



**ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΝΟΜΟΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΔΗΜΟΣ ΜΑΡΑΘΩΝΟΣ
Δ/ΝΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ**

**ΕΡΓΟ: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΣΤΟ ΔΗΜΟΤΙΚΟ
ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΡΙΟ ΜΑΡΑΘΩΝΑ
ΠΡΟΫΠ: 643.000,00 € ΜΕ ΦΠΑ
ΦΟΡΕΑΣ: ΔΗΜΟΣ ΜΑΡΑΘΩΝΟΣ
ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ: ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ (Κ.Α.Ε.: 9777.05.011)**



Αθήνα

Νοέμβριος 2016

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	3
Κεφ 1. Μεθοδολογία Εκπόνησης Μελέτης	7
1.1. Ορισμοί.....	7
1.2. Κριτήρια Μελέτης	8
1.3. Κανονισμοί	8
1.4. Βήματα Εκπόνησης της Μελέτης	10
1.5. Γενικά Στοιχεία Έργου	11
1.5.1. Κολυμβητική Δεξαμενή	13
1.5.2. Κτιριακές Εγκαταστάσεις	13
1.5.3. Ενεργειακές Ανάγκες - Υφιστάμενη Κατάσταση- Γενική Διάταξη- Πηγές Ενέργειας	14
Κεφ 2. Ενεργειακό Μοντέλο Κολυμβητικής Δεξαμενής.....	17
2.1. Ισοζύγιο ενέργειας Κολυμβητικής Δεξαμενής	17
2.2. Υπολογιστική Μεθοδολογία	21
2.2.1. Προσομοίωση Ωριαίας Λειτουργίας.....	21
2.2.2. Τυπικό Μετεωρολογικό Έτος (ΤΜΥ).....	23
2.3. Μέτρα μείωσης της Ενεργειακής Απαίτησης. Παραδοχές – Σενάρια Προσομοίωσης	26
2.3.1. Αποτελέσματα Βασικού Σεναρίου- 1	27
2.3.2. Αποτελέσματα Σεναρίου 2- Τοποθέτηση ανεμοφρακτών ΝΔ της Κ.Δ.	33
2.3.3. Αποτελέσματα Σεναρίου 3- Χρήση Ισοθερμικού Καλύμματος.	35
2.4. Συγκριτική Αξιολόγηση Μέτρων Μείωσης της Ενεργειακής απαίτησης.....	37
Κεφ 3. Ενεργειακά Βελτιστοποιημένο Υβριδικό Σύστημα Θέρμανσης- Ενεργειακή Αξιολόγηση..	45
3.1. Σύντομη Τεχνική Περιγραφή.....	45
3.2. Παραδοχές Ενεργειακής Αξιολόγησης.....	51

3.3.	Αποτελέσματα ενεργειακής ανάλυσης.....	55
3.3.1.	Ωριαία Λειτουργία- Ενεργειακό Ισοζύγιο Συστήματος.....	55
3.3.2.	Ενεργειακές Καταναλώσεις.....	58
3.3.3.	Πρωτογενής Ενέργεια- Εκπομπές CO ₂	60
3.3.4.	Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος- Απόσβεση.....	61
3.4.	Τοποθέτηση Ηλιακών Συλλεκτών- Παραγωγή Ζεστών Νερών Χρήσης.....	63
Κεφ 4.	Σύνοψη - Συμπεράσματα	64

Ενεργειακή Αναβάθμιση Δημοτικού Κολυμβητηρίου Μαραθώνα

Εισαγωγή

Η παρούσα ενεργειακή μελέτη πραγματοποιείται με σκοπό την εφαρμογή των βέλτιστων μέτρων και τεχνικών που **θα εξασφαλίζουν την ενεργειακά αποδοτική, περιβαλλοντικά καθαρή και οικονομικά βιώσιμη λειτουργία του Δημοτικού Κολυμβητηρίου Μαραθώνα.**

Το κολυμβητήριο βρίσκεται στην πρώην Αμερικανική Βάση στη Νέα Μάκρη και αποτελεί μέρος του Πολιτιστικού και Αθλητικού Πάρκου του Δήμου.

Αποτελείται από δυο κολυμβητικές δεξαμενές, μία ολυμπιακών διαστάσεων (50,00 m x 21,00 m) με συνολικά 8 διαδρομές και μια κολυμβητική δεξαμενή εκμάθησης μικρών παιδιών (10,00 m x 10,00m). Οι κύριες εγκαταστάσεις του κολυμβητηρίου είναι:

- Η Κολυμβητική δεξαμενή συνολικής επιφάνειας 1050μ.
- Το Κτήριο αποδυτηρίων και χώρων εξυπηρέτησης κοινού με επιφάνεια θερμαινόμενων χώρων περίπου 150 τ.μ.

Οι ενεργειακές απαιτήσεις και ως εκ τούτου το ενεργειακό λειτουργικό κόστος του Κολυμβητηρίου συνίστανται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Ενεργειακές απαιτήσεις για τη θέρμανση της ανοικτής Κολυμβητικής Δεξαμενής
- Ενεργειακές απαιτήσεις για την παραγωγή Ζεστών Νερών Χρήσης
- Ενεργειακές απαιτήσεις για τη θέρμανση του κτιρίου αποδυτηρίων και χώρων εξυπηρέτησης κοινού.

Το κύριο πρόβλημα στο οποίο επικεντρώνεται και η παρούσα μελέτη, είναι η θέρμανση της κολυμβητικής δεξαμενής, καθώς η διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας στους 26 °C του μεγάλου και εκτεθειμένου στο περιβάλλον όγκο νερού, απαιτεί μεγάλη ποσότητα ενέργειας με αποτέλεσμα το υψηλό λειτουργικό κόστος. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, στα πλαίσια της μελέτης εξετάζεται:

- 1) Η εφαρμογή μέτρων περιορισμού των θερμικών απωλειών της κολυμβητικής δεξαμενής με σκοπό την ελαχιστοποίηση της ενεργειακής ζήτησης και

- 2) Το σχεδιασμό ενός **ενεργειακά βελτιωμένου υβριδικού συστήματος θέρμανσης και παραγωγής ΖΝΧ**, το οποίο θα εξασφαλίζει την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων για τη θέρμανση της κολυμβητικής δεξαμενής.

Για τη μελέτη του «ενεργειακού προβλήματος» της κολυμβητικής δεξαμενής, πραγματοποιείται ωριαία προσομοίωση λειτουργίας της κολυμβητικής δεξαμενής, για ένα πλήρες τυπικό μετεωρολογικό έτος (ΤΜΥ) στην περιοχή του Δ. Μαραθώνα και διερευνάται η επίδραση των μετεωρολογικών συνθηκών (ταχύτητα ανέμου, ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία, υγρασία) στην ενεργειακή απαίτηση της κολυμβητικής δεξαμενής (Κ.Δ.).

Η κύρια αιτία ενεργειακών απωλειών στην κολυμβητική δεξαμενή είναι η ταχύτητα ανέμου η οποία εμφανίζεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (μέση ετήσια ταχύτητα 3,34 m/s), και προκαλεί υψηλές τιμές απώλειας θερμότητας από εξάτμιση στην επιφάνεια της Κ.Δ. η οποία αποτελεί περίπου το 60-70% του συνόλου των θερμικών απωλειών.

Παράλληλα όμως, λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας προκύπτει ηλιακό θερμικό όφελος περίπου 25% επί των συνολικών απωλειών, μειώνοντας έτσι την συνολική ετήσια ενεργειακή ζήτηση σε περίπου 3.372 kWh/m² επιφάνειας Κ.Δ..

Με γνώμονα τη μείωση των θερμικών απωλειών λόγω εξάτμισης και τη διατήρηση του ηλιακού οφέλους, εξετάζεται η επίδραση στην ενεργειακή απαίτηση και στο κόστος λειτουργίας της κολυμβητικής δεξαμενής, μέτρων ενεργειακής προστασίας τα οποία αποσκοπούν στη μείωση της ταχύτητας του ανέμου στην επιφάνεια του νερού, χωρίς να προκαλούν σκίαση στην επιφάνεια της.

Τα μέτρα τα οποία εξετάζονται είναι:

- η τοποθέτηση ανεμοφρακτών (πετασμάτων) Βόρεια, Ανατολικά και Δυτικά της Κ.Δ. για την προστασία από τους κυρίαρχους ανέμους στην περιοχή και
- η συστηματική χρήση ισοθερμικού καλύμματος κατά τις ώρες όπου η κολυμβητική δεξαμενή δεν εξυπηρετεί το κοινό.

Η συνδυασμένη εφαρμογή των άνω μέτρων, οδηγεί σε μείωση της ενεργειακής απαίτησης κατά περίπου 50%, περιορισμό του απαιτούμενου μέγιστου φορτίου κατά 40%, και την εξοικονόμηση ετήσιας χρήσης ύδατος για την επαναπλήρωση της δεξαμενής, λόγω απωλειών εξάτμισης κατά

28%. Σε απόλυτα μεγέθη προκύπτει τελικά μέση ετήσια ενεργειακή απαίτηση για τη θέρμανση της Κ.Δ. της τάξης των 1681 kWh/m².

Το αρχικό ετήσιο κόστος θέρμανσης της κολυμβητικής δεξαμενής με συμβατικό σύστημα πετρελαίου, υπολογίζεται σε περίπου 335 χιλιάδες ευρώ, ενώ με την εφαρμογή των προτεινόμενων από τη μελέτη μέτρων ενεργειακής προστασίας, το ετήσιο λειτουργικό κόστος μειώνεται σε περίπου 176 χιλιάδες ευρώ.

Η κάλυψη αυτών των θερμικών απωλειών της κολυμβητικής δεξαμενής προτείνεται να πραγματοποιηθεί με την εγκατάσταση ενός Ενεργειακά Βελτιωμένου Υβριδικού Συστήματος Θέρμανσης το οποίο αποτελείται από τετρασωλήνια αντλία θερμότητας αέρος ισχύος 800 kWth, δοχείο αδρανείας, πλακοειδής εναλλάκτες για τη μεταφορά θερμότητας και όλες τις απαραίτητες αντλίες κυκλοφορίας ρευστών. Το σύστημα εγκαθίσταται παράλληλα με το υφιστάμενο σύστημα θέρμανσης το οποίο αποτελείται από μονάδα λέβητα με καυστήρα Πετρελαίου.

Το προτεινόμενο σύστημα χαρακτηρίζεται Ενεργειακά Βελτιωμένο Υβριδικό Σύστημα γιατί με την εγκατάσταση τετρασωλήνιας αερόψυκτης αντλίας θερμότητας, είναι δυνατό μελλοντικά να καλυφθούν ταυτόχρονα με τη θέρμανση της κολυμβητικής δεξαμενής θερμικά και κυρίως ψυκτικά φορτία των υπολοίπων εγκαταστάσεων του πολιτιστικού και Αθλητικού Πάρκου Μαραθώνα (ψύξη κλειστού γυμναστηρίου, ψύξη κτιρίου γραφείων, νέο παγοδρόμιο κτλ), με πολύ μικρό κόστος (Ταυτόχρονη λειτουργία Θέρμανσης – Ψύξης βαθμός απόδοσης αντλίας θερμότητας COP>7). Παράλληλα, είναι δυνατό η ίδια αντλία θερμότητας να συνδεθεί με γεωεναλλάκτη ανοικτού κυκλώματος, και ανάλογα με την κάθε φορά θερμοκρασία περιβάλλοντος να επιλέγεται αν θα λειτουργεί ως αερόψυκτη ή υδρόψυκτη (γεωθερμική) αντλία θερμότητας, για την θέρμανση της Κολυμβητικής Δεξαμενής (μεγιστοποίηση του βαθμού απόδοσης του συστήματος).

Η ως άνω φιλοσοφία σχεδιασμού κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της Κ.Δ. εξετάστηκε σε επίπεδο ωριαίας προσομοίωσης λειτουργίας για τυπικό μετεωρολογικό έτος (ΤΜΥ) προκειμένου να εκτιμηθεί με ακρίβεια το ενεργειακό και οικονομικό όφελος που προκύπτει έναντι μιας συμβατικής διάταξης με χρήση μόνο λέβητα και καυστήρα πετρελαίου.

Με τη νέα διάταξη, καλύπτεται το 99% των φορτίων από την αντλία θερμότητας, με αποτέλεσμα να μειωθεί στο ελάχιστο η χρήση πετρελαίου για τη θέρμανση της Κ.Δ. Με σημερινές τιμές

καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας, το λειτουργικό κόστος υπολογίζεται σε περίπου **60.000 ευρώ (έναντι των 176.000) το οποίο είναι μειωμένο κατά 65% περίπου έναντι του συμβατικού συστήματος θέρμανσης.**

Για την παραγωγή ζεστών νερών χρήσης προτείνεται να πραγματοποιηθεί με την εγκατάσταση ηλιακού συστήματος εξαναγκασμένης κυκλοφορίας, με συλλεκτική επιφάνεια 49τμ, το οποίο θα λειτουργεί σε σειρά με το υφιστάμενο σύστημα παραγωγής ζεστών νερών χρήσης. Με τη χρήση των ηλιακών συλλεκτών επιτυγχάνεται μείωση κατά 70% της κατανάλωσης καυσίμου πετρελαίου για την παραγωγή ΖΝΧ, η οποία αντίστοιχη με μείωση κατά περίπου 2500 ευρώ/ έτος με σημερινές τιμές. Αντίστοιχα εξασφαλίζεται μείωση των εκπομπών CO₂ Κατά περίπου 7,5 τόνοι/έτος.

Στις ενότητες οι οποίες ακολουθούν παρουσιάζεται:

- Η μεθοδολογία εκπόνησης της μελέτης
- Το Ενεργειακό Μοντέλο της Κολυμβητικής Δεξαμενής- Ωριαία προσομοίωση λειτουργίας και εξέταση επίδρασης μέτρων μείωσης της ενεργειακής απαίτησης.
- Υβριδικό Σύστημα: Ενεργειακή Αξιολόγηση
 - ο Τεχνική Περιγραφή Υβριδικού Γεωθερμικού Συστήματος
 - ο Εξέταση και αποτελέσματα σεναρίων κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Κ.Δ.
- Συμπεράσματα
- Παράρτημα υπολογισμών

Κεφ 1. Μεθοδολογία Εκπόνησης Μελέτης

1.1. Ορισμοί

Αντλία Θερμότητας: Συσκευή η οποία μεταφέρει θερμική ενέργεια από ένα μέσο χαμηλής θερμοκρασίας (πηγή θερμότητας), σε ένα άλλο μέσο υψηλότερης θερμοκρασίας (αποθήκη θερμότητας). Η λειτουργία αυτή αξιοποιείται για την θέρμανση-ψύξη κτιρίων, ή την παραγωγή ζεστών νερών χρήσης.

Υδροψυκτη (Γεωθερμική) Αντλία Θερμότητας (Γ.Α.Θ.): Αντλία θερμότητας η οποία ως πηγή θερμικής ενέργειας έχει το έδαφος, ή υπόγεια και επιφανειακά ύδατα. Επίσης ονομάζεται και Αντλία Θερμότητας Εδαφικής Πηγής (ΕΠΑΘ).

Αερόψυκτη Αντλία Θερμότητας (.Α.Θ.): Αντλία θερμότητας η οποία ως πηγή θερμικής ενέργειας έχει τον αέρα της ατμόσφαιρας.

Τετρασωλήνια Αντλία Θερμότητας Αέρος: Αντλία θερμότητας αέρος η οποία μπορεί να πραγματοποιεί λειτουργία θέρμανσης ή λειτουργία ψύξης ως αερόψυκτη αντλία και ταυτόχρονη λειτουργία θέρμανσης και ψύξης ως υδροψυκτη. Με την ταυτόχρονη λειτουργία επιτυγχάνεται πολύ υψηλός βαθμός απόδοσης Total COP>7.

Συντελεστής Απόδοσης (C.O.P.): Ο λόγος της θερμικής ισχύς μιας αντλίας θερμότητας, προς την ηλεκτρική ισχύ που δαπανά. Ο συντελεστής απόδοσης πάντα νοείται σε συγκεκριμένες θερμοκρασιακές συνθήκες.

Ετήσιος Συντελεστής Απόδοσης (S.P.F.): Ο λόγος της θερμικής ενέργειας που μεταφέρει μια αντλία θερμότητας, προς την συνολική ηλεκτρική ενέργεια που δαπάνησε σε μια χρονική περίοδο (συνήθως ετήσια περίοδο θέρμανσης και ετήσια περίοδο ψύξης).

Εναλλάκτης Θερμότητας: Συσκευή η οποία αξιοποιείται για τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ ρευστών τα οποία έχουν διαφορετική θερμοκρασία.

Γεωεναλλάκτης: Εναλλάκτης θερμότητας εδάφους, ο οποίος περιλαμβάνει ανοικτό κύκλωμα ή συστοιχία οριζόντιων ή κατακόρυφων κλειστών κυκλωμάτων τα οποία τοποθετούνται εντός γεωτρήσεων ή πασσάλων, και ανταλλάσσουν θερμότητα με το περιβάλλον έδαφος.

Ανοικτό κύκλωμα: Το κύκλωμα ρευστών που χρησιμοποιείται για την μεταφορά ρευστού από το υπέδαφος προς συσκευή μεταφοράς θερμότητας (Γ.Α.Θ. ή εναλλάκτης θερμότητας) και αντίστροφα. Αποτελείται από δύο ή περισσότερες γεωτρήσεις άντλησης και επανεισαγωγής, υποβρύχια αντλία, δίκτυο σωληνώσεων.

1.2. Κριτήρια Μελέτης

Η εκπόνηση της μελέτης πραγματοποιήθηκε με κριτήρια:

- Την ενεργειακά ωφέλιμη και οικονομικά βιώσιμη λειτουργία των εγκαταστάσεων του Κολυμβητηρίου
- Την βέλτιστη αξιοποίηση και διαχείριση τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συγκεκριμένα:
 - Την αξιοποίηση της τεχνολογίας της τετρασωλήνιας αντλίας θερμότητας για τη θέρμανση της κολυμβητικής δεξαμενής
 - Τη βέλτιστη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, τόσο ως ηλιακό όφελος στην Κ.Δ., όσο και για την παραγωγή ζεστών νερών χρήσης
- Την εξασφάλιση χαμηλού κόστους κατασκευής και συντήρησης του συστήματος.
- Την εύκολη συντήρηση και την ασφάλεια του εξοπλισμού έναντι φθορών και βλαβών.
- Την ελάχιστη οπτική όχληση που προκαλείται από τις εγκατεστημένες μονάδες στον περιβάλλοντα χώρο
- Την ασφάλεια προσώπων, προσωπικού, εξοπλισμού τόσο κατά την διαδικασία εγκατάστασης όσο και κατά την πλήρη λειτουργία του συστήματος.

1.3. Κανονισμοί

Για τη μελέτη και τον σχεδιασμό των συστημάτων λαμβάνονται υπόψη οι ισχύοντες Εθνικοί και Διεθνείς Κανονισμοί που σχετίζονται με το σχεδιασμό εγκαταστάσεων θέρμανσης- κλιματισμού- αερισμού- και γεωθερμικών συστημάτων. Συγκεκριμένα λαμβάνονται υπόψη:

Οι γενικοί Κανονισμοί και Προδιαγραφές:

- Ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων – Κ.Εν.Α.Κ (ΦΕΚ 407/Β/9-4-2010)

- Οι ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010, 20701-2/2010, 20701-3/2010, 20701-4/2010 (Απρίλιος 2012) και συγκεκριμένα:
 - Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 «Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές Παραμέτρων για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων και την Έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης»
 - Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010 « Θερμοφυσικές Ιδιότητες Δομικών Υλικών και Έλεγχος της Θερμομονωτικής Επάρκειας των Κτιρίων»
 - Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010 « Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών»
 - Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-4/2010 « Οδηγίες και Εντυπα Ενεργειακών Επιθεωρήσεων Κτιρίων, Λεβήτων και Εγκαταστάσεων Θέρμανσης και Εγκαταστάσεων Κλιματισμού»
- ΤΟΤΕΕ 2421/86 Μέρος 1: Εγκαταστάσεις σε κτίρια: Δίκτυα διανομής ζεστού νερού για θέρμανση κτιριακών χώρων.
- ΤΟΤΕΕ 2421/86 Μέρος 2: Εγκαταστάσεις σε κτίρια: Λεβητοστάσια παραγωγής ζεστού για θέρμανση κτιριακών χώρων.
- ΤΟΤΕΕ 2423/86 Μέρος 2: Εγκαταστάσεις σε κτίρια: Κλιματισμός κτιριακών χώρων.
- ΤΟΤΕΕ 2425/86 Μέρος 2: Εγκαταστάσεις σε κτίρια: Στοιχεία υπολογισμού φορτίων κτιριακών χώρων.
- ΤΟΤΕΕ 2428/86 Μέρος 2: Εγκαταστάσεις σε κτίρια: Διανομή ατμού μέχρι PN 16-300C.
- Ο Νέος Οικοδομικός Κανονισμός (Ν.4067, ΦΕΚ 79/Α/9-4-2012)
- Οι Ελληνικοί Κανονισμοί των διαφόρων εγκαταστάσεων.
- Οι Γερμανικοί Κανονισμοί DIN και VDI.
- Δ. 300/86 Λειτουργία Μονάδων Παραγωγής Θερμότητας κ.λ.π. ΦΕΚ 134 Α/86
- DIN 4701/83, ASHRAE GUIDE και ASHRAE GRP 158 COOLING AND HEATING LOAD CALCULATION MANUAL κλπ
- Το Εγχειρίδιο της CARRIER “HANDBOOK OF AIR CONDITIONING SYSTEM DESIGN”.
- DIN 4701: Κανονισμοί για τον υπολογισμό των Θερμικών Αναγκών των Κτιρίων (1983), μέρος 1 και 2
- BSI 5588: part 9:89
- SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National
- ASHRAE
 - Fundamentals
 - Refrigeration
 - HVAC Applications

- HVAC Systems and Equipment
- ASHRAE: Cooling and heating load calculation manual
- ASHRAE: Simplified energy analysis using the modified bin method

Οι ειδικοί κανονισμοί – προδιαγραφές για αθλητικές εγκαταστάσεις και κολυμβητικές δεξαμενές

- Η Υ.Α. Γ1/443/1973 - Περί κολυμβητικών δεξαμενών μετά οδηγιών κατασκευής και λειτουργίας αυτών και οι τροποποιήσεις αυτής
- Υγειον.Διατ. Γ4/1150/1976, (ΦΕΚ 937/Β/17.7.1976) «Περί τροποποίησης και συμπλήρωσης της υπ' αριθ. Γ1/443/15 Ιανουαρίου 1973 Υγειονομικής διατάξεως (ΦΕΚ 87/Β/24 Ιανουαρίου 1973)»
- Υ.Α. ΔΥΓ2/80825/05/2006, (ΦΕΚ 120/Β/2.2.2006) «Τροποποίηση της υπ αριθ Γ1/443/1973 (87/Β) Υγ. Διάταξης, όπως τροποποιήθηκε με την υπ αριθ Γ4/1150/1976 (937/Β) όμοια περί λειτουργίας κολυμβητικών δεξαμενών»
- Εγκ. ΔΥΓ2/99932/06/22.3.2007 «Οδηγίες-διευκρινίσεις εφαρμογής των Υγειονομικών Διατάξεων «για τη λειτουργία κολυμβητικών δεξαμενών»»
- Το Εγχειρίδιο εξοικονόμησης ενέργειας στα Εθνικά Αθλητικά Κέντρα - Γενική Γραμματεία Αθλητισμού- Διεύθυνση Μελετών Αθλητικών Έργων/ ΑΔΑ 4Α5ΜΓ-5ΟΗ
- Τεχνικές Προδιαγραφές Κολυμβητικών Δεξαμενών Υδατοσφαίρισης- Γενική Γραμματεία Αθλητισμού- Διεύθυνση Μελετών Αθλητικών Έργων
- Τεχνική Περιγραφή Βιοκλιματικού Κολυμβητηρίου με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Τύπου ΒΚ1 -. Γενική Γραμματεία Αθλητισμού- Διεύθυνση Μελετών Αθλητικών Έργων

1.4. Βήματα Εκπόνησης της Μελέτης

Η μελέτη δομείται εν συντομία στις εξής ενότητες:

- Περιγραφή του τεχνικού αντικειμένου
- Απόδοση του Ενεργειακού Μοντέλου της Κολυμβητικής Δεξαμενής
 - Μοντέλο Ωριαίας Προσομοίωσης Λειτουργίας
 - Τυπικό Μετεωρολογικό Έτος Περιοχής Μελέτης
 - Εξέταση μέτρων μείωσης της ενεργειακής απαίτησης της Κ.Δ.
- Σχεδιασμός Βελτιωμένου Υβριδικού Συστήματος για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων της Κολυμβητικής Δεξαμενής

- Ενεργειακή αξιολόγηση – σύγκριση σε σχέση με συμβατικό σύστημα θέρμανσης στη βάση
- Του Λειτουργικού Κόστους
- Και του Περιβαλλοντικού Αποτυπώματος
- Συμπεράσματα

1.5. Γενικά Στοιχεία Έργου

Το Δημοτικό Κολυμβητήριο Μαραθώνα βρίσκεται στην πρώην Αμερικανική Βάση στη Νέα Μάκρη και αποτελεί μέρος του Πολιτιστικού και Αθλητικού Πάρκου του Δήμου (εικόνα 1).

Αποτελείται από δυο θερμαινόμενες κολυμβητικές δεξαμενές, μία ολυμπιακών διαστάσεων (50,00 m x 21,00 m) με συνολικά 8 διαδρομές και μια κολυμβητική δεξαμενή εκμάθησης μικρών παιδιών (12,50 m x 10,00m). Οι κύριες εγκαταστάσεις του κολυμβητηρίου είναι:

- Η Κολυμβητική δεξαμενή συνολικής επιφάνειας 1050μ.
- Το Κτήριο αποδυτηρίων και χώρων εξυπηρέτησης κοινού με επιφάνεια θερμαινόμενων χώρων περίπου 150 τ.μ.



