



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διπλωματική Εργασία

**“Ενεργειακή ανάλυση και μέθοδοι ορθολογικής χρήσης
ενέργειας σε κολυμβητήρια ”**

Αρυμπλιά Α. Μαρία
A.M. 2007050039

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Κολοκοτσά Διονυσία
Σταυρακάκης Γεώργιος
Τσούτσος Θεοχάρης

Χανιά
Δεκέμβριος 2012

Στους
Νίνα και Θανάση
Γιώργο
Έλενα
Στέλλα και
Μανώλη

Ευχαριστίες

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν, καθένας με τον τρόπο του, στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ την κα. Διονυσία Κολοικοτσά, επίκουρη καθηγήτρια του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, που μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα για μένα, το οποίο ήταν επιθυμία μου να πραγματοποιήσω από την αρχή σχεδόν των σπουδών μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης, και με ώθησε στην εις βάθος εξέτασή του. Ακόμη, τον κ. Σωτήρη Παπαντωνίου για τη βοήθεια και τις πληροφορίες που μου παρείχε.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τη Γραμματεία του Ναυτικού Ομίλου Χανίων καθώς και τον υπεύθυνο του μηχανοστασίου του κολυμβητηρίου για την παροχή των πληροφοριών της πισίνας.

Καταλήγοντας, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου για την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο Πολυτεχνείο, όπως επίσης και σε άτομα που κατέχουν ξεχωριστή θέση στη ζωή μου, τον Γιώργο, τη Στέλλα, την Έλενα και τον Μανώλη, για τη στήριξή τους.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στη μελέτη της απαιτούμενης καταναλισκόμενης ενέργειας για τη λειτουργία της εξωτερικής, Ολυμπιακών διαστάσεων πισίνας του Ανοιχτού Κολυμβητηρίου Χανίων καθώς επίσης καταγραφή και υπολογισμό των απωλειών θερμότητας. Πραγματοποιείται προσομοίωση των ενεργειακών απαιτήσεων μέσω του προγράμματος TRNSYS και συνακόλουθα, προτείνονται ενέργειες μέσω των οποίων καθίσταται δυνατή η ελάττωση της κατανάλωσης καυσίμου για τη θέρμανση της πισίνας και η ευκολότερη διαχείρισή της, έτσι ώστε να συνεχιστεί η λειτουργία της.

Τις εξεταζόμενες μεθόδους αποτελούν η τοποθέτηση θερμικού καλύμματος, η μείωση του όγκου της πισίνας, η αντικατάσταση του λέβητα με νέο υψηλότερης απόδοσης και η τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών στον υπάρχοντα διαθέσιμο χώρο. Επίσης, παρουσιάζονται συνδυαστικά σενάρια, με σκοπό τη μεγαλύτερη δυνατή εξοικονόμηση καυσίμου για διατήρηση της θερμοκρασίας του νερού στην επιθυμητή θερμοκρασία.

Οι προτεινόμενες λύσεις υπόκεινται σε σύγκριση μεταξύ τους για ανάδειξη της βέλτιστης όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας και καυσίμου που επιτυγχάνεται, αλλά και του κόστους κατασκευής και χρόνου αποπληρωμής.

Abstract

“Energy analysis methods and rational energy use in swimming pools”

This thesis aims to study of the required energy consumption for the outdoor swimming pool in Chania, and also the recording and calculation of heat losses. It performed simulation of energy consumptions with TRNSYS Simulation Program and hence, proposed actions to reduce oil consumptions for easier energy management and no interrupted operation.

The methods include thermal cover use, reducing the size of the pool, replacing the boiler with a new higher efficiency and placement of solar panels in the existing space. Also presented combination scenarios, with a view to greatest possible fuel savings and maintaining the water temperature at desired level.

The proposed solutions are subject to a comparison between them, for highlighting the best in terms of energy savings achieved and manufacturing costs and payback time.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1: Τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά κολυμβητηρίων

1.1	Εισαγωγή	1
1.2.	Ιστορική αναδρομή στην κατασκευή και λειτουργία των κολυμβητηρίων	2
1.3.	Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αγωνιστικών Πισινών	4
1.3.1.	Διεθνείς Προδιαγραφές	4
1.3.2.	Τα Ελληνικά κολυμβητήρια	7

Κεφάλαιο 2: Ενεργειακές απαιτήσεις και απώλειες στα ανοιχτά και κλειστά κολυμβητήρια

2.1.	Η ενέργεια στα κολυμβητήρια	11
2.1.1.	Ενεργειακές απαιτήσεις κλειστών κολυμβητηρίων	12
2.1.2.	Ενεργειακές απαιτήσεις ανοιχτών κολυμβητηρίων	13
2.2.	Κύριες αιτίες απώλειας ενέργειας στα κολυμβητήρια	14
2.2.1.	Εξάτμιση (Evaporation)	15
2.2.2.	Αγωγή (Convection)	16
2.2.3.	Ηλιακή ακτινοβολία (Solar radiation)	17
2.2.4.	Ανανέωση νερού	18
2.2.5.	Αγωγιμότητα με το έδαφος	19
2.3.	Θερμικά κέρδη	19
2.3.1.	Ηλιακή Ακτινοβολία	19
2.3.2.	Σύστημα Θέρμανσης	20
2.4.	Ενεργειακό Ισοζύγιο	21
2.5.	Εξισώσεις Υπολογισμού	22

Κεφάλαιο 3: Τρόποι εξοικονόμησης και ορθολογική χρήση ενέργειας – Η περίπτωση του κολυμβητηρίου Χανίων

3.1.	Αποτελεσματικές επιλογές ελάττωσης της ενεργειακής κατανάλωσης στα κολυμβητήρια σήμερα	29
3.1.1.	Ισοθερμικό Κάλυμμα	29
3.1.2.	Κτιριακές προσθήκες και αλλαγές	32
3.1.3.	Τοποθέτηση συστήματος ηλιακών συλλεκτών	33
3.1.4.	Αντικατάσταση συστήματος λέβητα – καυστήρα	37
3.2.	Το κολυμβητήριο Χανίων	38
3.2.1.	Γενικά στοιχεία	38
3.3.	Οικονομικά και Τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας	40
3.4.	Επιλογή κατάλληλων μεθόδων για την ανοιχτή πισίνα	43

Κεφάλαιο 4: Πρόγραμμα Προσομοιώσεων TRNSYS

4.1.	Γενικές πληροφορίες	45
4.2.	Type 344: Assessment for indoor and outdoor swimming pool - Εκτίμηση για εσωτερικές και εξωτερικές πισίνες	48

4.2.1.	Βασικές Φυσικές Αρχές ρυθμού μεταφοράς του type 344	48
4.2.2.	Περιγραφή Παραμέτρων	53
4.2.3.	Περιγραφή Δεδομένων εισαγωγής	54
4.2.4.	Περιγραφή των αποτελεσμάτων	57
4.3.	Εφαρμογή στην ανοιχτή πισίνα των Χανίων	58
Κεφάλαιο 5 :Αποτελέσματα		
5.1.	Αποτελέσματα προσομοίωσης Ανοιχτής πισίνας Κολυμβητηρίου Χανίων	61
5.2.	Σενάριο Εξοικονόμησης Ενέργειας 1 ^ο : Αγορά και τοποθέτηση θερμικού καλύμματος	66
5.3.	Σενάριο Εξοικονόμησης Ενέργειας 2 ^ο : Μείωση όγκου της πισίνας	70
5.4.	Σενάριο Εξοικονόμησης Ενέργειας 3 ^ο : τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών	73
5.5.	Σενάριο εξοικονόμησης 4 ^ο : αντικατάσταση λέβητα	78
5.6.	Συνδυαστικά Σενάρια Εξοικονόμησης Καυσίμου	79
Σενάριο I: Χρήση καλύμματος – Αντικατάσταση λέβητα		
Σενάριο II: Μείωση όγκου πισίνας – Αντικατάσταση λέβητα		
Σενάριο III: Τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών – αντικατάσταση λέβητα		
5.7.	Ρύθμιση θερμοκρασίας νερού σε χαμηλότερο επίπεδο	84
5.8.	Αξιολόγηση των σεναρίων	86
Κεφάλαιο 6:Οικονομική αξιολόγηση προτεινόμενων εναλλακτικών λύσεων		
6.1.	Κόστος αγοράς θερμικού καλύμματος	91
6.2.	Κόστος κάλυψης περισσευούμενου όγκου	92
6.3.	Κόστος αγοράς ηλιακών συλλεκτών	93
6.4.	Κόστος αντικατάστασης λέβητα – καυστήρα	93
6.5.	Κόστος Συνδυαστικών Σεναρίων	94
6.6.	Χρόνος αποπληρωμής προτεινόμενων λύσεων	95
6.7.	Συμπεράσματα – Μελλοντικές προτάσεις	99
Βιβλιογραφία		104

Κεφάλαιο 1

Τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά κολυμβητηρίων

1.1 Εισαγωγή

Η εξέταση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και η μελέτη της ενεργειακής αποδοτικότητάς τους αποτελούν αντικείμενα έρευνας τα οποία, τις τελευταίες δεκαετίες παρουσιάζουν αξιοσημείωτη αύξηση. Στο γεγονός αυτό συνάδουν τόσο η μείωση των αποθεμάτων συμβατικών μορφών ενέργειας (πετρέλαιο, λιγνίτης κ.ά), όσο και η αναζήτηση εφαρμογών με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος. Συνακόλουθα, η ραγδαία αύξηση της οικοδόμησης αλλά και η ανάπτυξη της τεχνολογίας κατά τον 20^ο και 21^ο αιώνα, οδήγησαν στην απαίτηση τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών λειτουργίας των νέων αυτών οικοδομημάτων. Η προσφυγή λοιπόν σε λύσεις για εξοικονόμηση καυσίμων και ενέργειας ήταν αναπόφευκτη δραστηριότητα με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του φυσικού περιβάλλοντος να αναρριχώνται στην κορυφή της λίστας εναλλακτικών επιλογών λόγω των πολλαπλών οφελών τους.

Οι έννοιες της ενεργειακής μελέτης, διαχείρισης και εξοικονόμησης σε δημόσια και ιδιωτικά κτίρια αλλά και σε εγκαταστάσεις με υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις όπως αθλητικούς χώρους, κέντρα αναψυχής, εκπαιδευτικά ιδρύματα κτλ. απέκτησαν ιδιαίτερη σημασία και βαρύτητα τα τελευταία χρόνια λόγω των παραγόντων που προαναφέρθηκαν. Η αύξηση του βιοτικού επιπέδου και της τεχνολογίας έδωσαν το έναυσμα για την ανέγερση μεγάλου αριθμού κτιρίων αυτού του είδους με σκοπό να προσφέρουν τις καλύτερες συνθήκες άνεσης, ασφάλειας και εξυπηρέτησης στους χρήστες.

Βασικό μειονέκτημα των αθλητικών χώρων και συγκεκριμένα των κολυμβητηρίων, αποτελούν οι τεράστιες ενεργειακές απαιτήσεις τους. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η κατανάλισκόμενη ενέργεια μιας κολυμβητικής δεξαμενής είναι πέντε φορές υψηλότερη από εκείνη ενός συγκροτήματος γραφείων ίδιας επιφάνειας. Συνακόλουθα, τροχοπέδη αποτελούν οι μεγάλες ενεργειακές απώλειες που παρατηρούνται λόγω των φαινομένων της εξάτμισης κατά πρώτο λόγο, της ακτινοβολίας και της αγωγής.

Παρατηρείται επομένως, ότι στην περίπτωση των κολυμβητηρίων, είτε κλειστών είτε ανοιχτών, η μελέτη της ενεργειακής κατανάλωσης και η εύρεση τρόπων μείωσής της, αποτέλεσαν αντικείμενο μελέτης για τους μηχανικούς, ήδη από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα. Συγκεκριμένα, μόλις το 1962, ο Czarnecki μελέτησε τα ενεργειακά κέρδη από την απευθείας ηλιακή ακτινοβολία σε ανοιχτή πισίνα και χρήση θερμικού καλύμματος για αποθήκευση αυτής της ενέργειας και μείωση της εξάτμισης. Το έργο του αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας για μετέπειτα επιστημονικές μελέτες, με το πέρασμα των χρόνων να ανακαλύπτονται και εφαρμόζονται νέες μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας, όπως θα αναλυθεί στα επόμενα κεφάλαια.

1.2. Ιστορική αναδρομή στην κατασκευή και λειτουργία των κολυμβητηρίων

Η κολύμβηση ως μέσο ψυχαγωγίας και άθλησης, εμφανίζεται ήδη από την αρχαιότητα, με τοιχογραφίες και αμφορείς του 1600 π.Χ. να μαρτυρούν το γεγονός. Εκμεταλλευόμενοι τα χιλιάδες μέτρα ακτογραμμής της Ελλάδας αλλά και τον ιδιαίτερα ανεπτυγμένο κλάδο της ναυτιλίας, οι έλληνες κάτοικοι ήταν γνώστες της κολύμβησης όπως επίσης και οι κάτοικοι των ανατολικών χωρών. Αν και οι Έλληνες χρησιμοποιούσαν κυρίως τον θαλάσσιο χώρο αλλά και τεχνητές λίμνες όπως και οι Ρωμαίοι, στις ανατολικές περιοχές, ήδη από το 2000 π.Χ. είχαν κατασκευαστεί οι πρώτες κολυμβητικές δεξαμενές. Συγκεκριμένα, στο επονομαζόμενο τότε Mohenjo – Daro, χώρο του σημερινού Πακιστάν, βρέθηκε πιθανότητα η πρώτη πισίνα το 2000 π.Χ. Στο εσωτερικό της ήταν επενδυμένη με τούβλα, τα οποία είχαν καλυφθεί με είδος κολλητικής πίσσας και με διαστάσεις 12 m μήκος και 7 πλάτος.

Στους πρωτοπόρους στην κατασκευή πισίνας συγκαταλέγονται και οι Ρωμαίοι, οι οποίοι τις κατασκεύαζαν τόσο για ιδιωτική χρήση, όσο και ως ενός είδους ενιδρύου για την εκτροφή των ψαριών. Ως εκ τούτου, μία από τις πρώτες λέξεις για την περιγραφή αυτού του οικοδομήματος, ανήκει στην λατινική γλώσσα από όπου προέρχεται η λέξη πισίνα (λατ. piscina). Στην Ρωμαϊκή αυτοκρατορία επίσης αποδίδεται η κατασκευή της πρώτης θερμαινόμενης πισίνας από τον πλούσιο ρωμαϊκό άρχοντα Gaius Maecenas τον πρώτο αιώνα π.Χ.

Στη σύγχρονη εποχή, οι πισίνες όπως και η κολύμβηση, έγιναν ιδιαίτερα αγαπητές από την Μεγάλη Βρετανία, όπου ήδη από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα κατασκεύαζαν τόσο τις πρώτες εσωτερικές πισίνες αλλά δημιούργησαν συνακόλουθα τους πρώτους αθλητικούς ομίλους με σκοπό τη μαζική χρήση των πισινών για κολύμβηση, αρχικά από τα μέλη του Σωστικού Σώματος και έπειτα από Άγγλους πολίτες. Η πρώτη τέτοιου είδους πισίνα κατασκευάστηκε το 1839 στην Οξφόρδη ενώ αργότερα, το 1907, στην άλλη πλευρά του Ατλαντικού και συγκεκριμένα στη Φιλαδέλφεια των Ηνωμένων Πολιτειών, δημιουργήθηκε αντίστοιχη εγκατάσταση. Παρόλη την κατασκευαστική άνοδο στον τομέα των κολυμβητηρίων, η κολύμβηση δεν αποτελούσε εκείνη την εποχή ιδιαίτερα δημοφιλές άθλημα. Η δημοτικότητά της αυξήθηκε κατακόρυφα μετά τους πρώτους σύγχρονους Ολυμπιακούς Αγώνες της Αθήνας του 1896. Κατά τις αρχές του 20^{ου} αιώνα παρατηρήθηκε τεράστια αύξηση στην οικοδόμηση νέων κολυμβητικών δεξαμενών λόγω της υψηλής αποδοχής του αθλήματος από τον κόσμο.

Αρχικά λειτουργούσαν μόνο τους καλοκαιρινούς (ζεστούς) μήνες λόγω των καιρικών συνθηκών και της θέρμανσης του νερού από την απευθείας ηλιακή ακτινοβολία, ενώ τον υπόλοιπο χρόνο παρέμεναν εκτός λειτουργίας. Στα μέσα του 20^{ου} αιώνα ξεκίνησε η εγκατάσταση συστήματος θέρμανσης του νερού στις πισίνες, γεγονός που οδήγησε στην ετήσια λειτουργία τους.

Στον ελληνικό χώρο, σταθμό στην εξέλιξη της κολύμβησης και γενικότερα του υγρού στίβου, αποτελούν οι ημερομηνίες 1940 και 1959 κατά τις οποίες εγκαινιάστηκαν το

Ολυμπιακό Κολυμβητήριο στην πρωτεύουσα της χώρας και το πρώτο κλειστό κολυμβητήριο στη σχολή Ναυτικών Δοκίμων αντίστοιχα. Το 1970, ξεκίνησε η θέρμανση του Ολυμπιακού Κολυμβητηρίου γεγονός που οδήγησε στην λειτουργία του καθόλη τη διάρκεια του έτους, η οποία μέχρι πρότινος περιοριζόταν στους καλοκαιρινούς μήνες για θέρμανση του νερού μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με την επίσημη καταγραφή από την Ελληνική Κολυμβητική Ομοσπονδία, ο αριθμός των πισινών ανέρχεται σε 197 σε 116 διαφορετικές περιοχές της χώρας. Οι πισίνες αυτές αντιστοιχούν στα 60 κολυμβητήρια τα οποία επισήμως υπάρχουν στο Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, Πολιτισμού και Αθλητισμού. Στον πίνακα 1.1 που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα κολυμβητήρια της χώρας, ο καταμερισμός τους ανάλογα με το γεωγραφικό διαμέρισμα που βρίσκονται καθώς και ο διαχωρισμός τους σε ανοιχτά και κλειστά, σύμφωνα με την τελευταία επίσημη καταγραφή το 2008 από το υπάρχον τότε αρμόδιο Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων (ΥΠΕΠΘ).

Πίνακας 1.1. – Καταμερισμός Κολυμβητηρίων στην Ελλάδα [Πηγή : ΥΠΕΠΘ, 2008]

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

Η προηγμένη τεχνολογία καθώς και η μαζικότητα στη παραγωγή τις τελευταίες δεκαετίες, αποτέλεσαν φαινόμενα τα οποία συνέβαλαν στην μείωση του κόστους των πισινών μακροπρόθεσμα λόγω της ανθεκτικότητάς τους και τη δυνατότητα λειτουργίας τους για πολλά χρόνια υπό την προϋπόθεση σωστής κατασκευής και συντήρησης.

Στη πλειονότητά τους οι πισίνες τόσο στον ελληνικό χώρο όσο και παγκοσμίως είναι χτιστές, με τις προκατασκευασμένες παρόλα αυτά να εδραιώνονται στην παγκόσμια αγορά τα τελευταία χρόνια. Ανεξαρτήτως διαστάσεων, οι πισίνες, όντας

οικοδομήματα, απαιτούν αρχιτεκτονική, στατική και ηλεκτρολογική μελέτη στον χώρο όπου έχει επιλεγεί. Έπειτα από την απόκτηση οικοδομικής άδειας επιτρέπεται η έναρξη των οικοδομικών εργασιών οι οποίες περιλαμβάνουν εσκαφή, δημιουργία καλουπωμάτων ταυτόχρονα με την οικοδόμηση των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και σκυρόδεση αρχικά του πυθμένα και έπειτα των περιμετρικών τοιχίων της πισίνας. Η στεγανοποίηση της πισίνας πραγματοποιείται στη συνέχεια και αποτελεί εξαιρετικά σχολαστική και επιμελή διαδικασία λόγω της συνεχούς πίεσης που υφίσταται τα τοιχώματα της πισίνας κατά τη λειτουργία της, με την ύπαρξη έστω και μικρών ρηγμάτων να έχουν εξαιρετικά δυσμενή αποτελέσματα. Η στεγανοποίηση λαμβάνει χώρα αρχικά με τοποθέτηση ισχυρής στεγανής τσιμεντοκονίας, η οποία λειτουργεί ταυτόχρονα ως εξυγιαντική στρώση. Για την συγκόλληση των δύο στρώσεων, αυτό του πυθμένα και αυτό των τοιχίων, τοποθετείται διογκούμενο σφραγιστικό υλικό, συνήθως μπετονίτης. Η τελική φάση κατασκευής περιλαμβάνει την επένδυση της πισίνας η οποία πρέπει να αποτρέπει την ολισθηρότητα, να αντέχει στην υπερύδνη ακτινοβολία, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τους διαβρωτικούς παράγοντες, ο καθαρισμός συντήρηση να γίνεται εύκολα και σαφώς να μην υστερείται αισθητικής. Στα είδη επένδυσης συμπεριλαμβάνονται η βαφή, το πλακάκι, η ψηφιδωτή πορσελάνη και τα πλαστικά υλικά, με το πλακάκι να χρησιμοποιείται στις πλείστες των περιπτώσεων κατασκευής Ολυμπιακών διαστάσεων πισινών. Η κατασκευή του μηχανοστασίου και του συστήματος ανακυκλοφορίας του νερού αποτελούν τις τελικές διεργασίες κατασκευής.

1.3. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αγωνιστικών Πισινών

1.3.1. Διεθνείς Προδιαγραφές

Η δημιουργία και καθιέρωση συγκεκριμένων τεχνικών και κατασκευαστικών χαρακτηριστικών για τις Ολυμπιακών διαστάσεων αγωνιστικές πισίνες αποτελεί φυσικό επακόλουθο με σκοπό την τήρηση του ευγενούς ανταγωνισμού αλλά και της επίτευξης συνθηκών ασφάλειας και άνεσης κατά τη διάρκεια της κολύμβησης, είτε στην περίπτωση της προπόνησης, είτε κατά τη διεξαγωγή αγώνων.

Ανεξαρτήτως ηπείρου και χώρας, το εκάστοτε υπό μελέτη κολυμβητήριο οφείλει να πληροί τις προδιαγραφές της Παγκόσμιας Ομοσπονδίας Υγρού Στίβου (FINA, Federation Internationale de Natation). Τόσο στην περίπτωση των κλειστών όσο και των ανοιχτών κολυμβητηρίων έχουν θεσπιστεί συγκεκριμένα όρια, σύμφωνα με τα οποία σχεδιάζονται και κατασκευάζονται οι κολυμβητικές δεξαμενές στο χώρο των κολυμβητηρίων. Σε κάθε περίπτωση, ο αριθμός των πισινών που περιλαμβάνει ένα κολυμβητήριο εξαρτάται από την απόφαση της αρμόδιας υπηρεσίας που αναλαμβάνει την ανέγερσή του καθώς και τον λόγο δημιουργίας του. Διακρίνονται σε «μεγάλες» και «μικρές» πισίνες για τη διεξαγωγή αγώνων, τις λεγόμενες long και short course αντίστοιχα, και σε πισίνες εκμάθησης.

Συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι οι διαστάσεις της πισίνας ανάλογα με το είδος της(μήκος, πλάτος, βάθος), η απαιτούμενη θερμοκρασία του νερού, ο φωτισμός της πισίνας (ειδικά σε κλειστές πισίνες), οι διαδρομές, οι βατήρες εκκίνησης και άλλα. Τα προαναφερθέντα δεδομένα παρουσιάζονται στον πίνακα 1.2 που ακολουθεί.

Πίνακας 1.2. - Τεχνικές προδιαγραφές κολυμβητικών δεξαμενών [Πηγή : Παγκόσμια Ομοσπονδία Υγρού Στίβου, FINA, 2010]

Τεχνικές Προδιαγραφές Αγωνιστικών Κολυμβητικών Δεξαμενών		
Είδος Πισίνας	Long course	Short course
Μήκος	50 m	25 m
Πλάτος	21 m	15 m
Ελάχιστο βάθος	2 m	2 m
Ελάχιστος όγκος	2100 m ³	750 m ³
Ελάχιστος αριθμός διαδρομών	8	6
Πλάτος διαδρομής	2,5 m	2,5 m
Θερμοκρασία νερού	25 -28 °C	25 -28 °C
Ελάχιστη ένταση φωτός	1500 lux	1500 lux
Σχετική υγρασία (κλειστά κολυμβητήρια)	50 – 70%	50 – 70%
Θερμοκρασία αέρα (κλειστά κολυμβητήρια)	30 – 32 °C	30 – 32 °C
Ελάχιστος ρυθμός αερισμού στον χώρο της πισίνας (κλειστά κολυμβητήρια)	12 l/sec/άτομο	12 l/sec/άτομο

Σε αυτό το σημείο, σκόπιμο κρίνεται να αναφερθεί ότι στα περισσότερα κολυμβητήρια κατασκευάζεται επίσης πισίνα εκμάθησης. Οι διαστάσεις της συνήθως ανέρχονται σε 12,5 m μήκος και 5 m πλάτος, με το βάθος να ξεκινά από τα 60 εκατοστά και να αυξάνεται σταδιακά μέχρι το 1 μέτρο και 30 εκατοστά. Για τη συγκεκριμένη πισίνα, λόγω του ότι χρησιμοποιείται για εκμάθηση μικρής ηλικίας παιδιών και δεν διεξάγονται επίσημες διοργανώσεις σε αυτή, δεν απαιτείται να ακολουθεί συγκεκριμένα πρότυπα κατασκευής πέραν του μήκους το οποίο είναι

σταθερό πάντοτε στα 12,5 m. Τα λοιπά χαρακτηριστικά της, όπως πλάτος, βάθος, κλίση πυθμένα, αριθμός διαδρομών κτλ. καθορίζονται από την αρμόδια υπηρεσία σχεδιασμού και ανέγερσης του κολυμβητηρίου.

Σημαντικό κριτήριο ορθής λειτουργίας ενός κολυμβητηρίου, αποτελεί η θερμοκρασία του νερού. Σύμφωνα με οδηγίες του National Swimming Pools Federation, οι ιδανικές θερμοκρασίες όπως έχουν προκύψει μέσα από μακροχρόνιες έρευνες και μελέτες, καθορίζονται ανάλογα με τη χρήση της εκάστοτε πισίνας και τα άτομα για τα οποία προορίζεται να εξυπηρετεί. Πιο συγκεκριμένα, οι προτεινόμενες θερμοκρασίες νερού παρουσιάζονται στον πίνακα 1.3. που παρουσιάζεται ακολούθως.

Πίνακας 1.3. – Προτεινόμενες Θερμοκρασίες νερού σύμφωνα με τη δραστηριότητα των χρηστών [Πηγή, National Swimming Pools Federation]

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

Παρατηρώντας τις τιμές του πίνακα, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η χρήση της πισίνας από μικρές ηλικίες και άτομα με περιορισμένη δυνατότητα κινήσεων, απαιτεί όπως είναι φυσικό την επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών νερού και για το λόγο αυτό, οι συγκεκριμένες ομάδες ατόμων χρησιμοποιούν κυρίως τις μικρές πισίνες (12,5 m), οι οποίες όντας μικρότερων διαστάσεων, απαιτούν πολύ μικρότερα ποσά ενέργειας για την επίτευξη αυτών των υψηλών θερμοκρασιών νερού. Στις περιπτώσεις προπόνησης αθλητικών ομάδων και διεξαγωγής αγώνων, εξαιτίας της υψηλής έντασης και συνεχούς κολύμβησης, το νερό είναι επιθυμητό να βρίσκεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, κυρίως για καλύτερη απόδοση των αθλητών και επικράτηση άνετων συνθηκών. Κατά τη διάρκεια της κολύμβησης, ο αθλητής δαπανά σημαντικά ποσά ενέργειας με αποτέλεσμα την αύξηση θερμοκρασίας του σώματος. Το γεγονός αυτό, αν συνδυαστεί με ταυτόχρονη επαφή νερού υψηλής θερμοκρασίας, προκαλεί συνθήκες δυσφορίας στους αθλητές με αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσής τους.

Συνακόλουθα, η συγκεκριμένη ομάδα χρηστών, χρησιμοποιεί κυρίως τις «μεγάλες πισίνες» (25 και 50 m), οι οποίες λόγω του μεγάλου όγκου νερού που περιέχουν,

απαιτούν πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας για τη θέρμανσή του. Επομένως, στις πλείστες των περιπτώσεων, οι μεγάλες πισίνες χρησιμοποιούνται κυρίως από αθλητές ή ενήλικα άτομα.

1.3.2. Τα Ελληνικά κολυμβητήρια

Η Ελληνική νομοθεσία, ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του '70, έχει μεριμνήσει για την περίπτωση κατασκευής νέου κολυμβητηρίου καθώς και τις προτεινόμενες επικρατούσες συνθήκες όσων λειτουργούν. Σύμφωνα με την Διάταξη Γ1/443/73 (ΦΕΚ 87Β), με την ιδιότητα «περί Κολυμβητικών Δεξαμενών μετά οδηγίες κατασκευής και λειτουργίας αυτών», καθορίζονται οι κατασκευαστικές απαιτήσεις των νεοανεγερθέντων πισινών, οι οποίες βάσει της επιφάνειάς τους, διακρίνονται σε τρείς κατηγορίες (πίνακας 1.4)

Πίνακας 1.4. – Κατηγορίες πισινών σύμφωνα με την επιφάνεια αυτών [ΦΕΚ 87Β, Υγ. Διάταξη Γ1/443/73]

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

Στις κατασκευαστικές απαιτήσεις περιλαμβάνονται επίσης η κλίση του πυθμένα, η επιτρεπόμενη επίστρωση του πυθμένα και των περιμετρικών τοιχωμάτων, το μέγιστο φορτίο της κολυμβητικής δεξαμενής, τα στόμια εισροής και εκροής, οι αύλακες υπερχειλίσεως και λοιπά τεχνικά στοιχεία. Στον πίνακα 1.5 που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα απαιτούμενα τεχνικά χαρακτηριστικά των πισινών, όπως αυτά καθορίζονται από την νομοθεσία.

Πίνακας 1.5. – Ποιοτικές Απαιτήσεις Κολυμβητικών Δεξαμενών [ΦΕΚ 87Β, Υγ. Διάταξη Γ1/443/73]

Κατασκευαστικές Απαιτήσεις Κολυμβητικών Δεξαμενών		
Κλίση πυθμένα	Για βάθος < 1,5 m	1 : 12,5 (8%)
	Για βάθος > 1,5 m	1 : 3
Μέγιστο φορτίο δεξαμενών (μέγιστος αριθμός λουόμενων)	Για βάθος < 1 m	1 άτομο / 1 m ² νερού
	Για βάθος > 1 m	1 άτομο / 2,5 m ² νερού

Για κάθε σημείο κατάδυσης	Επιπλέον επιφάνεια 30 m ²
Αντιστοιχία ποσότητας νερού ανά λουόμενου	>500 l χλωριωμένου/ανακυκλούμενου νερού ανά λουόμενο
Τοποθέτηση στομιών εισροής για δεξαμενές > 150 m ²	Ανά 4,5 m στα τοιχώματα
Τοποθέτηση στομιών εκροής για δεξαμενές > 150 m ²	Ανά 6 m στα τοιχώματα
Δεξαμενές επιφάνειας >200 m ²	Επιβάλλεται σε όλη τη περίμετρο κατασκευή αύλακα υπερχείλισης
Δεξαμενές επιφάνειας <200 m ²	Στόμια υπερχείλισης (skimmers), τουλάχιστον 1/50 m ²

Στην ίδια Υγειονομική Διάταξη, καθορίζονται ο απαιτούμενος αριθμός προσωπικού λειτουργίας, η έκδοση άδειας λειτουργίας και οι απαιτήσεις των βοηθητικών εγκαταστάσεων (αποδυτήρια, ντους, τουαλέτες, διάδρομοι κτλ). Συνακόλουθα, αναγράφονται τα απαιτούμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού, καθώς και οι ρυθμίσεις για τον προτεινόμενο ρυθμό ανακυκλοφορίας του νερού, τον καθαρισμό και την απολύμανσή του.

Ποιότητα Νερού

Η ποιότητα του νερού αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για την παροχή ενός άνετου και υψηλού ποιοτικά κολυμβητικού περιβάλλοντος. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω σωστής χλωρίωσης, φιλτράρισμα του νερού και ανανέωση του νερού.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού, σύμφωνα με το άρθρο 15 της Υγειονομικής Διάταξης, οφείλουν να βρίσκονται εντός των ορίων που παρουσιάζονται στη συνέχεια στον πίνακα 1.6.

Πίνακας 1.6. – Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Νερού Κολυμβητικών Δεξαμενών

Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Νερού	
Όψη	Διαυγής
Τιμή Ph	7,2 – 7,8
Αλκαλικότητα	100 – 200 mg/L
Σκληρότητα	50 – 100 mg/L
Θειικά	< 600 mg/L

Total Suspended Solids (TSS) Ολικά Αιωρούμενα Στερεά	< 3000 mg/L
Περιεκτικότητα σε χλώριο	1 – 4 mg/ L
E. Coli	0 / 100 ml νερού
Κολοβακτηρίδια	< 15 / 100 ml νερού

Στις περιπτώσεις των πισινών οι οποίες ακόμη λειτουργούν με χρήση θαλασσινού νερού, ισχύουν οι ίδιες διατάξεις υπό την προϋπόθεση ότι τα τελικά φυσικά, χημικά και μικροβιολογικά χαρακτηριστικά του νερού, ακολουθούν τις προδιαγραφές του άρθρου 15.

Ανακυκλοφορία και Καθαρισμός του νερού

Η ανακυκλοφορία του νερού τόσο στις ιδιωτικές όσο και στις δημόσιες πισίνες είναι απαραίτητη ούτως ώστε να αποφεύγεται η υπερβολική κατανάλωση των υδατινών πόρων και να επιτυγχάνεται εξοικονόμηση, μέσω του συστήματος ανακυκλοφορίας. Συνακόλουθα, η Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το παράγραφο 1 του άρθρου 15 της Υγειονομικής Διάταξης, το νερό της κολυμβητικής δεξαμενής πρέπει να ανανεώνεται συνεχώς καθόλη τη διάρκεια της λειτουργίας της, με ρυθμό που να εξασφαλίζει την πλήρη ανανέωσή του μέσα σε 4 ως 6 ώρες. Η ανανέωση πρέπει να επιτυγχάνεται είτε με συνεχή ροή νέου, καθαρού νερού, είτε με ανακυκλοφορία του νερού της δεξαμενής μετά από προηγούμενο καθαρισμό ή απολύμανση.

Το σύστημα ανακυκλοφορίας – καθαρισμού – απολύμανσης του νερού, πρέπει να βρίσκεται σε λειτουργία καθόλη τη διάρκεια χρήσης της πισίνας, αλλά και πέραν από αυτή, μέχρι την εξασφάλιση διαυγούς νερού και κατάλληλου από μικροβιολογική άποψη.

Ουσίες όπως ανθρώπινα εκκρίματα και ιστοί (ιδρώτας, σάλιο, τρίχες, ούρα), μολυσματικές ουσίες (οργανικές και ανόργανες) και καλλυντικά (κρέμες, λοσιόν, έλαια και σκόνες), αποτελούν τις τρεις κύριες κατηγορίες ρύπανσης μιας πισίνας δημόσιας χρήσης. Για την επικράτηση σωστών συνθηκών υγιεινής, απαιτείται η εισροή 30 λίτρων φρέσκου νερού (νέου ή ανακυκλούμενου) ανά άτομο την ημέρα.

Απολύμανση

Η απολύμανση του νερού κρίνεται απαραίτητη καθόλη τη διάρκεια χρήσης της κολυμβητικής δεξαμενής, όπως ορίζει το άρθρο 18 της Υγειονομικής Διάταξης, ανεξαρτήτως του τύπου νερού που χρησιμοποιείται (θαλασσινό ή μη). Η απολύμανση στις πλείστες των περιπτώσεων πραγματοποιείται με χρήση χλωρίου μέσω κατάλληλης δοσομετρικής αντλίας. Το υπολειμματικό χλώριο σε αυτή τη περίπτωση πρέπει να βρίσκεται εντός των τιμών 0,4 – 0,7 mg/L για αποφυγή εμφάνισης προβλημάτων υγείας στους λουόμενους. Σε περίπτωση απολύμανσης με διαφορετική

μέθοδο, όπως με χρήση αργιλίου, χαλκού κτλ, απαιτείται έγκριση από υγειονομική υπηρεσία.

Καταλήγοντας, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι εκτός από τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των κολυμβητικών δεξαμενών, σημαντικό κομμάτι στη λειτουργία των κολυμβητηρίων αποτελεί η μελέτη και κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων των πισινών. Η κατανάλωση ενέργειας επηρεάζεται από πλήθος παραγόντων οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο που ακολουθεί, διαφορετικές σε κάθε περίπτωση κολυμβητηρίου (κλειστού ή ανοιχτού).

Κεφάλαιο 2

Ενεργειακές απαιτήσεις και απώλειες στα ανοιχτά και κλειστά κολυμβητήρια

2.1. Η ενέργεια στα κολυμβητήρια

Ο τομέας της ενέργειας στα κολυμβητήρια και στους αθλητικούς χώρους γενικότερα, αποτέλεσε αντικείμενο ενδιαφέροντος για τους μελετητές ήδη από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, εποχή κατά την οποία πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες έρευνες για την κατανάλωση ενέργειας στις κολυμβητικές δεξαμενές οι οποίες λειτουργούσαν με θερμαινόμενο νερό. Αν και ήδη μέχρι το 1837 είχαν κατασκευαστεί έξι εσωτερικές πισίνες στην Αγγλία, η αύξηση στην κατασκευή πισινών προήλθε λόγω της μεγάλης δημοτικότητας του αθλήματος της κολύμβησης μετά τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 1896. Η εξέλιξη της τεχνολογίας και του κατασκευαστικού και μηχανολογικού τομέα οδήγησε στην εγκατάσταση συστήματος θέρμανσης του νερού και στα μέσα του 20^{ου} αιώνα ξεκίνησε η λειτουργία των πρώτων θερμαινόμενων πισινών.

Τα κολυμβητήρια αποτελούν ιδιαίτερες περιπτώσεις κτιρίων τα οποία δυσκολεύουν ακόμη και σήμερα τους επιστήμονες κατά τη διεξαγωγή ερευνών. Στην ουσία πρόκειται για χώρους με εξαιρετικά μεγάλους όγκους νερού οι οποίοι πρέπει συνεχώς να θερμαίνονται, φιλτράρονται και παρακολουθούνται. Ο τεράστιος όγκος νερού ο οποίος έπρεπε να θερμανθεί, η συνεχής λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού για εξασφάλιση ποιοτικού νερού κολύμβησης, η διατήρηση συνθηκών άνεσης στο εσωτερικό περιβάλλον αποδυτηρίων και λοιπών εγκαταστάσεων των κολυμβητηρίων, αποτελούσαν ορισμένες μόνο διεργασίες οι οποίες κατανάλωναν σημαντικά ποσά ενέργειας, αρκετές φορές μεγαλύτερα από ότι εγκαταστάσεις κατοικιών ή γραφείων αντίστοιχης επιφάνειας με αυτή των κολυμβητηρίων. Συνακόλουθα, η πετρελαϊκή κρίση που ξεκίνησε τη δεκαετία του '60, οδήγησε στις πρώτες ενεργειακές μελέτες στις κολυμβητικές δεξαμενές με σκοπό την αποτύπωση των απαιτούμενων καταναλώσεων μιας πισίνας και ταυτόχρονα την εύρεση τρόπων εξοικονόμησης ενέργειας.

Μελετώντας τα όσα προαναφέρθηκαν, εύκολα συνάγεται το συμπέρασμα ότι οι περιπτώσεις των κολυμβητηρίων (κλειστών και ανοιχτών) αποτελούν ιδιόζουσες περιπτώσεις, και συγκρίνοντάς τα με αντίστοιχης επιφάνειας δημόσια και ιδιωτικά κτίρια, καταναλώνουν περίπου 5 φορές περισσότερη ενέργεια. Στον πίνακα 2.1. που ακολουθεί, παρουσιάζονται τυπικές τιμές κατανάλωσης ενέργειας σε αθλητικά κέντρα υγρού στίβου και συνήθεις αθλητικές εγκαταστάσεις και ο διαχωρισμός τους ανάλογα με τα καταναλισκόμενα ποσά ενέργειας.

