



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Διπλωματική Εργασία**

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΓΙΑ  
ΠΙΣΙΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ**

**Περιστερόπουλος Αντώνης – Φοίβος**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**Καθηγητής Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος (Επιβλέπων)**

**Καθηγητής Σταυρακάκης Γεώργιος (Συν-Επιβλέπων)**

**Διδάκτωρ Σεργάκη Ελευθερία (Συν-Επιβλέπουσα)**

**Χανιά, Οκτώβριος 2018**



## Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω ειλικρινά τον Επιβλέπων Καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Καλαϊτζάκη για την συνεχή στήριξη του κατά την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας. Ήταν καθόλη τη διάρκεια της συντονιστικής, δίνοντας μου τη δυνατότητα επιλογής των μεθόδων που προτιμούσα, καθοδηγώντας με στην σωστή κατεύθυνση έρευνας του εκάστοτε θέματος.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω βαθύτατα την Διδάκτωρ Ελευθερία Σεργάκη, Συν-Επιβλέπουσα της επιτροπής καθηγητών, η οποία μου έδωσε αρχικά την ευκαιρία να εργαστώ σε αυτό το θέμα. Σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής αυτής, ήταν σε συνεχή επικοινωνία μαζί μου, καθοδηγώντας με με υλικό για μελέτη, αλλά και βοηθώντας με να ξεπεράσω όποιο πρόβλημα παρουσιάστηκε. Από την αρχή, μέχρι το τέλος ήταν ο πιο στενός συνεργάτης και «σύμβουλός» μου για την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής και την ευχαριστώ ειλικρινά για τη συνεργασία αυτή.

Συνεχίζοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Γεώργιο Σταυρακάκη, για τις πολύ σημαντικές παρατηρήσεις του στην διπλωματική μου εργασία και φυσικά για όλες τις γνώσεις πάνω στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας που μου προσέφερε.

Φυσικά θα ήθελα να ευχαριστήσω ειλικρινά τους γονείς μου, Μανώλη και Σταυρούλα, για την στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου και την αγάπη που μου δείχνουν σε όλες τις επιλογές μου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω και την αδελφή μου Ειρηάννα, όπου παρά την νεαρή ηλικία της, είχε πάντα την ωριμότητα να μου στέκεται και να με τροφοδοτεί με έμπνευση και κουράγιο.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές μου για την στήριξη τους και τα πολύ χρήσιμα σχόλια και συμβουλές που μου παρείχαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής.

## Περίληψη

Με τον όρο κολυμβητικές δεξαμενές ή αλλιώς πισίνες, ορίζονται οι τεχνητές κοιλότητες στο έδαφος ή σε κτήρια οι οποίες γεμίζονται με νερό και χρησιμοποιούνται για κολύμβηση και άλλες υδάτινες δραστηριότητες. Οι δεξαμενές αυτές για να πληρούν τις ολυμπιακές προδιαγραφές πρέπει εκτός από το κατάλληλο μέγεθος και να θερμαίνονται με βάση την αντίστοιχη νομοθεσία. Η τεχνολογία στη θέρμανση του νερού έχει εξελιχθεί και αρχίζει να εφαρμόζεται και στην Ελλάδα. Μέχρι τώρα, οι τρόποι θέρμανσης που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως συμβατικοί και με υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις. Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετώνται και συγκρίνονται διαφορετικές μέθοδοι και τεχνολογίες θέρμανσης για κολυμβητικές δεξαμενές ολυμπιακών διαστάσεων, εσωτερικού χώρου.

Οι μέθοδοι αυτές εφαρμόστηκαν για τις ανάγκες του κολυμβητηρίου που βρίσκεται στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης στα Χανιά. Αρχικά έγινε μελέτη των θερμικών απωλειών του συστήματος. Όλοι οι υπολογισμοί, τα χρησιμοποιούμενα συστήματα, όπως και όλα τα στοιχεία της μελέτης είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις της υπάρχουσας τεχνικής νομοθεσίας, τις προδιαγραφές των αντίστοιχων τεχνικών οδηγιών του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.), τα πρότυπα του Ελληνικού Οργανισμού Τυποποίησης (ΕΛ.Ο.Τ.), τις ευρωπαϊκές και διεθνείς προδιαγραφές DIN (Deutsche Industrie Normen) και ISO (International Organization of Standardization). Η μοντελοποίηση και η προσομοίωση των διαφορετικών συστημάτων θέρμανσης έγινε με το λογισμικό HOMER®.

Ειδικότερα, εξετάστηκαν πέντε σενάρια για την κάλυψη των αναγκών για τη θέρμανση της πισίνας ολυμπιακών διαστάσεων. Το πρώτο είναι με σύστημα λέβητα – καυστήρα πετρελαίου, το δεύτερο με σύστημα λέβητα – καυστήρα φυσικού αερίου, το τρίτο με σύστημα λέβητα – καυστήρα βιομάζας (με καύσιμο πέλλετ ή πυρηνόξυλο), το τέταρτο με σύστημα αντλιών θερμότητας και το πέμπτο με σύστημα αντλιών θερμότητας σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκά πάνελ. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν επιλέχθηκε η βέλτιστη λύση για την κάλυψη του εν λόγω ενεργειακού προβλήματος.

## Λέξεις Κλειδιά

Κολυμβητική Δεξαμενή  
Θερμικές Απώλειες  
HOMER®  
Αντλία Θερμότητας  
Λέβητας – Καυστήρας  
Βιομάζα  
Ηλεκτρικό Ρεύμα  
Φ/B - Φωτοβολταϊκά



## **Abstract**

The term swimming pool refers to artificial cavities in the ground or buildings that are being filled with water so that people can swim in or perform other water activities. To comply with olympic specifications, other than having the appropriate dimensions, the pools should be heated as defined by the laws in place. The associated technologies have been substantially evolved and they have gradually started to be applied in Greece. The pool heating mechanisms used in practice are usually old-fashioned and inefficient with respect to the energy consumption. The current thesis focuses on studying and comparing different technologies used to heat indoor Olympic pools.

These methods/approaches have been applied for the swimming pool located in the area of Technical University of Crete, after a study of the system's thermal losses. The associated calculations, the evaluated systems, as long as the data of the study, are according to the current Technical Chamber of Greece, the specifications of the Hellenic Organization for Standardization (ELOT), the European and International specifications DIN (Deutsche Industrie Normen) and ISO (International Organization of Standardization). The modeling and simulation of the alternative methods/approaches for supplying the necessary thermal load was done with the HOMER<sup>®</sup> software.

In specific, the thesis focuses on five cases/scenarios for support the heating requirements of an Olympic pool. The first is a system with boiler – oil burner. The second is a system with boiler – natural gas burner, the third a system with boiler – biomass burner (with fuel pellet or pyroloxyl), the forth a system with heat pumps, and the fifth a system with heat pumps in conjunction with solar panels. From the results the thesis identifies the optimal/best solution for heating an Olympic pool.

## **Keywords**

Swimming Pool

Thermal Load

HOMER<sup>®</sup>

Heat Pump

Boiler

Biomass

Electricity

PV - Photovoltaic



## Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	1
2	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση .....	3
3	Βασικές Γνώσεις .....	5
3.1	Ελληνική νομοθεσία .....	5
3.1.1	Ποιότητα Νερού .....	6
3.1.2	Ανακυκλοφορία και Καθαρισμός του νερού.....	7
3.1.3	Απολύμανση του νερού .....	7
3.2	Ευρωπαϊκή νομοθεσία .....	8
3.3	Τεχνολογικά υλικά και μέθοδοι που χρησιμοποιούνται .....	10
3.3.1	Λέβητες.....	10
3.3.2	Καυστήρες .....	12
3.3.3	Εναλλάκτες Θερμότητας .....	13
3.3.4	Αντλίες Θερμότητας.....	16
3.4	Πηγές Ενέργειας .....	18
3.4.1	Συμβατικές Πηγές Ενέργειας .....	18
3.4.2	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).....	19
3.4.3	Ηλιακή Ενέργεια.....	20
3.4.4	Βιομάζα .....	21
3.4.5	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) 22	
3.5	Απόδοση .....	23
3.6	Ανάλυση του βαθμού απόδοσης των συστημάτων που εξετάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία. ....	24
3.6.1	Βαθμός απόδοσης συστήματος Λέβητα – Καυστήρα. ....	24
3.6.2	Βαθμός απόδοσης εναλλάκτη.....	24
3.6.3	Βαθμός απόδοσης αντλίας θερμότητας. ....	26
3.7	Λογισμικό HOMER® .....	28
4	Κλειστό Κολυμβητήριο Πολυτεχνείου Κρήτης .....	29
4.1	Φυσική εγκατάσταση .....	29
4.2	Απαιτήσεις θερμότητας κτιρίου.....	30
4.2.1	Περιγραφή υπάρχουσας εγκατάστασης θέρμανσης μεγάλης και μικρής πισίνας 31	
5	Απώλειες θερμότητας σε κολυμβητικές δεξαμενές. ....	33
5.1	Απώλειες θερμότητας λόγω αγωγής θερμότητας. ....	33
5.2	Απώλειες θερμότητας λόγω εξάτμισης.....	33



5.2.1	Η διαφορά θερμοκρασίας του νερού με την ατμόσφαιρα. ....	33
5.2.2	Η επιφάνεια της πισίνας. ....	33
5.2.3	Τα επίπεδα υγρασίας της ατμόσφαιρας. ....	33
5.2.4	Η ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια του νερού.....	34
5.3	Απώλειες θερμότητας λόγω συναγωγής. ....	34
5.4	Απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας.....	34
5.5	Υπολογισμός απωλειών θερμότητας. ....	35
5.5.1	Απώλειες λόγω αγωγής θερμότητας.....	35
5.5.2	Απώλειες λόγω ακτινοβολίας. ....	36
5.5.3	Απώλειες λόγω συναγωγής .....	36
5.5.4	Απώλειες λόγω εξάτμισης. ....	38
5.5.5	Υπολογισμός συνολικών απωλειών πισίνας. ....	39
5.5.6	Απαιτούμενη θερμική ισχύς αρχικής θέρμανσης πισίνας. ....	39
5.6	Υπολογιστικό φύλλο Excel.....	40
5.7	Αποτελέσματα θερμικών απαιτήσεων για την μικρή και την μεγάλη πισίνα.....	44
5.7.1	Αποτελέσματα για την μεγάλη πισίνα. ....	44
5.7.2	Αποτελέσματα για μικρή πισίνα.....	46
5.7.3	Συνολικές απώλειες για την μικρή και την μεγάλη πισίνα.....	47
6	Διαφορετικές μέθοδοι που εξετάστηκαν στο λογισμικό HOMER® .....	49
6.1	Θέρμανση με συμβατικό σύστημα λέβητα - καυστήρα πετρελαίου.....	49
6.2	Θέρμανση με σύστημα λέβητα-καυστήρα φυσικού αερίου. ....	53
	.....	56
6.3	Θέρμανση με σύστημα λέβητα-καυστήρα βιομάζας. ....	56
6.4	Θέρμανση με αντλία θερμότητας τροφοδοτούμενη από το δίκτυο και Φωτοβολταϊκά πάνελ. 62	
7	Σχολιασμός αποτελεσμάτων .....	73
8	Συμπεράσματα .....	77
9	Μελλοντικές Ιδέες/Προτάσεις.....	79
	Βιβλιογραφία .....	81
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	85

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 3.1 Εναλλάκτης κελύφους με σωληνώσεις, τύπου αντιρροής, .....	13
Εικόνα 3.2 Εναλλάκτης κελύφους με σωληνώσεις, τύπου ομορροής,.....	14
Εικόνα 3.3 Εναλλάκτης κελύφους με αναστρεφόμενους σωλήνες (σχήματος U) [38]. .....	14
Εικόνα 3.4 Ειδικός εναλλάκτης κελύφους με τρεις διαδρομές σωληνώσεων,.....	14
Εικόνα 3.5 Σχηματική παράσταση πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας, με πλάκες πλαισίου, .	15
Εικόνα 3.6 Σωλήνες εναλλάκτη νερού - αέρα με περύγια [38]. .....	15
Εικόνα 3.7 Συμπαγής εναλλάκτης ατμού – αέρα, που χρησιμοποιείται για την ανάκτηση.....	16
Εικόνα 3.8 Κύκλος λειτουργίας Αντλίας Θερμότητας (ψυκτικός κύκλος) [44]. .....	17
Εικόνα 3.9 Εφαρμογές της Ηλιακής Ενέργειας [57]. .....	20
Εικόνα 3.10 . Διάγραμμα απεικόνισης της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών [8].....	21
Εικόνα 3.11 Πινακίδα συστήματος Λέβητα – Καυστήρα .....	24
Εικόνα 3.12 Πινακίδα συστήματος Λέβητα – Καυστήρα .....	24
Εικόνα 3.13 Αντλία Θερμότητας για θέρμανση πισίνας [10] .....	27
Εικόνα 3.14 Αντλία για θέρμανση και ψύξη γενικής χρήσης [10].....	28
Εικόνα 4.1 Κλειστό Κολυμβητήριο Πολυτεχνείου Κρήτης [14]. .....	29
Εικόνα 5.1 Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας για τα περιμετρικά τοιχία και τον πυθμένα, αντίστοιχα. ....	42
Εικόνα 5.2 Υπολογιστικό φύλλο που υλοποιήθηκε στο Excel (Μέρος 1).....	43
Εικόνα 5.3 Υπολογιστικό φύλλο που υλοποιήθηκε στο Excel (Μέρος 2).....	43
Εικόνα 6.1 Παράθυρο ρυθμίσεων για τα θερμικά φορτία.....	50
Εικόνα 6.2 Παράθυρο εισαγωγής για τα κόστη του συστήματος λέβητα – καυστήρα πετρελαίου. ....	50
Εικόνα 6.3 Σύστημα λέβητα – καυστήρα που επιλέχθηκε [46] .....	51
Εικόνα 6.4 Πλακοειδής εναλλάκτης τιτανίου που επιλέχθηκε [55].....	51
Εικόνα 6.5 Ετήσια οικονομικά αποτελέσματα για το σύστημα λέβητα – καυστήρα πετρελαίου. ....	52
Εικόνα 6.6 Οικονομικά στοιχεία σε βάθος χρόνου 25 ετών για το σύστημα λέβητα – καυστήρα πετρελαίου. ....	52
Εικόνα 6.7 Στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης του συστήματος λέβητα – καυστήρα πετρελαίου. ....	53
Εικόνα 6.8 Παράθυρο ορισμού κόστους φυσικού αερίου.....	54
Εικόνα 6.9 Παράθυρο εισαγωγής για τα κόστη του συστήματος λέβητα – καυστήρα φυσικού αερίου. ....	55
Εικόνα 6.10 Ετήσια οικονομικά αποτελέσματα για σύστημα λέβητα – καυστήρα φυσικού αερίου. ....	55
Εικόνα 6.12 Οικονομικά στοιχεία σε βάθος χρόνου 25 ετών του συστήματος λέβητα – καυστήρα φυσικού αερίου.....	56
Εικόνα 6.11 Στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης του συστήματος λέβητα – καυστήρα φυσικού αερίου.....	56
Εικόνα 6.13 Παράθυρο ορισμού κόστους για πυρηνόξυλο.....	57
Εικόνα 6.15 Παράθυρο ορισμού βαθμού απόδοσης λέβητα βιομάζας. ....	58
Εικόνα 6.14 Παράθυρο ορισμού κόστους για πέλλετ. ....	58
Εικόνα 6.16 Παράθυρο εισαγωγής για τα κόστη του συστήματος βιομάζας.....	59

Εικόνα 6.17 Σύστημα λέβητα – καυστήρα βιομάζας .....	59
Εικόνα 6.18 Ετήσια οικονομικά αποτελέσματα για σύστημα λέβητα – καυστήρα βιομάζας με καύσιμο πυρήνα.....	60
Εικόνα 6.19 Στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης του συστήματος λέβητα – καυστήρα βιομάζας με καύσιμο πυρήνα. ....	60
Εικόνα 6.20 Οικονομικά στοιχεία σε βάθος χρόνου 25 ετών για σύστημα λέβητα – καυστήρα βιομάζας με καύσιμο πυρήνα. ....	61
Εικόνα 6.21 Ετήσια οικονομικά αποτελέσματα για σύστημα λέβητα – καυστήρα βιομάζας με καύσιμο πέλλετ. ....	61
Εικόνα 6.22 Στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης του συστήματος λέβητα – καυστήρα βιομάζας με καύσιμο πέλλετ. ....	62
Εικόνα 6.23 Οικονομικά στοιχεία σε βάθος χρόνου 25 ετών για σύστημα λέβητα – καυστήρα βιομάζας με καύσιμο πέλλετ. ....	62
Εικόνα 6.24 Παράθυρο ρυθμίσεων για τα ηλεκτρικά φορτία. ....	63
Εικόνα 6.25 Αντλία θερμότητας που χρησιμοποιήθηκε [10]......	64
Εικόνα 6.26 Παράθυρο εισαγωγής για τα κόστη του συστήματος αντλιών θερμότητας.....	64
Εικόνα 6.27 Πεδίο εισαγωγής κλιματολογικών δεδομένων.....	65
Εικόνα 6.28 Μετατροπέας τάσης (Inverter) SMA 50kW [19]......	66
Εικόνα 6.29 Πάνελ SHARP 72 μονοκρυσταλλικών κυψελών 360Wp [49]. ....	66
Εικόνα 6.30 Πεδίο εισαγωγής χαρακτηριστικών των φωτοβολταϊκών συστημάτων. ....	67
Εικόνα 6.31 Πεδίο εισαγωγής χαρακτηριστικών μετατροπέα (Inverter). ....	68
Εικόνα 6.32 Ετήσια οικονομικά αποτελέσματα για σύστημα αντλιών θερμότητας με φωτοβολταϊκά στοιχεία. ....	68
Εικόνα 6.33 Οικονομικά στοιχεία σε βάθος χρόνου 25 ετών για σύστημα αντλιών θερμότητας με φωτοβολταϊκά στοιχεία. ....	69
Εικόνα 6.34 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο για σύστημα αντλιών θερμότητας με φωτοβολταϊκά στοιχεία.....	69
Εικόνα 6.35 Ετήσια οικονομικά αποτελέσματα για σύστημα αντλιών θερμότητας τροφοδοτούμενο εξ ολοκλήρου από το δίκτυο. ....	70
Εικόνα 6.36 Οικονομικά στοιχεία σε βάθος χρόνου 25 ετών για σύστημα αντλιών θερμότητας τροφοδοτούμενο εξ ολοκλήρου από το δίκτυο. ....	70
Εικόνα 6.37 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο σύστημα αντλιών θερμότητας τροφοδοτούμενο εξ ολοκλήρου από το δίκτυο. ....	71

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1 Κατασκευαστικές Απαιτήσεις Κολυμβητικών Δεξαμενών [40].	6
Πίνακας 3.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού [40].	7
Πίνακας 3.3 Τεχνικές Προδιαγραφές Αγωνιστικών Κολυμβητικών Δεξαμενών [40].	9
Πίνακας 3.4 Προτεινόμενες Θερμοκρασίες Νερού [12].	10
Πίνακας 3.5 Κατηγορίες λεβήτων με διαφορετικά κριτήρια [48].	11
Πίνακας 3.6 Τύποι συμπαγών εναλλακτών ανάλογα με την πυκνότητα επιφάνειας [38].	16
Πίνακας 4.1 Απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς για τη θέρμανση του χώρου.	30
Πίνακας 4.2 Απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς για θέρμανση του νερού για τις πισίνες.	31
Πίνακας 4.3 Συνολικές απώλειες για τη θέρμανση των πισινών.	31
Πίνακας 5.1 Ρυθμός εξάτμισης νερού [53].	34
Πίνακας 5.2 Γραμμική παρεμβολή για τον υπολογισμό των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών για την επιθυμητή θερμοκρασία νερού [42].	37
Πίνακας 5.3 Υπολογισμός αδιάστατων αριθμών που απαιτούνται για τον προσδιορισμό του συντελεστή συναγωγής [3].	37
Πίνακας 5.4 Υπολογισμός απαιτούμενων πιέσεων κορεσμού για τις δεδομένες θερμοκρασίες του συστήματος [28].	38
Πίνακας 5.5 «Activity Factor» ( $F_A$ ), ανάλογα την χρήση της πισίνας [28].	39
Πίνακας 5.6 Υπολογισμός πυκνότητας και ειδικής θερμότητας για την επιθυμητή θερμοκρασία του νερού [42].	40
Πίνακας 5.7 Πεδίο εισαγωγής δεδομένων.	41
Πίνακας 5.8 Θερμικές απαιτήσεις μεγάλης πισίνας ωριαία και για την αρχική θέρμανση.	44
Πίνακας 5.9 Θερμικές απαιτήσεις μικρής πισίνας ωριαία και για την αρχική θέρμανση.	46
Πίνακας 6.1 Κόστος αγοράς πέλλετ και πυρηνόξυλου.	57
Πίνακας 7.1 Κόστος επένδυσης και συντήρησης για κάθε μέθοδο (τιμές 2018).	73
Πίνακας 7.2 Ετήσιο κόστος λειτουργίας για κάθε μέθοδο.	74
Πίνακας 7.3 Συνολικό κόστος λειτουργίας επένδυσης για κάθε μέθοδο.	75
Πίνακας 7.4 Συνολικά οικονομικά στοιχεία για κάθε μέθοδο.	76

# 1 Εισαγωγή

Στον σύγχρονο ανθρώπινο πολιτισμό είναι πολύ δημοφιλή τα υδάτινα αθλήματα και η άσκηση σε κολυμβητικές δεξαμενές. Αυτές οι δραστηριότητες πραγματοποιούνται ανεξαρτήτως εποχής από πάρα πολλούς ανθρώπους παγκοσμίως. Οι κολυμβητικές δεξαμενές, χρησιμοποιούνται επίσης από πολλούς ανθρώπους, για θεραπευτικούς λόγους. Έτσι, γίνεται αντιληπτό ότι πολύ μεγάλο ποσοστό των ανθρώπων επιλέγει τις υδάτινες δραστηριότητες για διάφορους λόγους.

