έτη 2011-2015 η χώρα ήταν ήδη σε οικονομική κρίση, γεγονός που αποτέλεσε τροχοπέδη στην περαιτέρω ανάπτυξη του κτιριακού τομέα. Στόχος των παραπάνω αποτελεί η επί του πρακτέου κατανόηση της σχέσης ενέργειας - κτιρίου και η σημασία που έχει η ορθολογική της αντιμετώπιση, τόσο για την Ελλάδα όσο και για ολόκληρο τον πλανήτη.

2.4.1 Γενικά στοιχεία για τα κτίρια

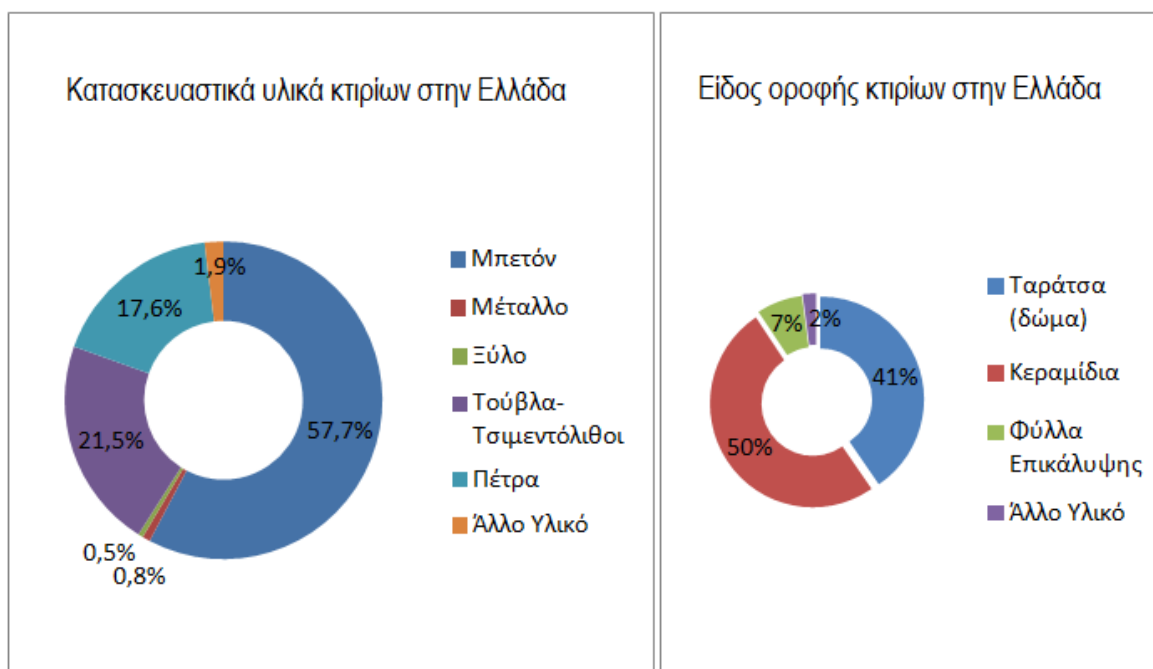
Η απογραφή των κτιριακών εγκαταστάσεων της χώρας για το έτος 2011 υπέδειξε την ύπαρξη 4.105.637 κτιρίων από τα οποία, όπως φαίνεται από το Σχήμα 2.3, το 42,1% κατασκευάστηκαν πριν από το 1970, το 27% κατά τη διάρκεια 1971-1985 ενώ μόνο το 22,9% μετά τη δεκαετία του 1990. Τέλος, το 1,3% αντιπροσωπεύει τα κτίρια που βρίσκονται υπό κατασκευή, γεγονός που υπογραμμίζει το φαινόμενο της οικονομικής κρίσης στην Ελλάδα.



Σχήμα 2.3: Χρονική περίοδος κατασκευής κτιρίων στην Ελλάδα επί τοις εκατό (%), πηγή: [9]

Από τα παραπάνω δεδομένα γίνεται φανερό ότι η πλειοψηφία των κτιρίων δεν υπακούει στους κανόνες ενεργειακής συμπεριφοράς που θεσπίστηκαν και εφαρμόστηκαν μετά το 2009 και επομένως δεν μπορεί να γίνει λόγος για θερμομονωμένα κελύφη, ενεργειακά κουφώματα, συστήματα ΑΠΕ ή οποιοδήποτε άλλο σύστημα που να υποδηλώνει μειωμένο κτιριακό ενεργειακό αποτύπωμα, εξαιρουμένων των μεταγενέστερων ανακαινίσεων.

Επιπρόσθετα, στην προσπάθεια μιας λεπτομερέστερης ανάλυσης της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων, ερευνήθηκαν τα κατακόρυφα και οριζόντια δομικά υλικά από τα οποία κατασκευάστηκαν τα κτίρια σε ποσοστιαία κλίμακα. Τα αποτελέσματα της έρευνας καταγράφονται στο Σχήμα 2.4 και αναφέρουν ότι τα περισσότερα κτίσματα φέρουν ως κύριο δομικό υλικό το μπετόν ή τα τούβλα, ενώ σημαντικό ποσοστό καταλαμβάνουν τα πετρόκτιστα κτίρια. Αναφορικά με τις οροφές στην Ελλάδα κατά το ήμισυ είναι επικλινείς με κεραμίδια, με το υπόλοιπο ποσοστό να καλύπτεται σχεδόν εξ ολοκλήρου από συμβατικά δώματα. Με βάση τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας των υλικών, που ορίζει την ποσότητα θερμότητας που διαπερνά ένα υλικό πάχους ενός μέτρου και διαφοράς θερμοκρασίας ενός βαθμού Κελσίου μέσα σε μία ώρα, συμπεραίνεται ότι πάνω από τα μισά κτίρια της χώρας έχουν αδικαιολόγητα υψηλό συντελεστή αγωγιμότητας, τόσο στα κατακόρυφα όσο και στα οριζόντια δομικά στοιχεία, γεγονός το οποίο από τη μία πλευρά τονίζει την ενεργειακή αστοχία των κτιρίων αυτών, αλλά από την άλλη υποδηλώνει τη δυνατότητα εξοικονόμησης ικανοποιητικών ποσών ενέργειας με την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων.

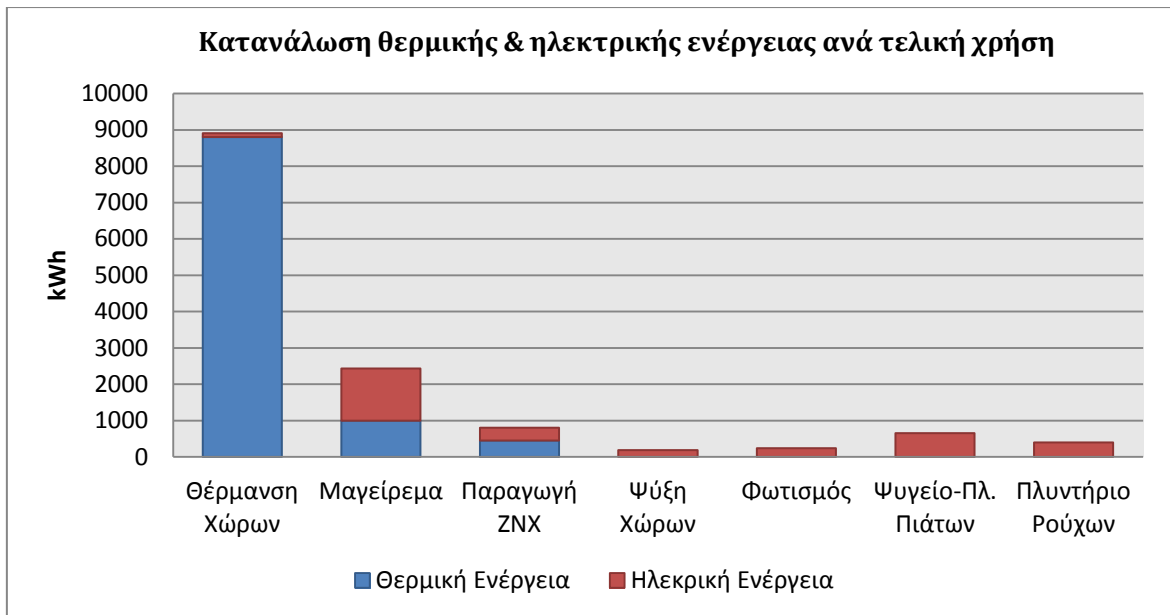


Σχήμα 2.4: Υλικά κατασκευής και είδος οροφής των κτιρίων στην Ελλάδα επί τοις εκατό (%), πηγή: [9]

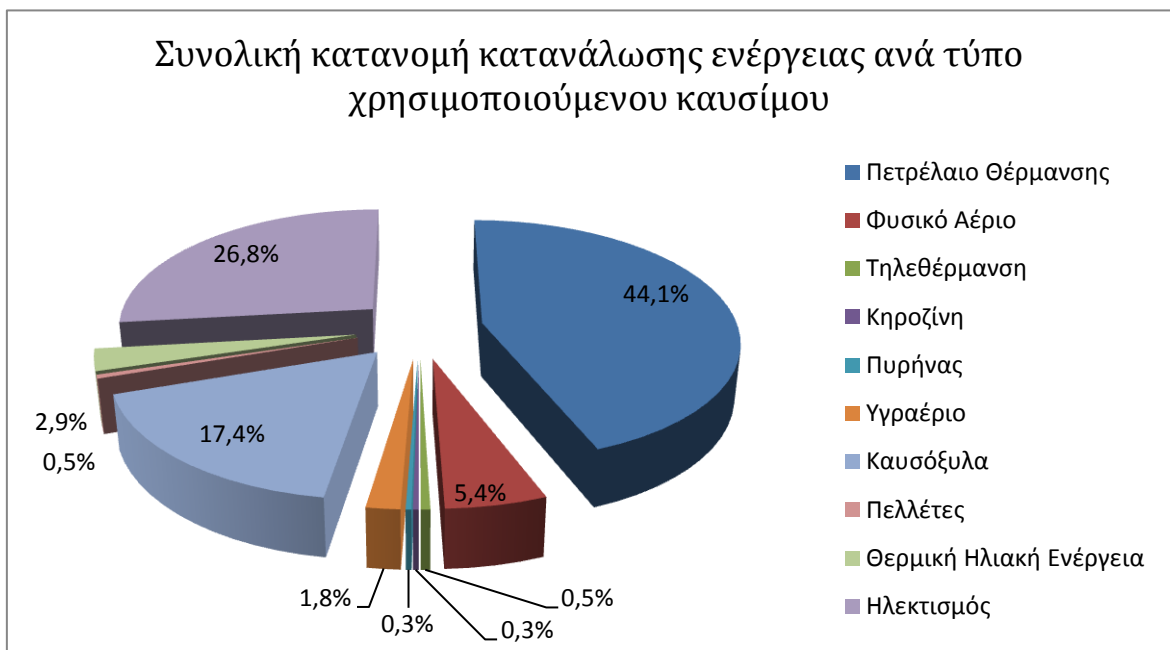
2.4.2 Κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα

Σύμφωνα με την έρευνα της ΕΛΣΤΑΤ για την κατανάλωση ενέργειας στα ελληνικά νοικοκυριά, η οποία διεξήχθη την περίοδο 2011-2012 σε 3.600 σπίτια ανά την Ελλάδα, ακολουθώντας την δειγματοληπτική μέθοδο και με βάση τις δαπάνες των καυσίμων αλλά και τις μέσες τιμές αυτών, η συνολική ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια κάθε νοικοκυριού ανέρχεται στις 13.994 kWh, από τις οποίες το 73,2% αντιστοιχεί σε θερμική ενέργεια, ενώ το υπόλοιπο καλύπτει όλες τις ηλεκτρικές απαιτήσεις.

Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 2.5, το μεγαλύτερο ποσό ενέργειας χρησιμοποιείται από τα νοικοκυριά για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, ενώ σημαντικές είναι και οι απαιτήσεις για παραγωγή ΖΝΧ, μαγείρεμα και τη χρήση ηλεκτρικών συσκευών. Αναλύοντας τα δεδομένα από περιβαλλοντική σκοπιά ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι το 21,6% της ενέργειας παράγεται από ΑΠΕ, ενώ εντυπωσιακό είναι το ποσοστό που καταλαμβάνει η χρήση ξυλείας για θέρμανση, φανερώνοντας την οικονομική δυσχέρεια των πολιτών που αναζητούν οικονομικές μα καθόλου οικολογικές λύσεις. Επίσης, από το Σχήμα 2.6 παρατηρείται η μαζική χρήση πετρελαίου θέρμανσης και όχι η επιθυμητή χρήση φυσικού αερίου που έχει μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα.



Σχήμα 2.5: Κατανάλωση θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας σε kWh ανά τελική χρήση, πηγή: [10]



Σχήμα 2.6: Ποσοστιαία (%) κατανομή της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας ανά τύπο χρησιμοποιούμενου καυσίμου, πηγή: [10]

Αναφορικά με τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα που διαθέτουν οι ελληνικές κατοικίες βρέθηκε ότι το 50,8% χρησιμοποιούν κεντρικό σύστημα θέρμανσης, ενώ μόνο το 0,6% καλύπτεται από τηλεθέρμανση, με τα αποτελέσματα να δείχνουν ακόμα ότι τρία στα δέκα σπίτια καταφεύγουν σε συμπληρωματικά συστήματα θέρμανσης όπως το τζάκι, διάφορες ηλεκτρικές συσκευές ή συστήματα κλιματισμού. Για την παραγωγή ΖΝΧ είναι εμφανής η προτίμηση των νοικοκυριών σε ηλεκτρικούς θερμοσίφωνες, αλλά ταυτόχρονα

αισιόδοξα είναι τα στοιχεία για τη χρήση ηλιακών συστημάτων με ποσοστό που αγγίζει το 36,6%. Τέλος, έξι στις δέκα κατοικίες χρησιμοποιούν συστήματα ψύξης τους θερινούς μήνες του χρόνου, εκ των οποίων το 99,7% είναι αυτόνομες κλιματιστικές μονάδες.

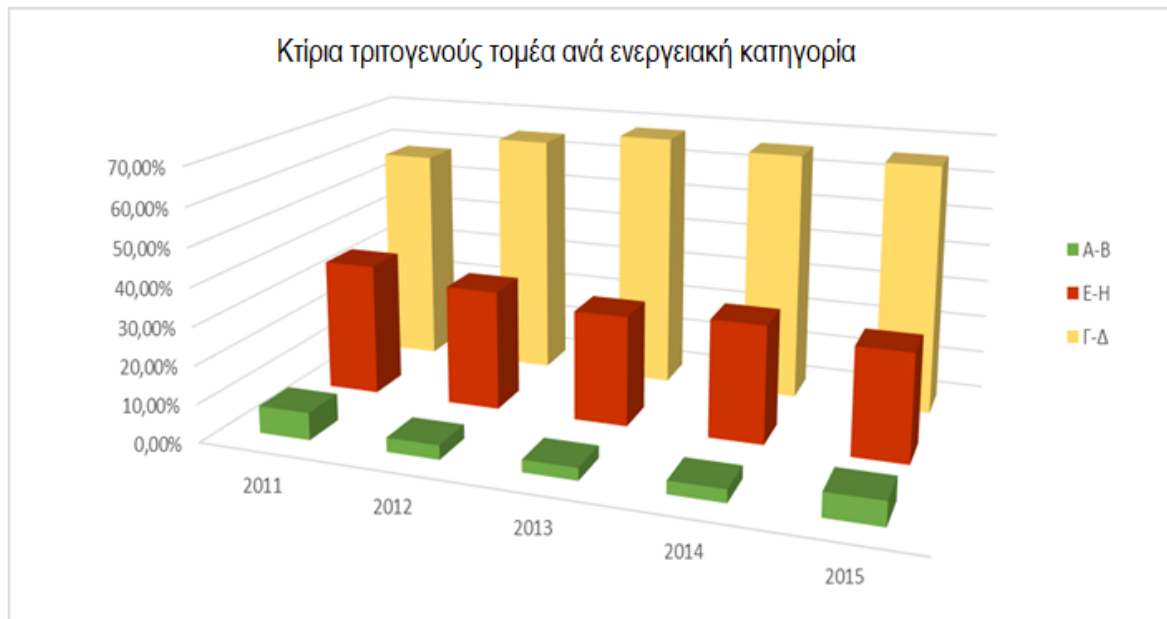
2.4.3 Ενέργεια στον τριτογενή τομέα

Στη συνέχεια, ακολουθεί η περιγραφή της ενεργειακής βιωσιμότητας των κτιρίων του τριτογενούς τομέα, παραθέτοντας στατιστικά στοιχεία όπως προέκυψαν από έρευνα του ΥΠΕΚΑ σε συνεργασία με τα τμήματα επιθεώρησης και ενέργειας βορείου και νοτίου Ελλάδας για την περίοδο 2011-2015.

Συγκεκριμένα, η έρευνα περιλαμβάνει 663.625 χιλιάδες πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης (ΠΕΑ), εκ των οποίων τα 98.117 ανήκουν σε κτίρια του τριτογενούς τομέα όπου καταγράφεται η ενεργειακή απόδοση των εξεταζόμενων κτιρίων, συμπεριλαμβανομένης της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, όπως επίσης και της συμμετοχής αυτών στις εκπομπές επιβλαβών ρύπων στην ατμόσφαιρα. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον Πίνακα 2.1 και φανερώνουν ότι στην συγκεκριμένη κατηγορία η μεγαλύτερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας έγκειται στην κάλυψη των φωτιστικών αναγκών, με ενδεικτική τιμή για το έτος 2015 168,94 kWh/m², ενώ ακολουθούν η ψύξη και η θέρμανση με ποσά 137,17 kWh/m² και 108,41 kWh/m² αντίστοιχα. Επίσης, ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι καταναλώσεις του CO₂ σε συσχέτιση με τη χρήση ΑΠΕ και συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) που υποδηλώνουν ενθαρρυντικά συμπεράσματα για την προσπάθεια προστασίας του περιβάλλοντος συμβαδίζοντας με τα εθνικά θεσμοθετημένα όρια. Επιπλέον, ευόιωνα είναι και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων (Σχήμα 2.7) καθώς στη διάρκεια του έτους 2015 αυξήθηκε το ποσοστό κατάταξης στις ενεργειακές κατηγορίες Α-Β κατά 86% με ταυτόχρονη μείωση του ποσοστού των κατηγοριών Ε-Η. Σημειώνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των κτιρίων εντάσσεται στις κατηγορίες Γ-Δ σε όλη την εξεταζόμενη χρονική περίοδο.

Πίνακας 2.1: Συγκεντρωτικά στοιχεία μέσης ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και εκπομπής CO₂ περιόδου 2011-2015, πηγή: [5]

Έτος	Πλήθος ΠΕΑ	Μέση Ετήσια κατανάλωση kgCO ₂ /m ²	Μέση Ετήσια Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας (kWh/m ²)				
			Θέρμανση	Ψύξη	ZNX	Φωτισμό	ΑΠΕ & ΣΗΘ
2015	9.391	139,09	108,41	137,17	15,33	168,94	0,10
2014	16.222	148,87	113,15	146,32	18,24	181,18	0,02
2013	37.595	151,89	118,77	148,97	21,26	180,50	0,02
2012	32.204	146,05	132,60	152,80	26,92	159,18	0,03
2011	2.705	112,21	111,92	124,36	32,88	110,91	0,09



Σχήμα 2.7: Κτίρια τριτογενούς τομέα ανά ενεργειακή κατηγορία, πηγή: [5]

Εξετάζοντας τις επιμέρους χρήσεις των κτιρίων που ανήκουν στον τριτογενή τομέα, στοιχεία της ίδιας έρευνας έδειξαν ότι τα πιο ενεργοβόρα κτίρια για το έτος 2015 είναι οι οίκοι ευγηρίας με μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας της τάξεως των 1.157 kWh/m², οι κλινικές με κατανάλωση 886,07 kWh/m², ενώ έπονται τα κλειστά γυμναστήρια με τιμή 867,56 kWh/m².

Συμπερασματικά, σύμφωνα με το αποτυπωμένο κτιριακό απόθεμα, όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως, η μέση ετήσια υπολογιζόμενη κατανάλωση ενέργειας για τα κτίρια τριτογενούς τομέα είναι 441,92 kWh/m² ή 10,68 GWh, συνυπολογίζοντας την επιφάνεια των κτιρίων. Ωστόσο, τα ποσά αυτά θα εμφάνιζαν αξιοσημείωτη μείωση αν όλα τα κτίρια τηρούσαν τις προδιαγραφές του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) με το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας για τα κτίρια των κατοικιών να αγγίζει το 59%, ενώ για τα κτίρια τριτογενούς τομέα υπολογίζεται εξοικονόμηση κατά 38%, γεγονός που υπογραμμίζει τη σπουδαιότητα του συγκεκριμένου κανονισμού.

2.5 Ενέργεια στα αθλητικά κέντρα

2.5.1 Παράμετροι απαιτήσεων και καταναλώσεων

Βαδίζοντας από το γενικό στο ειδικό, η παρούσα ενότητα πραγματεύεται την ενεργειακή συμπεριφορά των αθλητικών κέντρων, στην Ευρώπη και την Ελλάδα. Το σύνολο των αθλητικών εγκαταστάσεων ανήκει στον τριτογενή τομέα και χρήζει ιδιαίτερης προσοχής, καθώς οι ενεργειακές καταναλώσεις για θέρμανση/ψύξη, παραγωγή ζεστού νερού, φωτισμό και μηχανικό αερισμό παρουσιάζουν εξαιρετικά υψηλές τιμές συγκριτικά με τα υπόλοιπα κτίρια. Κάτι τέτοιο δεν αποτελεί έκπληξη καθώς οι ενεργειακές απαιτήσεις των αθλητικών κέντρων, και άρα και οι αντίστοιχες καταναλώσεις, δεν είναι απόρροια μιας βασικής συνθήκης αλλά συνονθύλευμα πολλών παραμέτρων, διαφορετικών συνθηκών.

Η βασικότερη παράμετρος είναι η χρήση του αθλητικού κέντρου σε συνδυασμό με το βεληνεκές των διοργανώσεων που μπορεί να φιλοξενήσει. Μία πρώτη διάκριση στο κομμάτι αυτό διαχωρίζει τα αθλητικά κέντρα που διαθέτουν εσωτερική πισίνα, καθώς αποτελούν ενεργοβόρα εστία που έγκειται αφενός στη θέρμανση του νερού της πισίνας και αφετέρου στον επιπρόσθετο αερισμό ώστε να τηρούνται τα επιθυμητά όρια ποιότητας του εσωτερικού αέρα. Επίσης ανάλογα με το μέγεθος και τις προδιαγραφές των κτιριακών εγκαταστάσεων καθορίζεται το επίπεδο των αγώνων που πραγματοποιούνται και συνεπώς αυξάνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις σε φωτισμό (για βραδινές κυρίως εκδηλώσεις) και μηχανικό αερισμό, που επιτρέπουν τις συνθήκες άνεσης των αθλητών και των θεατών και διευκολύνουν την τηλεοπτική κάλυψη των αθλητικών γεγονότων.

Τα κλιματικά στοιχεία της περιοχής του αθλητικού κέντρου, η εποχικότητα και οι ώρες λειτουργίας αυτού είναι κάποιες ακόμα καίριες παράμετροι. Έχει υπολογιστεί ότι τα αθλητικά κέντρα που βρίσκονται σε μεσογειακές χώρες καταναλώνουν ετήσια, κατά μέσο όρο, σχεδόν τη μισή ποσότητα ενέργειας για τις λειτουργικές τους ανάγκες έναντι των αντίστοιχων εγκαταστάσεων ηπειρωτικών χωρών [11]. Αναφορικά με το ωράριο λειτουργίας, αναμενόμενες είναι οι αυξημένες ανάγκες για φωτισμό τις βραδινές ώρες, ενώ ταυτόχρονα αυξάνονται οι απαιτήσεις για ψύξη κατά τη διάρκεια των μεσημεριανών ωρών.

Ένα επιπλέον σημείο που πρέπει να συνυπολογιστεί στη μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός αθλητικού κέντρου είναι τα επιπρόσθετα φορτία που προκύπτουν από τη φυσική δραστηριότητα των αθλητών και οι διαφορετικές ενεργειακές ανάγκες που εξαρτώνται από τη χρήση του χώρου. Πιο αναλυτικά, ο συνολικός χώρος κάθε αθλητικού κέντρου διαιρείται σε επιμέρους τομείς, όπως ο κυρίως αγωνιστικός χώρος, τα αποδυτήρια, οι κερκίδες, τα γραφεία, ανάλογα με τη λειτουργία των οποίων διαφοροποιούνται και οι ενεργειακές απαιτήσεις που προσαρμόζονται στις επιθυμητές

συνθήκες άνεσης των χρηστών. Για παράδειγμα, στον κυρίως αγωνιστικό χώρο η θερμοκρασία πρέπει να είναι μικρότερη από ότι στις κερκίδες, αφού το σώμα των αθλητών παράγει θερμότητα η οποία πρέπει να εξισορροπείται με αυτή του περιβάλλοντα αέρα. Αντίθετα, στις κερκίδες όπου το κοινό δεν επιτελεί κάποια δραστηριότητα τα επιθυμητά όρια θερμοκρασιών είναι αυξημένα. Σε κάθε περίπτωση τόσο εξαιτίας της συνάθροισης κοινού, όσο και λόγω των αθλητικών δραστηριοτήτων ο αερισμός του κτιρίου αποτελεί βασική προτεραιότητα που επιτυγχάνεται συνήθως με μηχανικά μέσα.

Τέλος, η ακουστική των αθλητικών εγκαταστάσεων είναι μία ακόμα παράμετρος που συνυπολογίζεται στη μελέτη αυτών, καθώς προάγει ή δυσχεραίνει την ορθή λειτουργία διεξαγωγής των αθλητικών διοργανώσεων. Το εκάστοτε κτίριο οφείλει να πληροί τις αρχιτεκτονικές και κατασκευαστικές προϋποθέσεις, έτσι ώστε να διανέμεται άρτια ο ήχος στον χώρο και σε συνδυασμό με τον κατάλληλα επιλεγμένο και συντηρημένο μηχανολογικό εξοπλισμό να εξασφαλίζεται για τους αθλητές και τους θεατές το επιθυμητό ακουστικό αποτέλεσμα. Στον Πίνακα 2.2 καταγράφονται οι τιμές των παραμέτρων που ορίζουν τις συνθήκες άνεσης και συνεπώς καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τις απαιτήσεις σε θέρμανση, ψύξη, φωτισμό, ZNX και μηχανικό αερισμό.

Πίνακας 2.2: Επιθυμητές εσωτερικές συνθήκες αθλητικών κέντρων, πηγή: [11]

	Εσωτερική Θερμοκρασία (°C)	Αερισμός (ACH)	Στάθμη Φωτισμού (lux)	Σχετική Υγρασία (%)	Θερμοκρασία Νερού Χρήσης (°C)	Ένταση Θορύβου Εξοπλισμού
Αρένα	18-20	2-5 ^a	200 ^d , 300- 1300 ^e	<70		45 dB (A)
Κερκίδες	20-22		200 ^f			
Αποδυτήρια	22-24	8-10 ^b	300			
Γραφεία	20		200			
Ντουζ	24-25				38-40	
Ιατρείο	24					
WC	15-18	10 ^b				
Κλιμ/σιο	12-15					
Χώροι Προπονήσεων		8 ^c				

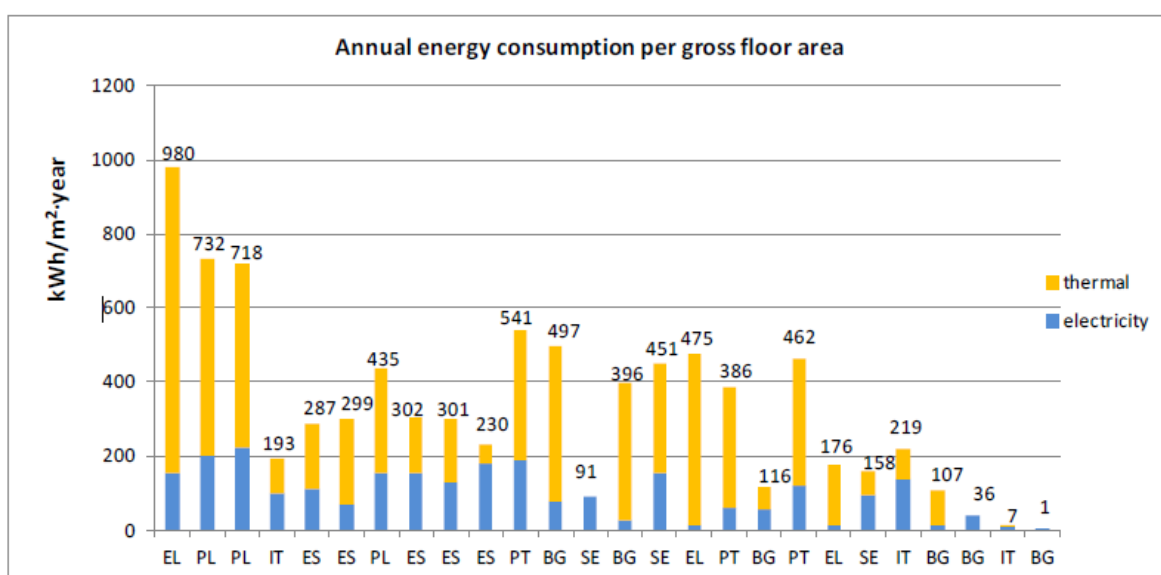
a. Όχι απαραίτητα εξολοκλήρου εξωτερικός αέρας, b. Εξωτερικός αέρας c. 50% κατώτερο όριο παροχής εξωτερικού αέρα d. Προπονήσεις e. Αγώνες-τηλεοπτική κάλυψη f. Καθισμένοι θεατές

Από όλα τα παραπάνω είναι φανερό ότι οι αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις των αθλητικών κέντρων είναι καθόλα δικαιολογημένες. Ωστόσο, το γεγονός αυτό, δεν πρέπει να ταυτιστεί με αυξημένες ενεργειακές καταναλώσεις, αλλά αντίθετα οφείλει να προβληματίσει και να οδηγήσει τους μελετητές σε λύσεις μειωμένης ενεργειακής κατανάλωσης φιλικές προς το περιβάλλον.

2.5.2 Αθλητικά κέντρα στην Ευρώπη και την Ελλάδα

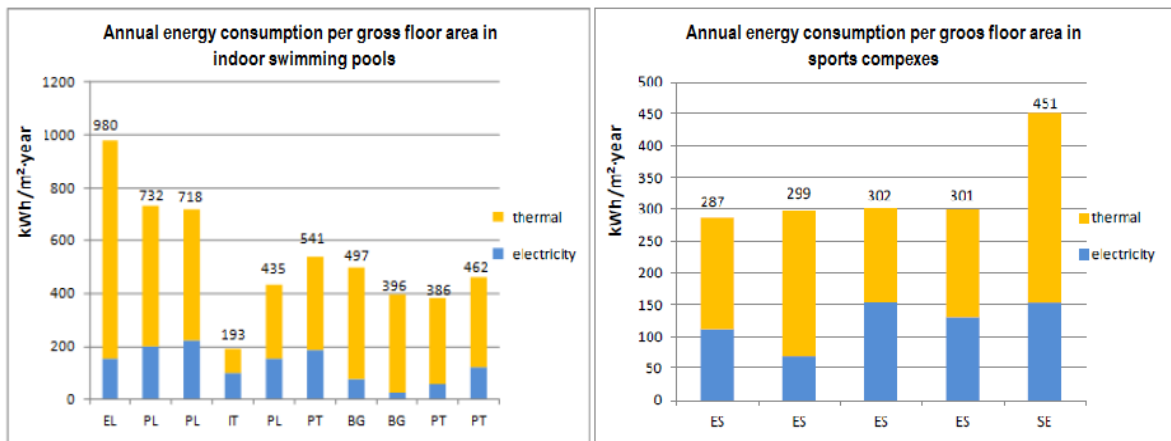
Στην Ευρώπη καταμετρούνται περίπου ενάμισι εκατομμύρια κτίρια, που χρησιμοποιούνται για αθλητικές δραστηριότητες, τα περισσότερα από τα οποία έχουν οικοδομηθεί πριν από το 1980. Επιπρόσθετα, ο σημερινός ρυθμός των νέων κτιριακών κατασκευών υπολογίζεται κάτω από 2% ετησίως σε όλες τις μεγάλες χώρες της Ευρώπης [12]. Το γεγονός αυτό θέτει έναν αρχικό προβληματισμό για την αποδοτικότητα της ενεργειακής συμπεριφοράς των αθλητικών κέντρων, τόσο αναφορικά με την μόνωση του κελύφους όσο και με τις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις αυτών, καθώς η σημασία της εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα και η ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογικά μεθόδων στην κατεύθυνση αυτή ανέκυψαν μετά τις αρχές του 2000. Επομένως, λόγος για ενεργειακά βιώσιμα αθλητικά κτίρια μπορεί να γίνει μόνο με την προϋπόθεση πιθανών μεταγενέστερων ανακαινίσεων και ενεργειακών αναβαθμίσεων.

Εστιάζοντας σε αναλυτικά στοιχεία για τις υφιστάμενες ενεργειακές καταναλώσεις των αθλητικών εγκαταστάσεων στην Ευρώπη και την Ελλάδα στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά αποτελέσματα του συγχρηματοδοτούμενου από την Ευρωπαϊκή Ένωση προγράμματος step2sport [13], στα πλαίσια του οποίου μελετήθηκαν είκοσι δύο αθλητικά κέντρα, επτά ευρωπαϊκών χωρών, με στόχο την δημιουργία κτιρίων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης. Σημειώνεται, ότι το πρόγραμμα step2sport θεωρείται η πιο επικαιροποιημένη έρευνα στον τομέα της ενέργειας στα αθλητικά κέντρα, που διήρκησε από τον Μάρτιο του 2014 έως τον Φεβρουάριο του 2017.

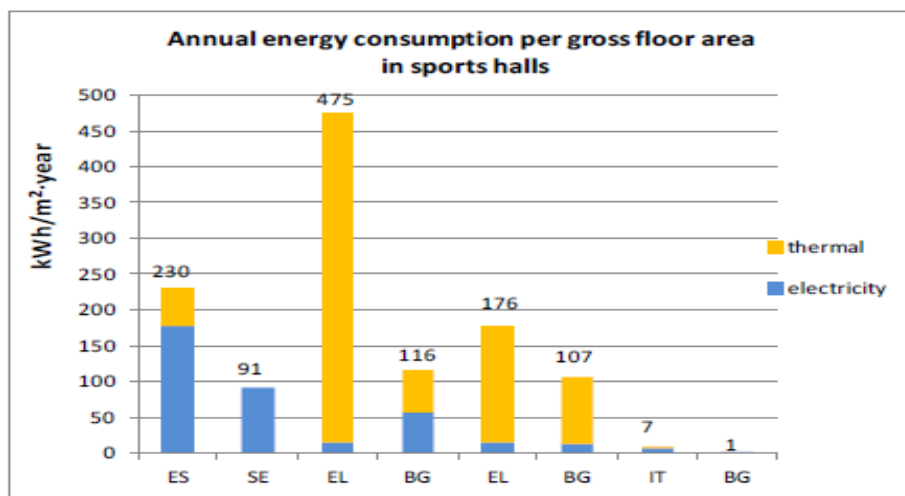


Σχήμα 2.8: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά συνολική, ακαθάριστη επιφάνεια αθλητικών εγκαταστάσεων επτά ευρωπαϊκών χωρών, πηγή: [13]

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8, οι ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις των ευρωπαϊκών αθλητικών εγκαταστάσεων παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις τόσο αναφορικά με τη θερμική ενέργεια, η οποία ορίζεται ως η χρησιμοποιούμενη ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών του κτιρίου σε θέρμανση, ψύξη, παραγωγή ΖΝΧ και μηχανικό αερισμό, όσο και με την ηλεκτρική ενέργεια που δαπανάται για τις ανάγκες φωτισμού και λοιπών ηλεκτρονικών συσκευών. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται απόλυτα από τις διαφορές που παρουσιάζονται μεταξύ των αθλητικών κέντρων στη χρήση, δηλαδή αν διαθέτουν εσωτερική πισίνα ή αν αποτελούνται από γήπεδα ή συνδυασμό των δύο προηγούμενων, τις κλιματικές συνθήκες των εκάστοτε χωρών, όπως επίσης και στην επιλογή των χρησιμοποιούμενων πηγών ενέργειας. Έτσι στα Σχήματα 2.9 και 2.10 παρουσιάζονται οι τιμές των ενεργειακών ποσοτήτων ανά χρήση και περιοχή, ώστε να είναι εφικτή η σύγκριση των τιμών και η διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.



Σχήμα 2.9: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια για διάφορες χρήσεις αθλητικών εγκαταστάσεων επτά ευρωπαϊκών χωρών, πηγή: [13]



Σχήμα 2.10: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας κλειστών γυμναστηρίων επτά ευρωπαϊκών χωρών, ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, πηγή: [13]

Είναι φανερό ότι τα αθλητικά κέντρα με εσωτερική πισίνα κατέχουν την πρώτη θέση στην κατανάλωση ενέργειας, με τα αθλητικά συγκροτήματα να ακολουθούν, ενώ τα γήπεδα σημειώνουν τις χαμηλότερες τιμές. Πιο αναλυτικά, το 86% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας καταλαμβάνουν μαζί οι δύο πρώτες κατηγορίες, με το 50% της χρησιμοποιούμενης ενέργειας να δαπανάται στη θέρμανση των πισινών, προκειμένου να αντισταθμιστούν οι απώλειες που προκύπτουν από την εξάτμιση, την ακτινοβολία, την αγωγιμότητα και τη μεταφορά δια μέσου της επιφάνειας του νερού. Τα συστήματα αφύγρανσης και οι αντλίες φιλτραρίσματος έχουν επίσης σημαντικό μερίδιο στην κατανάλωση ενέργειας, καθώς συνήθως λειτουργούν μεγάλο αριθμό ωρών, ώστε να επιτυγχάνονται οι επιθυμητές συνθήκες άνεσης στον χώρο. Αναφορικά με τις κτιριακές εγκαταστάσεις των γηπέδων, οι ετήσιες καταναλώσεις κυμαίνονται από 91kWh/m² έως 475 kWh/m², με το μεγαλύτερο μέρος αυτής να απαιτείται για τη θέρμανση και τη ψύξη του χώρου, ενώ πάνω από το 25% επί της συνολικής κατανάλωσης δαπανάται για τις ανάγκες φωτισμού.

Ένα ακόμα θέμα που αποτυπώνει την ενεργειακή συμπεριφορά των αθλητικών κέντρων είναι τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται κατά τη λειτουργία του. Επί του πρακτέου, το 65% της συνολικής ενέργειας καταναλώνεται για θέρμανση, με το 61% να καλύπτεται από τη χρήση φυσικού αερίου, το 15% από ορυκτά καύσιμα και μόλις το 12% από τη χρήση ΑΠΕ. Επομένως, διαφαίνεται εύκολα η ανάγκη αντικατάστασης των υπάρχοντων ηλεκτρομηχανικών μέσων, με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων και την εναρμόνιση των αθλητικών εγκαταστάσεων με το περιβάλλον.

Συγκεκριμένα για την Ελλάδα, παρόλο που και τα τρία κτίρια που συμμετείχαν στο πρόγραμμα ανήκουν στις κλιματικές ζώνες Β και Γ και συνεπώς δεν υπάρχουν στοιχεία για ολόκληρη την χώρα, τα αποτελέσματα που προέκυψαν μπορούν να θεωρηθούν αρκετά αντιπροσωπευτικά. Η κατανάλωση με τη μεγαλύτερη τιμή συναντάται στο κλειστό γυμναστήριο της Νέας Σμύρνης (980 kWh/m²), που διαθέτει εσωτερική πισίνα, ενώ για τα γήπεδα στους νομούς Αττικής και Λαρίσης, οι ετήσιες τιμές είναι 176 kWh/m² και 475 kWh/m², με το μεγαλύτερο ποσοστό όλων να διατίθεται σε θερμική ενέργεια. Επίσης, σημαντικό είναι το γεγονός ότι η χρήση πετρελαίου για την κάλυψη των θερμικών αναγκών είναι συχνό φαινόμενο στα περισσότερα γυμναστήρια στη χώρα, που σε συνδυασμό με τη δαπάνη σημαντικά μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας για φωτισμό από ξεπερασμένες τεχνολογίες, συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μηδαμινή μέριμνα από τους αρμόδιους φορείς για το οικολογικό αποτύπωμα των αθλητικών κτιριακών εγκαταστάσεων.

Συμπερασματικά, από όλα τα παραπάνω, ισχυροποιείται η πεποίθηση ότι τα αθλητικά κέντρα αποτελούν μια κατηγορία του τριτογενούς τομέα της οποίας η ενεργειακή συμπεριφορά πρέπει να αντιμετωπίζεται ξεχωριστά. Οι ποικίλες ειδικές συνθήκες που διέπουν τη λειτουργία τους, αλλά και τα ήδη υπάρχοντα, ενεργειακά ελλειπή, κατασκευαστικά/τεχνικά χαρακτηριστικά τους, υποδεικνύουν την άμεση ανάγκη λήψης αποφάσεων ενεργειακής αναβάθμισης και εξοικονόμησης. Παρόλο όμως, που οι μέθοδοι εξοικονόμησης και τα τεχνολογικά μέσα έχουν αναπτυχθεί σε σημείο ικανοποιητικών αποδόσεων, υπάρχουν ακόμα κάποια οικονομικά και κοινωνικά κυρίως εμπόδια που διαφοροποιούνται από χώρα σε χώρα, δυσχεραίνοντας την πορεία στο δρόμο της εξοικονόμησης.

Κεφάλαιο 3: Εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα

3.1 Αναδρομή στην πορεία της ενεργειακής εξοικονόμησης

Αφορμή για την ενασχόληση της κοινωνίας με την εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα αποτέλεσαν οι δύο πετρελαϊκές κρίσεις που διαδραματίστηκαν τη δεκαετία του 1970, σε συνδυασμό με τη δραματική αύξηση του κόστους της ενέργειας που ακολούθησε. Έτσι οι επιστημονικές κοινότητες στρέφουν την προσοχή τους στην επίλυση του προβλήματος και αναπτύσσουν την ιδέα του θερμικού ενεργειακού ισοζυγίου για τις κτιριακές εγκαταστάσεις, θέτοντας ως πρώτο στόχο τη μείωση της κατανάλωσης των συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, εξασφαλίζοντας ωστόσο ταυτόχρονα τις επιθυμητές και αναγκαίες εσωτερικές συνθήκες. Μερικά από τα μέτρα που εφαρμόστηκαν στην προσπάθεια αυτή ήταν η θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους, η μείωση των διαστάσεων των ανοιγμάτων και ο περιορισμός του αθέμιτου αερισμού, που όπως φάνηκε μετά από τις πρώτες αξιολογήσεις λίγα χρόνια μετά απέφεραν σημαντική μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας, όχι όμως σε επίπεδα που άφηναν χώρο και χρόνο για επανάπαυση.

Την επόμενη δεκαετία, διαδέχτηκαν συνεχείς μελέτες των πλέον υπαρχόντων πειραματικών δεδομένων και αναζητήσεις ολιστικών λύσεων που οδήγησαν στη σύλληψη του «κτιρίου χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας» και στην εδραίωση της έννοιας του βιοκλιματικού σχεδιασμού με τα πρώτα αποτελέσματα να προοιωνίζουν μια πολύ αποδοτική λύση. Το πιο σημαντικό γεγονός όμως που έλαβε χώρα την περίοδο αυτή και έμελλε να αλλάξει δραστικά την εικόνα στην εξοικονόμηση της ενέργειας ήταν η εισαγωγή του συγκεκριμένου αντικειμένου στις πανεπιστημιακές κοινότητες, βοηθώντας έτσι στην περαιτέρω ανάπτυξή του και καθιστώντας το θέμα παιδείας και πολιτισμού.

Η δεκαετία του 1990 που ακολούθησε χαρακτηρίστηκε από ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις, που σε συνδυασμό με ένα πλούσιο θεωρητικό υπόβαθρο επέφεραν μεγάλες αλλαγές στον τομέα της εξοικονόμησης της ενέργειας. Έτσι, η ανάλυση των ιδιοτήτων των υλικών με τη βοήθεια των υπολογιστικών μέσων προσομοίωσης οδήγησε αρχικά στη δημιουργία και μετέπειτα στην παραγωγή νέων ενεργειακά αποδοτικότερων υλικών, μειώνοντας την κατανάλωση σε βαθμό που υπακούει και τα πιο αυστηρά θεσμοθετημένα όρια. Όπως όμως ήταν αναμενόμενο σε μία καθόλα καταναλωτική κοινωνία, τις νέες εξελίξεις ακολούθησαν νέες απαιτήσεις με σημαντικότερες την αλόγιστη χρήση των κλιματιστικών μονάδων, που έγιναν αναπόσπαστο κομμάτι των κτιρίων των νοτιότερων κυρίως χωρών της Ευρώπης και τη συσσώρευση ποικίλων ηλεκτρονικών συσκευών, που επηρέασαν αρνητικά το ενεργειακό ισοζύγιο.

