

Ενεργειακή Αναβάθμιση ξενοδοχειακής μονάδας Creta Maris



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**  
**HELLENIC MEDITERRANEAN UNIVERSITY**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Ενεργειακή αναβάθμιση ξενοδοχειακής μονάδας Creta Maris

**Εισηγητής:** Καθ. Κατσαπρακάκης Δημήτριος

**Επιμέλεια εργασίας:** Καλούμενος Γιώργος

**A.M.:** 5689

## ***Πνευματικά δικαιώματα***

Copyright © Καλούμενος Δ. Γεώργιος, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου.

Σε όλους όσοι με στήριξαν και πίστεψαν σε εμένα.

## *Ευχαριστίες*

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού διπλώματος για το τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών το έτος 2019. Η εργασία αυτή είναι το αποτέλεσμα μιας σειράς αλληλεπιδράσεων με διάφορα άτομα, καθένα από τα οποία έπαιξε ένα σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της.

Στο σημείο αυτό αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ειλικρινείς και θερμές ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω κυρίως τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας μου, κύριο Κατσαπρακάκη Δημήτριο για τη συνεχή καθοδήγηση, τις ουσιώδεις συμβουλές του και την αδιάκοπη συμπαράσταση και ενθάρρυνση που μου παρείχε σε όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους τους ανθρώπους, καθηγητές και φοιτητές, που κατά τη διάρκεια των σπουδών μου με βοήθησαν να ξεπεράσω τον εαυτό μου, που με έμαθαν να κοιτάω πάντα μπροστά και να αναζητάω πάντα την εξέλιξη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριξε σε όλες μου τις επιλογές καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών.

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	8
Abstract.....	8
Πρόλογος.....	9
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> .....	10
1.1. Το ξενοδοχειακό συγκρότημα του Creta Maris .....	10
1.1.1. Γενικά στοιχεία και γεωγραφική θέση .....	10
1.2. Οι καταναλώσεις στο ξενοδοχείο .....	11
1.2.1. Υπολογισμός πληρότητας.....	11
1.2.2. Υπολογισμός καταναλώσεων.....	16
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> .....	19
2.1. Η γεωθερμική ενέργεια.....	19
2.1.1. Προέλευση και ιστορικό .....	19
2.1.2. Η γεωθερμική βαθμίδα.....	20
2.1.3. Γεωθερμικά πεδία και μορφές ενέργειας .....	21
2.2. Η αβαθής γεωθερμία.....	21
2.2.1. Αβαθής γεωθερμική ενέργεια .....	21
2.2.2. Τα είδη συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας .....	23
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> .....	25
3.1. Αρχή λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας .....	25
3.1.1. Εισαγωγή.....	25
3.1.2. Ψυκτικός κύκλος συμπίεσης ατμού .....	25
3.1.3. Προδιαγραφές Α.Θ. και βαθμός απόδοσης .....	26
3.1.4. Βασικές κατηγορίες Α.Θ. ....	28
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> .....	29
4.1. Ο σχεδιασμός του γεωθερμικού συστήματος .....	29
4.1.1. Εισαγωγή.....	29
4.2. Η διαστασιολόγηση του γεωθερμικού συστήματος .....	29
4.2.1. Η θεωρητική προσέγγιση.....	29
4.2.2. Οι υπολογισμοί για το ξενοδοχείο .....	31
4.2.3. Επιλογή διαμέτρου σωλήνωσης εναλλάκτη .....	34
4.2.4. Υπολογισμός του απαιτούμενου συνολικού μήκους .....	35
4.2.5. Υπολογισμός απωλειών.....	41
4.2.6. Υπολογισμός δοχείου διαστολής .....	42

4.3. Τεχνοοικονομική ανάλυση καθέτου γεωθερμικού εναλλάκτη .....	46
4.3.1. Εισαγωγή.....	46
4.3.2. Οικονομικά στοιχεία .....	46
Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> .....	50
5.1. Σύστημα γεωθερμίας ανοιχτού βρόχου .....	50
5.1.1. Εισαγωγή.....	50
5.1.2. Διαστασιολόγηση γεωθερμίας ανοιχτού βρόχου .....	51
5.1.3. Επιλογή διαμέτρου σωλήνωσης.....	51
5.1.4. Υπολογισμός απωλειών .....	53
5.1.5. Υπολογισμός δοχείου διαστολής.....	55
5.2. Τεχνοοικονομική ανάλυση γεωθερμίας ανοιχτού βρόχου .....	56
5.2.1. Οικονομικά στοιχεία .....	56
5.3. Σύγκριση μεταξύ κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη και γεωθερμίας ανοιχτού κυκλώματος .....	59
5.3.1. Οικονομικά στοιχεία .....	59
Κεφάλαιο 6 <sup>ο</sup> .....	60
6.1. Ηλιακή γεωμετρία .....	60
6.1.1. Ιστορική αναδρομή.....	60
6.1.2. Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας .....	60
6.1.3. Απόκλιση ηλίου .....	61
6.1.4. Ηλιακοί χρόνοι ανατολής και δύσης.....	61
6.1.5. Εξίσωση χρόνου.....	62
6.1.6. Ηλιακή ακτινοβολία έξω από την ατμόσφαιρα .....	63
6.1.7. Απόκλιση ηλίου για ένα έτος.....	63
6.1.8. Γωνία πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια.....	64
6.1.9. Ηλιακό ύψος .....	67
6.1.10. Ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνεια υπό κλίση .....	68
6.1.11. Συμπεράσματα.....	71
6.2. Οι βασικές αρχές στα φωτοβολταϊκά συστήματα .....	71
6.2.1. Εισαγωγή.....	71
6.2.2. Βασική μορφή ενός Φ/Β συστήματος .....	72
6.2.3. Χαρακτηριστικά Φ/Β συστημάτων.....	73
6.2.4. Η σχεδίαση του φωτοβολταϊκού συστήματος.....	73
6.2.5. Η επιλογή των φωτοβολταϊκών πάνελ .....	74
6.2.6. Υπολογισμοί για κάθε μήνα του έτους .....	79
6.2.7. Υπολογισμοί για κάθε ώρα του έτους .....	83

Κεφάλαιο 7° .....	86
7.1. Τεχνοοικονομική μελέτη Φ/Β πάρκου .....	86
7.1.1. Εισαγωγή.....	86
7.1.2. Οι λειτουργικές δαπάνες και τα κέρδη προ αποσβέσεων και φόρων .....	88
7.1.3. Καθαρές ταμειακές ροές.....	89
7.1.4. Καθαρά Παρούσα Αξία .....	91
Κεφάλαιο 8° .....	95
8.1. Συμπεράσματα .....	95
8.1.1. Εισαγωγή.....	95
8.1.2. Προεκτάσεις μελέτης .....	96
Βιβλιογραφία .....	97

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αξιολογηθούν οι δυνατότητες που υπάρχουν ώστε να χρησιμοποιηθούν περιβαλλοντικά φιλικές τεχνικές ενεργειακής αναβάθμισης και διαχείρισης των υδάτινων πόρων για τη λειτουργία του ξενοδοχειακού συγκροτήματος CRETA MARIS που βρίσκεται στο Λιμένα Χερσονήσου Κρήτης.

Αρχικά, γίνεται μια σύντομη περιγραφή των εγκαταστάσεων της ξενοδοχειακής μονάδας και παρατίθεται οι ενεργειακές του απαιτήσεις και καταναλώσεις.

Στη συνέχεια, παρατίθενται οι λύσεις που προκρίνονται τεχνολογικά ώστε να υπολογισθεί το κόστος της ενεργειακής αναβάθμισης του ξενοδοχείου και η σκοπιμότητα της επένδυσης.

Συγκεκριμένα, μελετάται η εφαρμογή ενός κλειστού γεωθερμικού συστήματος με τη λειτουργία μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας αλλά και γεωθερμία ανοιχτού κυκλώματος, περιγράφονται οι αντίστοιχες μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται, διεξάγονται μελέτες διαστασιολόγησης και παράλληλα οι σχετικές τεχνοοικονομικές μελέτες.

Στη συνέχεια, εξετάζεται μέσω της ηλιακής γεωμετρίας, το ηλιακό δυναμικό της περιοχής και η ανάλογη δυνατότητα αξιοποίησής με την εφαρμογή φωτοβολταϊκού πάρκου. Περιγράφεται αναλυτικά η διαστασιολόγηση του φωτοβολταϊκού πάρκου και παρουσιάζονται τα οικονομικά οφέλη της εγκατάστασης του Φ/Β πάρκου μέσω τεχνοοικονομικής μελέτης. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας και παρατίθεται μια σύντομη περιγραφή μελλοντικών προεκτάσεων.

## Abstract

The aim of this thesis is to evaluate the available options with regards to environmentally friendly techniques of energy upgrading and water resources management for the optimal operation of the CRETA MARIS hotel complex located in Limenas Chersonisos, in Crete.

Initially, the hotel's facilities are displayed and a thorough analysis of its energy requirements and consumptions is conducted. Having defined specific, technologically advanced solutions the cost of the hotel's energy upgrading along with the feasibility of the investment are presented.

In particular, the implementation of a closed-loop geothermal system, including a geothermal heat pump in comparison with one of an open-loop system is being studied. The corresponding methodologies are described, the respective design studies are carried out, accompanied by the relevant techno-economic analyses.

Furthermore, the potential of solar energy of the area and the relative utilization capacity via the application of a photovoltaic park are examined. The design of the photovoltaic park is conducted and the economic benefits of the installation are presented through a techno-economic study. Finally, the conclusions of his thesis are presented and future extensions of this study are proposed.



## Πρόλογος

Η προσαρμογή των ξενοδοχείων στο φυσικό περιβάλλον, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η βέλτιστη χρήση των υδάτινων πόρων είναι τρεις από τους άξονες στους οποίους σήμερα ενεργοποιούνται οι ξενοδοχειακές μονάδες χτίζοντας έτσι ένα περιβαλλοντικά φιλικό προφίλ. Παράλληλα, με τον τρόπο αυτό μειώνουν την εξάρτησή τους από φυσικούς πόρους που εξαντλούνται ταχύτατα και εκμεταλλεύονται τις τεχνολογικές εξελίξεις ώστε να έχουν και οικονομικά οφέλη.

Η αβαθής γεωθερμία στηρίζεται στην αξιοποίηση της σταθερότητας της θερμοκρασίας του νερού που βρίσκεται είτε μέσα σε υδάτινες δεξαμενές, υπαίθριες (λίμνες, θάλασσα) ή υπόγειες και από μικρά βάθη με την ανακυκλοφορία νερού στα πρώτα 100 [m] από την επιφάνεια της γης. Σήμερα είναι, η ταχύτερη αναπτυσσόμενη μορφή της γεωθερμικής ενέργειας. Η θερμοκρασίες είναι αντίστοιχες των μέσων ετησίων του αέρα περιβάλλοντος (μικρότερες των 25°C) για όλη τη διάρκεια του έτους. Η αρχή για τη χρήση της αβαθούς γεωθερμίας είναι ότι με τη χρήση ειδικά διαμορφωμένων αντλιών διακινείται (ανακτάται ή απορρίπτεται) ενέργεια για να ρυθμίσει την εσωτερική θερμοκρασία ενός κτιρίου.

Τα Φ/Β συστήματα βασίζονται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, δηλαδή στην άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό, με τη χρήση τεχνολογίας ημιαγωγικών υλικών τα οποία ενεργοποιούνται στο φάσμα του ηλιακού φωτός. Όταν, απαιτείται παραγωγή μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικής ισχύος, χρειάζονται πολλές φωτοβολταϊκές συστοιχίες σχηματίζοντας έτσι ένα φωτοβολταϊκό πάρκο. Είναι προφανές ότι, η αξιολόγηση της σκοπιμότητας είναι τελείως διαφορετική αν πρόκειται για λίγα ή πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία και για τον λόγο αυτό στην εργασία περιοριζόμαστε μόνο στην ανάγκη κάλυψης των ενεργειακών αναγκών ενός μέρους της ενεργειακής ζήτησης.

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

## 1.1. Το ξενοδοχειακό συγκρότημα του Creta Maris

### 1.1.1. Γενικά στοιχεία και γεωγραφική θέση

Η ξενοδοχειακή μονάδα Creta Maris που βρίσκεται στον λιμένα Χερσονήσου του Ηρακλείου Κρήτης είναι ένα από τα πλέον πιο σύγχρονα ξενοδοχειακά συγκροτήματα. Διαθέτει :

- Δωρεάν Ίντερνετ
- Υπηρεσία δωματίου
- Εστιατόριο
- Μπαρ/καφέ
- Συνεδριακό κέντρο
- Αίθουσες συσκέψεων
- Κολυμβητικές δεξαμενές (Εσωτερικές – Εξωτερικές)
- Γυμναστήριο
- Γήπεδο τένις
- Σινεμά
- Spa



**Εικόνα 1:** Πανοραμική εικόνα του ξενοδοχειακού συγκροτήματος Creta Maris (πηγή: [https://www.cretamaris.gr/media/1867/annual\\_report\\_2017\\_gr.pdf](https://www.cretamaris.gr/media/1867/annual_report_2017_gr.pdf))

Ένα ξενοδοχειακό συγκρότημα, τέτοιου βεληνεκούς, όπως είναι λογικό έχει μεγάλες ενεργειακές καταναλώσεις. Στην παρούσα εργασία, θα γίνει μια προσπάθεια να αποτυπωθεί η υφιστάμενη ενεργειακή κατάσταση της ξενοδοχειακής μονάδας και στη συνέχεια να προταθούν μια σειρά από παθητικά και ενεργητικά συστήματα προς την ενεργειακή αναβάθμιση της μονάδας εάν απαιτείται.

## 1.2. Οι καταναλώσεις στο ξενοδοχείο

### 1.2.1. Υπολογισμός πληρότητας

Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε με μια σχετική ακρίβεια τα μεγέθη των εγκαταστάσεων κλιματισμού και τις παροχές νερού που είναι αναγκαίες χρειάζεται να γνωρίσουμε την κατανομή των αφίξεων των τουριστών που επισκέπτονται το ξενοδοχείο κατά την καλοκαιρινή περίοδο που είναι και περίοδος αιχμής. Καθώς, το ενδιαφέρον μας στρέφεται κυρίως στο μεγάλο μέρος του ξενοδοχειακού συγκροτήματος που είναι τα δύο κτίρια, η κεντρική και ανατολική πτέρυγα, αφαιρούμε από το συνολικό δυναμικό του ξενοδοχείου, τον αριθμό των δωματίων που αντιστοιχούν στο συγκρότημα των bungalows και για τον νέο αριθμό θεωρούμε ότι υπάρχει ομοιόμορφη ζήτηση διαχρονικά, δηλαδή όλα τα είδη δωματίων έχουν κάθε μήνα το ίδιο προφίλ καλύψεων.

Τύπος Δωματίου	Αριθμός Δωματίων	Μέγεθος (τ.μ.)
Classic Bungalow	61	27-30
Classic Main Building Room	66	27-30
Deluxe Main Building Room	279	27
Deluxe Bungalow	219	30
Family Room	22	38-73
Classic Suite Sea View	9	50-72
Deluxe Suite Sea View	16	53-74
VIP Suites	4	53-103
Top VIP Suites	3	96-139
Creta Maris Pool Villa	1	160
<b>Σύνολο</b>	<b>680</b>	

**Πίνακας 1:** Στον πίνακα φαίνονται με ακρίβεια ο τύπος, ο αριθμός και το μέγεθος των δωματίων του Creta Maris

(πηγή: <https://www.cretamaris.gr/gr/green-cretan-all-inclusive-crete-hotel/sustainability-report>)

Διαπιστώνουμε ότι υπάρχουν 280 διακριτά bungalows που έχουν ένα συνολικό αριθμό 106 δωματίων. Επομένως, το κυρίως κτίριο έχει ένα διαθέσιμο αριθμό:

$$680 - 280 = 400 \text{ δωμάτια.}$$

Μέσω της ετήσιας αναφοράς βιωσιμότητας, που το ξενοδοχείο έχει αναρτημένη στην κεντρική σελίδα της στο διαδίκτυο, βρέθηκαν τα στοιχεία για τις ατομοδιανυκτερεύσεις κατά την περίοδο λειτουργίας του για τα έτη 2013 – 2017.

Με τα στοιχεία αυτά μπορούμε να υπολογίσουμε τις ατομοδιανυκτερεύσεις για το κεντρικό κτίριο του Creta Maris, την κάλυψη των δωματίων με άτομα για κάθε βραδιά και τέλος τον βαθμό πληρότητας.

Ενεργειακή Αναβάθμιση ξενοδοχειακής μονάδας Creta Maris

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι ατομοδιανυκτερεύσεις για κάθε μήνα του ξενοδοχείου:

2013		2014	
Μήνας	Ατομοδιανυκτερεύσεις	Μήνας	Ατομοδιανυκτερεύσεις
Ιανουάριος	0	Ιανουάριος	0
Φεβρουάριος	0	Φεβρουάριος	0
Μάρτιος	0	Μάρτιος	0
Απρίλιος	2000	Απρίλιος	9000
Μάιος	35000	Μάιος	25000
Ιούνιος	45000	Ιούνιος	35000
Ιούλιος	48000	Ιούλιος	46000
Αύγουστος	50000	Αύγουστος	49000
Σεπτέμβριος	40000	Σεπτέμβριος	38000
Οκτώβριος	11000	Οκτώβριος	17000
Νοέμβριος	0	Νοέμβριος	0
Δεκέμβριος	0	Δεκέμβριος	0
<b>Σύνολο</b>	<b>231000</b>	<b>Σύνολο</b>	<b>219000</b>

**Πίνακας 2:** Στον πίνακα φαίνονται οι ατομοδιανυκτερεύσεις για ενδεικτικά έτη.  
(πηγή: <https://www.cretamaris.gr/gr/green-cretan-all-inclusive-crete-hotel/sustainability-report>)

2015		2016	
Μήνας	Ατομοδιανυκτερεύσεις	Μήνας	Ατομοδιανυκτερεύσεις
Ιανουάριος	0	Ιανουάριος	0
Φεβρουάριος	0	Φεβρουάριος	0
Μάρτιος	1000	Μάρτιος	800
Απρίλιος	8000	Απρίλιος	8700
Μάιος	26000	Μάιος	31000
Ιούνιος	32000	Ιούνιος	38000
Ιούλιος	43000	Ιούλιος	53000
Αύγουστος	51000	Αύγουστος	64000
Σεπτέμβριος	39500	Σεπτέμβριος	44000
Οκτώβριος	17000	Οκτώβριος	24000
Νοέμβριος	0	Νοέμβριος	0
Δεκέμβριος	0	Δεκέμβριος	0
<b>Σύνολο</b>	<b>217500</b>	<b>Σύνολο</b>	<b>263500</b>

**Πίνακας 3:** Στον πίνακα φαίνονται οι ατομοδιανυκτερεύσεις για ενδεικτικά έτη.  
(πηγή: <https://www.cretamaris.gr/gr/green-cretan-all-inclusive-crete-hotel/sustainability-report>)

2017	
Μήνας	Ατομοδιανυκτερεύσεις
Ιανουάριος	0
Φεβρουάριος	0
Μάρτιος	1500
Απρίλιος	9000
Μάιος	35000
Ιούνιος	44000
Ιούλιος	55000
Αύγουστος	64000
Σεπτέμβριος	51000
Οκτώβριος	24000
Νοέμβριος	0
Δεκέμβριος	0
<b>Σύνολο</b>	<b>283500</b>

**Πίνακας 4:** Στον πίνακα φαίνονται οι ατομοδιανυκτερεύσεις για ενδεικτικά έτη.  
(πηγή: <https://www.cretamaris.gr/gr/green-cretan-all-inclusive-crete-hotel/sustainability-report>)

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι ατομοδιανυκτερεύσεις για το κεντρικό κτίριο του Creta Maris.

2013		2014	
Μήνας	Ατομοδιανυκτερεύσεις	Μήνας	Ατομοδιανυκτερεύσεις
Ιανουάριος	0	Ιανουάριος	0
Φεβρουάριος	0	Φεβρουάριος	0
Μάρτιος	0	Μάρτιος	0
Απρίλιος	1.176	Απρίλιος	5.294
Μάιος	20.588	Μάιος	14.706
Ιούνιος	26.471	Ιούνιος	20.588
Ιούλιος	28.235	Ιούλιος	27.059
Αύγουστος	29.412	Αύγουστος	28.824
Σεπτέμβριος	23.529	Σεπτέμβριος	22.353
Οκτώβριος	6.471	Οκτώβριος	10.000
Νοέμβριος	0	Νοέμβριος	0
Δεκέμβριος	0	Δεκέμβριος	0
<b>Σύνολο</b>	<b>135.882</b>	<b>Σύνολο</b>	<b>128.824</b>

**Πίνακας 5:** Στον πίνακα φαίνονται οι ατομοδιανυκτερεύσεις στο κεντρικό κτίριο του Creta Maris για ενδεικτικά έτη.

2015		2016	
Μήνας	Ατομοδιανυκτερεύσεις	Μήνας	Ατομοδιανυκτερεύσεις
Ιανουάριος	0	Ιανουάριος	0
Φεβρουάριος	0	Φεβρουάριος	0
Μάρτιος	588	Μάρτιος	471
Απρίλιος	4.706	Απρίλιος	5.118
Μάιος	15.294	Μάιος	18.235
Ιούνιος	18.824	Ιούνιος	22.353
Ιούλιος	25.294	Ιούλιος	31.176
Αύγουστος	30.000	Αύγουστος	37.647
Σεπτέμβριος	23.235	Σεπτέμβριος	25.882
Οκτώβριος	10.000	Οκτώβριος	14.118
Νοέμβριος	0	Νοέμβριος	0
Δεκέμβριος	0	Δεκέμβριος	0
<b>Σύνολο</b>	<b>127.941</b>	<b>Σύνολο</b>	<b>155.000</b>

**Πίνακας 6:** Στον πίνακα φαίνονται οι ατομοδιανυκτερεύσεις στο κεντρικό κτίριο του Creta Maris για ενδεικτικά έτη.

2017	
Μήνας	Ατομοδιανυκτερεύσεις
Ιανουάριος	0
Φεβρουάριος	0
Μάρτιος	882
Απρίλιος	5.294
Μάιος	20.588
Ιούνιος	25.882
Ιούλιος	32.353
Αύγουστος	37.647
Σεπτέμβριος	30.000
Οκτώβριος	14.118
Νοέμβριος	0
Δεκέμβριος	0
<b>Σύνολο</b>	<b>166.765</b>

**Πίνακας 7:** Στον πίνακα φαίνονται οι ατομοδιανυκτερεύσεις στο κεντρικό κτίριο του Creta Maris για ενδεικτικά έτη.

Θεωρούμε ότι ο μέσος όρος παραμονής είναι 7 ημέρες. Έτσι, προκύπτει η κάλυψη των δωματίων με άτομα για κάθε βραδιά όπως φαίνεται στους παρακάτω πίνακες.

<b>Άτομα ανά δωμάτιο</b>			
	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>Μάρτιος</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Απρίλιος</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Μάιος</b>	0,00	0,00	10,29
<b>Ιούνιος</b>	20,59	92,65	82,35
<b>Ιούλιος</b>	360,29	257,35	267,65
<b>Αύγουστος</b>	463,24	360,29	329,41
<b>Σεπτέμβριος</b>	494,12	473,53	442,65
<b>Οκτώβριος</b>	514,71	504,41	525,00

**Πίνακας 8:** Στον πίνακα φαίνονται οι ατομοδιανυκτερεύσεις ανά δωμάτιο στο κεντρικό κτίριο του Creta Maris για ενδεικτικά έτη.

<b>Άτομα ανά δωμάτιο</b>		
	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>Μάρτιος</b>	0,00	0,00
<b>Απρίλιος</b>	0,00	0,00
<b>Μάιος</b>	8,24	15,44
<b>Ιούνιος</b>	89,56	92,65
<b>Ιούλιος</b>	319,12	360,29
<b>Αύγουστος</b>	391,18	452,94
<b>Σεπτέμβριος</b>	545,59	566,18
<b>Οκτώβριος</b>	658,82	658,82

**Πίνακας 9:** Στον πίνακα φαίνονται οι ατομοδιανυκτερεύσεις ανά δωμάτιο στο κεντρικό κτίριο του Creta Maris για ενδεικτικά έτη.

Επομένως, με βάση τα παραπάνω στοιχεία υπολογίζεται ο βαθμός πληρότητας του ξενοδοχείου για κάθε μήνα του εκάστοτε έτους όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

<b>Βαθμός πληρότητας</b>					
	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>Μάρτιος</b>	0,000	0,000	0,015	0,012	0,023
<b>Απρίλιος</b>	0,031	0,138	0,123	0,133	0,138
<b>Μάιος</b>	0,536	0,383	0,398	0,475	0,536
<b>Ιούνιος</b>	0,689	0,536	0,490	0,582	0,674
<b>Ιούλιος</b>	0,735	0,705	0,659	0,812	0,843
<b>Αύγουστος</b>	0,766	0,751	0,781	0,980	0,980
<b>Σεπτέμβριος</b>	0,613	0,582	0,605	0,674	0,781
<b>Οκτώβριος</b>	0,169	0,260	0,260	0,368	0,368

**Πίνακας 10:** Στον πίνακα φαίνεται ο βαθμός πληρότητας ανά δωμάτιο στο κεντρικό κτίριο του Creta Maris για ενδεικτικά έτη.

### 1.2.2. Υπολογισμός καταναλώσεων

Για τους άλλους μήνες δεν υπάρχουν επισκέπτες και επομένως διατηρούμε τις μέσες καταναλώσεις που υπήρχαν και τα υπόλοιπα χρόνια που αφορούν καταναλώσεις σε βοηθητικούς και κοινόχρηστους χώρους.

<b>Ενεργειακή Κατανάλωση Creta Maris [kWh]</b>	
<b>Ιανουάριος</b>	31.025
<b>Φεβρουάριος</b>	34.413
<b>Μάρτιος</b>	120.186
<b>Απρίλιος</b>	175.504
<b>Μάιος</b>	334.795
<b>Ιούνιος</b>	406.181
<b>Ιούλιος</b>	492.954
<b>Αύγουστος</b>	559.483
<b>Σεπτέμβριος</b>	21.454
<b>Οκτώβριος</b>	0
<b>Νοέμβριος</b>	0
<b>Δεκέμβριος</b>	0
<b>Σύνολο</b>	2.154.541

**Πίνακας 11:** Στον πίνακα φαίνεται η ενεργειακή κατανάλωση του Creta Maris.

Τα ιστορικά στοιχεία του έτους 2014, για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το συγκρότημα, δίνουν στους μήνες εκτός περιόδου λειτουργίας :

<b>Ενεργειακή Κατανάλωση Creta Maris [kWh]</b>	
<b>Ιανουάριος</b>	31.025
<b>Φεβρουάριος</b>	34.413
<b>Μάρτιος</b>	120.186
<b>Σεπτέμβριος</b>	21.454
<b>Οκτώβριος</b>	0
<b>Νοέμβριος</b>	0
<b>Δεκέμβριος</b>	0
<b>Σύνολο</b>	207.078

**Πίνακας 12:** Στον πίνακα φαίνεται η ενεργειακή κατανάλωση του Creta Maris για τους μήνες εκτός της περιόδου λειτουργίας.

Αφαιρώντας το σύνολο της καταναλισκόμενης ενέργειας όλου του έτους από την ενέργεια της περιόδου που το ξενοδοχείο είναι εκτός λειτουργίας θα υπολογισθεί όπως είναι επόμενο η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την περίοδο λειτουργίας:

$$2.154.541 - 207.078 = 1.968.917 [kWh]$$



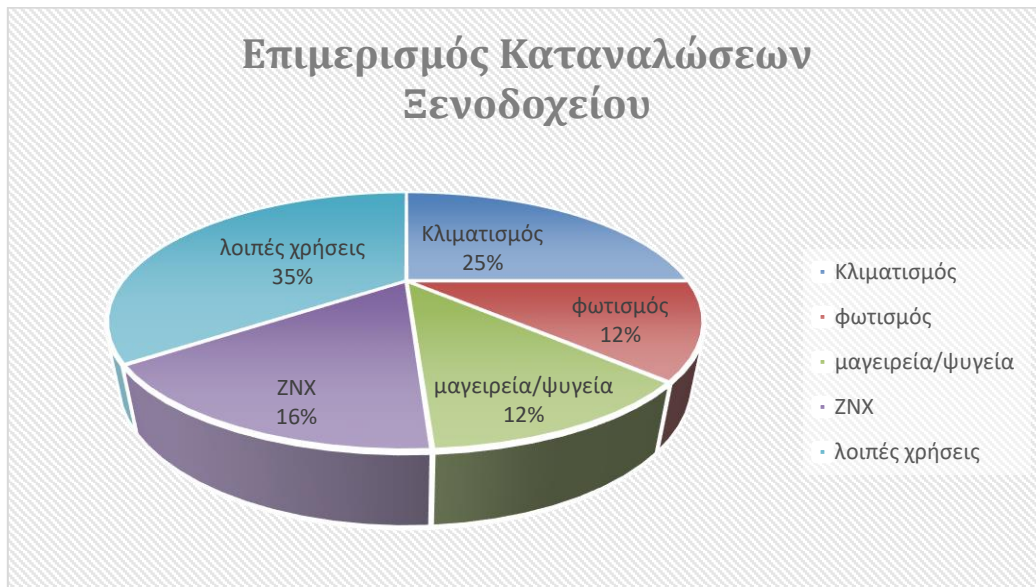
Από την βιβλιογραφία ΕΡΕΔΕΛΟΤ, 2014 βρίσκουμε για τις καταναλώσεις ενέργειας στην κατηγορία ξενοδοχειακών μονάδων 5 αστέρων του δήμου Χερσονήσου μια τιμή για τον δείκτη μέσης κατανάλωσης ανά διανυκτέρευση 20,1 [kWh], οπότε για το σύνολο των διανυκτερεύσεων και για την κατανάλωση κάθε μορφής ενέργειας, έχουμε :

$$166.765 * 20,1 = 3.351.971 \text{ [kWh]}$$

Με την παραπάνω λογική μπορούμε να υπολογίσουμε το δείκτη μέσης ηλεκτρικής κατανάλωσης ανά διανυκτέρευση όπου θα χρησιμοποιηθεί ως μια μέση αρχική τιμή υπολογισμού για τις ηλεκτρικές καταναλώσεις ανά μήνα. Επομένως:

$$\frac{20,1 * 2.154.541}{3.351.971} = 13,0 \text{ [kWh]}$$

Επειδή δεν υπάρχουν ακριβείς μετρήσεις για ψύξη, θέρμανση, ZNX, φωτισμό και λοιπά θα κάνουμε μια παραδοχή. Σύμφωνα με την παραδοχή αυτή για τον κλιματισμό καταναλώνεται το 25%, για τον φωτισμό το 12%, τα μαγειρεία/ψυγεία επίσης το 12%, για το ZNX το 16% και για λοιπές χρήσεις το 35%.



**Διάγραμμα 1:** Στο διάγραμμα φαίνεται ο επιμερισμός των καταναλώσεων του ξενοδοχείου.

Ο φωτισμός για τους 5 μήνες χωρίς αφίξεις απαιτεί το 50% της μηνιαίας κατανάλωσης και για τους υπόλοιπους η διαφορά από τη συνολική ετήσια κατανάλωση για φωτισμό κατανέμεται αναλογικά με τις αφίξεις του κάθε μήνα.

Ο κλιματισμός που στη περίπτωση του συγκροτήματος Creta Maris αφορά μόνο τη ψύξη, θεωρητικά κατανέμεται αναλογικά βάσει των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών που επικρατούν στην περιοχή. Πρακτικά για απλούστευση, υπολογίζουμε από 5% της συνολικής ενέργειας για ψύξη να καταναλώνεται τους μήνες Απρίλιο και Οκτώβριο, 10% τον Μάιο, από 15% τους μήνες Ιούνιο και Σεπτέμβριο. 24% τον Ιούλιο και 26% τον Αύγουστο.

Τόσο η ψύξη, όσο και το ZNX κατανέμονται ανάλογα με τις διανυκτερεύσεις, ενώ τα λοιπά υπολογίζονται για κάθε μήνα, ως η διαφορά μεταξύ του συνόλου της κατανάλωσης του μήνα και των άλλων καταναλώσεων.

Θεωρούμε ότι η χρήση της γεωθερμίας γίνεται καταρχήν για να καλύψει τις ανάγκες σε κλιματισμό και ZNX και μόνο όταν υπάρχει περίσσειμα για μέρος των λοιπών καταναλώσεων. Χρειάζεται επομένως να σπάσουμε τις ημερήσιες ανάγκες σε ωριαίες. Η κατανομή που έγινε, βασίστηκε στις συνήθειες που έχει ένας συνήθης τουρίστας που διαμένει σε ένα συγκρότημα όπως το Creta Maris.

Βάσει αυτών, για τον κλιματισμό θεωρούμε ότι υπάρχουν 4 ζώνες διαφορετικών απαιτήσεων που συνυπάρχουν.

- Μια ζώνη σε όλο το 24ωρο, όπου διατηρείται μια συνεχής ψυκτική δραστηριότητα για την οποία απαιτείται το 35% της συνολικής κατανάλωσης για κλιματισμό.
- Μια ζώνη 16 ωρών που είναι οι επιπλέον ανάγκες για κλιματισμό την ημέρα και απαιτούν το 30% της ενέργειας για κλιματισμό.
- Μια ζώνη 11 ωρών μετά το μεσημέρι, για ανάγκες της κλιματικής άνεσης με το 10% της κατανάλωσης.
- Μια ζώνη 5 ωρών το μεσημέρι, από 1.00 PM – 5.00 PM, που ανταποκρίνεται στις ακραίες ανάγκες ψύξης της περιόδου με τον ήλιο στην κατακόρυφο. Η επιπλέον κατανάλωση στην ζώνη αυτή αντιστοιχεί στο 25% της συνολικής κατανάλωσης για ψύξη.

Ανάλογη συλλογιστική υπάρχει και για το ZNX, όπου διακρίνουμε τρεις ζώνες

- Μια ζώνη που είναι το 50% της συνολικής κατανάλωσης για όλο το 24ωρο.
- Μια ζώνη με το 30% της κατανάλωσης για 10 ώρες, 3 ώρες το πρωί και 7 ώρες το απόγευμα μετά τις όποιες δραστηριότητες.
- Μια ζώνη με το 20% της συνολικής κατανάλωσης συνδεδεμένη με τις απαιτήσεις προετοιμασίας για κοινωνικές εκδηλώσεις.

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

### 2.1. Η γεωθερμική ενέργεια

#### 2.1.1. Προέλευση και ιστορικό

Ο όρος «γεωθερμική ενέργεια» χρησιμοποιείται σήμερα για να δηλώσει το τμήμα της γήινης θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένο με τη μορφή θερμού νερού, ατμού ή θερμών πετρωμάτων.

Εξετάζοντας, στην εργασία αυτή, τη γεωθερμία ως φαινόμενο, ενδιαφερόμαστε στην πραγματικότητα για το αποτέλεσμα της, δηλαδή τη γεωθερμική ενέργεια, που είναι η θερμότητα που περιέχεται στο εσωτερικό της γης και σχετίζεται με την ηφαιστειότητα και τις ειδικότερες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της κάθε περιοχής και πως είναι δυνατό αυτή να αξιοποιηθεί. Η ενέργεια αυτή εκπέμπεται από τον πυρήνα της γης, μαζεύεται μέσα σε υπόγεια νερά και ψάχνει να βρει κάποια διέξοδο. Όταν μπορέσει να εκτονωθεί είναι πλέον εφικτό και να αξιοποιηθεί.



*Εικόνα 2:* Great Fountain Geyser, Yellowstone National Park, 2005 by Michael Melford

(πηγή: <https://www.natgeofineart.com/collections/great-fountain-geyser-yellowstone-national-park-2005/>)

Με βάση τα ετήσια ενεργειακά στατιστικά στοιχεία του 2017 από το υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας η θέρμανση και η ψύξη των κτιρίων καθώς και η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης απαιτούν θερμική και ψυκτική ενέργεια η οποία στην Ελλάδα ανέρχεται περίπου στο 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας ενώ ανάλογες είναι οι καταναλώσεις και στα υπόλοιπα κράτη του κόσμου, όπου όμως, ανάλογα με τη γεωγραφική τους θέση, αλλάζουν οι αναλογίες μεταξύ ψύξης και θέρμανσης.