Πίνακας 2.1. – Τυπικές τιμές κατανάλωσης ενέργειας σε αθλητικά κέντρα [Energy consumption Guide 51, 'Energy Efficiency in Swimming Pools']

Τυπικές τιμές κατανάλωσης ενέργειας σε αθλητικά κέντρα (KWh/m ²)		
Αθλητικά κέντρα υγρού στίβου		
Χαμηλής κατανάλωσης	Συνήθους κατανάλωση	Υψηλής κατανάλωσης
<510	510 – 745	>745
Αθλητικές εγκαταστάσεις		
Χαμηλής κατανάλωσης	Συνήθους κατανάλωση	Υψηλής κατανάλωσης
<290	290 – 410	>410

Η κατανάλωση ενέργειας στα κολυμβητήρια όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, δεν περιορίζεται μόνο στη κατανάλωση πετρελαίου για θέρμανση των πισινών. Απαιτείται επίσης θέρμανση στις βοηθητικές εγκαταστάσεις των πισινών (αποδυτήρια, γυμναστήρια κτλ) καθώς και ζεστό νερό για τα ντους. Ιδιαίτερα αυξημένη είναι η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος για κάλυψη αναγκών φωτισμού, ιδιαίτερα κατά τις βραδινές ώρες αλλά και τις ώρες της ημέρας στα κλειστά κολυμβητήρια. Στα κλειστά κολυμβητήρια επίσης, ιδιαίτερη προσοχή απαιτεί η σωστή λειτουργία του συστήματος αερισμού και των επιπέδων υγρασίας για επικράτηση ικανοποιητικών για τους αθλητές συνθηκών. Σε γενικές γραμμές, οι ενεργειακές απαιτήσεις των κλειστών και ανοιχτών κολυμβητηρίων παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση, όπως θα αναλυθεί στις ενότητες που ακολουθούν.

2.1.1. Ενεργειακές απαιτήσεις κλειστών κολυμβητηρίων

Με τις πρώτες των ενεργειακές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν, έγινε αντιληπτό ότι τα κλειστά κολυμβητήρια, παρόλο που είναι προτιμότερα από τους αθλητές και το κολυμβητικό κοινό λόγω των καλύτερων συνθηκών κολύμβησης που προσφέρουν σε σχέση με τα αντίστοιχα ανοιχτά, απαιτούν τεράστια ποσά ενέργειας για τη λειτουργία τους. Σύμφωνα με έρευνες κατά τη διάρκεια των χρόνων, έχει προκύψει ότι η ενεργειακές απαιτήσεις μιας κλειστής πισίνας είναι 3 φορές μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες μιας ανοιχτής ίδιων διαστάσεων. Συγκεκριμένα, μελέτη ομάδας Ελλήνων επιστημόνων το 1997, μελετώντας τις κλειστές πισίνες της Ελλάδας, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι κλειστές πισίνες της Μεσογείου απαιτούν για θέρμανση της πισίνας και του περιβάλλοντος χώρου 4300 KWh/m² για 12ωρη ημερήσια λειτουργία, με την αντίστοιχη τιμή για τις πισίνες της βορειότερης Ευρώπης να ανέρχονται στις 5200 KWh/m² λόγω του ψυχρότερου κλίματος. Ταυτόχρονα, η ενεργειακή απαίτηση των ανοιχτών πισινών στη Μεσόγειο υπολογίστηκε στις 1450 KWh/m² περίπου.

Η μεγάλη αυτή διαφορά προέρχεται κυρίως από το μεγάλο μειονέκτημα των κλειστών πισινών ότι δεν εκμεταλλεύονται την απευθείας ηλιακή ενέργεια για θέρμανση της πισίνας. Συνακόλουθα, μεγάλα ποσά ενέργειας απαιτεί το σύστημα θέρμανσης και ψύξης του περιβάλλοντα χώρου της πισίνας, όπως επίσης και το σύστημα αερισμού, το οποίο απαιτείται να λειτουργεί συνεχώς και σε πολύ υψηλότερες συχνότητες από ότι σε ένα συγκρότημα γραφείων, εστιατόριο, ξενοδοχείο, βιβλιοθήκη και άλλα δημόσια κτίρια ίδιας επιφάνειας. Το γεγονός αυτό εξηγείται από τα πολύ υψηλά επίπεδα υγρασίας κυρίως εντός του χώρου των ντους, αλλά και των αποδυτηρίων όπως επίσης και του περιβάλλοντα χώρου της πισίνας, τα οποία πρέπει συνεχώς να ελέγχονται και να εξισορροπούνται έτσι ώστε να επικρατούν συνθήκες άνεσης για τους αθλητές, προπονητές και θεατές. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι ο απαραίτητος ρυθμός αερισμού στο χώρο των ντους ανέρχεται σε $220 \text{ m}^3/\text{h}$ /ανά ντους, την ίδια στιγμή που η αντίστοιχη τιμή για ένα κτίριο καπνιστών προβλέπεται τιμή αερισμού περίπου $75 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά άτομο. Για τον χώρο της πισίνας και των αποδυτηρίων, οι τιμές είναι πολύ χαμηλότερες, της τάξης των $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ και $15 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ αντίστοιχα, όμως αντιστοιχούν σε πολύ υψηλές απαιτήσεις ενέργειας αν ληφθεί υπόψη ότι μόνο η επιφάνεια μιας πισίνας Ολυμπιακών διαστάσεων με 10 διαδρομές ανέρχεται σε 1250 m^2 .

Σημαντικές απώλειες θερμότητας σημειώνονται λόγω του φαινομένου της εξάτμισης του νερού της πισίνας. Το φαινόμενο αυτό στις πισίνες κλειστών κολυμβητηρίων δεν αποτελεί τόσο σοβαρό πρόβλημα όσο σε αυτές των ανοιχτών εξαιτίας της δυνατότητας ελέγχου της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου και της υγρασίας αυτού, όπως επίσης και της ταχύτητας του αέρα στην επιφάνεια της πισίνας (που αποτελεί τον κύριο λόγο εξάτμισης του νερού) η οποία στις εσωτερικές πισίνες είναι μηδενική. Παρόλα αυτά, και σε αυτή τη περίπτωση, η απώλειες θερμότητας που καταγράφονται είναι σημαντικές.

Σε γενικές γραμμές, η συνολική ενεργειακή κατανάλωση ενός κλειστού κολυμβητηρίου διαχωρίζεται κατά 45% για αερισμό του περιβάλλοντα χώρου της πισίνας, 33% για θέρμανση της πισίνας, 10% για το σύστημα ψύξης/θέρμανσης και αερισμού των υπόλοιπων χώρων, 9% κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος για τον μηχανολογικό εξοπλισμό και τον φωτισμό και το υπόλοιπο 3% αντιστοιχεί σε ζεστό νερό χρήσης για τις τουαλέτες, το κυλικείο κτλ (Trianti-Stourna, Spyropoulou, Theofylaktos, Droutsas, Balaras, Santamouris, Asimakopoulos, Lazaropoulou, Papanikolaou, Energy conversation strategies for sports centers : Part B – Swimming Pools, 1997).

2.1.2. Ενεργειακές απαιτήσεις ανοιχτών κολυμβητηρίων

Η περίπτωση των ανοιχτών κολυμβητηρίων αποτελεί ευκολότερα διαχειρίσιμη και βιώσιμη ενεργειακή κατάσταση από τα κλειστά κολυμβητήρια, λόγω των μικρότερων ενεργειακών απαιτήσεών τους. Το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσης αντιστοιχεί στη θέρμανση της πισίνας, η οποία έχει μεν το μεγάλο πλεονέκτημα της θέρμανσης

από ηλιακή ακτινοβολία, αλλά αντιμετωπίζει επίσης το πρόβλημα τεραστίων ποσοτήτων εξάτμισης νερού, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επίσης, μεγάλα ποσά ενέργειας καταναλώνονται για τη θέρμανση και αερισμό των βοηθητικών χώρων του κολυμβητηρίου, ανάλογα με τις εγκαταστάσεις του καθενός όπως αποδυτήρια, γυμναστήρια, κυλικεία, αίθουσες συσκέψεων κτλ.

Η μεγάλη διαφορά στην κατανάλωση ενέργειας μεταξύ ανοιχτών και κλειστών κολυμβητηρίων, έχει εναποθέσει το μεγαλύτερο μέρος των ερευνητών στην ενεργειακή εξέταση των κλειστών κολυμβητηρίων και στην ανεύρεση τρόπων εξοικονόμησης ενέργειας. Παρόλα αυτά, ο μεγάλος αριθμός εξωτερικών πισινών ιδιαίτερα στις περιοχές με θερμότερο κλίμα και η δυνατότητα λειτουργίας αυτών με μικρότερο κόστος από τις αντίστοιχες εσωτερικές, οδήγησε τους επιστήμονες σε συστηματικές έρευνες πάνω σε αυτές. Η συνολική κατανάλωση μόνο για θέρμανση (πισίνας και εσωτερικών χώρων) στις ανοιχτές πισίνες σύμφωνα με μελέτες καταγράφεται μεταξύ 1400 – 1800 KWh/m², αναλόγως την περιοχή εγκατάστασης της πισίνας αλλά και το σύστημα θέρμανσης που διαθέτει. Σημειώνεται ότι οι συγκεκριμένες τιμές αντιστοιχούν σε πισίνα Ολυμπιακών διαστάσεων (50 m), για καθημερινή 12ωρη λειτουργία αυτών.

Ο καθαρισμός της πισίνας αποτελεί επίσης μεγαλύτερο πρόβλημα σε αυτή τη περίπτωση αθλητικών εγκαταστάσεων, ειδικότερα κατά τη χειμερινή περίοδο που οι δυνατοί άνεμοι έχουν την δυνατότητα να παρασύρουν εντός της πισίνας πλήθος απορριμμάτων και λοιπών αντικειμένων που βρίσκονται στον περίβολο της πισίνας όπως επίσης και παρασυρόμενα κλαδιά, φύλλα, σιόνη κτλ. Το γεγονός αυτό απαιτεί τον εντονότερο και συνεχή καθαρισμό της πισίνας εκείνη τη περίοδο, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο επιπλέον το κόστος.

Καταλήγοντας, σκόπιμο κρίνεται να αναφερθεί το γεγονός, ότι λόγω της άμεσης επιρροής της θερμοκρασίας της πισίνας από τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα της περιοχής όπου βρίσκεται το εκάστοτε κολυμβητήριο, οι επιλεγόμενοι τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας αποφέρουν καλύτερα αποτελέσματα από το αν εφαρμοστούν σε αντίστοιχων διαστάσεων εσωτερικές πισίνες. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση παραδείγματος χάρη θερμικού καλύμματος (οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του οποίου θα παρουσιαστούν σε επόμενο κεφάλαιο), αποδίδει μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας σε ανοιχτή πισίνα καθώς περιορίζει την εξάτμιση και την απώλεια θερμότητας. Συνακόλουθα, στις εξωτερικές πισίνες καθίσταται δυνατή η επιλογή περισσότερων τρόπων εξοικονόμησης ενέργειας με ικανοποιητικά αποτελέσματα όπως χρήση θερμικού καλύμματος, τοποθέτηση συστοιχίας δέντρων ή θάμνων, κτίσιμο αντιανεμικής περίφραξης περιμετρικά της πισίνας για μείωση της ταχύτητας του αέρα στην επιφάνεια του νερού κ.ά.

2.2. Κύριες αιτίες απώλειας ενέργειας στα κολυμβητήρια

Οι απώλειες ενέργειας σε ανοιχτά και κλειστά κολυμβητήρια που απαιτούν την συνεχή επιτήρηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών των πισινών με σκοπό τη

ισοστάθμιση απωλειών – κερδών και τη διατήρηση ικανοποιητικών συνθηκών εντός και εκτός της πισίνας, καθιστούν τα κολυμβητήρια ιδιαίτερα απαιτητικά ως κτίρια και δύσκολα στη διαχείρισή τους, τόσο ενεργειακή όσο και οικονομική. Οι κύριες αιτίες ενεργειακών απωλειών εντοπίζονται κυρίως στο τμήμα της πισίνας όπου οι τεράστιοι όγκοι νερού που πρέπει συνεχώς να θερμαίνονται και να ανανεώνονται παρουσιάζουν πολλές ιδιομορφίες και καθιστούν το έργο αυτό εξαιρετικά δύσκολο και δαπανηρό.

2.2.1. Εξάτμιση (Evaporation)

Ανεξαρτήτως της ιδιότητας της πισίνας (εσωτερική ή εξωτερική), το σημαντικότερο πρόβλημα που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι επιστήμονες αλλά και οι υπεύθυνοι για την λειτουργία ενός κολυμβητηρίου αποτελεί η εξάτμιση. Το πρόβλημα εντείνεται στην περίπτωση των ανοιχτών κολυμβητηρίων όπου η άμεση επίδραση του ατμοσφαιρικού αέρα προκαλεί σημαντικά λειτουργικά προβλήματα ενώ στα κλειστά κολυμβητήρια, παρόλο που και εκεί το φαινόμενο είναι έντονο, καθίσταται δυνατός ο εν μέρει έλεγχος της εξάτμισης λόγω του ελέγχου της θερμοκρασίας στον περιβάλλοντα χώρο της πισίνας. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με μελέτες που προηγήθηκαν, υπολογίστηκε ότι πάνω από το 60% των συνολικών απωλειών ενέργειας σε ανοιχτά κολυμβητήρια οφείλονται στην εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια της πισίνας (E. Hahne, R. Kubler, Monitoring an simulation of the thermal performance of solar heated outdoor pools, 1994). Μάλιστα, σύμφωνα με μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην Ολυμπιακών διαστάσεων εσωτερική πισίνα στο Εθνικό κολυμβητήριο της Ουαλίας το 2010 από το τμήμα Ενέργειας του Πανεπιστημίου Swansea, οι συνολικές απώλειες λόγω εξάτμισης ανέρχονται σε 10.000 KWh/d ενώ οι αντίστοιχες από τα φαινόμενα της αγωγής, επαφής με το έδαφος και ακτινοβολίας μετρήθηκαν συνολικά μόλις 600 KWh/d (P. Isaac, C. Hayes, R. Akers, 2010).

Η εμφάνιση και ένταση του φαινομένου καθορίζεται από τέσσερις κύριες αιτίες :

- Τη διαφορά θερμοκρασίας νερού και ατμόσφαιρας

Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ατμοσφαιρικού αέρα που έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του νερού και τη θερμοκρασία αυτού, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα νερού εξατμίζεται. Για το λόγο αυτό, τα επίπεδα εξάτμισης του νερού είναι αυξημένα κατά τη διάρκεια της νύχτας (ιδιαίτερα τον χειμώνα) που η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται ενώ του νερού παραμένει στο επιθυμητό επίπεδο των 26 – 28 °C. Το μεσημέρι σημειώνονται οι χαμηλότερες ημερήσιες τιμές εξάτμισης λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας εκείνη την ώρα κατά τη διάρκεια της ημέρας.

- Τα επίπεδα υγρασίας στην ατμόσφαιρα

Τα μεγάλα ποσοστά υγρασίας στην ατμόσφαιρα αντιστοιχούν σε μεγάλη περιεκτικότητα υδρατμών του ατμοσφαιρικού αέρα. Για το λόγο αυτό, σε ημέρες που καταγράφεται υψηλή τιμή υγρασίας, η εξάτμιση είναι μικρότερη από τις αντίστοιχες

ημέρες που ο αέρας είναι πολύ ξηρός (μικρή περιεκτικότητα αυτού σε υδρατμούς). Τότε παρατηρείται ιδιαίτερα έντονο το φαινόμενο της εξάτμισης.

- Την επιφάνεια της πισίνας

Όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό, στις Ολυμπιακών διαστάσεων πισίνες (50 m), καταγράφεται πού μεγαλύτερη ποσότητα νερού να εξατμίζεται από ότι στις μικρότερες (25 m).

- Την ταχύτητα του αέρα στην επιφάνεια του νερού

Η μετρούμενη τιμή της ταχύτητας του αέρα στην επιφάνεια της πισίνας, αποτελεί την κυριότερη και σημαντικότερη αιτία εξάτμισης νερού. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι ένα μικρό φύσημα του αέρα διάρκειας λίγων δευτερολέπτων, διπλασιάζει το ποσοστό εξάτμισης του νερού. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητο να εξετάζεται το μικροκλίμα της πισίνας καθώς και να λαμβάνονται τιμές στο πεδίο για εξαγωγή σωστών αποτελεσμάτων. Όταν αυτό δεν καθίσταται δυνατό αλλά χρησιμοποιούνται δεδομένες τιμές από μετεωρολογικούς σταθμούς, κρίνεται απαραίτητο να χρησιμοποιείται συντελεστής διόρθωσης (Surroundings Factor) δεδομένου ότι το σύνηθες ύψος των λαμβανόμενων μετρήσεων είναι περίπου στα 10 m από την επιφάνεια της θάλασσας.

Στον πίνακα 2.2. που ακολουθεί, παρουσιάζονται τυπικές τιμές εξάτμισης από την υδάτινη επιφάνεια σε κλειστά και ανοιχτά κολυμβητήρια, όπως αυτές έχουν προκύψει από πειραματικές μελέτες κατά τη διάρκεια των χρόνων.

Πίνακας 2.2. – Τυπικές τιμές εξάτμισης νερού

Τυπικές τιμές εξάτμισης νερού	
Εξωτερική πισίνα	
0,5 kg νερό / h / m ² υδάτινης επιφάνειας ⁽¹⁾	
Εσωτερική πισίνα	
13 g / h / m ² (κατά τη διάρκεια χρήσης) ⁽²⁾	6,5 g / h / m ² (όταν δεν χρησιμοποιείται) ⁽²⁾

(1) Bliss, 1961

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

Τα δεδομένα αυτά αποκτούν ιδιαίτερο ενδιαφέρον αν αναλογιστεί κανείς ότι για τη μετατροπή 1 kg νερού σε ατμούς, απαιτείται ενέργεια 2270 kJ. Συνεπώς, για κάθε 1 kg νερού που εξατμίζεται, χάνεται ενέργεια ίση με 22,7 mJ.

2.2.2. Αγωγή (Convection)

Το φαινόμενο της αγωγής που λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια της πισίνας συγκαταλέγεται στις αιτίες απώλειας θερμότητας και μάζας από το περιεχόμενο νερό. Λόγω της άμεσης επαφής των μορίων του αέρα με αυτών του ανώτερου στρώματος

της επιφάνειας της πισίνας και τη μεταξύ τους διαφορά στη θερμοκρασία, παρατηρείται μεταφορά θερμότητας αλλά και μάζας από το υψηλότερο θερμοκρασιακά σύστημα στο χαμηλότερο (αναφερόμενοι στον ατμοσφαιρικό αέρα και το νερό της πισίνας που ανάλογα με την εποχή και την θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα παρατηρείται μεταφορά θερμότητας και μάζας είτε από τον αέρα προς την υδάτινη επιφάνεια, είτε το αντίστροφο).

Σημαντική παράμετρο αποτελεί η επιφάνεια της εκάστοτε εξεταζόμενης πισίνας, εφόσον μεγαλύτερη επιφάνεια επιφέρει και μεγαλύτερες απώλειες αλλά κυρίως η ταχύτητα του αέρα στην επιφάνεια. Σε αυτό το σημείο δεν πρέπει να παραληφθεί το γεγονός ότι κρίνεται απαραίτητο να ληφθεί υπόψη το ωράριο λειτουργίας της εκάστοτε πισίνας αλλά επίσης και η χρήση της. Πιο συγκεκριμένα, για τον ορθό υπολογισμό των απωλειών πρέπει να καθορίζονται οι ώρες χρήσης της αλλά και ο αριθμός των κολυμβητών και ο ρυθμός κολύμβησής τους. Οι αναταράξεις του νερού λόγω των κινήσεων των κολυμβητών αλλά και η θερμοκρασιακή διαφορά νερού ($26 - 28\text{ }^{\circ}\text{C}$) και ανθρώπινου σώματος ($36,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ περίπου), συμβάλλουν στη μεταφορά θερμότητας και μάζας και τους μηχανισμούς τους.

Προκύπτει λοιπόν εύκολα το συμπέρασμα ότι κατά τη χειμερινή περίοδο το πρόβλημα είναι έντονο και προκαλεί μεγάλες θερμοκρασιακές απώλειες αλλά και απώλειες υδάτινου σώματος, ειδικότερα στις εξωτερικές πισίνες. Αντίθετα, κατά τη καλοκαιρινή περίοδο, θερμότητα μεταφέρεται από τον θερμότερο ατμοσφαιρικό αέρα στην επιφάνεια του νερού, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο βαθμιαία τη θερμοκρασία στην πισίνα, γεγονός το οποίο όμως προκαλεί σημαντικά προβλήματα εξαιτίας της υπερθέρμανσης της πισίνας και την απαραίτητη εισαγωγή κρύου νερού για εξισορρόπηση των συνθηκών. Η υψηλότερη επίσης θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος από αυτήν της πισίνας, ευθύνεται για μικρή αλλά μετρούμενη ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται από το ανθρώπινο σώμα των κολυμβητών στο νερό. Για το λόγο αυτό, το φαινόμενο της αγωγής δεν αποτελεί αποκλειστικά τρόπο απώλειες θερμότητας αλλά ανάλογα με τη περίπτωση, συνεισφέρει σε μεταφορά θερμότητας στο νερό της πισίνας.

2.2.3. Ηλιακή ακτινοβολία (Solar radiation)

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα των εξωτερικών πισινών λόγω της μετάδοσης θερμότητας στο νερό από την απευθείας ηλιακή ακτινοβολία. Παρόλα αυτά, εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι παρατηρούνται επίσης θερμικές απώλειες λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας, οι οποίες αν και δεν είναι μεγάλες σε σύγκριση με τις δύο προαναφερόμενες, αποτελούν μετρήσιμο μέγεθος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από το νερό παρουσιάζει επιλεκτικό χαρακτήρα καθώς το υπέρυθρο φάσμα της ακτινοβολίας απορροφάται για μερικά χιλιοστά μόλις, ενώ το ορατό – μικρού μήκους κλάσμα για πολλά μέτρα, φτάνοντας μέχρι τον πυθμένα λόγω της καθαρότητας του νερού. Από την ροή αυτή της

εισερχόμενης ακτινοβολίας, μέρος αυτής προσπίπτει στον πυθμένα της πισίνας και στα τοιχώματα, απορροφάται εν μέρει και ανακλάται στη συνέχεια προς την επιφάνεια. Οι απώλειες ενέργειας της πισίνας προκύπτουν λόγω της ανταλλαγής υπέρυθρης ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα.

Είναι γενικά αποδεκτό ότι τα οφέλη και τα κέρδη σε θερμότητα από την απευθείας ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της πισίνας είναι σημαντικότερα και πολύ μεγαλύτερα ποσοτικά από τις αντίστοιχες απώλειες, παρόλα αυτά και οι απώλειες λόγω ακτινοβολίας πρέπει να αναφέρονται και να καταγράφονται.

2.2.4. Ανανέωση νερού

Η εισαγωγή φρέσκου νερού στο εσωτερικό της πισίνας αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της σωστής λειτουργίας όλων των πισινών, ανεξαρτήτως αν χαρακτηρίζονται ως εσωτερικές ή εξωτερικές, μεγάλες ή μικρές, αγωνιστικές ή ψυχαγωγικές. Για τη διατήρηση της καθαρότητας του νερού και των απαιτούμενων από την νομοθεσία (ανεξαρτήτως χώρας) ποιοτικών χαρακτηριστικών του, επιβάλλεται η ανανέωση του νερού είτε με την εισαγωγή φρέσκου νερού από το υπάρχον σύστημα της περιοχής ή μέσω γεωτρήσεων, είτε μέσω του συστήματος φιλτραρίσματος και ανακυκλοφορίας νερού της πισίνας. Συνακόλουθα, απαραίτητη κρίνεται η αναπλήρωση του νερού διότι όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, οι ποσότητες νερού που χάνονται λόγω εξάτμισης είναι τεράστιες. Επίσης, απώλειες στη μάζα του νερού υφίστανται κατά την έξοδο των κολυμβητών εκτός της πισίνας αλλά και κατά τη διάκριση κολύμβησης με κινήσεις οι οποίες οδηγούν το νερό εκτός πισίνας, στο δάπεδο του περιβάλλοντα χώρου ή στην υπερχείλιση.

Όπως είναι φυσικό, η θερμοκρασία του νερού αναπλήρωσης δεν είναι στα επίπεδα του θερμαινόμενου νερού της πισίνας. Λόγω του ότι στις πλείστες των περιπτώσεων τα κολυμβητήρια χρησιμοποιούν σύνδεση με το υπάρχον σύστημα ύδρευσης της περιοχής που βρίσκεται η αθλητική εγκατάσταση, το νερό έχει συνήθως τη θερμοκρασία του πόσιμου νερού βρύσης, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 13 – 18 °C ανάλογα την περιοχή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εισαγωγή ποσότητας νερού στην πισίνα με διαφορά θερμοκρασίας δέκα βαθμών Κελσίου ή παραπάνω, συνεπώς η συνολική θερμοκρασία του νερού μειώνεται. Με την ανάμιξη του νερού που καλύπτεται από το σύστημα αντλιών επιτυγχάνεται η ομογενοποίηση του νερού και της θερμοκρασίας του, παρόλα αυτά μέρος της θερμότητας του ήδη θερμού νερού απορροφά το νεοεισσχθέν ψυχρότερο νερό. Συνεπώς, απαιτείται λειτουργία του συστήματος θέρμανσης του νερού και κατά την εισαγωγή του φρέσκου νερού.

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

2.2.5 Αγωγιμότητα με το έδαφος

Η κατασκευή της πισίνας στην περίπτωση που δεν είναι προκατασκευασμένη αλλά χτιστή, όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 1, πραγματοποιείται εντός του εδάφους με εκσκαφή. Παρόλη την εγκατεστημένη μόνωση των πισινών, παρουσιάζονται μικρές τιμές απωλειών στη θερμότητα λόγω αγωγιμότητας των τοιχωμάτων της πισίνας με το έδαφος. Στις εσωτερικές πισίνες, λαμβάνεται υπόψη το ποσοστό αυτό των απωλειών, στις εξωτερικές ωστόσο, οι καταγραφόμενες τιμές είναι πολύ μικρές. Συγκρίνοντας μάλιστα αυτές με τις αντίστοιχες απώλειες λόγω εξάτμισης, παρατηρείται πολύ μεγάλη διαφορά, τέτοιου μεγέθους, ώστε στα ανοιχτά κολυμβητήρια να μην καταγράφονται και υπολογίζονται οι απώλειες λόγω αγωγιμότητας με το έδαφος.

2.3. Θερμικά κέρδη

Η πλήρης και αποτελεσματική ενεργειακή εξέταση των πισινών προαπαιτεί την αντιμετώπιση αυτών ως ένα ολοκληρωμένο αδιαβατικό σύστημα, το οποίο εξετάζεται ενεργειακά όσον αφορά αποκλειστικά και μόνο το νερό της πισίνας, τα θερμικά κέρδη και απώλειες αυτής. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται το ενεργειακό ισοζύγιο της εκάστοτε πισίνας ξεχωριστά, ανεξάρτητα αν σε ένα κολυμβητήριο υπάρχει κοινός ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός για όλες τις πισίνες αυτού, για τη θέρμανση των χώρων, του νερού των ντους και τις λοιπές απαιτήσεις.

Οι ενεργειακές απώλειες επομένως, που αναλύθηκαν στις προηγούμενες ενότητες, πρέπει να αντισταθμίζονται από τα θερμικά κέρδη, έτσι ώστε να προκύπτει ένα ορθό, επιστημονικά εφικτό, ενεργειακό ισοζύγιο. Για το λόγο αυτό επομένως, σκόπιμη κρίνεται η αναφορά και ανάλυση των θερμικών κερδών των πισινών. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται τα ηλιακά θερμικά κέρδη, η θερμότητα από το βοηθητικό σύστημα θέρμανσης που εγκαθίσταται και από ηλιακούς συλλέκτες, αν υπάρχουν. Στις ενότητες που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα θερμικά κέρδη που απαιτείται να υπάρχουν ώστε να υποστηρίζεται η λειτουργία των πισινών.

2.3.1 Ηλιακή Ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία, ιδιαίτερα για τις εξωτερικές πισίνες, έχει τη δυνατότητα να συμβάλει στην θέρμανση του νερού σημαντικά, ιδιαίτερα στις πισίνες των χωρών με ιδανικές καιρικές συνθήκες και εύκρατο κλίμα όπως αυτές των Μεσογειακών χωρών. Στις πισίνες που βρίσκονται στο εσωτερικό των κτιρίων, η ηλιακή ακτινοβολία μελετάται από την πλευρά της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος το οποίο προσπίπτει σε οριζόντιες επιφανειών όπως γυαλί ή πλαστικό (ανάλογα την κατασκευή του κολυμβητηρίου) ή την οροφή του κολυμβητηρίου. Σε αυτή τη περίπτωση λαμβάνεται υπόψη για τους υπολογισμούς το πάχος του υλικού και οι συντελεστές εκπομπής, απορρόφησης και θερμικής αγωγιμότητάς του.

Η περίπτωση των ανοιχτών κολυμβητηρίων με την απευθείας πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας, παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη πολυπλοκότητα και ενδιαφέρον. Η απορρόφηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην υδάτινη επιφάνεια πραγματοποιείται μέσω δύο μηχανισμών : την απορρόφηση από το ίδιο το νερό και την απορρόφηση από τα πλευρικά τοιχώματα και τον πυθμένα της πισίνας.

Το ηλιακό φάσμα υπόκεινται στην έντονη, επιλεκτική συμπεριφορά του ύδατος, το οποίο απορροφά για λίγα μόνο χιλιοστά την υπέρυθη ακτινοβολία, ενώ για πολλά μέτρα το ορατό, μικρού μήκους κύματος τμήμα της ακτινοβολίας. Εξαιτίας του μικρού βάθους των πισινών (περίπου 2 – 2,5 m), το υπόλοιπο της ροής ακτινοβολίας προσπίπτει στον πυθμένα αλλά και στα τοιχώματα της πισίνας. Θεωρείται δεδομένο ότι, η αντανάκλαση της ακτινοβολίας από την πυθμένα και τα τοιχώματα είναι ιδανικά διαχυτή, ακολουθεί δηλαδή τον νόμο Lambert. Κατά την επιστροφή προς την επιφάνεια, μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας απορροφάται και μόνο για γωνίες πρόσπτωσης μικρότερες των $48,7^\circ$ είναι δυνατό η ανακλώμενη ακτινοβολία να διαφύγει από την πισίνα. Σε περίπτωση γωνιών πρόσπτωσης μεγαλύτερες από 49° , προκύπτει ολική επιστροφή της ανακλώμενης ακτινοβολίας από τον πυθμένα και τα τοιχώματα, η οποία απορροφάται.

Το μεταδιδόμενο κλάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας έπειτα από την είσοδό του στο νερό, η ροή ενέργειας που ανακλάται από τον πυθμένα, η συνολική ενέργεια που απορροφάται καθώς και οι βέλτιστες γωνίες πρόσπτωσης, καθίσταται δυνατό να υπολογιστούν μέσω εξισώσεων οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά στην ενότητα που ακολουθεί για το ενεργειακό ισοζύγιο των πισινών.

2.3.2. Σύστημα Θέρμανσης

Ο μηχανολογικός εξοπλισμός διαδραματίζει, μετά την πισίνα, τον σημαντικότερο ρόλο για τη λειτουργία ενός κολυμβητηρίου. Πραγματοποιείται μηχανολογική μελέτη για την εκάστοτε υπό κατασκευή πισίνα, σύμφωνα με τον τρόπο που πρόκειται να λειτουργήσει. Συγκεκριμένα, λαμβάνονται υπόψη εκτός από τα κατασκευαστικά και τεχνικά χαρακτηριστικά της, ο αριθμός των ατόμων που θα εισέρχονται καθημερινά, οι ώρες λειτουργίας της, η περιοχή εγκατάστασης και τα κλιματολογικά της δεδομένα, η θερμοκρασία του νερού κτλ. Ακολουθώντας τις οδηγίες της νομοθεσίας και της FINA, ειπώνεται η μελέτη για τον βέλτιστο μηχανολογικό εξοπλισμό που πρέπει να εγκατασταθεί. Σε όλες τις περιπτώσεις παρόλα αυτά, στο μηχανοστάσιο όλων των κολυμβητηρίων συναντώνται τα ίδια μηχανήματα αλλά διαφορετικής ισχύος και δυνατοτήτων ανάλογα με την περίπτωση. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνονται :

✓ Λέβητας

Μέχρι πριν μερικά χρόνια χρησιμοποιούταν λέβητας πετρελαίου για σχεδόν όλα τα συστήματα θέρμανσης των πισινών. Τα τελευταία χρόνια προωθήθηκε και ξεκίνησε η χρήση φυσικού αερίου και υγραερίου, το οποίο ως φθηνότερο αποτέλεσε επιλογή νεοανεγερθέντων πισινών.

- ✓ Δεξαμενή αποθήκευσης (πετρελαίου ή άλλου καυσίμου ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του εγκατεστημένου λέβητα)
- ✓ Εναλλάκτη θερμότητας (στη περίπτωση κλειστού συστήματος θέρμανσης με σύνδεση ηλιακών συλλεκτών)
- ✓ Σύστημα φίλτρανσης
- ✓ Σύστημα ανακυκλοφορίας
- ✓ Χλωριωτές και δοσομετρικές αντλίες για την εισαγωγή χλωρίου

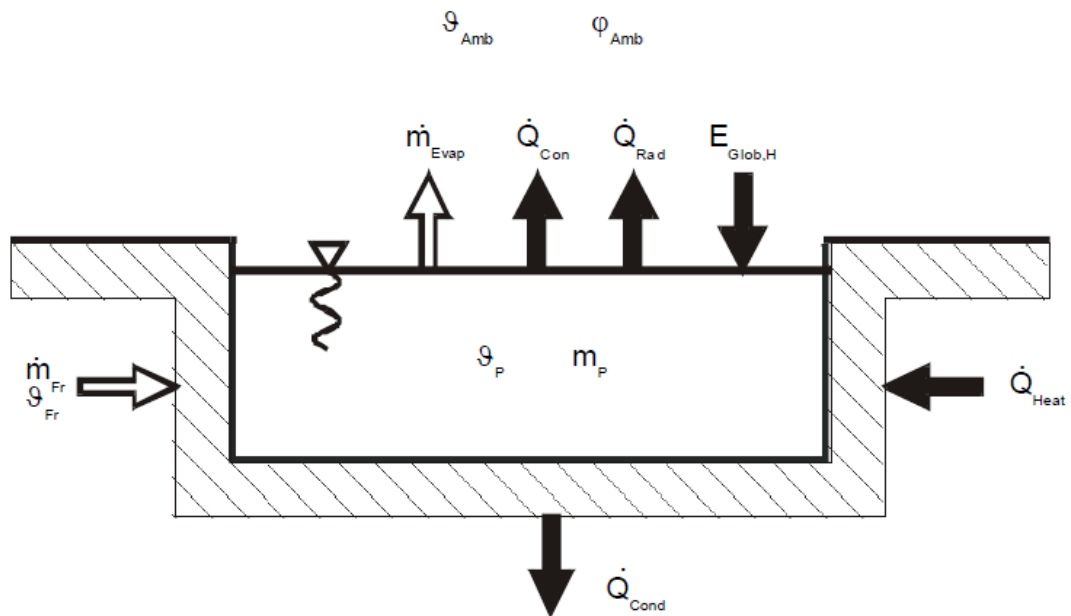
Το σύστημα θέρμανσης ιδιαίτερα στις κλειστές αλλά και ανοιχτές πισίνες, οι οποίες δεν εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια μέσω π.χ. ηλιακών συλλεκτών, φωτοβολταϊκών κτλ, πρέπει να βρίσκεται σε καθημερινή λειτουργία, για τουλάχιστον 8 με 10 ώρες την ημέρα στις μεγάλες πισίνες όπου γίνονται καθημερινές προπονήσεις αθλητών, εκμάθηση παιδιών μικρής ηλικίας και γενικά χρήση αυτής για έως 16 ώρες την ημέρα. Μελετώντας τα στοιχεία και τις ενεργειακές απαιτήσεις, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η απαίτηση τεράστιων ποσοτήτων καυσίμων που απαιτούνται για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, αποτελούν τροχοπέδη στην λειτουργία τους, ειδικότερα τη σημερινή περίοδο που το κόστος του πετρελαίου είναι τεράστιο και οι οικονομικοί πόροι των αθλητικών κέντρων στην Ελλάδα, έχουν ελαχιστοποιηθεί. Παρόλα αυτά, στη περίπτωση μη εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, το σύστημα θέρμανσης παράγει τη συνολική ποσότητα θερμότητας που απαιτείται. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι για τη θέρμανση των τριών πισινών του Κολυμβητηρίου Χανίων (2 στεγαζόμενων 12,5 και 25 m και μιας ανοικτής 50 m) για τα έτη 2007, 2008 και 2009 καταναλώθηκαν κατά μέσο όρο πάνω από 400 τόνοι πετρέλαιο (410, 400 και 395 τόνοι αντίστοιχα).

2.4. Ενεργειακό Ισοζύγιο

Οι ενεργειακές απώλειες που περιγράφηκαν ανωτέρω, για την ομαλή λειτουργία των κολυμβητηρίων, απαραίτητα πρέπει να αντισταθμίζονται από τα θερμικά κέρδη αυτών. Το ενεργειακό τους ισοζύγιο με λίγα λόγια θα πρέπει να ισορροπεί έτσι ώστε να μην υπάρχει έλλειμμα ενέργειας (με δυσμενή για τους λουόμενους αποτελέσματα) αλλά και άσκοπη σπατάλη ενέργειας που δεν αξιοποιείται σωστά.

Οι απώλειες ενέργειας (μεταφορά θερμότητας και μάζας) αλλά και τα θερμικά κέρδη, αποτελούν ουσιαστικά φυσικά φαινόμενα και καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός των ποσοτήτων αυτών μέσω εξισώσεων. Μεγάλο μέρος επιστημόνων οι οποίοι ασχολήθηκαν και μελέτησαν την ενεργειακή κατάσταση είτε ανοιχτών είτε κλειστών κολυμβητηρίων από τη δεκαετία του '80, βασίστηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων τους σε εμπειρικές εξισώσεις που προϋπήρχαν χρησιμοποιώντας δεδομένα πεδίου εξαιτίας της έλλειψης κατάλληλων υπολογιστικών προγραμμάτων και προγραμμάτων προσομοίωσης.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι εξισώσεις με βάση τις οποίες προσδιορίζονται τα προαναφερθέντα όπως και η απεικόνιση αυτών σε κολυμβητική δεξαμενή.



Εικόνα 1 - Απεικόνιση ροών θερμότητας και μάζας και ανταλλαγή με το ατμοσφαιρικό περιβάλλον
 [Assessment for indoor and outdoor swimming pool, TRNSYS Type 344, 1996]

Όπου στην παραπάνω εικόνα, τα σύμβολα αντιπροσωπεύουν :

\dot{m}_{Fr} , ποσότητα (μάζα) φρέσκου νερού που εισέρχεται στην πισίνα για ανανέωση / αναπλήρωση του νερού

θ_{Fr} , θερμοκρασία φρέσκου νερού

θ_{Amb} , θερμοκρασία ατμόσφαιρας

φ_{Amb} , σχετική υγρασία ατμόσφαιρας

\dot{m}_{Evap} , ποσότητα (μάζα) νερού που χάνεται λόγω εξάτμισης

\dot{Q}_{Con} , ρυθμός ροής θερμότητας που χάνεται λόγω αγωγής νερού – αέρα από την επιφάνεια της πισίνας

\dot{Q}_{Rad} , ρυθμός ροής θερμότητας που χάνεται λόγω εξάτμισης

$E_{Glob,H}$, συνολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε οριζόντια επιφάνεια

\dot{Q}_{Heat} , ρυθμός ροής θερμότητας που εισέρχεται στην πισίνα λόγω θέρμανσης

\dot{Q}_{Cond} , ρυθμός ροής θερμότητας που χάνεται λόγω επαφής με το έδαφος

2.5. Εξισώσεις Υπολογισμού

Η μελέτη, από ενεργειακής άποψης, της εκάστοτε πισίνας τη σημερινή εποχή, καθίσταται δυνατή με ακριβέστερο και ταχύτερο τρόπο μέσω προγραμμάτων προσομοίωσης και σχετικών προγραμμάτων υπολογισμού. Τα προγράμματα αυτά

βασίζονται σε εξισώσεις οι οποίες για δεκαετίες τώρα, αποτελούσαν τον μοναδικό τρόπο πρόβλεψης και υπολογισμού των ενεργειακών απαιτήσεων των πισινών πριν την κατασκευή τους, με σκοπό αποτίμηση της κατανάλωσης για σχεδίαση στη συνέχεια και εγκατάσταση του κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού. Με το πέρασμα των χρόνων, πραγματοποιήθηκαν επίσης τα πρώτα βήματα για εξοικονόμηση ενέργειας στα κολυμβητήρια, τα αποτελέσματα των οποίων, είχαν προβλεφθεί με τη χρήση βιβλιογραφικών εξισώσεων. Ο πρώτος που θέλησε να προσεγγίσει τις απώλειες εξάτμισης ήταν ο Carrier το 1918 και αργότερα ο Rohwer το 1931, οι οποίοι ήταν οι πρώτοι που μελέτησαν και πρότειναν εξισώσεις υπολογισμού.