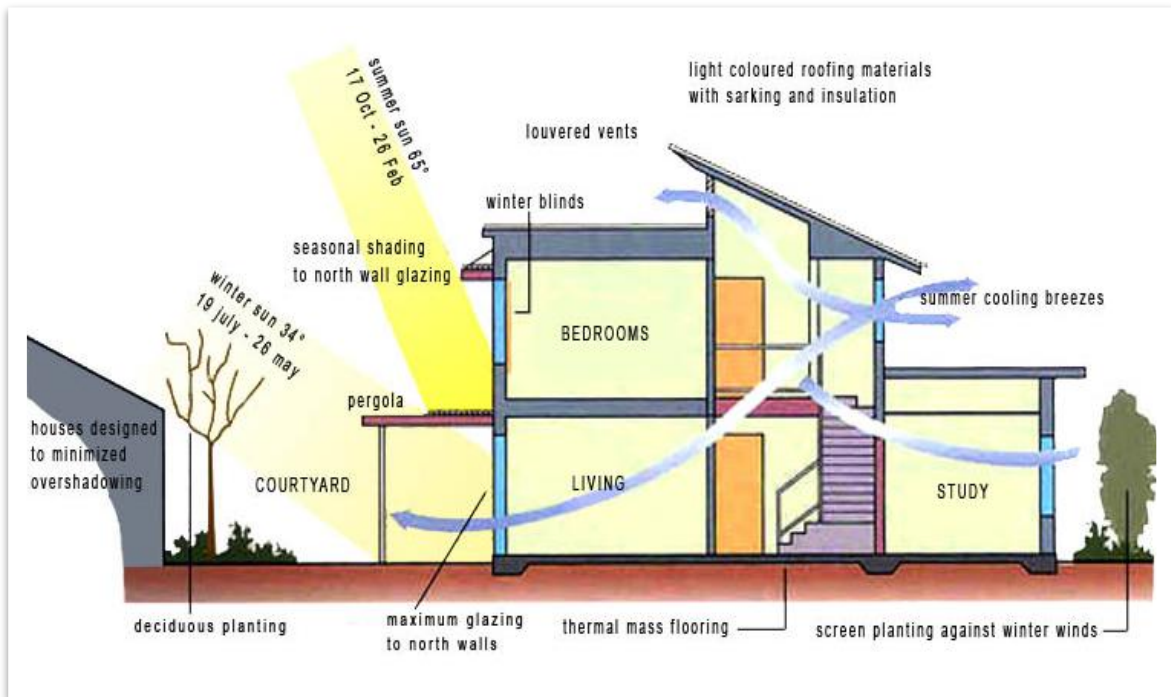
Φτάνοντας στο σήμερα, γίνεται προσπάθεια ώστε να επιτευχθεί ο κατάλληλος συνδυασμός τεχνολογικής ανάπτυξης και περιβαλλοντικής συνείδησης που θα καταστήσει τις κτιριακές εγκαταστάσεις λειτουργικές και ταυτόχρονα οικονομικές, τόσο για τον άνθρωπο όσο και για τη φύση. Βαδίζοντας σε αυτή τη λογική η χρήση περιβαλλοντικά φιλικών υλικών, η αξιοποίηση των ΑΠΕ για την κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών και η επιστροφή σε πιο απλοϊκές μεθόδους όπως η ηλιοπροστασία και ο φυσικός δροσισμός για την μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων είναι κάποιες από τις βασικές αρχές που πρέπει να ακολουθούνται σε κάθε νέο ή ανακαινιζόμενο κτίριο.

3.2 Μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα

Η παρούσα ενότητα έχει ως στόχο την ανάλυση των ενεργειακών τεχνικών που οφείλουν να εφαρμόζονται στον κτιριακό τομέα, τόσο από τους αρμόδιους μηχανικούς όσο και από τους ίδιους τους χρήστες των κτιρίων. Για το σκοπό αυτό κρίθηκε χρήσιμη η ομαδοποίηση των διαφόρων μεθόδων εξοικονόμησης στις τρεις ακόλουθες κατηγορίες: α) ενεργειακή προμελέτη, β) συστήματα ΑΠΕ και ορθολογική διαχείριση και γ) νομοθετικό πλαίσιο. Πιο αναλυτικά, η πρώτη κατηγορία εστιάζει στη σχεδίαση του εκάστοτε κτιρίου με εφαρμογή των βιοκλιματικών αρχών και στη διασφάλιση των συνθηκών άνεσης, η δεύτερη πραγματεύεται τη χρήση επιλεγμένων συστημάτων ΑΠΕ για την κάλυψη των λειτουργικών ενεργειακών αναγκών, ενώ στην τελευταία κατηγορία παρουσιάζεται συνοπτικά το νομοθετικό πλαίσιο που αναφέρεται στην ενέργεια στον κτιριακό τομέα.

3.2.1 Ενεργειακή προμελέτη: Βιοκλιματικός σχεδιασμός & Συνθήκες Άνεσης

Η εκ των προτέρων ορθολογική σχεδίαση ενός κτιρίου πραγματεύεται τη δυναμική αλληλεπίδραση που αναπτύσσεται μεταξύ των ατόμων, του χώρου και του περιβάλλοντος όπου πρόκειται να κατασκευαστεί με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και την ομαλή ένταξη της ανθρώπινης δραστηριότητας στο περιβάλλον. Εργαλείο για την υλοποίηση των παραπάνω αποτελεί ο βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων, δηλαδή ο σχεδιασμός που βασίζεται στο τοπικό κλίμα της εκάστοτε περιοχής και ταυτόχρονα εξασφαλίζει τις επιθυμητές εσωκλιματικές συνθήκες, με την όσο το δυνατό λιγότερη κατανάλωση ενέργειας από μηχανικά μέσα, με αποτέλεσμα λιγότερη χρήση ορυκτών καυσίμων, προστασία του περιβάλλοντος και οικονομική ελάφρυνση των κατοίκων [14].



Σχήμα 3.1: Ενδεικτική απεικόνιση βιοκλιματικού σχεδιασμού, πηγή: [15]

Βασικότερο σύμμαχο αλλά και την πιο αποτελεσματική στρατηγική του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν τα παθητικά συστήματα θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού που αντλούν ενέργεια από τις διαθέσιμες φυσικές πηγές και καλύπτουν με μηδενικές καταναλώσεις το μεγαλύτερο μέρος των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου και των κατοίκων του (Σχήμα 3.). Με τη χρήση λοιπόν παθητικών συστημάτων και ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις παρακάτω συνοψίζονται οι αρχές που διαμορφώνουν τη βιοκλιματική αρχιτεκτονική.

Κάθε κτιριακή κατασκευή που δομείται με βάση το βιοκλιματικό σχεδιασμό και επιδιώκει την εξασφάλιση του αναγκαίου θερμικού φορτίου για τη θέρμανση αυτού κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, στοχεύει σε τρία βασικά στοιχεία: τη συλλογή, την αποθήκευση και τη διατήρηση ενέργειας στο εσωτερικό του, με όσο το δυνατό καλύτερη απόδοση χωρίς την εμπλοκή ενεργοβόρων μέσων. Αρχικά, εστιάζοντας στη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε θερμότητα, καίριο ρόλο παίζουν η χωροθέτηση του κτιρίου στο οικόπεδο, ο προσανατολισμός, το σχήμα, τα γειτονικά κτίρια, ο χρωματισμός και τα ανοίγματα που επιλέγονται από το μελετητή, καθώς είναι αυτά που θα επιτρέψουν ή θα εμποδίσουν την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας και θα καθορίσουν το μέγεθος του ποσού αυτού. Η απόδοση των παθητικών συστημάτων θέρμανσης, τα οποία χαρακτηρίζονται ως συστήματα άμεσου, έμμεσου ή απομονωμένου κέρδους, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται και από τον τρόπο

τοποθέτησή τους αφού αποτελούν στρατηγικές βασισμένες στις ιδιότητες των υλικών και στις μεθόδους μεταφοράς θερμότητας διαμέσου αυτών.

Όπως για τη θέρμανση, έτσι και για τη ψύξη τα παθητικά συστήματα που αξιοποιούνται στο βιοκλιματικό σχεδιασμό έχουν ως στόχο την κάλυψη των απαραίτητων ενεργειακών αναγκών του κτιρίου χωρίς την παραμικρή επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Για το σκοπό αυτό, υιοθετούνται πλήθος στρατηγικών με φιλοσοφία που έγκειται στην απομάκρυνση των πλεοναζόντων θερμικών φορτίων και τη μεταφορά τους σε κάποια περιβαλλοντική πηγή χαμηλότερης θερμοκρασίας, καθώς σύμφωνα με τους νόμους της φύσης η θερμότητα ρέει αβίαστα από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα. Οι κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται τα παθητικά συστήματα δροσισμού είναι η ηλιοπροστασία, ο φυσικός αερισμός, τα συστήματα δροσισμού από το έδαφος ή με εξάτμιση ή ακτινοβολία.

Παρ' όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, για τις μεθόδους και τα συστήματα συλλογής θερμότητας πρέπει να τονιστεί ότι η μεμονωμένη εφαρμογή τους δεν επαρκεί για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, αν αυτή δεν ακολουθείται από την αποθήκευση, τη διατήρηση και την ορθή διανομή της στο εσωτερικό του κτιρίου. Αποθήκη θερμότητας στα κτίρια αποτελεί το κέλυφος και η εσωτερική τους τοιχοποιία, ενώ το μέγεθος και η αποτελεσματικότητά της καθορίζονται από τη θερμοχωρητικότητα των υλικών που ορίζει την ικανότητά τους να απορροφούν και να αποθηκεύουν θερμότητα, σε συνδυασμό με τη θερμική τους αδράνεια που καθυστερεί τη μεταφορά θερμότητας στον εσωτερικό χώρο μέχρις ότου η εξωτερική θερμοκρασία να ελαττωθεί σημαντικά [16]. Ωστόσο, η ανάγκη για αποθήκευση της περισσευούμενης ενέργειας συνοδεύεται από την όσο το δυνατόν καλύτερη διανομή της στους εσωτερικούς χώρους, γεγονός που καθορίζει τις θερμικές ζώνες των κτιρίων και επιτυγχάνεται με μεταφορά θερμότητας από φυσικό αερισμό, με ακτινοβολία από τους τοίχους ή με τη βοήθεια αγωγών και ανεμιστήρων.

Ένα ακόμα θέμα που πραγματεύεται ο βιοκλιματικός σχεδιασμός και δεν πρέπει να παραληφθεί είναι η προσπάθεια για αντικατάσταση του τεχνητού φωτισμού με φωτισμό που πηγάζει αποκλειστικά από φυσικές πηγές, γεγονός που εξαρτάται άμεσα από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα κάθε περιοχής. Στο πλαίσιο αυτό, υπάρχουν αρκετές τεχνικές σχεδιασμού όπως η δημιουργία κατάλληλα διαμορφωμένων ανοιγμάτων, τόσο στην οροφή όσο και στο κάθετο κτιριακό κέλυφος, σε συνδυασμό με τη χρήση υαλοπινάκων και χρωματισμών από υλικά με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης, όπως επίσης συχνή είναι και η χρήση ανακλαστικών περσίδων και ανακλαστήρων φωτισμού που τοποθετούνται εσωτερικά ή εξωτερικά των ανοιγμάτων και οδηγούν ομοιόμορφα την προσπίπτουσα ακτινοβολία στο εσωτερικό του κτιρίου, μειώνοντας την ανάγκη ηλεκτρισμού έως και κατά 30%.

Τέλος, κατά το σχεδιασμό κάθε κτιρίου πρέπει να μελετάται και ο χώρος από τον οποίο περιβάλλεται, δηλαδή τα κτίρια με τα οποία συνορεύει, ειδικά σε περιπτώσεις αστικών κέντρων. Πολλοί μελετητές επιλέγουν να αγνοούν το κομμάτι αυτό και να αντιμετωπίζουν το κτίριο ως ξεχωριστή και απομονωμένη οντότητα, όμως εμπειριστατωμένες έρευνες έχουν δείξει ότι η σφαιρική μελέτη μπορεί να μετατρέψει τους φαινομενικά αρνητικούς παράγοντες σε θετικούς, όπως η σκίαση και η ηλιοπροστασία το καλοκαίρι ή η αποφυγή ανέμων και η μεταφορά θερμότητας το χειμώνα.

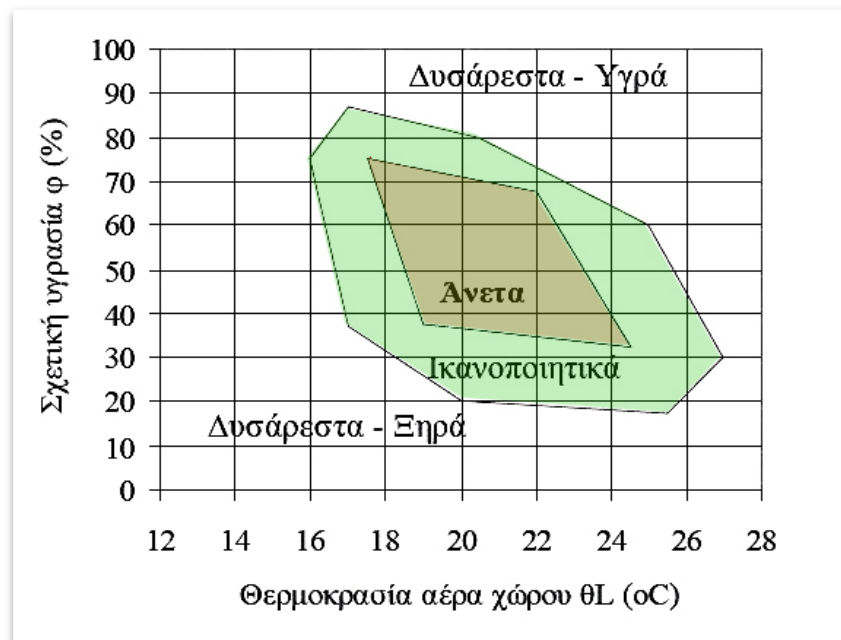
Ωστόσο, η βιοκλιματική αρχιτεκτονική δεν μπορεί να θεωρηθεί πανάκια για την ενεργειακή εξοικονόμηση στον κτιριακό τομέα, αφού δεν είναι ρεαλιστικά δυνατή η πλήρης κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων με τη μεμονωμένη εφαρμογή της. Για παράδειγμα, τις νυχτερινές ώρες αναπόφευκτη κρίνεται η ανάγκη για χρήση μηχανικών μέσων που συμβάλλουν αρνητικά στο θερμικό ισοζύγιο, κυρίως σε κτίρια του τριτογενούς τομέα, ενώ σε περιοχές με ψυχρά κλίματα, η περιορισμένη ηλιοφάνεια δεν επαρκεί για τη θέρμανση του εκάστοτε κτιρίου. Εστιάζοντας όμως στην ευφυή και ορθολογική χρήση των επιπρόσθετων ηλεκτρομηχανικών συστημάτων, σε συνδυασμό με τα παθητικά συστήματα μπορεί να επιτευχθεί σημαντική ελάττωση των ενεργειακών δαπανών.

3.2.1.1 Παράμετροι σχεδιασμού - Συνθήκες Άνεσης

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός όπως προκύπτει από την ετυμολογία της λέξης, αλλά εξηγήθηκε εκτενώς και προηγουμένως, συνδέεται τόσο με τις εξωτερικές κλιματικές ή περιβαλλοντικές συνθήκες όσο και με τις εσωτερικές συνθήκες άνεσης των ατόμων. Για το λόγο αυτό, παρακάτω γίνεται μια σύντομη ανάλυση όλων των παραμέτρων που επιδρούν καθοριστικά στη λήψη αποφάσεων για τον ορθολογικό σχεδιασμό του κτιρίου.

Με την έκφραση «συνθήκες άνεσης» των κατοίκων ή των χρηστών ενός κτιρίου ορίζονται τρεις βασικές συνθήκες: η θερμική άνεση, η οπτική άνεση και η άνεση που σχετίζεται με την ποιότητα του αέρα. Αναφορικά με τη θερμική άνεση είναι η κατάσταση εκείνη στην οποία το άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή και καθορίζεται από περιβαλλοντικούς και προσωπικούς παράγοντες [14]. Η συνήθης θερμοκρασία του ανθρωπίνου σώματος όταν αυτό βρίσκεται σε ηρεμία είναι 36,8°C, είναι δηλαδή υψηλότερη από τις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό ενός κτιρίου και επομένως, σύμφωνα με τους νόμους που διέπουν τη φύση, δημιουργείται μεταφορά θερμότητας από τον άνθρωπο προς το περιβάλλον, το ποσό της οποίας διαφέρει ανάλογα με το μεταβολισμό του ατόμου, την ένδυση, την υγρασία και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντα χώρου όπως και από ορισμένους άλλους παράγοντες (Σχήμα 3.2). Η θερμική άνεση

λοιπόν σχετίζεται με την ευκολία που μπορεί το ανθρώπινο σώμα να ισορροπήσει σε μία σταθερή θερμοκρασία κατά τη διάρκεια των διαφόρων διεργασιών μεταφοράς ενέργειας.



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα θερμικής άνεσης συναρτήσει θερμοκρασίας (°C) και σχετικής υγρασίας (%), πηγή: [17]

Οι συνθήκες που καθορίζουν την ποιότητα και την ποσότητα της έντασης του φωτισμού σε ένα χώρο και εξαρτώνται από τη λειτουργία του χώρου αυτού συνθέτουν την έννοια της οπτικής άνεσης. Πιο συγκεκριμένα, το ανθρώπινο μάτι δέχεται ποσότητες φωτός είτε άμεσα από φωτεινές πηγές, είτε έμμεσα από την ακτινοβολία που εκπέμπουν τα σώματα, καταφέροντας τελικά να προσαρμόζεται σε μία μέση ένταση φωτισμού του οπτικού του πεδίου από την οποία εξαρτάται και η οπτική άνεση του ατόμου. Αν η ένταση του φωτός σε ένα χώρο είναι πολύ μεγαλύτερη από τη μέση ένταση φωτισμού, προκαλείται θάμβωση που δημιουργεί αίσθημα δυσφορίας στο άτομο, ενώ στην αντίθετη περίπτωση το επίπεδο λαμπρότητας δεν επαρκεί και το άτομο δυσκολεύεται και πάλι να επιτελέσει την εργασία του. Συμπερασματικά και σε αυτήν την περίπτωση το ζήτημα της άνεσης έγκειται στην επίτευξη ισορροπίας.

Τελευταία συνθήκη, αλλά εξίσου σημαντική για τη διασφάλιση των απαραίτητων συνθηκών άνεσης, είναι η ποιότητα του αέρα που ρέει σε ένα κτίριο και εξαρτάται από τη μεταφορά και τη παραγωγή ρύπων από τον εξωτερικό ή εσωτερικό αέρα [16]. Η ποσότητα των ρύπων που παράγονται ποικίλει ανάλογα με τις δραστηριότητες στις οποίες επιδίδονται οι χρήστες του κτιρίου, δηλαδή εάν καπνίζουν, τα καθαριστικά προϊόντα που χρησιμοποιούν ή τις συσκευές που θέτουν σε λειτουργία, αλλά συνδέονται

άμεσα και με τα υλικά από τα οποία δομείται το κτίριο, καθώς μελέτες έχουν δείξει ότι κάποια υλικά εκπέμπουν ρύπους που σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα υγείας. Λύση στο παραπάνω πρόβλημα αποτελεί ο συχνός αερισμός των χώρων, ανάλογα πάντα και με τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες και ο κατάλληλος σχεδιασμός και χρήση του κτιρίου.

Από όλα τα παραπάνω, είναι φανερό ότι το κοινό σημείο για την επίτευξη των κατάλληλων συνθηκών που καθορίζουν και το σχεδιασμό του εκάστοτε κτιρίου είναι η μελέτη του κλίματος και του φυσικού περιβάλλοντος στο οποίο αυτό θα κατασκευαστεί. Έτσι, τα στοιχεία του κλίματος που πρέπει σε κάθε περίπτωση νέου οικοδομήματος να εξετάζονται είναι η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα ως διανυσματικό μέγεθος και η ηλιακή ακτινοβολία σε μηνιαία βάση, καθώς είναι και αυτά που θα δημιουργήσουν τόσο τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά όσο και τα συστήματα που απαιτούνται για την κάλυψη των λειτουργικών του αναγκών. Ωστόσο, εξίσου σημαντική είναι και η μορφολογία του οικοπέδου που συμβάλλει ταυτόχρονα με το κλίμα στην χωροθέτηση του κτιρίου, καθώς για παράδειγμα, η πιθανή βλάστηση προκαλεί επιθυμητή ή ανεπιθύμητη σκίαση ανάλογα με τις εποχές, ή το ανάγλυφο του εδάφους καθορίζει τα υλικά που χρησιμοποιούνται, ή ακόμα και η θέα σε πολλές περιπτώσεις είναι ο παράγοντας με τον οποίο επιλέγεται η διαρρύθμιση των χώρων.

Έχοντας αναλύσει τους κυριότερους παράγοντες που διαμορφώνουν το βιοκλιματικό σχεδιασμό ενός κτιρίου, στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι ο σχεδιασμός κάθε κτιρίου έγκειται και σε έναν ακόμα αστάθμητο παράγοντα που είναι ο άνθρωπος, αφού τόσο η ψυχολογία όσο και η βιολογία διαφέρουν από άτομο σε άτομο και μεταβάλλουν τις συνθήκες άνεσης όπως αυτές ορίστηκαν παραπάνω και άρα μεταβάλουν το τελικό αποτέλεσμα του κτιρίου. Συνεπώς ο βέλτιστος σχεδιασμός είναι ένα τέλειο συνονθύλευμα ανθρώπου, κλίματος και περιβάλλοντος.

3.2.2 Συστήματα ΑΠΕ και ορθολογική διαχείριση

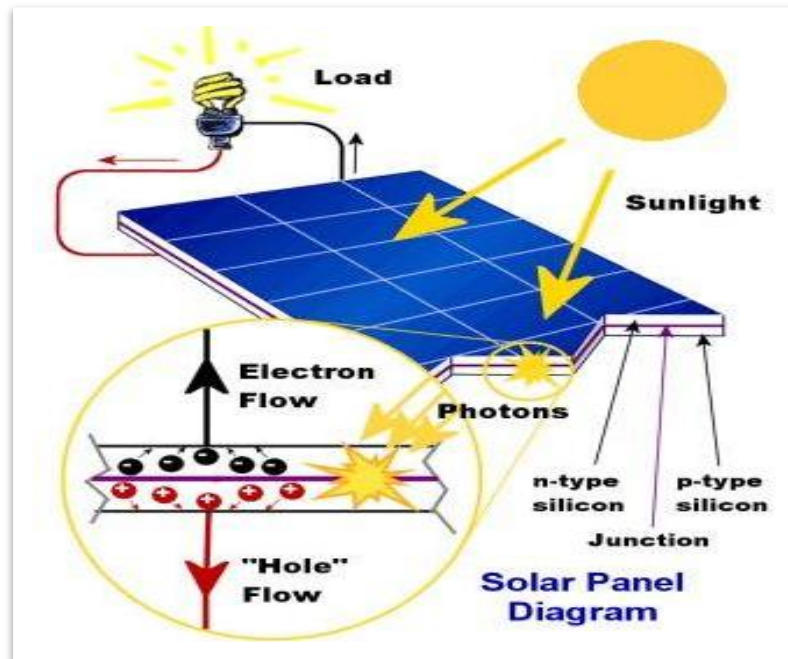
Έχοντας αναλύσει τον τρόπο εξοικονόμησης ενέργειας που επικεντρώνεται στην εκ των προτέρων μελέτη, την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απαιτήσεων και την παθητική κάλυψη ενός μέρους αυτών, στη συνέχεια παρουσιάζονται τα επιλεγόμενα συστήματα για την κάλυψη των συνολικών ενεργειακών αναγκών κατά τη λειτουργία των εκάστοτε κτιριακών εγκαταστάσεων. Για το σκοπό αυτό η χρήση συστημάτων ΑΠΕ αποτελεί την πιο αποτελεσματική στρατηγική εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς εξασφαλίζει τα ζητούμενα ενεργειακά ποσά χωρίς καμία επιβάρυνση του περιβάλλοντος ή εκμετάλλευση ορυκτών καυσίμων. Ταυτόχρονα, μετά την απόσβεση του αρχικού

επενδυτικού κεφαλαίου, τα λειτουργικά έξοδα των συστημάτων ΑΠΕ είναι σχεδόν μηδενικά, ενώ με τον κατάλληλο σχεδιασμό εφικτή είναι σε μεγάλο βαθμό η επίτευξη ενεργειακής αυτονομίας.

Σε κάθε κτίριο οι ενεργειακές ανάγκες που πρέπει να καλυφθούν ανάγονται σε ανάγκες θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης, ή αλλιώς ανάγκες θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Μέχρι πριν λίγες δεκαετίες καθολική ήταν η χρήση ορυκτών καυσίμων, τόσο για την παραγωγή θερμικής ενέργειας, χρησιμοποιώντας ως μέσο μετατροπής κυρίως λέβητες πετρελαίου, όσο και για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, που στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τη λειτουργία κλιματιστικών μονάδων, ηλεκτρικών θερμοσιφώνων και φωτισμού. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται κάποια επιλεγμένα συστήματα ΑΠΕ που μπορούν να αντικαταστήσουν τα παραπάνω συστήματα, παράγοντας θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια διαμέσου της ηλιακής ακτινοβολίας και των υπόγειων θερμών ρευμάτων.

➤ Φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι διατάξεις οι οποίες μετατρέπουν την ηλιακή φωτεινή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια στη μορφή συνεχούς ρεύματος, που μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί άμεσα, να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο ρεύμα, ή να αποθηκευτεί για μελλοντική χρήση. Η λειτουργία των Φ/Β συστημάτων βασίζεται σε πολλαπλές στρώσεις ημιαγωγών, που σε συνδυασμό με μια ενσωματωμένη δίοδο μεγάλης επιφάνειας (p-n) μετασχηματίζει τις φωτεινές δέσμες σε ανοδικό και καθοδικό ρεύμα, το οποίο στη συνέχεια μεταφέρεται μέσω δικτύου μεταλλικών επαφών στο εμπρόσθιο μέρος της διάταξης, ενώ το κύκλωμα κλείνει με μία επαφή στο πίσω μέρος αυτής (Σχήμα 3.3). Συνακόλουθα, σημαντική είναι η παρουσία του αντιανακλαστικού επιχρίσματος που ελαχιστοποιεί τις απώλειες ανάκλασης από τους ημιαγωγούς, επιτρέποντας τη μετατροπή του μεγαλύτερου μέρους της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Ωστόσο, για τη λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος απαραίτητα είναι και τα βοηθητικά εξαρτήματα για τη μετατροπή, την αποθήκευση και τη διανομή της παραγόμενης ενέργειας. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι ο μετατροπέας συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος, οι συσσωρευτές αποθήκευσης και φόρτισης, η εφεδρική πηγή ενέργειας, το κέντρο ελέγχου, τα καλώδια και τα στηρίγματα. Ανάλογα λοιπόν με τον τρόπο σύνδεσης όλων των επιμέρους εξαρτημάτων, υπάρχει δυνατότητα δημιουργίας αυτόνομου συστήματος συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος, υβριδικού ή συνδεδεμένου στο δίκτυο, ώστε να εξάγεται/εισάγεται το πλεόνασμα/έλλειμμα της ενέργειας αντίστοιχα.



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα λειτουργίας φωτοβολταϊκού στοιχείου, πηγή: [18]

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της χρήσης φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις έναντι των συμβατικών είναι [19]:

- ✓ Δεν παράγονται επιβλαβείς ρύποι στην ατμόσφαιρα. Απεναντίας η ενέργεια που παράγει κάθε τετραγωνικό μέτρο ενός Φ/Β στοιχείου στη διάρκεια ζωής του εξοικονομεί περίπου δύο τόνους CO₂.
- ✓ Κατά την παρασκευή τους δεν εκπέμπονται τοξικά αέρια, ενώ η απόσβεση της ενέργειας που χρησιμοποιείται πραγματοποιείται μέσα σε 2-5 χρόνια.
- ✓ Η τοποθέτησή τους είναι απλή και η διάρκεια ζωής τους υπολογίζεται σε 20-25 χρόνια, με εύκολη και οικονομική συντήρηση.
- ✓ Είναι αθόρυβα
- ✓ Μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για απομακρυσμένες περιοχές από το τοπικό δίκτυο, καθιστώντας ηλεκτρικά αυτόνομο το κτίριο, ενώ αποτελούν λύση στις πιθανές γενικές διακοπές ρεύματος.
- ✓ Μετά την απόσβεση του αρχικού επενδυτικού κεφαλαίου είναι σχεδόν ανέξοδα
- ✓ Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεταπώληση ενέργειας για επιπλέον οικονομικό κέρδος.

Η επιλογή του κατάλληλου Φ/Β συστήματος έγκειται στις ημερήσιες ενεργειακές ανάγκες του εκάστοτε κτιρίου και των χρηστών αυτού και πραγματοποιείται με βάση την ελάχιστη μηνιαία ακτινοβολία της περιοχής, η οποία στη συνέχεια ανάγεται σε ημερήσια.

Επειδή όμως τους χειμερινούς μήνες οι ώρες ηλιοφάνειας είναι σημαντικά λιγότερες σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες του έτους, ο μελετητής πρέπει να αποφασίσει, ανάλογα με το ποσοστό κάλυψης στο οποίο αποσκοπεί, με βάση ποιους μήνες θα υπολογίσει την ζητούμενη επιφάνεια Φ/Β στοιχείων. Επίσης, η μεγιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος εξασφαλίζεται όταν η φωτεινή ακτινοβολία προσπίπτει με την κατάλληλη κλίση και κατεύθυνση στην εγκατάσταση. Για το λόγο αυτό, για ετήσια λειτουργία συνήθως επιλέγεται κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, ενώ σε περιπτώσεις χρήσης κυρίως καλοκαιρινούς ή χειμερινούς μήνες αντίστοιχα ρυθμίζεται $\pm 10^\circ$ από αυτή. Τέλος, αναφορικά με τον τύπο του στοιχείου, η επιλογή γίνεται με βάση την αποδοτικότητα, το χρόνο ζωής, τη διαθέσιμη επιφάνεια, το επενδυτικό κόστος αλλά και την εμφάνιση των Φ/Β συστημάτων. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.1, τα μονοκρυσταλλικά Φ/Β που έχουν μεγάλη αποδοτικότητα και χρόνο ζωής απαιτούν λιγότερη επιφάνεια εγκατάστασης, αλλά έχουν μεγαλύτερο αρχικό κόστος και είναι λιγότερο καλαίσθητα σε σχέση με τα συστήματα άμορφου πυριτίου, που μπορούν να κατασκευαστούν σε διάφορα χρώματα, έχουν μικρότερη απόδοση και απαιτούν μεγαλύτερη επιφάνεια.

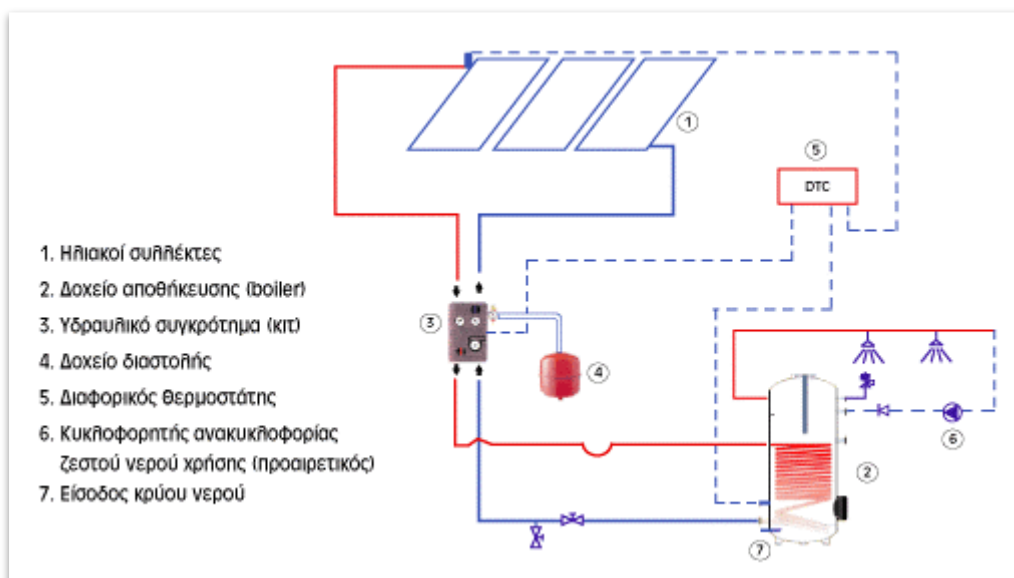
Πίνακας 3.1: Τεχνολογίες φωτοβολταϊκών συστημάτων, πηγή: [19]

Τύπος στοιχείου	Εμφάνιση	Χρώμα	Αποδοτικότητα	Ανθεκτικότητα
Μονοκρυσταλλικά	κυκλικά πολυγωνικά σχήματα	μαύρο-μπλε	10-16	25-30
Πολυκρυσταλλικά	απαστράπτουσα κρυσταλλική επιφάνεια	μαύρο-μπλε	8-12	20-25
Άμορφα	θαμπή επιφάνεια	κόκκινο πράσινο πορτοκαλί μαύρο-μπλε κίτρινο	4-8	15-20

➤ **Ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού**

Μια ακόμα κατηγορία συστημάτων ΑΠΕ που λειτουργεί αξιοποιώντας την ηλιακή ακτινοβολία είναι τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού. Οι διατάξεις αυτές μετατρέπουν την καθαρή ηλιακή ενέργεια σε θερμική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια διαχέεται διαμέσου αγωγών αέρα ή νερού και έχει τη δυνατότητα είτε να χρησιμοποιηθεί άμεσα είτε να αποθηκευτεί για μελλοντική χρήση. Οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού, ακολουθούν τη φυσική ροή ενέργειας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο μέσο, χωρίς καμία χημική μετατροπή ή εκπομπή ρύπων και για το

λόγο αυτό τα καθιστούν απόλυτα φιλικά προς το περιβάλλον. Σημειώνεται ότι η αντικατάσταση συμβατικών συστημάτων παραγωγής ΖΝΧ με ηλιακά, εξοικονομεί έως και 6% των ετήσιων εκπομπών CO₂ μιας χώρας [19]. Από οικονομική σκοπιά, η διάρκεια ζωής τέτοιου είδους συστημάτων κυμαίνεται από 20-30 έτη, με τακτική συντήρηση μικρού κόστους, ενώ το αρχικό επενδυτικό κεφάλαιο εξαρτάται από τα επιμέρους λειτουργικά συστήματα που επιλέγονται. Συνακόλουθα, όπως σε όλα τα συστήματα ΑΠΕ μετά την απόσβεση του κόστους αγοράς και εγκατάστασης τα έξοδα είναι σχεδόν μηδενικά.



Σχήμα 3.4: Διάγραμμα ηλιοθερμικού συστήματος παραγωγής ΖΝΧ, πηγή: [20]

Πιο αναλυτικά, κάθε ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού αποτελείται από τον ηλιακό συλλέκτη, το σύστημα μετάδοσης, το σύστημα διανομής και το σύστημα αποθήκευσης (Σχήμα 3.4). Ανάλογα λοιπόν με την επιλογή και το συνδυασμό των παραπάνω, επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων για την παραγωγή ΖΝΧ. Ξεκινώντας από τον ηλιακό συλλέκτη, συγκροτείται από ένα διαφανές κάλυμμα (συνήθως σκληρυμένο γυαλί), την απορροφητική πλάκα που έχει μελανό χρώμα για μέγιστη απόδοση, τους αγωγούς μεταφοράς και τέλος το περίβλημα. Η συνολική αποδοτικότητα του συλλέκτη έγκειται στην επιλογή υλικών, που διευκολύνουν τη μεταφορά θερμότητας, στην άρτια κατασκευή και στη μόνωση των σημείων που επιτρέπουν μη επιθυμητές απώλειες. Τα πιο διαδεδομένα είδη ηλιακών συλλεκτών καταγράφονται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά είδη τεχνολογιών ηλιακών συλλεκτών, πηγή: [21]

Τεχνολογία Συλλέκτη	Κόστος	Απόδοση (kWh/m ² έτος)	Τυπική Χρήση
Χωρίς κάλυμμα Επίπεδος	χαμηλό μεσαίο	300 650	θέρμανση πισίνας θέρμανση πισίνας, θέρμανση ZNX
Επίπεδος-επιλεκτικός	μεσαίο	700	θέρμανση χώρου, θέρμανση ZNX, ηλιακός κλιματισμός
Κενού	υψηλό	850	θέρμανση χώρου, ηλιακός κλιματισμός

Τα συστήματα μετάδοσης και διανομής αποτελούν ένα λίγο πιο σύνθετο τεχνικά θέμα και για το λόγο αυτό σημαντική είναι η κατανόηση της λειτουργίας τους πριν την επιλογή, ανάλογα πάντα με τις απαιτήσεις του κτιρίου. Η μεταφορά του νερού από το συλλέκτη στη δεξαμενή αποθήκευσης ή στην τελική χρήση επιτελείται είτε θερμοσιφωνικά (με την εκμετάλλευση της βαρύτητας), είτε εξαναγκασμένα (με τη χρήση βοηθητικής αντλίας). Ο πρώτος τρόπος είναι πιο οικονομικός και απαιτεί προσεκτική εγκατάσταση ώστε να διευκολύνεται η φυσική κίνηση του ρευστού, όμως δεν έχει υψηλή αποδοτικότητα σε ημέρες μικρής ηλιοφάνειας και δεν ελέγχει περιπτώσεις υπερθέρμανσης. Αντίθετα, η εξαναγκασμένη κυκλοφορία προσφέρει καλύτερο έλεγχο απωλειών και υπερθέρμανσης, ενδείκνυται σε περιπτώσεις παγετού, δίνει ευελιξία στον σχεδιασμό και στην τοποθέτηση, μπορεί να τροφοδοτεί περισσότερους από έναν αποθηκευτικούς χώρους, αλλά έχει μεγαλύτερο κόστος και χρειάζεται προσοχή στις μετατροπές συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος. Όσον αφορά τη διανομή, μπορεί να γίνει είτε άμεσα με ροή μέσα από τον ηλιακό συλλέκτη, προσφέροντας καλύτερη απόδοση αλλά δυσκολότερη συντήρηση, χωρίς να ενδείκνυται σε ψυχρά κλίματα, είτε έμμεσα με ξεχωριστό υδραυλικό σύστημα που επιτρέπει την ανάπτυξη μεγαλύτερων θερμοκρασιών και τη χρήση αντιψυκτικών και αντιδιαβρωτικών με μεγαλύτερο κόστος.

Ο αποθηκευτικός χώρος, που επιτρέπει τη χρήση του παραγόμενου ζεστού νερού, μπορεί να είναι 24ωρης ή εποχικής αποθήκευσης, ενώ ενδέχεται να λειτουργήσει και ως μέσο προθέρμανσης του νερού σε κάποιο υπάρχον οικιακό σύστημα. Βασικό κριτήριο για την οριστική απόφαση του συστήματος είναι η ημερήσια κατανάλωση ZNX, καθώς θα καθορίσει το μέγεθος του αποθηκευτικού δοχείου και συνακόλουθα την ζητούμενη επιφάνεια του συλλέκτη.

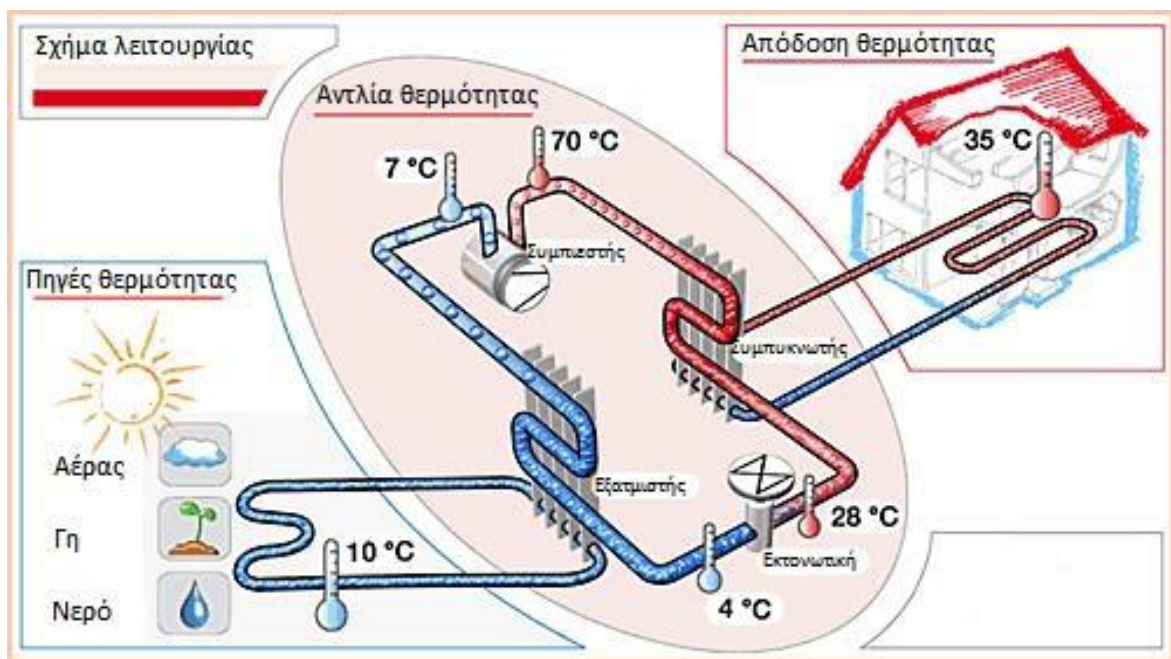
Το τελευταίο σημείο που ολοκληρώνει την άρτια λειτουργία ενός ηλιακού συστήματος θέρμανσης νερού είναι η εγκατάστασή του με τρόπο που να μεγιστοποιεί την αποδοτικότητά του. Έτσι, επιλέγεται τοποθεσία που δεν σκιάζεται από διπλανά εμπόδια και εγκαθίσταται με νότιο προσανατολισμό και κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος της

περιοχής (για ετήσια χρήση, ενώ για χειμερινή χρήση -10° και για καλοκαιρινή $+10^{\circ}$), ώστε να αξιοποιείται όσο το δυνατόν περισσότερο η άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

➤ Γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης

Ως γεωθερμικά συστήματα ορίζονται οι διατάξεις που αξιοποιούν την αποθηκευμένη θερμική ενέργεια του εσωτερικού της γης για την κάλυψη των ζητούμενων θερμικών αναγκών ενός κτιρίου. Η εν λόγω αποθηκευμένη ενέργεια προέρχεται από τη διαρκή απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας, που διαχέεται στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους βάθους έως και 150m, όπου η θερμοκρασία κυμαίνεται από $20-25^{\circ}\text{C}$ [22]. Για το λόγο αυτό, τα συστήματα αυτά ονομάζονται ακριβέστερα συστήματα αβαθούς γεωθερμίας και συγκαταλέγονται στα συστήματα ΑΠΕ, αφού στην πραγματικότητα χρησιμοποιούν την αέναη ηλιακή ενέργεια του πλανήτη.

Ένα ολοκληρωμένο γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από μια γεωθερμική αντλία, έναν γεωεναλλάκτη και την εσωτερική εγκατάσταση του κτιρίου (Σχήμα 3.5). Η διαδικασία που επιτελείται για την απαιτούμενη θέρμανση τους χειμερινούς μήνες ξεκινάει με την μετάδοση της αποθηκευμένης θερμικής ενέργειας από το έδαφος στο ρευστό του γεωεναλλάκτη, το οποίο στη συνέχεια περνάει από την αντλία αυξάνοντας τη θερμοκρασία του στα επιθυμητά όρια και τέλος καταλήγει στα τερματικά συστήματα διανομής του κτιρίου. Παρόμοια, η χρήση γεωθερμίας για την κάλυψη των αναγκών ψύξης λειτουργεί αντίστροφα, απορροφώντας φορτίο υψηλής θερμοκρασίας από το εκάστοτε κτίριο διαμέσου της γεωθερμικής αντλίας και επιστρέφοντάς το στο ψυχρότερο έδαφος.



Σχήμα 3.5: Διάγραμμα λειτουργίας γεωθερμικού συστήματος, πηγή: [23]

Οι παράμετροι που διαμορφώνουν την αποδοτικότητα του συστήματος αβαθούς γεωθερμίας αφορούν ως επί των πλείστων στην ποιότητα του εδάφους και το είδος των υπόγειων ταμιευτήρων θερμότητας. Για παράδειγμα, τα υγρά εδάφη μεταφέρουν ευκολότερα θερμότητα από και προς τον γεωεναλλάκτη, ενώ τα αργιλώδη εδάφη είναι αποδοτικότερα από τα αμμώδη. Αναφορικά με τους ταμιευτήρες θερμότητας, διακρίνονται σε ταμιευτήρες εδάφους, πετρωμάτων, λιμνών, ποταμών και θαλάσσης, οι οποίοι θερμαίνονται σε κάθε περίπτωση από τον ήλιο. Έτσι, εφόσον υπάρχουν οι κατάλληλες προϋποθέσεις, προτιμάται η άντληση θερμότητας από υγρούς ταμιευτήρες, καθώς το νερό είναι καλύτερος αγωγός θερμότητας από το έδαφος και άρα το γεωθερμικό σύστημα στο σύνολό του είναι πιο αποδοτικό.

Επίσης, αναμφισβήτητη η επιλογή των υλικών και του τρόπου εγκατάστασης όλων των επιμέρους εξαρτημάτων διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επιτυχή χρήση του γεωθερμικού συστήματος. Αρχικά, η ισχύς της αντλίας καθορίζεται από τις απαιτήσεις θέρμανσης/ψύξης του κτιρίου με βάση την οποία στη συνέχεια υπολογίζεται το μήκος του γεωεναλλάκτη, η διάμετρος των αγωγών αλλά και ο αριθμός των γεωτρήσεων. Τέλος, επιλέγονται τερματικές μονάδες τεχνολογίας χαμηλών θερμοκρασιών για μέγιστη απόδοση.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των γεωθερμικών συστημάτων παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω [22]:

- ✓ Εξοικονόμηση κατά 75% της ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση και κατά 40% για ψύξη ενός κτιρίου.
- ✓ Εξοικονόμηση κατά 25-75% των ετήσιων οικονομικών δαπανών
- ✓ Δεν εκπέμπονται αέριοι ρύποι, καθιστώντας το σύστημα περιβαλλοντικά φιλικό
- ✓ Θέρμανση/ψύξη ανεξάρτητη από της καιρικές συνθήκες
- ✓ Χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης
- ✓ Αθόρυβη λειτουργία
- ✓ Οικονομία χώρου εγκατάστασης εντός του κτιρίου

Από όλα τα παραπάνω είναι φανερό ότι η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στο δρόμο της εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα, με τα πλεονεκτήματα των γεωθερμικών συστημάτων να υπερτερούν κατά πολύ των μειονεκτημάτων τους.