Σήμερα, το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής θερμικής, μηχανικής και ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται κυρίως σε θερμοηλεκτρικές μονάδες εγγυημένης παραγωγής, όπου οι η αρχική μορφή ενέργειας διατίθεται από ορυκτά στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα ( πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο, κ.α.). Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να διαδραματίζει ένα δευτερεύοντα ρόλο

στο παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο, όμως ως εγχώρια πηγή ενέργειας είναι δυνατό να παίξει πρωταγωνιστικό ρόλο σε τοπικό επίπεδο, ιδιαίτερα στην περίπτωση των νησιών όπου υπάρχει μεγάλο γεωθερμικό πεδίο.

Η Ελλάδα, μαζί με την Ιταλία και την Πορτογαλία, είναι οι μόνες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης στις οποίες υπάρχουν πεδία υψηλής ενθαλπίας (με θερμοκρασία ρευστών μεγαλύτερη των 150 [°C] ) και από τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν τα γεωθερμικά ρευστά για την άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το γεωθερμικό δυναμικό υψηλής ενθαλπίας θα μπορούσε να εξασφαλίσει μερικές εκατοντάδες [MW] και μάλιστα σε ευαίσθητους νησιώτικους χώρους, όπου η παραγωγή και διάθεση ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να επιτευχθεί με αρκετά χαμηλότερο κόστος ανά [kWh].



*Χάρτης 1:* Χάρτης γεωθερμικού πεδίου

(πηγή: <http://www.geni.org/globalenergy/library/renewable-energy-resources/geothermal.shtml>)

Παράλληλα όμως, η Ελλάδα έχει και πολλά πεδία μέσης και χαμηλής ενθαλπίας τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις ανάγκες κλιματισμού των κτιρίων. Επίσης, υπάρχουν πόλεις που βρέχονται από θάλασσα της οποίας το ενεργειακό περιεχόμενο είναι ανεξάντλητο.

### **2.1.2. Η Γεωθερμική βαθμίδα**

Με τον όρο γεωθερμική βαθμίδα ορίζουμε το ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας της γης σε συνάρτηση με το βάθος, μέσα στο γήινο φλοιό.

- Σε βάθη που είναι προσβάσιμα με τις σύγχρονες γεωτρητικές μεθόδους.
- Η μέση τιμή κυμαίνεται περίπου στους 2,5-3 °C/100 [m].
- Περιοχές με γεωθερμική βαθμίδα μεγαλύτερη από τη μέση τιμή, παρουσιάζουν ιδιαίτερο γεωθερμικό ενδιαφέρον και καλούνται «γεωθερμικές» ( Dickson and Fanelli, 2013).

### 2.1.3. Γεωθερμικά πεδία και μορφές γεωθερμίας

Τα γεωθερμικά συστήματα αποτελούνται από τρία στοιχεία:

- **Την εστία θερμότητας**, η οποία μπορεί να έχει είτε πολύ υψηλή θερμοκρασία όταν τροφοδοτείται από μαγματική διείσδυση ή να έχει κανονική θερμοκρασία που προέρχεται από τα πετρώματα του εσωτερικού της γης
- **Τον ταμιευτήρα**, δηλαδή ένα σχηματισμό από θερμά υδατοπερατά πετρώματα που επιτρέπει την κυκλοφορία των ρευστών μέσα σε αυτόν και από τον οποίο τα ρευστά αντλούν θερμότητα.
- **Το γεωθερμικό ρευστό**, το οποίο συνήθως είναι νερό μετεωρικής προέλευσης σε υγρά ή αέρια κατάσταση και λειτουργεί ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας.

Πάνω από τον ταμιευτήρα βρίσκεται συνήθως ένα κάλυμμα αδιαπέρατων πετρωμάτων. Ο ταμιευτήρας πολλές φορές συνδέεται με μια επιφανειακή περιοχή τροφοδοσίας, δια μέσου της οποίας μετεωρικό ή επιφανειακό νερό κατεβαίνει και αντικαθιστά μερικώς ή ολικώς τα ρευστά που φεύγουν από τον ταμιευτήρα και εξέρχονται στην επιφάνεια με τη μορφή θερμών πηγών ή αντλούνται από γεωτρήσεις. Το πλέον συνηθισμένο κριτήριο για την ταξινόμηση των γεωθερμικών συστημάτων είναι αυτό που βασίζεται στην ενθαλπία των γεωθερμικών ρευστών. Η ενθαλπία, η οποία σε γενικές γραμμές θεωρείται ότι είναι ανάλογη της θερμοκρασίας, χρησιμοποιείται για να εκφράσει την περιεχόμενη θερμική ενέργεια των ρευστών και δίνει μια γενική εικόνα της ενεργειακής «αξίας» τους. Οι γεωθερμικοί πόροι διακρίνονται σε χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας (ή θερμοκρασίας), σύμφωνα με το ενεργειακό τους περιεχόμενο και τις πιθανές μορφές αξιοποίησής τους. ( Dickson and Fanelli, 2013).

Ένας άλλος διαχωρισμός είναι αυτός που βασίζεται στην κατάσταση ισορροπίας στον ταμιευτήρα, σύμφωνα με τον οποίο λαμβάνονται υπόψη η κυκλοφορία των ρευστών του ταμιευτήρα και ο μηχανισμός μεταφοράς της θερμότητας. Έτσι τα γεωθερμικά πεδία ταξινομούνται:

- i. Στην υδροθερμική ενέργεια
- ii. Την αβαθή γεωθερμία
- iii. Τα θερμά ξηρά πετρώματα
- iv. Τη γεωπεπευσμένη ενέργεια
- v. Την ενέργεια μάγματος

## 2.2. Η αβαθής γεωθερμία

### 2.2.1. Αβαθής γεωθερμική ενέργεια

Η αποθηκευμένη σε μορφή θερμότητας ενέργεια που βρίσκεται μέσα στο φλοιό της γης, σε ένα βάθος μέχρι 400 [m] και με θερμοκρασίες υπόγειων πετρωμάτων και ρευστών μικρότερες από 25 [°C] ονομάζεται αβαθής γεωθερμική ενέργεια. Επομένως, υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης της φυσικής θερμοκρασίας των σχηματισμών του υπεδάφους ή της θερμοκρασίας του νερού του υδροφόρου ορίζοντα ως πηγής θερμότητας κατά τη διάρκεια της θέρμανσης και ως αποθήκης θερμότητας κατά τη διάρκεια ψύξης ενός κτιρίου. Έχει διαπιστωθεί ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες επηρεάζουν τη θερμοκρασία κάτω από την επιφάνεια της γης για μικρό σχετικά βάθος, μόνο μέχρι τα 15 [m]. Μετά από το βάθος αυτό, η μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους υπακούει μόνο στους κανόνες της γεωθερμικής βαθμίδας,

αυξάνεται σταθερά με το βάθος και παραμένει περίπου σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Σε βάθη μέχρι τα 100 [m] η αποθηκευμένη θερμική ενέργεια προέρχεται και ως εκ τούτου διαφοροποιείται συνεχώς από δύο πηγές:

- i. Τη ροή θερμότητας από το εσωτερικό της γης (ο μέσος ρυθμός είναι  $0,08 \frac{W}{m^2}$ ).
- ii. Την ηλιακή ακτινοβολία (σχεδόν το 50% απ' τη συνολική ποσότητα της ακτινοβολίας που φθάνει στη Γη).

Μια «γεωθερμική πηγή ενέργειας» ή ένα «αβαθές γεωθερμικό σύστημα» είναι ένα βιώσιμο σύστημα που λειτουργεί παράγοντας θερμότητα από το έδαφος, συγκεντρώνοντας τη και χρησιμοποιώντας τη για την παροχή θερμότητας και ZNX ενώ το ίδιο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ψύξη ενός οικήματος με την αφαίρεση της πλεονάζουσας θερμικής ενέργειας και την επαναφορά της στο έδαφος.

Συνήθως ένα «αβαθές γεωθερμικό σύστημα» αποτελείται από μια γεωθερμική αντλία θερμότητας, ένα θαμμένο γεωεναλλάκτη με στόχο την αξιοποίηση των σταθερών θερμοκρασιών του εδάφους, δεσμεύοντας την ελεύθερη ενέργεια που υπάρχει, και ένα δίκτυο διανομής θερμικών και ψυκτικών φορτίων. Η αρχή λειτουργίας του όλου συστήματος έχει ως εξής:

- Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας (ΓΑΘ).

Ο 2<sup>ος</sup> νόμος της Θερμοδυναμικής αναφέρει ότι η θερμότητα μεταφέρεται πάντοτε από ένα θερμό σώμα προς ένα πιο κρύο. Η αντλία θερμότητας, όπως θα δούμε και αναλυτικότερα, πρέπει να καταναλώσει μηχανικό έργο για να κάνει τη θερμότητα να μεταφερθεί. Αυτό ακριβώς συμβαίνει και σε ένα ενεργειακό σύστημα γεωθερμίας.

Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας ή ο συντελεστής απόδοσης (COP) όπως αναφέρεται είναι αδιάστατος αριθμός και προκύπτει αν διαιρέσουμε την ενέργεια που αποδίδει το σύστημα με την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας.

- Γεωθερμικός εναλλάκτης.

Είναι ένα κλειστό σύστημα σωληνώσεων από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας, με διάρκεια ζωής άνω των 50 ετών, που διαρρέεται από νερό και τοποθετείται μέσα στο έδαφος (μιλάμε τότε για σύστημα κλειστού βρόχου) ή εναλλακτικά από ένα σύστημα ανοιχτού βρόχου με απευθείας γεωτρήσεις στον υπάρχοντα υδροφόρο ορίζοντα.

- Η εσωτερική εγκατάσταση θέρμανσης/ψύξης του κτιρίου.

Δε διαφέρει σε τίποτε από τις εγκαταστάσεις που συναντώνται και στην χρήση άλλων μορφών ενέργειας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενδοδαπέδια ή εντοιχισμένα συστήματα θέρμανσης και δροσισμού ή σύστημα fan coils για θέρμανση και ψύξη.

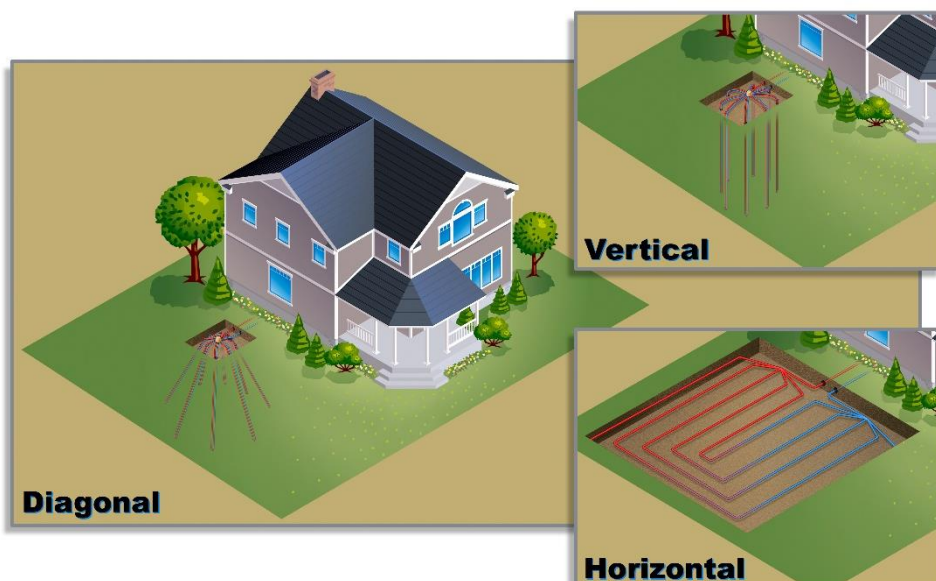
- Ο αυτοματισμός της εγκατάστασης.

Μέσω ενός προγραμματισμού λογικού ελέγχου γίνεται ρύθμιση των μονάδων ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία για τον κλιματισμό του εσωτερικού χώρου. Μπορεί επίσης, να γίνει και έλεγχος της θερμοκρασίας για ZNX.

### 2.2.2. Τα είδη συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας

- Συστήματα κλειστού βρόγχου (closed loop systems)
- Συστήματα ανοικτού βρόγχου (open loop systems)

Τα συστήματα κλειστού βρόγχου διακρίνονται σε συστήματα οριζόντια, ή κατακόρυφα. Τα οριζόντια συστήματα χρησιμοποιούν γεωθερμικό εναλλάκτη, που είναι τοποθετημένος παράλληλα προς την επιφάνεια του εδάφους σε βάθος συνήθως 1,2-1,8 [m] σε μια ή περισσότερες στρώσεις σωλήνων. Επίσης, μπορούν να τοποθετηθούν και σε σειρά.



**Εικόνα 3:** Οι τρεις κύριοι τρόποι εγκατάστασης.

(πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Direct\\_exchange\\_geothermal\\_heat\\_pump](https://en.wikipedia.org/wiki/Direct_exchange_geothermal_heat_pump))

Στα κατακόρυφα συστήματα ο γεωθερμικός εναλλάκτης είναι τοποθετημένος κάθετα στην επιφάνεια του εδάφους, μέσα σε τρύπες ανοιγμένες από γεωτρήσιμο και σε βάθος που κυμαίνονται συνήθως από 50-150 [m].

Οι συγκεκριμένες κατασκευές δίνουν 60-80 W/μέτρο βάθους γεώτρησης. Δηλαδή, για ένα σπίτι 150 τετραγωνικών μέτρων απαιτούνται περίπου 120-160 μέτρα γεώτρησης. Αυτά μπορούν να μοιραστούν και σε περισσότερες μικρότερες γεωτρήσεις. Μέγιστο βάθος γεώτρησης είναι συνήθως τα 120 [m] και είναι σύστημα κατάλληλο για όλα τα εδάφη. Τα συστήματα ανοικτού βρόγχου μπορεί να είναι συστήματα τύπου φρέατος και τα επιφανειακά. Τα συστήματα τύπου φρέατος χρησιμοποιούν νερό υπεδάφους σαν απ' ευθείας πηγή ενέργειας, όταν το διαθέσιμο νερό είναι καλής ποιότητας, επαρκούς ποσότητας και σε βολικό βάθος άντλησης, καθ' όλο το χρόνο. Χαντάκια, μικρές λίμνες ή ρυάκια χρησιμοποιούνται πολλές φορές για την απόρριψη του νερού.

Τα επιφανειακά συστήματα αντλούν νερό για το πρωτεύον κύκλωμα τους από μια επιφανειακή πηγή π.χ. λίμνη ή θάλασσα και το απορρίπτουν και πάλι στην ίδια πηγή.

Συγκριτικά μπορούμε να πούμε ότι τα κατακόρυφα συστήματα πλεονεκτούν των οριζοντίων, γιατί δεσμεύουν μικρότερες ποσότητες επιφάνειας γης για την εγκατάσταση τους και είναι πιο «σταθερά», διότι δεν επηρεάζονται σχεδόν καθόλου από τις εποχικές μεταβολές, λόγω μεγαλύτερου βάθους εγκατάστασης.

Λόγω της αξιοποίησης της σταθερής θερμότητας του υπεδάφους σε βάθος μεγαλύτερο των 15 [m], η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της πηγής από όπου αντλείται και της πηγής από όπου αποβάλλεται θερμότητα είναι μικρή και έτσι οι ΓΑΘ έχουν πολύ μεγάλους βαθμούς απόδοσης (COP έως 6), συγκριτικά τόσο με τους λέβητες πετρελαίου (COP έως 0,9), όσο και με τις αντλίες θερμότητας COP = 2 - 4) που χρησιμοποιούν ως πηγή τον εξωτερικό αέρα. Ακόμη, δεν απαιτείται συντήρηση στους γεωεναλλάκτες, ενώ η αντλία θερμότητας χρειάζεται μόνο περιοδικό έλεγχο. Η εγκατάσταση λειτουργεί αθόρυβα και δεν χρειάζεται πυροπροστασία.

Για τα συστήματα ανοιχτού βρόχου χρησιμοποιείται μία γεώτρηση που παρέχει το υπόγειο νερό στην αντλία θερμότητας.

Σε γεωγραφικές περιοχές όπως η Ελλάδα το θερμοκρασιακό προφίλ τους μήνα με το μήνα σε όλη τη διάρκεια του χρόνου παρουσιάζει μια μορφή που επιτρέπει την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας που βρίσκεται συσσωρευμένη στο έδαφος σε όλη τη διάρκεια του έτους.

Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας που παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, όπως:

- Είναι καθαρή και φιλική προς το περιβάλλον.
- Είναι διαθέσιμη σε οποιοδήποτε σημείο.
- Έχει χαμηλό κόστος συντήρησης εγκατάστασης και εξοπλισμού καθώς οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας δεν παρουσιάζουν βλάβες μετά από παρατεταμένη χρήση και οι γεωεναλλάκτες έχουν απεριόριστο χρόνο ζωής.
- Είναι ανεξάρτητη των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν.
- Μπορεί να προσφέρει θέρμανση, ψύξη και ZNX.
- Απαιτείται μικρότερος χώρος για την εγκατάσταση του εξοπλισμού σε σχέση με το συμβατικό λεβητοστάσιο καθώς δεν απαιτείται επίσης αερόψυκτος ψύκτης για τον κλιματισμό του κτιρίου.
- Παρέχουν μεγαλύτερη ασφάλεια σε σχέση με μία εγκατάσταση πετρελαίου ή φυσικού αερίου.

Η αβαθής γεωθερμία παρουσιάζει όμως και μερικά μειονεκτήματα όπως:

- Το αρχικό κόστος ενός γεωθερμικού συστήματος είναι υψηλότερο από αυτό των συμβατικών συστημάτων.
- Για τα ανοιχτά γεωθερμικά κυκλώματα απαιτείται παροχή καθαρού νερού ( π.χ. από γεώτρηση ) ή σε αντίθετη περίπτωση εξοπλισμός (κυρίως οι σωληνώσεις) ειδικών προδιαγραφών.



## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

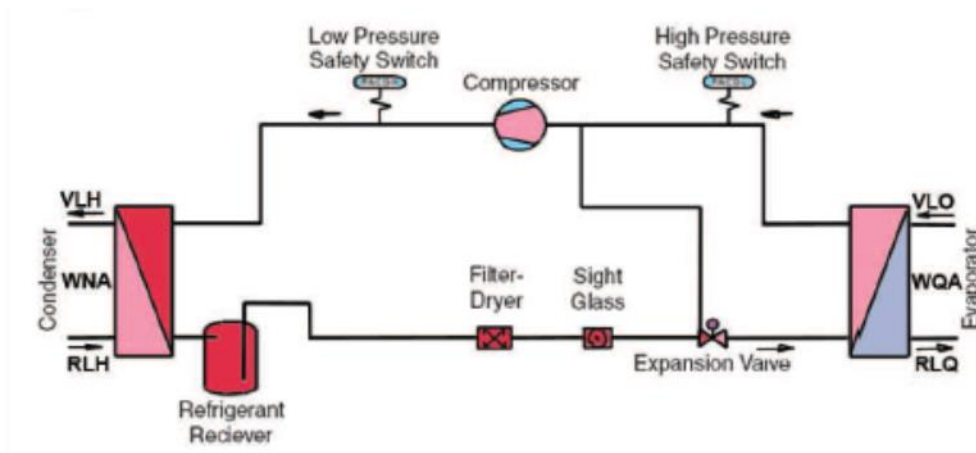
### 3.1. Αρχή λειτουργίας μιας Αντλίας Θερμότητας

#### 3.1.1. Εισαγωγή

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας ή αντλίες εδάφους (GSHP) είναι μια αποτελεσματική μέθοδος αξιοποίησης της αβαθούς γεωθερμίας. Σύμφωνα με το 2<sup>ο</sup> νόμο της θερμοδυναμικής η θερμότητα μεταφέρεται από τις υψηλότερες στις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η αντλία θερμότητας είναι μία μηχανική διάταξη η οποία προκαλεί τη ροή θερμότητας προς την αντίθετη κατεύθυνση από τη φυσική της ροή, δηλαδή από τις χαμηλότερες προς τις υψηλότερες θερμοκρασίες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός συμπιεστή.

Μια αντλία θερμότητας θα αντλήσει θερμότητα από το έδαφος, για παράδειγμα στους 15 °C, και θα το χρησιμοποιήσει για να θερμάνει έναν χώρο στους 22 °C. Βέβαια, υπάρχει μία περίοδος του χρόνου που ούτως ή άλλως η ροή της θερμότητας γίνεται προς την επιθυμητή κατεύθυνση.

Ο πιο συνηθισμένος τύπος αντλίας θερμότητας είναι η αντλία θερμότητας συμπίεσης όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1



**Σχήμα 1:** Περιγραφή λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας συμπίεσης  
(πηγή: ASHRAE)

Η θερμοδυναμική αρχή στην οποία στηρίζεται η λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας συμπίεσης είναι στο γεγονός ότι ένα αέριο γίνεται θερμότερο όταν συμπιέζεται σε μικρότερο όγκο.

#### 3.1.2. Ψυκτικός κύκλος συμπίεσης ατμού

Σε μια αντλία θερμότητας, ένα μέσο με χαμηλό σημείο βρασμού (ψυκτικό μέσο) έρχεται μέσω ενός εναλλάκτη, σε επαφή με τη θερμότητα του νερού ή του εδάφους. Καθώς το ψυκτικό μέσο βρίσκεται σε θερμοκρασία μικρότερη από εκείνη του νερού/εδάφους η θερμότητα προσδίδεται σε αυτό και το οδηγεί στην εξάτμιση του χωρίς να αλλάζει ιδιαίτερα η θερμοκρασία του και εξακολουθεί επομένως να παραμένει κρύο. Ο ατμός (το ψυκτικό μέσο σε αέρια πλέον μορφή)

που δημιουργείται συμπιέζεται (χρησιμοποιώντας συνήθως ηλεκτρική ισχύ) και ως εκ τούτου θερμαίνεται. Στη συνέχεια το θερμό αέριο, σε υψηλή πλέον πίεση και θερμοκρασία, μπορεί να μεταβιβάσει τη θερμότητά του στο σύστημα θέρμανσης διερχόμενο μέσα από ένα δεύτερο εναλλάκτη θερμότητας που είναι ο συμπυκνωτής όπου ξαναγίνεται υγρό.

Δεδομένου ότι το ψυκτικό μέσο είναι θερμότερο από τον αέρα ή το νερό, μεταφέρει θερμότητα σε αυτό. Καθώς χάνει θερμότητα, η θερμοκρασία του πέφτει, συμπυκνώνεται και γίνεται υγρό συμβάλλοντας με τη μεταφορά της αισθητής θερμότητας στην τελική ποσότητα θερμότητας που στέλνεται στο κτίριο. Τέλος, το ρευστό, μέσω μιας βαλβίδας εκτόνωσης χάνει πίεση, η θερμοκρασία του πέφτει σημαντικά και επιστρέφει πίσω στον εξατμιστή για να ξεκινήσει πάλι τον ίδιο κύκλο.

Για ψυκτικό μέσο, κατάλληλες ενώσεις είναι εκείνες που έχουν μεγάλες τιμές του συντελεστή ειδικής θερμότητας και τα οποία παράλληλα εξατμίζονται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Σήμερα, επιτρέπονται μόνο ψυκτικά μέσα χωρίς χλώριο καθώς είναι ψυκτικά μέσα που δεν καταστρέφουν το όζον. Οι ενώσεις R134a, R407C, R410A, R404A και προπάνιο πληρούν αυτές τις συνθήκες. Από αυτά τα ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι τα R134a και R407C, καθώς είναι μη εύφλεκτα και διόλου τοξικά.

Μια εναλλακτική λύση είναι η αντλία απορρόφησης θερμότητας, όπου η θερμότητα που παράγεται σε υψηλή θερμοκρασία (π.χ. από καυστήρα αερίου, ή την ηλιακή ενέργεια) χρησιμοποιείται για να ενεργοποιηθεί, εξατμίζοντας ένα υγρό μέχρι την αέρια φάση. Στον κύκλο αυτό υπάρχει μια πλευρά χαμηλής θερμοκρασίας που συλλέγει τη θερμότητα του εδάφους και μια πλευρά υψηλής θερμοκρασίας που παρέχει θερμότητα στον χρήστη.

Και στις δύο περιπτώσεις, γίνεται προσπάθεια η ποσότητα της εξωτερικής ενέργειας που παρέχεται, να διατηρείται όσο το δυνατόν χαμηλότερη ώστε να καταστεί η αντλία θερμότητας οικολογικά και οικονομικά αποδοτική.

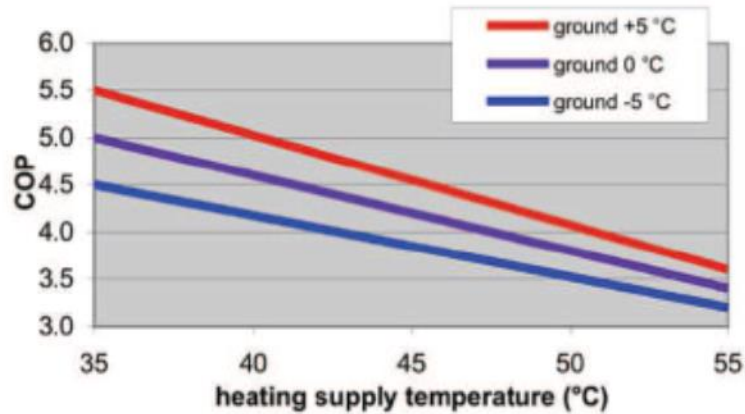
### **3.1.3. Προδιαγραφές A.Θ. και Βαθμός Απόδοσης**

Ο βασικός δείκτης που μετράει την αποδοτικότητα μιας θερμικής αντλίας είναι ο συντελεστής απόδοσης (COP). Ο συντελεστής απόδοσης της αντλίας θερμότητας, ορίζεται ως :

$$COP = \frac{\text{Θερμότητα που αποδίδεται}}{\text{Κατανάλωση ηλ. ενέργειας}}$$

Όσο υψηλότερος είναι ο συντελεστής COP , τόσο λιγότερη εξωτερική ενέργεια χρειάζεται για να αποδοθεί η απαιτούμενη θερμότητα.

Ο COP εξαρτάται από την ίδια την αντλία θερμότητας (αποτελεσματικότητα του εναλλάκτη θερμότητας, απώλειες στον συμπιεστή, κλπ.) και στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της χαμηλής θερμοκρασίας (έδαφος) και της υψηλής θερμοκρασίας (κτίριο).



**Διάγραμμα 2:** Η μεταβολή του COP ανάλογα με την επιθυμητή θερμοκρασία χώρου  
(πηγή: [www.kensaheatpumps.com](http://www.kensaheatpumps.com))

Όταν η θερμοκρασία του εδάφους (θερμοκρασία εισόδου) αυξάνεται ο COP θα αυξηθεί καθώς ο συμπιεστής δεν χρειάζεται να λειτουργεί τόσο έντονα για να φθάσει στην απαιτούμενη θερμοκρασία εξόδου.

Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία εξόδου της αντλίας θερμότητας, τόσο πιο έντονα λειτουργεί ο συμπιεστής για να επιτευχθεί αυτή η θερμοκρασία. Επομένως, στην περίπτωση αυτή χρειάζεται περισσότερη ισχύς για την αντλία θερμότητας και ως εκ τούτου είναι χαμηλότερη η τιμή του COP.

Να σημειωθεί ότι η τελική θερμοκρασία που αποδίδεται από την αντλία θερμότητας θα είναι στην πραγματικότητα λίγο μικρότερη από αυτή στην έξοδο του συμπιεστή λόγω των απωλειών που υπάρχουν στον εναλλάκτη θερμότητας μέσα στην αντλία.

Σύμφωνα με το πρότυπο EN14511 οι δοκιμές της απόδοσης όλων των αντλιών θερμότητας και τον προσδιορισμό του COP γίνονται με θερμοκρασία εισόδου 0 °C (στην πραγματικότητα σπάνια υπάρχουν στις περισσότερες περιοχές παρόμοιες θερμοκρασίες και οι δοκιμές είναι αποδεκτό να γίνονται σε θερμοκρασίες από 2 °C έως 4°C) και θερμοκρασία εξόδου να είναι 35 °C. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να υπάρξει μια ενιαία εικόνα, ώστε η απόδοση μιας αντλίας θερμότητας να μπορεί να συγκριθεί με μια άλλη. Όμως πολλές φορές η απόδοση μιας αντλίας δίνεται με μια μέση ετήσια τιμή του COP που ονομάζεται SPF (Seasonal Performance Factor).

Ο COP μιας αντλίας θερμότητας νερού – νερού μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες όπως φαίνεται και στον πίνακα 13 .

Heat distribution system	supply/return temperature	COP <sup>1</sup>
Conventional radiators	60/50°C	2.5
Floor or wall heating	35/30°C	4.0
Modern radiators	45/35°C	3.5
Hydronic convectors	48/38°C	3.5

<sup>1</sup> Heat source 5°C

**Πίνακας 13:** Η επίδραση του συστήματος θέρμανσης στην απόδοση μιας Α.Θ.  
(πηγή: [www.epa.gov](http://www.epa.gov))

Μια γεωθερμική αντλία θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για θέρμανση όσο και για τη ψύξη.

#### **3.1.4. Βασικές κατηγορίες Α.Θ.**

Τα συστήματα που έχουν στον εξοπλισμό τους μια γεωθερμική αντλία θερμότητας διακρίνονται σε συστήματα νερού – αέρα, νερού – νερού και εξοπλισμό split. Πιο αναλυτικά:

- **Σύστημα νερού – αέρα** : Το νερό από μια πηγή μέσα στο έδαφος κυκλοφορεί μέσω της μονάδας και διοχετεύεται αέρας προς τον χώρο που χρειάζεται να ψυχθεί ή να θερμανθεί.
- **Σύστημα νερού – νερού** : Νερό από μια πηγή μέσα στο έδαφος κυκλοφορεί μέσω της μονάδας και κρύο ή ζεστό νερό κυκλοφορεί σε μονάδες fan coil για ψύξη ή θέρμανση.
- **Σύστημα με διαχωρισμό νερού από αέρα** : Το νερό από μια πηγή εδάφους κυκλοφορεί μέσω της μονάδας που περιέχει το τμήμα συμπιεστή και συμπυκνωτή/εξατμιστήρα. Οι σωληνώσεις ψυκτικού συνδέουν αυτό το κομμάτι με ένα σύστημα διαχείρισης αέρα που ζεσταίνει ή κρυώνει τον χώρο.

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

### 4.1. Ο σχεδιασμός του γεωθερμικού συστήματος

#### 4.1.1. Εισαγωγή

Η μελέτη για την κάλυψη των αναγκών του ξενοδοχειακού συγκροτήματος από ένα κατάλληλα σχεδιασμένο γεωθερμικό σύστημα περιλαμβάνει σαν πρώτο βήμα:

- Την επιλογή του τύπου του γεωθερμικού εναλλάκτη, αν θα είναι δηλαδή οριζόντιος ή κάθετος.
- Τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους γεωτρήσεων που θα χρειασθούν (κάθετος εναλλάκτης) ή το μήκος των σωληνώσεων που θα απαιτηθούν (οριζόντιος εναλλάκτης).
- Στη συνέχεια υπολογίζονται η διάμετρος και το υλικό για τις σωληνώσεις και η ισχύς της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας.

Ο κάθετος γεωθερμικός εναλλάκτης έχει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τον οριζόντιο.

- Σε μεγάλα βάθη η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και είναι ίση με το μέσο όρο των χειμερινών και θερινών μέσων θερμοκρασιών της ατμόσφαιρας.
- Απαιτούν μικρή έκταση εγκατάστασης, της τάξης μεγέθους περίπου  $25 \pm 2,5 \text{ m}^2/\text{RT}$ .

Αντίθετα οι οριζόντιοι εναλλάκτες:

- Απαιτούν σημαντικά μεγαλύτερη έκταση για την εγκατάστασή τους (περίπου  $232,5 \text{ m}^2/\text{RT}$ ).
- Είναι πιο εύκολοι στην εγκατάστασή τους και πιο φθηνοί δεδομένου ότι οι χωματουργικές εργασίες κοστίζουν ακριβιά.

### 4.2. Η διαστασιολόγηση του γεωθερμικού συστήματος

#### 4.2.1. Η θεωρητική προσέγγιση

Για τον υπολογισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του γεωεναλλάκτη εφαρμόζεται η μεθοδολογία που προτείνεται από την ASHRAE. Σύμφωνα, με τη μεθοδολογία αυτή, πρέπει να υπολογιστεί πρώτα η μέση ετήσια ροή θερμότητας,  $Q_a$  στο έδαφος:

$$q_a = \frac{C_{fc} * q_{lc} * EFL_{hoursc} + C_{fh} * q_{lh} * EFL_{hoursh}}{T_a}$$

Όπου:

- $q_{lc}$  και  $q_{lh}$  το ονομαστικό ψυκτικό και θερμικό φορτίο του κτηρίου αντίστοιχα σε Btu/h (το ψυκτικό φορτίο εισάγεται με αρνητικό πρόσημο).
- $EFL_{hoursc}$  και  $EFL_{hoursh}$  οι ισοδύναμες ώρες σε ολικό φορτίο ψύξης και θέρμανσης ετησίως.

- $C_{fc}$  και  $C_{fh}$  οι διορθωτικοί συντελεστές που σχετίζονται με τους συντελεστές COP και EER αντίστοιχα.
- $T_a$  το ετήσιο χρονικό διάστημα σε ώρες (8760 h).

Οι ισοδύναμες ώρες πλήρους φορτίου  $EFL_{hoursc}$  και  $EFL_{hoursh}$  μπορούν να περιγραφούν ως το ποσό ωρών που θα λειτουργούσε με πλήρες φορτίο ένα σύστημα σχεδιασμένο για το μέγιστο φορτίο θέρμανσης κατά τη διάρκεια ενός έτους. Υπολογίζονται ως εξής:

$$EFL_{hoursc} = \frac{E_c}{q_{lc}} \quad EFL_{hoursh} = \frac{E_h}{q_{lh}}$$

- $q_{lc}$  και  $q_{lh}$  το ονομαστικό (μέγιστο) ψυκτικό και θερμικό φορτίο του κτηρίου αντίστοιχα.
- $E_c$  και  $E_h$  οι ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας σε ψύξη και θέρμανση.

Οι διορθωτικοί συντελεστές  $C_{fc}$  και  $C_{fh}$  σχετίζονται με τους χαρακτηριστικούς συντελεστές EER και COP της αντλίας θερμότητας αντίστοιχα. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές τους βάσει της μεθόδου ASHRAE.

Διορθωτικοί συντελεστές αντλιών θερμότητας			
E.E.R. (ψύξη)	$C_{fc}$	C.O.P. (θέρμανση)	$C_{fh}$
11,0	1,31	3,0	0,75
13,0	1,26	3,5	0,77
15,0	1,23	4,0	0,80
17,0	1,20	4,5	0,82

**Πίνακας 14:** Οι διορθωτικοί συντελεστές αντλιών θερμότητας

(πηγή: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Γεωθερμία, Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης)

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα απαραίτητα δεδομένα για τον υπολογισμό της μέσης ετήσιας ροής θερμότητας του εδάφους. Επίσης, φαίνεται και η αντλία η οποία προτιμήθηκε και τα χαρακτηριστικά της.