Ο σημαντικός αριθμός εξισώσεων που περιέχονται σε σχετικά βιβλία και δημοσιεύσεις ερευνών, ώθησαν πολλούς επιστήμονες να αξιολογήσουν τις εξισώσεις αυτές, ούτως ώστε να προκύψει το σύνολο αυτών που θα έδιναν τα ακριβέστερα αποτελέσματα σύμφωνα με τα δεδομένα που είχαν συλλέξει. Συγκεκριμένα, η συλλογή δεδομένων αφορούσε τις περισσότερες φορές τη θερμοκρασία της πισίνας για το επιθυμητό διάστημα μετρήσεων καθώς και μετεωρολογικών δεδομένων, συνήθως της ταχύτητας του αέρα και της εξωτερική θερμοκρασίας (για τις ανοιχτές πισίνες) ή την σχετική υγρασία και την θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου (για τις κλειστές).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι περιπτώσεις των Ryan και Harleman (1993) και οι Almanza και Lara (1994) που χρησιμοποίησαν τις ίδιες εξισώσεις για εκτίμηση των απωλειών θερμότητας. Το ενδιαφέρον έγκειται στο γεγονός, ότι οι δύο αυτές ομάδες επιστημόνων, πρότειναν δύο διαφορετικές σχέσεις για τον υπολογισμό, μία για τη «φυσική θερμοκρασία» και μία για «την θέρμανση του νερού από το σύστημα θέρμανσης» διότι όπως υποστήριζαν, η ελεύθερη και η εξαναγκασμένη αγωγή επηρεάζουν διαφορετικά την εξάτμιση όταν το νερό θερμαίνεται τεχνητά. Τον ισχυρισμό αυτό κατέρριψαν το 1994 οι Hahne και Kubler, οι οποίοι πραγματοποίησαν την πρώτη προσομοίωση της συνολικής θερμικής κατάστασης δύο διαφορετικών πισινών σε διαφορετικές πόλεις, χρησιμοποιώντας εμπειρικές συσχετίσεις της βιβλιογραφίας και δεδομένα από την έρευνά τους στο πρόγραμμα TRNSYS 13. Η έρευνά τους διήρκησε 3 χρόνια και αποτέλεσε βάση για την εξέλιξη των ενεργειακών ερευνών στον τομέα αυτό τα μετέπειτα χρόνια.

Οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν και συνεχίζουν μέχρι σήμερα να αποδίδουν ικανοποιητικά αποτελέσματα αλλά να αποτελούν χρονοβόρο τρόπο, παρουσιάζονται ακολούθως.

Απώλειες Εξάτμισης

Ο υπολογισμός της συνολικής ενέργειας που χάνεται λόγω της εξάτμισης, προκύπτει από την ημι-εμπειρική εξίσωση 1 :

$$\dot{Q}_{evap} = A_p \cdot h_{evap}(P_{v,sat} - P_{v,amb}) \quad [1]$$

Όπου,

Q_{evap} , ρυθμός ροής ενέργειας που χάνεται λόγω εξάτμισης (W)

A_p , επιφάνεια της πισίνας (m^2)

$P_{v,\text{sat}}$, πίεση ατμών στην επιφάνεια της πισίνας (Pa)

$P_{v,\text{amb}}$, πίεση ατμών στο περιβάλλον (Pa)

h_{evap} , συντελεστής μεταφοράς θερμότητας εξάτμισης ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)

$$h_{\text{evap}} = a + b \cdot w^n \quad [1.1]$$

Οι τιμές των συντελεστών a , b και n προκύπτουν μέσω γραμμικής σχέσης η οποία χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε εξωτερική πισίνα στο Κολοράντο των Ηνωμένων Πολιτειών. Έκτοτε, πολλοί επιστήμονες χρησιμοποίησαν τη σχέση αυτή με σκοπό να καταλήξουν στις τιμές των συντελεστών που είχαν τη μεγαλύτερη ακρίβεια στις προσομοιώσεις. Όπως φαίνεται από τον πίνακα 2.3., οι σταθερές της εξίσωσης αυτής, έχουν υπολογιστεί και προτείνονται για τις διαφορετικές συσχετίσεις της ταχύτητας εξάτμισης από τους Smith, Richter, McMillan, κατά ISO TC 180 κτλ. Το γεγονός ύπαρξης πλήθος διαφορετικών τιμών των σταθερών αυτών, εξηγείται μέσω της έρευνας των Hahne και Kubler το 1994, οι οποίοι παρατήρησαν ότι καθίσταται αδύνατη η επιλογή της βέλτιστης συσχέτισης για την περιγραφή απωλειών θερμότητας από εξάτμιση σε δύο διαφορετικές εξωτερικές πισίνες, λόγω της διαφορετικής έκθεσης της κάθε μίας στον άνεμο κυρίως. Συνεπώς, για την κάθε πισίνα χρειάζεται ξεχωριστή προσέγγιση και προσομοίωση κάθε φορά και έτσι, σε κάθε εξίσωση που παρουσιάστηκε στην επιστημονική κοινότητα, υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες σταθερές που χρησιμοποιήθηκαν (Πίνακας 2.3).

Πίνακας 2.3. Σταθερές εξίσωσης (1) για τις διαφορετικές συσχετίσεις απωλειών λόγω εξάτμισης

Σταθερές εξίσωσης (1)			
Εξίσωση	a ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Pa})$)	b ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Pa})$)	N
Smith et.al.	0,0638	0,0669	1
ASHRAE	0,0890	0,0782	1
Richter	0,0423	0,0565 ^(a)	0.5
ISO TC 180	0,0506	0,0669	1
Rohwer	0,0805	0,0508	1
McMillan	0,0360	0,0205	1

(a). Οι μονάδες μέτρησης του συντελεστή b στην εξίσωση του Richter είναι $\text{W} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{m}^{-5/2} \cdot \text{Pa}^{-1}$ εξαιτίας της τιμής 0,5 του συντελεστή n .

Η κατάταξη των παραπάνω εξισώσεων ως προς την ακριβέστερη, με τη μικρότερη απόκλιση από τις μετρούμενες σε κάθε πισίνα τιμές (θερμοκρασίας νερού, ταχύτητας ανέμου κτλ) δεν αποτελεί εύκολη διαδικασία. Η πραγματική ταχύτητα στην επιφάνεια της πισίνας είναι δύσκολο να προσδιοριστεί και πρέπει να χρησιμοποιείται κάθε φορά η εξίσωση που τα αποτελέσματά της να συμφωνούν με τις μετρούμενες στο πεδίο τιμές. Η Ermioni Santori το 2000 πρότεινε την εξίσωση κατά ISO TC 180 ως καλύτερη ενώ οι Hahne και Kubler αυτή του Richter, αλλά σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το ύψος των μετρήσεων της ταχύτητας του ανέμου από την επιφάνεια της πισίνας.

Ο Richter πρότεινε ύψος μετρήσεων από 0,5 ως 2 m ενώ ο Sweers το 1976 τα 3 m όπως είχε κάνει νωρίτερα, το 1973 ο McMillan.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός, ότι τη μεγαλύτερη απόκλιση στη θερμοκρασία νερού αλλά και στη ταχύτητα του ανέμου (περίπου 28% απόκλιση από τις μετρούμενες) έχει η εξίσωση της ASHRAE. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην παρουσίαση νέας, διορθωμένης εξίσωσης, η οποία προέκυψε από την τροποποίηση στη παλαιότερη μέσω πολλαπλασιασμού με 0.5 παράγοντα δραστηριότητας στην πισίνα (Luiz, Martinez, 2009).

Καταλήγοντας, αν πρέπει να γίνει επιλογή συντελεστών για την εξίσωση (1) με σκοπό τα βέλτιστα αποτελέσματα, τότε προτείνεται αυτή του Richter, δηλαδή μέτρηση ταχύτητας ανέμου στα 3 m από την επιφάνεια της πισίνας και τιμές συντελεστών αυτές που παρουσιάζονται στον πίνακα 2.3., λόγω της μικρότερης απόκλισης που παρουσιάζουν οι συσχετίσεις πραγματικών και πειραματικών τιμών, τόσο στη θερμοκρασία της πισίνας όσο και στην ταχύτητα του ανέμου (Luiz, Martinez, 2009).

Απώλειες Αγωγής

Στην ενότητα 2.2.2. που παρουσιάζεται το φαινόμενο της αγωγής και οι απώλειες στη θερμότητα λόγω αυτού, αναφέρεται ότι τη σημαντικότερη παράμετρο αποτελεί η διαφορά θερμοκρασίας αέρα και νερού. Παρατηρώντας την εξίσωση (2), αυτό γίνεται αμέσως κατανοητό, εφόσον για τον υπολογισμό των απωλειών μέσω αγωγής αέρα και νερού πισίνας, απαιτείται η εισαγωγή της θερμοκρασίας του αέρα και του νερού της εξεταζόμενης πισίνας. Συγκεκριμένα,

$$\dot{Q}_{conv} = h_c \cdot A_p (T_p - T_{amb}) \quad [2]$$

Όπου ,

\dot{Q}_{conv} , ο ρυθμός ροής ενέργειας που χάνεται μέσω αγωγής (W)

h_c , συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μέσω αγωγής

A_p , επιφάνεια πισίνας (m²)

T_p , θερμοκρασία νερού πισίνας (K)

T_{amb} , θερμοκρασία αέρα στο περιβάλλον (K)

Η σχέση που προτείνεται από την Australian Standard για τον υπολογισμό του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας μέσω αγωγής είναι η (2.1) :

$$h_c = 3,1 + 4,1 \cdot w \quad [2.1]$$

όπου, w : η ταχύτητα του αέρα σε m/s

Απώλειες Ακτινοβολίας

Ο ρυθμός ροής ενέργειας που χάνεται μέσω ακτινοβολίας, επηρεάζεται άμεσα από τη λεγόμενη «θερμοκρασία του ουρανού», η οποία προκύπτει ως εξίσωση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, της υγρασίας και της πίεσης του αέρα, τη νεφοκάλυψη της περιοχής . Η εκτίμηση της νεφοκάλυψης σε μία περιοχή είναι αποτέλεσμα της αναλογίας μεταξύ διάχυτης και παγκόσμιας ακτινοβολίας.

Για τον υπολογισμό χρησιμοποιείται η εξίσωση [3] :

$$\dot{Q}_{rad} = A_p \cdot \varepsilon_w \cdot \sigma \cdot (T_p^4 - T_{sky}^4) \quad [3]$$

Όπου,

\dot{Q}_{rad} , ο ρυθμός ροής ενέργειας που χάνεται μέσω ακτινοβολίας (W)

A_p , η επιφάνεια της πισίνας (m^2)

ε_w , εκπομπή μεγάλου μήκους κύματος του νερού (=0,95)

σ , σταθερά Stefan – Boltzmann ($5,6704 \cdot 10^{-8} \text{ J}/(\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$)

T_p , θερμοκρασία νερού πισίνας (K)

T_{sky} , θερμοκρασία ουρανού (K)

Αγωγιμότητα με το έδαφος

Οι απώλειες λόγω αγωγιμότητας της πισίνας με το έδαφος υπολογίζονται τις περισσότερες φορές μόνο στις εσωτερικές πισίνες διότι για τις εξωτερικές, το ποσό αυτό θεωρείται αμελητέο (<1% των συνολικών απωλειών) και δεν συνυπολογίζεται στις απώλειες. Παρόλα αυτά, στη περίπτωση των εσωτερικών μπορεί να προκύψει από τη σχέση [4] που παρουσιάζεται στη συνέχεια.

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{q}_{conduction} \cdot A_g \quad [4]$$

Όπου ,

\dot{Q}_{cond} , ρυθμός ροής ενέργειας που χάνεται λόγω αγωγής με το έδαφος (W)

\dot{q}_{cond} , πυκνότητα ροής θερμότητας λόγω αγωγής (W/m^2)

A_g , η συνολική επιφάνεια του εδάφους που εφάπτεται με τα τοιχώματα της πισίνας (m^2)

Εισαγωγή φρέσκου νερού στη πισίνα

Η ορθή λειτουργία μιας πισίνας προϋποθέτει την ανανέωση του νερού για λόγους υγιεινής καθώς επίσης και την ισοστάθμιση της ποσότητας του νερού λόγω

εξάτμισης, φιλτραρίσματος και λοιπών απωλειών του. Η θερμοκρασία εισαγωγής του φρέσκου νερού στη πισίνα διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην απώλεια ενέργειας, όσο μικρότερη η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αυτού και του νερού της πισίνας, τόσο λιγότερη ενέργεια δαπανάται για την ισοστάθμιση των δύο αυτών θερμοκρασιών. Ανάλογα με την περιοχή που βρίσκεται η υπό μελέτη πισίνα, κυμαίνεται η θερμοκρασία του νερού εισαγωγής. Για τις βορειότερες χώρες σημειώνεται μεταξύ 8 – 10 °C ενώ για την Ελλάδα, σύμφωνα με την Δημόσια Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης της κάθε πόλης, καταγράφεται από 12 – 15 °C. Σύμφωνα με την σχέση [5],

$$\dot{Q}_w = \dot{m}_w \cdot C_w (T_p - T_w) \quad [5]$$

Όπου,

\dot{Q}_w , ρυθμός ροής ενέργειας που χάνεται από την εισαγωγή φρέσκου νερού (W)

\dot{m}_w , ρυθμός ροής μάζας νερού (kg/s)

C_w , ειδική θερμότητα του νερού (kJ/kg·K)

T_p , θερμοκρασία νερού πισίνας (K)

T_w , θερμοκρασία φρέσκου νερού (K)

Θερμικά Κέρδη από ηλιακή ακτινοβολία

Η ροή θερμότητας που λαμβάνεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας και θερμαίνει με φυσικό τρόπο τη πισίνα, εξαρτάται από το βάθος και την απορροφητικότητα των περιμετρικών τοίχων και του πυθμένα της πισίνας. Για αυτό το λόγο, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η επιλογή του υλικού το οποίο χρησιμοποιείται κατά τη φάση κατασκευής όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 1.

Η συνολική ροή ενέργειας υπολογίζεται μέσω της εξίσωσης [6] :

$$\dot{Q}_{sol} = A_p \cdot \alpha \cdot G \quad [6]$$

Όπου,

\dot{Q}_{sol} , ο ρυθμός ροής ενέργειας μέσω ακτινοβολίας (W)

A_p , η επιφάνεια της πισίνας (m²)

α , συντελεστής, η τιμή του οποίου καθορίζεται από ISO TC 180 (1995)

$\alpha = 0,85$

G , παγκόσμια ακτινοβολία (W/m²)

Σημαντικό για τον ακριβή και σωστό υπολογισμό των κερδών από ηλιακή ακτινοβολία, είναι ο προσδιορισμός της ροής ενέργειας που ανακλάται από τον πυθμένα και το μεταδιδόμενο κλάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας εντός του νερού. Προκύπτουν από τις σχέσεις [7] και [8] που ακολουθούν :

$$\Phi_{ref,bot} = A_p \cdot (1 - \rho^*) \cdot G \cdot f(\chi_1)(1 - \alpha_{bot}) \quad [7]$$

Όπου,

$\Phi_{\text{ref,bot}}$, η ροή ενέργειας που ανακλάται από τον πυθμένα

A_p , η επιφάνεια της πισίνας (m^2)

ρ , συντελεστής ανάκλασης

G , παγκόσμια ακτινοβολία (W/m^2)

X_1 , μήκος της διαδρομής της άμεσης ακτινοβολίας μέχρι τον πυθμένα (βάθος πισίνας), m

α_{bot} , απορροφητικότητα υλικού πυθμένα

$$f(x) = 35,22 \cdot x^{0,016} \exp(-0,05x) \exp(\exp(-2,08 x^{0,48})) \quad [8]$$

Όπου,

x , μήκος της διαδρομής της άμεσης ακτινοβολίας μέχρι τον πυθμένα (βάθος πισίνας), m

Καταλήγοντας, σκόπιμο κρίνεται να αναφερθεί ότι τα **θερμικά κέρδη από το σύστημα θέρμανσης ($\dot{Q}_{\text{Auxiliary}}$)** και ο ρυθμός ροής ενέργειας από το θερμαινόμενο νερό που εισέρχεται στην πισίνα δεν υπολογίζονται όπως είναι φυσικό μέσω εξισώσεων αλλά πρακτικά, με τη χρήση των στοιχείων κατανάλωσης (τόνοι καυσίμου που καταναλώθηκαν) και την απόδοση του λέβητα του συστήματος θέρμανσης.

Κεφάλαιο 3

Τρόποι εξοικονόμησης και ορθολογική χρήση ενέργειας – Η περίπτωση του κολυμβητηρίου Χανίων

3.1. Αποτελεσματικές επιλογές ελάττωσης της ενεργειακής κατανάλωσης στα κολυμβητήρια σήμερα

Οι πιο διαδεδομένοι και αποτελεσματικοί τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας που έχουν αποτελέσει αντικείμενο ερευνών από πλήθος μελετητών είναι η χρήση θερμικού καλύμματος, η τοποθέτηση συστήματος ηλιακών συλλεκτών, κτιριακές προσθήκες / αλλαγές όπως μείωση του όγκου της πισίνας, αντικατάσταση συμβατικού λέβητα πετρελαίου με λέβητα φυσικού αερίου ή βιομάζας (pellets). Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις προτείνεται ή ήδη έχει ακολουθηθεί, η ανάθεση της ενεργειακής διαχείρισης του κολυμβητηρίου σε κατάλληλα καταρτισμένο άτομο. Παρότι οι περισσότερες ενέργειες από αυτές είναι εφαρμόσιμες και αποτελεσματικές, δεν είναι δυνατό από μία ήδη υπάρχουσα πισίνα να εφαρμοστούν στο σύνολό τους. Καταρχάς το κόστος θα είναι δυσβάσταχτο, ειδικότερα με την υπάρχουσα οικονομική κατάσταση παγκοσμίως όπως επίσης δεν είναι όλες οι προτάσεις άμεσα διαθέσιμες και υποστηριζόμενες σε όλες τις περιοχές (διάθεση pellets ή φυσικού αερίου ή συμφέρουσα εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών στις βόρειες χώρες). Γι αυτό το λόγο, γίνεται αξιολόγηση αρχικά των διαθέσιμων και συμφέρουσων επιλογών ώστε να προκύψουν οι επικρατέστερες. Σε κάθε περίπτωση, λαμβάνεται υπόψη το είδος της πισίνας (εξωτερική ή εσωτερική), η περιοχή εγκατάστασης και οι διαθέσιμες επιλογές.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα προσομοιωθεί η τρέχουσα ενεργειακή κατάσταση του κολυμβητηρίου και θα παρουσιαστούν σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας για την μεγάλη, ανοιχτή πισίνα του κολυμβητηρίου Χανίων. Τα σενάρια αυτά και τα αποτελέσματά τους για τη συγκεκριμένη πισίνα θα αναλυθούν σε κεφάλαιο που ακολουθεί, οι τρόποι όμως εξοικονόμησης ενέργειας σε κολυμβητικές δεξαμενές, εσωτερικές και εξωτερικές, έχουν κοινή βάση σε όλες τις πισίνες παγκοσμίως.

3.1.1. Ισοθερμικό Κάλυμμα

Η χρήση καλύμματος (ισοθερμικό κάλυμμα ή ηλιακή κουβέρτα ή ηλιακό κάλυμμα) αποτελεί την πιο διαδεδομένη και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο για μείωση του κόστους λειτουργίας ιδιωτικών και δημόσιων πισινών. Μέσω του καλύμματος επιτυγχάνεται ελαχιστοποίηση των απωλειών εξάτμισης και μείωση μέχρι 90% ανάλογα το υλικό κατασκευής, όπως επίσης και διατήρηση της θερμότητας και συνεπώς της θερμοκρασίας της πισίνας ιδιαίτερα κατά τη νυχτερινή περίοδο. Για αυτό το λόγο η χρήση του γίνεται κυρίως αμέσως μετά το κλείσιμο της πισίνας και πριν το άνοιγμά της το πρωί αφαιρείται. Η εισαγωγή θερμού νερού διακόπτεται με

τη χρήση του καλύμματος αφού έχει την ικανότητα να δεσμεύει την θερμότητα από τις προσπίπτουσες ηλιακές ακτίνες εμποδίζοντας την αντανάκλαση τους εκτός πισίνας ή την απορρόφησή τους και κυρίως να εμποδίζει τους μεγάλους ρυθμούς εξάτμισης που παρατηρούνται τα βράδια (Francey, Golding, Clarke, 1980).

Υπάρχουν τρία είδη καλυμμάτων :

- ✓ τα ηλιακά θερμικά καλύμματα (solar pool covers),
- ✓ τα υγρά καλύμματα πισίνας (liquid pool covers) και
- ✓ τα απλά καλύμματα βινυλίου ή μονωμένου βινυλίου για τον χειμώνα.

Τα τελευταία χρησιμοποιούνται συνήθως στις ιδιωτικές πισίνες, αποτρέποντάς τις κυρίως από ρύπανση και διάβρωση και διάβρωση το χειμώνα που δεν χρησιμοποιούνται και αποτρέποντας το άδειασμα της πισίνας σταδιακά λόγω εξάτμισης (U.S. Department of Energy).

Τα «υγρά» καλύμματα πισίνας αφορούν μια νέα τεχνολογία η οποία ουσιαστικά περιλαμβάνει οργανικό, βιοδιασπώμενο υδατικό διάλυμα που εμποδίζει μέσω των ουσιών που περιέχει τους μηχανισμούς της εξάτμισης, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την εξάτμιση κατά 15,5% σε μία Ολυμπιακών Διαστάσεων πισίνα μέχρι 40% σε ιδιωτικές πισίνες μικρότερης χρήσης. Συνακόλουθα, ελαττώνεται η απαιτούμενη ποσότητα χημικών για απολύμανση της πισίνας όπως επίσης και η ποσότητα φρέσκου νερού, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο το συνολικό κόστος κατά 10 – 40% ανάλογα την περίπτωση. Βασικά πλεονεκτήματα είναι το γεγονός ότι δεν απαιτείται η τοποθέτηση και αφαίρεσή του κάθε μέρα όπως με το solar pool cover αφού απορρίπτεται κατευθείαν στη πισίνα μέσω του συστήματος ανακυκλοφορίας. Επίσης, ενεργεί συνεχώς, 24 ώρες την ημέρα, 7 ημέρες την εβδομάδα και δεν επηρεάζεται από το αν χρησιμοποιείται ή όχι η πισίνα.

Παρόλα αυτά, έχει βασικά μειονεκτήματα όπως το εξαιρετικά υψηλό κόστος του αφού η απαιτούμενη δόση είναι 0,85 L για 1050 m² κάθε μέρα (επιφάνεια 50άρας πισίνας 8 διαδρομών), με τιμή 100 \$ το λίτρο. Αυτό σημαίνει ότι για την πισίνα των Χανίων, απαιτούνται κάθε μήνα $0,85L \cdot 30 \text{ ημέρες} = 25,5 L$. Το συνολικό κόστος συνεπώς ανέρχεται σε 2550 \$ (2000€) το μήνα, ποσό απαγορευτικό για την υπάρχουσα οικονομική κατάσταση του κολυμβητηρίου όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια. Συνακόλουθα, τροχοπέδη αποτελεί η προμήθειά του αφού προς το παρόν διατίθεται μόνο από τις Η.Π.Α., με τα μεταφορικά και τα έξοδα τελωνείου να αυξάνουν το συνολικό κόστος. Εξάλλου, όπως εξηγεί η εταιρία παραγωγής, είναι συμφέρουσα λύση για ιδιωτικές πισίνες κυρίως.

Τη βέλτιστη και εξαιρετικά αποδοτική επιλογή αποτελεί το ηλιακό θερμικό κάλυμμα ή ηλιακή κουβέρτα. Τα ποσοστά μείωσης που επιτυγχάνονται με τη χρήση του είναι εντυπωσιακά : με καθημερινή χρήση 8 ώρες την ημέρα (κυρίως το βράδυ που η πισίνα δεν χρησιμοποιείται) σημειώνονται ως 90% ελάττωση στην εξάτμιση, 50 – 70 % μείωση στο κόστος θέρμανσης, ελάττωση του νερού ανανέωσης κατά 30 – 50%, μείωση απαιτούμενων ποσοτήτων χημικών κατά 30 – 60 %, μείωση στο χρόνο ανακυκλοφορίας κατά 1/3 αφού εμποδίζει την είσοδο μεγάλης ποσότητας σκόνης,

φύλλων, ζωυφίων ή άλλων σκουπιδιών όταν δεν χρησιμοποιείται και παρέχει αντιβακτηριδιακή προστασία (U.S. Department of Energy).

Το υλικό κατασκευής των καλυμμάτων με φουσαλίδες (συμπιεσμένων κλειστών κυψελών), γνωστά άλλωστε και ως bubble pool covers, είναι το πολυαιθυλένιο διότι από παλαιότερες μελέτες προέκυψε ότι είναι το ανθεκτικότερο και αποδοτικότερο υλικό (Czarnecki - 1963, Francey, Golding and Clarke - 1980). Αποτελείται από τρεις ουσιαστικά στρώσεις πολυαιθυλενίου ισχυρά θερμοκολλημένες μεταξύ τους, με την άνω στρώση να διακρίνεται από ανθεκτικότητα στο σχίσιμο και τον εφελκυσμό και την κάτω να είναι αδιαπέραστη από υδρατμούς. Τα νέα, υψηλών προδιαγραφών καλύμματα έχουν εξαιρετική αντοχή στις θερμοκρασιακές μεταβολές του περιβάλλοντος, με ανθεκτικότητα σε θερμοκρασίες από -10°C ως 45°C , στην υπεριώδη και UV ακτινοβολία. Χαρακτηρίζεται επίσης από ανθεκτικότητα σε διάλυση στο χλωριωμένο νερό της πισίνας, ουδέτερο pH και είναι άοσμο. Το πάχος του συνήθως είναι μεταξύ 0,004 – 0,006 m. Η διάρκεια ζωής του είναι 4 φορές κατά μέσο όρο από άλλα υλικά που δοκιμάστηκαν, όπως το βινύλιο, αφού οι καιρικές συνθήκες και η χρήση το φθείρουν. Έχει μεν το μεγαλύτερο κόστος αλλά τον μικρότερο χρόνο απόσβεσης, εμποδίζοντας επίσης την ανάπτυξη βακτηριδίων ή μούχλας (Francey and Golding, 1981).

Το κόστος του συγκεκριμένα, διαφέρει ανάλογα το είδος του καλύμματος, την ανθεκτικότητά και την αποδοτικότητά του και φυσικά ανάλογα τις διαστάσεις της πισίνας για την οποία προορίζεται. Το συνολικό κόστος ενός καλύμματος τελευταίας τεχνολογίας από πολυαιθυλένιο, με μέσο όρο 10 χρόνια ζωής κυμαίνεται για πισίνες Ολυμπιακών διαστάσεων μεταξύ 50.000 – 60.000 €. Η τιμή βέβαια αυξομειώνεται ανάλογα τον μηχανισμό περιτύλιξης που επιλέγεται, την χώρα προέλευσής, την εγγύηση που το συνοδεύει κ.ά.

Η τοποθέτηση και αφαίρεσή του, ανάλογα με τον μηχανισμό που επιλέγεται, πραγματοποιείται είτε με χειροκίνητη περιτύλιξη είτε με αυτόματη. Κατά μήκος κάθε φύλλου του καλύμματος υπάρχει ενσωματωμένο συρματόσχοινο που δένει στις άκρες της πισίνας και με τη βοήθεια εντατήρων προστατεύεται το κάλυμμα από τους ανέμους και δεν παρασύρεται.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα της αποδοτικότητας του καλύμματος αποτελεί μελέτη που έλαβε χώρα στο Ολυμπιακό Αθλητικό Κέντρο Αθηνών, στην εσωτερική πισίνα 50 m (10 διαδρομών) και στην εξωτερική ιδίων διαστάσεων που τον Αύγουστο 2004 πραγματοποιήθηκε το άθλημα της κολύμβησης κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας. Οι θερμικές απώλειες με τη χρήση του καλύμματος μειώθηκαν κατά 58% στην ανοιχτή πισίνα και 36% για την κλειστή. Τα αποτελέσματα της έρευνας παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1. – Μελέτη εξοικονόμησης θερμότητας με χρήση καλύμματος σε πισίνες του Ολυμπιακού Κολυμβητηρίου Αθηνών [Λαδόπουλος Γ.]

Μείωση Θερμικών απωλειών με χρήση καλύμματος – Ο.Α.Κ.Α. ⁽¹⁾		
	Εξωτερική πισίνα	Εσωτερική πισίνα
Χωρίς κάλυμμα	940.000 kcal/h (1093 KWh)	470.000 kcal/h (546,6 KWh)
Με χρήση καλύμματος	395.000 kcal/h (460 KWh)	300.000 kcal/h (349 KWh)
Εξοικονόμηση Ενέργειας	545.000 kcal/h (633 KWh - 58%)	170.000 kcal/h (197,6 KWh – 36%)

(1)Οι υπολογισμοί αφορούν τις πισίνες διαστάσεων 50x25x2,10m για θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος 3°C.

Μέσα από όλα τα παραπάνω, συνάγεται το συμπέρασμα ότι το ισοθερμικό κάλυμμα επιβάλλεται κατά μία έννοια να χρησιμοποιείται από το σύνολο των πισινών, ιδιαίτερα όμως των ανοιχτών, όπως στη περίπτωση της πισίνας των Χανίων που εξετάζεται. Σύμφωνα μάλιστα με ανακοινώσεις από την U.S. Department of Energy, το ισοθερμικό κάλυμμα πρέπει να αποτελεί την πρώτη επένδυση ενός νεανεγεροθέντος κολυμβητηρίου και απαραίτητη αγορά των παλαιότερων.

3.1.2. Κτιριακές προσθήκες και αλλαγές

Η συνεχής ενασχόληση και έρευνα της επιστημονικής κοινότητας με τον κτιριακό τομέα από πλευράς ενεργειακής εξοικονόμησης και αναβάθμισης, παρέχει τη δυνατότητα αλλαγών από αρχιτεκτονικής και κατασκευαστικής άποψης που θα επιφέρουν μείωση στην καταναλισκόμενη ενέργεια του υπό εξέταση κτιρίου.

Στην περίπτωση των κολυμβητικών δεξαμενών, ιδιαίτερα αυτών που κατασκευάστηκαν αρχικώς δεκαετίες νωρίτερα, ύστερα από εξέταση της κάθε περίπτωσης ξεχωριστά για να διαπιστωθεί ποιές ενέργειες μπορούν να εφαρμοστούν και να επιφέρουν τα επιθυμητά αποτελέσματα, προκύπτουν προτάσεις την μείωση του όγκου της πισίνας. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται η προσθήκη αντιανεμικών εμποδίων περιμετρικά της πισίνας (για ανοιχτές πισίνες), η προσθήκη συστοιχίας δέντρων στον περιβάλλοντα χώρο του κολυμβητηρίου για φυσική διακοπή της ταχύτητας του ανέμου (ομοίως για ανοιχτές πισίνες), μόνωση των σωλήνων στα συστήματα θέρμανσης και ανακυκλοφορίας κ.ά. Οι αλλαγές αυτές αποσκοπούν στην μείωση των θερμικών απωλειών και ειδικότερα στην διατήρηση της θερμότητας (μόνωση), στην ελάττωση της απαιτούμενης ποσότητας καυσίμου για θέρμανση (μείωση όγκου), στην επίτευξη χαμηλών απωλειών λόγω εξάτμισης και αγωγής με ελάττωση της ταχύτητας του ανέμου στην επιφάνεια της πισίνας (αντιανεμικές προσθήκες και συστοιχίες δέντρων).

Ειδικότερα στη μείωση του όγκου της πισίνας, η εξοικονόμηση δεν αφορά μόνο χρήματα που δαπανώνται για την αγορά πετρελαίου αλλά χημικών για απολύμανση της πισίνας, τα οποία έχουν υψηλό κόστος. Η θέρμανση, ανανέωση και απολύμανση του νερού πισίνας η οποία έχει μειωθεί κατά αξιοσημείωτο ποσοστό ο όγκος της, καθίσταται οικονομικότερες διαδικασίες όπως είναι φυσικό.

3.1.3. Τοποθέτηση συστήματος ηλιακών συλλεκτών

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα στις εγκαταστάσεις κολυμβητηρίων αποτελούν τεχνολογία η οποία πλέον έχει καθιερωθεί σε πολλές χώρες, χωρίς ωστόσο να έχει γίνει εκμετάλλευση του βέλτιστου των δυνατοτήτων της. Η ηλιακή ενέργεια όπως είναι ευρέως γνωστό τις τελευταίες δεκαετίες, έχει τεράστιες, ανεξάντλητες δυνατότητες, με την τεχνολογία της να έχει μεταφερθεί τα τελευταία χρόνια με μεγάλη επιτυχία και στις κολυμβητικές δεξαμενές. Στη Γερμανία συγκεκριμένα, τα ηλιακά θερμικά συστήματα χρησιμοποιούνται εδώ και δεκαετίες στις πισίνες. Το 2006 μάλιστα, δημιουργήθηκε το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα SOLPOOL (Intelligent Energy – Europe) το οποίο στοχεύει στην επέκταση των ηλιακών συλλεκτών στα θερμικά συστήματα, συμβάλλοντας τουλάχιστον κατά 10% στη συνολική απαιτούμενη ενέργεια, ιδιαίτερα στις χώρες με υψηλό ηλιακό δυναμικό.

Η προσθήκη ηλιακών συλλεκτών παρόλα αυτά δεν έχει προς το παρόν τη δυνατότητα να καλύψει πλήρως τις απαιτήσεις σε θερμό νερό αλλά μπορεί να συνεισφέρει σε μεγάλο ποσοστό, μειώνοντας σημαντικά τα έξοδα πετρελαίου για θέρμανση. Η τοποθέτηση (ή διατήρηση) συμβατικής μονάδας παραγωγής θερμότητας (καυστήρας πετρελαίου), κρίνεται απαραίτητη για τις περιπτώσεις υπολειπουμένης των συλλεκτών και αποφυγή υπερ – διαστασιολόγησης της απαιτούμενης επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών.

Τρία είναι τα είδη συλλεκτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και υπάρχουν στην αγορά : οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες με γυάλινο κάλυμμα, χωρίς κάλυμμα και οι συλλέκτες με σωλήνες κενού. Στις περιπτώσεις που το σύστημα σχεδιάζεται για συνεχή λειτουργία κατά τη διάρκεια του έτους, χρειάζεται να εγκατασταθούν δύο ανεξάρτητα κύκλωμα συνδεδεμένα με εναλλάκτη θερμότητας. Το πρωτεύων κύκλωμα χρησιμοποιεί αντιπηκτικό υγρό και μεταφέρει θερμότητα από τους συλλέκτες στον εναλλάκτη. Το δευτερεύων κύκλωμα περιλαμβάνει το κύκλωμα του νερού της πισίνας, το οποίο διέρχεται από τον εναλλάκτη και θερμαίνεται, καταλήγοντας στη συνέχεια στην πισίνα. Οι εναλλάκτες θερμότητας αποτελούν τις συσκευές μέσω των οποίων καθίσταται δυνατή η μεταφορά θερμότητας από το πρωτεύων στο δευτερεύων κύκλωμα. Κατά τη μεταφορά αυτή, όπως συμβαίνει πάντοτε με τη μεταφορά θερμότητας, σημειώνονται απώλειες και μειωμένη απόδοση του συστήματος, με τη καταγραφή των απωλειών όμως να είναι μηδαμινή αναλογικά με τα θερμικά κέρδη.

Ένα θερμικό σύστημα ανοιχτής πισίνας με εγκατεστημένους ηλιακούς συλλέκτες, είναι πολύ απλούστερο από ένα αντίστοιχο για εσωτερική πισίνα. Η ροή του νερού

της πισίνας συνδέεται απευθείας με τους συλλέκτες και τον εναλλάκτη θερμότητας. Η διαδρομή που ακολουθεί το νερό ξεκινά από την άντλησή του και την εισαγωγή του στο σύστημα φιλτραρίσματος. Το φιλτράρισμα πριν την ροή του νερού στους συλλέκτες (ή τον εναλλάκτη για το κλειστό σύστημα) είναι απαραίτητο για την αφαίρεση υπολειμμάτων ώστε αυτά να μην προκαλέσουν πρόβλημα στους συλλέκτες ή τον εναλλάκτη. Η ροή μέσω των συλλεκτών μεταφέρει τη συσσωρευμένη θερμότητα στο νερό, το οποίο στη συνέχεια οδηγείται πίσω στη πισίνα. Η τοποθέτηση αισθητήρων είναι χρήσιμη αφού μέσω αυτόματης ή χειροκίνητης αντλίας, όταν η θερμοκρασία του νερού στους συλλέκτες είναι επαρκώς μεγαλύτερη από αυτή της πισίνας, τότε αυτό αντλείται και οδηγείται προς τους συλλέκτες για θέρμανση. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν η θερμοκρασία στον συλλέκτη είναι παρόμοια με αυτή της πισίνας, το φιλτραρισμένο νερό παρακάμπει τον συλλέκτη και οδηγείται απευθείας στην πισίνα (Solar Energy in Outdoor Swimming Pools, Germany, 2008).

Η ορθή διαστασιολόγηση ενός τέτοιου συστήματος ώστε το κόστος να είναι βιώσιμο και η περίοδος αποπληρωμής εντός φυσιολογικών ορίων, απαιτεί τον καθορισμό ορισμένων παραμέτρων που είναι οι εξής :

✓ Αξιολόγηση της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας στην υπό εξέταση περιοχή

Οι χώρες κοντά στον ισημερινό που η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολλαπλάσια από ότι στα άκρα της Γης, έχουν μεγαλύτερο πλεονέκτημα στη περίπτωση εγκατάστασης ηλιακών συλλεκτών, αφού απαιτούν μικρότερη εγκατεστημένη επιφάνεια και παράγεται μεγαλύτερο ποσό ενέργειας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η ένταση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας (άμεσης και διάχυτης) στη Γερμανία κυμαίνεται μεταξύ 900 KWh/m² (βόρεια Γερμανία) και 1200 KWh/m² (νότια Γερμανία), την ώρα που η αντίστοιχη στην Ελλάδα σημειώνεται στις 1600 KWh/m² (European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy). Αξίζει να αναφερθεί η ποσότητα αυτή που παρέχεται από τον ήλιο ετησίως ανά m² στο γεωγραφικό πλάτος της Ελλάδας, αντιστοιχεί σε 160 τόνους πετρελαίου θέρμανσης.

✓ Καθορισμός συστήματος σωστού μεγέθους

Η ακριβής επιφάνεια των συλλεκτών που απαιτούνται στην εκάστοτε υπό μελέτη πισίνα προκύπτει από υπολογισμούς κατά τους οποίους λαμβάνεται υπόψη η επιφάνεια της πισίνας, η επιθυμητή διάρκεια λειτουργίας του συστήματος (όλο το χρόνο ή μόνο τους χειμερινούς μήνες), τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, της επιθυμητή θερμοκρασία νερού, την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στη περιοχή εγκατάστασης, τον προσανατολισμό και τη κλίση των συλλεκτών, την αποδοτικότητα του συλλέκτη και βεβαίως τη χρήση ή όχι θερμικού καλύμματος στη πισίνα τις ώρες που δεν λειτουργεί. Με σωστή επιλογή επιφάνειας αποφεύγεται η υπερ – διαστασιολόγηση που αυξάνει το κόστος άσκοπα αλλά και η αντίθετη περίπτωση μη επαρκούς ποσότητας θερμαινόμενου από τους συλλέκτες νερού.

✓ Καθορισμός σωστού προσανατολισμού και κλίσης συλλεκτών

Αναφερόμενοι στην ηλιακή ακτινοβολία και την εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι άμεση επιρροή θα έχει η επιλεγόμενη τοποθεσία, ο σωστός προσανατολισμός των συλλεκτών με βάση αυτή καθώς και η βέλτιστη κλίση τους για την μεγαλύτερη δυνατή αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Σύμφωνα με τα δεδομένα του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, για την Ελλάδα, ο βέλτιστος προσανατολισμός είναι νότιος και η κλίση κυμαίνεται με απόκλιση $\pm 15^\circ$ από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

✓ Καθορισμός αποδοτικότητας συστήματος

Η επιλογή των ηλιακών συλλεκτών και ο βαθμός απόδοσης που δίνονται από τον κατασκευαστή, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ορθή και αποτελεσματική διαστασιολόγηση του συστήματος των ηλιακών συλλεκτών. Οι περισσότερες μελέτες έχουν οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι απαιτείται το 50 – 100 % της επιφάνειας της πισίνας, σε επιφάνεια συλλεκτών. Στην Ελλάδα συγκεκριμένα, το βέλτιστο ποσοστό συλλεκτών αντιστοιχεί στο 80% της συνολικής επιφάνειας της πισίνας.

Όπως προαναφέρθηκε, τρεις είναι οι τύποι συλλεκτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2. που ακολουθεί.