Αυτή η τάση των ανθρώπων είναι φυσικό πως πυροδότησε μία πολύ μεγάλη αύξηση στην κατασκευή κολυμβητικών δεξαμενών σε όλα τα μέρη του κόσμου. Αυτή η κατασκευαστική άνθηση συμβαίνει των τελευταίο αιώνα, με αποτέλεσμα να υπάρχουν πάρα πολλές εγκατεστημένες εφαρμογές κολυμβητικών δεξαμενών. Οι χρήσεις των πισίνων αυτών μπορεί να είναι, αγωνιστική, αναψυχής, θεραπευτική ή άλλη.

Ωστόσο, όποια και αν είναι η χρήση μιας πισίνας, σαν εφαρμογή αποτελεί μια ενεργοβόρο εγκατάσταση. Μία πισίνα έχει πολλά λειτουργικά μέρη (αντλίες, φώτα, φίλτρα, υπολογιστές χημικών και άλλα), τα οποία καταναλώνουν ενέργεια. Όμως, για τις περισσότερες εφαρμογές, καθώς χρησιμοποιούνται όλο τον χρόνο, πρέπει να είναι θερμαινόμενο το νερό της πισίνας. Η θέρμανση της πισίνας, αποτελεί την πιο ενεργοβόρο λειτουργία μιας κολυμβητικής δεξαμενής.

Έτσι, αποτελεί αντικείμενο μελέτης για πολλά χρόνια η διερεύνηση μεθόδων μείωσης του κόστους και της κατανάλωσης ενέργειας για τις κλειστές ή ανοιχτές κολυμβητικές δεξαμενές. Το αντικείμενο αυτό μελετάται από διάφορες σκοπιές όλα αυτά τα χρόνια και συνεχώς προκύπτουν καλύτερα αποτελέσματα. Η εξέλιξη των τεχνολογιών θέρμανσης του νερού των κολυμβητικών δεξαμενών παίζει καθοριστικό ρόλο σε αυτή την βελτίωση των ενεργειακών καταναλώσεων. Φυσικά και η διερεύνηση νέων μεθόδων αποτελεί εξίσου σημαντικό μέρος της μελέτης που γίνεται για το θέμα αυτό.

Σε αυτή την διπλωματική, αφού μελετήθηκαν αναλυτικά οι θερμικές απώλειες των κολυμβητικών δεξαμενών του κολυμβητηρίου του Πολυτεχνείου Κρήτης, προσομοιώθηκαν διάφορες τεχνολογίες (συμβατικές και ανανεώσιμες) για την κάλυψη αυτών των θερμικών απαιτήσεων.

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, προσδιορίστηκε το κόστος λειτουργίας για την θέρμανση του υπό μελέτη κολυμβητηρίου, ετήσια αλλά και σε βάθος χρόνου ζωής εικοσιπέντε ετών, ανάλογα με την μέθοδο. Αυτά τα αποτελέσματα είναι χρήσιμα για την επιλογή οικονομικού, αποδοτικού και φιλικού προς το περιβάλλον συστήματος θέρμανσης για το κολυμβητήριο του Πολυτεχνείου Κρήτης.



## 2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Ο βασικός παράγοντας για να μελετηθούν και να διερευνηθούν οι τρόποι κάλυψης των θερμικών αναγκών για τα κλειστά κολυμβητήρια, είναι φυσικά να υπολογιστούν οι ωριαίες θερμικές ανάγκες. Έτσι έχει γίνει σημαντική βιβλιογραφική έρευνα σε αυτή την κατεύθυνση [28, 24, 58]. Στην διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν στην απώλεια θερμότητας του κολυμβητηρίου σαν κτήριο, αλλά και των κολυμβητικών δεξαμενών. Οι απώλειες θερμότητας των κολυμβητικών δεξαμενών, αποτελούν αντικείμενο μελέτης για πάρα πολλά χρόνια και πλέον θεωρείται ότι μπορούν να υπολογιστούν με μεγάλη ακρίβεια οι θερμικές απώλειες μίας πισίνας.

Για την θέρμανση των κλειστών κολυμβητηρίων έχει γίνει επίσης αρκετή μελέτη και υπάρχει αρκετή βιβλιογραφία διαθέσιμη. Οι περισσότερες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, είναι για την βελτιστοποίηση των συστημάτων κλιματισμού και αφύγρανσης της ατμόσφαιρας του κολυμβητηρίου [27, 23]. Στις κολυμβητικές δεξαμενές ο σημαντικότερος παράγοντας απώλειας θερμότητας είναι η εξάτμιση. Στους ατμούς του νερού περιέχονται και χημικά όπως χλώριο, τα οποία χρησιμοποιούνται για την απολύμανση της πισίνας. Έτσι είναι αντιληπτό πως η διατήρηση του εσωτερικού κλίματος του εκάστοτε κολυμβητηρίου σε κανονικά επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας, είναι από τις πλέον δύσκολες εφαρμογές.

Έτσι γίνεται επιτακτική η ανάγκη σχεδιασμού και ανάπτυξης σύγχρονων συστημάτων κλιματισμού και αφύγρανσης της ατμόσφαιρας του κολυμβητηρίου. Σε αυτή την κατεύθυνση λοιπόν, έχει γίνει αρκετή έρευνα και έχουν σχεδιαστεί συστήματα εξαιρετικά αποδοτικά με χαμηλές καταναλώσεις λειτουργίας. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι με γεωθερμικές αντλίες θέρμανσης ή ακόμα και σύγχρονα συστήματα ηλιακών συλλεκτών.

Καθώς το δυσμενέστερο και πιο προβληματικό θερμικό φορτίο σε ένα κλειστό κολυμβητήριο, είναι η κολυμβητική δεξαμενή, είναι λογικό πως έχει γίνει αρκετή έρευνα και σε αυτή την κατεύθυνση. Η κολυμβητική δεξαμενή είναι τόσο δύσκολο φορτίο στην κάλυψη του, λόγω του πολύ μεγάλου όγκου νερού που διαθέτει [25]. Ένας τόσο μεγάλος όγκος, είναι λογικό ότι χρειάζεται πολύ μεγάλη ποσότητα θερμότητας για να θερμανθεί. Ωστόσο, η πολύ μεγάλη επιφάνεια που διαθέτει αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα για τις ωριαίες απώλειες θερμότητας της πισίνας. Έχει γίνει λοιπόν αρκετή έρευνα στην κατεύθυνση του περιορισμού αυτών των ωριαίων απωλειών θερμότητας [59].

Οι πιο αποδοτικές μέθοδοι που έχουν αποδειχθεί από τις έρευνες αυτές είναι:

1. Τοποθέτηση ισοθερμικού καλύμματος στην επιφάνεια της πισίνας, τις ώρες που είναι κλειστό το κολυμβητήριο.
2. Χρήση ειδικών θερμομονωτικών υλικών σαν επένδυση στον πυθμένα και τα περιμετρικά τοιχία της κολυμβητικής δεξαμενής.

Έχει αποδειχτεί ότι η χρήση ειδικού ισοθερμικού καλύμματος στην επιφάνεια της πισίνας, μπορεί να μειώσει έως και 70% τις απώλειες λόγω εξάτμισης και συναγωγής, οι οποίες όπως αναφέρθηκε, είναι η μεγαλύτερη πηγή απωλειών. Αυτό φυσικά έχει πυροδοτήσει και μεγάλη έρευνα για την εύρεση των αποδοτικότερων υλικών κατασκευής των ειδικών καλυμμάτων πισίνας [53, 22].

Με την χρήση ειδικών θερμομονωτικών υλικών στην κατασκευή του πυθμένα και των περιμετρικών τοιχίων της κολυμβητικής δεξαμενής, επιτυγχάνεται η μείωση των απωλειών λόγω αγωγής. Αυτή η μέθοδος θεωρείται απαραίτητη στην κατασκευή πισίνας πλέον, καθώς

και οι απώλειες λόγω αγωγής αποτελούν σημαντικό ποσοστό των συνολικών απωλειών θερμότητας στις κολυμβητικές δεξαμενές.

Ο τρίτος άξονας που έχουν κινηθεί οι μελέτες για την θέρμανση των κλειστών κολυμβητικών δεξαμενών, είναι η αντικατάσταση του συμβατικού συστήματος λέβητα – καυστήρα πετρελαίου με άλλα πιο οικονομικά [26, 21]. Τα κύρια συστήματα που έχουν δοκιμαστεί είναι συστήματα ηλιακών συλλεκτών [7], τα οποία όμως χρειάζονται πάρα πολύ χώρο για την εγκατάστασή τους, λόγω της χαμηλής απόδοσής τους. Επίσης, είναι αρκετά ακριβά τέτοιου είδους συστήματα και αρκετά ευαίσθητα.

Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική εξέλιξη στην τεχνολογία των αντλιών θερμότητας, καθώς έχουν βελτιωθεί πολύ οι αποδόσεις τους [51]. Έτσι, έχει μελετηθεί σε αρκετές εργασίες, η αντικατάσταση του συστήματος λέβητα – καυστήρα πετρελαίου με αντλίες θερμότητας. Έχει αποδειχθεί ότι η χρήση αντλιών θερμότητας για την θέρμανση είτε του εσωτερικού χώρου του κολυμβητηρίου, είτε των κολυμβητικών δεξαμενών, είναι πολύ πιο αποδοτική [4]. Αυτό συμβαίνει λόγω του υψηλού βαθμού απόδοσης των σύγχρονων αντλιών και λόγω της διαφοράς κόστους του πετρελαίου θέρμανσης και του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας.



## 3 Βασικές Γνώσεις

### 3.1 Ελληνική νομοθεσία

Η Ελληνική Νομοθεσία, από τις αρχές της δεκαετίας του 1970, έχει μεριμνήσει για την περίπτωση κατασκευής νέου κολυμβητηρίου, καθώς και τις προτεινόμενες επικρατούσες συνθήκες όσων είναι ήδη σε λειτουργία.

Σύμφωνα με την Υπουργική Απόφαση Γ1/443/1973 (ΦΕΚ 87/Β/24-1-73 [39]) και όπως τροποποιήθηκε από την υπ' αριθμόν Γ4 1150/76 (ΦΕΚ 937 Β [40]), «περί Κολυμβητικών Δεξαμενών μετά οδηγιών κατασκευής και λειτουργίας αυτών» (Υγειονομική Διάταξη [32]), καθορίζονται οι κατασκευαστικές απαιτήσεις των νέων πισινών, οι οποίες με βάση της επιφάνειάς τους, διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Μικρές, εφόσον έχουν επιφάνεια μέχρι  $350\text{m}^2$
2. Μεσαίες, εφόσον έχουν επιφάνεια μεγαλύτερη των  $350\text{m}^2$  και μέχρι  $1250\text{m}^2$
3. Μεγάλες, εφόσον έχουν επιφάνεια μεγαλύτερη των  $1250\text{m}^2$

Στις κατασκευαστικές απαιτήσεις περιλαμβάνονται:

1. Περιορισμοί στο σχήμα των δεξαμενών για τη σωστή κυκλοφορία του νερού
2. Απαιτήσεις σήμανσης για το βάθος του πυθμένα
3. Περιορισμοί στο ακριβές μέγεθος των πισινών
4. Περιορισμοί για την κλίση του πυθμένα της δεξαμενής
5. Επιτρεπόμενη επίστρωση του πυθμένα και των περιμετρικών τοιχωμάτων και κλίση αυτών
6. Το μέγιστο φορτίο της κολυμβητικής δεξαμενής
7. Τα στόμια εισροής και εκροής (εκκένωση)
8. Οι αύλακες υπερχειλίσεως
9. Βαθμίδες και κλίμακες

Στις κατασκευαστικές απαιτήσεις προδιαγράφονται και λοιπά τεχνικά/κατασκευαστικά στοιχεία για τον χώρο που τοποθετείται η κολυμβητική δεξαμενή.

Στον Πίνακα 3.1 που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα απαιτούμενα τεχνικά χαρακτηριστικά των πισινών, όπως αυτά καθορίζονται από την νομοθεσία.

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

Πίνακας 3.1 Κατασκευαστικές Απαιτήσεις Κολυμβητικών Δεξαμενών [40].

Στην ίδια Υγειονομική Διάταξη, καθορίζονται ο απαιτούμενος αριθμός προσωπικού λειτουργίας, η διαδικασία έκδοσης άδειας λειτουργίας και οι απαιτήσεις των βοηθητικών εγκαταστάσεων (αποδυτήρια, ντους, τουαλέτες, διάδρομοι και άλλα).

Στη συνέχεια, αναφέρονται τα απαιτούμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού και οι απαιτούμενες ρυθμίσεις για τον προτεινόμενο ρυθμό ανακυκλοφορίας του νερού, τον καθαρισμό και την απολύμανσή του.

### 3.1.1 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 3.2. 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.

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

Πίνακας 3.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού [40].

### 3.1.2 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 υδατικών πόρων και να επιτυγχάνεται εξοικονόμηση, μέσω του συστήματος ανακυκλοφορίας.

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το παράγραφο 1 του άρθρου 15 της Υγειονομικής Διάταξης, το νερό της κολυμβητικής δεξαμενής πρέπει να ανανεώνεται συνεχώς σε όλη 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 σε όλη 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.

### 3.1.3 Απολύμανση του νερού

Η απολύμανση του νερού κρίνεται απαραίτητη σε όλη τη διάρκεια χρήσης της κολυμβητικής δεξαμενής, όπως ορίζει το άρθρο 18 της Υγειονομικής Διάταξης, ανεξαρτήτως του τύπου νερού που χρησιμοποιείται (θαλασσίνο 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 και άλλα, 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, κυριότερη πηγή κατανάλωσης είναι αυτή της θέρμανσης, με διαφορετικούς παράγοντες σε κάθε περίπτωση κολυμβητηρίου (κλειστού ή ανοιχτού).

### **3.2 Ευρωπαϊκή νομοθεσία**

Η θέσπιση και εφαρμογή συγκεκριμένων τεχνικών και κατασκευαστικών προδιαγραφών για τις αγωνιστικές πισίνες Ολυμπιακών διαστάσεων αποτελεί φυσικό επακόλουθο με σκοπό την διασφάλιση 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. Ανεξάρτητα από την ήπειρο και την χώρα, το εκάστοτε υπό μελέτη κολυμβητήριο οφείλει να πληροί τις προδιαγραφές της Παγκόσμιας Ομοσπονδίας Υγρού Στίβου (FINA, Federation Internationale de Natation) [12]. Έχουν θεσπιστεί συγκεκριμένες προδιαγραφές τόσο στην περίπτωση των κλειστών όσο και σε στην περίπτωση των ανοιχτών κολυμβητηρίων, σύμφωνα με τις οποίες 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. Οι κολυμβητικές δεξαμενές των κολυμβητηρίων διακρίνονται σε «μεγάλες» και «μικρές» πισίνες για τη διεξαγωγή αγώνων, τις λεγόμενες «long» και «short» course αντίστοιχα, και σε πισίνες εκμάθησης.

Πιο συγκεκριμένα, τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την κατασκευή μια πισίνας 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 βαθιές εκκίνησης και άλλα. Τα δεδομένα που αναφέρθηκαν παραπάνω, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3 .

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

Πίνακας 3.3 Τεχνικές Προδιαγραφές Αγωνιστικών Κολυμβητικών Δεξαμενών [40].

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι στα περισσότερα κολυμβητήρια, εκτός από τις πισίνες διεξαγωγής αγώνων (μεγάλες ή μικρές), κατασκευάζεται επίσης και 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. Η πισίνα εκμάθησης, λόγω του ότι χρησιμοποιείται για εκμάθηση μικρής ηλικίας παιδιών και δεν διεξάγονται επίσημες διοργανώσεις και αγώνες σε αυτή, δεν απαιτείται να ακολουθεί συγκεκριμένα πρότυπα κατασκευής πέραν του μήκους το οποίο είναι σταθερό πάντοτε στα 12,5 m. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της, όπως πλάτος, βάθος, κλίση πυθμένα, αριθμός διαδρομών κτλ. καθορίζονται από την αρμόδια υπηρεσία σχεδιασμού και ανέγερσης του κολυμβητηρίου.

Σημαντικός παράγοντας για την ορθή λειτουργία ενός κολυμβητηρίου, είναι η σωστή θερμοκρασία του νερού και η διατήρησή της. Σύμφωνα με το πρότυπο του Διεθνούς Οργανισμού Κολυμβητικών Δεξαμενών, 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, τα οποία προορίζεται να εξυπηρετεί. Πιο συγκεκριμένα, οι προτεινόμενες θερμοκρασίες νερού παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4.

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, ΑΜΕΑ	30 – 32 °C

Πίνακας 3.4 Προτεινόμενες Θερμοκρασίες Νερού [12].

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 λογικό υψηλότερες θερμοκρασίες νερού για την επίτευξη των επιπέδων άνεσης για τους χρήστες 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 κολυμβητών ή αθλητικών ομάδων και στην περίπτωση διεξαγωγής αγώνων, υπάρχει αυξημένη και έντονη άσκηση λόγω της συνεχούς κολύμβησης, το νερό είναι επιθυμητό να βρίσκεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, κυρίως για καλύτερη απόδοση των αθλητών και επίτευξη των αντίστοιχων επιπέδων άνεσης. Αυτό προκύπτει, καθώς κατά τη διάρκεια της κολύμβησης, ο αθλητής ασκείται έντονα και δαπανά σημαντικά ποσά ενέργειας με αποτέλεσμα την αύξηση θερμοκρασίας του σώματος. Το γεγονός αυτό, αν συνδυαστεί με την επαφή με νερό υψηλής θερμοκρασίας, προκαλεί συνθήκες δυσφορίας στους αθλητές με αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσής τους. Για τον λόγο αυτό, 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 τους και έτσι μας εξυπηρετεί να τις κρατάμε σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από τις πισίνες εκμάθησης. Επομένως, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι μεγάλες πισίνες χρησιμοποιούνται κυρίως από αθλητές ή ενήλικα άτομα, τα οποία τις χρησιμοποιούν για την άθληση τους.

### 3.3 Τεχνολογικά υλικά και μέθοδοι που χρησιμοποιούνται

#### 3.3.1 Λέβητες

Ο λέβητας είναι η μεταλλική συσκευή στην οποία η χημική ενέργεια του καυσίμου (υγρό, αέριο ή στερεό) με καύση του εντός του θαλάμου καύσης μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία παραλαμβάνεται (κατά το δυνατόν) από το εργαζόμενο μέσο (νερό) που ανακυκλοφορεί στο κλειστό δίκτυο (λέβητας – σωληνώσεις – θερμαντικά σώματα – εναλλάκτης) και χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των χώρων καθώς και για τη θέρμανση νερού χρήσης ή παραγωγής ατμού.

Οι λέβητες διακρίνονται στις εξής κατηγορίες ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους [48]:

## Σύγκριση Μεθόδων και Τεχνολογιών Θέρμανσης για Πισίνες Εσωτερικού Χώρου

1. Συνήθη λέβητα
2. Λέβητα χαμηλών θερμοκρασιών
3. Αεριολέβητα συμπύκνωσης
4. Λέβητα που τοποθετείται σε κατοικημένο χώρο
5. Ατμολέβητα ή ατμογεννήτρια

Επίσης, χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με:

Το υλικό κατασκευής τους:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χυτοσιδηροί.</li> <li>• Χαλύβδινοι.</li> <li>• Από ανοξείδωτο χάλυβα.</li> </ul>
Την πίεση λειτουργίας τους:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χαμηλής πίεσης.</li> <li>• Μέσης πίεσης.</li> <li>• Υψηλής πίεσης.</li> </ul>
Το καύσιμο που χρησιμοποιούν:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Στερεών καυσίμων.</li> <li>• Υγρών καυσίμων.</li> <li>• Αερίων καυσίμων.</li> <li>• Ηλεκτρικοί λέβητες.</li> </ul>
Την πίεση λειτουργίας του καυστήρα:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ατμοσφαιρικός: Λέβητας με ατμοσφαιρικό καυστήρα.</li> <li>• Πιεστικός: Λέβητας με πιεστικό καυστήρα.</li> </ul>
Το μέσο μεταφοράς θερμότητας:	<p>Το μέσο μεταφοράς θερμότητας είναι κατά κύριο λόγο νερό.</p> <p>Η θερμοκρασία σε λέβητες θερμού νερού είναι μικρότερη από 110 °C.</p>
Την ισχύ των λεβήτων:	<p>Ανάλογα με το μέγεθος γίνεται διαχωρισμός σε:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Μικρούς λέβητες μέχρι 50 kW.</li> <li>• Μεσαίου μεγέθους λέβητες από 50 μέχρι 400 kW.</li> <li>• Μεγάλου μεγέθους λέβητες μεγαλύτερους από 400 kW.</li> </ul>
Το βαθμό απόδοσής τους:	<p>Οι λέβητες ζεστού νερού πρέπει να είναι σύμφωνοι με τις βασικές απαιτήσεις απόδοσης που προδιαγράφονται στο Π.Δ. 335/93 [43] σε εναρμόνιση με την οδηγία 92/42/ΕΟΚ [54] της Ευρωπαϊκής Ένωσης καθώς και με τα αντίστοιχα εναρμονισμένα πρότυπα. Μετά την αξιολόγηση – πιστοποίησή τους πρέπει να φέρουν τη σήμανση “CE” και να συνοδεύονται από τη δήλωση πιστότητας ΕΚ.</p>

Πίνακας 3.5 Κατηγορίες λεβήτων με διαφορετικά κριτήρια [48].