Αντλία θερμότητας επίγειου βρόχου	
Tranquility Water-To-Water	
Tested in accordance with ASHRAE/AHRI/ISO 13256-2	
Μοντέλο	TMW-120
<b>Ψύξη</b>	<b>Θέρμανση</b>
Ονομαστική ισχύς [Btu/h]	Ονομαστική ισχύς [Btu/h]
105600	145400
Ονομαστική ισχύς [kW]	Ονομαστική ισχύς [kW]
30,95	42,6
EER	COP
14,1	4,6
Μέγιστο φορτίο ψύξης ( $q_{lc}$ ) [Btu/h]	Μέγιστο φορτίο θέρμανσης ( $q_{lh}$ ) [Btu/h]
674.902	358.407
Μέγιστο φορτίο ψύξης ( $q_{lc}$ ) [kW]	Μέγιστο φορτίο θέρμανσης ( $q_{lh}$ ) [kW]
197,8	105,04
Ετήσιες καταναλώσεις σε ψύξη ( $E_c$ ) [Btu/h]	Ετήσιες καταναλώσεις σε θέρμανση ( $E_h$ ) [Btu/h]
1.611.880.870,42	829.859.279,44

Ενεργειακή Αναβάθμιση ξενοδοχειακής μονάδας Creta Maris

Ετήσιες καταναλώσεις σε ψύξη ( $E_c$ ) [kW]	Ετήσιες καταναλώσεις σε θέρμανση ( $E_h$ ) [kW]
472.395,6	243.207,72
$C_{fc}$	$C_{fh}$
1,2435	0,824
Ωρες ψύξης	Ωρες θέρμανσης
4392	5136
$EFL_{hoursc}$	$EFL_{hoursh}$
2388,31	2315,40
Μέση ετήσια ροή θερμότητας στο έδαφος ( $q_a$ ) [Btu/h]	
-150.749,98	

**Πίνακας 15:** Στον πίνακα φαίνονται τα απαραίτητα δεδομένα για τον υπολογισμό της μέσης ετήσιας ροής θερμότητας στο έδαφος.

- ❖ 1 [Btu/h] = 0,000293071
- ❖ 1 [kW] = 3412,12

Για τα παραπάνω αποτελέσματα έγιναν οι εξής υπολογισμοί και αντικαταστάσεις:

- Τα φορτία ψύξης και θέρμανσης υπολογίστηκαν με βάση τις ενεργειακές καταναλώσεις της ξενοδοχειακής μονάδας.
- Η αντλία επιλέχθηκε με βάση αυτά.
- Υπολογίστηκαν τα μέγιστα φορτία για ψύξη και θέρμανση αντίστοιχα.

#### 4.2.2. Οι υπολογισμοί για το ξενοδοχείο

Για την περίπτωση του ξενοδοχειακού συγκροτήματος ξεκινάμε από τον υπολογισμό για τα θερμικά και ψυκτικά φορτία που απαιτείται να είναι διαθέσιμα για το κτίριο. Έχοντας τις ιστορικές καταναλώσεις του ξενοδοχείου για την εξαετία 2010-2015 μπορούμε να θεωρήσουμε την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του 2014 ως αντιπροσωπευτική της σημερινής λειτουργίας του ξενοδοχείου. Έχουμε επομένως:

$$Q_{ολ.} = 2.818.482 \text{ kwh/έτος}$$

Υπολογίζουμε τις ανάγκες για ψύξη καθώς το ξενοδοχείο ανοίγει τις πόρτες του τέλη Απριλίου και σταματάει την λειτουργία του τέλη Οκτωβρίου. Ανάγκες θέρμανσης υπάρχουν μόνο για την παραγωγή ΖΝΧ για τα πλυντήρια, τις εγκαταστάσεις και τις ανάγκες των δωματίων. Επίσης, υπολογίζονται οι ενεργειακές καταναλώσεις για τον φωτισμό, τα μαγειρεία αλλά και οι καταναλώσεις που μπορεί να οφείλονται σε πλυντήρια, ψυγεία, καφετιέρες, τηλεοράσεις, κα. Διαμορφώνεται επομένως, ο ακόλουθος πίνακας:

Έτος 2014				
Μήνας	[kwh]	[kwh/d]	Κλιματισμός [kwh]	Φωτισμός [kwh]
Ιανουάριος	29.727	958,94	0	289
Φεβρουάριος	28.193	1.006,89	0	366
Μάρτιος	33.201	1.071,00	0	341
Απρίλιος	183.115	6.103,83	1.004	412
Μάιος	334.795	10.799,84	3.695	545
Ιούνιος	414.628	13.820,93	4.624	921
Ιούλιος	496.222	16.007,16	5.661	1.314
Αύγουστος	539.284	17.396,26	5.881	1.459
Σεπτέμβριος	449.720	14.990,67	4.916	1.617
Οκτώβριος	246.612	7.955,23	923	973
Νοέμβριος	32.254	1.075,13	0	311
Δεκέμβριος	30.731	991,32	0	262
Σύνολα	2.818.482	92.177,20	26.704	8.810

**Πίνακας 15:** Στον πίνακα φαίνονται οι ενεργειακές καταναλώσεις για κάθε περίπτωση.

Έτος 2014			
Μήνας	Μαγειρεία[kwh]	ZNX [kwh]	Λοιπά [kwh]
Ιανουάριος	342	88	240
Φεβρουάριος	398	60	183
Μάρτιος	462	65	203
Απρίλιος	1.923	2.040	725
Μάιος	3.446	2.525	589
Ιούνιος	5.033	2.248	995
Ιούλιος	5.782	1.923	1.327
Αύγουστος	6.046	2.522	1.488
Σεπτέμβριος	4.778	1.869	1.811
Οκτώβριος	2.804	2.039	1.216
Νοέμβριος	356	159	249
Δεκέμβριος	373	147	210
Σύνολα	31.743	15.685	9.236

**Πίνακας 16:** Στον πίνακα φαίνονται οι ενεργειακές καταναλώσεις για κάθε περίπτωση.

Από τις αναλυτικές καταναλώσεις του ξενοδοχείου μπορούν να υπολογιστούν τα παρακάτω δεδομένα:

- i. Οι ετήσιες καταναλώσεις σε ψύξη  $E_c$  και θέρμανση  $E_h$
- ii. Το μέγιστο φορτίο ψύξης  $q_{lc}$  και το μέγιστο φορτίο θέρμανσης  $q_{lh}$
- iii. Οι ισοδύναμες ώρες πλήρους φορτίου  $EFL_{hoursc}$  και  $EFL_{hoursh}$



- i. Οι ετήσιες καταναλώσεις υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του excel και είναι:

Ετήσιες καταναλώσεις σε θέρμανση ( $E_h$ ) [kW]	243.207,72
Ετήσιες καταναλώσεις σε ψύξη ( $E_c$ ) [kW]	472.395,60
Ετήσιες καταναλώσεις σε θέρμανση ( $E_h$ ) [Btu/h]	829.859.279,44
Ετήσιες καταναλώσεις σε ψύξη ( $E_c$ ) [Btu/h]	1.611.880.870,42

**Πίνακας 17:** Στον πίνακα φαίνονται οι ετήσιες καταναλώσεις σε θέρμανση και ψύξη.

- ii. Το μέγιστο φορτίο ψύξης  $q_{lc}$  και το μέγιστο φορτίο θέρμανσης, είναι:

Μέγιστο φορτίο θέρμανσης [kW]( $q_{lh}$ )	105,04
Μέγιστο φορτίο ψύξης [kW] ( $q_{lc}$ )	197,79
Μέγιστο φορτίο θέρμανσης [Btu/h]( $q_{lh}$ )	358.407,08
Μέγιστο φορτίο ψύξης [Btu/h] ( $q_{lc}$ )	674.902

**Πίνακας 18:** Στον πίνακα φαίνονται τα μέγιστα φορτία σε θέρμανση και ψύξη.

- iii. Οι ισοδύναμες ώρες πλήρους φορτίου  $EFL_{hoursc}$  και  $EFL_{hoursh}$  υπολογίστηκαν ως εξής:

$$EFL_{hoursc} = \frac{E_c}{q_{lc}} = \frac{1.611.880.870,42}{674.902,00} = 2388,32 [h]$$

$$EFL_{hoursh} = \frac{E_h}{q_{lh}} = \frac{829.859.279,44}{358.407,08} = 2315,41 [h]$$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε:

- iv. Τους διορθωτικούς συντελεστές  $C_{fc}$  και  $C_{fh}$  οι οποίοι σχετίζονται άμεσα με τους συντελεστές EER και COP της αντλίας θερμότητας αντίστοιχα.  
 v. Τη μέση ετήσια ροή θερμότητας  $q_a$ .  
 iv. Οι διορθωτικοί συντελεστές  $C_{fc}$  και  $C_{fh}$  υπολογίστηκαν με τη βοήθεια της γραμμικής παρεμβολής:

<b>Διορθωτικοί συντελεστές αντλιών θερμότητας</b>			
E.E.R. (ψύξη)	$C_{fc}$	C.O.P. (θέρμανση)	$C_{fh}$
11,0	1,31	3,0	0,75
13,0	1,26	3,5	0,77
15,0	1,23	4,0	0,80
17,0	1,20	4,5	0,82

**Πίνακας 19:** Οι διορθωτικοί συντελεστές αντλιών θερμότητας

(πηγή: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Γεωθερμία, Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης)

$$C_{fc} = 1,26 + (14,1 - 13) \times \frac{1,23 - 1,26}{15 - 13} = 1,244$$

$$C_{fh} = 0,82 + (4,6 - 4,5) \times \frac{0,84 - 0,82}{5 - 4,5} = 0,824$$

- v. Τέλος η μέση ετήσια ροή θερμότητας  $q_a$  είναι:

$$q_a = \frac{1,244 \times (-674.902) \times 2388,32 + (0,824 \times 358.407,08)}{8760}$$

$$q_a = -150.750 \text{ [Btu/h]}$$

#### 4.2.3. Επιλογή διαμέτρου σωλήνωσης εναλλάκτη

Η διάμετρος της σωλήνωσης έχει να κάνει με τη μεταφερόμενη ισχύ από τον κλιματιζόμενο χώρο προς το έδαφος και την παροχή του μέσου. Η επιλογή της διαμέτρου είναι τέτοια, ώστε συναρτήσει της απαιτούμενης μεταφερόμενης παροχής εντός των σωληνώσεων, η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει το 1 – 1,5 [m/s], ώστε να επιτυγχάνεται στρωτή ροή. Η μεταφερόμενη θερμική ισχύς και η παροχή μάζας του εργαζόμενου μέσου για τη ψύξη και τη θέρμανση αντίστοιχα, σχετίζονται με τη σχέση:

$$q_{lc} = \dot{m} \times C_p \times (t_{twi} - t_{wo})$$

$$q_{lh} = \dot{m} \times C_p \times (t_{twi} - t_{wo})$$

Όπου:

- $\dot{m}$  η παροχή μάζας του νερού στη σωλήνωση.
- $C_p = 4,184$  [kJ/kg×K] η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού.
- $t_{wi}$  η θερμοκρασία εισόδου του νερού στο γεωθερμικό εναλλάκτη.
- $t_{wo}$  η θερμοκρασία εξόδου του νερού από το γεωθερμικό εναλλάκτη.
- Η απόλυτη τιμή της διαφοράς θερμοκρασίας  $|t_{wi} - t_{wo}| = 4$  K.
- Από τις παραπάνω σχέσεις, υπολογίζεται η απαιτούμενη παροχή μάζας εντός της σωλήνωσης.
- Από την παροχή μάζας υπολογίζεται η παροχή όγκου με τη σχέση:

$$\dot{V} = u \times A \Rightarrow \dot{V} = \frac{\pi \times D^2}{4} \Rightarrow u = \frac{4 \times \dot{V}}{\pi \times D^2}$$

- Μέγιστο φορτίο θέρμανσης  $q_{lh} = 358.407,08$  [Btu/h] = 105,04 [kW]
- Παροχή μάζας:

$$q_{lh} = \dot{m} \times C_p \times (t_{twi} - t_{wo}) \Rightarrow \dot{m} = \frac{q_{lh}}{C_p \times (t_{twi} - t_{wo})} = \frac{105,04}{4,184 \times 4}$$

$$\dot{m} = 6,276 \text{ [kg/s]}$$

- Παροχή όγκου:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{6,276}{1000} = 0,00627 \text{ [m}^3\text{/sec]}$$

Η συνολική αυτή παροχή όγκου θα διαμοιραστεί στις γεωτρήσεις που θα διανοιχτούν και στους βρόχους που θα εγκατασταθούν σε κάθε γεώτρηση. Ο αριθμός των γεωτρήσεων, με βάση με την ακολουθούμενη μεθοδολογία, προκύπτει ίσος με το φορτίο σε ψυκτικούς τόνους [RT].

$$\diamond 1 \text{ [RT]} = 3,517 \text{ [Kw]} \text{ και } 1 \text{ [RT]} = 12.000,503 \text{ [Btu/h]}.$$

Επομένως:

Μέγιστο φορτίο θέρμανσης  $q_{th} = 105,4 \text{ [kW]} \Rightarrow 105,4/3,517 \Rightarrow 29,866 \text{ [RT]}$ .  
 Άρα ο αριθμός των γεωτρήσεων επιλέγεται ίσος με 30 και ο αριθμός των βρόχων θα είναι ίσος με 60.

Επειδή, έχουμε επιλέξει διπλό βρόχο σε κάθε γεώτρηση η συνολική παροχή θα μοιραστεί σε τέσσερις κατακόρυφους εναλλάκτες, οπότε θα προκύψει ίση με:

$$\dot{V}_{\beta\rho} = \frac{\dot{V}}{4} = \frac{0,00627}{4} = 1,046 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{/sec]}$$

Με βάση τους υπολογισμούς που έγιναν με τη βοήθεια του προγράμματος Excel επιλέχθηκε η σωλήνωση SDR-11 1" πολυαιθυλενίου για τους βρόχους, με εσωτερική διάμετρο:

$$d_i = 33,4 \text{ [mm]} - 2 \times 3 \text{ [mm]} = 27,4 \text{ [mm]} = 0,027 \text{ [m]} = 0,09 \text{ [ft]}$$

Σημείωση: 1 [ft] = 0,3048[m]

- Η ταχύτητα ροής στους βρόχους για αυτή τη σωλήνωση θα είναι:

$$u_{\beta\rho} = \frac{4 \times V}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 1,047 \times 10^{-4}}{\pi \times 0,027^2} = 0,177 \text{ [m/s]}$$

Με τον ίδιο τρόπο, για την κεντρική παροχή, επιλέχθηκε η σωλήνωση SDR – 17 πολυαιθυλενίου με εσωτερική διάμετρο:

$$d_i = 140 \text{ [mm]} - 2 \times 8,3 \text{ [mm]} = 123,4 \text{ [mm]} = 0,1234 \text{ [m]} = 0,405 \text{ [ft]}$$

- Η ταχύτητα ροής θα είναι:

$$u = \frac{4 \times \dot{V}}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 0,00627}{\pi \times 0,1234^2} = 0,525 \text{ [m/s]}$$

Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτή η σωλήνωση και όχι κάποια άλλη μεγαλύτερης διαμέτρου είναι για λόγους κόστους. Άλλωστε, η ταχύτητα βρίσκεται μέσα στα επιτρεπτά όρια.

#### 4.2.4. Υπολογισμός του απαιτούμενου συνολικού μήκους

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου συνολικού μήκους του γεωθερμικού εναλλάκτη βάσει του ψυκτικού φορτίου θα γίνει σύμφωνα με τον τύπο:

$$L_c = \frac{q_a \times R_{ga} + (G_{fc} \times q_{lc}) \times (R_b + PLF_m \times R_{gm}) + (R_{gd} \times F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wo} + t_{wi}}{2} - t_p}$$

Όπου:

- $R_{ga}, R_{gm}, R_{gd}$  : οι ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις του εδάφους για ετήσιο, μηνιαίο και ημερήσιο παλμό αντίστοιχα [ $h \times ft \times ^\circ F / Btu$ ].
- $R_b$  : η θερμική αντίσταση σωλήνωσης – γεώτρησης [ $h \times ft \times ^\circ F / Btu$ ].
- $PLF_m$  : ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου.
- $F_{sc}$  : ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων.
- $t_g$  : η θερμοκρασία του εδάφους [ $^\circ F$ ].
- $t_{wi}$  : η θερμοκρασία εισόδου του υγρού στη γεωθερμική αντλία [ $^\circ F$ ].
- $t_{wo}$  : η θερμοκρασία εξόδου του υγρού από τη γεωθερμική αντλία [ $^\circ F$ ].
- $t_p$  : διορθωτικός συντελεστής για τη θερμοκρασία εδάφους λόγω της παρεμβολής παρακείμενων σωληνώσεων [ $^\circ F$ ].

Οι ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις του εδάφους  $R_{ga}, R_{gm}, R_{gd}$  δίνονται από τις σχέσεις:

$$R_{ga} = \frac{G_f - G_1}{k_g} \quad R_{gm} = \frac{G_1 - G_2}{k_g} \quad R_{gd} = \frac{G_2}{k_g}$$

Όπου:

- $k_g$  : η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους [ $h \times ft \times ^\circ F / Btu$ ].
- $G_1, G_2, G_f$  : συντελεστές που δίνονται από την παρακάτω σχέση ( $i = 1, 2, f$ ):

$$G_i = 0,0769 \times \ln (F_{oi}) + 0,0901$$

Όπου:

- $F_{oi}, i = 1, 2, f$  αδιάστατοι αριθμοί Fourier.
- Ο αδιάστατος αριθμός Fourier ο οποίος αποδεικνύεται τελικά ότι σχετίζεται με τις θερμικές ιδιότητες του εδάφους και δίνεται από τη σχέση:

$$F_o = \frac{4 \times a_g \times \tau}{d^2}$$

Όπου:

- $a_g$  : η θερμική διαχυτότητα του εδάφους [ $ft^2/ημέρα$ ].
- $\tau$  : χρονική κλίμακα (χρονικός παλμός) επίδρασης της θερμοκρασίας του εδάφους από το γεωθερμικό εναλλάκτη σε ημέρες.
- $d$  : η εσωτερική διάμετρος της σωλήνωσης του εναλλάκτη [ft].

Από πίνακα για την Χερσόνησο βρέθηκαν τα παρακάτω:

Τύπος πετρώματος	Πυρηγενή
Αμφιβολιτής	
Θερμική διαχυτότητα ( $a_g$ ) [ $ft^2/day$ ]	Θερμική αγωγιμότητα ( $k_g$ ) [ $Btu/h \times ft \times ^\circ F$ ]
2,9	1,9
Ειδική θερμότητα $C_p$ [ $Btu/h \times ft \times ^\circ F$ ]	Πυκνότητα ( $\rho$ ) [ $lb/ft^3$ ]
0,12	185

**Πίνακας 20:** Στον πίνακα φαίνεται ο τύπος πετρώματος για την Χερσόνησο και οι ιδιότητές του.

Οι τιμές αντίστασης  $R_{ga}$  (ετήσια),  $R_{gm}$  (μηνιαία),  $R_{gd}$  (ημερήσια), που είναι υπολογισμένες με βάση τρεις διαφορετικούς παλμούς, είναι:

- Ένα δεκαετή παλμό των 3.650 ημέρες.
- Ένα μηνιαίο παλμό των 30 ημερών.
- Ένα 6ωρο παλμό του 25% της ημέρας.

Οι τρεις αυτοί χρόνοι ορίζονται ως εξής:

- $T_1 = 3.650$  ημέρες.
- $T_2 = 3.650 + 30 = 3.680$  ημέρες.
- $T_3 = 3.650 + 30 + 0,25 = 3.680,25$

Τελικά ο υπολογισμός του αριθμού Fourier για τον κάθε παλμό γίνεται σύμφωνα με τους τύπους:

$$F_{01} = \frac{4 \times a_g \times (t_f - t_1)}{d^2} \quad F_{02} = \frac{4 \times a_g \times (t_f - t_2)}{d^2} \quad F_{of} = \frac{4 \times a_g \times t_f}{d^2}$$

Με βάση τα παραπάνω έχουμε:

$$F_{01} = \frac{4 \times a_g \times (t_f - t_1)}{d^2} = \frac{4 \times 2,9 \times (3.680,25 - 3650)}{0,09^2} = 43.444,48$$

$$F_{02} = \frac{4 \times a_g \times (t_f - t_2)}{d^2} = \frac{4 \times 2,9 \times (3.680,25 - 3.680)}{0,09^2} = 359,045$$

$$F_{of} = \frac{4 \times a_g \times t_f}{d^2} = \frac{4 \times 2,9 \times 3.680,25}{0,09^2} = 5.285.505,12$$

Οι συντελεστές  $G$  υπολογίζονται από τη σχέση  $G_i = 0,0769 \times \ln (F_{oi}) + 0,0901$ :

- $G_1 = 0,0769 \times \ln (43.444,48) + 0,09 = 0,9113$
- $G_2 = 0,0769 \times \ln (359,045) + 0,09 = 0,5425$
- $G_3 = 0,0769 \times \ln (5.285.505,12) + 0,09 = 1,2805$

Τελικά υπολογίζονται οι θερμικές αντιστάσεις του εδάφους από τις σχέσεις ορισμού:

- $R_{ga} = 0,1943$  [ $h \times ft \times ^\circ F / Btu$ ]
- $R_{gm} = 0,1941$  [ $h \times ft \times ^\circ F / Btu$ ]
- $R_{gd} = 0,2855$  [ $h \times ft \times ^\circ F / Btu$ ]

Ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου εκφράζει το ποσοστό λειτουργίας της εγκατάστασης ως προς ισχύ και χρόνο, σε σχέση με τη διαρκή λειτουργία της σε ονομαστικό φορτίο.

- $PLF_m = (8/24) \times (5/7) = 0,2381$

Η θερμική αντίσταση της σωλήνωσης και της γεώτρησης είναι συνάρτηση αφενός του υλικού και του πάχους της σωλήνωσης και αφετέρου του υλικού πλήρωσης της γεώτρησης. Εκφράζει την αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας από το ρευστό εντός του εναλλάκτη προς το έδαφος, διαμέσου της σωλήνωσης και της γεώτρησης. Η μεθοδολογία που ακολουθείται δίνει τους ακόλουθους πίνακες για τον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης σωλήνωσης – γεώτρησης.

- ❖ 1 [gallon] = 3,785 [lt]
- ❖ 1 [gpm] = 3,785 × 10<sup>-3</sup> [m<sup>3</sup>/60s]
- ❖ 1 [gpm] = 0,0631 × 10<sup>-3</sup> [m/s]

**Διόρθωση θερμικής αντίστασης. Κίτρινο φόντο: δεν συνιστάται.**

Αγωγιμότητα εδάφους (Btu/(h·ft·°F))	0,9		1,3			1,7	
Αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης γεώτρησης (Btu/(h·ft·°F))	0,5	2	0,5	1	2	0,5	1
Διάμετρος γεώτρησης 4 in							
3/4 in σωλήνωση τύπου U	0,11	-0,05	0,14	0,03	-0,02	0,17	0,05
1 in σωλήνωση τύπου U	0,07	-0,03	0,09	0,02	-0,02	0,13	0,04
Διάμετρος γεώτρησης 5 in							
3/4 in σωλήνωση τύπου U	0,14	-0,06	0,18	0,04	-0,04	0,21	0,06
1 in σωλήνωση τύπου U	0,11	-0,04	0,14	0,03	-0,02	0,16	0,05
1-1/4 in σωλήνωση τύπου U	0,06	-0,03	0,09	0,02	-0,02	0,12	0,04
Διάμετρος γεώτρησης 6 in							
3/4 in σωλήνωση τύπου U	0,18	-0,07	0,21	0,04	-0,05	0,24	0,07
1 in σωλήνωση τύπου U	0,14	-0,06	0,17	0,03	-0,04	0,21	0,06
1-1/4 in σωλήνωση τύπου U	0,09	-0,04	0,12	0,03	-0,02	0,15	0,05
1-1/2 in σωλήνωση τύπου U	0,07	-0,03	0,09	0,02	-0,02	0,11	0,04

**Πίνακας 21:** Διόρθωση θερμικής αντίστασης.

(πηγή: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Διαστασιολόγηση γεωθερμικού εναλλάκτη, Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης)

Από τον παραπάνω πίνακα επιλέχθηκε ο συντελεστής θερμικής αντίστασης  $R_b$  για SDR-11 1" ίσο με 0,09 [h·ft·°F/Btu] και υλικό πλήρωσης επιλέχθηκε το τσιμέντο με αγωγιμότητα 0,45 [Btu/ h·ft·°F]. Επιπλέον, επιλέχθηκε διάμετρος γεώτρησης 4 [in] και 1[in] τύπου U. Στη συνέχεια, έγινε γραμμική παρεμβολή για να εξεταστεί αν η επιλογή πλήρωσης συνιστάται για τη συγκεκριμένη εγκατάσταση.

$$0,09 + (1,9 - 1,3) \times \frac{0,13 - 0,09}{1,7 - 1,3} = 0,15$$

**ΔΕ ΣΥΝΙΣΤΑΤΑΙ**

Επομένως, έγινε εκ νέου επιλογή πλήρωσης γεώτρησης και αυτή τη φορά επιλέχθηκε η χαλαζιακή άμμος με αγωγιμότητα 1,1 [Btu/ h·ft·°F]. Χρησιμοποιώντας τον ίδιο τρόπο όπως παραπάνω, η επιλογή αυτή τη φορά ήταν επιτυχής. Το αποτέλεσμα είναι:

$$0,02 + (1,9 - 1,3) \times \frac{0,04 - 0,02}{1,7 - 1,3} = 0,05$$

Συνεπώς, η τελική θερμική αντίσταση  $R_b$  υπολογίζεται:

$$R_b = 0,05 \times 4 = 0,2 \text{ [h·ft·°F/Btu].}$$

Ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων  $F_{sc}$ , που εκφράζει τη θερμότητα που χάνεται μεταξύ των παρακείμενων σωληνώσεων στην ίδια γεώτρηση, υπολογίζεται από τον παρακάτω πίνακα:

Παροχή ανά σωλήνωση [gpm]	Αριθμός βρόχων ανά γεώτρηση		
	1	2	3
2	1,06	1,03	1,02
3	1,04	1,02	1,01

**Πίνακας 21:** Στον πίνακα φαίνεται η παροχή ανά σωλήνωση [gpm].

Η παροχή όγκου ανά βρόχο είναι:

$$\dot{V}_{\beta\rho} = \frac{\dot{V}}{4} = \frac{0,0063}{4} = 1,04 \times 10^{-5} [m^3/sec]$$

$$\dot{V}_{\beta\rho} = 1,04 \times 10^{-5} \times 15850,323 = 1,658 [gpm]$$

Άρα, για δύο βρόχους ανά γεώτρηση επιλέγεται:

$$F_{sc}=1,03$$

Από τον πίνακα θερμοκρασίας εδάφους για το Ηράκλειο η μέση ετήσια θερμοκρασία υπεδάφους  $t_g$  είναι ίση με  $64,4 [^{\circ}F]=18,7 [^{\circ}C]$ .

Η αντλία ρυθμίζεται ώστε  $|t_{wi}-t_{wo}| = 4 [^{\circ}C]$ . Η θερμοκρασία  $T_{wi}$  κατά τη διαδικασία της ψύξης μπορεί να πάρει τιμές από 80 έως 95  $[^{\circ}F]$ . Η θερμοκρασία  $T_{wi}$  κατά τη διαδικασία της θέρμανσης μπορεί να πάρει τιμές από 35 έως 60  $[^{\circ}F]$ . Αυτοί είναι παράμετροι επιλογής της αντλίας θερμότητας. Επομένως, έχουμε:

- Η θερμοκρασία εδάφους  $t_g = 65 [^{\circ}F]$ .
- $|t_{wi}-t_{wo}| = 4 [^{\circ}C]$ .
- $|t_{wi}-t_{wo}| = 4 [^{\circ}C]$ .
- Θερμοκρασία εισόδου του υγρού στον εναλλάκτη  $T_{wi} = 47,5 [^{\circ}F]= 8,61 [^{\circ}C]$ .
- Θερμοκρασία εξόδου του υγρού από τον εναλλάκτη  $T_{wo}=T_{wi} - 4 = 4,61 [^{\circ}C]= 40,3 [^{\circ}F]$ .

Τέλος, βρίσκεται ο συντελεστής της μακροπρόθεσμης αλλαγής θερμοκρασίας του εδάφους  $t_p$  λόγω της υπερβολικής απόρριψης ή εξαγωγής θερμότητας μετά από πολλά χρόνια λειτουργίας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Έχοντας:

- Θερμοκρασία εδάφους για το Ηράκλειο της Κρήτης  $64,4 [^{\circ}F]$ .
- $T_{wi} = 47,5 [^{\circ}F]$ , αγωγιμότητα εδάφους  $1,5 [Btu/ h \times ft \times ^{\circ}F]$ .
- Από 0 – 2000 ώρες θέρμανσης και ψύξης.
- Απόσταση γεωτρήσεων  $15 [ft]$ .
- Επιλέγεται συντελεστής διόρθωσης εδάφους  $10,3 [^{\circ}F]$ .

## Ενεργειακή Αναβάθμιση ξενοδοχειακής μονάδας Creta Maris

Αριθμός ισοδύναμων ωρών (Θέρμανση / Ψύξη)	Απόσταση γεωτρήσεων (ft)	Θερμοκρασία εδάφους και εισαγωγής υγρού στον εναλλάκτη (°F)					
		$t_a = 50°F (t_w = 35/80)$		$t_a = 60°F (t_w = 45/85)$		$t_a = 70°F (t_w = 60/95)$	
		$k_g$ (Btu/(h·ft·°F))					
		1,0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5
Διορθωτικός συντελεστής θερμοκρασίας εδάφους $t_p$ (°F) - Απαιτούμενο βάθος γεώτρησης ανά RT							
1.500 / 500	15	-4,4 (318)	-4,4 (248)	-	-	-	-
	20	-2,3 (276)	-2,3 (216)	-	-	-	-
	25	-1,2 (258)	-1,2 (202)	-	-	-	-
1.000 / 1.000	10	12,9 (318)	11,8 (245)	-	11,8 (313)	-	-
	15	5,4 (237)	4,3 (186)	4,7 (245)	4,7 (225)	-	-
	20	3,4 (220)	1,9 (172)	2,5 (263)	2,4 (206)	-	-
500 / 1.500	15	15,1 (379)	15,1 (294)	-	12,8 (345)	-	-
	20	7,8 (277)	8 (216)	6,7 (326)	6,7 (254)	6,7 (336)	6,7 (259)
	25	4,1 (224)	4,3 (190)	3,5 (287)	3,5 (224)	3,5 (293)	3,5 (229)
0 / 2.000	15	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	10,3 (406)	10,4 (316)	10,4 (414)	10,5 (322)
	25	-	-	5,4 (325)	5,5 (252)	5,4 (332)	5,5 (257)

### Πίνακας 22: Διόρθωση θερμικής αντίστασης.

(πηγή: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Διαστασιολόγηση γεωθερμικού εναλλάκτη, Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης)

Έχοντας πλέον υπολογίσει και επιλέξει όλα τα απαιτούμενα μεγέθη, μπορούμε πλέον να υπολογίσουμε την απαιτούμενη ισχύ του εναλλάκτη, το μήκος των σωληνώσεων και το βάθος της κάθε γεώτρησης. Επομένως:

$$L_c = \frac{q_a \times R_{ga} + (C_{fc} \times q_{lc}) \times (R_b + PLF_m \times R_{gm} + R_{gd} \times F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wo} + t_{wi}}{2} - t_p}$$

$$L_c = \frac{(-150.749,98) \times 0,1943 + (1,42122 \times 674.902) \times (0,2 + 0,238 \times 0,1941 + 0,2855 \times 1,03)}{65 - \frac{47,5 + 40,3}{2} - 10,3}$$

$$L_c = 18.693,97 \text{ [ft]} = 5.697,92 \text{ [m]}$$

Με βάση την απαιτούμενη θερμαντική ισχύ (29,866 [RT] = 105,035 [kW]), υπολογίζεται ότι απαιτείται εναλλάκτης ισχύος:

- $21.516,81/29,866 = 625,9 \text{ [ft/RT]}$  ή  $29,866 \times 3,15 = 94,08 \text{ [kW]}$

Άρα:

- $94,08 \times 1000/ 5.697,92 = 16,52 \text{ [W/m]}$ .

Έχοντας επιλέξει δύο γεωτρήσεις με διπλό βρόχο, το βάθος κάθε γεώτρησης προκύπτει  $5.697,92/30 \times 2 = 94,96 \text{ [m]}$ .

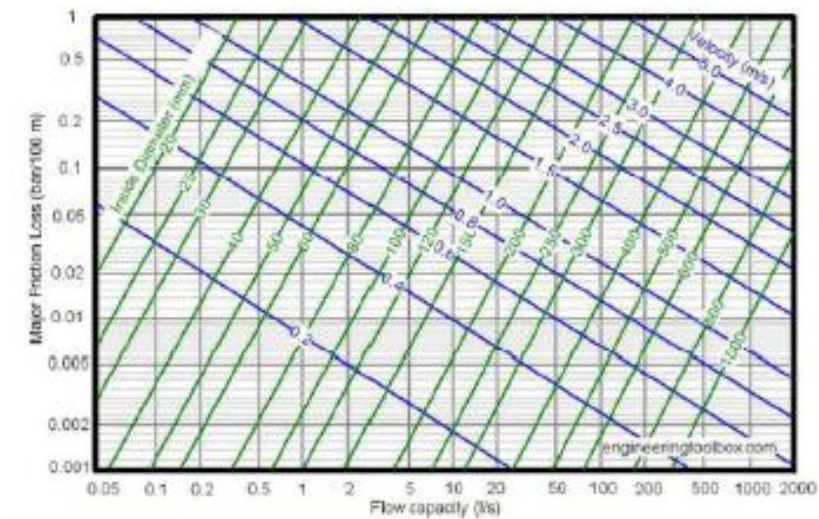


#### 4.2.5. Υπολογισμός απωλειών

Υπολογίζονται οι απώλειες πίεσης μέσα στο γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας καθώς και στο συνολικό κύκλωμα των σωληνώσεων με σκοπό την επιλογή του κατάλληλου κυκλοφορητή. Οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των παρακάτω απωλειών:

- Γραμμικές απώλειες γεωθερμικών εναλλακτών.
- Απώλειες ενδιάμεσου δικτύου (μέχρι την αντλία θερμότητας).
- Τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων με τυπική τιμή ίση με 0,005 [bar].
- Τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ με τυπική τιμή 0,25 – 0,3 [bar].
- Τοπικές απώλειες πίεσης λοιπών εξαρτημάτων με τυπική τιμή 0,2 [bar].

Το παρακάτω διάγραμμα δίνει την απώλεια πίεσης σε [bar] ανά 100 [m] σωλήνωσης, σε σχέση με την παροχή, την ταχύτητα και τη διάμετρο της σωλήνωσης.



**Διάγραμμα 3:** Διάγραμμα απώλειας πίεσης.

(πηγή: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Διαστασιολόγηση γεωθερμικού εναλλάκτη, Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης)

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα οι απώλειες πίεσης ανά 100 [m] σωλήνωσης, όσο αφορά το τμήμα του κάθετου γεωεναλλάκτη θερμότητας, για την παροχή ρευστού 0,1047 [lt/s] και  $d_{in}= 27,4$  [mm], θα είναι:  $\Delta_p/100$  [m]= 0,025 [ bar]. Επειδή οι σωληνώσεις στις 2 γεωτρήσεις είναι παράλληλες, η πτώση πίεσης είναι ίδια και έτσι υπολογίζεται για τον ένα γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας. Το μήκος του κάθε εναλλάκτη θα είναι:

$$94,96 \times 2 = 189,9 \text{ [m].}$$

Επομένως οι γραμμικές απώλειες θα είναι:

$$0,025 \times 189,9 / 100 = 0,0475 \text{ [bar].}$$

Στο ενδιάμεσο δίκτυο με παροχή μάζας εργαζόμενου μέσου για θέρμανση 6,276 [kg/s] και  $d_{in}=123,4$  [mm], οι απώλειες  $\Delta_p/100$  [m] θα είναι: 0,08 [bar]. Έστω ότι η απόσταση της αντλίας θερμότητας από την τελευταία γεώτρηση είναι 250 [m].