Πίνακας 3.2. – Τύποι Ηλιακών Συλλεκτών

Τύποι και Χαρακτηριστικά Ηλιακών Συλλεκτών			
Είδος	Περιγραφή	Ιδιότητες	Ετήσια Απόδοση
Συλλέκτες χωρίς κάλυμμα	Απλοί μαύροι, κυκλικοί σωλήνες, κατασκευασμένοι αποκλειστικά από πλαστικό	Χαμηλό κόστος, κατάλληλοι μόνο για κολυμβητικές δεξαμενές (18-25°C), απευθείας εισαγωγή θερμού νερού στη πισίνα, απλό σύστημα εγκατάστασης	Χαμηλή 300 KWh/m ²
Επίπεδοι συλλέκτες με γυάλινο κάλυμμα	Επιφάνεια συλλέκτη με μαύρη μπογιά, ημι – επιλεκτική ή επιλεκτική, προστασία με γυάλινο κάλυμμα	Μεσαίου κόστους, υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας Επιλεκτική επιφάνεια με μεγάλη απορροφητικότητα στα μικρά μήκη κύματος (90-95%) και μικρή ανάκλαση (5-15%) στα μεγαλύτερα. Για ZNX, θέρμανση, ηλιακό κλιματισμό, βιομηχανικές εφαρμογές.	Μεσαία 600 – 700 KWh/m ² ανάλογα το είδος επιφάνειας του συλλέκτη
Συλλέκτες κενού αέρος	Γυάλινοι σωλήνες κενού αέρος	Υψηλό κόστος, χωρίς απώλειες, υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας, εξαιρετικά ευαίσθητοι, πολύπλοκη εγκατάσταση Η ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται με κάτοπτρα μέγιστης απορροφητικότητας και ελάχιστης ανακλαστικότητας. Κατάλληλοι για όλες τις χρήσεις..	Υψηλή >850 KWh/m ²

Πηγές : Ηλιακά Θερμικά Συστήματα ZNX και Θέρμανσης Κολυμβητικών Δεξαμενών, Χριστοδουλάκη Ρ., MSc
Environmental design and engineering, ΚΑΠΕ

Solar Energy Use in Outdoor Swimming Pools SOLPOOL - National Fact sheet Reports on the state of the Demand and Potential of Solar Heating of Outdoor Swimming Pools, Germany, November 2008

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου συλλεκτών εξαρτάται από την επιθυμητή θερμοκρασία της πισίνας που μελετάται. Στα ψυχρά κλίματα που οι ανοιχτές πισίνες συνήθως λειτουργούν μόνο την περίοδο Απρίλη – Οκτώβρη, χρησιμοποιούνται στις πλείστες των περιπτώσεων συλλέκτες χωρίς κάλυμμα, γνωστοί και ως κολυμβητικοί συλλέκτες. Η θερμοκρασία του θερμού νερού σε αυτή τη περίπτωση συλλεκτών όπως φαίνεται στον πίνακα κυμαίνεται μεταξύ 18 - 25°C, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του νερού της πισίνας κατά 2 -5 °C ανάλογα με την εποχή. Το χαμηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, τις καθιστά ελκυστικές, παρά τη χαμηλή απόδοσή τους.

Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες με κάλυμμα, αποτελούν τη βέλτιστη επιλογή για κολυμβητήρια που λειτουργούν όλη τη διάρκεια του έτους. Ειδικότερα στις περιοχές με έντονη ηλιακή ακτινοβολία (όπως π.χ. στις Μεσογειακές χώρες), η ενεργειακή τους συνεισφορά είναι σημαντική. Συγκεκριμένα, 1 m² συλλέκτη αυτού του είδους,

αποδίδει ίδια θερμική ενέργεια με 50 kg πετρελαίου (ή 500 KWh/έτος), με χρήση ενός λέβητα απόδοσης 85%. Το κόστος τους δεν είναι απαγορευτικό για εγκατάσταση και θέρμανση πισινών Ολυμπιακών διατάσεων, ειδικά σε ανοιχτά κολυμβητήρια που η εγκατάσταση είναι απλούστερη, είτε με σύστημα ανοιχτού είτε με κλειστού βρόχου. Η υψηλή απόδοσή τους, μειώνει σημαντικά το χρόνο απόσβεσης.

Ομοίως, με τους συλλέκτες κενού αέρος, η εγκατάσταση των οποίων είναι μεν εξαιρετικά πολύπλοκη και υψηλού κόστους, αλλά η λειτουργία τους όλο το χρόνο, προσδίδοντας θερμό νερό σε πισίνες, ντους και για ZNX στα κολυμβητήρια, τους καθιστά εξαιρετική επιλογή στην περίπτωση που υπάρχει το απαραίτητο κεφάλαιο για την εγκατάστασή τους. Στον πίνακα 3.3. που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα οικονομικά στοιχεία των εν λόγω συλλεκτών που προαναφέρθηκαν.

Πίνακας 3.3. – Οικονομικά δεδομένα ηλιακών συλλεκτών για πισίνες μεγάλης επιφάνειας >500 m²

	Συλλέκτες χωρίς κάλυμμα	Επίπεδοι συλλέκτες με γυάλινο κάλυμμα	Συλλέκτες με σωλήνες κενού αέρος
Κόστος επένδυσης €/m²	40 – 85 €	400 – 800 €	600 – 1000 €
Λειτουργικό κόστος €/έτος	0,4 – 0,85 €/m ² εγκατεστημένου συλλέκτη	0,4 – 0,8 €/m ² εγκατεστημένου συλλέκτη	0,6 – 1 €/m ² εγκατεστημένου συλλέκτη

Solar Energy Use in Outdoor Swimming Pools SOLPOOL - National Fact sheet Reports on the state of the Demand and Potential of Solar Heating of Outdoor Swimming Pools, Germany, November 2008

3.1.4. Αντικατάσταση συστήματος λέβητα – καυστήρα

Στις πλείστες των περιπτώσεων, το σύστημα θέρμανσης των κολυμβητηρίων περιλαμβάνει λέβητα πετρελαίου για τη θέρμανση της πισίνας. Με την υπάρχουσα όμως οικονομική κατάσταση στη χώρα μας αλλά και παγκοσμίως, και ειδικότερα με την κατακόρυφη αύξηση της τιμής του πετρελαίου, καθιστούν εξαιρετικά δύσκολη τη θέρμανση της πισίνας καθόλη τη διάρκεια του έτους στην επιθυμητή θερμοκρασία, εξαιτίας των μεγάλων ποσοτήτων πετρελαίου που απαιτούνται. Την κατάσταση επιδεινώνει η απόδοση του λέβητα, η οποία με την πάροδο του χρόνου και τη συνεχή χρήση μειώνεται. Επιπλέον, η καθιερωμένη ετήσια συντήρηση και καθαρισμός του λέβητα και του καυστήρα επιβάλλονται για μείωση των απωλειών και εξασφάλιση της καλής λειτουργίας τους, ενέργειες όμως που σε πολλά κολυμβητήρια δεν γίνονται λόγω έλλειψης προσωπικού, για οικονομικούς λόγους κ.ά.

Στη θέση ενός παλαιού λέβητα πετρελαίου μπορεί να τοποθετηθεί ένας νέος λέβητας φυσικού αερίου, βιομάζας (pellets) ή νέος, υψηλότερης απόδοσης λέβητας πετρελαίου.

Η περιοχή του κολυμβητηρίου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην απόφαση αλλαγής λέβητα και αντικατάστασής του με νέο ή άλλου καυσίμου. Πιο συγκεκριμένα, σε περιοχές που είναι δύσκολη η παροχή φυσικού αερίου, δεν

επιλέγεται τέτοιου είδους αντικατάσταση διότι η εξοικονόμηση των χρημάτων θα δαπανάται στα μεταφορικά.

Στο κολυμβητήριο Χανίων, ο λέβητας πετρελαίου και γενικότερα ο μηχανολογικός εξοπλισμός, τοποθετήθηκε με την ανακατασκευή του κολυμβητηρίου το 1991. Η συντήρηση και ο καθαρισμός του γίνονταν τακτικά, παρόλα αυτά, ο 21 χρόνων λέβητας πλέον, καταγράφει μειωμένη απόδοση εξαιτίας της συνεχούς χρήσης για θέρμανση και των τριών πισινών. Ο συνεχής έλεγχος της θερμοκρασίας του νερού επιβάλλεται καθώς εξαιτίας της μεγάλης θερμοχωρητικότητας του νερού, ακόμη και μια μικρή φαινομενικά αύξηση της θερμοκρασίας του νερού (π.χ. 0,5 °C), οδηγεί σε μεγάλη σπατάλη ενέργειας. Το φαινόμενο αυτό, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ο λέβητας του κολυμβητηρίου είναι μη αυτοματοποιημένος και ο έλεγχος παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας είναι μη αυτόματος, οδηγεί στη συνεχή και παράλληλη λειτουργία του, στη μέγιστη ισχύ. Φυσικό αποτέλεσμα είναι καταπόνηση του λέβητα και η υπερβολική, άσκοπη κατανάλωση ενέργειας. Για αποφυγή του φαινομένου αυτού, απαιτείται η συνεχής επίβλεψη από ειδικά καταρτισμένο άτομο, όμως με τα σημερινά οικονομικά δεδομένα του κολυμβητηρίου, η ενέργεια αυτή είναι αδύνατη.

3.2. Το κολυμβητήριο Χανίων

3.2.1. Γενικά στοιχεία

Το Εθνικό Κολυμβητήριο Χανίων βρίσκεται στην περιοχή της Νέας Χώρας, στο βορειοδυτικό τμήμα της πόλης, στο τέλος της Ακτής Κανάρη και κυριολεκτικά πάνω στη θάλασσα, απέχοντας 2 km από το κέντρο των Χανίων. Αποτελεί το δεύτερο κολυμβητήριο Ολυμπιακών διαστάσεων που κατασκευάστηκε στην Ελλάδα, που περιλαμβάνει δηλαδή πισίνα 50 m, μετά από αυτό του Ολυμπιακού Αθλητικού Κέντρου Αθηνών (ΟΑΚΑ).

Ιδρύθηκε το 1964 και λειτουργούσε με θαλασσινό νερό αρχικά, αποτελώντας την έδρα του Ναυτικού Ομίλου Χανίων, έναν από τους ιστορικότερους στην Ελλάδα, με ίδρυση το 1933. Το 1981 κατασκευάστηκε η πισίνα 25x15m και η εκμάθησης διαστάσεων 12,5x10m, οι οποίες ήταν θερμαινόμενες. Το 1991 ανακατασκευάστηκε και έγινε μετατροπή της 50άρας πισίνας σε θερμαινόμενη και κατασκευή κερκίδων 600 ατόμων.



Εικόνα 2, Απεικόνιση του Εθνικού Κολυμβητηρίου Χανίων το 1995

Πριν το 2000, οι πισίνες των 25 και 12,5 m σκεπάζονταν με μεταλλική κατασκευή, χωρίς ωστόσο να αποτελούν πλήρως στεγαζόμενες πισίνες, καθώς περιμετρικά τους δεν καλύπτονταν και από τις τέσσερις πλευρές με τοίχο και παράθυρα. Η προσέλευση του αέρα επηρέαζε αρνητικά την κατάσταση των πισινών αυτών, ωστόσο η οροφή αποτελούσε μεγάλο πλεονέκτημα λόγω της εξάλειψης επιρροής των καιρικών φαινομένων κατά τη χειμερινή περίοδο. Συνακόλουθα όμως, δεν γινόταν εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Συγκρίνοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα, στο πέρας των χρόνων, η, έστω, ημι-στέγαση των πισινών ήταν αποδοτική ενέργεια.

Το συγκρότημα του κολυμβητηρίου Χανίων περιλαμβάνει εκτός των πισινών, αποδυτήρια της πισίνας 50 m και ξεχωριστά για τις πισίνες των 25 και 12,5 m. Υπάρχουν επίσης δύο γυμναστήρια, το δεύτερο κατασκευάστηκε αρχές του 2000, χώρος για τη γραμματεία στις περιπτώσεις αγώνων, ιατρείο, χώροι συνεδριάσεων. Στο υπόγειο τμήμα της 50αρας πισίνας εγκαθίσταται ο μηχανολογικός εξοπλισμός που είναι κοινός και για τις 3 πισίνες (κοινό σύστημα θέρμανσης με ενιαίο λέβητα) και κάτω από τις κερκίδες της πισίνας των 25 m βρίσκεται ο χώρος αποθήκευσης των σκαφών και του εξοπλισμού του τμήματος ιστιοπλοΐας. Τέλος, στο χώρο κάτω από τις κερκίδες της 50άρας πισίνας, εκτός από το ένα γυμναστήριο του κολυμβητηρίου υπάρχει επίσης το κυλικείο το οποίο ενοικιάζεται σε ιδιώτη έπειτα από διαγωνισμό που προκηρύσσεται.

Το Εθνικό Κολυμβητήριο Χανίων αποτελεί τον μοναδικό χώρο προπόνησης στη πόλη των αθλητών της κολύμβησης, της υδατοσφαίρισης, της συγχρονισμένης και τεχνικής κολύμβησης, του τμήματος εκμάθησης των παιδιών προσχολικής ηλικίας αλλά και πλήθος Χανιωτών πολιτών αλλά και φοιτητών της πόλης που επιλέγουν την κολύμβηση ως τρόπο άθλησης. Δεν πρέπει να μεριμνάται το γεγονός, ότι στο κολυμβητήριο προπονείται η ομάδα των Ατόμων Με Ειδικές Ανάγκες. Συνακόλουθα, στη πισίνα των 50 m διεξάγονται εδώ και δεκαετίες αγώνες όλων των αθλημάτων και κατηγοριών.

Μέσα από τα παραπάνω, γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι η λειτουργία του κολυμβητηρίου πρέπει να εξασφαλίζεται κάθε χρόνο καθώς εξυπηρετεί πλήθος αθλητών και πολιτών, όντας το μοναδικό εν λειτουργία κολυμβητήριο των Χανίων, εφόσον το Κλειστό Κολυμβητήριο στα Κουνουπιδιανά ποτέ δεν τέθηκε σε λειτουργία. Τα τελευταία χρόνια, λόγω της οικονομικής κατάστασης που βιώνει η χώρα, η λειτουργία του κολυμβητηρίου συναντά πολλά προβλήματα και καθίσταται ολοένα και δυσκολότερη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η διακοπή λειτουργίας της μεγάλης πισίνας 50 m για αρκετούς μήνες τα τελευταία 3 χρόνια με αποκορύφωμα τη περσινή αγωνιστική χρονιά του 2012 που η πισίνα ήταν κλειστή σχεδόν όλη τη χρονιά εξαιτίας της αύξησης της τιμής του πετρελαίου με την ταυτόχρονη δραματική μείωση του προϋπολογισμού της χρονιάς. Η άμεση εύρεση λοιπόν, αποδοτικών τρόπων εξοικονόμησης χρημάτων και ενέργειας κρίνεται απαραίτητη για το μέλλον του κολυμβητηρίου.

3.3. Οικονομικά και Τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας

Την οικονομική ενίσχυση του Κολυμβητηρίου Χανίων έχει αναλάβει εξ ολοκλήρου η Γενική Γραμματεία Αθλητισμού, στην οποία έχει παραχωρήσει με ειδικό συμφωνητικό ο Ναυτικός Όμιλος Χανίων.

Η λειτουργία του κολυμβητηρίου καθημερινά ξεκινά επίσημα από τις 7 π.μ. που δέχεται τους πρώτους κολυμβητές μέχρι τις 10.30 μ.μ. που οι αθλητές της ομάδας της υδατοσφαίρισης τελειώνουν την προπόνησή τους. Τα Σάββατα η λειτουργία ξεκινά από τις 7 π.μ. μέχρι τις 8 μ.μ ενώ τη Κυριακή επισήμως δεν λειτουργεί παρά μόνο σε περιπτώσεις αγώνων. Όμως από τις 5.30 π.μ. καθημερινά απαιτείται η προσέλευση του υπεύθυνου μηχανικού και του υπεύθυνου καθαριότητας, οι οποίοι θέτουν σε λειτουργία το σύστημα θέρμανσης και πραγματοποιούν τον απαιτούμενο καθαρισμό των χώρων αντίστοιχα.

Συνολικά για την λειτουργία, επίβλεψη, συντήρηση και καθαρισμό του κολυμβητηρίου εργάζονται καθημερινά έξι άτομα, οι ειδικότητες των οποίων είναι :

- Ένας μηχανικός μέσης εκπαίδευσης, υπεύθυνος μηχανοστασίου
- Ένας ηλεκτρολόγος δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, υπεύθυνος μηχανοστασίου
- Ένας υδραυλικός
- Τρεις συντηρητές πισινών

Το προσωπικό αυτό αποτελεί οικονομική επιβάρυνση της Γενικής Γραμματείας Αθλητισμού, όπως επίσης και το πετρέλαιο για τη θέρμανση των πισινών, τα χημικά για τον καθαρισμό τους, τον καθαρισμό των χώρων, τους λογαριασμούς ΔΕΗ και ΔΕΥΑΧ και τυχόν απρόβλεπτα έξοδα.

Την οικονομική διαχείριση έχει αναλάβει από την έναρξη της λειτουργίας του κολυμβητηρίου ο Ναυτικός Όμιλος Χανίων και τα μόνα έξοδα που καλύπτονται από αυτόν είναι των προπονητών και ορισμένων αθλητών (της υδατοσφαίρισης κυρίως).

Τα υπόλοιπα όπως προαναφέρθηκε, καλύπτονται από το Ε.Α.Κ. Χανίων (Ενιαίο Αθλητικό Κέντρο) μέσω επιχορηγήσεων της Γενικής Γραμματείας Αθλητισμού. Τα μοναδικά έσοδα του Ναυτικού Ομίλου προέρχονται από την ενοικίαση του κυλικείου και του χώρου κάτω από τα γραφεία της γραμματείας (που ανήκει στον όμιλο) και ενοικιάζονται σε ιδιώτες, από χορηγίες εταιριών της πόλης (κυρίως σε περιόδους αγώνων) και από την μηνιαία συνδρομή των παιδιών της εκμάθησης και των πολιτών που επιλέγουν την κολύμβηση ως τρόπο άθλησης.

Ο εγκατεστημένος μηχανολογικός εξοπλισμός μέχρι το 1991 περιλάμβανε σύστημα θέρμανσης για τις πισίνες των 25 και 12,5 m. Με την ανακατασκευή της 50άρας πισίνας το 1991, ανανεώθηκε, και κατασκευάστηκε νέο μηχανοστάσιο κάτω από τα αποδυτήρια της μεγάλης πισίνας το οποίο περιλαμβάνει :

- ✓ Καυστήρα πετρελαίου (κοινό και για τις τρεις πισίνες)
- ✓ Δεξαμενή πετρελαίου
- ✓ Δοσομετρική αντλία χλωρίου

- ✓ Φίλτρα καθαρισμού
- ✓ Εναλλάκτες θερμότητας
- ✓ Αντλίες ανακύκλωσης / εισαγωγής νερού

Οι αντλίες εισαγωγής νερού είναι τρεις συνολικά, με τις δύο σε λειτουργία 24 ώρες καθημερινά και μία εφεδρική, με τον ίδιο ρυθμό χειμώνα - καλοκαίρι. Σημειώνεται ότι τα τελευταία σχεδόν δύο χρόνια, λόγω έλλειψης οικονομικών πόρων, λειτουργεί μόνο η μία αντλία.

Ο ρυθμός εναλλαγής νερού, δηλαδή ανακύκλωση όλου του όγκου της πισίνας, γίνεται με τις δύο αντλίες σε λειτουργία κάθε 6 ώρες.

Επίσης, το 2012, τοποθετήθηκαν πάνω από τα αποδυτήρια της 50άρας πισίνας 23 ηλιακοί συλλέκτες, οι οποίοι συνδέθηκαν με 2 boiler χωρητικότητας 2000 L έκαστος, για την κάλυψη του ζεστού νερού των ντους στα αποδυτήρια τόσο της 25άρας όσο και της 50άρας πισίνας.

Τα λειτουργικά και τεχνικά χαρακτηριστικά της μεγάλης πισίνας, η οποία απαιτεί την περισσότερη ενέργεια λόγω του μεγαλύτερου όγκου της αλλά και επειδή είναι ανοιχτή, παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 3.4. που αναρτάται στη συνέχεια.

Πίνακας 3.4. – Τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά 50άρας πισίνας Κολυμβητηρίου Χανίων

Τεχνικά και Λειτουργικά χαρακτηριστικά 50άρας πισίνας	
Μήκος	50 m
Πλάτος	21 m
Βάθος	2,20 m ως τα 25 m και στη συνέχεια κεκλιμένο ως τα 4,10 m
Υδάτινη Επιφάνεια	1050 m ²
Συνολικός όγκος	3600 m ³
Θερμοκρασία νερού (κατά μ.ο. – χειμώνας)	26 °C
Θερμοκρασία νερού (κατά μ.ο. – καλοκαίρι)	30 °C
Ρυθμός εναλλαγής νερού⁽¹⁾	300 m ³ /h (η κάθε αντλία)
Ρυθμός εισαγωγής φρέσκου νερού	420 L/h
Θερμοκρασία φρέσκου νερού (ΔΕΥΑΧ)	15 °C

[Στοιχεία λειτουργίας από τον υπεύθυνο μηχανοστασίου του κολυμβητηρίου]

(1) Ο ρυθμός εναλλαγής του νερού αφορά τον απαιτούμενο χρόνο για την κυκλοφορία του νερού από την πισίνα στην εγκατάσταση επεξεργασίας (απολύμανση/φιλτράρισμα) και πίσω στην πισίνα, ποσότητα νερού ίση με τον όγκο της πισίνας.

Καθημερινά στην πισίνα, από την ώρα έναρξης το πρωί ως το βράδυ που σταματά η λειτουργία των πισινών, χρησιμοποιούν την πισίνα κατά μέσο όρο 200 άτομα.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να συμπληρωθεί ότι λόγω του κλίματος στη πόλη των Χανίων, η θέρμανση της πισίνας σταματά για τους καλοκαιρινούς μήνες και συγκεκριμένα για τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο. Ανάλογα τις καιρικές συνθήκες, ορισμένες φορές σταματά από τον Μάιο. Τη περίοδο αυτή η πισίνα θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία και το νερό που εισέρχεται μόνο φιλτράρεται και απολυμαίνεται.

Η ποσότητα του πετρελαίου που καταναλώνεται αντιστοιχεί και στις τρεις πισίνες. Η κατανάλωση πετρελαίου υπολογίζεται συνολικά αλλά πάνω από το 50% της συνολικής ποσότητας καυσίμου χρησιμοποιείται για τη θέρμανση της μεγάλης πισίνας.

Πίνακας 3.5. – Καταναλώσεις καυσίμου Κολυμβητηρίου Χανίων

Έτος	Ποσότητα(*)
2006	392 τόνοι
2007	410 τόνοι
2008	368 τόνοι
2009	300 τόνοι

**Οι ποσότητες αντιστοιχούν στην ετήσια κατανάλωση και των τριών πισινών συνολικά*

Οι αυξομειώσεις στις ετήσιες ποσότητες οφείλονται στα καιρικά φαινόμενα του έτους. Πιο συγκεκριμένα, σε περιόδους με παρατεταμένο χειμώνα (όπως το 2006 και το 2007), η κατανάλωση είναι αυξημένη. Αντίθετα, σε χρονιές όπως το 2007 που ο χειμώνας ήταν ιδιαίτερα έντονος αλλά με μικρή διάρκεια, η διακοπή στη θέρμανση της πισίνας πραγματοποιήθηκε από τις αρχές του Μαΐου. Για τις χρονιές 2010 και έπειτα, οι καταναλώσεις είναι πολύ χαμηλές εξαιτίας έλλειψης οικονομικών πόρων με ταυτόχρονη αύξηση σταδιακά της τιμής πετρελαίου. Το γεγονός αυτό οδήγησε στη διακοπή λειτουργίας της μεγάλης πισίνας για μεγάλα χρονικά διαστήματα όπως το 2011 και 2012 που η πισίνα έμεινε κλειστή σχεδόν όλη τη χειμερινή περίοδο και ξεκίνησε η θέρμανσή της μετά τον Απρίλη που αυξήθηκε η θερμοκρασία του νερού στους 20-21 °C από τον ήλιο.

Οι οικονομικές απαιτήσεις των πισινών δεν περιορίζονται μόνο στην αγορά πετρελαίου. Σημαντικό κόστος έχουν τα χημικά καθαριστικά για την απολύμανση των πισινών, το οποίο ανέρχεται σε 30.000 € κάθε χρόνο. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι για τη 50άρα πισίνα χρησιμοποιούνται 2 τόνοι χλώριο κάθε μήνα και περίπου ένας για την 25άρα. Οι ποσότητες αυτές εισάγονται στις πισίνες είτε λειτουργούν είτε είναι κλειστές λόγω έλλειψης πετρελαίου. Αν δηλαδή υπάρξει περίοδος που η πισίνα είναι γεμάτη αλλά δεν θερμαίνεται, πρέπει οπωσδήποτε να χλωριώνεται, ειδικά αν η ανάπτυξη μικροβίων θα οδηγήσει σε δημιουργία συνθηκών

σήψης, θολερότητα, δυσοσμία και σε αυτή τη περίπτωση να πρέπει η πισίνα να αδειάσει, να καθαριστεί εξ ολοκλήρου και να γεμιστεί ξανά.

Η εισαγωγή φρέσκου νερού που απαιτείται κάθε μέρα γίνεται από το δίκτυο της ΔΕΥΑΧ. Επίσης, η λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού, των φώτων σε αποδυτήρια, κυλικείο και γραφεία και γενικώς η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος όπου χρειάζεται καλύπτεται από τη ΔΕΗ. Συνεπώς, οι αντίστοιχοι λογαριασμοί ανέρχονται ετησίως σε περίπου 90.000 € για τη ΔΕΗ (κατά μέσο όρο) και σε 130.000 € για τη ΔΕΥΑΧ (κατά μέσο όρο), με επιβάρυνση της Γενικής Γραμματείας Αθλητισμού.

3.4. Επιλογή κατάλληλων μεθόδων για την ανοιχτή πισίνα

Η μελέτη εξοικονόμησης ενέργειας και χρημάτων σε οποιοδήποτε κτίριο με σκοπό την ποιοτική και οικονομική του αναβάθμισης, απαιτεί την αξιολόγηση των διαθέσιμων επιλογών, ώστε να επιλεγεί η αποτελεσματικότερη και οικονομικά πιο αποδοτική. Συνεπώς, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η παρούσα οικονομική κατάσταση της εταιρίας, υπηρεσίας, επιχείρησης, αρμόδιου φορέα, που χρηματοδοτεί τη λειτουργία του κτιρίου αυτού. Στην περίπτωση του κολυμβητηρίου των Χανίων επομένως, δεν καθίσταται δυνατή η εφαρμογή όλων των τρόπων μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης και των απωλειών. Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία και ελέγχοντας ταυτόχρονα τα οικονομικά δεδομένα, επιλέγονται οι τρόποι που θα αποτελέσουν τα σενάρια βελτίωσης της ενεργειακής κατανάλωσης για την ανοιχτή 50άρα πισίνα που θα εξεταστούν στη συνέχεια.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα εξεταστούν από ενεργειακής και οικονομικής άποψης η αγορά και χρήση προστατευτικού καλύμματος, η μείωση του όγκου της πισίνας και η τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών.

Στο κολυμβητήριο Χανίων, στην δυτική και ανατολική πλευρά, έχουν τοποθετηθεί παράθυρα και διαφημιστικές πινακίδες που εμποδίζουν τις μεγάλες ριπές αέρα. Η βορεινή πλευρά καλύπτεται από τα αποδυτήρια της 50άρας πισίνας και η νότια από τις κερκίδες εν μέρει. Παρόλα αυτά, στην επιφάνεια της πισίνας, οι ταχύτητες του αέρα είναι υψηλότερες, ευνοώντας με αυτό τον τρόπο τα φαινόμενα της εξάτμισης και της αγωγής αφού δεν χρησιμοποιείται θερμικό κάλυμμα. Το κάλυμμα συνεπώς θα μειώσει τις απώλειες αυτές και θα διατηρεί την θερμότητα του νερού κατά τις

βραδινές κυρίως ώρες.

Η ανέγερση του κολυμβητηρίου το 1964, προέβλεπε συν τοις άλλοις τη χρήση του για αγώνες και προπονήσεις καταδύσεων. Για αυτό το λόγο, η κολυμβητική δεξαμενή κατασκευάστηκε με κλίση πυθμένα από το μέσο της και έπειτα. Συγκεκριμένα, μέχρι τα 22 m έχει βάθος 2,10m και στη συνέχεια, το



βάθος της αυξάνεται βαθμιαία μέχρι τα 3,60 m. Στη πλευρά με το μεγαλύτερο βάθος είχε κατασκευαστεί βατήρας από οπλισμένο σκυρόδεμα, ο οποίος όμως μετά το 2004 αποφασίστηκε να κατεδαφιστεί, και συνεπώς το βαθύ τμήμα της πισίνας δεν υπάρχει λόγω να υφίσταται πλέον. Με κάλυψη του τμήματος αυτού και ενιαίο βάθος στα 2,10 m, ο όγκος της πισίνας μειώνεται από τα 3600 m³ που είναι αυτή τη στιγμή σε 2.205 m³. Η διαφορά είναι πολύ μεγάλη και γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η εξοικονόμηση τόσο σε καύσιμη ύλη για θερμότητα όσο και στη λειτουργία του συστήματος ανακυκλοφορίας και στην ποσότητα χημικών απολύμανσης, θα είναι σημαντική.

Τέλος, η τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών, θα έχει μεν το μεγαλύτερο κόστος από όσες προτάσεις προαναφέρθηκαν, παρόλα αυτά, πρόκειται για επένδυση η οποία θα επιφέρει μακροχρόνια θετικά αποτελέσματα δεδομένου ότι οι ηλιακοί συλλέκτες έχουν μεγάλο χρόνο ζωής, δεν απαιτούν ιδιαίτερη συντήρηση και επίβλεψη κατά τη λειτουργία τους και κυρίως, αν η μελέτη και εγκατάσταση έχουν γίνει σωστά, δεν θα διακοπεί η παροχή θερμού νερού στην πισίνα. Σημαντικό επίσης κρίνεται το γεγονός ότι η Ελλάδα, και συγκεκριμένα η περιοχή της Κρήτης, με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που σημειώνεται στις περιοχές αυτές, αποτελούν εξαιρετικές τοποθεσίες για εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων.

Κεφάλαιο 4

Πρόγραμμα Προσομοιώσεων TRNSYS

4.1. Γενικές πληροφορίες

Το πρόγραμμα TRNSyS – Transient System Simulation Program, δημιουργήθηκε πριν 35 χρόνια από το εργαστήριο Ηλιακής Ενέργειας του Πανεπιστημίου του Ουισκόνσιν, στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Στην ανάπτυξη και εξέλιξή του συνέβαλαν εταιρίες ενεργειακής ανάλυσης, μοντελοποίησης και κατασκευών από τη Γερμανία και τη Γαλλία. Τα εν λόγω ερευνητικά εργαστήρια ανήκουν στη γερμανική εταιρία TRANSSOLAR Energietechnik GmbH και στη γαλλική CSTB – Centre Scientifique et Technique du Batiment, ενώ η αντίστοιχη στο Ουισκόνσιν είναι η TESS – Thermal Energy Systems Specialists.

Πρόκειται για ένα πρόγραμμα παροδικών προσομοιώσεων το οποίο μέσω ειδικών αλγορίθμων, αναγνωρίζει τον τρόπο με τον οποίο ο χρήστης έχει σχεδιάσει το εξεταζόμενο σύστημα. Ο χρήστης με λίγα λόγια, καθορίζει τη περιγραφή του υπό εξέταση συστήματος, τοποθετώντας αυτός τις συνιστώσες που επιθυμεί και τον τρόπο που αυτές θα συνδέονται μεταξύ τους.

Το πρόγραμμα αποτελείται από δύο κύρια μέρη : τον πυρήνα και τη βιβλιοθήκη των συνιστωσών.

Ο πυρήνας πρόκειται ουσιαστικά για μια μηχανή που διαβάζει και επεξεργάζεται το αρχείο εισόδου, επιλύει το σύστημα που καθορίζει ο χρήστης όσες φορές έχει προγραμματιστεί να το κάνει, καθορίζει τη σύγκλιση και δημιουργεί τις μεταβλητές του συστήματος. Ο πυρήνας εφοδιάζει επίσης το σύστημα με χρήσιμες εφαρμογές που καθορίζουν θερμοφυσικές ιδιότητες, μετατρέπει μήτρες, εκτελεί γραμμικές παλινδρομήσεις και παρεμβάλλει τα αρχεία εξόδου σύμφωνα με τις προτιμήσεις και επιλογές του χρήστη.

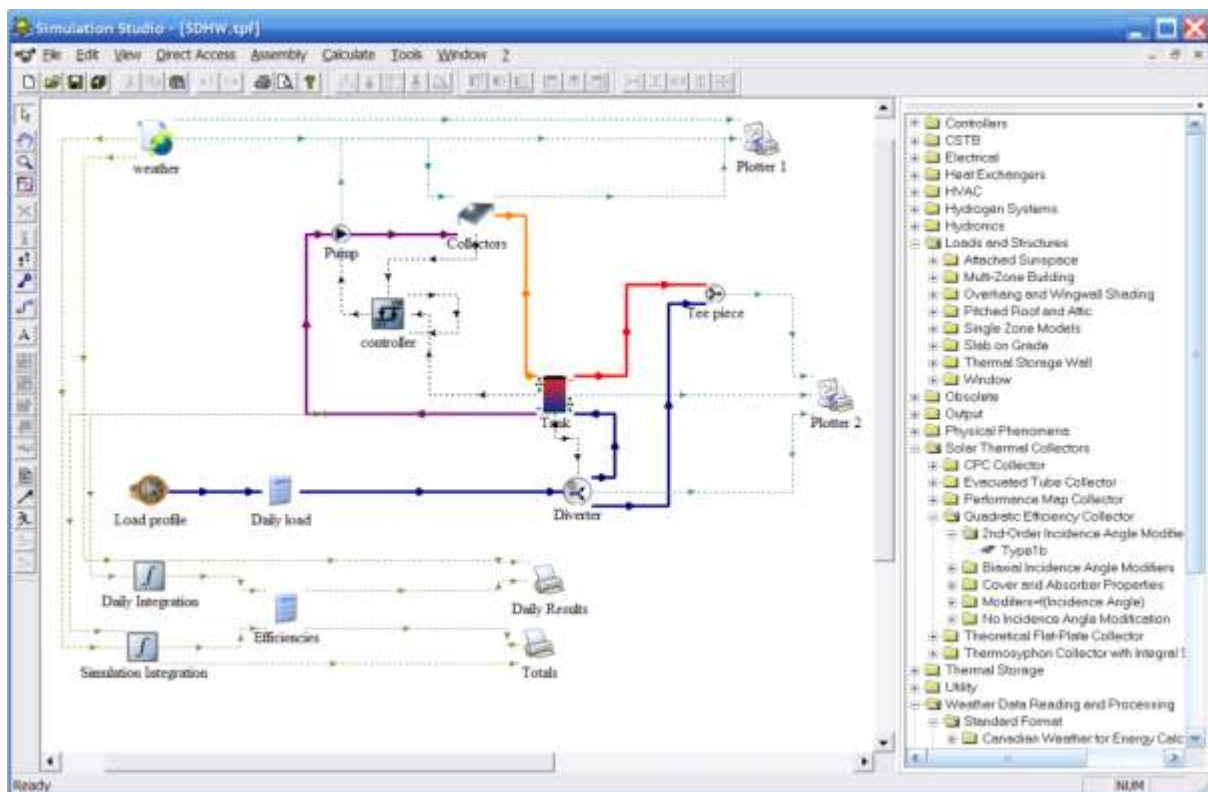
Η βιβλιοθήκη του προγράμματος περιλαμβάνει μεγάλη ποικιλία και αριθμό των συνιστωσών (components), οι οποίες απαρτίζουν συνήθως θερμικά και ηλεκτρικά συστήματα ενέργειας, καθώς και ρουτίνες αυτών των συνιστωσών που διαμορφώνουν την εισαγωγή δεδομένων (καιρικών, λειτουργικών κ.ά.). Περιλαμβάνει συγκεκριμένα περίπου 150 μοντέλα, από αντλίες σε πολλαπλών ζωνών κτίρια, ανεμογεννήτριες, επεξεργαστές καιρικών συνθηκών, βασικά συστατικά των συστημάτων Ψύξης – Θέρμανσης και Αερισμού κτλ. Είναι κατασκευασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατός ο έλεγχος τόσο των δεδομένων εισαγωγής, όσο και των αποτελεσμάτων, τα οποία εξαρτώνται επίσης από τη χρονική διάρκεια της προσομοίωσης που έχει καθορίσει ο χρήστης. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα μετατροπής των υπαρχουσών στοιχείων και η αντικατάστασή τους, επεκτείνοντας έτσι τις δυνατότητες του προγράμματος.

Το TRNSyS χαρακτηρίζεται από τεράστια ευελιξία εξαιτίας του «σπονδυλωτού» τρόπου που συνδέονται οι συνιστώσες μεταξύ τους, ο οποίος δίνει τη δυνατότητα στο

χρήστη να αφαιρεί ή να προσθέτει συνιστώσες στο σύστημα όπως αυτός επιθυμεί για το κάθε σύστημα. Είναι εξαιρετικά πολύτιμο εργαλείο για τους μηχανικούς και ερευνητές σε όλο τον κόσμο αφού γίνεται λεπτομερής ανάλυση οποιουδήποτε συστήματος εξαρτάται από τη πάροδο του χρόνου και περιλαμβάνει εφαρμογές ηλιακών συστημάτων (θερμικών και φωτοβολταϊκών), σύστημα αερισμού, θέρμανσης και ψύξης (HVAC Systems), ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κτίρια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, συμπαράγωγής, κυψέλες καυσίμου κ.ά. Στα πλεονεκτήματα του προγράμματος συγκαταλέγεται η δυνατότητά του να μοντελοποιεί και άλλα δυναμικά συστήματα όπως η ροή μεταφοράς ή βιολογικές διεργασίες, εκτός από την απόδοση των θερμικών και ηλιακών συστημάτων, την οποία πλήθος άλλων προγραμμάτων έχουν την δυνατότητα να προσομοιώνουν επίσης.

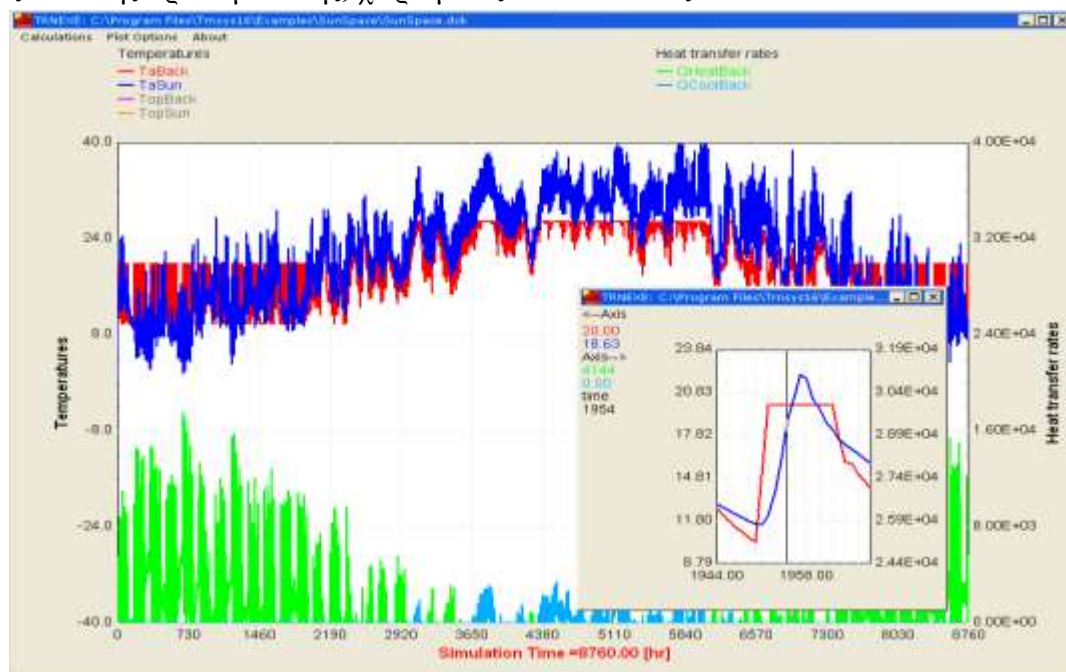
Το TRNSyS αποτελείται από επί μέρους προγράμματα : το στούντιο προσομοιώσεων (Simulation Studio), τη μηχανή προσομοίωσης (TRNDll.dll) και το εκτελέσιμο αρχείο της (TRNExe.exe), την οπτική διασύνδεση των δεδομένων του κτιρίου (TRNBuild.exe) και τον Editor που χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει αυτόνομα προγράμματα αναδιανομής γνωστά ως TRNSED εφαρμογές (TRNEdit.exe).