Εικόνα 1: Πολιτιστικό και Αθλητικό Πάρκο Δήμου Μαραθώνα

Στον ίδιο χώρο, χωρίς όμως να είναι αντικείμενο της παρούσας μελέτης βρίσκεται επιπλέον:

- Κλειστό Γήπεδο Μπάσκετ
- Κλειστή αίθουσα ενόργανης γυμναστικής με όργανα
- Δύο γήπεδα ποδοσφαίρου 5x5
- Έξι ανοιχτά γήπεδα μπάσκετ, βόλεϊ και τένις με πλαστικό δάπεδο με ηλεκτροφωτισμό και εξέδρες θεατών.
- Κλειστό κινηματοθέατρο 350 θέσεων για κινηματογραφικές, θεατρικές παραστάσεις και πολιτιστικές εκδηλώσεις.
- Ανοιχτό αμφιθέατρο 800 θέσεων για θεατρικές παραστάσεις, συναυλίες και πάσης φύσεως πολιτιστικές εκδηλώσεις
- Κτίριο Διοίκησης

Οι κύριες ενεργειακές απαιτήσεις και ως εκ τούτου το ενεργειακό λειτουργικό κόστος του Κολυμβητηρίου συνίστανται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Ενεργειακές απαιτήσεις για τη θέρμανση της ανοικτής Κολυμβητικής Δεξαμενής
- Ενεργειακές απαιτήσεις για την παραγωγή Ζεστών Νερών Χρήσης

- Ενεργειακές απαιτήσεις για τη θέρμανση του κτιρίου αποδυτηρίων και χώρων εξυπηρέτησης κοινού.

1.5.1. Κολυμβητική Δεξαμενή

Τα γεωμετρικά στοιχεία της κύριας κολυμβητικής δεξαμενής δίδονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Μήκος	M:	50	m	Όγκος: m ³	V:	2100
Πλάτος	Π:	21	m	Εμβαδόν m ²	E:	1050
Βάθος	Υ:	2	m			

ενώ της δεξαμενής εκμάθησης

Μήκος	M:	12.5	m	Όγκος: m ³	V:	125
Πλάτος	Π:	10	m	Εμβαδόν m ²	E:	125
Βάθος	Υ:	1	m			

Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές της Γενικής Γραμματείας Αθλητισμού, η θερμοκρασία του νερού θα πρέπει να σταθερή και ίση 26±1 °C.

Η Κ.Δ. είναι ανοιχτή για το κοινό (αθλητικούς συλλόγους, Δημότες, κ.α.) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Για την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών της κολυμβητικής δεξαμενής, καθορίζεται ημερήσιο πρόγραμμα λειτουργίας της από της 8:00 π.μ. έως της 7:00 μ.μ.

1.5.2. Κτιριακές Εγκαταστάσεις

Το Κτίριο αποδυτηρίων και χώρων εξυπηρέτησης κοινού αποτελείται από:

Το υπόγειο στο οποίο είναι εγκατεστημένο το μηχανοστάσιο των Κολυμβητικών Δεξαμενών, τα μπάνια, αποδυτήρια και ντουζ αθλητών, χώρος ελέγχου εγκαταστάσεων, γραφεία, κτλ

Το ισόγειο όπου λειτουργεί κυλικείο.

1.5.3. Ενεργειακές Ανάγκες - Υφιστάμενη Κατάσταση- Γενική Διάταξη- Πηγές Ενέργειας

Ενεργειακές Απαιτήσεις

Οι κύριες θερμικές ενεργειακές ανάγκες που αντιμετωπίζονται στην παρούσα μελέτη είναι:

- Η Θέρμανση της Κολυμβητικής Δεξαμενής
- Η Παραγωγή Ζεστών Νερών Χρήσης

Υφιστάμενη Κατάσταση:

Σύστημα Θέρμανσης Κολυμβητικής Δεξαμενής:

Το υφιστάμενο σύστημα θέρμανσης των δυο Κολυμβητικών Δεξαμενών, αποτελείται από λέβητες με καυστήρα πετρελαίου οι οποίοι μέσω πλακοειδών εναλλακτών θερμότητας θερμαίνουν τα ανακυκλοφορούντα νερά της κάθε Κ.Δ. Συγκεκριμένα, η κύρια κολυμβητική δεξαμενή, θερμαίνεται από λέβητα- καυστήρα ισχύος 1500kWth και αντίστοιχα δυο εναλλάκτες ενώ η βοηθητική κολυμβητική δεξαμενή, θερμαίνεται από το λέβητα παραγωγής ΖΝΧ, ισχύος 383 kWth μέσω ενός πλακοειδή εναλλάκτη. Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι τοποθετημένοι παράλληλα στη ροή ανακυκλοφορίας των νερών των Κ.Δ. Τις ώρες όπου δεν γίνεται χρήση της Κ.Δ., αυτή σκεπάζεται με ισοθερμική κουβέρτα, η οποία και συμβάλει αισθητά στη μείωση του ενεργειακού κόστους του κολυμβητηρίου.

Παρά το γεγονός ότι το σύστημα είναι εγκαταστημένο από το 2009, λόγω τεχνικών και οικονομικών προβλημάτων, δεν λειτουργεί σε μόνιμη βάση. Στοιχεία καταναλώσεων υπάρχουν μόνο για το έτος 2010, στο οποίο μετρήθηκε η κατανάλωση 123.000 λίτρων πετρελαίου.

Παραγωγή Ζεστών Νερών Χρήσης

Η κάλυψη των αναγκών του κολυμβητηρίου σε Ζεστά Νερά Χρήσης πραγματοποιείται μέσω συστήματος λέβητα – καυστήρα πετρελαίου, ο οποίος έχει ισχύς 383 kWth. Για την αποθήκευση των ΖΝΧ χρησιμοποιούνται δύο θερμοδοχεία διπλής ενέργειας και όγκου 2.000 lit το καθένα, τα οποία είναι συνδεδεμένα παράλληλα μεταξύ τους. Το κάθε θερμοδοχείο εντός του φέρει εναλλάκτη ισχύος 97 kWth, ο οποίος και συνδέεται με τον λέβητα- καυστήρα.

Σύμφωνα με τις καταγεγραμμένες καταναλώσεις πετρελαίου, για το έτος 2010 μετρήθηκε κατανάλωση 3.500 lt πετρελαίου.

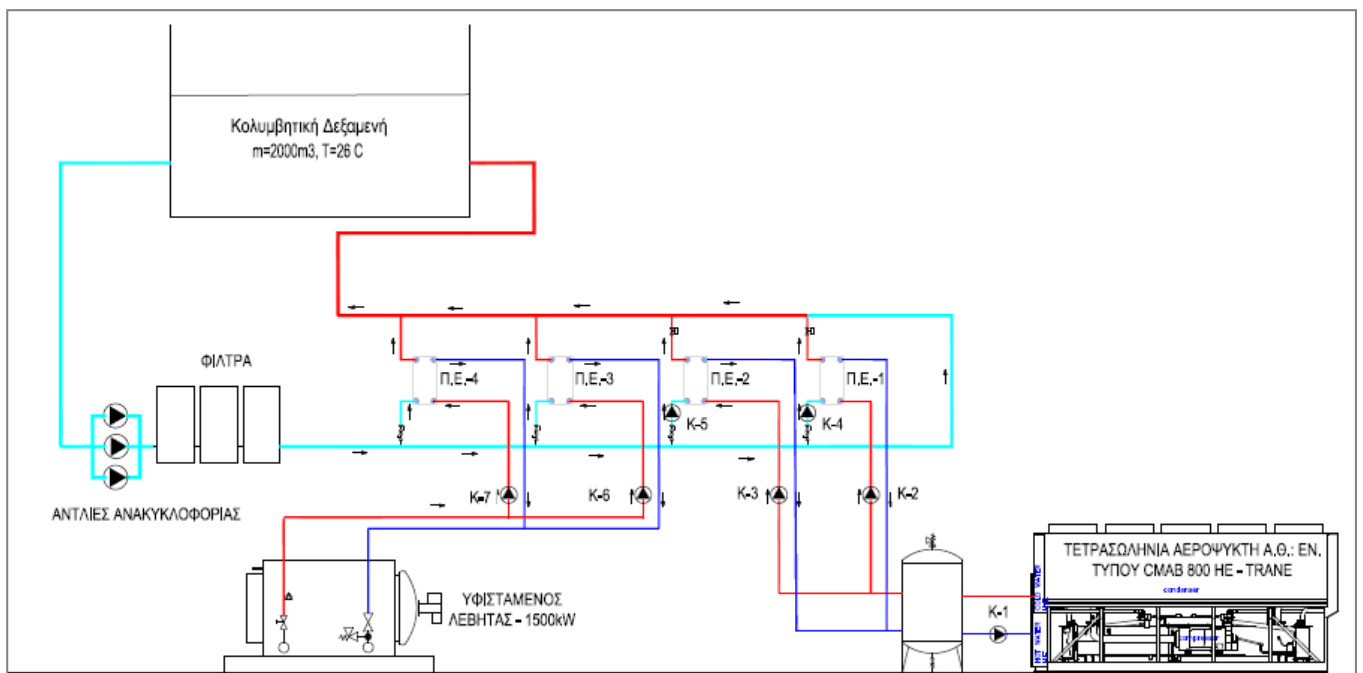
Από τη μέχρι τώρα εμπειρία λειτουργίας του Κολυμβητηρίου, η εγκατάσταση χαρακτηρίζεται ενεργοβόρα, με υψηλό λειτουργικό κόστος και κόστος συντήρησης.

Γενική Διάταξη Εξυπηρέτησης Ενεργειακών Αναγκών

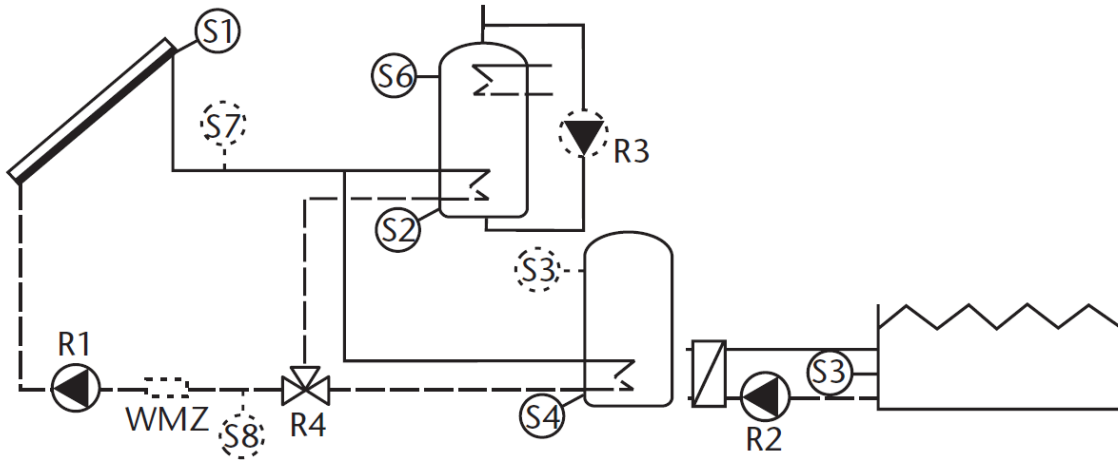
Η θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής (Κ.Δ.) - η οποία αποτελεί την κύρια ενεργειακή κατανάλωση, προτείνεται να πραγματοποιηθεί με την εγκατάσταση ενός Ενεργειακά Βελτιωμένου Υβριδικού Συστήματος Θέρμανσης το οποίο αποτελείται από τετρασωλήνια αντλία θερμότητας αέρος ισχύος 800kW και διάταξη εναλλακτών, αντλιών, δοχείων κτλ. Το σύστημα τοποθετείται παράλληλα με το υφιστάμενη μονάδα λέβητα με καυστήρα Πετρελαίου 1500 kW.

Για την παραγωγή ΖΝΧ προτείνεται να εγκατασταθεί ηλιακό σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας, το οποίο λειτουργεί εν σειρά με την υφιστάμενη διάταξη παραγωγής ΖΝΧ. Η στιγμιαία περίσσια ηλιακής ενέργειας η οποία μπορεί να εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του έτους, ιδιαίτερα τους θερμούς μήνες, αποθηκεύεται στο δοχείο αδρανείας της θέρμανσης, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας στο όλο σύστημα.

Τα ενεργειακά μεγέθη και οι συνθήκες λειτουργίας της προτεινόμενης εγκατάστασης παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους. Σκαριφηματικά η γενική διάταξη παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 2: Σκαρίφημα διάταξης θέρμανσης κολυμβητικής δεξαμενής με τη χρήση αντλίας θερμότητας παράλληλα με την υφιστάμενη διάταξη λέβητα - καυστήρα πετρελαίου.



Εικόνα 3: Διάταξη χρήσης ηλιακών συλλεκτών στην θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής

Οι πηγές ενέργειας του συστήματος είναι:

- Ηλεκτρική Ενέργεια η οποία προέρχεται από το δίκτυο Μέσης Τάσεως του ΔΕΔΔΗΕ. Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για την λειτουργία της αντλίας θερμότητας αέρος, των αντλιών του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος κυκλώματος θερμού νερού, των αντλιών φίλτρανσης και λοιπών εγκαταστάσεων της Κ.Δ. και του κτιρίου.
- Πετρέλαιο Θέρμανσης, ως εφεδρεία του συστήματος.
- Η Ηλιακή Ενέργεια η οποία συμβάλει τόσο ως ηλιακό όφελος επί της κολυμβητικής δεξαμενής, όσο και στην παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

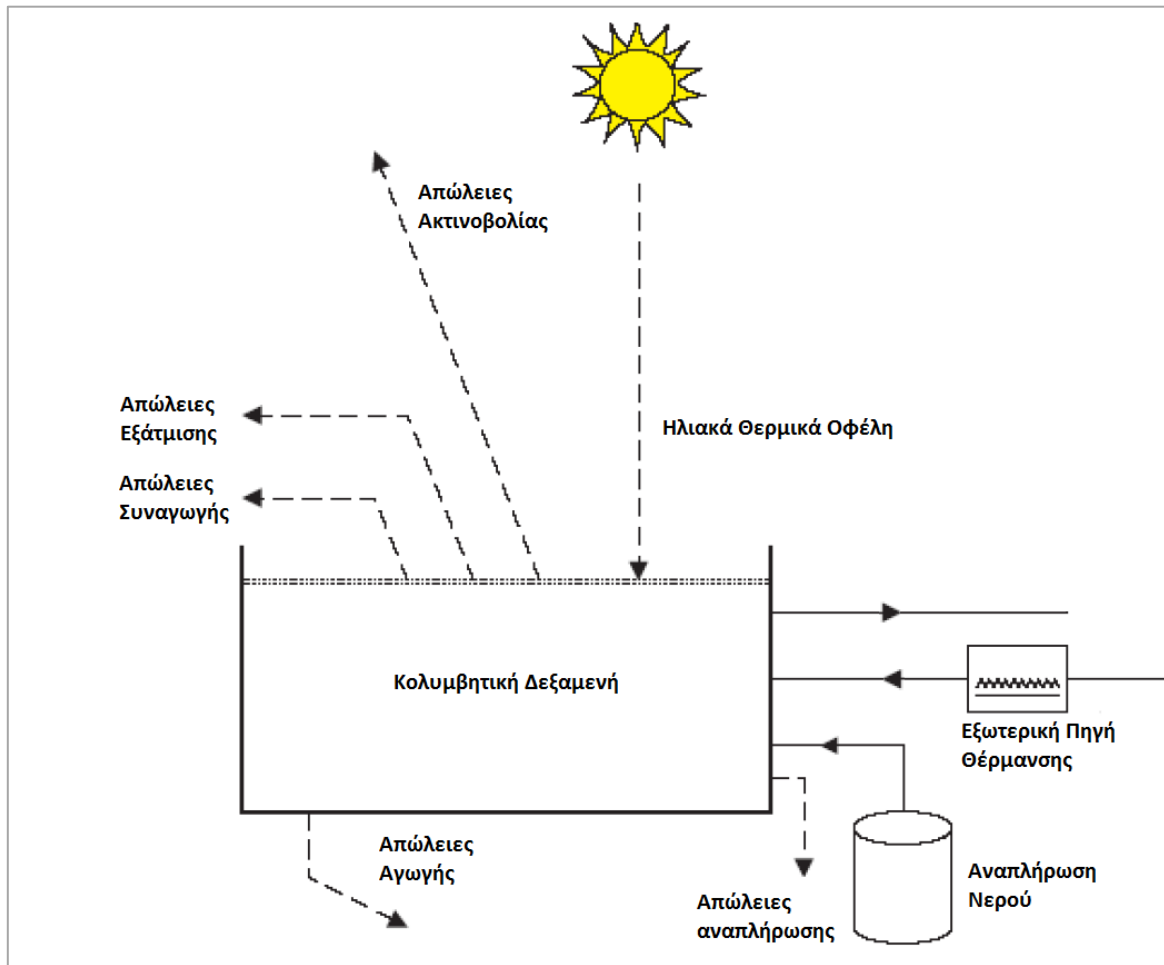
Κεφ 2. Ενεργειακό Μοντέλο Κολυμβητικής Δεξαμενής

2.1. Ισοζύγιο ενέργειας Κολυμβητικής Δεξαμενής

Η ενεργειακή ανάλυση και αξιολόγηση της λειτουργίας της κολυμβητικής δεξαμενής, αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα όπου υπεισέρχονται πλήθος φυσικών παραμέτρων, αλλά και παραμέτρων σχεδιασμού και λειτουργίας.

Με δεδομένη την απαίτηση διατήρησης σταθερής θερμοκρασίας του νερού της ανοικτής κολυμβητικής δεξαμενής στους 26 °C, οι θερμικές απώλειες της κολυμβητικής δεξαμενής, εξαρτώνται από τη γεωμετρία της, τα υλικά κατασκευής, και τις συνθήκες περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου, ηλιακή ακτινοβολία), οι οποίες μεταβάλλονται συνεχώς καθ όλη τη διάρκεια της ημέρας και του έτους.

Το ενεργειακό ισοζύγιο της κολυμβητικής δεξαμενής συνίσταται στις απώλειες θερμότητας μέσω αγωγής, συναγωγής, ακτινοβολίας, εξάτμισης και αναπλήρωσης μάζας νερού λόγω απωλειών μάζας, και στα θερμικά ηλιακά οφέλη στην επιφάνεια του νερού (Εικόνα 4). Η ενέργεια η οποία πρέπει να προστεθεί από εξωτερική πηγή θερμότητας, είναι η διαφορά των απωλειών θερμότητας με τα ηλιακά θερμικά οφέλη.



Εικόνα 4: Διάγραμμα ισοζυγίου ενέργειας σε ανοικτή κολυμβητική δεξαμενή

Υπολογισμοί Ενεργειακών Μεγεθών

Οι απώλειες θερμότητας και τα θερμικά οφέλη της κολυμβητικής δεξαμενής υπολογίζονται ως εξής (Solar Water Heating Project Analysis- NR Canada):

Θερμικά ηλιακά οφέλη

$$Q_{pas,no\ blanket} = A_p \cdot ((1 - r_b) \cdot (1 - s)H_b + (1 - r_b)H_d) [kW] \quad 1$$

Όπου A_p η επιφάνεια της κολυμβητικής δεξαμενής, r_b η μέση αντανάκλαση του νερού στη διάχυτη ακτινοβολία, H_b και H_d η άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία. Ο συντελεστής s , σχετίζεται με τη σκίαση της κολυμβητικής δεξαμενής και λαμβάνει τιμές 0-1.

Η μέση αντανάκλαση του νερού στη διάχυτη ακτινοβολία υπολογίζεται από τη σχέση

$$r_b = 0,0203 + 0,9797 \cdot (1 - \cos\theta_z)^5 \quad 2$$

Όπου θ_z η γωνία πρόσπτωσης του ήλιου στην επιφάνεια του νερού.

Απώλειες θερμότητας εξάτμισης

Οι οποίες οφείλονται στην εξάτμιση του νερού της κολυμβητικής δεξαμενής και υπολογίζονται από τη σχέση:

$$Q_{evap} = A_p \cdot h_e \cdot (P_{v,sat} - P_{v,amb}) \quad 3$$

Όπου A_p η επιφάνεια της Κ.Δ., h_e συντελεστής μεταφοράς μάζας, $P_{v,sat}$ και $P_{v,amb}$ η μερική πίεση ατμών νερού σε κορεσμένες συνθήκες και συνθήκες περιβάλλοντος.

Ο συντελεστής h_e ((W/m²)/Pa) υπολογίζεται από τη σχέση

$$h_e = 0,05085 + 0,0669 \cdot V \quad 4$$

Όπου V η ταχύτητα του ανέμου [m/s].

Το ποσοστό εξάτμισης του νερού από την κολυμβητική δεξαμενή, m_{eva} , συσχετίζεται με το φορτίο εξάτμισης Q_{eva} σύμφωνα με τη σχέση

$$\dot{m}_{eva} = \frac{Q_{evap}}{\lambda} \quad 5$$

Όπου λ είναι η λανθάνουσα θερμότητα (θερμότητα εξάτμισης) του νερού (2,454 kJ/kg).

Όταν στην κολυμβητική δεξαμενή χρησιμοποιείται κάλυμμα, γίνεται θεώρηση ότι η απώλεια θερμότητας από εξάτμιση μειώνεται κατά 90% (όσο το ποσοστό κάλυψης της Κ.Δ.).

Απώλειες θερμότητας από αγωγή προς το έδαφος

$$Q_{cond} = A \cdot K \cdot (T_w - T_g) \quad 6$$

Όπου A , η επιφάνεια των πλευρικών τοιχωμάτων της Κ.Δ., K συντελεστής θερμοπερατότητας [W/m².K], T_w η θερμοκρασία του νερού και T_g η θερμοκρασία του εδάφους.

Απώλεια από συναγωγή

$$Q_{conv} = A_p \cdot h_{con} \cdot (T_w - T_{amb}) \quad 7$$

Όπου A_p η επιφάνεια της πισίνας, T_w η θερμοκρασία του νερού και T_{amb} η θερμοκρασία περιβάλλοντος και h_{con} συντελεστής συναγωγής θερμότητας ο οποίος σχετίζεται με την ταχύτητα του αέρα, μέσω της σχέσης

$$h_{con} = 3,1 + 4,1 \cdot V \quad 8$$

Απώλειες θερμότητας από ακτινοβολία του νερού προς το περιβάλλον

$$Q_{rad} = A_p \cdot \varepsilon_w \cdot \sigma \cdot (T_w^4 - T_{amb}^4) \quad 9$$

Όπου ε_w είναι ο συντελεστής εκπομπής του νερού στο φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας (0,96), σ η σταθερά Stefan – Boltzmann.

Στην περίπτωση χρήσης καλύμματος στην Κ.Δ. το οποίο καταλαμβάνει το 90% της επιφάνειάς της, η απώλειες από ακτινοβολία υπολογίζονται σύμφωνα με τη σχέση:

$$Q_{rad,blanket} = A_p \cdot (0,1 \cdot \varepsilon_w - 0,9 \cdot \varepsilon_c) \cdot \sigma \cdot (T_w^4 - T_{amb}^4) \quad 10$$

Όπου ε_c ο συντελεστής εκπομπής του καλύμματος της κολυμβητικής δεξαμενής, ο οποίος εξαρτάται από το υλικό κατασκευής και κειμένεται από 0,3-0,9.

Απώλειες θερμότητας λόγω αναπλήρωσης νερού

Κατά τη λειτουργία της κολυμβητικής δεξαμενής, προκύπτει η ανάγκη αναπλήρωσης ποσότητας νερού η οποία οφείλεται στην μάζα του νερού η οποία εξατμίζεται (m_{eva}) και τη μάζα του νερού η οποία μεταφέρεται από τους κολυμβητές κατά την έξοδό τους από την πισίνα (m_{swim}).

$$\dot{m}_{makeup} = \dot{m}_{eva} + m_{swim} \quad 11$$

Η απώλεια θερμότητας η οποία προκύπτει από την αναπλήρωση του νερού, είναι

$$Q_{makeup} = m_{makeup} \cdot C_p \cdot (T_w - T_{in}) \quad 12$$

Όπου T_{in} η θερμότητα θερμοκρασία του νερού αναπλήρωσης (θερμοκρασία δικτύου) και C_p η θερμοχωρητικότητα του νερού.

Απαιτούμενη ενέργεια

Η ενέργεια η οποία κάθε χρονική στιγμή πρέπει να αποδίδεται προς την κολυμβητική δεξαμενή μέσω εξωτερικής πηγής, υπολογίζεται από το ισοζύγιο ενέργειας:

$$Q_{aux} = Q_{env} + Q_{rad} + Q_{cond} + Q_{conv} + Q_{makeup} - Q_{gain} \quad 13$$

Σύμφωνα με τις σχέσεις 1 έως 13, η απαιτούμενη ενέργεια προς την κολυμβητική δεξαμενή, εξαρτάται από:

- Τη θερμοκρασία στόχος της κολυμβητικής δεξαμενής
- Την ταχύτητα του ανέμου
- Την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας
- Την υγρασία
- Την ηλιακή ακτινοβολία

2.2. Υπολογιστική Μεθοδολογία

2.2.1. Προσομοίωση Ωριαίας Λειτουργίας

Για τη μελέτη του «ενεργειακού προβλήματος» της κολυμβητικής δεξαμενής, πραγματοποιείται ωριαία προσομοίωση λειτουργίας της κολυμβητικής δεξαμενής, για ένα πλήρες τυπικό μετεωρολογικό έτος (ΤΜΥ) στην περιοχή του Δ. Μήλου και διερευνάται η επίδραση των μετεωρολογικών συνθηκών (ταχύτητα ανέμου, ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία, υγρασία) στην ενεργειακή απαίτηση της κολυμβητικής δεξαμενής (Κ.Δ.).

Η ωριαία προσομοίωση των ενεργειακών απαιτήσεων της κολυμβητικής δεξαμενής και η επίδραση των μέτρων μείωσης των ενεργειακών απωλειών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Enerpool V3, του Natural Resource Canada.

Το Enerpool είναι ένα πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης θερμαινόμενων ανοικτών ή κλειστών κολυμβητικών δεξαμενών, το οποίο χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της επίδρασης κλιματολογικών, λειτουργικών (ημερήσιο, μηνιαίο πρόγραμμα λειτουργίας, χρήση ισοθερμικού καλύμματος κτλ) και σχεδιαστικών παραμέτρων της Κολυμβητικής δεξαμενής (διαστάσεις, υλικά μόνωσης, ύψος από την επιφάνεια κ.α.).

Το λογισμικό χρησιμοποιεί την μέθοδο του ωριαίου ισοζυγίου ενέργειας για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας της κολυμβητικής δεξαμενής και της ενεργειακής απαίτησης η οποία προκύπτει.

Για την πραγματοποίηση της ωριαίας προσομοίωσης είναι απαραίτητη η εισαγωγή στο μοντέλο ωραίων μετεωρολογικών παραμέτρων όπως:

- T_{amb} [°C] η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας,
- H_b και H_d [kWh/m²] την οριζόντια και προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.
- RH [0-1] την σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας
- V [m/s] την η ταχύτητα του ανέμου.