3.2.2.1 Ορθολογική διαχείριση

Ωστόσο, μελετώντας σφαιρικά το θέμα, σημαντικό ρόλο για την επιτυχία ενός ολοκληρωμένου κτιριακού σχεδίου που υπακούει στις αρχές εξοικονόμησης ενέργειας υιοθετώντας τα παθητικά συστήματα και τα συστήματα ΑΠΕ για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών, διαδραματίζει η εγκατάσταση ενός συστήματος ελέγχου υπεύθυνο για την εξασφάλιση της βέλτιστης και ταυτόχρονα συντονισμένης λειτουργίας τους. Για το σκοπό αυτό, αρχικά γίνεται η επιλογή και ο προγραμματισμός του κατάλληλου συστήματος ελέγχου που εξαρτάται από τη χρήση του κτιρίου και το είδος των συστημάτων τα οποία χρησιμοποιεί, ενώ καθοριστικό παράγοντα για την αποδοτικότητά του αποτελεί η σωστή ερμηνεία των πληροφοριών που συλλέγονται από τους εκάστοτε ανιχνευτές. Στη συνέχεια, ακολουθούν αυτοματοποιημένες ενέργειες από τα στοιχεία δράσης όπως για παράδειγμα το άνοιγμα των παραθύρων, που θα διευκολύνει το φυσικό αερισμό, ή τη μείωση του φωτισμού ανάλογα με τις απαιτήσεις φωτεινότητας, ενώ παράλληλα συλλέγονται υπολογιστικά δεδομένα βοηθώντας στον έλεγχο της ενεργειακής διαχείρισης. Τέλος, σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να υπονοηθεί ότι το σύστημα αυτό τείνει να εκμηδενίσει την ανθρώπινη συμμετοχή στη λήψη των αποφάσεων για τη λειτουργία του προσωπικού ή εργασιακού του χώρου, και για το λόγο αυτό τονίζεται ότι ο άνθρωπος είναι αυτός που ελέγχει και προσαρμόζει το σύστημα σύμφωνα με τις δικές του ανάγκες. Είναι λοιπόν φανερό, ότι η ουσιαστική εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται μόνο με την προσωπική συνειδητοποίηση της αξίας της και τη βούληση του καθενός να συμβάλει ενεργά στην κατεύθυνση αυτή.

3.2.3 Νομοθετικό πλαίσιο ενεργειακής εξοικονόμησης στον κτιριακό τομέα

Όπως σχεδόν σε κάθε πρόβλημα έτσι και σε αυτό που έγκειται στην εξοικονόμηση ενέργειας, λύση δεν αποτελεί η μεμονωμένη προσπάθεια ενός ατόμου ή ενός συγκεκριμένου τομέα, αλλά η συλλογική συνειδητοποίηση της αναγκαιότητας επίλυσης αυτού και η οργανωμένη δράση. Για το λόγο αυτό, αναφορικά με την ενέργεια στον κτιριακό τομέα σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι νόμοι, οι οδηγίες και οι αποφάσεις που πλαισιώνουν την προσπάθεια ορθολογικής χρήσης της ενέργειας με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος και την εξυγίανση της οικονομίας.

Επειδή όμως το δίκαιο της ενέργειας δε διαμορφώνεται εξολοκλήρου με εθνική πρωτοβουλία, αλλά καθορίζεται από τις κοινές αποφάσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, στη συνέχεια γίνεται συνοπτική αναδρομή στο νομοθετικό πλαίσιο και τους στόχους της

Ευρωπαϊκής Ένωσης για την εξοικονόμηση ενέργειας, ενώ έπονται οι αντίστοιχες εθνικές νομοθετικές δράσεις στην κατεύθυνση της ευρωπαϊκής εναρμόνισης.

Το πρώτο «Σχέδιο δράσης για την ενεργειακή απόδοση: αξιοποίηση του δυναμικού» μπήκε σε εφαρμογή το 2006. Στόχος του σχεδίου δράσης ήταν η κινητοποίηση του ευρύτερου κοινού, των φορέων χάραξης πολιτικής και των παραγόντων της αγοράς, καθώς και ο μετασχηματισμός της εσωτερικής αγοράς ενέργειας, έτσι ώστε να παρέχονται στους πολίτες της ΕΕ υποδομές (συμπεριλαμβανομένων των κτιρίων), προϊόντα (συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρικών συσκευών και των αυτοκινήτων) και ενεργειακά συστήματα με τη μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση στον κόσμο [24], [25]. Στην κατεύθυνση αυτή ορίστηκαν ως απαραίτητες προϋποθέσεις η μείωση κατά 20% της κατανάλωσης ενέργειας, η μείωση κατά 20% των εκπομπών CO₂ και η συμβολή κατά 20% στην παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, σε σχέση πάντα με τα αντίστοιχα ποσά του 1990. Ωστόσο, οι πρώτες προβλέψεις για την επίτευξη των παραπάνω στόχων δεν ήταν οι επιθυμητές και η Επιτροπή έθεσε σε εφαρμογή ένα νέο Σχέδιο δράσης για την ενεργειακή απόδοση το 2011, ενώ ακολούθησαν πλήθος Οδηγιών και αναθεωρήσεων ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες και απαιτήσεις.

Αναφέρονται η οδηγία για τον οικολογικό σχεδιασμό (2009/125/ΕΚ), η οδηγία για την επισήμανση της ενεργειακής απόδοσης (2010/30/ΕΕ) και η οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (2010/31/ΕΕ) που θεσμοθετούν συναφή πρότυπα ενεργειακής απόδοσης για προϊόντα και κτίρια [26], [27], [28].

Η Οδηγία 2012/27/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση, η οποία εφαρμόστηκε τον Δεκέμβριο του 2012, αποσκοπεί στην εναρμόνιση των κρατών μελών της ΕΕ με τις αποφάσεις περί εξοικονόμησης ενέργειας στα πλαίσια της στρατηγικής «Ευρώπη 2020» και ορίζει την εθνική υποχρέωση έκαστου για εφαρμογή ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης ανάλογα με τις υφιστάμενες συνθήκες κάθε χώρας [29]. Επιπλέον, γίνεται λόγος για νομικές δεσμεύσεις αναφορικά τόσο με τους τελικούς χρήστες, όσο και με τους προμηθευτές ενέργειας που κατοχυρώνουν την προσπάθεια αυτή.

Ωστόσο, η «Έκθεση προόδου για την εφαρμογή της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση», που δημοσιεύτηκε στις 18 Νοεμβρίου 2015, προβλέπει μία ακόμα αστοχία που αντιστοιχεί σε μείωση κατά 17,6% έναντι των επιθυμητών επιδιώξεων του 2020 και για το λόγο αυτό, το ίδιο έτος, λαμβάνουν χώρα νέες Οδηγίες, προτάσεις και αναθεωρήσεις [30]. Οι πιο σημαντικές από αυτές συμπεριλαμβάνονται στο πακέτο προτάσεων «Καθαρή ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους», που παρουσιάστηκε το 2016 και πραγματεύεται νέους φιλόδοξους στόχους της ΕΕ σχετικά με την ενέργεια και το κλίμα και τη συμμετοχή της Ενεργειακής Ένωσης του 2015 [31].

Εξειδικεύοντας λίγο παραπάνω, στο ευρωπαϊκό δίκαιο της ενέργειας για τον κτιριακό τομέα (αν και συμπεριλαμβάνεται σε όλα τα προηγούμενα) αναφέρεται η οδηγία 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, που επικεντρώνεται στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης τόσο των νέων όσο και των υφιστάμενων κτιρίων [28]. Η παρούσα Οδηγία καθορίζει την μεθοδολογία ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και τις ελάχιστες απαιτήσεις για υφιστάμενα ή ανακαινιζόμενα κτίρια, κατοχυρώνει την πιστοποίηση και την τακτική επιθεώρηση αυτών, διασφαλίζοντας την ενεργειακή τους αποδοτικότητα και τέλος στοχεύει σε κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου έως το 2020. Συνακόλουθα, το 2016 εδραιώνεται η πρωτοβουλία «Έξυπνη χρηματοδότηση για έξυπνα κτίρια» και ενισχύεται η επενδυτική αγορά, καθώς αναδεικνύονται τα οφέλη από την ενεργειακή απόδοση κτιρίων.

Όσον αφορά το ελληνικό ενεργειακό δίκαιο, θεμελιώνεται το 1975 με το νόμο-πλαίσιο Ν.40/75 περί «Λήψεως μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας», ενώ μέχρι τότε δεν προβλέπεται καμία σχετική ρύθμιση [32]. Τα επόμενα χρόνια, οι γνώσεις για την εξοικονόμηση ενέργειας και τα οφέλη από την εφαρμογή αυτής, σε συνδυασμό με τον ανερχόμενο κίνδυνο της κλιματικής αλλαγής, οδήγησαν στη θέσπιση νόμων και κανονισμών οι κυριότεροι από τους οποίους αναφέρονται επιγραμματικά στη συνέχεια:

- ✓ 1975: Νόμος 40/75 περί «Λήψεως μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας», [32]
- ✓ 1979: «Κανονισμός για τη Θερμομόνωση των Κτιρίων» (ΚΘΚ), [33]
- ✓ 1985: Άρθρο 26 του Ν.1577/85 «Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός» (ΓΟΚ), [34]
- ✓ 1985: Άρθρο 6 του Ν.1512/85 «Κίνητρα Εξοικονόμησης Ενέργειας», [35]
- ✓ 1986: Νόμος 1650/86 για την προστασία του περιβάλλοντος, [36]
- ✓ 1989: Υπουργική Απόφαση 3046/304 «Κτιριοδομικός Κανονισμός», [37]
- ✓ 1992: Νόμος 2052/92 περί «Μέτρων για την καταπολέμηση του αστικού νέφους», [38]
- ✓ 1993: Οδηγία 93/76/ΕΟΚ (SAVE) για τον «Περιορισμό των εκπομπών CO₂ μέσω της βελτίωσης Ενεργειακής Απόδοσης», [39]
- ✓ 1998: Εναρμόνιση Κοινοτικής Οδηγίας SAVE για τον «Περιορισμό των εκπομπών CO₂ με το καθορισμό μέτρων και όρων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων» - Άρθρο 4: Κ.Ο.Χ.Ε.Ε., [40]
- ✓ 1999: Υπουργική Απόφαση 11038 «ΔΑΚ Κανονισμός Ενεργειακών Επιθεωρήσεων», [41]

- ✓ 2001: Στρατηγική Εξοικονόμησης στα κτίρια: Σχέδιο Δράσης «Ενέργεια 2001», [42]
- ✓ 2002: Οδηγία 2002/91/EK για την «Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων», [43]
- ✓ 2005/2006: Επιτροπή εμπειρογνομόνων ΥΠΑΝ (Απόρριψη σχεδίου Κ.Ο.Χ.Ε.Ε. και αντικατάσταση με ΚΕΝΑΚ, Σχέδιο Μητρώου Ενεργειακών Επιθεωρητών), [44]
- ✓ 2008/2010: Νόμος 3661/2008 για τα «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις», [45]
- ✓ 2010: Νόμος 3851/2010 για την «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις», [46]
- ✓ 2013: Νόμος 4122/2013 για την «Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων» και την εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, [47]
- ✓ 2014: Νόμος 4280/2014 για την «Περιβαλλοντική αναβάθμιση και ιδιωτική πολεοδόμηση – Βιώσιμη ανάπτυξη οικισμών, Ρυθμίσεις δασικής νομοθεσίας και άλλες διατάξεις», [48]

Πιο αναλυτικά, η πρώτη στοχευμένη δράση της Ελλάδας στην κατεύθυνση της ενεργειακής εξοικονόμησης στον κτιριακό τομέα, νομοθετήθηκε με τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων (ΦΕΚ 362Δ/1979) το 1979 και αφορά στην εφαρμογή μεθόδων για την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απωλειών από το κτιριακό κέλυφος [33]. Συγκεκριμένα, ο κανονισμός όριζε τους ανώτερους συντελεστές θερμικής διαπερατότητας για όλα τα δομικά υλικά, υποδείκνυε την άρτια θερμομόνωση εσωτερικά ή εξωτερικά του κελύφους, περιόριζε τις απώλειες λόγω αερισμού και υγρασίας και ταυτόχρονα καθόριζε τις συνθήκες άνεσης ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου. Σημειώνεται ότι η παρούσα νομοθεσία αφορούσε μόνο σε νέες μελέτες και κατασκευές ενώ δεν περιλάμβανε διατάξεις για τα υφιστάμενα κτίρια και τους αποθηκευτικούς χώρους.

Το 2008 η Ελλάδα εναρμονίζει την νομοθετική της πολιτική με βάση την ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/91/EK για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων με το Νόμο 3661/2008 (ΦΕΚ 89/Α/2010) «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις» [45]. Έτσι ο ΚΘΚ αντικαθίσταται από τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων, ο οποίος εφαρμόζεται μέχρι σήμερα και αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σχέδιο δράσης για τον ενεργειακό σχεδιασμό των κτιρίων. Επίσης, στο ίδιο πλαίσιο αναφέρεται ότι έπειτα από την υπουργική απόφαση οικ.17178/30.8.2010 (ΦΕΚ

B'1387/2.9.2010) εγκρίνονται και εφαρμόζονται υποχρεωτικά οι παρακάτω Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (ΤΟΤΕΕ) που ανταποκρίνονται ικανοποιητικά στα ελληνικά κλιματικά και κτιριακά δεδομένα [49]:

α) ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 «Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης».

β) ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων».

γ) ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010 «Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών».

δ) ΤΟΤΕΕ 20701-4/2010 «Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού».

Σκοπός του ΚΕΝΑΚ είναι η βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, όπως προβλέπονται στο άρθρο 3 παρ.4 του ν. 3661/2008, όσον αφορά τις καταναλώσεις για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης σε συνδυασμό με την προσπάθεια μείωσης της μαζικής χρήσης των συμβατικών καυσίμων, γεγονός που αποβλέπει στη γενικότερη εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα τις απαιτούμενες συνθήκες άνεσης για τους χρήστες. Αρωγοί στην προσπάθεια αυτή αποτελούν η θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους, η εγκατάσταση συστημάτων ΑΠΕ και συμπαραγωγής καθώς και η χρήση αποδοτικών υλικών και ηλεκτρομηχανολογικών μέσων, όπως αυτά ορίζονται στις παραπάνω τεχνικές οδηγίες. Για την επίτευξη του συγκεκριμένου σκοπού το παρόν νομοθετικό πλαίσιο ορίζει τις χρησιμοποιούμενες μεθόδους υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης, τις ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις και προδιαγραφές καθώς και τις παραμέτρους που σχετίζονται με τις ενεργειακές επιθεωρήσεις και την έκδοση πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης.

Τέλος, η χρήση ΑΠΕ στα νέα και υφιστάμενα κτίρια για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, κατοχυρώνεται από το Νόμο 3851/2010 για την «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις» και περιλαμβάνει: α) για τα νέα κτίρια: εκπόνηση τεχνικής, περιβαλλοντικής και οικονομικής μελέτης για την σκοπιμότητα εγκατάστασης τουλάχιστον ενός από τα εναλλακτικά συστήματα παροχής ενέργειας, τα οποία πρέπει να καλύπτουν τουλάχιστον το 60% των αναγκών σε ΖΝΧ (με ηλιακή θερμική ενέργεια) και μέχρι το πέρας του 2019 θα αποτελούν τη μοναδική πηγή παραγωγή ενέργειας, ενώ β) για τα υφιστάμενα κτίρια: επιθεωρήσεις στις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις, χρηματοδότηση προγραμμάτων για την ενεργειακή τους αναβάθμιση και καθορισμό της απόδοσης των ριζικά ανακαινισμένων κτιρίων σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ [46].

Συμπερασματικά, από όλες τις παραπάνω δράσεις υπογραμμίζεται η αναγκαιότητα της εξοικονόμησης ενέργειας σε όλους τους τομείς, αλλά και η ιδιαίτερη συνεισφορά του κτιριακού τομέα στην κατεύθυνση αυτή. Η συνεργασία όλων των κρατών μελών της ΕΕ αποτελεί μονόδρομο για την επιτυχία των ενεργειακών στόχων και οφείλει να ευδοκιμήσει, ώστε να αποφευχθούν οι καταστροφικές συνέπειες της κλιματικής αλλαγής, της εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων και της συνολικής ευρωπαϊκής κρίσης.

Κεφάλαιο 4: Το κτίριο προς μελέτη

Στο παρόν κεφάλαιο μελετάται το κλειστό γυμναστήριο της Λευκόβρυσης, το οποίο βρίσκεται στην περιοχή της Κοζάνης, με στόχο τη διερεύνηση της ενεργειακής του συμπεριφοράς και των συνθηκών που επικρατούν στο εσωτερικό του περιβάλλον. Για το σκοπό αυτό αρχικά περιγράφονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και η θέση της κτιριακής εγκατάστασης, στη συνέχεια καθορίζεται η μορφή του κελύφους και αναλύονται τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση, ψύξη, παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, φωτισμό και αερισμό. Σημειώνεται ότι όλα τα στοιχεία έχουν συλλεχθεί είτε από υπάρχοντα μηχανολογικά σχέδια και μελέτες που έχουν κατατεθεί στην πολεοδομία, είτε από επιτόπια επιθεώρηση και αξιολόγηση με χρήση κατάλληλων πειραματικών διατάξεων.

4.1 Γενική περιγραφή του κλειστού γυμναστηρίου



Σχήμα 4. 1: Γενική άποψη γυμναστηρίου

Το Αθλητικό κέντρο βρίσκεται στο Δημοτικό Διαμέρισμα Λευκόβρυσης, στο 3^ο χλμ. της επαρχιακής οδού Κοζάνης – Αιανής και αποτελεί μια ενιαία πολεοδομική μονάδα, εκτός του οικισμού της Λευκόβρυσης, με μεγάλη διαθέσιμη επιφάνεια γειτονικά του περιβάλλοντος χώρου (Σχήμα 4.1). Το Γυμναστήριο εγκαινιάστηκε το 2009, και μέχρι την περίοδο 2016-2017, χρησιμοποιήθηκε μόνο δύο φορές για πολιτιστικές εκδηλώσεις. Το

Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο του 2016 φιλοξένησε την Εθνική Ομάδα Πετοσφαίρισης στα πλαίσια της διεξαγωγή Διεθνών αγώνων και ανταποκρίθηκε επάξια σε αυτή τη διοργάνωση μεγάλου βεληνεκούς, γεγονός που σηματοδότησε την έναρξη μιας περιόδου ουσιαστικής αξιοποίησης του Γυμναστηρίου. Συμπερασματικά, το παρόν κτίριο αποτελεί ένα σύγχρονο Αθλητικό Κέντρο με υψηλή λειτουργική ικανότητα και χωρητικότητα 3.500 θεατών, το οποίο μπορεί και πρέπει να εκμεταλλευτεί η Περιφέρεια της Δυτικής Μακεδονίας τόσο σε αθλητικό, όσο και σε πολιτιστικό επίπεδο.

4.2 Κτιριακό κέλυφος

Το Κλειστό Γυμναστήριο αποτελείται από έναν όροφο συνολικής επιφάνειας 4919,6 m², μέσο όρο ύψους 15 m και συνολικού όγκου 73500 m³, ο οποίος διαιρείται στον κύριο αγωνιστικό χώρο επιφάνειας 3432,9 m² (Σχήμα 4.2) και στους βοηθητικούς χώρους επιφάνειας 3309,8 m², που τον περιβάλλουν και βρίσκονται ως επί το πλείστον κάτω από τις κερκίδες. Ειδικότερα υπάρχουν αποδυτήρια, αίθουσα τύπου, χώρος προθέρμανσης, γραφεία, φουαγιέ εισόδου με κυλικείο, καθώς και ειδικός χώρος όπου βρίσκεται το λεβητοστάσιο.



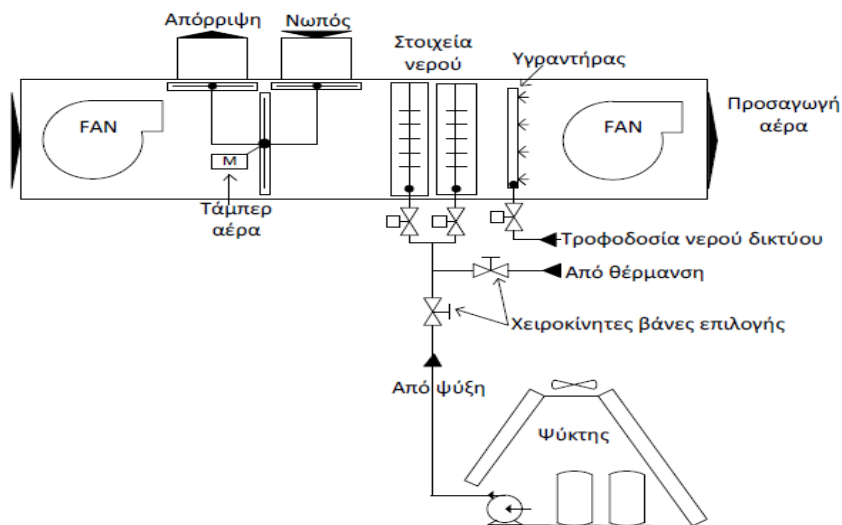
Σχήμα 4.2: Γενική άποψη αγωνιστικού χώρου

Η τοιχοποιία δομείται από οπλισμένο σκυρόδεμα και οπτοπλινθοδομή με ενσωματωμένη μόνωση, η οποία σύμφωνα με τη μελέτη θερμομόνωσης κρίνεται επαρκής για την κλιματική ζώνη της κατασκευής. Αναφορικά με την οροφή του κτιρίου συγκροτείται από τρία τμήματα τα οποία είναι: α) οροφή μονωμένη με μπετόν κλίσεως πάνω από τη μόνωση κατά 13%, β) οροφή από πολυουρεθάνη κατά 84% και γ) οροφή από διπλό

πολυεστέρα με ενδιάμεσο στρώμα αέρα κατά 3%. Το δάπεδο βρίσκεται σε όλη του την έκταση σε επαφή με το έδαφος, εξαιρουμένων των επιφανειών των κερκίδων, είναι μονωμένο με βασική υπόστρωση και η τελική επιφάνειά του αποτελείται είτε από μαρμάρινες πλάκες στους βοηθητικούς χώρους, είτε από ειδικό παρκέ στον κυρίως αγωνιστικό χώρο. Τέλος, τα ανοίγματα του κελύφους καταλαμβάνουν επιφάνεια της τάξεως των 799 m², ενώ οι υαλοπίνακες που έχουν τοποθετηθεί είναι τύπου αλουμινίου με διπλό υαλοπίνακα και εξασφαλίζουν επαρκή μόνωση ,όπως υποδεικνύεται από τον αντίστοιχο συντελεστή θερμοπερατότητας.

4.3 Ηλεκτρομηχανολογικά Συστήματα

Στο δώμα του κτιρίου υπάρχουν εγκατεστημένες δύο κεντρικές κλιματιστικές μονάδες (ΚΚΜ), υπεύθυνες για την κάλυψη των θερμικών και ψυκτικών αναγκών του γυμναστηρίου (Σχήμα 4.3). Η κάθε κλιματιστική μονάδα αποτελείται από δύο στοιχεία νερού παράλληλα συνδεδεμένα, δύο ανεμιστήρες εν σειρά, φίλτρο αέρα, υγραντήρα νερού και ηλεκτροκίνητο τάμπερ αναμίξεως και εξασφαλίζουν αναρρόφηση ανακυκλοφορίας, νωπού αέρα και κατάθλιψη απόρριψης και προσαγωγής. Ο έλεγχος των θερμικών φορτίων επιτυγχάνεται με δίοδη βαλβίδα στραγγαλισμού, ευρισκόμενη στην τροφοδοσία κάθε στοιχείου νερού της μονάδας. Τέλος, οι δύο κλιματιστικές μονάδες καλύπτουν θερμικά τις ανάγκες του αγωνιστικού χώρου και των κερκίδων μέσω δύο αεραγωγών. Πιο αναλυτικά, συνολικά καταγράφεται η ύπαρξη τεσσάρων αεραγωγών εντός του χώρου, όπου κάθε αεραγωγός φέρει τέσσερα στόμια οροφής με ηλεκτρικό τάμπερ έκαστο (Σχήμα 4.4).

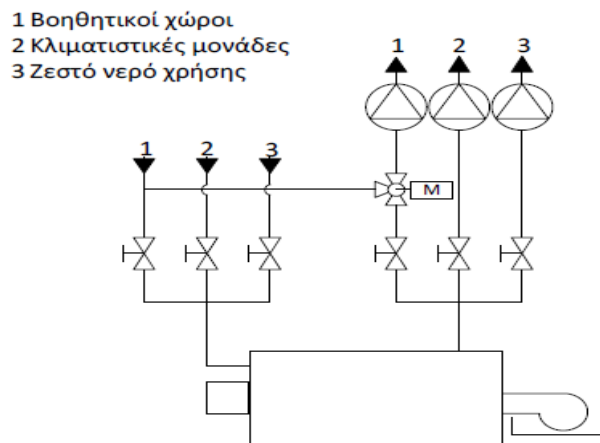


Σχήμα 4.3: Σκαρίφημα κεντρικής κλιματιστικής μονάδας και θερμοδραυλικών ροών



Σχήμα 4.4: Αεραγωγοί (αριστερά) και κλιματιστική μονάδα (δεξιά)

Συγκεκριμένα, η ψύξη εξασφαλίζεται από δύο ψύκτες νερού-αέρα ψυκτικής ικανότητας 251 kW μάρκας Airwell, τοποθετημένους δίπλα στην αντίστοιχη κλιματιστική μονάδα, ενώ αντίστοιχα οι ανάγκες για θέρμανση ικανοποιούνται από λέβητα ισχύος 1.500.000 kcal/h, που βρίσκεται στο κατάλληλα διαμορφωμένο λεβητοστάσιο του κτιρίου και τροφοδοτεί τρεις κλάδους με τη βοήθεια τριών ανεξάρτητων κυκλοφορητών (Σχήμα 4.5). Ο πρώτος κλάδος καλύπτει τους βοηθητικούς χώρους του κτιρίου, ο δεύτερος κλάδος τροφοδοτεί τις δύο προαναφερθείσες κλιματιστικές μονάδες και τέλος ο τρίτος κλάδος επικοινωνεί με δύο μπόϊλερ 2000 λίτρων έκαστο, για την κάλυψη των αναγκών ζεστού νερού χρήσης (Σχήμα 4.6). Ωστόσο, σημειώνεται ότι οι βοηθητικοί χώροι δεν θερμαίνονται ούτε ψύχονται εξ' ολοκλήρου από τα κεντρικά σύστημα, καθώς κάποιοι επιλεγμένοι χώροι θερμαίνονται και επίσης ψύχονται μέσω τριών ανεξάρτητων κλιματιστικών μονάδων VRV και καθίστανται έτσι ανεξάρτητοι από τη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης-ψύξης. Ενδεικτικά, τέτοιοι χώροι είναι η αίθουσα ιατρείου και κάποιες αίθουσες που εξυπηρετούν διοικητικούς σκοπούς ή σκοπούς προπόνησης.



Σχήμα 4.5: Σκαρίφημα υδραυλικών ροών λέβητα και γραμμών κατανάλωσης



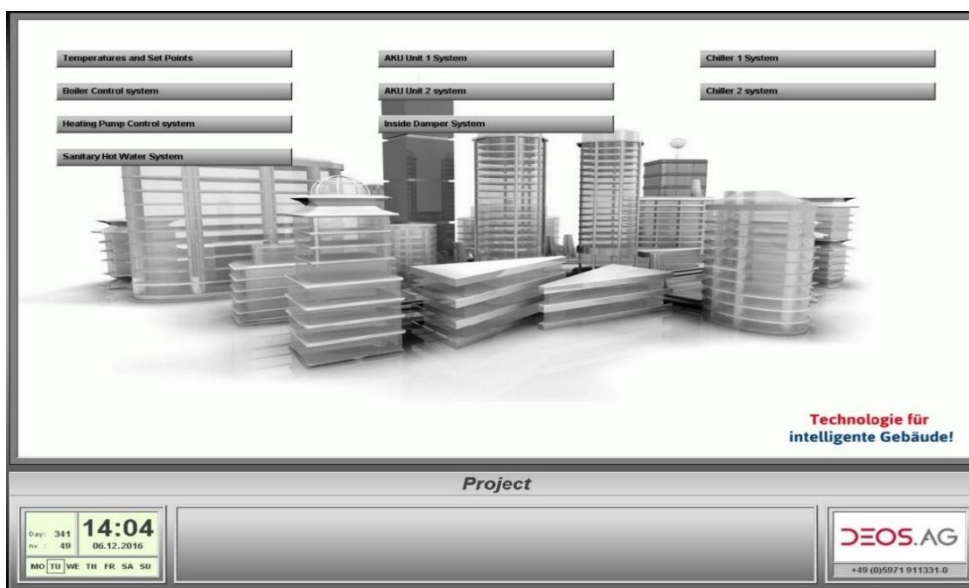
Σχήμα 4.6: γενική άποψη λεβητοστασίου (αριστερά) και μπόιλερ ZNX (δεξιά)

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, κατά τη μελέτη κτιρίων που ανήκουν στον τριτογενή τομέα, όπου συγκαταλέγεται και το παρόν κλειστό γυμναστήριο, μεγάλη σημασία δίνεται στα συστήματα τεχνητού φωτισμού, καθώς αποτελούν σημαντική πηγή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι στην πράξη, καταμετρήθηκαν 44 προβολείς αλογόνου στον αγωνιστικό χώρο που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με 26 λάμπες φθορισμού.

Αναφορικά με τον έλεγχο λειτουργίας των ενεργειακών συστημάτων πραγματοποιείται συγκεντρωτικά από εγκατεστημένο σύστημα BEMS (Building Energy Management System) που συντελεί σημαντικά στην εξοικονόμηση των ενεργειακών καταναλώσεων του κτιρίου και στην εξασφάλιση συνθηκών άνεσης για τους χρήστες (Σχήμα 4.7). Η λειτουργία του συστήματος αυτού βασίζεται στον έλεγχο και τη διαχείριση όλων των παραμέτρων που έχουν οριστεί από τον προγραμματιστή και συλλέγονται από κατάλληλους ανιχνευτές, ενώ εφαρμόζεται από οθόνη εγκατεστημένου υπολογιστή στο δωμάτιο ελέγχου ή μέσω ιστοσελίδας από πολλαπλούς χρήστες με διαβαθμισμένα δικαιώματα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις.

Αναλυτικότερα, οι παράμετροι που καταμετρούνται για κάθε κλιματιστική μονάδα είναι: η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα ανακυκλοφορίας, η θερμοκρασία του αέρα προσαγωγής, η θερμοκρασία και υγρασία σε διάφορα σημεία του αγωνιστικού χώρου, η θερμοκρασία στους βοηθητικούς χώρους, καθώς και η εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Ως σημεία επέμβασης ορίζονται η θέση του τάμπερ ανάμιξης, η θέση των δίοδων ρυθμιστικών, η εκκίνηση των ψυκτών, η εκκίνηση των ανεμιστήρων, η ανεξάρτητη ρύθμιση όλων των τάμπερ στομίων επί των αεραγωγών του αγωνιστικού χώρου, η εκκίνηση του καυστήρα, η εκκίνηση των κυκλοφορητών, η αντιστάθμιση της εξωτερικής

θερμοκρασίας και η ρύθμιση της θερμοκρασίας προσαγωγής στα θερμαντικά σώματα, η ρύθμιση της θερμοκρασίας του ZNX σε κάθε μπόιλερ και τέλος η ανακυκλοφορία του ZNX. Επιπρόσθετα κάθε κυκλοφορητής είναι εξοπλισμένος με εξωτερικό inverter (ρυθμιστή στροφών), όπου το BEMS ελέγχει τις στροφές κάθε κυκλοφορητή ανεξάρτητα, ώστε κατά τη βέλτιστη λειτουργία του να διατηρείται η διαφορά θερμοκρασίας σταθερή. Σημαντική λειτουργία του συστήματος BEMS αποτελεί ακόμα ο έλεγχος όλων των σημείων ασφαλείας του λέβητα και των ψυκτών όπως και όλων των δεικτών alarm. Επισημαίνεται ότι για λόγους πρόσθετης οικονομίας, η δεύτερη βαθμίδα του λέβητα ελέγχεται από τα φορτία, ενώ η πρώτη ρυθμίστηκε έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργεί αυτοδύναμα. Τέλος, αναφορικά με το προγραμματιστικό κομμάτι τα set points προσεγγίζονται αυτόματα σύμφωνα με τον αλγόριθμο λειτουργίας, ενώ δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επεμβαίνει εκτός από τα set points, σε επιτρεπτές λογικές αποφάσεις On – Off όπου και όταν αυτό κριθεί απαραίτητο.



Σχήμα 4.7: Αρχική σελίδα προγράμματος BEMS

Κλείνοντας με τις ενεργειακές εγκαταστάσεις σημειώνεται ότι στο κτίριο δεν υπάρχουν συστήματα ΑΠΕ, καθώς επίσης και παθητικά ηλιακά συστήματα, γεγονός που αφήνει περιθώρια βελτίωσης και αποτελεί πρόταση για πιθανή ενεργειακή αναβάθμιση.

4.4 Ενεργειακές καταναλώσεις

Εξαιτίας της περιστασιακής χρήσης του αθλητικού κέντρου η συλλογή δεδομένων ικανών να περιγράψουν τις συνολικές ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου δεν είναι διαθέσιμη και επομένως δε γίνεται λόγος για κανενός είδους σύγκριση, ούτε με τις

προκύπτουσες καταναλώσεις από την μελέτη ενεργειακής απόδοσης, ούτε με αυτές που προκύπτουν από τις προτάσεις αναβάθμισης και αναλύονται στη συνέχεια. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες ενδεικτικές προσμετρήσεις που κατέγραψαν κατανάλωση πετρελαίου της τάξης των 1500 lt για βραδινή εκδήλωση κατά τους χειμερινούς μήνες. Σημειώνεται ότι, η κατανάλωση προβλέπει τη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης καθόλη τη διάρκεια της ημέρας, για την προετοιμασία του χώρου, με δεδομένη τη μη καθημερινή λειτουργία του.

Στον Πίνακα 4.1, παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων που καταναλώνουν σημαντικά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 4.1: Στοιχεία συστημάτων ηλεκτρικών καταναλώσεων

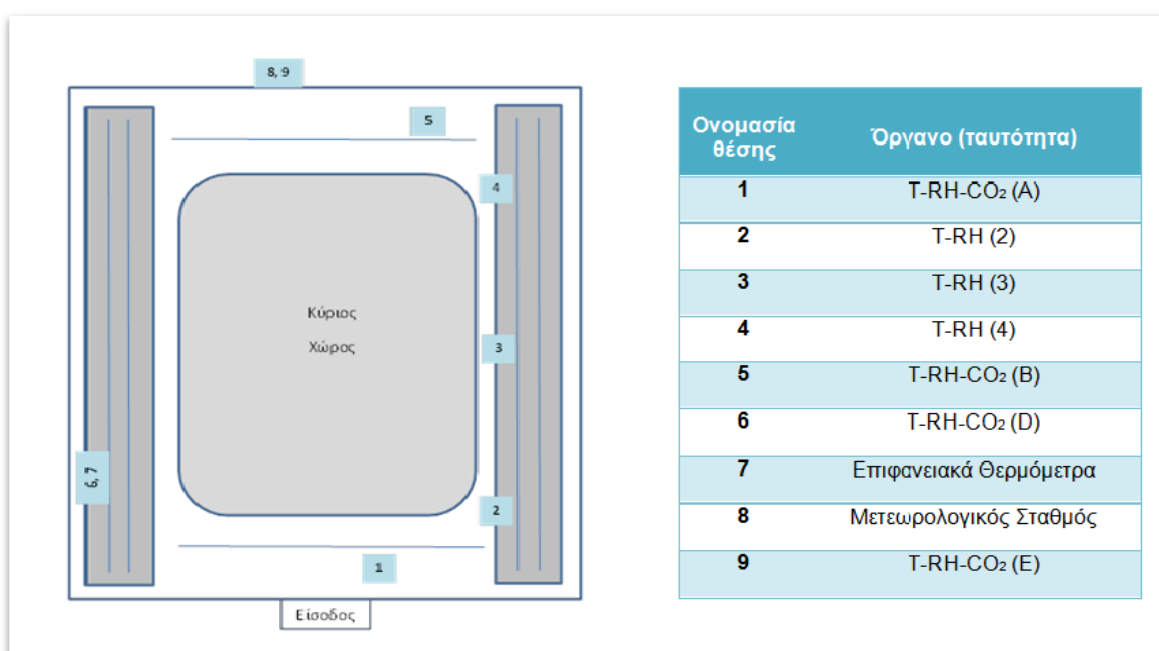
Συστήματα ηλεκτρικών καταναλώσεων	Αριθμός μονάδων	Ισχύς (kW)
Προβολείς/ Λάμπες Φθορίου/Φθορισμού	44/26	64 (Συνολικά)
Κυκλοφορητές (WILO TOP-S 50/7) - ZNX	1	0,35
Κυκλοφορητές (WILO TOP-S 65/13) – Βοηθητικοί Χώροι	1	1,1
Κυκλοφορητές (WILO IL 100/220 – 5.5/4) – Κύριος Χώρος	1	5,5
Ανεμιστήρας (Nicotra ADH 710)	2 (προσαγωγή)	2 x 15
Ανεμιστήρας (Nicotra ADH 710)	2 (επιστροφή)	2 x 5,5

4.5 Εσωκλιματικές συνθήκες

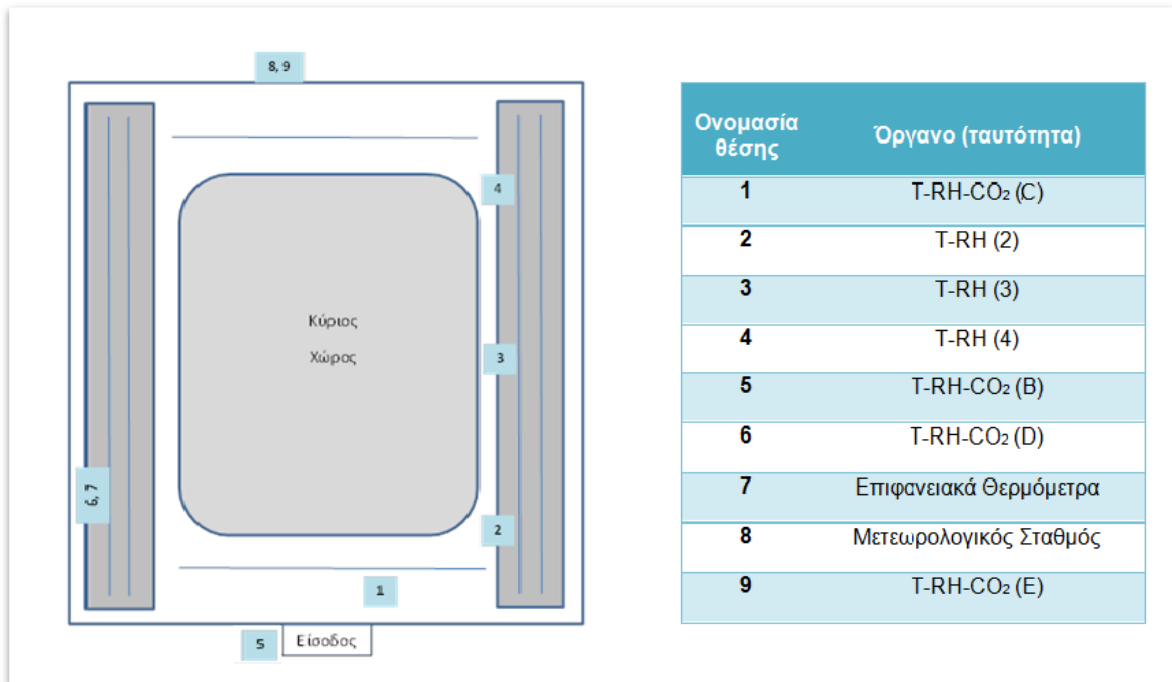
Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις των βασικών παραμέτρων που επηρεάζουν τις συνθήκες άνεσης του γυμναστηρίου, καθώς επίσης δίνουν σημαντικές πληροφορίες για τη λειτουργία των συστημάτων που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Αναλυτικότερα, μελετήθηκαν η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα, η συγκέντρωση CO₂, και η επιφανειακή θερμοκρασία σε διάφορα σημεία του εσωτερικού χώρου, σε συνδυασμό με τα πλήρη δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού που στήθηκε εξωτερικά του κτιρίου. Η επιλογή της συγκεκριμένης έρευνας έγινε αφενός με βάση το ρόλο που διαδραματίζουν οι συνθήκες άνεσης στην ψυχολογική και σωματική υγεία των χρηστών και αφετέρου λαμβάνοντας υπόψη τη σημασία της εξοικονόμησης ενέργειας που εξασφαλίζεται από την ορθή λειτουργία των ηλεκτρομηχανικών συστημάτων. Στη συνέχεια, περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη συλλογή των δεδομένων, παρουσιάζονται οι πειραματικές διατάξεις και αναλύονται τα αποτελέσματα που εξήχθησαν.

4.5.1 Εγκατάσταση και λειτουργία οργάνων

Η πρώτη περίοδος παρακολούθησης των μετρούμενων μεγεθών ξεκίνησε 15/9/2016 και διήρκησε μέχρι 23/9/2016, ενώ στη συνέχεια ακολούθησε δεύτερη περίοδος μετρήσεων από 7/10/2016 έως 21/10/2016. Το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα στο σύνολό του κρίθηκε αντιπροσωπευτικό για τη μελέτη της γενικής εικόνας του αθλητικού κέντρου, καθώς συμπεριλαμβάνει τη διεξαγωγή των διεθνών αγώνων πετοσφαίρισης, γεγονός που συνεπάγεται τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων τόσο κατά τη διάρκεια των αγώνων και των προπονήσεων, όπου το γυμναστήριο κατακλύζεται από κόσμο και ταυτόχρονα χρησιμοποιούνται τα περισσότερα ηλεκτρομηχανικά μέσα, όσο και τις ώρες που είναι εντελώς ή σχεδόν άδειο. Επίσης, σχετικά με την εγκατάσταση των οργάνων μέτρησης αναφέρεται ότι πραγματοποιήθηκε, αφενός με γνώμονα την όσο το δυνατό μεγαλύτερη εγκυρότητα των αποτελεσμάτων, επιλέγοντας θέσεις σε πολλά διαφορετικά σημεία του χώρου και αφετέρου με βάση τις λειτουργικές ανάγκες του κτιρίου και των χρηστών, ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε πιθανή παρεμπόδιση. Στα Σχήματα 4.8 και 4.9 παρουσιάζεται από ένα σκαρίφημα του γυμναστηρίου, όπου υποδεικνύεται η θέση στην οποία εγκαταστάθηκαν τα χρησιμοποιούμενα όργανα μέτρησης για την πρώτη και τη δεύτερη περίοδο αντίστοιχα, με ειδοποιό διαφορά στην τοποθέτησή τους την αλλαγή θέσης του οργάνου Β, που μεταφέρθηκε από τον εσωτερικό χώρο στον προθάλαμο, ώστε να συγκεντρωθούν πληροφορίες και για τις επικρατούσες συνθήκες των βοηθητικών χώρων.



Σχήμα 4.8: Σκαρίφημα κλειστού γυμναστηρίου και σχηματική απεικόνιση της θέσης των οργάνων μέτρησης για την πρώτη περίοδο



Σχήμα 4.9: Σκαρίφημα κλειστού γυμναστηρίου και σχηματική απεικόνιση της θέσης των οργάνων μέτρησης για τη δεύτερη περίοδο

Πιο συγκεκριμένα, ο πειραματικής μορφής μετεωρολογικός σταθμός τοποθετήθηκε στην νοτιοανατολική πλευρά εξωτερικά του κτιρίου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.10 και αποτελείται από ειδικούς αισθητήρες για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, ανεμόμετρο για τον προσδιορισμό της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου, πυρανόμετρο για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με την ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, βαρόμετρο κατάλληλο για τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης και τέλος, ογκομετρικό βροχόμετρο για την καταγραφή των χιλιοστών βροχόπτωσης. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν επτά αισθητήρες (Hobo(A, B, D, E, 2, 3, 4)) υπεύθυνοι για την καταμέτρηση των μεταβολών της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, εκ των οποίων οι τέσσερις (A, B, D, E) είναι ίδιου τύπου και έχουν την επιπρόσθετη δυνατότητα καταγραφής δεδομένων για την ένταση της φωτεινότητας και τη συγκέντρωση CO₂ του περιβάλλοντα αέρα. Σημειώνεται ότι το όργανο E βρίσκεται εξωτερικά του γυμναστηρίου, σε θέση που το προστατεύει από τη βροχόπτωση. Τέλος, στα πλαίσια της μελέτης της συμπεριφοράς του κελύφους τοποθετήθηκαν τρία επιφανειακά θερμόμετρα στο νοτιοανατολικό τοίχο, δύο στο αντίστοιχο υαλοστάσιο και ένα στον εσωτερικό βορειοανατολικό τοίχο σε μικρή απόσταση από τα υπόλοιπα. Στο Σχήμα 4.11 παρουσιάζεται φωτογραφικό υλικό από τις παραπάνω περιγραφόμενες πειραματικές διατάξεις.