Το στούντιο προσομοιώσεων είναι η κύρια οπτική σύνδεση του χρήστη με το πρόγραμμα. Εκεί ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί δικά του σχέδια προσομοίωσης συστημάτων επιλέγοντας και σύροντας τις συνιστώσες (components) που επιθυμεί από τη βιβλιοθήκη, στον χώρο σχεδιασμού, συνδέοντάς τα όπως αυτός επιθυμεί και καθορίζοντας τις παραμέτρους. Περιλαμβάνεται επίσης ένας output manager, μέσω του οποίου υπάρχει η δυνατότητα να ελέγξει ο χρήστης ποιες παράμετροι ενσωματώνονται, αποτυπώνονται και παρουσιάζονται. Ένας manager ελέγχου, παρουσιάζει επίσης τυχόν λάθη που έχουν γίνει στη προσομοίωση ή σύνδεση ή τοποθέτηση των components, εμποδίζοντας το πρόγραμμα να εξάγει αποτελέσματα και να τα καταγράψει. Η επιφάνεια σχεδιασμού, η βιβλιοθήκη και ο τρόπος που συνδέονται οι συνιστώσες μεταξύ τους, διακρίνονται στην εικόνα 3. Στη μέση διακρίνεται η επιφάνεια σχεδιασμού με το λευκό φόντο, επάνω στην οποία τοποθετούνται τα components που επιλέγει ο χρήστης ανάλογα το σύστημα που προσομοιώνεται, ενώ στη δεξιά πλευρά υπάρχει η βιβλιοθήκη των components, χωρισμένα σε κατηγορίες ώστε να επιλέγει ο χρήστης εύκολα αυτό που επιθυμεί. Τα components στη βιβλιοθήκη αναγράφονται ως types, με έναν αριθμό να τα διαχωρίζει. Παραδείγματος χάρη, για την εισαγωγή και ανάγνωση από το πρόγραμμα των μετεωρολογικών δεδομένων, χρησιμοποιείται το type 15.



Εικόνα 4 – Επιφάνεια σχεδιασμού και πίνακας των components του TRNSYS Simulation Studio

Η μηχανή προσομοίωσης είναι προγραμματισμένη σε περιβάλλον Fortran και αποτυπώνεται μέσω αρχείου dll – Windows Dynamic Link Library. Το πρόγραμμα «διαβάζει» τις πληροφορίες της προσομοίωσης (τα components που περιέχονται και τον τρόπο που συνδέονται) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται μέσω ενός online plotter (εικόνα 4). Στον online plotter, μπορεί κανείς να διακρίνει τις μεταβλητές εξόδου της προσομοίωσης, χωρισμένες σε δωδεκάδες.



Εικόνα 5 – On line plotter : Εμφάνιση αποτελεσμάτων σε κανονική και μεγεθυμένη μορφή

Καταλήγοντας, σημειώνεται ότι η εξέλιξη του προγράμματος οδήγησε στη δημιουργία νέων, αναβαθμισμένων εκδόσεων, με τελευταία έκδοση αυτή που χρησιμοποιείται στην παρούσα διπλωματική με την ονομασία TRNSys 17 που ανανεώθηκε τον Ιούνιο του 2012. Συνακόλουθα, με την εξέλιξη της τεχνολογίας και τις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις για μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων και την εξέλιξη στα ενεργειακά συστήματα, δημιουργήθηκαν νέα types για το πρόγραμμα ώστε να βοηθηθούν οι μελετητές και μηχανικοί. Ανάμεσα στα εξειδικευμένα αυτά type συγκαταλέγεται το type 344, το οποίο απευθύνεται αποκλειστικά σε μηχανικούς που ασχολούνται με τις ενεργειακές αναλύσεις κολυμβητικών δεξαμενών. Για την προσομοίωση της μεγάλης, εξωτερικής πισίνας του κολυμβητηρίου Χανίων, χρησιμοποιήθηκε το type αυτό, το οποίο παρουσιάζεται αναλυτικά στην ενότητα που ακολουθεί.

4.2. Type 344 : Assessment for indoor and outdoor swimming pool - Εκτίμηση για εσωτερικές και εξωτερικές πισίνες

Η πολυπλοκότητα και ιδιομορφία που χαρακτηρίζει τις κολυμβητικές εγκαταστάσεις, ώθησαν τους δημιουργούς του TRNSys το 1996, να παρουσιάσουν ένα νέο type, ειδικευμένο στην ενεργειακή ανάλυση της λειτουργίας των κολυμβητικών δεξαμενών. Το συγκεκριμένο type δημιουργήθηκε το Νοέμβριο του 1996 από τον Γερμανό μηχανικό Thomas Auer, την TRANSOLAR Energietechnik GmbH. Οι σημαντικές διαφορές ωστόσο μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών πισινών όσον αφορά την εξέταση των απωλειών και των θερμικών κερδών, ώθησε τους προγραμματιστές να δημιουργήσουν δύο διαφορετικά components, το 344a για τις εσωτερικές πισίνες και το 344b για τις εξωτερικές. Παρόλα αυτά, βασίζονται και τα δύο στις ίδιες βασικές φυσικές αρχές και χρησιμοποιούν τις ίδιες εξισώσεις υπολογισμού, με ορισμένες διαφοροποιήσεις.

Οι βασικές αρχές της φυσικής και της θερμοδυναμικής που χρησιμοποιούνται στο πρόγραμμα, όπως επίσης και οι παράμετροι που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη προσομοίωση, παρουσιάζονται στις ενότητες που ακολουθούν. Συνακόλουθα, καταγράφονται τα δεδομένα εισόδου και εξόδου που περιέχονται στο πρόγραμμα.

4.2.1. Βασικές Φυσικές Αρχές ρυθμού μεταφοράς του type 344

Ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος αποτελεί το θεμέλιο λίθο καθώς θεωρείται ότι το νερό στο εσωτερικό της πισίνας, αναμιγνύεται ιδανικά, και για την ροή θερμότητας ισχύει το βασικό ισοζύγιο της σχέσης 4.1.

$$\frac{dH}{dt} = \sum (\dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out}) \quad [4.1]$$

Συνακόλουθα, θεωρείται ότι το ρευστό της πισίνας είναι ασυμπίεστο και η πυκνότητα (ρ_w) καθώς και η θερμομηκή αγωγιμότητά του ($C_{p,w}$) παραμένουν σταθερές. Η εξίσωση 4.1. σε αυτή τη περίπτωση μετατρέπεται στην 4.2.

$$\rho_w \cdot C_{p,w} \cdot V_p \cdot \frac{dT}{dt} = \sum (\dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out}) \quad [4.2]$$

Όπου,

T , η θερμοκρασία του νερού της πισίνας (K)

V_p , ο όγκος της πισίνας (m^3)

Όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 2, η μεταφορά θερμότητας από το περιβάλλον στο νερό της πισίνας και αντίστροφα, περιγράφεται μέσω των ρυθμών ροής των ακόλουθων παραμέτρων :

- Ρυθμός ροής θερμότητας από εξάτμιση (\dot{Q}_{Evap})
- Ρυθμός ροής θερμότητας από αγωγή (\dot{Q}_{conv})
- Ρυθμός ροής θερμότητας από μικρού μήκους ηλιακή ακτινοβολία (\dot{Q}_{Sol})
- Ρυθμός ροής θερμότητας από μεγάλου μήκους ηλιακή ακτινοβολία (\dot{Q}_{Rad})
- Ρυθμός απώλειας θερμότητας από εισαγωγή φρέσκου νερού ($\dot{Q}_{FrWater}$)
- Ρυθμός ροής θερμότητας από σύστημα θέρμανσης (\dot{Q}_{Heat})
- Θερμική αγωγιμότητα με το έδαφος (\dot{Q}_{cond})

Συγκεκριμένα αναφέρεται ότι η τελευταία παράμετρος δεν λαμβάνεται υπόψη σε αυτή την ανάλυση διότι αφενός οι εσωτερικές πισίνες είναι τοποθετημένες πάνω από τους χώρους των μηχανοστασίων, συνεπώς η θερμοκρασία των περιμετρικών τοιχωμάτων της πισίνας είναι αρκετά υψηλή ήδη (περίπου στους $30^\circ C$) οπότε ο ρυθμός ροής θερμότητας που χάνεται από αγωγή είναι ουσιαστικά μηδέν, αφετέρου στις εξωτερικές πισίνες αγνοείται για δύο λόγους. Αρχικά, ο υπολογισμός των απωλειών είναι πολύ δύσκολος και δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια αφού εξαρτάται από τη σύνθεση του εδάφους και τη θερμομόνωση κατά τη κατασκευή της κάθε πισίνας. Συνακόλουθα, το ποσοστό απωλειών είναι μηδαμινό αναλογικά με τις συνολικές απώλειες ($<1\%$), συνεπώς το γεγονός ότι αγνοείται δεν δημιουργεί πρόβλημα στην ανάλυση.

Ρυθμός ροής θερμότητας και μάζας από εξάτμιση

Η γενική εξίσωση της μεταφοράς θερμότητας από εξάτμιση δίνεται από τη σχέση 4.3.

$$\dot{Q}_{Evap} = \dot{m}_{evap} \cdot \Delta h_{Evap} \quad [4.3]$$

Ο ρυθμός μεταφοράς μάζας (\dot{m}_{evap}) καθορίζεται με φόρμουλα υπολογισμού μιας κινητήριας δύναμης. Στην περίπτωση των πισινών, η κινητήρια δύναμη είναι η

διαφορά πίεσης μεταξύ υδάτινων ατμών στην επιφάνεια του νερού (p_{sat}) και περιβάλλοντος (p_{amb}). Θεωρείται ότι μία στρώση ακριβώς πάνω από την υδάτινη επιφάνεια, στη θερμοκρασία του νερού, έχει σχετική υγρασία 100%. Στη σχέση 4.4 λαμβάνονται υπόψη τα προαναφερθέντα και προκύπτει η συνολική ποσότητα της μάζας του νερού που εξατμίζεται από την επιφάνεια της πισίνας.

$$\dot{m}_{Evap} = \varepsilon \cdot A_{tot} \cdot (p_{sat}(\theta_p) - p_{st}(\theta_{amb})) \quad [4.4]$$

Ο συνολικός συντελεστής εξάτμισης ε για επιφάνεια πισίνας με αναταράξεις δίνεται από τον οδηγό VDI Guideline 2089 για τις εσωτερικές πισίνες.

Στη περίπτωση όμως των εξωτερικών πισινών, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί την εμπειρική σχέση 4.5. που ακολουθεί στην οποία ο συνολικός συντελεστής εξάτμισης ε και η ενθαλπία εξάτμισης συνδυάζονται ώστε να προκύψουν μέσω αυτής. Ουσιαστικά, πρόκειται για την εξίσωση [1] που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2.

$$\dot{Q}_{evap} = A_{total} \cdot a_{evap} (P_{sat}(\theta_p) - P_{st}(\theta_{amb})) \quad [4.5]$$

Επίσης, ο συντελεστής εξάτμισης, δίνεται ομοίως από τη σχέση [1,1] που αναγράφεται επίσης στο κεφάλαιο 2, με βέλτιστες τιμές των συντελεστών a , b και n , να θεωρούνται εκείνες του Richter.

$$h_{evap} = a + b \cdot w^n = 50,58 + 66,9 \cdot w_{amb}^{0,5} \quad [4.6]$$

Η συγκεκριμένη εξίσωση επιλέχθηκε εξαιτίας των ικανοποιητικών αποτελεσμάτων που προέκυψαν κατά τη προσομοίωση στην εξωτερική πισίνα στο Leonberg, ύστερα από έρευνα του Ινστιτούτου Θερμοδυναμικής και Τεχνολογίας Θερμότητας του Πανεπιστημίου της Στουτγάρδης (Institute for Thermodynamics and Heat Technology at Stuttgart University University, Germany).

Ρυθμός ροής θερμότητας από αγωγή

Η εξίσωση του Newton χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του ποσού της θερμότητας που χάνεται ή προστίθεται μέσω του φαινομένου της αγωγής στο type 344. Για το type των ανοιχτών πισινών ισχύει η εξίσωση [2] που παρουσιάζεται παραπάνω αναλυτικά στην ενότητα του ενεργειακού ισοζυγίου.

$$\dot{Q}_{conv} = \alpha \cdot A_p (T_p - T_{amb}) \quad [2]$$

Όπου, $\alpha = 3,1 + 4,1 \cdot w_{amb} \quad [2.1]$

Σημειώνεται ότι στην περίπτωση των εσωτερικών πισινών, λαμβάνεται υπόψη η εξίσωση του Lewis για τη μεταφορά μάζας και ενέργειας μέσω αγωγής, σύμφωνα με τις μετρήσεις του Biasin (εξίσωση 4.7).

$$\frac{\alpha}{\beta} = C_{pl} \cdot p_l \cdot \left(\frac{a}{St}\right) \quad [4.7]$$

Ρυθμός ροής θερμότητας από μεγάλου μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία (απευθείας πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας)

Για τη μεταφορά θερμότητας από μεγάλου μήκους κύματος ηλιακής ακτινοβολίας, ο Thomas Auer θεωρεί ότι στις εσωτερικές πισίνες εξαρτάται από τη θερμοκρασία του «ουρανού» (T_{sky}), ενώ αντίστοιχα στις εσωτερικές πισίνες λαμβάνεται υπόψη ότι η πισίνα εξαρτάται πλήρως από το κτιριακό κέλυφος (και ύπαρξη παραθύρων ταυτόχρονα). Οι υπολογισμοί μέσω των οποίων εξάγονται τα αποτελέσματα από το πρόγραμμα, στηρίζονται στο νόμο Stefan – Boltzmann. Η σχέση που εισάγει ο Auer είναι η σχέση [3].

$$\dot{Q}_{rad} = A_p \cdot \varepsilon_w \cdot \sigma \cdot (T_p^4 - T_{sky}^4) \quad [3]$$

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι τιμές των συντελεστών ε_w και σ , λαμβάνουν τις τιμές:

$$\varepsilon_w = 0,9 \quad \text{και} \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

Ρυθμός ροής θερμότητας από εισαγωγή φρέσκου νερού

Η εισαγωγή φρέσκου νερού και οι απώλειες θερμότητας λόγω αυτής της ενέργειας, υπολογίζονται με βάση τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο και τη θεώρηση ότι το νερό της πισίνας συμπεριφέρεται ως ασυμπίεστο ρευστό. Η σχέση 5 χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, συνυπολογίζοντας τη μάζα του νερού που εισάγεται (m_w) και της θερμοκρασίας του νερού που εισάγεται (T_{Fr}).

$$\dot{Q}_{Fr} = \dot{m}_{Fr} \cdot C_{p,w} (T_p - T_{Fr}) \quad [5]$$

Ρυθμός ροής θερμότητας από το σύστημα θέρμανσης

Το βοηθητικό σύστημα θέρμανσης, ανάλογα με τις απώλειες που σημειώνονται λόγω της εισαγωγής μάζας φρέσκου νερού, προσδιορίζει τη συνολική ποσότητα ενέργειας που μεταφέρεται (Q_{In}), με δεδομένα τη ποσότητα θερμαινόμενου νερού που εισάγεται στη πισίνα (m_{In}) και τη θερμοκρασία του (θ_{In}). Η σχέση 4.8 χρησιμοποιείται από το type του TRNSys για αυτή την εκτίμηση.

$$\dot{Q}_{In} = \dot{m}_{In} \cdot C_{p,w} (T_p - T_{In}) \quad [4.8]$$

Θερμικά Κέρδη από μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία

Ο Auer στο πρόγραμμά του, θεωρώντας ότι τα θερμικά κέρδη από μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία αντιστοιχούν στην ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται από διαφανή στοιχεία του κτιριακού κελύφους (τζάμια, πλαστικά καλύμματα κτλ), προτείνει αυτή η παράμετρος να λαμβάνεται υπόψη και να εισάγεται μόνο στις

εσωτερικές πισίνες. Μάλιστα, το ποσό της ενέργειας αυτής προκύπτει από σύνδεση του type 344a και του type 56. Το type 56 χρησιμοποιείται για ενεργειακές προσομοιώσεις και εκτιμήσεις κτιρίων.

Στη περίπτωση των εξωτερικών πισινών, προτείνει τη σχέση 4.9 για υπολογισμό των κερδών, παρόλο που στη συνέχεια δεν το συμπεριλαμβάνει στη λίστα των δεδομένων που εισάγονται στο πρόγραμμα.

$$\dot{Q}_{sol} = \varepsilon_w \cdot A_{tot} \cdot E_{Glob,H} \quad [4.9]$$

Όπου A_{tot} , η συνολική υδάτινη επιφάνεια,

$E_{Glob,H}$, συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια

ε_w , συνολικός συντελεστής εξάτμισης του νερού ($\varepsilon_w = 0,9$)

Υπολογισμός αποθηκευμένης ενέργειας

Το TRNSYS θεωρεί ότι οι ρυθμοί ροής ενέργειας και μάζας που σημειώνονται στο σύστημα πισίνα - εξωτερικό περιβάλλον, αντικατοπτρίζουν ένα πλήρες ενεργειακό ισοζύγιο. Το ενεργειακό αυτό ισοζύγιο, απαιτεί να λαμβάνονται υπόψη οι θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ αρχικών και τελικών συνθηκών. Η αποθηκευμένη λοιπόν ενέργεια, όπως αυτή προκύπτει από την αρχή διατήρησης της ενέργειας, υπολογίζεται μέσω της σχέσης 4.10

$$dE = m_p \cdot C_{w,p} \cdot (T_{p,0} - T_p) \quad [4.10]$$

Όπου, m_p , η μάζα του νερού της πισίνας

$C_{w,p}$, ειδική θερμότητα του νερού

$T_{p,0}$ και T_p , αρχική και τελική θερμοκρασία νερού (από την αρχή ως το τέλος της προσομοίωσης)

dE , αλλαγή της εσωτερικής ενέργειας (από την αρχή ως το τέλος της προσομοίωσης)

Ρυθμός ροή θερμότητας σε περιπτώσεις που η υδάτινη επιφάνεια καλύπτεται από ειδικό θερμικό κάλυμμα.

Το συγκεκριμένο type, έχει δημιουργηθεί με ενσωματωμένη την επιλογή της χρήσης καλύμματος στην πισίνα. Γεγονός φυσικό αν αναλογιστεί κανείς ότι το πρόγραμμα έχει αναπτυχθεί στη Γερμανία, μία χώρα η οποία έχει μεγάλη παράδοση εδώ και αρκετές δεκαετίες στις εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας στις πισίνες όπως η χρήση θερμικών καλυμμάτων, η εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών διαφόρων τύπων κ.ά.

Στη συγκεκριμένη λοιπόν περίπτωση, ο Auer θεωρεί ότι οι απώλειες εξάτμισης (Q_{Evap}) όταν η επιφάνεια της πισίνας καλύπτεται, ελαχιστοποιούνται. Ο ρυθμός ροής της θερμότητας που χάνεται λοιπόν, περιορίζεται στη συμβολή των φαινομένων της αγωγής (Q_{Conv}), μεγάλου μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία (Q_{Rad}) και επαφής των

περιμετρικών τοιχωμάτων της πισίνας και του πυθμένα με το έδαφος (Q_{Cond}). Σημαντικό κρίνεται το γεγονός και πρέπει να αναφερθεί, ότι στο συγκεκριμένο ισοζύγιο λαμβάνεται υπόψη ως θερμικό κέρδος θεωρείται η μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία (Q_{Sol}). Ο υπολογισμός τους προκύπτει με βάση τη θερμοκρασία που καταγράφεται στη κορυφή του καλύμματος. Η μικρή μάζα του καλύμματος, συμβάλει στο να θεωρηθεί ένα σταθερό προφίλ θερμοκρασίας οποιαδήποτε στιγμή, συνεπώς ισχύει η σχέση :

$$0 = \dot{Q}_{\text{conv}} + \dot{Q}_{\text{Rad}} + \dot{Q}_{\text{cond}} - \dot{Q}_{\text{sol}} \quad [4.11]$$

Η εξοικονόμηση της ενέργειας στη περίπτωση χρήσης καλύμματος, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του καλύμματος που χρησιμοποιείται, τα οποία εισάγονται επίσης ως δεδομένα εισαγωγής στο πρόγραμμα.

4.2.2. Περιγραφή Παραμέτρων

Οι παράμετροι που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη προσομοίωση και έχουν την ικανότητα με μικρές διαφοροποιήσεις να μεταβάλλουν σε μεγάλο ποσοστό τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και την ενεργειακή εκτίμηση, σχετίζονται με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της πισίνας και του καλύμματος (σε περίπτωση που χρησιμοποιείται), το ύψος των μετρήσεων της ταχύτητας και τη διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου της πισίνας.

Πίνακας 4.1. – Παράμετροι Προσομοίωσης Κολυμβητικής Δεξαμενής [Assessment for an indoor and outdoor swimming pool, Thomas Auer, 1996, Germany]

Πίνακας Παραμέτρων Προσομοίωσης			
Αρίθμηση Παραμέτρων	Σύμβολο	Περιγραφή	Μονάδα
1	$\theta_{p,0}$	Αρχική θερμοκρασία νερού πισίνας	°C
2	A_{total}	Συνολική επιφάνεια πισίνας	m ²
3	V	Όγκος πισίνας	m ³
4	mode _N	Διάκριση μεταξύ ανοιχτής και κλειστής πισίνας	-
5	ϵ_{cov}	Συντελεστής εκπομπής καλύμματος	-
6	a_{cov}	Συντελεστής απορρόφησης καλύμματος	-
7	λ_{cov}	Θερμική αγωγιμότητα καλύμματος	kJ/(h·m·k)
8	δ_{cov}	Πάχος καλύμματος	M
9	$h_{M,0}$	Ύψος μετρήσεων ταχύτητας	M
10	F_{Surr}	Παράγοντας περιβάλλοντος	-

Για τις παραμέτρους της λίστας, σημειώνονται τα ακόλουθα :

1. Εννοείται η αρχική θερμοκρασία του νερού στην αρχή της προσομοίωσης
4. Η παράμετρος αυτή διαχωρίζει το είδος της πισίνας για την οποία γίνεται η εκτίμηση :

$\text{mode}_N = 0 \rightarrow \text{indoor pool}$

$\text{mode}_N = 1 \rightarrow \text{outdoor pool}$

9 – 10. Η εξάτμιση και αγωγή αποτελούν τις κύριες αιτίες απώλειας θερμότητας στις ανοιχτές πισίνες. Οι σχέσεις υπολογισμού για την εξαγωγή αποτελεσμάτων βασίζονται σε ύψος μετρήσεων 3m. Επειδή όμως τα περισσότερα μετεωρολογικά δεδομένα δεν λαμβάνονται σε συγκεκριμένο ύψος, πρέπει να εισαχθεί συντελεστής διόρθωσης (corrections factor). Η τιμή του συντελεστή αυτού, εξαρτάται από τα περιχώρα της πισίνας (Surroundings). Στον πίνακα 4.2. παρουσιάζονται οι τυπικές τιμές που λαμβάνει ο συντελεστής ανάλογα την περιοχή εγκατάστασης του υπό εξέταση κολυμβητηρίου.

Πίνακας 4.2. – Τυπικές τιμές surroundings factor [Παράμετροι Προσομοίωσης Κολυμβητικής Δεξαμενής [Assessment for an indoor and outdoor swimming pool, Thomas Auer, 1996, Germany]

Τιμές Surroundings Factor	
Περιοχή με μεγάλη κτιριακή πυκνότητα	2
Περιοχή με μέτρια κτιριακή πυκνότητα	2 – 4
Περιοχή με δέντρα ή λόφους	3 – 6
Ελεύθερες περιοχές	6 – 8
Ελεύθερες υδάτινες επιφάνειες	8 – 10

4.2.3. Περιγραφή Δεδομένων εισαγωγής

Τα δεδομένα που απαιτείται να εισαχθούν για την θερμική εκτίμηση των πισινών, είτε ανοιχτών είτε κλειστών, είναι όμοια. Ανάλογα με το type που χρησιμοποιείται (344a ή 344b), το πρόγραμμα διαβάζει όσα απαιτούνται για να εξαχθούν τα αποτελέσματα. Ο πίνακας 4.3. αναφέρει τα δεδομένα εισαγωγής, όπως αυτά παρουσιάζονται στο πρόγραμμα.

Πίνακας 4.3. – Λίστα Δεδομένων Εισαγωγής κλειστών και ανοιχτών πισινών στο πρόγραμμα

Δεδομένα Εισαγωγής			
Αρίθμηση δεδομένων	Σύμβολο	Περιγραφή	Μονάδα μέτρησης
1	θ_{amb}	Θερμοκρασία περιβαλλοντικού αέρα	$^{\circ}\text{C}$
2	φ_{amb}	Σχετική υγρασία περιβάλλοντος	%
3	W_{amb}	Ταχύτητα αέρα περιβάλλοντος	m/s
4	$E_{Glob,H}$	Συνολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια	kJ/hm^2
5	θ_{sky}	Θερμοκρασία ουρανού (T_{sky})	$^{\circ}\text{C}$
6	θ_{wall}	Θερμοκρασία επιφανειών που περικλείουν τη πισίνα – τοίχοι (T_{walls})	$^{\circ}\text{C}$
7	Q_{sol}	Κέρδη μικρού μήκους κύματος ηλιακής ακτινοβολίας	kJ/h
8	$mode_1$	Εκφράζει τη δραστηριότητα στην επιφάνεια του νερού	-
9	m_{fr}	Ρυθμός ροής μάζας φρέσκου νερού που εισάγεται	kJ/h
10	θ_{fr}	Θερμοκρασία φρέσκου νερού	$^{\circ}\text{C}$
11	t_{open}	Ώρα έναρξης λειτουργίας της πισίνας	h
12	t_{close}	Ώρα λήξης λειτουργίας της πισίνας	h
13	N_{max}	Μέγιστος αριθμός ατόμων που χρησιμοποιούν τη πισίνα κατά τη διάρκεια 1 ημέρας	-
14	f_{cov}	Σχετική κάλυψη της επιφάνειας του νερού	-
15	m_{In}	Ρυθμός ροής μάζας από το σύστημα θερμότητας	kg/h
16	θ_{In}	Θερμοκρασία θερμαινόμενου νερού	$^{\circ}\text{C}$

1.και 2. Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία είτε του εσωτερικού χώρου (για τις κλειστές πισίνες), είτε η ατμοσφαιρική (για τις ανοιχτές).

3. Η ταχύτητα του αέρα λαμβάνεται υπόψη μόνο για τις ανοιχτές πισίνες. Δεδομένου ότι η ταχύτητα του αέρα είναι μια συνάρτηση του ύψους πάνω από το έδαφος και επίσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μικροκλίμα, εισήχθησαν επιπλέον δύο παράμετροι για επιπλέον ακρίβεια στα αποτελέσματα, τις παραμέτρους 9 και 10 από τον πίνακα 4.2. των παραμέτρων (ύψος μέτρησης και Surroundings Factor αντίστοιχα).

4. Η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των θερμικών κερδών από μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία σε εξωτερική πισίνα. Για την εσωτερική τα κέρδη αυτά υπολογίζονται μέσω του type 56 για τα κτίρια.
5. Θερμοκρασία του «ουρανού», που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ρυθμού θερμότητας από τη μεγάλου μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία.
6. Ο μέσος όρος της θερμοκρασίας των τοίχων που περιβάλλουν την πισίνα, για τον υπολογισμό της ροή θερμότητας από μεγάλου μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία στις εσωτερικές πισίνες.
7. Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται ως δεδομένο μόνο για την εκτίμηση στις εσωτερικές πισίνες. Στις εξωτερικές υπολογίζεται από το πρόγραμμα και αντιστοιχεί στα ηλιακά θερμικά κέρδη.
8. Τιμή που εκφράζει την κατάσταση στην επιφάνεια της πισίνας κατά την ώρα λειτουργίας της. Η δραστηριότητα στην υδάτινη επιφάνεια επηρεάζει άμεσα τα φαινόμενα της αγωγής και της εξάτμισης και για αυτό το λόγο, προτείνονται τιμές από την VDI (Verein Deutscher Ingenieure – Association of German Engineers) ανάλογα με τις συνθήκες :

$mode_1 = 0 \rightarrow$ calm water surface

$mode_1 = 1 \rightarrow$ slightly choppy water surface (private pool)

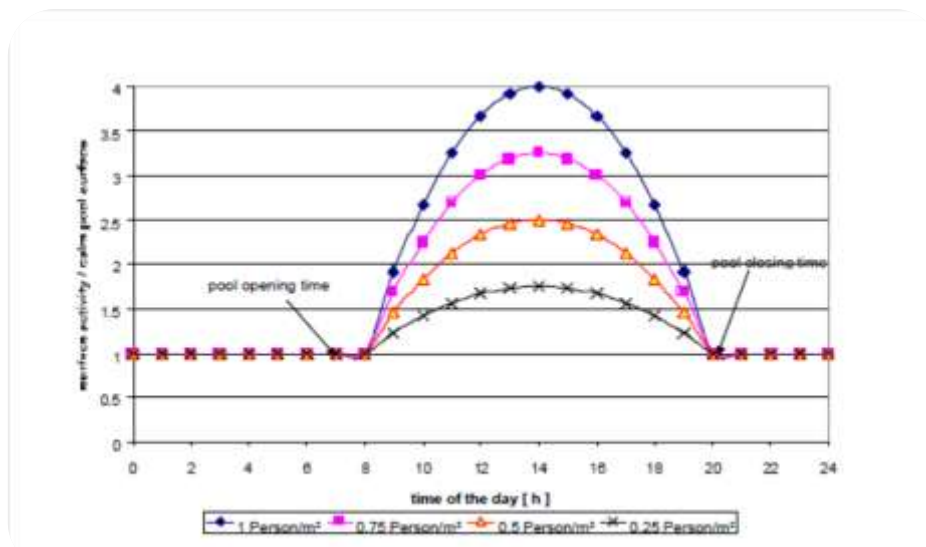
$mode_1 = 2 \rightarrow$ slightly choppy water surface (public indoor pool, normal pool occupancy)

$mode_1 = 3 \rightarrow$ moderately choppy water surface (fun pool)

$mode_1 = 4 \rightarrow$ very choppy water surface (artificially induced waves)

$mode_1 = -1 \rightarrow$ function of pool occupancy

Η επιλογή της τιμής -1 για την πληρότητα της πισίνας, οδηγεί στην κατασκευή ενός παραβολικού γραφήματος (εικόνα 6), για το οποίο απαιτείται η εισαγωγή των δεδομένων εισόδου 11,12 και 14 που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3. το γράφημα αυτό απεικονίζει τις διαφορετικές τιμές πληρότητας της πισίνας που καταγράφεται μες στη μέρα, δεδομένου ότι δεν χρησιμοποιείται συνεχώς ολόκληρη π.χ. σε περίπτωση που εκείνη την ώρα γυμνάζεται το κοινό. Η μέγιστες τιμές σημειώνονται το μεσημέρι και απόγευμα διότι εκείνες τις ώρες έχουν οι περισσότερες αγωνιστικές ομάδες προπόνηση. Κατασκευάζεται με βάση τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί για την ώρα έναρξης και λήξης της λειτουργίας της πισίνας.



Εικόνα 6 –Παράδειγμα παραβολικού γραφήματος που δημιουργεί το πρόγραμμα για απεικόνιση των διαφορετικών τιμών πληρότητας

14. Το ποσοστό της πισίνας που καλύπτεται αφορά τη χρήση καλύμματος κατά τη διάρκεια που η πισίνα δεν χρησιμοποιείται (εξαρτάται από ώρα έναρξης και λήξης λειτουργίας της πισίνας καθημερινά). Παίρνει τιμές 1 για χρήση καλύμματος και 0 όταν η πισίνα που εξετάζεται δεν χρησιμοποιεί κάλυμμα.

15. και 16. Αφορά τη ποσότητα θερμαινόμενου νερού που εισάγεται στην πισίνα μέσω των αντλιών ύστερα από θέρμανση από τον καυστήρα και η θερμοκρασία που έχει το ζεστό νερό πριν εισέλθει στη πισίνα.

4.2.4. Περιγραφή των αποτελεσμάτων

Το type 344 παρέχει τη δυνατότητα στον χρήστη να εκτιμήσει τα θερμικά κέρδη και τις απώλειες στην πισίνα που μελετά, όπως επίσης υπολογίζεται η μέση τιμή της θερμοκρασίας του νερού που προκύπτει σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί. Η λίστα των παραμέτρων που υπολογίζονται παρουσιάζεται στον πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4. – Λίστα παραμέτρων

Παράμετροι Υπολογισμού			
Αρίθμηση δεδομένων	Σύμβολο	Περιγραφή	Μονάδα μέτρησης
1	θ_p	Θερμοκρασία νερού πισίνας	°C
2	\dot{m}_{Evap}	Ρυθμός ροής μάζας από εξάτμιση	%
3	\dot{Q}_{Evap}	Ρυθμός ροής θερμότητας από εξάτμιση	m/s
4	\dot{Q}_{Con}	Ρυθμός ροής θερμότητας από αγωγή	kJ/hm ²
5	\dot{Q}_{Rad}	Ρυθμός ροής θερμότητας από μεγάλου μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία	°C
6	$\dot{Q}_{FrWater}$	Ρυθμός ροής θερμότητας από εισαγωγή φρέσκου νερού	°C
7	\dot{Q}_{Sol}	Κέρδη μικρού μήκους κύματος ηλιακής ακτινοβολίας	kJ/h
8	\dot{Q}_{In}	Ρυθμός ροής θερμότητας από το βοηθητικό σύστημα θέρμανσης	-
9	dE	Μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας από την έναρξη της προσομοίωσης	kJ/h
10	θ_p	Θερμοκρασία νερού πισίνας	°C
11	\dot{m}_{In}	Ρυθμός ροής μάζας θερμού νερού από το σύστημα θέρμανσης	H

Ο τρόπος με τον οποίο έχει κατασκευαστεί και αναπτυχθεί το TRNSYS, παρέχει τη δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει ο ίδιος ποιες παραμέτρους θέλει να υπολογίσει μέσω της προσομοίωσής του και κάνοντας ο ίδιος τις απαραίτητες συνδέσεις, να εξαχθούν μόνο τα αποτελέσματα που επιθυμεί.

4.3. Εφαρμογή στην ανοιχτή πισίνα των Χανίων

Η εισαγωγή των δεδομένων για την πισίνα των Χανίων έγινε με βάση τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της, στοιχεία τα οποία λήφθηκαν από τον υπεύθυνο μηχανοστασίου και τη Γραμματεία του Ναυτικού Ομίλου Χανίων.

Οι τιμές των παραμέτρων και δεδομένων εισόδου που απαιτεί το πρόγραμμα παρουσιάζεται στον πίνακα 4.5. που αναρτάται ακολούθως.

Πίνακας 4.5. – Στοιχεία της πισίνας των Χανίων που εισήχθησαν για την προσομοίωση

Παράμετροι Προσομοίωσης		Δεδομένα Εισαγωγής	
Παράμετρος	Τιμή πισίνας Χανίων	Δεδομένα Εισαγωγής	Τιμή πισίνας Χανίων
Αρχική θερμοκρασία νερού πισίνας $\theta_{p,0}$	20 °C	Θερμοκρασία περιβαλλοντικού αέρα θ_{amb}	17 °C
Συνολική επιφάνεια πισίνας A_{total}	1050 m ²	Σχετική υγρασία περιβάλλοντος φ_{amb}	61%
Όγκος πισίνας V	3600 m ³	Ταχύτητα αέρα περιβάλλοντος W_{amb}	1,6 m/s
Διάκριση μεταξύ ανοιχτής και κλειστής πισίνας $mode_N$	1	Συνολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια $E_{Glob,H}$	4600 kJ/h·m ²
Συντελεστής εκπομπής καλύμματος ϵ_{cov}	-	Θερμοκρασία ουρανού (T_{sky}) θ_{sky}	18
Συντελεστής απορρόφησης καλύμματος α_{cov}	-	Θερμοκρασία επιφανειών που περικλείουν τη πισίνα – τοίχοι (T_{walls}) θ_{wall}	-
Θερμική αγωγιμότητα καλύμματος λ_{cov}	-	Κέρδη μικρού μήκους κύματος ηλιακής ακτινοβολίας Q_{sol}	-
Πάχος καλύμματος δ_{cov}	-	Εκφράζει τη δραστηριότητα στην επιφάνεια του νερού $mode_1$	-1
Ύψος μετρήσεων ταχύτητας $h_{M,0}$	5	Ρυθμός ροής μάζας φρέσκου νερού που εισάγεται m_{fr}	430 kg/h
Παράγοντας περιβάλλοντος	3	Θερμοκρασία φρέσκου νερού θ_{fr}	15 °C
		Ώρα έναρξης λειτουργίας της πισίνας t_{open}	7 π.μ.
		Ώρα λήξης λειτουργίας της πισίνας t_{close}	23 μ.μ.
		Μέγιστος αριθμός ατόμων που χρησιμοποιούν τη πισίνα κατά τη διάρκεια 1 ημέρας N_{max}	200
		Σχετική κάλυψη της επιφάνειας του νερού f_{cov}	0
		Ρυθμός ροής μάζας από το σύστημα θερμότητας m_{In}	600000 kg/h
		Θερμοκρασία θερμαινόμενου νερού θ_{In}	27°C

Παράμετροι προσομοίωσης:

Η αρχική θερμοκρασία του νερού υπολογίστηκε με βάση τα στοιχεία και τα δεδομένα που δόθηκαν από τον υπεύθυνο μηχανοστασίου. Συγκεκριμένα, η

θερμοκρασία 20°C αντιστοιχεί στη θερμοκρασία που θα έχει φτάσει η πισίνα αν από την έναρξη λειτουργίας της στην αρχή της σεζόν (αρχές Σεπτεμβρίου) μέχρι τον Ιανουάριο που ξεκινά η προσομοίωση, αυτή μείνει εκτεθειμένη ως έχει, χωρίς να θερμαίνεται και να καλύπτεται.

Στην πισίνα των Χανίων δεν χρησιμοποιείται θερμικό κάλυμμα, και οι συγκεκριμένες παράμετροι μένουν κενές.

Δεδομένα Εισαγωγής:

Τα μετεωρολογικά δεδομένα που εισήχθησαν, προήλθαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και τους σχετικούς πίνακες του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK).

Όσο αφορά τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της πισίνας, λήφθηκαν από τον υπεύθυνο μηχανοστασίου του Κολυμβητηρίου Χανίων και τη Γραμματεία του Ναυτικού Ομίλου.

Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα

5.1. Αποτελέσματα προσομοίωσης Ανοιχτής πισίνας Κολυμβητηρίου Χανίων

Τα αποτελέσματα που επιλέχθηκαν να εξαχθούν είναι η θερμοκρασία της πισίνας, οι απώλειες λόγω εξάτμισης, αγωγής, ακτινοβολίας, εισαγωγής φρέσκου νερού, η συνολική ποσότητα νερού που χάνεται λόγω εξάτμισης, τα ηλιακά θερμικά κέρδη, η θερμότητα από το σύστημα θέρμανσης και η ποσότητα ζεστού νερού από το σύστημα θέρμανσης. Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για χρονικό διάστημα ενός χρόνου (8760 ώρες).

Θεωρήθηκε ότι η πισίνα αποτελεί αδιαβατικό σύστημα και εξετάστηκε επομένως ως αυτόνομη μονάδα, χωρίς να ληφθούν υπόψη οι δύο σκεπαστές πισίνες και οι απαιτήσεις τους, όπως επίσης και οι χώροι των αποδυτηρίων, γυμναστηρίων, κυλικείου, ιατρείου κτλ.

Χρησιμοποιήθηκαν κλιματολογικά δεδομένα πολλών χρόνων και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εξαγωγή αποτελεσμάτων που καλύπτουν μια μέση εκτίμηση των ενεργειακών απωλειών και κερδών κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κολυμβητηρίου σε αυτό το διάστημα και όχι μόνο για ένα συγκεκριμένο ημερολογιακό έτος. Εξάλλου, το κολυμβητήριο Χανίων, εξαιτίας των οικονομικών δυσκολιών που αντιμετωπίζει από το 2010, δεν είχε τη δυνατότητα λειτουργίας της 50άρας πισίνας για ολόκληρο το χρόνο. Από τον χειμώνα του 2008, η μεγάλη πισίνα λειτουργούσε με ολιγοήμερες διακοπές αρχικά, οι οποίες στη συνέχεια αυξήθηκαν σε μεγαλύτερα διαστήματα, εξαιτίας της έλλειψης απαραίτητης ποσότητας πετρελαίου. Τα έτη 2011 και 2012 μάλιστα, η λειτουργία της 50άρας κατά τους χειμερινούς μήνες (από τέλος Νοέμβρη έως αρχές Μάρτη) έμεινε εκτός λειτουργίας.