Το λογισμικό επιλύει το ωριαίο ισοζύγιο ενέργειας της κολυμβητικής δεξαμενής λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των ενεργειακών απωλειών και οφελών (σχέσεις 1-13).

Οι θερμικές απώλειες της κολυμβητικής δεξαμενής είναι:

- Q_{evap} [kW] Απώλειες θερμότητας εξάτμισης
- Q_{rad} [kW] Απώλειες θερμότητας ακτινοβολίας
- Q_{cond} [kW] Απώλειες θερμότητας αγωγής στο περιβάλλον έδαφος
- Q_{conv} [kW] Απώλειες θερμότητας συναγωγής με τον τον αέρα στη διεπιφάνεια υγρού αέρα
- Q_{makeup} [kW] Απώλειες θερμότητας λόγω αναπλήρωσης νερού στην Κ.Δ.

Τα θερμικά οφέλη Q_{gain} [kW] σχετίζονται με την οριζόντια και προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία επί της επιφάνειας της κολυμβητικής δεξαμενής.

Η ενέργεια η οποία κάθε φορά απαιτείται για την διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας στην κολυμβητική δεξαμενή και πρέπει να αποδοθεί από εξωτερικό σύστημα θέρμανσης, υπολογίζεται από τη σχέση ισοζυγίου ενέργειας:

$$Q_{gain} = Q_{pass}$$

$$Q_{\text{loss}} = Q_{\text{evap}} + Q_{\text{conv}} + Q_{\text{cond}} + Q_{\text{rad}} + Q_{\text{makeup}} + Q_{\text{side}}$$

Και

$$Q_{\text{res}} = Q_{\text{gain}} + Q_{\text{aux}} - Q_{\text{loss}}$$

Όπου Q_{res} οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της έναρξης και λήξης της προσομοίωσης.

$$Q_{\text{res}} = M C_p (T_{\text{end}} - T_{\text{start}})$$

Και τελικά η ενέργεια που η οποία απαιτείται για τη θέρμανση της Κ.Δ. υπολογίζεται:

$$\underline{Q_{\text{aux}} = Q_{\text{evap}} + Q_{\text{rad}} + Q_{\text{cond}} - Q_{\text{conv}} + Q_{\text{makeup}} + Q_{\text{gain}} \text{ [kW]}}$$

Υπολογίζοντας ανά ώρα τις απαιτήσεις της κολυμβητικής δεξαμενής, είναι δυνατή εν συνεχεία εφικτός ο υπολογισμός των ημερήσιων, μηνιαίων και ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων.

2.2.2. Τυπικό Μετεωρολογικό Έτος (ΤΜΥ).

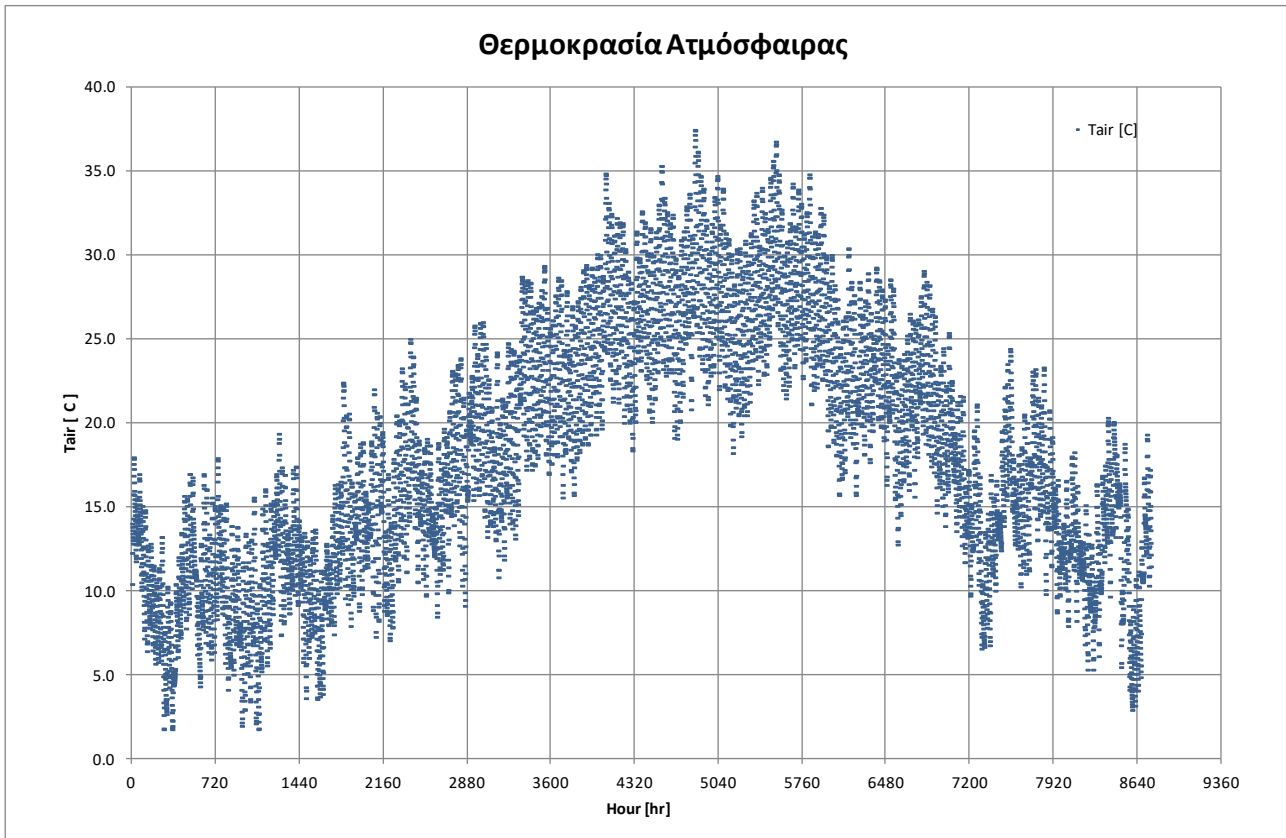
Κρίσιμη παράμετρος για την ρεαλιστική προσομοίωση λειτουργίας της κολυμβητικής δεξαμενής, είναι η ορθή απόδοση των ωριαίων μετεωρολογικών δεδομένων στην περιοχή του έργου.

Για την περιοχή του Μαραθώνα δεν υπάρχει διαθέσιμο αρχείο δεδομένων με τυπικές ωριαίες τιμές των απαραίτητων δεδομένων που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο (T_{amb} - [°C], H_b και H_d [kWh/m²], RH [0-1], V - [m/s]). Για αυτό το λόγω γίνεται χρήση των αντίστοιχων δεδομένων από την περιοχή του Ελληνικού (πρώην αεροδρόμιο).

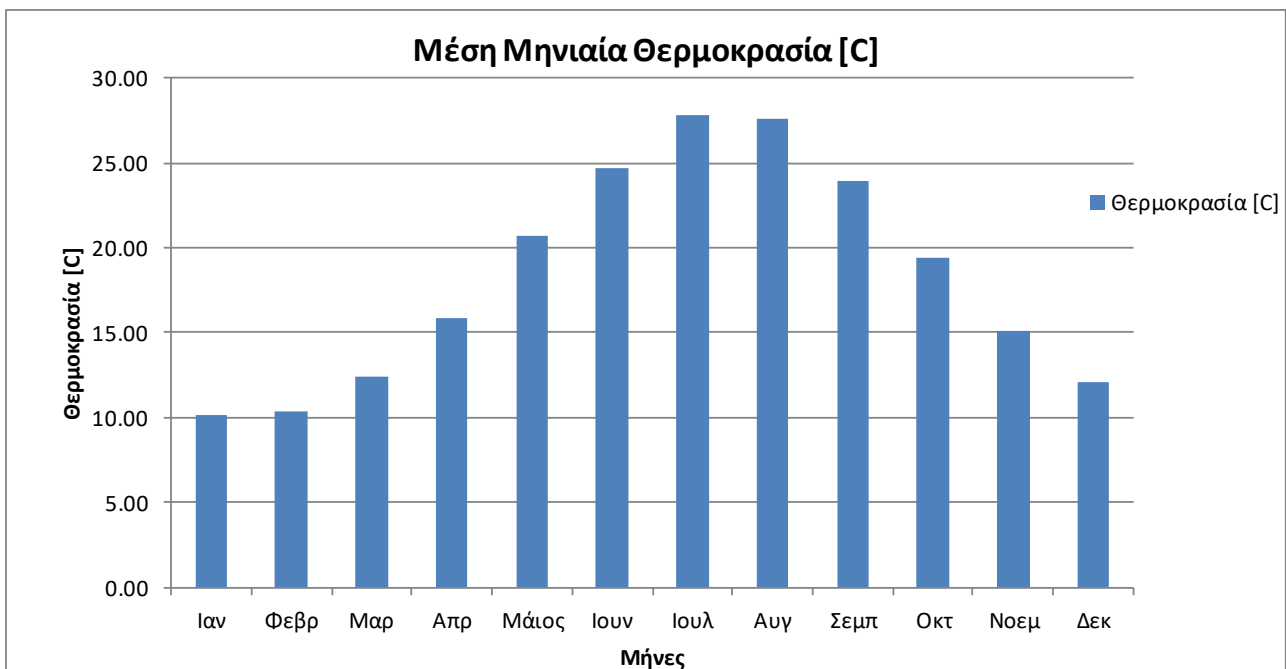
Στον πίνακα που ακολουθεί δίδονται οι μέσες μηνιαίες τιμές των μετεωρολογικών δεδομένων, ενώ στο παράρτημα δίνεται αναλυτικά το προφίλ των ωριαίων τιμών που αξιοποιήθηκαν.

Πίνακας 1: Μέσες μηνιαίες τιμές μετεωρολογικών δεδομένων Ελληνικό (Πηγή Meteonorm- TRNSYS)

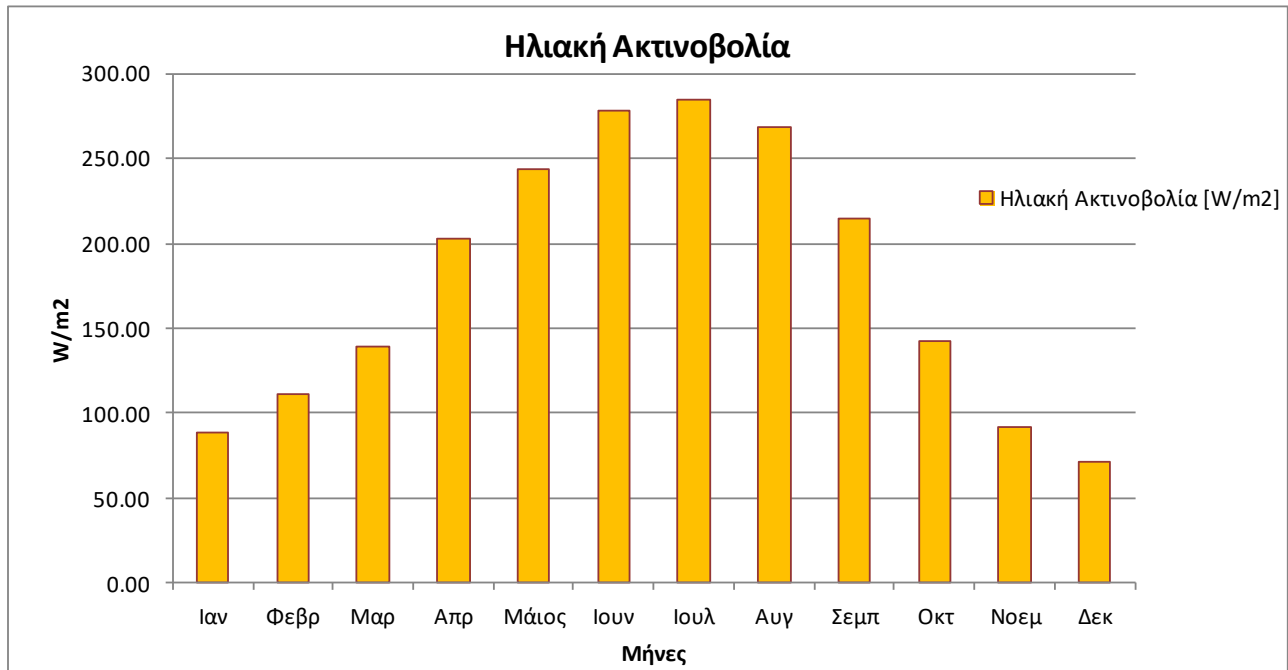
ΜΗΝΑΣ	HGLO	T _{AMB}	V	RH
	[kWh/m ²]	[°C]	[m/s]	[%]
Ιαν	88.66	10.17	3.10	0.68
Φεβρ	110.70	10.37	3.19	0.69
Μαρ	139.54	12.42	3.49	0.66
Απρ	202.73	15.80	2.90	0.64
Μάιος	243.81	20.64	3.09	0.59
Ιουν	277.80	24.72	3.38	0.54
Ιουλ	284.84	27.83	3.80	0.48
Αυγ	268.29	27.63	3.79	0.47
Σεμπ	214.74	23.98	3.40	0.54
Οκτ	142.09	19.35	3.20	0.61
Νοεμ	91.67	15.12	3.30	0.70
Δεκ	70.95	12.03	3.39	0.70
Μ.Ο. Έτους	177.99	18.34	3.34	0.61



Εικόνα 5: Προφίλ ωριαίας μεταβολής της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας για το Τ.Μ.Υ.. Ελληνικό – Πηγή Metenorm 7.0



Εικόνα 6: Μέση μηνιαία θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας . Ελληνικό – Πηγή Metenorm 7.0



Εικόνα 7: Μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία Ελληνικό – Πηγή Metenorm 7.0

Από την επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων προκύπτει ότι στην περιοχή, επικρατούν

- Μέτριες ταχύτητες ανέμου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, και ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπου του κολυμβητήριο είναι σε λειτουργία. Η μέγιστη ταχύτητα ανέμου, υπολογίζεται σε περίπου 15.7 m/s με μέση ετήσια ταχύτητα 3,44 m/s.
- Σημαντική ποσότητα ηλιακή ακτινοβολίας, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες, η οποία μεταφράζεται σε σημαντικό ενεργειακό όφελος στην κολυμβητική δεξαμενή. Η μέση ισχύς της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας H_{glob} υπολογίζεται σε 180 W/m²
- Ικανοποιητικές συνθήκες θερμοκρασίας με ελάχιστη θερμοκρασία 1.8 °C και μέγιστη 38 °C.

2.3. Μέτρα μείωσης της Ενεργειακής Απαίτησης. Παραδοχές – Σενάρια Προσομοίωσης

Βασικό Σενάριο 1. Στα πλαίσια της ωριαίας προσομοίωσης λειτουργίας της κολυμβητικής δεξαμενής, εξετάζεται αρχική η λειτουργία της ως έχει.

Εν συνεχεία εξετάζεται η επίδραση μέτρων μείωσης των ενεργειακών απωλειών τα οποία κωδικοποιημένα είναι:

- **Σενάριο 2:** η τοποθέτηση ανεμοφρακτών (πετασμάτων) στο νοτιοανατολικό τμήμα της Κ.Δ., το οποίο είναι απροστάτευτο στους Ν-ΝΔ ανέμους και
 - **Σενάριο 3:** η συστηματική χρήση ισοθερμικού καλύμματος κατά τις ώρες όπου η κολυμβητική δεξαμενή δεν εξυπηρετεί το κοινό.
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της Κ.Δ. περιγράφονται στην παράγραφο 1.5.1.
 - Τα ωριαία μετεωρολογικά δεδομένα λαμβάνονται από το Meteororm 7.0.
 - Η κολυμβητική δεξαμενή διατηρεί σταθερή θερμοκρασία καθόλη τη διάρκεια της ημέρας $T_w=26\text{ }^\circ\text{C}$
 - Για τον υπολογισμό του λειτουργικού κόστους, γίνεται παραδοχή ότι η εξωτερική πηγή θερμότητας είναι λέβητας με καυστήρα πετρελαίου, ο οποίος λειτουργεί με βαθμό απόδοσης 0,9.
 - Η θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου λαμβάνεται 10.600 kWhth/ τόνο.
 - Το κόστος καυσίμου λαμβάνεται 1000 ευρώ/ τόνο (μέση τιμή τελευταίας 2ετίας για τη Μήλο).
 - Για την σύγκριση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται αναγωγή της συνολικής ετήσιας ενέργειας σε kWh/m²/ year επιφάνειας Κολυμβητικής Δεξαμενής.

2.3.1. Αποτελέσματα Βασικού Σεναρίου- 1

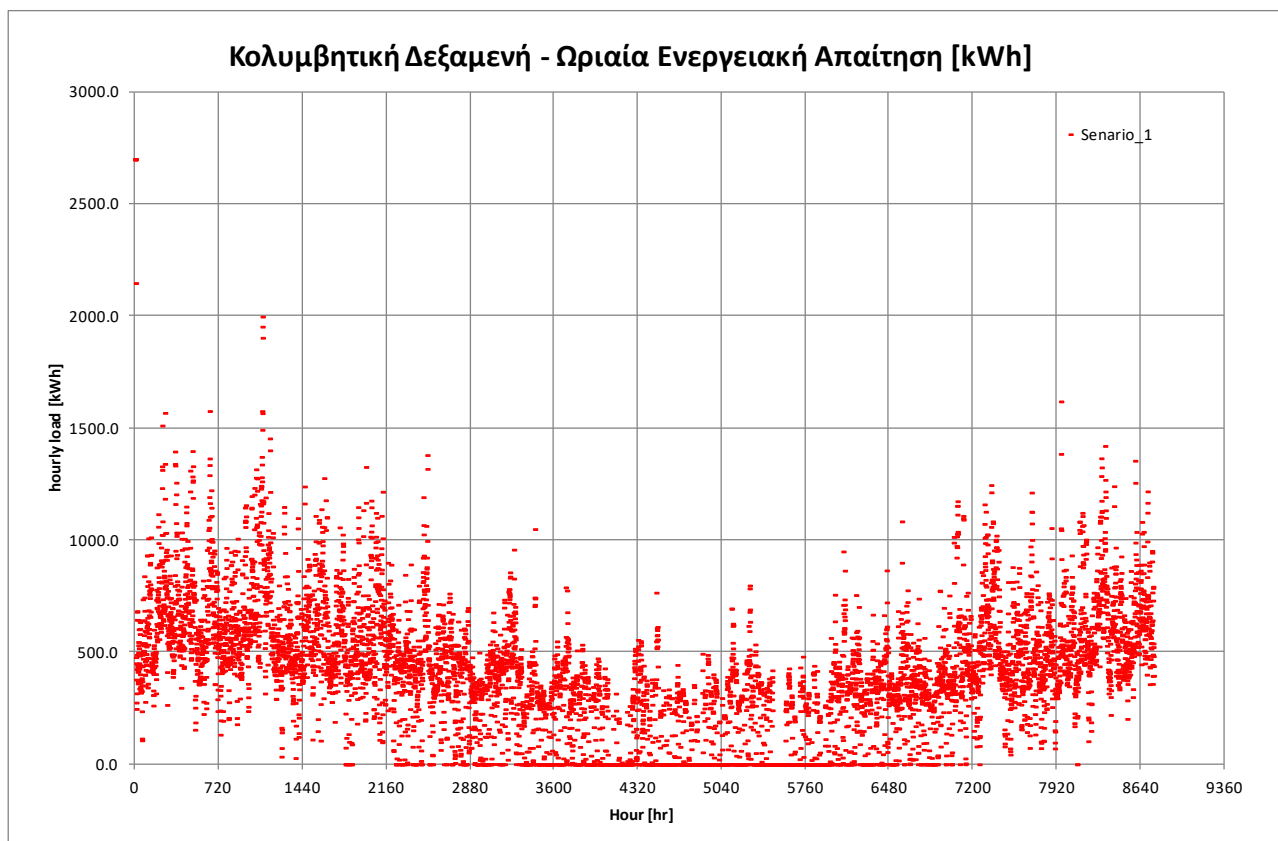
Στον πίνακα 6 ο οποίος ακολουθεί, συνοψίζεται το μηνιαίο και συνολικό ετήσιο ενεργειακό ισοζύγιο ενέργειας της κολυμβητικής δεξαμενής.

Οι συνολικές απώλειες θερμότητας σε ένα πλήρες έτος λειτουργίας, υπολογίζονται σε 4.580 MWh_{th}, ενώ τα συνολικά θερμικά οφέλη από την ηλιακή ακτινοβολία (Q_{gains}) υπολογίζονται σε 1266MWh_{th}. Η ενεργειακή ζήτηση από την εξωτερική πηγή θερμότητας (Q_{aux}) υπολογίζεται σε 3.372 MWh_{th}, η οποία αντιστοιχεί σε 353 τόνους πετρελαίου θέρμανσης. Αναγόμενη αυτή η ενεργειακή κατανάλωση στην επιφάνεια της Κ.Δ. προκύπτει μία ετήσια ενεργειακή απαίτηση 3.372kWh/m²/έτος. Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του σεναρίου αυτού υπολογίζεται σε 353.482 ευρώ. Για την αναπλήρωση των απωλειών ύδατος από την κολυμβητική δεξαμενή απαιτούνται περίπου 7.673 m³.

Πίνακας 2: Μηνιαίο και συνολικό ετήσιο ισοζύγιο ενέργειας της κολυμβητικής δεξαμενής. Βασικό Σενάριο 1

	Q _{los}	Q _{gains}	Q _{aux}	Q _{res}	Max Heating Load	Make up Water
	MWh(th)	MWh(th)	MWh(th)	MWh(th)	MW (th)	m ³
Ιαν	528.13	50.24	496.56	18.67	2.70	708.39
Φεβρ	485.72	57.59	428.13	0.00	2.00	649.86
Μαρ	508.99	81.03	427.96	0.00	1.33	714.71
Απρ	408.70	115.17	293.53	0.00	1.38	632.43
Μάιος	339.87	143.03	196.85	0.00	1.05	620.35
Ιουν	264.03	158.24	105.78	0.00	0.79	574.80
Ιουλ	238.51	167.83	70.87	0.19	0.77	604.40
Αυγ	249.45	158.29	90.98	-0.18	0.80	612.39
Σεπτ	281.00	121.81	159.19	0.00	0.95	586.15
Οκτ	357.63	82.67	274.97	0.00	1.17	629.17
Νοεμ	422.16	50.77	371.39	0.00	1.62	642.83
Δεκ	496.17	40.14	456.03	0.00	1.42	698.32
Μ.Ο. Έτους	4580.36	1226.81	3372.23	18.68	2.70	7673.80

Στο διάγραμμα της εικόνας η οποία ακολουθεί, απεικονίζεται η ωριαία ενεργειακή ζήτηση της κολυμβητικής δεξαμενής σε όλη τη διάρκεια του έτους.



Εικόνα 8: Ωριαία Ενεργειακή Απαίτηση- Λειτουργία Πηγής Θέρμανσης. Σενάριο 1

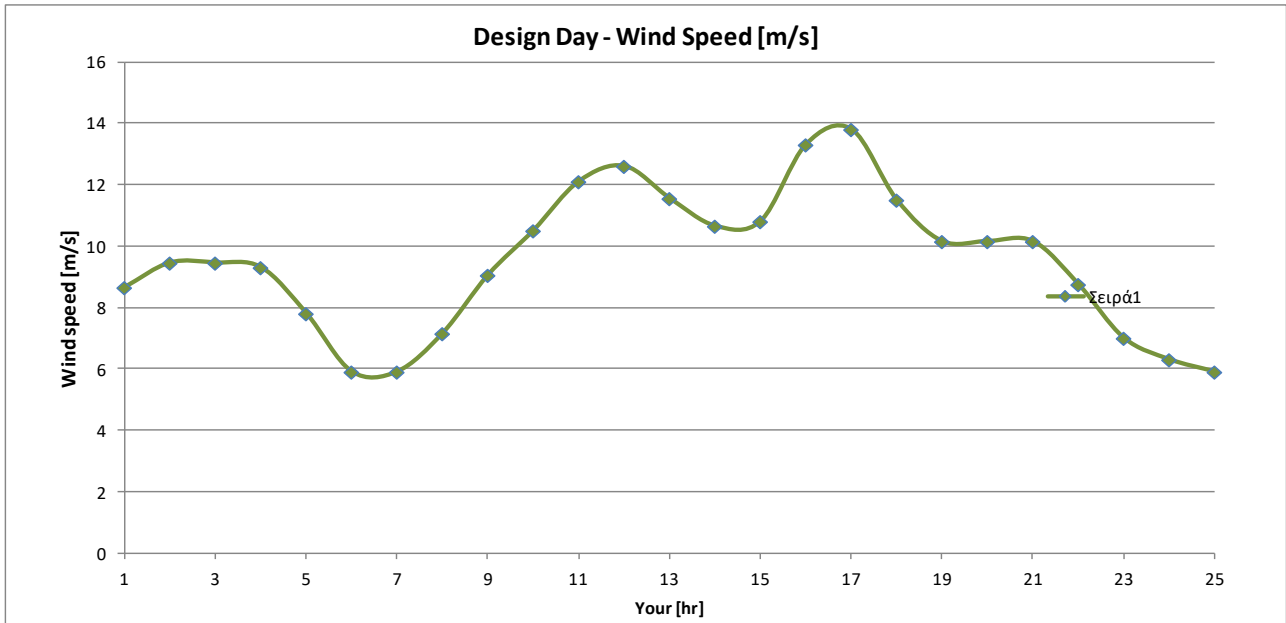
Τόσο από τον συγκεντρωτικό πίνακα, όσο και από το διάγραμμα ωριαίων φορτίων, παρατηρείται ότι η κολυμβητική δεξαμενή παρουσιάζει εξαιρετικά μεγάλη ενεργειακή απαίτηση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η κύρια ενεργειακή κατανάλωση εμφανίζεται από τον Οκτώβριο έως τον Απρίλιο, με τη μέγιστη ενεργειακή απαίτηση τους Μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο, όπου επικρατούν δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

Η μέρα με τις δυσμενέστερες συνθήκες λειτουργίας (συνθήκες σχεδιασμού) της Κ.Δ. είναι 15 Φεβρουαρίου.