### 3.3.1.1 Τα βασικά μέρη του λέβητα

1. Εστία καύσης  
Η εστία καύσης είναι ο χώρος στον οποίο πραγματοποιείται η καύση του καυσίμου.
2. Υδροθάλαμος  
Ο υδροθάλαμος είναι ο χώρος που βρίσκεται το νερό που πρόκειται να θερμανθεί.
3. Αεριαυλοί – Καπνοθάλαμος  
Οι αεριαυλοί και ο καπνοθάλαμος είναι οι χώροι από τους οποίους περνούν τα καυσαέρια πριν εξέλθουν από το λέβητα.

### 3.3.1.2 Βασικά κυκλώματα του λέβητα

Τα βασικά κυκλώματα του λέβητα είναι δύο: το κύκλωμα του καυσαερίου και το κύκλωμα του νερού.

- **Κύκλωμα καυσαερίου**

Η καύση του καυσίμου γίνεται στην εστία του λέβητα. Στη φάση αυτή το παραγόμενο καυσαέριο εξερχόμενο από το λέβητα οδηγείται στην καπνοδόχο (μέσω του καπναγωγού) και στη συνέχεια εξέρχεται στο περιβάλλον.

Στην εστία καύσης η συναλλαγή θερμότητας μεταξύ φλόγας – τοιχωμάτων – εργαζόμενο μέσο (νερό) γίνεται με ακτινοβολία, ενώ μεταξύ θερμών καυσαερίων και τοιχωμάτων με ακτινοβολία και συναγωγή. Το παραγόμενο καυσαέριο πριν φτάσει στον καπναγωγό διέρχεται από τους αεριαυλούς, δίνοντας ένα σημαντικό μέρος από τη θερμότητά τους, το οποίο μεταφέρεται με αγωγή και συναγωγή στα τοιχώματα και μέσω αυτών στο εργαζόμενο μέσο (νερό).

- **Κύκλωμα νερού**

Το θερμαινόμενο νερό μεταφέρει τη θερμότητα και με τη βοήθεια του κυκλοφορητή, μέσω των δικτύων διανομής προσάγεται στους εναλλάκτες θερμότητας (θερμαντικά σώματα) που είναι τοποθετημένοι στους προς θέρμανση χώρους. Το νερό με μειωμένη θερμοκρασία επιστρέφει στο λέβητα, επαναθερμαίνεται και επαναλαμβάνει την ίδια κυκλοφορία στο κλειστό κύκλωμα νερού.

### 3.3.2 Καυστήρες

Ο καυστήρας είναι η συσκευή με την οποία γίνεται η καύση του μίγματος καυσίμου – αέρα καύσης στις σωστές αναλογίες, ώστε να συντηρείται η καύση του μίγματος καυσίμου – αέρα μετά την αρχική έναυσή του από εξωτερική πηγή θερμότητας, στο χώρο της εστίας (θάλαμος καύσης) του λέβητα [48]. Από το ταίριασμα του καυστήρα με το λέβητα, τη σωστή λειτουργία και τη ρύθμιση του καυστήρα εξαρτάται τόσο η απόδοση του λέβητα όσο και η οικονομία του καυσίμου. Συνεπώς, ο καυστήρας σε συνεργασία με την εστία (θάλαμος καύσης) του λέβητα πρέπει να εξασφαλίζει πλήρη και ασφαλή καύση του καυσίμου και να παρέχει την προβλεπόμενη από τον κατασκευαστή ισχύ λειτουργίας και επίπεδο πίεσης. Για την επιλογή του καυστήρα είναι απαραίτητη η γνώση της ισχύος και της αντίστασης καυσαερίου (αντίθλιψη) του λέβητα.

Ο καυστήρας αποτελείται από εξαρτήματα και μηχανισμούς κατάλληλα συνδεδεμένα ώστε να δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για το σχηματισμό του καυσίμου μίγματος με απώτερο σκοπό την όσον το δυνατόν τέλεια καύση του, με τελικό σκοπό την καλύτερη αξιοποίηση της θερμογόνου ικανότητας του καυσίμου. Οι καυστήρες που χρησιμοποιούνται



στις εγκαταστάσεις θερμάνσεων πρέπει να εξασφαλίζουν οικονομική και ασφαλή καύση με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

### 3.3.3 Εναλλάκτες Θερμότητας

Οι εναλλάκτες θερμότητας αποτελούν το βασικότερο στοιχείο στα συστήματα ανάκτησης θερμότητας. Ως εναλλάκτης θερμότητας ορίζεται η συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά της θερμικής ενέργειας μεταξύ δύο ρευστών διαφορετικής θερμοκρασίας. Οι εναλλάκτες, ανάλογα με τη διαδικασία μεταφοράς της θερμότητας, μπορούν να διαχωριστούν σε άμεσης και έμμεσης επαφής [48].

Στους άμεσης επαφής εναλλάκτες, δύο διαφορετικής φάσης ρευστά έρχονται σε άμεση επαφή, ανταλλάσσουν θερμότητα και διαχωρίζονται πάλι. Στους έμμεσης επαφής, τα δύο ρευστά παραμένουν ξεχωριστά και η θερμότητα μεταφέρεται μέσω μιας διαχωριστικής επιφάνειας.

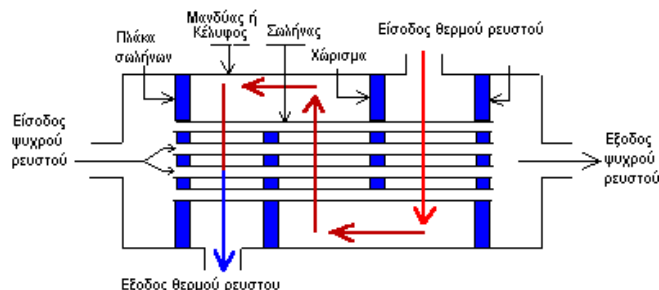
Στην περίπτωση που η επιφάνεια θερμοεναλλαγής έχει αρκετά μεγάλη θερμοχωρητικότητα, ώστε να παίζει σημαντικό ρόλο στο φαινόμενο της αγωγής θερμότητας (μεταφορά θερμότητας), οι έμμεσης επαφής εναλλάκτες ονομάζονται και “αναγεννητές” (regenerators).

Ανάλογα με το μηχανισμό μεταφοράς θερμότητας οι εναλλάκτες χωρίζονται σε:

- α) συναγωγής μίας φάσης και από τις δύο πλευρές,
- β) συναγωγής μίας φάσης από τη μια πλευρά και συναγωγής δύο φάσεων από την άλλη,
- γ) συναγωγής δύο φάσεων και από τις δύο πλευρές και
- δ) συνδυασμένης συναγωγής και μεταφοράς θερμότητας με ακτινοβολία.

Ανάλογα με την κατασκευή τους, διακρίνονται σε:

- α) Ομοκεντρικούς κυκλικής διατομής.
- β) Εναλλάκτες κελύφους (Εικόνα 3.1 έως Εικόνα 3.4).
- γ) Πλακοειδείς (Εικόνα 3.5).
- δ) Προεκτεταμένης επιφάνειας, με πτερύγια (τα πτερύγια αυξάνουν την επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας από την πλευρά του αέρα άρα και το συντελεστή συναγωγής Εικόνα 3.6).
- ε) Εναλλάκτες αναγέννησης (Αναγεννητές).



Εικόνα 3.1 Εναλλάκτης κελύφους με σωληνώσεις, τύπου αντιρροής, όπου φαίνονται και οι διαδρομές των ρευστών [38].

Τέλος, ανάλογα με το είδος της ροής μέσα στους εναλλάκτες, αυτοί διακρίνονται σε:

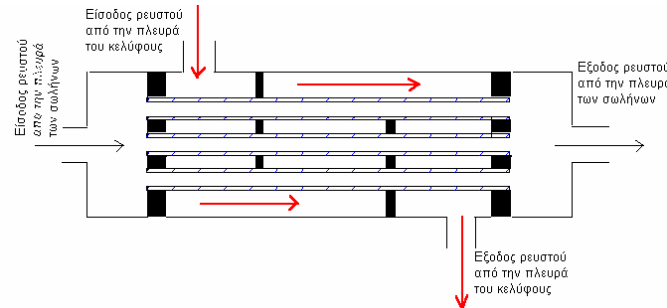
- α) Εναλλάκτες ομορροής (Εικόνα 3.2).

β) Εναλλάκτες αντιρροής (Εικόνα 3.1 και Εικόνα 3.4).

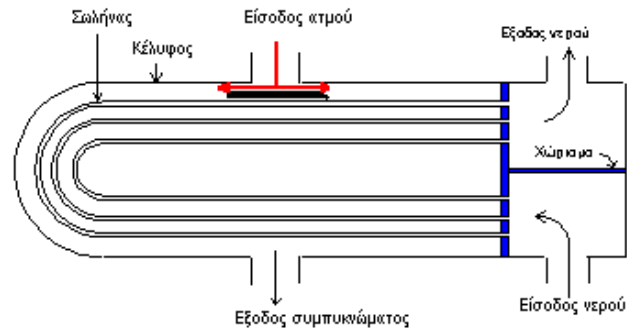
γ) Εναλλάκτες σταυρορροής.

δ) Σύνθετους.

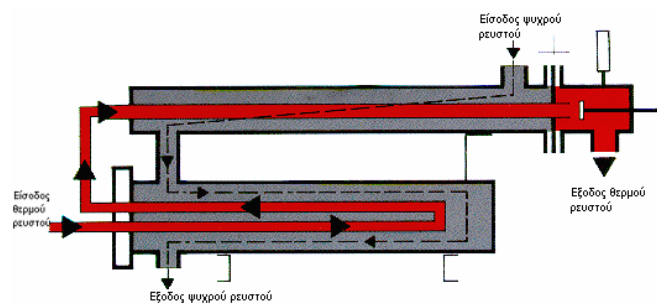
Η τελευταία αυτή ταξινόμηση χρησιμοποιείται για τη θερμική ανάλυση των εναλλακτών.



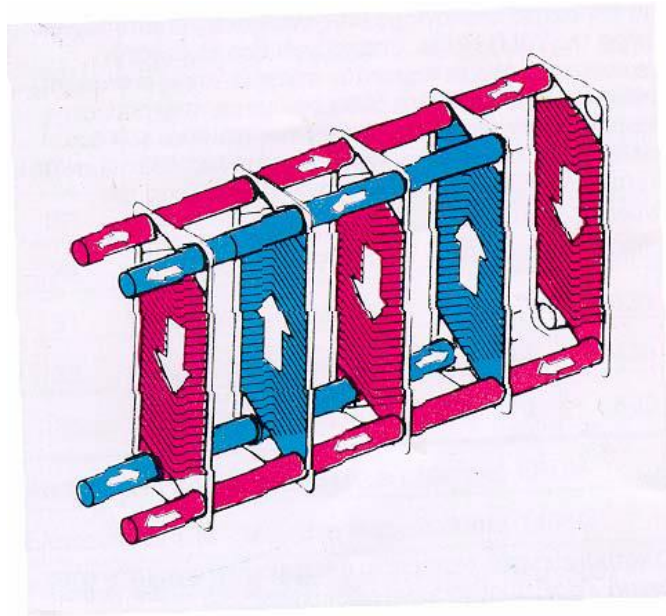
Εικόνα 3.2 Εναλλάκτης κελύφους με σωληνώσεις, τύπου ομορροής, όπου παρουσιάζονται οι διαδρομές των ρευστών [38].



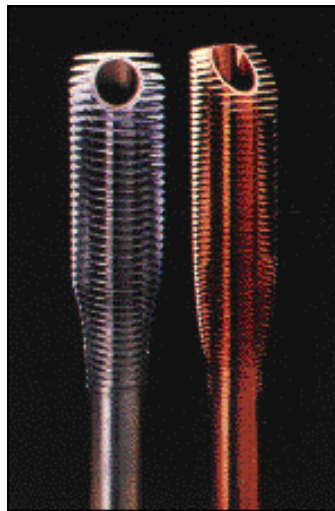
Εικόνα 3.3 Εναλλάκτης κελύφους με αναστρεφόμενους σωλήνες (σχήματος U) [38].



Εικόνα 3.4 Ειδικός εναλλάκτης κελύφους με τρεις διαδρομές σωληνώσεων, όπου παρουσιάζονται και οι διαδρομές των ρευστών [38].



Εικόνα 3.5 Σχηματική παράσταση πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας, με πλάκες πλαισίου, όπου παρουσιάζονται και οι διαδρομές των ρευστών [38].



Εικόνα 3.6 Σωλήνες εναλλάκτη νερού - αέρα με περύγιο [38].

Ανάλογα με την πυκνότητα των κατασκευαστικών στοιχείων οι εναλλάκτες διαχωρίζονται σε συμπαγείς και μη συμπαγείς. Οι συμπαγείς εναλλάκτες (Εικόνα 3.7) παρουσιάζουν υψηλές τιμές του λόγου της επιφάνειας θερμοεναλλαγής προς τον όγκο τους και, εξ ορισμού, ο λόγος αυτός (πυκνότητα επιφάνειας) λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες από  $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Ο λόγος αυτός όμως αναφέρεται στην πλευρά του αερίου μέρους ενός εναλλάκτη αερίου – υγρού, επομένως οι συμπαγείς εναλλάκτες υπάρχουν σε διάφορους τύπους (Πίνακας 3.6).

Τύπος εναλλάκτη	Πυκνότητα Επιφάνειας
Υγρού – Υγρού	$> 300 \text{ m}^2/\text{m}^3$
Αερίου - Υγρού	$> 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$
Στρωτής Ροής	$> 3,000 \text{ m}^2/\text{m}^3$
Μικροεναλλάκτης	$> 10,000 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Πίνακας 3.6 Τύποι συμπαγών εναλλακτών ανάλογα με την πυκνότητα επιφάνειας [38].



Εικόνα 3.7 Συμπαγής εναλλάκτης ατμού – αέρα, που χρησιμοποιείται για την ανάκτηση θερμότητας σε μονάδες παραγωγής ατμού [38].

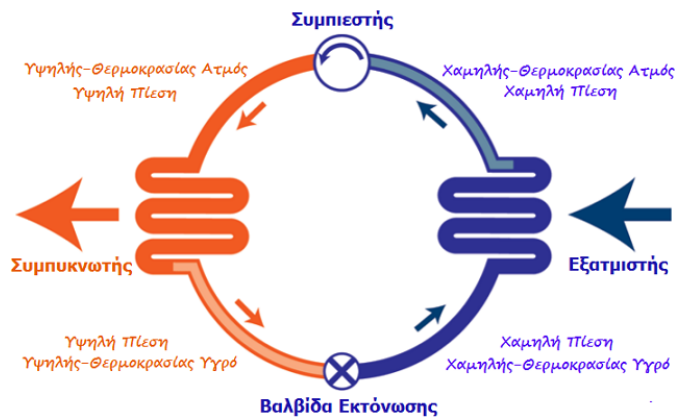
Οι συμβατικοί σωληνωτοί εναλλάκτες κελύφους με σωλήνες διαμέτρου 19 mm, που έχουν πυκνότητα επιφάνειας μεγαλύτερη από  $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , χαρακτηρίζονται επίσης ως συμπαγείς. Οι συμπαγείς εναλλάκτες θερμότητας, λόγω της μεγάλης επιφάνειας θερμοεναλλαγής που παρουσιάζουν, χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ αερίων ή γενικότερα μεταξύ ρευστών με μικρό συντελεστή συναγωγής.

### 3.3.4 Αντλίες Θερμότητας

Αντλία θερμότητας (Heat Pump) ονομάζεται η μηχανολογική διάταξη που επιτρέπει τη μεταφορά ενέργειας από έναν χώρο χαμηλής θερμοκρασίας, σε έναν χώρο υψηλότερης θερμοκρασίας [20].

Από τον ορισμό, γίνεται φανερό ότι οι αντλίες θερμότητας σχεδιάζονται για να μεταφέρουν θερμότητα (θερμική ενέργεια) με φορά αντίθετη από αυτή της φυσικής ροής. Για τη μεταφορά αυτή, απαιτείται κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι αντλίες θερμότητας λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο που λειτουργούν όλα τα ψυκτικά μηχανήματα και η λειτουργία τους βασίζεται στις ίδιες αρχές που εφαρμόζονται στα ψυγεία, τα κλιματιστικά μηχανήματα και σε άλλες διατάξεις. Η λειτουργία τους βασίζεται στον ψυκτικό κύκλο, που είναι ένας αένας κύκλος εκτόνωσης και συμπίεσης ενός ρευστού (εργαζόμενο μέσο) σύμφωνα με την Εικόνα 3.8.



Εικόνα 3.8 Κύκλος λειτουργίας Αντλίας Θερμότητας (ψυκτικός κύκλος) [44].

Το ρευστό (ψυκτικό μέσο) που ρέει μέσα στις σωλίνες, είναι υγρό σε μεγάλη πίεση και θερμοκρασία, μετά το συμπιεστή. Κατά τον κύκλο λειτουργίας μίας αντλίας θερμότητας, αποβάλλεται η θερμότητα που απέδωσε κατά την συμπίεση ο συμπιεστής. Στη συνέχεια, το ψυκτικό μέσο εκτονώνεται (μειώνεται η πίεση του) στη βαλβίδα εκτόνωσης και εξατμίζεται (λόγω της πτώσης της πίεσης) στον εξατμιστή, όπου ψύχεται και προσλαμβάνει θερμότητα. Στη συνέχεια, το κρύο ψυκτικό μέσο, σε αέρια ακόμη μορφή, συμπιέζεται στον συμπιεστή, υδροποιείται, θερμαίνεται, αποβάλλει θερμότητα και η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται.

Το σημαντικό είναι ότι σε κάθε κύκλο, αποβάλλεται θερμότητα (ενέργεια) και προσλαμβάνεται (ενέργεια), άρα εφόσον ο κύκλος είναι διαρκής υπάρχει μια διαρκής μεταφορά θερμότητας και συνεπώς με τον κύκλο αυτό λειτουργίας μπορεί να μεταφέρεται θερμότητα (ενέργεια) μεταξύ δυο σημείων. Στη λειτουργία αυτή (η μεταφορά θερμότητας από ένα σημείο σε ένα άλλο) οφείλεται το όνομα «αντλίες θερμότητας» στις συσκευές που λειτουργούν με βάση τον ψυκτικό κύκλο.

Ανάλογα με το ρευστό στο οποίο αποβάλλει (ή από το οποίο προσλαμβάνει) την ενέργεια η αντλία στα αντίστοιχα σημεία του ψυκτικού κύκλου [56], οι αντλίες θερμότητας ταξινομούνται σε:

- α) Αντλίες θερμότητας αέρος - αέρος.
- β) Αντλίες θερμότητας αέρος - νερού.
- γ) Αντλίες θερμότητας νερού - νερού.
- δ) Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Οι γεωθερμικές εφαρμογές χωρίζονται στις κλειστού τύπου εφαρμογές και στις ανοικτού τύπου. Στις κλειστού τύπου εφαρμογές ο γεωθερμικός εναλλάκτης (οριζόντιος ή κατακόρυφος) αποτελείται από ένα κλειστό κύκλωμα νερού που είναι θαμμένο στη γη και απορροφάει ενέργεια συνεχώς. Οι ανοικτού τύπου εφαρμογές εκμεταλλεύονται το νερό γεωτρήσεων (που πρέπει απαραίτητα να υπάρχουν) για να απορροφάται θερμική ενέργεια από το νερό που έχει σταθερή θερμοκρασία.

Ανάλογα με τη θέση των διαφόρων στοιχείων τους, οι αντλίες θερμότητας ταξινομούνται σε:

- α) Ενιαίες ή αυτόνομες (Compact), όπου όλοι οι μηχανισμοί βρίσκονται σε κοινό κέλυφος.

- β) Διαιρούμενες ή διμερούς τύπου (Split Units), όπου ο συμπυκνωτής είναι ανεξάρτητος του υπολοίπου συστήματος.

Ανάλογα με το είδος του κινητήρα, οι αντλίες θερμότητας ταξινομούνται σε

- α) Αντλίες με ηλεκτροκίνητους συμπιεστές
- β) Αντλίες με συμπιεστές κινούμενους από μηχανές εσωτερικής καύσης (πετρέλαιο, ατμός, αέριο και άλλα).
- γ) Αντλίες με συμπιεστές απορρόφησης και προσρόφησης (θερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας).

### 3.4 Πηγές Ενέργειας

#### 3.4.1 Συμβατικές Πηγές Ενέργειας

Το μεγαλύτερο ποσοστό της απαιτούμενης ενέργειας εξασφαλίζεται από συμβατικούς πηγές ενέργειας και πολύ λιγότερο από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Η χρήση των συμβατικών πηγών ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) στην ατμόσφαιρα και την παραγωγή αέριων ρύπων, που εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Το πετρέλαιο, οι γαιάνθρακες (κάρβουνο) και το φυσικό αέριο είναι ορυκτά καύσιμα, προέρχονται από την αποικοδόμηση φυτικής και ζωικής ύλης και χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να δημιουργηθούν. Όταν εξαντληθούν τα κοιτάσματά τους, η ανθρωπότητα θα βρεθεί σε δύσκολη θέση, διότι το μεγαλύτερο μέρος της σημερινής παραγωγής ενέργειας προέρχεται από αυτά.