Σχήμα 4.10: Μετεωρολογικός σταθμός



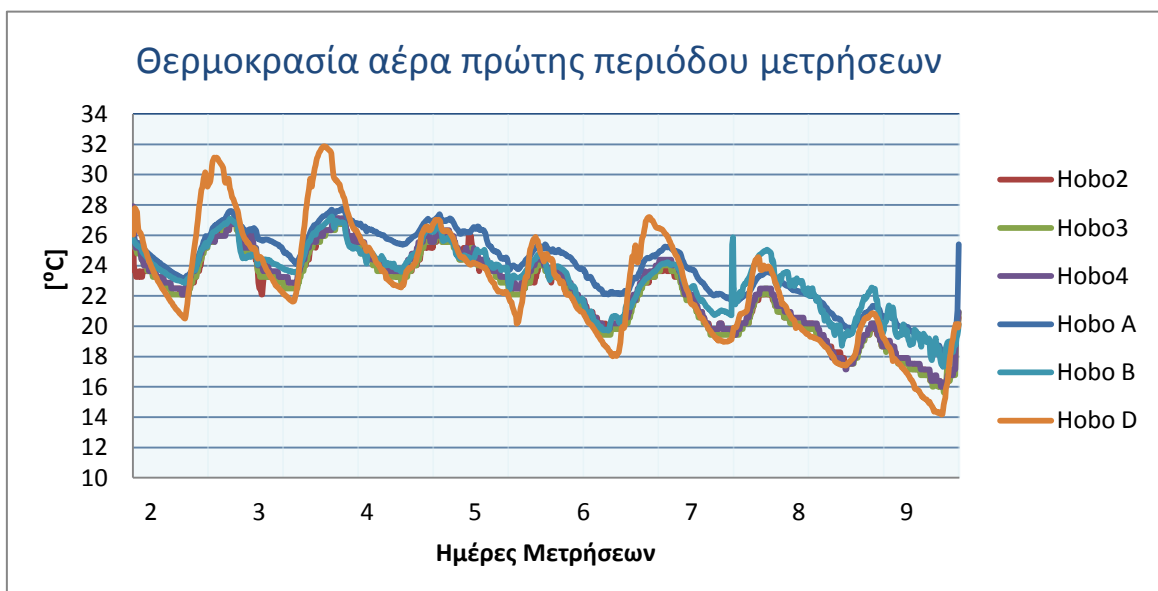
Σχήμα 4. 11: Φωτογραφικό υλικό από τον αισθητήρα Hobo 2 σε κοντινή και γενική άποψη πάνω αριστερά και δεξιά, αισθητήρα Hobo C κάτω αριστερά και επιφανειακό θερμομέτρο κάτω δεξιά

4.5.2 Αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων

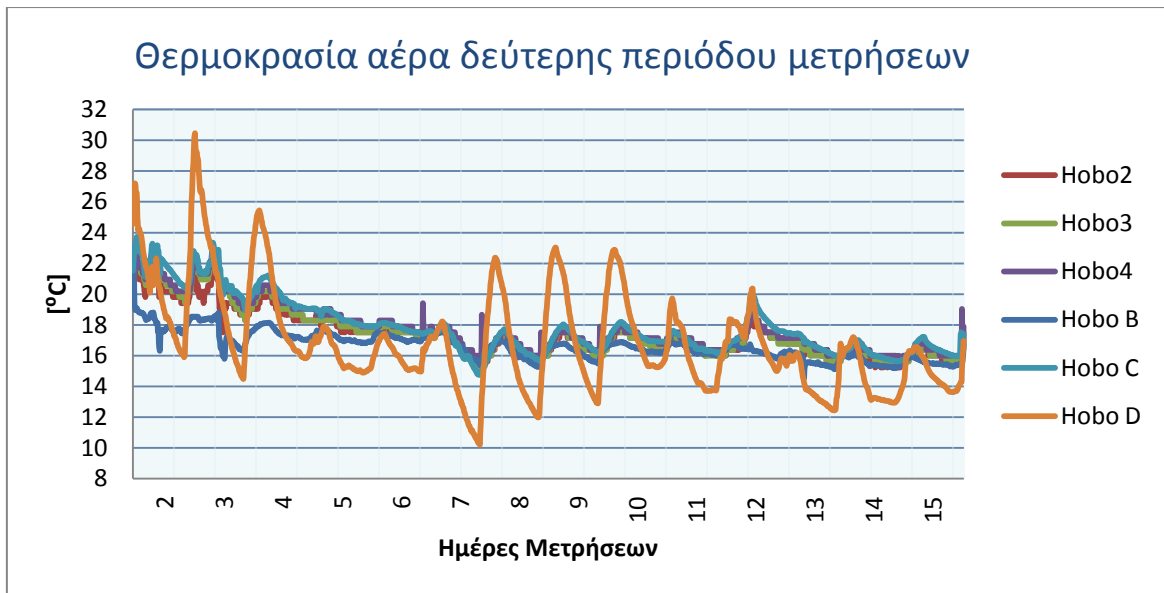
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, μετά από τη συλλογή και την απαραίτητη επεξεργασία όλων των δεδομένων, παρουσιάζονται στη συνέχεια με διαγραμματική απεικόνιση για το σύνολο των ημερών, εστιάζοντας στις ημέρες διεξαγωγής των αγώνων πετοσφαίρισης, αφού μπορούν να θεωρηθούν ως προσομοίωση μιας τυπικής ημέρας λειτουργίας του αθλητικού κέντρου. Κύριος στόχος της ερμηνείας των αποτελεσμάτων είναι ο έλεγχος των συνθηκών άνεσης σε σχέση με τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και τη φωτεινότητα του εσωτερικού χώρου, η διασφάλιση συγκέντρωσης CO₂ που κυμαίνεται εντός των επιτρεπτών ορίων και ο ενδεικτικός έλεγχος της χρήσης των ενεργειακών συστημάτων.

➤ Εσωτερική θερμοκρασία αέρα

Τα Σχήματα 4.12 και 4.13 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων της πρώτης και της δεύτερης περιόδου αντίστοιχα, που αφορούν τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα του αθλητικού κέντρου, όπως αυτά προέκυψαν από τους αισθητήρες που τοποθετήθηκαν σε έξι διαφορετικά σημεία του χώρου.



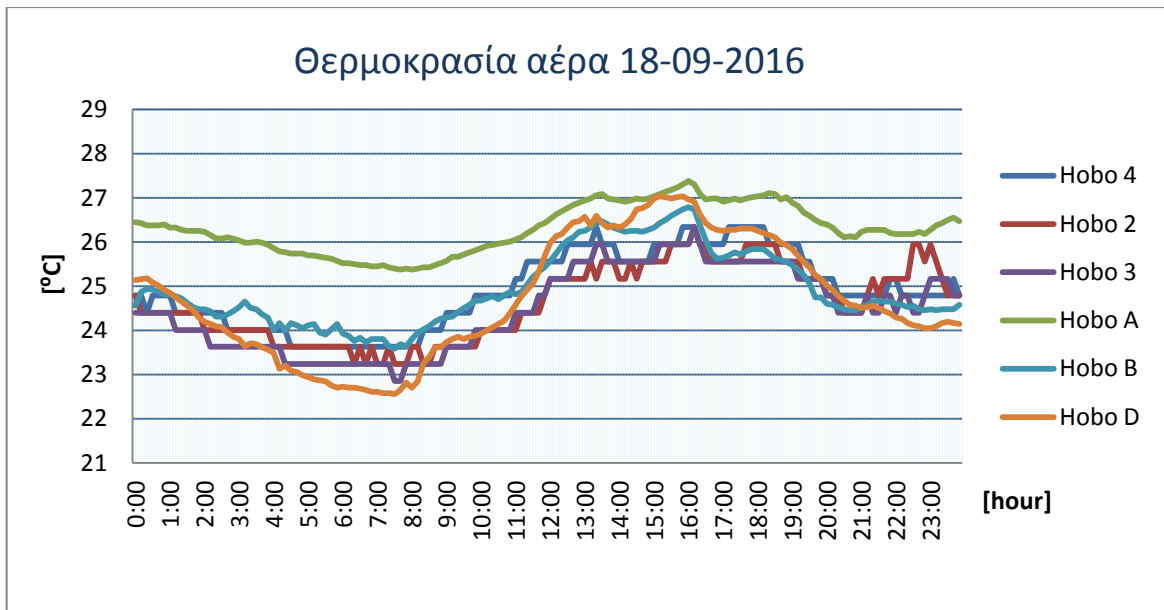
Σχήμα 4.12: Αποτελέσματα μετρήσεων της πρώτης περιόδου για την εσωτερική θερμοκρασία του αέρα



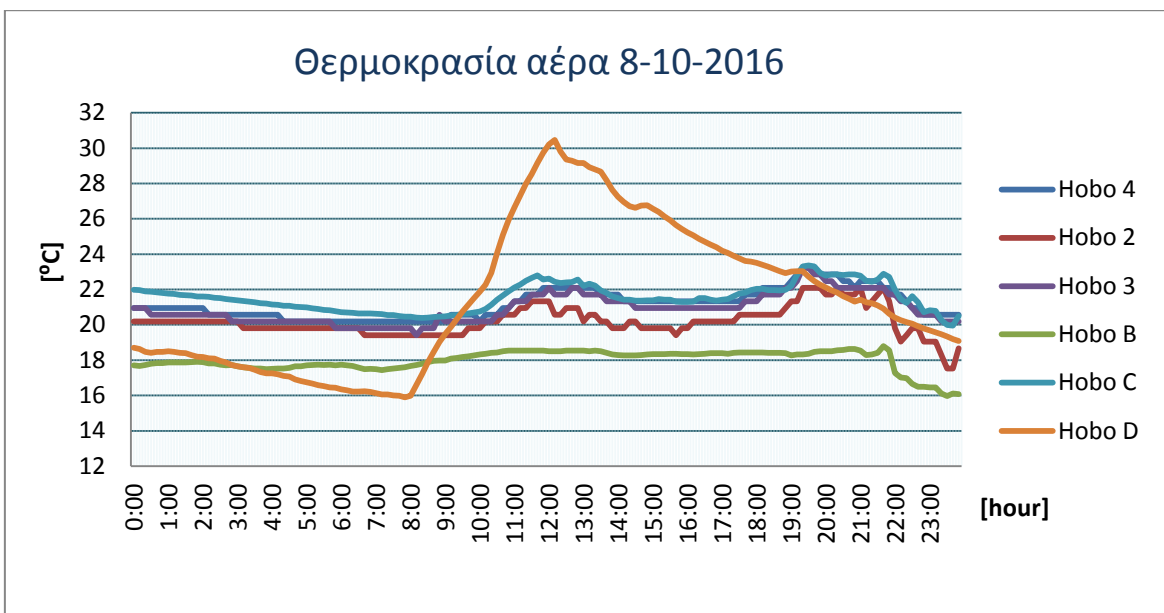
Σχήμα 4.13: Αποτελέσματα μετρήσεων της δεύτερης περιόδου για την εσωτερική θερμοκρασία του αέρα

Συγκεκριμένα, και για τις δύο περιόδους διαπιστώνεται ομοιογένεια στη θερμοκρασία του χώρου, ενώ ταυτόχρονα οι τιμές κινούνται σε επίπεδα που ικανοποιούν τις συνθήκες θερμικής άνεσης. Η διαφορά που παρατηρείται στις μετρήσεις του αισθητήρα Hobo D δικαιολογείται απόλυτα από τη θέση του, καθώς βρισκόνταν σε σημείο δίπλα στο νοτιοανατολικό υαλοστάσιο, παραλαμβάνοντας σημαντικά μεγαλύτερα θερμικά φορτία τις μεσημεριανές ώρες και αντίθετα, λίγο μικρότερα κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επίσης, σημαντικό είναι το γεγονός ότι η θερμοκρασία δεν έχει μεγάλες μεταβολές κατά τη διάρκεια της μέρας και δεν επηρεάζεται αισθητά από τις εξωτερικές συνθήκες, αποτελώντας ισχυρή ένδειξη για τη σωστή λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης-ψύξης, καθώς και του συστήματος ελέγχου BEMS. Τέλος, σημειώνεται ότι ο αισθητήρας Hobo B ήταν τοποθετημένος στον προθάλαμο του κτιρίου για τη δεύτερη περίοδο μετρήσεων, οπότε λογικά παρατηρούνται ελαφρώς μικρότερες θερμοκρασίες από αυτές του εσωτερικού χώρου.

Τα σχήματα 4.14 και 4.15 που ακολουθούν, βαδίζοντας στο ίδιο πλαίσιο εξειδικεύουν τις θερμοκρασιακές συνθήκες στη διάρκεια διεξαγωγής αγώνων και για τις δύο περιόδους και τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι το ίδιο ικανοποιητικά με τα προηγούμενα, με τη μόνη διαφορά να έγκειται στη μικρή αύξηση της θερμοκρασίας τις ώρες που στο γυμναστήριο συνέρρεε πλήθος κόσμου, σε επίπεδα όμως που εξακολουθούν να εξασφαλίζουν τη θερμική άνεση των χρηστών.



Σχήμα 4.14: Αποτελέσματα μετρήσεων κατά τη διάρκεια ημέρας (πρώτης περιόδου) διεξαγωγής αγώνων για την εσωτερική θερμοκρασία του αέρα

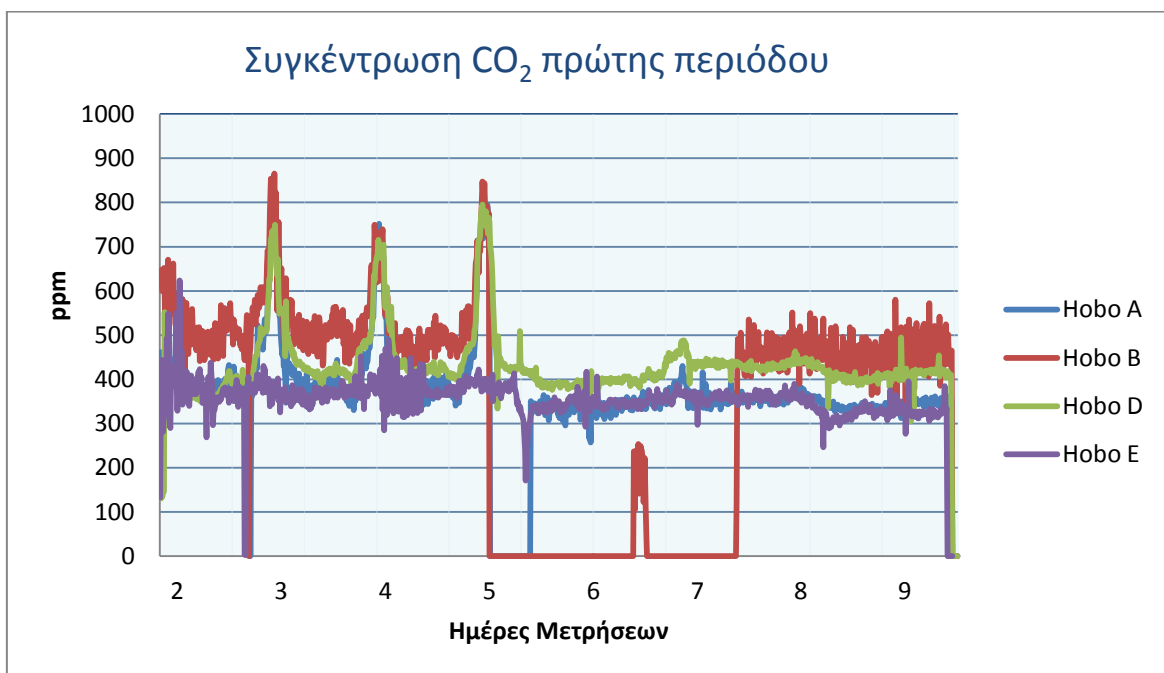


Σχήμα 4.15: Αποτελέσματα μετρήσεων κατά τη διάρκεια ημέρας (δεύτερης περιόδου) διεξαγωγής αγώνων για την εσωτερική θερμοκρασία του αέρα

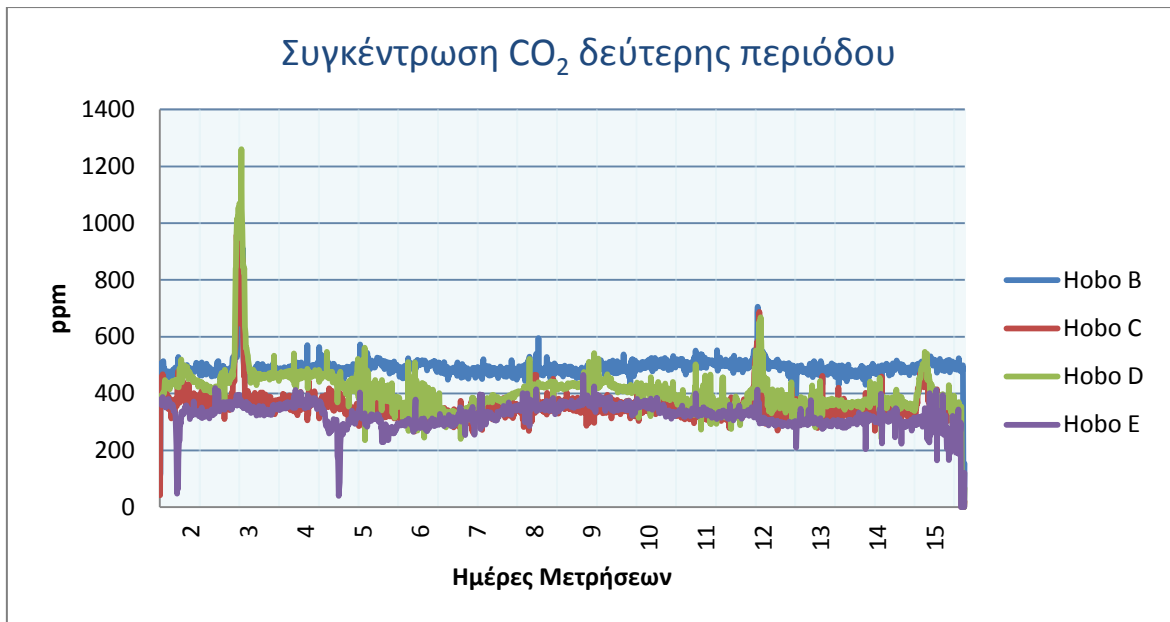
➤ Συγκέντρωση CO₂

Τα φυσιολογικά επίπεδα συγκέντρωσης CO₂ στον ατμοσφαιρικό αέρα κυμαίνονται μεταξύ 400 και 500 ppm, ενώ οι τιμές αιχμής αντιστοιχούν σε τάξη μεγέθους των 700 ppm σύμφωνα με τον “Κώδικα Πρακτικής” από το Υπουργείο Εργασίας, Πρόνοιας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων [50]. Έτσι τα αποτελέσματα των μετρήσεων όπως αυτά παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.16 έως 4.19 καταδεικνύουν μερική επάρκεια αερισμού στο αθλητικό κέντρο, καθώς οι μετρούμενες τιμές στις περισσότερες περιπτώσεις δεν

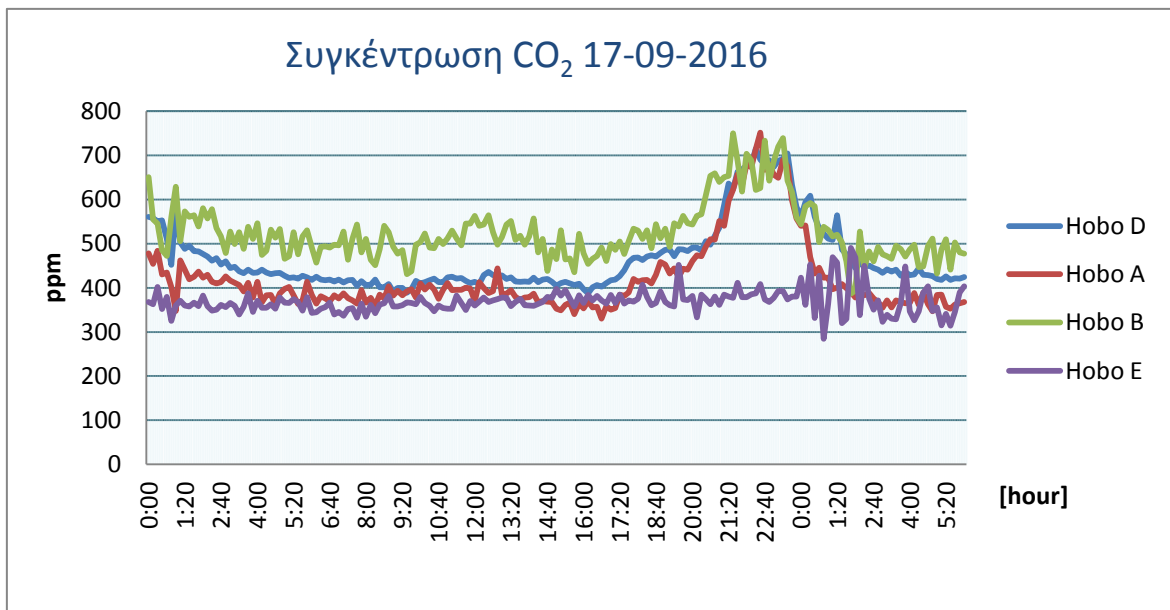
αποκλίνουν από τα παραπάνω θεσπισμένα όρια. Αναλυτικότερα,, το αισθητήριο Hobo E που ήταν τοποθετημένο στον εξωτερικό χώρο δίνει τιμές που κυμαίνονται γύρω από τα 400 ppm, ενώ τα υπόλοιπα αισθητήρια τα οποία μετρούσαν τιμές για τον εσωτερικό αέρα παρουσιάζουν μέγιστα κατά τη διάρκεια όπου λαμβάνουν χώρα οι αγώνες πετοσφαίρισης και υπάρχει μεγάλος αριθμός ατόμων στο κτίριο, ενώ επανέρχονται σε σταθερές τιμές όταν αυτό αδειάζει. Σε κάποιες περιπτώσεις, κυρίως τη δεύτερη περίοδο των μετρήσεων και συγκεκριμένα στις 8-10-2016, οι μετρούμενες τιμές ξεπερνούν τις επιτρεπόμενες τιμές αιχμής, γεγονός που πρέπει να ληφθεί υπόψη στις προτάσεις για βελτίωση των συστημάτων κλιματισμού και αερισμού. Επίσης, ο αισθητήρας Hobo B δίνει τιμές οι οποίες αν και έχουν τις ίδιες χρονικά μεταβολές και τάσεις είναι σταθερά μεγαλύτερες από τα υπόλοιπα όργανα. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τη διαφορετική θέση που είχε στις δύο περιόδους μετρήσεων, υποδεικνύει τη λανθασμένη βαθμονόμηση του οργάνου και σε καμία περίπτωση δεν αποτελεί ανησυχητική ένδειξη για τη συγκέντρωση CO₂ στον αέρα. Τέλος, οι ξαφνικοί μηδενισμοί που εμφανίζονται κατά περιόδους οφείλονται εξολοκλήρου σε διακοπή ή πτώση της τάσεως του ηλεκτρικού ρεύματος, απορυθμίζοντας παροδικά τα όργανα μέτρησης.



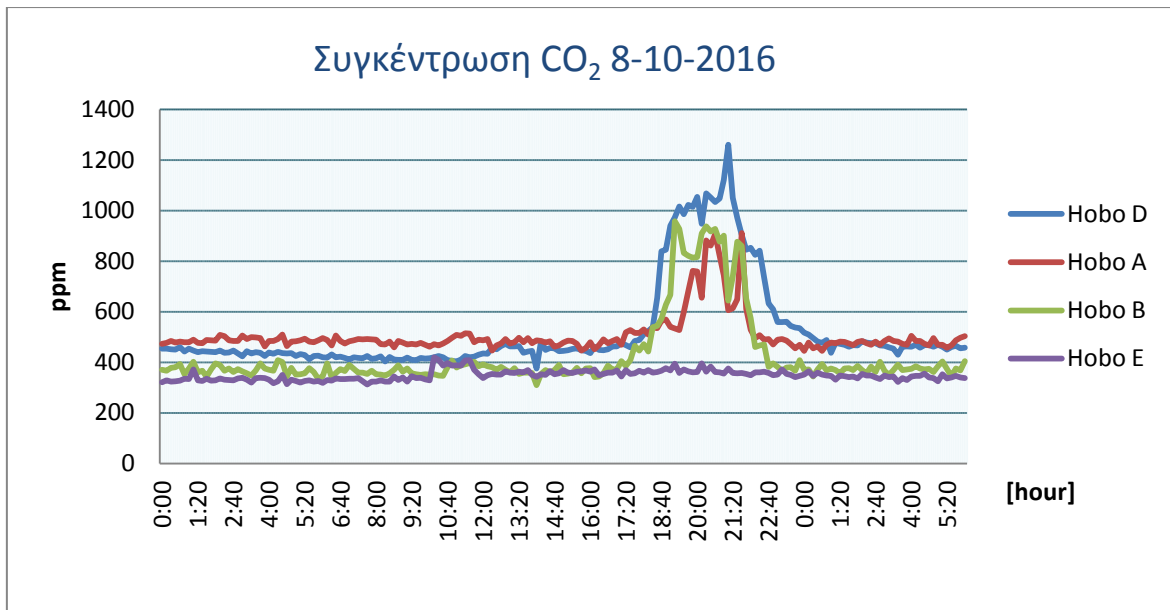
Σχήμα 4.16: Συγκέντρωση CO₂ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα για την πρώτη περίοδο μετρήσεων



Σχήμα 4.17: Συγκέντρωση CO₂ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα για τη δεύτερη περίοδο μετρήσεων



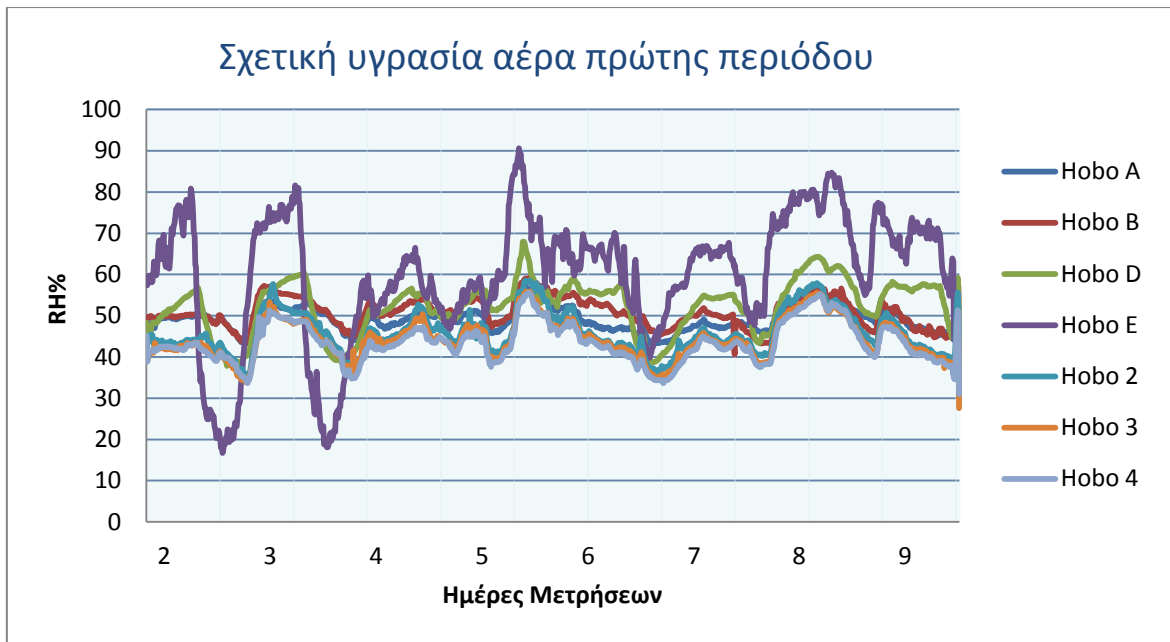
Σχήμα 4.18: Συγκέντρωση CO₂ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα για την ημέρα διεξαγωγής αγώνων 17-09-2016 κατά τη διάρκεια της πρώτης περιόδου μετρήσεων



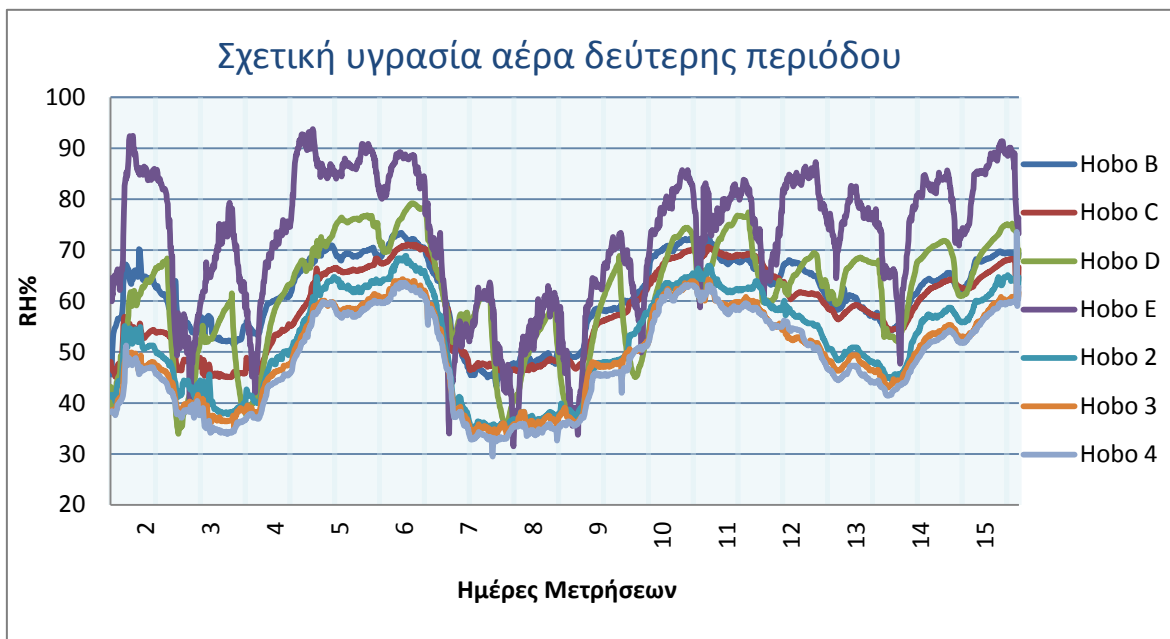
Σχήμα 4.19: Συγκέντρωση CO₂ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα για την ημέρα διεξαγωγής αγώνων 8-10-2016 κατά τη διάρκεια της δεύτερης περιόδου μετρήσεων

➤ Σχετική υγρασία εσωτερικού αέρα

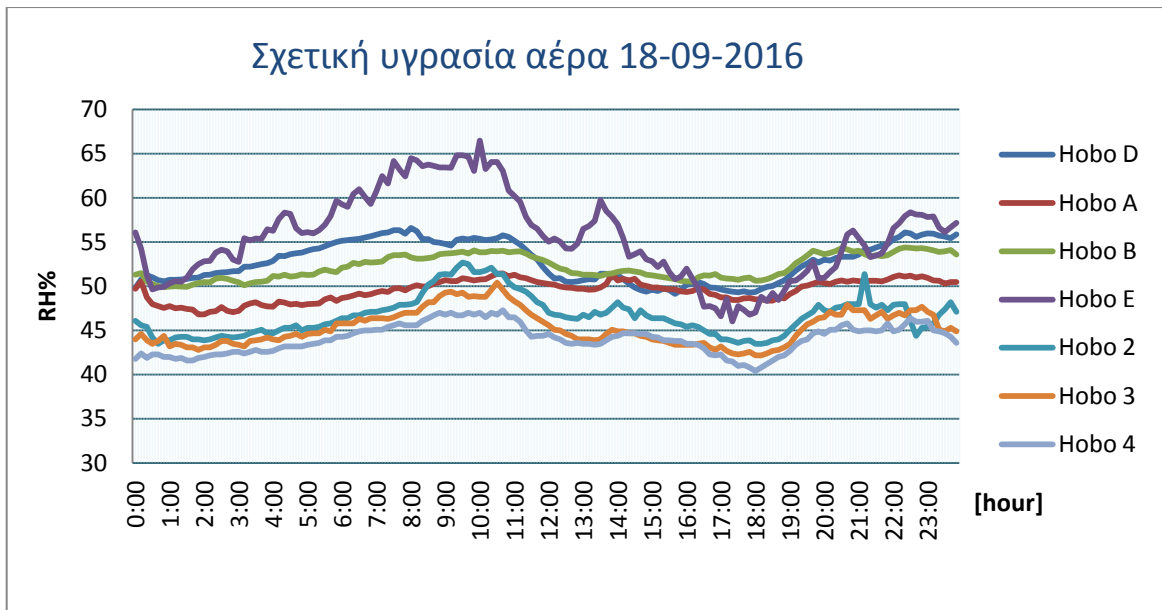
Τα αποτελέσματα που αφορούν στη σχετική υγρασία του εσωτερικού αέρα παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.20 έως 4.22 και η ερμηνεία τους έγκειται στον έλεγχο επίτευξης συνθηκών άνεσης. Τόσο για την πρώτη, όσο και για τη δεύτερη περίοδο των μετρήσεων τα ποσοστά σχετικής υγρασίας του εσωτερικού χώρου ακολουθούν την τάση της σχετικής υγρασίας του εξωτερικού αέρα, χωρίς όμως να παίρνουν τόσο ακραίες τιμές. Στο σημείο αυτό, πρέπει να διασαφηνιστεί ότι επειδή το γυμναστήριο δε λειτουργούσε κανονικά σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων, παρά μόνο τέσσερις μέρες από αυτές και η σχετική υγρασία συνδέεται άμεσα με τη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης-ψύξης και αερισμού, συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν μόνο για τις μέρες διεξαγωγής των αγώνων. Έτσι, παρατηρείται ότι οι μετρούμενες τιμές κινούνται ως επί το πλείστον μεταξύ 40% και 60%, ποσοστά που ικανοποιούν τη θερμική άνεση των χρηστών και επομένως καταδεικνύουν την ορθή λειτουργία των παραπάνω ενεργειακών συστημάτων, όπως επίσης και του συστήματος BEMS. Τέλος, αναφέρεται ότι αποκλίσεις μεταξύ των οργάνων οφείλονται μόνο σε θέματα βαθμονόμησης αυτών.



Σχήμα 4.20: Σχετική υγρασία εσωτερικού και εξωτερικού αέρα (%) για διάφορα σημεία του χώρου κατά τη διάρκεια της πρώτης περιόδου μετρήσεων



Σχήμα 4.21: Σχετική υγρασία (%) εσωτερικού και εξωτερικού αέρα (Hobo E) για διάφορα σημεία του χώρου κατά τη διάρκεια της δεύτερης περιόδου μετρήσεων

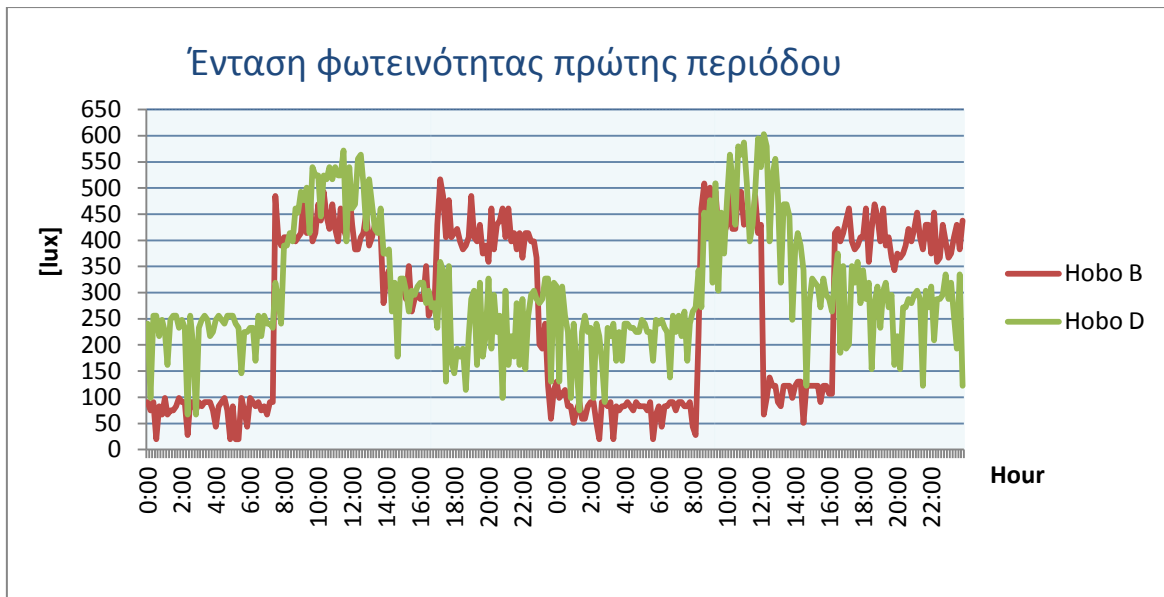


Σχήμα 4.22: Σχετική υγρασία εσωτερικού και εξωτερικού αέρα (%) για διάφορα σημεία του χώρου κατά τη διάρκεια μιας τυπικής ημέρας της πρώτης περιόδου μετρήσεων

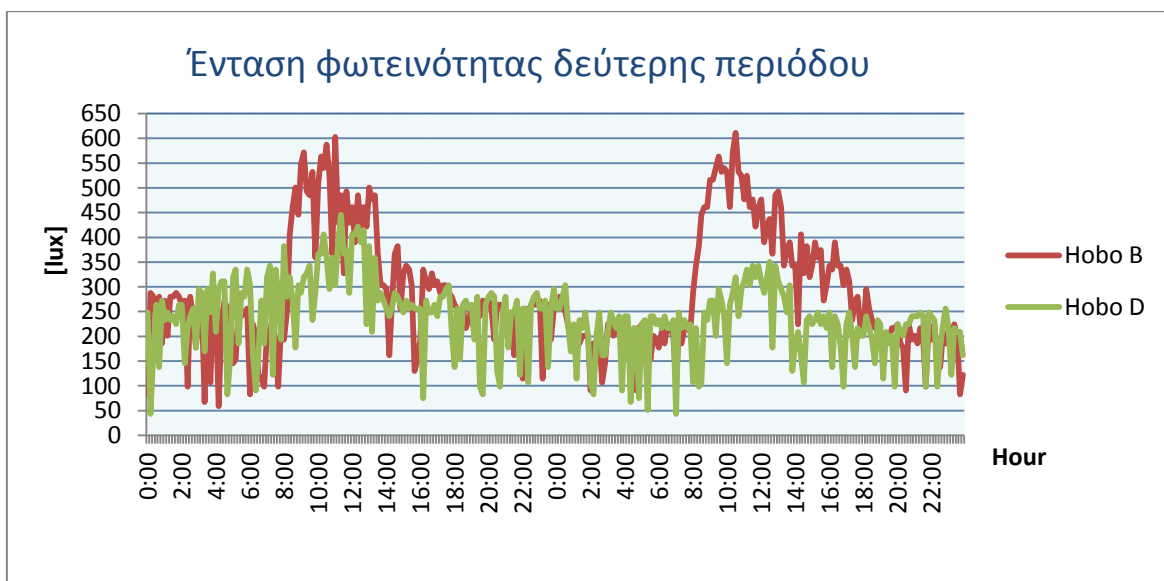
➤ Φωτεινότητα

Τα επιθυμητά επίπεδα φωτεινότητας, που ορίζουν τις συνθήκες οπτικής άνεσης των χρηστών, για κάθε αθλητικό κέντρο κυμαίνονται από 200 έως 1300 lux ανάλογα με το βεληνεκές των διοργανώσεων και τις επιμέρους χρήσεις των χώρων (Πίνακας 2.2). Για το εξεταζόμενο κτίριο, τα αισθητήρια όργανα κατά την πρώτη περίοδο των μετρήσεων τοποθετήθηκαν το ένα κοντά στο ύψος του γηπέδου (Hobo B), και το άλλο στο υψηλότερο σημείο των κερκίδων δίπλα στο νοτιοανατολικό παράθυρο (Hobo D). Αντίστοιχα, για τη δεύτερη περίοδο, το πρώτο αισθητήριο μετακινήθηκε στον προθάλαμο του γυμναστηρίου, ενώ το δεύτερο παρέμεινε στην ίδια θέση.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.23, ικανοποιούν σε μεγάλο βαθμό τις απαιτήσεις οπτικής άνεσης καθόλη τη διάρκεια των ωρών λειτουργίας του κτιρίου. Συγκεκριμένα, για τις ώρες διεξαγωγής των διεθνών αγώνων πετοσφαίρισης στο χώρο του γηπέδου η ένταση της φωτεινότητας εκτιμήθηκε από 350-500 lux τόσο κατά το χρονικό διάστημα εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού, όσο και μετά τη χρήση των ηλεκτρικών συστημάτων. Συνακόλουθα, στις κερκίδες η φωτεινότητα εμφανίζεται ελαφρώς μειωμένη, σε σχέση με τον αγωνιστικό χώρο, με τιμές όμως μεγαλύτερες από τις προβλεπόμενες εξαιτίας της τοποθέτησης του οργάνου μέτρησης δίπλα στο υαλοστάσιο. Το γεγονός αυτό δικαιολογεί εξολοκλήρου τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων, καθώς παρουσιάζουν μέγιστες τιμές τις ώρες που ανατέλλει ο ήλιος, ενώ τις ώρες όπου γίνεται χρήση του τεχνητού φωτισμού σταθεροποιούνται γύρω από τα 250 lux.



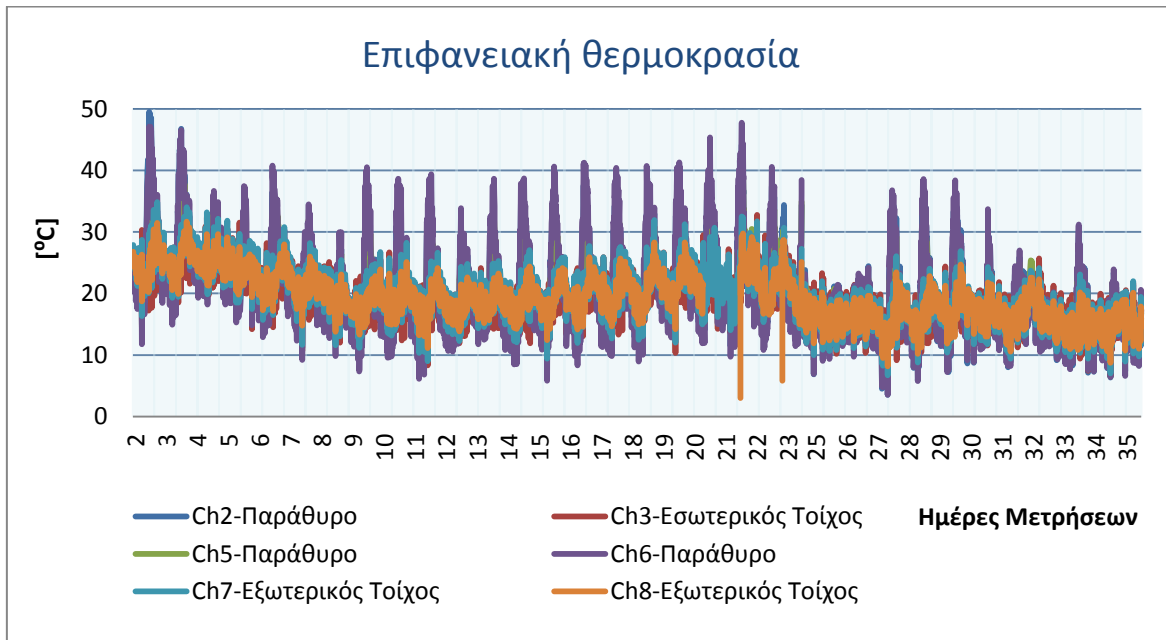
Σχήμα 4.23: Ένταση φωτεινότητας (lux) για δύο σημεία του γηπέδου στις 17-09-2016 και 18-09-2016 (ημέρες διεξαγωγής αγώνων) της πρώτης περιόδου μετρήσεων



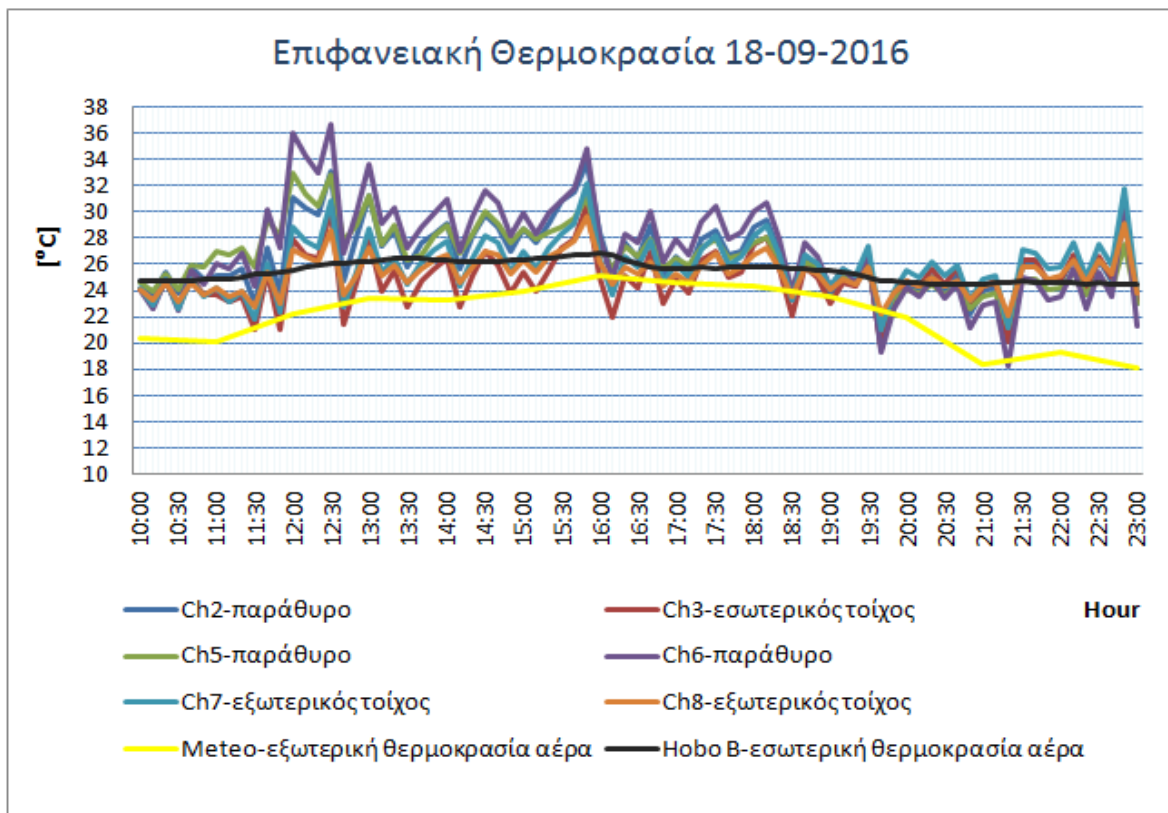
Σχήμα 4.24: Ένταση φωτεινότητας (lux) για δύο σημεία του γυμναστηρίου στις 8-10-2016 (ημέρα διεξαγωγής αγώνων) και 9-10-2016 της δεύτερης περιόδου μετρήσεων

Όσον αφορά τη δεύτερη περίοδο των μετρήσεων (Σχήμα 4.24), τα δεδομένα συγκλίνουν στο συμπέρασμα της εξασφάλισης της επιθυμητής έντασης φωτεινότητας από φυσικό και τεχνητό φωτισμό στον προθάλαμο του γυμναστηρίου με μικρές διακυμάνσεις γύρω από τα 250 lux. Τέλος, σύμφωνα με το αισθητήριο, που τοποθετήθηκε εντός του αγωνιστικού χώρου, επιτυγχάνεται και πάλι η ζητούμενη οπτική άνεση των αθλητών και των θεατών στη διάρκεια των αγώνων που πραγματοποιήθηκαν στις 8-10-2016.