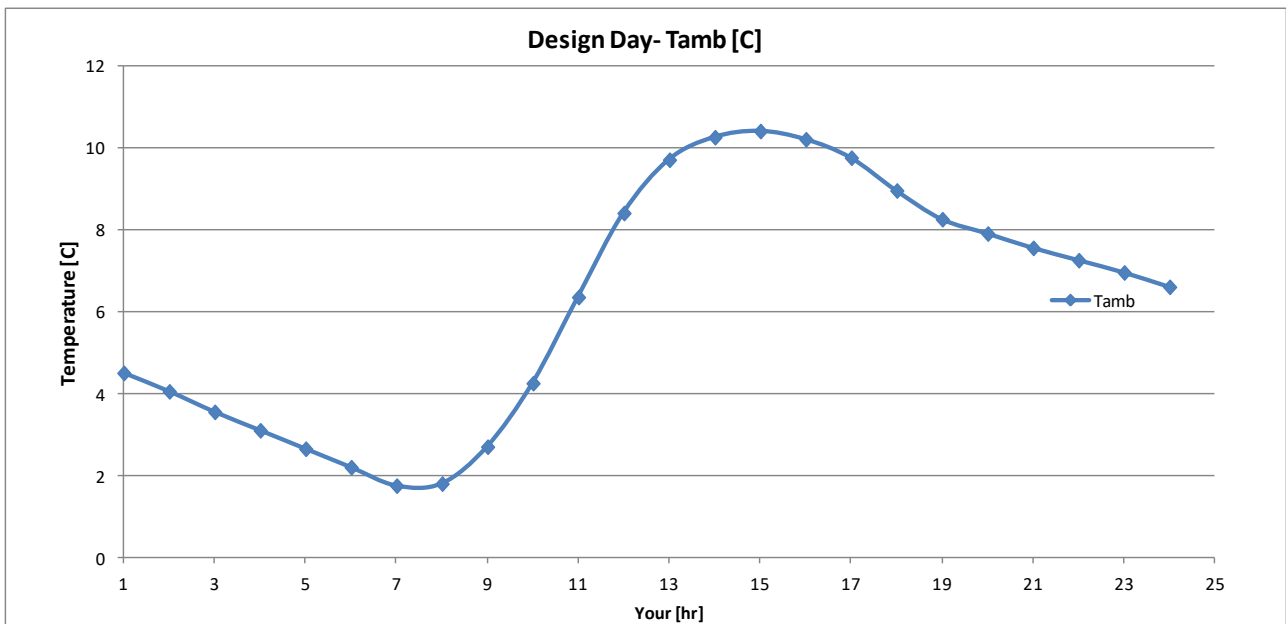
Στις εικόνες 16-19, παρουσιάζονται τα μετεωρολογικά δεδομένα που επικρατούν τη δυσμενέστερη ημέρα λειτουργίας.

Στις εικόνες 20-22, παρουσιάζεται η ωριαία κατανομή: των απώλειες θερμότητας (εικόνα 20), του ενεργειακού οφέλους (εικόνα 21) και της ενεργειακής απαίτησης (εικόνα 22) της κολυμβητικής δεξαμενής.

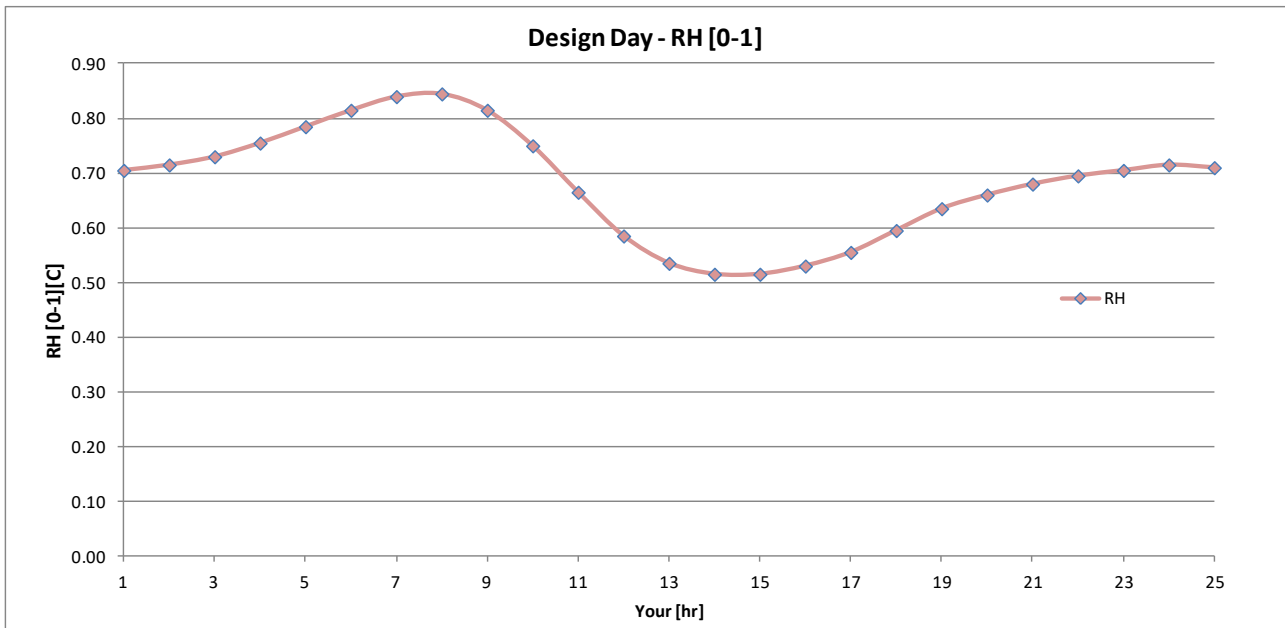
Οι ισχυροί άνεμοι οι οποίοι στις δυσμενέστερες συνθήκες αγγίζουν ταχύτητα 10-14 m/s, σε συνδυασμό με τις σχετικά χαμηλές θερμοκρασίας που επικρατούν (2-10 °C), οδηγούν σε ένα μέγιστο φορτίο της απογευματινές ώρες που αγγίζει τα 2000 kW. Τις νυχτερινές ώρες παρά το γεγονός ότι η Κ.Δ. δεν λειτουργεί, το φορτίο θέρμανση είναι περίπου 1200kW. Οι ενεργειακές απώλειες οφείλονται κατά κύριο λόγο στο φορτίο εξάτμισης λόγω της ταχύτητας του ανέμου.



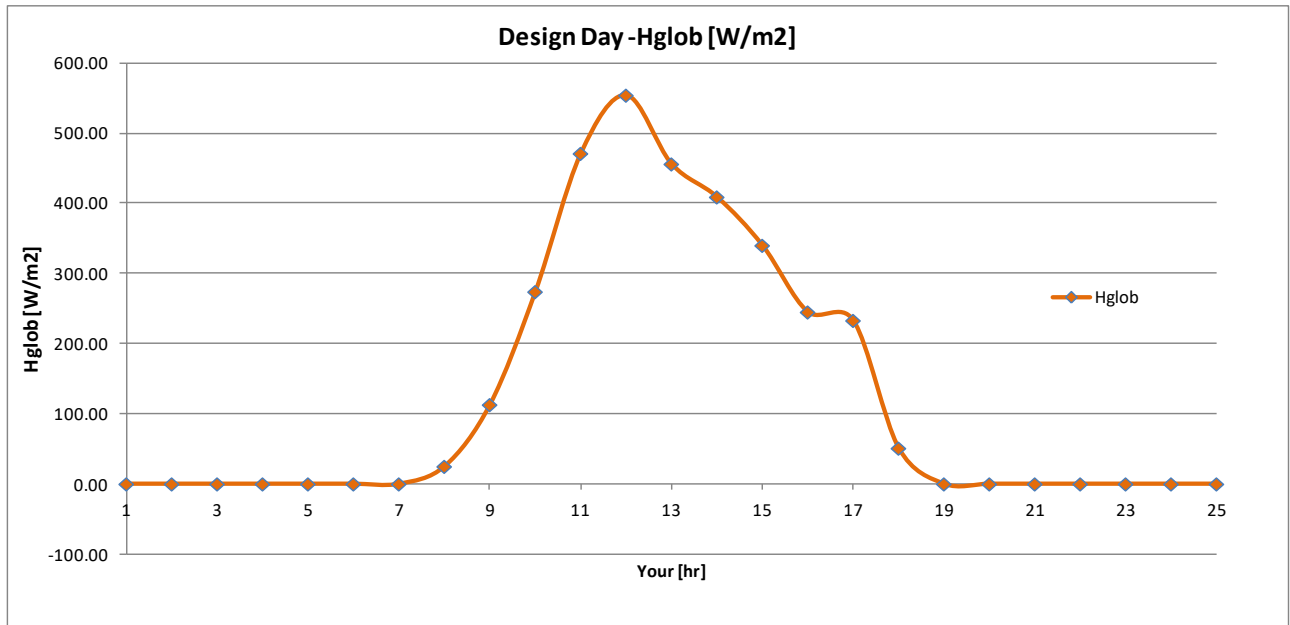
Εικόνα 9: Ημέρα σχεδιασμού- Ωριαία μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου στην Κ.Δ.



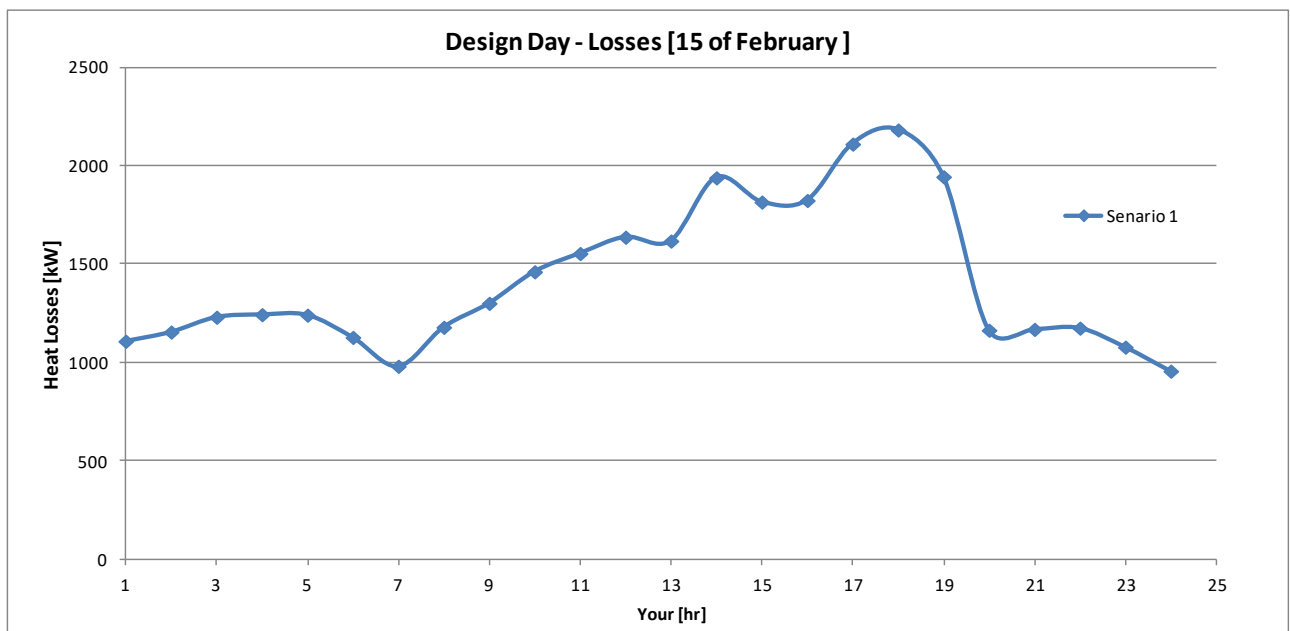
Εικόνα 10: Ημέρα Σχεδιασμού- Ωριαία διακύμανση της θερμοκρασίας



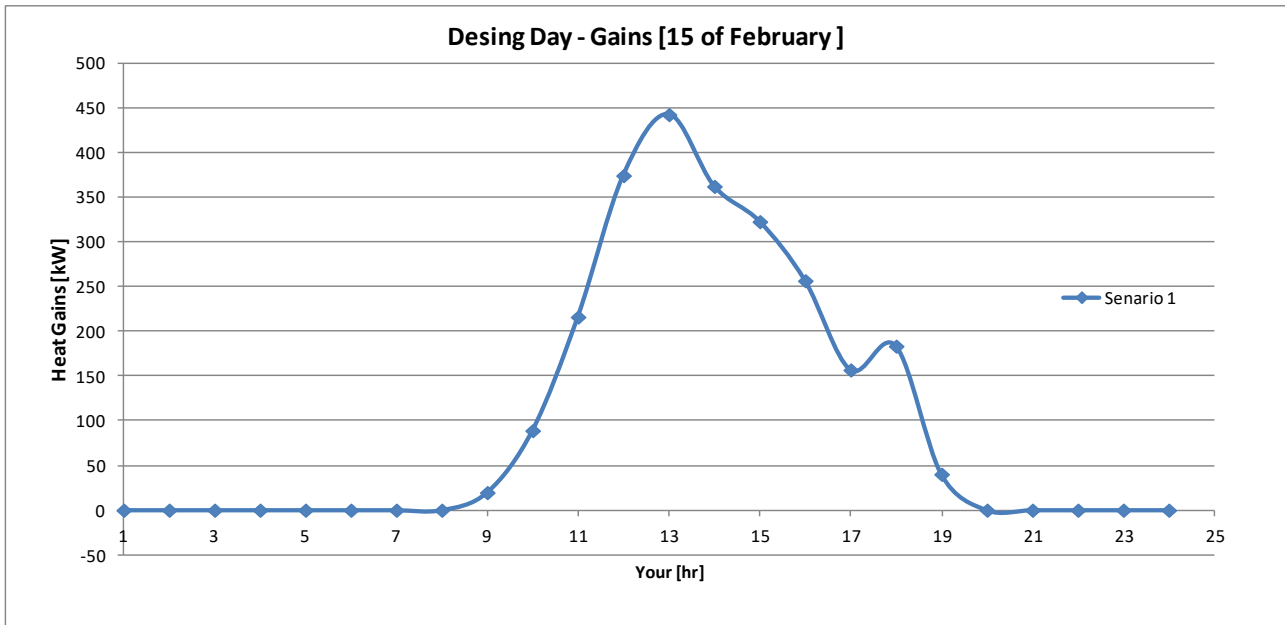
Εικόνα 11: Ημέρα Σχεδιασμού- Ωριαία διακύμανση της σχετικής υγρασίας



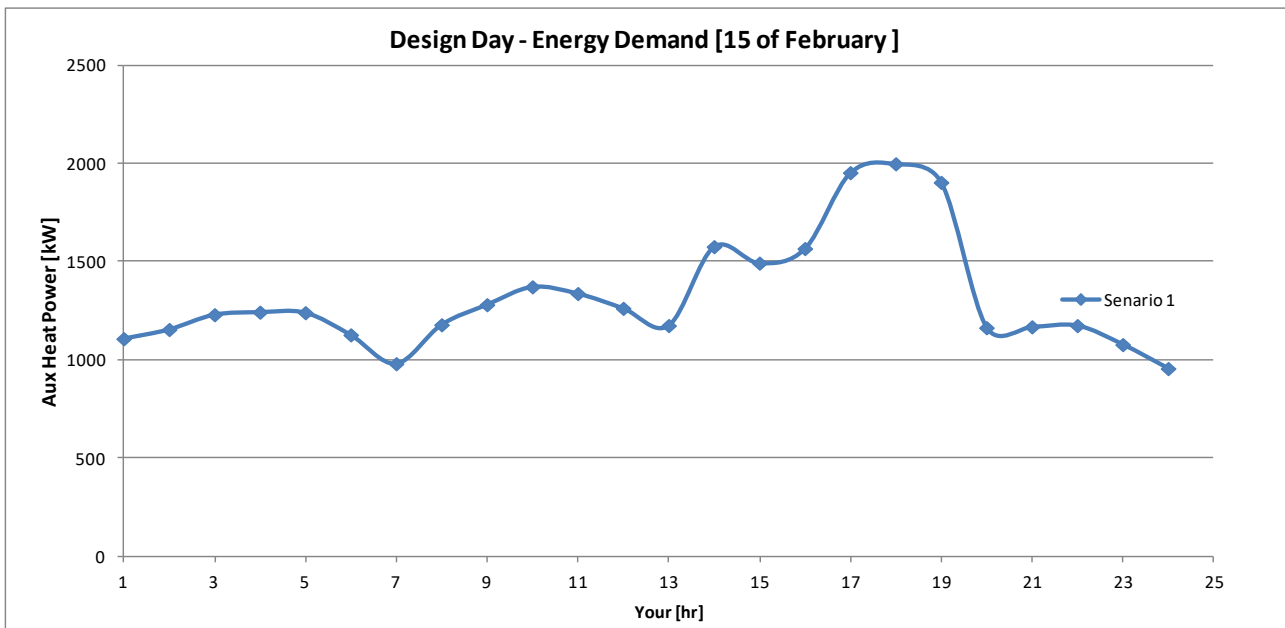
Εικόνα 12: Ημέρα Σχεδιασμού- Ωριαία διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας



Εικόνα 13: Ημέρα σχεδιασμού- Ωριαία κατανομή ενεργειακών απωλειών Κ.Δ.



Εικόνα 14: Ημέρα σχεδιασμού- Ωριαία κατανομή ηλιακού θερμικού οφέλους



Εικόνα 15: Ημέρα σχεδιασμού- Ωριαία ενεργειακή ζήτηση της Κ.Δ.

2.3.2. Αποτελέσματα Σεναρίου 2- Τοποθέτηση ανεμοφρακτών ΝΔ της Κ.Δ.

Η τοποθέτηση σταθερών ανεμοφρακτών (πετασμάτων) στο νοτιοανατολικό τμήμα της Κ.Δ., το οποίο είναι απροστάτευτο στους Ν-ΝΔ ανέμους οδηγεί σε σημαντική μείωση τόσο της ενεργειακής απαίτησης όσο και του λειτουργικού κόστους του κολυμβητηρίου.

Οι συνολικές ετήσιες απώλειες θερμότητας οι οποίες προκύπτουν σε αυτό το σενάριο, υπολογίζονται σε 3.448 MWh_{th}, μειωμένες κατά περίπου 33% έναντι του αρχικού σεναρίου.

Το γεγονός ότι οι ανεμοφράκτες δεν σκιάζουν την Κ.Δ., δεν επιδρά στα συνολικά θερμικά οφέλη από την ηλιακή ακτινοβολία (Q_{gains}) τα οποία παραμένουν 1233 MWh_{th}. Η τελική ενεργειακή ζήτηση από την εξωτερική πηγή θερμότητας (Q_{aux}) υπολογίζεται σε 2.344 MWh_{th}, η οποία αντιστοιχεί σε κατανάλωση 235 τόνους πετρελαίου θέρμανσης, μειωμένη κατά 33% έναντι του βασικού σεναρίου. Η ετήσια ενεργειακή απαίτηση της Κ.Δ. είναι 2.244 kWh/m²/έτος.

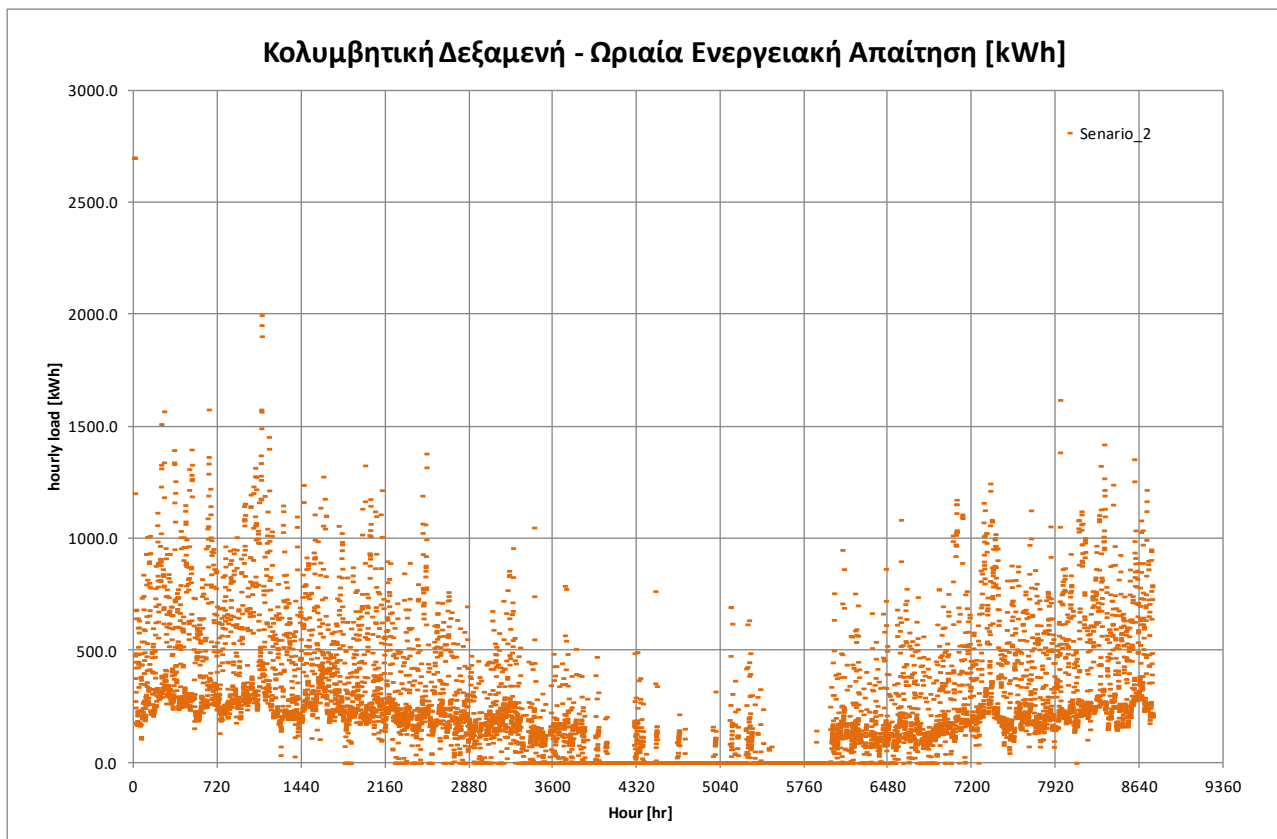
Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του σεναρίου αυτού ανέρχεται σε 235.000 ευρώ μειωμένο κατά περίπου 110.000 ευρώ έναντι του Σεναρίου 1. Η απαίτηση σε φρέσκο νερό για την αναπλήρωση της Κ.Δ. μειώνεται κατά περίπου 1.600 m³.

Πίνακας 3: Μηνιαίο και συνολικό ετήσιο ισοζύγιο ενέργειας της κολυμβητικής δεξαμενής. Σενάριο 2

	Q _{los}	Q _{gains}	Q _{aux}	Q _{res}	Max Heating Load	Make up Water
	MWh(th)	MWh(th)	MWh(th)	MWh(th)	MW (th)	m ³
Ιαν	406.19	50.24	374.61	18.67	2.70	545.97
Φεβρ	379.56	57.59	321.97	0.00	2.00	508.74
Μαρ	382.50	81.00	301.49	0.00	1.33	545.35
Απρ	313.62	114.95	198.67	0.00	1.38	504.99
Μάιος	253.33	142.38	110.95	0.00	1.05	502.61
Ιουν	195.62	157.14	38.47	-0.01	0.79	473.55
Ιουλ	173.56	166.82	9.44	2.70	0.77	503.19
Αυγ	176.77	157.83	17.90	-1.04	0.70	502.76
Σεμπ	199.95	121.75	76.50	-1.70	0.95	472.61
Οκτ	269.06	82.67	186.39	0.00	1.17	508.82
Νοεμ	322.12	50.77	271.35	0.00	1.62	508.32
Δεκ	376.53	40.14	336.38	0.00	1.42	537.98
Μ.Ο. Έτους	3448.80	1223.28	2244.14	18.62	2.70	6114.89

Στο διάγραμμα της εικόνας η οποία ακολουθεί, απεικονίζεται η ωριαία ενεργειακή ζήτηση της κολυμβητικής δεξαμενής η οποία προκύπτει από τη μερική μείωση του επίδρασης της ταχύτητας του αέρα στην επιφάνεια του νερού.

Σε σχέση με το αντίστοιχο διάγραμμα του Σεναρίου 1, παρατηρείται ουσιαστική μείωση καθόλη τη διάρκεια του έτους, κατά περίπου 32%. Το δε μέγιστο φορτίο την ημέρα σχεδιασμού, περιορίζεται σε περίπου 1900kW, γεγονός το οποίο μειώνει σημαντικά και το κόστος κατασκευής συστήματος κάλυψης των θερμικών αναγκών.



Εικόνα 16: Ωριαία Ενεργειακή Απαίτηση- Λειτουργία Πηγής Θέρμανσης. Σενάριο 2

2.3.3. Αποτελέσματα Σεναρίου 3- Χρήση Ισοθερμικού Καλύμματος.

Στο σενάριο 3, εξετάζεται η χρήση ισοθερμικού καλύμματος κατά τη διάρκεια όπου η κολυμβητική δεξαμενή δεν εξυπηρετεί το κοινό. Για τον σκοπό αυτό διαμορφώθηκε ημερήσιο πρόγραμμα λειτουργίας από της 7 το πρωί έως της 7 το απόγευμα κάθε ημέρας. Τις υπόλοιπες ώρες η Κ.Δ. θεωρείται σκεπασμένη κατά 90%.

Με την χρήση του ισοθερμικού καλύμματος μειώνεται ακόμα περισσότερο η ενεργειακή απαίτηση και το λειτουργικό κόστος του κολυμβητηρίου.

Οι συνολικές ετήσιες απώλειες θερμότητας οι οποίες προκύπτουν σε αυτό το σενάριο, υπολογίζονται σε 2886 MWh_{th}, μειωμένες κατά περίπου 50% έναντι του αρχικού σεναρίου.

Το γεγονός ότι το ισοθερμικό κάλυμμα χρησιμοποιείται τις νυχτερινές ώρες, δεν επιδρά στα συνολικά θερμικά οφέλη από την ηλιακή ακτινοβολία (Q_{gains}) τα οποία παραμένουν 1223 MWh_{th}. Η τελική ενεργειακή ζήτηση από την εξωτερική πηγή θερμότητας (Q_{aux}) υπολογίζεται σε 1.681 MWh_{th}, η οποία αντιστοιχεί σε κατανάλωση 176 τόνους πετρελαίου θέρμανσης, μειωμένη κατά 50% έναντι του βασικού σεναρίου. Η ετήσια ενεργειακή απαίτηση της Κ.Δ. είναι 1.681kWh/m²/έτος.