Οι απώλειες πίεσης στο ενδιάμεσο προκύπτουν ίσες με:

$$0,08 \times 250 / 100 = 0,2 \text{ [bar]}.$$

Οι συνολικές απώλειες του συστήματος θα είναι ίσες με το άθροισμα των παρακάτω επιμέρους απωλειών:

- Τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων: 0,005 [bar].
- Τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ: 0,3 [bar].
- Τοπικές απώλειες πίεσης λοιπών εξαρτημάτων: 0,2 [bar].
- Γραμμικές απώλειες πίεσης γεωεναλλάκτη: 0,0475 [bar].
- Γραμμικές απώλειες πίεσης στο ενδιάμεσο δίκτυο: 0,2 [bar].
- Συνολική πτώση πίεσης:  $0,86 \times 10,19 = 8,74 \text{ [m] H}_2\text{O}$ .

Με τη συνολική πτώση πίεσης και τη συνολική παροχή επιλέγεται ο κυκλοφορητής του υδραυλικού δικτύου.

#### 4.2.6. Υπολογισμούς δοχείου διαστολής

Ο όγκος του δοχείου διαστολής δίνεται από τη σχέση:

$$V_t = V_s \times \frac{\left(\frac{V_2}{V_1}\right) - 1}{1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)}$$

Όπου:

- $V_1$  : ο όγκος του δοχείου διαστολής [m<sup>3</sup>].
- $V_s$  : ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση [m<sup>3</sup>].
- $T_1$  : η χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου [°C].
- $T_2$  : η υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου [°C].
- $P_1$  : η χαμηλότερη πίεση του δικτύου [kPa].
- $P_2$  : η υψηλότερη πίεση του δικτύου [kPa].
- $V_1$  : ο ειδικός όγκος του νερού στη χαμηλότερη θερμοκρασία [m<sup>3</sup>/kgr].
- $V_2$  : ο ειδικός όγκος του νερού στην υψηλότερη θερμοκρασία [m<sup>3</sup>/kgr].

Ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση είναι άθροισμα δύο μεγεθών:

- Του όγκου στις σωληνώσεις του γεωθερμικού εναλλάκτη.
- Του όγκου στις σωληνώσεις του οριζόντιου συστήματος.

Θεωρώντας και στις δύο περιπτώσεις τις σωληνώσεις ως απλούς κυλίνδρους, έχουμε:

$$V_{\gamma.εν.} = 4 \times L_{\gamma.εν.} \times \frac{\pi \times d^2}{4} = 4 \times 94,96 \times \frac{\pi \times 0,027^2}{4} \Rightarrow V_{\gamma.εν.} = 0,224 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V_{εν.δ.} = 4 \times L_{εν.δ.} \times \frac{\pi \times d^2}{4} = 250 \times \frac{\pi \times 0,123^2}{4} \Rightarrow V_{εν.δ.} = 2,99 \text{ [m}^3\text{]}$$

Συνεπώς ο συνολικός όγκος νερού στο δίκτυο είναι ίσος με :  $0,224 + 2,99 = 3,214 \text{ [m}^3\text{]}$ .

Ενεργειακή Αναβάθμιση ξενοδοχειακής μονάδας Creta Maris

- Ο ειδικός όγκος του νερού σε πίεση 1 [atm] και στη θερμοκρασία των 0 [°C] είναι  $V_1=0,0010002$  [m<sup>3</sup>/kgf] ενώ στη θερμοκρασία των 50 [°C] είναι  $V_2= 0,00110121$  [m<sup>3</sup>/kgf].
- Ως χαμηλότερη πίεση λαμβάνεται η απαραίτητη στατική πίεση του δικτύου προσαυξημένη κατά 0,7 [bar] ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος να παρουσιαστεί υποπίεση, ατμοποίηση ή σπηλαίωση.
- Η ελάχιστη στατική πίεση για υδραυλικά δίκτυα θέρμανσης λαμβάνεται 2 [m] (0,2 [bar]).
- Συνεπώς, η χαμηλότερη πίεση λαμβάνεται στο δίκτυο :  $P_1=0,7+0,2=0,9$  [bar] = 90[kPa].
- Ως υψηλότερη πίεση λαμβάνεται το άνω επιτρεπτό όριο πίεσης πριν το άνοιγμα της βαλβίδας ασφαλείας. Αυτή σύμφωνα με τις προδιαγραφές πρέπει να είναι :  $P_2 = P_1 + 1,3$  [bar]=2,2 [bar]=220 [kPa].
- Μετά τον καθορισμό των απαιτούμενων μεγεθών, υπολογίζεται ο όγκος του δοχείου διαστολής:

$$V_t = V_s \times \frac{\left(\frac{V_2}{V_1}\right) - 1}{1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)} = 3,214 \times \frac{\left(\frac{0,00110121}{0,0010002}\right) - 1}{1 - \left(\frac{90}{220}\right)} \Rightarrow V_t = 0,065 \text{ [m}^3\text{]}$$

Αντλία θερμότητας επίγειου βρόχου	
Tranquility Water-To-Water	
Tested in accordance with AHRAE/AHRI/ISO 13256-2	
Μοντέλο	TMW-120
Ψύξη	Θέρμανση
Ονομαστική ισχύς [Btu/h]	Ονομαστική ισχύς [Btu/h]
105600	145400
Ονομαστική ισχύς [kW]	Ονομαστική ισχύς [kW]
EER	COP
14,1	4,6
Μέγιστο φορτίο ψύξης (q <sub>lc</sub> ) [Btu/h]	Μέγιστο φορτίο θέρμανσης (q <sub>lh</sub> ) [Btu/h]
674.902	358.407
Μέγιστο φορτίο ψύξης (q <sub>lc</sub> ) [kW]	Μέγιστο φορτίο θέρμανσης (q <sub>lh</sub> ) [kW]
197,79	105,04
Ετήσιες καταναλώσεις σε ψύξη (E <sub>c</sub> ) [Btu/h]	Ετήσιες καταναλώσεις σε θέρμανση (E <sub>h</sub> ) [Btu/h]
1.611.880.8870,42	829.859.279,44
Ετήσιες καταναλώσεις σε ψύξη (E <sub>c</sub> ) [kW]	Ετήσιες καταναλώσεις σε θέρμανση (E <sub>h</sub> ) [kW]
472.395,60	243.207,72
C <sub>fc</sub>	C <sub>fh</sub>
1,2435	0,824
Ώρες ψύξης	Ώρες θέρμανσης
4392	5136
EFL <sub>hoursc</sub>	EFL <sub>hoursh</sub>
2388,31	2315,40
Μέση ετήσια ροή θερμότητας στο έδαφος (q <sub>a</sub> ) [Btu/h]	
-150749,979	

Ενεργειακή Αναβάθμιση ξενοδοχειακής μονάδας Creta Maris

Παροχή μάζας εργαζόμενου μέσου για θέρμανση [kg/s]	Παροχή μάζας εργαζόμενου μέσου για ψύξη [kg/s]
6,276	11,818
Παροχή όγκου (V) [m <sup>3</sup> /sec]	V <sub>βρ</sub> [m <sup>3</sup> /sec]
0,00627	1,046 * 10 <sup>-5</sup>
Παροχή όγκου (V) [gpm]	V <sub>βρ</sub> [gpm]
99,48	1,66
Παροχή όγκου (V) [lt/sec]	V <sub>βρ</sub> [lt/sec]
6,27	0,1047
Θερμαντικό φορτίο [RT]	Θερμαντικά φορτία [kW]
29,866	105,03
Αριθμός Γεωτρήσεων	Βρόχοι
30	60
SDR-11 1"	SDR 17
Εξωτερική διάμετρος [mm]	Εξωτερική διάμετρος [mm]
33,4	140,0
Πάχος τοιχώματος [mm]	Πάχος τοιχώματος [mm]
3,0	8,3
Εσωτερική διάμετρος [mm]	Εσωτερική διάμετρος [mm]
27,4	123,4
Εσωτερική διάμετρος [m]	Εσωτερική διάμετρος [m]
0,0274	0,1234
Εσωτερική διάμετρος [ft]	Εσωτερική διάμετρος [ft]
0,090	0,405
Ταχύτητα ροής βρόχων (u) [m/sec]	Ταχύτητα κεντρικής ροής (u) [m/sec]
0,178	0,963
T1 [μέρες]	T2 [μέρες]
3.650	3.680
Tf [μέρες]	
3.680,25	
Τύπος πετρώματος	Πυρηγενή
Αμφιβολίτης	
Θερμική διαχυτότητα (a <sub>g</sub> ) [ft <sup>2</sup> /day]	Θερμική αγωγιμότητα (k <sub>g</sub> ) [Btu/h*ft*°F]
2,9	1,9
Ειδική θερμότητα C <sub>p</sub> [Btu/h*ft*°F]	Πυκνότητα (ρ) [lb/ft <sup>3</sup> ]
0,12	185
F <sub>o1</sub> μακροπρόθεσμη επίδραση	F <sub>o2</sub> ετήσια επίδραση
43.444,48	359,0452
F <sub>of</sub> βραχυπρόθεσμη επίδραση	
5.285.505,12	
G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>
0,9113	0,5425
G <sub>f</sub>	
1,2805	
R <sub>ga</sub> [h*ft*°F/Btu]	R <sub>gm</sub> [h*ft*°F/Btu]
0,1943	0,1941
R <sub>gd</sub> [h*ft*°F/Btu]	
0,2855	

Ενεργειακή Αναβάθμιση ξενοδοχειακής μονάδας Creta Maris

PLF <sub>m</sub>	
0,2380	
αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης γεώτρησης [Btu/h*ft*°F] Νέο σκυρόδεμα 50% χαλαζιακή άμμος	
1,1	
Θερμική αντίσταση διορθωμένη [SDR 11 (1 in)] διορθωμένο [1]	
0,2	
Fsc	
1,03	
θερμοκρασία εδάφους T <sub>g</sub> [°F]	θερμοκρασία εδάφους T <sub>g</sub> [°C]
64,4	18
T <sub>wi</sub> ψύξης [°F]	T <sub>wi</sub> ψύξης [°C]
87,5	30,83
T <sub>wi</sub> θέρμανσης [°F]	T <sub>wi</sub> θέρμανσης [°C]
47,5	8,61
T <sub>wi</sub> -T <sub>wo</sub>   [°C]	
4	
T <sub>wo</sub> ψύξης [°F]	T <sub>wo</sub> ψύξης [°C]
80,3	26,83
T <sub>wo</sub> θέρμανσης [°F]	T <sub>wo</sub> θέρμανσης [°C]
40,3	4,61
Διορθωτικός συντελεστής για τη θερμοκρασία εδάφους T <sub>p</sub> [°F]	Διορθωτικός συντελεστής για τη θερμοκρασία εδάφους T <sub>p</sub> [°C]
10,3	-12,06
Lc [ft]	Lc [m]
21.516,81	6.558,32
Υπολογισμός εναλλάκτη [ft/RT]	Υπολογισμός εναλλάκτη [W/m]
720,4	16
Βάθος κάθε γεώτρησης [m]	109,3054
Επιλογή διαμέτρου γεώτρησης [in]	
4	
Γραμμικές απώλειες πίεσης ανά 100 m με παροχή βρόχων [ bar] d <sub>in</sub> = 27,4 [mm]	Γραμμικές απώλειες πίεσης διορθωμένο με παροχή βρόχων [ bar] d <sub>in</sub> = 27,4 [mm]
0,025	0,0475
Απώλειες ενδιάμεσου δικτύου (μέχρι την αντλία θερμότητας) [bar] d <sub>in</sub> = 123,4 [mm]	Απώλειες ενδιάμεσου δικτύου (μέχρι την αντλία θερμότητας) διορθωμένο [bar] d <sub>in</sub> = 123,4 [mm]
0,08	0,2
Τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων [bar]	Τοπικές απώλειες ΓΑΘ [bar]
0,005	0,3
Τοπικές απώλειες πίεσης λοιπών εξαρτημάτων [bar]	
0,2	
Απόσταση αντλίας θερμότητας από την τελευταία γεώτρηση	Το μήκος κάθε εναλλάκτη [m]
250	189,9
Συνολικές απώλειες [bar]	Συνολικές απώλειες [m] H <sub>2</sub> O
0,86	8,74

$V_{γ.εν.} [m^3]$	$V_{εν.δ} [m^3]$
0,224	2,99
Συνολικός όγκος νερού $V_{νερ.} [m^3]$	
3,214	
Ειδικός όγκος $V_1[1atm,0°C] [m^3/kg]$	Ειδικός όγκος $V_2[1atm,50°C] [m^3/kg]$
0,0010002	0,0010121
Ελάχιστη στατική πίεση στα 2 [m] [bar]	Προσαύξηση πίεσης [bar]
0,2	0,7
Χαμηλότερη πίεση $P_1$ [bar]	Χαμηλότερη πίεση $P_1$ [kPa]
0,9	90
Υψηλότερη πίεση [bar]	Υψηλότερη πίεση [kPa]
2,2	220
Όγκος δοχείου διαστολής $V_t [m^3]$	
0,065	

**Πίνακας 23:** Συνοπτικός πίνακας δεδομένων και αποτελεσμάτων.

### 4.3. Τεχνοοικονομική ανάλυση κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη

#### 4.3.1. Εισαγωγή

Η χρήση της γεωθερμίας προσφέρει το οικονομικότερο και αποδοτικότερο σύστημα κλιματισμού αυτήν τη στιγμή στον κόσμο, για άνεση όλο το χρόνο, θέρμανση το χειμώνα και ψύξη το καλοκαίρι.

Αν και η γεωθερμική αντλία θερμότητας απαιτεί ένα μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης, λόγω του συστήματος του γεωεναλλάκτη, το κόστος αυτό δικαιολογείται από τη μεγαλύτερη απόδοση που έχει και επομένως τη μεγαλύτερη ενεργειακή εξοικονόμηση σε μονάδες που έχουν μεγάλες ανάγκες ψύξης και θέρμανσης, όπως είναι η περίπτωση των μεγάλων ξενοδοχειακών συγκροτημάτων που καλύπτουν κάποιες προϋποθέσεις, όπως :

- Μεγάλος επίπεδος και όχι βραχώδης περιβάλλοντας χώρος (επιφάνεια περίπου 3 φορές οι κλιματιζόμενοι χώροι του ξενοδοχείου).
- Μεγάλες θερμικές / ψυκτικές καταναλώσεις (μεγαλύτερες από 80 RT).
- Βρίσκονται σε περιοχές με μεγάλα χρονικά διαστήματα ακραίων καιρικών συνθηκών (στην περίπτωση του Creta Maris ζέστης).

#### 4.3.2. Οικονομικά στοιχεία

Στην πρόταση μας για το ξενοδοχείο Creta Maris προβλέπεται μόνο η ψύξη των δωματίων και όλων των κοινής χρήσης λειτουργικών χώρων και η παραγωγή ζεστού νερού. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς μας το όλο σύστημα θα αποτελείται από 3 ΓΑΘ και τους απαραίτητους συνδέσμους, δοχεία και βοηθητικό εξοπλισμό, με την παραδοχή ότι δε γίνεται καμία αλλαγή στο εσωτερικό των χώρων.

Με βάση τους υπολογισμούς που έγιναν τα θερμαντικά φορτία υπολογίστηκαν ίσο με 105,03 [kW]. Επομένως, τα χαρακτηριστικά των ΓΑΘ που χρειάζονται είναι 3 γεωθερμικές αντλίες TMW-120 των 45 [kW] και μια γεωθερμική αντλία TMW-060 των 25 [kW], που θα είναι

## Ενεργειακή Αναβάθμιση ξενοδοχειακής μονάδας Creta Maris

εφεδρική του συστήματος. Το συνολικό κόστος των αντλιών, βάση αναζήτησης που έγινε στο διαδίκτυο (<http://www.nextenergywest.ca/dealer/Price%20List.pdf>), ανέρχεται σε αγορά ύψους  $16.608,40 \times 3 + 7.745,13 = 57.570,33$  [€]. Επίσης, το συνολικό κόστος κεφαλαίου για μία εγκατάσταση γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας κυμαίνεται από 200 [€] έως 1.400 [€] ανά εγκατεστημένο [kWh]. Αν στην περίπτωση μας λάβουμε υπόψιν το μέγιστο, δηλαδή τα 1.400 [€], τότε το συνολικό κόστος της εγκατάστασης θα είναι:

$$1.400 \times 105,03 + 57.570,33 = 204.612,33 \text{ [€]}$$

Το κεντρικό κτίριο του Creta Maris χρησιμοποιεί για την ψύξη των χώρων, κεντρικό κλιματισμό και για την θέρμανση του ZNX: 1 λέβητα πετρελαίου, 1 λέβητα υγραερίου και ηλιακά πάνελ. Για την αξιολόγηση της σκοπιμότητας της επένδυσης η σύγκριση γίνεται με το πετρέλαιο και τον κεντρικό κλιματισμό που χρησιμοποιείται σε μια κλασσική εγκατάσταση κλιματισμού και θέρμανσης. Οι ετήσιες καταναλώσεις είναι:

Ετήσιες καταναλώσεις σε θέρμανση [kWh]	450.957,12
Ετήσιες καταναλώσεις σε ψύξη [kWh]	704.620,5

Για τη θέρμανση στο κεντρικό κτίριο χρησιμοποιείται λέβητας πετρελαίου τύπου HOVAL SR450 και έναν καυστήρα πετρελαίου τύπου ECOFLAM MAIOR P45 AB HS TL.

Για ένα σπίτι 100 τ.μ. με ετήσιες ανάγκες θέρμανσης 7000 [kWh] απαιτούνται περίπου 945 [lt] πετρελαίου (<https://thermansipress.gr/thermansi>). Επομένως, αν λάβουμε ως σύμβαση τα παραπάνω, τότε για το ξενοδοχείο απαιτούνται 60.879,21 [lt] πετρελαίου. Αν θεωρήσουμε λοιπόν, μία μέση φετινή τιμή πετρελαίου (2018-2019) 1,146 [€] / [lt], τότε το κόστος για την αγορά του πετρελαίου ανέρχεται σε 69.767,57 [€].

Στην περίπτωση της γεωθερμικής αντλίας TMW-120 (νερού – νερού) ο βαθμός απόδοσης για θέρμανση COP είναι ίσος με 4,6. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει, αποδίδει 4,6 κιλοβατώρες θερμικής ενέργειας. Επομένως, για την περίπτωση μας, με ετήσιες καταναλώσεις 450.957,12 [kWh] θερμικής ενέργειας, απαιτείται κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ίση με 98.034,15 [kWh]. Άρα, θεωρώντας μέσο κόστος 0,18 [€] / [kWh] (πρόκειται για μία ενδεικτική τιμή για το ρεύμα καθώς αυτή επηρεάζεται από παράγοντες όπως σε ποια κλίμακα κατανάλωσης ανήκουμε) έχουμε συνολικό κόστος 17.646,14 [€] (<https://thermansipress.gr/thermansi>).



**Διάγραμμα 4:** Σύγκριση πετρελαίου – γεωθερμίας.

Για την ψύξη στο κεντρικό κτίριο χρησιμοποιούνται μονάδες κλιματισμού τύπου VRV και αυτόνομες μονάδες τύπου split. Οι ετήσιες καταναλώσεις σε ψύξη είναι 704.620,5 [kWh]. Επομένως, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, με μέσο κόστος 0,18 [€] / [kWh] το συνολικό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που θα καταναλωθεί ανέρχεται σε 126.831,69 [€]. Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας TMW-120 (νερού – νερού) για ψύξη EER είναι 14,1 και επομένως απαιτούνται 49.973,08 [kWh] ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης. Άρα, για την περίπτωση της ψύξης μέσω γεωθερμίας το συνολικό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που θα καταναλωθεί θα είναι 8.995,15 [€].

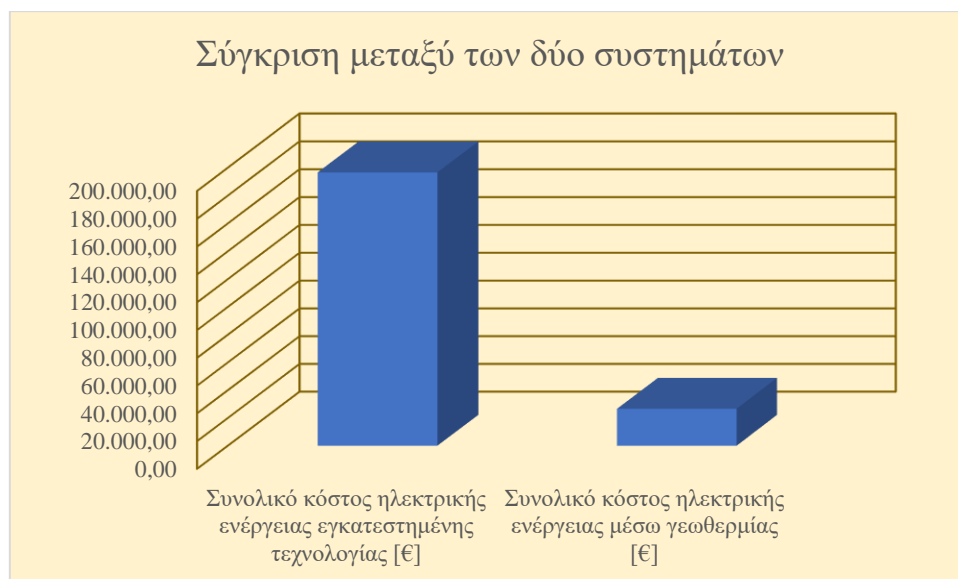


**Διάγραμμα 5:** Σύγκριση κλιματιστικών – γεωθερμίας.

Συνολικά λοιπόν, το ξενοδοχείο με την υπάρχουσα τεχνολογία που είναι εγκατεστημένη δαπανά για ZNX και ψύξη 196.599,26 [€] / [y]. Στην περίπτωση που γινόταν η εγκατάσταση της γεωθερμίας το συνολικό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλωνόταν θα ήταν 26.641,29 [€] / [y]. Επομένως, θα εξοικονομούσαν  $196.599,26 - 26.641,29 = 169.957,97$  [€]



τον χρόνο ενώ ταυτόχρονα, πέρα του οικονομικού οφέλους, θα επιτευχθεί και η προστασία του Περιβάλλοντος. Έτσι, ο χρόνος αποπληρωμής (simple pay – back time) για την προτεινόμενη επένδυση θα είναι:  $204.612,33/169.957,97 = 1,2$  έτη.



**Διάγραμμα 6:** Σύγκριση μεταξύ των δύο συστημάτων.

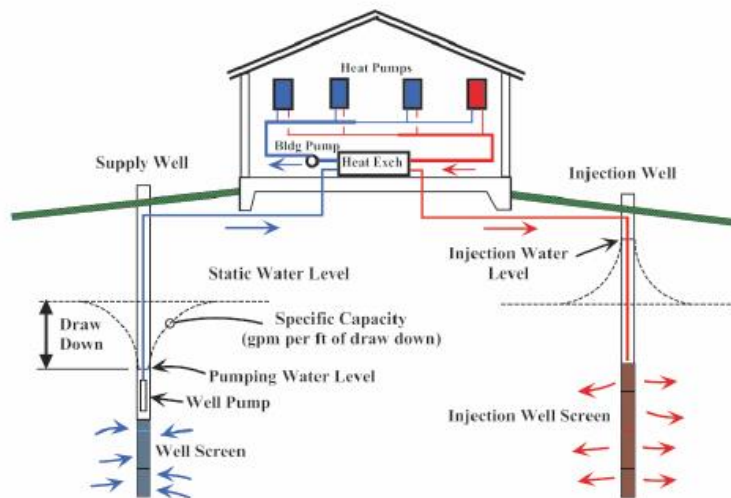
## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

### 5.1. Σύστημα γεωθερμίας ανοιχτού βρόχου

#### 5.1.1. Εισαγωγή

Στα ανοιχτά γεωθερμικά συστήματα εκμεταλλευόμαστε ως πηγή θερμότητας τον υπόγειο η επιφανειακό υδροφόρο ορίζοντα (από λίμνη, πηγάδι, θάλασσα, κλπ.) με υδρογεωτρήσεις. Τα ανοιχτά γεωθερμικά συστήματα αποτελούνται από το κύκλωμα υδρογεωτρήσεων, τη γεωθερμική αντλία θερμότητας και το δίκτυο διανομής της θέρμανσης ή της ψύξης και εφαρμόζονται σε περιοχές που παρουσιάζουν συνεχή υψηλή υπόγεια ή επιφανειακή υδροφορία. Η εκμετάλλευση της θερμότητας υπόγειου νερού προϋποθέτει την κατασκευή γεωτρήσεων και απαιτείται ο υπολογισμός των υδραυλικών χαρακτηριστικών του υδροφόρου ορίζοντα για την άντληση και επανεισαγωγή του ρευστού, εκτελούνται δοκιμαστικές αντλήσεις με σκοπό τον υπολογισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών ([https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/4773/2/00\\_master\\_document.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/4773/2/00_master_document.pdf)).

Στα γεωθερμικά συστήματα ανοικτού κυκλώματος, νερό αντλείται από υπόγειο ταμιευτήρα με χρήση γεώτρησης και συνήθως με ενδιάμεσο εναλλάκτη νερού – νερού που παρεμβάλλεται μεταξύ της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας και του ανοιχτού κυκλώματος, ενώ προσδίδουν ή απορροφούν ενέργεια στο σύστημα πριν το νερό επιστρέψει στον ταμιευτήρα. Το σύστημα αυτό ενδείκνυται σε περιοχές με ρηχό βάθος υδροφόρου ορίζοντα. Στην περίπτωση αυτή, αξιοποιείται η ιδιότητα της σταθερής θερμοκρασίας που έχουν τα νερά του υπόγειου ταμιευτήρα στη διάρκεια όλου του χρόνου, ανεξάρτητα από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν. Κατά τη διάρκεια του κύκλου θέρμανσης το χειμώνα το σύστημα λειτουργεί με την άντληση θερμότητας από το υπέδαφος και τη μεταφέρει από το κτήριο, ενώ κατά τη διάρκεια του κύκλου ψύξης, κατά το θέρος, θερμότητα μεταφέρεται από το κτήριο στο υπόγειο νερό. Η μεταφορά της θερμότητας συνοδεύεται από τη μεταφορά μάζας του υπεδάφικου ρευστού και βεβαίως για την περιβαλλοντική ισορροπία του συστήματος πρέπει το ρευστό να επανέλθει στον αρχικό υδροφόρο ορίζοντα. ([https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/4773/2/00\\_master\\_document.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/4773/2/00_master_document.pdf)).



Εικόνα 4: Απεικόνιση συστήματος γεωθερμίας ανοιχτού βρόχου.

(πηγή: <http://kluberinc.com/klubergeo/>)

### 5.1.2. Διαστασιολόγηση γεωθερμίας ανοιχτού βρόχου

Στην περίπτωση του ξενοδοχείου λοιπόν, θα μπορούσε να αξιοποιηθεί και σύστημα γεωθερμίας ανοιχτού βρόγχου λόγω της θάλασσας που βρίσκεται κοντά.



**Χάρτης 2:** Τρισδιάστατη απεικόνιση του Creta Maris.

(πηγή: Google Earth)

Υπολογίσθηκαν τα μέγιστα φορτία θέρμανσης και ψύξης τα οποία είναι 105,04 [kW] και 197,79 [kW] αντίστοιχα. Με αυτά τα δεδομένα επιλέχθηκε η γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού – νερού Logatherm WPS της Buderus με ονομαστική θερμική ισχύ 33 [kW] και ψυκτική ισχύ 44,8 [kW]. Για την κάλυψη της ζήτησης προτείνεται να εγκατασταθούν 5 τέτοιες μονάδες όπου οι 4 ΓΑΘ θα είναι κύριες και θα υπάρχει και 1 ΓΑΘ εφεδρείας.

Προτείνεται να διανοιχθούν 2 υδρογεωτρήσεις, μία προσαγωγής και μία επιστροφής. Οι θερμοκρασίες των υπόγειων νερών, σε βάθη 0 – 200 [m] είναι κατώτερες από 25 [°C]. Επίσης, σε βάθη από 0 – 30 [m] μιλάμε για αβαθή υπεδιαφική θερμότητα η οποία είναι ηλιακής προέλευσης. Επομένως, στην περίπτωση μας για λόγους ασφαλείας μπορεί να γίνει μια δοκιμαστική γεώτρηση και να διεξαχθεί μια δοκιμαστική άντληση σε βάθος 50 [m]. Η γεώτρηση αυτή μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί ως γεώτρηση προσαγωγής ή επιστροφής.

Οι θέσεις των γεωτρήσεων επιλέγονται έτσι ώστε:

- Να μην υπάρχει επίδραση μεταξύ τους.
- Να αποφευχθεί το θερμικό βραχυκύκλωμα.
- Να μην προκληθεί καθυστέρηση κατά την κατασκευή του έργου.
- Να υπάρχει η δυνατότητα επίσκεψης και ελέγχου των δικτύων.

Επομένως, η απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 50 [m] έτσι ώστε να αποφευχθεί η πιθανότητα για την μεταξύ τους αλληλεπίδραση (πχ. μεταβολή της θερμοκρασίας μεταξύ των γεωτρήσεων). Στις γεωτρήσεις παραγωγής πρέπει να χρησιμοποιούνται υποβρύχιες αντλίες κατασκευασμένες από ανθεκτικά, στη διάβρωση, υλικά ([https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/4773/2/00\\_master\\_document.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/4773/2/00_master_document.pdf)).

Μέγιστο φορτίο θέρμανσης [kW]( $q_{lh}$ )	105,04
Μέγιστο φορτίο ψύξης [kW] ( $q_{lc}$ )	197,79
Μέγιστο φορτίο θέρμανσης [Btu/h]( $q_{lh}$ )	358.407,08
Μέγιστο φορτίο ψύξης [Btu/h] ( $q_{lc}$ )	674.902

**Πίνακας 24:** Στον πίνακα φαίνονται το μέγιστο φορτίο θέρμανσης και ψύξης.

### 5.1.3. Επιλογή διαμέτρου σωλήνωσης εναλλάκτη

Η διάμετρος της σωλήνωσης έχει να κάνει με τη μεταφερόμενη ισχύ από τον κλιματιζόμενο χώρο προς το έδαφος και την παροχή του μέσου. Η επιλογή της διαμέτρου είναι τέτοια, ώστε συναρτήσει της απαιτούμενης μεταφερόμενης παροχής εντός των σωληνώσεων, η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει το 1 – 1,5 [m/s], ώστε να επιτυγχάνεται στρωτή ροή. Η μεταφερόμενη θερμική ισχύς και η παροχή μάζας του εργαζόμενου μέσου για τη ψύξη και τη θέρμανση αντίστοιχα, σχετίζονται με τη σχέση:

$$q_{lc} = \dot{m} \times C_p \times (t_{twi} - t_{wo})$$

$$q_{lh} = \dot{m} \times C_p \times (t_{twi} - t_{wo})$$

Όπου:

- $\dot{m}$  η παροχή μάζας του νερού στη σωλήνωση.
- $C_p = 4,184$  [kJ/kg×K] η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού.
- $t_{wi}$  η θερμοκρασία εισόδου του νερού στο γεωθερμικό εναλλάκτη.
- $t_{wo}$  η θερμοκρασία εξόδου του νερού από το γεωθερμικό εναλλάκτη.
- Η απόλυτη τιμή της διαφοράς θερμοκρασίας  $|t_{wi} - t_{wo}| = 4$  K.
- Από τις παραπάνω σχέσεις, υπολογίζεται η απαιτούμενη παροχή μάζας εντός της σωλήνωσης.
- Από την παροχή μάζας υπολογίζεται η παροχή όγκου με τη σχέση:

$$\dot{V} = u \times A \Rightarrow \dot{V} = \frac{\pi \times D^2}{4} \Rightarrow u = \frac{4 \times \dot{V}}{\pi \times D^2}$$

- Μέγιστο φορτίο θέρμανσης  $q_{lh} = 358.407,08$  [Btu/h] = 105,04 [kW]
- Παροχή μάζας:

$$q_{lh} = \dot{m} \times C_p \times (t_{twi} - t_{wo}) \Rightarrow \dot{m} = \frac{q_{lh}}{C_p \times (t_{twi} - t_{wo})} = \frac{105,04}{4,184 \times 4}$$

$$\dot{m} = 6,276[\text{kg/s}]$$

- Παροχή όγκου:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{6,276}{1000} = 0,00627 [\text{m}^3/\text{sec}]$$

Η συνολική αυτή παροχή όγκου θα διαμοιραστεί στις γεωτρήσεις που θα διανοιχθούν.

Με βάση τους υπολογισμούς που έγιναν με τη βοήθεια του προγράμματος Excel επιλέχθηκε η σωλήνωση SDR-11 1" πολυαιθυλενίου για τους βρόχους, με εσωτερική διάμετρο:

$$d_i = 33,4 \text{ [mm]} - 2 \times 3 \text{ [mm]} = 27,4 \text{ [mm]} = 0,027 \text{ [m]} = 0,09 \text{ [ft]}$$

Σημείωση: 1 [ft] = 0,3048[m]

- Η ταχύτητα ροής για αυτή τη σωλήνωση θα είναι:

$$u = \frac{4 \times V}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 1,047 \times 10^{-4}}{\pi \times 0,027^2} = 0,177 \text{ [m/s]}$$

Με τον ίδιο τρόπο, για την κεντρική παροχή, επιλέχθηκε η σωλήνωση SDR – 17 πολυαιθυλενίου με εσωτερική διάμετρο:

$$d_i = 140 \text{ [mm]} - 2 \times 8,3 \text{ [mm]} = 123,4 \text{ [mm]} = 0,1234 \text{ [m]} = 0,405 \text{ [ft]}$$

- Η ταχύτητα ροής θα είναι:

$$u = \frac{4 \times \dot{V}}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 0,00627}{\pi \times 0,1234^2} = 0,525 \text{ [m/s]}$$

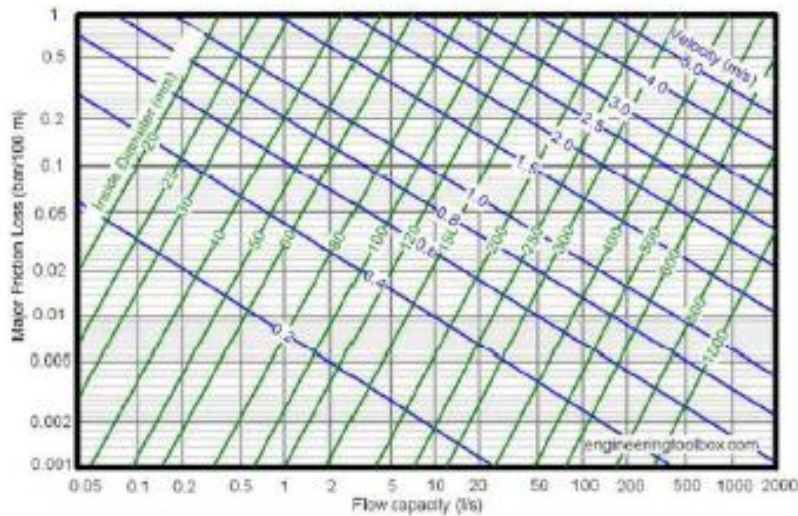
Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτή η σωλήνωση και όχι κάποια άλλη μεγαλύτερης διαμέτρου είναι για λόγους κόστους. Άλλωστε, η ταχύτητα βρίσκεται μέσα στα επιτρεπτά όρια.

#### 5.1.4. Υπολογισμός απωλειών

Υπολογίζονται οι απώλειες πίεσης μέσα στο γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας καθώς και στο συνολικό κύκλωμα των σωληνώσεων με σκοπό την επιλογή του κατάλληλου κυκλοφορητή. Οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των παρακάτω απωλειών:

- Γραμμικές απώλειες γεωθερμικών εναλλακτών.
- Απώλειες ενδιαμέσου δικτύου (μέχρι την αντλία θερμότητας).
- Τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων με τυπική τιμή ίση με 0,005 [bar].
- Τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ με τυπική τιμή 0,25 – 0,3 [bar].
- Τοπικές απώλειες πίεσης λοιπών εξαρτημάτων με τυπική τιμή 0,2 [bar].

Το παρακάτω διάγραμμα δίνει την απώλεια πίεσης σε [bar] ανά 100 [m] σωλήνωσης, σε σχέση με την παροχή, την ταχύτητα και τη διάμετρο της σωλήνωσης.