Η καύση των ορυκτών καυσίμων προκαλεί έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα αέριας κυρίως ρύπανσης. Βέβαια, αναπτύσσονται συνεχώς νέες τεχνολογίες καύσης, πιο αποδοτικές, με μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ενώ βελτιώνονται και οι τεχνολογίες καθαρισμού των καυσαερίων.

Τα διάφορα είδη των συμβατικών πηγών ενέργειας είναι [48]:

- Το Πετρέλαιο που είναι, ίσως, το σημαντικότερο καύσιμο για το σύγχρονο άνθρωπο. Αντλείται από τις πετρελαιοπηγές με τη μορφή του αργού πετρελαίου, που είναι ένα παχύρρευστο υγρό. Έπειτα οδηγείται στα διυλιστήρια, όπου παράγονται τα δύο βασικά προϊόντα, το πετρέλαιο ντίζελ και η βενζίνη, αλλά και η κηροζίνη, το φωτιστικό πετρέλαιο, το προπάνιο, η νάφθα και η ασφαλτος.
- Το Φυσικό Αέριο είναι το μείγμα αέριων υδρογονανθράκων οι οποίοι βρίσκονται σε υπόγειους ταμιευτήρες και οι οποίοι μερικές φορές συνδυάζονται με την παρουσία πετρελαίου. Προέρχεται είτε από θαλάσσιους οργανισμούς είτε από φυτική πρώτη ύλη και το βασικό του συστατικό είναι το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) που αποτελεί το 85% - 95% του φυσικού αερίου. Μετά την άντλησή του, μεταφέρεται με αγωγούς ως αέριο ή με ειδικά διαμορφωμένα τάνκερ προς κατανάλωση.
- Οι Γαιάνθρακες που είναι γνωστοί ως “κάρβουνο”. Τα στρώματα των γαιανθράκων σχηματίστηκαν από τα υπολείμματα φυτικής ύλης μετά από τη συνδυασμένη δράση θερμότητας και πίεσης απουσία αέρα. Κατά την ανθρακοποίηση, όπως ονομάζεται αυτή η διαδικασία, πρώτα δημιουργείται η τύρφη, μετά ο λιγνίτης, μετά οι πισσούχοι άνθρακες και τέλος ο ανθρακίτης, που είναι και ο πλέον σκληρός γαιάνθρακας.

- Η Πυρηνική Ενέργεια είναι μια σχετικά νέα μορφή ενέργειας. Είναι η ενέργεια η οποία βρίσκεται μέσα στον πυρήνα του ατόμου και μπορεί να απελευθερωθεί είτε με σχάση είτε με σύντηξη. Ο πυρήνας ενός ατόμου μπορεί να διασπαστεί και όταν γίνει αυτό, εκλύεται μια τεράστια ποσότητα ενέργειας σε μορφή θερμότητας και φωτός. Αν η διάσπαση γίνει με αργό ρυθμό, τότε μπορεί να δεσμευτεί η θερμότητα για να παραχθεί ατμός που στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

### 3.4.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

Η ευρύτερη έννοια των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) αναφέρεται σε κάθε πηγή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ανανεώνεται μέσω φυσικών φαινομένων μόνιμου κύκλου. Πρόκειται για καθαρές μορφές ενέργειας, φιλικές προς το περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Ενώ για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Αυτό σημαίνει πως πρόκειται για ανεξάντλητες πηγές ενέργειας που βασίζονται σε διάφορες φυσικές διαδικασίες που πηγάζουν ουσιαστικά από τον ήλιο, όπου εκτός από την άμεση ενέργεια του ήλιου υπάρχει ακόμη ο άνεμος, οι υδατοπτώσεις, η ενέργεια των κυμάτων, η θερμοβαθμίδα των ωκεανών, η γεωθερμία και η βιομάζα [48].

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση), είτε μετατρεπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Οι μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι:

- Η Ηλιακή ενέργεια, η οποία είναι η ακτινοβολία του ήλιου και αξιοποιείται με διάφορα συστήματα συλλογής και μετατροπής της.
- Η Αιολική Ενέργεια, στην οποία αξιοποιείται η κινητική ενέργεια από την ταχύτητα του ανέμου και με κατάλληλα συστήματα μετατρέπεται κυρίως σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Η Γεωθερμική Ενέργεια, είναι η θερμική ενέργεια που προέρχεται από τα ραδιενεργά υλικά στο έδαφος και τη θερμότητα από το εσωτερικό της γης. Γίνεται αντιληπτή με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού. Εμπεριέχεται σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα.
- Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια, αποτελεί την αξιοποίηση της ενέργειας του νερού, κυρίως με των υδατοπτώσεων, των κυμάτων και των παλιρροιών με στόχο την παραγωγή μηχανικής ενέργειας και στη συνέχεια ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η Βιομάζα που είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης. Επίσης υπάρχουν και τα αστικά απορρίμματα με την αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου τους.
- Το Υδρογόνο που αποτελεί το 90% του σύμπαντος και θα αποτελέσει ένα νέο καύσιμο που θα χρησιμοποιείται ευρέως στο μέλλον.



### 3.4.3 Ηλιακή Ενέργεια



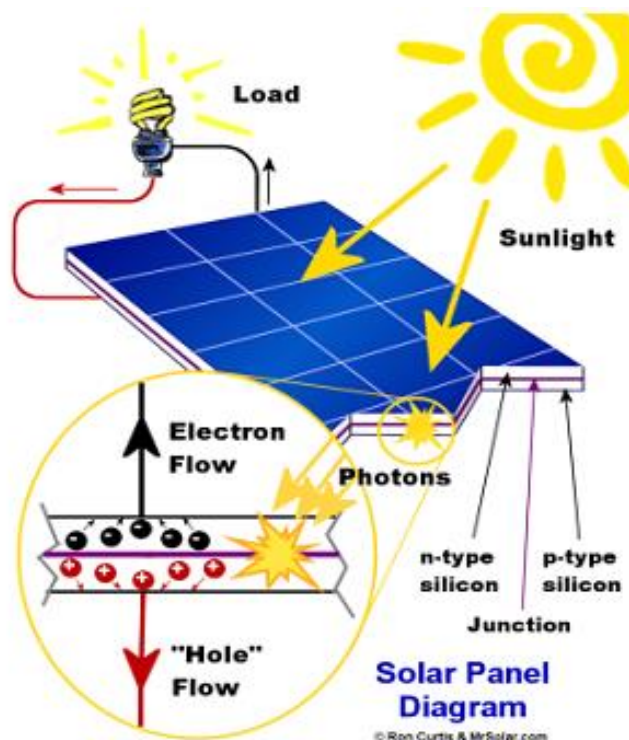
Εικόνα 3.9 Εφαρμογές της Ηλιακής Ενέργειας [57].

Τα Θερμικά Ηλιακά συστήματα διαχωρίζονται σε Ενεργητικά και Παθητικά:

- α) Τα Ενεργητικά Ηλιακά συστήματα τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Το βασικό στοιχείο ενός ενεργητικού ηλιακού συστήματος είναι ο ηλιακός συλλέκτης. Ο συλλέκτης αυτός περιλαμβάνει μια μαύρη, συνήθως επίπεδη μεταλλική επιφάνεια, η οποία απορροφά την ακτινοβολία και θερμαίνεται. Πάνω από την απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται ένα διαφανές κάλυμμα (συνήθως από γυαλί ή πλαστικό) που παγιδεύει τη θερμότητα (φαινόμενο θερμοκηπίου). Σε επαφή με την απορροφητική επιφάνεια τοποθετούνται λεπτοί σωλήνες μέσα στους οποίους διοχετεύεται κάποιο υγρό, που απάγει την θερμότητα και τη μεταφέρει, με τη βοήθεια μικρών αντλιών (κυκλοφορητές), σε μια μεμονωμένη δεξαμενή αποθήκευσης. Το πιο απλό και διαδεδομένο σήμερα ενεργητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού είναι ο ηλιακός θερμοσίφωνας.
- β) Τα Παθητικά Ηλιακά συστήματα και τον Βιοκλιματικό Σχεδιασμό που αφορούν σε αρχιτεκτονικές λύσεις και χρήση κατάλληλων δομικών υλικών για τη μεγιστοποίηση της απ' ευθείας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό ή φωτισμό. Τέτοια συστήματα είναι τα δομικά στοιχεία ενός κτιρίου που βοηθούν στην καλύτερη, άμεση ή έμμεση, εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση ή το δροσισμό του κτιρίου. Προϋπόθεση για την εφαρμογή παθητικών ηλιακών συστημάτων σε ένα κτίριο είναι η θερμομόνωσή του, έτσι ώστε να περιοριστούν οι θερμικές απώλειες. Η αρχή λειτουργίας των παθητικών συστημάτων θέρμανσης βασίζεται στο "φαινόμενο του θερμοκηπίου", ενώ τα παθητικά συστήματα δροσισμού βασίζονται στην προστασία του κτιρίου από τον ήλιο, δηλαδή στην παρεμπόδιση της εισόδου των ανεπιθύμητων, κατά τη θερινή περίοδο, ακτίνων του ήλιου στο κτίριο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μόνιμων ή κινητών σκιάστρων καθώς και με τη διευκόλυνση της φυσικής κυκλοφορίας του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων. Ένα κτίριο που περιλαμβάνει παθητικά συστήματα θέρμανσης, δροσισμού ή ακόμη και φυσικού φωτισμού, κατασκευασμένο εξ αρχής ή τροποποιημένο, ονομάζεται "βιοκλιματικό κτίριο" και είναι δυνατό να καλύψει μεγάλο μέρος των ενεργειακών του αναγκών από την άμεση ή έμμεση αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας.
- γ) Τα Φωτοβολταϊκά Ηλιακά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια. Η λειτουργία των φωτοβολταϊκών ηλιακών συστημάτων στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, δηλαδή την άμεση μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα. Μερικά υλικά, όπως το πυρίτιο με πρόσμιξη άλλων στοιχείων, γίνονται ημιαγωγοί (άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα προς μια μόνο διεύθυνση),



έχουν δηλαδή τη δυνατότητα να δημιουργούν διαφορά δυναμικού όταν φωτίζονται και κατά συνέπεια να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Συνδέοντας μεταξύ τους πολλά μικρά κομμάτια τέτοιων υλικών (φωτοβολταϊκές κυψέλες ή στοιχεία), τοποθετώντας τα σε μία επίπεδη επιφάνεια (φωτοβολταϊκό σύστημα) και στρέφοντάς τα προς τον ήλιο, γίνεται δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο μπορεί να καλύψει ανάγκες όπως η λειτουργία επιστημονικών συσκευών (δορυφόρων), η κίνηση ελαφρών αυτοκινήτων (ηλιακά αυτοκίνητα), η λειτουργία φάρων ή την κάλυψη έστω και μέρους των ενεργειακών αναγκών μικρών κατοικιών όπως φωτισμός, τηλεπικοινωνίες, ψύξη και άλλα. Η μέγιστη απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων ( $\Phi/B$ ), ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους κυμαίνεται από 7% (ηλιακά στοιχεία άμορφου πυριτίου) έως 12-15% (ηλιακά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου). Το σημαντικό είναι ότι η ενέργεια που παράγεται με αυτό τον τρόπο, μπορεί να αποθηκευτεί σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές (μπαταρίες) με αποτέλεσμα να υπάρχει ανεξάντλητη, ανανεώσιμη, φθηνή και κυρίως "καθαρή" ενέργεια (Εικόνα 3.10).



Εικόνα 3.10 . Διάγραμμα απεικόνισης της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών [8].

### 3.4.4 Βιομάζα

Γενικά, ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά, στον όρο βιομάζα εμπεριέχεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο [5, 50, 13]. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτήν περιλαμβάνονται:

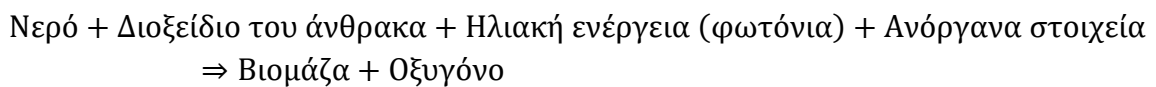
Οι φυτικές ύλες που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα, όπως π.χ. τα αυτοφυή φυτά και δάση, είτε από τις ενεργειακές καλλιέργειες (έτσι ονομάζονται τα φυτά που καλλιεργούνται ειδικά με σκοπό την παραγωγή βιομάζας για παραγωγή ενέργειας) γεωργικών και δασικών ειδών, όπως π.χ. το σακχαρούχο σόργο, το καλάμι, ο ευκάλυπτος και άλλα.

Τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, όπως π.χ. τα άχυρα, στελέχη αραβοσίτου, στελέχη βαμβακιάς, κλαδέματα, κλαδιά δένδρων, φύκια, κτηνοτροφικά απόβλητα και άλλα [29].

Τα υποπροϊόντα που προέρχονται από τη μεταποίηση ή επεξεργασία των υλικών αυτών, όπως π.χ. τα πυρηνόξυλα, υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, το πριονίδι και άλλα.

Το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών.

Η βιομάζα αποτελεί μία δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών. Κατά την διάρκεια αυτής, η χλωροφύλλη των φυτών μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών, χρησιμοποιώντας ως βασικές πρώτες ύλες διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα, νερό και ανόργανα συστατικά από το έδαφος. Η διεργασία αυτή μπορεί να παρασταθεί σχηματικά ως εξής:



Από τη στιγμή που σχηματίζεται η βιομάζα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας. Η βιομάζα αποτελεί μια σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλλει σημαντικά στην ενεργειακή επάρκεια, αντικαθιστώντας τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο και άλλα). Η χρήση της βιομάζας ως πηγής ενέργειας δεν είναι νέα. Σε αυτήν, εξάλλου, συγκαταλέγονται τα καυσόξυλα και οι ξυλάνθρακες που, μέχρι το τέλος του περασμένου αιώνα, κάλυπταν το 97% των ενεργειακών αναγκών της χώρας.

### 3.4.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)

#### 3.4.5.1 Πλεονεκτήματα

- Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- Είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει πολύ μεγάλο χρόνο ζωής.
- Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

### 3.4.5.2 Μειονεκτήματα

- Απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια της γης (καθώς οι ΑΠΕ έχουν μικρή διασπορά). Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται κυρίως ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων (για το λόγο που αναφέρθηκε παραπάνω).
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους, αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Για τα αιολικά συστήματα υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψά από αισθητική άποψη και ότι επηρεάζουν την πανίδα του τόπου που εγκαθίστανται. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.
- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό και έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

## 3.5 Απόδοση

Σε μία θερμική μηχανή το κλάσμα της θερμότητας που μετατρέπεται σε έργο αποτελεί το μέτρο της απόδοσης της θερμικής μηχανής και ονομάζεται θερμική απόδοση [2].

Γενικά, ο όρος απόδοση ή αλλιώς επάρκεια εκφράζεται από την επιθυμητή έξοδο προς την απαιτούμενη είσοδο ως εξής:

$$\text{Απόδοση} = \frac{\text{Επιθυμητή Έξοδος}}{\text{Απαιτούμενη Είσοδος}}$$

Για τις θερμικές μηχανές, το καθαρό έργο εξόδου αποτελεί την επιθυμητή έξοδο, ενώ η απαιτούμενη είσοδος δίνεται από την ποσότητα της θερμότητας που προσδίδεται στο ρευστό λειτουργίας. Έτσι, η θερμική απόδοση για μια θερμική μηχανή [2], μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\text{Θερμική απόδοση} = \frac{\text{Καθαρό έργο που παράγεται}}{\text{Ολική θερμότητα που παρέχεται}}$$

Γνωρίζοντας τις θερμικές απαιτήσεις για την θέρμανση των πισίνων, χρειάζεται ο βαθμός απόδοσης της εκάστοτε διάταξης, για να διαστασιολογηθεί σωστά το σύστημα. Με τον όρο διαστασιολόγηση εννοείται η επιλογή των συστημάτων κατάλληλης ισχύος, που βάση του βαθμού απόδοσης τους, τελικά να αποδίδουν την επιθυμητή θερμική ισχύ στο σύστημα.

Στην διπλωματική αυτή χρειάζεται η διαστασιολόγηση των συστημάτων, ώστε να προκύψει ένα αληθινό κόστος για την εκάστοτε εφαρμογή. Στην ενότητα που ακολουθεί χρησιμοποιούνται τα κόστη αυτά, σαν κόστη αρχικής επένδυσης στα σενάρια που εξετάζονται με το λογισμικό HOMER<sup>®</sup> [11].

### 3.6 Ανάλυση του βαθμού απόδοσης των συστημάτων που εξετάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

#### 3.6.1 Βαθμός απόδοσης συστήματος Λέβητα – Καυστήρα.

Τα συστήματα λέβητα – καυστήρα είναι από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα συστήματα στην θέρμανση νερού και αέρα. Έχει γίνει μεγάλη εξέλιξη στην τεχνολογία αυτών των συστημάτων κατά τη διάρκεια των χρόνων που χρησιμοποιούνται. Η τεχνολογία τους έχει φτάσει στο να έχουν βαθμό απόδοσης έως και 95%, όμως καθώς είναι θερμικές μηχανές, ο βαθμός απόδοσης τους δεν μπορεί να ξεπεράσει την μονάδα.

Ο βαθμός απόδοσης ενός συστήματος λέβητα καυστήρα δίνεται από τον κατασκευαστή του και αναγράφεται στο ταμπελάκι του λέβητα.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Μονάδα μέτρησης	GT 330					
		334	335	336	337	338	339
Ωφέλιμη ισχύς θέρμανσης	(kw)	70-105	105-140	140-180	180-230	230-280	280-330
Ονομαστική ισχύς θέρμανσης	(kw)	79,5-119,3	119,3-159,1	159,1-204,5	204,5-261,4	261,4-318,2	318,2-375
Χωρητικότητα νερού	(lt)	96	116	136	156	176	196
Διαστάσεις (Πλάτος-Υψος-Βάθος)	(mm)	800x1387 x991	800x1387 x1151	800x1387 x1311	800x1387 x1471	800x1387 x1631	800x1387 x1791
Βάρος	(Kg)	612	736	846	981	1103	1230
Διατομή καπνοδόχου	(mm)	ø 180			ø 200		
Προτεινόμενος καυστήρας πετρελαίου		M302-1S	M301-2S ή M302-2S	M302-3S	M302-4S	M302-5S	
Προτεινόμενος καυστήρας αερίου		G201-2N ή G203-2N	G301-2S ή G303-2S	G303-3S	G303-5S		

Εικόνα 3.11 Πινακίδα συστήματος Λέβητα – Καυστήρα

Δελτίο προϊόντος	Σύμβολο	Εννοια μονάδα	7736601377
Λέβητας συμπίκνωσης			Ναι
Ονομαστική θερμική ισχύς	Prated	kW	29
Ενεργειακή απόδοση της εποχιακής θέρμανσης χώρου	$\eta_s$	%	90
Τάξη ενεργειακής απόδοσης			A
<b>Ωφέλιμη θερμική ισχύς</b>			
Σε ονομαστική θερμική ισχύ και υψηλές θερμοκρασίες	$P_4$	kW	29,0
Στο 30 % της ονομαστικής θερμικής ισχύος και χαμηλές θερμοκρασίες	$P_1$	kW	9,2
<b>Ωφέλιμη απόδοση</b>			
Σε ονομαστική θερμική ισχύ και υψηλές θερμοκρασίες	$\eta_4$	%	91,6
Στο 30 % της ονομαστικής θερμικής ισχύος και χαμηλές θερμοκρασίες	$\eta_1$	%	96,7

Εικόνα 3.12 Πινακίδα συστήματος Λέβητα – Καυστήρα

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.11[9] και στην Εικόνα 3.12 [52], ο κατασκευαστής μπορεί να δίνει την απόδοση του συστήματος, είτε ως αποδιδόμενη και απορροφώμενη ισχύ, είτε ως ποσοστό. Το σημαντικό είναι ότι σε κάθε περίπτωση μπορεί να υπολογιστεί εύκολα με τον τύπο της απόδοσης όπως ορίστηκε στην προηγούμενη ενότητα. Ένας ικανοποιητικός βαθμός απόδοσης για τους σύγχρονους λέβητες είναι το 93%. Για το σύστημα που μελετάται στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε η τιμή αυτή.

#### 3.6.2 Βαθμός απόδοσης εναλλάκτη.

Στους εναλλάκτες δεν έχουμε απώλειες προς το περιβάλλον, για να προσδιορίζεται από αυτές ο βαθμός απόδοσης τους, καθώς δεν είναι θερμικές μηχανές. Ωστόσο, ο βαθμός απόδοσης

των εναλλακτών έχει να κάνει με τον ρυθμό μεταφοράς ενέργειας υπό την μορφή θερμότητας, από το πρωτεύον στο δευτερεύον του εναλλάκτη.

Το 1955 οι Kays και London διατύπωσαν για πρώτη φορά τη «Μέθοδο της αποτελεσματικότητας της μεταφοράς θερμότητας» στην ανάλυση των εναλλακτών θερμότητας. Το νέο στοιχείο που εισήγαγαν ονομάστηκε αποδοτικότητα ή αποτελεσματικότητα εναλλάκτη θερμότητας και συμβολίζεται με «ε» [41].