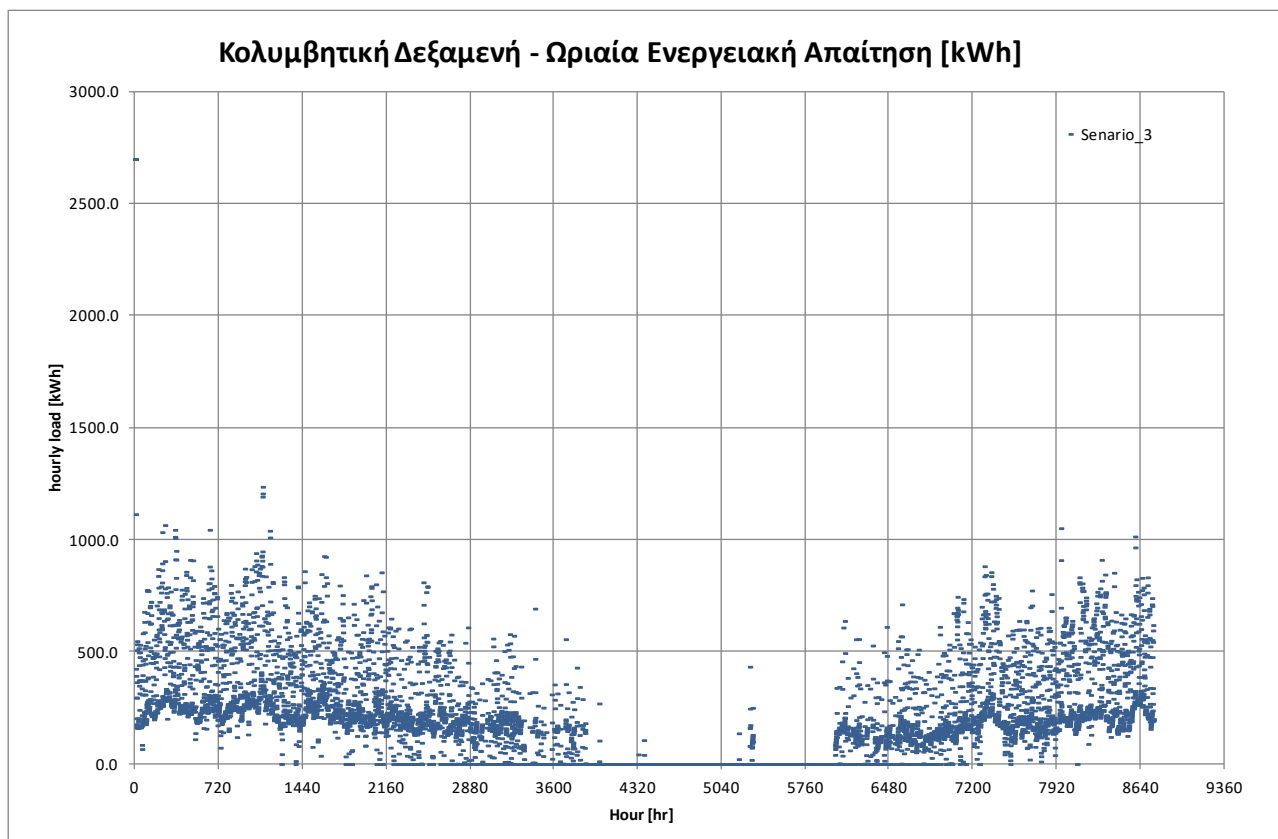
Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του σεναρίου αυτού ανέρχεται σε 176.000 ευρώ μειωμένο κατά περίπου 180.000 ευρώ έναντι του Σεναρίου 1. Η απαίτηση σε φρέσκο νερό για την αναπλήρωση της Κ.Δ. υπολογίζεται σε 5.457 m³.

Πίνακας 4: Μηνιαίο και συνολικό ετήσιο ισοζύγιο ενέργειας της κολυμβητικής δεξαμενής. Σενάριο 3

	Q _{los}	Q _{gains}	Q _{aux}	Q _{res}	Max Heating Load	Make up Water
	MWh(th)	MWh(th)	MWh(th)	MWh(th)	MW (th)	m ³
Ιαν	337.64	50.24	306.06	18.67	2.70	483.02
Φεβρ	310.55	57.59	252.95	0.00	1.24	443.93
Μαρ	314.38	81.00	233.38	0.00	0.93	480.53
Απρ	261.11	114.95	146.16	0.00	0.81	449.21
Μάιος	208.72	142.38	66.51	0.17	0.69	448.04
Ιουν	169.56	157.14	13.49	1.06	0.56	430.43
Ιουλ	162.45	166.82	0.15	4.52	0.11	461.84
Αυγ	161.58	157.83	2.71	-1.05	0.43	459.02
Σεμπ	168.66	121.75	42.11	-4.80	0.64	426.46
Οκτ	219.39	82.67	136.72	0.00	0.75	451.29
Νοεμ	262.58	50.77	211.81	0.00	1.05	448.15
Δεκ	309.93	40.14	269.78	0.00	1.02	475.49
Μ.Ο. Έτους	2886.53	1223.28	1681.82	18.57	2.70	5457.39

Στο διάγραμμα της εικόνας η οποία ακολουθεί, απεικονίζεται η ωριαία ενεργειακή ζήτηση της κολυμβητικής δεξαμενής η οποία προκύπτει από τη χρήση του ισοθερμικού καλύμματος.

Σε σχέση με το αντίστοιχο διάγραμμα του Σεναρίου 1 αλλά και του Σεναρίου 2, παρατηρείται ουσιαστική μείωση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Το μέγιστο φορτίο την ημέρα σχεδιασμού, παραμένει το ίδιο με το σενάριο 2, σε περίπου 1800kW. Ουσιαστικά αυτό που εξασφαλίζεται είναι η μείωση του φορτίου κατά τις νυχτερινές ώρες.



Εικόνα 17: Ωριαία Ενεργειακή Απαίτηση- Λειτουργία Πηγής Θέρμανσης. Σενάριο 4

2.4. Συγκριτική Αξιολόγηση Μέτρων Μείωσης της Ενεργειακής απαίτησης

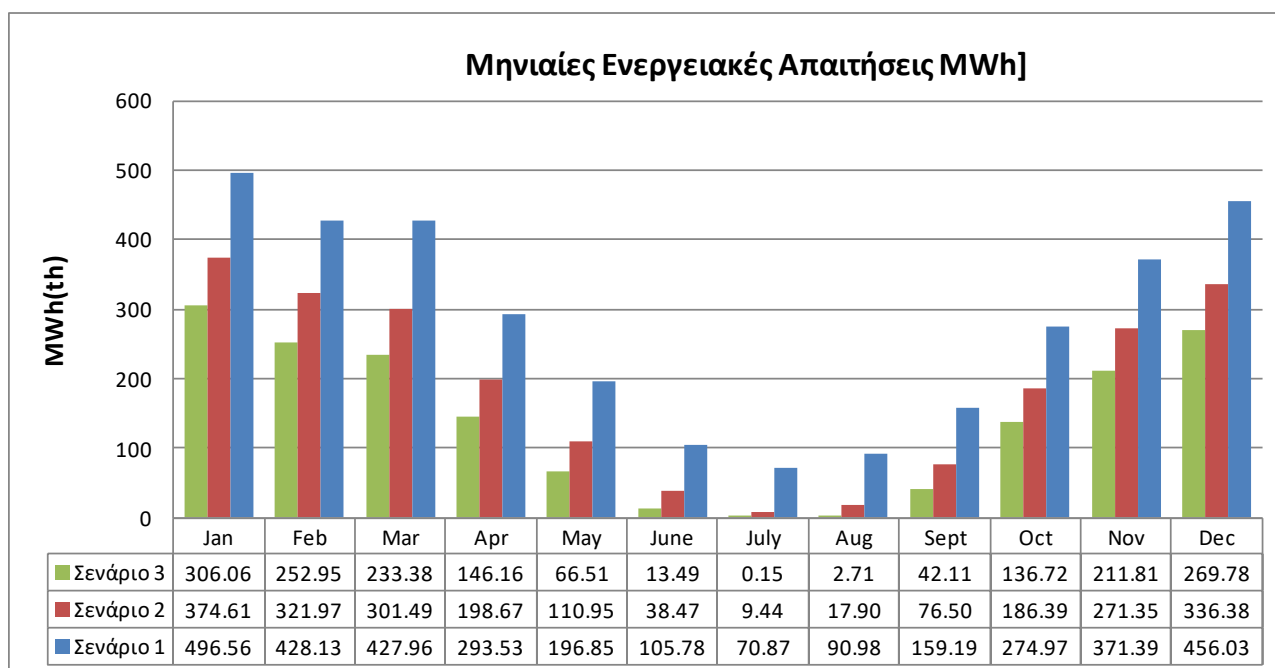
Με την εφαρμογή των συνδυαστικών μέτρων των σεναρίων 2 και 3, επιτυγχάνεται σημαντική μείωση της ετήσιας ενεργειακής απαίτησης και του λειτουργικού κόστους για τη θέρμανση της κολυμβητικής δεξαμενής.

Πίνακας 5: Σύγκριση σεναρίων μείωσης ενεργειακής απαίτησης. Ετήσια αποτελέσματα

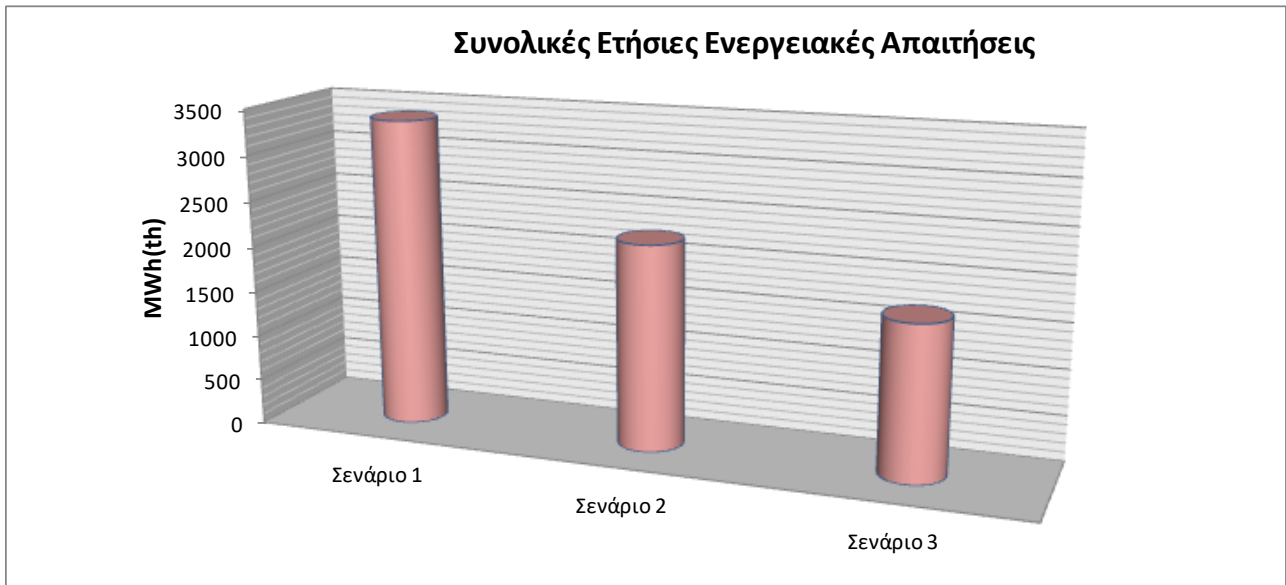
	Qlos	Qgains	Qaux	Qres	Μέγιστο Φορτίο	Απαίτηση Φρέσκου Νερού	Μείωση Ενεργειακής Ζήτησης	Μείωση απαίτησης νερού
	MWh(th)	MWh(th)	MWh(th)	MWh(th)	MW (th)	m ³	%	%
Σενάριο 1	4580.36	1226.81	3372.23	18.68	2.70	7673.80		
Σενάριο 2	3448.80	1223.28	2244.14	18.62	2.70	6114.89	33.45	20.31
Σενάριο 3	2886.53	1223.28	1681.82	18.57	2.70	5457.39	50.13	28.88

Η χρήση ανεμοφρακτών μειώνει την επίδραση των ισχυρών ανέμων κατά τη διάρκεια λειτουργίας της Κ.Δ., ενώ η χρήση του ισοθερμικού καλύμματος, εξασφαλίζει τη μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας, τις ώρες που δεν απαιτείται αυτή να είναι ανοικτή. Κανένα από αυτά τα δυο μέτρα δεν επιδρούν στη σκίαση της Κ.Δ. και ως εκούτου στην μείωση του θερμικού οφέλους από την ηλιακή ακτινοβολία.

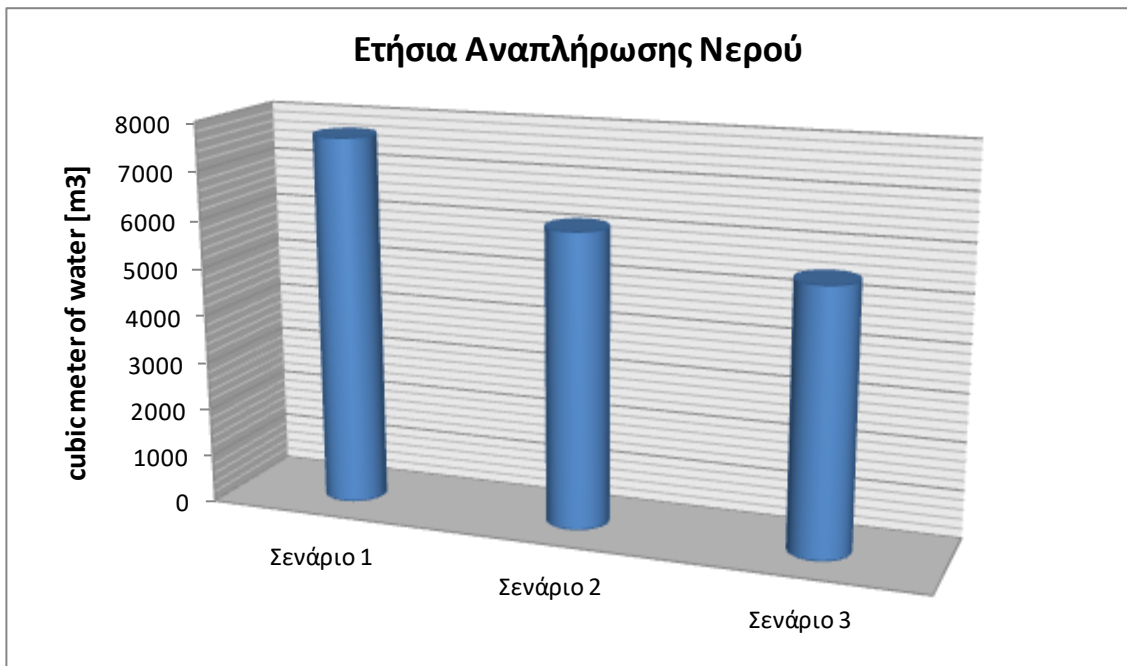
Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται συγκριτικά η μηνιαία και η ετήσια ενεργειακή απαίτηση που προκύπτει με την εφαρμογή του κάθε σεναρίου.



Εικόνα 18: Συγκριτικό διάγραμμα μηνιαίας ενεργειακής απαίτησης της Κ.Δ.



Εικόνα 19: Συνολική ετήσια ενεργειακή απαίτηση Κ.Δ.

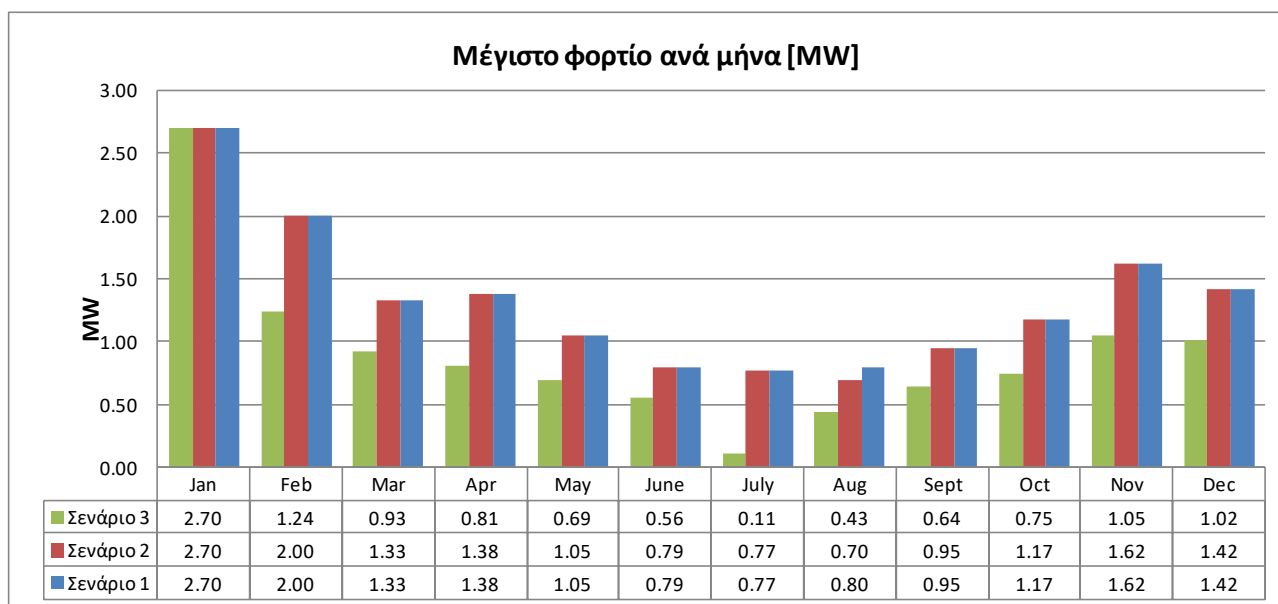


Εικόνα 20: Συνολική ετήσια απαίτηση σε φρέσκο νερό για τη λειτουργία της Κ.Δ.

Με την εφαρμογή των μέτρων των σεναρίων 2 και 3, επιτυγχάνεται τόσο η μείωση της ετήσιας ενεργειακής ζήτησης κατά περίπου 56%, όσο και μείωση της απώλειας νερού κατά 34%, καθιστώντας ενεργειακά και περιβαλλοντικά βιώσιμη τη λειτουργία του κολυμβητηρίου.

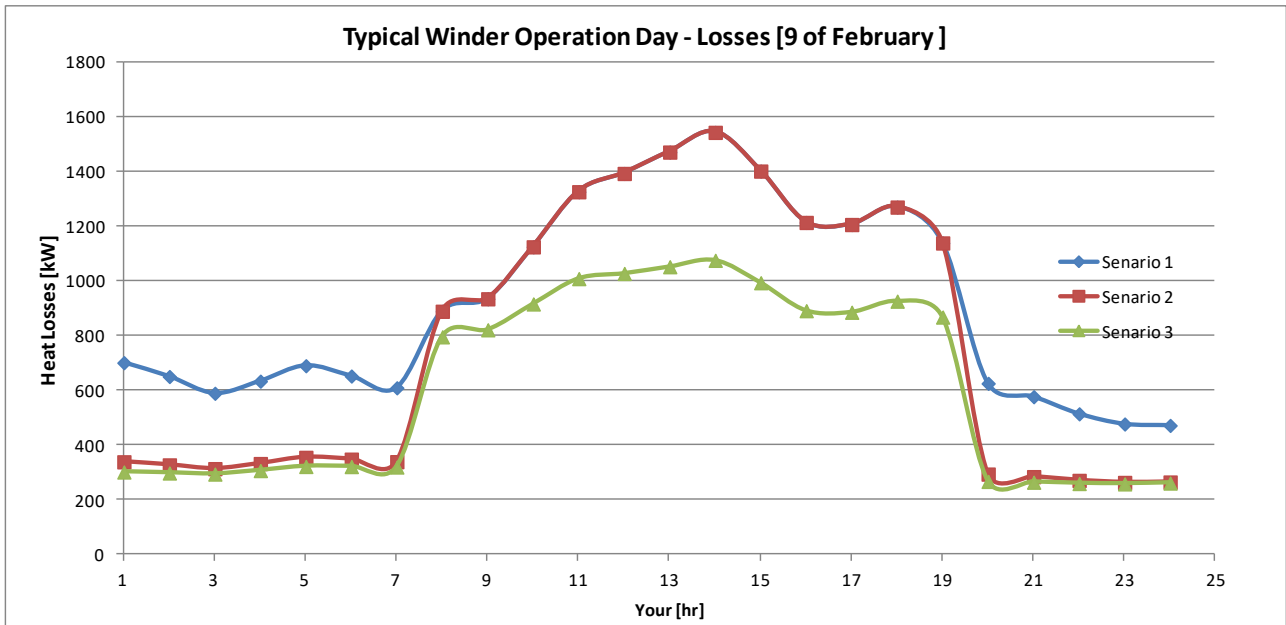
Η επίδραση των μέτρων μείωσης ενεργειακών απωλειών, είναι σημαντική και στο μέγιστο φορτίο που απαιτείται για τη θέρμανση της Κ.Δ. Το αρχικό φορτίο των 2.000kW περιορίζεται στα

1.400kW, γεγονός που μειώνει αισθητά την απαιτούμενη εγκαταστημένη ισχύ του Η/Μ εξοπλισμού που καλείται να εξυπηρετήσει το μέγιστο φορτίο.

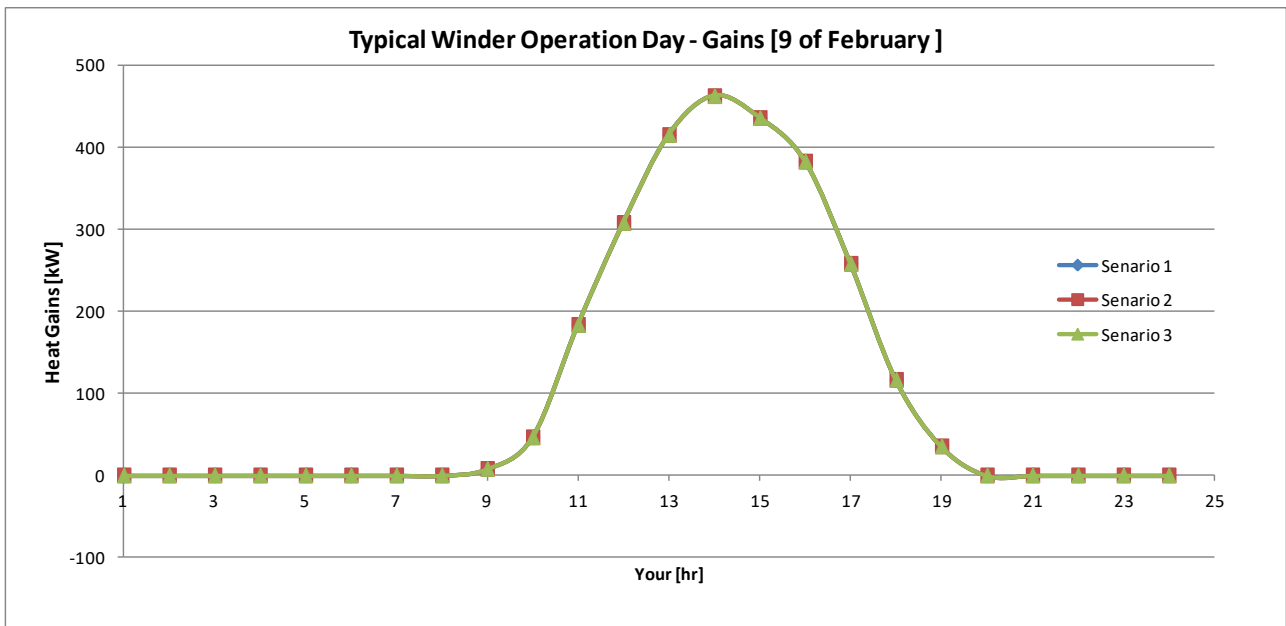


Εικόνα 21: Μηνιαία Κατανομή μέγιστου θερμικού φορτίου.

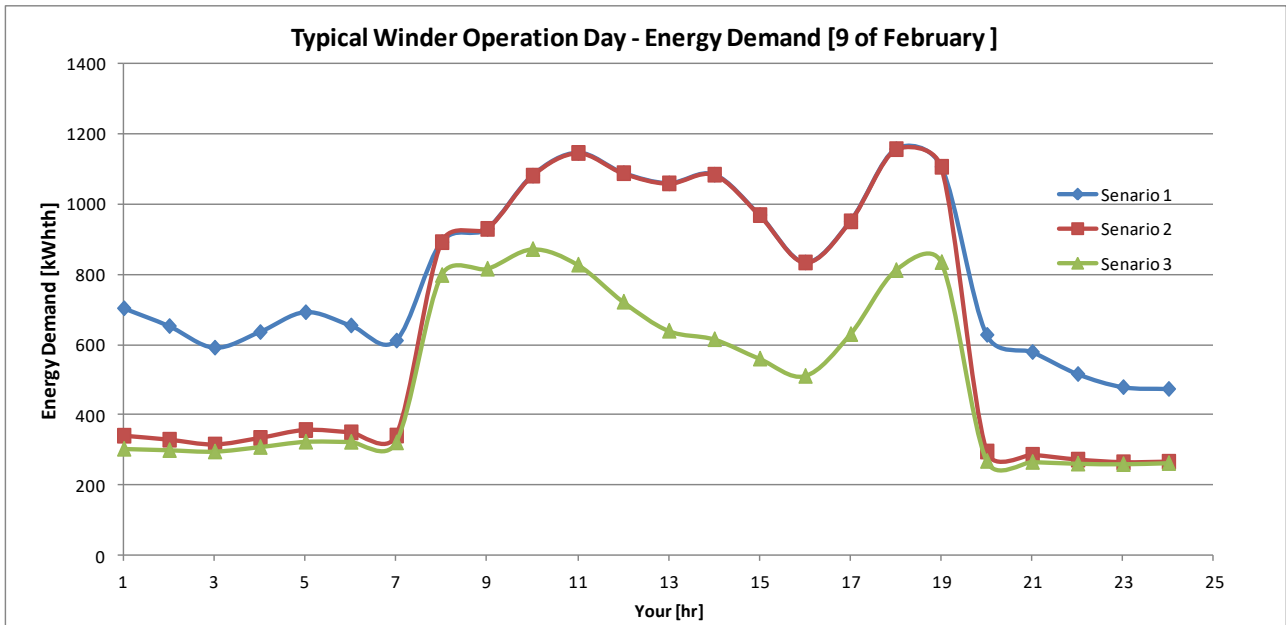
Εξετάζοντας από τη σκοπιά της εγκαταστημένης ισχύς παρουσιάζονται συγκριτικά διάγραμμα ενεργειακών απωλειών και ενεργειακών απαιτήσεων για μια τυπική ημέρα, αλλά και την ημέρα σχεδιασμού (δυσμενέστερες καιρικές συνθήκες). Τόσο κατά τη διάρκεια μιας τυπικής ημέρας, όσο και κατά τη διάρκεια της ημέρας σχεδιασμού, το φορτίο ζήτησης της Κ.Δ. παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις. Τις διακυμάνσεις αυτές καλείται να αντιμετωπίσει η Η/Μ διάταξη η οποία θα πρέπει να λειτουργεί με κριτήριο τη μεταβαλλόμενη κάλυψη φορτίων.