➤ Επιφανειακή θερμοκρασία



Σχήμα 4.25: Επιφανειακή θερμοκρασία για διάφορες θέσεις της νοτιοανατολικής πλευράς του γυμναστηρίου κατά το σύνολο των ημερών μέτρησης



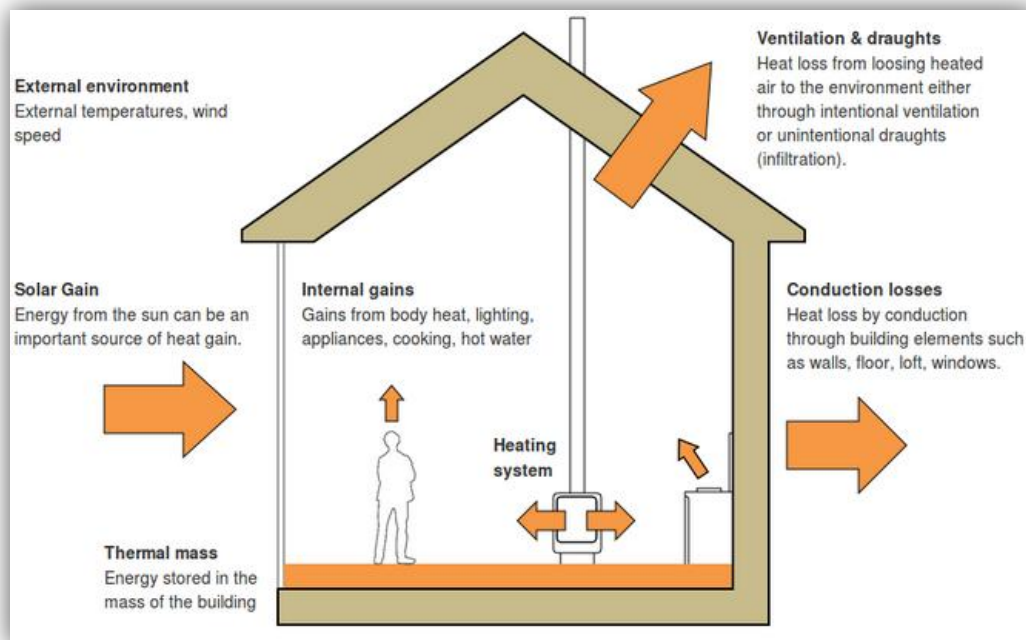
Σχήμα 4.26: Επιφανειακή θερμοκρασία για διάφορες θέσεις της νοτιοανατολικής πλευράς του γυμναστηρίου μιας τυπικής ημέρας μέτρησης και σύγκριση με την εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία του αέρα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα (Σχήμα 4.25 και 4.26), οι τιμές των αισθητηρίων που τοποθετήθηκαν στα παράθυρα εμφανίζονται υψηλότερες αυτών που βρίσκονται στους τοίχους, με τάση σύμφωνη με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Επίσης, παρατηρείται ότι η μορφή της διακύμανσης των τιμών των αισθητηρίων ακολουθεί την αντίστοιχη διακύμανση της θερμοκρασίας του χώρου, γεγονός καθόλα επιθυμητό και αναμενόμενο. Συνδυάζοντας τις δυο παραπάνω ερμηνείες των αποτελεσμάτων, μπορεί με κάθε επιφύλαξη να εξαχθεί το συμπέρασμα μεγάλης θερμικής αδράνειας του κελύφους του κτιρίου, καθώς σε μία ενδεικτική μέρα, όπου η εξωτερική θερμοκρασία έχει μέγιστο τους 23°C και το βράδυ πέφτει στους 18°C, η θερμοκρασία του χώρου διατηρείται σταθερή γύρω από τους 25°C με πολύ μικρές αποκλίσεις ακόμα και τις ώρες που δε λειτουργούν τα ηλεκτρομηχανικά μέσα. Σημειώνεται ότι μεταξύ των ημερών 20 και 22 λείπουν κάποιες μετρήσεις, εξαιτίας τεχνικού προβλήματος ενός αισθητηρίου.

Κεφάλαιο 5: Ενεργειακή αξιολόγηση αθλητικού κέντρου

5.1 Μεθοδολογία υπολογισμών και αξιολόγησης

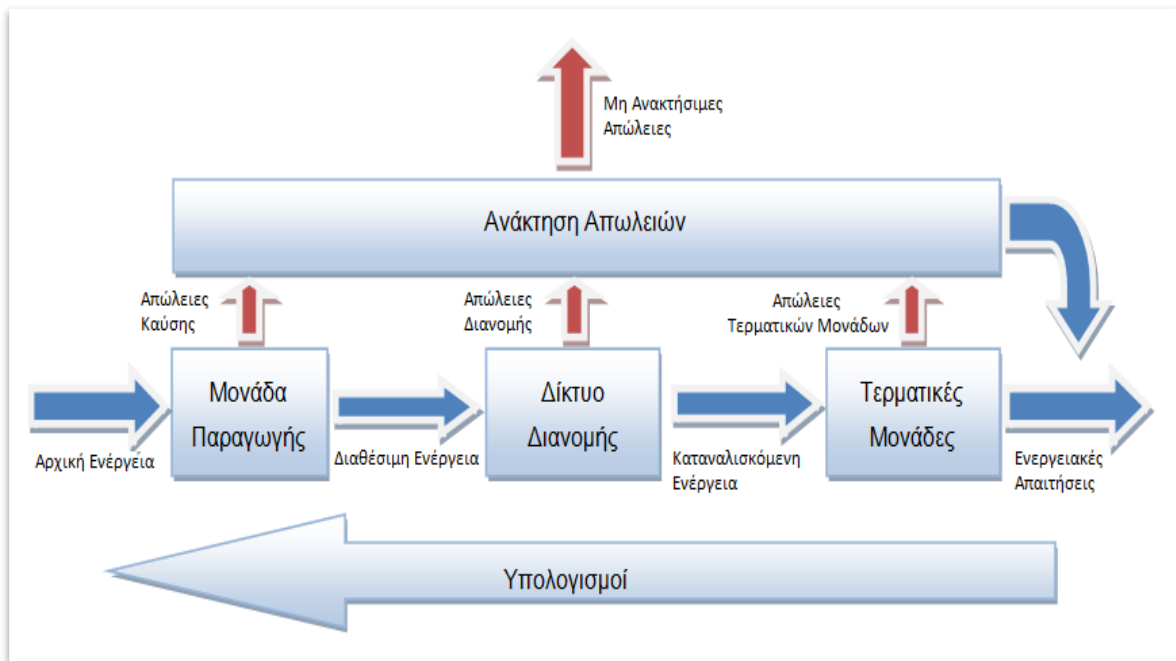
Στόχο του συγκεκριμένου κεφαλαίου αποτελεί η αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κλειστού γυμναστηρίου της Λευκόβρυσης, αναφορικά με τα ενεργειακά φορτία και τις εκπομπές CO₂ που προκύπτουν κατά τη λειτουργία του. Για το σκοπό αυτό, υπολογίζονται αναλυτικά οι υφιστάμενες απαιτήσεις του κτιρίου σε θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ΖΝΧ, που σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες καταναλώσεις χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης του αθλητικού κέντρου, όπως αυτή ορίζεται από τα εθνικά και ευρωπαϊκά νομοθετικά πρότυπα.



Σχήμα 5.1: Σχηματική απεικόνιση υπολογισμού ενεργειακών απαιτήσεων, πηγή: [51]

Επί του πρακτέου, για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του υπό μελέτη κτιρίου εφαρμόζεται η μέθοδος ημισταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος, που προβλέπεται από τον KENAK και το πρότυπο EN ISO 13790, 2008 (Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling) [52]. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία επιχειρεί να μοντελοποιήσει την επίδραση των φορτίων που συμμετέχουν στο ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου, λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρία του, τις θερμοφυσικές ιδιότητες των υλικών κατασκευής του και τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής, για τον προσδιορισμό των συνολικών ενεργειακών απαιτήσεων ανά τελική χρήση (Σχήμα 5.1). Ταυτόχρονα, αντιμετωπίζει τα δυναμικά φαινόμενα σε μηνιαία βάση,

με τη βοήθεια του συντελεστή χρήσης, που καθορίζει το βαθμό κατά τον οποίο τα θερμικά κέρδη συμβάλλουν στη μείωση της ενεργειακής ζήτησης για θέρμανση και το βαθμό κατά τον οποίο οι θερμικές απώλειες συμβάλλουν στη μείωση της ενεργειακής ζήτησης για ψύξη [53].



Σχήμα 5. 2: Σχηματική παράσταση μεθόδου υπολογισμών, πηγή: [54]

Έχοντας υπολογίσει τις ενεργειακές απαιτήσεις, ακολουθεί ο υπολογισμός των αντίστοιχων καταναλώσεων που παρουσιάζεται σχηματικά στο Σχήμα 5.2. Όπως φαίνεται, η ενέργεια ξεκινώντας από την αρχική της μορφή, μετατρέπεται στη μονάδα παραγωγής σε διαθέσιμη ενέργεια, περνάει από το δίκτυο διανομής στις τερματικές μονάδες και τελικά χρησιμοποιείται για την κάλυψη των εκάστοτε ενεργειακών απαιτήσεων. Επειδή όμως, δεν είναι δυνατή η πλήρης μετατροπή της ενέργειας από τη μία μορφή στην άλλη, σε κάθε στάδιο της πορείας αυτής, συνυπολογίζονται οι βαθμοί απόδοσης όλων των επιμέρους συστημάτων, που ποσοτικοποιούν τις απώλειες προσαυξάνοντας τις τελικές ενεργειακές καταναλώσεις. Παραδείγματος χάρη, σε ένα σύστημα θέρμανσης με χρήση λέβητα πετρελαίου, η ενέργεια μετατρέπεται με καύση, σύμφωνα με το βαθμό απόδοσης του λέβητα, από χημική σε θερμική και στη συνέχεια διαμέσου των σωληνώσεων καταλήγει στις τερματικές μονάδες (συνήθως καλοριφέρ υψηλών θερμοκρασιών) μειωμένη κατά ένα ποσό, που αντιστοιχεί σε θερμικές απώλειες των δύο τελευταίων συστημάτων. Έτσι, εφόσον είναι γνωστοί οι βαθμοί απόδοσης όλων των ενδιάμεσων συστημάτων, ακολουθώντας την αντίστροφη πορεία, καθορίζεται το ποσό της αρχικής ενέργειας που πρέπει να δαπανηθεί για την εκάστοτε χρήση.

Αθροίζοντας στη συνέχεια τα ποσά για κάθε χρήση (θέρμανση, ψύξη, φωτισμό κτλ.), υπολογίζεται η συνολική κατανάλωση ενέργειας για όλο το κτίριο, που είναι και το ζητούμενο μέγεθος. Πως όμως αξιολογείται το μέγεθος αυτό σε σχέση με την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου;

Για την απάντηση του προηγούμενου ερωτήματος δύο είναι οι έννοιες που πρέπει να οριστούν και να διασαφηνιστούν: η πρωτογενής ενέργεια και το κτίριο αναφοράς. Η πρωτογενής ενέργεια αποτελεί την ισοδύναμη ενέργεια, που αποτυπώνει την ποιότητα κάθε μορφής ενέργειας, ανάλογα με την πηγή από την οποία προέρχεται και χρησιμοποιείται ως μέσο σύγκρισης για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Πιο αναλυτικά, η αρχική ενέργεια κάθε χρήσης μετατρέπεται με ένα συντελεστή, ο οποίος δίνεται στις ΤΟΤΕΕ 20701, σε πρωτογενή ενέργεια και στη συνέχεια τα ποσά για τη συνολική λειτουργία του κτιρίου αθροίζονται και υπολογίζεται η ζητούμενη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, η οποία διαιρούμενη με την επιφάνεια του κτιρίου εκφράζεται σε kWh/m². Επιπρόσθετα, με παρόμοιο τρόπο, ένας άλλος συντελεστής πολλαπλασιασμένος με την καταναλισκόμενη ενέργεια καθορίζει την ποσότητα του CO₂ (kgCO₂/m²) που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα και αποτελεί μέτρο εκτίμησης της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου.

Η δεύτερη έννοια που αναλύεται είναι το κτίριο αναφοράς, το οποίο κρίνει αν το εξεταζόμενο κτίριο είναι ενεργειακά αποδοτικό ή όχι. Είναι δηλαδή, ένα πρότυπο κτίριο όμοιο με το προς επιθεώρηση κτίριο, που έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, ικανοποιεί όλες τις ελάχιστες απαιτήσεις του ΚΕΝΑΚ και αποτελεί το μέτρο σύγκρισης για την ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων. Συγκεκριμένα, με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος του ΚΕΝΑΚ, συγκρίνεται η απόδοση του υπό μελέτη κτιρίου με αυτή του κτιρίου αναφοράς, το οποίο υπάγεται στην κατηγορία Β, και ανάλογα πόσο υπερτερεί ή υπολείπεται από αυτή, κατατάσσεται στην αντίστοιχη ενεργειακή ομάδα.

Κατοχύρωση όλων των παραπάνω αποτελεί η έκδοση ενεργειακού πιστοποιητικού, όπως αυτό ορίζεται με την κοινή υπουργική απόφαση υπ' αριθμ. Δ6/Β/οικ. 5825, (ΦΕΚ 407 Β'9-4-2010) [55]. Το ενεργειακό πιστοποιητικό περιλαμβάνει γενικά στοιχεία του ακινήτου και του ιδιοκτήτη αυτού και κατατάσσει το κτίριο με βάση την τελική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και τις εκπομπές CO₂ που οφείλονται στη λειτουργία του. Επιπλέον, περιέχει στοιχεία της πραγματικής κατανάλωσης του κτιρίου, αν υπάρχουν, καθώς και στοιχεία για τις συνθήκες άνεσης των χρηστών. Τέλος, υποχρεωτική κρίνεται η προσθήκη τουλάχιστον μιας εναλλακτικής πρότασης σε συνδυασμό με μια σύντομη οικονομοτεχνική μελέτη για την αναβάθμιση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου

τόσο από πλευράς κατανάλωσης ενέργειας, όσο και από πλευράς εκπομπών ρύπων, που θα βελτιώσει το οικολογικό αποτύπωμα του κτιρίου.

5.2 Ενεργειακές απαιτήσεις

Ανάγοντας τη θεωρία σε πράξη, ο υπολογισμός των ενεργειακών απαιτήσεων του εξεταζόμενου κτιρίου για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση και ψύξη, περιγράφεται από το ισοζύγιο κερδών και απωλειών που αποτυπώνεται στις εξισώσεις 5.1 και 5.2. Οι υπολογισμοί γίνονται σε μηνιαία βάση, ενώ οι περίοδοι θέρμανσης και ψύξης καθορίζονται από τις ΤΟΤΕΕ 20701 ανάλογα με την κλιματική Ζώνη στην οποία ανήκει το κτίριο. Στην παρούσα μελέτη, το κλειστό γυμναστήριο βρίσκεται στην περιοχή της Κοζάνης και εντάσσεται στην Ζώνη Δ, γεγονός που ορίζει περίοδο θέρμανσης από 15 Οκτωβρίου μέχρι 30 Απριλίου και περίοδο ψύξης από 1 Ιουνίου μέχρι 31 Αυγούστου αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι, η μεθοδολογία υπολογισμών αφορά μόνο στους παραπάνω μήνες, ενώ την υπόλοιπη περίοδο θεωρείται ότι οι ενεργειακές ανάγκες καλύπτονται εξολοκλήρου από τα θερμικά κέρδη ή τις απώλειες του κτιρίου.

$$Q_{H_dem,i} = Q_{H_loss,i} - \eta_H \cdot Q_{H_gain,i} \quad (5.1)$$

$$Q_{C_dem,i} = Q_{C_gain,i} - \eta_C \cdot Q_{C_loss,i} \quad (5.2)$$

Όπου,

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

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

$Q_{H_loss,i}$: οι μηνιαίες ενεργειακές απώλειες σε kWh για την περίοδο θέρμανσης

$Q_{H_gain,i}$: τα μηνιαία ενεργειακά κέρδη σε kWh για την περίοδο θέρμανσης

$Q_{C_loss,i}$: οι μηνιαίες ενεργειακές απώλειες σε kWh για την περίοδο ψύξης

$Q_{C_gain,i}$: τα μηνιαία ενεργειακά κέρδη σε kWh για την περίοδο ψύξης

η_H : ο συντελεστής χρήσης για θέρμανση

η_C : ο συντελεστής χρήσης για ψύξη

Αναφορικά με το συντελεστή χρήσης για θέρμανση/ψύξη, εξαρτάται τόσο από την αναλογία κερδών/απωλειών, όσο και από τη θερμική αδράνεια του κτηρίου. Έτσι, αν η παραπάνω αναλογία είναι μεγάλη, συνεπάγεται μικρή επίδραση των θερμικών κερδών ή απωλειών, ενώ αντίστροφα, αν η αναλογία είναι μικρή, συνεπάγεται μεγαλύτερη

επίδραση. Συνακόλουθα, αν το κέλυφος του κτιρίου έχει υψηλή θερμική αδράνεια, ο συντελεστής χρήσης παίρνει τιμές κοντά στη μονάδα, ενώ αντίθετα η χαμηλή θερμική αδράνεια, δηλώνει χαμηλό συντελεστή χρήσης και μικρή συνεισφορά των κερδών/απωλειών στις συνολικές απαιτήσεις. Η αξία λοιπόν του συγκεκριμένου συντελεστή είναι καθοριστική, αφού στην πραγματικότητα ενσωματώνει στους υπολογισμούς κάποια από τα δυναμικά φαινόμενα, κάνοντας τα αποτελέσματα των ενεργειακών φορτίων όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά. Ακολουθούν οι μαθηματικές σχέσεις για τον υπολογισμό του συντελεστή χρήσης ($\eta_{H/C}$) :

$$\diamond \quad \eta_H = \frac{1-\gamma_H^{a_H}}{1-\gamma_H^{a_H+1}} \quad \text{και} \quad \eta_C = \frac{1-\gamma_C^{-a_C}}{1-\gamma_C^{-(a_C+1)}} \quad \text{όταν ισχύουν: } \gamma_H, \gamma_C > 0 \quad \text{και} \quad \gamma_H, \gamma_C \neq 1 \quad (5.3)$$

$$\diamond \quad \eta_H = \frac{a_H}{a_H+1} \quad \text{και} \quad \eta_C = \frac{a_C}{a_C+1} \quad \text{όταν ισχύουν: } \gamma_H, \gamma_C = 1 \quad (5.4)$$

$$\diamond \quad \eta_H = \frac{1}{\gamma_H} \quad \text{και} \quad \eta_C = 1 \quad \text{όταν ισχύουν: } \gamma_H, \gamma_C < 0 \quad (5.5)$$

Όπου,

γ_H : η αναλογία των κερδών/απωλειών για την περίοδο θέρμανσης ή ισοδύναμα:

$$\gamma_H = Q_{H_gain} / Q_{H_loss}$$

γ_C : η αναλογία των κερδών/απωλειών για την περίοδο ψύξης ή ισοδύναμα:

$$\gamma_C = Q_{C_gain} / Q_{C_loss}$$

a_H/a_C : η αδιάστατη παράμετρος, που εξαρτάται από τη σταθερά χρόνου του κτιρίου, για θέρμανση/ψύξη και δίνεται από τη σχέση:

$$\diamond \quad a_{H/C} = a_{H/C,0} + \frac{\tau}{\tau_{H/C,0}} \quad \text{με σταθερά χρόνου (hours):} \quad \tau = \frac{(C_m/3600)}{H_{con}+H_{ve}} \quad (5.6)$$

Όπου:

$a_{H/C,0}$: 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

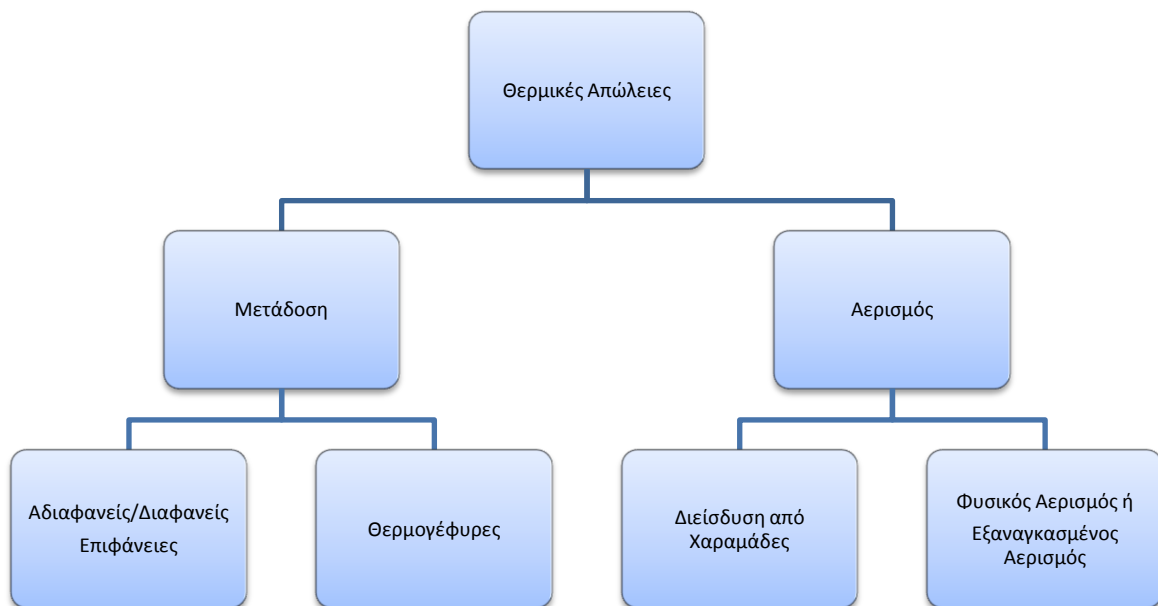
C_m : η εσωτερική θερμοχωρητικότητα του κτιρίου σε J/K, η οποία υπολογίζεται με βάση τον Πίνακα 3.13 της TOTEE 20701-1 και την εξωτερική επιφάνεια του κελύφους.

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

5.2.1 Υπολογισμός ενεργειακών απωλειών

Ως ενεργειακές απώλειες, στην παρούσα μεθοδολογία, ορίζονται τα φορτία που εκρέουν από το κτίριο προς το εξωτερικό περιβάλλον είτε με μετάδοση θερμότητας διαμέσου του κτιριακού κελύφους, είτε λόγω αερισμού εξαιτίας των ανοιγμάτων, των χαραμάδων ή του εξαναγκασμένου αερισμού (Σχήμα 5.3).



Σχήμα 5.3: Θερμικές απώλειες μεταφοράς κτιρίου

Στην περίπτωση της μετάδοσης, οι απώλειες υπολογίζονται με τη χρήση του συντελεστή θερμοπερατότητας των διαφανών και αδιαφανών δομικών στοιχείων, σε συνδυασμό με τη διαφορά της θερμοκρασίας του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Με τον τρόπο αυτό, ποσοτικοποιείται η θερμική ενέργεια, που ρέει φυσικά από το θερμότερο προς το ψυχρότερο μέσο, ανάλογα με τις ιδιότητες των χρησιμοποιούμενων υλικών και λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη θερμοκρασία της περιοχής, όσο και την επιθυμητή θερμοκρασία του χώρου για την επίτευξη θερμικής άνεσης των χρηστών.

Από την άλλη μεριά, το φορτίο αερισμού διαιρείται σε φορτίο θεμιτού και αθέμιτου αερισμού. Ο θεμιτός αερισμός ορίζει το φορτίο που απαιτείται, ώστε να εξασφαλίζεται υγιής ποιότητας αέρα και επιτελείται είτε με την απλή χρήση των ανοιγμάτων του κτιρίου, είτε με τη χρήση ηλεκτρομηχανολογικών μέσων, όταν οι ανάγκες είναι μεγαλύτερες, σε

κτίρια κυρίως του τριτογενούς τομέα. Όσον αφορά τον αθέμιτο αερισμό, προκύπτει εξαιτίας των αναπόφευκτων χαραμάδων του κελύφους, που επιτρέπουν την διείσδυση αέρα από και προς το κτίριο μεταφέροντας θερμικά/ψυκτικά φορτία. Για τον υπολογισμό των απωλειών λόγω αερισμού, χρησιμοποιούνται δεδομένα υγρασίας, θερμοκρασιών και ιδιοτήτων ρευστών, συνεκτιμώντας το φορτίο που απαιτείται για την διασφάλιση των εκάστοτε συνθηκών άνεσης. Σημειώνεται ότι σε κάθε περίπτωση, οι υπολογισμοί απωλειών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση του κτιρίου, τον αριθμό των χρηστών και το ωράριο λειτουργίας, καθώς είναι αυτά που θα καθορίσουν τις τελικές τιμές των ενεργειακών απαιτήσεων.

➤ **Απώλειες μετάδοσης**

Για τη μελέτη του εξεταζόμενου κλειστού γυμναστηρίου υπολογίστηκαν οι απώλειες μετάδοσης ($Q_{con,i}$) και για τις διαφανείς και για τις αδιαφανείς επιφάνειες του εξωτερικού κελύφους του κτιρίου, με τη χρήση των ακόλουθων τύπων:

$$Q_{con,i} = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot t = U \cdot A \cdot (T_{b,H/C} - \bar{T}_{a,i}) \cdot t \quad (5.7)$$

Όπου,

U : ο συντελεστής θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων σε W/m^2K , που δίνεται για όλα τα υλικά από τη μελέτη θερμομόνωσης του γυμναστηρίου και η μέθοδος υπολογισμού του αναλύεται παρακάτω

A : η καθαρή επιφάνεια του στοιχείου σε m^2 που υπολογίστηκε από τα αρχιτεκτονικά σχέδια του γυμναστηρίου

$T_{b,H/C}$: η επιθυμητή θερμοκρασία του χώρου για την περίοδο θέρμανσης ή ψύξης σε $^{\circ}C$, όπως ορίζεται στον Πίνακα 2.2 των TOTEE 20701-1

$\bar{T}_{a,i}$: η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος για κάθε μήνα σε $^{\circ}C$, όπως ορίζεται στον Πίνακα 3.1 των TOTEE 20701-3

t : η συνολική χρονική διάρκεια κάθε μήνα σε ώρες

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας των αδιαφανών και διαφανών επιφανειών του κτιρίου (Πίνακας 5.1), όπως ορίζεται στην TOTEE 20701-2, επαληθεύοντας τα στοιχεία της μελέτης θερμομόνωσης.

Αδιαφανείς επιφάνειες: Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των αδιαφανών στοιχείων 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 του στρώσεις αέρα.

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_a} \quad (5.8)$$

Όπου,

R_i : η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο και επιλέγεται από τον Πίνακα 3β της ΤΟΤΕΕ 20701-2 για δάπεδο σε επαφή με το έδαφος ίση με 0,17 m²K/W, για εξωτερικό τοίχο 0,13 m²K/W και οροφή 0,10 m²K/W

d_j : το πάχος της κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου σε m, που δίνεται αναλυτικά στην επίσημη μελέτη θερμομόνωσης

λ_j : ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της κάθε στρώσης, που λαμβάνει τιμές από τον Πίνακα 2 της ΤΟΤΕΕ 20701-2 και μετράται σε W/mK

n : το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου που δίνεται αναλυτικά στην επίσημη μελέτη θερμομόνωσης

R_a : η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον και επιλέγεται από τον Πίνακα 3β της ΤΟΤΕΕ 20701-2 για δάπεδο σε επαφή με το έδαφος ίση με 0 m²K/W και για εξωτερικό τοίχο και οροφή 0,04 m²K/W

Πίνακας 5.1: Συντελεστής θερμοπερατότητας ανά κατηγορία δομικού στοιχείου σε W/m²K

Κατηγορία δομικού στοιχείου	Συντελεστής θερμοπερατότητας W/m ² K
Δάπεδο	0,562
Οροφή	0,486
Τοίχος	0,604
Παράθυρα	3,72

Διαφανείς επιφάνειες: η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας για διαφανείς επιφάνειες (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 τη γραμμική θερμογέφυρα που αναπτύσσεται μεταξύ του πλαισίου και του υαλοπίνακα.

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + I_g \cdot \Psi_g}{A_f + A_g} \quad (5.9)$$

Όπου,

A_f : το εμβαδό επιφάνειας του πλαισίου του κουφώματος, που υπολογίζεται για κάθε στοιχείο από τα αρχιτεκτονικά σχέδια σε m

U_f : ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πλαισίου του κουφώματος, που λαμβάνεται από τον Πίνακα 11 της ΤΟΤΕΕ 20701-2 για συνθετικό υλικό ίσος με 2 W/m²K

A_g : το εμβαδό επιφάνειας του υαλοπίνακα του κουφώματος, που υπολογίζεται για κάθε στοιχείο από τα αρχιτεκτονικά σχέδια σε m

U_g : ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος, που λαμβάνεται από τον Πίνακα 12 της ΤΟΤΕΕ 20701-2 και παίρνει τιμές για διπλό τύπο υάλωσης και αέρα στο διάκενο από 1,5-2,5 W/m²K, ανάλογα με τις εκάστοτε διαστάσεις.

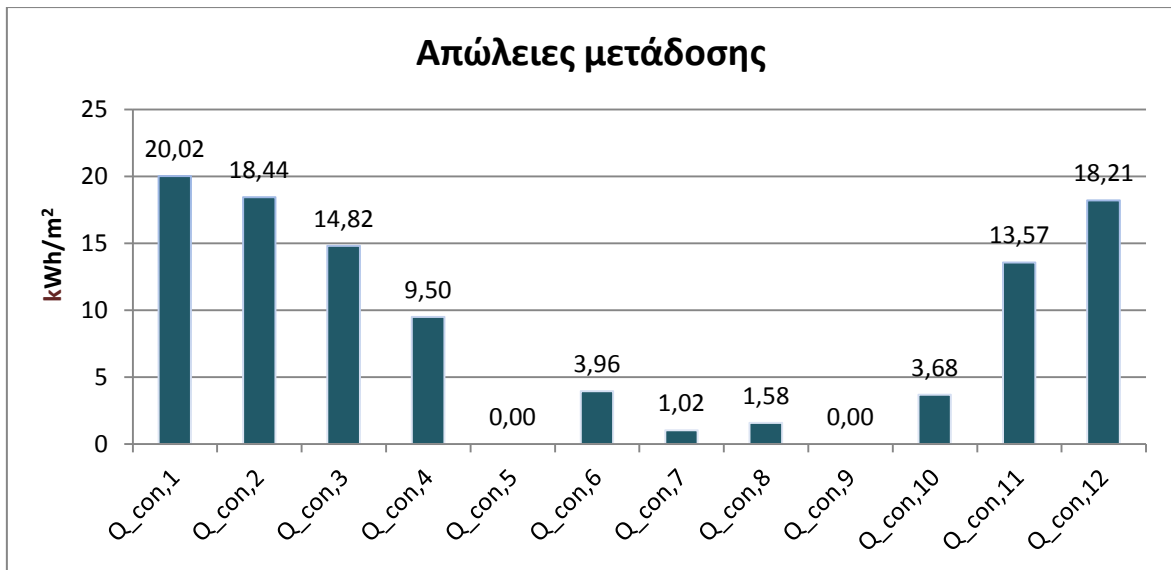
I_g : το μήκος της θερμογέφυρας υαλοπίνακα του κουφώματος (δηλαδή, η περίμετρος του υαλοπίνακα), που υπολογίζεται για κάθε στοιχείο από τα αρχιτεκτονικά σχέδια σε m

Ψ_g : ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος, που λαμβάνεται από τον Πίνακα 13 της ΤΟΤΕΕ 20701-2 για συνθετικό υλικό με επίστρωση χαμηλής εκπομπής ίσος με 0,08 W/mK

Έχοντας περιγράψει διεξοδικά τις διαδικασίες υπολογισμών, στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται τα φορτία μετάδοσης για τις αδιαφανείς και τις διαφανείς επιφάνειες του εξωτερικού του κτιρίου, ενώ το Σχήμα 5.4 περιλαμβάνει τα συνολικά αποτελέσματα που προέκυψαν σε μηνιαία βάση ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια.

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα ενεργειακών απωλειών μετάδοσης σε μηνιαία βάση για διαφανή, αδιαφανή και συνολικά δομικά στοιχεία, σε kWh

Απώλειες μετάδοσης	Q _{con.1} kWh	Q _{con.2} kWh	Q _{con.3} kWh	Q _{con.4} kWh	Q _{con.6} kWh	Q _{con.7} kWh	Q _{con.8} kWh	Q _{con.10} kWh	Q _{con.11} kWh	Q _{con.12} kWh
Αδιαφανή	68.070	62.686	50.380	32.304	13.460	3.461	5.384	12.498	46.149	61.916
Διαφανή	30.427	28.020	22.519	14.440	6.017	1.547	2.407	55.867	20.628	27.677
Συνολικά	98.497	90.706	72.899	46.744	19.477	5.008	7.791	18.085	66.777	89.593



Σχήμα 5.4: Αποτελέσματα ενεργειακών απωλειών μετάδοσης σε μηνιαία βάση ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια σε kWh/m²

Τα πρώτα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα επικεντρώνονται σε δύο σημεία: α) στη σταδιακή μείωση των απωλειών από τους πιο κρύους προς τους πιο θερμούς μήνες του έτους και β) στη τάξη μεγέθους των φορτίων. Εξήγηση στο πρώτο θέμα ενδιαφέροντος δίνει η διαφορά μεταξύ της εξωτερικής και εσωτερικής θερμοκρασίας. Η επιθυμητή θερμοκρασία για τους χειμερινούς και τους θερινούς μήνες είναι σταθερά 18°C και 25°C αντίστοιχα, ενώ η μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος μεταβάλλεται, με τη μέγιστη θερμοκρασία να αγγίζει τους 24,1°C τον Ιούλιο, δηλαδή μόλις 0,9°C κάτω από τη ζητούμενη θερμοκρασία. Άρα όπως είναι φυσικό, μικρή διαφορά θερμοκρασιών συνεπάγεται μικρότερες απώλειες μετάδοσης και το αντίστροφο. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί 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.

Αναφορικά με την τάξη μεγέθους των αποτελεσμάτων, με μια πρώτη ματιά κρίνεται αντιπροσωπευτική των υπάρχοντων δεδομένων. Επειδή το κλειστό γυμναστήριο κατασκευάστηκε σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ, τόσο τα διαφανή, όσο και τα αδιαφανή στοιχεία του κτιρίου, πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις θερμομόνωσης, έχοντας συντελεστές θερμοπερατότητας που μειώνουν τις απώλειες μετάδοσης. Βέβαια, τα παράθυρα εμφανίζουν μεγαλύτερες απώλειες από ότι τα συμπαγή δομικά στοιχεία, ενώ η μετάδοση αυξάνεται αναλογικά με το μέγεθος της εξεταζόμενης επιφάνειας.

➤ Απώλειες Αερισμού

Στο παρόν γυμναστήριο, για την κάλυψη των απαραίτητων φορτίων αερισμού, χρησιμοποιείται ηλεκτρομηχανολογικό σύστημα εξαναγκασμένου αερισμού, όπως περιγράφηκε αναλυτικά στην ενότητα 4.3. Σημειώνεται ότι, στις περιπτώσεις εξαναγκασμένου αερισμού, η συνεισφορά του αθέμιτου αερισμού θεωρείται αμελητέα και επομένως δεν συνυπολογίζεται στα αποτελέσματα. Ακολουθούν οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των απωλειών αερισμού ($Q_{vent,i}$) :

$$Q_{vent,i} = [\dot{V} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{b,H,C} - \bar{T}_{a,i}) \cdot t_{op}] + [\dot{V} \cdot \rho \cdot h_g \cdot (w_{b,H,C} - \bar{w}_{a,i}) \cdot t_{op}] \quad (5.10)$$

Όπου,

\dot{V} : η απαιτούμενη παροχή νωπού αέρα, που δίνεται από το υφιστάμενο σύστημα αερισμού με παραδοχή ανανέωσης αέρα κατά 35%, δηλαδή 14000 m³/h ή 3,8 m³/sec.

ρ : πυκνότητα αέρα που ισούται με 1,2 kg/m³

C_p : θερμοχωρητικότητα του αέρα που ισούται με 1,005 kJ/kgK

h_g : η ενθαλπία συμπύκνωσης υδρατμών που ισούται με 2445 kJ/kg

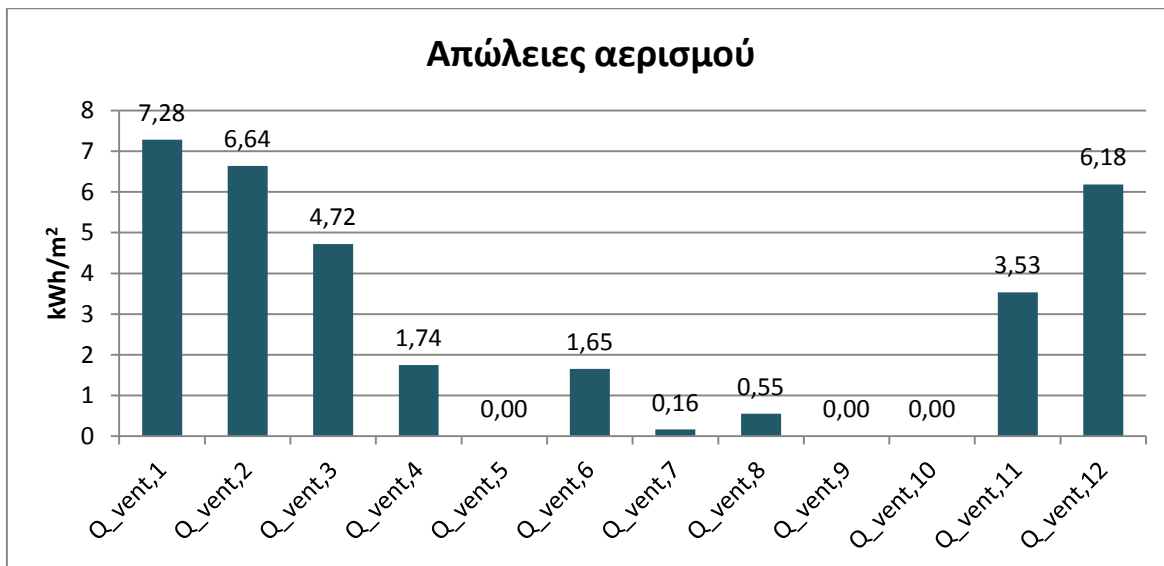
$w_{b,H,C}$: η επιθυμητή υγρασία του εσωτερικού χώρου, όπως ορίζεται στον Πίνακα 2.2 της TOTEE 20701-1 (kg υδρατμού /kg ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα)

$\bar{w}_{a,i}$: η μέση μηνιαία υγρασία περιβάλλοντος, όπως ορίζεται στον Πίνακα 3.10 της TOTEE 20701-3 (kg υδρατμού /kg ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα)

t_{op} : ο μηνιαίος χρόνος λειτουργίας σε ώρες, όπως ορίζεται στον Πίνακα 2.1 της TOTEE 20701-1

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.5 το φορτίο των απωλειών, λόγω εξαναγκασμένου αερισμού, παρουσιάζει σημαντικά μεγάλες τιμές ιδίως τους χειμερινούς μήνες. Το γεγονός αυτό, οφείλεται στις απαιτήσεις νωπού αέρα που προκύπτουν αναλογικά με την επιφάνεια του γηπέδου 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. Επίσης, σημαντικό ρόλο στον αερισμό διαδραματίζουν η υγρασία σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία του αέρα, καθώς καθορίζουν τις συνθήκες άνεσης των χρηστών. Έτσι, για άρτια λειτουργία του χώρου πρέπει να χρησιμοποιείται σύστημα ύγρανσης/αφύγρανσης και

θέρμανσης/ψύξης, όπως στην περίπτωση του Οκτωβρίου, όπου εμφανίζεται αρνητική τιμή στις απώλειες, επειδή η εξωτερική υγρασία είναι αισθητά μεγαλύτερη από τη ζητούμενη εσωτερική.

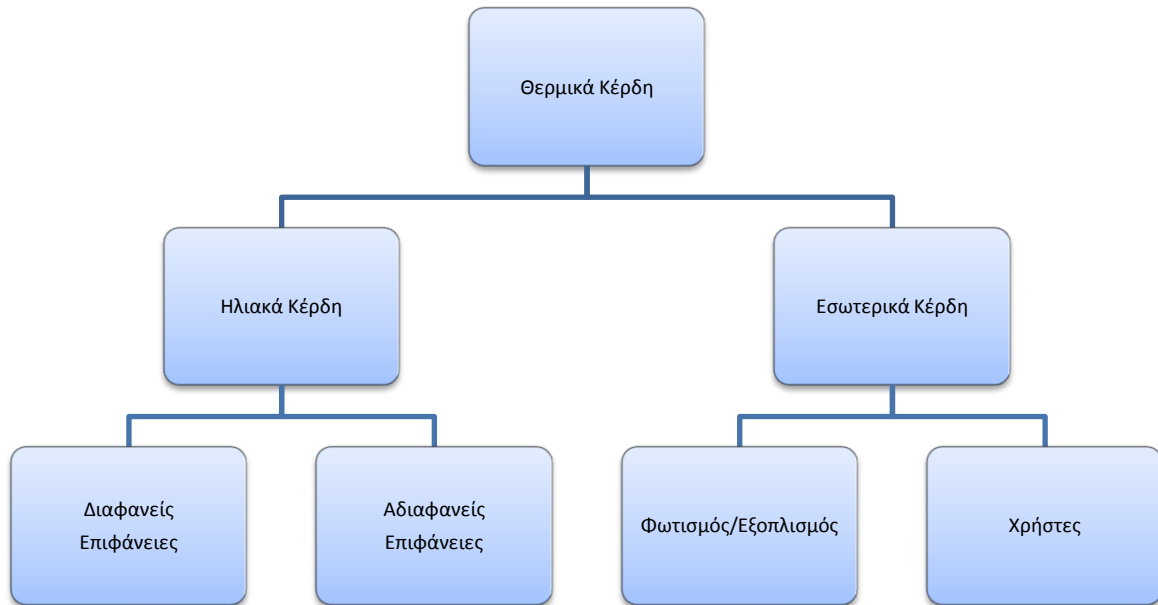


Σχήμα 5.5: Μηνιαία αποτελέσματα ενεργειακών απωλειών αερισμού, ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m²

Στο σημείο αυτό υπογραμμίζεται ότι, επειδή το παρόν αθλητικό κέντρο δεν έχει συστηματική χρήση, οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται μετά από την παραδοχή τυπικής λειτουργίας του χώρου σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ και επομένως κάποια από τα αποτελέσματα υπερκαλύπτουν τις υφιστάμενες απαιτήσεις.

5.2.2 Υπολογισμός ενεργειακών κερδών

Τα θερμικά κέρδη, στο ισοζύγιο ενέργειας κάθε κτιρίου, προκύπτουν από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στις διαφανείς και τις αδιαφανείς επιφάνειες, σε συνδυασμό με την αισθητή θερμότητα που εκπέμπεται από το φωτισμό, τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό και τη λανθάνουσα θερμότητα των χρηστών (Σχήμα 5.6).



Σχήμα 5.6: Θερμικά κέρδη κτιρίου

Τα ηλιακά κέρδη αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των συνολικών θερμικών κερδών, ειδικά σε περιοχές με εύκρατο κλίμα, αφού εξαρτώνται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, που προσπίπτει εξωτερικά του κτιρίου. Συνεπώς, μεγάλες απορροφητικές επιφάνειες που δέχονται άμεση ακτινοβολία, συνεπάγονται υψηλά θερμικά κέρδη, ενώ μικρές επιφάνειες που σκιάζονται από πιθανά εμπόδια ή είναι κατασκευασμένες από υλικά που αντιστέκονται στην ακτινοβολία, συνεπάγονται χαμηλά θερμικά κέρδη.

Αναφορικά με τα εσωτερικά κέρδη, καθορίζονται αποκλειστικά από τις χαρακτηριστικές παραμέτρους χρήσης του κτιρίου, οι σημαντικότερες εκ των οποίων είναι: το ωράριο λειτουργίας, η συγκέντρωση ατόμων, ο εξειδικευμένος εξοπλισμός, οι δραστηριότητες των χρηστών και οι απαιτήσεις οπτικής άνεσης. Για το λόγο αυτό, στη συγκεκριμένη κατηγορία, μεγαλύτερα κέρδη παρουσιάζουν τα κτίρια του τριτογενούς τομέα, καθώς συνήθως είναι χώροι συνάθροισης κοινού, έχουν υπολογίσιμη εγκατεστημένη ισχύ φωτισμού και εξοπλισμού και εκτεταμένα ωράρια λειτουργίας.