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}} = \frac{\text{Πραγματικός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας}}{\text{Μέγιστος δυνατός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας}} [-] \quad (3.1)$$

Ο πραγματικός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας στον εναλλάκτη ( $\dot{Q}$ ) προσδιορίζεται από το ισοζύγιο ενέργειας στα θερμά και ψυχρά ρευστά, το οποίο εκφράζεται ως εξής:

$$\dot{Q} = C_c(T_{c,\text{out}} - T_{c,\text{in}}) = C_h(T_{h,\text{in}} - T_{h,\text{out}}) [\text{kW}] \quad (3.2)$$

Όπου,

$T_{c,\text{in}}$  : Η θερμοκρασία εισόδου του ψυχρού υγρού σε °C.

$T_{c,\text{out}}$  : Η θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού υγρού σε °C.

$T_{h,\text{in}}$  : Η θερμοκρασία εισόδου του θερμού υγρού σε °C.

$T_{h,\text{out}}$  : Η θερμοκρασία εξόδου του θερμού υγρού σε °C.

Οι όροι  $C_c$  και  $C_h$  εκφράζουν τον ρυθμό θερμοχωρητικότητας του ψυχρού και του θερμού ρευστού, αντίστοιχα, και ορίζονται από την εξίσωση (3.3) και την εξίσωση (3.4), αντίστοιχα.

$$C_c = \dot{m}_c C_{pc} [\text{kW}/^\circ\text{C}] \quad (3.3)$$

$$C_h = \dot{m}_h C_{ph} [\text{kW}/^\circ\text{C}] \quad (3.4)$$

Όπου,

$\dot{m}_c$  : Η παροχή του ψυχρού ρευστού στον εναλλάκτη σε kg/s.

$\dot{m}_h$  : Η παροχή του θερμού ρευστού στον εναλλάκτη σε kg/s.

$C_{pc}$  : Η ειδική θερμότητα του ψυχρού ρευστού σε kJ/(kg·°C).

$C_{ph}$  : Η ειδική θερμότητα του θερμού ρευστού σε kJ/(kg·°C).

Ο ρυθμός θερμοχωρητικότητας της ροής ενός ρευστού, εκφράζει τον απαιτούμενο ρυθμό μεταφοράς θερμότητας για την μεταβολή της θερμοκρασίας του ρευστού κατά 1 °C, καθώς αυτό ρέει εντός του εναλλάκτη.

Ο προσδιορισμός του μέγιστου δυνατού ρυθμού μεταφοράς θερμότητας σε έναν εναλλάκτη, βασίζεται στην παραδοχή ότι η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά σε έναν εναλλάκτη, είναι η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των θερμοκρασιών ( $\Delta T_{\max}$ ) εισόδου των δύο ρευστών (ζεστού και κρύου, αντίστοιχα). Δηλαδή:

$$\Delta T_{\max} = T_{h,\text{in}} - T_{c,\text{in}} [^\circ\text{C}] \quad (3.5)$$

Όπου,

$T_{h,\text{in}}$  : Η θερμοκρασία εισόδου του θερμού υγρού σε °C.

$T_{c,\text{in}}$  : Η θερμοκρασία εισόδου του ψυχρού υγρού σε °C.

Από τον ορισμό του ρυθμού θερμοχωρητικότητας προκύπτει το συμπέρασμα, ότι το ρευστό με τον μικρότερο ρυθμό θερμοχωρητικότητας ( $C_{min}$ ), θα υποστεί την μεγαλύτερη θερμοκρασιακή μεταβολή. Επομένως, αυτό το ρευστό θα είναι το πρώτο που θα φτάσει στη μέγιστη θερμοκρασία και αυτό είναι και το σημείο που θα ολοκληρωθεί η μεταφορά θερμότητας.

Έτσι, ο μέγιστος δυνατός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας στον εναλλάκτη ( $\dot{Q}_{max}$ ) προκύπτει από την σχέση:

$$\dot{Q}_{max} = C_{min}(T_{h,in} - T_{c,in})[kW] \quad (3.6)$$

Όπου,

$T_{h,in}$  : Η θερμοκρασία εισόδου του θερμού υγρού σε °C.

$T_{c,in}$  : Η θερμοκρασία εισόδου του ψυχρού υγρού σε °C.

$C_{min}$  : Ο μικρότερος από τους ρυθμούς θερμοχωρητικότητας των δύο ρευστών σε kW/°C.

Αντικαθιστώντας τις εξισώσεις (3.2) και (3.6) στην εξίσωση (3.1), προκύπτει η απόδοση του εναλλάκτη ως:

$$\varepsilon = \frac{T_{c,out} - T_{c,in}}{T_{h,in} - T_{c,in}} [-] \quad (3.7)$$

Όταν ο μικρότερος ρυθμός θερμοχωρητικότητας ανήκει στο ψυχρό ρευστό, ενώ όταν ανήκει στο θερμό ρευστό, τότε προκύπτει από την εξίσωση (3.8):

$$\varepsilon = \frac{T_{h,in} - T_{h,out}}{T_{h,in} - T_{c,in}} [-] \quad (3.8)$$

Βάσει αυτής της μεθοδολογίας μπορεί να υπολογιστεί η απόδοση ενός εναλλάκτη. Συνήθως, η απόδοση ενός εναλλάκτη κυμαίνεται από 0,4 έως 0,8, ανάλογα την θερμοκρασία και το είδος των ρευστών. Μία μέση απόδοση για πλακοειδή εναλλάκτη, η οποία χρησιμοποιείται και στην αγορά είναι η απόδοση ίση με 0,55. Για το σύστημα που μελετάται στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε η τιμή αυτή.

### 3.6.3 Βαθμός απόδοσης αντλίας θερμότητας.

Η αντλία θερμότητας είναι μια διάταξη η οποία καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια και παράγει θερμική ενέργεια. Έτσι ορίζονται δύο βαθμοί απόδοσης για την αντλία θερμότητας, ένας για την λειτουργία στην θέρμανση και ένας για την λειτουργία στην ψύξη. Αυτοί οι βαθμοί είναι ο COP (για θέρμανση) και ο EER (για ψύξη), οι οποίοι εκφράζουν τον συντελεστή απόδοσης (COP – Coefficient of Performance) και τον δείκτη ενεργειακής απόδοσης (EER – Energy Efficiency Ratio) αντίστοιχα.

Οι δύο αυτοί βαθμοί απόδοσης ορίζονται ως [3]:

$$COP = \frac{\text{επιθυμητή αποδιδόμενη θερμική ισχύς στην θέρμανση}}{\text{απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς στην θέρμανση}} \quad (3.9)$$

και

$$EER = \frac{\text{επιθυμητή αποδιδόμενη θερμική ισχύς στην ψύξη}}{\text{απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς στην ψύξη}} \quad (3.10)$$

## Σύγκριση Μεθόδων και Τεχνολογιών Θέρμανσης για Πισίνες Εσωτερικού Χώρου

Για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης των αντλιών θερμότητας έχει καθιερωθεί η μέτρηση του COP και του EER σε τυποποιημένες συνθήκες (συνθήκες Eurovent), οι οποίες είναι:

Για τη θέρμανση :

- Θερμοκρασία θερμού = 20 °C
- Θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα 7 °C / 6 °C WB (ψυχρού)

Για την ψύξη :

- Θερμοκρασία θερμού = 27 °C
- Θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα 35 °C / 6 °C WB

Οι βαθμοί απόδοσης σε συνθήκες Eurovent [56] χαρακτηρίζουν την ποιότητα κατασκευής μιας αντλίας θερμότητας, αφού ο υπολογισμός τους αναφέρεται στις ίδιες συνθήκες για όλες τις αντλίες .

Σε κάθε αντλία θερμότητας, ανάλογα αν δουλεύει μόνο στην θέρμανση ή και στην ψύξη, ο κατασκευαστής δίνει τους βαθμούς απόδοσης COP και EER μαζί με τα υπόλοιπα στοιχεία των προδιαγραφών της αντλίας. Στην Εικόνα 3.13 [10] και στην Εικόνα 3.14 [10] φαίνονται δύο παραδείγματα αντλιών θερμότητας, όπου η πρώτη είναι ειδική για θέρμανση πισίνας για ποικίλες τιμές ισχύος, ενώ η δεύτερη είναι μια αντλία για θέρμανση και ψύξη γενικής χρήσης, για ποικίλες τιμές ισχύος.

Μοντέλο		SBR-3,8 H-B	SBR-5,3 H-B	SBR-9,5 H-B	SBR-12,5 H-B	SBR-17,0 H-B	SBR-26,0 H-B	SBR-50,0 H-A-S	SBR-70,0 H-A-S
Θερμική Ισχύς	kW	3,8	5,3	9,5	13,4	18	28	50	70
Απορροφούμενη ισχύς στη θέρμανση	kW	0,79	1,08	1,9	2,6	3,6	5,4	10,3	16,3
Τρέχουσα Λειτουργία Θέρμανσης	A	3,6	5	8,8	12,3	16,7	8,4*3	16,6*3	24,7*3
COP	W/W	4,8		5,2	5,1	5	5,2	4,7	4,29
Τροφοδοσία	V/Ph/Hz	220/1/50					380/3/50		
Συμπιεστής	Mode I	Rotary			Toshiba	Sanyo/Scroll			
	Qty			1	1	1	1	2	3
Αριθμός ανεμιστήρων		1	1	1	1	1	2	2	3
Ισχύς ανεμιστήρων	W	25	25	30	150	150	150*2	200*2	1200
Ταχύτητα ανεμιστήρων	RPM	950	950	950	850	930	930	830	850
Στάθμη θορύβου	dB(A)	47	49	53	54	54	54	63	65
Παροχή Νερού	m3/h	2 έως 4		4 έως 7	5 έως 8	5 έως 8	6 έως 12	8 έως 15	30 έως 60
Πίεση Νερού	kPa	10	12	15	15	16	16	18	9
Διαστάσεις (L*W*H)	mm	1045*380*625		1110*370*585	1115*470*690	1115*470*935	1150*470*1250	1450*710*1060	2037*1037*1360
Βάρος G.W/N.W	kg	40/44	48/52	57/63	104/120	114/132	126/145	235/265	395/455

Εικόνα 3.13 Αντλία Θερμότητας για θέρμανση πισίνας [10]

ΜΟΝΤΕΛΟ		SWBB-8.5B/P	SWBB-13.5H-B/P	SWBB-13.5H-B/P-S	SWBB-19.5H-B/P-S	SWBB-26.0H-A/P-S
Θερμική Ισχύς	KW	8,5	13,5	13,5	19,5	27,5
Ψυκτική Ισχύς	KW	8,2	13,0	13,0	18,0	25,0
Απορροφούμενη ισχύς στη θέρμανση	KW	2,34	3,7	3,7	5,4	8,1
Απορροφούμενη ισχύς στη ψύξη	KW	2,7	4,1	4,1	5,5	8,3
Τροφοδοσία	V/Ph/Hz	230/1/50		380/3/50		
COP/EER	W/W	3.6/3.1	3.6/3.2	3.6/3.2	3.6/3.3	3.4/3.1
Συμπιεστής	Model	Panasonic/R410A	Sanyo/R410A	Sanyo/R410A	Sanyo/R410A	Sanyo/R410A
	Qty	1	1	1	1	2
Αριθμός ανεμιστήρων	pc	1	2			
Στάθμη θορύβου	dB(A)	55	58	58	59	61
Διαστάσεις (L*W*H)	mm	1115*470*685	1115*470*1250	1115*470*1250	1115*470*1250	1350/730/1290

Εικόνα 3.14 Αντλία για θέρμανση και ψύξη γενικής χρήσης [10].

### 3.7 Λογισμικό HOMER®

Το λογισμικό HOMER® [11] είναι ένα λογισμικό βελτιστοποίησης σχεδιασμού Microgrids. Πιο συγκεκριμένα, δίνει την δυνατότητα σχεδιασμού συστημάτων με ηλεκτρικά και θερμικά φορτία και τρόπους παραγωγής ενέργειας, τόσο συμβατικούς όσο και ανανεώσιμους, για την κάλυψη τους.

Αφού σχεδιαστεί το εκάστοτε σύστημα και ρυθμιστούν οι παράμετροι της εκάστοτε εφαρμογής, το λογισμικό κάνει προσομοίωση του συστήματος και παράγει τα βέλτιστα αποτελέσματα σε βάθος ενός έτους, αλλά και κατά τον χρόνο ζωής της επένδυσης. Τα βέλτιστα από άποψη κατανάλωσης, άρα και κόστους. Επίσης, διαθέτει ποικιλία ρυθμίσεων όσον αφορά τα δεδομένα βάση των οποίων κάνει την βέλτιστη επιλογή.

Σε αυτή τη διπλωματική θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό HOMER®, για να προσομοιωθεί η κάλυψη των θερμικών αναγκών των κολυμβητικών δεξαμενών του υπό μελέτη κολυμβητηρίου με διαφορετικές μεθόδους και τεχνολογίες συστημάτων. Σε επόμενη ενότητα θα αναλυθούν περισσότερο οι δυνατότητες του, μαζί με τα σενάρια που εξετάστηκαν κατά την διπλωματική αυτή.



## 4 Κλειστό Κολυμβητήριο Πολυτεχνείου Κρήτης

### 4.1 Φυσική εγκατάσταση

Το Κλειστό Κολυμβητήριο του Πολυτεχνείου Κρήτης βρίσκεται στην Λεωφόρο Ελευθερίου Βενιζέλου στα Κουνουπιδιανά Χανίων απέναντι από το Πολυτεχνείο Κρήτης. Η ακριβής τοποθεσία φαίνεται από δορυφορική λήψη στην Εικόνα 4.1.



Εικόνα 4.1 Κλειστό Κολυμβητήριο Πολυτεχνείου Κρήτης [14].

Η συνολική έκταση του κτιρίου του Κολυμβητηρίου είναι 835,25 m<sup>2</sup>. Ο χώρος περιλαμβάνει δύο πισίνες, την αγωνιστική πισίνα ολυμπιακών διαστάσεων και μία μικρή πισίνα αποθεραπείας και εκπαίδευσης μικρών παιδιών. Οι πισίνες πλαισιώνονται από πολλούς κοινόχρηστους χώρους και γραφεία.

Αναλυτικότερα οι χώροι είναι:

- Κυλικείο Κοινού – Χώρος εισόδου κολυμβητηρίου
- Τέσσερις Αποθήκες κυλικείων
- Αποδυτήριο προπονητή το οποίο περιλαμβάνει:
  - Ντουζ
  - Τουαλέτα
- Γραφείο προπονητή
- Αποδυτήρια αγοριών
- Αποδυτήρια κοριτσιών
- Γραφείο ελέγχου εισόδου – πληροφοριών

- Γραφείο Διευθυντή
- Δύο Γραφεία Γραμματείας
- Γραφείο προέδρου
- Αίθουσα συσκέψεων
- Τουαλέτα Ατόμων Με Ειδικές Ανάγκες
- Κλιμακοστάσιο γραφείων διοίκησης
- Τουαλέτα Γυναικών Γραφείων διοίκησης
- Τουαλέτα Ανδρών Γραφείων διοίκησης
- Κυλικείο στο χώρο των γραφείων διοίκησης
- Τουαλέτα Γυναικών Επισήμων
- Τουαλέτα Ανδρών Επισήμων
- Φουαγιέ – Κυλικείο Επισήμων
- Γραφείο ελέγχου εισόδου Επισήμων
- Τέσσερις Αποθήκες καθαρισμού
- Τουαλέτα Γυναικών Δημοσιογράφων
- Τουαλέτα Ανδρών Δημοσιογράφων
- Φουαγιέ – Κυλικείο Δημοσιογράφων
- Αίθουσα τύπου
- Τουαλέτες Γυναικών Κοινού
- Τουαλέτες Ανδρών Κοινού
- Τουαλέτα Ανδρών Ατόμων Με Ειδικές Ανάγκες
- Τουαλέτα Γυναικών Ατόμων Με Ειδικές Ανάγκες
- Κερκίδες με Δημοσιογραφικά θεωρεία

## 4.2 Απαιτήσεις θερμότητας κτιρίου

Ο υπολογισμός των απωλειών θερμότητας έγινε με βάση τα στοιχεία που διαθέτει η Τεχνική Υπηρεσία του Πολυτεχνείου Κρήτης [31]. Τα στοιχεία αυτά αφορούν στο εγκατεστημένο σύστημα που προορίζεται για την θέρμανση των δυο πισινών (μικρή και μεγάλη) και του κτιρίου.

	Ισχύς		Απόδοση	Ωφέλιμο	
	Mcal/h	kW		Mcal/h	kW
<b>Λέβητας</b>	2.000	2.329	80	1.600	1.863,2
<b>K.K.M</b>	935,51	1.088	70	654,86	761,6
<b>Fan-Coils</b>	229,58	267	70	160,71	186,9

Πίνακας 4.1 Απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς για τη θέρμανση του χώρου.

	Ισχύς		Απόδοση	Ωφέλιμο	
	Mcal/h	kW	%	Mcal/h	kW
<b>Λέβητας</b>	1.500	1.744,5	80	1.031,814	1.200
<b>Εναλλάκτης</b>	1.077,767	1.253,44	55	592,772	689,394

Πίνακας 4.2 Απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς για θέρμανση του νερού για τις πισίνες.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που αναλύονται παρακάτω, οι απαιτήσεις ενέργειας για το εν λόγω κτίριο είναι 2178 kW, που αναλογούν σε 1.872.750 kcal/h. Η ισχύς αυτή καλύπτεται από άλλα συστήματα συμβατικά και μη που αναλύονται στην διπλωματική αυτή.

Ο υπολογισμός των απωλειών θερμότητας έγινε με βάση την ισχύ των μονάδων θέρμανσης (Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες και Κλιματιστικές Μονάδες με Ανεμιστήρα - Fan Coil) που είναι εγκατεστημένες. Οι εγκατεστημένες Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες για επεξεργασία του αέρα και θέρμανση των χώρων είναι συνολικής ισχύος 1.088 kW, που αντιστοιχούν σε 936.680 kcal/h. Οι Κλιματιστικές Μονάδες με Ανεμιστήρα (Fan Coil) που υπάρχουν είναι προσεγγιστικά συνολικής ισχύος 267 kW.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς για τις μονάδες θέρμανσης που περιγράφηκαν είναι 1.355 kW, που αντιστοιχούν σε 1.165.300 kcal/h. Για την λειτουργία αυτών χρειάζεται κατά ελάχιστο 20% επιπλέον ισχύς λέβητα, δηλαδή περίπου 1.400.000 kcal/h και υπάρχουν εγκατεστημένοι δύο λέβητες 1.000 Mcal/h έκαστος.

Επομένως, για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών του κτιρίου, λαμβάνοντας σαν δεδομένο ότι ο συντελεστής απόδοσης των μονάδων θέρμανσης (Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες και Κλιματιστικές Μονάδες με Ανεμιστήρα) είναι 70%, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι θερμικές απώλειες του κτιρίου ανέρχονται στα 948 kW, που αντιστοιχούν σε 815.710 kcal/h.

#### 4.2.1 Περιγραφή υπάρχουσας εγκατάστασης θέρμανσης μεγάλης και μικρής πισίνας

Όπως υπολογίστηκε από τα σχέδια και επιβεβαιώθηκε από την τεχνική υπηρεσία του Πολυτεχνείου, ο όγκος νερού της μεγάλης πισίνας είναι 3.750 m<sup>3</sup> και της μικρής πισίνας είναι 75 m<sup>3</sup>. Οι απώλειες θερμότητας της μεγάλης πισίνας είναι κατά μέγιστο 581.372 kcal/h και κατά αντιστοιχία όγκου της μικρής είναι 11.400 kcal/h. Η θερμότητα αυτή χρειάζεται να καλυφθεί με κάποιο σύστημα θέρμανσης νερού. Το εγκατεστημένο σύστημα θέρμανσης νερού αποτελείται από έναν εναλλάκτη με βαθμό απόδοσης 55% και ένα σύστημα λέβητα/καυστήρα με βαθμό απόδοσης 80%. Ο λέβητας είναι ισχύος 1.500.000 kcal/h, καλύπτοντας έτσι τις απαιτήσεις 1.077.767 kcal/h του εναλλάκτη.

	Απώλειες θερμότητας	
	Mcal/h	kW
<b>Θέρμανση μεγάλης πισίνας</b>	581,37	676,14
<b>Θέρμανση μικρής πισίνας</b>	11,40	13,26
<b>Σύνολο</b>	592,77	689,40

Πίνακας 4.3 Συνολικές απώλειες για τη θέρμανση των πισινών.



## **5 Απώλειες θερμότητας σε κολυμβητικές δεξαμενές.**

Οι απώλειες θερμότητας σε ανοιχτά και κλειστά κολυμβητήρια είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα, καθώς για την αναπλήρωση της χαμένης ενέργειας υπό την μορφή θερμότητας [3], απαιτείται η λειτουργία και επιτήρηση πολλών λειτουργικών κομματιών της πισίνας. Αυτά είναι το σύστημα θέρμανσης και το σύστημα ανακυκλοφορίας, που είναι δύο εκ των βασικότερων λειτουργικών στοιχείων. Οι κύριες αιτίες ενεργειακών απωλειών σε ένα κολυμβητήριο εντοπίζονται κυρίως στον χώρο της πισίνας, όπου περιέχει τεράστιο όγκο νερού. Οι απώλειες θερμότητας του όγκου αυτού πρέπει συνεχώς να αναπληρώνονται, ώστε να διατηρείται στην επιθυμητή θερμοκρασία. Αυτό καθιστά τα κολυμβητήρια ιδιαίτερα απαιτητικά ως κτήρια και δύσκολα στην ενεργειακή και οικονομική διαχείριση τους.