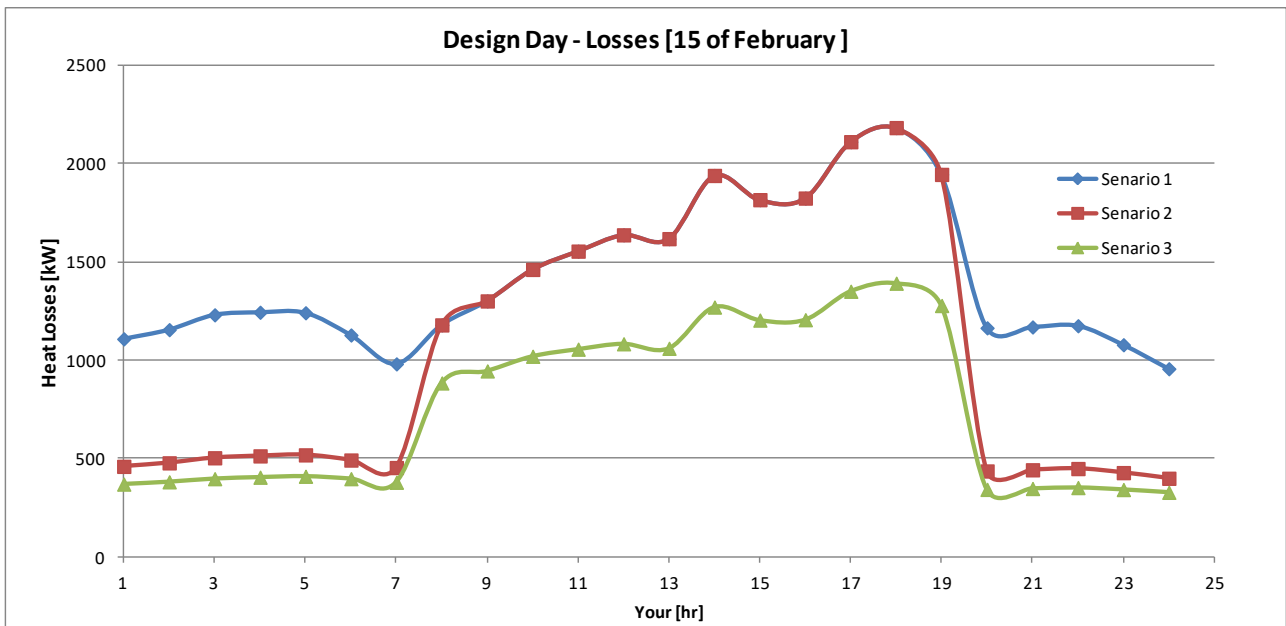
Εικόνα 22: Συγκριτικό διάγραμμα θερμικών απωλειών. Τυπική Ημέρα λειτουργίας



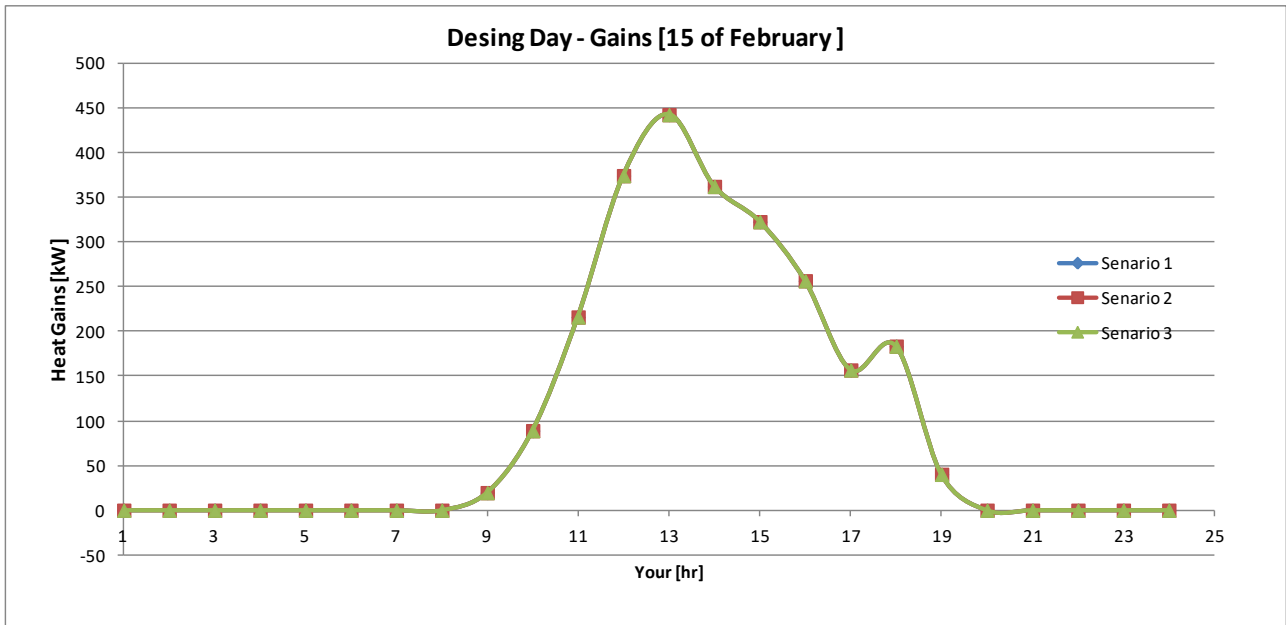
Εικόνα 23: Συγκριτικό διάγραμμα θερμικού οφέλους. Τυπική Ημέρα λειτουργίας



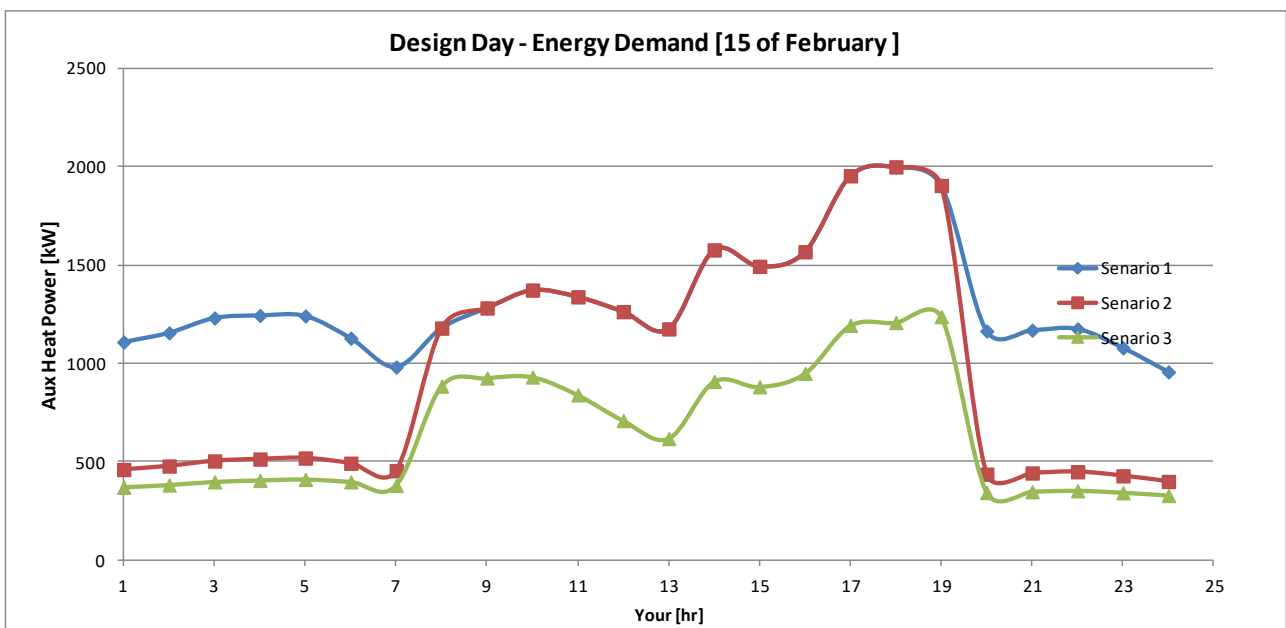
Εικόνα 24: Συγκριτικό διάγραμμα ενεργειακής ζήτησης. Τυπική Ημέρα λειτουργίας



Εικόνα 25: Συγκριτικό διάγραμμα θερμικών απωλειών. Ημέρα Σχεδιασμού

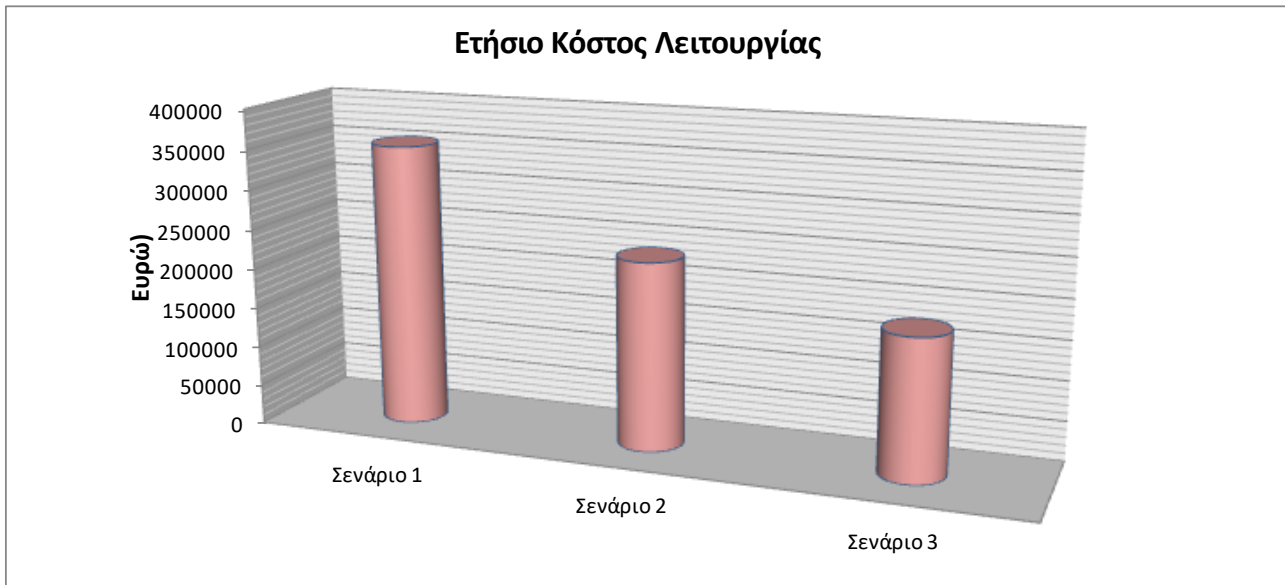


Εικόνα 26: Συγκριτικό διάγραμμα ηλιακού θερμικού οφέλους. Ημέρα Σχεδιασμού



Εικόνα 27: Συγκριτικό διάγραμμα ενεργειακής ζήτησης. Ημέρα Σχεδιασμοω

Η αισθητή βελτίωση στην ενεργειακή συμπεριφορά της Κ.Δ. η οποία επιτυγχάνεται με την συνδυαστική εφαρμογή των Σεναρίων 2 και 3, οδηγεί σε τελική ανάλυση στην δραστική μείωση του ενεργειακού λειτουργικού κόστους.



Εικόνα 28: Ετήσιο κόστος λειτουργίας τυπικού συστήματος θέρμανσης με λέβητα με καυστήρα πετρελαίου.

Θεωρώντας ότι η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών πραγματοποιείται με συμβατικό σύστημα θέρμανσης (λέβητας με καυστήρα πετρελαίου), το ετήσιο κόστος λειτουργίας μειώνεται τελικά κατά 50% έναντι του αρχικού. **Με σημερινές τιμές κόστους πετρελαίου, η λειτουργική δαπάνη ανέρχεται σε 176.000 ευρώ (έναντι 353.000 ευρώ αρχικά).**

Η δραστική μείωση ενεργειακής ζήτησης και λειτουργικού κόστους η οποία επιτυγχάνεται, αποτελεί μια βάση για την βιώσιμη λειτουργία του κολυμβητηρίου. Το λειτουργικό κόστος όμως που τελικά διαμορφώνεται, είναι αρκετά υψηλό καθώς σχετίζεται με την τιμή του πετρελαίου.

Στα πλαίσια της ενεργειακής μελέτης, εξετάζεται εν συνεχεία η κάλυψη των θερμικών αναγκών από ένα Ενεργειακά Βελτιστοποιημένο Υβριδικό Σύστημα Θέρμανσης με λειτουργία τετρασωλήνιας αντλίας θερμότητας.

Κεφ 3. Ενεργειακά Βελτιστοποιημένο Υβριδικό Σύστημα Θέρμανσης-Ενεργειακή Αξιολόγηση

3.1. Σύντομη Τεχνική Περιγραφή

Γενική διάταξη

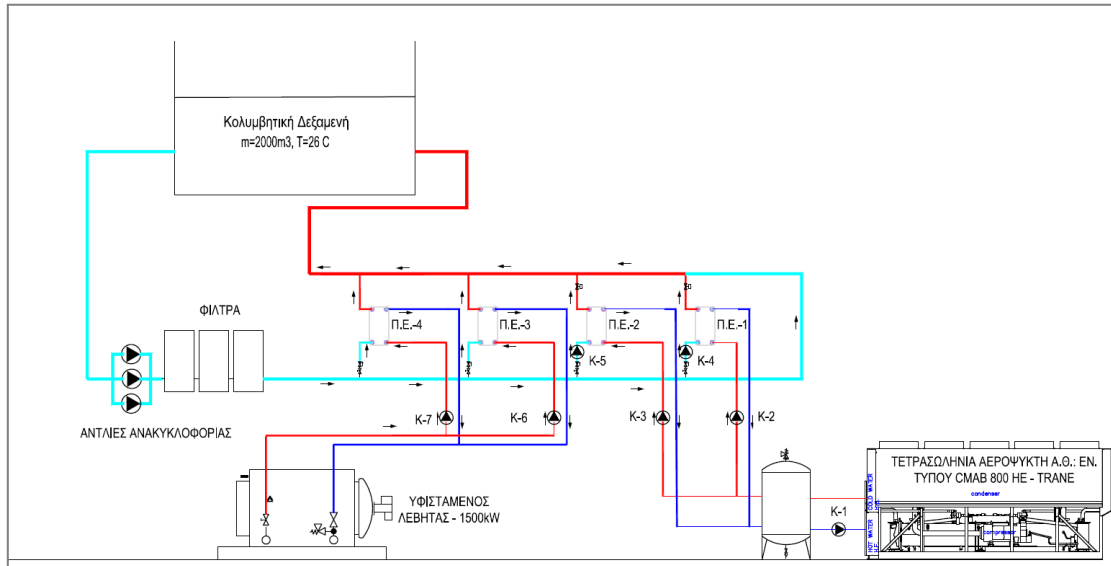
Στα πλαίσια της ενεργειακής αναβάθμισης της κολυμβητικής δεξαμενής και με κριτήριο την μείωση του ενεργειακού λειτουργικού κόστους του κολυμβητηρίου, εγκαθίσταται Ενεργειακά Βελτιωμένο Υβριδικό Σύστημα Θέρμανσης, το οποίο αποτελείται από:

- Τετρασωλήνια αντλία θερμότητας αέρος, θερμικής ισχύος $800 \text{ kW}_{\text{th}}$ (σε συνθήκες $T_{\text{air}}=7\text{C}$, $T_{\text{water}} 40-45 \text{ }^{\circ}\text{C}$) (ενδεικτικού τύπου CMAB HE-800 του οίκου Trane), η οποία εγκαθίσταται στον περιβάλλοντα χώρο νοτιοδυτικά της Κ.Δ. και σε απόσταση περίπου 20 μέτρων από τον χώρο του μηχανοστασίου.
- Μονωμένο Δοχείο Αδρανείας με ενσωματωμένο εναλλάκτη για την αποθήκευση θερμών νερών 5.000lt όγκου νερού. Ο εναλλάκτης θερμότητας εντός του δοχείου, χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της περίσσιας ηλιακής ενέργειας, από το σύστημα παραγωγής ΖΝΧ (προηγούμενη παράγραφο).
- Πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας (Π.Κ.3 – Π.Κ. 4) ισχύος $380 \text{ kW}_{\text{th}}$ έκαστος (σύμφωνα με το πρόγραμμα που ακολουθεί).
- Αντλίες πρωτεύοντος και δευτερεύοντος κυκλώματος, αισθητήρια θερμοκρασίας, πίεσης, αυτοματισμοί, σωληνώσεις- δίκτυα, ασφαλιστικές δικλείδες, ηλεκτρολογική εγκατάσταση, κτλ). Το δοχείο αδρανείας, οι αντλίες (με εξαίρεση την αντλία κυκλοφορίας της Α.Θ.), οι εναλλάκτες θερμότητας και ο λοιπός εξοπλισμός εγκαθίσταται στο υπόγειο του κολυμβητηρίου (μηχανοστάσιο).
- Ηλιακούς Συλλέκτες 49 τμ τοποθετημένους στο δώμα του κυλικείου και συνδεδεμένους με θερμοδοχείο 2.00lt για την παραγωγή ΖΝΧ.

Το νέο σύστημα θέρμανσης της Κ.Δ θα τοποθετηθεί παράλληλα με το υφιστάμενο σύστημα λέβητα –καυστήρα πετρελαίου και θα καλύπτει τα φορτία βάσης της κολυμβητικής δεξαμενής (αναλυτικά τεύχος ενεργειακής μελέτης). Το υφιστάμενο σύστημα λέβητα, μέσω αυτοματισμού

παραλληλισμού, θα αναλάβει την κάλυψη των μέγιστων φορτίων της Κ.Δ, τα οποία εκτιμώνται μόλις στο 1% της ετήσιας ενεργειακής απαίτησης.

Γενική Αρχή Λειτουργίας



Εικόνα 29: Σκαρίφημα παραλληλισμού- εγκατάστασης αντλίας θερμότητας στο Κολυμβητήριο του Μαραθώνα.

Η τετρασωλήνια αντλία θερμότητας αέρος, αναλαμβάνει την παραγωγή Ζεστών Νερών τα οποία αποθηκεύονται σε δοχείο αδρανείας 5.000lt. Η θερμοκρασία του δοχείου καθορίζεται στους 38 °C (Set Point Α.Θ. 33-38 °C). Η εγκατάσταση του δοχείου αυτού είναι απαραίτητη για την εύρυθμη λειτουργία της Α.Θ.

Η θέρμανση των νερών της κολυμβητικής δεξαμενής, πραγματοποιείται διαμέσου πλακοειδών εναλλακτών θερμότητας (Π.Ε.3-Π.Ε.4 σύμφωνα με το σχέδιο), οι οποίοι τοποθετούνται παράλληλα στη ροή ανακυκλοφορίας των νερών φίλτρανης της Κ.Δ. Η κυκλοφορία των νερών μεταξύ Κ.Δ. και εναλλακτών καθώς και εναλλακτών και δοχείου αδρανείας, πραγματοποιείται μέσω αντλιών (K2, K3, K4, K5) οι οποίες είναι εγκαταστημένες στο χώρο του μηχανοστασίου. Οι αντλίες αυτές έχουν δυνατότητα μεταβολής της παροχής τους, σύμφωνα με την πτώση πίεσης και θερμοκρασίας.

Στην περίπτωση όπου το φορτίο της Κ.Δ. δεν καλύπτεται από την αντλία θερμότητας, τότε εκκινείτε η υφιστάμενη διάταξη λέβητα- καυστήρα πετρελαίου, η οποία διαθέτει ομοίως εναλλάκτες θερμότητας (Π.Ε.1- Π.Ε.2), παράλληλα τοποθετημένους στην ανακυκλοφορία της κολυμβητικής δεξαμενής.

Ο έλεγχος των πηγών θέρμανσης πραγματοποιείται από εξωτερικό ελεγκτή.

Σύμφωνα με την ενεργειακή μελέτη, η λειτουργία του συστήματος θέρμανσης των νερών είναι συνεχής. Δεν διακόπτεται κατά της νυχτερινές ώρες ή τις ώρες που δεν λειτουργεί η κολυμβητική δεξαμενή.

Η αντλία θερμότητας θα είναι ρυθμισμένη για την παραγωγή Ζεστών Νερών Θερμοκρασίας για είσοδο 33 °C και έξοδο 38 °C (προς το δοχείο αδρανείας). Σε αυτές τις συνθήκες, η αντλία θερμότητας θα πρέπει να έχει κατ ελάχιστον τις αποδόσεις (κατά EN 14511) και την ισχύς ως εξής:

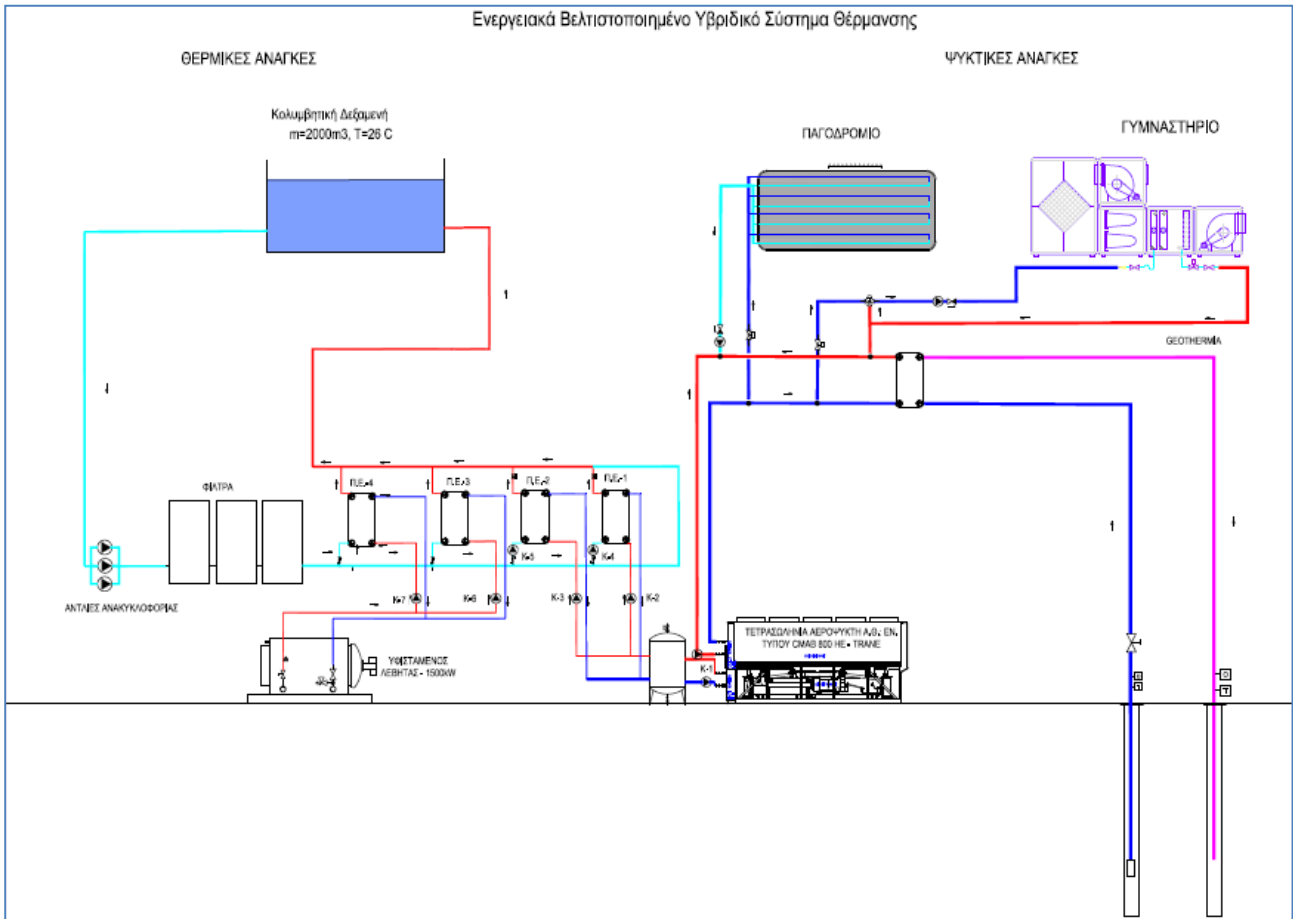
- Για θερμοκρασία Ατμόσφαιρας 0 °C: Θερμική Ισχύς τουλάχιστον 690 και COP τουλάχιστον 3,5 (ή 3,1 με ανεμιστήρες)
- Για θερμοκρασία Ατμόσφαιρας 7°C: Θερμική Ισχύς τουλάχιστον 820 και COP τουλάχιστον 4,1 (ή 3,6 με ανεμιστήρες)
- Για θερμοκρασία Ατμόσφαιρας 25°C: Θερμική Ισχύς τουλάχιστον 1280 και COP τουλάχιστον 6,4 (ή 5,7 με ανεμιστήρες)

Η αντλία θερμότητας θα έχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης λειτουργίας στις εξής καταστάσεις:

- Θέρμανσης της κολυμβητικής δεξαμενής – Λειτουργία Αερόψυκτης Αντλίας
- Ψύξης - Λειτουργία Αερόψυκτης Αντλίας
- Ταυτόχρονης Θέρμανσης και Ψύξης – Λειτουργία ως υδρόψυκτη αντλία θερμότητας.
- Ψύξης με ανάκτηση - Λειτουργία ως υδρόψυκτη αντλία θερμότητας.

Με την εγκατάσταση τετρασωλήνιας αερόψυκτης αντλίας θερμότητας, είναι δυνατό μελλοντικά να καλυφθούν ταυτόχρονα με τη θέρμανση της κολυμβητικής δεξαμενής θερμικά και κυρίως ψυκτικά φορτία των υπολοίπων εγκαταστάσεων του πολιτιστικού πάρκου Μαραθώνα (ψύξη κλειστού γυμναστηρίου, ψύξη κτιρίου γραφείων, νέο παγοδρόμιο κτλ), με πολύ μικρό κόστος

(Ταυτόχρονη λειτουργία Θέρμανσης – Ψύξης βαθμός απόδοσης αντλίας θερμότητας COP>7). Παράλληλα, είναι δυνατό η ίδια αντλία θερμότητας να συνδεθεί με γεωεναλλάκτη ανοικτού κυκλώματος, και ανάλογα με την κάθε φορά θερμοκρασία περιβάλλοντος να επιλέγεται αν θα λειτουργεί ως αερόψυκτη ή υδρόψυκτη (γεωθερμική) αντλία θερμότητας, για την θέρμανση της Κολυμβητικής Δεξαμενής (μεγιστοποίηση του βαθμού απόδοσης του συστήματος).