**Διάγραμμα 4:** Διάγραμμα απώλειας πίεσης

(πηγή: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Γεωθερμία, Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης)

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα οι απώλειες πίεσης ανά 100 [m] σωλήνωσης, όσο αφορά το τμήμα του κάθετου γεωεναλλάκτη θερμότητας, για την παροχή ρευστού 0,1047 [lt/s] και  $d_{in}=27,4$  [mm], θα είναι:  $\Delta_p/100$  [m]= 0,025 [ bar]. Επειδή οι σωληνώσεις στις 2 γεωτρήσεις είναι παράλληλες, η πτώση πίεσης είναι ίδια και έτσι υπολογίζεται για τον ένα γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας. Το μήκος του κάθε εναλλάκτη θα είναι:

$$50 \times 2 = 100 \text{ [m]}.$$

Επομένως οι γραμμικές απώλειες θα είναι:

$$0,025 \times 100 / 100 = 0,025 \text{ [bar]}.$$

Στο ενδιάμεσο δίκτυο με παροχή μάζας εργαζόμενου μέσου για θέρμανση 6,276 [kg/s] και  $d_{in}=123,4$  [mm], οι απώλειες  $\Delta_p/100$  [m] θα είναι: 0,08 [bar]. Έστω ότι η απόσταση της αντλίας θερμότητας από την τελευταία γεωτρήση είναι 250 [m].

Οι απώλειες πίεσης στο ενδιάμεσο προκύπτουν ίσες με:

$$0,08 \times 250 / 100 = 0,2 \text{ [bar]}.$$

Οι συνολικές απώλειες του συστήματος θα είναι ίσες με το άθροισμα των παρακάτω επιμέρους απωλειών:

- Τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων: 0,005 [bar].
- Τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ: 0,3 [bar].
- Τοπικές απώλειες πίεσης λοιπών εξαρτημάτων: 0,2 [bar].
- Γραμμικές απώλειες πίεσης γεωεναλλάκτη: 0,025 [bar].

- Γραμμικές απώλειες πίεσης στο ενδιάμεσο δίκτυο: 0,2 [bar].
- Συνολική πτώση πίεσης:  $0,84 \times 10,19 = 8,51$  [m] H<sub>2</sub>O.

Με τη συνολική πτώση πίεσης και τη συνολική παροχή επιλέγεται ο κυκλοφορητής του υδραυλικού δικτύου.

### 5.1.5. Υπολογισμούς δοχείου διαστολής

Ο όγκος του δοχείου διαστολής δίνεται από τη σχέση:

$$V_t = V_s \times \frac{\left(\frac{V_2}{V_1}\right) - 1}{1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)}$$

Όπου:

- $V_1$  : ο όγκος του δοχείου διαστολής [m<sup>3</sup>].
- $V_s$  : ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση [m<sup>3</sup>].
- $T_1$  : η χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου [°C].
- $T_2$  : η υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου [°C].
- $P_1$  : η χαμηλότερη πίεση του δικτύου [kPa].
- $P_2$  : η υψηλότερη πίεση του δικτύου [kPa].
- $V_1$  : ο ειδικός όγκος του νερού στη χαμηλότερη θερμοκρασία [m<sup>3</sup>/kgf].
- $V_2$  : ο ειδικός όγκος του νερού στην υψηλότερη θερμοκρασία [m<sup>3</sup>/kgf].

Ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση είναι άθροισμα δύο μεγεθών:

- Του όγκου στις σωληνώσεις του γεωθερμικού εναλλάκτη.
- Του όγκου στις σωληνώσεις του οριζόντιου συστήματος.

Θεωρώντας και στις δύο περιπτώσεις τις σωληνώσεις ως απλούς κυλίνδρους, έχουμε:

$$V_{γ.εν.} = 4 \times L_{γ.εν.} \times \frac{\pi \times d^2}{4} = 4 \times 50 \times \frac{\pi \times 0,027^2}{4} \Rightarrow V_{γ.εν.} = 0,118 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V_{εν.δ.} = 4 \times L_{εν.δ.} \times \frac{\pi \times d^2}{4} = 250 \times \frac{\pi \times 0,123^2}{4} \Rightarrow V_{εν.δ.} = 2,99 \text{ [m}^3\text{]}$$

Συνεπώς ο συνολικός όγκος νερού στο δίκτυο είναι ίσος με :  $0,118 + 2,99 = 3,108$  [m<sup>3</sup>].

- Ο ειδικός όγκος του νερού σε πίεση 1 [atm] και στη θερμοκρασία των 0 [°C] είναι  $V_1=0,0010002$  [m<sup>3</sup>/kgf] ενώ στη θερμοκρασία των 50 [°C] είναι  $V_2= 0,00110121$  [m<sup>3</sup>/kgf].
- Ως χαμηλότερη πίεση λαμβάνεται η απαραίτητη στατική πίεση του δικτύου προσαυξημένη κατά 0,7 [bar] ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος να παρουσιαστεί υποπίεση, ατμοποίηση ή σπηλαίωση.
- Η ελάχιστη στατική πίεση για υδραυλικά δίκτυα θέρμανσης λαμβάνεται 2 [m] (0,2 [bar]).
- Συνεπώς, η χαμηλότερη πίεση λαμβάνεται στο δίκτυο :  $P_1=0,7+0,2=0,9$  [bar] = 90[kPa].

- Ως υψηλότερη πίεση λαμβάνεται το άνω επιτρεπτό όριο πίεσης πριν το άνοιγμα της βαλβίδας ασφαλείας. Αυτή σύμφωνα με τις προδιαγραφές πρέπει να είναι :  $P_2 = P_1 + 1,3$  [bar]=2,2 [bar]=220 [kPa].
- Μετά τον καθορισμό των απαιτούμενων μεγεθών, υπολογίζεται ο όγκος του δοχείου διαστολής:

$$V_t = V_s \times \frac{\left(\frac{V_2}{V_1}\right) - 1}{1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)} = 3,108 \times \frac{\left(\frac{0,0010121}{0,0010002}\right) - 1}{1 - \left(\frac{90}{220}\right)} \Rightarrow V_t = 0,063 [m^3]$$

## 5.2. Τεχνοοικονομική ανάλυση γεωθερμίας ανοιχτού βρόχου

### 5.2.1. Οικονομικά στοιχεία

Στην πρόταση μας για το ξενοδοχείο Creta Maris προβλέπεται μόνο η ψύξη των δωματίων και όλων των κοινής χρήσης λειτουργικών χώρων και η παραγωγή ζεστού νερού. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς μας για τη γεωθερμία ανοιχτού κυκλώματος, το όλο σύστημα θα αποτελείται από 5 ΓΑΘ και τους απαραίτητους συνδέσμους, δοχεία και βοηθητικό εξοπλισμό, με την παραδοχή ότι δε γίνεται καμία αλλαγή στο εσωτερικό των χώρων.

Με βάση τους υπολογισμούς που έγιναν τα θερμαντικά φορτία υπολογίστηκαν ίσο με 105,03 [kW]. Επομένως, τα χαρακτηριστικά των ΓΑΘ που χρειάζονται είναι 4 γεωθερμικές αντλίες θερμότητας νερού – νερού Logatherm WPS της Buderus με ονομαστική θερμική ισχύ 33 [kW] και ψυκτική ισχύ 44,8 [kW] και μια ακόμη ίδια γεωθερμική αντλία που θα είναι εφεδρική του συστήματος. Το συνολικό κόστος των αντλιών, βάση αναζήτησης που έγινε στο διαδίκτυο ([https://www.buderus.gr/files/201206071034510.TIMOK\\_2012\\_KEF\\_13.pdf](https://www.buderus.gr/files/201206071034510.TIMOK_2012_KEF_13.pdf)), ανέρχεται σε αγορά ύψους  $9.700 \times 5 = 48.500$  [€]. Επίσης, το συνολικό κόστος κεφαλαίου για μία εγκατάσταση γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας κυμαίνεται από 200 [€] έως 1.400 [€] ανά εγκατεστημένο [kWh]. Αν στην περίπτωση μας για γεωθερμία ανοιχτού κυκλώματος λάβουμε υπόψιν μια μέση τιμή, δηλαδή τα 650 [€], τότε το συνολικό κόστος της εγκατάστασης θα είναι:

$$650 \times 105,03 + 48.500 = 116.945 \text{ [€]}$$

Το κεντρικό κτίριο του Creta Maris χρησιμοποιεί για την ψύξη των χώρων, κεντρικό κλιματισμό και για την θέρμανση του ZNX: 1 λέβητα πετρελαίου, 1 λέβητα υγραερίου και ηλιακά πάνελ. Για την αξιολόγηση της σκοπιμότητας της επένδυσης η σύγκριση γίνεται με το πετρέλαιο και τον κεντρικό κλιματισμό που χρησιμοποιείται σε μια κλασσική εγκατάσταση κλιματισμού και θέρμανσης. Οι ετήσιες καταναλώσεις είναι:

Ετήσιες καταναλώσεις σε θέρμανση [kWh]	450.957,12
Ετήσιες καταναλώσεις σε ψύξη [kWh]	704.620,5

Για τη θέρμανση στο κεντρικό κτίριο χρησιμοποιείται λέβητας πετρελαίου τύπου HOVAL SR450 και έναν καυστήρα πετρελαίου τύπου ECOFLAM MAIOR P45 AB HS TL.

Για ένα σπίτι 100 τ.μ. με ετήσιες ανάγκες θέρμανσης 7000 [kWh] απαιτούνται περίπου 945 [lt] πετρελαίου (<https://thermansipress.gr/thermansi>). Επομένως, αν λάβουμε ως σύμβαση τα



παραπάνω, τότε για το ξενοδοχείο απαιτούνται 60.879,21 [lt] πετρελαίου. Αν θεωρήσουμε λοιπόν, μία μέση φετινή τιμή πετρελαίου (2018-2019) 1,146 [€] / [lt], τότε το κόστος για την αγορά του πετρελαίου ανέρχεται σε 69.767,57 [€].

Στην περίπτωση της γεωθερμικής αντλίας Logatherm WPS της Buderus (νερού – νερού) ο βαθμός απόδοσης για θέρμανση COP είναι ίσος με 4,6. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει, αποδίδει 4,6 κιλοβατώρες θερμικής ενέργειας. Επομένως, για την περίπτωση μας, με ετήσιες καταναλώσεις 450.957,12 [kWh] θερμικής ενέργειας, απαιτείται κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ίση με 98.034,15 [kWh]. Άρα, θεωρώντας μέσο κόστος 0,18 [€] / [kWh] (πρόκειται για μία ενδεικτική τιμή για το ρεύμα καθώς αυτή επηρεάζεται από παράγοντες όπως σε ποια κλίμακα κατανάλωσης ανήκουμε) έχουμε συνολικό κόστος 17.646,14 [€] (<https://thermansipress.gr/thermansi>).



**Διάγραμμα 7:** Σύγκριση πετρελαίου – γεωθερμίας.

Για την ψύξη στο κεντρικό κτίριο χρησιμοποιούνται μονάδες κλιματισμού τύπου VRV και αυτόνομες μονάδες τύπου split. Οι ετήσιες καταναλώσεις σε ψύξη είναι 704.620,5 [kWh]. Επομένως, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, με μέσο κόστος 0,18 [€] / [kWh] το συνολικό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που θα καταναλωθεί ανέρχεται σε 126.831,69 [€]. Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας Logatherm WPS της Bunderus (νερού – νερού) για ψύξη EER είναι 5,09 και επομένως απαιτούνται 138.432,32 [kWh] ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης. Άρα, για την περίπτωση της ψύξης μέσω γεωθερμίας το συνολικό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που θα καταναλωθεί θα είναι 24.917,82 [€].



**Διάγραμμα 8:** Σύγκριση μεταξύ κλιματιστικών – γεωθερμίας.

Συνολικά λοιπόν, το ξενοδοχείο με την υπάρχουσα τεχνολογία που είναι εγκατεστημένη δαπανά για ΖΝΧ και ψύξη 196.599,26 [€] / [y]. Στην περίπτωση που γινόταν η εγκατάσταση της γεωθερμίας το συνολικό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλωνόταν θα ήταν 42.563,96 [€] / [y]. Επομένως, θα εξοικονομούσαν  $196.599,26 - 42.563,96 = 154.035,3$  [€] τον χρόνο ενώ ταυτόχρονα, πέρα του οικονομικού οφέλους, θα επιτευχθεί και η προστασία του Περιβάλλοντος. Επομένως, ο χρόνος αποπληρωμής (simple pay – back time), με βάση τις παραπάνω εκτιμήσεις, θα είναι:  $116.945/154.035,3 = 0,76$  έτη.



**Διάγραμμα 9:** Σύγκριση μεταξύ των δύο συστημάτων.

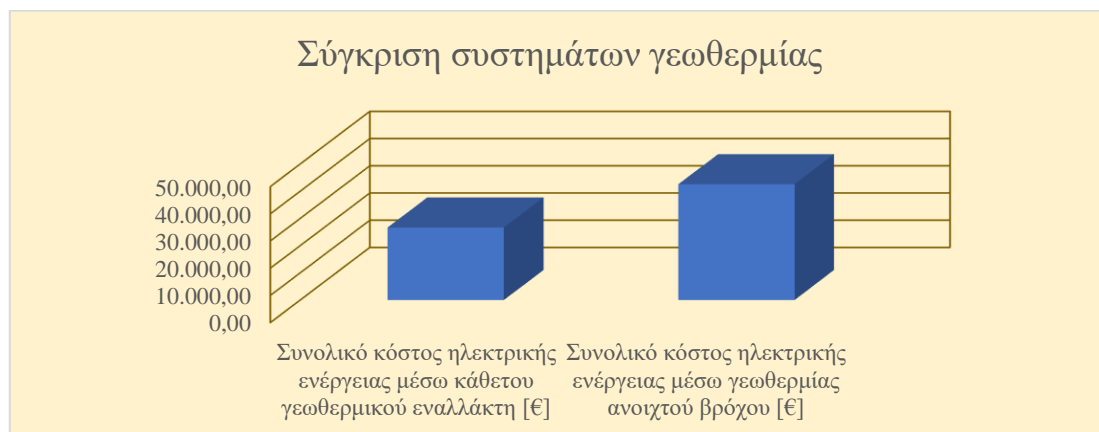
### 5.3. Σύγκριση μεταξύ κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη και γεωθερμίας ανοικτού κυκλώματος

#### 5.3.1. Οικονομικά στοιχεία

Εξετάζοντας τα 2 συστήματα παρατηρούμε τα εξής πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

Κάθετος Γεωθερμικός Εναλλάκτης	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Σε μεγάλα βάθη η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και είναι ίση με το μέσο όρο των χειμερινών και θερινών μέσων θερμοκρασιών της ατμόσφαιρας.	Απαιτούνται πολλές γεωτρήσεις και συνήθως μεγάλου βάθους.
Απαιτούν μικρή έκταση εγκατάστασης.	Υψηλό αρχικό κόστος κατασκευής.
Γεωθερμικό σύστημα με σταθερή απόδοση και αξιοπιστία.	
Γεωθερμικός εναλλάκτης ανοικτού κυκλώματος	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Απαιτούνται λίγες γεωτρήσεις μικρού βάθους.	Προβλήματα στην απόρριψη νερού μετά την κυκλοφορία του στην αντλία θερμότητας.
	Το θερμό νερό της ψυκτικής περιόδου εγκυμονεί κινδύνους θερμικής ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα.
Χαμηλό αρχικό κόστος κατασκευής.	Απαιτούν νερό καλής ποιότητας για την τροφοδοσία της αντλίας και σταθερής παροχής.
	Ανάγκη εγκατάστασης συστημάτων καθαρισμού και αποσκλήρυνσης του νερού.
Οικονομικά στοιχεία	
Γεωθερμία κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη	Γεωθερμία ανοικτού βρόχου
Συνολικό κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας	Συνολικό κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας
26.641,29 [€] / [y]	42.563,96 [€] / [y]

**Πίνακας 24:** Πλεονεκτημάτων – Μειονεκτημάτων.



**Διάγραμμα 10:** Σύγκριση μεταξύ των συστημάτων γεωθερμίας.

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>

### 6.1. Ηλιακή Γεωμετρία

#### 6.1.1. Ιστορική αναδρομή

Είναι γνωστό και επιστημονικά εμπεριστατωμένο πως ο Ήλιος είναι ένας πλανήτης του ηλιακού συστήματος. Είναι σχεδόν μια τέλεια σφαίρα με διάμετρο  $1,4 \times 10^6$  [km] και η μάζα του είναι  $2 \times 10^{30}$  [kg]. Ηλιακή ενέργεια διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις στο σύμπαν και ένας αποδέκτης είναι και η Γη. Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο, όπως:

- Το φως.
- Η φωτεινή ενέργεια.
- Η θερμότητα.
- Η θερμική ενέργεια.
- Η ενέργεια ακτινοβολίας.

Η ηλιακή ενέργεια είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον Ήλιο και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της.

Η ηλιακή γεωμετρία αναφέρεται στη μελέτη της θέσης του ήλιου σε σχέση με δεδομένο σημείο κατά ορισμένο χρονικό διάστημα. Σχετίζεται με ποικίλα θέματα εφαρμογής όπως:

- i. Την ερμηνεία των κλιματικών συνθηκών.
- ii. Τον υπολογισμό της ηλιακής πρόσπτωσης.
- iii. Τον προσδιορισμό της ηλιακής πρόσβασης.
- iv. Το σχεδιασμό ηλιοπροστασίας.

Η ηλιακή γεωμετρία συνδέεται με τις δύο κύριες κινήσεις της Γης.

- Την ημερήσια περιστροφή γύρω από τον άξονα Β-Ν από τα δυτικά προς τα ανατολικά η οποία διαρκεί 24 ώρες.
- Και την ετήσια κίνηση γύρω από τον ήλιο, που γίνεται με μέση ωριαία ταχύτητα 106.000 [km/m] και διαρκεί 365 ημέρες, 5 ώρες, 4 λεπτά και 46 δευτερόλεπτα. Το διάστημα αυτό λέγεται έτος.

#### 6.1.2. Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας

Απαραίτητα δεδομένα για τους υπολογισμούς μας είναι:

- Οι γεωγραφικές συντεταγμένες (γεωγραφικό πλάτος και μήκος).
- Η κλίση της επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο.
- Ο προσανατολισμός της επιφάνειας σε σχέση με το Νότο.

Οι υπολογισμοί υλοποιήθηκαν για τον Λιμένα Χερσονήσου του νομού Ηρακλείου, όπου βρίσκεται η ξενοδοχειακή μονάδα Creta Maris. Στον παρακάτω πίνακα παραθέτονται αναλυτικά τα απαιτούμενα δεδομένα για τους υπολογισμούς:

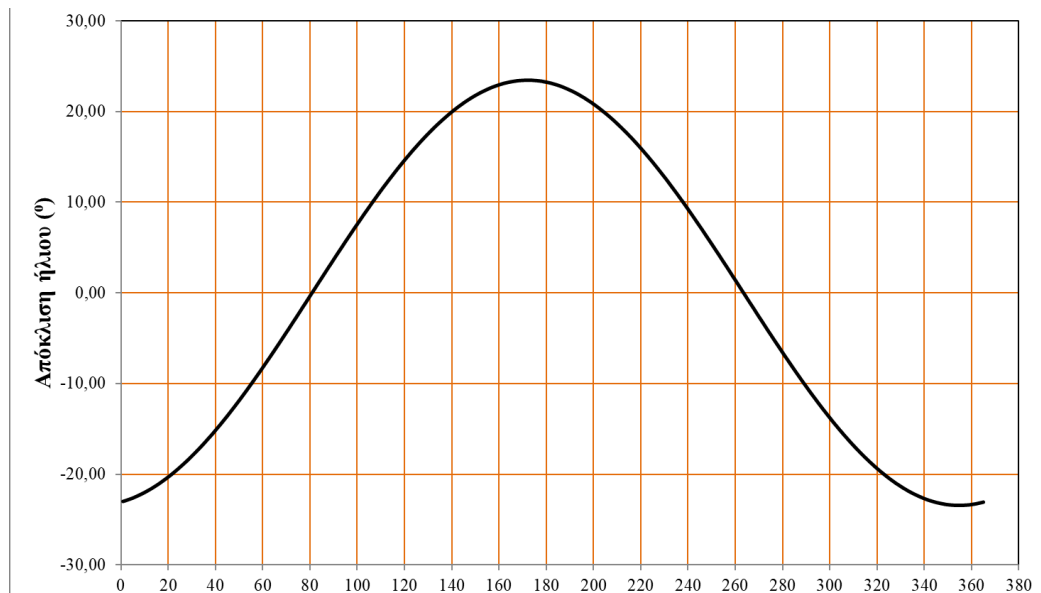
Γεωγραφικό πλάτος ( $\lambda$ )	35,18
Γεωγραφικό μήκος	25,23
Ζώνη ώρας	30,00
Κλίση επιφάνειας ( $\theta_p$ )	30,00
Αζιμούθιο επιφάνειας ( $\varphi_p$ )	0,00

Για ευκολία υπολογίστηκαν η εφαπτομένη, το ημίτονο και το συνημίτονο του γεωγραφικού πλάτους καθώς και το ημίτονο και το συνημίτονο της κλίσης της επιφάνειας όπως φαίνεται και παρακάτω:

Cos ( $\lambda$ )	0,8173
Sin ( $\lambda$ )	0,5761
Tan ( $\lambda$ )	0,7049
Cos ( $\theta_p$ )	0,5000
Sin ( $\theta_p$ )	0,8660

### 6.1.3. Απόκλιση ηλίου

- Ο άξονας B-N της γης αποκλίνει από την κάθετο στο επίπεδο της ελλειπτικής τροχιάς κατά σταθερή γωνία  $23,45^\circ$  περίπου.
- Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 11: Απόκλιση ηλίου.

### 6.1.4. Ηλιακοί χρόνοι ανατολής και δύσης

- Οι ηλιακός χρόνος ανατολής  $t_{sr}$  δίνεται από τη σχέση:

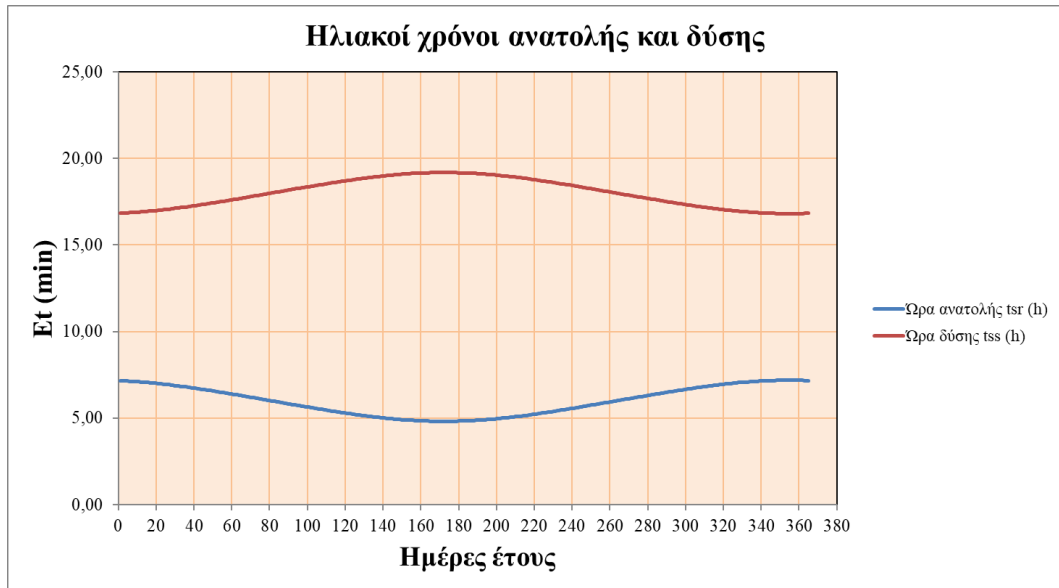
$$t_{sr} = 12 - \frac{24}{360} \times \omega_{sr}$$

- Ο ηλιακός χρόνος δύσης  $t_{ss}$  δίνεται από τη σχέση:

$$t_{ss} = 12 - \frac{24}{360} \times \omega_{ss}$$

- Όπου  $\omega_{sr}$  και  $\omega_{ss}$  η ωριαία γωνία του ήλιου κατά την ανατολή και τη δύση αντίστοιχα:

$$\omega_{sr} = \cos^{-1} \times (-\tan \lambda \times \tan \delta) \quad \omega_{ss} = -\omega_{sr}$$



Διάγραμμα 12: Ηλιακοί χρόνοι ανατολής και δύσης.

### 6.1.5. Εξίσωση χρόνου

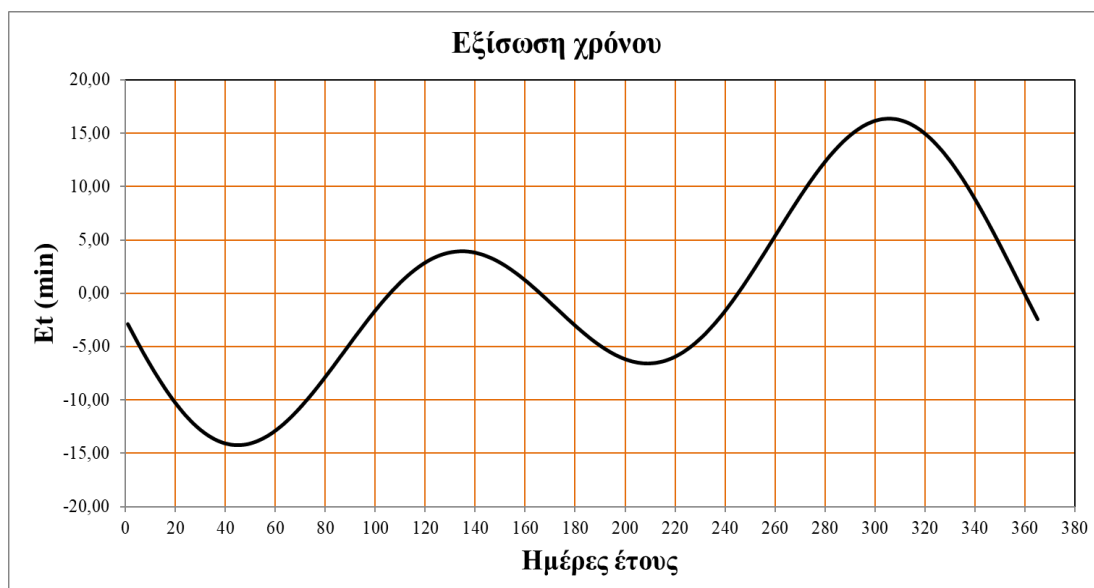
- Η απόκλιση μεταξύ του πραγματικού ηλιακού χρόνου και του μέσου ήλιου ονομάζεται εξίσωση χρόνου και δίνεται από τη σχέση :

$$E_t = 2,2918 \times [0,0075 + 0,1868 \times \cos(\Gamma) - 3,2077 \times \sin(\Gamma) - 1,4615 \times \cos(2\Gamma) - 4,089 \times \sin(2\Gamma)] [min]$$

- Όπου  $\Gamma$ :

$$\Gamma = 360^\circ \times \frac{n - 1}{365}$$

Και  $n$  ο τρέχων αριθμός του έτους.

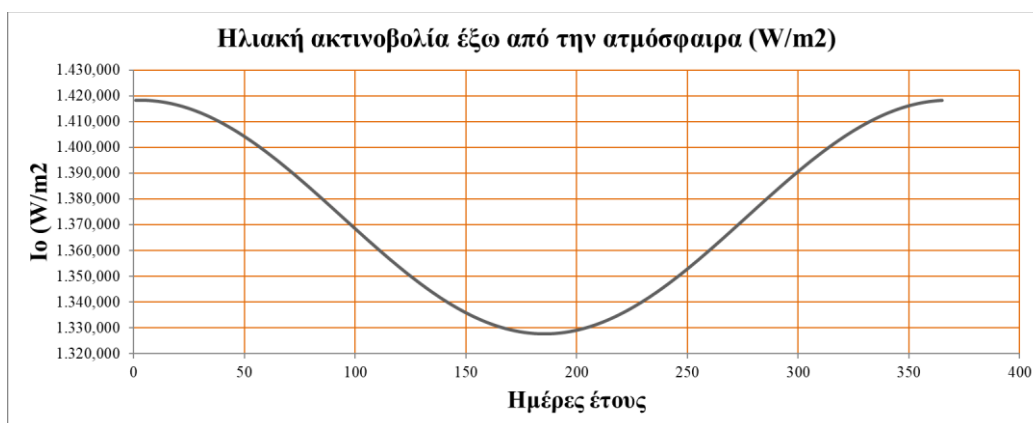


Διάγραμμα 13: Εξίσωση χρόνου.

### 6.1.6. Ηλιακή ακτινοβολία έξω από την ατμόσφαιρα

Η ηλιακή ακτινοβολία έξω από την ατμόσφαιρα  $I_o$  της γης λαμβάνεται από τη σχέση:

$$I_o = \left[ 1 + 0,033 \times \cos \frac{360^\circ \times (n - 3)}{365} \right] \times 1.373 [W/m^2]$$

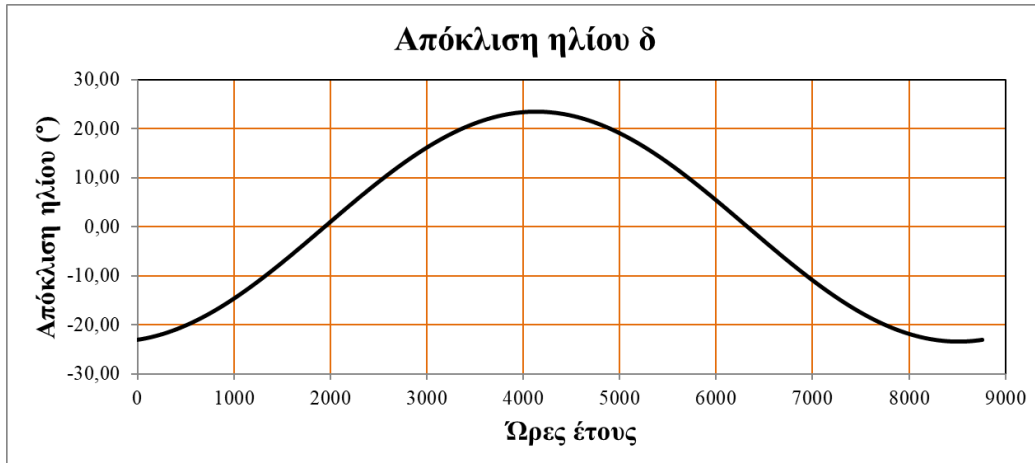


Διάγραμμα 14: Ηλιακή ακτινοβολία έξω από την ατμόσφαιρα (W/m<sup>2</sup>).

### 6.1.7. Απόκλιση ηλίου για ένα έτος

- Η απόκλιση του ήλιου για κάθε ώρα του έτους δίνεται από τη σχέση :

$$\delta = 23,45 \times \sin \frac{360 \times (n + (284 \times 24))}{365 \times 24}$$



Διάγραμμα 15: Απόκλιση ηλίου δ.

### 6.1.8. Γωνία πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια

- Η γωνία πρόσπτωσης  $\theta_i$  της ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια δίνεται από τη σχέση:

$$\cos(\theta_i) = [\cos(\beta) \times \sin(\theta_p) \times \cos(\gamma)] + [\sin(\beta) \times \cos(\theta_p)]$$

Όπου:

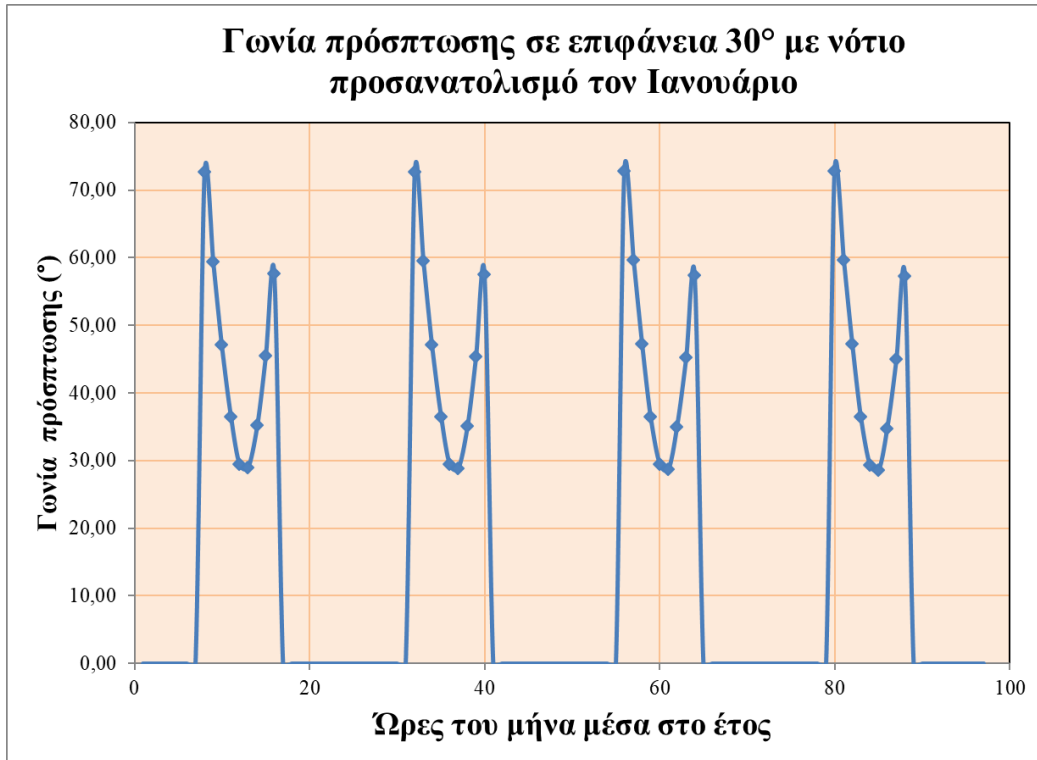
$\gamma = \varphi_a - \varphi_p$  : αζιμούθιο ήλιου επιφάνειας.

Η βέλτιστη γωνία κλίσης ( $\theta_p$ ) θα πρέπει να είναι περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $\lambda$ ) προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Κατά τη θερινή περίοδο θα πρέπει να είναι περίπου  $10^\circ - 15^\circ$  μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ενώ κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου πρέπει να είναι  $10^\circ - 15^\circ$  μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Ο βέλτιστος προσανατολισμός της επιφάνειας (αζιμούθιο  $\varphi_p$ ) είναι νότιος ( $\gamma=0^\circ$ ) ενώ απόκλιση κατά  $20^\circ - 30^\circ$  από το νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια.