### **5.1 Απώλειες θερμότητας λόγω αγωγής θερμότητας.**

Οι πισίνες, στο μεγαλύτερο μέρος τους είναι χτιστές και μέσα στο έδαφος. Το φαινόμενο της μεταφοράς θερμότητας λόγω αγωγιμότητας πραγματοποιείται μεταξύ της πισίνας, των περιμετρικών τοιχίων και του πυθμένα της.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που συντελούν σε αυτό το φαινόμενο είναι το εμβαδόν της επιφάνειας του πυθμένα και των περιμετρικών τοιχίων της πισίνας καθώς και η διαφορά θερμοκρασίας του νερού της πισίνας με το έδαφος και με τους περιμετρικούς διαδρόμους.

Σημαντικό ρόλο παίζουν επίσης τα υλικά κατασκευής της πισίνας και το πάχος των τοιχίων, αφού για να υπολογιστούν οι απώλειες θερμότητας λόγω αγωγής θερμότητας, χρειάζεται να υπολογιστούν οι συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων.

### **5.2 Απώλειες θερμότητας λόγω εξάτμισης.**

Το σημαντικότερο φαινόμενο που καλείται κανείς να αντιμετωπίσει σε μία κολυμβητική δεξαμενή είναι η εξάτμιση. Η εξάτμιση είναι βασικό πρόβλημα, ανεξαρτήτως από το αν το κολυμβητήριο είναι κλειστό ή ανοιχτό.

Οι κυριότεροι παράγοντες που συντελούν στην εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια της πισίνας είναι οι εξής:

#### **5.2.1 Η διαφορά θερμοκρασίας του νερού με την ατμόσφαιρα.**

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 αυτό τον λόγο και στις οδηγίες της γενικής γραμματείας αθλητισμού για τα κλειστά κολυμβητήρια, συστήνεται η διατήρηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας έναν έως δύο βαθμούς υψηλότερη από αυτή του νερού της πισίνας.

#### **5.2.2 Η επιφάνεια της πισίνας.**

Εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι η επιφάνεια της πισίνας. Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια της πισίνας, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα νερού εξατμίζεται.

#### **5.2.3 Τα επίπεδα υγρασίας της ατμόσφαιρας.**

Τα επίπεδα υγρασίας της ατμόσφαιρας παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο, καθώς αντιστοιχούν στην περιεκτικότητα του ατμοσφαιρικού αέρα σε υδρατμούς. Έτσι όταν καταγράφεται υψηλή υγρασία τα επίπεδα εξάτμισης είναι μικρότερα από όταν ο αέρας είναι ξηρός.

#### 5.2.4 Η ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια του νερού.

Η ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια του νερού αποτελεί την σημαντικότερη αιτία εξάτμισης σε μία πισίνα. Έτσι κρίνεται αναγκαίο να εξεταστεί αυτός ο παράγοντας και να παρθούν πραγματικές τιμές στο αντίστοιχο πεδίο υπολογισμού για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι έχει μετρηθεί πως ένα απαλό αεράκι λίγων δευτερολέπτων μπορεί έως και να διπλασιάσει το ποσοστό εξάτμισης του νερού. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τυπικές τιμές για τον ρυθμό εξάτμισης σε κλειστά και ανοιχτά κολυμβητήρια, οι οποίες έχουν προκύψει από πειραματικές διαδικασίες χρόνων.

Ρυθμός εξάτμισης νερού		
Εξωτερική πισίνα	Εσωτερική πισίνα	
Έως και 0,5 kg / h / m <sup>2</sup>	Κατά την διάρκεια χρήσης	Όταν δεν χρησιμοποιείται
	13 gr / h / m <sup>2</sup>	6,5 gr / h / m <sup>2</sup>

Πίνακας 5.1 Ρυθμός εξάτμισης νερού [53].

#### 5.3 Απώλειες θερμότητας λόγω συναγωγής.

Το φαινόμενο της συναγωγής συντελεί επίσης στην απώλεια θερμότητας και μάζας από την επιφάνεια της πισίνας. Κατά το φαινόμενο αυτό τα μόρια του αέρα έρχονται σε άμεση επαφή με αυτά του ανώτερου στρώματος της επιφάνειας του νερού και λόγω της μεταξύ τους διαφοράς θερμοκρασίας, παρατηρείται μεταφορά θερμότητας και μάζας, από το υψηλότερο θερμοκρασιακά σύστημα στο χαμηλότερο.

Οι σημαντικότερες παράμετροι για τον υπολογισμό της συναγωγής πέρα από την διαφορά θερμοκρασίας είναι το μέγεθος της επιφάνειας της πισίνας και η ταχύτητα του ανέμου. Είναι σαφές ότι όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια, αλλά και η ταχύτητα του ανέμου, εντείνεται το φαινόμενο της συναγωγής.

Στις εσωτερικές πισίνες, όπου η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι σταθερή και λίγο μεγαλύτερη από αυτή της πισίνας, όπως επίσης και η ταχύτητα του ανέμου που είναι σχεδόν μηδενική, παρατηρείται σημαντική μείωση του φαινομένου της συναγωγής σε σύγκριση με τις εξωτερικές πισίνες.

#### 5.4 Απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας.

Το φαινόμενο της ακτινοβολίας έγκειται κυρίως στην ηλιακή ακτινοβολία κατά την οποία υπάρχει άμεση μεταφορά θερμότητας στο νερό. Αυτό αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα για τις εξωτερικές πισίνες, καθώς έρχονται σε επαφή με τον ήλιο απευθείας και έχουν ενεργειακό κέρδος. Ωστόσο, παρατηρούνται και θερμικές απώλειες λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας, οι οποίες αν και δεν είναι μεγάλες, 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 από την επιφάνεια, ενώ το ορατό, μικρού μήκους κύματος τμήμα της ακτινοβολίας για πολλά μέτρα, φτάνοντας μέχρι τον πυθμένα, λόγω της καθαρότητας του νερού.

Οι απώλειες ενέργειας της πισίνας προκύπτουν λόγω της αλληλεπίδρασης της υπέρυθρης ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα. Σημαντικός παράγοντας για την ακτινοβολία είναι η επιφάνεια της πισίνας και η διαφορά θερμοκρασίας πισίνας - περιβάλλοντος.

Στις πισίνες που βρίσκονται σε κλειστά κολυμβητήρια, 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.

Τέλος, στις πισίνες εσωτερικού χώρου είναι πολύ μικρότερο το φαινόμενο αυτό σε σύγκριση με αυτές του εξωτερικού χώρου, λόγω της απευθείας πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας. Σε κάθε περίπτωση όμως, είναι αποδεκτό ότι τα κέρδη θερμότητας είναι μεγαλύτερα από ότι οι απώλειες.

## 5.5 Υπολογισμός απωλειών θερμότητας.

Η κολυμβητική δεξαμενή που μελετάται θα θερμαίνεται όλο τον χρόνο διατηρώντας την θερμοκρασία του νερού στους 26 °C, που είναι θερμοκρασία μέσα στα όρια που δίνει η FINA [12] για αγωνιστική χρήση κολυμβητικών δεξαμενών. Επίσης, θεωρείται ότι το σύστημα κλιματισμού του χώρου του κολυμβητηρίου διατηρεί την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας σταθερή στους 27 °C για όλη την διάρκεια της ημέρας.

Στη συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός των απωλειών [3] που περιγράφηκαν στις προηγούμενες ενότητες, δηλαδή οι απώλειες θερμότητας λόγω αγωγής, συναγωγής, εξάτμισης και ακτινοβολίας.

### 5.5.1 Απώλειες λόγω αγωγής θερμότητας.

Για τον υπολογισμό των απωλειών λόγω αγωγής θερμότητας, χρειάζεται να γνωρίζει κανείς τα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένος ο πυθμένας και τα περιμετρικά τοιχεία της πισίνας, καθώς και το πάχος αυτών. Τα στοιχεία αυτά λήφθηκαν από τα σχέδια που παραχωρήθηκαν από την Τεχνική Υπηρεσία του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής.

#### 5.5.1.1 Για τον πυθμένα της πισίνας:

- Πάχος τοιχείου από οπλισμένο σκυρόδεμα  $d_1 = 0,30$  m με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda_1 = 1,51$  W/(m<sup>2</sup>·K).
- Πάχος τσιμεντοκονιάματος (επίστρωση τσιμέντου)  $d_2 = 0,10$  m με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda_2 = 1,40$  W/(m<sup>2</sup>·K).

Με αυτά τα στοιχεία υπολογίστηκε ο συντελεστής θερμοπερατότητας  $U$  σύμφωνα με την εξίσωση (5.1).

$$U = \frac{1}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2}} = 3,70 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad (5.1)$$

#### 5.5.1.2 Για τους περιμετρικούς τοίχους της πισίνας:

- Πάχος τοιχείου από οπλισμένο σκυρόδεμα  $d_3 = 0,26$  m με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda_3 = 1,51$  W/(m<sup>2</sup>·K).
- Πάχος τσιμεντοκονιάματος (επίστρωση τσιμέντου)  $d_4 = 0,10$  m με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda_4 = 1,40$  W/(m<sup>2</sup>·K).

Με αυτά τα στοιχεία υπολογίστηκε ο συντελεστής θερμοπερατότητας  $U_1$  σύμφωνα με την εξίσωση (5.2).

$$U_1 = \frac{1}{\frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4}} = 4,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (5.2)$$

Στην υπό μελέτη κολυμβητική δεξαμενή ισχύει ότι:

- Επιφάνεια πυθμένα (A) :  $1.250 \text{ m}^2$ .
- Επιφάνεια πλευρικών τοιχίων ( $A_1$ ):  $450 \text{ m}^2$ .

Η επιθυμητή θερμοκρασία του νερού της πισίνας είναι:

- $T_{\text{επιθ}} = 27 \text{ }^\circ\text{C}$

Η θερμοκρασία εδάφους και περιμετρικών διαδρομών είναι:

- $T_{\text{εδαφ}} = 14 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_{\text{περ}} = 14 \text{ }^\circ\text{C}$

Με βάση τα μεγέθη που περιγράφηκαν και υπολογίστηκαν, οι απώλειες λόγω αγωγής θερμότητας  $Q_{\text{αγ}}$  υπολογίζονται από την εξίσωση (5.3).

$$Q_{\text{αγ}} = [AU(T_{\text{επιθ}} - T_{\text{εδαφ}})] + [A_1 U_1 (T_{\text{επιθ}} - T_{\text{περ}})] [\text{W}] \quad (5.3)$$

### 5.5.2 Απώλειες λόγω ακτινοβολίας.

Για τον υπολογισμό των απωλειών λόγω ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκαν τα εξής δεδομένα:

- Ικανότητα εκπομπής νερού :  $\varepsilon = 0,963$
- Θερμοκρασία πισίνας σε K :  $T_{\text{πισ}} = 27 \text{ }^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος σε K :  $T_{\text{αερ}} = 28 \text{ }^\circ\text{C} = 301 \text{ K}$
- Επιφάνεια πισίνας :  $A = 1250 \text{ m}^2$ .
- Σταθερά Stefan Boltzmann :  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ .

Οι απώλειες λόγω ακτινοβολίας ( $Q_{\text{ακτ}}$ ) υπολογίζονται από την σχέση (5.4).

$$Q_{\text{ακτ}} = A\varepsilon\sigma(T_{\text{πισ}}^4 - T_{\text{αερ}}^4) [\text{W}] \quad (5.4)$$

### 5.5.3 Απώλειες λόγω συναγωγής

Για τον υπολογισμό των απωλειών λόγω συναγωγής, πρέπει να υπολογιστεί ο συντελεστής συναγωγής στην επιφάνεια της πισίνας.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή συναγωγής ( $h_c$ ), χρησιμοποιούνται οι εμπειρικές εξισώσεις υπολογισμού των παρακάτω αδιάστατων μεγεθών [3]:

1. Αριθμός Reynolds :  $Re = \frac{uL_c}{\nu} = \frac{uL_c\rho}{\mu}$
2. Αριθμός Prandtl :  $Pr = \frac{c_p\mu}{\lambda}$
3. Αριθμός Nusselt :  $Nu = \frac{h_cL_c}{\lambda}$



Όπου,

- $U$  : η ταχύτητα του ανέμου σε m/s.
- $L_c$  : το χαρακτηριστικό μήκος της πλευράς της δεξαμενής στη κατεύθυνση του ανέμου σε m
- $\mu$  : δυναμικό ιξώδες του αέρα σε kg/(m·s).
- $c_p$  : η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα σε J/(kg·K).
- $\nu$  : το κινηματικό ιξώδες του αέρα σε m<sup>2</sup>/s.
- $k$  : θερμική αγωγιμότητα του αέρα σε W/(m·K).
- $\rho$  : η πυκνότητα του αέρα σε kg/m<sup>3</sup>.

Ο υπολογισμός όλων των παραπάνω τιμών γίνεται από σχετικούς πίνακες του βιβλίου «Εφαρμοσμένη Ρευστομηχανική» [42] για συγκεκριμένη θερμοκρασία περιβάλλοντος και πίεση 1 atm. Για τον υπολογισμό των τιμών των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών που απαιτούνται σε κάθε θερμοκρασία, επειδή οι πίνακες που χρησιμοποιήθηκαν δεν περιέχουν όλες τις θερμοκρασίες χρειάζεται να γίνει γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών του Πίνακα 5.2. Για τον λόγο αυτό αναπτύχθηκε αυτοματοποιημένο υπολογιστικό φύλλο στο πρόγραμμα Excel για όλους τους υπολογισμούς (Πίνακας 5.2 , Πίνακας 5.3).

T [°C]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c_p$ [J/(kg·K)]	$k$ [W/(m·K)]	$\mu$ [kg/(m·s)]	$\nu$ [m <sup>2</sup> /s]
20	1,2045	1006,5	0,0256	0,00001819	0,00001511
40	1,1267	1008	0,027	0,00001912	0,00001697
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΕΔΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΓΙΑ ΠΙΕΣΗ 1atm					
<b>28</b>	<b>1,17338</b>	<b>1007,1</b>	<b>0,02616</b>	<b>0,000018562</b>	<b>0,000015854</b>

Πίνακας 5.2 Γραμμική παρεμβολή για τον υπολογισμό των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών για την επιθυμητή θερμοκρασία νερού [42].

Χαρακτηριστικό μήκος επιφάνειας στην κατεύθυνση του ανέμου [m]	$L_c$	50
Ταχύτητα αέρα [m/s]	$u$	0,2
Αριθμός Reynolds [-]	$Re = (\rho u L_c) / \mu$	632140,9331
Αριθμός Prandtl [-]	$Pr = (c_p \mu) / k$	0,7146
Αριθμός Nusselt [-]	$Nu = 0,037 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{1/3}$	1446,1258
Συντελεστής συναγωγής [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	$hc = (Nu k) / L_c$	0,7566

Πίνακας 5.3 Υπολογισμός αδιάστατων αριθμών που απαιτούνται για τον προσδιορισμό του συντελεστή συναγωγής [3].

Στον Πίνακα 5.2 παρατίθεται ο υπολογισμός των σταθερών για την δεδομένη θερμοκρασία 28 °C και στον Πίνακα 5.3 ο υπολογισμός των αδιάστατων αριθμών που περιγράφηκαν. Επειδή, όπως φαίνεται, ο αριθμός Reynolds (Re) είναι μεγαλύτερος από  $5 \cdot 10^5$ , σημαίνει ότι επικρατεί τυρβώδης ροή [3], η οποία είναι εξαναγκασμένη. Επομένως για τον υπολογισμό του αριθμού Nusselt ισχύουν οι συνθήκες της εξίσωσης (5.5).

$$Nu = 0,037Re^{\frac{4}{5}}Pr^{\frac{1}{3}}, \text{ για } \begin{matrix} 0,6 \leq Pr \leq 60 \\ 5 \times 10^5 \leq Re \leq 10^7 \end{matrix} \quad (5.5)$$

Από την σχέση (5.5) μπορεί να υπολογιστεί η τιμή του συντελεστή συναγωγής  $h_c$  και έπειτα οι απώλειες λόγω συναγωγής ( $Q_{\text{συν}}$ ) από την εξίσωση (5.6).

$$Q_{\text{συν}} = h_c A (T_{\text{πισ}} - T_{\text{αερ}}) [W] \quad (5.6)$$

#### 5.5.4 Απώλειες λόγω εξάτμισης.

Ο υπολογισμός των απωλειών λόγω εξάτμισης έγινε σύμφωνα με την μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στο «ASHRAE Applications Handbook» [1]. Για τον υπολογισμό των απωλειών θερμότητας λόγω εξάτμισης ( $Q_{\text{εξατ}}$ ) [28] χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (5.7).

$$Q_{\text{εξατ}} = A(P_w - P_a)(0,089 + 0,0782V) [W] \quad (5.7)$$

Όπου,

- $A$ : Την επιφάνεια της πισίνας ( $A = 1250 \text{ m}^2$ ).
- $V$ : Την ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια της πισίνας ( $V = 0,2 \text{ m/s}$ ).
- $P_w$ : Η πίεση των υδρατμών στην επιφάνεια της πισίνας σε kPa.
- $P_a$ : Η πίεση των υδρατμών του αέρα στην επιφάνεια της πισίνας σε kPa.

Για να υπολογιστούν οι απώλειες λόγω εξάτμισης από την εξίσωση (5.7), προσδιορίστηκαν πρώτα οι τιμές των  $P_w$  και  $P_a$ , οι οποίες δίνονται από πίνακες της ASHRAE για διάφορες θερμοκρασίες. Οι τιμές υπολογίστηκαν για τις δεδομένες θερμοκρασίες νερού και περιβάλλοντος, με την χρήση γραμμικής παρεμβολής, στο φύλλο του Excel που δημιουργήθηκε για όλους τους υπολογισμούς. Το αντίστοιχο τμήμα φαίνεται στον Πίνακα 5.4.

ΠΙΕΣΗ ΚΟΡΕΣΜΟΥ ΥΔΡΑΤΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ		ΠΙΕΣΗ ΚΟΡΕΣΜΟΥ ΥΔΡΑΤΜΩΝ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΑΕΡΑ	
T [°C]	$P_w$ [kPa]	T [°C]	$P_a$ [kPa]
25	3,17	25	1,9
30	4,25	30	2,55
<b>27</b>	<b>3,602</b>	<b>28</b>	<b>2,29</b>

Πίνακας 5.4 Υπολογισμός απαιτούμενων πιέσεων κορεσμού για τις δεδομένες θερμοκρασίες του συστήματος [28].

Τέλος, μέσα στο «ASHRAE Applications Handbook» [1] αναφέρεται επίσης η κρισιμότητα του παράγοντα των αναταράξεων του νερού λόγω παρουσίας ανθρώπων. Έτσι, για τον υπολογισμό των απωλειών λόγω εξάτμισης αναφέρεται ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο παράγοντας «Activity Factor» ( $F_A$ ) [28], ο οποίος διαφέρει ανάλογα την χρήση της πισίνας και δίνεται από την ASHRAE. Η εξίσωση (5.7) πολλαπλασιαζόμενη με τον παράγοντα αυτό, δίνει τις απώλειες εξάτμισης ανάλογα με το κοινό που την επισκέπτεται κατά την διάρκεια της ημέρας.

Type of Pool	Air Temperature, C	Water Temperature, C	Relative Humidity,%	F <sub>A</sub>
Baseline (unoccupied pool of any type)	Any	Any	Any	0.5
Residential pool	24 to 29	24 to 29	50 to 60	0.5
Condominium	24 to 29	24 to 29		0.65
Hotel	28 to 29	28 to 30		0.8
Public, school, competition	24 to 29	24 to 29		1.0
Therapeutic	27 to 29	29-35		0.65
Whirlpool/spa	27 to 29	36 to 40		1.0

Πίνακας 5.5 «Activity Factor» (F<sub>A</sub>), ανάλογα την χρήση της πισίνας [28].

Από τον Πίνακα 5.5 παρατηρεί κανείς ότι στην περίπτωση που εξετάζεται, όταν η πισίνα δεν είναι ανοιχτή στο κοινό αντιστοιχεί F<sub>A</sub> = 0,5 και όταν είναι ανοιχτή στο κοινό αντιστοιχεί F<sub>A</sub> = 1, καθώς είναι πισίνα με αγωνιστική και δημόσια χρήση. Έτσι προκύπτουν δύο τιμές για τις απώλειες λόγω εξάτμισης, μία για τις νυχτερινές ώρες, που δεν είναι ανοιχτή στο κοινό και μία για τις πρωινές ώρες, που είναι ανοιχτή για το κοινό.

#### 5.5.5 Υπολογισμός συνολικών απωλειών πισίνας.

Για τον υπολογισμό των συνολικών ωριαίων απωλειών της πισίνας, αθροίστηκαν τα αποτελέσματα των απωλειών που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους σύμφωνα με την εξίσωση (5.8).

$$Q_{ολικό} = Q_{εξατ} + Q_{ακτ} + Q_{συν} + Q_{αγ} [W] \quad (5.8)$$

Το αποτέλεσμα μετατράπηκε σε kcal/h και προέκυψαν οι ωριαίες θερμικές απώλειες της πισίνας, για θερμοκρασία νερού 27 °C και σταθερή θερμοκρασία περιβάλλοντος 28 °C.