Εικόνα 30: Ενδεικτική Διάταξη Λειτουργίας Τετρασωλήνιας Αντλίας Θερμότητας. Ταυτόχρονη λειτουργία θέρμανσης- ψύξης.

Πλακοειδείς εναλλάκτες θέρμανσης

Εντός του μηχανοστασίου θα εγκατασταθούν πλακοειδείς εναλλάκτες θέρμανσης τα λειτουργικά χαρακτηριστικά (θερμοκρασίες λειτουργίας, η πτώση πίεσης, και οι παροχές) δίδονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά Πλακοειδή εναλλάκτη

Πλακοειδής Εναλλάκτης 3-4					
Πρωτεύον Κύκλωμα			Δευτερεύον		
m	63.2	m ³ /h	m-ΚΔ	39.5	m ³ /h
Cp	4.18	kJ/Kg.K	Cp	4.18	kJ/Kg.K
T1-source	38.0	°C	T	25.0	°C
T2-source	33.0	°C	T1	33.0	°C
Q-ΠΚ3-4	366.8	kW	Q-ΠΚ3-4	366.8	kW

Οι εναλλάκτες θα είναι πλακοειδείς με πλάκες ανοξείδωτου χάλυβα με παρεμβύσματα από NBR High Temperature κουμπωτά και όχι κολλητά (NITRIL HT HANG ON). Το δε πλαίσιο θα είναι χαλύβδινο με εποξική βαφή. Όλες οι είσοδοι-έξοδοι θα έχουν λάστιχο (rubberliner) για επιπλέον προστασία του πλαισίου.

Ο εναλλάκτης θα αποτελείται από λίγα μέρη και θα έχει ευκολία συντήρησης. Θα μπορεί να λυθεί και να καθαριστεί (εάν και όταν απαιτείται) χωρίς να χρειαστεί να αποσυνδεθούν σωληνώσεις κτλ.

Ο συνδυασμός πλακών θα είναι τέτοιος που θα μεγιστοποιεί την θερμική απόδοση με την ελάχιστη πτώση πίεσης και τις ελάχιστες διάσταση του εναλλάκτη.

Τα στεγανοποιητικά (gaskets) ελαστικά θα είναι έτσι σχεδιασμένα ώστε να μην χάνουν την ελαστικότητα τους ακόμη και μετά από άνοιγμα των πλακών του εναλλάκτη. Τα στεγανοποιητικά θα είναι αποσπώμενα-κουμπωτά (hang on) και όχι κολλητά και θα αντέχουν για θερμοκρασίες έως 140°C. Η κάθε πλάκα θα «κλειδώνει» πάνω στο πλαίσιο κατά τρόπο που αφενός θα αποκλείει την ολίσθηση μεταξύ των πλακών και αφετέρου την λάθος τοποθέτηση τους μετά τον καθαρισμό. Θα είναι εύκολα επεκτάσιμος με την απλή προσθήκη παραπάνω πλακών στο ίδιο πλαίσιο, χωρίς καν να αποσυνδεθούν οι σωληνώσεις (σημ: όλες από τη μία πλευρά).

Σε κάθε πλακοειδή εναλλάκτη, στις θέσεις σύνδεσης των σωληνώσεων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος κυκλώματος, θα εγκατασταθούν ταφ με βάνες απομόνωσης, οι οποίες θα δίνουν

τη δυνατότητα πραγματοποίησης εξωτερικού καθαρισμού των εναλλακτών. Επίσης, σε κάθε εναλλάκτη, τοποθετούνται κυάθια για τον έλεγχο της θερμοκρασίας.

Κυκλοφορητές- Αντλίες

Συνολικά εγκαθίστανται 5 νέες αντλίες τα τεχνικά στοιχεία της κάθε μίας παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

	ΜΑΝΟΜΕΤΡΙΚΟ	ΠΑΡΟΧΗ	ΙΣΧΥΣ	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ
	m	m ³ /h	kW	
K1	12 -19	120-180	12.0	Grundfos TPE 125-190/4
K2	14	63.9	4.0	Grundfos TPE 80-210/2
K3	14	63.9	4.0	Grundfos TPE 80-210/2
K4	14	39.5	2.2	Grundfos TPE3 50-240
K5	14	39.5	2.2	Grundfos TPE3 50-240

Ο K1, αναλαμβάνει να κυκλοφορεί τα θερμά νερά μεταξύ αντλίας θερμότητας και δοχείου αδρανείας.

Η αντλία K2 και η αντλία K3, αντιστοιχούν στο πρωτεύον κύκλωμα των εναλλακτών θερμότητας ΠΕ-3 και ΠΕ4. Στο δευτερεύον κύκλωμα των εναλλακτών αντιστοιχούν οι K4 και K5.

Η λειτουργία της K1, ελέγχεται από την αντλία θερμότητας, ενώ τα ζεύγη των κυκλοφορητών K2-K4 και K3-K5, ελέγχονται από τον αυτοματισμό του συστήματος, σύμφωνα με την θερμοκρασίες επιστροφής από την Κολυμβητική Δεξαμενή. Ο αυτοματισμός θα πρέπει να εξασφαλίζει την περιοδική εναλλαγή της λειτουργίας, στην βάση των ωρών, για τα ζεύγη K2-K4 ή K3-K5.

Στην περίπτωση όπου απαιτείται η ένταξη και του υφιστάμενου συστήματος θέρμανσης, τότε εκκινείτε ο λέβητας και οι K7 και K8 (σύμφωνα με το σκαρίφημα και το κατακόρυφο διάγραμμα της εγκατάστασης).

3.2. Παραδοχές Ενεργειακής Αξιολόγησης

Για την ενεργειακή αξιολόγηση της προτεινόμενης διάταξης κάλυψης των απαιτήσεων της Κ.Δ. αξιοποιούνται οι ενεργειακές καταναλώσεις οι οποίες προέκυψαν από την εφαρμογή όλων των μέτρων μείωσης της ενεργειακής απαίτησης οι οποίες περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 2. Σύμφωνα με αυτές, η ετήσια ενεργειακή απαίτηση ανέρχεται σε 1681MWh(th) και το μέγιστο φορτίο 1400kW (αναλυτικά Κεφ 2- Πίνακας 7).

Η βασική πηγή ενέργειας του Υβριδικού Συστήματος είναι:

- Ηλεκτρική Ενέργεια η οποία προέρχεται από το δίκτυο Μέσης Τάσεως του ΔΕΔΔΗΕ. Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για την λειτουργία της υποβρύχιας αντλίας άντλησης του γεωθερμικού ρευστού, της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, των αντλιών του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος κυκλώματος θερμού νερού, των αντλιών φίλτρανσης και λοιπών εγκαταστάσεων της Κ.Δ. και του κτιρίου.
- Πετρέλαιο Θέρμανσης, ως εφεδρεία του συστήματος.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς Q_{aux} θα πρέπει να καλύπτει το μέγιστο φορτίο θέρμανσης το οποίο υπολογίστηκε σε 1400kW. Η διάταξη εξυπηρέτησης του φορτίου αποτελείται από δυο διαφορετικές πηγές με αντίστοιχο φορτίο:

- Τετρασωλήνια Αντλία Θερμότητας: Q_{hp} [kW]
- Λέβητα με καυστήρα πετρελαίου: Q_{boiler} [kW]

$$Q_{aux} = Q_{HP} + Q_{boiler} \quad 14$$

Στο σενάριο βάσης η κάλυψη του συνόλου της ενεργειακής απαίτησης της Κ.Δ. καλύπτεται με λέβητα πετρελαίου ισχύος $Q_{boiler}=1400kW$.

Ωριαία Μεταβολή του Θερμικού Φορτίου και του Βαθμού Απόδοσης COP της Αντλίας Θερμότητας

Το φορτίο που αποδίδει η Α.Θ. στην κολυμβητική δεξαμενή, Q_{hp} [kW] υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q_{hp} = Q_{air_hp} + Q_{el} \quad 16$$

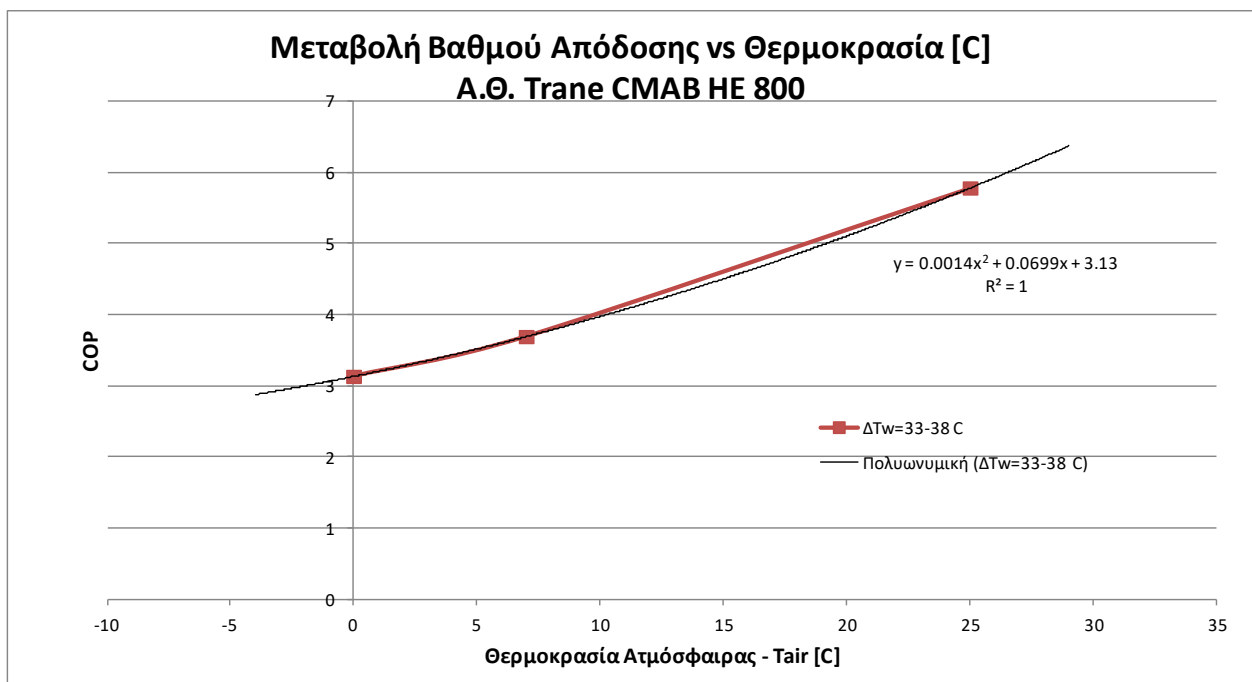
Όπου Q_{air_hp} [kW] το φορτίο το οποίο αντλείται από την ατμόσφαιρα και Q_{el} [kWh] η δαπάνη ηλεκτρικής ενέργειας στον συμπιεστή της αντλίας.

Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας, ο οποίος είναι η έκφραση της ενεργειακής της κατανάλωσης, υπολογίζεται από την σχέση:

$$COP = \frac{Q_{hp}}{Q_{el}} \quad 17$$

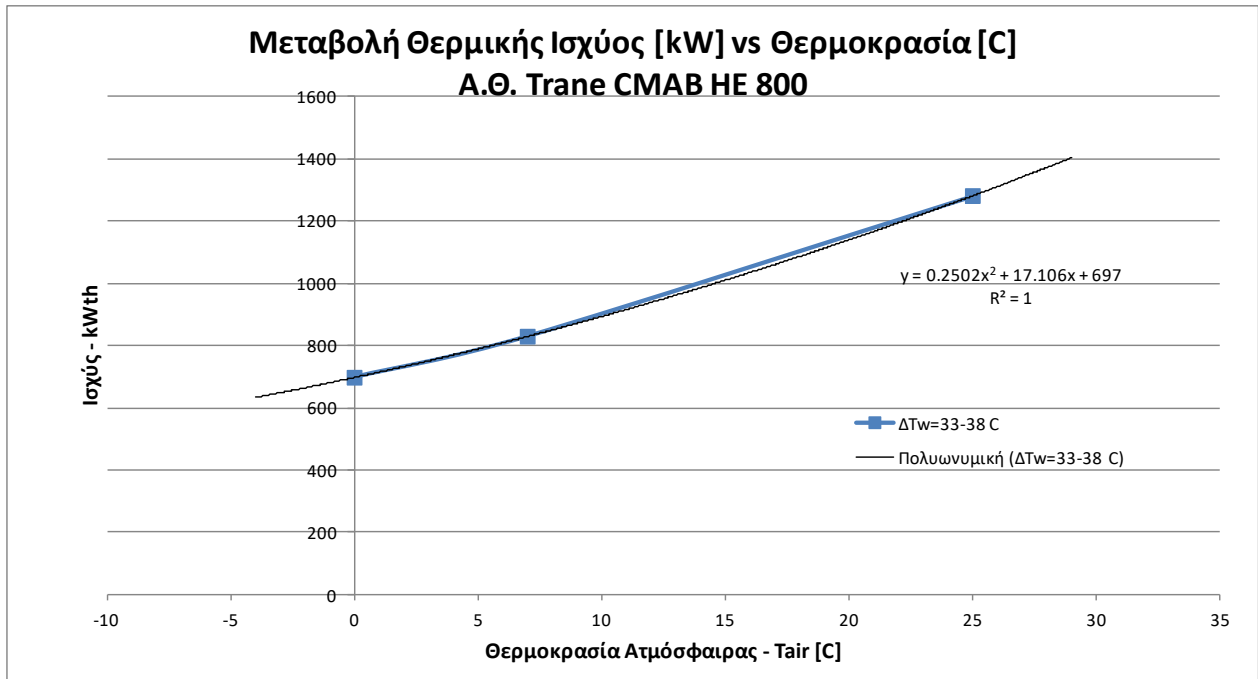
Με δεδομένο ότι η αντλία θερμότητας είναι αερόψυκτη, ο βαθμός αποδοσης και το θερμικό της φορτίο μεταβάλλεται, τόσο ως προς τη θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού στον συμπυκνωτή, όσο και από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (θερμοκρασία λειτουργίας εξατμιστή).

Για την αντλία θερμότητας η οποία εξετάζεται (CMAB HE-800 του οίκου Trane), ο βαθμός απόδοσης για θερμοκρασία συμπυκνωτή 33-38 °C, μεταβάλλεται σύμφωνα με το διάγραμμα:

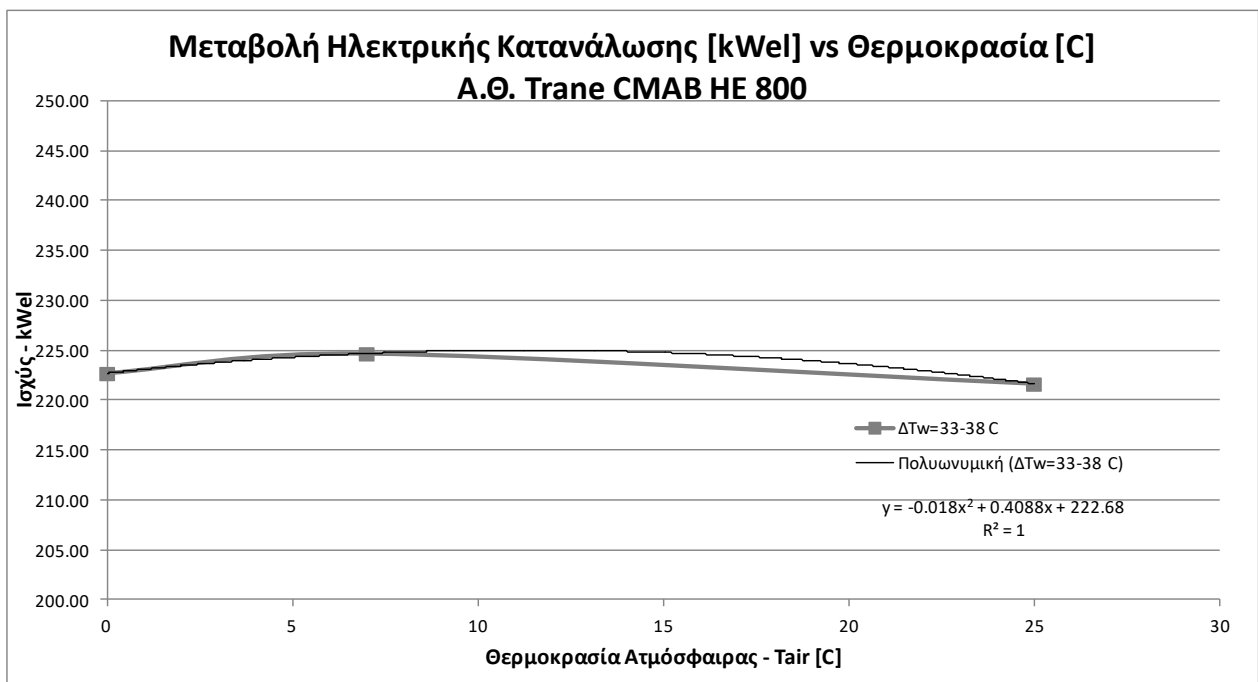


Εικόνα 31: Μεταβολή Βαθμού Απόδοσης Αντλίας Θερμότητας ως προς τη θερμοκρασία Περιβάλλοντος ($T_w=33-38 \text{ }^\circ\text{C}$)

Αντίστοιχα μεταβάλλεται και η θερμικής ισχύς (εικόνα 35):



Εικόνα 32: Μεταβολή Θερμικής Ισχύος Αντλίας Θερμότητας ως προς τη θερμοκρασία Περιβάλλοντος (Tw=33-38 °C)



Εικόνα 33: Ηλεκτρική Κατανάλωση αντλίας θερμότητας ως προς τη θερμοκρασία Περιβάλλοντος (Tw=33-38 °C).

Για τον υπολογισμό του ενεργειακού – οικονομικού οφέλους από την λειτουργία της αντλίας θερμότητας σε σχέση με τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης με πετρέλαιο συγκρίνεται:

- Η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας η οποία προκύπτει σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/ 2010 με συντελεστές μετατροπής για το πετρέλαιο θέρμανσης 1,1 και για την ηλεκτρική ενέργεια 2,9
- Οι εκπομπές CO₂ για κάθε σύστημα θέρμανσης της Κ.Δ.
- Το ετήσιο λειτουργικό κόστος, λαμβάνοντας ως τιμή ηλεκτρικού ρεύματος 0,13 €/kWh_{el} και για το πετρέλαιο 1,00 €/lt.

Για τον υπολογισμό της ημερίσιας, μηνιαίας και ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης του συστήματος θέρμανσης της κολυμβητικής δεξαμενής, αξιοποιώντας τα δεδομένα τα οποία προέκυψαν στην επίλυση των ενεργειακών απαιτήσεων του σεναρίου 3, το οποίο παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2, διαμορφώθηκε μοντέλο ωριαίας ενεργειακής κατανάλωσης.

Σύμφωνα με αυτό, ανάλογα με τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, υπολογίζεται η ωριαία ισχύς Q_{hpi} [kW_{th}], η ωριαία κατανάλωση Q_{eli} [kW_{el}] και ωριαίος βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας COP_i. Εν συνεχεία, ανάλογα με την ενεργειακή απαίτηση της κολυμβητικής δεξαμενής, καθορίζεται η συμμετοχή της κάθε πηγής θέρμανσης στο ενεργειακό ισοζύγιο, σύμφωνα με τη σχέση:

$$Q_{aux} [kW_{th}] = Q_{hpi} [kW_{th}] + Q_{boiler} [kW_{th}]$$

Εάν οι απώλειες της Κ.Δ. είναι μεγαλύτερες από το στιγμιαίο ωριαίο φορτίο της Κ.Δ., τότε ενεργοποιείται η δευτερεύουσα πηγή ενέργειας (λέβητας πετρελαίου). Διαφορετικά το φορτίο, καλύπτεται από την αντλία θερμότητας (η οποία μπορεί να προσαρμόζει το φορτίο της στην κάθε φορά ζήτηση, λόγω βημάτων σχεδιασμού).

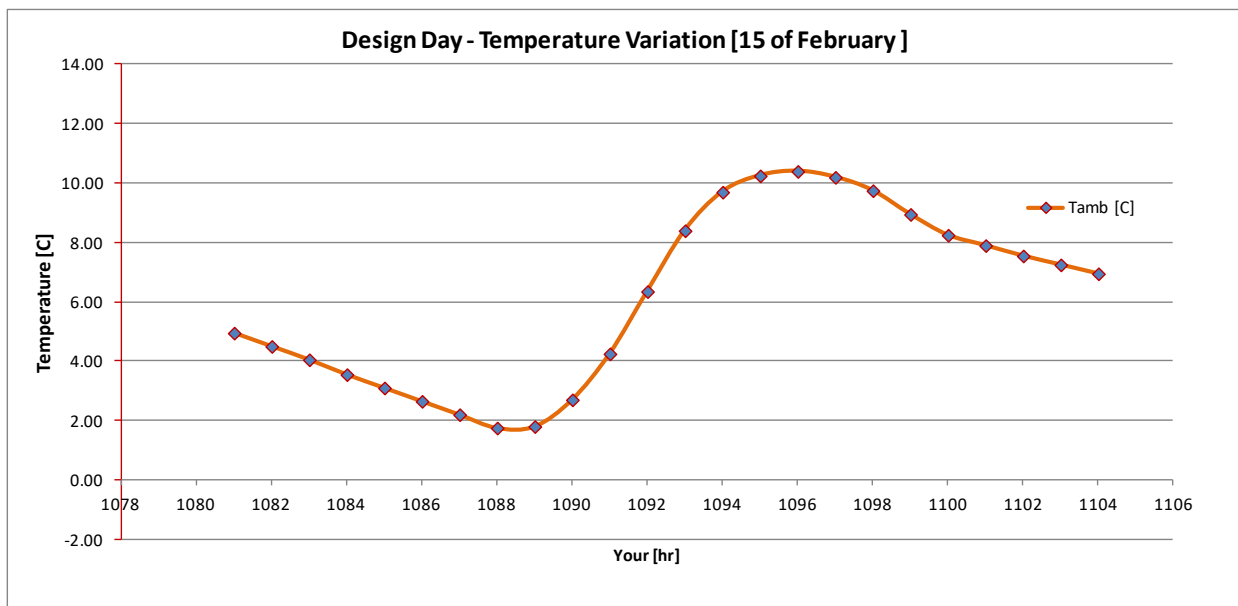
Επιλύοντας τη συμμετοχή της κάθε πηγής ενέργειας στην κάλυψη των μηνιαίων και ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων της Κ.Δ., μπορεί να υπολογιστεί το ετήσιο ενεργειακό λειτουργικό κόστος θέρμανσης.

3.3. Αποτελέσματα ενεργειακής ανάλυσης

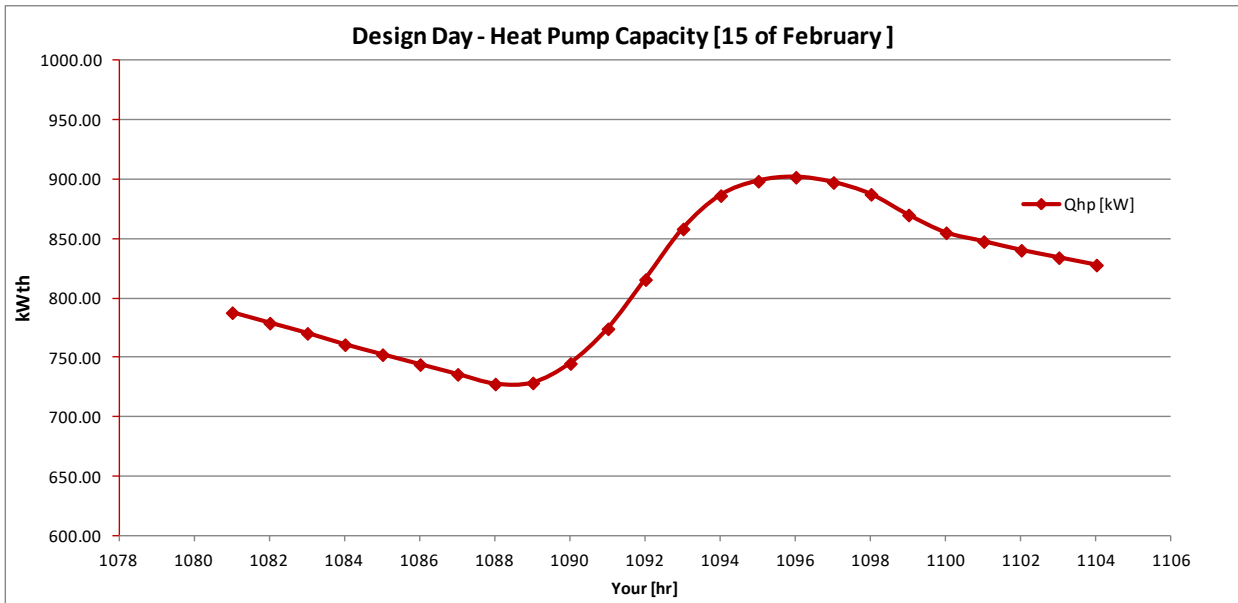
3.3.1. Ωριαία Λειτουργία- Ενεργειακό Ισοζύγιο Συστήματος

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται ενδεικτικά για την ημέρα σχεδιασμού (δυσμενέστερες συνθήκες) η ωριαία μεταβολή:

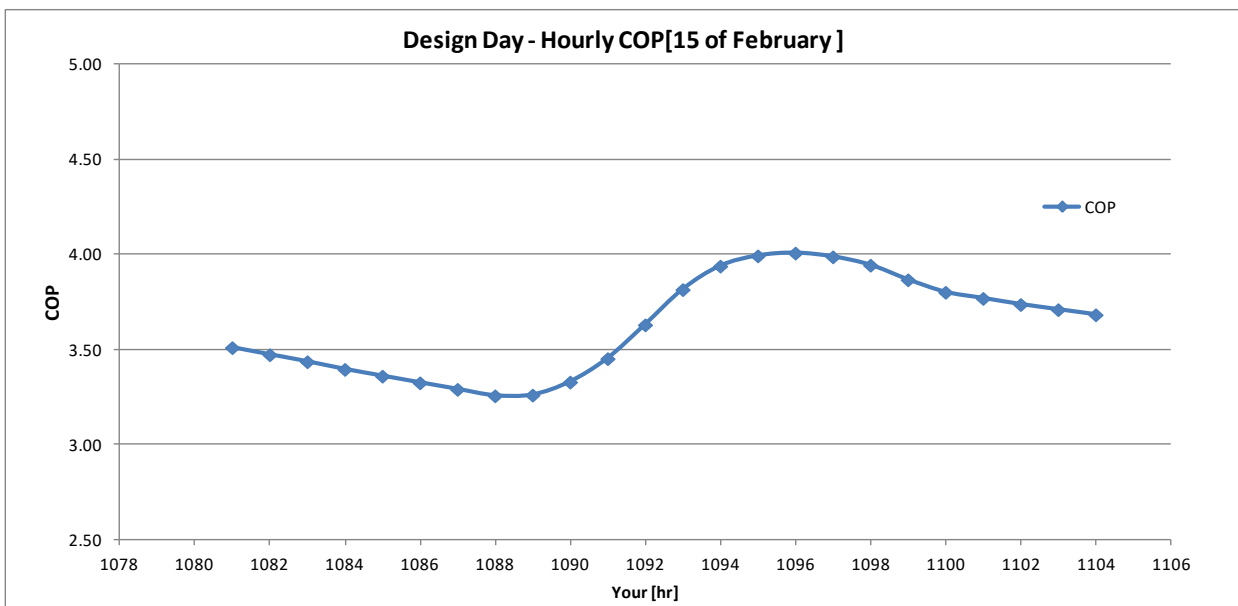
- της θερμική ισχύς και η απόδοση της Αντλίας θερμότητας
- της ενεργειακής απαίτησης της Κ.Δ.,
- καθώς επίσης και η συγκριτική κάλυψη της ενεργειακής απαίτησης της Κ.Δ. απο την αντλία θερμότητας .