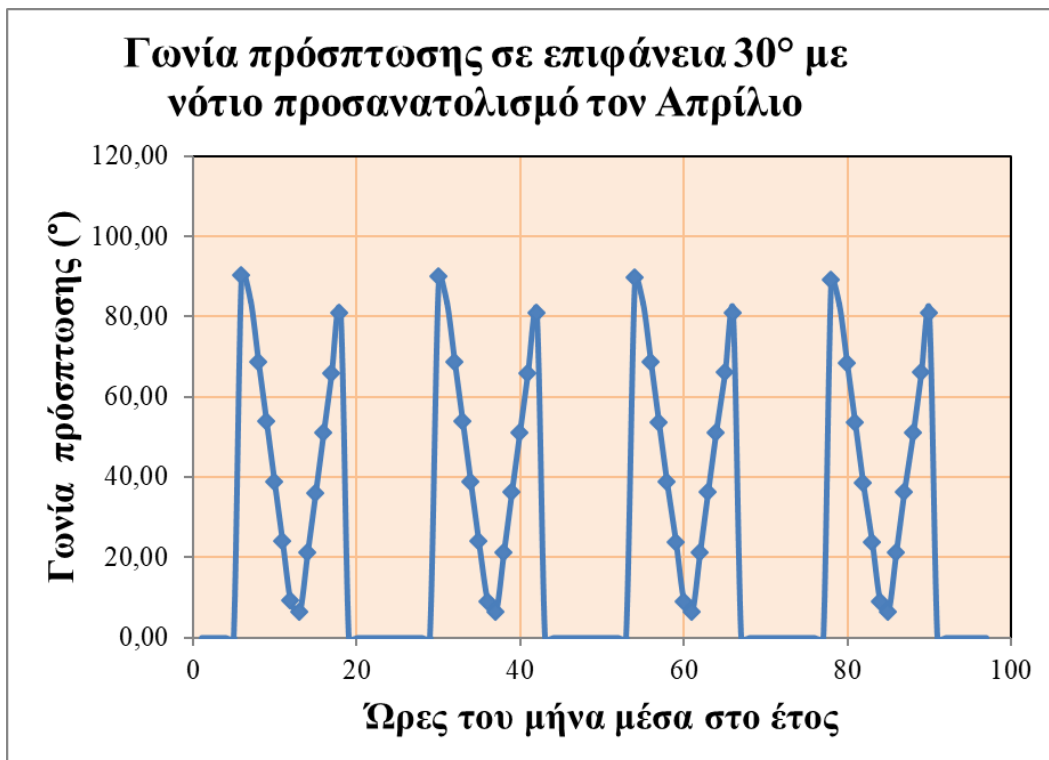
Τα παραπάνω ισχύουν για τη συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που έρχεται σα δέσμη από τον ήλιο. Για τις άλλες, ανακλώμενη και διάχυτη ακτινοβολία που θεωρούνται από ενεργειακής άποψης λιγότερο σημαντικές, σημαντικός παράγοντας για την μεγιστοποίηση της συλλογής τους είναι η απόλυτη τιμή της κλίσης του συλλέκτη, ανεξάρτητα από τη θέση του ηλίου. Όσο η κλίση απέχει περισσότερο από το οριζόντιο, τόσο μεγαλύτερο ποσό ανακλώμενης ακτινοβολίας από το έδαφος δέχεται ο συλλέκτης, αλλά και τόσο μικρότερο ποσό διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό.

Με βάση την παραπάνω εξίσωση υπολογίσθηκε η γωνία πρόσπτωσης σε επιφάνεια  $30^\circ$  για ενδεικτικούς μήνες. Παρακάτω δίνονται τα διαγράμματα της γωνιακής πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας για τους μήνες αυτούς:

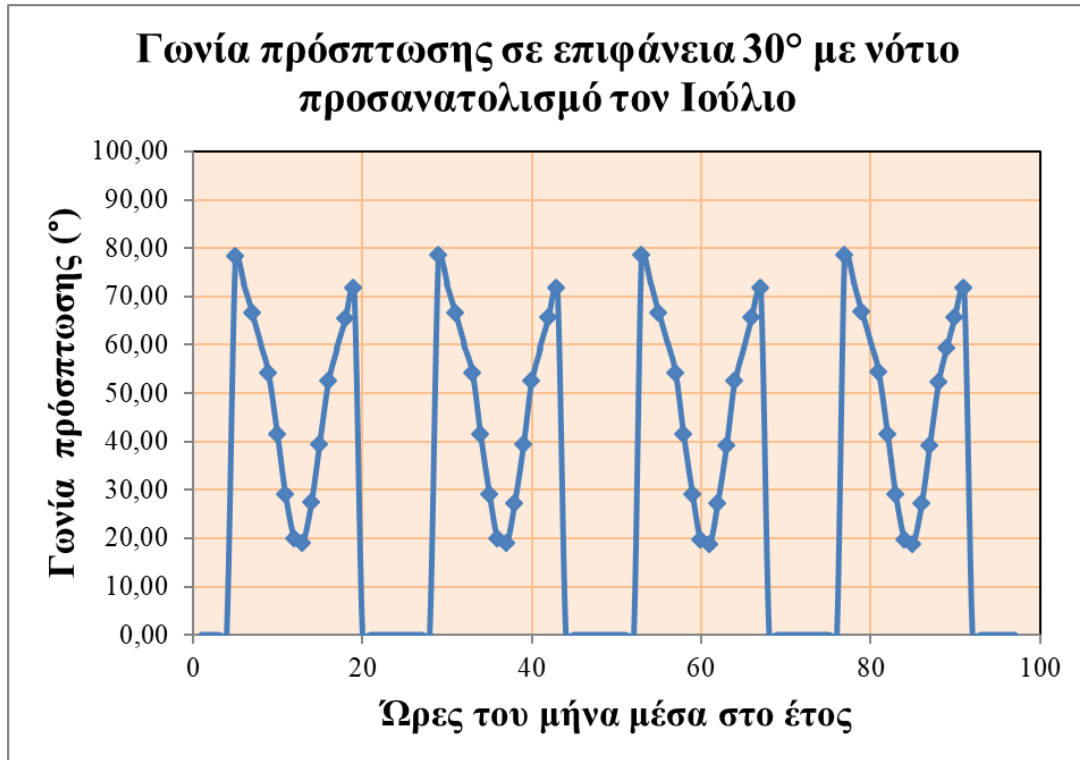




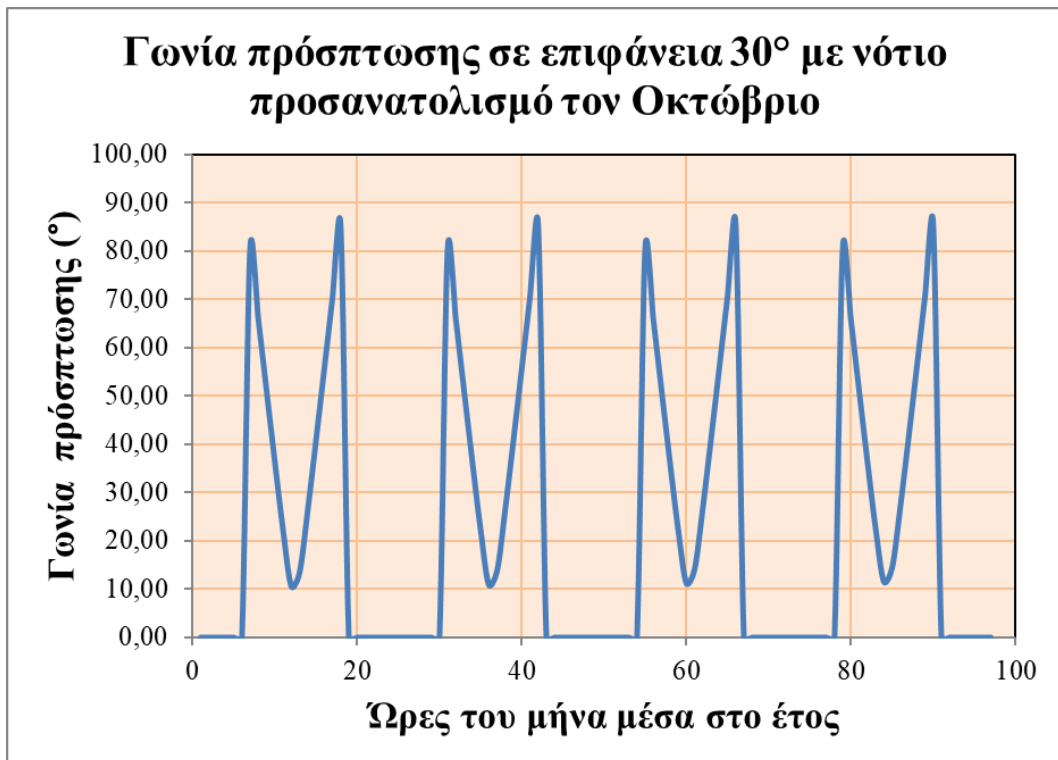
*Διάγραμμα 16:* Γωνία πρόσπτωσης σε επιφάνεια 30° με νότιο προσανατολισμό τον Ιανουάριο.



*Διάγραμμα 17:* Γωνία πρόσπτωσης σε επιφάνεια 30° με νότιο προσανατολισμό τον Απρίλιο.



Διάγραμμα 18: Γωνία πρόσπτωσης σε επιφάνεια 30° με νότιο προσανατολισμό τον Ιούλιο.



Διάγραμμα 19: Γωνία πρόσπτωσης σε επιφάνεια 30° με νότιο προσανατολισμό τον Οκτώβριο.

### 6.1.9. Ηλιακό ύψος

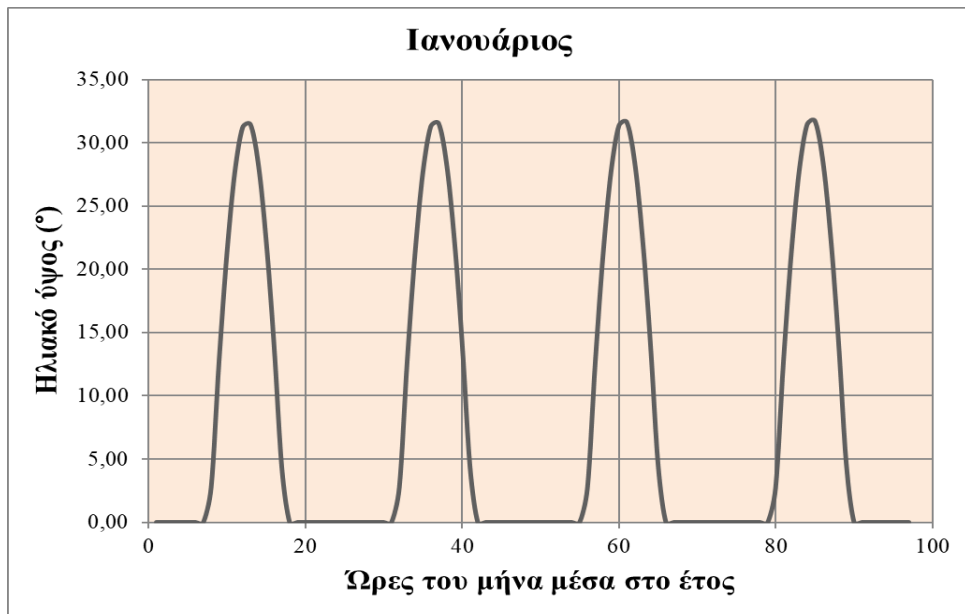
Το ηλιακό ύψος ( $\beta$ ) σε δεδομένη χρονική στιγμή δίνεται από τη σχέση:

$$\sin(\beta) = [\cos(\lambda) \times \cos(\delta) \times \cos(\omega)] + [\sin(\lambda) \times \sin(\delta)]$$

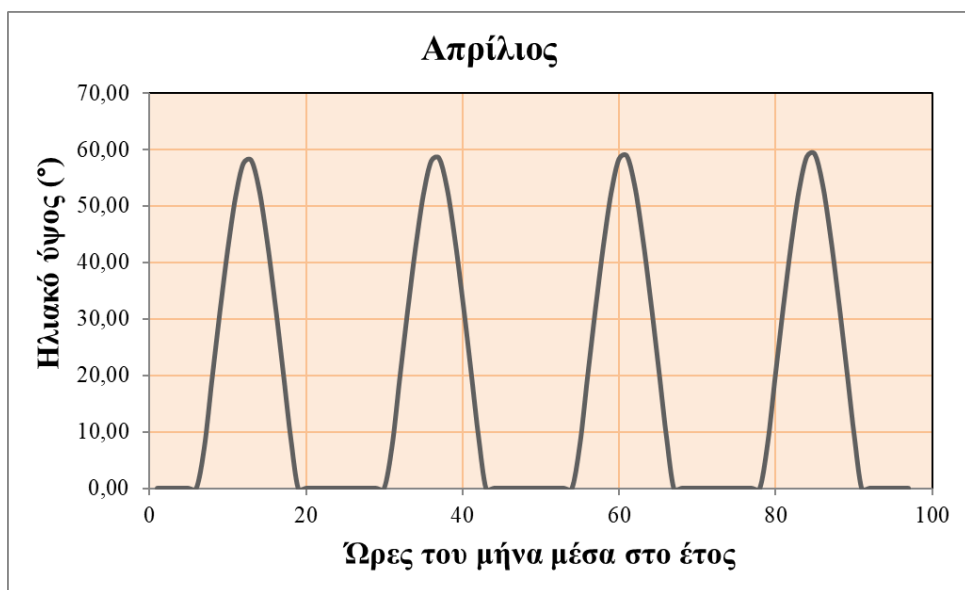
Όπου:

- $\lambda$  το γεωγραφικό πλάτος του σημείου μελέτης.
- $\delta$  η τρέχουσα απόκλιση του ηλίου.
- $\omega$  η τρέχουσα ωριαία γωνία του ήλιου.

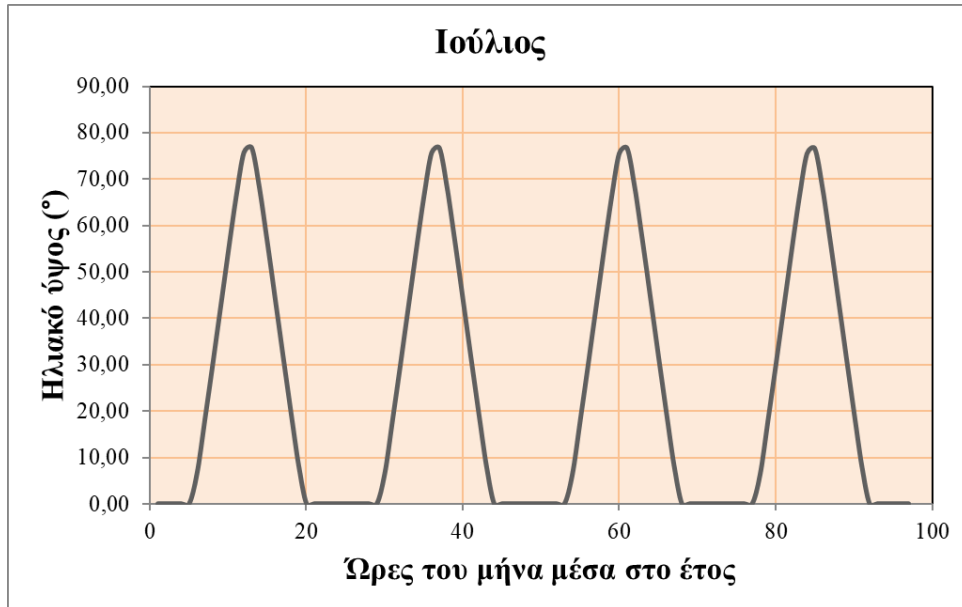
Παρακάτω δίνονται διαγράμματα για το ηλιακό ύψος σε ενδεικτικούς μήνες :



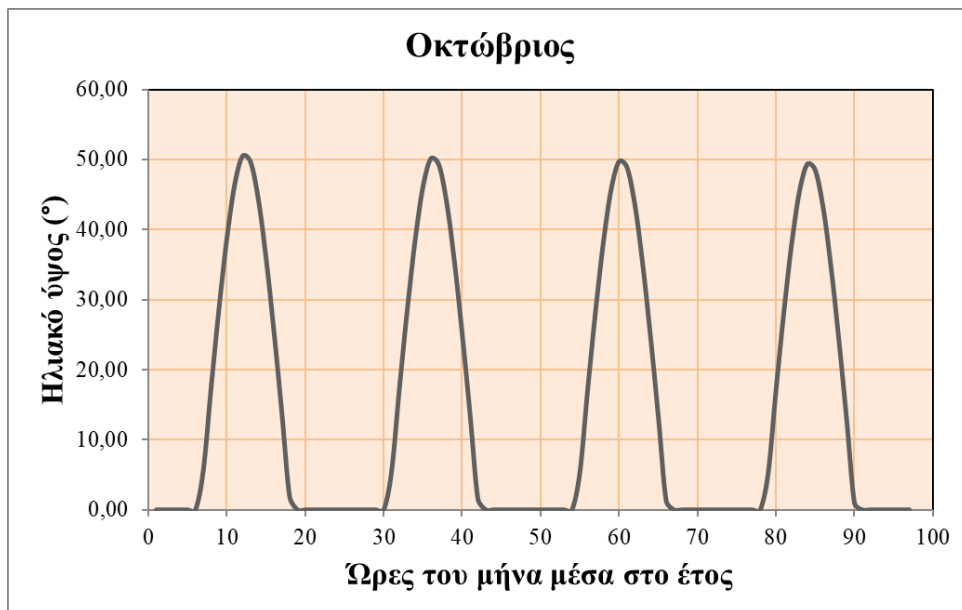
*Διάγραμμα 20:* Το ηλιακό ύψος για το μήνα Ιανουάριο.



*Διάγραμμα 21:* Το ηλιακό ύψος για το μήνα Απρίλιο.



Διάγραμμα 22: Το ηλιακό ύψος για το μήνα Ιούλιο.



Διάγραμμα 23: Το ηλιακό ύψος για το μήνα Οκτώβριο.

#### 6.1.10. Ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνεια υπό κλίση

- Η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια υπό κλίση δίνεται από τη σχέση:

$$I_{glo,p} = I_{dir} \times \frac{\cos(\theta_1)}{\cos(\theta_2)} + I_{dif} \times F_{sky} + I_{glo,hor} \times p_g \times F_{grd}$$

Όπου:

$$F_{sky} = \frac{1 + \cos(\theta_p)}{2} \quad F_{grd} = \frac{1 - \cos(\theta_p)}{2}$$

## Ενεργειακή Αναβάθμιση ξενοδοχειακής μονάδας Creta Maris

$\rho_g$  : συντελεστής ανακλαστικότητας του εδάφους.

Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Σασαμάνογλου – Μακρόγιαννη :

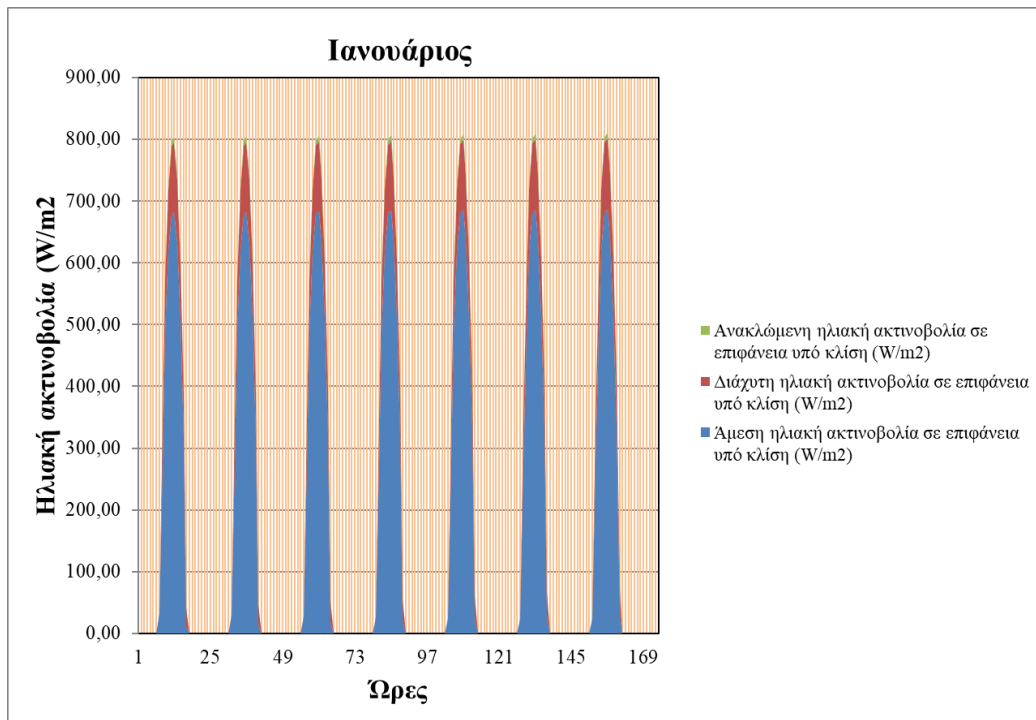
$$G_c = A \times \sin(\beta) + B$$

Month	A <sub>low</sub>	B <sub>high</sub>	A <sub>mean</sub>	B <sub>mean</sub>	A <sub>high</sub>	B <sub>high</sub>
1	995	-48	1102	-47	1156	-12
2	913	-37	1061	-43	1177	-15
3	880	-41	1050	-39	1184	-11
4	872	-41	1045	-37	1158	-10
5	875	-43	1051	-35	1170	-15
6	878	-42	1056	-34	1171	-13
7	878	-42	1062	-36	1144	-12
8	871	-38	1064	-35	1180	-15
9	906	-45	1083	-42	1194	-19
10	983	-44	1106	-40	1256	-14
11	932	-47	1163	-42	1244	-15
12	886	-50	1094	-46	1253	-16

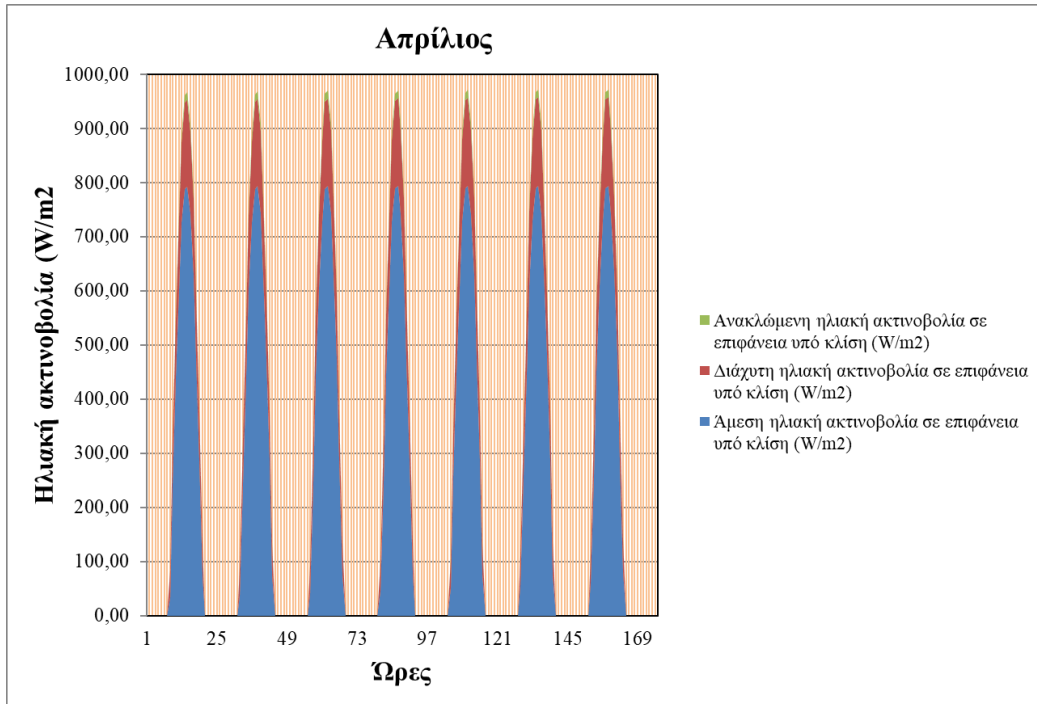
**Πίνακας 25:** Δεδομένα Σασαμάνογλου – Μακρόγιαννη

(πηγή: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Ηλιακή γεωμετρία, Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης)

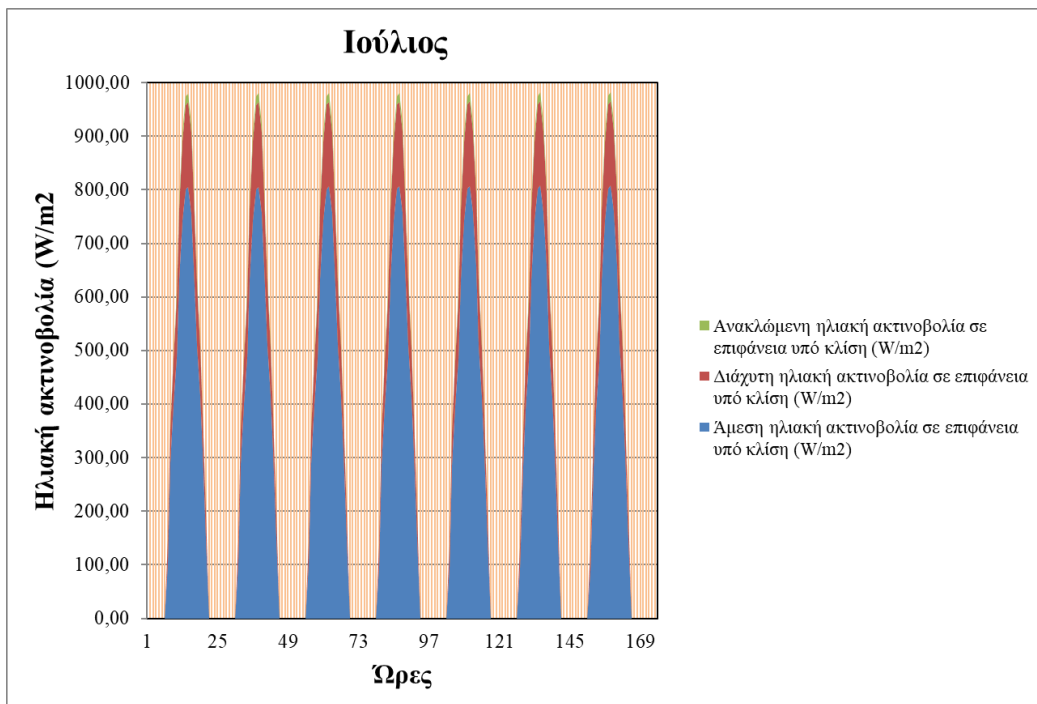
Για το Creta Maris που βρίσκεται στον Λιμένα Χερσονήσου στο νομό Ηρακλείου επιλέχθηκε η μεσαία στήλη. Παρακάτω δίνονται διαγράμματα για κάθε εποχή του έτους. Φυσικά, έγινε δειγματοληψία για κάποιες ημέρες, για ενδεικτικούς μήνες.



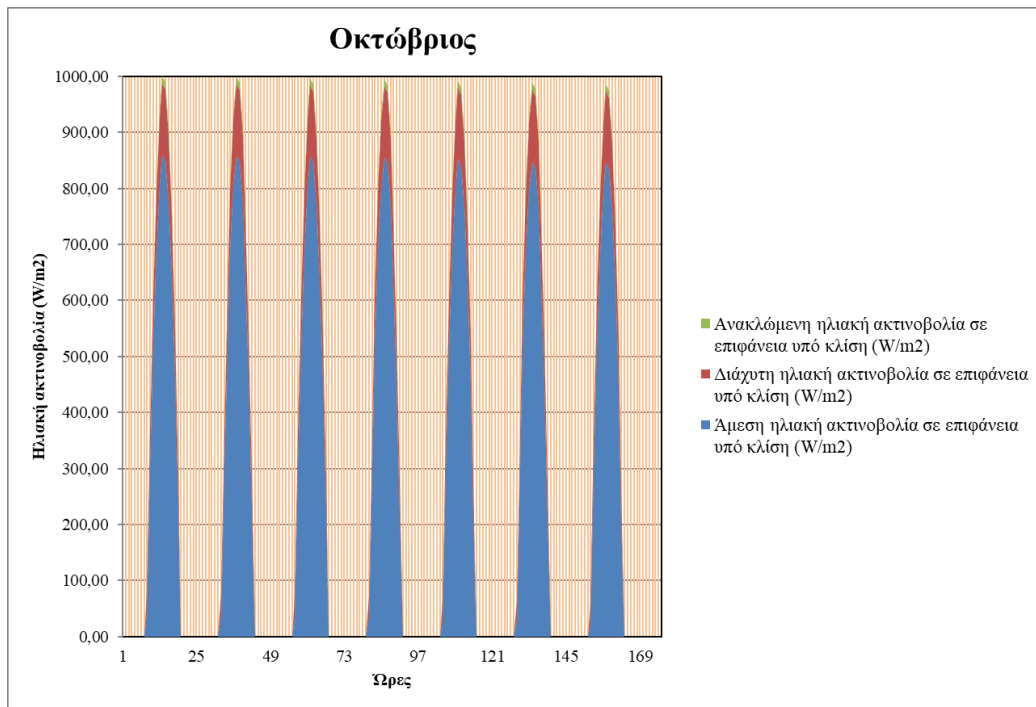
**Διάγραμμα 24:** Τα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας ( $W/m^2$ ) για το μήνα Ιανουάριο.



Διάγραμμα 25: Τα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας (W/m<sup>2</sup>) για το μήνα Απρίλιο.



Διάγραμμα 26: Τα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας (W/m<sup>2</sup>) για το μήνα Ιούλιο.



**Διάγραμμα 27:** Τα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας ( $W/m^2$ ) για το μήνα Οκτώβριο.

### 6.1.11. Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται από την ανάλυση που έγινε στο Λιμένα Χερσονήσου με γεωγραφικό πλάτος 35,32 και γεωγραφικό μήκος 25,10 η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για όλο το έτος είναι αρκετά υψηλή. Η μέση τιμή της ωριαίας ολικής ακτινοβολίας είναι 295,26 [ $W/m^2$ ]. Επομένως, η επιλογή εγκατάστασης ενός Φ/Β πάρκου ίσως να είναι συμφέρουσα. Για να εξακριβώσουμε εάν θα είναι όντως συμφέρουσα η επιλογή εγκατάστασης ενός Φ/Β πάρκου πρέπει να γίνει συγκεκριμένη μελέτη στην οποία θα αναφερθούμε στο επόμενο κεφάλαιο.

## 6.2. Οι βασικές αρχές στα φωτοβολταϊκά συστήματα

### 6.2.1. Εισαγωγή

Σε αυτή την ενότητα παραθέτουμε κάποιους βασικούς ορισμούς και περιγράφουμε τα πιο κύρια χαρακτηριστικά που έχουν τα διάφορα στοιχεία από τα οποία αποτελείται ένα Φ/Β σύστημα.

Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού πάνελ ορίζεται ως το πηλίκο της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την ισχύ της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στο πάνελ.

$$n_c = \frac{P_m}{P_{in}}$$

Ο στιγμιαίος συντελεστής απόδοσης ενός Φ/Β πλαισίου, εμβαδού  $S$ , προσδιορίζεται από το πηλίκο της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την προσπίπτουσα στο πλαίσιο, ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας.

$$n_m = \frac{P_m}{E \times S}$$

Όπου:

- $P_m$  : η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς
- $E$  : η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.
- $S$  : εμβαδόν επιφάνειας.

Οι ενεργειακές απώλειες σύμφωνα με το διάγραμμα Sankey, είναι το γινόμενο των επιμέρους στιγμιαίων συντελεστών ενεργειακών απωλειών.

$$n_m = n_{\gamma,m} \times n_{καθ} \times n_R \times n_{LI} \times n_s \times n_p \times n_T \times n_D \times n_{m,STC}$$

Όπου:

- $n_{\gamma,m}$  : Συντελεστής γήρανσης του Φ/Β πλαισίου.
- $n_{καθ}$  : Συντελεστής καθαρότητας του Φ/Β πλαισίου.
- $n_R$  : Συντελεστής απόκλισης λόγω διαφοροποίησης της αντανακλαστικότητας.
- $n_{LI}$  : Συντελεστής απόκλισης στην περιοχή χαμηλών τιμών πυκνότητας ισχύος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
- $n_s$  : Συντελεστής φασματικής απόκλισης λόγω διαφορετικού φάσματος σε σχέση με το φάσμα σε STC.
- $n_T$  : Συντελεστής απόκλισης εξαιτίας της πόλωσης της ηλιακής ακτινοβολίας.
- $n_p$  : Συντελεστής απόκλισης της απόδοσης του Φ/Β πλαισίου εξαιτίας της διαφοροποίησης της θερμοκρασίας της κυψελίδας σε σχέση με τη θερμοκρασία αναφοράς, 25 [°C].
- $n_D$  : Συντελεστής απωλειών στη δίοδο αντεπιστροφής.
- $n_{m,STC}$  : Συντελεστής απόδοσης Φ/Β πλαισίου σε πρότυπες συνθήκες (STC).

### 6.2.2. Βασική μορφή ενός Φ/Β συστήματος

Η Φ/Β συστοιχία παράγει συνεχή τάση και επομένως μπορεί να τροφοδοτήσει ηλεκτρικές συσκευές που λειτουργούν με συνεχές ρεύμα και τάση τροφοδοσίας 12 ή 24 [V] DC όπως:

- Αντιστάσεις θέρμανσης.
- Ηλεκτρικά ψυγεία συνεχούς.
- Ηλεκτρικούς λαμπτήρες, κα.

Με ειδικές διατάξεις μπορεί να μετατραπεί το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο (Inverters), προκειμένου να τροφοδοτηθούν συσκευές οι οποίες είναι συνδεδεμένες στο κεντρικό δίκτυο της ΔΕΗ 220 [Vac].



Η επιλογή της απευθείας χρήσης της συνεχούς τάσης από ένα Φ/Β σύστημα ή μετατροπή σε εναλλασσόμενη, εξετάζεται κατά περίπτωση (Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Ι.Ε. Φραγκιαδάκης 3<sup>η</sup> Έκδοση). Η απευθείας χρήση της συνεχούς τάσης χρησιμοποιείται σε περιορισμένες περιπτώσεις. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων γίνεται μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη κυρίως γιατί οι περισσότερες συσκευές και εργαλεία καθημερινής χρήσης, τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενη τάση.

Ένα τυπικό σύστημα Φ/Β τροφοδοσίας με inverter αποτελείται κυρίως από:

- Το σύστημα των Φ/Β πλαισίων.
- Τους ηλεκτρικούς συσσωρευτές.
- Τον ελεγκτή φόρτισης.
- Τον μετατροπέα της ηλεκτρικής τάσης (Inverter).

### 6.2.3. Χαρακτηριστικά Φ/Β συστημάτων

Τα Φ/Β συστήματα έχουν τα εξής πλεονεκτήματα έναντι των άλλων πηγών Α.Π.Ε. :

- Άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σε μικρή ή μεγάλη ισχύ.
- Δυνατότητα σταδιακής υλοποίησης του συστήματος.
- Αθόρυβη λειτουργία.
- Μηδενικές εκπομπές ρύπων.
- Μεγάλη αξιοπιστία.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης.
- Εξαιρετικά καλή αισθητική παρουσία.

Μειονεκτήματα:

- Υψηλό οικονομικό κόστος.

### 6.2.4. Η σχεδίαση του φωτοβολταϊκού συστήματος

Για το σχεδιασμό ενός Φ/Β σταθμού όπως και για κάθε σχεδιασμό τεχνικού έργου απαιτείται η επιλογή συγκεκριμένων μεγεθών τα οποία θα καθορίσουν την αποτελεσματικότητα του και επομένως την ελκυστικότητα της επένδυσης για την κατασκευή τους. Η λογική που ακολουθείται για την επιλογή της ισχύος του Φ/Β είναι κατά κύριο λόγο η εξής:

- i. Διαθέσιμη επιφάνεια κάλυψης.
- ii. Συγκεκριμένες απαιτήσεις κάλυψης.
- iii. Οικονομοτεχνικά κριτήρια..

Στην περίπτωση του ξενοδοχειακού συγκροτήματος υπάρχει η διαθέσιμη επιφάνεια 2,5 στρεμμάτων σε απόσταση 16 χιλιομέτρων από το Ηράκλειο και οι μεγάλες καταναλώσεις που έχει το συγκρότημα για την περίοδο της λειτουργίας του (από Απρίλιο μέχρι και Οκτώβριο). Μια σημαντική παράμετρος είναι και η διαθεσιμότητα του Terra Maris, κυρίως ως συνεδριακό κέντρο, το οποίο δεν έχει σταθερή περίοδο λειτουργίας αλλά όταν χρησιμοποιείται απαιτεί μεγάλες καταναλώσεις.

Σε γενικές γραμμές το ποσό της ηλιακής ενέργειας είναι διαφορετικό από περιοχή σε περιοχή και στην Ελλάδα είναι μεγαλύτερο όσο πιο νότια βρισκόμαστε.

- Στην Βόρεια Ελλάδα η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει 1 [kW] φωτοβολταϊκών είναι από 1.150 – 1.250 [kWh] κάθε έτος.
- Στην Κεντρική Ελλάδα η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει 1 [kW] φωτοβολταϊκών είναι από 1.200 – 1.300 [kWh] κάθε έτος.
- Στην Νότια Ελλάδα η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει 1 [kW] φωτοβολταϊκών είναι από 1.250 – 1.400 [kWh] κάθε έτος.