#### 5.5.6 Απαιτούμενη θερμική ισχύς αρχικής θέρμανσης πισίνας.

Την πρώτη φορά που ξεκινάει μια πισίνα να θερμαίνεται, χρειάζεται κάποια ποσότητα θερμότητας για να θερμανθεί το νερό από την θερμοκρασία του δικτύου (Χανιά 12 °C – 16 °C) έως την επιθυμητή θερμοκρασία (27 °C). Για τον υπολογισμό της ενέργειας αυτής χρησιμοποιείται ο νόμος της θερμιδομετρίας, όπως φαίνεται στην σχέση (5.9) [3].

$$Q_{αρχ} = \rho V C_p (T_{επιθ} - T_{νερού}) [J] \quad (5.9)$$

Όπου,

- ρ: Η πυκνότητα του νερού για δεδομένη θερμοκρασία περιβάλλοντος σε kg/m<sup>3</sup>.
- V: Ο όγκος της πισίνας σε m<sup>3</sup>.
- c<sub>p</sub>: Η ειδική θερμότητα του νερού για δεδομένη θερμοκρασία περιβάλλοντος σε J/(kg·K).
- T<sub>επιθ</sub>: Επιθυμητή θερμοκρασία νερού σε K.
- T<sub>νερού</sub>: Αρχική θερμοκρασία νερού δικτύου σε K.

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης θερμότητας για την αρχική θέρμανση της πισίνας με βάση τη σχέση (5.9) πρέπει να βρεθούν οι τιμές για την πυκνότητα «ρ» και την ειδική θερμότητα «c<sub>p</sub>» του νερού, για την δεδομένη θερμοκρασία (14 °C). Τα μεγέθη αυτά

υπολογίστηκαν με γραμμική παρεμβολή στο φύλλο υπολογισμών στο Excel από σχετικούς πίνακες του βιβλίου «Εφαρμοσμένη Ρευστομηχανική» [42] (Πίνακας 5.6).

T [°C]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c_p$ [J/(kg·K)]
0	999,8	4218
50	988	4178
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΕΔΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ		
<b>14</b>	<b>996,496</b>	<b>4206,8</b>

Πίνακας 5.6 Υπολογισμός πυκνότητας και ειδικής θερμότητας για την επιθυμητή θερμοκρασία του νερού [42].

Από τον υπολογισμό σύμφωνα με την εξίσωση (5.9) προκύπτει η απαιτούμενη ενέργεια (θερμότητα) αρχικής θέρμανσης σε (J), η οποία μετατρέπεται σε kcal. Έτσι, ανάλογα με τον χρόνο που απαιτείται για να επιτευχθεί η αρχική θέρμανση της πισίνας, μπορούν να υπολογιστούν οι απαιτούμενες θερμίδες ανά ώρα (h) που χρειάζεται η πισίνα για να φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία σε όσες ώρες οριστεί σύμφωνα με την εξίσωση (5.10).

$$\dot{Q} = \frac{Q_{\text{αρχ}}}{\Delta t} \text{ [kcal/h]} \quad (5.10)$$

Όπου,

- $\dot{Q}$ : Οι ωριαίες απαιτήσεις θερμότητας για την αρχική θέρμανση, για  $\Delta t$  ώρες, σε kcal/h.
- $Q_{\text{αρχ}}$ : Οι συνολικές απαιτήσεις θερμότητας για την αρχική θέρμανση, σε kcal.
- $\Delta t$ : Ο επιθυμητός χρόνος για την επίτευξη της αρχικής θέρμανσης, σε h.

## 5.6 Υπολογιστικό φύλλο Excel.

Για τον υπολογισμό όλων των απωλειών που περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα και των συνολικών ωριαίων απωλειών, αναπτύχθηκε μία αυτοματοποιημένη σελίδα υπολογισμού στο Excel. Ο τρόπος αυτός υπολογισμού προσφέρει μεγάλη ευελιξία, καθώς καθιστά απλό τον υπολογισμό των απωλειών για οποιαδήποτε πισίνα, με την αλλαγή λίγων μόλις παραμέτρων στο υπολογιστικό αυτό φύλλο. Επίσης, με απλό τρόπο μπορούν να εξεταστούν διαφορετικά σενάρια. Για παράδειγμα, με διαφορετική επιθυμητή θερμοκρασία νερού πως μεταβάλλονται οι απώλειες θερμότητας.

Με αυτόν τον τρόπο υπολογίστηκαν με ακρίβεια οι απώλειες για την μεγάλη και μικρή πισίνα του υπό μελέτη κολυμβητηρίου. Το υπολογιστικό φύλλο που περιγράφηκε παρουσιάζεται παρακάτω και αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας του.

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΙΣΙΝΑΣ			
ΜΗΚΟΣ		50	m
ΠΛΑΤΟΣ		25	m
ΡΗΧΟ		3	m
ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ ΒΑΘΟΣ		3	m
ΒΑΘΥ		3	m
ΜΕΣΟ ΒΑΘΟΣ		3	m
ΔΕΛΟΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ			
ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΡΟΣ ΜΗΝΑΣ		3	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΙΣΙΝΑΣ	A	1250	m <sup>2</sup>
ΟΓΚΟΣ ΠΙΣΙΝΑΣ	V	3750	m <sup>3</sup>
ΠΑΡΑΠΛΕΥΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	A <sub>παρ</sub>	450	m <sup>2</sup>
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΥΘΜΕΝΑ	A <sub>π</sub>	1250	m <sup>2</sup>
ΕΠΙΘΥΜΗΤΟΣ ΧΡΟΝΟΣ			
ΑΡΧΙΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	h	120	h
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΧΩΡΟΥ	Θ <sub>π</sub>	28	°C
ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ	Θ <sub>επιθ</sub>	27	°C
ΦΥΣΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ	Θ <sub>ν</sub>	14	°C
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	Θ <sub>εδ</sub>	14	°C
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ	Θ <sub>πχ</sub>	14	°C
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΧΩΡΟΥ	T <sub>π</sub>	301	K
ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ	T <sub>επιθ</sub>	300	K
ΦΥΣΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ	T <sub>ν</sub>	287	K
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	T <sub>εδ</sub>	287	K
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ	T <sub>πχ</sub>	287	K

Πίνακας 5.7 Πεδίο εισαγωγής δεδομένων.

Το υπολογιστικό φύλλο που αναπτύχθηκε στο Excel είναι αρκετά εκτενές, για τον λόγο αυτό παρουσιάζεται τμηματικά. Στον Πίνακα 5.7, φαίνεται το τμήμα που ο χρήστης έχει την δυνατότητα να εισάγει τις δεδομένες τιμές της πισίνας και του χώρου που εξετάζει.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιγράφεται με τα εξής βήματα:

1. Εισάγονται οι διαστάσεις της υπό μελέτη πισίνας.
2. Υπολογίζονται αυτόματα (στα πορτοκαλί κουτάκια) στοιχεία που χρειάζονται στους υπολογισμούς, όπως:
  - α. Η επιφάνεια της πισίνας.
  - β. Ο όγκος του νερού της πισίνας.
  - γ. Η επιφάνεια των περιμετρικών τοιχίων.
  - δ. Η επιφάνεια του πυθμένα της πισίνας.

Έπειτα, εισάγονται:

## Σύγκριση Μεθόδων και Τεχνολογιών Θέρμανσης για Πισίνες Εσωτερικού Χώρου

3. Η επιθυμητή θερμοκρασία του νερού της πισίνας.
4. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος.
5. Η φυσική θερμοκρασία του νερού από το δίκτυο.
6. Η φυσική θερμοκρασία του εδάφους.

Περιγραφή κατασκευής		Τοίχοι περιμετρικά		
A/A	Ονομασία Υλικού	Πάχος Υλικού d [m]	Θερμική Αγωγιμότητα Υλικού λ [W/(m·K)]	$R = d/\lambda [(m^2 \cdot K)/W]$
<b>Ξεκινώντας από το εσωτερικό</b>				
1	Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,260	1,510	0,172
2	Τσιμεντοκονίαμα, επίστρωση τσιμέντου	0,100	1,400	0,071
		<b>Σύνολο</b>		<b>0,244</b>
<b>Συντελεστής Θερμοπερατότητας <math>U_t [W/(m^2 \cdot K)]</math></b>		<b>4,104854369</b>		
Περιγραφή κατασκευής		Πυθμένας		
A/A	Ονομασία Υλικού	Πάχος Υλικού d [m]	Θερμική Αγωγιμότητα Υλικού λ [W/(m·K)]	$R = d/\lambda [(m^2 \cdot K)/W]$
<b>Ξεκινώντας από το εσωτερικό</b>				
1	Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,300	1,510	0,199
2	Τσιμεντοκονίαμα, επίστρωση τσιμέντου	0,100	1,400	0,071
		<b>Σύνολο</b>		<b>0,270</b>
<b>Συντελεστής Θερμοπερατότητας <math>U_p [W/(m^2 \cdot K)]</math></b>		<b>3,702276708</b>		
<b>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ <math>Q = A_{\text{περ}} \cdot U_{\text{περ}} \cdot (T_{\text{επιθ}} - T_{\text{π}}) + A_{\text{πυθ}} \cdot U_{\text{πυθ}} \cdot (T_{\text{επιθ}} - T_{\text{εδαφ}}) [W]</math></b>		<b>84175,39456 W</b>		

Εικόνα 5.1 Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας για τα περιμετρικά τοιχία και τον πυθμένα, αντίστοιχα.

Στην Εικόνα 5.1 βρίσκονται δύο υποπίνακες, στους οποίους ο χρήστης εισάγει τα υλικά και το πάχος που είναι κατασκευασμένοι οι περιμετρικοί τοίχοι και ο πυθμένας της πισίνας. Αναλόγως το υλικό, δίνεται, από πίνακες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΤΕΕ) [35, 36, 34, 37], η θερμική αγωγιμότητα του κάθε υλικού.

Έτσι, υπολογίζονται οι συντελεστές θερμοπερατότητας « $U_p$ » και « $U_t$ », για τα περιμετρικά τοιχία και τον πυθμένα αντίστοιχα, που χρειάζονται για να υπολογιστούν οι απώλειες λόγω αγωγής. Τέλος, γίνεται ο υπολογισμός των απωλειών λόγω αγωγής θερμότητας για την μεγάλη πισίνα του κολυμβητηρίου.

## Σύγκριση Μεθόδων και Τεχνολογιών Θέρμανσης για Πισίνες Εσωτερικού Χώρου

1

T [°C]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c_p$ [J/(kg·K)]	$k$ [W/(m·K)]	$\mu$ [kg/(m·s)]	$\nu$ [m <sup>2</sup> /s]
20		1,2045	1006,5	0,0256	0,00001819
40		1,1267	1008	0,027	0,00001912
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΕΔΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΓΙΑ ΠΙΕΣΗ 1atm					
28		1,1788	1007,1	0,02616	0,000018562

2

Χαρακτηριστικό μήκος επιφάνειας στην κατεύθ. του ανέμου [m]	$L_c$	50
Ταχύτητα αέρα [m/s]	$u$	0,2
Αριθμός Reynolds [-]	$Re = (\rho \cdot u \cdot L_c) / \mu$	632140,9331
Αριθμός Prandtl [-]	$Pr = (c_p \cdot \mu) / k$	0,714594427
Αριθμός Nusselt [-]	$Nu = 0,037 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{1/3}$	1446,125762
Συντελεστής συναγωγής [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	$hc = (Nu \cdot k) / L_c$	0,756612998

3

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ $Q_{conv} = h_c \cdot A \cdot (T_{amb} - T_{surf})$ [W]	-945,7662481 W
--	----------------

4

ΠΙΕΣΗ ΚΟΡΕΙΣΜΟΥ ΥΔΡΑΤΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ		ΠΙΕΣΗ ΚΟΡΕΙΣΜΟΥ ΥΔΡΑΤΜΩΝ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΑΕΡΑ	
T [°C]	$P_{sat}$ [kPa]	T [°C]	$P_s$ [kPa]
25	3,17	25	1,9
30	4,25	30	2,55
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΙΕΣΕΩΝ ΚΟΡΕΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ			
27	3,602	28	2,29

5

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ $Q_{ev} = A \cdot (P_{sat} - P_{atm}) \cdot \{0,089 + 0,0782 \cdot V\}$ [W]	ώρες κοινού	171.609,60 W
	υπολοίπες ώρες	85.804,80 W
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ $Q_{irr} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{amb}^4 - T_{surf}^4)$		-5,926577511 W

Εικόνα 5.2 Υπολογιστικό φύλλο που υλοποιήθηκε στο Excel (Μέρος 1).

Στην Εικόνα 5.2 στις γραμμές «1» , «2» και «4» φαίνονται ο πίνακας των σταθερών θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών του αέρα για δεδομένη θερμοκρασία υπό σταθερή πίεση 1 atm και οι αδιάστατοι αριθμοί που υπολογίζονται για την εύρεση του συντελεστή συναγωγής. Γίνεται γραμμική παρεμβολή στις τιμές που λήφθηκαν από το βιβλίο «Εφαρμοσμένη Ρευστομηχανική» [42] για εύρεση των τιμών για την επιθυμητή θερμοκρασία περιβάλλοντος. Σημαντικό χαρακτηριστικό κατά τους υπολογισμούς είναι ότι γίνονται αυτοματοποιημένα, απλά αλλάζοντας τη θερμοκρασία περιβάλλοντος στον πίνακα των δεδομένων.

Στη συνέχεια, στις γραμμές «3» και «5» φαίνεται ο υπολογισμός των απωλειών συναγωγής, εξάτμισης και ακτινοβολίας, όπως περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα, με την αυτοματοποιημένη φόρμουλα υπολογισμού.

Τέλος, αξίζει να παρατηρήσει κανείς ότι υπολογίζονται δύο τιμές για τις απώλειες λόγω εξάτμισης, μία για τις ώρες κοινού και μία για όταν το κολυμβητήριο είναι κλειστό. Αυτό παραμετροποιείται ανάλογα την τιμή του παράγοντα «Activity Factor» που αναλύθηκε σε προηγούμενη ενότητα.

ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ $Q_{tot} = Q_{conv} + Q_{ev} + Q_{irr}$ [W]		254.833,30 W		169.028,50 W
	ώρες κοινού	254,83 kW		169,03 kW
		219.117,20 kcal/h	υπόλοιπες ώρες	145.338,35 kcal/h
		219,12 Mcal/h		145,34 Mcal/h
T [°C] $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c_p$ [J/(kg·K)]			
0	999,8	4218		
50	988	4178		
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΕΔΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ				
14	996,496	4206,8		
ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ $Q_{hep} = \rho \cdot V \cdot c_p \cdot (T_{amb} - T_{hep,ini})$ [J]		204.362.894.424,00 J		
		204.362.894,42 kJ		
		473,06 kW		
		406.760,32 kcal/h		
		406,76 Mcal/h		

Εικόνα 5.3 Υπολογιστικό φύλλο που υλοποιήθηκε στο Excel (Μέρος 2).

Στην Εικόνα 5.3 φαίνονται οι τελικοί υπολογισμοί των συνολικών ωριαίων απωλειών θερμότητας και των απαιτήσεων θερμικής ισχύος για την αρχική θέρμανση της μεγάλης πισίνας του κολυμβητηρίου. Οι απαιτήσεις που φαίνονται στην προκείμενη περίπτωση είναι

## 6 Διαφορετικές μέθοδοι που εξετάστηκαν στο λογισμικό HOMER®

### 6.1 Θέρμανση με συμβατικό σύστημα λέβητα - καυστήρα πετρελαίου.

Ένα τέτοιο σύστημα είναι ήδη εγκατεστημένο στο κολυμβητήριο του Πολυτεχνείου Κρήτης, όπως και στην πλειοψηφία των δημόσιων κολυμβητικών δεξαμενών. Σε αρκετά κολυμβητήρια έχει αντικατασταθεί το σύστημα λέβητα - καυστήρα με πιο σύγχρονα και φιλικά προς το περιβάλλον, αλλά σε αρκετά όχι ακόμα, αν και η τάση είναι σε αυτή την κατεύθυνση.

Για την λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος, για την θέρμανση του νερού μιας κολυμβητικής δεξαμενής, ο βασικός ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός που απαιτείται είναι:

1. Λέβητας πετρελαίου.
2. Καυστήρας πετρελαίου.
3. Δεξαμενή πετρελαίου.
4. Εναλλάκτης θερμότητας κατασκευασμένος από τιτάνιο, για αντοχή στην διάβρωση από τα χημικά της πισίνας.

Το λογισμικό HOMER® [11] μπορεί να προσομοιώσει ακριβώς το σύστημα αυτό, με τα δύο θερμικά φορτία και το σύστημα λέβητα – καυστήρα. Για να κάνει την προσομοίωση σωστά, πρέπει να εισαχθούν τα πραγματικά στοιχεία για τα παρακάτω.

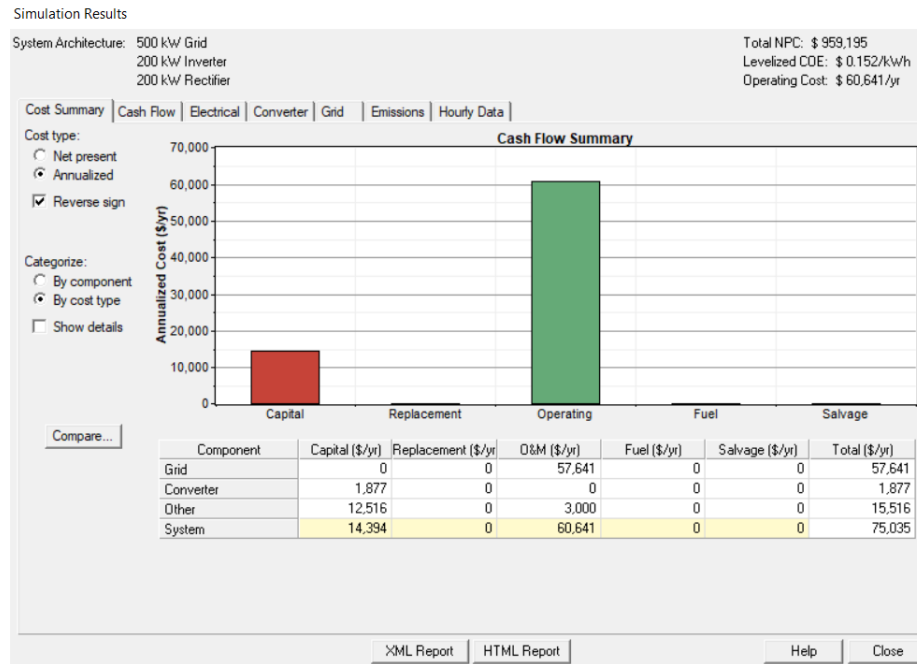
- α. Για τα θερμικά φορτία εισάγεται η ακριβής χρονοσειρά θερμικών καταναλώσεων που έχει υπολογιστεί για κάθε μία από τις πισίνες.
- β. Για το σύστημα λέβητα – καυστήρα εισάγεται:
  - Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος.
  - Το είδος καυσίμου που καταναλώνει.
  - Παράγοντες για τους ρύπους που παράγει.
- γ. Η τιμή του καυσίμου, η οποία πάρθηκε σύμφωνα με τα στοιχεία της ΠΟΠΕΚ (Πανελλήνια Ομοσπονδία Πρατηριούχων Εμπόρων Καυσίμων) [33].

Στην Εικόνα 6.1 φαίνεται το παράθυρο των ρυθμίσεων για τα θερμικά φορτία. Το λογισμικό HOMER® δίνει την δυνατότητα εισαγωγής της χρονοσειράς κατανάλωσης χειροκίνητα ή αυτόματα μέσω αρχείου τύπου «.txt». Στην περίπτωση που μελετάται, καθώς οι θερμικές απαιτήσεις των κολυμβητικών δεξαμενών ποικίλουν λόγω και της αρχικής θέρμανσης που συμβαίνει μόνο τις 5 πρώτες μέρες του Μαρτίου, προτιμήθηκε η μέθοδος αυτόματης εισαγωγής.

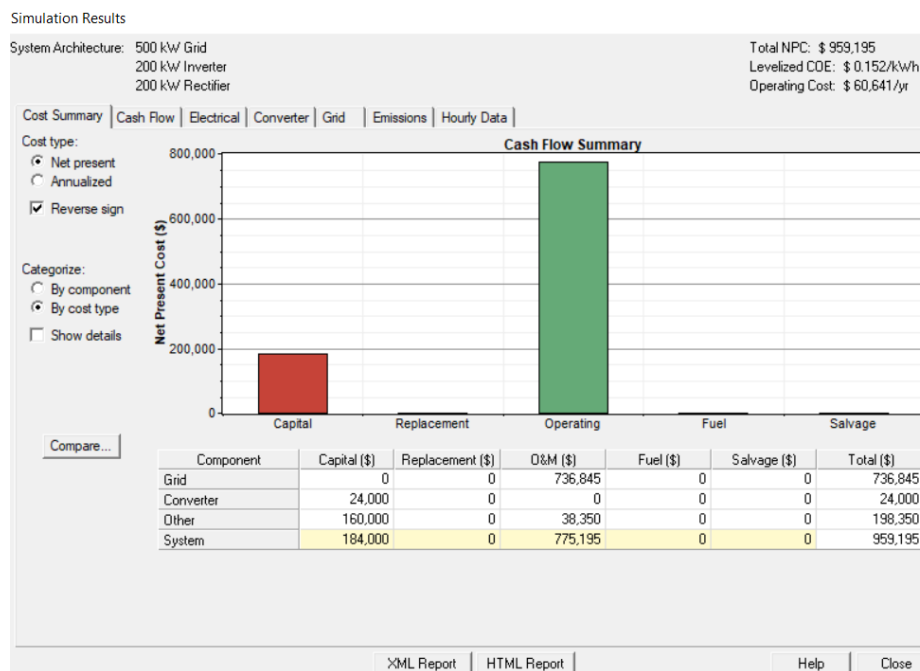
Αφού εισαχθεί η χρονοσειρά, το λογισμικό παράγει ένα ημερήσιο και ένα ετήσιο προφίλ καταναλώσεων σε γραφική μορφή.