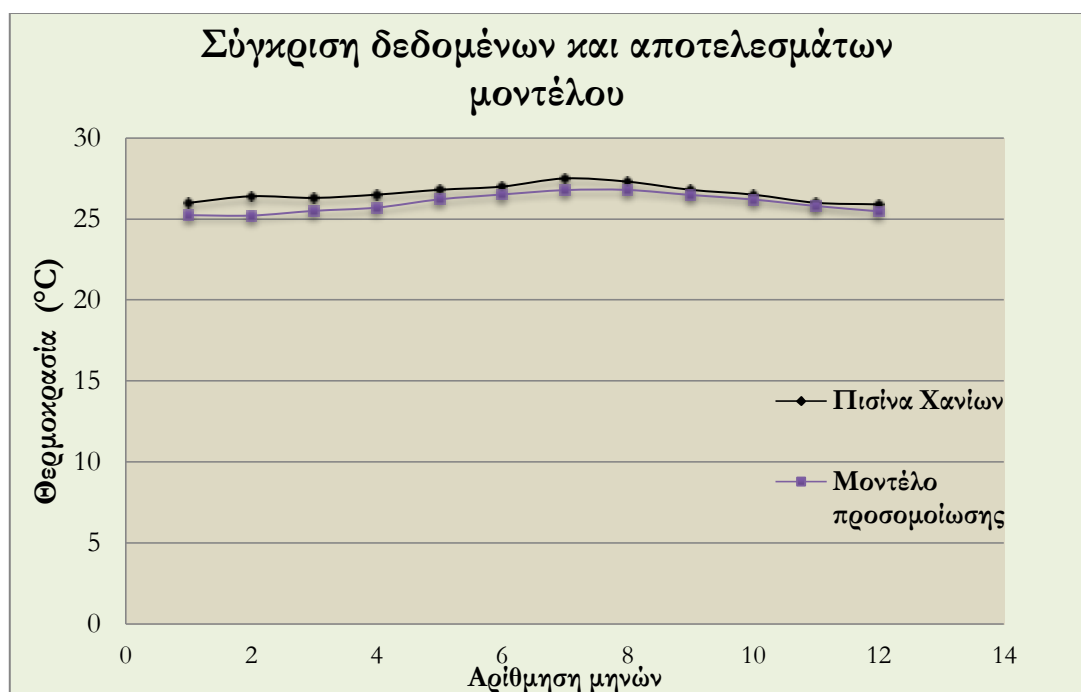
Η προσομοίωση λοιπόν για ένα μόνο έτος από το 2008 και μετά δεν καθίσταται εφικτή διότι δεν υπήρχαν καταγεγραμμένες οι τιμές θερμοκρασίας της πισίνας ώστε να γίνει με βάση αυτών επικύρωση των αποτελεσμάτων. Υπάρχουν ωστόσο καταγεγραμμένες μηνιαίες θερμοκρασίες της πισίνας από το 2000, ο μέσος όρος των οποίων χρησιμοποιείται στην επικύρωση των αποτελεσμάτων.

Ο πίνακας των θερμοκρασιών της πισίνας με τις οποίες αξιολογήθηκε το μοντέλο με βάση τα αποτελέσματα θερμοκρασιών που λήφθηκαν παρουσιάζεται ακολουθώντας, όπως επίσης και το σχετικό διάγραμμα στο οποίο γίνονται εμφανείς οι μικρής τάξης μεγέθους διαφορές.

Πίνακας 5.1. – Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες πισίνας

Μήνας	Δεδομένα θερμοκρασιών πισίνας Χανίων	Μοντέλο προσομοίωσης
Ιανουάριος	25.5	25.23
Φεβρουάριος	25.8	25.21
Μάρτιος	25.8	25.5
Απρίλιος	26	25.7
Μάιος	26.5	26.21
Ιούνιος	27	26.51
Ιούλιος	27.5	26.78
Αύγουστος	27.3	26.79
Σεπτέμβρης	26.8	26.48
Οκτώβρης	26.5	26.2
Νοέμβρης	26	25.8
Δεκέμβρης	25.8	25.47
Ιανουάριος	25.5	25.23

Το αντίστοιχο γράφημα 5.1. απεικονίζει τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του νερού κατά τη διάρκεια του έτους, όπως επίσης και την απόκλιση μεταξύ των τιμών.



Γράφημα 5.1

Ο μέσος όρος των δεδομένων θερμοκρασίας της πισίνας είναι 26,58 °C ενώ των θερμοκρασιών 25,99°C. Η μέση απόκλιση προκύπτει λοιπόν 0,42 και ποσοστό 2,2%. Αναλογιζόμενοι ότι μικρές μεταβολές των πολλών παραγόντων από τις οποίες

εξαρτάται η θερμοκρασία του νερού, έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν σε σημαντικό ποσοστό τη θερμοκρασία του, γίνεται αντιληπτό ότι η προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε αποδίδει αποτελέσματα ικανοποιητικής ακρίβειας.

Στον πίνακα 5.1. που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που εξήχθηκαν για τη προσομοίωση ενός έτους, όπως και η ανάλυση καταναλώσεων, κερδών και θερμοκρασίας για κάθε μήνα ξεχωριστά.

Αποτελέσματα Προσομοίωσης εξωτερικής πισίνας Κολυμβητηρίου Χανίων

Παράμετρος	Ετήσια	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης	Οκτώβρης	Νοέμβρης	Δεκέμβρης
Θερμοκρασία νερού (°C)	26	25,23	25,21	25,5	25,7	26,21	26,51	26,78	26,79	26,48	26,2	25,8	25,47
Μάζα νερού που εξατμίζεται (m³)	3.565,69	314,18	303,15	342,64	333,50	330,52	306,40	293,93	261,49	254,54	266,96	261,26	297,38
Απώλειες λόγω εξάτμισης (MWh)	2.420,13	213,68	206,20	232,98	226,53	224,26	207,74	199,15	177,16	172,59	181,14	177,47	202,16
Απώλειες λόγω αγωγής (MWh)	852,12	148,34	153,27	145,66	117,26	52,30	7,54	-31,07	-17,60	19,57	46,97	84,70	125,51
Απώλειες λόγω ακτινοβολίας (MWh)	727,20	90,61	76,10	77,69	63,59	48,10	34,71	27,70	32,49	51,73	74,55	67,88	82,42
Απώλειες λόγω εισαγωγής φρέσκου νερού (MWh)	37,45	3,19	2,44	3,07	3,25	3,66	3,67	3,75	3,35	3,02	2,94	2,53	2,60
Κατανάλωση συστήματος θέρμανσης (MWh)	-2.302,62	-391,46	-362,53	-329,27	-252,39	-142,83	0	0	0	-71,17	-152,35	-252,41	-346,22
Μάζα ζεστού νερού-σύστημα θέρμανσης(m³)	764.700	87.100	78.400	86.800	84.000	56.800	0	0	0	84.000	86.800	84.000	86.800
Κέρδη ηλιακής ακτινοβολίας (MWh)	-1.682,52	-74,64	-78,13	-131,13	-156,24	-192,18	-189,54	-206,54	-261,49	-169,99	-148,99	-75,38	-62,28
Τόνοι πετρέλαιο (tn)	359,64	61,14	56,62	51,43	39,4	22,3	0	0	0	15,3	23,8	39,74	54,08

Πίνακας 5.1. – Αποτελέσματα προσομοίωσης

Στον πίνακα παρατηρείται ότι κατά τους μήνες Ιούνιο – Ιούλιο – Αύγουστο, το σύστημα θέρμανσης διακόπτει τη λειτουργία του, δεν καταναλώνεται πετρέλαιο για τη θέρμανση του νερού αλλά η θερμοκρασία που παρατηρείται οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στην ηλιακή ακτινοβολία (μικρού μήκους κύματος). Η εισαγωγή φρέσκου νερού συνεχίζεται κανονικά. Το αρνητικό πρόσημο στις γραμμές των κερδών και στην συμμεταφορά κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο αντικατοπτρίζουν τη συνεισφορά ενέργειας στο σύστημα κατά τη προσομοίωση.

Οι συνολικές ετήσιες ενεργειακές απώλειες ανέρχονται σε 4036.9 MWh, ενώ η ενέργεια που προσφέρεται από το σύστημα θέρμανσης και την ηλιακή ακτινοβολία καταγράφεται στις 3.644,71 MWh και 1.682,8 MWh αντίστοιχα.

Το μεγαλύτερο μέρος των συνολικών απωλειών ευθύνεται όπως αναμενόταν στην εξάτμιση. Συγκεκριμένα, από τις 4.036,9 MWh, οι 2.420,13 MWh χάνονται λόγω εξάτμισης (ποσοστό 60 % επί των συνολικών), με τη συμμεταφορά να ακολουθεί στις 852,12 MWh (21,1 % επί των συνολικών).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι περισσότερες απώλειες λόγω εξάτμισης σημειώνονται τον Μάρτιο (232.89 MWh) όμως τον Ιανουάριο απαιτείται περισσότερη ενέργεια από το σύστημα θερμότητας (391,46 MWh έναντι 329.27 MWh τον Μάρτιο). Το γεγονός αυτό εξηγείται αν παρατηρήσει κανείς τη συνεισφορά από την ηλιακή ενέργεια : τον Ιανουάριο τα ηλιακά κέρδη είναι 74,9 MWh ενώ τον Μάρτιο 131,13 MWh, συνεισφέροντας έτσι πολύ περισσότερο στη θέρμανση του νερού και λιγότερη κατανάλωση πετρελαίου. Φυσικό επακόλουθο λοιπόν είναι και οι μεγάλες ποσότητες νερού που εξατμίζονται και πρέπει να αναπληρώνονται κατά τους μήνες αυτούς. Τον Μάρτη συγκεκριμένα εξατμίζονται 342,64 m³ νερό και τον Ιανουάριο αντίστοιχα 314,18 m³.

Το μήνα Ιούλιο καταγράφεται η υψηλότερη θερμοκρασία στη πισίνα, με τη συνεισφορά της ηλιακής ακτινοβολίας να ανέρχεται σε 206,5 MWh. Όμως και τους καλοκαιρινούς μήνες, οι απώλειες από εξάτμιση είναι πολύ μεγάλες. Για τον μήνα Ιούλιο παραδείγματος χάρη, ανέρχονται σε 199,15 MWh, με 293,93 τόνους νερού να εξατμίζονται. Στη περίπτωση των καλοκαιρινών μηνών, παρατηρούνται επίσης μικρές απώλειες λόγω αγωγής (Ιούνιο – Σεπτέμβριο). Κατά τον Ιούλιο και τον Αύγουστο μάλιστα, παρατηρούνται κέρδη λόγω αγωγής, εξηγώντας και το αρνητικό πρόσημο στον πίνακα 5.1 στις δύο αυτές περιπτώσεις.

Σε αυτό το σημείο, κρίνεται απαραίτητο να επεξηγηθεί ότι η αναφορά στο σύστημα θέρμανσης και στις KWh κατανάλωσης, αντικατοπτρίζει το απαραίτητο θερμικό φορτίο σε MWh κατανάλωσης, οι οποίες πρέπει να προέλθουν από το σύστημα θέρμανσης για την εξοικονόμηση των απωλειών και την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας του νερού. Η αναγωγή σε τόνους πετρελαίου πραγματοποιείται με δεδομένο την απόδοση του καυστήρα στο υπάρχον σύστημα θέρμανσης του κολυμβητηρίου, η οποία καταγράφεται 0,65 (65%). Η χρόνια και συνεχής καταπόνηση του καυστήρα από το 1991, ευθύνεται για το χαμηλό αυτό ποσοστό, γεγονός που δυσχεραίνει περεταίρω την ήδη επιβαρημένη κατάσταση της πισίνας.

Ακολουθούν οι μαθηματικές πράξεις για αναγωγή του θερμικού φορτίου κατανάλωσης που προέκυψε από τη προσομοίωση (Q_{Aux}), σε τόνους πετρελαίου.

10.200 kcal/kg (κατώτερη θερμογόνος δύναμη πετρελαίου) \cdot **0.83 kg/L** (πυκνότητα πετρελαίου) = **8466 kcal / L**

8466 kcal / L \cdot 4,18 kJ/kcal = 35387 kJ/L

Με βάση την αντιστοιχία 1KWh = 859,9 kcal, προκύπτει:

8466 kcal / L / 859,9 kcal/KWh = 9.84, τιμή η οποία πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή απόδοσης του λέβητα, δίνει την αντιστοιχία KWh/L για το εκάστοτε λέβητα, σύμφωνα με την απόδοσή του.

Συνεπώς, **9,84 \cdot 0.65 = 6,396 KWh/L**

Στη συγκεκριμένη λοιπόν περίπτωση, το θερμικό φορτίο των 2302,62 MWh αντιστοιχεί σε $2302,62 \cdot (1/6,396) = 359650 \text{ L oil} = 359,65 \text{ tn oil}$.

Με τον ίδιο τρόπο, υπολογίστηκαν οι μηνιαίες τιμές και συμπληρώθηκε η τελευταία γραμμή του πίνακα 5.1.

Η απαραίτητη συνεπώς ποσότητα πετρελαίου σε ετήσια βάση για τη διατήρηση της πισίνας στους 26 °C σημειώνεται στους 360 τόνους περίπου.

Μέσα από τα παραπάνω, εύκολα συνάγεται το συμπέρασμα ότι οι ποσότητες ενέργειας που απαιτούνται για την εύρυθμη λειτουργία της πισίνας είναι τεράστιες. Επισημάνεται επίσης ξανά το γεγονός ότι η προσομοίωση αυτή και οι ανωτέρω ενεργειακές απαιτήσεις αφορούν μόνο την ανοιχτή 50άρα πισίνα, η οποία καταναλώνει και τη περισσότερη ποσότητα πετρελαίου, οδηγώντας στη κατά διαστήματα σε διακοπή λειτουργίας της. Η εύρεση συνεπώς τρόπων ώστε να εξοικονομείται ενέργεια και να καθίσταται δυνατό να λειτουργεί καθόλη τη διάρκεια του έτους, κρίνεται απαραίτητη.

Τα σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας που προτείνονται και εξετάζονται αφορούν στη χρήση θερμικού καλύμματος τις βραδινές ώρες που η πισίνα δεν χρησιμοποιείται, στη μείωση του όγκου της με μπάζωμα στο βαθύ μέρος της και τη χρήση ηλιακών συλλεκτών και σύνδεσή τους με το θερμικό σύστημα της πισίνας για απευθείας παροχή θερμού νερού στη πισίνα.

5.2. Σενάριο Εξοικονόμησης Ενέργειας 1^ο : Αγορά και τοποθέτηση θερμικού καλύμματος

Η πρώτη επιλογή για μείωση των απωλειών και των καταναλώσεων αποσκοπεί στην αγορά και τοποθέτηση ισοθερμικού καλύμματος τις ώρες που η πισίνα δεν λειτουργεί. Το κάλυμμα συγκεκριμένα θα χρησιμοποιείται αμέσως μετά το κλείσιμο της πισίνας, στις 23 μ.μ. για 8 ώρες, μέχρι τις 7 π.μ. που θα ανοίγει η πισίνα ξανά.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του καλύμματος ακολουθούν στον πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2. – Τεχνικά Χαρακτηριστικά ισοθερμικού καλύμματος

Τεχνικά χαρακτηριστικά καλύμματος	
Συνολικό Πάχος	0,006 m (6 mm)
Πάχος στρώματος φυσαλίδων	0,004 (4 mm)
Πάχος φιλμ	0,002 (2 mm)
Συντελεστής εκπομπής	0,6
Συντελεστής απορρόφησης	0,6
Θερμική αγωγιμότητα	0,1
Αριθμός φυσαλίδων ανά m ²	1029
Βάρος ανά m ²	736 gr ± 10%

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με δωρη χρήση του καλύμματος καθημερινά, παρουσιάζονται στον πίνακα 5.3. Σημειώνονται τόσο οι ετήσιες τιμές , όσο και οι μηνιαίες καταναλώσεις.

Αποτελέσματα Προσομοίωσης εξωτερικής πισίνας του κολυμβητηρίου Χανίων με χρήση θερμικού καλύμματος (Σενάριο 1)

Παράμετρος	Ετήσια	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης	Οκτώβρης	Νοέμβρης	Δεκέμβρης
Θερμοκρασία νερού (°C)	26,55	25,65	25,65	25,91	26,2	26,8	26,9	26,95	26,96	26,71	26,46	26,32	25,87
Μάζα νερού που εξατμίζεται (m³)	1.217,99	124,57	117,37	130,4	116,53	103,7	93,68	80,88	73,86	79,94	83,83	96,3	118,4
Απώλειες λόγω εξατμίσσης (MWh)	826,50	84,58	79,70	88,52	79,09	70,35	63,54	54,84	50,08	54,22	56,86	65,34	80,37
Απώλειες λόγω αγωγής (MWh)	507,50	69,11	68,93	72,01	57,11	36,81	21,51	-9,82	-12,33	23,82	30,31	43,6	62,17
Απώλειες λόγω ακτινοβολίας (MWh)	325,77	41,13	35,65	35,35	28,56	21,51	15,5	11,52	12,83	21,89	32,93	30,97	38,26
Απώλειες εισαγωγής φρέσκου νερού (MWh)	13,93	1,88	1,20	1,36	1,25	1,16	1,08	0,96	0,88	0,92	0,95	1,06	1,26
Κατανάλωση συστήματος θέρμανσης (MWh)	-1.433	-213,3	-187,02	-196,4	-165,13	-132,78	0	0	0	-97,97	-119,9	-141,1	-179,4
Μάζα ζεστού νερού-σύστημα θέρμανσης(m³)	764.700	87.100	78.400	86.800	84.000	86.800	0	0	0	84.000	86.800	84.000	86.800
Κέρδη ηλιακής ακτινοβολίας (MWh)	-1.681,59	-73,69	-78,14	131,13	-156,24	-192,19	-189,55	-206,51	197,5	-169,99	-148,98	-75,37	-62,29
Κατανάλωση πετρελαίου(tn)	223,8	33,32	29,21	30,68	25,72	20,74	0	0	0	11,12	18,73	22,04	28,02

Πίνακας 5.3. – Αποτελέσματα προσομοίωσης με χρήση θερμικού καλύμματος

Στην περίπτωση χρήσης του θερμικού καλύμματος, οι ετήσιες ενεργειακές απώλειες της πισίνας ανέρχονται σε 1.673,44 MWh. Τα ηλιακά θερμικά κέρδη δεν μεταβάλλονται όπως είναι λογικό αλλά παραμένουν στις 1.682 MWh περίπου. Σημαντική μείωση όμως καταγράφεται στις απαιτήσεις του συστήματος θέρμανσης, οι οποίες σε αυτή τη περίπτωση είναι 1.433 MWh, με συνολική μείωση πάνω από 800 MWh.

Πιο συγκεκριμένα, οι συνολικές ενεργειακές απώλειες μειώνονται κατά 37,8% (869 MWh), με μεγαλύτερη μείωση να σημειώνουν οι απώλειες λόγω εξάτμισης κατά 1563,23 MWh (65,9%) και της αγωγής κατά 344,8 MWh (40,5%).

Τοποθέτηση του καλύμματος κατά τις βραδινές μόνο ώρες, δεν μεταβάλλει τις απώλειες από ηλιακή ακτινοβολία, η τιμή των οποίων παραμένει σταθερή στις 325 MWh. Αυτό που έχει όμως μεγάλη σημασία, είναι η μείωση της ποσότητας νερού που εξατμίζεται κατά περίπου 1000 m³. Χωρίς κάλυμμα χάνονται κάθε χρόνο 3.564,69 m³ νερού, ενώ με τη καθημερινή χρήση καλύμματος μειώνονται στα 1.217,99 m³, ελάττωση κατά 65,8%.

Συνακόλουθα, παρατηρείται μια μικρή αύξηση στη μέση θερμοκρασία του νερού της πισίνας κατά 0,5 °C, η οποία όμως λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας του νερού, εάν έπρεπε να επιτευχθεί με ενέργεια από καύσιμη ύλη, τότε θα χρειαζόταν κατανάλωση πολλών τόνων πετρελαίου.

Οι τόνοι πετρέλαιο που αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο θερμικό φορτίο που υπολογίστηκε είναι :

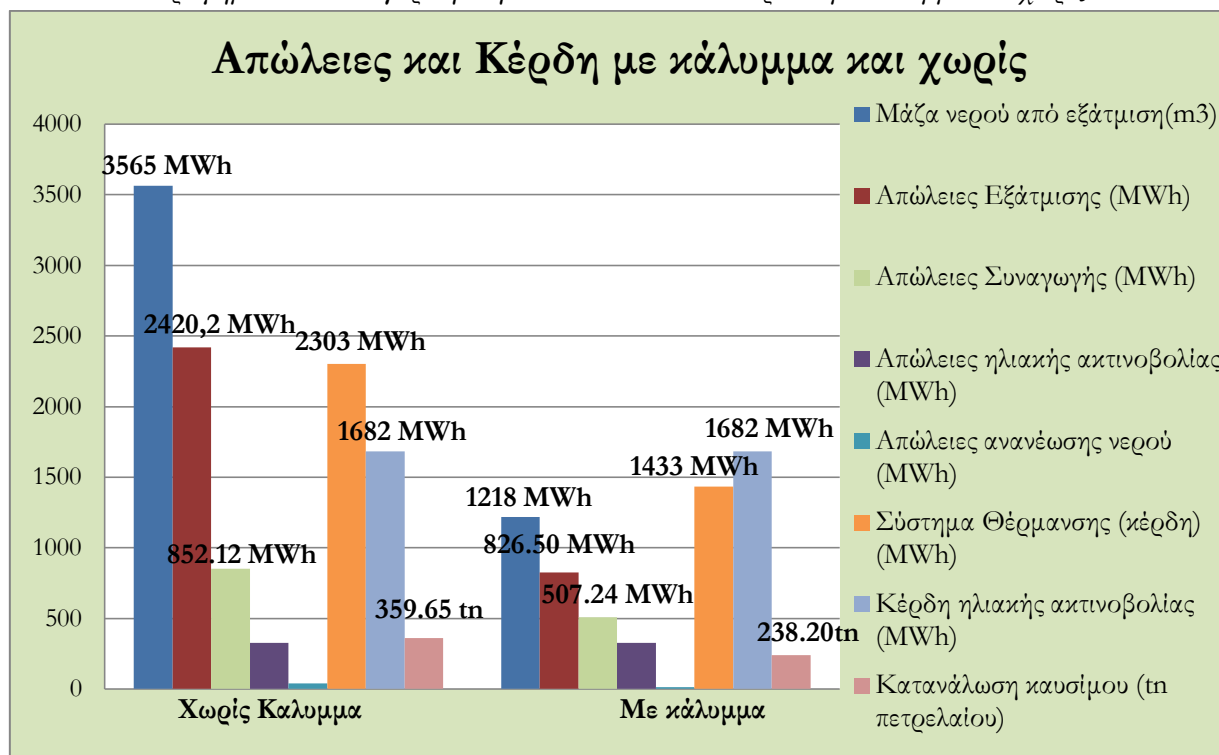
$$1433 \cdot (1/6,396) = 238200 \text{ L oil} = 238,2 \text{ tn oil}.$$

Η μεγάλη αυτή διαφορά στη καταναλισκόμενη ποσότητα πετρελαίου αυτή τη στιγμή (360 τόνοι), με αυτή που προκύπτει από τη χρήση του καλύμματος (238,2 τόνοι), αποδεικνύει έμπρακτα την τεράστια ενεργειακή εξοικονόμηση μέσω του καλύμματος και εξηγεί το γεγονός ότι μόνο λίγες περιπτώσεις ανοιχτών πισινών αυτή τη στιγμή παγκοσμίως έχουν απομείνει να μην επιλέγουν την μέθοδο αυτή.

Παρατηρώντας τις μηνιαίες τιμές γίνεται ακόμη περισσότερο αισθητή η διαφορά αφού με τη χρήση καλύμματος, οι μεγαλύτερες απώλειες λόγω εξάτμισης σημειώνονται επίσης τον Μάρτιο αλλά με σημαντική μείωση τόσο στις ενεργειακές απώλειες λόγω εξάτμισης και αγωγής, όσο και στην μηνιαία κατανάλωση καυσίμου. Ενδεικτικά, για τον μήνα Μάιο η εξοικονόμηση σε τόνους πετρελαίου ανέρχεται σε 20,75 τόνους, από 51,5 σε 31,7 τόνους. Ανάλογη μείωση σημειώνεται κατά τη διάρκεια όλων των μηνών όπως συνοψίζεται στον πίνακα 5.3.

Στο γράφημα που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά οι διαφορές στις ενεργειακές απώλειες και κέρδη που σημειώνονται με τη χρήση και χωρίς του θερμικού καλύμματος.

Γράφημα 5.1. – Σύγκριση ετήσιων απωλειών και κερδών με κάλυμμα και χωρίς



5.3. Σεναρίο Εξοικονόμησης Ενέργειας 2^ο : Μείωση όγκου της πισίνας

Στη περίπτωση αυτή, μελετάται η ενέργεια που εξοικονομείται, αν μειωθεί ο όγκος της πισίνας με το να μπαζωθεί και να έχει όλη ομοιόμορφο βάθος στα 2,20 m. Σε αυτή τη περίπτωση, οι διαστάσεις της πισίνας, διαφοροποιούνται ως εξής :

Πίνακας 5.4 . – Διαστάσεις και λειτουργικά χαρακτηριστικά πισίνας μετά την μείωση του όγκου

	Πριν την μετατροπή	Μετά την μετατροπή
Επιφάνεια (παραμένει ως έχει – μήκος και πλάτος δεν επηρεάζονται)	1050 m ²	1050 m ²
Βάθος	2,20m ως τη μέση, κεκλιμένα μέχρι τα 4,10m	2,20 m
Όγκος	3600 m ³	2310 m ³
Απαιτούμενη ποσότητα φρέσκου νερού	430 L/h	275 L/h
Ρυθμός ροής θερμού νερού από σύστημα θέρμανσης	600 m ³ /h	385,2 m ³ /h
Μείωση όγκου κατά 35,8 %		

Η απαιτούμενη ποσότητα φρέσκου νερού υπολογίστηκε για την εισαγωγή στο πρόγραμμα με βάση τη τωρινή λειτουργία του συστήματος ανανέωσης του νερού,

δηλαδή 2% του όγκου της εβδομαδιαίας. Με βάση τον νέο όγκο λοιπόν, η απαραίτητη ποσότητα φρέσκου νερού ανέρχεται εβδομαδιαίως σε :

$$Q_{FrWater} = 2310 * 2\% = 46,2 \frac{m^3}{εβδομάδα} = 6,6 \frac{m^3}{day} = 275 \frac{L}{h}$$

Ομοίως, ο ρυθμός ροής του θερμού νερού βασίζεται στον νέο όγκο. Η ποσότητα αυτή τη στιγμή που εισέρχεται στη πισίνα γίνεται μέσω δύο αντλιών, οι οποίες λειτουργούν ταυτόχρονα για 14 ώρες καθημερινώς, με ρυθμό εναλλαγής του συνολικού όγκου της πισίνας (3600 m³) σε 6 ώρες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εισαγωγή 600 m³/h θερμού νερού. Μετά την μετατροπή του όγκου, η εξοικονόμηση στον χώρο που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 35,8%. Συνεπώς, με τις υπάρχουσες αντλίες και σύστημα λέβητα – καυστήρα, ο ρυθμός εισαγωγής θερμού νερού από το σύστημα ανακυκλοφορίας είναι 358.200 m³/h.

Με βάση αυτά τα δεδομένα, η προσομοίωση εξάγει τα αποτελέσματα που αναρτώνται στον πίνακα 5.5.

Αποτελέσματα Προσομοίωσης εξωτερικής πισίνας κολυμβητηρίου Χανιών με μείωση του όγκου (Σενάριο 2)

Παράμετρος	Ετήσια	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης	Οκτώβρης	Νοέμβρης	Δεκέμβρης
Θερμοκρασία νερού (°C)	25,54	24,47	24,39	24,8	25,1	25,85	26,28	26,68	26,7	26,24	25,83	25,25	24,77
Μάζα νερού που εξατμίζεται (m³)	3.398,48	289,29	278,82	319,43	314,84	319,78	300,79	294,14	261,26	248,32	296,02	243,55	273,85
Απώλειες λόγω εξατμίσσης (MWh)	2.308,16	289,29	189,81	217,26	213,96	217,03	203,96	199,29	177,01	168,40	200,74	165,54	186,30
Απώλειες λόγω αγωγής (MWh)	772,62	196,91	140,07	134,20	107,96	47,50	4,98	-30,98	-17,75	17,01	58,47	77,23	114,44
Απώλειες λόγω ακτινοβολίας (MWh)	704,67	135,80	72,87	74,64	61,26	46,72	33,99	27,58	32,36	50,90	76,98	65,39	79,16
Απώλειες λόγω εισαγωγής φρέσκου νερού (MWh)	34,31	87,19	1,97	2,60	2,87	3,44	3,55	3,76	3,34	2,90	5,09	2,19	2,16
Κατανάλωση συστ.θέρμανσης (MWh)	-2.088,69	-352,67	-328,54	-298,80	-227,61	-127,51	0	0	0	-65	-190,64	-233,13	-316,53
Μάζα ζεστού νερού-σύστημα θέρμανσης(m³)	573.450	65.250	58.800	65.100	63.000	65.100	0	0	0	63.000	63.105	63.000	65.100
Κέρδη ηλιακής ακτινοβολίας (MWh)	-1.683	-74,64	-78,13	-131,13	-156,20	-192,18	-189,54	-206,54	-197,48	-169,99	-148,99	-75,38	-62,28
Κατανάλωση Πετρελαίου (tn)	326,23	55,08	51,31	46,67	35,55	19,92	0	0	0	10,1	29,78	36,41	49,44

Πίνακας 5.5 – Αποτελέσματα προσομοίωσης μείωσης όγκου (Σενάριο 2)

Με τη μείωση του όγκου της πισίνας, επιτυγχάνεται κυρίως εξοικονόμηση στην ποσότητα θερμού νερού που απαιτείται για την επικράτηση των επιθυμητών θερμοκρασιών και επομένως και την ενέργεια που καταναλώνει το σύστημα θερμότητας για την ενέργεια αυτή.

Η επιφάνεια της πισίνας δεν μεταβάλλεται, συνεπώς τα φαινόμενα που εξαρτώνται από αυτή τη παράμετρο όπως οι απώλειες λόγω εξάτμισης, αγωγής, τα ηλιακά θερμικά κέρδη, η ποσότητα του νερού που εξατμίζεται, οι απώλειες λόγω ακτινοβολίας, δεν μεταβάλλονται σημαντικά. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι απώλειες λόγω εξάτμισης ανέρχονται σε 2.308,16 MWh και λόγω αγωγής σε 772,7 MWh. Η ποσότητα νερού που εξατμίζεται είναι λίγο μικρότερη, στα 3.398,5 m³ το χρόνο έναντι των 3.565 m³ που εξατμίζονται με τις παρούσες διαστάσεις της πισίνας. Το αποτέλεσμα που παρουσιάζει ενδιαφέρον είναι η διπλάσια αύξηση των απωλειών ακτινοβολίας (704,7 από 325,77 MWh) εξαιτίας της ελάττωσης της απόστασης πυθμένα – επιφάνειας νερού, γεγονός που επηρεάζει τις γωνίες πρόσπτωσης και ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 2.

Οι διαφορές ωστόσο που παρατηρούνται στη μείωση του θερμού νερού είναι αξιοσημείωτες, με τη συνολική ποσότητα θερμού νερού από το σύστημα θέρμανσης για ένα έτος να σημειώνεται στα 573.450 m³ από τα 764.700 m³ που χρειαζόνταν σε όγκο πισίνας 3.600 m³, με ποσοστό μείωσης 25%. Το απαιτούμενο θερμικό φορτίο για θέρμανση του νερού σε αυτή τη περίπτωση σημειώνεται στις 2.088,7 MWh, από 2.303 MWh (μείωση 9%) που αντιστοιχούν σε 326 και 360 τόνους πετρέλαιο αντίστοιχα, ελάττωση κατά 34 τόνους ετησίως.

Οι μηνιαίες μειώσεις είναι επίσης σημαντικές καθώς αναφερόμενοι παραδείγματος χάρη στον Ιανουάριο, απαιτείται ποσότητα πετρελαίου 6 τόνους μικρότερη στη περίπτωση μείωσης του όγκου της πισίνας (55,1 έναντι 61,1). Όμοιας τάξης διαφορές σημειώνονται κατά τους υπόλοιπους μήνες επίσης, παρατηρώντας τους πίνακες αποτελεσμάτων 5.1 και 5.5.

Σημαντικό πλεονέκτημα σε αυτή τη περίπτωση αποτελεί επίσης το γεγονός ότι η μείωση όγκου της πισίνας και της ποσότητας νερού, εξοικονομεί επίσης αριετή ποσότητα χλωρίου για τον απαραίτητο 15νήμερο καθαρισμό της πισίνας.

5.4. Σενάριο Εξοικονόμησης Ενέργειας 3^ο : τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών

Στην τρίτη περίπτωση, εξετάζεται η τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών και η σύνδεσή τους με το σύστημα θερμότητας του κολυμβητηρίου και την πισίνα.

Πρόκειται ουσιαστικά για επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες χωρίς κάλυμμα, που όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, αποτελούν τη βέλτιστη λύση από οικονομικής και αποδοτικής άποψης αφού το θερμό νερό που χρειάζεται η πισίνα να παρέχεται από τον συλλέκτη, είναι θερμοκρασίας 26°C. Η τοποθέτησή τους προτείνεται στον χώρο άνω των αποδυτηρίων της 50άρας πισίνας και των λοιπών βοηθητικών χώρων. Η συνολική έκταση του χώρου αυτού ανέρχεται στα 500 m² περίπου και στα βασικά της πλεονεκτήματα συγκαταλέγεται ο ιδανικός προσανατολισμός που μπορεί να

προσφέρει στους συλλέκτες αφού δεν καλύπτεται ή εμποδίζεται από καμία πλευρά. Συνακόλουθα, βρίσκεται ακριβώς επάνω από την 50άρα πισίνα και το μηχανοστάσιο, καθιστώντας εύκολη τη τοποθέτηση και σύνδεση του κατάλληλου εξοπλισμού και των σωλήνων, η οποία διεργασία είναι αρκετά απλή όπως προαναφέρθηκε.

Η διαθέσιμη επιφάνεια παρόλα αυτά δεν είναι αρκετή για τοποθέτηση συλλεκτών ώστε να επιτυγχάνεται 100% κάλυψη στις θερμικές ανάγκες της πισίνας. Δεδομένου ότι στην Ελλάδα η απαιτούμενη επιφάνεια συλλεκτών πρέπει να αντιστοιχεί στο 80% της συνολικής επιφάνειας της πισίνας, στη συγκεκριμένη περίπτωση θα έπρεπε να υπήρχε διαθέσιμη επιφάνεια ίση με $1050 \text{ m}^2 \cdot 0,8 = 840 \text{ m}^2$. Παρόλα αυτά όμως, με συλλέκτες επιφάνειας 500 m^2 , καλύπτεται μεγάλο ποσοστό του θερμού νερού που απαιτείται για την πισίνα, όπως μαρτυρούν τα αποτελέσματα που αναρτώνται παρακάτω στον πίνακα 5.7.

Επιλέγονται συλλέκτες αμερικάνικης κατασκευής της εταιρίας Heliosol, η οποία παρέχει τη δυνατότητα διανομής στην Ελλάδα. Μάλιστα η συγκεκριμένη, είχε προταθεί από το τμήμα Ενέργειας της Αμερικάνικης κυβέρνησης για τοποθέτηση συλλεκτών στην πισίνα της Ατλάντα για τους Ολυμπιακούς του 1996. Επίσης, τοποθέτησε ηλιακά συστήματα στην εξωτερική πισίνα του Ο.Α.Κ.Α για τους Ολυμπιακούς του 2004, όπως και στο Εθνικό Κολυμβητήριο του Πεκίνου για το 2008. Το μοντέλο συλλέκτη είναι το HC-50, με επιφάνεια $4,65 \text{ m}^2$, μήκος $3,84 \text{ m}$ και πλάτος $1,20 \text{ m}$.

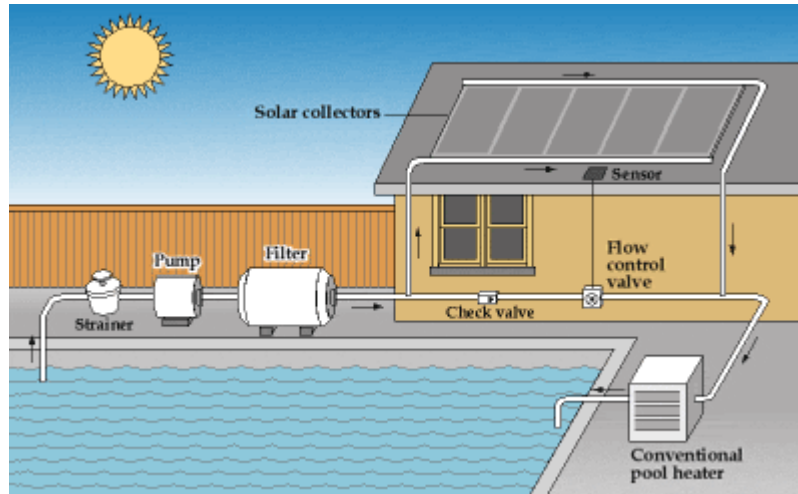
Ο απαραίτητος αριθμός συλλεκτών προκύπτει με βάση τη διαθέσιμη επιφάνεια και την επιφάνεια του συλλέκτη, δηλαδή $\text{εδώ } 500\text{m}^2/4,65\text{m}^2 = 107,5$ δηλαδή 108 συλλέκτες συνολικά. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συλλεκτών που χρησιμοποιήθηκαν και τα απαιτούμενα δεδομένα που εισάγονται στο πρόγραμμα, παρουσιάζονται στον πίνακα 5.6.

Πίνακας 5.6. – Τεχνικά Χαρακτηριστικά συλλεκτών και δεδομένα εισαγωγής στο πρόγραμμα

Δεδομένα συλλεκτών που εισάγονται στο πρόγραμμα	
Αριθμός Συλλεκτών	108
Επιφάνεια συλλέκτη	4,65 m ²
Υλικό κατασκευής	Πλαστικό (πολυαιθυλένιο)
Βάρος έκαστου	10 kg
Κλίση	0 (οριζόντιοι)
Συντελεστής εκπομπής	0,7
Συντελεστής απορρόφησης	0,8
Ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο	1.704 KWh/m ² (*)
Διάχυτη ακτινοβολία	658 KWh/m ² (*)
Ειδική Θερμοχωρητικότητα υγρού (νερό)	4.190 kJ/kg ·K
Θερμοκρασία νερού που εισέρχεται στους συλλέκτες	23°C
Ποσότητα νερού που περνά από τους συλλέκτες	Ολική ποσότητα νερού της πισίνας
Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (μέση ετήσια)	17°C(*)
Ταχύτητα ανέμου (μέση ετήσια)	1,6 m/s(*)

(*)Δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και μετεωρολογικά δεδομένα από τη Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010, «Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών».

Το σύστημα των ηλιακών συλλεκτών μαζί με τη πισίνα αποτελεί κύκλωμα ανοιχτού βρόχου, δηλαδή η ροή του νερού της πισίνας διέρχεται απευθείας μέσα από τους συλλέκτες, θερμαίνεται, και στη συνέχεια μέσω αντλίας οδηγείται πίσω στην πισίνα. Δεν χρησιμοποιείται με λίγα λόγια εναλλάκτης θερμότητας. Απαιτείται επίσης η τοποθέτηση βαλβίδων ελέγχου της ροής αλλά και της θερμοκρασίας του νερού σε δύο σημεία : ένα μετά την έξοδο του νερού από την πισίνα και ένα μετά από την έξοδο από τους συλλέκτες. Τυπική απεικόνιση ενός συστήματος ανοιχτού βρόχου είναι αυτό της εικόνας 5.1 που ακολουθεί.



Εικόνα 5.1. – Απεικόνιση συστήματος ηλιακών συλλεκτών ανοιχτού βρόχου
[Πηγή : U.S. Department of Energy]

Με βάση τα απαραίτητα λειτουργικά μέρη για τη σύνδεση των ηλιακών συλλεκτών με την πισίνα και το σύστημα θέρμανσης, σχεδιάστηκε το κατάλληλο project στο πρόγραμμα TRNSYS, και εισάγοντας τα δεδομένα της πισίνας και των συλλεκτών που παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα, εξήχθησαν τα αποτελέσματα αυτής της μετατροπής (πίνακας 5.6.)

Ο σχεδιασμός του συστήματος περιλάμβανε σύνδεση των συλλεκτών με το συμβατικό σύστημα θέρμανσης και στη συνέχεια σύνδεση αυτών με την πισίνα. Συνακόλουθα, η πισίνα συνδέεται με αντλία η οποία με τη σειρά της συνδέεται με βαλβίδα ελέγχου, στην οποία η θερμοκρασία του νερού της πισίνας, εάν είναι κατώτερη των 28 βαθμών κελσίου, τότε οδηγεί το νερό της πισίνας ξανά στους συλλέκτες για ανάκτηση της επιπλέον απαιτούμενης θερμότητας. Στην περίπτωση που η επιθυμητή θερμοκρασία έχει επιτευχθεί (κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες ή μέρες με έντονη ηλιοφάνεια) τότε η ροή του νερού συνεχίζεται προς την πισίνα.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η σύνδεση γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η ποσότητα του φρέσκου νερού να περνά πρωτίστως από τους συλλέκτες και έπειτα να εισάγεται στη πισίνα. Το νερό επομένως εισέρχεται απευθείας θερμό και για το λόγο αυτό δεν υπολογίζονται σε αυτή τη περίπτωση απώλειες από τη εισαγωγή του φρέσκου νερού στη πισίνα στον πίνακα αποτελεσμάτων που ακολουθεί.

Συνακόλουθα, η ποσότητα θερμού νερού που απαιτείται για την επίτευξη της θερμοκρασίας και τη διατήρησή της στα επιθυμητά επίπεδα, περιλαμβάνει το θερμό νερό από το σύστημα θέρμανσης αλλά και τη συμβολή των συλλεκτών ταυτόχρονα.