➤ Ηλιακά Κέρδη

Οι μαθηματικές σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των ηλιακών κερδών ($Q_{sol,i}$) στο κλειστό γυμναστήριο της Λευκόβρυσης είναι οι εξής:

$$\diamond Q_{sol,i} = A_{sol} \cdot F_{H/C} \cdot I_{sol,i} \quad (5.11)$$

$$\mu\epsilon \quad A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A = g_{gw} \cdot A \quad \text{για διαφανείς επιφάνειες} \quad (5.12)$$

$$\text{και} \quad A_{sol} = a_{sc} \cdot R_{se} \cdot U \cdot A \quad \text{για αδιαφανείς επιφάνειες} \quad (5.13)$$

Όπου,

A_{sol} : η ωφέλιμη συλλεκτική επιφάνεια ηλιακής ακτινοβολίας του στοιχείου σε m^2

$F_{H/C}$: ο μειωτικός συντελεστής σκίασης για την περίοδο θέρμανσης και ψύξης (υπολογίζεται αναλυτικά στη συνέχεια)

$I_{sol,i}$: η μέση μηνιαία ένταση ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσεως του προσανατολισμού κάθε στοιχείου, που δίνεται στο Παράρτημα Β των ΤΟΤΕΕ 20701-3 σε kWh/m^2

$F_{sh,gl}$: ο μειωτικός συντελεστής σκίασης λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα, εφόσον δεν υπάρχουν κινητά σκίαστρα

g_{gl} : ο συντελεστής θερμικών ηλιακών απολαβών του διαφανούς τμήματος του στοιχείου που υπολογίζεται ίσος με 0,675

F_F : ο λόγος της επιφάνειας του πλαισίου προς τη συνολική επιφάνεια του ανοίγματος που λαμβάνεται ίσος με 20%

g_{gw} : ο συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους του κουφώματος που ισούται με 0,54, σύμφωνα με τις ΤΟΤΕΕ 20701-1, Πίνακας 3.17

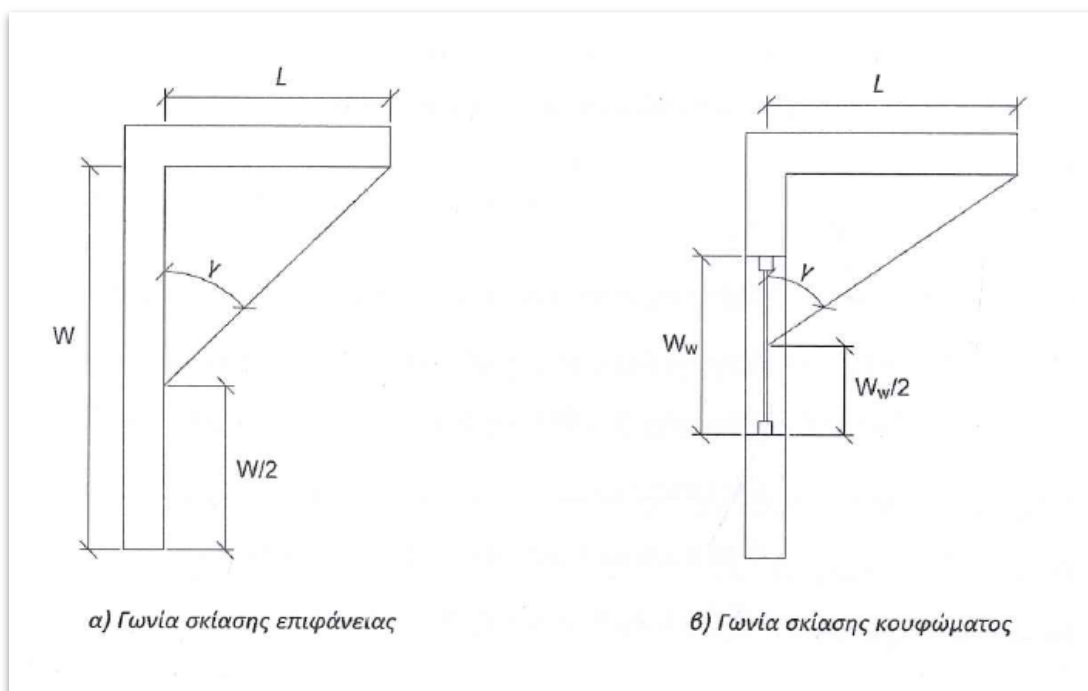
a_{sc} : η απορροφητικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας στο αδιαφανές στοιχείο επιλέγεται από τον Πίνακα 3.14 των ΤΟΤΕΕ 20701-1

R_{se} : η εξωτερική επιφανειακή αντίσταση του αδιαφανούς στοιχείου επιλέγεται ίση με 0,04 m^2K/W , σύμφωνα με τον Πίνακα 3β των ΤΟΤΕΕ 20701-2 για εξωτερικούς τοίχους, παράθυρα και οροφή

U : ο συντελεστής θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων σε W/m^2K , που δίνεται για όλα τα υλικά από τη μελέτη θερμομόνωσης του γυμναστηρίου και η μέθοδος υπολογισμού του περιγράφηκε στην ενότητα 5.2.1

A: η καθαρή επιφάνεια του στοιχείου σε m^2 που υπολογίστηκε από τα αρχιτεκτονικά σχέδια του γυμναστηρίου

Ο συντελεστής σκίασης για όλες τις εξεταζόμενες επιφάνειες αντιμετωπίζεται ξεχωριστά, καθώς αποτελεί σημαντικό παράγοντα στον υπολογισμό των θερμικών κερδών από την ηλιακή ακτινοβολία και καθορίζεται ανάλογα με τους οριζόντιους προβόλους, τις πλευρικές προεξοχές ή την ύπαρξη μακρινών εμποδίων. Αναλυτικότερα, για το παρόν κτίριο ο συντελεστής σκίασης που αφορά στα γειτονικά κτίρια, τόσο για τις αδιαφανείς όσο και για τις διαφανείς επιφάνειες, λαμβάνει την τιμή ένα, αφού το γυμναστήριο βρίσκεται εκτός κατοικημένης περιοχής. Επιπρόσθετα, στην νοτιοανατολική και βορειοδυτική πλευρά του κτιρίου υπάρχουν εξωτερικές σκάλες, που προκαλούν πλήρη σκίαση των επιφανειών που βρίσκονται από κάτω, γεγονός που συνεπάγεται μηδενικούς συντελεστές σκίασης στα αντίστοιχα στοιχεία. Τέλος, ο υπολογισμός του συντελεστή σκίασης από πλευρικές προεξοχές του κτιρίου, όπου αυτές υπάρχουν, πραγματοποιείται σύμφωνα με το Σχήμα 5.7. Υπολογίζεται δηλαδή, η γωνία που δημιουργείται από το μήκος της πλευρικής προεξοχής και την κατακόρυφη απόσταση αυτής από το μέσο της αδιαφανούς επιφάνειας ή του κουφώματος, και στη συνέχεια, συνεκτιμώντας τον προσανατολισμό, επιλέγεται ο ζητούμενος συντελεστής για τη θερινή και τη χειμερινή περίοδο από τον Πίνακα 3.20 της TOTEE 20701-1. Έτσι, έχοντας προσδιορίσει τους τρεις επιμέρους συντελεστές, ο ολικός συντελεστής σκίασης $F_{H/C}$, που χρησιμοποιείται στη Σχέση 5.11 ισούται με το γινόμενό τους.

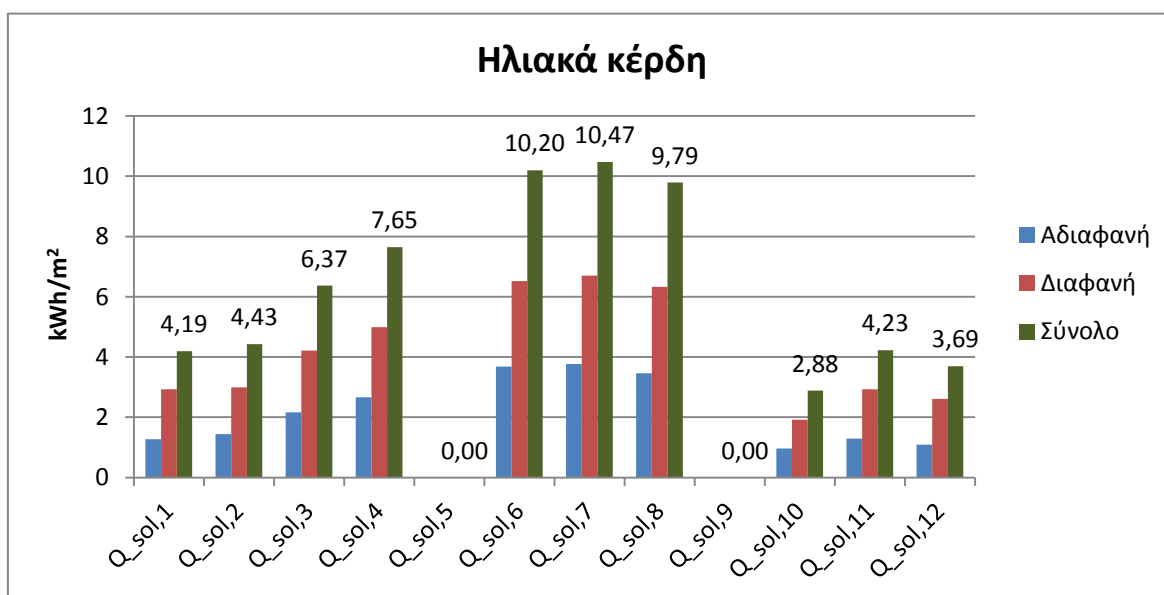


Σχήμα 5.7: Υπολογισμός γωνίας σκίασης σε συμπαγές δομικό στοιχείο ή κούφωμα, πηγή: [54]

Ο Πίνακας 5.3 όπως και το Σχήμα 5.8 περιλαμβάνουν τα τελικά αποτελέσματα που προέκυψαν, διακρίνοντάς τα σε διαφανή, αδιαφανή και συνολικά, ώστε να είναι εφικτή η διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Πίνακας 5.3: Μηνιαία αποτελέσματα θερμικών ηλιακών κερδών για διαφανή, αδιαφανή και συνολικά δομικά στοιχεία, σε kWh

$Q_{sol,1}$ kWh	$Q_{sol,2}$ kWh	$Q_{sol,3}$ kWh	$Q_{sol,4}$ kWh	$Q_{sol,6}$ kWh	$Q_{sol,7}$ kWh	$Q_{sol,8}$ kWh	$Q_{sol,10}$ kWh	$Q_{sol,11}$ kWh	$Q_{sol,12}$ kWh
Διαφανή Στοιχεία									
14.385	14.707	20.734	24.524	32.051	32.962	31.140	9.457	14.414	12.826
Αδιαφανή Στοιχεία									
6.250	7.087	10.615	13.099	18.121	18.536	17.014	4.731	6.375	5.347
Σύνολο Ηλιακών Κερδών									
20.636	21.794	31.349	37.623	50.172	51.498	48.154	14.188	20.789	18.174



Σχήμα 5.8: Μηνιαία αποτελέσματα θερμικών ηλιακών κερδών για διαφανή, αδιαφανή και συνολικά δομικά στοιχεία, ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m²

Αρχικά, από τα αποτελέσματα, γίνεται εύκολα αντιληπτή η σχεδόν διπλάσια συνεισφορά των διαφανών στοιχείων στα συνολικά ηλιακά κέρδη, σε σχέση με τα αδιαφανή. Το υπό μελέτη κτίριο διαθέτει μεγάλο αριθμό υαλοστασίων, συνολικής (μεικτής) επιφάνειας 642 m², περιμετρικά του κελύφους, με την πλειοψηφία αυτών να μη σκιάζονται από παράπλευρα εμπόδια. Από την άλλη μεριά, τα αδιαφανή στοιχεία του κτιρίου είναι κατασκευασμένα από δομικά υλικά με επαρκή θερμοπερατότητα, μέτρια

απορροφητικότητα και μικρή εξωτερική επιφανειακή αντίσταση. Επομένως, θεωρείται ότι οι τιμές των αποτελεσμάτων αποτυπώνουν με ακρίβεια την πραγματική κατάσταση των θερμικών φορτίων του κτιρίου.

Επίσης, αδιαμφισβήτητη είναι η εξάρτηση των ηλιακών κερδών από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς τα αποτελέσματα αυξομειώνονται πάντα ανάλογα με αυτή. Έτσι, τη θερινή περίοδο προκύπτουν αισθητά μεγαλύτερα κέρδη από ότι τη χειμερινή, με αποτέλεσμα, να μειώνεται ελαφρώς το φορτίο του συστήματος θέρμανσης του γυμναστηρίου και να επιβαρύνεται αρκετά η ΚΚΜ.

➤ Εσωτερικά Κέρδη

Ακολουθεί η μεθοδολογία υπολογισμού των εσωτερικών θερμικών κερδών ($Q_{int,i}$):

$$Q_{int,i} = Q_{light,i} + Q_{eq,i} + Q_{p,i} \quad (5.14)$$

Όπου,

$$Q_{light,i} = \text{εγκατεστημένη ισχύς} \times \text{νυχτερινές ώρες λειτουργίας} \quad (5.15)$$

$$Q_{p,i} = \text{ισχύς χρηστών} \times \text{αριθμός χρηστών} \times \text{ώρες λειτουργίας} \times \text{συντελεστής παρουσίας} \quad (5.16)$$

$$Q_{eq,i} = \text{ισχύς εξοπλισμού} \times \text{συντελεστής λειτουργίας} \times \text{ώρες λειτουργίας} \quad (5.17)$$

Συγκεκριμένα, στην περίπτωση του φωτισμού, χρησιμοποιήθηκε η τιμή της εγκατεστημένης ισχύος, που ισούται με 64 kW, όπως προέκυψε από την επιτόπια επιθεώρηση, και πολλαπλασιάστηκε με τις νυχτερινές ώρες λειτουργίας του γυμναστηρίου. Το φορτίο που υπολογίστηκε αποτελεί σημαντική προσθήκη στα συνολικά κέρδη, αφού όπως ήταν αναμενόμενο, για κτίριο τριτογενούς τομέα, υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις τεχνητού φωτισμού.

Όσον αφορά τα εσωτερικά κέρδη από τον εξειδικευμένο εξοπλισμό, οι πληροφορίες για την ζητούμενη ισχύ και το συντελεστή λειτουργίας αντλήθηκαν από τον Πίνακα 2.8 των TOTEE 20701-1, καθώς δεν ήταν εφικτή η συλλογή όλων των πραγματικών δεδομένων.

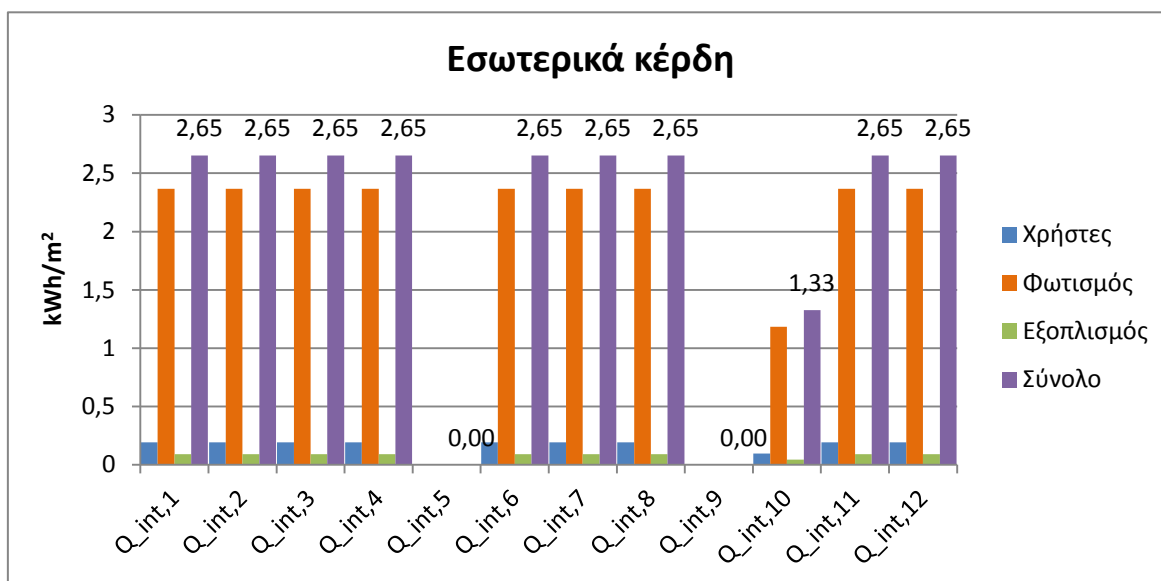
Τέλος, σύμφωνα με την TOTEE 20701-1 και τον Πίνακα 2.7 η εκλυόμενη θερμότητα ανά άτομο για την περίπτωση του κλειστού γυμναστηρίου είναι 120 W. Η τιμή αυτή πολλαπλασιάζεται με τον αντίστοιχο συντελεστή παρουσίας και τις μηνιαίες ώρες λειτουργίας του χώρου, ώστε στη συνέχεια ανάλογα με το σταθμικό μέσο όρο των ατόμων που βρίσκονται στο γυμναστήριο κάθε ώρα, να υπολογιστούν τα εσωτερικά κέρδη λόγω χρηστών. Σημειώνεται ότι επειδή το παρόν αθλητικό κέντρο δεν λειτουργεί συστηματικά,

για να μην υπερτιμηθούν τα αποτελέσματα, ο σταθμικός μέσος όρος των ατόμων βρέθηκε με την παραδοχή παρουσίας 3.000 ατόμων κάθε Σαββατοκύριακο και 40 ατόμων τις καθημερινές και όχι σύμφωνα με τιμές των TOTEE 20701.

Τα αποτελέσματα όλων των επιμέρους κατηγοριών που συγκροτούν τα εσωτερικά κέρδη παρουσιάζονται για κάθε μήνα στον Πίνακα 5.4. και στο Σχήμα 5.9.

Πίνακας 5.4: Μηνιαία αποτελέσματα θερμικών εσωτερικών κερδών σε kWh

Q _{int.1} kWh	Q _{int.2} kWh	Q _{int.3} kWh	Q _{int.4} kWh	Q _{int.6} kWh	Q _{int.7} kWh	Q _{int.8} kWh	Q _{int.10} kWh	Q _{int.11} kWh	Q _{int.12} kWh
Φωτισμός									
11.648	11.648	11.648	11.648	11.648	11.648	11.648	5.824	11.648	11.648
Εξοπλισμός									
445,34	445,34	445,34	445,34	445,34	445,34	445,34	222,67	445,34	445,34
Χρήστες									
945,82	945,82	945,82	945,82	945,82	945,82	945,82	472,91	945,82	945,82
Συνολικά Εσωτερικά Κέρδη									
13.039	13.039	13.039	13.039	13.039	13.039	13.039	6.519	13.039	13.039



Σχήμα 5.9: Μηνιαία αποτελέσματα θερμικών εσωτερικών κερδών, ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m²

5.2.3 Υπολογισμός απαιτήσεων ZNX

Το φορτίο για την κάλυψη των αναγκών παραγωγής ZNX ($Q_{ZNX,i}$) εξαρτάται από τον αριθμό των χρηστών του αθλητικού κέντρου και τη διαφορά μεταξύ της επιθυμητής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας του νερού δικτύου της περιοχής. Έτσι από τη μία μεριά, όσο περισσότεροι είναι αθλητές που χρησιμοποιούν το γυμναστήριο, τόσο μεγαλύτερες είναι οι απαιτήσεις σε ZNX, ενώ από την άλλη μεριά, οι απαιτήσεις μειώνονται σημαντικά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου η θερμοκρασιακή διαφορά που πρέπει να καλυφθεί από το σύστημα παραγωγής είναι αναμενόμενα μικρότερη από αυτή των χειμερινών. Σημειώνεται ότι οι υπολογισμοί αφορούν μόνο στους αθλητές και όχι στο σύνολο των επισκεπτών, ο αριθμός των οποίων βρίσκεται προσεγγιστικά με τη χρήση του σταθμικού μέσου όρου για 160 αθλητές τα Σαββατοκύριακα και 40 αθλητές τις καθημερινές.

Τα αποτελέσματα των ενεργειακών απαιτήσεων για ZNX ($Q_{ZNX,i}$) συγκεντρώνονται στο Σχήμα 5.10, όπως υπολογίστηκαν από την παρακάτω εξίσωση:

$$Q_{ZNX,i} = \dot{V}_{ZNX} \cdot N_{day,i} \cdot \frac{\rho \cdot C}{3600} \cdot (\theta_{d,ZNX} - \theta_{s,i}) \quad (5.18)$$

Όπου,

\dot{V}_{ZNX} : η ημερήσια απαιτούμενη παροχή νερού που υπολογίζεται για κάθε αθλητή από τον Πίνακα 2.5 της TOTEE 20701-1, σε lt/day

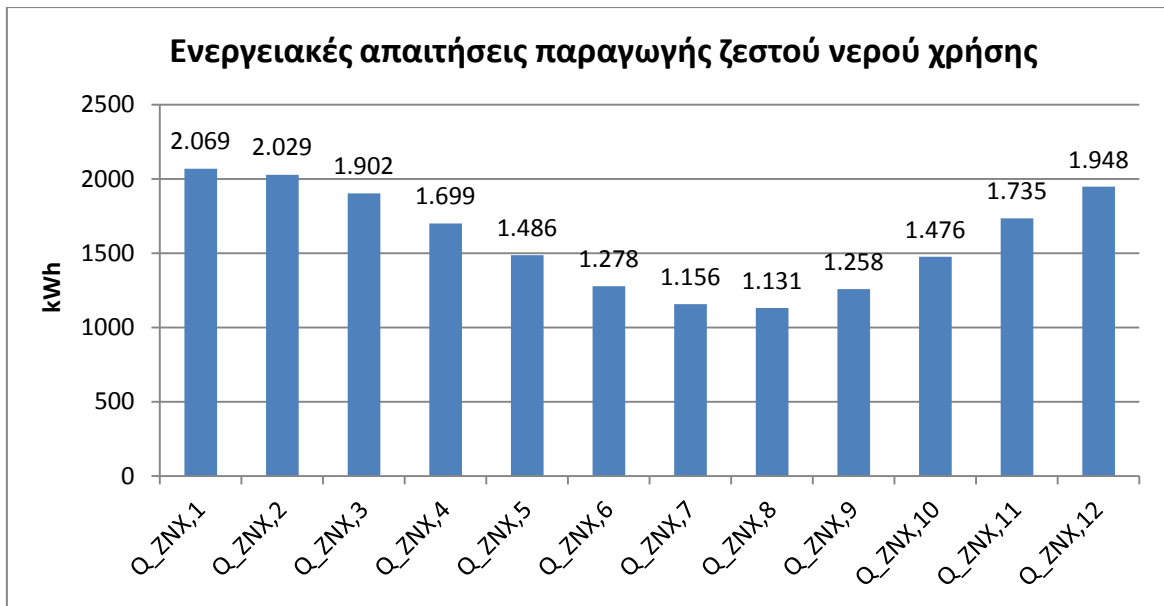
$N_{day,i}$: ο αριθμός ημερών κάθε μήνα λαμβάνεται σταθερός και ίσος με 30 ημέρες

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

C : η ειδική θερμότητα του νερού που είναι ίση με 4,18 kJ/kgK

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

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



Σχήμα 5.10: Μηνιαία αποτελέσματα ενεργειακών απαιτήσεων για παραγωγή ZNX σε kWh

5.2.4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ενεργειακών απαιτήσεων

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των ενεργειακών απαιτήσεων του κλειστού γυμναστηρίου της Λευκόβρυσης, με βάση τα οποία, πραγματοποιείται μια πρώτη εκτίμηση της υφιστάμενης ενεργειακής του κατάστασης.

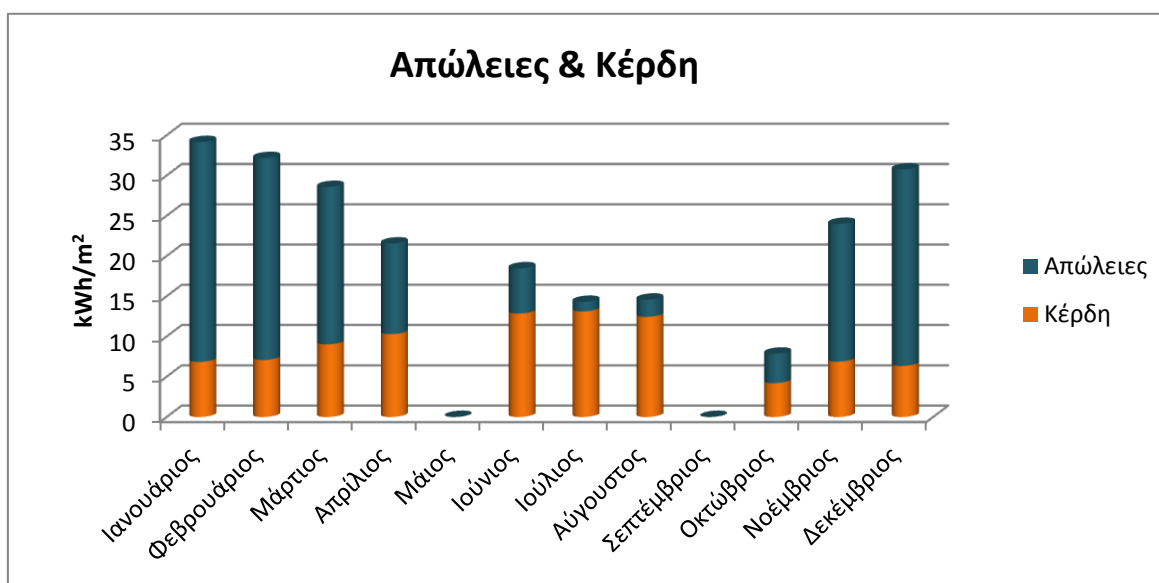
Για τη συγκρότηση των δεδομένων του Πίνακα 5.5, αρχικά αθροίστηκαν για κάθε μήνα οι απώλειες μετάδοσης με τις απώλειες αερισμού, όπως επίσης και τα ηλιακά κέρδη με τα εσωτερικά κέρδη του κτιρίου. Το επόμενο βήμα ήταν ο κατάλληλος συνδυασμός των συνολικών κερδών και απωλειών (δύο πρώτες κατηγορίες του Πίνακα 5.5), ώστε να προκύψουν οι τελικές απαιτήσεις (Τρίτη κατηγορία του Πίνακα 5.5). Έτσι για την χειμερινή περίοδο ή αλλιώς περίοδο θέρμανσης, χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (5.1), ενώ για τη θερινή περίοδο ή αλλιώς περίοδο ψύξης, χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (5.2), όπως ορίζονται στην ενότητα 5.2. Πιο αναλυτικά, τους ψυχρούς μήνες αφαιρέθηκαν από τις απώλειες τα κέρδη και βρέθηκαν οι απαιτήσεις για θέρμανση, και αντιδιαμετρικά τους ζεστούς μήνες αφαιρέθηκαν από τα κέρδη οι απώλειες και προέκυψαν οι απαιτήσεις για ψύξη, συνυπολογίζοντας και στις δυο περιπτώσεις τον εκάστοτε συντελεστή χρήσης.

Όσον αφορά το συντελεστή χρήσης χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (5.3), δηλαδή η περίπτωση όπου η αναλογία κερδών/απωλειών είναι θετική και διάφορη της μονάδας, με αποτέλεσμα η τιμές των συντελεστών να είναι $\eta_H = 0,99$ και $\eta_C = 0,99$ για την περίοδο θέρμανσης και τη περίοδο ψύξης αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι τόσο τα κέρδη, όσο και οι

απώλειες συνεισφέρουν καθοριστικά στη διαμόρφωση των τελικών ενεργειακών απαιτήσεων.

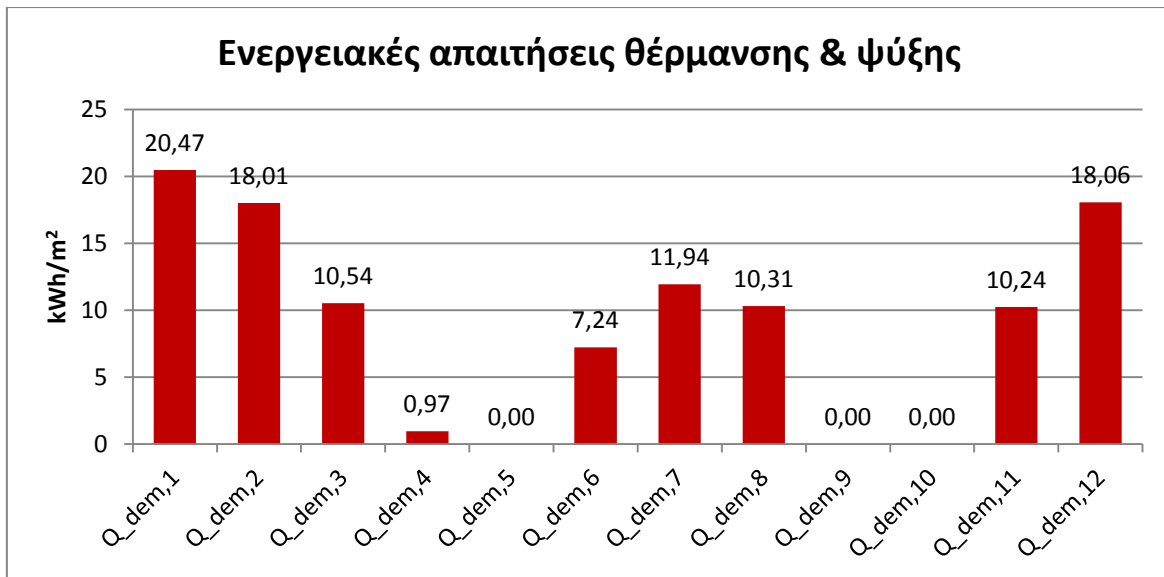
Πίνακας 5.5: Μηνιαία αποτελέσματα ενεργειακών απαιτήσεων θέρμανσης/ψύξης σε kWh

Απώλειες									
$Q_{H_loss,1}$ kWh	$Q_{H_loss,2}$ kWh	$Q_{H_loss,3}$ kWh	$Q_{H_loss,4}$ kWh	$Q_{C_loss,6}$ kWh	$Q_{C_loss,7}$ kWh	$Q_{C_loss,8}$ kWh	$Q_{H_loss,10}$ kWh	$Q_{H_loss,11}$ kWh	$Q_{H_loss,12}$ kWh
134.335	123.381	96.137	55.317	27.618	5.804	10.485	17.968	84.152	120.010
Κέρδη									
$Q_{H_gain,1}$ kWh	$Q_{H_gain,2}$ kWh	$Q_{H_gain,3}$ kWh	$Q_{H_gain,4}$ kWh	$Q_{C_gain,6}$ kWh	$Q_{C_gain,7}$ kWh	$Q_{C_gain,8}$ kWh	$Q_{H_gain,10}$ kWh	$Q_{H_gain,11}$ kWh	$Q_{H_gain,12}$ kWh
33.675	34.833	44.388	50.663	63.211	64.537	61.193	20.708	33.828	31.213
Σύνολο απαιτήσεων θέρμανσης/ψύξης									
$Q_{H_dem,1}$ kWh	$Q_{H_dem,2}$ kWh	$Q_{H_dem,3}$ kWh	$Q_{H_dem,4}$ kWh	$Q_{C_dem,6}$ kWh	$Q_{C_dem,7}$ kWh	$Q_{C_dem,8}$ kWh	$Q_{H_dem,10}$ kWh	$Q_{H_dem,11}$ kWh	$Q_{H_dem,12}$ kWh
100.724	88.615	51.834	4.751	35.595	58.734	50.709	0	50.389	88.857



Σχήμα 5.11: Μηνιαία αποτελέσματα ενεργειακών απωλειών και κερδών, ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m²

Εφόσον δεν έχουν πραγματοποιηθεί ακόμα ο καθορισμός των καταναλώσεων και η εγκεκριμένη διαδικασία ενεργειακής πιστοποίησης, τα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα των υπολογισμών δεν οδηγούν σε ακριβή αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου. Παρόλα αυτά, μπορούν να γίνουν κάποιες πρώτες εκτιμήσεις παρατηρώντας τις προκύπτουσες τιμές, όπως φαίνονται στα Σχήματα 5.11 έως 5.13 και στον Πίνακα 5.6.



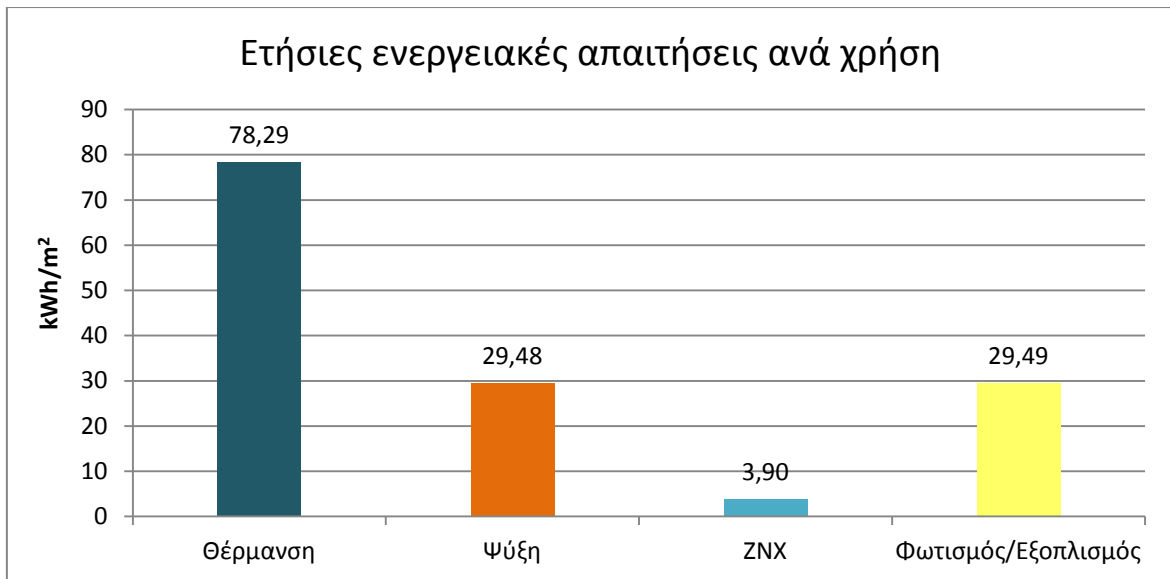
Σχήμα 5.12: Μηνιαία αποτελέσματα ενεργειακών απαιτήσεων, ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m²

Το πρώτο σημείο ενδιαφέροντος έγκειται στο γεγονός ότι, τα ζητούμενα φορτία φαίνεται να συμβαδίζουν με τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής, καθώς οι περισσότερες απαιτήσεις αφορούν στη θέρμανση του γυμναστηρίου, το οποίο κατατάσσεται στη Ζώνη Δ, όπου συγκαταλέγονται οι πιο «κρύες» περιοχές της Ελλάδας. Το μοναδικό θέμα που δημιουργεί ορισμένο προβληματισμό είναι οι μηδενικές απαιτήσεις για θέρμανση το μήνα Οκτώβριο που προέκυψαν επειδή τα υπολογιζόμενα κέρδη υπερκαλύπτουν τις αντίστοιχες απώλειες, χωρίς όμως να είναι ικανό να αμφισβητήσει τα συνολικά αποτελέσματα. Επιπλέον, γνωρίζοντας τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου κτιρίου σε συνδυασμό με την τοποθεσία και τη χρήση αυτού, αναμένονταν απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη κυμαινόμενες σε μικρές τιμές, δηλαδή πολύ κοντά στις υπολογιζόμενες.

Τέλος, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το φορτίο για την παραγωγή ZNX όπως και το φορτίο για τη λειτουργία του τεχνητού φωτισμού, αποτελούν το 31% των συνολικών ενεργειακών απαιτήσεων, γεγονός που ενώ δικαιολογείται ως ένα βαθμό από τη χρήση του κτιρίου ταυτόχρονα καταδεικνύει περιθώρια βελτιωτικών παρεμβάσεων.

Πίνακας 5.6: Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις ανά τελική χρήση σε kWh και σε kWh/m² (συνολική ακαθάριστη επιφάνεια)

Ενεργειακές Απαιτήσεις ανά τελική χρήση	Ετήσιες Απαιτήσεις	
	kWh	kWh/m ²
Θέρμανση	385.170	78,29
Ψύξη	145.037	29,48
ZNX	19.166	3,89
Φωτισμός/Εξοπλισμός	145.120	29,49



Σχήμα 5.13: Αποτελέσματα ενεργειακών απαιτήσεων, ανά τελική χρήση και ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m²

5.3 Υπολογισμός ενεργειακών καταναλώσεων

Το θέμα των ενεργειακών καταναλώσεων ενός κτιρίου περιστρέφεται εξολοκλήρου γύρω από τα συστήματα που έχουν επιλεγεί για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων. Για το υπό μελέτη αθλητικό κέντρο τα χρησιμοποιούμενα ηλεκτρομηχανικά συστήματα έχουν περιγραφεί αναλυτικά στην ενότητα 4.3. Ωστόσο, στην παρούσα φάση η μελέτη εστιάζεται στην αποδοτικότητα των συστημάτων αυτών και επομένως απαιτείται ο επιπρόσθετος υπολογισμός των παραμέτρων που την καθορίζουν.

Όπως οι απαιτήσεις, έτσι και οι καταναλώσεις του κτιρίου αφορούν στη θέρμανση, τη ψύξη (συμπεριλαμβανομένου του μηχανικού αερισμού), την παραγωγή ZNX, τον τεχνικό φωτισμό και τον εξειδικευμένο εξοπλισμό. Για τις πρώτες τρεις χρήσεις οι παράμετροι που συγκροτούν την τελική απόδοση των συστημάτων είναι: α) ο βαθμός απόδοσης του κεντρικού συστήματος παραγωγής ενέργειας, β) ο βαθμός απόδοσης των συστημάτων διανομής και γ) ο βαθμός απόδοσης των τερματικών μονάδων. Από την άλλη μεριά, ο φωτισμός και ο εξοπλισμός αντιμετωπίζονται ως μια διαφορετική κατηγορία, όπου οι απαιτήσεις ταυτίζονται με τις καταναλώσεις, αφού για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η τελική ισχύς επί τον χρόνο λειτουργίας όλων των συστημάτων. 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.

➤ Σύστημα Θέρμανσης:

Το σύστημα θέρμανσης, που χρησιμοποιείται στο υπό μελέτη αθλητικό κέντρο, αποτελείται από ένα λέβητα πετρελαίου με ονομαστική ισχύ 1744,5 kW, ο οποίος τροφοδοτεί, με τη βοήθεια κυκλοφορητών, τους αεραγωγούς της κεντρικής κλιματιστικής μονάδας του αγωνιστικού χώρου, τις σωληνώσεις που καταλήγουν στα καλοριφέρ των βοηθητικών χώρων, καθώς επίσης και τους ταμιευτήρες παραγωγής ZNX. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης (n_{gen}) του συστήματος παραγωγής της περιγραφόμενης διάταξης υπολογίζεται ως εξής:

$$n_{gen} = n_{gm} \cdot n_{g1} \cdot n_{g2} \quad (5.19)$$

Όπου,

n_{gm} : ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης που δίνεται στον Πίνακα 4.2 της TOTEE 20701-1 και ισούται με 0,9048 ή 90,45%

n_{g2} : ο συντελεστής κατάστασης μόνωσης, που δίνεται στον Πίνακα 4.4 της TOTEE 20701-1 και παίρνει την τιμή ένα, καθώς, μετά από επιτόπια επιθεώρηση, κρίθηκε ότι η μόνωση του λέβητα βρίσκεται σε καλή κατάσταση.

n_{g1} : ο συντελεστής υπερδιαστασιολόγησης που χρησιμοποιείται, ώστε να συνεκτιμηθεί η πιθανώς αυξημένη κατανάλωση, δίνεται από τον Πίνακα 4.3 της TOTEE 20701-1, και εξαρτάται άμεσα από το λόγο της πραγματικής (P_m) προς τη θεωρητική (P_{gen}) ισχύ του συστήματος.

Για τον καθορισμό του συντελεστή υπερδιαστασιολόγησης απαιτείται αρχικά ο υπολογισμός της θεωρητικής ισχύος του λέβητα, προσαυξημένη κατά τη μέση απαιτούμενη ημερήσια θερμική ισχύ για την παραγωγή ZNX, όπως αυτά προκύπτουν από τους παρακάτω μαθηματικούς τύπους:

$$P_{gen} = A \cdot U_m \cdot \Delta T_1 \cdot 2,5 + P_n = 931kW \quad (5.20)$$

$$P_n = \frac{V_d \cdot \Delta T_2 \cdot 4,18}{5 \cdot 3600} = 9,47kW \quad (5.21)$$

Όπου,

A : η εξωτερική παράπλευρη επιφάνεια όλου του κτιρίου, που βρίσκεται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα ή το έδαφος (στην περίπτωση του εδάφους η επιφάνεια πολλαπλασιάζεται με 0,5) και ισούται με 11.885 m².

U_m : ο μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κτιρίου, που δίνεται από τη μελέτη θερμομόνωσης ίσος με 0,938 W/m²K.

ΔT_1 : η μέση διαφορά θερμοκρασίας ανάλογα με τη θερμική ζώνη, που αναγράφεται στην TOTEE 20701-1 και παίρνει την τιμή 28K.

V_d : η ημερήσια απαίτηση ZNX, που δίνεται στον Πίνακα 2.5 της TOTEE 20701-1 και υπολογίζεται ίση με 1.456 lt/ημέρα.

ΔT_2 : η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ZNX και δικτύου πόλης, που δίνεται στον Πίνακα 2.6 της TOTEE 20701-1 και ισούται με 40,8K.

Συνδυάζοντας όλα τα παραπάνω, προκύπτει ο λόγος της πραγματικής (P_m) προς τη θεωρητική (P_{gen}) ισχύ του λέβητα ίσος με 1,87, που συνεπάγεται συντελεστή υπερδιαστασιολόγησης με τιμή 0,85. Επομένως, ο ζητούμενος συνολικός βαθμός απόδοσης της διάταξης (n_{gen}) είναι ίσος με 0,769 ή 76,9% (Σχέση 5.19).

Ωστόσο, για την εκτίμηση της πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας που δαπανάται για τη θέρμανση του χώρου, πρέπει να υπολογιστούν ακόμα, οι θερμικές απώλειες από το κεντρικό δίκτυο διανομής και τους αεραγωγούς της κλιματιστικής μονάδας, όπως επίσης και οι απώλειες των τερματικών μονάδων. 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. Έτσι, προκύπτουν: α) βαθμός απόδοσης μονωμένου δικτύου διανομής ($n_{H_{ls}}$) ίσος με 0,98 ή 98% (Πίνακας 4.11 της TOTEE 20701-1) και β) σταθμικός βαθμός απόδοσης τερματικών μονάδων με τιμή 0,95 ή 95%. Αναφέρεται ότι, στην περίπτωση αεραγωγών που διέρχονται από εσωτερικό χώρο, οι απώλειες δε λαμβάνονται υπόψη, ενώ η διαδικασία υπολογισμού του σταθμικού βαθμού απόδοσης των τερματικών μονάδων καταγράφεται στη συνέχεια.

Βαθμός απόδοσης καλοριφέρ:
$$n_{em,t} = \frac{n_{em}}{f_{rad} \cdot f_{im} \cdot f_{hydr}} = 0,87 \quad (5.22)$$

Όπου,

f_{rad} : ο παράγοντας για την αποτελεσματικότητα της ακτινοβολίας επιλέγεται ίσος με 0,95

f_{im} : ο παράγοντας της διακοπτόμενης λειτουργίας ισούται με 1

f_{hydr} : ο παράγοντας για την υδραυλική ισορροπία είναι ίσος με 1,03

n_{em} : η απόδοση εκπομπής ανάλογα με την θερμοκρασία του μέσου από τον Πίνακα 4.13 της TOTEE 20701-1 παίρνει την τιμή 0,85

Τέλος, έχοντας υπολογίσει το βαθμό απόδοσης των καλοριφέρ και γνωρίζοντας ότι ο βαθμός απόδοσης των στομιών της ΚΚΜ είναι ίσος με τη μονάδα, προκύπτει ο σταθμικός βαθμός απόδοσης (n_{H_em}) ανάλογα με το επιφανειακό ποσοστό κάλυψης με τιμή 0,95 ή 95%.

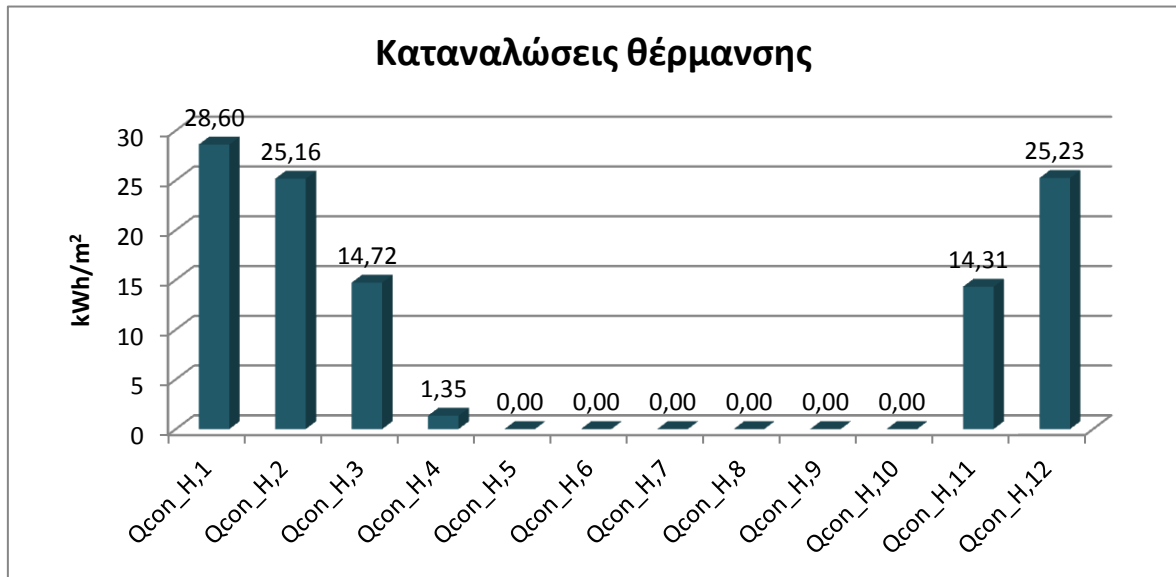
Επομένως, ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος θέρμανσης είναι:

$$n_H = n_{gem} \cdot n_{H_ls} \cdot n_{H_em} = 0,769 \cdot 0,98 \cdot 0,95 = 0,716 \text{ ή } 71,6\% \quad (5.23)$$

Συνεπώς, διαιρώντας τις αντίστοιχες ενεργειακές απαιτήσεις με το συνολικό βαθμό απόδοσης της διάταξης προκύπτουν οι ζητούμενες τελικές καταναλώσεις ενέργειας για την περίοδο θέρμανσης, όπως καταγράφονται στον Πίνακα 5.7 και στο Σχήμα 5.14.