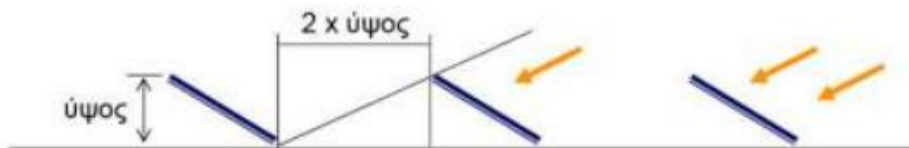
### 6.2.5. Η επιλογή των φωτοβολταϊκών πάνελ

Γνωρίζοντας τις ανάγκες που έχει το ξενοδοχειακό συγκρότημα μπορούμε να υπολογίσουμε το μέγεθος του φωτοβολταϊκού πάρκου που απαιτείται για την κάλυψη ενός ποσοστού της ζήτησης. Άρα, για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων, θα ληφθούν υπόψιν οι μήνες με την χαμηλότερη ζήτηση, που ο μέσος όρος αυτής είναι της τάξης των 500 [kWh/d].

Επομένως, με την εγκατάσταση ενός Φ/Β πάρκου ονομαστικής ισχύος 99 [kWc] αναμένουμε να παράγουμε περίπου 1,5 [MWh] τις οποίες θα διαθέτουμε στη ΔΕΗ με ισόποση αφαίρεση [MWh] από την κατανάλωση του συγκροτήματος. Επιλέγεται πάνελ μονοκρυσταλλικού πυριτίου ονομαστικής ισχύος 300 [W] το καθένα τοποθετημένα πάνω σε σταθερές βάσεις αλουμινίου. Ο απαιτούμενος αριθμός πάνελ για την εγκατάσταση, θα είναι:

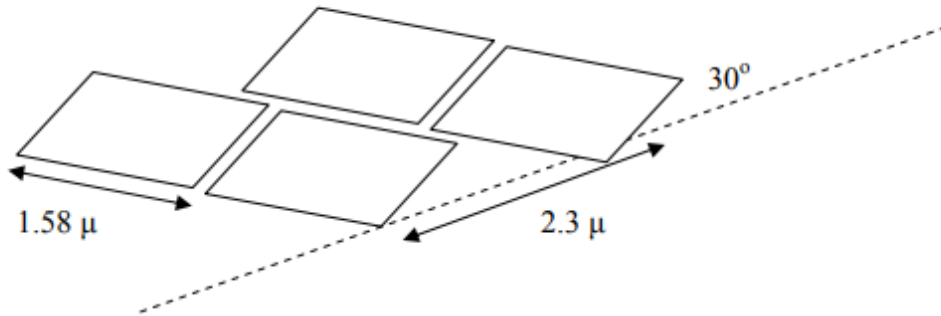
$$\text{πάνελ} = \frac{150.000}{300} = 500$$

Επειδή όμως, το Φ/Β πάρκο θα δημιουργηθεί σε οικόπεδο ιδιοκτησίας του ξενοδοχείου συνολικής επιφάνειας 1,424 στρεμμάτων (48,27×29,5 μέτρα) και το κάθε στοιχείο έχει διαστάσεις 1686×1016×40 [mm] (1,7 τετρ. μέτρα) (<https://www.irishellas.com/files/LGE-Data-Sheet-LGxxxS1C-A5-EN.pdf>), χρειάζεται μια επιφάνεια 8 περίπου τετρ. μέτρων για την παραγωγή 1 [kWc]. Αυτή είναι η ονομαστική επιφάνεια, ενώ στην πραγματικότητα η πραγματική επιφάνεια που απαιτείται για την εγκατάσταση ενός Φ/Β συστήματος σε επίπεδο οικόπεδο μπορεί να είναι 2 με 2,5 φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική επιφάνεια των Φ/Β έτσι ώστε να αποφευχθεί η σκίαση μεταξύ των ίδιων των πάνελ.



**Εικόνα 5:** Μέθοδος υπολογισμού για την χωροθέτηση πάνελ.

(πηγή: [http://tkm.tee.gr/wp-content/uploads/2018/02/fwtovoltaika\\_ergwn.pdf](http://tkm.tee.gr/wp-content/uploads/2018/02/fwtovoltaika_ergwn.pdf))

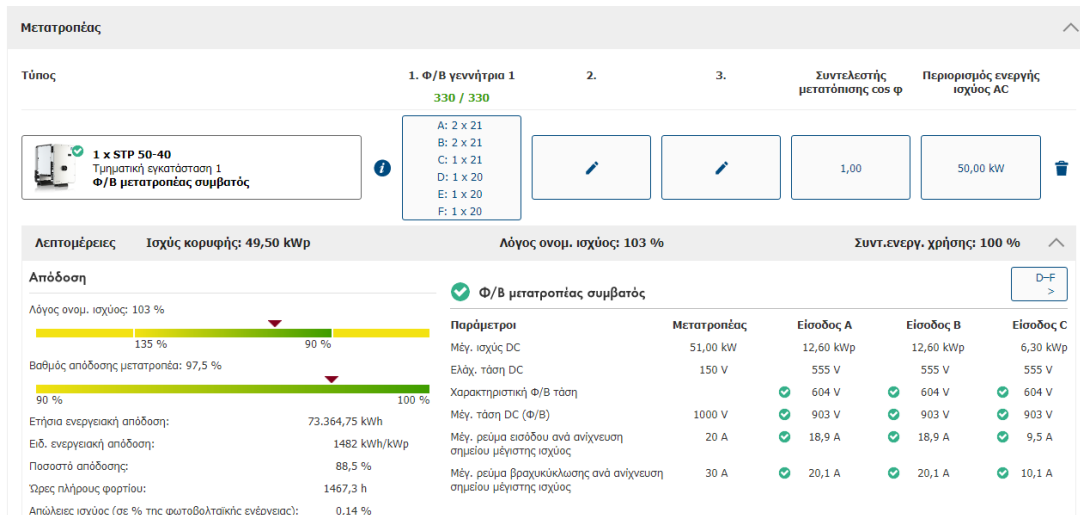


**Εικόνα 6:** Μέθοδος υπολογισμού απόστασης για ελάχιστη σκίαση.  
(πηγή: [http://tkm.tee.gr/wp-content/uploads/2018/02/fwtovoltaika\\_ergwn.pdf](http://tkm.tee.gr/wp-content/uploads/2018/02/fwtovoltaika_ergwn.pdf))

Ο κατασκευαστής, δίνει στην εγκατάσταση ως μέγιστο αριθμό 60 στοιχεία εν σειρά. Επομένως, στο οικόπεδο των 1,424 στρεμμάτων, ο νέος απαιτούμενος αριθμός πάνελ θα είναι :

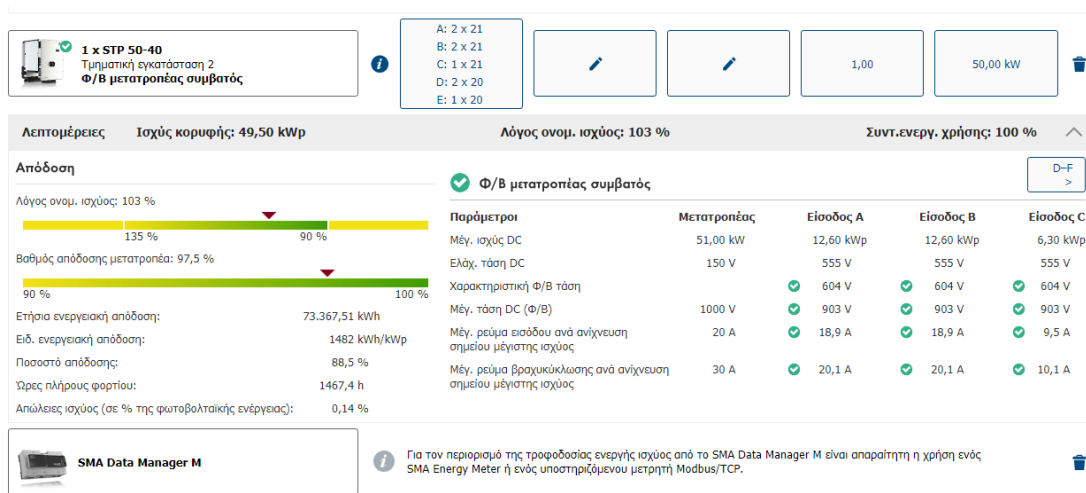
$$\text{πάνελ} = \frac{100.000}{300} = 330$$

Τα 330 στοιχεία που χρειάζονται συνολικά μπορούν να χωροθετηθούν σε 2 τμηματικές εργασίες όπου η 1<sup>η</sup> θα αποτελείται από 6 σειρές και η 2<sup>η</sup> θα αποτελείται από 5 σειρές για καλύτερη απόδοση σύμφωνα με το πρόγραμμα της SMA.



**Εικόνα 7:** Απεικόνιση 1<sup>ης</sup> τμηματικής εργασίας.  
(πηγή: <https://www.sunnydesignweb.com/sdweb/#/PlantConfiguration/8ea5ab72-4cc5-4fbe-9616-1324de6f885b/3bef3551-71ea-43f9-9065-9af13aab08da>)

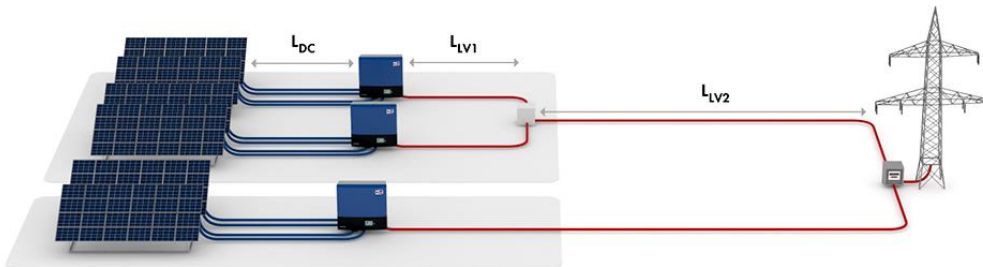
## Ενεργειακή Αναβάθμιση ξενοδοχειακής μονάδας Creta Maris



**Εικόνα 8:** Απεικόνιση 2<sup>ης</sup> τμηματικής εργασίας.

(πηγή: <https://www.sunnydesignweb.com/sdweb/#/PlantConfiguration/8ea5ab72-4cc5-4fbe-9616-1324de6f885b/3bef3551-71ea-43f9-9065-9af13aab08da>)

Το οικόπεδο, όπου θα εγκατασταθεί το Φ/Β πάρκο, χρειάζεται να μην έχει τριγύρω φυσικά εμπόδια, όπως άλλα κτήρια ή ψηλά δέντρα που θα επηρεάσουν την επίτευξη της μέγιστης δυνατής παραγωγής ισχύος από τα Φ/Β στοιχεία. Θεωρούμε ότι στην περίπτωση του διαθέσιμου από το ξενοδοχειακό συγκρότημα οικοπέδου η προϋπόθεση αυτή καλύπτεται. Θα υπάρχει εγκατεστημένος σταθμός συλλογής και αντιστροφής της συνεχούς τάσης. Η αντιστροφή θα γίνεται με τη βοήθεια inverter.

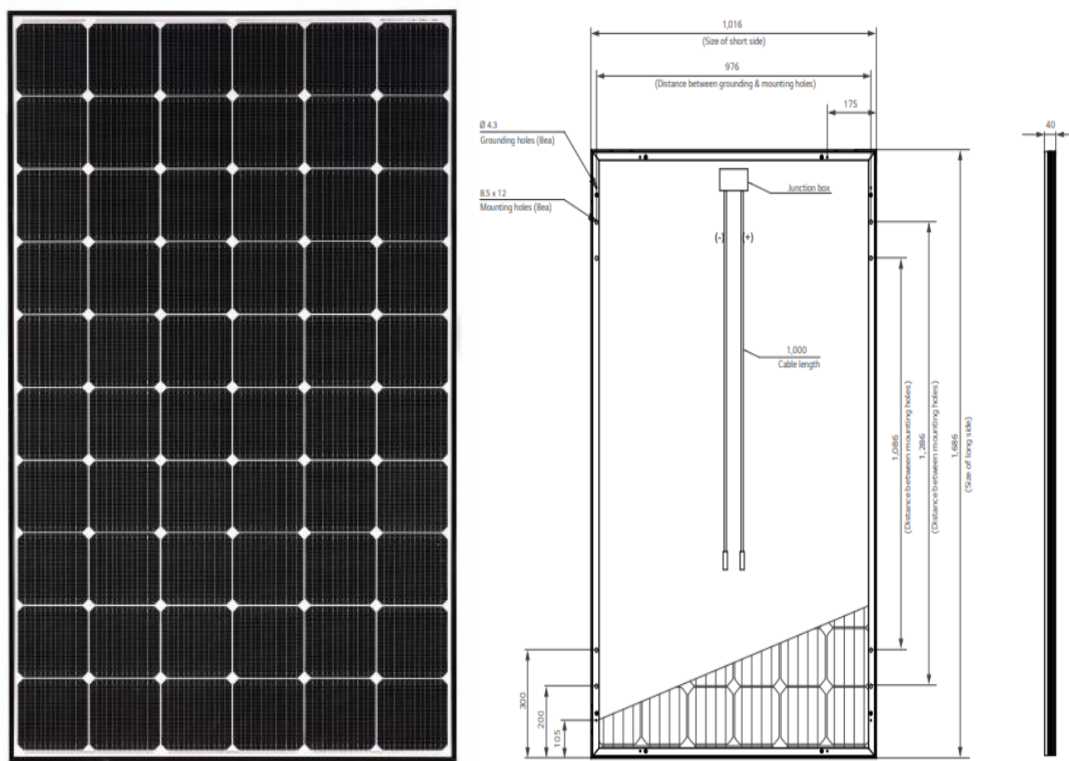


**Εικόνα 9:** Γραφική απεικόνιση διασύνδεσης του Φ/Β πάρκου.

(πηγή: <https://www.sunnydesignweb.com/sdweb/#/CableSizing/8ea5ab72-4cc5-4fbe-9616-1324de6f885b>)

Για την επιλογή των καταλληλότερων Φ/Β πάνελ αναζητήθηκαν στοιχεία από το διαδίκτυο πριν καταλήξουμε στα LG Mono X Plus.

Κάθε πάνελ έχει στην επιφάνεια του 60 κυψέλες (6×10) οι οποίες είναι συνδεδεμένες με ράγες ηλεκτροδίων που μεταφέρουν την παραγόμενη ισχύ μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.



**Εικόνα 10:** Πάνελ τύπου LG Mono X Plus

(πηγή: <https://www.irishellas.com/files/LGE-Data-Sheet-LGxxxS1C-A5-EN.pdf>)

Κάθε πάνελ ζυγίζει 24 κιλά και είναι ανθεκτικό σε φορτία μέχρι 200 [kg/m<sup>2</sup>]. Η ανθεκτικότητα του διασφαλίζεται από την πάνω επιφάνεια των κυψελών που είναι φτιαγμένη από ψημένο γυαλί. Δηλαδή, γυαλί που έχει θερμανθεί σε υψηλή θερμοκρασία και στη συνέχεια έχει ψυχθεί απότομα με αποτέλεσμα την αύξηση της σκληρότητας του. Οι κυψέλες έχουν τρεις στρώσεις επικάλυψης από ενισχυμένο EVA (Ethylene Vinyl Acetate) που καλύπτει και τα πιο αυστηρά πρότυπα ασφαλείας για εξοπλισμό υψηλής τάσης.

## Ενεργειακή Αναβάθμιση ξενοδοχειακής μονάδας Creta Maris

Με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth επιλέχθηκε το σημείο εγκατάστασης του Φ/Β πάρκου.



*Χάρτης 3:* Ενδεικτικό σημείο εγκατάστασης Φ/Β πάρκου.  
(πηγή: Google Earth)

Παρακάτω φαίνεται η χωροθέτηση του Φ/Β πάρκου που έγινε μέσω AutoCAD.



*Εικόνα 11:* Χωροθέτηση Φ/Β πάρκου εντός ορίων μέσω AutoCAD.

Η αξιοπιστία της σύνδεσης των πάνελ με το κύκλωμα διασφαλίζεται μέσω ενισχυμένων συνδέσμων MC4 (PV – ST01).



**Εικόνα 12:** Σύνδεσμος MC4 (PV- ST01)

(πηγή: [www.leadergroup-cn.com](http://www.leadergroup-cn.com))

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα με τον όρο αντιστροφέας (inverter) νοείται η διάταξη ηλεκτρονικών ισχύος η οποία μετατρέπει τη συνεχή τάση των Φ/Β πάνελ σε εναλλασσόμενη ονομαστικών τιμών 230 [V]/50 [Hz]. Καθώς χρειάζεται να υπάρχουν όσο το δυνατόν λιγότερες ενεργειακές απώλειες στο σύστημα ώστε να μεταφέρεται συνεχώς η μέγιστη ενέργεια στο δίκτυο, θα πρέπει να γίνει η επιλογή ενός αντιστροφέα αξιόπιστου και με καλή απόδοση. Οι προδιαγραφές του αντιστροφέα ισχύος θα πρέπει να ακολουθούν τις γενικές κατευθύνσεις που περιγράφονται στις οδηγίες της ΔΕΗ.

Οι αντιστροφέες που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι της Sunny Tripower και το μοντέλο θα είναι το STP 50 – 40.

#### 6.2.6. Υπολογισμοί για κάθε μήνα του έτους

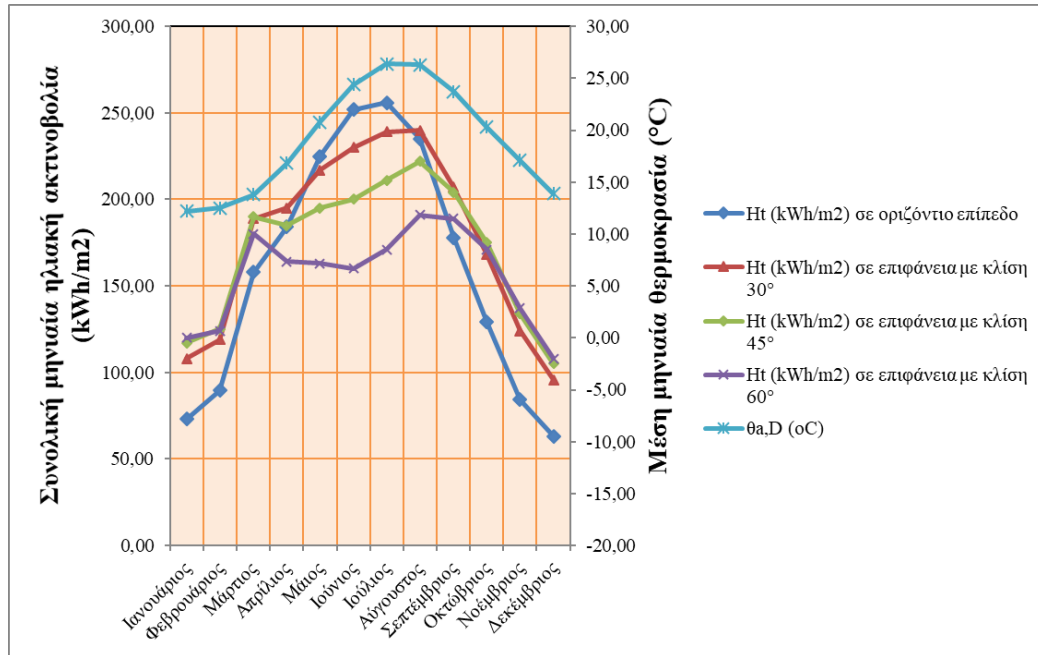
Απαραίτητα δεδομένα για τους υπολογισμούς μας είναι:

- Οι γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής.
- Η κλίση της επιφάνειας σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο :  $\theta_p$  [°].
- Ο προσανατολισμός της επιφάνειας σε σχέση με το Νότο :  $\varphi_p$  [°].
- Η ονομαστική ισχύς του Φ/Β.

Γεωγραφικό πλάτος ( $\lambda$ )	35,18°
Γεωγραφικό μήκος ( $\varphi$ )	25,23°
Ζώνη ώρας	30,00°
Κλίση επιφάνειας ( $\theta_p$ )	30,00°
Αζιμούθιο επιφάνειας ( $\varphi_p$ )	0,00°
Ονομαστική ισχύς Φ/Β	99 [kW]

Επίσης, για τον υπολογισμό πάρθηκαν στοιχεία από το ΚΑΠΕ και το JRC European Commission:

- Η συνολική μηνιαία ηλιακή ενέργεια :  $H_t$  [kWh/m<sup>2</sup>].
- Η μέση μηνιαία τιμή θερμοκρασίας περιβάλλοντος :  $\theta_{a,D}$  [°C].
- Η μέση μηνιαία ένταση ανέμου :  $W_{SD}$  [m/s].
- Το ποσοστό ωρών ηλιοφάνειας για την περιοχή.



**Διάγραμμα 28:** Συνολική μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m<sup>2</sup>) και μέση μηνιαία θερμοκρασία σε διάφορες κλίσεις.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας δίνεται από τη σχέση :

$$G_t = \frac{H_t}{t_m}$$

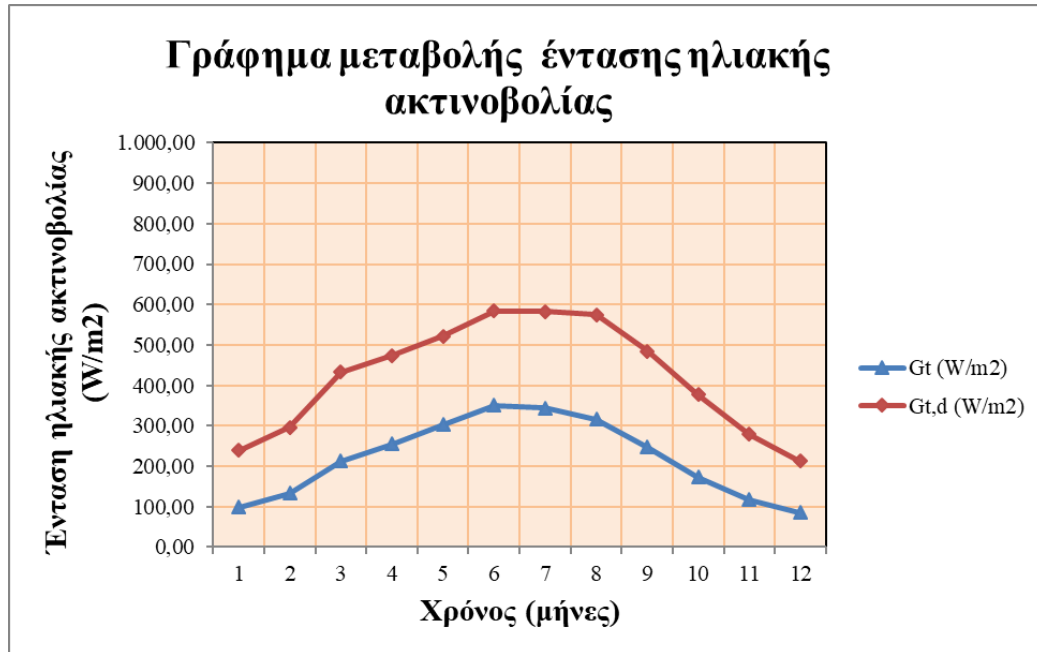
Όπου  $t_m$  : το χρονικό διάστημα του κάθε μήνα σε [h].

Η μέση μηνιαία ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας, δίνεται από τη σχέση:

$$G_{t,D} = \frac{G_t}{t_d}$$

Όπου  $t_d$  : το ποσοστό ημέρας ανά 24ωρο.





**Διάγραμμα 29:** Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (W/m<sup>2</sup>).

Ο λόγος επίδοσης  $PR_T$  του Φ/Β που οφείλεται στη διαφοροποίηση της θερμοκρασίας κυψελίδας από τη θερμοκρασία αναφοράς 25 [°C], δίνεται από τη σχέση:

$$PR_T = 1 + \gamma_{mp} \times (\theta_{c,wa} - \theta_{STC})$$

Όπου:

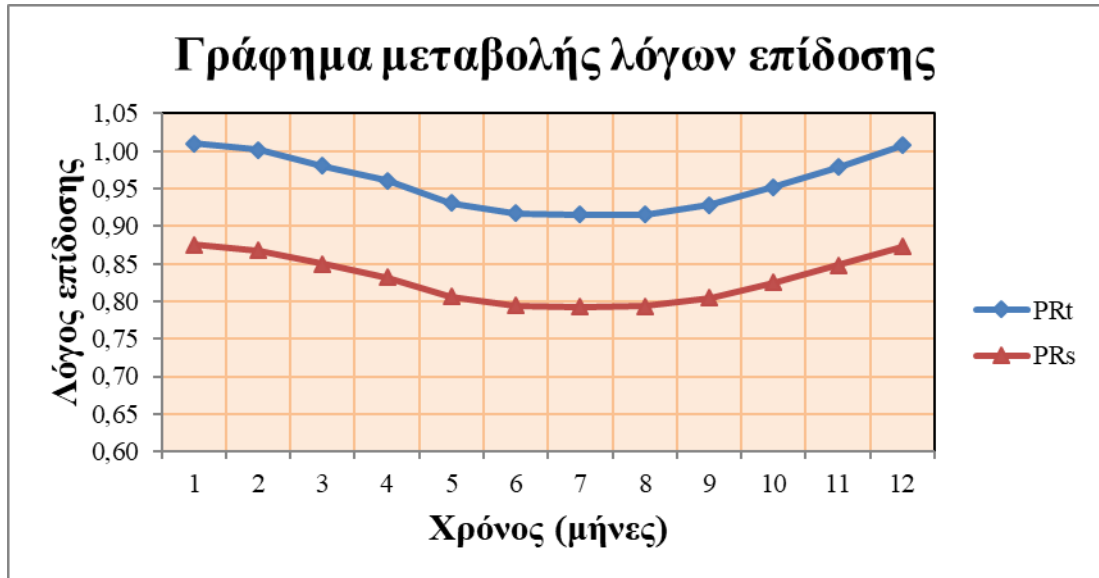
- $\gamma_{mp} = -0,0045 [K^{-1}]$  (θερμικός συντελεστής απόδοσης για το πυρίτιο).
- $\theta_{STC} = 25 [°C]$  (θερμοκρασία αναφοράς)
- $\theta_{c,wa}$  = μέση μηνιαία θερμοκρασία κυψελίδας.

Ο λόγος επίδοσης (συνολική αποδοτικότητα) Φ/Β σταθμού δίνεται από τη σχέση:

$$PR_S = PR_{OPT} \times PR_{NIT} \times PR_T n_{trans}$$

Όπου :

- $PR_{OPT}$  ο λόγος επίδοσης οπτικών απωλειών (αντανάκλασεις, φάσμα ακτινοβολίας, σκιάσεις) και για τη νότια Ελλάδα είναι ίσος με 0,96.
- $PR_{NIT}$  ο λόγος επίδοσης που αφορά στη μη σύμπτωση του φωτοβολταϊκού σημείου λειτουργίας (ΣΛ) με το σημείο μέγιστης ισχύος (ΣΜΙ) της Φ/Β συστοιχίας και για τη νότια Ελλάδα είναι ίσος με 0,95.
- $n_{trans}$  ο λόγος επίδοσης άλλων απωλειών (συνδέσεις καλωδίων, δίοδοι, κλπ.) και για νότια Ελλάδα είναι ίσος με 0,95.



Διάγραμμα 30: Διάγραμμα λόγου επίδοσης.

Η παραγωγή ισχύος από Φ/Β σταθμό δίνεται από τη σχέση:

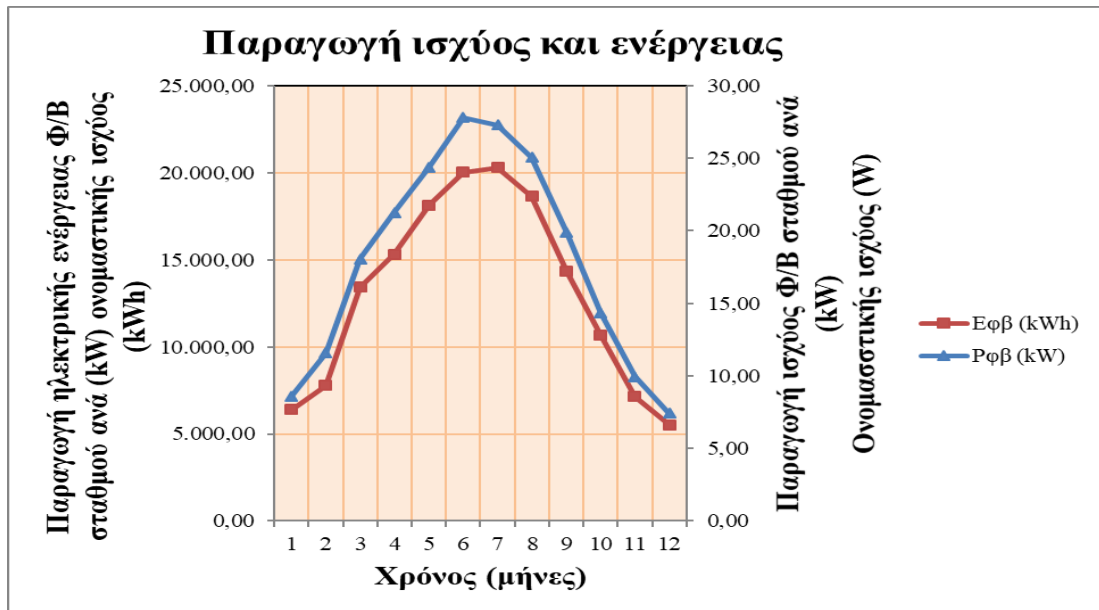
$$P_{\Phi/B} = c_{\Phi/B} \times P_{\Phi/Bnom}$$

Όπου :

- $P_{\Phi/B}$  η παραγόμενη ισχύς από το Φ/Β σταθμό.
- $C_{\Phi/B}$  ο συντελεστής ισχύος του Φ/Β σταθμού.
- $P_{\Phi/Bnom}$  η ονομαστική ισχύς του Φ/Β σταθμού.

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας Φ/Β του σταθμού δίνεται από τη σχέση :

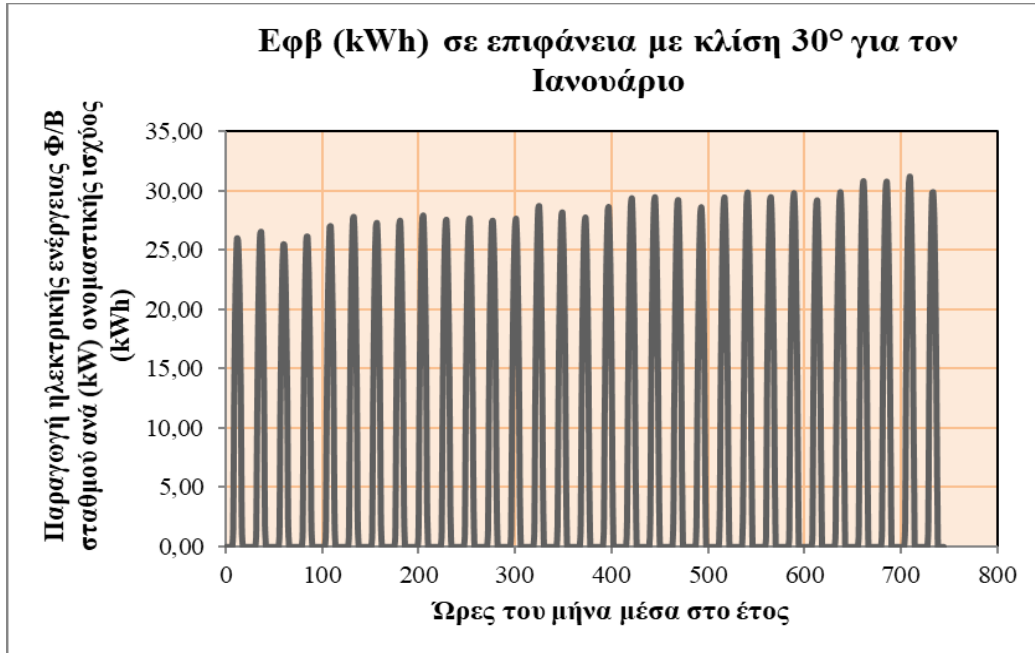
$$E_{\Phi/B} = P_{\Phi/B} \times t_m$$



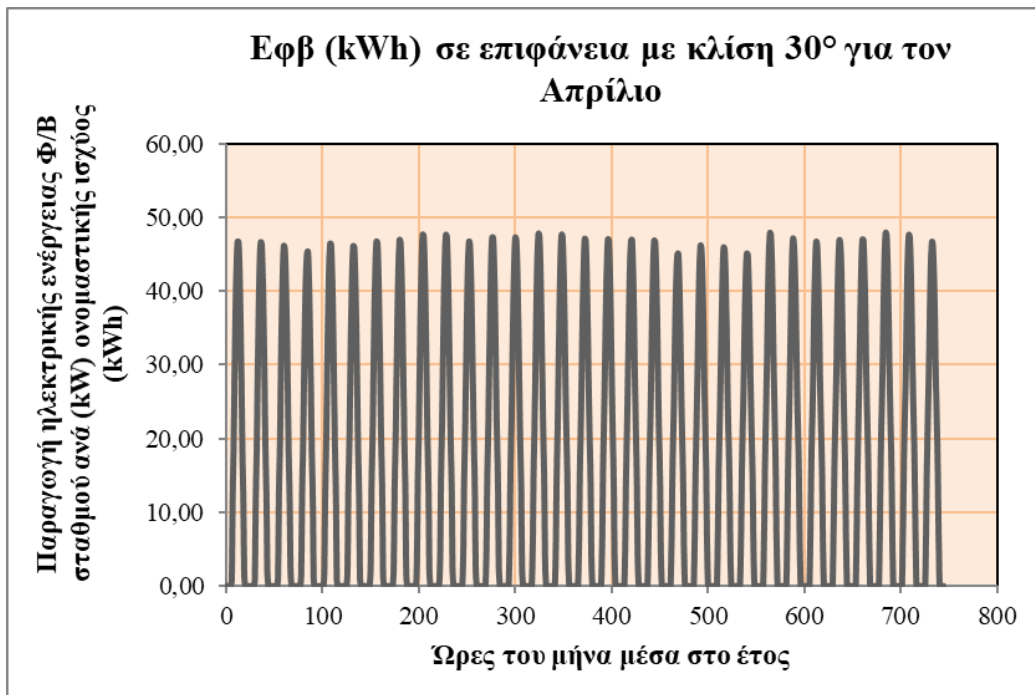
Διάγραμμα 31: Διάγραμμα παραγωγής και ενέργειας.