Αποτελέσματα Προσομοίωσης εξωτερικής πισίνας κολυμβητηρίου Χανίων με τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών (Σενάριο 3)

Παράμετρος	Ετήσια	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης	Οκτώβρης	Νοέμβρης	Δεκέμβρης
Θερμοκρασία νερού (°C)	27,3	26,83	26,82	27	27,40	27,55	27,70	27,97	27,97	27,74	27,50	27,20	26,80
Μάζα νερού που εξατμίζεται (m³)	4.156,34	406,79	394,29	427,32	400,21	370,56	324,58	295,72	261,77	273,69	304,59	320,63	379,59
Απώλειες λόγω εξατμίσσης (MWh)	2.817,81	275,92	267,45	289,79	271,35	251,17	219,96	200,35	177,35	185,48	206,46	217,40	257,43
Απώλειες λόγω αγωγής (MWh)	1.108,58	189,08	197,13	183,13	147,31	69,18	15,29	-30,07	-17,24	27,14	61,12	107,57	160,10
Απώλειες λόγω ακτινοβολίας (MWh)	798,39	102,13	86,85	88,04	71,17	52,50	36,66	27,88	32,45	53,91	79,22	75,56	92,77
Κατανάλωση συστήματος θέρμανσης (MWh)	-587,07	-106,94	-98,42	-86,19	-65,97	-32,69	0	0	0	0	-37,15	-66,77	-354,06
Μάζα ζεστού νερού-συστημα θέρμανσης και συλλέκτες (m³)	680.600	87.000	78.400	86.800	84.000	86.800	0	0	0	0	86.800	84.000	86.800
Κέρδη ηλιακής ακτινοβολίας (MWh)	-1.682,52	-74,64	-78,13	-131,13	-156,24	-192,18	-189,54	-206,54	-197,48	-169,99	-148,99	-75,38	-62,28
Κατανάλωση πετρελαίου (tn)	91,7	16,7	15,37	13,46	10,3	5,11	0	0	0	0	5,8	10,43	14,52

Πίνακας 5.6. – Αποτελέσματα προσομοίωσης με τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών (Σενάριο 3)

Μελετώντας τον πίνακα, παρατηρείται ότι τους μήνες Ιούνιο και Σεπτέμβριο, δεν απαιτείται λειτουργία τους συστήματος θέρμανσης.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των ηλιακών συλλεκτών είναι η ταυτόχρονη επίτευξη υψηλής θερμοκρασίας νερού με ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου. Η μέση ετήσια θερμοκρασία του νερού αυξάνεται κατά έναν ολόκληρο βαθμό Κελσίου ενώ η συνολική ποσότητα πετρελαίου που καταναλώνεται είναι σχεδόν 92 τόνοι, το $\frac{1}{4}$ σχεδόν από τη ποσότητα που καταναλώνεται αυτή τη στιγμή.

Η ποσότητα νερού που εξατμίζεται, εξαιτίας της υψηλότερης θερμοκρασίας του νερού ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες, είναι μεγαλύτερη από την αρχική προσομοίωση, όπως και οι απώλειες λόγω εξατμικής και αγωγής. Παρόλα αυτά όμως, η συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ιδιαίτερα σημαντική όλους τους μήνες, μειώνοντας σημαντικά την κατανάλωση από το σύστημα θέρμανσης. Συναικόλουθα, ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι μέσω πίνακα ελέγχου η θερμοκρασία νερού καταγράφεται, και όταν η θερμοκρασία του ξεπερνά το επιτρεπόμενο όριο των 28 °C, σταματά η εισαγωγή θερμού νερού, ειδικότερα τους καλοκαιρινούς μήνες, αποτρέποντας έτσι την υπερθέρμανση της πισίνας.

5.5. Σενάριο εξοικονόμησης 4^ο : αντικατάσταση λέβητα

Στα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν ως τώρα, λήφθηκε υπόψη το παρών σύστημα καυστήρα – λέβητα που υπάρχει στο κολυμβητήριο Χανίων. Όπως προαναφέρθηκε, η απόδοση του καυστήρα, λόγω παλαιότητας και συνεχούς καταπόνησης και λειτουργίας, καταγράφεται στο 65% περίπου. Η επιλογή επομένων αντικατάστασης του καυστήρα με έναν νέο, υψηλότερης απόδοσης, αποτελεί φυσικό επακόλουθο για την επίτευξη καλύτερης λειτουργίας της πισίνας και μεγαλύτερης εξοικονόμησης ενέργειας. Επιλέγεται λοιπόν η τοποθέτηση επίπεδου λέβητα πετρελαίου/αερίου χαμηλών θερμοκρασιών από χάλυβα, μοντέλο Logano SK645 500KW της εταιρίας Buderus, με βαθμό απόδοσης 93% και θερμική ισχύ 430.000 kcal/h.

Στα πλεονεκτήματα της μονάδας συγκαταλέγεται η δυνατότητα σύνδεσης με διαφόρων τύπων καυστήρες και αυτοματισμούς.

Με δεδομένο λοιπόν τον νέο βαθμό απόδοσης από την αντικατάσταση του συμβατικού συστήματος θέρμανσης με νέο, η κατανάλωση πετρελαίου χωρίς επιπλέον αλλαγές ή προσθήκες στη λειτουργία της πισίνας, συνοψίζεται στον πίνακα 5.7.

Πίνακας 5.7. – Ετήσια και μηνιαία κατανάλωση πετρελαίου με αντικατάσταση λέβητα

Κατανάλωση πετρελαίου μετά την αντικατάσταση συστήματος λέβητα – καυστήρα			
	Συμβατικό σύστημα (tn)	Με χρήση νέου λέβητα (tn)	Εξοικονόμηση (tn)
Ετήσια	359,6	251,3	108,3 (30,1%)
Ιανουάριος	61,14	42,75	18,39 (30,1%)
Φεβρουάριος	56,72	39,59	17,13 (30,1%)
Μάρτιος	51,43	35,96	15,47 (30,1%)
Απρίλιος	39,42	27,56	11,86 (30,1%)
Μάιος	22,31	15,6	6,71 (30,1%)
Ιούνιος	0	0	0
Ιούλιος	0	0	0
Αύγουστος	0	0	0
Σεπτέμβρης	15,3	10,1	4,6 (30,1%)
Οκτώβρης	23,8	16,64	7,16 (30,1%)
Νοέμβρης	39,74	27,78	11,96 (30,1%)
Δεκέμβρης	54,98	37,81	17,17 (30,1%)

Η διαφορά των καταναλώσεων είναι εμφανής, με σταθερή μηνιαία εξοικονόμηση καυσίμου 30%. Η ποσότητα πετρελαίου που απαιτείται μετά την αλλαγή είναι μειωμένη κατά 108 τόνους, με ταυτόχρονη ελάττωση των θερμικών απωλειών λόγω της ισχυρής μόνωσης του λέβητα πάχους 80 mm (δεδομένα κατασκευαστή).

Με λίγα λόγια λοιπόν, η αντικατάσταση του καυστήρα έχει σαν αποτέλεσμα την λειτουργία της πισίνας όλο το χρόνο με προσθήκη 251 τόνους πετρέλαιο, γεγονός που όπως αναλύεται στο επόμενο κεφάλαιο, εξοικονομεί σημαντικά χρηματικά ποσά, διευκολύνοντας τον τρόπο λειτουργίας του κολυμβητηρίου.

Για την συμπλήρωση του πίνακα 5.7. χρησιμοποιήθηκε η τελευταία στήλη του πίνακα 5.1. με την κατανάλωση πετρελαίου από την αρχική προσομοίωση της πισίνας του κολυμβητηρίου Χανίων.

5.6. Συνδυαστικά Σενάρια Εξοικονόμησης Καυσίμου

Το μεγαλύτερο πρόβλημα το οποίο καλείται να αντιμετωπιστεί όσον αφορά τη λειτουργία της πισίνας, εδώ και αρκετό καιρό αλλά κυρίως τα τελευταία χρόνια με την ραγδαία αύξηση της τιμής του πετρελαίου, είναι η καταναλισκόμενη ποσότητα καυσίμου για την θέρμανση του νερού της εξωτερικής πισίνας εξαιτίας της έκθεσής της στα καιρικά φαινόμενα και της απουσίας οποιασδήποτε εφαρμογής για μείωση των καταγραφόμενων απωλειών. Η περαιτέρω μείωση συνεπώς του πετρελαίου αποτελεί το κύριο μέλημα και για το λόγο αυτό προτείνονται στη συνέχεια συνδυαστικά σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας, με βάση τα αποτελέσματα των

προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν και την αντικατάσταση του συστήματος λέβητα – καυστήρα.

Συγκεκριμένα, εξετάζονται οι περιπτώσεις χρήσης καλύμματος – νέο σύστημα θέρμανσης, μειωμένος όγκος – νέο σύστημα θέρμανσης και τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών – νέο σύστημα θέρμανσης.

Σενάριο I : Χρήση καλύμματος – Αντικατάσταση λέβητα

Με βάση τα αποτελέσματα του πίνακα 5.3. από την προσομοίωση της πισίνας με δωρη τοποθέτηση καλύμματος και εισάγοντας στον υπολογισμό της ποσότητας πετρελαίου (με βάση το θερμικό φορτίο που εξάγεται ως αποτέλεσμα από το πρόγραμμα) την νέα απόδοση του καυστήρα, 93%, προκύπτουν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 5.8.

Πίνακας 5.8.

Συνδυαστικό σενάριο I : Χρήση καλύμματος – αντικατάσταση λέβητα			
	Συμβατικό σύστημα (tn)	Χρήση καλύμματος- αντικατάσταση λέβητα (tn)	Εξοικονόμηση (tn)
Ετήσια	359,6	156,48	203,12 (56,5%)
Ιανουάριος	61,14	22,44	38,7 (63,3%)
Φεβρουάριος	56,72	20,42	36,3 (64%)
Μάρτιος	51,43	21,45	29,98 (58,3%)
Απρίλιος	39,42	18,03	21,39 (54,3%)
Μάιος	22,31	14,5	7,81 (35%)
Ιούνιος	0	0	0
Ιούλιος	0	0	0
Αύγουστος	0	0	0
Σεπτέμβρης	15,3	10,7	4,6 (30,1%)
Οκτώβρης	23,8	13,09	10,7 (45%)
Νοέμβρης	39,74	15,4	24,34 (61,3%)
Δεκέμβρης	54,98	19,59	35,39 (64,4%)

Η ταυτόχρονη χρήση καλύμματος και αντικατάστασης του λέβητα αποδίδει εντυπωσιακά αποτελέσματα. Η συνολική κατανάλωση για τη λειτουργία της πισίνας σε ετήσια βάση σημειώνεται στους 157 τόνους περίπου πετρέλαιο, με συνολική εξοικονόμηση αναλογικά με τη σημερινή κατάσταση άνω του 55%. Απαιτούνται ετησίως 203 τόνοι πετρελαίου λιγότερη, με εντυπωσιακές μειώσεις στις μηνιαίες κατανalώσεις επίσης, όπως στον Ιανουάριο (- 38,7 tn), τον Φεβρουάριο (-36,3 tn), τον Δεκέμβριο (-35,4 tn), με μέσο όρο μείωσης σε ποσοστό περίπου 55-65% για

τους μήνες που απαιτούν μεγάλες ποσότητες πετρελαίου. Σε αυτή τη περίπτωση πρέπει επίσης να συνυπολογιστεί η μεγάλη μείωση της ποσότητας νερού που εξατμίζεται λόγω της χρήσης του καλύμματος, που αποφέρει επιπλέον μειώσεις σε τιμολόγια της ΔΕΥΑΧ, της ΔΕΗ κτλ.

Σενάριο II : Μείωση όγκου πισίνας – Αντικατάσταση λέβητα

Στην περίπτωση αυτή μελετάται η μείωση που επιτυγχάνεται στην απαιτούμενη ποσότητα πετρελαίου για θερμοκρασία νερού στους 26 °C, έχοντας τροποποιήσει το μέγεθος της πισίνας ως προς τον όγκο και θέτοντας σε λειτουργία το νέο σύστημα λέβητα – καυστήρα, απόδοσης 93%. Ο πίνακας 5.9 περιέχει τις τιμές που αντιστοιχούν στην εφαρμογή των ενεργειών αυτών.

Πίνακας 5.9.

Συνδυαστικό σενάριο II : Μείωση όγκου – αντικατάσταση λέβητα			
	Συμβατικό σύστημα (tn)	Μείωση όγκου-αντικατάσταση λέβητα (tn)	Εξοικονόμηση (tn)
Ετήσια	359,6	228,08	131,52 (36,6%)
Ιανουάριος	61,14	38,51	22,63 (37%)
Φεβρουάριος	56,72	35,88	20,84 (36,7%)
Μάρτιος	51,43	32,63	18,8 (36,5%)
Απρίλιος	39,42	24,85	14,57 (36,9%)
Μάιος	22,31	13,92	8,39 (37,6%)
Ιούνιος	0	0	0
Ιούλιος	0	0	0
Αύγουστος	0	0	0
Σεπτέμβρης	15,3	9,18	6,12 (40%)
Οκτώβρης	23,8	20,82	8,96 (30,1%)
Νοέμβρης	39,74	25,46	14,28 (35,9%)
Δεκέμβρης	54,98	34,57	20,41 (37,1%)

Οι ενέργειες αυτές δεν αποφέρουν τα εντυπωσιακά αποτελέσματα του προηγούμενου σεναρίου αλλά μικρότερα ποσοστά της τάξης του 30 – 35%. Παρόλα αυτά, πολύ σημαντικό είναι το γεγονός ότι απαιτούνται 131 τόνοι λιγότεροι σε ετήσια βάση και με 228 τόνους, η θερμοκρασία του νερού είναι η επιθυμητή. Το σημαντικό γεγονός αυτή της περίπτωσης έγκειται στην διαφοροποίηση του πυθμένα της πισίνας, η οποία θα πραγματοποιηθεί μόνο μία φορά και θα αποφέρει αποτελέσματα για όσα χρόνια

συνεχίσει η πισίνα να λειτουργεί, χωρίς να απαιτεί κόστη συντήρησης, αντικατάστασης κτλ. όπως συμβαίνει με τις υπόλοιπες περιπτώσεις.

Σενάριο III : Τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών – αντικατάσταση λέβητα

Την επόμενη εφαρμογή που μελετάται αποτελεί η τοποθέτηση συστήματος ηλιακών συλλεκτών με κύκλωμα ανοιχτού βρόχου, χρησιμοποιώντας ως συμβατικό σύστημα θέρμανσης νέο λέβητα, απόδοσης 93%. Όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό, η συγκεκριμένη περίπτωση θα επιφέρει τις μεγαλύτερες μειώσεις σε ποσότητες πετρελαίου και θα σημειώνονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες (όπως αναλύθηκε στην υποενότητα 5.4). Η πρόταση αυτή επιβεβαιώνεται μέσω του πίνακα 5.10.

Πίνακας 5.10

Συνδυαστικό σενάριο III : Ηλιακοί συλλέκτες – αντικατάσταση λέβητα			
	Συμβατικό σύστημα (tn)	Ηλιακοί συλλέκτες- αντικατάσταση λέβητα (tn)	Εξοικονόμηση (tn)
Ετήσια	359,6	64,1	295,5 (82,2%)
Ιανουάριος	61,14	11,68	49,46 (80,9%)
Φεβρουάριος	56,72	10,75	45,97 (81,1%)
Μάρτιος	51,43	9,41	42,02 (81,7%)
Απρίλιος	39,42	7,2	32,22 (81,7%)
Μάιος	22,31	3,57	18,74 (84%)
Ιούνιος	0	0	0
Ιούλιος	0	0	0
Αύγουστος	0	0	0
Σεπτέμβρης	15,3	0	15,3 (100%)
Οκτώβρης	23,8	4,06	19,74 (82,9%)
Νοέμβρης	39,74	7,29	32,45 (81,6%)
Δεκέμβρης	54,98	10,15	44,83 (81,5%)

Όπως αναμενόταν, τα ποσοστά μείωσης στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι τεράστια, της τάξης του 81% κατά μέσο όρο. Η ήδη μεγάλη εξοικονόμηση από τη τοποθέτηση των συλλεκτών, εκτοξεύτηκε με την ανανέωση του λέβητα και την νέα απόδοση.

Συγκεκριμένα, με μόνο 64 τόνους πετρέλαιο το χρόνο και την ετήσια συμβολή των ηλιακών συλλεκτών, η πισίνα έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί όλο το χρόνο και τους χειμερινούς μήνες ειδικότερα, στην επιθυμητή θερμοκρασία των 26°C. Τον μήνα Σεπτέμβριο μάλιστα, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση καυσίμου 100%, αφού μόνο η λειτουργία των ηλιακών συλλεκτών αρκεί για την θέρμανση του νερού, εφόσον οι ενεργειακές απαιτήσεις του μήνα αυτού δεν είναι μεγάλες λόγω των υψηλών θερμοκρασιών στη πόλη των Χανίων.

Σενάριο IV: Εφαρμογή όλων των μεθόδων

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός της υλοποίησης του συνόλου των σεναρίων, σε μία προσπάθεια εξοικονόμησης του μεγαλύτερου δυνατού μέρους καυσίμου. Συγκεκριμένα, εξετάζεται η περίπτωση τοποθέτησης καλύμματος, μείωσης όγκου της πισίνας, αντικατάσταση λέβητα και τοποθέτησης ηλιακών συλλεκτών. Τα αποτελέσματα αναρτώνται στον πίνακα 5.11 που ακολουθεί.

Πίνακας 5.11

Συνδυαστικό σενάριο IV : Εφαρμογή όλων των μεθόδων			
	Συμβατικό σύστημα (tn)	Συνολική εφαρμογή μεθόδων (tn)	Εξοικονόμηση (tn)
Ετήσια	359,6	31,5	328,1 (91,2%)
Ιανουάριος	61,14	7,1	54,04 (88,4%)
Φεβρουάριος	56,72	6,57	50,15 (88,4%)
Μάρτιος	51,43	5,17	46,26 (89,9%)
Απρίλιος	39,42	3,76	35,66 (90,5%)
Μάιος	22,31	1,11	21,2 (95%)
Ιούνιος	0	0	0
Ιούλιος	0	0	0
Αύγουστος	0	0	0
Σεπτέμβρης	15,3	0	15,3 (100%)
Οκτώβρης	23,8	1,73	22,07 (92,7%)
Νοέμβρης	39,74	4,27	35,47 (89,3%)
Δεκέμβρης	54,98	6,11	48,87 (88,9%)

Ο μέσος όρος του ποσοστού μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου ανέρχεται στο εντυπωσιακό 90%, με τη συνολική απαίτηση σε πετρέλαιο ετησίως να καταγράφεται στους 328 τόνους.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό συνεπώς σε αυτή τη περίπτωση, ότι η εξοικονόμηση αυτής της μεγάλης ποσότητας καυσίμου, αντιστοιχεί σε εξίσου μεγάλη εξοικονόμηση χρημάτων όπως θα παρουσιαστεί στο ακόλουθο κεφάλαιο. Με βάση το γεγονός ότι επιδιώκεται η μέγιστη δυνατή μείωση σε συνδυασμό με το μικρότερο κόστος, θα παρουσιαστεί στη συνέχεια μία ακόμη πρόταση, η οποία βασίζεται στο γεγονός του μεγάλου κόστους της μείωσης του όγκου της πισίνας (όπως υπολογίζεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 6). Με λίγα λόγια, θα εξεταστεί το σύνολο των εφαρμογών, πλην της κάλυψης του περισσευούμενου όγκου της πισίνας, ώστε να συγκριθεί η εξοικονόμηση καυσίμων που επιτυγχάνεται σε συνδυασμό με το κόστος εφαρμογής των σεναρίων και το χρόνο αποπληρωμής τους.

Σενάριο V : Εφαρμογή όλων των μεθόδων (εκτός κάλυψης περισσευούμενου όγκου)

Το τελευταίο σενάριο που παρουσιάζεται, αφορά την εξέταση των αποτελεσμάτων εξοικονόμησης καυσίμου και των αντίστοιχων χρημάτων, σε σύγκριση με την εφαρμογή του συνόλου των προτάσεων που εκτιμήθηκε ανωτέρω. Στη περίπτωση αυτή λοιπόν, τα αποτελέσματα είναι :

Πίνακας 5.12

Συνδυαστικό σενάριο IV : Εφαρμογή όλων των μεθόδων πλην μείωση όγκου			
	Συμβατικό σύστημα (tn)	Συνολική εφαρμογή μεθόδων (tn)	Εξοικονόμηση (tn)
Ετήσια	359,6	39,3	320,3 (89,1%)
Ιανουάριος	61,14	8,74	52,4 (85,7%)
Φεβρουάριος	56,72	7,82	48,9 (86,2%)
Μάρτιος	51,43	6,25	45,18 (87,8%)
Απρίλιος	39,42	4,59	34,83 (88,4%)
Μάιος	22,31	1,52	20,79 (93,2%)
Ιούνιος	0	0	0
Ιούλιος	0	0	0
Αύγουστος	0	0	0
Σεπτέμβρης	15,3	0	15,3 (100%)
Οκτώβρης	23,8	2,20	21,6 (90,8%)
Νοέμβρης	39,74	5,10	34,64 (87,2%)
Δεκέμβρης	54,98	7,24	47,74 (86,3%)

Η μείωση στη κατανάλωση καυσίμου είναι και σε αυτή τη περίπτωση εξαιρετικά μεγάλη και ανέρχεται ετησίως σε 320 τόνους, ποσοστό 89% κατά μέσο όρο. Συγκρίνοντας συνεπώς τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις δύο αυτές περιπτώσεις, συνάγεται το συμπέρασμα ότι οι διαφορές που σημειώνονται στην ελάττωση της ετήσιας κατανάλωσης είναι πολύ μικρές, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το αποδοτικότερο σενάριο τόσο σε εξοικονόμηση καυσίμου όσο και χρημάτων, είναι η εφαρμογή όλων των σεναρίων πλην της μείωσης του όγκου, λόγω του μεγάλου κόστους της μείωσης του όγκου.

5.7. Ρύθμιση θερμοκρασίας νερού σε χαμηλότερο επίπεδο

Μελετώντας τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που παρατέθηκαν ανωτέρω και δεδομένου της μεγάλης θερμοχωρητικότητας του νερού, επιλέγεται να εξεταστεί η περίπτωση κατά την οποία, η ρύθμιση του συστήματος θέρμανσης θα μειωθεί από τους 26 °C στους 25,5 °C. Η ενέργεια αυτή αποσκοπεί στην αποτύπωση των τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας υπό μορφή θερμότητας που έχει την ικανότητα να αποθηκεύει το νερό αλλά και την μεγάλη σπατάλη ενέργειας που σημειώνεται σε περιπτώσεις αύξησης του θερμοστάτη κατά μισό μόνο βαθμό Κελσίου.

Συγκεκριμένα, τα ετήσια αποτελέσματα που εξήχθησαν με δεδομένο τη συγκεκριμένη τιμή θερμοκρασίας στο πρόγραμμα, παρουσιάζονται στον πίνακα 5.13, στον οποίο αναρτώνται επίσης τα αποτελέσματα της αρχικής προσομοίωσης ώστε να καθίσταται εύκολη η σύγκριση των τιμών.

Πίνακας 5.13

Αποτελέσματα με ρύθμιση θερμοκρασίας νερού στους 25.5°C		
Παράμετρος	Θερμοκρασία θέρμανσης νερού στους 25,5°C	Θερμοκρασία θέρμανσης νερού στους 26°C
Θερμοκρασία νερού (°C)	25,65 °C	26
Μάζα νερού που εξατμίζεται (m ³)	3.425,22	3.565,69
Απώλειες λόγω εξατμίσης (MWh)	2.326,25	2.420,13
Απώλειες λόγω αγωγής (MWh)	793,34	852,12
Απώλειες λόγω ακτινοβολίας (MWh)	709,96	727,20
Κατανάλωση συστήματος θέρμανσης (MWh)	-2.189,03	-2.302,62
Κέρδη ηλιακής ακτινοβολίας (MWh)	-1.682	-1.682,52
Κατανάλωση πετρελαίου (tn)	341,9	359,6

Παρατηρείται λοιπόν μείωση στο θερμικό φορτίο για την κατανάλωση που απαιτείται από το σύστημα θέρμανσης από τις 2.303 MWh στις 2.189 MWh, που αντιστοιχεί σε κατανάλωση 17,7 τόνων πετρελαίου ετησίως. Ιδιαίτερα σημαντικό και πρέπει να αναφερθεί, είναι το γεγονός ότι η μείωση της μέσης θερμοκρασίας της πισίνας είναι μόνο 0,35°C. Η μικρή αυτή μείωση της θερμοκρασίας, δεν γίνεται ιδιαίτερα αισθητή, ειδικότερα κατά τη διάρκεια τη ημέρας που η πισίνα χρησιμοποιείται από τις αγωνιστικές ομάδες. Η ένταση της προπόνησης και η σωματική προσπάθεια που καταβάλλουν οι κολυμβητές, οι οποίοι συνεχώς κινούνται σε υψηλή ένταση εντός του νερού, δεν επηρεάζει τη θερμοκρασία του σώματός τους έτσι ώστε να αισθάνονται το νερό κρύο και να εμποδίζεται η προπόνησή τους, κυρίως κατά τη χειμερινή περίοδο. Με βάση το γεγονός αυτό επομένως, μία ακόμη πρόταση θα μπορούσε να ήταν η ρύθμιση του θερμοστάτη κατά τη διάρκεια της ημέρας, ανάλογα με την ομάδα των κολυμβητών που χρησιμοποιούν την πισίνα, καθώς αυτό δεν θα μπορούσε να εφαρμοστεί τις ώρες που στη πισίνα βρίσκονται μέλη του κοινού ή μικρότερης

ηλικίας παιδιά, οι οποίοι δεν μπορούν να κολυμπήσουν με τους ίδιους ρυθμούς των αγωνιστικών ομάδων.

5.8. Αξιολόγηση των σεναρίων

Τα σενάρια που επιλέχθηκαν να εφαρμοστούν με σκοπό την ενεργειακή αναβάθμιση της ανοιχτής πισίνας του Κολυμβητηρίου Χανίων, δεν αποτελούν τις μοναδικές επιλογές αλλά διακρίνονται από τις υπάρχουσες διαθέσιμες λόγω της ευκολίας στην εφαρμογή (θερμικό κάλυμμα), την δυνατότητα εφαρμογής στη συγκεκριμένη πισίνα (μείωση του όγκου) αλλά και την μεγαλύτερη δυνατή εκμετάλλευση των κλιματικών και γεωγραφικών δεδομένων της περιοχής (ηλιακοί συλλέκτες). Η αλλαγή λέβητα προτείνεται σε κάθε περίπτωση, όταν το σύστημα θέρμανσης είναι καταπονημένο και παλαιό, όπως στη περίπτωση του κολυμβητηρίου.

Αναφορικά με την τωρινή κατανάλωση ενέργειας και τις απώλειες της ανοιχτής πισίνας, παρατηρείται ότι οι μετατροπές αυτές επιφέρουν η κάθε μία σημαντικές μειώσεις και βοηθούν στην ελάττωση του λειτουργικού κόστους της πισίνας. Τα βασικότερα αποτελέσματα των σεναρίων (δεδομένου ότι είναι εξωτερική πισίνα) συγκεντρώνονται και συγκρίνονται στον πίνακα που ακολουθεί με βάση τα ετήσια αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

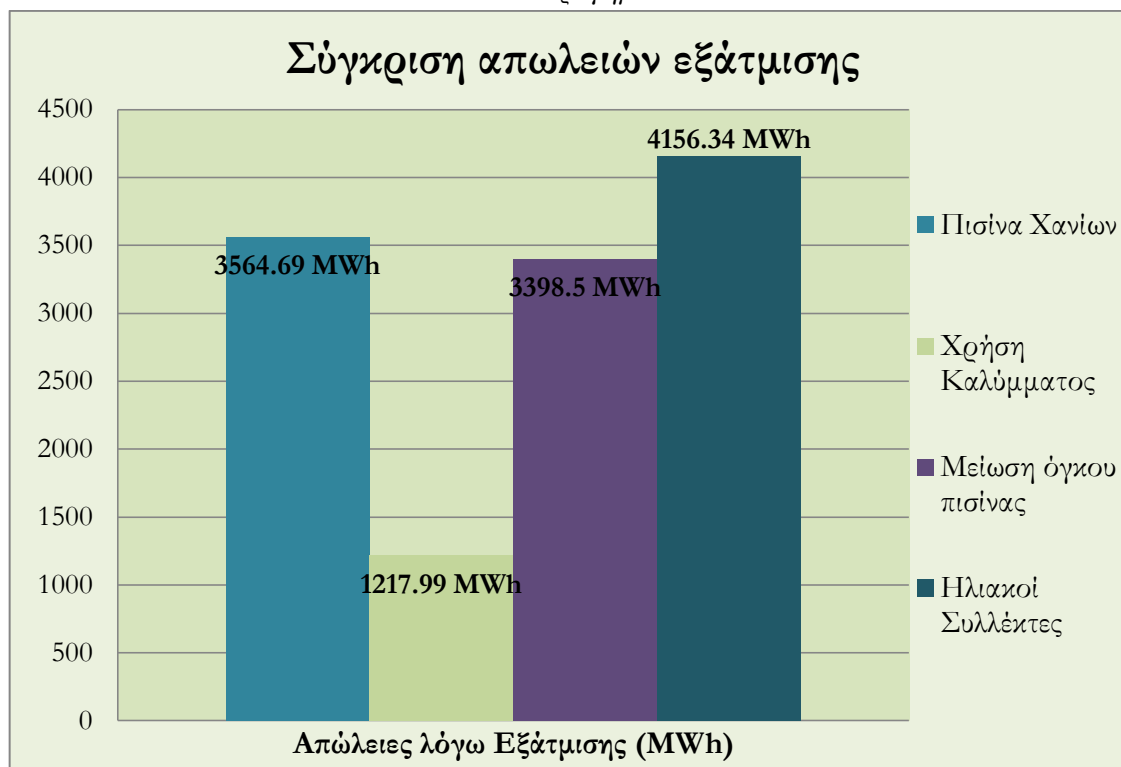
Πίνακας 5.12 – Σύγκριση διακύμανσης θερμικών φορτίων για τις κυριότερες παραμέτρους σε εξωτερική πισίνα

Σύγκριση αποτελεσμάτων				
	Πισίνα Χανίων	Χρήση Καλύμματος	Μείωση όγκου	Τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών
m_{evap} (m³)	3.564,69	1.217,99	3.398,5	4.156,34
Ποσοστό μείωσης (%)	-	-65,8%	-4,7%	+14,2%
Q_{Evap} (MWh)	2.420,13	826,5	2.308,2	2.817,81
Ποσοστό μείωσης (%)	-	-65,8%	-4,6%	+14,1%
Q_{Conv} (MWh)	852,12	507,24	772,67	1.108,58
Ποσοστό μείωσης (%)	-	-40,5%	-9,3%	+23,1%
Q_{Aux} (MWh)	2.302,62	1.433	2.088,7	587,1
Ποσοστό μείωσης (%)	-	-37,8%	-9,2%	-74,5%
Μέση ετήσια Θερμοκρασία (°C)	26	26,55	25,54	27,3
Κέρδη ηλιακής ακτινοβολίας (MWh)	1.682,8	1.682,8	1.684,98	1.682,8

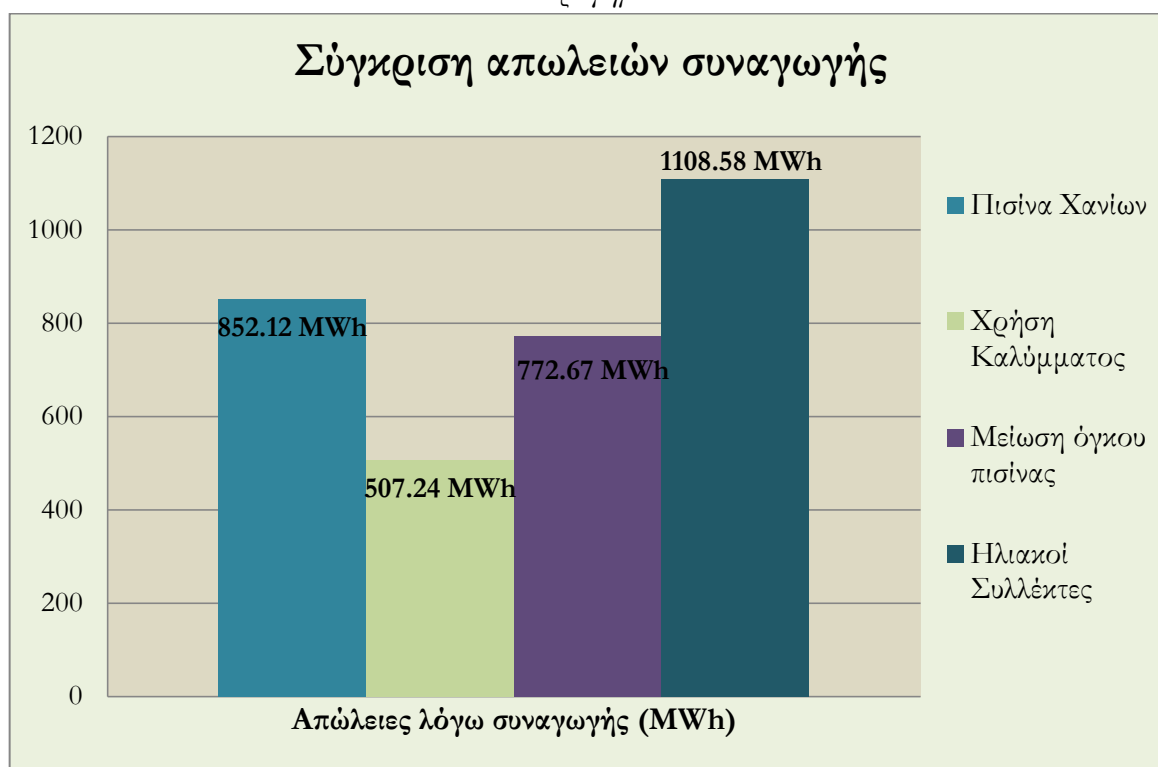
Όσον αφορά τις απώλειες εξάτμισης, όπως ήταν αναμενόμενο, η χρήση καλύμματος παρουσιάζει τα πιο αποδοτικά αποτελέσματα για τον περιορισμό του νερού που εξατμίζεται και της ενέργειας που αντιστοιχεί σε αυτές τις απώλειες. Στη περίπτωση των ηλιακών συλλεκτών, οι υπολογιζόμενες απώλειες θερμικών φορτίων είναι υψηλότερες τόσο από τα υπόλοιπα εξεταζόμενα σενάρια, όσο και από την αρχική προσομοίωση. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αυξημένη θερμοκρασία του νερού της πισίνας, η οποία μεγαλώνει τη διαφορά νερού – θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος, αυξάνοντας συνακόλουθα τις υπολογιζόμενες απώλειες. Παρόλα αυτά, το κέρδος σε θερμικό φορτίο είναι σημαντικότερο, της τάξης του 74,5%.

Μέσω αυτού του πίνακα επιβεβαιώνεται ότι οι σημαντικότερες απώλειες σε εξωτερική πισίνα σημειώνονται από την εξάτμιση και την αγωγή επιφάνειας νερού-ατμοσφαιρικού αέρα (γραφήματα 5.2. και 5.3.)

Γράφημα 5.2.



Γράφημα 5.3.



Το ζητούμενο όμως σε όλες τις περιπτώσεις είναι η μείωση της καταναλισκόμενης ποσότητας καυσίμου με ταυτόχρονη διατήρηση της θερμοκρασίας του νερού στα επιθυμητά επίπεδα. Για το λόγο αυτό εξετάστηκαν τα συνδυαστικά σενάρια Ι, ΙΙ και

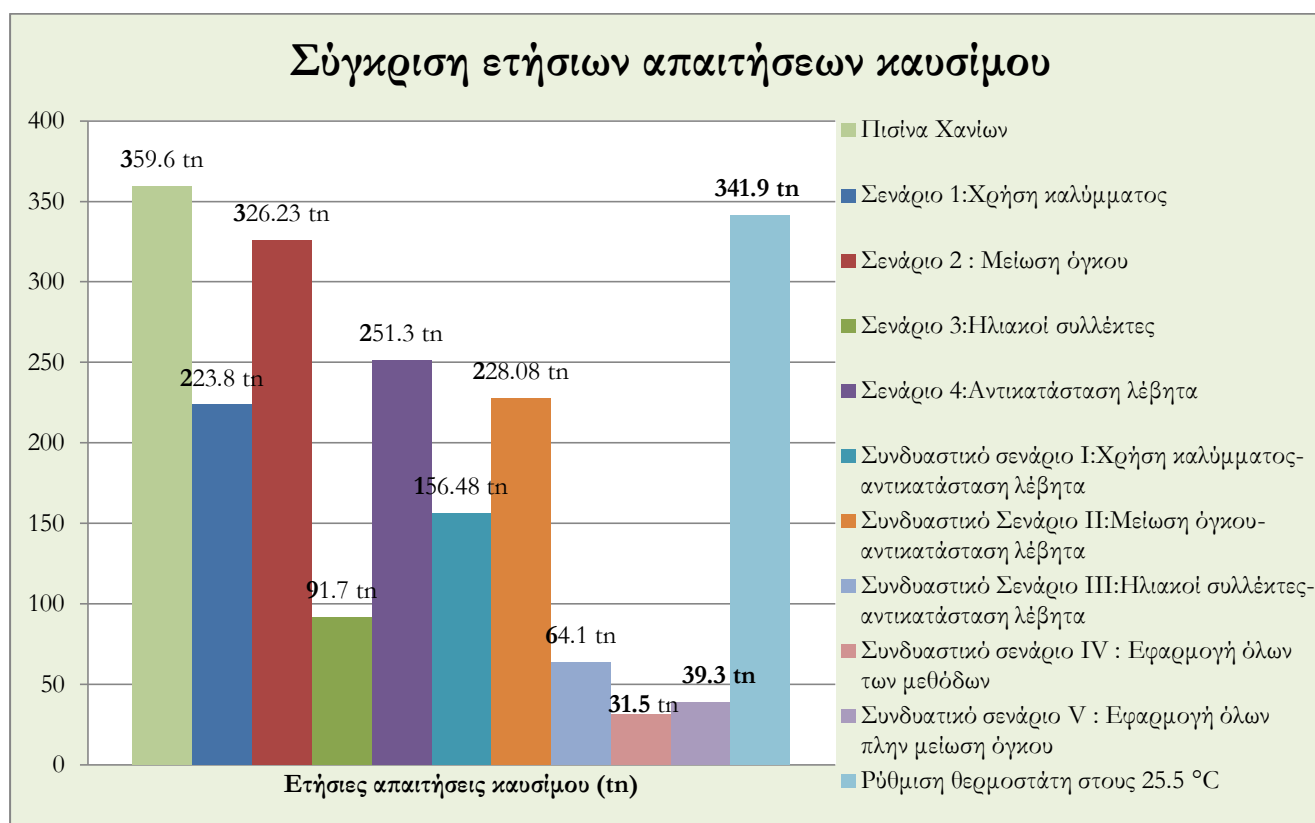
III, οι εξοικονομήσεις των οποίων αναρτώνται και συγκρίνονται με τα σενάρια 1,2,3 και 4 σε τόνους πετρελαίου, στον πίνακα 5.12 που ακολουθεί.

Πίνακας 5.13

Εξοικονόμηση πετρελαίου		
Σενάρια Εξοικονόμησης Καυσίμου	Κατανάλωση τόνων πετρελαίου	Εξοικονόμηση ποσότητας αναλογικά με τη τωρινή κατανάλωση
Πισίνα Χανίων	359,6 tn	-
Σενάριο 1 : Χρήση καλύμματος	223,8 tn	37.8%
Σενάριο 2 : Μείωση όγκου	326,23 tn	9.3%
Σενάριο 3 : Ηλιακοί Συλλέκτες	91,7 tn	74.5%
Σενάριο 4 : Αντικατάσταση λέβητα	251,3 tn	30.1%
Συνδυαστικό σενάριο I : <i>Χρήση καλύμματος – Αντικατάσταση λέβητα</i>	156,48 tn	56.5%
Συνδυαστικό σενάριο II : <i>Μείωση όγκου – Αντικατάσταση λέβητα</i>	228,08 tn	36.6%
Συνδυαστικό σενάριο III : <i>Ηλιακοί συλλέκτες – Αντικατάσταση λέβητα</i>	64,1 tn	82.2%
Συνδυαστικό σενάριο IV : <i>Εφαρμογή όλων των μεθόδων</i>	31,5 tn	91,2%
Συνδυαστικό σενάριο V : <i>Εφαρμογή όλων των μεθόδων πλην μείωση όγκου</i>	39,3 tn	89,1%
Τοποθέτηση θερμοστάτη στους 25.5 °C	341,9 tn	4.9%

Οι διαφοροποιήσεις στην κατανάλωση επισημαίνονται στον διάγραμμα 5.4

Γράφημα 5.4.