Πίνακας 5.7: Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης σε kWh

Ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης						
$Q_{con-H.1}$ kWh	$Q_{con-H.2}$ kWh	$Q_{con-H.3}$ kWh	$Q_{con-H.4}$ kWh	$Q_{con-H.10}$ kWh	$Q_{con-H.11}$ kWh	$Q_{con-H.12}$ kWh
140.689	123.774	72.400	6.636	0	70.381	124.113



Σχήμα 5.14: Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης, ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m²

➤ Σύστημα Ψύξης

Εξετάζοντας το σύστημα ψύξης του κλειστού γυμναστηρίου, η μελέτη επικεντρώνεται στην αποδοτικότητα της κεντρικής κλιματιστικής μονάδας και συγκεκριμένα των δυο αντλιών θερμότητας συνολικής ισχύος 502 kW, που καλύπτουν τις ψυκτικές ανάγκες του αγωνιστικού χώρου. Ταυτόχρονα, γίνεται η παραδοχή αμελητέας συνεισφοράς των τριών τοπικών κλιματιστικών μονάδων, που βρίσκονται στους βοηθητικούς χώρους, καθώς καλύπτουν πολύ μικρό ποσοστό της συνολικής επιφάνειας.

Αναλυτικότερα, ο δείκτης αποδοτικότητας (EER) για αντλίες θερμότητας εξαρτάται από τη θερμοκρασιακή διαφορά, που πρέπει να καλυφθεί, μεταξύ της εξωτερικής και της επιθυμητής εσωτερικής θερμοκρασίας, από τα μηχανικά χαρακτηριστικά της αντλίας και από το εργαζόμενο μέσο. Για το εξεταζόμενο σύστημα, εξαιτίας έλλειψης των πραγματικών τεχνικών στοιχείων, ο συντελεστής EER ορίστηκε, με βάση τις ελάχιστες απαιτήσεις του ΚΕΝΑΚ και την επιτόπια επιθεώρηση, ίσος με 3,65 για το μήνα Ιούνιο, 3,69 για το μήνα Ιούλιο και 3,44 για το μήνα Αύγουστο. Επί του πρακτέου, αυτό σημαίνει ότι οι αντλίες μπορούν να παράγουν περίπου 3,59 μονάδες ψύξης για κάθε μία μονάδα έργου.

Όσον αφορά το δίκτυο διανομής ($n_{C_{ls}}$) και τις τερματικές μονάδες ($n_{C_{em}}$), δηλαδή τους εσωτερικούς μονωμένους αεραγωγούς και τα αντίστοιχα στόμια, ο βαθμός απόδοσης και στις δυο περιπτώσεις λαμβάνει την τιμή ένα, όπως ορίζεται στην ΤΟΤΕΕ 20701-1.

Έτσι, ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος ψύξης κατά μέσο όρο είναι:

$$n_C = EER_i \cdot n_{C_{ls}} \cdot n_{C_{em}} = 3,59 \cdot 1 \cdot 1 = 3,59 \quad (5.24)$$

Οι τελικές καταναλώσεις του συστήματος ψύξης προκύπτουν με κατάλληλη διαίρεση των μηνιαίων ενεργειακών απαιτήσεων από το συνολικό βαθμό απόδοσης της περιγραφόμενης διάταξης και συγκεντρώνονται στον Πίνακα 5.8 και στο Σχήμα 5.15.

Πίνακας 5.8: Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις ψύξης σε kWh

Ενεργειακές καταναλώσεις ψύξης		
$Q_{con-c,6}$ kWh	$Q_{con-c,7}$ kWh	$Q_{con-c,8}$ kWh
9.752	17.326	14.741



Σχήμα 5.15: Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις ψύξης, ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m²

➤ Σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης

Στο υπό μελέτη αθλητικό κέντρο, η παραγωγή ZNX πραγματοποιείται από κοινού με τη θέρμανση από το λέβητα πετρελαίου. Για το λόγο αυτό, κατά τον υπολογισμό των τελικών καταναλώσεων για τους χειμερινούς μήνες χρησιμοποιείται ο βαθμός απόδοσης του λέβητα ($n_{gen} = 0,796$), όπως υπολογίστηκε προηγουμένως, ενώ για τη θερινή περίοδο υπολογίζεται εκ νέου (ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με $n_{g1} = 0,75$) και ισούται με 0,679 ή 67,9%, εξαιτίας της επιπλέον υπερδιαστασιολόγησης.

Συνακόλουθα, οι απώλειες του συστήματος διανομής δίνονται στον Πίνακα 4.16 της TOTEE 20701-1, με βάση την ημερήσια ζήτηση ZNX, τη μόνωση των σωληνώσεων και την ύπαρξη ανακυκλοφορίας, από τα οποία επιλέγεται ο αντίστοιχος βαθμός απόδοσης ($n_{ZNX_{ls}}$) του παρόντος δικτύου διανομής με τιμή 0,879 ή 87,9%.

Τέλος, για τον προσδιορισμό της αποδοτικότητας του συστήματος αποθήκευσης, εξετάζεται η θέση του ταμιευτήρα, δηλαδή αν είναι τοποθετημένος σε εσωτερικό ή εξωτερικό χώρο και η ύπαρξη ή μη εναλλάκτη θερμότητας. Έτσι, στη συγκεκριμένη περίπτωση, προκύπτει βαθμός απόδοσης ($n_{ZNX_{em}}$) ίσος με 0,93 ή 93%, αφού τα δυο υφιστάμενα μπόιλερ βρίσκονται στο λεβητοστάσιο του γυμναστηρίου και χρησιμοποιούν εναλλάκτη θερμότητας κατά τη λειτουργία τους.

Άρα, ο συνολικός βαθμός απόδοσης (n_{ZNX}) για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο αντίστοιχα είναι:

$$n_{H_{ZNX}} = n_{H_{gem}} \cdot n_{ZNX_{ls}} \cdot n_{ZNX_{em}} = 0,769 \cdot 0,879 \cdot 0,93 = 0,629 \text{ ή } 62,9\% \quad (5.25)$$

$$n_{C_{ZNX}} = n_{C_{gem}} \cdot n_{ZNX_{ls}} \cdot n_{ZNX_{em}} = 0,679 \cdot 0,879 \cdot 0,93 = 0,55 \text{ ή } 55\% \quad (5.26)$$



Σχήμα 5.16: Μηνιαίες καταναλώσεις παραγωγής ZNX σε kWh

Σημειώνεται ότι, οι υπολογισμοί των τελικών καταναλώσεων ZNX αφορούν σε όλους τους μήνες του χρόνου και όχι μόνο σε αυτούς που παρουσιάζουν απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης. Επομένως, οι τιμές του Σχήματος 5.16 είναι αποτέλεσμα διαίρεσης των απαιτήσεων για τη χειμερινή περίοδο με το συνολικό βαθμό απόδοσης της περιόδου αυτής, ενώ για τους υπόλοιπους μήνες (συμπεριλαμβανομένων των μηνών Μάιο και Σεπτέμβριο), η διαίρεση γίνεται με το συνολικό βαθμό απόδοσης της θερινής περιόδου.

➤ Φωτισμός/Εξοπλισμός

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή της παρούσας ενότητας, οι ενεργειακές καταναλώσεις για τη χρήση τεχνητού φωτισμού και τη λειτουργία του εξειδικευμένου εξοπλισμού αποτελούν μια ενιαία κατηγορία με μηνιαία τιμή 12.093 kWh ή 2,46 kWh/m², όπως υπολογίστηκαν στην Ενότητα 5.2.2.

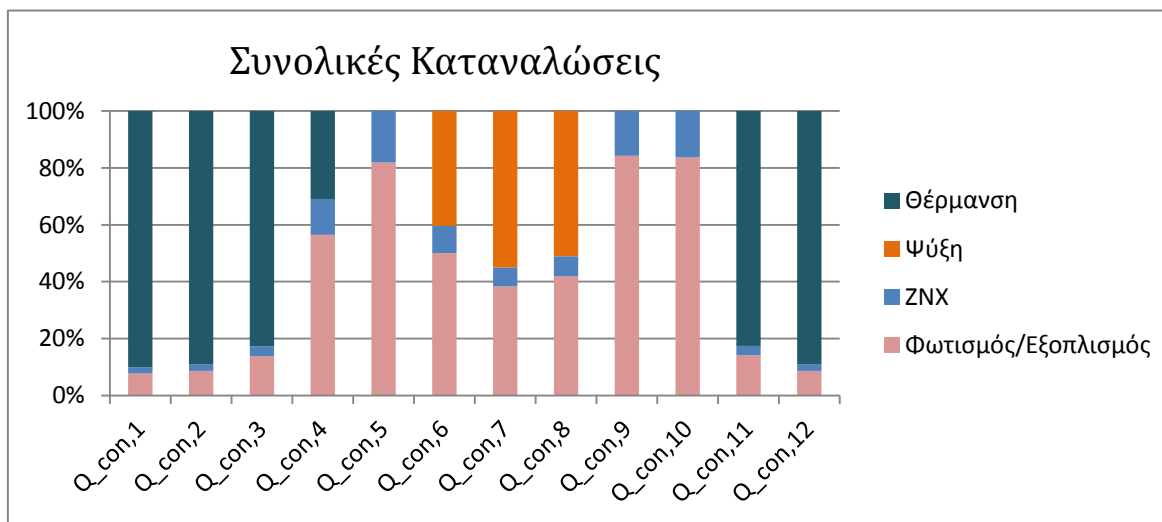
5.3.1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα καταναλώσεων

Το ουσιαστικότερο σημείο για την αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου, έγκειται στην κατάλληλη επεξεργασία των στοιχείων που προκύπτουν για τις ενεργειακές καταναλώσεις των συστημάτων του. Για το λόγο αυτό, οι υπολογιζόμενες ενεργειακές καταναλώσεις του κλειστού γυμναστηρίου της Λευκόβρυσης μελετώνται ξεχωριστά με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

- ✓ την τελική κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση,
- ✓ το χρησιμοποιούμενο καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας και
- ✓ την καταναλισκόμενη πρωτογενή ενέργεια

Πίνακας 5.9: Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις ανά τελική χρήση σε kWh

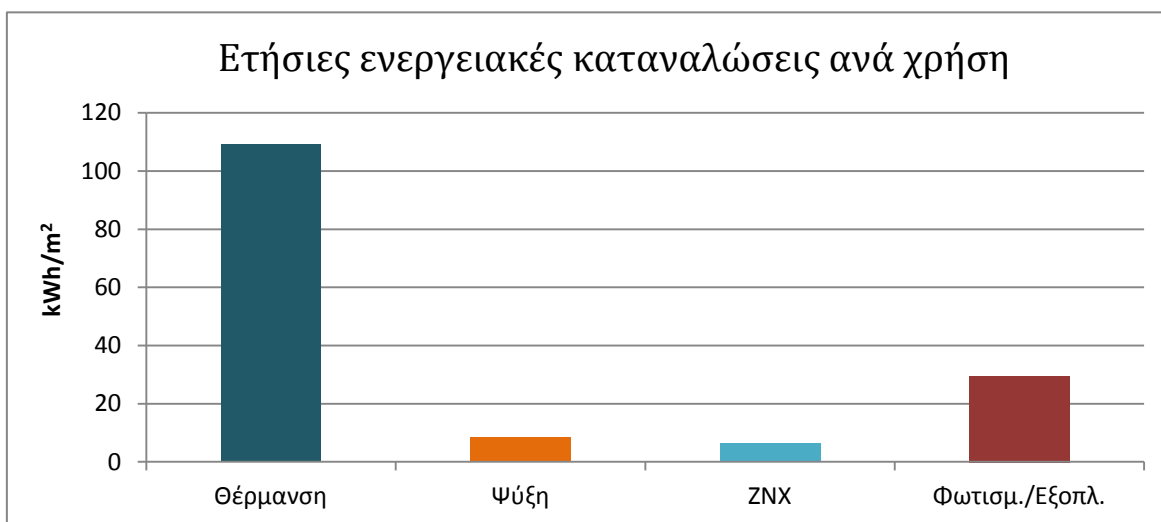
Ενεργειακές καταναλώσεις ανά τελική χρήση	kWh
Θέρμανση	237.993
Ψύξη	41.819
ZNX	31.825
Φωτισμός/Εξοπλισμός	145.120



Σχήμα 5.17: Συνολικές καταναλώσεις ανά τελική χρήση σε ποσοστιαία κλίμακα (%) με βάση τις αντίστοιχες καταναλώσεις σε kWh/m² (συνολικής ακαθάριστης επιφάνειας)

Παρατηρώντας τα Σχήματα 5.17, 5.18 και τον Πίνακα 5.9, όπου καταγράφονται οι τελικές καταναλώσεις ανά χρήση, τα συμπεράσματα που προκύπτουν ποικίλουν ανάλογα με το εκάστοτε σύστημα. Συγκεκριμένα, για τη θέρμανση του χώρου σημειώνονται εξαιρετικά μεγάλες τιμές, οι οποίες ενώ δικαιολογούνται σε ένα βαθμό από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής, ταυτόχρονα φανερώνουν την ελλιπή αποδοτικότητα του συστήματος παραγωγής θερμικής ενέργειας (λέβητας πετρελαίου), που οφείλεται σχεδόν εξολοκλήρου στην υπερδιαστασιολόγηση της υπάρχουσας διάταξης. Για τον ίδιο λόγο, σε συνδυασμό με την ακόμα χαμηλότερη απόδοση του λέβητα τη θερινή περίοδο, η κατανάλωση για την παραγωγή ZNX υπολογίζεται σχεδόν διπλάσια από τις αντίστοιχες απαιτήσεις. Αντιδιαμετρικά, η ΚΚΜ που είναι υπεύθυνη για την κάλυψη των ψυκτικών αναγκών του γυμναστηρίου, αποτελεί την πιο αποδοτική επιλογή, καταναλώνοντας λιγότερη ενέργεια από αυτή που αποδίδει. Τέλος, η ενέργεια που δαπανάται για τον φωτισμό και τον εξοπλισμό, λαμβάνοντας υπόψη τη χρήση του κτιρίου, φαίνεται να κυμαίνεται σε λογικά πλαίσια. Επειδή όμως είναι γνωστό ότι δε χρησιμοποιούνται

λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας, σημειώνεται ότι υπάρχουν περιθώρια επιπρόσθετης μείωσης στην παρούσα κατανάλωση.



Σχήμα 5.18: Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις ανά τελική χρήση και ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια σε kWh/m²

Συνεχίζοντας σε δεύτερη ανάλυση των καταναλώσεων, πραγματοποιείται διάκριση ανάλογα με το καύσιμο που χρησιμοποιείται για την εξασφάλιση της ζητούμενης ενέργειας (Πίνακας 5.10). Για το παρόν αθλητικό κέντρο, πηγές ενέργειας αποτελούν το πετρέλαιο θέρμανσης, που καλύπτει τις ανάγκες σε θέρμανση και παραγωγή ZNX και η ηλεκτρική ενέργεια, που διανέμεται από το κεντρικό δίκτυο της περιοχής, και εξυπηρετεί τις ανάγκες ψύξης, φωτισμού και μηχανικού εξοπλισμού. Πιο αναλυτικά, η κατανάλωση πετρελαίου κατέχει το 87% των συνολικών καταναλώσεων, με το υπόλοιπο 13% να ολοκληρώνει ο ηλεκτρισμός. Έτσι, με βάση τα αποτελέσματα, το ενδιαφέρον από τη μία μεριά εστιάζεται στην αυξημένη εκπομπή CO₂ στην ατμόσφαιρα, που οφείλεται στην αποκλειστική χρήση συμβατικών καυσίμων και από την άλλη μεριά, στις αξιοσημείωτες οικονομικές δαπάνες που απαιτούνται για τη λειτουργία του γυμναστηρίου.

Πίνακας 5.10: Κατανάλωση ενέργειας ανά χρησιμοποιούμενο καύσιμο και εκπομπές CO₂

Πηγή Ενέργειας	Κατανάλωση kWh/m ²	kgCO ₂ /kWh	Εκπομπές CO ₂ kgCO ₂ /m ²
Πετρέλαιο	124,83	0,264	32,95
Ηλεκτρισμός	47,00	0,989	46,48
Συνολικά	171,83	-	79,43

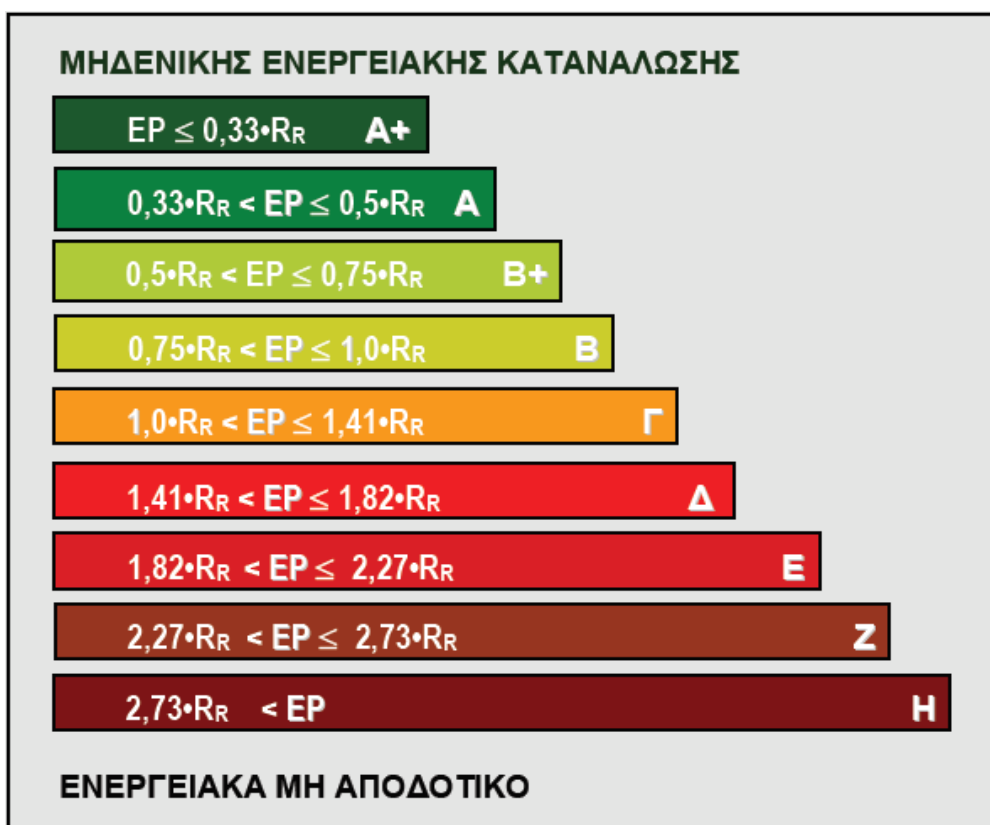
Συνακόλουθα, η αναγωγή της καταναλισκόμενης ενέργειας σε πρωτογενή ενέργεια είναι το τελικό βήμα για τη διαμόρφωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Οι

υπολογισμοί γίνονται με τη χρήση των συντελεστών μετατροπής 1,1 για το πετρέλαιο και 2,9 για τον ηλεκτρισμό, γεγονός που οδηγεί σε ελαφρώς μεγαλύτερες καταναλώσεις για το πετρέλαιο, και σχεδόν στον τριπλασιασμό της κατανάλωσης που συνδέεται με τον ηλεκτρισμό. Αυτό εξηγείται επειδή η ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι αρχικής μορφής ενέργεια. Απαιτείται δηλαδή, επεξεργασία σε κάποια απομακρυσμένη μονάδα παραγωγής και μετέπειτα διανομή στο εκάστοτε κτίριο. Για το λόγο αυτό, όλες οι απώλειες της διαδικασίας αυτής προσαυξάνουν σημαντικά το συντελεστή μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας και άρα και τη συνολική καταναλισκόμενη πρωτογενή ενέργεια του υπό μελέτη κτιρίου. Τα τελικά ποσά αναγράφονται στον Πίνακα 5.11.

Πίνακας 5.11: Κατανάλωση ενέργειας ανά χρησιμοποιούμενο καύσιμο και εκπομπές CO₂

Πηγή Ενέργειας	Κατανάλωση kWh/m ²	Συντελεστής Μετατροπής	Πρωτογενής Κατανάλωση kWh/m ²
Πετρέλαιο	124,83	1,1	137,31
Ηλεκτρισμός	47,00	2,9	136,30
Συνολικά	171,83		273,61

5.4 Εκτίμηση ενεργειακής απόδοσης



Σχήμα 5.19: Κλίμακα ενεργειακής κατάρταξης

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, ακολουθεί η αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του εξεταζόμενου αθλητικού κέντρου, σύμφωνα την ενεργειακή του κατάρταξη, όπως αυτή ορίζεται στο άρθρο 13 του ΚΕΝΑΚ. Για το σκοπό αυτό, συγκρίνεται η ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του υφιστάμενου κτιρίου με την αντίστοιχη κατανάλωση του κτιρίου αναφοράς και με βάση την ποσοστιαία απόκλιση από αυτή, κατατάσσεται στην ανάλογη ενεργειακή ομάδα. Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι, οι πληροφορίες για τη συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς αντλήθηκαν από το ενεργειακό πιστοποιητικό απόδοσης, που εξέδωσε ο Δήμος Κοζάνης με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος του ΚΕΝΑΚ και ισούται με $546,8 \text{ kWh/m}^2$ [56]. Επομένως, εφόσον στην υφιστάμενη κατάσταση καταναλώνεται το 50,04% της θεωρητικής κατανάλωσης του κτιρίου αναφοράς, σύμφωνα με το Σχήμα 5.19 το κτίριο κατατάσσεται στην ενεργειακή κατηγορία B⁺.



Σχήμα 5.20: Συνολικές απαιτήσεις και καταναλώσεις, ανά τελική χρήση και ανά συνολική ακαθάριστη επιφάνεια, σε kWh/m²

Η πρώτη ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου υποδεικνύει ένα άρτιο ενεργειακά κτίριο που πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις του KENAK και δεν αποτελεί ενεργειακή απειλή. Ωστόσο, η υψηλή κατάταξή του δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί ως μοναδική πηγή πληροφοριών για την εξαγωγή γρήγορων συμπερασμάτων. Για το λόγο αυτό, κάνοντας ένα επιπλέον βήμα, με τον κατάλληλο συνδυασμό των ενεργειακών απαιτήσεων και καταναλώσεων μπορούν να εντοπιστούν τα σημεία του κτιρίου και των συστημάτων του, που χρήζουν επιπρόσθετης μελέτης. Συγκεκριμένα, από το Σχήμα 5.20 φαίνεται ότι οι καταναλώσεις θέρμανσης και παραγωγής ZNX υπερβαίνουν αρκετά τις αντίστοιχες απαιτήσεις, γεγονός που συνεπάγεται αστοχία στην επιλογή χρήσης του λέβητα πετρελαίου. Επίσης, όπως έχει ήδη αναφερθεί υπολείπεται η αντικατάσταση των υφιστάμενων λαμπτήρων με λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας. Ταυτόχρονα η αποκλειστική χρήση συμβατικών καυσίμων και η μαζική έκλυση ρύπων στην ατμόσφαιρα καταδεικνύουν την έλλειψη συστημάτων ΑΠΕ που αποτελεί το ουσιαστικότερο πρόβλημα του κλειστού γυμναστηρίου, καθώς η συγκεκριμένη μελέτη όπως και ο ίδιος ο KENAK δημιουργήθηκαν με πρωταρχικό στόχο την εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων και τον περιορισμό του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Κινούμενοι σε αυτή τη λογική, παρόλο που τα αποτελέσματα της μελέτης επιβεβαιώνουν την αποδοτικότητα των κτιριακών εγκαταστάσεων και των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων, στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται προτάσεις για την ενεργειακή αναβάθμιση όλων των συστημάτων παραγωγής ενέργειας, όπως επίσης και επεμβάσεις που συμβαδίζουν με τη βιοκλιματική λογική.

Κεφάλαιο 6: Προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης

Ως ενεργειακή αναβάθμιση ενός κτιρίου ορίζεται η διαδικασία που ακολουθείται, μετά την αναλυτική αξιολόγηση της ενεργειακής του απόδοσης, με στόχο την επίτευξη συνθηκών που πλησιάζουν τη συμπεριφορά ενός κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης. Για το σκοπό αυτό, μελετάται ο τρόπος με τον οποίο μπορούν να ελαχιστοποιηθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις του εκάστοτε κτιρίου και ταυτόχρονα να είναι εφικτή η εξολοκλήρου κάλυψή τους από παθητικά συστήματα και συστήματα ΑΠΕ. Επειδή όμως, οι παράμετροι που καθορίζουν κάθε ενεργειακή αναβάθμιση αφορούν στην περιβαλλοντική και οικονομική βιωσιμότητα των προτεινόμενων παρεμβάσεων, για μια επιτυχή αναβάθμιση απαιτείται η εύρεση του συνδυασμού εκείνου των παραμέτρων, που σταθμίζοντας τις ανάγκες του εκάστοτε κτιρίου αλλά και του ιδιοκτήτη αυτού, καταλήγει στο επιθυμητό ενεργειακό και λειτουργικό αποτέλεσμα. Επομένως, άμεση απόρροια κάθε ενεργειακής αναβάθμισης αποτελεί από τη μια μεριά η μειωμένη χρήση συμβατικών καυσίμων και εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα και από την άλλη μεριά η οικονομικότερη λειτουργία του κτιρίου μετά την απόσβεση των αρχικών επενδύσεων.

Για το παρόν αθλητικό κέντρο, λαμβάνοντας υπόψη την εμπειρία από την ανάλυση των μετρήσεων θερμικού περιβάλλοντος, την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του κελύφους και των Η/Μ συστημάτων, την ενεργειακή ανάλυση σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ αλλά και την εξειδικευμένη ανάλυση συγκεκριμένων ευρημάτων, προκύπτει ότι το κτίριο και οι Η/Μ εγκαταστάσεις παρουσιάζουν δυναμικό υψηλής αποδοτικότητας, με την προσοχή να επικεντρώνεται σε λειτουργικά και περιβαλλοντικά ζητήματα που θα την υλοποιήσουν. Συγκεκριμένα, επιχειρείται η εξειδίκευση παρεμβάσεων στην κατεύθυνση υποκατάστασης της συμβατικής ενέργειας, εστιάζοντας στην αξιοποίηση αβαθούς γεωθερμίας για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης/ψύξης, στην εγκατάσταση ηλιοθερμικού συστήματος για την παραγωγή ΖΝΧ, καθώς και σε δράσεις εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β διάταξη. Επιπρόσθετα, μελετάται η αναβάθμιση του συστήματος τεχνητού φωτισμού και η ενσωμάτωση των νέων συστημάτων παραγωγής ενέργειας στο υπάρχον πρόγραμμα αυτοματισμών και ελέγχου που συνεπάγεται επιπλέον εξοικονόμηση και άρτια συντονισμένη λειτουργία.

Εξετάζοντας τις προτεινόμενες δράσεις από οικονομική σκοπιά, πρωταρχικό στόχο αποτελεί η άμεση απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου των επενδύσεων και η μετέπειτα χρηματική εξοικονόμηση κατά τη λειτουργία του γυμναστηρίου, ώστε να είναι εφικτή η εν δυνάμει υλοποίησή τους από το Δήμο Κοζάνης. Παρόλα αυτά, η μη συστηματική χρήση του εξεταζόμενου αθλητικού κέντρου και η έλλειψη πραγματικών στοιχείων

καταναλώσεων που αυτό συνεπάγεται, δυσχεραίνουν την ακριβή οικονομοτεχνική ανάλυση και οδηγούν στην αναγκαία υιοθέτηση παραδοχών.

6.1 Εξειδικευμένες δράσεις αναβάθμισης

Στην παρούσα ενότητα πραγματοποιείται η μελέτη των προτάσεων ενεργειακής αναβάθμισης ανά κατηγορία συστήματος παραγωγής ενέργειας για το κλειστό γυμναστήριο της Λευκόβρυσης. Ειδικότερα, οι εξεταζόμενες δράσεις είναι οι εξής:

- ✓ Αβαθής γεωθερμία
- ✓ Ηλιακά συστήματα παραγωγής ZNX
- ✓ Αναβάθμιση συστήματος τεχνητού φωτισμού
- ✓ Φωτοβολταϊκά συστήματα
- ✓ Βιοκλιματικές στρατηγικές

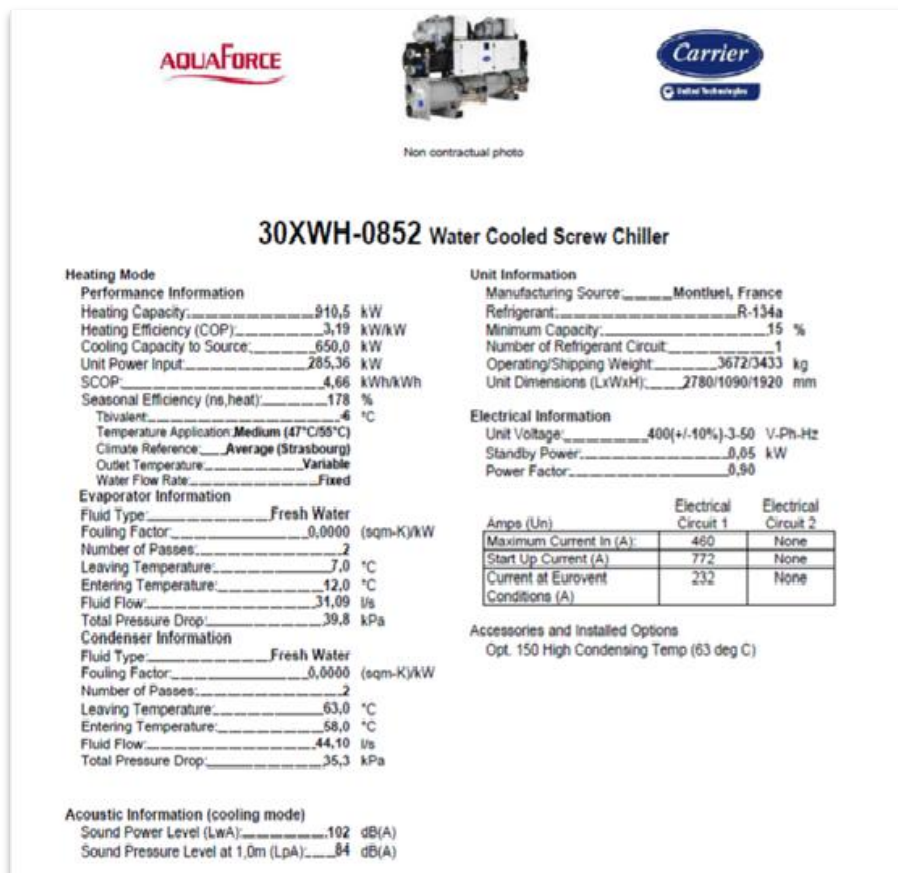
6.1.1 Αβαθής γεωθερμία

Το προτεινόμενο σύστημα αβαθούς γεωθερμίας αναμένεται να καλύψει το σύνολο των φορτίων θέρμανσης και ψύξης του αθλητικού κέντρου, με την κατάλληλη αξιοποίηση της αποθηκευμένης θερμικής ενέργειας των επιφανειακών στρωμάτων της γης. Για το σκοπό αυτό, στη συνέχεια πραγματοποιείται η διαστασιολόγηση του γεωθερμικού συστήματος, που πρόκειται να λειτουργεί μεταξύ των υπόγειων θερμοκρασιών και του παρεχόμενου μέσου, χρησιμοποιώντας τη γη ως πηγή ή καταβόθρα ενέργειας για τη χειμερινή ή τη θερινή περίοδο αντίστοιχα.

Πιο αναλυτικά, με δεδομένα τα θερμικά φορτία που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου ημισταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος (Κεφάλαιο 5), ακολουθεί μια σειρά υπολογισμών για την αποδοτικότερη επιλογή του γεωθερμικού συστήματος. Έτσι, αρχικά, καθορίζεται η διάμετρος και το υλικό των σωληνώσεων, στη συνέχεια υπολογίζεται το απαιτούμενο βάθος των γεωτρήσεων, ενώ τέλος εκτιμάται η διαφορά πίεσης του γεωεναλλάκτη. Σημειώνεται ότι, για όλους τους υπολογισμούς χρησιμοποιείται η μεθοδολογία που προτείνεται από την ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) και περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω [57], [22].

Για το παρόν κτίριο, το φορτίο θέρμανσης υπολογίστηκε με τη χρήση της εξίσωσης $Q_{H,i} = U \cdot A \cdot \Delta T$, η οποία εφαρμόστηκε για το σύνολο των διαφανών και αδιαφανών στοιχείων σε μηνιαία βάση. Συνακόλουθα, μετά την αναγωγή των αποτελεσμάτων σε φορτίο ανά ημέρα, επιλέχθηκε η μέγιστη ζήτηση, όπως προέκυψε για το μήνα Ιανουάριο

που ισούται με 773,8 kW. Αντίστοιχα, για τις απαιτήσεις ψύξης χρησιμοποιήθηκε η ήδη υπάρχουσα μελέτη της ΚΚΜ και υιοθετήθηκε φορτίο ίσο με 500 kW. Επειδή όμως η ζητούμενη ισχύς θέρμανσης υπερκαλύπτει σε κάθε περίπτωση τις απαιτήσεις σε ψύξη, η διαστασιολόγηση έγκειται μόνο στους υπολογισμούς του φορτίου θέρμανσης. Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα, επιλέχθηκε η τοποθέτηση της αντλίας θερμότητας 30XWH-0852 του οίκου Carrier με κοχλιωτό (screw) συμπιεστή, ονομαστική απόδοση θέρμανσης 910,5 kW, ψύξης 650 kW και εποχιακό βαθμό απόδοσης SCOP= 4,66. Στο Σχήμα 6.1 συγκεντρώνονται όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλίας.



30XWH-0852 Water Cooled Screw Chiller

Heating Mode		Unit Information													
Performance Information		Manufacturing Source: Montluet, France													
Heating Capacity:	910,5 kW	Refrigerant:	R-134a												
Heating Efficiency (COP):	3,19 kW/kW	Minimum Capacity:	15 %												
Cooling Capacity to Source:	650,0 kW	Number of Refrigerant Circuit:	1												
Unit Power Input:	285,36 kW	Operating/Shipping Weight:	3672/3433 kg												
SCOP:	4,66 kWh/kWh	Unit Dimensions (LxWxH):	2780/1090/1920 mm												
Seasonal Efficiency (ns,heat):	178 %	Electrical Information													
Thivalent:	-4 °C	Unit Voltage:	400(+/-10%)-3-50 V.Ph-Hz												
Temperature Application:	Medium (47°C/95°C)	Standby Power:	0,05 kW												
Climate Reference:	Average (Strasbourg)	Power Factor:	0,90												
Outlet Temperature:	Variable	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Amps (Un)</th> <th>Electrical Circuit 1</th> <th>Electrical Circuit 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Maximum Current In (A):</td> <td>460</td> <td>None</td> </tr> <tr> <td>Start Up Current (A)</td> <td>772</td> <td>None</td> </tr> <tr> <td>Current at Eurovent Conditions (A)</td> <td>232</td> <td>None</td> </tr> </tbody> </table>		Amps (Un)	Electrical Circuit 1	Electrical Circuit 2	Maximum Current In (A):	460	None	Start Up Current (A)	772	None	Current at Eurovent Conditions (A)	232	None
Amps (Un)	Electrical Circuit 1			Electrical Circuit 2											
Maximum Current In (A):	460	None													
Start Up Current (A)	772	None													
Current at Eurovent Conditions (A)	232	None													
Water Flow Rate:	Fixed														
Evaporator Information		Accessories and Installed Options													
Fluid Type:	Fresh Water	Opt. 150 High Condensing Temp (63 deg C)													
Fouling Factor:	0,0000 (sqm-K)/kW														
Number of Passes:	2														
Leaving Temperature:	7,0 °C														
Entering Temperature:	12,0 °C														
Fluid Flow:	31,09 l/s														
Total Pressure Drop:	39,8 kPa														
Condenser Information															
Fluid Type:	Fresh Water														
Fouling Factor:	0,0000 (sqm-K)/kW														
Number of Passes:	2														
Leaving Temperature:	63,0 °C														
Entering Temperature:	58,0 °C														
Fluid Flow:	44,10 l/s														
Total Pressure Drop:	35,3 kPa														
Acoustic Information (cooling mode)															
Sound Power Level (LwA):	102 dB(A)														
Sound Pressure Level at 1,0m (LpA):	84 dB(A)														

Σχήμα 6.1: Χαρακτηριστικά αντλίας θερμότητας 30XWH-0852

Συνακόλουθα, η επιλογή της διαμέτρου των σωληνώσεων (D_i) πραγματοποιείται μετά τον υπολογισμό της ογκομετρικής παροχής κάθε βρόγχου ($\dot{Q}_{\beta\rho}$) και της ταχύτητας ροής του εργαζόμενου μέσου. Επειδή όμως η ζητούμενη παροχή είναι ανάλογη με τον αριθμό και το σχεδιασμό των γεωτρήσεων, αρχικά καθορίζεται η χρήση τριπλού βρόγχου σε σχήμα U, όπου κάθε γεώτρηση αποδίδει ισχύ ίση με 10,551 kW και στη συνέχεια υπολογίζεται η παροχή μάζας του εργαζόμενου μέσου του εξατμιστή (\dot{m}) συναρτήσει της

αντίστοιχης ισχύος και των θερμοκρασιών λειτουργίας. Η διαδικασία αυτή αποτυπώνεται με τις εξής μαθηματικές σχέσεις:

$$\diamond D_i = \sqrt{\frac{\dot{Q}_{\beta\rho} \cdot 4}{v_{\beta\rho} \cdot \pi}} = 0,0066 \text{ m} \quad (6.1)$$

$$\diamond \dot{Q}_{\beta\rho} = \frac{\dot{Q}}{\text{αριθμός σωληνώσεων των γεωτρήσεων}} = \frac{0,025}{101 \cdot 6} = 4,15 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sec} \quad (6.2)$$

$$\diamond \dot{Q} = \frac{\dot{m}}{1000} = 0,025 \text{ m}^3/\text{sec} \quad (6.3)$$

$$\diamond \dot{m} = \frac{Q_{evap}}{C_v \cdot (T_{in} - T_{out})} = 25,39 \text{ kg/sec} \quad (6.4)$$

$$\diamond Q_{evap} = Q_{l,h} \cdot \frac{COP_h - 1}{COP_h} = 531,2 \text{ kW} \quad (6.5)$$

Όπου,

Q_{evap} : η ισχύς του εργαζόμενου μέσου για θερμικό φορτίο σε kW

\dot{Q} : η ογκομετρική παροχή του εργαζόμενου μέσου σε m³/sec

$v_{\beta\rho}$: η ταχύτητα ροής, που κυμαίνεται από 1 έως 1,5 m³/sec και στη παρούσα εργασία επιλέγεται ίση με 1,2 m³/sec

C_v : η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού που ισούται με 4,184 kJ/kgK

T_{in} : η θερμοκρασία εισόδου του νερού στον εξατμιστή, που δίνεται στα χαρακτηριστικά της αντλίας ίση με 12 °C

T_{out} : η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τον εξατμιστή, που δίνεται στα χαρακτηριστικά της αντλίας ίση με 7 °C

$Q_{l,h}$: το ζητούμενο θερμικό φορτίο, που ισούται με 773,8 kW

COP_h : ο ειδικός βαθμός απόδοσης της αντλίας, που δίνεται στα χαρακτηριστικά της αντλίας ίσος με 3,19

Συνεπώς, μετά την προκαταρκτική διαστασιολόγηση, επιλέχθηκε η χρήση σωλήνων πολυαιθυλενίου 3^{ης} γενιάς PE 100 (EN 12201-2 και DIN 8074-8075) για πίεση 16 BAR (SDR 11) τυποποιημένη τιμή εξωτερικής διαμέτρου $D_o = 32 \text{ mm}$ και πάχους τοιχώματος 3 mm. Ταυτόχρονα, σχετικά με τον αριθμό των γεωτρήσεων, εφόσον κάθε γεώτρηση αποδίδει 10,551 kW για την κάλυψη της θερμικής ισχύος του εργαζόμενου μέσου, που υπολογίστηκε ίση με 531,22 kW, απαιτείται η διάνοιξη 50 γεωτρήσεων. Επειδή όμως ο αριθμός αυτός οδηγεί σε βάθος γεωτρήσεων μεγαλύτερο των 150 m, που είναι το μέγιστο

επιτρεπτό, η διαστασιολόγηση κατέδειξε διάνοιξη 101 κατακόρυφων γεωτρήσεων, μειώνοντας στο μισό το βάθος, όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

Για τον τελικό καθορισμό του μήκους του γεωεναλλάκτη (L_h) και του βάθους των γεωτρήσεων ($L_{h_drilling}$) συνυπολογίζονται οι θερμοφυσικές ιδιότητες του εδάφους και τα χαρακτηριστικά των επιλεγόμενων υλικών της συνολικής διάταξης. Έτσι, υιοθετώντας μια σειρά παραδοχών για τους συντελεστές που ποσοτικοποιούν τα παραπάνω, υπολογίζονται τα ζητούμενα μεγέθη για τις υφιστάμενες ενεργειακές απαιτήσεις ως εξής:

$$\diamond L_h = \frac{q_a \cdot R_{ga} + Q_{evap} \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + F_{sc} \cdot R_{gst})}{\frac{T_{in} + T_{out}}{2} - T_g - T_p} = 60.499 \text{ m} \quad (6.6)$$

$$\diamond L_{h_drilling} = \frac{L_h}{\text{συνολικός αριθμός σωλήνων}} = 100 \text{ m} \quad (6.7)$$

Με τα αντίστοιχα μεγέθη να προκύπτουν από τις σχέσεις:

$$\diamond q_a = \frac{Q_{evap} \cdot EFL_h + Q_{cond} \cdot EFL_c}{T_a} = 2.165,7 \text{ W} \quad (6.8)$$

$$\diamond EFL_h = \frac{E_h}{Q_{L,h}} = 107 \text{ h} \quad \text{και} \quad EFL_c = \frac{E_c}{Q_{L,c}} = 62 \text{ h} \quad (6.9)$$

$$\diamond E_h = \frac{Q_{dem,h}}{SCOP} = 82.654 \text{ kW} \quad \text{και} \quad E_c = \frac{Q_{dem,c}}{SCOP} = 31.123 \text{ kW} \quad (6.10)$$

Όπου,

$EFL_{h/c}$: οι ισοδύναμες ώρες σε ολικό φορτίο θέρμανσης/ψύξης ετησίως

$Q_{L,h/c}$: το ονομαστικό μέγιστο φορτίο θέρμανσης/ψύξης του κτιρίου, δηλαδή 773,8 kW και 500 kW αντίστοιχα

Q_{cond} : η ισχύς του εργαζόμενου μέσου για ψυκτικό φορτίο σε kW, που επιλέγεται ίση με μηδέν εφόσον το φορτίο θέρμανσης υπερκαλύπτει το φορτίο ψύξης.

T_a : το ετήσιο χρονικό διάστημα θέρμανσης/ψύξης, που ισούται με 5448 h

q_a : η μέση ετήσια ροή θερμότητας στο έδαφος σε kW

T_g : η θερμοκρασία του εδάφους με τιμή 12,9 °C

T_p : ο διορθωτικός συντελεστής για τη θερμοκρασία εδάφους λόγω της παρεμβολής παρακείμενων σωληνώσεων με τιμή 1,05 °C

$E_{h/c}$: οι ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης/ψύξης kWh

$Q_{dem,h/c}$: οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης/ψύξης, όπως υπολογίστηκαν στο Κεφάλαιο 5, σε kWh

$SCOP$: ο εποχιακός βαθμός απόδοσης της αντλίας, που δίνεται στα χαρακτηριστικά της αντλίας ίσος με 4,66

$R_{ga}, R_b, R_{gm}, R_{gst}$: οι θερμικές αντιστάσεις του εδάφους και των σωλήνων σε ετήσιο, μηνιαίο και ημερήσιο παλμό, που παίρνουν τιμές από 0,09 έως 0,142 mK/W

PLF_m : ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου, που λαμβάνει την τιμή 0,583

F_{SC} : ο συντελεστής θερμικών απωλειών του συστήματος σωληνώσεων, ίσος με 1,02

Επομένως, εφαρμόζοντας όλα τα παραπάνω το τελικό μήκος του γεωεναλλάκτη υπολογίστηκε σε: $L = 60.499$ m, το βάθος κάθε γεώτρησης ισούται με 100 m, ενώ η απαιτούμενη έκταση για την εγκατάσταση ολόκληρης της διάταξης καταλαμβάνει περίπου 2.900 m².

Στο σημείο αυτό αναφέρεται ότι αν και οι επιλεγμένες αντλίες θερμότητας μπορούν να λειτουργήσουν σχετικά αποδοτικά στο θερμοκρασιακό επίπεδο των 60 °C, η χρήση γεωθερμικής αντλίας για θέρμανση με καλοριφέρ θεωρείται μη αποδοτική, και επομένως στην περίπτωση των βοηθητικών χώρων πρέπει να διερευνηθεί η τοποθέτηση εναλλακτικών τερματικών μονάδων χαμηλών θερμοκρασιών.

Εν κατακλείδι, επειδή η απόδοση του γεωθερμικού συστήματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα χαρακτηριστικά του εδάφους και την προσεκτική εγκατάσταση των γεωεναλλακτών, για την τελική διαστασιολόγηση του συστήματος απαιτείται η λεπτομερέστερη συλλογή και αξιοποίηση εξειδικευμένων στοιχείων για τη σύσταση του υπεδάφους, όπως επίσης και ενδεχόμενα, τα χαρακτηριστικά του υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή του γυμναστηρίου.