**6.2.7. Υπολογισμοί για κάθε ώρα του έτους**

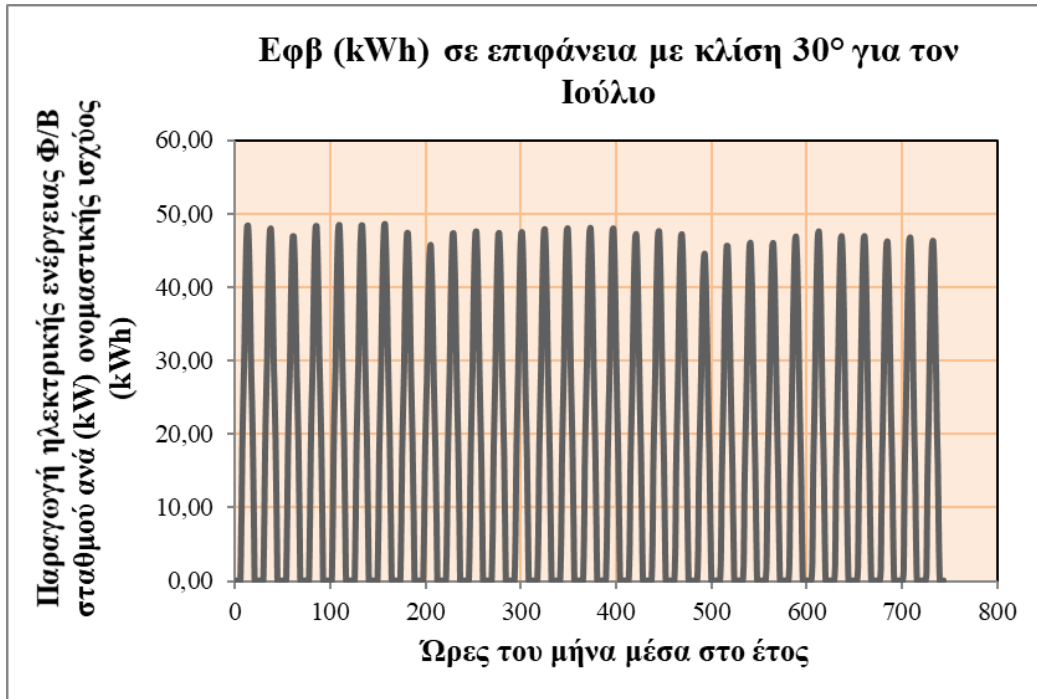
Για τις απαιτήσεις της μελέτης είναι αναγκαίος ο υπολογισμός και για κάθε ώρα του έτους. Παρακάτω δίνονται διαγράμματα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, για κάθε εποχή του έτους, καθώς και το διάγραμμα της ολικής παραγωγής που προέκυψαν από τους ωριαίους υπολογισμούς.



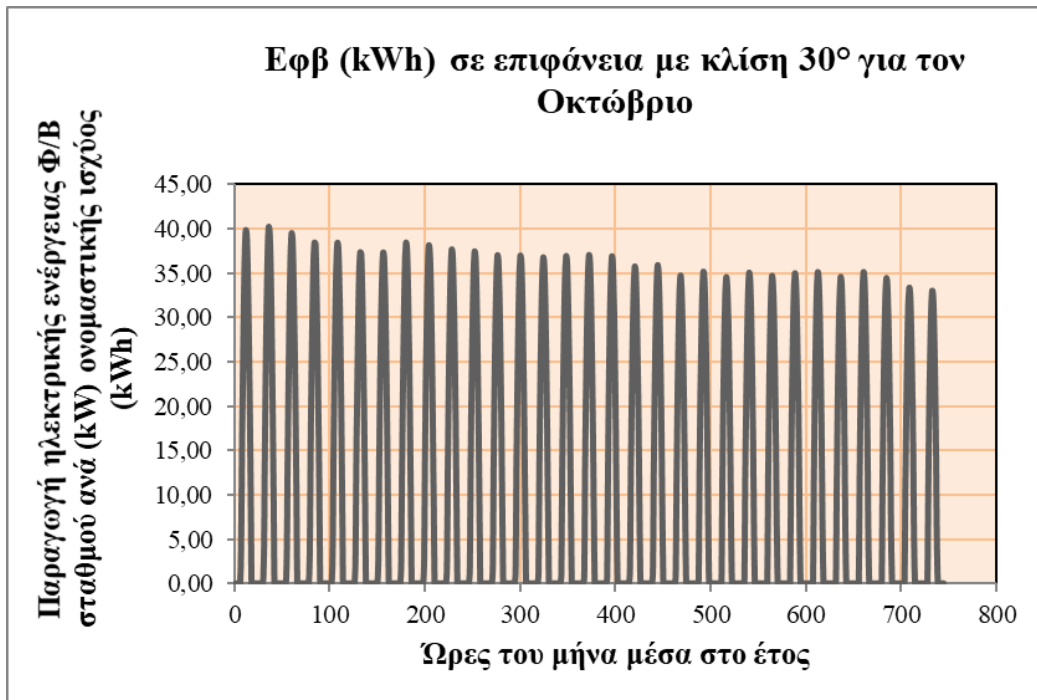
*Διάγραμμα 32:* Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (kWh) σε επιφάνεια με κλίση 30° για το μήνα Ιανουάριο.



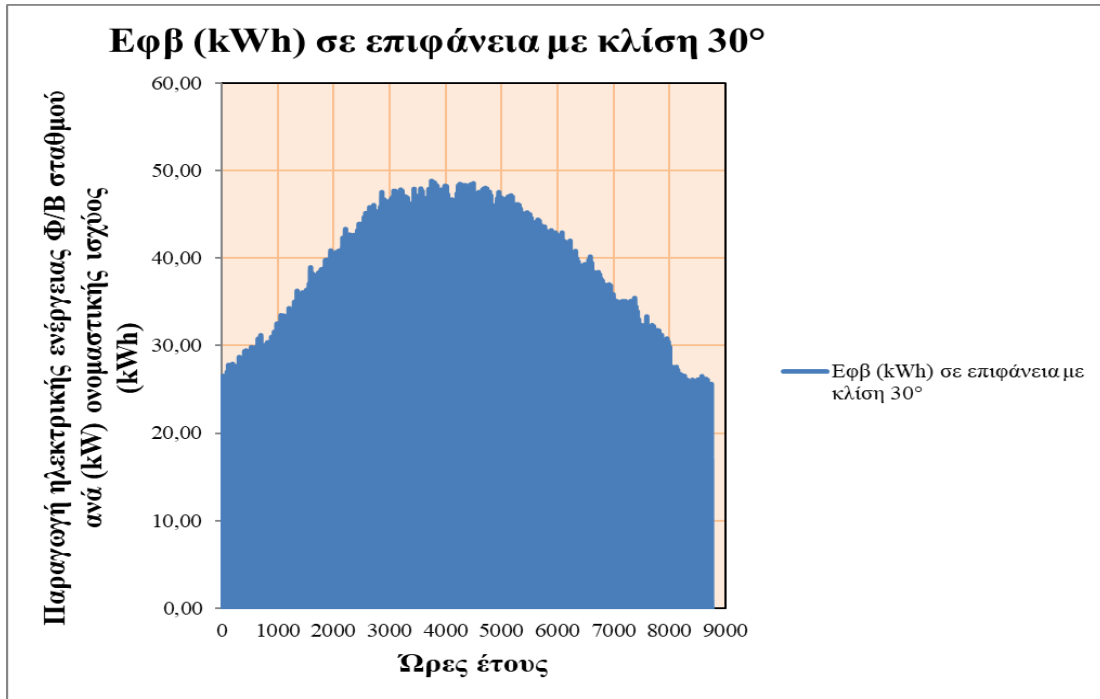
*Διάγραμμα 33:* Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (kWh) σε επιφάνεια με κλίση 30° για το μήνα Απρίλιο.



Διάγραμμα 34: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (kWh) σε επιφάνεια με κλίση 30° για το μήνα Ιούλιο.



Διάγραμμα 35: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (kWh) σε επιφάνεια με κλίση 30° για το μήνα Οκτώβριο.



**Διάγραμμα 36:** Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (kWh) σε επιφάνεια με κλίση 30° μέσα σε ένα έτος.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται ο συντελεστής απασχόλησης και η ετήσια παραγωγή ενέργειας ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε:

1 <sup>η</sup> μέθοδος	
Συντελεστής απασχόλησης: $C_f$	17,97 [%]
Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας: $E_{\Phi/B}$	157.674,04 [kWh]
2 <sup>η</sup> μέθοδος	
Συντελεστής απασχόλησης: $C_f$	12,37 [%]
Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας: $E_{\Phi/B}$	108.337,61 [kWh]
Απόκλιση 1 <sup>ης</sup> – 2 <sup>ης</sup> μεθόδου	
Συντελεστής απασχόλησης: $C_f$	31,17 [%]
Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας: $E_{\Phi/B}$	31,29 [%]

**Πίνακας 26:** Αποτελέσματα του συντελεστή απασχόλησης και της ετήσιας παραγωγής ενέργειας.

## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>

### 7.1. Τεχνοοικονομική μελέτη Φ/Β πάρκου

#### 7.1.1. Εισαγωγή

Πέραν της μελέτης για την ενεργειακή απόδοση του πάρκου απαιτείται για την ολοκλήρωση του έργου η τεχνοοικονομική μελέτη. Η οικονομική αξιολόγηση θα μας αποδώσει οικονομικά στοιχεία που θα δείξουν αν η επένδυση θα είναι συμφέρουσα να γίνει η όχι. Θα χρησιμοποιηθούν δείκτες όπως :

- Ο **Χρόνος Αποπληρωμής** είναι ο χρόνος που απαιτείται έτσι ώστε να συγκεντρωθούν από τα έσοδα του πάρκου το κεφάλαιο που επενδύθηκε.
- Ο **Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης** εκφράζει σε επιτόκιο την ετήσια απόδοση του κεφαλαίου που επενδύθηκε.
- Η **Καθαρά Παρούσα Αξία** είναι το σύνολο των εσόδων της επένδυσης ανοιγμένο στην παρούσα χρονική στιγμή.

Παρακάτω φαίνεται η αναλυτική περιγραφή του κόστους του Φ/Β πάρκου:

Πάνελ	29.700 €
Inverter sma	9.796 €
Sma data manager	624 €
Καλώδια 3x2,5	464 €
Καλώδια 4x25	293 €
Καλώδια 1x240	2.244 €
Διαμόρφωση Πεδίου	2.000 €
Πανέλωμα	1.000 €
Εργασία ηλεκτρολογικά	3.000 €
Χωματουργικά Έργα	2.500 €
Βάσεις	13.200 €
Εργατικά	6.000 €

**Πίνακας 27:** Αναλυτική περιγραφή του κόστους του Φ/Β πάρκου.

Αρχικό Κόστος	
Κόστος αγοράς	53.320,00
Κόστος μεταφοράς	4.000,00
Κόστος εγκατάστασης	3.000,00
Εκπαίδευση προσωπικού	2.000,00
Έργα υποδομής	11.500,00
Γενικός ηλεκτρολογικός εξοπλισμός	3.000,60
Ειδικός ηλεκτρολογικός εξοπλισμός	2.000,00
Μελέτες, αμοιβές, κτλ	12.000,00
Απρόβλεπτα	10.000,00
<b>Σύνολο:</b>	<b>100.820,60</b>

**Πίνακας 28:** Αναλυτική περιγραφή του αρχικού κόστους του Φ/Β πάρκου.

<b>Λειτουργικό Κόστος</b>	
Συντήρηση	1.200,00
Προσωπικό	1.000,00
Ασφάλιση	2.500,00
Συντήρηση εκτάκτων αναγκών	2.000,00
Ανταποδοτικά τέλη	1.500,00
Ενοίκιο	0,00
<b>Σύνολο:</b>	<b>8.200,00</b>

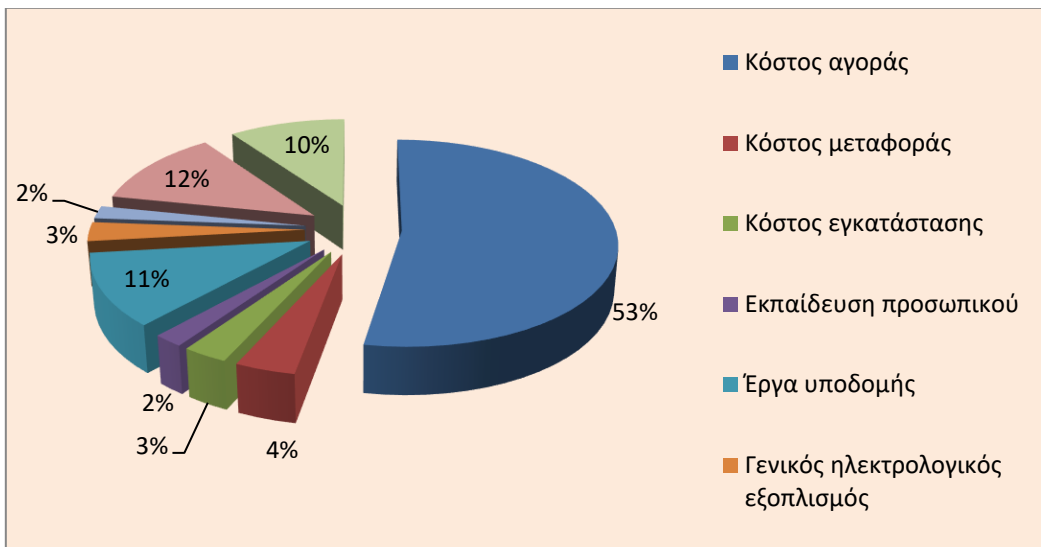
*Πίνακας 29:* Αναλυτική περιγραφή του λειτουργικού κόστους του Φ/Β πάρκου.

<b>Διάφορα</b>	
Δάνειο	50%
Ιδιά κεφάλαια	50%
Επιτόκιο προεξόφλησης	8%
Επιτόκιο δανεισμού	6%
Επιχορήγηση	0%
Ετήσιος ρυθμός αύξησης	0%
Ποσοστό δανεισμού αυτοπαραγωγής	70%
Διάρκεια αποπληρωμής	10 έτη

*Πίνακας 30:* Αναλυτική περιγραφή των κεφαλαίων που θα χρησιμοποιηθούν για το Φ/Β πάρκο.

<b>Έξοδα από αρχικό κόστος</b>	
	100.820,60
<b>Έξοδα από λειτουργικό κόστος</b>	
	8.200,00
<b>Συνολικά έξοδα</b>	
	109.020,60

*Πίνακας 31:* Συνοπτικός πίνακας εξόδων.



*Διάγραμμα 37:* Διάγραμμα πίτας (pie chart) για τη συμμετοχή της κάθε κατηγορίας σε ποσοστά.

**7.1.2. Οι λειτουργικές δαπάνες και τα κέρδη προ αποσβέσεων και φόρων.**

Μέσα από τις λειτουργικές δαπάνες μπορούν να υπολογισθούν οι τόκοι των δανείων για κάθε έτος, τα ανεξόφλητα κεφάλαια και τα κέρδη προ αποσβέσεων και φόρων.

<b>Λειτουργικές δαπάνες</b>	
Δανειζόμενο κεφάλαιο	4.100,00 €
Έτη αποπληρωμής	10
Ετήσια τοκοχρεολυτική δόση	557,06 €
Τοκοχρεολυτική δόση	<b>-557,06 €</b>
Συντελεστής φορολόγησης	35%
Επιτόκιο προεξόφλησης	8%
Επιτόκιο δανεισμού	6%

*Πίνακας 32:* Συνοπτικός πίνακας λειτουργικών δαπανών.

Επομένως, με βάση τα παραπάνω στοιχεία που απεικονίζονται στον πίνακα 32 και με τη βοήθεια του προγράμματος excel υπολογίσθηκαν τα οικονομικά στοιχεία που προαναφέρθηκαν.

Έτος	Κεφάλαιο (ευρώ)	Τόκοι δανείων (ευρώ)	Ανεξόφλητα κεφάλαια (ευρώ)	Κέρδη προ αποσβέσεων τόκων και φόρων (ευρώ)
1	4.100,00	246,00	3.788,94	18.011,20
2	3.788,94	227,34	3.459,22	18.011,20
3	3.459,22	207,55	3.109,71	16.811,20
4	3.109,71	186,58	2.739,24	16.811,20
5	2.739,24	164,35	2.346,53	16.811,20
6	2.346,53	140,79	1.930,27	16.811,20
7	1.930,27	115,82	1.489,02	16.811,20
8	1.489,02	89,34	1.021,31	16.811,20
9	1.021,31	61,28	525,53	16.811,20
10	525,53	31,53	0,00	16.811,20
11				16.811,20
12				16.811,20
13				16.811,20
14				16.811,20
15				16.811,20
16				16.811,20
17				16.811,20
18				16.811,20
19				16.811,20
20				16.811,20
<b>Σύνολο =</b>				<b>338.623,97</b>

*Πίνακας 32:* Συνοπτικός πίνακας οικονομικών στοιχείων.

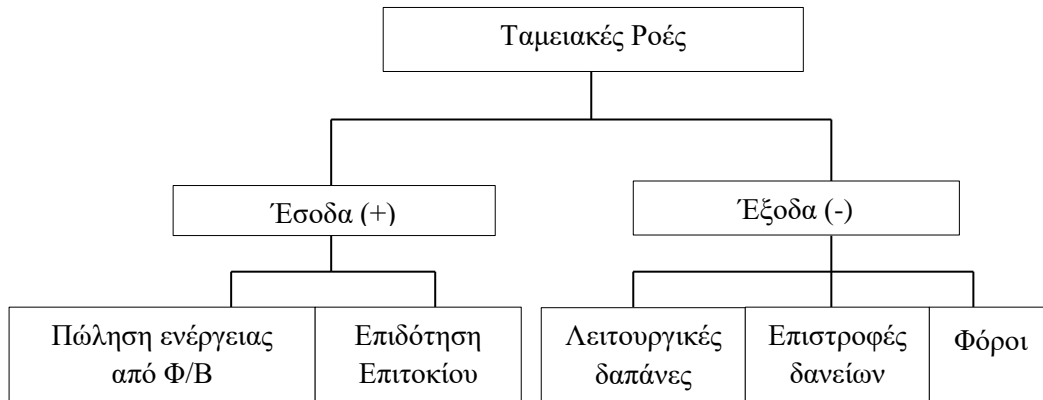


### 7.1.3. Καθαρές ταμειακές ροές

Καθαρή ροή μετρητών = Εισροή μετρητών – Εκροή μετρητών.

Κέρδη προ φόρων = Έσοδα του έργου – Έξοδα εκτός αποσβέσεων.

Ο υπολογισμός των καθαρών ταμειακών ροών έχει γίνει όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Καθαρές Ταμειακές ροές	
Ποσοστό αποσβέσεων	
Ηλεκτρολογικά	5%
Πολιτικού μηχανικού	8%
Βασικός εξοπλισμός	10%
Συντελεστής φορολόγησης	35%

**Πίνακας 33:** Συνοπτικός πίνακας οικονομικών στοιχείων.

Ενεργειακή Αναβάθμιση ξενοδοχειακής μονάδας Creta Maris

Με βάση τα παραπάνω οικονομικά στοιχεία, υπολογισθήκαν όπως φαίνεται και στους παρακάτω πίνακες, οι αποσβέσεις, το φορολογητέο ποσό, η φορολογία και οι πληρωμές των δανείων.

Έτος	Αποσβέσεις (ευρώ)	Φορολογητέο (ευρώ)
1	6.502,03	6.303,92
2	6.502,03	6.303,92
3	6.502,03	5.883,92
4	6.502,03	5.883,92
5	6.502,03	5.883,92
6	6.502,03	5.883,92
7	6.502,03	5.883,92
8	6.502,03	5.883,92
9	6.502,03	5.883,92
10	6.502,03	5.883,92
11	6.502,03	5.883,92
12	6.502,03	5.883,92
13	6.502,03	5.883,92
14	6.502,03	5.883,92
15	6.502,03	5.883,92
16	6.502,03	5.883,92
17	6.502,03	5.883,92
18	6.502,03	5.883,92
19	6.502,03	5.883,92
20	6.502,03	5.883,92

**Πίνακας 34:** Πίνακας αποσβέσεων – φορολογητέου.

Ενεργειακή Αναβάθμιση ξενοδοχειακής μονάδας Creta Maris

Έτος	Φορολογία (ευρώ)	Πληρωμές δανείων (ευρώ)
1	2.206,37	434,60
2	2.206,37	434,60
3	2.059,37	434,60
4	2.059,37	434,60
5	2.059,37	434,60
6	2.059,37	434,60
7	2.059,37	434,60
8	2.059,37	434,60
9	2.059,37	434,60
10	2.059,37	434,60
11	2.059,37	
12	2.059,37	
13	2.059,37	
14	2.059,37	
15	2.059,37	
16	2.059,37	
17	2.059,37	
18	2.059,37	
19	2.059,37	
20	2.059,37	
<b>Σύνολο =</b>	<b>41.481,44</b>	<b>4.346,00</b>

Πίνακας 35: Πίνακας φορολογίας και δόσεις δανείων.

#### 7.1.4. Καθαρά Παρούσα Αξία

Η οικονομική αξιολόγηση υποψήφιων έργων στον ενεργειακό τομέα επιτυγχάνεται, με τη σύγκριση του βαθμού της μακροπρόθεσμης οικονομικής βιωσιμότητας κάθε εναλλακτικής λύσης και γίνεται με οικονομικούς δείκτες ή κριτήρια. Επειδή όπως αναφέρθηκε η επένδυση θα μπορούσε να χρηματοδοτηθεί με επιδότηση, οι οικονομικοί δείκτες που ακολουθούν, εκφράζουν την αποδοτικότητα των ιδίων κεφαλαίων της επένδυσης. Οι δείκτες αυτοί προσδιορίζουν την οικονομική αποδοτικότητα της επένδυσης. Οι δείκτες αυτοί είναι ο Καθαρά Παρούσα Αξία (Κ.Π.Α.) και ο Χρόνος Αποπληρωμής (Χ.Α.) (Αιολικά Συστήματα, καθ. Κώστας Κονταξάκης, Ηράκλειο 2005). Για τον υπολογισμό των παραπάνω δεικτών απαιτείται να υπολογισθούν οι Καθαρές Χρηματικές Ροές (Κ.Χ.Ρ.) όπως φαίνονται και στον παρακάτω πίνακα.

Ενεργειακή Αναβάθμιση ξενοδοχειακής μονάδας Creta Maris

Έτος	Καθαρή χρηματική ροή (Κ.Χ.Ρ) (ευρώ)	Κ.Χ.Ρ.(Αθροιστική) (ευρώ)
1	15.558,83	15.558,83
2	15.577,49	31.136,32
3	14.544,27	45.680,59
4	14.565,24	60.245,83
5	14.587,47	74.833,31
6	14.611,03	89.444,34
7	14.636,01	104.080,35
8	14.662,49	118.742,84
9	14.690,55	133.433,39
10	14.720,30	148.153,68
11	14.751,83	162.905,51
12	14.751,83	177.657,33
13	14.751,83	192.409,16
14	14.751,83	207.160,99
15	14.751,83	221.912,81
16	14.751,83	236.664,64
17	14.751,83	251.416,47
18	14.751,83	266.168,30
19	14.751,83	280.920,12
20	14.751,83	295.671,95
<b>Σύνολο =</b>	<b>295.671,95</b>	

**Πίνακας 36:** Καθαρές Χρηματικές Ροές (Κ.Χ.Ρ.).

Παρατηρείται ότι είναι δυνατό να υπολογιστεί η Παρούσα Αξία ενός επενδυτικού έργου σε οποιαδήποτε περίοδο. Η εκτίμηση της παρούσας αξίας από την περίοδο 0 είναι δυνατόν να γίνει στην περίοδο  $t$  πολλαπλασιάζοντας την παρούσα αξία με το συντελεστή προεξόφλησης  $(1+i)^{-t}$ . Αυτή η παρατήρηση είναι σπουδαία διότι δείχνει ότι η χρησιμοποίηση της Κ.Π.Α. προϋποθέτει ότι η καθαρές ταμειακές ροές του επενδυτικού έργου μπορούν να είναι αποδόσιμες ή να επανεπενδυθούν με το επιλεγμένο επιτόκιο προεξόφλησης.

Ενεργειακή Αναβάθμιση ξενοδοχειακής μονάδας Creta Maris

Με βάση αυτό το κριτήριο, μία επένδυση κρίνεται συμφέρουσα όταν η καθαρή παρούσα αξία της είναι μεγαλύτερη από το μηδέν και ανάμεσα σε δύο επενδύσεις επιλέγεται φυσικά αυτή που έχει την μεγαλύτερη Κ.Π.Α.

Έτος	Παρούσα αξία (ευρώ)
1	14.406,32
2	13.355,19
3	11.545,71
4	10.705,89
5	9.927,99
6	9.207,43
7	8.539,97
8	7.921,68
9	7.348,93
10	6.818,34
11	6.326,81
12	5.858,15
13	5.424,22
14	5.022,42
15	4.650,39
16	4.305,92
17	3.986,96
18	3.691,63
19	3.418,18
20	3.164,98
<b>Σύνολο =</b>	<b>145.627,11</b>

**Πίνακας 37:** Παρούσα Αξία.

Η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) μίας επένδυσης είναι η αξία αυτής ανηγμένη στη χρονική στιγμή έναρξης της εμπορικής της λειτουργίας και δίνεται από τη σχέση:

$$Κ.Π.Α. = -C_o + \left[ \sum_{j=1}^n \frac{E_j}{(1+i)^j} - \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{(1+i)^j} \right] \pm \frac{SV_j}{(1+i)^j}$$

C <sub>o</sub>	Το συνολικό κόστος της επένδυσης
E <sub>j</sub> ..... E <sub>n</sub>	Τα αναμενόμενα έσοδα για τα έτη 1, 2, .... n.
C <sub>j</sub> ..... C <sub>j</sub>	Οι προβλεπόμενες δαπάνες λειτουργίας κατά τα έτη 1,2, .... n.
n	Η διάρκεια της οικονομικής ζωής του έργου
i	Το επιτόκιο προεξόφλησης
SV <sub>n</sub>	Η εναπομένουσα αξία ή κόστος της επένδυσης στο τέλος της περιόδου

Η μέθοδος του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (IRR) δείχνει την απόδοση ενός επενδυτικού προγράμματος. Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο εξισώνει την παρούσα αξία των πρόσθετων ετήσιων ταμειακών ροών, μετά από φόρους. Με άλλα λόγια, ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία του προγράμματος.

Εφόσον υπολογιστεί η καθαρά παρούσα αξία της επένδυσης με γνωστές ταμειακές ροές για  $n$  έτη και υποτιθέμενες ισόποσες μελλοντικές ροές, βρίσκουμε τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης (IRR) αλλάζοντας το προεξοφλητικό επιτόκιο μέχρι να μηδενιστεί η Καθαρή Παρούσα Αξία. Βάση αυτού, η αξιολόγηση της επένδυσης εξαρτάται από τους παρακάτω δείκτες:

- Για  $IRR > i$ , η επένδυση είναι αποδεκτή.
- Για  $IRR = i$ , η επένδυση είναι οριακή και άρα είτε θεωρείται ότι δεν έχει ενδιαφέρον είτε αξιολογείται κατά περίπτωση.
- Για  $IRR < i$ , η επένδυση απορρίπτεται.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι, αν και τα πιο πάνω αποτελούν αποδεκτές μαθηματικοποιημένες προσεγγίσεις, εντούτοις ο IRR από μόνος του δε θεωρείται ότι αρκεί ως κριτήριο αξιολόγησης της επένδυσης και για το λόγο αυτό θα πρέπει να συνδυάζεται με την τιμή της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV).

<b>Καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ) (ευρώ)</b>
36.606,51
<b>Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR)</b>
16%
<b>Περίοδος αποπληρωμής (έτη)</b>
6,98

**Πίνακας 37:** Καθαρή Παρούσα Αξία – Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης – Περίοδος Αποπληρωμής.

## Κεφάλαιο 8<sup>ο</sup>

### 8.1. Συμπεράσματα

#### 8.1.1. Εισαγωγή

Σε αυτή τη μελέτη, υπολογίζονται κι αναλύονται οι ενεργειακές ανάγκες της ξενοδοχειακής μονάδας Creta Maris και με βάση αυτές, προτείνεται η υιοθέτηση των καινοτόμων τεχνολογιών της γεωθερμίας και των φωτοβολταϊκών. Πιο συγκεκριμένα, με την εγκατάσταση του γεωθερμικού εναλλάκτη θα καλυφθούν οι ανάγκες για ψύξη, θέρμανση και ZNX ενώ με την εγκατάσταση του Φ/Β πάρκου θα καλυφθεί μέρος της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια. Με την χρήση του άνωθι συνδυασμού προκύπτουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Η εγκατάσταση της γεωθερμίας δεν προϋποθέτει την ύπαρξη λέβητα ούτε δεξαμενή πετρελαίου, διότι δεν απαιτείται καθόλου καύσιμο. Η μορφή της ενέργειας που καταναλώνεται στη μονάδα είναι ηλεκτρική, μέρος της οποίας δύναται να καλυφθεί από την εγκατάσταση του Φ/Β πάρκου.
- Η γεωθερμία ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας προτείνεται καθώς είναι ανεξάρτητη των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στη περιοχή.
- Επίσης για τη γεωθερμία απαιτείται μικρότερος χώρος για την εγκατάσταση του εξοπλισμού σε σχέση με το συμβατικό λεβητοστάσιο καθώς δεν απαιτείται επίσης αερόψυκτος ψύκτης για τον κλιματισμό του κτηρίου.
- Και οι δύο τεχνολογίες είναι καθαρές και φιλικές προς το περιβάλλον και συμβάλλουν στην μείωση εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται από συμβατικές τεχνολογίες όπως π.χ. από λέβητες.
- Και οι δύο τεχνολογίες που προτείνονται δεν είναι κοστοβόρες καθώς έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης.
- Παρέχουν μεγαλύτερη ασφάλεια συγκριτικά με μία εγκατάσταση πετρελαίου ή φυσικού αερίου.

Στα μειονεκτήματα σημειώνονται τα παρακάτω:

- Και για τις δυο περιπτώσεις (γεωθερμία – Φ/Β) το αρχικό κόστος κεφαλαίου είναι υψηλότερο συγκριτικά με αυτό των συμβατικών συστημάτων.
- Στην περίπτωση της γεωθερμίας ανοιχτού κυκλώματος, απαιτείται παροχή καθαρού νερού(π.χ. από γεώτρηση) και εξοπλισμός (κυρίως σωληνώσεις) ειδικών προδιαγραφών.
- Στην περίπτωση του Φ/Β πάρκου απαιτείται δέσμευση μεγάλης έκτασης για την εγκατάσταση.

### 8.1.2. Προεκτάσεις μελέτης

Η παρούσα μελέτη συνιστά μια πρώτη προσέγγιση σε ένα πρόβλημα που σχετίζεται με την ενεργειακή εξοικονόμηση στον ξενοδοχειακό τομέα κι αποτελεί πεδίο εφαρμογών νέων τεχνολογιών αναφορικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Εκτός από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν, υπάρχουν κι εναλλακτικές τεχνολογίες οι οποίες εμπίπτουν στο φάσμα των ΑΠΕ και θα μπορούσαν να αναλυθούν σε περαιτέρω μελέτες. Τέτοιες, θα μπορούσε να είναι:

i. Βιοκλιματικός σχεδιασμός και παθητικά συστήματα.

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά τον σχεδιασμό κτιρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών – υπαίθριων) με βάση το τοπικό κλίμα, με σκοπό την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και άλλες περιβαλλοντικές πηγές αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος. Βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν τα παθητικά συστήματα που ενσωματώνονται στα κτίρια με στόχο την αξιοποίηση των περιβαλλοντικών πηγών (π.χ. αέρα – άνεμο, βλάστηση, νερό, έδαφος, ουρανό) για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό κτιρίων ([http://www.cres.gr/kape/energeia\\_politis/energeia\\_politis\\_bioclimatic.htm](http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_bioclimatic.htm)).

ii. Συστήματα ανάκτησης θερμότητας από ψύκτες.

Η ανάκτηση θερμότητας από ψύκτες είναι μία μέθοδος η οποία με κατάλληλο μηχανολογικό σχεδιασμό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμβάλλοντας στην εξοικονόμηση ενέργειας με την παραγωγή ΖΝΧ αλλά και στην εξοικονόμηση ενέργειας για παραγωγή νερού με αντίστροφη όσμωση.

iii. Μικρές ανεμογεννήτριες.

Οι μικρές ανεμογεννήτριες είναι μια κατηγορία ΑΠΕ που εκμεταλλεύεται την ενέργεια του ανέμου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε σχέση με τις μεγάλες ανεμογεννήτριες που κατά κανόνα συναντώνται σε αιολικά πάρκα, οι μικρές ανεμογεννήτριες είναι απλουστευμένα συστήματα μικρού μεγέθους που κάνουν προσιτή την ηλεκτρική παραγωγή, τα περιβαλλοντικά αλλά και οικονομικά οφέλη της αιολικής ενέργειας (<https://energypress.gr/news/iraklis-mathiopoylos-ola-osa-prepei-na-xerete-gia-tis-mikres-anemogennitries>).



## Βιβλιογραφία

- [1] Έκδοση υπολογισμού αειφορίας (<https://www.cretamaris.gr/gr>)
- [2] **Νικόλαος Καμπιτάκης**, Ενεργειακή επιθεώρηση κτηρίου βιοκλιματικής στο ΤΕΙ Κρήτης, Πτυχιακή εργασία – Απρίλιος 2015.
- [3] **Δρ. Μιχαήλ Γρ. Βραχόπουλος, Δρ. Μαρία Κ. Κούκου, Δρ. Κωνσταντίνος Καρύτσας**, Κανονική Γεωθερμία – Αρχές σχεδιασμού γεωθερμικών συστημάτων και εφαρμογές, ΣΕΑΒ 2015. ISBN: 978-960-603-270-7.
- [4] **Σταμάτης Δ. Πέρδιος**, Επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια-αθλητικά κέντρα-βιομηχανίες-μεταφορές, Τόμος Β – Αθήνα 2007. ISBN: 978-960-8257-50-4.
- [5] **Ochsner K.** - Geothermal Heat Pumps, a guide for planning and installing. ISBN: 978-1-84407-406-8, 2008.
- [6] **Κατσαπρακάκης Δημήτριος**, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας : Γεωθερμία, Πρόγραμμα Διά Βίου Μάθηση.
- [7] **Δημήτριος Αλ. Κατσαπρακάκης**, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Διαστασιολόγηση γεωθερμικού εναλλάκτη, Πρόγραμμα Διά Βίου Μάθηση.
- [8] **Νικόλαος Ψαρράς**, Γεωθερμία και Κλιματισμός Θεωρία και Πρακτικοί κανόνες. ISBN: 978-960-9724-00-5.
- [9] **Χαραλαμπόπουλος Ιωάννης**, Θέρμανση-Ψύξη βιοκλιματικού οικισμού Σοφάδων «το πλίθινο χωριό» με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, Τεχνοοικονομική μελέτη και σύγκριση αποδοτικότητας σε σχέση με συμβατικά καύσιμα, Διπλωματική εργασία – Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά Ιούνιος 2012.
- [10] **Βασίλειος Μαρούδης**, Πρακτικές εφαρμογές γεωθερμίας σε κτηριακές εγκαταστάσεις στην Ελλάδα, Διπλωματική εργασία – Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά Οκτώβριος 2014.
- [11] **Απόστολος Κ. Μιχόπουλος, Βασιλική Βούλγαρη, Θεόδωρος Ζαχαριάδης**, Οδηγός Σχεδιασμού και Εγκατάστασης Συστημάτων Αβαθούς Γεωθερμίας. ISBN: 978-9963-2224-1-4 (ηλεκτρονική έκδοση), ISBN: 978-9963-2224-0-7 (έντυπη έκδοση).
- [12] **Θωμόπουλος Χαράλαμπος**, Ψύξη-Θέρμανση κατοικίας με χρήση γεωθερμίας, Πτυχιακή εργασία – ΑΤΕΙ Πειραιά, Φεβρουάριος 2014.
- [13] **Δημήτριος Αλ. Κατσαπρακάκης**, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Ηλιακή ενέργεια – Ηλιακή γεωμετρία και ακτινοβολία, Σημειώσεις μαθήματος.
- [14] **Δημήτριος Αλ. Κατσαπρακάκης**, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Ηλιακή ενέργεια – Φωτοβολταϊκά, Σημειώσεις μαθήματος.
- [15] **Ι.Ε. Φραγκιαδάκης**, Φωτοβολταϊκά Συστήματα. ISBN: 960-456-007-7. 3<sup>η</sup> έκδοση, Μάρτιος 2011.
- [16] **Ο. Σχινάς, Δ. Λυρίδης**, Σημειώσεις Λογιστικής και Τεχνικής Ανάλυσης – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2002.
- [17] **Κώστας Κονταξάκης**, Αιολικά Συστήματα – Σημειώσεις εργαστηρίου, Ηράκλειο 2005.
- [18] **Παπασταύρου Κ. Χαράλαμπος**, Βέλτιστος Σχεδιασμός Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε ένα Χώρο με βάση Οικονομικά και Περιβαλλοντικά Κριτήρια – Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2011.