## Σύγκριση Μεθόδων και Τεχνολογιών Θέρμανσης για Πισίνες Εσωτερικού Χώρου



Εικόνα 6.35 Ετήσια οικονομικά αποτελέσματα για σύστημα αντλιών θερμότητας τροφοδοτούμενο εξ ολοκλήρου από το δίκτυο.



Εικόνα 6.36 Οικονομικά στοιχεία σε βάθος χρόνου 25 ετών για σύστημα αντλιών θερμότητας τροφοδοτούμενο εξ ολοκλήρου από το δίκτυο.

## Σύγκριση Μεθόδων και Τεχνολογιών Θέρμανσης για Πισίνες Εσωτερικού Χώρου

Simulation Results

System Architecture: 500 kW Grid  
200 kW Inverter  
200 kW Rectifier

Total NPC: \$ 959,195  
Levelized COE: \$ 0.152/kWh  
Operating Cost: \$ 60,641/yr

Cost Summary | Cash Flow | Electrical | Converter | Grid | Emissions | Hourly Data

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Purchases (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge (\$)	Demand Charge (\$)
Jan	40,981	0	40,981	65	4,791	0
Feb	36,888	0	36,888	65	4,312	0
Mar	52,826	0	52,826	156	6,175	0
Apr	39,617	0	39,617	65	4,631	0
May	40,981	0	40,981	65	4,791	0
Jun	39,287	0	39,287	65	4,593	0
Jul	40,981	0	40,981	65	4,791	0
Aug	40,981	0	40,981	65	4,791	0
Sep	39,287	0	39,287	65	4,593	0
Oct	40,981	0	40,981	65	4,791	0
Nov	39,617	0	39,617	65	4,631	0
Dec	40,651	0	40,651	65	4,752	0
Annual	493,079	0	493,079	156	57,641	0

XML Report | HTML Report | Help | Close

Εικόνα 6.37 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο σύστημα αντλιών θερμότητας τροφοδοτούμενο εξ ολοκλήρου από το δίκτυο.



## 7 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Μια πρώτη προσέγγιση σύγκρισης των μεθόδων που προσομοιώθηκαν στο λογισμικό HOMER® [11], θα ήταν η σύγκριση ως προς το κόστος αρχικής επένδυσης για κάθε μία από αυτές. Στον Πίνακα 7.1 βρίσκονται συγκεντρωτικά τα κόστη για όλες τις μεθόδους.

	Μέθοδος	Κόστος επένδυσης	Ετήσιο κόστος συντήρησης
1	Λέβητας πετρελαίου	70.000 €	4.000 €
2	Λέβητας φυσικού αερίου	30.000 €	2.500 €
3	Λέβητας βιομάζας	100.000 €	5.000 €
4	Αντλία θερμότητας	160.000 €	0 €
5	Αντλία θερμότητας τροφοδοτούμενη από το δίκτυο και Φ/Β πάνελ.	309.142 €	3.000 €

Πίνακας 7.1 Κόστος επένδυσης και συντήρησης για κάθε μέθοδο (τιμές 2018).

Από τον Πίνακα 7.1 είναι εύκολο να παρατηρήσει κανείς ότι η μέθοδος με το μεγαλύτερο κόστος αρχικής επένδυσης είναι αυτή των αντλιών θερμότητας, οι οποίες τροφοδοτούνται από το δίκτυο και από φωτοβολταϊκά πάνελ. Η μέθοδος (5) με την μέθοδο (4), διαφέρουν επίσης ως προς το ετήσιο κόστος συντήρησης. Αυτό συμβαίνει, καθώς οι αντλίες θερμότητας από μόνες τους δεν χρειάζονται συντήρηση, ενώ τα φωτοβολταϊκά πάνελ που υπάρχουν στην μέθοδο (5) χρειάζονται ετήσια συντήρηση και λόγω του μεγέθους της εγκατάστασης, η συντήρηση αυτή δεν είναι οικονομική.

Επίσης, αξίζει να παρατηρηθεί η μεγάλη διαφορά στο κόστος αρχικής επένδυσης μεταξύ των μεθόδων (1) και (2). Παρόλο που όπως αναφέρθηκε, σε αυτές τις δύο μεθόδους χρησιμοποιείται το ίδιο σύστημα λέβητα – καυστήρα, το οποίο έχει την ιδιότητα να δουλεύει και με τα δύο καύσιμα, υπάρχει μεγάλη διαφορά στα κόστη. Αυτό οφείλεται, στο γεγονός ότι για την μέθοδο (1) απαιτούνται μεγάλης χωρητικότητας δεξαμενές πετρελαίου και επίσης περισσότερες σωληνώσεις και παρελκόμενα υλικά. Αντιθέτως, στην μέθοδο (2), ο καταναλωτής είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο φυσικού αερίου και δεν χρειάζεται δεξαμενές, ωστόσο έχει κάποιες επιβαρύνσεις για την όδευση και σύνδεση του δικτύου στο κτήριο.

Το κόστος αρχικής επένδυσης για το σύστημα βιομάζας (3) είναι πολύ μεγαλύτερο και από το κόστος των δύο άλλων μεθόδων (1,2). Γίνεται η σύγκριση της μεθόδου (3) με αυτές των (1,2), καθώς και στις τρεις χρησιμοποιείται σύστημα λέβητα – καυστήρα, απλώς διαφορετικού καυσίμου. Αυτό συμβαίνει καθώς για την μέθοδο (3) χρειάζονται σιλό αποθήκευσης μεγάλης χωρητικότητας για το καύσιμο, χρειάζεται αναβατήριο με κουβάδες, για το αυτόματο γέμισμα των σιλό. Τέλος, χρειάζεται ένα σύστημα κοχλιομεταφορέα για την αυτόματη ανατροφοδότηση του καυστήρα βιομάζας με καύσιμο (πυρήνα ή πέλλετ). Όλα αυτά, μαζί με το ήδη ακριβότερο σύστημα λέβητα - καυστήρα βιομάζας, ανεβάζουν το συνολικό αρχικό κόστος επένδυσης κατά πολύ.

Αυτή η σύγκριση δεν είναι αρκετή για να μπορέσει να γίνει αντιληπτό, ποια μέθοδος είναι τελικά πιο αποδοτική. Χρειάζεται να εξεταστεί η απόδοση του συστήματος σε ετήσια βάση, για να διαπιστωθεί το πόσο κοστίζει στον ιδιοκτήτη του κολυμβητηρίου ετησίως η θέρμανση των κολυμβητικών δεξαμενών. Από το ετήσιο κόστος θέρμανσης που προκύπτει για κάθε μία μέθοδο, θα γίνει φανερό το όφελος ή μη από την αρχική επένδυση.

## 8 Συμπεράσματα

Αρχικά, από την μελέτη των απωλειών που έγινε και την μελέτη για την απαιτούμενη αρχική θέρμανση, φάνηκε ότι τις μεγαλύτερες απαιτήσεις θερμότητας τις έχουν οι κολυμβητικές δεξαμενές την περίοδο της αρχικής θέρμανσης.

Στο σενάριο που μελετήθηκε σε αυτή την διπλωματική, τέθηκε χρόνος αρχικής θέρμανσης των πισινών, οι πέντε μέρες. Αυτό το σενάριο είναι υπαρκτό και συμβαίνει στην πραγματικότητα, ωστόσο για να ικανοποιηθεί η θέρμανση αυτή απαιτείται πολύ μεγάλη θερμική ισχύς. Πολύ περισσότερη θερμική ισχύς από την μέγιστη θερμική ισχύ που χρειάζεται για να διατηρηθεί σταθερή η θερμοκρασία του νερού σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας των κολυμβητικών δεξαμενών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χρειάζονται μεγαλύτερα συστήματα για την κάλυψη αυτών των αναγκών.

Έτσι, η πρώτη πρόταση για το στάδιο του υπολογισμού των απαιτήσεων, θα ήταν η συμφωνία μελετητή και ιδιοκτήτη κολυμβητηρίου σε μία περίοδο αρχικής θέρμανσης που να συμφωνεί με τις ανάγκες του ιδιοκτήτη, αλλά να είναι όσο μεγαλύτερη γίνεται.

Τέλος, από τα σενάρια που δοκιμάστηκαν στην διπλωματική αυτή, φάνηκε πως το πιο αποδοτικό σύστημα είναι το σύστημα με τις αντλίες θερμότητας οι οποίες τροφοδοτούνται από το ηλεκτρικό δίκτυο και από φωτοβολταϊκά πάνελ. Κριτήριο του συμπεράσματος αυτού είναι η αποδοτικότητα του σεναρίου ως προς το κόστος λειτουργίας και την φιλικότητα προς το περιβάλλον.

Με αυτή την μέθοδο, το κολυμβητήριο για την κάλυψη των θερμικών αναγκών των δύο κολυμβητικών δεξαμενών χρειάζεται να αγοράσει πολύ λιγότερη ενέργεια από κάθε άλλη μέθοδο που δοκιμάστηκε. Επίσης, το μεγάλο αρχικό κόστος επένδυσης που προκύπτει αποσβένεται πολύ σύντομα σε σχέση με τον τυπικό χρόνο ζωής του έργου που έχει οριστεί (25 έτη). Τα συστήματα αυτού του τύπου και με την ποιότητα των υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί καθώς και καλή συντήρηση, έχουν πραγματικό χρόνο ζωής αρκετά μεγαλύτερο, πράγμα που κάνει ακόμα πιο συμφέρουσα την επένδυση.



## 9 Μελλοντικές Ιδέες/Προτάσεις

Από την μελέτη που έγινε σε αυτή την διπλωματική και από την βιβλιογραφία που μελετήθηκε, προέκυψαν κάποια ζητήματα που αξίζει να μελετηθούν και να διερευνηθούν σε μελλοντική εργασία. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την σύγκριση των διαφορετικών μεθόδων και τεχνολογιών για την θέρμανση των πισίνων του κολυμβητηρίου, συνέβαλαν στην ανάδειξη της σημαντικότητας για περαιτέρω διερεύνηση κάποιων θεμάτων. Τα θέματα που διαπιστώθηκαν είναι τα εξής:

1. Διερεύνηση βέλτιστου ελέγχου και χρονοπρογραμματισμού λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης. Με τον όρο χρονοπρογραμματισμός εννοείται, οι περίοδοι λειτουργίας του συστήματος και η ισχύς λειτουργίας του συστήματος την εκάστοτε περίοδο. Έτσι, θα μπορούσε να διερευνηθεί για παράδειγμα, αν είναι πιο οικονομική η διατήρηση του νερού σε χαμηλότερη θερμοκρασία τις ώρες που δεν είναι ανοιχτό στο κοινό το κολυμβητήριο. Σε αυτή την περίπτωση, το σύστημα πρέπει λίγες ώρες πριν ανοίξει το κολυμβητήριο να λειτουργήσει σε πιο υψηλή ισχύ για να φέρει το νερό στα επιθυμητά επίπεδα. Έτσι λοιπόν θα ήταν χρήσιμο να διερευνηθεί αν υπάρχει κάποιος κατάλληλος χρονοπρογραμματισμός λειτουργίας και έλεγχος του συστήματος με συγκεκριμένες θερμοκρασίες που πρέπει να τηρηθούν.
2. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση του σεναρίου με την χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ, φαίνεται το πόσο μεγάλη συνεισφορά έχουν αυτά στην κάλυψη των αναγκών αυτών. Έτσι, καθώς τα ηλεκτρικά φορτία ενός κολυμβητηρίου αυτού του μεγέθους, ανεξάρτητα από το αν έχει αντλίες θερμότητας για την θέρμανση των πισίνων, είναι πολύ μεγάλα. Θα ήταν ενδιαφέρον να υπολογιστούν τα φορτία αυτά και να γίνει μία μελέτη για μεγαλύτερη εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ, για την κάλυψη των αναγκών αυτών (ή μεγάλου ποσοστού αυτών). Σε μια τέτοια μελέτη και εγκατάσταση, ενθαρρύνει η μεγάλη έκταση που διαθέτει το Πολυτεχνείο Κρήτης για τοποθέτηση του πάρκου.
3. Από την βιβλιογραφία που μελετήθηκε, παρατηρήθηκε ότι έχει σημειωθεί μεγάλη εξέλιξη στα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης. Τέτοιου είδους συστήματα αρχίζουν και εφαρμόζονται όλο και περισσότερο με σημαντικά αποτελέσματα. Δυστυχώς, το λογισμικό HOMER<sup>®</sup> που χρησιμοποιήθηκε για προσομοίωση των διαφορετικών μεθόδων σε αυτή την διπλωματική, δεν έχει την δυνατότητα εφαρμογής γεωθερμίας. Έτσι, θα ήταν ενδιαφέρουσα η μελέτη εφαρμογής ενός τέτοιου συστήματος για την κάλυψη των θερμικών αναγκών των κολυμβητικών δεξαμενών ή μέρους αυτών σαν βοηθητικό σύστημα.
4. Τέλος, το λογισμικό HOMER<sup>®</sup> δίνει την δυνατότητα επιλογής των βάσεων των φωτοβολταϊκών πάνελ. Πιο συγκεκριμένα, οι βάσεις μπορούν να είναι σταθερές ή να ακολουθούν την πορεία του ήλιου σε έναν ή δύο άξονες. Αυτά είναι τα λεγόμενα συστήματα ηλιακής παρακολούθησης (Solar Tracking Systems). Η εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος μπορεί να αυξήσει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έως και 40 %. Σε αυτή την διπλωματική δεν εξετάστηκε αν αξίζει το κόστος εφαρμογής ενός τέτοιου συστήματος σε τόσο μεγάλης κλίμακας φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Δηλαδή αν θα μπορέσει να αποσβέσει το κόστος του και αν ναι, πόσο μεγάλα είναι τα οφέλη αυτού. Θα ήταν πολύ ενδιαφέρουσα η διερεύνηση εφαρμογής ενός τέτοιου συστήματος στην λύση του κολυμβητηρίου με τα φωτοβολταϊκά.





## Βιβλιογραφία

- [1] ASHRAE. 2012 ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment (I-P) - (includes CD in I-P and SI editions) (Ashrae Handbook Heating, Ventilating, and Air Conditioning Systems and Equipment Inch-Pound). ASHRAE, 2012.
- [2] Yunus A. Cengel. Thermodynamics: An Engineering Approach. Tziola, 1998.
- [3] Yunus A. Cengel. Heat Transfer: A Practical Approach. McGraw-Hill (Tx), 2002.
- [4] T.T. Chow, Y. Bai, K.F. Fong, and Z. Lin. Analysis of a solar assisted heat pump system for indoor swimming pool water and space heating. Applied Energy, 100:309–317, dec 2012.
- [5] Mirsini Christou. Biomass potential in greece and prospects, 2017.
- [6] Natural Gas Greek Energy Company. Price, 2018.
- [7] Mark Dannemand, Simon Furbo, Claus Amtrup Andersen, Alfred Heller, and Henrik Madsen. Heating of indoor swimming pools by solar thermal collectors in summerhouses in Denmark. Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering, 2017.
- [8] Printable Diagram. Solar energy diagrams.
- [9] De Dietrich. Oil-gas boiler de dietrich gt 330, 2017.
- [10] EcoPlus. Heat pumps specifications, 2018.
- [11] HOMER<sup>®</sup> Energy. HOMER<sup>®</sup> energy.
- [12] FINA Federation Internationale de Natation. Swimming facility rules, September 2017.
- [13] Centre for Renewable Energy Sources and Saving (CRES). Greek biomass guide, 2005.
- [14] Google. Maps, 2018.
- [15] HOMER<sup>®</sup>. Creating a new fuel in HOMER<sup>®</sup>, 2018.
- [16] HOMER<sup>®</sup>. How HOMER<sup>®</sup> Calculates the PV Array Power Output, 2018.
- [17] HOMER<sup>®</sup>. How HOMER<sup>®</sup> Calculates the Radiation Incident on the PV Array., 2018.
- [18] HOMER<sup>®</sup>. Solar data import for radiation calculations, 2018.
- [19] SMA Inverter. Photovoltaic inverter, 2017.
- [20] M. Jarre, M. Noussan, and M. Simonetti. Primary energy consumption of heat pumps in high renewable share electricity mixes. Energy Conversion and Management, 171:1339–1351, sep 2018.
- [21] Silvio Alejandro Jimenez, Victor Carrillo, and Manuel Alejandro Alvarado. Swimming pool heating systems: A review of applied models. TECCIENCIA, 10(19):17–26, 2015.
- [22] Wolfgang Kampel. Energy Efficiency in Swimming Facilities. phdthesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norwegian University of Science and Technology Faculty of Engineering Science and Technology Department of Civil and Transport Engineering, September 2015.
- [23] Wolfgang Kampel, Bjørn Aas, and Amund Bruland. Characteristics of energy-efficient swimming facilities a case study. Energy, 75:508–512, oct 2014.
- [24] Ebru Kuzgunkaya and Nurdan Yildirim, editors. Pre-Feasibility Study of a Swimming Pool Complex for a University Campus, Izmir Institute of Technology, 35430 Izmir, Turkey, April 2009. World Geothermal Congress 2010.

- [25] John W. Lund. Design considerations for pools and spas (natatoriums). GHC Bulletin, 21(3):3, September 2000.
- [26] Roger J. McDonald. Performance study of swimming pool heaters. resreport, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY 11973-5000, January 2009.
- [27] Javier Gonzalez Miguel. Thermal systems for indoor pools utilizing heat recovery from exhaust air. mathesis, Tampere University of Technology, TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, April 2014.
- [28] PE Mirza Mohammed Shah PhD. Calculation of evaporation from indoor swimming pools: further development of formulas. Ashrae Transactions, 118:460, 2012.
- [29] Stathis Georgios-Anestis Neostratos Apostolos. The potential of biomass in greece and europe, 2012.
- [30] Jozsef Nyers. Cop of refrigerants in heat pumps. In Jozsef Nyers, editor, COP of refrigerants in heat pumps. 7th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources and Efficiency, At Subotica, Serbia, March 2015.
- [31] Technical University of Crete. Department of technical services, 2017.
- [32] Hellenic Republic Ministry of Education, Religious Affairs Culture, and Sport General Secretariat of Sport. Specifications for indoor swimming pools, November 2012.
- [33] Panhellenic Federation of Fuel Dealers. Latest prices of fuels, 2018.
- [34] Technical Chamber of Greece. Totee-20701-3, 2010.
- [35] Technical Chamber of Greece. Totee 20701-1, 2017.
- [36] Technical Chamber of Greece. Totee-20701-2, 2017.
- [37] Technical Chamber of Greece. Totee-20701-4, 2017.
- [38] Center of Renewable Energy Sources & Saving. Energy saving guide with heat recovery systems, 2015.
- [39] Ministry of Social Welfare and Hygiene. Ministerial decision g1/443/1973 fek 87/b/24-1-73, 1973.
- [40] Ministry of Social Welfare and Hygiene. Ministerial decision g4 1150/76 fek 937 b, 1976.
- [41] Antonia Papalazarou. Plate exchanger modeling and control heat using the finite element method. Master thesis, Democritus University of Thrace - Polytechnic School, Department of Production Engineering and Management, March 2010.
- [42] Dimitris Papanikas. Applied Fluid Mechanics, 4th edition,(in greek). Dimitris Papanikas, 2010.
- [43] PRESIDENT OF THE HELLENIC REPUBLIC. Preliminary decree nr. 335/93, 1993.
- [44] LAMBROS RIZOGIANNIS. Cooling circle, 2015.
- [45] Hellenic Electricity Distribution Network Operator S.A. Electricity power cost, 2018.
- [46] Mavil S.A. Petroleum and natural gas boiler, 2017.
- [47] Samaras. Industrial biomass boiler k9000.
- [48] Center For Renewable Energy Sources & Saving. Center for renewable energy sources & saving, 2018.
- [49] SHARP. 360 wp / mono: Nusc360.
- [50] Alatzas Spyridon. Assessment study making on how to use of available flows trace mineral biomass flows in greece through small-scale gasification. mathesis, NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS, 2017.

- [51] S. Tangwe, M. Simon, and E. Meyer. An experimental study to determine the performance and potential saving of swimming pool air source heat pump water heater. In Proc. Int. Conf. the Domestic Use of Energy (DUE), pages 1–6, March 2016.
- [52] TiSoft. Boiler unit efficiency rating, 2017.
- [53] E. Trianti-Stourna, K. Spyropoulou, C. Theofylaktos, K. Droutsas, C.A. Balaras, M. Santamouris, D.N. Asimakopoulos, G. Lazaropoulou, and N. Papanikolaou. Energy conservation strategies for sports centers: Part b. swimming pools. Energy and Buildings, 27(2):123–135, apr 1998.
- [54] European Union. European directive 92/42/eok, 1992.
- [55] Veltitech. Plate titanium heat exchanger, 2018.
- [56] Wikipedia. Heat pumps.
- [57] Wikipedia. Solar energy.
- [58] Xuelai Zhang, Shuxuan Yu, Mei Yu, Yuanpei Lin, Zhiwei Li, Xiaofei Li, and Wei Wang. Research on energy efficiency of natatorium in shanghai maritime university. In 2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering. IEEE, apr 2011.
- [59] F Zuccari, A Santiangeli, and F Orecchini. Energy analysis of swimming pools for sports activities: cost effective solutions for efficiency improvement. Energy Procedia, 126:123–130, sep 2017.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