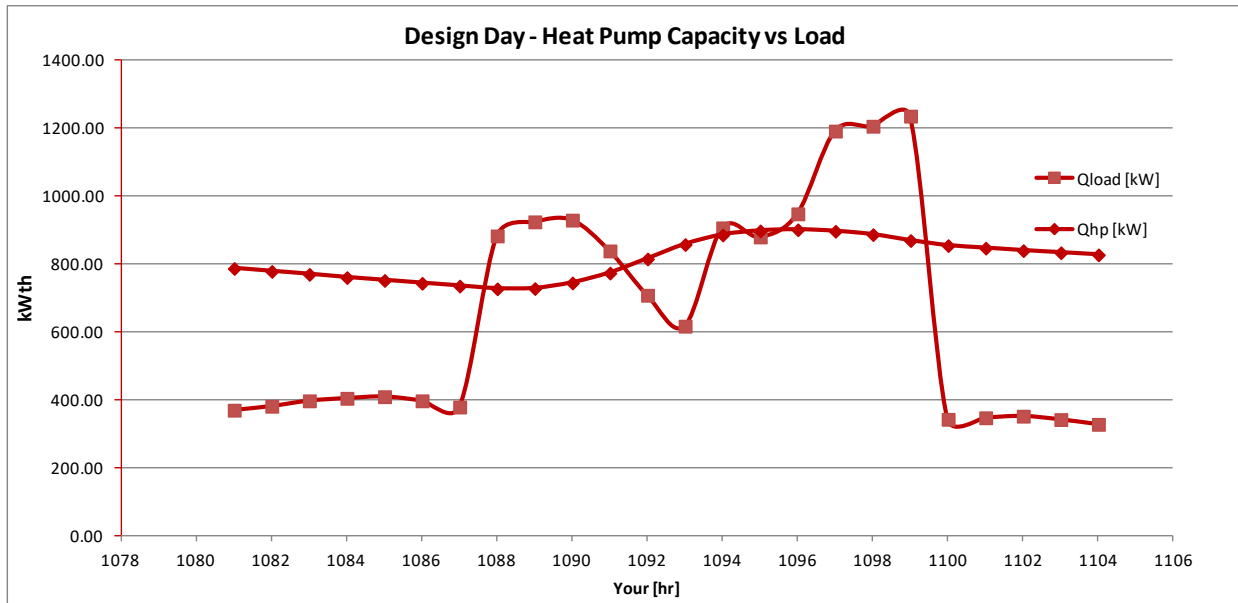
Εικόνα 34: Μεταβολή θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας κατά την ημέρα σχεδιασμού (15-2)



Εικόνα 35: Μεταβολή Θερμικής Ισχύος Αντλίας Θερμότητας - Ημέρα Σχεδιασμού



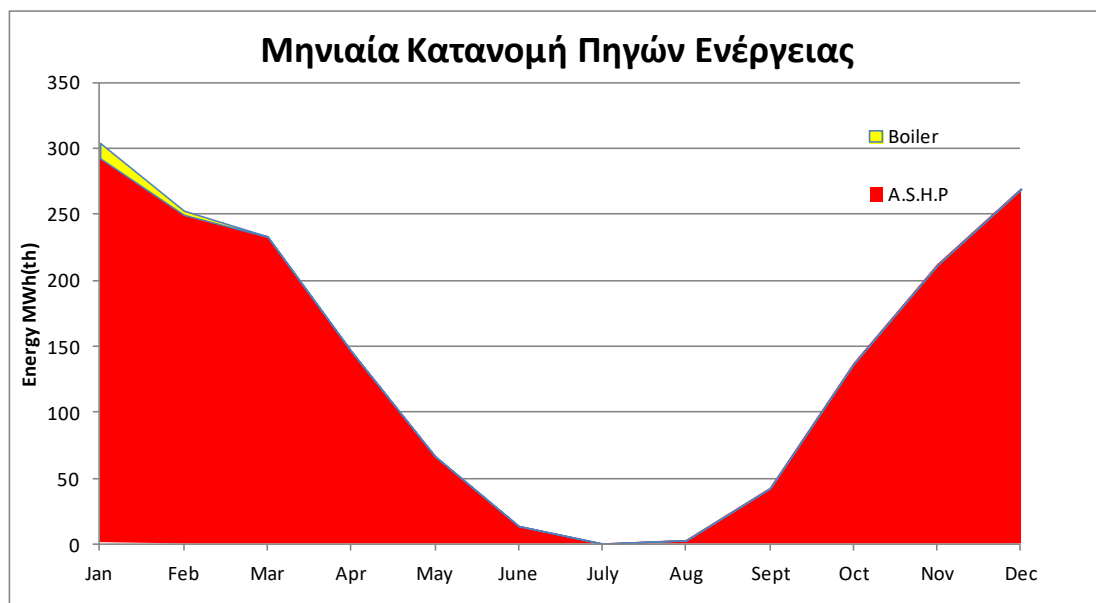
Εικόνα 36: Μεταβολή COP αντλίας θερμότητας - Ημέρα Σχεδιασμού



Εικόνα 37: Ημερήσιο προφίλ κάλυψης φορτίων Κ.Δ. από την Αντλία Θερμότητας

Τα ενδεικτικά αυτά αποτελέσματα σε ωριαίο επίπεδο για την ημέρα σχεδιασμού, υπολογίζονται για όλη τη διάρκεια του έτους.

Εφαρμόζοντας την άνω μεθοδολογία για όλη τη διάρκεια του έτους, προκύπτει ότι η Κ.Δ. θα θερμαίνεται κατά 99% από την αντλία θερμότητας, ενώ μόλις το 1% των απωλειών, θα καλύπτεται από το πετρέλαιο (εικόνα 41- πίνακας 7).



Εικόνα 38:Μηνιαία κατανομή πηγών ενέργειας.

Πίνακας 7 Ποσοστιαία Κατανομή πηγών ενέργειας στην Κάλυψη των απωλειών της Κ.Δ.

Μήνας	Μηνιαίες Απώλειες MWh(th)	Κατανομή Πηγών Ενέργειας Στην Κάλυψη της Κ.Δ.			
		Αντλία Θερμότητας		Λέβητας Πετρελαίου	
	MWh(th)	MWh(th)	%	MWh(th)	%
Ιαν	303.3	291.8	96.2	11.6	3.8
Φεβρ	253.0	249.8	98.7	3.2	1.3
Μαρ	233.4	233.1	99.9	0.3	0.1
Απρ	146.2	146.2	100.0	0.0	0.0
Μάιος	66.5	66.5	100.0	0.0	0.0
Ιούν	13.5	13.5	100.0	0.0	0.0
Ιούλ	0.1	0.1	100.0	0.0	0.0
Αυγ	2.7	2.7	100.0	0.0	0.0
Σεμπ	42.1	42.1	100.0	0.0	0.0
Οκτ	136.7	136.7	100.0	0.0	0.0
Νοεμ	211.8	211.7	99.9	0.1	0.1
Δεκ	269.8	269.2	99.8	0.6	0.2
Συν	1679.1	1663.3	99.1	15.8	0.9

3.3.2. Ενεργειακές Καταναλώσεις

Η κατανομή αυτή των πηγών ενέργειας, όπως παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο, οδηγεί σε σημαντική μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του συστήματος.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος, η οποία οφείλεται στη λειτουργία της αντλίας θερμότητας και των αντλιών κυκλοφορίας.

Πίνακας 8: Μηνιαίες Καταναλώσεις Καυσίμων

	Ηλεκτρικές Καταναλώσεις- Βαθμός Απόδοσης					Κατανάλωση Καυσίμου		
	A.Θ.	Αντλίες Κυκλοφορίας	Σύνολο	COP A.Θ.	Μέσος COP Συστήματος	Καυστήρας (ώρες λειτουργίας)	Ηλεκτρική Ενέργεια Αντλιών	Λίτρα
Μήνας	MWh(el)	MWh(el)	MWh(el)			hr	MWhel	lt fuel
Ιαν	73.8	17.5	91.3	4.0	3.2	8.6	0.1	1212.2
Φεβρ	63.3	15.0	78.3	3.9	3.2	2.4	0.0	332.6
Μαρ	56.4	13.4	69.8	4.1	3.3	0.2	0.0	29.0
Απρ	33.1	7.9	41.0	4.4	3.6	0.0	0.0	0.0
Μάιος	14.0	3.3	17.3	4.8	3.8	0.0	0.0	0.0
Ιούν	2.7	0.6	3.4	4.9	4.0	0.0	0.0	0.0
Ιούλ	0.0	0.0	0.0	5.6	4.6	0.0	0.0	0.0
Αυγ	0.5	0.1	0.6	5.4	4.3	0.0	0.0	0.0
Σεμπ	8.2	2.0	10.2	5.1	4.1	0.0	0.0	0.0
Οκτ	28.6	6.8	35.3	4.8	3.9	0.0	0.0	0.0
Νοεμ	48.0	11.4	59.4	4.4	3.6	0.1	0.0	13.4
Δεκ	65.3	15.5	80.8	4.1	3.3	0.5	0.0	65.3
Συν	394.0	93.5	487.5	4.2	3.4	11.7	0.1	1652.6

Υπολογίζεται ότι η αντλία θερμότητας θα καταναλώνει περίπου 394 MWhel ενώ για την λειτουργία των αντλιών απαιτούνται περίπου 93 MWh (το 25% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας).

Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας κινείται σε υψηλά επίπεδα, εξασφαλίζοντας έναν μέσο ετήσιο βαθμό απόδοσης περίπου 4,2. Αν συνυπολογιστεί η κατανάλωση ενέργειας από τις αντλίες τότε ο βαθμός απόδοσης μειώνεται σε μέση ετήσια τιμή SCOP = 3.4 (πίνακας 8).

Αντίστοιχα η κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης περιορίζεται σε 1652lt ετησίως, η οποία αφορά κυρίως την αρχική θέρμανση της Κ.Δ. και μια μικρή συμμετοχή στην κάλυψη των μέγιστων φορτίων που παρουσιάζονται στο έτος.

3.3.3. Πρωτογενής Ενέργεια- Εκπομπές CO2

Συγκρίνοντας την συνολική ενεργειακή κατανάλωση του προτεινόμενου συστήματος, έναντι του υφιστάμενου (σενάριο 3- παράγραφος 2.3.3.), στην βάση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, προκύπτει μια ετήσια μείωση περίπου 420 MWh.

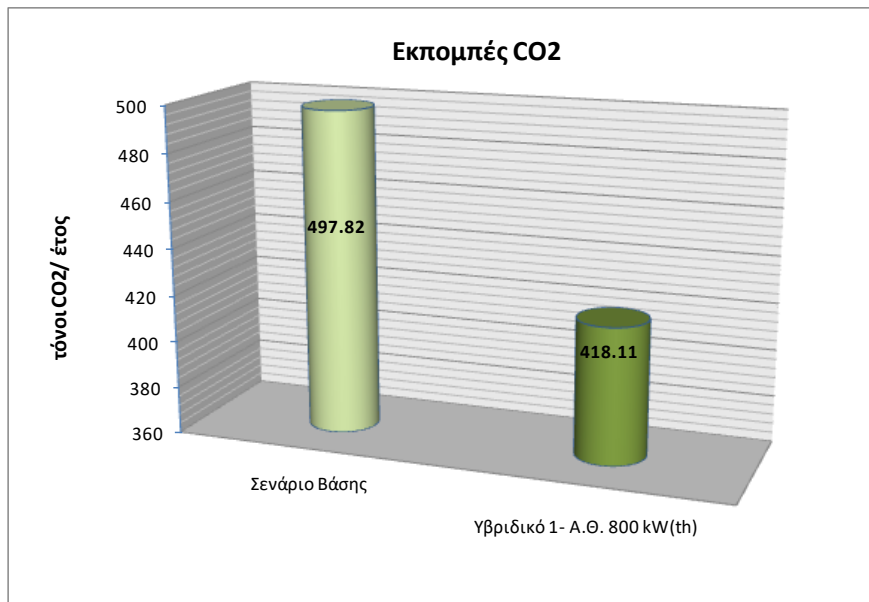
Η μείωση αυτή της πρωτογενούς ενέργειας, οφείλεται στον υψηλό βαθμό απόδοσης που επιτυγχάνεται με τη χρήση της αντλίας θερμότητας καθόλη τη διάρκεια του έτους.

Αντίστοιχα οι Εκπομπές CO2 μειώνονται κατά περίπου 80 τόνους/ έτος, αναδεικνύοντας το σοβαρό περιβαλλοντικό όφελος εγκατάστασης του συστήματος.

Πίνακας 9: Πρωτογενής Ενέργεια και εκπομπές CO2.

	Βασικό Σενάριο 3	Υβριδικό Σενάριο 1 – Α.Θ.
Κατανάλωση Πετρελαίου MWhth	1681.8	15.8
Κατανάλωση Ηλ. Ενέργειας (MWhel)	0	487.5
Εκπομπές CO2	497.82	418.11
πρωτογενής ενέργειας (MWh)*	1850.00	1431.23

*Συντελεστής μετατροπής 296gr/kWhth για πετρέλαιο 848 gr/kWhel αντλία θερμότητας (πηγή: Δείκτες εκπομπών ανά τύπο καυσίμου και τεχνολογία θέρμανσης, ΕΜΠ, 2013)



Εικόνα 39: Μείωση των εκπομπών CO2.

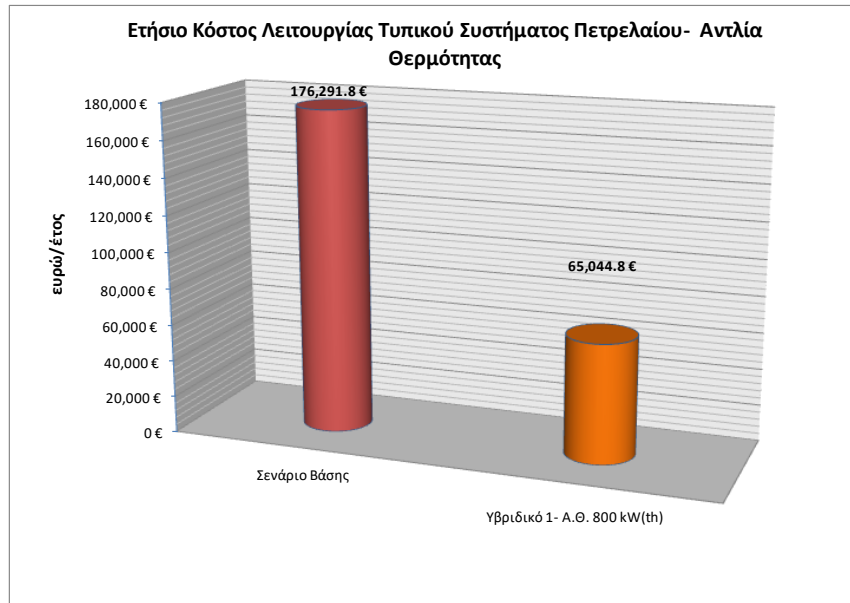
3.3.4. Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος- Απόσβεση

Σύμφωνα με τους αναλυτικούς υπολογισμούς οι οποίοι παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, χρησιμοποιώντας την αντλία θερμότητας επιτυγχάνεται ένα μέσω ετήσιο λειτουργικό κόστος περίπου 65.000 ευρώ (Πίνακας 10).

Συγκρινόμενο το κόστος αυτό, με το αρχικό κόστος θέρμανσης του σεναρίου 3 το οποίο ανέρχεται σε 176.291 ευρώ, προκύπτει μια εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους περίπου 110 χιλιάδων ευρώ, η οποία οφείλεται κατά κύριο λόγο στην χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, έναντι του καυσίμου πετρελαίου.

Πίνακας 10: Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος Θέρμανσης Κολυμβητικής Δεξαμενής- Χρήση Αντλίας Θερμότητας Αέρος

	Λειτουργικό Κόστος		
	Ηλεκτρισμός	Καύσιμο	Σύνολο
Μήνας	€	€	€
Ιαν	11880.6	1212.2	13092.8
Φεβρ	10179.4	332.6	10512.0
Μαρ	9072.1	29.0	9101.2
Απρ	5331.6	0.0	5331.6
Μάιος	2253.0	0.0	2253.0
Ιούν	438.8	0.0	438.8
Ιούλ	4.2	0.0	4.2
Αυγ	81.3	0.0	81.3
Σεπτ	1326.0	0.0	1326.0
Οκτ	4595.1	0.0	4595.1
Νοεμ	7720.3	13.4	7733.7
Δεκ	10509.9	65.3	10575.2
Συν	63392.2	1652.6	65044.8



Εικόνα 40: Συγκριτικό κόστος Θέρμανσης

Εκτιμώντας το κόστος εγκατάστασης του όλου συστήματος σε περίπου 420.000 ευρώ, προκύπτει απόσβεση της εγκατάστασης σε περίπου 4 έτη.

3.4. Τοποθέτηση Ηλιακών Συλλεκτών- Παραγωγή Ζεστών Νερών Χρήσης

Για κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών στην παραγωγή Ζεστών Νερών Χρήσης, θα εγκατασταθούν ηλιακοί συλλέκτες, στο δώμα του κυλικείου της Κολυμβητικής Δεξαμενής.

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής εξοικονόμησης, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ανάλυσης έργων ΑΠΕ RETScreen International.

Οι παραδοχές οι οποίες πραγματοποιήθηκαν είναι οι εξής:

- Η μέση απαίτηση σε ΖΝΧ εκτιμάτε σε περίπου 2.500lt ημερησίως
- Η θερμοκρασία χρήσης του νερού είναι 48 °C
- Θα τοποθετηθούν 18 συλλέκτες επιφάνειας 2,72 m² (συλλεκτική επιφάνεια 2,5 m²) σε Νοτιοδυτικό προσανατολισμό και σε κλίση 30°.
- Τα μετεωρολογικά δεδομένα που λαμβάνονται υπόψη είναι μέσες μηνιαίες τιμές της περιοχής του ελληνικού (αναλυτικά στο τεύχος υπολογισμού).

Σύμφωνα με τα ως άνω, για την παραγωγή των ζεστών νερών χρήσης, η μέση ετήσια ενεργειακή απαίτηση ανέρχεται σε περίπου 31.9 MWh(th).

Υφιστάμενη Κατάσταση:

Στην υφιστάμενη κατάσταση χρησιμοποιώντας πετρέλαιο θέρμανσης για την παραγωγή των ΖΝΧ, απαιτείται η κατανάλωση περίπου 3547.7 λίτρων πετρελαίου (βαθμός απόδοσης λέβητα 0,8), που με μέση τιμή 1,00 ευρώ/lt, αντιστοιχεί σε ετήσιο λειτουργικό κόστος 3.548 ευρώ/ έτος.

Εγκατάσταση Ηλιακών Συλλεκτών

Με την εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών, θα εξασφαλιστεί η αποθήκευση 23,4MWh δωρεάν ηλιακής ενέργειας, που αντιστοιχεί στο 75% περίπου της συνολικής ετήσιας ενεργειακής απαίτησης. Μειώνεται σε ετήσιο επίπεδο η απαίτηση σε πετρέλαιο περίπου στα 952 lt, εξασφαλίζοντας ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας η οποία ανέρχεται σε 2.600 ευρώ/ έτος.

Με την εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών μειώνονται οι εκπομπές CO₂ κατά περίπου 7,6 τόνους.

Εκτιμώντας το κόστος κατασκευής των ηλιακών σε 11.000 ευρώ, υπολογίζεται ότι το σύστημα θα αποσβέσει σε περίπου 4 έτη.

Τα αναλυτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στο τεύχος υπολογισμών της παρούσας μελέτης.

Κεφ 4. Σύνοψη - Συμπεράσματα

- Η παρούσα ενεργειακή μελέτη εξετάζει το ενεργειακό μοντέλο της Κολυμβητικής Δεξαμενής Ολυμπιακών Διαστάσεων του Δημοτικού Κολυμβητηρίου Μαραθώνα
- Στόχος της είναι η εφαρμογή των βέλτιστων μέτρων και τεχνικών που **θα εξασφαλίζουν την ενεργειακά αποδοτική, περιβαλλοντικά καθαρή και οικονομικά βιώσιμη λειτουργία του Δημοτικού Κολυμβητηρίου Μαραθώνα.**
- Για την επίτευξη αυτού του στόχου πραγματοποιήθηκε ωριαία προσομοίωση ετήσιας λειτουργίας της κολυμβητικής δεξαμενής και εξετάστηκαν:
 - Η εφαρμογή μέτρων περιορισμού των θερμικών απωλειών της κολυμβητικής δεξαμενής (ανεμοπετάσματα, χρήση ισοθερμικού καλύματος) με σκοπό την ελαχιστοποίηση της ενεργειακής ζήτησης και
 - Η ενεργειακή απόδοση ενός **βελτιωμένου υβριδικού συστήματος θέρμανσης και παραγωγής ZNX**, το οποίο στηρίζεται στη χρήση τετρασωλήνιας αντλίας θερμότητας και εξασφαλίζει την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων για τη θέρμανση της κολυμβητικής δεξαμενής.
- Η αρχική ενεργειακή ζήτηση της Κολυμβητικής Δεξαμενής ανέρχεται σε 3.372MWh(th) ή σε 3.372 kWh/m² θερμαινόμενης επιφάνειας. Το ενεργειακό λειτουργικό κόστος ανέρχεται σε 337.200 ευρώ.
- Με τη χρήση του ισοθερμικού καλύματος κατά τις ώρες που δεν λειτουργεί η Κ.Δ. επιτυγχάνεται μείωση κατά 33% των ενεργειακών απαιτήσεων, οδηγώντας σε αντίστοιχη μείωση του κόστους λειτουργίας.
- Με την τοποθέτηση περιμετρικά της κολυμβητικής δεξαμενής ανεμοπετασμάτων τα οποία μειώνουν την ταχύτητα του ανέμου και ως εκ τούτου τις απώλειες εξάτμισης,

επιτυγχάνεται εκ νέου μείωση κατά 560MWhth, της ενεργειακής απαίτησης της κολυμβητικής δεξαμενής. Η τελική ενεργειακή ζήτηση της Κ.Δ. ανέρχεται σε 1681 kWh/m² θερμαινόμενης επιφάνειας. Το ενεργειακό λειτουργικό κόστος ανέρχεται σε περίπου 176.000 ευρώ, μειωμένο κατά 50% του αρχικού, ενώ μειώνεται αντίστοιχα κατά 500 περίπου τόνους οι ετήσιες εκπομπές CO₂.

- Η αντικατάσταση του συστήματος θέρμανσης της κολυμβητικής δεξαμενής, με το προτεινόμενο από την μελέτη ενεργειακά βελτιωμένο υβριδικό σύστημα θέρμανσης με τετρασωλήνια αντλία θερμότητας 800kW, εξασφαλίζει:
 - Την μείωση της πρωτογενούς ενέργειας κατά περίπου 418 MWh/ έτος
 - Τη μείωση της εκπομπής CO₂ κατά 79 τόνους/ έτος
 - Την μείωση του λειτουργικού κόστους σε περίπου 65.000 ευρώ/ έτος.
- Με την εγκατάσταση του εν λόγω συστήματος, δίδεται η δυνατότητα μελλοντικά να καλυφθούν πρόσθετα ψυκτικά φορτία στην ευρύτερη περιοχή του πολιτιστικού πάρκο, τα οποία θα καλύπτονται με εξαιρετικά μικρό κόστος, καθώς θα χρησιμοποιούν την τεχνολογία της τετρασωλήνιας αντλίας θερμότητας.
- Με τη χρήση ηλιακών συλλεκτών για τη θέρμανση του Νερού Χρήσης, επιτυγχάνεται αντίστοιχα μείωση κατά 23,4MWh /έτος θερμικής ενέργειας (αντίστοιχα 25.7 MWh πρωτογενούς ενέργειας), που οδηγεί σε μείωση εκπομπών CO₂ κατά 7,2 τόνους/ έτος και λειτουργικό κόστος κατά 2.600 ευρώ.
- Συνολικά τόσο με τη χρήση των μέτρων ενεργειακής εξοικονόμησης όσο και την εγκατάσταση του ενεργειακά βελτιωμένου υβριδικού συστήματος, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση του λειτουργικού κόστους, εξασφαλίζοντας τη βιώσιμη λειτουργία του κολυμβητηρίου.

ΕΛΕΓΘΗΚΕ

Ο ΜΕΛΕΤΗΤΗΣ

Μαραθώνας 23/11/2016

ΘΕΩΡΗΘΗΚΕ

Μαραθώνας 23/11/2016

Ο Προϊστ. Δ/σης Τεχνικών Υπηρεσιών

Βενιέρης Στέλιος

Μηχανολόγος Μηχανικός Π.Ε.

Παναγιώτης Ηλίας

Μηχανολόγος Μηχανικός Τ.Ε.

Τσαγγιώτης Μιχάλης

Αρχιτέκτων Μηχανικός Π.Ε.