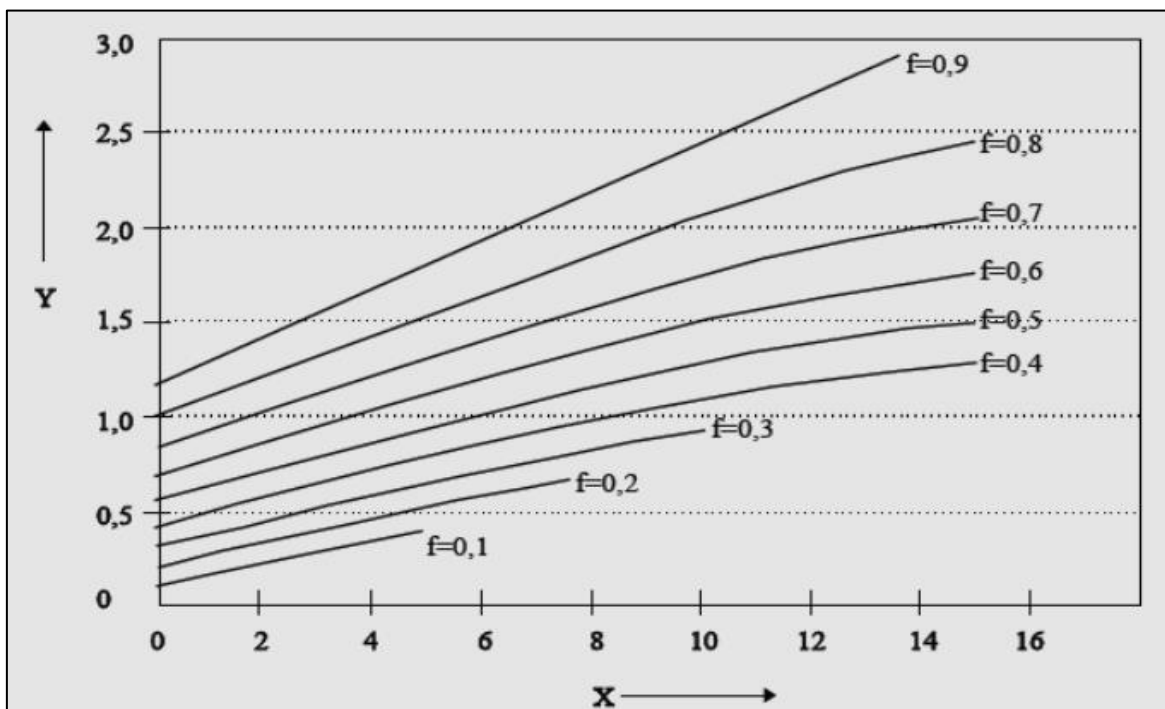
6.1.2 Ηλιακά συστήματα παραγωγής ZNX

Στην κατεύθυνση της ενεργειακής αναβάθμισης του εξεταζόμενου αθλητικού κέντρου, προτείνεται η εγκατάσταση ηλιοθερμικού συστήματος, υπεύθυνου για το σύνολο των απαιτήσεων παραγωγής ZNX, ώστε να αντικατασταθεί η χρήση του υφιστάμενου λέβητα πετρελαίου και να μειωθεί η κατανάλωση συμβατικών καυσίμων.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη διαστασιολόγηση της προτεινόμενης διάταξης έγκειται στην εφαρμογή της μεθοδολογίας καμπυλών f , η οποία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της μηνιαίας και ετήσιας θερμικής απόδοσης ενεργητικών ηλιακών συστημάτων, υπολογίζοντας το ποσοστό του ολικού θερμικού φορτίου που καλύπτεται από την ηλιακή ενέργεια. Βασική παράμετρο των υπολογισμών αποτελεί η επιφάνεια των συλλεκτών, ενώ ως δευτερεύουσες παράμετροι ορίζονται ο τύπος του συλλέκτη, η δυνατότητα αποθήκευσης, ο ρυθμός ροής μάζας και το μέγεθος των εναλλακτών που χρησιμοποιούνται στην πλευρά του συλλέκτη και του φορτίου. Η τελική εξίσωση που οδηγεί στον υπολογισμό του ζητούμενου συντελεστή κάλυψης f , ορίζεται σε σχέση με δυο αδιάστατες παραμέτρους που συνυπολογίζουν τόσο τις απώλειες του συλλέκτη (X), όσο και την απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία (Y) ως προς το θερμικό φορτίο αντίστοιχα και περιγράφεται με τις παρακάτω μαθηματικές σχέσεις [58]:

$$f = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X - 0,245 \cdot Y^2 + 0,0018 \cdot X^2 + 0,0215 \cdot Y^3 \quad (6.11)$$

για $0 \leq X < 18$ και $0 \leq Y < 3$



Σχήμα 6.2: Ποσοστό κάλυψης f συναρτήσει των αδιάστατων παραμέτρων X και Y , πηγή: [58]

Σύμφωνα με το Σχήμα 6.2 το ποσοστό κάλυψης f μεγιστοποιείται όταν οι αδιάστατες παράμετροι X και Y παίρνουν τις ανώτατες επιτρεπτές τιμές, οι οποίες συμπεριλαμβάνουν

κάθε επιμέρους παράγοντα, ώστε να διαστασιολογηθεί κατάλληλα το ηλιοθερμικό σύστημα και προκύπτουν από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$X = \frac{A_c}{L} \cdot F_R U_L \cdot \frac{FR'}{FR} \cdot (T_0 - T_a) \cdot \Delta t \cdot k_1 \cdot k_2 \quad (6.12)$$

$$Y = \frac{A_c}{L} \cdot F_R \tau \alpha_n \cdot \frac{FR'}{FR} \cdot \frac{\tau \alpha}{\tau \alpha_n} \cdot H_\beta \quad (6.13)$$

Όπου,

A_c : η ζητούμενη επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών σε m

L : μέσο μηνιαίο φορτίο για την παραγωγή ZNX σε j, το οποίο προκύπτει από τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν στην ενότητα 5.2.3

$F_R U_L, F_R \tau \alpha_n$: χαρακτηριστικά μεγέθη του συλλέκτη, που δίνονται από τον κατασκευαστή και για επιλεκτικό συλλέκτη λαμβάνουν τιμή 5 W/m²°C και 0,75 αντίστοιχα

FR'/FR : ο διορθωτικός συντελεστής συλλέκτη/εναλλάκτη σε περίπτωση που παρεμβάλλεται εναλλάκτης θερμότητας, όπως σε κλειστό σύστημα ηλιακού συλλέκτη. Το πηλίκο αυτό, στη παρούσα εργασία, παίρνει την τιμή 0,95 και εξαρτάται από τις θερμικές ιδιότητες της επιφάνειας συναλλαγής και τις θερμοκρασίες των δύο ρευμάτων.

T_0 : η θερμοκρασία αναφοράς που ισούται με 100 °C

T_a : η μέση μηνιαία θερμοκρασία της ημέρας, όπως ορίζεται στον Πίνακα 3 της ΤΟΤΕΕ 20701-3 σε °C

Δt : η χρονική περίοδος κάθε μήνα σε sec

H_β : η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία πρόσπτωσης για κλίση 45°, όπως ορίζεται στο Παράρτημα Β της ΤΟΤΕΕ 20701-3 σε kWh/m²

$\tau \alpha / \tau \alpha_n$: ο διορθωτικός συντελεστής θέσης και εποχής, που επιλέγεται κατά προσέγγιση ίσος με 0,95

k_1 : ο διορθωτικός συντελεστής χωρητικότητας, που λαμβάνει μοναδιαία τιμή εφόσον η ανοιγμένη θερμοχωρητικότητα της δεξαμενής ισούται με 75 lt/m²

k_2 : ο διορθωτικός συντελεστής ZNX που υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$k_2 = \frac{11,6 + 1,18 \cdot T_{ZNX} + 3,86 \cdot T_k - 2,32 \cdot T_a}{100 - T_a} \quad (6.14)$$

Όπου,

T_{ZNX} : η επιθυμητή θερμοκρασία ZNX, που ισούται με 45 °C

T_k : η μέση μηνιαία θερμοκρασία νερού δικτύου, όπως ορίζεται στον Πίνακα 6.2 της ΤΟΤΕΕ 20701-3 σε °C

Το τελευταίο βήμα των υπολογισμών έγκειται στην αναγωγή των μηνιαίων ποσοστών κάλυψης σε ποσοστό ετήσιας κάλυψης F . Αυτό προκύπτει από το πηλίκο του αθροίσματος των τιμών της μέσης μηνιαίας ωφέλιμης ενέργειας, δηλαδή το γινόμενο του f επί το μέσο μηνιαίο θερμικό φορτίο L_i , ως προς το μέσο ετήσιο φορτίο.

Στην παρούσα μελέτη, για ετήσιο ποσοστό κάλυψης 100% και συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις ZNX που ανέρχονται σε 19.166 kWh, βρέθηκε επιφάνεια συλλεκτών επιλεκτικού τύπου ίση με 57 m² που συνδέεται με ταμιευτήρα χωρητικότητας 4.275 lt ή 4,3 m³. Συνεπώς, για την εφαρμογή του ηλιοθερμικού συστήματος, προτείνεται η τοποθέτηση στην οροφή του κτιρίου 24 συλλεκτών της εταιρίας SOLAR TECH επιφάνειας 2,5 m² και χωρητικότητας 200 lt.

Τα αποτελέσματα της μεθόδου καμπυλών f , παρουσιάζονται για κάθε μήνα στο Σχήμα 6.3 και φανερώνουν την επιτυχή κάλυψη των αναγκών σε ZNX, εφόσον η τιμή του συντελεστή κάλυψης υπερβαίνει το 90% τους οχτώ μήνες του χρόνου, ενώ ταυτόχρονα το χαμηλότερο ποσοστό δεν πέφτει κάτω από 76%. Ωστόσο, για τις περιπτώσεις αδυναμίας παραγωγής ZNX από το ηλιοθερμικό σύστημα, προβλέπεται υποβοήθηση από συμβατική πηγή πετρελαίου.



Σχήμα 6.3: Μηνιαία κάλυψη φορτίου ZNX

Υπογραμμίζεται ότι, επειδή η παραπάνω ανάλυση πραγματοποιήθηκε υιοθετώντας παραδοχές για τον αριθμό ατόμων και τις απαιτήσεις σε ZNX, δε θεωρείται απόλυτα

ασφαλής, και συνεπώς μόνο η εξειδίκευση των δεδομένων λειτουργίας του γυμναστηρίου μπορεί να οδηγήσει σε ακριβή διαστασιολόγηση του συστήματος.

6.1.3 Αναβάθμιση συστήματος τεχνητού φωτισμού

Η επιτόπια επιθεώρηση των κτιριακών εγκαταστάσεων του κλειστού γυμναστηρίου της Λευκόβρυσης, κατέδειξε τη χρήση λαμπτήρων φθορίου και φθορισμού συνολικής ισχύος 64 kW για την εξασφάλιση τεχνητού φωτισμού, που οδηγούν σε καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος της τάξεως των 139.776 kWh ετησίως. Για το λόγο αυτό, προτείνεται η αντικατάσταση των υφιστάμενων με λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας τύπου LED (Πίνακας 6.1), που, σε συνδυασμό με κάποιες τροποποιήσεις στο σύστημα αυτοματισμών και ελέγχου, πρόκειται να μειώσουν τις καταναλώσεις έως και 60%.

Πίνακας 6.1: Προτεινόμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού

Τύπος λαμπτήρων	Ισχύς
T8 LED	0,014 kW
Προβολείς LED	0,050 kW
Σύνολο	25,6 kW

Πιο αναλυτικά, για την αναβάθμιση του συστήματος τεχνητού φωτισμού συνίσταται η τοποθέτηση φωτοκύτταρων, για την αυτόματη σβέση του συστήματος ανάλογα με την κινητικότητα των χρηστών, ενώ όσον αφορά τους αυτοματισμούς οι δράσεις προσανατολίζονται στην κατεύθυνση σύζευξης φυσικού και τεχνητού φωτισμού. Πρόκειται δηλαδή, για ένα σύστημα ρυθμιζόμενης έντασης (dimming), με ένταση φωτεινότητας ανάλογη της ενέργειας που καταναλώνεται και όχι ανεξάρτητη από αυτή, που σε συνδυασμό με ένα αυτορυθμιζόμενο σύστημα φυσικού φωτισμού, διατηρεί σταθερή την επιθυμητή φωτεινότητα, χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση (Day-light control).

Συμπερασματικά, με την εφαρμογή όλων των παραπάνω δράσεων αξιοποιούνται πλήρως οι νέες τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας αναφορικά με τον φωτισμό και επιτυγχάνεται η μείωση της ετήσιας καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε 55.910 kWh από 139.776 kWh.

6.1.4 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Στο σημείο αυτό, έχοντας υπολογίσει το νέο φορτίο καταναλώσεων τεχνητού φωτισμού, όπως επίσης και το ήδη υπάρχον φορτίο του εξειδικευμένου εξοπλισμού, συνίσταται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων για την πλήρη κάλυψη του συγκεκριμένου ηλεκτρικού φορτίου. Ιδανικότερα, μια πιο ολοκληρωμένη πρόταση αναβάθμισης αποτελεί η συμμετοχή του φωτοβολταϊκού συστήματος στην πλήρη αυτονομία ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, κάτι τέτοιο δεν εξετάζεται εξαιτίας της διακοπτόμενης χρήσης του κτιρίου που οδηγεί σε επισφαλή συμπεράσματα αναφορικά με τις καταναλώσεις της γεωθερμικής αντλίας.

Οι παράμετροι που καθορίζουν την αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών στοιχείων αφορούν στην όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αξιοποίηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Εντούτοις, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η επιλεγόμενη τεχνολογία του τύπου των ηλιακών συλλεκτών και η εγκατάσταση αυτών, σχετικά με την κλίση και τον προσανατολισμό στο χώρο. Η εξίσωση που συνυπολογίζει όλα τα παραπάνω και χρησιμοποιείται για τη διαστασιολόγηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι η εξής:

$$Q_{PV} = CF_{sol} \cdot A_{PV} \cdot I \quad (6.15)$$

Όπου,

Q_{PV} : η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια των φωτοβολταϊκών πολυκρυσταλλικού πυριτίου σε kWh. Για την παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν φωτοβολταϊκά του οίκου Jinko Solar με ονομαστική ισχύ 265 W

CF_{sol} : ο βαθμός αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας από το συλλέκτη, που επιλέγεται από τον Πίνακα 3.1 με τιμή 0,16 ή 16%

A_{PV} : η ονομαστική επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη, που ισούται με 1,64 m²

I : η μέση ετήσια ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας για βέλτιστη κλίση, που ισούται με 1632 kWh/m², όπως ορίζεται στο Παράρτημα Β της ΤΟΤΕΕ 20701-3 για την περιοχή της Καστοριάς (παραδοχή λόγω μη ύπαρξης δεδομένων για την Κοζάνη) και κλίση 45°.

Επομένως, προκύπτει ότι για τις υφιστάμενες απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας σε φωτισμό και χρήση εξοπλισμού, που ανέρχονται σε 67.422,4 kWh/έτος, απαιτούνται 158 φωτοβολταϊκά στοιχεία που αντιστοιχούν σε επιφάνεια 259 m². Σημειώνεται ότι η διαθέσιμη επιφάνεια της οροφής του κλειστού γυμναστηρίου είναι περίπου 4.900 m², ενώ με μια πρωτογενή μελέτη η προκύπτουσα επιφάνεια, συμπεριλαμβανομένου του

γεωθερμικού συστήματος, ανέρχεται στα 1070 m², που σημαίνει ότι η επικείμενη δράση μπορεί να υποστηριχτεί μελλοντικά.

6.1.5 Βιοκλιματικές στρατηγικές

Μια τελευταία εναλλακτική δράση για την εξοικονόμηση ενέργειας του εξεταζόμενου κτιρίου αποτελεί η εναρμόνισή του με τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, στο βαθμό που αυτό επιτρέπεται μετά την υλοποίηση της κατασκευής του.

Πιο αναλυτικά, προτείνεται η τοποθέτηση κινητών σκιάστρων με ανακλαστικές επιφάνειες στα υαλοστάσια του κτιρίου, ώστε από τη μια μεριά να ελαττώνεται το ψυκτικό φορτίο τους θερινούς μήνες και από την άλλη μεριά να διαχέεται ευκολότερα το φυσικό φως στο εσωτερικό του γηπέδου, που σε συνδυασμό με το κατάλληλα διαμορφωμένο σύστημα αυτοματισμών και ελέγχου, πρόκειται να μειώσει τις καταναλώσεις τεχνητού φωτισμού.



Σχήμα 6.4: Εφαρμογή πράσινης στέγης, πηγή: [59]

Επίσης, μια ακόμα αποδοτική λύση, που αποβλέπει τόσο σε περιβαλλοντικά, όσο και σε οικονομικά οφέλη, είναι η δημιουργία «πράσινης στέγης» (Σχήμα 6.4). Προσαρμόζοντας την αναξιοποίητη οροφή του κτιρίου σε φυτεμένο δώμα επιτυγχάνεται μείωση των απαιτήσεων σε θέρμανση κατά 2 lt/m²/έτος και σε ψύξη από 25% έως και 49% [60]. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται λαμβάνοντας υπόψη ότι το χώμα λειτουργεί ως επιπλέον μόνωση της οροφής, με αποτέλεσμα να σταθεροποιούνται σε μεγάλο βαθμό οι

εσωτερικές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, αποτρέποντας τις απώλειες το χειμώνα και λειτουργώντας ως μέσο ηλιοπροστασίας το καλοκαίρι. Από οικολογική σκοπιά, βελτιώνεται το μικροκλίμα της περιοχής, καθώς η βλάστηση απορροφά μέρος του CO₂ της ατμόσφαιρας και συγκρατεί 10-20% της σκόνης και άλλων αέριων ρύπων. Επιπλέον, η πράσινη στέγη συνεισφέρει στην βελτίωση των ακουστικών συνθηκών άνεσης των χρηστών, αφού μπορεί να αυξήσει την ηχομόνωση του κτιρίου τουλάχιστον κατά 8dB, ενώ ταυτόχρονα ανακλά τους εξωτερικούς θορύβους μέχρι και 3dB [59].

6.2 Οικονομοτεχνική μελέτη

Η αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας των δράσεων ενεργειακής αναβάθμισης, που αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, έγκειται στο χρόνο απόσβεσης του αρχικού επενδυτικού κεφαλαίου αναλογικά με την τιμή αγοράς της ενέργειας για την τρέχουσα περίοδο. Ειδικότερα, για την παρούσα τεχνοοικονομική μελέτη, ως αρχικό επενδυτικό κεφάλαιο ορίζονται οι οικονομικές δαπάνες τόσο για την αγορά των εξαρτημάτων της εκάστοτε διάταξης, όσο και για την εγκατάσταση του συστήματος. Αντιδιαμετρικά, στα πάγια έξοδα υπολογίζονται οι καταναλώσεις ενέργειας ανά μονάδα κόστους αγοράς, όπως επίσης και τα ετήσια κόστη για τη συντήρηση των συστημάτων, ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή απόδοση. Η μαθηματική σχέση που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του χρόνου αποπληρωμής όλων των προτεινόμενων παρεμβάσεων είναι η εξής:

$$\text{Έτη απόσβεσης} = \frac{\text{Αρχικό επενδυτικό κεφάλαιο}}{\text{Έξοδα υφιστάμενου συστήματος} - \text{Έξοδα αναβαθμισμένου συστήματος}} \quad (6.6)$$

Τα υφιστάμενα συστήματα παραγωγής ενέργειας του κλειστού γυμναστηρίου καταναλώνουν πετρέλαιο θέρμανσης για τις ανάγκες θέρμανσης και παραγωγής ZNX, σε συνδυασμό με ηλεκτρική ενέργεια για την εξασφάλιση ψύξης και μηχανικού αερισμού. Οι μέσες τιμές, σύμφωνα με τα τρέχοντα δεδομένα των ελληνικών πρατηρίων καυσίμων και τη δημόσια επιχείρηση ηλεκτρισμού, για το πετρέλαιο και το ηλεκτρικό ρεύμα είναι 1,019 €/lt και 0,1723 €/kWh αντίστοιχα. Από την άλλη μεριά, τα νέα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας πρόκειται να καταναλώνουν μόνο ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία της γεωθερμικής αντλίας θέρμανσης και ψύξης, ενώ οι υπόλοιπες ενεργειακές απαιτήσεις καλύπτονται μετά από κατάλληλη αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα, για το ZNX η ενέργεια εξασφαλίζεται από το ηλιοθερμικό σύστημα και οι ανάγκες φωτισμού και εξοπλισμού από τη χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Ακολουθεί η μεμονωμένη εξέταση κάθε συστήματος ανά τελική χρήση, ενώ στο τέλος παρουσιάζεται η συνολική οικονομική προσέγγιση όλων των προτεινόμενων δράσεων.

➤ Σύστημα θέρμανσης-ψύξης

Το υφιστάμενο σύστημα θέρμανσης, με την προϋπόθεση συστηματικής λειτουργίας του γυμναστηρίου, καταναλώνει ετησίως 54.618 lt πετρελαίου που αντιστοιχούν σε 55.656 €, ενώ απαιτούνται επιπλέον 200 € για τη συντήρηση του λέβητα. Συνακόλουθα η χρήση της ΚΚΜ για τη ψύξη του κτιρίου ισοδυναμεί με 41.819 kWh/έτος ή 7.406 €, συνυπολογίζοντας 300 € πάγια έξοδα συντήρησης.

Αναφορικά με το νέο σύστημα αβαθούς γεωθερμίας, το αρχικό επενδυτικό κόστος υπολογίζεται σε 19.360 € για την αγορά της αντλίας και ορισμένων εξαρτημάτων της διάταξης και σε 606.000 € για την αγορά και την εγκατάσταση των σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη. Διευκρινίζεται ότι, το πρώτο ποσό προκύπτει από στοιχεία του οίκου Carrier, ενώ το δεύτερο είναι αποτέλεσμα υπολογισμών με δεδομένο ότι το μέσο κόστος ανά 100 m για κάθε γεώτρηση ανέρχεται σε 6.000 €. Το κόστος συντήρησης της γεωθερμικής αντλίας είναι 300 €. Όλα τα οικονομικά στοιχεία συγκεντρώνονται στον Πίνακα 6.2.

Πίνακας 6.2: Αναλυτικά κόστη υφιστάμενου και νέου συστήματος παραγωγής θέρμανσης/ψύξης

Κόστη ανά σύστημα παραγωγής ενέργειας (€)	Λέβητας Πετρελαίου	Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα	Αβαθής Γεωθερμία
Κόστος αγοράς	-	-	19.360
Κόστος εγκατάστασης	-	-	606.000
Κόστος συντήρησης	200	300	300
Κόστος κατανάλωσης ενέργειας	55.656	7.406	20.981
Συνολικά πάγια έξοδα	55.856	7.706	21.281
Επενδυτικό κεφάλαιο	-	-	625.360

Συνεπώς, χρησιμοποιώντας τη Σχέση 6.6, ο χρόνος αποπληρωμής του προτεινόμενου συστήματος είναι 14,79 έτη. Το χρονικό διάστημα αυτό, αν και με μια πρώτη ματιά φαίνεται απαγορευτικά μεγάλο, πρέπει να σημειωθεί ότι εξαιτίας των παραδοχών που έχουν υιοθετηθεί σε σχέση με τον αριθμό των ατόμων και τις απαιτήσεις αερισμού, ενδεχομένως οι ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης και ψύξης να έχουν υποτιμηθεί, με αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου απόσβεσης της συγκεκριμένης διάταξης. Επίσης, για τον ίδιο λόγο, δηλαδή τη μη συστηματική χρήση του αθλητικού κέντρου, δεν προτάθηκε η εξασφάλιση του συνόλου της ηλεκτρικής ενέργειας της

γεωθερμικής αντλίας από φωτοβολταϊκά συστήματα, που θα καθιστούσε το κτίριο ενεργειακά αυτόνομο και επομένως, υπό αυτήν τη συνθήκη, βιώσιμη την παρούσα επένδυση.

➤ Σύστημα παραγωγής ZNX

Τα οικονομικά στοιχεία για την παραγωγή ZNX στο παρόν κτίριο αντιστοιχούν σε 3.492 €, όπως προκύπτουν αναλογικά με τα καταναλισκόμενα λίτρα πετρελαίου, την αγοραστική του αξία τη δεδομένη χρονική στιγμή και το κόστος συντήρησης του λέβητα.

Από την άλλη μεριά, η αγορά και το κόστος εγκατάστασης του ηλιοθερμικού συστήματος, σύμφωνα με τις υπάρχουσες τιμές του οίκου SOLAR TECH, είναι 12.480 €, ενώ τα πάγια έξοδα της διάταξης δεν ξεπερνούν τα 100 €. Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αναφερθείσες τιμές.

Συνακόλουθα, η οικονομική απόσβεση του εναλλακτικού συστήματος πραγματοποιείται σε 3,68 χρόνια μετά την εφαρμογή του (χρήση Σχέσης 6.6) και αποτελεί μια καθόλα βιώσιμη λύση εξοικονόμησης ενέργειας.

Πίνακας 6.3: Αναλυτικά κόστη υφιστάμενου και νέου συστήματος παραγωγής ZNX

Κόστη ανά σύστημα παραγωγής Ενέργειας (€)	Λέβητας Πετρελαίου	Ηλιοθερμικό Σύστημα
Κόστος αγοράς	-	11.520
Κόστος εγκατάστασης	-	960
Κόστος συντήρησης	200	100
Κόστος κατανάλωσης ενέργειας	3.292	-
Συνολικά πάγια έξοδα	3.492	100
Επενδυτικό κεφάλαιο	-	12.480

➤ Φωτισμός/Εξοπλισμός

Στην περίπτωση του συστήματος φωτισμού η εκπόνηση της οικονομικής μελέτης έγκειται τόσο στην αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων με λαμπτήρες τεχνολογίας LED, όσο και στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων για την κάλυψη των μειωμένων ενεργειακών καταναλώσεων φωτισμού και του εξειδικευμένου εξοπλισμού. Έτσι, το υφιστάμενο σύστημα απαιτεί 25.701 €/έτος, το βελτιωμένο σύστημα εξοικονομεί 15.799 €/έτος, ενώ το τελικά διαμορφωμένο σύστημα αποσβένει σε 2,69 έτη.

Αναλυτικά, τα κόστη αγοράς των νέων διατάξεων καταγράφονται στον Πίνακα 6.4. Σημειώνεται ότι το επενδυτικό κεφάλαιο για την φωτοβολταϊκή διάταξη προκύπτει από δεδομένα του οίκου Jinko Solar.

Λαμβάνοντας υπόψη το χρόνο αποπληρωμής, συμπεραίνεται ότι οι δράσεις εξοικονόμησης στα πλαίσια του φωτισμού αποτελούν μια άκρως ασφαλή επιλογή, που μπορεί να υλοποιηθεί είτε σε πρώτο στάδιο με την τοποθέτηση λαμπτήρων LED, είτε εξολοκλήρου με τη χρήση των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Πίνακας 6.4: Αναλυτικά κόστη υφιστάμενου και νέου συστήματος φωτισμού/εξοπλισμού

Κόστη ανά σύστημα παραγωγής Ενέργειας (€)	Τεχνητός Φωτισμός Εξοπλισμός	Λαμπτήρες LED	Φωτοβολταϊκά Συστήματα
Κόστος αγοράς	-	20.000	41.080
Κόστος εγκατάστασης	-	-	7.900
Κόστος συντήρησης	-	-	100
Κόστος κατανάλωσης ενέργειας	25.701	9.902	-
Συνολικά πάγια έξοδα	25.701	-	100
Επενδυτικό κεφάλαιο	-	20.000	48.980

➤ Συνολική οικονομοτεχνική αποτίμηση

Εξετάζοντας συνολικά τη βιωσιμότητα των παραπάνω δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας, το αρχικό επενδυτικό κεφάλαιο, που ανέρχεται στις 706.820 €, αντιστοιχεί σε χρόνο αποπληρωμής 9,94 έτη. Πιο αναλυτικά, τα πάγια ετήσια έξοδα, μετά την αναβάθμιση, υπολογίζονται σε 21.481 € έναντι των υφιστάμενων 92.555 €, δηλαδή επιτυγχάνεται μελλοντικό οικονομικό όφελος κατά 77% ή 71.074 €.

Σε κάθε περίπτωση, η εν λόγω εκτίμηση είναι ενδεικτική, και δεν αντιστοιχεί στην ακριβή οικονομική αποτίμηση του σχεδίου δράσης, η οποία απαιτεί πιο σύνθετα εργαλεία οικονομικής ανάλυσης και ενδεχόμενα ακριβέστερες εκτιμήσεις για κάποιες από τις περιγραφόμενες παρεμβάσεις.

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα

Με δεδομένη την υφιστάμενη ενεργειακή και κλιματική κρίση και το φαινόμενο της σταδιακής υπερθέρμανσης του πλανήτη, η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε με στόχο την ενεργειακή αξιολόγηση και την περιβαλλοντική εναρμόνιση του κλειστού γυμναστηρίου της Λευκόβρυσης Κοζάνης. Κατά την ανάλυση συνυπολογίστηκαν οι ιδιαιτερότητες που διέπουν τη λειτουργία των κτιρίων του τριτογενούς τομέα αναφορικά με τη χρήση, το ωράριο λειτουργίας και τις αυξημένες απαιτήσεις για φωτισμό και μηχανικό αερισμό· εφαρμόστηκαν εξειδικευμένες μέθοδοι, που συνυπολογίζουν όλες τις παραμέτρους για την πλήρη ενεργειακή χαρτογράφηση του κτιρίου.

Πιο συγκεκριμένα, η πειραματική διερεύνηση μέσω της εγκατάστασης και χρήσης κατάλληλων αισθητηρίων κατά τη διάρκεια διεξαγωγής αγώνων παγκοσμίου βεληνεκούς, οδήγησε στο συμπέρασμα ενός αρκετά ικανοποιητικού περιβάλλοντος. Οι τιμές της εσωτερικής θερμοκρασίας κινούνται εντός των ορίων θερμικής άνεσης, έχουν μικρές διακυμάνσεις και παρουσιάζουν ομοιογένεια για όλες τις μετρούμενες θέσεις των οργάνων. Ταυτόχρονα, η σχετική υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 40-60%, ακολουθώντας την τάση του εξωτερικού αέρα, χωρίς όμως να υπερβαίνει σε καμία περίπτωση το μέγιστο επιθυμητό όριο του 70%, κατοχυρώνοντας την άρτια θερμική άνεση των χρηστών. Συνακόλουθα, η ποιότητα του αέρα εκτιμήθηκε με βάση τη συγκέντρωση CO₂ εσωτερικά του κτιρίου, αποτυπώνοντας αυξημένες τιμές που ξεπερνούν τα όρια αιχμής των 700 ppm τις ώρες διεξαγωγής αγώνων, ενώ σταθεροποιούνται γύρω στα 400 ppm τις υπόλοιπες ώρες, γεγονός που αποτελεί ένδειξη ανεπαρκούς αερισμού. Τέλος, η οπτική άνεση εξασφαλίζεται από τις υφιστάμενες μεθόδους φωτισμού, με τιμές φωτεινότητας που κινούνται εντός των επιθυμητών ορίων, για κάθε εξεταζόμενη περίπτωση χρήσης του κτιρίου.

Η έλλειψη πραγματικών δεδομένων καταναλισκόμενης ενέργειας, εξαιτίας της μη συστηματικής χρήσης του κτιρίου, αποτέλεσε κατασταλτικό παράγοντα στην απόκτηση επαρκούς γνώσης σχετικά με την ενεργειακή συμπεριφορά του αθλητικού κέντρου και συνετέλεσε στην υιοθέτηση παραδοχών κατά την πραγματοποίηση των υπολογισμών των ενεργειακών φορτίων. Για τους εν λόγω υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ημισταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος, που επιλέχθηκε λόγω της εναρμόνισης των αποτελεσμάτων της με τον KENAK και τα ευρωπαϊκά νομοθετικά πρότυπα. Έτσι, προέκυψαν ετήσιες απαιτήσεις ενέργειας της τάξεως των 694.494 kWh ή 141,17 kWh/m², που αντιστοιχούν σε καταναλώσεις μεγέθους 845.309 kWh ή 171,83 kWh/m². Από αυτές συντριπτικά μεγαλύτερο ποσό απαιτήσεων και καταναλώσεων αποδίδεται στη θέρμανση, ακολουθούν η ψύξη και η παραγωγή ZNX, ενώ σημαντική είναι η συμμετοχή επί του

συνόλου του συστήματος τεχνητού φωτισμού. Εξετάζοντας τα αποτελέσματα με γνώμονα την ενεργειακή απόδοση και την κατάταξη του γυμναστηρίου, προέκυψε κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας 273,61 kWh/m², που τοποθετεί το κτίριο στην ενεργειακή κλάση B⁺, κατοχυρώνοντας την ενεργειακή επάρκεια αυτού τόσο σε θέμα κατασκευαστικών προδιαγραφών όσο και αναφορικά με τα χρησιμοποιούμενα συστήματα παραγωγής ενέργειας.

Παρόλα αυτά, η αποκλειστική χρήση συμβατικών καυσίμων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, οδήγησε σε μία προσπάθεια ενεργειακής αναβάθμισης των συστημάτων παραγωγής ενέργειας του κτιρίου στην κατεύθυνση των ΑΠΕ. Η αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμίας πρόκειται να αντικαταστήσει το υφιστάμενο σύστημα θέρμανσης και ψύξης, καλύπτοντας το 20,4% σε σχέση με την ενέργεια που καταναλώνει το υφιστάμενο κτίριο. Επιπρόσθετα, για την παραγωγή ΖΝΧ προτείνεται η εγκατάσταση ηλιοθερμικού συστήματος επιφάνειας 57 m², εξασφαλίζοντας 100% κάλυψη από την ηλιακή ακτινοβολία. Στο ίδιο πλαίσιο, μετά την αντικατάσταση των υφιστάμενων λαμπτήρων με λαμπτήρες τεχνολογίας LED, η τοποθέτηση 300 m² φωτοβολταϊκών συστημάτων μελετήθηκε ώστε να καλύπτει τις ανάγκες φωτισμού και εξειδικευμένου εξοπλισμού, εξοικονομώντας 145.120 kWh ηλεκτρικού ρεύματος ετησίως.

Εξετάζοντας την οικονομική βιωσιμότητα των προτεινόμενων δράσεων, ο συνολικός χρόνος απόσβεσης, της τάξης των 10 ετών, δε θεωρείται ιδιαίτερα ευνοϊκός για την υλοποίησή τους. Με μια πρώτη ματιά, η βραδεία αποπληρωμή του επενδυτικού κεφαλαίου ενδέχεται να οδηγήσει στην εφαρμογή ορισμένων μόνο από τις προτάσεις αναβάθμισης, τουλάχιστον μέχρι τη συστηματική λειτουργία του γυμναστηρίου και τη συλλογή εξειδικευμένων ενεργειακών στοιχείων. Όμως, εστιάζοντας στα μελλοντικά οικονομικά, αλλά κυρίως περιβαλλοντικά οφέλη των αλλαγών, η παρούσα ενεργειακή αναβάθμιση κρίνεται επιτακτική. Επί του πρακτέου, η συνολική μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων πρωτογενούς ενέργειας ανέρχεται στο 74,5%, ενώ η μείωση εκπομπών CO₂ ξεπερνάει το 70%, κατατάσσοντας εκ νέου το κτίριο στην ενεργειακή κατηγορία A⁺.

Τα παραπάνω ευρήματα μπορεί να θεωρηθεί ότι εμπλουτίζουν την ήδη υπάρχουσα περιορισμένη βιβλιογραφία και να αξιοποιηθούν για παρόμοιες εφαρμογές αθλητικών κέντρων ή και άλλων κτιριακών εγκαταστάσεων του τριτογενούς τομέα. Ολοκληρώνοντας υπογραμμίζεται ότι, σε μία χώρα με πλούσιο δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δράσεις στην κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας, όπως αυτή που πραγματεύεται η παρούσα εργασία, οφείλουν όχι μόνο να υλοποιούνται, αλλά να εφαρμόζονται και να επιχορηγούνται από την ίδια την πολιτεία.

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 26 Ιούνιος 2017].
- [4] «BP Global Nuclear Energy» BP review, Available: <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/nuclear-energy.html>. [Τελευταία πρόσβαση 26 Ιούνιος 2017].
- [5] Παπαϊωάννου Γ., «Ήπιες Μορφές Ενέργειας», Εκδόσεις: Ίων, 2009.
- [6] «BP Global renewable energy», BP review, Available: <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/renewable-energy/renewable-power.html>. [Τελευταία πρόσβαση 26 Ιούνιος 2017].
- [7] «Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας», Available: <http://eletaen.gr/greek-wind-energy-stats-2016/>. [Τελευταία πρόσβαση 13 Ιούνιος 2017].
- [8] Ευαγγελινός Ε., Ζαχαρόπουλος Η., «Βιώσιμος σχεδιασμός και κατασκευή κτιρίων» Ενότητα του βιβλίου «ΚΤΙΡΙΑ, ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ», Εκδόσεις: UNIVERSITY STUDIO PRESS, 2008.
- [9] Ελληνική Δημοκρατία, Ελληνική Στατιστική Αρχή, «Απογραφή Κτιρίων 2011», 2015.
- [10] Ελληνική Δημοκρατία, Ελληνική Στατιστική Αρχή, «Κατανάλωση ενέργειας στα ελληνικά νοικοκυριά», 2013.
- [11] Μπαλαράς Κ., «ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΑΘΛΗΤΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ», 1999.
- [12] European Commission, «Research & innovation, Energy efficient buildings», Available: http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/eeb-facts-and-figures_en.html.
- [13] «step2sport», review, Available: <http://step2sport.eu/>. [Τελευταία πρόσβαση 23 Σεπτέμβριος 2017].

- [14] Τσίγκας Π. Ερωτόκριτος, «ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, Το Ευρωπαϊκό Εγχειρίδιο για Παθητικά Ηλιακά Κτίρια», Εκδόσεις: ΜΑΛΛΙΑΡΗΣ Α. - ΠΑΙΔΕΙΑ Α.Ε.
- [15] Ιστοσελίδα: CROFT - Bioclimatic Design, Available: <http://www.croftandassociates.com/croft-and-associates-architecture/bioclimatic-design>. [Τελευταία πρόσβαση 29 Οκτώβριος 2017].
- [16] Πέρδιος Δ. Σταμάτης, «ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ-ΑΘΛΗΤΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ-ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ», Εκδόσεις: ΤεΚΔΟΤΙΚΗ, ΑΘΗΝΑ, 2007.
- [17] Ιστοσελίδα: αέναος Available: <http://www.aenaos-sa.gr>. [Τελευταία πρόσβαση 29 Οκτώβριος 2017].
- [18] Ιστοσελίδα: Google images, Available: <https://www.google.gr>.
- [19] Sue Roaf, Fuentes Manuel, «Ecoδομείν - Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων & Εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας», Εκδόσεις: ΨΥΧΑΛΟΥ.
- [20] Ιστοσελίδα: Τσίτσας Δημήτριος, Available: <http://www.tsitsas.com/page-50.html>. [Τελευταία πρόσβαση 25 Οκτώβριος 2017].
- [21] Κατσίγιαννης Γιάννης, «Ηλιακοί Συλλέκτες», Available: http://ape.chania.teicrete.gr/gr/files/HPIESI_Pres_04_Solar_Collectors.pdf. [Τελευταία πρόσβαση 8 Οκτώβριος 2017].
- [22] Βαλκάνος Ραφαήλ, Πανάγος Κωνσταντίνος, «Διερεύνηση ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου της Παιδαγωγικής Σχολής του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας», Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, 2017.
- [23] Ιστοσελίδα: Engineeringissues, Available: <https://engineeringissues.wordpress.com>.
- [24] Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, Available: http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/el/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.7.3.html. [Τελευταία πρόσβαση 7 Οκτώβριος 2017].
- [25] Ανακοίνωση της Επιτροπής της 19ης Οκτωβρίου 2006 με τίτλο: «Σχέδιο δράσης για την ενεργειακή απόδοση: Αξιοποίηση του δυναμικού».
- [26] Οδηγία 2009/125/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 21ης Οκτωβρίου 2009, για τη «θέσπιση πλαισίου για τον καθορισμό απαιτήσεων οικολογικού σχεδιασμού όσον αφορά τα συνδεδόμενα με την ενέργεια προϊόντα».
- [27] Οδηγία 2010/30/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 19ης Μαΐου 2010, για την «ένδειξη της κατανάλωσης ενέργειας και λοιπών πόρων από τα συνδεδόμενα με την ενέργεια προϊόντα μέσω της επισήμανσης και της παροχής ομοιόμορφων πληροφοριών σχετικά με αυτά».

- [28] Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 19ης Μαΐου 2010 , για την «ενεργειακή απόδοση των κτιρίων».
- [29] Οδηγία 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και 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».
- [30] 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
- [31] «Καθαρή ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους – Ελευθερώνοντας το αναπτυξιακό δυναμικό της Ευρώπης», Βρυξέλλες, 30 Νοεμβρίου 2016.
- [32] Νόμος Πλαίσιο 40/75 περί «Λήψεως μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας», ΦΕΚ 90/Α/1975, 1975.
- [33] «Κανονισμός για τη Θερμομόνωση των Κτιρίων» , ΦΕΚ 362Δ/1979.
- [34] Άρθρο 26 του Ν.1577/85 «Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός», ΦΕΚ 210/Α/18-12-1985.
- [35] Άρθρο 6 Ν. 1512/85 «Κίνητρα για Εξοικονόμηση Ενέργειας στα Κτίρια», ΦΕΚ Τεύχος Α, Φύλλο 4, Έτος 11-11-1985.
- [36] Νόμος 1650/86 για την «Προστασία του Περιβάλλοντος», ΦΕΚ 160/Α/16-10-86.
- [37] Υπουργική Απόφαση 3046/304 «Κτιριοδομικός Κανονισμός», ΦΕΚ 59/Δ/03/02/89.
- [38] Νόμος 2052/92 περί «Μέτρων για την καταπολέμηση του αστικού νέφους», ΦΕΚ 94/Α/5-6-1992.
- [39] Οδηγία 93/76/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 13ης Σεπτεμβρίου 1993 για «Περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακος με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης (SAVE)».
- [40] 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.
- [41] Υπουργική Απόφαση Αριθ. Δ6/Β/οι 11038 «Διαδικασίες απαιτήσεις και κατευθύνσεις για τη διεξαγωγή ενεργειακών επιθεωρήσεων», ΦΕΚ 1526/27-07-1999.

- [42] Σχέδιο Δράσης «Ενέργεια 2001» εκπονήθηκε από το ΥΠΕΧΩΔΕ, από Επιτροπή που συγκροτήθηκε με τις 15013/700/6.6.94 & 18034/1324/7.11.94 αποφάσεις η οποία είχε ως αντικείμενο την εκπόνηση «Θεσμικού Πλαισίου για την Εξοικονόμηση Ενέργειας στον Οικιστικό Τομέα, σε εφαρμογή του άρθρου 6 του Ν. 1512/85 «ΚΙΝΗΤΡΑ για Εξοικονόμηση Ενέργειας».
- [43] Οδηγία 2002/91/ΕΚ για την «Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων».
- [44] «Συγκρότηση, διοικητική – οργανωτική δομή και στελέχωση της Ειδικής Υπηρεσίας Επιθεωρητών Ενέργειας (Ε.Υ.ΕΠ.ΕΝ.)», ΠΔ 72/ΦΕΚ Α' 132.
- [45] Νόμο 3661/2008 «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις», ΦΕΚ 89/Α/2010.
- [46] Νόμος 3851/2010, «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις», ΦΕΚ Α 85/4-6-2010.
- [47] Νόμος 4122 για την «Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων», ΦΕΚ Α' 42/19-02-20113.
- [48] Νόμος 4280/ΦΕΚ Α' 159/8-8-2014 «Περιβαλλοντική αναβάθμιση και ιδιωτική πολεοδόμηση – Βιώσιμη ανάπτυξη οικισμών Ρυθμίσεις δασικής νομοθεσίας και άλλες διατάξεις».
- [49] Απόφαση οικ.17178/30.8.2010 (ΦΕΚ Β'1387/2.9.2010), ΤΟΤΕΕ 20701-1 «Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης», ΤΟΤΕΕ 20701-2 «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων», ΤΟΤΕΕ 20701-3 «Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών», ΤΟΤΕΕ 20701-4 «Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού».
- [50] Διάταγμα Κ.Δ.Π.519/2014, «Κώδικας Πρακτικής για την Ποιότητα του Αέρα Εσωτερικού Χώρου», δημοσιευμένο στην Επίσημη Εφημερίδα της Δημοκρατίας, Παράρτημα ΙΙΙ(Ι) Αρ. 4833 στις 21.11.2014.
- [51] Ιστοσελίδα: «Open Energy Monitor», Available: <https://learn.openenergymonitor.org/sustainable-energy/building-energy-model/readme>. [Τελευταία πρόσβαση 10 Οκτώβριος 2017].
- [52] EN ISO 13790, «Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling», 2008.

- [53] Θεσμικό Πλαίσιο-Μεθοδολογία Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων, «Κατάρτιση Ενεργειακών Επιθεωρητών», Εκπαιδευτικό Υλικό, Αθηνά, 2011.
- [54] Παντελίδης Γ., «Νέος Οδηγός Ενεργειακής Επιθεώρησης Κτιρίων», Εκδόσεις: ΔΕΔΕΜΑΔΗ, 2015.
- [55] Κοινή Υπουργική Απόφαση, υπ' αριθμ. Δ6/Β/οικ. 5825, (ΦΕΚ 407 Β'9-4-2010).
- [56] Ρέλλος Γ., Παπαδοπούλου Ε.Β.Μ., Πανάρας Γ., Μπάρτζης Ι., Χατζητύπη Β., Ανθεμίδου Τ. «Ενεργειακή αναβάθμιση και ορθολογική διαχείριση περιβαλλοντικών πόρων αθλητικών κέντρων Δήμου Κοζάνης: Φάση Β': Κλειστό Γυμναστήριο Λευκόβρυσης, Παραδοτέο Β4: Ενεργειακή Αξιολόγηση», Κοζάνη, 2017.
- [57] Karanaugh S., Rafferty K, «Geothermal heating and cooling: Design of ground-source heat pump systems», ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), 2014.
- [58] Βαβούρας Στέργιος, «ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΟ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ», Διπλωματική Εργασία Α.Π.Θ., 2016.
- [59] Ιστοσελίδα: «Greenway Industries - ZinCo», Available: <http://www.greenwayindustries.com.cy/why-a-green-roofing/>. [Τελευταία πρόσβαση 20 Οκτώβριος 2017].