Ολοκληρώνοντας το μέρος της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων και παρατηρώντας το περιεχόμενο των γραφημάτων και πινάκων που αναρτήθηκαν, οι προτεινόμενες λύσεις παρέχουν τη δυνατότητα ελάττωσης σημαντικού μέρους της καταναλισκόμενης ενέργειας στην ανοιχτή πισίνα του κολυμβητηρίου Χανίων. Παρόλα αυτά, για την ορθή αξιολόγηση της εκάστοτε πρότασης, οφείλει να πραγματοποιηθεί η εξέταση του κόστους της και η εξοικονόμηση χρημάτων που επιφέρει η κάθε μία. Στο επόμενο κεφάλαιο επομένως, θα παρουσιαστεί ο υπολογισμός του κόστους επένδυσης για τις προτεινόμενες αλλαγές και προσθήκες, όπως επίσης και ο χρόνος αποπληρωμής με βάση την ετήσια λειτουργία της πισίνας.

Κεφάλαιο 6

Οικονομική αξιολόγηση προτεινόμενων εναλλακτικών λύσεων

6.1. Κόστος αγοράς θερμικού καλύμματος

Η αυξανόμενη ζήτηση των θερμικών καλυμμάτων για τις πισίνες τα τελευταία χρόνια, έχει αποτελέσει το έναυσμα για την προώθησή τους στην αγορά και διάθεση σε ανταγωνιστικές τιμές από πολλές εταιρίες στην Ελλάδα. Παρόλο που δεν παράγονται στην Ελλάδα, εταιρίες έχουν τη δυνατότητα εισαγωγής τους και άμεσης διάθεσής τους στην ελληνική αγορά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η astralpools, ελληνική θυγατρική του ισπανικού πολυεθνικού ομίλου Fluidra, ο οποίος ειδικεύεται σε συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας και προστασίας του περιβάλλοντος στον τομέα των υδάτινων πάρκων ψυχαγωγίας, πισινών, ενυδρείων και γενικότερα σε κτιριακές υποδομές που διαχειρίζονται μεγάλες ποσότητες νερού. Η άμεση διάθεση των προϊόντων της σε όλη την Ελλάδα σε ανταγωνιστικές τιμές, αποτελεί το λόγο επιλογής αγοράς καλύμματος από την εν λόγω εταιρία.

Συγκεκριμένα, προτείνεται η αγορά καλύμματος με τα χαρακτηριστικά που αναγράφονται στον πίνακα 5.2. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά κατασκευής των καλυμμάτων αυτού του τύπου, το μέγιστο μήκος του καλύμματος είναι 17,5 m ενώ το πλάτος καθορίζεται από τον πελάτη. Απαιτούνται συνεπώς 3 καλύμματα, μήκους 17 m τα δύο από αυτά και 16 το άλλο και πλάτος 21 m (όσο το πλάτος της πισίνας). Οι διαστάσεις κατά τη παραγγελία, ειδικότερα του πλάτους, πρέπει να είναι ακριβείς ώστε να εφαρμόζουν απόλυτα στην επιφάνεια της πισίνας και να μην υπάρχει απώλεια θερμότητας. Επίσης, απαιτείται η προμήθεια ενός roller περιτύλιξης του καλύμματος για εύκολη αφαίρεση και τοποθέτησή του, καθώς και αποθήκευση.

Το κόστος ανέρχεται σε 15€/m² + 23% ΦΠΑ. Το συνολικό κόστος προμήθειας επομένως ανέρχεται σε :

$$16m \cdot 21m = 336 \text{ m}^2 \cdot 18,45 \text{ €/m}^2 = 6.199,2 \text{ €}$$

$$2 \cdot 17m \cdot 21m = 714 \text{ m}^2 \cdot 18,45 \text{ €/m}^2 = 13.173,3 \text{ €}$$

$$\text{Σύνολο : } 19.372,5 \text{ €}$$

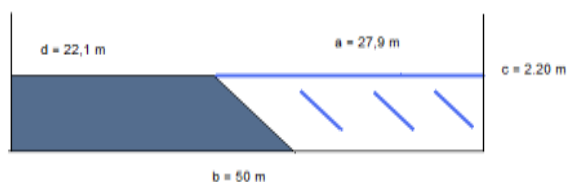
Το κόστος αγοράς του roller περιτύλιξης για τις συγκεκριμένες διαστάσεις ανέρχεται σε 845 € (συμπεριλαμβανομένου ΦΠΑ), συνεπώς, η συνολική επένδυση για την προμήθειά του καλύμματος κοστολογείται στα 19.372,5€ + 845€ = 20.217,5€.



Εικόνες 6.1. και 6.2. – Διπλή όψη θερμικού καλύμματος από προπυλένιο και εφαρμογή στην πισίνα

6.2. Κόστος κάλυψης περισσευούμενου όγκου

Ο όγκος της πισίνας της πισίνας αυτή τη στιγμή είναι 3600 m^3 . Με την διαμόρφωσή της σε βάθος $2,20\text{m}$ σε όλο το μήκος της, η εξοικονόμηση σε όγκο ανέρχεται σε $3600 \text{ m}^3 - 2310 \text{ m}^3 = 1290 \text{ m}^3$. Οι εργασίες περιλαμβάνουν αρχικά αφαίρεση των πλακιδίων και του υποστρώματος στο βαθύ μέρος της πισίνας και τοποθέτηση στρώσης πεπιεσμένου χώματος. Στη συνέχεια λεπτή στρώση χώματος τύπου κροκάλας και διάστρωση σκυροδέματος πάχους 40 cm . Έπειτα τοποθετείται στρώμα ρητίνης και ολοκληρώνεται η επέμβαση με αντιβακτηριδιακό πλακάκι.



Στην εικόνα 6.3. απεικονίζεται με τις μπλε γραμμές στο λευκό φόντο, η περιοχή η οποία θα καλυφθεί. Οι διαστάσεις του χώρου αυτού έχουν μήκος $a = 27,9 \text{ m}$, πλάτος 21 m (όσο της πισίνας) και ύψος $4,10 - 2,20 = 1,9 \text{ m}$. Το 70% του περισσευούμενου όγκου, δηλαδή τα $909,5 \text{ m}^3$, καλύπτεται με στρώση

χώματος αρχικά και στη συνέχεια χώμα τύπου κροκάλας (χώμα μαζί με μικρής διαμέτρου χαλί). Το κόστος του χώματος αυτού ανέρχεται σε 6€/m^3 , συνεπώς για αυτή την ενέργεια απαιτούνται :

$$909,5 \text{ m}^3 \cdot 6\text{€/m}^3 = 5.456,7\text{€}$$

Στη συνέχεια, θα διαστρωθεί οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 40 cm , σε όγκο 380 m^3 . Η αγορά της πρώτης ύλης και το κόστος των εργατικών ανέρχονται σε 200€/m^3 για τη συγκεκριμένη ενέργεια, επομένως η δαπάνη αυτή υπολογίζεται : $380\text{m}^3 \cdot 200\text{€/m}^3 = 76.000\text{€}$.

Η τοποθέτηση στρώματος ρητίνης στον νέο πυθμένα της πισίνας αποτελεί το επόμενο στάδιο, το κόστος της οποίας είναι 10€/m^3 . Η επιφάνεια του πυθμένα διαμορφώνεται σε

$27,1\text{m} \cdot 21\text{ m} = 569,1\text{ m}^2$. Η στρώση ρητίνης θα κοστίσει : $569,1\text{ m}^2 \cdot 10\text{€/m}^2 = 5691\text{€}$.

Οι εργασίες ολοκληρώνονται με επιστρωση του πυθμένα με αντιβακτηριδιακό πλακάκι. Το κόστος του είναι 30€/m^2 , συνεπώς $569,1\text{ m}^2 \cdot 30\text{€/m}^2 = 17.073\text{€}$.

Η συνολική δαπάνη λοιπόν, είναι της τάξης των $104.220,7\text{€}$ στην οποία πρέπει να προστεθούν ακόμη έξοδα για την ανακατασκευή και το κόστος των ηλεκτρομηχανολογικών εργασιών, που εκτιμώνται στο 20% των συνολικών δαπανών. Η μετατροπή της 50άρας πισίνας απαιτεί συνεπώς 125.065€ .

6.3. Κόστος αγοράς ηλιακών συλλεκτών

Οι συλλέκτες που επιλέχθηκαν να τοποθετηθούν κατασκευάζονται από την εταιρία Heliosol και ο χρόνος ζωής τους είναι άνω των 30 ετών. Το μοντέλο συλλεκτών είναι το HC-50 (εικόνα 6.4) , με το κόστος του εκάστοτε σύμφωνα με τον κατάλογο της εταιρίας να είναι 582€ , τιμή στην οποία περιλαμβάνονται τα εξαρτήματα σύνδεσης και τα ανταλλακτικά . Η παραγγελία συλλεκτών που προορίζονται για τοποθέτηση σε πισίνες Ολυμπιακών διαστάσεων, εξαιτίας του όγκου της, δίνει τη δυνατότητα έκπτωσης 10% στη τιμή του κάθε συλλέκτη, με τελική τιμή στα 524 € . Η αγορά επομένως των 108 συλλεκτών που απαιτούνται, θα κοστίσει 56.592 € .

Επιπλέον έξοδο που πρέπει να καλυφθεί είναι το κόστος εγκατάστασης και σύνδεσης, με τις απαραίτητες μετατροπές των συλλεκτών με την πισίνα και το σύστημα θέρμανσης. Το κόστος αυτών των μετατροπών υπολογίζεται περίπου στις 10.000€ , αυξάνοντας την συνολική δαπάνη στις 66.592€ .



Εικόνα 6.4. – Ηλιακός συλλέκτης HC-50

6.4. Κόστος αντικατάστασης λέβητα – καυστήρα

Το μοντέλο λέβητα που επιλέγεται είναι το Logano SK645 500KW της εταιρίας Buderus (όμιλος Bosch), απόδοσης 93% και θερμικής ισχύος 430.000 kcal/h , κατασκευασμένο από χάλυβα (εικόνα 6.5). Σύμφωνα με τον τιμοκατάλογο της κατασκευαστικής εταιρίας για το 2012, το κόστος του λέβητα ανέρχεται στις 6.140 € . Στο ποσό πρέπει επίσης να προστεθεί ο πίνακας του λέβητα και η πλακέτα, με τιμές 1.425€ και 340€ αντίστοιχα. Λοιπά έξοδα όπως φλάντζες, σιγαστήρας, φίλτρο πετρελαίου, τριόδη βάννα, σετ διάταξης ασφάλειας, υπολογίζονται συνολικά στις 5.000€ .

Το συνολικό κόστος συνεπώς του λέβητα ανέρχεται σε 12.905€. Σύμφωνα με τα νέα κατασκευαστικά και λειτουργικά δεδομένα, τόσο η εταιρία όσο και η επιστημονική κοινότητα των αρμόδιων μηχανικών, προτείνουν την αγορά και τοποθέτηση δύο λεβήτων και των παρελκόμενων τους για τη τοποθέτηση στο κολυμβητήριο. Συνεπώς, το κόστος ανέρχεται σε 25.810€.

Το μοντέλο καυστήρα για τον συγκεκριμένο λέβητα που προτείνεται είναι το MHG(MAN) DZ 3.1 (εικόνα 6.5), που είναι κατάλληλος για σύνδεση με τον λέβητα που χρησιμοποιήθηκε αφού σύμφωνα με τον κατασκευαστή, το μέγεθός του είναι 325-520KW / 270.900 – 447.200 kcal/h. Η τιμή του για το 2012 είναι 3.150 €.

Το κόστος με την αλλαγή σωλήνων, το κόστος εργατικών και λοιπά έξοδα κατά την εγκατάσταση εκτιμώνται στις 8.000€ περίπου.

Συνεπώς, το συνολικό κόστος της αντικατάστασης συστήματος λέβητα – καυστήρα υπολογίζεται στις :

28.810€ (λέβητες) + 6.300€ (καυστήρες) + 5.000€ (παρελκόμενα σύνδεσης καυστήρων) + 8.000€ (υπόλοιπα κόστη) = 48.110€.

Επίσης, οφείλεται να αναφερθεί ότι το ετήσιο κόστος συντήρησης είναι 200€.



Εικόνα 6.5. - Καυστήρας Buderus και λέβητας MHG

6.5. Κόστος Συνδυαστικών Σεναρίων

Ο συνδυασμός των σεναρίων επιλέχθηκε με βάση την μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί. Για την αποτελεσματικότητα παρόλα αυτά του ελάχιστου συνδυαστικού σεναρίου, πρέπει να εκτιμηθεί ο χρόνος αποπληρωμής αυτών και συνεπώς του κόστους της κάθε εφαρμογής.

✓ Κόστος συνδυαστικού σεναρίου I

Η αντικατάσταση του λέβητα σε συνδυασμό με την αγορά του καλύμματος, κοστολογείται συνολικά στις 20.217,5€ + 48.110€ = 68.327,5€

✓ Κόστος συνδυαστικού σεναρίου II

Η επιλογή της μείωσης του όγκου με ταυτόχρονη αναβάθμιση του λέβητα απαιτεί $125.065\text{€} + 48.110\text{€} = 173.175\text{€}$

✓ **Κόστος συνδυαστικού σεναρίου III**

Στη συγκεκριμένη περίπτωση εξετάστηκε η αντικατάσταση του λέβητα με τη τοποθέτηση των ηλιακών συλλεκτών, πρόταση που το κόστος της ανέρχεται σε :

$$66.592\text{€} + 48.110\text{€} = 114.702\text{€}$$

✓ **Κόστος συνδυαστικού σεναρίου IV**

Η επιλογή της εφαρμογής του συνόλου των προτάσεων για τη καλύτερη δυνατή εξοικονόμηση καυσίμου απαιτεί τη δαπάνη :

$$20.217,5\text{€} + 48.110\text{€} + 125.065\text{€} + 66.592\text{€} = 259.984,5\text{€}$$

✓ **Κόστος συνδυαστικού σεναρίου V**

Στην τελευταία εξεταζόμενη περίπτωση, η επιλογή της κάλυψης του περισσευούμενου όγκου της πισίνας δεν συμπεριλαμβάνεται, γεγονός που μειώνει σημαντικά το συνολικό κόστος :

$$20.217,5\text{€} + 48.110\text{€} + 66.592\text{€} = 134.919,5\text{€}$$

6.6. Χρόνος αποπληρωμής προτεινόμενων λύσεων

Ο χρόνος αποπληρωμής των προτάσεων αυτών υπολογίζεται με βάση το κόστος εγκατάστασης ή αγοράς και την εξοικονόμηση ενέργειας, συνεπώς χρημάτων, που αποφέρουν. Η αναγωγή της ενέργειας σε ποσότητα πετρελαίου και στη συνέχεια σε υπολογισμό χρημάτων, πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της έρευνας που εκπονήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας στα ανοιχτά ελληνικά κολυμβητήρια με τον τίτλο “Solar Energy Use in Outdoor Swimming Pools – Documentation on the data collection procedure, GREECE”, τον Απρίλιο του 2009. Συγκεκριμένα, οι συγγραφείς Effie Korma και Rozi Christodoulaki (CRES), κατά την επεξεργασία των δεδομένων τους, θεώρησαν ότι όσον αφορά το πετρέλαιο, $1\text{lt} = 10,5\text{KWh}$, με τιμή του πετρελαίου ανά λίτρο στην Ελλάδα, και συγκεκριμένα στη πόλη των Χανίων αυτή τη στιγμή στο $1,42\text{€}$. Για τον υπολογισμό στη περίπτωση των πισινών ωστόσο, χρησιμοποιείται η τιμή με την οποία ο προμηθευτής προμηθεύει το πετρέλαιο, στην οποία γίνεται έκπτωση ύψους 10% κατά μέσο όρο λόγω των μεγάλων ποσοτήτων και τη φύση του κτιρίου (Εθνικό κολυμβητήριο). Η τιμή αγοράς συνεπώς κυμαίνεται περίπου στα $1,27\text{€}$.

- Για το **σενάριο 1** προκύπτει :

Κόστος Αγοράς : $20.217,5\text{€}$

Εξοικονόμηση πετρελαίου : $135,8\text{ tn diesel}$

Εξοικονόμηση χρημάτων (ετήσια) : 172.466€

$$\text{Περίοδος Αποπληρωμής : } \frac{\text{Κόστος επένδυσης}}{\text{Ετήσιο κέρδος χρημάτων}} = \frac{20.217,5\text{€}}{172.466\text{€}} = 0,13\text{ έτη}$$

Δηλαδή περίπου **2 μήνες**

- Για το **σενάριο 2** προκύπτει :

Κόστος : 125.065 €

Εξοικονόμηση πετρελαίου : 33,37 tn diesel

Εξοικονόμηση χρημάτων(ετήσια) : 42.380 €

$$\text{Περίοδος Αποπληρωμής : } \frac{\text{Κόστος επένδυσης}}{\text{Ετήσιο κέρδος χρημάτων}} = \frac{125.065 \text{ €}}{42.380 \text{ €}} = 2,95 \text{ έτη}$$

Δηλαδή 3 περίπου χρόνια η περίοδος αποπληρωμής

- Για το **σενάριο 3** προκύπτει :

Κόστος Αγοράς : 60.382 €

Εξοικονόμηση πετρελαίου : 269,7 tn diesel

Εξοικονόμηση χρημάτων(ετήσια) : 340.233 € ,

από τα οποία πρέπει να αφαιρεθούν το ετήσιο κόστος συντήρησης και καθαρισμού των συλλεκτών, που ανέρχεται στο 2% του κόστους επένδυσης το χρόνο. Άρα, το συνολικό καθαρό ετήσιο κέρδος από την εγκατάσταση των συλλεκτών είναι 340.233 – 604 € = 339.629 €

$$\text{Περίοδος Αποπληρωμής : } \frac{\text{Κόστος επένδυσης}}{\text{Ετήσιο κέρδος χρημάτων}} = \frac{66.592 \text{ €}}{339.629 \text{ €}} = 0,2 \text{ έτη}$$

Η απόσβεση λοιπόν των χρημάτων που επενδύθηκαν για την αγορά θα γίνει σε 2,5 με 3 μήνες.

- Για το **σενάριο 4** προκύπτει :

Κόστος Αγοράς : 48.110 €

Εξοικονόμηση πετρελαίου : 108,3 tn diesel

Εξοικονόμηση χρημάτων (ετήσια) : 137.541 €

Από ετήσια εξοικονόμηση χρημάτων αφαιρείται το κόστος συντήρησης που ανέρχεται στα 200€

$$\text{Περίοδος Αποπληρωμής : } \frac{\text{Κόστος επένδυσης}}{\text{Ετήσιο κέρδος χρημάτων}} = \frac{48.110 \text{ €}}{137.341 \text{ €}} = 0,4 \text{ έτη περίπου}$$

Η αποπληρωμή δηλαδή γίνεται σε 5 μήνες περίπου.

Μελετώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν, σημαντικές μειώσεις σε κατανάλωση επιτυγχάνονται και με τις τέσσερις προτάσεις, με την εξοικονόμηση χρημάτων και το χρόνο αποπληρωμής να το επιβεβαιώνουν. Η βέλτιστη επιλογή αυτή τη στιγμή, λαμβάνοντας υπόψη την οικονομική κατάσταση της διοίκησης του κολυμβητηρίου αλλά και γενικότερα της χώρας, είναι η προμήθεια θερμικού καλύμματος, ενέργεια που όπως είχε τονιστεί στα προηγούμενα κεφάλαια είναι απαραίτητο να γίνεται σε όλα τα εν λειτουργία ανοιχτά κολυμβητήρια. Έχει το μικρότερο κόστος και χρόνο αποπληρωμής, καθώς και σημαντική μείωση ενέργειας. Δεν απαιτούνται ιδιαίτερες γνώσεις του προσωπικού για την τοποθέτηση και αφαίρεσή του. Επίσης, δεν απαιτείται χρόνος για διεξαγωγή μελέτης στο χώρο εγκατάστασης και εργασιών (όπως στα άλλα δύο σενάρια), γεγονός που την καθιστά άμεσα εφαρμόσιμη λύση.

Από την άλλη πλευρά, τις βιωσιμότερες λύσεις αποτελούν η μετατροπή του όγκου της πισίνας, ενέργεια η οποία θα αποφέρει εξοικονόμηση χρημάτων για πολλά χρόνια.

Η αντικατάσταση του λέβητα αποφέρει σημαντικά κέρδη και ο χρόνος αποπληρωμής πολύ μικρός. Παρόλα αυτά, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μόνο τον μήνα Αύγουστο που η πισίνα δεν χρησιμοποιείται ώστε να μην επηρεάσει το πρόγραμμα των κολυμβητών κατά τη διάρκεια της χρονιάς αλλά και για αποφυγή προβλημάτων λόγω των καιρικών συνθηκών. Το ίδιο ισχύει στην περίπτωση της αλλαγής του όγκου. Στο ίδιο μήκος κύματος, κινείται η επιλογή τοποθέτησης ηλιακών συλλεκτών, αφού ο χρόνος ζωής τους σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρία είναι πάνω από 20 χρόνια, με 6 χρόνια επίσης εγγύηση να περιλαμβάνονται για τους συλλέκτες.

Για την επιλογή όμως της βέλτιστης εφαρμογής όσον αφορά την εξοικονόμηση καυσίμου και χρημάτων, σε συνδυασμό με τον χρόνο αποπληρωμής, πρέπει να εξεταστούν οι δαπάνες για τα αντίστοιχα συνδυαστικά σενάρια που εξετάστηκαν παραπάνω.

- Για το **συνδυαστικό σενάριο I** προκύπτει :

Κόστος : 68.327,5 €

Εξοικονόμηση πετρελαίου : 203,12 tn diesel

Εξοικονόμηση χρημάτων(ετήσια) : 257.962 €

$$\text{Περίοδος Αποπληρωμής : } \frac{\text{Κόστος επένδυσης}}{\text{Ετήσιο κέρδος χρημάτων}} = \frac{68.327,5 \text{ €}}{257.962 \text{ €}} = 0,27 \text{ έτη}$$

Δηλαδή 3 περίπου μήνες η περίοδος αποπληρωμής

- Για το **συνδυαστικό σενάριο II** προκύπτει :

Κόστος : 173.175 €

Εξοικονόμηση πετρελαίου : 131,52 tn diesel

Εξοικονόμηση χρημάτων(ετήσια) : 167.030 €

$$\text{Περίοδος Αποπληρωμής : } \frac{\text{Κόστος επένδυσης}}{\text{Ετήσιο κέρδος χρημάτων}} = \frac{173.175 \text{ €}}{167.030 \text{ €}} = 1,04 \text{ έτη}$$

Ο χρόνος αποπληρωμής σ αυτή τη περίπτωση σημειώνεται στον 1 χρόνο περίπου

- Για το **συνδυαστικό σενάριο III** προκύπτει :

Κόστος : 114.702 €

Εξοικονόμηση πετρελαίου : 295,5 tn diesel

Εξοικονόμηση χρημάτων(ετήσια) : 375.285 €

$$\text{Περίοδος Αποπληρωμής : } \frac{\text{Κόστος επένδυσης}}{\text{Ετήσιο κέρδος χρημάτων}} = \frac{114.702 \text{ €}}{375.285 \text{ €}} = 0,31 \text{ έτη}$$

Η περίοδος αποπληρωμής αυτής της περίπτωσης είναι 4 μήνες περίπου

- Για το **συνδυαστικό σενάριο IV** προκύπτει :

Κόστος : 259.984,5 €

Εξοικονόμηση πετρελαίου : 328,1 tn diesel

Εξοικονόμηση χρημάτων(ετήσια) : 416.687 €

$$\text{Περίοδος Αποπληρωμής : } \frac{\text{Κόστος επένδυσης}}{\text{Ετήσιο κέρδος χρημάτων}} = \frac{259.984,5 \text{ €}}{416.687 \text{ €}} = 0,62 \text{ έτη}$$

Έξι μήνες συνεπώς απαιτούνται για την αποπληρωμή του κόστους εγκατάστασης όλων των επιλογών που εξετάστηκαν.

- Για το **συνδυαστικό σενάριο V** προκύπτει :

Κόστος : 134.919,5 €

Εξοικονόμηση πετρελαίου : 320,3 tn diesel

Εξοικονόμηση χρημάτων(ετήσια) : 406.527 €

$$\text{Περίοδος Αποπληρωμής : } \frac{\text{Κόστος επένδυσης}}{\text{Ετήσιο κέρδος χρημάτων}} = \frac{134.919,5 \text{ €}}{406.527 \text{ €}} = 0,33 \text{ έτη}$$

Δίχως την αλλαγή του όγκου, το κόστος του σεναρίου αυτού είναι αρκετά μειωμένο, όπως και ο χρόνος αποπληρωμής που ανέρχεται στους 4 μήνες.

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει το συμπέρασμα ότι το αποδοτικότερο συνδυαστικό σενάριο από τα εξεταζόμενα είναι η εφαρμογή όλων των προτάσεων εκτός της αλλαγής του όγκου της πισίνας. Δεν αποδίδει τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση καυσίμου από όλα τα εξεταζόμενα σενάρια (αφού στο συνδυαστικό IV επιτυγχάνεται

μεγαλύτερη μείωση) αλλά είναι αυτό με την καλύτερη αναλογία εξοικονόμησης πετρελαίου – κόστος εγκατάστασης – χρόνος αποπληρωμής.

Εξετάζοντας το σύνολο των προτάσεων και παρατηρώντας το χρόνο αποπληρωμής τους, παρατηρείται ότι η έλλειψη κάποιας ενέργειας ως τώρα για εξοικονόμηση ενέργειας είναι εμφανής. Η εξωτερική πισίνα απαιτεί τη μεγαλύτερη ποσότητα πετρελαίου που αντιστοιχεί στο κολυμβητήριο, με τεράστιες απώλειες να σημειώνονται λόγω έκθεσής της στα καιρικά φαινόμενα. Η εφαρμογή ορισμένων ίσως είναι αδύνατη λόγω έλλειψης πόρων τη δεδομένη χρονική περίοδο, σε κάθε περίπτωση όμως, οι προτάσεις αυτές είναι ιδιαίτερα αποδοτικές και η εφαρμογή κάποιων από αυτές αποτελούν ίσως αυτή τη στιγμή τη μοναδική λύση για συνέχεια της λειτουργίας της ανοιχτής πισίνας των Χανίων.

6.7. Συμπεράσματα – Μελλοντικές προτάσεις

Η παρούσα διπλωματική εργασία, είχε ως κύριο στόχο την μελέτη των καταναλώσεων και σημαντικότερων απωλειών της ανοιχτής πισίνας του Κολυμβητηρίου Χανίων, με βάση των οποίων θα γινόταν η βέλτιστη επιλογή εναλλακτικών προτάσεων για την εξοικονόμηση ενέργειας και συγκεκριμένα της πολύ ακριβής πλέον καύσιμης ύλης, του πετρελαίου. Οι δυσμενείς συνθήκες που επικρατούν αρκετό καιρό τώρα στο κολυμβητήριο των Χανίων αλλά και γενικότερα στις πισίνες στην Ελλάδα, έδωσε το έναυσμα για την μελέτη αυτή.

Αρχικά παρουσιάστηκαν πληροφορίες και βιβλιογραφικά δεδομένα για τη λειτουργία των κολυμβητηρίων παγκοσμίως και ειδικότερα στην Ελλάδα, αλλά και ήδη εγκατεστημένων και δοκιμασμένων μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας σε κολυμβητήρια. Συγκεντρώνοντας δεδομένα για την δομή της πισίνας και τη λειτουργία της, έγινε προσομοίωση αυτής με τη χρήση του προγράμματος TRNSYS και συγκεκριμένα του type 344 που ειδικεύεται στην ενεργειακή αποτύπωση των πισινών, εσωτερικών και εξωτερικών.

Επιλέχθηκαν και προτάθηκαν σενάρια βελτίωσης με βάση την περιοχή εγκατάστασης της πισίνας και τις υπάρχουσες οικονομικές συνθήκες της χώρας. Υπολογίστηκε το κόστος αυτών και προσδιορίστηκε ο χρόνος αποπληρωμής τους, ώστε να επιλεγεί η οικονομικά πιο αποδοτική και συμφέρουσα λύση.

Αναλογιζόμενοι τα όσα αναλύθηκαν παραπάνω, σημειώνονται τα πιο σημαντικά μέρη :

- ✓ Η λειτουργία της ανοιχτής πισίνας απαιτεί μεγάλες ποσότητες πετρελαίου για θερμική κάλυψη και ισοστάθμιση των τεράστιων απωλειών της κάθε χρόνο, όπως προέκυψε από την αρχική προσομοίωση. Δεν αποτελεί έκπληξη συνεπώς η ημι-λειτουργία του κολυμβητηρίου και η εγκατάλειψη προσπαθειών για λειτουργία της πισίνας τα τελευταία 3 χρόνια.
- ✓ Η απαγορευτική τιμή του πετρελαίου, με τις συνεχόμενες αυξήσεις την τελευταία πενταετία έχει δημιουργήσει τα μεγαλύτερα προβλήματα και έχει οδηγήσει στη διακοπή θέρμανσης της μεγάλης πισίνας.

- ✓ Η ανυπαρξία μεθόδων μείωσης των απωλειών και της θερμότητας , ειδικότερα της εξάτμισης, σε συνδυασμό με την παλαιότητα του μηχανολογικού εξοπλισμού, έχει σαν αποτέλεσμα την αλόγιστη σπατάλη ενέργειας για θέρμανση και τη μηδενική εξοικονόμηση χρημάτων όλα αυτά τα χρόνια.
- ✓ Ιδιαίτερα αποδοτική κρίνεται η επιλογή ισοθερμικού καλύμματος και της τοποθέτησής του καθημερινώς για τις 8 ώρες που η πισίνα μένει εκτός λειτουργίας. Επιτυγχάνεται μείωση καταναλισκόμενης ενέργειας κατά 30,4% και απαιτήσεις θερμού νερού κατά 25,2% ετησίως, με το χρόνο ζωής του καλύμματος να υπερβαίνει τα 10 χρόνια.
- ✓ Η επιλογή της μείωσης του όγκου έχει μεν τη μικρότερη σχέση ελάττωσης ενέργειας – κόστους αλλά αποτελεί την πιο αποδοτική μακροπρόθεσμα, αφού θα πραγματοποιηθούν οι εργασίες μία φορά, και τα οφέλη της θα προσομοιάζονται για όσα χρόνια η πισίνα συνεχίσει να λειτουργεί.
- ✓ Εναρμονιζόμενοι με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και την εξέλιξη της εποχής, προτείνεται η διαδεδομένη λύση των ηλιακών συλλεκτών, σε μία προσπάθεια εκμετάλλευσης των ατέρμονων και τεράστιων δυνατοτήτων της ηλιακής ενέργειας. Όπως μαρτυρούν τα αποτελέσματα, η περιοχή ενδείκνυται για αυτό το επενδυτικό βήμα, παρόλο το υψηλό του κόστος, το οποίο αποτελεί τροχοπέδη αυτή τη περίοδο στην εφαρμογή του. Η μεγάλη μείωση όμως σε θερμό νερό και ενέργεια της τάξης του 70,9% και 36% αντίστοιχα, σε συνδυασμό με την ανθεκτικότητα του συστήματος και το χαμηλό ετήσιο κόστος συντήρησής του, το καθιστούν εξαιρετικά αποδοτικό και ελκυστικό ως εφαρμογή.
- ✓ Η αναβάθμιση του μηχανολογικού εξοπλισμού με αντικατάσταση λέβητα και καυστήρα ώστε η απόδοση από 65% να αυξηθεί σε 93%, αποτελεί ιδιαίτερα αποδοτικό σενάριο και εφαρμόσιμο, αν αναλογιστεί κανείς ότι ο υπάρχον μηχανολογικός εξοπλισμός υφίσταται από το 1991, επομένως η αντικατάστασή του μετά από 20 συνεχόμενα έτη καταπόνησης και συνεχούς λειτουργίας είναι φυσιολογική εξέλιξη.
- ✓ Όσον αφορά τη συνδυαστικά σενάρια, αποτελούν μεν λύσεις υψηλού κόστους αλλά το κέρδος σε ποσότητα πετρελαίου και συνεπώς χρημάτων, ειδικότερα τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο με την υπάρχουσα τιμή του πετρελαίου, είναι αξιοσημείωτο (πίνακας 6.1.)
- ✓ Δεν πρέπει να μεριμνηθεί το γεγονός ότι η εξοικονόμηση των σημαντικών αυτών ποσοτήτων πετρελαίου που παρουσιάστηκαν ανωτέρω για την θέρμανση της πισίνας ετησίως, επιφέρουν περιβαλλοντικά οφέλη επίσης. Η εκπομπές του CO₂ στην ατμόσφαιρα ελαττώνονται κατά 155 kg/m² εγκατεστημένου ηλιακού συλλέκτη (2010, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας).
- ✓ Εν κατακλείδι, ο αθλητισμός σε συνδυασμό με τον πολιτιστικό τομέα, έχουν απομείνει ως τρόπος ψυχαγωγίας και αντιμετώπισης των προβλημάτων που μαστίζουν την Ελληνική κοινότητα και τους πολίτες της αυτή την εποχή,

χωρίς να μεριμνάται η θετική συμβολή του στη νεολαία . Η προσπάθεια συνεπώς για λειτουργία της πισίνας όλο το χρόνο ώστε να χρησιμοποιείται τόσο από τους Χανιώτες αθλητές όσο και τους πολίτες, δεν αποτελεί ανεκπλήρωτο όνειρο.

Πίνακας 6.1. – Εξοικονόμηση Χρημάτων όλων των σεναρίων

Εξοικονόμηση καυσίμου		
Σενάρια Εξοικονόμησης Καυσίμου	Εξοικονόμηση τόνων πετρελαίου	Εξοικονόμηση χρημάτων
Πισίνα Χανίων	359,6 tn	-
Σενάριο 1 : Χρήση καλύμματος	135,8 tn	172.466€
Σενάριο 2 : Μείωση όγκου	33,37 tn	42.380€
Σενάριο 3 : Ηλιακοί Συλλέκτες	91,7 tn	340.233€
Σενάριο 4 : Αντικατάσταση λέβητα	108,3 tn	137.541€
Συνδυαστικό σενάριο I : <i>Χρήση καλύμματος – Αντικατάσταση λέβητα</i>	205,1 tn	257.940€
Συνδυαστικό σενάριο II : <i>Μείωση όγκου – Αντικατάσταση λέβητα</i>	131,5 tn	167.030€
Συνδυαστικό σενάριο III : <i>Ηλιακοί συλλέκτες – Αντικατάσταση λέβητα</i>	295,5 tn	375.285€
Συνδυαστικό σενάριο IV : <i>Εφαρμογή όλων των μεθόδων</i>	328,1 tn	416.687€
Συνδυαστικό σενάριο V : <i>Εφαρμογή όλων των μεθόδων πλην μείωση όγκου</i>	320,3 tn	406.781€
Ρύθμιση θερμοστάτη στους 25.5°C	17,7 tn	22.479€

Μελλοντικές προτάσεις

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, έγινε προσπάθεια ανάδειξης των «μελανών» σημείων λειτουργίας της πισίνας και προτάθηκαν λύσεις, οι οποίες όμως δεν αποτελούν τις μοναδικές εφαρμόσιμες και αποδοτικές επιλογές. Ενδεικτικά, προτείνονται επίσης :

- Η αλλαγή της θερμοκρασίας θέρμανσης του νερού κατά τη διάρκεια της ημέρας ανάλογα με την ομάδα κολυμβητών που χρησιμοποιούν τη πισίνα μέσα στη μέρα, θα μπορούσε να εξοικονομήσει επιπλέον σημαντικές ποσότητες ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, μεταξύ 3 μ.μ. και 7 μ.μ. που η πισίνα χρησιμοποιείται από τις αγωνιστικές ομάδες της κλασσικής κολύμβησης, της τεχνικής και της συγχρονισμένης, η ένταση της προπόνησης των οποίων είναι ιδιαίτερα υψηλή, η θερμοκρασία θα μπορούσε να μειώνεται στους 25,5 °C, που όπως αποδείχθηκε εξοικονομεί μεγάλα ποσά ενέργειας παρόλη τη μικρή

διαφορά (μόνο 0.5°C). Η ηλικία των παιδιών αλλά και η σωματική καταπόνηση που υπόκεινται, δεν επιτρέπει τη διαφορά θερμοκρασίας αυτή να γίνει αισθητή και να επηρεάσει την απόδοσή τους ενώ αντίθετα εξοικονομεί σημαντικά ποσά ενέργειας.

- Η δυνατότητα συνεχούς ελέγχου της θερμοκρασίας της πισίνας με σύγχρονα, αυτοματοποιημένα συστήματα, θα ήταν ιδιαίτερα αποδοτική αφού όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, η μεγάλη θερμοχωρητικότητα του νερού, οδηγεί σε μεγάλες ποσότητες άσκοπης καταναλισκόμενης ενέργειας για πολύ μικρή αύξηση της θερμοκρασίας του.
- Η θεώρηση της πισίνας ως αδιαβατικό σύστημα, θέτει περιορισμούς στην ενεργειακή ανάλυση του κολυμβητηρίου και τη βελτίωση της συνολικής ενεργειακής του κατανάλωσης. Η εκπόνηση μελέτης που θα περιλαμβάνει και τις τρεις πισίνες, τα αποδυτήρια και τους υπόλοιπους χώρους, θα μπορούσε να δώσει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα των ενεργειακών απαιτήσεων του κολυμβητηρίου ως οικοδόμημα και να προταθούν λύσεις για τη συνολική μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας (πετρέλαιο, τιμολόγια ΔΕΗ, ΔΕΥΑΧ κτλ)
- Η τοποθέτηση των πλέον αποδοτικών συστημάτων θέρμανσης, πέραν των συμβατικών τύπων λέβητα – καυστήρα πετρελαίου, όπως αντλίες θερμότητας αέρα/ νερού ή γεωθερμίας, θα μπορούσε να εξεταστεί μελλοντικά ως επιλογή εξοικονόμησης καταναλισκόμενης ποσότητας καυσίμου και μείωση κόστους λειτουργίας της πισίνας.

Βιβλιογραφία

Assessment for an indoor or outdoor swimming pool – type 344 for TRNSyS, TRANSOLAR, EnergieTechnik GmbH, Thomas Auer, Stuttgart, Germany, November 21 1996.

Ενεργειακή Αξιολόγηση Κτιρίων – Διαλέξεις μηθήματος, Κολοκοτσά Διονυσία, τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2012.

Optimisation of water and energy use at the Wales National Pool, Water and Environmental Journal, P.R.D. Isaac, C.R.Hayes, R.K.Akers, Swansea, UK, 2009.

Εργαστηριακές Σημειώσεις Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Κανάκης Ιωάννης, τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2011.

Energy conservation strategies for sports centers: Part B . Swimming pools ,E. Trianti-Stourna, K. Spyropoulou, C. Theofylaktos, K. Droutsas, C.A. Balaras, M. Santamouris, D.N. Asimakopoulos G. Lazaropoulou, N. Papanikolaou, Energy and Buildings, Athens, 1997.

Solar Energy Use in Outdoor Swimming Pools : National Fact sheet Reports on the state of the Demand and Potential of Solar Heating of Outdoor Swimming Pools in Germany, Leire Sarachaga, Bernhard Weyres-Borchert, Antje Klauß-Vorreiter, Germany, November 2008.

Solar Energy Use in Outdoor Swimming Pools : Documentation on the data collection procedure – GREECE, Rozi Christodoulaki, Effie Korma, Athens, April 2009.

Energy Efficiency in swimming pools – Good practice Guide 219, Garston, UK, 1997

Swimming pools : A deeper look at energy efficiency, In-depth technology guide CTG009, Carbon trust, UK, April 2008.

Ηλιάδου Παρασκευή, Ενεργειακή διαχείριση συστημάτων αθλητικών κέντρων – περίπτωση κλειστού κολυμβητηρίου Ξάνθης, Μεταπτυχιακή διατριβή, τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο, Ξάνθη, Οκτώβριος 2011.

Τεχνικο-οικονομική και περιβαλλοντική αποτίμηση επένδυσης για τη λειτουργία του κλειστού κολυμβητηρίου Χανίων, Τζωρτζάτος Παναγιώτης, τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Σεπτέμβριος 2008.

Analysis of an open-air swimming pool solar heating system by using an experimentally validated TRNSYS model, Elisa Ruiz, Pedro J. Martinez, Solar Energy 84, 116 – 123, Spain, 2010.

MONITORING AND SIMULATION OF THE THERMAL PERFORMANCE OF SOLAR HEATED OUTDOOR SWIMMING POOLS , E. HAHNE , R. KUBLER, Solar Energy vol 53, 9-19, Stuttgart, Germany, 1994.

A method of heating swimming pools by solar energy, J.T. Czarnecki, Solar Energy vol 7, No 1, Victoria, Australia, 1962.

Low-cost solar heating of community pools using pool covers, Francey, Golding, Clarket, Solar Energy vol.25, 407-416, Australia, 1980.

Measurement and analysis of evaporation from an inactive outdoor swimming pool, C.Smith, G. Lof, R. Jones, Solar Energy vol. 53, 3-7, USA, 1994.

Energy efficiency in sports and recreation buildings : swimming pool covers, Good practice guide – case study 76, Cardiff, September 1994.

Solar Energy Use in outdoor swimming pools : Event documentation, Effie Korma, Athens, February 2009.

Websites

www.energy.gov (US Department of Energy)

www.heliocol.com

www.en.wikipedia.org

www.koe.org.gr (Κολυμβητική Ομοσπονδία Ελλάδος)

www.fina.org/H2O (Επίσημο site Παγκόσμιας Ομοσπονδίας Υγρού Στίβου)

www.buderus.gr